Bundesministerium
Klimaschutz, Umwelt,
Energie, Mobilität,
Innovation und Technologie

klimaaktiv

klimaaktiv.at
bmk.gv.at

Lüftung in Schulen

Technische Herausforderungen und Lösungen

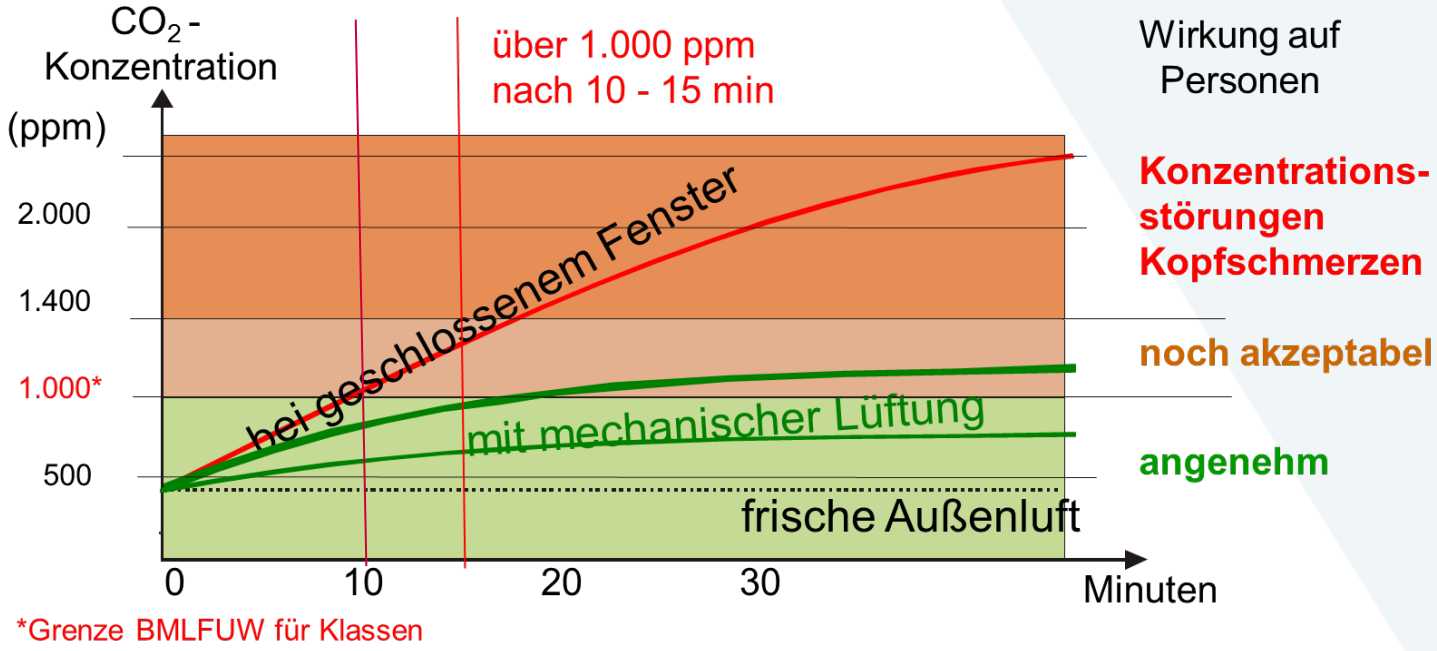
Andreas Greml
Obmann Verein komfortlüftung.at

komfortlüftung.at
gesund & energieeffizient

Vortragsinhalte

- Technische Herausforderungen
- Lüftungslösungen
- Vereinfachte Wirtschaftlichkeitsbetrachtung
- Zusammenfassung Erfolgsfaktoren

