



**Machbarkeitsstudie:
Integration von mechanischen
Be- und Entlüftungssystemen –
Martin-Luther-Grundschule**

Auftraggeber

Gemeinde Kirchheim b. München

Aufgestellt

Kirchheim, 22.12.2021

Ingenieurbüro Hausladen GmbH

Sandro Lohs

Lisa Neubert

1. Ausgangslage + mögliche Varianten
2. Planungskonzept – zentrales Be- und Entlüftungssystem (hybrid)
 - Integration der technischen Anlagen (inkl. Aufzeigen der wesentlichen baulichen Maßnahmen)
 - Überschlägige Dimensionierung der technischen Anlagen
3. Planungskonzept dezentral Be- und Entlüftungssystem (hybrid)
 - Grobkonzept Integration der technischen Anlagen (inkl. Aufzeigen der wesentlichen baulichen Maßnahmen)
 - Überschlägige Dimensionierung der technischen Anlagen
4. Grobkostenschätzung (Investitionskosten & betriebsgebundene Kosten)
5. Förderungsmöglichkeiten
6. Fazit

Anhang: Bestandsaufnahme

1. Ausgangslage + mögliche Varianten

Bestand (Ausgangslage):

- Natürliche Belüftung der Klassenräume
- Beeinträchtigung durch Kaltluftabfall im Winter
- Empfohlene coronabedingte Lüftung im Winter nur unter erheblichen Beeinträchtigungen möglich (auskühlen der Räume, Zugscheinungen)

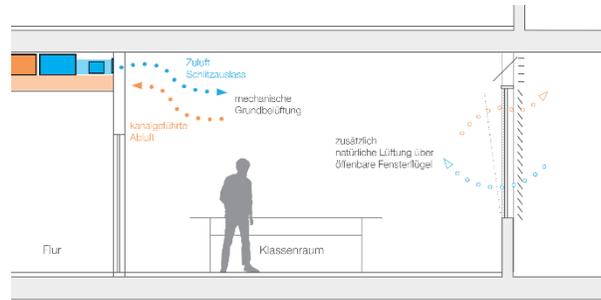
Aufgabe: Untersuchung zur Integration von maschinellen, raumluftechnischen Anlagen

Welche Varianten gibt es?

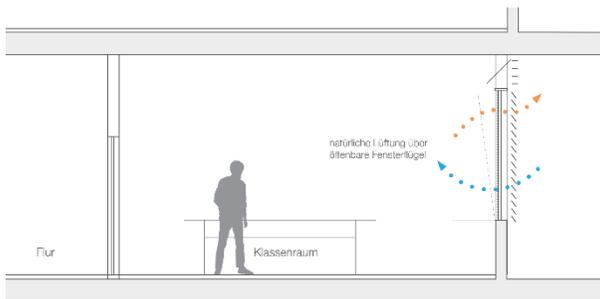
1. Hybridlüftung (zentral oder dezentral)
2. Mechanische Volllüftung (zentral oder dezentral)

Festlegung zur weiteren Betrachtung:

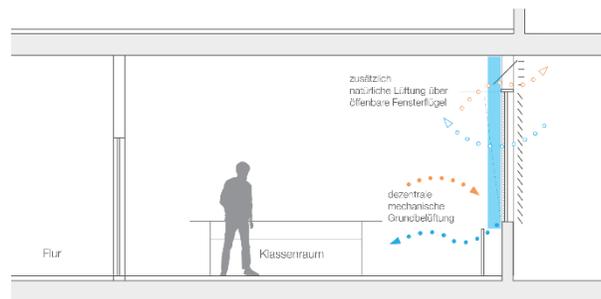
Aufgrund der vorliegenden Gebäudekubaturen (Geschosshöhen, Fensterflächen) ist die Integration einer zentralen mechanischen Volllüftung sowie zentralen Hybridlüftung im Gebäude nicht möglich: Grund dafür sind die diesbezüglichen nicht vorhandenen Installationshöhen sowie Aufstellflächen für zentrale raumluftechnische Anlagen im Gebäude. Daher wird im folgenden eine zentrale raumluftechnische Anlage im Gebäude (Volllüftung oder Hybridlüftung) nicht weiter betrachtet. Wohl dem wird aber eine mögliche Aufstellung für zentrale RLT-Anlagen ausschließlich außerhalb des Gebäudes berücksichtigt. Hierfür kommt das Dach in Frage.



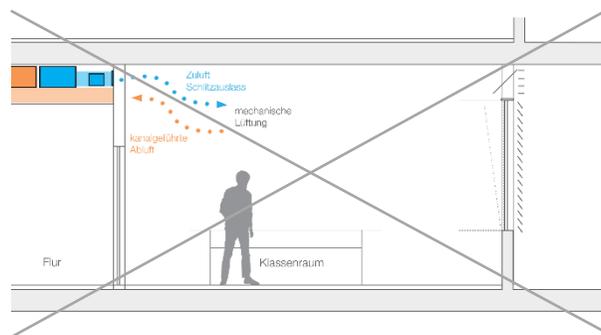
Nachher | Variante A: Hybridlüftung (zentral)



Vorher: Natürliche Fensterlüftung



Nachher | Variante B: Hybridlüftung (dezentral)



Nachher | Variante C: Volllüftung

Anforderungen an die CO₂-Konzentration in Räumen

Unten werden unterschiedliche Anforderungswerte an die CO₂-Konzentration in Räumen dargestellt.

