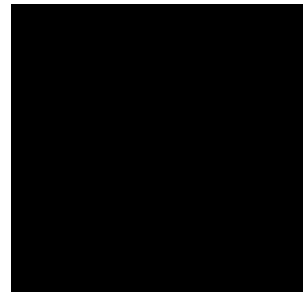
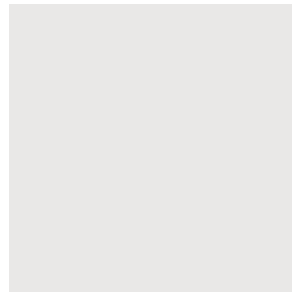
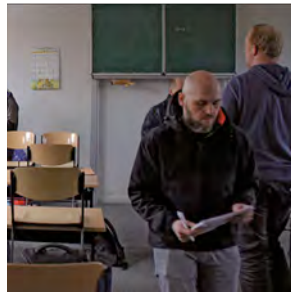
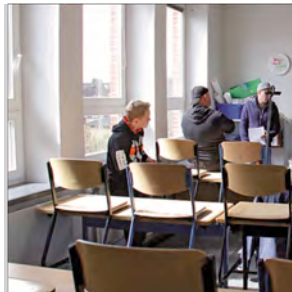


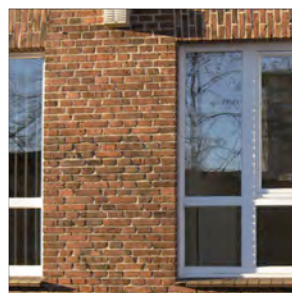
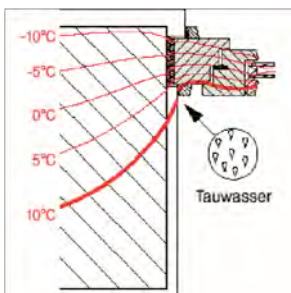
LÜFTUNG IN KLASSENRÄUMEN

Optimale Luftqualität in Klassenräumen durch hybride Lüftungskonzepte:
freie Lüftung kombiniert mit dezentralen mechanischen Lüftungsanlagen

GEBÄUDE
SYSTEM
TECHNIK
GST15



A n a l y s e
Fridtjof-Nansen-Schule
Raumluftqualität
Beleuchtung
L ü f t u n g
F a c h s c h u l e



LÜFTUNG IN KLASSENÄUMEN

Optimale Luftqualität in Klassenräumen durch hybride Lüftungskonzepte:
freie Lüftung kombiniert mit dezentralen mechanischen Lüftungsanlagen

Die vorliegende Dokumentation ist eine Projektarbeit der Klasse 'GST 15': Matthias Forthmann, Thorsten Fruchtemeyer, Björn Gartmann, Erich Lemmerich, Sven Möhrke, Niklas Niemann, Dominik Rieker

Flensburg, Juni 2016

Inhaltverzeichnis

1	Aufgabenstellung und Durchführung	1
2	Bedeutung von Luftqualität in Unterrichtsräumen	2
3	Evaluation der Lüftungskonzepte in der Fridtjof-Nansen-Schule	3
3.1	Untersuchte Klassenräume	3
3.2	Beschreibung der Klassenräume	4
3.3	CO ₂ -Messung	5
3.4	Wärme- und Stromverbrauchsdaten	8
3.5	Nutzerbefragung	9
4	Andere Modellprojekte	10
4.1	Sanierung Berufskolleg Detmold Plusenergie-Schule	10
4.2	Empfehlung anhand der Käthe-Kollwitz-Schule in Aachen	11
4.2.1	Lüftung	11
4.2.2	Eingesetzte Lüftungssysteme	11
4.2.3	Thermische Behaglichkeit/Raumdurchmischung/Nebelströmversuche	11
4.2.4	Notwendiger Außenluftvolumenstrom	12
4.2.5	Vor- und Nachteile einzelner Lüftungssysteme	12
5	Gesetzliche Mindestanforderungen Lüftungsgeräte	14
6	Fachschule für Technik und Gestaltung, Raum G 47	15
6.1	Beschreibung Klassenraum G47	15
6.2	Vergleich der Klassenräume in der Fachschule und Fridtjof-Nansen-Schule	16
7	Anforderungen an einen Klassenraum	17
7.1	Künstliche Beleuchtung	17
7.2	Heizung	19
7.3	Lüftung	19
7.4	Übersicht der ausgewählten Lüftungsgeräte	22
8	Marktrecherche Lüftungsgeräte	23
8.1	Motorische Lüftung der Firma Window Master	24
9	Empfehlungen den Raum G 47	25
	Literaturverzeichnis	27
	Anhang	28
1	Begriffserklärungen	28
2	Messdaten von dem Raum G 47	30
3	Befragungsbögen Fridtjof-Nansen-Schule	32
4	Die Ökodesign-Richtlinie ErP	44

Abbildungsverzeichnis

<i>Abbildung 1 Schulgelände der Fridtjof-Nansen-Schule¹</i>	3
<i>Abbildung 2: Südansicht²</i>	3
<i>Abbildung 3: Südansicht²</i>	3
<i>Abbildung 4 Klassenräume⁶</i>	4
<i>Abbildung 5 Nordwand der Klassenräume⁷</i>	4
<i>Abbildung 6 Südwand der</i>	4
<i>Abbildung 7 Kohlendioxidsensor</i>	5
<i>Abbildung 8 Thermostatventil mit Plattenheizkörper</i>	5
<i>Abbildung 9 Messwerte</i>	6
<i>Abbildung 10 textiler Lüftungsschlauch¹¹</i>	10
<i>Abbildung 11 Bewertungsnetz der vier in der Käthe-Kollwitz-Schule eingesetzten Lüftungssysteme</i>	13
<i>Abbildung 12 Zeichnung Klassenraum G 47¹⁶</i>	15
<i>Abbildung 13 Klassenraum G 47¹⁷</i>	15
<i>Abbildung 14 Beleuchtungsstärke in Klassenräumen</i>	17
<i>Abbildung 15 Behaglichkeitsfaktoren für das Raumklima</i>	20
<i>Abbildung 18 Kettenantrieb²⁴</i>	24
<i>Abbildung 19 Regelsystem</i>	24
<i>Abbildung 16 geregelte motorische unterstützte Fensterlüftung²⁴</i>	25
<i>Abbildung 17 hybride Lüftung²⁵</i>	25

Tabellenverzeichnis

<i>Tabelle 1 Hygienische Bewertung von CO₂-Konzentration⁷</i>	6
<i>Tabelle 2 Temperaturverlauf in den Klassenräumen</i>	7
<i>Tabelle 3 Wärmeverbrauch⁸</i>	8
<i>Tabelle 4 Stromverbrauch⁹</i>	8
<i>Tabelle 5 Anforderung an Beleuchtung in Klassenräumen</i>	18

Abkürzungs- und Einheitenverzeichnis

Abkürzung	Erklärung
%	Prozent
€	Euro
Abb.	Abbildung
CO ₂	Kohlendioxid
dB	Dezibel
DGUV	Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung
ErP	Energy related Products
FSTuG	Fachschule für Technik und Gestaltung
GST	Gebäudesystemtechnik
h	Stunde
HT	Holztechnik
kWh	Kilowattstunde
lx	Lux
m ³	Kubikmeter
ppm	Parts per million
RBZ	Regionales Berufsbildungszentrum AöR
RI	Raumgestaltung und Innenausbau
RLT	Raumluftechnik
Tab.	Tabelle
UGR	Unitied Glare Rating

1 Aufgabenstellung und Durchführung

An der Fachschule für Gestaltung und Technik sollen in näherer Zukunft Modernisierungsmaßnahmen erfolgen. In diesem Projekt sollen Konzepte für die optimale Raumlufthqualität typischer Klassenräume erarbeitet werden. Dazu wurden andere Modellprojekte aus der Literatur sowie ein Modellprojekt der Stadt Flensburg analysiert. Das Modellprojekt der Stadt Flensburg besteht aus drei baugleichen Klassenräume der Fridtjof-Nansen-Schule in Flensburg. 2009 wurden diese Räume modernisiert und mit unterschiedlichen haustechnischen Anlagen ausgestattet. Um Modernisierungsvorschläge, für die Fachschule für Technik und Gestaltung zu erarbeiten haben sieben Studierende der Fachrichtung Gebäudesystemtechnik, eine Analyse der unterschiedlichen Lüftungskonzepte durchgeführt und in den Klassenräumen CO₂ Messgeräte aufgestellt. Anschließend folgte eine Auswertung der Messergebnisse. Durch ein Resultat der Messergebnisse, einer Analyse von vergleichbaren Modelprojekten aus der Literatur und einer kleinen Auswahl von Lüftungsgeräten die auf dem Markt verfügbar sind, wurde eine Empfehlung für die Fachschule für Gestaltung und Technik ausgesprochen. Das Projekt wurde in einem Zeitrahmen von drei Wochen bearbeitet und mit einer Präsentation der Ergebnisse abgeschlossen.

2 Bedeutung von Luftqualität in Unterrichtsräumen

In Deutschland gibt es mehr als 40.000 Schulen. Durch die immer weiter sinkende Schülerzahl kommt es in den meisten Regionen nicht zu Neubauten von Schulen. Stattdessen werden bestehende Schulen weitestgehend saniert. Der Fokus liegt bei der Sanierung von Schulen auf dem energetischen Aspekt. Jedoch sollte auch die Verbesserung der Lern- und Lehrbedingungen nicht außer Acht gelassen werden. Einer der Faktoren für eine Verbesserung der Lern- und Lehrqualität ist das Raumklima. Es setzt sich aus thermischen Einflüssen, der Schülerzahl und Einflüssen von außen zusammen.

Die Luftqualität in Innenräumen wird durch die Verunreinigung mit Schad- und Geruchsstoffen bestimmt. In Räumen, in denen sich viele Personen aufhalten z. B. in Klassenräumen werden die Luftverunreinigungen meist durch die Menschen verursacht. Der Mensch belastet die Raumluft durch Abgabe von Wärme, Wasser und CO₂, welche sich in den meisten Fällen durch unangenehmen Geruch im Raum bemerkbar machen. Die Höhe der Belastung ist abhängig von der Anzahl der Personen im Klassenraum und deren Aktivität. Mit der Aktivität der Person steigt proportional die Abgabe von Kohlendioxid. Daher wird seit ca. 150 Jahren mit Hilfe des Kohlendioxidgehalts die Raumluftqualität festgestellt.

Kohlendioxid ist geruchsneutral und ungiftig. Bei steigender Konzentration in einem Innenraum kann CO₂ jedoch Leistungseinschränkungen auslösen. Oftmals treten diese in Form von Schwindel, Kopfschmerzen und Müdigkeit auf. Um die Konzentrationen im entsprechenden Regelbereich zu halten, ist für einen regelmäßigen Luftaustausch zu sorgen. Dies lässt sich realisieren durch Lüftungsanlagen, CO₂ gesteuerte Fenstersteuerungen oder durch häufiges Lüften mit den Fenstern im Raum. Bei einem vollbesetzten Klassenraum sollte nach ca. 20 Minuten gelüftet werden.

3 Evaluation der Lüftungskonzepte in der Fridtjof-Nansen-Schule

3.1 Untersuchte Klassenräume

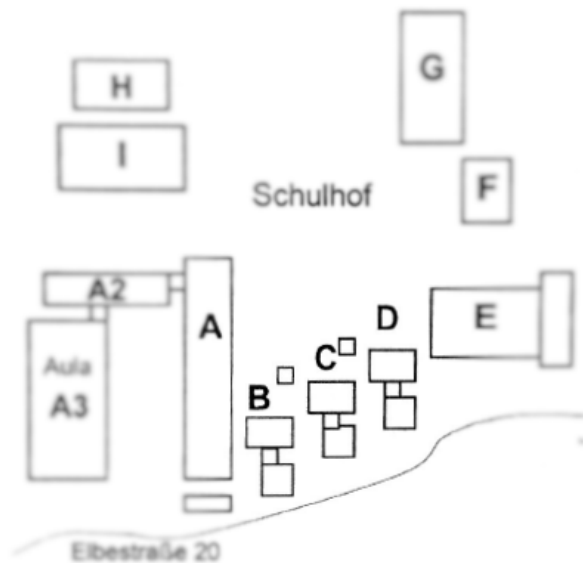


Abbildung 1 Schulgelände der Fridtjof-Nansen-Schule¹

In der Fridtjof-Nansen-Schule gibt es drei identische Gebäude, siehe Abb. 1 und Abb. 2. Die erste Etage von den Gebäuden wurde zu Testzwecken, mit verschiedenen Lüftungskonzepten im Jahre 2009 von der Stadt Flensburg ausgestattet. Das Gebäude B ist mit einer *maschinellen Lüftung* ausgestattet. Im Gebäude C wurde eine CO₂ gesteuerte und manuelle Fensterlüftung verbaut und im Gebäude D ist eine manuelle Fensterlüftung (*freie Lüftung*) vorhanden.



Abbildung 2: Nordansicht²



Abbildung 3: Ost/West²



Abbildung 3: Südansicht²



Abbildung 2: Südansicht²

¹ Homepage Fridtjof-Nansen-Schule

² Foto GST 15

3.2 Beschreibung der Klassenräume

Bei der Begehung der Fridtjof-Nansen-Schule am 19.04.2016 wurden drei Klassenräume betrachtet. Die Klassenräume sind baulich identisch. Es ist eine Grundfläche von 56,25 Quadratmetern und ein Raumluftvolumen von ca. 168 Kubikmetern vorhanden. Unterrichtet werden in den einzelnen Räumen ca. 25-30 Schüler und Schülerinnen. Alle Räume sind mit zwei Fensterfronten ausgestattet. Diese befinden sich auf der Nord- bzw. Südseite des

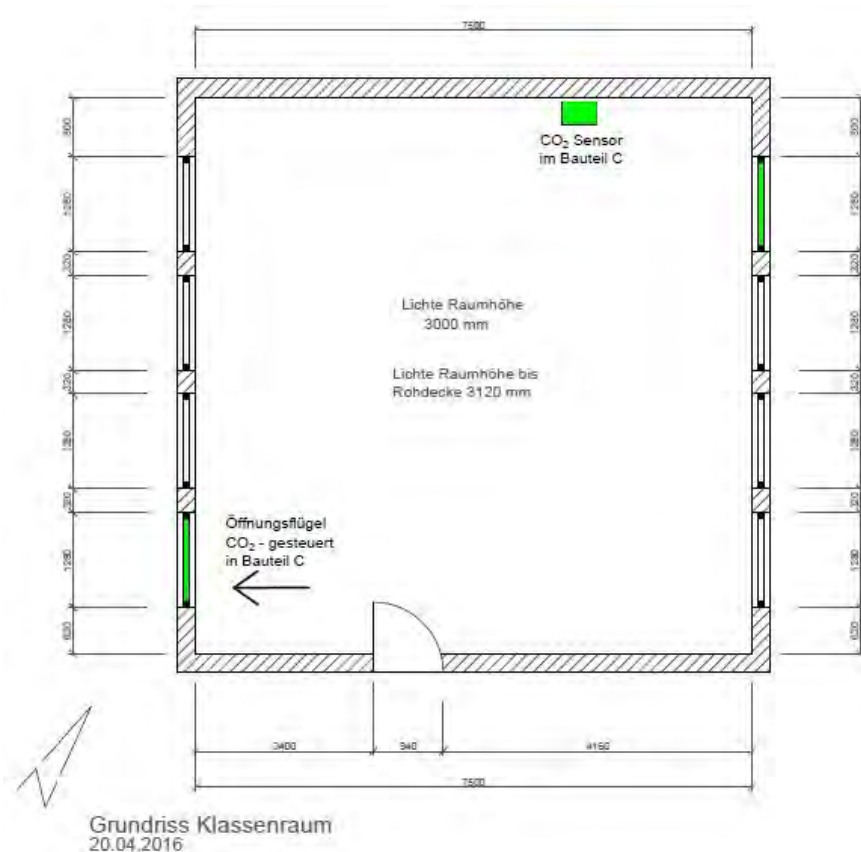


Abbildung 4 Klassenräume⁶

Gebäudes. Im Bereich der Südseite sind Fenster mit einem Flügel vorhanden mit einer Flügelgröße von 1,14 m x 1,34 m (Breite x Höhe). Im unteren Bereich des Fensters ist ein festes Fensterelement verbaut. Diese Öffnungsflügel lassen sich komplett öffnen. Im Bereich der Nordseite des Raumes sind Oberlichter vorhanden mit einem Maß von je 1,27m x 1,12m. Diese Fenster lassen sich durch Betätigung mit einer Kurbel auf einen Winkel von ca. 15-20° kippen.³



Abbildung 5 Nordwand der Klassenräume⁷



Abbildung 6 Südwand der Klassenräume⁸

³ gezeichnet von der GST 15
Foto GST 15

Leider ist aus sicherheitstechnischen Gründen keine Kurbel im Klassenraum vorhanden. Somit ist hier ein Öffnen der Fenster durch eine Lehrkraft oder einen Schüler nicht möglich. Auf der oben- und nebenstehenden Abbildung sind die zwei verschiedenen Typen der Fenster aufgezeigt.

