

Messung des Atem-Minuten-Volumens
bei Freizeitsportlern unter Betrachtung
verschiedener Krafttrainingsarten,
Einordnung der Werte in die
Diskussion um erhöhte
Aerosolwerte beim Indoor-Sport
in Gesundheits- und Fitnesssportanlagen
und Vermittlung eines
effektiven Lösungsansatzes

Inhaltsverzeichnis

1. Problemstellung	S. 3
2. Grundlegendes Vorgehen	S. 5
3. Grundlagen zum Atem-Minuten-Volumen	S. 8
4. Messverfahren	S. 9
5. Ablauf der Datenerfassung	S. 13
6. Analyse und Diskussion der erfassten Daten	S. 16
7. Einordnung der gemessenen AMV-Werte in die Diskussion um erhöhte Aerosol- werte beim Indoor-Sport in Gesundheits- und Fitnesssportanlagen	S. 24
8. Messung von Partikeln im Realbetrieb und Nachweis der Schadkörperelimination	S. 34
9. Fazit	S. 42
Literatur	S. 43

Anhang: Bericht des Fraunhofer-Instituts über die „Effizienz des Raumlufthereinigers Cleanair Sky L auf die Reduktion und Inaktivierung von luftgetragenen Viren“

1. Problemstellung

Über Monate waren Betriebe des Gesundheits- und Fitnesssports in Deutschland geschlossen, ohne dass es auch nur den Ansatz eines tragfähigen Konzepts für eine Wiederöffnung gab. Sowohl Politik wie auch die eigentlich zuständigen Fitness-Spitzenverbände haben es in der kompletten Zeit der Pandemie versäumt, verlässliche Studien anzufertigen oder in Auftrag zu geben. So hätte die Behauptung entkräftet oder auch verifiziert werden können, dass große Aerosolmengen über das Atem-Minuten-Volumen (AMV) beim gesundheitsorientierten, mäßigen Krafttraining ausgestoßen werden und so zu einer Gefährdung führen.

Dieses wäre allein schon daher wichtig gewesen, da der überwiegende Teil aller im Gesundheits- und Fitnesssportbereich trainierenden Menschen ein mäßiges Training durchführt. Nicht wenige dieser Freizeitsportler haben teilweise mit deutlichen gesundheitlichen Einschränkungen zu kämpfen, die im Rahmen der Pandemie gegen die Gefahr einer potentiellen Infizierung mit SARS-CoV-2 aufgewogen wurden und sich sehr oft verschlechtert haben.

Für insgesamt 26 Krankheiten von Krebs über Adipositas, Diabetes, Koronarer-Herz-Krankheit bis hin zu Depressionen und Angststörungen gibt es eine erwiesene und von den Krankenkassen anerkannte Indikation, Sport als Heilmittel zu treiben. Viele betroffene Menschen hatten monatelang keinerlei Möglichkeiten, sich durch ein geregeltes Sporttreiben gesund zu halten und so auch das Immunsystem zum Schutz gegen SARS-CoV-2 zu stärken. Von den erwiesenen Langzeitfolgen mangelnder Bewegung einmal ganz zu schweigen. Die nahezu komplette Einstellung der Trainingsmöglichkeiten hat einen hoch-negativen Effekt auf die Gesunderhaltung einer sehr hohen Anzahl von Personen, die Folgeschäden des „Nicht-Sport-Treibens“ sind absehbar.

Hochintensives Kraft-, Kraftausdauer- oder Ausdauertraining vollziehen die wenigstens Freizeitsportler und wenn, dann eher nicht auf der klassischen Trainingsfläche sondern in Kursen oder beim Individualtraining.

Diese Ergebnisse stammen aus vielen Befragungen und Studien und sind sowohl der Politik als auch den Spitzenverbänden bekannt. Ebenfalls lassen sich beim statistischen Bundesamt derartige Zahlen leicht abfragen.

Das Motiv „Gesundheit“ wird von mehr als zwei Drittel aller Trainierenden als sehr wichtig angegeben (67,7%), dazu kommen weitere 23,4%, die die Gesunderhaltung als eher wichtig erachten. In Bezug auf die Steigerung der körperlichen Leistungsfähigkeit kommt die Zustimmung dagegen nur auf gut 21%, für 34% der Trainierenden ist sie eher wichtig^{1, 2}. Der Leistungs- und Verbesserungsgedanke tritt klar in den Hintergrund vor dem Thema Gesunderhaltung. Dementsprechend ausgerichtet ist auch die Art des Trainings.

Nach derzeitiger Sachlage sind keine einschlägigen Studien bekannt, bei denen das AMV von Hobby- und Freizeitsportlern im Bereich gesundheitsorientiertem Krafttraining gemessen wurde. Im Gegenteil wird oftmals pauschal behauptet, dass beim Sport per se ein signifikant erhöhter Ausstoß von Aerosolmengen zu verzeichnen sei und Sport damit eine im Vergleich zu anderen Tätigkeiten überproportional erhöhte Infektionsgefahr darstellen würde.

So stellen Forscher der TU Berlin in einer Modellrechnung fest, dass beim Sport in Fitnessstudios ein bis zu 3,4faches Risiko einer Infektion mit SARS-CoV-2 bestehen würde³. Diese Studie wirft jedoch einige Fragen auf.

Sport wird beispielsweise oft pauschal mit schwerer körperlicher Arbeit gleichgesetzt, was weder der Realität des Sporttreibens in einer gesundheitsorientierten Einrichtung entspricht noch die reale Aktivität „normaler“ Freizeitsportler in einem Fitnessstudio darstellt. Offenkundig hängen die Autoren einem historischen Weltbild von Muckibuden und Kraftsportcentern nach. Es werden scheinbar AMV angenommen, die nicht den realen Belastungen entsprechen. Wie hoch das angenommene AMV überhaupt ist, wird von den Verfassern zudem weder dargestellt noch erläutert.

Ebenso werden weder Raumgrößen noch quantitativ reale Bedingungen wedergespiegelt. So ist u. a. auch die Raumhöhe für die Aerosolverteilung ein mitentscheidender Faktor. Dieser bleibt bei der Betrachtung der realen, subjektiven Gefährdungsbeurteilung eines einzelnen Unternehmens aber unberücksichtigt, weil alle Anlagen pauschal geschlossen wurden. Auch für die Verfasser der Modellrechnung der TU Berlin scheinen alle Einrichtungen pauschal ähnliche Deckenhöhen zu haben. Ebenso bleiben Angaben über die Anzahl der Personen nur vage. Wie vielen Personen eine Belegung von 30% oder 50% entspricht und was dieses letztlich für eine Auslastung bedeutet bleibt unbeantwortet.

Auch die in der Berechnung verwendete Frischluftzufuhr von $40\text{m}^3/\text{h}/\text{Person}$ ist als gering einzustufen. So liegt beispielsweise im MaxxWell® Adelebsen, dem hier behandelten Gesundheitsstudio, die Frischluftzufuhr allein über die Lüftungsanlage im Regelbetrieb bei 1.200 m^3 pro Stunde. Dieses würde der Studie der TU Berlin nach einer Frischluftversorgung bei der Belegung der Anlage mit 30 Sportlern entsprechen. Hierzu kommt die Luftzufuhr über ankommende und gehende Sportler über Türen sowie über geöffnete Fenster. Entweder könnten also weit mehr als 30 Personen gleichzeitig trainieren, ein Wert, der in der gesamten Bestehensdauer des Studios nicht einmal erreicht wurde, oder aber die anwesenden Personen werden (zusätzlich zu den vorhandenen Luftreinigungsgeräten) mit deutlich mehr sauberer (Frisch)Luft versorgt, als in der Studie angenommen.

Die Studie der TU Berlin enthält noch weitere, in der Praxis nicht nachvollziehbare Aussagen. Die Schwächen sind sicherlich vor allem darauf zurückzuführen, dass sie das Risiko eben auf Basis einer Berechnung und nicht auf Basis von gemessenen Daten und Fakten konstruiert.

Die Frage nach der Gefährdungslage einer einzelnen Einrichtung lässt sich unserer Meinung nach nicht pauschal beantworten. Auch auf die Frage nach dem Atem-Minuten-Volumen beim gesundheitsorientierten, mäßigen Krafttraining gibt es derzeit keine wirklich aussagekräftige Literatur. Daher haben wir mit dieser Arbeit diese Lücken geschlossen, indem wir

- a) eine erste Datenerhebung vollzogen haben, auf deren Basis dann die Berechnung und Betrachtung eines realen Risikos vorgenommen und diskutiert werden kann, und
- b) die reale Belastung des Gesundheitsstudios mit Partikeln (Aerosolen) und damit die reale Gefahr einer Infizierung von Personen mit SARS-CoV-2 durch eine Echtzeit-Messung unter hoher Raumbelastung bei gleichzeitiger Nutzung von Volumenstrom-Plasmauftreinigungsgeräten belegt, um einen Nachweis für unser Studio aufzustellen.

2. Grundlegendes Vorgehen

Im Rahmen dieser Studie erfolgte zunächst eine Messung des AMV beim gesundheitsorientierten, mäßigen Krafttraining. Hierzu wurden FreizeitsportlerInnen beim Training begleitet. Nach einer Phase der Erwärmung, in der noch nicht gemessen wurde, da davon auszugehen ist, dass hier eher physiologisch geringere AMV erzielt werden, trainierten diese Hobbysportler in folgenden Bereichen:

- Ausdauer mit Kraftanteilen (AK) an Geräten, Belastung von ca. 65% Kraft_{max} bei 20 Wiederholungen oder Belastungsdauer 30 s, Pausendauer ca. 30 s
- wenn möglich Kraftausdauertraining an Geräten (KA), Belastung von ca. 85% Kraft_{max} bei ca. 12 Wiederholungen, Belastungsdauer ca. 20s, Pausendauer ca. 70s
- wenn möglich Maximalkrafttraining an Geräten (MK), Belastung von ca. 95% Kraft_{max} bei 2 Wiederholungen, Belastungsdauer ca. 15s, Pausendauer ca. 75s

Mäßig wird definiert durch Trainingsumfang und Trainingsintensität. Alle TeilnehmerInnen trainieren zwei bis drei Mal pro Woche für gut eine Stunde und absolvieren dabei ein Ganzkörperprogramm, es liegen praktisch keine hohen Trainingsintensitäten oder leistungsmaximierende Trainingsambitionen vor. Das Training der TeilnehmerInnen ist jeweils gut zur Hälfte auf Gesunderhaltung und Erhalt der körperlichen Leistungsfähigkeit bzw. auf allgemeine körperliche Fitness ausgerichtet. Nur sehr wenige TeilnehmerInnen trainieren mit einer Zielsetzung, z. B. der Teilnahme am „Feuerwehr-Stair-Run“.

Die eigentliche Messung dauerte im Bereich Ausdauer mit Kraftanteilen 4 min pro Gerät, also bei drei Geräten insgesamt 12 min. Die Pausenzeiten fallen auf Grund der geringen Belastung ebenfalls gering aus, um einen moderaten Trainingseffekt in der Muskulatur zu erhalten. Während der Gerätwechsel wird die Messung pausiert.

Im Bereich Kraftausdauer und Maximalkraft sind längere Pausenzeiten nötig, so dass auch hier der anliegende Rhythmus die reale Trainingsausführung im Alltag weitestgehend widerspiegelt. So dauert die Messung durch die notwendigerweise verlängerten Pausenzeiten 6 min pro Gerät, insgesamt also 18 min zzgl. der Gerätwechsel, bei denen die Messung ebenfalls pausiert wird.

Ein „Luftverbrauch pro Stunde“ kann so problemlos hochgerechnet werden. Es sei allerdings bereits an dieser Stelle angemerkt, dass die durch Messung und Berechnung ermittelten „reinen Trainingswerte“ sicherlich höher liegen, als sie in der Realität vorkommen, da hier eine Nichtberücksichtigung von längeren Pausen beim Gerätwechsel, der Desinfektion von Geräten, den Unterhaltungen mit anderen Studiogästen, ggf. kurzen Wartepausen auf das nächste Gerät etc. vorliegt. Die ermittelten Werte treffen daher eher auf die wenigen Trainierenden zu, die ihr Training konsequent und ohne Ablenkung durchführen – bei allen anderen Gästen liegt der „Luftverbrauch pro Stunde“ noch einmal deutlich unter diesen Werten.

Die vorgenannten Trainingsbelastungen während des Tests spiegeln die häufigsten Trainingsbelastungen in einem gesundheitsorientierten Fitnessstudio wider, wobei das Maximalkrafttraining von der Häufigkeit her selten vollzogen wird. Ein hochintensives Training, wie es

beim HIIT durchgeführt wird, ist anteilig für die Betrachtung der Vorgänge auf der Trainingsfläche zu vernachlässigen, da es vor allem in Kursform zum Tragen kommt. Ebenfalls werden in der Betrachtung, wie bereits erwähnt, die Trainingsgäste nicht berücksichtigt, die eher die soziale Komponente in den Vordergrund des Besuchs einer Einrichtung stellen. Bei diesen liegt das AMV sicherlich bedeutend niedriger.

Nicht alle Trainierenden können in allen Krafttrainingsarten trainieren. So ist ein Maximalkrafttraining für cardio-pulmonal vorerkrankte Personen genauso kontraindiziert wie für Schwangere oder Menschen mit deutlich erhöhtem Bluthochdruck.⁴

Auf eine komplette Messung des Trainings aller TeilnehmerInnen auch an freien Gewichten wurde verzichtet. Dieses Training stellt zwar durch den erhöhten koordinativen Anteil eine erwiesenermaßen höhere Anforderung dar, es wird aber (leider) nur von einer Minderheit der Trainierenden vollzogen und dann auch oft nur für kleinere Muskelgruppen. Außerdem ergibt sich bei dieser Belastung ein nicht wesentlich höheres AMV. Um diese Aussage zu verifizieren haben einige TeilnehmerInnen zusätzlich zum standardisierten Training an Geräten dieselbe Muskulatur auch frei trainiert. Die Werte lagen in etwa auf gleichem Niveau, letztlich war die Anzahl der Messungen jedoch zu gering, um eine generelle Festlegung treffen zu können.

Ein Verfälschung der Ergebnisse dergestalt, dass sich das AMV bereits auf Grund eines Trainingseffekts bei der Messung angepasst hätte und nur deshalb beim freien Training nicht erhöht wäre, kann auf Grund der insgesamt nur sechs Einheiten ausgeschlossen werden. Von diesen sechs Einheiten wurden auch nur je zwei Einheiten im selben Belastungsbereich (Ausdauer mit Kraftanteilen, Kraftausdauer oder Maximalkraft) durchgeführt. Physiologisch betrachtet braucht es einen deutlich längeren Trainingszeitraum für Anpassungen gerade im cardio-pulmonalen System. Zudem hat die Hälfte der TeilnehmerInnen das freie Training vor dem Training an Geräten vollzogen, mit einem vergleichbaren Ergebnis, dass das AMV eben nicht deutlich höher lag.

Ein weiterer Vorteil des Gerätetrainings ist die Sicherheit beim Training selbst. Die überwiegende Zahl der Freizeitsportler trainiert an geführten Geräten, weshalb auf dieser Art des Trainings auch das Hauptaugenmerk der Messung liegt.

Das potentielle Kraft_{max} wurde im Rahmen eines Eingangstests nach der ILB-Methode ausgetestet und entsprechend errechnet, soweit es nicht schon bei den TeilnehmerInnen bekannt war. Auf diese Weise lässt sich über ein standardisiertes Verfahren das subjektive Kraft_{max} errechnen, ohne, dass die TeilnehmerInnen körperlich überlastet werden.⁵

Die Messung der TeilnehmerInnen startete nach der Erwärmung, so dass ein AMV_{Ruhe} nicht erfasst wurde. Dieses ist zudem in der Literatur hinreichend beschrieben. Davon ausgehend, dass die gemessenen Trainingsbelastungen auf eine Stunde hochgerechnet werden, ist der reale Luftverbrauch durch die in der Regel eingebauten Pausen beim Gerätwechsel sowie die meist längeren Pausen zwischen den einzelnen Sätzen tatsächlich als deutlich geringer anzusehen. Dieses erhöhte AMV kann sozusagen als „Puffer“ angesehen werden von der Mehrheit der FreizeitsportlerInnen zu denen, die intensiv mit wenig Pausen trainieren.

Nach der Erwärmung wurden die TeilnehmerInnen beim Training der drei größten Muskelgruppen begleitet. Das Training umfasste:

- Rudern (alternativ Langhantelrudern für die „Kontrollgruppe freies Training“)
- Beinpresse (alternativ Kniebeugen für die „Kontrollgruppe freies Training“)
- Chest-Press (alternativ freies Bankdrücken für die „Kontrollgruppe freies Training“)

An jedem Gerät wurden vier Sätze mit der jeweils notwendigen Wiederholungszahl und dem subjektiv notwendigen Gewicht in Abhängigkeit von der angestrebten Trainingsintensität vollzogen. Belastungs- und Pausenzeiten sind bereits beschrieben.

Auf Grund der Tatsache, dass bei diesen Übungen die Beteiligung vieler großer Muskeln notwendig ist, kann logischerweise davon ausgegangen werden, dass beim Training anderer, kleinerer Muskelgruppen oder „isolierter“ Muskeln und dem Vollzug anderer Übungen es eher zu einem geringeren AMV kommen wird.

Beim Gerätwechsel wurde das Messgerät kurz von der Atemmaske bzw. dem Mundstück getrennt, damit die Trainierenden sich frei bewegen konnten. Mit dem Ende der Pause nach dem vierten Satz der dritten Übungen endete die Datenerhebung.

Alle TeilnehmerInnen haben, soweit nicht aus gesundheitlichen Gründen kontraindiziert, alle drei Krafttrainingsarten durchgeführt, so dass in allen drei Bereichen vergleichbare Messdaten erhoben werden konnten.

3. Grundlagen zum Atem-Minuten-Volumen

Eine normale, gesunde Atemfrequenz (AF) wird in Ruhe mit ca. 12 – 16 Atemzügen (AZ)/min angegeben.⁶ Bei Kindern liegt diese noch bei 40 AZ/min, fällt dann bei 20jährigen auf ca. 20 AZ/min, um sich ab ca. 30 Jahren dann zwischen 12 und 16 AZ/min zu etablieren⁷.

Bei max. Belastung kann die AF durchaus auf 40 – 50/min ansteigen, bei austrainierten Ausdauersportlern bis zu 60 – 70/min⁷.

Das Atemzugvolumen (AV) beträgt bei einem gesunden, erwachsenen Menschen in Ruhe in der Regel ca. 500 ml bis 600 ml. Bei hoher Belastung steigt das AV auf ca. 2.000 ml bis 3.000 ml an, bei austrainierten Ausdauersportlern auch über 4.000 ml, wobei der respiratorische Totraum mit ca. 150 ml konstant bleibt.

Aus beiden Werten ergibt sich das Atemminutenvolumen (AMV). In Ruhe beträgt dieses in etwa 6 – 8 l/min (12 – 16 AZ/min multipliziert mit 500 ml bis 600 ml). Bei sehr hoher körperlicher Belastung kann dieser Wert stark ansteigen, bei ausdauertrainierten Männern auf bis zu 200 l/min. Frauen liegen in der Regel etwas unterhalb dieser Werte.

Während ein durchschnittlicher erwachsener Mensch also ein AMV_{Ruhe} von ca. 6 bis 8 l/min hat, kann bei einem hochausdauertrainierten Sportler das AMV_{Max} während seiner sportlichen Betätigung auf 200 l/min steigen. Dieses AMV_{Max} reduziert sich natürlich bei einem geringeren Trainingszustand, so dass bei Hobbysportlern ein deutlich geringeres Maß während der sportlichen Betätigung vorliegt.

