Abhandlungen aus dem Westfälischen Museum für Naturkunde, Band **77** (2014): 281-292

Potentielle Verbreitung des Chytridiomykose-Erregers *Batrachochytrium dendrobatidis* über Wasserfallen

Susanne Böll (Gerbrunn)

Zusammenfassung

Chytridiomykose ist eine ubiquitär verbreitete Amphibienkrankheit, die maßgeblich zum weltweiten Amphibiensterben beiträgt. Auch in Europa sind Massensterben beobachtet worden. Der Pilzerreger ist wasserbürtig, und die infektiösen Zoosporen können – ähnlich wie bei der Krebspest – sehr leicht über Anhaftungen z.B. an feuchten Gummistiefeln, Keschern und Wasserfallen in andere Gewässer übertragen werden. Ein völliges Austrocknen überlebt der Erreger dagegen nicht. In mehreren Ländern gibt es verbindliche Maßnahmenkataloge zur Vermeidung der Verschleppung des Erregers. An einer entsprechenden EU-Richtlinie wird gearbeitet. Die einfachste Vorsichtsmaßnahme besteht darin, sich mehrere „Arbeitssets" anzuschaffen und nach einer Gewässerbegehung die verwendete Ausrüstung vollständig durchtrocknen zu lassen. Das erfordert auch den Einsatz schnell trocknender Wasserfallen. Desinfektionsmittel sollten nur in Ausnahmefällen und mit größter Vorsicht eingesetzt werden.

Summary

Potential spreading of the chytrid fungus *Batrachochytrium dendrobatides* through newt traps

Chytridiomycosis is a globally ubiquitious amphibian fungal infection and a primary driver of amphibian decline. Also in Europe mass mortalities have been observed. The infectious zoospores of the aquatic living pathogen are – as in the case of the crayfish plague – easily transferred to other water bodies via adhesion to wet rubber boots, dip nets, newt traps or other equipment. However, the pathogen does not survive total drying. In several countries authoritative hygiene protocols have been implemented to prevent the spreading of the pathogen. A corresponding EC (European Community) guideline is in preparation. The easiest way to take precautions is to acquire different sets of equipment to ensure a complete drying of any used equipment. This also requires the use of quick drying newt traps. Disinfectants should only be used in exceptional cases and with great caution.

Einleitung

Chytridiomykose, verursacht durch den Erreger *Batrachochytrium dendrobatidis (Bd)*, ist eine Pilzerkrankung, die maßgeblich zu dem weltweit beobachteten,

dramatischen Amphibiensterben beiträgt (BOSCH et al. 2007, KILPATRICK et al. 2009). Von der Weltnaturschutzorganisation IUCN wird sie als „the worst infectious disease ever recorded among vertebrates in terms of the number of species impacted, and its propensity to drive them extinct" eingeschätzt (GASCON et al. 2007).

Obwohl der Erreger erst 1998 ins Visier der Herpetologen geraten ist, sind heute über 500 Amphibienarten bekannt, die weltweit davon betroffen sind (FISHER et al. 2012). Nach wie vor ungeklärt ist, ob der Erreger anthropogen verschleppt und weltweit verbreitet wurde („novel pathogen hypothesis"), oder ubiquitär seit langem vorhanden ist und sekundär durch verschiedene Stressfaktoren eine völlig neue pathogene Virulenz entwickelt hat („endemic pathogen hypothesis", KILPATRICK et al. 2009). Während eine sehr geringe genetische Differenzierung des Erregers in allen weltweit untersuchten Gebieten auf eine rezente anthropogene Verschleppung hinweist (KILPATRICK et al. 2009), zeigen Untersuchungen an Sammlungsmaterial, dass der Erreger zumindest bis 1902 nachgewiesen werden kann (GOKA et al. 2009) und dass *Bd* in Nordamerika in den 1960ern bereits weit verbreitet war (OUELLET et al. 2004). Neueste genetische Untersuchungen stützen beide Hypothesen und zeigen, dass sowohl endemische *Bd*-Stämme als auch ein hypervirulenter globaler *Bd*-Stamm existieren. Dieser Stamm, der *Bd*GPL-Stamm (**g**lobal **p**anzootic **l**ineage) genannt wird, wird mit regionalen Massensterben auf fünf Kontinenten in Verbindung gebracht (FARRER et al. 2011).

Verbreitung von *Batrachochytrium dendrobatidis* in Europa

Eine Untersuchung verschiedener europäischer Amphibien, die aus Wildfängen von 1994-2004 stammen und im Rahmen unterschiedlichster Fragestellungen gesammelt worden waren, ergab, dass Chytridiomykose in Europa weit verbreitet ist (GARNER et al. 2005). Gut untersucht sind Spanien und die Schweiz, wo der Erreger weitgehend flächendeckend vorhanden ist (www.bd-maps.eu). Darüberhinaus liegen kaum systematische Untersuchungen vor, aber auch in den Niederlanden und Belgien (MARTEL et al. 2011) und in den meisten Teilen Deutschlands scheint der Erreger weit verbreitet zu sein (OHST et al. 2011). Nachweise aus Luxemburg (WOOD et al. 2009), Frankreich (OUELLET et al. 2012), Österreich (SZTATECSNY & GLASER 2011), Italien (ADAMS et al. 2008), England (CUNNINGHAM et al. 2005), Dänemark (SCALERA et al. 2008) und weiteren europäischen Ländern (www.bd-maps.eu) liegen vor.

