

Untersuchung der ökologischen Wachstumsbedingungen des sich auf Fledermäusen ansiedelnden Pilzes *Geomyces destructans*

Von MARCUS FRITZE, THI LAM HUONG PHAM, Berlin, und BERND OHLENDORF, Roßla

Mit 7 Abbildungen

Abstract

Investigation on ecological growth conditions of the fungus *Geomyces destructans* colonizing on bats

The White-Nose Syndrome (WNS) is a dramatic disease affecting bats in Northern America with deadly outcome. Since 2006, more than six million bats have fallen victim to this disease. WNS has been identified to be caused by the white fungal pathogen named *Geomyces destructans* (*Gd*). This white fungus is mostly established at bat snouts and on the wings. In Europe, mainly the bat species *Myotis myotis* is affected by *Gd*. However, in contrast no mortality of infected European bats has been noticed up to date.

In this study, the effects of ecological conditions influencing the growth of *Gd* on bats were investigated. For that issue, *Gd* affected bats were observed in seven mines in Saxony-Anhalt, Germany, with different hibernacula climatic conditions. The hibernacula research revealed strong *Gd* affections on *Myotis myotis* at high air humidity conditions (relative humidity about 100%) and moderate temperatures (between 7 and 10°C). In contrast, hibernacula with both lower temperatures and dryer conditions resulted in no growth of *Gd* on bats.

Laboratory experiments pointed out that *Gd* grows best at 10 to 15°C on different culture media. Experiments on culture media with rock samples, collected from different hibernacula locations, as ingredient showed a strong increased production of *Gd* spore.

Zusammenfassung

Das White-Nose-Syndrom (WNS) ist eine in Nordamerika sich vollziehende epizootische Pilzerkrankung, an der von 2006 bis heute etwa 5,7 bis 6,7 Millionen Fledermäuse gestorben sind. Krankheitsauslöser ist der kälteliebende Schlauchpilz *Geomyces destructans* (*Gd*), der sich auf Fledermäusen während der Überwinterungsphase ansiedelt und nach bisherigen Erkenntnissen wichtige Hautfunktionen der Fledermäuse zerstört.

In Europa wurden ebenfalls überwinternde Fledermäuse entdeckt, die mit *G. destructans* befallen wurden, wobei vor allem das (Große) Mausohr (*Myotis myotis*), nachfolgend nur Mausohr genannt, betroffen ist. Bislang konnte jedoch in Europa kein Fledermaussterben mit *Gd* direkt in Verbindung gebracht werden.

Durch wiederholte Begehungen von sieben bekannten Fledermaus-Winterquartieren im sachsen-anhaltinischen Harz wurde die Stärke des Befalls von *Gd* auf überwinternden Fledermäusen dokumentiert sowie Lufttemperatur- und Luftfeuchtigkeitsdaten gesammelt.

Während der Untersuchung im Zeitraum von Ende Januar bis Anfang April 2012 wurden insgesamt 48 Fledermäuse (davon 19 Mausohren) festgestellt und an vier Begehungen beobachtet. In zwei Quartieren wurden insgesamt 6 Mausohren festgestellt, die mit *Gd* befallen waren. Es wurde festgestellt, dass in den *Gd*-positiven Quartieren höhere Temperatur und Luftfeuchtigkeit herrschten als in denen, wo Mausohren ohne *Gd*-Befall überwinterten. Außerdem wurden weitere Fledermausarten observiert, die gemeinsam mit den Schimmelpilz tragenden Mausohren überwinterten.

In der Laboruntersuchung wurde festgestellt, dass *Gd* bei Temperaturen von 10 und 15 °C am besten wächst. Bei Luftfeuchtigkeitsversuchen (RH von 33 bis 95 %) konnte kein direkter Einfluss der relativen Luftfeuchtigkeit auf das Wachstum von *Gd* festgestellt werden. Bei Experimenten mit Zugabe von Gesteinsmehlen (aus Fledermauswinterquartieren) in Agar-Kulturmedien konnte kein Einfluss auf das Wachstum von *Gd* festgestellt werden. Jedoch wurde festgestellt, dass viele Gesteine die Sporenbildung von *Gd* fördern und somit zu einer erhöhten Dispersion des Pilzes führen können.

Keywords

White-Nose Syndrome (WNS), fungus *Geomyces destructans* (*Gd*), *Myotis myotis*, relative humidity, temperatures, rock.

1 Einleitung

Das White-Nose-Syndrom (WNS) ist eine sich in Nordamerika vollziehende epizootische Pilzerkrankung bei Fledermäusen, an der seit 2006 etwa 5,7 bis 6,7 Millionen Fledermäuse gestorben sind (FROSHAUER & COLEMAN 2012). Krankheitsauslöser ist der kälteliebende Schlauchpilz *Geomyces destructans* (*Gd*) BLEHERT & GARGAS, sp. nov. (BLEHERT et al. 2009),



Abb. 1. Fledermaus-Winterquartiere im sachsen-anhaltinischen Teil des Harzes. Δ: *Gd*-Nachweis; •: bis 2011 kein *Gd*-Nachweis; 1: „Lange Höhle“, 2: „Stollen am Schießstand“, 3: „Hildebrandtstollen“, 4: „Weißer Stahlberg“, 5: „Brauereikeller Burg Arnstein“, 6: „Leinetalstollen“, 7: „Kirchtalstollen“.

der sich auf Fledermäuse während der Überwinterungsphase ansiedelt und nach bisherigen Erkenntnissen wichtige Hautfunktionen der Fledermäuse zerstört (CRYAN et al. 2010, LORCH et al. 2011). *G. destructans* ist nahe verwandt mit dem weltweit verbreiteten Bodenpilz *G. pannorum*, der Hautinfektionen beim Menschen verursacht (CHATURVEDI et al. 2010).

In Europa wurden ebenfalls überwinterte Fledermäuse entdeckt, die mit *G. destructans* befallen waren (WIBBELT et al. 2010). In 12 europäischen Ländern wurde der *Gd* auf fünf Fledermausarten nachgewiesen, wobei vor allem das Mausohr (*Myotis myotis*) betroffen ist (WIBBELT et al. 2010). Bislang konnte jedoch in Europa kein Fledermaussterben mit *Gd* direkt in Verbindung gebracht werden (MARTINKOVA et al. 2010, WIBBELT et al. 2010, PUECHMAILLE et al. 2011), weshalb in Europa nur von einer Pilzbesiedlung gesprochen werden kann, nicht aber vom White-Nose Syndrom (BREITENBACH et al. 2011). WARNECKE et al. (2012) berichteten jedoch, dass der europäische *Gd* sogar eine höhere Pathogenität aufweist als seine amerikanische Variante.

Warum der *Gd*-Befall auf europäischen Fledermäusen im Gegensatz zu nordamerikanischen apathogen ist, ist noch nicht eindeutig geklärt. Die derzeit am häufigsten vertretene Hypothese lautet, dass der Pilz in Europa heimisch ist und durch Verschleppung als neue Art nach Nordamerika kam (WIBBELT et al. 2010, PUECHMAILLE et al. 2011, WARNECKE et al. 2012).

Die vorliegende Untersuchung soll einen Beitrag dazu leisten, ökologische Zusammenhänge zwischen dem Wachstum des *Gd* und seinen entwicklungsfördernden bzw. -limitierenden Faktoren zu erforschen.

Im Rahmen von Fledermauswinterquartierkontrollen im Harz wurde *Gd* bereits in insgesamt 39 von 70 untersuchten Quartieren auf dort überwinterten Mausohren nachgewiesen (OHLENDORF et al. 2011). Da es einige Mausohrwinterquartiere gibt, in denen bisher kein *Gd* sichtbar war, ergab sich die Fragestellung, inwieweit sich diese Aufenthaltsorte von den *Gd*-positiven Quartieren unterscheiden. Dazu wurden Untersuchungen hinsichtlich der höhlenklimatischen Verhältnisse und dem Verhal-

ten der Fledermäuse in sieben Winterquartieren durchgeführt.

Studien belegen, dass ein optimales Wachstum des zu den Ascomyceten gehörenden psychrophilen Saprophyten *G. destructans* bei Temperaturen zwischen 5 und 15 °C zu beobachten ist (GARGAS et al. 2009). Außerdem ist *Gd* offenbar auf eine hohe Luftfeuchtigkeit angewiesen (CRYAN et al. 2010). Wichtig ist auch die Länge der Ruhedauer der Fledermäuse, die der Pilz benötigt, um sich zu entwickeln (PUECHMAILLE et al. 2011, OHLENDORF et al. 2011). Dabei soll auch in Laborexperimenten getestet werden, welchen Einfluss Temperatur und Luftfeuchtigkeit auf das Wachstum von *Gd* haben.

