



Wärme, Luft und Akustik in Unterrichtsräumen – Ergebnisse einer Feldstudie in Nordrhein-Westfalen

Tobias Burgholz

Feldstudie

Ausgangssituation und Motivation

- 33.000 allgemeinbildende Schulen in Deutschland
→ weniger als 1 von 10 Schulen ist maschinell belüftet
- Luftqualität und Raumakustik in Schulen besonders kritisch
 - hohe Belegungsdichten, lange Aufenthaltszeiten
 - Kinder in Bezug auf Innenraumbelastungen besonders empfindlich
 - wachsende Anforderungen durch Paradigmenwechsel
 - Nachmittagsunterricht
 - moderne Unterrichtsformen
 - Inklusion
- Auswirkungen schlechter Luftqualität und Raumakustik
 - Konzentration und Leistungsfähigkeit werden beeinträchtigt
→ Lernbereitschaft sinkt
→ Fehlzeiten werden begünstigt, die Gesundheit negativ beeinflusst



https://www.freepik.com/free-photo/schoolchildren-leaning-table-sleeping_1250226.htm

Gute Raumlufthqualität, geeignete Raumakustik und angemessene Beleuchtung sind unbedingte Voraussetzungen für gelingendes Lernen und Lehren.

Ziele der Feldstudie

Status im Bereich Luftqualitätsmanagement, Akustik und Beleuchtung erfassen

nicht Ziel der Feldstudie

Intervention (Vorgabe eines bestimmten Lüftungsverhaltens)

Ablauf der Feldstudie

eintägige Messungen zwischen April und Juli 2019 unter Nutzungsbedingungen

Werden Klassenräume den ständig wachsenden Anforderungen gerecht?

Feldstudie

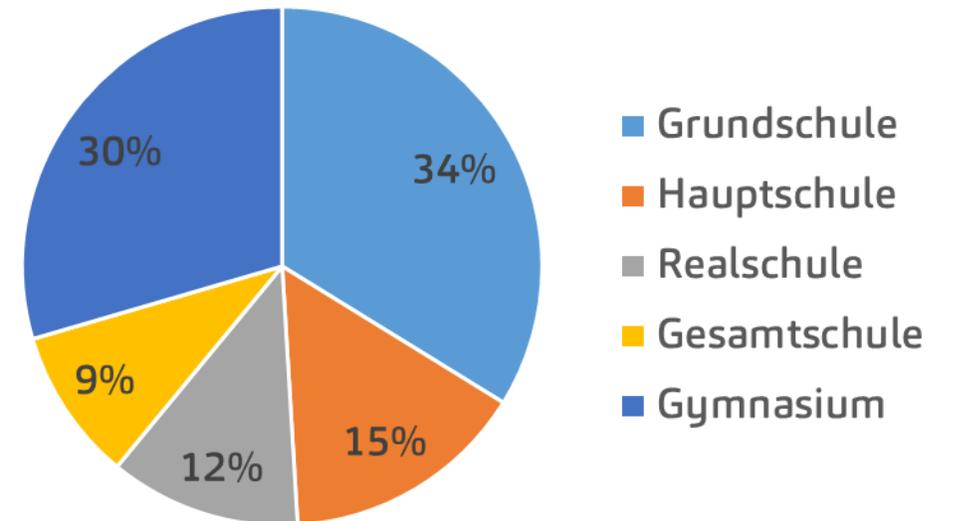
Wo wurde gemessen?

Auswahl der Gebäude und Räume

- Großteil der Schulen in Aachen, ergänzende Messungen in Neukirchen-Vluyn
- möglichst verschiedene Gebäudetypen und Sanierungsstandards
- möglichst viele maschinell belüftete Räume (nicht repräsentativ!)

	Schulen gesamt	Räume Akustik	Räume Luft/Bel.	UE Luft
Grundschule	8	18	15	71
Hauptschule	4	9	8	32
Realschule	3	10	8	25
Gesamtschule	2	4	4	20
Gymnasium	6	15	13	62
Σ	23	56	48	210

Unterrichtseinheiten nach Schulform



Feldstudie

Was wurde gemessen?



LQ: Luftqualität
 TK: Thermischer Komfort
 AK: Akustischer Komfort
 VK: Visueller Komfort

LQ	TK	VK	AK	Größe	Einheit	
✓				CO ₂ -Konzentration	ppm	fortlaufend während des Unterrichts
✓				TVOC-Konzentration (Isobuten-Äq.)	ppb	
✓				Partikelgrößenverteilung und -konzentr.	div.	
	✓			Raumlufttemperatur	°C	
	✓			relative Luftfeuchtigkeit	–	
	✓			Globetemperatur	°C	
		✓		Beleuchtungsstärke	lx	während Pause
			✓	Grundrauschen mit geschl. Fenstern	dB(A)	im unbesetzten Klassenraum
			✓	Grundrauschen mit gekippten Fenstern	dB(A)	
			✓	Nachhallzeit	s	

außerdem: Nutzerverhalten (Belegung, Fenster- und Türöffnungen, Beleuchtung, ...)

Feldstudie

Wie wurde gemessen?

Typischer Messtag

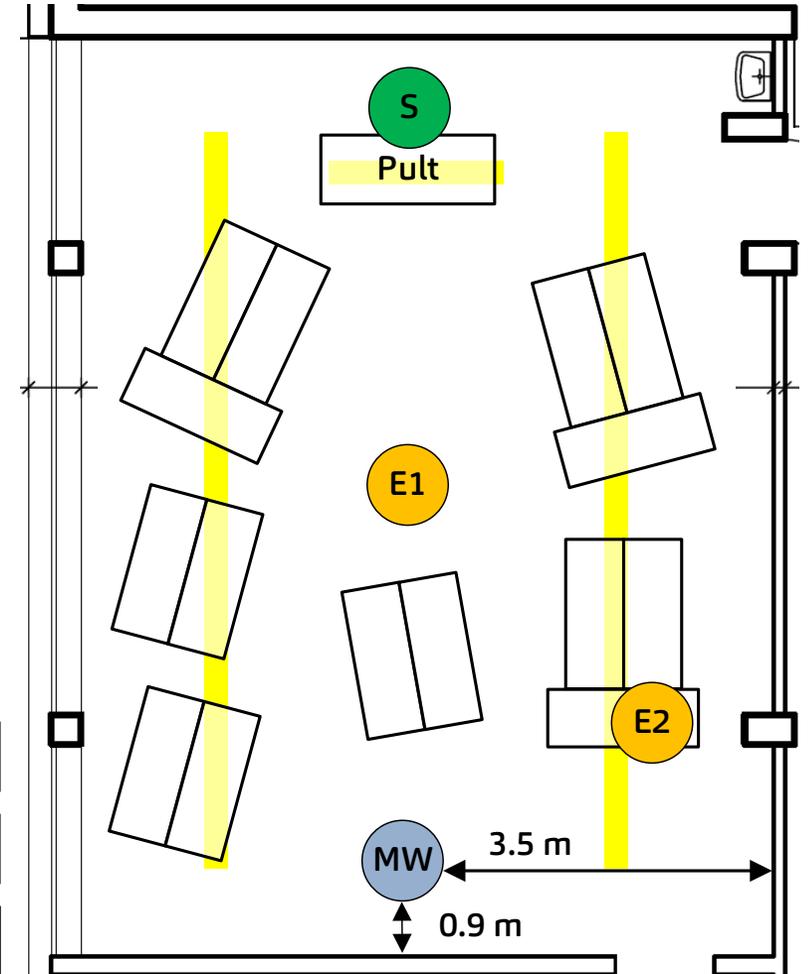
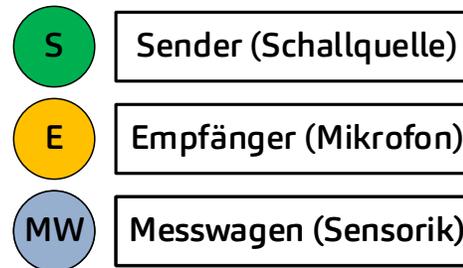
- 07:30: Ankunft und Aufbau
- 08:00 bis 14:00: Luftqualitätsmessung während Unterricht
- 11:45: Beleuchtungsmessung während Pause
- 14:30 bis 16:30: Akustikmessung nach Unterricht