Selbst gut trainierte Freizeitsportler haben daher ein AMV_{Max} von weit unter 100 Litern, wenn sie ein reines Herz-Kreislauftraining absolvieren^{8,9}. Selbst bei einer Annahme eines AMV von 100 Liter als Berechnungsgrundlage bedeutet dies, dass ein Freizeitsportler erst nach 10 min bis zu 1m³ Luft und nach einer Stunde maximal 6 m³ umgesetzt hätte. Diese Werte sind jedoch sehr hoch gegriffen und in der Realität unter Freizeitsportlern nicht zu finden, zumal kein Freizeitsportler über einen so langen Zeitraum an der Belastungsgrenze trainieren kann.

In der Fachliteratur wird das durchschnittliche AMV bei Freizeitsportlern mit nicht mehr als 25 l/min beschrieben, bei sportlicher Betätigung in Form eines reinen Cardio-Trainings. Im Ausdauerbereich gut trainierte und ambitionierte Freizeitsportler kommen auf Durchschnittswerte von maximal 45 l/min AMV. In der Regel ist die Intensität eines cardio-pulmonalen Trainings von Freizeitsportlern jedoch eher als moderat anzusehen, die wenigsten trainieren beispielsweise gezielt auf einen Wettkampf hin. Diese Werte finden sich in der einschlägigen Literatur wieder und sind hinlänglich wissenschaftlich anerkannt¹⁰.

In Frage stand jedoch, wie hoch das AMV beim gesunden, mäßigen Krafttraining steigt. Diese Trainingsform macht wie beschrieben den überwiegenden Anteil der Nutzung in Gesundheits- und Fitnesseinrichtungen aus. Hier finden sich bisher keine nutzbaren Studien oder Werte, so dass wir diese durch die Messung im Rahmen der Trainingsbegleitung hier im MaxxWell® Adelebsen sowie im Vital-Zentrum des SV Nordenham erhoben haben.

4. Messverfahren

Das Messverfahren wird mit dem aeroman®professional durchgeführt. Bei Personen, die auf Grund von starker Speichelbildung Probleme mit der Nutzung eines Mundstücks haben, wird eine Atemmaske verwendet. Um eine saubere Datenlage zu erhalten wird nach den folgenden, vom Hersteller empfohlenen Aufbau vorgegangen.

4.1 Korrekte Vorbereitung des aeroman®professional für ein Analyse Setting

4.1.1 Messzustand des aeroman®professional herstellen und vorbereiten der Atemeinheit

- a) Öffnen Sie den Deckel des aeroman®professional
- b) Klappen Sie den Bügel auf der Innenseite des Deckels nach außen bis er in die vorge-sehene Halterung einrastet
- c) Nehmen Sie die Atemeinheit aus dem Inneren des aeroman®professional
- d) Entwirren Sie die Kabelverbindung vollständig. Die Kabelverbindung darf nicht ver-dreht sein
- e) Schließen Sie den Deckel und achten Sie darauf, dass die Kabelverbindung der Atemeinheit nicht geknickt oder eingeklemmt wird
- f) Legen Sie die Atemeinheit in die entstandene Halterung aus Griff und Bügel. Die Atemeinheit sollte immer in der Halterung liegen, wenn sie nicht verwendet wird
- g) Die Atemeinheit ist immer so in der Halterung zu platzieren, dass die Gasabsaugung am hinteren Teil der Atemeinheit nach oben zeigt. Das verhindert, dass die Gasab-saugung durch Speichel o.Ä. verunreinigt bzw. verstopft wird
- h) Der aeroman®professional soll immer einen festen Stand haben. Weder das Gerät selbst noch die Atemeinheit dürfen im Messzustand herunterfallen können
- i) Der Bügel muss immer korrekt in seiner Halterung einrasten
- j) Die Kabelverbindung der Atemeinheit zur Gasanalyseeinheit darf weder geknickt noch eingeklemmt werden
- k) Die Kabelverbindung der Atemeinheit zur Gasanalyseeinheit darf nicht verdreht sein
- l) Die Kabelverbindung der Atemeinheit kann nur bis zu einer bestimmten Länge aus dem Gehäuse herausgezogen werden. Ziehen Sie niemals mit starker Kraft an der Ka-belverbindung

4.1.2 Einsetzen des Mundstücks in die Atemeinheit

- a) Öffnen Sie die Verpackung des Mundstückes. Entfernen Sie die Folie noch nicht voll-ständig. Die Stelle, an der Sie das Mundstück berühren, sollte noch durch die Folie geschützt sein
- b) Führen Sie das Mundstück wie abgebildet vollständig in die Atemeinheit ein. Der ein-geprägte Pfeil des Mundstücks muss dabei nach oben zeigen
- c) Der dreieckige Einschnitt am hinteren Teil des Mundstückes muss innerhalb der Atemeinheit komplett in das graue Dreieck einrasten.



Abb. 1: Einsetzen des Mundstücks

Das Mundstück muss nach jedem Test gewechselt werden. Es dürfen nur aeroman®professional Original-Mundstücke verwendet werden, da nur diese eine gleichbleibende Qualität der Messungen garantieren.

4.1.3 Anpassen der Atemeinheit und der Länge der Kabelverbindung zum aeroman®professional

Die Länge der Kabelverbindung von der Atemeinheit zur Gasanalyseeinheit kann in einem bestimmten Bereich individuell angepasst werden. Sie können die Länge anpassen, indem Sie die Kabelverbindung weiter aus dem Gehäuse herausziehen oder hineinschieben. Ist die minimale bzw. maximale Kabellänge erreicht, kann das Kabel nicht mehr weiter in die entsprechende Richtung verschoben werden. Versuchen Sie nicht, mit Kraft das Kabel weiter zu verstellen als möglich.

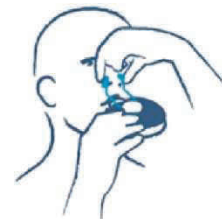
- a) Üben sie niemals starke Kraft auf die Kabelverbindung aus oder knicken Sie diese nicht
- b) Stellen Sie die Kabelverbindung auf eine bequeme Länge ein. Sie sollten die Kabelverbindung so kurz wie möglich einstellen. Das verringert die Unfallgefahr
- c) Verlegen Sie die Kabelverbindung so, dass sie sich nicht im Bewegungsbereich des Probanden befindet

4.1.4 Anpassen von Nasenverschluss und Runners Kit

- a) Lockern Sie die Halteschrauben an der Ober- und Unterseite der Atemeinheit
- b) Lassen Sie den Probanden die Atemeinheit aufsetzen. Weisen Sie den Probanden an, die Atemeinheit in gerader Position festzuhalten. Das Mundstück sollte so weit in den Mund genommen werden, dass es der Proband mit den Zähnen leicht zwischen den vorgefertigten Rillen festhalten kann
- c) Stellen Sie danach das Runners-Kit durch Verschieben des Drahtbügels ein. Die Polster sollten am Kinn des Probanden anliegen. Drehen Sie die Halteschraube an der Unterseite der Atemeinheit fest. Das Runners-Kit ist nun fixiert
- d) Stellen Sie den Nasenverschluss durch Verschieben des Drahtbügels ein. Weisen Sie den Probanden an, mit der einen Hand die Atemeinheit in gerader Position festzuhalten und mit der anderen Hand die Nasenverschlüsse einzustellen. Dazu drückt er die Nasenverschlüsse so weit zusammen, dass er nicht mehr durch die Nase atmen kann. Drehen Sie die Halteschraube an der Oberseite der Atemeinheit wieder fest. Der Nasenverschluss sollte nicht drücken oder unangenehm sein. Korrigieren Sie ggf. den Sitz durch Lösen der Halteschraube und weisen Sie den Probanden an die Rollen leichter oder fester zusammenzudrücken bevor Sie die Schraube wieder fixieren. Bei kleinen Nasen kann ggf. der Nasenverschluss vorsichtig etwas näher zusammengebo-gen werden. Achten Sie dabei stets darauf, dass die Einweg-Rollen parallel zueinan-der positioniert sind:



Anpassen Runners Kit



Anpassen Nasenverschluss

Abb. 2: Anpassung des Mundstücks

- e) Bevor Sie die Atemeinheit an einen neuen Probanden anpassen, wechseln Sie das Mundstück und die Einweg-Rollen aus!
- f) Passen Sie den Nasenverschluss für jeden Probanden individuell an
- g) Lassen Sie nach der Einrichtung der Atemeinheit den Probanden die Atemeinheit mehrfach auf- und absetzen, um den Sitz zu überprüfen

4.2 Einschalten des aeroman®professional

- a) Schalten Sie das Gerät ein. Der Ein-/Ausschalter muss auf der Position „I“ stehen
- b) Zunächst benötigt der aeroman®professional ca. zwei Minuten Aufwärm- und Kalibrierzeit. Das Statusfeld der Software informiert Sie zu jeder Zeit über den Zustand des Geräts
- c) Der aeroman®professional ist nun betriebsbereit und kann verwendet werden.
- d) Eine Kalibrierung des Sensorsystems mit einem speziellen Gasgemisch ist nicht nötig. Der aeroman professional führt automatisch eine Kalibrierung mit Umgebungsluft durch
- e) Der Raum, in dem die Kalibrierung stattfindet, sollte gut gelüftet sein (z.B. Fenster öffnen). Das sichert genaue Messwerte
- f) Um eine optimale Betriebstemperatur und damit maximal genaue Messwerte zu erreichen, sollte der aeroman®professional mindestens zwei Minuten lang in Betrieb sein, bevor die erste Messung beginnt
- g) Sollten mehrere Messungen hintereinander mit einem Abstand von einigen Minuten erfolgen, sollte der aeroman®professional im Betriebszustand bleiben. Dadurch wird die Lebenszeit maximiert
- h) Achten Sie stets darauf, dass kein Unbefugter Zugriff zum laufenden Gerät hat und der Messaufbau z.B. durch die verlegten Kabel nicht gefährdet ist.

4.3 Nutzen von Atemmaske anstelle Mundstück



Bei den Trainierenden, die Probleme mit starker Speichelbildung haben oder aber aus Bequemlichkeitsgründen kann eine Atemmaske der Firma „Cortex Medical“ verwendet werden. Hierbei ist darauf zu achten, dass diese fest und dicht am Gesicht sitzt. Die Verwendung einer Maske ist für den Trainierenden deutlich angenehmer.

Zur Vorbereitung der Maske wird dabei das Mundstück des aeroman®professional mit Folie fest umwickelt und dann in die Aufnahme der Maske fest eingepresst. Bereits hierdurch ist eine komplette Dichtigkeit hergestellt.



Abb. 3 und 4: Anpassung des Mundstücks an die Masken

Zusätzlich wird das Mundstück der aeroman®professional dann an der Aufnahme der Maske mit Silikon abgedichtet und befestigt, so dass eine genaue Erfassung der Atemdaten möglich ist.

Etwaig überstehende Folienreste werden aus hygienischen Gründen nach der Verbindung entfernt, so dass die Maske nach einer Nutzung problemlos gereinigt und desinfiziert werden kann.

Deutlichster Vorteil bei der Nutzung der Maske ist die absolute Abgeschlossenheit, so dass keine Atemgase „verloren“ gehen können. Daher wurde die Maske von uns fast durchgängig eingesetzt. Um die mit dem aeroman®professional gemessenen Durchgänge zu verifizieren, wurden einige TeilnehmerInnen noch einmal mit Maske gemessen. Hier ergaben sich nur minimale Abweichungen im Bereich von im Mittel weniger als 1 l/min nach oben oder unten, die zudem eher auch auf Tagesform, vorherige Belastungen etc. zurückgeführt werden können.

5. Ablauf der Datenerfassung

Der Ablauf zur Erfassung des AMV beim gesundheitsorientierten Krafttraining war wie folgt:

Vorgeschaltet, falls notwendig: Erfassung der persönlichen Daten und ggf. Gerätgewöhnung

- a. Austestung der Maximalkraft
- b. Einweisung in die Geräte und falls nötig Durchführung einer Testmessung zur Vermeidung von Messfehlern

1. Einheit: Durchführung der Messung im Bereich **Ausdauer mit Kraftanteilen**

- a. Erwärmung
- b. Anlegen des Messgeräts
- c. Training und Erfassung des AMV_{Training} wie beschrieben
- d. Ablegen des Messgeräts, Übertrag der Werte

2. Einheit: Durchführung der Messung im Bereich **Kraftausdauer**

- a. Erwärmung
- b. Anlegen des Messgeräts
- c. Training und Erfassung des AMV_{Training} wie beschrieben
- d. Ablegen des Messgeräts, Übertrag der Werte

3. Einheit: Durchführung der Messung im Bereich **Maximalkraft** (falls möglich)

- a. Erwärmung
- b. Anlegen des Messgeräts
- c. Training und Erfassung des AMV_{Training} wie beschrieben
- d. Ablegen des Messgeräts, Übertrag der Werte

Als 4. bis 6. Einheit konnte sich bei trainierten TeilnehmerInnen noch ein freies Training wie beschrieben anschließen, um Vergleichswerte zwischen geführtem Gerättraining und freien Übungen zu erhalten. Bei der Hälfte der so verfahrenen Messungen trainierten die Teilneh-

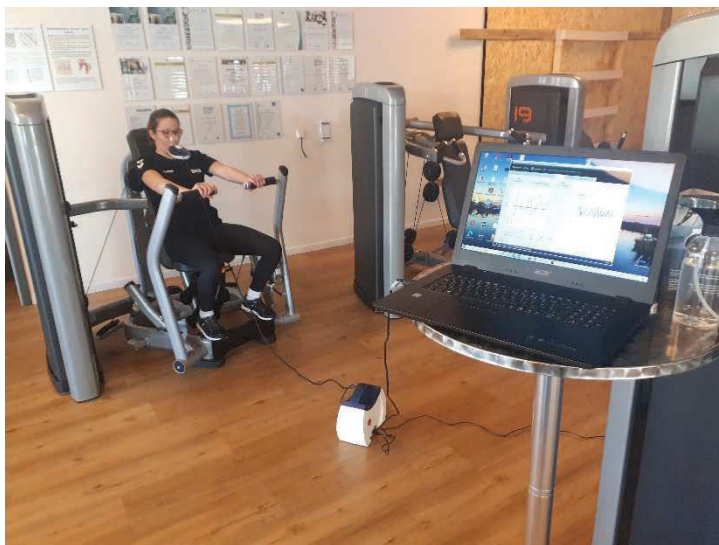


Abb. 5: Training und Datenerfassung 1. Durchgang

merInnen genau anders herum (erst freies, dann geführtes Training), um eine potentielle Abweichung der AMV von Gerättraining zu freiem Training auf Grund eines Trainingseffekts zu vermeiden.

Bei TeilnehmerInnen, die an eine Messung des AMV bei sportlicher Betätigung gewöhnt waren, oder wenn die Maximalkraftwerte bereits bekannt war, konnte auf die vorgeschaltete Gewöhnung verzichtet werden. Die Austestung der Maximalkraft war immer dann er-

forderlich, um im richtigen Belastungsbereich zu trainieren, wenn diese Werte nicht bekannt waren.

Wurde im ersten Satz des Trainings bei der Messung festgestellt, dass das $Kraft_{max}$ offensichtlich nicht richtig errechnet wurde oder es sich um veraltete Werte handelte und so ein Training nicht im richtigen Belastungsbereich stattfand, dann wurde ab dem zweiten Satz nachjustiert, wenn die Abweichung nicht mehr als 10% betrug, also nur geringfügig war. Eine derartige Abweichung kann sich allein schon durch die Tagesform ergeben.

Bei massiven Abweichungen musste der Test wiederholt werden. Insgesamt wurden die TeilnehmerInnen zur Auswertung der Daten wie folgt unterteilt:

- weiblich und männlich
- nach Körpergröße
- nach Alter
- nach BMI-Klassen.

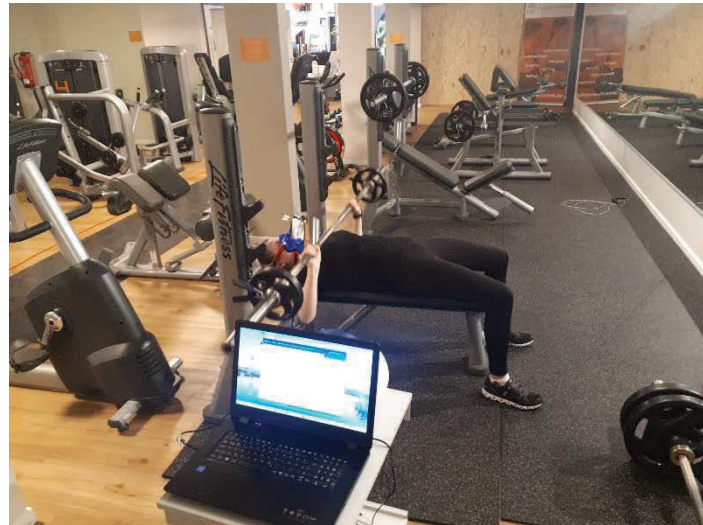


Abb. 6: Training und Datenerfassung freie Übung als Vergleich zur Brustpresse

Der BMI wurde bei der Datenerfassung hinzugenommen, um der Theorie Rechnung zu tragen, dass eine größere Körpermasse möglicherweise mit einem größeren AMV korrelieren



könnte – entweder über den Fitnesszustand, da TeilnehmerInnen mit besserem Trainingszustand ein größeres AZV aufweisen (höherer BMI über größere Muskelmasse), oder aber sehr unfitte Personen über eine erhöhte AF ebenfalls ein höheres AMV erzeugen (höherer BMI über größere muskelfreie Körpermasse).

Abb. 7: Datenerfassung mit dem aeroman® professional

Die Gruppen mit einem BMI unter 18,5 erhielten letztlich keine TeilnehmerInnen, ebenso die Gruppe der über 70jährigen. Sie wurden nicht in die Auswertung aufgenommen.

Durch die vorgenommene Abstufung waren die einzelnen Werte untereinander gut vergleichbar.

Die Rohdaten wurden zunächst wie folgt in einer Tabelle erfasst (Beispiel):

Proband Name Sa Kr Geschlecht weiblich Geburtsdat 02.04.2002 Größe 168 Gewicht 56 aeroscan Datum 27.04.2021 14:42:44 Ergometer Anderes Gerät										
Stufe	Leistung	Dauer	Atemfreq.	VE [l/min]	VO2 [l/min]	VO2 rel [ml/min]	VCO2 [l/min]	VCO2 rel [ml/min]	Atemäquiv	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1001	50	32375	29,39115	20,30783	0,477413	8,525231	0,566752	10,12057	42,53723	
1002	75	30010	20,68468	18,07632	0,650153	11,60987	0,613243	10,95077	27,80319	
1003	100	30002	21,15237	19,24874	0,592548	10,58121	0,630414	11,2574	32,4847	
1004	125	30009	34,25302	21,15284	0,541088	9,662277	0,621766	11,10296	39,0932	
1005	150	30023	21,84229	21,10193	0,646749	11,54908	0,693511	12,38412	32,62771	
1006	175	29990	22,39209	17,82549	0,47572	8,495002	0,584879	10,44426	37,47053	
1007	200	30033	31,47608	19,89789	0,477223	8,521837	0,55644	9,936428	41,69517	
1008	225	30009	22,03154	20,70678	0,742822	13,26467	0,720086	12,85869	27,87583	
1009	250	29971	24,59478	16,76161	0,45939	8,203394	0,535523	9,562911	36,48665	
1010	275	30008	29,08394	20,47556	0,514556	9,188496	0,593745	10,60259	39,7927	
1011	300	30047	20,68539	20,60923	0,646516	11,54493	0,665204	11,87865	31,87735	
1012	325	29983	25,77717	18,22301	0,488753	8,727734	0,583561	10,42073	37,28469	

Abb. 8: Rohdaten einer Teilnehmerin

Im Nachgang wurden die jeweiligen Mittelwerte der TeilnehmerInnen bei den drei Durchgängen dann in einer gesonderten Tabelle überführt:

Gruppe W; 20-30; BMI 18,5-24,9

	Kürzel	Alter	Gewicht	Größe	BMI	Trainingsart	AMVmax.	AMVø	AMVmin.	res. l/h
1	SaKr	20	58	1,68	20,5	AK	37,96	24,28	16,70	1.456,80
						KA	34,71	22,83	16,76	1.369,80
						MK	20,52	14,24	8,28	854,40
2	LaSe	23	65	1,72	22,5	AK	31,70	23,15	12,80	1.389,00
						KA				

Tab. 1: Datenerhebung bei Teilnehmerinnen

Nach und nach wurden dann die gemessenen Daten zum AMV nachgetragen und der sich hieraus ergebende „Luftverbrauch“ in l/h ausgerechnet. Am Ende wurden insgesamt 351 Einzelmessungen erfasst und für die Auswertung verwendet.

