

Biofilme mit Amöben, Bakterien und Pilzen im gebauten Umfeld des Menschen

Wolfgang Karl Hofbauer

*Univ.-Prof. (em.) Dr.-Ing. habil. Dr. h.c. mult. Dr. E.h. mult. Karl Gertis
zum 80. Geburtstag gewidmet*



Biofilme mit Amöben, Bakterien und Pilzen im gebauten Umfeld des Menschen

Wolfgang Karl Hofbauer

Bei mikrobiellen Untersuchungen von verschiedenen biogenen schwarzen Verfärbungen von Wasserleitungssystemen oder damit verbundenen Einrichtungen wurden unterschiedliche Mikroorganismen festgestellt. Überraschend häufig wurden dabei freilebende Amöben (FLA), insbesondere aus der Gattung *Acanthamoeba*, beobachtet, die zusammen mit Bakterien und schwarzen Hefen auftraten. Die untersuchten Biofilme legen in dreifacher Hinsicht eine potenzielle hygienische Belastung nahe: das Auftreten potenziell pathogener Amöben, die wahrscheinliche Beteiligung von pathogenen Bakterien und das Vorkommen von opportunistischen Pilzen. Eine charakteristische Kombination von Umweltfaktoren führt zur Entwicklung dieser speziellen Biofilme, nämlich hohe Temperaturen, periodische Feuchte und damit verbundener Wasserstress oder hoher osmotischer Druck bzw. Salzgehalt sowie die Anwendung von Reinigungsmitteln und fallweise von Desinfektionsmitteln.

Stichworte: *Acanthamoeba*, *Legionella*, *Pseudomonas*, *Exophiala*, *Fusarium*, schwarze Verfärbung, Trinkwasserverordnung

1 Einleitung

Jede der Umwelt ausgesetzte Oberfläche wird früher oder später von Mikroorganismen besiedelt. Während die sich entwickelnde Schicht aus Mikroorganismen an mehr oder minder harten Oberflächen üblicherweise „Kruste“ oder „Patina“ genannt wird, bezeichnet man sie in einer nassen Umgebung als „Biofilm“. Die Hauptbestandteile eines Biofilms sind verschiedene Bakterien und von ihnen ausgeschiedene Substanzen (Schleim). Im Zuge der weiteren Sukzession können Pilze und andere Organismen (Protozoen bis hin zu kleinen Vielzellern) diesen Biofilm besiedeln oder ihn „abweiden“. Es handelt sich um ein komplexes Ökosystem mit komplizierten Beziehungen und Netzwerken zwischen den einzelnen Bestandteilen [1].

Im Rahmen von mikrobiellen Untersuchungen am Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP wurden auch Wasserleitungssysteme oder verwandte/verbundene Lebensräume erfasst. Teilweise wurden schwarze Biofilme oder schwarze Krusten beobachtet, in denen auffallend häufig bestimmte Amöben (z. B. *Acanthamoeba* spp.) nachgewiesen wurden. Neben Amöben traten in diesem Zusammenhang regelmäßig auch bestimmte Pilze auf, im Speziellen sogenannte „Schwarze Hefen“. Darüber hinaus ergaben sich deutliche Hinweise, dass krankheitserregende Bakterien wie *Legionella* spp. beteiligt sein könnten. In allen

Amoebae, bacteria and fungi containing biofilms occurring in the built environment

Microbial investigations of various organic black stains from water systems or connected facilities revealed different constituting microorganisms. Surprisingly regularly, free-living amoebae (FLA), especially of the genus Acanthamoeba, together with bacteria and black yeasts were found. Altogether we recognized a potentially three-fold hygienic load emanating from the investigated biofilms which are potentially pathogenic amoebae, the likely involvement of pathogenic bacteria and the presence of opportunistic fungi. Furthermore we realized that the conditions at which such biofilms developed are characterized by a typical combination of environmental factors. These are high temperature, potentially intermittent wetness and connected water stress or high osmotic pressure/salinity and the application of detergents and occasionally disinfectants.

Keywords: *Acanthamoeba*, *Legionella*, *Pseudomonas*, *Exophiala*, *Fusarium*, black stains, drinking water ordinance

untersuchten Situationen fand eine regelmäßige Reinigung oder Desinfektion statt.

Kürzlich wurden die Ergebnisse einer umfangreichen Studie zu Biofilmen in Trinkwassersystemen veröffentlicht, die viele generelle Probleme bei Hausinstallationen aufzeigt ([2], [3], [4], [5]). In der vorliegenden Übersicht soll die Fragestellung „Hygiene von Wasserleitungssystemen“ nicht zur Gänze diskutiert werden, sondern es soll aufgezeigt werden unter welchen Voraussetzungen sich bestimmte Biofilme entwickeln können, die bisher noch nicht umfassend im Brennpunkt standen (siehe auch [6]). Erst jüngst wurde die Thematik im Zusammenhang mit Badespielzeug erneut diskutiert [7]; hier lag der Schwerpunkt vor allem bei Bakterien und Pilzen, Protozoen wurden nicht explizit betrachtet.

2 Methoden und Vorgehen

Organische schwarze Verfärbungen von verschiedenen Oberflächen wurden untersucht (z. B. Silikonfugen, Oberfläche eines Trinkwasserbehälters, Schwimmbäder). Abbildung 1 zeigt eine typisch entwickelte schwarze Verfärbung an einer Silikonfuge. Die verwendeten Methoden entsprechen denen, die für die Untersuchung der Mauer- und Gebäudemikrobiologie entwickelt wurden [8]. Amöben und damit verbundenen Mikroorganismen als Bestandteil der



Bild 1. Typische schwarze Verfärbung an einer Silikonfuge in einem Badezimmer (Quelle Fraunhofer IBP)

Fig. 1. Typical black discoloration on a silicone-joint in a bathroom (source: Fraunhofer IBP).

mikrobiellen Kontamination wurden insbesondere auf Rohkultur-Agarplatten mit nährstoffarmen Kulturmedien gefunden. Eine Untersuchung auf Legionellen war im Rahmen dieser Untersuchungen nicht vorgesehen. Für die quantitative und qualitative Erfassung von Schwarzen Hefen wurden ebenfalls nährstoffarme Nährmedien eingesetzt. Parallel zu den beschriebenen Kulturexperimenten wurden die Originalproben unter dem Mikroskop detailliert untersucht. Dies ist notwendig, um den Erfolg der Anzucht abschätzen zu können und deren Ergebnisse zu bewerten. Genaue mikroskopische Untersuchungen sind auch zur Bestimmung der gefundenen Pilze unter Verwendung relevanter Literatur wesentlich (für eine ausführliche Literaturzusammenstellung über Pilzformen, die potenziell an Gebäudematerialien wachsen können, siehe [8]).

Für eine Reinzucht von FLA, insbesondere der potenziell pathogenen und opportunistischen Formen, sowie für eine Langzeitkultur wurden bereits spezielle Verfahren entwickelt [9].

3 Ergebnisse und Diskussion

Detaillierte Studien der Mikrobiologie von schwarzen Verfärbungen in Wasserleitungssystemen oder Sanitäranlagen usw. haben eine Vielfalt beteiligter mikrobieller Lebensformen gezeigt. In den meisten untersuchten Proben wurden *Acanthamoeba* spp. (Abbildung 2) nachgewiesen, sowohl bei der Mikroskopie des Ausgangsmaterials (typische Zysten) als auch bei der Anzucht (Trophozoiden). Die typische schwarze Verfärbung wurde in der Regel durch Schwarze Hefen (vorwiegend *Exophiala jeanselmei* und andere *Exophiala*-Arten und verwandte Gattungen) hervorgerufen.