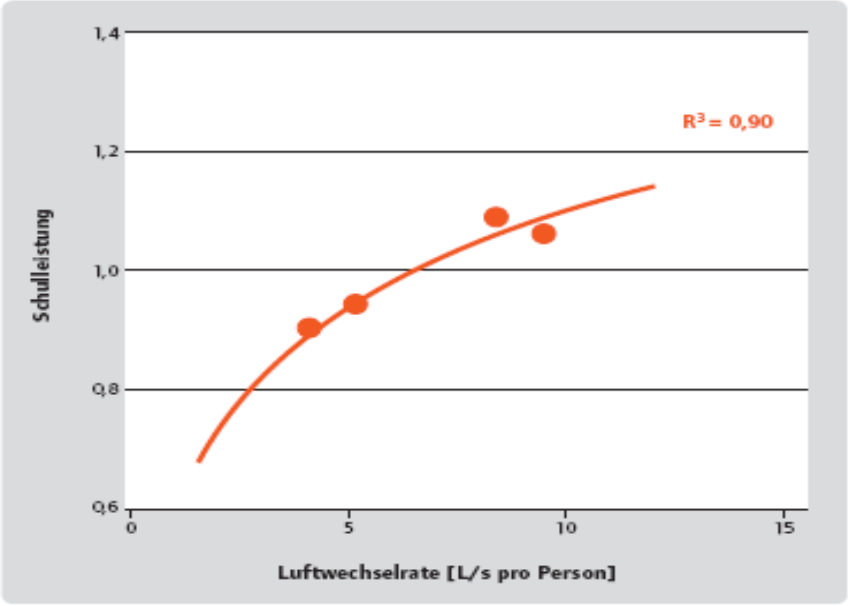
Lerngerechte CO2-Konzentration



*Grenze BMLFUW für Klassen

Quelle: komfortlüftung.at

Leistungssteigerung bei guter Luft



Leistung Schularbeit abhängig von Luftwechselrate

5 L/s = 18 m³/h
10 L/s = 36 m³/h

Quelle: Bjarne W. Ohlsen

Bessere Luftqualität - Geringere Grippe-Ansteckungen

Keimzahl und CO_2 gehen einher - Krankheitsübertragung steigt mit CO_2 Gehalt

Klasse mit 30 Personen (Untersuchung Rudnick und Milton 2003)

Grippeansteckungen:

1.000 ppm	5 Ansteckungen
2.000 ppm	12 Ansteckungen
3.000 ppm	15 Ansteckungen

Subbotina Anna/shutterstock.com

Technische Herausforderungen

1. Ausreichende Luftmengen
2. Luftfeuchte
3. Zugfreiheit
4. Schall
5. Stromeffizienz

61 Qualitätskriterien für Klassenzimmerlüftungen von komfortlüftung.at

Luftqualität: Richtwerte – BM für Klimaschutz,..

Tabelle 7: Richtwerte und Ziele für die Raumluftqualität, Konzentrationsangaben der CO_2-Konzentration in ppm

Klasse	Beschreibung	Arithmetischer Mittelwert der Momentanwerte für CO_2 [ppm]
Klasse 1	Ziel für Innenräume für den dauerhaften Aufenthalt von Personen	≤ 800
Klasse 2	Richtwert für Innenräume für den dauerhaften Aufenthalt von Personen, in denen geistige Tätigkeiten verrichtet werden bzw. die zur Regeneration dienen	≤ 1000
Klasse 3	Allgemeiner Richtwert für Innenräume für den dauerhaften Aufenthalt von Personen	≤ 1400
Klasse 4	Richtwert für Innenräume mit geringer Nutzungsdauer durch Personen	≤ 5000
Außerhalb der Klassen	Für die Nutzung durch Personen nicht akzeptabel	> 5000

Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft des BMK

Fensterlüftung

Zeit bis Momentanwert 1.000 ppm CO2 - ideales Lüften:	16	Minuten	Startwert [ppm]:	450
Zeit bis Stundenmittelwert 1.000 ppm CO2 - ideales Lüften:	33	Minuten	Startwert [ppm]:	450
Zeit bis Momentanwert 1.000 ppm CO2 - ideales Lüften:	12	Minuten	Startwert [ppm]:	600
Zeit bis Stundenmittelwert 1.000 ppm CO2 - ideales Lüften:	24	Minuten	Startwert [ppm]:	600
Zeit bis Momentanwert 1.000 ppm CO2 - ideales Lüften:	7	Minuten	Startwert [ppm]:	750
Zeit bis Stundenmittelwert 1.000 ppm CO2 - ideales Lüften:	15	Minuten	Startwert [ppm]:	750

Klasse 70 m², 3,2 m Raumhöhe, 1 Erw. stehend, 25 Kinder sitzend
durchschnittlich undichte Fenster

Luftmengen

Qualitätskriterium 2 (M)	Anforderung
Mindestluftmengen pro Schüler für die Auslegung (ergeben sich aus der max. CO_2-Anforderung von Kriterium 1) Es ist zulässig, diese Werte im Betrieb zur Feuchteregelung zu unterschreiten.	Altersabhängige Rate*: für ca. 1.000 [ppm] für Zielwert ca. 800 [ppm] 0–6 28 [m³/h] 42 [m³/h] (z.B. Kindergarten) 6–10 25 [m³/h] 38 [m³/h] (z.B. Volksschule) 10–14 32 [m³/h] 47 [m³/h] (z.B. Hauptschule) 14–19 33 [m³/h] 49 [m³/h] (z.B. AHS, BHS) über 19 36 [m³/h] 53 [m³/h] (z.B. FH, UNI,..) Lehrperson 42 [m³/h] 62 [m³/h] * Aktivitätsgrad 1,2met für Schüler, 1,4met für Lehrer und 2,0 für Kindergartenkinder

- Achtung: Luftmengen sind für den Winterfall
- Zusätzliche Möglichkeit der Fensterlüftung immer notwendig (Übergangszeit, Sommer)

