

Dr. Schmelz GmbH, Buchenweg 20, 34323 Malsfeld



- KLINIK- UND PRAXISHYGIENE ✓
 - AUFBEREITUNG VON DENTALEINHEITEN
 - GEFÄHRDUNGSBEURTEILUNGEN
 - HYGIENEKONZEPTE
- RAUMLUFTANLAGEN ✓
 - FACHGUTACHTEN NACH VDI 6022
 - SCHIMMELBEHANDLUNGEN
 - ANLAGENOPTIMIERUNGEN
- TRINKWASSERANLAGEN ✓
 - FACHGUTACHTEN NACH VDI 6023
 - ANLAGENDESINFESTIONEN
 - SANIERUNGSKONZEPTE
 - INSTANDESETZUNGEN
 - WARTUNGEN NACH VDI 806-5
- BADEBECKENANLAGEN ✓
 - HYGIENEKONZEPTE
 - AUFBEREITUNGEN
- SCHULUNGEN ✓
 - PROBENNAHMESCHULUNG
 - HYGIENEUNTERRICHTSUNGEN

Fachgutachten

**Prüfung und Bewertung des Plasma-Desinfektionsverfahrens „IOX Med“
im Bereich von Unterrichtsstätten im Hinblick auf die Ergänzung
bisheriger Maßnahmen zur Reduktion des Risikos der Übertragung aerogener
Mikroorganismen**



Durchführung der Untersuchungen:
06.11.2020 bis 09.11.2020

Datum des Gutachtens: 10.11.2020

Erstellt von Umwelthygiene Marburg GmbH & Co. KG und Dr. Schmelz GmbH
Ersteller des Gutachtens: Priv.-Doz. Dr. med. Ulrich Schmelz

1. Einführung:

Gegenstand der Untersuchung ist die Prüfung der keiminaktivierenden Wirkung eines Plasmagenerators (IOXmed 12) mit dem Ziel der mikrobiologischen Raumluftoptimierung und der Unterbrechung aerogener Übertragungswege.

In Unterrichtsräumen besteht die Problematik, dass während des Aufenthalts im Raum durch Schüler und Lehrpersonal Mikroorganismen eingetragen werden. Insbesondere durch die Atmung gelangen auf dieser Weise aerogen übertragene Mikroorganismen in die Raumluft. Viele dieser Mikroorganismen entstammen der humanen Standortflora, welche zwischen den Individuen relativ konstant ist. Folglich sind derlei Mikroorganismen als Infektionserreger nicht relevant.

Sofern aber eine Person an Atemwegsinfektionen leidet (ggf. inapparenter Verlauf oder Infektionsausscheider vor Auftreten klinischer Symptome), kann diese Person die verursachenden Mikroorganismen in die Raumluft freisetzen. Dies kann Beginn einer aerogenen Infektionskette sein, d.h. andere Personen im Raum können durch das Einatmen der kontaminierten Raumluft infiziert werden.

Diverse Infektionen können aerogen übertragen werden. Dazu zählen neben bestimmten Bakterien (z.B. Pneumokokken, Haemophilus influenzae) verschiedene virale Erreger, wie Masernviren (hier liegt aber in der Regel ein immunes Kollektiv vor, sofern die Durchimpfungsrate ausreichend ist), sowie Rhinoviren, Inflenzaviren und auch das neue Virus SARS-CoV-2.

Gerade das SARS-CoV-2-Virus erzwingt in Form einer Pandemie im Jahr 2020 besondere Beachtung der mikrobiologischen Raumluftbeschaffenheit. Speziell im Bereich der Schulen ist es notwendig, einwandfreie Raumluftbeschaffenheit zu erreichen und sicher zu stellen, damit eine Übertragung des SARS-CoV-2-Virus in Schulen und damit der Eintrag in die elterlichen Haushalte vermieden wird.

Es werden seit Beginn der SARS-CoV-2-Pandemie im März 2020 verschiedene Formen der Prävention empfohlen und umgesetzt. Prävention ist die Umsetzung der Risikoreduktion.

Die wichtigsten Maßnahmen sind:

- Abstand halten, um den Aerosolradius um eine Person zu begrenzen
- Atemmasken, um eine Aerosolfreisetzung und eine Inhalation von Aerosolen zu reduzieren
- Alltagshygiene (z.B. ausreichendes Händewaschen), um Schmierinfektionen zu reduzieren (im Hinblick auf SARS-CoV-2- ist die Übertragung über Schmierinfektion sehr unwahrscheinlich, dennoch ist die Alltagshygiene in Maßen sinnvoll)
- Lüften und Luftwechsel von Räumen, um eingebrachte Aerosole zu verdünnen.

Die Maßnahmen können bildlich wie Hürden in der Infektionskette verstanden werden, welche der Übertragung eines Erregers entgegen gestellt werden. Jede dieser Hürden reduziert das Risiko von Infektionsübertragungen, aber nur die Summe zuzüglich notwendiger Ergänzungen ist wirksam.

Es zeigt sich aber, dass trotz der genannten Maßnahmen die Übertragungen weiterhin erfolgen und nicht alle Maßnahmen in allen Bereichen umsetzbar sind.

Speziell in den Schulen – und in vielen anderen Bildungseinrichtungen in gleicher Weise – können Abstände nicht immer eingehalten werden. Die Schülerzahl und die zur Verfügung stehenden Räume sind unverändert. Eine „kontaktlose“ Schule ist ein Widerspruch in sich, da neben dem Bildungsauftrag auch der soziale Aspekt der Heranwachsenden berücksichtigt werden muss; speziell, wenn umgekehrt erwartet werden muss, dass die genannten Maßnahmen der Risikoreduktion längerfristig umgesetzt werden müssen.