3.1 Amöben als Nutznießer der Biofilmbildung

Zusätzlich zu Bakterien und Pilzen sind in der Regel auch Protisten (Amöben) involviert, wenn sich ein Biofilm entwickelt. Freilebende Amöben (FLA) sind in der Natur weit verbreitet und ganz normale Bestandteile der Mikroflora/-fauna diverser Ökosysteme, ganz besonders im Süßwasser ([10], [11]), aber auch in Trinkwassersystemen [12]. Es wird angenommen, dass sie einen wichtigen Beitrag zu Stoffkreisläufen und zur Populationsdynamik von Biofilmen

und biogenen Krusten durch Fressen verschiedener Organismen leisten ([13], [14]). Die allermeisten FLA werden als völlig harmlos eingestuft, einzelne Vertreter können jedoch unerwünschte Auswirkungen haben. Potenziell pathogene FLA im Haus-Wasser-System oder in Schwimm- und Badebecken sind *Acanthamoeba* spp., *Balamuthia mandrillaris*, *Naegleria fowleri* und *Sappinia diploidea* [15]. Abbildung 2 illustriert den Lebenszyklus der häufigsten potenziell pathogenen FLA, *Acanthamoeba* spp. (in englischer Sprache).

In [17] sind die verschiedenen Erkrankungen, die durch *Acanthamoeba* spp. ausgelöst werden können, zusammengefasst. Vorherrschend ist eine Form der Bindehautentzündung, aber vereinzelt kann sich eine fatale Enzephalitis entwickeln [18]. Wegen ihrer relativ unspezifischen Symptome werden beide Erkrankungen leider oft spät diagnostiziert ([19], [20], [21]). *Acanthamoeba*-Bindehautentzündung wird statistisch häufiger bei Trägern von Kontaktlinsen gefunden (zumeist verursacht durch *Acanthamoeba castellanii*, *A. polyphaga* und *A. hatchetti*). Bestimmte Pflegeprodukte für Kontaktlinsen sind hygienisch auffällig; auch das Nutzerverhalten hat einen zusätzlichen Einfluss ([22], [23], [24], [25], [26]). Aus diesen Gründen wurden bereits Richtlinien für die hygienische Benutzung und Pflege von Kontaktlinsen ausgearbeitet [27]. Obwohl sich die *Acanthamoeba*-Therapie in den letzten Jahren deutlich verbessert hat, gibt es immer noch keine wirklich effektive Medikation gegen eine *Acanthamoeba*-Infektion [28]. Vielversprechend erscheinen derzeit Kombinationstherapien, es besteht aber dringender Bedarf an neuen Therapieansätzen ([29], [30], [31]).

Eine Gehirninfection durch *Naegleria fowleri*, mit einer hohen Letalität, scheint sehr ähnlich, aber diese Amöbe gehört zu einer taxonomisch deutlich unterschiedenen Gruppe [32]. *Nagleria* wurde bisher vor allem in warmen Seen oder Schwimmbädern und weniger in Hauswasserleitungen gefunden. Die Therapie einer *Nagleria*-Infektion konnte kürzlich ebenfalls verbessert werden, ist jedoch nur erfolgreich, wenn die Erkrankung frühzeitig diagnostiziert wird ([33], [34]). In eigenen Arbeiten wurde eine begrenzte Auswahl an Habitaten untersucht. Situationen mit erhöhten Temperaturen konnten als generell förderlich für das Wachstum bestimmter Amöben identifiziert werden. Thermotolerante und potenziell humanpathogene FLA wie *Acanthamoeba* spp. (Bild 3) wurden bereits von diversen Quellen neben Pflegeprodukten für Kontaktlinsen isoliert, z. B. beheizte Innen-Schwimmbäder (mit einer Thermotoleranz der isolierten Stämme bis mindestens 42 °C), einer Reihe von Thermalbädern, Wasserbehandlungsanlagen sowie Augenduschen ([35], [36], [37], [38], [39], [40], [41]). *Acanthamoeben* können auch an gewöhnlichem Baumaterial bei einem Wasserschaden auftreten; es wurde gezeigt, dass bei einer Ko-Kultur mit Streptomyzeten und Schimmelpilzen zytotoxische und entzündungsfördernde Effekte verstärkt werden können ([42], [43]).

Trotz der dargestellten Erkrankungen werden FLA per se nicht als eine besondere Gefahr für die öffentliche Gesundheit betrachtet. Auch wenn bestimmte Erkrankungen als nicht-opportunistisch eingestuft werden, so ist die Anzahl der Infektionen, die durch diese Amöben ausgelöst werden, gering im Vergleich zu anderen Protozoen-Parasitosen [44]. Viel mehr als das unmittelbare pathogene Po-

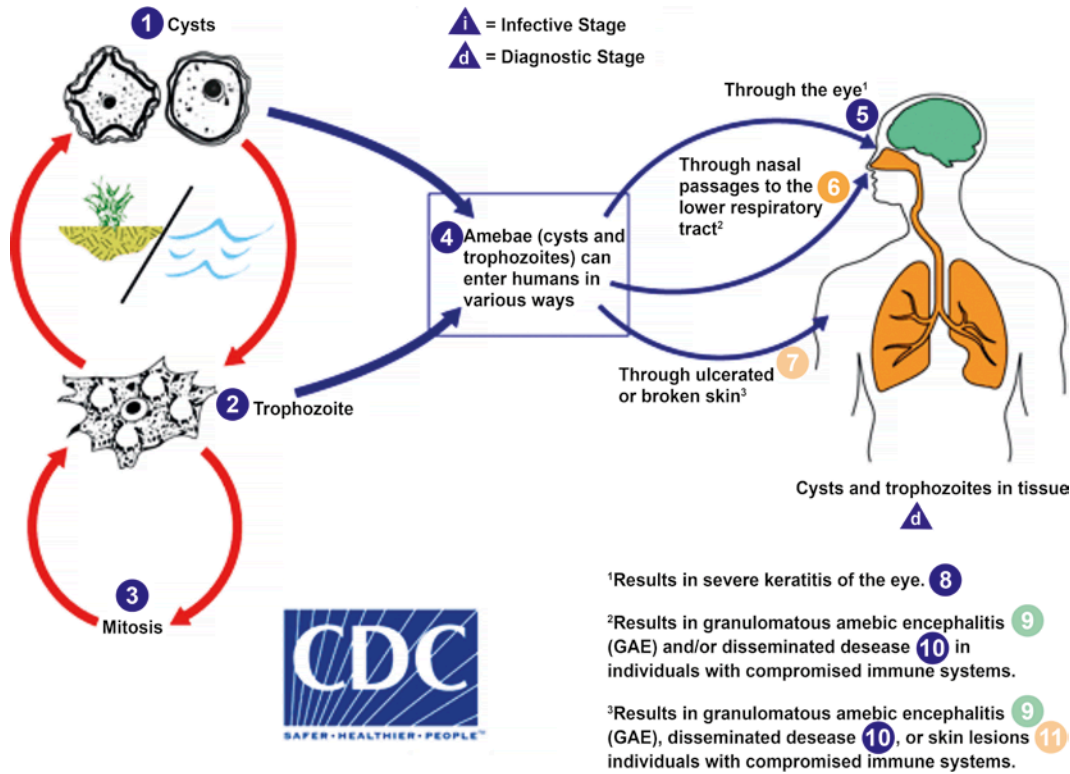


Bild 2. *Acanthamoeba* spp.: im Unterschied zu *Naegleria fowleri* besitzt *Acanthamoeba* nur zwei Stadien im Lebenszyklus, Zysten (cysts) 1 und Trophozoiden (trophozoites) 2. Die Trophozoiden vermehren sich durch Zellteilung (Mitosis) 3. Die Trophozoiden stellen die infektiöse Form dar, wobei beide Stadien auf verschiedene Art in den Körper gelangen können 4. Der Eintritt kann durch die Augen 5, über die Nasenpassage in die tieferen Atemwege 6 oder über eitrige und verletzte Hautstellen erfolgen 7. Wenn *Acanthamoeba* spp. ins Auge gelangen, können sie eine schwere Keratitis bei ansonsten gesunden Individuen auslösen 8. Wenn sie in die Atmungsorgane oder durch die Haut in den Körper gelangen, können sie durch Verschleppung über den Blutkreislauf das Zentralnervensystem befallen und eine granulomatöse Amöben-Enzephalitis auslösen (GAE) 9, eine generalisierte Infektion 10 oder Hautläsionen 11 bei Individuen mit beeinträchtigtem Immunsystem. Abbildung und Text übersetzt aus dem Amerikanischen nach [16], gekürzt (Quelle CDC [16]).

