

## Raumluftqualität in Bildungsbauten

Bericht zur Auswertung der thermischen und hygienischen Raumklimamessung



<b>Objekte</b>	Fichteschule, Familienzentrum Hainholzer Hafen, Kita Waldstraße
<b>Auftraggeber</b>	proKlima Hannover
<b>Verfasser</b>	Steinbeis-Innovationszentrum energieplus Mühlenpfordtstraße 23 38106 Braunschweig
<b>Messzeitraum</b>	01.09.2019 – 07.07.2020
<b>Datum</b>	12.10.2020

## Inhaltsverzeichnis

1	Kurzfassung .....	1
2	Einleitung.....	3
3	Messkonzept .....	4
3.1	Messaufbau .....	4
3.2	Messtechnik.....	5
3.2.1	Variante A – autark.....	6
3.2.2	Variante B – stromgebunden - entfällt .....	6
3.2.3	Variante C – strom- und netzwerkgebunden.....	6
3.3	Fazit.....	7
4	Fichteschule.....	8
4.1	Objektbeschreibung .....	8
4.2	Messaufbau .....	9
4.3	Raumklimaanalyse .....	11
4.3.1	Thermische Behaglichkeit .....	12
4.3.2	Hygrische Behaglichkeit .....	13
4.3.3	Hygienische Behaglichkeit.....	14
4.3.4	Zusammenfassung.....	17
4.4	Fragebogen .....	19
5	Kita Hainholzer Hafen.....	21
5.1	Objektbeschreibung .....	21
5.2	Messaufbau .....	22
5.3	Raumklimaanalyse .....	24
5.3.1	Thermische Behaglichkeit .....	24
5.3.2	Hygrische Behaglichkeit .....	25

5.3.3	Hygienische Behaglichkeit.....	26
5.3.4	Zusammenfassung.....	31
5.4	Fragebogen.....	33
6	Kita Waldstraße.....	34
6.1	Objektbeschreibung.....	34
6.2	Messaufbau.....	35
6.3	Raumklimaanalyse.....	37
6.3.1	Thermische Behaglichkeit.....	37
6.3.2	Hygrische Behaglichkeit.....	38
6.3.3	Hygienische Behaglichkeit.....	39
6.3.4	Zusammenfassung.....	42
6.4	Fragebogen.....	44

## 1 Kurzfassung

In diesem Projekt wurde eine Methodik zur kostengünstigen und belastbaren messtechnischen Bewertung des Raumklimas in Klassenräumen entwickelt und an Beispielgebäuden erprobt. Dieser Bericht beschreibt Anwendung und Ergebnisse für drei Objekten. Die Anwendung der Methodik soll gemeinsam mit proKlima für zukünftige Projekte abgestimmt und weiter optimiert werden.

Die gesundheitlichen und leistungseinschränkenden Folgen zu hoher CO<sub>2</sub>-Konzentrationen in der Raumluft sind umfassend erforscht und bekannt. Das Ziel einer unbedenklichen Raumkonditionierung sollte es sein, die CO<sub>2</sub>-Konzentration auf einem akzeptablen Niveau zu halten. Die Ergebnisse der drei Messreihen in diesem Projekt decken sich überwiegend mit Literaturwerten und den Beobachtungen vergleichbarer Messkampagnen.<sup>1</sup> In Abbildung 1 sind die Mediane der CO<sub>2</sub>-Konzentrationen in der Raumluft während der Raumbelagung für alle drei Messobjekte dargestellt.

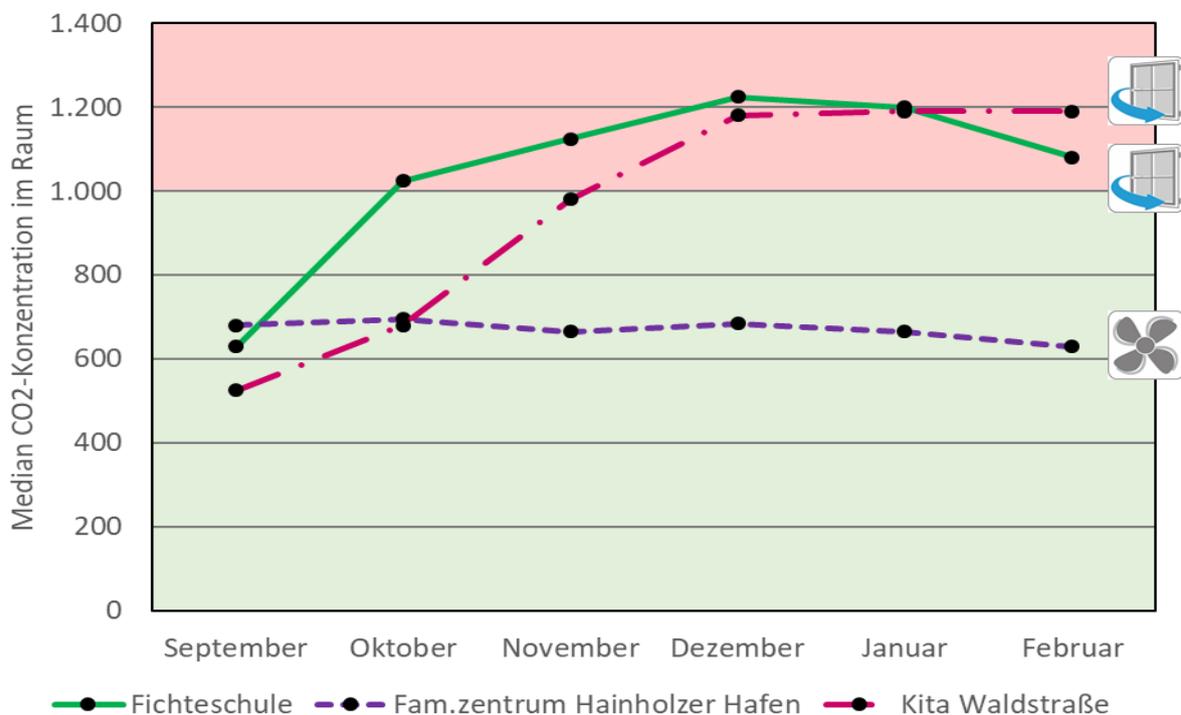


Abbildung 1: Vergleich des monatlichen CO<sub>2</sub>-Medians in allen Messobjekten

<sup>1</sup> Umweltbundesamt, 2008: Gesundheitliche Bewertung von Kohlendioxid in der Innenraumluft , [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/pdfs/kohlendioxid\\_2008.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/pdfs/kohlendioxid_2008.pdf) (abgerufen am 20.08.2020)

Die Messergebnisse zeigen, dass sich die CO<sub>2</sub>-Konzentration in dem mit einer mechanischen Lüftung ausgestatteten Raum fast vollständig innerhalb der Grenzwerte befand und der Raum somit diesbezüglich eine unbedenkliche Nutzung ermöglicht. Bei den Räumen mit Fensterlüftung konnten hingegen regelmäßige Verletzungen der hygienischen und thermischen Grenzwerte festgestellt werden.

Die Ergebnisse der Untersuchungen aus dieser Messreihe sowie vieler weiterer Studien zeigen, dass eine reine Fensterlüftung in Räumen mit einer vergleichbar dichten Belegung im Sinne der Gewährleistung einer niedrigen CO<sub>2</sub>-Konzentration nicht zuverlässig funktioniert.

Das eingesetzte Messkonzept ermöglicht die Anwendung auf Räume mit einer vollständig mechanischen Lüftung, einer reinen Fensterlüftung durch den Nutzer oder hybrider Varianten. Der Messaufbau konnte erfolgreich getestet werden. Die Ableitung der Raumnutzung aus dem Schalldruckpegel-Maximalwert hat sich zur Bestimmung der Nutzungszeiten bewährt. Für die zuverlässige Erfassung von Fensteröffnungen sind eine genaue Anbringung und Ausrichtung des Statusloggers und des dazugehörigen Magneten wichtig. Die Datenerfassung in den Gebäuden über WLAN hat zuverlässig funktioniert. Entsprechend kann der Aufbau auch für eine größere Stichprobe eingesetzt werden. Das Konzept ist auf verschiedene Gebäudetypen übertragbar.

## 2 Einleitung

Das Ziel des Projekts war die Entwicklung einer Methodik für den Aufbau einer empirischen Bewertungsgrundlage für die Qualität des Raumklimas in Schulen und Kindertagesstätten. Dabei sollten explizit unterschiedliche Baustandards und Altersklassen sowie mögliche Prozesse (Einzelvergabe, PPP, GU, Energiemanagement, Qualitätssicherung, Nutzung und Nutzerverhalten etc.) berücksichtigt werden können. Durch diese Betrachtung soll festgestellt werden,

- wie sich das Raumklima und der Energieverbrauch in den verschiedenen Gebäudetypen darstellen,
- welchen Einfluss einzelne Faktoren auf die Einhaltung der Ziele aus den Gebäudekonzepten haben und
- welche Maßnahmen geeignet sind, die Einhaltung der als sinnvoll erachteter Konzeptkriterien zu unterstützen.

Die Analyse von Zusammenhängen zwischen den baulichen Eigenschaften und der Luftqualität unterstützt die Formulierung von Empfehlungen für leistungsfördernde und ökonomisch-ökologisch sinnvolle bautechnische und organisatorische Standards für Schulgebäude und Kitas. Im Folgenden werden die Ergebnisse der Messungen gebäudeweise dargestellt und erläutert und abschließend in einem Fazit diskutiert.

### 3 Messkonzept

In diesem Abschnitt werden die erprobten Messkonzepte für die Räume beschrieben.

#### 3.1 Messaufbau

Im Zuge der Messung in den Räumen soll eine Evaluierung verschiedener Messaufbauten bezüglich der robusten und kosteneffizienten Multiplikation erfolgen. Insgesamt sind die in Abbildung 2 dargestellten Aufbauten denkbar. Die Variante A ist unabhängig von externer Stromversorgung und Netzwerkanbindung und damit unabhängig von entsprechenden örtlichen Gegebenheiten einsetzbar. Eine Unterbrechung der Messung aufgrund eines ausgesteckten Netzteils oder einen unterbrochenen Internetzugang sind bei dieser Variante ausgeschlossen. Vorausgesetzt sind allerdings ausreichende Strom- und Datenspeicher-Kapazitäten der Datenlogger. Bei den Varianten B und C sind die Möglichkeiten der externen Stromversorgung sowie zur Nutzung eines vorhandenen Internet-Zugangs (nur C) zu berücksichtigen. Sollte kein kabelloser Internetzugang vorhanden sein, kann dieser mit einem mobilen WLAN-Router über das Mobilfunknetz hergestellt werden. Diese Option setzt eine ausreichende Mobilfunknetz-Abdeckung am Gebäudestandort und im Gebäude selbst voraus.

Bei allen dargestellten Ausführungen erfolgt die Erfassung der Fensteröffnung über einen autarken Status-Datenlogger, welcher an jedem offenbaren Fenster vorzusehen ist. Der an den Fensterrahmen geklebte Datenlogger erkennt über einen intern verbauten Reed-Schalter und einen extern am Fenster anzubringenden Magneten den Status der Fensteröffnung und speichert diesen entsprechend ab. Eine Unterscheidung zwischen gekipptem und vollständig geöffnetem Fenster ist nur unter Verwendung von zwei Loggern möglich.

Die Messung der Raumlufttemperatur, Luftfeuchte und der CO<sub>2</sub>-Konzentration erfolgt gemäß der VDI/VDE 3512 an einer Innenwand in einer Höhe von 1,50 m. An der Messstelle sollte möglichst keine Beeinflussung der Lufttemperatur und –zusammensetzung erfolgen und eine direkte Sonneneinstrahlung vermieden werden.

Die genannten Kriterien und die örtlichen Gegebenheiten wurden bei der Auswahl der Varianten berücksichtigt. Zur Anwendung kamen dementsprechend Messaufbau A und C.

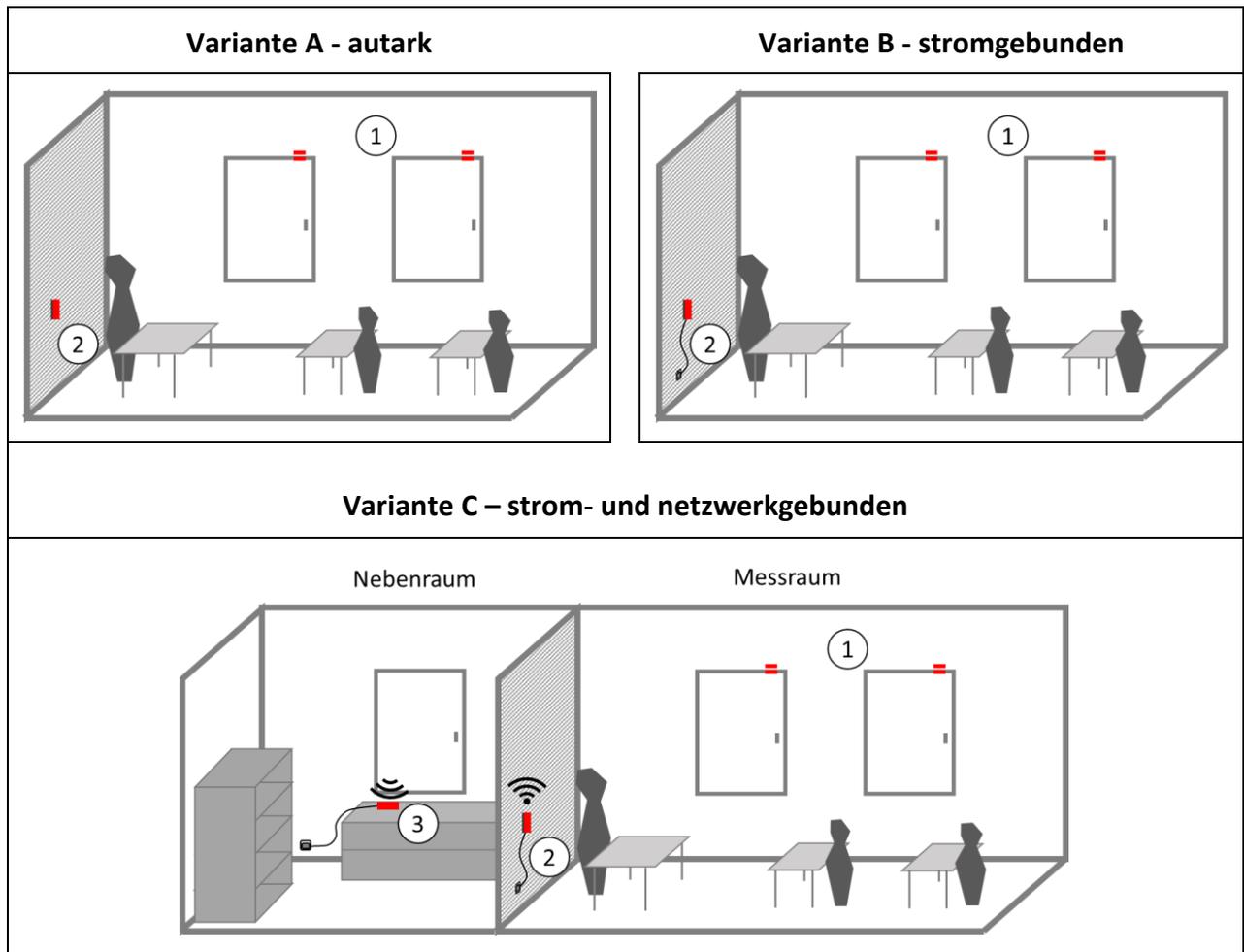


Abbildung 2: Messaufbau in drei unterschiedlichen Ausführungen;  
1 - Statuslogger für Fensteröffnung, 2 - Raumklimaerfassung, 3 - WLAN-Router

### 3.2 Messtechnik

Die Erfassung der Fensteröffnung erfolgt durch Onset HOBO UX90-001 Statuslogger an allen öffenbaren Fenstern. Einige Eigenschaften des Statusloggers sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Tabelle 1: Onset HOBO UX90-001 Statuslogger

Eigenschaft	Wert
Messgröße	Statuswechselerfassung über internen Reed-Schalter
Messintervall	Ereignis
Zeitgenauigkeit	± 1 min
Datenspeicherung	intern, 128 kB (84.650 Messwerte)
Arbeitsbereich	20 ... 50 °C, 0 ... 95 % rF (nicht kondensierend)
Stromversorgung	Batterie, etwa 1 Jahr

### 3.2.1 Variante A – autark

Der HOBO MX CO2 Logger von Onset verfügt über einen internen Daten- und Stromspeicher und ist demzufolge autark messend. Die geplante Messdauer und die vom Hersteller angegebene Batterielevensdauer von 6 Monaten geben das entsprechend einzustellende Messintervall von 5 min vor. Der Datenspeicher ist ausreichend groß.

Tabelle 2: Onset HOBO MX CO2 Logger

Eigenschaft	Temperatur	Relative Feuchte	CO <sub>2</sub>
Messbereich	0 ... 50 °C	1 ... 90 %	0 ... 5000 ppm
Auflösung	0,024 °C bei 25 °C	0,01 %	
Genauigkeit	< 0,1 °C	± 2 %	mind. ± 50 ppm; bis zu ± 5 % ab 3000 ppm
Datenspeicherung	Interner Speicher (128 kB – 84.650 Messungen, ca. 9 Monate)		
Messintervall	> 5 s (konfigurierbar)		
Stromversorgung	Batterie (6 Monate Lebensdauer bei 5 min-Messintervall)		
Arbeitsbereich	0 ... 50 °C, 0 ... 95 % rF (nicht kondensierend)		

### 3.2.2 Variante B – stromgebunden - entfällt

### 3.2.3 Variante C – strom- und netzwerkgebunden

Bei dem Messaufbau C erfolgt zusätzlich die Messung des Schalldruckpegels im Raum. Damit ist die Berücksichtigung weiterer Metadaten bei der Datenauswertung möglich. Zum Beispiel können Lärmimmissionen aus der Umwelt vor und nach der Fensteröffnung ins Verhältnis zur Fensterlüftungshäufigkeit und –dauer gesetzt werden oder auf eine Belegung des Raumes geschlossen werden. Der Vorteil des direkten Datenexports ist, dass Messunterbrechungen per Fernzugriff zeitnah erkannt und entsprechende Maßnahmen eingeleitet werden können. Der „smarte Raumluftsensor“ von Netatmo benötigt einen Strom- und Internetanschluss und misst die beschriebenen Größen mit in Tabelle 3 aufgeführten Eigenschaften.

