

Status Report | 22

Lüftung von Schulen

- Raumluftqualität
- Leistungsfähigkeit
- Systeme



Inhaltsverzeichnis

1.	Grundlagen zur Raumlufthqualität in Schulen	3
2.	Auslegungsgrundlagen für Lüftungsanlagen in Schulen.....	3
2.1.	Lüftungssysteme für Klassenzimmer	3
2.2.	Raumgrößen und Belegungsdichte	3
2.3.	Notwendiger Außenluftvolumenstrom für Klassenzimmer	3
2.4.	Auslegung nach DIN EN 16798-1 NA – Verfahren 1 empfundene Luftqualität	4
2.5.	Auslegung nach DIN EN 16798-1 NA – Verfahren 2 nach CO ₂ -Konzentration	5
2.6.	Einsatz von Filtern	5
3.	Strömungsformen im Raum	5
4.	Akustik	9
5.	Energieeffizienz und CO₂-Emissionen	9
6.	Indoor Air- und Indoor Environmental-Quality – Wie das Innenraumklima die Leistungsfähigkeit beeinflusst.....	10
7.	Empfehlungen für die Auslegung von Lüftungsanlagen in Bildungs- stätten – Planungsgrundlagen.....	12
8.	Literaturhinweise	13

1. Grundlagen zur Raumluftqualität in Schulen

Gute Luft ist für Menschen unerlässlich. Bei der Atmung wird Sauerstoff ein- und Kohlenstoffdioxid (CO₂) ausgeatmet. In vollbesetzten Klassenräumen kommt es somit schnell zu „schlechter, stickiger Luft“ mit einem hohen Kohlenstoffdioxidgehalt. Schüler können sich schlechter konzentrieren, sind weniger leistungsfähig, werden schneller müde und bekommen Kopfschmerzen.

Die heutigen Ansprüche an Bildungsgebäude sind in Folge neuer Bildungskonzepte und veränderter Raumnutzung gestiegen. Alte, schlechtgelüftete Schulen werden im Rahmen von Neubauten oder Sanierungen durch moderne, gutgelüftete Bildungsstätten ersetzt.

Zusätzlich hat sich das Bewusstsein für Lufthygiene durch die Covid-19 Pandemie drastisch gewandelt. Zum ersten Mal wurde Gesundheitsbehörden, Schulbetreibern, Elternvertretern und auch Planern und Installateuren vor Augen geführt, dass die Lüftung, das Lüftungsverhalten und die Luftqualität bei möglichen Übertragungen durch Aerosole, direkt mit dem Ansteckungsrisiko zusammenhängen [1][2][3][4][5].

Der Einsatz moderner Lüftungstechnik bringt viele Vorteile:

- Gutes Raumklima steigert Behaglichkeit und Leistungsfähigkeit
- Keine Belästigung durch z. B. Straßenlärm bei geöffneten Fenstern
- Geringer Energieverbrauch schützt das Klima und senkt die Energiekosten, insbesondere bei einer integrierten Wärmerückgewinnung
- Das Ansteckungsrisiko bei über den Luftweg übertragbaren Krankheiten wird reduziert
- Die Geräuschbildung der Lüftungstechnik kann im Gegensatz zum Straßenlärm auf ein Maximum begrenzt werden
- Technische Lösungen können individuell an den Bedarf und die Randbedingungen angepasst werden.

2. Auslegungsgrundlagen für Lüftungsanlagen in Schulen

2.1. Lüftungssysteme für Klassenzimmer

Die meisten Klassenzimmer in Deutschland werden über manuell zu bedienende Fenster gelüftet. Bei Neubau und Sanierung von Schulen werden zunehmend geregelte Lüftungssysteme gefordert, da ohne derartige Systeme die erforderlichen Luftqualitäten kaum sichergestellt werden können. Auch automatisierte Fensterlüftungskonzepte sind für die Luftqualität möglich, sofern die geforderten Lüftungsraten zur Erreichung von 800-1.000 ppm CO₂ mittels Messeinrichtung sichergestellt werden kann (s. Status-Report 52 Kap 4.5). Hybride Lüftungssysteme nutzen natürliche und maschinelle Antriebskräfte. Aus energetischer Sicht sind Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung Pflicht.

2.2. Raumgrößen und Belegungsdichte

Für die Belegungsdichte ist in den meisten Schulbaurichtlinien der Bundesländer eine Mindestgrundfläche von 2 m² und ein Raumvolumen von 6 m³ je Schüler gefordert. In Bestandsgebäuden bestehen große Unterschiede bei Raumgrößen und Belegungsdichten.

2.3. Notwendiger Außenluftvolumenstrom für Klassenzimmer

Für die Festlegung der notwendigen Außenluftvolumenströme in Klassenzimmern sind neben den gültigen Bauordnungen die Normen DIN EN 16798-1 [6] sowie die VDI 6040 Blatt 1

relevant [7]. Dabei können die einzuhaltenden Kategorien frei gewählt bzw. zwischen den Baubeteiligten vereinbart werden. Sofern nicht anders vereinbart, ist nach DIN EN 16798-1 die **Kategorie II** im schadstoffarmen Gebäude anzuwenden. Vorteilhaft ist es jedoch, das Gerät dabei nicht zu knapp auszulegen, sodass eine Luftmengenreserve vorhanden ist und das Gerät unter Pandemiebedingungen in der Kategorie I betrieben werden kann.

