

Untersuchungsbericht zum Thema:

Überprüfen der Wirksamkeit der Ablufttechnik im Schulbetrieb

Berichtsnummer: B105-1

Durchführungszeitraum: 23.02.2021 bis 7.05.2021



Ausführende Institution:

PFI-Bioraffinerietechnik GmbH (PFI-BRT)

Marie-Curie-Str. 15

66953 Pirmasens

Dipl.-Ing. (FH) Benjamin Pacan

benjamin.pacan@bioraffinerietechnik.de

Telefon: 06331 / 6888-901

Auftraggeber: Stadtverwaltung Pirmasens (SV-PS)

Auftragserteilung durch: Bürgermeister Michael Maas

Bearbeiter: Benjamin Pacan / Holger Raatz (PFI-BRT)

Inhaltsverzeichnis

1	Veranlassung / Aufgabenstellung / Zielsetzung	3
2	Untersuchungsmethoden und Versuchsdurchführung	3
2.1	Beschreibung der Lüftungsanlage	3
2.2	Verwendete Messeinrichtungen	4
2.3	Funktionsprüfung der Abluftanlage in Anlehnung an DIN EN 125999:2013-01.....	7
2.4	Versuchsaufbau zum Wirksamkeitsnachweis der Abluftanlage	8
2.5	Versuchsdurchführung	9
3	Ergebnisse der Einzeluntersuchungen	10
3.1	Kohlendioxid- und Partikelmessung im Messbereich von 1 - 10 µm	10
3.2	Kohlendioxid- und Partikelmessung im Messbereich von 0,4 - 1 µm	11
4	Zusammenfassung / Bewertung	12

ANHÄNGE

Anhang 1 – Ergänzende Informationen zur Raumluftproblematik	13
---	----

1 Veranlassung / Aufgabenstellung / Zielsetzung

Die Stadt Pirmasens hat zur Aufrechterhaltung eines für die Schüler zumutbaren Schulbetriebs in der Corona-Pandemie die Installation von einfachen Abluftanlagen in allen Klassensälen veranlasst. Dazu wurden innerhalb von 2 Monaten (während des Lockdowns) Abluftanlage mit der Unterstützung der Hausmeister, technischer Mitarbeiter der Stadt und des Technischen Hilfswerks (THW) unter der Leitung der Abteilung Facilitymanagements einfache Abluftanlagen (siehe Beschreibung unten) realisiert. Zielsetzung war es besonders bei Minustemperaturen das zur Aufrechterhaltung der Raumlufthygiene notwendige Stoßluften auf die Pausen zu verlagern und damit den Unterricht nicht übermäßig zu stören.

2 Untersuchungsmethoden und Versuchsdurchführung

Die Untersuchungen zur Überprüfung der Wirksamkeit der installierten Abluftanlagen wurden in 2 Schritten durchgeführt. Zunächst wurde in Anlehnung an die DIN EN 12599 die Abluftmenge und die Verteilung der Abluftabsaugung ermittelt. In einem zweiten Schritt wurden dann in Abstimmung mit Dr. Heinz-Ulrich Koch (Leiter der Abteilung Gesundheitswesen der Kreisverwaltung Südwestpfalz) im Präsenzunterricht in einem Schulsaal der Grundschule Ruhbank Untersuchungen zur Kohlendioxid- und Mikropartikelkonzentration durchgeführt, um Rückschlüsse auf die Wirksamkeit der Abluftanlage schließen zu können.

2.1 Beschreibung der Lüftungsanlage

Es handelt sich um eine einfache Abluftanlagen bestehend aus einem Tellerventil DN 160 und mehreren Tellerventilen DN 100 (siehe Abb. 1), die an einem in Raummitte befindlichen Wickelfalzrohr DN 160 montiert sind. Danach ist im Rohrleitungssystem noch ein Schalldämpfer und ein Axialventilator integriert. Das Abluftsystem ist dann noch beim Luftaustritt in den Außenbereich mit einem Lamellenabluftgitter ausgestattet. Zwecks Vermeidung von Unterdruck wird die Zuluft über ein gekipptes Fenster (Mindestabstand zu der Fortluft soll mindestens 3 m betragen), bevorzugt über einem Heizkörper, zugeführt. Die Aufhängung des Rohrsystems erfolgt über an der Decke befestigte Gewindestäbe, die mit Lüftungsrohrschellen verbunden sind. Der Ventilator kann über einen Wandschalter elektrisch ein- und ausgeschaltet werden.



Abb. 1 Gesamtansicht der Abluftanlage (von der Tafel aus betrachtet)

