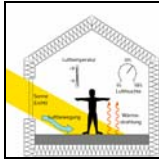


# Sicherstellung der ausreichenden Belüftung am Beispiel der Nutzungsart Schule

Geregelte natürliche Lüftung und  
mechanische Lüftung im Vergleich

Energieverbrauch, Wirtschaftlichkeit

Stand 18.05.2011



**KApplus**

ingenieurbüro vollert

Mühlenstraße 29, 24340 Eckernförde  
Tel.: 04351 / 88 00-10, Fax: 04351 / 88 00-11  
E-Mail: [info@kaplus.de](mailto:info@kaplus.de), [www.kaplus.de](http://www.kaplus.de)

Im Auftrag der:  
**WindowMaster GmbH**  
Zum Bache 4  
D-32549 Bad  
Oeynhausien  
[www.windowmaster.de](http://www.windowmaster.de)



**Inhalt**

<b>1</b>	<b>Aufgabenstellung</b> .....	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Randbedingungen Schulnutzung</b> .....	<b>4</b>
3.1	Belegungsdichte .....	4
3.2	Problematik der üblichen Fensterlüftung .....	5
3.3	Anforderungen Belüftung .....	6
<b>4</b>	<b>Dynamische Gebäudesimulation</b> .....	<b>7</b>
4.1	Randbedingungen Simulation .....	7
4.2	Heizwärmebedarf .....	8
4.3	Überhitzungsstunden .....	10
4.4	Raumluftqualität .....	12
<b>5</b>	<b>Wirtschaftlichkeitsanalyse</b> .....	<b>13</b>
5.1	Annahmen .....	13
5.2	Ergebnis .....	14
<b>6</b>	<b>Anhang</b> .....	<b>15</b>
6.1	Klimadaten .....	15
6.2	Randbedingungen Simulation Zone Klasse natürlich belüftet .....	16
6.3	Randbedingungen Simulation Zone Klasse mechanisch belüftet .....	17
6.4	Wirtschaftlichkeitsberechnung .....	18
6.5	Berechnung CO2 Konzentration - Beispiel Klassenraum .....	19
6.6	Operative Temperatur für 2 Varianten (DIN EN 15251) .....	20

## 1 Aufgabenstellung

Im Rahmen dieser Kurzstudie soll ein bewertender Vergleich zwischen einer geregelten natürlichen Lüftung und einer mechanischen Belüftung am Beispiel einer Schulklasse durchgeführt werden. Der Vergleich erfolgt unter Beachtung der Anforderungen gültiger Normen (z.B. DIN 15251, EnEV) sowie aus wirtschaftlicher Sicht.

Für die Ermittlung der Energieverbräuche der beiden Systeme wird eine dynamische Gebäudesimulation eingesetzt.

Die Firma WindowMaster entwickelt und liefert unter anderem Gesamtlösungen für die Natürliche Lüftung von Gebäuden. Die natürliche Lüftung erfolgt durch ein geregeltes Öffnen und Schließen von Fenstern in der Gebäudefassade und die natürlichen Antriebskräfte wie Wind und thermischer Auftrieb.

## 2 Zusammenfassung

Für einen typischen Klassenraum wurde eine dynamische Gebäudesimulation durchgeführt. Die Ergebnisse fließen in die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der Systeme geregelte natürliche Lüftung und hocheffiziente mechanische Lüftung ein.

### Ergebnis Heizwärme

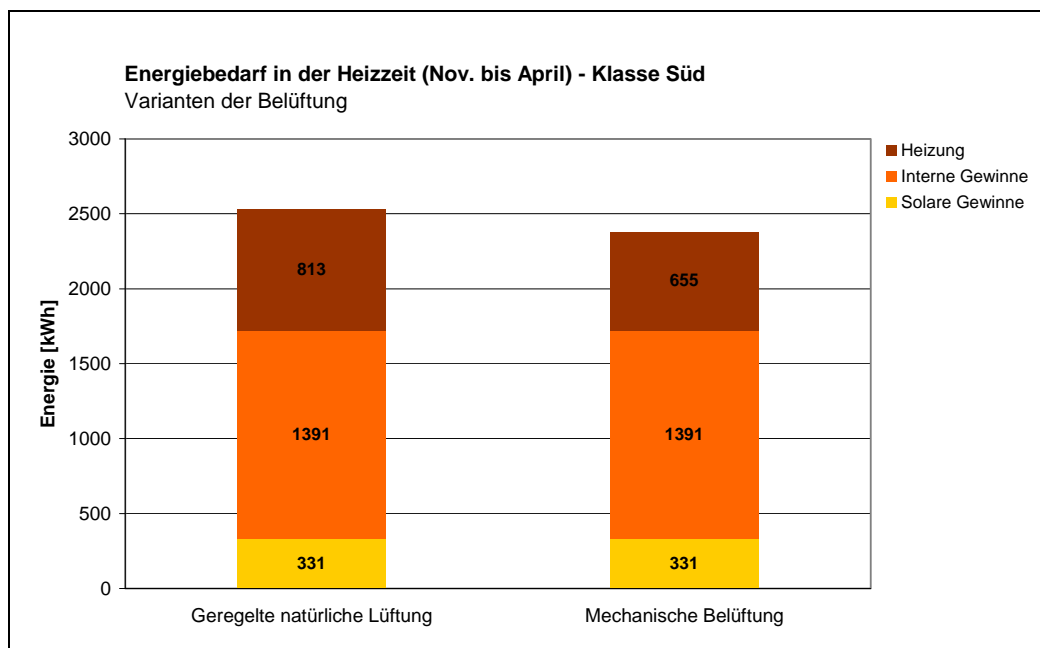


Bild 1: Heizwärmebedarf und Gewinne bei unterschiedlicher Belüftung (Variante WMA 1 und RLT 1)

- Der Heizwärmebedarf ist bei Fensterlüftung höher als bei mechanischer Belüftung und Wärmerückgewinnung. Aufgrund der hohen internen Lasten (ca. 2 kW bei Belegung) relativiert sich allerdings der Vorteil der Wärmerückgewinnung.
- Die spezifischen Werte betragen ca. 13 kWh/m<sup>2</sup>a für die natürliche Lüftung und ca. 10,5 kWh/m<sup>2</sup>a für die mechanische Lüftung (Nutzenergie, nur eine Außenfassade).
- Hinweis: Die oben errechneten Ergebnisse gelten für eine optimale Einzelraumregelung (Dezentrale Geräte oder Volumenstromregler pro Klassenraum).

Aus Kostengründen werden jedoch meist zentrale Anlagen mit Zeitprogramm eingesetzt. Hier entstehen deutlich höhere Wärmeverluste, da Leerstände durch Freistunden, Fachunterricht, Feiertage usw. i.d.R. nicht erfasst werden (keine internen Lasten aber Lüftungswärmeverluste).

- Die internen Wärmelasten steigen: Heute werden zunehmend „Whiteboards“ eingesetzt. Somit steigen die Lasten um weitere 5 bis 10 W/m<sup>2</sup>. Der Vorteil der Wärmerückgewinnung nimmt weiter ab da der Kühlfall überwiegt (Bypass erforderlich).
- Unter Berücksichtigung des Wärmebedarfs und des Hilfsstromes (Annahme passivhaustaugliche RLT-Anlage) weisen beide Systeme etwa die gleichen Energiekosten auf. Unter Berücksichtigung der beiden oben genannten Punkte stellt sich ein Vorteil für die geregelte natürliche Lüftung ein.

### **Ergebnis Sommer**

- Mit beiden Systemen wird der Grenzwert für den sommerlichen Wärmeschutz entsprechend DIN 4108-2 eingehalten.
- Aufgrund der höheren Luftmenge ist eine Fensterlüftung der mechanischen Lüftung hier überlegen (bessere nächtliche Auskühlung, Hilfsstrom vernachlässigbar).

### **Ergebnis Raumlufqualität**

- Mit beiden Systemen wird eine deutlich bessere Raumlufqualität und ein verbesserter thermischer Komfort im Vergleich zur üblichen Fensterlüftung erreicht.
- Die Luftqualität ist mit mechanischer Lüftung etwas besser als mit geregelter natürlicher Lüftung zu beurteilen. Die natürliche Lüftung ist abhängig von den klimatischen Randbedingungen, so dass auch Zustände auftreten können, an denen die natürlichen Antriebskräfte fehlen. Die Grenzen der geregelten natürlichen Lüftung werden an stark befahrenen Straßen erreicht.

### **Wirtschaftlichkeit**

- Die Varianten zeigen, dass eine geregelte natürliche Lüftung im Vergleich mit einer mechanischen Lüftung mit hocheffizienter Wärmerückgewinnung aus wirtschaftlicher Sicht deutlich im Vorteil liegt.
- Die Summe der Energie-, Betriebs- und Kapitalkosten ist bei der mechanischen Lüftung mit Wärmerückgewinnung etwa doppelt so hoch wie bei der geregelten natürlichen Lüftung.
- Unberücksichtigte Kosten:  
Mechanische Lüftung – Platzbedarf für das Rohrsystem und für die Lüftungszentrale  
Natürliche Lüftung – Ggf. höhere Anforderungen an die Fensterteilungen

### 3 Randbedingungen Schulnutzung

#### 3.1 Belegungsdichte

In Klassenräumen liegt während der Nutzung eine hohe Belegungsdichte von ca. 1 Person auf 2 m<sup>2</sup> Nutzfläche vor. Je nach Schulart ist die Jahresnutzungsdauer aber deutlich niedriger im Vergleich zu anderen Nutzungsarten wie beispielsweise bei Bürogebäuden.

