

# Aerosol- und CO<sub>2</sub>-Messungen

Studie des Fraunhofer Heinrich-Hertz-Instituts

KONZERTHAUS  
DORTMUND





# Auszüge der Ergebnisse

vom 02./03.11.20 und 20.11.20

# Ausgangslage

## Worum geht es?

### Ausbreitung von Aerosolen

- Nach aktuellem Stand der Wissenschaft werden Sars-CoV-2 Viren über Aerosole/Tröpfchen beim Ausatmen/Sprechen von Person zu Person übertragen/verbreitet.
- Abstand < 2m; Wechselwirkungszeit 10 – 15 Min; Mindestkonzentration von Viren (> 500 Viren müssen für Infektion eingeatmet werden)
- Durchmesser Sars-CoV-2 Virus ca. 140 nm; im Raum schwebende wässrige Aerosole haben Durchmesser < 1000 nm
- **FRAGE: Wie ist die Ausbreitung derartiger Aerosole im Dortmunder Konzertsaal?**

### CO<sub>2</sub> und Raumluftqualität

- CO<sub>2</sub> ist ein wissenschaftlich anerkannter Indikator für Raumluftqualität.
- Umgebungswert: ca. 400 ppm; »schlechte« Raumluft wenn  $c(\text{CO}_2) > 1000$  ppm (BMU)
- **FRAGE: Gibt es Korrelationen zwischen CO<sub>2</sub>-/Aerosolausbreitung?**

## Was wurde dazu bisher untersucht?

**Bisherige Untersuchungen** haben die Ausbreitung von Aerosolen auf der Bühne, z. B. Emission von Sängern/Chören/Musikinstrumenten gemessen.

**Im Zuschauerbereich von Konzertsälen gab es bisher keine entsprechenden Untersuchungen.**

**Erste veröffentlichte Studie**, die das Ziel verfolgt, experimentelle Daten zur Beurteilung einer möglichen Corona-Ansteckungsgefahr bei Konzertbesuchen zu gewinnen

# Vorgehen

## **Menschliche Normalatmung eines Zuschauenden wird simuliert:**

Dummy »Oleg« sitzt im Zuschauerbereich und verbreitet durch einen Schlauch aus Mund und Nase genau definierte Mengen Aerosole und CO<sub>2</sub>.

## **Verbreitung der Aerosole** (Durchmesser einige Hundert Nanometer bis Mikrometer) wird gemessen

- mithilfe von CO<sub>2</sub>-Messgeräten und stationärem sowie mobilem Aerosolmessgerät
- mit und ohne Mund-Nasenschutz
- unter Berücksichtigung verschiedener Einflusszenarien, z. B. thermische Wirkung von Publikum, welches sich um den Dummy herum befindet



## Beteiligte Institutionen



---

### **Fraunhofer Heinrich-Hertz-Institut am Standort Goslar**

Das Fraunhofer-Institut für Nachrichtentechnik, Heinrich-Hertz-Institut, HHI entwickelt moderne Kommunikations- sowie Multimedia-Systeme. Seine Wissenschaftler entwerfen Prinzipien für innovative Informationstechnologien und schaffen als Partner der Industrie neue Anwendungen für neue Produkte. Geleitet wurde die Studie am Konzerthaus vom Leiter der Abteilung Faseroptische Sensorsysteme des Fraunhofer HHI am Standort Goslar, Prof. Dr. Wolfgang Schade.



---

### **Firma Parteq**

Die Parteq GmbH wurde 2016 von Dr. Karsten Wegner und Dr. Martin Seipenbusch gegründet. Beide waren vorher lange Jahre in der Hochschulforschung aktiv und führten unabhängige Ingenieurbüros im Bereich der Aerosoltechnologie. Durch die Gründung von Parteq wurde umfangreiches Know-how aus den Bereichen Synthese, Funktionalisierung, Charakterisierung und Abscheidung in der Aerosol- und Partikeltechnologie zusammengeführt. An den Messungen im Konzerthaus war Dr. Martin Seipenbusch beteiligt.



# Die wichtigsten Ergebnisse

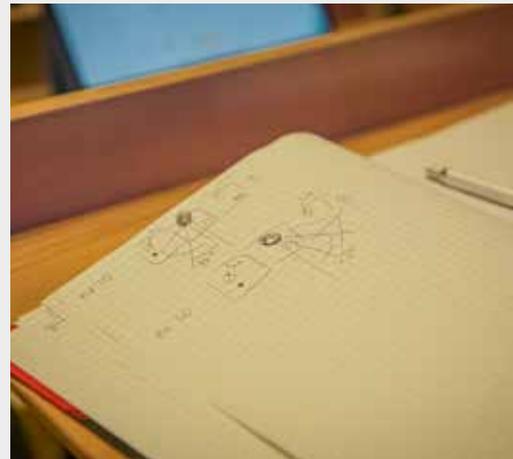
# Voraussetzungen & Grundannahmen

Kompletter Luftaustausch im Konzertsaal alle 20 Minuten bei 100 % Lüftungsleistung

