

RLT-Lüftung & Klimatisierung - Machbarkeitsstudie

Prüfauftrag und Rahmenkonzept zur Ausrüstung der kreiseigenen Schulen mit mechanischer Belüftung
inkl. Klimatisierung
am Beispiel des „Are Gymnasium“ (Haus 1 - Altbau)
Bad Neuenahr-Ahrweiler

Auftraggeber: Eigenbetrieb Schul- und Gebäudemanagement Landkreis Ahrweiler
Stand 30.10.2024

Stefan König
Marktstr. 44 53424 Remagen | Dipl.-Ing. Thomas Lüdemann

Inhalt

Anlass	1
Zielsetzung	1
Komfort und Gesundheit (DIN EN 16798)	2
Arbeitsstättenrichtlinie - ASR A3.6 Lüftung	3
Bezug zur Hygienisch-med. Stellungnahme zur Lüftungssituation in den kreiseigenen Schulen des Kreises Ahrweiler von Prof. Dr. Exner	4
CO₂ Konzentration in Klassenräumen	5
CO₂ Messung Are-Gymnasium Haus 4	6
Arbeitsstättenrichtlinie - ASR A3.5 Raumtemperatur	6
Lüftungssysteme (Zentral und Dezentral)	8
Wärmerückgewinnung (WRG) bei RLT-Anlagen	9
Bauteilkühlung bzw. Deckensegel	10
Gebäude Außen im Ist-Zustand	11
Klassen im Ist-Zustand	12
Variantevergleich zentraler und dezentraler Lüftungsanlage	13
Dimensionierung einer RLT	14
Zentrale Lüftungsanlage: Beispiel Außenaufstellung (Haus-1)	15
Zentrale Lüftungsanlage: Kanalführung	16
Investitionskosten einer zentralen Lüftungsanlage	17
Investitions- & Betriebskosten für dezentrale Geräte	18
Beispiel eines dezentralen Gerätes	19

Variante 1: Zentrale Lüftungsanlage.....	20
Variante 2: Dezentrale Lüftungsanlage.....	21
Energiesimulation Haus 1 (Are Gymnasium)	22
Sommerlicher Wärmeschutz (Nachtauskühlung).....	23
Heizlastberechnung vom Haus 1 (Bestand ohne RLT)	24
Energiebilanz der Klassenräume ohne RLT-Anlage (Variante A).....	25
Energiebilanz der Klassenräume mit einer RLT-Anlage (Variante B).....	26
Energiebilanz der Klassenräume für eine RLT-Anlage mit Klimatisierung.....	27
Variantenvergleich anhand Haus 1 (Variante A – D)	28
Fazit.....	29
Investitions- & Betriebskosten für das Are-Gymnasium	30
Prognose in Form eines Kostenrahmens anhand von Kennzahlen (Klassenräume)	31
Prognose in Form eines Kostenrahmens anhand von Kennzahlen (Klassenräume)	32
Prognose über alle Schulen.....	33
Beispiel Grundschule Wachtberg Pech Zentrales RLT Gerät	34
Beispiel Grundschule St. Martin Remagen Zentrales RLT-Gerät im Dach.....	35
Beispiel KiTa Göthe Knirpse Remagen Dezentrales RLT Gerät (in Abhangdecke)	36
Beispiel Grundschule St Martin Remagen Dezentrales Stand RLT-Gerät.....	37
Beispiel Grundschule Oberwinter Dezentrales RLT Gerät (unter Abhangdecke).....	38
Beispiel KITA Familienzentrum Wachtberg Villip	39
Zentral RLT Gerät (Dachaufstellung).....	39

Anlass

Anlass ist der Beschluss aus dem Werksausschuss der Kreisverwaltung Ahrweiler.

Der Prüfauftrag lautet:

„Kreiseigene Schulen sukzessive mit RLT-Anlagen (Zu- u. Abluft) incl. Klimatisierung auszurüsten.“

Das Are-Gymnasiums (Haus 1 - Altbau) soll beispielhaft als Studienobjekt betrachtet werden.