Biologie von *Batrachochytrium dendrobatidis*

Bei dem Erreger handelt es sich um eine wasserbürtige Pilzart, die sich über bewegliche Zoosporen im Wasser verbreitet, die chemotaktisch ihren Wirt finden. Dort enzystieren sie und bilden Sporangien, in denen neue Zoosporen

heranreifen und ins Wasser entlassen werden. *Bd* wächst bei Temperaturen zwischen 4°C und 25°C mit einem Optimum zwischen 17°C und 24°C (PIOTROWSKI et al. 2004). Deutlich eingeschränktes Wachstum wird bei mehreren Stämmen über 26°C beobachtet; Temperaturen über 32°C überlebt *Bd* nicht (JOHNSON et al. 2003). Inwieweit verschiedene *Bd*-Stämme unterschiedlich hohe Letaltemperaturen aufweisen, ist allerdings nicht bekannt. Der optimale pH-Wert liegt zwischen 6 und 7; darunter und darüber ist stark eingeschränktes Wachstum zu beobachten (PIOTROWSKI et al. 2004). Zoosporangien können ohne Wirt wochenlang im Wasser und in feuchter Erde überleben (JOHNSON & SPEARE 2003, 2005). Eine komplette Austrocknung überlebt *Batrachochytrium dendrobatides* dagegen nicht.

Infektionsweg von *Batrachochytrium dendrobatidis*

Bd-Zoosporen greifen keratinisierte Strukturen bei Amphibien, d.h., das Mundfeld bei Kaulquappen und die Epidermis postmetamorpher und adulter Frosch- und Schwanzlurche an. Ein starker Befall epidermaler Hautschichten führt zu einer Hyperplasie und Keratose, und damit wahrscheinlich zu einer herabgesetzten Permeabilität und Störung der Osmoregulation und Wasseraufnahme, die zum Tod führen kann (FISHER et al. 2009). Inwieweit Molch- und Salamanderlarven mit ihren kaum differenzierten Keratinleisten vor der Metamorphose von dem Erreger befallen werden können, ist unbekannt. Infektionsversuche bei *Ambystoma*-Larven verliefen negativ (VENESKY et al. 2010).

Infizierte Kaulquappen zeigen im Normalfall keine Symptome bis zur Metamorphose. Während der Metamorphose und vor allem während der postmetamorphen Stadien in den darauf folgenden Wochen kann die Erkrankung dann häufig schlagartig zum Tode führen (BÖLL et al. 2012, TOBLER & SCHMIDT 2010).

Amphibienarten, deren Entwicklung besonders lange dauert, wie z. B. bei den überwinternden Kaulquappen der Geburtshelferkröte, sind durch ihre lange Verweildauer im Wasser einer besonders starken Gefährdung ausgesetzt (BOSCH et al. 2007). Erste Massensterben frisch metamorphosierter Tiere im Freiland wurden in Europa entsprechend bei einer *Alytes*-Population in der Sierra de Guadarrama in Zentral-Spanien beobachtet (BOSCH et al. 2001, 2007). Innerhalb von drei Jahren konnte *A. obstetricans* dort in 86% ehemals besiedelter Gewässer nicht mehr nachgewiesen werden (BOSCH et al. 2001). Der Erreger scheint in den Hochlagen eine besonders hohe Virulenz zu entwickeln. Auch in Populationen des Kantabrischen Gebirges und in den spanischen und französischen Pyrenäen wurden oberhalb 1500m Massensterben beobachtet (WALKER et al. 2010). Dies liegt möglicherweise daran, dass der Erreger zum einen bei niedrigeren Temperaturen größere Sporangien mit einer höheren Anzahl Zoosporen bildet, die länger infektiös bleiben (WOODHAMS et al. 2008), zum anderen, dass die Kaulquappen durch ihren oft mehrjährigen Aufenthalt im Gewässer einer besonders starken Gefährdung ausgesetzt sind (BOSCH et al. 2007).

Abb. 1: Tote, *Bd*-infizierte, frisch metamorphosierte Geburtshelferkröte im Freiland. Foto: S. Böll

Abb. 2: Tote, *Bd*-infizierte, frisch metamorphosierte Geburtshelferkröte aus Aufzucht. Foto: S. Böll

Krankheitsausbrüche treten zudem häufig im Zusammenhang mit niedrigen Temperaturen während der Metamorphose auf, die das Pilzwachstum begünstigen und das Immunsystem der befallenen Tiere hemmen (J. BOSCH, pers. Mitteil.). Klimatische Bedingungen scheinen für die Entwicklung von Krankheitssymptomen und -ausbrüchen also eine zentrale Rolle zu spielen.

