



Aerosol- und CO₂-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?**

CO₂ und Raumluftqualität

- CO₂ 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 CO₂-/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

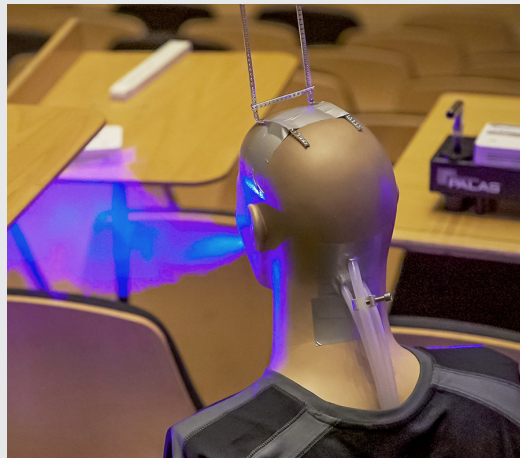
Vorgehen

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 CO₂.

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

- mithilfe von CO₂-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

Bei einem R-Wert von 1 würden max. 2 neue Infizierte dazukommen

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/CO₂ ist im Mittel etwa einen Faktor 4 zu hoch

signifikante Korrelation zwischen Aerosol- und CO₂-Verbreitung im Raum



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 / CO₂ durch ungerichtete Luftströmungen)

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

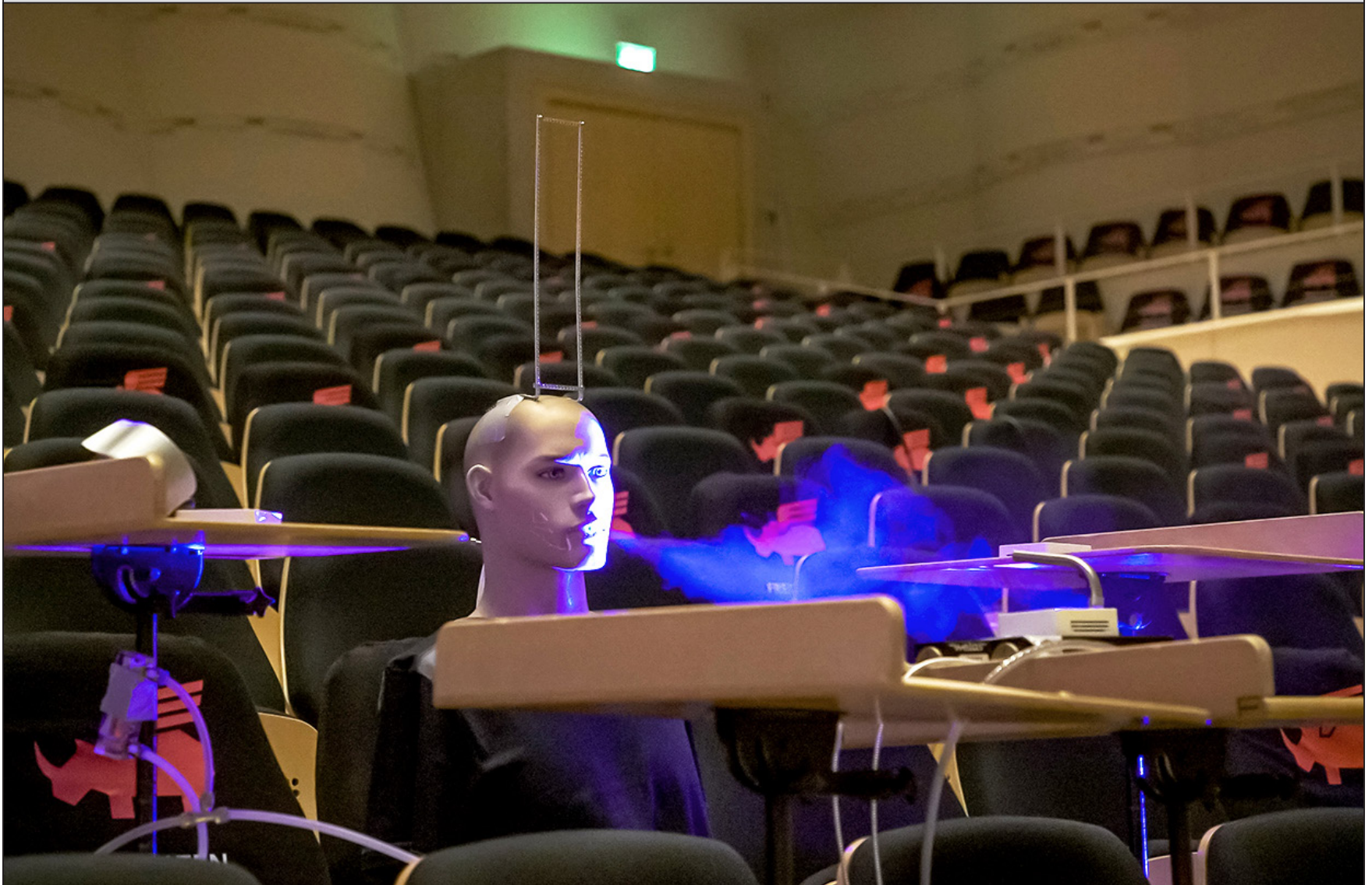
CO₂-Messungen im laufenden Betrieb können dazu beitragen, die Ausbreitung von Aerosolen (Durchmesser < 1000 nm) zu beurteilen.