2.2 Verwendete Messeinrichtungen

Zum Einsatz kommt das Universal-Klimamessgerät testo 400. Mit diesem Klimamessgerät mit integriertem Mess-Assistenten können Volumenstrom- und Behaglichkeitsmessungen nach Norm, sowie zum Einregeln und Überprüfen von Klima- und Lüftungsanlagen durchgeführt werden. Es kann damit auch die vollständige Dokumentation inkl. Fotos, Kommentaren direkt Vorort erstellt und gespeichert werden. Vier klimarelevante Parameter, wie Strömung, Temperatur, Feuchte, Druck, Beleuchtungsstärke, Strahlungswärme, Turbulenzgrad, CO₂ und CO, können gleichzeitig kabellos über Bluetooth®-Sonden angeschlossen werden. Darüber hinaus werden direkt im Messgerät noch der Absolutdruck und die Temperatur festgehalten. Über smarte, intuitiv bedienbare Messmenüs (Bewertung der Messwerte nach Ampelprinzip) können normkonforme Messungen wie RLT-Netzmessung nach EN ISO 12599, PMV/PPD nach EN ISO 7730, Zugluft und Turbulenzgrad nach EN ISO 7730, WBGT-Messung in Anlehnung an DIN 33403 und EN ISO 7243, NET-Messung nach DIN 33403 durchgeführt werden. Die PC-Software testo DataControl wird zur weiteren Analyse, Archivierung und Dokumentation von Messdaten auf dem Computer verwendet. Die Stromaufnahme des Ventilators wurde mit dem Digital-Stromzangen-Multimeter BENNING CM 2 gemessen.

Tab. 1 Informationen zu den verwendeten Messgeräten

Bezeichnung	Seriennummer	Justage
testo 400	62574191	nein
testo Flügelradanemometer	20817442	nach Kalibrierprotokoll
testo Hitzdrahtsonde	20825314	nach Kalibrierprotokoll
Benning CM2 Stromzange	74007920	nein
Topas LAP321	321 10 11 306	nein



Abb. 2 Messaufbau zur Erfassung Klimaparameter (links) und Partikelmessung (rechts)

Die Geräte Topas LAP321 eignet sich zur Charakterisierung und Überwachung von Prüf-Aerosolen sowie zur Ermittlung von Partikeln in der Außenluft. Ein Partikelgrößenspektrometer ist dadurch gekennzeichnet, dass es auf Basis der Signalauswertung an Einzelpartikeln eine Partikelgrößenverteilung mit einer feinen Klasseneinteilung erzeugt (VDI 3926, Blatt 1). Optische Partikelzähler sind einzelpartikelbewertende Messgeräte, die die Partikel nach ihrer Streulichtintensität klassifizieren und zählen. Diese Messmethoden ordnen die physikalisch messbare Größe (das Partikelmerkmal) unabhängig und voraussetzungsfrei. Sie gewährleisten hohe Sensitivität und Genauigkeit bei einer schnellen Mengenbewertung.

Die auf dieser Grundlage konzipierte Serie LAP gewährleistet die zeitgleiche Bestimmung der Partikelgröße (Streulicht-Äquivalentdurchmesser) und -anzahl in konzentrierten Aerosolen. Die Geräte verfügen über eine hohe Klassifiziergenauigkeit und ein hohes Auflösungsvermögen. Die Lösung basiert auf der definierten Abgrenzung eines für diesen Konzentrationsbereich hinreichend kleinen Messvolumens. Hierbei werden jeweils der Aerosolstrom und der senkrecht einfallende Beleuchtungs-Lichtstrahl in einer Ebene fokussiert und mit der Detektionsebene allseitig orthogonal zum Schnitt gebracht.

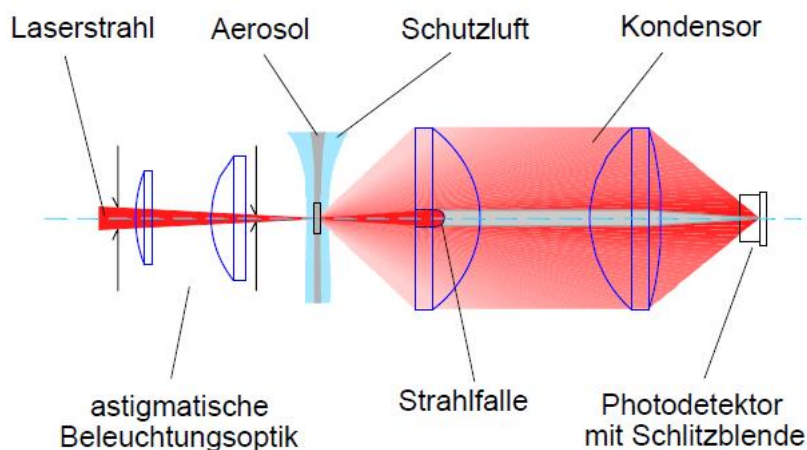


Abb. 3 Optische Messanordnung des Partikelmessgerätes Topas LAP321

Die detektierten Streulichtsignale werden von einem geräteinternen Mikroprozessor erfasst, klassifiziert und über eine serielle Standardschnittstelle (RS232, USB) durch die PCSoftware PASWin ausgewertet und dargestellt. Die hohe Partikelgrößenauflösung sowie der große Konzentrations- und Messbereich sind besonders vorteilhaft bei:

- inhalations-toxikologischen Experimenten
- zeitlich aufgelösten Aerosolmessungen
- Bestimmung von Fraktionsabscheidegraden
- Umweltcharakterisierungen
- Referenzmessungen von Modellaerosolen
- Tropfen-/Spray-Messung
- Staubmessung und Pulvercharakterisierung

2.3 Funktionsprüfung der Abluftanlage in Anlehnung an DIN EN 125999:2013-01

Nachfolgende Abbildung zeigt den Grundriss von GSR-A09 mit der dort verbauten raumlufttechnischen Anlage und den Messstellen. 1 bis 9 kennzeichnet die Tellerventile, an denen Luft angesaugt wird, wobei 1-8 einen Durchmesser von 100 mm und 9 einen Durchmesser von 160 mm aufweist. An Position V wird der Luftstrom ins Freie abgeleitet. An den zehn Messstellen 1-9 wurde mittels Trichter und Flügelradanemometer gemessen.

