



NACHHALTIGwirtschaften

Evaluierung von mechanischen Klassenzimmerlüftungen in Österreich und Erstellung eines Planungsleitfadens

Projektpartner:




Projektleitung: DI Andreas Greml




beauftragt vom  im Rahmen des Projektes 



Inhalte



Evaluierung Klassenzimmerlüftung in Österreich

- Ziele und Inhalte der Studie „Evaluierung von Klassenzimmerlüftungen“
- Ergebnisse anderer Studien
- Wichtigste Ergebnisse gegenständlicher Studie
- Planungsleitfaden und Qualitätskriterien
- Kostenbetrachtung
- Resümee



beauftragt vom  im Rahmen des Projektes 

Inhalte des Projektes

1. Übersicht über vorangegangene Studien mit dem Thema „Lüftungssituation in Schulen“
2. Österreichlandkarte „Klassenzimmerlüftung“
3. Akzeptanzanalyse:
LehrerInnen, SchülerInnen, Hausmeister, Gebäudeeigentümer, Planer, Architekt
4. Technische Evaluierung:
 - Technische Qualität – Praxistauglichkeit
 - VOC-Vergleich mit Untersuchungen von unbelüfteten Klassen
 - Messungen: CO₂, Schallbelastung,..
5. Planungsleitfaden bzw. 61 Qualitätskriterien

Ziele - Projektteam

- Ziel:
 - Verbesserungen der Anlagenqualität – durch Evaluierung, Planungsleitfaden und Qualitätskriterien
 - Größere Verbreitung von Klassenzimmerlüftungen

- 5 Projektpartner



Übersicht über vorangegangene Studien mit dem Thema „Lüftungssituation in Schulen“



Studien Lüftung in Schulen (1)

- **Untersuchungen zur Luftqualität in Schulen ohne mechanischer Lüftung:**
 - Oberösterreich (A)
 - Berlin (D)
 - Frankfurt (D)
 - Erfurt (D)
 - Bayern (D)
 - Niedersachsen (D)
 - Aarau (CH)
 - ...
- **Resümee:**
 - Auch mit Nutzerschulung (zur regelmäßigen Fensterlüftung) keine ausreichende Luftqualität erzielbar
 - Lernbedingungen teilweise „bedenklich“
 - CO₂-Werte teilweise weit über 5.000 ppm
 -

Studien Lüftung in Schulen (2)



Evaluierung Klassenzimmerlüftung in Österreich

- **Untersuchung von Schulen mit mechanischer Lüftung:**
 - Bisher nur Evaluierung einzelner Schulen:
 - Ö: Salzburg, Virgen, Hermagor, ...
 - D: Justus von Liebig Schule - Waldshut, Waldorfschule - Bremen
 - CH: Spitzmoos
 - ...

- **Untersuchungen zur Luftqualität in Schulen mit mechanischer Lüftung:**
 - Einzelerfahrungen von „Sehr Gut“ bis „Mangelhaft“



Studien Lüftung in Schulen (3)



Evaluierung Klassenzimmerlüftung in Österreich

- **Vergleich von Schulen mit und ohne mechanischer Lüftung:**
 - CH: Vergleichende Luftqualitätsmessungen in Schulhäusern im Kanton Aargau (Bau- und Umweltchemie – Beratungen und Messungen, 2005)

- **Resümee:**
 - *Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass kontrollierte Raumlüftungsanlagen für Schulneubauten mit dichter Gebäudehülle und stark belegten Räumen eigentlich notwendig sind, um eine gute Raumluftqualität zu gewährleisten.“*
 - *„Die Messungen zeigen weiter, dass die Lüftungen in hygienisch gutem Zustand sind, und die in den Klassen zugeführte Luft in Bezug auf Keime und Feinstaub einen besseren Zustand als die Außenluft aufweist. Bei Schulhäusern mit Fensterlüftung entsprachen diese Parameter der Außenluft.“*



Studien Lüftung in Schulen (4)

- **Luftmengenuntersuchung an Schulen mit mechanischer Lüftung:**
 - CH: Wie viel Luft braucht das Hirn (Gugerli, Huber, Weber 2003)
- **Resümee:**
 - Hier wurde aufgezeigt, dass die bis dahin vorgesehen Luftmenge der SIA 382/1 von ca. 15 m³/h deutlich zu gering war. Es sollten lt. der Studie zumindest 25–30 m³/Person und Stunde für zufrieden stellende Luftqualität sein. Von einer Kombination von Fensterlüftung und mechanischer Lüftung mit reduzierter Luftmenge (z.B. 15 m³/h + Fensterlüftung) wird abgeraten.
 - Weiters wird empfohlen möglichst Lüftungsanlagen mit Feuchterückgewinnung einzusetzen.

