



Komfortmessungen automatisierte Fensterlüftung in der HLW Türnitz

Wien, 18.03.2018

Im Auftrag von Bauklimatik GmbH, Nikolsdorfer Gasse 1/14, 1050 Wien

1	Inhalt und Zielsetzung	2
2	Messdurchführung.....	2
3	Messungen und Beobachtung	4
3.1	Beobachtungen ab 09:25	4
3.2	Draft Rate in Messposition A (in besetzter Klasse)	4
3.3	Beobachtungen ab 09:46	5
3.4	Draft Rate in Messposition B (in besetzter Klasse)	5
3.5	Beobachtungen ab 10:10	5
3.6	Draft Rate in Messposition C (in besetzter Klasse)	6
3.7	Messposition F (in besetzter Klasse)	6
3.8	Draft Rate in Messposition E (in besetzter Klasse)	7
3.9	Beobachtungen ab 11:11.....	7
3.10	Draft Rate in Messposition B (in besetzter Klasse)	8
3.11	Beobachtungen ab 11:40	8
3.12	Draft Rate in Messposition A (in leerer Klasse).....	8
3.13	Draft Rate in Messposition C (in leerer Klasse).....	9
3.14	Draft Rate in Messposition B (in leerer Klasse, bei geöffneter Klappe).....	9
3.15	CO ₂ -Konzentration in Raummitte.....	10
4	Zusammenfassung	11
4.1	Beobachtungen und Messergebnisse	11
4.2	Interpretation gegenüber Regelwerken.....	12

1 Inhalt und Zielsetzung

Der gegenständliche Bericht dokumentiert die Komfortmessungen und Beobachtungen im Zusammenhang mit der automatisierten Fensterlüftung in der HLW Türnitz.

Die Messungen wurden durchgeführt von Dipl.-Ing. Dr. Peter Holzer am 31.1.2018, im Zeitraum von 08:00 bis 12:30.

Zielsetzung war die Feststellung des Komforts bzw. allfälliger Beeinträchtigungen durch Zugluft und die Feststellung Luftqualität.

2 Messdurchführung

Gemessen wurde die Außentemperatur mit einem am Fensterbrett positionierten Datenlogger des Typs Testo. Die Außentemperatur betrug während des Messzeitraums im ca. 5°C.

Gemessen wurde weiteres

- die Draft Rate, also das Zugluftisiko,
- sowie die Raumlufttemperatur
- und der Raumluft-CO₂-Gehalt.

Dafür zum Einsatz kamen Messgeräte des Typs Testo 480 in Verbindung mit einer Komfortmesssonde und dem standardisierten 180 min Messprogramm für die Draft Rate laut ÖNORM EN ISO 7730 (2006).

Die Messungen erfolgten im Raum 3 des Neubaus der HLW Türnitz.

Die Messungen der Draft Rate erfolgten an insgesamt 6 Messpositionen des Raumes,

- drei davon in 50 cm Abstand zur Fassade und somit an der fassadennahen Sitzposition
- die drei weiteren entlang der fassadenbegleitenden Mittelachse der Klasse.

Die Messpositionen wurden wie folgt bezeichnet:

A ... Fassadennahe, vorne beim LehrerInnentisch

B ... Fassadennahe, an der mittleren Sitzreihe

C ... Fassadennahe, hinten neben der vorletzten Tischreihe

D ... Mittelgang, in Position beim LehrerInnentisch

E ... Mittelgang, an der mittleren Sitzreihe

F ... Mittelgang, hinten neben der vorletzten Tischreihe

An jeder dieser sechs Messposition wurde die Draft Rate in drei Höhen ermittelt:

- In 20 cm, repräsentativ für den Bereich der Füße/Fußknöchel.
- In 80 cm, repräsentativ für die Arbeitsebene.
- In 1,40 m, repräsentativ für den Kopfbereich beim Sitzen.