Entscheidungshilfe: Teil- oder Volllüftung

- Empfehlung: Luftmenge so, dass man ohne zusätzliche Fensterlüftung während der Stunde auskommt (max. 1.000 ppm CO_2).
  - Teilbelüftung führt eher zu Unzufriedenheit bzw. bedarf eines erhöhten „Informationsflusses"
  - Die Mehrkosten einer Volllüftung gegenüber einer Teillüftung sind relativ gering
  - 800 ppm CO_2 bedeuten deutlich höhere Luftmengen und machen im Hochwinter zusätzliche Maßnahmen für die Feuchte notwendig

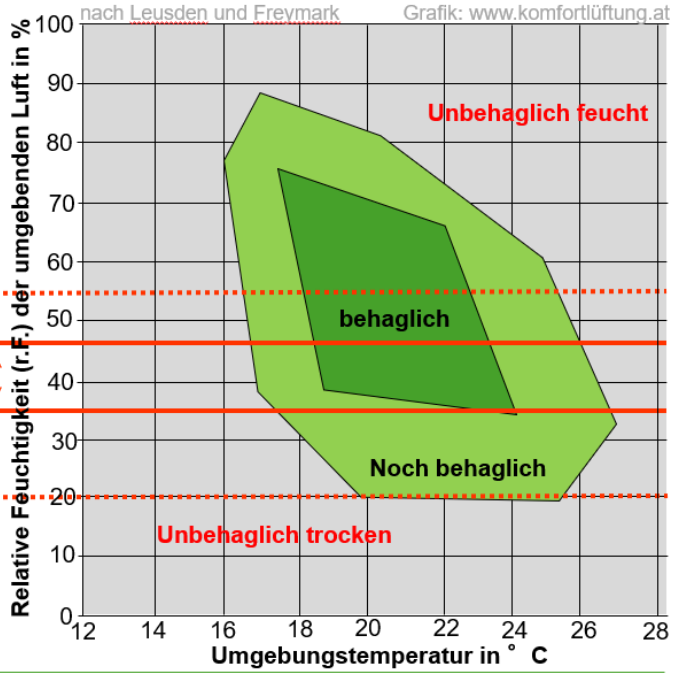
- Empfehlung: Alle Gebäudebereiche einbeziehen (Lehrerzimmer, Gänge, Garderoben, ..)
  - Kaskade Nutzen: z.B. Klassenzimmer – Gang – Garderobe und Nassräume bzw. Aula

Luftfeuchte

Bauphysikalische Obergrenze
(Kondensat, Schimmel…)
ca. 45% bis 55%

Ideal 35% bis 45% r.F.

Behaglichkeitsuntergrenze des
Menschen 20%



Ohne Feuchterückgewinnung und Anpassung der Luftmengen an den Bedarf (Klassenweise CO_2-Regelung) ist im Winter trockene Luft vorprogrammiert.

61 Qualitätskriterien - Luftfeuchte

Qualitätskriterium 3 (M)	Anforderung
Ausreichende Luftfeuchte auch im Winter, bzw. bei sehr niedrigen Außentemperaturen	Anzustrebender Bereich: 30 bis 45 % r.F. Es ist sicherzustellen, dass auch bei sehr kalten Außentemperaturen folgende relative Luftfeuchtigkeiten nicht unterschritten werden: • Von 0°C bis -10°C Tagesmitteltemperatur dürfen die 30% r.F. pro °C unter Null °C um 1% unterschritten werden. • unter 20% soll die relative Feuchte nicht abfallen.

- Empfehlung: Feuchterückgewinnung – aktive Befeuchtung möglichst vermeiden

Art der Wärmerückgewinnung

Wünschenswert: Regelbarer WT mit Feuchterückgewinnung

- Regelbarkeit bzw. Umgehungsmöglichkeit der Wärmerückgewinnung (WRG nicht immer erwünscht)
- Feuchterückgewinnung – kein Kondensat, höhere Luftfeuchte
- Wärmerückgewinnung möglichst so hoch, dass keine Nacherwärmung notwendig ist

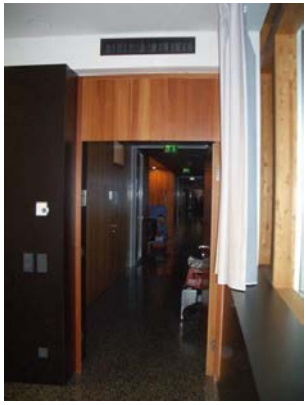
- Plattenwärmetauscher mit Feuchterückgewinnung und Bypass - meist für Einzelgeräte
- Rotationswärmetaucher mit Feuchterückgewinnung - meist für Zentralgeräte
  - Mit speziellen Beschichtungen, Spülspalt und richtigen „Druckverhältnissen" (insbes. bei Einbeziehung von WC)

61 Qualitätskriterien - Wärmerückgewinnung

Qualitätskriterium 27 (M)	Anforderung
Effiziente Wärmerückgewinnung	Zuluftseitiger Temperaturänderungsgrad* (OIB 2019) gemäß ÖNORM B 8110-6-1 inkl. Feuchtezuschlag (Formel 19b) über 85% Zielwert: > 90%

