

Hintergrundwerte von Actinomyceten – erste Ergebnisse

Elwira Grychtol, Michael Köhler, Dr. Heidrun Hofmann, Stephan Hackmann, Dr. Norbert Weis

Bremer Umweltinstitut Gesellschaft für Schadstoffanalytik und Begutachtung mbH

Zusammenfassung

Mit Hilfe von Luftmessungen können in Innenräumen mit feuchtigkeitsbedingten Schäden in vielen Fällen nicht nur Schimmelpilze, sondern auch Actinomyceten nachgewiesen werden. Für diese werden ebenfalls gesundheitliche Folgen durch eine dauerhafte Exposition diskutiert. Da für biogene Schadstoffe, anders als für chemische Gefahrstoffe, aber keine Schwellen für gesundheitliche Effekte genannt werden können, gibt es keine Richt- oder Grenzwerte, die zur Bewertung der Innenraummessungen herangezogen werden. Als Referenz werden die natürlichen Hintergrundkonzentrationen in der Außenluft am Tag der Messung genutzt. Diese Werte können allerdings starken Schwankungen unterliegen. In der Literatur finden sich nur wenig Informationen über durchschnittliche Actinomycetenkonzentrationen in der Außenluft. Die vom Bremer Umweltinstitut in den letzten drei Jahren erhobenen Daten aus 91 Außenluftmessungen im norddeutschen Raum sollen nun einen ersten Eindruck vermitteln, in welcher Spannbreite Actinomyceten zu erwarten sind und durch welche Faktoren sie unter Umständen beeinflusst werden.

Einleitung

In Innenräumen mit feuchtigkeitsbedingten Schäden können auch in der Luft in vielen Fällen Schimmelpilze nachgewiesen werden. Neben Schimmelpilzen kommen in feuchten Innenräumen häufig aber auch Actinomyceten vor, wie 2003 von Lorenz et al. veröffentlicht wurde und auch eigene Erfahrungen zeigen. Da einige Actinomyceten ebenso wie Schimmelpilze dazu in der Lage sind ein mycelartiges Geflecht und vor allem Sporen auszubilden, ist es möglich diese ebenfalls in der Raumluft nachzuweisen.

Bei der Messung chemischer Belastungen dienen Richt- oder Grenzwerte zur vergleichenden Beurteilung der Messergebnisse. Für biogene Schadstoffe sind solche Werte nicht vorhanden, weil keine Schwellen für gesundheitliche Effekte genannt werden können. Es werden Referenzwerte zum Vergleich herangezogen. Bei Luftproben sind das in der Regel die in der Außenluft am Tag der Probenahme erzielten Messwerte unter den jeweiligen klimatischen Bedingungen (Kolk 2009). Da die klimatischen Bedingungen und damit auch die vorherrschenden Konzentrationen der zu untersuchenden Parameter kurzfristigen, starken Schwankungen unterliegen können, wird diese Methode zum Teil eher kritisch betrachtet.

Für Schimmelpilze bietet die Literatur inzwischen zahlreiche Daten über die natürlich vorkommenden Konzentrationen unterschiedlicher Arten oder Gattungen zu den verschiedenen Jahreszeiten in der Außenluft. Zu Bakterien und insbesondere zu den Actinomyceten unter den Bakterien gibt es deutlich weniger Informationen in welchen Konzentrationen sie natürlich in der Umgebung vorkommen. Innerhalb des Bearbeitungszeitraumes dieser Arbeit lag den Autoren nur eine Quelle zu Actinomyceten in der Außenluft vor, welche aus Peking, China stammt (s. Fang et al. 2008).

Mit Actinomyceten sind die mycelbildenden Vertreter der Klasse der *Actinobacteria* gemeint. Auf Grund ihrer Fähigkeit ein Substrat- oder auch Luftmycel auszubilden, wodurch sie den Schimmelpilzen sehr ähnlich sehen, wurden sie früher irrtümlicherweise als „Strahlenpilze“

bezeichnet. Später wurde festgestellt, dass es sich bei dieser Gruppe aber um Bakterien handelt (Gabrio et al. 2009)

Die *Actinobacteria* gehören innerhalb der *Eubacteria* zur phylogenetischen Gruppe der gram-positiven Bakterien und zeichnen sich durch einen mit >55% eher hohen Guanin-Cytosin-Gehalt im Genom aus. Ihr morphologisches Erscheinungsbild reicht von kokkoiden Zellen, über unregelmäßig geformte Stäbchen bis hin zu komplexen mycelialen Strukturen (Gabrio et al. 2009). Das natürliche Habitat der meisten *Actinobacteria*-Arten ist der Boden. Dort leben sie aerob, heterotroph und saprophytisch. Da sie sich von abgestorbener organischer Substanz ernähren und in der Lage sind komplexe Verbindungen zu zersetzen, tragen sie nicht nur wesentlich zur Humusbildung im Boden bei, sondern vermögen dort auch Schadstoffe abzubauen. Weiterhin zeichnen sie sich durch ein im Vergleich zu anderen Bakterienarten und zu Schimmelpilzen eher langsames Wachstum aus. Gemeinsam mit den Schimmelpilzen haben sie die Möglichkeit zur Verbreitung über Sporen (Trautmann 2007, Fangmeyer et al. 2009).