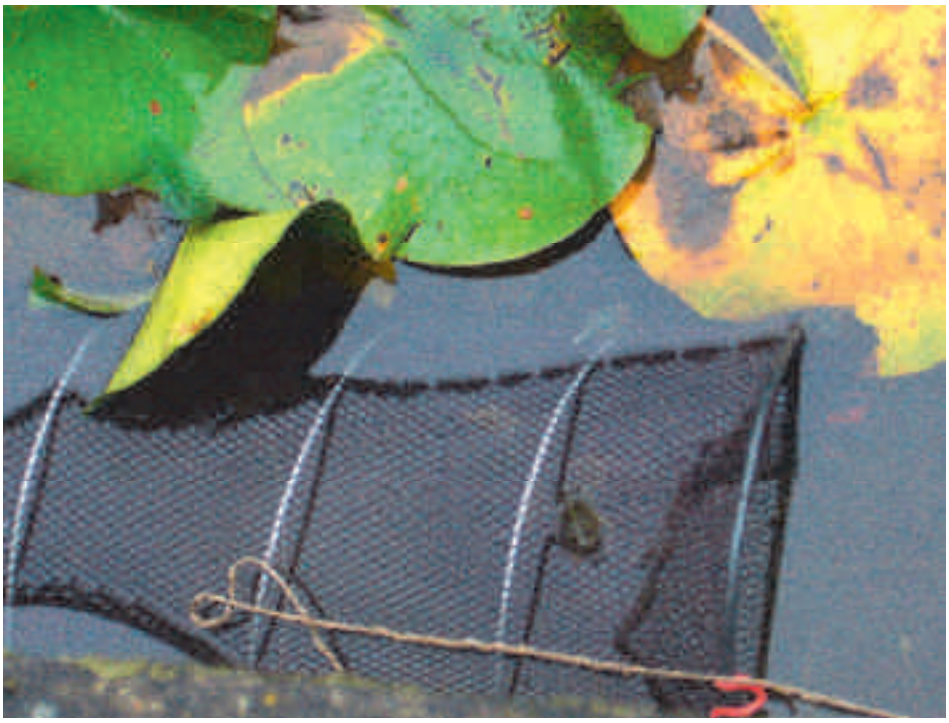

Abb. 3: Wasserfrosch als „Beifang“ in Wasserfalle. Foto: S. Böll

Wirtsspektrum von *Batrachochytrium dendrobatidis*

Systematische Untersuchungen zur Anfälligkeit verschiedener einheimischer Amphibienarten für den Erreger liegen bisher nicht vor, jedoch scheinen so gut wie alle Arten betroffen zu sein (OHST et al. 2011, SCHMIDT et al. 2009a). Molche scheinen grundsätzlich kein geringeres Infektionsrisiko als Anurenarten aufzuweisen (z.B. OHST et al. 2011, Tab.1). Darüber hinaus ist zu berücksichtigen, dass zum einen verschiedene Entwicklungsstadien sehr unterschiedlich betroffen sein können, wobei Larval- und Metamorphosestadien im Normalfall einen wesentlich höheren *Bd*-Befall zeigen als Adulttiere (BRIGGS et al. 2010), zum anderen, dass je nach Zeitpunkt der Probennahme im Jahresverlauf in Abhängigkeit der herrschenden Temperaturen sehr unterschiedliche Prävalenzen (= prozentualer Anteil infizierter Tiere) innerhalb einer Art beobachtet werden (KRIGER & HERO 2007). Eigene Untersuchungen zeigen, dass in einem

Bd-belasteten Gewässer in der bayerischen Rhön diesjährige, im Herbst untersuchte *Alytes*-Quappen nur zu einem geringen Teil mit *Bd* infiziert waren, während überwinterte Quappen zu 100% *Bd*-positiv getestet wurden (BÖLL & HANSBAUER, unveröffentlicht). Unklar ist, inwieweit einheimische Amphibienarten, insbesondere des Wasserfrosch-Komplexes, krankheitsresistent sind und als „Reservoir"-Arten und damit als Vektoren dienen (OHST et al. 2011, WOODHAMS et al. 2012). Entsprechend muss deutlich zwischen beobachteten Infektionsraten und der Krankheitsanfälligkeit einzelner Arten unterschieden werden.

In der Schweiz wurde kein Zusammenhang zwischen dem Vorkommen von *Batrachochytrium dendrobatidis* in *Alytes*-Populationen und deren Populationsentwicklung festgestellt, obwohl der Erreger weit verbreitet ist (TOBLER et al. 2012). Einzelaufzuchten von infizierten *Alytes*-Quappen zeigten variable, jedoch teilweise hohe Mortalitätsraten von 27% bis 90% in der Schweiz (TOBLER & SCHMIDT 2010) und von 50% bis 90% in Gruppenaufzuchten aus der bayerischen Rhön (BÖLL et al. 2012). Auch hier sind bisher keine Populationseinbrüche zu verzeichnen. Bisher ist unklar, ob und wie stark Chytridiomykose die Populationen beeinträchtigt. Auch in den Niederlanden und Belgien wurde kein Zusammenhang zwischen der Verbreitung des Erregers und dem Rückgang von Amphibienpopulationen festgestellt (MARTEL et al. 2011).