Voraussetzung für eine Neuinfektion ist eine direkte Wechselwirkungszeit von mindestens 12 – 15 Minuten mit einem Infizierten (Phys. Fluids 32, 107108 (2020); <https://doi.org/10.1063/5.0027844>)

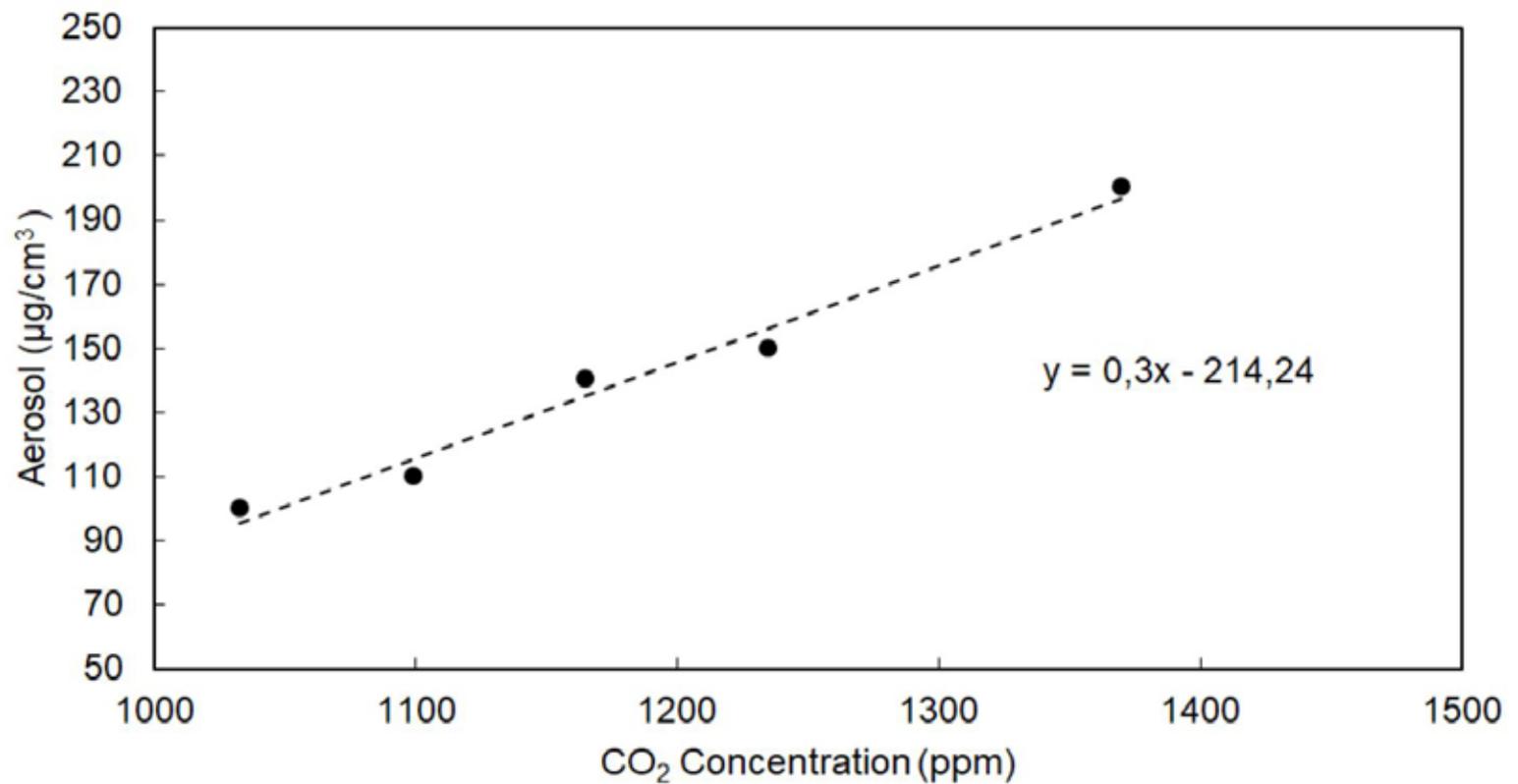
Ein Mensch hat durchschnittlich 16 Atemzüge pro Minute, Oleg emittiert kontinuierlich, d. h. seine Emission an Aerosolen / CO<sub>2</sub> ist im Mittel etwa einen Faktor 4 zu hoch

signifikante Korrelation zwischen Aerosolen / CO<sub>2</sub>-Verbreitung im Raum (s. S. 8)



## Voraussetzungen & Grundannahmen

Korrelation von simultan emittiertem CO<sub>2</sub> und Aerosol (Durchmesser ca. 250 nm)  
(Korrelationsfaktor R = 0.99)



## Ergebnisse auf Grundlage der Messdaten

**Mit Mund-Nasenschutz** sowie ausreichender Frischluftzufuhr über die vorhandene Raumluftechnische Anlage praktisch **keine Beeinflussung durch Prüfaerosole** auf allen Nachbarplätzen eines emittierenden Probanden (Versuche Nr. 4, 6, 9)  $\Rightarrow$  Gefahr von Infektionen durch Aerosolübertragung im Saal **nahezu ausgeschlossen**