Institute of Building Research & Innovation

Arch. Dipl.-Ing. Dr. Renate Hammer, MAS

Dipl.-Ing. Dr. Peter Holzer

Die Position der automatschen Lüftungsklappen wurde während der Messungen dokumentiert, ebenso manuelle Stoßlüftung und andere klimaadaptive Handlungen der SchülerInnen und LehrerInnen.

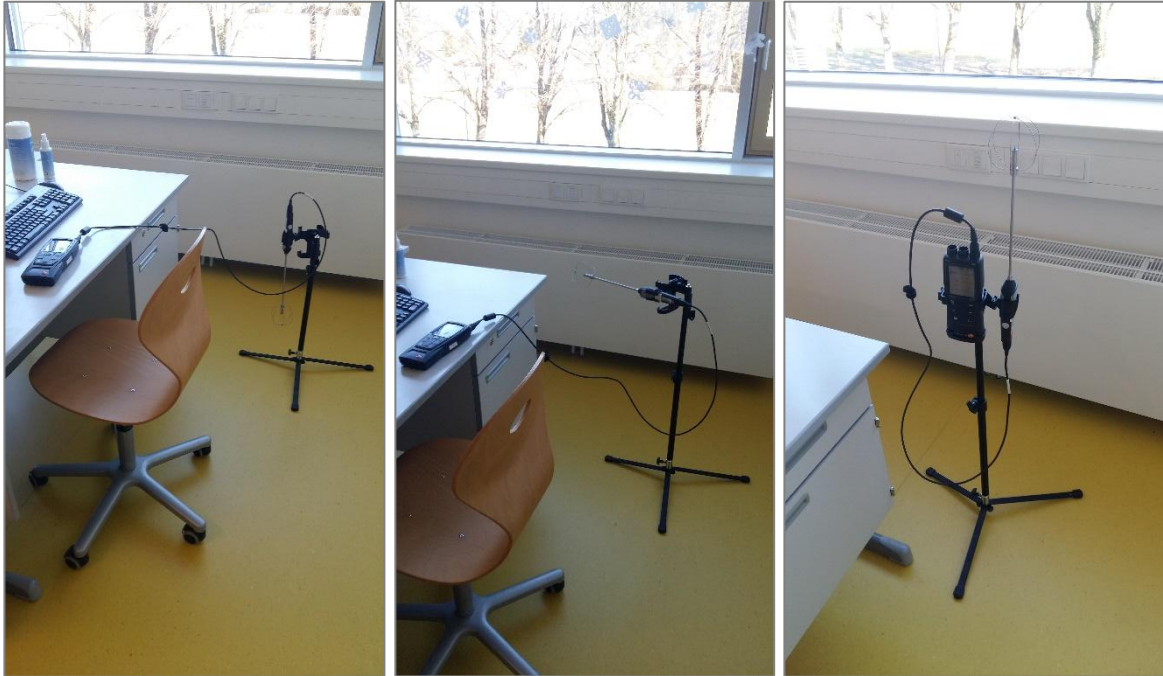


Abbildung 1: Fassadennahe Messpositionen zur Bestimmung der Draft Rate



Abbildung 2: Fassade mit Lüftungsklappen im genutzten Saal



Abbildung 3: Fassade mit Lüftungsklappen im leeren Saal

3 Messungen und Beobachtung

Im Folgenden sind die sowohl die Messungen der Draft Rate als auch die Beobachtungen des Verhaltens der anwesenden Personen in chronologischer Reihenfolge dokumentiert.

Die Messergebnisse der CO₂-Konzentration sind am Ende des Kapitels zusammengefasst.

3.1 Beobachtungen ab 09:25

- 09:25 Beginn der systematischen Beobachtungen und Messungen. Die Lüftungsklappen stehen nach manueller Übersteuerung weit offen. Grund für die manuelle Öffnung war die hohe Raumtemperatur von ca. 26°C, die noch aus der Nacht herrührte.
- 09:27 Die Klappensteuerung übernimmt wieder die automatische Kontrolle. Die Klappen schließen.
- 09:25 – 09:40 Der erste Messdurchgang der Draft Rate wird durchgeführt in der Messposition A, fassadennahe, vorne beim LehrerInnentisch.

