

# Trockene Luft – aktuelle Literaturstudie zu ihren Auswirkungen auf die Gesundheit

N. von Hahn, K. Bux

**ZUSAMMENFASSUNG** Beschäftigte an Innenraumarbeitsplätzen klagen immer wieder über Beschwerden, die sie einer zu trockenen Raumluft zuweisen. Über die tatsächlichen, medizinisch nachgewiesenen Auswirkungen trockener Luft auf die Gesundheit findet man teils sehr widersprüchliche Aussagen. In einer aktuellen Literaturstudie wurden nun die neuesten wissenschaftlichen Erkenntnisse zu diesem Thema ermittelt. Der Studienfokus lag auf dem Einfluss von trockener Raumluft auf Haut, Augen und Schleimhäute der Atemwege von Beschäftigten an Innenraumarbeitsplätzen sowie der Übertragung krankheitserregender Keime in diesen Bereichen. Die Auswertung zeigte, dass besonders im Hinblick auf die Gesundheit der Haut und die Aktivität von Viren Effekte einer trockenen Luft auftreten. Auf Basis der aktuell zur Verfügung stehenden wissenschaftlichen Erkenntnisse lassen sich in Bezug auf die hier betrachteten Effekte zurzeit weder Mindestwerte für die Raumluftfeuchte noch allgemeine Empfehlungen zur Befeuchtung der Raumluft an Innenraumarbeitsplätzen in den Wintermonaten ableiten.

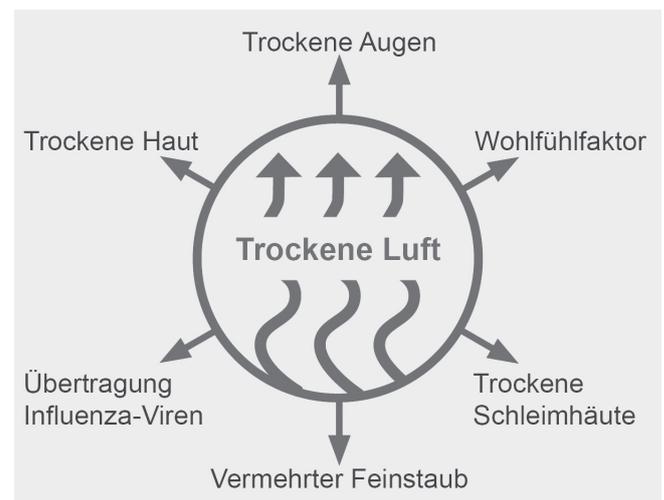
## Dry air: current literature review of its effects upon health

**ABSTRACT** Workers at indoor workplaces frequently suffer complaints that they attribute to the room air being too dry. The available information on the actual, medically proven effects of dry air upon health is in some cases highly inconsistent. An up-to-date literature review was to identify the latest scientific findings on this topic. It focuses on the influence of dry indoor air on the skin, eyes and mucous membranes of the respiratory tract of workers at indoor workplaces, and the transmission of pathogenic germs in these areas. The analysis showed the effects of a dry atmosphere to be associated in particular with skin health and the activity of viruses. The scientific findings currently available do not constitute a suitable basis either for the setting of minimum values for indoor air humidity, or for the issuing of general recommendations for the humidifying of air at indoor workplaces during the winter months.

## 1 Einleitung

Im Zusammenhang mit langen kalten Hochdruckwetterlagen im Winter klagen Beschäftigte vermehrt über juckende Haut, brennende Augen und trockene Schleimhäute. Die Ursache dafür wird einer trockenen Raumluft zugeschrieben, die sich aufgrund des Lüftens mit kalter, wenig Wasser enthaltender Außenluft natürlicherweise einstellt. Neben den direkt empfundenen Auswirkungen auf die Gesundheit wird trockene Luft darüber hinaus für die Übertragung von Viren und damit eine hohe Inzidenz von Erkältungskrankheiten im Winter verantwortlich gemacht. **Bild 1** zeigt beispielhaft das breite Spektrum der mit trockener Luft in Zusammenhang gebrachten Wirkungen. Besonders zur derzeitigen Corona-Pandemie empfehlen diverse Stellen, die Luftfeuchte in Räumen zu erhöhen, um das Risiko einer Ansteckung mit SARS-CoV-2 zu senken.

Im Jahr 2007 veröffentlichte das Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) eine erste umfassende Literaturstudie zur Wirkung niedriger Luftfeuchten auf die Gesundheit von Beschäftigten in Innenräumen [1]. Damals konnten keine wesentlichen Auswirkungen auf das Austrocknen der Schleimhäute ermittelt werden. Dagegen wurden die Zunahme der Hautrauhigkeit (Klagen über trockene und juckende Haut) und vermehrte elektrostatische Aufladungen („fliegende“ Haare bei weniger als 40 % relativer Luftfeuchte) in einen direkten Zusammenhang mit niedrigen Luftfeuchten gebracht. Auch deuteten Studien an, dass eine Erhöhung der relativen Luftfeuchte die Wahrscheinlichkeit, an einem grippalen Effekt zu erkranken, und



**Bild 1.** Mit trockener Luft in Verbindung gebrachte Wirkungen.  
Quelle: Graul, BAuA

die Anzahl der Beschwerden über trockene Augen senken kann. Nur bei Menschen mit bestimmten Vorerkrankungen, wie allergischem Asthma oder Neurodermitis, waren Effekte vorhanden. Letztlich konnte aus der Bewertung aller betrachteten Studien aber kein unterer Grenzwert für die Luftfeuchte abgeleitet werden, unterhalb dessen ein eindeutiger negativer Einfluss auf die Gesundheit der Beschäftigten besteht. Insofern stufte man hier

aus Sicht des Arbeitsschutzes den Einfluss der Luftfeuchte eher als eine Frage der Behaglichkeit und des Wohlbefindens ein.