Studien Lüftung in Schulen (5)

- **Studien zur Wirkung erhöhter CO₂-Werte auf die Leistungsfähigkeit :**
 - Myhrvold et al. (1996)
 - Wargocki et al. (2000)
 - Kajtár et al. (2003)
 - Wyon (2004)
 - Shaughnessy et al. (2005)
 - Wargocki & Wyon (2006)
 - Werner Ribic (2007)
 - Tiesler et al. (2008)
- **Resümee:**
 - Signifikante Beeinträchtigungen bzw. Leistungsreduktion
 - ca. 5- 9 %

Österreichlandkarte Klassenzimmerlüftungen



beauftragt vom **bmwvif** im Rahmen des Projektes **HAUS** der Zukunft

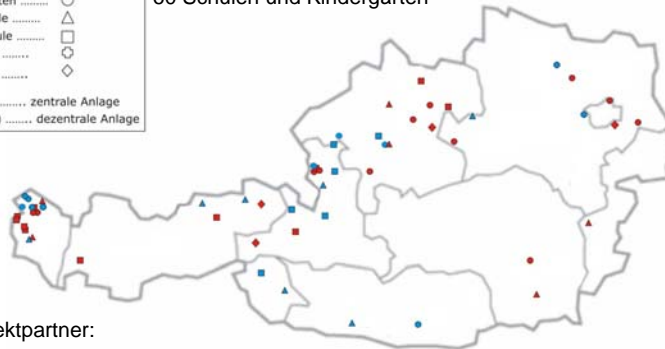
Anlagen in Österreich (Stand März 08)

Übersichtskarte Klassenzimmerlüftung - Österreich

Legende:

Kindergarten	○
Volksschule	△
Hauptschule	□
Oberstufe	◇
Sonstiges	◇
(Rot)	zentrale Anlage
(Blau)	dezentrale Anlage

Gesamt:
60 Schulen und Kindergärten

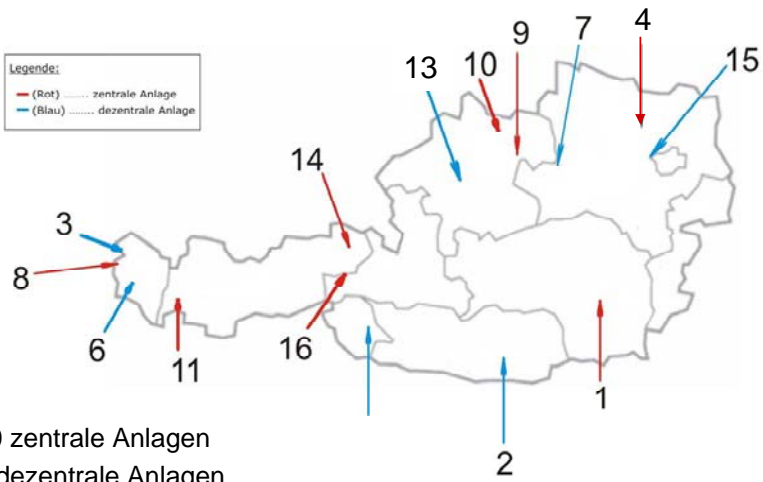


Projektpartner:



Untersuchte Lüftungsanlagen

Legende:
- (Rot) zentrale Anlage
- (Blau) dezentrale Anlage



Akzeptanzanalyse

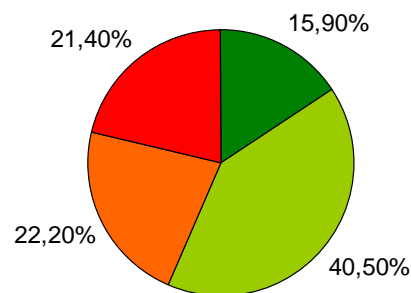


Akzeptanzanalyse

- Entscheidung zur mechanischen Klassenzimmerlüftung meist „zufällig“ (Einzelpersonen)
- Akzeptanz hängt sehr stark ab von:
 - Qualität der Anlage
 - Informationsgestaltung durch Planer und Gebäudeverantwortlichen
 - Schulleitung und Hausmeister
- Positives Beispiel dezentral: VS Ainet (T)
- Positives Beispiel zentral: HS Mäder (V)