Fig. 2. *Acanthamoeba* spp., life cycle, sketched by CDC.: Unlike *N. fowleri*, *Acanthamoeba* has only two stages, cysts 1 and trophozoites 2, in its life cycle. The trophozoites replicate by mitosis 3. The trophozoites represent the infective forms, although both cysts and trophozoites may enter the body 4 through various means. The entry can occur through the eye 5, the nasal passages to the lower respiratory tract 6, or ulcerated or broken skin 7. When *Acanthamoeba* spp. enters the eye it can cause a severe keratitis in otherwise healthy individuals, particularly contact lens wearers 8. When it enters into the respiratory system or through the skin, it can invade the central nervous system by hematogenous dissemination causing granulomatous amebic encephalitis (GAE) 9, or, in the case of individuals with a compromised immune system, disseminated diseases 10 or skin lesions 11. Figure and Text according to [16], shortened (source CDC [16]).

tenzial verschiedener FLA wird aktuell deren spezielle Beziehung zu manchen pathogenen Bakterien diskutiert: Sie können als Wirt für *Legionella* und andere Bakterien oder sogar Viren und Protisten dienen ([40], [45], [46], [47]). Das bedeutet, diese Amöben werden von Bakterien befallen, und diese vermehren sich innerhalb der Amöbenzellen, wodurch diese zu Vektoren werden [48]. In der Vergangenheit wurde angenommen, dass insbesondere mit Pathogenen verseuchte Amöben – genauer deren mit Bakterien beladene Vakuolen – das eigentliche infektiöse Agens für die Legionärskrankheit seien ([49], [50]). Darüber hinaus gibt es Hinweise, dass zahlreiche weitere bakterielle Auslöser von Lungenentzündung und anderen Krankheiten durch Amöben verbreitet werden können ([51], [52]). Die möglichen Gefahren, ausgelöst durch FLA und deren zahlreichen Parasiten/Pathogene wurden bereits diskutiert ([52], [53]); es wurde vorgeschlagen, die entsprechenden Erkrankungen durch die Bekämpfung der Amöben zu kontrollieren [54].

Im Lebenszyklus der besprochenen Amöbenformen gibt es typischerweise ein enzystiertes Stadium, das sie relativ resistent gegenüber Desinfektion und extremen Umweltbedingungen macht ([53], [55]). Aus hygienischen Gesichtspunkten empfiehlt es sich, diese Eigenschaften der Amöben mit einzubeziehen, wenn Maßnahmen zur Kontrolle der Wasserqualität geplant werden (siehe auch [56]).

Nützliche Amöben: Es gibt nicht nur der Hygiene abträgliche Amöben. Ein bestimmter Stamm von *Willaertia magna* wird als ein sehr vielversprechendes „biologisches Biozid“ gehandelt als eine Gegenmaßnahme gegen Biofilm, der gefährliche Organismen enthält. *Willaertia magna* gehört zur selben Amöbenfamilie wie *Naegleria* (Vahlkampfiidae) [57] und ist nahezu ubiquitär in feuchten Habitaten der natürlichen Umwelt verbreitet; sie ernährt sich dabei von Biofilmen. Ein neu entwickeltes Produkt erhebt den Anspruch, dass der verwendete Stamm von *Willaertia magna* alle aufgenommenen Bakterien verdaut, auch Legionellen und sogar andere FLA [58]. Kürzlich wurde ge-

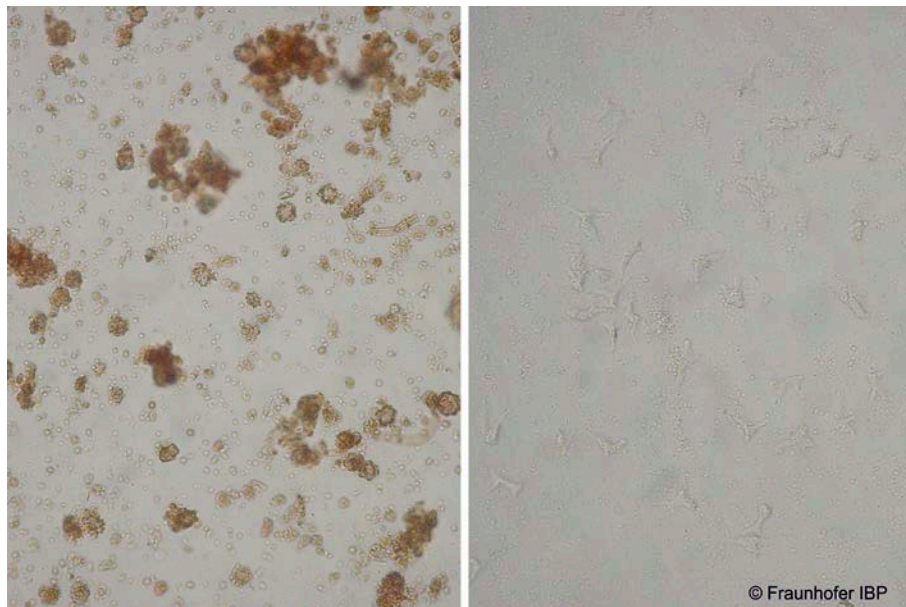


Bild 3. Links: Mikroskopisches Originalpräparat einer schwarzen Kruste mit *Acanthamoeba*-Zysten, wenigen zerbrochenen Hyphenstücken eines dunkel pigmentierten Pilzes und amorphen Partikeln; rechts: Amöben und Bakterien, die aus der Ausgangsprobe gezüchtet werden konnten (Vergrößerung ca. 400-fach) (Quelle: Fraunhofer IBP).

Fig. 3. Left: microscopic preparation of the original black discoloration containing numerous *Acanthamoeba* cysts, a few broken pieces of hyphae of a dark pigmented fungus and amorphous particles; right: amoebae and bacteria that were reared from the original sample. Magnification ca. 400-fold (source: Fraunhofer IBP)

zeigt, dass *Willaertia magna* gegen eine Infektion durch *Legionella pneumophila* sehr resistent ist ([59], [60]). Obwohl [60] zeigte, dass sich manche Stämme von *L. pneumophila* (strains 130b, Philadelphia-1 und Paris) in den Zellen von *Willaertia magna* vermehren können, ist diese Art viel weniger empfänglich für diese Infektion als alle anderen getesteten Amöben.