Ob allein eine niedrige Luftfeuchte die Ursache für gesundheitliche Beschwerden ist, diskutiert die Fachwelt bis heute kontrovers. Mit einer internetbasierten Befragung von 1 100 Büroangestellten hat das Fraunhofer Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO) untersucht, welche Wirkung trockene Luft auf Leistungsfähigkeit, Motivation und Wohlbefinden der Befragten hat [2]. Demnach verbesserte sich das Wohlbefinden der Befragten bei Einsatz von zusätzlichen Direkt-Raumluftbefeuchtern. Auf Grundlage solcher Studien bewerben Hersteller über Artikel in Fachzeitschriften verstärkt den Einsatz von Direkt-Raumluftbefeuchtern, besonders in Büros und ähnlichen Anwendungen. Im Kontrast dazu steht eine Fragebogenaktion, die *de Kluizenaar* et al. 2016 in 167 Bürogebäuden in acht europäischen Staaten durchführten. Sie verglichen die Ergebnisse zu Augenbeschwerden mit den jeweiligen Gebäudeeigenschaften. Nach vollständiger Anpassung ergab das Regressionsmodell ein deutlich erhöhtes Risiko für Beschwerden über trockene Augen, unter anderem durch portable Luftbefeuchter [3]. Diese Aussage wird von weiteren Studien gestützt, die das Auftreten von Augenbeschwerden mit der Klimatisierung von Büros in Verbindung bringen. Aufgrund solch unterschiedlicher Ergebnisse zum Einfluss trockener Luft auf das Empfinden der Beschäftigten und zur Aktualisierung der Literaturstudie aus dem Jahr 2007 [1], sollten mit der nun vorliegenden Literaturstudie [4] die Kenntnisse über die Wirkung von niedrigen Luftfeuchten auf die Gesundheit des Menschen in Innenräumen auf einen aktuellen Stand gebracht werden. Im Ergebnis sollte eine Aussage getroffen werden, ob sich ein Erfordernis für betriebliche Maßnahmen des Arbeitsschutzes in Bezug auf die Wirkung von niedrigen Luftfeuchten ableiten lässt.

## 2 Durchführung der Literaturstudie

Der Fokus der Literaturstudie lag auf den Wirkungen trockener Luft auf Haut, Augen und Schleimhäute der Atemwege sowie auf die Übertragung krankheitserregender Keime, z. B. Influenzaviren, Bakterien oder Erkältungsviren. Reine Fragebogenerhebungen wurden ausgeklammert. Die ausgewählten Quellen sollten vornehmlich Beschäftigte in Bürobereichen berücksichtigen. Es fanden nur Quellen Berücksichtigung, die neben den bereits erwähnten Kriterien ab dem Jahr 2006 jahreszeitlich und nicht produktionstechnisch bedingte trockene Luft in Regionen mit gemäßigtstem Klima wie Mitteleuropa und auch Skandinavien betrachten. Als relevante Quellen aus den Jahren 2006 bis 2019 wurden in einem ersten Schritt die Reviews von *Pfluger* et al., *Derby* et al. und *Wolkoff* [5 bis 7] eruiert und anhand der beschriebenen Kriterien auf relevante Primärstudien durchsucht. Insgesamt zeigte sich in den Reviews ein heterogenes Bild, was die betrachteten Zeiträume, Zielgruppen, Schwerpunkte und Studienarten betraf. Dadurch lassen sich die dort gezogenen Schlussfolgerungen in der Regel nicht verallgemeinern und auf die hier relevante Zielgruppe beziehen. Das Review von *Pfluger* et al. [5] erscheint mit der Beschreibung von überwiegend klinischen Studien dabei am zielführendsten.

Neben der Auswertung der bereits genannten Reviews wurden über eine entsprechende Datenbankrecherche (EBSCO, PubMed) weitere Quellen erfasst. Die in dieser Literaturstudie ausgewerteten Primärstudien inklusive der bereits genannten Reviews sind in der **Tabelle** zusammengestellt.

**Tabelle.** Übersicht der Studien, die in die Auswertung einbezogen wurden.

Studie	Studiendesign					Zielgröße			
	Sekundärstudie	Interventionsstudie	Längsschnittstudie	Querschnittstudie	Modellstudie	Haut	Augen	Schleimhäute (Atemwege)	Viren und Bakterien
<i>Abusharha</i> and <i>Pearce</i> (2013) [8]		x					x		
<i>Borchman</i> et al. (2012) [9]				x			x		
<i>Bux</i> und <i>Polte</i> (2016) [10]	x					x			
<i>Colas de la Noue</i> et al. (2014) [11]		x							x
<i>Cravello</i> und <i>Ferri</i> (2008) [12]		x				x			
<i>Derby</i> et al. (2016) [6]	x					x	x		x
<i>Felsmann</i> et al. (2020) [13]		x					x		
<i>Galor</i> et al. (2011) [14]				x			x		
<i>González-García</i> et al. (2007) [15]		x					x		
<i>Hildenbrand</i> et al. (2011) [16]	x							x	
<i>Jaakkola</i> et al. (2014) [17]				x					x
<i>Koep</i> (2013) [18]		x				x			x
<i>Kozak</i> et al. (2014) [19]		x				x	x		
<i>Lan</i> et al. (2011) [20]		x					x		
<i>Lindemann</i> et al. (2008) [21]		x						x	
<i>Lowen</i> et al. (2007) [22]		x							x
<i>Lowen</i> and <i>Steel</i> (2014) [23]	x								x
<i>Madden</i> et al. (2013) [24]		x					x		
<i>Mäkinen</i> et al. (2009) [25]				x					x
<i>Metz</i> und <i>Finn</i> (2015) [26]	x								x
<i>Minhaz Ud-Dean</i> (2010) [27]						x			x
<i>Myatt</i> et al. (2010) [28]						x			x
<i>Noti</i> et al. (2013) [29]		x							x
<i>Pfluger</i> et al. (2013) [5]	x					x	x	x	
<i>Reimann</i> et al. (2018) [30]					x				x
<i>Shaman</i> und <i>Kohn</i> (2009) [31]	x								x
<i>Sunwoo</i> et al. (2006a) [32]		x					x	x	x
<i>Sunwoo</i> et al. (2006b) [33]		x					x	x	
<i>Takada</i> und <i>Matsushita</i> (2013) [34]						x	x		
<i>Tesón</i> et al. (2015) [35]						x		x	
<i>Um</i> et al. (2014) [36]			x				x		
<i>Vyumvuhore</i> et al. (2013) [37]		x					x		
<i>Wang</i> et al. (2017) [38]		x					x		
WHO (2019) [39]		x							x
<i>Wolkoff</i> (2017) [40]		x					x		
<i>Wolkoff</i> (2018) [7]		x					x	x	x
<i>Zhao</i> et al. (2011) [41]		x						x	

