



Evaluation von Bestandsschulen mit und ohne mechanische Lüftungsanlagen

Abschlussbericht

Impressum

Herausgeber

Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Wohnen
Referat Z MI
Württembergische Straße 6
10707 Berlin

Inhalte und Bearbeitung

Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Wohnen:
Dipl.-Ing. Wolfram Müller
Dipl.-Ing. Kathrin Richter-Kowalewski

Bearbeitungsstand: 05.05.2021

Dieser Abschlussbericht wurde unter Beteiligung von weiteren Vertretern aus Senatsverwaltungen und anderen Behörden erarbeitet.

Information im Internet

www.stadtentwicklung.berlin.e/bauen/nachhaltiges_bauen/

Inhalt

0	Zusammenfassung.....	1
1	Anlass	2
2	Fachlicher Hintergrund	2
3	Aufgabenstellung.....	2
4	Beteiligte: Verantwortliche, Fachbegleitkreis, Beauftragte Tätige	3
5	Evaluation	3
5.1	Auswahl Schulen.....	3
5.2	CO ₂ - und Behaglichkeits-Messungen an 7 Schulen und Auswertung	4
5.2.1	Charakter der 3 Messkampagnen, Messvorbereitung, Durchführung	4
5.2.2	Ausgewählte Ergebnisse der CO ₂ - und Behaglichkeits-Messungen	5
5.2.3	Erkenntnisse aus 3 Messkampagnen	10
5.3	Weitere Untersuchungen und Auswertung anderer Quellen	12
5.4	Vergleich der CO ₂ -Stundenmittelwerte der Messung mit einer Simulation.....	12
6	Empfehlungen	16

Übersicht der Anhänge

0 Zusammenfassung

In den mit dem Schulbau in Berlin befassten Behörden hatte sich ein Konflikt um die Frage des Lüftungskonzepts in Bestandsschulen aufgebaut. Durch den Start der Schulbauoffensive wurde das Thema akut und soll nun fachlich über eine Evaluierung bestehender Schulen geklärt werden.

Dazu werden zunächst die aktuellen rechtlichen Vorgaben dargelegt und um die hygienischen und technischen Anforderungen an die Innenraumluftqualität ergänzt.

Die Fachreferenten von SenStadtWohn haben zusammen mit einem Fachbegleitkreis den Anspruch, in einer ganzheitlichen Betrachtung die Raumluftverhältnisse an ausgewählten Berliner Schulen zu untersuchen, um konkrete Empfehlungen für die künftige Sanierung von Schulbauten abzuleiten.

Kernstück der Evaluation ist die Untersuchung der Raumluftqualität und der Behaglichkeit (Raumtemperatur, Luftfeuchte, Luftgeschwindigkeit) an 7 Schulen mit und ohne mechanische Lüftungsanlagen. Es wurden während drei Messkampagnen zu verschiedenen Jahreszeiten jeweils für 3 Tage zeitgleich CO₂-Messungen im Realbetrieb in den vorher bestimmten Unterrichtsräumen durchgeführt. Akribisch wurde Wert auf die Aufzeichnung wichtiger Randbedingungen gelegt, so dass für die Auswertung die Chance gegeben ist, die Ursache-Wirkungs-Beziehung im Bestand bei verschiedenen Lüftungspraktiken zu ermitteln.

Ebenso wurden vorhandene Untersuchungen der letzten Jahre aus Berlin und dem Bundesgebiet aufbereitet und die negativen Erfahrungen mit der Lüftungstechnik an Bildungszentren der 1970er Jahre in Berlin (West) betrachtet.

Die Ergebnisse der Messungen zeigen höhere CO₂-Konzentrationen in Schulen mit reiner Fensterlüftung sowie technische Probleme mit RLT-Anlagen in den hier untersuchten Schulen. Die höchsten CO₂-Konzentrationen wurden an zwei Schulen mit ausschließlicher Fensterlüftung gemessen. Der CO₂-Leitwert von 1000 ppm im Mittel der Unterrichtseinheit wurde bei ausschließlicher Fensterlüftung in der Heizperiode nicht eingehalten.

Die Einhaltung dieses Leitwertes bei Schulen mit RLT-Anlagen wurde in der Heizperiode überraschend nur in einigen Unterrichtseinheiten nachgewiesen, was im Einzelnen näher betrachtet wurde.

Die Behaglichkeit bezüglich der Raumtemperatur während des Unterrichts war durch das Fensterlüften in der Regel nicht beeinträchtigt.

Zum Vergleich mit den gemessenen CO₂-Konzentrationen wurde in der Folgezeit eine Simulation der CO₂-Werte für ausgewählte Räume und Zeiten unter den Messungen vergleichbaren Randbedingungen durchgeführt. Es konnte nicht belegt werden, dass die Simulationsbetrachtung CO₂-Werte mit akzeptabler Zuverlässigkeit für den realen Schulbetrieb prognostizieren kann.

Eine Betrachtung zu den Lebenszykluskosten im Vergleich von Schulen mit und ohne RLT-Anlage rundet die Untersuchungen ab.

Schließlich werden die Ergebnisse in Empfehlungen bei der Sanierung von Bestandsschulen überführt.

1 Anlass

In der Frage um das Lüftungskonzept in Schulen war am 22.05.2014 in einem Gespräch auf Leitungsebene zwischen StS (Fin) Feiler, SenBauDir Lüscher und StS (Bildung) Rackles verabredet worden, eine Untersuchung und Evaluation an den Neubauprojekten durchzuführen. [Raumluftechnische Anlagen (RLT-Anlagen) sollten in Schulbauten zunächst nicht installiert werden.]

Angesichts des enorm gestiegenen Bedarfs an Schulbauten im Rahmen der Berliner Schulbauoffensive in den nächsten Jahren erschien der Zeitverzug durch Abwarten auf Betriebsergebnisse von noch zu bauenden Schulen unvermeidbar.

In einem Gespräch am 04.05.2017 zum Einbau von RLT-Anlagen in Schulen zwischen Sen Lompscher, Sen (Fin) Kollatz und StS (UVK) Kirchner wurden Verabredungen getroffen (vgl. Vermerk SenFin II C vom 08.05.2017).

Danach sollten jeweils 3 Bestandsschulen mit und ohne Lüftungsanlage sowie ein Modularer Ergänzungsbau (MEB) hinsichtlich der Luftqualität in Klassenräumen evaluiert werden. Sen-StadtWohn sollte einen Vorschlag vorlegen, welche Schulen zur Evaluierung ausgewählt werden könnten.

Insbesondere wurde verabredet, dass beim Neubau Lüftungsanlagen, wenn erforderlich, eingebaut werden können.

2 Fachlicher Hintergrund

Durch die Energieeinsparverordnung (EnEV) wird eine dichte Gebäudehülle gefordert und der zulässige Primärenergiebedarf (u.a. für Heizung) minimiert. Ein natürlicher Luftwechsel über Fugen findet nicht mehr statt.

Gleichzeitig wurden Anforderungen des Arbeitsschutzes (Arbeitsschutzgesetz, Arbeitsstättenverordnung, Arbeitsstättenregeln ASR) konkretisiert, deren Vorgaben einzuhalten und im Planungsprozess vorgegeben sind. Hier führt die ASR A3.6 den CO₂-Leitwert von 1000 ppm ein, der in allen Räumen einzuhalten ist.