Weiterhin ist es wohl bekannt, dass Mineralien und vor allem der pH-Wert des Nährsubstrats bei der Entwicklung von Mikroorganismen eine entscheidende Rolle spielen (SCHLEGEL 1992). Bei Untersuchungen in den USA und Europa wurde *Gd* sowohl im Bodensubstrat als auch an den Wänden der Winterquartiere nachgewiesen (LINDNER et al. 2011, PUECHMAILLE et al. 2011). Welchen Einfluss diese beiden abiotischen Faktoren auf das Wachstum von *Gd* haben, ist nicht bekannt. So soll untersucht werden, welchen Einfluss Mineralien des Gesteins aus den Winterquartieren auf das Wachstum von *Gd* haben und welche Rolle der pH-Wert des Nährsubstrats dabei spielt.

2 Material und Methoden

2.1 Untersuchung in den Winterquartieren

Im Zeitraum vom 27.01. bis 06.04.2012 erfolgten wiederholte Begehungen von sieben untertägigen, höhlenartigen Fledermaus-Winterquartieren im sachsen-anhaltinischen Teil des Harzes. Die Karte (Abb. 1) gibt einen Überblick über die geographische Lage dieser Quartiere.

Bei den Begehungen der Fledermaus-Winterquartiere wurden alle überwinternden Fledermäuse, ihre Hangplatzwahl sowie ein ersichtlicher Pilzbefall erfasst. Dabei wurden die Fledermäuse nach alphabetischen Buchstaben

individualisiert, die mehrfach im jeweiligen Quartier angetroffen wurden (s. Ergebnisteil). Die Begehungen erfolgten zügig, um Störungen möglichst gering zu halten. Zudem wurden alle genutzten Gerätschaften und Schuhe nach jeder Begehung mit dem Desinfektionsmittel Cutasept® F behandelt, um eine mögliche Verschleppung von Pilzsporen zu verhindern. Die Stärke des Pilzbefalls wurde mittels Sichtbeobachtung bestimmt und in vier Stufen eingeteilt (Abb. 2a–d).

Die Ermittlung der Lufttemperatur in den einzelnen Quartieren wurde mit Hilfe von sieben Dataloggern (KeyTag Logger, Hersteller: KeyLog Recorders® erfasst, die in unmittelbarer Umgebung zu überwinternden Mausohren installiert wurden. Die relative Luftfeuchtigkeit (RH) wurde während der Begehungen mit einem Temperatur-/Feuchtigkeits/Taupunkt-Messgerät VA8010 (Hersteller: V&A®) gemessen.

2.2 Laborexperimente

2.2.1 Kultivierung von *Geomyces destructans*

Die Untersuchungen des angezüchteten *Geomyces destructans* (*Gd*) erfolgten im Mikrobiologie-Labor des Instituts für Ökologie an der TU Berlin. Der Mutterstamm wurde bereits 2010 vom Leibniz-Institut für Zoo- und Wildtierforschung Berlin (Frau Dr. GUDRUN WIBBELT) zur Verfügung gestellt. Die Kultivierung erfolgte auf folgenden Agar-Kulturmedien: CMA (4 % Maismehl; 1,5 % Agar), mCMA (4 % Maismehl; 0,5 % Glucose; 0,15 % Hefeextrakt; 1,5 % Agar), MI (1 % Malzextrakt; 0,4 % Glucose; 0,4 % Hefeextrakt; 1,5 % Agar), MEA (1,7 % Malzextrakt; 1,5 % Agar), mPDA (2,6 % Kartoffelstärke; 0,4 % Glucose; 0,15 % Hefeextrakt; 1,5 % Agar), SA (Sabouraud Agar: 0,15 % Pepton; 4 % Glucose; 1,5 % Agar, pH 5,5).

2.2.2 Wachstumstests

Unter Einfluss verschiedener Umgebungstemperatur (5 °C, 10 °C, 15 °C und 20 °C) wurde das Wachstum von *Gd* auf fünf Agar-Kulturmedien (SA, MI, mCMA, MEA und CMA)



- Geringe Mengen an erkennbarem *Gd*-Befall an der Nase und gelegentlich an den Füßen.



- *Gd*-Befall der gesamten Nasen- und Maulregion und gelegentlich an den Füßen.

Abb. 2 a – d. Befallsstufen auf *Myotis myotis*. Aufnahmen: I, III und IV (OHLENDORF 2011), II (STARRACH 2010).



- Starker *Gd*-Befall der gesamten Nasen- und Maulregion und zusätzlicher Befall der Ohren, Flughäute und Füße.



- Sehr starker *Gd*-Befall der Nasen-, Maul-, Ohrenregion, Flughäute und Füße, Pilzbelag zudem gräulich (wie in Abbildung unteres Tier).

untersucht und in einem 7-Tage-Rhythmus fotodokumentiert. Ebenso wurde der Einfluss der relativen Luftfeuchtigkeit auf das *Gd*-Wachstum bei 10 °C auf drei Agar-Kulturmedien (SA, M1 und mCMA oder mPDA) untersucht. Die jeweils unterschiedlich eingestellte relative Luftfeuchtigkeit (RH in %) für die zwei Versuchsreihen wurde durch fünf gesättigte wässrige Salzlösungen erzeugt (vgl. GREENSPAN 1977). Die mit *Gd* angeimpften Agar-Platten wurden gelagert bei 10 °C in geschlossenen Behältern über den gesättigten wässrigen Salzlösungen (ca. 300 ml) von Kaliumsulfat (RH ~ 95 %), Kaliumchlorid (RH ~ 87 %), Natriumchlorid (RH ~ 76 %), Magnesiumnitrat (RH ~ 58 %) und Magnesiumchlorid (RH ~ 33,5 %).

Auch der Einfluss verschiedener Gesteine auf das Wachstum von *G. destructans* wurde beobachtet. Hierfür wurden zwölf Gesteinsproben aus den unterschiedlichen Winterquartieren im Harz ausgewählt, zu Gesteinsmehl verarbeitet und den Nährmedien (1,20 g, 0,84 g, 0,60 g und 0,36 g pro 30 ml Medium pro Agar-Platte) zugesetzt. Die pH-Werte der Gesteinsmehle wurden in Millipore-Wasser und mit dem pH-Meter 761 Calimatic (Knick®) gemessen.

3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 Verbreitung und zeitliches Auftreten des *Gd*-Befalls

In den untersuchten Quartieren konnten insgesamt 48 Fledermäuse 11 verschiedener Arten kontrolliert werden. Von den 19 erfassten Individuen des Mausohrs wurden sechs Tiere mit *Gd*-Befall beobachtet (Tab. 1). Einzelne Tiere, die während der gesamten Untersuchung wiederholt im jeweiligen Quartier am jeweiligen Hangplatz festgestellt werden konnten oder die bereits markiert waren (Armklammer), wurden zur individuellen Kennzeichnung mit den Buchstaben A–S aufgeführt. Die entsprechende *Gd*-Befallsstufe (I–IV) ist ebenfalls für jedes Individuum aufgeführt.

Im „Leinetalstollen“ und im „Kirchtalstollen“ wurden Mausohren mit *Gd*-Befall festgestellt, während in den anderen Quartieren kein

Gd-Befall sichtbar wurde. Einige der pilztragenden Mausohren befanden sich zwischenzeitlich nicht im Quartier. Des weiteren konnte ermittelt werden, dass sich der *Gd*-Befall, z. B. auf dem Mausohr im „Kirchtalstollen“, innerhalb von 22 Tagen von Null bis zum Stadium IV entwickelte.

Wie die Beobachtungen aus dem „Leinetalstollen“ zeigen, bewirkt das Erwachen der Fledermäuse, dass das *Gd*-Wachstum auf der Haut unterbrochen wird. Wie OHLENDORF et al. (2011) mitteilen, putzen sich die erwachten Fledermäuse ausgiebig und der *Gd* wird somit entfernt. OHLENDORF et al. (2011), PUECHMAILLE et al. (2011) und WIBBELT et al. (2011) gehen davon aus, dass *Gd* besonders häufig auf Mausohren vorkommt, weil diese besonders lange und ausdauernd ruhen und der Pilz somit Zeit hat sich zu entwickeln. Andere Arten erwachen und wechseln hingegen ihre Hangplätze häufiger (BEZEM et al. 1964, DALESZYK 2000, EICHSTÄTT 1997, HAENSEL 1991, HARMATA 1994, KRETSCHMAR 2003 b, KRZANOWSKI 1959, PUNT & PARMA 1964, URBANCZYK 1991, VAN NIEUWENHOVEN 1956, VIERHAUS 1994, alle Quellen zit. in KULZER 2005). Im Untersuchungszeitraum (Ende Januar bis Anfang April) fanden einige Ortswechsel bei Mausohren statt. Es ist bekannt, dass sich Mausohren gegen Ende des Winters (März) in der Nähe zum Stolleneingang sammeln (WIBBELT 2011). Im *Gd*-positiven „Leinetalstollen“ hingen sich die Mausohren viel häufiger um als in den Quartieren „Stollen am Schießstand“ und „Brauereikeller Burg Arnstein“, in denen kein *Gd*-Befall festgestellt wurde. In der vorliegenden Untersuchung wurden Individuen anderer Arten (*Myotis bechsteinii*, *Myotis brandtii*, *Myotis mystacinus*, *Myotis nattereri*, *Rhinolophus hipposideros*) beobachtet, die lange und ausdauernd unter denselben Bedingungen überwintert haben wie die Mausohren, die vom *Gd* befallen waren. Deshalb wird nicht davon ausgegangen, dass der besonders häufige *Gd*-Befall auf Mausohren allein mit der ausdauernden Ruhe dieser Fledermausart zusammenhängt.