Falls vor Ort kein Internetzugang per WLAN nutzbar ist, wird möglichenfalls mit einem mobilen WLAN-Router ein entsprechend dediziertes Mess-Netzwerk eingerichtet. Dafür kommt der Router von Huawei E5330 3G Mobile Wi-Fi mit einem entsprechenden Datentarif zum Einsatz.

Tabelle 3: Netatmo „Smarter Raumluftsensor“

Eigenschaft	Temperatur	Relative Feuchte	CO <sub>2</sub>
Messbereich	0 ... 50 °C	0 ... 100 %	0 ... 5000 ppm
Auflösung	0,1 °C	1 %	
Genauigkeit	± 0,3 °C	± 3 %	mind. ± 50 ppm; bis zu ± 5 % ab 1000 ppm
Datenspeicherung	Cloud-Speicherung über Internetzugang		
Messintervall	5 min		
Stromversorgung	USB-Netzteil		
Arbeitsbereich	Innenraum		

### 3.3 Fazit

Die **Variante C** der drei Messaufbauten ist am kostengünstigsten und ermöglicht außerdem eine Messung des Schalldruckpegels. Die Ableitung der Raumnutzung aus dem Schalldruckpegel-Maximalwert hat sich zur Bestimmung der Nutzungszeiten bewährt. Außerdem ermöglicht der obligatorische Internetanschluss des Messgeräts einen unmittelbaren Export der Messdaten auf den Datenserver von Netatmo und damit die Identifizierung eines unterbrochenen Messbetriebs sowie den unkomplizierten Download der Messreihen im CSV-Format. Das Messkonzept konnte erfolgreich getestet werden. Die Datenerfassung über WLAN hat zuverlässig funktioniert. Entsprechend kann der Aufbau auch für eine größere Stichprobe eingesetzt werden. Das Konzept ist auf verschiedene Gebäudetypen übertragbar. Der Messaufbau in der Variante A hat ebenfalls die nötigen Daten geliefert, der Messzeitraum endete durch die Größe des Datenspeichers allerdings nach 5,5 Monaten. Von Vorteil war bei dieser autarken Lösung lediglich die größere Flexibilität bei der Wahl des Anbringungsortes im Raum.

Für die zuverlässige Erfassung von **Fensteröffnungen** sind eine genaue Anbringung und Ausrichtung des Statusloggers und des dazugehörigen Magneten wichtig. Weiterhin ist darauf zu achten, dass die Logger bei geschlossenem Fenster ebenfalls einen geschlossenen Kontakt haben, sodass die Öffnung zuverlässig bei der Kontaktunterbrechung erfasst werden kann.

Die **Kosten** zur Ausstattung eines Raumes gemäß Variante C, **mit mobilem WLAN-Router, Datentarif** und **drei Fensterloggern** beträgt etwa **450,- €**.<sup>2</sup> Für jeden weiteren Raum im Einzugsbereich des WLAN-Routers bzw. bei vorhandenem WLAN im Gebäude sind **350,- €** pro Raum zu veranschlagen. Eine reine Bewertung der Raumluftqualität kann problemlos ohne die Erfassung der Fensteröffnung durchgeführt werden. Damit ginge eine signifikante Kostenreduktion einher, das Lüftungsverhalten könnte folglich aber weniger konkret beschrieben und gegebenenfalls optimiert werden. Die möglichen Kosten je Raum sind in Tabelle 4 zusammengefasst.

Tabelle 4: Kosten für die Messtechnik je Raum

Aufbau	Mit Fensterlogger	Ohne Fensterlogger
Variante C mit Router <sup>3</sup>	450 €	190 €
Variante C ohne Router	350 €	90 €
Variante A	960 €	700 €

## 4 Fichteschule

Im Folgenden wird das Objekt Fichteschule sowie der Messaufbau und die objektspezifischen Ergebnisse dargestellt.

### 4.1 Objektbeschreibung

Gegenstand der Betrachtung war ein allgemeiner Unterrichtsraum im Anbau der Fichte-Grundschule in der Voltmerstraße 60 in 30165 Hannover. Im Erdgeschoss befinden sich Aula- und Mensa-Bereich und im Obergeschoss vier Unterrichtsräume sowie zwei Gruppenräume. Der Raum befindet sich im 1.OG des in 2017 errichteten Gebäudeteils. Die Raumparameter zum untersuchten Raum sind in Tabelle 5 zusammengefasst. Die Prüfung konnte für den Zeitraum 01.09.2019 – 07.07.2020 durchgeführt werden.

Tabelle 5: Grundlegende Informationen zum Raum

<b>Bezeichnung</b>	Allgemeiner Unterrichtsraum D 1.04
<b>Nutzungsart</b>	Grundschule, Klassenraum Klasse 1B
<b>Etage</b>	OG, 2/2

<sup>2</sup> Darin enthalten sind die variablen Kosten durch den Mobilfunk-Datentarif mit 4,99 €/Monat für ein Jahr

<sup>3</sup> Kosten für den ersten Raum, für jeden benachbarten Raum siehe „Variante C ohne Router“, je nach Anordnung und WLAN-Signalstärke sind bis zu vier Räume je Router möglich

<b>Nettoraumfläche</b>	61,6 m <sup>2</sup>
<b>Nettoraumvolumen</b>	180 m <sup>3</sup>
<b>Anzahl Nutzer</b>	max. 24 SchülerInnen, 1-2 LehrerInnen
<b>personenbezogene NRI/NRV</b>	2,46 m <sup>2</sup> /Pers und 7,20 m <sup>3</sup> /Pers.
<b>Nutzungszeit</b>	8 - 12 Uhr Unterricht, nachmittags evtl. Kleingruppen
<b>Fenster</b>	4 x Drehkipp-Flügel mit Wärmeschutzverglasung, 2,70 x 1,10 m, uneingeschränkt offenbar, Ausrichtung West
<b>Angrenzend</b>	West: wenig befahrene Nebenstraße Nord: Gruppenraum mit Verbindungstür Ost: Flur mit Verbindungstür Süd: Galerie/Treppenhaus Darüber: Flachdach Darunter: Mensa
<b>Heizung</b>	2 x Röhrenradiator; Typ 3200; 2,0 x 0,5 x 0,1 m
<b>Lüftung</b>	Manuelle Fensterlüftung
<b>Kühlung</b>	Keine aktive Kühlung
<b>Sonnenschutz</b>	Außenliegende, manuell bedienbare Raffstores mit Horizontallamellen

## 4.2 Messaufbau

Der Messaufbau erfolgte strom- und netzwerkgebunden gemäß Variante C des Messkonzepts (siehe Kapitel 3.2.3) und wie auf den Fotos in Abbildung 3 und Abbildung 4 sowie im Grundriss in Abbildung 5 mit der zugehörigen Datenpunktliste in Tabelle 6 dargestellt.

Die Erfassung der Raumluftparameter erfolgte mit dem „Smarten Raumluftsensor“ von Netatmo, der über den im benachbarten Gruppenraum angebrachten WLAN-Router „Huawei E5330 3G Mobile Wi-Fi“ einen Internetzugang zum Messdatenexport und Fernzugriff hatte. Das Gerät wurde auf ca. 1,50 m Höhe neben der Tafel angebracht. Eine direkte Sonnenlicht-Exposition ist aufgrund der Fensterausrichtung und der Positionierung ausgeschlossen. Die Öffnung der Fenster durch die Nutzer wurde für drei von vier Fensterflügeln mit den HOBO UX90-001 Statusloggern von Onset gemäß Abbildung 4 erfasst. D.h. jede Fensteröffnung

führte dazu, dass der Magnet den internen Schalter des Loggers schließt und eine Protokollierung auslöst. Die Öffnung der Türen zum Gruppenraum oder zum Flur wurden nicht erfasst. Die Werte für die Außenlufttemperatur konnten in stündlicher Auflösung vom Deutschen Wetterdienst von der Wetterstation in Hannover bezogen werden.

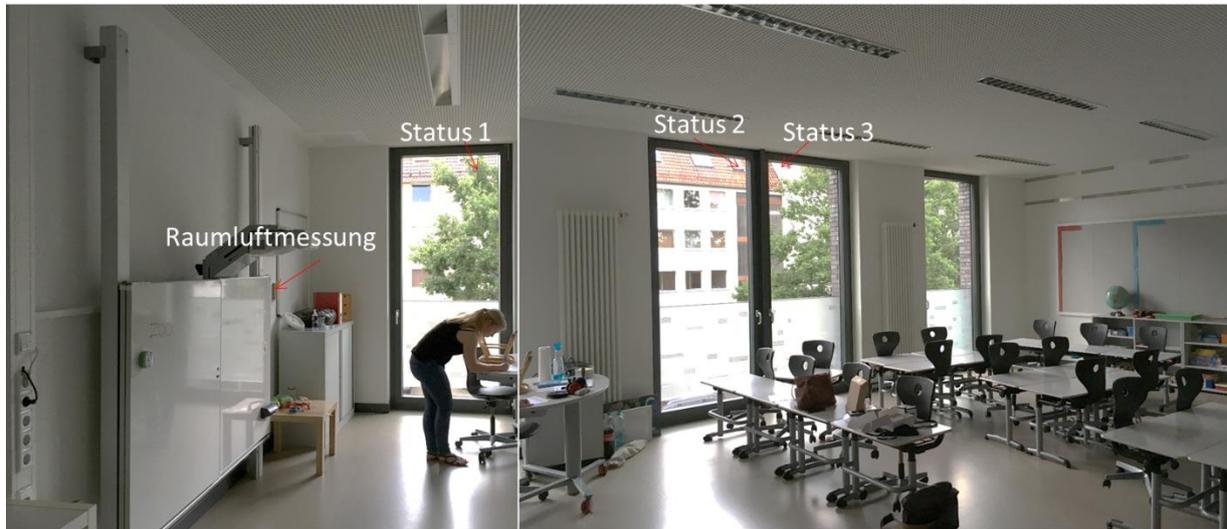


Abbildung 3: Positionierung der Messgeräte im Raum AUR 1, 1. OG Fichteschule



Abbildung 4: Anbringung der Messgeräte im Raum AUR 1, Fichteschule

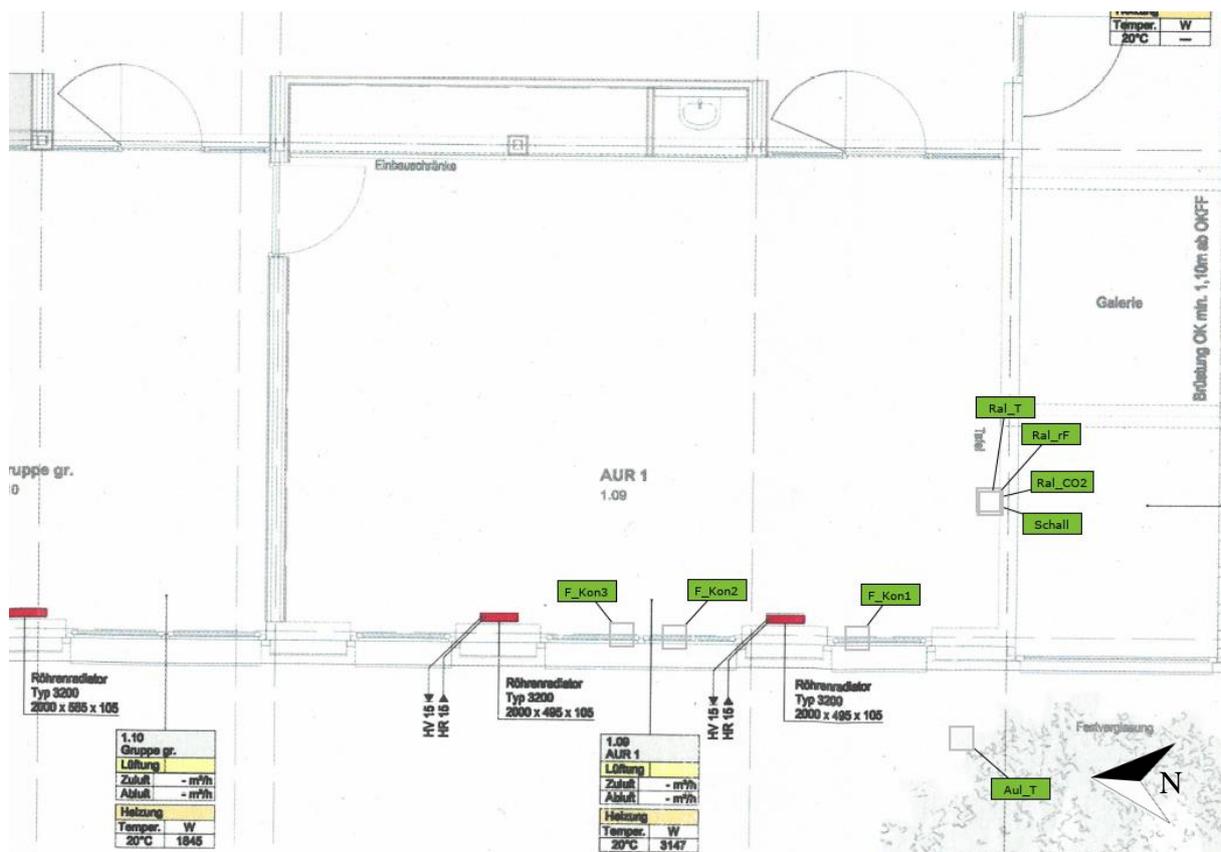


Abbildung 5: Position der Datenpunkte im Grundriss, 1.OG Fichteschule

Tabelle 6: Datenpunktliste für die Fichteschule

Name	Kommentar	Einheit	Datenpunkt
Aul_T	Außenlufttemperatur	°C	Außenlufttemperatur
F_Kon1	Fensterkontakt 1	-	Fensteröffnung 1 (LGR S/N: 20506057, SEN S/N: 20506057)
F_Kon2	Fensterkontakt 2	-	Fensteröffnung 2 (LGR S/N: 20506049, SEN S/N: 20506049)
F_Kon3	Fensterkontakt 3	-	Fensteröffnung 3 (LGR S/N: 20506050, SEN S/N: 20506050)
Ral_CO2	CO2-Konzentration	ppm	CO2
Ral_T	Raumlufttemperatur	°C	Temperature
Ral_rF	Raumluftfeuchte	%	Humidity
Schall	Schalldruckpegel	dB	Noise

### 4.3 Raumklimaanalyse

Die Bewertung des Raumklimas erfolgt anhand ausgewählter repräsentativer Faktoren. Die Analyse umfasst die thermische, hygrische und hygienische Behaglichkeit.

Für die Behaglichkeitsanalyse sind nur die Nutzungszeiten, also die Zeiten mit Raumbelegung relevant. Der Stundenplan sieht Unterricht von 8 bis 12 Uhr vor und nachmittags findet sporadisch eine Raumnutzung durch Kleingruppen statt. Durch die Wahl des Messgerätes ist es möglich, die tatsächliche Raumbelegung durch eine Auswertung des gemessenen Schalldruckpegels zu erfassen (siehe Abbildung 6). Wenn das oben dargestellte gleitende Viertelstunden-

Maximum einen Schwellwert von 45 dB übersteigt, dann wurde für diese Viertelstunde eine Raumbelegung angenommen und nur für diese Zeitpunkte eine Auswertung der Raumluftqualität vorgenommen. Die ausgewerteten Zeiträume sind unten in der Abbildung rot hervorgehoben.

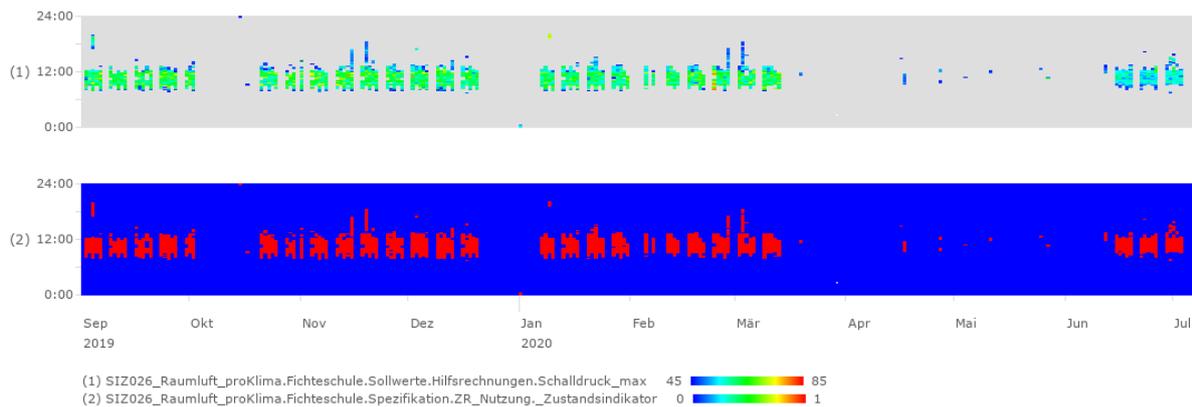


Abbildung 6: Ermittlung der tatsächlichen Raumbelegung über den gemessenen Schalldruckpegel (Fichteschule)

#### 4.3.1 Thermische Behaglichkeit

Die Auswertung der thermischen Behaglichkeit im Raum erfolgte anhand der Vorgaben zur außenlufttemperaturabhängigen Komfortraumtemperatur mit den zugehörigen Toleranzen nach der DIN EN 15251:2012-12. Während der Raumbelegung wurden die in Abbildung 7 dargestellten Raumtemperaturen in Abhängigkeit vom gleitenden Mittelwert der Außenlufttemperatur erfasst. Abweichungen vom Komfortbereich im Raum werden festgestellt, wenn die Temperatur zwischen 18 und 20°C beträgt. Eine minimale Überhitzung wurde in Ausnahmefällen erfasst. Der Zusammenhang mit der Fensterlüftung liegt nahe und ist in Abbildung 8 am Beispiel von zwei Novemberwochen dargestellt. Wie erwartet sinkt die Raumtemperatur bei geöffnetem Fenster und steigt durch die Heizleistung und inneren Lasten im Anschluss wieder an. Auffällig ist allerdings, dass die Raumlufttemperatur analog an anderen Tagen sinkt, obwohl über die Fensterlogger keine Öffnung erfasst wurde. Entweder wurde in diesen Zeiten ausschließlich das vierte, nicht mit einem Logger versehene, in der Raumecke befindliche Fenster geöffnet oder die geloggteten Fenster wurden in einer Weise geöffnet, die dazu führte, dass die Magneten sich nicht im notwendigen Bereich zur Erkennung einer Statusänderung befanden.

