Bemerkungen zum Tod von Alexej Nawalny

Dietrich Mebs

Institut für Rechtsmedizin, Goethe Universität Frankfurt/Main, mebs@em.uni-frankfurt.de

Im Festvortrag auf dem XXIV. GTFCh-Symposium 2025 in Mosbach [1] schilderte Walter Martz die Methoden der Geheimdienste, mit Gift zu morden. Er beendete seinen Vortrag mit dem Statement: „Das Morden geht weiter“ und schloss den plötzlichen Tod von Alexej Nawalny am 16. Februar 2024 mit ein. Über jüngste Entwicklungen und Hintergründe dazu wird im folgenden Beitrag berichtet. Sie beruhen im Wesentlichen auf Presseberichten, was die näheren Umstände zu dessen Tod betrifft.

Alexej Anatoljewitsch Nawalny (Abb. 1) war einer der prominentesten russischen Oppositionellen, der sich mit dem gegenwärtigen Präsidenten, dem ehemaligen KGB-Agenten Wladimir Putin, auseinandersetzte. Damit geriet er ins Fadenkreuz des russischen Geheimdienstes FSB, des Föderalen Dienstes für Sicherheit der Russischen Föderation als Nachfolgerorganisation des KGB. Nur knapp überlebte Nawalny den ersten Giftanschlag. Auf einem Flug am 20. August 2020 von der sibirischen Stadt Tomsk nach Moskau brach er plötzlich schreiend zusammen.

Abb. 1. Der russische Dissident Alexej Nawalny (Foto: M. Aleshkowskiy, Wikimedia Commons, CC BY-SA 2.5).

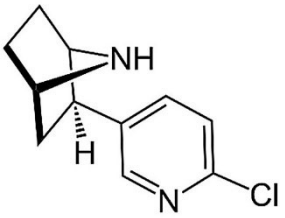
Obwohl der Flughafen wegen einer „zufälligen“ Bombendrohung gesperrt war, führte der Pilot eine Notlandung im sibirischen Omsk durch. Von den dortigen Sanitätern wurde Nawalny notfallmäßig Atropin als Anticholinergikum injiziert. Ihnen ist es zu verdanken, dass er überlebte. Auf Drängen der Familie und mittels diplomatischer Bemühungen wurde er zwei Tage später nach Berlin geflogen, wo er in der Charité intensivmedizinisch behandelt wurde. Analysen von Nawalnys Blutproben bestätigten eine Vergiftung durch einen Cholinesterase-Hemmer, wobei das hochtoxische Neurotoxin Nowitschok als Auslöser in Verdacht geriet. Über diese Substanzgruppe hatten eine Autorengruppe [2] wie auch Martz in seinem Vortrag [1] berichtet.

Trotz Warnungen kehrte Nawalny Anfang 2021 nach mehrmonatigen Rehabilitationsmaßnahmen nach Russland zurück, wo er bei der Einreise sofort verhaftet wurde. Im Jahr 2022 wurde er in mehreren Verfahren unter anderem wegen „Extremismus“ zu insgesamt 19 Jahren Haft in einem arktischen Straflager in Westsibirien verurteilt. Dort starb er am 16. Februar 2024 im Alter von 47 Jahren plötzlich „eines natürlichen Todes als Folge eines Blutgerinnsels“, so das offizielle Statement. An dieser Darstellung kamen jedoch Zweifel auf, zumal eine Obduktion des Leichnams nicht durchgeführt worden war.

Offenbar aber gelangten Gewebeproben vom Leichnam Nawalnys außer Landes und wurden in Laboratorien Deutschlands, Frankreichs, der Niederlande, der Schweiz, Schwedens und des Vereinigten Königreichs analysiert. Die Ergebnisse wurden als eine gemeinsame Erklärung in einer Pressemitteilung des Auswärtigen Amtes am 14.2.2026 veröffentlicht [3]: *„Danach steht fest, dass Alexej Nawalny mit einem tödlichen Toxin vergiftet wurde. Zu diesem Schluss sind unsere Regierungen auf der Grundlage von Analysen von Proben Alexej Nawalnys gekommen. Im Zuge dieser Analysen wurde eindeutig das Vorhandensein von Epibatidin nachgewiesen.“*