Somit stellt sich die Vermutung, dass der häufige Befall der Mausohren der Tier-zu-

Tabelle 1. Ergebnisse der Winterquartierkontrollen. FM = Fledermausspecies/ Individuum A–S, *Gd* = *Gd*-Befallsstufe (I–IV), *M.m.* = *Myotis myotis*, *M.bech.* = *Myotis bechsteinii*, *M.br.* = *Myotis brandtii*, *M.mys.* = *Myotis mystacinus*, *M.nat.* = *Myotis nattereri*, *M.dau.* = *Myotis daubentonii*, *B.bar.* = *Barbastellus barbastellus*, *E.ser.* = *Eptesicus serotinus*, *R.hip.* = *Rhinolophus hipposideros*

Quartier	1. Begehung		2. Begehung		3. Begehung		4. Begehung	
	FM	<i>Gd</i>	FM	<i>Gd</i>	FM	<i>Gd</i>	FM	<i>Gd</i>
Leinetalstollen	<i>M.m.</i> A	I			<i>M.m.</i> A	I		
	<i>M.m.</i> B	I	<i>M.m.</i> B	IV	<i>M.m.</i> B	I		
	<i>M.m.</i> C	0	<i>M.m.</i> C	I				
	<i>M. b.</i> D	0	<i>M. b.</i> D	0	<i>M. b.</i> D	0	<i>M. b.</i> D	0
			<i>M. b.</i> E	0	<i>M. b.</i> E	0		
	<i>M.m.</i>	I	<i>M.m.</i>	IV				
	<i>M.m.</i>	0						
	(<i>n</i> =3)							
	<i>M.n.</i>	0						
Hildebrandtstollen	<i>M.m.</i>	0						
	<i>M.dau.</i>	0						
	(<i>n</i> =2)							
			<i>M. mys.</i> F	0			<i>M. mys.</i> F	0
			<i>M.br.</i>	0				
Brauerreikeller Arnstein					<i>M.m.</i> G	0	<i>M.m.</i> G	0
	Burg							
	<i>M.m.</i> H	0	<i>M.m.</i> H	0	<i>M.m.</i> H	0	-	
	<i>M.m.</i> I	0	<i>M.m.</i> I	0	<i>M.m.</i> I	0		
Kirchtalstollen			<i>M.m.</i>	0				
	<i>M.m.</i> K	0	<i>M.m.</i> K	0	<i>M.m.</i> K	0	<i>M.m.</i> K	IV
	<i>M.m.</i> L	0	<i>M.m.</i> L	0				
			<i>M.spec.</i>	0				
			<i>B.bar.</i>	0				
			<i>R.hip.</i> M	0	<i>R.hip.</i> M	0	<i>R.hip.</i> M	0
			<i>R.hip.</i> N	0			<i>R.hip.</i> N	0
Stollen	am							
Schießstand	<i>M.m.</i> O	0	<i>M.m.</i> O	0	<i>M.m.</i> O	0	<i>M.m.</i> O	0
	<i>M.m.</i> P	0	<i>M.m.</i> P	0	<i>M.m.</i> P	0	<i>M.m.</i> P	0
	<i>M.m.</i> Q	0	<i>M.m.</i> Q	0	<i>M.m.</i> Q	0	<i>M.m.</i> Q	0
	<i>P.pip.</i>	0						
	(<i>n</i> = 10)							
Lange Höhle	-		-		-		-	
Weißer Stahlberg			<i>M.m.</i> R	0	<i>M.m.</i> R	0		
	<i>M.nat.</i> S	0	<i>M.nat.</i> S	0	<i>M.nat.</i> S	0	<i>M.nat.</i> S	0
	<i>M.dau.</i>	0			<i>M.bra</i>	0		
	<i>M. dau.</i>	0						
	<i>M.mys</i>	0						
	<i>M.bra</i>	0						
	<i>E.ser.</i>	0						
	<i>M.nat.</i>	0						

Tier-Übertragung geschuldet ist und *Gd* beim Mausohr verbreitet ist. Der *Gd*-Pilzbefall anderer Fledermausarten könnte durch Spill-over entstehen, wenn sich gemischte Cluster bilden (OHLENDORF et al. 2011). *Rh. hipposideros* bildet als frei hängende Art keine Cluster mit *Myotis myotis*. Bei dieser Art wurde auch noch nie *Gd* festgestellt (vgl. WIBBELT 2011). Des weiteren

wurde eine Luftübertragung der *Gd*-Sporen nicht nachgewiesen (WIBBELT 2011).

Es kann nicht abschließend geklärt werden, warum *Gd* fast ausschließlich auf Mausohren vorkommt, jedoch nicht auf anderen Arten, die sich in unmittelbarer Umgebung befinden. Mausohren weisen eine hohe Quartiertreue

auf (KULZER 2005). Quartiere, in denen bisher kein *Gd* nachgewiesen werden konnte, könnten somit *Gd*-frei sein, weil die gleichen Mausohr-Individuen, die jährlich überwinterten, keine Sporen tragen und das Quartier somit nicht mit *Gd* kontaminiert wurde. Über den Übertragungsweg und die Überdauerung von *Gd*-Sporen (z.B. im Fell der Tiere, während des Sommers) ist bisher wenig bekannt (WIBBELT 2011). Bei Untersuchungen in den USA wurden Fledermäuse in Höhlen eingebracht, in denen im Jahr zuvor Fledermäuse am WNS gestorben sind. Auch die neuen, eingebrachten Tiere starben. Man diskutiert, ob dabei eine Übertragung über die Höhlenwände stattgefunden hat (FRICKS, pers. Mitt. 2010, in BREITENBACH, MARWAN & WIBBELT 2011). Auch PUECHMAILLE et al. (2011) wiesen Sporen in der Höhlenwand nahe einer *Gd*-positiven Stelle nach. Ob dies der tatsächliche Übertragungsweg ist, ist nicht sicher (WIBBELT 2011). Unklar ist auch, wie lange die Sporen überleben können (BREITENBACH, MARWAN & WIBBELT 2011) bzw. ob sie sich im Fell der Tiere über das Jahr hinweg halten und somit übertragen werden (WIBBELT 2011).

Auffällig war im „Leinetalstollen“, dass alle Mausohren während der Überwinterung ihren Hangplatz häufiger wechselten, als in den anderen untersuchten Quartieren. Es ist bekannt, dass diese sich gegen Ende des Winters in die Nähe der kühleren Eingänge der Quartiere ziehen (KULZER 2005) oder durch sich ändernde Wetterbedingungen ihren Platz wechseln. Während der Untersuchung wurde jedoch festgestellt, dass die Tiere, die alle von *Gd* befallen waren, auch mitten im Winter wechselten, während das Stollenklima fast konstant war. In den anderen Stollen wurde ein häufiger Wechsel nicht festgestellt. So stellt sich die Frage, aus welchen Gründen die Mausohren erwachen bzw. ob dieses Verhalten mit dem *Gd*-Befall in Verbindung zu bringen ist, denn es ist auch von den befallenen Tieren in den USA bekannt, dass sie häufiger erwachen, als nicht infizierte Fledermäuse (TURNER & REEDER 2009, zit. in WILLIS et al. 2011, REEDER et al. 2012). Es ist nicht bekannt, ob eine Reaktion (z.B. Juckreiz) ausgelöst wird, wenn das Pilzwachstum weit vorangeschritten ist. Es ist auch möglich,

das *Gd*-befallene Mausohren schneller dehydrieren und zum Trinken erwachen, wie es aus Nordamerika vermutet wird (WARNECKE et al. 2012). Durch das häufige Erwachen wurde bei den nordamerikanischen Fledermäusen festgestellt, dass sie ihre Energiereserven schneller verbrauchen und damit das Verhungern auch zum Tod führen könnte (REICHARD & KUNZ 2009). Ein Gewichtsunterschied zwischen den Mausohren aus befallenen Stollen und denen aus *Gd*-freien Stollen wurde allerdings bisher nicht festgestellt (OHLENDORF & FRITZE 2011, unveröffentl. Daten).