Die in der EN 16798-1 spezifizierten Außenluftvolumenströme gelten für alle Arten von Lüftungssystemen unabhängig von der Bauart (natürliche Systeme, Fensterlüftung, ventilatorgestützte Systeme) unter den Randbedingungen einer vollständigen Durchmischung (Lüftungseffektivität $\epsilon_v = 1$).

Auch ist es möglich nach VDI 6040 zu dimensionieren. Diese erlaubt eine Berechnung von CO₂-Konzentrationen über den Zeitverlauf für verschiedene Aktivitäten sowie Altersstufen und definiert das Ziel, dass die zeitlich gewichtete durchschnittliche CO₂-Konzentration 1.000 ppm nicht überschreiten darf. Hiermit lassen sich auch Spülfunktionen während der Pausen hinsichtlich der Wirksamkeit bewerten.

2.4. Auslegung nach DIN EN 16798-1 NA – Verfahren 1 empfundene Luftqualität

Der Außenluftvolumenstrom von Lüftungssystemen kann unabhängig von der Art des Lüftungssystems nach DIN EN 16798-1 dimensioniert werden. Die Werte in Tabelle 1 Spalte 6 ergeben sich unter Zugrundelegung von 2 m² je Schüler und eines schadstoffarmen Gebäudes mit den Einzelwerten pro Person und einem Luftvolumenstrom für die Gebäudeemissionen nach Tabelle 1. In der DIN EN 16798-1 werden drei Kategorien des Innenraumklimas festgelegt. Die Kategorien berücksichtigen das Maß an Erwartungen der Nutzer und empfehlen die Anwendung der Kategorien auf Gebäude unterschiedlichen Alters bzw. Erhaltungszustandes. Kategorie I steht für ein sehr hohes Maß an Erwartungen und sollte für Personen mit körperlichen Einschränkungen oder sehr kleine Kinder angewendet werden. Kategorie II gilt für ein normales Maß an Erwartungen (Neubau) und Kategorie III für ein moderates Maß an Erwartungen (Bestand).

Tabelle 1 zeigt Beispiele für empfohlene Lüftungsraten bei Nichtwohngebäuden nach DIN EN 16798-1 für drei Kategorien der Verunreinigung durch das Gebäude selbst. Die Raten sind je Person und je m² Grundfläche für vollständige Durchmischung (turbulente Mischlüftung) angegeben.

Tabelle 1: Personenbezogener Luftvolumenstrom und Luftvolumenstrom zur Abführung der Gebäudeemissionen nach DIN EN 16798-1

Kategorie	Luftvolumenstrom m ³ /h (Schüler)	Luftvolumenstrom für Verunreinigungen durch Gebäudeemissionen in m ³ /(h m ²)			Beispiel für schadstoffarme Gebäude 2 m ² /Person
		sehr schadstoffarmes Gebäude	schadstoffarmes Gebäude	nicht schadstoffarmes Gebäude	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
I	36	1,8	3,6	7,2	43 m ³ /h
II	25	1,3	2,5	5,0	30 m³/h
III	14	0,7	1,4	2,9	17 m ³ /h

Sowohl die Nutzerdichte als auch der Gebäudetyp bestimmen den Gesamt-Außenluftvolumenstrom. Sofern keine vorausgegangenen Tätigkeiten zur Verunreinigung des Gebäudes geführt haben, wird es im Standardfall als schadstoffarm betrachtet.

Nach DIN EN 16798-1 darf ein Außenluftvolumenstrom von $4 \text{ l}/(\text{s} \cdot \text{Person})$ entsprechend $14,4 \text{ m}^3/(\text{h Person})$ in keinem Fall unterschritten werden.

2.5. Auslegung nach DIN EN 16798-1 NA – Verfahren 2 nach CO₂-Konzentration

Der Außenluftvolumenstrom ventilatorgestützter Lüftungssysteme kann nach DIN EN 16798-1 auf Basis der CO₂-Konzentration dimensioniert werden (Tabelle 2). Dafür liefert die vorletzte Spalte in Tabelle 2 die Information zur benötigten Luftmenge unter Anwendung der in der DIN EN 16798-1 aufgeführten Gleichung zur Berechnung des Außenluftvolumenstromes. Die Gleichung basiert auf einer stationären Schadstoffbilanz. Voraussetzung für die Gültigkeit ist eine geringere Schadstoffkonzentration in der Zuluft als in der Raumluft.

Randbedingungen sind eine CO₂-Außenluftkonzentration von 400 ppm und CO₂-Emissionen von $20 \text{ l}/(\text{h} \cdot \text{Person})$. Um einen Absolutwert von 1.000 ppm CO₂ einhalten zu können, ist ein Außenluftvolumenstrom von $33 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{Person})$ erforderlich.

Tabelle 2: Innenraumluftqualität und Außenluftvolumenströme nach DIN EN 16798-1 und Umweltbundesamt

Kat.	Beschreibung	Erhöhung der CO ₂ -Konzentration gegenüber der Außenluft (ppm)	Absolutwert der CO ₂ -Konzentration (Außenluft 400 ppm)	Außenluftvolumenstrom in $\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{Person})$	Leitfaden Umweltbundesamt
I	hohe RLQ	< 350	< 750	57	empfohlen
II	mittlere RLQ	< 550	< 950	36	
III	mäßige RLQ	< 900	< 1.300	22	akzeptabel
IV	niedrige RLQ	< 1.350	< 1.750	15	nicht akzeptabel

Im Leitfaden des Umweltbundesamtes wird empfohlen, einen Absolutwert der CO₂-Konzentration von 1.000 ppm nicht zu überschreiten. Kurzzeitig erhöhte Werte der CO₂-Konzentration von beispielsweise 1.500 ppm werden als akzeptabel betrachtet, wenn ein Mittelwert von 1.000 ppm in der Unterrichtseinheit eingehalten werden kann [8].

