



ORNITHOLOGISCHER ANZEIGER

Zeitschrift bayerischer und baden-württembergischer Ornithologen

Band 58 – 2/3

Dezember 2019

Ornithol. Anz., 58: 105–125

Können Vögel den giftigen Buchsbaumzünsler *Cydalima perspectalis* fressen?

Eine kritische Analyse zur Frage, wie Tiere mit natürlichen Giften umgehen

Roland Prinzinger und Clarissa Prinzinger

Can birds eat the poisonous box tree moth *Cydalima perspectalis*? A critical analysis of how animals deal with natural toxins

The box tree moth *Cydalima perspectalis* is an invasive East Asian pyralid (Crambidae) moth that was introduced to Central Europe around 2006. The caterpillars cause enormous damage to box trees *Buxus sempervirens*, which contain bitter poisons as a repellent. It is controversial whether birds eat the caterpillars or not.

The box tree is toxic in all parts and contains around 70 different alkaloids, including cyclobuxin D with up to 3%. Toxins in general can be lethal depending on their concentration. Some might only become effective after transformation in the affected organism itself. For many insects, alkaloids are often not poisonous but provide protection against predation through their repellent effects.

Some enemies have developed strategies against this. The yellow-bellied newt (*Taricha* sp.) is one of the most poisonous amphibians due to the alkaloid tetrodotoxin (TTX), which is widespread in the animal kingdom. TTX is highly toxic to mammals and like cyclobuxin, effective against predators. However, the garter snake (*Thamnophis* sp.) has developed a resistance to this toxin. Apart from developing resistances, detoxification mechanisms (e.g. in hares, deer and rabbits against *Atropa belladonna*) can also exist against alkaloids.

Despite the locally high occurrence of the box tree moth, only very few birds seem to prey on the caterpillar, its pupae, or the imago. This raises the question of the toxicity of the specific alkaloids, but also of the toxicity of alkaloids to birds in general.

There may be non-toxic phases in the life cycle of the box tree moth during which it might be vulnerable to predation: shortly before and after the caterpillars' moulting during growth, before pupation, and as an imago. During these stages, the insects defecate and thus might be alkaloid-free. If birds recognised these phases, they could feed on the caterpillar. However, if cyclobuxin is not only stored in the intestine, but also enriched in the entire body, the insect will remain poisonous.

With resistance and/or detoxification, the birds may fight against the cyclobuxin contained in their prey. Such strategies should occur especially where predator and prey have lived together for a

long time or co-evolved, e.g. chickens (*Gallus*) and potato beetles (*Leptinotarsa*). Common enemies of *Cydalima* would be (e.g.) House Sparrows (*Passer domesticus*) but also redstarts (*Phoenicurus*).

Storage (sequestering) and the "excretion" of poisonous batrachotoxin taken up from beetles (choresins) into dead plumage is known to occur in the passerine species pitohui (*Pitohui*) and ifritas (*Ifrita*). Similarly, cantharidin from oil beetles (Meloidae) is found in the Spur-winged Goose (*Plectropterus*), a feature that has made them known as „poisonous birds“.

Key words. alkaloids, batrachotoxin, BTX, boxwood bugle, *Buxus*, box tree, cantharidin, curare, cyclobuxin, *Cydalima perspectalis*, box tree moth, detoxification of poisons, ifritas (*Ifrita*), pitohuis (*Pitohui*), *Plectropterus*, poisonous birds, potato beetle, *Leptinotarsa*, repellent effect, sequestering, Spur-winged Goose, tetrodotoxin, TTX

Prof. Dr. Roland Prinzinger ✉, Tannenweg 2, 61184 Karben, Deutschland
E-Mail: prinzinger@bio.uni-frankfurt.de

Dr. med. vet. Clarissa Prinzinger, Weißdornweg 5, 61118 Bad-Vilbel-Gronau, Deutschland
E-Mail: Clarissa.Prinzinger@gmx.de

Einleitung

Die beiden Autoren wurden in der Vergangenheit mehrfach gefragt, was man gegen den Buchsbaumzünsler unternehmen könne und ob er von Vögeln gefressen werde. Das war der Ausschlag für die folgende Zusammenfassung dieser Problematik.

Der Buchsbaumzünsler *Cydalima perspectalis* ist ein ostasiatischer Kleinschmetterling aus der Familie der Crambidae, der um das Jahr 2006/07 nach Mitteleuropa eingeschleppt wurde. Hier hat er sich zu einer invasiven Spezies entwickelt. Die Raupen der Motte sind auf Buchsbäume (*Buxus* spp.) spezialisiert und können enorme Schäden durch Kahlfraß (auch an einheimischen Buchsbäumen (*Buxus* spp.) verursachen, obwohl diese, wie die asiatischen Arten, bittere und hochgiftige triterpenoide Alkaloide als Repellent enthalten.

Diese Repellentwirkung der Pflanze könnte sich sekundär auch auf potentielle Fraßfeinde (Insektenfresser) auswirken, wenn diese die Raupen, Larven oder die fertigen Schmetterlinge als Beute zu sich nehmen wollen.

Es gibt eine Reihe von Beobachtungen (inkl. Fotos, einige Filme), vor allem von Meisen und Sperlingen, die zeigen, dass die Raupen und Schmetterlinge des Zünslers gefressen (?) werden. Im Gegensatz dazu haben Andere gesehen, dass Vögel sie zwar aufgenommen, dann aber sofort wieder ausgespuckt haben, was bedeuten würde, dass Vogelprädatoren nicht nur die Larven, sondern auch die Erwachsenen (Imagos) meiden.

Strittig ist also, ob und wenn ja, welche Vögel wann und in welchem Umfang die Raupen, die Larven und die erwachsenen Schmetterlinge (Imagos) des Zünslers fressen (können) oder nicht und was die jeweiligen Gründe dafür sein könnten. Was trifft eigentlich zu und warum gibt es diese unterschiedlichen Beobachtungen? Zum Thema gibt es auch zwei Filme, die die Aufnahme (das Fressen?) von Buchsbaumzünsler zeigen. Diese Filme sind im elektronischen Anhang aufgeführt und über das Internet abrufbar.

Zunächst folgendes: Beide „Ansichten“ könn(t)en richtig sein. Wie lässt sich dies dann erklären? Das ist bisher kontrovers dargestellt worden und somit nicht sicher und lohnt eine Betrachtung.

Im folgenden Beitrag soll dieses interessante Thema aus (öko)physiologischer und pharmakologischer Sicht deshalb näher diskutiert werden. Dabei soll auf folgende Aspekte und Fragen eingegangen werden:

- Welche Gifte und wo kommen bei den verschiedenen Buchsbaumarten vor?
- Wie erfolgt die Aufnahme der Buchsbaumgifte durch den Buchsbaumzünsler?
- Wie geht der Buchsbaumzünsler mit den aufgenommenen Alkaloiden um?
- Könnten bestimmte Vogelarten unterschiedliche Strategien im Umgang mit giftigen Alkaloiden entwickelt haben und den Zünsler deshalb als Nahrungsquelle nutzen?
- Wie kann man die Kontroverse experimentell testen?

Material und Methode

Diese Übersichtsarbeit beruht auf der Auswertung von zahlreichen Originalpublikationen, Lehrbüchern und Internetbeiträgen. Internet-Beiträge sind vor allem aufgrund ihrer meist informativen Fotos und Filme eine wertvolle Quelle, die in Originalpublikationen praktisch völlig fehlen und die aber nicht unbeachtet bleiben können.

Um die Arbeit leichter lesbar zu machen, wurde nicht jede einzelne Aussage unmittelbar durch ein entsprechendes Literaturzitat belegt. Die Listung ausgewählter Publikationen erfolgt summarisch alphabetisch am Ende des jeweiligen Absatzes, auch wenn es die Zuordnung einer Einzelaussage erschwert. Lehrbuchwissen im weitesten Sinne ist unzitert.

Die Autoren können als Referenten, so wie es für einen Review typisch ist, nicht wie bei einer Originalarbeit für die Richtig- und Vollständigkeit der einzelnen Aussagen die Verantwortung tragen.

Grundlegende Daten

Der Buchsbaumzünsler *Cydalima perspectalis*

Der nachtaktive Buchsbaumzünsler *Cydalima perspectalis* (Lepidoptera: Crambidae) ist eine neue invasive Schmetterlingsart (Neozoon) in Europa, die schwere Schäden an Buchsbäumen (*Buxus* spp.) in Gärten sowie in naturnahen Buchsbaumwäldern verursacht. Ursprünglich in Korea, Japan und China vorkommend, hat sich diese Motte seit 2007 schnell in Europa verbreitet. Die Larven ernähren sich vor allem von Blättern, seltener auch von der Rinde, was bei starkem Befall dazu führt, dass der Busch absterben kann.

Ausbreitung. Der Buchsbaumzünsler ist ab 2006/2007 (Deutschland/Schweiz) als Neozoon in Europa aufgetaucht. Weitere Länder wurden wie folgt besiedelt: 2009 Frankreich, Niederlande, Großbritannien, Österreich, 2011 Ungarn, Rumänien, Türkei, Slowakei und Belgien. 2013 wurde er erstmals in Spanien und in Dänemark nachgewiesen. Das Siedlungsgebiet des Buchsbaumzünslers dehnte sich sehr rasch aus. In der Region um Basel z. B. pro Jahr um rund 5 km. Zusammen mit einem gleichzeitigen Befall mit dem Schlauchpilz *Cylindrocladium buxicola* führte er bis 2011 zu einem völligen Absterben eines jahrhundertalten Buchsbaumwaldes bei Grenzachwyhlen. (Bella 2013, Feldtrauer et al. 2009, Hartmann und Buchsbaum 2013, Hizal. 2012, Hizal. et al. 2011, Inoue 1982, Käppeli 2008, Köhler 2015, Koren und Črne 2012, Krüger 2008, Leuthardt 2012, Leuthardt et al. 2010, 2013, Mally und Nuss 2010, Matošević 2013, Nacambo et al. 2014, Perny 2010, Raspudić et al. 2014, Sáfián und Horváth 2011, Sage und Karl 2010, Seljak 2012, Sigg 2009, Strachinis et al. 2015, Stretzov 2008, Székely et al. 2012, van der Straten und Muus 2010, weitere Details zur Ausbreitung finden sich unter http://www.lepiforum.de/lepiwiki.pl?Cydalima_Perspectalis_Verbreitung_III und <https://de.wikipedia.org/wiki/Buchsbaumzünsler>).

Aussehen. Der Buchsbaumzünsler hat eine Flügelspannweite von 40–44 mm. Die Flügel sind weiß mit einem breiten dunkelbraunen Rand. Es gibt auch völlig braun gefärbte Exemplare. Die Raupen sind altersabhängig bis maximal 5 cm lang, gelb- bis dunkelgrün und längs schwarz und weiß gestreift, mit schwarzen Punkten, weißen Borsten und schwarzer Kopfkapsel. Es ist

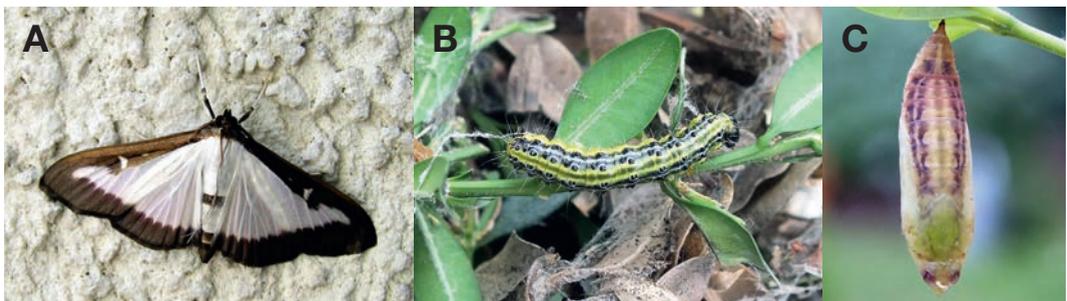


Abb. 1. Schmetterling (Imago, A), Raupe (letztes Stadium, B) und Puppe (C) des Buchsbaumzünslers (*Cydalima perspectalis*). – Butterfly (imago, A), caterpillar (last stage, B) and pupa (C) of the box tree moth (*Cydalima perspectalis*).
Fotos: R. Prinzinger

vermutlich eine Form der Schreckfärbung, um vor ihrer Toxizität zu warnen. Die Puppe ist im vorderen Teil hell grün und geht nach hinten in Weiß-Gelb über mit zwei dunkelvioletten Streifen, die ein weißes Zentrum haben. Ja nach Alter können die Farben variieren, vor allem werden sie dunkler (Abb. 1).

Fortpflanzung. Die Falter sitzen auf der Blattunterseite, meist nicht auf Buchsbäumen, sondern an anderen Pflanzen. Zur Eiablage suchen die ca. acht Tage lang lebenden Weibchen nach Buchsbäumen und legen dort ihre Eier ab. Sie zeigen dabei eine Vorliebe für die Sorte ‚Rotundifolia‘ und die aber offensichtlich nicht von der Alkaloidzusammensetzung der fünf in Europa einheimischen Buchsbaumarten beeinflusst wird. Sie bleibt auch ohne Einfluss auf die Wachstumsrate der Raupe.

