

Beschlussvorlage

zur Behandlung im: **Planungsausschuss**

Vorberatung im: -----

Betreff: Energetische Sanierung Kepler-Gymnasium (westl. Bauteil)
- Systemvergleich Fensterlüftung und mechanische Lüftung
zur Belüftung der Klassenzimmer -

Bezug:

Anlagen: Bezeichnung:

Beschlussantrag:

1. Im Zuge der Sanierung des westl. Bauteils wird eine raumlufttechnische Anlage (RLT) zur zusätzlichen Belüftung der Klassen eingebaut.
2. Die Gesamtbaukosten für den westl. Bauteil werden für den Einbau einer RLT-Anlage um 300.000,-- € erhöht.

Finanzielle Auswirkungen		bisher	neu
Investitionskosten:	€	€ 2.890.000,--	€
bei HHStelle veranschlagt:	2.2320.9450.000	€ 2.890.000,--	€
Aufwand / Ertrag jährlich	€	€ 10.050,--/a	€

Ziel:

Verbesserung der Luftqualität in den Klassenzimmern im Rahmen der energetischen Sanierung

Begründung:

1. Anlass / Problemstellung

Im Zuge der Vergabe von Planungsleistungen in der Gemeinderatsitzung am 20.10. 2008, wurde aus dem Gremium angefragt, ob im Zuge der Sanierungsmaßnahmen zur Verbesserung der Luftqualität zusätzlich eine Lüftungsanlage eingebaut werden kann. Die Verwaltung hat einen gegenüberstellenden Vergleich, natürliche Fensterlüftung/zusätzliche mechanische Lüftungsmöglichkeit, zugesagt.

2. Sachstand

2.1 Allgemeine Grundlagen

In allen Räumen, in denen sich Menschen über einen längeren Zeitraum aufhalten, müssen verschiedene physiologische Anforderungen des Menschen beachtet und befriedigt werden, damit sich der Mensch behaglich fühlt. Im Besonderen gilt dies auch für Unterrichtsräume, damit Konzentration und Leistungsfähigkeit nicht durch äußere Faktoren beeinträchtigt werden.

Das Behaglichkeitsempfinden des Menschen wird im speziellen durch die Lufttemperatur, die Temperatur der Umgebungsflächen und die Luftbewegung beeinflusst. Physiologisch behagliche Raumlufttemperaturen (bei Klassenräumen je nach Jahreszeit 20-25°C) sollten das ganze Jahr über eingehalten werden. Dabei gilt es insbesondere Zugerscheinungen durch kalte Luft sowie Unbehaglichkeiten durch zu kalte Oberflächen (Strahlungsasymmetrie) zu vermeiden.

Ein weiterer Faktor der die Leistungsfähigkeit und auch die Behaglichkeit des Menschen stark beeinflusst, ist die Luftqualität.

Ein in Klassenzimmern besonders aussagekräftiger Richtwert über die Luftqualität ist die Kohlendioxidkonzentration. Als maximaler Wert für die CO₂-Konzentration galt bisher gem. DIN 1946 Teil 2 ein Wert von 1500 ppm (parts per million).

In der DIN EN 13779, welche seit Mai 2005 die DIN 1946 Teil 2 abgelöst hat, gilt als Grenzwert für die CO₂-Konzentration von Klassenräume eine maximale Erhöhung gegenüber der Außenluft von 1000 ppm. Daraus ergibt sich ein Mindestaußenluftvolumenstrom von 30 m³/h pro Person, der notwendig ist, um die geforderte CO₂-Konzentration im Klassenzimmer nicht zu überschreiten. Dieser kann entweder durch eine mechanische Lüftungsanlage oder durch mehrmaliges Stoßlüften pro Stunde abgedeckt werden. Ein mehrmaliges Lüften auch während der Unterrichtsstunde ist jedoch oft aufgrund von Zugerscheinungen durch die Kaltluft bzw. durch Lärmbelastigung von draußen nicht möglich. Die größten Untersuchungen zum Thema Raumluftqualität fanden in Berlin (2004) und in Bayern (2006) statt. Beide Untersuchungen kamen zu dem gleichen Endergebnis, dass nur mit Fensterlüftung keine lerngerechte Luftqualität garantiert werden kann. Teilweise wurden Spitzenkonzentrationen an CO₂ von über 5000 ppm gemessen.