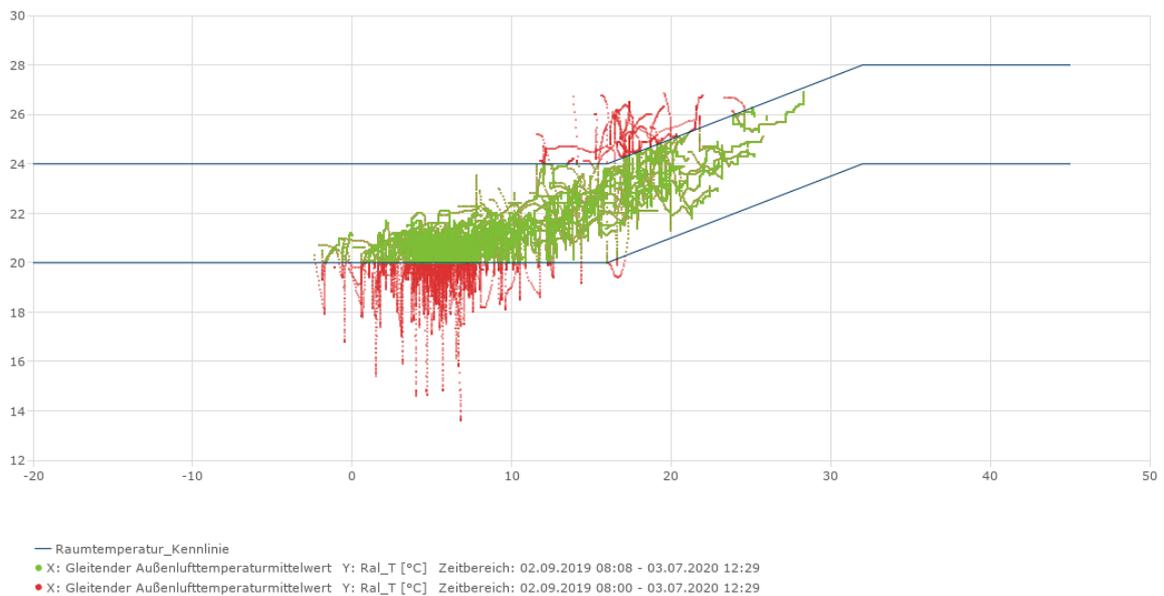


Abbildung 7: Darstellung der Raumlufttemperatur über der Außenlufttemperatur für den Zeitraum September 2019 bis Juli 2020 (Fichteschule)

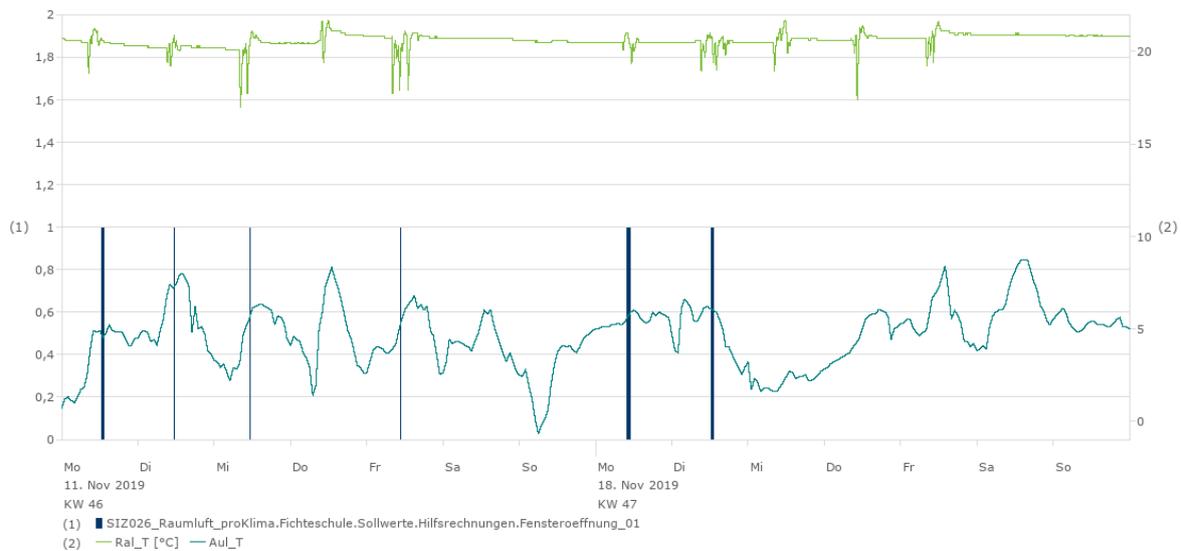


Abbildung 8: Raum- und Außenlufttemperaturverlauf November 2019 mit Darstellung der Fensteröffnung (Fichteschule)

### 4.3.2 Hygrische Behaglichkeit

„Die Luftfeuchte hat nur geringe Auswirkung auf die Temperaturempfindung und die Wahrnehmung der Luftqualität in Räumen mit sitzenden Tätigkeiten, jedoch verursacht lang andauernde hohe Raumluftfeuchte mikrobielles Wachstum, während sehr niedrige Luftfeuchte (<15 % bis 20 %) Trockenheit und Reizungen der Augen und Luftwege verursacht.“ (DIN EN 15251:2012)

Die im Prüfzeitraum gemessene relative Raumluftheuchte ist in Abbildung 9 in Abhängigkeit von der Raumlufthtemperatur dargestellt. Die angesetzten Behaglichkeitsgrenzen ohne gesundheitliche Einschränkungen und ohne Begünstigung von Schimmelbildung liegen zwischen 30 und 65 % relativer Feuchte.<sup>4</sup> Die gemessenen Werte befinden sich vollständig in diesem Bereich. Da die relative Luftfeuchte die Wärmetransportvorgänge an der Oberfläche der menschlichen Haut beeinflusst, hat sie darüber hinaus Einfluss auf die thermische Behaglichkeit. Die in Abbildung 9 dargestellten Behaglichkeitsfelder signalisieren im grünen Viereck die Einhaltung höchster Anforderungskriterien sowie im roten Viereck die Grenzen des Behaglichkeitsbereichs. Oben rechts außerhalb des Behaglichkeitsbereichs wird die Luft als zu feucht und schwül, unten links als zu trocken und kalt wahrgenommen. Der Bereich wird lediglich minimal aufgrund der Temperaturüber- und Unterschreitung verlassen.

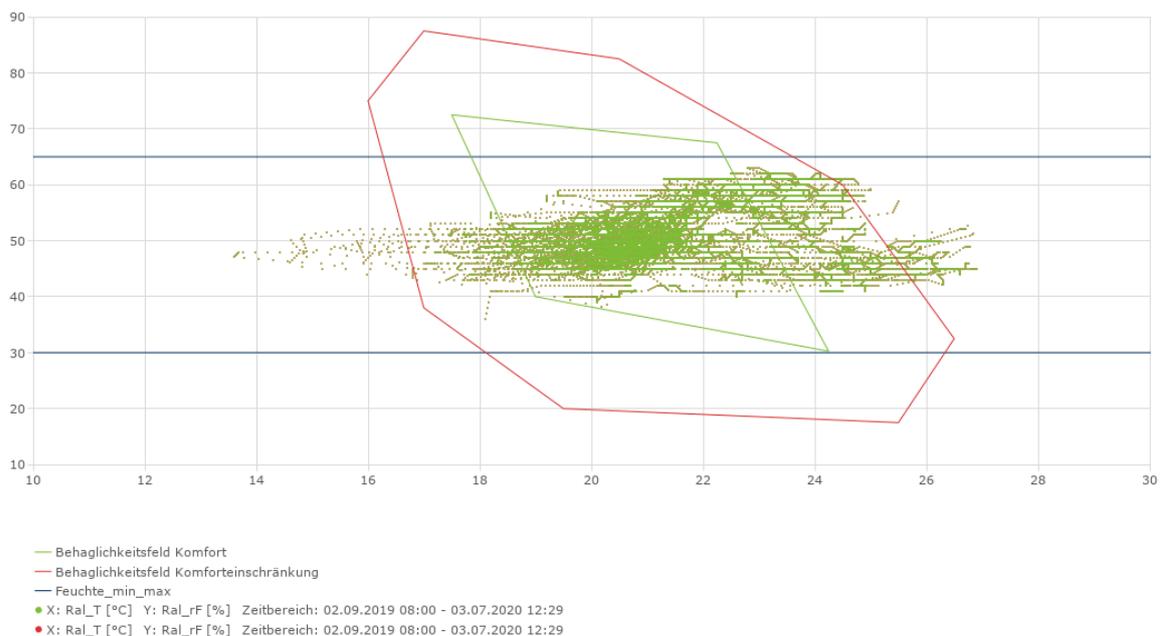


Abbildung 9: relative Raumluftheuchte in Abhängigkeit von der Raumlufthtemperatur im Messzeitraum September 2019 bis Juli 2020 mit Darstellung der Behaglichkeitsgrenzen

### 4.3.3 Hygienische Behaglichkeit

Die Auswertung des Raumklimas unter Berücksichtigung hygienischer Anforderungen nach VDI 6040 erfolgte anhand der gemessenen CO<sub>2</sub>-Konzentration. In Abbildung 10 ist der glei-

<sup>4</sup> <https://www.sichere-schule.de/lernraumunterrichtsraum/lernraum-unterrichtsraum/raumlufthtemperatur-raumklima> (abgerufen am 20.08.2020)

tende Mittelwert der CO<sub>2</sub>-Konzentration in Abhängigkeit von der Außenlufttemperatur dargestellt. Außerdem sind die Grenzen von 1.000 und 2.000 ppm aus der VDI-Richtlinie eingezeichnet. Unterhalb eines Schwellwertes mit einer CO<sub>2</sub>-Konzentration von 1.000 ppm gibt es keine hygienischen Bedenken und keine Auswirkungen auf die Gesundheit und Leistungsfähigkeit der Raumnutzerinnen und Raumnutzer. Der Bereich zwischen 1.000 und 2.000 ppm gilt als hygienisch eingeschränkt und sollte vermieden werden. Konzentrationen oberhalb von 2.000 ppm werden als nicht akzeptabel bewertet und erfordern bei regelmäßigem Auftreten entsprechende Maßnahmen zur Herstellung einer nutzungsförderlichen Raumluftqualität. Abbildung 10 zeigt eine deutliche Überschreitung der Grenzwerte von 1.000 bzw. 2.000 ppm. Außerdem kann eine Korrelation der CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Raumluft mit der Außenlufttemperatur beobachtet werden. Bei behaglicheren Außenlufttemperaturen ist die Bereitschaft zur Fensterlüftung anscheinend und erwartungsgemäß höher und demzufolge wird eine bessere hygienische Raumluftqualität erreicht. In Abbildung 11 ist die Anzahl an Messwerten innerhalb der Nutzungszeit je CO<sub>2</sub>-Bereich gemäß VDI 6040 dargestellt. Die Summenkurve zeigt, dass in etwa der Hälfte der Nutzungszeit eine unbedenkliche Raumluftzusammensetzung (grüner Bereich: < 1.000 ppm) vorlag, in der anderen Zeit ist die Luft allerdings ungenügend (gelber Bereich: 1.000-2.000 ppm) bis sehr schlecht (roter Bereich: > 2.000 ppm).

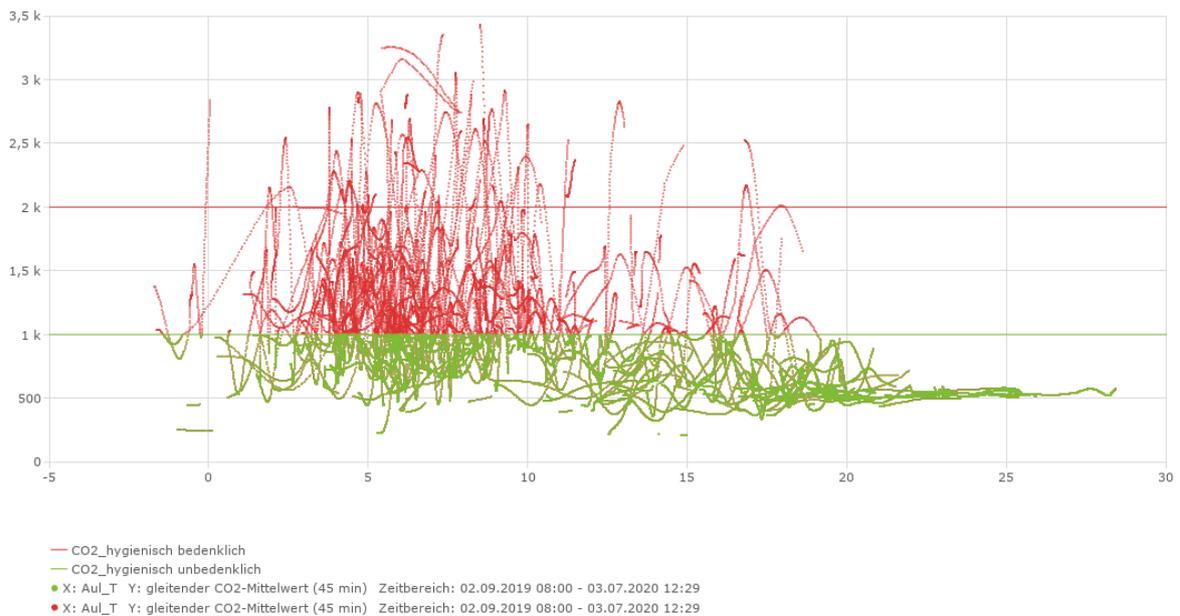


Abbildung 10: CO<sub>2</sub>-Konzentrationen in Abhängigkeit von der Außenlufttemperatur im Messzeitraum

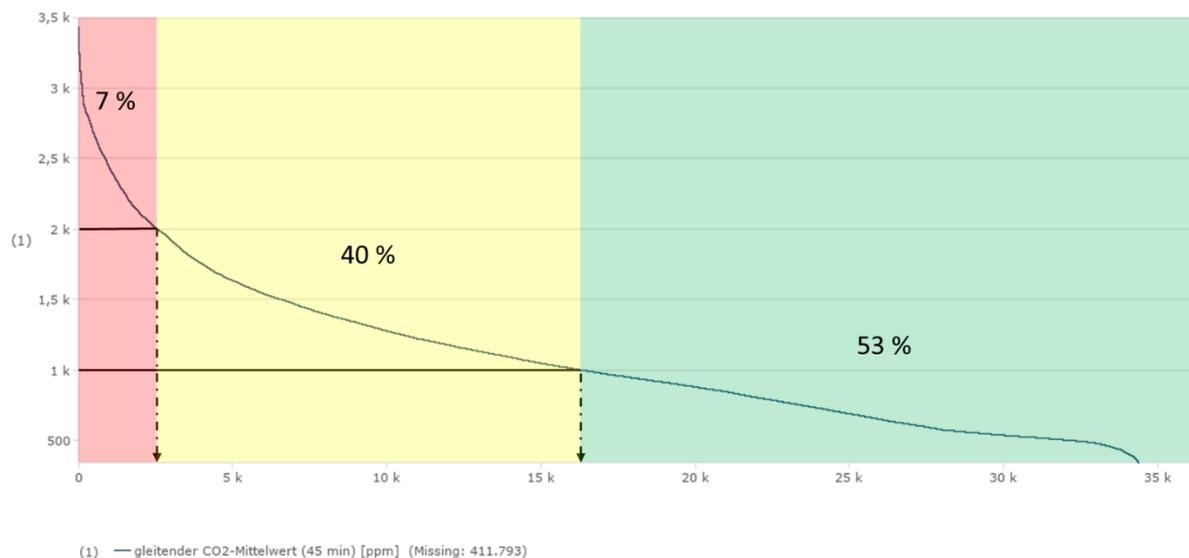


Abbildung 11: Häufigkeit gemessener CO<sub>2</sub>-Konzentrationen (x-Achse: Anzahl Messpunkte, y-Achse: Höhe CO<sub>2</sub>-Konzentration) im Messzeitraum

In Abbildung 12 ist die Luftqualität in Verbindung mit dem **Lüftungsverhalten** dargestellt. Die blauen Balken beschreiben dabei den Anteil an der Nutzungszeit, wo mindestens ein Fenster geöffnet ist. Im September wurde in fast 90 % der Raumbelagungszeit gelüftet und entsprechend erreichte die CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Raumluft kaum einen hygienisch bedenklichen Bereich. Mit sinkenden Außenlufttemperaturen sank die Zeit an dem über die Fenster gelüftet wurde signifikant auf einen Anteil von ca. 20-30 %. Dementsprechend stieg die CO<sub>2</sub> Konzentration häufiger über die Werte einer als gut befundenen Raumluftqualität.

In Abbildung 13 ist abzulesen, dass ca. drei- bis viermal täglich gelüftet und damit die CO<sub>2</sub>-Konzentration reduziert werden konnte. Es wird deutlich, dass am Ende einer Unterrichtseinheit gelüftet werden muss, um am Folgetag mit einer ausreichend guten Luftqualität starten zu können. Mittwoch und Donnerstag der Beispielwoche zeigt, dass die Reduzierung der CO<sub>2</sub> Konzentration durch Infiltration selbst ohne Nutzung nicht ausreicht, um die Luftqualität entscheidend zu verbessern.