In Bezug auf die Raumlufqualität sind Gebäude so zu errichten, dass ein Mindestluftwechsel aus Gründen der Lufthygiene und der Abführung von Stoff- und Feuchtelasten (Schimmelproblematik) sichergestellt wird.

3 Aufgabenstellung

Auf Grundlage des Gesprächs am Rande des Plenums der politisch Verantwortlichen wurde die Aufgabenstellung im Fachbegleitkreis erarbeitet. Ziel der Evaluation von Bestandsschulen mit und ohne mechanische Lüftungsanlagen ist die Erarbeitung eines Berichts („Abschlussbericht“) der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Wohnen mit einer Empfehlung zur Gewährleistung einer guten Raumlufqualität bei künftig zu sanierenden Schulen.

Zur Aufgabenstellung zählt die Auswertung der Erkenntnisse aus den durchgeführten Messungen und die Einbeziehung weiterer Betrachtungen und relevanter Literatur. In dem Bericht wird Wert auf die ganzheitliche Darstellung des Themas Lüftung in Schulen gelegt werden, d.h. bauliche, technische und hygienische Vorgaben werden dargestellt.

Im Vordergrund werden Untersuchungen bei den Innenraumlufmessungen zur CO₂-Konzentration und den Behaglichkeitskriterien stehen. Außerdem wurden die Verlässlichkeit von Simulationen zur Raumlufqualität und Kostenbetrachtungen verschiedener Lüftungskonzepte untersucht.

4 Beteiligte: Verantwortliche, Fachbegleitkreis, Beauftragt Tätige

Verantwortlich für den Bericht zeichnen die Fachreferenten von SenStadtWohn.

Während der Erarbeitung wurde Wert auf die Mitwirkung des Fachbegleitkreises gelegt, der mehrfach tagte. Er setzt sich zusammen aus Vertretern von:

- SenStadtWohn Abt. Z und Abt. V
- SenBildJugFam
- SenFin
- LAGeSo
- Landeslabor Berlin-Brandenburg
- Unfallkasse Berlin.

Für die Bearbeitung spezieller Aufgabenstellungen wie die Messungen und die Simulation wurden externe Fachleute, hier die MUTZ Ingenieurgesellschaft mbH und die CSZ Ingenieurconsult Cornelius-Schwarz-Zeitler GmbH (siehe unten), beauftragt.

5 Evaluation

5.1 Auswahl Schulen

Um aussagekräftige und repräsentative Ergebnisse bei den Luftgüte-Messungen zu erhalten, wurden für die Auswahl der Schulen und Klassenräume folgende Kriterien aufgestellt:

- Schulen mit Schülern verschiedener Altersgruppen (Grundschule bis OSZ)
- Schulbauten unterschiedlicher Epochen und Baustile
- Klassenräume repräsentativ in Größe und Lage
- Betrachtung ganzer Unterrichtstage an 3 aufeinanderfolgenden Tagen
- Hohe Belegungsdichte (Personen)
- 2 Räume je Schule mit unterschiedlicher Lage im Schulgebäude (Himmelsrichtung, Etage)

In Abstimmung mit dem Fachbegleitkreis wurden folgende 7 öffentliche Schulen gemäß Vorgabe („3 Schulen mit und 3 Schulen ohne Lüftungsanlage, 1 MEB“) für die CO₂- und Behaglichkeits-Messungen ausgewählt:

Für die Messungen ausgewählte Schulen

Nr. Schule	Adresse	Bezirk	Lüftungsart
1 OSZ Körperpflege	Schillerstraße 120	Charl.-Wilm.	ohne RLT-Anlage
2 J.-G.-Herder-Gymnasium	Franz-Jacob-Str. 8	Lichtenberg	ohne RLT-Anlage
3 Kopernikus-Oberschule	Lepsiusstr. 24-28	Steglitz.-Zehl.	ohne RLT-Anlage
4 Arndt-Gymnasium Dahlem	Königin-Luise-Str. 80-84	Steglitz.-Zehl.	mit RLT-Anlage
5 Filiale der P.-Ch.-Kniese-Schule	Dolgenseestr. 60	Lichtenberg	mit RLT-Anlage
6 GS am Teutoburger Platz	Templiner Str. 1	Pankow	mit RLT-Anlage
7 Papageno-Grundschule	Bergstr. 58	Mitte	MEB / ohne RLT-Anlage

5.2 CO₂- und Behaglichkeits-Messungen an 7 Schulen und Auswertung

5.2.1 Charakter der 3 Messkampagnen, Messvorbereitung, Durchführung

Bei der CO₂-Messung an Schulen mit Fensterlüftung hängt die gemessene CO₂-Konzentration sehr stark von zahlreichen Begleitumständen ab, die wichtig für die Interpretation der Messwerte sind. Daher sollten bei den hier geplanten Messungen möglichst alle relevanten Randbedingungen dokumentiert und bei der Auswertung berücksichtigt werden.

Die Messungen wurden über 3 Messkampagnen, im Herbst und zu 2 Zeiten der Heizperiode, geplant. Dadurch können unterschiedliche strömungsdynamische Verhältnisse bei der Fensterlüftung abgebildet werden. Die Messungen sollen die CO₂-Konzentration und die Behaglichkeit im realen Schulbetrieb ermitteln.

Für die Messungen wurden zahlreiche Randbedingungen vorgegeben, um aussagekräftige Ergebnisse zu erzielen, wie z.B.:

- Zeitgleiche Messungen an 7 Schulen in je 2 vorgegebenen, hoch belegten Unterrichtsräumen
- Durchführung von 3 Messkampagnen an jeweils 3 aufeinanderfolgenden Tagen bei verschiedenen mittleren Außentemperaturen (Solltemp.: ca. 18 °C, 6 °C, -6 °C)
- Betreuung und Beobachtung der Messung in jedem Raum durch eine Person
- Messung der CO₂-Konzentration mindestens im 1-Minuten-Takt (tatsächlich Messungen im 15-Sekunden-Takt)
- Messung der Behaglichkeitskriterien:
 - Operative Raumtemperatur
 - Raumluftfeuchte
 - Luftgeschwindigkeit
- Messung äußerer Bedingungen:
 - Außentemperatur
 - Windgeschwindigkeit
 - Schalldruckpegel
- Genaue Protokollierung von Nutzer- und baulich bedingten Randbedingungen während der Messungen, wie z.B.
 - Reale Fensteröffnungszeiten und Art der Lüftung (Kipp- bzw. Stoßlüftung)
 - Anzahl der geöffneten Fenster
 - Fenstergröße der zu öffnenden Fenster
 - Anzahl der Personen im Raum
- Betriebsweise der Lüftungsanlage

Die Mitarbeiter/innen des beauftragten Büro MUTZ wurden in die Messtechnik und in die o.g. Vorgaben eingewiesen und geschult.