Es gibt aber starke saisonale Schwankungen sowohl in der Wachstums- als auch in der Überlebensrate der Raupen. Larven aus der Frühjahrsgeneration wachsen schneller als Larven aus der Herbstgeneration.

Ab einer Temperatur von ca. +10 °C schlüpfen die Raupen und durchlaufen sechs bis sieben Wachstumshäutungen, die je nach Witterung sehr unterschiedlich lange dauern können. Zu ihrem Schutz halten sie sich oft in dicht gesponnenen, festen Gespinnstkammern auf, die durch Verkleben von Blättern entstehen. Die Raupen der letzten Eiablage überwintern in Kokons oder als Puppe zwischen den Blättern des Buchsbaumes.

Ernährung. Die Raupen fressen die Blätter, aber auch die Zweigrinde von Buchsbäumen; z. T. bis zum Kahlfraß, was dann zum Absterben des Baumes führen kann. Dazwischen gibt es vereinzelt aber auch noch gesunde, grüne Blätter, die offensichtlich verschmäht werden. Das „Warum und Wie“ ist ungeklärt.

Neu eingeführte Insektenarten sind oft gezwungen, sich an neue Wirtspflanzen anzupassen. Im Heimatgebiet des Zünlers kommen mehr als 15 Buchsbaum(unter)arten vor. Larven von *C. perspectalis* sollen sich von *B. microphylla* in Japan und von *B. sinica* in China ernähren. Die Raupen von wurden an *B. microphylla* var. *japonica* und *B. m. var. insularis* sowie an *B. sempervirens* unter Laborbedingungen in Japan aufgezogen.

Viele invasive Insektenarten zeichnen sich aber durch die Fähigkeit aus, auf Pflanzenarten zu wachsen und sich fortzupflanzen, die in ihrem Heimatgebiet unbekannt sind. Sie verändern die

Ernährung, indem sie ihre Nahrungspräferenz an neu entdeckte Pflanzen in der eingeführten Region anpassen.

Ein Beispiel dafür ist der Rüsselkäfer *Rhinocyllus conicus*, der absichtlich in den USA eingeführt wurde, um die invasiven Ringdisteln (*Carduus*) biologisch zu bekämpfen, was aber dazu führte, dass er auch einheimische Kratzdisteln (*Cirsium*) fraß (Louda 1998, Cruz und Segarra 1992). Es gibt aber auch eine andere Sicht dieses Beispiels: Danach belegen die angeführten Angaben keine „Veränderung“ der Wirtspflanzenbindung sondern nur den durch den Rückgang bzw. die Abwesenheit von *Carduus* verursachten Befall der potentiellen Wirtsgattung *Cirsium* durch die als „biocontrol agent“ eingeführte Rüsselkäferart. Vor dem Import nach Nordamerika durchgeführte ausgedehnte screening tests haben gezeigt, dass die Distelgattung *Cirsium* sehr wohl zum Wirtspflanzenspektrum von *Rhinocyllus conicus* gehört (Zwölfer und Harris 1984). Ein ausgedehnter Überblick (Zwölfer und Preiss 1983) hat ergeben, dass auch in weiten Gebieten Westeuropas, in denen *Carduus nutans* fehlt oder selten ist, *Rhinocyllus* Vertreter der Gattung *Cirsium* als Wirtspflanze benutzt. Bei dieser Rüsselkäferart existiert also ein relativ breites potentielles Wirtspflanzen-Spektrum – auch wenn lokal oder regional nicht alle theoretisch als Wirtspflanze verfügbaren Distelgattungen angegriffen werden. So könnte man sich das eventuell auch beim Buchsbaumzünsler vorstellen.

Der Buchsbaumzünsler ist in seinem Heimatgebiet auf dort heimische *Buxus* sp. spezialisiert. In Europa gibt es mehrere *Buxus*-Arten (s. unten), die im nativen Bereich von *C. perspectalis* nicht vorkommen. Allerdings wurden bei allen in Europa untersuchten Buchsbaumarten und -sorten Schäden festgestellt, was auf eine erfolgreiche Anpassung der Futterpräferenz dieses Eindringlings hinweist. Diese Ergebnisse deutet auf eine breite Akzeptanz der Futterpflanzenarten für Larven von *C. perspectalis* hin. Weibchen bevorzugen aber zur Eiablage *rotundifolia* gegenüber anderen Sorten. (Chen et al. 1993, Leuthardt et al. 2013, Leuthardt und Baur 2013, Maruyama 1993, Renwick und Chew 1994, Thompson und Pellmyr 1991, von Balthazar et al. 2000).

Der Buchsbaum *Buxus sempervirens*

Aus Amerika, Afrika, Europa und Asien sind circa 90 *Buxus*-Arten bekannt. In Europa ist der Ge-

wöhnliche Buchsbaum *Buxus sempervirens* und der Balearen-Buchsbaum *Buxus balearica* ursprünglich heimisch. Beide Arten und zahlreiche andere werden kultiviert und verwildern gelegentlich, so dass jetzt fünf Arten wild vorkommen. *Buxus sempervirens* steht in Deutschland unter Artenschutz. Seit Jahrhunderten ist der Buchs eine beliebte Gartenpflanze. Meist wird er als schnitttoleranter Busch gezogen. Er wächst sehr langsam und erreicht Wuchshöhen bis zu 8 m, im subtropischen Verbreitungsgebiet auch bis zu 20 m. Sein hartes Holz wird bis heute in der Drechslerei geschätzt.

Die Blüten produzieren reichlich Nektar und Pollen und werden deshalb gern von Bienen, Hummeln und vielen anderen Insekten aufgesucht. Deshalb und auch wegen der früh im Jahr beginnenden Blüte gilt der Buchsbaum als wichtige Bienenweide.

Der Duft der Samenwarzen lockt Ameisen an, die die Samen verschleppen. Damit gehört der Buchs, zusammen mit dem Besenginster *Cytisus scoparius*, zu den wenigen mitteleuropäischen Gehölzen, deren Samen von Ameisen verbreitet werden (Myrmekochorie).

In Europa gibt es mehrere pflanzenzüchterisch bearbeitete Formen von *Buxus*, die in Ostasien nicht vorkommen, insbesondere Sorten von *B. sempervirens*, die im ursprünglichen Lebensraum von *C. perspectalis* nicht (in hoher Dichte) vorkommen. Bei allen in Europa untersuchten Buchsbaumarten wurden aber Buchsmotten festgestellt, was auf eine erfolgreiche Umstellung der Ernährung von *B. microphylla* auf *B. sempervirens* hinweist. (Aichele und Schwegler 2000, Chen et al. 1993, Jäger et al. 2017, Leuthardt und Baur 2013, Leclerc 1922, Maruyama 1993, Oberdorfer 2001, Tornieporth und Wittman 2005, Tornieporth 2011, Thompson und Pellmyr 1991, wildbieneninfo 2017, von Balthazar et al. 2000, van Trier et al. 2007; Institut für Veterinärpharmakologie und -toxikologie, Zürich: *Buxus sempervirens* – Veterinärtoxikologie: https://flexikon.doccheck.com/de/Buchsbaum#cite_ref-1;

Zur Giftigkeit des Buchsbaums: http://www.giftpflanzen.com/buxus_sempervirens.html
http://www.natwiss.ph-karlsruhe.de/GARTEN/material/steckbrief/Giftpflanzen/buchsbaum_ph-ka.pdf

http://www.giftpflanzen.com/buxus_sempervirens.html

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28370004>

Internetseiten aktualisiert am 01.08.2019)

Die Gifte im Buchsbaum sind Alkaloide

Buxus produziert Mischungen von vielen verschiedenen Alkaloiden (Devkota et al. 2008, Dildar 1990, Vachnadze et al. 2009). Sie wurden wegen ihrer pharmakologischen Aktivitäten zahlreichen Studien unterzogen und zur Beurteilung ihrer Wirkung ist eine genauere Darstellung dieser Stoffe interessant.

Chemie und Funktion von Alkaloiden. Alkaloide sind alkalische (Name!), stickstoffhaltige Verbindungen, die sich von Aminosäuren ableiten und danach oft ihre Namen erhalten. Die meisten Alkaloide sind lipophil (fettlöslich). In Pflanzen sind sie im Zellsaft gelöste und fast immer salzartig an Pflanzensäuren gebunden. Sie schmecken bitter. Insgesamt sind rund 12.000 verschiedene Arten bekannt (Stand 2016). Morphin wurde im Jahr 1806 als erstes Alkaloid rein isoliert (Luckner et al. 1983).

Alkaloide sind in Pflanzen und Tieren weit verbreitet: 10–20 % der höheren Pflanzen können sie bilden; in einigen Gattungen sogar mehr als 50 %. Die größte Zahl zeigen Mohn- und Nachtschattengewächse. Auch in Mikroorganismen und Tieren (z. B. in marinen Würmern, Gliederfüßern, Fischen, Kröten, Salamandern) treten sie auf. Sie sind hier jedoch selten und liegen in geringer Konzentration vor, da Alkaloide den Organismus auch selbst schädigen können.

Nicotin ist als weitverbreitetes Alkaloid auch innerhalb weit entfernter Pflanzenfamilien zu finden und kann in allen Pflanzenteilen vorkommen. Sie werden aber oft in verschiedenen Organen angehäuft (z. B. in Samen, Rinden, Wurzeln, Blättern, Früchten), während gleichzeitig andere Teile der Pflanze alkaloidfrei sein können. Ein Beispiel ist die Kartoffel, deren Knolle völlig alkaloidfrei ist, während die oberirdischen Pflanzenteile Solanin enthalten und deshalb giftig sind. Auch muss der Syntheseort der Alkaloide nicht der Ort der Speicherung sein. Beispielsweise wird Nicotin in den Wurzeln der Tabakpflanze gebildet, in den Spross transportiert und erst in den Blättern akkumuliert. Eine Selbstvergiftung (Autointoxikation) verhindert die Pflanze durch besondere Exkretzellen, z. B. die Milchröhren der Mohngewächse, deren Absonderungsprodukt, der Milchsaft, neben anderen Substanzen viele Alkaloide (z. B. Morphin) enthält.

Die große Zahl und strukturelle Verschiedenheit der Alkaloide beruht auf einer Vielzahl von

Biosynthesewegen. Sie sind für die Pflanze nicht lebensnotwendig: alkaloidhaltige Pflanzen können auch alkaloidfrei gezüchtet werden, ohne irgendwelche Eigenschaften einzubüßen. Der für die Synthese notwendige Stickstoff ist zwar ein oft begrenzender Faktor des Pflanzenstoffwechsels, er wird aber durch Überführung in Substanzen des Stickstoffpools wiederverwertet. Daher ist eine Funktion der Alkaloide als Abfallstoffe aus ökonomischen Gründen unwahrscheinlich, weshalb auch nicht alle Pflanzen solche Gifte als Repellent haben.

Alkaloide in Organismen. Entscheidend ist, welche pharmakologische Wirkung Alkaloide neben dem Repellent-Effekt (bitterer Geschmack) auf Fraßfeinde haben (können). Diese Effekte zeigen sich in der Spezifität, mit der sie auf bestimmte Rezeptoren eines Organismus Einfluss haben (Tab. 1).

Die meisten Alkaloide besitzen also eine starke und vielfältige pharmakologische Aktivität. Bei Menschen wirken sie z. T. antagonistisch auf Herz und Kreislauf, die Atmung etc. Sie können Erbrechen, Durchfall, Benommenheit, Bläschenbildung auf der Haut, Krämpfe, Schwindel, Lähmungen sowie Kollaps, Koma und Atemlähmung und letztendlich sogar den Tod herbeiführen. Einige Alkaloide können innerhalb der Zellen mutagen, zytostatisch, zytotoxisch oder karzinogen wirken. So hemmt z. B. das Colchicin aus der Herbstzeitlose die Zellteilung (Mitose)

und wird zu diesem Zwecke in der pharmakologischen Forschung auch häufig verwendet.

So wundert es nicht, dass alkaloidhaltige Pflanzenextrakte zu den ältesten Drogen der Menschheit zählen (z. B. Opium). Die meisten Alkaloide sind zwar starke Giftstoffe (z. B. Strychnin, Coniin, Nicotin), viele von ihnen können aber in entsprechender Dosis als Heilmittel dienen („die Dosis macht das Gift!“). Von besonderer Bedeutung als Arzneistoffe sind oder waren Atropin, Morphin und seine Derivate (als Analgetika), Papaverin (als Spasmolytikum), Curare-Alkaloide (als Muskelrelaxantien), Rauwolfia-Alkaloide (als Neuroleptika), Chinin und Cocain (als Lokalanästhetikum). Andere wiederum werden als Anregungsmittel in Kaffee (Coffein), Tee (Coffein, Theophyllin) und Kakao (Coffein, Theobromin) oder als Betäubungsmittel und Rauschgifte verwendet. Zu den letzteren gehören Morphin und Kokain, die zu Gewöhnung und Sucht führen können.