Akzeptanzanalyse

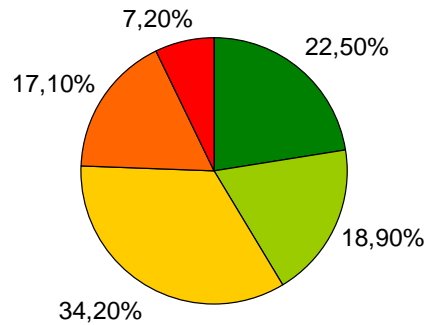
- LehrerInnen (über alle Objekte, ungewichtet)



■ sehr zufrieden ■ eher zufrieden
■ eher unzufrieden ■ sehr unzufrieden

Akzeptanzanalyse

- SchülerInnen (über alle Objekte, ungewichtet)



■ Note 1 ■ Note 2 ■ Note 3 ■ Note 4 ■ Note 5

Akzeptanzanalyse

Hausmeister / Schulwarte

- In 2/3 der Schulen übernimmt der Hauswart die Betriebsbetreuung der Anlage
- Hauswarte wünschen sich meist mehr Information um die Möglichkeiten der Anlage besser ausschöpfen zu können
- Bei mehreren dezentralen Anlagen ist der zeitliche Aufwand (Filterwechsel, zentrale Programmierung der Lüftungszeiten) relativ hoch → Schulwart erlangt negative Einstellung → Wartungsintervalle werden vergrößert oder Lüftungsbetrieb reduziert

Akzeptanzanalyse

Eigentümer, Planer, Architekt:

- Hauptargumente für Entscheidung:
 - 56% Luftqualität
 - 37% Energieeinsparung
 - 7% Außenlärm
- In Ermangelung genauer Richtwerte für Luftqualität, Energieeffizienz, Hygiene und Schall wurden nur sehr wenige Planungsvorgaben gemacht

Sommerliche Überwärmung – Auswirkungen auf Akzeptanzanalyse

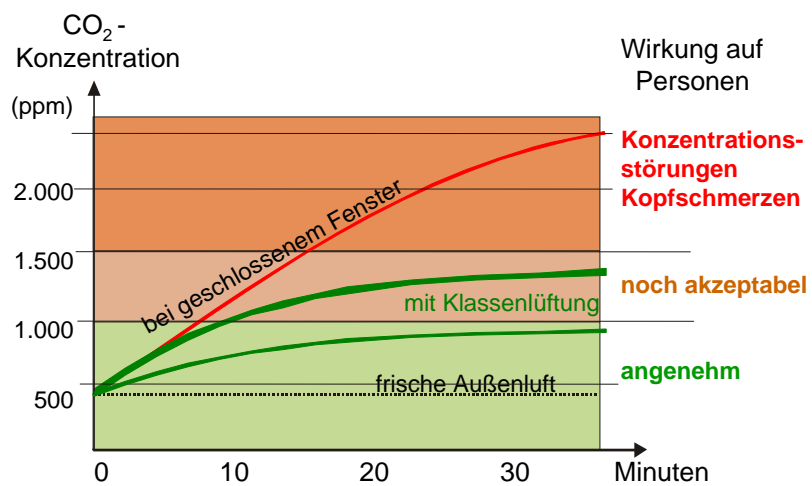
- **Bei vielen Schulen / Kindergärten wird über Überwärmung außerhalb der Heizperiode geklagt**
 - Dieser Mangel wird überwiegend der Lüftung zugeschrieben → viele Unzufriedenheitsäußerungen aufgrund dieser Situation
 - Kaum Beschwerden in der Heizperiode