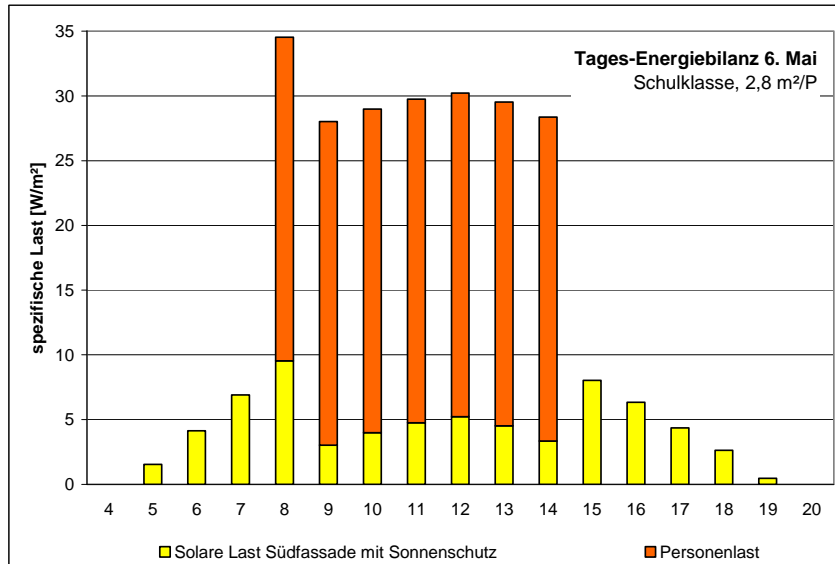


Bild 2: Beispiel Tagesbilanz Schulklasse (hier Sommerfall, Süd, mit außen liegender Verschattung)

#### Sommer

- Aufgrund der hohen Wärmelasten besteht im Sommer die Möglichkeit einer Überhitzung. Der sommerliche Wärmeschutz gewinnt zunehmend an Bedeutung.
- Weiterhin werden aus pädagogischen Gründen zunehmend sogenannte „Whiteboards“ ganzjährig eingesetzt (weitere 5 bis 10 W/m<sup>2</sup>).
- Folglich sind zusätzlich zu den herkömmlichen Verschattungssystemen die Möglichkeiten zur nächtlichen Auskühlung in Zusammenhang mit der Nutzung der Speichermasse auszuschöpfen.

#### Winter

- Mit steigendem Wärmeschutz können die internen Lasten durch die Schüler die Heizlast an einem Wintertag übersteigen (i.d.R. größer 30 W/m<sup>2</sup>). Hinzu kommen im Kernwinter die künstliche Beleuchtung und die Geräte (Whiteboards, Rechner).
- In hochwertig gedämmten Schulen sinkt die Heizlast meist bis auf Null. Es besteht ganzjährig ein „Kühlfall“ (Wärmeangebot größer als Wärmeverlust). Lediglich eine sehr schwere Bauweise kann das Überangebot an Wärme zwischenspeichern und außerhalb der Nutzungszeit wieder abgeben. Aus Gründen der Flexibilität (Trennwände leicht) und akustischen Anforderungen (Decke meist abgekoppelt) sind hier allerdings Grenzen gesetzt.

### 3.2 Problematik der üblichen Fensterlüftung

Weiterhin erfordert eine hohe Belegung aus hygienischen Gründen einen entsprechend hohen Luftwechsel für eine ausreichende Belüftung.

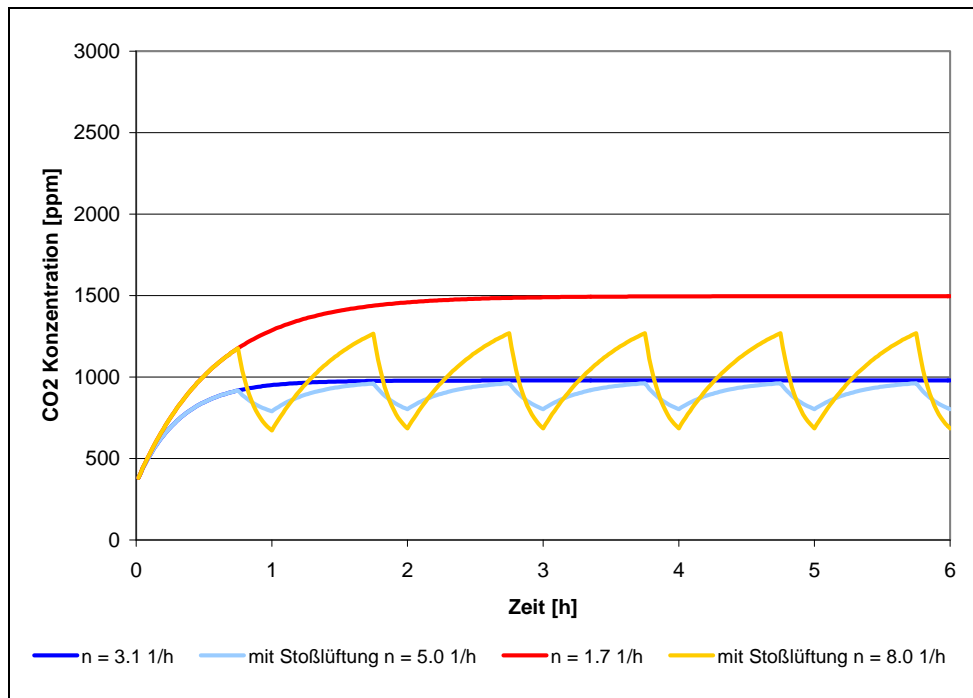


Bild 3: Beispiel CO<sub>2</sub> Konzentration Schulklasse

- Üblicherweise werden Schulklassen über Fenster in der Fassade belüftet.
- Dies wird entsprechend dem Leitfaden für die Innenraumhygiene in Schulgebäuden (Umweltbundesamt 2008) für normal belastete Unterrichtsräume grundsätzlich empfohlen.
- Fensterlüftung per Hand: Es hat sich jedoch gezeigt, dass eine **ausreichende Raumluftqualität mit einer händischen Fensterlüftung** oft verfehlt wird. Allerdings stehen insbesondere im Neubau oft keine geeigneten Fenstergeometrien zur Verfügung. Der Nutzer hat keine ausreichende Möglichkeit dosierte Lüftungen durchzuführen. Durch falsche Anordnungen sind Zugerscheinungen dann unvermeidlich. Selbst bei günstiger Fenstergeometrie sind Nutzer oft überfordert, da der Mensch eine mangelhafte Raumluftqualität spät wahrnimmt.

#### Alternative

- Automatisch geregelte motorische Fensterlüftung (nach Raumklima und Außenklima).
- Einsatz einer mechanischen Belüftung (Abluftsystem, Zu- und Abluft mit WRG, zentral oder dezentral etc.). Raumbedarf für die Lüftungstechnik und ggf. das Rohrsystem sowie Belange des Brandschutzes sind zu hier beachten. Reine Abluftsysteme werden nur noch selten eingesetzt (vergl. hierzu Anforderungen der EnEV 2009, ab 4.000 m<sup>3</sup>/h WRG gefordert).

### 3.3 Anforderungen Belüftung

Die Belüftung dient zur Sicherstellung ausreichender Frischluft in den Klassen und zur Abfuhr von Verunreinigungen. Als Indikator für die Raumluftqualität wird üblicherweise die CO<sub>2</sub> Konzentration der Raumluft herangezogen.

Wie oben bereits erläutert wird im Leitfaden für die Innenraumhygiene in Schulgebäuden (Umweltbundesamt 2008) für normal belastete Unterrichtsräume grundsätzlich die Fensterlüftung empfohlen. Lediglich für innenliegende Räume und besondere Nutzungen wie z.B. Chemieunterricht, Küchen sind i.d.R. mechanische Lüftungen einzusetzen.

#### EnEV 2009 – Nichtwohnungsbau

Es ist frei gestellt, ob eine Fensterlüftung oder eine mechanische Belüftung erfolgt. Die Energieeinsparverordnung verlangt die Einhaltung des maximalen Primärenergieaufwandes sowie die Umsetzung eines Mindestdämmstandards. Die Maßnahmen zur Erreichung der Ziele können in den festgelegten Grenzen frei variiert werden.

#### Umweltbundesamt 2008

Das Umweltbundesamt nennt im Leitfaden für die Innenraumhygiene in Schulgebäuden Leitwerte für die CO<sub>2</sub> Konzentration in der Innenraumluft.