Einer der drei Räume (Gebäude B/ Etage 1/Raum 1) ist mit einer dezentralen Lüftungsanlage ausgestattet.

Im zweiten Raum (Gebäude C/ Etage 1/ Raum 1) sind zwei Fenster mit einer CO₂ abhängigen Steuerung versehen. Die beiden Fenster, die gesteuert werden, sind grün markiert. Steigt der CO₂-Gehalt im Klassenraum zu stark an öffnen sich diese beiden Fenster automatisch auf ca. 15-20°.

Der CO₂-Sensor siehe Abb. 6 in diesem Raum ist scheinbar nicht richtig programmiert oder sogar ganz ohne Funktion. Somit Öffnen sich die beiden angesteuerten Fenster nicht. Die CO₂-Messgeräte wurden von der Firma Window Master geliefert. Allerdings funktioniert die Kommunikation zwischen dem CO₂-Sensor und den Stellmotoren der Fenster möglicherweise nicht. Die Stadt Flensburg befindet sich derzeit in der Planungsphase zur Lösung dieses Problems mit Hilfe einer KNX-Steuerung.

Im Allgemeinen entsteht der Eindruck einer durchschnittlichen Raumluftqualität. Die Fensterfront auf der Südseite trägt zu einem schnellen Aufheizen der Raumluft an sonnigen Tagen bei, was zu einer schnellen Minderung der Raumluftqualität sorgt.



Abbildung 7 Kohlendioxidsensor

In dem dritten untersuchten Klassenraum (Gebäude D/Etage 1/Raum 1) ist eine freie Lüftung vorhanden. Hier ist ein Lüften des Raumes nur durch ein manuelles Öffnen der Fenster möglich.

Zum Aufheizen aller Räume werden Plattenheizkörper verwendet. Diese sind mit Thermostatventilen versehen, welche frei regelbar sind, siehe Abb.7⁶. An den Decken der einzelnen Räume sind ganzflächig Holzfaser-Leichtbauplatten zur Verbesserung der Akustik installiert.



Abbildung 8 Thermostatventil mit Plattenheizkörper

3.3 CO₂-Messung

Um die Wirksamkeit der unterschiedlichen Lüftungssysteme zu prüfen wurden in den drei Klassenräumen über den Zeitraum von ca. einer Woche (Di. 12.04 - Di.19.04.2016 und eine zweite Messung von Fr. 22.04 - Di.26.04.2016) getätigt. Diese wurde mit Hilfe von drei baugleichen CO₂-Messgeräten (Wöhler CDL 210) angestellt. Die Messgeräte verfügen über Datenlogger die in Intervallen von 30 Minuten Raumtemperaturen, relative Luftfeuchte und CO₂-Gehalt aufzeichnen. Der Focus unserer Untersuchung lag bei der CO₂-Konzentration in den einzelnen Klassenräumen. Am Ende der Messung wurden die Geräte am Computer ausgelesen und die einzelnen Messwerte analysiert. Die visuelle Darstellung erfolgte über die Excel Tabellenkalkulation, siehe Abb. 8.

⁵ Foto GST 15

⁶ Foto GST 15

Ab Beginn der Unterrichtszeit steigt die Konzentration in jedem Klassenraum stark an. Zum Teil befinden sich die Werte in einem unhygienischen Bereich, siehe Tab. 1 von über 2000ppm. In der unteren Tabelle sind Richtwerte der DIN EN 15251 aufgezeigt. Nach dem Unterrichtsende sinkt die Konzentration in jedem Klassenraum wieder auf normale Werte ab.

CO ₂ -Konzentration	Hygienische Bewertung	Empfehlung
< 1.000 ppm	hygienisch unbedenklich	Keine weiteren Maßnahmen erforderlich.
1.000–2.000 ppm	hygienisch auffällig	Lüftungsmaßnahmen intensivieren, Außenluftvolumenstrom erhöhen, Lüftungsverhalten überprüfen und verbessern.
> 2.000 ppm	hygienisch inakzeptabel	Belüftbarkeit des Raumes prüfen, weitergehende Maßnahmen prüfen.

Tabelle 1 Hygienische Bewertung von CO₂-Konzentration⁷

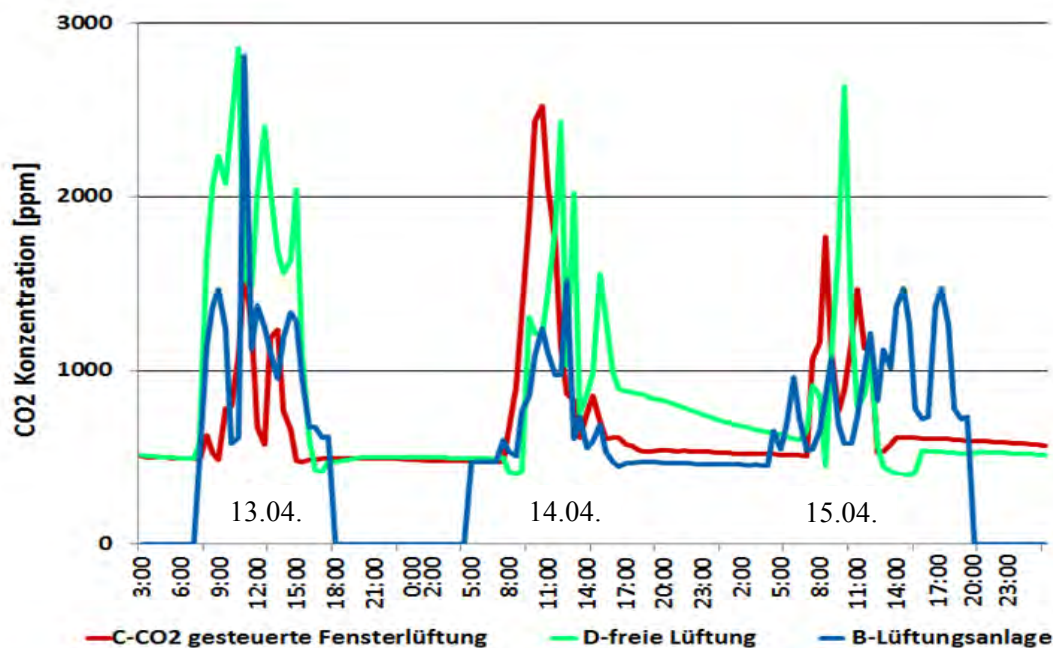


Abbildung 9 Messwerte

In der obenstehenden Grafik ist ein Auszug der Messwerte vom 12.04.-14.04.2016 dargestellt. Die gemessenen CO₂ Werte bewegen sich zwischen ca. 500-2700ppm. Die DIN EN 15251 gibt an, dass der Grenzwert von 2000 ppm nicht überschritten werden sollte, da sich ab diesem Bereich das Raumklima in einem hygienisch inakzeptablen Zustand befindet. In der Grafik ist zu erkennen, dass der Raum mit der Lüftungsanlage in Gebäude B (blaue Linie) diesen Wert nur einmal im Messzeitraum überschreitet und auf 0 zurückgeht. Dies ist wahrscheinlich auf einen Messfehler zurückzuführen. Im Schnitt liegt der CO₂ Wert in diesem Klassenraum in einem akzeptablen Bereich. Hieraus lässt sich erkennen, dass in diesem Raum ein guter Luftaustausch vorhanden ist.

Der Klassenraum mit der CO₂ abhängig gesteuerte Fensterlüftung (rote Linie) bewegt sich ebenfalls in einem akzeptablen Bereich mit nur einem kurzen Ausschlag von über 2000 ppm. Da sich in Laufe der Projektierung herausgestellt hat, dass die Ansteuerung der Fenstermotoren durch den CO₂ Sensor wahrscheinlich ohne Funktion ist, ist davon auszugehen, dass hier ein gutes Lüftungsverhalten durch Schüler und Lehrkräfte vorhanden ist.

⁷ Vgl. Fachverband Gebäude-Klima. Lüftung von Schulen. (November 2004). S.2

Im Klassenraum des Gebäudes D, welches nur über eine freie Lüftung (grüne Linie) verfügt in dem lediglich ein manuelles Lüften durch die Benutzer erfolgen kann, ist das Raumklima in vielen Fällen bedenklich. In der Grafik ist zu erkennen, dass sich die CO₂ Konzentration oftmals am Grenzwert oder sogar darüber befindet.

Ein weiterer Faktor für den schnellen Anstieg der CO₂-Belastung sind die großen Fensterfronten an der Südseite des Gebäudes. Durch die Sonneneinstrahlung heizt sich der Raum schnell auf. Hierdurch kommt es ebenfalls zu einer Verschlechterung der Raumluftqualität. Dies ist unter anderem an den unterschiedlichen Raumtemperaturen zu erkennen.

Tageszeit	13.04.2016			14.04.2016			15.04.2016		
Gebäude	B	C	D	B	C	D	B	C	D
00:00	20,4	21,1	21,7	20,4	21,5	22,6	20,2	21,6	22,6
01:00	20,3	21,4	21,6	20,4	21,4	22,5	19,8	21,5	22,5
02:00	20,8	22,6	21,6	20,5	22,2	22,4	19,9	21,4	22,5
03:00	20,8	22,6	21,5	20,4	22,6	22,4	19,7	22,8	22,4
04:00	20,7	22,6	21,5	20,1	22,8	22,4	19,8	22,6	22,4
05:00	21,1	22,4	21,4	20,1	22,3	22,4	19,9	22,8	22,4
06:00	20,3	22,7	21,4	20,1	22,5	22,4	20,4	22,7	22,3
07:00	21,2	22,4	21,4	19,9	22,6	22,3	20,3	22,6	22,3
08:00	21,2	22,2	22,0	19,9	21,8	20,4	20,1	22,8	22,6
09:00	21,4	21,9	22,9	19,9	22,5	17,7	20,8	23,0	19,0
10:00	20,1	22,3	23,4	19,8	23,1	20,3	20,2	22,2	22,4
11:00	19,9	22,9	23,7	19,8	23,3	20,5	20,6	22,9	24,0
12:00	19,6	22,8	24,0	21,3	22,9	22,8	21,3	23,7	24,3
13:00	20,3	23,1	25,7	20,9	23,9	25,9	20,2	23,2	24,4
14:00	21,6	23,1	24,4	20,8	23,4	24,7	20,8	23,4	22,7
15:00	20,1	23,0	25,1	20,3	23,6	24,7	20,4	22,8	21,5
16:00	20,1	22,8	23,6	20,3	23,7	24,5	20,5	23,1	21,4
17:00	19,9	23,1	23,3	20,7	23,6	24,4	20,7	23,1	22,1
18:00	20,6	23,2	23,0	20,8	22,7	23,7	20,6	22,6	22,0
19:00	20,6	22,4	23,0	21,8	22,6	23,6	21,8	22,4	21,9
20:00	20,6	22,1	22,8	21,7	22,3	23,1	21,3	22,1	21,7
21:00	20,6	21,9	22,7	21,3	22,1	22,8	21,3	21,9	21,5
22:00	20,2	21,8	22,6	20,9	21,8	22,7	20,2	21,8	21,4
23:00	19,8	21,6	22,6	20,8	21,7	22,7	20,5	21,7	21,3

Tabelle 2 Temperaturverlauf in den Klassenräumen

Im Gebäude B mit Lüftungsanlage ist die Raumtemperatur im Schnitt 2°K kälter als in den andern Gebäuden. Hier ist ein weiterer Vorteil der Lüftungsanlage zu erkennen. Sie sorgt dafür, dass sich der Raum durch die Schüler und die Sonneneinstrahlung nicht zu schnell aufheizt. Die Menschen in den Klassenräumen müssen hier oftmals manuell für einen Luftaustausch sorgen um eine gute Raumluftqualität aufrecht zu erhalten.

3.4 Wärme- und Stromverbrauchsdaten

Bei der Auswertung der Verbrauchsdaten der Häuser B, C und D konnte das GST Team auf Datensätze der Stadt Flensburg zurückgreifen. Hierbei wurde festgestellt, dass das Haus C (CO₂-gesteuerte Fensterlüftung den größten Wärmeverbrauch der drei Häuser besitzt. In Bezug auf die Obergeschosse ist nur ein Vergleich der Häuser B und C möglich, da im Haus D im Obergeschoss kein Wärmemengenzähler vorhanden ist. Somit ist kein Vergleich der mechanischen und der CO₂ gesteuerte Lüftung mit einer freien Lüftung möglich. Vergleicht man die Verbrauchsdaten der Obergeschosse so wird deutlich, dass in Bauteil B im Jahresdurchschnitt 2.600 kWh weniger verbraucht werden als im Bauteil mit der freien Lüftung. Dies ist wahrscheinlich auf die Wärmerückgewinnung der Lüftungsanlage zurückzuführen, welche die aus einem Raum abgesaugte warme Luft über einen Kreuzstromwärmetauscher an die Frischluft für den Raum abgibt. Durch diese Vorwärmung wird eine Einsparung an Heizenergie im Klassenraum erzielt. In der Tab. 2 sind die Wärmeverbräuche der Jahre 2013-2015 aufgezeigt.

Wärmezähler	Zählernr.	2013 [kWh]	2014 [kWh]	2015 [kWh]	Ø [kWh]
Haus B	6847542	29.888	28.623	28.067	28.859
Geb. B - OG	9247446	6.257	6.476	6.239	6.324
Haus C	6847544	35.947	34.316	31.931	34.064
Geb. C - OG	9247451	8.586	9.004	9.230	8.940
Haus D	6847545	31.185	26.918	27.701	28.601

Tabelle 3 Wärmeverbrauch⁸

Bei den Stromverbräuchen ist ein ähnlicher Trend zu erkennen. Das Haus B besitzt mit 3856 Kilowattstunden im Schnitt den größten Stromverbrauch der drei Häuser. Dies ist auf die Lüftungsanlage zurückzuführen, die als großer Verbraucher in diesem Haus fungiert. Das Haus C hat mit 3602 Kilowattstunden im Jahresmittel den zweitgrößten Stromverbrauch der drei Häuser. Am niedrigsten ist der Verbrauch in Haus C mit im Schnitt 3142 Kilowattstunden gewesen. Die Jahresmittel wurden aus den Verbrauchsdaten der Stadt Flensburg ermittelt. Der Betrachtungszeitraum lag hierbei auf den Jahren 2013 – 2015. Für die Lüftungsanlage im Haus B ist zudem ein Unterzähler vorhanden, der den Verbrauch der Lüftungsanlage separat erfasst. Für die CO₂ gesteuerte Lüftung im Haus C ist ebenfalls ein Unterzähler vorhanden. Die Verbrauchswerte sind jedoch nicht eindeutig auswertbar sind, da die Anlagen nicht einzeln gezählt werden. Deswegen hat sich das GST-Team dazu entschieden nur die Verbrauchsdaten der Hauptzähler zu vergleichen. Ein weiterer Vorteil dieser Vergleiche ist, dass in diesen Vergleich das Haus D mit einbezogen werden kann. Da in allen drei Häusern die Schülerzahl nahezu gleich ist und die Häuser sich baulich nicht unterscheiden ist diese, Vergleiche anwendbar.