Ein Variantenvergleich mit Investitions- und Betriebskosten folgender Varianten ist darzustellen:

- A) - Schule ohne Lüftungsanlage
- B) - Schule mit Lüftungsanlage
- C) - Schule mit Klimatisierung über Lüftungsanlage
- D) - Schule mit Deckensegel und einer Lüftungsanlage

Zielsetzung

Das Ziel dieser Machbarkeitsstudie ist es, die Durchführbarkeit der Implementierung von RLT-Anlagen in den 13 kreiseigenen Schulen, exemplarisch am Are-Gymnasium, zu beurteilen.

Die Studie strebt an, Erkenntnisse zu liefern, um eine informierte Entscheidung über die Umsetzbarkeit dieses Projekts zu ermöglichen.

Aufgrund der COVID-19-Pandemie hat die Lufthygiene enorm an Bedeutsamkeit gewonnen.

Speziell der Schulbetrieb hat besonders unter diesen Einflüssen gelitten.

RLT-Anlagen sollen in Zukunft einen geregelten Schulbetrieb gewährleisten.

Durch das Einhalten der Arbeitsstättenrichtlinien bezüglich Raumluftqualität in Klassenräumen, erhöht sich auch die Lernqualität der Schüler.

Mit den Ergebnissen dieser Studie, soll es möglich sein, eine Prognose für die weiteren kreiseigenen Schulen zu stellen.

Komfort und Gesundheit (DIN EN 16798)

Der Einfluss der Luftqualität auf die Leistungsfähigkeit der Schüler und Lehrkräfte ist wissenschaftlich und durch zahlreiche, international Arbeiten belegt. Schlechte Luftqualität kann zu Kopfschmerzen, Schwindel und Konzentrationsschwäche führen.

Entsprechend stellt die DIN EN 16798 unabhängig von der technischen Realisierung, Anforderungen an das Raumklima zur Verfügung. Diese sind bei dicht belegten Räumen wie Klassenzimmer und Lehrerzimmer besonders wichtig. Als Index für die Luftqualität stützen sich die Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN - Normenausschuss KRdL und viele weitere Institutionen auf die einfach messbare CO₂-Konzentration ab.

Tabelle NA.9 — Standardauslegungswerte für die CO₂-Konzentration oberhalb der Konzentration in Außenluft

Kategorie	Entsprechende CO ₂ -Konzentration oberhalb der Konzentration in Außenluft, in ppm, für unangepasste Personen ^a
I	350
II	550
III	900
IV	1 350
^a Bei CO ₂ -Konzentrationen in der Raumluft von mehr als 1 000 ppm sind bei Arbeitsstätten die Maßnahmen nach der Technischen Regel für Arbeitsstätten Lüftung (ASR A3.6) zu beachten. Die Werte sind das Ergebnis einer instationären Stoffbilanz für den Zeitpunkt $t = 8$ h, auf ganze Vielfache von 50 gerundet. Hierbei sind die folgenden Randbedingungen verwendet worden: <ul style="list-style-type: none"> — Personenbezogene CO₂-Emission von 20 l/(h je Person); — 1 Person je 5 m² Grundfläche in einem schadstoffarmen Gebäude. 	

Arbeitsstättenrichtlinie - ASR A3.6 Lüftung

In Arbeitsräumen muss gesundheitlich zuträgliche Atemluft in ausreichender Menge vorhanden sein. Die Innenraumlufthqualität in Arbeitsräumen kann durch Stofflasten, Feuchtelasten oder Wärmelasten beeinträchtigt werden. Grundsätzlich sollten diese Lasten vermieden bzw. minimal gehalten werden. Falls dies nicht möglich ist, ist die Quelle zu erkennen und zielgerichtet abzuführen. In der ASR A3.6 ist die Luftqualität in drei Kategorien eingeteilt.