Diese Zahl ist sicherlich ausreichend, um eine erste valide Einschätzung zu geben. Erhoben wurden die Daten durch Messung bei Mitgliedern und Trainingsgästen im Gesundheitsstudio MaxxWell® Adelebsen sowie im Vital-Zentrum des SV-Nordenham. Auf Grund der Lockdown-Problematik und der Zeit der darauffolgenden Öffnung war es in beiden teilnehmenden Studios nicht möglich, eine noch größere Anzahl an Teilnehmern zu vermessen. Dieses wäre langfristig sicherlich beispielsweise im Rahmen einer universitären Studie wünschenswert.

6. Analyse und Diskussion der erfassten Daten

Aus den insgesamt 351 Einzelmessungen wurden die nachfolgend erfassten Daten entnommen.

6.1 Auswertungen

Generell erfolgte die Auswertung in den verschiedenen Bereichen immer auch getrennt nach Geschlecht.

6.2 Auswertung nach Alter

Bei der Datenerhebung selbst wurden die Gruppen in 10er Schritten von einem Alter von 20 an erfasst. Ab 70 Jahren wurden keine Teilnehmer mehr vermessen. Dabei ergaben sich folgende Werte:

	AMVø AK	res. l/h AK	AMVø KA	res. l/h KA	AMVø MK	res. l/h MK
20 - 29	34,41	2.064,8	33,77	2.026,0	22,78	1.367,0
30 - 39	30,52	1.831,4	33,20	1.991,7	28,59	1.715,4
40 - 49	26,09	1.565,3	24,03	1.441,5		
50 - 59	27,37	1.641,9	32,04	1.922,2	28,82	1.728,9
60 - 69	29,12	1.747,0	25,85	1.551,2		
70 - 79						

Tab. 2: AMV nach Krafttrainingsarten und Alter männlich

	AMVø AK	res. l/h AK	AMVø KA	res. l/h KA	AMVø MK	res. l/h MK
20 - 29	22,78	1366,8	22,52	1351,2	15,77	946,2
30 - 39	33,80	2028,0	31,14	1868,4	22,42	1345,2
40 - 49	20,54	1232,6	19,04	1142,2	15,41	924,6
50 - 59	24,70	1481,9	26,39	1583,4	17,17	1030,2
60 - 69	22,23	1333,8	24,54	1472,4	15,72	943,2
70 - 79						

Tab. 3: AMV nach Krafttrainingsarten und Alter weiblich

In Tendenz ist erkennbar, dass das AMV nach dem 40. Lebensjahr sinkt, und dies nahezu unabhängig von der ausgeführten Krafttrainingsart.

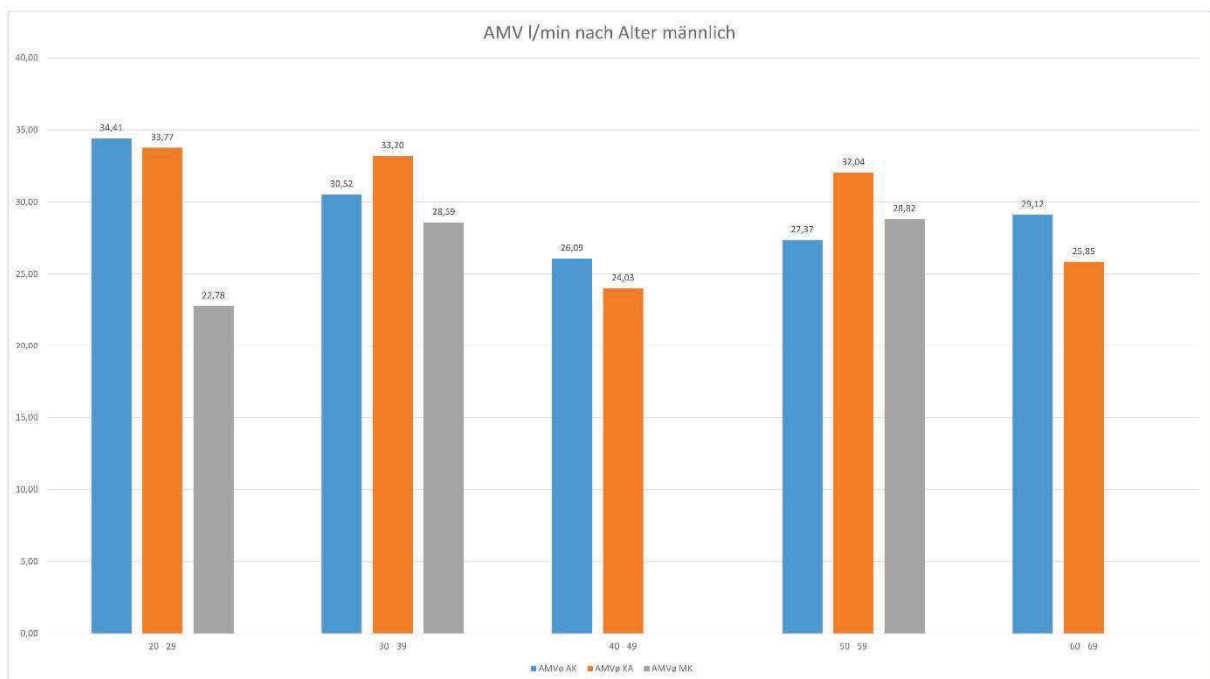


Abb. 9: AMV in l/min bei Teilnehmern nach Alter und Krafttrainingsarten unterteilt



Abb. 10: AMV in l/min bei Teilnehmerinnen nach Alter und Krafttrainingsarten unterteilt

6.3 Auswertung nach BMI

Die Auswertung nach BMI wurde vorgenommen, um die Annahme zu überprüfen, dass möglicherweise ein signifikanter Zusammenhang zwischen BMI und AMV besteht, was die Einschätzung des „Luftverbrauchs“ in einem Gesundheits- oder Fitnessstudio an sich vereinfacht hätte.

Es ergaben sich folgende Daten:

	AMVø AK	res. l/h AK	AMVø KA	res. l/h KA	AMVø MK	res. l/h MK
U 18,0						
18,1-24,9	28,82	1.729,4	27,68	1.660,6	20,56	1.233,6
25,0-29,9	33,01	1.980,8	30,58	1.834,5	26,36	1.581,3
ab 30,0	25,45	1.526,8	29,52	1.770,9	28,59	1.715,4

Tab. 4: AMV nach Krafttrainingsarten und BMI männlich

	AMVø AK	res. l/h AK	AMVø KA	res. l/h KA	AMVø MK	res. l/h MK
U 18,0						
18,1-24,9	23,82	1.429,1	23,57	1.414,4	16,58	994,9
25,0-29,9	18,62	1.117,2	18,62	1.117,2	17,01	1.020,6
ab 30,0	22,40	1.344,0				

Tab. 5: AMV nach Krafttrainingsarten und BMI weiblich

Es wird erkennbar, dass es praktisch keine Korrelation zwischen dem BMI und einer Erhöhung des AMV gibt.

Viel Interessanter erscheint im Nachhinein möglicherweise eine Einschätzung nach dem Trainingszustand. Bei der Datenerhebung fiel auf, dass die Mitglieder, deren Trainingszustand man durchaus als „fitter“ bezeichnen würde, ein teilweise deutlich erhöhtes AMV aufwiesen – und dieses relativ unabhängig vom BMI.

Sinnvoll könnte es sein, die TeilnehmerInnen zum Beispiel auf Basis eines einfachen vorge-schalteten Tests zur Ermittlung des Fitnesszustandes (beispielsweise über den standardisier-ten Fitness-Test von Polar) in verschiedene Stufen einzuteilen, um dann das AMV noch ein-mal genauer in Bezug auf eine Korrelation zwischen körperlicher Fitness und AMV zu unter-suchen.

Auch dieses könnte sicherlich im Rahmen einer universitären Studie geschehen.

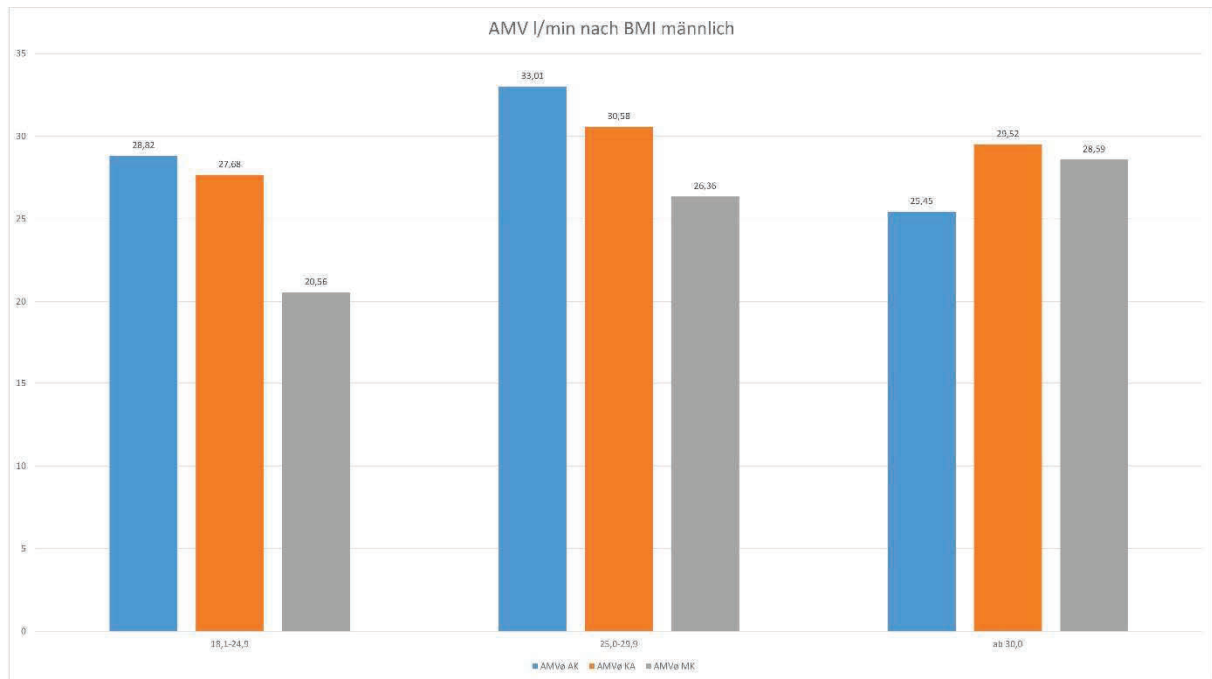


Abb. 11: AMV in l/min bei Teilnehmern nach BMI und Krafttrainingsarten unterteilt

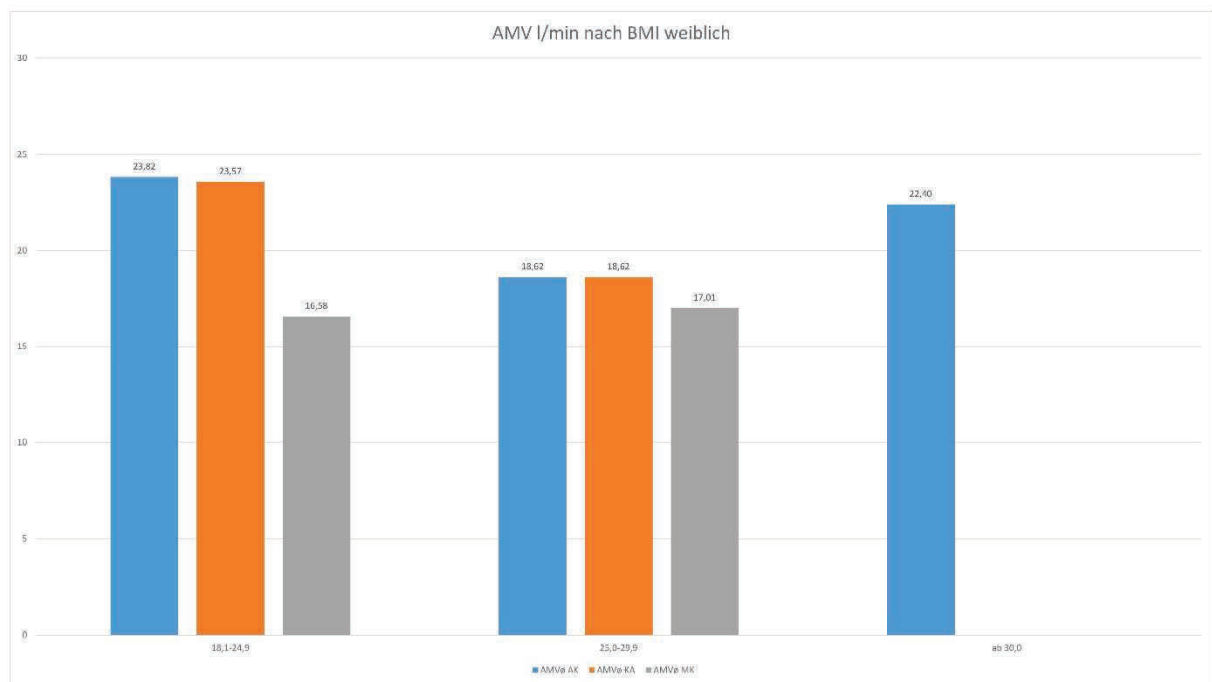


Abb. 12: AMV in l/min bei Teilnehmerinnen nach BMI und Krafttrainingsarten unterteilt

6.4 Auswertung nach Größe

Am deutlichsten ist der Zusammenhang von Körpergröße und AMV nachweisbar, und dieses über alle Gruppen, TeilnehmerInnen und alle Krafttrainingsarten. Je ist ein höheres AMV zu erwarten je größer die TeilnehmerInnen sind.

	AMVø AK	res. l/h AK	AMVø KA	res. l/h KA	AMVø MK	res. l/h MK
bis 175	24,55	1.473,3	25,05	1.503,1	23,85	1.430,7
176-185	30,97	1.858,2	30,94	1.856,4	24,02	1.441,2
ab 186	35,73	2.143,9	35,57	2.133,9	34,82	2.089,2

Tab. 6: AMV nach Krafttrainingsarten und Größe männlich

	AMVø AK	res. l/h AK	AMVø KA	res. l/h KA	AMVø MK	res. l/h MK
bis 165	21,12	1.267,0	21,03	1.261,5	17,01	1.020,6
166-175	22,67	1.360,2	22,54	1.352,1	15,30	917,8
ab 176	30,88	1.852,6	26,62	1.597,0	19,80	1.187,7

Tab. 7: AMV nach Krafttrainingsarten und BMI weiblich

Auch hier wäre es sicherlich wünschenswert, über eine noch höhere Beteiligung eine feinere Abstufung vornehmen und auch die Gruppen unter 175cm bzw. über 186cm bei den Männern sowie unter 165cm bzw. über 176cm bei den Frauen unterteilt darstellen zu können.

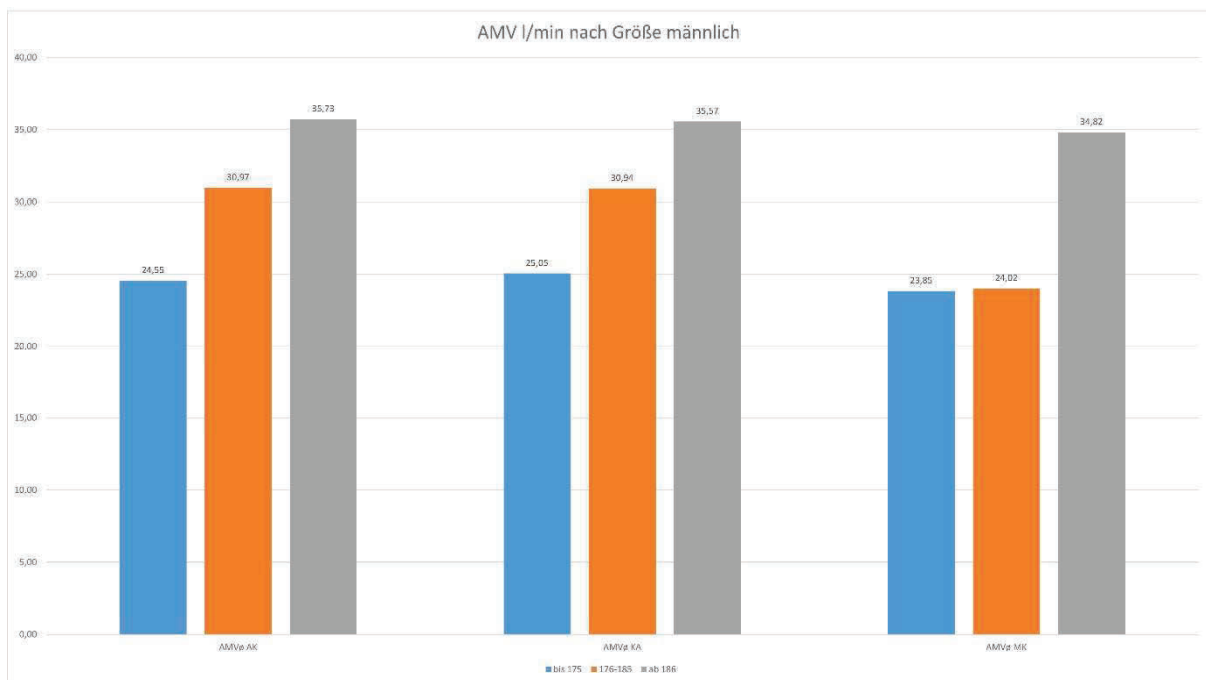


Abb. 13: AMV in l/min bei Teilnehmern nach Größe und Krafttrainingsarten unterteilt

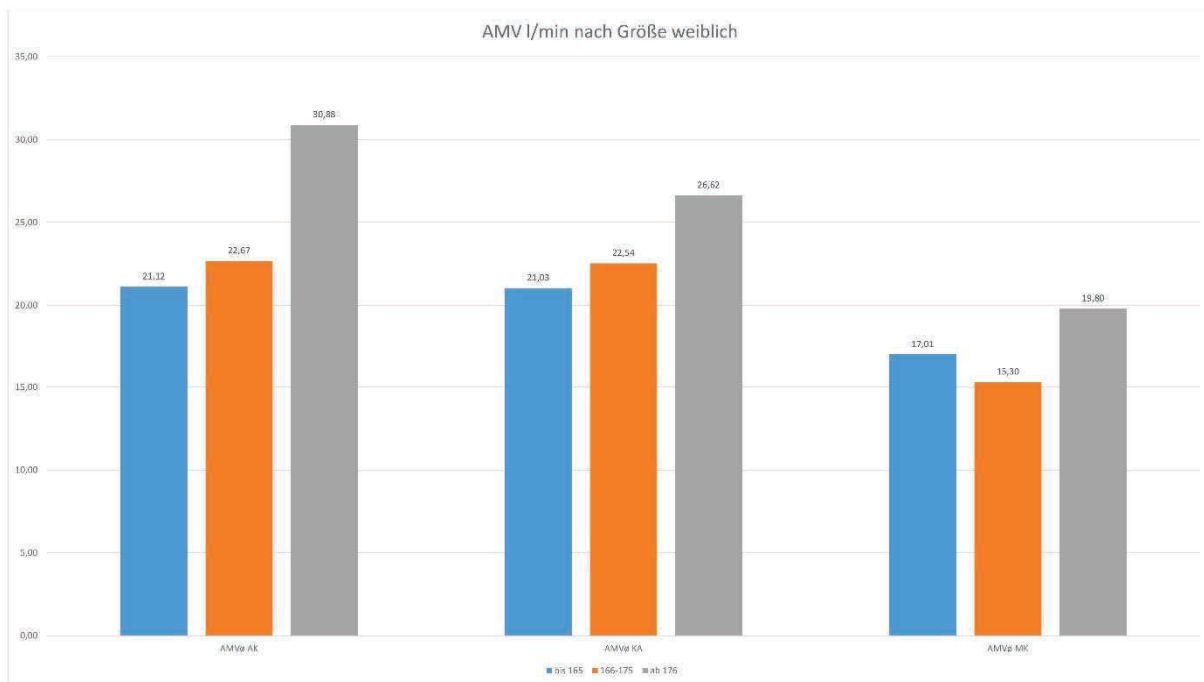


Abb. 14: AMV in l/min bei Teilnehmerinnen nach Größe und Krafttrainingsarten unterteilt

6.5 Auswertung aller TeilnehmerInnen

Eine Auswertung aller Personen, nur unterteilt nach männlich und weiblichen TeilnehmerInnen, ergibt folgende Daten:

	AMVø AK	res. l/h AK	AMVø KA	res. l/h KA	AMVø MK	res. l/h MK
über alles	30,56	1.833,4	29,49	1.769,5	25,76	1.545,7
min	11,76	705,6	10,37	622,2	12,43	745,8
max	63,25	3.795,0	63,03	3.781,8	48,95	2.937,0

Tab. 8: AMV nach Krafttrainingsarten männlich

	AMVø AK	res. l/h AK	AMVø KA	res. l/h KA	AMVø MK	res. l/h MK
über alles	23,39	1.403,1	22,87	1.371,9	16,64	998,1
min	10,16	609,6	9,40	564	8,28	496,8
max	51,50	3.090,0	48,91	2.934,6	30,11	1.806,6

Tab. 9: AMV nach Krafttrainingsarten weiblich

Im Schnitt ergeben sich für ein gesundheitsorientiertes Krafttraining daher folgende Werte:

Teilnehmer: 28,60 l/min mit AMVømax von 58,41 l/min und AMVømin von 11,52 l/min.