Stromzähler		Zählernr.	2013 [kWh]	2014 [kWh]	2015 [kWh]	Ø [kWh]
Haus B	Unterzähler	621347	3.559	4.146	3.864	3.856
Haus C	Unterzähler	621351	2.989	4.528	3.289	3.602
Haus D	Unterzähler	15162492	3.002	3.295	3.076	3.142

Tabelle 4 Stromverbrauch⁹

⁸ Wärmedaten wurden von der Stadt Flensburg zu Verfügung gestellt und von der GST 15 zusammengefasst.

⁹ Stromdaten wurden von der Stadt Flensburg zu Verfügung gestellt und von der GST 15 zusammengefasst.

3.5 Nutzerbefragung

Am Freitag den 22. April wurde eine Umfrage zur Raumluftqualität und zum Lüftungsverhalten durchgeführt. Es wurden die drei Klassen befragt, in denen zu Testzwecken verschiedene Maßnahmen zur Luftverbesserung installiert wurden. Das Alter der befragten Schüler liegt zwischen 13 und 16 Jahren.

Folgende Aufteilung liegt bei den Klassen vor.

Gebäude B	dezentrale Lüftungsanlage	: 21 Schüler
Gebäude C	CO ₂ -gesteuerte Fensterlüftung	: 18 Schüler
Gebäude D	freie Lüftung	: 22 Schüler

Die Umfrage beinhaltete zehn Fragen zur Luftqualität im Raum und dem Lüftungsverhalten der einzelnen Klassen (vgl. Anhang). Die zehnte Frage wurde aus der Umfrage entfernt, da diese von den Schülern nicht ausreichend beantwortet wurde und somit keine konkrete Auswertung erfolgen konnte.

37% aller der befragten Schüler empfinden die Raumluftqualität in den Klassenräumen als zu schlecht.

In Gebäude B müssen die Schüler aufgrund der Lüftungsanlage nur 1-2mal pro Unterrichtsstunde manuell nachlüften. Hier liefert die Anlage einen besseren Austausch der Luft als in den Gebäuden C und D. In diesen beiden Gebäuden müssen die Schüler 2-4-mal pro Unterrichtsstunde das Fenster manuell öffnen. Bei allen drei Klassenräumen dauert ein Lüftungsvorgang 5-10 Minuten. Während in Gebäude C und D die Fenster meist ganz geöffnet werden müssen, reicht es in Gebäude B aus die Fenster in Kippstellung zu bringen. Auf die Frage warum die Schüler nicht öfter pro Unterrichtseinheit lüften, gaben 55% der Befragten an, dass sie aufgrund der einströmenden Kälte nicht öfter lüften. 27% vergessen, das Fenster zu öffnen,

16 % sind gestört durch den Lärm, der von außerhalb erzeugt wird und 2 % sind einfach gestört wenn während der Unterrichtsstunde das Fenster geöffnet werden muss.

Zugluft stellt sich als Problem in Gebäude B dar. Hier antworteten 12 der 21 anwesenden Schüler, dass sie die Zugluft, die wahrscheinlich durch die Lüftungsanlage erzeugt wird, spüren. In den anderen Gebäuden ist dies nicht der Fall.

Unangenehme Gerüche im Klassenraum werden am häufigsten in Gebäude D genannt. 11 der 21 Schüler in diesem Klassenraum fällt dies negativ auf. In den beiden anderen Gebäuden ist dies für die Schüler nicht belastend. Störgeräusche durch die Lüftungsanlage in Gebäude B wurden nicht festgestellt. Dieses ist gut nachvollziehbar, da die Lüftungsanlage nicht im Klassenraum sondern im Dachboden über den Klassenraum installiert ist.

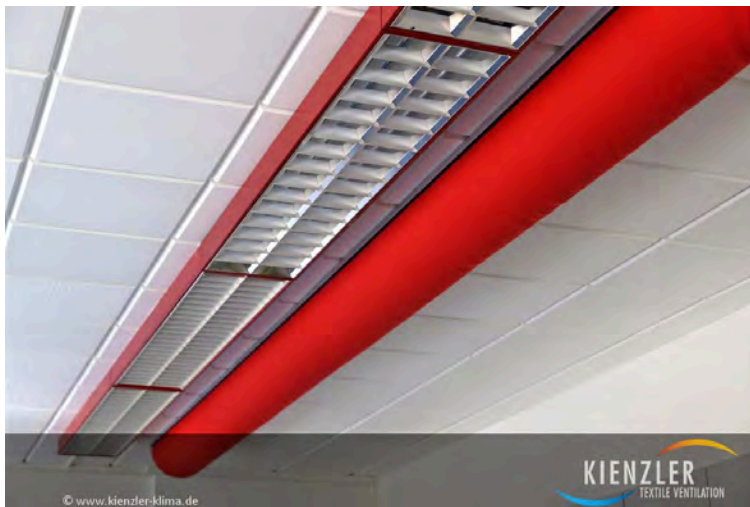
Die Lehrkraft der Klasse in Gebäude B gab abschließend an, dass eine manuelle Bedienung der Lüftungsanlage wünschenswert wäre. Insgesamt hält sie das Konzept der Lüftung für sehr gut. Die Lehrkraft in Gebäude C gab an, dass es im Sommer sowie im Winter sehr warm im Klassenraum ist. Die Lehrkraft aus Gebäude D gab leider keine weiteren Verbesserungsvorschläge oder Kritiken an.

4 Andere Modellprojekte

4.1 Sanierung Berufskolleg Detmold Plusenergie-Schule

Die Schwerpunkte der Sanierung beziehen sich auf eine grundlegende Sanierung, wie Wärmeschutz, Fassadensysteme und weitere Maßnahmen. Der Fokus unserer Betrachtung wird auf Lüftung mit textilen Luftschläuchen gerichtet.

Es wurde eine zentrale Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung im Dachgeschoss platziert. Die einzelnen Klassenräume werden nach dem Kohlendioxid-Gehalt geregelt. Erwähnenswert ist hierbei, dass die Zuluftführung über neuartige textile Luftschläuche erfolgt. Diese Schläuche¹⁰ bestehen ausschließlich aus 100% Polyester, siehe Abb.9 . Die Funktion des Materials ist die Luft gleichmäßig, geräuschlos und zugfrei im Raum zu verteilen. Laut Herstellerangaben sind Textilluftschläuche gegen Umwelteinflüsse (Licht/UV-Strahlung/ Mikroorganismen/ Insekten) und Chemikalien (Säuren/



Laugen/ Lösungsmittel) gut beständig und hygienisch absolut unbedenklich. Da es sich um eine hybride Lüftung handelt, werden in den Sommer- und in den Übergangstagen die Fenster manuell aktiviert. Dadurch werden die Laufzeit und der Energieaufwand der Lüftungsanlage reduziert. Solche Textilen Schläuche zu Verteilung der Luft eignen sich besonders bei Modernisierungen und für eine sichtbare Montage an der Decke.

Abbildung 10 textiler Lüftungsschlauch¹¹

¹⁰ <http://www.kienzler-klima.de/index.php/textilluftschlauch/kienzler-luftschlauch-produktuebersicht/material-varianten-kienzler-ventilation-luftschlauch>

¹¹ https://lh3.googleusercontent.com/-FuOkLZK7o_o/VI_lzgeJCqI/AAAAAAAAACg/a4Wt8o44mYo/w1024-h682/Kienzler-Luftschlauch-Gewerbe-Buero-04.JPG

4.2 Empfehlung anhand der Käthe-Kollwitz-Schule in Aachen

4.2.1 Lüftung

In der Käthe-Kollwitz-Schule in Aachen wurden mehrere unterschiedliche Lüftungssysteme eingesetzt, um die Vor- und Nachteile der einzelnen Systeme zu untersuchen.

„Die Untersuchungen und Betrachtungen umfassen die Fragestellungen nach geeigneten Lüftungsstrategien (Kombination aus mechanischer Lüftung und Fensterlüftung), thermischer Behaglichkeit und Durchströmung, Energieeffizienz, Kosten, Akustik, Wartungsfreundlichkeit sowie Anforderungen nach Brand- und Rauchschutz.“¹²

4.2.2 Eingesetzte Lüftungssysteme

In der Käthe-Kollwitz-Schule kamen Abluftanlagen und auch Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung zum Einsatz. Bei allen Systemen wurde eine Kombination aus Fenster und mechanischer Lüftung vorgesehen, um den CO₂-Grenzwert von 2000 ppm einzuhalten. Anhand von Kurzzeitmessungen und Simulationsrechnungen wurde festgestellt, dass mit einem Volumenstrom von 16-17 m³/h pro Person und einer zusätzlichen Stoßlüftung in den großen Pausen der vorgesehene CO₂-Grenzwert von 1500 ppm eingehalten werden kann. Bei einer Belegung von 20-25 Personen pro Raum sollten, die Volumenströme auf 300 – 400 m³/h eingestellt sein.

Die Lüftungsanlagen laufen präsenzabhängig und mit einer Nachlaufzeit von 30 min. Die geplante Lüftungsstrategie sah außerdem vor, dass nach jeder Doppelstunde mindestens 15 Minuten stoßgelüftet wird. Dies entspricht einer Fensteröffnungszeit von einer halben bis dreiviertel Stunde am Tag. Zusätzlich lässt sich sagen dass durch nicht eingehaltene Stoßlüftungen in den Pausen die CO₂-Grenzwerte von 2000 ppm regelmäßig überschritten wurden.

4.2.3 Thermische Behaglichkeit/Raumdurchmischung/Nebelströmversuche

In verschiedenen Räumen wurden Nebelströmversuche durchgeführt um Probleme und Ursachen möglicher Zugscheinung und Schichtenbildungen sichtbar machen zu können.

Bei den Abluftanlagen wurde die Zuluft in den Fluren vorgesehen, was die Temperatur der Zuluft erhöhen sollte, welche dann durch Überstromkanäle in die Klassenräume strömt. Bei zu kalter Außenluft stellte sich aber das Problem ein, dass die kühlere Zuluft zu Zugscheinungen führte. Bei Zulufttemperaturen über der Raumtemperatur wurde eine Schichtung und somit eine unzureichende Durchmischung und Durchströmung erreicht. Eine zufriedenstellende Durchmischung wird erreicht, wenn die Einblastemperatur unter der Raumtemperatur liegt. Insgesamt lässt sich sagen dass eine Zulufttemperatur knapp unter der Raumtemperatur für eine thermische Behaglichkeit und zu Vermeidung von Zuglufterscheinung sorgt.

Die Gruppenanlagen stellten sich als besonders wartungsfreundlich heraus, da diese störungsfrei liefen. Zusätzlich müssen die Gewebefilter der Fassadengeräte öfter gewechselt werden als die der Gruppenanlagen.

¹² Inco Ingenieurbüro, 2006. *Energetische Sanierung der Käthe Kollwitz Schule*, Aachen: (Hrsg) Martin Lambertz. S. 194

4.2.4 Notwendiger Außenluftvolumenstrom

Der in der DIN geforderte Außenluftvolumenstrom von $30\text{m}^3/\text{h}$ ist relativ hoch angenommen. Die Untersuchung der verschiedenen Lüftungsstrategien zeigt, dass schon bei einer Luftmenge von ca. $17\text{m}^3/\text{h}$ pro Person zusammen mit einer Fensterlüftung eine relativ gute Raumlufthqualität erreicht werden kann. Daraus folgt, dass die Lüftungsgeräte kleiner dimensioniert werden können und somit ein niedrigerer Stromverbrauch eintritt. Es wird auch das Problem von zu trockener Raumlufth vermieden. Es benötigt jedoch die Zustimmung des Bauherrn, um von den Anforderungen der DIN abzuweichen.

4.2.5 Vor- und Nachteile einzelner Lüftungssysteme

In der nachfolgenden Grafik werden vier Lüftungsgeräte der Käthe-Kollwitz-Schule Aachen vergleichend betrachtet, siehe Abb. 10.

Abluft Einzel

Die Abluftgeräte zur Einzelversorgung wurden im Dachgeschoss untergebracht. Der Außenluftdurchlass befindet sich im Flur und die Zuluft wird über Überströmkanäle in die Klassenräume geführt.

Wärmerückgewinnung Einzel (WRG Einzel)

Ebenso befinden sich die Lüftungsgeräte mit Wärmerückgewinnung im Flur.

Wärmerückgewinnung Fassade (WRG Fassade)

Die Fassadengeräte befinden sich jeweils in den Klassenräumen.

Wärmerückgewinnung Gruppe (WRG Gruppe)

Bei den Lüftungsgeräten mit WRG zur Versorgung mehrerer Räume befindet sich das Gerät im Dachgeschoss. Über Zuluftkanäle im Flur und Überströmkanäle gelangt die Zuluft in die Klassenräume.

„Es wurde der Versuch unternommen, die unterschiedlichen Lüftungssysteme nach den Kriterien Wartungsfreundlichkeit, energetische Effizienz, thermische Behaglichkeit, Akustik, Brandschutz/ Rauchschutz und Kosten mit einer Werteskala von 0 - 5 (0=schlecht, 5=sehr gut) zu beurteilen. Die Bewertungen sind qualitativ zu verstehen und sollen die Vor- und Nachteile einzelner Systeme verdeutlichen. Die Einzelergebnisse sind in der folgenden Abbildung dargestellt.“¹³

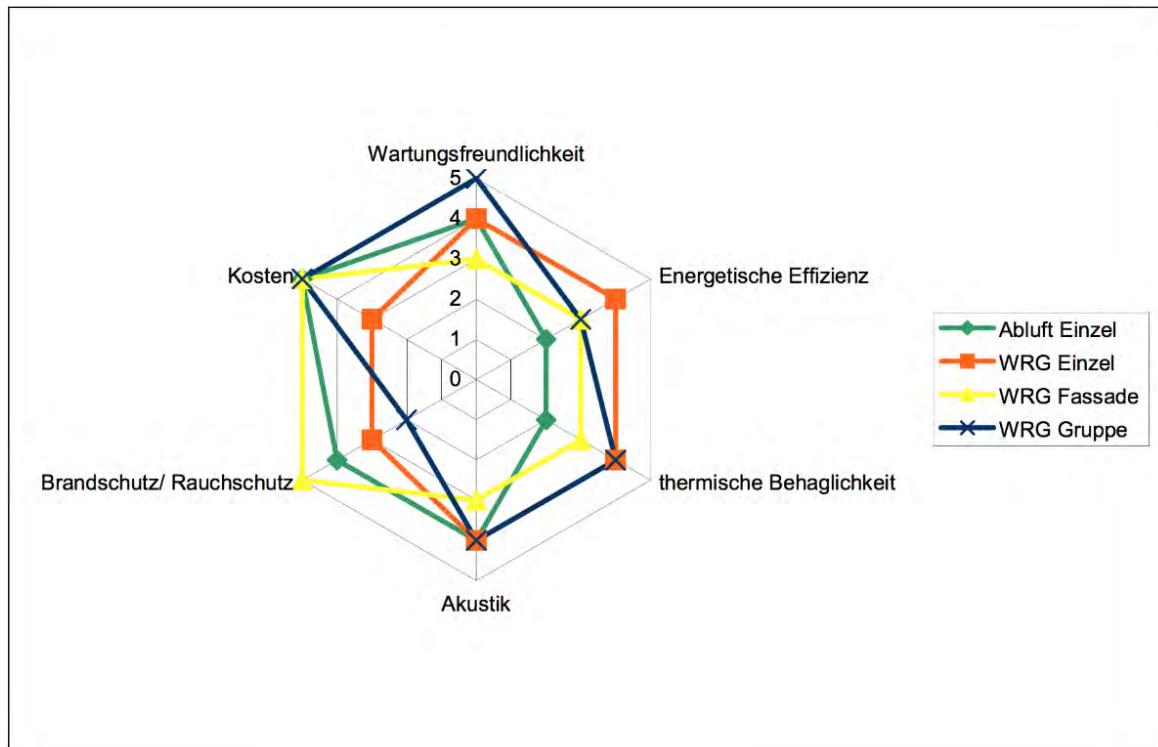


Abbildung 11 Bewertungsnetz der vier in der Käthe-Kollwitz-Schule eingesetzten Lüftungssysteme

„So liegen die Vorteile der zentralen Lüftungsanlage mit WRG zur Gruppenversorgung mehrerer Klassenräume in den Kosten und der Wartungsfreundlichkeit. Der wesentliche Nachteil liegt im aufwendigeren Brand- und Rauchschutz. Die energetische Effizienz ist durch eine bessere Regelung im Teillastbereich noch zu verbessern.“

Die Vorteile der fassadenintegrierten Lüftungsgeräte mit WRG liegen sowohl in den Kosten als auch im Brand- und Rauchschutz. Nachteilig ist hier sowohl die Wartungsintensität (häufiger Filterwechsel) als auch die Akustik. Zentrale Lüftungsgeräte mit WRG zur Einzelversorgung zeichnen sich gegenüber den fassadenintegrierten durch eine bessere Energieeffizienz, weniger akustische Probleme und geringeren Wartungsaufwand aus.