Eine darüber hinaus bedeutsame Eigenschaft dieser Bakterien ist ihre Fähigkeit Sekundärmetabolite mit antibiotischer, aber auch toxischer Wirkung zu produzieren, wodurch sie ebenfalls ähnlich wie die Schimmelpilze ein allergenes, toxisches, aber auch infektiöses Potential aufweisen können. So kann eine übermäßige Exposition mit Sporen von Schimmelpilzen oder Actinomyceten zu einer heftigen Reaktion des Lungengewebes führen, der exogen allergischen Alveolitis. Darüber hinaus gibt es Vertreter die zu zahlreichen Infektionen im menschlichen Gewebe führen können, allerdings beschränkt sich dieses krankheitserregende Potential in einem Großteil der Fälle auf abwehrgeschwächte Personen. Dennoch konnte gezeigt werden, dass es sich bei diesen Erkrankungen nicht immer nur um Einzelfälle handelt. So wurde in einem Klinikum eine Häufung von *Nocardia-farcinica*-Infektionen in frischen Operationswunden in unmittelbarem Zusammenhang mit Abbrucharbeiten an einem dem Patiententrakt gegenüberliegenden Gebäude gebracht (Schaal 2007; Trautmann 2007).

In dieser Arbeit sind mit „Actinomyceten“ ausschließlich die mycelbildenden Vertreter der Gruppe der *Actinobacteria* gemeint, wobei nicht ausgeschlossen werden kann, dass auch die so genannten Thermoactinomyceten miteingefasst werden, die taxonomisch auf Grund eines niedrigen Guanin-Cytosin-Gehaltes nicht zur Klasse der *Actinobacteria* gehören, jedoch gleichwohl ein mycelartiges Wachstum aufweisen und deshalb ohne molekularbiologische Verfahren bei den hier angewandten Methoden im Falle eines Auftretens nicht unterschieden werden können (Schaal 2007; Gabrio et al. 2009).

Ihr ubiquitäres Vorkommen, die dünne Datenlage zu diesem Thema, sowie ihrer unter Umständen nicht geringen Rolle bei der Beurteilung des hygienischen Zustandes von Innenräumen sollen zum Anlass genommen werden die vom Bremer Umweltinstitut in den letzten drei Jahren im Rahmen von Luftmessungen in Haushalten und öffentlichen Gebäuden erhobenen Außenluftwerte für Actinomyceten in einen Datensatz zusammenzufassen und statistisch zu betrachten. Dabei wurden alle bei den Probenahmen dokumentierten Faktoren wie Datum, Temperatur, relative Luftfeuchtigkeit und etwaige Störfaktoren aufgenommen und soweit möglich im Hinblick auf ihren Einfluss ausgewertet.

Material und Methoden

Als Probenahmeverfahren für die Bestimmung der Actinomycetenkonzentration in der Außenluft diente die Impaktion nach VDI 4300 Blatt 10 bzw. DIN EN ISO 16000-19 mittels eines MBASS30 Systems der Firma Umweltanalytik Holbach GmbH mit dem passenden Luftkeimsammelkopf. An jedem Messort wurden dabei Nährbodenplatten mit Mineral-Agar nach Gauze et al. parallel mit in der Regel 50 und 100 Litern Luft beaufschlagt. Bei den Messwerten handelt es sich um diejenigen Außenluftreferenzwerte, die im Rahmen von beauftragten Innenraumluftmessungen an dem jeweiligen Standort seit März 2013 bis Juli 2016 vom Bremer Umweltinstitut erhoben worden sind. Die Messorte konzentrieren sich auf den norddeutschen Raum, wobei eine Überrepräsentation eines Messpunktes in Osnabrück vorliegt, die bei der Auswertung der Daten allerdings berücksichtigt wurde. Neben den Parametern Messort und Datum wurden auch die vorherrschende Temperatur, die aktuelle Luftfeuchtigkeit, sowie etwaige Störfaktoren dokumentiert.

Der verwendete Nährboden ist nach bekanntem Rezept mit 0,1g Pimaricin pro Liter angesetzt worden, um das Wachstum von Schimmelpilzen zu vermeiden oder zu vermindern und wurde längstens 3 Monate nach Herstellung aufbewahrt. Im Anschluss an die Probenahmen wurden die Platten für 21 Tage bei 28°C und Dunkelheit im Brutschrank inkubiert und ausschließlich für die Zählungen nach sieben und 14 Tagen kurz herausgenommen. Nach Ablauf von 21 Tagen Inkubationszeit wurden die auf den Nährböden gewachsenen Kolonien abschließend gezählt und mit Hilfe der Stereolupe oder eines mikroskopischen Präparats bei 400 bis 1000facher Vergrößerung auf das Vorhandensein mycelialer Strukturen hin untersucht. Konnte ein Mycel nachgewiesen werden, das nicht von Schimmelpilzen stammte, so wurden diese Kolonien als Actinomyceten gewertet und dokumentiert. Die so erzielten Werte wurden wie auch für Schimmelpilze und andere Bakterien üblich als koloniebildende Einheiten pro Kubikmeter Luft angegeben (KBE/m³).

Zu Beginn der Erfassung von Actinomyceten in Luft- und Materialproben musste sich aus praxisorientierten und wirtschaftlichen Gründen auf ein Nährmedium zur routinemäßigen Überprüfung festgelegt werden. Dabei war bereits bekannt, dass verschiedene Actinomycetenarten durchaus verschiedene dieser speziellen Medien bevorzugen. Hier wurde sich für den Mineral-Agar nach Gauze et al. entschieden, der einem relativ großen Spektrum verschiedener Actinomyceten zum Wachsen und zur Ausbildung typischer mycelialer Strukturen dienen kann (s. Gabrio et. al, 2009).