Großes Raumvolumen sorgt für starke **Verdünnung** von belasteten Aerosolen, durch Zu- und Abluftbetrieb ohne Umluftfunktion werden Aerosole effektiv abtransportiert und können sich nicht anreichern (Versuche Nr. 2 & 10)

**Ohne Mund-Nasenschutz** sollte man jeweils den **direkten Vorderplatz freihalten**, mit restlichen Nachbarplätzen ist eine Infektion sehr unwahrscheinlich (Verdünnung / Luftaustausch, Versuch Nr. 8)

$\Rightarrow$  **Schachbrett-Besetzung des Saales ohne Maske** denkbar

Besetzung des Konzerthauses mit **vielen Personen** stört nicht den Luftaustausch nach oben, sondern fördert diesen durch zusätzliche thermische Effekte.

**Tragen eines Mund-Nasenschutz auf Gängen, im Pausenbereich und in den Foyers** grundsätzlich notwendig (andere Lüftung als im Saal, stärkere Verteilung von Aerosolen / CO<sub>2</sub> durch ungerichtete Luftströmungen)

**Konzerthaus Dortmund** kann bei vorhandenem Lüftungskonzept **kein Superspreading-Event provozieren.**

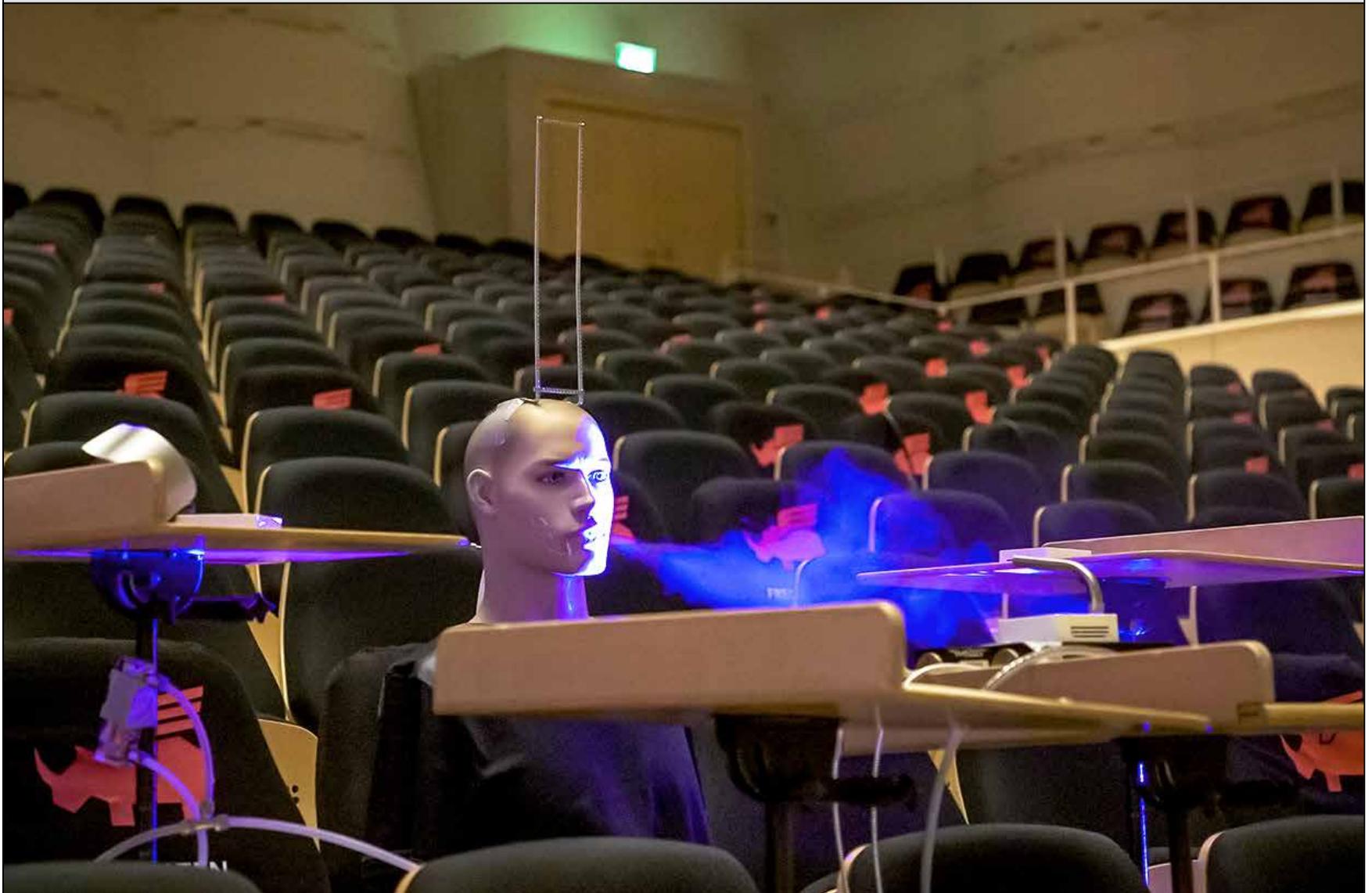
**CO<sub>2</sub>-Messungen** im laufenden Betrieb können dazu beitragen, die Ausbreitung von Aerosolen (Durchmesser < 1000 nm) zu beurteilen.