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



Ausgewählte Versuche

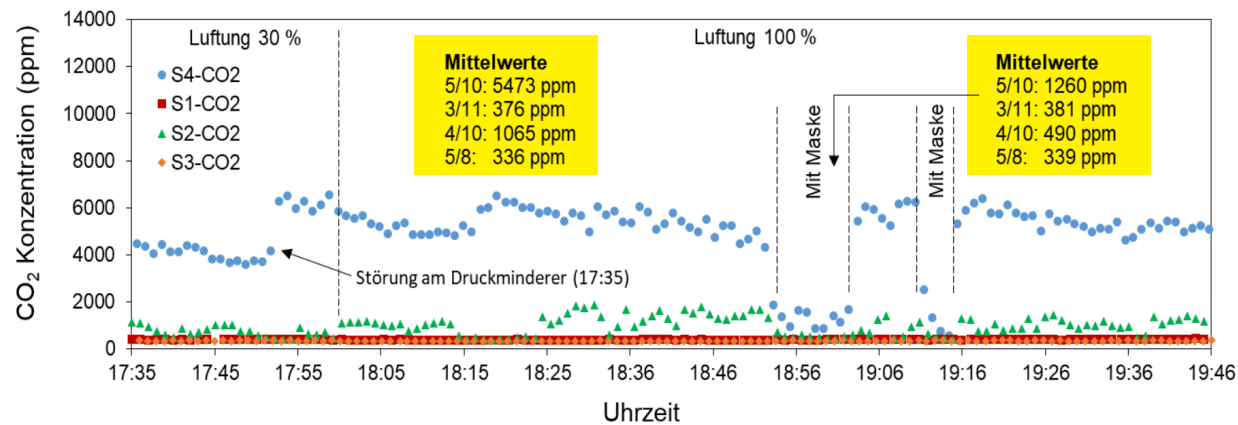
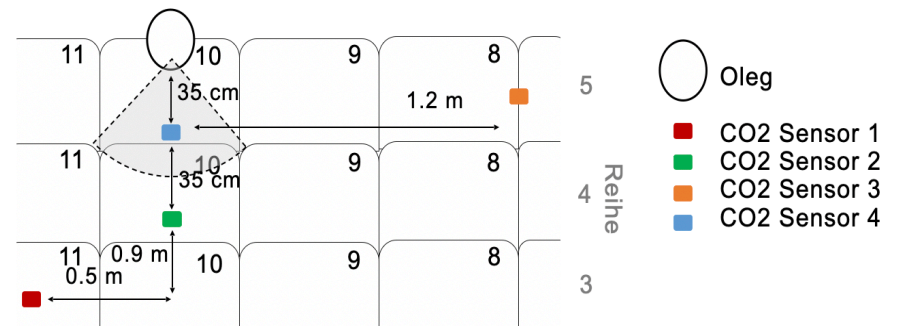
Aufbau Versuch Nr. 2 – Lüftung