2.6. Einsatz von Filtern

Die VDI 6022 (Hygiene-Anforderungen an Raumlüftungstechnische Anlagen und Geräte) und die DIN EN 13053 (Lüftung von Gebäuden) sowie die DIN EN 16798-3 bilden die Grundlage für die Auslegung der zu verwendenden Filtertechnik [9]. Durch den Einsatz von Filtern wird die Außenluftqualität verbessert und die Pollenbelastung reduziert. Außenluftfilter haben mindestens die Qualität ePM1 50 %.

3. Strömungsformen im Raum

Bei der **Mischlüftung** wird die Zuluft mit hohem Impuls in den Raum eingebracht. Die Zuluftdurchlässe liegen meist im Deckenbereich, außerhalb der Aufenthaltszone. Thermische Lasten werden durch das Vermischen der Raumluft mit kälterer Zuluft abgeführt. Die Schadstoffe werden durch das Verdünnen der Raumluft abtransportiert. Die Zuluft kann mit einer deutlichen Untertemperatur von bis zu -10 K und hohen Geschwindigkeiten von bis zu 10 m/s in den Raum eingebracht werden. Eine schnelle und optimale Vermischung der Zu- und Raumluft ermöglicht eine nahezu gleiche Geschwindigkeits-, Temperatur- und Schadstoffkonzentrationsverteilung in jedem Punkt des Raumes.

Die **Quelllüftung** basiert auf der freien Konvektion der im Raum befindlichen Wärmequellen. Die Zuluft wird mit einer Untertemperatur zum Raum und niedrigen Geschwindigkeiten in den Raum eingebracht. Eine stabile Schichtung im Raum wird durch vertikale Temperatur- und Dichteunterschiede erreicht. Die Luftgeschwindigkeiten am Luftaustritt sollte auf 0,25 m/s begrenzt werden, um Zugscheinungen zu vermeiden und den Quelllüftungseffekt sicherzustellen. Sind die Wärmequellen gleichzeitig die Schadstoffquellen im Raum, wird die belastete Luft aufgrund der Konvektionsströme nach oben abgeführt. Die Struktur der Raumluftströmung wird von den Konvektionsströmen an den im Raum befindlichen Wärmequellen bestimmt.

Die Kombination einer bodennahen Quelllüftung und einer lokalen Mischluftzone außerhalb des Aufenthaltsbereichs ermöglicht, die Vorteile beider Strömungsformen als **Misch-/Quelllüftung** zusammenzuführen. Bei dieser Strömungsform liegt die Lüftungseffektivität mit Werten von $\varepsilon_v = 1$ bis $\varepsilon_v = 1,2$ zwischen den Werten der Misch- und der Quelllüftung. Die Lüftungseffektivität variiert in Abhängigkeit von Temperatur, Luftvolumenstrom, Luftverteilung und thermischen Lasten. Fehlt eine individuelle Projektplanung, wird für alle hier genannten Varianten eine Lüftungseffektivität von $\varepsilon_v = 1$ angenommen.

Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht über Vor- und Nachteile der verschiedenen Strömungsformen.

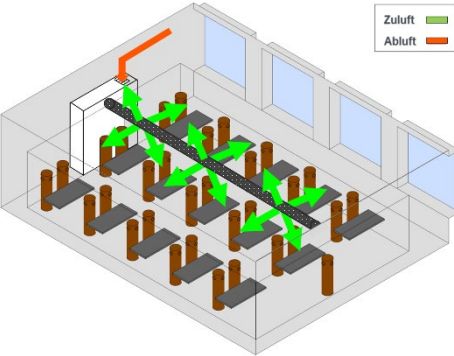

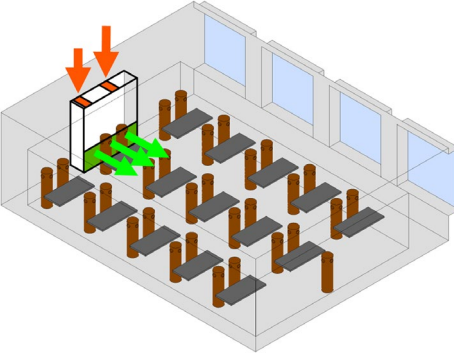

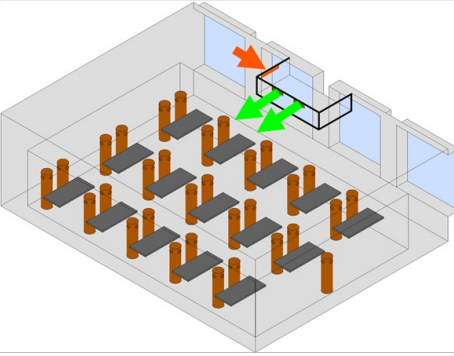

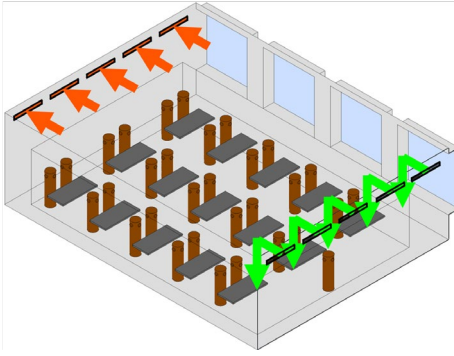

Tabelle 3: Vor- und Nachteile von Misch-, Quell- sowie Misch-/Quelllüftung nach [10]