Luftqualität und Technische Evaluierung



beauftragt vom **bmvit** im Rahmen des Projektes **HAUS** der Zukunft

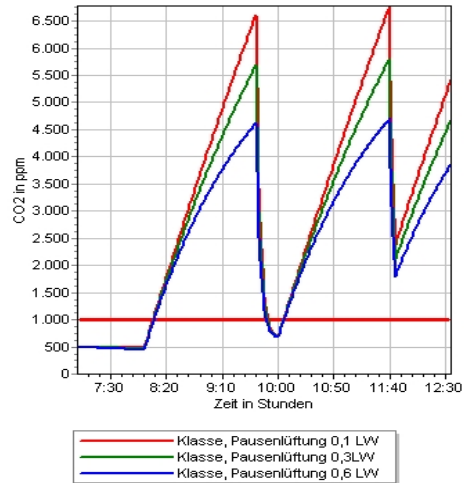
Lerngerechte CO₂-Konzentration



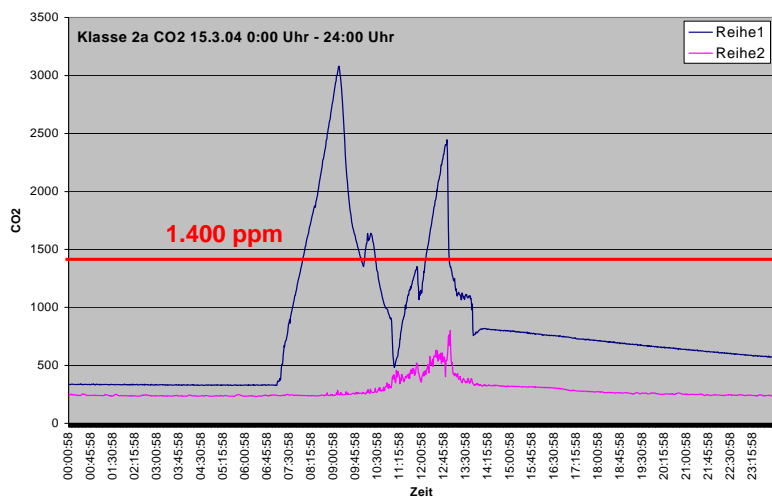
CO₂ Messungen (Fensterlüftung)

Theorie und Praxis passen zusammen:

- Kostenloses Programm des Landesgesundheitsamtes Niedersachsen
www.nlga.niedersachsen.de
- Kostenloses Excel-Programm zur Berechnung der CO₂-Konzentration in Innenräumen und Schulen –
www.innenraumanalytik.at
- Je nach Gebäudedichtheit ergeben sich auch bei optimaler Pausenlüftung CO₂-Werte bis 6.500 ppm.



CO₂ Messungen (Fensterlüftung)