Auch die Atemmasken ersetzen nicht den Effekt des Abstands. Die Reduktionsleistung („Filterleistung“) ist nicht sicher reproduzierbar (weil sie stark abhängig ist von Filtermaterial, Durchfeuchtung, Tragedauer, Gesichtsform und Trageform der Maske). Selbst bei korrekt getragenen Masken im klinischen Umfeld (Zahnärztliche Versorgung) werden Reduktionsleistungen von maximal 2 Zehnerpotenzen = Faktor 100 erreicht. Das bedeutet, dass selbst bei korrekt getragenen Masken von 100 Mikroorganismen tatsächlich 1 Mikroorganismus durchbricht.

Alltagshygiene ist generell ein wichtiger Aspekt, da tatsächlich viele Erkrankungen über die Hände und den Kontakt übertragen werden. Im Hinblick auf SARS-CoV-2 als primär aerogen (also über die Luft) übertragenes Virus ist die direkte Übertragung als Schmierinfektion jedoch eher unwahrscheinlich.

Lüften und Luftwechsel sind ebenfalls sehr sinnvolle Maßnahmen der Risikoreduktion. Einerseits, um das Aerosol im Raum zu verdünnen und andererseits, um die CO₂-Anreicherung im Raum auszutragen. In der kalten Jahreszeit jedoch, ergeben sich erheblich Einschränkungen der Umsetzbarkeit wegen latenter Auskühlung der Innenräume.

Die Hygiene als Fach der Prävention unterscheidet zwei Formen der Prävention:

- Verhaltensprävention
- Verhältnisprävention

Die Verhaltensprävention ist individuell und bezogen auf eine einzelne Person zu sehen. Hier ist die Akzeptanz und Überzeugung möglichst vieler Individuen wichtig, vorgegebene Hygienemaßnahmen umzusetzen. Zur Verhaltensprävention gehören zum Beispiel:

- Abstand halten
- Maske tragen
- Alltagshygiene

Die Verhältnisprävention ist bezogen auf das Umfeld / Setting. Hierzu zählen systemisch und übergeordnet anzusetzende Maßnahmen, wie z.B.

- Lüften
- Mikrobiologische Raumluftoptimierung

Die Maßnahmen der Verhaltensprävention sind von der individuellen Akzeptanz der Einzelnen abhängig. Daher können immer wieder unvermeidbare Lücken der Umsetzung entstehen, z.B. fehlender Abstand oder Nichttragen von Masken.

Daher müssen die Maßnahmen der Verhaltensprävention durch übergeordnete Maßnahmen der Verhältnisprävention ergänzt werden, um eine ausreichende Absenkung von Übertragungsrisiken zu erreichen. Optimal ist es, wenn die Maßnahmen verzahnt ineinander greifen.

Deutlich wird folgendes:

- Jede Maßnahme allein muss durch eine weitere ergänzt werden, um eine suffiziente Risikoabsenkung zu erreichen
- Die Umsetzung der Verhaltensprävention ist individuell unterschiedlich, dementsprechend nicht sicher reproduzierbar
- Eine Ergänzung durch verhältnispräventive Maßnahmen ist erforderlich, um Lücken in der Verhaltensprävention zu schließen und gleichzeitig eine zusätzliche Risikoabsenkung zu erreichen.

Daher sind auch speziell den Maßnahmen der Verhältnisprävention besondere Aufmerksamkeit zu widmen.

Die Maßnahmen der Lüftung kann bei einigen Gebäuden automatisiert sein, sofern eine raumluftechnische Anlage vorhanden ist. Bei einer raumluftechnischen Anlage soll die Umluftfunktion außer Betrieb sein und die Luftwechselraten den normativen Anforderungen entsprechen. In diesen Fällen wird ein ausreichender Luftwechsel erreicht.

Ein Großteil speziell der Schulgebäude, verfügt nicht über eine raumluftechnische Anlage. In diesen Fällen kann ein Luftwechsel nur durch Naturzuglüftung erreicht werden. Die einfachste und wirksamste Form ist die Fensterlüftung bei geöffnetem Fenster als Stoßlüftung oder Querlüftung.

Die Lüftung kann in der kalten Jahreszeit nur als periodische Maßnahme durchgeführt werden, da es nicht möglich ist, in Unterrichtsräumen Fenster permanent geöffnet zu lassen. Der Luftwechsel ist zudem von der Temperaturdifferenz Innen / Außen, sowie von der Windgeschwindigkeit außen abhängig. Daher ist der tatsächlich erfolgende Luftwechsel variabel.

Zwischen den periodischen Lüftungen können bereits Aerosolanreicherungen mit möglicher Weise darin enthaltenen pathogenen Mikroorganismen auftreten. Außerdem können bestimmte Bereiche im Raum nicht ausreichend durchlüftet sein, sodass dort Aerosole verbleiben können.

Daher ist es sinnvoll, eine Konstante in der Luftaufbereitung zu schaffen. Dies könnte durch eine mikrobiologische Raumluftoptimierung als Raumlufedesinfektion erreicht werden.

Viele dieser Maßnahmen basieren auf der Filtration. Hierzu sind große Volumenströme und entsprechend umfangreiche Geräte (Geräuschentwicklung / Energieverbrauch) notwendig. Zusätzlich kann eine UV-C-Bestrahlung und / oder eine Aktivkohlefiltration installiert sein. Diese Geräte erfordern neben dem problematischen Betrieb im Unterrichtsraum eine Umsetzung des gesamten Raumvolumens durch das Gerät in einer bestimmten Geschwindigkeit, da nur durch die Filtration oder Bestrahlung der Luft die Keime eliminiert werden.