Zu hohe CO₂-Konzentrationen führen jedoch zwangsläufig zu verminderter Konzentrationsfähigkeit, Müdigkeit und sinkender Leistungsfähigkeit. Beide Studien kommen daher zu dem Schluss, dass nur mit Fensterlüftung alleine keine ausreichend lerngerechte Luftqualität gewährleistet werden kann.

Die Auswirkung der CO₂ Konzentration auf die Konzentrationsfähigkeit und die Leistungsfähigkeit wurden in mehreren Studien in den letzten Jahren speziell im Hinblick auf die Situation in Klassenzimmern untersucht (Shaughnessy et. Al. 2005, Wargocki & Wyon 2006, Tiesler et. Al. 2008). Bei allen Studien nahm mit steigendem CO₂-Gehalt die Leistungsfähigkeit in den untersuchten Bereichen (Mathematik, Lesen, Schreiben) signifikant ab bzw. die Fehlerrate zu.

2.2 Vergleichende Lüftungssysteme

Prinzipiell können zur Aufbringung des geforderten Außenluftvolumenstroms zwei verschiedene Systeme genutzt werden. Wie bereits genannt, wird in freie Lüftung über das Fenster und erzwungener Lüftung durch eine mechanische Lüftungsanlage unterschieden.

Das klassische System ist die Fensterlüftung. Dabei wird das Fenster über 5-10 Minuten voll geöffnet (Stoßlüftung). Dies führt aber vor allem im Winter zu erheblichen Energieverlusten.

2.2.1 Vor- und Nachteile der Fensterlüftung

Vorteile:

- keine zusätzlichen Investitionskosten
- keine Betriebskosten
- keine Ventilator- bzw. Strömungsgeräusche

Nachteile:

- vor allem im Winter Zugerscheinungen
- erhebliche Energieverluste bzw. starke Raumabkühlung
- keine kontinuierliche Luftqualität
- geringe Möglichkeit die Außenluftqualität zu beurteilen bzw. zu beeinflussen
- keine Filterung (Pollen und Feinstaub) der Luft möglich
- keine Möglichkeit die Luftmenge zu kontrollieren oder zu beeinflussen, da der Luftaustausch durch das Wetter insbesondere Luft- bzw. Winddruck auch die Temperatur bestimmt
- die Wärme der Abluft geht verloren, keine Wärmerückgewinnung möglich

Bei der mechanischen Lüftung wird die Außenluft über ein zentrales oder auch dezentrales Lüftungsgerät durch einen Ventilator angetrieben und über ein Kanalsystem in die zu lüftenden Räume eingebracht.

2.2.2 Vor- und Nachteile der mechanischen Lüftung

Vorteile:

- unabhängig vom Wetter kann der gewünschte Außenluftvolumenstrom konstant eingebracht werden
- die Luft kann gefiltert werden
- die Luftqualität kann kontrolliert und der Volumenstrom entsprechend dem Bedarf angepasst werden.
- Die Abluftwärme kann über eine Wärmerückgewinnungsanlage zur Aufbereitung der Außenluft genutzt werden
- Zugscheinungen können vermieden werden
- Pollen und Feinstaub werden aus der Außenluft herausgefiltert

Nachteile:

- höhere Investitionskosten
- höhere Betriebskosten
- höhere Wartungskosten
- Einbau nachträglich nicht überall möglich

2.2.3 Fazit zum Systemvergleich Fensterlüftung/mechanische Lüftung

Die Fensterlüftung ist weitgehend kostenneutral, bietet dafür jedoch wesentlich geringere Luftqualität, die zudem noch maßgeblich vom Lüftungsverhalten des/der Nutzer/s abhängig ist.

Demgegenüber wird durch die mechanische Lüftung eine gleichbleibende hohe Luftqualität ermöglicht. Zudem können die Energieverluste durch die Nutzung der Abluftwärme über ein WRG-System minimiert werden. Dafür müssen jedoch höhere Investitions- und Betriebskosten in Kauf genommen werden.