3.2 Pathogene Bakterien als Bestandteile des Biofilms in Wasserleitungen

An jeder permanent nassen Oberfläche im Wasserleitungssystem entwickelt sich eine Form von Biofilm, insbesondere in toten Enden und anderen Abschnitten mit geringen Strömungsraten (vgl. z. B. [4]). Unter bestimmten Voraussetzungen können diese Biofilme auch von pathogenen Bakterien besiedelt werden. Berücksichtigt sind verschiedene Arten von *Legionella* in den Warmwasserrohren und *Pseudomonas* (und verwandten Gattungen) in den Kaltwasserleitungen [61]. In Deutschland wurde die Fragestellung bereits von der Trinkwasserkommission behandelt. Abgesehen von Richtlinien bezüglich *Legionella* wurde ein Vorgehen definiert, wie mit dem gelegentlichen Auftreten von *Pseudomonas* bei Routinekontrollen umzugehen ist [62]. Obwohl im klinischen Umfeld als Auslöser opportunistischer Infektionen bei abwehr-geschwächten Personen gefürchtet ([63]), ist *Pseudomonas aeruginosa* auch als Biokontrollagens in der Landwirtschaft bekannt ([64], [65]). *Legionella pneumophila* ist der Auslöser der Legionärskrankheit und wurde von verschiedenen anthropogenen Habitaten nachgewiesen, etwa Wasser von Kühltürmen, Evaporationskühlern, Luftbefeuchtern, Wasserleitungen und Duschköpfen, Mineralwasserflaschen, Ventilations- und Klimatisierungseinheiten, Whirlpools, Hydrotherapiebecken in Krankenhäusern, Zahnduschen, Dialysegeräten,

Bakterien-, Pilz- und Säugetierzellkulturen, Kontaktlinsenpflegeutensilien, Ohrenabsonderungen, Lungensekreten, Abstrichen von Nasen-Rachenschleimhaut sowohl von Patienten mit Atembeschwerden als auch gesunden Individuen, Nebenhöhlen, Zahnabdrücken und Stuhlproben ([15], [49], [66]). Die Legionärskrankheit ist von öffentlichem Interesse; aus diesem Grund wurden Vorschriften entwickelt, um Ausbrüche zu reduzieren bzw. zu verhindern, sowie ein Risikomanagement für kritische Einrichtungen wie Krankenhäuser installiert (z. B. [67], [68]). In einer staatlichen Erhebung in Deutschland, bei der Hauswasserinstallationen auf das Vorkommen von *Legionella* sp. hin untersucht wurden, überschritten 5,6% aller genommenen Proben (n = 1 020 276) den gegebenen Grenzwert [69].

Für die Haushaltspraxis wird eine Temperatur von mindestens 60 °C der Warmwasserleitung am Hahn empfohlen; Verdampfungskühler und Kühltürme müssen regelmäßig kontrolliert und desinfiziert werden, falls der Grenzwert überschritten wird. Bestimmte Bakterien, die in Wasserleitungen und Wasserbecken leben können, beispielsweise *Methylobacteria*, können resistent gegenüber einer Chlordesinfektion sein [70]; dies sollte bei der Planung von Desinfektionsmaßnahmen Berücksichtigung finden.

3.3 Schwarze Hefen und Pilze als Besiedler von Wasserleitungen und damit verbundenen Geräten und Vorrichtungen

Meistens bilden Pilze/Hefen einen untergeordneten Bestandteil der mikrobiellen Entwicklung in Warmwasserleitungen und damit verbundenen Vorrichtungen, die oft höheren Temperaturen ausgesetzt sind, wie Waschmaschinen, Geschirrspülgeräten, Wasserhähnen, Badezimmern,

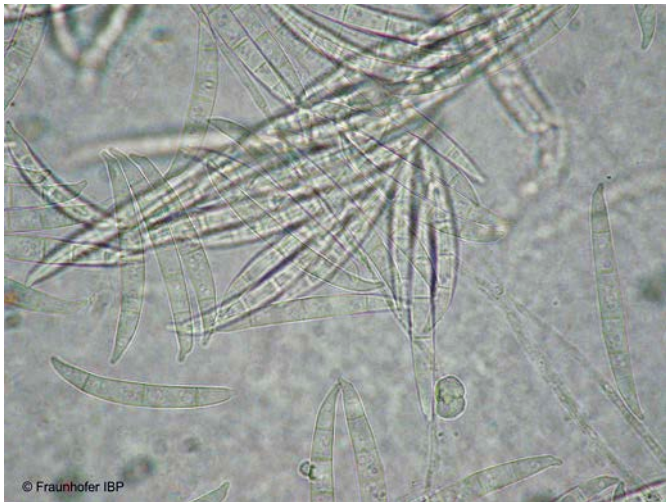


Bild 4. Mikroskopische Aufnahme einer *Fusarium* sp., isoliert aus einer Biofilmprobe aus einem Trinkwasserbehälter (Vergrößerung ca. 400-fach).

Fig. 4. Microscopic shot of a *Fusarium* sp. isolated from a biofilm sample of a drinking water reservoir. Magnification 400-fold. (source: Fraunhofer IBP)

Badezimmerabflüssen und Duschköpfen ([71], [72], [73], [74], [75]). In bestimmten Situationen, speziell am Übergang Wasser-Luft, kann die Biofilmbildung von Pilzen dominiert sein [75]. Verschiedene Arten von Pilzen wurden identifiziert, aber die wichtigsten Arten gehören zur Gattung *Fusarium* (Abbildung 4) und verwandten Taxa und Arten der Schwärzepilze wie *Exophiala* spp. (z. B. *E. jeanselmei*, *E. dermatitis*) und verwandte Formen ([71], [74], [76]). Obwohl die meisten Schwärzepilze ein mehr oder minder fädiges Wachstum zeigen, werden diese schleimigen Büschel allgemein oft als „Schwarze Hefen“ angesprochen [77].

Kürzlich ist Besorgnis in Zusammenhang mit der Verbreitung von Pilzkrankheiten durch Wasserleitungssysteme aufgekommen [78]; in diesem Fall war ein Stamm von *Fusarium solani* involviert. Darüber hinaus wurde von nosokomialen Infektionen durch die Schwarzen Hefen *Exophiala jeanselmei* und *Rhinochadiella* sp. bei immunsupprimierten Patienten berichtet, die einen hohen Prozentsatz von zentralen Venenkathedern und Neutropnie, lang andauernder Hospitalisation und Anwendung von Corticosteroiden aufwies ([79], [80]). Überraschenderweise konnte als Kontaminationsquelle deionisiertes Apothekenwasser identifiziert werden [80]. Isolate anderer Wasserquellen waren nicht beteiligt. In einem anderen Fall wurde eine Lungenentzündung durch die Schwarze Hefe *Exophiala dermatitis* ausgelöst [81].

Die spezielle Anpassung dieser Pilze an extreme Umgebungen mit potenziell starker Einstrahlung, Austrocknung, hohen Temperaturen und Salinität wurde bereits mit ihrem pathogenen/opportunistischen Charakter in Verbindung gebracht ([82], [83]). Da viele der Schwarzen Hefen eine hohe Toleranz oder sogar Resistenz gegenüber vielen antimikrobiellen Substanzen besitzen, kann eine Therapie herausfordernd sein. Für die Behandlung von Infektionen mit klinischen Stämmen von *Exophiala*-Arten wie auch für *Phialophora verrucosa* wurde Terbinafin als wirksamstes Medikament ermittelt ([84], [85]).

Aktuelle Analysen von schwarzen pilzlichen Biofilmen und der relevanten Literatur zeigen, dass die hygienischen Gefahren, die durch diese Pilze bestehen, insgesamt überschaubar sind, aber auch nicht gänzlich ignoriert werden sollen ([75], [76]). Es gibt Hinweise, dass bestimmte Pilze, einschließlich der genannten Schwarzen Hefen, durch FLA stimuliert oder sogar verbreitet werden können ([54], [86]).