Ziel: ohne Nacherwärmung im Lüftungsgerät auszukommen
Vorgabe: Umgehung des Wärmetauschers muss möglich sein - Übergangszeit

Zugfreiheit benötigt meist kein aufwändiges Verteilsystem



Quelle: komfortlüftung.at

Quellluftauslass

Induktion

Relativ Aufwändig

Quelle: komfortlüftung.at

Perforierter Folientunnel oder Rohr

Perforierung kann individuell angepasst werden

Quelle: Durrer-Technik

Drallauslässe

Bedingen relativ hohen Verrohrungsaufwand

Mit oder ohne Luft-Verteilsystem?

Mit:

Ohne:

Nach einer Minute mit und ohne Verteilung volle Durchmischung

61 Qualitätskriterien - Schallanforderungen

Qualitätskriterium 4 (M)	Anforderung
Geringer A-bewerteter Schalldruckpegel $L_{A,eq}$ und Beschränkung des tieffrequenten Anteiles im Klassenzimmer sowie geringe Schallbelastung im Außenbereich *Achtung: Werte liegen über der B 8115-2 und bedürfen bei zentralen Anlagen einer besonderen vertraglichen Fixierung.	a) Im Klassenzimmer: max. 25 [dB(A)] bei sehr hohen Anforderungen (z.B. Musikräume) max. 30* [dB(A)] bei hohen Anforderungen (gute Eignung für Wahrnehmung schwieriger oder fremdsprachlicher Texte – z.B. Klassenräume) max. 35* [dB(A)] bei mittleren Anforderungen (nur bedingte Eignung für Wahrnehmung schwieriger oder fremdsprachlicher Texte – z.B. Werkräume) max. 30* [dB(A)] für Lehrerzimmer
	b) Zur Beschränkung der tieffrequenten Anteile darf die Differenz zwischen A- und C-Bewertung nicht mehr als 20 [dB] betragen.
	c) Beschränkung der Schallbelastungen im Außenbereich gemäß ÖNORM S 5021 bzw. ÖAL Richtlinie 3

- Teils zu milde Anforderungen in EN 16798 (EN 13779) bzw. ÖNORM H 6039

61 Qualitätskriterien - Stromeffizienz

Qualitätskriterium 28 (M)	Anforderung	
Geringe Stromaufnahme der Ventilatoren, bzw. der gesamten Anlage beim Betriebsluftvolumenstrom und reinen Filtern	b) Dezentral: Spezifische Leistungsaufnahme der gesamten Anlage max. 0,40 W/(m³/h) Zielwert: max. 0,25 W/(m³/h)	b) Zentral: Spezifische Leistungsaufnahme der gesamten Anlage max. 0,45 W/(m³/h) Zielwert: max. 0,35 W/(m³/h) und Optimierung über Lebenszyklusrechnung

- Stromeffizienz ist teilweise ein Schwachpunkt von zentralen Anlagen
- Variable Druckregelung in Schulen spart ca. 40% Strom

Lüftungslösungen

1. Händische Fensterlüftung
2. Automatische Fensterlüftung
3. Reine Umluftsysteme (für Pandemiezeiten)
4. Hybridsystem bzw. Zwitter (Frischluft + Umluft)
5. Klassenweise Lösungen
6. System mit aktiven Überströmern (Gesamtgebäude oder Teilbereiche)
7. Zentrale Anlagen (Gesamtgebäude oder Teilbereiche)

Händische Fensterlüftung

Funktioniert bei:

1. ausreichend öffenbaren Fenstern
2. gemäßigten Außentemperaturen
3. ruhiger Umgebung
4. geklärter Aufsichtspflicht

Dies ist jedoch nur für einen Teil der Schulen bzw. Unterrichtstunden gegeben.

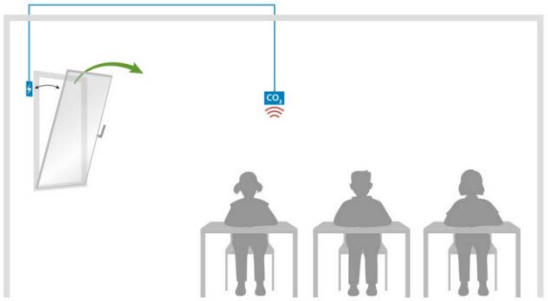
Vernachlässigt:

1. Klimaschutz – keine Wärmerückgewinnung
2. Praktikable Umsetzung

Händische Fensterlüftung im Winter wirklich praktikabel?