Generell sollte beim Neubau und Sanierung von Schulgebäuden auf eine mechanische Lüftung nicht verzichtet werden. Bei geringem Kostenbudget bietet sich der Einbau einer Abluftanlage zur Versorgung mehrerer Klassenzimmer an. Diese Variante wurde im Rahmen der Käthe-Kollwitz-Schule nicht realisiert.

Lässt das Budget es zu, sollte aus energetischen Gründen die Wahl auf eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung fallen. Ob eine Anlage zur Versorgung mehrerer Klassenzimmer oder ein fassadenintegriertes Gerät zur Einzelversorgung vorzuziehen ist, hängt von den objektspezifischen baulichen und brandschutztechnischen Rahmenbedingungen ab.“¹⁴

¹³ Inco Ingenieurbüro, 2006. *Energetische Sanierung der Käthe Kollwitz Schule*, Achen: (Hrsg) Martin Lambertz. S. 234

¹⁴ Inco Ingenieurbüro, 2006. *Energetische Sanierung der Käthe Kollwitz Schule*, Achen: (Hrsg) Martin Lambertz. S. 234

5 Gesetzliche Mindestanforderungen Lüftungsgeräte

Die Ökodesign-Richtlinie ErP

Die europäischen Ökodesign-Richtlinien ErP (Energy-related Products –Directive) verfolgen das Ziel den Energieverbrauch und die CO₂-Emission zu senken und definieren Mindestanforderungen an energierelevante Produkte.

Für RLT-Geräte gelten seit 01.01.16 die Anforderungen der ErP16, an die Energieeffizienz, die ab 01.01.18 durch die ErP18 weiter verschärft werden (Effizienzklasse A+, A). Da der Zeitraum bis zur nächsten Verschärfung der Anforderungen absehbar ist, ist es wichtig, bei der Planung der Lüftungsmodernisierung in der Fachschule für Technik und Gestaltung, Raum G47, diese Anforderungen zu berücksichtigen. Im Anhang der Dokumentation sind die neuen Anforderungen und Richtlinien der ErP, die von der Firma Robatherm hinterlegt¹⁵.

¹⁵ Robatherm (Hrsg.), 2016. *ErP Ready*, Burgau

6 Fachschule für Technik und Gestaltung, Raum G 47

6.1 Beschreibung Klassenraum G47

Der Klassenraum G47 hat eine Grundfläche von 60,42

Quadratmetern und ein

Raumluftvolumen von ca. 169 Kubikmetern

siehe (Abb.11) . Unterrichtet

werden in diesem Raum ca. 10-20

Schüler und Schülerinnen. Die

Tische sind in U-Form angeordnet.

Der Raum ist mit einer Fensterfront

im Norden ausgestattet. Die

Fenster bestehen aus drei je einem

Dreh-Kipp-Flügel mit einer

Flügelgröße von 1,07 m x 1,24 m (Breite x Höhe). Im unteren und seitlichen Bereich des Fensterflügels sind feste Fensterelement verbaut. Die Fensterflügel der drei Fensterelemente, siehe Abb. 12 ,lassen sich nach dem Öffnen des Sicherheitsschlusses durch den Hausmeister komplett aufschwenken. Auf der untenstehenden Abbildungen ist der Typ des Fensters aufgezeigt. Außerdem sind die Fenster mit Jalousien ausgestattet.



Abbildung 13 Klassenraum G 47¹⁷

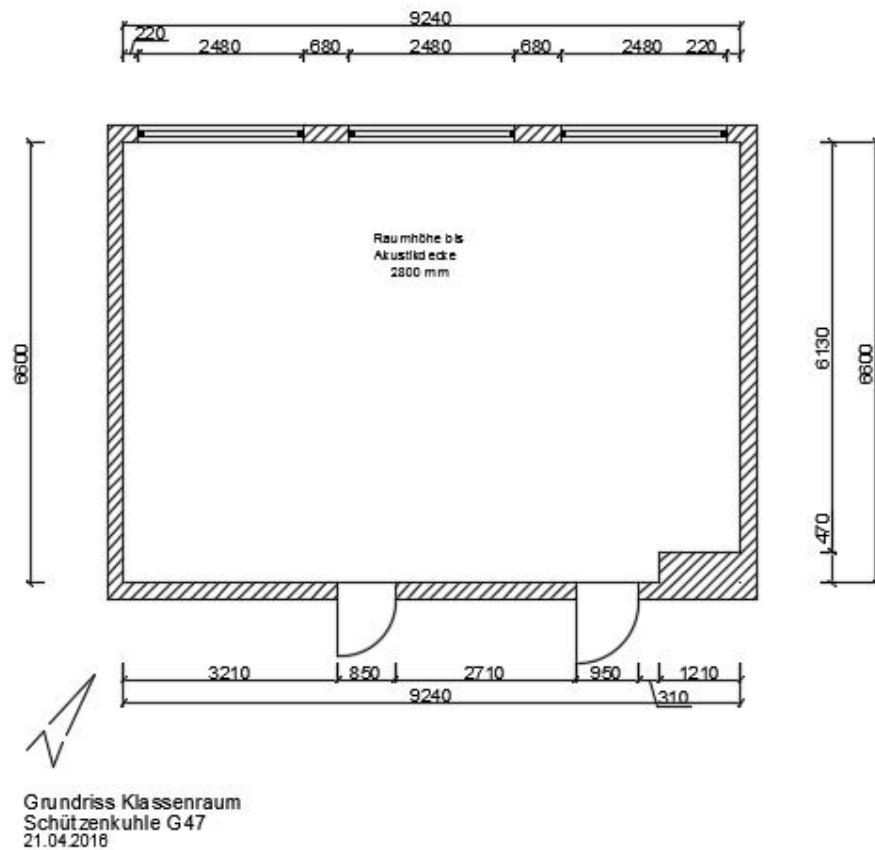


Abbildung 12 Zeichnung Klassenraum G 47¹⁶

Der Raum ist in einem dem Alter entsprechenden guten Zustand. Im Allgemeinen entsteht der Eindruck einer durchwachsenen Raumlufthqualität. Das Lüften des Raumes ist nur durch ein manuelles Öffnen der Fenster möglich. Zum Aufheizen des Raumes werden Plattenheizkörper verwendet. Diese sind mit Thermostatventilen versehen, welche frei regelbar sind. An der Decke des Raumes sind ganzflächig Akustikplatten (Holzfaser-Leichtbauplatten) zur Verbesserung der Akustik installiert.

¹⁶ Gezeichnet von der GST 15

¹⁷ Aus dem Fotobestand der GST 15

6.2 Vergleich der Klassenräume in der Fachschule und Fridtjof-Nansen-Schule

Beim Vergleich zwischen dem Klassenraum G47 mit den Klassenräumen der Fridtjof-Nansen-Schule ist gut zu erkennen, dass die Klassenräume vom Raumluftvolumen und der Grundfläche nahezu identisch sind. Außerdem wurden bereits einige Maßnahmen zur Modernisierung getroffen. So ist zum Beispiel eine Akustikdecke verbaut, welche die erforderlichen Maßnahmen gegen die unkontrollierte Schallausbreitung unterbindet.

Allerdings ist ein wichtiger Unterschied bei den Fenstern ersichtlich, denn im Raum G47 gibt es nur eine nördlich ausgerichtete Fensterseite. Daher muss im Raum G47 immer zu den Fenstern auch die Tür geöffnet werden, um einen wesentlich größeren Luftwechsel zu erreichen (Durchzugslüften). Da durch die offen stehende Tür allerdings auch die Geräuschkulisse des Flures auf den Klassenraum übertragen wird, ist es im Vergleich zu den Klassenräumen der Fridtjof-Nansen-Schule die mit zwei Fensterseiten ausgestattet sind, oft während des Unterrichtes lauter.

7 Anforderungen an einen Klassenraum

7.1 Künstliche Beleuchtung

Neben einer ausreichenden Versorgung mit Tageslicht, ist eine Installation von künstlicher Beleuchtung notwendig, um die erforderliche Beleuchtungsstärke und eine ausgewogene Leuchtdichte zu erreichen. In Grund- und weiterführenden Schulen, sollte die Beleuchtungsstärke mindestens 300 Lux in Unterrichtsräumen betragen. Für Erwachsenenbildung und Abendklassen wird eine Beleuchtungsstärke von mindestens 500 Lux in den Arbeitsstätten Richtlinien angegeben. Die Ausleuchtung der Klassenräume erfolgt im Allgemeinen über Rasterleuchten, die parallel zu den Fenstern angeordnet werden. Für die Tafelbeleuchtung muss eine reflexions- und schattenfreie Ausleuchtung gewählt werden, diese lassen sich durch Wandfluter mit einer asymmetrischen Lichtverteilung erreichen.¹⁸

Zieht man einen außenliegenden Sonnenschutz mit Tageslichtsteuerung in Betracht, so sollte die künstliche Beleuchtung dabei an das Tageslichtangebot angepasst werden, d.h. die Leitgröße bleibt das Tageslicht, dass bezüglich der Intensität, Lichtrichtung und Lichtfarbe erhalten bleiben sollte. Dies ist möglich durch Systeme zur Tageslichtlenkung, die das vorhandene Licht optimal in der Raumtiefe verteilen, den visuellen Komfort erhöhen und die Stromkosten reduzieren. Der Einsatz automatisch regelbarer Systeme und die Planung der zugehörigen Steuerung müssen immer auch einen autonomen Eingriff von Lehrern und Schülern erlauben. Nicht ein „Entweder-oder“, sondern ein „Sowohl-als-auch“ muss deshalb der Grundsatz für die Planung von Fassade, Haustechnik und Beleuchtung sein. Thermischer Komfort ist auch bei großen Glasflächen möglich, wenn dies in der Planungsphase berücksichtigt wird.¹⁹



Abbildung 14 Beleuchtungsstärke in Klassenräumen²⁰

¹⁸ Verein Deutscher Ingenieure (Hrsg.), September 2015. VDI 6040. Düsseldorf

¹⁹ Demel, M., 2016. IFT-Rosenheim

²⁰ Kersting, C., 2016. Licht.de.



Raum G 47
Schützenkühle 20-24

Simulation der künstlichen
Beleuchtung mit DIALux Software

31.05.2016

In der nachfolgenden Tabelle der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV), werden Mindestanforderungen der einzelnen Gütemerkmale und Empfehlungen in Klassenräumen beschrieben.²¹

Gütemerkmale	Mindestanforderungen	Bemerkungen/Empfehlungen/organisatorische Maßnahmen
Tageslicht	• Verhältnis lichtdurchlässige Fensterfläche zu Raumgrundfläche $\geq 1 : 10$ • Tageslichtquotient $\geq 2 \%$ • Sonnenschutz zur Blendungsbegrenzung	• Entfernung Arbeitsplatz – Fenster $\leq 6 \text{ m}$ • farbneutrale Verglasungsmaterialien • Fenster regelmäßig säubern • Tageslichtlenksystem inkl. Wärmeschutz
Künstliche Beleuchtung	Beleuchtungsstärke: • mittlere horizontale Beleuchtungsstärke in 0,75 m Höhe $\geq 500 \text{ lx}$ • mittlere vertikale Beleuchtungsstärke in 1,2 m Höhe $\geq 150 \text{ lx}$ • mittlere vertikale Beleuchtungsstärke Wandtafel $\geq 500 \text{ lx}$	• dimmbar • Gleichmäßigkeit der Beleuchtungsstärke $\geq 0,6$
	Lichtfarbe der Lampen: neutralweiß	• Farbtemperatur $\geq 4000 \text{ K}$ • Vollspektrum nicht notwendig
	Farbwiedergabe der Lampen: gut	• Farbwiedergabeindex ≥ 80
	Blendungsbegrenzung	• blendungsreduzierte Leuchten mit UGR ≤ 19 zur Vermeidung von Direktblendung • matte Oberflächen zur Vermeidung von Reflexionsblendung
	Schattigkeit: ausgewogen	• Leuchten mit direkt-/indirekt-Lichtverteilung (es gibt Leuchten mit Indirekt Anteil, die unmittelbar unter der Decke angebracht werden)
	regelmäßige Wartung der Beleuchtungsanlage (ca. alle 3 Jahre)	• Erstellen und striktes Einhalten eines Wartungsplans • Säubern • Austausch beschädigter oder zu alter Teile • Beleuchtungsstärkemessungen
	Energieeffizienz	• tageslicht- und präsenzabhängige Steuerung mit manueller Regelung • Lichtbänder separat schaltbar

Tabelle 5 Anforderung an Beleuchtung in Klassenräumen

Bei der Beleuchtungsmodernisierung in der Fachschule für Gestaltung und Technik Raum G47, lässt sich die Tabelle der DGUV als Richtlinie anwenden, bis auf den Sonnenschutz.

²¹ DGUV, Fachgruppe "Bildungswesen" (Hrsg.), 2016. *Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung*.

7.2 Heizung

Die Heizungsanlage muss Behaglichkeit und Gesundheit erhalten. Dafür muss sie die Wohlfühltemperatur von 20°C in Bürogebäuden/Schulen (DIN EN15251) erhalten und darf die relative Luftfeuchtigkeit nicht unter 30% (DIN EN14788) senken.

Für die geplante Modernisierung der Fenster mit integrierter Lüftung und Wärmerückgewinnungsmodulen, wäre es sinnvoll die Thermostatventile steuerungsseitig mit der Lüftung zu koppeln. Im Zeitraum des Lüftens soll der Volumenstrom der Heizkörper reduziert werden, um Wärmeverluste zu minimieren.

Eine Präsenzsteuerung der Thermostatventile könnte den Komfort weiter steigern. Ein Präsenzmelder an der Tür erkennt Personen, die den Raum nutzen und hebt die Raumtemperatur wieder auf 20°C an. Die Firma Knieback & Peter GmbH & CO. KG hat mit dem Modell en:key ein System entwickelt, welches für den Einsatz geeignet ist.