Eine allgemeingültige Aussage über ein System kann nicht getroffen werden. Die Wahl der Lüftungsmöglichkeit muss für jedes Vorhaben gesondert geprüft werden. In vorliegendem Fall ist der Einbau einer zusätzlichen Lüftung im westlichen Teil relativ unkompliziert möglich, im östlichen Bauteil, ist bedingt durch andere baulichen Verhältnisse die Möglichkeit eher unwahrscheinlich. In vorliegendem Fall ist es daher nicht auszuschließen, dass in ein und demselben Gebäude künftig ungleiche Verhältnisse anzutreffen sein werden.

3. Lösungsvarianten

3.1 Variante 1 - Fensterlüftung

Auf eine zusätzliche RLT-Anlage im westlichen Bauteil wird verzichtet. Die Lüftung erfolgt ausschließlich über Fenster.

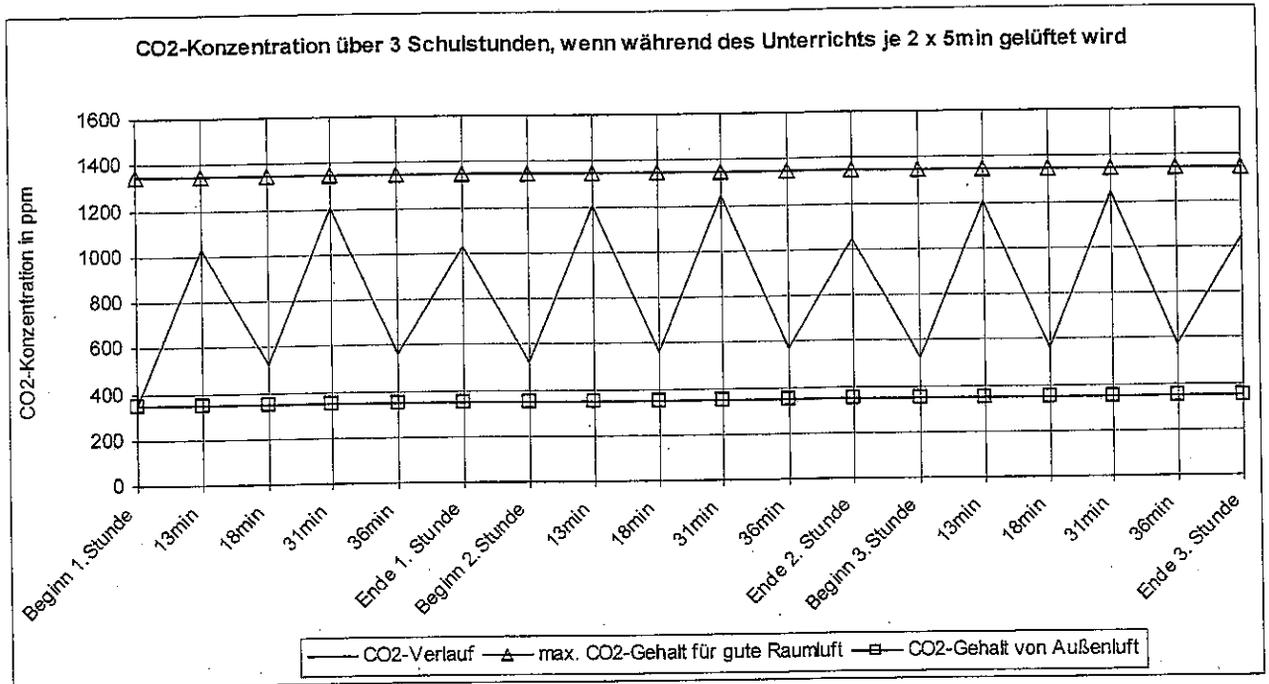


Diagramm 01 - Fensterlüftung

In Diagramm 01 ist zu erkennen, dass zur Aufrechterhaltung der Luftqualität ausschließlich mit Fensterlüftung mindestens alle 13 Minuten für 5 Minuten die Fenster geöffnet werden müssten. Dies ist jedoch speziell im Winter nicht zumutbar.

3.2 Variante 2 – zusätzlicher Einbau einer RLT-Anlage

Zur Vermeidung von Lüftungswärmeverlusten und zur Erhöhung der Luftqualität bzw. zur kontrollierten Einhaltung der geforderten maximalen CO₂-Konzentration in den Klassenräumen ist eine Be- und Entlüftungsanlage geplant. Das zentrale Zu- und Abluftgerät wird mit den Funktionen Filtern/Heizen/Wärmerückgewinnung ausgeführt.