Lernen mit Decke: Und selbst jetzt frieren Schüler an der Grundschule Schröttinghausen immer noch - aber stetiges Lüften ist das einzige, was ihre Lehrerin Janina Koppermann gegen Aerosole tun kann. | © Sarah Jonek

Automatische Fensterlüftung



Quelle: www.wesco.ch

Funktioniert bei:

1. gemäßigten Außentemperaturen
2. ruhiger Umgebung

Funktioniert teilweise nicht zufriedenstellend wenn:

1. Temperaturen unter ca. 5°C – Behaglichkeit in der Fensterreihe?
2. Wenn keine ausreichende Heizleistung eingebaut ist

Vernachlässigt: Klimaschutz - keine Wärmerückgewinnung
Vorteil: Sommerliche Nachkühlung möglich

Reine Umluftsysteme als Unterstützung für Pandemiezeiten

Luftwechsel- bzw. Umwälzraten-Berechnungen* für TAC V+ und TAC M

Max. Luftvolumenstrom für die jeweilige Filterklasse:

mit serienmäßig eingebautem H14-HEPA-Filter	H14 bis 1.200 m³/h	H13 bis 1.800 m³/h
mit optionalem Ultra-HighFlow-H14-HEPA-Filter	H14 bis 2.000 m³/h	H13 bis 2.200 m³/h

Einsatzgebiete	Umwälzrate* / Anzahl der Luftwechsel (mind.)
Besprechungsräume, Büros, Geschäftsräume, Schulen, Kitas, Restaurants, Salons, Werkstätten, Fitnessstudios, Chorräume…	Umwälzrate* von mind. **6-fach** pro Stunde. Bei hoher Personendichte oder Aktivität ist mind. eine **8-fache Umwälzrate*** empfohlen.
Therapieräume, Gymnastikräume, Bars, Diskotheken, Festzelte, Callcenter…	Umwälzrate* von mind. **8-fach** pro Stunde. Bei hoher Personendichte oder Aktivität ist mind. eine **8- bis 10-fache Umwälzrate*** empfohlen.
Krankenstationen, Arztpraxen, Wartezimmer…	Umwälzrate* von mind. **12-fach** pro Stunde. Bei hoher Personendichte oder Aktivität ist mind. eine **12- bis 15-fache Umwälzrate*** empfohlen.

Quelle: Trotec

- Liefern keine Frischluft – außerhalb von Pandemiezeiten kein Nutzen
- Zumindest mit H 13 Filter
- Geräte mit UV-Entkeimung werden kontroversiell diskutiert
- Kosten pro Klasse ca. € 3.500,-- bis 4.500,--

Hybridsystem: Umluft und Frischluft

Gesamtluftmenge: ca. 800 m³/h
Frischluftmenge: ca. 300 m³/h
Schallwerte: < 40 dB(A) (deutlich über Anforderungen OIB 2019)

Quelle: Viessmann

- Frischluftmenge für „normale Zeiten" zu gering
- Vorteil: Durch hohen Umluftanteil keinerlei Nacherwärmung notwendig

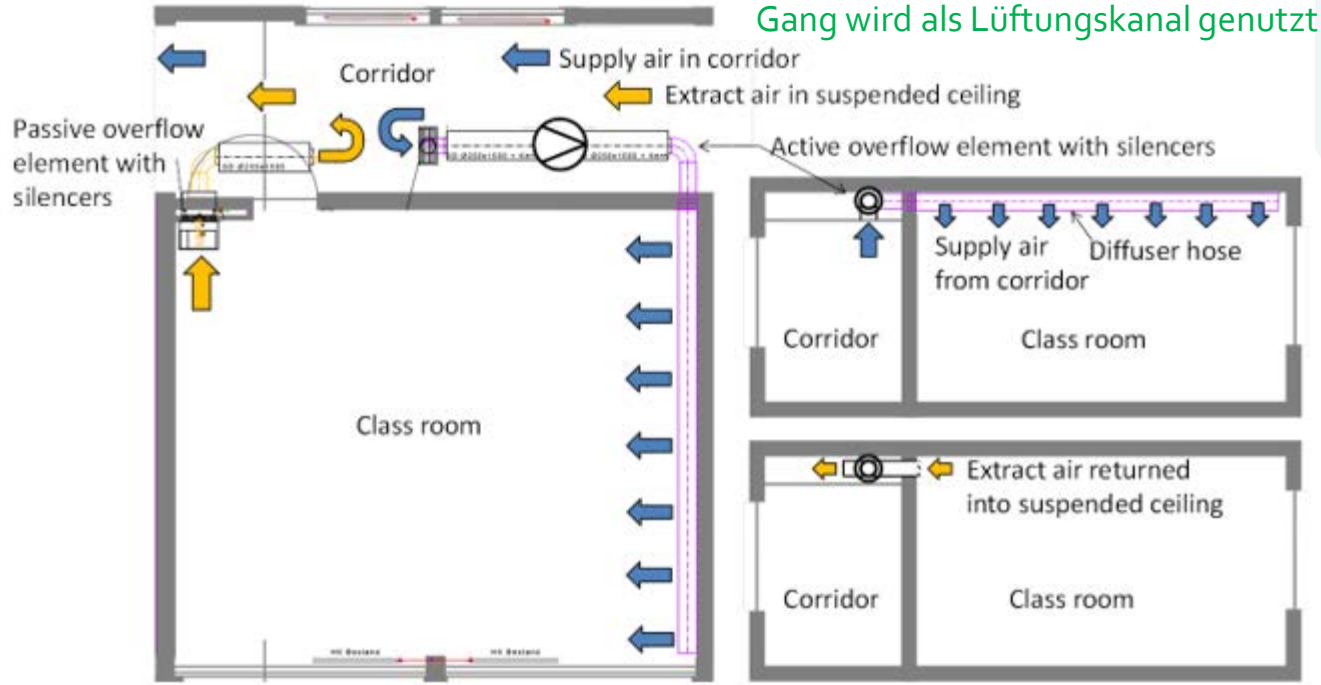
Klassenweise Lösung mit Wärmerückgewinnung