7.3 Lüftung

Klassenräume fallen in die Kategorie der Nicht-Wohngebäude. Sie sind dichter belegt und werden nicht kontinuierlich genutzt. Die tatsächliche Unterrichtszeit beträgt ca. 20-25% der Jahresgesamststunden. In Zahlen ausgedrückt wäre dies ca. 2190 von 8760 Stunden jährlich. Faustwerte aus verschiedenen Literaturen geben an, dass pro Schüler eine Raumfläche von zwei Quadratmetern und ein Raumvolumen von sechs Kubikmetern zur Verfügung stehen sollte. Eine Klasse mit ca. 30 Schülern produziert pro Stunde 2,3 - 2,7 kWh Wärme und ca. 500 Liter CO₂.²²

²² Vgl. BINE Informationsdienst, 2015. *Lüften in Schulen*. S. 3-20

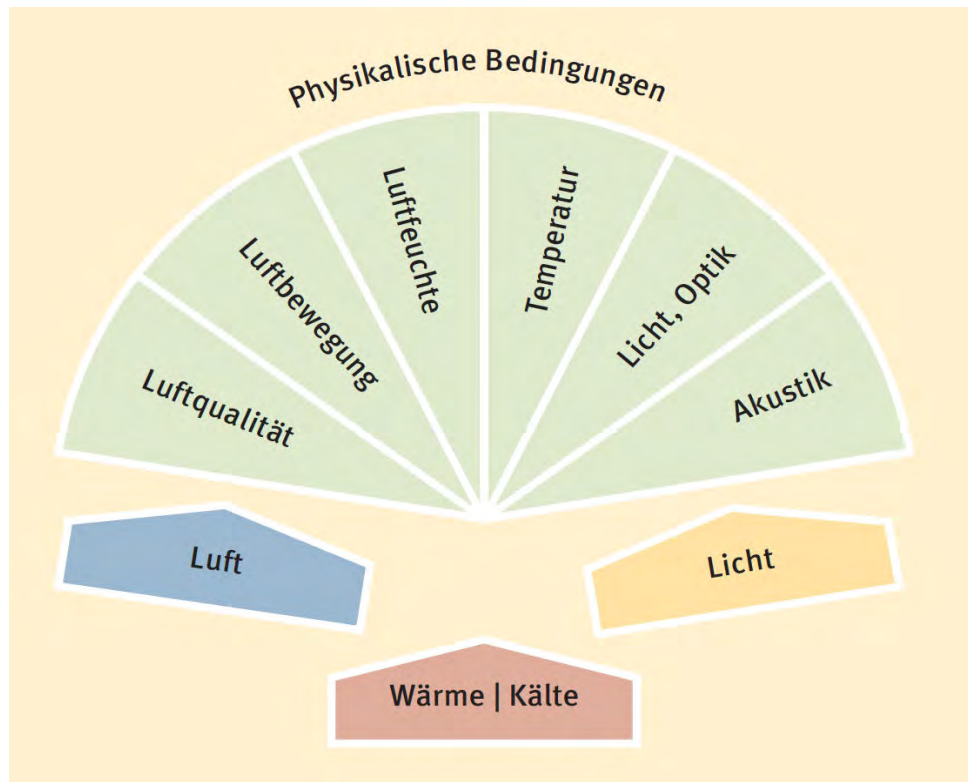


Abbildung 15 Behaglichkeitsfaktoren für das Raumklima

Aus diesem Grund ist es sinnvoll eine Klasse mit 500 – 900 m³ Frischluft pro Stunde zu versorgen. Die obenstehende Grafik zeigt die verschiedenen Faktoren, die ausschlaggebend für ein behagliches Raumklima sind.

Diese Faktoren geben im Fall der Planung eines Lüftungskonzepts verschiedene Anforderungen auf. Anforderungen sind:

- das Lüftungssystem muss an die flexiblen Nutzungszeiten des Klassenraumes angepasst sein
- die Bedienbarkeit muss einfach und unkompliziert sein.
- die vorgegebenen Einstellungen dürfen nicht durch unbefugte Personen verändert werden
- der geforderte Luftaustausch muss gewährleistet werden
- Hygienestandards müssen eingehalten werden
- Behaglichkeit, Akustik, und Atmosphäre im Klassenraum dürfen nicht gestört werden
- bei Sanierungen muss eine kostengünstige und effiziente Lösung gefunden werden

Kriterien an ein Lüftungsgerät:

Luftvolumenstrom [m³/h]

Wir suchen Geräte die 810 m³/h leisten können. Dies beruht auf der Annahme, dass in den Räumlichkeiten ca. 27 Personen sitzen und jeder davon 30 m³/h Zuluft Volumenstrom benötigt.

$$27 * 30 \text{ m}^3/\text{h} = 810 \text{ m}^3/\text{h}$$

Dies würde bei Gerätelüftung in dem Raum G47 mit einem Luftvolumen von 169 m³ eine Umwälzzahl von 4,8 erfordern.

$$\frac{810 \text{ m}^3/\text{h}}{169 \text{ m}^3/\text{h}} = 4,8$$

Schallemission [dB]

Die Lüftungsgeräte bilden immer eine Verbindung zwischen Innenräume und Außenraum, wodurch sich der Schall hindurch bewegen kann. Schalldämmende Maßnahmen in den Geräten sind erforderlich. Hinzu kommt die Lärmbelastung der Geräte durch Ventilator Geräusche. In der DIN 18041, Tabelle 1 ist ein maximaler Störschalldruck von 40 dB vorgeschrieben.

Wärmerückgewinnung Herstellerangaben [%]

Das Wärmerückgewinnungsmodul sollte so angelegt sein das die Heizkosten sinken. Im Idealfall sollte die Wärmeabgabe der Schüler genügen um die Wärmeverluste auszugleichen.

Hygiene

Die Geräte sollten interne Filter besitzen die keine Grundlagen für Schadstoffe und Krankheitserreger bilden. Die Lüftungsgitter sollten so geformt sein, dass der Staub den Weg in den Filter findet und nicht an dem Lüftungsgitter haften bleibt.

Energieeffizienzklassen [A+ - B]

Zu beachten ist auch die Energieeffizienzklasse der Geräte. Diese von der EU erlassenen Label, weißen auf besonders nachhaltige und Energie sparende Produkte hin. Festgelegt werden die Effizienzklassen anhand eines Fiktiven Durchschnittsgerätes. Die Anforderungen werden 2018 weiter verschärft, siehe im Anhang ErP Richtlinien von Robatherm.

Variante A

Mit dem Raumvolumen von 810m³/h ergibt sich gemäß VDI 8060 bei Kippfenster ein Volumenstrom von 770m³/h. Eine Unterrichtseinheit besteht aus 90 Minuten Unterricht und 20 Minuten Pause. Wir nehmen an, dass in den Pausen alle drei Fenster 15 Minuten lang komplett geöffnet sind. In dieser Zeit kann ein Volumenstrom von 105m³/h ausgetauscht werden. Für eine Stunde ergibt sich rechnerisch ein Austausch von 57,27m³/h. Diese werden von den 810m³/h abgezogen und zeigen auf, dass die gewählten Lüftungsgeräte einen Volumenstrom von 752,73m³/h liefern müssen.

Mit unserem Volumen von 810 m³/h ergibt sich gemäß VDI 8060 bei Kippfenster ein Volumenstrom der Kippfenster von 770 m³/h. Eine Unterrichtseinheit besteht aus 90 Minuten Unterricht und 20 Minuten Pause.

$$\text{Unterrichtseinheit} = 90 \text{ min} + 20 \text{ min} = 110 \text{ min}$$

Wir nehmen an, dass in den Pausen das Fenster 15 Minuten lang komplett geöffnet ist.

$$\text{Volumenstrom Pauseneinheit}_{110 \text{ min}} = \frac{770 \text{ m}^3/\text{h} * 15 \text{ min}}{110 \text{ min}} = 105 \text{ m}^3/\text{h}$$

In dieser Zeit kann ein Volumenstrom von 105 m³/h ausgetauscht werden.

$$\text{Volumenstrom Pauseneinheit}_{60 \text{ min}} = \frac{105 \text{ m}^3/\text{h} * 60 \text{ min}}{110 \text{ min}} = 57,27 \text{ m}^3/\text{h}$$

Für eine Stunde ergibt sich rechnerisch ein Austausch von 57,27 m³/h.

$$\text{Zu Leistender Volumenstrom}_{60 \text{ min}} = 810 \text{ m}^3/\text{h} - 57,27 \text{ m}^3/\text{h} = 752,73 \text{ m}^3/\text{h}$$

Diese werden von den 810 m³/h abgezogen und zeigen auf, dass die gewählten Lüftungsgeräte einen Volumenstrom von 752,73 m³/h liefern müssen.

Variante B

Hier wird von 50% freier und 50% mechanischer Lüftung ausgegangen.

Wir nehmen an das nicht nur gekippt wird, sondern in der Pause auch das ganze Fenster geöffnet wird. Daraus ergibt sich das wir 50% von den Benötigten 810m³/h nehmen und diese 405m³/h als Grundlage für unsere Gerätewahl zu verwenden.

7.4 Übersicht der ausgewählten Lüftungsgeräte

Die Projektgruppe stellte einige Lüftungsgeräte zusammen, die für den Raum G47 in Frage kommen. Noch kann keine Kostenschätzung einbezogen werden, da dies noch nicht in der Kompetenz der GST 15 liegt. In der Rechnung Variante A, mit dem benötigten Luftvolumenstrom von $752,73\text{m}^3/\text{h}$, ist ein Pool an Geräten gewählt worden, die vorwiegend unter der Decke, an der Wand oder als Aufstellgerät verfügbar sind. Die anderen Einbausituationen sind für die Dauerlüftung nicht praktikabel. Diese können jedoch in Variante B ihren Einsatz finden, da hier von einer 50% freien Lüftung ausgegangen wird. Die Einbausituation ist bei einem Luftvolumenstrom von $405\text{m}^3/\text{h}$ kompakter, so können die Geräte im Rahmen, oder in der Scheibe angebracht werden. Zu beachten ist, dass diese nur in Gruppen von 2-18 Geräten den benötigten Luftvolumenstrom erzeugen können.

		Einbausituation																				
Kriterien		Mindesanforderungen		Rahmen		Fensterbank		Paneele		Scheiben		Unterdecke			Standgerät							
berechnet für einen typischen Klassenraum z.B. G47 erforderlicher Luftvolumenstrom insgesamt 810m³/h		Lunos fgoTel. +49 30 362 001-0 info@lunos.de www.lunos.de		Renson® Endura® Twist Tel. +32 (0)56 62 71 11 deutschland@renson.net www.renson.eu		Siku SA60 Tel.+43 2262 61 521 office@siku.cc www.siku.at		SEVi 160ALD Tel.: +49 36424 – 76 74 72 info@seventilation.de www.dezentrale-lueftung.com		SK Elektronik GmbH Tel. +49 2171 3955-0 luefter@sk-elektronik.de www.oekoluefter.de		LTM® dezent 800 WLA Tel. 0731 - 409867 - 0 info@ltm-ulm.de www.ltm-ulm.de			Helios® KWL EC 1400 D Tel. 0049 7720 606-0 info@heliosventilatoren.de www.heliosventilatoren.de		Airflow® Duplex Vent 800 Tel. 0049 2226-9205-0 info@airflow.de www.airflow.de		Helios® KWL EC 1800S Pro Tel. 0049 7720 606-0 info@heliosventilatoren.de www.heliosventilatoren.de			
																						
Luftvolumenstrom Variante a Rechnung	Kipplüftung in den Pausen	752,73m³/h		k.A.		k.A.		k.A.		200m³/h 4 Geräte		800m³/h 1 Gerät			1400m³/h 1 Gerät		800m³/h 1 Gerät		810m³/h 1 Gerät			
Luftvolumenstrom Variante b Annahme	freie Lüftung : mechanische Lüftung 50 : 50	405m³/h		15m³/h 6 Geräte á 4 Gebläse		30m³/h 3 Geräte á 5 Gebläse		58m³/h 7 Geräte		22m³/h 18 Geräte		200m³/h 2 Geräte		k.A.			k.A.		k.A.			
Schallemission		Störschalldruckpegel von max 40dB nach DIN 28041 Tabelle 1		33 dB		25,2 dB		29 dB		58 dB		42 dB		42 dB			51 dB		35 dB		72 dB	
Wärmerückgewinnung Herstellerangaben				85,50%		85%		91%		k.A.		90%		92%			82%		84%		90%	
Besonderheiten				Integration in Fensterrahmen möglich		Variable Gebläse anzahl in einem Gerät		Geringe Bautiefe		Geringe Bautiefe		Montage in der Glasscheibe		Leistungsanforderungen erfüllt			Leistungsanforderungen erfüllt		Leistungsanforderungen erfüllt		Größere Ausführung versorgt auch zwei Räume	
Baugrößen		h x t x b		9,2 x 8,6 x 98,4 cm		11 x 32 x 100 cm		27 x 25 x 27 cm		16,5 x 10 x 16,5 cm		38 x 2,4 x 38 cm		89 x 32 x 92 cm			97 x 30 x 95 cm		90 x 44 x 188 cm		139 x 79 x 175 cm	
Hygiene		G1 - F9 nach DIN EN 779		G3		G3, F7		k.A.		G3		k.A.		k.A.			F5, F7		F7, F9		F5, F7	
Energieeffizienzklasse		A+ - B		k.A.		A		k.A.		k.A.		k.A.		A			k.A.		A+		k.A.	

8 Marktrecherche Lüftungsgeräte

Eine Auswahl von Lüftungsgeräten für einen typischen Klassenraum

8.1 Motorische Lüftung der Firma Window Master

Im Gebäudeteil C der Fridtjof-Nansen-Schule wurde die CO₂-gesteuerte automatische Fensteröffnung der Firma Window Master eingesetzt. Aus diesem Grund gehen wir detaillierter auf Produkte dieser Firma ein. Bei dem Einsatz einer bedarfsgeführten Fensterlüftung gibt es einen stetigen Abgleich von Temperatur-, CO₂- und Raumluftmessungen im Gebäude. Dadurch passt sich die natürliche Lüftung der aktuellen Situation an. Außerdem wird hierbei die Wind- und Außentemperatur gemessen und mit abgeglichen. Da nur so viel Frischluft in den Raum einströmt, wie auch notwendig ist, wird der Energieverbrauch gegenüber einer freien Lüftung deutlich gesenkt. Durch ein abgestimmtes Regelsystem, werden die Öffnungsweiten millimetergenau in Abhängigkeit von Innen- und Außentemperatur gesteuert. Ein interessanter Aspekt ist die Funktion der Nachtauskühlung. Unter Berücksichtigung bauphysikalischer Gegebenheiten und Speichermassen des Gebäudes, werden am Abend (Nacht), über die automatische Fensteröffnung, aufgestaute Wärmelasten abgetragen. Bei hohen Windgeschwindigkeiten und Regen werden die Fenster über die automatische Regelung ganz oder bis auf einen Spalt geschlossen. Durch die gesteuerte Nachtauskühlung, wird eine Überhitzung am nächsten Tag minimiert.



Abbildung 16 Kettenantrieb²⁴



Abbildung 17 Regelsystem

²⁴ Window Master GmbH, 2012. *Gymnasium Eckhorst*, Bad Oeynhausen: (Hrsg) Marco Fröse.

9 Empfehlungen den Raum G 47

Die Fridtjof-Nansen-Schule stand als praktisches Beispiel zur Verfügung, um in drei Klassenräumen, mit unterschiedlichen Lüftungen, Messungen aufnehmen zu können. Diese Auswertungen haben ergeben, dass die aktive Lüftungsanlage die beste Raumluftqualität in der Fridtjof-Nansen-Schule bietet und komfortabler ist gegenüber einer manuellen Lüftung. Allerdings konnten die Investitionskosten und Betriebskosten im Rahmen dieses Projektes nicht untersucht werden.

Des Weiteren wurden verschiedene Modellprojekte aus anderen Schulen wie zum Beispiel der „Käthe-Kollwitz-Schule“ in Aachen analysiert. In diesem Projekt werden bereits seit einigen Jahren kombinierte Lüftungssysteme aus Fensterlüftung und mechanischer Lüftung mit präsenzabhängigen Sensoren eingesetzt und getestet. Aus diesem Modellprojekt geht hervor, dass je nach Budget und baulichen Möglichkeiten eine zentrale Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung empfehlenswert ist, da diese wartungs- und störungsfreier lief. Dies dürfte aber mit hohen Investitionskosten verbunden sein. An der Fachschule soll zunächst ein Raum modernisiert werden. Auslöser für unsere Untersuchung ist die erforderliche Fenstersteuerung. Für die Modernisierung eines einzelnen Klassenraumes schlagen wir zwei mögliche Alternativen vor.