Pflanzen können sich durch zuckerähnliche Alkaloide vor Insektenfraß schützen. Sie blockieren die im Mund gelegenen Zuckerrezeptoren und unterbinden so die Zuckerwahrnehmung, was die Insekten veranlasst, bei ihrer Nahrungssuche andere Pflanzen aufzusuchen. Bei tierischen Fressfeinden ist eine Schutzwirkung primär durch ihre Repellent-Wirkung gegeben. Pflanzen-Alkaloide, wie das im Buchsbaum vorkommende Cyclobuxin sind deshalb als Repellent weit verbreitet. Tödlich (meist über neurotoxische Wege)

Tab. 1. Beispiele von Typen von Alkaloid-Rezeptor-Typen und jeweils ein typischer Vertreter eines Alkaloids, der auf diese wirkt - *Examples of alkaloid receptor types; a typical representative and its effect is given in parentheses:*

Alkaloid-Rezeptor (alkaloid-receptor type)	Wirkung bezogen auf das Beispiel (effect* related to the example)	typischer Vertreter (typical representative)
adrenerg	Sekundär als Fraßgift bei befallenen Pflanzen	Mutterkorn-Alkaloide
nicotiner	Klassifizierung von Neurotransmittern der Acetylcholin (ACTH)-Rezeptoren.	Nicotin. Derivate werden als Insektizide eingesetzt.
anti-choliner	Gegen ACTH als Neurotransmitter regierend	Morphium
anti-muscariner	Gehört zu den anticholinerger Typen. (Hemmung der Acetylcholinesterase; wie oben)	Atropin (z. B. in der Tollkirsche); Muskarin
puriner	Gehört zu den cholinergen Typen Regt die Aktivität von Nerven an. Bitterer Geschmack als Schutzstoff vor Fraßfeinden	Coffein, Tein, Kakao

können sie aber über die o. g. Effekte sein. Die Häufigkeit des Vorkommens von Alkaloiden in der Natur lässt allerdings eine Anpassung von Tieren an die Giftwirkung wahrscheinlich erscheinen (Mothana et al. 2006, Mothana und Linquist 2004, Naeem et al. 1996).

Alkaloide findet man aber auch im Tierreich. Weit verbreitet ist das Alkaloid **Tetrodotoxin (TTX)**. Deshalb soll kurz darauf eingegangen werden, da es in einigen Dingen exemplarischen Bezug zu Vögeln hat (Speicherung, evolutive Anpassung, Entgiftung usw.). Kugel- und Igel-fische (*Tetraodontiformes*), Westamerikanische Wassermolche (*Taricha* spp.), Stummelfußfrösche (*Atelopus* spp.), einige Krebse, Schnecken, See-sterne und Blaugeringelte Kraken (*Hapalochlaena* spp.) sind u. a. Träger dieses Gifts. Der Rauhäutige Gelbbauchmolch *Taricha granulosa* zählt durch dieses Giftes sogar zu den giftigsten Schwanz-lurchen. TTX wird deshalb auch als Tarichatoxin bezeichnet (Kim und Kim 2001, Lehmann und Brodie 2004, Matsumara 1995). Aufgrund der Vielfalt der bekannten TTX-enthaltenden Tiere wird angenommen, dass sie es nicht selbst bilden, sondern es aus externen Quellen sequestrieren. Es wird vermutet, dass es durch Aufnahme/Symbiose von Bakterien erhalten wird, die TTX synthetisieren können (Simidi et al. 1987, 1990, Yasumoto et al. 1986, Williams et al. 2011, Noguchi et al. 1987, Tsuda 1966). Allerdings wurden Molche bei kontrollierter Fütterung ein Jahr lang in Gefangenschaft gehalten und in dieser Zeit zeigte sich keine Abnahme des Giftgehaltes.

TTX ist ein Nervengift, das als Repellent gegenüber Fressfeinden in der Haut produziert wird. Die Strumpfbandnatter *Thamnophis sirtalis* hat aber durch evolutionäre Anpassung eine konzentrationsabhängige Resistenz gegen TTX entwickelt. Molche wiederum zeigen als Anpassung in Regionen, wo diese Schlange vorkommt, eine stark erhöhte Produktion des Giftes (Hague et al. 2017).

Auch einige Warmblüter haben sich an die Giftigkeit von Pflanzenalkaloiden angepasst: Hasen, Rehe und Kaninchen vertragen den Verzehr z. B. von Blättern der Tollkirsche ohne Probleme. Sie verfügen über einen körpereigenen Entgiftungsmechanismus. Und viele Vögel vertragen giftige Früchte und Samen; der Kernbeißer z. B. die Kerne von Kirschen, die cyanogen sind.

Auch für viele Insekten (z. B. Schmetterlinge) sind Alkaloide nicht giftig. Sie können von diesen sogar gespeichert werden und sie schützen sich

damit selbst sekundär vor dem Gefressen werden (Buchsbaumzünsler?). Bei einigen Insekten dienen aufgenommene pflanzliche Alkaloide sogar als Vorstufe zur Bildung von körpereigenen Pheromonen. All dies zeigt, dass Tiere sehr wohl nicht nur gegen Alkaloide eine gewisse Toleranz zeigen, sondern sie auch im eigenen Stoffwechsel „nutzbringend“ einsetzen können. Das heißt, dass es Tiere gibt, die wirksame Mechanismen haben, um mit diesem Gift umzugehen.

(Aichele und Schwegler 2000, Bühring und Grisch 2016, Chondhary et al. 2003, Devokota et al. 2008, Dildar 1990, Hiller und Melzig 1999, Habermehl und Krebs 1986, Khodzhev und Shakirov 2000, Leclerc 1922, Leuthardt et al. 2013, Luckner et al. 1983, Mebs 2010, Schaffner et al. 1994, Schiller und Hiller 1999, Whitake und Feeney 1973).

Pharmakophagie: Aufnahme und Wirkungen

Die aktive Aufnahme von pharmakologisch wirksamen Stoffen wird Pharmakophagie genannt. Sie kann evolutiv von Vorteil sein. Alkaloide werden i.d.R. rasch und unverdaut/unverändert aus dem Darm resorbiert. Nur für wenige gilt das nicht: Das Muskelrelaxans Curare z. B. muss, um wirksam zu werden, parenteral, d.h. am Darm vorbei, verabreicht werden, weil es im Darm selbst verdaut und dadurch unwirksam wird. Der Genuss damit erlegter Beute (Pfeilgift) ist daher ungefährlich.

Im Körper passieren die meisten Alkaloide die Blut-Hirn-Schranke unverändert und wirken dort an Zellmembranen, wo sie mit Rezeptoren (s. Tab. 1) oder mit Enzymen, die in diesem Bereich eine Rolle spielen, in Wechselwirkung treten. Die Wirkungsvielfalt ist außergewöhnlich hoch. Dank ihrer Lipophilie lösen sich Alkaloide auch gut in Fetten, und können in fettreichem Gewebe ohne große Wirkung gespeichert werden. Sie wirken erst „sekundär“, wenn sie bei Fettabbau oder bei der Verdauung durch Fressfeinde in kurzer Zeit wieder in größerer Menge in den Kreislauf gelangen. Das kannte man z. B. von DDT.

Beim Zünsler widerspiegelt sich die Alkaloidzusammensetzung (Profil) des Buchsbaums (nicht der Konzentrationsverhältnisse!) im Gewebe seiner Raupen. Das zeigt, dass diese Alkaloide für sie ungefährlich speichern können. Dies könnte erklären, warum sie von Vögeln, die sich an sich häufig von Lepidopteren-Raupen

ernähren, vermieden werden. Spezialisierte Pflanzenfresser wie die Sägefleie *Rhadimoceraea nodicornis* sind in der Lage, für sie selbst toxische polyzyklische Alkaloide zu verstoffwechseln und so für ihre eigene Abwehr von Fressfeinden zu speichern. Bisher wurden Details zur Akkumulation von Triterpenoid-Alkaloiden durch Schmetterlinge, also auch bei Zünsler, im Gegensatz zu anderen Alkaloid-Typen wie Pyrrolizidin-Alkaloiden, Chinolizidin-Alkaloiden und Tropan-Alkaloiden nicht untersucht. Allerdings ist es aufgrund der geänderten Konzentrationen der Alkaloide in Pflanze/Raupe zu erwarten! Unbestritten ist, dass die Raupen in der Lage sein müssen, mit allen in der Futterpflanze vorhandenen Giftstoffen umzugehen. Buchsbäume sammeln die verschiedenen Alkaloide vor allem in der Fruchtphase im Sommer in unterschiedlicher Konzentration an. Raupen verschiedener saisonaler Generationen sind daher unterschiedlichen Konzentrationen von Alkaloiden ausgesetzt. Die saisonalen Schwankungen des Raupenwachstums

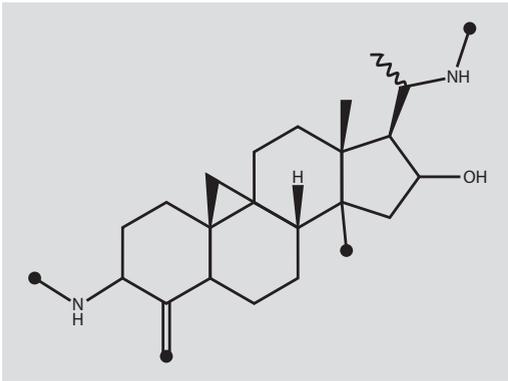


Abb. 2. Strukturformel von Cyclobuxin D. Verschiedene Cyclobuxine unterscheiden sich in den sog. Substituenten an den freien Enden der Formel -•; meist in der Form -CH_x). Die Summenformel ist C₂₅H₄₂N₂O. Die letale Dosis, die 50 % der Vergifteten tötet (LD₅₀-Wert) beträgt für den Hund: 0,1 mg/kg, ist also in einem sehr niedrigem Bereich. Für Vögel liegen bisher keine LD₅₀-Werte vor. – *Different cyclobuxins differ in the so-called substituents at the free ends of the formula -•; (usually in the form -CH_x). The molecular formula is C₂₅H₄₂N₂O. The lethal dose that kills 50 % of the poisoned animals (LD₅₀ -value) is 0.1 mg/kg for a dog, i.e. in a very low range. LD₅₀ -values are not yet known for birds.*

können eventuell auf diese Veränderungen zurückzuführen sein. (Leuthardt und Baur 2013, Leuthardt et al. 2013, Eiden 2006, Mothana und Lindquist 2004, Mothana et al. 2006, Prinzing und Prinzing 2014, Thompson 1994, Vachnadze et al. 2009).

Alkaloide im Buchsbaum. Charakteristisch für den Buchsbaum sind triterpenoide Steroid-Alkaloide und ihre Vielfalt ist mit mehr als 300 verschiedenen „Unter“-Typen sehr groß. Bei *Buxus* sind über 70 Typen bekannt, darunter als Wichtigste das Cyclobuxin-D (Abb. 2). Die Gesamtkonzentration der Hauptalkaloide ist in allen Pflanzenorganen in etwa gleich. Aber es gibt einen starken Unterschied z. B. in der Cyclovirobuxin-D-Konzentration zwischen jungen und alten Blättern: Sie ist bei 2- bis 3-jährigen Blättern bis zu sechsmal höher als bei 1-jährigen Blättern. Sie nimmt also mit dem Alter der Bäume zu. Junge Blätter enthalten 2,4 bis 3,1 %, ältere zwischen 1 bis 1,3 % Gesamtalkaloide. Im Frühjahr ist der Alkaloidgehalt etwa doppelt so hoch wie im Sommer. (Nishida 2002, Opitz und Müller 2009, Roth et al. 1994, Schaffner et al. 1994, Teuscher 2004, Wolf 1992, Institut für Veterinärpharmakologie und -toxikologie, Zürich: *Buxus sempervirens* – Veterinärtoxikologie (aufgerufen am 04. Februar 2018: https://www.vetpharm.uzh.ch/reloader.htm?giftdb/pflanzen/0017_tox.htm%3finhalt_c.htm)

Giftigkeit von Cyclobuxin, Tetrodotoxin (TTX) und Batrachotoxin (BTX). TTX blockiert Nervenzellen wodurch die Nerven- und Muskelerregung behindert oder unterbunden wird. Der Betroffene erliegt einer Atemlähmung. TTX zählt zu den stärksten Nicht-Protein-Giften. Der tödliche LD₅₀-Wert beim Menschen beträgt etwa 10 µg/kg.