Messstrategie Luftqualität

- Beibehaltung originaler Sitzordnung
- Messwagen mit Sensorik hinten mittig vor Rückwand
- Messwertaufnahme kontinuierlich alle 5 Sekunden
- gleitender Mittelwert über 3-Minuten-Fenster

Messstrategie Akustik

- Messung mit binauralem Kunstkopf (H = 1.25 m)
- zwei verschiedene Empfängerpositionen



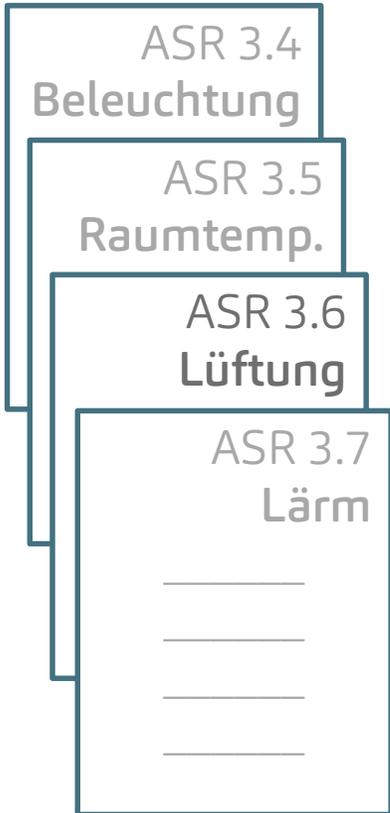
Luftqualität in Klassenräumen

CO₂ als Indikator für die Raumluftqualität

Technische Regeln für Arbeitsstätten (ASR)

Bekanntmachung durch das Bundesministerium für Arbeit und Soziales

CO ₂ (ppm)	Hygienische Bewertung (*)	Maßnahmen
< 1000	unbedenklich	<ul style="list-style-type: none">keine weiteren Maßnahmen erforderlich
1000 – 2000	auffällig	<ul style="list-style-type: none">Lüftungsverhalten überprüfen/verbessernLüftungsplan aufstellenLüftungsmaßnahmen (z. B. Luftwechsel erhöhen)
> 2000	inakzeptabel	<ul style="list-style-type: none">weitergehende Maßnahmen erforderlich



(*) Leitfaden für die Innenraumhygiene in Schulgebäuden (Umweltbundesamt)

Wirksamkeit verschiedener Lüftungskonzepte

Fensterlüftung

Fensterlüftung

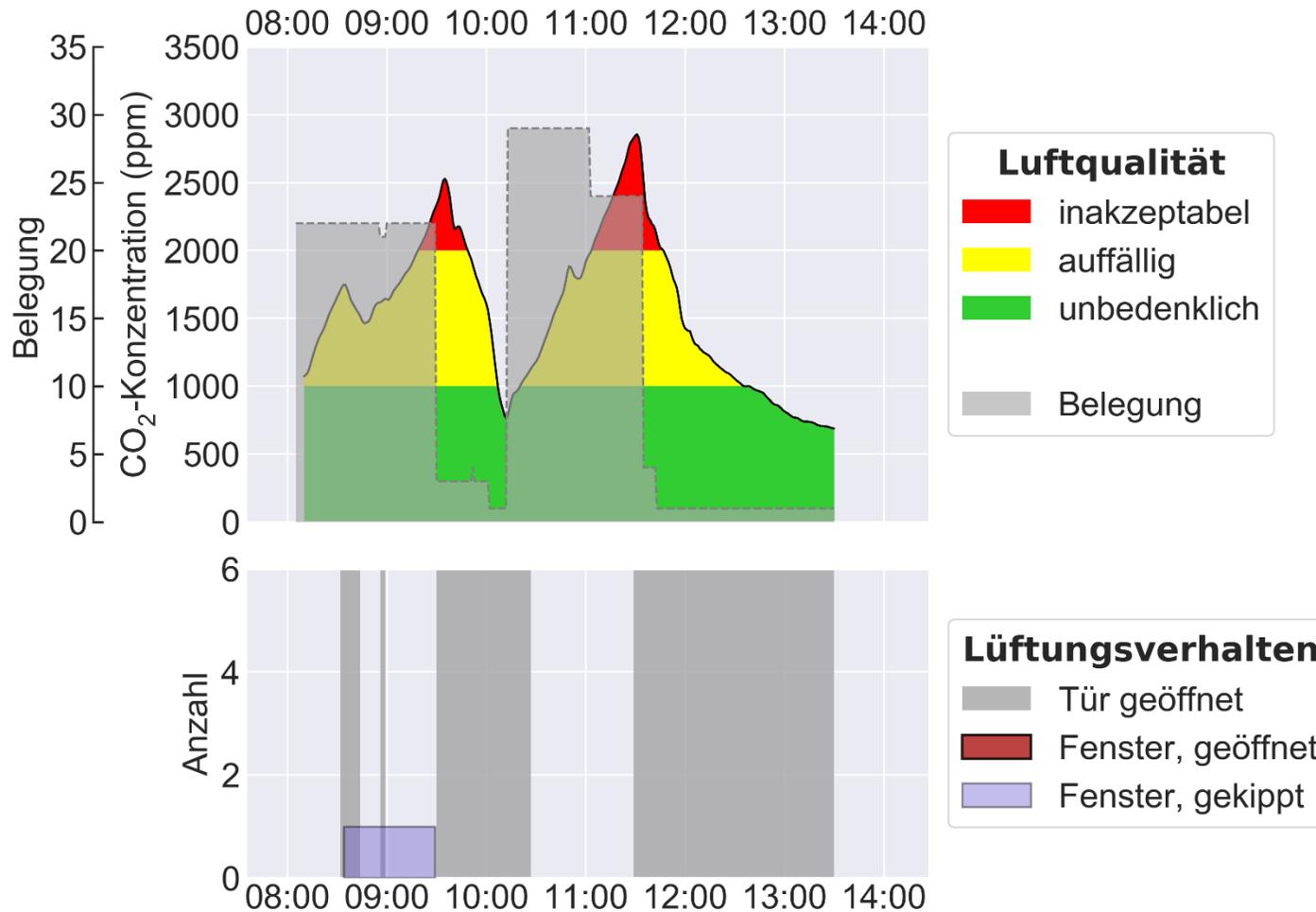
Grundlüftung mit Fensterlüftung

Maschinelle Lüftung (dezentral/zentral)

	Fenster	GL + Fenster	maschinell
Grundschule	8	2	5
Hauptschule	7	1	0
Realschule	6	0	2
Gesamtschule	2	1	0
Gymnasium	10	1	2
Σ	33	5	9

Wirksamkeit verschiedener Lüftungskonzepte

Fensterlüftung (geringe Lüftungsaktivität)