3.4 Umweltbedingungen

Wie bereits erwähnt, entwickelten sich die diskutierten schwarzen Oberflächenkontaminationen immer unter speziellen Umweltsituationen. Oft waren sie an Oberflächen ausgeprägt, die eine Grenze zwischen der nassen Phase und der Umgebungsluft bilden (etwa in den Poren eines Duschkopfes) oder in Situationen, bei denen die Nässe unregelmäßig ist und zwischenzeitliches Austrocknen erfolgen kann. Das bedeutet, dass die vorkommenden Organismen starke Wechsel der osmotischen Bedingungen ertragen müssen. Darüber hinaus wurde derartiges Wachstum oft an Stellen festgestellt, die höheren Temperaturen ausgesetzt sind, beispielsweise in Geschirrspülern, auf Silikonfugen in Badezimmern, in beheizten Whirlpools in Wellnessbereichen oder sogar in Saunen. In vielen der genannten Umgebungen werden für gewöhnlich Reinigungsmittel, mitunter auch Desinfektionsmittel, eingesetzt, und die vorkommenden Organismen müssen über entsprechende Anpassungsstrategien verfügen. Diese Konsortien von Organismen sind daran angepasst, vergleichsweise hoher osmotischer Aktivität und hoher Temperatur, ganz ähnlich wie sie im menschlichen Körper herrschen, zu widerstehen. Zugleich sind sie einigermaßen tolerant oder resistent gegen antimikrobielle Stoffe.

3.5 Vorsorge

Für die rechtlichen Zusammenhänge sei auf die deutsche Gesetzeslage verwiesen. Das „Gesetz zur Verhütung und Bekämpfung von Infektionskrankheiten beim Menschen (Infektionsschutzgesetz – IfSG)“ in Deutschland behandelt viele Aspekte mit Bezug auf eine hygienisch sichere Umwelt [87]. Nach Abschnitt 3, § 6, muss eine Erkrankung den Behörden gemeldet werden, wenn zwei oder mehr ähnliche Erkrankungen diagnostiziert werden und ein epidemischer Kontext wahrscheinlich ist oder angenommen wird; nach § 7 ist der direkte oder indirekte Nachweis bestimmter Pathogene, wie *Legionella* spp., im Falle einer Infektion ebenfalls zu melden. In Abschnitt 7, § 37, wird die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch und für Schwimm- und Badewasser sowie deren Kontrolle geregelt. Es ist festgelegt, dass das Umweltbundesamt (UBA) für Maßnahmen gegen Erkrankungen, die durch das Wasser verbreitet werden, zu sorgen hat. Das UBA kann Kommissionen einsetzen, die seine Arbeit mit Empfehlungen zu bestimmten Fragestellungen unterstützen. Dies wird durch die Trinkwasserkommission umgesetzt. Weitere ausführende Details zur mikrobiologischen und chemischen Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch und Wasser für Schwimm- und Badebecken gibt die Trinkwasserverordnung [88]. Entsprechend ist der Grenzwert für *Legionella* spp. unter 100 KBE/100 ml für

Trinkwasser festgelegt [67]. Amöben oder Schwarze Hefen werden derzeit nicht explizit berücksichtigt, abgesehen von den oben genannten generellen Empfehlungen. Übergeordnete Regelwerke und Empfehlungen, die die Trinkwasserqualität betreffen, sind die EU-Trinkwasserrichtlinie [89] und die WHO Drinking Water Guidelines [90].

Schwarze organische Verfärbungen, die in und in der Nähe von Wasserleitungssystemen auftreten, stellen nicht zwangsläufig eine gravierende hygienische Gefahr für gesunde Personen dar. Sie sollten aber als eine potenzielle zusätzliche mikrobielle Belastung für immunschwache Patienten berücksichtigt werden. Bei entsprechenden Situationen sollte die mikrobielle Entwicklung überwacht werden, um unerwünschte Keime rechtzeitig mit geeigneten Mitteln entfernen bzw. reduzieren zu können. Dabei sollten am besten ausreichende Dosen an Desinfektionsmitteln oder eine physikalische Behandlung eingesetzt werden, da eine gering dosierte Desinfektion oder eine Reinigung allein nicht ausreichen.

4 Fazit

Bei bestimmten Umweltbedingungen – charakterisiert durch hohe Temperaturen, intermittierende Feuchtigkeit und unter dem Einfluss von Reinigungs- oder Desinfektionsmitteln – kann sich in Hauswasserleitungssystemen und vergleichbaren Einrichtungen eine Form von Biofilm entwickeln, in dem eine Vielzahl von potenziell opportunistischen/pathogenen Mikroorganismen lebt. Speziell bestimmte Amöben können dabei in Form von verkapselten und daher gegen Desinfektion weitgehend resistenten Stadien ein Reservoir für unerwünschte Keime darstellen. Obwohl in diesem Zusammenhang beobachtete klinische Ausbrüche selten sind, sollten diese Biofilme genauer untersucht werden, um ungünstige Situationen in Zukunft zu vermeiden.