Aussagen **für andere Konzerthäuser oder Theater** mit vergleichbaren Rahmenbedingungen auf Basis der Studie möglich



# Ausgewählte Versuche

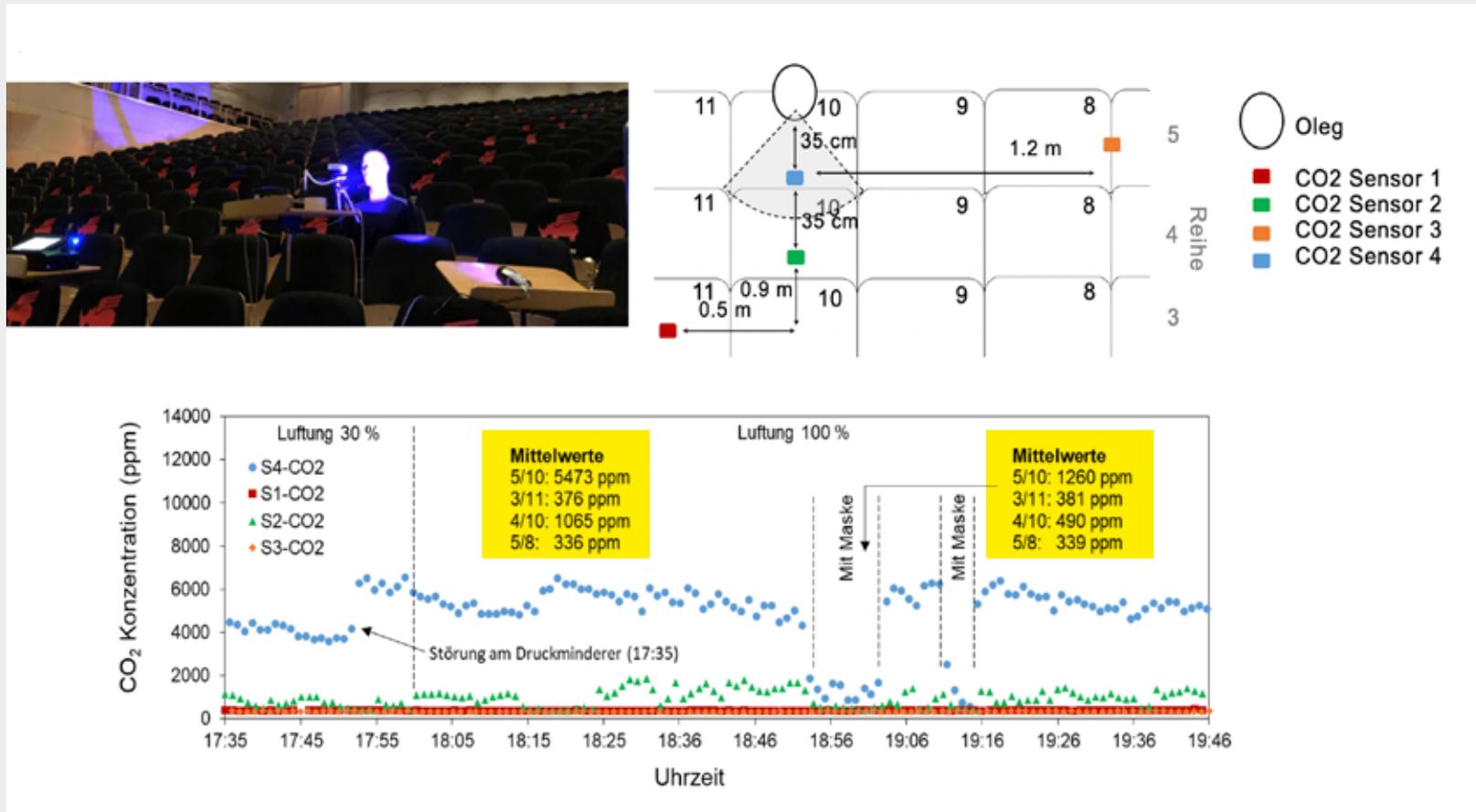
## Aufbau Versuch Nr. 2 – Lüftung



# Ergebnisse Versuch Nr. 2 – Lüftung

## Einfluss der Lüftung

Umschalten der Lüftung von 30 % auf 100 % Lüftungsleistung führt zu Reduzierung der Emissionswerte.