CO <sub>2</sub> Konzentration:	Hygienische Bewertung:	Empfehlung:
kleiner 1.000 ppm	unbedenklich	keine weiteren Maßnahmen
1.000 ppm bis 2.000 ppm	auffällig	Lüftungsmaßnahmen intensivieren (Außenluftvolumenstrom bzw. Luftwechsel erhöhen) Lüftungsverhalten überprüfen und verbessern
größer 2.000 ppm	inakzeptabel	Belüftbarkeit des Raumes prüfen ggf. weitergehende Maßnahmen prüfen

Tabelle 1: Leitwerte für die Kohlendioxid-Konzentration in der Innenraumluft (UBA 2008)

#### DIN EN 13779

Nach DIN EN 13779 -Lüftung von Nichtwohngebäuden- wird die Raumluftqualität in vier Kategorien klassifiziert und übliche Bereiche der CO<sub>2</sub> Konzentration **bei mechanischer Belüftung** angegeben.

Kategorie	CO <sub>2</sub> Gehalt über dem Gehalt der Außenluft [ppm]	
	Üblicher Bereich:	Standardwert:
IDA 1 (Hohe Raumluftqualität)	≤ 400	350
IDA 2 (Mittlere Raumluftqualität)	400 – 600	500
IDA 3 (Mäßige Raumluftqualität)	600 – 1.000	800
IDA 4 (Niedrige Raumluftqualität)	> 1.000	1.200

Tabelle 2: Übliche Bereiche und Standardwerte des CO<sub>2</sub> Gehaltes nach DIN EN 13779:2009

### Ableitung sinnvoller Luftmengen

Zu bedenken ist, dass ein hoher Luftwechsel im Winter zu sehr **trockener Luft** führt und Kinder weniger CO<sub>2</sub> ausstoßen als Erwachsene. Bei der Auslegung der mechanischen Belüftung sollte die Luftmenge daher nicht zu hoch gewählt werden:

**15 bis 20 m<sup>3</sup>/h und Person**

## 4 Dynamische Gebäudesimulation

Es wird eine Schulklasse als geometrisches Modell im PC abgebildet und entsprechend detailliert. Eingesetzt wird das validierte Gebäudesimulationsprogramm BSim (Version 6), mit dem stündliche Daten für das Raumklima berechnet werden. Bauliche und technische Varianten sind so in ihrer Wirkung miteinander zu vergleichen.

### 4.1 Randbedingungen Simulation

Es werden Klimadaten für die Region Hamburg generiert, die auf langjährigen gemessenen Werten basieren. Die stündlichen Klimadaten beinhalten u.a. die solare Einstrahlung, den Bewölkungsgrad, die Außenlufttemperatur, Windrichtung und -geschwindigkeit. Im Anhang ist eine kurze Analyse der Daten enthalten.

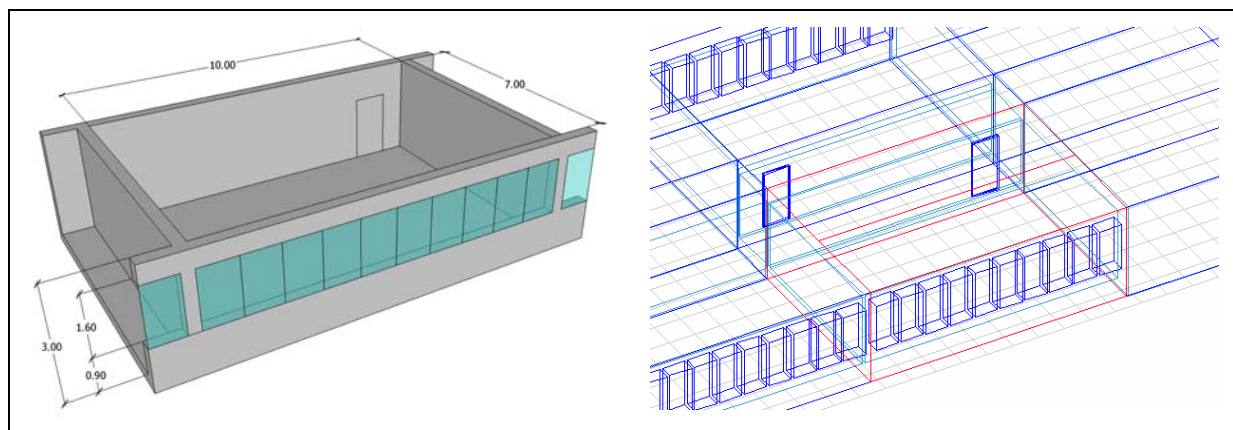


Bild 4: Skizze zur Geometrie des Gebäudemodells und Modell Simulation

Das Raummodell ist oben abgebildet. Es wird eine Bruttogrundfläche von 70 m<sup>2</sup> und eine Bandfassade mit einer einseitigen Befensterung angenommen. Die Belegung beträgt 28 Personen.



Nachfolgende Randbedingungen wurden in dem Modell angenommen.

Parameter:	Natürliche geregelte Lüftung:	Mechanische Lüftung:
Nutzung Schule:	Mo. – Fr. 8.00 Uhr bis 15.00 Uhr keine Nutzung in den Ferien.	Mo. – Fr. 8.00 Uhr bis 15.00 Uhr keine Nutzung in den Ferien.
System / Regelung:	Regelung nach Zielwert CO <sub>2</sub> Konzentration (angesetzt 1.500 ppm) und nach Raumlufttemperatur.	Fester Luftwechsel von 15 m <sup>3</sup> /hP im Betrieb
Betrieb Lüftung:	24 Stunden betriebsbereit	Betrieb bei Nutzung mit einer Stunde Vor- und Nachlauf. Im Sommer Nachtlüftung von 0 bis 6 Uhr.
Luftwechsel:	Variabel je nach Außen- und Raumklima (Berechnet über Netz-Knoten Modell)	Fester Luftwechsel mit 2,6 1/h
Wärmerückgewinnung	-	0 % bis 75 % (Bypassregelung)

Tabelle 3: Annahmen und Randbedingungen der dynamischen Gebäudesimulation (Weitere Angaben s. Anhang)

- Für die mechanische Lüftung wurden eine Variante mit ganzjährigem Betrieb und eine Variante mit Fensterlüftung während der Nutzung von Mitte Mai bis Mitte September betrachtet.

#### 4.2 Heizwärmebedarf

Der Heizwärmebedarf wird für einen Klassenraum mit Südfassade in der dynamischen Simulation berechnet.

#### Ergebnis – 2 Grundvarianten

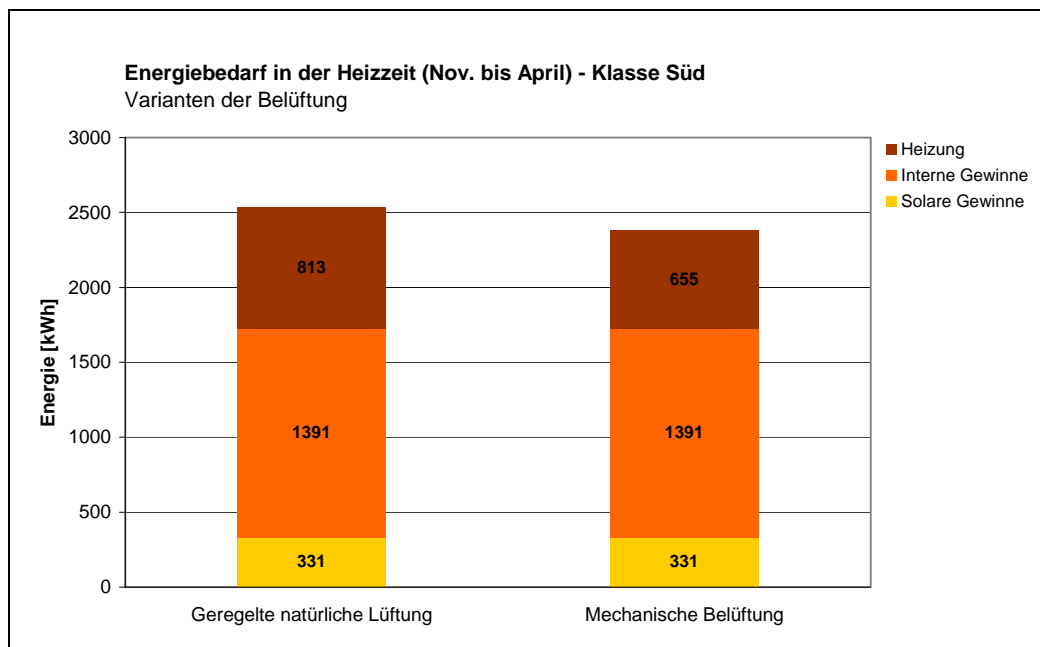


Bild 5: Heizwärmebedarf und Gewinne bei unterschiedlicher Belüftung

- Der Heizwärmebedarf ist bei Fensterlüftung höher als bei mechanischer Belüftung und Wärmerückgewinnung. Aufgrund der hohen internen Lasten (ca. 2 kW bei Belegung) relativiert sich allerdings der Vorteil der Wärmerückgewinnung.