Es ist bisher nicht nachgewiesen worden, ob eine Verletzung der Flügel, die in den USA durch *Gd* herbeigeführt wird (METEYER et al. 2009), in Europa stattfindet (WIBBELT 2011). Man geht deshalb davon aus, dass es unwahrscheinlich ist, dass es zu einer ähnlichen Epidemie durch *G. destructans* in Europa kommt. Des weiteren ist *G. destructans* an europäischen Fledermäusen weit weniger stark ausgeprägt und der Pilz europaweit verbreitet (WIBBELT et al. 2010). Die geringere Verbreitung ist wahrscheinlich auch dem Fakt geschuldet, dass sich in europäischen Winterquartieren nicht annähernd so viele Fledermäuse befinden wie in Nordamerika. Aufgrund der geringeren Individuendichte ist eine Verbreitung der Konidien bzw. Sporen von Tier zu Tier geringer. Trotzdem gewinnt man den Eindruck, dass sich der Pilz offenbar in Ausbreitung befindet. Sicher wurde früher nicht gezielt danach gesucht, jedoch gab es durchaus Fledermausschützer, Wissenschaftler und Höhlenforscher, die zu Ende des Winters die Überwinterungsquartiere kontrolliert haben. Schimmelpilzmeldungen gab es nur wenige, obwohl die mit Schimmelpilz besetzten Fledermäuse auch dem Laien auffallen sollten. Hierbei sollte berücksichtigt werden, dass sich die Mausohrbestände erst in den 1980ern begannen zu erholen und ab Mitte der 1990er Jahre anstiegen, wobei auch die Schimmelpilzmeldungen häufiger wurden (OHLENDORF et al. 2011). Auch die Verbreitung des Pilzes durch Menschen, die aus verschiedenen Motiven immer häufiger Winterquartiere betreten (z.B. zum Zweck der Höhlenforschung, des „Geocaching“ und der Fledermausforschung), ist

anzunehmen (vgl. BREITENBACH, MARWAN & WIBBELT 2011).

FLORY et al. (2012) beschreiben, dass die Fledermäuse in Nordamerika 6 bis 8 Monate überwintern. Die Mortalität der in der Laboruntersuchung mit *Gd* inokulierten Fledermäuse beginnt erst im Januar, d.h. 5 Monate nach der *Gd*-Aussetzung, und die Massenmortalität der im Freien lebenden Fledermäuse in den USA findet sich hauptsächlich von Januar bis April/Mai und am höchsten im März vor (LORCH et al. 2011). In unseren Laborversuchen fanden wir auch, dass der Pilz *G. destructans* langsam auf künstlichen Medien wächst. Offensichtlich benötigt er einen langen Zeitraum, um ausreichende Pilzmyzel zu produzieren, bis er sichtbar wird und/oder Fledermaussterben verursachen kann. In der vorliegenden Untersuchung konnten Mausohren, die einen *Gd*-Befall aufwiesen, nur maximal 41 Tage lang zurückverfolgt werden. Es sollte deshalb geprüft werden, ob *Gd* bei längerer Inkubationszeit auch europäische Fledermäuse schädigen kann. Möglicherweise könnte der europäische Winter zu kurz sein, damit der europäische *Gd* für die heimischen Fledermäuse pathogen werden kann. Solche einzelnen Fälle über das WNS in Europa wurden bereits berichtet, z.B. in der Tschechischen Republik wurden im März 2010 zwei tote *M. myotis*, die charakteristische Merkmale einer *Gd*-Infektion zeigten, und im April 2011, als die Zeit der Winterruhe schon fast vorbei war, bei einem lebenden *M. myotis* mit typischen Verletzungen durch *Gd*-Infektion an Flugmembran und Nase gefunden (PIKULA et al. 2012). WARNECKE et al. (2012) stellten anhand ihren Laborversuchen bereits fest, dass der europäische *Gd* eine höhere Pathogenität aufweist als seine amerikanische Variante. Alle untersuchten amerikanischen Fledermäuse starben nach der Inokulation mit europäischem Isolate *G. destructans* (innerhalb von 71 bis 91 Tagen) früher als nach der Inokulation mit amerikanischen *Gd* (88 bis 114 Tage).

3.2 Einfluss der Temperatur auf das *Gd*-Wachstum

In Laboruntersuchungen wurde das beste *Gd*-Wachstum bei 10 sowie 15 °C und auf dem SA-

Kulturmedium (proteinhaltiges Medium mit hohem Glucose-Gehalt) beobachtet. Das Koloniewachstum erreichte nach 5 Wochen einen Durchmesser von 2 bis 4 cm, nach 12 Wochen von 5 bis 7 cm (s. Abb. 3). Bei 5 °C wächst *Gd* sehr langsam und bei 20 °C ist das Pilzwachstum kaum zu erkennen (Abb. 3). Diese Ergebnisse stimmen mit denen von anderen Autoren weitgehend überein. CHATURVEDI et al. (2010) beschreiben ein gutes *Gd*-Wachstum in Laborversuchen bei 4 und 15 °C. WIBBELT et al. (2010) stellten fest, dass *Gd* bei 4 °C kaum wächst und bei 25 °C gar kein Wachstum erfolgt.

In der Freilanduntersuchung wurden Temperaturunterschiede zu Winterquartieren festgestellt, in denen *Gd* auf Fledermäusen sichtbar wird und wo nicht. Hierfür wurden die Lufttemperaturen der untersuchten Winterquartiere im Zeitraum Mitte Januar bis Anfang April ermittelt (Abb. 4).

Die Überwinterungsstrategie der Fledermäuse besteht darin, Quartiere mit niedrigen Temperaturen aufzusuchen, um ihren Körper im Torpor zu halten und damit Stoffwechselvorgänge drastisch zu reduzieren, sodass die Energiereserven über die Winterperiode hinweg ausreichen (DIETZ, HELVERSEN & NILL 2007). Dabei passt sich die Körpertemperatur der Fledermäuse (im aktiven Zustand: 35 bis 39° C) der Umgebungstemperatur des Winterquartiers an, die für die meisten Fledermausarten im Bereich von 0 bis 10 °C liegt (CRYAN et al. 2010). Die Freilanduntersuchung bestätigt, dass bestimmte Fledermausarten (vor allem *Myotis myotis*) Temperaturbereiche aufsuchen, in denen der *Gd* am besten wachsen kann.

Während die Temperatur im „Leinetalstollen“ konstant 9,2 °C betrug, lagen die Durchschnittstemperaturen im „Kirchtalstollen“ und im „Hildebrandtstollen“ bei 6,9 bzw. 7,1 °C. Im „Leinetalstollen“ und im „Kirchtalstollen“ wurde *Gd* auf sechs überwinternden Mausohren nachgewiesen. Im „Hildebrandtstollen“ ist aufgrund seiner mikroklimatisch günstigen Bedingungen (u. a. Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit) mit zunehmender Fledermausbesiedelung auch mit dem Auftreten von *Gd* zu

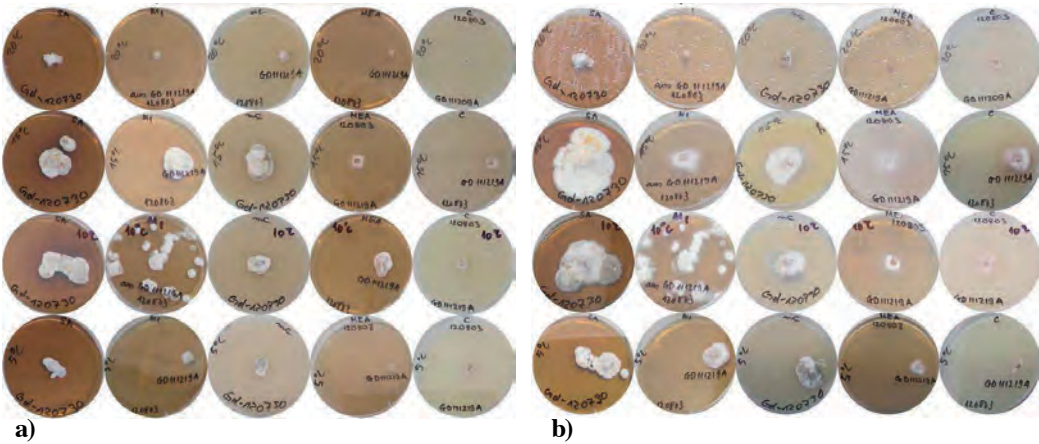


Abb. 3. Einfluss der Temperatur und Kulturmedien auf das Wachstum von *G. destructans*: a) nach 5 Wochen Wachstumszeit, b) nach 12 Wochen Wachstumszeit (oben nach unten: *Gd*-Wachstum bei 20, 15, 10 und 5 °C; links nach rechts: *Gd*-Wachstum auf SA-, M1-, mCMA-, MEA- und CMA-Kulturmedien).

rechnen. Bislang wurde noch kein *Gd*-Befall nachgewiesen. Die Ursache könnte darin liegen, dass der Stollen erst 2011 nach 69 Jahren freigelegt und gesichert wurde und daher noch nicht mit *Gd* kontaminiert sein könnte.

In den Winterquartieren „Stollen am Schießstand“, „Brauereikeller Burg Arnstein“ und „Weißer Stahlberg“ sind niedrigere Durch-

schnittstemperaturen (3,0 bis 5,8 °C) festgestellt worden. In diesen Quartieren wurde auf insgesamt sieben überwinternden Mausohren kein *Gd*-Befall sichtbar. Es kann somit festgestellt werden, dass sich *Gd* in solchen kühlen Quartieren auf Fledermäusen nicht entwickelt oder zumindest so langsam wächst, dass die Zeit der dauerhaften Ruhe der Fledermäuse nicht ausreicht, damit das Pilzwachstum sichtbar wird.

