

Benötigen wir überhaupt die Raumlufttechnik, oder reicht nicht doch das offene Fenster?

Christoph Kaup



Räume sollten unstreitig mit einer **gesundheitlich zuträglichen Außenluft** versorgt werden. Dabei wird **sauerstoffreiche Luft** dem Raum zugeführt und die **CO₂-belastete Raumluft ersetzt**.

Zudem wird durch die **Verdünnung** mittels unbelastete Außenluft **Keime und Schadstoffe im Raum reduziert**.

Zur Sicherstellung einer guten Raumluftqualität empfiehlt sich eine Zufuhr an **Außenluft** von rund **25 bis 30 m³/h pro Person**.

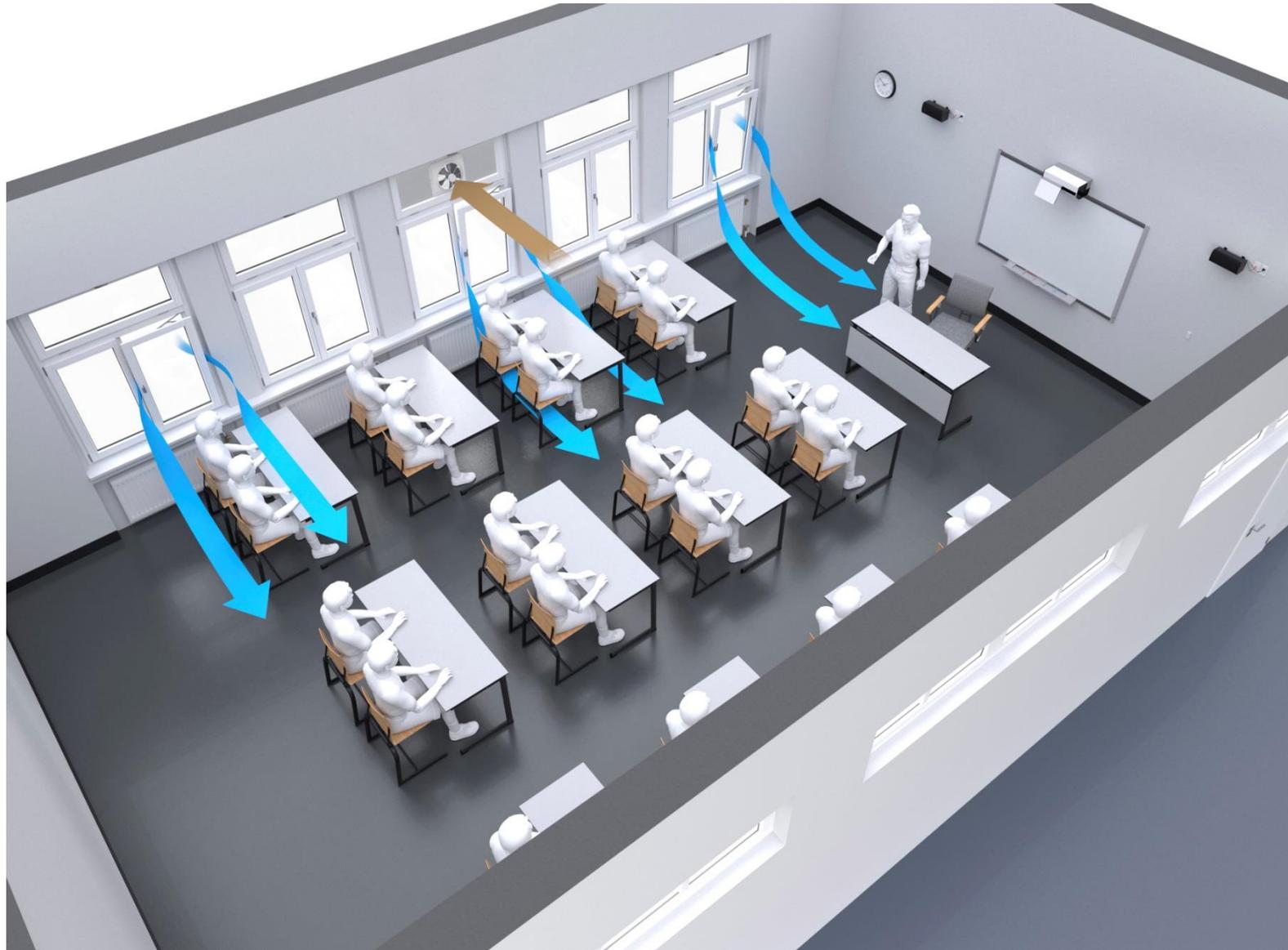
Damit wird insbesondere der CO₂-Anteil im Raum begrenzt. Eine **CO₂-Konzentration** bis zu **1.000 ppm**¹ wird als noch akzeptabel angesehen. Niedrigere CO₂-Konzentrationen sind vorteilhaft, aber auch mit höheren Kosten verbunden.