Die CO₂-Konzentration dient als Indikator für die Luftqualität, die Anforderungswerte als Empfehlungen bzw. Richtwerte, insbesondere für die Auslegung von Lüftungsanlagen.

Die Kat. II bzw. III gem. 16798-1 bedeuten mittleres bzw. moderates Maß an Erwartungen, letzteres führt nicht zu gesundheitlichen Risiken, kann jedoch den Komfort verringern.

ASR: Maßnahmen erforderlich

UBA 2008: hygienisch auffällig

DIN EN 16798-1: Kat. III

DIN 1946-2

Schweiz: Spitzenwert

DIN EN ISO 13779: IDA 3

DIN EN 16798-1: Kat. II

Pettenkofer-Zahl

ASR: keine Maßnahmen erforderlich

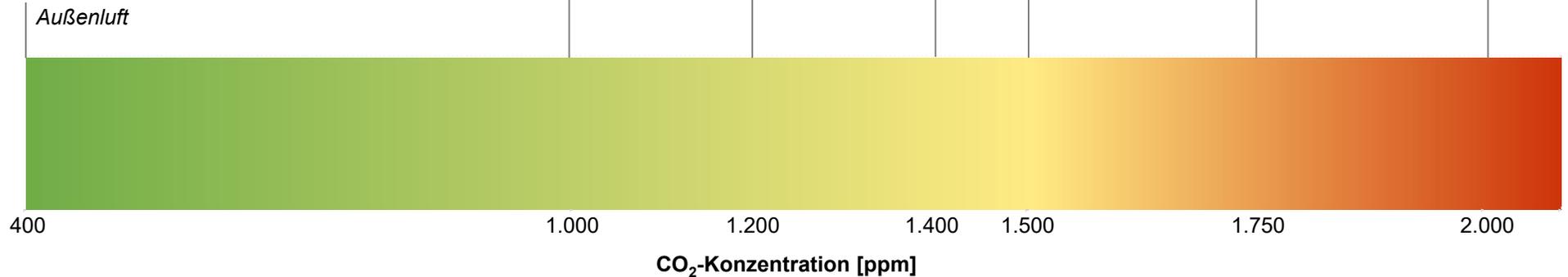
ASR: Auslegung RLT-Anlagen

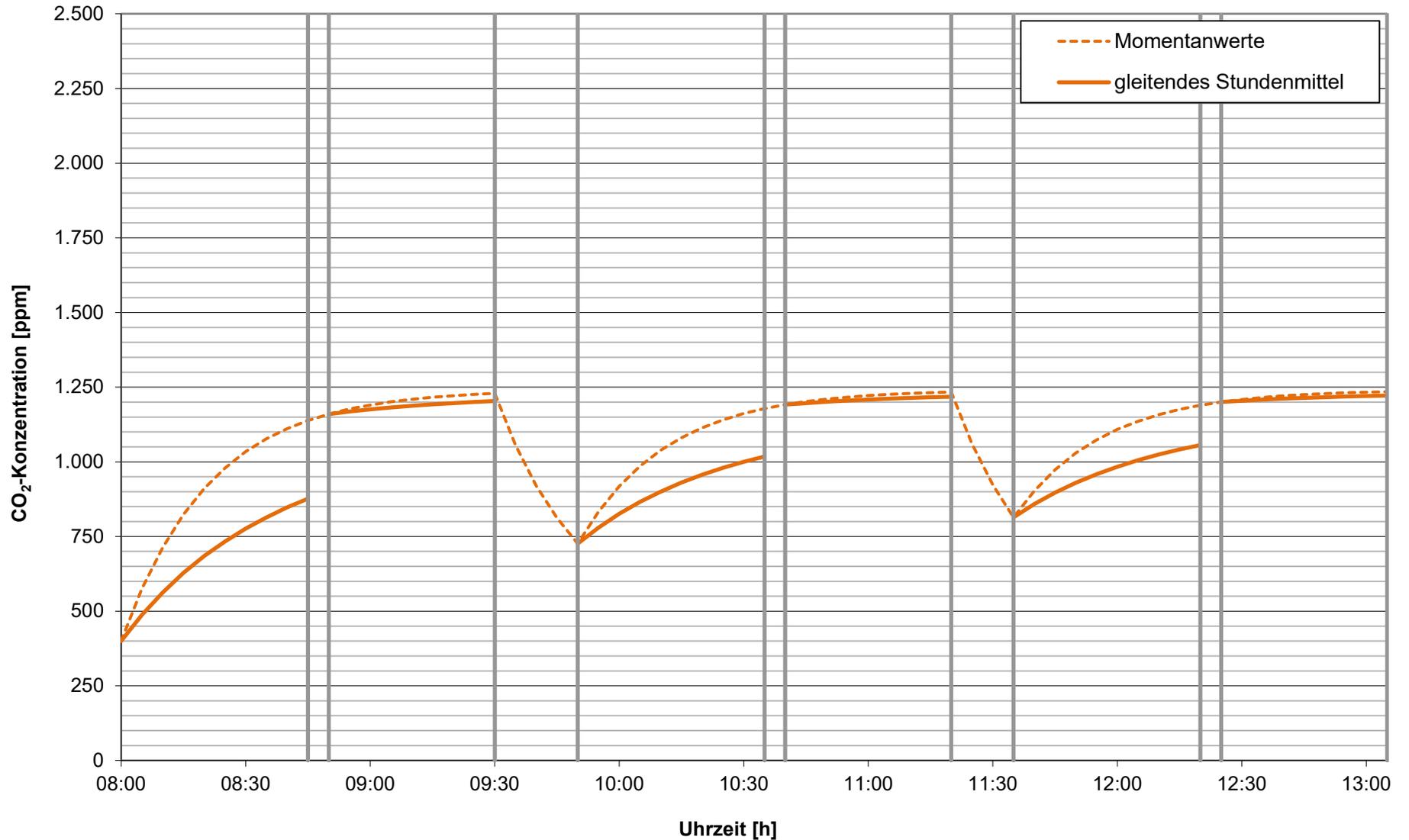
Schweiz: Tagesmittelwert

UBA 2008: hygienisch unbedenklich

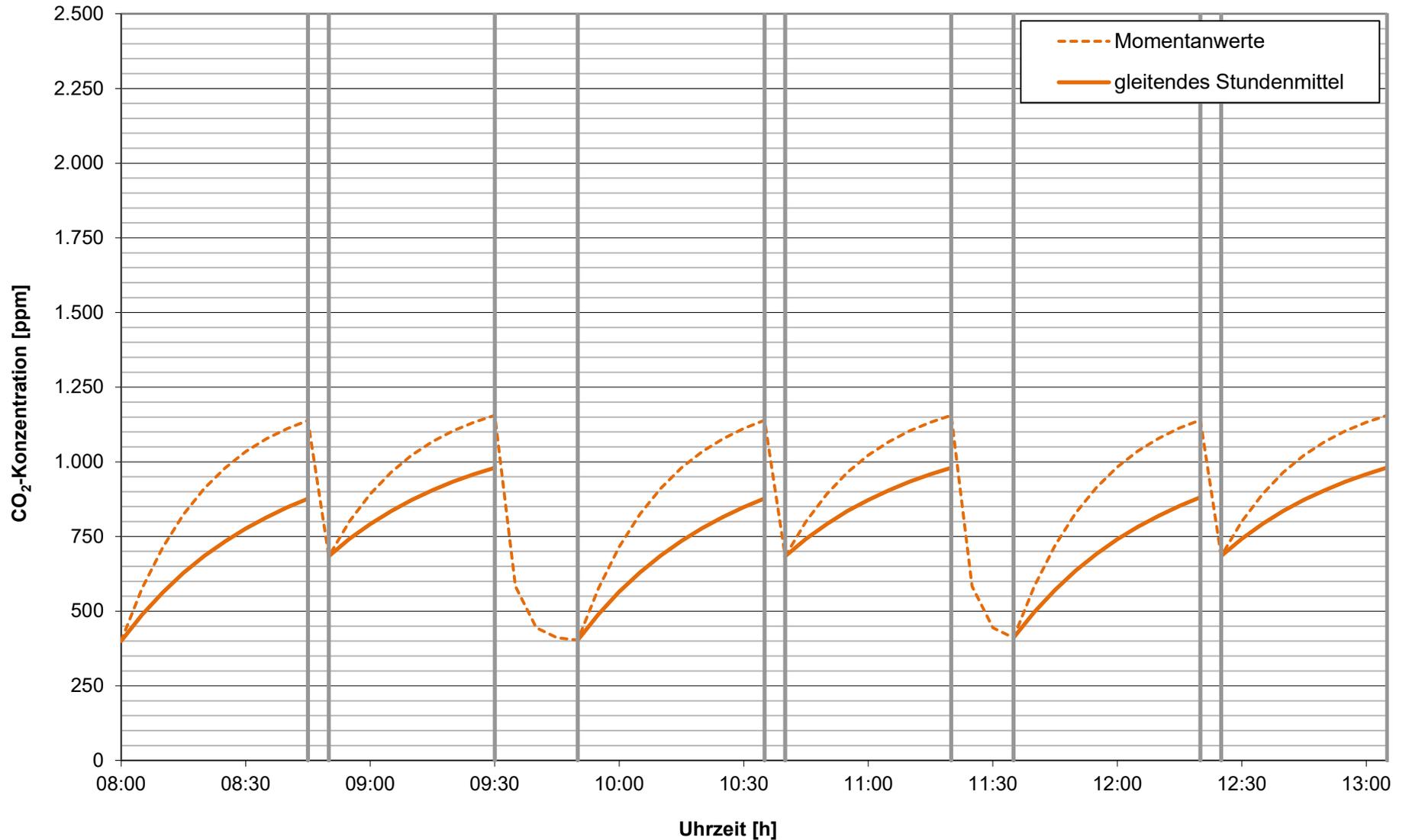
UBA 2018: im Mittel einer Unterrichtseinheit

Außenluft





mechanische Lüftung und Fenster-Stoßlüftung
2,8 h⁻¹ mechanisch + 17 h⁻¹ Stoßlüftung ($\Delta T = 5 \text{ K}$)



Auslegungsgrundlage:

Der Außenluftvolumenstrom des unterstützenden Systems wird nach DIN EN 16798-1 Tabelle B.6 und B.7, Klassenraum, Kategorie III, schadstoffarmes Gebäude, mit 2,4 l/(s m²) festgelegt. Für Standard-Unterrichtsräume mit rund 60m² Grundfläche und Belegung mit 30 Schülern ergibt sich daraus ein Außenluftvolumenstrom von gerundet 20 m³/(h Person)

**Außenluftvolumenstrom
mechanische Lüftung
des Klassenzimmers:**

2,4 l/(s m²)

entspricht

8,64 m³/(h m²)

entspricht
bei einer Raumhöhe von 3 m

ca. 2,8 h⁻¹

Berechnung der CO₂-Konzentration

Randbedingungen

Die mittlere CO₂-Konzentration wird für je ein Klassenzimmer einer Grundschule (GS) bei idealer Durchmischung der Raumluft berechnet.