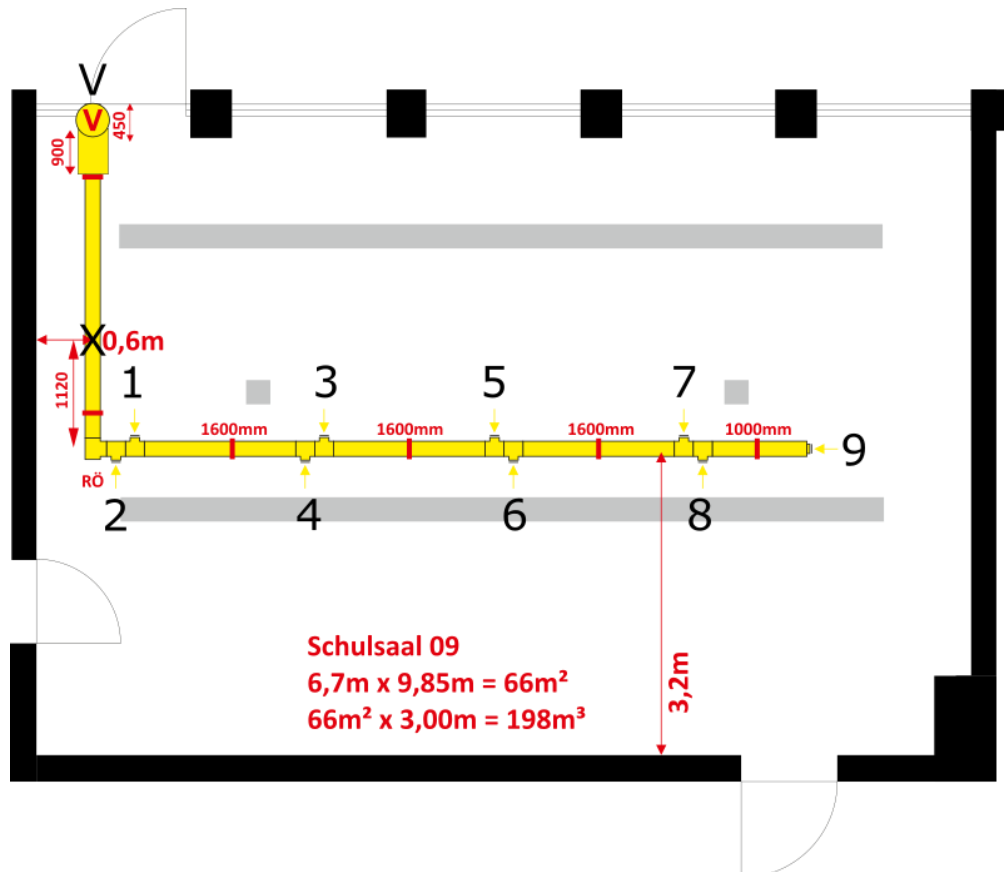


Abb. 4 Grundriss GSR-A09 mit Abluftanlage und Messstellen

Die Funktionsmessungen wurden an den Messstellen 1 bis 9 vorgenommen, wobei über die Messdauer von 20 Sekunden jede Sekunde ein Messwert erfasst wurde. Die gemittelten Ergebnisse sind in nachfolgender Tabelle dokumentiert:

Messstelle	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Σ 1 - 9
Ist $\dot{V}$ in m ³ /h	42,9	41,9	44,1	41,5	42,0	44,9	43,7	42,3	62,3	405,6
Unsicherheit	0,05	0,12	0,08	0,19	0,11	0,10	0,16	0,10	0,10	in $\pm$ m ³ /h

Am Ventilator wurde eine Spannung von 233,8 V und Stromstärke von 0,24 A gemessen, woraus sich eine elektrische Leistung $P=56,1$ W ergibt.

2.4 Versuchsaufbau zum Wirksamkeitsnachweis der Abluftanlage

Um die Wirksamkeit der Abluftanlage in Hinblick auf die Raumhygiene bewerten zu können, wurden im Anschluss an die Funktionsprüfung im Präsenzunterricht die Konzentrationen von Kohlendioxid (X2) und Luftpartikel (X1) als Leitparameter gemessen. Die Messgeräte wurden so positioniert, dass sich die Sensoren (oder Ansaugstutzen) in Kopfhöhe der sitzenden Schulkinder befanden. Der Schulsaal war grundsätzlich mit 18 Kindern (zw. 8 – 9 Jahren) und 2 Erwachsenen (zweitweise bis zu 4 Erwachsenen) belegt. Der mit Dr. Koch abgestimmte Messplan (siehe Folgeseite) konnte mit der Unterstützung der Lehrkräfte (Thomas Heckmann, Schulleiter, Christine Ruprecht, Klassenlehrerin 3a) umgesetzt werden.