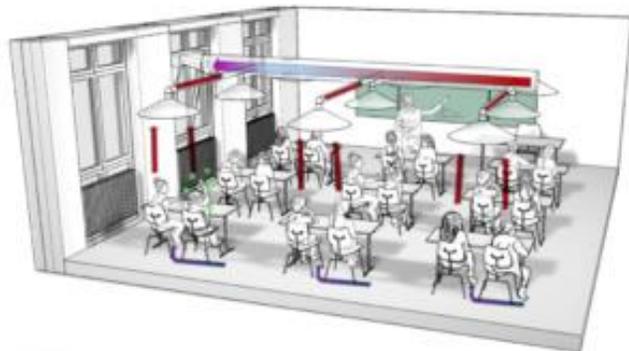
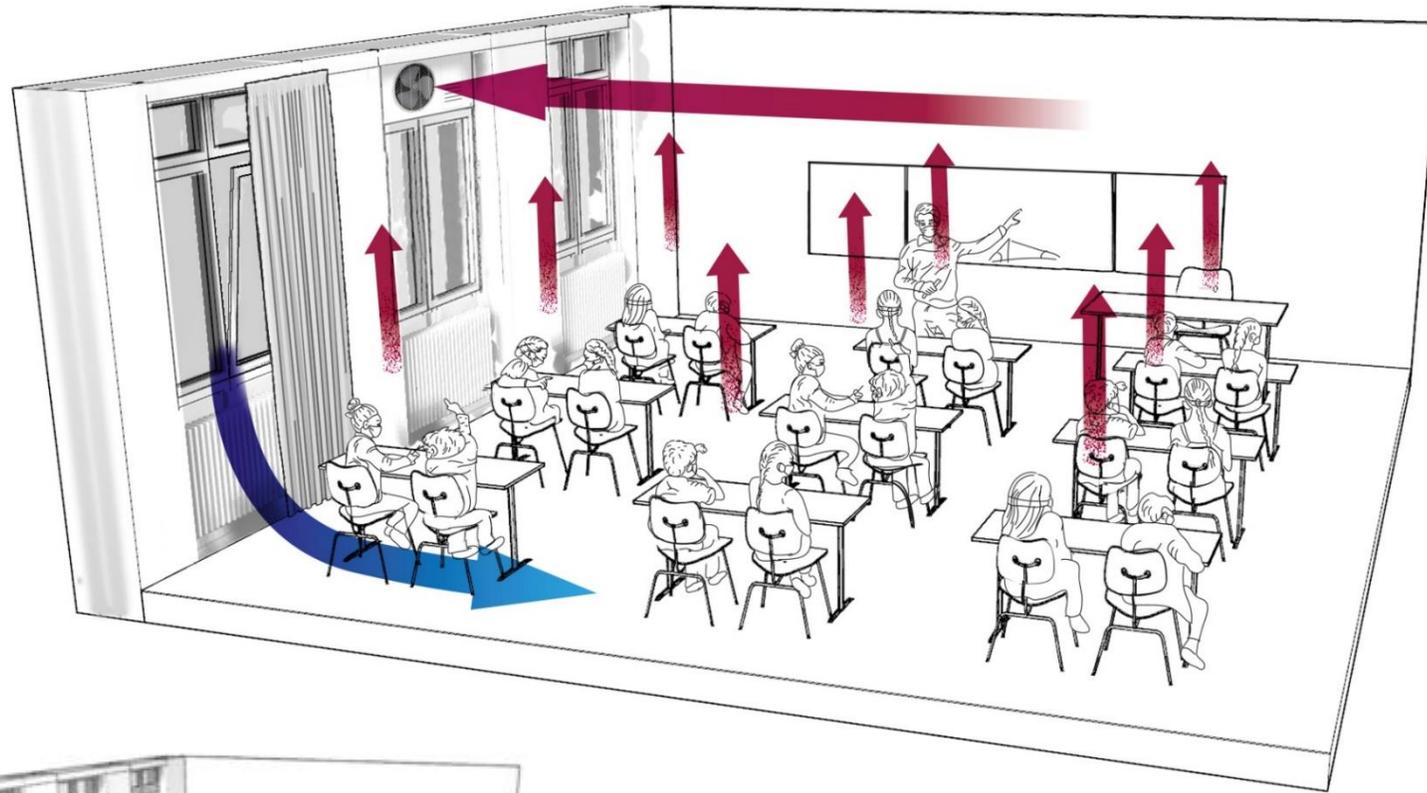
Die **kognitive Leistungsfähigkeit** sinkt bei höheren **CO₂-Konzentrationen**² deutlich.

¹ SARS-CoV-2 Arbeitsschutzregel 4.2.3 Abs. 3: https://www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/AR-CoV-2/pdf/AR-CoV-2.pdf?__blob=publicationFile&v=18

² Ergebnis eines in österreichischen Schulen durchgeführten Aufmerksamkeits- und Konzentrationstests in Abhängigkeit unterschiedlicher CO₂-Konzentrationen, Quelle: Ribic, Unser Weg, Heft 5, 2007

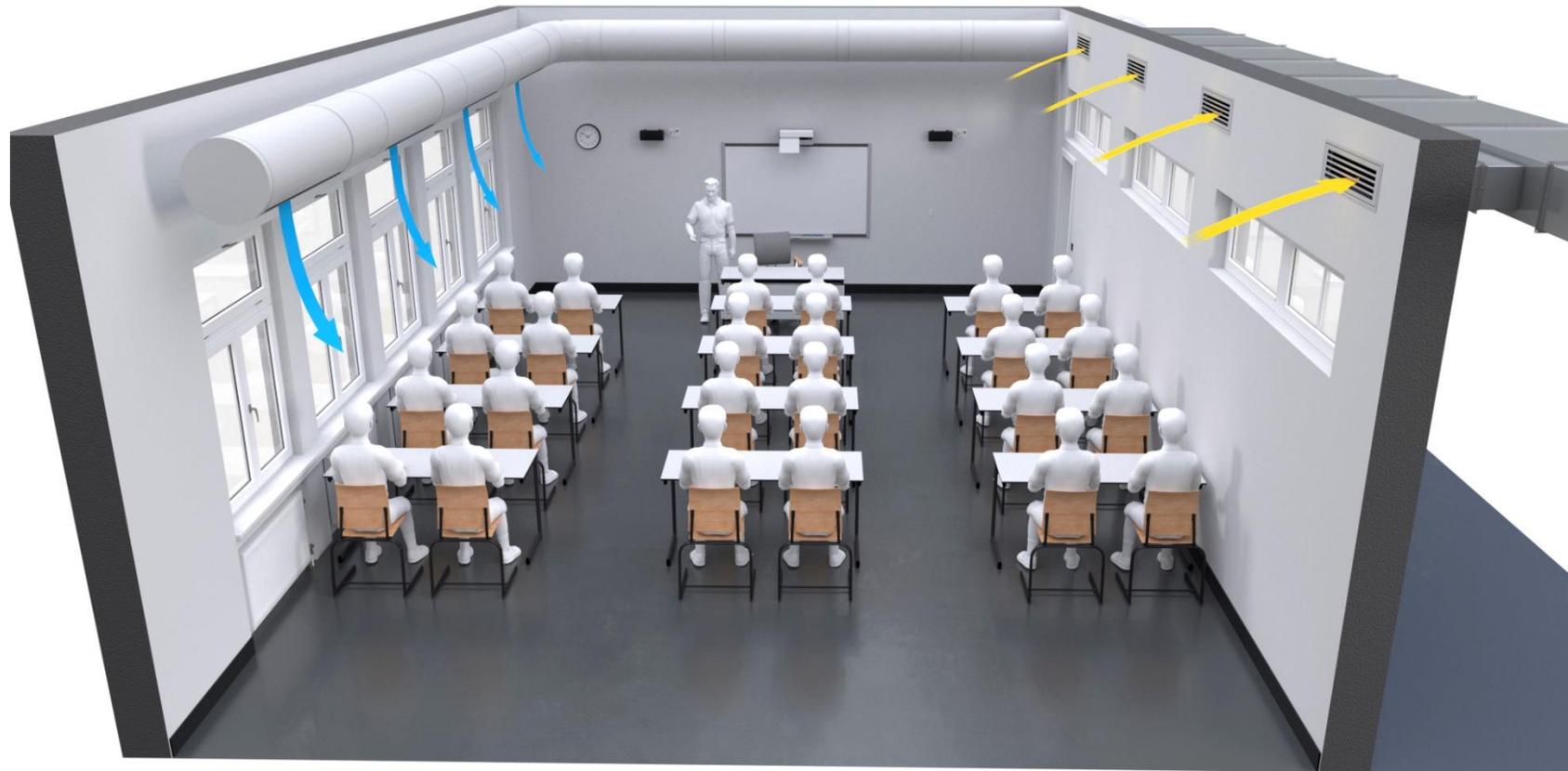






© MPI Mainz







Die **Mischlüftung** (Lüftung mittels **impulsstarker Zuluftstrahlen**, **Vermischung** von **Zuluft und Raumluft**) hat sich unter Fachleuten als praktikable Lösung in Räumen mit **hoher Personendichte** durchgesetzt. Eine raumerfüllende Strömung garantiert eine **homogene Verdünnung der Schadstoffe und deren Abfuhr durch Abluft**.