- CO₂-Konzentration der Außenluft: 400 ppm
- Luftwechselrate bei Fenster-Stoßlüftung: 17 h⁻¹ (ergibt sich bei ~ 5 K Temperaturdifferenz zwischen innen und außen mit einem Öffnungsquerschnitt für einseitige Lüftung gem. ASR = 10,5 % der Grundfläche)

	GS
– Grundfläche	Ca.64m ²
– lichte Raumhöhe	3,0 m
– Raumluftvolumen	192 m ³
– Anzahl Personen ¹⁾	28+1
– CO ₂ -Abgabe ²⁾	15,6 l/h

¹⁾ während der Unterrichtsstunden und Stundenwechsel im Klassenzimmer anwesend

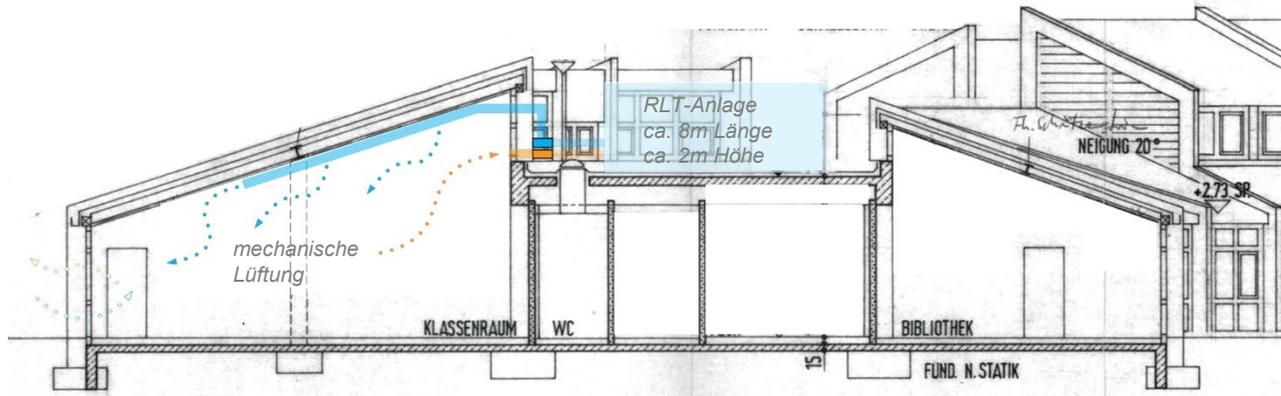
²⁾ je Person nach VDI 6040-2

2. **Planungskonzept –
zentrales Be- und Entlüftungssystem
(hybrid)**

2. Planungskonzept – zentrales Be- und Entlüftungssystem

Die Grundbelüftung erfolgt über eine mechanische Lüftungsanlage mit hocheffizienter Wärmerückgewinnung. Die Luftmenge wird auf den hygienisch notwendigen Außenluftvolumenstrom ausgelegt.

Für Stoßlüftung in den Pausen stehen zusätzlich öffnbare Fenster zur Verfügung.



zusätzliche
Natürliche Lüftung

Vorteile:

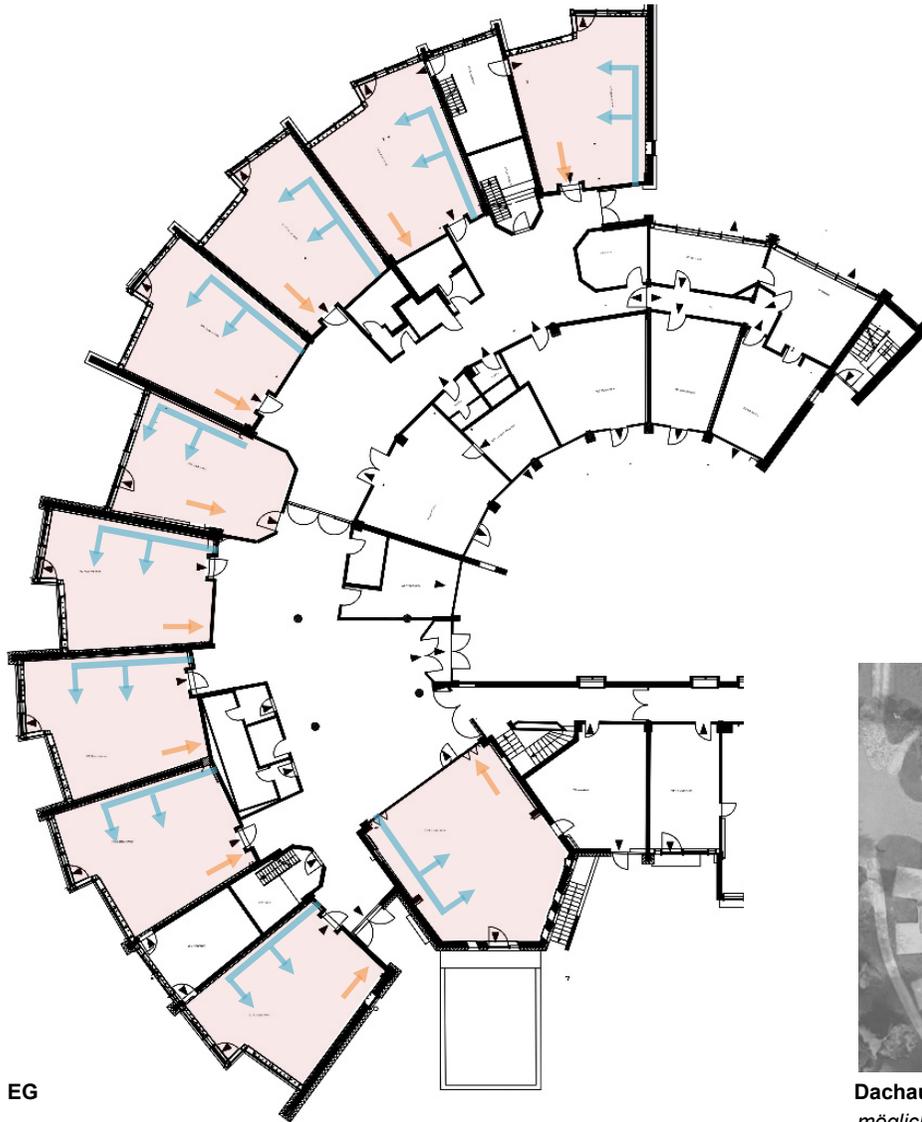
- Gezielte Abfuhr von CO₂ und Schadstoffen
- Nur hygienisch notwendige Luftmenge, wodurch Verbrauchskosten reduziert werden können
- Nutzer kann selbst Einfluss auf gefühlte Luftqualität nehmen
- Zentraler Aufstellort der RLT-Anlage auf dem Dach

Nachteile:

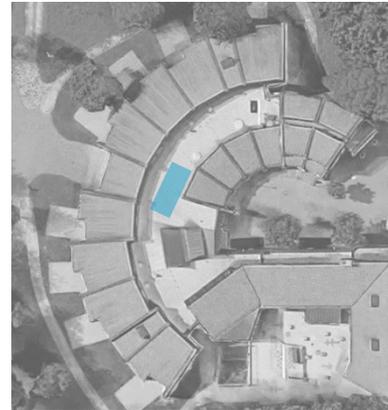
- Technikfläche für Geräte und Installationsraum für Lüftungskanäle auf dem Dach benötigt
- Einschränkung der Belichtung durch Entfall Fensterflächen
- Ohne Kühlregister höherer Wärmeeintrag im Sommer durch ständigen mechanischen Luftwechsel, wenn Außenluft höher als innere Lasten zuzüglich Ventilatorabwärme-> unbehaglich



Dachfläche als mögliche Aufstellfläche einer oder mehrerer zentraler RLT-Anlagen



EG



Dachaufsicht (Bild: Googlemaps)
mögliche Position RLT Anlage

2. Planungskonzept – zentrales Be- und Entlüftungssystem

Integration der technischen Anlagen

Die Zuluft wird kanalgeführt vom Dach kommend an entsprechende vertikal verlaufende Oberlichtfenster geführt. Die Zuluft wird über horizontale Verteilkanäle an entsprechende Deckenauslässe geführt und in die Klassenräume eingebracht.

Die Abluft sollte dabei ebenfalls über vorhandene vertikal verlaufende Oberlichter zentral je Klassenraum abgesaugt werden, um auf ein zusätzliches Kanalnetz im Raum zu verzichten.

Die RLT-Anlage ist in diesem Fall für eine Außenaufstellung auf dem Dach vorgesehen. Die Außenluftansaugung kann dabei direkt am Gerät vorgenommen werden. Die Fortluft ist mit ausreichend Abstand zur Außenluftansaugung zu berücksichtigen. Die Wärmerückgewinnung würde mittels Rotationswärmeübertrager inkl. Feuchterückgewinnung erfolgen.

Überschlägige Dimensionierung der technischen Anlagen

Aus den vorliegenden Unterlagen würde sich unter Berücksichtigung eines hybriden Lüftungskonzepts ein Außenluftvolumenstrom der mechanischen Lüftung von **8,64 m³/(h m²)** ergeben.

Das entspricht bei einer durchschnittlichen Grundfläche von ca. 64m² je Klassenraum rund **550 m³/h**.

Bei gleichzeitigem Betrieb der Klassenräume im EG würde sich dabei eine Gesamtluftmenge von 5.600 m³/h ergeben.

**3. Planungskonzept –
dezentrales Be- und Entlüftungssystem
(hybrid)**

3. Planungskonzept – dezentrales Be- und Entlüftungssystem

Die Grundbelüftung erfolgt über dezentrale mechanische Lüftungsgeräte mit hocheffizienter Wärmerückgewinnung. Die Luftmenge wird auf den hygienisch notwendigen Außenluftvolumenstrom ausgelegt.

