



FH Burgenland
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Fachhochschule Burgenland GmbH
Steinamangerstraße 21
A-7423 Pinkafeld

CO₂-Reduzierung in Bildungseinrichtungen, durch Verwendung eines innovativen Fensterlüftungssystems

Projektstudie

Eingereicht von: Ing. Maximilian Uhl
Personenkennzeichen: 2110786016
Betreuer: Prof. (FH) DI Ernst Blümel
Datum: 23.08.2024

Eidesstattliche Erklärung

„Hiermit erkläre ich an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und ohne unerlaubter Hilfsmittel verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen verwendet habe. Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäß den angegebenen Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht.

Sofern die Studiengangsleitung die Verwendung von Hilfsmitteln (insbesondere IT- und KI-gestützter Hilfsmittel) vorsieht, erkläre ich, diese in der Arbeit vollständig mit dem jeweiligen Produktnamen, der Produktversion und einer Beschreibung des genutzten Funktionsumfangs angeführt zu haben.

Zudem versichere ich, dass ich diese Arbeit gemäß der geltenden Prüfungsordnung der FH Burgenland sowie den Richtlinien zur guten wissenschaftlichen Praxis der österreichischen Agentur für wissenschaftliche Integrität verfasst habe. Die Arbeit wurde bisher weder im Inland noch Ausland zur Begutachtung oder Beurteilung vorgelegt und nicht veröffentlicht.“

Wien, 23.08.2024



Ort, Datum

Unterschrift

Sustainable Development Goals (SDG), die von dieser Arbeit berührt werden:



Kurzfassung

Bereits seit dem späten 19ten Jahrhundert ist bekannt, dass die Raumluftqualität in Schul- und Bildungseinrichtungen einen erheblichen Einfluss auf die Produktivität und Konzentration von Schüler*innen nimmt. Mit dem Aufkommen der Covid-19 (SARS-CoV-2) Pandemie im Jahr 2020 und dem Wissen um die enge Korrelation zwischen der Raumluftqualität und einem damit verbundenem erhöhtem Ansteckungspotenzial, wurde dieser Thematik wieder mehr Aufmerksamkeit beigemessen. Eine Vielzahl an Untersuchungen haben gezeigt, dass ein Großteil der bestehenden Schul- und Bildungseinrichtungen ausschließlich über Fensterlüftungen verfügen und aufgrund dieser, die CO₂-Raumluftkonzentrationswerte erheblich über den zulässigen Grenzwerten liegen. Da der nachträgliche Einbau mechanischer Lüftungsanlagen sich oftmals baulich als sehr schwierig und kostenintensiv darstellt, soll im Zuge dieser Projektstudie ein alternatives Lüftungskonzept untersucht werden. Bei dem gewählten Konzept handelt es sich um ein natürliches Be- und Entlüftungssystem mit dem Namen „Klassenbester“. Im Fokus dieser Studie steht die Effektivität eines solchen Systems, im Vergleich zu herkömmlichen über Fensterspalt belüftete Klassenzimmer und wie sich dieses in Hinblick auf die Erreichung und Einhaltung definierter Raumluftparameter verhält. Im Zuge einer Generalsanierung eines Bundesrealgymnasiums in Mödling, soll anhand von zwei willkürlich ausgewählten Klassenzimmern, eine messtechnische Erfassung der CO₂-Raumluftkonzentration, vor und nach der Implementierung des Systems erfolgen, um so Aufschluss über die Einsatzfähigkeit eines solchen Systems geben zu können.

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1 EINFÜHRUNG	1
1.1 Problemstellung	1
1.2 Zielsetzung	4
1.3 Nicht – Ziele	4
2 GRUNDLAGEN	5
2.1 Zusammensetzung trockener Luft	5
2.2 Natürliches CO ₂ -Vorkommen	5
2.3 CO ₂ -Konzentrationswerte in Schul- und Bildungseinrichtungen	6
2.4 Der Faktor Mensch als CO ₂ -Quelle	7
2.5 CO ₂ als Indikator für die Raumluftqualität	9
2.6 Luftverunreinigungen und ihre Auswirkungen auf den menschlichen Organismus und die Leistungsfähigkeit	9
3 SYSTEMAUFBAU „KLASSENBESTER“	12
3.1 Funktionsweise	12
3.2 Anlagenkomponenten	13
3.3 Regelstrategie	19
3.3.1 Sommernachtslüftung	20
3.3.2 Sicherheit	20
4 DEMOANLAGE „BRG MÖDLING“	21
4.1 Standort	21
4.2 Gebäudedaten	21
4.3 Fensterlüftungskonzept	22
5 MESSDURCHFÜHRUNG	25
5.1 CO ₂ - Messung	26
5.2 Messstellen	26
5.2.1 Klassenzimmer 01.127	26
5.2.2 Klassenzimmer 02.225	31

6	MESSAUSWERTUNG	34
6.1	Klassenzimmer 01.127 bei inaktivem System „Klassenbester“	34
6.2	Klassenzimmer 01.127 bei aktivem System „Klassenbester“	35
6.3	Klassenzimmer 02.225 bei inaktivem System „Klassenbester“	36
6.4	Klassenzimmer 02.225 bei aktivem System „Klassenbester“	37
6.5	Interpretation	37
6.6	Diskussion	38
7	SCHLUSSFOLGERUNG	39
8	ZUSAMMENFASSUNG	40
9	LITERATURVERZEICHNIS	41

1 EINFÜHRUNG

Die vorangegangene Covid-19 (SARS-CoV-2) Pandemie im Jahr 2020 hat aufgezeigt, wie wichtig bedarfsgerechte Lüftungssysteme zur Verringerung einer möglichen Virenlast sind und einen positiven Beitrag zur Minimierung eines Ansteckungspotenziales leisten. Laut Hohenblum et al. (2008) ist besonders in Schul- und Bildungseinrichtungen, in denen viele Personen auf engen Raum zusammenkommen, das Ansteckungspotenzial und die Gefahr vor Atemwegserkrankungen, aufgrund eines unzureichenden Luftaustausches erhöht. Aufgrund erhöhter Feinstaubbelastungen wirken sich diese negativ auf die Atemwege und das Immunsystem der Schüler*innen aus. Weiters konnte festgestellt werden, dass das Risiko für Mittelohrentzündungen um etwa 25 % ansteigt. Darüber hinaus sollte erhöhten CO₂-Raumluftkonzentrationswerten eine wichtige Rolle beigemessen werden, da diese in enger Korrelation mit erhöhten Virenlasten stehen und Symptome wie zum Beispiel Müdigkeit, Defiziten in der Aufmerksamkeit sowie zu Lern- und Konzentrationsschwächen herbeiführen.

Durch Sadrizadeh et al. (2022) wurde bereits festgestellt, dass eine Vielzahl der bestehenden Schul- und Bildungseinrichtungen, lediglich über offenbare Fenster be- und entlüftet werden und die Bedürfnisse der Nutzer*innen, in Hinblick auf die Einhaltung definierter CO₂-Raumluftkonzentrationswerte, nicht erreicht werden.

Abschließend sehen sich neben den gesundheitlichen Aspekten eine Vielzahl an Schul- und Bildungseinrichtungen mit dem Problem hoher Investitionskosten, einem ressourcenschonenden Umgang sowie hohen laufenden Betriebskosten, im Zuge der Errichtung mechanischer Lüftungssysteme konfrontiert und verlangen daher nach einer alternativen und zeitgemäßen Lösung.

1.1 Problemstellung

Mit dem Wissen um die Problematik unzureichend belüfteter Klassenzimmer und den daraus resultierenden gesundheitlichen Risiken, haben sich eine Vielzahl an Forscher*innen dieser Thematik, wie zum Beispiel die Autoren Sadrizadeh et al. (2022) angenommen und untersuchten im Zuge einer Studie die Entwicklung der Raumluftqualität in Klassenzimmern der vergangenen 50 Jahre in über 40 Ländern, auf Basis einer Vielzahl an vorangegangenen Studien. Ziel war es die Wechselwirkung zwischen der Raumluftqualität und der Leistung der Schüler*innen besser verstehen zu können. Dabei stellten Sie fest, dass eine Vielzahl aller untersuchten Klassenzimmer ausschließlich über ein natürliches Lüftungssystem verfügen, welches nur unzureichend die Bedürfnisse der Nutzer abdeckt. Weiters wird angemerkt, dass aufgrund der unzureichenden Lüftung zukünftig ein Mindestmaß an Lüftungssystemen vorgeschrieben werden sollte, um so die Raumluftqualität verbessern zu können. Eine weitere Problematik stellt die Sanierung bestehender Schuleinrichtungen dar, da diese durch die gegebene bauliche Situation einen nachträglichen Einbau mechanischer Lüftungssysteme nur durch erhebliche Aufwendungen möglich macht. Auch zeigen die betrachteten Studien, dass die Lernleistung der Schüler*innen durch eine unzureichende Belüftung abnimmt. Ein CO₂-Konzentrationswert unter 900 ppm sollte daher angestrebt werden, da sich dieser positiv auf die Lernleistung der Schüler*innen, wie im Zuge einer durchgeführten Studie durch Satish et al. (2012) festgestellt, auswirkt.

Aufgrund der unzureichenden Lüftung konnte weiters ein hohes Maß an Pilzsporen nachgewiesen werden, zu welchen *Penicillium*, *Cladosporium*, *Aspergillus* und *Alternaria* zählen. Zur Vermeidung dieser sollte daher bewusst auf eine Erhöhung des Luftwechsels geachtet werden.

Weiters wurde durch Brandl et al. (2001), im Zuge einer Studie an welcher 20 Schul- und Bildungseinrichtungen in Oberösterreich teilnahmen, die Raumlufkonzentration in Hinblick auf CO₂ gemessen und ausgewertet. Bei allen Schulen handelte es sich um natürlich belüftete Klassenzimmer. Die Unterteilung der 20 Schul- und Bildungseinrichtungen setzt sich gemäß nachfolgender Aufzählung wie folgt zusammen:

- 4 Volksschulen, 4 Hauptschulen, 2 höheren Schulen
- 3 Neubauten, 3 Altbauten, 4 Altbauten nach Sanierung.

Die Methode sah vor, jeweils ein Klassenzimmer einer Schule auf CO₂-Konzentration, Luftdruck, Temperatur, rel. Luftfeuchte, VOC-Werte und Formaldehyd messtechnisch zu erfassen. Die Auswertungen der CO₂-Raumlufkonzentrationswerte aller messtechnisch erfassten Klassenzimmer, sind der Abbildung 1.1 zu entnehmen.

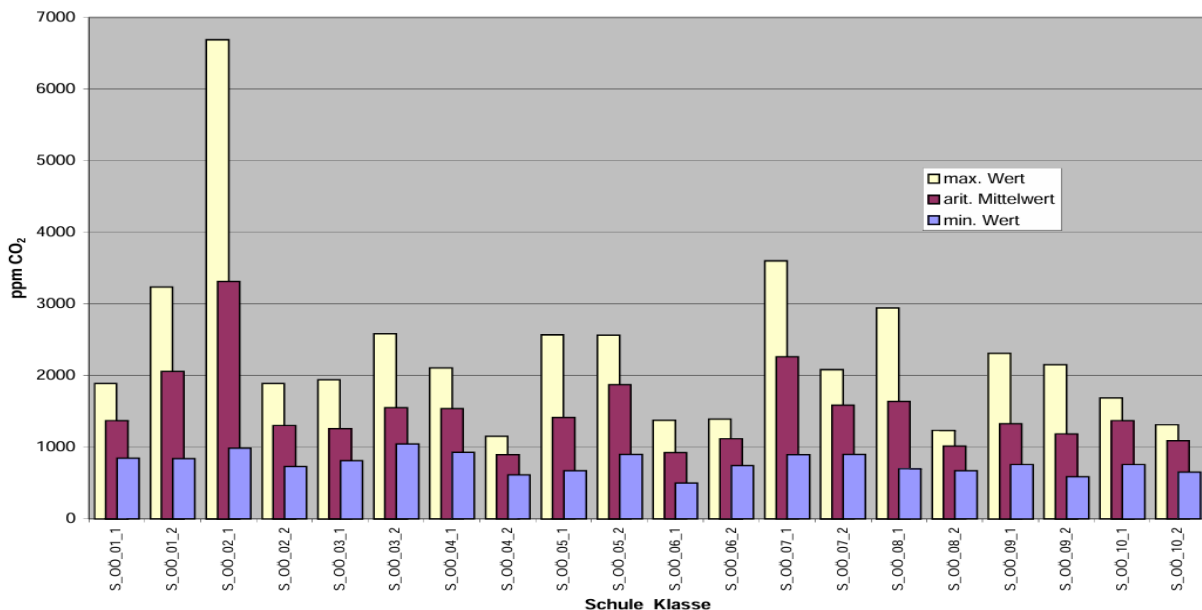


Abbildung 1.1: Messauswertung der CO₂-Raumlufkonzentration aller 20 an der Studie teilgenommenen Klassenzimmer (Brandl et al., 2001)

Wie in Abbildung 1.1 zu erkennen ist, lag der arithmetische Mittelwert in nahezu allen Klassenzimmern bei einem Wert von über 1.000 ppm und wurde teilweise um das bis zu dreifache überschritten. Die Maximalwerte wurde im Klassenzimmer mit der Bezeichnung „S_00_02_1“ gemessen und erreichten dabei CO₂-Konzentrationswerte in Höhe von 6.700 ppm, wie in Abbildung 1.2 zu erkennen. Beim Vergleich mit der ÖNORM H6039 (2023) ist festzustellen, dass der in dieser Norm festgelegte Grenzwert in Höhe von 1.000 ppm, um das Siebenfache überschritten wurde. In lediglich zwei der insgesamt 20 Klassenzimmer, wurde ein gemittelter CO₂-Raumlufkonzentrationswert unterhalb des durch die ÖNORM H6039 (2023) definierten Grenzwertes in Höhe von 1.000 ppm gemessen.

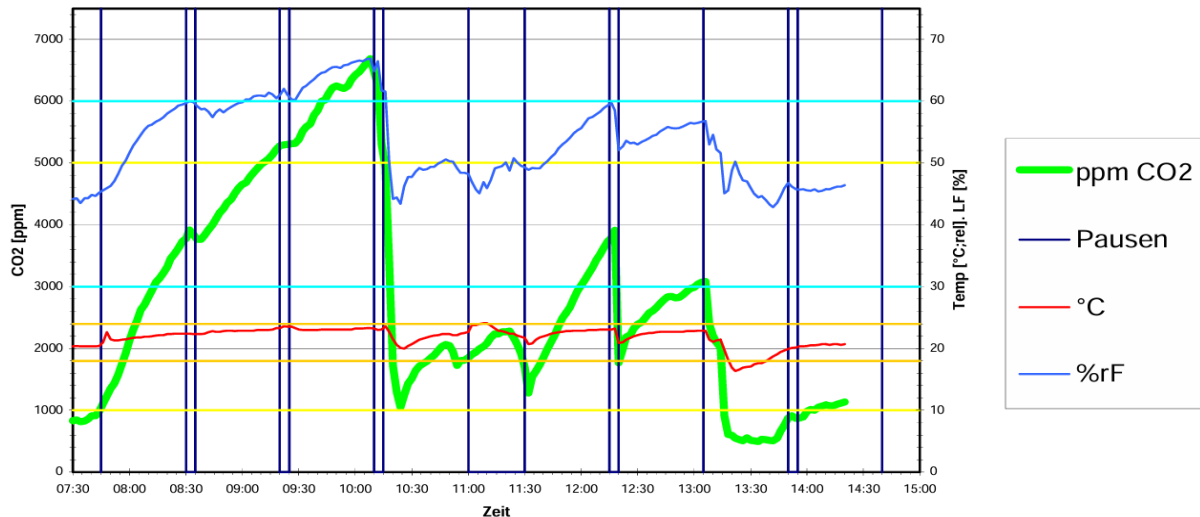


Abbildung 1.2: Messauswertung der CO₂-Raumluftkonzentration in Abhängigkeit der Temperatur, relativen Luftfeuchte und eingehaltenen Pausenintervallen, für das Klassenzimmer S_OÖ_02_1 (Brandl et al., 2001)

Bei dem betrachteten Klassenzimmer S_OÖ_02_1 befanden sich zum Messzeitpunkt der Messung 20 – 23 Personen im Klassenzimmer, wobei die Fenster vollständig geschlossen blieben und nur während der Pausen darauf geachtet wurde, dass die Fenster geöffnet wurden. Bei genauerer Betrachtung des Klassenzimmers mit der Bezeichnung „S_OÖ_02_1“ fällt gemäß Abbildung 1.2 auf, dass bereits zu Beginn der Unterrichtseinheit der Grenzwert von 1.000 ppm überschritten wurde und nahezu über den gesamten Messverlauf der durch die ÖNORM H6039 (2023) definierte Schwellwert von 1.000 ppm überschritten wurde.

In einer weiteren, großangelegten Studie mit dem Titel „LUKI – Luft und Kinder“, wurde durch Hohenblum et al. (2008), der Einfluss der Raumluftqualität auf die Gesundheit von Schüler*innen in Ganztageschulen beobachtet. In Summe wurden 18 Klassenzimmer messtechnisch erfasst. Die Auswertung der CO₂-Raumluftkonzentrationswerte ist der nachfolgenden Abbildung 1.3 zu entnehmen.