Vergleichbare Daten für Cyclobuxin fehlen. Bei Tieren, die Buchsbaumteile fressen, sind für Pferde 750–1.000 g Blätter tödlich (Pferdegewicht 500–1.000 kg). Das entspräche in etwa einer Pflanzendosis von 0,5 bis 1 g/kg. Ähnliches gilt für Rinder und Kühe. Giftig ist der Buchsbaum auch für andere Pflanzenfresser wie Hasen, Kaninchen, Meerschweinchen und Hamster. Bei erwachsenen Schweinen liegen die bekannten Giftdosen zwischen 500–900 g Blättern. Der Nahrungsaufschluss ist bei den Gruppen allerdings völlig unterschiedlich. Auch bei Hunden und Katzen wurden schon Vergiftungen beobachtet. Der LD₅₀-Wert für das reine Cyclobuxin beträgt für den Hund 0,1 mg/kg, ist also in einem

sehr geringen Bereich. Genaue Daten fehlen allerdings. Die Aufnahme geringer Dosen bleibt ohne gefährliche Symptome und ist zudem nicht häufig, da die Blätter unangenehm bitter schmecken. Es gibt zahlreiche weitere Pflanzenstoffe aus praktisch allen chemischen Gruppen, die als Repellent gegen Pflanzenfresser eingesetzt werden. Stark duftende, ätherische Pflanzenöle (z. B. Lavendel, Thymian, Rosmarin, Zitronenmelisse etc.) sollen u. a. verhindern, dass die produzierenden Pflanzen zumindest in großen Mengen gefressen, und sie werden tatsächlich auch gemieden. In geringer Dosis sind sie allerdings ungefährlich und sogar als Genussmittel geeignet.

Bei den Früchten vieler Pflanzen sind die Kerne giftig. Zwar sollen sie durch Fruchtfresser zur Verbreitung aufgenommen, aber der Kern unbeschädigt wieder ausgeschieden werden. Dieser enthält aber meist sehr wertvolle, energie- und eiweißreiche Substanzen. So wundert es nicht, dass z. B. der Kernbeißer *Coccothraustes coccothraustes* nicht nur in der Lage ist, Kirschkerne zu knacken, sondern auch verhindern kann, dass die im Kern in zwei Vorstufen vorliegende Blausäure entsteht. Auch viele Nager können Kirschkerne fressen. Aber auch hier gilt, dass die Dosis das Gift macht, was sich daran zeigt, dass z. B. Bittermandeln als Geschmacksstoffe eingesetzt werden (Carroll 2008, Habermehl und Krebs 1986, Kendo 1995, Klink 2010, Kim und Kim 2001, Lehman und Brodie 2004, Matsumura 1995, Mebs 2010, Noguchi et al. 1987, Prinzinger und Prinzinger 2014, Simidu et al. 1987, 1990, Tsuda 1966, Williams et al. 2011, Yasamoto et al. 1986).

Der Buchsbaumzünsler und Vögel

Bezogen auf die Häufigkeit der beteiligten Arten, gibt es nur sehr wenige Einzelbeobachtungen von Vögeln, die Buchsbaumzünsler fressen. Und dabei handelt es sich meist um deren Raupen (Abb. 3). Wären diese Raupen eine „normale Nahrung“ bei Vögeln, sollten aber bei dem Massenvorkommen des Schmetterlings eigentlich mehr Beobachtungen vorliegen. Dem ist nicht so. Offenbar sind – wenn überhaupt – bisher nur wenige Individuen und Vogelarten beim Fressen der Zünslerraupen beobachtet worden. Dies waren zudem ausnahmslos Arten, die vorwiegend im Siedlungsbereich vorkommen. Allerdings ist der Buchsbaum bei uns keine häufige „Freilandart“, sondern eher auf Gärten beschränkt, dort dann

aber sehr häufig, und hier ist die Chance eines Fotos natürlich mehr gegeben als in der freien Natur.

Einzelbeobachtungen. Prof. Dr. H. Zwölfer konnte in seinem Garten in Zolling bei Freising beobachten, wie „Spatzen“ (Art?) sich Zünslerraupen aus dem Buchs holten. Laut Hubert Salzgeber von Birdlife Vorarlberg sollen vor allem Haussperlinge den Buchsbaumzünsler als Nahrungsquelle entdeckt haben: „*Sie holen die Raupen aus den Büschen und verzehren sie am Boden*“. Und es gibt aus Österreich und aus der Nähe von Seligenstadt (Hessen) einige wenige ähnliche Feststellungen, die als „*verlässlich*“ gekennzeichnet werden (Namen von Gewährsmännern fehlen allerdings). Dort wurden Spatzen dabei beobachtet, wie sie befallene Buchsbäume gezielt anfliegen und die Raupen des Buchsbaumzünslers „... als fette Beute“ herauspicken. Auch Kohlmeisen und „Finken“ (es werden keine Arten und Quellen angegeben) sollen Zünslerraupen ohne Probleme fressen. Zusätzlich soll sich der „*Rot-schwanz*“ von der Art ernähren. Es ist eine Art, die auch im Herkunftsland des Buchsbaumzünslers vorkommt. Warum das so sein könne, obwohl die Raupen leicht giftig sind, solle sich lediglich auf die Menschen beziehen: „*Die (Menschen) haben Schwierigkeiten mit dem in den Zünslern enthaltenen Eiweißstoff*“. Das sind wohl zu einfache und wenig belegte Aussagen. Vor allem ist der Giftstoff kein Eiweiß! Auch ist folgende Aussage wohl sehr gewagt: „... *Vögel ... vertragen den Schädling problemlos*“. Sie müsste zumindest mit einem Fragezeichen versehen werden. (Alle obigen Beobachtungen aus <https://www.vn.at/lokal/vorarlberg/2013/06/11/die-spatzen-fressen-den-buchsbaumzunsler.vn>, Mohr 2013).

Trotz berechtigter Skepsis bezüglich der verallgemeinernden Aussagen, müssen die genannten Beobachtungen ernst genommen werden. Das bestätigen die im Internet verfügbaren Fotos und Videos zum Verhalten. Es bleibt die Frage, nach dem Grund der relativ seltenen Beobachtungen und nach der Giftigkeit des Cyclobuxin für Vögel *per se*. Hier wären weitere Beobachtungen und Experimente sehr wertvoll und man fragt sich, weshalb sie nicht schon durchgeführt wurden, da sie relativ einfach zu realisieren sind.

Ein Freilandversuch. Mit einem einfachen Freilandexperiment wollten wir deshalb testen, ob es



Abb. 3. Zünsler als Vogelbeute: A: Hausrotschwanz *Phoenicurus ochruros* mit Raupen des Buchsbaumzünslers. Die Raupen wurden angeblich an Jungvögel verfüttert? B: Gartenrotschwanz *Phoenicurus phoenicurus* mit Schmetterling (Imago) des Buchsbaumzünslers. C: Haussperlinge *Passer domesticus* an Zünslerraupen: Rösrath-Kleineichen, Nordrhein-Westfalen. D: Weibchen des Hausperlings *Passer domesticus* mit Raupe des Buchsbaumzünslers. – *Pyrilid moths as bird prey*: A: *Black Redstart Phoenicurus ochruros with caterpillars of the box tree moth; the caterpillars were said to have been fed to the young.* B: *Common Redstart Phoenicurus phoenicurus with butterfly (imago) of the box tree moth.* C: *House Sparrows Passer domesticus with pyralid caterpillars: Rösrath-Kleineichen, North Rhine-Westphalia.* D: *Female House Sparrow with box tree moth caterpillar.*

Fotos: Chr. Bechter (A), Benz-Müller, Lepiforum.de (B), Klaus Hanisch (C), Hahn (D)

Vögel gibt, die evtl. Zünsler-Raupen fressen: An unserem ganzjährig betriebenen Futterhaus bei Frankfurt am Main kommen regelmäßig viele Vogelarten vor, die potentielle Räuber für den Zünsler sein könnten. Dazu gehören: Haussperling *Passer domesticus*, Grünfink *Carduelis chloris*, Kohl-Parus *major* und Blaumeise *Cyanistes caeruleus*, Rotkehlchen *Erithacus rubecula*, Hausrotschwanz *Phoenicurus ochruros*, Zaunkönig *Troglodytes troglodytes*, Amsel *Turdus merula* und Eichelhäher *Garrulus glandarius*. Wir sammelten im Sommer 2017 im Garten Zünsler-Raupen unterschiedlichen

Alters, immobilisierten sie durch Zerdrücken des Kopfes und legten ca. 20 zusammen in einer Schale ins Futterhaus. In keinem Falle konnten wir beobachten, dass ein Vogel eine Raupe aufnahm oder gar fraß. Die Schale blieb über drei Tage unberührt. Bei einem nachfolgenden Versuch (kein Auswahlversuch!) mit Mehlkäferlarven, waren diese innerhalb eines halben Tages aufgefressen. Diese Beobachtung lässt es zumindest zweifelhaft erscheinen, ob Buchsbaumzünsler-Raupen generell ein (sogar bevorzugtes) Nahrungstier für Vögel sind.

Sind Buchsbaumzünsler immer giftig? Die Frage scheint zunächst überraschend. Es ist allerdings so, dass es durchaus Phasen im Lebenszyklus des Zünslers geben könnte, in denen er weniger giftig ist, er deshalb ohne Probleme als Nahrung dienen könnte und was die unterschiedlichen Beobachtungen erklären könnte:

Tatsache ist, dass der Zünsler das giftige Cyclobuxin nicht selbst produziert, sondern es über seine Nahrung (Buchsbaum-Teile) aufnimmt. Das lässt folgende Überlegungen zu:

(1) Nicht die Raupe oder der Schmetterling per se ist giftig, sondern nur seine Nahrung im Darm. Alle Schmetterlingsraupen machen während ihrer Entwicklung bis zum Puppenstadium bis zu acht Wachstumshäutungen durch. Kurz vor der jeweiligen Häutung hört die Raupe auf zu fressen. Sie entleert ihren Darm komplett, so dass er frei von Futterresten und damit Gift ist.

(2) Das gilt auch für die Zeit kurz nach der Häutung, vor der Verpuppung und vor der Überwinterung. Auch die Puppe und der erwachsene Schmetterling wären danach nicht giftig.

Darmleerte und damit alkaloidfreie Raupen kurz vor und nach der Häutung sowie der Schmetterling könn(t)en von Vögeln gefressen werden, während dies für vollgefressene Raupen nicht gelten würde.

Die Punkte (1) und (2) würden aber voraussetzen, dass Cyclobuxin nicht im Tier längerfristig gespeichert wird; zumindest nicht in hoher, giftiger Konzentration. Vögel könnten den Zünsler in diesen Entwicklungsphasen ohne Probleme fressen, was aber bedeuten würde, dass sie diese Phasen – wie auch immer – erkennen oder durch Probieren heraustesten, was allerdings einiges an „Intelligenz“ und Lernen voraussetzen würde. Aber auch mit leerem Darm könnten die Raupe, die Puppe und der Schmetterling noch schwach giftig sein, wenn das Cyclobuxin in Fettgewebe nicht nur gespeichert, sondern auch angereichert würde. Darüber gibt es bisher kaum Untersuchungen, diese legen diesen Effekt aber nahe (s. oben).

Die beiden folgenden Mechanismen zeigen, welche Möglichkeiten es dennoch gäbe, mit dem Gift zurecht zu kommen:

(3) Einige Vogelarten oder Rassen und/oder Individuen haben eine gewisse Resistenz gegen Cyclobuxin entwickelt. Solche Resis-

tenzbildungen sind im Tierreich nicht unbekannt. Vorstehend sind die Beispiele des Rüsselkäfers und die Araucana-Hühner aufgeführt, für die auch der nächste Punkt 4 zutreffen könnte.

(4) Entgiftung. Es ist möglich, aber unbekannt, ob manche Vogelarten oder Rassen eventuell einen Entgiftungsmechanismus gegen das Gift entwickelt haben.

Die Punkte 3 und 4 könnten vor allem bei den Arten vorkommen, die gemeinsam ursprünglichen Verbreitungsgebiet des Zünslers vorkommen. Das beträfe z. B. den Hausrotschwanz und den Haussperling und vielleicht „begnügen“ sich diese Arten auch nur damit, keine größeren Mengen des Zünslers zu fressen, was wieder durch den Spruch „Die Dosis macht das Gift“ unterstützt würde (Leuthardt und Bauer 2013, Meyer zu Heringdorf schriftl.).