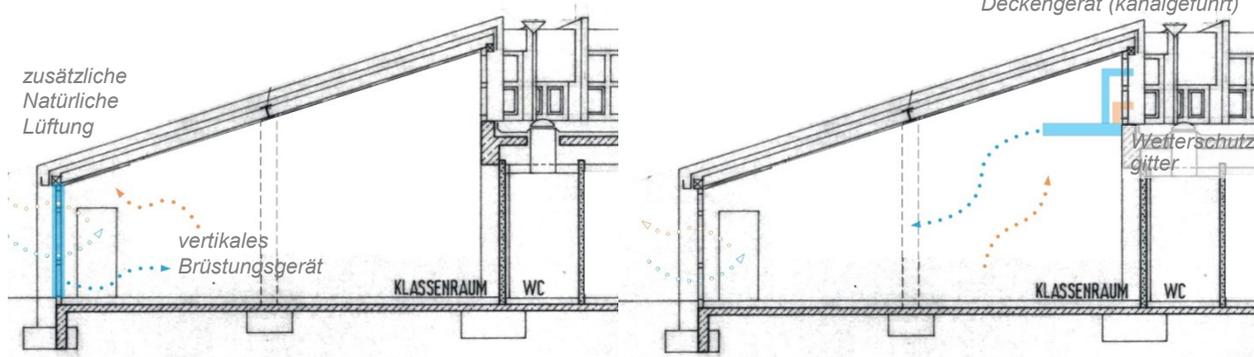
Für Stoßlüftung in den Pausen stehen zusätzlich öffnbare Fenster zur Verfügung.

Vorteile:

- Verzicht auf Luftkanalnetz möglich; keine Brandschutzklappen / Promat
- Keine zusätzlichen Technikräume benötigt
- Nur hygienisch notwendige Luftmenge reduziert Verbrauchskosten
- Nutzer kann selbst Einfluss auf gefühlte Luftqualität nehmen

Nachteile:

- Zusätzlicher Platzbedarf in Klassenzimmern (hochwertige Raumfläche)
- Erhöhte Koordination mit Gewerk Fassade erforderlich; Gestaltungsmöglichkeit eingeschränkt – Integration Wetterschutzgitter
- Tageslichteinschränkung
- Zusätzlicher ELT-Anschluss (für Ventilator, Nachheizregister)
- Ohne Kühlregister höherer Wärmeeintrag im Sommer durch ständigen mechanischen Luftwechsel, wenn Außenluft höher als innere Lasten zuzüglich Ventilatorabwärme-> unbehaglich



Integration: vertikales Lüftungsgerät in der Fassade oder Deckengerät (kanalgeführt von den Oberlichtern)





EG

3. Planungskonzept – dezentrales Be- und Entlüftungssystem

Integration der technischen Anlagen

Mögliche Integration in der Fassade. Die Außenluftansaugung und Fortluftausbringung ist direkt im Bereich der Fassade möglich.

Beim Einbau eines vertikalen Brüstungsgerätes wird die Zuluft im unteren Bereich eingebracht und im oberen Bereich abgesaugt (Misch-Quellluft-Prinzip). Die Wärmerückgewinnung würde mittels Rotationswärmeübertrager inkl. Feuchterückgewinnung erfolgen.

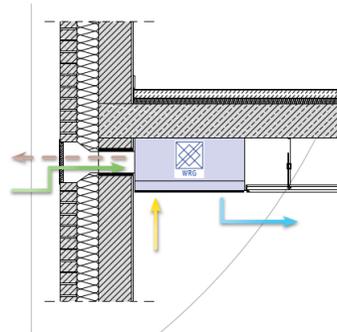
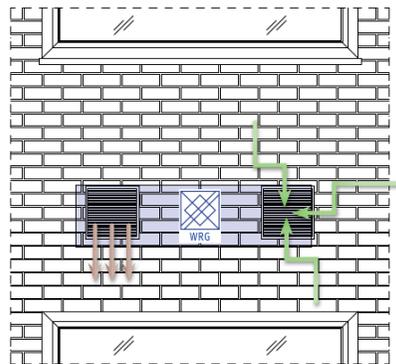
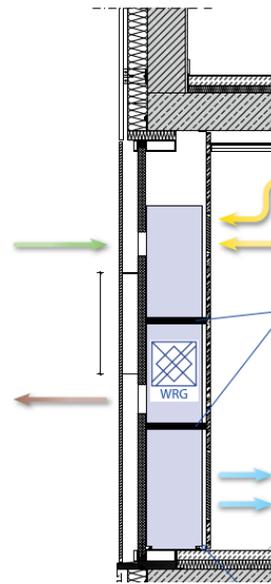
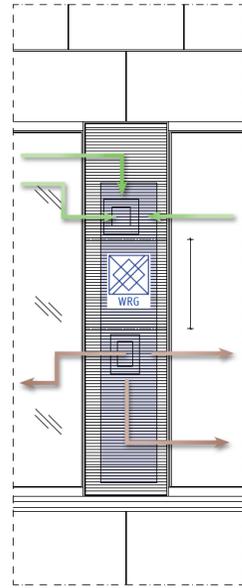
Beim möglichen Einbau eines Deckengerätes wird die Zuluft schräg nach unten verlaufend eingeblasen, die Abluft wird senkrecht abgesaugt (verstellbare Lamellen). Das Deckengerät kann sowohl mit einem direkten Anschluss, als auch mit einem indirekten kanalgeführten Anschluss an die Fassade erfolgen.