Für einen stromsparenden Betrieb werden die Ventilatoren mit drehzahlregelbaren Motoren und freilaufenden Rädern ausgestattet. Die Anlage wird mit 100% Außenluft betrieben und kann gemäß dem aktuellen Bedarf zwischen 60-100% den Volumenstrom variieren. Dabei werden zur Bedarfsregelung die einzelnen Klassenräume mit einem Anwesenheitstaster ausgestattet. Der aufgrund der tatsächlich belegten Klassenzimmer benötigte Volumenstrom wird dann über Volumenstromregler und die Drehzahlregelung des Ventilators eingestellt.

Die Verteilkanäle werden als sichtbare Rundrohre auf der Gebäude Nordseite hoch geführt. Die Anbindeleitungen erfolgen geschossweise im Flurbereich.

Als Auslegungsparameter wird gemäß DIN EN 13779 ein Außenluftvolumenstrom von 30m³/h pro Person und eine maximale Belegung von 32 Schülern plus Lehrer pro Klassenzimmer zugrunde gelegt.

Daraus ergibt sich ein maximal benötigter Volumenstrom bei 100% Auslastung aller Klassenzimmer von ca. 28.000 m³/h.

Die aktuelle Planung geht jedoch von einer maximalen Gleichzeitigkeit von ca. 65% aus, so dass die Anlage um Investitions- und Betriebskosten bzw. Primärenergie zu sparen auf einen Volumenstrom von 18.000 m³/h ausgelegt wird. Dies wird auch durch aktuelle Erfahrungsberichte aus ähnlich zu beurteilenden Anlagen als sinnvolle Lösung empfohlen (siehe BINE Informationsdienst Projekt Info 03/05).

Damit würde für den Fall einer tatsächlichen maximalen Auslastung aller Klassenzimmer noch immer ein Außenluftvolumenstrom von ca. 23 m³/h pro Person zur Verfügung stehen, was zur Vermeidung von hohen CO₂-Konzentrationen in Verbindung mit einer kurzen Stoßlüftung in der Pause ausreichend ist.

In dem nachstehenden Diagramm 02 ist der zu erwartende Anstieg der CO₂-Konzentration für die beschriebene Raumbelugung dargestellt. Dabei wird in dem Diagramm davon ausgegangen, dass während des Unterrichts auf ein Öffnen der Fenster verzichtet wird (Vermeidung von Zugerscheinungen). Deutlich ist in dem Diagramm zu sehen, dass bei der gewählten Raumsituation ohne mechanische Lüftungsanlage schon nach der ersten Schulstunde ein Wert von über 2.500 ppm erreicht wird. Die maximal zulässige Konzentration von 1000 ppm über der Aussenluftkonzentration (ca. 350 ppm) wird dabei bei weitem überschritten. Auch nach einer Lüftungsdauer von fünf Minuten in der Pause kann in der zweiten Stunde nur innerhalb der ersten fünf bis zehn Minuten der geforderte Wert eingehalten werden.