## 3 Mögliche Auswirkungen trockener Luft auf einzelne Aspekte der Gesundheit

### 3.1 Haut

*Sunwoo* et al. [32] beobachteten bei Luftfeuchten unterhalb von 30 % in Klimakammern bei jungen Männern deutliche Einflüsse auf die äußeren Zellschichten der Haut sowie eine Abnahme der mittleren Hauttemperatur. Im Rahmen einer In-vitro-Studie an menschlicher Haut konnten *Vyumvuhore* et al. [37] die Gehalte an ungebundenem und gebundenem Wasser in den äußeren Zellschichten der Haut sowie die Lipidorganisation und Proteinstoffwechsellage als Maß für die Barrierefunktion der Haut bei verschiedenen Werten von relativer Luftfeuchte und Lufttemperatur ermitteln. Es zeigte sich, dass die Lipidorganisation sowie die

Proteinbereitstellung bei mittleren relativen Luftfeuchten von ca. 60 % optimal sind. Mit aus Labortests an Versuchspersonen abgeleiteten Regressionsgleichungen konnten *Cravello* und *Ferri* [12] Korrelationen zwischen relativer Luftfeuchte und Lufttemperatur und den gemessenen Hautparametern ableiten. Demnach nimmt mit steigender Lufttemperatur der transepidermale Wasserverlust (Abdunstung von Feuchtigkeit über die Haut) zu, mit steigender relativer Luftfeuchte dagegen ab. Die Korrelation mit der Lufttemperatur ist dabei deutlich ausgeprägter. Mit ansteigender relativer Luftfeuchte und Lufttemperatur steigt die Hautfeuchte an. Bei Probandenversuchen in einer Klimakammer konnten *Felsmann* et al. [13] bei einer Erhöhung der relativen Luftfeuchte von 20 auf 40 % keine signifikante Änderung des transepidermalen Wasserverlusts feststellen. Dieses Ergebnis deckt sich mit älteren Studien, die im Bereich relativer Luftfeuchten von 30 % ein Maximum für den transepidermalen Wasserverlust zeigten [5]. *Felsmann* et al. [13] untersuchten zusätzlich den Einfluss der Art der Raumlüftung auf den transepidermalen Wasserverlust und stellten fest, dass er mit zunehmender Luftgeschwindigkeit ebenso wie mit zunehmender Raumlufttemperatur zunimmt. Zur Verringerung des transepidermalen Wasserverlusts empfehlen die Autoren daher im Gegensatz zu einer Erhöhung der Luftfeuchte, eher niedrigere Lufttemperaturen einzustellen und möglichst turbulenzarme Lüftungen mit niedrigen Luftgeschwindigkeiten einzusetzen. Zu einem ähnlichen Ergebnis kommen *Takada* und *Matsushita* [34], die mithilfe eines numerischen Menschmodells ermittelten, dass mit einer Verringerung der Lufttemperatur von 24 auf 20 °C die gleiche Verminderung des transepidermalen Wasserverlusts der Haut erreicht werden kann wie bei einer Erhöhung der relativen Luftfeuchte von 20 auf 40 %.

### 3.2 Augen

Studien zum Einfluss der Luftfeuchte auf die Augengesundheit beziehen sich in vielen Fällen auf die Untersuchung eines häufig auftretenden Krankheitsbilds in der Augenheilkunde, der Keratokonjunktivitis sicca, die auch als Syndrom des trockenen Auges bezeichnet wird [14]. Dabei hängt die Prävalenz unter anderem vom Wohnort ab und ist für den städtischen Bereich deutlich größer als für den ländlichen [36]. Weiterhin scheint das Auftreten des Syndroms von den Klimaverhältnissen vor Ort abzuhängen [35]. *Borchman* et al. [9] konnten im Rahmen einer Feldstudie zeigen, dass sich die Zusammensetzung der Lipidschicht des Tränenfilms (Meibom-Lipid) mit zunehmendem Alter verändert, wodurch der Tränenfilm weniger stabil gegenüber Verdunstung wird. In ihren Reviews kommen darüber hinaus *Derby* et al. [6] sowie *Wolkoff* [7; 40] zum Ergebnis, dass Klagen über trockene Augen nicht unbedingt mit einer niedrigen Luftfeuchte zusammenhängen müssen, vielmehr handele es sich um ein multifaktorielles Phänomen. Dabei stellt eine geringe Luftfeuchte neben Lufttemperaturen über 22 °C, Zugluft und Schadstoffen in der Luft nur einen von vielen Risikofaktoren für Beschwerden über trockene Augen dar. Darüber hinaus haben das Geschlecht, eingenommene Medikamente, verwendete Kosmetika, die Ernährung sowie das Tragen von Kontaktlinsen Einfluss auf die Gesundheit der Augen. In Labor-Interventionsstudien konnten *Sunwoo* et al. [32; 33] zeigen, dass die Lidschlagfrequenz signifikant ansteigt, wenn bei einer Lufttemperatur von 25 °C die relative Luftfeuchte von 50 auf 30 oder 10 % abgesenkt wird. *Abusharha* und *Pearce* [8] beobachteten bei einer Absenkung der relativen Luftfeuchte von 40 auf 5 % bei einer Lufttemperatur von 21 °C einen Anstieg

der Tränenverdunstungsrate, während die Dicke der Lipidschicht, die Tränenproduktion und die Tränenfilmstabilität sanken. Bereits bei einer Absenkung der Luftfeuchte von 35 % bei 24 °C auf 19 % bei 22 °C konnten *González-García* et al. [15] eine Verringerung der Tränenfilmstabilität beobachten, die aber weniger deutlich ausfiel als bei Versuchen mit einer relativen Luftfeuchte von 5 %. In den Studien von *Lan* et al. [20] führte eine Erhöhung der Lufttemperatur von 22 °C auf 30 °C bei gleichbleibender relativer Luftfeuchte von 22 % zu einer deutlichen Verschlechterung der Tränenfilmqualität. Auf Basis dieser Studie ist zu empfehlen, die Raumlufttemperatur im Bereich von 22 °C zu halten. *Madden* et al. [24] beobachteten, dass die Tränenverdunstungsrate bei einer Lufttemperatur von 22 °C sowohl bei relativen Luftfeuchten von 5 % als auch bei solchen von 40 % nach fünf Minuten auf ein Maximum steigt und sich nach etwa zehn Minuten Exposition auf einen Wert oberhalb der Basislinie einpendelte. In derselben Studie wurde gezeigt, dass die Gabe von Augentropfen auf Emulsionsbasis die Tränenverdunstungsrate bei Patienten mit dem Syndrom des trockenen Auges um einen Betrag reduziert, der einer Erhöhung der Luftfeuchte um 30 % entspricht. Bei niedrigen relativen Luftfeuchten verbesserte die Gabe von Augentropfen die Tränenfilmstabilität sowohl bei gesunden Personen als auch bei Patienten mit dem Syndrom des trockenen Auges. *Wang* et al. [38] konnten durch Erhöhung der Luftfeuchte um 5 % in der Nähe der Augenoberfläche mithilfe eines Desktop-Luftbefeuchters die Tränenfilmstabilität bei der Bildschirmarbeit leicht verbessern.