Luftqualität

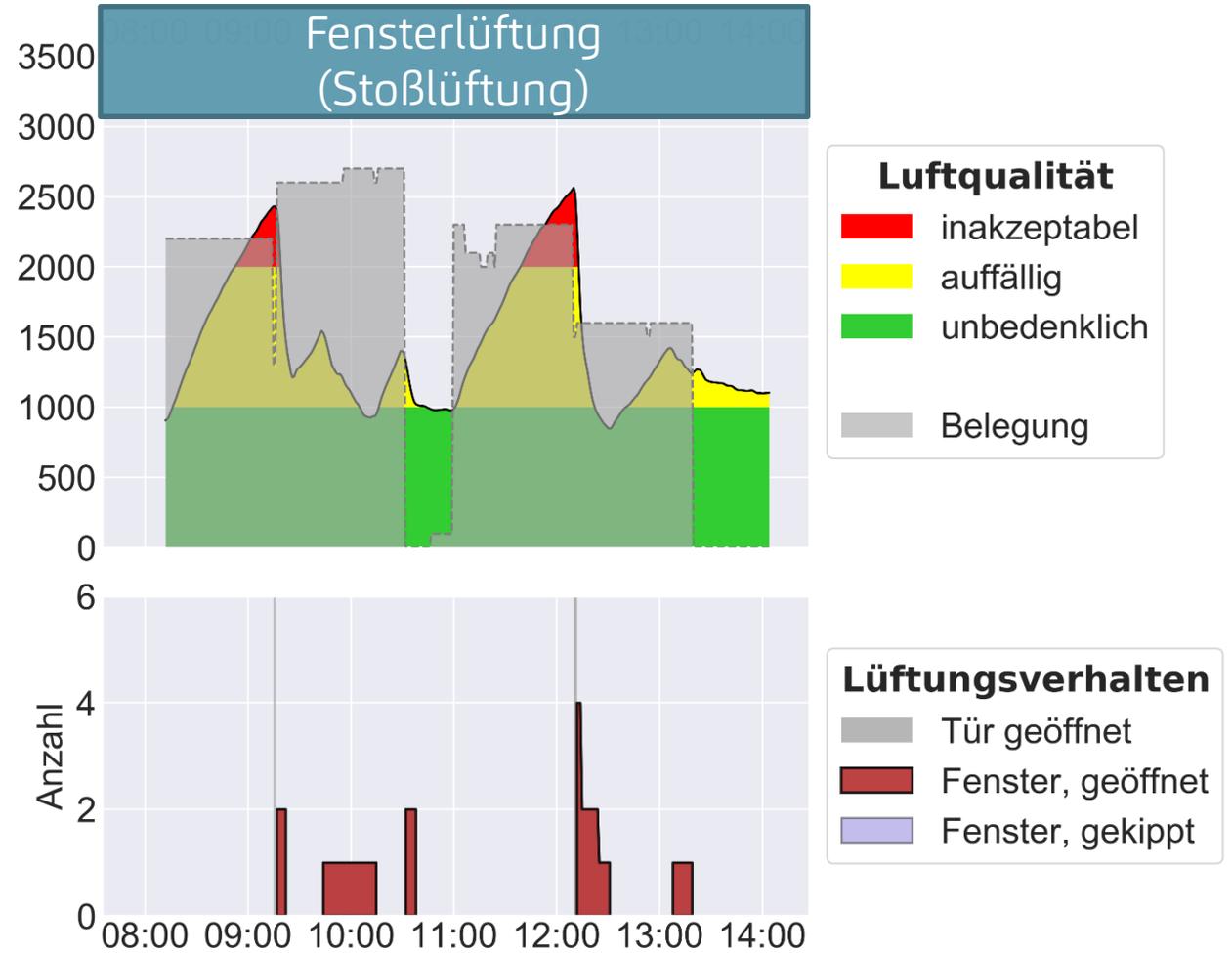
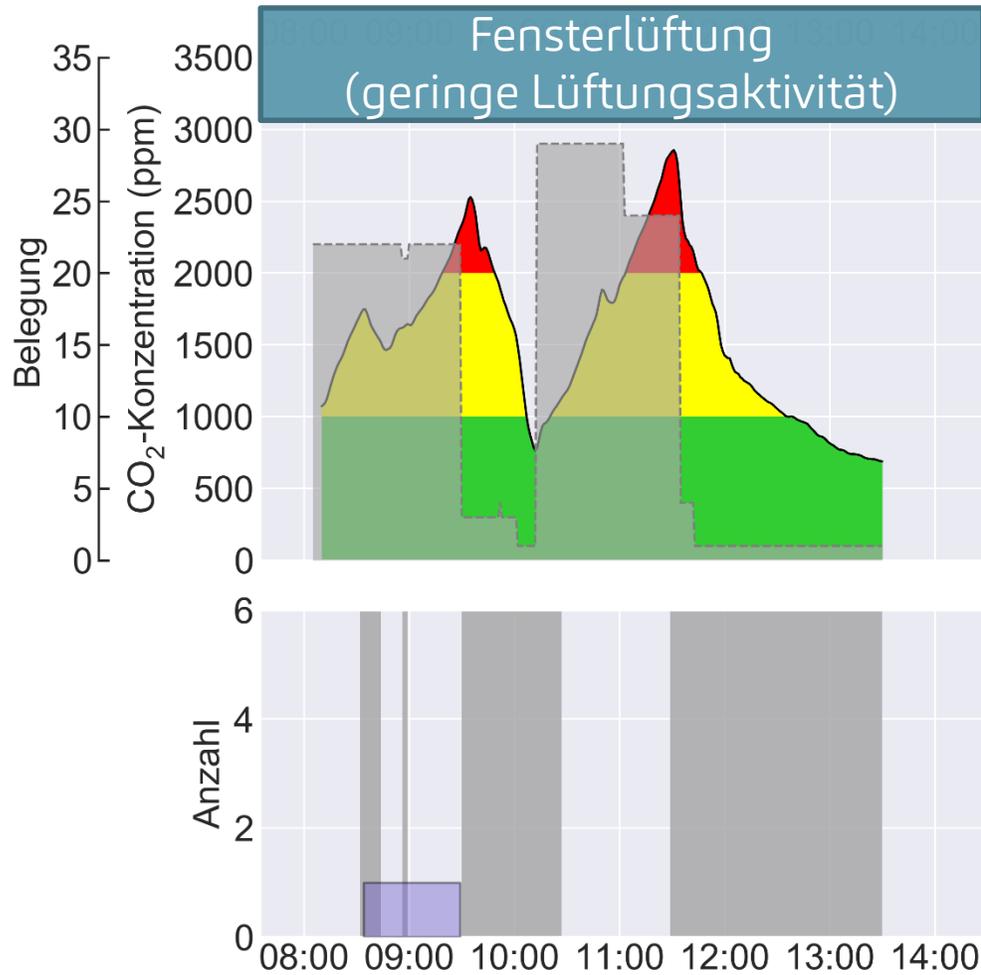
- sägezahnartiger Verlauf mit Peaks bei 2500 und 2800 ppm CO₂
- Wechsel zwischen „hygienisch auffällig“ und „inakzeptabel“

Luftqualitätsmanagement

- zweite Schulstunde Kipplüftung
- ca. 10 Minuten Querlüftung
- anschließend nur Tür geöffnet

Wirksamkeit verschiedener Lüftungskonzepte

Fensterlüftung (Stoßlüftung)



Lüftungsverhalten

Gründe für unzureichende Fensterlüftung (Auszug)

- zu warm, zu kalt
- zu laut
 - Sportunterricht, Straße, Rasenmäher, Taube, ...
- zu gefährlich
- zu unpraktisch
 - weht auf, knallt zu, Blätter fliegen weg, ...
- zu wenig Platz
 - Fensterbank dient als Abstellplatz
 - Fenster öffnen in Sitzbereich
- sonstige Gründe
 - abgeschlossen, Griff klemmt/fehlt
 - „Vogelnest“
 - nicht hat dran gedacht