Literatur

- [1] Szezyk, U., Szezyk, R.: (2003) Biofilme – die etwas andere Lebensweise. *Biospektrum* 9(3): 253–255.
- [2] Flemming, H.-C., Bendinger, B., Exner, Gebel, J., M., Kistemann, T., Schaule, G., Szezyk, U., Wingender, J.: (2010) Thesenpapier – Erkenntnisse aus dem BMBF-Verbundprojekt „Biofilme in der Trinkwasser-Installation“. http://www.biofilm-hausinstallation.de/dokumente/Thesenpapier_2_0.PDF (aufgerufen am 5. 7. 2017).
- [3] Völker, S., Schreiber, C., Kistemann, T.: (2010) Drinking Water Quality in Household Supply Infrastructure – A survey of the Current Situation in Germany. *International Journal of Hygiene and Environmental Health* 213: 204–209.
- [4] Flemming, H.-C., Bendinger, B., Exner, M., Kistemann, T., Schaule, G., Szezyk, U. and J. Wingender (2013) The Last Meters Before the Tap: Where Drinking Water Quality is at Risk. In: Kooij van der, D., Wielen van der, P. (eds.): *Microbial Growth in Drinking Water Distribution systems and Tap Water Installations*. IWA Publishing, chapter 8: 205–236.
- [5] Flemming, H.-C.: (2014) The Hidden Life in Drinking Water Installations: Biofilms and Viable-but-Nonculturable Bacteria of Hygienic Relevance. *WHOCC Newsletter* 23: 1–4.
- [6] Hofbauer, W. K.: (2017) The Awful (good), the Bad and the Ugly. Different Aspects of the Occurrence of Amoebae, Bacteria and Fungi in Water Biofilm. *Watersolutions* 3/2107: 44–48.
- [7] Neu, L., Bänziger, C., Proctor, C. R., Zhang, Y., Liu, W.-T., Hammes, F.: (2018) Ugly Ducklings – the Dark Side of Plastic Materials in Contact with Potable Water. *NPJ Biofilms and Microbes* 4(7): 1–11.
- [8] Hofbauer, W.: (2007) *Aerophytische Organismen an Bauteiloberflächen*. Dissertation. Leopold-Franzens Universität Innsbruck: 436 S.
- [9] Schuster, F. L.: (2002) Cultivation of Pathogenic and Opportunistic Free-Living Amoebae. *Clinical Microbiology Reviews* 15(3): 342–354.
- [10] Rodriguez-Zaragoza, S.: (1994) Ecology of Free-Living Amoebae. *Crit. Rev. Microbiol.* 20: 225–241.
- [11] Shin, H.-J., In, K.-I.: (2004) Pathogenic Free-Living Amoebae in Korea. *The Korean Journal of Parasitology* 42(3): 93–119.
- [12] Thomas, V., Loret, J.-F., Jousset, M., Greub, G.: (2008) Biodiversity of Amoebae and Amoebae-resisting Bacteria in a Drinking Water Treatment Plant. *Environmental Microbiology* 10(10): 2728–2745.
- [13] Pedersen, K.: (1982) Factors Regulating Microbial Biofilm Development in a System With Slowly Flowing Seawater. *Appl. Environ. Microb.* 44: 1196–1204.
- [14] Yli-Pirilä, T., Kusnetsov, J., Hirvonen, M.-R., Seuri, M., Nevalainen, A.: (2006) Effects of Amoebae on the Growth of Microbes Isolated From Moisture-damaged Buildings. *Can. J. Microbiol.* 52: 383–390.
- [15] Visvesvara, G. S., Moura, H., Schuster, F. L.: (2007) Pathogenic and Opportunistic Free-Living Amoebae: *Acanthamoeba* spp., *Balamuthia mandrillaris*, *Naegleria fowleri*, and *Sappinia diploidea*. *FEMS Immunol Med Microbiol* 50: 1–26.
- [16] Centers for Disease Control and Prevention (CDC), USA. Free Living Amebic Infections. [*Acanthamoeba* spp.] [*Balamuthia mandrillaris*] [*Naegleria fowleri*] [*Sappinia* spp.]. *Life Cycles. Acanthamoeba* spp. www.cdc.gov/acanthamoeba/biology.html (aufgerufen am 10.7.2018).
- [17] Marciano-Cabral, F. and Cabral, G.A.: (2003) *Acanthamoeba* spp. as Agents of Disease in Humans. *Clinical Microbiology Reviews* 16(2): 273–307.
- [18] Robert Koch-Institut RKI (2015) Amöbenenzephalitis. *Epidemiologischer Bulletin* 32/2015: 7 pp.
- [19] Walochnik, J. und Aspöck, H.: (2005) Die Diagnostik von Infektionen mit freilebenden Amöben (FLA). *J. Lab. Med.* 29(6): 446–456.
- [20] Szentmáry, N., Goebels, S., Matoula, P., Schirra, F., Seitz, B.: (2012) *Acanthamoeba* Keratitis – A Rare and Often Late Diagnosed Disease. *Klin. Monatsbl. Augenheilkd.* 229: 521–528.
- [21] Lorenzo-Morales, J., Khan, N. A., Walochnik, J.: (2015) An Update on *Acanthamoeba* Keratitis: Diagnosis, Pathogenesis and Treatment. *Parasite* 22(10): 1–20.
- [22] Beattie, T. K., Seal, D. V., Tomlinson, A., McFadyen, A. K., Grimason, A. M.: (2003) Determination of Amoebicidal Activities of Multipurpose Contact Lens Solutions by Using a Most Probable Number Enumeration Technique. *Journal of Clinical Microbiology* 41(7): 2992–3000.
- [23] Johnston, S. P., Sriram, R., Quarstrom, Y., Roy, S., Verani, J., Yoder, J., Lorick, S., Roberts, J., Beach, M. J., Visvesvara, G.: (2009) Resistance of *Acanthamoeba* Cysts to Disinfection in Multiple Contact Lens Solutions. *Journal of Clinical Microbiology* 47(7): 2040–2045.
- [24] Verani, J. R., Lorick, S. A., Yoder, J. S., Beach, M. J., Braden, C. R., Roberts, J. M., Conover, C. S., Chen, S., McConnell, K. A., Chang, D. C., Park, B. J., Jones, D. B., Visvesvara, G. S., Roy, L.: (2009) National Outbreak of *Acanthamoeba* Keratitis Associated with Use of a Contact Lens Solution, United States. *Emerging Infectious Diseases* 15(8): 1236–1242.