- Die spezifischen Werte betragen ca. 13 kWh/m²a für die natürliche Lüftung und ca. 10,5 kWh/m²a für die mechanische Lüftung (Nutzenergie, nur eine Außenfassade).

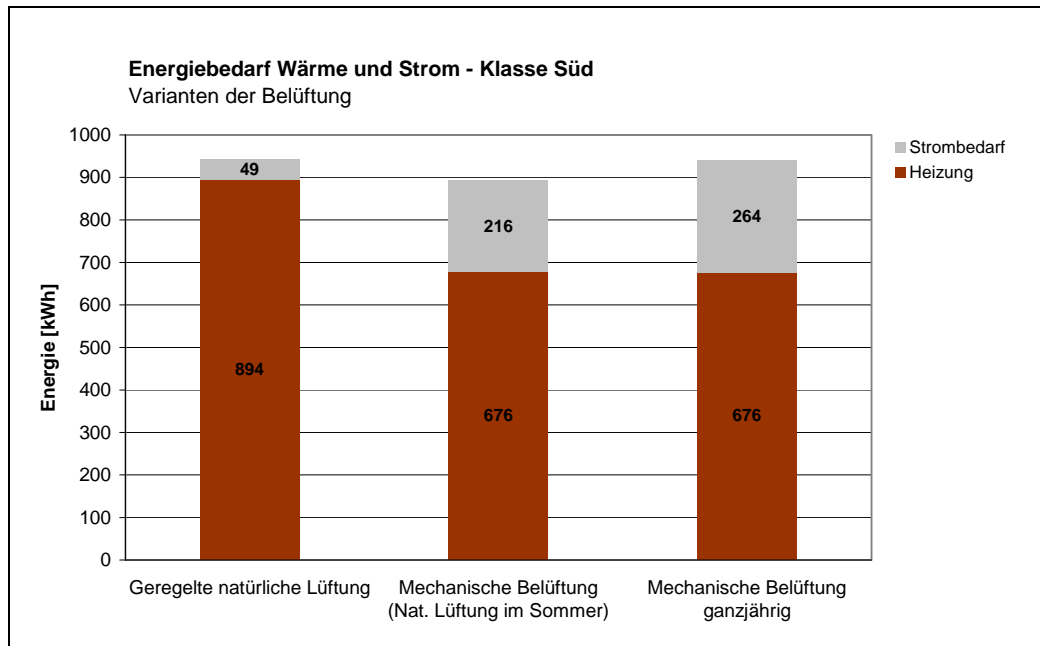


Bild 6: Energiebedarf Wärme und Strom bei unterschiedlicher Belüftung

- Bilanziert man den Wärme und Strombedarf über das ganze Jahr ergibt sich obiges Bild. Der reduzierte Wärmebedarf bei mechanischer Lüftung wird durch einen erhöhten Strombedarf z.T. kompensiert.
- Bei ganzjährig mechanischer Belüftung ist die Summe aus Wärme- und Strombedarf nahezu identisch mit dem Bedarf der geregelten natürlichen Lüftung. (Hinweis: Angesetzt wurde eine optimal geregelte und effiziente Lüftungsanlage.)

### Ergebnis – Zusätzliche Varianten

Der Heizwärmebedarf ist abhängig von verschiedenen Anlagenparametern. Es wurden folgende Varianten berechnet:

Variante:	Grenzwert CO2:	Luftmenge:	Wärmerückgewinnung:	Grenzwert Bypass:
WMA 1	1.500 ppm	Variabel	-	-
WMA 2	1.200 ppm	Variabel	-	-
RLT 1	-	420 m³/h je Zu- und Abluft	0 % bis 75 %	21 °C
RLT 2	-	330 m³/h je Zu- und Abluft	0 % bis 75 %	21 °C
RLT 3	-	420 m³/h je Zu- und Abluft	40 % bis 75 %	21 °C
RLT 4	-	420 m³/h je Zu- und Abluft	0 % bis 75 %	22 °C
RLT 5	-	420 m³/h je Zu- und Abluft Betrieb auch im Sommer	0 % bis 75 %	21 °C

Tabelle 4: Annahmen Varianten (WMA: System WindowMaster)

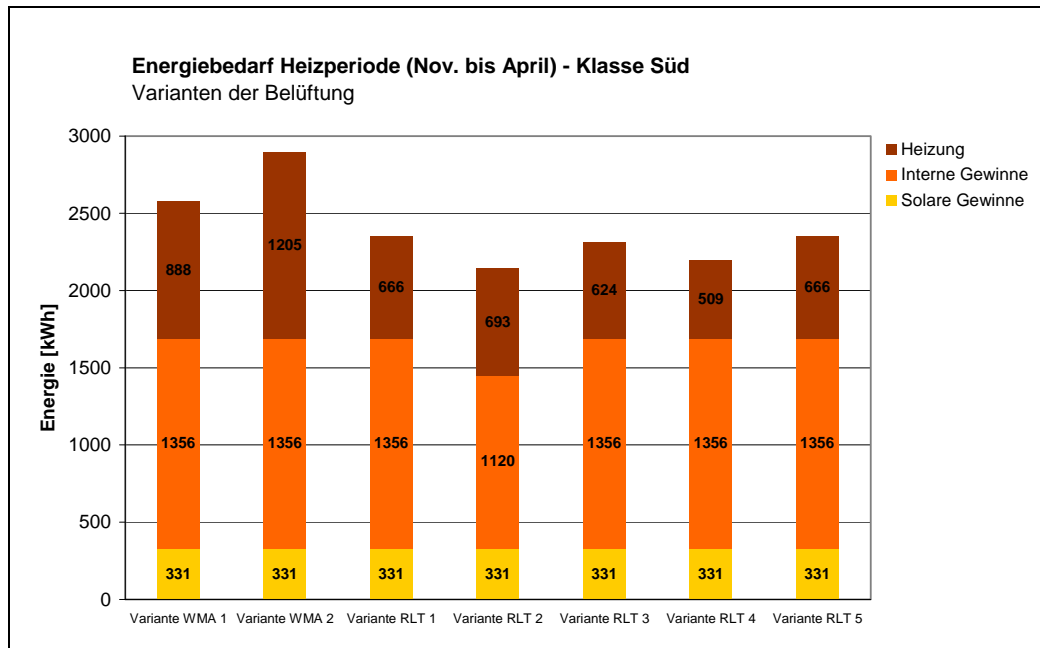


Bild 7: Heizwärmebedarf und Gewinne für verschiedene Varianten

- Ein geringerer CO<sub>2</sub>-Grenzwert erhöht den Wärmeverlust der geregelten natürlichen von ca. 800 auf 1.100 kWh/a.
- Der Wärmeverlust der mechanischen Lüftung kann durch die Tolerierung von höheren Raumtemperaturen im Winter reduziert werden (Var. RLT 4, Bypass ab 22 °C).
- Hinweis: Die oben errechneten Ergebnisse der Varianten RLT 1 bis 5 gelten für eine optimale Einzelraumregelung (Dezentrale Geräte oder Volumenstromregler pro Klassenraum). Aus Kostengründen werden jedoch meist zentrale Anlagen mit Zeitprogramm eingesetzt. Hier entstehen deutlich höhere Wärmeverluste, da Leerstände durch Freistunden, Fachunterricht, Feiertage usw. i.d.R. nicht erfasst werden (keine internen Lasten aber Lüftungswärmeverluste).

### 4.3 Überhitzungsstunden

Der sommerliche Wärmeschutz wird in der Hauptsache durch die solaren Lasten bestimmt. In der Simulation wurden verschiedene Maßnahmen zum sommerlichen Wärmeschutz entsprechend nachfolgenden Punkten angenommen:

- Außen liegende Verschattung mit  $F_C = 0,25$  und aktiv bei 150 W/m<sup>2</sup> Einstrahlung.
- Massive Bauweise, 50 % der Decke abgehängt.
- Bei Variante geregelte natürliche Lüftung 24 h Betrieb mit einem Zielwert von 18 °C für die sommerliche Nachtlüftung (von 22.00 Uhr bis 6.00 Uhr).
- Bei Variante mechanische Belüftung von Mitte Mai bis Mitte September mechanische Nachtlüftung von 0.00 Uhr bis 6.00 Uhr. Zielwert 18 °C, aktiv bei  $\Delta T > 3$  K zwischen innen und außen. Es wurde während der Nutzung ganzjährig mechanisch gelüftet.