3.2 Draft Rate in Messposition A (in besetzter Klasse)

	Uhrzeit	Klappen- und Fensterstellung	Draft Rate	Mittlere Temp.	Mittlere Strömungsgeschw.
Kopf	09:25	Klappen manuell weit offen Fenster geschlossen	8 %	26,3 °C	0,12 m/s
Kopf	09:29	Klappen geschlossen Fenster geschlossen	9 %	26,5 °C	0,15 m/s
Tisch	09:40	Klappen geschlossen Fenster geschlossen	1 %	26,9 °C	0,06 m/s
Füße	09:35	Klappen geschlossen Fenster geschlossen	5 %	26,9 °C	0,10 m/s

Interpretation der Messreihe in Messposition A

Die Lüftungsklappen sind wegen der hohen Temperatur in der Klasse bis 09:27 manuell weit geöffnet. Danach schließen sie automatisch.

Die gemessenen Draft Rates sind sämtlich kleiner als 10 %.

Zugluft wird in keiner Weise als Problem wahrgenommen.

Die Lufttemperatur wird von der überwiegenden Zahl der Anwesenden als zu warm empfunden.

Auffällig ist, dass an ein und derselben Messposition (Kopf) die Draft Rate so gut wie unabhängig von der Klappenstellung ist: Die Draft Rate in Kopfhöhe ist bei geschlossener Klappe sogar geringfügig höher als bei geöffneter.

3.3 Beobachtungen ab 09:46

- 09:46 Die Klappen öffnen sich automatisch in Spaltöffnung.
09:50 Die Pause beginnt. Die Klappen bleiben unverändert in Spaltöffnung.
09:55 Die Klappen öffnen auf eine größere Spaltöffnung.

3.4 Draft Rate in Messposition B (in besetzter Klasse)

	Uhrzeit	Klappen- und Fensterstellung	Draft Rate	Mittlere Temp.	Mittlere Strömungsgeschw.
Kopf	09:46	Klappen auto Spalt-Öffnung Fenster geschlossen	2 %	26,9 °C	0,06 m/s
Tisch	09:51	Klappen auto Spalt-Öffnung Fenster geschlossen	6 %	26,7 °C	0,01 m/s
Füße	09:54	Klappen auto Spalt-Öffnung Fenster geschlossen	4 %	26,6 °C	0,09 m/s

Interpretation der Messreihe in Messposition B

Die Lüftungsklappen sind im Automatikbetrieb und spaltweit geöffnet.

Die gemessenen Draft Rates sind sämtlich kleiner als 6 %.

Zugluft wurde in keiner Weise als Problem wahrgenommen.

3.5 Beobachtungen ab 10:10

- 10:02 Die Lehrerin öffnet ihr Fenster, wegen der nach wie vor hohen Innenraumtemperatur. Die Luftströmung ist im Fußbereich auch in den hinteren Reihen spürbar.
- 10:14 Eine Schülerin aus der ersten Reihe schließt das Fenster der Lehrerin, weil ihr kühl wurde. Was von der Lehrerin zunächst nicht bemerkt wird.
- 10:24 Die Lehrerin öffnet ihr Fenster abermals. Es wird über die unterschiedliche Wahrnehmung gesprochen: Die Lehrerin artikuliert ihre Wahrnehmung der Raumtemperatur als zu warm. Die Schülerin artikuliert ihre Wahrnehmung von Zugluft und wird von der Lehrerin ermuntert, sich über das T-Shirt hinaus zu bekleiden. Ein zweites Fenster im Mittelbereich der Fassade wird geöffnet.
- 10:38 Das Fenster beim Lehrertisch wird geschlossen, dafür wird ganz hinten ein Fenster geöffnet. Der Unterricht ist insgesamt aufgeweckt und interaktiv

10:43 Das Fenster hinten wird wieder geschlossen.
Es sind somit wieder alle Fenster geschlossen.