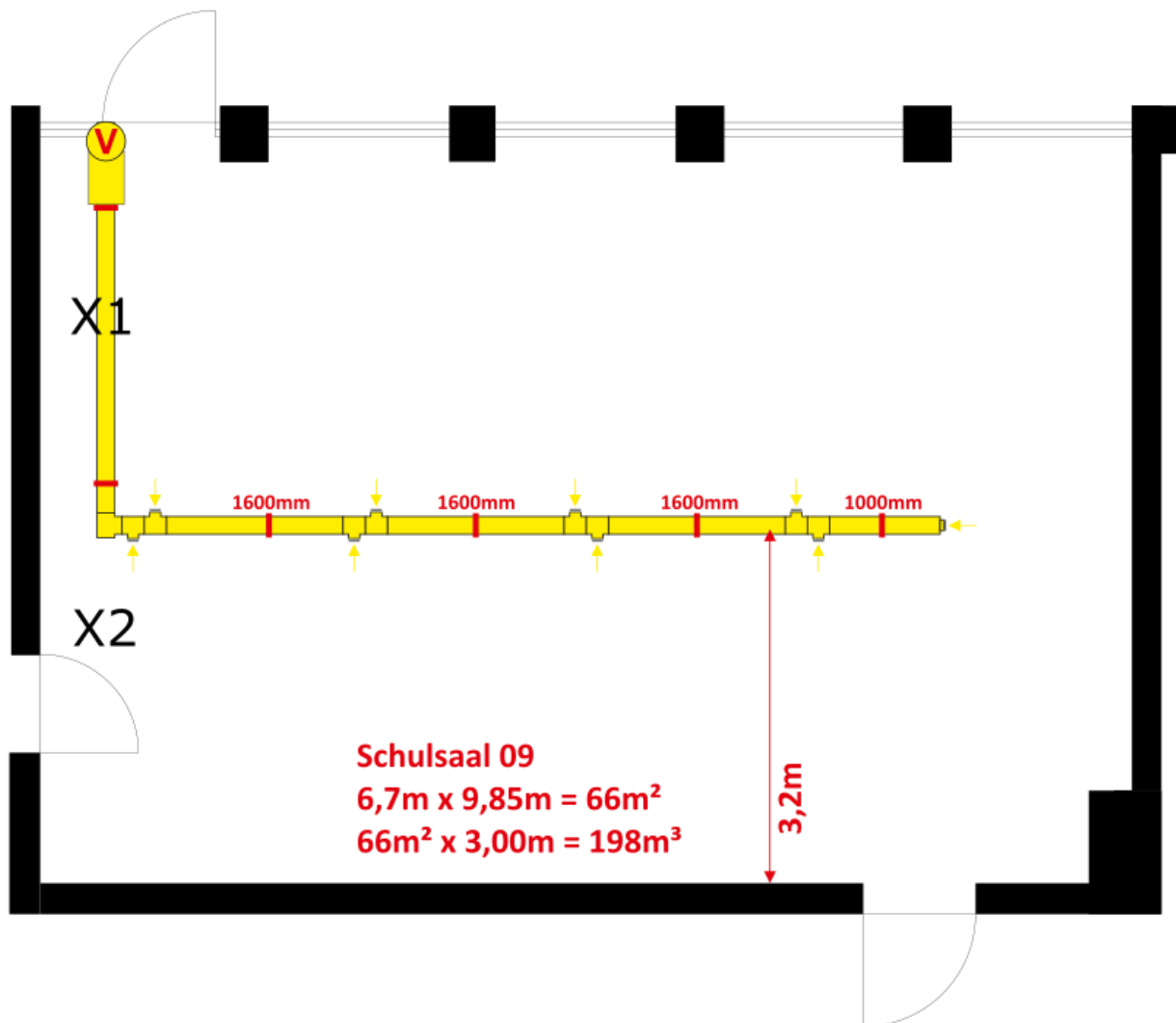


Abb. 5 Grundriss GSR-A09 mit Abluftanlage und Standort des Partikelmessgerätes (X1) und des Kohlendioxid-, Temperatur- und Feuchtesensors (X2)

2.5 Versuchsdurchführung

Messplan zur Funktionsprüfung der Abluftanlage

Ort: Grundschule Ruhbank

Datum: 24.03.21

Uhrzeit/Aktivität:

7:30 – 7:55 Aufbau und Testen der Messgeräte

7:55 – 8:00 Querlüften durch Fenster- und Türöffnen

8:00 – 8:20 keine Lüftung; Messparameter: Temperatur, Feuchte, CO_2 und Partikel 1 – 10 μm (TFCO₂P)

8:20 – 8:25 Querlüften durch Fenster- und Türöffnen

8:25 – 9:30 Lüften nur mit Abluftanlage bis max. 1.200 ppm; Messparameter: TFCO₂P, siehe oben

9:30 – 9:40 Querlüften durch Fenster- und Türöffnen

9:40 – 10:00 keine Lüftung beim Essen (alle Fenster und Türen geschlossen)

10:00 - 10:15 Lüften nur mit Abluftanlage bis max. 1.200 ppm; Messparameter: TFCO₂P, siehe oben

10:17 - 10:32 Lüften nur mit Abluftanlage bis max. 1.200 ppm; Messparameter: TFCO₂P, siehe oben

10:34 - 10:49 Lüften nur mit Abluftanlage bis max. 1.200 ppm; Messparameter: TFCO₂P, siehe oben

10:51 - 11:06 Lüften nur mit Abluftanlage bis max. 1.200 ppm; Messparameter: TFCO₂P, siehe oben