## Aufbau Versuch Nr. 4 – Mund-Nasenschutz

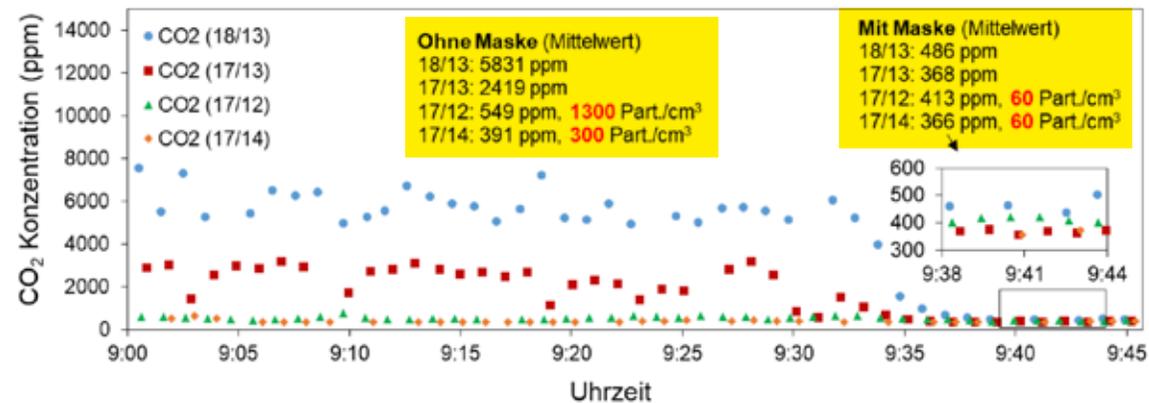
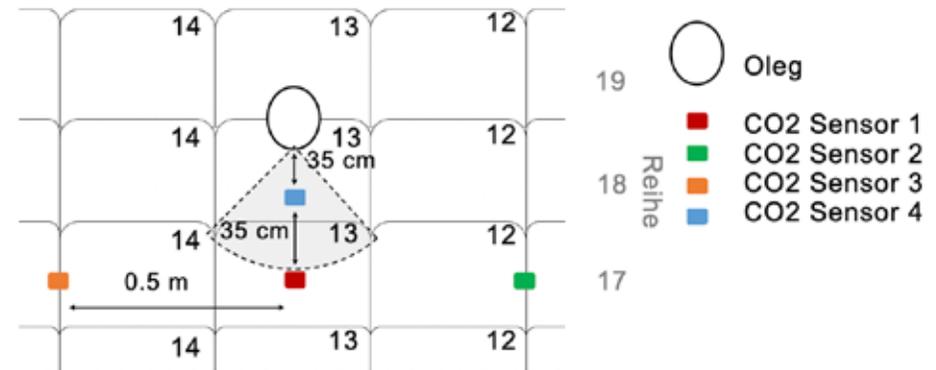


Dummy Oleg mit Mund-Nasenschutz

# Ergebnisse Versuch Nr. 4 – Mund-Nasenschutz

## Messungen mit Mund-Nasenschutz

Bei keinem Platznachbarn (vorne / hinten / seitlich / diagonal) wird ein durch den Emitter (Dummy »Oleg«) erhöhter Aerosol/CO<sub>2</sub>-Wert gemessen.



## Aufbau Versuch Nr. 9 – Parkett mit 52 Personen

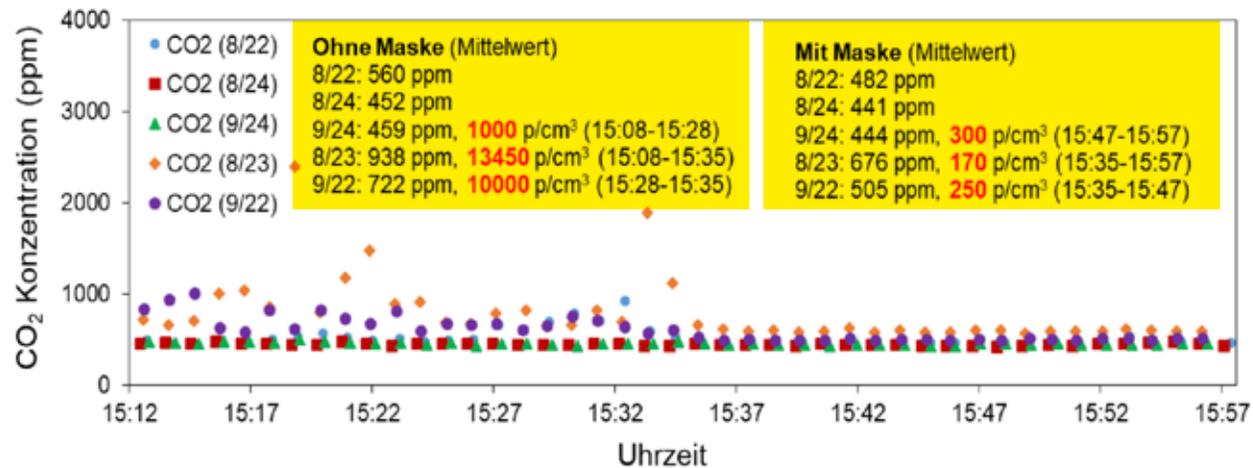
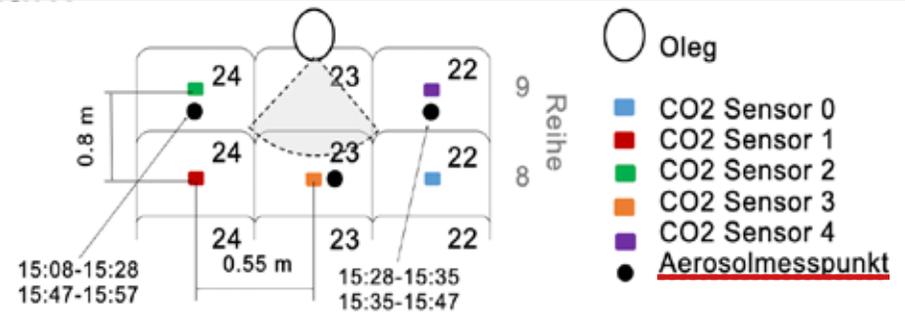