3.6 Draft Rate in Messposition C (in besetzter Klasse)

	Uhrzeit	Klappen- und Fensterstellung	Draft Rate	Mittlere Temp.	Mittlere Strömungsgeschw.
Kopf	10:04	Klappen auto Spalt-Öffnung 1 Fenster geöffnet	7 %	24,9 °C	0,09 m/s
Tisch	10:08	Klappen auto Spalt-Öffnung 1 Fenster geöffnet	5 %	25,3 °C	0,08 m/s
Füße	10:14	Klappen auto Spalt-Öffnung Fenster geschlossen	5 %	24,7 °C	0,09 m/s

Interpretation der Messreihe in Messposition C

Die Lüftungsklappen sind im Automatikbetrieb und spaltweit geöffnet.

Zusätzlich wird wegen der hohen Raumtemperatur mit bis zu einem Fenster manuell gelüftet.

Die gemessenen Draft Rates betragen immer kleiner gleich 7 %.

3.7 Messposition F (in besetzter Klasse)

	Uhrzeit	Klappen- und Fensterstellung	Draft Rate	Mittlere Temp.	Mittlere Strömungsgeschw.
Kopf	10:20	Klappen auto spalt-offen Fenster geschlossen	0 %	25,2 °C	0,04 m/s
Tisch	10:27	Klappen auto spalt-offen 1 Fenster vorne manuell offen	3 %	25,1 °C	0,07 m/s
Füße	10:31	Klappen auto spalt-offen 2 Fenster manuell offen	12 %	23,8 °C	0,16 m/s
Füße	10:39	Klappen auto spalt-offen 2 Fenster manuell offen	15 %	21,8 °C	0,11 m/s
Füße	10:44	Klappen auto spalt-offen alle Fenster zu	0 %	23,3 °C	0,02 m/s

Interpretation der Messreihe in Messposition F

Die Lüftungsklappen sind im Automatikbetrieb und spaltweit geöffnet.

Zusätzlich sind während der Messreihe 1 bis 2 Fenster manuell offen, wegen der hohen Temperatur im Raum, angeregt von der sehr aktiven Lehrerin.

Die gemessenen Draft Rates erreichen bei intensiver überlagerter Fensterlüftung Werte von bis zu 15%, bei geschlossenen Fenstern nur bis zu 3%.

3.8 Draft Rate in Messposition E (in besetzter Klasse)

	Uhrzeit	Klappen- und Fensterstellung	Draft Rate	Mittlere Temp.	Mittlere Strömungsgeschw.
Füße	10:53	Klappen auto Spalt-Öffnung Fenster geschlossen	0 %	25,1 °C	0,05 m/s
Tisch	11:02	Klappen auto Spalt-Öffnung bis zu 3 Fenster geöffnet	14 %	26,0 °C	0,13 m/s
Kopf	11:10	Klappen auto Spalt-Öffnung bis zu 3 Fenster geöffnet	14 %	24,2 °C	0,13 m/s

Interpretation der Messreihe in Messposition E

Die Lüftungsklappen sind im Automatikbetrieb und spaltweit geöffnet.

Zusätzlich sind während der gesamten Messreihe 1 bis 3 (!) Fenster manuell offen, wegen der hohen Temperatur im Raum, angeregt von der sehr aktiven Lehrerin, von den SchülerInnen nach einiger Zeit als zu kalt empfunden und daher wieder geschlossen.

Die gemessenen Draft Rates betragen aufgrund der intensiven manuellen Fensterlüftung bis zu 14%.

3.9 Beobachtungen ab 11:11

- 11:00 Der Unterricht erfolgt in Form eines Workshops in Kleingruppenarbeit. Im Saal herrscht starke Bewegung. Zwei Fenster sind meistens offen. Die Lüftungsklappen bleiben in Spaltöffnung.
- 11:33 Der Workshop endet. Die Fenster werden alle geschlossen. CO₂ ist mittlerweile weiter gesunken und erreicht einen Wert von 700 ppm. Die Heizkörper, mit der Einstellung des Thermostatventils auf Stufe II, werden erstmals an diesem Vormittag als „handwarm“ wahrgenommen.
- 11:34 Die Heizkörperventile haben wieder geschlossen, die Heizkörper fühlen sich wieder als kühl an.