11:08 - 11:23 Lüften nur mit Abluftanlage bis max. 1.200 ppm; Messparameter: TFCO₂P, siehe oben

11:23 - 11:30 Querlüften durch Fenster- und Türöffnen

11:30 - 11:50 keine Lüftung; Messparameter: TFCO₂P, siehe oben

11:50 - 11:55 Querlüften durch Fenster- und Türöffnen

11:55 - 12:15 Lüften nur mit Abluftanlage bis max. 1.200 ppm; Messparameter: TFCO₂P, siehe oben

12:17 - 12:27 Lüften nur mit Abluftanlage bis max. 1.200 ppm; Messparameter: TFCO₂P, siehe oben

12:27 - 12:32 Querlüften durch Fenster- und Türöffnen

12:32 - 12:52 keine Lüftung; Messparameter: TFCO₂P, siehe oben

12:54 – 13:14 Querlüften durch Fensteröffnen; TFCO₂P, siehe oben

Ende der Messungen und Abbau der Messeinrichtung

3 Ergebnisse der Einzeluntersuchungen

3.1 Kohlendioxid- und Partikelmessung im Messbereich von 1 - 10 μm

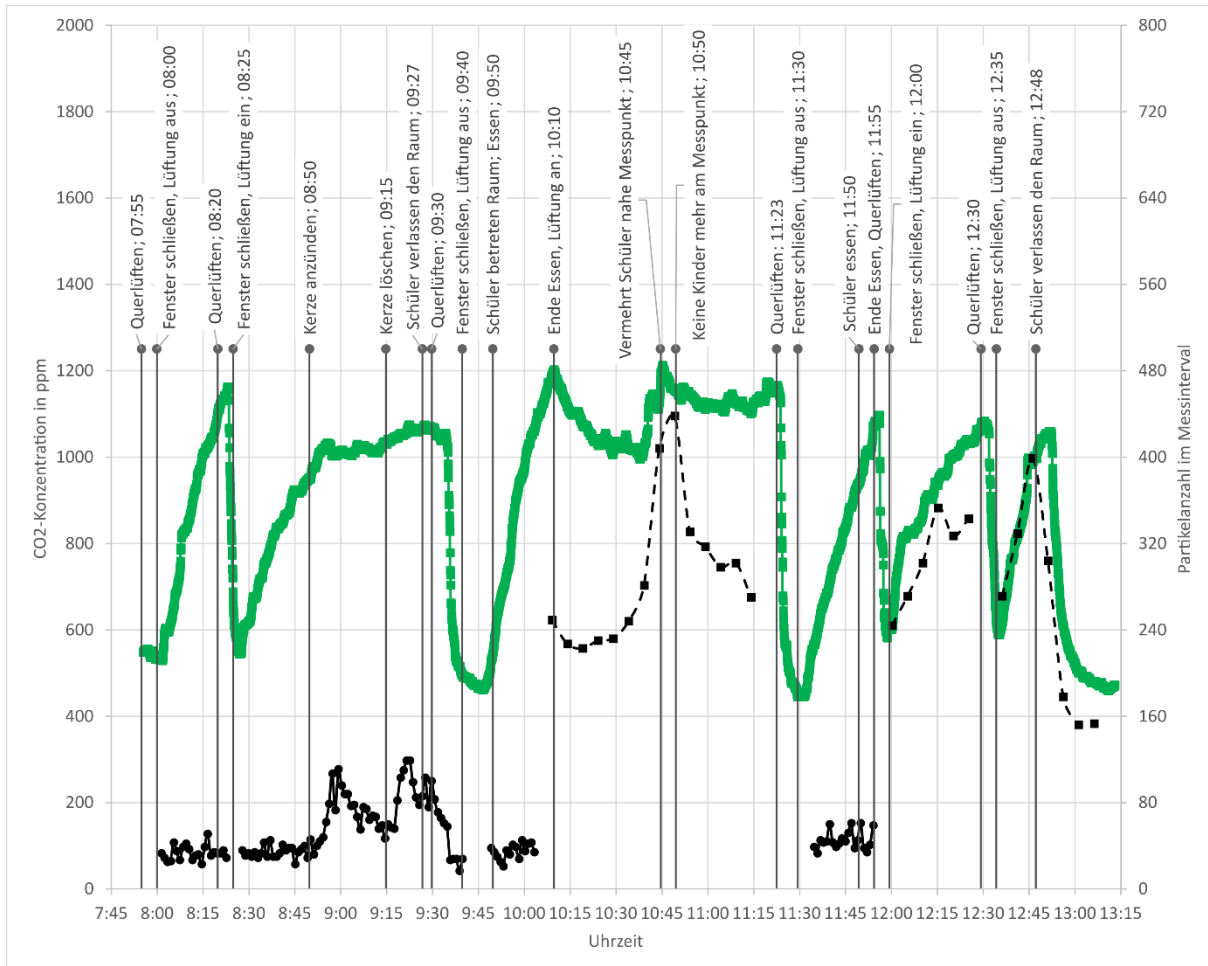


Abb. 6 Ergebnis der CO₂- und Partikelmessung im Messbereich von 1 - 10 μm

Wie man im Versuchszeitraum von 8:00- 8:20 Uhr deutlich erkennen kann, steigt die Kohlendioxidkonzentration ohne Lüftung kontinuierlich auf fast 1.200 ppm an und wird beim nachfolgenden Stoßlüften nahezu auf den Ausgangswert gesenkt. Beim Einsatz der Abluftanlage verläuft der CO₂-Anstieg nicht so steil und pendelt sich über den