Übertragungswege von *Batrachochytrium dendrobatidis*

Die Übertragungswege ähneln sehr stark denen der Krebspest. Sie finden durch Wasseranhaftungen aus *Bd*-kontaminierten Gewässern statt: *Bd* kann durch infizierte Amphibien, durch Wasservögel (GARMYN et al. 2012) und *Bd*-infizierte Krebse (MCMAHON et al. 2012) verbreitet werden. Anthropogen können Verfrachtungen über feuchte Gummistiefel, Kescher, Wasserfallen und andere Gerätschaften erfolgen.

Vorsichtsmaßnahmen gegenüber *Bd*-Verbreitung

Auch wenn die natürliche Verbreitung des Erregers nicht unterbunden werden kann, sind Vorsichtsmaßnahmen zur Verbreitung von *Bd* unabdingbar, denn auch in Gebieten, wo der Erreger verbreitet ist, gibt es, häufig auch kleinräumig, *Bd*-unbelastete Gewässer, die Amphibien als wichtige Refugien dienen können (OHST et al. 2011, SCHMIDT et al. 2009a). Darüber hinaus ist völlig unbekannt, in welchen Populationen welcher *Bd*-Stamm vertreten ist, wie viele verschiedene endemische *Bd*-Stämme es gibt, und welche Virulenz sie in verschiedenen Gebieten und Höhenlagen aufweisen. Bei fahrlässigem Verhalten ohne Vorsichtsmaßnahmen können möglicherweise hochvirulente *Bd*-Stämme in Gewässer eingetragen werden, in denen der Erreger bisher nicht vorkam, oder es können

weniger virulente, endemische Stämme verdrängt oder durch Rekombination mit anderen Stämmen virulenter werden (FARRER et al. 2011). Wo in Europa durch *Bd* verursachte Populationszusammenbrüche aufgetreten sind, haben sich die Populationen nicht wieder erholt. Darüber hinaus wird diskutiert, dass Wechselwirkungen mit anderen Umweltbelastungen zu einer erhöhten Empfänglichkeit für *Bd*-Infektionen (DAVIDSON et al. 2007) bzw. umgekehrt *Bd*-Infektionen zu einer erhöhten Empfindlichkeit gegenüber anderen Stressfaktoren führen können.

In den vergangenen Jahren wurden in einigen Ländern entsprechende Maßnahmenkataloge erstellt, die verbindlich bei Amphibienuntersuchungen und –kartierungen beachtet werden müssen: z.B. Australien (2001/ 2004/ 2011), Frankreich/Kanada (2007), Schweiz (2009), Niederlande (2010). In Deutschland gibt es meines Wissens nur in Bayern entsprechende Vorschriften, die sich stark an den schweizer Vorgaben orientieren und hier beispielhaft vorgestellt werden sollen; eine entsprechende EU-Richtlinie ist in Bearbeitung (FISHER et al. 2012, www.bd-maps.eu).

Zu den einzelnen Vorsichtsmaßnahmen: Die sicherste und einfachste Methode *Bd* nicht zu verschleppen ist, (gesäuberte) Schuhe, Kescher und Wasserfallen nach einer Gewässerbegehung völlig durchtrocknen zu lassen und entsprechend mehrere „Sets“ zu besitzen. Das setzt auch voraus, dass man **schnell trocknende Wasserfallen** verwendet, die z. B. keine Klettverschlüsse besitzen und durch ihren Aufbau leicht auf vollständige Trockenheit zu überprüfen sind. Bei dem Einsatz von Fallen mit schwer zugänglichen Ecken und Winkeln besteht zudem die Gefahr, dass sehr leicht Wasserorganismen verschleppt werden, denen *Bd* anhaften kann. Darüber hinaus wird mit solchen Fallen häufig *Lemna spec.* verschleppt, deren Ausbreitung in bisher nicht betroffenen Gewässern zu einer herabgesetzten Phyto- und damit Zooplanktonproduktion führen kann (GELDHAUSER & GERSTNER 2003). Entsprechend sind aus eigener Erfahrung runde Kleinfischreusen eckigen Reusen vorzuziehen.

Vorsichtsmaßnahmen bei der Kartierung von Amphibien

Der Pilz Batrachochytrium dendrobatidis (Bd) als Erreger der Chytridiomykose, einer Amphibienkrankheit, die weltweit als einer der Ursachen für Populationsrückgang und das Verschwinden von Amphibienarten verantwortlich gemacht wird, ist nach neuesten Untersuchungen in Deutschland bei fast allen heimischen Amphibienarten nachgewiesen. Solange genauere Informationen zur Verbreitung und Auswirkung des Pilzes auf die heimischen Amphibien fehlen, sind deshalb bei Amphibienkartierung des LfU Vorsichtsmaßnahmen gegen eine ungewollte Verbreitung des Erregers durch die Kartierer gemäß den Vorschlägen von SCHMIDT et. al. (2009) zu ergreifen.