Bei geringer Personenbelegung kann die **Quelllüftung (Verdrängungslüftung)**, mit möglichst geringer Vermischung der Zuluft und der Raumluft, mittels **turbulenzarmer Zuführung von kühler Luft**, mit einer **Luftführung von unten nach oben**, unterstützt durch **Thermik**) zusätzliche Vorteile bei der Schadstoffabfuhr erbringen. Die durch konvektive Auftriebsströmungen bedingte Abfuhr der Schadstoffe kann im **Deckenbereich effektiv abgesaugt** werden.

Bei **Quellluftströmung** kann eine **große Personenanzahl** (z. B. bei Schulklassen) allerdings zu einem sehr großen Auftriebsvolumenstrom (ca. **72 m³/h und pro Person**³⁾ führen. Dann kann bei zu geringem Zuluftvolumenstrom (z. B. 800 m³/h) die Verdrängungsströmungsform nicht stabil aufrechterhalten werden.

³ Pro Person 20 l/s bei einer Atemhöhe von 1,2 m über Fußboden (Sitzende Tätigkeit) aus: Informationsschriften, Band 6, Quelllüftung in nicht-gewerblichen Gebäuden, 1. Auflage, REHVA Guidebook Nr. 1, VDI-TGA, 2003

Dies führt zu einer **höheren Mischung mit der Raumluft**, damit zu einer **geringeren Lüftungseffektivität** und mit ihr linear zu einem **höheren benötigten Zuluftvolumenstrom**, der zum Abtransport von Schadstoffen notwendig ist.

Der Volumenstrom in einer Auftriebsströmung nimmt somit deutlich zu. Dieser Effekt basiert auf der nicht zu verhindernden **Einmischung von Raumluft in den Auftriebsstrahl**. Für eine effektive **Quelllüftung muss der Volumenstrom signifikant erhöht werden**, da sich **ansonsten eine turbulente Vermischung im gesamten Raum** einstellt, die eigentlich durch die gewollte und erwartete Quelllüftung verhindert werden soll.

Da die **Außenluft oft kühler** als die Raumluft ist, kann die thermische **Auftriebsströmung** im Raum meist zur **Unterstützung der Lüftung** genutzt werden (Quellluftprinzip).

Zudem bedarf die **Quelllüftung immer einer Untertemperatur** zur Gewährleistung der **notwendigen Dichteunterschiede** um eine Auftriebsströmung sicherzustellen. Im **Sommer** muss daher **eine Kühlung der Zuluft** erfolgen, wenn die Außenluft wärmer als die Raumluft ist, um die Verdrängungsströmung aufrecht zu halten.





Mit der **maschinellen Lüftungsanlage** sind prinzipiell **beide Strömungsformen realisierbar**.

Im Gegensatz zur Fensterlüftung ist die RLT nicht von der **Temperaturdifferenz** zwischen **außen und innen** sowie von **Windgeschwindigkeit und Windrichtung** abhängig. Bei der Fensterlüftung wird der Außenluftwechsel je nach dem hoch oder niedrig ausfallen.⁴

Zudem können **Fenster geschlossen** werden, aber eine funktionierende **maschinelle Lüftungsanlage wirkt automatisch**.

⁴ Jun Jiang Jingxin Yang, Kai Rewitz, Dirk Müller, Experimental Quantification of Air Volume Flow by Natural Ventilation through Window Opening, IAQ 2020: Indoor Environmental Quality Performance Approaches, 2022 ASHRAE (www.ashrae.org)

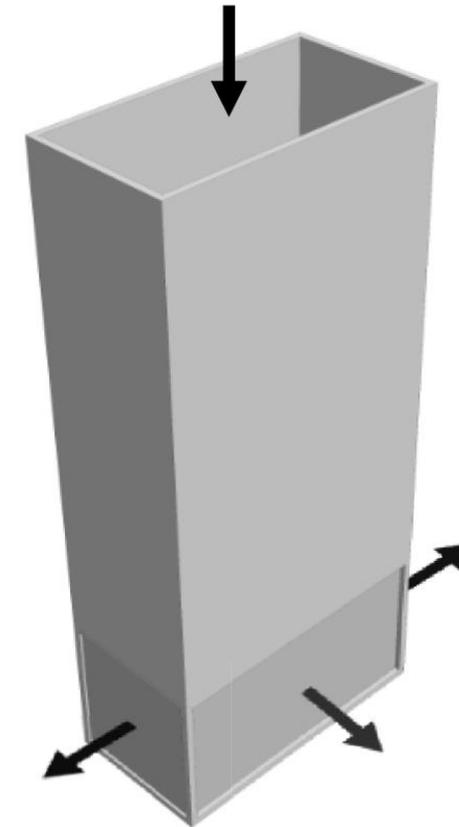
Quelllüftung

Luftgetragene Erreger und Luftqualität in Innenräumen am Beispiel eines Klassenzimmers - Verteilung der Erreger und Bewertung der Lüftungseffektivität

Eugen Lichtner und Martin Kriegel, Hermann-Rietschel-Institut, Technische Universität Berlin, Berlin, Germany

DOI: <http://dx.doi.org/10.14279/depositonce-12326.2>

DV-B-1					
Mittlerer Luftqualitätsindex im Atembereich, Position 1					
8.88	7.07	1.54	1.70	0.92	1.39
3.93	7.11	5.38	0.74	1.10	1.92
0.98	7.64	4.38	0.98	2.51	1.60
0.87	1.04	10.45	0.34	0.46	
		0.32			
Min	0.32	Mean	3.05	Max	10.45
		Std	3.05		



$$\epsilon_b^c = \frac{\text{Schadstoffkonzentration in der Abluft}}{\text{Schadstoffkonzentration im Atembereich}}$$