Weiterhin sind die Geräte zu warten und zu pflegen.

Daher ist die Raumluftoptimierung zunächst ein sinnvoller Ansatz, die Lüftungsmanöver zu ergänzen und zu verkürzen.

Die bisher verwendeten Geräte auf dem Boden der Filtration / Bestrahlung der Luft allerdings limitieren aus den vorgenannten Gründen den Einsatz in Unterrichtsräumen.

Daher überzeugt die Filtration der Raumluft nicht als sicheres, probates, langfristig umsetzbares Verfahren im Bereich von mittelgroßen Räumen, in welchen bislang keine raumluftechnische Anlage installiert ist.

Das Verfahren der Desinfektion mit atmosphärischen Niedertemperaturplasmen kann allerdings ein vor Ort umsetzbarer Ansatz der Raumluftoptimierung sein und die Lüftungsmaßnahmen als Verfahren der Verhältnisprävention sinnvoll ergänzen.

Seit den 1980er Jahren werden atmosphärische Niedertemperaturplasmen in verschiedener Weise zum Zwecke der Keimreduktion genutzt:

- Plasmageneratoren werden als Medizinprodukt zur Wunddesinfektion eingesetzt, sofern chronische Wunden mit Superinfektion durch antibiotikaresistente Bakterien vorliegen. In diesen Fällen ist die Antibiotikatherapie auf dem Boden von sekundären bakteriellen Resistenzen nicht mehr ausreichend wirksam, sodass eine solche Infektion auch durch eine maximale Antibiotikatherapie nicht mehr ausreichend behandelt werden kann. Hier kann das Phänomen der antimikrobiellen Wirksamkeit der Niedertemperatur-Plasmen beobachtet werden, während Gewebe des menschlichen Körpers nicht angegriffen werden (da die Plasmareaktionsprodukte, welche die antimikrobielle Wirkung verursachen, von höheren, eukaryontischen Geweben sofort katalytisch abgebaut werden und daher keine nachteilige Wirkung auf Gewebe höherer Organismen (Pflanzen, Tiere, Menschen) besteht).

- Weiterhin werden Plasmageneratoren in der Lebensmittelindustrie zur rückstandsfreien Desinfektion von Getränkeflaschen nach der Spülung vor der Befüllung mit dem Produkt verwendet.

Bislang ergab sich nur in seltenen Fällen die Notwendigkeit einer Raumluftoptimierung. Die SARS-CoV-2-Pandemie 2020 erzwingt nun neue Herausforderungen; eine davon ist eben die mikrobiologische Raumlufbeschaffenheit, welche durch keimreduzierende Maßnahmen (Verdünnung durch Lüften, Inaktivierung der Erreger durch z.B. Niedertemperaturplasma-Produkte) optimiert werden muss.

„Plasma“ ist im Sinne der Physik ein Zustand eines elektrisch leitfähigen Gases, das soweit leitfähig ist, dass ein geringer Stromfluß möglich wird. Es werden zwei Elektroden positioniert, die mit einer Gleichspannung positiv und negativ polarisiert sind. Zwischen den Elektroden befindet sich das betreffende Gas.

Durch einen Zündimpuls zerfallen einzelne Gasmoleküle in positiv und negativ geladene Atome (Ionen, bzw. ionisiertes Gas), dadurch wird das Gas leitfähig (das Gas wirkt dann als Ionenleiter, d.h. es liegt ein Leiter zweiter Ordnung vor; entsprechend des Namens „Ionen“ wandern diese im elektrischen Feld und bedingen unter anderem den Stromfluß durch das Gas).

Ist dies erfolgt, wird durch einen Inverter der Stromfluss durch das Gas auf ein geringes Maß im μA – Bereich begrenzt, gleichzeitig wird die Spannung reduziert. Der Stromfluss wird soweit reduziert, dass eine Leitfähigkeit gerade noch gegeben ist, d.h. der Zustand des Plasmas wird zwischen den Elektrodenplatten aufrecht erhalten.

Der Stromfluß durch das leitfähige Gas erzeugt chemisch – physikalische Wirkungen auf das Gas, bzw. die Bestandteile des Gasgemischs (Luft).

Das verwendete Plasma ist – wie vorher bereits beschrieben – ein atmosphärisches Niedertemperaturplasma einer Potentialdifferenz von maximal 1,75 kV. Dadurch wird als chemisch-physikalische Wirkung erreicht, dass ein Anteil des Luftsauerstoffs zu Sauerstoffradikalen zerfällt, welche mit weiteren Luftsauerstoffmolekülen und Wasserdampf sog. Hydroxylradikale erzeugen.

Die Hydroxylradikale sind das desinfektionsaktive Produkt des physikalischen Plasmas.

Daher muss nicht das gesamte Raumlufvolumen in einer bestimmten Zeit durch den Plasmagenerator gelangen, um eine Keimabtötung zu erreichen. Vielmehr emittiert der Plasmagenerator aktive Produkte in die Raumluf, die aus Sauerstoff und Wassermolekülen entstehen, sich in der Raumluf verteilen und dort befindliche Mikroorganismen zerstören.

Es wird im Hinblick auf Hydroxylradikale eine hohe antimikrobielle Wirksamkeit beobachtet. Gleichzeitig sind die Hydroxylradikale für höhere Organismen und den Menschen in keiner Weise nachteilig, sondern zerfallen durch Kontakt mit Zellen höherer Organismen katalytisch zu Wasser. Bevor eine Wirkung auf höhere Organismen möglich wäre, sind die Hydroxylradikale bereits zerfallen. Daher werden – wie zuvor bereits ausgeführt – Plasmageneratoren zur Behandlung bakteriell oder viral infizierter Wunden eingesetzt.