Als Desinfektionsmittel können Ethanol oder Virkon S verwendet werden. Javelwasser sollte nicht bzw. nur mit entsprechender Vorsicht verwendet werden, da schon geringe Mengen die ins Wasser gelangen zu 100 % Mortalität bei Kaulquappen führen können. Beim Kontakt mit verschiedenen Tieren innerhalb eines Gewässers müssen zwischendurch keine Desinfektionsmaßnahmen durchgeführt werden. Zum praktischen Vorgehen einige Auszüge aus der Arbeit von SCHMIDT et. al. 2009:

„Krankheitserreger können über Stiefel, Kescher, Fallen und andere Ausrüstungsgegenstände von Population zu Population verschleppt werden. Wenn pro Exkursion nur ein Amphibienstandort besucht wird, so ist die einfachste Maßnahme, Stiefel, Kescher und anderes Material, welches mit Amphibien oder Weiherwasser in Kontakt gekommen ist, vor Ort gründlich mit Wasser zu reinigen. Da Bd eine Austrocknung nicht überlebt (JOHNSON et al. 2003, PIOTROWSKI et al. 2004), sollte das Material vor dem nächsten Einsatz gründlich getrocknet werden. Zu beachten ist, dass Stiefel und Material vollständig trocken sein müssen, also auch beispielsweise Schlamm, der an den Stiefelsohlen haften bleibt.
Wenn die Amphibien mehrerer Gewässer zusammen eine biologische Population bilden, so ist Desinfektion nicht nach jedem einzelnen Gewässer notwendig. In der Praxis ist die räumliche Abgrenzung einer Population schwierig. Die Entscheidung, was zusammen gehört und was nicht, muss also jedem Feldherpetologen selbst überlassen bleiben. … (Anmerkung LfU: Beispiele hierfür sind Teichketten oder Teichkomplexe, Gewässer die in geringer Entfernung zueinander liegen oder Gewässer innerhalb einer Abbaustelle).
Wenn in kurzer Zeit mehrere Amphibienlebensräume besucht werden, so sollten Stiefel, Kescher und anderes Material nach jedem Standort erneut desinfiziert werden. … In der feldherpetologischen Praxis haben sich drei Stoffe besonders bewährt und werden häufig eingesetzt: Javelwasser (4 % oder 1,8 g l Natriumhypochlorit), Virkon S (2 g l, Antec International – A DuPont Company, Sudbury, Großbritannien) oder 70 % Ethanol (Konzentrationen nach WEBB et al. 2007). … Stiefel und Ausrüstung sollen in das Desinfektionsmittel eingetaucht werden. Bereits nach kurzen Einwirkungszeiten (weniger als eine Minute) führen alle drei Stoffe zur vollständigen Mortalität der Bd-Zoosporangien (Verbreitungsstadien). Im Feld, wo Desinfektionsmittel schnell verunreinigt werden, sind längere Einwirkungszeiten sinnvoll; DEJEAN et al. (2007) empfehlen Einwirkzeiten von bis zu zehn Minuten. …
Virkon S ist ein einfach zu transportierendes Pulver, welches bei Bedarf in Wasser gelöst werden kann, jedoch gelöst nur circa eine Woche haltbar ist. Experimente unter realistischen, naturnahen Bedingungen haben gezeigt, dass Virkon S keine negativen Auswirkungen auf Kaulquappen von Rana temporaria und Bufo bufo hat, selbst wenn große Mengen ins Wasser gelangen.„

Virkon S wird als schädlich für Wasserorganismen eingestuft und darf daher nicht ins Gewässer gelangen. Weitere Informationen z. B. unter http://www.karch.ch

Vorgeschlagene Vorgehensweise:

- Stiefel vor der Desinfektion mit Bürste und Wasser von Schlamm etc. reinigen
- Stiefel etc. mit Ethanol einsprühen und dieses Einwirken lassen
- Alternativ Desinfektion mit Virkon S-Lösung in einer Wanne vornehmen
- Sauberes Wasser zum Abspülen des Virkon S von den Stiefeln etc. bereithalten
- Zuhause Stiefel/Kescher gründlich trocknen
- Zweitgarnitur von Stiefeln und Kescher für flexibles Arbeiten im Gelände bereithalten

Literatur:

SCHMIDT, FURRER, KWET, LÖTTERS, RÖDDER, SZTATECSNY, TOBLER & ZUMBACH, 2009: Desinfektion als Maßnahme gegen die Verbreitung der Chytridiomykose bei Amphibien. Zeitschrift für Feldherpetologie, Supplement 15 - Methoden der Feldherpetologie: 229–241.