	Vorteile	Nachteile
Mischlüftung	<ul style="list-style-type: none"> • Platzierung der Luftdurchlässe außerhalb des Aufenthaltsbereichs • Geringer Platzbedarf für Zuluftdurchlässe • Homogene Temperaturverteilung, geringer vertikaler Temperaturgradient • Platzierung von Sensoren für CO₂- und Temperaturregelung aufgrund Homogenität flexibel • Heizen und Kühlen über Zuluft ist aus Sicht der thermischen Behaglichkeit möglich • Temperaturdifferenzen zwischen Zuluft und Raum -10 K bis + 5 K und damit hohe Lastabfuhr möglich 	<ul style="list-style-type: none"> • Kühlere Temperaturen im Bereich des Freistrahls nahe des Aufenthaltsbereiches • Zur Vermeidung eines erhöhten Zuglufttrisikos und von Strömungskurzschlüssen ist eine sorgfältige Planung der Luftdurchlässe erforderlich • Potenziell höhere Querkontamination im Raum

Quelllüftung	<ul style="list-style-type: none"> • Höhere Luftqualität im Aufenthaltsbereich • Geringere Luftgeschwindigkeiten und geringeres Zugluftrisiko im Aufenthaltsbereich bei Einhaltung der notwendigen Abstände zum Zuluftdurchlass • Potenziell niedrigere Querkontamination im Raum 	<ul style="list-style-type: none"> • Gegebenenfalls größerer Platzbedarf für Zuluftdurchlässe • Erhöhte Temperaturgradienten zwischen Kopf- und Knöchelbereich für die Personen in der Nähe der Zuluftdurchlässe • Kühlleistung begrenzt durch Zuluftuntertemperaturen bis -4 K gegenüber Raumtemperatur im Aufenthaltsbereich (h = 1,2 m) • Bedingte Möglichkeit eines luftseitigen Heizbetriebs, Mischlüftung durch aufsteigende Zuluft • ohne aktive Kühlung lässt sich die Forderung nach einer Untertemperatur im Sommer nicht unter allen Randbedingungen (Temperaturen) erfüllen
Misch-/Quelllüftung	<ul style="list-style-type: none"> • Platzierung der Luftdurchlässe außerhalb des Aufenthaltsbereichs, geringer Platzbedarf für Zuluftdurchlässe • Geringere Luftgeschwindigkeiten und damit Zugluftrisiko außerhalb der Mischzone • Stabile Quelllüftung auch bei Teillast mit kleinerem Volumenstrom durch den gesamten Raum • Temperaturdifferenzen zwischen Zuluft und Raum -7 K bis 0 K insbesondere zur Kühllastabfuhr möglich 	<ul style="list-style-type: none"> • Gefahr von direkten Strömungskurzschlüssen zwischen Zuluft- und Abluftdurchlässen • Im Fall eines luftseitigen Heizbetriebs ist dies bei der Anordnung der Luftdurchlässe zu berücksichtigen

Tabelle 4 gibt eine Übersicht über verschiedene Lüftungssysteme in einem Klassenzimmer.

Tabelle 4: Lüftungssysteme für Klassenzimmer

	Beschreibung	Schema	Beispiel
Wand-/Standgeräte mit Mischlüftung	<p>Ein kleines Lüftungsgerät als Wandgerät belüftet den Raum über eine integrierte Luftverteilung oder ein kurzes Luftverteilsystem. Die Frischluftversorgung ist besonders gleichmäßig möglich. Vergleichbar mit einem zentralen Lüftungssystem.</p>		 <p>Quelle: AL-KO THERM GmbH</p>
Wand-/Standgeräte mit Quelllüftung	<p>Luftaufbereitung und -verteilung sind in einem kompakten Standgerät untergebracht. Die Abluft wird deckenah abgeführt und die Zuluft wird impulsarm in Bodennähe eingebracht.</p>		 <p>Quelle: Rosenberg Ventilatoren GmbH</p>
Deckengeräte	<p>Deckengeräte sind vergleichbar mit Wandgeräten. Die Luftaufbereitung und Luftverteilung kann in einem Deckenabsatz untergebracht werden.</p>		 <p>Quelle: LTG AG</p>
Zentrale Lüftungssysteme	<p>Zentrale Lüftungssysteme versorgen mehrere Klassenzimmer mit Frischluft. Auch lassen sich hohe akustische Anforderungen umsetzen.</p>		 <p>Quelle: Kiefer Klimatechnik</p>

4. Akustik

Die akustische Qualität in Klassenzimmern hat einen wesentlichen Einfluss auf die Leistungsfähigkeit von Schülern. Der akustische Komfort hat den gleichen Stellenwert wie der thermische Komfort oder eine gute Raumluftqualität. Erforderlich ist eine gute Sprachverständlichkeit im Unterricht bei möglichst müheloser Sprechweise des Lehrers. Die akustische Wahrnehmung durch die Schüler wird durch Störgeräusche und die akustischen Raumeigenschaften beeinflusst. Nach DIN 4109 [11] darf der Störschalldruckpegel einen Wert von 35 dB(A) nicht überschreiten. Die VDI 2081-1 gibt ergänzende Hinweise zur Planung und Auslegung [12].