Durch die Begrenzung der Potentialdifferenz der geladenen Platten in der Plasmazelle auf ca. 1,75kV wird erreicht, dass hauptsächlich Hydroxylradikale gebildet werden und die Ozonbildung möglichst gering ist. Der für die Untersuchung verwendete Plasmagenerator IOX Med erzeugt < 30µg Ozon pro Stunde. In elektrischen Maschinen mit Bogenüberschlägen (z.B. Kohlenbürsten am Kommutator eines Elektromotors) wird bereits eine deutlich höhere Ozonbildung beobachtet.

Gleichzeitig wird durch die Begrenzung der Potentialdifferenz auch erreicht, dass keine Stickoxide als Nebenprodukt des Plasmas entstehen.

In der Tat können durch elektrochemische Reaktionen unterschiedliche Produkte aus dem Gasgemisch der Luft erzeugt werden. Bis ca. 1,75kV hauptsächlich Hydroxylradikale, zwischen 2 und 3,5kV hauptsächlich Ozon und bei höheren Potentialdifferenzen als 3,5kV zunehmend Stickoxide.

Dadurch, dass das Elektrodenpotential auf 1,75kV begrenzt ist, wird – wie bereits beschrieben – die Ozonbildung praktisch nicht beobachtet. Die Bildung von Stickoxiden ist überhaupt nicht möglich.

Zusätzlich sind die Elektroden aus komplexen Legierungen gefertigt, weiterhin sind die Oberflächen der Elektroden spezifisch behandelt. Durch die Legierung von Halbleitern, wie Bor, Germanium und Silicium wird das Grenzpotential der Oberflächen weiterhin beeinflusst. Daher kann durch eine Spannungsbegrenzung auf der einen Seite und eine entsprechende Materialzusammensetzung und Oberflächenstruktur der Elektroden auf der anderen Seite sichergestellt werden, dass die Ozonbildung vernachlässigbar gering ist und die Stickoxidbildung vollständig ausgeschlossen ist.



Das Gerät als Maßnahme der Verhältnisprävention soll im Bereich von Unterrichtsräumen als Ergänzung der bisher etablierten Maßnahmen (Abstand, Maske tragen, Alltagshygiene, Lüften) geprüft werden.

Konkret wird dazu der Plasmagenerator in einem Unterrichtsraum bei normaler Nutzung (ca. 20 Schüler und Lehrpersonal, Lüften, Maske tragen) über einen üblichen Unterrichtsvormittag parallel zur Nutzung betrieben.

Nachdem der Unterrichtstag beendet ist, wird eine Bestimmung der Luftkeimzahl im Raum vorgenommen.

Des Weiteren werden Luftkeimzahlen in einem im Hinblick auf Größe, Volumen und Anzahl der Personen vergleichbaren Klassenraum bestimmt. Hier werden sämtliche Maßnahmen mit Ausnahme des Einsatzes des Plasmagenerators umgesetzt.

Außerdem wird ein Raum in Ruhe ohne Nutzung bezüglich der Luftkeimzahl untersucht. Dieser Raum wird ausschließlich beheizt, aber eine Lüftung oder der Aufenthalt von Personen findet nicht statt.

Abschließend wird die am Tage der Messung vorliegende Außenluftkeimzahl außerhalb des Gebäudes bestimmt.

Ist dies geschehen, so werden die Keimzahlergebnisse nach labortechnischer Probenahme und Darstellung der Koloniezahlen verglichen und bewertet.

Darstellung der Probennummern und Probeentnahmestellen:

01-SMZ-20201106 Außenluft am 06.11.2020, Schwalmstadt
02-SMZ-20201106 Raum ohne Nutzung, ohne Lüften (R029)
03-SMZ-20201106 Raum mit Nutzung, mit Lüften, ohne Plasmagenerator (R207)
04-SMZ-20201106 Raum mit Nutzung, mit Lüften, mit Plasmagenerator (R126)

Maße der Räume (mit einer Abweichung +/- 10% angegeben):

L = 6,60 m
B = 9,60 m
H = 3,15 m
V = 199,58m³ → durchschnittliches Hüllvolumen 200m³

2. Methodik:

2.1 Material

- Grundausrüstung eines mikrobiologischen Labors:
 - Luftkeimsammelgerät
 - Sammelkopf mit Aufnahme des Nährbodens
 - Gaszähler
 - Vakuumpumpe in Form einer Membranpumpe
 - Pipetten, steril
 - Pinzetten, steril
 - Impfösen
 - Drigalski-Spatel, steril
 - Reagenzgläser für Verdünnungsreihe, steril
 - Reagenzglasständer
 - Homogenisator (z.B. Vortex ®)

- Laborbrenner
 - Brutschrank 36°C
 - Lupenarbeitsplatz mit Beleuchtung für Auswertung
 - Sterilisator
 - Kamera und Farbhintergründe (Tonkarton)
- Columbia-Vollblut-Nährboden in Petrischalen
 - Kochsalzlösung 0,9% steril
 - IOX Med 12 Plasmagenerator als Prüfling

2.2 Methodik:

Probenahme:

Am Tag der Probenahme wird normaler Unterrichtsbetrieb in den in Nutzung befindlichen Räumen vorgenommen. In einem der beiden Unterrichtsräume wird der Plasmagenerator über 3,5h betrieben.

Sämtliche bisher etablierten Maßnahmen (Abstand, Maske tragen, Alltagshygiene und Lüften) werden, wie festgelegt, umgesetzt.