Ein Erhitzen der Gerätschaften auf 60°C ist eine weitere einfache Methode, die sich zuhause gut, aber bei längeren Freilandaufenthalten meist nicht anwenden lässt. Nur in Ausnahmefällen sollten Desinfektionsmittel eingesetzt und im Anschluß die desinfizierten Schuhe und Gerätschaften in sicherer Entfernung zu Gewässern mit Wasser abgespült werden. 70% Alkohol eignet sich nur für kleine Gegenstände. Javelwasser ist hochgiftig für Amphibien und darf keinesfalls in der Nähe der Untersuchungsgewässer angewendet werden. Schon kleinste Konzentrationen, die in ein Gewässer gelangen, sind für Amphibien tödlich (SCHMIDT et al. 2009a). Das gilt natürlich auch für Anhaftungen an Wasserfallen und Keschern. Zudem nimmt der Wirkungsgrad von Javelwasser mit zunehmender Verunreinigung ab. Von Virkon S scheint in der empfohlenen Konzentration für Kaulquappen keine Gefahr auszugehen (SCHMIDT et al. 2009b, HANGARTNER & LAURILA 2012); für Molchlarven liegen keine Untersuchungen vor. Der Hersteller stuft Virkon S als giftig für Wasserorganismen ein. Das dürfte neben Fischen vor allem Zooplankton betreffen, so dass auch hier größte Vorsicht geboten ist: Zooplankton stellt nicht nur die Nahrungsgrundlage verschiedener Molchlarven dar, sondern ist möglicherweise auch ein wichtiger Gegenspieler von *Bd*. Laboruntersuchungen zeigen, dass Daphnien sich von *Bd* ernähren und ihre Zoosporendichte verringern können (BUCK et al. 2011, WOODHAMS et al. 2011). SCHMIDT et al. (2009b) haben allerdings in einem Mesokosmosversuch keinen negativen Effekte von Virkon S auf die Zooplanktonabundanz gefunden.

Beim Leeren von Wasserfallen sollte man mit bloßen Händen arbeiten, da Kaulquappen nachgewiesenermaßen sehr empfindlich auf Plastikhandschuhe reagieren und durch den Hautkontakt vor allem mit Latexhandschuhen sterben können (CASHINS et al. 2008). Bei frisch metamorphosierten und adulten Amphibien sind keine Beeinträchtigungen bekannt.

Fazit

Da wir bisher sehr wenig darüber wissen, wie gefährlich der Chytridpilz in unseren Breiten ist, welche Stämme bei uns vorkommen und wie weit der gefährliche *Bd*GPL-Stamm verbreitet ist, sollten wir als Biologen alles dafür tun, dass wir **nicht** zur Verbreitung dieser Krankheit beitragen.

Literatur

ADAMS, M. J., GALVAN, S., SCALERA, R., GRIECO, C. & R. SINDACO (2008): *Batrachochytrium dendrobatidis* in amphibian populations in Italy. Herpetological Review **39**: 324-326.

BÖLL, S., TOBLER, U., GEIGER, C. C., HANSBAUER, G. & B. R. SCHMIDT (2012): The amphibian chytrid fungus in Bavarian populations of *Alytes obstetricans*: past absence, current presence, and metamorph mortality. Amphibia-Reptilia **33**: 319-326.

BOSCH, J., MARTINEZ-SOLANO, I. & M. GARCIA-PARIS (2001): Evidence of a chytrid fungus infection involved in the decline of the common midwife toad (*Alytes obstetricans*) in protected areas of Central Spain. Biological Conservation **97**: 331-337.

BOSCH, J., CARRASCAL, L. M., DURÁN, L., WALKER, S. & M. C. FISHER (2007): Climate change and outbreaks of amphibian chytridiomykosis in a montane area of Central Spain; is there a link? Proc. R. Soc. B **274**: 253-260.

BRIGGS, C. J., KNAPP, R. A. & V. T. VREDENBURG (2010): Enzootic and epizootic dynamics of the chytrid fungal pathogen of amphibians. PNAS **107**: 9696-9700.

BUCK, J. C., TRUONG, L. & A. R. BLAUSTEIN (2011): Predation by zooplankton on *Batrachochytrium dendrobatidis*: biological control of the deadly amphibian chytrid fungus? Biodiversity and Conservation **20**: 3549–3553. doi:10.1007/s10531-011-0147-4.

CASHINS, S. D., ALFORD, R. A. & L. F. SKERRATT (2008): Lethal effects of latex, nitrile, and vinyl gloves on tadpoles. Herpetological Review **39**: 298-301.

CUNNINGHAM, A. A., GARNER, T. W. J., AGUILAR-SANCHEZ, V., BANKS, B., FOSTER, J., SAINSBURY, A. W., PERKINS, M., WALKER, S. F., HYATT, A. D. & M. C. FISHER (2005): Emergence of amphibian chytridiomycosis in Britain. Veterinary Record **157**: 386-387.

DAVIDSON, C., BENARD, M.F., SHAFFER, H. B., PARKER, J. M., O'LEARY, C., CONLON, J. M. & L. A. ROLLINS-SMITH (2007): Effects of chytrid and carbaryl exposure on survival, growth and skin peptide defenses in foothill yellow-legged frogs. Environmental Science and Technology **41**: 1771-1776.