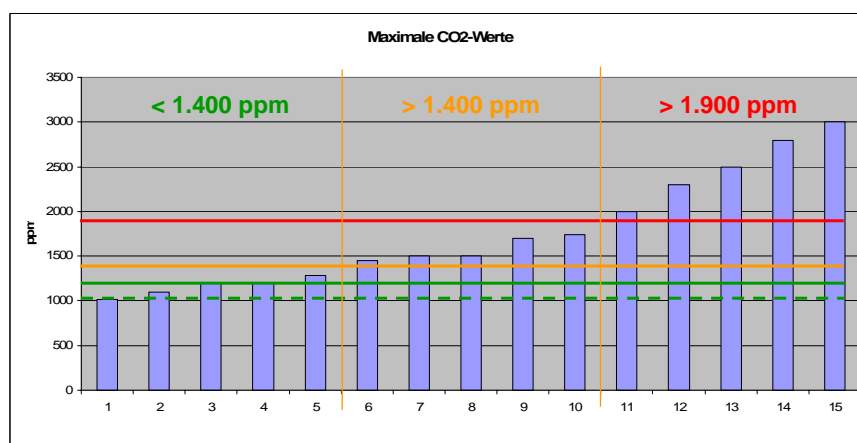


Luftmengen

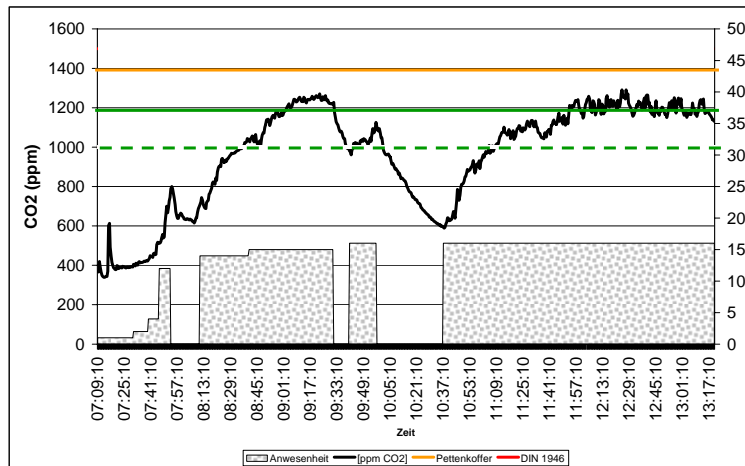
Qualitätskriterium 1 (M)	Anforderung
Beschränkung des maximalen CO ₂ -Gehaltes der Klassenzimmerluft	<p>Der CO₂-Gehalt im Klassenzimmer sollte max. 1.200 [ppm] (400+800) betragen (IDA 3 mittlere Raumluftqualität – Standardwert).</p> <p>Zielwert: max. 1.000 [ppm] (400+600) (IDA 2 hohe Raumluftqualität – Maximalwert)</p> <p>Die CO₂-Werte dürfen bei einer Luftmengenreduktion aufgrund der Feuchteregelung bei Außentemperaturen unter 0°C bis max. 1.400 [ppm] (400+1000) ansteigen.</p>

- Erhobene Luftmengen: 10 bis 50 m³/(P.h)

Erreichte Luftqualität



Beispiel für CO₂-Messung



Luftmengen

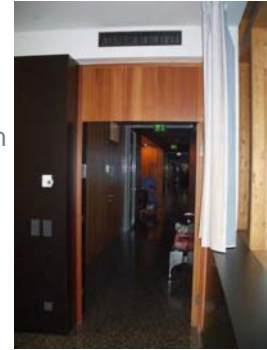
Qualitätskriterium 2 (M)	Anforderung
<p>Mindestluftmengen pro Schüler für die Auslegung (ergeben sich aus der max. CO₂-Anforderung von Kriterium 1)</p> <p>Es ist zulässig, diese Werte im Betrieb zur Feuchteregelung zu unterschreiten.</p>	<p>Altersabhängige Rate:</p> <p>für ca. 1200 [ppm] für Zielwert ca. 1000 [ppm]</p> <p>0–6 19 [m³/h] 25 [m³/h] (z.B. Kindergarten)</p> <p>6–10 19 [m³/h] 25 [m³/h] (z.B. Volksschule)</p> <p>10–14 23 [m³/h] 30 [m³/h] (z.B. Hauptschule)</p> <p>14–19 24 [m³/h] 33 [m³/h] (z.B. AHS, BHS)</p> <p>über 19 25 [m³/h] 34 [m³/h] (z.B. FH, UNI,...)</p> <p>Lehrperson 28 [m³/h] 37 [m³/h]</p>

- Erhobene Luftmengen:
 - 10 bis 50 m³/Person

Zugerscheinungen

- Bei keiner der Anlage wurden Zugerscheinungen festgestellt bzw. bemängelt.

Induktionssystem



Quellluftsystem



- Art der Luftverteilung hat nur einen sehr geringen Einfluss, bzw. eine geringe Bedeutung
- Fensterlüftung bedeutet im Gegensatz immer deutlich eingeschränkte Komfortbedingungen für einzelne SchülerInnen**

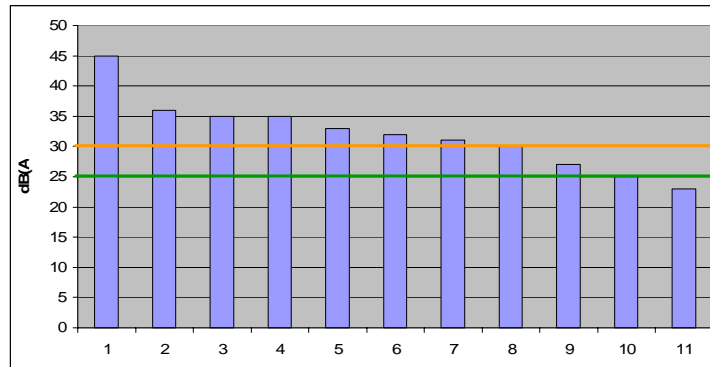
Schallanforderungen

- zu milde Anforderungen in EN 13799 bzw. ÖNORM H 6039

Qualitätskriterium 4 (M)	Anforderung
<p>Geringer A-bewerteter Schalldruckpegel $L_{A,eq}$ und Beschränkung des tieffrequenten Anteiles im Klassenzimmer sowie geringe Schallbelastung im Außenbereich</p> <p>*Achtung: Werte liegen über der B 8115-2 und bedürfen bei zentralen Anlagen einer besonderen vertraglichen Fixierung.</p>	<p>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</p>
	<p>b) Zur Beschränkung der tieffrequenten Anteile darf die Differenz zwischen A- und C-Bewertung nicht mehr als 20 [dB] betragen.</p>
	<p>c) Beschränkung der Schallbelastungen im Außenbereich gemäß ÖNORM S 5021 bzw. ÖAL Richtlinie 3</p>