Eine schriftliche Anfrage beim Institut für Pharmakologie und Toxikologie der Bundeswehr, das wohl zuständigkeitshalber mit der Analyse der Proben betraut war, zumUntersuchungsmaterial und zu den entsprechenden Toxin-Konzentrationen, blieb unbeantwortet. Für Toxikologen sind verlässliche Informationen zu neuartigen oder seltenen Vergiftungen wissenschaftlich wie auch praktisch von eminenter Bedeutung. Daher gibt es wenig Verständnis für die restriktive Informationspolitik, die die Weiterentwicklung der forensischen Toxikologie behindert. Der Einsatz des Toxins zur gezielten Tötung eines Menschen ist nicht nur ein Verbrechen, es verstößt auch gegen die Biowaffenkonvention von 1971 und die 1993 abgeschlossene Chemiewaffenkonvention, die Russland beide unterzeichnet und ratifiziert hat.

Von russischer Seite wurden die Untersuchungsergebnisse erwartungsgemäß in Zweifel gezogen und Schuldzuweisungen zurückgewiesen. Zumindest aber scheint dem russischen Geheimdienst etwas Neues eingefallen zu sein, um nicht erneut auf das altbewährte Nowitschok zurückgreifen zu müssen – doch um was handelt es sich bei diesem **Epibatidin** genannten Toxin?



Es ist ein Alkaloid, das 1974 John Daly, Wissenschaftler am National Institute of Health (NIH) in Bethesda (USA), aus dem Hautextrakt eines weniger als 3 cm großen Frosches aus Ecuador, des Dreistreifen-Baumsteigers *Epipedobates tricolor* (Abb. 2), isoliert hatte [4].

Abb. 2. Der Baumsteiger-Frosch *Epipedobates tricolor* aus Ecuador enthält in seinen Hautdrüsen das toxische Alkaloid Epibatidin. Foto: Dietrich Mebs, Frankfurt am Main.

Dieser Frosch zählt zur Familie Dendrobatidae, den Baumsteiger-, Färber- oder auch Pfeilgiftfröschen [5]: „Baumsteiger“ wegen ihres ungewöhnlichen Fortpflanzungsverhaltens, bei dem die Männchen die ausschlüpfenden Larven huckepack auf Bäume tragen und sie dort in die mit Wasser gefüllten Blatttrichter von Bromelien setzen, wo sie regelmäßig von den Weibchen mit unbefruchteten Eiern gefüttert werden; „Färberfrösche“ wegen ihrer ungemein attraktiven und variablen Körperfarben. Die Bezeichnung „Pfeilgiftfrösche“ trifft allerdings nur für manche Arten der Gattung *Phyllobates* zu, deren toxisches Hautsekret ein Indianerstamm in Kolumbien zum Vergiften ihrer Pfeile für die Jagd nutzt. *Epipedobates tricolor* gehört nicht dazu, vielmehr wurde bzw. wird mitunter noch immer der Schreckliche Pfeilgiftfrosch, *Phyllobates terribilis*, zu diesem Zweck bevorzugt. Seine Haut enthält hohe Konzentrationen Batrachotoxin (Abb. 3) [5].

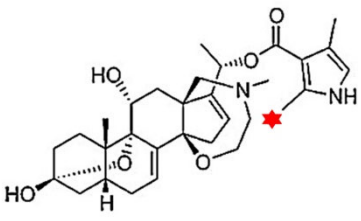


Abb. 3. Das Hautsekret des Schrecklichen Pfeilgiftfroschs, *Phyllobates terribilis*, wird von den Chocó-Indianern Kolumbiens zum Vergiften ihrer Pfeile benutzt. Es enthält pro Frosch bis zu 1 mg des Alkaloids Batrachotoxin und in geringer Konzentration Homobatrachotoxin, das in der Seitenkette (Stern) einen C_2H_5-Rest besitzt. Foto: Dietrich Mebs, Frankfurt am Main.