Quelle: Drexel und Weiß

- Luftmengen meist an der unteren Grenze (ca. 600 m³/h)
- Geräte mit Feuchterückgewinnung bevorzugen (höhere Luftfeuchte, kein Kondensat)
- Nachheizung je nach Einbringung teilweise notwendig
- Es gibt auch Geräte mit Kühlmöglichkeit

Zentrales System mit aktiven Überströmern

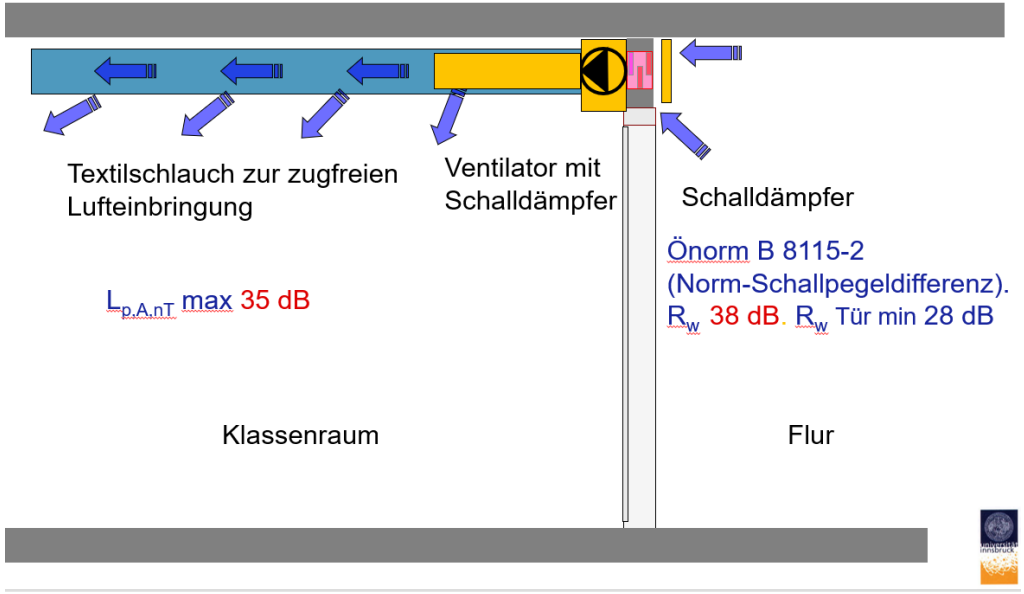
Gang wird als Lüftungskanal genutzt



- V: Deutlich geringerer Verrohrungsaufwand
- N: In das Klassenzimmer kommt Mischluft aus dem Gangbereich