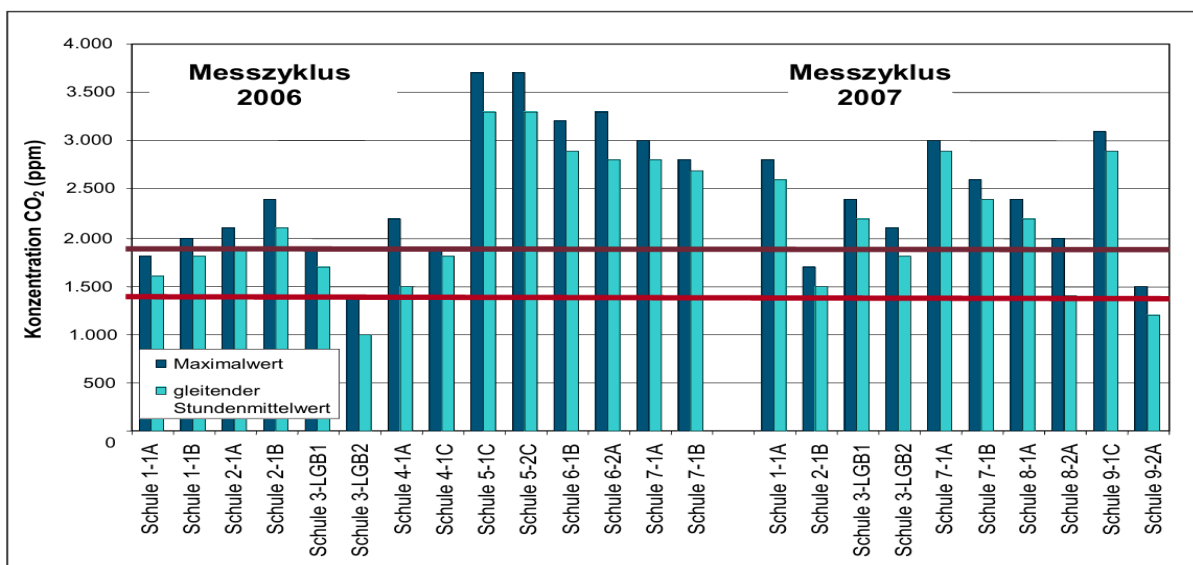


Abbildung 1.3: Messauswertung der CO₂-Raumluftkonzentration aller 18 teilnehmenden Klassenzimmer, für die Messzyklen 2006 & 2007 (Hohenblum et al., 2008)

Die beiden in Abbildung 1.3 zu erkennenden roten Linien bei 1.400 ppm und 1.900 ppm, stellen den nach dem Arbeitskreis für Innenraumlufthilfe am BMLFUW (2006) max. zulässigen Stundenmittelwert von 1.400 ppm und den Maximalwert in Höhe von 1.900 ppm dar. In 16 von 18 Klassenzimmern wurde der gleitende Stundenmittelwert von maximal 1.400 ppm und ein absoluter Maximalwert von 1.900 ppm bei 15 von 18 Klassenzimmern überschritten. Anmerkend vom Autor, führte das in den Pausen durchgeführte Stoßlüften zu einer unzureichenden Abhilfe. Dieser Umstand lässt den Entschluss zu, dass die Klassenzimmer über einen unzureichenden hygienischen Luftwechsel verfügen, da lediglich eine Schulklasse den Anforderungen für die Einhaltung und Erfüllung durch das BMLFUW (2006) gerecht wird.

1.2 Zielsetzung

Aufgrund der hohen CO₂-Konzentrationswerte in bestehenden Schul- und Bildungseinrichtungen und der negativen Auswirkung auf die Gesundheit sowie die Leistungsfähigkeit der Schüler*innen, soll im Rahmen dieser Bachelorarbeit untersucht werden, ob durch Verwendung einer bedarfsgerechten natürlichen Be- und Entlüftungsanlage, mit dem Systemnamen „Klassenbester“ eine alternative Variante, zur Verbesserung der Raumlufthilfe in Schul- und Bildungseinrichtungen, unter Einhaltung definierter Behaglichkeits- und CO₂- Parameter, erreicht werden kann. Neben den theoretischen Ansätzen, auf Basis dessen das Prinzip des Systems „Klassenbester“ beruht, sollen auch konkrete Messauswertungen an einer realen Schul- und Bildungseinrichtung, im Zuge einer Sanierung eines Bundesrealgymnasiums in Mödling durchgeführt werden. Im Zuge mehrerer Messauswertungen, bei welchen das System zu Beginn inaktiv ist, soll bei Betrachtung dieser eine Vergleichsmessung bei aktivem System erfolgen, um so Aufschluss über die Effektivität des Systems „Klassenbester“ geben zu können, um gegebenenfalls ein alternatives System für zukünftige Sanierungen bestehender Schul- und Bildungseinrichtungen aufzeigen zu können.

1.3 Nicht – Ziele

Diese Arbeit soll sich nicht auf eine eventuelle Kosteneinsparung durch Implementierung des Systems „Klassenbester“ im Vergleich zu herkömmlichen mechanischen Be- und Entlüftungssystemen konzentrieren und auch in weiterer Folge nicht mit der Frage einer möglichen Verringerung der laufenden Betriebskosten auseinandersetzen, da dies den Umfang dieser Bachelorarbeit übersteigen würde. Weiters soll auch nicht das System „Klassenbester“ mit herkömmlichen mechanischen Be- und Entlüftungssystem in Hinblick auf die Effizienz und dem Vergleich gewonnener CO₂-Konzentrationswerte verglichen werden, da dies für die Fragestellung dieser Bachelorarbeit keine brauchbaren Erkenntnisse zur Folge hätte.

2 GRUNDLAGEN

In diesem Kapitel sollen die notwendigen Grundlagen, für eine vertiefende Auseinandersetzung mit der in dieser Projektstudie behandelten Themen geschaffen werden.

2.1 Zusammensetzung trockener Luft

Trockene, in der Atmosphäre vorkommende Luft setzt sich neben Sauerstoff O₂ aus mehreren unterschiedlichen Gasen zusammen. Nach Recknagel et al (2007) kann die Zusammensetzung für trockene Luft gemäß Tabelle 2.1 herangezogen werden.

Tabelle 2.1: Zusammensetzung trockener Luft (Recknagel, 2007, S. 1)

Gas	Chemisches Element	Gewichtsprozent	Volumenprozent
		%	%
Sauerstoff	O ₂	23,01	20,93
Stickstoff	N ₂	75,51	78,10
Argon	Ar	1,27	0,9325
Kohlendioxid	CO ₂	0,04	0,03
Wasserstoff	H ₂	0,001	0,01
Neon	Ne	0,0012	0,0018
Helium	He	0,00007	0,0005
Krypton	Kr	0,0003	0,0001
Xenon	Xe	0,00004	0,000009

Den Hauptbestandteil der in trockener Luft vorkommenden Gase wird durch Stickstoff, Sauerstoff, Argon und Kohlendioxid in Höhe von 99,99 % des Gesamtgewichts gebildet. Die restlichen 0,01 Gewichtsprozent entfallen auf Wasserstoff, Neon, Helium, Krypton und Xenon. Die Zusammensetzung der Luft ist örtlich und zeitlich unabhängig, wodurch im Mittel die Konzentrationswerte der Tabelle 2.1 herangezogen werden können. Erst bei Betrachtung zunehmender Höhen über dem Meeresspiegel, ändert sich die Zusammensetzung im zunehmenden Maß. Eine Zunahme des Wasserstoff- und Heliumgehalts ist hierbei die Folge. (Recknagel et al, 2007, S. 2)

2.2 Natürliches CO₂-Vorkommen

Der natürliche in trockener Luft vorkommende CO₂-Anteil beläuft sich nach dem Umweltbundesamt (2024), auf einen gegenwärtigen Gehalt von 419,55 ppm im Tagesmittel. In den vergangenen 10.000 Jahren vor der Industrialisierung blieb der CO₂-Gehalt nahezu unverändert. Seit dieser stieg der CO₂-Wert kontinuierlich um etwa 50 % an. In den vergangenen 15 Jahren stieg die CO₂-Konzentration jährlich um etwa 2,35 ppm, bedingt durch die Verbrennung fossiler Energieträger, großflächiger Entwaldungen sowie weiterer Treibhausgase an. In der nachfolgenden Abbildung 2.1 ist der Verlauf des CO₂-Tagesmittels seit den 60er Jahren zu entnehmen.

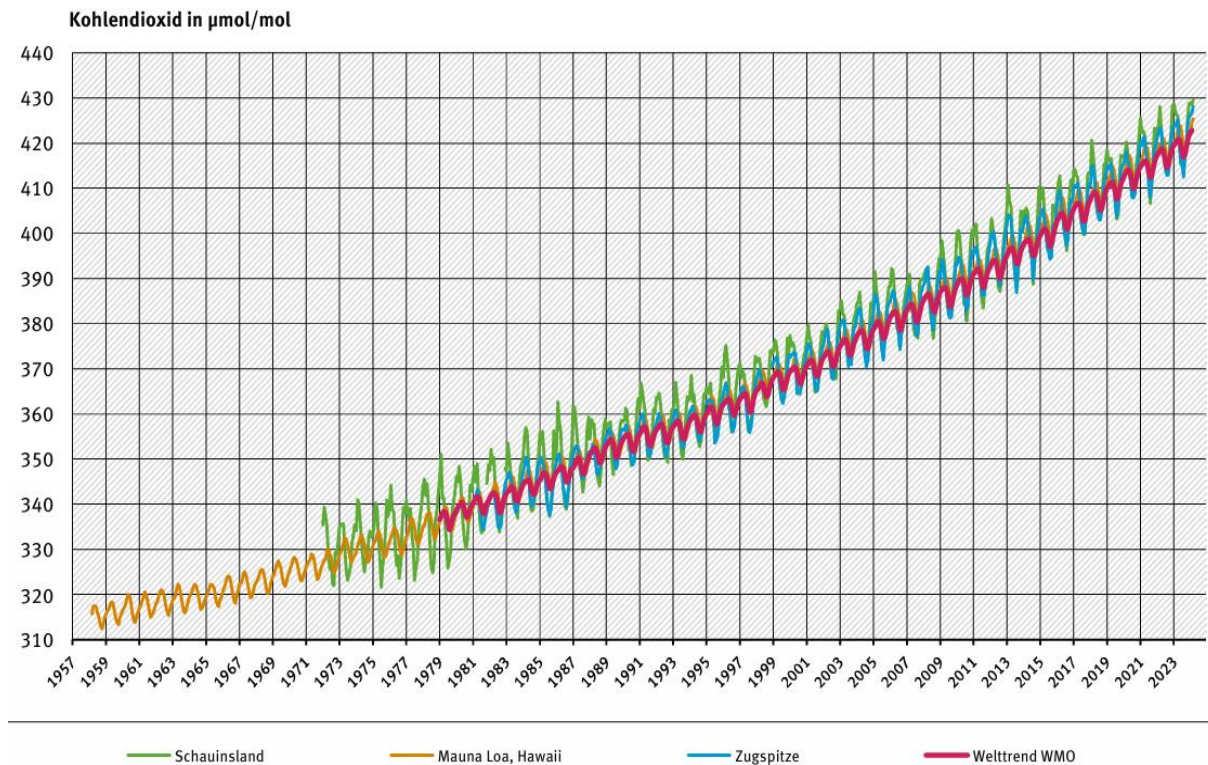


Abbildung 2.1: globaler CO₂-Anstieg seit den 60er Jahren (Umweltbundesamt, 2024)

Wie in Abbildung 2.1 zu erkennen, steigt der CO₂-Tagesmittelwert, im Vergleich zu den 50er Jahren, jährlich um 3 ppm an. Laut dem BMK (2024) beläuft sich der Tagesmittelwert auf einen ähnlichen Wert, wie jenen durch das Umweltbundesamt (2024) bekanntgegebenem und wird in Höhe von 417 ppm angegeben.

2.3 CO₂-Konzentrationswerte in Schul- und Bildungseinrichtungen

Da in Bildungseinrichtungen mit einem erhöhten Personenaufkommen zu rechnen ist und darüber hinaus gesteigerte Ansprüche an die geistige Leistungsfähigkeit gestellt werden, bedarf es in eben diesen Einrichtungen einer strikten Einhaltung definierter CO₂-Konzentrationswerte BMK (2024, S.20).

Bereits im 19ten Jahrhundert hat der Hygieniker Max von Pettenkofer die Wichtigkeit der Raumlufthereinigung erkannt und festgestellt, dass eine CO₂-Raumlufkonzentration in Höhe von 0,1 Vol %, dies entspricht 1.000 ppm, als Grenzwert heranzuziehen ist. Dieser Wert deckt sich mit den Erkenntnissen nach Buwal (1997), welche aufzeigen, dass bereits bei Erreichen einer CO₂-Raumlufkonzentration von 1.000 ppm, 20 % der im Raum befindlichen Personen die Raumluf als unbefriedigend empfinden. BMK (2024, S. 9)

Gemäß der ÖNORM H 6039 (2023) sind für Bildungseinrichtungen gemittelte CO₂-Grenzwerte in Klassenzimmern in Höhe von max. 1.000 ppm angegeben. Für Räume untergeordneter Funktion wie z.B. Pausen- oder Aufenthalts-räumen sind max. 1400 ppm, während einer Unterrichtseinheit, vorgegeben.

2.4 Der Faktor Mensch als CO₂-Quelle

Die Hauptquelle für den Anstieg von CO₂ in Innenräumen, stellt der menschliche Organismus dar. Werden Innenräume nicht ausreichend gelüftet, so kann dies nach BMK (2024, S. 11) einen CO₂-Anstieg von bis zu 10.000 ppm zur Folge haben. Ausschlaggebend für diesen Anstieg ist das Verhältnis des CO₂-Wertes der inhalieren zu exhalierter Luft von 1:140, über das menschliche Atemwegssystem. Nach Blümel, E. (2024) kann die Ermittlung einer ausreichenden Frischluftmenge mittels stationärer Raumbilanz, gemäß nachstehender Gleichung (2.1) wie folgt ermittelt werden:

$$\dot{V}_{AUL} * c_{AUL} + \dot{V}_{Schadstoff} = \dot{V}_{AUL} * c_{RL} \quad (2.1)$$

\dot{V}_{AUL}	Außenluftvolumenstrom in m ³ /h
$\dot{V}_{Schadstoff}$	Schadstoffvolumenstrom einer Person in l/h
c_{AUL}	CO ₂ -Konzentration der Außenluft in ppm
c_{RL}	zu definierende max. zulässige CO ₂ -Raumlufkonzentration

Der Schadstoffvolumenstrom kann weiters gemäß nachfolgender Gleichung (2.2) wie folgt dargestellt werden:

$$\dot{V}_{Schadstoff} = 17 * M \quad (2.2)$$

$\dot{V}_{Schadstoff}$	Schadstoffvolumenstrom einer Person in l/h
M	Aktivitätsgrad nach ÖNORM EN 16798

Durch das Einsetzen der Gleichung (2.2) in die Gleichung (2.1), folgt Gleichung (2.3)

$$\dot{V}_{AUL} * c_{AUL} + 17 * M = \dot{V}_{AUL} * c_{RL} \quad (2.3)$$

\dot{V}_{AUL}	Außenluftvolumenstrom in l/h
M	Aktivitätsgrad nach ÖNORM EN 16798
c_{AUL}	CO ₂ -Konzentration der Außenluft in ppm
c_{RL}	zu definierende max. zulässige CO ₂ -Raumlufkonzentration

Durch das Herausheben des Außenluftvolumenstromes \dot{V}_{AUL} und Umformung auf diesen, kann der erforderliche Luftvolumenstrom für eine sitzende Person, in Form eines Schulbetriebes nach Gleichung ermittelt werden:

$$\dot{V}_{AUL} = \frac{17 \frac{l \text{ CO}_2}{h} * M}{c_{RL} - c_{AUL}} \quad (2.4)$$

\dot{V}_{AUL}	Außenluftvolumenstrom in m ³ /h
M	Aktivitätsgrad nach ÖNORM EN 16798
c_{AUL}	CO ₂ -Konzentration der Außenluft in ppm mit einem Tagesmittelwert in Höhe von 417 ppm nach BMK (2024)
c_{RL}	zu definierende max. zulässige CO ₂ -Raumluftkonzentration

Durch abschließendes Einsetzen des Aktivitätsgrades gemäß ÖNORM EN 16798 (2019) für sitzende Tätigkeiten mit einem Wert von $M= 1,2$ sowie einem CO₂-Tagesmittelwert c_{AUL} in Höhe von 417 ppm sowie unter Berücksichtigung des maximal zulässigen CO₂-Grenzwertes für Schul- und Bildungseinrichtungen gemäß ÖNORM H6039 (2023) in Höhe von $c_{RL}= 1000$ ppm, ergibt sich nachfolgende und aufgelöste Gleichung (2.5):

$$\dot{V}_{AUL} = \frac{17 \frac{m^3}{h} * 1,2 * \frac{1}{1000 \frac{l}{m^3}}}{(1000 \text{ ppm} - 417 \text{ ppm}) * 10^{-6}} = 35 \frac{m^3}{h} \quad (2.5)$$

Der in Gleichung (2.5) errechnete Luftmengenwert besagt, dass bei einer maximal zulässigen CO₂-Konzentration von 1.000 ppm, ein Luftvolumenstrom von 35 m³/h pro Person erforderlich wäre, um diesen Grenzwert nicht zu überschreiten. Dieser Wert deckt sich mit der gemäß ÖNORM H6039 (2023) definierten Außenluftvolumenströme, für unterschiedliche Bildungsstufen, wie Tabelle 2.2 in zu erkennen.