3.10 Draft Rate in Messposition B (in besetzter Klasse)

Es wird neuerlich eine Messreihe in Messposition E durchgeführt.

	Uhrzeit	Klappen- und Fensterstellung	Draft Rate	Mittlere Temp.	Mittlere Strömungsgeschw.
Füße	11:47	Klappen auto Spalt-Öffnung Fenster geschlossen	5 %	25,5 °C	0,09 m/s
Tisch	11:41	Klappen auto Spalt-Öffnung Fenster geschlossen	2 %	25,5 °C	0,06 m/s
Kopf	11:34	Klappen auto Spalt-Öffnung Fenster geschlossen	6 %	24,6 °C	0,08 m/s

3.11 Beobachtungen ab 11:40

11:40 Der Unterricht endet. Die SchülerInnen und die Lehrerin verlassen den Raum.
Die Klappen bleiben in automatischer Spaltöffnung.

3.12 Draft Rate in Messposition A (in leerer Klasse)

Es wird neuerlich eine Messreihe in Messposition A durchgeführt.

	Uhrzeit	Klappen- und Fensterstellung	Draft Rate	Mittlere Temp.	Mittlere Strömungsgeschw.
Füße	11:52	Klappen auto Spalt-Öffnung Fenster geschlossen	4 %	25,5 °C	0,08 m/s
Tisch	11:56	Klappen auto Spalt-Öffnung Fenster geschlossen	1 %	25,1 °C	0,05 m/s
Kopf	11:59	Klappen auto Spalt-Öffnung Fenster geschlossen	5 %	25,7 °C	0,08 m/s

3.13 Draft Rate in Messposition C (in leerer Klasse)

Es wird neuerlich eine Messreihe in Messposition C durchgeführt.

	Uhrzeit	Klappen- und Fensterstellung	Draft Rate	Mittlere Temp.	Mittlere Strömungsgeschw.
Füße	12:10	Klappen auto Spalt-Öffnung Fenster geschlossen	6 %	25,9 °C	0,10 m/s
Tisch	12:07	Klappen auto Spalt-Öffnung Fenster geschlossen	7 %	25,9 °C	0,10 m/s
Kopf	11:59	Klappen auto Spalt-Öffnung Fenster geschlossen	3 %	25,8 °C	0,07 m/s

3.14 Draft Rate in Messposition B (in leerer Klasse, bei geöffneter Klappe)

Es wird neuerlich eine Messreihe in Messposition B durchgeführt,
bei vollständig geöffneten Klappen.

	Uhrzeit	Klappen- und Fensterstellung	Draft Rate	Mittlere Temp.	Mittlere Strömungsgeschw.
Kopf	11:59	Klappen manuell voll geöffnet Fenster geschlossen	9 %	25,1 °C	0,12 m/s

3.15 CO₂-Konzentration in Raummitte

In Raummitte wurde die CO₂-Konzentration aufgezeichnet.

Es ergab sich folgender Verlauf.