Strategien gegen Vergiftungen

Um Giftiges unproblematisch fressen zu können, wäre eine Entgiftung der Nahrung eine einfache Lösung. Dazu gibt es im Tierreich im Wesentlichen drei verschiedene Strategien:

Sequestrierung von Giften. Sequestrierung ist die ungiftige Einlagerung und Akkumulation von Giftstoffen aus der natürlichen Umwelt zum Eigenschutz vor Parasiten und Prädatoren. Sequestrierung findet man bei vielen Pflanzenfressern. Dazu eignen sich Alkaloide aufgrund ihrer hohen Abschreckung und Fettlöslichkeit gut zur Abwehr von Raubtieren. Insekten, die sequestrieren, sind oft auf eine bestimmte Gruppe von Verbindungen spezialisiert. Diesem Prinzip scheint der Buchsbaumzünsler zu folgen: Der Gehalt bestimmter Alkaloide ist in Raupen bis zu 20mal höher als in den Blättern (s. u.). Für diese selektive Sequestrierung gibt es verschiedene Erklärungen (Khodzhaev und Shakirov 2000, Leuthardt und Bauer 2013, Leuthardt et al. 2013, Leuthardt unveröff. Daten, Schaffner et al. 1994): Erstens könnte es einen Kompromiss zwischen den als Repellent gespeicherten Verbindungen und der Gefahr geben, das Insekt durch die Toxine selbst zu schädigen. Wenn Giftpflanzen z. B. die Wachstumsrate verringern, könnte dies durch einen erhöhten Schutz gegenüber Fressfeinden und damit eine geringere Todesrate aufgewogen werden. Vergleichsdaten über die Toxizität der

Buchsbaumalkaloide für die Zünsler-Raupen und für deren Fraßfeinde liegen jedoch nicht vor. Zweitens könnten zwischen den einzelnen Alkaloiden des Buchsbaums unterschiedliche chemische und physikalische Eigenschaften bestehen, die die Aufnahme in den Körper beeinflussen. Hochpolare oder stark hydrophobe Verbindungen können z. B. biologische Membranen kaum durch passive Diffusion durchqueren und werden daher schwieriger in den Körper gelangen, es sei denn, sie werden von Trägern aktiv transportiert. Zudem spielt der pH-Wert im Darm eine wichtige Rolle. Der pH im Mitteldarm von Schmetterlingen ist in der Regel alkalisch und überschreitet bei bestimmten Arten sogar den Wert 12. Bei einem so hohen pH sind Triterpenoid-Alkaloide besonders hydrophob. Dibasische Buxus-Alkaloide sind zudem polarer als monobasische. Es ist daher denkbar, dass unter den pH-Bedingungen im Mitteldarm des Zünslers passive Diffusion für zweibasige Alkaloide im Gegensatz zu einbasigen besser möglich ist oder ein spezifischer Transporter die polaren zweibasigen gegenüber den einbasischen begünstigt. Zur Sequestrierung beim Zünsler: Es gibt – wie bereits erwähnt – in Europa fünf Buchsbaumvarietäten, die zu zwei *Buxus*-Arten gehören. Die Unterschiede in der Alkaloidzusammensetzung zwischen *Buxus sempervirens* und *Buxus microphylla* spiegeln sich im Gewebe von *C. perspectalis*-Raupen wider. Die Larven speichern große Mengen an zweibasigen Alkaloiden, während monobasische offensichtlich metabolisiert und/oder ausgeschieden wurden. Adulte Schmetterlinge enthielten keine Alkaloide.

Es gibt zudem einen starken Unterschied in der Konzentration von Cyclovirobuxin-D zwischen jungen und alten Raupen und Blättern: Junge Raupen haben eine doppelt so hohe Cyclovirobuxin-Konzentration wie das letzte Raupenstadium. Dagegen ist die Konzentration in den Blättern bei zwei- bis dreijährigen Blättern sechsmal, als bei einjährigen Blättern. Dies deutet auf eine Präferenz junger Raupen für ältere Blätter mit einer hohen Konzentration an Alkaloiden hin. Tatsächlich sollen sich junge Raupen unter natürlichen Bedingungen bevorzugt von alten Blättern ernähren. Dies ermöglicht eine schnelle Aufnahme großer Mengen an Alkaloiden innerhalb kurzer Zeit, um den Schutz vor Fraßfeinden zu erhöhen, bevor das Wachstum der Raupen maximiert wird. Neu aufgetauchte Individuen, die an jeglichem Kontakt mit Buchsbäumen gehindert wurden,

enthalten keine Spuren von Alkaloiden. Dennoch meiden (?) Vögel nicht nur die Raupen, sondern auch die Schmetterlinge. Dies kann nur damit erklärt werden, dass diese sequestriertes Gift aus der Raupe bei der Verpuppung „mitgenommen“ haben. Das ist bei einigen Lepidopteren-Arten bekannt, aber es gibt keine Daten zu diesem Phänomen bezüglich Triterpenoid-Alkaloiden. Auch wie der Vorgang der Sequestrierung und die Mechanismen, die aufgenommene Giftmenge zu tolerieren, im Allgemeinen ablaufen, ist noch nicht endgültig aufgeklärt. Bekannt ist aber, dass metabolische Änderungen an den Giftmolekülen möglich sind. Bei einigen Tieren und auch bei Vögeln kommt Sequestrierung bei einigen Arten vor.

Giftsequestrierende Tiere sieht man häufig als die „eentlichen“ Giftproduzenten an, was aber nicht richtig ist. Sequestrierung betreiben nur Tiere, die selbst nicht zur direkten Biosynthese giftiger Stoffe befähigt sind. Die Einlagerung erfolgt in verschiedene innere Organe, die Haut oder sogar in eine spezielle Giftblase. Die Gifte selbst können aus allen Organismenreichen stammen (Bakterien, Einzeller, Pilze, Insekten, Weichtiere, Pflanzen). Beim Einbau in den Körper ist es notwendig, dass spezielle Strategien bzw. Schutzmechanismen bestehen müssen, um die Giftwirkung im eigenen Körper zu vermeiden. Und diese sind oft sehr selektiv.

Wie wichtig das ist, zeigen die südamerikanischen Pfeilgiftfrösche der Gattung Blattsteiger (*Phyllobates*). Mit ihrem „eigenen“, in die Haut eingelagerten und dann unproblematischen Alkaloid Batrachotoxin (BTX), können sie, wenn z. B. durch Verletzungen BTX ins Blut gelangt, selbst starke Vergiftungen bis hin zum Tod erleiden (s. Kasten). (Bernays und Graham 1988, Blum 1981, Blum et al. 1981, Damman 1987, Duffey 1980, Dow 1984, Eichelbaum und Burk 2001, Gfeller et al. 1995, Hegnauer 1988, Nishida 2002, NML, Opitz und Müller 2009, Rowell-Rahier und Pasteels 1992, Römpf online, Rothschild 1972, Rothschild et al. 1979, Savitzky et al. 2012).

Resistenzbildung. Als Resistenz bezeichnet man die Widerstandsfähigkeit eines Organismus gegenüber negativen äußeren Einflüssen (z. B. Gifte). Resistenz ist vor allem bei Bakterien intensiv untersucht worden, weil sie in der Pharmakologie von großer Bedeutung ist (Resistenz gegenüber Medikamenten).

Batrachotoxin BTX

Einige Bakterien der Gattung *Clostridium* produzieren Botulinumtoxine, wozu auch die Batrachotoxine (BTX) gehören. Es ist eine extrem giftige, neurotoxische Stoffklasse. BTX, ein Stereoalkaloid, blockiert die Erregungsleitung in Nervenzellen und lähmt so die Muskeln. Im Tierversuch reichten schon einige billionstel Gramm Gift pro Kilogramm Körpergewicht, und es ist somit das zurzeit giftigste bekannte natürliche Steroidalkaloid. Der LD₅₀-Wert bei der Maus beträgt 30 pg/kg. BTX hat keine Wirkung auf gesunder Haut, verursacht jedoch bei der kleinsten Verletzung einen starken, lang anhaltenden Schmerz. Aber auch die bloße Berührung der Haut verursacht Kribbeln und Taubheit. Orale Aufnahme führt nur bei krankhaften Zuständen des Magen-Darm-Traktes (Blutungen) zu Vergiftungen.

Ein Pfeilgiftfrosch könnte mit der Giftmenge, die er in der Haut speichert, 10 Menschen töten. Das BTX ist etwa zehnmals stärker als das ebenfalls sequestrierte TTX (s.o.) des Kugelfisches, das aufgrund seiner gegenteiligen Wirkung als Antidot zu BTX verwendet werden kann (Römpf Online: Batrachotoxine).

Eine Resistenz kann auf zwei Weisen entstehen:

- der Angriffspunkt (i.d.R. die Bindungsstelle an einem Zielprotein) ist abwesend oder verändert, oder
- das Gift wird durch Stoffwechselforgänge inaktiviert.

Einige Schlangenarten sind so z. B. durch Punktmutationen im Natriumkanal resistent gegenüber dem Natriumkanal-Blocker Tetrodotoxin geworden, während ansonsten Schlangen (und viele andere Wirbeltiere einschl. Menschen) sensitiv sind. Das ist wohl auch der wahrscheinlichste Mechanismus im Zusammenhang mit der Toxizität von Cyclobuxin-Alkaloiden.

Die (fehlende) Toxizität mancher Vögel gegenüber dem TTX-Alkaloid könnte also mit der Veränderung eines molekularen Angriffspunktes zusammenhängen, der zwar bei allen Vögeln vorkommt, aber wie bei manchen Schlangen und eventuell bei bestimmten Vogelarten so mutiert ist, dass es TTX für diese Arten ungiftig macht. Und das gilt wohl auch für die Zünsler-Raupen selbst, die ja ebenfalls resistent gegenüber dem Buchsbaumgift sind.

Dazu ist wenig bekannt, Näheres findet sich in <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28370004>. (Hague et al. 2017, Leuthardt und Bauer 2013, Mebs 2010, NML, Meyer zu Heringdorf schriftl.).

Entgiftung. Für den Organismus schädliche Stoffe können auch entgiftet werden:

Bei höheren Tieren inkl. dem Menschen wird die Entgiftung vor allem von Leber, Niere oder ähnlichen zentralen Stoffwechselorganen und bei

Insekten durch Fettkörper oder Malpighi-Gefäßen übernommen. Die der Entgiftung dienenden chemischen Reaktionen sind praktisch identisch (s. Kasten): Körperfremde (exogene) Substanzen werden z. B. durch körpereigene Prozesse umgewandelt. Dies nennt man Biotransformation. Exogene Stoffe sind z. B. auch die Giftstoffe des Buchsbaumes, die schlecht über die Darm (Faeces) oder die Niere (Urin) ausgeschieden werden und sich deshalb auch im Organismus anreichern können. Sogenannte Monooxygenasen (z. B. Cytochrom-P450-Enzyme) wandeln lipophile Substanzen in besser wasserlösliche und auch meist weniger toxische Produkte um und ermöglichen so eine bessere Ausscheidung. Es können dabei aber auch Zwischenprodukte entstehen, welche toxischer als die Ausgangsprodukte sind. Manche Arzneistoffe, die sog. Prodrugs, machen sich diese Funktionsweise zu Nutze: Deren pharmakologisches wirksames Prinzip wird erst durch Biotransformation freigesetzt. Es gibt eine sehr große Zahl an sogenannten Polymorphismen bei den einzelnen daran beteiligten Enzymen, die im Extrem dazu führen können, dass selbst innerhalb einer Art deren Wirksamkeit bei unterschiedlichen Rassen unterschiedlich ist. Das kann z. B. dazu führen, dass bestimmte Medikamente bei der einen Hunderasse wirksam sind, bei der anderen nicht! Am Beispiel der Buchsbaumgifte könnte dies z. B. bedeuten, dass unterschiedliche Vogelarten, bzw. sogar innerhalb der gleichen Art bei verschiedenen Rassen (oder sogar Individuen?), die Gifte durch Biotransformation bei der einen entgiftet werden und bei der anderen unentgiftet und deshalb wirksam bleiben. Solche Unter-

Mechanismen der Entgiftung

Niedermolekulare Gifte werden können durch Oxidation, Reduktion, Konjugation, Hydroxylierung, Methylierung, Decarboxylierung, Desaminierung oder Bindung an Transportmoleküle wie Glucuronsäure (bei Wirbeltieren) oder Glykoside (bei Gliederfüßern), Glykokoll (Glycin), Sorbit, Schwefelsäure, Cystein und andere Mechanismen unschädlich und zusätzlich für die Nierenorgane ausscheidbar gemacht (Exkretion) werden. Diese sehr vielfältigen Reaktionen überführen die meist lipophilen in hydrophile Substanzen, die Zellmembranen weniger leicht zu durchdringen vermögen.

Bei Wirbeltieren werden kleinere Partikel und Makromoleküle, wie z.B. Endotoxine aus Bakterienzellwänden, von Makrophagen-ähnlichen Kupfferschen Sternzellen durch Phagozytose aufgenommen, gespeichert und dadurch inaktiviert. Mit diesen „Biotransformationen“ versucht der Organismus, mit dem reichhaltig vorhandenen Repertoire an stoffwechselfysiologischen Möglichkeiten auf meist fremde und neuartige Substanzen zu reagieren. Dabei kann es aber auch vorkommen, daß die Wirkung einer toxischen Substanz so verändert wird, daß für den Organismus sogar schädlichere Substanzen entstehen. So wird durch Desulfurierung aus E 605 (Parathion) das weitaus toxischere Paraoxon, aus Heroin wird Morphin oder aus dem wenig toxischen Phenacetin das gefährliche p-Phenetidin, das eine vermehrte Oxidation von Hämoglobin (Methämoglobinämie) verursachen kann. Und bei mit DDT behandelten Insekten entsteht das mindestens ebenso giftige DDD (DDE).