Tabelle 2.2: Luftmengenbedarf nach Bildungsstufen gemäß ÖNORM H 6039:2023-2 (ÖNORM H6039, 2023, S. 10)

Kategorie nach Bildungsstufen (Alter der Personen)	Erforderlicher Außenluftvolumenstrom pro Person	
	Mittlere CO ₂ -Konzentration in der Raumluft von 1 000 ppm ^a	Mittlere CO ₂ -Konzentration in der Raumluft von 1 400 ppm ^b
	m ³ /h	
Elementar- und Primarstufe (in der Regel 0- bis 10-Jährige)	28	17
Sekundarstufen I und II (in der Regel 11- bis 18-Jährige)	33	20
Tertiärbereich, Erwachsenenbildung, Lehrpersonen, Betreuer (in der Regel über 19-Jährige)	36	21
ANMERKUNG 1 Für Kinder der Elementarstufe wird für das metabolische Äquivalent (met) ein Wert von 2 angenommen, da diese in der Regel eine höhere Aktivität zeigen (Spielen, Krabbeln etc.). Bei der Berechnung wurden für Gewicht und Größe die Durchschnittswerte von 2- bis 6-Jährigen (ø 4-jährig) herangezogen.		
ANMERKUNG 2 Für Schüler der Primarstufe wird für das metabolische Äquivalent ein Wert von 1,4, für Schüler der Sekundarstufen I und II sowie für Personen im Tertiärbereich ein Wert von 1,2 angesetzt.		
ANMERKUNG 3 Für die Berechnung wird eine CO ₂ -Außenluftkonzentration von 420 ppm angenommen.		
ANMERKUNG 4 Der informative Anhang A enthält das Berechnungsmodell zur Ermittlung des erforderlichen Außenluftvolumenstroms.		
^a Werte für Funktionsbereiche mit Schwerpunkt Unterricht/Lernen/Arbeit (z. B. Unterrichtsräume, Kindergarten-gruppenräume, Hörsäle, offene Lernzonen, Mehrzweckräume, Bibliotheken, Arbeitsbereiche für Lehrende)		
^b Werte für Funktionsbereiche mit Schwerpunkt Freizeit/Erholung (z. B. Speisebereich, Aula, Homebases, Sozialbereiche für Lehrende) und Erschließungsbereiche		

2.5 CO₂ als Indikator für die Raumlufthqualität

CO₂ eignet sich als verlässlicher und wichtiger Indikator für die vom Menschen verursachten Schadstoffbelastungen eines Innenraums. Eine zunehmende CO₂-Raumlufthkonzentration korreliert mit einer Verschlechterung des Wohlbefindens und der Leistungsfähigkeit in Innenräumen und erhöhen das Risiko für Krankheiten, aufgrund einer erhöhten Virenlast. Dies ist insbesondere in Räumen mit hoher Belegung wie Klassenzimmern ein ernst zu nehmendes Problem (Hohenblum et al., 2008)

Prinzipiell ist Kohlendioxid bei niedrigen Konzentrationen nicht toxisch, es erweist sich jedoch als guter Indikator für die Raumlufthqualität, da neben der Kohlendioxidabgabe durch den Menschen verursacht, auch die Geruchsintensität zunimmt und eine Vielzahl an organischen flüchtigen Verbindungen, den sogenannten VOC's in den Raum freigesetzt werden. Aus diesem Grund sollten CO₂-Konzentrationswerte von mehr als 1.000 ppm vermieden werden, um so ein behagliches Raumklima einhalten zu können, Befindlichkeitsstörungen auszuschließen und eine Leistungsreduktion sowie das erhöhte Risiko von Erkrankungen vermeiden zu können (Seppänen et al., 1999).

2.6 Luftverunreinigungen und ihre Auswirkungen auf den menschlichen Organismus und die Leistungsfähigkeit

Gemäß Brandl et al. (2001) sind Kinder als eine Risikogruppe anzusehen, da diese oftmals empfindlicher als Erwachsene reagieren und mit negativeren Reaktionen auf erhöhte Raumlufthkonzentrationswerte zu rechnen ist. Bereits CO₂-Raumlufthkonzentrationswerte von 0,1 – 0,2 Vol % führen zu merklichen Beschwerden und beeinflussen das Wohlbefinden der Schüler*innen. Zu den Beschwerden zählen Kopfschmerzen, Benommenheit, Beschwerden der Atemwege, Bindehautreizungen sowie eine Leistungsverringerung in Punkto Rechnen und Texte tippen. Grund dafür ist die Verschiebung des Blut-pH Wertes, welcher für den Sauerstofftransport im Blut verantwortlich ist.

Im Zuge einer weiteren Studie wurden durch Satish et al. (2012) 24 Studenten in einem Alter von mindestens 18 Jahren in büroähnlichen Prüfkammern, mit einer Abmessung von 4,6 m x 4,6 m und einer Höhe von 2,4 m untergebracht, um in diesen an speziell entwickelten Leistungstests, mit der Bezeichnung Strategic Management Simulation, kurz SMS genannt, teilzunehmen. Während des Versuches wurden drei unterschiedliche, mittels synthetischen CO₂ hergestellte Raumlufthkonzentrationswerte von 600 ppm, 1.000 ppm und 2.500 ppm erzeugt. Ziel der Studie war es festzustellen, wie sich die Leistungsfähigkeit der 24 Studenten bei den unterschiedlichen Raumlufthkonzentrationswerten verhält, um so Aufschluss über die Wichtigkeit der Raumlufthreinigung gewinnen zu können. Es wurden im Zuge der Studie neun Parameter überprüft. Zu diesen zählen:

- das Basisaktivitätsniveau
- die durch den Studenten gesetzten Handlungen,
- die fokussierte Aktivität
- die Aufgabenorientierung

- initiative Verhaltensweise
- Informationssuche
- Fähigkeit Informationen zu nutzen
- Flexibilität in der Herangehensweise an eine Aufgabenstellung
- strategischen Maßnahmen und Vorgehensweise

In Abbildung 2.2 ist die grafische Auswertung aller neun überprüften Parameter zu erkennen.

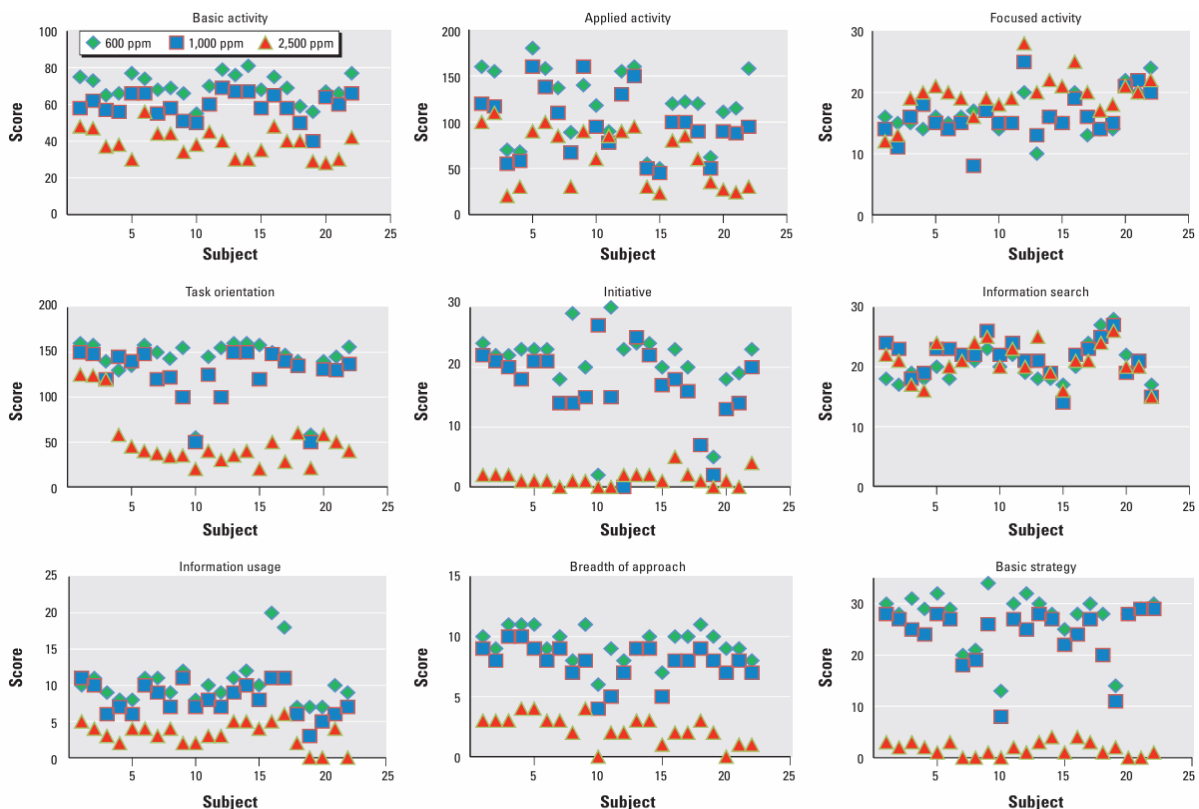


Abbildung 2.2: Auswertung der betrachteten Parameter aller Studienteilnehmer, der im Zuge des SMS-Tests gesammelten Erkenntnisse (Satish et al., 2023, S. 4)

Die Auswertung der neun Parameter zeigt den in Abhängigkeit des eingestellten CO₂-Wertes im Raum erzielten Score bei diesen. Klar zu erkennen ist, dass bei sieben von neun Parametern eine signifikante Verschlechterung der geistigen Leistungsfähigkeit, bei einer Erhöhung auf 2.500 ppm, die Folge ist. Lediglich der Parameter der fokussierten Aktivität sowie der der Informationssuche bleiben nahezu unverändert, verglichen mit den niederen CO₂-Konzentrationswerten.

Weiters beleuchtet Allen et al. (2016) in einer experimentell durchgeführten Studie an der Harvard School of Public Health, dass die Energieeinsparungen in den 70er Jahren zu einer Verringerung des hygienischen Luftwechsels geführt haben, da aufgrund der immer dichter werdenden Gebäudehülle der Luftaustausch auf ein Minimum reduziert worden ist und weiters die Ventilationsraten der Lüftungsanlagen, zu Gunsten einer Verringerung des Primärenergiebedarfs reduziert wurden. Dieser Umstand führte zu einer Vielzahl an Beschwerden, die mit einer Verringerung des Luftaustausches zusammenhängen, wodurch sich erstmals der Ausdruck Sick-Building-Syndrom etablierte und man sich einem neuen Problem gegenübergestellt sah. Im Zuge der

Studie, welche in New York durchgeführt worden ist, wurden insgesamt 24 Teilnehmer über einen Zeitraum von sechs Tagen in einem Büro nachempfundenen Raum untergebracht, um in diesen ihren normalen Tagesablauf nachzugehen. Die CO₂-Konzentration wurde jeweils zwei Tage lang konstant gehalten und mit einem Wert in Höhe von 550 ppm, 945 ppm und 1.400 ppm definiert. Während des 6-tägigen Aufenthaltes wurden die Teilnehmer einem Leistungstest mit der Bezeichnung Strategic Management Simulation, kurz SMS genannt, unterzogen, um so Aufschluss über die Auswirkungen auf die Leistungsfähigkeit, bei unterschiedlichen CO₂-Raumkonzentrationen zu erhalten. Die Auswertung aller 9 Parameter stellt sich dabei wie in Abbildung 2.3 wie folgt dar:

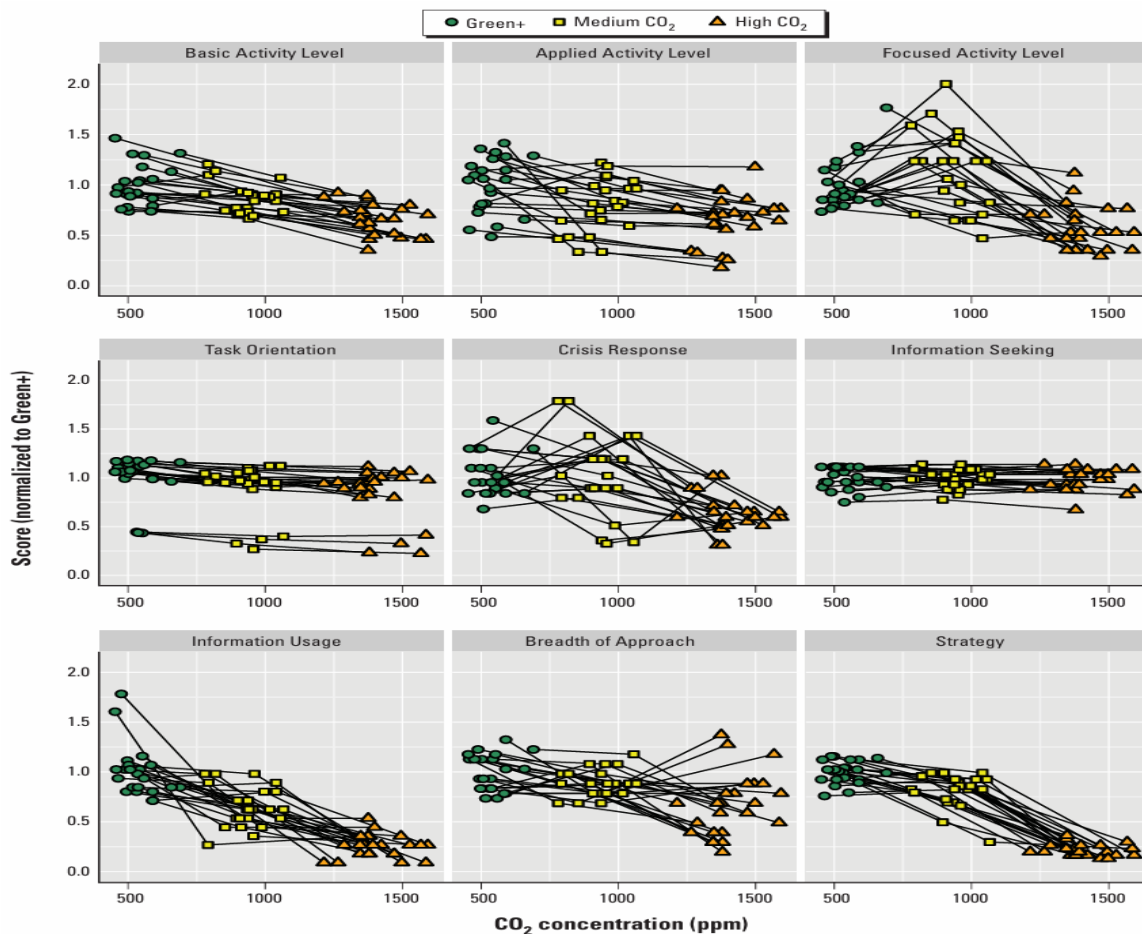


Abbildung 2.3: Auswertung der betrachteten Parameter aller Studienteilnehmer, der im Zuge des SMS-Tests gesammelten Erkenntnisse (Allen et al., 2016, S. 810)

Wie in Abbildung 2.3 zu erkennen, nahm die kognitive Funktion bei einer CO₂-Konzentration von 945 ppm um 15 % gegenüber einer CO₂-Konzentration von 550 ppm ab. Vergleicht man die Auswertungen bei einer Raumluftkonzentration von 550 ppm mit jenen bei 1.400 ppm, so ist festzustellen, dass diese gegenüber dem Basiswert (550 ppm) um 50 % abnimmt. Weiters ist zu erkennen, dass bei sieben von neun Parametern eine deutliche Leistungsverringerung, abgesehen von den Parametern der Informationsrecherche sowie der Aufgabenorientierung, die Folge war. Abschließend weist der Autor darauf hin, dass eine Erhöhung der CO₂-Konzentration um 400 ppm eine Leistungsverringerung von 21 % über nahezu alle Parameter zur Folge hat und weitere Forschungsarbeit in dieser Richtung betrieben werden sollte, da sie einen großen Einfluss auf die Produktivität und Sicherheit aller menschlichen Individuen hat.

3 SYSTEMAUFBAU „KLASSENBESTER“

Aufgrund der im Kapitel 2 gewonnenen Erkenntnisse über die Wichtigkeit und Notwendigkeit eines ausreichenden hygienischen Luftwechsels, wurde aus diesem Anspruch heraus das System „Klassenbester“, mit dem Ziel der Sicherstellung einer optimalen Raumluftqualität für die Schüler*innen, konzipiert. Dieses stellt dabei eine Alternative zu herkömmlichen mechanischen Lüftungssystemen dar, mit dem Ansatz der Luftreinhaltung in Schul- und Bildungseinrichtungen. (Klassenbester, 2024)

3.1 Funktionsweise

Das System „Klassenbester“ stellt ein vollautomatisiertes Fensterlüftungssystem dar und verfolgt vorrangig das Ziel der Luftreinhaltung. Darüber hinaus kann das System auch zur Verfolgung einer Vielzahl an unterschiedlichen Regelstrategien eingesetzt werden. Ein wesentliches Merkmal ist der Einfluss des Nutzers auf das Systems, da dieser vorrangig für die Verbesserung des Raumklimas verantwortlich ist. Das System selbst kann gemäß nachstehender Aufzählung in zwei Varianten unterteilt werden:

- Natürliche automatisierte kontrollierte Fensterlüftung
- Hybride Lüftung

Da es sich bei dieser Projektstudie um die Betrachtung und Wirkungsweise eines natürlichen Be- und Entlüftungssystems handelt, wird das hybride Lüftungssystem nicht weiter betrachtet. In Abbildung 3.1 ist das Funktionsschema der natürlichen automatisierten kontrollierten Fensterlüftung dargestellt.