Teilnehmerinnen: 20,96 l/min mit AMVømax von 43,51 l/min und AMVømin von 9,28 l/min.

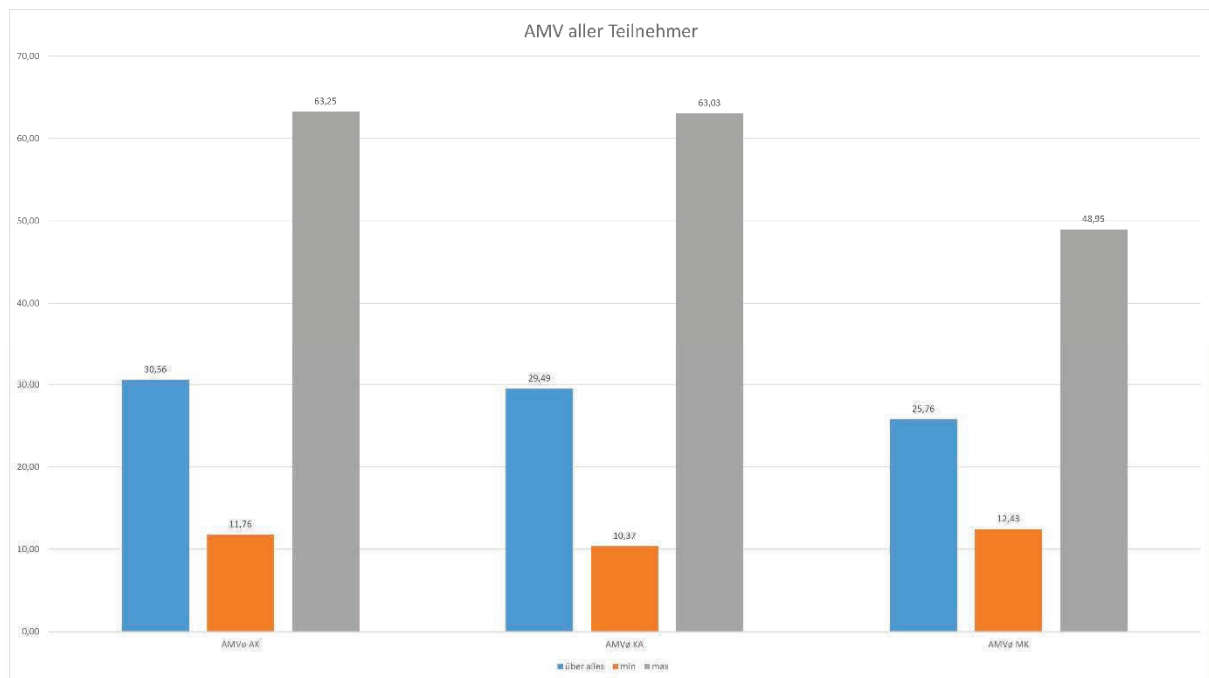


Abb. 15: AMV in l/min aller Teilnehmer

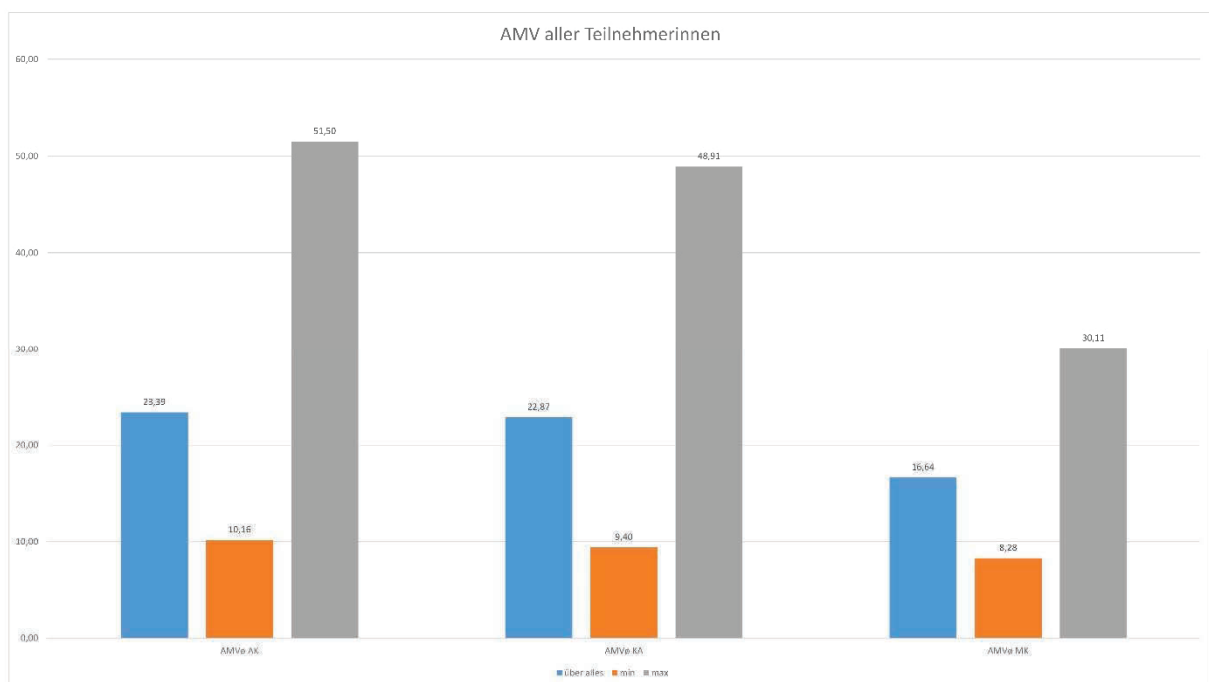


Abb. 16: AMV in l/min aller Teilnehmerinnen

6.6 Fazit der Datenauswertung

Eindeutig ist die Korrelation zwischen Körpergröße und AMV. Je größer die TeilnehmerInnen waren, desto höher lag das AMV. Schwieriger ist der Nachweis eines Zusammenhanges von BMI oder Alter auf das AMV. Beim Alter scheint deutlich, dass das AMV mit zunehmendem Alter, spätestens mit Ende des vierten Lebensjahrzehnts, ebenfalls im Mittel abnimmt.

Die erfassten l/min-Werte können mit 60 multipliziert werden, um eine ungefähre Aussage über den Stundenumsatz zu gewinnen. Es muss jedoch beachtet werden:

- In der Realität trainieren gesundheitsorientierte Sportler nicht 60min intensiv mit minimal notwendigen Pausen, es kommt beispielsweise der Gerätwechsel, die Zeit für das Desinfizieren oder für die individuelle Einstellung der Geräte hinzu.
- Nicht zu unterschätzen ist die Zeit der sozialen Interaktion! Nicht wenige Sportler unterhalten sich zwischen den Durchgängen oder beim Gerätwechsel, so dass die Pausenzeiten sich verlängern. Wie stark das AMV während der Pause abfällt, konnte nachgewiesen werden.
- Bei unserer Messung wurden lediglich große Muskelgruppen angesprochen. Bei einem Training kleinerer Muskelgruppen liegt das AMV unter den ermittelten Werten.
- Besonders häufig trainieren gesundheitsorientierte SportlerInnen im Bereich zwischen 10 und 20 Wiederholungen mit 65% bis 85% ihres subjektiven Kraft_{max}. Eher selten kommt es zu einem Maximalkrafttraining oder zu einem hochintensiven Intervalltraining (HIIT). Dieses ist eher in „normalen“ Fitnessstudios oder in den entsprechenden Cross-Fit und Pumping-Kursen zu finden. Die beim HIIT anfallenden AMV dürften die des gesundheitsorientierten Krafttrainings bei weitem überschreiten.
- Mit zunehmender Erschöpfung kommt es zu einer Erhöhung des AMV. Ob sich dieser Effekt mit dem der sozialen Interaktion ggf. ausgleicht muss dahingestellt bleiben.

Generell bleibt daher festzuhalten, dass die erhobenen und letztlich auch auf eine Stunde hochgerechneten Werte mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit über den Werten liegen, die bei einem realen Trainingsbesuch unter Nutzung von Krafttrainingsgeräten in einem Gesundheits- und Fitnessstudio anzutreffen sind. Dieses hat vor allem den entscheidenden Grund, dass die Pausenzeiten zwischen den einzelnen Sätzen am Gerät, aber auch beim Gerätewechsel deutlich länger sind, als wir es im Rahmen der Messung darstellen konnten.

Es ist nachgewiesen, dass während der Pausen das AMV teilweise zunächst noch leicht ansteigt, dann aber deutlich abfällt. Bei allen TeilnehmerInnen liegt das AMV_{Pause} signifikant unter dem AMV_{Belastung}. Im Mittel sank dieser Pausenwert bei den Teilnehmern um 13,3 % unter den Trainingswert, bei den Teilnehmerinnen sogar um 17,6%. Je länger die Pausen, desto geringer das AMV, welches sich schließlich an das AMV_{Ruhe} annähert. Die Multiplikation der Belastungen an drei Geräten mit jeweils vier Sätzen ergibt also einen deutlich höheren „Luftverbrauch pro Stunde“, als dieser in der Realität vorkommt.

Trotzdem wird von uns bei der folgenden Betrachtung der Raumbelastung mit luftgetragenen Schadkörpern von diesen deutlich erhöhten Werten ausgegangen, allein schon, um eine Art „Puffer“ einzubauen.

7. Einordnung der gemessenen AMV-Werte in die Diskussion um erhöhte Aerosolwerte beim Indoor-Sport in Gesundheits- und Fitnesssportanlagen

Im Mittelpunkt der wissenschaftlichen und medizinischen Überlegungen steht der sehr wahrscheinliche Übertragungsweg des Virus „SARS-CoV2“ über die Luft, genauer gesagt über die sich in der Luft befindlichen Partikel/Aerosole. Besonders wahrscheinlich wird so eine Übertragung bei geringen Abständen zueinander in geschlossenen Räumen mit niedrigen Deckenhöhen. Selbst bei größeren Abständen zu einer infizierten Person erscheint eine Übertragung möglich, wenn auch mit steigendem Abstand unwahrscheinlicher.

Auch andere Viren lassen sich auf diesem Weg übertragen, weshalb es aus praktischer Sicht Sinn macht, den Übertragungsweg für möglichst alle pathogenen Keime zu kappen.

Dies geschah im Rahmen der Pandemie-Bekämpfung ausschließlich über Kontaktminimierung, dem Gebot des Maskentragens und Abstandsregelungen, was dazu führte, dass Betriebe und Einrichtungen geschlossen wurden. Eine technisch sinnvolle und hocheffiziente Lösung liegt jedoch inzwischen vor, so dass ein erneuter Lockdown und die Beschränkung der Rechte nicht mehr notwendigerweise im bekannten Ausmaß vollzogen werden muss.

7.1 Entstehung und Verbreitung der Aerosole

Aerosole sind auch in von Menschen unberührten Regionen immer ein natürlicher Bestandteil der Atmosphäre. Insbesondere in Städten kommen durch Verbrennung sowie andere anthropogene Quellen potentiell große Mengen an Aerosolen hinzu. Sie werden u. a. eben auch über die Atmung beim Menschen emittiert und in die Luft getragen. Nicht nur, aber eben auch, wenn Menschen infiziert sind, emittieren sie mit der Atmung Viren und andere Schadkörper in die Luft, wo sie sich auf den Aerosolen befindend im Luftstrom verteilen können.

Im Alltag ist es nicht möglich, einen Raum, in dem sich Menschen befinden, auf „0-Aerosole“ zu bringen, da die sich im Raum befindlichen Menschen permanent atmen und so ständig Aerosole ausstoßen. Entsprechend wäre eine Forderung, einen Raum nur dann zu nutzen, wenn keine Aerosole mehr im Raum sind, nicht nur realitätsfremd, sondern nicht machbar. Solch eine Forderung müsste dazu führen, dass sämtliche Gebäude geräumt werden müssten – und selbst in freier Natur finden sich natürlich Aerosole. Die Forderung nach „0-Aerosolen“ ist also sinnlos.

Eine hohe Aerosolkonzentration ist in genutzten Räumen dennoch nicht zwangsläufig ein messbarer Indikator für mögliche Virenbelastungen. Diese kritischen Aerosole sind im Hintergrund verborgen. Belastungen können jedoch über AMV rechnerisch und CO₂-Werte praktisch abgeschätzt werden, für angenommen ein, zwei oder mehrere Infizierte im Raum.

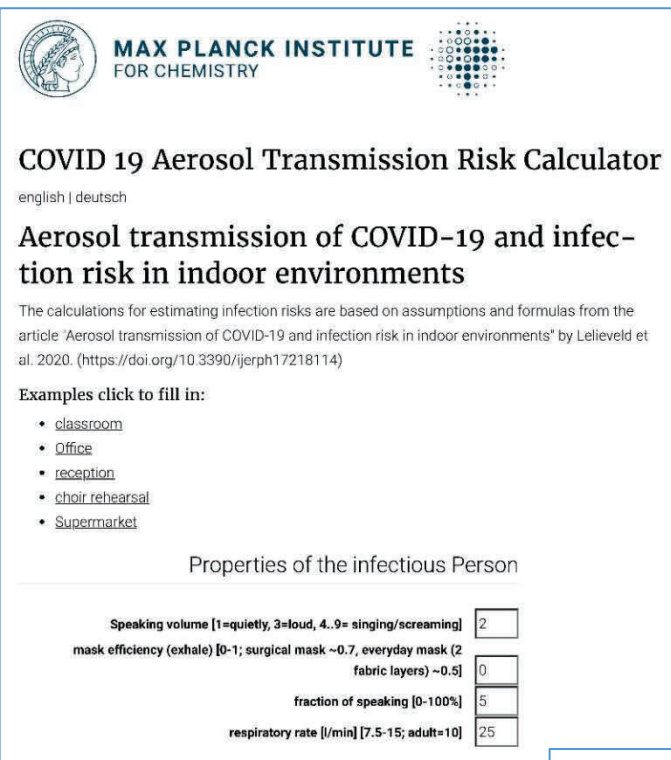
Werden die sich auf den Aerosolen befindlichen und von ihnen transportierten Schadkörper, also Viren, Bakterien und Sporen, durch ein Volumenstrom-Plasmaluftreinigungsgerät inaktiviert, so kann die Durchsetzung der Luft mit Aerosolen logischerweise durchaus höher sein, ohne dass es zu einer Erhöhung der Gefahr von Infektionsübertragungen kommt. Je höher die Rate der Inaktivierung ist, desto höher kann die Aerosolkonzentration sein.

7.2 Entstehung und Verbreitung von Aerosolen beim Training im Gesundheits- und Fitnesssektor

Um eine Aussage zu treffen, wie hoch die Belastung eines Trainingsraumes und damit die Gefährdung der sich dort aufhaltenden Menschen möglicherweise ist, gibt es zwei einfache Möglichkeiten:

- den Raum berechnen, so wie dieses sog. „Risk-Calculator“ anhand der Raumparameter ermöglichen sollen¹¹ oder aber
- den Raum unter den vorliegenden Realbedingungen betrachten und berechnen.

7.2.1 Berechnung durch Computerprogramme:



MAX PLANCK INSTITUTE FOR CHEMISTRY

COVID 19 Aerosol Transmission Risk Calculator

english | deutsch

Aerosol transmission of COVID-19 and infection risk in indoor environments

The calculations for estimating infection risks are based on assumptions and formulas from the article "Aerosol transmission of COVID-19 and infection risk in indoor environments" by Lelieveld et al. 2020. (<https://doi.org/10.3390/ijerph17218114>)

Examples click to fill in:

- classroom
- Office
- reception
- choir rehearsal
- Supermarket

Properties of the infectious Person

Speaking volume [1=quietly, 3=loud, 4.9= singing/screaming]

mask efficiency (exhale) [0-1; surgical mask ~0.7, everyday mask (2 fabric layers) ~0.5]

fraction of speaking [0-100%]

respiratory rate [l/min] [7.5-15; adult=10]

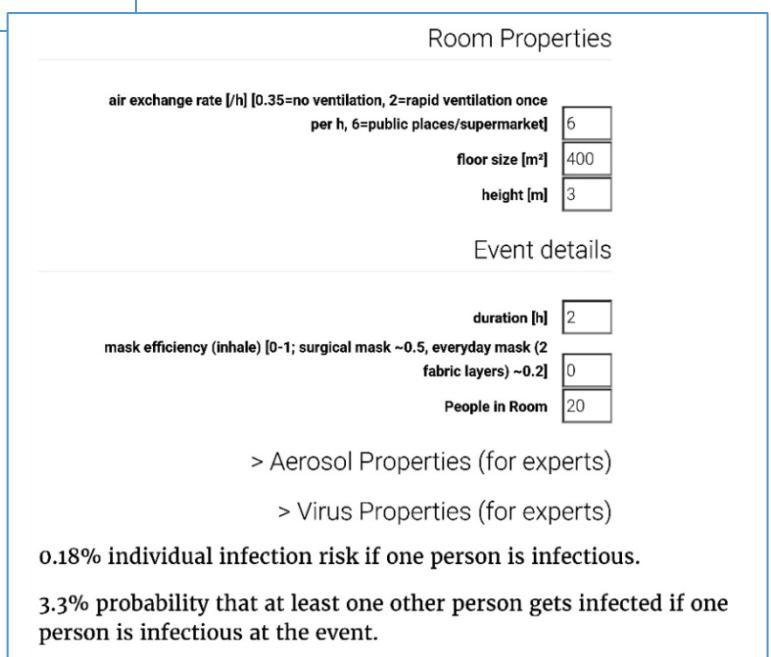
Unter Zuhilfenahme des Risk-Calculators des MPI-Chemie können Räumlichkeiten auf das Risiko hin berechnet werden, wenn sich mehrere Menschen zusammen mit infizierten Personen in einem Raum befinden. Hierbei sind Abstände zueinander, Raumgröße, Anzahl der Infizierten, Art des Luftaustausches und viele andere Punkte einzugeben.