- [25] *Kilvington, S., Lam, A.*: (2013) Development of Standardized Methods for Assessing Biocidal Efficacy of Contact Lens Care Solutions Against *Acanthamoeba* Trophozoites and Cysts. *Investigative Ophthalmology & Visual Science* 54(7): 4527–4537.
- [26] *Lakhundi, S., Khan, N. A., Siddiqui, R.*: (2014) Inefficacy of Marketed Contact Lens Disinfection Solutions Against Keratitis-causing *Acanthamoeba castellanii* Belonging to the T4 Genotype. *Experimental Parasitology* 141: 122–128.
- [27] Centers for Disease Control and Prevention CDC (2007) *Acanthamoeba* Keratitis Multiple States, 2005–2007. *Morbidity and Mortality Weekly Report* 56(21): 532–534.
- [28] *Chomicz, L., Conn, D. B., Padzik, M., Szaflik, J. P., Walochnik, J., Zawadzki, P. J., Pawłowski, W., Dybicz, M.*: (2015) Emerging Threats for Human Health in Poland: Pathogenic Isolates from Drug Resistant *Acanthamoeba* Keratitis Monitored in terms of Their *In Vitro* Dynamics and Temperature Adaptability. *BioMed Research International Band 2015*, Artikel ID 231285: 8 pp.
- [29] *Kumar, R., Lloyd, D.*: (2002) Recent Advances in the Treatment of *Acanthamoeba* Keratitis. *Clinical Infectious Diseases* 35: 434–441.
- [30] *Clarke, B., Sinha, A., Parmar, D. N., Sykakis, E.*: (2012) Advances in the Diagnosis and Treatment of *Acanthamoeba* Keratitis. *Journal of Ophthalmology Volume 2012*, Artikel ID 484892, 6 pp.
- [31] *Martín-Navarro, C. M., Lorenzo-Morales, J., Machin, R. P., López-Arencibia, A., García-Castellano, J. M., Fuentes de, I., Loftus, B., Maciver, S. K., Valladares, B., Piñero, J. E.*: (2013) Inhibition of 3-Hydroxy-3-Methylglutaryl-Coenzyme A Reductase and Application of Statins as a Novel Effective Therapeutic Approach against *Acanthamoeba* Infections. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy* 57(1): 375–381.
- [32] *Pánek, T., Čepička, I.*: (2012) Diversity of Heterolobosea. In: Caliskan, M.: (ed.): *Genetic Diversity in Microorganisms*. InTech: www.intechopen.com/books/genetic-diversity-in-microorganisms/diversity-of-heterolobosea (aufgerufen am 10.7.2017).
- [33] *Grace, E., Asbill, S., Virga, K.*: (2015) *Naegleria fowleri*: Pathogenesis, Diagnosis, and Treatment Options. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy* 59 (11): 6677–6681.
- [34] *Linam, W. M., Ahmed, M., Cope, J. R., Chu, C., Visvesvara, G. S., Silva da, A. J., Quarnstrom, Y., Green, J.*: (2015) Successful Treatment of an Adolescent with *Naegleria fowleri* Primary Amebic Meningoencephalitis. *Pediatrics* 135(3): e744–e748.
- [35] *Bier, J.W., Sawyer, T. K.*: (1990) Amoebae Isolated from Laboratory Eyewash Stations. *Current Microbiology* 20: 349–350.
- [36] *Hoffmann, R., Michel, R.*: (2001) Distribution of Free-Living Amoebae (FLA) During Preparation and Supply of Drinking Water. *Int. J. Hyg. Environ. Health* 203: 215–219.
- [37] *Gianinazzi, C., Schild, M., Wüthrich, F., Müller, N., Schürch, N., Gottstein, B.*: (2009) Potentially Human Pathogenic *Acanthamoeba* Isolated from a Heated Indoor Swimming Pool in Switzerland. *Experimental Parasitology* 121: 180–186.
- [38] *Gianinazzi, C., Schild, M., Wüthrich, F., Nouir, N. B., Füschnlin, H.-P., Schürch, N., Gottstein, B., Müller, N.*: (2009) Screening Swiss Water Bodies for Potentially Pathogenic Free-Living Amoebae. *Research in Microbiology* 160: 367–374.
- [39] *Teixeira, L. H., Rocha, S., Pinto, R. M. F., Caseiro, M. M., Costa da, S.O.P.*: (2009) Prevalence of Potentially Pathogenic Free-Living Amoebae from *Acanthamoeba* and *Naegleria* Genera in Non-Hospital, Public, Internal Environments from the City of Santos, Brazil. *The Brazilian Journal of Infectious Diseases* 13(6): 395–397.
- [40] *Corsaro, D., Pages, G. S., Catalan, V., Loret, J.-F., Greub, G.*: (2010) Biodiversity of Amoebae and Amoeba-Associated Bacteria in Water Treatment Plants. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*. 213: 158–166.
- [41] *Gianinazzi, C., Schild, M., Zumkehr, B., Wüthrich, F., Nüesch, I., Ryter, R., Schürch, N., Gottstein, B., Müller, N.*: (2010) Screening of Swiss Hot Spring Resorts for Potentially Pathogenic Free-Living Amoebae. *Experimental Parasitology* 126: 45–53.
- [42] *Yli-Pirilä, T., Huttunen, K., Nevalainen, A., Seuri, M., Hirvonen, M.-R.*: (2007): Effects of Co-Culture of Amoebae with Indoor Microbes on Their Cytotoxic and Proinflammatory Potential. *Environmental Toxicology* 22: 357–367.
- [43] *Yli-Pirilä, T., Kusnetsov, J., Hirvonen, M.-R., Seuri, M., Nevalainen, A.*: (2009) Survival of Amoebae on Building Materials. *Indoor Air* 19: 113–121.
- [44] *Schuster, F.L. & Visvesvara, G. S.*: (2004) Free-living Amoebae as Opportunistic and Non-Opportunistic Pathogens of Humans and Animals. *International Journal of Parasitology* 34: 1001–1027.
- [45] *Huws, S. A., Smith, A. W., Enright, M. C., Wood, P. J., Brown, M. R. W.*: (2006) Amoebae Promote Persistence of Epidemic Strains of MRSA. *Environmental Microbiology* 8(6): 1130–1133.
- [46] *Marciano-Cabral, F., Cabral, G. A.*: (2007) The Immune Response to *Naegleria fowleri* Amebae and Pathogenesis of Infection. *FEMS Immunol. Med. Microbiol.* 51: 243–259.
- [47] *Bigot, R., Bertaux, J., Frere, J., Berjeaud, J.-M.*: (2013) Intra-Amoeba Multiplication Induces Chemotaxis and Biofilm Colonization and Formation for *Legionella*. *Plos One* 8(10): 1–10.
- [48] *Balczun, C., Scheid, P. L.*: (2017) Free-Living Amoebae as Hosts for and Vectors of Intracellular Microorganisms with Public Health Significance. *Viruses* 9 (65): 18 pp.
- [49] *Rowbotham, T. J.*: (1980) Preliminary Report on the Pathogenicity of *Legionella pneumophila* for Freshwater and Soil Amoebae. *J Clin Pathol* 33:1179–1183.
- [50] *Rowbotham, T. J.*: (1983) Isolation of *Legionella pneumophila* from Clinical Specimens via Amoebae, and the Interaction of Those and Other Isolates With Amoebae. *J. Clin. Pathol.* 36: 978–986.
- [51] *Lamoth, F., Greub, G.*: (2010) Amoebal Pathogens as Emerging Causal Agents of Pneumonia. *FEMS Microbiol. Rev.* 34: 260–280.
- [52] *Thomas, V., McDonnell, G., Denyer, S. P., Maillard, J.-Y.*: (2010) Free-Living Amoebae and Their Intracellular Pathogenic Microorganisms: riSks for Water Quality. *FEMS Microbiol. Rev.* 34: 231–259.
- [53] *Loret, J.-F., Greub, G.*: (2010) Free-Living Amoebae: Biological By-Passes in Water Treatment. *International Journal of Hygiene and Environmental Health* 213: 167–175.
- [54] *Khan, N. A., Siddiqui, R.*: (2014) War on Terror Cells: Killing the Host that Harbours ‘Superbugs’ is an Infection Control Strategy in Our Fight Against Infectious Diseases. *Pathogens and Global Health* 108(1): 4–10.
- [55] *Loret, J.-F., Jousset, M., Robert, S., Anselme, C., Saucedo, G., Ribas, F., Martinez, L., Catalan, V.*: (2008) Elimination of Free-Living Amoebae by Drinking Water Treatment Processes. *Eur. J. Water Qual.* 39(1): 37–50.
- [56] *Thomas, V., Herrera-Rimann, K., Blanc, D. S., Greub, G.*: (2006) Biodiversity of Amoebae and Amoeba-Resisting Bacteria in a Hospital Water Network. *Applied and Environmental Microbiology* 72(4): 2428–2438.