Die Schulleitungen der zur Messung ausgewählten Schulen wurden über das Vorhaben ausführlich informiert. In einem Vor-Ort-Termin wurden Fragen geklärt und die Klassenräume ausgewählt. Ein Info-Blatt für die Schulleitungen (siehe Anhang B.1) erläuterte zusätzlich die Messungen. Nach geeigneter Wetterprognose wurden jeweils eine halbe Woche vor der geplanten Messkampagne die Schulleitungen über den Beginn der Messungen informiert.

Die Messkampagnen wurden in folgenden Zeiträumen durchgeführt:

Messkampagne 1 vom 25. bis 27. September 2018:

In der Wetterprognose wurden Tiefsttemperaturen von 7 bis 9 °C, Höchsttemperaturen von 15 bis 18 °C bei Bewölkung und Windgeschwindigkeiten von 20 bis 25 km/h (4 Bft, „mäßiger Wind“) prognostiziert. Die Tage waren durch überdurchschnittlich warmes Spätsommerwetter geprägt – Tageshöchsttemperaturen von ca. 15 °C, 18 °C und 23,5 °C.

Messkampagne 2 vom 20. bis 22. November 2018:

Die Tageshöchsttemperaturen an den Messtagen lagen bei ca. 2 °C bis 3,5 °C. Es wurden Windgeschwindigkeiten von 16 km/h bis 27 km/h (4 Bft, „mäßiger Wind“) gemessen.

Bei einigen Schulen (Arndt-Gymnasium Dahlem, Kniese-Schule) mussten wegen geänderten Unterrichts (Wandertag) die Messtage verlegt oder in anderen Räumen gemessen werden. Für das Gesamtergebnis waren diese Anpassungen unerheblich.

Messkampagne 3 vom 29. bis 31. Januar 2019:

Bedingt durch den milden Winter gab es keine Dauerfrostperiode, so dass nicht bei der angestrebten Solltemperatur von -6 °C gemessen werden konnte. An den Messtagen lagen die Tiefsttemperaturen nachts bei -3 bis -1,4 °C, die Tageshöchsttemperaturen bei 2,7 bis 4,3 °C. Es wurden Windgeschwindigkeiten von 11 km/h bis 19 km/h (2 bis 3 Bft, „schwacher Wind“) gemessen.

Trotz sorgfältiger Vorbereitung aller Messungen waren einige Missgeschicke nicht zu vermeiden:

- Messwerte wurden vom Gerät nicht aufgezeichnet und fehlten für die Auswertung.
- Klassenräume waren mit weniger Schülern bzw. auch mit weniger Unterrichtszeit belegt als erwartet.
- Unterricht fiel aus, so dass keine Messung erfolgen konnte.
- Wegen Wandertag musste ein ganzer Messtag verlegt werden.
- Innerhalb einer Messkampagne musste ein Klassenraum zweimal gewechselt werden.
- Bei einer Messung pusteten Schüler auf Anordnung des Lehrers gegen die Messsonde, was in einem entsprechend hohen Peak (CO₂-Wert bis 3641 ppm) dokumentiert wurde.

Insgesamt konnten die CO₂- und Behaglichkeits-Messungen erfolgreich durchgeführt, dokumentiert und ausgewertet werden.

5.2.2 Ausgewählte Ergebnisse der CO₂- und Behaglichkeits-Messungen

Hier sollen ausgewählte Ergebnisse und Erkenntnisse differenziert nach den einzelnen Messkampagnen vorgestellt werden.

Messkampagne 1

CO₂-Konzentration

Die geringsten CO₂-Spitzenwerte wurden an 2 Schulen mit RLT-Anlage gemessen: Kniese-Schule und GS am Teutoburger Platz. Das Arndt-Gymnasium mit RLT-Anlage lag im Mittelfeld der Schulen mit Fensterlüftung: OSZ Körperpflege, Herder-Gymnasium, Kopernikus-OS.

An der Papageno-Grundschule, dem untersuchten MEB (Fensterlüftung), wurden signifikant die höchsten CO₂-Werte gemessen, die CO₂-Stundenmittelwerte lagen bei über 3000 ppm. Der CO₂-Leitwert wurde nur an 35 % der Unterrichtseinheiten (UE) eingehalten.

Maximale CO₂-Konzentration und Einhaltung des CO₂-Leitwertes in Messkampagne 1

Messkampagne 1		CO ₂ -Konzentration [ppm]		Anteil der UE mit eingehaltenem CO ₂ -Leitwert
Nr. Schule	RLT-Anlage	Maximaler Stundenmittelwert	Maximaler 15-sec-Wert	[%] der UE
1 OSZ Körperpflege	-	1943	2504	67
2 Herder-Gymnasium	-	1539	1993	25
3 Kopernikus-OS	-	1684	1821	65
4 Arndt-Gymnasium	+	1804	2018	51
5 Kniese-Schule	+	1088	1611	81
6 GS am Teutoburger Platz	+	1114	1540	54
7 Papageno-GS (MEB)	-	3037	3739	35

Behaglichkeit:

Die gemessenen operativen Raumtemperaturen waren i.d.R. unkritisch. Das Spätsommerwetter führte an allen Schulen zu Raumlufttemperaturen von maximal 25 bis 28 °C.

Die gemessenen Raumluftfeuchten lagen in einem Bereich von 25 bis 51 % rF.

Die gemessenen Raumluftgeschwindigkeiten sind unkritisch. Sie erreichten im Mittel einer UE maximal 0,17 m/s. Starke Querlüftung ist messbar. Kurzzeitwerte (15-sec-Wert) erreichten maximal 1,55 m/s, was als unbehaglich gilt.

Der Schalldruckpegel aller gemessenen RLT-Anlagen war unkritisch (< 35 dB).

Teilweise wurde beklagt, dass die Räume im Sommer sehr warm werden (Arndt-Gymnasium Dahlem, Kniese-Schule).

Erkenntnisse aus Messkampagne 1

In den 3 Schulen mit RLT-Anlage war die Einhaltung des CO₂-Leitwertes von 1000 ppm im Mittel einer Unterrichtseinheit (UE) unterschiedlich:

- Arndt-Gymnasium Dahlem: 51 % der UE eingehalten
- Kniese-Schule: 81 % der UE eingehalten
- GS am Teutoburger Platz: 54 % der UE eingehalten

Es ist anzumerken, dass der Luftvolumenstrom der RLT-Anlagen in diesen Schulen nicht auf die Einhaltung des heute durch die ASR A3.6 eingeführten CO₂-Leitwertes von 1000 ppm im Mittel einer Unterrichtseinheit ausgelegt war.

Bei nicht ausreichendem Luftvolumenstrom der RLT-Anlage ist eine ergänzende Fensterlüftung zum Einhalten des CO₂-Leitwertes erforderlich.

Während der Messkampagne 1 (außerhalb der Heizperiode) wurde häufig mit einem oder mehreren ständig geöffneten Fenstern Dauer gelüftet. In Drehstellung ist eine derartige Fensterlüftung wirksam und erreicht häufig die Einhaltung des CO₂-Leitwertes. In Kippstellung ist nur die dauerhafte Lüftung über alle Fenster wirkungsvoll.

Ein permanent geöffnetes Kipfenster bringt keine erkennbare Senkung der CO₂-Konzentration. Stoßlüftung über Drehfenster lässt die CO₂-Werte kurzzeitig deutlich sinken. Bei der Papageno-Grundschule ist aus Lärmschutzgründen (Invalidenstraße!) die Fensterlüftung während des Unterrichts nicht möglich.