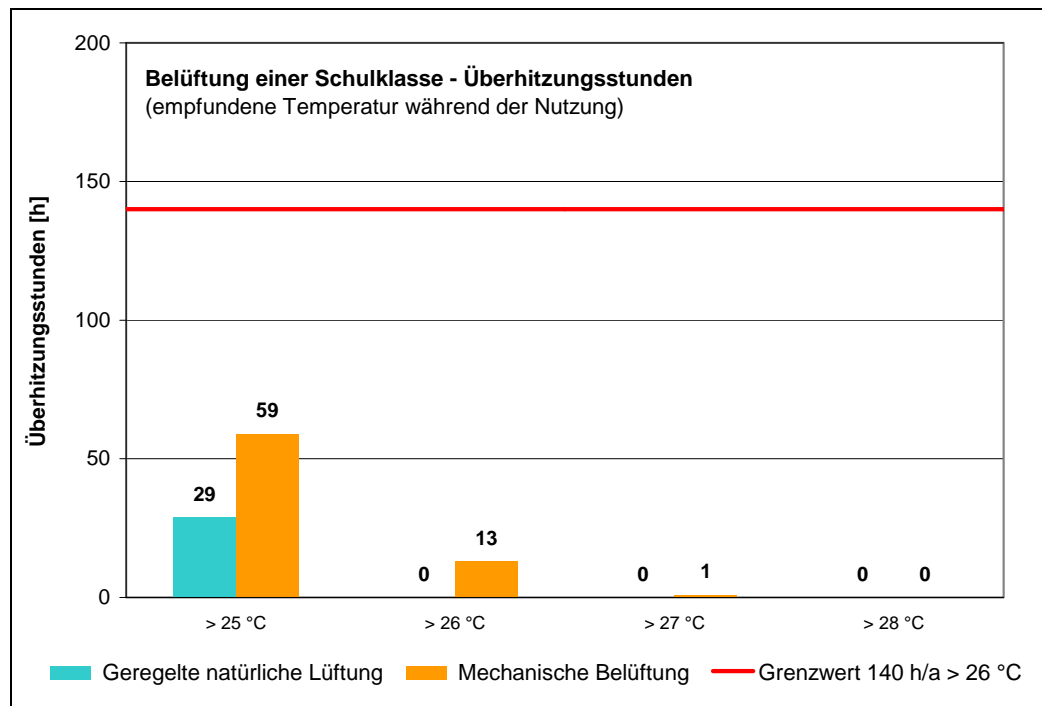


Bild 8: Überheizungsstunden für die untersuchten Varianten (Grenzwert entsprechend DIN 4108-2)

- Nach DIN 4108-2 ist eine Überschreitung der Raumtemperatur von 26 °C (Hamburg) an 10 % der Nutzungszeit zulässig. Entsprechend DIN V 18599 wird eine Nutzungszeit von 1.400 h/a angesetzt. Somit wird ein Grenzwert von 140 h/a festgelegt.
- Mit beiden Systemen wird der Grenzwert eingehalten.
- Aufgrund der höheren Luftmenge ist eine Fensterlüftung der mechanischen Lüftung hier überlegen (bessere nächtliche Auskühlung, Hilfsstrom vernachlässigbar).

Nachfolgend ist ein beispielhafter Temperaturverlauf dargestellt.

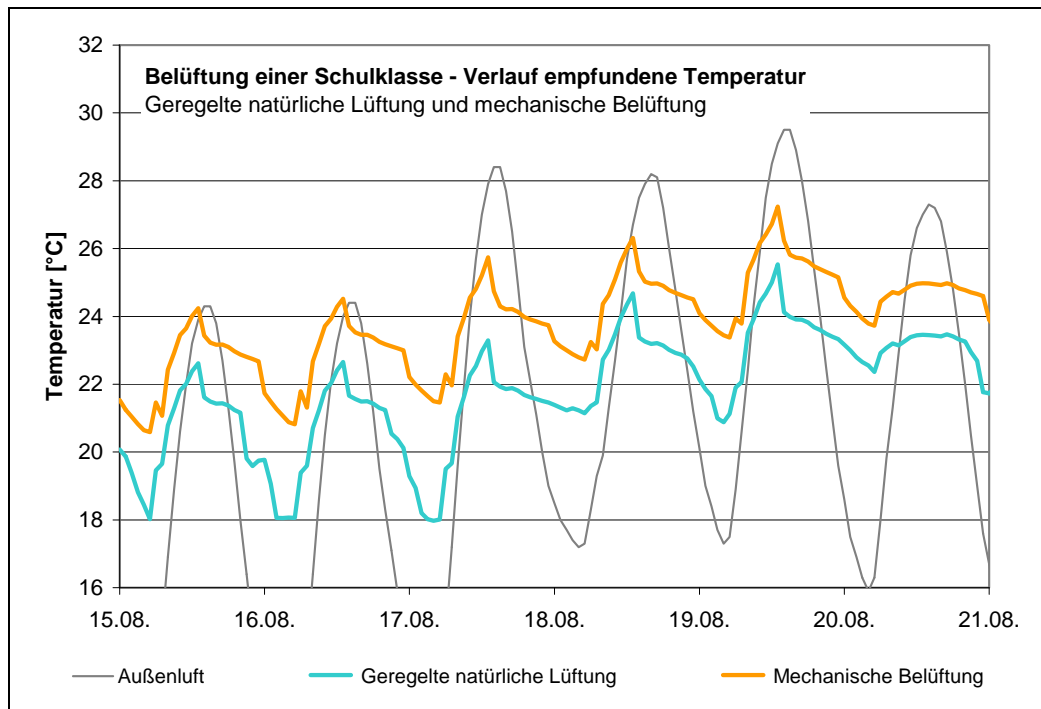


Bild 9: Temperaturverlauf im Sommer für die untersuchten Varianten (Mech. Lüftung ganzjährig)

#### 4.4 Raumluftqualität

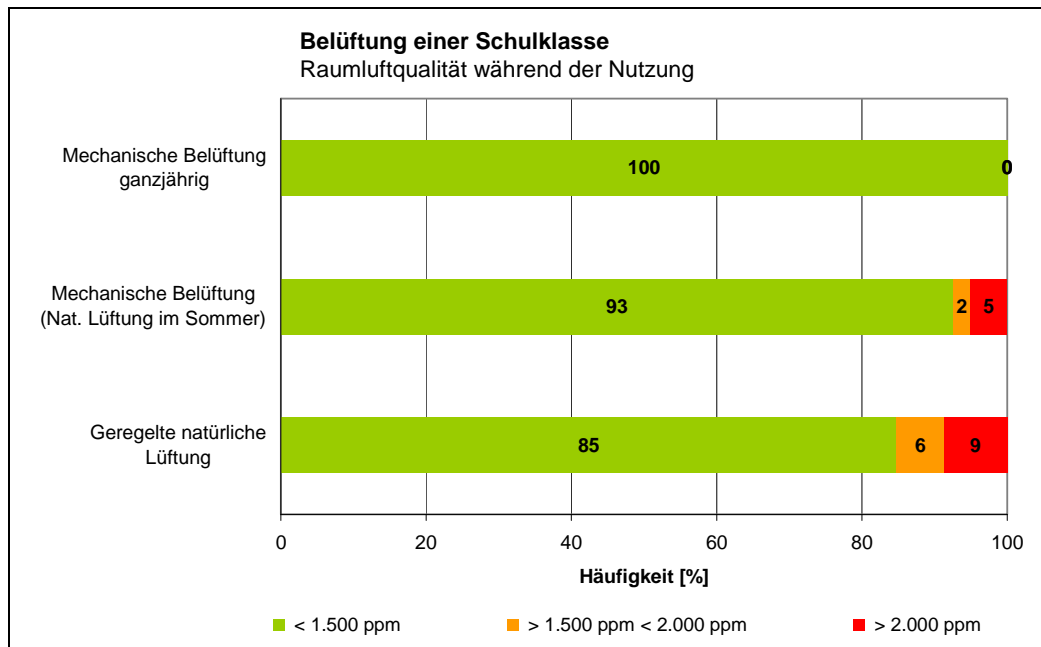


Bild 10: Raumluftqualität während der Nutzung - Häufigkeit bei unterschiedlicher Belüftung

- Mit den Systemen wird eine deutlich bessere Raumluftqualität und ein verbesserter thermischer Komfort im Vergleich zur üblichen Fensterlüftung erreicht.

- Die Luftqualität ist mit mechanischer Lüftung etwas besser als mit geregelter natürlicher Lüftung zu beurteilen. Die natürliche Lüftung ist abhängig von den klimatischen Randbedingungen, so dass auch Zustände auftreten können, an denen die natürlichen Antriebskräfte fehlen. Die Grenzen der geregelten natürlichen Lüftung werden an stark befahrenen Straßen erreicht.
- Im Modell wurde ein einfaches Netz-Knoten Modell verwendet. Ggf. kann durch eine entsprechende Aufteilung der Fenster mit Höhenunterschied und / oder Möglichkeit der Querlüftung die Situation der natürlichen Lüftung verbessert werden.
- Für die mechanische Lüftung kann selbstverständlich eine höhere Luftmenge geplant werden. Es entstehen allerdings die erwähnten Nachteile: Die Relative Feuchte ist z.T. < 30 % im Kernwinter sowie entstehen höhere Kosten.

## 5 Wirtschaftlichkeitsanalyse

### 5.1 Annahmen

Die Wärmekosten wurden auf Basis des berechneten Energiebedarfs ermittelt, die Stromkosten wurden über Kennzahlen und Laufzeiten abgeschätzt.