Tabelle 2. Leitwerte für die Kohlendioxid-Konzentrationen in der Innenraumluft (Ad-hoc-AG 2008)		
CO ₂ -Konzentration [ppm]	Hygienische Bewertung	Empfehlung
< 1000	Hygienisch unbedenklich	▶ Keine weiteren Maßnahmen
1000–2000	Hygienisch auffällig	▶ Lüftungsmaßnahmen intensivieren (Außenluftvolumenstrom bzw. Luftwechsel erhöhen) ▶ Lüftungsverhalten überprüfen und verbessern
> 2000	Hygienisch inakzeptabel	▶ Belüftbarkeit des Raumes prüfen ▶ ggf. weitgehende Maßnahmen prüfen

Bezug zur Hygienisch-med. Stellungnahme zur Lüftungssituation in den kreiseigenen Schulen des Kreises Ahrweiler von Prof. Dr. Exner

Hierin wird unter anderem ausgeführt, dass mit der Erhöhung der CO₂ Konzentrationen in Schulklassen eine Abnahme der mentalen Leistung einhergeht. Eine deutliche Zunahme von ZNS-Symptomen wie Kopfschmerzen, Müdigkeit, Schwindel und Konzentrationsschwäche fand sich bei CO₂ Konzentrationen über 1500 ppm.

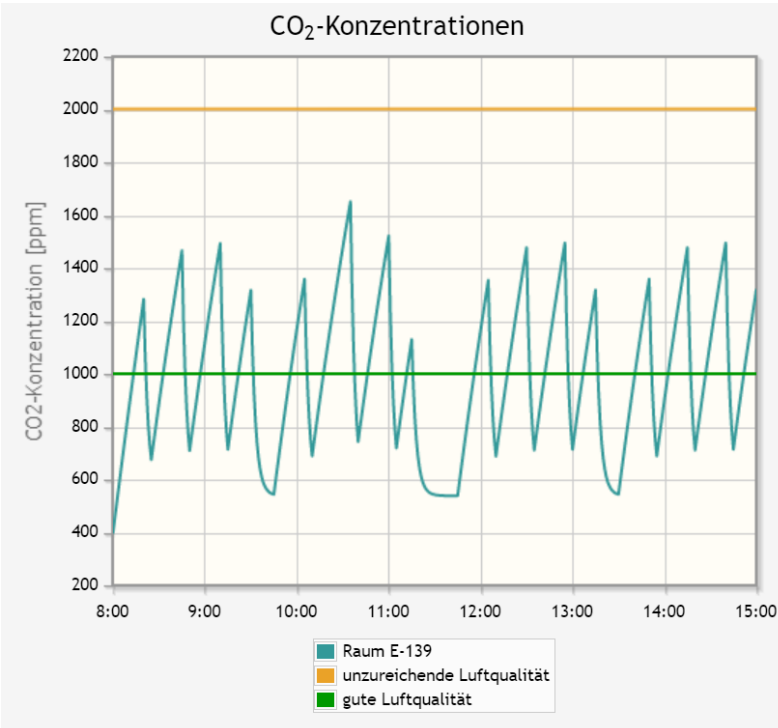
Nach Hygieneplan-Corona für die Schulen in Rheinland-Pfalz, ist eine möglichst hohe Frischluftzufuhr zu gewährleisten. Es ist daher auf eine intensive Lüftung der Räume zu achten.

Die Beschaffung von mobilen Luftreinigungsgeräten zur Verbesserung der Lüftungssituation wurde seitens des Gesundheitsamtes abgelehnt, da einerseits kein epidemiologischer Beleg für deren Wirksamkeit vorlag und andererseits hierdurch keine Lüfterneuerung stattfindet.

Alle 550 Klassenzimmer der kreiseigenen Schulen verfügen über zu öffnende Fenster und CO₂-Ampeln. Aufgrund der guten baulich-funktionellen Ausstattung konnten nahezu alle Klassenräume der Kategorie 1 nach UBA-Einteilung zugeordnet werden.

CO₂ Konzentration in Klassenräumen

Die CO₂-Konzentration steigt trotz 5 Minuten Stoßlüften alle 20 Minuten regelmäßig über 1000 ppm und um 10:35 Uhr ist mit einem Höchstwert von rund 1.650 ppm zu rechnen. Der CO₂-Wert sinkt nur kurzzeitig unter 1000 ppm nach dem Stoßlüften. Auch nach dem Stoßlüften von 15 Minuten bis zu 30 Minuten in den Pausen steigt der CO₂-Wert rasch wieder an.