Zeitraum von einer Stunde auf einen Wert von etwas über 1.000 ppm ein. Auch nach einem steilen CO₂-Anstieg während der Großen Pause (und beim Essen) konnte mit der Unterstützung der Abluftanlage die CO₂-Konzentration von 1.200 auf 1.000 ppm gesenkt werden. Ein signifikanter Anstieg der Partikelkonzentration (1 - 10 μm) konnte im "normalen" Schulunterricht mit und ohne Lüftung nicht beobachtet werden. Ein Anstieg der Partikelzahl war nur durch verstärkte körperliche Aktivität (10:45 Uhr) durch Staubaufwirbelung oder durch die unvollständige Verbrennung (Kerze an/aus) zu beobachten.

3.2 Kohlendioxid- und Partikelmessung im Messbereich von 0,4 - 1 µm

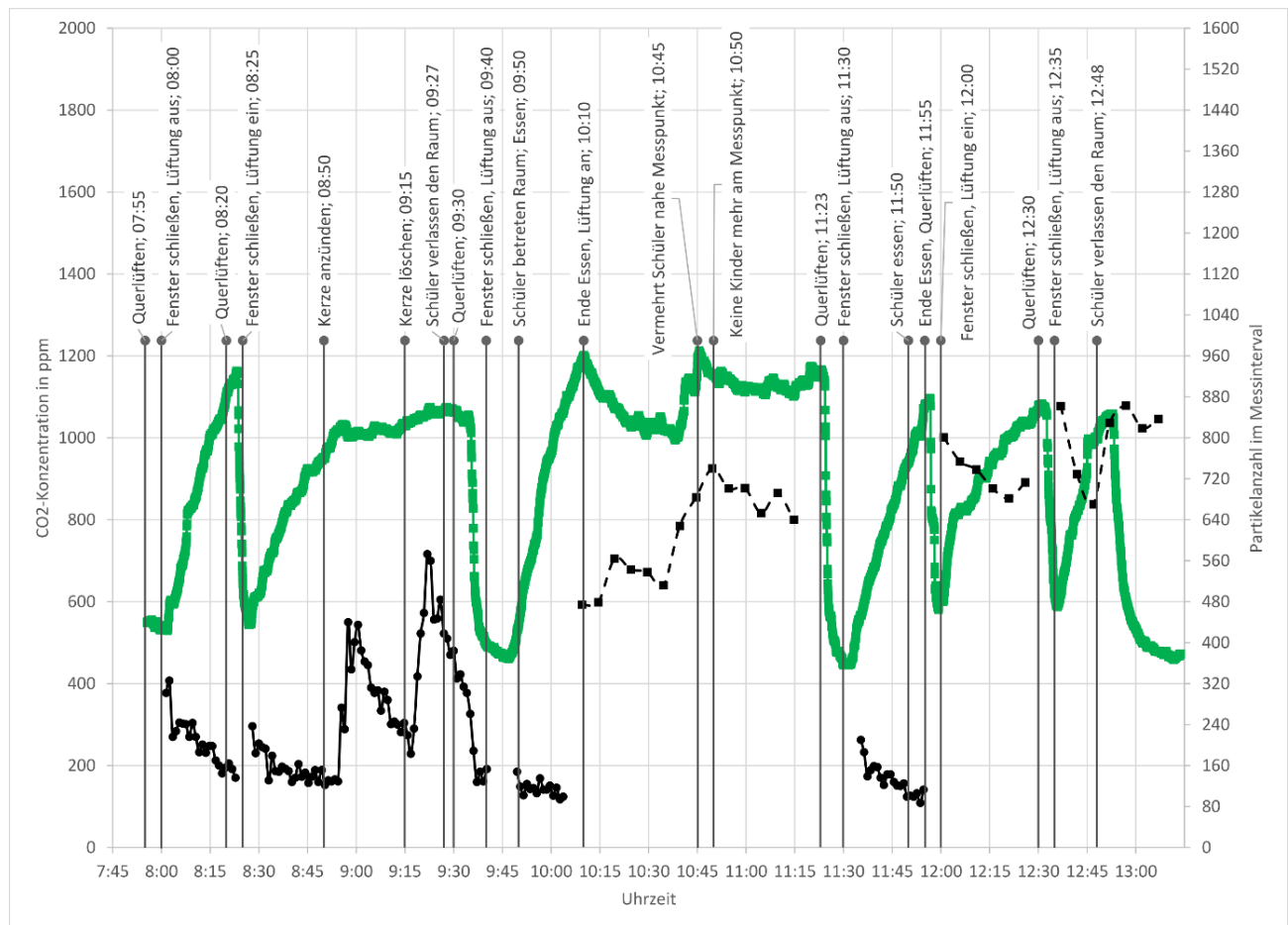


Abb. 7 Ergebnis der CO₂- und Partikelmessung im Messbereich von 0,4 - 1 µm

Auch die Auswertung der Partikelkonzentration im Bereich von 0,4 - 1 µm ergab keine Hinweise auf einen Anstieg während des “normalen” Unterrichtes. In diesem Bereich beobachtet man eher eine stärkere Abnahme der durch starke Luftbewegung (durch stärkere körperliche Aktivität der Schüler 10.45 Uhr) oder andere Quellen (Kerze an um 9:00 Uhr / Kerze aus 9:20 Uhr oder turbulentes intensives Querlüften z. B. um 8:00 Uhr und 11:30 Uhr) verursachten Partikelanstieg in der Luft.