Ergebnisse und Diskussion

In dem untersuchten Zeitraum von ca. 3 Jahren wurden insgesamt 91 Messwerte für die Actinomycetenkonzentration in der Außenluft erhoben. Der höchste dabei erzielte Wert beträgt 240 KBE/m^3 . Die mit 0 KBE/m^3 angegebenen Werte beschreiben Konzentrationen unterhalb der Nachweisgrenze von 7 KBE/m^3 . Abbildung 1 zeigt die erhobenen Daten in einem Boxplot-Diagramm. Dadurch wird aufgezeigt, in welchem Bereich sich der Großteil der Daten befindet. Außerdem können gegebenenfalls vorhandene Ausreißer dargestellt werden. 50% aller hier erhobenen Daten befinden sich zwischen 13 und 73 KBE/m^3 . Zwischen 0 und 147 KBE/m^3 befinden sich annähernd alle Daten und die übrigen drei Werte mit 200 und mehr KBE/m^3 sind soweit von der restlichen Datenmenge entfernt, dass sie bei entsprechender Begründung als Ausreißer gewertet werden könnten.

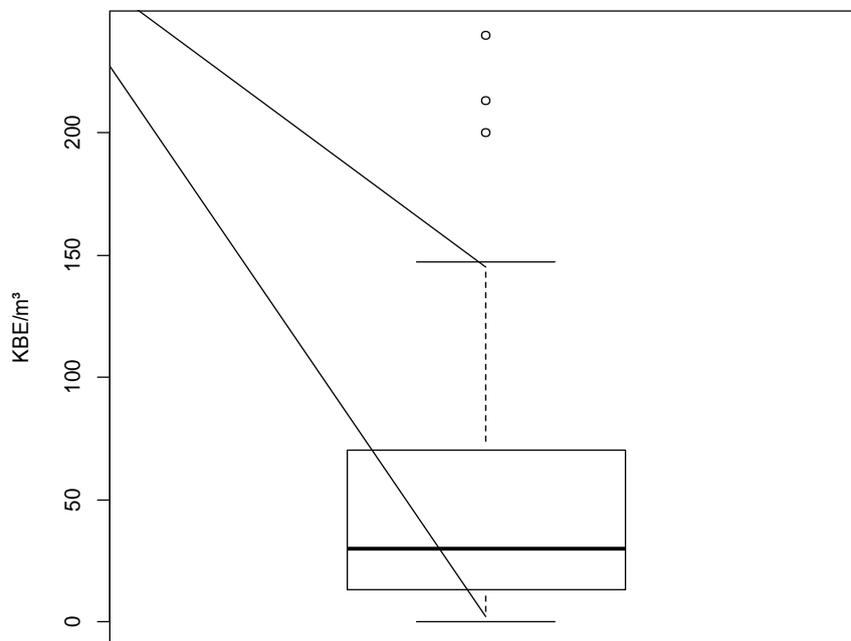


Abb. 1: Darstellung aller erhobenen Daten für die Actinomycetenkonzentration in der Außenluft (n=91) in einem Boxplot-Diagramm. 50% der Daten befinden sich innerhalb der Box. Die untere Begrenzung der Box (25. Perzentil; Q1) entspricht 13 KBE/m^3 , die obere Begrenzung (75. Perzentil, Q3) entspricht 73 KBE/m^3 . Der Querstrich in der Box stellt den Median mit 30 KBE/m^3 dar. Die Begrenzungslinien der Antennen stehen für den kleinsten Wert innerhalb des 1,5fachen Interquartilsabstandes (0 KBE/m^3) und für den größten Wert innerhalb dieses Abstandes (147 KBE/m^3). Die Kreise stellen Ausreißer-verdächtige Daten dar ($200, 213$ und 240 KBE/m^3).

Um einen solchen Datensatz nun für Berechnungen heranzuziehen, also für statistische Zwecke zu verwenden, müssen bestimmte Kriterien erfüllt sein. Ein Kriterium betrifft die Verteilung der Daten. Bei der Überprüfung der Verteilung mit statistischen Methoden musste jedoch festgestellt werden, dass die betrachteten Daten nicht normalverteilt sind. Wie auch in Abb. 1 zu sehen ist, ist die Datenmenge nicht gleichmäßig verteilt, der Median befindet sich nicht in der Mitte der Box, die Verteilung ist nach links verschoben, bzw. rechtsschief. Es gibt verschiedene Möglichkeiten mit solchen Daten umzugehen, damit sie mit anderen Werten verglichen werden können, so z.B. um

herauszufinden, ob ein einzelner Wert, der im Innenraum erhoben worden ist, noch in diese Datenmenge passt, oder ob er sich auffällig von der Datenmenge abhebt. Die erste Möglichkeit ist, den Datensatz zu transformieren, d.h. alle erhobenen Daten werden mit einem bestimmten Faktor, z.B. \log_{10} , verändert. Dadurch konnte für den vorliegenden Datensatz eine annähernde Normalverteilung erzielt werden. Das Problem dabei ist aber, dass alle mit diesem Datensatz zu vergleichenden Daten ebenfalls transformiert werden müssten. Eine weitere Möglichkeit ist die Verwendung so genannter nicht-parametrischer Tests, die es erlauben, auch nicht-normalverteilte Datensätze zu vergleichen. Da für die hier vorgenommene erste Darstellung der Ergebnisse keine statistischen Tests durchgeführt werden müssen, wurde dieser Ansatz nicht weiter verfolgt.

Eine andere Methode zur Darstellung solcher nicht-normalverteilter Datensätze ist die Angabe von Perzentilwerten. Das 50. Perzentil, oder der Median beschreibt dabei eine durchschnittliche Belastung und kann als eigentlicher Hintergrundwert betrachtet werden. Das 90. Perzentil gilt als Obergrenze eines repräsentativen Wertebereichs und wird üblicherweise als Obergrenze allgemein verbreiteter Hintergrundwerte angewendet. In Tabelle 1 sind die wichtigsten Kenngrößen des ausgewerteten Datensatzes abgebildet. Neben den bereits im Box-Plot-Diagramm (Abb. 1) dargestellten Werten, die der Vollständigkeit halber hinzugenommen wurden, kommen der Minimal- und Maximalwert, sowie das 90., 95. und 97. Perzentil. Das 90. Perzentil entspricht einer Actinomycetenkonzentration von 93 KBE/m^3 , das 95. Perzentil einer Konzentration 127 KBE/m^3 und das 97. Perzentil ist mit 140 KBE/m^3 fast doppelt so hoch wie das 75. Perzentil mit 73 KBE/m^3 .