Eine dauerhafte Reduktion kann nur über eine maschinelle Lüftungsanlage erfolgen.

Richtig lüften im Schulalltag

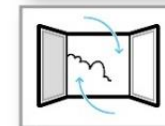
So geht es schnell und effizient!



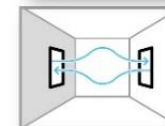
Stoßlüften: Während des Unterrichts alle 20 Minuten mit weit geöffneten Fenstern lüften.



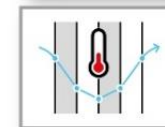
Wie lange wird gelüftet?
 Im Winter drei bis fünf Minuten, im Sommer zehn bis zwanzig Minuten.



Nach jeder Unterrichtsstunde von 45 Minuten über die gesamte Pause lüften.



Querlüften: Wenn möglich, gegenüberliegende Fenster gleichzeitig weit öffnen.



Beim Stoß- und Querlüften sinkt die Raumtemperatur nur um wenige Grad ab und steigt nach dem Schließen der Fenster schnell wieder an.

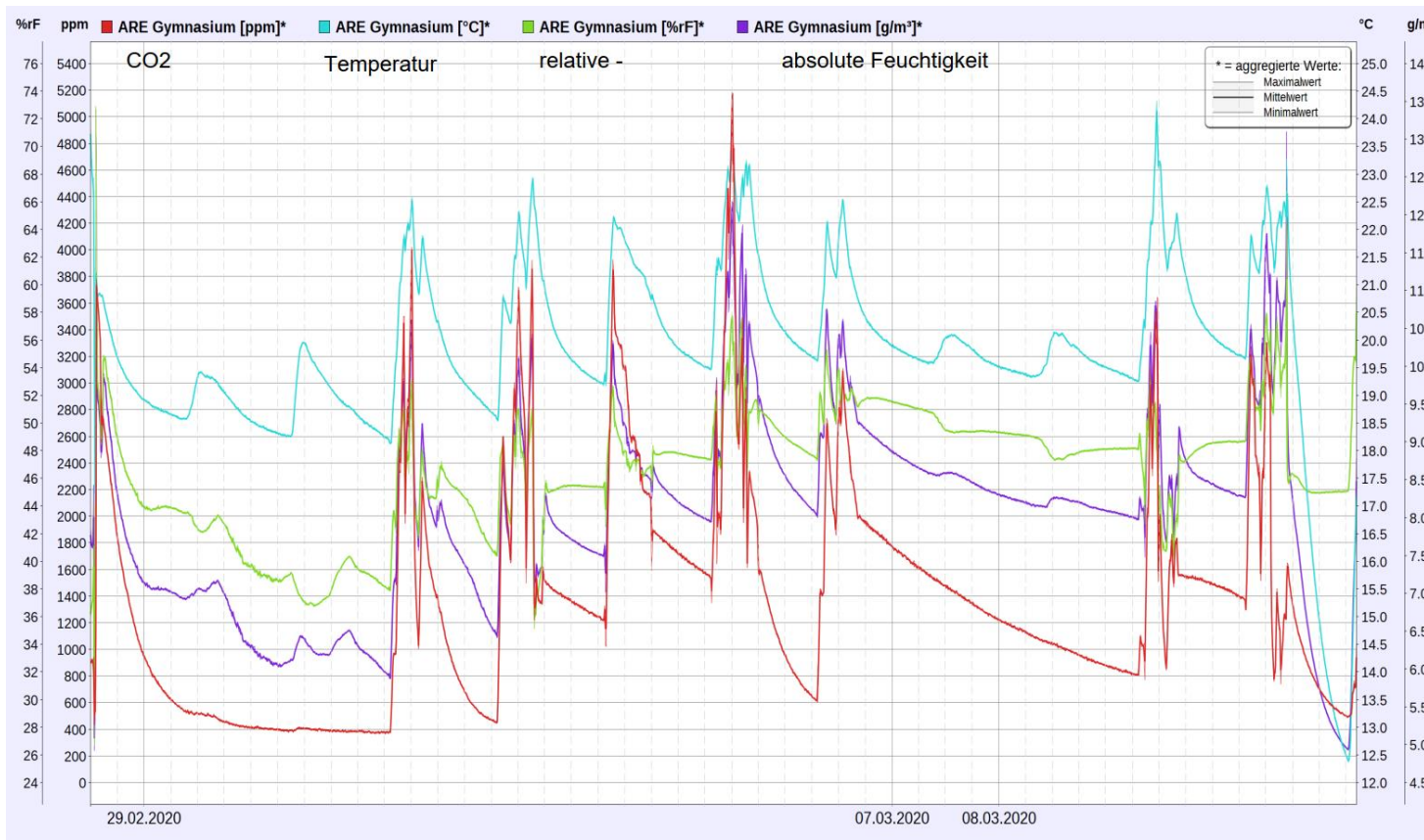
Quelle: Umweltbundesamt

Abbildung Lüften im Schulalltag

Abbildung Beispiel CO₂-Konzentration in Klassenräumen

CO₂ Messung Are-Gymnasium Haus 4

Im März 2020 wurden durch EBL im Haus 4 (Passivhaus mit RLT Anlage), in einem Zeitraum von 10 Tagen Langzeitmessungen der CO₂ Konzentration durchgeführt. In diesem Zeitraum war die Lüftungsanlage nicht aktiv, sodass die Messung die CO₂



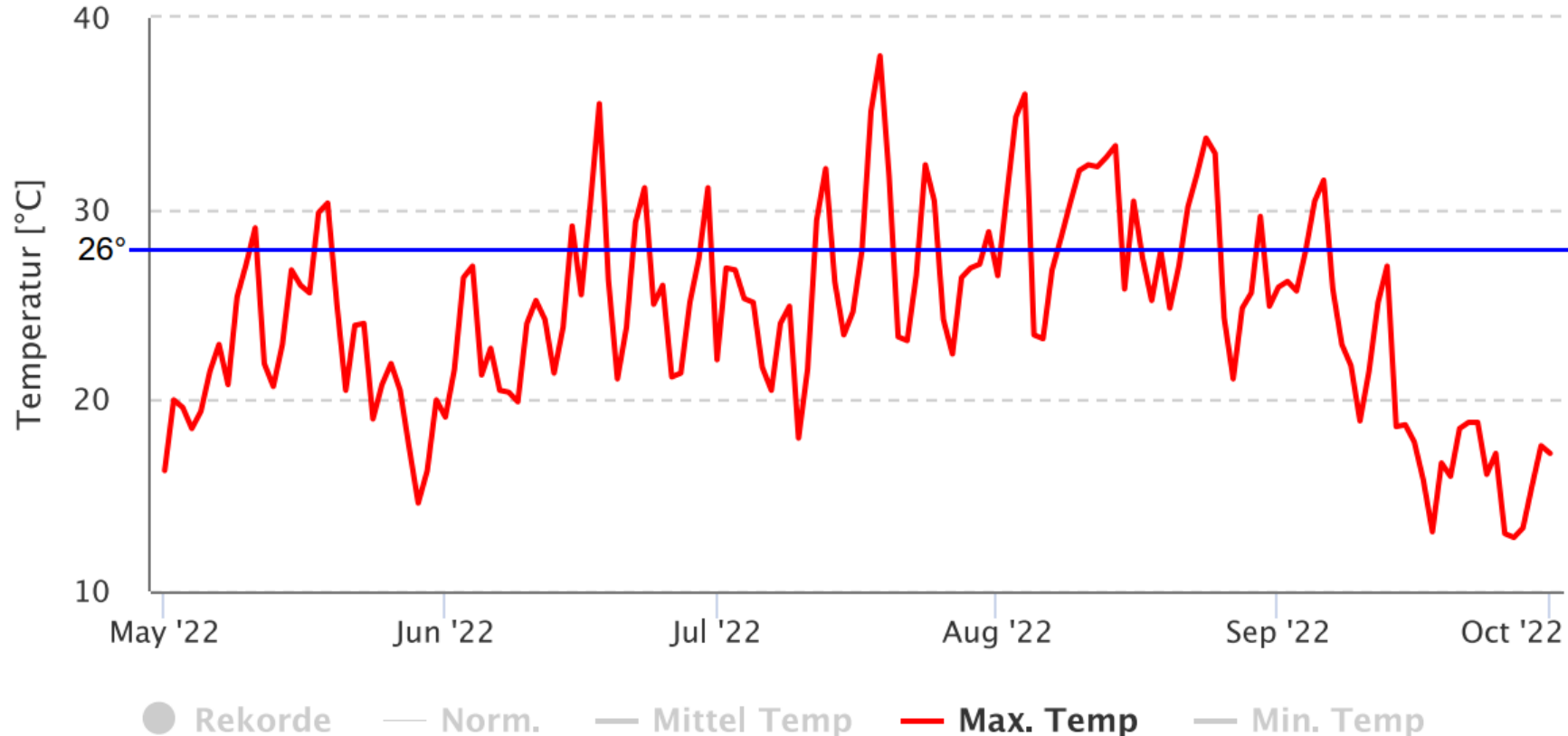
Konzentration in einem Klassenraum zeigt, der weder maschinell noch durch Fensterlüften genutzt wurde. Hier zeigt sich deutlich dass der CO₂ Grenzwert schnell überschritten wird und lange anhält.