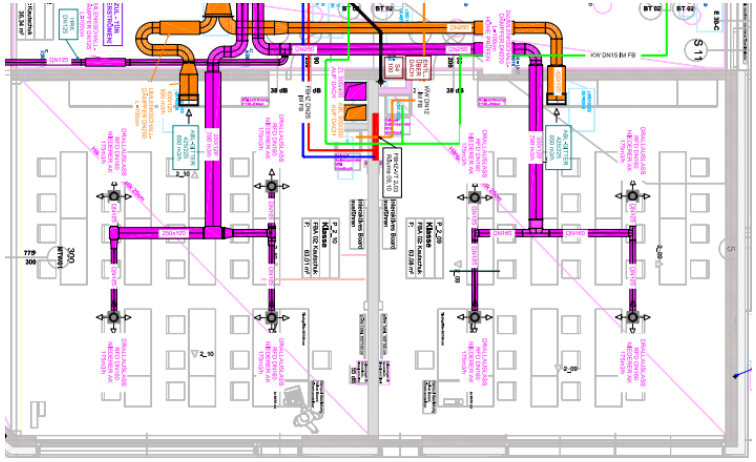
Quelle: UNI Innsbruck

Zentrales System mit aktiven Überströmern



Quelle: UNI Innsbruck

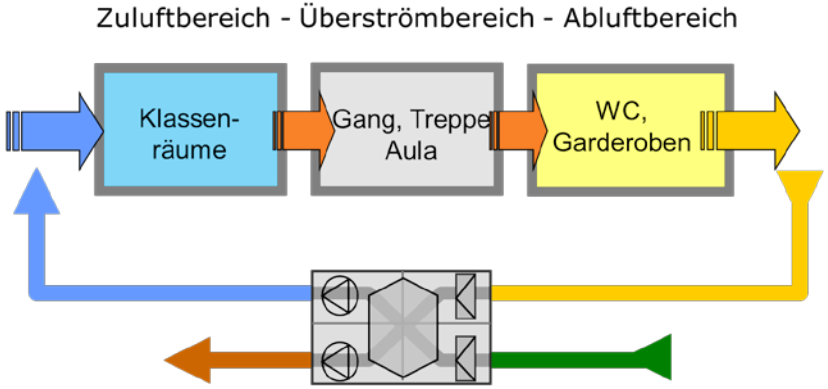
Zentrales System mit Zu- und Abluft in jeder Klasse



Quelle: komfortlüftung.at

- Es muss immer jeder Klassenraum individuell geregelt werden können (z.B. CO_2)
- Hoher Verrohrungsaufwand
- Keine Mischluft in den Gängen – diese müssen aber eigens belüftet werden
- Empf: Zentralgerät mit Feuchterückgewinnung und variabler Druckregelung

Zentrales System mit optimierter Kaskade

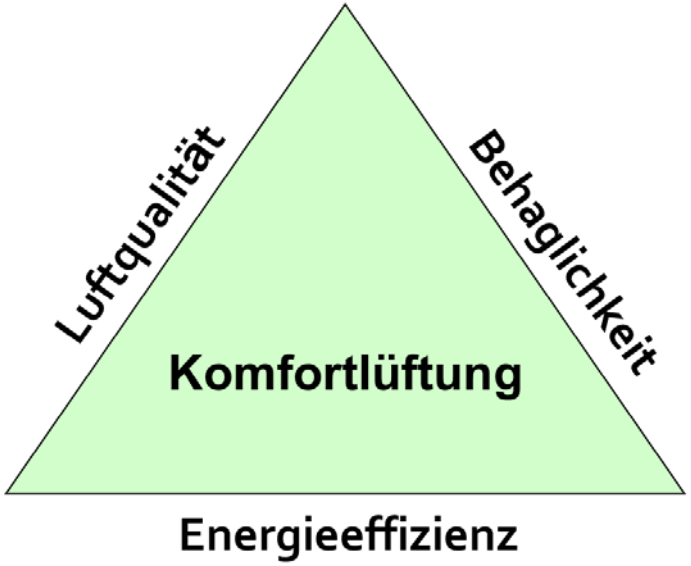


Quelle: komfortlüftung.at

- Optimierte Kaskade, CO_2-Regelung und Lüftungsgeräte mit Feuchterückgewinnung verhindern trockene Raumluft.

- Es muss immer jeder Klassenraum individuell geregelt werden können (z.B. CO2)
- Geringerer Verrohrungsaufwand gegenüber Zu- und Abluft in der Klasse
- Mischluft in den Überströmbereichen
- Empf: Zentralgerät mit Feuchterückgewinnung und variabler Druckregelung

Luftqualität - Behaglichkeit - Klimaschutz



Wer diese drei Aspekte unter einen Hut bringen möchte kommt um Systeme mit Wärmerückgewinnung nicht vorbei!

komfortlüftung.at
gesund & energieeffizient

Vereinfachte Kostenbetrachtung

klimaaktiv.at
bmlfuw.gv.at

Kosten

Annahmen:

- Ca. € 10.000,-- pro Klasse Investitionskosten (zentrale Anlage) bzw. € 15.000,-- (Einzelraumlösung)
- Energieersparnis und laufende Betriebskosten bzw. Instandhaltungsarbeiten halten sich die Waage
- Lebensdauer der Anlage 20 Jahre
- 25 Schüler pro Klasse

Eine lerngerechte Luftqualität kostet ca. € 20,-- bzw. € 30,-- pro Schüler und Jahr

- Ca. 20 € - € 30 pro Jahr und Schüler für einen guten Lernerfolg unserer Kinder sollten wir uns leisten
- Gesunde Luftverhältnisse, Umweltentlastung, bessere Arbeitsbedingungen für LehrerInnen gibt es kostenlos dazu.

Betrachtung inkl. Leistungssteigerung

- Leistungssteigerung mit 5 % ansetzt (untere Grenze)
- 1.200 Unterrichtseinheiten pro Jahr
- 5% verlorene Unterrichtszeit ohne Lüftung entspricht 60 Std. pro Jahr
- Kosten pro Unterrichtseinheit von € 50,-- (untere Grenze – nur LehrerIn)

- Schaden durch Leistungsreduktion pro Jahr ohne Lüftungsanlage: 3.000,--
- Amortisationszeit der Lüftungsanlage: < 4 bzw. 5 Jahre

Bei Einrechnung der Leistungssteigerung lässt sich eine Klassenzimmerlüftung immer auch wirtschaftlich argumentieren.