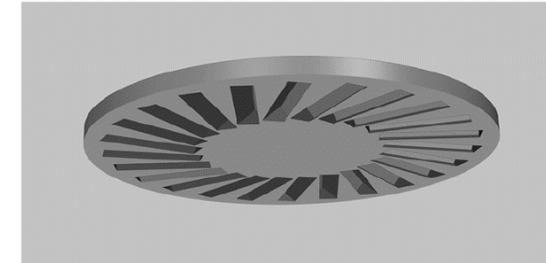
Mischlüftung

Luftgetragene Erreger und Luftqualität in Innenräumen am Beispiel eines Klassenzimmers - Verteilung der Erreger und Bewertung der Lüftungseffektivität

Eugen Lichtner und Martin Kriegel , Hermann-Rietschel-Institut, Technische Universität Berlin, Berlin, Germany

DOI: <http://dx.doi.org/10.14279/depositonce-12326.2>

MV-A-1					
Mittlerer Luftqualitätsindex im Atembereich, Position 1					
0.80	0.98	0.59	0.64	0.79	0.91
1.19	1.23	0.68	0.57	0.94	0.58
1.59	1.49	0.51	0.61	0.57	0.74
1.74	1.60	0.42	0.54	0.23	
		0.89			
Min	0.23	Mean	0.87	Max	1.74
		Std	0.41		



$$\epsilon_b^c = \frac{\text{Schadstoffkonzentration in der Abluft}}{\text{Schadstoffkonzentration im Atembereich}}$$

erforderliche Lüftungsrate

$$Q_h = G_h / (C_{h,i} - C_{h,o}) / \varepsilon_v$$

Q_h durch Verdünnung erforderliche Lüftungsrate [m^3/s]

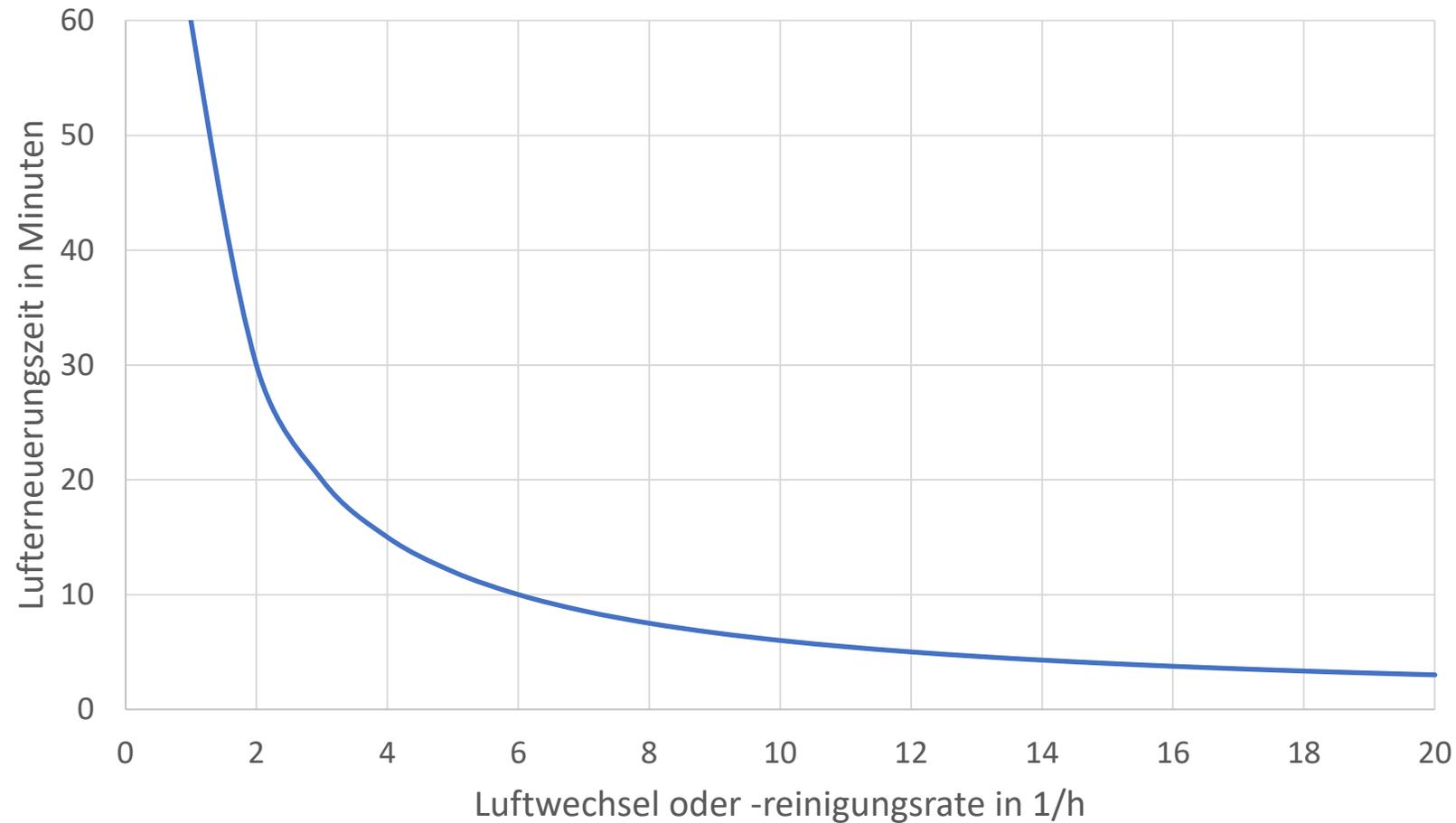
G_h die Stofflast einer Verunreinigung [mg/s]

$C_{h,i}$ der Richtwert für eine Verunreinigung [mg/m^3]