Tab. 1: Wichtige Kenngrößen der ausgewerteten Actinomycetenkonzentrationen in der Außenluft.

*Der Minimalwert mit 0 KBE/m^3 entspricht Werten unterhalb der Nachweisgrenze von 7 KBE/m^3 .

Stichproben- umfang (n)	Minimal- wert [KBE/m ³]	unteres Quartil (25.Perzentil) [KBE/m ³]	Median [KBE/m ³]	oberes Quartil (75.Perzentil) [KBE/m ³]	Perzentile [KBE/m ³]			Maximal- wert [KBE/m ³]
					90.	95.	97.	
91	0*	13	30	73	93	127	140	240

Nach Beobachtungen durch Trautmann (2007) liegen die Actinomycetenkonzentrationen „in der Außenluft und in unbelasteten Räumen in der Regel unter 50 KBE/m^3 “. Zwar ist nicht bekannt, mit welchen Methoden dieser Wert erzielt worden ist, der für diese Arbeit ermittelte Medianwert von 30 KBE/m^3 unterstützt diese Aussage aber und auch der hier erzielte Wert von 73 KBE/m^3 , bis zu welchem sich rund 75% aller ermittelten Werte befinden, ist nicht weit entfernt von diesem einzigen Literaturwert. Abweichungen von bestimmten festgelegten „Grenzwerten“ wird es vor allem in biologischen Systemen immer geben, da sehr viele äußere Faktoren Einfluss auf das Messergebnis nehmen, die unter Umständen gar nicht erfasst werden können. Das sind z.B. klimatische Bedingungen. Während oder unmittelbar vor einer Außenluftmessung werden relative Luftfeuchte und Temperatur ermittelt, es wird dokumentiert, ob es regnet oder starker Wind herrscht und es werden weitere Besonderheiten oder Störfaktoren vermerkt. Bei luftgetragenen Partikeln, wie Sporen, spielen aber nicht nur die zum Zeitpunkt der Probenahme herrschenden Bedingungen eine Rolle. Auch weiter zurückliegende Wetterdaten oder Störfaktoren, wie andauernde Feuchte oder Trockenheit, Bodenumwälzungen, Baumschnittarbeiten, Müllentsorgung etc. können die zum Messzeitpunkt in der Luft befindlichen Partikel beeinflussen.

Neben der oben abgebildeten Spannweite aller erzielten Daten wurde auch eine monatliche Verteilung der Actinomycetenkonzentrationen in der Außenluft betrachtet (Abb. 2). Mit Ausnahme des Januars mit einem sehr geringen Stichprobenumfang von $n = 3$ sind die Daten ansonsten relativ gleichmäßig über die Monate verteilt. Normalverteilungen konnten für diese einzelnen Datensätze weiterhin nicht verzeichnet werden, der durchgeführte Levene Test hat

jedoch gezeigt, dass wenigstens eine Varianzenhomogenität angenommen werden kann, was ebenfalls ein weiteres wichtiges Kriterium für statistische Tests ist, die es ermöglichen die Konzentrationen in den einzelnen Monaten miteinander zu vergleichen. Dieser Ansatz ist aber nicht weiter verfolgt worden, da in der Abbildung der einzelnen Monate keine jahreszeitliche Tendenz zu erkennen ist, wie es z.B. bei Schimmelpilzen der Fall ist. Für Letztere konnte durch viele Autoren gezeigt werden, dass ungefähr in den Monaten von Mai bis Oktober die höchsten Konzentrationen herrschen und in den Wintermonaten sowie in den wettermäßig eher wechselhaften Frühjahrsmonaten deutlich geringere Außenluftkonzentrationen verzeichnet werden können. Eigene Schimmelpilzmessungen bestätigen diese Beobachtungen.