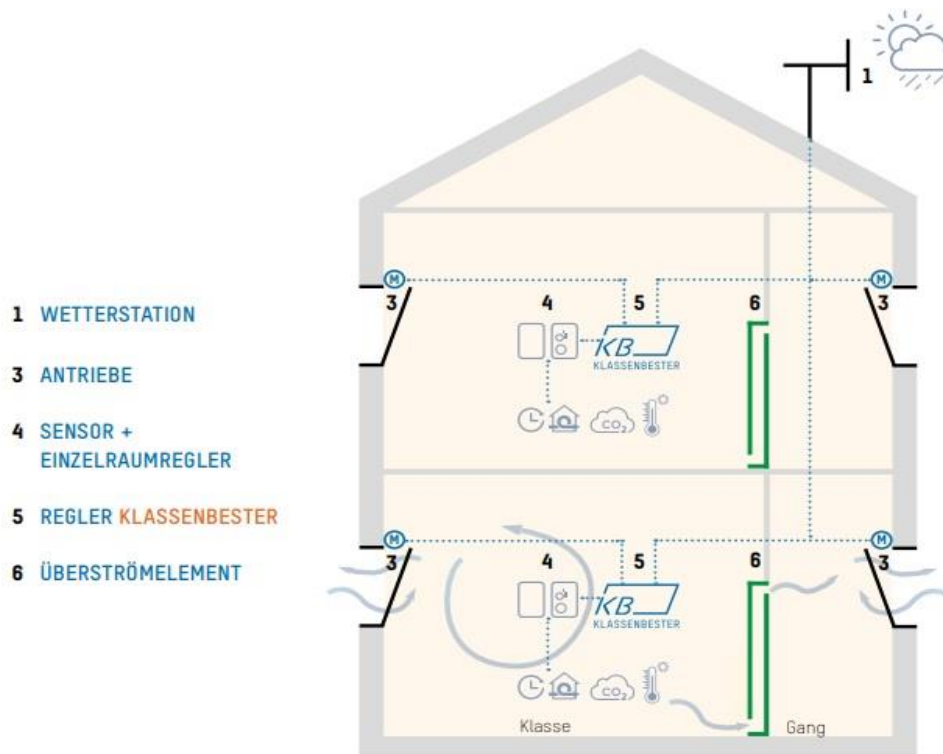


Abbildung 3.1: natürliche autom. kontrollierte Fensterlüftung (Klassenbester, 2024)

Das Herzstück des Systems stellt wie in Abbildung 3.1 zu erkennen der Regler (5) dar. Über eine Wetterstation (1) werden permanent Wetterdaten wie die Lufttemperatur

sowie die Windgeschwindigkeit, welche auf das Gebäude einwirken, gemessen und dem Regler (5) zugeführt. Weiters erfolgt über den Raumsensor (4) die Messung der Temperatur und des CO₂-Gehaltes in jedem Klassenzimmer und liefern so weitere wichtige Raumdaten an den Regler (5). Über die an den Fenstern angebrachten Stellmotoren (3), werden in Abhängigkeit der Raum- und Außenparameter diese angesteuert und sorgen so für die bedarfsgerechte Be- und Entlüftung des Raumes. Prinzipiell kann bereits durch die ausschließliche Verwendung der motorgesteuerten Fenster eine Be- und Entlüftung der Einzelräume erfolgen, diese kann jedoch durch Verwendung sogenannter Überströmelemente (6) verbessert werden, da diese zu einer verstärkten Raumdurchspülung beitragen und die verbrauchte Luft besser aus dem Gebäude ableitet.

3.2 Anlagenkomponenten

■ Wetterstation

Über die Wetterstation erfolgt eine kontinuierliche Abfrage der Wetterbedingungen, welche den Regler mit wichtigen Daten wie zum Beispiel der Lufttemperatur, Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit und Luftdruck versorgen. Diese Daten werden für die ordnungsgemäße Vorgabe des Stellsignales, vom Regler ausgehend, benötigt. In Abbildung 3.2 ist der schematische Aufbau der Wetterstation zu erkennen.



Abbildung 3.2: schematische Darstellung einer Wetterstation (1), zu Erfassung essenzieller Außenluftparameter (Klassenbester, 2024)

Über die Wetterstation können nachfolgende Parameter erfasst werden:

- Windgeschwindigkeit
- Windrichtung
- Helligkeit
- Dämmerung
- Globalstrahlung
- Niederschlag
- Temperatur
- Relative Luftfeuchte
- Luftdruck
- Sonnenstand
- Geostationäre Daten
- Azimut

■ Motorgesteuerte Fenster

Die motorgesteuerten Fenster werden bedarfsgerecht über den Regler in Abhängigkeit der Raum- und Außenparameter angesteuert und können stufenlos über ein 0-10 V Signal geöffnet werden. In Abbildung 3.3 ist eine Fensteroberlichte mit einem nachgerüsteten Stellmotor zu erkennen.



Abbildung 3.3: Kippstellung eines motorgesteuerten Oberlichts (Klassenbester, 2024)

Neben den Oberlichten-Fensterflügel können auch die normalen Fensterflügel mit einem Stellmotor, zur Integration in das automatisierte Lüftungskonzept, ausgestattet werden. Bei dem Stellmotor handelt es sich um einen Kettenantrieb des Herstellers Window Masters®, mit der Typenbezeichnung WMX 814. In Abbildung 3.4 ist die schematische Darstellung eines solchen Fensterantriebes zu erkennen.



Abbildung 3.4: schematische Darstellung des Kettenantriebes für die Nachrüstung bei Oberlichte-Fensterflügeln (Klassenbester, 2024)

Der Antrieb weist eine Zuhaltkraft von 2.000 N auf und kann in 10 mm Schritten, bis zu einem Öffnungsspalt von max. 1.000 mm geöffnet werden. Die Öffnungs-

geschwindigkeit beträgt dabei 1 bis 17 mm pro Sekunde. Die Antriebe weisen darüber hinaus eine Lebensdauer von 10.000 geprüften Öffnungs- und Schließvorgängen auf.

■ Überströmelemente

Überströmelemente werden dann eingesetzt, wenn eine Verbesserung der Raumdurchströmung im Vordergrund steht, da diese zur Verbesserung der Quertlüftung beitragen. Da es sich bei dem System „Klassenbester“ um ein natürliches Lüftungssystem handelt, sind an diese Überströmelemente hohe Ansprüche in Punkto Druckverlust gestellt. Aufgrund der Tatsache, dass diese ausschließlich auf dem Prinzip des Dichte- und Druckunterschieds arbeiten und nicht wie bei konventionellen mechanischen Lüftungssystemen eine Druckerhöhung durch einen Ventilator erfolgt, müssen diese einen geringen Druckverlust aufweisen. Durch ihre großzügige Bauform weisen diese bei einem Luftvolumenstrom von 450 m³/h einen Druckverlust von 2 Pa auf und sorgen so für eine ungehinderte Raumdurchströmung. In Abbildung 3.5 ist der schematische Aufbau eines solchen Elementes dargestellt.

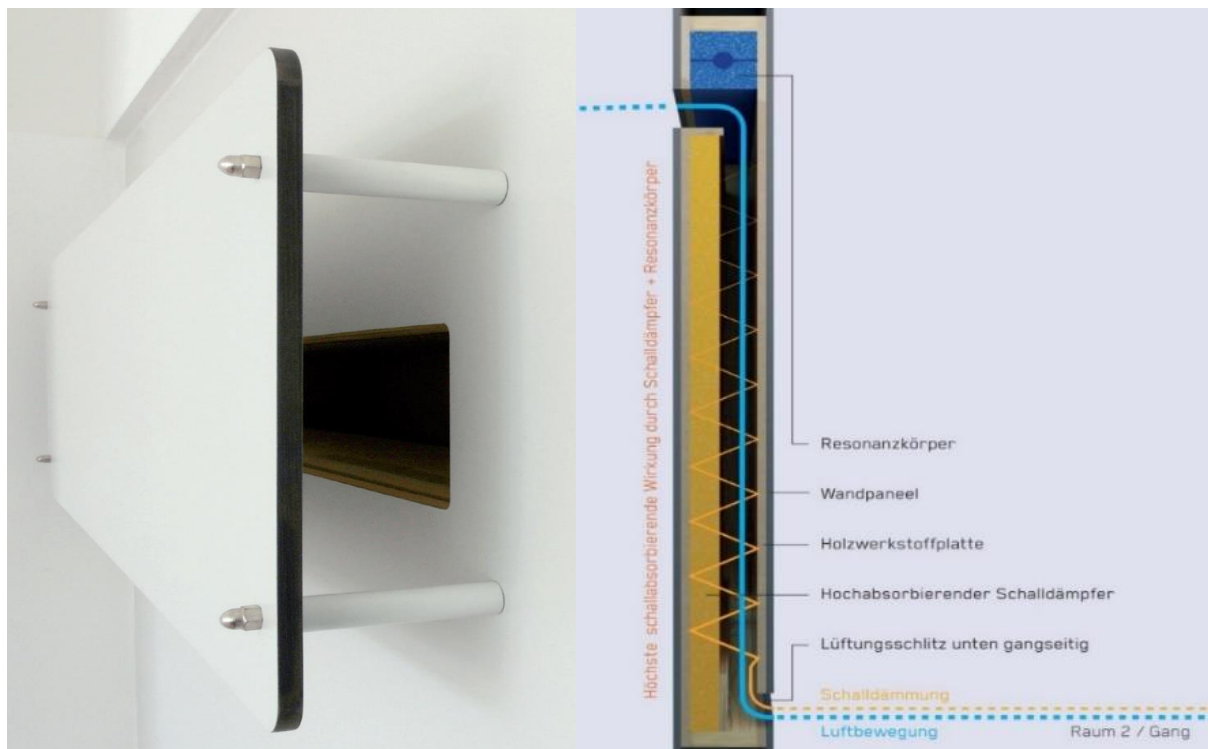


Abbildung 3.5: schematischer Aufbau eines Überströmelementes (Klassenbester, 2024)

Das Element weist einen Strömungskanal von etwa 2,0 m auf. Die Luft strömt über eine Öffnung klassenzimmerseitig herein und verlässt den Strömungskanal am anderen Ende in Richtung Gangbereich. Eine weitere wichtige Eigenschaft stellt der Schallschutz solcher Elemente dar, da in Schul- und Bildungseinrichtungen diesem eine wichtige Rolle zu Teil wird. Die Überströmelemente weisen durch hochabsorbierende Materialien und Resonanzkörper ein bewertetes Schalldämmmaß von $R_w = 37 - 42$ dB auf. Dieses hohe Schalldämmmaß ermöglicht somit auch den Verbund zweier Klassenräume miteinander, wie in Abbildung 3.6 dargestellt, ohne sich dabei gegenseitig zu beeinflussen.

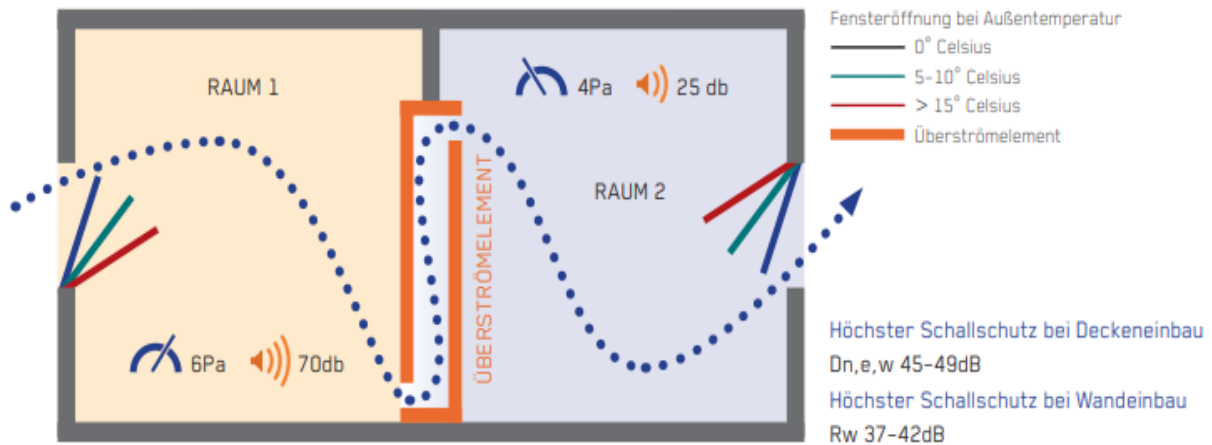


Abbildung 3.6: schematische Darstellung der Wirkweise eines Überströmelementes bei einem Verbund von zwei Klassenräumen (Klassenbester, 2024)

Das Einfügungsdämpfmaß beträgt 25,0 dB(A) bei einem Druckverlust von 4 Pa. Das Überströmelement selbst ist wartungsfrei und kann auch nachträglich in Raumtrennwände, ohne großen baulichen Maßnahmen nachgerüstet werden.

■ Regler

Der Regler berechnet in Abhängigkeit der Eingangsdaten über die Wetterstation sowie den Raumbedingungen den optimalen Öffnungswinkel der motorgesteuerten Fenster, um so behagliche Temperatur- und CO₂-Konzentrationswerte gewährleisten zu können. Für die einwandfreie Funktion ist es nach Klassenbester (2024) notwendig, die einzelnen Raumregler mit einer Vielzahl an Systemkonfigurationen zu parametrieren. Zu diesen zählen:

- Angabe der Fensteranzahl
- Einstellung des max. zulässigen Fensteröffnungswinkels
- Freigabe der Betriebsarten für einzelne Fenster
- Orientierung der Fenster bzw. der Fassade
- Eingabe des Raumvolumens
- CO₂-Grenzwerte für die unterschiedlichen Betriebsarten
- Temperaturgrenzwerte der unterschiedlichen Betriebsarten
- Belegungs- und Pausenzeit

Für die Reglerparametrierung Bedarf es neben der Messung der Außen- und Innenkonditionen einer komplexen Gebäudesimulation, auf welche im Punkt 5.2.5 näher eingegangen werden soll.

■ Simulation

Neben der Messung der Raum- und Außenparameter wird unter Bedachtnahme der erfassten Luftgeschwindigkeiten eine für jeden Standort individuelle Windrose der Firma Meteoblue (2024) herangezogen, um so die in Abhängigkeit der Windrichtung auf das Gebäude wirkenden Druckwerte berechnen zu können. In Abbildung 3.7 ist beispielhaft eine Windrose für den Standort Münzkirchen dargestellt.

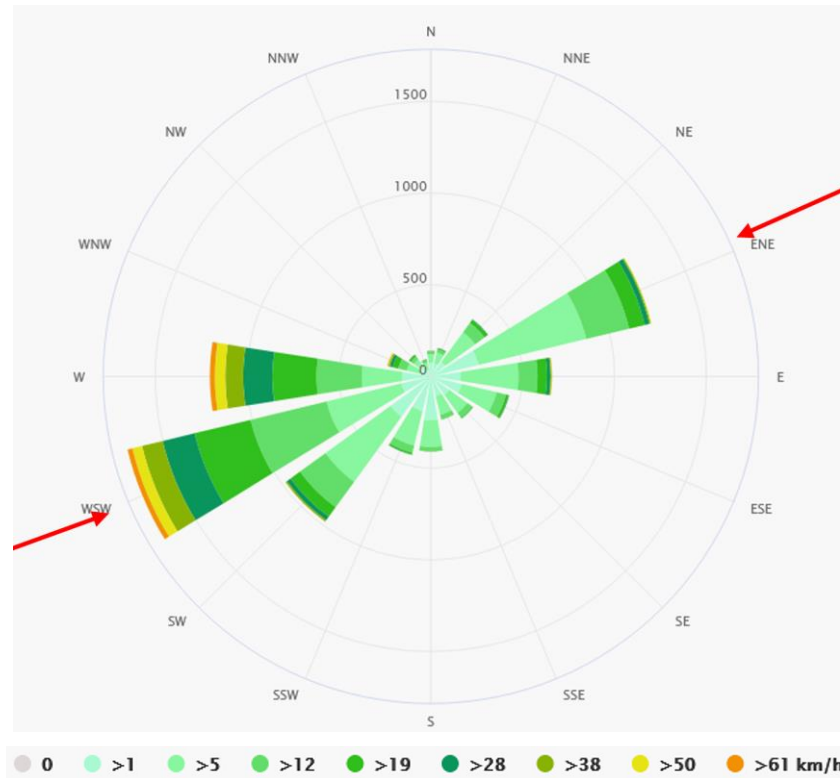


Abbildung 3.7: Windrose für den Standort Münzkirchen (Klassenbester, 2024)

Anhand dieser Auswertungen werden Simulationen durchgeführt, um so die Luftwechselzahlen für die einzelnen Klassenräume, in Abhängigkeit des Fensteröffnungswinkels und der Anströmrichtung errechnen zu können. Weiters wird mit Hilfe einer Gebäudesimulation das Temperaturprofil über den Gebäudegrundriss sowie die Strömungsgeschwindigkeiten und die Lage der Überströmelemente definiert. In Abbildung 3.8 ist ein Ausschnitt eines Gebäudegrundrisses mit dem Strömungsprofil zu erkennen.

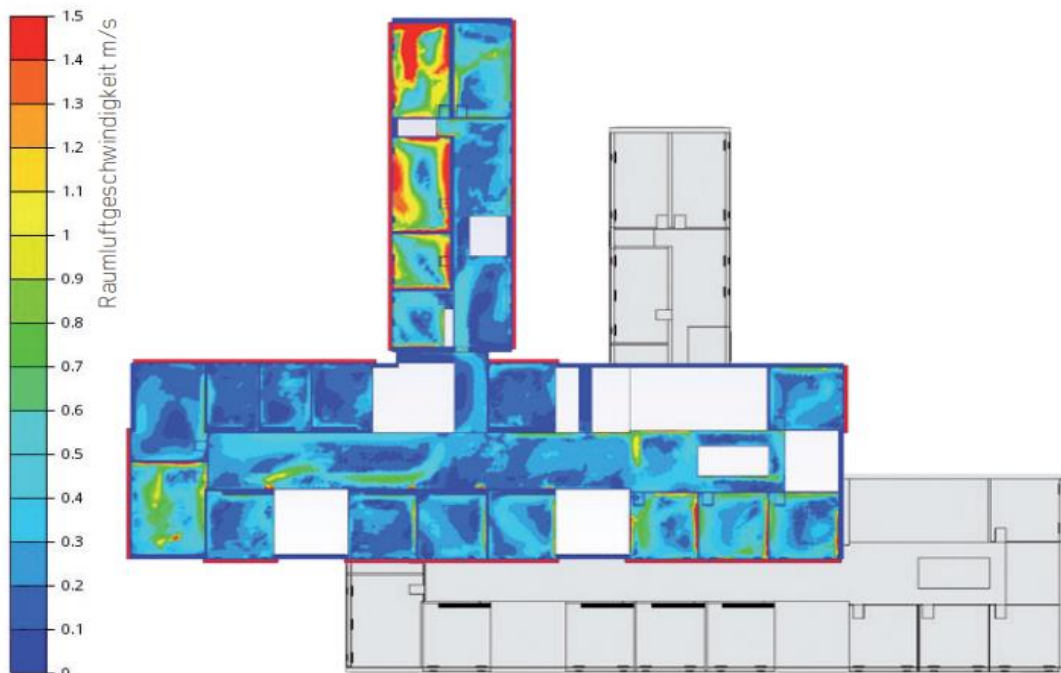


Abbildung 3.8: Geschwindigkeitsprofil eines Gebäudegrundrisses (Klassenbester, 2024)

Diese simulierten Werte finden Ihren Niederschlag in der Konfiguration des Reglers und geben den Öffnungswinkel in Abhängigkeit dieser an. Weichen im Betrieb die Luftwechselzahlen von den simulierten ab, so erfolgt eine Nachjustierung des Fensteröffnungswinkels, bis zur Erreichung dieser.