<http://a69.g.akamai.net/n/69/10688/v1/img5.allocine.fr/acmedia/medias/nmedia/18/98/48/19/20595548.jpg>

Wirksamkeit verschiedener Lüftungskonzepte

Grundlüftung mit Fensterlüftung

Fensterlüftung

Grundlüftung mit Fensterlüftung

Maschinelle Lüftung (dezentral/zentral)

	Fenster	GL + Fenster	maschinell
Grundschule	8	2	5
Hauptschule	7	1	0
Realschule	6	0	2
Gesamtschule	2	1	0
Gymnasium	10	1	2
Σ	33	5	9

Lüftungskonzepte

Zuluft-Grundlüftung mit manueller Fensteröffnung



Grundlüftung

- dauerhafte Bereitstellung eines geringen Volumenstroms
- manuelle Fensterlüftung trotzdem notwendig



Wirksamkeit verschiedener Lüftungskonzepte

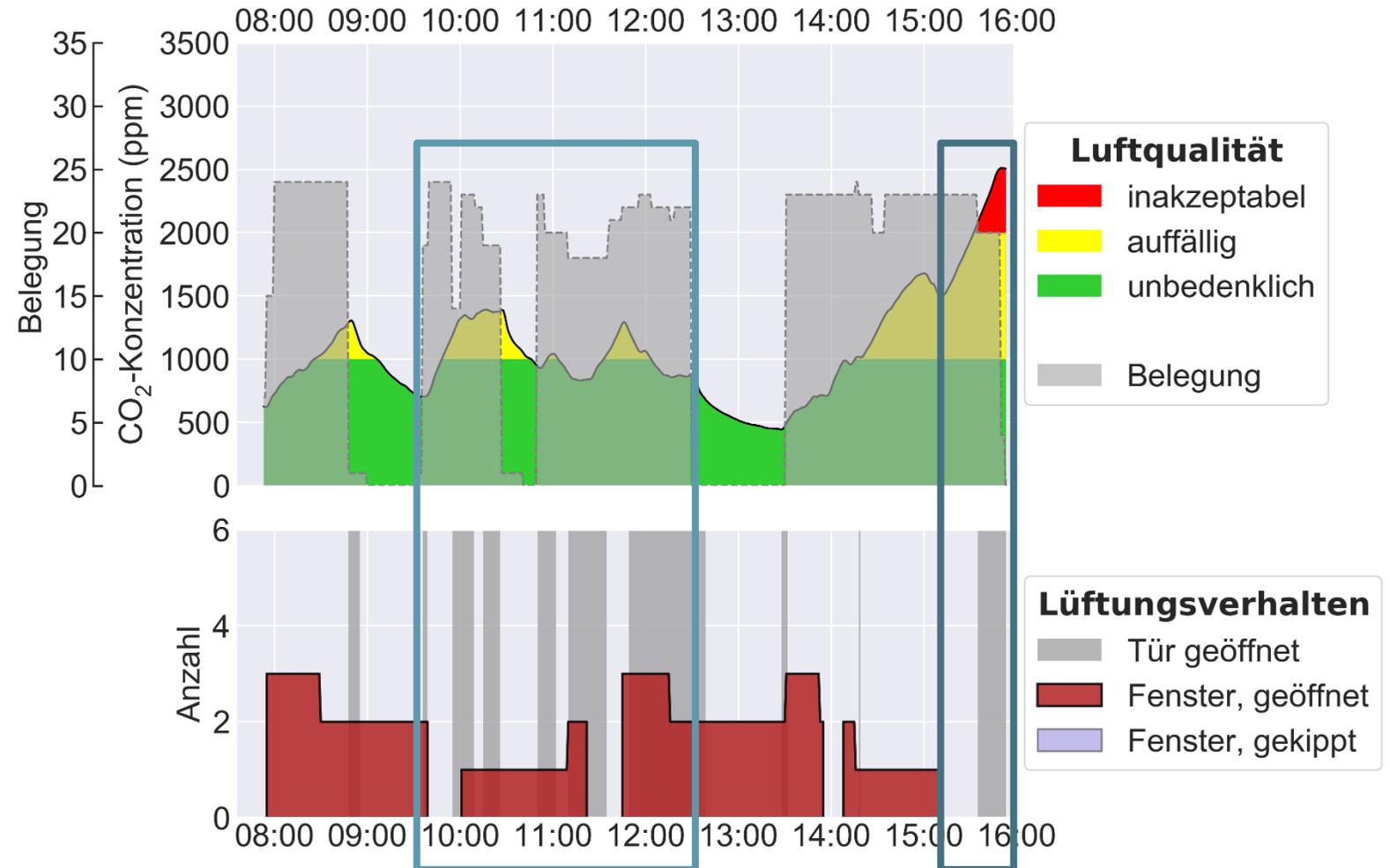
Zuluft-Grundlüftung mit manueller Fensteröffnung

rege Lüftungsaktivität

- fast durchgehend 1-3 Fenster über längere Zeit geöffnet
- Querlüftung
- Wechsel zwischen hygienisch unbedenklich und auffällig
- CO₂ durchgehend < 1400 ppm