In Raum 106 dieser Schule deckt sich die durch Lehrkräfte und Schüler kritische Bewertung der schlechten Luft mit den Messwerten.

Das zusätzliche Lüften über die geöffnete Raamtür, wie dies an 4 Schulen teilweise praktiziert wurde (während der Pause, z.T. auch während des Unterrichts), ermöglicht eine effiziente Querlüftung.

Installierte CO₂-Ampeln (Kopernikus-OS, Papageno-GS) wurden selten beachtet.

Eine Lüftungsanweisung für die Lehrkräfte gab es in keiner Schule. Eine Instruktion der Lehrkräfte und der Schüler über das Lüftungsverhalten erfolgte einzig an der Kopernikus-Oberschule.

Häufig korrelieren die Beschwerden über schlechte Raumluft mit gemessenen hohen CO₂-Konzentrationen. Dagegen können Beschwerden über kalte Luftströme beim Stoßlüften durch die Messungen nicht bestätigt werden. Die Empfindlichkeiten der Personen variieren.

Messkampagne 2

Ergebnisse und Erkenntnisse der Messkampagne 2, die bereits bei Messkampagne 1 beschrieben wurden, werden hier nicht wiederholt.

CO₂-Konzentration

In Messkampagne 2 (während der Heizperiode) wurden überhöhte CO₂-Werte an 6 von 7 Schulen gemessen, wobei die Kurzzeit-Spitzenwerte (15-sec-Wert) über 3000 ppm lagen: OSZ Körperpflege (Fensterlüftung), Herder-Gymnasium (Fensterlüftung), Kopernikus-Oberschule (Fensterlüftung), Fil. Kniese-Schule (RLT-Anlage), GS am Teutoburger Platz (RLT-Anlage), Papageno-GS (MEB), d.h. an allen Schulen außer dem Arndt-Gymnasium (RLT-Anlage).

Die maximalen CO₂-Stundenmittelwerte lagen an allen Schulen über 2000 ppm.

Im Herder-Gymnasium wurden die höchsten CO₂-Stundenmittelwerte von 4129 ppm und Kurzzeit-Spitzenwerte von bis zu 5178 ppm gemessen.

Maximale CO₂-Konzentration und Einhaltung des CO₂-Leitwertes in Messkampagne 2

Messkampagne 2		CO ₂ -Konzentration [ppm]		Anteil der UE mit eingehaltenem CO ₂ -Leitwert
Nr. Schule	RLT-Anlage	Maximaler Stundenmittelwert	Maximaler 15-sec-Wert	[%] der UE
1 OSZ Körperpflege	-	2028	3163	0
2 Herder-Gymnasium	-	4129	5178	9
3 Kopernikus-OS	-	2720	3351	12
4 Arndt-Gymnasium	+	2282	2918	11
5 Kniese-Schule	+	2297	3026	0
6 GS am Teutoburger Platz	+	2383	3033	29
7 Papageno-GS	-	2803	3312	0

An 3 von 7 Schulen wurde der CO₂-Leitwert während keiner UE eingehalten: OSZ Körperpflege (Fensterlüftung), Papageno-GS (Fensterlüftung) und Kniese-Schule (RLT-Anlage, siehe oben).

An den 3 Schulen mit RLT-Anlage war die Einhaltung des CO₂-Leitwerts von 1000 ppm im Mittel einer Unterrichtseinheit (UE) unterschiedlich:

- Arndt-Gymnasium Dahlem: 11 % der UE eingehalten
- Kniese-Schule: 0 % der UE eingehalten
- GS am Teutoburger Platz: 29 % der UE eingehalten

Behaglichkeit:

Es wurden fast immer operative Raumtemperaturen über 21 °C (bis zu 26,5 °C am Arndt-Gymnasium) gemessen.

Die gemessenen Raumlufftfeuchten lagen in einem Bereich von 27 bis 46 % rF.

Die gemessenen Raumlufftgeschwindigkeiten waren unkritisch. Sie erreichten im Mittel einer UE maximal 0,14 m/s. Ein Kurzzeitwert (15-sec-Wert) an der Kopernikus-OS erreichte maximal 2,13 m/s. Diese auffällige Überschreitung des Behaglichkeitswertes (0,20 m/s) wurde lediglich über diese 15 Sekunden gemessen, unmittelbar davor und danach wurde der Behaglichkeitswert eingehalten.

Erkenntnisse aus Messkampagne 2

Keine der Schulen mit RLT-Anlage erreichte in dieser Messkampagne die zufriedenstellenden CO₂-Werte von Messkampagne 1. Daher wurden eine vertiefte Betrachtung und Ortsbesichtigungen an den 3 Schulen mit RLT-Anlage durchgeführt. Die Ursachenermittlung stellt sich folgendermaßen dar:

Arndt-Gymnasium:	geschlossene Nachströmöffnungen in den Fenstern
Fil. Kniese-Schule:	Überprüfung des Luftvolumenstroms angeregt
GS am Teutoburger Platz:	zentrale RLT-Anlage: defekte Brandschutzklappen ausgelöst und RLT-Anlage dadurch abgeschaltet dezentrale RLT-Anlagen: bei Zuluft-Temperatur < 17 °C schalten RLT-Geräte ab und erst nach 6 h wieder ein (Werkseinstellung). Hier hatte der Messbeauftragte in Raum 304 protokolliert, dass die RLT-Anlage (dezentrale Anlage; Altbau) an allen 3 Messtagen erst am Nachmittag einschaltete.

Auch die konsequente Pausen-Stoßlüftung – wie in den Messkampagnen beim „optimierten Betrieb“ exemplarisch praktiziert und gemessen – bringt im Stundenmittel kaum eine Verbesserung der CO₂-Konzentration.

Vereinzelt können Fenster nicht geöffnet werden, weil diese defekt oder die Fensterbänke zugestellt sind.

Messkampagne 3

Ergebnisse und Erkenntnisse der Messkampagne 3, die bereits bei Messkampagne 1 bzw. 2 beschrieben wurden, werden hier nicht wiederholt.

CO₂-Konzentration

Auch bei dieser Messkampagne wurden im Herder-Gymnasium der höchste CO₂-Stundenmittelwert mit 4291 ppm und der Kurzzeit-Spitzenwert von 4960 ppm gemessen. Ohne Fensterlüftung startete morgens zu Unterrichtsbeginn die CO₂-Konzentration bereits bei über 1000 ppm.

An der Kniese-Schule lagen die maximalen CO₂-Werte (max. Stundenmittelwert 1319 ppm, max. 15-sec-Wert 1643 ppm) am niedrigsten. In steigender Reihenfolge folgten: Arndt-Gymnasium Dahlem, Kopernikus-OS, OSZ Körperpflege, Papageno-GS, GS am Teutoburger Platz.