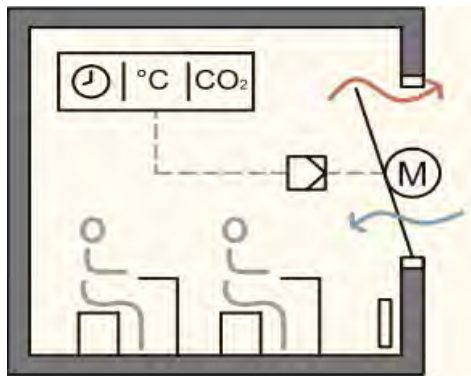


Abbildung 18 geregelte motorische unterstützte Fensterlüftung²⁴

Vorschlag 1.

Motorisch unterstützte und CO₂ gesteuerte Fensterlüftung²⁴. Dies hat den Vorteil, dass die Luftqualität in der Regel in einem hygienisch akzeptablen Bereich gehalten werden kann. Zusätzlich wird bei Bedarf frei gelüftet. Die Anlage erfordert keine hohen Investitionskosten und kann über KNX auch mit den Heizkörperventilen gekoppelt werden.

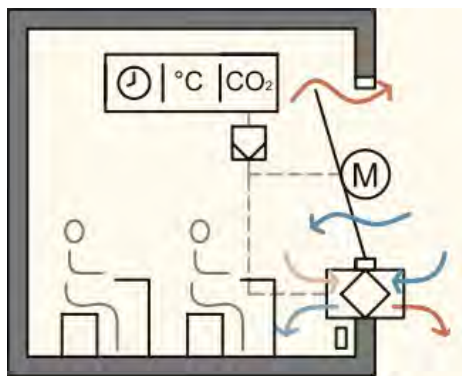


Abbildung 19 hybride Lüftung²⁵

Vorschlag 2.

Ausstattung des Raumes mit einem „Hybriden Lüftungssystem“. Dies ist eine Kombination aus motorischer Fensterlüftung und einem maschinellen Lüftungssystem, welches über Temperatur- und Luftqualitätssensoren, Präsenzmeldern und dem Stundenplan geregelt werden kann. Sonnenschutz und Tageslicht Lenkung sind nicht erforderlich da die Fenster in Nord-Orientierung verbaut sind.

Neben der Behaglichkeit (Raumlufttemperatur, Feuchte und CO₂-Gehalt) sollte vor allem auf die Investitions- und Betriebskosten geachtet werden, sowie auch auf die Schallemissionen der Geräte und den Wartungsaufwand.

Empfehlenswert für den Klassenraum G47 sind folgende Geräte. Lüftungsgeräte die waagrecht oder senkrecht auf dem Fensterprofil montiert werden. Diese Geräte sind kaum sichtbar und besitzen einen

²⁴ BINE-Broschüre Informationsdienst (Hrsg.), 2015. *Lüften in Schulen*. Bonn. S.9

²⁵ BINE-Broschüre Informationsdienst (Hrsg.), 2015. *Lüften in Schulen*. Bonn. S.9

geringen Geräuschpegel. Diese Variante bietet sich an da ein Austausch der Fenster geplant ist und so ein geringer Einbauaufwand zu erwarten ist. Als Alternative bietet sich des Weiteren ein kleineres Modell der Unterdeckengeräte an, da diese ausreichend Leistung für die Hybride Lüftung zur Verfügung stellen und somit auch eine geringere Schallemission verursachen.

Außerdem sollte bei der Auswahl der Lüftungsgeräte beachtet werden, dass nur Lüftungsgeräte in Frage kommen welche den aktuellen gesetzlichen Richtlinien der ErP entsprechen. Da bereits im Jahr 2018 die Richtlinien wieder verschärft werden.

Literaturverzeichnis

Bäck, H. J., 2006. *Anlagenmechanik für Sanitär-, Heizungs- und Klimatechnik*. Braunschweig: Westermann.

BINE-Broschüre Informationsdienst (Hrsg.), 2015. *Lüften in Schulen*. Bonn

Demel, M., 2016. *IFT-Rosenheim*. [Online]

Available at: https://www.ift-rosenheim.de/documents/10180/671018/SB1404_Sonnen_Blendschutz_Schulbauten_Demel_Benitz.pdf/2ebd8740-9ffa-4988-8f3c-da9b0646923e

Deutsche Bundesstiftung Umwelt, 2015. *Raumklima und Schülerleistung*, Osnabrück: (Hrsg) Deutsche Bundesstiftung Umwelt.

DGUV, Fachgruppe "Bildungswesen" (Hrsg.), 2016. *Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung*. [Online]

Available at: publikationen.dguv.de/dguv/pdf/10002/si-8094.pdf

Fachverband Gebäude-Klima (Hrsg.), November 2004. *Lüftung von Schulen*. Bietigheim-Bissingen

Frank Hartmann, 2015. *Lüftungskonzepte Erstellen- Kosten- Projektbeispiele*. 2. Auflage Hrsg. Kissing: WEKA Media GmbH & Co. KG.

Inco Ingenieurbüro, 2006. *Energetische Sanierung der Käthe Kollwitz Schule*, Aachen: (Hrsg) Martin Lambertz.

Kersting, C., 2016. *Licht.de*. [Online]

Available at: http://www.licht.de/fileadmin/Publikationen_Downloads/Lichtwissen02_Bessernlernen.pdf

Nadler, D.-I. N., 2011. *Lüftungskomponenten nach DIN 1946-6*. [Online]

Available at: https://www.vdi.de/fileadmin/vdi_de/redakteur/bvs/bv_karlsruhe_dateien/Vortrag-Lueftungskomponenten-DIN_1946-6-Nadler.pdf
[Zugriff am 30.05.2016].

Pistohl, W., Rechenauer, C. & Scheuerer, B., 2013. *Handbuch der Gebäudetechnik*. 8. Auflage Hrsg. Köln: Werner-Verlag.

Robatherm (Hrsg.), 2016. *ErP Ready*, Burgau

Schmitz, 2016. *EnOB Forschung für Energieoptimiertes Bauen*. [Online]

Available at: <http://www.enob.info/de/sanierung/projekt/details/sanierung-berufskolleg-detmold-zur-plusenergie-schule/>
[Zugriff am 31.05.2016].

Verein Deutscher Ingenieure (Hrsg.), September 2015. *VDI 6040*. Düsseldorf

Window Master GmbH, 2012. *Gymnasium Eckhorst*, Bad Oeynhausen: (Hrsg) Marco Fröse.

ANHANG

1 Begriffserklärungen	28
2 Messdaten von dem Raum G 47	30
3 Befragungsbögen Fridtjof-Nansen-Schule	32
4 Die Ökodesign-Richtlinie ErP	44

Anhang

1 Begriffserklärungen

Freie Lüftung

„Unter freier Lüftung wird der Luftaustausch ohne maschinellen Antrieb durch Öffnungen im Gebäude (Fenster, Schächte) verstanden. Bei einseitigen Lüftungsöffnungen treibt der durch die Wärmelasten im Raum verursachte thermische Auftrieb die freie Lüftung an, bei zweiseitiger und Schachtlüftung können windbedingte Drücke zusätzlich auf die freie Lüftung wirken. Der in den Raum eintretende Außenluftvolumenstrom ist nutzungsabhängig und kann durch überlagerte Windwirkung stark schwanken.

Ein planerischer Nachweis über die Funktionalität der freien Lüftung ist zu führen. Zusätzlich ist vorab zu prüfen, ob eine ausreichende Außenluftqualität gegeben ist und der Außenlärmpegel nicht eine ausreichende Lüftung während des Unterrichts verhindert. Bei freier Lüftung ist eine Wärmerückgewinnung in der Regel nicht möglich. Dies führt zu einem erhöhten Lüftungswärmebedarf und ist bei der Auslegung der Heizflächen zu berücksichtigen.

Bei niedrigen Außentemperaturen kann durch die große Temperaturdifferenz zur Raumluft ein übermäßiger Luftwechsel auftreten. In diesen Fällen kann eine ausreichende Dosierung der freien Lüftung meist nur über Stoß- oder Spalllüftung erreicht werden. Um behagliche Zustände im Unterrichtsraum witterungsunabhängig sicherzustellen, müssen bestimmte Randbedingungen eingehalten werden. Ein über das Dach geführter Schacht (Schachtlüftung) ermöglicht einen stärkeren Luftwechsel, besitzt aber auch einen zusätzlichen Strömungswiderstand. Es sind daher weiterführende Berechnungen erforderlich, um die Funktion nachweisen zu können.

Die sicherheitstechnischen Anforderungen an Fenster und Schächte sind zu beachten. Die Fensterflügel dürfen nicht in den Aufenthaltsbereich ragen.“ Zitat²⁶

Maschinelle Lüftung

„Bei maschineller Lüftung erfolgt ein definierter Luftaustausch, sodass Raumluftkondition und -qualität eingehalten werden können. Sie können mit einer Wärmerückgewinnung ausgestattet und nutzungsabhängig betrieben werden. Neben der Lüftungsfunktion erfolgt die Filterung und Erhitzung der Außenluft. Weitere thermodynamische Luftbehandlungsfunktionen sind möglich.

Abhängig vom Aufstellort und der Anzahl der Geräteeinheiten können Systemvarianten unterschieden werden:

- zentrale maschinelle Lüftung

Bei der zentralen maschinellen Lüftung befinden sich die Zu- und Abluftgeräte in gesonderten Technikräumen (z. B. auf dem Dach oder im Keller). Die Zuluft wird über Luftleitungen zu den Unterrichtsräumen transportiert und dort über Luftdurchlässe eingebracht. Die Abluft wird entweder direkt aus den Unterrichtsräumen oder in Flur-/Nebengebieten unter Berücksichtigung brandschutztechnischer und akustischer Anforderungen abgesaugt.

- dezentrale maschinelle Lüftung

²⁶ Verein Deutscher Ingenieure (Hrsg.), September 2015. *VDI 6040*. Düsseldorf. S.5

Bei der dezentralen maschinellen Lüftung befindet sich das Lüftungsgerät in der Regel im Unterrichtsraum und belüftet nur diesen. Die Außenluft wird dezentral über eine Ansaugöffnung in der Gebäudehülle zum Lüftungsgerät geführt. Die Zuluft wird über in das Gerät integrierte oder damit verbundene Luftdurchlässe in den Raum eingebracht. Die Abluft wird entweder dezentral über das Gerät oder zentral über ein oder mehrere Abluftgeräte direkt aus den Unterrichtsräumen oder den Flur-/Nebengebieten unter Berücksichtigung brandschutztechnischer und akustischer Anforderungen abgesaugt.“ Zitat²⁷

Hybride Lüftung

„Mit der hybriden Lüftung wird die freie und maschinelle Lüftung mit einer Steuerung zu einem gemeinsamen Lüftungssystem kombiniert. Betriebsarten können hierbei sein:

- freie Lüftung
- maschinelle Lüftung
- Kombination der freien mit der maschinellen Lüftung

Über die Steuerung wird durch gleichzeitige Messung von Umgebungs- und Innenraumbedingungen die Betriebsart eingestellt, mit der die Anforderungen an die Raumkonditionen bei gleichzeitig minimiertem Energieaufwand eingehalten werden können“. Zitat²⁸

²⁷ Verein Deutscher Ingenieure (Hrsg.), September 2015. *VDI 6040*. Düsseldorf. S.15-18

²⁸ Verein Deutscher Ingenieure (Hrsg.), September 2015. *VDI 6040*. Düsseldorf. S.7

2 Messdaten von dem Raum G 47

Messgerät: Woehler CDL 210

Startzeit: 20.04.2016 09:18

Lograte: 1831 s

Messreihen: 55

FSTuG Raum G 47

	hygienisch unbedenkliche CO2 Konzentration
	hygienisch auffällige CO2 Konzentration
	hygienisch inakzeptable CO2 Konzentration

Datensatz	Datum	Zeit	CO ₂	Temperatur [°C]	rel. Luftfeuchte [%]
1	20.04.2016	09:18:51	898	22,3	37,5
2	20.04.2016	09:49:22	1248	20,4	38,5
3	20.04.2016	10:19:53	1550	20,7	39,9
4	20.04.2016	10:50:24	1710	20,7	40,2
5	20.04.2016	11:20:55	1916	20,7	40,9
6	20.04.2016	11:51:26	1445	20,4	39,3
7	20.04.2016	12:21:57	1615	20,4	39,9
8	20.04.2016	12:52:28	1230	20,2	37,9
9	20.04.2016	13:22:59	920	19,9	35,8
10	20.04.2016	13:53:30	786	19,6	35,7
11	20.04.2016	14:24:01	758	19,6	35,6
12	20.04.2016	14:54:32	769	19,6	36,2
13	20.04.2016	15:25:03	769	19,5	36,6
14	20.04.2016	15:55:34	765	19,4	36,8
15	20.04.2016	16:26:05	679	19,4	36,3
16	20.04.2016	16:56:36	653	19,4	36,3
17	20.04.2016	17:27:07	630	19,4	36,2
18	20.04.2016	17:57:38	622	19,3	36,4
19	20.04.2016	18:28:09	612	19,3	36,6
20	20.04.2016	18:58:40	607	19,3	36,7
21	20.04.2016	19:29:11	604	19,3	36,9
22	20.04.2016	19:59:42	599	19,3	37,0
23	20.04.2016	20:30:13	593	19,3	37,1
24	20.04.2016	21:00:44	587	19,2	37,1
25	20.04.2016	21:31:15	578	19,2	37,1
26	20.04.2016	22:01:46	574	19,0	37,5
27	20.04.2016	22:32:17	567	18,9	37,6
28	20.04.2016	23:02:48	557	18,9	37,6
29	20.04.2016	23:33:19	547	18,8	37,6
30	21.04.2016	00:03:50	538	18,8	37,5

Datensatz	Datum	Zeit	CO ₂	Temperatur [°C]	rel. Luftfeuchte [%]
31	21.04.2016	00:34:21	531	18,7	37,5
32	21.04.2016	01:04:52	524	18,7	37,5
33	21.04.2016	01:35:23	518	18,7	37,4
34	21.04.2016	02:05:54	512	18,7	37,5
35	21.04.2016	02:36:25	510	18,6	37,4
36	21.04.2016	03:06:56	504	18,6	37,4
37	21.04.2016	03:37:27	500	18,6	37,4
38	21.04.2016	04:07:58	496	18,5	37,3
39	21.04.2016	04:38:29	494	18,6	37,2
40	21.04.2016	05:09:00	488	18,8	37,0
41	21.04.2016	05:39:31	489	18,9	36,8
42	21.04.2016	06:10:02	486	19,1	36,5
43	21.04.2016	06:40:33	483	19,2	36,4
44	21.04.2016	07:11:04	483	19,8	35,7
45	21.04.2016	07:41:35	487	20,8	34,5
46	21.04.2016	08:12:06	652	20,6	34,6
47	21.04.2016	08:42:37	636	20,6	35,0
48	21.04.2016	09:13:08	1096	22,1	36,4
49	21.04.2016	09:43:39	886	21,8	34,6
50	21.04.2016	10:14:10	851	21,6	34,5
51	21.04.2016	10:44:41	779	21,2	33,2
52	21.04.2016	11:15:12	1202	21,3	35,4
53	21.04.2016	11:45:43	1785	21,6	37,6
54	21.04.2016	12:16:14	2279	21,8	39,9
55	21.04.2016	12:46:45	2046	21,7	38,9

3 Befragungsbögen Fridtjof-Nansen-Schule

Die handschriftlichen Eintragungen zeigen die Auswertung der Lehrer – und Schülerbefragung.

Gebäude B Lehrerbogen

Nutzerbefragung zur Raumluftqualität in den Klassenräumen Gebäude B

(Diese Klassenräume sind mit unterschiedlichen Lüftungssystemen ausgestattet.)