### 3.3 Schleimhäute der Atemwege

Im Zusammenhang von trockener Luft mit den Schleimhäuten der Atemwege wird insbesondere eine Beeinträchtigung der mukoziliären Clearance der Atemwege betrachtet. Sie spielt eine wichtige Rolle bei der Entfernung von eingeatmeten Fremdkörpern. Die eingeatmeten Teilchen werden dabei durch die Absonderung von Schleim gebunden und anschließend über die Bewegung von Flimmerhärchen (Zilien) aus den Atemwegen entfernt. Ist dieser Mechanismus gestört, steigt die Wahrscheinlichkeit von Atemwegsinfektionen. In den Datenbanken tauchen sehr viele Studien zum Einfluss der Luftfeuchte auf die Schleimhäute auf, die die Behandlung des Schlafapnoesyndroms mithilfe einer nächtlichen nasalen Überdrucktherapie (continuous positive airway pressure, CPAP) betrachten. Da hierbei die Austrocknung der Nasenschleimhäute auf den künstlich erzeugten Luftstrom zurückzuführen ist, wurden diese Studien nicht in die Literaturstudie einbezogen. *Hildenbrand* et al. [16] kommen ähnlich wie *Pfluger* et al. [5] und *Wolkoff* [7] in ihren Reviews zu dem Ergebnis, dass der Mensch bei reiner Nasenatmung in der Lage ist, die eingeatmete Luft in ausreichendem Maße zu befeuchten. Trockenheit im Mund- und Rachenraum könne demnach unter anderem durch Mundatmung bei niedriger relativer Luftfeuchte verursacht werden, da hierbei die Einatemluft nur mangelhaft konditioniert wird. Im Alter führen zudem anatomische Veränderungen und eine Rückbildung der Schleimhaut zu einer Zunahme von Beschwerden wie Beeinträchtigung der Nasenatmung und trockener Nase. Die Laborstudien von *Sunwoo* et al. [32] zeigten eine Abnahme der Zilientätigkeit erst unterhalb einer relativen Luftfeuchte von 10 %. Dieser Effekt verstärkt sich mit zunehmendem Alter [33]. Ältere Versuchspersonen zeigten in einer Studie von *Lindemann* et al. [21] darüber hinaus deutlich niedrigere intranasale Lufttemperatur- und Luftfeuchtwerte als jünge-

re Personen unter vergleichbaren Bedingungen. *Zhao et al.* [41] konnten in Laboruntersuchungen und durch subjektive Bewertung des Empfindens zeigen, dass kalte Luft einen stärkeren Effekt auf den nasalen Atemwegswiderstand hatte als trockene Luft alleine. Als Abhilfe bei Symptomen einer trockenen Nase werden bestimmte Arten von Nasensprays und die Anwendung von Nasenspülungen eher empfohlen als eine Erhöhung der Luftfeuchte.

### 3.4 Übertragung krankheitserregender Keime

Sowohl die allgemeinen Übersichtsarbeiten zur Wirkung trockener Luft von *Derby et al.* [6] und *Wolkoff* [7] als auch die speziell auf die Übertragung von krankheitserregenden Keimen ausgerichteten Literaturstudien von *Shaman und Kohn* [31], *Lowen und Steel* [23], *Metz und Finn* [26] sowie der WHO [39] kommen zu der Schlussfolgerung, dass niedrige Luftfeuchten die Aktivität und die Übertragung insbesondere von Influenzaviren begünstigen können. Die Auswertung aktueller Studien von *Metz und Finn* [26] belegt, dass hierfür insbesondere die absolute Luftfeuchte eine deutliche Korrelation zeigt. Gestützt auf epidemiologische Daten wird gezeigt, dass die Influenza-assoziierte Morbiditätsrate beim Menschen in Perioden mit niedriger absoluter Luftfeuchte signifikant ansteigt. Mit kontrollierten Laborversuchen an Meerschweinchen bei 20 °C konnten *Lowen et al.* [22] nachweisen, dass eine hohe Infektiosität von Influenzaviren bei einer relativen Luftfeuchte von 20 bis 35 % auftritt. Bei einer relativen Luftfeuchte von 50 % durchläuft sie ein Minimum, bevor sie bis 65 % relativer Luftfeuchte wieder ansteigt. Oberhalb einer relativen Luftfeuchte von 80 % wird die Infektiosität blockiert. Dieser Verlauf der Infektiosität korreliert mit demjenigen der Stabilität von Aerosolen (infolge der Dynamik aus Verdampfung und Deposition), in denen die Viren übertragen werden. Auf Grundlage eines aus diesen Erkenntnissen entwickelten Modells haben verschiedene Autoren weitere Untersuchungen zur Übertragung von Influenzaviren vorgenommen und Prognosen erstellt. *Noti et al.* [29] untersuchten in einer Klimakammer bei einer Lufttemperatur von 20 °C die Veränderung der Infektiosität verschiedener Aerosolfractionen (<1 µm, 1 bis 4 µm und >4 µm) in Abhängigkeit von der vorhandenen relativen Luftfeuchte (7 bis 73 %) über die Zeit (15 Minuten bis fünf Stunden) nach dem Abhusten mithilfe eines simulierenden Menschmodells. In den ersten 15 Minuten war ein starker und dann ein gleichmäßiger geringerer Abfall der Infektiosität festzustellen. Zwischen den einzelnen Fraktionen gab es keine großen Unterschiede. Eine signifikante Abnahme der Infektiosität von 75 auf 20 % konnte bei einer Erhöhung der relativen Luftfeuchte von ungefähr 20 % auf 40 bis 45 % festgestellt werden. *Colas de la Noue et al.* [11] untersuchten die Aktivität und Infektiosität kultivierbarer Noroviren in Abhängigkeit von der relativen Luftfeuchte (10, 35, 55 und 85 %) bei 25 °C über die Zeit (1 bis 20 Stunden). Während bei einer relativen Luftfeuchte von 10 % die Aktivität der Viren 51 % betrug, sank diese bei einer relativen Luftfeuchte von 35 auf 15 %. In diesen Versuchen wurde eine starke Korrelation zur absoluten Luftfeuchte deutlich, da bei unter 7 g/kg Wassergehalt der Luft (entspricht bei 25 °C einer relativen Luftfeuchte von ungefähr 35 %) eine konservierende Wirkung auf Viruspartikel unabhängig von der Temperatur festzustellen war. Höhere Luftfeuchten bewirken einen verstärkten Abbau des Virus-Kapsids und damit seine Inaktivierung. Mit einem Modell zur Verdampfung von Aerosolen prognostizierte *Minhaz Ud-Dean* [27] die Zeit zur Inaktivierung von Viren in Abhängigkeit von Lufttemperatur und Luft-