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

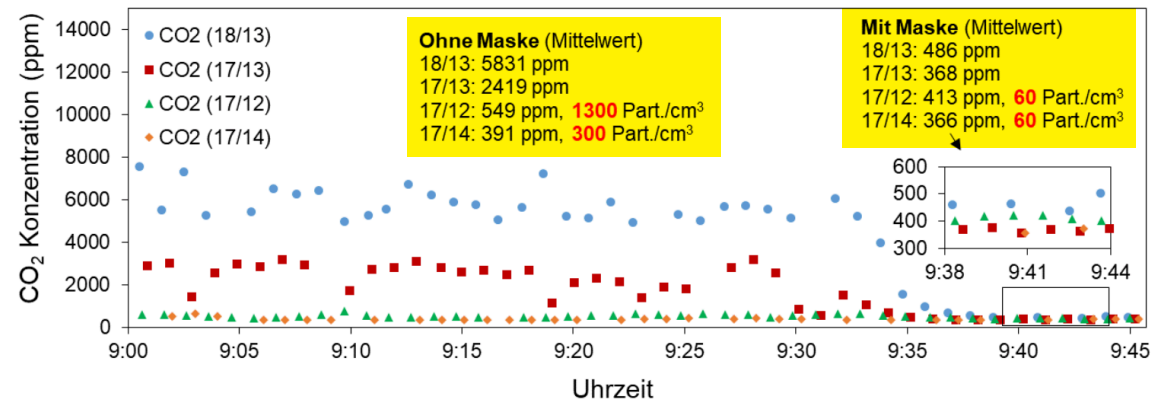
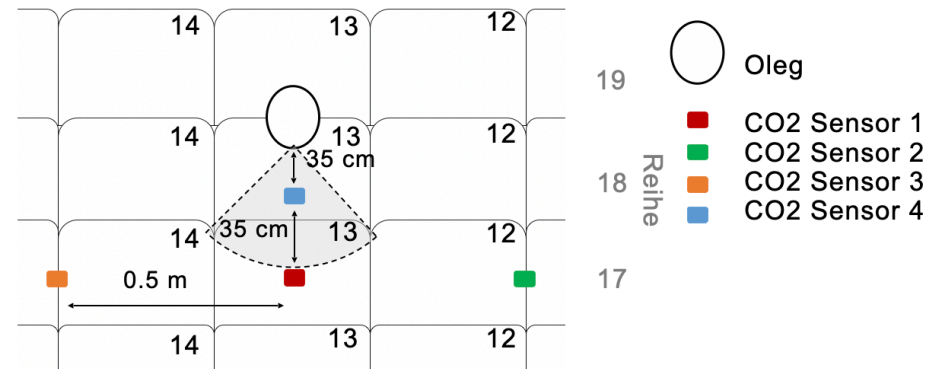


Dummy Oleg mit Mund-Nasenschutz

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/CO₂-Wert gemessen



Aufbau Versuch Nr. 9 – Parkett mit 52 Personen

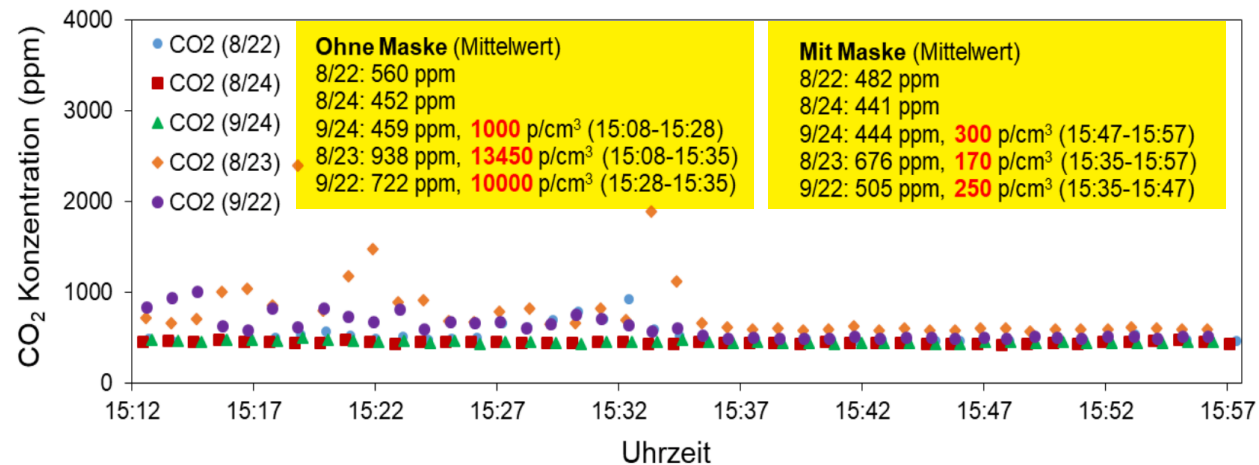
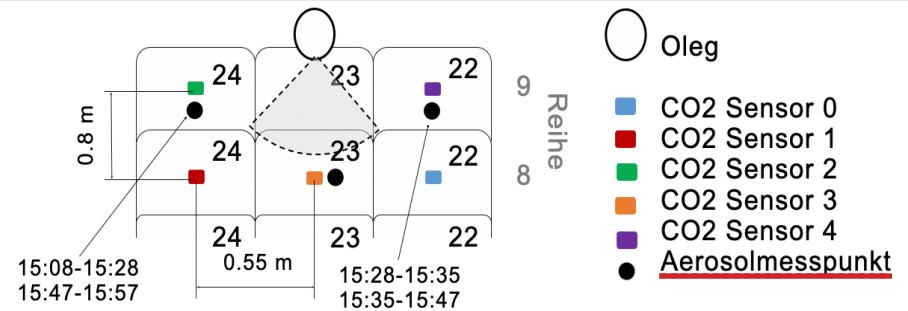