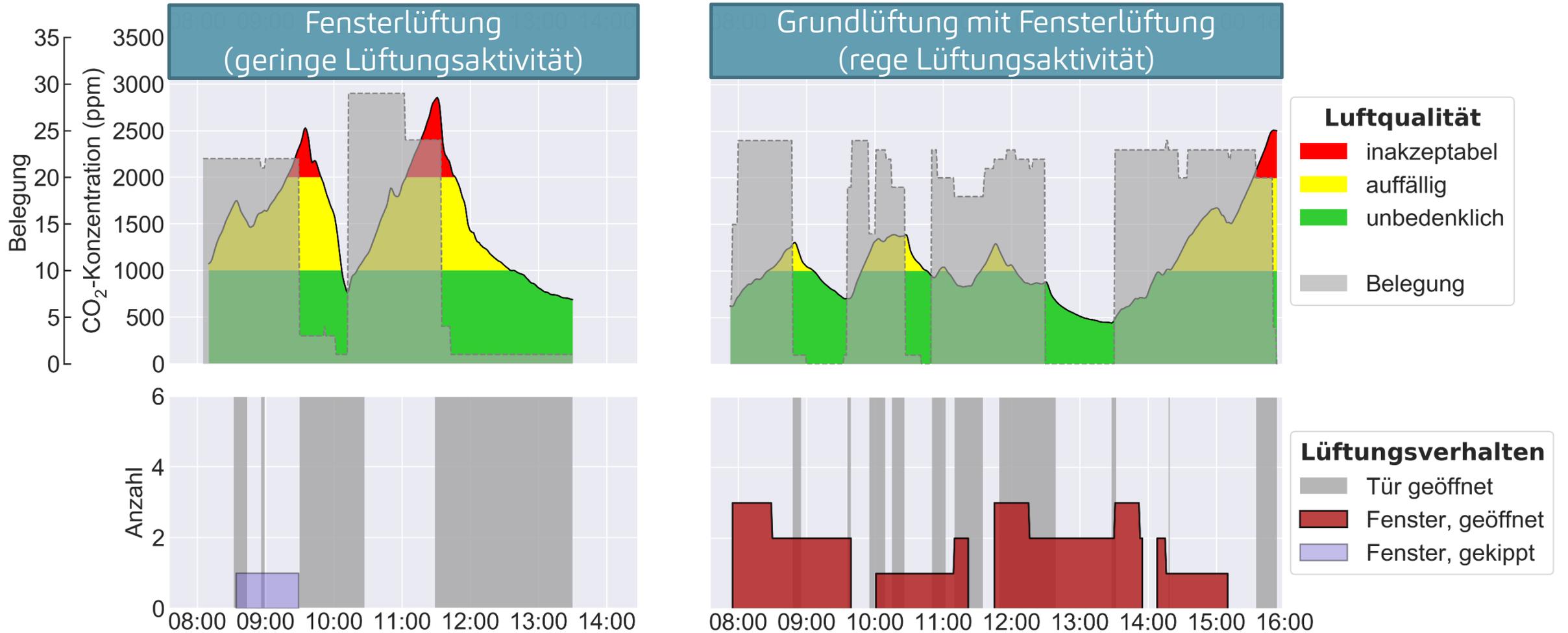
kaum Lüftungsaktivität

- Überschreitung von 2500 ppm trotz Grundlüftung



Wirksamkeit verschiedener Lüftungskonzepte

Vergleich Grundlüftung und reine Fensterlüftung



Wirksamkeit verschiedener Lüftungskonzepte

Maschinelle Lüftung

Fensterlüftung

Grundlüftung mit
Fensterlüftung

Maschinelle Lüftung
(dezentral/zentral)

	Fenster	GL + Fenster	maschinell
Grundschule	8	2	5
Hauptschule	7	1	0
Realschule	6	0	2
Gesamtschule	2	1	0
Gymnasium	10	1	2
Σ	33	5	9

Wirksamkeit verschiedener Lüftungskonzepte

Dezentrale maschinelle Lüftung



maschinelle Lüftung

- automatischer kontinuierlicher Luftwechsel in Abhängigkeit z. B. der CO₂-Konzentration
- WRG, Heizen und ggf. Kühlen möglich
- manuelle Fensterlüftung nicht notwendig

Wirksamkeit verschiedener Lüftungskonzepte

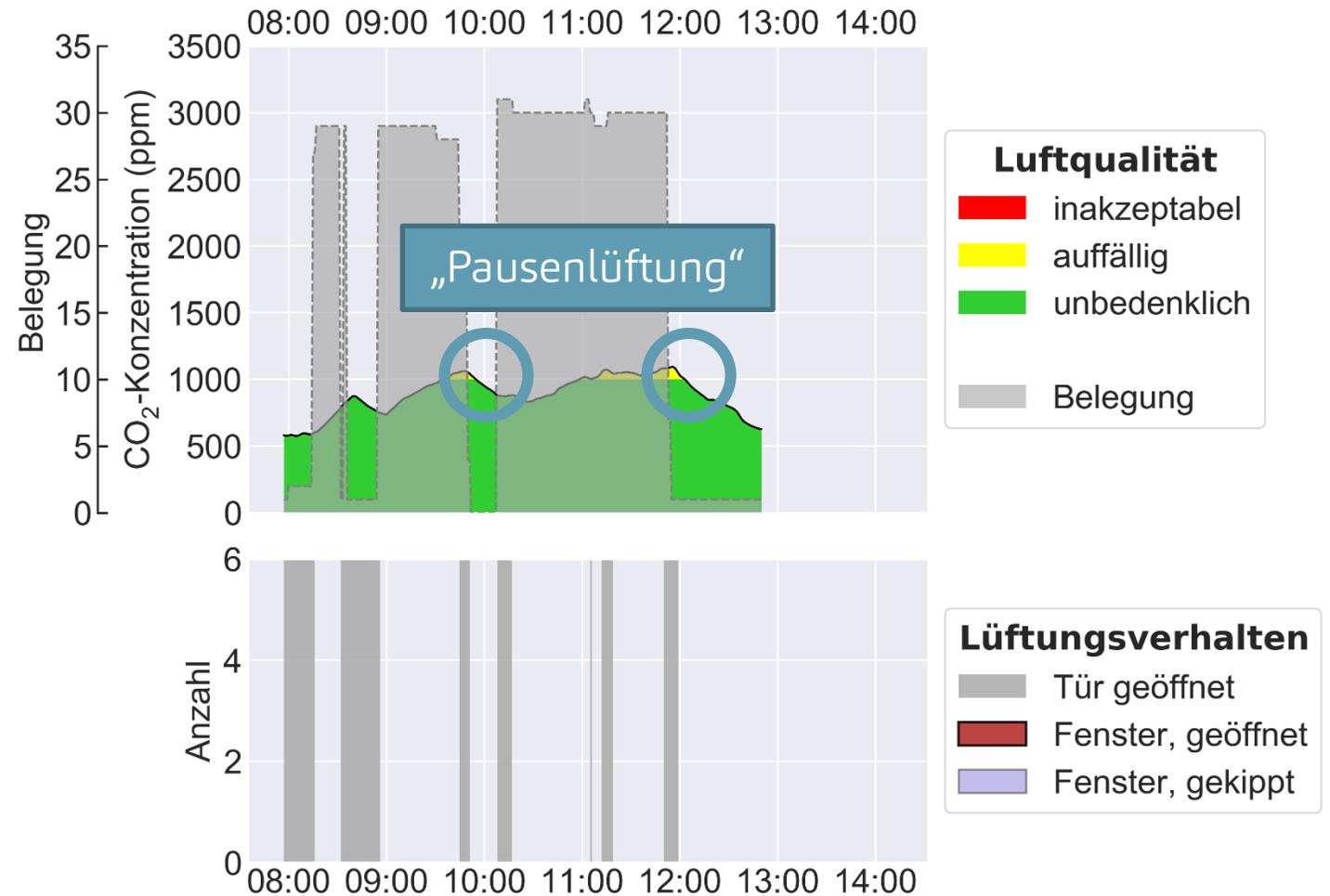
Dezentrale maschinelle Lüftung

Luftqualität

- selbst in Doppelstunde nur vereinzelt Überschreitung von 1000 ppm CO₂ trotz hoher Belegungsichte
- fast durchgehend hygienisch unbedenklich