Kommt in einem Klassenzimmer die freie Lüftung über Fenster zum Einsatz, wird der Störpegel im Raum zusätzlich durch den Außenlärmpegel beeinflusst. Niedrige Schalldruckpegel von 35 dB(A) können bei geöffnetem Fenster an verkehrsreichen Straßen nicht eingehalten werden. Werden zentrale oder dezentrale maschinelle Lüftungssysteme eingesetzt, kann die Vorgabe zu einem Schalldruckpegel von 35 dB(A) eingehalten werden. Üblicherweise ist bei normaler Raumgröße und Ausstattung eine Raumdämpfung von etwa 8 dB zu erwarten.

5. Energieeffizienz und CO₂-Emissionen

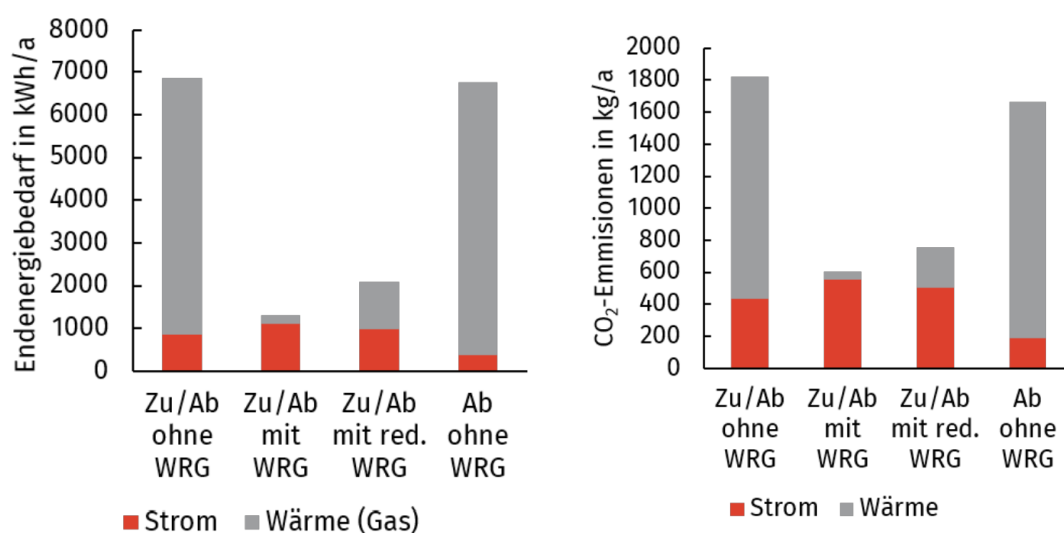


Abbildung 1: Jährlicher Endenergiebedarf (links) und jährliche CO₂-Emissionen (rechts) unterschiedlicher RLTA-Anlagen im Vergleich

In einer Studie an der RWTH Aachen werden mit Hilfe eines Berechnungsmodells Untersuchungen durchgeführt, um Aussagen darüber machen zu können, wie sich der Einsatz einer Wärmerückgewinnung in einem Klassenzimmer energetisch und wirtschaftlich auswirkt. Durch den Einsatz einer Wärmerückgewinnung (WRG) kann der Endenergiebedarf für die Wärme um mehr als 80 % reduziert werden. Die WRG ermöglicht darüber hinaus eine Senkung der CO₂-Emissionen um etwa 67 % (Zu- und Abluft mit WRG) bzw. 58 % (Zu- und Abluft mit reduzierter WRG) gegenüber der kombinierten Zu- und Abluftanlage ohne WRG.

Der Einsatz einer WRG ermöglicht somit eine Einsparung der CO₂-Emissionen von etwa einer Tonne pro Jahr und Klassenzimmer. Weiterhin zeigen die Ergebnisse der Studie, dass das Nachrüsten einer Lüftungsanlage mit Zu- und Abluft sowie einer WRG Mehrkosten von etwa 30 € je Schüler im Jahr verursacht.

6. Indoor Air- und Indoor Environmental-Quality – Wie das Innenraumklima die Leistungsfähigkeit beeinflusst

Die Indoor Environmental Quality (IEQ, Innenraumqualität) beschäftigt sich mit den raumhygienischen, thermischen, akustischen und lichttechnischen Parametern im Raum. In der Vergangenheit wurden diese Parameter zwar als wichtige Kategorien für die Auslegung klimatechnischer Systeme angesehen, in der Praxis wurden sie jedoch bei der Planung von Heizungs-, Raumlufth- und Klimasystemen nur unzureichend berücksichtigt. Die Neufassung der Richtlinie für die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (EPBD 2023) räumt der Raumlufthygiene sowie der Innenraumqualität als übergeordnetes Kriterium einen höheren Stellenwert ein.

Die raumlufthygienischen und thermischen Kriterien beeinflussen nicht nur das Wohlempfinden des Menschen, sondern auch dessen Leistungsfähigkeit. Die an der TU Dresden erstellte Studie zum „Zusammenhang zwischen Leistungsfähigkeit und Innenraumluftqualität in Schulen und an Arbeitsplätzen“ soll den aktuellen Stand des Wissens dokumentieren.