1. Wie empfinden Sie die Luftqualität im Klassenraum?
sehr schlecht sehr gut
2. Wann wird gelüftet?
In der Unterrichtszeit In der Pause
3. Wie oft wird tatsächlich, in einer Unterrichtsstunde, gelüftet?
0 1 2 3 4-mal
4. Wie lange wird gelüftet?
0 min 5 min 10 min 15 min 20 min +
5. Wie wird gelüftet?
Fenster auf Kipp Fenster ganz auf Fenster und Tür auf
6. Aus welchen Gründen wird nicht öfter gelüftet, falls die Luftqualität schlecht ist?
☒ vergessen
stört den Unterrichtsablauf
☒ Lärm von draußen
.....
7. Spüren Sie Zugluft im Klassenraum?
nahezu immer ☒ nahezu nie

Gebäude B

8. Empfinden Sie störende Gerüche im Klassenraum?

nahezu immer

☒ nahezu nie

9. Gibt es Störgeräusche beim Lüften oder durch die Lüftungsanlage?

nahezu immer

☒ nahezu nie

10. Anzahl der Personen im Klassenraum?

~~8~~

11. Nutzungsdauer

Mo: ☒ 7⁴⁵ - 15¹⁵
Di: ☒ 7⁴⁵ - 12²⁵
Mi: ☒ 7⁴⁵ - 15¹⁵
Do: ☒ 7⁴⁵ - 15¹⁵
Fr: ☒ 9²⁵ - 12²⁵
Andere Nutzung

12. Welches Raumtemperaturen empfinden haben Sie im Sommer und Winter?

alles ok!

13. Ist die Anlage funktionstüchtig?

Ja

2

Nein

14. Ist eine zusätzliche Manuelle Bedienung der Lüftungsanlage erwünscht?

☒ Ja

Nein

15. Würden Sie ein anderes Lüftungskonzept vorziehen?

Gebäude C

Gebäude D

☒ Nein

16. Was würden Sie gerne verbessern für die Lüftung hier?

.....
.....
.....

Gebäude B Schüler

Fachschule für Technik und Gestaltung
Flensburg



Nutzerbefragung zur Raumlufthqualität in den Klassenräumen der Bauteile B, C und D

(Diese Klassenräume sind mit unterschiedlichen Lüftungssystemen ausgestattet.)

Schüleranzahl: 21

1. Wie empfindest du die Luftqualität im Klassenraum?

sehr schlecht ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ sehr gut
1x 8x 10x 2x /

2. Wann wird gelüftet?

☐ In der Unterrichtszeit ☐ In der Pause

3x 13x
5x beide Antworten

3. Wie oft wird tatsächlich, in einer Unterrichtsstunde, gelüftet?

0 1 2 3 4-mal
☐ ☐ ☐ ☐ ☐
1x 11x 6x 1x /
2x (1-2 mal)

4. Wie lange wird gelüftet?

0 min 5 min 10 min 15 min 20 min
☐ ☐ ☐ ☐ ☐
/ 5x 11x 2x 1x
2x (10-15 min)

5. Wie wird gelüftet?

☐ Fenster auf Kipp ☐ Fenster ganz auf ☐ Fenster und Tür auf
5x 8x /

8x (Kipp und ganz auf)

6. Aus welchen Gründen wird nicht öfter gelüftet, falls die Luftqualität schlecht ist?

11x ☐ vergessen

1x ☐ stört den Unterrichtsablauf

4x ☐ Lärm von draußen

5x ☐ Kälte

7. Spürst du Zugluft im Klassenraum?

nahezu immer

☐ 1x ☐ 2x ☐ 9x ☐ 6x ☐ 3x

nahezu nie

8. Empfindest du störende Gerüche im Klassenraum?

nahezu immer

☐ 3x ☐ 8x ☐ 6x ☐ 3x ☐ 1x

nahezu nie

9. Gibt es Störgeräusche beim Lüften oder durch die Lüftungsanlage?

nahezu immer

☐ 1x ☐ 2x ☐ 3x ☐ 5x ☐ 11x

nahezu nie

10. Was würdest du gerne verbessern für die Lüftung hier?

.....

.....

.....

Vielen Dank für Deine Mitarbeit!

Die Klasse Gebäudesystemtechnik an der Fachschule für Technik und Gestaltung

Gebäude C Lehrerbogen

Lehrer Gebäude C

Fachschule für Technik und Gestaltung
Flensburg

Nutzerbefragung zur Raumluftqualität in den Klassenräumen Gebäude C

(Diese Klassenräume sind mit unterschiedlichen Lüftungssystemen ausgestattet.)

1. Wie empfinden Sie die Luftqualität im Klassenraum?

☒ sehr schlecht ☒ schlecht ☐ ☐ ☐ ☐ sehr gut

2. Wann wird gelüftet?

☒ In der Unterrichtszeit ☐ In der Pause

3. Wie oft wird tatsächlich, in einer Unterrichtsstunde, gelüftet?

0 1 ☒ 2 ☐ 3 4-mal

4. Wie lange wird gelüftet?

0 min ☒ 5 min ☐ 10 min ☐ 15 min ☐ 20 min

5. Wie wird gelüftet?

Fenster auf Kipp ☒ Fenster ganz auf ☐ Fenster und Tür auf

an Fenster ist meist auf Kipp

6. Aus welchen Gründen wird nicht öfter gelüftet, falls die Luftqualität schlecht ist?

☒ vergessen

stört den Unterrichtsablauf

☒ Lärm von draußen *Rasenmäher*

Kälte

7. Spüren Sie Zugluft im Klassenraum?

☐ nahezu immer ☒ nahezu nie

Gebäude C

8. Empfinden Sie störende Gerüche im Klassenraum?

nahezu immer

D ~~2. von hinten~~ D D D

nahezu nie

9. Gibt es Störgeräusche beim Lüften oder durch die mechanische Fensterlüftung?

nahezu immer

nahezu nie

10. Anzahl der Personen im Klassenraum?

27

11. Nutzungsdauer

Mo: 7 1/2

Di: 4 1/2

Mi: 7 1/2

Do: 7 1/2

Fr: 4 1/2

Andere Nutzung

12. Welches Raumtemperaturen empfinden haben Sie im Sommer und Winter?

Sommer sehr warm

Winter häufig auch sehr warm

13. Ist die Anlage funktionstüchtig?

Ja

Nein

14. Ist eine zusätzliche Manuelle Bedienung der manuellen Fensterlüftung erwünscht?

Ja

Nein

15. Würden Sie ein anderes Lüftungskonzept vorziehen?

Gebäude B

Gebäude D

Nein

16. Was würden Sie gerne verbessern für die Lüftung hier?

.....

.....

Gebäude C Schülerbogen

Fachschule für Technik und Gestaltung
Flensburg



Nutzerbefragung zur Raumluftqualität in den Klassenräumen der Bauteile B, C und D

(Diese Klassenräume sind mit unterschiedlichen Lüftungssystemen ausgestattet.)

Schüleranzahl: 18

1. Wie empfindest du die Luftqualität im Klassenraum?
sehr schlecht ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ sehr gut
✓ 4x 11x 3x ✓
2. Wann wird gelüftet?
☐ In der Unterrichtszeit ☐ In der Pause
16x 9x
3. Wie oft wird tatsächlich, in einer Unterrichtsstunde, gelüftet?
0 ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4-mal ☐
✓ 4x 9x 1x ✓
4x (1-2 mal)
4. Wie lange wird gelüftet?
0 min ☐ 5 min ☐ 10 min ☐ 15 min ☐ 20 min ☐
✓ 12x 2x ✓ ✓
4x (5-10 min)
5. Wie wird gelüftet?
☐ Fenster auf Kipp ☐ Fenster ganz auf ☐ Fenster und Tür auf
✓ 15x ✓
3x (Kipp und ganz auf)

6. Aus welchen Gründen wird nicht öfter gelüftet, falls die Luftqualität schlecht ist?

- 2x ☐ vergessen
6x ☐ stört den Unterrichtsablauf
6x ☐ Lärm von draußen
11x ☐ Kälte

7. Spürst du Zugluft im Klassenraum?

- nahezu immer ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ nahezu nie
2x 2x 6x 4x 4x

8. Empfindest du störende Gerüche im Klassenraum?

- nahezu immer ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ nahezu nie
/ 4x 6x 7x 1x

9. Gibt es Störgeräusche beim Lüften oder durch die Lüftungsanlage?

- nahezu immer ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ nahezu nie
/ 1x 5x 10x 2x

10. Was würdest du gerne verbessern für die Lüftung hier?

.....
.....
.....

Vielen Dank für Deine Mitarbeit!

Die Klasse Gebäudesystemtechnik an der Fachschule für Technik und Gestaltung

Gebäude D Lehrerbogen

Lehre Gebäude D

Fachschule für Technik und Gestaltung
Flensburg 

Nutzerbefragung zur Raumlufthqualität in den Klassenräumen Gebäude D

(Diese Klassenräume sind mit unterschiedlichen Lüftungssystemen ausgestattet.)

- Wie empfinden Sie die Luftqualität im Klassenraum?
sehr schlecht ☐ ☐ ☒ ☐ ☐ sehr gut
- Wann wird gelüftet?
In der Unterrichtszeit ☒ In der Pause ☒
- Wie oft wird tatsächlich, in einer Unterrichtsstunde, gelüftet?
0 ☐ ☒ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4-mal
- Wie lange wird gelüftet?
0 min ☐ 5 min ☐ ☒ 10 min ☐ 15 min ☐ 20 min
- Wie wird gelüftet?
☒ Fenster auf Kipp ☒ Fenster ganz auf ☐ Fenster und Tür auf
- Aus welchen Gründen wird nicht öfter gelüftet, falls die Luftqualität schlecht ist?
☒ vergessen
stört den Unterrichtsablauf
Lärm von draußen
.....
- Spüren Sie Zugluft im Klassenraum?
nahezu immer ☐ ☐ ☐ ☐ ☒ nahezu nie

Gebäude D

8. Empfinden Sie störende Gerüche im Klassenraum?

nahezu immer

☐ ☐ ☒ ☐ ☐

nahezu nie

9. Gibt es Störgeräusche beim Lüften?

nahezu immer

☐ ☐ ☐ ☐ ☐

nahezu nie

10. Anzahl der Personen im Klassenraum?

26

11. Nutzungsdauer

Mo:

Di:

Mi:

Do:

Fr:

Andere Nutzung

6h

12. Welches Raumtemperaturen empfinden haben Sie im Sommer und Winter?

13. Würden Sie ein anderes Lüftungskonzept vorziehen?

Gebäude B

Gebäude C

Nein

14. Was würden Sie gerne verbessern für die Lüftung hier?

.....

.....

.....

Die Klasse GST15 der Fachrichtung Gebäudesystemtechnik an der Fachschule für Technik und Gestaltung bedankt sich für Ihre Mitarbeit. Die Ergebnisse dieser Umfrage finden Sie ab Mitte Juni auf unserer Homepage.

<http://www.eckener-schule-flensburg.de/fstug/375.html>

Gebäude D

Gebäude D Schülerbogen

Fachschule für Technik und Gestaltung
Flensburg



Nutzerbefragung zur Raumlufthqualität in den Klassenräumen der Bauteile B, C und D

(Diese Klassenräume sind mit unterschiedlichen Lüftungssystemen ausgestattet.)

Schüleranzahl: 22

1. Wie empfindest du die Luftqualität im Klassenraum?

sehr schlecht ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ sehr gut

1x 9x 10x 2x /

2. Wann wird gelüftet?

☐ In der Unterrichtszeit

☐ In der Pause

13x

1x

8x beide Antworten

3. Wie oft wird tatsächlich, in einer Unterrichtsstunde, gelüftet?

0

1

2

3

4-mal

☐

☐

☐

☐

☐

/

9x

8x

1x

4x

4. Wie lange wird gelüftet?

0 min

5 min

10 min

15 min

20 min

☐

☐

☐

☐

☐

/

14x

7x

1x

/

5. Wie wird gelüftet?

☐ Fenster auf Kipp

☐ Fenster ganz auf

☐ Fenster und Tür auf

/

20x

/

1x (Kipp und ganz auf)

1x (ganz auf und Tür auf)

6. Aus welchen Gründen wird nicht öfter gelüftet, falls die Luftqualität schlecht ist?

4x ☐ vergessen

2x ☐ stört den Unterrichtsablauf

✓ ☐ Lärm von draußen

18x ☐ Kälte

1x (vergessen und stört den Unterrichtsablauf)

2x (vergessen und Lärm von draußen)

7. Spürst du Zugluft im Klassenraum?

nahezu immer

☐

☐

☐

☐

☐

nahezu nie

✓

4x

3x

8x

7x

8. Empfindest du störende Gerüche im Klassenraum?

nahezu immer

☐

☐

☐

☐

☐

nahezu nie

2x

9x

4x

4x

3x

9. Gibt es Störgeräusche beim Lüften oder durch die Lüftungsanlage?

nahezu immer

☐

☐

☐

☐

☐

nahezu nie

✓

2x

4x

3x

13x

10. Was würdest du gerne verbessern für die Lüftung hier?

.....

.....

.....

Vielen Dank für Deine Mitarbeit!

Die Klasse Gebäudesystemtechnik an der Fachschule für Technik und Gestaltung

4 Die Ökodesign-Richtlinie ErP



Die Ökodesign-Richtlinie ErP. Die neuen Anforderungen.

Verschärfte Anforderungen der EU-Verordnung 1253/2014/EG zwingen Planer und Hersteller von RLT-Anlagen zu einer Anpassung bisheriger Lösungen.



Die Ökodesign-Richtlinie ErP

Die europäische ErP-Richtlinie 2009/125/EG (Energy-related-Products-Directive), auch Ökodesign-Richtlinie genannt, definiert Mindestanforderungen an energierelevante Produkte. Ziel der ErP-Richtlinie ist die Reduzierung des Energieverbrauchs und der CO₂-Emission sowie die Erhöhung des Gesamtanteils erneuerbarer Energien. Diese Richtlinie gilt für sämtliche Produkte, die im Europäischen Wirtschaftsraum (EWR) in Verkehr gebracht werden. Exporte aus der EU sind von der ErP-Richtlinie nicht betroffen.



Relevant für RLT-Geräte ist die EU-Verordnung 1253/2014/EG, die am 26. November 2014 in Kraft getreten ist. Im Zuge dieser Verordnung gelten ab dem 1. Januar 2016 im europäischen Wirtschaftsraum (EWR) neue Anforderungen an die Energieeffizienz von RLT-Geräten.

Mit robatherm immer auf der sicheren Seite

Die Diskussion um neue Anforderungen an RLT-Geräte im Rahmen der ErP-Richtlinie ist geprägt von Unsicherheit und Widersprüchlichkeiten. robatherm sieht sich als Premiumhersteller in der Verantwortung, sich intensiv mit der ErP-Thematik zu beschäftigen und den Fragestellungen mit kompakten Informationen zu begegnen.

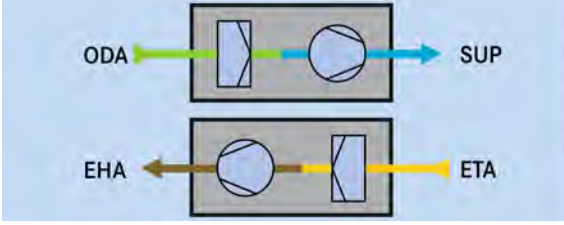
Gerne beraten unsere Ansprechpartner Sie über die vielen Lösungsmöglichkeiten von robatherm. Ihre spezifischen Fragen zur Ökodesign-Richtlinie ErP können Sie auch an ErP@robatherm.com senden. Unser ErP-Team wird Ihre Fragen schnellstmöglich beantworten.