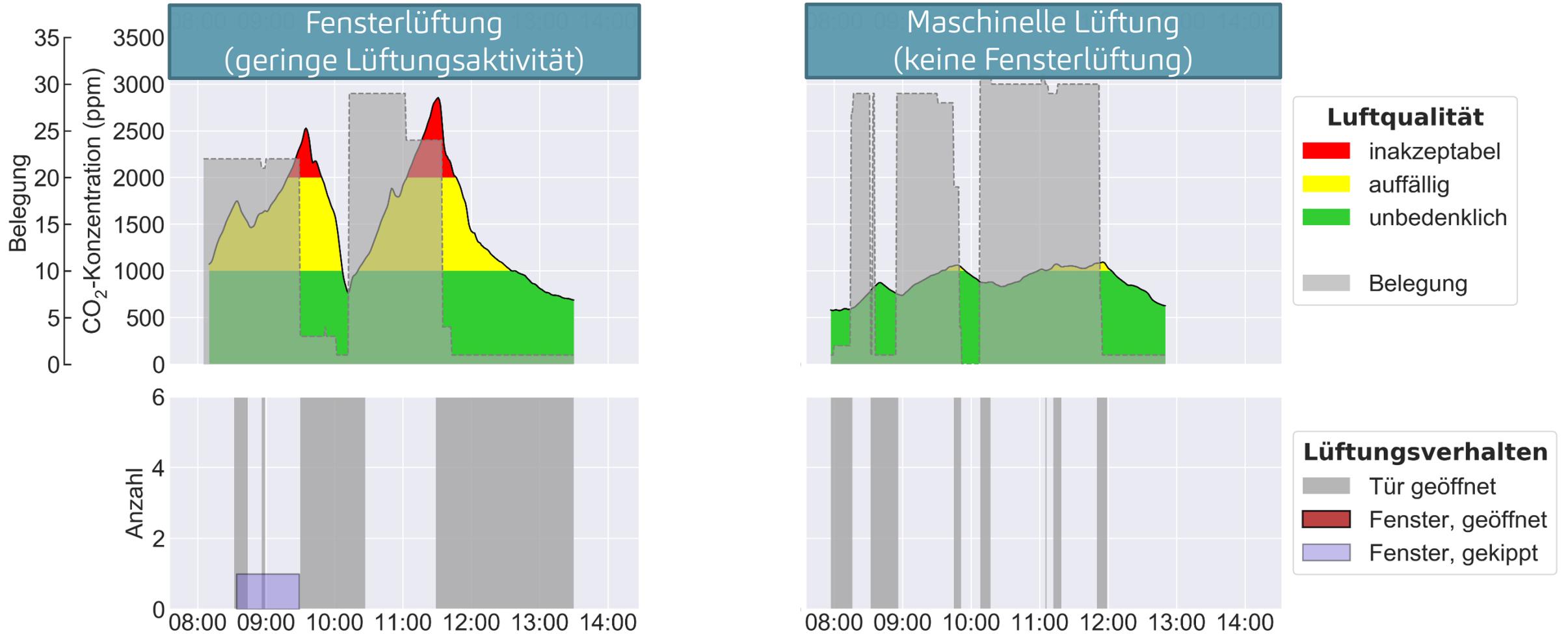
Luftqualitätsmanagement

- Betrieb der Lüftung im Auto-Modus
- Nutzung der Pausenlüftung (max. Volumenstrom)
- keine zusätzliche Fensterlüftung



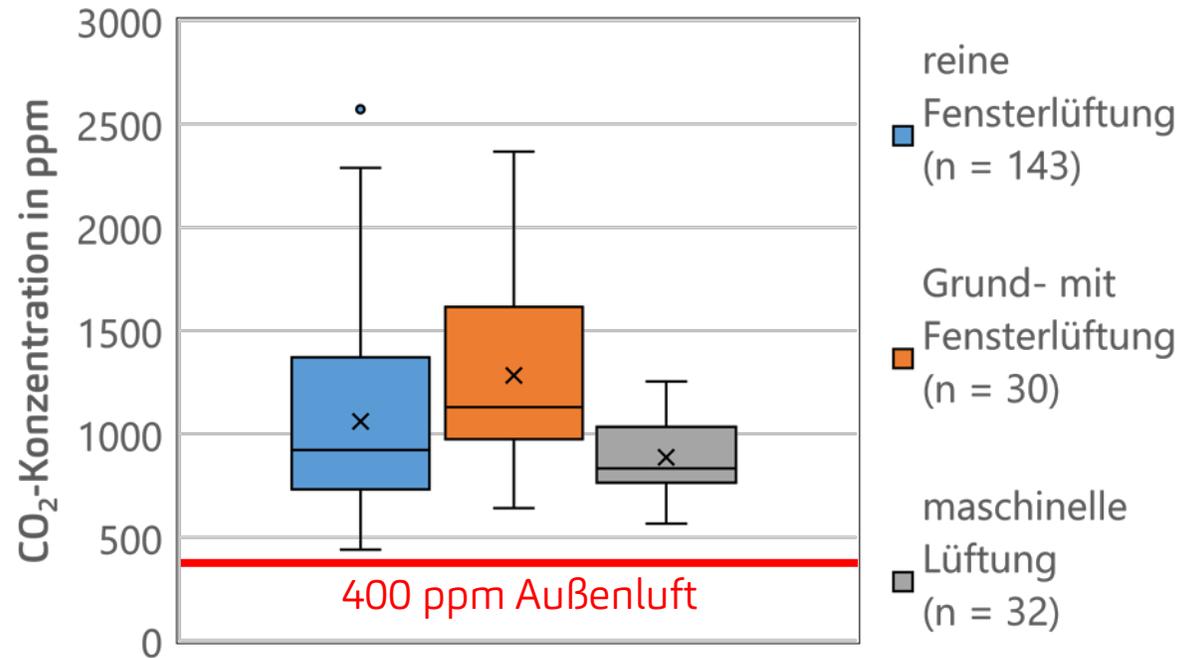
Wirksamkeit verschiedener Lüftungskonzepte

Vergleich dezentrale maschinelle und reine Fensterlüftung



Wirksamkeit verschiedener Lüftungskonzepte

Vergleich der CO₂-Stundenmittelwerte



	Fensterlüftung	maschinelle Lüftung	relative Reduktion (auf Außenluft bezogen)
Mittelwert	1060	888	- 26 %
Maximum	2571	1254	- 61 %

Raumakustik in Klassenräumen

Hintergrundrauschen und Nachhallzeit

Gesamtstörschalldruckpegel („Hintergrundgeräusche“)

- bau-/betriebsseitige Störgeräusche sollten 35 dB(A) nicht überschreiten

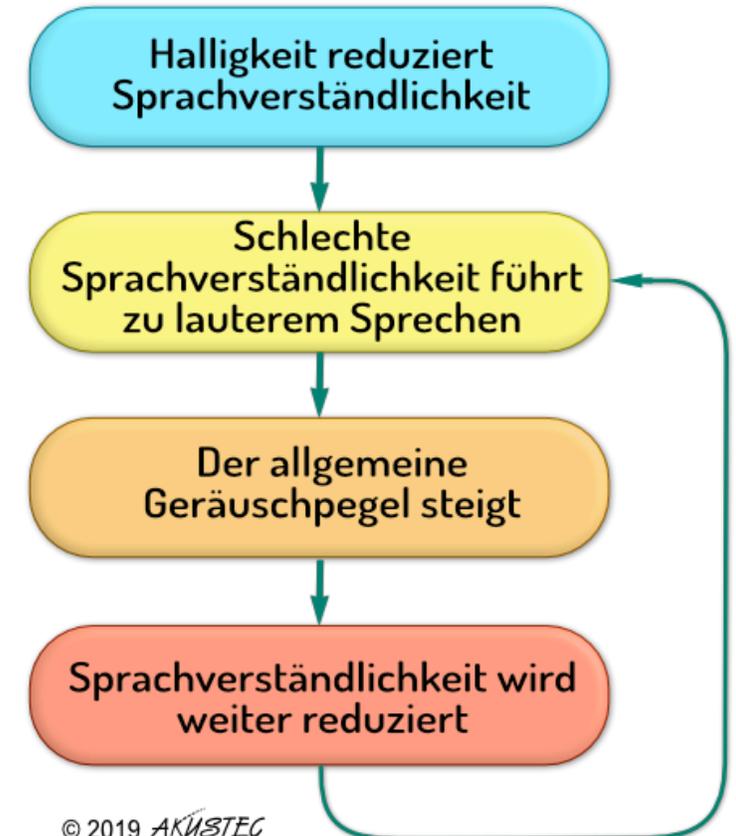
Nachhallzeit

- Zeit, in der ein impulshaltiger Schalldruckpegel in einem Raum nach Anregung um 60 dB abfällt
- Umrechnung auf besetzten Zustand über Tabellenwerte

Empfehlungen für weitgehend störungsfreie Sprachkommunikation

	Nachhallzeit (Besetzung 80 %)	Sprach-Störpegel- Abstand
Personen ohne Bedürfnis nach erhöhter Sprachverständlichkeit	0,6 s	≥ 10 dB(A)
Grundschulen, Inklusion, Fremdsprachen, Fachtexte, ...	0,4 s	≥ 15 dB(A)