Maximale CO₂-Konzentration und Einhaltung des CO₂-Leitwertes in Messkampagne 3

Messkampagne 3		CO ₂ -Konzentration [ppm]		Anteil der UE mit eingehaltenem CO ₂ -Leitwert
Nr. Schule	RLT-Anlage	Maximaler Stundenmittelwert	Maximaler 15-sec-Wert	[%] der UE
1 OSZ Körperpflege	-	2384	3198	9
2 Herder-Gymnasium	-	4291	4960	0
3 Kopernikus-OS	-	2135	2757	6
4 Arndt-Gymnasium	+	1824	2324	0
5 Kniese-Schule	+	1319	1643	27
6 GS am Teutoburger Platz	+	3013	3887	19
7 Papageno-GS	-	2478	3076	0

Schulen, an denen der CO₂-Leitwert von 1000 ppm während keiner UE eingehalten wurde: Herder-Gymnasium, Arndt-Gymnasium Dahlem, Papageno-GS.

An den 3 Schulen mit RLT-Anlage wurde der CO₂-Leitwert wie folgt eingehalten:

- Arndt-Gymnasium Dahlem: 0 % der UE eingehalten
- Kniese-Schule: 27 % der UE eingehalten
- GS am Teutoburger Platz: 19 % der UE eingehalten

Behaglichkeit:

Bei Außentemperaturen knapp über dem Gefrierpunkt wurden wieder deutlich überhöhte operative Raumtemperaturen gemessen, mit Spitzenwerten von 29,7 °C wieder am Arndt-Gymnasium.

Die gemessenen Raumlufffeuchten lagen im Bereich von 24 bis 43 % rF, wobei Werte unter 30 % als zu trocken gelten.

Die gemessenen Raumluffgeschwindigkeiten waren unkritisch. Sie erreichten im Mittel einer UE maximal 0,17 m/s. Kurzzeitwerte (15-sec-Wert) erreichten maximal 0,67 m/s, was als unbehaglich gilt.

Erkenntnisse aus Messkampagne 3

Am Arndt-Gymnasium Dahlem konnte die Ursache für den nicht ordnungsgemäßen Betrieb der Abluftanlage ermittelt werden. Nachdem kurz vor der Messkampagne 3 die Zuluftöffnungen in den Fensterrahmen für die Nachströmung der Zuluft geöffnet wurden, lagen die CO₂-Werte deutlich niedriger. Dennoch wurde der CO₂-Leitwert während keiner Unterrichtseinheit eingehalten.

Die Betriebsweise der RLT-Anlagen in Messkampagne 3 konnte an 2 Schulen (Arndt-Gymnasium Dahlem, Kniese-Schule) gegenüber Messkampagne 2 verbessert werden, auch wenn nach weiteren Optimierungsmöglichkeiten gesucht werden muss.

Der Vergleich der Betriebsweise von zentraler RLT-Anlage und dezentralen RLT-Anlagen an der GS am Teutoburger Platz konnte nicht geführt werden, da beide Anlagen auch während der Messkampagne 3 nicht bestimmungsgemäß arbeiteten. Die Ursachen wurden bei Messkampagne 2 bereits erläutert. Diese waren zur Messkampagne 3 noch nicht behoben.

Trotz hoher CO₂-Werte sowie dem Betrieb von CO₂-Ampeln und der Belehrung der Lehrkräfte über das Lüftungsverhalten erfolgt an der Kopernikus-OS keine hinreichende Fensterlüftung in den Pausen.

5.2.3 Erkenntnisse aus 3 Messkampagnen

Verallgemeinerte Erkenntnisse aus den 3 Messkampagnen sollen im Folgenden als kurze Statements dargestellt werden:

Allgemeines

Unter allen gemessenen Schulen gab es keine mit dauerhaft guten oder zufriedenstellenden Ergebnissen für die Raumluftqualität.

Die unterschiedlichen Bautypen, Jahreszeiten und Lüftungskonzepte begründen die differenzierte Betrachtung und führen zu vielfältigen Erkenntnissen.

Grundsätzlich gibt es Randbedingungen, die sich positiv auf die Raumluftqualität auswirken. So kann der CO₂-Leitwert eher in großen Unterrichtsräumen mit relativ niedriger Personenbelegung eingehalten werden.

Eine dauernde Fensterlüftung während der Unterrichtszeit ist grundsätzlich nur außerhalb der Heizperiode und bei geringem Außenlärm (< 60 dB) möglich.

CO₂-Messungen

Die höchsten CO₂-Konzentrationen wurden an der Papageno-Grundschule und dem Herder-Gymnasium gemessen, beides sind Schulen mit ausschließlicher Fensterlüftung. Die Papageno-Grundschule ist ein Modularer Ergänzungsbau (MEB), das Herder-Gymnasium ein sanierter DDR-Plattenbau. Ein Unterschied der Raumluftqualität bei der Nutzung durch ältere (Gymnasium) oder jüngere Schüler (Grundschule) konnte nicht nachgewiesen werden.

Eine vorbildliche Pausen-Stoßlüftung wird an keiner der betrachteten Schulen praktiziert. Während der Messungen wurde von den Messbeauftragten an einzelnen Messtagen ein „optimierter Betrieb“ an den Schulen mit und ohne Lüftungsanlage exemplarisch praktiziert. Danach wirkt sich die konsequente Pausen-Stoßlüftung über Drehfenster leicht positiv auf den CO₂-Stundenmittelwert aus, erhöht jedoch nicht die Anzahl der Stunden mit eingehaltenem CO₂-Leitwert.

Außerhalb der Heizperiode ist eine Dauerlüftung über Fenster wirkungsvoll. Zur Einhaltung des CO₂-Leitwertes ist dabei die Drehöffnung einzelner Fenster notwendig. Die Kippstellung führt bei dauerhafter Lüftung nur bei allen zu öffnenden Fenstern zum erfolgreichen Ergebnis.

Während der Heizperiode kann aus energetischen und Behaglichkeitsgründen die Fensterlüftung nur als Pausen-Stoßlüftung praktiziert werden.

Während der Heizperiode ist bei ausschließlicher Fensterlüftung in den Pausen und durchschnittlicher Raumbelastung die Einhaltung des CO₂-Leitwertes nicht möglich. Dieser wurde bei allen Messungen deutlich überschritten.

In der Heizperiode wurden selbst in niedrig belegten Räumen hohe CO₂-Konzentrationen gemessen.

Eine Querlüftung über die geöffnete Raumtür ist möglich.

Überraschend waren die teilweise hohen CO₂-Konzentrationen bei Schulen mit RLT-Anlage. Dies fiel besonders in der Heizperiode auf, als in den Pausen nur gelegentlich über die Fenster gelüftet wurde (Stoßlüftung).

Ein maßgeblicher Grund für die Überschreitungen des CO₂-Leitwertes von 1000 ppm im Mittel einer Unterrichtseinheit ist, dass die Luftvolumenströme aller RLT-Anlagen nicht auf diesen Wert ausgelegt sind.

Weiterhin zeigten sich beim Betrieb der RLT-Anlagen eklatante Mängel, die zu ähnlich hohen CO₂-Konzentrationen führten wie bei Schulen ohne RLT-Anlage. Die unterschiedlichen Ursachen konnten ermittelt werden. Eine bestimmungsgemäße Einregulierung sowie regelmäßige und qualifizierte Wartung der Lüftungsanlagen sind wie bei Heizungsanlagen erforderlich.