Die Antworten auf die wichtigsten Fragen zu RLT-Geräten

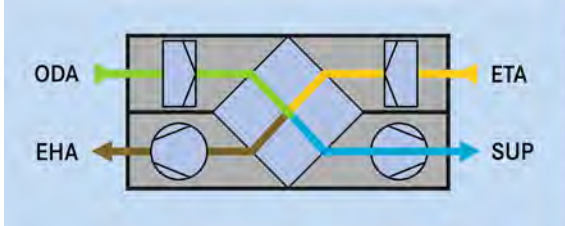
Was ist der Geltungsbereich der ErP 1253/2014?	Die Verordnung gilt für Lüftungsgeräte, die verbrauchte Luft (verunreinigt durch Personen oder Gebäudeemissionen) in einem Gebäude oder Gebäudeteil durch frische Außenluft ersetzen – typischerweise für die Anwesenheit von Personen. Dies beinhaltet keine Anwendungen, bei denen mindestens ein Luftstrom durch einen Industrie- oder Produktionsprozess definiert ist.
Welche Kategorien sind bei RLT-Geräten zu berücksichtigen?	Ab einer Nennluftmenge $\geq 1.000 \text{ m}^3/\text{h}$ werden RLT-Geräte als Nicht-Wohnraumlüftungsgeräte (NRVU – Non-Residential Ventilation Unit) angesehen. RLT-Geräte $< 250 \text{ m}^3/\text{h}$ zählen zu Wohnraumlüftungsgeräten (RVU – Residential Ventilation Unit). Zwischen 250 und $1.000 \text{ m}^3/\text{h}$ ist die Deklaration dem Hersteller freigestellt. Grundsätzlich gelten für Wohnraumlüftungsgeräte andere Anforderungen als für Nicht-Wohnraumlüftungsgeräte.
Ab wann betrifft dies RLT-Geräte?	RLT-Geräte, die ab dem 1. Januar 2016 geliefert werden (Eintreffen auf der Baustelle), müssen der ErP-Verordnung entsprechen. Ab dem 1. Januar 2018 werden die Anforderungen in einem nächsten Schritt weiter verschärft. Für das Jahr 2020 ist eine weitere Verschärfung vorgesehen.
Gibt es im Bereich der RLT-Geräte auch Ausnahmen?	Folgende Bereiche sind beispielsweise vom Geltungsbereich der Verordnung ausgenommen: • Landwirtschaftliche Anwendungen (Gewächshäuser, Stallungen) • Personen- oder Gütertransport (Schiffe) • Gewerbliche Dunstabzugshauben (Fett- und Dampfabsaugung gewerblicher Küchen) • Thermisch hochbelastete Räume (Rechenzentren, Serverräume, Kompressorräume, Generatorräume, KWK-Räume, Gießereien, Schmiedereien) • Maschinenabluft (Garagenabluft) • ATEX (explosionsgefährdete Bereiche) • Abluft nicht aus Räumen bzw. Zuluft nicht für Räume eines Gebäudes (Digestorien) • Abluft von oder Zuluft für Prozesslufttechnik (nicht zur Abfuhr von Personen- oder Gebäudeemissionen konzipiert)

Die Anforderungen für Nicht-Wohnraumlüftungsgeräte auf einen Blick

Unidirectional Ventilation Unit (UVU)

		Zu- oder Abluftgerät – Unidirectional Ventilation Unit (UVU) Ein-Richtung-Lüftungsanlage Referenzkonfiguration: • 1 Lüfrichtung • 1 Filter F7 • 1 Ventilator	
ErP-Stufe		ErP-Stufe 2016	ErP-Stufe 2018
Stat. Wirkungsgrad von Ventilator und Motor η_s [%]	$P_M \leq 30 \text{ kW}$	$6,2 \times \ln(P_M) + 35$	$6,2 \times \ln(P_M) + 42$
	$P_M > 30 \text{ kW}$	56,1	63,1
Interner SFP-Wert (Referenzkonfiguration) $SFP_{int \max.}$ [W/(m³/s)]		250	230
Ventilator-Drehzahlregelung		gefordert	gefordert
Filter-Differenzdrucküberwachung		-	gefordert

Bidirectional Ventilation Unit (BVU)



Kombiniertes Zu-/Abluftgerät – Bidirectional Ventilation Unit (BVU)
Zwei-Richtung-Lüftungsanlage
Referenzkonfiguration:

- 2 Lüfrichtungen
- 1 Filter F7 (ODA)
- 1 Filter M5 (ETA)
- Wärmerückgewinnung
- 2 Ventilatoren

ErP-Stufe			ErP-Stufe 2016	ErP-Stufe 2018
WRG mit Regelungseinrichtung			gefordert	gefordert
Trockene Rückwärmzahl (EN 308) η _t [%]	Kreislaufverbundsystem		63	68
	Andere WRG-Systeme		67	73
Interner SFP-Wert (Referenzkonfiguration) SFP _{int max} [W/(m³/s)]	Kreislaufverbundsystem	q < 2 m³/s	1.700 + E - 300 x q / 2 - F	1.600 + E - 300 x q / 2 - F
		q ≥ 2 m³/s	1.400 + E - F	1.300 + E - F
	Andere WRG-Systeme	q < 2 m³/s	1.200 + E - 300 x q / 2 - F	1.100 + E - 300 x q / 2 - F
		q ≥ 2 m³/s	900 + E - F	800 + E - F
Effizienzbonus E Wärmerückgewinnung [W/(m³/s)]	Kreislaufverbundsystem		(η _t - 63) x 30	(η _t - 68) x 30
	Andere WRG-Systeme		(η _t - 67) x 30	(η _t - 73) x 30
Filterkorrekturwert F [W/(m³/s)]	Referenzkonfiguration		0	0
	Filter M5 fehlt		160	150
	Filter F7 fehlt		200	190
	Filter M5 + F7 fehlen		360	340
Ventilator-Drehzahlregelung			gefordert	gefordert
Filter-Differenzdrucküberwachung			-	gefordert

Die Konsequenzen der ErP-Richtlinie

Die verschärften Anforderungen der ErP-Richtlinie haben für RLT-Hersteller und Planer weitreichende

Konsequenzen. Dies wird an folgendem Beispiel deutlich. Bei gleichen Rahmenbedingungen sieht ein RLT-Gerät, das beispielsweise für 2015 geplant wurde, deutlich anders aus als die Lösung gemäß ErP-Stufe 2016 oder gar der ErP-Stufe 2018.

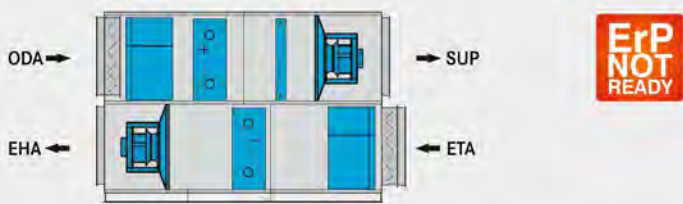
Die Rahmenbedingungen

- Ein kombiniertes Zu- und Abluftgerät (BVU)
- Zu-/Abluftvolumenstrom: 10.000 m³/h
- Außenluftfilter: F7, Abluftfilter: M5 · WRG-System: Kreislaufverbundsystem
- Zusätzliche Komponenten:
1 Lufterhitzer und 1 Gliederklappe in der Zuluft, 1 Gliederklappe in der Abluft
- EC-Ventilatoren

Luftkonditionen (DIN EN 308):

- Außenluft: 5°C, 0% r.F.
- Abluft: 25 °C, 0 % r.F.

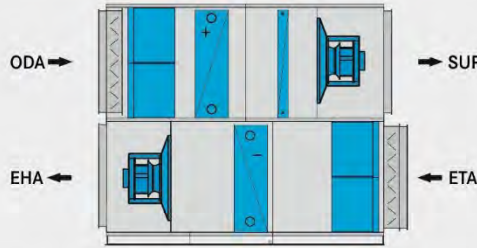
RLT-Gerät nach Stand 2015

Geräteskizze						
Technische Daten	Höhe ca.	Tiefe ca.	Gehäuse-querschnitt	Luftge-schwindigkeit am Filter	Gesamte statische Druckverluste in der Zuluft	Gesamte statische Druckverluste in der Abluft
	[mm]	[mm]	[m ²]	[m/s]	[Pa]	[Pa]
	2.116	1.304	1,12 m ²	2,4	1.010	854
	Aufgenommene elektr. Leistung in der Zuluft		Aufgenommene elektr. Leistung in der Abluft		Rückwärmzahl	SFP _{int. BVU}
	[kW]		[kW]		[%]	[W/(m ³ /s)]
	4,42		3,74		55	1.574
ErP-Konformität	Rückwärmzahl η_t [%]			SFP _{int. BVU} [W/(m ³ /s)]		
	Ist-wert	Sollwert 2016	Sollwert 2018	Ist-wert	Sollwert 2016	Sollwert 2018
	55 %	≥63 %	≥68 %	1.574	≤1.400	≤1.300
	nicht erfüllt					

Bezeichnungen für Luftarten (nach DIN EN 13779):

ODA = Außenluft, SUP = Zuluft, ETA = Abluft, EHA = Fortluft

RLT-Gerät gemäß den Anforderungen für 2016 (ErP-Richtlinie)

Geräteskizze																																				
Technische Daten	<table> <tr> <th>Höhe ca.</th><th>Tiefe ca.</th><th>Gehäuse- querschnitt</th><th>Luftge- schwindigkeit am Filter</th><th>Gesamte statische Druckverluste in der Zuluft</th><th>Gesamte statische Druckverluste in der Abluft</th></tr> <tr> <th>[mm]</th><th>[mm]</th><th>[m²]</th><th>[m/s]</th><th>[Pa]</th><th>[Pa]</th></tr> <tr> <td>2.728</td><td>1.304</td><td>1,498 m²</td><td>1,8</td><td>777</td><td>728</td></tr> </table> <table> <tr> <th>Aufgenommene elektr. Leistung in der Zuluft</th><th>Aufgenommene elektr. Leistung in der Abluft</th><th>Rückwärmzahl</th><th>SFP_{int. BVU}</th></tr> <tr> <th>[kW]</th><th>[kW]</th><th>[%]</th><th>[W/(m³/s)]</th></tr> <tr> <td>3,36</td><td>3,14</td><td>63</td><td>1.027</td></tr> </table>	Höhe ca.	Tiefe ca.	Gehäuse- querschnitt	Luftge- schwindigkeit am Filter	Gesamte statische Druckverluste in der Zuluft	Gesamte statische Druckverluste in der Abluft	[mm]	[mm]	[m²]	[m/s]	[Pa]	[Pa]	2.728	1.304	1,498 m²	1,8	777	728	Aufgenommene elektr. Leistung in der Zuluft	Aufgenommene elektr. Leistung in der Abluft	Rückwärmzahl	SFP _{int. BVU}	[kW]	[kW]	[%]	[W/(m³/s)]	3,36	3,14	63	1.027					
Höhe ca.	Tiefe ca.	Gehäuse- querschnitt	Luftge- schwindigkeit am Filter	Gesamte statische Druckverluste in der Zuluft	Gesamte statische Druckverluste in der Abluft																															
[mm]	[mm]	[m²]	[m/s]	[Pa]	[Pa]																															
2.728	1.304	1,498 m²	1,8	777	728																															
Aufgenommene elektr. Leistung in der Zuluft	Aufgenommene elektr. Leistung in der Abluft	Rückwärmzahl	SFP _{int. BVU}																																	
[kW]	[kW]	[%]	[W/(m³/s)]																																	
3,36	3,14	63	1.027																																	
ErP-Konformität	<table> <tr> <th>Rückwärmzahl η_t [%]</th><th></th><th></th><th>SFP_{int. BVU} [W/(m³/s)]</th><th></th><th></th><th>ErP-Stufe</th></tr> <tr> <th>Ist- wert</th><th>Sollwert 2016</th><th>Sollwert 2018</th><th>Ist- wert</th><th>Sollwert 2016</th><th>Sollwert 2018</th><th></th></tr> <tr> <td>63 %</td><td>≥ 63 %</td><td>≥ 68 %</td><td>1.027</td><td>≤ 1.400</td><td>≤ 1.300</td><td>ErP 2016 ✓</td></tr> </table>	Rückwärmzahl η _t [%]			SFP _{int. BVU} [W/(m³/s)]			ErP-Stufe	Ist- wert	Sollwert 2016	Sollwert 2018	Ist- wert	Sollwert 2016	Sollwert 2018		63 %	≥ 63 %	≥ 68 %	1.027	≤ 1.400	≤ 1.300	ErP 2016 ✓														
Rückwärmzahl η _t [%]			SFP _{int. BVU} [W/(m³/s)]			ErP-Stufe																														
Ist- wert	Sollwert 2016	Sollwert 2018	Ist- wert	Sollwert 2016	Sollwert 2018																															
63 %	≥ 63 %	≥ 68 %	1.027	≤ 1.400	≤ 1.300	ErP 2016 ✓																														

RLT-Gerät gemäß den Anforderungen für 2018 (ErP-Richtlinie)

Geräteskizze

Technische Daten

Höhe ca.	Tiefe ca.	Gehäuse- querschnitt	Luftge- schwindigkeit am Filter	Gesamte statische Druckverluste in der Zuluft	Gesamte statische Druckverluste in der Abluft
[mm]	[mm]	[m ²]	[m/s]	[Pa]	[Pa]
2.728	1.610	1,873 m ²	1,4	689	656

Aufgenommene elektr. Leistung in der Zuluft	Aufgenommene elektr. Leistung in der Abluft	Rückwärmzahl	SFP _{int. BVU}
[kW]	[kW]	[%]	[W/(m ³ /s)]
2,97	2,83	68	803

ErP-Konformität

Rückwärmzahl η_t [%]			SFP _{int. BVU} [W/(m ³ /s)]			ErP-Stufe
Ist- wert	Sollwert 2016	Sollwert 2018	Ist- wert	Sollwert 2016	Sollwert 2018	
68 %	≥ 63 %	≥ 68 %	803	≤ 1.400	≤ 1.300	ErP 2018 ✓

Vergleich der drei Gerätekonzepte

ErP-Stufe		ErP-Stufe 2016	ErP-Stufe 2018
Gehäuse-Abmessungen des Beispielgerätes	Höhe x Tiefe [mm] (RLT-Gerät 2015: 2.016 x 1.304)	2.728 x 1.304	2.728 x 1.610
	Vergrößerung des Querschnitts im Vergleich zu 2015 [%]	34	67
Investitionskosten im Vergleich zum RLT-Gerät 2015	Erhöhung der gesamten Kosten [%]	15	28
	Erhöhung der Kosten für die WRG (KVS) [%]	43	50
	Erhöhung der Kosten für das Gehäuse [%]	6	22
Energiekosten im Vergleich zum RLT-Gerät 2015	Einsparung der Kosten für Wärmeerzeugung [%]	21	35
	Einsparung der Kosten für Ventilatoren [%]	20	28
Amortisation der höheren Investitionskosten im Vergleich zum RLT-Gerät 2015 [Jahre]		1,4	1,7

Diese konkreten Zahlen beziehen sich nur auf das genannte Beispiel. Jedoch ist grundsätzlich im Zuge der ErP-Richtlinie davon auszugehen, dass künftig der Platzbedarf für RLT-Geräte aufgrund größerer Abmessungen steigt. Ebenso ist mit höheren Investitionskosten zu rechnen, die jedoch zum großen Teil auf die gestiegenen Anforderungen an die WRG-Systeme zurückzuführen sind.

Mithilfe des TrueBlue-Effizienznachweises von robatherm können die drei verschiedenen Gerätelösungen miteinander verglichen werden. Für die Berechnung galten unter anderem folgende Grundannahmen:

- Standort: München
- Nutzungsart: Gruppenbüro
- Betriebszeit: 5 Tage/Woche (5:00 - 18:00 Uhr)

Haben Sie Interesse am kompletten TrueBlueEffizienznachweis? Schreiben Sie uns eine E-Mail an trueblue@robatherm.com und wir senden Ihnen den kompletten TrueBlue-Effizienznachweis zu. Gerne führen wir auch für Ihr Projekt individuell einen TrueBlue-Effizienznachweis durch.



robatherm übernimmt keine Gewährleistung und Haftung für die Richtigkeit und Vollständigkeit der Inhalte dieser Unterlage. Abbildungen und Beschreibungen enthalten teilweise über die Standardausführung hinausgehendes Zubehör. Technische Änderungen vorbehalten.
Ausgabe 04/2016. © Copyright by robatherm.

LÜFTUNG IN KLASSENÄRÄUMEN

Optimale Luftqualität in Klassenräumen durch hybride Lüftungskonzepte:
freie Lüftung kombiniert mit dezentralen mechanischen Lüftungsanlagen

Fachschule für Technik und Gestaltung
Eckener Schule
Fachrichtung Gebäudesystemtechnik - GST15
Schützenkuhle 20-24
24937 Flensburg

Ansprechpartnerin: Dr. Susanne Krosse susanne.krosse@esfl.de