Reale Personen um Oleg im Schachbrettmuster und mit Mund-Nasenschutz

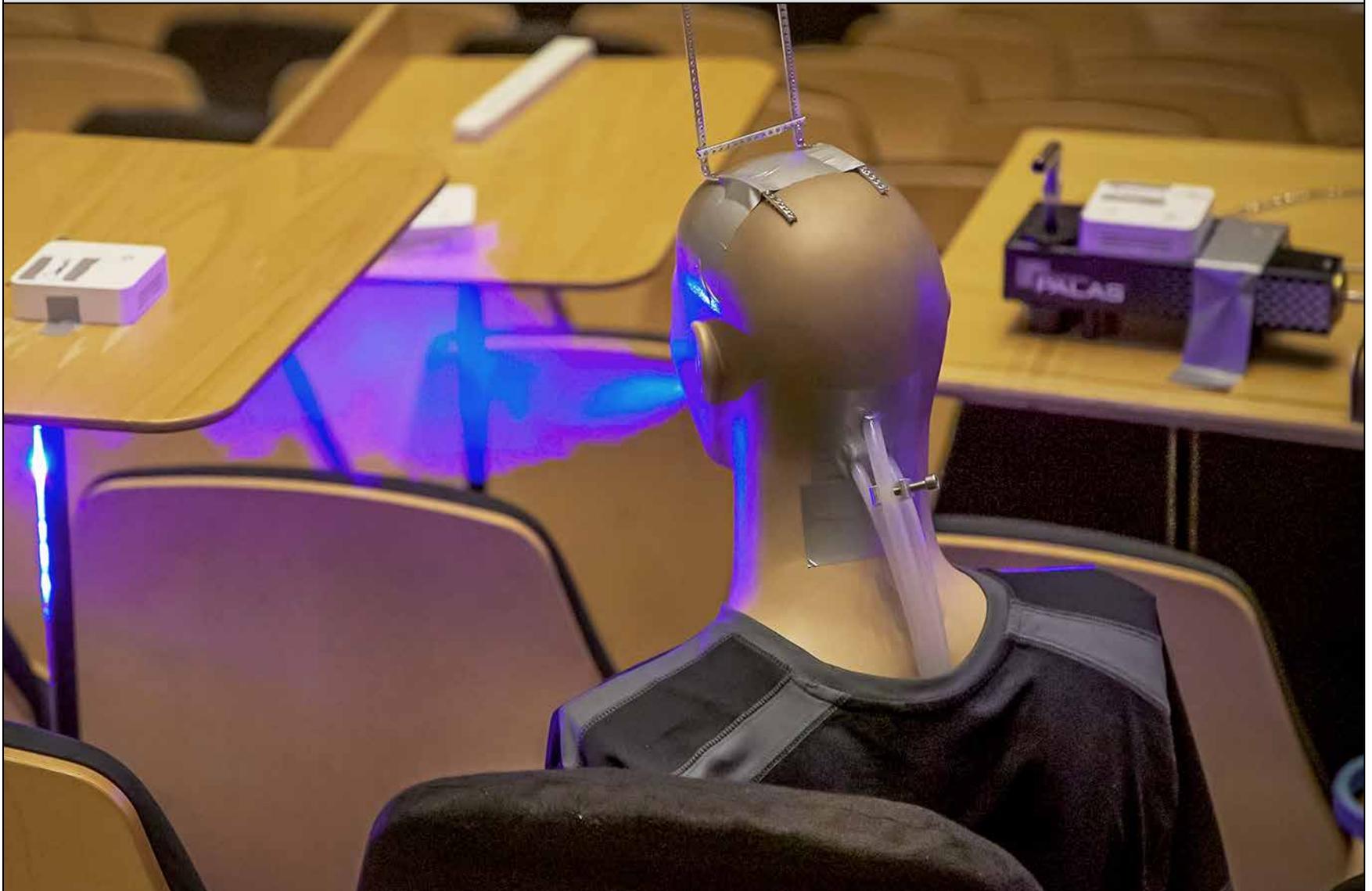
# Ergebnisse Versuch Nr. 9 – Parkett mit 52 Personen

## Reale Personen im Schachbrettmuster sitzend (mit Mund-Nasenschutz)

Reale Personen um den Emitter (Dummy »Oleg«) herum liefern vergleichbare Ergebnisse wie im Fall des isoliert sitzenden Emitters für Aerosol/CO<sub>2</sub>-Verteilungen (s. Versuch Nr. 4): keine erhöhten Aerosol / CO<sub>2</sub>-Werte.