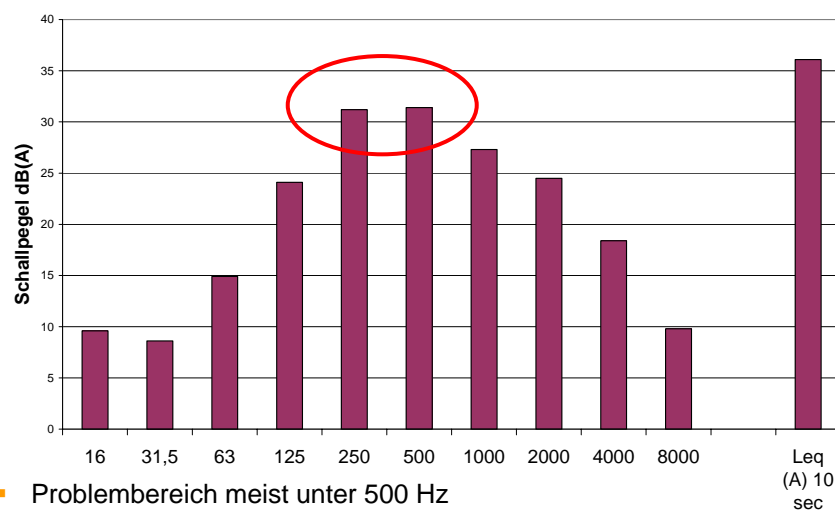
Schallmessungen

- Einige Lüftungsanlagen waren deutlich zu laut:



- Nur bei 11 der 16 Anlagen war eine aussagekräftige Schallmessung möglich.

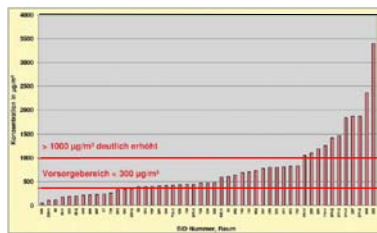
Frequenzanalyse



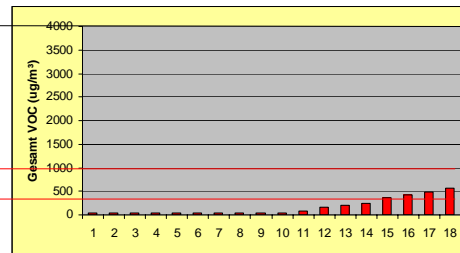
- Problembereich meist unter 500 Hz

VOC-Messungen

- Deutlich geringere Belastungen gegenüber unbelüfteten Schulen
- Indirekter Vergleich mit Studie ÖÖ: (nur bedingt aussagekräftig)



VOC – Schulen ÖÖ (unbelüftet), Q: Tappler



VOC – Schulen Ö 2007 (belüftet), Q: Tappler

- **Zu beachten ist jedoch, dass die VOC-Belastungen primär durch die Materialwahl (insbes. Bodenbelag) und erst in zweiter Linie durch die Lüftung niedrig zu halten ist.**

Sonstige Erkenntnisse

- Abluftfilterflächen sind meist zu klein dimensioniert (erhebliche Staubentwicklung in der Klasse)
 - dezentrale Kompaktgeräte verfügen über zu wenig Platz für ausreichend große Filterflächen
- Sommerliche Überwärmung wird relativ oft bemängelt
 - Wird meist der Lüftungsanlage angelastet
- Bei zentralen Anlagen wurde meist auf Einzelraumsteuerungen/-regelungen verzichtet

Planungsleitfaden



Planungsleitfaden

1. Checkliste für die Basisdatenerhebung

Auflistung aller relevanten Daten für die Bauaufnahme und deren Relevanz für Planungsentscheidungen der Anlage