Messung der Behaglichkeit

Bei der Behaglichkeit in den Unterrichtsräumen wurden deutliche Unterschiede zwischen der warmen bis milden Jahreszeit und der Heizperiode festgestellt.

In der warmen Jahreszeit wurde häufig die fehlende Behaglichkeit aufgrund zu hoher operativer Raumtemperaturen beklagt. Dies hat jedoch weniger mit der Raumlüftung zu tun und soll daher hier nicht weiter betrachtet werden. In den Übergangszeiten waren die Raumtemperaturen i.d.R. unkritisch.

Die gemessenen Raumluftfeuchten waren in der warmen bis milden Jahreszeit zeitweise recht trocken (bis minimal 25 % rF). Dies entspricht den Außenluftverhältnissen und wird durch die Art der Lüftung nicht beeinflusst.

Die gemessenen Raumluftgeschwindigkeiten waren unkritisch (< 0,20 m/s) und erfüllten das Behaglichkeitskriterium. Eine starke Querlüftung führte kurzzeitig zu Zugerscheinungen.

In der Heizperiode wurden an allen Schulen überraschend erhöhte bis unbehaglich hohe operative Raumtemperaturen gemessen (Maximalwert 29,7 °C).

In der Heizperiode waren die gemessenen Raumluftfeuchten zeitweise mit minimal 24 % rF recht trocken, was sich auch durch die überhitzten Räume begründet.

Die gemessenen Raumluftgeschwindigkeiten in der Heizperiode waren unkritisch. Eine Überschreitung der Behaglichkeitskriterien konnte nur vereinzelt und kurzzeitig gemessen werden.

Sonstige Erkenntnisse

Die Installation von CO₂-Ampeln (Kopernikus-OS, Papageno-GS) ist nicht wirksam, da sie nur in Ausnahmefällen beachtet wurden.

Der Schalldruckpegel aller gemessenen RLT-Anlagen war unkritisch niedrig.

Theoretisch sollten Lehrkräfte auf die Pflicht zum Lüften hingewiesen werden. Nur an einer Schule (Kopernikus-Oberschule) erfolgte eine Instruktion der Lehrkräfte und der Schüler über das richtige Lüftungsverhalten. In der Schulpraxis war dennoch keine Wirkung erkennbar.

5.3 Weitere Untersuchungen und Auswertung anderer Quellen

Neben den Innenraumluftmessungen zur CO₂-Konzentration inklusive der Behaglichkeitskriterien sollten weitere Betrachtungen erfolgen.

So wurde die Verlässlichkeit von Simulationsbetrachtungen zur Raumluftqualität untersucht.

Es wurden Kostenbetrachtungen verschiedener Lüftungskonzepte an anderen als den 7 untersuchten Schulen durchgeführt. Diese Darstellung erwies sich als derart umfangreich, dass sie in Anhang D gelegt wurde.

Zur Aufgabenstellung zählte auch die Auswertung anderer vorliegender Erkenntnisse. Hierzu werden Schlüsselaussagen von Berichten, Leitfäden und anderen Quellen betrachtet, die auch zum Teil einen Bezug zu Berliner Schulen haben und in Anhang C „Auswertung anderer Quellen“ dargelegt werden.

5.4 Vergleich der CO₂-Stundenmittelwerte der Messung mit einer Simulation

Bei neueren Schulbauplanungen mit ausschließlicher Fensterlüftung wird der Nachweis für ein umsetzbares Lüftungskonzept mit Hilfe einer Simulationsbetrachtung zur Raumluftqualität gefordert. Dazu existieren verschiedene Rechenmodelle, deren Validität nicht objektiv nachgewiesen ist. Im Rahmen der Evaluation Lüftung in Schulen sollen in einer modellhaften Betrachtung die Simulationsbetrachtungen zur Raumluftqualität (CO₂-Werte) mit den tatsächlich gemessenen CO₂-Werten der 2018/19 erfolgten Messungen verglichen werden.

Dafür wurde die CSZ Ingenieurconsult, Cornelius-Schwarz-Zeitler GmbH, welche für Berlin bereits Simulationen durchgeführt hatte, beauftragt. Nach Vorlage des Berichtes der CO₂-Simulationsbetrachtungen wurden die Ergebnisse mit den vorliegenden CO₂-Messungen verglichen.

Für die CO₂-Simulation wurde jeweils ein Unterrichtsraum an den beiden Bestandsschulen OSZ Körperpflege und Papageno-Grundschule ausgewählt. Die Simulationsbetrachtungen je Schule wurden dann für 2 vorgegebene Tage im Herbst 2018 und 2 Tage im Januar 2019 durchgeführt. Die Schulstandorte und ausgewählten Tage der Simulation entsprachen genau denen der tatsächlich durchgeführten CO₂-Messungen. Für die Simulation wurden durch das Büro CSZ Randbedingungen aus den Messungen verwendet, um vergleichbare Ergebnisse zu erzielen. Um die Ergebnisse der CO₂-Simulationsbetrachtungen nicht zu beeinflussen, wurden dem Büro keine CO₂-Messwerte mitgeteilt.

Ende Dezember 2019 lag der Bericht zur CO₂-Simulation vor, gegliedert nach den beiden Schulen und jeweils bestehend aus dem eigentlichen Bericht mit zahlreichen Grafiken sowie einer Anlage mit den berechneten Einzelwerten. Die erhaltene Auswertung erfolgte grafisch und textlich und ermöglicht bei Bedarf eine weitere qualifizierte Auswertung.

Als Berechnungssoftware wurde von CSZ für die thermische Simulation das Programm IDA ICE (Indoor Climate and Energy) der EQUA Solutions AG in der Version 4.8 eingesetzt. Das Programm ist nach EN 15265 und nach EN 15255 validiert.

Im Folgenden wird ein Vergleich der CO₂-Stundenmittelwerte aus der Messung und der Simulation durchgeführt und bewertet.

Für die Simulation und den Vergleich mit den – viel zahlreicher vorliegenden – Messwerten wurden folgende Unterrichtsräume (R.) und Unterrichtseinheiten (UE) ausgewählt:

OSZ Körperpflege

R. 017 25.9.2018 UE: 1, 2, 3

R. 017 27.9.2018 UE: 1, 2, 3

R. 237 30.1.2019 UE: 2, 3

R. 237 31.1.2019 UE: 2, 3

Insgesamt wurden am OSZ Körperpflege die bezeichneten 10 UE (zu je 90 min) zum Vergleich ausgewählt.

Papageno-GS

R. 106 26.9.2018 UE: 1, 4, 5

R. 106 27.9.2018 UE: 2, 3, 4, 6

R. 106 30.1.2019 UE: 1, 2, 5

R. 106 31.1.2019 UE: 2, 3, 4

Insgesamt wurden an der Papageno-GS die bezeichneten 13 UE (zu je 45 min) zum Vergleich ausgewählt.