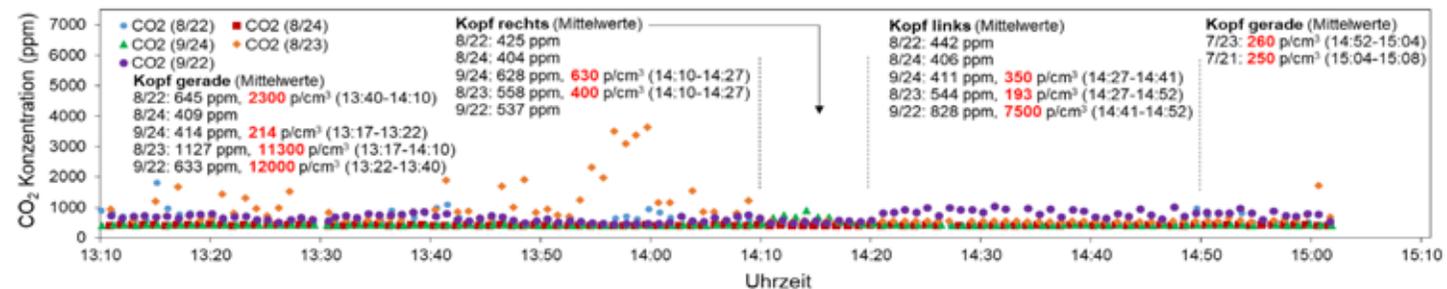
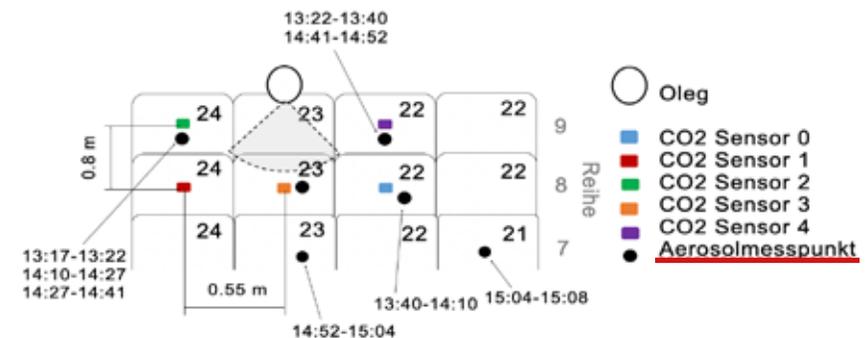
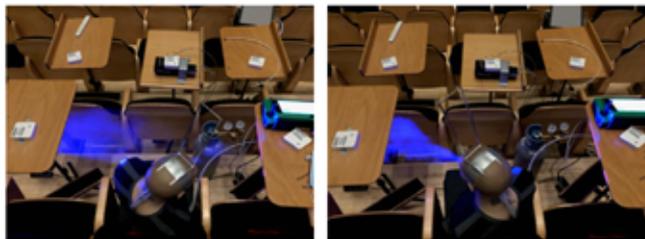
## Aufbau Versuch Nr. 8 – Drehung des Kopfes



# Ergebnisse Versuch Nr. 8 – Drehung des Kopfes

## Einfluss Drehung des Kopfes (ohne Mund-Nasenschutz)

- Gerichteter Emissionskegel in Blickrichtung, direkt vor Person Aerosol/CO<sub>2</sub> (11300 p/cm<sup>3</sup>; 1127 ppm) Verdünnung nach 70 cm (1 Sitzreihe) 260 p/cm<sup>3</sup>; 400 ppm
- Direkte Nachbarn zur Seite und diagonale Plätze vor einem Emitter (Dummy »Oleg«) erfahren keine erhöhten Aerosol/CO<sub>2</sub> Emissionen; lediglich bei Drehung des Kopfes auf direkten Nachbarplätzen leichte Erhöhung von Aerosol/CO<sub>2</sub> (leichte Strömungsunterschiede je nach Sitzplatz möglich)