4 Zusammenfassung / Bewertung

Die Funktionsprüfung der Abluftanlage ergab, dass ein wirksamer Luftwechsel (2-fach/h) gleichmäßig über die Raumlänge realisiert werden kann. Durch diesen Luftwechsel kann auch unter Einhaltung der Abstand- und Belegungshinweise aus dem „Hygieneplan-Corona für die Schulen in Rheinland-Pfalz“ (7. überarbeitete Fassung, gültig ab 22.02.2021) ein gesundheitlich-hygienischer Leitwert von 1.000 ppm CO₂ der Innenraumluft als Mittelwert über die Dauer einer Unterrichtsstunde, wie er in der Handreichung für Lüften und Raumhygiene „Ergänzende Hinweise zum Hygieneplan-Corona für Schulen - Lüften in Schulen in Rheinland-Pfalz“ gefordert wird, eingehalten werden.

Bei den ergänzenden Untersuchungen der Partikelkonzentration (inkl. Aerosole) in der Raumluft des untersuchten Schulsaaes konnte im Präsenzunterricht keine nachweisbare Aufkonzentrierung von Luftpartikeln beobachtet werden.

Aus den durchgeführten Untersuchungen kann deshalb geschlossen werden:

- Das von der Stadt Pirmasens realisierte Abluftsystem erfüllt bei den getroffenen Annahmen und nach DIN EN 12 599:2013 durchgeführten Funktionsprüfung die Anforderungen der „Handreichung für Lüften und Raumhygiene des Landes-Rheinland-Pfalz“, die sich wiederum auf die UBA-Anforderungen an Lüftungskonzeptionen in Gebäuden / Bildungseinrichtungen stützen.
- Orientierende Untersuchungen der Luftpartikelkonzentration zeigen, dass im „normalen Schulbetrieb“ beim Stoßlüften kein Unterschied gegenüber der in Pirmasens realisierten Ablufttechnik erkennbar ist.
- Bei niedrigen Außentemperaturen könnten deshalb unter Einhaltung der Hygienevorschriften das Stoßlüften auf die Pausen verlagert werden, damit der Schulunterricht durch extreme Zugerscheinungen und die Auskühlung der Schulräume nicht unzumutbar beeinträchtigt wird.