FARRER, R. A., WEINERT, L. A., BIELBY, J., GARNER, T. W. J., BALLOUX, F., CLARE, F., BOSCH, J., CUNNINGHAM, A. A., WELDON, C., DU PREEZ, L. H., ANDERSON, L., KOSAKOVSKY POND, S. L., SHAHAR-GOLAN, R., HENK, D. A. & M. C. FISHER (2011): Multiple emergences of genetically diverse amphibian-infecting chytrids include a globalised hypervirulent recombinant lineage. Proc. Nat. Acad. Sci. USA **108**: 18732-18736.

FISHER, M. C., GARNER, T. W. J. & S. F. WALKER (2009): Global emergence of *Batrachochytrium dendrobatidis* and amphibian chytridiomycosis in space, time and host. Annu. Rev. Microbiol. **63**: 291-310.

FISHER, M. C., SCHMIDT, B. R., HENLE, K., SCHMELLER, D., BOSCH, J., AANESEN, D. M., MIAUD, C. & T. W. J. GARNER (2012): RACE: risk assessment of chytridiomycosis to european amphibian biodiversity. Froglog **101**: 45-47.

GARMYN, A., VAN ROOIJ, P., PASMANS, F., HELLEBUYCK, T., VAN DEN BROECK, W., HAESEBROUCK, F. & A. MARTEL (2012): Waterfowl : potential environmental reservoirs of the chytrid fungus *Batrachochytrium dendrobatidis.* Plos ONE **7**: e35038. doi:10.1371/journal.pone.0035038

GARNER, T.W.J., WALKER, S., BOSCH, J., HYATT, A.D., CUNNINGHAM, A.A. & M. C. FISHER (2005): Chytrid fungus in Europe. Emerging infectious diseases **11**: 1639-1641.

GASCON, C., COLLINS, J. P., MOORE, R. D., CHURCH, D. R., MCKAY, J. E. & J. R MENDELSON (eds). (2007): Amphibian Conservation Action Plan. IUCN/SSC Amphibian Specialist Group. Gland, Switzerland and Cambridge, UK. 64 S.

GELDHAUSER, F. & P. GERSTNER. (2003): Der Teichwirt. Parey Verlag. 276. S.

GOKA, K., YOKOYAMA, J., UNE, Y., KUROKI, T., SUZUKI, K., NAKAHARA, M., KOBAYASHI, A., INABA, S., MIZUTANI T. & A. D. HYATT (2009): Amphibian chytridiomycosis in Japan: distribution, haplotypes and possible route of entry into Japan. Mol Ecol **18**: 4757-4774.

HANGARTNER, S. & A. LAURILA (2012): Effect of the disinfectant Virkon S on early life-stages of the moor frog (*Rana arvalis*). Amphibia-Reptilia **33**: 349-353.

JOHNSON, M. L. & R. SPEARE (2003): Survival of *Batrachochytrium dendrobatidis* in water: quarantine and diesease control implications. Emerging Infectious Diseases **9**: 922-925.

JOHNSON, M. L., BERGER, L., PHILIPS, L. & R. SPEARE (2003): Fungicidal effects of chemical disinfectants, UV light, desiccation and heat on the amphibian chytrid *Batrachochytrium dendrobatidis*. Dis. Aquat. Org. **57**: 255-260.

JOHNSON, M. L. & R. SPEARE (2005): Possible modes of dissemination of the amphibian chytrid *Batrachochytrium dendrobatidis* in the environment. Dis. Aquat. Org. **65**: 181–186.

KILPATRICK, A. M., BRIGGS, C. J. & P. DASZAK (2009): The ecology and impact of chytridiomycosis: an emerging disease of amphibians. TREE **1170**: 1-10.

KRIGER, K. M. & J.-M. HERO (2007): Large-scale seasonal variation in the prevalence and severity of chytridiomycosis. J. Zool. **271**: 352-359.

MARTEL, A., SPITZEN-VAN DER SLUIJS, A., ZOLLINGER R., ROOIJ VAN, P., HAESEBROUCK F. & F. PASMANS (2011): Chytridiomycosis in the Netherlands and Belgium: what can we expect? Pianura **27**: 136.

MCMAHON, T., A., BRANNELLY, L. A., CHATFIELD, M. W. H., JOHNSON, P. T. J., JOSEPH, M. B., MCKENZIE V. J., RICHARDS-ZAWACKI, C. L., VENESKY, M. D. & J. R. ROHR (2012): Chytrid fungus *Batrachochytrium dendrobatidis* has nonamphibian hosts and releases chemicals that cause pathology in the absence of infection. PNAS doi:10.1073/pnas.1200592110.

OHST, T., GRÄSER, Y., MUTSCHMANN, F. & J. PLÖTNER (2011): Neue Erkenntnisse zur Gefährdung europäischer Amphibien durch den Hautpilz *Batrachochytrium dendrobatidis*. Zeitschrift für Feldherpetologie **18**: 1-17.