- Spezifische Stromkennzahl RLT: 500 W/m<sup>3</sup>/s (sehr effiziente Anlage, Laufzeit ca. 1850 h/a bei Fensterlüftung im Sommer und ca. 2260 h/a bei ganzjährigem Betrieb)
- Regelung und Antriebe natürliche Lüftung: 24 W Dauerbetrieb (für 8 Klassen!) und 50 W zu 20 % während der Nutzung (ca. 450 h/a)

Es wurde eine Berechnung nach Annuitätenmethode mit folgenden Annahmen durchgeführt:

- Kalkulatorischer Zinsfuß: 4,3 %
- Teuerung Kapital und Betrieb: 3 %, Energiepreisteuerung 4,5 %
- Derzeitige Energiekosten: Wärme 65,- EUR/MWh und Strom 200,- EUR/MWh
- Betrachtungszeitraum und Lebensdauer 15 Jahre

Weitere Randbedingungen können der Berechnung im Anhang entnommen werden.

### Investitions- und Betriebskosten

Es wurden folgende Kosten angesetzt.

- Geregelter natürliche Lüftung: 4.200 EUR (auf eine Klasse bezogen, da Regelungskomponenten z.T. mehrere Klassen abdecken)
- Mechanische Lüftung: 7.500 EUR je Klasse
- Annahme Kosten für Wartung etc. 3 bis 3,5 % der Investitionskosten

## 5.2 Ergebnis

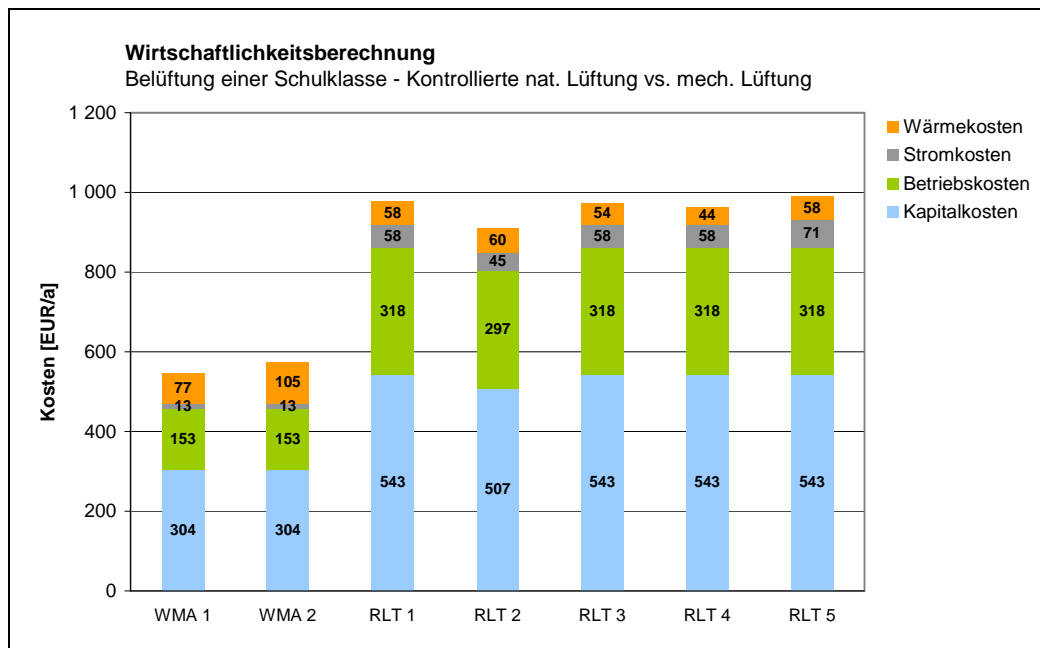


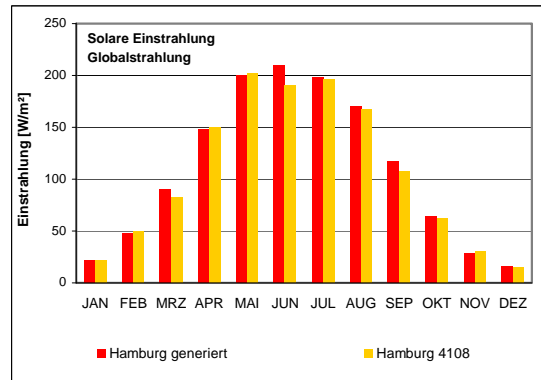
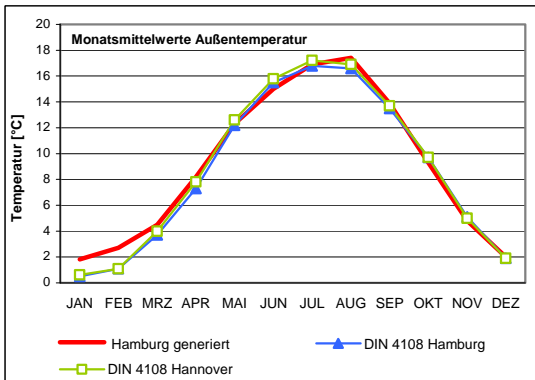
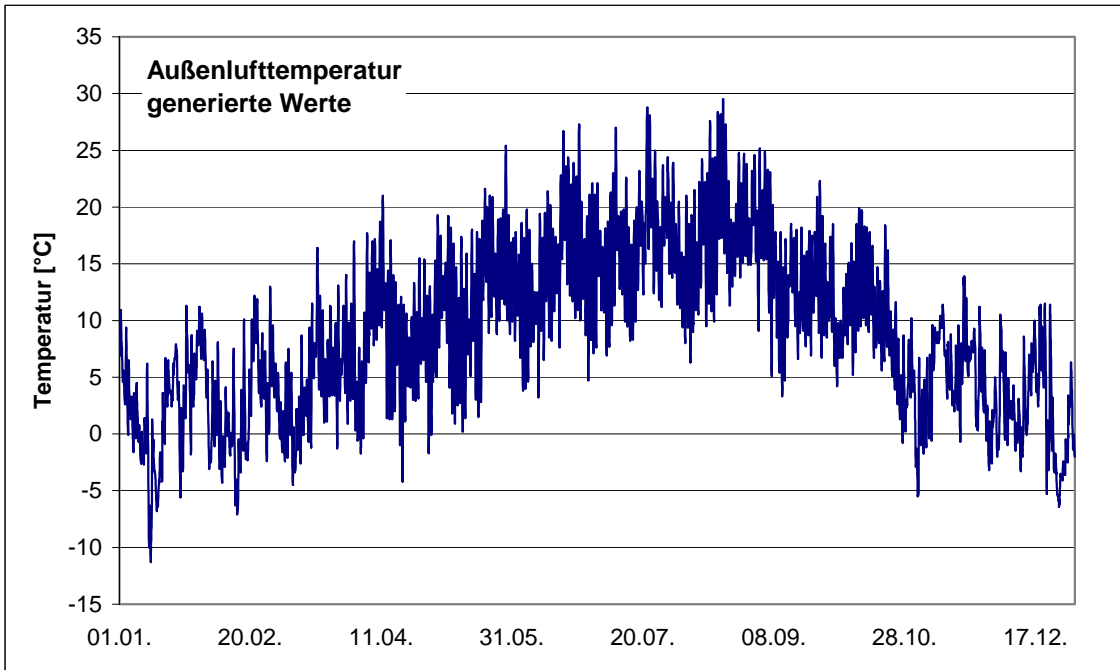
Bild 11: Ergebnis der Vollkostenbetrachtung

- Die Varianten zeigen, dass eine geregelte natürliche Lüftung im Vergleich mit einer mechanischen Lüftung mit hocheffizienter Wärmerückgewinnung aus wirtschaftlicher Sicht deutlich im Vorteil liegt.