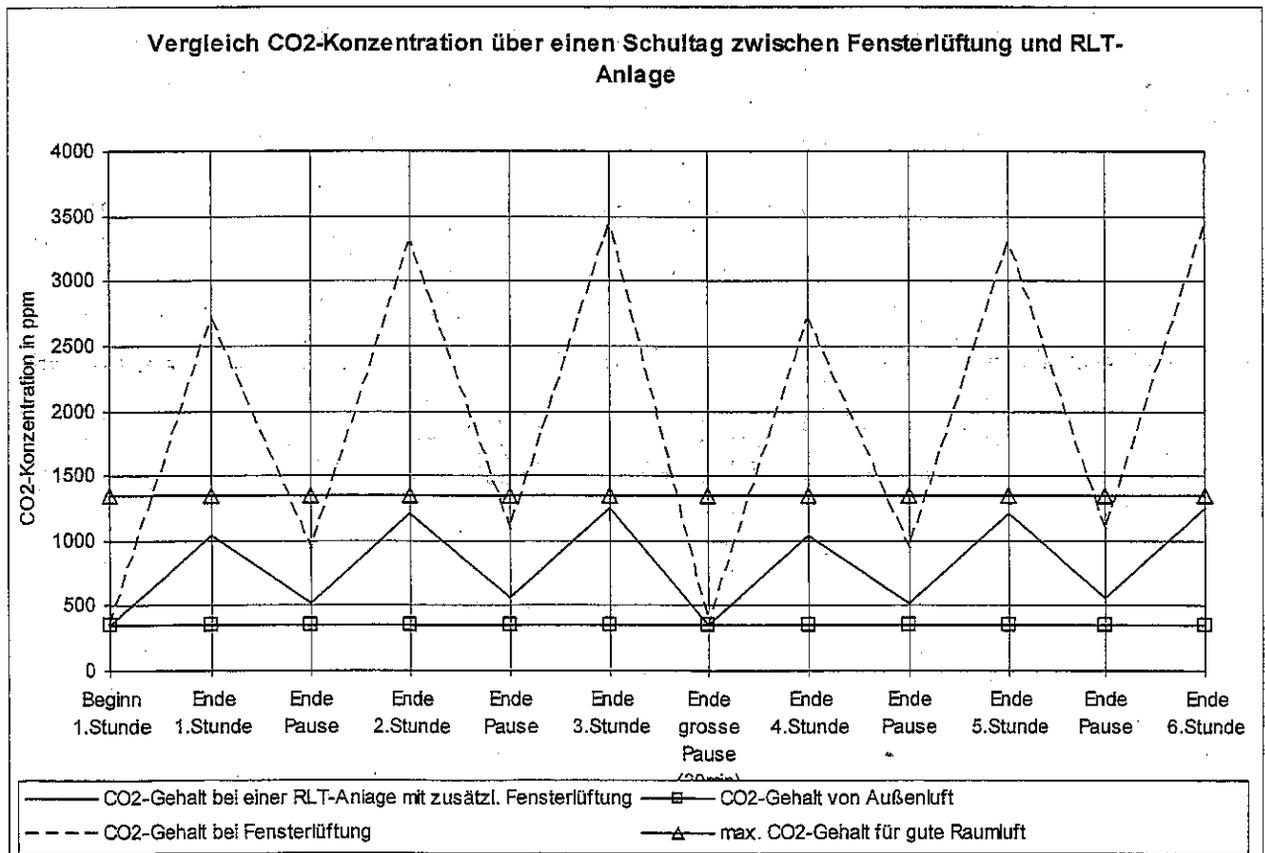


Diagramm 02 - RLT-Anlage

Bei der RLT- Anlage wird der Grenzwert auch zum Ende der 6. Stunde nicht überschritten. Die CO₂-Konzentration steigt auch hier während des Unterrichts leicht an, da der Aussenluftanteil weniger als 30 m³/h pro Person beträgt. Durch die Lüftung in den Pausen kann jedoch das Überschreiten des Grenzwerts dauerhaft verhindert werden. Die Qualität der Raumluft wird damit garantiert. In der großen Pause kann alternativ zum öffnen der Fenster auch die RLT- Anlage betrieben werden um Heizenergie zu sparen. Dies stellt gegenüber einer reinen Fensterlüftung noch immer eine erhebliche Behaglichkeits- und Qualitätsverbesserung dar. In wie weit die Fenster mit einem Kontaktgeber auszustatten sind, so dass beim Öffnen der Fenster die Lüftungsanlage für den betroffenen Raum ausgeschaltet wird, ist im Rahmen der Planung noch zu prüfen.

4. Vorschlag der Verwaltung

Bei der reinen Fensterlüftung kann durch den Nutzer auch bei größter Lüftungsdisziplin der durch die DIN EN 13779 geforderte CO₂-Grenzwert während des Schulbetriebs de facto kaum eingehalten werden. Wie oft tatsächlich gelüftet wird, ist ebenfalls nicht kontrollierbar. Sobald jedoch wie erforderlich regelmäßig gelüftet wird, ist mit erheblichen Wärmeverlusten und entsprechenden Heizkosten im Winter zu rechnen. Wie jedoch die Studien der letzten Jahre zeigen, wird in der Praxis eher viel zu wenig gelüftet, so dass sich erhebliche Überschreitungen des CO₂-Grenzwertes mit den genannten negativen Auswirkungen auf die Lernfähigkeit ergeben.