John Daly hat mit Charles Myers vom American Museum of Natural History in New York auf vielen Reisen in Mittel- und Südamerika diese Frösche gesammelt, aus deren Haut er mehr als 800 Alkaloide isolierte und ihre Struktur aufklärte, darunter auch das nach der Froschgattung benannte Epibatidin [4]. Es weist eine ungewöhnliche Struktur mit einem Chlor-Rest auf und

ist hochtoxisch (Abb. 2). Die LD_{50} beträgt etwa 1,5 mg/kg bei intraperitonealer Injektion in die Maus und liegt mit der des Batrachotoxins (2 mg/kg, allerdings bei intravenöser Injektion) in ähnlicher Größenordnung. Bei niedriger Dosierung zeigte Epibatidin im Tierversuch eine analgetische Wirkung, die mehr als 200fach jene des Morphins übertraf. Epibatidin reagiert jedoch nicht mit Opiat-Rezeptoren im Zentralnervensystem, sondern stimuliert als Agonist Acetylcholin-Rezeptoren in den inhibitorischen Neuronen des Rückenmarks, wodurch die Weiterleitung von Schmerzimpulsen unterbrochen wird. Somit würde sich Epibatidin durchaus als Schmerzmittel eignen, doch steht einer medizinischen Anwendung dessen hohe Toxizität entgegen.

Versuche der Firma Abbott, mit Epibatidin als Leitstruktur ähnliche Verbindungen zu synthetisieren, um sie als Analgetikum einzusetzen, führten zu einem strukturell modifizierten Produkt, ABT-594 (Abb. 4), das nicht toxisch ist, aber die gleiche Wirksamkeit wie Morphin aufweist, und dessen Anwendung zumindest nicht abhängig macht. Wegen Nebenwirkungen wurde es jedoch nicht weiterentwickelt [6].

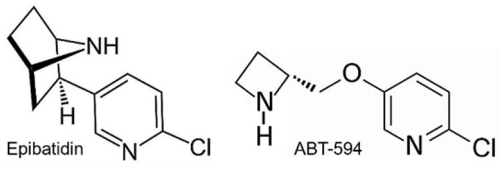


Abb. 4. Strukturformeln von Epibatidin und ABT-594.

Als Reagenz wird Epibatidin allerdings in der neurobiologischen Forschung erfolgreich zur Charakterisierung von nikotinischen Acetylcholin-Rezeptoren im zentralen, wie im peripheren Nervensystem verwendet. Die im Tierversuch beobachtete Lähmung der Atemmuskulatur hat den Tod durch Ersticken zur Folge. Alexey Nawalny dürfte das erste zur Kenntnis gekommene menschliche Epibatidin-Opfer sein.

Der Nachweis des Epibatidins in biologischem Material wie Blutplasma, gegebenenfalls auch in Organmaterial, ist für erfahrene Toxikologen nicht schwierig. Es ist ein stabiles Molekül und wird nach Aufnahme per os oder injiziert nicht metabolisiert. Nachweismethoden mittels HPLC in Verbindung mit Massenspektrometrie wurden beschrieben [7,8], ebenso Methoden zur chemischen Synthese des Alkaloids [9], darunter auch 2015 von russischen Wissenschaftlern des Laboratory of High Technologies in Moskau [10]. Das Know-how war also vorhanden. Man hätte sich allerdings die Mühe einer Synthese in Moskau sparen können, denn das synthetische Epibatidin ist kommerziell bei allein vier Firmen für Feinchemikalien (Biomol, Callbiochem/Th. Geyer, Sigma-Aldrich/Merck, Santa Cruz Biotechnology) erhältlich.

Unabhängig vom kriminellen Einsatz dieser hochwirksamen Toxine zählen die Frosch-Alkaloide zu den spannendsten Kapiteln der Naturstoff-Forschung. Denn ihr Ursprung in den Hautextrakten der Baumsteiger-Frösche gibt weiterhin Rätsel auf. Fest steht, dass die Frösche die zum Teil sehr komplexen Moleküle nicht selbst synthetisieren können. Es zeigt sich immer wieder, dass die im Terrarium gezüchteten, mit *Drosophila* Fliegen gefütterten Nachkommen von Wildformen entgegen den Erwartungen vollkommen ungiftig sind. Die Frösche sind allerdings in der Lage, Alkaloide, die man ihrer Nahrung zusetzt, einmal aufgenommen in speziellen Hautdrüsen zu speichern und auszuscheiden. Dies ist ein durchaus wirksamer Schutz vor Fressfeinden und ermöglicht ihnen eine tagaktive Lebensweise, wobei ihre auffällige Färbung als Warnsignal interpretiert wird.