Unter Berücksichtigung aller Vorgaben und Maße eines Studios kommt man am Beispiel des MaxxWell® bei einer Anzahl von 20 Personen, die normalintensiv trainieren, und darunter einer infizierten Person auf die Wahrscheinlichkeit einer Infektion von 0,18% und dies bei zwei Stunden Anwesenheit.

Abb. 16 und 17: Ergebnisse des Risk-Calculator des MPI-Chemie

Selbst bei Anwesenheit von zwei infizierten Personen, also immerhin 10% der Gesamtzahl, läge die Wahrscheinlichkeit gerade mal bei 3,3%.

Dieses kann ohne Zweifel als gering bezeichnet werden. 20 Personen ist die derzeit im Hygienekonzept des MaxxWell® festgelegte freiwillige Obergrenze für die Anzahl von Nutzern (pro Person 20 m² nutzbare Fläche).



Room Properties

air exchange rate [1/h] [0.35=no ventilation, 2=rapid ventilation once per h, 6=public places/supermarket]

floor size [m²]

height [m]

Event details

duration [h]

mask efficiency (inhalation) [0-1; surgical mask ~0.5, everyday mask (2 fabric layers) ~0.2]

People in Room

> Aerosol Properties (for experts)

> Virus Properties (for experts)

0.18% individual infection risk if one person is infectious.

3.3% probability that at least one other person gets infected if one person is infectious at the event.

Die Berechnung des Raumes über automatische Berechnungsprogramme wie den „Risk-Calculator“ oder andere Programme hat aber immer den Nachteil, dass eine grundlegende Pauschalität nicht ausgeschlossen ist, weil nie alle Faktoren berücksichtigt werden können. Allein schon beispielsweise die Eingabe von zusätzlichen Lüftungsmöglichkeiten über Fenster (ja/nein) entbehrt nicht einer gewissen Problematik, da hier keine reale Größe der Frischluftzufuhr berücksichtigt werden kann.

Die genaue, individuelle Betrachtung eines zu begutachtenden Raumes hingegen mit nachfolgender Berechnung kann sehr genaue Daten und damit eine Risikoeinschätzung ergeben.

7.2.1 Berechnung mithilfe vorliegender Realbedingungen:

Im Bereich der Trainingsfläche im MaxxWell® Adelebsen findet sich ein Raumvolumen von ca. 1.400 m³. Die Innenraumkommission des Umweltbundesamtes fordert einen 3fachen Luftaustausch, wenn die Möglichkeit einer Frischluftzufuhr besteht. Ohne Frischluftzufuhr sei eine Luftreinigungsrate vom 6fachen des Raumvolumens erforderlich¹².

Es müsste also gewährleistet sein, dass insgesamt 4.200m³ Luft gereinigt werden können, sofern eine Frischluftzufuhr möglich ist.

Hier ergibt sich nun allerdings die Frage, bei welcher Belastung diese Werte eingehalten werden müssen, da logischerweise zwei Personen einen gänzlich anderen Raumluf-Umsatz über ihr AMV haben als zwanzig Personen. Wann ist also ein Raum so gefüllt, dass dieser 3fache Luftaustausch bzw. die 3fache Luftreinigung greifen muss? Diese Frage bleibt leider auch beim Umweltbundesamt unbeantwortet.

Auf Grund der von uns erhobenen Daten ergibt sich für einen durchschnittlich trainierten FreizeitsportlerIn im Mittel ein AMV von 28,60 l/min bzw. 20,96 l/min mindestens 9,28 l/min und Spitzenwerten von 58,41 l/min. Hieraus resultiert ein durchschnittlicher Luftverbrauch von 24,78 l/min oder 1,47 m³/h pro Person (gemeinsamer Mittelwert Männer und Frauen).

Selbst, wenn über die komplette Trainingsdauer die ganz offensichtlich intensivste Trainingsform, ein Ausdauertraining mit Kraftanteilen und wenig Pausen, ausschließlich von Männern absolviert wird, ergibt sich so in der Spitze ein Luftverbrauch von maximal 3,5 m³/h pro Trainierendem. Bei den anderen Trainingsarten, dem Kraftausdauer-/Hypertrophietraining, und erst Recht beim Maximalkrafttraining, kommt es auf Grund der geringeren Cardio-pulmonalen Belastung auch zu einem teils deutlich geringeren AMV.

Entsprechend lässt sich bereits an dieser Stelle festhalten, dass je geringer die (cardio-pulmonale) Belastung beim Krafttraining ausfällt, desto geringer ist auch der Luftverbrauch und damit die Emittierung von Aerosolen.

Einschränkend und dem Fazit vorwegnehmend muss an dieser Stelle bereits vermerkt werden, dass beim Ausdauertraining mit Kraftanteilen, aber auch noch beim Kraftausdauer-/Hypertrophietraining eine eher regelmäßige Atmung stattfindet. Beim Maximalkrafttraining bzw. generell beim Training mit hohen Gewichten ist dies nicht der Fall, hier kommt es eher auf Grund der hohen Kraftbelastung zu einem stoßweisen Ausatmen, was dazu führt, dass zwar im Mittel ein geringeres AMV vorhanden ist, die Aerosolverteilung im Raum durch das Ausstoßen der Atemgase jedoch teilweise viel weitreichender ist.

Beim gesunden, nicht leistungsorientierten Training an Kraftgeräten oder Hanteln, wie es von einem Großteil der freizeitorientierten Sportler in Gesundheits- und Fitnessstudios zur Krafterhaltung, zur Beseitigung von Problemen im Gelenk- oder Wirbelkörper oder zum Aufbau nach Schädigungen durchgeführt wird, ergibt sich wie gemessen und errechnet ein eher moderates AMV von 24,78 l/min pro Person. Dieses stellt eine nicht übermäßig-gefährlich erhöhte Aerosol-Emittierung dar, die vor allem durch eine relativ gleichmäßige Atmung vollzogen wird!

Zudem sei an dieser Stelle noch einmal betont, dass die erhobenen Daten bei der Messung des AMV beim Krafttraining mit durchaus unüblich geringen Pausen erfolgte, so dass konstatiert werden kann, dass in der Realität durchaus noch einmal ein deutlich geringeres AMV vorliegt.

Ausgehend von einem durchschnittlichen AMV von 24,78 l/min und damit einem Luftverbrauch von 1,47 m³/h ergibt sich nunmehr anhand der Anzahl an Personen, die sich in einem Studio befinden, der potentielle „Luftverbrauch“ und damit in Relation zum Gesamtvolumen der Einrichtung die Gefährdung anderer Personen, sollte sich unter den Trainierenden eine infizierte Person befinden.

Natürlich ist klar, dass die einzelnen Sportler nicht in einer Blase atmen und die Luft sich durch Verwirbelungen verteilt. Dennoch können diese Werte einer Bedarfsberechnung zu Grunde gelegt werden. Diese an den realen Bedingungen orientierte Berechnung erfolgt am Beispiel des Gesundheitsstudios MaxxWell® in Adelebsen. Sie lässt sich jedoch problemlos auf andere Einrichtungen übertragen, sofern Raummaße, Personenzahl und Trainingsintensität bekannt sind.

In einem klassischen Fitnessstudio ist sicherlich mit einer höheren Intensität durch ein eher jüngeres Publikum zu rechnen, das Muskulatur aufbauen und nicht nur erhalten oder gesundheitliche Probleme angehen will, so wie es in unserer eher gesundheitsorientierten Anlage der Fall ist.

7.3 Berechnung am Beispiel des MaxxWell® Adelebsen

Ausgehend von der Tatsache, dass die FreizeitsportlerInnen im MaxxWell® Adelebsen eher moderat trainieren ergibt sich bei einer freiwillig reduzierten maximalen Belegung von 20 Personen ein Bedarf von maximal 29,4 m³ Raumluft pro Stunde.

Auf Grund der Fläche des Trainingsbereichs von 400 m² und einer Deckenhöhe von durchschnittlich etwas mehr als 3 m ergibt sich ein Raumvolumen von ca. 1.400 m³ Luft. Insgesamt werden also (ohne die Reinigungsleistung der Volumenstrom-Plasma-Geräte, den Austausch der Luft über die bestehende Lüftungsanlage oder Lüftungsmaßnahmen zu berücksichtigen) pro trainierender Person 0,105% der Raumluft pro Stunde verbraucht. Bei 20 trainierenden Personen wären es also 2,1%.

Im Kursraum verhält es sich etwas anders. Das Raumvolumen des Kursraumes beträgt bei gut 100 m² Grundfläche und ca. 2,7 m Höhe knapp 270 m³. Verbraucht werden pro KursteilnehmerIn bei intensiven Kursen (45 l/min AMV) rund 2,7 m³, was einem Verbrauch von gut 1,0% entspricht. Bei im Schnitt 10 KursteilnehmerInnen entspricht dies einer gut 5fach höheren Belastung der Luft im Kursraum im Vergleich zur Trainingsfläche.

Bei ruhigen Kursen (Reha-Sport, Präventionskurse, Stretch&Relax etc.) liegt das AMV deutlich unter dem beim mäßigen Krafttraining. Ausgehend von 15 l/min ergibt sich ein Verbrauch von 0,9m³/h oder umgerechnet 0,33% Raumluftverbrauch. Bei 10 TeilnehmerInnen wären also gerade einmal 3,3% der Raumluft in einer Stunde verbraucht.

Klar wird auch an dieser Stelle, dass es auf die Intensität der Belastung ganz entscheidend ankommt.

7.4 Grenzwertbestimmung und Grenzwerteinhaltung

Eines der größten Probleme ist, dass es keine allgemeinen Grenzwerte für Aerosole gibt. Es ist nur schwer direkt festzustellen oder zu messen, wann die Belastung mit Aerosolen – und damit ggf. eben auch mit den sich auf ihnen befindlichen Schadkörpern – zu hoch wird, um einen Raum noch gefahrlos nutzen zu können.

Inzwischen gibt es erste Studien, nach denen man davon ausgehen kann, dass mindestens 500 Viren aufgenommen werden müssen, damit es zu einer Infektion kommt¹³. Zu diesem Ergebnis kommt beispielsweise das Forschungszentrum für Molekulare Medizin (CeMM) in Wien. Den Ergebnissen dieser Studie zu Folge ist dieser Wert im Vergleich zu anderen Virus-erkrankungen ein relativ hoher Wert. Entscheidend sind der Studie zufolge bei der Bewertung einer hohen Aerosolkonzentration vor allem Partikel der Größe 60 – 140nm. Nach aktuellem Forschungsstand werden von anderen Forschern Partikel über 5µm als relevant beschrieben. Nähere Angaben hierzu finden sich unter **Punkt 8. Aerosolmessungen im MaxxWell® Adelebsen unter modifizierten Betriebsbedingungen.**

Da Aerosole im Alltag durch Laien jedoch nicht zu bestimmen sind, muss eine andere Lösung geschaffen werden. Dies kann beispielsweise durch die Betrachtung des CO₂-Wertes geschehen.

Zwischen der Belastung eines Raumes mit Aerosolen und dem Auftreten von CO₂ besteht eine ausreichende Korrelation. Der CO₂-Wert in einem Raum kann somit durchaus als Indikator für die Belastung mit Aerosolen angesehen werden, wenn er auch letztlich nicht absolut genau sein kann.

Steigt der CO₂-Wert auf ein Maß, bei dem die Luftreinheit nicht mehr ausreichend gewährleistet ist, so kann davon ausgegangen werden, dass auch die Belastung mit Aerosolen hoch ist – und damit steigt auch die Gefahr einer Infektion über die sich auf ihnen befindlichen Schadkörpern auf ein Maß steigt, das nicht mehr vertretbar erscheint.

Somit kann relativ einfach über die Nutzung von CO₂-Messgeräten festgestellt werden, wie sich die Qualität der Luft verändert. Niedrige CO₂-Werte implizieren in der Regel auch eine niedrige Belastung mit Aerosolen.

Daher sind im MaxxWell® an insgesamt vier Stellen CO₂-Messgeräte installiert, die einen ständigen Wert anzeigen. Diese befinden sich im Kursraum sowie an drei räumlich getrennten Stellen im Trainingsbereich.

Steigt der Wert, so werden die Plasma-Luftreinigungsgeräte, die sich sonst im Dauerbetrieb auf Stufe 2 mit ca. 300m³/h Reinigungsleistung befinden, manuell hochgefahren, so dass eine höhere Luftreinigungsrate möglich ist.

Als Maßstab gelten dabei die Grenzwerte für CO₂ wie folgt:

- bis 750 ppm CO₂: Dauerbetrieb der Plasma-Luftreinigungsgeräte und der Frischluftanlage auf Stufe 2
- ab 750 ppm CO₂: Erhöhung des Betriebes der Plasma-Luftreinigungsgeräte und der Frischluftanlage auf Stufe 3
- ab 1.000 ppm CO₂: Erhöhung des Betriebes der Plasma-Luftreinigungsgeräte und der Frischluftanlage auf Stufe 4
- ab 1.500 ppm CO₂: zusätzliches Lüften über Fenster und Türen

Eine Belastung von 2.000 ppm CO₂ wird als inakzeptabel für beispielsweise Schulen und Arbeitsplätze angesehen². Empfehlungen für den Freizeitsportbereich sind uns bisher nicht bekannt, so dass wir uns an den Empfehlungen des Bundesumweltamtes für Schulen orientieren.

Auf diese Weise kann gewährleistet werden, dass die Konzentration mit Aerosolen in einem Bereich bleibt, in dem von einer erhöhten Ansteckungsgefahr nicht ausgegangen werden kann.

Die Plasma-Luftreinigungsgeräte reduzieren nicht den CO₂-Gehalt in der Luft. Selbst bei hohem CO₂ Gehalt in der Luft ist die Raumluft bei vollem Betrieb der Geräte aber dann kaum belastet mit Krankheitserregern. Die oben vorgestellte Abschätzung ist also ein Worst-Case-Szenario.

Niedrige CO₂-Werte implizieren dennoch einen niedrigen Eintrag potentiell mit Viren belasteter Aerosole und können so als Indikator dienen.

7.5 Nutzung von Geräten mit Volumenstrom-Plasma-Technologie (Cold Plasma) zur Schadkörperelimination

Bisherige Lösungen auf Basis von Raumluftfiltern waren aufgrund vieler Gesichtspunkte wenig bis gar nicht praktikabel oder aber nur schwer umzusetzen. Hinzu kommt, dass von fast allen Herstellern unglaubliche Leistungswerte versprochen werden, die jedoch fast immer nur unter modifizierten Laborbedingungen in kleinen Räumen und praktisch nie im Realbetrieb mit vielen anwesenden Menschen getestet wurden. Inzwischen fordert das Umweltbundesamt derartige Tests, ohne, dass bereits eine Norm existieren würde¹⁴.

Die meisten eingesetzten Filteranlagen weisen viele Nachteile auf:

- Oftmals sind größere Baumaßnahmen erforderlich.
- Es handelt sich oft um Standgeräte oder Geräte in Bodennähe, die lt. Studie der Bundeswehr grundlegend eher ungeeignet sind, Luftströme in geschlossenen Räumen effektiv und ausreichend zu reinigen, zumal wenn wie in Schulen oder Büros Möbel oder Gegenstände den Luftstrom behindern.¹⁵
- Bei Filteranlagen wird ein Filterwechsel in regelmäßigen Abständen notwendig, wodurch große Mengen an Sondermüll entstehen. Alternativ steht lt. Studie der Bundeswehr eine tägliche Reinigung des Filters bei 100°C zur Disposition, was eher als unrealistisch zu vollziehen angesehen werden dürfte.
- Viele Geräte sind zu laut oder im leisen Modus zu schwach, um einen hohen Volumenstrom zu leisten. So fordert die Innenraumkommission des Umweltbundesamts einen 6-fachen Luftaustausch bei raumluftabhängigen Reinigungsgeräten und gleichzeitig maximal 40dB, um den Unterricht oder nicht zu stören bzw. den Arbeitsschutz zu gewährleisten.¹²
- Geräte, die zusätzlich zu einem Filter versuchen, die Luft über UV-C zu reinigen, enthalten zudem nicht selten Schadstoffe. So wird in vielen UV-C-Röhren das hochgiftige Schwermetall Quecksilber verwendet, wodurch bei der Wartung immer wieder Sondermüll anfällt.
- Die meisten Geräte sind wie bereits beschrieben nicht in unabhängigen wissenschaftlichen Einrichtungen auf die Wirksamkeit sowie ggf. entstehende gesundheitsgefährdende Beiprodukte getestet. Gerade bei UV-C oder Plasma ist dieses aber unter „Echtbedingungen“ notwendig, um vor gesundheitlichen Schäden zu schützen.

Als erschwerend bei der Wirksamkeits- und Unbedenklichkeitsbewertung kommt wie beschrieben noch hinzu, dass es derzeit keine Norm gibt. Das Fraunhofer-Institut für Bauphysik in Holzkirchen hat für eine Testung im Labor jedoch einen geeigneten Versuchsaufbau entwickelt, der Realbedingungen in großen Räumen sehr nah kommt.

Auch die „Lösung“, ständig oder sehr oft zu lüften, stellt sich vielerorts als problematisch dar. So kam bei Messungen an einer Göttinger Schule heraus, dass durch das Lüften der sich in straßennähe befindlichen Schule so viel Feinstaub in die Klassenräume gebracht wurde, dass dieses selbst schon eine hohe gesundheitliche Belastung der Schüler und Lehrer darstellte. Die Schüler und Lehrer dienen hier praktisch als Feinstaubfilter. In die NOx/Feinstaub-Grenzwert-Debatte einzusteigen würde an dieser Stelle jedoch zu weit führen.

Die bisher vorhandenen Nachteile von reinen Filteranlagen bestehen weiterhin, es wurden in den vergangenen Monaten jedoch Geräte entwickelt, die über eine Plasma-Elektrode (PlasGLAiry®) die Luft reinigen und wissenschaftlich unter Realraumbedingungen, nachgewiesen fast 97% aller Viren (auch SARS-CoV-2), Bakterien, Pollen, Sporen und selbst multiresistente Keime inaktivieren, ohne dabei gesundheitsschädliche Beistoffe entstehen zu lassen und ohne einen Filter einsetzen zu müssen.

Diese patentierte Technik unter Nutzung von PlasGLAiry®-Elektroden ermöglicht es, ein leise arbeitendes, stationäres Gerät (36dB) an optimaler Position (Decke) ohne große Baumaßnahmen zu installieren, so dass erstmals die Übertragungswege gerade auch von SARS-CoV-2 durch eine technische Lösung effektiv unterbunden werden können und eine Weitergabe des Virus an einen neuen Wirt durch effektive Senkung der Schadkörperkonzentration in den Aerosolen unterbunden werden kann.

Es ist mit diesen neuartigen Geräten auf Basis von Volumenplasma-Technologie erstmals möglich, die hocheffiziente Plasma-Technologie in Innenräumen einzusetzen, da die sonst in der Regel auftretenden Nebenwirkungen nicht mehr bestehen. Die Effektivität bei der Unterbrechung des Übertragungsweges über Aerosole steigt durch Plasma-Technologie so weit, dass ein Einsatz nicht nur sinnvoll erscheint, sondern auch eine dauerhafte Weiterführung des Betriebes möglich wird.