2. Entscheidungshilfen:

- Teillüftung – Volllüftung
- Reine Lüftung – Luftheizung
- Quell- oder Mischlüftung
- Sternverrohrung oder dezentral über Abzweiger
- Steuerung und Regelung
- Frostschutzstrategie

Planungsleitfaden

3. Empfehlungen

- Integration der Luftleitungen
- Energetische Standards
- Innenraumluftqualität
- Einhaltung der Raumluftfeuchte
- Luftgeschwindigkeit im Aufenthaltsbereich
- Akustik
- Brandschutz
- Sommerlicher Wärmeschutz
- Organisatorische Kriterien
- Wirtschaftliche Aspekte

4. 61 Qualitätskriterien für Klassenzimmerlüftungen



Beispiel für Entscheidungshilfe – Systemwahl (Ausschnitt)

Tabelle 11.1: Entscheidungskriterien für die Systemwahl

Kriterien	zentral	dezentral (1)	dezentral (2)	semizentral
Starke Staubbelastung am Standort	■			■
Hohe Außenschallbelastung am Standort	■		■	■
Starke Aufheizung der Fassade im Sommer	■		(3)	■
Starke Winddruckbelastung an der Fassade	■		(4)	■
Keine Änderungen an der Fassade	■			■
Geringer Aufwand für Filterwechsel	■			(5)
Entfernung zu Technikraum sehr groß, bzw. Leitungsführung sehr aufwändig		■	■	
Hohe Brandschutzanforderungen		■	■	
Ausfallsicherheit		■	■	
Einfache Steuerbarkeit		■	■	
Mehrstufige Luftaufbereitung und Nachbehandlung	■			■



Beispiel Empfehlung – Integration der Luftleitungen



Nicht jede Luftleitung muss „versteckt“ werden.

Beispiel Empfehlung – Sommerlicher Wärmeschutz

- Wirksame (schaltbare) Außenbeschattung
- Schwere Bauweise (+Akustikelemente die Speicherwirkung nicht stark einschränken)
- Kühles sommerliches (Klein)klima – wirksame Nachtlüftung
 - Abluftbetrieb Lüftungsanlage mit öffenbaren Oberlichtern
 - Oder: Umgehung der Wärmerückgewinnung
 - Oder: eigenes Nachtlüftungssystem mit hoher Luftwechselrate

61 Qualitätskriterien



61 Qualitätskriterien

- Vorbild waren die 55 Qualitätskriterien für Wohnraumlüftungen
- In Abstimmung mit der neuen ÖNORM H 6039 bzw. der EN 13779



- Unterscheidung zwischen zentralen und dezentralen Systemen



61 Qualitätskriterien - Beispiel

Qualitätskriterium 28 (M)	Anforderung
Geringe Stromaufnahme des Ventilators bzw. der gesamten Anlage beim Betriebsluftvolumenstrom und reinen Filtern	Spezifische Leistungsaufnahme des einzelnen Ventilators entsprechend der Kategorie SFP 1 nach ÖNORM EN 13779. Dies entspricht max. 0,22 [W/(m³/h)] bei einer geforderten Wärmerückgewinnung der Klasse H1 bzw. H2. (Zur Info: 0,14 [W/(m³/h)] bei Wärmerückgewinnungsklasse H3 und geringer)
	Spezifische Leistungsaufnahme der gesamten Anlage max. 0,35 [W/(m³/h)] Zielwert: max. 0,21 [W/(m³/h)]

- Stromeffizienz noch ein Schwachpunkt der Anlagen
- Durch neue OIB-Richtlinie 6 aber nun zwingend vorgeschrieben

61 Erhobene Stromeffizienz

Strombedarf ges. W/m³/h	Strombedarf pro Ventilator W/m³/h	SFP pro Ventilator	Zentral oder Dezentral
0,2	0,1	SFP 1	D
0,24	0,12	SFP 1	D
0,35	0,175	SFP 1	D
0,35	0,175	SFP 1	D
0,35	0,175	SFP 1	D
0,4	0,2	SFP 1	Z
0,55	0,275	SFP 2	D
0,52	0,26	SFP 2	Z
0,56	0,28	SFP 2	Z
0,74	0,37	SFP 3	Z
0,87	0,435	SFP 4	Z
0,88	0,44	SFP 4	D
1,16	0,58	SFP 4	Z