Zumindest für einige der isolierten Alkaloide, wie den Pumiliotoxinen (Abb. 5), sind winzige Ameisen und Erdmilben in der Laubstreu des Regenwaldes, die den Hauptanteil im Nahrungsspektrum der Frösche ausmachen, als mögliche Produzenten identifiziert worden [11]. Für die beiden giftigsten Alkaloide, Batrachotoxin vom Schrecklichen Pfeilgiftfrosch und auch für Epibatidin, ist die Suche nach entsprechenden Insekten und anderen Arthropoden (Gliederfüßer), bei denen man diese oder ähnliche Toxine vermutet, bisher jedoch erfolglos verlaufen. Diese Alkaloide müssen im beschränkten Lebensraum der Frösche vorkommen und dort reichlich,

wenn man die hohen Batrachotoxin-Konzentrationen von *P. terribilis* in Betracht zieht. Irgendwo in der Laubstreu seines Lebensraumes im kolumbianischen Regenwald muss ein Gliederfüßer leben, der den Fröschen das Toxin liefert.

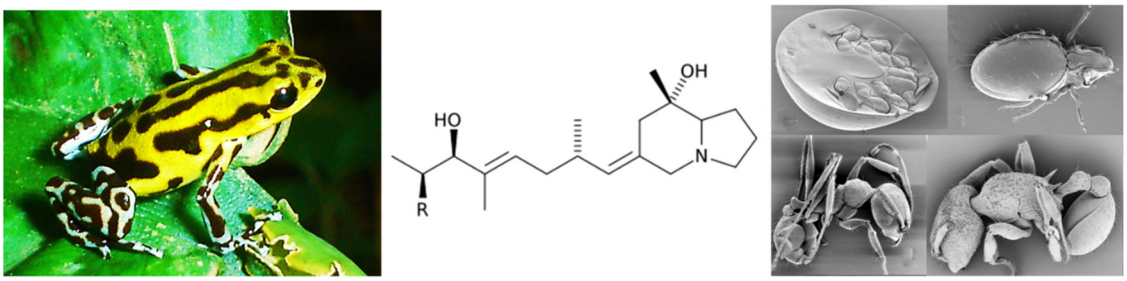


Abb. 5. Im Hautsekret der Baumsteiger-Frösche, hier *Oophaga pumilio* aus Panama (links), ist das Alkaloid Pumiliotoxin (Mitte) am häufigsten vertreten. Foto: Gunther Köhler, Frankfurt am Main. Rechts: Analyse des Mageninhaltes eines *Oophaga pumilio* mittels Rasterelektronenmikroskopie. Entsprechend der Größe der Frösche von unter 3 cm handelt es sich überwiegend um winzige Erdmilben und Ameisen aus der Laubstreu. Foto: Dietrich Mebs, Frankfurt am Main.

Als Daly und Myers 1976 auf einer zweiten Reise den Fundort von *Epipedobates tricolor*, eine Kakao-Plantage im Westen Ecuadors, aufsuchten, war der Frosch dort nicht mehr zu finden [4]. In einer nahegelegenen Bananen-Plantage waren die Frösche jedoch häufig in größerer Stückzahl vorhanden. Allerdings enthielten ihre Hautextrakte, wie sich später herausstellte, keinerlei Alkaloide. An einer anderen Stelle, in Wasseransammlungen am Straßenrand in den Anden, waren sie ebenfalls zahlreich vertreten. Glücklicherweise enthielten sie das gesuchte Epibatidin; ein Beispiel für die hohe Variabilität des Alkaloid-Musters der Frösche, abhängig vom lokalen Nahrungsangebot.