Ergebnisse einer Metastudie der TU Kopenhagen zeigen, dass bei einer Verringerung der CO₂-Konzentration von 2.100 ppm auf 900 ppm eine Steigerung der Verarbeitungsgeschwindigkeit bei Schulaufgaben und Tests um 12 % zu verzeichnen ist. Die Qualität der Ergebnisse in diesen Tests nimmt um 2 % zu. Weitere Ausführungen zeigen eine 5-prozentige Verbesserung der Lerngeschwindigkeit, wenn die CO₂-Konzentration im Raum von 2.300 ppm auf 900 ppm abgesenkt wird. Hinsichtlich der Anwesenheitsakzeptanz wurde eine Verbesserung um 2,5 % benannt, wenn die CO₂-Konzentration von 4.000 ppm auf 1.000 ppm reduziert wird. Die Studie zeigt auch, dass der Leistungszuwachs bei niedrigen CO₂-Konzentrationen höher war. Dies deutet darauf hin, dass die Probanden bei niedrigeren Konzentrationen empfindlicher auf eine Konzentrationsänderung reagieren als bei hohen Konzentrationen. Der größte Leistungszuwachs (Verarbeitungsgeschwindigkeit) trat auf, als die Konzentration von 1.600 ppm auf 900 ppm gesenkt wurde. Als Kennwert kann hier eine Steigerung der Verarbeitungsgeschwindigkeit um ca. 10 % detektiert werden.

Ebenfalls an der TU Kopenhagen wurde in einer Studie der Einfluss der Luftqualität und der Raumtemperatur auf die Leistung von Schülern analysiert. Ausgehend von einem Bezugsniveau wurde eine Absenkung der Innenraumtemperatur, eine Erhöhung der Lüftungsrate sowie eine stärkere Filtrierung und deren Auswirkungen auf die Leistungsfähigkeit der Schüler detektiert.

Hinsichtlich der Innenraumtemperaturen wurde ein Bereich von 20 bis 25 °C analysiert. Der Volumenstrom in den Klassenräumen wurde in einer Bandbreite von 3 bis 10 l/s variiert. Die Filtrierung der Raumlufth erfolgte mittels elektrostatischer Filter, um die Konzentration an Schwebstoffen zu minimieren.

Die Auswirkungen dieser drei Maßnahmen auf die Leistungen der Schüler wurden bewertet, indem in Leistungstests die Geschwindigkeit und der Prozentsatz aller möglichen Fehler gemessen wurden. Die Studie ergab, dass eine Verdopplung der Lüftungsrate (im Bereich zwischen 3 und 10 l/s) die Bearbeitungsgeschwindigkeit um 8 % steigert. Ein Einfluss auf die Fehlerquote konnte nicht gemessen werden. Eine Senkung der Raumtemperatur von 25 auf 20 °C führte zur Steigerung bei sprachlich und mathematisch orientierten Tests. Im Mittel konnte eine Leistungssteigerung (Geschwindigkeit) von zwei Prozent je Kelvin Raumtemperaturabsenkung bestimmt werden. An der Fehlerhäufigkeit änderte sich hierbei nichts. Auch ein Einfluss der Schwebstoffkonzentration auf Bearbeitungsgeschwindigkeit und Fehlerrate konnte nicht gemessen werden.

Bei Analysen an drei Schulen in Bremen wurde der Einfluss verschiedener CO₂-Konzentrationen auf physiologische Kenngrößen wie Herzfrequenz und Aktivität gemessen. Die CO₂-Konzentrationen wurden durch Erhöhen der Lüftungsvolumenströme variiert. Eine systematische Absenkung erfolgte jedoch nicht. In allen drei Schulen lag das Ausgangsniveau zwischen 950 und 1.450 ppm, abgesenkt wurde auf ein Niveau von 800 bis 1.000 ppm.

Als Ergebnis der Studie kann festgestellt werden, dass die Herzfrequenz zwischen 2 und 3 min⁻¹ verringert werden kann. Hinsichtlich der Aktivität (Indikator für mangelnde Aufmerksamkeit) konnte die Studie zeigen, dass durch eine Absenkung der CO₂-Konzentrationen zwischen 10 und 30 % weniger Störungen im Unterricht erfolgten, was auf eine höhere Aufmerksamkeit der Schüler schließen lässt.

Eine breit angelegte Studie in Bildungseinrichtungen (Kindertagesstätte / Klassenraum / Hörsaal) kam zum Ergebnis, dass bei einer Reduktion der CO₂-Konzentration von 2.000 ppm auf 700 ppm eine Steigerung der Schülerleistung um 21 % erreicht werden kann. Hinsichtlich der Temperatur stellen sich ähnliche Verhältnisse ein. Ein Absenken der Raumtemperatur von 22 °C auf 17,6 °C führte ebenfalls zu einer Leistungssteigerung von 21 %. Allerdings weisen die Autoren darauf hin, dass eine so niedrige Raumtemperatur in der Praxis wenig Akzeptanz erfahren wird.

Neben Ergebnissen der ausgewählten wissenschaftlichen Arbeiten enthält die Studie einen Überblick über folgende Richtlinien und Normen, die Grenzwerte zu CO₂-Konzentrationen im Raum dokumentieren:

- DIN EN 16798-1
- ASR A3.6-Lüftung
- VDI 6040 – Blatt 1
- Leitfaden Raumlufthygiene in Schulgebäuden

Die Analysen dieser Veröffentlichung zeigen, dass es eine ganze Reihe wissenschaftlicher Veröffentlichungen zum Thema raumklimatische Parameter und deren Einfluss auf die Leistungsfähigkeit von Personen im Raum gibt. Viele davon beziehen sich auf Schulen. Grundsätzlich kann den Veröffentlichungen entnommen werden, dass ein Zusammenhang zwischen einem höheren Luftwechsel (bzw. dem damit verbundenen niedrigeren CO₂-Gehalt) und einer daraus folgenden höheren Leistungsfähigkeit der Personen besteht. Hierbei ist das absolute Niveau der CO₂-Konzentrationen von signifikanter Bedeutung. Normative Verfahren spiegeln diesen Zusammenhang aktuell nur unzureichend wider. Besonders verwiesen sei in diesem Zusammenhang auf die europäische Richtlinie DIN EN 16798-1, die Grenzwerte als Differenz zur Außenkonzentration vorgibt. Weiterhin ungeklärt ist der Einfluss der CO₂-Konzentration hinsichtlich des Alters, der Diversität und des Geschlechts der Personen. Hierzu sollten weitere Untersuchungen durchgeführt werden.