61 Qualitätskriterien - Beispiel

Qualitätskriterium 31 (M)	Anforderung	
Ausreichende Filterqualität mit geringem Druckverlust für die Außenluft; Einfacher Filtertausch	a) Zumindest F7 nach EN 779 bei ODA1 bzw. F6 + F7 bei ODA2 Bei nur einer Filterstufe sollte der Filter nach dem Ventilator angebracht sein. Zielwert: F6 + F8 bei ODA 1 und 2	
	b) Dezentral: Hängende bzw. (quer-) stehende Taschenfilter oder Kassettenfilter	b) Zentral: Hängende bzw. (quer-) stehende Taschenfilter
	c) Dauerhaft geringer Filterbypassvolumenstrom (dichte Dichtflächen)	
	d) Kein verkehrtes Einsetzen der Filter möglich	
	e) Der Filterwechsel sollte von der Hausbetreuung einfach durchgeführt werden können.	
	f) Schutz vor Durchfeuchtung – d.h. max. 90% relative Feuchte bzw. mittlere relative Feuchte unter 80% an drei aufeinander folgenden Tagen. Dies entspricht einer Temperaturerhöhung von ca. 2°C bis zum Filter.	
	g) Maximaler Druckverlust 20 Pa beim Betriebsvolumenstrom und reinen Filtern; Enddruck max. 60 Pa Zielwert max. 10 [Pa] Enddruck max. 40 [Pa]	g) Maximaler Druckverlust 40 Pa beim Betriebsvolumenstrom und reinen Filtern. Enddruck max. 120 Pa Zielwert max. 20 [Pa] Enddruck max. 80 [Pa]

Kostenbetrachtung



Kosten

- **Investitionskosten**
 - Dezentral: € 5.400,-- bis 8.200,-- (exkl. MWSt)
 - Zentral: € 5.600,-- bis 16.750,-- (exkl. MWSt)

- **Betriebskosten**
 - Ventilatorstrom: 35...70 € / Klasse und Jahr (ohne sommerliche Nachtlüftung)
 - Filterkosten: 40...80 € / Klasse und Jahr
 - Arbeitszeit 0,25...2 h / Klasse und Jahr

Kosten

- **Eine lerngerechte Luftqualität kostet ca. € 12 pro Schüler und Jahr.**
- **Annahmen:**
 - € 6.000,-- pro Klasse Investitionskosten
 - Energieersparnis und laufende Betriebskosten bzw. Instandhaltungsarbeiten halten sich die Waage
 - Lebensdauer der Anlage 20 Jahre
 - 25 Schüler pro Klasse

- **1 € pro Monat für einen guten Lernerfolg unserer Kinder sollten wir uns leisten:**
 - Umweltentlastung,... gibt es kostenlos dazu.
 - Bessere Arbeitsbedingungen für LehrerInnen
 - Weniger Schulstunden – aber diese bei guter Luftqualität?
 - ...

Betrachtung inkl. Leistungssteigerung

- Leistungssteigerung mit 5 % ansetzt (untere Grenze)
 - 1.200 Unterrichtseinheiten pro Jahr
 - Verlorene Unterrichtszeit ohne Lüftung entspricht 60 Std. pro Jahr
 - Kosten pro Unterrichtseinheit von € 40,- (untere Grenze)
-
- Schaden pro Jahr ohne Lüftungsanlage: 2.400,-
 - Amortisationszeit der Lüftungsanlage: < 3 Jahre

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

Resümee

- Eine Klassenzimmerlüftung sollte bei jedem Neubau bzw. jeder umfassenden Sanierung „Standard“ sein.
- Die Erfahrungen zeigen: das Wissen und „alle Zutaten“ für eine gute Lüftungsanlage sind grundsätzlich vorhanden.
- „Soft Facts“ spielen eine nicht zu unterschätzende Rolle bei der Nutzerzufriedenheit.



Weitere Informationen



Evaluierung Klassenzimmerlüftung in Österreich

Endbericht wird voraussichtlich im April 2008 durch den FFG freigegeben

Projekthomepage:

Homepage Komfortlüftung: www.komfortluftung.at

Bereich Klassenzimmerlüftung

Homepage HAUS der Zukunft: www.hausderzukunft.at



Evaluierung Klassenzimmerlüftung in Österreich

Danke


Viel Erfolg bei der Umsetzung

DI Andreas Gremel



Ing. Wolfgang Leitzinger



beauftragt vom  im Rahmen des Projektes 