■ **Raumsensor**

Der Einzelraumsensor misst während des Schulbetriebes die Raumtemperatur sowie die CO₂-Raumlufkonzentration und liefert wichtige Messdaten an den Regler. In Abbildung 3.9 ist eine schematische Darstellung eines Einzelraumsensors dargestellt.



Abbildung 3.9: schematische Darstellung eines Raumsensors (Klassenbester,2024)

Des Weiteren kann über die Raumsensoren auch die relative Luftfeuchte gemessen werden, sofern dies erforderlich sein sollte. Die durch den Raumsensor erfassten Messdaten werden an den Regler übermittelt und nehmen Einfluss auf das Stellsignal der motorgesteuerten Fenster.

■ **Einzelraumregler**

Über den in Abbildung 3.10 dargestellten Einzelraumregler können durch das Lehrpersonal Diverse Einstellungen vorgenommen werden.



Abbildung 3.10: schem. Darstellung eines Einzelraumreglers (Klassenbester, 2024)

Über den oberen Drehsteller kann der automatische Betrieb übersteuert werden und die zugewiesenen Fenster manuell mit einer Stellung von 10, 30 und 100% geöffnet oder geschlossen werden. Der untere Drehsteller legt bei Einbindung in die GLT die Raumtemperatur fest.

3.3 Regelstrategie

Für die Umsetzung einer bedarfsgerechten Be- und Entlüftung der Klassenräume, bedarf es unterschiedlicher Regelstrategien. Im Automatikbetrieb werden diese in Abhängigkeit der CO₂-Raumlufkonzentration bedarfsgerecht, in Abhängigkeit der Luftqualität, Temperatur und Wetterlage, abgefahren werden. In Abbildung 3.11 sind die unterschiedlichen Regelstrategien in Abhängigkeit der Jahreszeit und der Luftwechselrate dargestellt.

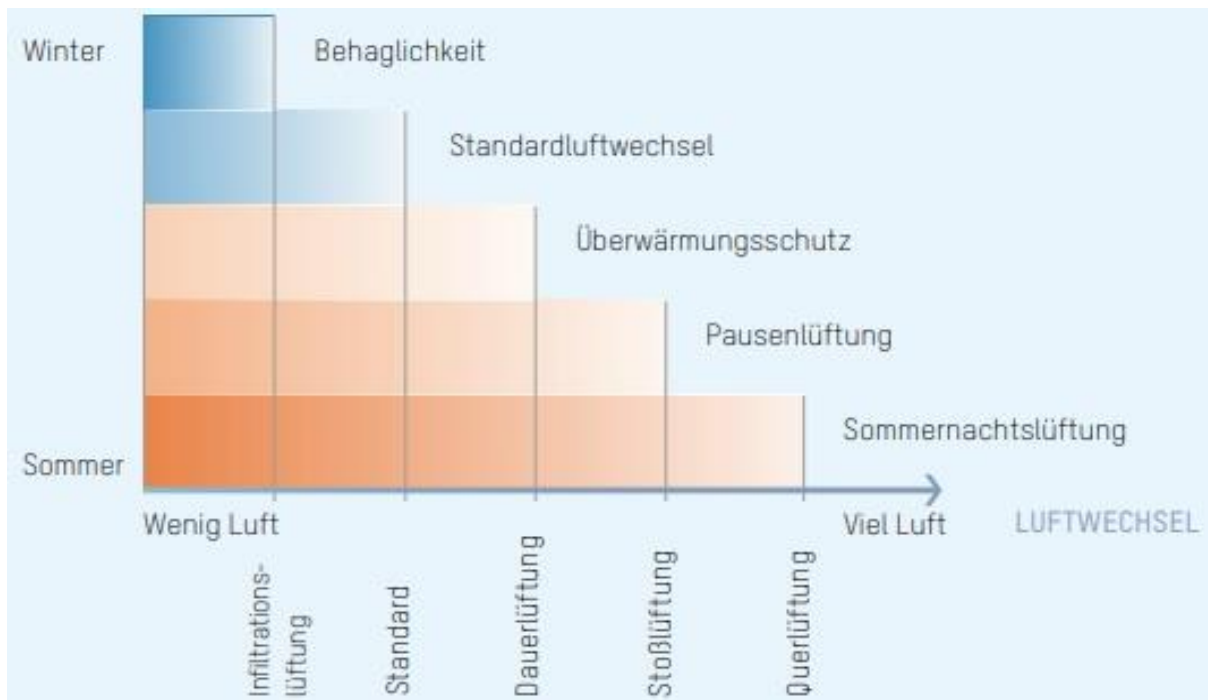


Abbildung 3.11: Regelstrategie in Abhängigkeit der Luftwechselzahl und der Jahreszeit (Klassenbester, 2024)

■ Infiltrationslüftung

Bei der Infiltrationslüftung werden lediglich die Oberlichtflügel so angesteuert, dass ein vordefinierte CO₂-Raumkonzentration und Raumtemperatur, während des Unterrichts nicht überschritten wird. Während kalter Jahreszeiten wird darüber hinaus eine minimale Raumlufkonzentration als Grenzwert festgelegt, wodurch die Fenster bei sinkender Temperatur geschlossen werden, sodass es zu keinen thermischen Unbehagen in Hinblick auf Zugerscheinungen und Temperatur kommt. In einem Temperaturbereich von – 5 °C bis + 5 °C wird der Öffnungswinkel auf ein Minimum begrenzt.

■ Dauerlüftung

Die Dauerlüftung stellt die Standard-Lüftungsfunktion dar und entspricht in etwa einem 2-fachen stündlichen Luftwechsel. Aktiviert wird dieser Betriebsmodus dann, wenn der CO₂-Konzentrationswert im Raum auf einen Wert > 900 ppm ansteigt und eine Infiltrationslüftung allein nicht mehr ausreicht. Hierdurch wird sichergestellt, dass die CO₂-Raumlufkonzentrationswerte unter dem definierten Grenzwert gehalten werden. Die genaue Luftwechselzahl wird im Zuge der Simulation definiert und als Regelparameter in den Regler übertragen.

■ Intervalllüftung

Die Intervalllüftung ist prinzipiell immer aktiv und wird in Abhängigkeit eines definierten Pausenplanes freigegeben bzw. geregelt. Während der Pausen führt das hinterlegte Pausenplanmanagement zum maximalen Öffnen der Fenster, um so eine größtmögliche Menge an im Raum befindlichen CO₂ abführen zu können. Die Fenster schließen dabei nach dem voreingestellten Zeitfenster oder bereits zuvor, sofern der definierte und zu erreichende CO₂-Raumluftwert sich eingestellt hat.

■ Überwärmungsschutz

Die Regelstrategie des Überwärmungsschutzes, übernimmt die Aufgabe des Schutzes gegen Überhitzung in den Monaten April bis September in einem 24 h nonstop Betrieb, sofern die Außentemperatur geringer ist als die Raumtemperatur und sorgt somit auch außerhalb des regulären Schulbetriebes, für die Durchspülung und infolgedessen für eine Wärmeabfuhr aus dem Baukörper. Aktiv wird die Regelung ab einer Raumtemperatur von 24,5 °C.

■ Handbetrieb

Der Handbetrieb ermöglicht es dem Lehrpersonal abseits der automatischen Regelung, diese zonenweise selbst zu übersteuern. Es können dabei folgende Einstellungen am Einzelraumregler vorgenommen werden:

- Auto: Die Fenster werden im Automatikbetrieb in Abhängigkeit der Außen- und Innenparameter automatisch und bedarfsgerecht geschaltet
- Aus: Die einer Zone (Klassenzimmer) zugewiesenen Fenster werden geschlossen
- Stufe 1/2/3: Die einer Zone (Klassenzimmer) zugewiesenen Fenster werden zu 10 %, 30 % oder 100 % geöffnet

Sollte auf die Rückstellung in den automatisierten Lüftungsmodus vergessen werden, so wird die Regelung automatisch nach jeder Unterrichtseinheit auf diesen rückgestellt.

3.3.1 Sommernachtslüftung

Befindet sich außerhalb der regulären Öffnungszeiten des Schulgebäudes die Außentemperatur unter einen definierten Temperaturgrenzwert, so wird während der Sommermonate April bis September die Sommernachtslüftung aktiv und sorgt so für die Kühlung der Klassenzimmer durch Durchspülung dieser mittels kühlerer Außenluft.

3.3.2 Sicherheit

Bei Sturm-, Unwetter- und Starkregenereignissen wird automatisch der Wetterschutz aktiviert, welcher ein Schließen aller automatisch angesteuerten Fenster zur Folge hat, um so Schäden am Bauwerk zu verhindern.

4 DEMOANLAGE „BRG MÖDLING“

Das Bundesrealgymnasium in Mödling wurde im Zuge einer Generalsanierung aufgestockt sowie mit dem System „Klassenbester“, zur Verbesserung der Raumluftqualität, ausgestattet. Im Zuge dieser Bachelorarbeit soll der Einfluss des Systems beobachtet und messtechnisch erfasst werden, um so Rückschlüsse über die Effektivität des Systems gewinnen zu können. Es werden dabei die CO₂-Konzentrationswerte in den einzelnen Klassenzimmern ausgewertet und miteinander verglichen.

4.1 Standort

Das Bundesrealgymnasium befindet sich in der Franz-Keim-Gasse 3, in 2340 Mödling. In Abbildung 4.1 ist eine schematische Ansicht des neuen Gebäudekomplexes zu erkennen.



Abbildung 4.1: Gebäudeansicht des BRG Mödling (BRG, 2024)

4.2 Gebäudedaten

Das Schulgebäude wurde im Jahre 1897 eröffnet und kann in drei unterschiedliche Trakte, dem Mittel- und Straßentrakt sowie dem im Zuge der Generalsanierung erweiterten Neubau, unterteilt werden. Das Gebäude beheimatet 1039 Schüler*innen sowie 100 Lehrer*innen, untergebracht in 43 Klassenzimmern sowie einer Vielzahl an weiteren Unterrichtsräumen wie Werk- und Turnsäle, einer Bibliothek, Lehrsäle, Pausenflächen, EDV-, Musik- und Pausenräumlichkeiten.

4.3 Fensterlüftungskonzept

Das Grundkonzept und Regelschema für das BRG-Mödling, ist in der nachstehenden Abbildung 4.2 dargestellt.

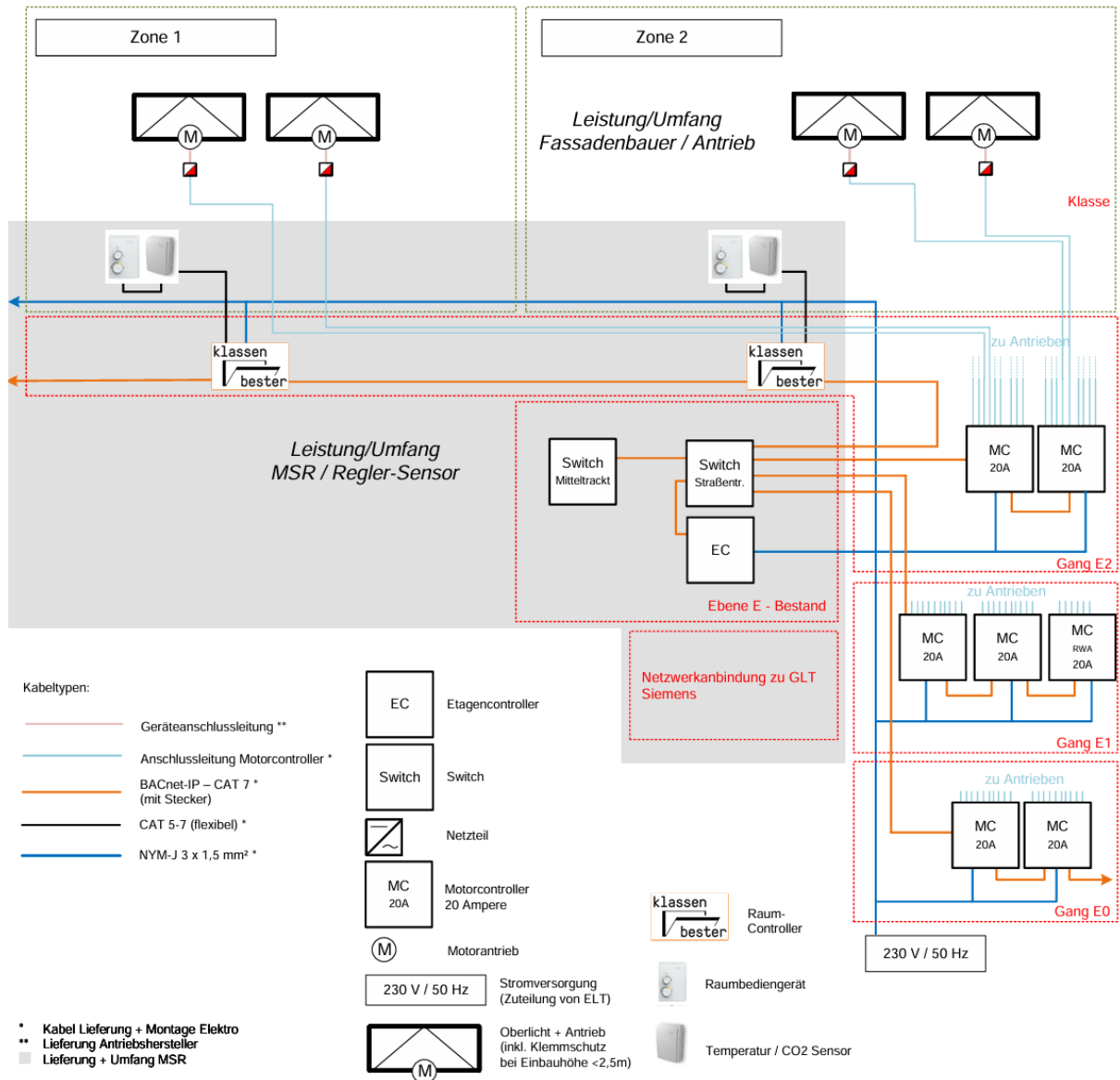


Abbildung 4.2: Regelschema - Schnittstellen „Klassenbester“ BG + BRG Mödling Keimgasse Fensterspaltlüftung (Klassenbester, 2024)

Die Verbindung der einzelnen Regler erfolgt über eine Cat. 5 Verkabelung und ermöglicht so eine Aufschaltung aller dem System zugehöriger Klassen- und Nebenräume in der Visualisierung. Ergänzend wurde ein eigener Etage-Controller, zur Zusammenfassung aller in einer Etage befindlichen Regler, für jedes Stockwerk vorgesehen. In Abstimmung mit dem Auftraggeber, dem Direktorat sowie dem Architekturbüro wurde in einem nächsten Schritt, die mit dem System „Klassenbester“ abzudeckenden Bereiche definiert und auf Basis dieser eine Topologie, gemäß der Abbildung 4.3, Abbildung 4.4 und Abbildung 4.5 erstellt.