Der Raum ohne Nutzung wird über 24h nicht genutzt und nicht belüftet.

Sämtliche Räume sind normal beheizt (20 bis 22°C; Konvektor-Heizung mit Heizkörpern in den Räumen).



Nach dem Unterrichtsbetrieb erfolgt eine Luftkeimzahlbestimmung als aktives Impingement direkt auf den Nährböden. Dazu wird ein spezieller Keimsammler verwendet. Dieser besteht aus einer nach innen gerichteten Düse, durch welche die Luft bei Anlegen eines Vakuums hindurch gesogen wird. Dabei wird die Luft durch eine Lochmatrix gleichmäßig verteilt.

Unter der Lochmatrix ist der Nährboden eingelegt. Die Luft wird auf diese Weise gleichförmig rechtwinklig auf den Nährboden gerichtet. Dabei werden in der Luft enthaltene Mikroorganismen an der Nährbodenoberfläche gebunden und können später im Labor kultiviert werden. Die Luft strömt dann seitlich am Nährboden vorbei und wird unterhalb des Nährbodens abgesaugt.



Danach wird die abgesaugte Luft durch einen Gaszähler geführt, um das Luftvolumen zu erfassen, welches über den Nährboden angereichert wurde.

Die Luft wird durch eine handelsübliche Membran-Vakuumpumpe abgesaugt. Die Anreicherung erfolgt je Probe über 10 Minuten.

Als Nährmedium wird ein Columbia-Vollblut-Agar-Nährboden verwendet. Dieser stellt ein mikrobiologisches Universalmedium für die Kultivierung nahezu sämtlicher aerober Mikroorganismen dar.

Inkubation

Die Platten werden nach der Probenahme zum Labor gebracht und über 48h bei 36°C und Wasserdampfsättigung im Brutschrank inkubiert. Die Inkubation ist aerob unter Luft.

Auf diese Weise wird die aerobe, mesophile Koloniezahl der Luft ermittelt. Speziell die Inkubation bei 36°C stellt die mesophilen humanen Bakterien dar, sodass eine vom Menschen ausgehende Emission von Mikroorganismen – die stellvertretend für eine Virus-Freisetzung steht – dargestellt werden kann.

Die umweltassoziierten Mikroorganismen sind in der Regel psychrophil und zeigen ein Wachstumsoptimum zwischen 10 und 25°C. Diese werden im Rahmen der Untersuchung hier nur am Rande erfasst, weil der Schwerpunkt des Interesses die Freisetzung humaner Keime ist; dieser wird durch die mesophile Kultivierung entsprechend abgebildet.



Auswertung

Nach 48h Inkubation werden die Platten morphologisch quantitativ ausgewertet, d.h. die Platten werden bei normaler Betrachtung und bei 8-facher Vergrößerung mit dem Auflichtmikroskop betrachtet.

Die Kolonien werden gezählt und als KbE (koloniebildende Einheiten) numerisch angegeben.

Die Ergebnisse werden unter Berücksichtigung des Anreicherungs-volumens schließlich als Keimzahldichte in KbE/m³ angegeben.

Eine Feindifferenzierung der Kolonien findet an dieser Stelle nicht statt.

Anschließend können die Ergebnisse ausgewertet, bewertet und interpretiert werden.



Auswertung:

Es wird aus der Koloniezahl der logarithmische Reduktionsfaktor der Maßnahmen bei Vergleich der Logarithmen der Keimzahlen berechnet.

$$\begin{aligned} N_{\text{ohne Exposition}} &= 12000 \text{ KbE (log 4,08)} \\ N_{\text{mit Exposition}} &= 280 \text{ KbE (log 2,45)} \end{aligned}$$

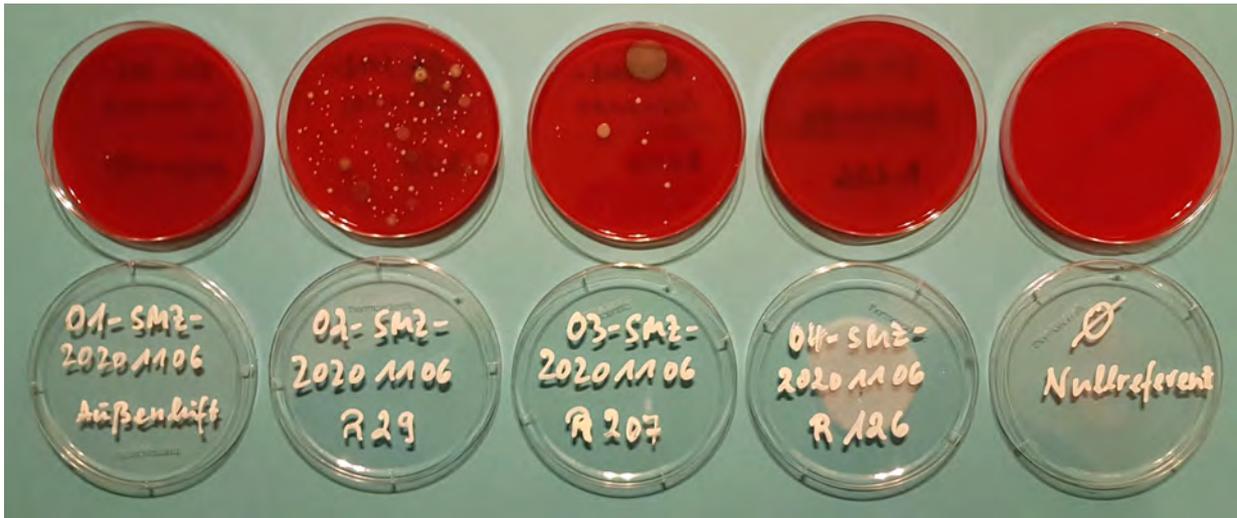
$$\log \text{RF} = \log N_{\text{initial}} - \log N_{\text{nach Exposition}} = 4,08 - 2,45 = 1,63$$