## 6 Anhang

### 6.1 Klimadaten

**Standort:** Hamburg  
**Quelle Datensatz:** METEONORM Version 6.1  
**Geografische Position:** 53° 33' Nord, 9° 59' Ost



**Vergleich:**

Jahresmitteltemperatur:  
 Min. / Max. Temperatur:  
 Anzahl Stunden < 0 °C:  
 Anzahl Stunden > 25 °C:  
 Solare Einstrahlung:  
 Mittlere Windgeschwindigkeit:  
 Mittelwert Windrichtung:

**Hamburg generiert:**

9.1 °C  
 -11.3 °C / 29.5 °C  
 995 h/a  
 82 h/a  
 959 kWh/m²a  
 3.0 m/s  
 216° (SW)

**Deutschland mittel: (Würzburg)**

9.5 °C (langj. Mittel 68-06, DWD)  
 -12.3 °C / 31.9 °C (Meteonorm)  
 1110 h/a (Meteonorm)  
 215 h/a (Meteonorm)  
 1074 kWh/m²a (Region 11, DIN 4108-6)  
 4.1 m/s (Meteonorm)  
 201° (SSW) (Meteonorm)



## 6.2 Randbedingungen Simulation Zone Klasse natürlich belüftet

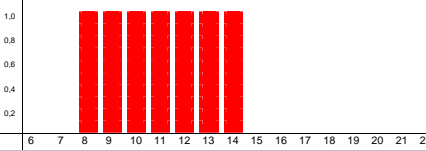
Randbedingung	Beschreibung	Einheit	Wert	Bemerkung
<b>Therm. Zone</b>	Bezugsfläche netto	m <sup>2</sup>	62,3	Belegung: 28 Personen
<b>Wärmelasten</b>	Zeitprofil Mo. – Fr.			 <p>The chart shows a constant load of 1.0 from 8 to 14 hours, with zero load outside this range. The x-axis is labeled from 6 to 22, and the y-axis from 0.2 to 1.0.</p>
	Personen	W/m <sup>2</sup>	32,4	Zeitprofil, 72 W/P sensibel
	Beleuchtung, max.	W/m <sup>2</sup>	10,0	Zeitprofil, 50% konvektiv
	EDV, sonstiges	W/m <sup>2</sup>	-	Keine weiteren Lasten angenommen
<b>aktive Kühlung</b>	spez. Leistung	W/m <sup>2</sup>	-	
<b>Lüftung</b>	Infiltration	1/h	0,1	sehr dichte Bauweise
	Ventilation, Tag	1/h	-	Variabel Fensterflügel
	Ventilation, Nacht	1/h	-	s. Varianten, Fensterflügel
<b>Speichermasse</b>	Boden	-		6 cm Estrich, 4 cm Trittschall
	Decke	-		50 % Abgehängt, nicht wirksam 50 % massiv
	Außenwand	-		massiv, Putz + 17,5 cm KS
	Innenwände	-		massiv, Putz + 17,5 cm KS
<b>Verglasung</b>	Verglasung, U-Wert	W/m <sup>2</sup> K	1,3	Zweifach-Wärmeglas / Rahmen
	Verglasung, g-Wert	-	0,6	Wärmeschutzverglasung
	Sonnenschutz, Abminderungsfaktor	-	0,25	Außen liegend aktiv ab 150 W/m <sup>2</sup>
<b>Ort</b>	Geschoss	-		Südorientierung

Bild 12: Randbedingungen der thermischen Zone Klasse

### 6.3 Randbedingungen Simulation Zone Klasse mechanisch belüftet

Randbedingung	Beschreibung	Einheit	Wert	Bemerkung
<b>Therm. Zone</b>	Bezugsfläche netto	m <sup>2</sup>	62,3	Belegung: 28 Personen
<b>Wärmelasten</b>	Zeitprofil Mo. – Fr.			 <p>The chart shows a constant load of 1.0 (y-axis) from 8:00 to 14:00 hours (x-axis). The x-axis is labeled from 6 to 22 in increments of 1. The y-axis is labeled from 0.2 to 1.0 in increments of 0.2.</p>
	Personen	W/m <sup>2</sup>	32,4	Zeitprofil, 72 W/P sensibel
	Beleuchtung, max.	W/m <sup>2</sup>	10,0	Zeitprofil, 50 % konvektiv
	EDV, sonstiges	W/m <sup>2</sup>	-	Keine weiteren Lasten angenommen
<b>aktive Kühlung</b>	spez. Leistung	W/m <sup>2</sup>	-	
<b>Lüftung</b>	Infiltration	1/h	0,1	sehr dichte Bauweise
	Ventilation, Tag	1/h	2,5	Entspricht 15 m <sup>3</sup> /Person
	Ventilation, Nacht	1/h	2,5	Im Sommer bei T <sub>i</sub> > 21 °C
<b>Speichermasse</b>	Boden	-		6 cm Estrich, 4 cm Trittschall
	Decke	-		50 % Abgehängt, nicht wirksam 50 % massiv
	Außenwand	-		massiv, Putz + 17,5 cm KS
	Innenwände	-		massiv, Putz + 17,5 cm KS
<b>Verglasung</b>	Verglasung, U-Wert	W/m <sup>2</sup> K	1,3	Zweifach-Wärmeglas / Rahmen
	Verglasung, g-Wert	-	0,6	Wärmeschutzverglasung
	Sonnenschutz, Abminderungsfaktor	-	0,25	Außen liegend aktiv ab 150 W/m <sup>2</sup>
<b>Ort</b>	Geschoss	-		Südorientierung

Bild 13: Randbedingungen der thermischen Zone Klasse

Schulferien Hamburg 2011:

Winterferien	Osterferien	Pfingstferien
31.01.	07.03. - 18.03.	26.04. - 29.04./03.06.
Sommerferien	Herbstferien	Weihnachtsferien
30.06. - 10.08.	04.10. - 14.10.	27.12. - 06.01.