Für einige Vögel Neuguineas, wie den Pitohuis (*Pitohui* spp.) und den Blauhauben-Ifrita (*Ifrita kowaldi*) (Abb. 6), die erstaunlicherweise in Haut und Federn das Batrachotoxin-Analogon Homobatrachotoxin enthalten [5], gelang es Jack Dumbacher (California Academy of Sciences, USA), dem Entdecker dieses sensationellen Phänomens, einen kleinen Käfer, *Choresine pulchra*, als möglichen Produzenten des Toxins zu identifizieren [12]. Ob der Käfer das Alkaloid tatsächlich selbst synthetisiert oder es ebenfalls aus seiner Nahrung entnommen und gespeichert hat, ist unbekannt.

Abb. 6. In Neuguinea enthält der Blauhauben-Ifrita (*Ifrita kowaldi*) in seinen Federn und in der Haut Homobatrachotoxin, Foto: Dietrich Mebs, Franfurt am Main.

So ist das Bemühen der Forscher, mit diesen toxischen Naturstoffen zu neuen Erkenntnissen zu gelangen, um sie vielleicht auch für die Menschen nutzbar zu machen, eine Herausforderung. Doch wenn man die Büchse der Pandora öffnet, birgt dies stets auch die Gefahr des Missbrauchs, wie dies der Tod Alexej Nawalnys erneut beweist.

Literatur

[1] Martz W. Wenn Staaten töten – Wie Geheimdienste mit Gift morden – Festvortrag auf dem XXIV. GTFCh-Symposium. Toxichem Krimtech 2026;93(1):115-120.

[2] Autorengruppe. Nowitchok - Nicht nur ein Kampfstoff. Toxichem Krimtech 2018;85(3):94-96.

[3] Auswärtiges Amt. Gemeinsame Erklärung von Deutschland, Frankreich, den Niederlanden, Schweden und dem Vereinigten Königreich zum Tod Alexej Nawalnys. Pressemitteilung vom 14.02.2026, https://www.auswaertiges-amt.de/de/newsroom/2756256-2756256, zuletzt eingesehen am 07.07.2026.

[4] Daly JW, Garraffo HM, Spande TF, Decker MW, Sullivan JP, Williams M. Alkaloids from frog skin: the discovery of epibatidine and the potential for developing novel non-opioid analgesics. Nat Prod Rep 2000;17**:**131-135.

[5] Mebs D. Gifttiere. 4. Aufl., Wiss Verlagsges Stuttgart, 2026.

[6] Mebs D. Heilende Gifte. Wiss Verlagsges Stuttgart, 2014.

[7] Javors MA, Sanchez JJ, King TS, Rohde AR, Wilson SG, Flores CM. Extraction and quantification of epibatidine in plasma. J Chromatogr B Biomed Sci Appl 2001;755:379-382.

[8] Shiraishi Y, Ogawa T, Suzuki T, Iwai M, Kusano M, Zaitsu K, Kondo F, Ishii A, Seno H. Simultaneous quantification of batrachotoxin and epibatidine in plasma by ultra-performance liquid chromatography/ tandem mass spectrometry. Leg Med (Tokyo) 2017;25:1-5.

[9] Lee CL, Loh TP. Gram-scale synthesis of epibatidine. Org Lett 2005;7:2965-2967.

[10] Babkin IY, Nazarov GV, Galan SE, Yudina OP, Lamanov AY, Gutsalyuk MV, Aksenov AV. Synthesis of structural analogues of epibatidine. Russ Chem Bull 2015;64:466-469.

[11] Daly JW, Kaneko T, Wilham J, Garraffo HM, Spande TF, Espinosa A, Donnelly MA. Bioactive alkaloids of frog skin: combinatorial bioprospecting reveals that pumiliotoxins have an arthropod source. Proc Natl Acad Sci USA 2002;99:13996-14001.

[12] Dumbacher JP, Wako A, Derrickson SR, Daly JW. Melyrid beetles (*Choresine*): A putative source for the batrachotoxin alkaloids found in poison-dart frogs and toxic passerine birds. Proc Natl Acad Sci USA 2004;101:15857-15860.