In dieser Konstellation ergibt sich folgende Keimzahlreduktionsleistung:

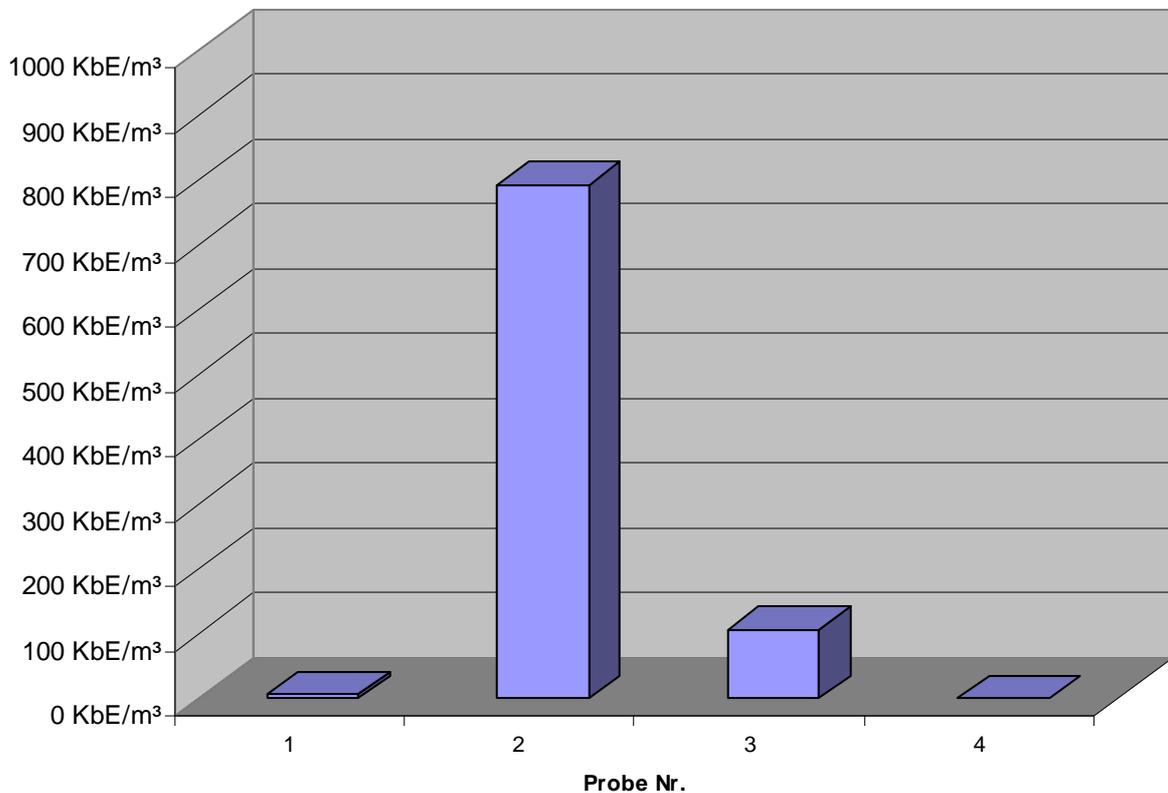
$10^{1,63} = 43$, d.h. eine 43-fache Keimzahlreduktion, in der logarithmischen Skala wird hier eine „zweistellige Keimzahlreduktion“, d.h. eine Keimzahlreduktion von ca. 2 Zehnerpotenzen erreicht.

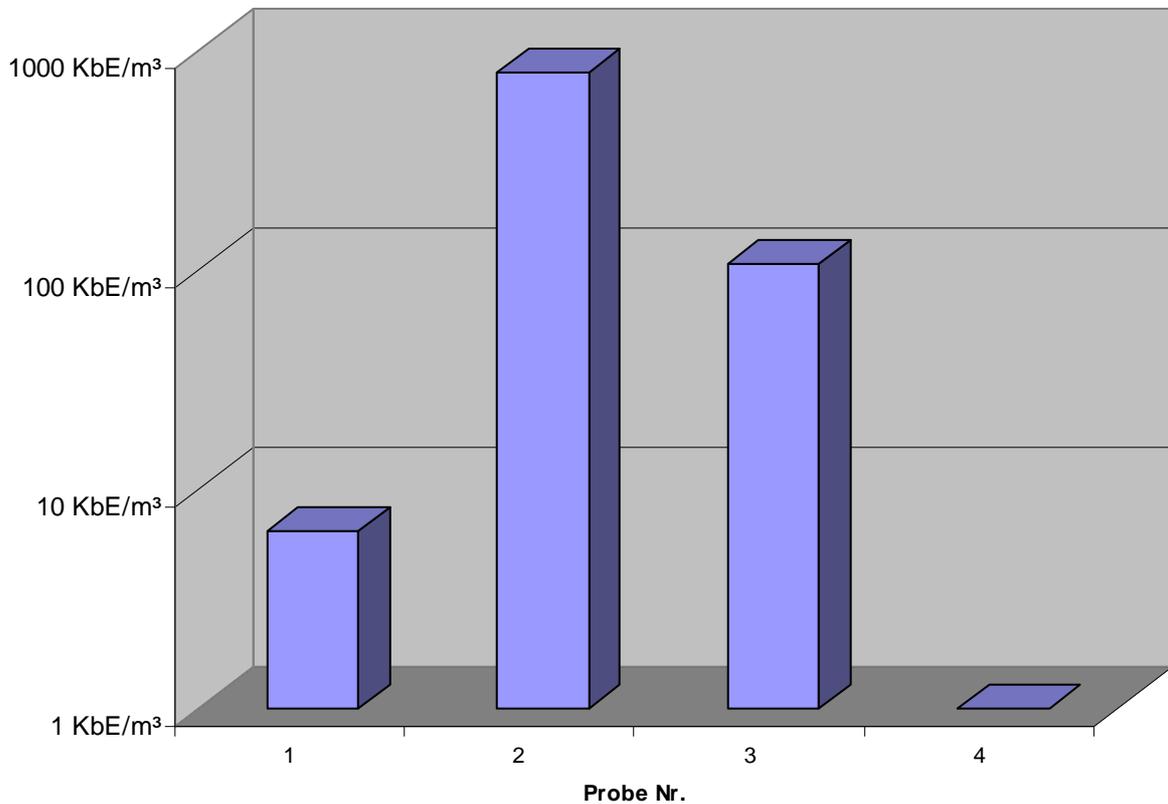
3. Ergebnisse:

3.1 Darstellung der mikrobiologischen Befunde / des Bewuchs der Platten



3.2 Auswertung der mikrobiologischen Befunde





	A	B	C	D	E	F
1	Ergebnisdarstellung loxMed-Plasmagenerator im schulischen Umfeld, Proben vom 06.11.2020					
2						
3						
4	Nr.:	Entnahmestelle:	KbE auf Platte	Luftvolumen:	KbE/m³	log. KbE
5						
6	1	Außenluft	1	0,155 m³	6 KbE/m³	0,81
7	2	Raum ohne Nutzung, ohne Lüften (R029)	122	0,154 m³	792 KbE/m³	2,90
8	3	Raum mit Nutzung, mit Lüften, ohne Plasmagenerator (R207)	16	0,151 m³	106 KbE/m³	2,03
9	4	Raum mit Nutzung, mit Lüften, mit Plasmagenerator (R126)	< 1	0,156 m³	< 6 KbE/m³	< 0,81
10						
11	ohne Nutzung = kein Aufenthalt von Personen zur Messung und 12h zuvor					
12	mit Nutzung = normaler Unterrichtsbetrieb, ca. 20 Schüler und Lehrpersonal sind zugegen					
13	mit Lüften = Stoßlüftungen alle 20 bis 30 Minuten					
14	mit Plasmagenerator = zusätzlich war der Plasmagenerator über den Unterrichtstag im Raum aktiviert					
15						
16	KbE = koloniebildende Einheiten = mindeste Zahl von kultivierungsfähigen Bakterien und Pilzen					
17	Luftvolumen = das auf dem Nährboden während der Probenahme angereicherte Luftvolumen					
18	KbE/m³ = Keimzahl-dichte, d.h. mindeste Zahl von kultivierungsfähigen Bakterien und Pilzen pro m³					

4. Interpretation und Bewertung:

Zunächst sei festgestellt, dass die Außenluftkeimzahl (Probe 01) mit 6 KbE/m³ gering ist, dies wird durch die kalte Witterung am Tag der Probenahme bedingt. Es trat Nachtfrost und Nebel / Reifbildung auf. Aus diesem Grund wurde die genannte geringe Keimzahl ermittelt.

Die Außenluftkeimzahl ist ein relevantes Maß, denn sie gibt die Hintergrundkeimlast an, die bei Naturzuglüftung (Fensterlüftung) ebenfalls als Hintergrundkeimlast in den Unterrichtsräumen auftritt.

Die Keimzahl in der Raumluft des Raums ohne Nutzung und ohne Lüftung (Raum 029; Probe 02) wurde mit 792 KbE/m³ als höchste Innenraumluftkeimzahl festgestellt.

Dies kann durch partikelgebundene Keime bedingt sein. Solche Partikel (organische Staubpartikel, z.B. Natur- oder Synthetikfasern; anorganische Staubpartikel, z.B. Sandpartikel; Haut- und Haarschuppen) tragen Mikroorganismen gebunden an der Partikeloberfläche. Durch die Beheizung des Raums zirkulieren die Partikel < 5µm typischerweise durch die temperaturbedingte Luftströmung. Dadurch, dass keine Lüftung des Raumes erfolgt ist, haben sich die Partikel in der Innenraumluft angereichert.

In dem Raum mit regulärer Nutzung im Unterrichtsbetrieb (ca. 20 Schüler und Lehrpersonal; Raum 207; Probe 03) und Umsetzung der bisher etablierten Maßnahmen (Abstand, Maske tragen, Alltagshygiene und Lüften), jedoch ohne Plasmagenerator wurde eine Keimzahldichte von 106 KbE/m³ festgestellt.

Hieran zeigt sich zunächst der Nutzen des regelmäßigen Lüftens. Im Vergleich zum Raum ohne Nutzung und ohne Lüften ist die Keimzahldichte durch regelmäßiges Lüften – auch unter regulärer Nutzung – circa 1 Zehnerpotenz geringer, d.h. die Keimzahl nimmt um 90% ab.

In Anbetracht der niedrigen Außenluftkeimzahl von 6 KbE/m³ ist die Keimzahldichte von 106 KbE/m³ im Unterrichtsraum mit regulärer Nutzung und Lüften eine Zehnerpotenz höher.