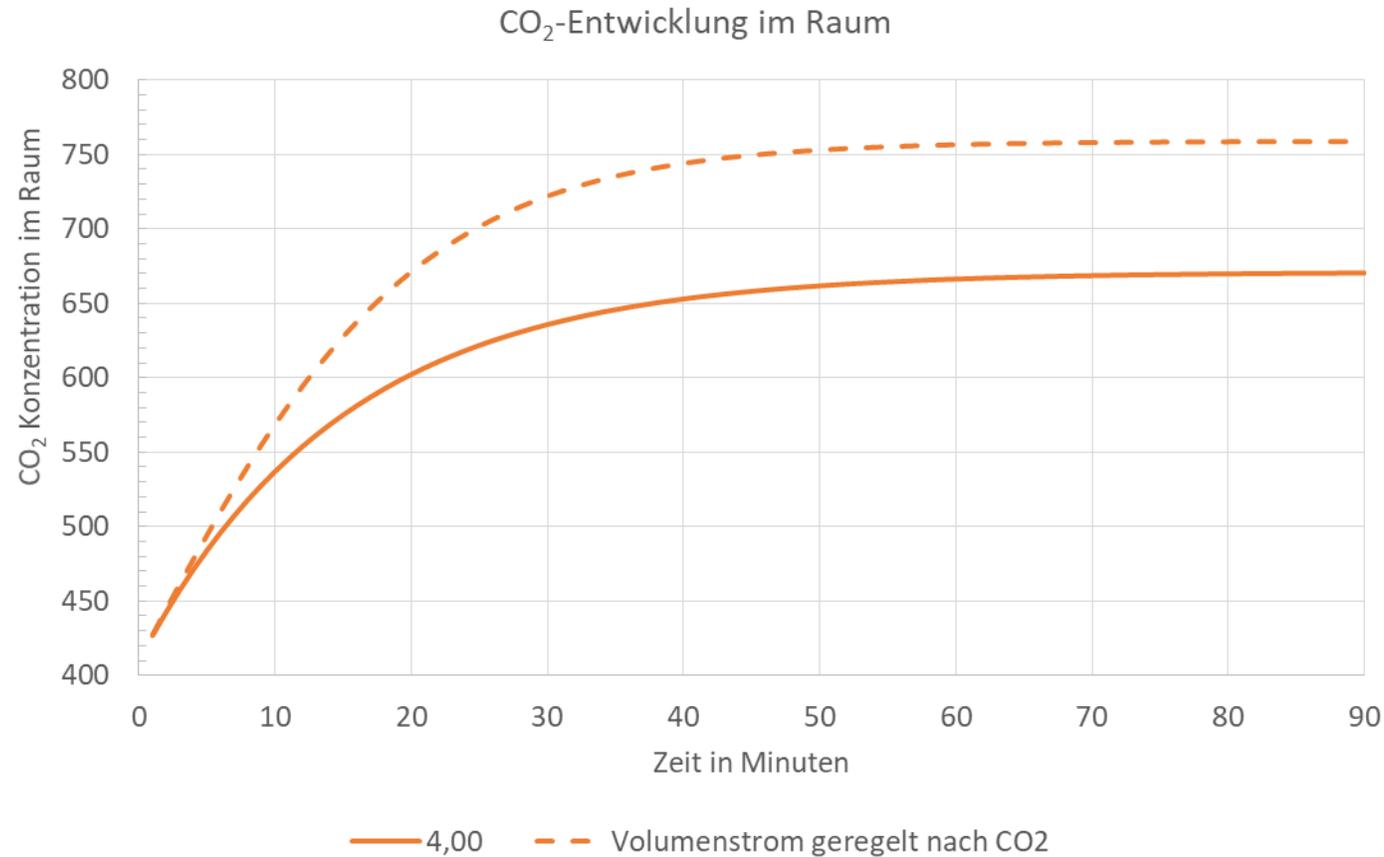
$C_{h,o}$ Konzentration in der Zuluft [mg/m^3]

ε_v Lüftungseffektivität

Luftwechsel- oder -erneuerungsrate zur -zeit



CO₂-Entwicklung im Raum (halbe Belegung)



12 Personen mit 18 l/h CO₂-Produktion (Raumvolumen 200 m³) mit RLT-Anlage mit LW = 4 h⁻¹ bzw. bei 75 % der Luftmenge (LW = 3)

Zitat aus der VDI 6022⁵

6 Anforderungen an Planung, Herstellung und Errichtung

6.1 Allgemeine Hinweise

6.1.1 Planung

...

Maßgeblich für die Erreichung der erforderlichen Zuluftqualität sind:

...

eine Luftfilterung, die auf die Raumlasten und auf die Außenluftqualität abgestimmt ist

...

⁵ VDI 6022 Blatt 1: Raumluftechnik, Raumlufqualität - Hygieneanforderungen an raumluftechnische Anlagen und Geräte (VDI-Lüftungsregeln), 2018-01

Zitat aus der VDI

6.3.9 Luftfilter

6.3.9.1 Allgemeine Anforderungen

Luftfilter oder ähnliche der Luftreinigung dienende Technologien sind grundsätzlich so auszuwählen und anzuordnen, dass die **Komponenten der RLT-Anlage und -Geräte ausreichend geschützt** sind und **die Zuluft mindestens die Luftqualität der jeweiligen Vergleichsluft** (siehe Abschnitt 5.4) **erreicht**.

Neben **staubabscheidenden Luftfiltern** sind beim Auftreten von gesundheitlich bedenklichen **gasförmigen Verunreinigungen Gasfilter** wie Aktivkohlefilter oder andere gesundheitlich unbedenkliche **Gasabscheidemechanismen notwendig**.

Zitat aus Veröffentlichung der Generaldirektion für Gesundheit und Verbraucher und der Generaldirektion Gemeinsame Forschungsstelle der Europäischen Kommission. Sie dient der evidenzbasierten, wissenschaftlichen Unterstützung der politischen Entscheidungsfindung in Europa (2014).

3.4.1 Leitfaden für allgemeine Hygieneanforderungen und besondere Anforderungen an die Qualität der Innenraumluft in Schulgebäuden

...

Klassenräume sollten angemessen belüftet werden. Dies bedeutet, dass sich die Häufigkeit der Belüftung an gesundheitsrelevanten Kriterien orientiert.

...

Die Zulässigkeit einer **mechanischen Belüftung** hängt von der **Qualität der Außenluft** in einem bestimmten Schulbereich ab, d. h. sobald die **Außenluft die WHO-Luftgüteleitlinien nicht erfüllt**, darf sie nur **gefiltert** in die einzelnen **Klassenzimmer** gelangen.