Der Lombard-Effekt

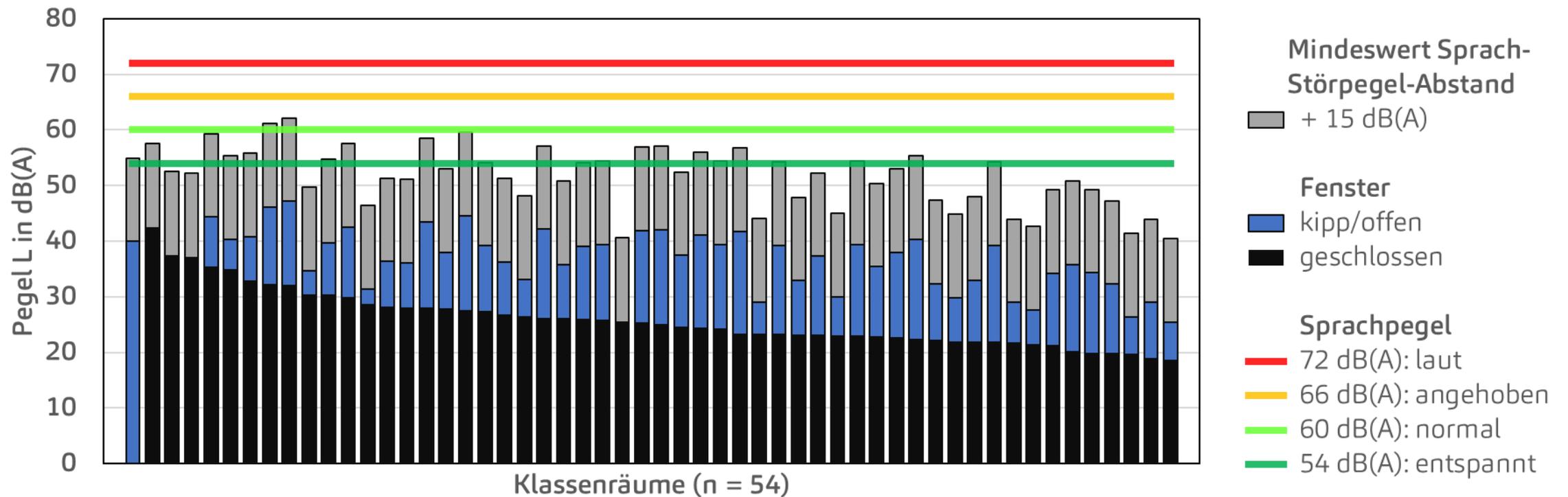


<https://www.akustec.de/topics.html>

Raumakustik in Klassenräumen

Ergebnisse Grundrauschen im unbesetzten Raum

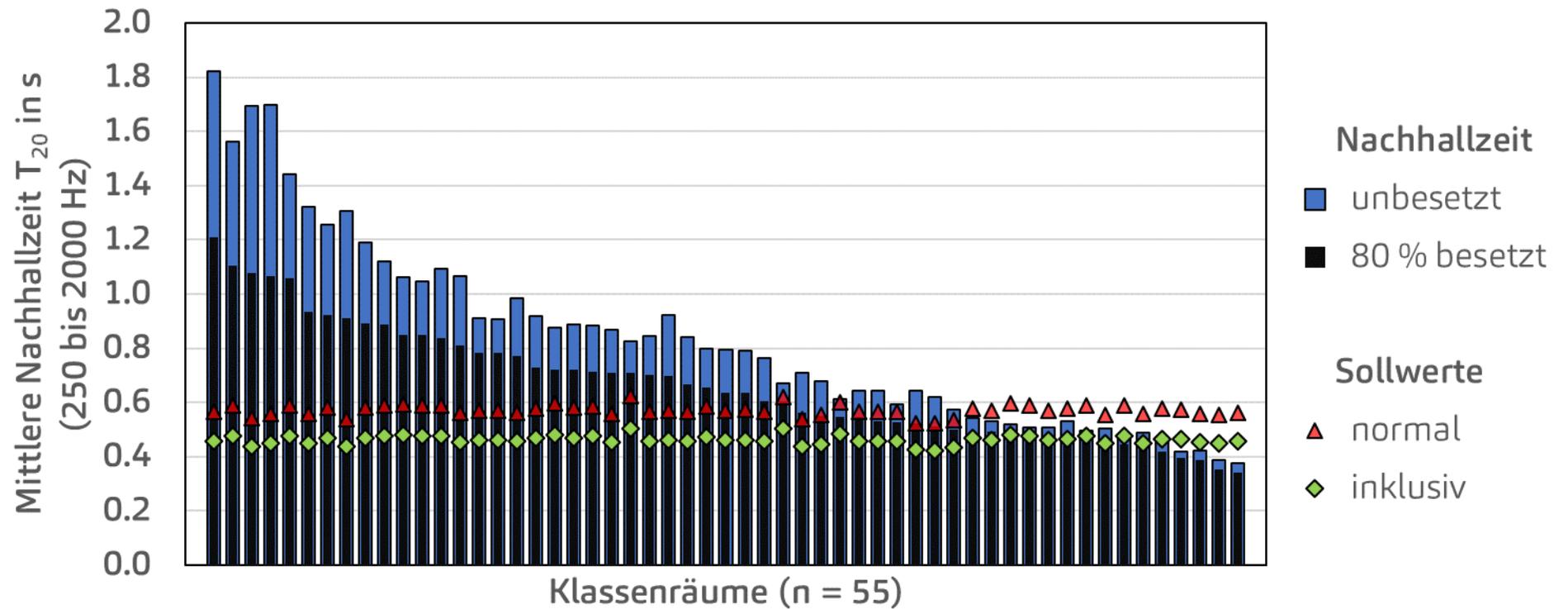
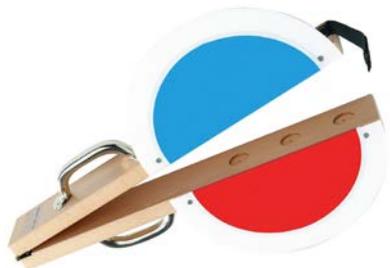
- Aufnahme A-bewerteter äquivalenter Dauerschalldruckpegel (ca. 1 Min) mit binauralem Kunstkopf
- Auswertung: Maximum aus linkem und rechtem Ohr
- Messposition mittig in 1.25 m Höhe



Raumakustik in Klassenräumen

Ergebnisse Nachhallzeiten

- Anregung per Starterklappe, Aufnahme mit binauralem Kunstkopf
- Sender vorn, Empfängerpositionen mittig (Höhe 1.25 m) und an tatsächlichem Sitzplatz
- Mittelung beider Empfängerpositionen im mittleren Frequenzbereich (250 bis 2000 Hz)