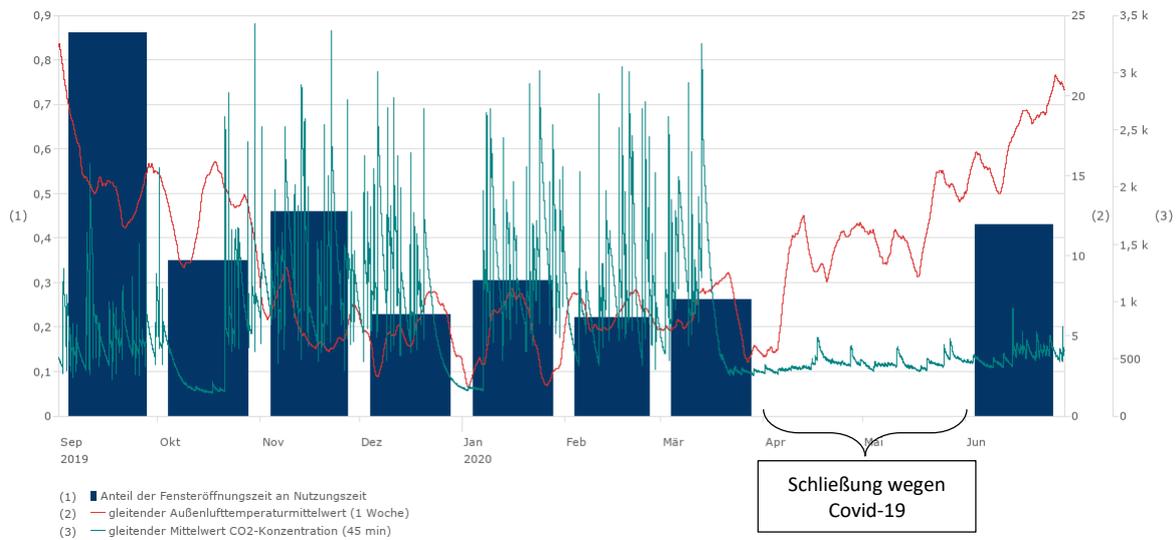


Abbildung 12: Lüftungsverhalten, CO<sub>2</sub>-Konzentration und Außenlufttemperatur

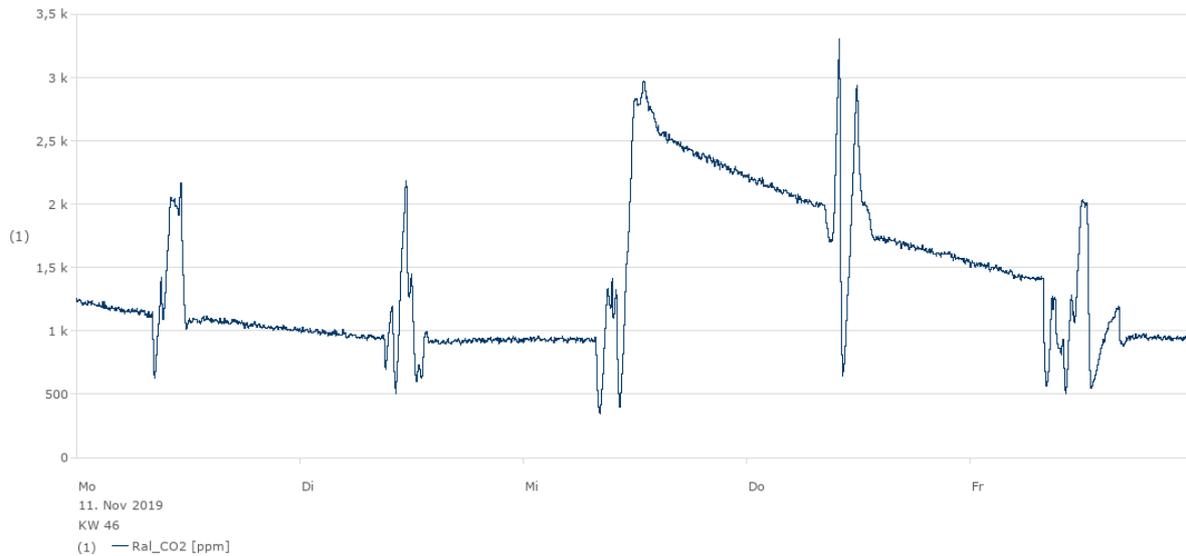
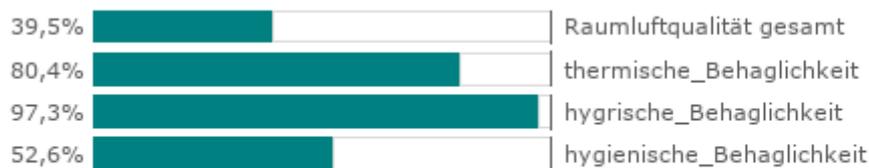


Abbildung 13: CO<sub>2</sub>-Konzentration in einer Beispielwoche im November, Nutzungs- und Lüftungsverhalten sind ablesbar

#### 4.3.4 Zusammenfassung

Im gesamten Prüfzeitraum lag nur in 40 % der Nutzungszeit eine behagliche Raumluftqualität vor, siehe Abbildung 14. Für jeden Zeitpunkt wurden die beschriebenen Behaglichkeitskriterien überprüft. Sobald mindestens eins davon verletzt ist, gilt der Zeitpunkt für die Gesamtbewertung als fehlerhaft. Wenn die verschiedenen Unbehaglichkeiten zeitversetzt auftreten, ist die Gesamtbewertung folglich schlechter als die Einzelbewertungen. Die Einschränkungen sind, wie oben erläutert, vor allem hygienischen und teilweise auch thermischen Ursprungs. In Abbildung 15 und Abbildung 16 wird ersichtlich, dass bezogen auf die Raumluftqualität eingeschränkte Zustände vor allem ab Ende Oktober bis Mitte März vorlagen. Für die Zeit der pandemiebedingten Schulschließung zwischen März und Juni 2020 kann keine Auswertung

vorgenommen werden. Mitte Juni wurde der Schulbetrieb wieder aufgenommen, die Raumluftqualität war ab da deutlich besser. Eine veränderte Belegung in dieser Zeit ist nicht bekannt. Durch das Lüftungsverhalten werden die hygienischen Bedingungen häufig nicht eingehalten. Es kann unterstellt werden, dass eine längere und häufigere Fensterlüftung die Luftqualität verbessern würde. Bei einer kurzzeitigen Stoßlüftung in den Wintermonaten wäre der Einfluss auf den Heizwärmeverbrauch und die Luftfeuchte gering.



Von: 01.09.2019 00:00:00  
Bis: 07.07.2020 00:00:00

Abbildung 14: Gesamtbewertung der verschiedenen Behaglichkeitsaspekte im Messzeitraum

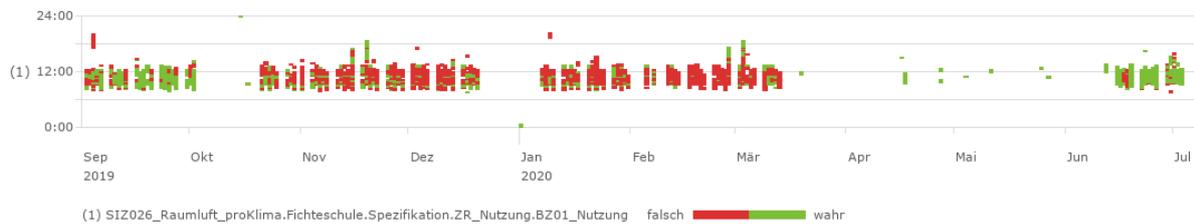


Abbildung 15: Grenzwertverletzungen im Verlauf des Messzeitraums, rot = mind. eine Behaglichkeitsbedingung verletzt



Abbildung 16: Täglicher Erfüllungsgrad der Behaglichkeitskriterien im Messzeitraum

#### 4.4 Fragebogen

Der Fragebogen zu den Bedingungen bezüglich der Behaglichkeit in den Sommer- und Wintermonaten im Raum wurde von der entsprechenden Klassenlehrerin einmalig ausgefüllt und ist im Folgenden knapp sinngemäß zusammengefasst (kursiver Text) und jeweils hinsichtlich der Übereinstimmung mit den Messwerten ergänzt:

1. *Es ist eher zu eng im Raum.*

Im Klassenraum stehen bei vollständiger Belegung 2,46 m<sup>2</sup>/Person zur Verfügung. Das entspricht den Auslegungsrichtwerten für Unterrichtsräume, die 2 bis 2,5 m<sup>2</sup>/Person empfehlen.<sup>5</sup> Die Grundfläche des Raumes sollte dementsprechend ausreichend sein, der tatsächlich verfügbare Platz kann aber abhängig von der Möblierung und der Raumgeometrie eingeschränkt sein. Eventuell kann über eine veränderte Tischanordnung eine Verbesserung im wahrgenommenen Raumangebot erzielt werden.

<sup>5</sup> <https://www.sichere-schule.de/lernraumunterrichtsraum/lernraum-unterrichtsraum/raumgrosse-flexible-raumnutzung> (abgerufen am 20.08.2020)

2. *Es ist zu warm in den Sommermonaten.*

Der Messzeitraum umfasst die Monate September bis Juli. Im Sinne des Fragebogens als Sommermonat definiert sind April bis Oktober. Dementsprechend kann der August messbedingt und Mitte März bis Mitte Juni pandemiebedingt nicht Grundlage der Auswertung sein. Im auswertbaren „Sommerhalbjahr“ wurde in 13 % der Nutzungszeit (etwa 20 von 158 h) eine Überschreitung der Behaglichkeitsgrenze gemäß Kapitel 4.3.1 beobachtet. Eine regelmäßige Überhitzung in den Sommermonaten ist wahrscheinlich. Der Überhitzung kann durch eine konsequente Stoßlüftung und durch die Verschattung mithilfe der Raffstores etwas vorgebeugt werden.

3. *Feuchte ist vollkommen okay.*

Übereinstimmung mit den Messwerten.

4. *Die Luftqualität ist im Sommer mittel und im Winter sehr schlecht.*

Übereinstimmung mit den Messwerten.

5. *Im Sommer wird 4-mal täglich 5-10 min und im Winter 3-mal täglich 5 min mit weit geöffnetem Fenster gelüftet.*

Kann anhand des CO<sub>2</sub>-Verlaufes bestätigt werden (siehe Abbildung 13)

6. *Ständig Lärm von draußen bei geöffnetem Fenster.*

Kann anhand des Schalldruckpegels nicht mit ausreichender Genauigkeit nachvollzogen werden, da die Schallquelle nicht bekannt ist. Mit einer Korrelation von Fensteröffnung und erhöhtem Schalldruckpegel würde nicht zwangsläufig ein kausaler Zusammenhang einhergehen.

7. *Insgesamt sehr angenehme Bedingungen am Arbeitsplatz.*

Diese allgemeine Einschätzung ist anhand der sonstigen Angaben und der Messergebnisse nicht nachvollziehbar.

## 5 Kita Hainholzer Hafen

Im Folgenden wird das Objekt Kita Hainholzer Hafen sowie der Messaufbau und die objekt-spezifischen Ergebnisse dargestellt.

### 5.1 Objektbeschreibung

Gegenstand der Betrachtung war ein Gruppenraum des Familienzentrums Hainholzer Hafen in der Voltmerstraße 16 in 30165 Hannover. Das Gebäude wurde 2003 im Passivhausstandard errichtet. Wesentliche Informationen zum untersuchten Raum sind in Tabelle 5 zusammengefasst. Die Prüfung konnte für den Zeitraum 22.08.2019 – 14.02.2020 durchgeführt werden.

Tabelle 7: Grundlegende Informationen zum Raum

<b>Bezeichnung</b>	Krabbler 2
<b>Nutzungsart</b>	Gruppenraum Kindertagesstätte
<b>Etage</b>	EG, 1/2
<b>Fläche</b>	ca. 52 m <sup>2</sup>
<b>Volumen</b>	ca. 153 m <sup>3</sup>
<b>Anzahl Personen</b>	15 Kinder, 2 BetreuerInnen
<b>Fläche/Volumen p.P.</b>	3,06 m <sup>2</sup> / 8,99 m <sup>3</sup>
<b>Nutzungszeit</b>	offizielle Betreuungszeit 7-17 Uhr, tatsächlich eher 8-16 Uhr
<b>Fenster</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 1 x Drehkipp-Flügel mit Wärmeschutzverglasung, kann uneingeschränkt geöffnet werden, Ausrichtung SSW</li> <li>- 1 x Außentür, Ausrichtung NNO</li> <li>- SSW- und NNO-Fassade nahezu vollflächig verglast, O-Seite ca. 30 % verglast</li> <li>- Fenster im angrenzenden Schlafraum (Drehkipp-Flügel), uneingeschränkt offenbar, Ausrichtung NNO</li> </ul>
<b>Angrenzend</b>	<p>O: sehr wenig befahrene Nebenstraße für Anwohner</p> <p>SSW: wenig befahrene Nebenstraße (Voltmerstraße)</p> <p>NW: Sanitärraum, Garderobe/Flur (Tür), Schlafraum (Tür)</p> <p>NNO: Außenbereich/Hinterhof, sehr ruhig</p> <p>Darüber: Gruppenraum 1. OG</p> <p>Darunter: Erdreich</p>

<b>Heizung</b>	1 x Radiator, Zuluft
<b>Lüftung</b>	Zentrale Lüftungsanlage (3 Drallauslässe, 435 m <sup>3</sup> /h Zuluft, Überströmung in den Flur), zusätzliche Fensterlüftung möglich; Aussage Nutzer: Funktion der Lüftungsanlage unbekannt, immer Fensterlüftung
<b>Kühlung</b>	Keine aktive Kühlung
<b>Sonnenschutz</b>	Außenliegende, manuell bedienbare Raffstores mit Horizontallamellen und Winkelverstellung

## 5.2 Messaufbau

Der Messaufbau erfolgte komplett strom- und datennetzwerkunabhängig gemäß Variante A des Messkonzeptes (siehe Kapitel 3.2.1) und wie auf den Fotos in Abbildung 17 sowie im Grundriss in Abbildung 18 mit der zugehörigen Datenpunktliste in Tabelle 8 dargestellt.

Die Erfassung der Raumluftparameter erfolgte mit dem „HOBO MX CO2 Logger“ von Onset. Das Gerät wurde auf ca. 1,50 m Höhe wie abgebildet angebracht. Eine direkte Sonnenlicht-Exposition ist aufgrund der Fensterausrichtung und der Positionierung ausgeschlossen. Die Fensteröffnung von allen zum Lüften zu öffnenden Fensterflügeln und Türen im Raum wurde mit den HOBO UX90-001 Statusloggern von Onset wie abgebildet erfasst, d.h. jede manuelle Öffnung führte dazu, dass der Magnet aus dem Schaltbereich des Loggers entfernt wird und eine Protokollierung auslöst. Die Türöffnungen zum Schlafräum und zum Flur wurden nicht erfasst. Die Werte für die Außenlufttemperatur konnten in stündlicher Auflösung vom Deutschen Wetterdienst von der Wetterstation in Hannover bezogen werden.

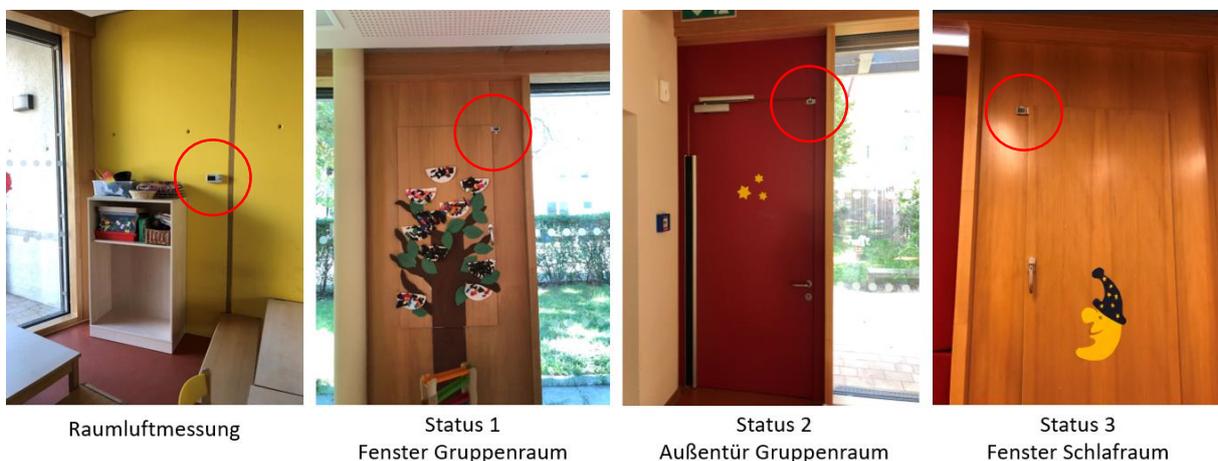


Abbildung 17: Positionierung der Messgeräte im Familienzentrum Hainholzer Hafn

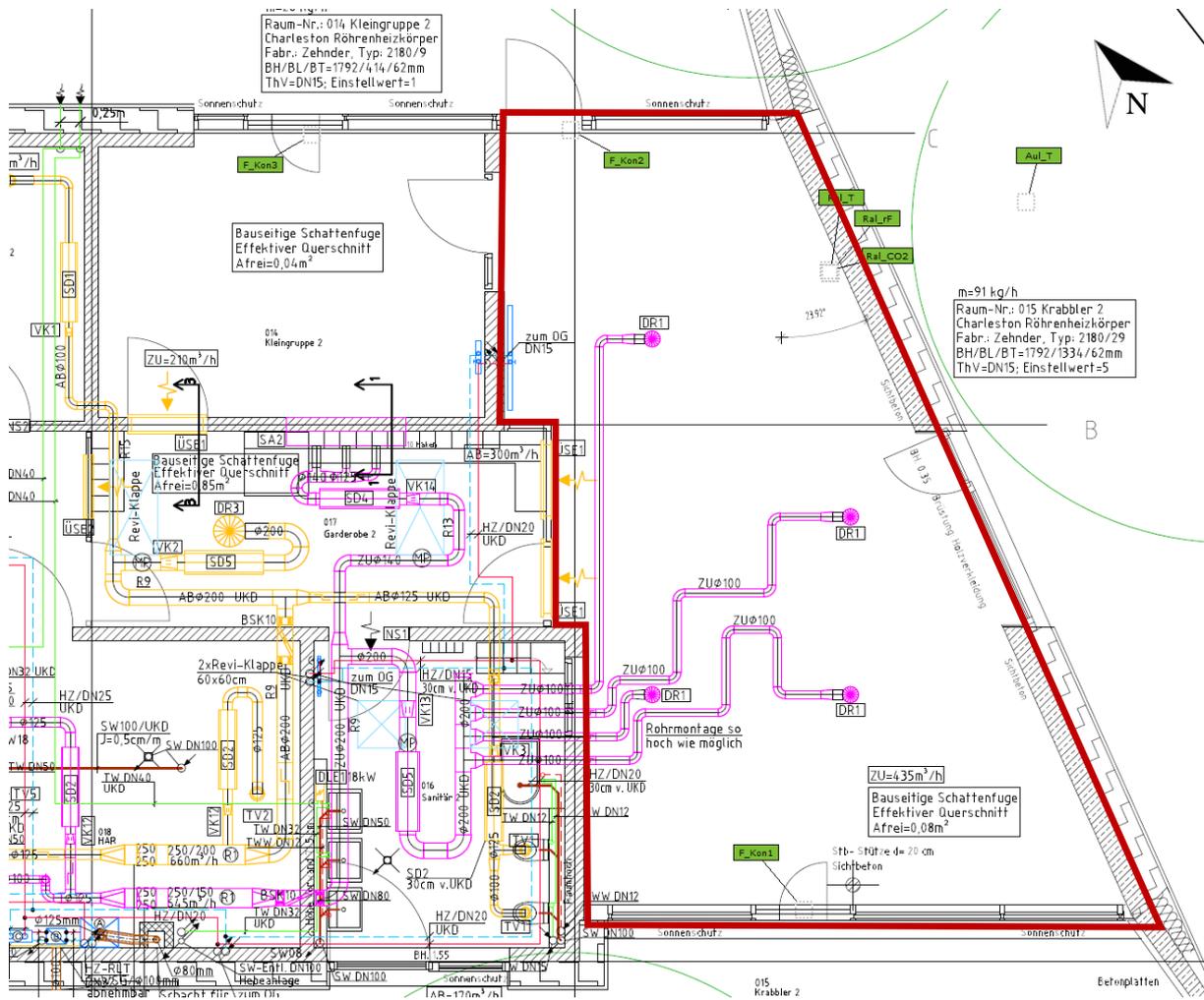


Abbildung 18: Position der Datenpunkte im Grundriss, Kitaraum Krabbler 2 im Familienzentrum Hainholzer Hafen