Pirmasens, den 20.05.2021

Dipl.-Ing. (FH) Benjamin Pacan

Anhang 1 – Ergänzende Informationen zur Raumluftproblematik in Schulräumen

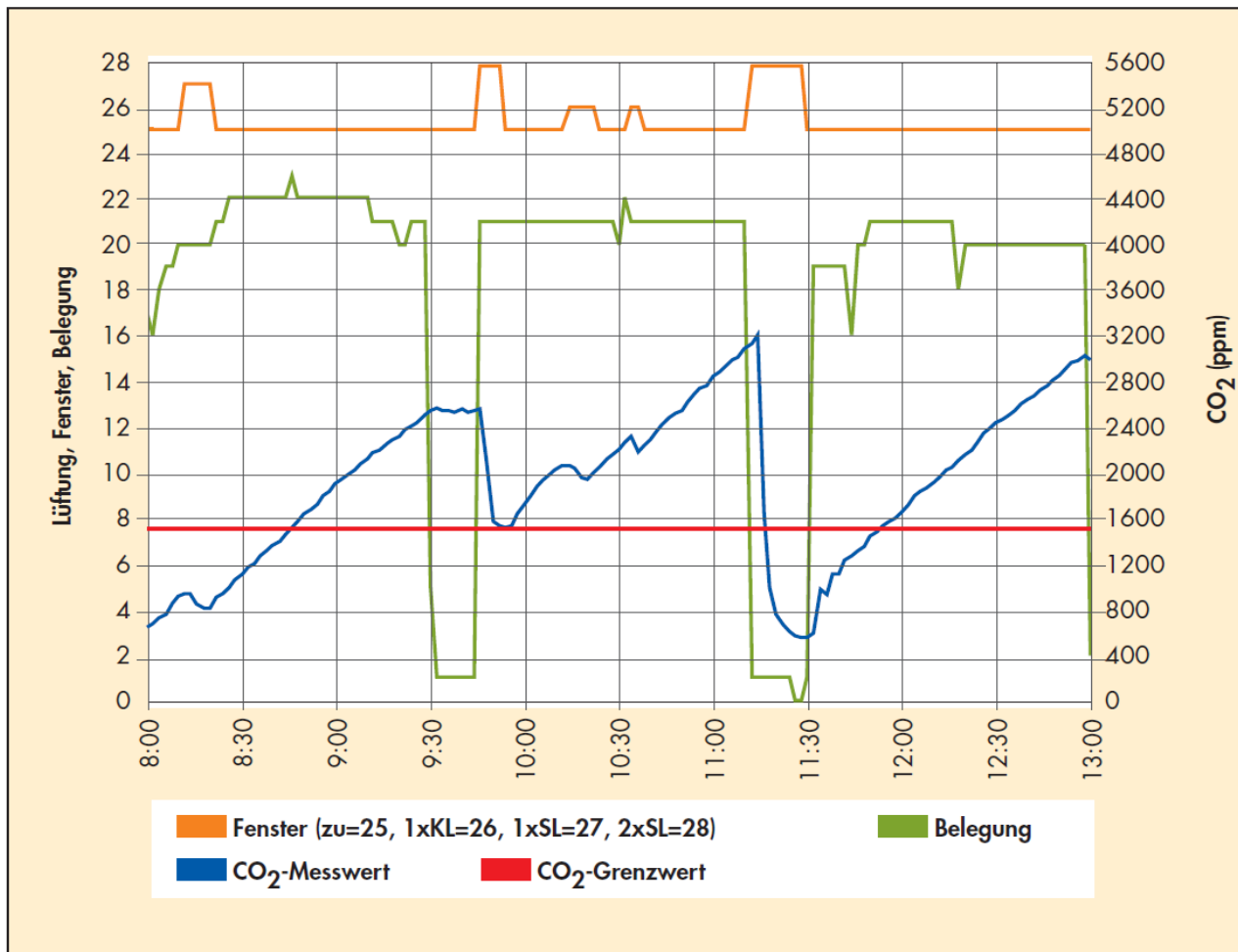


Abb. 8 Wirkung der Fensterlüftung auf die Luftqualität

ARTEN UND GRÖSSENBEREICHE VON PARTIKELN UND PARTIKELFRAKTIONEN IN DER LUFT (UFP = ULTRAFEINSTAUBPARTIKEL)

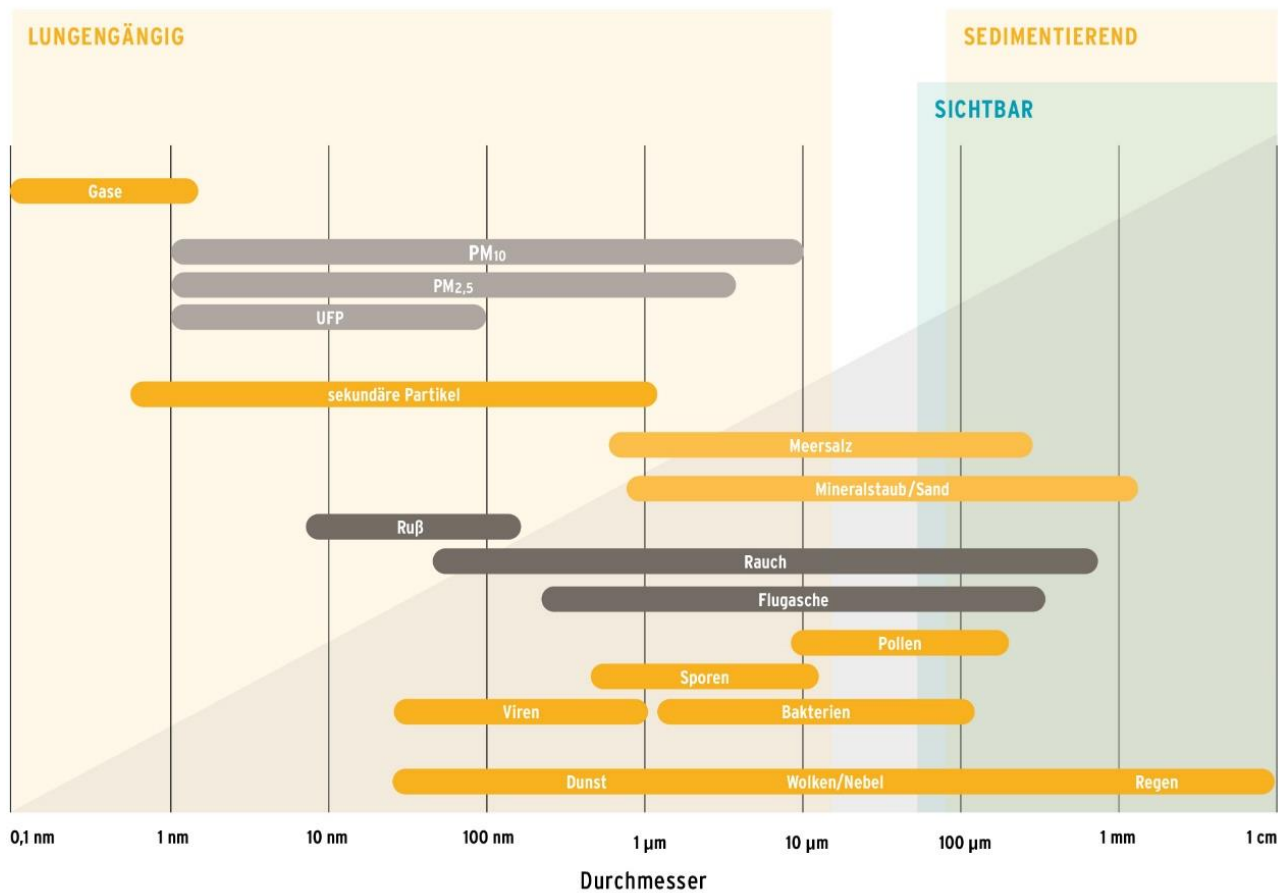


Abb. 9 Größenbereiche von spezifischen Partikelfractionen in der Luft.