7. Empfehlungen für die Auslegung von Lüftungsanlagen in Bildungstätten – Planungsgrundlagen

Die Lüftungsverbände (FGK, BTGA, VDMA und RLT Herstellerverband) haben eine gemeinsame Empfehlung erstellt, die die minimalen Anforderungen an maschinelle Schullüftungssysteme zusammenfasst, die beim Entwurf von Förderprogrammen oder offiziellen Richtlinien berücksichtigt werden sollten.

Die Anforderungen beziehen sich auf typische Klassenräume mit ca. 30 Schülern und einer Größe von 50-90 m². Außerdem wird von einer für Klassenräume typischen Aktivität ausgegangen.

Folgende technische Rahmenbedingungen sind mindestens zu erfüllen:

- Außenluftvolumenstrom >25 m³/h pro Person im Raum

Alternativ detaillierte Dimensionierung nach VDI 6040 mit dem Ziel, eine gewichtete durchschnittliche CO₂-Konzentration von 1.000 ppm während der Unterrichtszeit nicht zu überschreiten.

- Schalleistungspegel <43 dB(A)

Schallemission der Lüftungsanlage während der Unterrichtszeit, damit die geforderten 35 dB(A) Schalldruckpegel (Dauerschallpegel) im Raum gemäß ASR und VDI 2081 eingehalten werden (unter Annahme einer Raumdämpfung von 8 dB).

- Verpflichtender Einsatz von Wärmerückgewinnung

Wärmerückgewinnungssysteme führen in Schulen zu großen Energieeinsparungen und sind daher immer vorzusehen. Die Effizienz und auch Regelung der Wärmerückgewinnung sind dabei durch europäische Gesetzgebung reguliert und daher sind Mindestanforderungen an die Effizienz gegeben (siehe Verordnung (EU) Nr. 1253/2014 der Kommission).

- Außenluftfilter mindestens ePM1 50 % gemäß ISO 16890 [14]

Pollen und Feinstäube werden so effektiv gefiltert und das Gerät sauber gehalten. Abluftfilter schützen bei Bedarf die Komponenten.

- Verpflichtende bedarfsorientierte Einzelraumregelung

Die RLT-Anlagen müssen automatisch Außenluftmengen in Abhängigkeit der Luftqualität (z. B. nach CO₂, VOC) regeln, um bei geringerer Besetzung und ausreichender Luftqualität Energie einzusparen.

- Behagliche und vollständige Raumströmung

Dafür müssen Test- oder Simulationsnachweise vorgelegt werden können und auf geltende Normen und Richtlinien wie bspw. DIN EN 16798-1 Bezug genommen werden.

8. Literaturhinweise

- [1] HRI Beispielhafte Risikobewertung für verschiedene Alltagssituationen
- [2] HRI Prof. Dr.-Ing. Martin Kriegel, 07.12.2020 (Version 4), [Anzahl der mit SARS-CoV-2 beladenen Partikel in der Raumluft und deren eingeatmete Menge, sowie die Bewertung des Infektionsrisikos, sich darüber mit Covid-19 anzustecken \(tu-berlin.de\)](#)
- [3] Hartmann, A; Lange, J; Rotheudt, H; Kriegel, M; Emissionsrate und Partikelgröße von Bioaerosolen beim Atmen, Sprechen und Husten, Online-Rechner: <https://hri-pira.github.io>
- [4] Kriegel, M; Buchholz, U; Gastmeier, P; Bischoff, P; Abdelgawad, I; Hartmann, A; Predicted Infection Risk for Aerosol Transmission of SARS-CoV-2; DOI: 10.1101/2020.10.08.20209106, Preprint
- [5] D. Müller, K. Rewitz, D. Derwein, T. M. Burgholz, M. Schweiker, J. Bardey, P. Tappler, Abschätzung des Infektionsrisikos durch aerosolgebundene Viren in belüfteten Räumen, White Paper, RWTH-EBC 2020-005, Aachen, 2020, DOI: 10.18154/RWTH-2020-11340, Online-Rechner: <http://risico.eonerc.rwth-aachen.de>
- [6] DIN EN 16798-1:2022-03 Energetische Bewertung von Gebäuden – Lüftung von Gebäuden – Teil 1: Eingangsparemeter für das Innenraumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden bezüglich Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik – Modul M1-6; Deutsche Fassung EN 16798-1:2019
- [7] VDI 6040 Blatt 1:2011-06 Raumlufttechnik – Schulen – Anforderungen (VDI-Lüftungsregeln, VDI-Schulbaurichtlinien)
- [8] Anforderungen an Lüftungskonzeptionen in Gebäuden, Empfehlungen des Arbeitskreises Lüftung (AK Lüftung) am Umweltbundesamt: [Anforderungen an Lüftungskonzeptionen in Gebäuden - Bildungseinrichtungen | Umweltbundesamt](#)
- [9] DIN EN 16798-3 Energetische Bewertung von Gebäuden – Lüftung von Gebäuden – Teil 3: Lüftung von Nichtwohngebäuden – Leistungsanforderungen an Lüftungs- und Klimaanlageanlagen und Raumkühlsysteme (Module M5-1, M5-4); Deutsche Fassung EN 16798-3:2017
- [10] Berg, Anders; Henzler, Tobias; Stergiaropoulos, Konstantinos: Untersuchungen zur Optimierung maschineller Luftführungskonzepte in Schulen zwecks Verbesserung der Innenraumluftqualität, Behaglichkeit und Energieeffizienz (OLiS): Schlussbericht DBU-Forschungsprojekt. Universität Stuttgart, Institut für Gebäudeenergetik, Thermotechnik und Energiespeicherung (IGTE), 2021
- [11] DIN 4109-1:2018-01 Schallschutz im Hochbau – Teil 1: Mindestanforderungen
- [12] VDI 2081-1: Raumlufttechnik – Geräuscherzeugung und Lärminderung
- [13] Kremer, Martin; Rewitz, Kai; Müller, Dirk: Bewertung der Wärmerückgewinnung für die maschinelle Belüftung von Klassenräumen, White Paper RWTH-EBC 2021-005, Aachen, 2021, DOI: 10.18154/RWTH-2021-07252
- [14] ISO 16890: Luftfilter für die allgemeine Raumlufttechnik