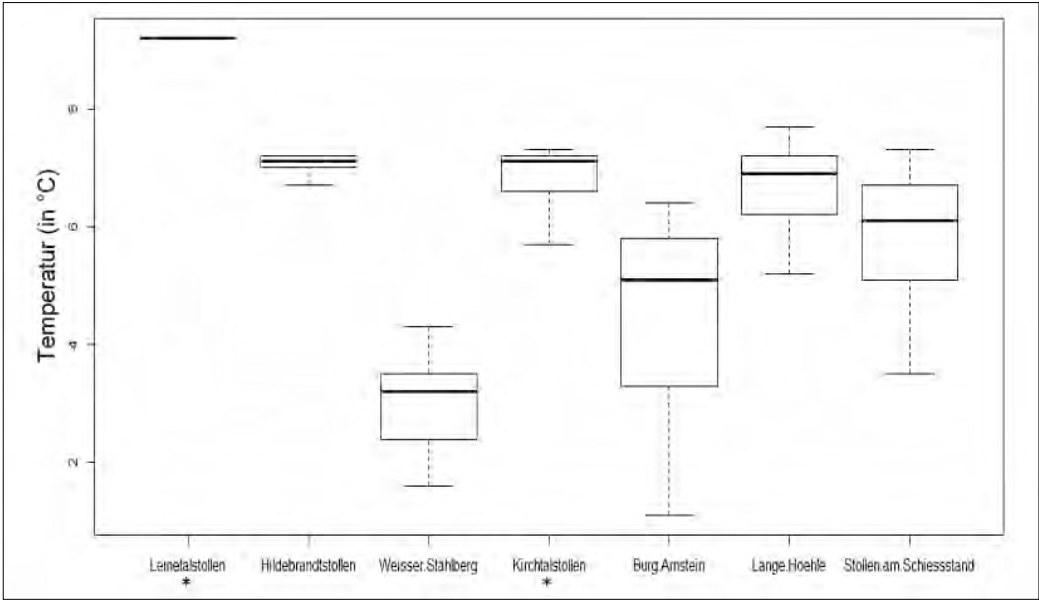


Abb. 4. Lufttemperaturen in den untersuchten Winterquartieren. * Winterquartier mit *Gd* auf *Myotis myotis*.

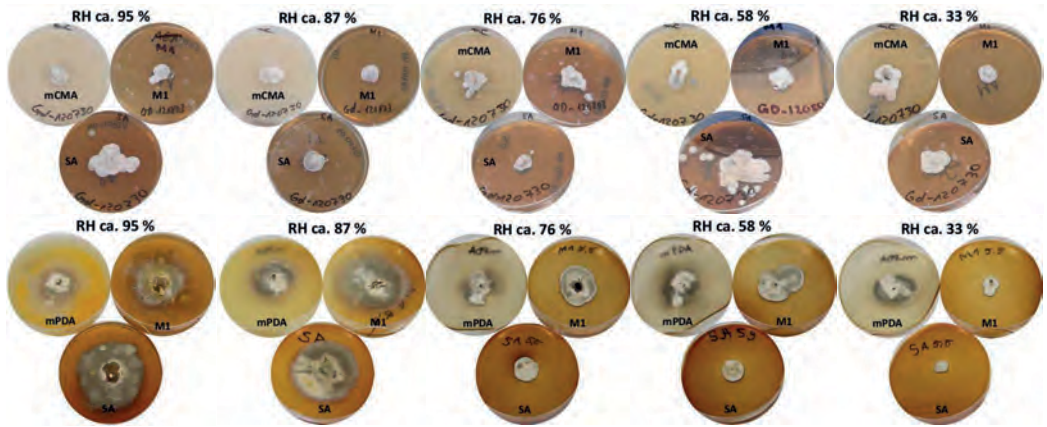


Abb. 5. Einfluss der relativen Luftfeuchtigkeit auf das Wachstum von *G. destructans* auf mCMA, mPDA-, M1- und SA-Kulturmedien (oben: 1. Versuchsreihe nach 5 Wochen Wachstumszeit, unten: 2. Versuchsreihe nach 5 Monaten Wachstumszeit).

Es wurde festgestellt, dass bestimmte Fledermausarten in den USA, die regelmäßig von *Gd* befallen werden, Umgebungstemperaturen von 2 bis 8 °C bevorzugen (WILLIS et al. 2011). In den Ergebnissen aus der vorliegenden Untersuchung im Harz, wurde *Gd* auf Fledermäusen, die bei durchschnittlichen Umgebungstemperaturen unter 6 °C überwintern, nicht nachgewiesen.

Es ist bekannt, dass *Myotis*-Arten besondere klimatische Präferenzzonen in den Winterquartieren haben. Allen voran bevorzugt das Mausohr klimastabile Bereiche (BEZEM et al. 1964, GAISLER 1970 und 1971 b, NAGEL & NAGEL 1991, WEBB et al. 1996, alle Quellen zit. in KULZER 2005) mit Umgebungstemperaturen von 6 bis 12 °C (DIETZ, HELVERSEN & NILL 2007). Dieser Temperaturbereich liegt auch im Wachstumsoptimum des *Gd*. Offensichtlich trägt dieser Temperaturfaktor erheblich dazu bei, dass der Pilz deshalb besonders häufig auf Mausohren nachgewiesen werden kann. Große Bartfledermäuse (*Myotis brandtii*), Kleine Bartfledermäuse (*Myotis mystacinus*), Wasserfledermäuse (*Myotis daubentonii*), Fransenfledermäuse (*Myotis nattereri*), Bechsteinfledermäuse (*Myotis bechsteinii*) und Teichfledermäuse (*Myotis dasycneme*) überwintern in Temperaturbereichen, ähnlich denen des Mausohrs (BEZEM et al. 1964, GAISLER 1970 und 1971 b, NAGEL & NAGEL 1991, WEBB et al.

1996, alle Quellen zit. in KULZER 2005), wobei die Kleine und die Große Bartfledermaus meist in eher kühleren Felsquartieren überwintern. Bis auf die Fransenfledermäuse wurde bei diesen Arten bereits *Gd* nachgewiesen (WIBBELT 2011). Die Ergebnisse der vorliegenden Freilandstudie bestätigen, dass diese Arten auch oft zusammen mit Mausohren überwinterten, jedoch wurde bei dieser Untersuchung kein *Gd*-Befall festgestellt. Aus dem Harz liegen bislang drei *Gd*-Belege von anderen Fledermausarten vor: Wasserfledermaus 2009/10, Große Bartfledermaus 2010/11 (OHLENDORF et al. 2011) und Kleine Bartfledermaus 2011/12.

Einige andere Fledermausarten, wie z.B. Mopsfledermäuse (*Barbastella barbastellus*), Breitflügelfledermäuse (*Eptesicus serotinus*), Nordfledermäuse (*Eptesicus nissonii*) und Zwergfledermäuse (*Pipistrellus pipistrellus*) sind auf kühle und trockenere Felsquartiere angewiesen und verweilen meist nicht so lange in den Quartieren wie das Mausohr. Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wurde bei diesen Arten kein *Gd*-Befall festgestellt.

3.3 Einfluss der Luftfeuchtigkeit auf das *Gd*-Wachstum

Einige Autoren beschreiben, dass *Gd* an eine hohe Luftfeuchtigkeit gebunden sei (vgl.

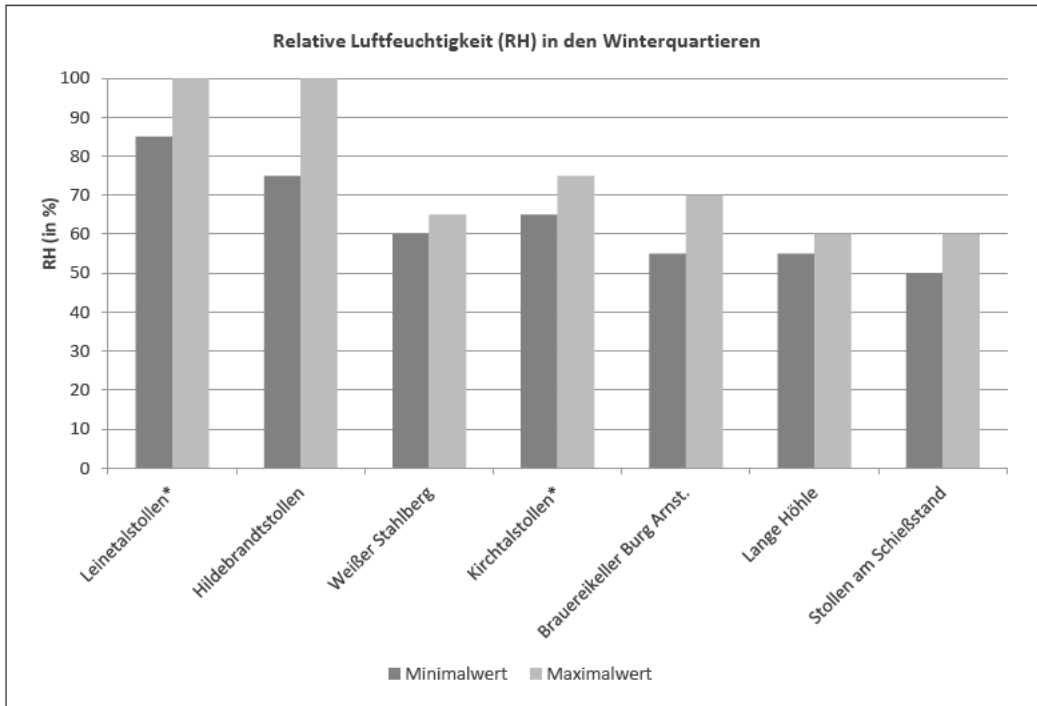


Abb. 6. Relative Luftfeuchtigkeit (RH) in den Fledermaus-Winterquartieren im Untersuchungszeitraum (Mitte Januar bis Anfang April), * Winterquartier mit *Gd* auf *Myotis myotis*.