Nachteile

- Platzbedarf
- Investitionskosten von:
  - Zentral: € 8.000 – 12.000 pro Klasse
  - Dezentral € 12.000 – 20.000 pro Klasse
- Betriebskosten (Strom, Filter, Wartung,..)
- Bei unsachgemäßer Ausführung und Betriebsweise:
  - Lärmquelle
  - Trockene Luft
  - Hohe Stromkosten
  - Optisch eventuell störend
- Diskussionsbedarf - Vorurteile seitens Lehrer, Schüler, Hauswarte,..
- ...

Vorteile Klassenzimmerlüftung

- Frischluftansaugung frei wählbar (nicht von der Straßenseite)
- Gefilterte Außenluft (Staub, Pollen,…)
- Gesunde Luftverhältnisse, Leistungssteigerung von 5-9%
- Energieersparnis bei den Lüftungsverlusten
- Leistungszahl (Wärmeeinsparung/Stromaufwand) über 5
- Bei gekühlten Schulen – Reduktion der notwendigen Kühlenergie
- Sommerliche Nachkühlung möglich – jedoch energetisch nur bedingt zu empfehlen
- Fast Nullenergie bzw. PH-Standard ohne Lüftung mit Wärmerückgewinnung nicht erreichbar
- Fenster können im Winter geschlossen bleiben – müssen es aber nicht!
- Sicherheit (Fensterstürze)
- Weniger Arbeit für den Hausmeister (offene Fenster schließen)
- Keine Lärmbelästigung beim Lüften von außen
- …

Erfolgsfaktoren für Klassenzimmerlüftungen

- Sie benötigen zumindest einen überzeugten Mitstreiter in der Schule bzw. Gemeinde
- Fenster müssen öffenbar bleiben (Psychologie, Übergangszeit, zus. Pausenlüftung..)
- Optimierte Lüftungskaskade (Klassenräume – Gänge – Aula (Umkleiden, Nassräume) spart Luftmengen und Kosten
- Wenn möglich zentrale Lösung anstreben (Investitionskosten, Wartungskosten, Kaskade, Schall,...)
- Luftqualität von 1.000 bis 1.400 ppm CO2 – dies wird noch nicht als „gute" Luftqualität empfunden. Luftleitungen möglichst so auslegen, dass sie auch 800 ppm CO2 erreichen könnte.
- Geräte mit Feuchterückgewinnung einsetzen (Folienwärmetauscher oder Rotationswärmetauscher mit Sorptionsbeschichtung und Spülzone)
- Klassenweise CO_2-Regelung und Feuchterückgewinnung verhindert trockene Luft
- CO_2-Regelung und variable Druckregelung verhindert hohe Stromverbräuche
- Dachzentralen sind meist die effizienteste und günstigste Lösung für zentrale Anlagen
- ...

61 Qualitätskriterien

- In Abstimmung mit der ÖNORM H 6039 bzw. der EN16798-3 (EN 13779)

- Unterscheidung zwischen zentralen und dezentralen Systemen

61 Qualitätskriterien

Infos

Bundesministerium
Klimaschutz, Umwelt,
Energie, Mobilität,
Innovation und Technologie
Positionspapier zur Lüftung von Schul- und Unterrichtsräumen – SARS-CoV-2
Positionspapier des Arbeitskreises Innenraumluft

Bundesministerium
Klimaschutz, Umwelt,
Energie, Mobilität,
Innovation und Technologie
klimaaktiv
Dezentrale Klassenlüftung in Schulen
Musterklasse Giacometti (Chur, CH)

Danke für Ihre Aufmerksamkeit!

komfortlüftung.at
gesund & energieeffizient

Link Klassenzimmerlüftung: http://www.komfortlüftung.at/schulen-kindergaerten/
Link: ORF VBG: https://tvthek.orf.at/profile/Vorarlberg-heute/70024/Vorarlberg-heute/14079081/Lueftungssysteme-f

klimaaktiv erneuerbare wärme

klimaaktiv ist die Klimaschutzinitiative des Bundesministeriums für Nachhaltigkeit und Tourismus. Seit 2004 bietet sie in den Themenschwerpunkten „Bauen und Sanieren", „Energiesparen", „Erneuerbare Energie" und „Mobilität" ein umfassendes, ständig wachsendes Spektrum an Information, Beratung sowie Weiterbildung und setzt Standards, die international Vorbildcharakter haben.

klimaaktiv zeigt, dass jede Tat zählt: jede und jeder in Kommunen, Unternehmen, Vereinen und Haushalten kann einen aktiven Beitrag zur Erreichung der Klimaziele leisten. Damit trägt die Initiative zur Umsetzung der österreichischen Klima- und Energiestrategie #mission2030 bei. Näheres unter www.klimaaktiv.at