Tabelle 8: Datenpunktliste

Name	Kommentar	Einheit	Datenpunkt
Aul_T	Außenlufttemperatur	-	Außenlufttemperatur
F_Kon1	Fensterkontakt 1	-	HH_State1 (LGR S/N: 20506052, SEN S/N: 20506052, LBL: Fensteröffnung)
F_Kon2	Fensterkontakt 2	-	HH_State2 (LGR S/N: 20506053, SEN S/N: 20506053, LBL: Fensteröffnung)
F_Kon3	Fensterkontakt 3	-	HH_State3 (LGR S/N: 20506051, SEN S/N: 20506051, LBL: Fensteröffnung)
Ral_CO2	CO <sub>2</sub> -Konzentration	-	HH_CO <sub>2</sub>
Ral_T	Raumlufttemperatur	-	HH_Temp.
Ral_rF	Raumluftfeuchte	-	HH_RH

### 5.3 Raumklimaanalyse

Die Bewertung des Raumklimas erfolgt anhand ausgewählter repräsentativer Faktoren. Die Analyse umfasst die thermische, hygrische und hygienische Behaglichkeit.

Für die Behaglichkeitsanalyse sind nur die Nutzungszeiten, also die Zeiten mit Raumbelegung relevant. Die offizielle Betreuungszeit ist von 7-17 Uhr, die angegebene tatsächliche Nutzungszeit des Raumes liegt zwischen 8-16 Uhr. Um die tatsächliche Raumbelegung abbilden zu können, wurden Tage ohne Nutzereinfluss ermittelt und im Zeitprogramm sowie bei der Datenauswertung entsprechend ausgesetzt. Die in Abbildung 19 dargestellten Zeiträume wurden im Folgenden ausgewertet.

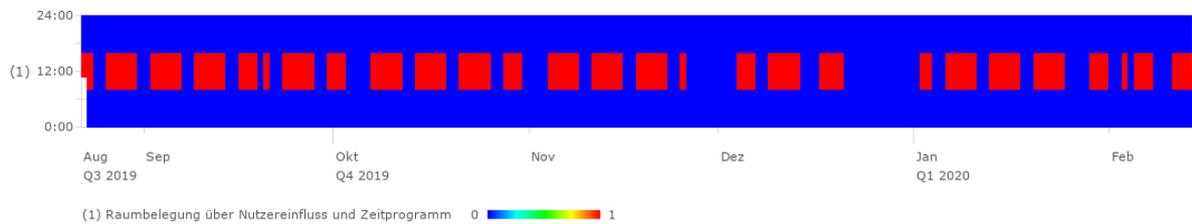


Abbildung 19: Darstellung der Raumbelegung im Prüfzeitraum im Familienzentrum Hainholzer Hafen

#### 5.3.1 Thermische Behaglichkeit

Die Auswertung der thermischen Behaglichkeit im Raum erfolgte anhand der Vorgaben zur außenlufttemperaturabhängigen Komfortraumtemperatur mit den dazugehörigen Toleranzen nach der DIN EN 15251:2012-12. Während der Raumbelegung wurden die in Abbildung 20 dargestellten Raumlufttemperaturen in Abhängigkeit vom gleitenden Mittelwert der Außenlufttemperatur erfasst. Der Komfortbereich wurde sehr selten unterschritten, 7 % der Werte lagen unter 20°C (55 Unterkühlungsstunden bzw. 6,9 Tage). Es werden keine Überhitzungsstunden erfasst.

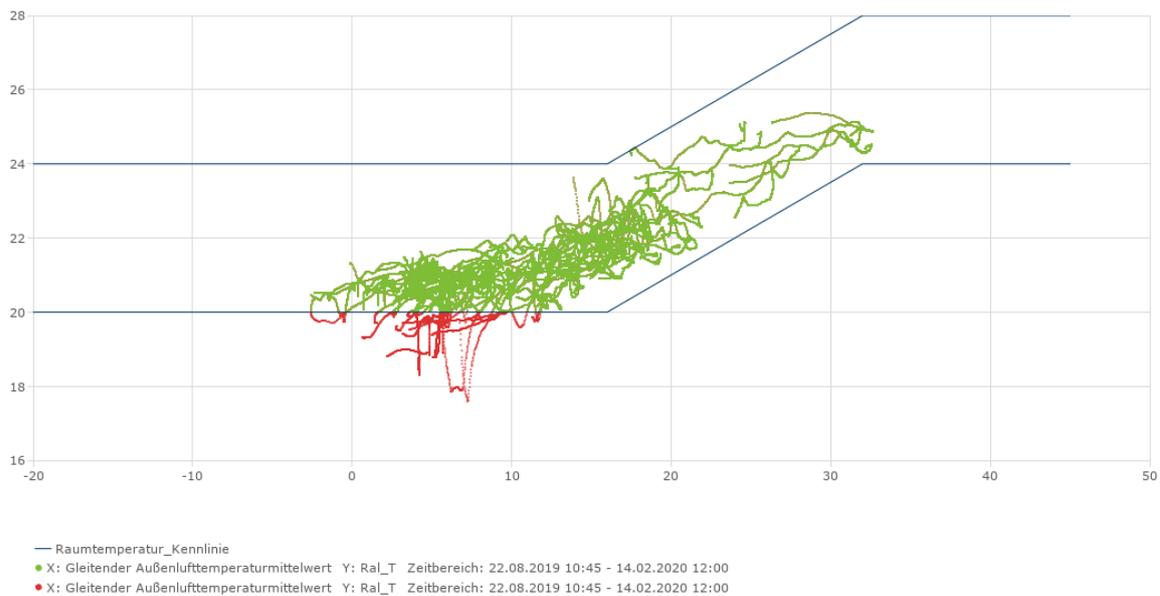


Abbildung 20: Auswertung Raumlufttemperatur von August bis Februar im Familienzentrum Hainholzer Hafen

### 5.3.2 Hygrische Behaglichkeit

„Die Luftfeuchte hat nur geringe Auswirkung auf die Temperaturempfindung und die Wahrnehmung der Luftqualität in Räumen mit sitzenden Tätigkeiten, jedoch verursacht lang andauernde hohe Raumluftfeuchte mikrobielles Wachstum, während sehr niedrige Luftfeuchte (<15 % bis 20 %) Trockenheit und Reizungen der Augen und Luftwege verursacht.“ (DIN EN 15251:2012)

Die im Prüfzeitraum gemessene Raumluftfeuchte ist in Abbildung 21 in Abhängigkeit von der Raumlufttemperatur dargestellt. Die angesetzten Behaglichkeitsgrenzen ohne gesundheitliche Einschränkungen und ohne Begünstigung von Schimmelbildung sind 30 und 65 % relative Feuchte.<sup>6</sup> Die gemessenen Werte befinden sich nahezu vollständig in diesem Bereich. Da die relative Luftfeuchte die Wärmetransportvorgänge an der Oberfläche der menschlichen Haut beeinflusst, hat sie darüber hinaus Einfluss auf die thermische Behaglichkeit. Die in Abbildung 21 dargestellten Behaglichkeitsfelder signalisieren im grünen Viereck die Einhaltung höchster Anforderungskriterien sowie im roten Viereck die Grenzen des Behaglichkeitsbereichs. Oben rechts außerhalb des Behaglichkeitsbereichs wird die Luft als zu feucht und schwül, unten links

<sup>6</sup> <https://www.sichere-schule.de/lernraumunterrichtsraum/lernraum-unterrichtsraum/raumluftqualitaet-raumklima> (abgerufen am 20.08.2020)

als zu trocken und kalt wahrgenommen. Der Bereich wird in Ausnahmefällen geringfügig verlassen.

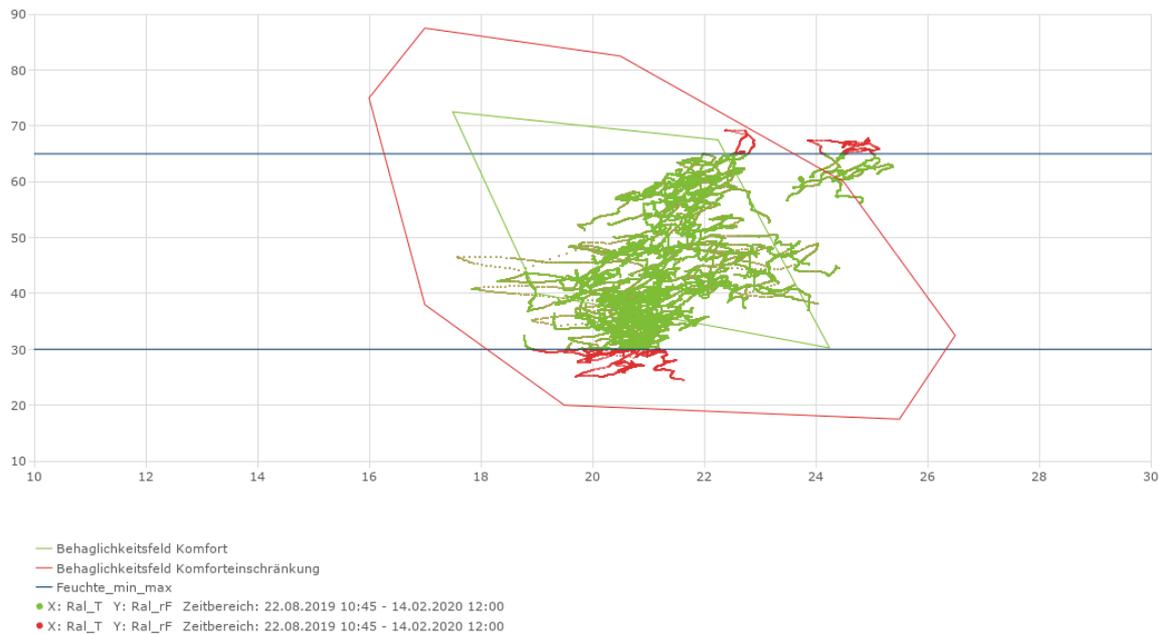


Abbildung 21: relative Raumlufefeuchte in Abhängigkeit von der Temperatur mit entsprechenden Behaglichkeitsgrenzen im Familienzentrum Hainholzer Hafen

### 5.3.3 Hygienische Behaglichkeit

Die Auswertung des Raumklimas unter Berücksichtigung hygienischer Anforderungen nach VDI 6040 erfolgte anhand der gemessenen CO<sub>2</sub>-Konzentration. In Abbildung 22 ist der gleitende Mittelwert der CO<sub>2</sub>-Konzentration in Abhängigkeit von der Außenlufttemperatur dargestellt. Außerdem sind die Grenzen von 1.000 und 2.000 ppm aus der VDI-Richtlinie eingezeichnet. Unterhalb eines Schwellwertes mit einer CO<sub>2</sub>-Konzentration von 1.000 ppm gibt es keine hygienischen Bedenken und keine Auswirkungen auf die Gesundheit und Leistungsfähigkeit der Raumnutzerinnen und Raumnutzer. Der Bereich zwischen 1.000 und 2.000 ppm gilt als hygienisch eingeschränkt und sollte vermieden werden. Konzentrationen oberhalb von 2.000 ppm werden als nicht akzeptabel bewertet und erfordern bei regelmäßigem Auftreten entsprechende Maßnahmen zur Herstellung einer nutzungsförderlichen Raumluftequalität. Der Abbildung ist keine nennenswerte Grenzwertverletzung zu entnehmen. Eine Korrelation der CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Raumlufte mit der Außenlufttemperatur ist nicht ersichtlich. In Abbil-

dung 23 ist die Anzahl an Messwerten innerhalb der Nutzungszeit je CO<sub>2</sub>-Konzentration dargestellt. Die hygienische Konditionierung der Raumluft hat im Prüfzeitraum erfolgreich stattgefunden.

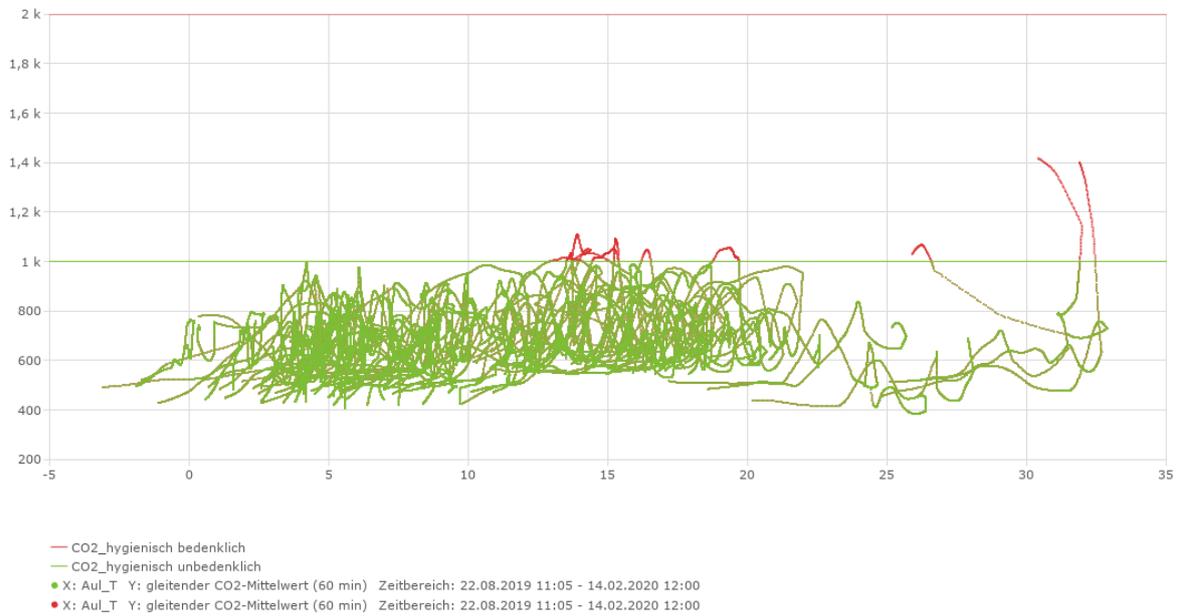


Abbildung 22: CO<sub>2</sub>-Konzentrationen in Abhängigkeit von der Außenlufttemperatur im Messzeitraum August bis Februar

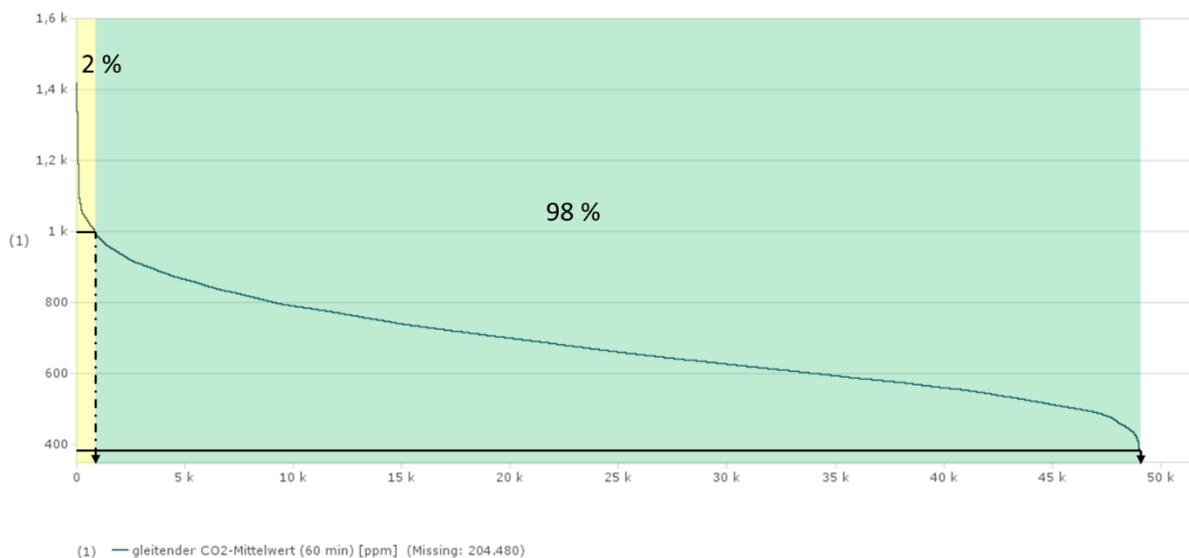


Abbildung 23: Häufigkeit gemessener CO<sub>2</sub>-Konzentrationen (x-Achse: Anzahl Messpunkte, y-Achse: Höhe CO<sub>2</sub>-Konzentration) im Messzeitraum