Diese und ähnliche Mechanismen wurden vielen Tiergruppen gefunden. Sie zeigen, daß Biotransformationen nicht in allen Fällen zur Entgiftung führen. Die bei der Entgiftung eventuell anfallenden toxischen Substanzen, vor allem das bei manchen Reaktionen entstehende, giftige Ammoniak, erfolgt meist über den Harnstoffzyklus und den Harnsäureweg. Zusätzlich kann bei ammoniotelischen Tieren die Glutaminsynthese eine Rolle bei der Entgiftung von Ammoniak spielen, d.h., das Abfallprodukt wird sinnvoll weiterverarbeitet (z.B. Eichelbaum und Burk 2001; Josephy et al. 2005; Schaller 2002; Schiller und Hiller 1999; Teuscher 2004; Wolf 1992).

suchungen sind aus pharmakologischem Interesse bei Säugern (Prinzinger 2015), aber nie an Vögel durchgeführt worden.

Ein typisches Beispiel einer Entgiftung sind giftige Samen bei Vögeln. Kerne von Kirschen können vom Kirschkernbeißer *Coccothraustes coccothraustes* und vielen Nagern unproblematisch gefressen werden. Um eine Eigenvergiftung zu vermeiden, liegen die beiden Grundsubstanzen des Giftstoffes im Kirschkern in getrennten Bereichen der Zellen vor und werden nur beim Zerkauen zusammengeführt und dadurch cyanogen. Ein Enzym kann diese Zusammenführung verhindern und den Kern dadurch ungiftig machen. Zudem sind geringe Mengen unproblematisch, was dazu führt, dass manche dieser bitter schmeckenden Gifte, die als Repellent arbeiten, in geringer Dosis als Geschmacksstoff eingesetzt werden (z. B. Bittermandel, zahlreiche ätherische Öle; Prinzinger 2015, Prinzinger und Prinzinger 2014).

Hühner und Kartoffelkäfer

Ein ähnliches „ornithologisches Problem“ wie beim Buchsbaumzünsler finden wir auch beim Kartoffelkäfer *Leptinotarsa decemlineata*. Und vielleicht können die Verhältnisse bei diesem Insekt Hinweise auf den Buchsbaumzünsler geben. Beim Kartoffelkäfer fressen die Larven und die adulten Insekten die Blätter der Kartoffeln und anderer Vertreter der Nachtschattengewächse (Solanaceen). Diese enthalten als Repellent das bitter schmeckende schwach giftige Alkaloid Solanin. Die höchsten Werte erreichen grüne Kartoffeln (bis zu 56 mg/100 g). Unreife grüne Anteile der Tomate haben einen geringeren Gehalt von 9 bis 32 mg/100 g.

Solanin schädigt die Mitochondrien, erhöht den Calciumgehalt des Zellplasmas und dies leitet den Zelltod durch Apoptose ein. Der Kartoffelkäfer ist gegen dieses Gift resistent! Er ist an Solanaceen angepasst, da die Kartoffel gegenüber

den meisten anderen Fraßschädlingen giftig ist. Bei Säugern liegt die tödliche Dosis bei 400–500 mg/kg. Für Vögel liegen keine Daten vor. Natürliche Feinde hat der Kartoffelkäfer kaum, denn er verträgt das Solanin nicht nur selbst, sondern speichert (sequestriert) es wie der Buchsbaumzünsler im Körper und schützt sich so vor den meisten Fressfeinden.

Früher wurden in Europa Kartoffelkäfer aber von der Pflanze abgesammelt und anschließend an Hühner, aber auch an Gänse und Enten verfüttert. Das zeigt, dass zumindest von der im Käfer vorhandenen Konzentration keine Gefahr für diese Vogelarten ausgeht, selbst wenn größere Mengen (wieviel?) davon gefressen werden. Andere Vögel, interessanterweise auch Legehhybriden, scheinen aber davon abgehalten zu werden, den Käfer und seine Larven zu fressen. Experimentelle Untersuchungen, weshalb das so ist, fehlen ([https://www.huehner-info.de/forum/showthread.php/1499-Welche-Hühner-essen-Kartoffelkäfer;Verhoefen-Verhallen und Rijs 2009](https://www.huehner-info.de/forum/showthread.php/1499-Welche-Hühner-essen-Kartoffelkäfer;Verhoefen-Verhallen%20und%20Rijs%202009)). Zu den aufgeführten Beobachtungen gibt es allerdings folgende Theorie: In Südamerika lebt die halbwilde Hühnerrasse „*Araucana*“. Ihr Verbreitungsgebiet reicht über Chile bis nach Brasilien. Sie frisst Kartoffelkäfer „mit Freuden“. Nun stammen die Kartoffel und ihre Schädlinge ursprünglich aus dem gleichen Verbreitungsgebiet wie *Araucana*, und es könnte sein, dass sich diese Hühnerrasse an das Gift der Kartoffel angepasst hat und diese Anpassung von „*Kolumbus mit nach Europa gebracht*“ und eingekreuzt wurde. Die DNA von *Araucana* und unseren alten Hühnerrassen weisen untereinander auch eine sehr große Ähnlichkeit auf. Sekundär könnte diese Toleranz oder Resistenz bei modernen Hühnerrassen evtl. wieder verloren oder nicht vererbt worden zu sein (Ahmed und Müller 1981, Gao et al. 2006, Preiß 2004, Schaller 2002, Whitake und Feeney 1973, Verhoef-Verhallen und Rijs 2009, <http://www.huehner-info.de/forum/showthread.php/1499-Welche-Hühner-essen-Kartoffelkäfer?>)

Zum vorstehenden Gesagten muss noch ergänzt werden, dass auch die *Araucana*-Hühner domestizierte Hühner sind, die vom Bankiva-Huhn *Gallus gallus* abstammen. Sie kamen vermutlich schon in vorkolumbianischer Zeit über Polynesien nach Südamerika (Storey et al. 2011).

Giftige Vögel

Bei Vögeln ist die oben beschriebene Sequestrierung für einige wenige Arten bekannt. Das führt dazu, dass diese Vögel in gewissem Sinne giftig werden: Dazu gehören einige Pitohui aus Neuguinea; so der Zweifarbenpitohui *Pitohui dichrous*, der Rostrote Pitohui *Pitohui ferrugineus* und der Mohrenpitohui *Pitohui nigrescens*, sowie der Blaukappenflöter *Ifrita kowaldi* aus der Schwestergruppe der Monarchen (*Monarchidae*). Sie alle (wie auch die schon beschriebenen Pfeilgiftfrösche und andere Tiere) lagern Batrachotoxin BTX ein, das sie aus dem Verzehr von Käfern der Gattung *Choresine* beziehen und das sie in Haut und Gefieder sequestrieren. Über die Einlagerung in die toten Federn wird das Gift aus dem Körper ausgelagert und beim Federwechsel quasi wieder ausgeschieden, ohne allerdings bis dahin seine Wirkung als Repellent beim lebenden Vogel zu verlieren!

Die starke Giftwirkung von sequestriertem BTX finden wir also auch in und auf Vögeln, was den südamerikanischen und den papuanischer Ureinwohnern schon seit vielen Jahrhunderten bekannt ist. Erlegte „Giftvögel“ Neuguineas werden deshalb durch die indigene Bevölkerung vor dem Verzehr traditionell sorgfältig gehäutet. Die Spornans *Plectropterus gambensis* gehört ebenfalls zu den wenigen „Giftvögeln“. Sie frisst unter anderem Käfer der Familie Ölkäfer (*Meloidae*), welche als Abwehrstoff das Alkaloid Cantharidin enthalten. Cantharidin zählt wie Buxin zur Gruppe der Terpenoide. Die Gans reichert es in ihrem Gewebe durch Sequestrierung an, so dass der Verzehr, je nach der vorher aufgenommenen

Araucana-Hühner (auch Araucans, Araukaner oder Araucaner) gehören zu einer Hühnerrasse, die aus Südamerika stammt. Als Ziergeflügel wurden sie in Europa ab den 1960er Jahren populär. Ihr Name leitet sich von den Araukaner-Indianern ab, bei denen sie als halbwild lebende Hühner dokumentiert sind. Es gilt als sicher, dass diese indigene Bevölkerungsgruppe, die im Gebiet des heutigen Chile lebt, Hühner dieser Rasse schon seit mehreren Jahrhunderten hielt.

Menge Käfer, für Prädatoren und Menschen giftig sein kann und das Fleisch deshalb ungenießbar ist. Der LD₅₀-Wert für Menschen liegt bei etwa 0,5 mg/kg Körpergewicht (Bartram und Boland 2001, Dumbacher et al. 2004, Eiden 2006, Ghoneim 2013, Greenman und Kilduff 2004, 2012, Halford 2004, Mebs 2010, NML, Tidwell 2001).

Nachtrag. Ein aktuelles Beispiel zur speziellen Anpassung von Fraßfeinden an hoch giftige Beutetiere kommt aus Australien. Die Biologin Marissa Parrott von der Universität von Melbourne entdeckte mit Infrarotkameras, dass die dortigen Wasserratten gelernt haben, mit beinahe chirurgischen Schnitten die in den 30er Jahren eingewanderten Aga-Kröten zu zerlegen und nur die ungiftigen Körperteile fressen. Auch wurde schon beobachtet, das Schwarze Milane diese Aga-Kröten fressen (<https://www.fr.de/panorama/filestuecke-kroete-13158383.html>).

Zusammenfassung

Der Buchsbaumzünsler *Cydalima perspectalis* ist ein invasiver, ostasiatischer Schmetterling, der um 2006 nach Mitteleuropa eingeschleppt wurde. Die Raupen verursachen enorme Schäden an Buchsbäumen *Buxus sempervirens*, die bittere und giftige Alkaloide als Fraßschutz enthalten. Umstritten ist, ob Vögel die Raupen, Puppen oder Schmetterlinge fressen oder nicht. In einem kleinen Freilandexperiment konnte man nicht beobachten, dass Vögel Zünsler-Raupen aufnehmen. Videos und Fotos zeigen aber zumindest die Aufnahme. Dieser Widerspruch wird in der Arbeit beleuchtet.

Der Buchsbaum ist in allen Teilen giftig: er enthält rund 70 verschiedene Alkaloide, darunter Cyclobuxin D bis ca. 3%. Alkaloide können gut in Fetten und Ölen gespeichert (sequestriert) werden und sie können konzentrationsabhängig bis zum Tod führen. Einige werden erst nach Umwandlung im Organismus selbst wirksam. Für viele Insekten sind sie oft nicht giftig, werden aber durch Speicherung selbst vor dem Gefressen werden geschützt.

Manche Feinde haben Strategien dagegen entwickelt. Am Beispiel von dem im Tierreich weit verbreiteten und gut untersuchten Alkaloid Tetrodotoxin (TTX) werden solche gezeigt. Wie Cyclobuxin ist es ein Abwehrstoff gegenüber Fressfeinden. Der Gelbbauchmolch (*Taricha sp.*) zählt durch TTX zu den giftigsten Lurchen. Die

Strumpfbandnatter (*Thamnophis sp.*) hat aber eine Resistenz gegen dieses Gift entwickelt. Für Säugetiere ist TTX hoch giftig. Gegen Alkaloide können unabhängig davon auch körpereigene Entgiftungsmechanismen bestehen (z. B. Hasen, Rehe und Kaninchen gegen die Tollkirsche). Das gilt z. B. auch für cyanogene Stoffe im Kirschkern für den Kernbeißer.

Diese Beobachtungen werden im Zusammenhang mit Vögeln und Buchsbaumgiften diskutiert: Die Frage lautete, warum wurden bisher trotz der Häufigkeit des Buchsbaumzünslers nur sehr wenige Vögel beobachtet, die Raupen fressen und wie es mit der Giftigkeit von Alkaloiden für Vögel per se steht.

Im Lebenszyklus des Zünslers könnte es ungiftige Phasen geben, in denen er gefressen werden könnte: Kurz vor und nach der Häutung der Raupen während des Wachstums, aber auch vor der Verpuppung und als Imago sind die Insekten darmentleert und damit alkaloidfrei. Vögel könnten den Zünsler in diesen Entwicklungszeiten fressen, was aber bedeuten würde, dass sie diese Phasen erkennen. Aber auch mit leerem Darm könnten die Zünsler noch giftig sein, wenn das Cyclobuxin nicht nur gespeichert, sondern auch angereichert würde. Mit Resistenz und/oder Entgiftung könnten die Vögel dagegen ankämpfen. Solche Strategien sollten vor allem dort vorkommen, wo Feind und Beute schon lange gemeinsam leben. Für den Zünsler wären dies z. B. Rotschwänze und Haussperlinge. Für die Koevolution von Huhn und Kartoffelkäfer (*Leptinotarsa*) sind diese Mechanismen bekannt: Abspeicherung (Sequestrierung) und Ausscheidung in das tote Gefieder von giftigem Batrachotoxin von gefressenen Käfern (*Choresine*) ist bei Pitohuis (*Pitohui*) und Flötern (*Ifrita*) bekannt. Das gilt auch für Cantharidin aus Ölkäfern (*Meloidae*) bei der Sporangans (*Plectropterus*). Dies kennzeichnet die „Giftvögel“, weil es sie selbst giftig macht. Viele der genannten Strategien können zudem bei verschiedenen Arten und sogar eng-räumigen Rassen sehr unterschiedlich ausgebildet sein.