feuchte und beschrieb die zugehörigen Mechanismen. Aufgrund fehlender biophysikalischer Daten und Berücksichtigung zusätzlich wirkender Faktoren, z. B. Inaktivierung durch Strahlung oder chemische Einwirkungen, steht der Nachweis einer winterlichen Saisonalität von Virusinfektionen allerdings weiterhin aus. Mit einem Lüftungsmodell untersuchte *Myatt* [28] Möglichkeiten zur Erhöhung der Luftfeuchte in Räumen im Winter und prognostizierte damit auf Basis der Arbeiten von *Lowen et al.* [22] die Aktivität von Influenzaviren. *Koep* [18] prüfte die Möglichkeit der Erhöhung der absoluten Luftfeuchte in Schulen im Winter und prognostizierte eine damit mögliche Verringerung der Aktivität von Influenzaviren auf Basis des Modells von *Lowen et al.* [22]. Aus all diesen Studien lassen sich allerdings keine konkreten Empfehlungen für Mindestwerte der relativen oder absoluten Luftfeuchte ableiten, ab denen sich Aktivität und Infektiosität wirkungsvoll mindern lassen. Auch stehen der direkte Nachweis des Einflusses der Luftfeuchte auf die Übertragungsrate von Influenzaviren beim Menschen auf Basis kontrollierter Labor- und Feldstudien noch aus [39].

*Mäkinen et al.* [25] untersuchten das Auftreten von Infektionen der Atemwege bei jungen Wehrpflichtigen im Außeneinsatz und setzten diese in Korrelation zu den mittleren Tagesklimawerten (Außenlufttemperatur, absolute Luftfeuchte). Sie stellten fest, dass man vor der Diagnose einer Atemwegsinfektion einen signifikanten Abfall von Lufttemperatur und -feuchte feststellen konnte. Insbesondere mit einer niedrigen absoluten Luftfeuchte stand das Risiko für eine Erkrankung der oberen Atemwege und Pharyngitis (Entzündung der Rachenschleimhaut) in Korrelation. Ob diese Ergebnisse allerdings auf Beschäftigte in Innenräumen übertragen werden können, wurde nicht untersucht. Vergleichbare Untersuchungen führten *Jaakkola et al.* [17] bei jungen Soldaten im Außeneinsatz durch. Bei einer Außenlufttemperatur unter 5 °C bei gleichzeitiger absoluter Luftfeuchte unter 3 g/kg traten drei Tage später vermehrt Influenzadiagnosen auf. *Reimann et al.* [30] konnten auf Basis objektiver klinischer Tests eine signifikante Reduzierung des Auftretens und der Infektiosität von Influenzaviren in Schulräumen durch Erhöhung der relativen Luftfeuchte von 30 auf 40 % beobachten. In nicht befeuchteten Räumen wurden deutlich mehr influenzaähnliche Krankheitsfälle beobachtet als in den befeuchteten. Um das Risiko einer Influenza zu mindern, empfiehlt er daher eine Raumluftbefeuchtung.

### 3.5 Ergänzungen zur Literaturstudie im Hinblick auf SARS-CoV-2

Im Hinblick auf mögliche Maßnahmen, um die Infektionsketten der Corona-Pandemie zu unterbrechen, wird auch immer wieder empfohlen, die Raumluftfeuchte zu erhöhen. Eine erste diesbezügliche Recherche der Federation of European Heating, Ventilation and Air Conditioning Associations (REHVA) [6] kam zu dem Ergebnis, dass die Befeuchtung und Klimatisierung von Räumen praktisch keine Wirkung haben. Das SARS-CoV-2-Virus ist sehr widerstandsfähig gegen Umwelteinflüsse. Dies belegt unter anderem die Tatsache, dass mit Beginn des Frühjahrs keine Abnahme der Prävalenz auftrat. Erst ab einer sehr hohen relativen Luftfeuchte von über 80 % und einer Lufttemperatur über 30 °C zeigt sich nach derzeitigen Erkenntnisstand ein Einfluss auf die Aktivität von SARS-CoV-2. Bereits in früheren Studien zeigten *Chan et al.* [7] diesen Effekt für Coronaviren im Allgemeinen. Erst bei Lufttemperaturen von 38 °C und relativen Luft-

feuchten über 95 % sank die Aktivität des Virus. In einer aktuellen Literaturstudie stellen Dietz et al. [8] Leitlinien zur Minimierung der Übertragung von Infektionskrankheiten insbesondere in Gebäuden in Bezug auf SARS-CoV-2 über umweltbedingte Wege zusammen. Zum Einfluss der Luftfeuchte lassen sich daraus allerdings keine anderen Erkenntnisse ableiten.