Dagegen kann über die RLT- Anlage die Überschreitung des CO₂-Grenzwertes dauerhaft vermieden werden, so dass während des ganzen Schultages gute Raumluftbedingungen erreicht werden. Dem gegenüber stehen jedoch entsprechend höhere Betriebs- und Investitionskosten. Da jedoch in dem in Frage kommenden westlichen Bauteil aufgrund der klaren räumlichen Struktur die Installation der RLT Anlagenkomponenten einfach realisierbar sind, liegen die Investitionskosten mit ca. 290.000 € in einem für einen Umbau entsprechend günstigen Rahmen. Es wird daher empfohlen, im westlichen Bauteil zusätzlich eine RLT-Anlage einzubauen.

Deutlich anders ist die Situation in dem unter Denkmalschutz stehenden östlichen Bauteil, hier wäre eine gleichwertige Nachrüstung praktisch nicht durchführbar bzw. nur unter erheblich größerem finanziellem Aufwand.

Eine Verallgemeinerung kann mit dieser Empfehlung somit nicht getroffen werden.

5. Finanzielle Auswirkungen

Ein Vergleich der Betriebskosten liegt der Stellungnahme in Anlage 1) bei. Da die Lüftungswärmeverluste maßgeblich durch das Nutzerverhalten bestimmt werden, kann eine genaue Aussage über die Höhe der Lüftungswärmeverluste nicht getroffen werden. Die tatsächlichen Kosten können bei sehr sparsamen Lüften (mit entsprechend schlechter Luftqualität) deutlich geringer ausfallen bzw. bei sehr ausgiebigem Lüften noch wesentlich höher liegen als in Anlage 1) dargestellt. Für die Betrachtung des Betriebskostenverlaufs wurde der minimale zweifache Luftwechsel gewählt und mit den Betriebskosten der RLT- Anlage verglichen.

Für die RLT-Anlage ist mit Betriebskosten von ca. 10.050 € per anno zu rechnen. Dies entspricht zusätzliche Kosten von ca. 15 € pro Schüler und Jahr für eine wesentlich bessere Luftqualität. Dem gegenüber stehen wie erwähnt theoretische Heizkosten zum Ausgleich der Lüftungswärmeverluste von 8.500 € per anno. Damit ergeben sich theoretische Mehrkosten für die Lüftungsanlage von ca. 1.500 € per anno.

Geht man, um eine bessere Vergleichbarkeit der Betriebskosten zu erzielen von dem gleichem Volumenstrom bei der Fensterlüftung (gleiche Luftqualität) wie bei der RLT Anlage aus, so ergeben sich Heizungskosten bei der Fensterlüftung für die Wärmeverluste die über den Betriebskosten der RLT Anlage liegen. Dabei handelt es sich jedoch um einen rein theoretischen Vergleich, da wie bereits dargestellt, es als höchst unwahrscheinlich anzusehen ist, dass ein so hoher Volumenstrom über die Fensterlüftung durch regelmäßiges Lüften eingehalten wird.

6. Anlagen

Betriebskostenvergleich RLT Anlage/Fensterlüftung

Betriebskostenvergleich Lüftung Kepler-Gymnasium

1.0 Betriebs- und Wartungskosten RLT- Anlage

1.1 Betriebskosten Ventilator

Energieart	Strom	
Bezugspreis		17 ct/kWh
Betriebsstunden Ventilator:		1780 h/a
(Annahme: 38 KW Schulbetrieb mit 5 Tage die Woche und 9h / Tag)		
Zuluftventilatorleistung gem. DIN 18599		10 kW
Abluftventilatorleistung gem. DIN 18599		6,25 kW
Gesamt Ventilatorleistung		16,25 kW
Leistungsbedarf Ventilatoren		28.925 kWh
Hilfsenergiebedarf		3.471 kWh
Gesamtenergiebedarf		32.396 kWh

Betriebskosten mechanische Leistung RLT-Anlage	5.507,32 € €/a
--	----------------