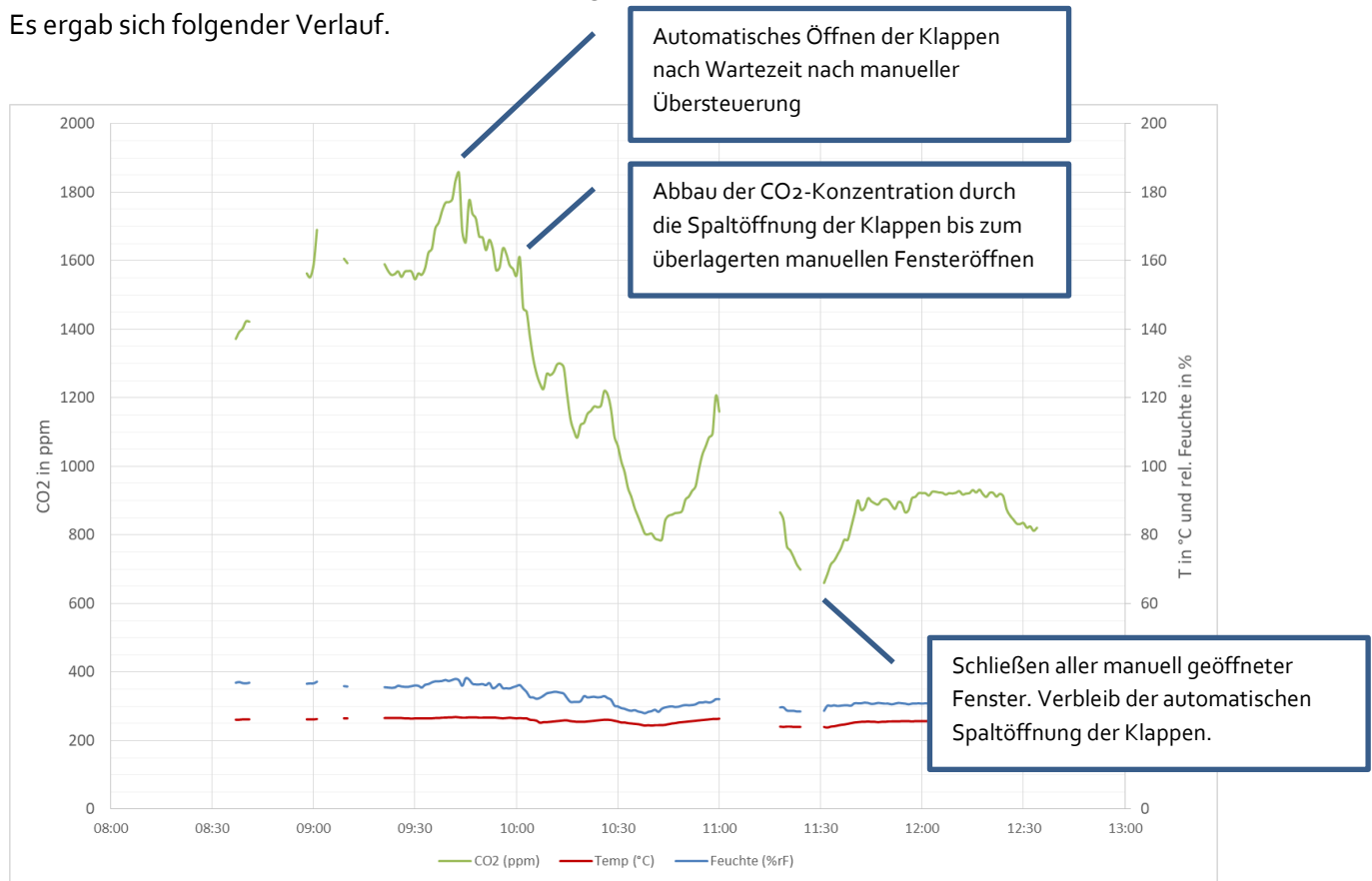


Abbildung 4: Verlauf der gemessenen CO₂-Konzentration in Raummitte

4 Zusammenfassung

4.1 Beobachtungen und Messergebnisse

Es zeigte sich an dem beobachteten Vormittag, bei ca. 5°C Außentemperatur, eine dynamische Raumnutzung, in der neben der automatischen Spaltlüftung der Klappen auch zahlreiche manuelle Eingriffe der SchülerInnen und der LehrerInnen erfolgten:

- Der Raum war noch aus der Nacht deutlich überheizt. Die Thermostatköpfe an den Heizkörpern standen auf Stellung 3 und 4 von 6. Die Heizkörper waren zum Beginnzeitpunkt der Beobachtungen kalt. Dennoch betrug die Raumtemperatur zu Unterrichtsbeginn >25°C. Deswegen haben die ersten SchülerInnen in der Früh die Klappen mit manuellem Tasterbefehl weit geöffnet. Die Ursache der Überwärmung ist nicht eindeutig geklärt.
- Mit Unterrichtsbeginn wurden die Klappen wieder manuell geschlossen und verharrten bis ca. 09:40 aufgrund einer in der Regelung vorgesehenen Wartezeit nach manueller Übersteuerung im geschlossenen Zustand. Die CO₂ Konzentration stieg in diesem Zeitraum auf bis zu 1.850 ppm. → **Es wird geraten, diese Wartezeit in der Regelungstechnik zu verkürzen auf 15 Minuten.**
- Um ca. 09:40 übernahm wieder die automatische Steuerung die Klappenstellung und öffnete die Klappen auf Spaltlüftung. Der CO₂-Gehalt fiel mit einer Abnahmegeschwindigkeit von 750 ppm pro Stunde nach 20 Minuten auf 1.600 ppm. → **Die Wartezeit der Automatikregelung von 1 h ab dem letzten manuellen Übersteuern war Ursache für das Ansteigen der CO₂-Konzentration, die ab dem automatischen Klappenöffnen rasch sank. Empfehlung zur Verkürzung der Wartezeit siehe oben.**
- Die Messungen der Draft Rate (siehe Kapitel 3.4) während dieser Zeitspanne der ausschließlich automatischen Klappenlüftung ergaben Werte von maximal 6%. → **Das entspricht der besten Kategorie A laut „Behaglichkeitsnorm“ ÖNORM EN ISO 7730 (2006).**

Es zeigten sich gleich hohe Draft Rates auch bei geschlossenen Klappen. (siehe Kapitel 3.2)

- Um ca. 10:00 wurden wegen der anhaltend zu warmen Innentemperatur manuell Fenster geöffnet und wurde somit die automatische Klappenöffnung überlagert. Die folgend gemessenen Draft Rates sind demnach geprägt von manuell geöffneten Fenstern (Siehe Messungen 3.6, 3.7, 3.8). Der CO₂-Gehalt sank während dieses überlagerten Fensterlüftens auf ca. 600 ppm.

Die gemessenen Draft Rates betrugten in diesem Zeitraum bis zu 15%, eindeutig dominiert von der Fensteröffnung. → **Das entspricht der mittleren Kategorie B laut „Behaglichkeitsnorm“ ÖNORM EN ISO 7730 (2006).**

- Um ca. 11:30 wurden wieder alle Fenster konsequent geschlossen. Die Klappen blieben in automatischer Spaltöffnung. Die Messungen der Draft Rate (Siehe Messungen 3.12, 3.13, 3.14), ergaben während dieser Zeit Werte von maximal 7%. → **Das entspricht wieder der besten Kategorie A laut „Behaglichkeitsnorm“ ÖNORM EN ISO 7730 (2006).**

Um 11:40 verließen die SchülerInnen die Klasse. Die CO₂-Konzentration stieg bis zu diesem Zeitpunkt von 600 auf 900 ppm.

- Die Heizkörper waren während des Beobachtungszeitraums stets kalt, mit Ausnahme einer Viertelstunde, während derer bis zu drei Fenster geöffnet waren. Während des gesamten Beobachtungszeitraums waren die Thermostatköpfe der Heizkörper auf Stufe 3 und 4 eingestellt.

4.2 Interpretation gegenüber Regelwerken

Als anerkannte Beurteilungsmaßstäbe für Innenraumklima werden die ÖNORM EN ISO 7730 (2006) Ergonomie der thermischen Umgebung (...) und die BMLFUW Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft (2011) herangezogen.

Die ÖNORM EN ISO 7730 (2006) definiert Beispiele für Gestaltungskriterien für Raumtemperatur und Luftgeschwindigkeit und sowie für die Draft Rate für drei Kategorien des Innenraumkomforts. Die BMLFUW Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft (2011) definiert Zielwerte und Mindestanforderungen an die CO₂-Konzentration über der Außenluftkonzentration.

Auszüge aus diesen beiden Regelwerken siehe nachfolgend.