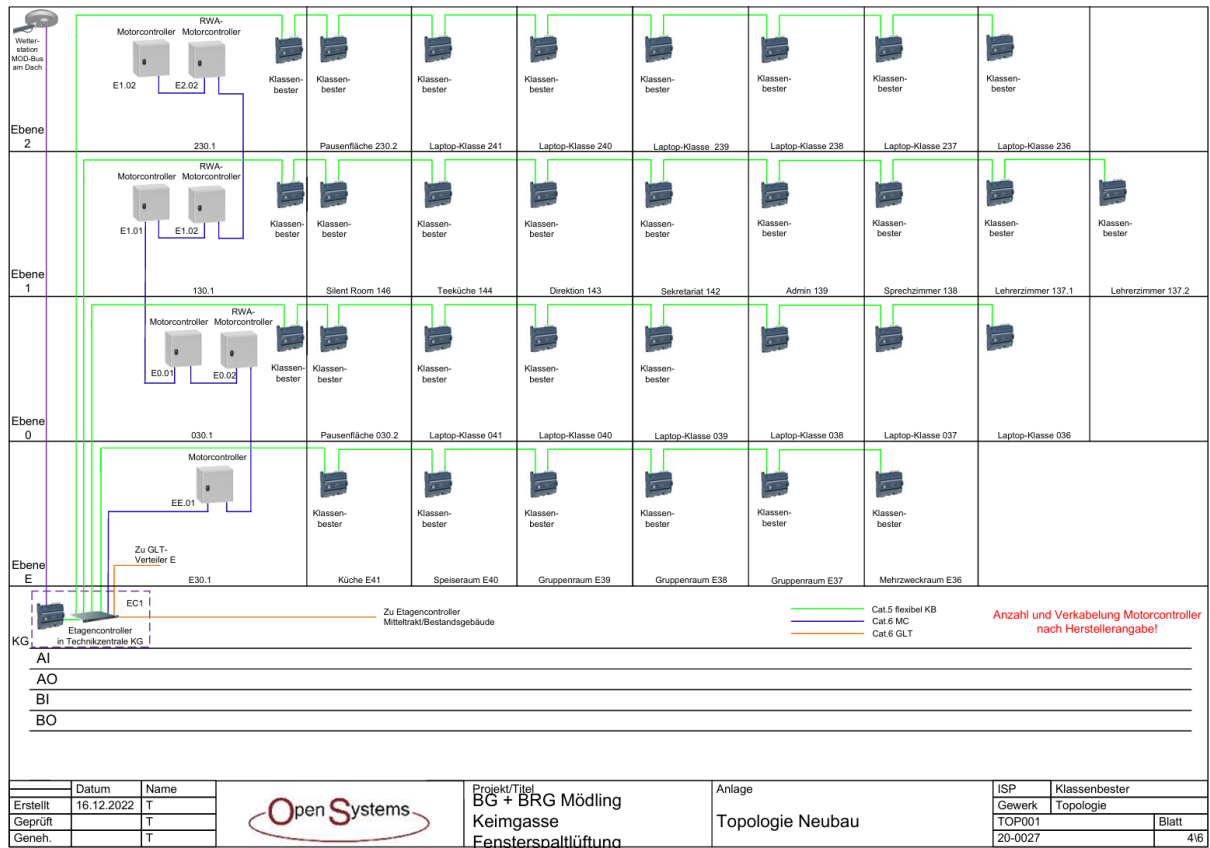


Abbildung 4.3: Topologie Neubau BRG Mödling Keimgasse (Open Systems, 2024)

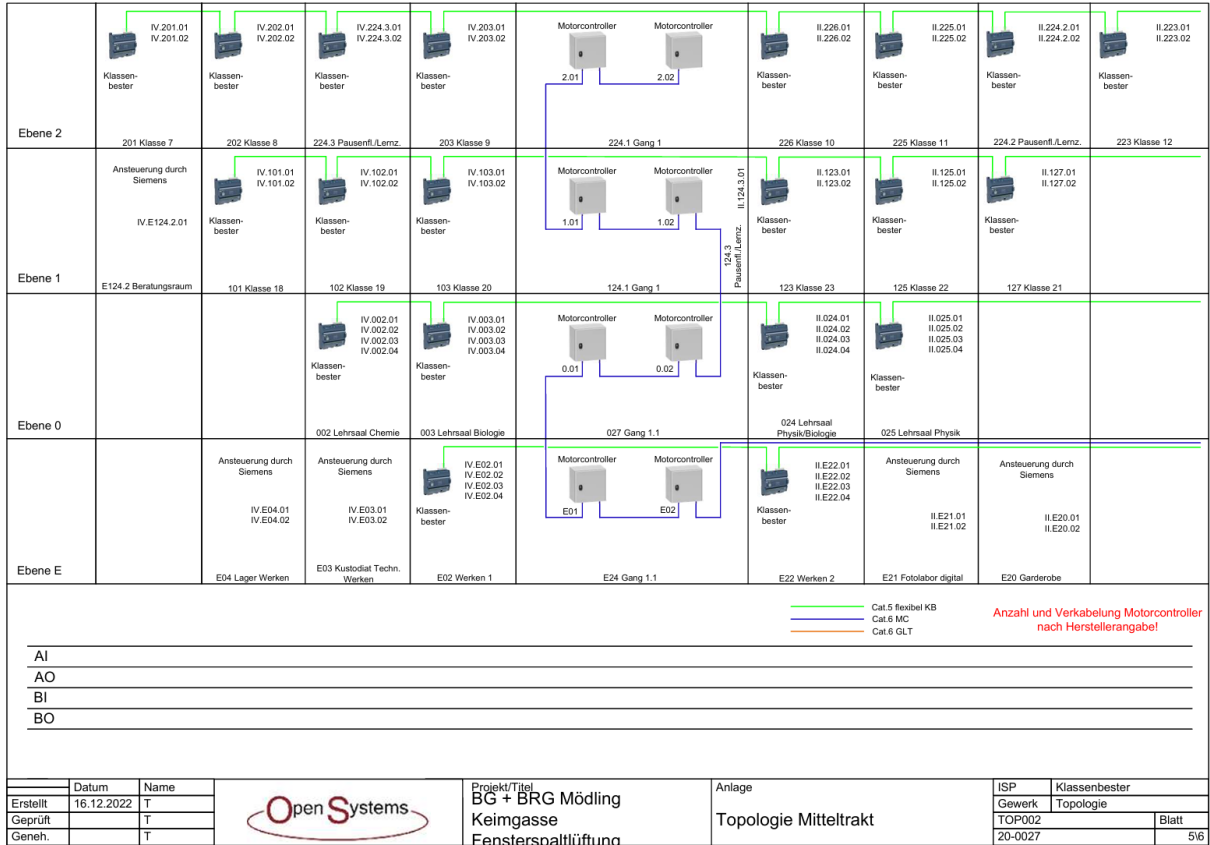


Abbildung 4.4: Topologie Mitteltrakt BRG Mödling Keimgasse (Open Systems, 2024)

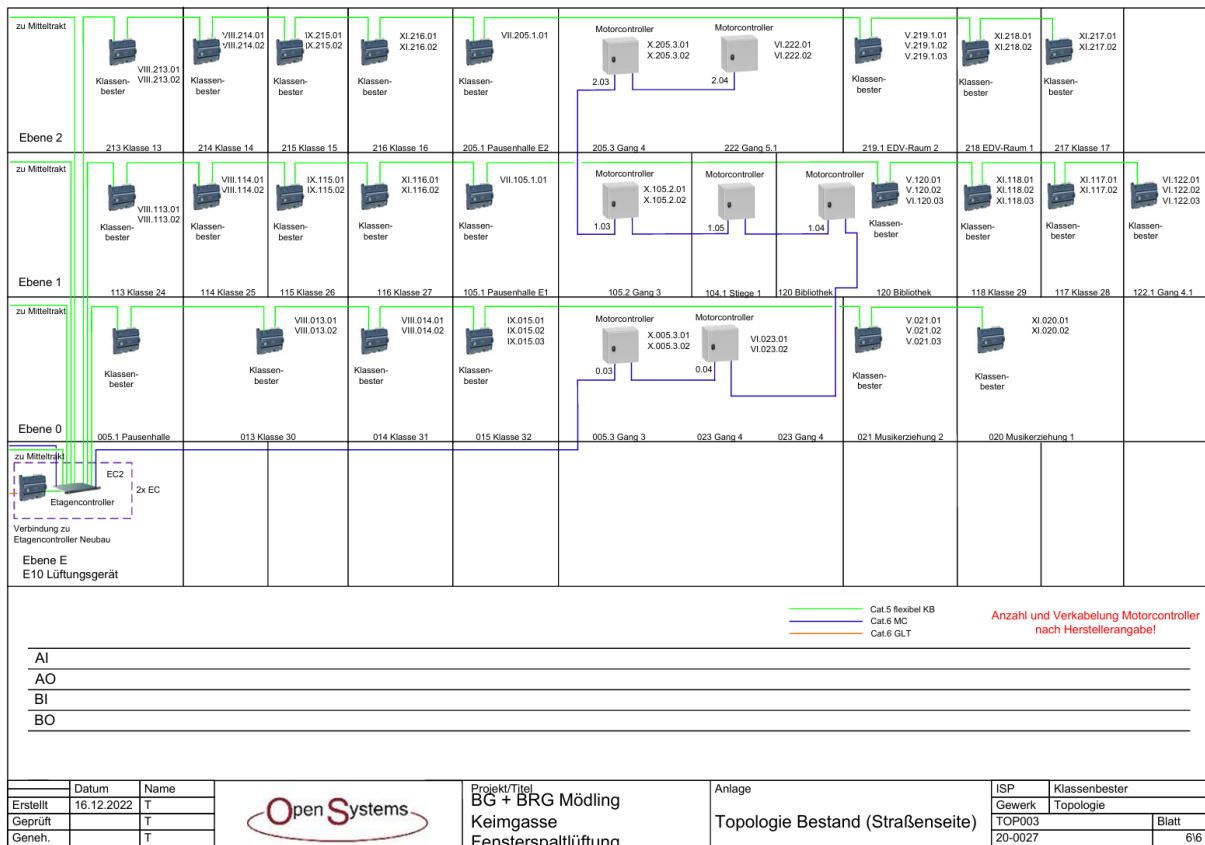


Abbildung 4.5: Topologie Bestand (Straße) BRG Mödling Keimgasse (Open Systems, 2024)

Zu besserer Übersicht wurde für jedes Gebäudeteil eine eigene Topologie erstellt. In Summe wurden 66 Klassenzimmer bzw. Nebenräume mit dem System „Klassenbester“ ausgestattet. Die Topologie dient zur besseren Übersicht und fasst klar ersichtlich, alle durch das System „Klassenbester“ abgedeckten Bereiche zusammen.

5 MESSDURCHFÜHRUNG

Nachdem das System „Klassenbester“ installiert worden ist, wurden von den insgesamt 66 Schul- und Nebenräumen zwei Klassenzimmer messtechnisch erfasst, wobei diese willkürlich ausgewählt worden sind. Die Messung der Raumtemperatur sowie der CO₂-Konzentration erfolgte während des laufenden Schulbetriebes über im Raum, an der Wand platzierten Raumsensoren. Pro Klassenzimmer wurden zwei Messreihen über eine Dauer von 3 bis 4 Tagen, durchgeführt. Die Messwerte wurden über Datenlogger, zur weiteren Auswertung festgehalten. Die erste Messung erfolgte bei inaktivem System „Klassenbester“, gefolgt von einer zweiten Messreihe mit aktivem System. Die Durchführung erfolgte in Rücksprache mit dem Direktorat. Anzumerken sei, dass das eigenständige und eigenverantwortliche Lüften der Klassenzimmer während beider Messphasen durch die Schüler*innen sowie dem Lehrpersonal nach Bedarf erfolgte, um so einen möglichst realitätsnahen Schulbetrieb einhalten zu können. In der nachfolgenden Tabelle 5.1 sind die messtechnisch erfassten Klassenzimmer sowie der Messzeitraum angeführt.

Tabelle 5.1: Übersicht der Messreihen und Klassenzimmer

Klassenzimmer	Stockwerk	Messzeitraum	Zeitraum der Messauswertung	Betriebszustand „Klassenbester“
01.127	1. Obergeschoss	06.05.24 – 08.05.24	07:00 – 18:00 Uhr	aktiv
01.127	1. Obergeschoss	14.05.24 – 17.05.24	07:00 – 18:00 Uhr	inaktiv
02.225	2. Obergeschoss	06.05.24 – 08.05.24	07:00 – 18:00 Uhr	aktiv
02.225	2. Obergeschoss	13.05.24 – 17.05.24	07:00 – 18:00 Uhr	inaktiv

Des Weiteren wurde die Regelung so parametrisiert, dass die Erstellung bzw. Erfassung eines Messwertes immer dann erfolgt, wenn sich die Raumtemperatur um 0,1 °C bzw. die CO₂-Konzentration um 50 ppm verändert. Aus diesem Grund sind die Zeitabstände zwischen den einzelnen Messwerten nicht konstant und nur jene signifikanten Werte in die Datenlogger überführt, welche für die Messauswertung von wichtiger Bedeutung sind. Weiters sei noch zu anzumerken, dass sich aufgrund der zweistelligen Außentemperaturwerte während der gesamten Messreihe, die Auswirkung dieser auf die thermische Behaglichkeit der Schüler*innen keinen signifikanten Einfluss genommen hat und daher in der nachfolgenden Messauswertung keinen Niederschlag findet.

5.1 CO₂- Messung

Die Messung der CO₂-Raumlufkonzentration erfolgte, wie bereits in Punkt 5.2.6 beschrieben über einen jeweils im Klassenzimmer befindlichen Raumsensor und entstammt der Firma Distech Controls™ mit der Serienbezeichnung Allure™ EC-Smart-Air. Die technischen Spezifikationen sind der nachfolgenden Tabelle 5.2 zu entnehmen.

Tabelle 5.2: technische Spezifikation Allure™ EC-Smart-Air Raumsensor (Distech, 2024)

Produktspezifikation	
Temperatursensor	
Type	10 kΩ NTC-Thermistor
Messbereich	5 °C bis 40 °C
Genauigkeit	± 0,5 °C
Auflösung	0,1 °C
Luftfeuchtigkeitssensor	
Genauigkeit	± 3 %
Auflösung	1 %
Umgebungsbedingung	0 bis 95 % nicht-kondensierend
CO ₂ -Sensor	
Messbereich	0 bis 2000 ppm
CO ₂ -Genauigkeit	400 - 1250 ppm ± 30 ppm oder 3 % der Messung / 1250 - 2000 ppm ± 5 % der Messung + 30 ppm
Temperaturabhängigkeit	± 0,2 % FS pro °C
Stabilität	< 2 % FS während der Lebensdauer des Sensors (15 Jahre)
Messmethode	nicht-dispersive Infrarot-Absorption (NDIR), vergoldete Optiken
Kalibrierungsmethode	patentierter Selbstkalibrierungsalgorithmus mit ABC-Logik

5.2 Messstellen

Zur Überprüfung des Systems „Klassenbester“ wurden die beiden Klassenzimmer 01.127 sowie 02.225 herangezogen und an diesem eine Messauswertung bei aktivem und inaktivem System „Klassenbester“ durchgeführt.

5.2.1 Klassenzimmer 01.127

Das Klassenzimmer 01.127 befindet sich im ersten Stockwerk des Mitteltrakts des Bestandsgebäudes und weist eine Grundfläche von 60,14 m² auf. In der nachfolgenden Abbildung 5.1 ist der Grundrissplanausschnitt des Klassenzimmers 01.127 zu erkennen.



Abbildung 5.2: Fotoaufnahme des Raumsensors + Raumregler für das Klassenzimmer 01.127 (Klassenbester, 2024)

An der oberen Stelle befindet sich der Raumsensor mit einem Display zur Anzeige diverser Parameter wie der Raumtemperatur und der CO₂-Raumluftkonzentration. Unterhalb befindet sich der Raumregler zur Umschaltung zwischen unterschiedlicher Regelstrategien sowie zur Verstellung der Raumtemperatur. Über das in Abbildung 5.3 dargestellte Überströmelement, wird eine Verbesserung der Raumdurchspülung, durch eine erzeugte Querlüftung erreicht.



Abbildung 5.3: Überströmelement des Klassenzimmers 01.127 (Klassenbester, 2024)

Am unteren Schlitz strömt die verbrauchte Luft in das schallgedämmte Überströmelement ein und verlässt dieses gangseitig auf einer Höhe von etwa 3,0 m. Abschließend ist in Abbildung 5.4 die Fensteransicht zu erkennen.



Abbildung 5.4: Fensteransicht des Klassenzimmers 01.127 (Klassenbester, 2024)

Die Oberlichten sind jeweils mit einem Kettenzugmotor ausgestattet, über welchen der bedarfsgerechte Luftaustausch im Klassenzimmer stattfindet.

5.2.2 Klassenzimmer 02.225

Das Klassenzimmer 02.225 befindet sich im zweiten Stockwerk des Mitteltrakts des Bestandsgebäudes und weist eine Grundfläche von 60,14 m² auf. In der nachstehenden Abbildung 5.5 findet sich der Grundrissplanausschnitt des Klassenzimmer 02.225 wieder.

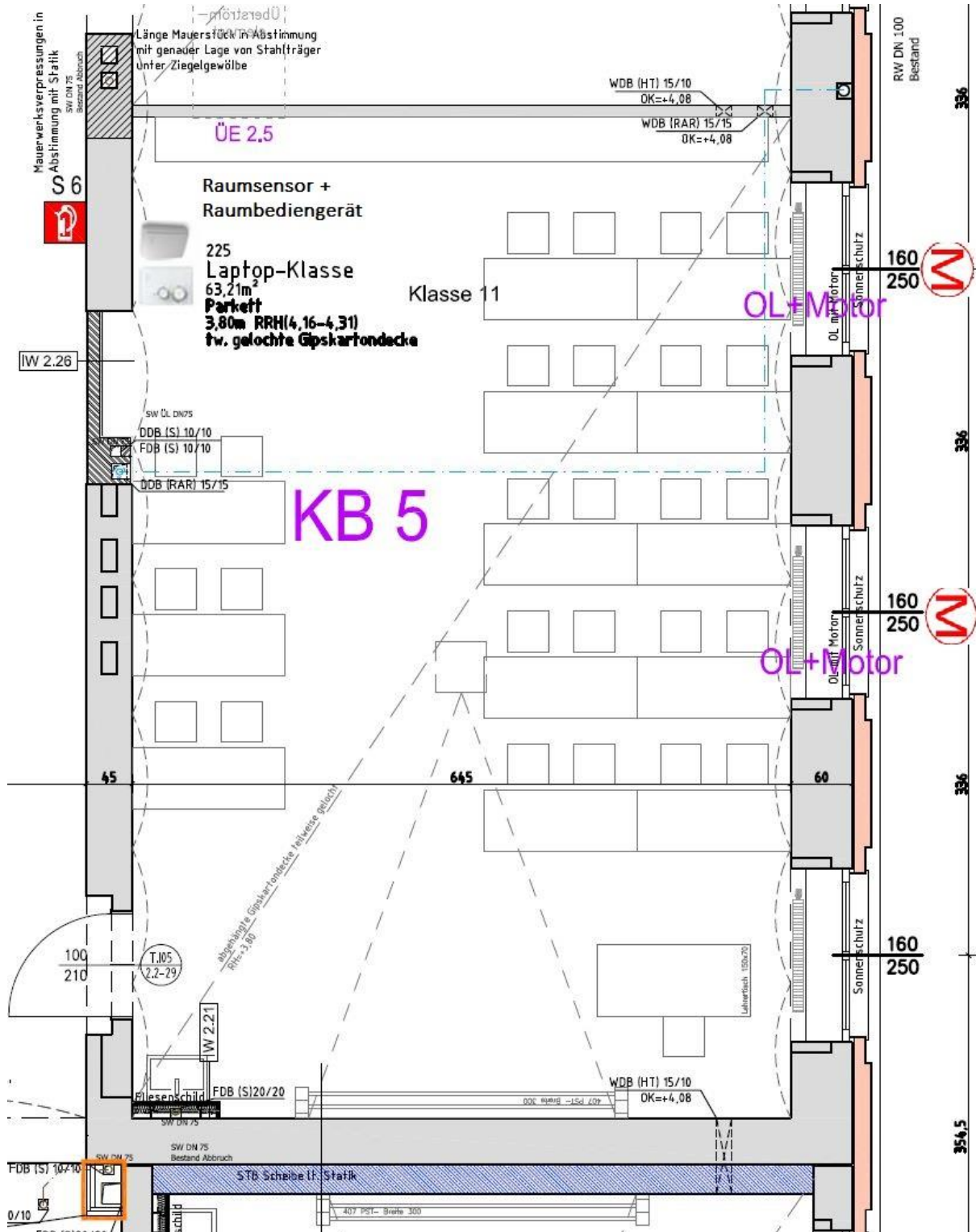


Abbildung 5.5: Grundrissplanausschnitt des Klassenzimmers 02.225 (Klassenbest, 2024)

Das Klassenzimmer wurde mit zwei Oberlichtern mit Kettenzugmotor sowie einem Überströmelement (2.5) ausgestattet. Weiters sind an der rechten Seite der Klassenzimmertüre der Raumregler sowie der Raumsensor untergebracht. In Abbildung 5.6 ist der Raumregler samt Raumsensor zu erkennen.