CRYAN et al. 2010, WILLIS et al. 2011 PUECHMAILLE et al. 2011, FOLEY et al. 2011). In unserem Laborexperiment wurde das Wachstum von *Gd* bei fünf (durch gesättigte wässrige Salzlösungen induzierten) unterschiedlichen relativen Luftfeuchtigkeiten (RH bei etwa 33, 58, 76, 87 und 95 %) beobachtet, wobei der Pilz *Gd* sehr unterschiedlich wuchs. In der 1. Versuchsreihe konnte nach 5 Wochen Wachstumszeit kein Zusammenhang zwischen der RH und dem Pilzwachstum festgestellt werden (s. Abb. 5). Das liegt wahrscheinlich daran, dass die Agar-Kulturmedien selbst einen hohen Wasseranteil besitzen und offensichtlich den Wasserbedarf des Pilzes in der kurzen Versuchszeit ausreichend decken. Daher zeigte die relative Luftfeuchtigkeit in dieser 5-wöchigen Versuchszeit keinen eindeutigen Einfluss. In der 2. Versuchsreihe wurde nach einer Wachstumszeit von mehreren Monaten ein eindeutiger Wachstumsunterschied in Abhängigkeit von der (durch gesättigte wässrige Salzlösungen induzierten) Luftfeuchtigkeit beobachtet (s. Abb. 5).

Die Luftfeuchtigkeit ist neben der Temperatur der zweitwichtigste ökologische Faktor für den Winterschlaf der Fledermäuse (KULZER 2005). Um die Gefahr der Austrocknung zu vermeiden, suchen sich Fledermäuse Winter-schlafplätze mit einer Umgebungsluftfeuchtigkeit von 60 bis 100 % (CRYAN et al. 2010), was in der vorliegenden Freiland-Studie bestätigt werden kann. Laut KULZER (2005) favorisieren *Myotis*-Arten sogar eine relative Luftfeuchtigkeit von 85 bis 100 %. In dieser Untersuchung betrugen die Luftfeuchtigkeitswerte in der Umgebung von überwinternden *Myotis myotis* zuweilen 50 bis 100 %. Vermutlich sind die niedrigen Werte als Extrembeispiele anzusehen, da die meisten Mausohren auch während dieser Studie bei einer deutlich höheren Luftfeuchtigkeit überwinternten. Im Quartier „Lange Höhle“ wurden keine überwinternden Fledermäuse festgestellt. Vermutlich ist dieses Quartier aufgrund der Trockenheit für die Überwinterung von Fledermäusen ungeeignet. In den Quartieren „Brauereikeller Burg Arnstein“, „Stollen am Schießstand“ und „Weißer Stahlberg“, wo



Abb. 7. Wachstumstest von *Gd* unter Zugabe von Schiefer-Gesteinsmehl auf SA- und mCMA-Kulturmedium: obere Reihe: SA-Medium; untere Reihe: mCMA-Medium; 12 Wochen Wachstumszeit; links: *Gd* auf M1-, mCMA- und SA-Medium ohne Zusatz von Schiefermehl; rechts nach links: *Gd* auf SA- und mCMA-Medium unter Zugabe von Schiefermehl (S-100: 1,20 g; S-70: 0,84 g; S-50: 0,60 g, und S-30: 0,36 g Schiefermehl pro Agar-Platte).

Mausohren an relativ trockenen Hangplätzen überwinterten (50 bis 70 % LF), wurde auf sieben Individuen kein *Gd*-Befall gefunden. Dagegen wurde im Quartier „Leinetalstollen“, wo die Luftfeuchtigkeit am höchsten war (85 bis 100 %), auf 11 von 14 überwinterten Mausohren ein *Gd*-Befall festgestellt. Im „Kirchtalstollen“, wo nur ein *Gd*-positives Mausohr ganz zum Ende der Winterphase gefunden wurde, betrug die relative Luftfeuchte 65 bis 75 %. Es könnte vermutet werden, dass eine trockene Umgebung für das Pilzwachstum ungünstig ist und er deshalb nicht gedeihen kann oder langsamer wächst. Die Länge des Winterschlafs der Fledermäuse ist offensichtlich von Bedeutung, damit der Pilz sich entwickeln kann und dadurch sichtbar wird. Es wurde beobachtet, dass sich die *Gd*-Entwicklung in dem eher trockeneren Quartier „Kirchtalstollen“ ziemlich schnell vollzog, da der Pilz innerhalb von 22 Tagen von nicht sichtbar bis zum Stadium IV reifte. Die drei Stollen, in denen kein *Gd*-Befall auf Mausohren festgestellt wurde, wiesen neben der geringeren Luftfeuchte auch niedrigere Temperaturen auf als die beiden *Gd*-positiven Quartiere. Deshalb wird vermutet, dass die niedrige Luftfeuchtigkeit nicht von entscheidendem Einfluss ist, sondern die Temperatur. In wärmeren Winterquartieren ist die Luftfeuchtigkeit in der Regel höher, da mit einer Temperaturerhöhung eine höhere Verdunstung des Wassers einhergeht. Auch GRIENEISEN (2011) hatte ähnliche Zusammenhänge von

Temperatur und Luftfeuchtigkeit in Fledermauswinterquartieren wie in der vorliegenden Untersuchung beschrieben. Nur in wenigen Beispielen sind solche Quartiere trocken, wie in der „Langen Höhle“, wo aufgrund des Gesteinsaufbaus der Wassergehalt insgesamt sehr niedrig ist, da Kreidesandstein Wasser absorbiert.

Fledermäuse verdunsten durch ihre Haut und über die Lungenatmung Wasser (evaporativer Wasserverlust). Somit entsteht ein feuchtes Milieu direkt über der Haut bzw. an den Nasenlöchern. Arten, die in einer sehr feuchten Umgebung (bis zu 100 %) überwintern, weisen einen höheren evaporativen Wasserverlust auf als Arten, die in einer trockeneren Umgebung überwintern (CRYAN et al. 2010). So wird bei *Myotis lucifugus* in den USA vermutet, dass diese Art besonders vom *Gd*-Befall betroffen ist, da sie während der Überwinterung einen hohen evaporativen Wasserverlust aufweist (CRYAN et al. 2010, WILLIS et al. 2011). Andere Fledermausarten, die eine geringere Verdunstung aufweisen, werden weniger befallen. Laut einer amerikanischen Studie wird bei Fransenfledermäusen ein geringer evaporativer Wasserverlust bereits mit dem geringeren *Gd*-Infektionsrisiko in Verbindung gebracht (WILLIS et al. 2011). Dies könnte auch eine Erklärung dafür sein, warum die in der vorliegenden Arbeit beobachteten Fledermausarten, die in direkter Umgebung zu den Mausohren über-

winterten und genau so lange an ihrem Platz hingen, keinen *Gd*-Befall aufwiesen. Auffällig waren in dieser Untersuchung unter anderem zwei Bechsteinfledermäuse, die sich in dem hoch *Gd*-kontaminierten „Leinetalstollen“ in der Nähe der befallenen Mausohren sehr lange aufhielten. Diese wiesen, wie schon in den Vorjahren 2011 und 2010 beobachtet (OHLENDORF et al. 2011), keinen *Gd*-Befall auf. Das Mikromillieu auf der Haut dieser Arten, z.B. Fransenfledermäuse (*Myotis nattereri*), Bechsteinfledermäuse (*Myotis bechsteinii*) etc., könnte zu trocken sein, als dass sich *Gd* dort ausbreitet. Die geringere Verdunstungsrate bestimmter Fledermausarten wurde sowohl in humider als auch arider Umgebung festgestellt (CRYAN et al. 2010, WILLIS et al. 2011). Auch der Laborversuch der vorliegenden Arbeit gibt Grund zu der Annahme, dass die Feuchtigkeit des Kulturmediums bzw. der Haut eine größere Bedeutung zukommt, als zunächst die relative Luftfeuchtigkeit der Umgebung. Jedoch wird davon ausgegangen, dass sich eine höhere Luftfeuchtigkeit positiv auf das Wachstum des *Gd* auswirkt. Dies würde auch erklären, warum *Gd* in der Regel zuerst an der Nasenspitze auftritt, wo die feuchtwarme Atemluft der Fledermäuse austritt. Es wird deshalb nicht davon ausgegangen, dass die Luftfeuchtigkeit eine entscheidende Rolle beim *Gd*-Befall von Fledermäusen spielt, wie einige Autoren beschreiben, sondern das Wachstum des Pilzes fördert. Abb. 6 zeigt die Messwerte der relativen Luftfeuchtigkeit im Untersuchungszeitraum (Ende Januar bis Anfang April) in den Winterquartieren.