Der CO<sub>2</sub>-Verlauf ist in Abbildung 24 beispielhaft für eine Woche im November dargestellt. Es ist ablesbar, dass jeden Morgen vor dem Nutzungsbeginn eine unverbrauchte Raumluft vor-

lag. Im Tagesverlauf stieg die Konzentration zwar an, kam allerdings nicht in einen gesundheitlich bedenklichen Bereich. Der Betrieb der Lüftungsanlage sowie zusätzliche Fensteröffnungen sorgten für eine hygienische Raumlufte. In Abbildung 25 ist das **Lüftungsverhalten** unter anderem anhand der Fensteröffnungen visualisiert. Es ist abzulesen, dass das Fenster im Gruppenraum (1) nur sehr selten geöffnet wurde, vor allem im August und September. Hauptsächlich wurde über die Tür zum Hinterhof (2) gelüftet, die Tür stand sogar teilweise ganztägig offen. Mit abnehmenden Außentemperaturen ab November wurde die Tür etwas häufiger geschlossen gehalten oder die Öffnungszeit reduziert. Das Fenster im Schlafraum (3) wurde sehr regelmäßig lange Zeit am Vormittag und mit entsprechender Pause (Mittagsschlaf) nach dem Mittag geöffnet. An drei Tagen sogar über Nacht offengelassen. Die sehr häufige und langzeitige Öffnung von Fenstern und Außentüren wirkt sich positiv auf die Raumluftequalität aus (siehe Abbildung 26), ist im Kontext der Energieeffizienz des Passivhauses aber sehr kritisch zu sehen. Die Lüftungsanlage mit einer Wärmerückgewinnung (Planungswert > 80%) und Luftherhitzer sowie die eingestellten Luftvolumenströme sind anscheinend ausreichend dimensioniert, um die Luftqualität im Raum in einem behaglichen Bereich zu halten (siehe Messdaten in Abbildung 26 bei geschlossenen Fenstern). Die CO<sub>2</sub>-Konzentration erreicht in diesen Fällen max. 1400 ppm, bleibt zu 99,3 % allerdings im behaglichen Bereich unter 1000 ppm. Die Abbildung 27 zeigt die Häufigkeit der auftretenden CO<sub>2</sub>-Konzentrationen bei geschlossenen Fenstern innerhalb der Nutzungszeit. Der Grenzwert nach Pettenkofer von 1000 ppm wird praktisch vollständig eingehalten, eine zusätzliche Fensterlüftung im beobachteten Umfang ist nicht notwendig.

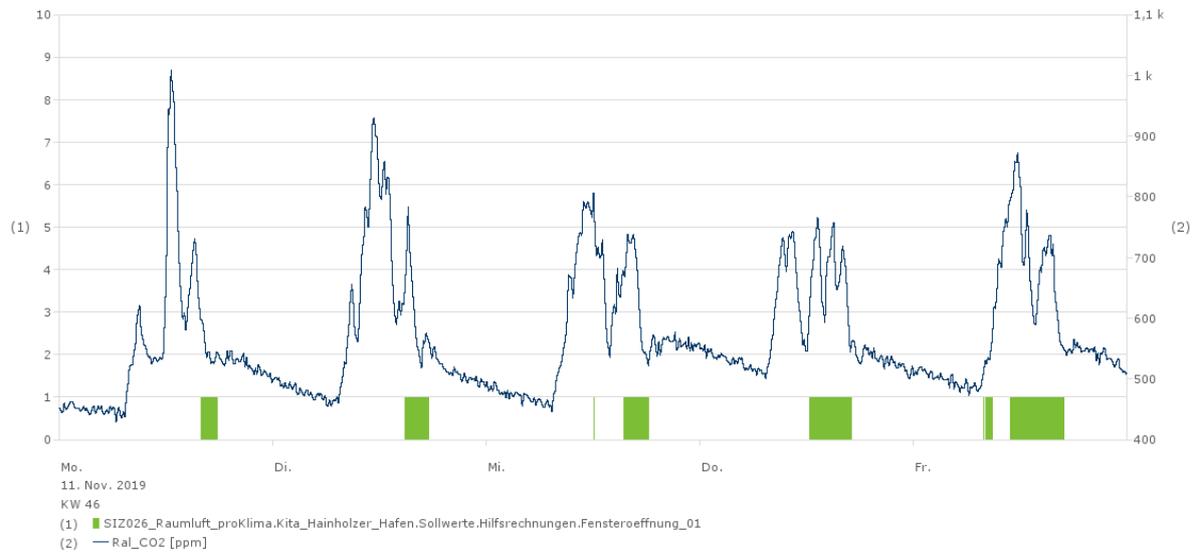


Abbildung 24: CO<sub>2</sub>-Konzentration in einer Beispielwoche im November, Nutzungs- und Lüftungsverhalten sind ablesbar

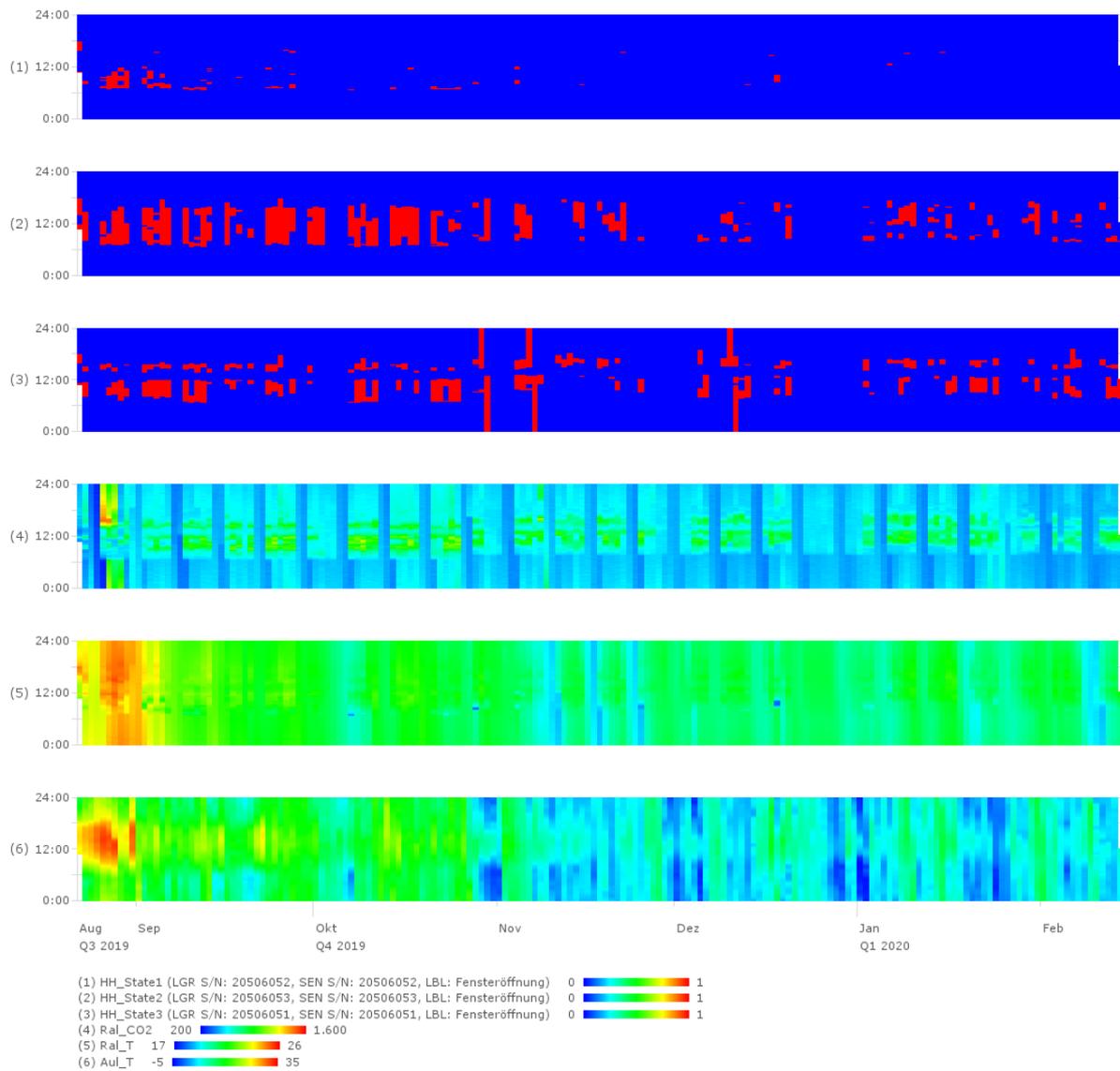


Abbildung 25: Darstellung geöffneter Fenster und Türen (1-3), CO<sub>2</sub>-Konzentration (4), Raumtemperatur (5) sowie Außenlufttemperatur (6) im Messzeitraum im Familienzentrum Hainholzer Hafen

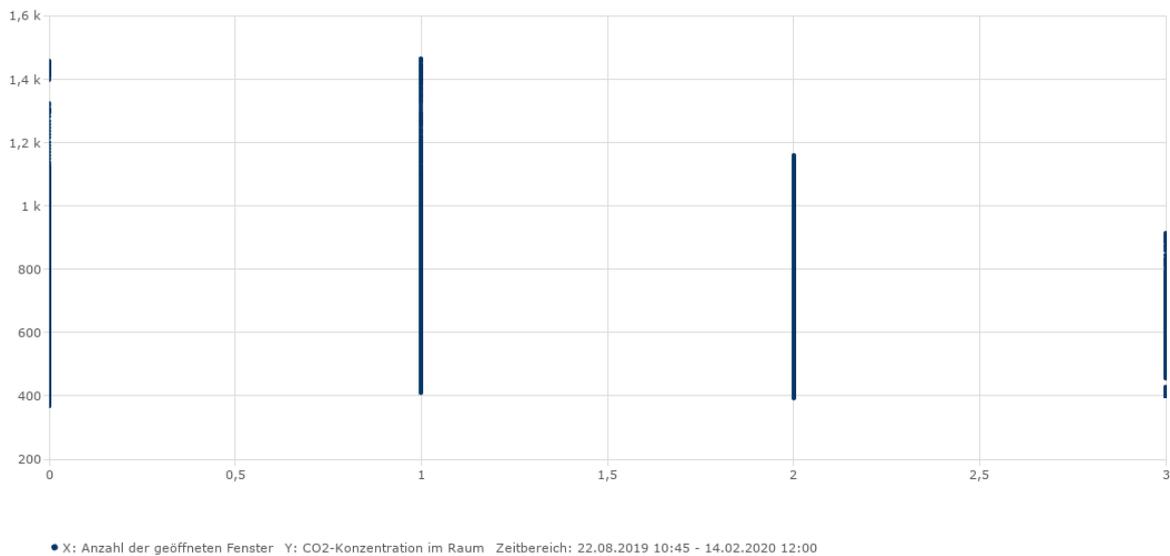


Abbildung 26: Effekt der Fensterlüftung, CO<sub>2</sub>-Konzentration im Raum in Abhängigkeit von der Anzahl geöffneter Fenster/Türen

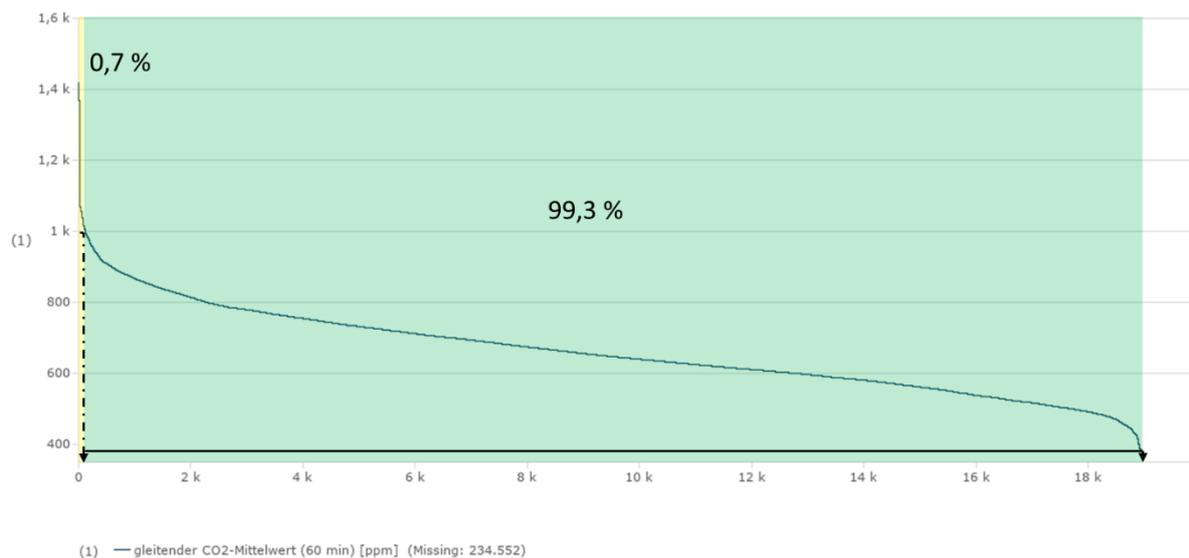


Abbildung 27: Häufigkeit gemessener CO<sub>2</sub>-Konzentrationen (x-Achse: Anzahl Messpunkte, y-Achse: Höhe CO<sub>2</sub>-Konzentration) bei geschlossenen Fenstern innerhalb der Nutzungszeit

### 5.3.4 Zusammenfassung

Im gesamten Prüfzeitraum lag überwiegend eine komplett behagliche Raumluftqualität vor (siehe Abbildung 28). Für jeden Zeitpunkt wurden die beschriebenen Behaglichkeitskriterien überprüft. Sobald mindestens eins davon verletzt ist, gilt der Zeitpunkt für die Gesamtbewertung als fehlerhaft. Wenn die verschiedenen Unbehaglichkeiten zeitversetzt auftreten, ist die Gesamtbewertung folglich schlechter als die Einzelbewertungen. Sporadisch auftretende Einschränkungen traten unabhängig von der Tages- und Jahreszeit sowie unabhängig von der Außenlufttemperatur auf. Problematisch, mit den vorliegenden Messwerten allerdings nicht

weiter bewertbar, ist lediglich das Lüftungsverhalten, dass mutmaßlich den Wärmeverbrauch erhöht. Eine Information und Sensibilisierung der NutzerInnen ist ggf. sinnvoll, um den rationalen und rationellen Umgang mit dem Passivhaus zu erreichen.



Von: 22.08.2019 10:45:00  
Bis: 14.02.2020 12:00:00

Abbildung 28: Gesamtbewertung der verschiedenen Behaglichkeitsaspekte im Familienzentrum Hainholzer Hafen

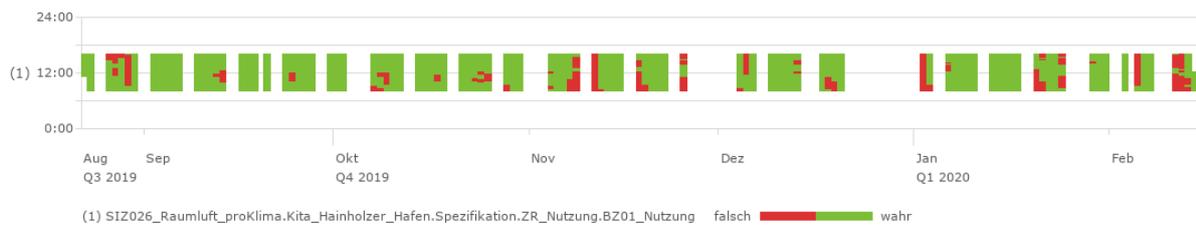


Abbildung 29: Zeitliches Auftreten der Grenzwertverletzung im Familienzentrum Hainholzer Hafen



Abbildung 30: Täglicher Erfüllungsgrad der Behaglichkeitskriterien von August bis Februar im Familienzentrum Hainholzer Hafen

#### 5.4 Fragebogen

Der Fragebogen zu den Bedingungen bezüglich der Behaglichkeit in den Sommer- und Wintermonaten im Raum ist zum Zeitpunkt der Berichterstellung noch nicht eingegangen.

## 6 Kita Waldstraße

Im Folgenden wird das Objekt Kita Waldstraße sowie der Messaufbau und die objektspezifischen Ergebnisse dargestellt.

### 6.1 Objektbeschreibung

Gegenstand der Betrachtung war ein Gruppenraum der Kita Waldstraße in der Waldstraße 11 in 30629 Hannover Misburg-Nord. Das Hauptgebäude wurde 1962 errichtet, der Anbau mit dem untersuchten Gruppenraum im Jahr 1972. Wesentliche Informationen zum untersuchten Raum sind in Tabelle 5 zusammengefasst. Die Prüfung konnte für den Zeitraum 22.08.2019 – 14.02.2020 durchgeführt werden.