Jahresmittelwert für PM₁₀ nach WHO 2005
20 µg/m³
 Richtwert 2021
15 µg/m³

Filterberechnung nach DIN EN ISO 16890-1:2017 **HOWATHERM**

Luftdaten

Volumenstrom AUL: 3.400 m³/h
 Betriebstunden: 5.000 h/a
 Luftgeschwindigkeitsklasse: V2
 Luftgeschwindigkeit: 1,6 - 1,8 m/s

Partikelbelastung

Bundesland: Rheinland-Pfalz
 Standort: Mainz-Parcusstraße

Jahresmittelwert PM₁₀: 22,5 µg/m³
 max. Tagesmittelwert PM₁₀: 0,0 µg/m³

urbane Partikelverteilung ländliche Partikelverteilung

Gerät mit erhöhten Hygieneanforderungen

Raumklasse Ia oder Ib Raumklasse II

Filterauswahl

1. Filterstufe: ISO ePM1 60% F7

Luftqualität bezogen auf PM₁₀

Grenzwerte: JMW

Außenluft: ODA (P) 2 ≤ 30 µg/m³
 Zuluft: SUP (P) 1 ≤ 5 µg/m³

Filterstandzeit*

1. Filterstufe: 1 Jahr

Feinstaubdaten:
 Umwelt Bundesamt
 Mittelwert 2015-2020,
 soweit vorhanden.
 optionale Eingabe

Partikelverteilungsdichte, JMW PM₁₀

Luftqualität, JMW PM₁₀

PM ₁₀	Außenluft	1. Filterstufe	nach 1. Filterstufe	Zuluft
JMW Konzentration	22,5	-18,2	4,3	4,3
Staubmenge	0,38	0,31	0,07	0,07
max. zul. dp		200		
Speicherfähigkeit		0,77		

* Prognose basierend auf dem standortbezogenen Jahresmittelwert PM₁₀, der Mindest-Staubspeicherfähigkeit und dem maximal zulässigen Enddruckverlust des Filters.

Jahresmittelwert für PM₁₀ Mainz

22,5 µg/m³

⇒ 1. Stufig

4,3 µg/m³

⇒ 2. Stufig

1,6 µg/m³

Filterberechnung nach DIN EN ISO 16890-1:2017

Luftdaten
 Volumenstrom AUL: 3.400 m³/h
 Betriebsstunden: 5.000 h/a
 Luftgeschwindigkeitsklasse: V2
 Luftgeschwindigkeit: 1,6 - 1,8 m/s

Partikelbelastung
 Bundesland: Rheinland-Pfalz
 Standort: Mainz-Parcusstraße
 Jahresmittelwert PM₁₀: 22,5 µg/m³
 max. Tagesmittelwert PM₁₀: 0,0 µg/m³

Feinstaubdaten: Umwelt Bundesamt Mittelwert 2015-2020, soweit vorhanden.
 optionale Eingabe

urbane Partikelverteilung ländliche Partikelverteilung

Gerät mit erhöhten Hygieneanforderungen
 Raumklasse Ia oder Ib Raumklasse II

Filterauswahl
 2. Filterstufe
 1. Filterstufe: ISO ePM1 60% F7
 2. Filterstufe: ISO ePM1 60% F7

Luftqualität bezogen auf PM₁₀
 Grenzwerte: JMW
 Außenluft: ODA (P) 2 ≤ 30 µg/m³
 Zuluft: SUP (P) 1 ≤ 5 µg/m³

Filterstandzeit*
 1. Filterstufe: 1 Jahr
 2. Filterstufe: 2 Jahre

* Prognose basierend auf dem standortbezogenen Jahresmittelwert PM10, der Mindest-Staubspeicherfähigkeit und dem maximal zulässigen Enddruckverlust des Filters.

Partikelverteilungsdichte, JMW PM₁₀

Luftqualität, JMW PM₁₀

PM ₁₀	Außenluft	1. Filterstufe	nach 1. Filterstufe	2. Filterstufe	Zuluft
JMW Konzentration µg/m ³	22,5	-18,2	4,3	-2,7	1,6
Staubmenge kg/a	0,38	0,31	0,07	0,05	0,03
max. zul. dp Pa		200		200	
Speicherfähigkeit kg		0,77		0,77	

Die **Zuluft** wird **temperiert**. Dadurch wird der thermische **Komfort im Raum** erhöht.

Durch den Einsatz einer **Wärmerückgewinnung** kann die Außenlufttemperatur im **Winter erwärmt** und im **Sommer gekühlt** werden.

Die zusätzliche Wärmeleistung kann über externe Quellen (**Nacherwärmung** oder **Kühlung**) erfolgen.

Durch die **Wärmerückgewinnung** und eine Befeuchtung auf der Abluftseite kann eine **indirekte adiabatische Verdunstungskühlung** bei zentralen RLT-Anlagen realisiert werden.

Ohne Kältemaschine ist damit im Sommer eine **ökologische Kühlung** des Raumes durch Wasserverdunstung möglich.

Im Gegensatz zur Fensterlüftung kann eine **gezielte Lufterwärmung/ -kühlung** realisiert werden.

Die **Funktion Nachtkühlung (Freie Kühlung)** wird in den Regelbausteinen von RLT-Anlagen im häufiger verwendet.

Oft ist der für den sommerlichen Wärmeschutz nach DIN 4108-2 entsprechend **notwendiger Luftwechsel** von 2 h^{-1} bis 5 h^{-1} **für die Nachtlüftung** nur mit einer Lüftungsanlage realisierbar.

In Schulgebäuden können nachts die Fenster nicht geöffnet werden, da der **Einbruchschutz** gleichzeitig nicht sichergestellt werden kann, wenn diese in der Nacht gänzlich unbesetzt sind (Regelfall).

Bei **geöffnetem Fenster** können **Schallprobleme** auftreten, da dann die **Schalldämmung** des Fensters aufgehoben ist.

RLT-Anlagen sind dagegen mit **Schalldämpfern** ausgestattet, womit die **Lüftung bei geschlossenem Fenster** realisiert werden kann.

Grundsätzlich besteht bei RLT-Anlagen die Möglichkeit die Luft im **Winter** zu **befeuchten** und im **Sommer** zu **entfeuchten**.

Allerdings sind gerade die **Be- und Entfeuchtung** der Luft mit **sehr hohen Kosten** verbunden, sodass diese Optionen meist nicht zur Anwendung kommen.

Der Nutzen einer richtig eingestellten Luftfeuchtigkeit ist allerdings unbestritten ⁶.

Im **Sommer** gehen hohe Feuchten mit einem **deutlichen Komfort- und Leistungsverlust** einher.

Im **Winter** führen niedrige relative Luftfeuchtigkeiten zu **trockenen Schleimhäuten** und **trockenen Augen**.

⁶ Rewitz, K., Seiwert, P., Nienaber, Einfluss der Luftfeuchte auf den Menschen, Literaturstudie zu einschlägigen wissenschaftlichen Studien zum Einfluss der technischen Luftbefeuchtung auf den Menschen, RWTH 2020

Wärmerückgewinnung (WRG) ist eine **Effizienzmaßnahme** in RLT-Anlagen.

Neben den **Investitionsaufwendungen** müssen vorwiegend die **Elektroenergiekosten** zum Betrieb der Anlage als **Aufwand** berücksichtigt werden. Der **Nutzen der WRG** liegt in der **Reduktion des Primärenergieaufwands zum Heizen und Kühlen** des geförderten Außenluftvolumenstroms.