WEITERE SCHRIFTEN AUS DER REIHE STATUS-REPORT:

Best.-Nr.

01	Raumlufttechnische Anlagen – Instandhaltung, Reinigung, Entsorgungsaufgaben	9
02	Moderne Klimaanlage: Die Wohlfühltechnik!	106
03	Klimaanlagen: Die unsichtbaren Problemlöser!	107
08	Fragen und Antworten zur Raumluftfeucht	139
09	Hygiene in Wohnungslüftungsanlagen	129
10	Regenerative Energien in der Klima- und Lüftungstechnik	136
11	Die neue F-Gase-Verordnung	137
12	Verantwortung des Architekten in der Frage der Raumlufttemperatur	140
13	Zertifizierung Instandhaltung und Reinigung von RLT-Anlagen	144
14	Definition von Klimaanlagen nach EnEV und EPBD	146
15	Raumlufttechnische Anlagen - Durchführung von Hygieneinspektionen nach VDI 6022	143
16	Informationen zur Hygiene in RLT-Anlagen	145
17	Bewertung des Innenraumklimas	154
18	Wohnungslüftung	159
19	Rehva Guidebook No 8: Die Sauberkeit von Lüftungsanlagen (deutsche Version)	150
20	Die Bewertung von WRG und Regenerat. Energien in RLT-Anlagen für NWG nach EEWärmeG	162
21	Software zur Auslegung von Wohnungslüftungssystemen	180
22	Lüftung von Schulen	174
24	Hinweise für die CE-Kennzeichnung von Wohnungslüftungsgeräten	177
25	EG-Konformitätsbewertung von Raumlufttechnischen Geräten, Komponenten und Anlagen	179
26	Qualitätssiegel Raumklimageräte	179
27	Checkliste für die Abnahme von Klima- und Lüftungsanlagen	170
29	Einheitliche Herstellerdeklaration für Wohnungslüftungsgeräte nach DIN 4719	187
30	Richtiges Lüften in Haus und Wohnung	185
31	Einheitliche Herstellerdeklaration für DX-RKG zur Verwendung für die Nachweise nach GEG	185
33	Zertifizierung und Zulassung von Produkten der Lüftungstechnik	244
36	Fragen und Antworten zur Ecodesign Richtlinie EU 327/2011 für Ventilatoren	246
37	Leitfaden Anlagensicherheit	73
38	Fragen und Antworten zur F-Gase-Verordnung EU-VO 517/2014	260
40	FAQ zur Ecodesign-Richtlinie EU 1253/2014 – RLT-Geräte für den Nichtwohnungsbau	271
41	Auslegung von WL-Anlagen unter den Randbedingungen EnEV und DIN 1946-6	278
43	Fragen und Antworten zur Ecodesign-Richtlinie EU 1253/2014 – Beigestellte WRG	295
44	Luftfilter für die Raumlufttechnik - ISO 16890 und EN 779	291
46	Filter in Sekundärluftgeräten	320
47	Smarte Lüftungs- und Klimaanlagen im Nichtwohngebäude	348
48	Smarte Wohnungslüftung	343
50	Kommentierung der DIN 1946-6	359
51	Luftfilter – Luftreinigung – Luftentkeimung in Raumklimageräten	371
52	Anforderungen an Lüftung und Luftreinigung zur Reduktion des Infektionsrisikos über den Luftweg, AHA + Lüftung (deutsch und englisch)	372
53	Zentrale WRG-Systeme in Lüftungsanlagen für mehrere Wohneinheiten	373
56	WL-Anlagen nach DIN 1946-6 unter den Randbedingungen der Corona Pandemie	387
57	Die Luftqualität während der Indoor-Air 2021 – Messung versus Berechnung	400
58	Anforderungen an die Raumluftfeuchtigkeit zur Reduktion des Infektionsrisikos über den Luftweg AHA + L + Feuchte	404
60	Anforderungen an DX-Wärmepumpen zur Erfüllung der Netzdienlichkeit nach BEG	407
61	Akustik in Klassenräumen	435