Überschlägige Dimensionierung der technischen Anlagen

Aus den vorliegenden Unterlagen würde sich unter Berücksichtigung eines hybriden Lüftungskonzepts ein Außenluftvolumenstrom der mechanischen Lüftung von **8,64 m³/(h m²)** ergeben.

Das entspricht bei einer durchschnittlichen Grundfläche von 64m² je Klassenraum rund **550 m³/h**.

Aufgrund der einzuhaltenden Schalldruckpegel im Raum gehen wir von min. zwei dezentralen Raumlufttechnischen Geräten aus. Die diesbezügliche Maximalleistung je Gerät beträgt 300 m³/h.



3. Planungskonzept – dezentrales Be- und Entlüftungssystem

Infrage kommende Varianten dezentraler Lüftungsgeräte

01: Vertikale Brüstungsgeräte

- min. 2 Geräte je Klassenraum
- Einbau vertikal auf Brüstung oder neben dem Fenster
- inkl. Wärmerückgewinnung (Rotationswämeübertrager)
- Feuchterückgewinnung, kondensatfreier Betrieb
- Außenluftfilter (F7), Abluftfilter (G3)
- ELT-Anschluss erforderlich (Ventilator, Nachheizregister)
- Bedarfsgerechtes Lüften (Boosterfunktion in Pausen möglich)

02: Deckengeräte (kanalgeführt)

- 1 oder max. 2 Geräte je Klassenraum
- Einbau unter der Decke (kanalgeführt) oder direkt horizontal vor Fassade
- inkl. Wärmerückgewinnung (Rotationswämeübertrager)
- Feuchterückgewinnung, kondensatfreier Betrieb
- Außenluftfilter (F7), Abluftfilter (G3)
- Verstellbare Lamellen zur Optimierung der Luftströmung
- Bedarfsgerechtes Lüften (Boosterfunktion in Pausen möglich)

Abbildungen: Trox.de

**4. Grobkostenschätzung (Investitionskosten
& betriebsgebundene Kosten)**

4. Grobkostenschätzung (Investitionskosten & betriebsgebundene Kosten je Klassenraum)

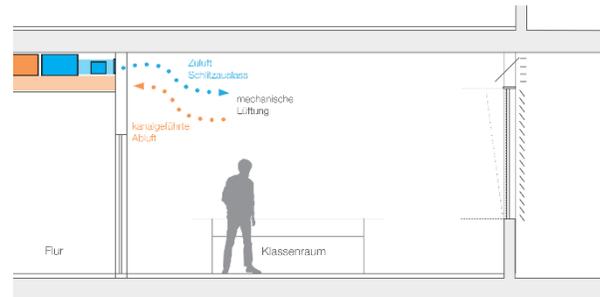
Raumluftechnik zentral:

Kosten Raumluftechnik, MSR:

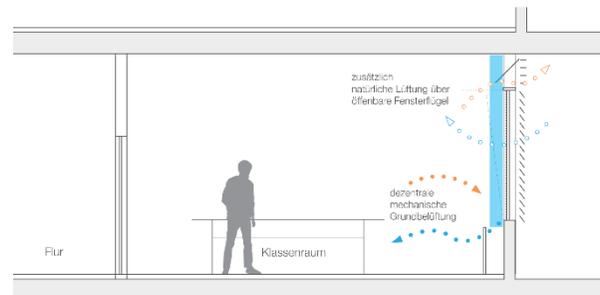
- Investition Technischer Ausbau:
ca. 13.000,00 € je Klassenraum
- Wartung / Instandhaltung:
Vergleichsneutral

Planungs- als auch Errichtungskosten anderer
Fachplaner (z. B. Architekt, ELT) sind nicht erfasst.
z. B.

- ELT Spannungsversorgung,
- Fassadendurchdringungen
- Technikräume



Hybridlüftung (zentral)



Hybridlüftung (dezentral)

Raumluftechnik dezentral:

Kosten Heizung, Raumluftechnik, MSR:

- Investition Technischer Ausbau:
ca. 18.000,00 € je Klassenraum
- Wartung / Instandhaltung:
Vergleichsneutral

Planungs- als auch Errichtungskosten anderer
Fachplaner (z. B. Architekt, ELT) sind nicht erfasst.
z. B.

- ELT Spannungsversorgung,
- Fassadendurchdringungen

Vergleich Lüftungsvarianten Klassenzimmer

	Investitionskosten	Wartungskosten	Verbrauchskosten	Luftqualität	Schallemission (von innen)
Natürliche Lüftung (IST-Stand)	gering	gering	mittel	mittel	gut
Hybridlüftung Zentral	mittel	mittel	mittel	gut	gut
Hybridlüftung Dezentral	mittel / hoch	mittel	mittel	gut	mittel

5. Förderungsmöglichkeiten

5. Förderungsmöglichkeiten

Bundesförderung für effiziente Gebäude – Einzelmaßnahmen (BEG EM) -

Einzelmaßnahme: „Erstinstallation / Erneuerung von Lüftungsanlagen – Nichtwohngebäude“

Gefördert wird die Umsetzung folgender Maßnahmen:

bedarfsgeregelte Zu- und Abluftsysteme mit Wärmerückgewinnung, die Feuchte-, Kohlendioxid- oder Mischgasgeführt geführt sind.