Tabelle 9: Grundlegende Informationen zum Raum

<b>Bezeichnung</b>	E28 - Regenbogengruppe
<b>Nutzungsart</b>	Gruppenraum Kindertagesstätte
<b>Etage</b>	EG, 1/1
<b>Fläche</b>	67,37 m <sup>2</sup>
<b>Volumen</b>	169,77 m <sup>3</sup>
<b>Anzahl Personen</b>	Ca. 25 Kinder, 2 BetreuerInnen
<b>Fläche/Volumen p.P.</b>	2,5 m <sup>2</sup> / 6,29 m <sup>3</sup>
<b>Nutzungszeit</b>	8 - 16 Uhr
<b>Fenster</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 1 x Drehkipp-Flügel, eingeschränkt offenbar (Pflanzen auf der Fensterbank), Ausrichtung NW</li> <li>- 1 x Außentür, Ausrichtung NW, uneingeschränkt offenbar <ul style="list-style-type: none"> <li>o NW-Fassade: ca. 50 % Fensterflächenanteil</li> </ul> </li> <li>- 2 x Dachfenster, uneingeschränkt offenbar, eine Fensternische war (vermutlich) ununterbrochen zur Verdunkelung mit Stoff verhängt</li> </ul>
<b>Angrenzend</b>	NO: Gruppenraum, Waschraum, Garderobe (Tür) SO: Flur SW: Flur (100 % Fensterflächenanteil) NW: Beh.-WC, Außenbereich/Hinterhof (Tür+Fenster)

	Darüber: Flachdach Darunter: Erdreich
<b>Heizung</b>	2 x Röhrenradiator
<b>Lüftung</b>	Fensterlüftung
<b>Kühlung</b>	Keine aktive Kühlung
<b>Sonnenschutz</b>	Kein Sonnenschutz

## 6.2 Messaufbau

Der Messaufbau erfolgte komplett strom- und datennetzwerkunabhängig gemäß Variante A des Messkonzeptes (siehe Kapitel 3.2.1) und wie auf den Fotos in Abbildung 32 sowie im Grundriss in Abbildung 32 mit der zugehörigen Datenpunktliste in Tabelle 10 dargestellt.

Die Erfassung der Raumluftparameter erfolgte mit dem „HOBO MX CO2 Logger“ von Onset. Das Gerät wurde auf ca. 1,50 m Höhe wie abgebildet angebracht. Eine direkte Sonnenlicht-Exposition ist aufgrund der Fensterausrichtung und der Positionierung ausgeschlossen. Die Fensteröffnung von allen zum Lüften öffnbaren Fenstern und Türen im Raum wurde mit den HOBO UX90-001 Statusloggern von Onset wie abgebildet erfasst, d.h. jede Öffnung führte dazu, dass der Magnet aus dem Schaltbereich des Loggers entfernt wird und eine Protokollierung auslöst. Die Türöffnungen zur Garderobe/Flur wurde nicht erfasst. Der Statuslogger 1 wurde aufgrund unplausibler Messwerte bei der Auswertung nicht weiter berücksichtigt. Die Werte für die Außenlufttemperatur konnten in stündlicher Auflösung vom Deutschen Wetterdienst von der Wetterstation in Hannover bezogen werden.



Abbildung 31: Positionierung der Messgeräte in der Kita Waldstraße

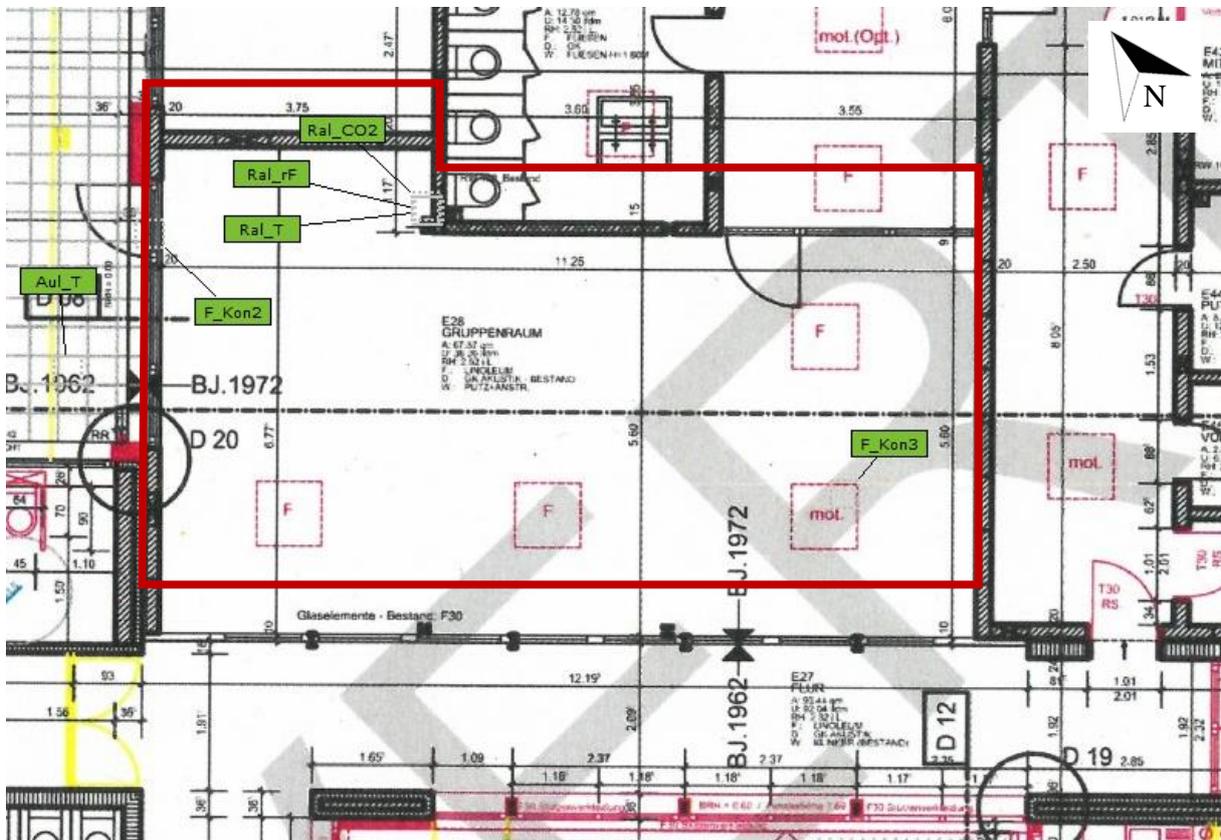


Abbildung 32: Position der Datenpunkte im Grundriss, Gruppenraum E28 in der Kita Waldstraße

Tabelle 10: Datenpunktliste

Name	Kommentar	Einheit	Datenpunkt
Aul_T	Außenlufttemperatur	-	Außenlufttemperatur
F_Kon2	Fensterkontakt 2	-	WS_State2 (LGR S/N: 20506046, SEN S/N: 20506046, LBL: Fensteröffnung)
F_Kon3	Fensterkontakt 3	-	WS_State3 (LGR S/N: 20506047, SEN S/N: 20506047, LBL: Fensteröffnung)
Ral_CO2	CO2-Konzentration	-	WS_CO2, ppm (LGR S/N: 20538524, SEN S/N: 20538524)
Ral_T	Raumlufttemperatur	-	WS_Temp., °C (LGR S/N: 20538524, SEN S/N: 20538524)
Ral_rF	Raumluftfeuchte	-	WS_RH, % (LGR S/N: 20538524, SEN S/N: 20538524)

### 6.3 Raumklimaanalyse

Die Bewertung des Raumklimas erfolgt anhand ausgewählter repräsentativer Faktoren. Die Analyse umfasst die thermische, hygrische und hygienische Behaglichkeit.

Für die Behaglichkeitsanalyse sind nur die Nutzungszeiten, also die Zeiten mit Raumbelegung relevant. Die angegebene Nutzungszeit ist von 8-16 Uhr. Um die tatsächliche Raumbelegung abbilden zu können, wurden Tage ohne Nutzereinfluss ermittelt und im Zeitprogramm sowie bei der Datenauswertung entsprechend ausgesetzt. Die in Abbildung 33 dargestellten Zeiträume wurden im Folgenden ausgewertet.

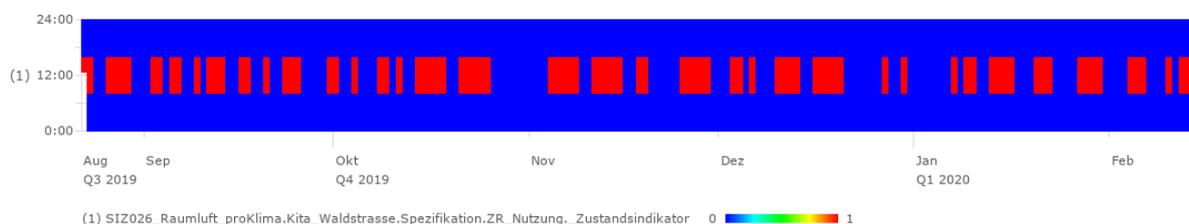


Abbildung 33: Nutzungszeit im Prüfzeitraum in der Kita Waldstraße

#### 6.3.1 Thermische Behaglichkeit

Die Auswertung der thermischen Behaglichkeit im Raum erfolgte anhand der Vorgaben zur außenlufttemperaturabhängigen Komfortraumtemperatur mit den zugehörigen Toleranzen nach der DIN EN 15251:2012-12. Während der Raumbelegung wurden die in Abbildung 34 dargestellten Raumtemperaturen in Abhängigkeit vom gleitenden Mittelwert der Außenlufttemperatur erfasst. Der Komfortbereich wurde in 2,5 % der Nutzungszeit um bis zu 1 K überschritten und in 6,8 % um bis zu 2 K unterschritten. Zur Unterkühlung kommt es vor allem zum Beginn der täglichen Raumnutzung von Dezember bis Februar, zur Überhitzung kam es im Messzeitraum ausschließlich Ende August und Anfang September. Die Raumtemperaturen

sind grundsätzlich normgemäß aber vor allem im Zusammenhang mit der Fensterlüftung sowie morgendlichen Aufheizvorgängen im Winter kommt es regelmäßig zu Behaglichkeitseinbußen.

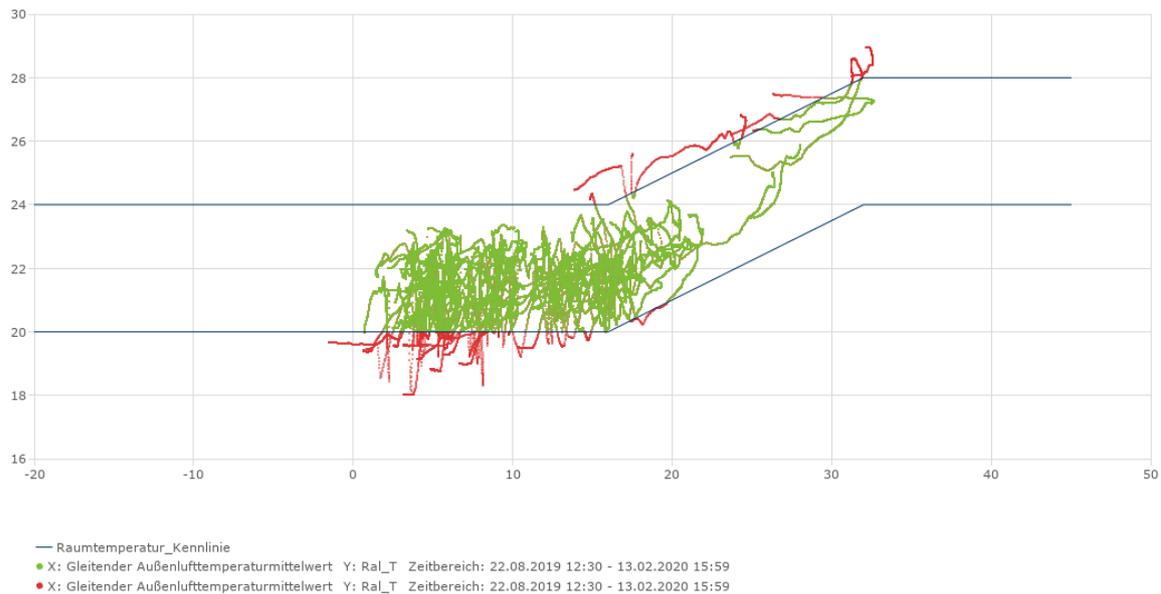


Abbildung 34: Prüfung der Raumtemperatur in Abhängigkeit von der Außenlufttemperatur von August bis Februar in der Kita Waldstraße

### 6.3.2 Hygrische Behaglichkeit

„Die Luftfeuchte hat nur geringe Auswirkung auf die Temperaturempfindung und die Wahrnehmung der Luftqualität in Räumen mit sitzenden Tätigkeiten, jedoch verursacht lang andauernde hohe Raumlufteuchte mikrobielles Wachstum, während sehr niedrige Luftfeuchte (<15 % bis 20 %) Trockenheit und Reizungen der Augen und Luftwege verursacht.“ (DIN EN 15251:2012)

Die im Prüfzeitraum von August bis Februar gemessene Raumlufteuchte ist in Abbildung 35 in Abhängigkeit von der Raumlufteemperatur dargestellt. Die angesetzten Behaglichkeitsgrenzen ohne gesundheitliche Einschränkungen und ohne Begünstigung von Schimmelbildung sind 30 und 65 % relative Feuchte.<sup>7</sup> Die gemessenen Werte befinden sich nahezu vollständig in diesem Bereich. Da die relative Luftfeuchte die Wärmetransportvorgänge an der Oberfläche der menschlichen Haut beeinflusst, hat sie darüber hinaus Einfluss auf die thermische Behaglichkeit. Die in Abbildung 35 dargestellten Behaglichkeitsfelder signalisieren im grünen Viereck

<sup>7</sup> <https://www.sichere-schule.de/lernraumunterrichtsraum/lernraum-unterrichtsraum/raumluftequalität-raum-klima> (abgerufen am 20.08.2020)

die Einhaltung höchster Anforderungskriterien sowie im roten Viereck die Grenzen des Behaglichkeitsbereichs. Oben rechts außerhalb des Behaglichkeitsbereichs wird die Luft als zu feucht und schwül, unten links als zu trocken und kalt wahrgenommen. Der Bereich wird selten durch eine Überhitzung des Raumes verlassen (siehe Kapitel 6.3.1).

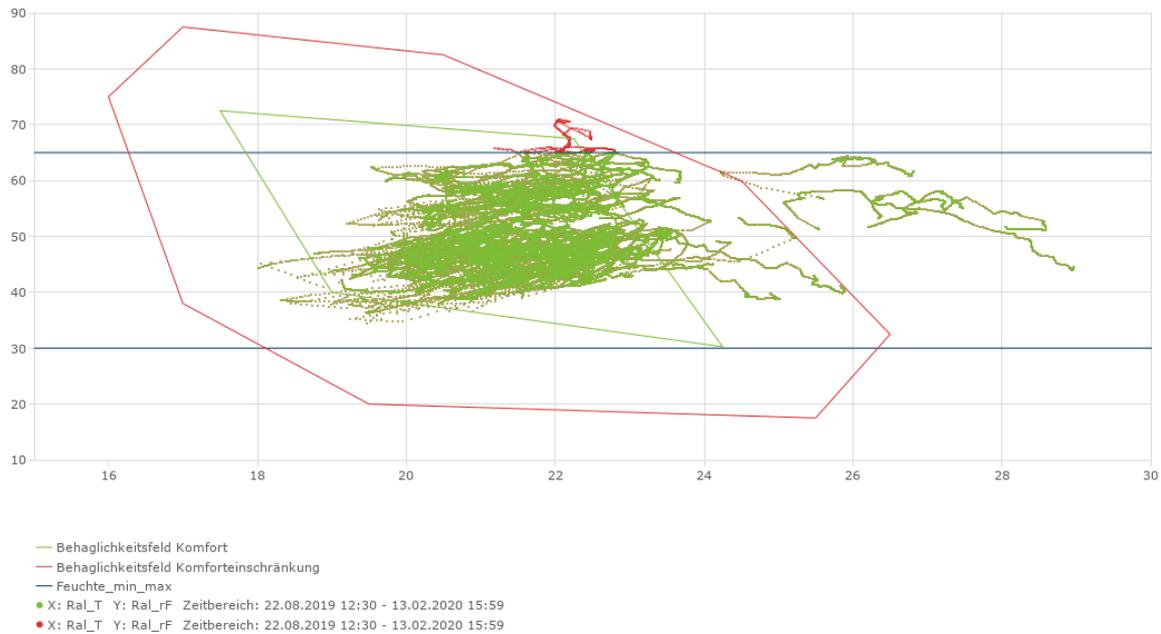


Abbildung 35: Feuchte in Abhängigkeit von der Temperatur mit entsprechenden Behaglichkeitsgrenzen von August bis Februar in der Kita Waldstraße

### 6.3.3 Hygienische Behaglichkeit

Die Auswertung des Raumklimas unter Berücksichtigung hygienischer Anforderungen nach VDI 6040 erfolgte anhand der gemessenen CO<sub>2</sub>-Konzentration. In Abbildung 36 ist der gleitende Mittelwert der CO<sub>2</sub>-Konzentration in Abhängigkeit von der Außenlufttemperatur dargestellt. Außerdem sind die Grenzen von 1.000 und 2.000 ppm aus der VDI-Richtlinie eingezeichnet. Unterhalb eines Schwellwertes mit einer CO<sub>2</sub>-Konzentration von 1.000 ppm gibt es keine hygienischen Bedenken und keine Auswirkungen auf die Gesundheit und Leistungsfähigkeit der Raumnutzerinnen und Raumnutzer. Der Bereich zwischen 1.000 und 2.000 ppm gilt als hygienisch eingeschränkt und sollte vermieden werden. Konzentrationen oberhalb von 2.000 ppm werden als nicht akzeptabel bewertet und erfordern bei regelmäßigem Auftreten entsprechende Maßnahmen zur Herstellung einer nutzungsförderlichen Raumluftqualität. Der Abbildung 36 ist eine deutliche regelmäßige Grenzwertverletzung zu entnehmen. Außerdem kann eine Korrelation der CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Raumluft mit der Außenlufttemperatur

beobachtet werden. Bei behaglicheren Außenlufttemperaturen ist die Bereitschaft zur Fensterlüftung erwartungsgemäß höher und demzufolge wird eine bessere hygienische Raumluftqualität erreicht. Die Summenkurve in Abbildung 37 zeigt, dass die Raumluftqualität in ca. 60 % der Nutzungszeit unbedenklich ist. Zu 32 % ist die CO<sub>2</sub>-Konzentration ungenügend im Bereich zwischen 1.000 und 2.000 ppm (gelber Bereich). Eine hygienisch inakzeptable Raumluftqualität wurde in 5 % der Nutzungszeit identifiziert (roter Bereich: > 2.000 ppm).