Mit der WRG lassen sich thermische Übertragungsgrade von **0,7 bis 0,8** sinnvoll darstellen. Die **Jahresarbeitszahl** nach DIN EN 13053 von WRG-Systemen liegt üblicherweise in einem Bereich von **10 bis 20**.

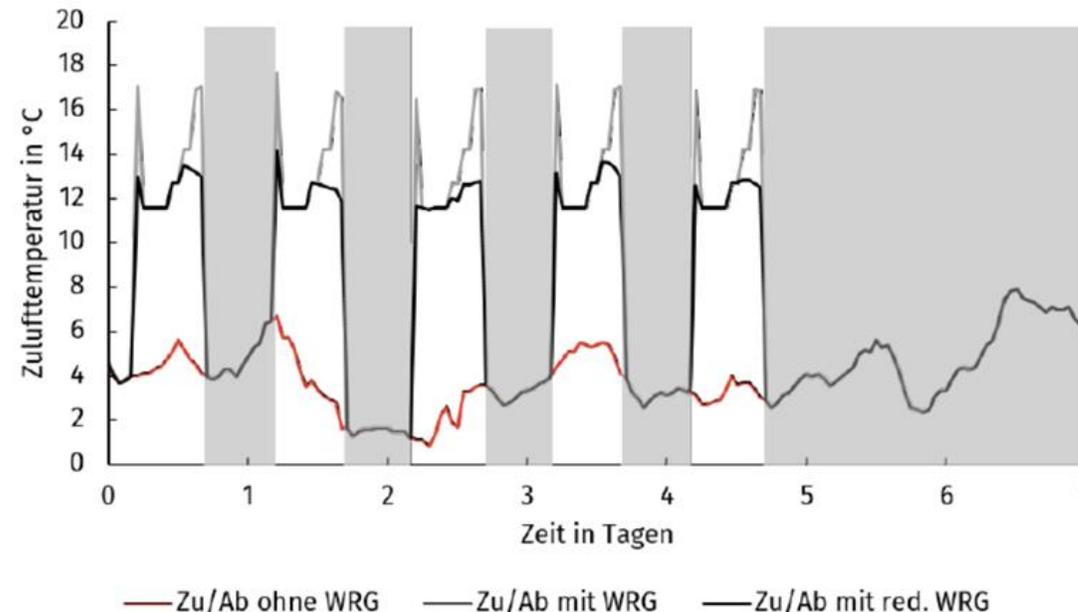
Es ist energetisch sinnvoller, Abwärme mit höherem Temperaturniveau durch WRG direkt zu nutzen, statt Energie z. B. mittels elektrischer Wärmepumpen aus einem niedrigeren Umwelttemperaturniveau neu zu generieren oder primärenergetisch erzeugte Wärme zu nutzen. Da bei der Abwärmenutzung durch WRG die Abwärme zeitlich mit dem Bedarf an Wärme zusammenfällt, ist WRG auch eine **nachhaltig nutzbare Energieressource**, die immer dann zur Verfügung steht, wenn Wärme benötigt wird. Es besteht also **keine Zeitverschiebung zwischen Angebot und Nachfrage**.

Die zurückgewonnene Wärme wird meist dem Ursprungsprozess zugeführt.
Der Nettonutzen der WRG kann sowohl **monetär**, als auch **ökologisch als CO₂-Einsparung** bewertet werden.

Zur wirtschaftlichen Bewertung der WRG ist die Bilanzgrenze zu vereinbaren. Gemäß VDI 3803 Blatt 5 kann die **Bilanzgrenze** unterschiedlich gezogen werden. Im Regelfall wird eine **RLT-Anlage mit und ohne WRG** bewertet, da die RLT-Anlage nicht alleine zur Nutzung einer WRG installiert wird, sondern neben der Funktion der WRG auch weitere Aufgaben übernimmt (s. o.).

Wir die **gesamte RLT-Anlage** in die **Bilanzgrenze** einbezogen, kann die WRG die gesamte Anlage nicht alleine finanzieren. Aber die WRG trägt einen Anteil zur Finanzierung der Gesamtanlage bei. Trotz des dann erhöhten „grauen“ CO₂-Aufwandes für das RLT-Gerät werden immer noch rund **0,5 bis 1 Tonne CO₂ pro 1.000 m³/h** eingespart.

Eine immer wieder genannte Argumentation zur **Heizgrenze von 12 °C** und deren Bedeutung bei der Nutzung der WRG ist nicht gleichzusetzen mit einer zu tolerierenden **Zulufttemperatur von 12 °C!** Deshalb können Heiztage nicht mit dem Bedarf der Lüftung und dem Beitrag der WRG gleichgesetzt werden. **Lüftungswärmeverluste** werden durch die WRG auch bei Temperaturen über 12 °C (**bis rund 18 bis 20 °C**) ausgeglichen.



Häufig wird argumentiert, dass die WRG nur unter 12 °C (Heizgrenze) einen Beitrag liefern kann. Hinter der 12 °C-Annahme steht die Hypothese, dass **innere Lasten** (z. B. Personen) und **Solarstrahlung** eine **Temperatur-Erhöhung von 8 K** verursachen. Damit wären die **Transmissionswärmeverluste ausgeglichen**. Nicht jedoch die **Lüftungswärmeverluste**.

Es darf aber nicht übersehen werden, dass eine **Reduktion der Lüftungsverluste** nicht durch einen **Ausgleich der Transmissionsverluste durch die internen und solaren Gewinne** erfolgen kann. Somit behält die WRG auch oberhalb von 12 °C einen beachtlichen Nutzen.

In der Regel kann bei Nutzung einer WRG bei Außenlufttemperaturen ab ca. 0 °C und darüber auf eine zusätzliche Lufterwärmung vollständig verzichtet werden.

In **Deutschland** wird üblicherweise die **Heizgrenze** bei **15 °C** und die **Innentemperatur** bei **20 °C** angenommen (HG 20/15)⁷.