Ausblick: Zusammenfassend läßt sich folgern, dass es zum beschriebenen Problem des Umgangs von Fraßfeinden mit Giftstoffen der Beute sehr widersprüchliche Beobachtungen und Aussagen gibt. Diese lassen sich vermutlich nur durch Versuche klären, bei denen die verschiedenen Hypothesen geprüft und Widersprüche dadurch

geklärt werden können. Wichtiger sind aber zusätzliche Freilandbeobachtungen von Ornithologen aus möglichst vielen Regionen, die die natürlichen Bedingungen am besten repräsentieren und so auf eventuelle regionale Unterschiede hinweisen können. Diese Beobachtungen sollten nach Möglichkeit mit Fotos und/oder Videos dokumentiert werden.

Dank. Prof. Dr. Dagmar Meyer zu Heringdorf, Pharmazentrum der Johann-Wolfgang Goethe Universität, Frankfurt am Main, Allgemeine Pharmakologie und Prof. Dr. Helmut Zwölfer, Universität Bayreuth, danke ich für wertvolle Hinweise und die kritische Durchsicht des Manuskriptes.

Literatur

- Ahmed SS, Müller K (1981) Einfluss von Lagerzeit, Licht und Temperatur auf den Solanin- und α -Chaconingehalt mit und ohne Keimhemmungsmittel behandelter Kartoffeln. *Potato Research* 24/1: 93–99, doi: 10.1007/BF02362020
- Aichele D, Schwegler DHW (2000) Die Blütenpflanzen Mitteleuropas. Bd. 3: Nachtkerzengewächse bis Rötegewächse. Franckh-Kosmos, Stuttgart
- Bartram S, Boland W (2001) Chemistry and ecology of toxic birds. *Chemical Biology* 2/11: 809–811, doi: 10.1002/1439-7633(20011105)2:11<809::AID-CBIC809>3.0.CO;2-C.
- Bella S (2013) The Box tree moth *Cydalima perspectalis* (Walker, 1859) continues to spread in southern Europe: New records for Italy (Lepidoptera Pyraloidea, Crambidae). *Redia* 96: 51–55
- Bernays E, Graham M (1988) On the evolution of host specificity in phytophagous arthropods. *Ecology* 69: 886–892, doi: 10.2307/1941237
- Blum MS (1981) Chemical defense of arthropods. Academic Press, New York
- Blum MS, Rivier L, Plowman T (1981) Fate of cocaine in the lymantriid *Eloria noyesi*, a predator of *Erythroxylum coca*. *Phytochemistry* 20: 2499–2500
- Bühning U, Girsch M (2016) Praxis Heilpflanzenkunde. DOI: 10.1055/b-0036-137713
- Carrol SB (2008) Die Darwin-DNA – Wie die neueste Forschung die Evolutionstheorie bestätigt. S. Fischer, Frankfurt am Main
- Chen X, Zhang Z, Zhang Y (1993) Studies on the spatial distribution model, biology and control of box-tree pyralid. *Scientia Silvae Sinicae* 29: 77–80 (chines. mit engl. summary)
- Choudhary MI, Shahnaz S, Parveen S, Khalid A, Ayatollahi SAM, Atta-Ur-Rahman Parvez M (2003) New triterpenoid alkaloid cholinesterase inhibitors from *Buxus hyrcana*. *Journal of Natural Products* 66: 739–742
- Cruz C, Segarra A (1992) Potential for biological control of crop pests in the Caribbean. *Florida Entomology* 175: 400–408
- Damman H (1987) Leaf quality and enemy avoidance by larvae of a pyralid moth. *Ecology* 68: 87–97
- Devkota KP, Lenta BN, Fokou PA, Sewald N (2008) Terpenoid alkaloids of the Buxaceae family with potential biological importance. *Natural Products Reports* 25:612–630
- Dildar A (1990) Isolation and structural studies on the chemical constituents of Buxus species. University of Karachi, Dissertation
- Dow JAT (1984) Extremely high pH in biological systems: a model for carbonate transport. *American Journal of Physiology* 24b: R633–R655
- Duffey SS (1980) Sequestration of plant natural products by insects. *Annual Review of Entomology* 25: 447–477
- Dumbacher JP, Wako A, Derrickson SR, Samuelson A, Spande TF, Daly JW (2004) Melyrid beetles (Choresine) A putative source for the batrachotoxin alkaloids found in poison-dart frogs and toxic passerine birds. *PNAS* 101/45: 15857–15860, doi: 10.1073/pnas.0407197101
- Eichelbaum M, Burk O (2001) CYP3A genetics in drug metabolisms. *Natural Medicine* 7: 285–287
- Eiden F (2006) Cantharidin. Hochzeitsgabe, Schutz- und Lockstoff, Blasenzieher und Enzymhemmer. *Chemie in unserer Zeit* 40: 12–19
- Feldtrauer JF, Feldtrauer JJ, Brua C (2009) Premiers signalements en France de la Pyrale du Buis *Diaphania perspectalis* (Walker, 1859), espece exotique envahissante s'attaquant aux Buis (Lepidoptera, Crambidae). *Bulletin Society Entomologic Mulhouse* 65:55–58
- Gao SY, Wang QJ, Ji YB (2006) Effect of solanine on the membrane potential of mitochondria in HepG2 cells and (Ca²⁺) in the cells. *Gastroenterology* 12/21: 3359–3367. PMID 16733852
- Gfeller H, Schlunegger UP, Schaffner U, Boeve J-L, Ujvary I (1995) Analysis of the chemical defence system in an insect larva by tandem mass spectrometry. *Journal of Mass Spectrometry* 30: 1291–1295

- Ghoneim K (2013) Cantharidin toxicosis to animal and human in the world: A review. *Journal of Toxicology and Environmental Health Sciences* 1: 1–22
- Greenman S, Kilduff P (2004 und 2012) New Research Shows that Toxic Birds and Poison-dart Frogs Likely Acquire their Toxins from Beetles. (Memento from 3.12. Internet Archive of California Academy of Sciences) und www.chemie-schule.de/KnowHow/Batrachotoxin
- Habermehl GG, Krebs HC (1986) Gifttiere und ihre Waffen. *Naturwissenschaften* 73: 459–470
- Hague MTJ, Feldman CR, Brodie Jr ED, Brodie ED 3rd (2017) Convergent adaptation to dangerous prey proceeds through the same first-step mutation in the garter snake *Thamnophis sirtalis*. *Evolution* 71: 1504–1518, doi: 10.1111/evo.13244
- Halford B (2004) Birds and beetles: A toxic trail. *Chemical and Engineering News* 82/45: 17
- Hanser H, Scholtyssek Ch (2000) *Lexikon der Neurowissenschaft*. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg
- Hartmann G, Buchsbaum U (2013) Neuer Nachweis des Buchsbaum-Zünlers *Cydalima perspectalis* (WALKER, 1859) in Ungarn (Lepidoptera: Crambidae). *Nachrichtenblatt bayrischer Entomologen* 62: 94–96
- Hegnauer R (1988) Biochemistry, distribution and taxonomic relevance of higher plant alkaloids. *Phytochemistry* 27: 2423–2427
- Hiller K, Melzig MF (1999) *Lexikon der Arzneipflanzen und Drogen*. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg
- Hizal. E (2011) Two invasive alien insect species, *Leptoglossus occidentalis* (Heteroptera: Coreidae) and *Cydalima perspectalis* (Lepidoptera: Crambidae), and their distribution and host plants in Istanbul province, Turkey. *Florida Entomologist* 95: 344–349
- Hizal. E, Kose M, Yesil C, Kaymнар D (2012) The New Pest *Cydalima perspectalis* (Walker, 1859) (Lepidoptera: Crambidae) in Turkey. *Journal of Animal and Veterinary Advances* 11: 400–403
- Inoue H (1982) Pyralidae. In: Inoue H, Sugi S, Kuroko H, Moriuti S, Kawabe A (eds) *Moths of Japan* 1, 2. Kodansha, Tokyo pp 307–404 (Bd. 1), pp 223–254; *Abbildungen* 36–48, 228, 296–314 (Bd. 2)
- Jäger EJ, Müller F, Ritz C, Welk C, Wesche K (2017) *Rothmaler - Exkursionsflora von Deutschland*, Bd. 2, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg
- Joseph PD, Guengerich FP, Miners JO (2005) „Phase I und Phase II“ drug metabolism: terminology that we should phase out? *Drug Metabolism Revue* 37: 575–580
- Käppeli F (2008) Der Buchsbaumzünsler – Im Eiltempo durch Basler Gärten. *Gärtner-Fachzeitschrift* 20: 33
- Khodzhaev BU, Shakirov R (2000) Accumulation dynamics of *Buxus sempervirens* alkaloids. *Chemistry of Natural Compounds* 36: 100–101
- Kim DS, Kim CH (2001) No ability to produce tetrodotoxin in bacteria — authors reply. *Applied and Environmental Microbiology* 67: 2393–2394, doi: 10.1128/AEM.8.3.2393-2394.2001
- Klinke R (2010) *Physiologie*. Georg Thieme, Stuttgart
- Köhler J (2015) Der Buchsbaumzünsler *Cydalima perspectalis* (WALKER, 1859) - neue Nachweise für Kroatien und Norditalien (Lepidoptera: Crambidae). *Nachrichten des Entomologischen Vereins Apollo, N.F.* 36: 77–78
- Koren T, rne M (2012) The first record of the Box Tree Moth, *Cydalima perspectalis* (WALKER, 1859) (Lepidoptera, Crambidae) in Croatia. *Natura Croatica* 21: 507–510
- Krüger EO (2008) *Glyphodes perspectalis* (WALKER, 1859) – Neu für die Fauna Europas (Lepidoptera: Crambidae). *Entomologische Zeitschrift* 118: 81–83
- Leclerc H (1922) *Histoire du buis*. *Janus* 26: 1–14
- Lehmann EM, Brodie ED (2004) No evidence for an endosymbiotic bacterial. Origin of tetrodotoxin in the newt *Taricha granulosa*. *Toxicon* 44: 243–249
- Leuthardt FLG (2012) Der Buchsbaumzünsler *Cydalima perspectalis* – eine neue invasive Art in Mitteleuropa. *Regio Basiliensis* 53: 127–133
- Leuthardt FLG, Glauser G, Baur B (2013) Composition of alkaloids in different box tree varieties and their uptake by the box tree moth *Cydalima perspectalis*. *Chemoecology* 23: 203–212
- Leuthardt FLG, Baur B (2013) Oviposition preference and larval development of the invasive moth *Cydalima perspectalis* on five box-tree varieties. *Journal of applied Entomology* 137: 437–444, doi: 10.1111/jen.12013
- Leuthardt FLG, Billen W, Baur B (2010) Ausbreitung des Buchsbaumzünslers *Diaphania perspectalis* (Lepidoptera, Pyralidae) in der