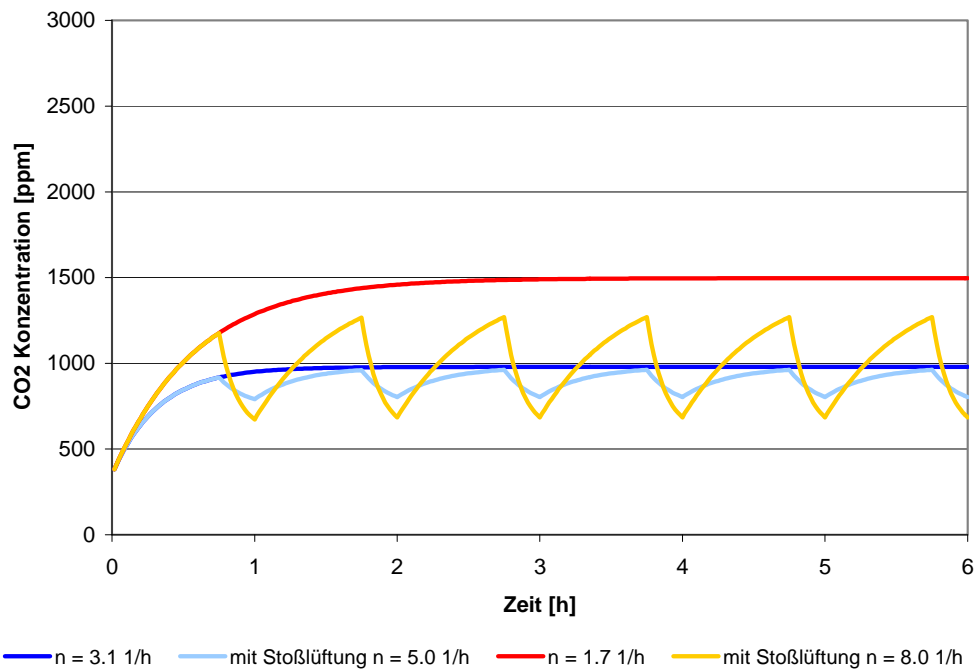
## 6.4 Wirtschaftlichkeitsberechnung

1 Allgemeine Daten / Annahmen								
<b>Projekt: Belüftung einer Schulklasse - Kontrollierte nat. Lüftung vs. mech. Lüftung</b>						Stand:	18.05.2011	
Kosten	Kalk. Zinsfuß	Teuerung		Energiekosten				
Kapital	1.043 [-]	1.030 [-]		Wärme		65.00 [EUR/MWh]		
Betrieb	1.043 [-]	1.030 [-]		Strom		200.00 [EUR/MWh]		
Verbrauch	1.043 [-]	1.045 [-]						
Betrachtungszeitraum	15 [a]							
2 Varianten		Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Variante 6	Variante 7
		WMA 1	WMA 2	RLT 1	RLT 2	RLT 3	RLT 4	RLT 5
3 Belüftung und Komponenten								
Zuluftmenge	[m³/h]	variabel	variabel	420	330	420	420	420
Abluftmenge	[m³/h]	variabel	variabel	420	330	420	420	420
Wirkungsgrad WRG	[%]	-	-	0 - 75	0 - 75	40 - 75	0 - 75	0 - 75
Grenzwert Bypass	[°C]	-	-	21	21	21	22	21
CO2 Grenzwert	[ppm]	1 500	1 200	-	-	-	-	-
Betriebszeit (inkl. Nachtlüftung)	[h]			1 851	1 851	1 851	1 851	2 262
Spez. Ventilatorleistung	[W/m³/s]			500	500	500	500	500
4 Energiemengen und Kosten								
Wärmebedarf	[kWh]	888	1 205	666	693	624	509	666
Strombedarf	[kWh]	49	49	216	170	216	216	264
Kosten Wärme im 1. Jahr	[EUR]	58	78	43	45	41	33	43
Kosten Strom im 1. Jahr	[EUR]	10	10	43	34	43	43	53
Diskontfaktor	[a]	14.63	14.63	14.63	14.63	14.63	14.63	14.63
Annuitätenfaktor	[1/a]	0.0915	0.0915	0.0915	0.0915	0.0915	0.0915	0.0915
<b>Wärmekosten</b>	<b>[EUR/a]</b>	<b>77</b>	<b>105</b>	<b>58</b>	<b>60</b>	<b>54</b>	<b>44</b>	<b>58</b>
<b>Stromkosten</b>	<b>[EUR/a]</b>	<b>13</b>	<b>13</b>	<b>58</b>	<b>45</b>	<b>58</b>	<b>58</b>	<b>71</b>
5 Kapitalkosten								
Investitionskosten	[EUR]	4 200	4 200	7 500	7 000	7 500	7 500	7 500
Nutzungsdauer	[a]	20	20	20	20	20	20	20
Restwertfaktor	[-]	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79
Annuitätenfaktor	[1/a]	0.0915	0.0915	0.0915	0.0915	0.0915	0.0915	0.0915
<b>Kapitalkosten</b>	<b>[EUR/a]</b>	<b>304</b>	<b>304</b>	<b>543</b>	<b>507</b>	<b>543</b>	<b>543</b>	<b>543</b>
6 Betriebskosten								
Kosten bezügl. Investition	[%]	3.0	3.0	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
Kosten im 1. Jahr	[EUR]	126	126	263	245	263	263	263
Diskontfaktor	[a]	13.24	13.24	13.24	13.24	13.24	13.24	13.24
Annuitätenfaktor	[1/a]	0.0915	0.0915	0.0915	0.0915	0.0915	0.0915	0.0915
<b>Betriebskosten</b>	<b>[EUR/a]</b>	<b>153</b>	<b>153</b>	<b>318</b>	<b>297</b>	<b>318</b>	<b>318</b>	<b>318</b>
7 Zusammenfassung								
<b>Wärmekosten</b>	<b>[EUR/a]</b>	<b>77</b>	<b>105</b>	<b>58</b>	<b>60</b>	<b>54</b>	<b>44</b>	<b>58</b>
<b>Stromkosten</b>	<b>[EUR/a]</b>	<b>13</b>	<b>13</b>	<b>58</b>	<b>45</b>	<b>58</b>	<b>58</b>	<b>71</b>
<b>Kapitalkosten</b>	<b>[EUR/a]</b>	<b>304</b>	<b>304</b>	<b>543</b>	<b>507</b>	<b>543</b>	<b>543</b>	<b>543</b>
<b>Betriebskosten</b>	<b>[EUR/a]</b>	<b>153</b>	<b>153</b>	<b>318</b>	<b>297</b>	<b>318</b>	<b>318</b>	<b>318</b>
<b>Summe</b>	<b>[EUR/a]</b>	<b>547.25</b>	<b>574.81</b>	<b>977.10</b>	<b>909.67</b>	<b>973.49</b>	<b>963.47</b>	<b>989.95</b>

## 6.5 Berechnung CO2 Konzentration - Beispiel Klassenraum

**Berechnung der mittleren CO2 Konzentration in der Aufenthaltszone**

Raumgrundfläche	58.2 [m <sup>2</sup> ]	Raumvolumen	186 [m <sup>3</sup> ]
Lichte Raumhöhe	3.2 [m]		
Belegung Personen			
Anzahl Erwachsene	1 [-]		
Tätigkeit Erwachsener	1.2 [met]		
Anzahl Kinder	28 [-]	Summe Abgabe CO2	363.1 [l/h]
Tätigkeit Kind	0.72 [met]	Summe Abgabe CO2	0.363 [m <sup>3</sup> /h]
Anfangskonzentration	350 [ppm]	Anfangskonzentration	0.00035 [m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]
Zuluftkonzentration	350 [ppm]	Zuluftkonzentration	0.00035 [m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]
Grundlüftung 1			
	3.10 [1/h]	Grundlüftung 2	1.70 [1/h]
Stoßlüftung (SL) 1			
	5.00 [1/h]	Stoßlüftung (SL) 2	8.00 [1/h]
Dauer SL 1			
	15 [min]	Dauer SL 2	15 [min]
Wiederholung SL 1			
	45 [min]	Wiederholung SL 2	45 [min]



6.6 Operative Temperatur für 2 Varianten (DIN EN 15251)

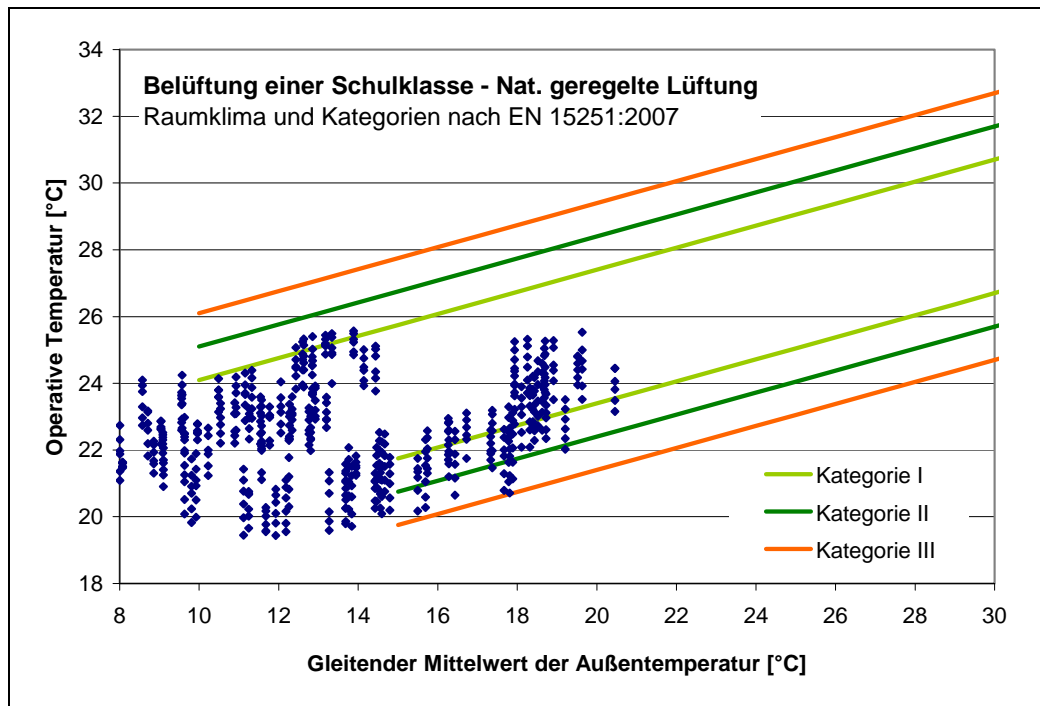


Bild 14: Bewertung sommerliches Raumklima nach DIN EN 15251 – Nat. geregelte Lüftung

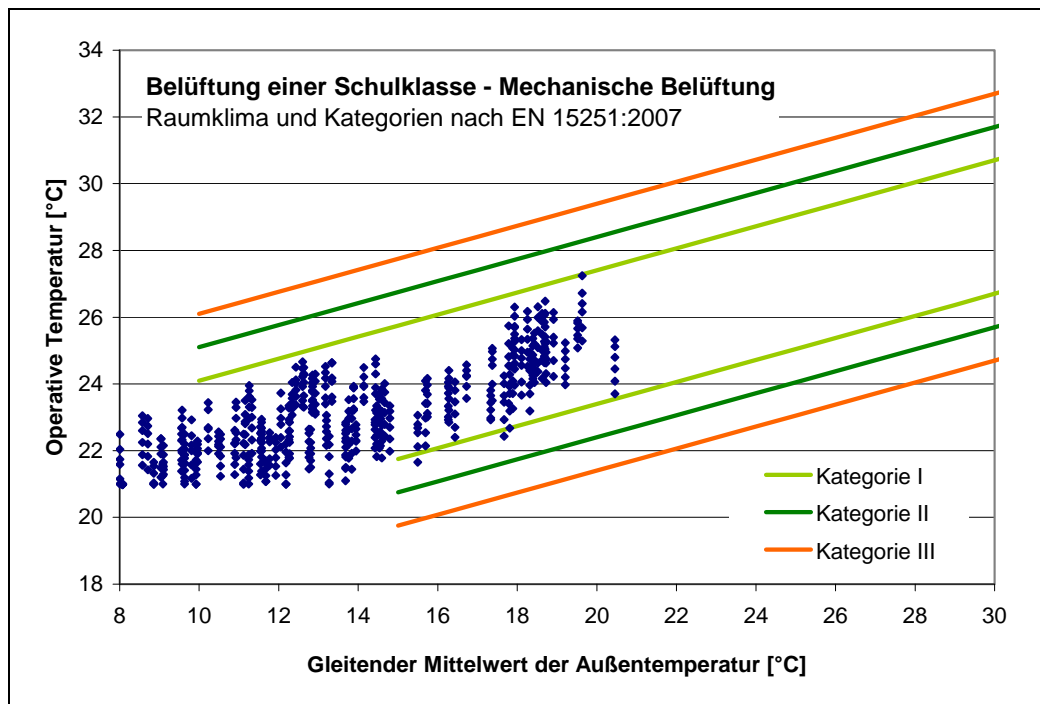


Bild 15: Bewertung sommerliches Raumklima nach DIN EN 15251 – Ganzjährig mechanische Belüftung

Die Kategorie II (normales Maß an Erwartungen) der DIN EN 15251 wird für beide System zu mindestens 99 % der Nutzungszeit eingehalten (obere Grenze).