⁷ DIN 4108 T6 Wärmeschutz in Gebäuden und VDI 2067 Raumheizung: Berechnung der Kosten von Wärmeversorgungsanlagen

	Fensterlüftung	Abluftunterstützte Fensterlüftung	Raumlufttechnik mit WRG	Luftreiniger
Luftaustausch	vom Dichteunterschied und Winddruck abhängig	unterstützt durch kontrollierten Abluftstrom	Zu- und Abluft werden maschinell und kontrolliert eingebracht	Kein Luftaustausch, da Umluftbetrieb (keine Frischluft, nur Reinigung)
Temperaturabhängigkeit	hoch, da Dichteunterschied von der Temperatur abhängt	mittel, da Abluftventilator unterstützt	gering bis nicht vorhanden da Menge kontrolliert und temperiert	Keine
Regelung	Manuell, Fenster zu, Kipp oder offen Stoß oder Dauerlüftung	Manuell, Fenster zu, Kipp oder offen Ventilator an/aus o. drehzahl geregelt	Ventilatoren an/aus oder drehzahl geregelt (z. B. nach CO ₂)	Meist manuell nach Belegung Luftmenge teilweise nach CO ₂ geregelt
Eingriff durch Nutzer	wenn Fenster zu öffnen hoch	wenn Fenster zu öffnen hoch	gering, da meist Bedienung automatisch	Je nach Belegung nötig
Fehlverhalten durch Nutzer	Leicht möglich, da Fenster geschlossen werden, wenn Komfort unbehaglich Luftaustausch bei geschlossenen Fenstern nicht mehr gegeben	Leicht möglich, da Fenster geschlossen werden, wenn Komfort unbehaglich Luftaustausch bei geschlossenen Fenstern nicht mehr gegeben - Luftaustausch zu Räumen möglich (Querkontamination)	kaum möglich, da Bedienung durch Nutzer meist gesperrt oder Bedienung durch Nutzer in klaren Grenzen definiert sind	Möglich durch falsche Einstellung (Stufen)
Nutzerakzeptanz	hoch, da Eingriff bei zu öffnenden Fenstern möglich und niedrig, wenn der Komfort unbehaglich wird	hoch, da Eingriff bei zu öffnenden Fenstern möglich und niedrig, wenn der Komfort unbehaglich wird	mittel, da Nutzer meist keine oder wenige Eingriffsmöglichkeit haben	hoch, da Eingriff bei zu öffnenden Fenstern möglich
Nachströmung	Durch geöffnetes Fenster, wenn nicht geschlossen	Durch geöffnetes Fenster, wenn nicht geschlossen	kontrolliert durch Zuluftventilator	Systembedingt keine

	Fensterlüftung	Abluftunterstützte Fensterlüftung	Raumlufttechnik mit WRG	Luftreiniger
Lufterwärmung	Keine bzw. durch statische Heizflächen im Raum	Keine bzw. durch statische Heizflächen im Raum	Vorerwärmung durch WRG und bei Bedarf durch stat. Heizflächen im Raum oder Erwärmer in der RLT	Keine, bzw. nur durch Abwärme
Luftkühlung	Keine bzw. durch statische Kühlflächen im Raum (meist nicht vorhanden)	Keine bzw. durch statische Kühlflächen im Raum (meist nicht vorhanden)	Kühlung durch WRG möglich und bei Bedarf durch stat. Kühlflächen im Raum oder Kühler in der RLT Kühlung durch indirekte Verdunstungskühlung über die WRG ohne Kältemaschine möglich	systembedingt keine Kühlung
Wärmerückgewinnung	Keine	Keine	bis 80 % RWZ ökologisch sinnvoll	nicht erforderlich, da Umluft
Ökonomie	Schlecht, da Nutzwärme aus dem Fenster entweicht Weitere Kosten sind nicht vorhanden, da Fenster sowieso vorhanden sind	Schlecht, da Nutzwärme aus dem Fenster entweicht Schlechter als reine Fensterlüftung, da Abluftanlage investiert werden muss	bezogen auf WRG sehr positiv, insbesondere da die Wärme- und Kälteversorgung verringert werden kann Schlechter wenn die komplette RLT durch die WRG "finanziert" werden soll ergeben sich meist negative Kapitalwerte (Kosten entstehen)	positiv, da Wärme nicht beeinflusst wird
Ökologie	Schlecht, da Nutzwärme aus dem Fenster entweicht keine CO ₂ -Reduktion	Schlecht, da Nutzwärme aus dem Fenster entweicht keine CO ₂ -Reduktion	Sehr gut, da die CO ₂ -Bilanz trotz RLT-Anlage positiv ist CO ₂ -Einsparung rund 1 to. pro Klassenraum (ca. 1.000 m ³ /h)	Mittel, da keine Wärme oder Feuchte beeinflusst wird (nur graue CO ₂ -Emission)
zusätzliche Kosten	Keine	ca. 2.000 €	ca. 13.000 €	ca. 4.000 €

	Fensterlüftung	Abluftunterstützte Fensterlüftung	Raumlufttechnik mit WRG	Luftreiniger
Komfort	eingeschränkt, da im Winter unbehandelte Luft einströmt Zugerscheinungen insbesondere bei kalter Luft möglich	eingeschränkt, da im Winter unbehandelte Luft einströmt Zugerscheinungen insbesondere bei kalter Luft gegeben	gegeben, da Temperierung gegeben	kein Einfluss auf Komfort Zugerscheinungen möglich, da Einpunktquelle
Filterung	Keine	Keine (bei Verwendung von Abluft ist normativ keine Zuluftfilterung erforderlich)	Nach VDI und Normen ISO ePM1 60 % erforderlich	Sehr gut, meist HEPA min. H13
Lüftungseffektivität	eingeschränkt, da Luftaustausch unkontrolliert	hoch, da meist Quelllüftung (bei Untertemperatur) vorherrscht je nach Außenlufttemp. kann Mischlüftung entstehen	sehr hoch, da Quelllüftung immer gewährleistet werden kann bei Bedarf ist auch Mischlüftung kontrolliert möglich	niedrig da Mischlüftung (Einpunktquelle im Raum, keine Untertemperatur möglich)
CO₂-Reduktion im Raum	Bei geöffnetem Fenster je nach Temperatur gut	Gut, je nach Luftmenge	Gut, je nach Luftmenge	Schlecht, CO ₂ -Reduktion systembedingt nicht möglich
Schalldämpfung	nur bei geschlossenem Fenster (keine Lüftung!)	nur bei geschlossenem Fenster (keine Lüftung!) Bei geschlossenem Fenster Querkontamination möglich	durch raumorientierte Schalldämpfer gut	nur bei raumorientierten Schalldämpfern gut Schalldämpfer werden oft nicht berücksichtigt, dann schlecht
Brandschutz	sehr gut, da keine zus. Brandlasten	schlecht, da zus. Brandlasten durch Kunststoffe entstehen	sehr gut bei zentralen Anlage mittel bei dezentralen Anlagen durch geringe Erhöhung der Brandlasten (Verwendung Metalle)	mittel durch geringe Erhöhung der Brandlasten (Verwendung von Metallen) schlecht bei Verwendung von Kunststoffen



HOWATHERM 

HERZLICHEN DANK

technikwissen@howatherm.de

ZEIT für Ihre FRAGEN und ANREGUNGEN