OUELLET, M., MIKAELIAN, I., PAULI, B., RODRIGUE, J. & D. M. GREEN (2004): Historical evidence of widespread chytrid infection in North American populations. Conservation Biology **19**: 1431-1440.

OUELLET, M., DEJEAN, T. & P. GALOIS (2012): Occurrence of the amphibian chytrid fungus *Batrachochytrium dendrobatides* in introduced and native species from two regions of France. Amphibia-Reptilia **33**: 415-422.

PIOTROWSKI, J. S., ANNIS, S. L. & J. E. LONGCORE (2004): Physiology of *Batrachochytrium dendrobatides,* a chytrid pathogen of amphibians. Mycologia **96**: 9-15.

SCALERA, R., AADAMS, M. J. S. GALVAN (2008): Occurrence of *Batrachochytridium dendrobatidis* in amphibian populations in Denmark. Herpetological Review **39**: 199-200.

SCHMIDT, B. R., FURRER, S., KWET, A., LÖTTERS, S., RÖDDER, D., SZTATECSNY, M., TOBLER, U & S. ZUMBACH (2009a): Desinfektion als Maßnahme gegen die Verbreitung der Chytridiomykose bei Amphibien. In: HACHTEL, M., SCHLÜPMANN, M., THIESMEIER, B., WEDDELING, K. (Hrsg.): Methoden der Feldherpetologie. Z. f. Feldherpetologie, Supplement **15**: 229-241.

SCHMIDT, B. R., GEISER, C., PEYER, N., KELER, N. & M. VON RÜTTE (2009b): Assessing wether disinfectants against the fungus *Batrachochytrium dendrobatides* have negative effects on tadpoles and zooplankton. Amphibia-Reptilia **30**: 313-319.

SZTATECSNY, M. & F. GLASER (2011): From the eastern lowlands to the western mountains: first records of the chytrid fungus *Batrachochytrium dendrobatides* in wild amphibian populations from Austria. Herpetological Journal **21**: 87-90.

TOBLER, U. & B. R. SCHMIDT (2010): Within- and among-population variation in chytridiomycosis-induced mortality in the toad *Alytes obstetricans*. PloS ONE **5**: e10927.doi: 10.1371/journal.pone.0010927.

TOBLER, U., BORGULA, A. & B. R. SCHMIDT (2012): Populations of a susceptible amphibian species can grow despite the presence of a pathogenic chytrid fungus. PLoS ONE **7**: e34667. doi:10.1371/journal.pone.0034667.

VENESKY, M. D., PARRIS, M. J. & R. ALTIG (2010): Pathogenicity of *Batrachochytrium dendrobatidis* in larval ambystomatid salamanders, Herpetological Conversation and Biology **5**: 174-182.

WALKER, S. F., BOSCH, J., GOMEZ, V., GARNER, T. W. J., CUNNINGHAM, A. A., SCHMELLER, D. S., NINYEROLA, M., HENK, D. A., GINESTET, C., ARTHUR, C.-P. & M. C. FISHER (2010): Factors driving pathogenity vs. prevalence of amphibian panzootic chytridiomycosis in Iberia. Ecology letters **13**: 372-382.

WOOD, C., GRIFFITHS, R. A. & L. SCHLEY (2009): Amphibian chytridiomycosis in Luxembourg. Bull. Soc. Nt. Luxemb. **110**: 109-114.
WOODHAMS D. C., ALFORD, R. A., BRIGGS, C. J., JOHNSON, M. & L. A. ROLLINS-SMITH (2008): Life-history trade-offs influence disease in changing climates: strategies of an amphibian pathogen. Ecology **89**: 1627-1639.
WOODHAMS D. C., BOSCH, J., BRIGGS, C. J., CASHINS, S., DAVIS, L. R., LAUER, A., MUTHS, E., PUSCHENDORF, R., SCHMIDT, B. R., SHEAFOR, B. & J. VOYLES (2011): Mitigating amphibian disease: strategies to maintain wild populations and control chytridiomycosis. Frontiers in Zoology **8**: 8. doi:10.1186/1742-9994-8-8.
WOODHAMS, D. C., BIGLER, L. & R. MARSCHANG (2012): Tolerance of fungal infection in European water frogs exposed to *Batrachochytrium dendrobatides* after experimental reduction of innate immune defence. BMC Veterinary Research **8**: 197.

Anschrift der Verfasserin:

Dr. Susanne Böll
Fachbüro für Freilandökologie und Naturschutz
In der Setz 10
97218 Gerbrunn

E-mail: susanneboell@gmail.com

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Abhandlungen aus dem Westfälischen Provinzial-Museum für Naturkunde

Jahr/Year: 2014

Band/Volume: 77_2014

Autor(en)/Author(s): Böll Susanne

Artikel/Article: Potentielle Verbreitung des Chytridiomykose-Erregers Batrachochytrium dendrobatidis über Wasserfallen 281-292