Die Anlage muss so ausgelegt sein, dass bei Auslegungsvolumenstrom die auf das Förder-volumen bezogene elektrische Ventilatorleistung je Ventilator den Grenzwert der Kategorie SFP 3 nach DIN 16798-3:2017-11 nicht überschreitet (Validierungslastbedingung). Das Luftleitungsnetz muss der Dichtheitsklasse B nach DIN Euronorm 15727:2010-10 (Luftleitungen mit rundem und eckigem Querschnitt), DIN Euronorm 12237:2003-07 (Luftleitungsformteile mit rundem Querschnitt) und DIN Euronorm 1507:2006-07 (Luftleitungsformteile mit eckigem Querschnitt) entsprechen.

- Förderungsprogramm des BAFA (Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle)
- Förderfähige Kosten für alle energetische Sanierungsmaßnahmen in einem Kalenderjahr sind gedeckelt auf 1000 €/m² Nettogrundfläche, insgesamt auf maximal 15 Millionen Euro
- Fördersatz beträgt 20% der förderfähigen Kosten

Förderprogramm stationäre raumlufttechnische Anlagen sowie Zuluft- und Abluftventilatoren

- Förderungsprogramm des BAFA (Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle)
- Förderung (Versionsnummer 4.0) endet vorerst Ende 2021
- Gefördert wurden die Investitionsausgaben sowie die Ausgaben für Planung und Montage in Höhe von bis zu 80 Prozent der förderfähigen Ausgaben
- Förderung erst bei einem Luftwechsel von 25m³/h P

6. Fazit

Sowohl zentrale als auch dezentrale raumlufttechnische Anlagen können einen Beitrag zur Verbesserung der Raumlufthqualität, insbesondere in der kalten Jahreszeit leisten. Die Lüftungssysteme sind so ausgelegt, dass sie einen personenbezogenen Mindestluftwechsel über Außenluft bereitstellen und zusammen mit der natürlichen Fensterlüftung ein „hybrides Lüftungskonzept“ ermöglichen.

Die mögliche Kühlleistung bei diesen Systemen ist aufgrund des angesetzten Mindestluftwechsels, den physikalischen Eigenschaften des Wärmeträgermediums Luft (spezifische Wärmekapazität und Dichte) sowie den Grenzen der Einblasttemperatur sehr begrenzt. Einen nennenswerten Beitrag zur Gebäudekühlung können diese Systeme im gegebenen Anwendungsfall demzufolge nicht leisten.

Der Beitrag, den diese technischen Systeme in Zeiten der Pandemie zur Verringerung einer ggf. vorhandenen Virenlast in einem Raum beitragen können, kann im Vorfeld nicht beziffert werden.

Es sind die verschiedensten baulichen Faktoren (Möbiliar, mobile Trennwände), thermischen Kräfte (Betriebszustand Heizung, Personenanzahl, natürliche Lüftung, Oberflächentemperaturen der raumumschließenden Flächen) sowie die Verortung einer ggf. infizierten Person (was in der Regel nicht bekannt ist) in Bezug auf die sich ergebenden Luftströmungen im Raum zu setzen.

Die Vor- und Nachteile beider Systeme, also einer zentralen Anlage und einer dezentralen Anlage wurden in vorliegender Machbarkeitsstudie erläutert. Ein wesentlicher Vorteil dezentraler Systeme im Vergleich zu zentralen Anlagen wäre der Eingriff in die Gebäudesubstanz, der damit geringere bauliche Aufwand zum nachträglichen Einbau und die damit verbundenen Auswirkungen auf die Gebäudenutzung. Beide Systeme erfordern eine gesamtheitliche, interdisziplinäre Herangehensweise unter Einbezug aller notwendigen Fachdisziplinen und eine entsprechende Planungs-, Ausschreibungs-, und Ausführungszeit.

Die Martin-Luther-Grundschule bietet über die vorhandenen Öffnungsmöglichkeiten der Fenster und deren Anordnung grundsätzlich sehr gute Voraussetzungen für eine ausreichende natürliche Lüftung. Neben der Möglichkeit der einseitigen Fensterlüftung besteht innerhalb fast aller Klassenräume zudem die Möglichkeit der Querlüftung über höhenversetzte, öffnbare Fenster an den gegenüberliegenden Fassaden. Die Schule befindet sich einer ruhigen Ortslage und die natürliche Lüftung wird durch Schallimmissionen von außen nicht beeinträchtigt.

Aufgrund der guten Ausgangslage in den Möglichkeiten der natürlichen Fensterlüftung ist durch die Gemeinde abzuwägen, ob die zu tätigen finanziellen Aufwendungen für eine Nachrüstung technischer Systeme im Verhältnis zu einer zusätzlichen Verbesserung der Raumlufthqualität stehen. In dieser Entscheidungsfindung sollten auch die Erfahrungswerte der vergangenen Jahre im Betrieb der Schulen berücksichtigt werden.

Der Herausforderung nach der Frage welches Maß an Technik unsere Häuser wirklich brauchen bzw. noch vertragen müssen wir uns täglich gemeinsam stellen.