1.2 Betriebskosten Heizregister RLT- Anlage

Volumenstrom Lüftungsanlage	18.000 m³/h
Betriebszeiten 7:00 Uhr bis 16:00 Uhr	9 h/d
Lüftungsgradstunden bei Zulufttemperatur 22°C	43.140 Kh/a
Wärmebedarf Lüftung ohne WRG	184.886 kWh/a
Wirkungsgrad WRG	0,65

Lüftungswärmebedarf RLT Anlage	64710 kWh/a
Bezugspreis Heizenergie	7 ct/kWh

Betriebskosten Heizungsanlage für Lüftungswärmeverluste	4.529,70 € €/a
---	----------------

2.0 Lüftungswärmeverluste Fensterlüftung

2.1 Wärmeverlust durch Fensterlüftung

(Unter der Voraussetzung, dass über die Fensterlüftung zumindest der minimal erforderliche zweifache Luftwechsel pro Stunde erreicht wird.)

Raumvolumen Klassenräume	4.975 m³
Minimale Luftwechselrate	2 1/h
Minimaler Volumenstrom	9.950 m³/h
Volumenstrom durch Infiltration ca.	2.500 m³/h
Raumtemperatur	22 °C
Mittlere Winterhalbjahrestemperatur	6 °C
mittlerer Lüftungswärmeverlust	55 kW

2.2 Heizungskosten Fensterlüftung

Fläche Bauteil West	2.430 m²
Flächenbezogener Lüftungswärmeverlust	50 kWh/m²a
Lüftungswärmeverlust per anno	121.500 kWh/a
Bezugspreis Heizenergie	7 ct/kWh

Betriebskosten Heizungsanlage für Lüftungswärmeverluste	8.505,00 € €/a
---	----------------

3.0 Betriebskostenvergleich

3.1 Betriebskosten RLT Anlage

Kosten Luftförderung	5.507,32 € €/a
Kosten Lufterwärmung	4.529,70 € €/a
Summe Betriebskosten RLT Anlage netto (Zuzüglich Wartungskosten)	<u>10.037,02 € €/a</u>

3.2 Betriebskosten freie Fensterlüftung

Heizungskosten durch Lüftungsverluste netto	8.505,00 € €/a
---	----------------

3.3 Mehrkosten durch Lüftungsanlage netto

1.532,02 € €/a

Spezifische Kosten pro Schüler und Jahr für die RLT Anlage ca.

14,26 € €/a

4.0 Lüftungswärmeverluste Fensterlüftung bei gleicher Luftmenge wie RLT Anlage

4.1 Wärmeverlust durch Fensterlüftung

(Unter der Voraussetzung, dass mit der Fensterlüftung der selbe Luftaustausch erreicht wird wie mit der RLT Anlage)

Minimaler Volumenstrom	18.000 m ³ /h
Volumenstrom durch Infiltration ca.	2.500 m ³ /h
Raumtemperatur	22 °C
Mittlere Winterhalbjahrestemperatur	6 °C
mittlerer Lüftungswärmeverlust	100 kW

4.2 Heizungskosten Fensterlüftung

Betriebszeiten 7:00 Uhr bis 16:00 Uhr	9 h/d
Schulbetriebszeit per anno	1710 h/d
Lüftungswärmeverlust per anno	170.726 kWh/a
Bezugspreis Heizenergie	7 ct/kWh

Betriebskosten Heizungsanlage für Lüftungswärmeverluste

11.950,85 € €/a

5.0 Betriebskostenvergleich bei gleichem Volumenstrom

5.1 Betriebskosten RLT Anlage

Kosten Luftförderung	5.507,32 € €/a
Kosten Lufterwärmung	4.529,70 € €/a
Summe Betriebskosten RLT Anlage netto (Zuzüglich Wartungskosten)	<u>10.037,02 € €/a</u>

5.2 Betriebskosten freie Fensterlüftung

Heizungskosten durch Lüftungsverluste netto	11.950,85 € €/a
---	-----------------

5.3 Mehrkosten durch Lüftungsanlage netto

-1.913,83 € €/a

Betriebskostenvergleich Lüftung Kepler-Gymnasium

Kostenentwicklung auf 25 Jahre

Preissteigerung Fernwärme per anno 5%
Preissteigerung Strom per anno 3%

Betriebskosten:

	Fensterlüftung		RLT- Anlage		Differenz
	Heizungskosten	Strom	Heizung	Summe	
2009	8.505,00 €	5.507,32 €	4.529,70 €	10.037,02 €	1.532,02 €
2010	8.930,25 €	5.672,54 €	4.756,19 €	10.428,72 €	1.498,47 €
2011	9.376,76 €	5.842,72 €	4.993,99 €	10.836,71 €	1.459,95 €
2012	9.845,60 €	6.018,00 €	5.243,69 €	11.261,69 €	1.416,09 €
2013	10.337,88 €	6.198,54 €	5.505,88 €	11.704,42 €	1.366,54 €
2014	10.854,77 €	6.384,49 €	5.781,17 €	12.165,67 €	1.310,89 €
2015	11.397,51 €	6.576,03 €	6.070,23 €	12.646,26 €	1.248,75 €
2016	11.967,39 €	6.773,31 €	6.373,74 €	13.147,05 €	1.179,66 €
2017	12.565,76 €	6.976,51 €	6.692,43 €	13.668,94 €	1.103,18 €
2018	13.194,05 €	7.185,80 €	7.027,05 €	14.212,85 €	1.018,81 €
2019	13.853,75 €	7.401,38 €	7.378,40 €	14.779,78 €	926,03 €
2020	14.546,44 €	7.623,42 €	7.747,32 €	15.370,74 €	824,31 €
2021	15.273,76 €	7.852,12 €	8.134,69 €	15.986,81 €	713,05 €
2022	16.037,45 €	8.087,69 €	8.541,42 €	16.629,11 €	591,66 €
2023	16.839,32 €	8.330,32 €	8.968,50 €	17.298,81 €	459,49 €
2024	17.681,28 €	8.580,23 €	9.416,92 €	17.997,15 €	315,86 €
2025	18.565,35 €	8.837,63 €	9.887,77 €	18.725,40 €	160,05 €
2026	19.493,62 €	9.102,76 €	10.382,16 €	19.484,92 €	-8,70 €
2027	20.468,30 €	9.375,84 €	10.901,26 €	20.277,11 €	-191,19 €
2028	21.491,71 €	9.657,12 €	11.446,33 €	21.103,45 €	-388,27 €
2029	22.566,30 €	9.946,83 €	12.018,64 €	21.965,48 €	-600,82 €
2030	23.694,61 €	10.245,24 €	12.619,57 €	22.864,81 €	-829,80 €
2031	24.879,34 €	10.552,59 €	13.250,55 €	23.803,15 €	-1.076,19 €
2032	26.123,31 €	10.869,17 €	13.913,08 €	24.782,25 €	-1.341,06 €
2033	27.429,48 €	11.195,25 €	14.608,74 €	25.803,98 €	-1.625,49 €
2034	28.800,95 €	11.531,11 €	15.339,17 €	26.870,28 €	-1.930,67 €
Summe	434.719,92 €	212.323,94 €	231.528,61 €	443.852,55 €	9.132,63 €

Betriebskosten RLT Anlage zuzüglich der Wartungskosten.

Vergleich der CO₂-Konzentrationen bei Fensterlüftung und RLT-Anlage

Es wird angenommen, dass zwischen den Schulstunden 5min und in der großen Pause 20min gelüftet wird.

angenommene Luftwechselrate:	β =	9 h ⁻¹
Luftwechsel bei einer Lüftungsdauer von 5 min:	β =	0,75
Luftwechsel bei einer Lüftungsdauer von 20 min:	β =	3
benötigte Lüftungsintervalle während einer Schulstunde, um bei reiner Fensterlüftung gute Luftqualität sicherzustellen:		2 x 5 min
angenommen wurde eine Klassengröße von 32 Schülern plus Lehrer:		
CO ₂ -Ausstoß pro Person und Stunde:		0,02 m ³ /h
bei 33 Personen:		0,66 m ³ /h
Volumenstrom der RLT-Anlage für die Klassenzimmer:		16.000 m ³ /h
Anzahl der Personen:		733
Volumenstrom pro Person:		21,83 m ³ /h
angenommenes Raumvolumen eines Klassenzimmers:		210 m ³
CO ₂ -Gehalt der Außenluft:		350 ppm

Aufgestellt:
projekt-ing-Ingenieurgesellschaft
Dipl.-Ing. Philipp Reiff
02.12.2008