3.4 *Gd*-Wachstum unter Einfluss verschiedener Substrate und Nährstoffe

In den Laborexperimenten der vorliegenden Arbeit wurde untersucht, welchen Einfluss verschiedene Gesteine aus Fledermauswinterquartieren und darin enthaltene Mineralien auf das Wachstum von *Gd* haben. Es wurden dabei Gesteinsmehle in unterschiedlichen Konzentrationen den SA-, M1, mCMA- oder mPDA-Kulturmedien zugesetzt. Dabei wurde festgestellt, dass der Pilz auf vielen Medien weitgehend unabhängig von den Konzentrationen der Ge-

steinsmehle wächst. Ein eindeutiger Zusammenhang zwischen dem Einfluss der Gesteine auf das klonale Wachstum von *Gd* konnte nicht festgestellt werden. Jedoch fiel die starke Ausbreitung von *Gd* bei den Gesteinsmehl-Medien mit Keratophyr, Brauneisen/Kalkeisen, Beton, Gips und Schiefer (Abb. 7) auf.

Diese Ausbreitung entsteht, wenn *Gd* Sporen bildet und diese sich auf dem Medium verteilen. Bei den Proben mit Kreidesandstein, Tonschiefer, Calzit, Arkose, Brauneisen, Schalstein, Porphyry war die Verteilung auf den Medien deutlich geringer, so dass von einer geringeren Sporenbildung ausgegangen wird. Bei vielen Agar-Kulturplatten mit Gesteinsmehl wurde eine Graufärbung des *Gd*-Bewuchses festgestellt. Diese Graufärbung deutet auf eine Sporenproduktion hin, da Sporen eine große Menge proteinreichen Materials besitzen und dadurch eine hohe Lichtbrechung verursachen. Die Sporenbildung wird ausgelöst, wenn dem Pilz Nährstoffe fehlen oder wenn sich unter günstigen Bedingungen, wie im Laborversuch, Stoffwechselprodukte anhäufen (SCHLEGEL 1992). PUECHMAILLE et al. (2010) beobachtete diese Grauverfärbung mit zunehmender Alterung und Sporenproduktion des Pilzes in Laborversuchen. Dies erklärt auch die Graufärbung in der Befallsstufe IV dieser Untersuchung.

Es ist wohlbekannt, dass die Ernährung von Mikroorganismen in erster Linie von Kohlenstoff, Energiequellen und Mineralien abhängt (SCHLEGEL 1992). In unseren Versuchen kann eine Förderung der Sporenbildung und des Wachstums des *G. destructans* auf protein- und mono- sowie disaccharid-haltigen Kulturmedien (wie SA und M1) und/oder unter Zugabe von Gesteinsmehlen (d.h. Mineralien) festgestellt werden. Offensichtlich tragen einige dieser im Gestein enthaltenen Minerale zur optimalen Ernährung von *Gd* bei. Im Rahmen dieser Untersuchung konnte nicht geklärt werden, welche Mineralien einen Einfluss auf die *Gd*-Proben haben. Die gesteinspezifische Zusammensetzung ist sehr vom Fundort abhängig und bedarf somit einer genaueren chemisch-physikalischen Untersuchung.

Pilze bevorzugen niedrigere pH-Werte (SCHLEGEL 1992). In dieser Untersuchung konnte jedoch festgestellt werden, dass *Gd* bis nach 12 Wochen bei unterschiedlichen pH-Werten nahezu gleich gut anwuchs. Auch die pH-Werte der Gesteine wurden gemessen, wobei selbst bei sehr basischen Gesteinsproben (Calzit, Keratophyr, Beton) kein Unterschied des *Gd*-Wachstums zu der sauren Gesteinsprobe (Arcoise) zu verzeichnen ist. Auch bei Wachstumstest, bei denen Agar-Medien mit pH-Werten von 3,5 bis 8,5 hergestellt wurden, konnten keine eindeutigen Unterschiede hinsichtlich des Wachstums in Abhängigkeit vom pH-Wert beobachtet werden (s. FRITZE, PHAM & ZASPEL, S. 324-328 im gleichen Heft).

Anmerkung

Im Winter 2011/12 wurde gegenüber dem Winter 2010/11 ein deutlich geringerer *Gd*-Befall beim Mausohr festgestellt. November und Dezember 2011 waren sehr mild und in den Felsquartieren im Harz erfolgte nur zögerlich eine Besiedlung durch Fledermäuse. November und die erste Hälfte des Dezembers 2012 waren kalt und schneereich. Der erste Nachweis von *Gd* wurde bereits am 04.01.2013 erbracht.

Danksagung

Besonderer Dank gilt Frau Dr. GUDRUN WIBBELT (Leibniz-Institut für Zoo- und Wildtierforschung Berlin) für die Bereitstellung des Stammes *Geomyces destructans* und die vielen hilfreichen Tipps und Hinweise. Weiterer Dank gilt Frau Dipl. Ing. THANH DAM HUYNH (Technische Universität Berlin) für die tatkräftige Unterstützung bei den Laborarbeiten sowie ERIC FRITZE, Roßla, für die Unterstützung bei Datenbeschaffung der Freiland-Studie. MARCUS FRITZE bedankt sich bei Frau Dipl. Biol. JULIANE SCHATZ, Greifswald/Riems, für die hilfreichen Anregungen.

Schrifttum

- BLEHERT, D. S., HICKS, A. C., BEHR, M., METEYER, C. U., BERLOWSKI-ZIER, B. M., BUCKLES, E. L., COLEMAN, J. T. H., DARLING, S. R., GARGAS, A., NIVER, R., OKONIEWSKI, J. C., RUDD, R. J., & STONE, W. B. (2009): Bat White-Nose Syndrome: An Emerging Fungal Pathogen? *Science* **323**, 227.
- BREITENBACH, S., MARWAN, N., & WIBBELT, G. (2011): Weißnasensyndrom in Nordamerika - Pilzbesiedelung in Europa. *Nyctalus (N.F.)* **16**, 172-179.
- CHATURVEDI, V., SPRINGER, D. J., BEHR, M. J., RAMANI, R., LI, X.-J., PECK, M. K., REN, P., BOPP, D. J., WOOD, B., SAMSONOFF, W. A., BUTCHKOSKI, C. M., HICKS, A. C., STONE, W. B., RUDD, R. J., & CHATURVEDI, S. (2010): Morphological and Molecular Characterizations of Psychrophilic Fungus *Geomyces destructans* from New York Bats with White Nose Syndrome (WNS). *PloS ONE*, Vol. **5**, Issue 5, 1-12.
- CRYAN, P. M., METEYER, C. U., BOYLES, J. G., & BLEHERT, D. S. (2010): Wing pathology of white-nose syndrome in bats suggests life-threatening disruption of physiology. *BMC Biology*, Vol. **8**, Issue 135, 1-8.
- DIETZ, C., VON HELVERSEN, O., & NILL, D. (2007): Handbuch der Fledermäuse Europas und Nordwestafrikas. Kosmos Naturführer. Kosmos-Verlags GmbH & Co. KG, Stuttgart (399 pp.).
- FLORY, A. R., KUMAR, S., STOHLGREN, T. J., & CRYAN, P. M. (2012): Environmental conditions associated with bat white-nose syndrome mortality in the north-eastern United States. *Journal of Applied Ecology* (2012), Vol. **49**, 680-689.
- FOLEY, J., CLIFFORD, D., CASTLE, K., CRYAN, P., & OSTFELD, R. S. (2010): Investigating and Managing the Rapid Emergence of White-Nose Syndrome, a Novel, Fatal, Infectious Disease of Hibernating Bats. *Conservation Biology*, Vol. **25**, Nr. 2, 223-231.
- FRICK, W. F., POLLOCK, J. F., HICKS, A. C., LANGWIG, K. E., D. REYNOLDS, S., TURNER, G., BUTCHKOSKI, C. M., & KUNZ, T. H. (2010): An Emerging Disease Causes Regional Population Collapse of a Common North American Bat Species. *Science* **329**, 679-682.
- FROSHAUER, A., & COLEMAN, J. (2012): North American bat death toll exceeds 5.5 million from white-nose syndrome. News Release, U.S. Fish & Wildlife Service, 1-2. URL: http://www.fws.gov/whitenosesyndrome/pdf/WNS_Mortality_2012_NR_FINAL.pdf (Abruf: 07.08.2012).
- GARGAS, A., TREST, M. T., CHRISTENSEN, M., VOLK, T. J., & BLEHERT, D. S. (2009): *Geomyces destructans* sp. nov. associated with bat white-nose syndrome. *Mycotaxon* **108**, 147-154.
- GREENSPAN, L. (1977): Humidity fixed points of binary saturated aqueous solutions. *Journal of Research (1977)*, National Bureau of Standards, 89-96.
- GRIENEISEN, L. (2011): Hibernacula Microclimate and White-nose Syndrome Susceptibility in the Little Brown Myotis (*Myotis lucifugus*). Master Thesis, Bucknell Digital Commons, Bucknell University.
- KULZER, E. (2005): Chiroptera. Teilband 62, In: Handbuch der Zoologie. Bd. **VIII** Mammalia, M. S. Fischer & H. Schliemann (Hrsg.), Walter de Gruyter GmbH & Co. KG, Berlin (250 pp.).
- LINDNER, D. L., GARGAS, A., LORCH, J. M., BANIK, M. T., GLAESER, J., KUNZ, T. H., & BLEHERT, D. S. (2011): DNA-based detection of the fungal pathogen *Geomyces destructans* in soils from bat hibernacula. *Mycologia* **103/2**, 241-246.
- LORCH, J. M., METEYER, C. U., BEHR, M. J., BOYLES, J. G., CRYAN, P. M., HICKS, A. C., BALLMANN, A. E., COLEMAN, J. T. H., REDELL, D. N., REEDER, D. M., & BLEHERT, D. S. (2011): Experimental infection of bats with *Geomyces destructans* causes white-nose syndrome. *Nature* **480**, 376-378.
- METEYER, C. U., BUCKLES, E. L., BLEHERT, D. S., HICKS, A. C., GREEN, D. E., SHEARN-BOCHSLER, V., THOMAS,