Abbildung 5.6: Raumsensor + Raumregler für das Klassenzimmer 02.225 (Klassenbester, 2024)

Wieder findet sich an der oberen Stelle der Raumsensor mit einem Display zur Anzeige diverser Parameter wie der Raumtemperatur und der CO₂-Raumlufkonzentration. Unterhalb befindet sich der Raumregler zur Umschaltung zwischen unterschiedlicher Regelstrategien sowie zur Verstellung der Raumtemperatur. Da das Klassenzimmer 02.225 ebenfalls mit einem Überströmelement ausgestattet worden ist, findet sich in der nachstehenden Abbildung 5.7 die Gangansicht von diesem wieder.



Abbildung 5.7: Gangansicht des Überströmelements für das Klassenzimmer 02.225 (Klassenbester, 2024)

Wie bereits im Klassenzimmer 01.127, strömt auch in diesem Fall die verbrauchte Raumluft auf einer Höhe von etwa 3,0 m, in den Gangbereich über. Abschließend ist in Abbildung 5.8 die Fensteransicht der motorgesteuerten Oberlichter, über welche der bedarfsgerechte Luftaustausch stattfindet, zu erkennen.



Abbildung 5.8: Fensteransicht des Klassenzimmers 02.225 (Klassenbester, 2024)

6 MESSAUSWERTUNG

Dieses Kapitel beschäftigt sich mit der Messauswertung und soll aufzeigen, ob durch Verwendung des Systems „Klassenbester“ eine signifikante Reduktion der CO₂-Raumlufkonzentration, gegenüber dem inaktiven System die Folge ist.

6.1 Klassenzimmer 01.127 bei inaktivem System „Klassenbester“

In nachstehender Abbildung 6.1 ist der Verlauf der CO₂-Raumlufkonzentration, während des Messzeitraumes für das Klassenzimmer 01.127, bei inaktivem System „Klassenbester“ zu erkennen.

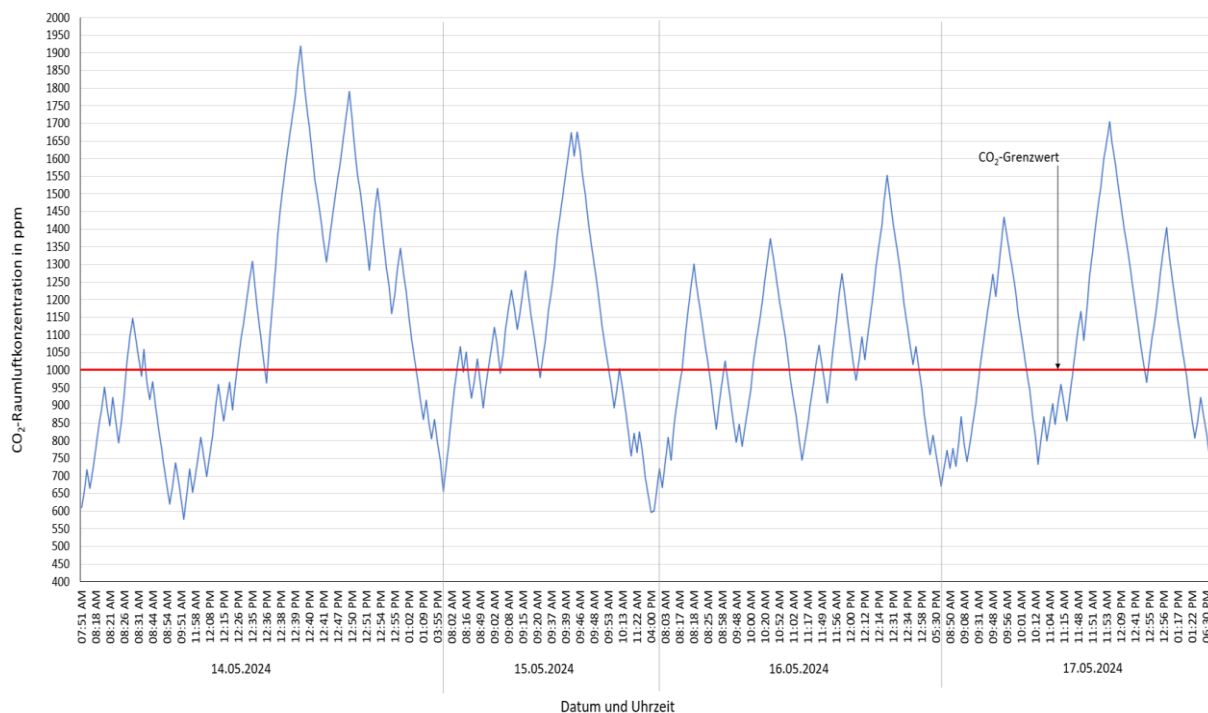


Abbildung 6.1: Messauswertung der CO₂-Raumlufkonzentration bei inaktivem System „Klassenbester“ im Klassenzimmer 01.127

Die Messung erfolgte beginnend mit dem 14.05.2024 um 7:51 Uhr und endete am 17.05.2024 um 18:30 Uhr. Während des Messzeitraumes wurden insgesamt 399 Messdatenpunkte erfasst. Auf Basis dieser Messdatenpunkte und dem dazugehörigen CO₂-Raumlufkonzentrationswert, ergab sich über den Messzeitraum eine gemittelte CO₂-Konzentration in Höhe von 1.082 ppm. Diese lag um 82 ppm im Mittel über den durch die ÖNORM H6039 (2023) definierten maximalen Grenzwert in Höhe von 1.000 ppm. Des Weiteren ist zu erkennen, dass immer wiederkehrend mit Spitzenkonzentrationswerten von bis zu 1.650 ppm und darüber hinaus mit bis zu 1.950 ppm zu rechnen war.

6.2 Klassenzimmer 01.127 bei aktivem System „Klassenbester“

In nachstehender Abbildung 6.2 ist der Verlauf der CO₂-Raumlufkonzentration, während des Messzeitraumes für das Klassenzimmer 01.127, bei aktivem System „Klassenbester“ zu erkennen.

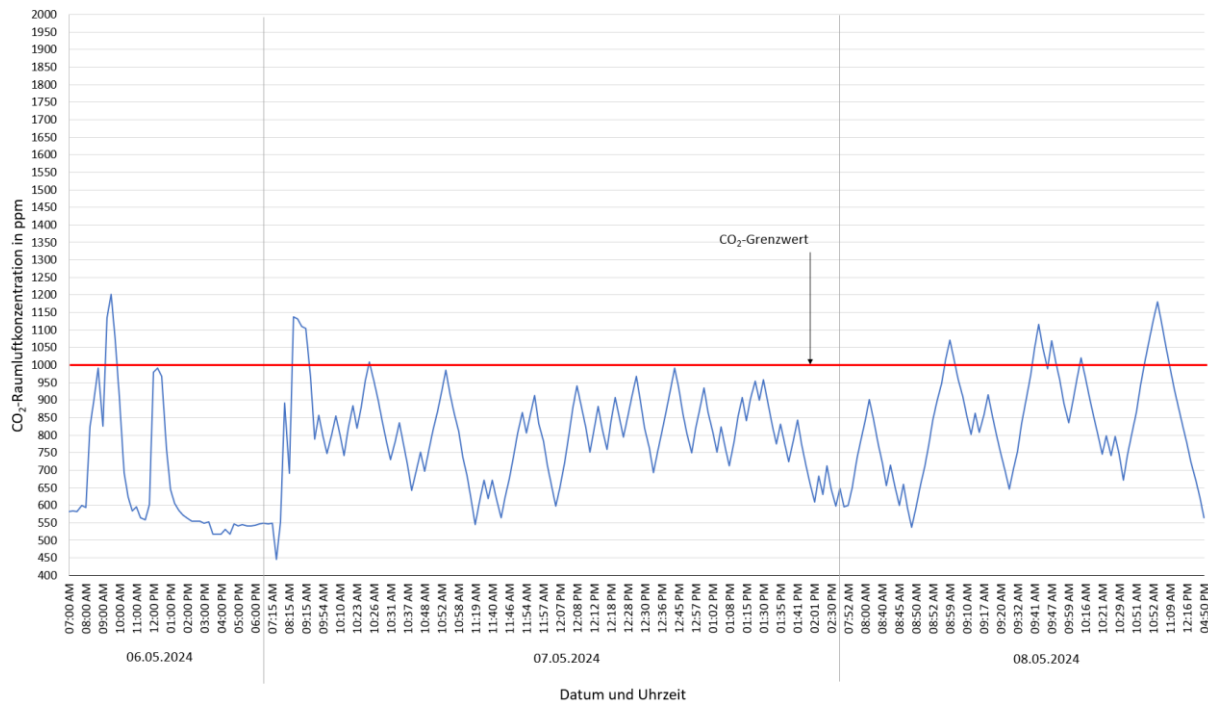


Abbildung 6.2: Messauswertung der CO₂-Raumlufkonzentration bei aktivem System „Klassenbester“ im Klassenzimmer 01.127

Die Messung startete am 06.05.2024, beginnend um 7:00 Uhr und wurde am 17.05.2024 um 16:50 Uhr beendet. Während des Messzeitraumes wurden insgesamt 269 Messdatenpunkte erfasst. Auf Basis dieser Messdatenpunkte ergab sich über den Messzeitraum eine gemittelte CO₂-Konzentration in Höhe von 787 ppm. Dieser gemittelte Wert liegt 213 ppm unter dem durch die ÖNORM H6039 (2023) definierten maximalen Grenzwert in Höhe von 1.000 ppm. Des Weiteren ist zu erkennen, dass beim Auftreten von Spitzenkonzentrationswerten, diese lediglich einen maximalen Wert von 1.200 ppm erreichen, jedoch rasch unterhalb des durch die ÖNORM H6039 (2023) definierten Grenzwert abklingen.

6.3 Klassenzimmer 02.225 bei inaktivem System „Klassenbester“

In nachstehender Abbildung 6.3 ist der Verlauf der CO₂-Raumlufkonzentration, während des Messzeitraumes für das Klassenzimmer 02.225, bei inaktivem System „Klassenbester“ zu erkennen.

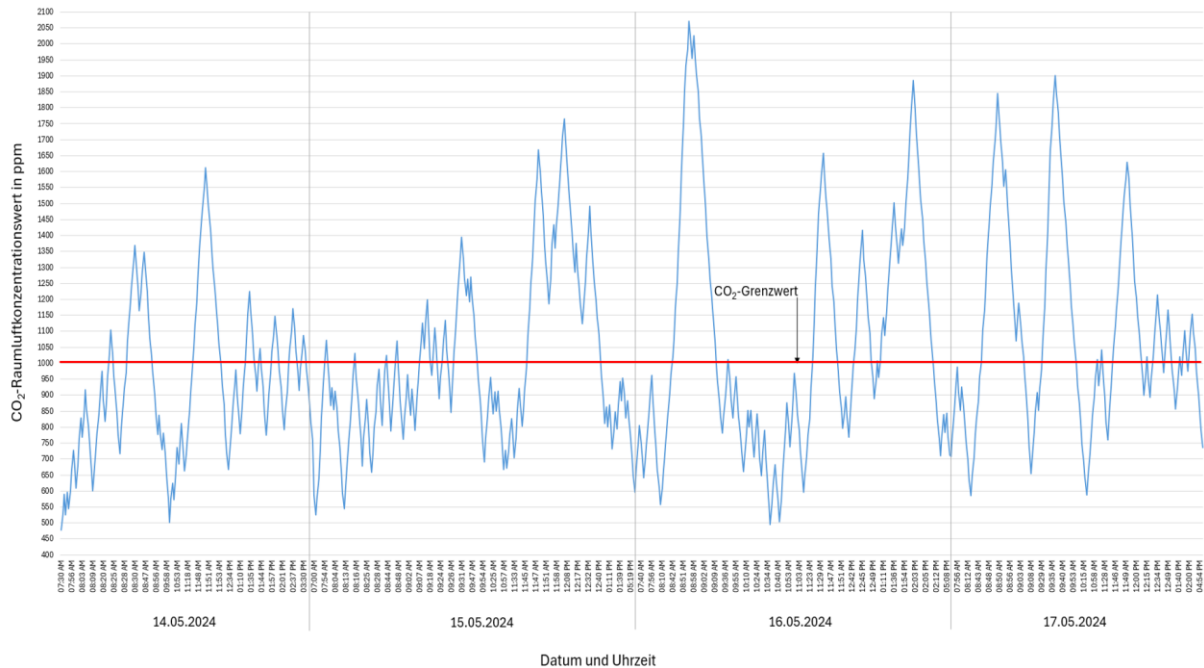


Abbildung 6.3: Messauswertung der CO₂-Raumlufkonzentration bei inaktivem System „Klassenbester“ im Klassenzimmer 02.225

Die Messung erfolgte beginnend mit dem 14.05.2024 um 7:30 Uhr und erstreckte sich über einen Zeitraum von vier Tagen, bis zum 17.05.2024 und endete um 16:04 Uhr. In Summe wurden insgesamt 759 Datenpunkte erfasst. Auf Basis dieser Messdatenpunkte ergab sich über den Messzeitraum eine gemittelte CO₂-Konzentration in Höhe von 1.032 ppm. Dieser überschreitet den durch die ÖNORM H6039 (2023) definierten maximalen Grenzwert in Höhe von 1.000 ppm, um 32 ppm. Die im Verlauf immer wiederkehrenden Konzentrationswerte erreichen Ihren Höhepunkt am 16.05.2024 und erzielen dabei eine CO₂-Raumlufkonzentration in Höhe von 2.070 ppm um 08:52 Uhr.

6.4 Klassenzimmer 02.225 bei aktivem System „Klassenbester“

In nachstehender Abbildung 6.4 ist der Verlauf der CO₂-Raumluftkonzentration, während des Messzeitraumes für das Klassenzimmer 02.225, bei aktivem System „Klassenbester“ zu erkennen.

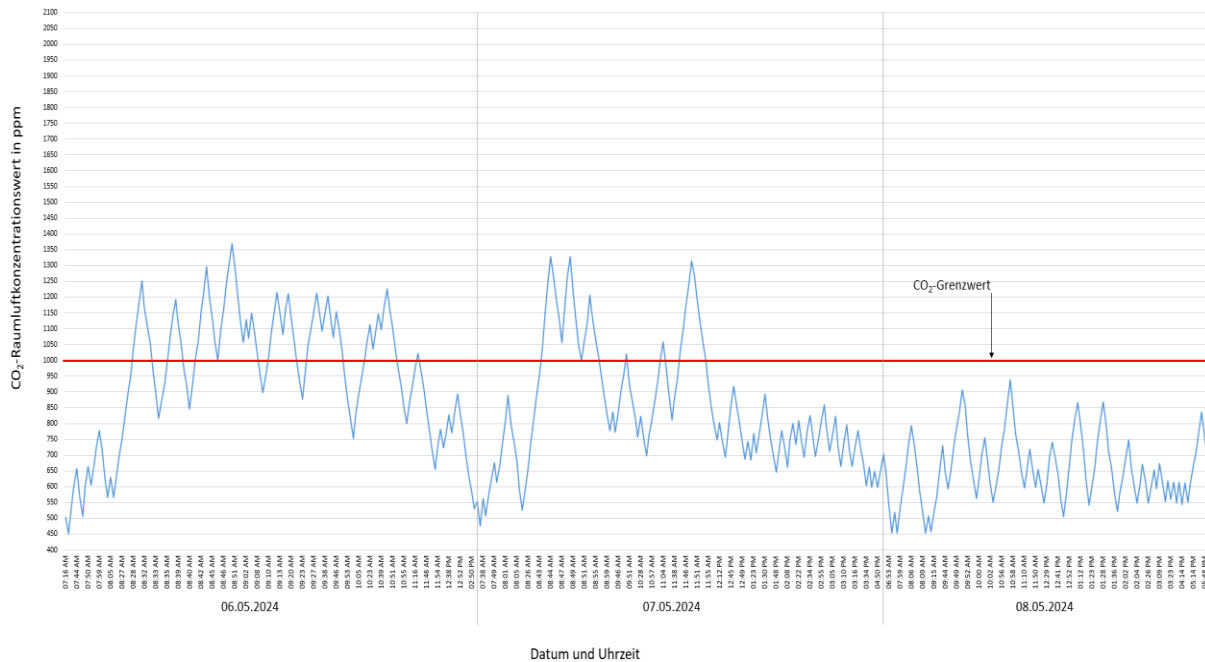


Abbildung 6.4: Messauswertung der CO₂-Raumluftkonzentration bei aktivem System „Klassenbester“ im Klassenzimmer 02.225

Die Messaufzeichnung bei aktivem System erfolgte vom 06.05.2024 um 7:16 Uhr und endete am 08.05.2024 um 18:40 Uhr. Während des Messzeitraumes wurden insgesamt 406 Messdatenpunkte erfasst. Auf Basis dieser Messdatenpunkte ergab sich über den Messzeitraum eine gemittelte CO₂-Konzentration in Höhe von 830 ppm. Dieser Wert liegt somit um 170 ppm unter dem durch die ÖNORM H6039 (2023) definierten Grenzwert in Höhe von 1.000 ppm. Die Spitzenkonzentrationswerte belaufen sich am 06.05.2024 auf 1.370 ppm. Weiters ist zu erkennen, dass beim Öffnen der Fenster und dem Verlassen des Klassenzimmers während der Pause, die CO₂-Raumluftkonzentration signifikant abnimmt.