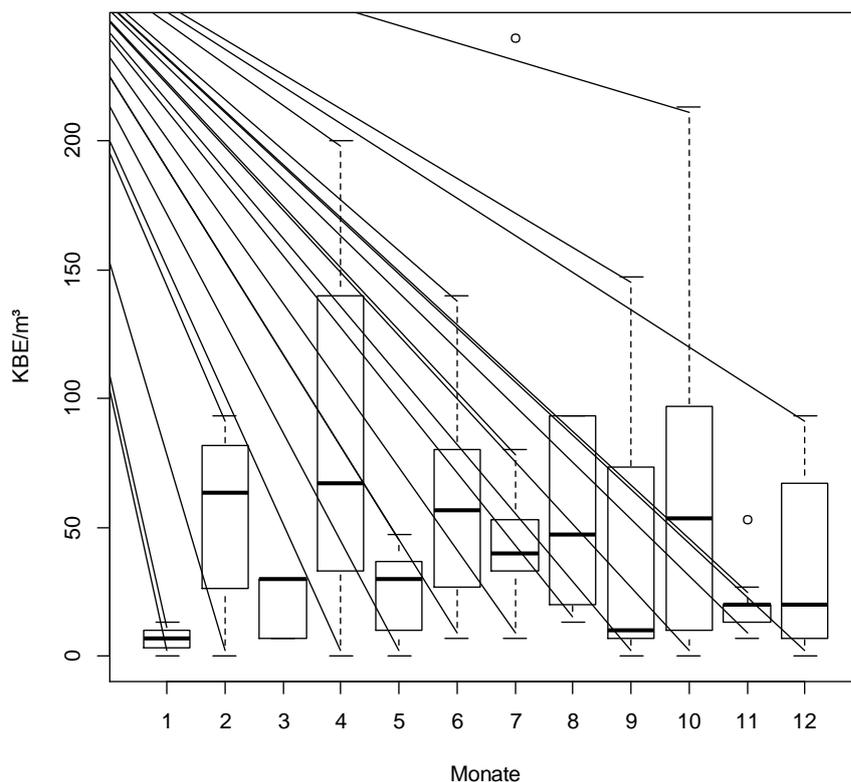


Abb. 2: Actinomycetenkonzentrationen in der Außenluft pro Monat. 50% der Datensätze befinden sich innerhalb der Boxen. Die Querstriche beschreiben die Mediane. Die unteren Begrenzungen stehen für die 25. Perzentile, die oberen für die 75. Perzentile. Die Querstriche an den Antennen beschreiben die Werte innerhalb der 1,5fachen Interquartilsabstände. Die Kreise stellen Ausreißer-verdächtige Daten dar.

Dass keine monatliche Abhängigkeit besteht, konnte durch andere Autoren für luftgetragene Bakterien gezeigt werden. Es ist also anzunehmen, dass Bakterien, zu denen ja auch die Actinomyceten gehören, keinem jahreszeitlichen Verlauf folgen, was ihre Konzentration in der Außenluft betrifft. Actinomyceten verhalten sich diesen Ergebnissen nach also eher wie andere Bakterien auch und weniger wie Schimmelpilze, auch wenn sich einige von ihnen ebenfalls über Sporen verbreiten. Darüber hinaus zeigen diese Ergebnisse aber auch, dass die starken Schwankungen der Actinomycetenkonzentrationen im Gesamt-Datensatz (Abb. 1) zumindest nicht pauschal durch die verschiedenen Jahreszeiten bedingt sind, in denen sie erhoben wurden. Es müssen andere Faktoren betrachtet und überprüft werden. Im Folgenden soll deshalb nicht nur der Einfluss des Messortes untersucht werden, sondern auch die unterschiedlichen klimatischen Bedingungen, die gerade im norddeutschen Raum nicht immer den Jahreszeiten folgen.

Die Außenluftstandorte an denen die Daten erhoben wurden, sind abhängig vom zu untersuchenden Objekt ausgewählt worden. Es sind ländliche und urbane Messorte dabei, einige in der Nähe von Gärten und Grünanlagen, andere an Hauptstraßen oder auf gepflasterten Höfen. Jeder Messort bietet unterschiedliche Bedingungen, die ebenso unterschiedliche Auswirkungen auf die Konzentration von luftgetragenen Actinomyceten haben können. Um den Einfluss des Messortes zu überprüfen und zu verhindern, dass die bereits erwähnte Überrepräsentation eines Messpunktes in Osnabrück einen zu großen Einfluss auf die restlichen Daten nimmt, wurde der Datensatz für Abb. 3 geteilt. Es wurde der Messpunkt in Osnabrück, der in den letzten Jahren häufig durch das Bremer Umweltinstitut untersucht worden ist und fast ein Drittel des Datensatzes ausmacht, von den restlichen Daten getrennt und vergleichend zu diesen betrachtet.

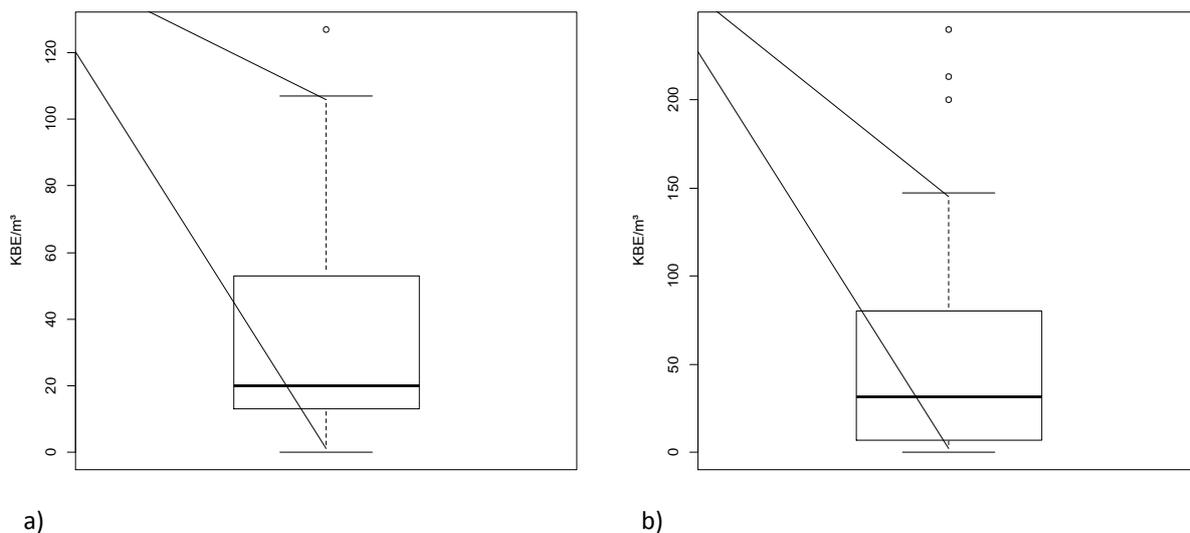


Abb. 3: Actinomycetenkonzentrationen an einem Messort im Raum Osnabrück (a), n=30) im Vergleich zu den restlichen erhobenen Daten (b), n=61). 50% der Datensätze befinden sich innerhalb der Boxen. Die Querstriche beschreiben die Mediane. Die unteren Begrenzungen stehen für die 25. Perzentile, die oberen für die 75. Perzentile. Die Querstriche an den Antennen beschreiben die Werte innerhalb der 1,5fachen Interquartilsabstände. Die Kreise stellen Ausreißer-verdächtige Daten dar.