Dass die Plasma-Luftreinigungsgeräte eine inaktivierende Wirkung auf Schadkörper trotz Anwesenheit von Menschen ermöglichen, wurde in einem Experiment für das Deutsche Institut für Lebensmitteltechnik nachgewiesen. Nach Einschalten der Plasma-Luftreiniger wurden die Keime, trotz weiterhin anwesender Personen und entsprechend weiterhin emittierter Aerosole, sehr schnell in großer Zahl inaktiviert

Durchgeführte Prüfungen/Tests

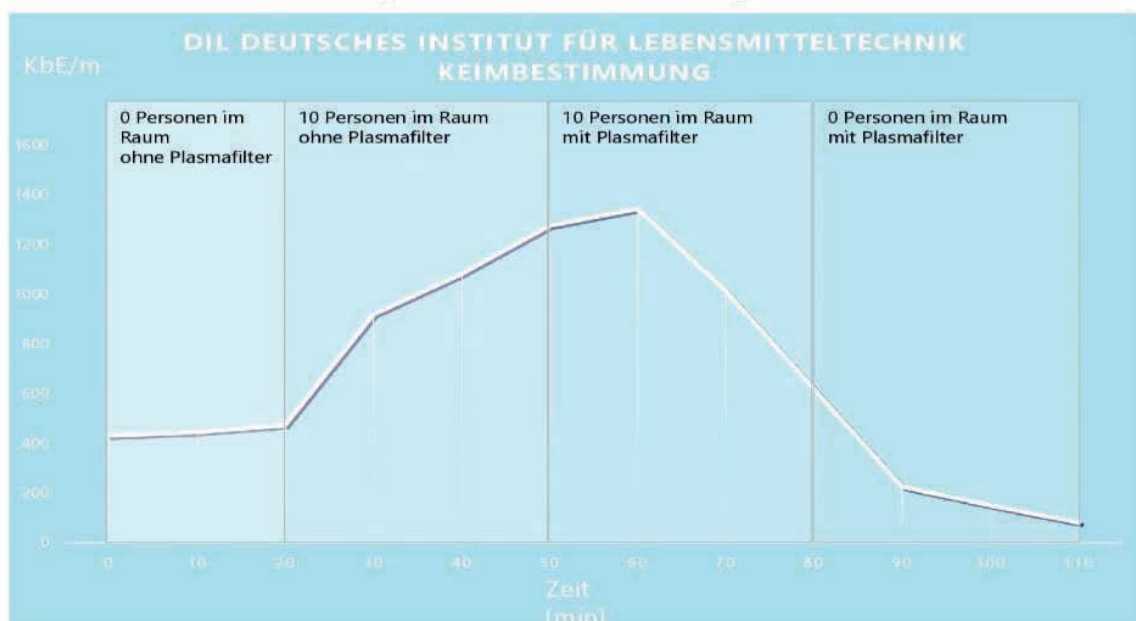


Abb. 18: Keimbestimmung bei Anwesenheit von 10 Personen in einem Raum ohne und mit Nutzung von Plasma-Luftreinigern auf Basis von Volumenplasma-Technologie

Interessant ist die Tatsache, dass der Raum nach dem Versuch mit weniger Keimen belastet war als vorher und dass der Abfall der Keimbelastung stärker war als der Anstieg vorher.

Neben den vorhandenen Laborwerten des Fraunhofer-Instituts kann allein schon durch diesen Versuch die Wirksamkeit in der Praxis nachgewiesen werden. Es ist also klar, dass eine Raumnutzung bei geringer Aerosolemittierung jederzeit möglich ist, wenn die vorgenannten Vorgaben und Rahmenbedingungen eingehalten werden und solange die Emittierung von neuen Aerosolen durch eine hohe Zahl von Menschen den Grad der Inaktivierung der sich auf den Aerosolen befindlichen Schadkörper durch die Plasma-Luftreinigungsgeräte nicht übersteigt.

Befinden sich die Plasma-Raumluftreiniger im Dauerbetrieb, so kommt es gar nicht erst zu einer hohen, bedenklichen Konzentration von Schadkörpern auf den Aerosolen, wenn eine infizierte Person den Raum betritt, da die Konzentration problemlos durch die fortlaufende Inaktivierung auf einem niedrigen Niveau gehalten werden kann. Den Nachweis, dass dieses auch für den Bereich Indoor-Sport in gesundheitsorientierten Anlagen gilt, erbringen wir unter Punkt 8.

7.6 Wirkweise der Plasma-Luftreinigungsgeräte „Cleanair-Sky L“

Auf die genaue technische Wirkweise der Geräte wird an dieser Stelle nicht näher eingegangen. Weitere Informationen lassen sich über den Hersteller/Entwickler geben.

Als Anlage 1 ist der Bericht des Fraunhofer-Instituts über die im Labor nachgewiesene Wirksamkeit der Geräte angehängt. Besonders hervorheben möchten wir an dieser Stelle drei Aussagen dieser Messung.



Abb. 19: Gerät „Cleanair-Sky L“ mit Volumenstrom-Plasma-Technologie (PlasGLAiry®-Elektroden)

- „Die Laboruntersuchungen auf durch Plasma-Einwirkung (aufgrund gebildeten Ozons) entstehende Substanzen zeigten, dass wenige Beiprodukte nachgewiesen werden konnten. Die gebildeten Beiprodukte wurden mit Richtwertempfehlungen des AIR [14] abgeglichen. Der Richtwert I (RW I) beschreibt hierbei die Konzentration eines Stoffes in der Innenraumluft, bei der bei einer Einzelstoffbetrachtung nach gegenwärtigem Erkenntnisstand **auch dann keine gesundheitliche Beeinträchtigung zu erwarten ist, wenn ein Mensch diesem Stoff lebenslang ausgesetzt ist.** Dieser RW I wurde für alle gebildeten Beiprodukte eingehalten. **Somit wurde kein Beiprodukt in kritischer Konzentration gebildet.**
- Bei der Untersuchung wurde eine **Ozonkonzentration in der Luft von maximal 18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** gemessen. Dies **entspricht 15 % des gesetzlich festgelegten Grenzwerts.** Das Bundes-Immissionsschutzgesetz legt bis zu 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ als unbedenkliche Obergrenze (maximaler Zielwert) fest.
- Es wurde eine 97%ige Reduktion der Viren (ohne Sedimentation) im Mikrobiologischen Labor festgestellt.

Die Luftreinigungsgeräte auf Basis der Volumenstrom-Plasma-Technologie zeigen sich im Labor also hocheffektiv in der Inaktivierung von Viren und anderen Schadkörpern, ohne dabei Beiprodukte in kritischer Konzentration auszustoßen.

Um auch den Nachweis zu erbringen, dass diese Technologie ein unbedenkliches Sporttreiben in einer gesundheitsorientierten Anlage wie dem MaxxWell® Adelebsen oder dem Vital-Zentrum des SV Nordenham ermöglicht, wurde in Zusammenarbeit mit dem physikalischen Institut der Universität Göttingen ein Praxisversuch unter extremen Bedingungen durchgeführt.

Der Einfachheit halber wird der Messbericht unter Punkt 8. aufgeführt.

8. Messung von Partikeln im Realbetrieb und Nachweis der Schadkörperelimination

Aerosolmessungen im *MaxxWell® Adelebsen* unter modifizierten Betriebsbedingungen

Steven Celik, Daniel Becker
Georg-August-Universität Göttingen
AG Prof. Dr. Thomas Zeuch

.....Beschreibung des Experiments und seiner Ergebnisse.....

Experiment

In diesem Experiment wurde die zeitliche Entwicklung der Konzentration einiger Partikelgrößen im Gesundheits- und Fitnessstudio *MaxxWell® Adelebsen* untersucht. Das Studio stand dabei in Benutzung unter freiwilligen Auflagen, welche im Zusammenhang der COVID-19-Pandemie vorgegeben wurden. Beispielsweise wird im Regelbetrieb eine Besucherzahl von max. 20 Personen nicht überschritten.

Für die Tests wurde jedoch eine sehr hohe Auslastung mit 26 TeilnehmerInnen zzgl. Personal auf der Trainingsfläche sowie 11 KursteilnehmerInnen im Kursraum zeitgleich organisiert. Im Regelfall kommen derartige Belastungen im Studio nicht vor. Unter diesen Umständen, sollte vor Allem eine neu etablierte Luftreinigungsanlage auf Basis von Volumenstrom-Plasma-Technologie (*CleanAirSky*) auf ihre Effizienz hin getestet werden. Es sei nur der Form halber darauf hingewiesen, dass sämtliche Fenster für den Zeitraum der Messungen geschlossen gehalten wurden. Außerdem wurde die im Studio verbaute Lüftungsanlage, die für eine zusätzliche Frischluftzufuhr sorgt, für den Zeitraum der Messungen deaktiviert.

Es wurden Aufzeichnungen für insgesamt drei Bereiche des Studios gemacht, deren signifikant unterschiedliche Bedingungen die Aussagekraft über die Effizienz der Luftreinigungsanlagen gewährleisten sollten. So wurde zum einen der *Main floor* beobachtet, welcher Aufzeichnungen über den Hauptbetrieb bei einem großen Raumvolumen ermöglichte. Außerdem lieferten Partikelmessungen auf der *Leg stage* zur selben Zeit analoge Messdaten bei geringerem Raumvolumen. Der dritte Messbereich zeichnete sich durch ein geringes Volumen sowie eine extrem hohe Trainingsintensität (Spinning-Kurs) aus und wird als *Extremfall* dieser Messkampagne behandelt. **Tabelle 1** liefert Aufschluss über die Bedingungen der einzelnen Bereiche.

Tabelle 1: Trainingsnutzung im Messbetrieb

Bereich	Personenanzahl	Raumvolumen / m ³	Trainingsintensität (rel.)
<i>Main floor</i>	variabel zwischen 12 ± 4	1.070	Kraft und Cardiotraining
<i>Leg stage</i>	variabel zwischen 8 ± 2	410	Krafttraining
<i>Extremfall</i>	12	260	Extremes Cardiotraining

Aufzeichnungen der Partikelkonzentrationen bzw. Massen erfolgten über mehrere Geräte. Auf dem *Main floor* und dem *Leg stage* wurden 2 Messgeräte der Firma Sensirion verwendet. Insgesamt zwei Geräte der Firma TSI zeigten genauere Partikelgrößenverteilungen im zeitlichen Verlauf, sowohl für den *Main floor* als auch für den *Extremfall*. Ein weiteres Gerät der Firma TSI diente der Messung der Partikelgrößen 10 nm – 30 µm in ihrer Gesamtheit über die Zeit. Auch im *Extremfall* kam ein Messgerät

der Firma Sensirion zum Einsatz. Zur Übersicht und für relevante bzw. genauere technische Angaben, sei an dieser Stelle auf **Tabelle 2** sowie Dateninformationsblätter der einzelnen Geräte^[1-4] verwiesen. **Abbildung 1** bietet eine Skizze des Versuchsaufbaus.

Tabelle 2: Übersicht eingesetzter Messgeräte

Bereich	Firma	Gerätename	Partikelgrößen (-bereiche in ihrer Gesamtheit)
Main Floor	TSI	Nano Enhancer	3 – 500 nm
		OPS	400 nm – 30 μ m
Leg stage	Sensirion	SPS30	(0.3 - 1, 0.3 - 2.5, 0.3 - 4, 0.3 – 10 μ m) Massebetrachtung
	TSI	CPC	(10 nm – 3 μ m)
	Sensirion	SPS30	(0.3 - 1, 0.3 - 2.5, 0.3 - 4, 0.3 – 10 μ m) Massebetrachtung
Extremfall	TSI	Nano Enhancer	3 – 500 nm
		OPS	400 nm – 30 μ m
	Sensirion	SPS30	(0.3 - 1, 0.3 - 2.5, 0.3 - 4, 0.3 – 10 μ m) Massebetrachtung

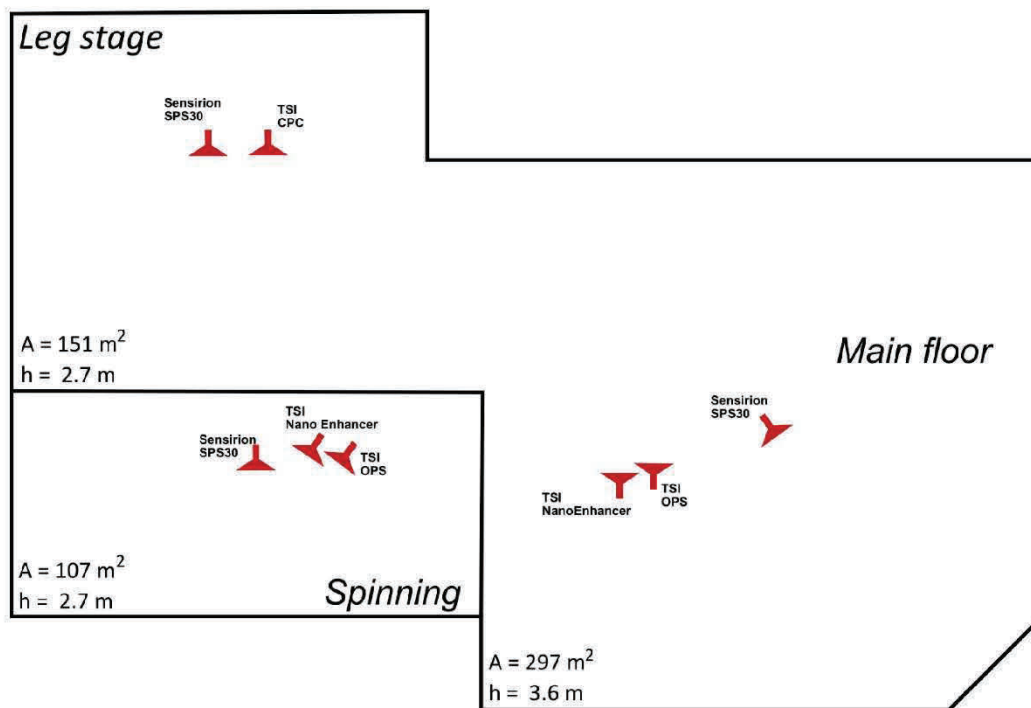


Abbildung 1: Skizze der räumlichen Gegebenheiten und Messstationen. Die Angaben entstammen dem Grundrissentwurf und mussten mit leichten Abschätzungen ergänzt werden.

Ergebnisse

Abbildung 2 und **3** veranschaulichen bereits sehr gut die Effizienz der Luftreinigungsanlage. In beiden Fällen lässt sich eine stätige Abnahme jeweiliger Partikelgrößen beobachten. Im Vergleich wird jedoch ein merklicher Unterschied der Geschwindigkeit diesbezüglich festgestellt. Zwar wurde für den Extremfall der Volumenstrom auf die maximale Reinigungsleistung umgestellt, jedoch ist das wahrscheinlich signifikanteste Merkmal an dieser Stelle das verringerte Raumvolumen. Hierbei muss beachtet werden, dass die Leg stage eine durchgängig geöffnete Verbindung zum Rest des Studios besitzt und demnach sein Volumen und seine luftgelöste Partikelzusammensetzung nicht als unabhängig vom Rest des Studios betrachtet werden kann. In diesem Fall ist ein kontinuierlicher Nachstrom partikelreicher Luft aus benachbarten Bereichen nicht auszuschließen. Nichtsdestotrotz kann für eine Benutzung von 8 ± 2 Personen auf der Leg stage, nach Einschalten der Luftreinigungsanlage auf Stufe 3 eine Halbierung der Partikelanzahlkonzentration in 55 Minuten festgestellt werden. Selbiges gilt für intensives Spinning von 12 Personen in einem Zeitraum von 20 Minuten im gegebenen Kursraum. Hier wurde jedoch die volle Auslastung der Luftreinigungsanlage eingestellt.

Analysen der Partikelzusammensetzung und deren Verlauf auf dem Main floor zeigten bisher keinen deutlichen Einfluss der Luftreinigungsanlage. Dies kann auch am großen Raumvolumen liegen, sodass deutliche Wirkungen der Luftreinigungsanlage erst bei längeren Aufzeichnungen der Luftzusammensetzung auftreten.

Die **Abbildungen 4-8** berücksichtigen in selbem Abhängigkeitsverhältnis (Konzentration in Abhängigkeit der Trainingszeit) noch umfassender die Partikelgröße. Zur Verdeutlichung der Messergebnisse eignet sich somit eine 3-dimensionale Auftragung. Was bei diesen Messungen besonders deutlich wird, ist der Einfluss des Raumvolumens zum Einen auf die Effektivität der Reinigungsleistung und zum Anderen auf den initialen menschlichen Partikelausstoß durch intensives Training. Diese Effekte werden besonders in **Abbildung 6** deutlich. Nach Beginn des intensiven Cardiotrainings steigt die Partikelanzahlkonzentration innerhalb von 12 Minuten von 10.000 Partikeln/ccm auf knapp das 2,5-fache. Nach Einschalten der Luftreinigungsanlage (rote Markierung) sinkt diese Konzentration innerhalb von 10 Minuten auf die Hälfte. Dies gilt vornehmlich für die Größen zwischen 20 und 35 nm. Jedoch ist auch für die Größen von 80 bis 120 nm ein vergleichbarer Trend zu beobachten. Zusätzlich dazu verschieben sich die hohen Partikelanzahlkonzentrationen in einem leichten, jedoch kontinuierlichen Trend über die Zeit hin zu benachbarten größeren Partikelgrößen. Dieser Effekt könnte auf die stark zunehmende Luftfeuchtigkeit zurückzuführen sein, welche ein dynamisches Gleichgewicht zwischen Evaporation und Kondensation der Partikel hin zur Kondensation und somit zum Wachstum der Partikel verschieben kann. **Abbildungen 4** und **5** zeigen zwar auch den Anstieg der Partikelanzahlkonzentration nach Trainingsbeginn, sowie einen leichten Effekt der Luftreinigungsanlage, jedoch fallen diese deutlich langsamer aus, was auf das merklich größere Raumvolumen zurückzuführen sein dürfte.

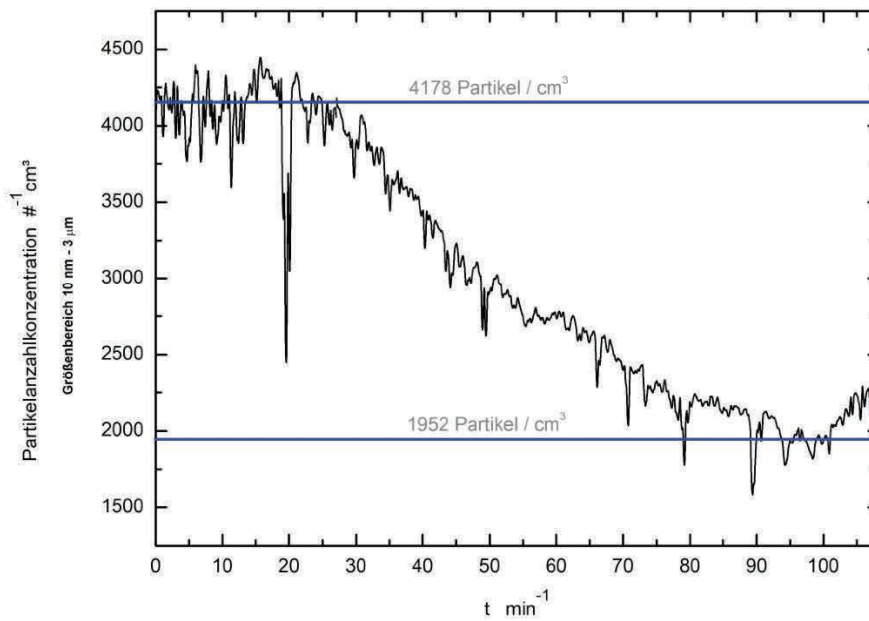


Abbildung 2: Zeitlicher Verlauf der Partikelanzahlkonzentration auf der Leg stage. berücksichtigt ist die Gesamtheit aller Partikel der Größen 10 nm – 3 μm . Die Daten entstammen Messungen mit dem CPC der Firma TSI. Die Luftreinigungsanlage wurde bei Minute 23 eingeschaltet.