Die Räume und Unterrichtseinheiten / (Mess-)Tage wurden nach folgenden Kriterien ausgewählt:

- Beschränkung der Simulationsbetrachtung auf 2 Schulen mit Fensterlüftung mit je 1 Raum
- Berücksichtigung eines MEB
- Spektrum der Schulen von Grundschulern bis erwachsenen Schülern
- 2 maximal unterschiedliche Jahreszeiten (bezüglich Außentemperaturen)
- Berücksichtigung je eines Unterrichtstages ohne und mit konsequenter Pausen-Stoßlüftung (sog. „optimierter Betrieb“) bei jeder der beiden Jahreszeiten
- Tage mit durchgehend und hoch belegten Klassenräumen

Die Ergebnisse der CO₂-Simulation können dem beiliegenden CSZ-Bericht entnommen werden (siehe Anhänge E.1 und E.2).

Im Vergleich der CO₂-Werte von Simulation zu Messung ist das Ergebnis nicht eindeutig. Die Differenzen sind sowohl geringfügig als auch (sehr) groß. Gegenüber der Messung liegen die simulierten CO₂-Werte sowohl höher als auch niedriger. Die Bandbreite ist bei beiden Schulen groß.

Dass die Ergebnisse der Simulation mit den Messwerten exakt übereinstimmen würden, war nicht zu erwarten. Zu unzureichend sind die betreffenden Aufzeichnungen der Randbedingungen aus den Messkampagnen im Zusammenwirken mit den simplifizierenden Annahmen der Algorithmen der Simulationssoftware. Dennoch soll die Frage nach der Zuverlässigkeit einer Simulation gestellt werden. Welche Abweichung bzw. Differenz der simulierten Werte von den Messwerten sollten als verlässlich oder akzeptabel gelten? Im Nachfolgenden wird eine Differenz des CO₂-Stundenmittelwertes von Simulation minus Messung kleiner als $\pm 15\%$ für noch akzeptabel angesehen.

Als zunächst die Ergebnisse der CO₂-Simulation für das OSZ Körperpflege für die beiden Tage im September 2018 vorlagen, war die erste Einschätzung optimistisch bezüglich der Abweichung. Die Differenzen bei 5 von 6 verglichenen Unterrichtseinheiten lagen akzeptabel innerhalb von - 13 % ... + 2 %, nur ein Wert fiel mit + 29 % hoch aus.

Bei Vorlage der weiteren Simulationsergebnisse und dem Vergleich mit den Messwerten zeigten sich weitaus größere Differenzen. So unterschieden sich die Ergebnisse der CO₂-Simulation von den Messwerten für das OSZ Körperpflege erheblich für die beiden Tage im Januar 2019 und lagen für alle 4 UE 33 % bis 44 % niedriger als die Messwerte.

Auch die Vergleiche bei der Papageno-Grundschule wiesen starke Differenzen zwischen Simulation und Messung aus. Die 7 verglichenen UE aus September 2018 differierten von - 41 % bis + 40 %, wobei nur 3 UE innerhalb der Akzeptanzspanne von ± 15 % lagen. Die für Januar 2019 verglichenen 6 UE differierten zwischen - 7 % und + 102 %, was einen gut doppelt so hohen Simulationswert (Rekord) gegenüber der Messung bedeutete. Die Hälfte der Werte lag in der Akzeptanzspanne.

Bei den Gründen für die Abweichungen / Differenzen von Simulations- zu Messwerten können lediglich Vermutungen angestellt werden, da offensichtlich mehrere Faktoren Einfluss haben. Ein monokausaler Zusammenhang ist nicht erkennbar.

Gründe könnten demnach sein:

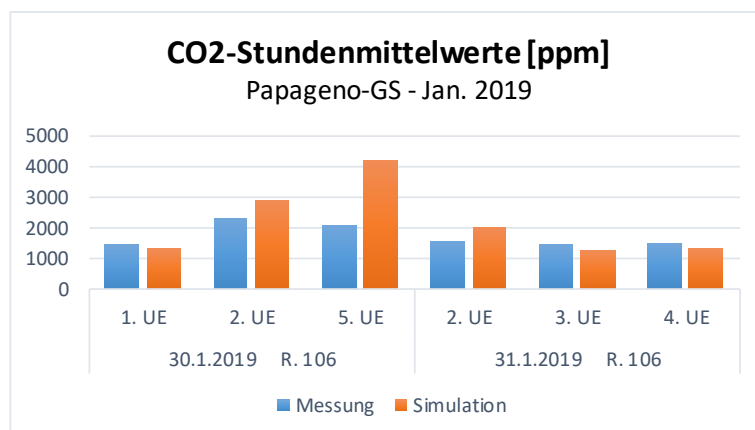
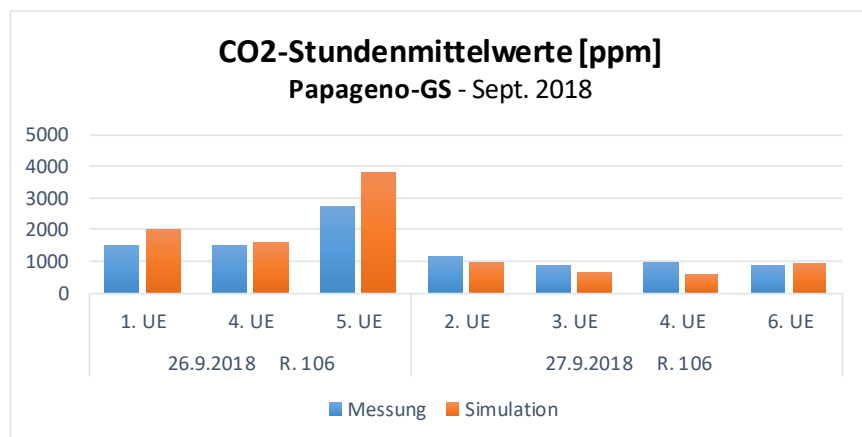
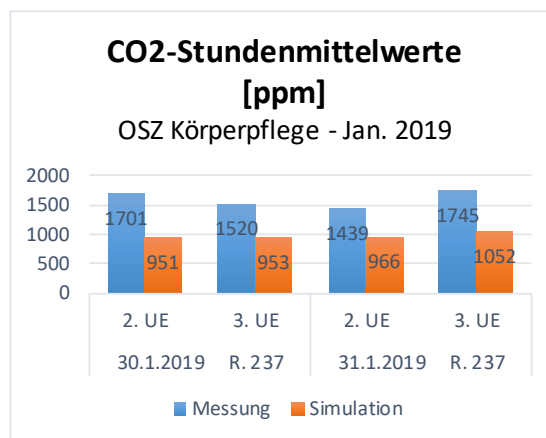
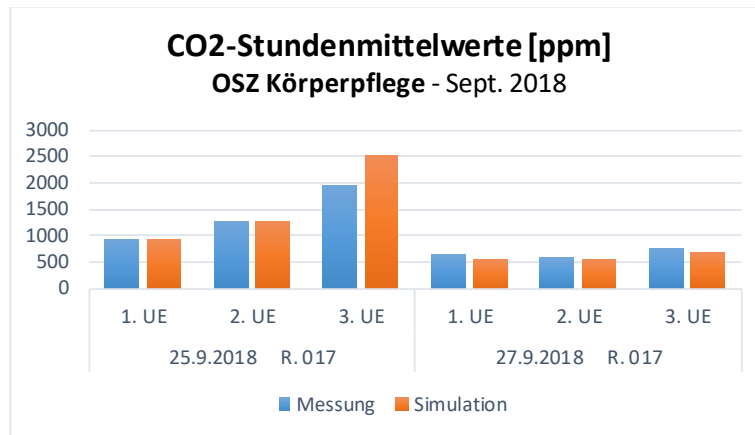
- Aufzeichnungen über die Fensteröffnungszeiten und -öffnungsweiten bei den Messungen waren nicht korrekt.
- Weitere maßgebliche Randbedingungen (z.B. Türöffnung/Querlüftung) fehlten bzw. waren inkorrekt.
- Die Durchmischung der CO₂-Konzentration im Raum war real nicht homogen.
- Der Algorithmus der Simulationssoftware simplifiziert die real vorliegenden Verhältnisse.