Abb. 3 zeigt, dass die Actinomycetenkonzentration am Messort in Osnabrück (Abb. 3, a)) insgesamt niedriger ausfällt, als an den anderen Standorten zusammen (Abb. 3, b)) und dass die Daten auch etwas näher zusammenliegen. Der Median für den Osnabrücker Datensatz liegt bei 20 KBE/m³, der des restlichen Datensatzes bei 30 KBE/m³. Die 90. Perzentile liegen bei 87 (Osnabrück) und 120 KBE/m³(restliche Datenmenge). Es zeigen sich allerdings auch Ähnlichkeiten. So ist der Median auch in diesem Fall nicht zentral, der Datensatz ist nach links verschoben und es gibt auch hier zumindest einen Wert, der durch das Boxplot-Diagramm als Ausreißer-verdächtig gilt. Der Vergleich zeigt also, dass die Überrepräsentanz eines Messortes keinen gravierenden Einfluss auf den gesamten Datensatz hat und dass es nicht nur die unterschiedlichen Arten von Messorten sind, durch welche die Daten so weit streuen, auch weitere Faktoren spielen eine maßgebliche Rolle.

Die Betrachtung der Konzentrationen in den einzelnen Monaten ergab ebenso keine weiteren Erkenntnisse, da durch die weitere Unterteilung des Datensatzes die Stichprobenumfänge so gering wurden, dass keine aussagekräftigen Ergebnisse mehr erzielt werden konnten. Nicht so stark unterteilt werden musste der „Osnabrücker Datensatz“, um ihn genauso wie den gesamten Datensatz in Abhängigkeit von verschiedenen Temperaturen und Luftfeuchten zu betrachten. Dazu wurden in Abb. 4 und Abb. 5 jeweils auf der linken Seite (a)) die Actinomycetenkonzentrationen gegen die Temperatur bzw. Luftfeuchte des ganzen Datensatzes

aufgetragen und auf der rechten Seite (b)) die Konzentrationen der Osnabrücker Daten. Dadurch soll geprüft werden, wie groß der Einfluss des Messortes im Vergleich zu anderen, den klimatischen Bedingungen ist.

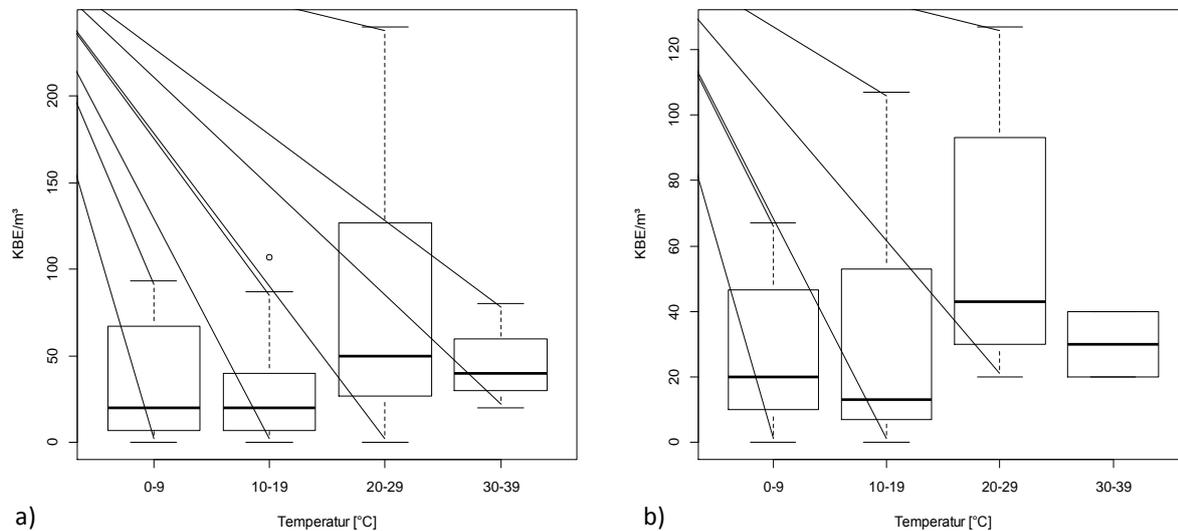


Abb. 4: Actinomycetenkonzentration in Abhängigkeit von der Außentemperatur zum Zeitpunkt der Messung für den gesamten Datensatz (a), n=82) und für Daten aus dem Messort in Osnabrück (b), n=30. 50% der Datensätze befinden sich innerhalb der Boxen. Die Querstriche beschreiben die Mediane. Die unteren Begrenzungen stehen für die 25. Perzentile, die oberen für die 75. Perzentile. Die Querstriche an den Antennen beschreiben die Werte innerhalb der 1,5fachen Interquartilsabstände. Die Kreise stellen Ausreißer-verdächtige Daten dar.

Bei der Untersuchung des Einflusses der Temperatur auf die Actinomycetenkonzentration in der Luft kann sowohl für den gesamten Datensatz (Abb. 4, a)) als auch für die Daten aus Osnabrück (Abb. 4, b)) eine Tendenz aufgezeigt werden, nach der das Optimum für Actinomyceten, also die Temperaturen bei denen die Konzentration am höchsten ist, zwischen 20 und 29 °C liegt. Bei Betrachtung der Werte für die Temperaturen zwischen 30 und 39 könnte der Verdacht entstehen, als sinke die Konzentration der Actinomyceten bei diesen Temperaturen, dies liegt aber wahrscheinlich an den geringen Stichprobenumfängen für solche doch eher seltenen Außenlufttemperaturen. Wahrscheinlicher ist, dass Temperaturen zwischen 30°C und den maximal erreichbaren Werten in der Region keinen oder einen leicht positiven Einfluss auf die wärmeliebenden Actinomyceten haben.