Der Betreuungsaufwand für die Haustechniker ist komplex. Eine Fehleranalyse und Nutzeranpassung setzt Unterstützung externer Fachplaner voraus.

Abbildung CO₂-Messung Are-Gymnasium Haus 4 März 2020

Arbeitsstättenrichtlinie - ASR A3.5 Raumtemperatur

Die Arbeitsstättenrichtlinie gibt vor, welche möglichen Maßnahmen, beim Überschreiten einer Lufttemperatur im Raum von +26 °C zu ergreifen sind, wie zum Beispiel effektive Steuerung der Lüftungseinrichtungen (z. B. Nachtauskühlung).



Die Wetterdaten der letzten Jahre zeigen dass die Anzahl der Tage an denen eine Max.Temperatur von 26° übersteigen, während der Schultage bei ca. 10 Tagen pro Jahr lagen und somit eine Klimatisierung benötigen würden. Tendenz steigend.

Lüftungssysteme (Zentral und Dezentral)

Bei zentralen Lüftungssystemen versorgt ein Lüftungsgerät zentral mehrere Räume oder ein gesamtes Gebäude über ein Luftleitungssystem mit aufbereiteter Außenluft. In den Räumen sind nur Zu- und Abluftauslässe vorhanden.

Bei dezentralen Lüftungssystemen ist das Lüftungsgerät ein komplettes System in einer Einheit, das im Klassenraum installiert wird. Je nach Leistung und Klassengröße sind ein oder mehrere Geräte pro Klassenraum notwendig.

Es gibt verschiedene Bauformen, die nach den jeweiligen Anforderungen ausgewählt werden können.

Merkmal	zentral	dezentral
Planungsaufwand	hoch	gering
Baulicher Aufwand	hoch	gering
Fassadeneingriff	gering	hoch
Platzbedarf	hoch (eigener Raum)	mittel
Luftverteilsystem	verzweigt	einfach
Zugänglichkeit	einfach	während Schulbetrieb nicht möglich
Wartungsaufwand	mittel (ein Gerät & Rohrleitungen)	hoch (viele Geräte)
Aufwand Brandschutz	hoch	gering
Regelung (z. B. CO ₂)	zentrale, komplexe Regelung	individuell je Raum
Lüftkühlung/Erhitzung	möglich	möglich
Luftfilterung	möglich	möglich
Wärmerückgewinnung	möglich	möglich

Wärmerückgewinnung (WRG) bei RLT-Anlagen

Besonderheit dieser Lüftungsanlage ist es, dass sie zur Rückgewinnung von Wärme die Abluftwärme über einen Wärmetauscher an die kältere Frischluft überträgt. So wird die Frischluft vorgewärmt, was zu einem geringeren Bedarf von Heizenergie führt. Deshalb zählen Anlagen mit Wärmerückgewinnung zu den energieeffizientesten Lösungen am Markt. WRG Technik wird bei dezentralen sowie zentralen Anlagen verwendet. Zu beachten ist dabei, dass für alle kombinierten Zu- und Abluftgeräte mit mehr als 1.000 m³/h Volumenstrom eine Wärmerückgewinnung vom Gesetzgeber, nach der GEG vorgeschrieben ist.