## 4 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Die Anzahl neuer Studien zum Einfluss der Luftfeuchte auf die Gesundheit von Beschäftigten an Innenraumarbeitsplätzen ist begrenzt. Darüber hinaus zeigt sich ein eher heterogenes Bild, was die in den Studien betrachteten Zeiträume, Zielgruppen, Schwerpunkte und Studienarten betraf. In den aktuellen Literaturstudien zum Einfluss der Luftfeuchte auf die Haut wurden nur wenige Studien auf Basis messtechnischer Untersuchungen gefunden, und es konnten nur vereinfachte Zusammenhänge abgeleitet werden. Die meisten Laborversuche wurden mit relativ wenigen Versuchspersonen aus nicht repräsentativen Gruppen ausgeführt, bei Versuchsdauern über nur wenige Stunden. Die In-vitro-Versuche zum Nachweis der Verbesserung der Hautbarriere durch Erhöhung der Luftfeuchte können nur bedingt auf den lebenden Organismus übertragen werden. Numerische Modellrechnungen zeigen grundsätzliche Tendenzen, wie man mit einer Absenkung der Lufttemperatur einen ähnlichen Effekt zur Minderung der Feuchteabgabe der Haut erreichen kann wie mit einer Erhöhung der Luftfeuchte. Insofern lassen sich insgesamt aus den hinzugezogenen Studien keine neuen Erkenntnisse ableiten, die aus dermatologischer Sicht konkrete Anforderungen an die Raumluftfeuchte stellen würden und aus denen sich konkrete Maßnahmen für den Arbeitsschutz ableiten ließen. Nach wie vor gibt es nur wenige aussagekräftige Studien, die den Einfluss von trockener Luft auf die Augen untersuchen. In einigen dieser Studien konnte eine Abnahme der Tränenfilmstabilität mit einer Abnahme der relativen Luftfeuchte unter 30 % in Verbindung gebracht werden. Eine vergleichbare Abnahme kann man aber auch bei zunehmender Lufttemperatur über 22 °C beobachten. Im Rahmen der Studien wurden keine Langzeiteffekte untersucht. Bei einem nicht geringen Teil der Bevölkerung wird das sogenannte Syndrom des trockenen Auges angetroffen. Dabei hängt die Prävalenz unter anderem vom Wohnort ab und ist für den städtischen Bereich deutlich größer als für den ländlichen. Weitere Einflussfaktoren auf die Gesundheit der Augen sind – neben vermehrter Bildschirmarbeit – eingenommene Medikamente, verwendete Kosmetika, die Ernährung sowie das Tragen von Kontaktlinsen.

Studien an gesunden Versuchspersonen haben ergeben, dass die Luftfeuchte nur geringen Einfluss auf die Schleimhäute der Atemwege hat. Stattdessen zeigt sich ein deutlicher Einfluss des Alters auf die Trockenheit der Schleimhäute in den Atemwegen. Auch kann eine vermehrte oder reine Mundatmung im Gegensatz zur Nasenatmung zu deutlich trockeneren Schleimhäuten im Mund- und Rachenbereich führen. Bei Symptomen einer trockenen Nase werden Nasensprays und -spülungen eher empfohlen als eine Erhöhung der Luftfeuchte. Dabei sollte eine längerfristige Verwendung von Nasensprays mit der Betriebsärztin oder dem Betriebsarzt abgeklärt werden.

In der Auswertung von Literaturstudien kann gezeigt werden, dass, gestützt auf epidemiologische Daten, die Influenza-assoziierte Morbiditätsrate in Perioden mit niedriger absoluter

Luftfeuchte signifikant ansteigt. Daraus lassen sich aber noch keine konkreten Empfehlungen für Mindestwerte der relativen und absoluten Luftfeuchte in Innenräumen ableiten, ab denen sich Aktivität und Infektiosität von Influenzaviren wirkungsvoll mindern lassen. Labor-Interventionsstudien zeigen, dass Influenza- und auch Noroviren in trockener Umgebung eine hohe Aktivität und Infektiosität haben und diese Effekte bei feuchteren Bedingungen deutlich gehemmt werden. Werte für die Luftfeuchte, ab denen diese Effekte auftreten, können nur grob abgegrenzt werden. Erst oberhalb einer relativen Luftfeuchte von 40 % oder einer absoluten Luftfeuchte von 7 g/kg gilt eine deutliche Minderung der Infektiosität im Laborversuch als gesichert. Feldstudien geben zwar erste Hinweise, dass bei sinkenden Außenlufttemperaturen und absoluten Luftfeuchten das Auftreten von Infektionen und Influenza vermehrt zu beobachten ist und bei Erhöhung der Luftfeuchte in Räumen dort weniger Infektionen auftraten. Wie auch bei allen anderen ausgewerteten Studien steht hier aber der Nachweis der Übertragbarkeit der Ergebnisse auf Beschäftigte in Innenräumen und die Ableitung von Schwellenwerten noch aus. Insofern lassen sich in Bezug auf das Schutzziel „Minderung der Übertragung krankheits-erregender Keime (insbesondere Influenzaviren) in Arbeitsstätten in der kalten Jahreszeit“ keine konkreten Maßnahmen in Bezug auf eine Intervention mit Erhöhung der Luftfeuchte in Innenräumen ableiten.

## 5 Fazit

Bei der Ableitung einer unteren Grenze für die relative Luftfeuchte in Gebäuden, unterhalb der eine Luftbefeuchtung anzuraten ist, muss der Gesamtkontext betrachtet werden. Der Fokus der Literaturstudie lag auf dem Einfluss jahreszeitlich bedingter trockener Luft auf die Gesundheit von an Innenraumarbeitsplätzen arbeitenden Beschäftigten in Staaten mit gemäßigttem Klima. Insbesondere aufgrund der im Vergleich zur Arbeitszeit deutlich längeren Aufenthaltsdauer an weiteren Orten, z. B. in der eigenen Wohnung, öffentlichen Räumen (z. B. Kaufhäuser, Banken, Theatern, Restaurants usw.) oder Verkehrsmitteln, in denen in der Regel keine Luftbefeuchtung erfolgt, muss abgewogen werden, ob in Abhängigkeit vom Ziel, das hinsichtlich der Gesundheit der Beschäftigten erreicht werden soll, eine Raumluftbefeuchtung am Arbeitsplatz eine wirkungsvolle Intervention darstellt. Für die hier betrachteten Aspekte des Einflusses von trockener Raumluft auf Haut, Augen und Schleimhäute der Atemwege sowie auf die Übertragung krankheits-erregender Keime zeigten sich keine bzw. keine gesicherten Effekte. Eine evidente Datenbasis, aus der man schlussfolgern kann, dass die Einhaltung eines Minimalwerts für die Luftfeuchte nachhaltig die Gesundheit der Beschäftigten positiv beeinflussen kann, lässt sich in Auswertung der erfassten Studien nicht erbringen. Insofern kann kein Minimalwert der anzustrebenden Luftfeuchte in Innenräumen von Arbeitsstätten angegeben werden. Bei Klagen über trockene Raumluft sollten bei der Gefährdungsbeurteilung über die hier betrachteten Aspekte hinausgehende Gesichtspunkte wie subjektive Wahrnehmung oder Wohlbefinden beachtet werden. Auch sind weitere Faktoren einzubeziehen, die zu den gleichen Beschwerden führen können, wie beispielsweise Staub oder andere Verschmutzungen in der Raumluft, zu hohe Raumtemperaturen oder Außenluftvolumenströme, verbunden mit Zugluft, sowie mangelnde ergonomische Gestaltung der Bildschirmarbeit.