- [57] *De Jonckheere, J. F.*: (1997) The Phylogenetic Position of the Amoeboflagellate *Willaertia* Deduced from SSUr DNA Sequences. *Europ. J. Protistol.* 33: 72–76.
- [58] *Plasson, F., Mameri, M. O.*: (2016) Method for Biologically Combating *Naegleria fowleri*, and Disinfecting Agent Containing Protozoa of the Species *Willaertia magna*. Unites States Patent Application Publication, Pub. No.: US 2016/0249624 A1.
- [59] *Dey, R., Bodennec, J., Mameri, M. O., Pernin, P.*: (2008) Free-Living Freshwater Amoebae Differ in Their Susceptibility to the Pathogenic Bacterium *Legionella pneumophila*. *FEMS Microbiol. Lett.* 290: 10–17.
- [60] *Tyson, J. Y., Vargas, P., Cianciotto, N. P.*: (2014) The Novel *Legionella pneumophila* Type II Secretion Substrate NttC Contributes to Infection of Amoebae *Hartmanella vermiformis* and *Willaertia magna*. *Microbiology* 160: 2732–2744.
- [61] *Moritz, M. M., Flemming, H.-C., Wingender, J.*: (2010) Integration of *Pseudomonas aeruginosa* and *Legionella pneumophila* in Drinking Water Biofilms Grown on Domestic Plumbing Materials. *International Journal of Hygiene and Environmental Health* 213: 190–197.
- [62] Umweltbundesamt (2002) Empfehlungen der Trinkwasserkommission zur Risikoeinschätzung, zum Vorkommen und zu Maßnahmen beim Nachweis von *Pseudomonas aeruginosa* in Trinkwassersystemen. Empfehlungen des Umweltbundesamtes nach Anhörung der Trinkwasserkommission des Umweltbundesamtes. Bundesgesundheitsbl. – Gesundheitsforsch. – Gesundheitsschutz 45: 187–188.
- [63] *Trautmann, M., Halder, S., Lepper, P.M., Exner, M.*: (2009) Reservoir von *Pseudomonas aeruginosa* auf der Intensivstation. Die Bedeutung des Wassers als Infektionsquelle. Bundesgesundheitsbl. – Gesundheitsforsch. – Gesundheitsschutz 52: 339–344.
- [64] *Haas, D., Défago, G.*: (2005) Biological Control of Soil-Borne Pathogens by Fluorescent Pseudomonads. *Nature Reviews Microbiology* 3: 307–319.
- [65] *Meena, B.*: (2014) Biological Control of Pests and Diseases Using Fluorescent Pseudomonads. In: Sahayaraj, K. (ed.): Basic and Applied Aspects of Biopesticides. Springer, Heidelberg: 17–29.
- [66] *Edwards, J.H., Harbord, P., Skidmore, J. W., Mullins, J., Davies, B. H., Seaton, A., Cotes, J. E.*: (1977) Humidifier Fever. MRC Symposium. 14.–15. December, 1976, Cardiff. *Thorax* 32: 653–663.
- [67] Umweltbundesamt (2012): Systemische Untersuchungen von Trinkwasser-Installationen auf Legionellen nach Trinkwasserverordnung. Empfehlung des Umweltbundesamtes nach Anhörung der Trinkwasserkommission. Umweltbundesamt Fachgebiet II 3.5, Bad Elster: 1–8.
- [68] *Leiblein, T. W., Tucker, M., Ashall, M., Lee, S. B., Gollnisch, C., Hofer, S.*: (2016) *Legionella* and Risk Management in Hospitals – A Bibliographic Research Methodology for People Responsible for Built Environment and Facility Management. *International Journal of Hygiene and Environmental Health* 219: 890–897.
- [69] *Völker, S., Luther, S., Kistemann, T.*: (2015) Bundesweite Statusanalyse. Vorkommen von Legionellen in Trinkwasser-Installationen: Studie wertet über 1 Mio. Probenahmen-Ergebnisse aus. IKZ-Fachplaner Oktober 2015: 14–19.
- [70] *Hiraishi, A., Furuhashi, K., Matsumoto, A., Koike, K. A., Fukuyama, M., Tabuchi, K.*: (1995) Phenotypic and Genetic Diversity of Chlorine-Resistant *Methylobacterium* Strains Isolated from Various Environments. *Appl. Environ. Microbiol.* 61: 2099–2107.
- [71] *Nishimura, K., Miyaji, M., Taguchi, H., Tanaka, R.*: (1987) Fungi in Bathwater and Sludge of Bathroom Drainpipes. *Mycopathologia* 97: 17–23.
- [72] *Matos, T., Hoog de, G. S., Boer de, A. G., Crom de, I., Haase, G.*: (2002) High Prevalence of the Neurotropic *Exophiala dermatitis* and Related Oligotropic Black Yeasts in Sauna Facilities. *Mycoses* 45: 373–377.
- [73] *Hamada, N.*: (2005) Characteristics of Fungi Growing inside Washing Machines. *Seikatsu Eisei* 49(2): 108–113.
- [74] *Hamada, N., Abe, N.*: (2008) Characteristics of Recent Fungal Contamination in Bathrooms. *Seikatsu Eisei* 52(2): 98–106.
- [75] *Heinrichs, G., Hübner, I., Schmidt, C.K., Hoog de, G. S., Haase, G.*: (2013) Analysis of Black Fungal Biofilms Occurring at Domestic Water Taps. II: Potential Routes of Entry. *Mycopathologia* 175(5-6): 399–412. <https://doi.org/10.1007/s11046-013-9619-2>.
- [76] *Heinrichs, G., Hübner, I., Schmidt, C. K., Hoog de, G. S., Haase, G.*: (2013) Analysis of Black Fungal Biofilms Occurring at Domestic Water Taps. I: Compositional Analysis Using Tag-Encoded FLX Amplicon Pyrosequencing. *Mycopathologia* 175(5-6): 387–397. <https://doi.org/10.1007/s11046-013-9618-3>.
- [77] *Hoog de, G. S., Guarro, J., Gené, J., Figueras, M. J.*: (2000) Atlas of Clinical Fungi, 2nd edn. Utrecht/Reus: Centraal bureau voor Schimmelcultures/Universitat Rovira i Virgili.
- [78] *Mesquita-Rocha, S., Godoy-Martinez, P.C., Gonçalves, S. S., Urrutia, M. D., Carlesse, F., Seber, A., Silva M. A. A., Petrilli, A. S., Colombo, A. L.*: (2013) The Water Supply System as a Potential Source of Fungal Infection in Paediatric Haematopoietic Stem Cell Units. *BMC Infectious Diseases* 13: 289–295.
- [79] *Nucci, M., Akiti, T., Barreiros, G., Silveira, F., Revankar, S. G., Sutton, D. A., Patterson, T. F.*: (2001) Nosocomial Fungemia Due to *Exophiala jeanselmei* var. *jeanselmei* and a *Rhinochloidiella* Species: Newly Described Causes of Bloodstream Infection. *Journal of Clinical Microbiology* 39(2): 514–518.
- [80] *Nucci, M., Akiti, T., Barreiros, G., Silveira, F., Revankar, S. G., Wickes, B. L., Sutton, D. A., Patterson, T. F.*: (2002) Nosocomial Outbreak of *Exophiala jeanselmei* Fungemia Associated with Contamination of Hospital Water. *Clinical Infectious Diseases* 34: 1475–1480.
- [81] *Cohen, Y. Z., Stead, W.*: (2015) *Exophiala* Pneumonia Presenting with a Cough Productive of Black Sputum. Case Reports in Infectious Diseases. Volume 2015, Artikel ID 821049: 3 pp.
- [82] *Hoog de, G. S.*: (1993) Evolution of Black Yeasts: Possible Adaptation to the Human Host. *Antonie van Leeuwenhoek* 63(2): 105–109.
- [83] *Hoog de, G. S., Queiroz-Telles, F., Haase, G., Fernandez-Zeppenfeldt, G., Attili Angelis, D., Gerrits van den Ende, A. H. G., Matos, T., Peltroche-Llacsahuanga, H., Pizzirani-Kleiner, A. A., Rainer, J., Richard-Yegres, N., Vicente, V., Yegres, F.*: (2000) Black Fungi: Clinical and Pathogenic Approaches. *Medical Mycology* 38: 243–250.
- [84] *Meletiadis, J., Meis, J. F. G. M., Hoog de, G. S., Verweij, P. E.*: (2000) *In vitro* Susceptibilities of 11 Clinical Isolates of *Exophiala* Species to Six Antifungal Drugs. *Mycoses* 43: 309–312.
- [85] *Li, Y., Wan, Z., Li, R.*: (2014) *In Vitro* Activities of Nine Antifungal Drugs and Their Combinations against *Phialophora verrucosa*. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy* 58(9): 5609–5612.
- [86] *Cateau, E., Mergey, T., Kauffmann-Lacroix, C., Rodier, M.-H.*: (2009) Relationship Between Free Living Amoebae and *Exophiala dermatitis*: A Preliminary Study. *Medical Mycology* 47: 115–118.
- [87] Gesetz zur Verhütung und Bekämpfung von Infektionskrankheiten beim Menschen (Infektionsschutzgesetz – IfSG). Infektionsschutzgesetz vom 20. Juli 2000 (BGBl. I S. 1045),

das zuletzt durch Artikel 4 Absatz 20 des Gesetzes vom 18. Juli 2016 (BGBl. I S. 1666) geändert worden ist (2000). Bundesministeriums der Justiz und für Verbraucherschutz: 42 pp. <https://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/ifsg/gesamt.pdf> (aufgerufen am 3.7.2017).

[88] Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (Trinkwasserverordnung – TrinkwV 2001). Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz: 41 pp. https://www.gesetze-im-internet.de/trinkwv_2001/TrinkwV_2001.pdf (aufgerufen am 4.7.2017).

[89] European Communities (2011) Council Directive 98/83/EC of 3 November 1998 on the Quality of Water Intended for Human Consumption. Official Journal of the European Communities L. 330: 32–54.

[90] World Health Organization (2011): Guidelines for Drinking-water Quality. Fourth Edition. WHO Press, World Health Organization, Geneva: 541 pp.

Autoren diese Beitrages:

Dr. rer. nat. Wolfgang Karl Hofbauer,
wolfgang.hofbauer@ibp.fraunhofer.de
Chief Scientist Mikrobiologie, Ökotoxikologie und Genetik
Abteilung Umwelt, Hygiene und Sensorik
Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP,
Standort Holzkirchen Fraunhoferstr. 10
83626 Valley



Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP

Stuttgart

Postfach 80 04 69 – 70504 Stuttgart
Nobelstraße 12 – 70569 Stuttgart

Holzkirchen

Postfach 11 52 – 83601 Holzkirchen
Fraunhoferstraße 10 – 83626 Valley

www.ibp.fraunhofer.de