Bei der vergleichenden Betrachtung mehrerer Messorte und einem einzigen Messort was die Actinomycetenkonzentration in Abhängigkeit von der relativen Luftfeuchte in Prozent (Abb. 5) angeht, zeigen sich deutlichere Tendenzen im Datensatz aus Osnabrück (Abb. 5, b)), wenn die erste Box mit einem recht kleinen Stichprobenumfang (n=3) außer Acht gelassen wird. Nicht ganz so deutlich, aber doch erkennbar ist die Tendenz auch im gesamten Datensatz (Abb. 5, a)), wonach die Außenluftkonzentration bei steigender Luftfeuchtigkeit stetig sinkt. Erhöhte Luftfeuchtigkeit, die häufig auch mit Regen einhergeht, sorgt dafür, dass luftgetragene Partikel wie Sporen nicht so frei umherfliegen können. Bei Trockenheit dagegen sind auch die Partikel leichter und werden eher vom Wind davongetragen. Dabei muss es sich nicht nur um Sporen handeln. Auch Bodenpartikel, an denen Einzelzellen oder Agglomerate von bodenlebenden Actinomyceten haften, werden bei länger anhaltender Trockenheit durch Wind aufgewirbelt und können sich bei der Luftmessung auf dem Nährmedium niederschlagen (s. auch Bovallius et al.

1978). So könnten dann auch diejenigen Actinomyceten miterfasst werden, die wenig bis gar keine Sporen zur Verbreitung ausbilden.

Auf der anderen Seite könnte aber auch sehr starker Regen dazu führen, dass vermehrt Partikel mit anhaftenden Actinomyceten zumindest kurzfristig in die Luft geschleudert werden. Diese Möglichkeit könnte die starken Ausreißer in Abb. 5 (a)) erklären.

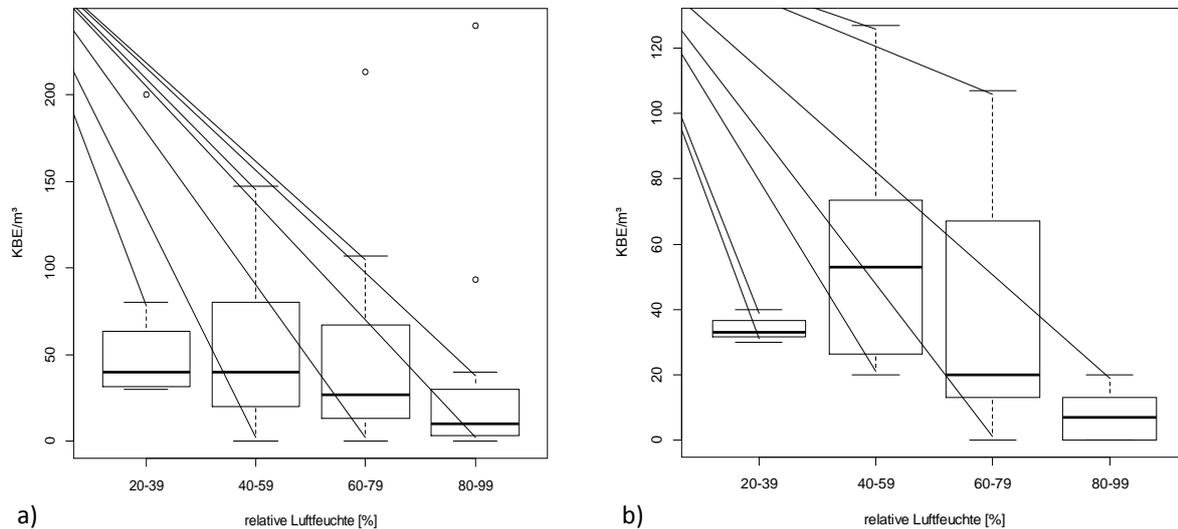


Abb. 5: Actinomycetenkonzentration in Abhängigkeit zur relativen Luftfeuchte zum Zeitpunkt der Messung für den gesamten Datensatz (a), n=82) und für Daten aus dem Messort in Osnabrück (b), n=30). 50% der Datensätze befinden sich innerhalb der Boxen. Die Querstriche beschreiben die Mediane. Die unteren Begrenzungen stehen für die 25. Perzentile, die oberen für die 75. Perzentile. Die Querstriche an den Antennen beschreiben die Werte innerhalb der 1,5fachen Interquartilsabstände. Die Kreise stellen Ausreißer-verdächtige Daten dar.

Fazit

Bei der Auswertung der in den letzten drei Jahren vom Bremer Umweltinstitut bei Außenluftmessungen erhobenen 91 Messwerte zur Actinomycetenkonzentration konnte ein Medianwert von 30 KBE/m³ abgeleitet werden, sowie das 90. Perzentil, das bei einer Konzentration von 93 KBE/m³ liegt. Dieses Ergebnis für den Medianwert fügt sich der in der Literatur enthaltenen Angabe einer Actinomycetenhintergrundkonzentration von unter 50 KBE/m³. Auch die hier vorliegende zum Teil sehr starke Streuung der Daten, auch im Jahresverlauf, wird durch andere Autoren zumindest für Bakterien im Allgemeinen unterstützt. Darüber hinaus konnte gezeigt werden, dass die einzelnen Faktoren Temperatur und relative Luftfeuchte anders als die verschiedenen Monate durchaus einen Einfluss auf die Außenluftkonzentration der Actinomyceten haben können. Warum sich dieser Einfluss nicht im Jahresverlauf widerspiegelt, könnte an den zum Teil sehr stark schwankenden klimatischen Bedingungen liegen, die im Laufe eines Monats herrschen können. Warum diese Schwankungen auf Actinomyceten und andere Bakterien wirken sollen, aber offenbar keinen störenden Einfluss auf die im Jahresverlauf stetig steigende Schimmelpilzkonzentration in der Außenluft ausübt, muss noch geklärt werden.