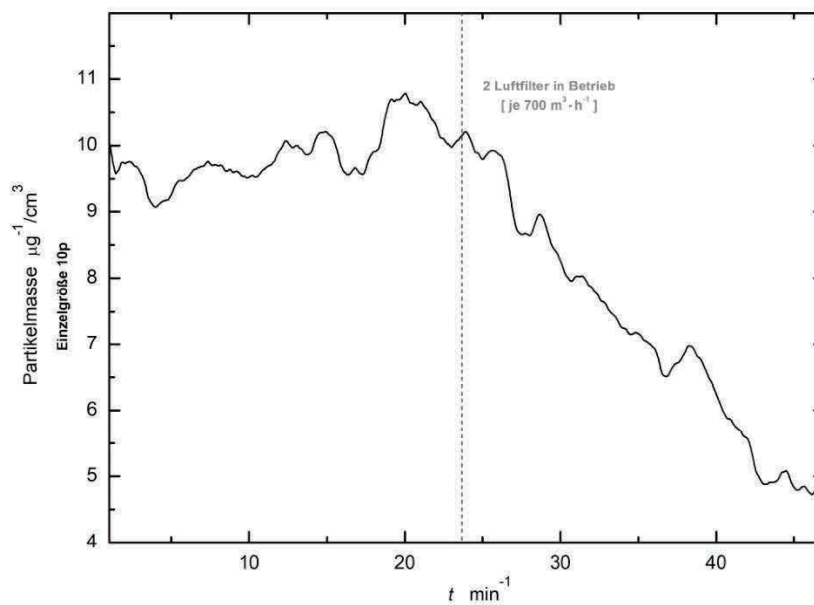


Abbildung 3: Zeitlicher Verlauf der Partikelmasse im Extremfall. Berücksichtigt ist die Gesamtheit aller Partikel der Größen 0,3 - 10 μm . Die Daten entstammen Messungen mit dem SPS30 der Firma Sensirion.

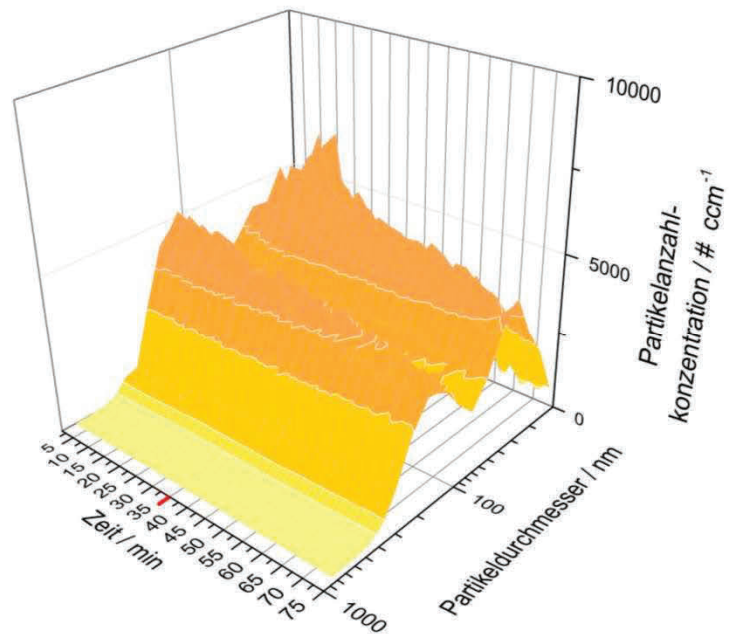


Abbildung 4: 3-D Mapping der Partikelgrößenverteilung über die Trainingszeit - Partikelanzahlkonzentration gegen den Partikeldurchmesser auf logarithmischer Skala gemessen über die Trainingszeit. Die rote Markierung zeigt das Einschalten der Luftreinigungsanlage (*Main floor*).

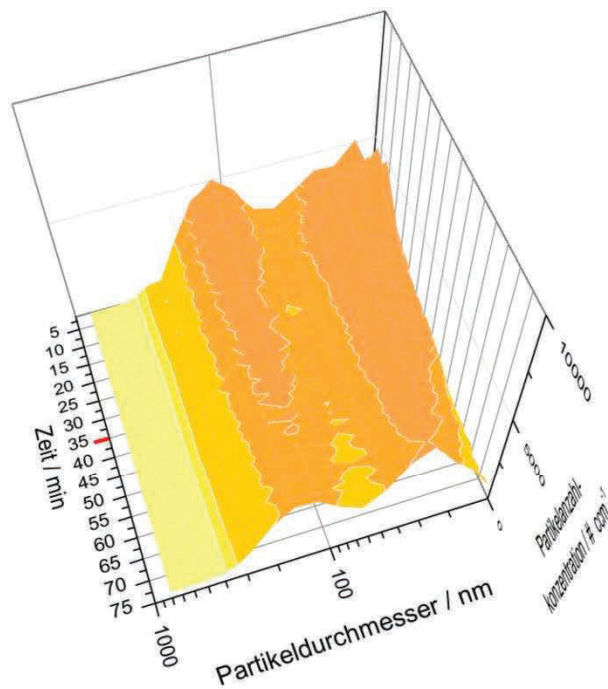


Abbildung 5: 3-D Mapping der Partikelgrößenverteilung über die Trainingszeit - Partikelanzahlkonzentration gegen den Partikeldurchmesser auf logarithmischer Skala gemessen über die Trainingszeit. Die rote Markierung zeigt das Einschalten der Luftreinigungsanlage (*Main floor*).

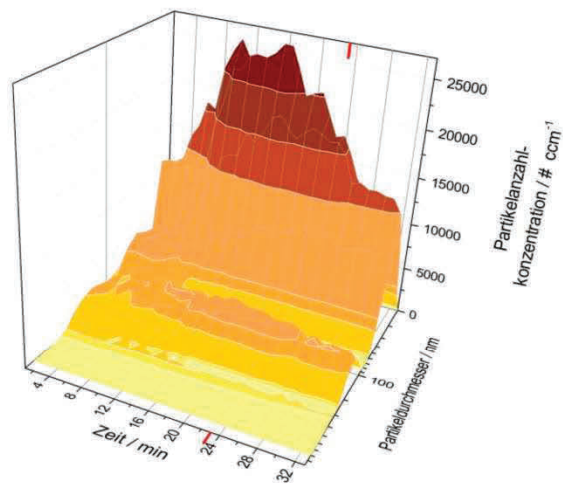


Abbildung 6: 3-D Mapping der Partikelgrößenverteilung über die Trainingszeit - Partikelanzahlkonzentration gegen den Partikeldurchmesser auf logarithmischer Skala gemessen über die Trainingszeit. Die rote Markierung zeigt das Einschalten der Luftreinigungsanlage (*Extremfall*).

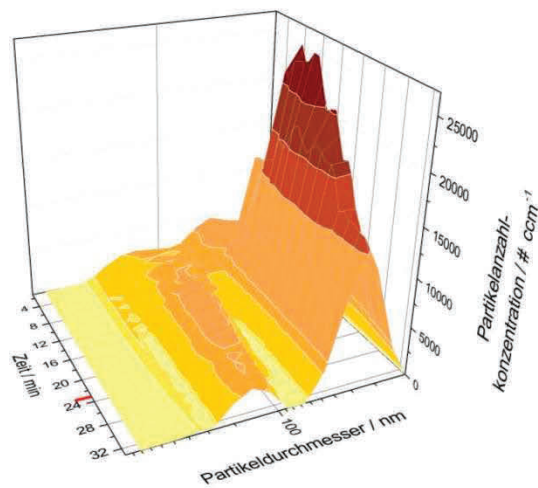


Abbildung 7: 3-D Mapping der Partikelgrößenverteilung über die Trainingszeit - Partikelanzahlkonzentration gegen den Partikeldurchmesser auf logarithmischer Skala gemessen über die Trainingszeit. Die rote Markierung zeigt das Einschalten der Luftreinigungsanlage (*Extremfall*).

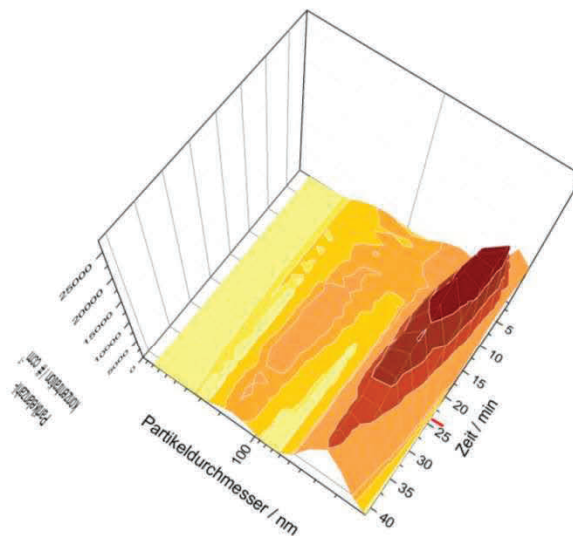


Abbildung 8: 3-D Mapping der Partikelgrößenverteilung über die Trainingszeit - Partikelanzahlkonzentration gegen den Partikeldurchmesser auf logarithmischer Skala gemessen über die Trainingszeit. Die rote Markierung zeigt das Einschalten der Luftreinigungsanlage (*Extremfall*).

..... **Fazit**

Zunächst mal ist wichtig zu sagen, dass an dieser Stelle keine spezifischen Aussagen zur Sicherheit gegenüber Infektionen jeglicher Art getroffen werden können. Diese Messungen können lediglich einen Einblick in die Partikelzusammensetzung der Luft bezüglich Partikelgröße, -anzahl und -masse und deren zeitlicher Entwicklung (auch in Abhängigkeit der Trainingsintensität) gewährleisten. Anzufügen ist jedoch, dass auch Partikelgrößen beobachtbar werden, welche zumindest den Rohdurchmessern bestimmter Viren (darunter auch SARS-CoV 2) entsprechen. Dieser angesprochene Größenbereich liegt bei 60 - 140 nm. Für die Tröpfchenübertragung über wässrige Aerosole werden nach aktuellem Forschungsstand jedoch Partikeldurchmesser oberhalb 5 μm angegeben.^[5,6] Entscheidende Trends bezüglich Luftqualität durch Einsatz der Luftreinigungsanlage können dennoch verdeutlicht werden:

Hauptbestandteil der Messungen war die Testung der neu eingesetzten Luftreinigungsanlage, deren Effizienz bei zwei verschiedenen Volumenströmen und bei unterschiedlichen Trainingsbedingungen gezeigt werden konnten. Es kann für eine Benutzung von 8 ± 2 Personen auf der *Leg stage*, nach Einschalten der Luftreinigungsanlage auf Stufe 3 eine Halbierung der Partikelanzahlkonzentration in 55 Minuten festgestellt werden. Selbiges gilt für intensives Spinning von 12 Personen in einem Zeitraum von 20 Minuten im gegebenen Kursraum. Hier wurde jedoch die volle Auslastung der Luftreinigungsanlage eingestellt.

Die Untersuchung verschiedener Partikelgrößen in selbem Abhängigkeitsverhältnis, bestätigt die Trends einer signifikant sinkenden Partikelanzahlkonzentration nach Einschalten der Luftreinigungsanlage auch für die vergleichbar geringen Partikeldurchmesser. Zusätzlich wird hierbei noch die Signifikanz des menschlichen Aerosolausstoßes bei intensivem Cardiotraining für kleine Raumvolumina deutlich.

..... **Zusatzklärung**

Alle Angaben dieses Berichts erfolgten nach bestem Gewissen des Autors, sind jedoch ohne Gewähr bezüglich Vollständigkeit und Richtigkeit.

..... **Literatur**

- [1] Sensirion, *Datasheet - Particulate Matter Sensor for Air Quality Monitoring and Control*, March **2020**, Link:
https://www.sensirion.com/fileadmin/user_upload/customers/sensirion/Dokumente/9.6_Partikulat_e_Matter/Datasheets/Sensirion_PM_Sensors_Datasheet_SPS30.pdf, 17.06.2021
- [2] TSI, *Datasheet – Optical Particle Sizer Model 3330*, **2020**
- [3] TSI, *Datasheet – Hand-Held Condensation Particle Counter Model 3007*, **2012**
- [4] TSI, *Datasheet – Nanoscan Scanning Mobility Particle Sizer Model 3910*, **2012**
- [5] A. Ahlawat et al. In *Aerosol and Air Quality Research*. **2020**, 20, 1856-1861.
- [6] Y.-H. Jin et al. In *Military Medical Research*. **2020**, 7:4, 1-23

9. Fazit

Es bleibt festzuhalten, dass von einem maßvollen Sportbetrieb im Bereich eines gesundheitsorientierten Studios keinerlei Gefahr ausgeht!

Mit der Messung der AMV bei den Mitgliedern im MaxxWell® Adelebsen und im Vital-Zentrum des SV Nordenham konnten wir deutlich zeigen, dass lediglich AMV von durchschnittlich 24,78 l/min als Bewertungsgrundlage für die Einschätzung und Risikobewertung dienen dürfen. Dieses steht im deutlichen Gegensatz zu den Behauptungen, beim Indoor-Sport würden generell hohe AMV und damit hohe Aerosolkonzentrationen entstehen.

Ganz im Gegenteil verursacht die Einstellung der Sportmöglichkeiten gerade im gesundheitsorientierten Sektor eher Schäden bei den Menschen. Mehrere Studien weisen darauf hin, dass die Nutzung von Sportanlagen im Innenbereich generell relativ unbedenklich erscheint, wenn gewisse Hygieneregeln beachtet werden und die Intensität körperlicher Anstrengung nicht zu hoch ist.

Eine Studie der spanischen Universität „Rey Juan Carlos“ und der „AWRC-Sheffield Hallam University“ weist aus, dass es bei nachverfolgten 62 Millionen Studiobesuchen in mehreren europäischen Ländern gerade einmal zu 487 nachgewiesenen Übertragungen kam. Das entspricht letztlich einer Rate von 100.000 zu 0,78.¹⁵ Rein statistisch übertragen auf unser Gesundheitsstudio MaxxWell® in Adelebsen würde dies bedeuten, dass ca. alle 3 Jahre eine Übertragung stattfinden würde.

Zudem zeigt der Bericht des AG Prof. Zeuch der Universität Göttingen eindrucksvoll, dass die installierten Geräte auf Basis von Volumenstrom-Plasma-Technologie so effektiv sind, dass sie die Konzentration von Aerosolen selbst im Extrembetrieb niedrig halten können. Durch eine freiwillige Beschränkung auf eine geringere Personenzahl im Realbetrieb sowohl auf der Trainingsfläche wie auch in Kursen und einen Verzicht auf ein hochintensives Training sinkt die Gefahr einer Ansteckung weiterhin deutlich, so dass konstatiert werden kann:

Der Sportbetrieb mit gesundheitsorientiertem Training in unserem Gesundheitsstudio ist unter Nutzung der Volumenstrom-Plasma-Luftreinigungsgeräte „Cleanair Sky L“ und unter Beachtung standardisierter Hygieneregeln mit keinem erhöhten Ansteckungsrisiko für SARS-CoV-2 oder andere Viren und Schadkörper behaftet. Die Gefährdung von Menschen zu ausgeschlossen.

Selbst beim Training der Maximalkraft waren nur geringe AMV zu verzeichnen, wobei diese jedoch stoßweise entstehen, was zu einer größeren Verwirbelung der Aerosole führt. Da diese Form des Trainings im gesundheitsorientierten Bereich jedoch nur einen sehr geringen Anteil hat und die anderen Trainingsformen unter eher gleichmäßiger Atmung durchgeführt werden, kann diese Problematik vernachlässigt werden.

Die hier getätigten Aussagen treffen ausschließlich auf die untersuchten Studios MaxxWell® und das Vital-Zentrum zu, da diese die entsprechende Technik nutzen.

Andere Studios, in denen eine deutlich höhere Trainingsintensität vorherrscht und die im Gegensatz zur Volumenstrom-Plasma-Technologie mit nicht ausreichend unabhängig wissenschaftlich auf ihre Wirksamkeit untersuchten Filteranlagen betrieben werden, können hier von keinen Nutzen ziehen.

Literatur

1. <https://www.aerzteblatt.de/archiv/209444/Sport-als-Praevention-Fakten-und-Zahlen-fuer-das-individuelle-Mass-an-Bewegung>
2. <https://www.becker-stiftung.de/wp-content/uploads/2014/06/UteBlessing-Kapelke.pdf>
3. <https://depositonce.tu-berlin.de/handle/11303/12578.2>
4. <https://www.fitness-gesundheit.uni-wuppertal.de/fileadmin/fitness-gesundheit/pdf-Dokumente/Publicationen/2011/Kontraindikationen.pdf>
5. <https://www.martinbecker-trainingsplanung.de/Training-ILB-Methode.html>
6. McArdle, W. D., Katch, F. I., & Katch, V. L.; *Exercise physiology: nutrition, energy and human performance*; Wolters-Kluwer-Verlag 2010
7. Friedmann, B., *Spiroergometrie zur Objektivierung der kardiopulmonalen Leistungsfähigkeit*; Universitätsklinik Heidelberg 1999
8. Hollmann, W.; *Sportmedizin: Grundlagen für körperliche Aktivität, Training und Präventivmedizin*; Schattauer-Verlag 2009
9. Silbernagel, S.; *Physiologie*; Thieme-Verlag 2018
10. Endspurt Vorklinik; *Physiologie 1*; Thieme-Verlag 2020
11. Risk-Calculator des Max-Planck-Instituts für Chemie;
<https://www.mpic.de/4747361/risk-calculator>
12. Umweltbundesamt; „Einsatz mobiler Luftreiniger als Lüftungsunterstützende Maßnahme in Schulen während der SARS-CoV-2 Pandemie“; Berlin 2020
13. <https://www.sarscov2-austria.org/cemm/de/home>
14. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/lueftung-lueftungsanlagen-mobile-luft-reiniger-an>
15. Kähler, C. et al.; „Können mobile Raumluftreiniger eine indirekte SARS-CoV-2 Infektionsgefahr durch Aerosole wirksam reduzieren?“; Universität der Bundeswehr; München 2020
16. SafeACTIVE; Studie der Rey Juan Carlos Universität Madrid und der AWRC-Sheffield Hallam University; 2020

Anhang: Bericht des Fraunhofer-Instituts über die „Effizienz des Raumlufthereinigers Cleanair Sky L auf die Reduktion und Inaktivierung von luftgetragenen Viren“

Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP

Forschung, Entwicklung,
Demonstration und Beratung auf
den Gebieten der Bauphysik

Zulassung neuer Baustoffe,
Bauteile und Bauarten

Bauaufsichtlich anerkannte Stelle für
Prüfung, Überwachung und Zertifizierung

Institutsleitung

Prof. Dr. Philip Leistner
Prof. Dr. Klaus Peter Sedlbauer

IBP-Bericht Nr. UHS-067/2020

Effizienz des Raumluftreinigers von oxytec (Cleanair Sky L) auf die Reduktion und Inaktivierung von luftgetragenen Viren

Durchgeführt im Auftrag der
oxytec AG
Herrn Dr. Christian Haverkamp
Bahnhofstr. 52
8001 Zürich
Schweiz

Der Bericht umfasst:
11 Seiten Text
4 Bilder
2 Tabellen

Valley, 15. Dezember 2020

**Andrea
Burdack-
Freitag**

Digital unterschrieben
von Andrea Burdack-
Freitag

Datum: 2020.12.15
17:05:40 +01'00'

Stv. Abteilungsleiterin:
Dr.-rer. nat. Andrea Burdack-Freitag

**Sabine
Johann**

Digital unterschrieben
von Sabine Johann
Datum: 2020.12.15
16:57:02 +01'00'

Gruppenleiterin:
M.Sc. Sabine Johann

Inhalt

1	Untersuchungsgegenstand	3
2	Methode	4
3	Ergebnisse	6
4	Zusammenfassung der Untersuchung der Effizienz des Raumlufthereinigers von oxytec (Cleanair Sky L mit Feinstaub-Filter)	9
5	Literatur	10

1 Untersuchungsgegenstand

Ziel der Untersuchung war die Testung der Reduktion und die Inaktivierung luftgetragener Surrogat-Viren (behüllte Phi6-Bakteriophage mit vergleichbarer Struktur, Partikelgröße und Umweltstabilität zu SARS-CoV-2 [1], [2], [3], [4], [5]) durch das Luftreinigungsgerät (Gerätespezifikationen siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: Gerätespezifikation

Gerätename	Cleanair Sky L
Hersteller	oxytec AG
Eingang des Gerätes	23. Oktober 20
Funktionsprinzip	Kaltplasma - Umluftreinigungsverfahren mit Feinstaub-Filter ePM1 80% nach ISO 16890 bzw. F9 nach EN 779
Installation	Deckenmontage für Versuche auf speziell angefertigte Halterungen Abstand Unterkante Gerät und Boden 2 Meter
Betriebsmodus	Stufe 3
Volumenstrom	400 m³/h
Gerätedimension	B 600 mm x T 600 mm x H 140 mm
Raumgröße	bis 100-150 m³
IBP interne Prüfnummer	E3413_4_1
Messzeitraum	KW 48

Die Untersuchungen bezogen sich ausschließlich auf Aerosole in der Luft. Die natürliche Halbwertszeit der Viren (Phi6-Bakteriophage) muss bei der Berechnung der Effizienz des Gerätes mitberücksichtigt werden.