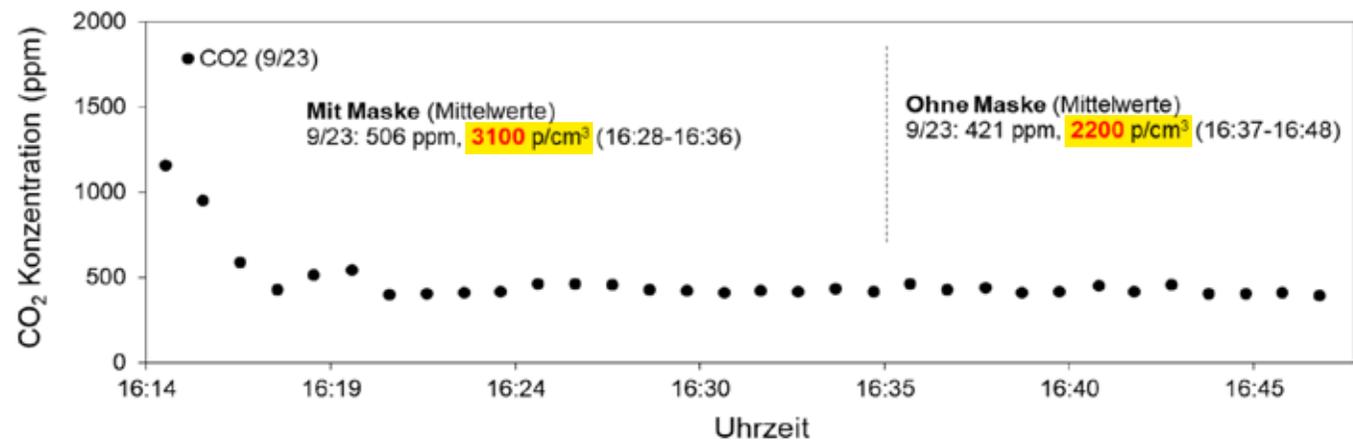
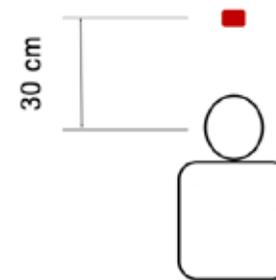
## Aufbau Versuch Nr. 10 – CO<sub>2</sub> Messungen über dem Kopf



# Ergebnisse Versuch Nr. 10 – Aerosol-/CO<sub>2</sub> Messungen über dem Kopf

## Messungen über dem Kopf

- **Mit Mund-Nasenschutz:** Keine gerichtete Aerosol/CO<sub>2</sub>-Emission nach vorne – diffuse Verteilung um den Kopf (deutliche Erhöhung des Aerosol-Mittelwerts, leichte Erhöhung des CO<sub>2</sub>-Mittelwerts), Strömung dann aufgrund Lüftung / Temperaturgradient nach oben



# Kontakt



---

## **Ansprechpartner für Studienanfragen**

Prof. Dr. Wolfgang Schade  
Abteilungsleiter Faseroptische Sensorsysteme  
Fraunhofer Heinrich-Hertz-Institut  
[wolfgang.schade@hhi.fraunhofer.de](mailto:wolfgang.schade@hhi.fraunhofer.de)

KONZERTHAUS  
DORTMUND



---

## **Ansprechpartnerin KONZERTHAUS DORTMUND**

Britta Lefarth  
Referentin des Intendanten  
[britta.lefarth@konzerthaus-dortmund.de](mailto:britta.lefarth@konzerthaus-dortmund.de)

Besonderer Dank gilt an dieser Stelle noch Dr.-Ing. Heinz-Jörn Moriske, Direktor und Professor im Umweltbundesamt, sowie Hygieneexperte Professor Dr. med. Martin Exner für ihre umfangreiche fachliche Unterstützung.

# KONZERTHAUS DORTMUND

- gehört mit renommierten Künstlern, internationalen Orchestern und innovativen Programmen zu den führenden Konzerthäusern Europas
- Konzertsaal nach höchsten akustischen Ansprüchen
- im Herbst 2002 im Herzen der Stadt Dortmund eröffnet
- Intendant seit 2018 / 19: Dr. Raphael von Hoensbroech
- 1550 Plätze
- ca. 200 Veranstaltungen pro Jahr / ca. 180.000 Besucher pro Jahr
- Schwerpunkt klassische Musik, aber auch Jazz, Cabaret, Pop
- seit 2012 als eines von vier deutschen Häusern Mitglied bei der European Concert Hall Organisation (Zusammenschluss der 22 führenden europäischen Konzerthäuser)
- Exklusivkünstler seit 2010 / 11: Esa-Pekka Salonen, Yannick Nézet-Séguin, Andris Nelsons, Mirga Gražinytė-Tyla
- Reihe »Junge Wilde« seit 2005 / 06: junge Künstler an der Schwelle zur Weltkarriere (darunter u. a. Janine Jansen, Jan Lisiecki, Ray Chen, Yuja Wang, Gautier Capuçon, Andreas Ottensamer und Khatia Buniatishvili)
- seit 2019 / 20 ist das London Symphony Orchestra für drei Jahre Residenzorchester
- weitere programmatische Schwerpunkte wie Zeitinsel, Curating Artist, Neuland
- erstes Konzerthaus, das in Deutschland Community Music fest in sein Programm aufnimmt

**KONZERTHAUS DORTMUND**

Brückstraße 21 | 44135 Dortmund

T 0231 – 22 696 200 | F 0231 – 22 696 222

[info@konzerthaus-dortmund.de](mailto:info@konzerthaus-dortmund.de)

[www.konzerthaus-dortmund.de](http://www.konzerthaus-dortmund.de)

KONZERTHAUS  
DORTMUND