Es gibt mit Sicherheit sehr viele verschiedene Faktoren, die Einfluss auf die Konzentration luftgetragener Partikel haben können. Das sind neben der unmittelbaren Umgebung der Messung vor allem die klimatischen Bedingungen, welche die Actinomycetenkonzentration mehr oder weniger stark beeinflussen. Verschiedene Faktoren in Kombination können schließlich so komplizierte Auswirkungen auf die messbaren Konzentrationen haben, dass sie mit Hilfe der Temperatur und Luftfeuchte zum Zeitpunkt der Messung allein gar nicht ausreichend erklärt werden können.

Abhilfe verschaffen kann hier nur ein ausreichend großer Datensatz, der es ermöglicht faktorenunabhängige, allgemeingültige Aussagen über die zu erwartende Spannbreite der Actinomycetenhintergrundkonzentrationen zu treffen. Die dieser Arbeit zur Verfügung stehenden Daten reichen dafür wahrscheinlich noch nicht aus und stellen damit auch noch keinen repräsentativen Wertebereich dar, der es ermöglicht einen Hintergrund- oder Referenzwert für Actinomyceten abzuleiten.

In der Praxis verwendbar und nützlich wäre so ein ermittelter Referenzwert, um einzelne widersprüchliche oder auffällige Messwerte besser beurteilen zu können. Denn wie zu Recht von öfter kritisiert, handelt es sich bei den in unbelasteten Innenräumen miterfassten Hintergrundkonzentrationen um Sporen oder Partikel, die mindestens acht Stunden vor der Messung aus der Außenluft hereingetragen wurden, da Türen und Fenster vor einer Luftmessung mindestens über diese Zeit geschlossen bleiben sollen. So kann es passieren, dass im Vergleich zur Außenluft erhöhte Werte im Innenraum lediglich durch ebenfalls erhöhte Werte im Außenbereich am Tag vor der Messung bedingt sind und die am Messtag herrschenden Konzentrationen in der Außenluft z.B. durch plötzlichen Regen, stark zum Vortag abweichen. Höflich (2016) hat im Rahmen einer Pilztagung dargestellt, dass die Sporenkonzentration von Cladosporium-Arten in der Außenluft von einem auf den anderen Tag um 15.000 KBE/m³ schwanken kann. Bei Actinomyceten sind solche Konzentrationen allein schon undenkbar, trotzdem sind auch hier tägliche Schwankungen möglich.

Bei der Erfassung der klimatischen und örtlichen Bedingungen an Tag und Ort der Luftmessung könnte es zusätzlich auch ratsam sein, nicht nur das aktuelle Wetter und die aktuellen klimatischen Bedingungen zu erfassen, sondern für den Zweifelsfall auch die Außenluftbedingungen der vergangenen Tage soweit es möglich ist zu dokumentieren. So können auffällige Messwerte noch besser beurteilt und auch kritisch betrachtet werden, wenn nötig.

Literatur

Bovallius Å., Bucht B., Roffey R., Ånäs P.: Three-year investigation of the natural airborne bacterial flora at four localities in Sweden. *Appl. Environm. Microbiol.* 35 (1978) Nr. 5, S. 847-852.

Fang Z., Ouyang Z., Zheng H., Wang X.: Concentration and Size Distribution of Culturable Airborne Microorganisms in Outdoor Environments in Beijing, China. *Aerosol Science and Technology*, 42:5 (2008), S. 325-334

Fangmeyer T., Köhler M., Weis N., Zorn C., Hofmann H.: Schimmel an der Wand – Mücke oder Elefant? Ein Ratgeber und Leitfaden. Bremer Umweltinstitut e.V., Bremen 2009, 3. Auflage

Gabrio T., Weidner U., Miljanic T. Fischer G., Groth I., Martin K., Kämpfer P., Jäckel U., Schäfer J., Lorenz W., Trautmann C., Dill I.: Untersuchungen zum Vorkommen und zur gesundheitlichen Relevanz von Bakterien in Innenräumen. Forschungs- und Entwicklungsvorhaben des Umweltbundesamtes (Nr. 205 62 236), Forschungsbericht 2009

Höflich C.: Dänische Messstrategie zu Raumluftuntersuchungen auf Schimmelpilze. 20. Pilztagung des VDB, 14.-15. Juni 2016 in Bonn

Kolk A., Van Gelder R., Schneider G., Gabriel S.: Mikrobiologische Hintergrundwerte in der Außenluft – Auswertung der BGIA-Expositionsdatenbank MEGA. *Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft* 69 (2009) Nr. 4, S. 130-136

Lorenz W., Trautmann C., Dill I.: Nachweis und Bedeutung von Actinomyceten und sonstigen Bakterien in Innenräumen. *Handbuch für Bioklima* (Hrsg. Moriske, Turowski), Kap. III-4.4.14 ecomed Verlag, Landsberg am Lech, 10 Erg. Lfg, 12/2003

Schaal P.: Infektionen durch Aktinomyzeten. 11. Pilztagung des VDB, 11.-12. Juni 2007 in Dresden

Trautmann C.: Nachweis und Bewertung von Aktinomyzeten. 11. Pilztagung des VDB, 11.-12. Juni 2007 in Dresden