Reale Personen um Oleg im Schachbrettmuster und mit Mund-Nasenschutz

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/CO₂-Verteilungen (s. Versuch Nr. 4): keine erhöhten Aerosol / CO₂-Werte



Aufbau Versuch Nr. 8 – Drehung des Kopfes

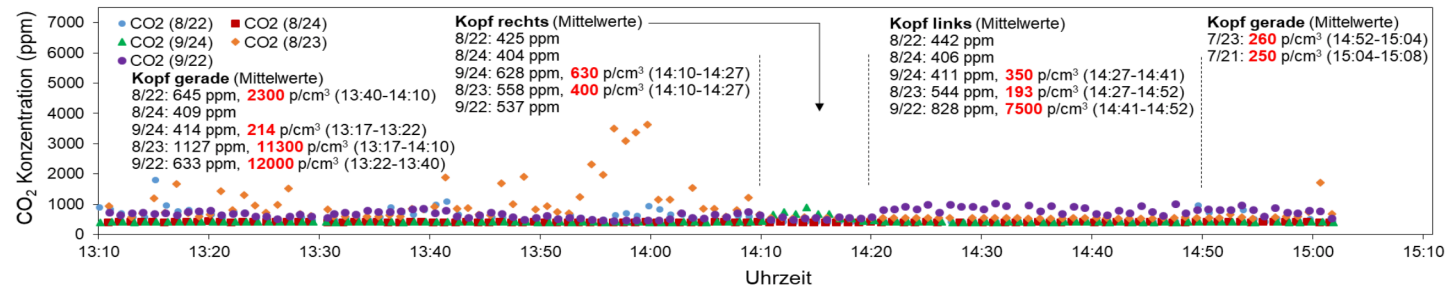
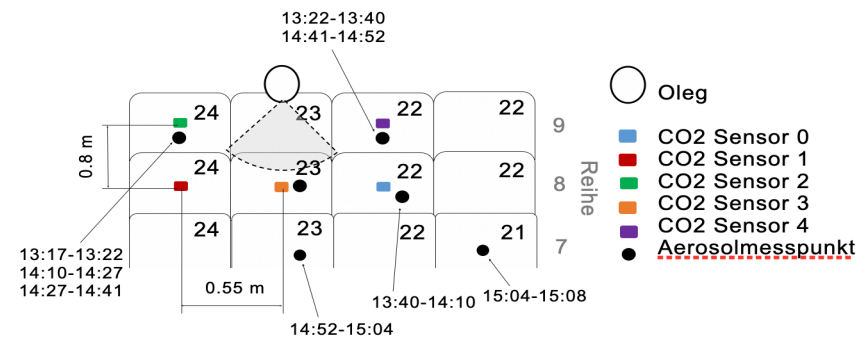
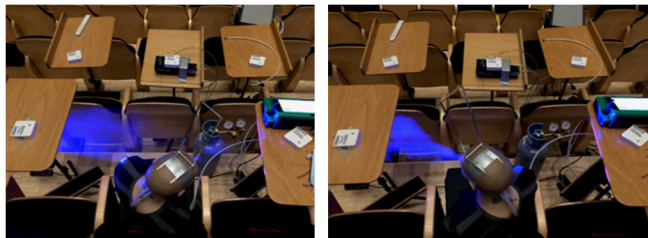