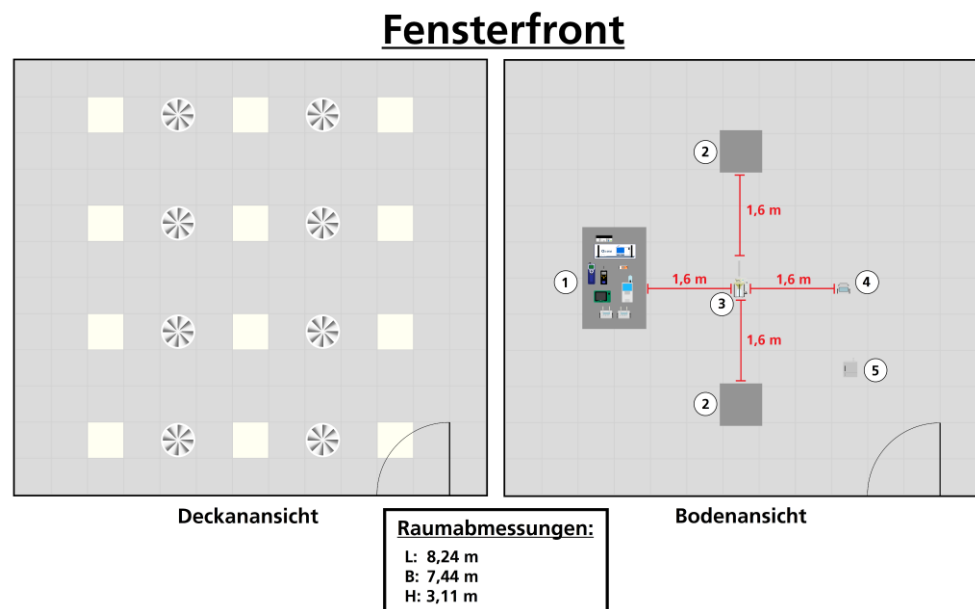
Der Aufbau erfolgte in Anlehnung an die DIN ISO 16000-36 [6] für die Untersuchung luftgetragener Bakterien, realitätsnah angepasst an die spezifischen Anforderungen von Viren. Die Viren wurden aus der Raumluft analog zu DIN-ISO 16000-16 [7] gesammelt, die Filter in Anlehnung an DIN ISO 16000-17 [8] aufgearbeitet. Die Anzahl aktiver Viren („Virulenz“) wurde im Labor mittels der Methode des Plaque Assays bestimmt ([9], [10]).

Anmerkung: Untersuchungen der Virenaktivität auf Oberflächen bedürfen einer anderen Methode, da hier die Stabilität von Viren in Flüssigkeiten („Schmierinfektion“) betrachtet werden muss.

2 Methode

Die Versuche fanden im luftstrom-, temperatur- und feuchtegeregelten HiPIE-Labor (**H**igh **P**erformance **I**ndoor **E**nvironment) des Fraunhofer IBP mit einer Raumgröße von 211 m³ ohne zusätzlichen Luftaustausch statt. Die Versuche erfolgten somit unter statischen Bedingungen. Die Raumfeuchte wurde durch einen externen Ultraschall-Befeuchter eingestellt. Anhand der Raumgröße wurden 2 Luftreinigungsgeräte des Herstellers für die Versuche herangezogen.

Die Luftreinigungsgeräte wurden in der Raummitte in 1,6 Meter Höhe platziert (siehe Bild 1 und Bild 2). Die Viren wurden im Abstand von 1,6 Metern vor dem Einlass der beiden Cleanair Sky L Geräte (Stufe 3; 400 m³/h) in den Raum eingebracht. Die Dosierung erfolgte zunächst ohne Einschalten des Gerätes, um eine hohe Virenlast im Raum zu erreichen. Danach wurde die Dosierung abgeschaltet und die beiden Luftreinigungsgeräte über eine Gesamtlaufzeit von etwa 8 Stunden betrieben. Über die gesamte Laufzeit wurden die Partikelverteilung im Raum, die Temperatur und Feuchte sowie der Ozongehalt kontinuierlich gemessen.



Legende

- | | |
|---|--------------------------|
| ① Sensor-Messtechnik und Probenahmestelle VOC | ③ Aerosolgenerator |
| ② Cleanair Sky L Geräte | ④ Luftkeimsammler |
| | ⑤ Ultraschall-Befeuchter |

Bild 1: Schematischer Aufbau der Cleanair Sky L-Luftreinigungsgeräte im HiPIE-Labor mit Dosiergerät und Luftkeimsammler.



Bild 2: Aufbau der Cleanair Sky L-Luftreinigungsgeräte im HiPIE-Labor mit Dosiergerät und Luftkeimsammler.

Entsprechend den Vorgaben des Umweltbundesamtes wird beim Einsatz von ozonproduzierenden Luftreinigungsverfahren (UV-C, Plasmatechnologie; Ozon Direktinjektion) die Bestimmung von entstehenden Beiprodukten im Betrieb gefordert [11]. Diese Probennahme erfolgten auf entsprechenden Adsorptionsröhrchen zur Detektion von VVOC und VOC, analysiert mittels Gaschromatographie-Massenspektrometrie [12], sowie auf DNPH-Kartuschen zur Bestimmung ausgewählter Ketone und Aldehyde, analysiert mittels Hochleistungsflüssigchromatographie-Diodenarray-Verfahren [13].

Zu bestimmten Zeitpunkten wurden die Viren auf einen Luftkeimsammler (MBASS30 Version 3 adaptiert für Filterbetrieb von Firma Umweltanalytik Holbach GmbH, Wadern, Deutschland) gezogen und zur mikrobiellen Analyse im Labor einem Plaque-Assay Test unterzogen (siehe Bild 3).



Bild 3: Mikrobielle Analyse.

3 Ergebnisse

Das Luftreinigungsgerät zog die virenbelastete Luft durch den Filterkanal. Innerhalb des Gerätes wurden Viren durch die Wirkung von Kaltplasma und gebildetem Ozon inaktiviert. Die Maximalkonzentration des Ozons im Raum selbst blieb während des gesamten Messzeitraumes gering (max. 9 ppb; entspricht 18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Bild 4 zeigt die Verteilung der Viren im Raum über den Messzeitraum und die Probenahmezeiten wurde auf den Dosierungsbeginn normiert:

- **BW:** Raumblindwert vor Beginn der Virendosierung
- **P1:** Probenahme im Zeitraum von 90 min bis 150 min der Phagendosierung und Cleanair Sky inaktiv (entspricht Referenzmessung, Gesamtdauer Phagendosierung 150 min)
- **P2:** Probenahme im Zeitraum von 15 min bis 75 min (mittlere Probenahmezeit 45 min) nach Beendigung der Virendosierung und Einschalten des Cleanair Sky L
- **P3:** Probenahme im Zeitraum von 75 min bis 135 min (mittlere Probenahmezeit 105 min) nach Beendigung der Virendosierung und Einschalten des Cleanair Sky L
- **P4:** Probenahme im Zeitraum von 135 min bis 195 min (mittlere Probenahmezeit 165 min) nach Beendigung der Virendosierung und Einschalten des Cleanair Sky L

Die beiden Kurven spiegeln die Messbereiche der Partikelmessgeräte (WCPC 3788/TSI und Fidas Frog/Pallas) wider. Der WCPC 3788 umfasst den nanoskaligen Bereich von 2,5 bis 1000 nm und deckt daher vor allem den Bereich einzelner Viren (Virengröße (ca. 100 nm) in der Luft ab. Der Fidas Frog umfasst einen größerskaligen Bereich von 0,2 bis 20 µm und erfasst somit Aerosol gebundene Viren (ca. 1 bis 3 µm).

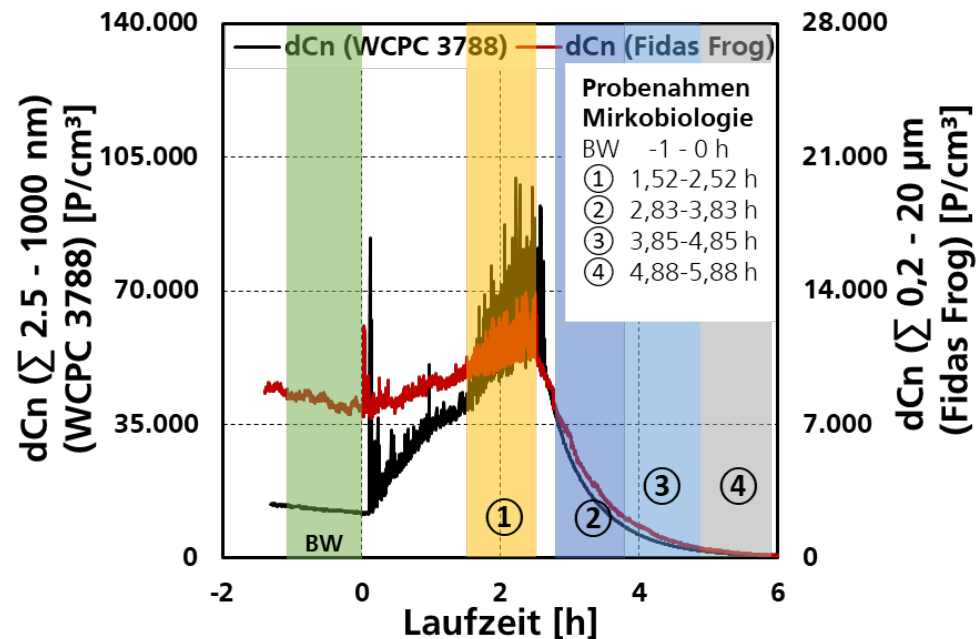


Bild 4: Verteilung der Virenpartikel im Raum und Zeitpunkte der Probenahmen.

Die Laboruntersuchungen auf durch Plasma-Einwirkung (aufgrund gebildeten Ozons) entstehende Substanzen zeigten, dass wenige Beiprodukte nachgewiesen werden konnten. Die gebildeten Beiprodukte wurden mit Richtwertempfehlungen des AIR [14] abgeglichen. Der Richtwert I (RW I) beschreibt hierbei die Konzentration eines Stoffes in der Innenraumluft, bei der bei einer Einzelstoffbetrachtung nach gegenwärtigem Erkenntnisstand auch dann keine gesundheitliche Beeinträchtigung zu erwarten ist, wenn ein Mensch diesem Stoff lebenslang ausgesetzt ist. Dieser RW I wurde für alle gebildeten Beiprodukte eingehalten. Somit wurde kein Beiprodukt in kritischer Konzentration gebildet.

Die Anzahl der Viren aus der Luft nahm entlang der Kurve (zeitlicher Verlauf) durch Luftfiltration mit den vier installierten Feinstaub-Filtern „ePM1 80 und zum Teil durch Sedimentation („Ablagerung“ im Raum) ab. Da der Raumluftreiniger auf dem Prinzip der Inaktivierung von Viren basiert, wurde die Höhe der Inaktivierung bzw. die zeitliche Dauer der Inaktivierung bestimmt.

Die Zeiträume der Probenahme für die Viren in der Luft sind im Diagramm (Bild 4) markiert. Deren im Labor gemessene Aktivität, d.h. inwieweit die Viren potentiell vermehrungsfähig sind, wird in Tabelle 2 berechnet. In die Berechnung gingen die Sedimentation und die ermittelte natürliche Halbwertszeit der

Viren in der Luft bei den Versuchen mit ein. Für den Referenzwert zur Berechnung der Reduktion wurde nachfolgende Parameter herangezogen:

- Aktivitätsverlust in der Suspension in Abhängigkeit der Zeit (bekannt aus eigenen Messungen; in Spalte 3 „Berechnete Reduktionsrate R ohne Einbezug der Sedimentation“ miteinbezogen).
- Literaturangaben zum Virulenzverlust im Aerosol [2] für P2 und [15] für P3 und P4 (in Spalte 4 „Berechnete Reduktionsrate R mit Einbezug der Sedimentation“ miteinbezogen).
- Abklingkurve des Partikelmessgerätes (WCPC 3788) zur Bestimmung der Sedimentation (in Spalte 4 „Berechnete Reduktionsrate R mit Einbezug der Sedimentation“ miteinbezogen).

Tabelle 2: Messung der Virenaktivität

Zeitpunkt der Probenahme	Gemessene Reduktion der Virenaktivität (reine Messdaten in Relation zu t_0) [%]	Berechnete Reduktionsrate R ohne Einbezug der Sedimentation */**	Berechnete Reduktionsrate R mit Einbezug der Sedimentation */**
BW	- ***	-	-
P1	0	-	-
P2	72,14	0,7212	0,5444
P3	95,57	0,9508	0,8688
P4	99,30	0,9725	0,8789

*Reduktionsrate $R = 1 - C_t/C_i$ (C_i ohne Inbetriebnahme des Luftreinigers und C_t mit laufendem Luftreiniger).

** unter Berücksichtigung der natürlichen Halbwertszeit der Viren in der Raumluft (laut Literatur [2] und [12]), Sedimentationsfaktor wurde anhand der Abklingkurve ohne „ePM1 80%“-Luftfilter vom 26.11.2020 E3413_4_2 berechnet.

*** BW Blindwert vor Virendosierung, keine Funde im Raum.

4 Zusammenfassung der Untersuchung der Effizienz des Raumlufthereinigers von oxytec (Cleanair Sky L mit Feinstaub-Filter)

Im Rahmen dieser Untersuchung wurde ein Versuchsaufbau in Anlehnung an DIN ISO 16000-36 [6] für die Untersuchung luftgetragener Bakterien, realitätsnah angepasst, sowie **an die spezifischen Anforderungen von Viren zugeschnitten. Laut Vorgaben des Umweltbundesamtes für die Untersuchung** von Luftreinigern mit verbauter Plasma-Technologie wurde der Versuchsraum sowie die Gerätepositionierung **realitätsnah** festgelegt.

Das dafür verwendete HiPIE-Labor des IBP mit einem Raumvolumen von 211 m³ wurde für 2,5 Stunden mit Surrogat-Viren (behüllte Phi6-Bakteriophage mit vergleichbarer Struktur, Partikelgröße und Umweltstabilität zu SARS-CoV-2) beaufschlagt. Die Luftreinigungsgeräte wurden in der Raummitte in 1,6 Meter Höhe platziert (vgl. Bild 1 und Bild 2). Die Viren wurden im Abstand von 1,6 Metern vor dem Einlass der beiden Cleanair Sky L Geräte (Stufe 3; 400 m³/h) in den Raum eingebracht. Danach wurde die Dosierung aus- und das Luftreinigungsgerät Cleanair Sky L (oxytec AG) eingeschaltet. **Nach 45 min wurde eine Reduktion von 72 % (ohne Einbezug der Sedimentation) der Viren erreicht, nach 105 min 95 % (ohne Einbezug der Sedimentation) und nach 165 min über 97 % (ohne Einbezug der Sedimentation) erreicht.**

Bei der Untersuchung wurde eine **Ozonkonzentration in der Luft von maximal 18 µg/m³** gemessen. Dies entspricht 15 % des gesetzlich festgelegten Grenzwerts. Das Bundes-Immissionsschutzgesetz legt bis zu 120 µg/m³ als unbedenkliche Obergrenze (maximaler Zielwert) fest. [16].

Anmerkung: Untersuchungen der Virenaktivität auf Oberflächen bedürfen einer anderen Methode, da hier die Stabilität von Viren in Flüssigkeiten („Schmierinfektion“) betrachtet werden muss.

5 Literatur

- [1] Carvallo, N.A. de, Stachler, E.N., Cimabue, N., Bibby, K. (2017): Evaluation of Phi6 Persistence and Suitability as an Enveloped Virus Surrogate. *Environmental Science & Technology* 51: 8692-8700.
- [2] Prussin, A.J., Schwake, D.O., Lin, K., Gallagher, D.L., Buttlng, L., Marr, L.C. (2018): Survival of the Enveloped Virus Phi6 in Droplets as a Function of Relative Humidity, Absolute Humidity, and Temperature. *Applied and Environmental Microbiology* 84(12).
- [3] Whitworth, C., Mu, Y., Houston, H., Martinez-Smith, M., Noble-Wang, J., Coulliette-Salmond, A., Rose, L. (2020): Persistence of bacteriophage Phi 6 on Porous and Nonporous Surfaces and the Potential for Its Use as an Ebola Virus or Coronavirus Surrogate. *Applied and Environmental Microbiology* 86(17): 1-11.
- [4] Casanova, L.M. & Waka, B. (2013): Survival of a Surrogate Virus on N95 Respirator Material. *Infection Control and Hospital Epidemiology* 34(12): 1334-1335.
- [5] Turgeon, N., Toulouse, M.-J., Martel, B., Molneau, S., Duchaine, C. (2014): Comparison of Five Bacteriophages as Models for Viral Aerosol Studies. *Applied and Environmental Microbiology* 80(14): 4242-4250.
- [6] DIN ISO 16000-06:2019-07, Innenraumluftverunreinigungen – Teil 36: Prüfkammer-Verfahren zur Bestimmung der Minderungsrate luftgetragener, kultivierbarer Bakterien durch Luftreiniger mit einer Prüfkammer.
- [7] DIN ISO 16000-16:2009-12, Innenraumluftverunreinigungen - Teil 16: Nachweis und Zählung von Schimmelpilzen - Probenahme durch Filtration.
- [8] DIN ISO 16000-17:2010-06 Innenraumluftverunreinigungen - Teil 17: Nachweis und Zählung von Schimmelpilzen – Kultivierungsverfahren.
- [9] Baer, A. & Kehn-Hall, K. (2014): Viral Concentration Determination Through Plaque Assaya: Using Traditional and Novel Overlay Systems. *Journal of Visualized Experiments* 93: 1-10.
- [10] Dulbecco, R. 1952. Production of plaques in monolayer tissue cultures by single particles of an animal virus. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 38:747–752.
- [11] Umweltbundesamt, Stellungnahme der Kommission Innenraumluftthygiene (IRK), Einsatz mobiler Luftreiniger als Lüftungsunterstützende Maßnahme in Schulen während der SARS-CoV-2 Pandemie (Stand: 16. November 2020)
- [12] DIN ISO 16000-3:2013-01 Innenraumluftverunreinigungen – Teil 3: Messen von Formaldehyd und anderen Carbonylverbindungen in der Innenraumluft und in Prüfkammern – Probenahme mit einer Pumpe.

[13] DIN ISO 16000-6:2012-11 Innenraumluftverunreinigungen – Teil 6: Bestimmung von VOC in der Innenraumluft und in Prüfkammern, Probenahme auf Tenax TA®, thermische Desorption und Gaschromatographie mit MS o-der MS-FID.

[14] Richtwertempfehlungen des AIR; Stand Oktober 2020
<https://www.umweltbundesamt.de/themen/gesundheit/kommissionen-arbeitsgruppen/ausschuss-fuer-innenraumrichtwerte-vormals-ad-hoc#hygienische-leitwerte-fur-die-innenraumluft>

[15] Tseng, C.-C. & Li, C.-S. (2005): Inactivation of Virus-Containing Aerosols by Ultraviolet Germicidal Irradiation. Aerosol Science and Technology 39: 1136-1142.

[16] 39. BImSchV. Neununddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen. Anlage 7 (zu §9) Zielwerte und langfristige Ziele für Ozon.