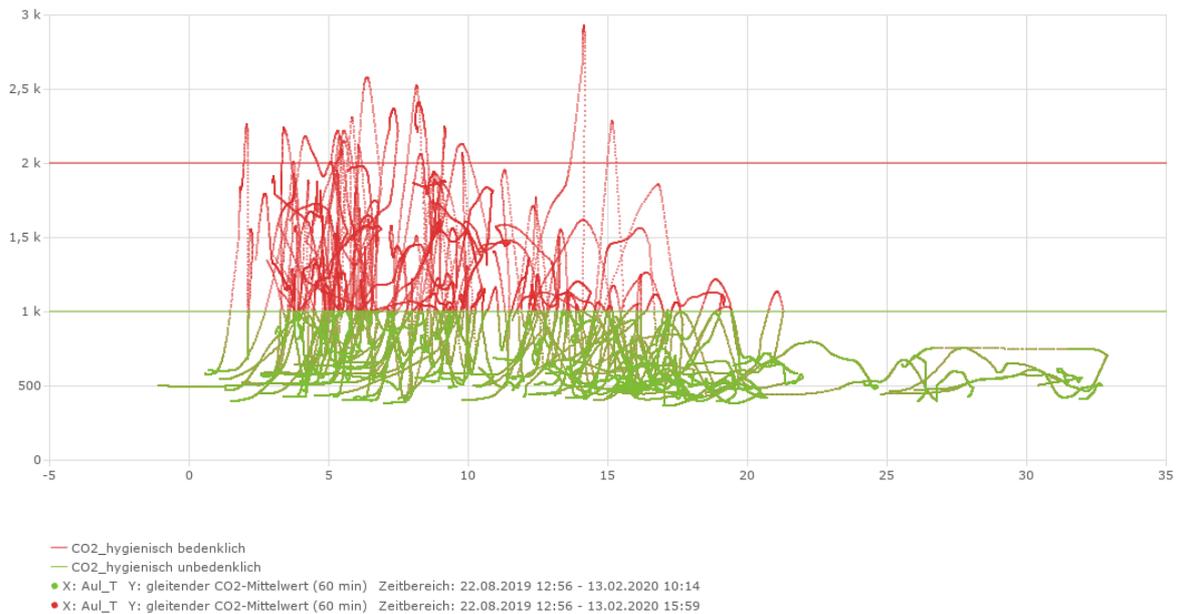


Abbildung 36: CO<sub>2</sub>-Konzentrationen in Abhängigkeit von der Außenlufttemperatur von August bis Februar in der Kita Waldstraße

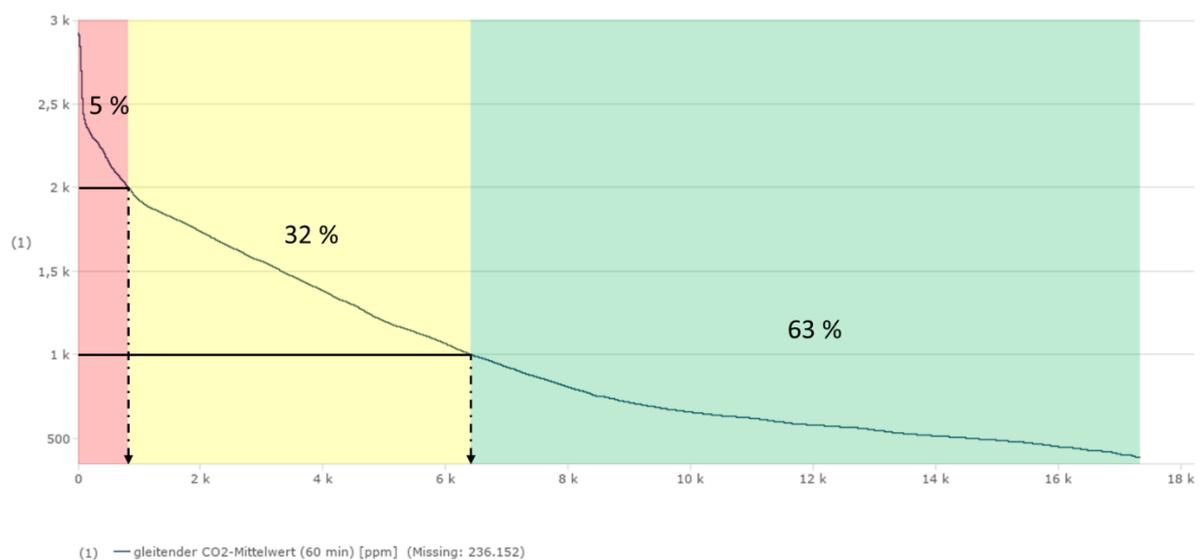


Abbildung 37: Häufigkeit gemessener CO<sub>2</sub>-Konzentrationen (x-Achse: Anzahl Messpunkte, y-Achse: Höhe CO<sub>2</sub>-Konzentration) im Messzeitraum in der Kita Waldstraße

Der CO<sub>2</sub>-Verlauf ist in Abbildung 38 beispielhaft für eine Woche im November dargestellt. Es ist ablesbar, dass jeden Morgen vor dem Nutzungsbeginn eine unverbrauchte Raumlufte vorlag. Die CO<sub>2</sub>-Konzentration stieg in der Folge sehr stark auf über 1500 ppm an, obwohl die Außentür teilweise anhaltend geöffnet war. Die Verringerung der CO<sub>2</sub>-Konzentration ist vermutlich auf eine reduzierte Raumbelastung durch Aufenthalt im Außenbereich zurückzuführen. Ein vollständiger CO<sub>2</sub>-Ausgleich kam daher regelmäßig erst zur Mittagszeit zustande. In Abbildung 39 ist das **Lüftungsverhalten** anhand der Fensteröffnungen visualisiert. Die geloggten Fensteröffnungszeiten und Statuswechsel des Fensters neben der Tür im Gruppenraum (1) sind etwa ab September regelmäßig in den Nachtstunden. Vor allem die Statuswechsel zwischen Mitternacht und 6 Uhr morgens sind im Sinne der Raumnutzung unplausibel. Die Messung ist anscheinend fehlerhaft, was auch anhand vieler Statuswechsel innerhalb weniger Sekunden sichtbar wird. Die Messreihe wurde bei der Auswertung demzufolge nicht berücksichtigt. Hauptsächlich wurde über die Tür zum Hinterhof (2) gelüftet, die Tür stand sogar teilweise ganztägig offen. Die beiden Dachfenster (3), die per Taster geöffnet und geschlossen werden können, wurden eher sporadisch 1 – 2-mal pro Woche benutzt.

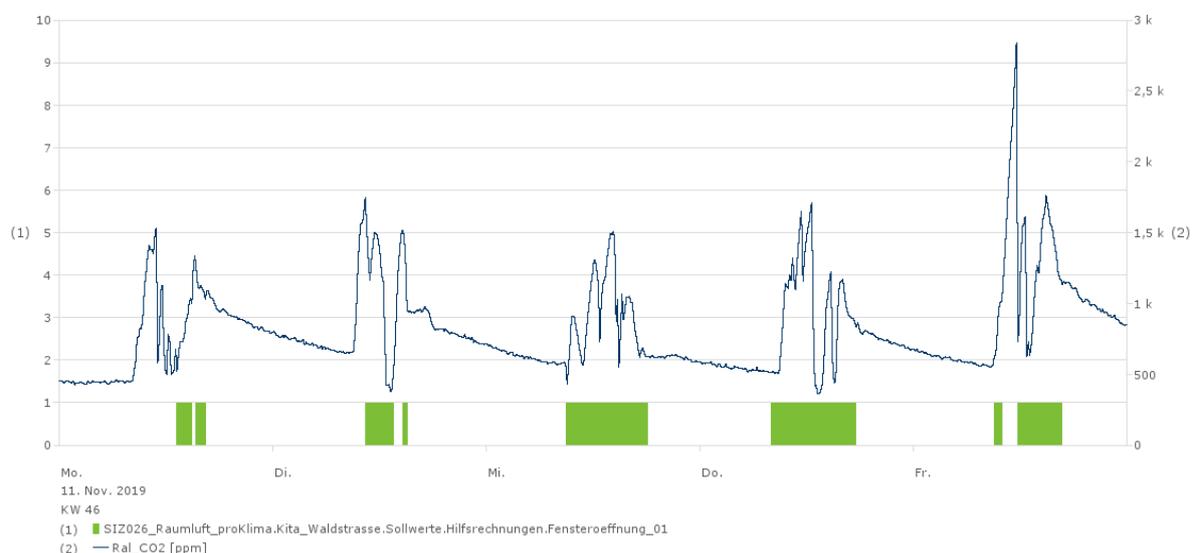


Abbildung 38: CO<sub>2</sub>-Konzentration in einer Beispielwoche im November, Nutzungs- und Lüftungsverhalten sind ablesbar

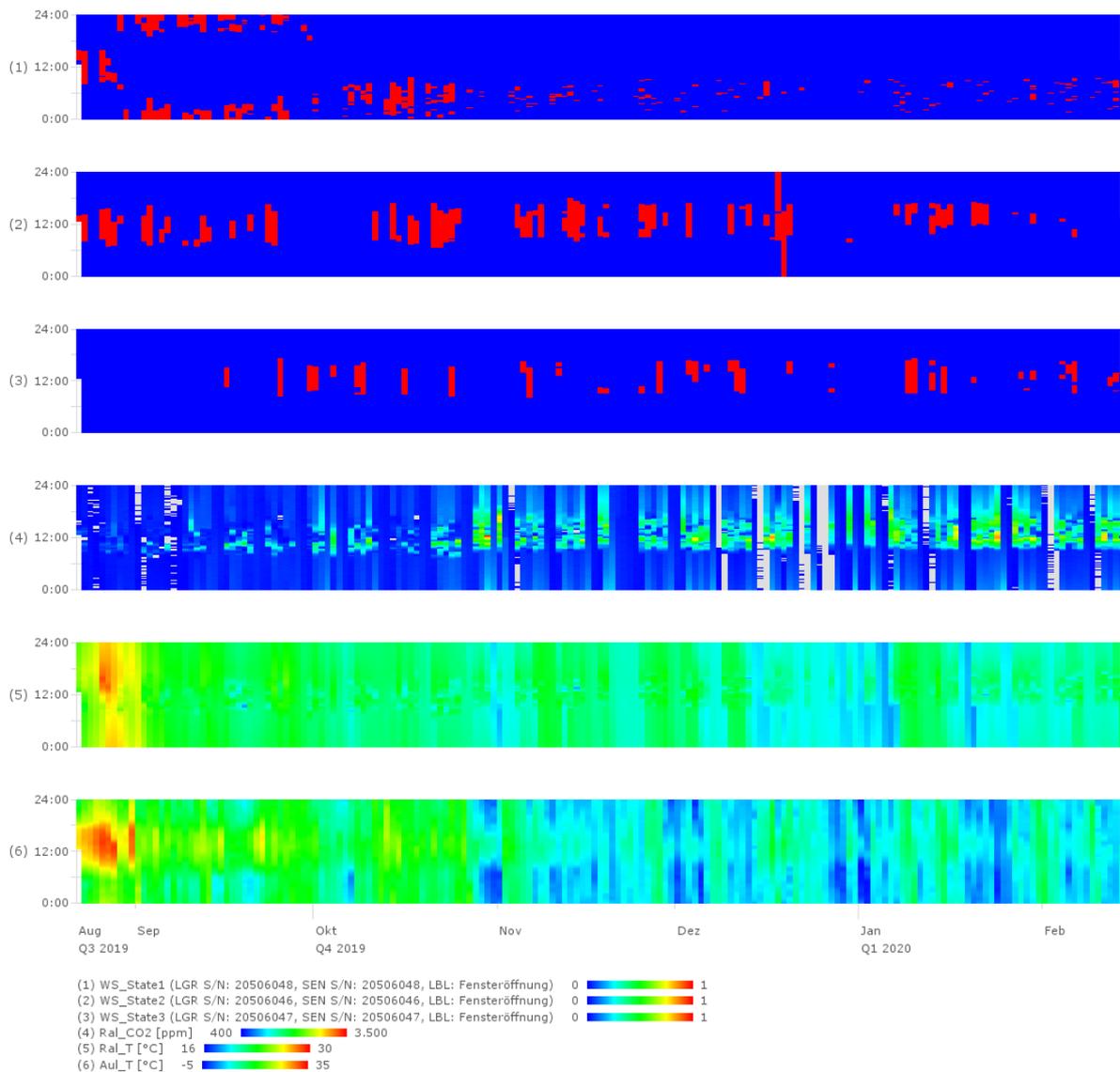
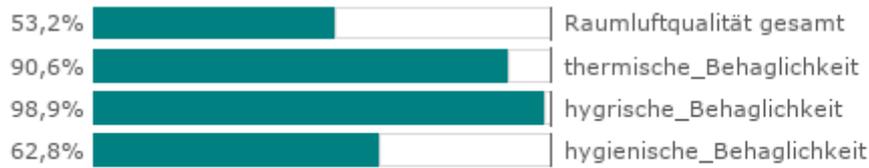


Abbildung 39: Darstellung geöffneter Fenster (1-3), CO<sub>2</sub>-Konzentration (4), Raumtemperatur (5) sowie Außenlufttemperatur (6) im Messzeitraum in der Kita Waldstraße

### 6.3.4 Zusammenfassung

Im gesamten Prüfzeitraum von August bis Februar lag nur in 40 % der Zeit eine behagliche Raumluftqualität vor (siehe Abbildung 40). Für jeden Zeitpunkt wurden die beschriebenen Behaglichkeitskriterien überprüft. Sobald mindestens eins davon verletzt ist, gilt der Zeitpunkt für die Gesamtbewertung als fehlerhaft. Wenn die verschiedenen Unbehaglichkeiten zeitversetzt auftreten, ist die Gesamtbewertung folglich schlechter als die Einzelbewertungen. Die Einschränkungen sind, wie in den vorigen Kapiteln erläutert vor allem hygienischen Ursprungs. In Abbildung 41 und Abbildung 42 wird ersichtlich, dass die problematischen Zustände vor allem ab Ende Oktober bis zum Ende des Prüfzeitraums vorlagen. Durch das Lüftungsverhalten werden die hygienischen Bedingungen häufig nicht eingehalten. Es kann unterstellt werden,

dass eine längere und häufigere Fensterlüftung die Luftqualität verbessern würde. Bei einer kurzzeitigen Stoßlüftung in den Wintermonaten wäre der Einfluss auf den Heizwärmeverbrauch und die Luftfeuchte gering.



Von: 22.08.2019 12:30:00  
Bis: 14.02.2020 13:30:00

Abbildung 40: Gesamtbewertung der verschiedenen Behaglichkeitsaspekte in der Kita Waldstraße

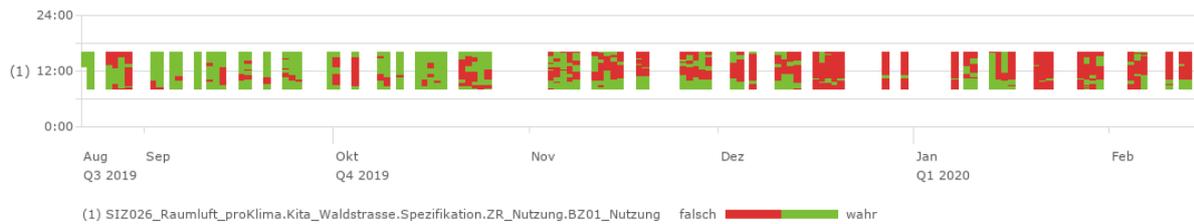


Abbildung 41: Zeitliches Auftreten der Grenzwertverletzung in der Kita Waldstraße



Abbildung 42: Täglicher Erfüllungsgrad der Behaglichkeitskriterien von August bis Februar in der Kita Waldstraße

## 6.4 Fragebogen

Der Fragebogen zu den Bedingungen bezüglich der Behaglichkeit in den Sommer- und Wintermonaten im Raum wurde von der entsprechenden Betreuerin einmalig ausgefüllt und ist im Folgenden knapp zusammengefasst (kursiver Text) und jeweils hinsichtlich der Übereinstimmung mit den Messwerten ergänzt:

1. *Es ist eher zu eng im Raum.*

Im Klassenraum stehen bei vollzähliger Belegung 2,5 m<sup>2</sup>/Person zur Verfügung. In der Verordnung über Mindestanforderungen an Kindertagesstätten des niedersächsischen Landesjugendamts ist eine Bodenfläche im Gruppenraum von 2 m<sup>2</sup>/Kind gefordert. Die Grundfläche des Raumes sollte ausreichend sein, der tatsächlich verfügbare Platz kann aber abhängig von der Möblierung und der Raumgeometrie eingeschränkt sein.<sup>8</sup>

2. *Es ist zu warm bis heiß in den Sommermonaten.*

Übereinstimmung mit den Messwerten. Ende August war die Behaglichkeit deutlich eingeschränkt. Es gibt keine Möglichkeit zur Kühlung des Raumes. Wenn zulässig, könnte eine Nachtauskühlung über die Dachfenster eine Verringerung der Überhitzungszeit bewirken.

3. *Die Luft ist ganzjährig etwas trocken.*

Kann den Messwerten nicht entnommen werden. Das Minimum liegt bei 35 %, der Median bei etwa 45 %.

4. *Die Luftqualität ist im Sommer mittel und im Winter sehr schlecht.*

Übereinstimmung mit den Messwerten.

5. *Im Sommer wird durchgängig und im Winter 4- bis 8-mal täglich für 15 min per Tür und Dachfenster gelüftet.*

Statusmeldungen zur Fensteröffnung im Winter abweichend, nur bis zu zwei Öffnungen mit überwiegend längerer Dauer registriert.

6. *Selten Lärm von draußen, oft sehr störender Lärm im Raum.*

Keine Messung. Der Umweltlärm stellt keine Einschränkung bei der Fensterlüftung dar.

7. *Bedingungen am Arbeitsplatz insgesamt neutral bewertet.*

---

<sup>8</sup> Nds.GVBL. Nr.20/2002 S.323 i.d.F.v. 28. Juni 2002; <http://www.schure.de/21130/kitadvo1.htm> (abgerufen am 20.08.2020)