Messungen bei seitlicher Kopfbewegung

Ergebnisse Versuch Nr. 8 – Drehung des Kopfes

Einfluss Drehung des Kopfes (ohne Mund-Nasenschutz)

- Gerichteter Emissionskegel in Blickrichtung, direkt vor Person Aerosol/CO₂ (11300 p/cm³; 1127 ppm) Verdünnung nach 70 cm (1 Sitzreihe) 260 p/cm³; 400 ppm
- Direkte Nachbarn zur Seite und diagonale Plätze vor einem Emitter (Dummy Oleg) erfahren **keine erhöhten Aerosol/CO₂ Emissionen**; lediglich bei Drehung des Kopfes auf direkten Nachbarplätzen leichte Erhöhung von Aerosol/CO₂ (leichte Strömungsunterschiede je nach Sitzplatz möglich)



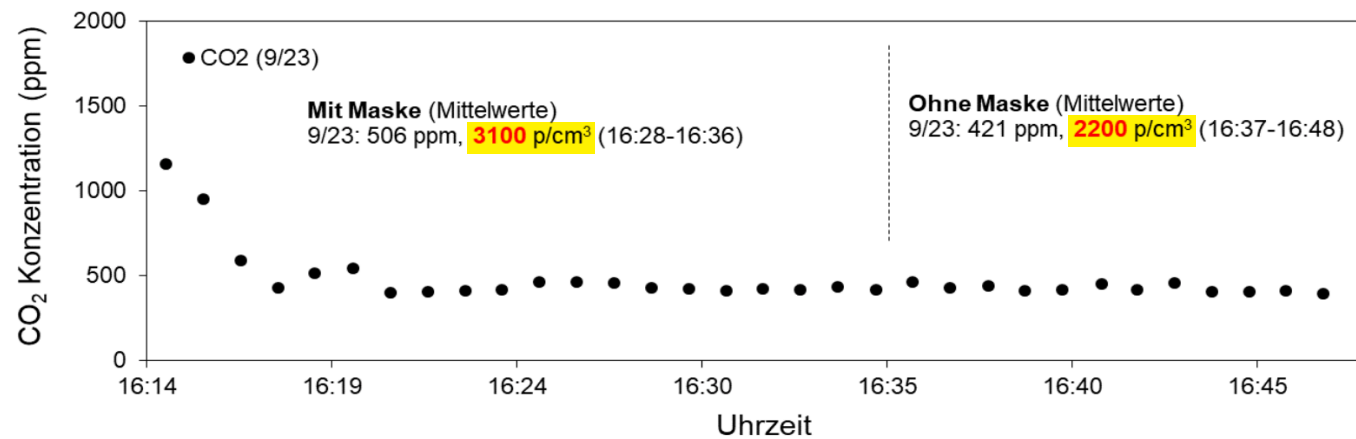
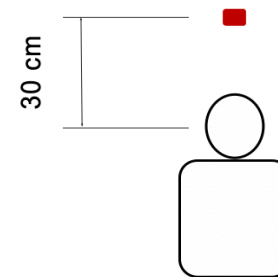
Aufbau Versuch Nr. 10 – CO₂ Messungen über dem Kopf



Ergebnisse Versuch Nr. 10 – Aerosol-/CO₂ Messungen über dem Kopf

Messungen über dem Kopf

- **Mit Maske:** Keine gerichtete Aerosol/CO₂-Emission nach vorne – diffuse Verteilung um den Kopf (deuliche Erhöhung des Aerosol-Mittelwerts, leichte Erhöhung des CO₂-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



Ansprechpartnerin KONZERTHAUS DORTMUND

Britta Lefarth
Referentin des Intendanten
britta.lefarth@konzerthaus-dortmund.de

KONZERTHAUS DORTMUND

Brückstraße 21 | 44135 Dortmund

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

info@konzerthaus-dortmund.de

www.konzerthaus-dortmund.de

KONZERTHAUS
DORTMUND