Die Gründe für die Abweichungen / Differenzen können also menschlich, technisch oder systemisch bedingt sein. Eine weiter vertiefende Betrachtung soll hier nicht vorgenommen werden.

Die Ausgangsfrage nach der Zuverlässigkeit der CO₂-Simulation als prognostische Betrachtung für die Raumluftverhältnisse im Rahmen der Schulbauplanung kann nur ernüchternd beantwortet werden. Die durchgeführten Untersuchungen haben nicht belegen können, dass die Simulation CO₂-Werte mit akzeptabler Genauigkeit für überzeugend viele Unterrichtssituationen liefert. Dennoch hat die Simulation ihren berechtigten Platz in der Prognose von CO₂-Konzentrationen und kann Tendenzen aufzeigen. Sie kann bei der Darstellung von Worst-Case-Szenarien Größenordnungen prognostizieren. Eine zuverlässige Prognose für den realen Schulbetrieb ist auch aufgrund des freien Nutzerverhaltens nicht möglich.

Abbildung

**Vergleich der
CO2-Stundenmittelwerte
von Messung
und Simulation**



6 Empfehlungen

Als zentrales Ergebnis aller Untersuchungen zur Evaluation von Bestandsschulen bezüglich der Raumluftqualität sollen hier nachfolgende Punkte als Empfehlungen bei der Sanierung von Bestandsschulen zur Gewährung einer guten Raumluftqualität festgehalten werden. Es wird davon ausgegangen, dass bei einer grundlegenden Sanierung von Schulen allen Erfordernissen Rechnung getragen wird, so dass sich die Frage des umzusetzenden Lüftungskonzepts als eine Maßnahme unter mehreren darstellen wird, die integral umzusetzen ist.

Bei dieser ganzheitlichen Betrachtung werden hier insbesondere das Erfordernis und die Synergie bei Maßnahmen zur energetischen Sanierung und der Lüftungstechnik betont. Die Maßnahmen können auch dem sommerlichen Wärmeschutz zugutekommen.

Für jede Schule ist ein Lüftungskonzept zu erstellen.

Die Erfordernisse für die Gewährung einer guten Raumluftqualität sind bereits in der Planungsphase zu berücksichtigen.

Ist bei der grundlegenden Sanierung einer Schule eine mechanische Lüftungsanlage erforderlich, ist aufgrund der günstigeren Betriebskosten möglichst eine zentrale RLT-Anlage zu planen (siehe Anhang D). Aufgrund des Platzbedarfs ist dies bei Bestandsschulen nicht immer möglich.

Für den effizienten Betrieb von RLT-Anlagen ist die sorgfältige Planung eine Grundvoraussetzung.

Um die RLT-Anlagen für die verschiedenen Betriebszustände eines Jahres optimal und effizient einzuregulieren, ist unbedingt ein Anlagenmonitoring vorzusehen. (Die bei SenStadt-Wohn Z MI 3 in 2018 veröffentlichten Leitfäden zur Gebäudeautomation und zum Monitoring von Neubauten können sinngemäß angewendet werden.)

Bei Schulen mit Abluftanlage ist unbedingt darauf zu achten, dass die Zuluftöffnungen während des Anlagenbetriebs geöffnet sind.

Die Wartung von RLT-Anlagen muss über Wartungsverträge regelmäßig erfolgen.

Für alle Schulen gilt:

- Alle Fenster müssen zur Lüftung offenbar sein.
- Alle Fenster müssen die Vertikalöffnung und die Kippöffnung ermöglichen.
- Defekte Fenster sind umgehend zu reparieren und zu warten.
- Es sollte möglichst eine Querlüftung über geöffnete Fenster und Türen erfolgen – während Pausen und ggf. Unterrichtszeiten.
- Die Fensterbänke sind freizuhalten, um eine effektive Lüftung über die Fenster in Drehstellung zu ermöglichen.
- Der Betrieb der Heizungsanlagen ist durch Einregulierung auf die tatsächlich erforderliche Raumtemperatur durch den Betreiber / die Wartungsfirma zu optimieren.

Wenn bei Bestandsschulen nur eine Fensterlüftung möglich ist, sollten u.a. folgende technische und organisatorische Maßnahmen beachtet werden:

- gut gewartete und leicht bedienbare Fensterflügel mit der Möglichkeit zur 90°-Öffnung über die Vertikalachse
- elektromotorisch betriebene Fensterflügel, ggf. in Verbindung mit einer Gebäudeleittechnik
- Festlegung von Verantwortlichkeiten für die Fensterlüftung

- Instruktion von Lehrkräften und Schülern über das Lüftungsverhalten
- Stoßlüften in den Pausen ist erforderlich.

Übersicht der Anhänge

- Anhang A.1 Quellennachweis
- Anhang A.2 Schreiben LAGetSi an SenBildJugFam vom 19.12.2016: Facharbeitsgruppe Schulraumqualität, Unterarbeitsgruppe Architektur und Standards – Raumlüftung in Schulen
- Anhang A.3 Vermerk SenStadtWohn Z MI 32 vom 30.03.2016: Studie der URS „Vertiefende Evaluierung der Energetischen Sanierung im Berliner Umweltentlastungsprogramm UEP II“
- Anhang B.1 Kurz-Info für ausgewählte Schulen zu CO₂- und Behaglichkeitsmessungen im Rahmen der Evaluation Lüftung in Schulen
- Anhang B.2 3 × 7 Auswertungen der CO₂-Messungen (3 Messkampagnen à 7 Schulen)
- Anhang B.3 3 × 7 Auswertungen mit Bewertung der Messkampagnen
- Anhang C Auswertung anderer Quellen
- Anhang D Ganzheitliche Kostenbetrachtung
- Anhang E.1 CSZ Ingenieurconsult, Cornelius-Schwarz-Zeitler GmbH: „Simulation der Raumluftqualität für ausgewählte Unterrichtsräume mittels Thermischer Simulation als Einzonenmodell – Teil Oberstufenzentrum Körperpflege“
- Anhang E.2 CSZ Ingenieurconsult, Cornelius-Schwarz-Zeitler GmbH: „Simulation der Raumluftqualität für ausgewählte Unterrichtsräume mittels Thermischer Simulation als Einzonenmodell – Teil Papageno-Grundschule“
- Anhang E.3 Vergleich der CO₂-Stundenmittelwerte aus Messung und Simulation – Tabellen, Abbildung