- N. J., GARGAS, A., & BEHR, M. J. (2009): Histopathologic criteria to confirm white-nose syndrome in bats. *Journ. Veterinary Diagnostic Investigation* 21, 411-414.
- MARTÍNKOVÁ, N., BAČKOR, P., BARTONIČKA, T., BLAŽKOVÁ, P., ČERVENÝ, J., FALTEISEK, J., GAISLER, J., HANZAL, V., HORÁČEK, D., HUBÁLEK, Z., JAHELKOVÁ, H., KOLÁŘÍK, M., KORYTÁR, L., KUBÁTOVÁ, A., LEHOTSKÁ, B., LEHOTSKÝ, R., LUČAN, R. K., MÁJEK, O., MATĚJŮ, J., ŘEHÁK, Z., ŠAFÁŘ, J., TÁJEK, P., TKADLEC, E., UHRIN, M., WAGNER, L., WEINFURTOVÁ, D., ZIMA, J., ZUKAL J., & HORÁČEK, I. (2010): Increasing Incidence of *Geomyces destructans* Fungus in Bats from the Czech Republic and Slovakia. *PLoS ONE*, Vol. 5, Issue 11, 1-7. URL: <http://www.plosone.org/article/info:doi%2F10.1371%2Fjournal.pone.0013853> (letzter Abruf: 25.08.2012).
- OHLENDORF, B., FRITZE, M., RUPSCH, C., TEUMER, C., BROCKMANN, D. (2011): Zum Vorkommen von *Geomyces destructans* bei Fledermäusen in Sachsen-Anhalt. *Nyctalus (N.F.)* 16, 186-196.
- PIKULA, J., BANDOUCHOVA, H., NOVOTNÝ, L., U. METEYER, C., ZUKAL, J., IRWIN, N. R., ZIMA, J., & MARTÍNKOVÁ, N. (2012): Histopathology Confirms White-Nose Syndrome in Bats in Europe. *Journ. Wildlife Diseases*, Vol. 48/1, 207-211.
- PUECHMAILLE, S. J., WIBBELT, G., KORN, V., FULLER, H., FORGET, F., MÜHLDORFER, K., KURTH, A., BOGDANOWICZ, W., BOREL, C., BOSCH, T., CHEREZY, T., DREBET, M., GÖRFÖL, T., HAARSMAN, A.-J., HERHAUS, F., HALLART, G., HAMMER, M., JUNGSMANN, C., LE BRIS, Y., LUTSAR, L., MASING, M., MULKENS, B., PASSIOR, K., STARRACH, M., WOJTASZEWSKI, A., ZÖPHEL, U., & TEELING, E. C. (2011): Pan-European Distribution of White-Nose Syndrome Fungus (*Geomyces destructans*) Not Associated with Mass Mortality. *PLoS ONE*, Vol. 6, Issue 4, 1-11. URL: <http://www.plosone.org/article/info%3Adoi%2F10.1371%2Fjournal.pone.0019167> (letzter Abruf: 25.09.2012).
- PUECHMAILLE, S. J., VERDEYROUX, P., FULLER, H., AR GOUILH, M., BEKAERT, M., & TEELING, E. C. (2010): White-Nose Syndrome Fungus (*Geomyces destructans*) in Bat, France. *Emerging Infectious Diseases* 16/2, 290-293.
- REEDER, D. M., FRANK, C. L., TURNER, G. G., METEYER, C. U., KURTA, A., BRITZKE, E. R., VODZAK, M. E., DARLING, S. R., STIHLER, C. W., HICKS, A. C., JACOB, R., GRIENEISEN, L. E., BROWNLEE, S. A., MULLER, L. K., & BLEHERT, D. S. (2012): Frequent Arousal from Hibernation Linked to Severity of Infection and Mortality in Bats with White-Nose Syndrome. *PLoS ONE* (2012), Vol. 7, Issue 6, S. 1-10. URL: <http://www.plosone.org/article/info%3Adoi%2F10.1371%2Fjournal.pone.0038920> (letzter Abruf: 04.04.2013).
- REICHARD, J. D., & KUNZ, T. H. (2009): White-nose syndrome inflicts lasting injuries to the wings of little brown myotis (*Myotis lucifugus*). *Acta Chiropterologica* 11/2, 457-464.
- SCHLEGEL, H. G. (Hrsg.), Zaborosch, C. (1992): *Allgemeine Mikrobiologie*. 7. überarb. Aufl., Georg Thieme Verlag. Stuttgart (643 pp.).
- WARNECKE, L., TURNER, J. M., BOLLINGER, T. K., LORCH, J. M., MISRA, V., CRYAN, P. M., WIBBELT, G., BLEHERT, D. S., & WILLIS, C. K. R. (2012): Inoculation of bats with European *Geomyces destructans* supports the novel pathogen hypothesis for the origin of white-nose syndrome. *Proc. Nat. Acad. Sciences* (2012), 1-5.
- WIBBELT, G. (2011): Verbreitung des Pilzes *Geomyces destructans* in Fledermaus-Winterquartieren in Deutschland. *Nyctalus (N.F.)* 16, 180-185.
- , KURTH, A., HELLMANN, D., WEISHAAR, M., BARLOW, A., VEITH, M., PRÜGER, J., GÖRFÖL, T., GROSCHKE, L., BONTADINA, F., ZÖPHEL, U., SEIDL, H.-P., CRYAN, P. M., & BLEHERT, D. S. (2010): White-Nose Syndrome Fungus (*Geomyces destructans*) in Bats, Europe. *Emerging Infectious Diseases*, Vol. 16, No. 8, 1237-1242. URL: <http://edoc.rki.de/oa/articles/reOrlQ7Rr93E/PDF/280bB1Bhxu7bE.pdf> (letzter Abruf: 25.08.12).
- WILLIS, C. K. R., MENZIES, A. K., BOYLES, J. G., & WOJCIECHOWSKI, M. S. (2011): Evaporative Water Loss is a plausible Explanation for Mortality of Bats from White-Nose Syndrome. *Integrative and Comparative Biology* Vol. 51(3), 364-373.

MARCUS FRITZE, Sekr. BH 9-2, Institut für Ökologie, Technische Universität Berlin, Ernst-Reuter-Platz 1, D-10587 Berlin; E-Mail: marcus_fritze@gmx.de

THI LAM HUONG PHAM, Sekr. BH 9-2, Institut für Ökologie, Technische Universität Berlin, Ernst-Reuter-Platz 1, D-10587 Berlin; E-Mail: lamhuong.pham@tu-berlin.de

BERND OHLENDORF, Landesreferenzstelle für Fledermausschutz Sachsen-Anhalt im Biosphärenreservat Karstlandschaft Südharz, Hallesche Straße 68, D-06536 Südharz/OT Roßla; E-Mail: Bernd.Ohlendorf@bioressh.mlu.sachsen-anhalt.de