6.5 Interpretation

Im Zuge der Messdurchführungen in den beiden betrachteten Klassenzimmern 01.127 sowie 02.225, lag der gemittelte CO₂-Raumluftkonzentrationswert bei aktivem System „Klassenbester“, über dem durch die ÖNORM H6039 (2023) definierten Grenzwert von 1.000 ppm, wohin gegen bei Betrachtung der beiden Klassenzimmer mit aktivem System die CO₂-Raumluftkonzentration in beiden Klassenzimmern weit unterhalb des durch die ÖNORM H6039 (2023) definierten Grenzwertes lag. Die gemittelte CO₂-Raumluftkonzentration verbesserte sich im Klassenzimmer 01.127 von 1.082 ppm auf 787 ppm. Dies hat eine Reduktion in Höhe von 297 ppm bzw. 27,26 % zur Folge. Im Klassenzimmer 02.225 verringerte sich die CO₂-Konzentration von 1.032 ppm auf 830

ppm, dies entspricht einer gemittelten CO₂-Reduktion in Höhe von 202 ppm bzw. 19,57%. Des Weiteren ist zu erkennen, dass bei Betrachtung beider Klassenzimmer, nach Erreichen hoher CO₂-Raumluftkonzentrationswerte, durch das aktive Eingreifen des Systems auf die motorgesteuerten Oberlichter, die CO₂-Raumluftkonzentration wesentlich schneller abklingt als bei inaktivem System. Weiters fällt bei Betrachtung aller vier Messaufwertungen auf, dass erwartungsgemäß bei Pausenantritt, bei welchem die Schüler*innen die Klassenzimmer teilweise verlassen sowie zusätzlich die Fenster öffnen, die CO₂-Raumluftkonzentration abnimmt. Bei aktivem System führt dieser Umstand zu einer CO₂-Reduktion unterhalb des Grenzwertes, wodurch sich über weite Strecken des Schulunterrichts eine positive Raumluftkonzentration einstellt. Bei inaktivem System verringert sich der CO₂-Wert, wie zu erwarten, bleibt jedoch in weiten Teilen oberhalb des CO₂-Grenzwertes. Dies hat in weiten Teilen eine unzureichende Raumluftatmosphäre in den beiden Klassenzimmern, bei inaktivem System zur Folge.

6.6 Diskussion

Die Messauswertung in den beiden Klassenzimmern 01.127 sowie 02.225 stellen wesentliche Erkenntnisse über die Effektivität des Systems „Klassenbester“ dar und zeigen auf, dass eine positive CO₂-Raumluftkonzentration über weite Teile des Unterrichts die Folge ist. Die erzielten Werte decken sich mit dem in der ÖNORM H6039 (2023) vorgegebenen Grenzwert und tragen so langfristig gesehen zu einem gesunden Raumklima für die Schüler*innen bei. Der nachträgliche Einbau eines solchen bedarfsgerechten natürlichen Be- und Entlüftungssystems kann somit als probates Mittel, zur Verbesserung der Raumluftqualität in Hinblick auf die CO₂-Konzentration angesehen werden und stellt eine effektive Variante neben konventioneller mechanischer Lüftungssysteme dar. Weiters kann die zu Beginn dieser Projektstudie erwähnte Problematik des fehlenden Platzbedarfs, bei Installation mechanischer Lüftungssysteme in bestehenden Bildungseinrichtungen, durch die Nutzung des Systems „Klassenbester“ entschärft werden, da der Platzbedarf solcher Anlagen weit geringer ausfällt. Der Verzicht einer eigenen Technikzentrale, für die gebäudetechnische Ausrüstung sowie die erforderlichen Leitungsinstrumentationen im Gebäude, machen dieses System zu einer attraktiven Lösung für bestehende Bildungseinrichtungen. Das System sollte jedoch nicht als „die Lösung“, sondern vielmehr als Bindeglied zwischen rein statisch und mechanisch belüfteten Schul- und Bildungseinrichtungen angesehen werden und seine Stärken dort einsetzen, wo die Grenzen mechanischer Lüftungssysteme aus platztechnischen Gründen erreicht werden. Ein weiterer positiver und nicht außer Acht zu lassender Aspekt stellt jener des Energiebedarfs solcher Systeme dar. Aufgrund des geringeren Energiebedarfs, verglichen zu herkömmlichen mechanischen Lüftungssystemen sowie dem geringeren Einsatz von Rohstoffen im Zuge der Anlagenerrichtung, leistet dieses System in Zeiten der Energiewende und dem bewussteren Ressourceneinsatz, einen nicht zu vernachlässigenden Beitrag.

7 SCHLUSSFOLGERUNG

Durch den Einsatz des Systems „Klassenbester“ konnte bei allen Messwerten eine Verbesserung der CO₂-Konzentration, unter Verwendung des Systems „Klassenbester“, gegenüber dem inaktivem festgestellt werden. Die CO₂-Konzentration wurde um etwa 20 – 27 % verringert und lag im arithmetischen Mittel unterhalb des durch die ÖNORM H6039 (2023) definierten Grenzwertes von 1.000 ppm, wodurch zum einen die Effektivität des Systems plausibilisiert werden kann und zum anderen die Luftqualität, in Hinblick auf die CO₂-Konzentration, auf ein für die Schüler*innen erträgliches Maß verbessert werden konnte. Abschließend sei noch auf die Effektivität des Systems „Klassenbester“, im Zusammenhang während kalter Jahreszeiten eingegangen. Da der Beobachtungszeitraum der beiden Klassenzimmer ausschließlich während der wärmeren Jahreszeit (Mai) stattgefunden hat, kann der Jahresverlauf nur unzureichend überprüft werden und so das Verhalten bzw. die Einsatzgrenzen, während der kälteren Jahreszeiten nicht evaluiert werden. Weiters kann auch keine Aussage über den Temperaturverlauf und die thermische Behaglichkeit, während des Systembetriebes, getroffen werden und inwiefern diese durch die kühleren Außenbedingungen beeinflusst werden. Es wird durch diesen Umstand die Frage aufgeworfen, bis zu welchen Grenz-Außentemperaturen das System „Klassenbester“ eingesetzt werden kann und wie bei Unterschreitung der Mindesttemperatur mit dem Faktor CO₂-Konzentration, bei Einhaltung der Behaglichkeitsparameter, umgegangen werden kann. Ob sich dieses System für den Einsatz über den Verlauf eines gesamten Jahres, in Hinblick auf die thermische Behaglichkeit und Luftreinheit eignet, kann nicht beantwortet werden, da hierfür Langzeitanalysen notwendig wären. Weiters sollte überprüft werden, ob es nicht sinnvoller wäre das System „Klassenbester“ als hybride Lösung im Verbund mit einem mechanischen Lüftungssystem zu sehen und wie sich diese Variante auf die Errichtungs- und Wartungskosten aber auch auf die laufenden Betriebskosten auswirkt. Abschließend kann jedoch festgehalten werden, dass unter Einsatz des Systems „Klassenbester“ das Ziel der CO₂-Reduktion als erfolgreich betrachtet werden kann und durch die Implementierung in bestehenden Bildungseinrichtungen, in welchen eine Nachrüstung mechanischer Lüftungssysteme nicht möglich ist, dieses System sein volles Potential ausschöpfen kann.

8 ZUSAMMENFASSUNG

Die gegenwärtige Situation in Schul- und Bildungseinrichtungen zeigt auf, dass die CO₂-Konzentrationswerte weit über jenen durch die ÖNORM H6039 (2023) definierten Konzentrationswerten von 1.000 ppm liegen und hier ein dringender Handlungsbedarf erforderlich ist. Neben der Erhöhung eines Ansteckungspotentiales wirkt sich eine erhöhte CO₂-Konzentration wie bereits durch Sadrizadeh et al. (2022), Brandl et al. (2001) sowie Hohenblum et al. (2008) aufgezeigt, negativ auf die Konzentration aus und sorgt darüber hinaus für ein hohes Maß an Unbehagen. Da global betrachtet eine Vielzahl der bestehenden Schul- und Bildungseinrichtungen nur über Fensterlüftungen verfügen und der nachträgliche Einbau mechanischer Lüftungssysteme mit sehr hohen Investitionskosten in Verbindung steht bzw. oftmals auch baulich gar nicht umsetzbar ist, lag das Ziel dieser Projektstudie darin, ein alternatives System für Bestandsobjekte zu untersuchen. Das System trägt den Namen „Klassenbester“ und stellt ein vollautomatisiertes natürliches Be- und Entlüftungssystem dar. Durch die Verwendung motorgesteuerter Oberlichten können diese bedarfsgerecht, in Abhängigkeit der CO₂-Konzentration im Klassenzimmer angesteuert werden, um so eine behagliche Raumluftatmosphäre für die Schüler*innen sicherstellen zu können. Im Zuge der Sanierung eines Bundesrealgymnasiums in Mödling, wurde der Einsatz des Systems „Klassenbester“ aufgezeigt und wie sich die CO₂-Konzentration in zwei von 66 Klassenzimmern während mehrerer Messreihen verhält, um so Aufschluss über die Effektivität des Systems zu erhalten. Der Ablauf sah dabei vor, in den beiden Klassenzimmern jeweils über eine Messdauer von drei bis vier Tagen die CO₂-Raumluftkonzentration zu erfassen und anschließend durch Bildung des arithmetischen Mittels aller Messwerte, diese miteinander zu vergleichen. Bei den beiden betrachteten Klassenzimmern handelte es sich um das Klassenzimmer 01.127 sowie 02.225. Im Klassenzimmer 01.127 wurde bei ausgeschaltetem System eine gemittelte CO₂-Konzentration in Höhe von 1.082 ppm gemessen und bei aktivem System eine Konzentration in Höhe von 787 ppm. Dies entspricht einer Verringerung von 297 ppm bzw. von 27,26 %. Im Fall der Klassenzimmers 02.225 verringerte sich die gemittelte CO₂-Konzentration von 1.032 ppm auf 832 ppm, dies entspricht einer Verringerung um 202 ppm bzw. 19,57 %. In beiden Fällen konnte somit ein positiver Einfluss auf die CO₂-Konzentration, bei Verwendung des Systems „Klassenbester“ festgestellt werden und darüber hinaus der durch die ÖNORM H6039 definierte Grenzwert von 1.000 ppm unterschritten werden. Für eine vollkommene Beurteilung der Effektivität des Systems fehlen jedoch noch weitere, in dieser Projektstudie nicht durchgeführte Messungen. Über die thermische Behaglichkeit während der kühleren Jahreszeiten kann keine Aussage getroffen werden, da im Zuge der Messdurchführung das Systemverhalten nur während des Monats Mai 2024 erfolgte und die Temperaturwerte im positiven zweistelligen Bereich lagen. Abschließend sei jedoch festgehalten, dass dieses System eine gute Alternative für die nachträgliche Implementierung in Bestandsobjekten, aber auch im Neubau darstellt, da dieses aufgrund des geringen Platzbedarfs und dem positiven Beitrag zur Verbesserung der Raumluftqualität seine Stärken ausspielen kann und so zur Erfüllung wichtiger SDG´s beiträgt.

9 LITERATURVERZEICHNIS

Arbeitsstättenverordnung (2005): Gestaltung von Arbeitsstätten, Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit, Österreich, 1040 Wien, Favoritenstraße

Blümel, E. (2014): Skriptum Heizungs-, Lüftungs- und Klimatechnik. Ausgegeben im Wintersemester 2021 im Rahmen der Vorlesung Lüftungs- Klima- und Kältetechnik, Pinkafeld

BMLFUW (2006): Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft, erarbeitet vom Arbeitskreis Innenraumluft am Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft und der Österreichischen Akademie der Wissenschaften

Brandl A, Tappler P, Twrdik F, Damberger B (2001): Untersuchungen raumluft-hygienischer Parameter in oberösterreichischen Schulen. In: AGÖF Tagungsband des 6. Fachkongresses 2001 – Umwelt, Gebäude und Gesundheit, Nürnberg: 355-366

BMK (2024): Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft – Kohlenstoffdioxid als Lüftungsparameter, Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie, Österreich, Wien.

BRG (2024): BG/BRG Keimgasse, Österreich, 2340 Mödling, Franz-Keim-Gasse 3
<https://keimgasse.at/schulausbau-2/>

BUWAL (1997): Luftqualität in Innenräumen, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Schriftenreihe Umwelt Nr. 287

Distech (2024): Distech Controls SAS Europäische Hauptniederlassung, Frankreich, 69530 Brignais, 558 Avenue, Marcel Mérieux

Ferrari S., Blázquez T., Cardelli R., De Angelis E., Puglisi G., Escandón R., Suárez R. (2023): Air change rates and infection risk in school environments: Monitoring naturally ventilated classrooms in a northern Italian urban context, Heliyon, Volume 9, Issue 9, ISSN 2405-8440
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e19120>

Hohenblum P., Kundi M., Gundacker C., Hutter H.P., Jansson M., Moosmann L., Scharf S., Tappler P., Uhl M. (2008): LUKI – LUft und KInder. Einfluss der Innenraumluft auf die Gesundheit von Kindern in Ganztagschulen. Report REP-0182. Umweltbundesamt Wien.

Klassenbester (2024): Natürliche automatisierte kontrollierte Fensterlüftung KB GmbH, Geschäftsführer DI Ernst Kainmüller, Österreich, Wien, abgerufen am 11.02.24 <https://klassenbester.eu/naturliche-lueftung/>

Meteoblue (2024): Simulierte historische Klima und Wetterdaten für Münzkirchen, Meteoblue AG, Schweiz, Basel, Greifengasse 38, abgerufen am 23.06.2024 https://www.meteoblue.com/de/wetter/woche/m%c3%bcnzkirchen_%c3%96sterreich_2771020

ÖNORM B 2501 (2016): Entwässerungsanlagen für Gebäude und Grundstücke – Planung, Ausführung und Prüfung – Ergänzende Richtlinien zu ÖNORM EN 12056 und ÖNORM EN 752, Austrian Standards International, Österreich, 1020 Wien, Heinestraße 38

ÖNORM EN13779 (2008): Lüftung von Nichtwohngebäuden - Allgemeine Grundlagen und Anforderungen für Lüftungs- und Klimaanlageanlagen und Raumkühlsysteme, Austrian Standards International, Österreich, 1020 Wien, Heinestraße 38

ÖNORM EN16798 (2019): Energetische Bewertung von Gebäuden - Teil 1: Eingangsparameter für das Innenraumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden bezüglich Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik - Modul M1-6, Austrian Standards International, Österreich, 1020 Wien, Heinestraße 38

ÖNORM H6039 (2015): Lüftungstechnische Anlagen - Kontrollierte mechanische Be- und Entlüftung von Schul-, Unterrichts- oder Gruppenräumen sowie Räumen mit ähnlicher Zweckbestimmung - Anforderungen, Dimensionierung, Ausführung, Betrieb und Wartung, Austrian Standards International, Österreich, 1020 Wien, Heinestraße 38

Open Systems (2024): Open Systems Gebäudetechnik GmbH, Geschäftsführer Ing. Jürgen Heiligenbrunner und Ing. Markus Wudernitz, Österreich, 1210 Wien, Arnoldgasse 2 / Top 2

Recknagel K., Sprenger E., Schramek E. R. (2007): Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik, Oldenburg Industrieverlag, 73. Auflage, Deutschland, München, S. 722

Sadrizadeh S., Yao R., Yuan F., Awbi H., Bahnfleth W., Bi Y., Cao G., Croitoru C., Dear R., Haghghat F., Kumar P., Malayeri M., Nasiri F., Ruud M., Sadeghian P., Wargocki P., Xiong J., Yu W., Li B. (2022): Indoor air quality and health in schools: A critical review for developing the roadmap for the future school environment, Journal of Building Engineering, Volume 57, ISSN 2352-7102 <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.104908>

Satish U., Mendell M.J., Shekhar K., Hotchi T., Sullivan D., Streufert S., Fisk W.J. (2012): Is CO₂ an Indoor Pollutant? Direct Effects of Low-to-Moderate CO₂ Concentrations on Human Decision-Making Performance. Environment Health Perspect 120: 1671-1677 doi:10.1289/ehp.1104789.

Seppänen O.A., Fisk W.J., Mendell M.J. (1999): Association of ventilation rates and CO₂ concentrations with health and other responses in commercial and institutional buildings. Indoor Air 9: 226-252.

Umweltbundesamt (2024): Atmosphärische Treibhausgas - Konzentration, Umweltbundesamt, Deutschland, 06844 Dessau-Roßlau, abgerufen am 30.05.2024. <https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/atmosphaerische-treibhausgas-konzentrationen#kohlendioxid->