- ➔ Hinsichtlich Luftgeschwindigkeit und Draft Rate wurden alle Zielwerte bei automatischer Klappenlüftung innerhalb der besten Komfortkategorie eingehalten.
- ➔ Hinsichtlich CO₂ zeigte sich die planungsgemäße Wirkung der Klappenlüftung, zeigte sich aber auch ein schnelles Ansteigen der CO₂-Konzentration während der 1h-Wartezeit der Automatik nach manuellem Übersteuern, weshalb zu einer regelungstechnischen Verkürzung dieser Wartezeit geraten wird.
- ➔ Hinsichtlich Raumtemperatur lag eine deutlich zu hohe Raumtemperatur noch aus der Nacht vor. Die Heizkörperthermostatventile waren auf 3 und 4 gestellt. Die Heizkörper wurden nur innerhalb einer kurzen Zeitspanne ein wenig warm, nämlich während manueller gleichzeitiger Öffnung von 2 und 3 Fenstern.

Tabelle 8: Zielvorgaben und Mindestanforderungen an dauernd benutzte Innenräume in Hinblick auf CO₂, Konzentrationsangaben als dCO₂

Raumlufthqualität	dCO ₂	Natürlich belüftete Innenräume	Mechanisch belüftete Innenräume
Hoch	≤ 400 ppm	Zielbereich: Beurteilungswerte < 600 ppm	Zielbereich: Beurteilungswerte < 400 ppm
Mittel	401 - 600 ppm		Mindestvorgabe: 1-MWg < 600 ppm
Mäßig	601 - 1 000 ppm	Mindestvorgabe: 1-MWg < 1 000 ppm	Mindestvorgabe: Alle Beurteilungswerte < 1 000 ppm
Niedrig	1 001 - 1 500 ppm	Mindestvorgabe: Alle Beurteilungswerte < 1 500 ppm	
Sehr niedrig	> 1 500 ppm		

1-MWg = gleitender Stundenmittelwert

dCO₂ = Differenz Innenraumlufthkonzentration minus Außenlufthkonzentration

Abbildung 5: Auszug aus ÖNORM EN ISO 7730 (2006)

Tabelle A.5 — Beispiele für Gestaltungskriterien für Räume in unterschiedlichen Gebäudetypen

Gebäude-/Raumtyp	Aktivität Wm ⁻²	Kategorie	Operative Temperatur °C		Maximale mittlere Luftgeschwindigkeit ^a m/s	
			Sommer (Kühlungsperiode)	Winter (Heizperiode)	Sommer (Kühlungsperiode)	Winter (Heizperiode)
Einzelbüro Bürolandschaft Konferenzraum Auditorium Cafeteria/ Restaurant Klassenraum	70	A	24,5 ± 1,0	22,0 ± 1,0	0,12	0,10
		B	24,5 ± 1,5	22,0 ± 2,0	0,19	0,16
		C	24,5 ± 2,5	22,0 ± 3,0	0,24	0,21 ^b
Kindergarten	81	A	23,5 ± 1,0	20,0 ± 1,0	0,11	0,10 ^b
		B	23,5 ± 2,0	20,0 ± 2,5	0,18	0,15 ^b
		C	23,5 ± 2,5	22,0 ± 3,5	0,23	0,19 ^b
Kaufhaus	93	A	23,0 ± 1,0	19,0 ± 1,5	0,16	0,13 ^b
		B	23,0 ± 2,0	19,0 ± 3,0	0,20	0,15 ^b
		C	23,0 ± 3,0	19,0 ± 4,0	0,23	0,18 ^b

^a Die maximale mittlere Luftgeschwindigkeit beruht auf einem Turbulenzgrad von 40 % und einer Lufttemperatur, die gleich der operativen Temperatur nach 6.2 und Bild A.2 ist. Für den Sommer und Winter wird eine relative Luftfeuchte von 60 % bzw. 40 % angewendet. Zur Bestimmung der maximalen mittleren Luftgeschwindigkeit wird sowohl im Sommer als auch im Winter die niedrigere Temperatur des Bereichs gewählt.

^b Unter einem Grenzwert von 20 °C (Bild A.2).

Abbildung 6: BMLFUW Richtlinie zur Bewertung der Innenraumlufth (2011)