Dies zeigt wiederum einen signifikanten Keimeintrag in den Raum durch die Nutzung. Gleichzeitig zeigt dies, dass der Nutzen der Masken allein gering ist. Es werden Reduktionsleistungen von 2 Zehnerpotenzen angegeben, d.h. 100-fache Keimreduktion. Bei ausreichend Abstand ist dies eine sinnvolle Ergänzung. Unabhängig vom Tragen der Masken kommt es zu einer deutlichen Freisetzung von Mikroorganismen in die Raumluft.

Daher muss auf jeden Fall parallel weiterhin auf Abstand, sowie Lüften geachtet werden.

Gleichzeitig führt das Lüften zu einer signifikanten Keimreduktion durch Austausch der Raumluft gegen Außenluft. Dennoch ist die Raumluftkeimzahl zehnfach über der Außenluftkeimzahl festgestellt worden, was zeigt, dass trotz Lüften und Masken eine signifikante Keimzahldichte in die Raumluft eingetragen wird.

Das ist verständlich, da das Lüften in der kalten Jahreszeit nicht als permanente (Fenster offen, Durchzug), sondern nur als periodische Maßnahme (Stoßlüften) durchgeführt werden kann.

In den Zeitintervallen, in welchen die Fenster geschlossen sind, kommt es unweigerlich zu einer Keimanreicherung. Hier werden in Probe 03 typische Keime der menschlichen Standortflora festgestellt. Ist dies gegeben, können auch pathogene Keime, wie Pneumokokken, Rhinoviren oder SARS-CoV-2 auftreten, sofern diese Erreger von einem oder mehreren Personen im Raum freigesetzt werden.

Bei einem Atemzugvolumen in Ruhe von ca. 0,5 L bei Heranwachsenden wird über 30 Minuten (Zeitintervall zwischen den Stoßlüftungen) bei einer Atemfrequenz von 14 Atemzügen in der Minute und 20 Personen im Raum ein Luftvolumen von 4200 L Luft ein- und ausgeatmet. Das sind ca. 2 % des Luftvolumens von 200m³ der untersuchten Räume.

Sofern eine starke Keimfreisetzung durch einen Infektionsausscheider erfolgt, kann dieser durch den Atmungstrakt der Personen im Raum gelangte Anteil der Luft bereits infektiös sein.

In der Gesamtsicht der Sachlage kann festgestellt werden, dass die bislang umgesetzten Maßnahmen der Verhaltens- und Verhältnisprävention sinnvoll im Hinblick auf die Risikoreduktion sind.

Unabhängig davon ergibt sich ein nicht unerhebliches infektiologisches Restrisiko, weswegen eine zusätzliche Behandlung der Luft erforderlich ist, speziell in der kalten Jahreszeit, sofern die Lüftungsmaßnahmen nicht mehr in jeder Weise umgesetzt werden können.

Die Ergebnisse der Probe 04 sind in einem analogen Klassenraum zu Probe 03 entnommen (hier: Raum 126). Der Raum ist im Hinblick auf Raumluftvolumen, Zahl der Schüler und Nutzung des Raums vergleichbar. Der Unterschied zu Probe 03 besteht darin, dass im Raum 126 über 3,5h während der Unterrichtssequenz des Vormittags ein Plasmagenerator (IOX Med 12) betrieben wurde.

Es ist anhand der Ergebnisse unter 3.1 und 3.2 zu erkennen, dass die Raumluftkeimzahl sogar unter die Außenluftkeimzahl abgesenkt werden konnte. Es ist also noch eine weitere Zehnerpotenz der Raumluftkeimzahl eliminiert worden.

Dies bedeutet, dass der Einsatz des betrachteten Plasmagenerators ein deutliches und zusätzliches Maß an Sicherheit bedingt.

Der Plasmagenerator in Ergänzung zu den bisher etablierten Maßnahmen stellt eine sinnvolle Ergänzung dar und erzeugt unter Berücksichtigung der Ergebnisse dieser Untersuchung eine wirksame Risikoreduktion.

Die Lücke der Übertragung, die unabhängig von den bisher etablierten Maßnahmen bislang bestand, kann durch den untersuchten Plasmagenerator geschlossen werden.

Damit stellt der untersuchte Plasmagenerator ein zusätzliches und wirksames Mittel der Verhältnisprävention dar.

Auf diese Weise ist annehmbar, dass auch Defizite des Lüftens (bei starker Kälte außen oder durch einen nicht reproduzierbaren Luftwechsel bei geringer Temperaturdifferenz innen / außen), durch permanenten Einsatz des Plasmagenerators kompensiert werden.

Durch die Beschaffenheit der aktiven Produkte des Plasmagenerators ist es möglich, dass derlei Plasmageneratoren ständig und parallel zum Unterrichtsgeschehen betrieben werden können.

Hierdurch wird eine fortlaufende Entkeimung der Raumluft erreicht, sodass die zuvor beschriebene Keimanreicherung in den Zeitintervallen zwischen den Lüftungsvorgängen unterbleibt.

Insgesamt betrachtet, stellt der Plasmagenerator IOX Med ein sehr wirksames und sinnvolles Verfahren zur Raumluftbehandlung dar. In Ergänzung der bisher etablierten Maßnahmen wird hier eine Abrundung der Präventionsmaßnahmen erreicht und das Risiko der aerogenen Keimübertragung signifikant auf ein maximal niedriges Niveau reduziert.

Für Rückfragen steht der Begutachtende unter [REDACTED] zur Verfügung.

Mit freundlichen Grüßen,



Priv.-Doz. Dr. med. Ulrich F. Schmelz

CEO Dr. Schmelz GmbH Malsfeld

Facharzt für Med. Mikrobiologie & Infektionsepidemiologie
Dipl.-Lebensmittelchemiker
Dipl.-Ing.(FH) Verfahrens- und Anlagentechnik

[REDACTED]