## Literatur

- [1] von Hahn, N.: „Trockene Luft“ und ihre Auswirkungen auf die Gesundheit – Ergebnisse einer Literaturstudie. *Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft* 67 (2007) Nr. 3, S. 103-107.
- [2] Rief, S.; Jurecic, M.: Luftfeuchtigkeit am Büroarbeitsplatz – Studie zur Bedeutung der Luftfeuchtigkeit im Büro. Hrsg.: Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO), Stuttgart 2014.
- [3] de Kluizenaar, Y.; Roda, C.; Dijkstra, N. E.; Fossati, S.; Mandin, C.; Mihucz, V. et al.: Office characteristics and dry eye complaints in European workers – The OFFICAIR study. *Build. Environ.* 102 (2016), S. 54-63.
- [4] Bux, K.; von Hahn, N.: „Trockene Luft“ – Literaturstudie zu den Auswirkungen auf die Gesundheit. BAuA Bericht. Hrsg.: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), Dortmund 2020.
- [5] Pfluger, R.; Feist, W.; Tietjen, A.; Neher, A.: Physiological impairments of individuals at low indoor air humidity, *passipedia* 2013. [http://passipedia.passiv.de/passipedia/en/\\_medial/picopen/low\\_humidity.pdf](http://passipedia.passiv.de/passipedia/en/_medial/picopen/low_humidity.pdf)
- [6] Derby, M.; Eckels, S.; Hwang, G.; Gyron, J.; Maghirang, R.; Shulan, D.: Update the scientific evidence for specifying lower limit relative humidity levels for comfort, health and IEQ in occupied spaces. ASHRAE Research Project Report 1630-RP 2016.
- [7] Wolkoff, P.: Indoor air humidity, air quality, and health – An overview. *Int. J. Hyg. Environ. Health* 221 (2018), S. 376-390.
- [8] Abusharha, A. A.; Pearce, E. I.: The effect of low humidity on the human tear film. *Cornea* 32 (2013) Nr. 4, S. 429-434.
- [9] Borchman, D.; Foulks, G. N.; Yappert, M. C.; Milliner, S. E.: Changes in human meibum lipid composition with age using nuclear magnetic resonance spectroscopy. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* 53 (2012) Nr. 1, S. 475-482.
- [10] Bux, K.; Polte, C.: Psychische Gesundheit in der Arbeitswelt – Klima. BAuA Bericht Forschung F2353, Hrsg.: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), Dortmund 2026.
- [11] Colas de la Noue, A.; Estienney, M.; Aho, S.; Perrier-Cornet, J.-M.; de Rougemont, A.; Pothier, P. et al.: Absolute humidity influences the seasonal persistence and infectivity of human norovirus. *Appl. Environ. Microbiol.* 80 (2014) Nr. 23, S. 7196-7205.
- [12] Cravello, B.; Ferri, A.: Relationships between skin properties and environmental parameters. *Skin Res. Technol.* 14 (2008) Nr. 2, S. 180-186.
- [13] Felsmann, G.; Gebhardt, H.; Gritzki, R.; Hensel, B.; Kabitzsch, K.; Keuchel, M. et al.: Entwicklung eines Aml-Plattformkonzepts auf der Basis von Modell- und Laboruntersuchungen zur Wirkung des Raumklimas auf die Haut. BAuA Bericht Forschung F 2299-2. Hrsg.: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), Dortmund 2020.
- [14] Galor, A.; Feuer, W.; Lee, D. J.; Florenz, H.; Carter, D.; Pouyeh, B. et al.: Prevalence and risk factors of dry eye syndrome in a United States veterans affairs population. *Am. J. Ophthalmol.* 152 (2011) Nr. 3, S. 377-384.
- [15] González-García, M. J.; González-Sáiz, A.; de la Fuente, B.; Morilla-Grasa, A.; Mayo-Iscar, A.; San-José, J. et al.: Exposure to a controlled adverse environment impairs the ocular surface of subjects with minimally symptomatic dry eye. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* 48 (2007) Nr. 9, S. 4026-4032.
- [16] Hildenbrand, T.; Weber, R. K.; Brehmer, D.: Rhinitis sicca, dry nose and atrophic rhinitis: a review of the literature. *Eur. Arch. of Oto-Rhino-L.* 268 (2011), S. 17-26.
- [17] Jaakkola, K.; Saukkoriipi, A.; Jokelainen, J.; Juvonen, R.; Kaupilla, J.; Vainio, O.; Ziegler, T. et al.: Decline in temperature and humidity increases the occurrence of influenza in cold climate. *Environ. Health* 13 (2014) S. 1-22.
- [18] Koep, T. H.; Enders, F. T.; Pierret, C.; Ekker, S. C.; Krageschmidt, D.; Neff, K. L. et al.: Predictors of indoor absolute humidity and estimated effects on influenza virus survival in grade schools. *BMC Infect. Dis.* 13 (2013), S. 71.
- [19] Kozak, W.; Stein, D.; Felsmann, C.; Hensel, B.; Kabitzsch, K.; Rieckho, F. et al.: Aml-basierte Regelung von Klimaanlage und Anwendung auf das Phänomen der „Trockenen Luft“ BAuA Bericht Forschung F2299. Hrsg.: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), Dortmund 2014.
- [20] Lan, L.; Wargocki, P.; Wyon, D. P.; Lian, Z.: Effects of thermal discomfort in an office on perceived air quality, SBS symptoms, physiological responses, and human performance. *Indoor Air* 21 (2011), S. 376-390.
- [21] Lindemann, J.; Sannwald, D.; Wiesmiller, K.: Age-related changes in intranasal air conditioning in the elderly. *Laryngoscope* 118 (2008) Nr. 8, S. 1472-1475.