Der Einbau einer Wärmerückgewinnung (WRG) in das Lüftungssystem ist eine Energie-Effizienzmaßnahme analog einer Wärmedämmung. Je länger die Heizperiode in einem Gebäude dauert, umso energetisch wichtiger wird die WRG. Je energetisch schlechter die Gebäudehülle ist und je kleiner die internen Lasten (z. B. aufgrund LED-Beleuchtung) und die solaren Gewinne (z. B. bei außen liegendem Blendschutz) sind, umso höher fallen die energetischen Vorteile einer Lüftung mit WRG aus. Einen Einfluss auf die Energiebilanz hat auch eine Fotovoltaik-Anlage (PV), wenn der Strom für die Lüftung verwendet wird.

Auf die Verwendung von Rotationswärmetauschern wird aus hygienischen Gründen abgeraten. Diese haben von Ihrem Prinzip aus eine Leckagerate und könnten somit zu Viren und Geruchs Übertragung von der Abluft zurück in die Zuluft führen.

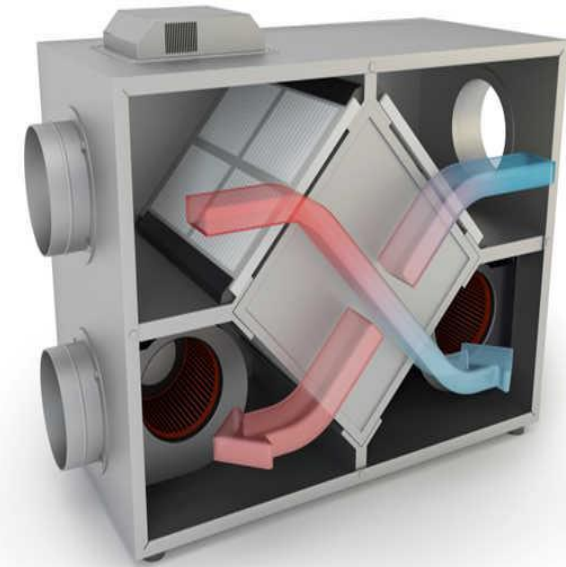


Abbildung WRG Funktionsweise

Bauteilkühlung bzw. Deckensegel

Die Besonderheit der thermischen Bauteilaktivierung (TBA) besteht darin, dass die Heizregister im Zuge der Errichtung des Gebäudes in Bauteile einbetoniert werden. Häufig werden dafür betonierete Geschoßdecken verwendet, die somit zu einer Flächenheizung werden. Da es sich bei den kreiseigenen Schulen um Bestandsbauten handelt, würde ein solches System ein Austausch der bisherigen Fundamente und Decken bedeuten und wäre somit vom Aufwand und den daraus resultierenden Kosten unverhältnismäßig



Eine Kühldecke entzieht dem Raum Wärme, indem sie von gekühltem Wasser durchströmt wird.

Die meisten Kühldecken funktionieren als Strahlungskühldecken und gehören dann zur Gruppe der Flächenheiz- und Kühlsysteme.

Bei diesen werden Menge und Temperatur des Kühlwassers so geregelt, dass die Oberflächentemperatur der Decke einige Grad unterhalb der Raumlufttemperatur liegt. Um eine Tauwasserbildung zu vermeiden, muss sich die Temperaturdifferenz (Kühlmittel-Untertemperatur = KMUT) nach dem aktuellen Taupunkt, das heißt nach der vorliegenden Lufttemperatur und Luftfeuchte der Raumluft richten.

Dieser Umstand begrenzt die Kühlleistung von Kühldecken. Wenn während eines Sommergewitters etwa eine Luftfeuchte von 100 % auftritt, ist keine Kühlung mehr möglich.