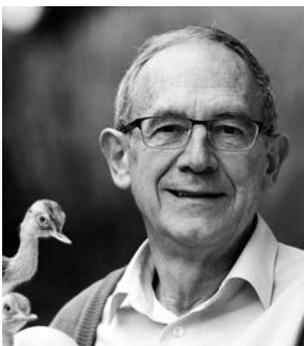
- Region Basel – eine für die Schweiz neue Schädlingsart. *Entomologia Helvetica* 3: 51–57
- Leuthardt FLG, Ramin S (2011). Der Buchsbaumzünsler *Diaphania perspectalis* – Auftreten, Ausbreitung und Bedeutung eines neuen Schädlings an Buchsbaum am Beispiel der Schweizer Jahrbuch der Baumpflege 2011: 255–261
- Louda SM (1998) Population Growth of *Rhino-cyllus conicus* (Coleoptera: Curculionidae) on Two Species of Native Thistles in Prairie. Svata M. Louda Publications George Holmes University, DigitalCommons@University of Nebraska, Lincoln
- Luckner M, Mothes K, Schütte HR (1983): Biochemistry of alkaloids. Springer, Berlin
- Mally R, Nuss M (2010) Phylogeny and nomenclature of the box tree moth, *Cydalima perspectalis* (Walker, 1859) comb. n., which was recently introduced into Europe (Lepidoptera: Pyraloidea: Crambidae: Spilomelinae). - *European Journal of Entomology* 107: 393–400
- Maruyama T (1993) Life cycle of the box-tree pyralid, *Glyphodes perspectalis* (WALKER) (Lepidoptera: Pyralidae). IV. Effect of various host plants on larval growth and food utilization. *Japanese Journal of Applied Entomological Zoology* 37: 117–122 (jap. mit engl. Zusammenfassung)
- Matošević D (2013) Box Tree Moth (*Cydalima perspectalis*, Lepidoptera; Crambidae), New Invasive Insect Pest in Croatia. *South-East European Forestry* 4: 89–94
- Matsumura K (1995) Re-examination of Tetrodotoxin Production by Bacteria. *Applied and Environmental Microbiology* 61: 3468–3470
- Mebs D (2010) Gifttiere. Ein Handbuch für Biologen, Toxikologen, Ärzte und Apotheker. Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft, Stuttgart
- Mohr M (2013) Spatzen fressen den Buchsbaumzünsler. *Vorarlberger Nachrichten VN*; 12. Juni 2013 (mit Angaben zu Beobachtern und Beobachtungen)
- Mothana RAA, Lindequist U (2004) Antimicrobial activity of some medicinal plants of the island Soqotra. *Journal of Ethnopharmacology* 96: 177–181
- Mothana RAA, Mentel R, Reiss C, Lüddequist U (2006) Phytochemical screening and antiviral activity of some medicinal plants from the Island Soqotra. *Pytother Research* 20: 298–302
- Nacambo SF, Leuthardt LG, Wan H, Li H, Haye T, Baur B, Weiss RM, Kenis M (2014) Developmental characteristics of the box-tree moth *Cydalima perspectalis* and its potential distribution in Europe. *Journal Applied Entomology* 138: 14–26
- Naeem I, Khan N, Choudhary M, Atta-Ur-Rahman I (1996) Alkaloids of *Sarcococca Saligna*. *Phytochemistry* 43: 903–906
- Nishida R (2002) Sequestration of defensive substances from plants by Lepidoptera. *Annual Review Entomology* 147: 57–92
- NLM: Batrachotoxin. ChemIDplus-Datenbank der United States National. Library of Medicine (NLM)
- Noguchi T, D. F. Hwang DF, Arakawa O, Sugita H, Deguchi Y, Shida Y, Hashimoto K (1987) *Vibrio alginolyticus*, a tetrodotoxin-producing bacterium, in the intestines of the fish Fugu *Vermicularis vermicularis*. *Marine Biology* 94: 625–630, doi:10.1007/BF00431409
- Oberdorfer E (2001) Pflanzensoziologische Exkursionsflora für Deutschland und angrenzende Gebiete. 8. Auflage. Ulmer, Stuttgart
- Opitz SEW, Müller C (2009) Plant chemistry and insect sequestration. *Chemoecology* 19: 117–154
- Perny B (2010) Massenaufreten des Buchsbaumzünslers *Diaphania perspectabilis* im Osten Österreichs. *Forstschutz Aktuell* 50: 17–19
- Preiß U (2004) Grüne Tomaten und gekeimte Kartoffeln – Das natürliche Gift Solanin. Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit, Bayerisches Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz und Verbraucherzentrale Baden-Württemberg e. V.
- Prinzinger C (2015). Polymorphismen in den Cytochrom-P455-Enzymen des Hundes. Inauguraldissertation Universität Giessen, VVB Laufersweiler Verlag, Giessen
- Prinzinger R, Prinzinger C (2014) Das Maiglöckchen – Giftpflanze des Jahres 2014. Warum können manche Vogelarten Giftbeeren ohne Probleme fressen, während andere deutliche Vergiftungserscheinungen zeigen? *Kleintiermedizin* 3/14: 132–133
- Raspudić E, Ivezić M, Brmmemež M, Majić I, Sarajlić A (2014) Šimširov Moljac (*Cydalima perspectalis* WALKER 1859) Novi štetnik šimšira na području Slavonije. [The Box Tree Moth (*Cydalima perspectalis* Walker, 1859) new pest of boxwood on the area of Slavonija.]. 1. Hravtski Simpozij O Invazivnim Vrstama; Zagreb, Hrvatska, 24.11.2014 [Seite auf bib.irb.hr]

- Renwick JAA, Chewy FS (1994) Oviposition Behavior in Lepidoptera. Annual Review of Entomology 39: 377–400, doi.org/10.1146/annurev.en.39.010194.002113
- Römpp Online: Batrachotoxine. Georg Thieme, Stuttgart
- Roth L, Daunderer M, Kormann K (1994) Giftpflanzen – Pflanzengifte. Nikol, Hamburg
- Rothschild M (1972) Secondary plant substances and warning colouration in insects. Symposium Royal Entomological Society London 6: 59–83
- Rothschild M, Aplin RT, Cockrum PA, Edgar JA, Fairweather P, Lees R (1979) Pyrrolizidine alkaloids in arctiid moths (Lep.) with a discussion on host plant relationships and the role of these secondary plant substances in the Arctiidae. Biological Journal of the Linnean Society 12: 305–326
- Rowell-Rahier M, Pasteels JM (1992) Third trophic level influences of plant allelochemicals. In: Rosenthal GA, Berenbaum MR (eds) Herbivores. Their Interactions with Secondary Plant Metabolites. Academic Press, London, pp 243–277
- Sáfián Sz, Horváth B (2011) Box Tree Moth – *Cydalima perspectalis* (Walker, 1859), new member in the Lepidoptera fauna of Hungary (Lepidoptera: Crambidae). Natura Somogyensis 19: 245–246
- Sage W, Karl G (2010) Der Buchsbaumzünsler *Cydalima perspectalis* (WALKER, 1859) nun auch in Südbayern. Mitteilungen der Zoologischen Gesellschaft Braunau 10: 79–85
- Savitzky AH, Mori A, Hutchinson DA, Saporito RA, Burghardt GM, Lillywhite HB, Meinwald J (2012) Sequestered defensive toxins in tetrapod vertebrates: principles, patterns, and prospects for future studies. Chemoecology 22: 141–158, doi: 10.1007/s00049-012-0112-z
- Schaffner U, Boeve JL, Gfeller H, Schlunegger UP (1994) Sequestration of Veratrum alkaloids by specialist sawfly *Rhadinoceraea nodicornis* Konow (Hymenoptera, Tenthredinidae) and its ecoethological implications. Journal Chemical Ecology 20: 3233–3250
- Schaller A (2002) Die Abwehr von Fressfeinden: Selbstverteidigung im Pflanzenreich. Vierteljahrsschrift der Naturforschenden Gesellschaft 147: 141–150
- Schiller G, Hiller K (1999) Arzneidrogen. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg
- Seljak G (2012) Six new alien phytophagous insect species recorded in Slovenia in 2011. Acta Entomologica Slovenica 20: 31–44
- Sigg CR (2009) Auch das noch: Ein neuer Buchs-Schädling schlägt zu. Massive Schäden durch den Buchsbaumzünsler. Der Gartenbau 2009/4: 2–4
- Simidi U, Noguchi T, Hwang DF, Shida Y, Hashimoto K (1987) Marine bacteria which produce tetrodotoxin. Applied and Environmental Microbiology 53/7: 1714–1715
- Simidu U, Kumiko KT, Yasumoto T, Yotsu M (1990) Taxonomy of four marine bacterial strains that produce tetrodotoxin. International Journal Systematic Bacteriology 40: 331–336
- Simidu U, Noguchi T, Hwang DF, Shida Y, Hashimoto K (1987) Marine bacteria which produce tetrodotoxin. Applied and Environmental Microbiology 53: 1714–1715
- Storey AA, Quiroz D, Beavan N, Matissoo-Smith EA (2011) Pre-Columbian chickens of the Americas: a critical review of the hypotheses and evidence for their origins. Rapa Nui Journal 25: 5–19
- Strachinis, I, Kazilas C, Karamaouna F, Pappikolaou NE, Partsinevelos GK, Milonas PG (2015) First record of *Cydalima perspectalis* (Walker, 1859) (Lepidoptera: Crambidae) in Greece. Hellenic Plant Protection Journal 8: 66–72, doi: 10.1515/hppj-2015-0010
- Stretzov, AN (2008) A new genus for *Glyphodes perspectalis* (WALKER, 1859) (Pyraloidea, Crambidae, Pyraustinae). Eurasian Entomological Journal 7: 369–372
- Székely L, Dinca V, Milhai C (2011) *Cydalima perspectalis* (Walker, 1859), a new species for the Romanian fauna (Lepidoptera: Crambidae: Spilomelinae). Bulletin Information Entomology 22: 3–4
- Teuscher L (2004) Biogene Arzneimittel. Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft, Stuttgart
- Thompson JN, Pellmyr O (1991) Evolution of oviposition behavior and host preference in Lepidoptera. Annual Review Entomology 36: 65–89
- Tidwell, J (2001) The intoxicating birds of New Guinea. ZooGoer 30 (2); <http://nationalzoo.si.edu/Publications/ZooGoer/2001/2/intox-newguineabirds.cfm>
- Tornieporth G (2011) Buchs – Sorten, Pflege, Formschnitt, Gestaltung. BLV, München
- Tornieporth G, Wittmann R (2005) Das große Buch vom Buchs. Sorten, Verwendung, Formschnitt

- und die schönsten Gestaltungsbeispiele aus öffentlichen und privaten Gärten. BLV, München
- Tsuda K (1966) Tetrodotoxin, Giftstoff der Bowlfische. *Naturwissenschaften* 53: 171–176
- van der Straten MJ, Muus TST (2010) The box tree pyralid, *Glyphodes perspectalis*, (Lepidoptera: Crambidae), an invasive alien moth ruining box trees. *Proceedings of the Netherlands Entomological Society Meetings* 21: 107–111
- van Trier H, Hermans D, Maertens H (2007) Buchs. Ulmer. Stuttgart
- Verhoef-Verhallen E, Rijs A (2009) *The Complete Encyclopedia of Chickens*. REBO Publishers, Noordwijkerhout
- Vachnadze NS, Jakeli EZ, Tsakadze DM (2009) Alkaloids of *Buxus colchica*, *B. sempervirens*, and *B. balearica* growing in Georgia. *Chemistry of Natural Compounds* 45: 936–938, doi 10.1007/s10600-010-9465-0
- von Balthazar M, Endress PK, Qiut YL (2000) Phylogenetic relationships in Buxaceae based on nuclear internal. transcribed spacers and plastid *ndhF* sequences. *International Journal Plant Science* 191: 785–792
- Whitake JR, Feeney RE (1973) Toxicants occurring naturally in foods. Enzyme inhibitors in foods. In: National Research Council (U.S.). Food Protection Committee. National. Academy of Science: pp 276–298
- wildbienen-info (2017) Bienen an blühendem Buchs (*Buxus sempervirens*). <http://www.wildbienen.info/>
- Williams BL, Hanifin CT, Brodie ED Jr., Caldwell RL (2011) Ontogeny of tetrodotoxin levels in blue-ringed octopuses: Maternal investment and apparent independent production in offspring of *Hapalochlaena lunulata*. *Journal Chemical Ecology* 37: 10–17, doi: 10.1007/s10886-010-9901-4
- Wolf HU (1992) *Hagers Handbuch der pharmazeutischen Praxis*. Bd. 4, Drogen. Springer Verlag, Heidelberg
- Yasumoto T, Yasumura D, Yotsu M, Michishita T, Endo A, Kotaki Y (1986) Bacterial production of tetrodotoxin and anhydrotetrodotoxin. *Agricultural and Biological Chemistry* 50: 793–795
- Zwölfer H, Harris P (1984) Biology and host specificity of *Rhinocyllus conicus* (Froel.) (Col., Curculionidae), a successful agent for biocontrol of the distle, *Carduus nutans* L.. *Zeitschrift für angewandte Entomologie* 97: 36–621
- Zwölfer H, Preiss M (1983) Host selection and oviposition behaviour in West-European ecotypes of *Rhinocyllus conicus* Froel. (Col., Curculionidae). *Zeitschrift für angewandte Entomologie* 95: 113–122
- Ergänzendes Material online** unter <https://www.og-bayern.de/ergaenzendes-material-online/> vier kommentierte Videoclips

Eingegangen am 18. Juni 2019

Angenommen nach Revision am 13. Oktober 2019



Roland Prinzinger, Jg. 1948, Studium der Biologie und Chemie, Professor emeritus für Stoffwechselphysiologie an der Johann-Wolfgang-von-Goethe-Universität Frankfurt am Main. Schwerpunkte des ornithologischen Interesses: Physiologie der Vögel, Faunistik.

Clarissa Prinzinger, Jg. 1986, Studium der Veterinärmedizin, Tierärztin, Schwerpunkte des ornithologischen Interesses: Vögel allgemein, selektive Aufnahme von Pharmaka.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Ornithologischer Anzeiger](#)

Jahr/Year: 2019

Band/Volume: [58_2-3](#)

Autor(en)/Author(s): Prinzing Roland, Prinzing Clarissa

Artikel/Article: [Können Vögel den giftigen Buchsbaumzünsler *Cydalima perspectalis* fressen? Eine kritische Analyse zur Frage, wie Tiere mit natürlichen Giften umgehen](#)
[105-125](#)