- [22] Lowen, A. C.; Mubareka, S.; Steel, J.; Palese, P.: Influenza virus transmission is dependent on relative humidity and temperature. *PLoS Pathog.* 3 (2007) Nr. 10, S. 1470-1476.
- [23] Lowen, A. C.; Steel, J.: Roles of humidity and temperature in shaping influenza seasonality. *J. Virol.* 88 (2014) Nr. 14, S. 7692-7695.
- [24] Madden, L. C.; Tomlinson, A.; Simmons, P. A.: Effect of humidity variations in a controlled environment chamber on tear evaporation after dry eye therapy. *Eye Contact Lens* 39 (2013) Nr. 2, S. 169-174.
- [25] Mäkinen, T. M.; Juvonen, R.; Jokelainen, J.; Harju, T. H.; Peitso, A.; Bloigu, A. et al.: Cold temperature and low humidity are associated with increased occurrence of respiratory tract infections. *Respir. Med.* 103 (2009), S. 456-462.
- [26] Metz, J. A.; Finn, A.: Influenza and humidity – Why a bit more damp may be good for you! *J. Infect.* 71 (2015), S. 54-58.
- [27] Minhaz Ud-Dean, S. M.: Structural explanation for the effect of humidity on persistence of airborne virus: Seasonality of influenza. *J. Theor. Biol.* 264 (2010), S. 822-829.
- [28] Myatt, T. A.; Kaufman, M. H.; Allen, J. G.; Macintosh, D. L.; Fabian, M. P.; McDevitt, J. J.: Modeling the airborne survival of influenza in a residential setting: the impacts of home humidification. *Environ. Health* 9 (2010), S. 55.
- [29] Noti, J. D.; Blachere, F. M.; McMillen, C. M.; Lindsley, W. G.; Kashon, M. L.; Slaughter, D. R.; Beezhold, D. H.: High humidity leads to loss of infectious influenza virus from simulated coughs. *PLoS One* 8 (2013) Nr. 2, e57485.
- [30] Reimann, J. M.; Das, B.; Sindberg, G. M.; Urban, M. D.; Hammerfund, M. E. M.; Lee, H. B. et al.: Humidity as a non-pharmaceutical intervention for influenza A. *PLoS One* 25 (2018), S. 1-15.
- [31] Shaman, J.; Kohn, M.: Absolute humidity modulates influenza survival, transmission, and seasonality. *PNAS* 106 (2009) Nr. 9, S. 3243-3248.
- [32] Sunwoo, Y.; Chou, C.; Takeshita, J.; Murakami, M.; Tochihara, Y.: Physiological and subjective responses to low relative humidity. *J. Physiol. Anthropol.* 25 (2006) Nr. 3, S. 7-14.
- [33] Sunwoo, Y.; Chou, C.; Takeshita, J.; Murakami, M.; Tochihara, Y.: Physiological and subjective responses to low relative humidity in young and elderly men. *J. Physiol. Anthropol.* 25 (2006) Nr. 3, S. 229-238.
- [34] Takada, S.; Matsushita, T.: Modeling of moisture evaporation from the skin, eyes, and airway to evaluate sensations of dryness in low-humidity environments. *J. Build. Phys.* 36 (2013) Nr. 4, S. 422-437.
- [35] Tesón, M.; López-Miguel, A.; Neves, H.; Calonge, M.; González-García, M. J.; González-Méijome, J.: Influence of climate on clinical diagnostic dry eye tests: Pilot Study. *Optom. Vis. Sci.* 92 (2015) Nr. 9, S. 284-289.
- [36] Um, S.-B.; Kim, N. H.; Lee, H. K.; Song, J. S.; Kim, H. C.: Spatial epidemiology of dry eye disease: findings from South Korea. *Int. J. Health Geogr.* 13 (2014), S. 1-9.
- [37] Vyumvuhore, R.; Tfayli, A.; Duplan, H.; Delalleau, A.; Manfait, M.; Baillet-Guffroy, A.: Effects of atmospheric relative humidity on Stratum Corneum structure at the molecular level: ex vivo Raman spectroscopy analysis. *Analyst* 138 (2013), S. 4103-4111.
- [38] Wang, M. T. M.; Chan, E.; Ea, L.; Kam, C.; Lu, Y.; Misra, S. L. et al.: Randomized trial of desktop humidifier for dry eye relief in computer users. *Optom. Vis. Sci.* 94 (2017) Nr. 11, S. 1052-1057.
- [39] Non-pharmaceutical public health measures for mitigating the risk and impact of epidemic and pandemic influenza. Hrsg.: World Health Organization (WHO), Genf, Schweiz 2019.
- [40] Wolkoff, P.: External eye symptoms in indoor environments. *Indoor Air* 27 (2017), S. 246-260.
- [41] Zhao, K.; Blacker, K.; Luo, Y.; Bryant, B.; Jiang, J.: Perceiving nasal patency through mucosal cooling rather than air temperature or nasal resistance. *PLoS One* 6 (2011) Nr. 10, S. 1-8.
- [42] How to operate and use building services in order to prevent the spread of the coronavirus disease (COVID-19) virus (SARS-CoV-2) in workplaces. REHVA COVID-19 guidance document Federation of European Heating, Ventilation and Air Conditioning Association 17. März (2020).
- [43] Chan, K. H.; MalikPeiris, J. S.; Lam, S. Y.; Poon, L. M. M.; Yuen, K. Y.; Seto, W. H.: The effects of temperature and relative humidity on the viability of the SARS coronavirus. *Adv. Virol.* (2011).
- [44] Dietz, L.; Horve, P. F.; Coil, D. A.; Fretz, M.; Eisen, J. A.; van de Wymelenberg, K.: Novel Coronavirus (COVID-19) Pandemic: Built Environment Considerations To Reduce Transmission. *American society for microbiology* 5 (04/2020)

Dr. rer. nat. Nadja von Hahn,  
Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA), Sankt Augustin.

Dr.-Ing. Kersten Bux,  
Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), Dresden.