Feldstudie

Zusammenfassung der Ergebnisse

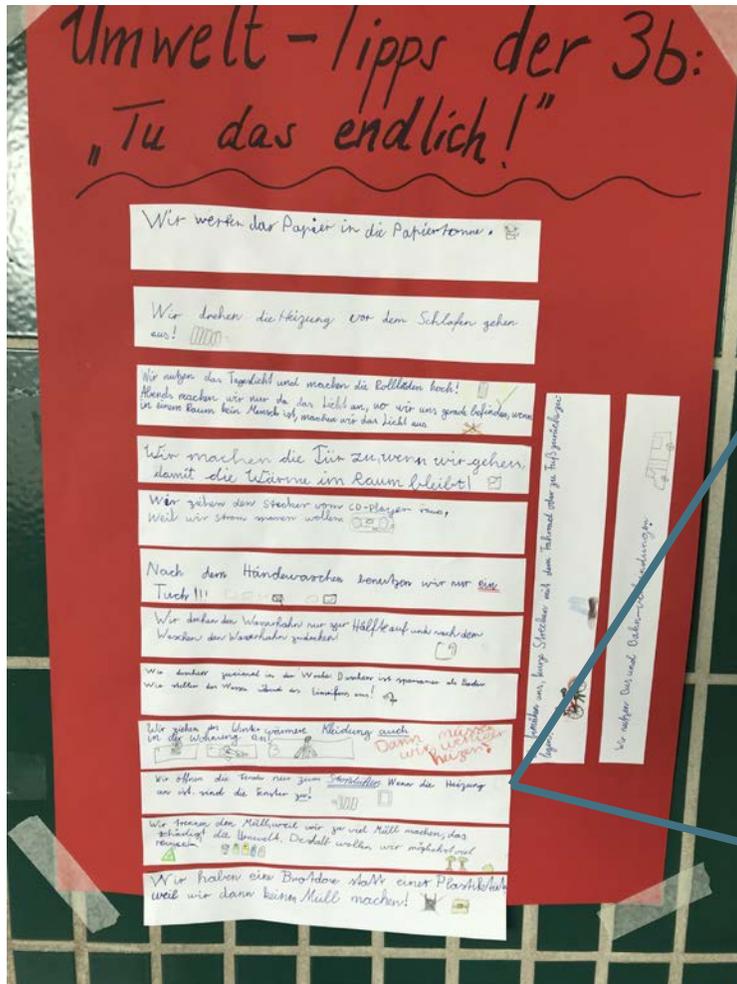
Luftqualität

- Fensterlüftung
 - ganzjährige Bereitstellung guter Luftqualität nicht praktikabel
 - je nach Lüftungsaktivität CO₂-Konzentrationen von bis zu 2500 ppm
- Grundlüftung mit Fensterlüftung
 - ohne ausreichend zusätzliche Fensterlüftung keine eindeutige Verbesserung gegenüber rein natürlicher Lüftung
- maschinelle Lüftung
 - deutlich geringere und gleichmäßigere CO₂-Konzentrationen als bei reiner Fensterlüftung
 - dauerhaft hygienisch unbedenkliche bis akzeptable Luftqualität unterhalb 1500 ppm
 - **Einzigste Möglichkeit, ganzjährig gute Luftqualität bereitzustellen (Kühlfunktion für Sommer einplanen!)**

Raumakustik

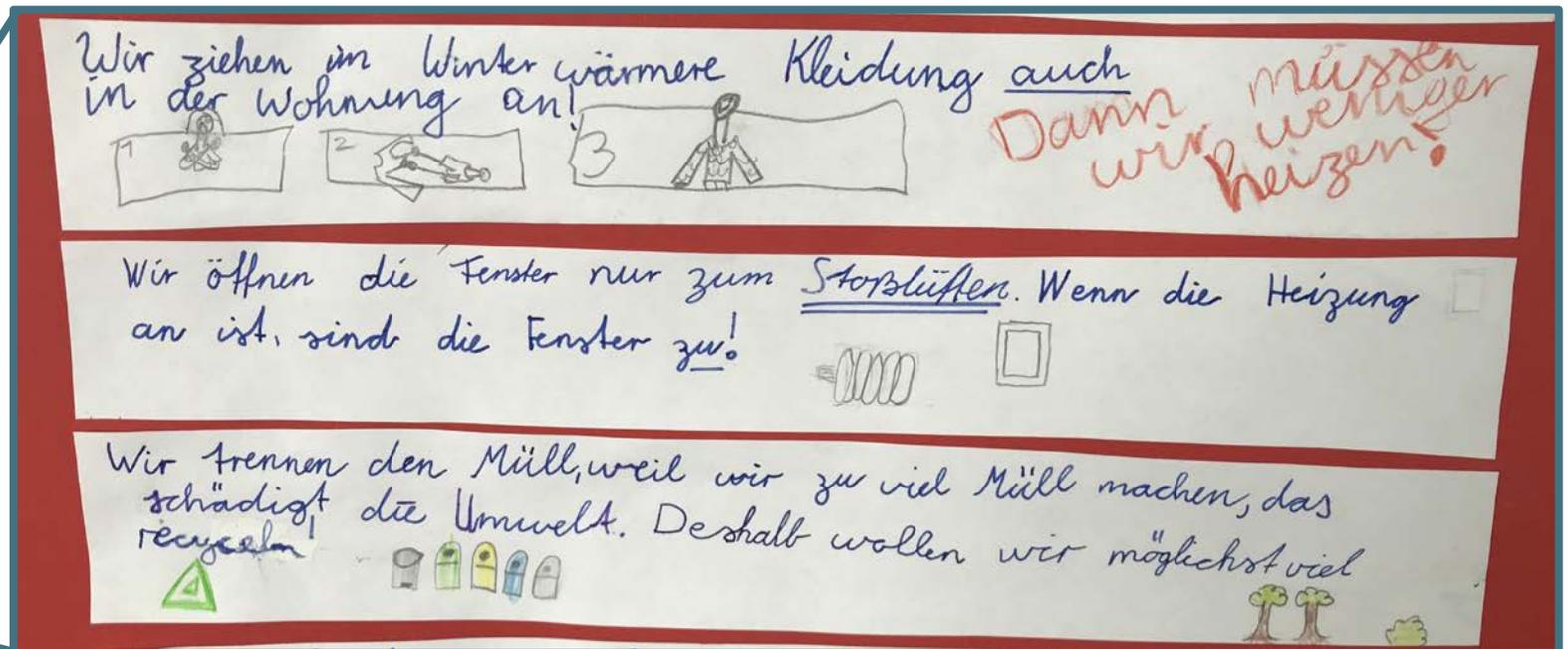
- Störgeräusche bei Fensteröffnung können Sprachverständlichkeit beeinträchtigen und Lüften erschweren
- Nachhallzeit genügt nur in 12 von 55 Räumen Anforderungen für inklusiven bzw. Fremdsprachen-Unterricht
 - **Abhilfe vergleichsweise kostengünstig möglich und zwingend notwendig**

Bereitstellung guter Luftqualität bei Fensterlüftung Über korrektes Lüftungsverhalten aufklären



Umwelt-Tipps einer Grundschulklasse

„Wir öffnen die Fenster nur zum Stoßlüften. Wenn die Heizung an ist, sind die Fenster zu!“



→ Aufklärung notwendig

Bereitstellung guter Luftqualität bei Fensterlüftung

Verantwortlichkeiten festlegen

16 verschiedene Dienste

- Austeildienst
- Bücherdienst
- Blumendienst
- Garderobendienst
- Kehrdienst
- Klassenbuchführer
- Klassensprecher
- Kopierdienst
- Mediendienst
- Milch- und Kakaodienst
- Ordnungsdienst
- Schrankdienst
- Tafeldienst
- Terminplaner
- Wasserdienst
- Wohlfühldienst



→ Warum kein Lüftungsdienst?

→ Visualisierung per CO₂-Ampel?



6. Kongress ZUKUNFTSRAUM SCHULE

Heinz Trox Wissenschafts gGmbH



Prof. Dr. Dirk Müller
Geschäftsführer



Tobias Burgholz
Wissenschaftlicher Mitarbeiter

Heinz Trox Wissenschafts gGmbH
Mathieustr. 30
52074 Aachen
info@htx-wissenschaft.de
www.htx-wissenschaft.de

Themenfelder des Forschungsgebietes der Wissenschafts gGmbH



Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!



wissenschaft

Heinz Trox Wissenschafts gGmbH

Tobias Burgholz