Gebäude Außen im Ist-Zustand



Abbildung Haupteingang



Abbildung Innenhof

Klassen im Ist-Zustand



Abbildung Klassenraum OG

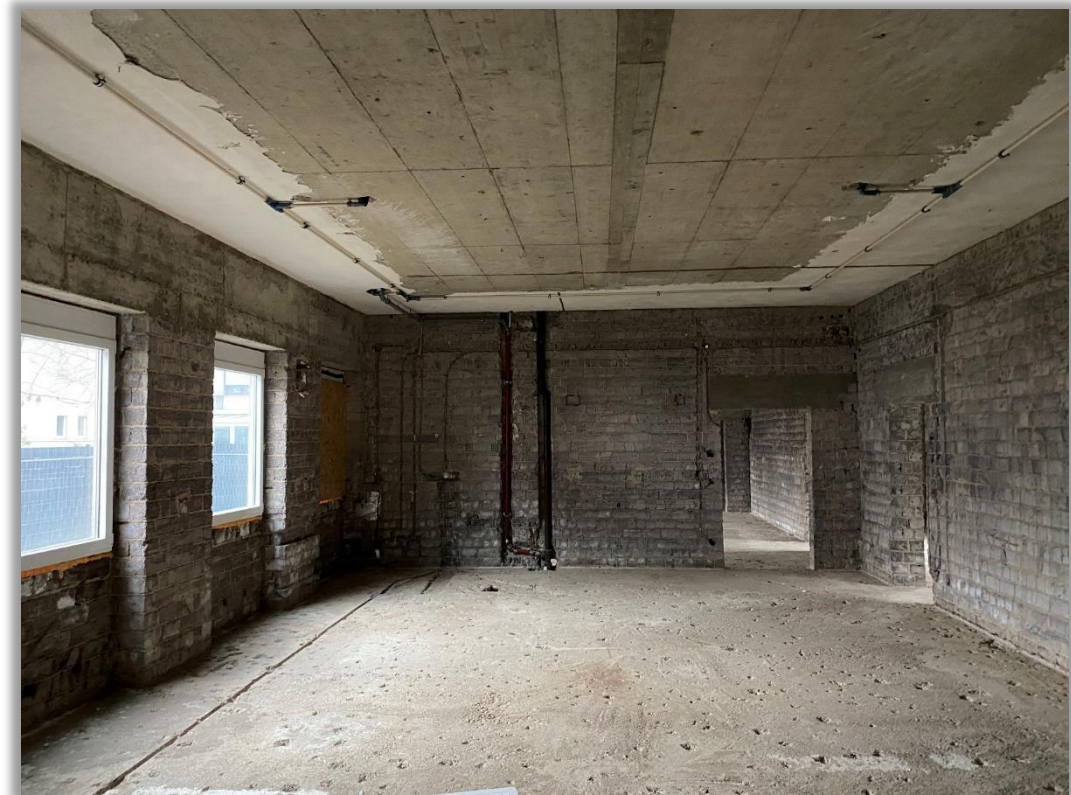


Abbildung Klassenraum EG

Variantenvergleich zentraler und dezentraler Lüftungsanlage

Die Rahmenbedingungen für die Auslegung einer Lüftungsanlage für das Are-Gymnasium:

Anzahl der Klassenräume	63
Ø Grundfläche Klassenraum	50 m ² (ca. 2 m ² /Schüler)
Lichte Raumhöhe	3m muss eingehalten werden
Ø Anzahl der Schüler	25 Schüler
Anzahl der Lehrer/in	1 Lehrer/in
Abluftmenge pro Person	25 m ³ /h

Die Anzahl der Klassen wurde dem Schulentwicklungsplan des Landkreis Ahrweiler vom August 2023 entnommen.

Berechnung: $(25 + 1) \times 25 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 650 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$

Pro Klassenraum ist eine Luftmenge von mindestens 650 m³/h notwendig.

Für die Planung einer zentralen Lüftungsanlage muss das Ergebnis mit der Anzahl der Klassenräume multipliziert werden.

$$650 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \times 63 = 40.950 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

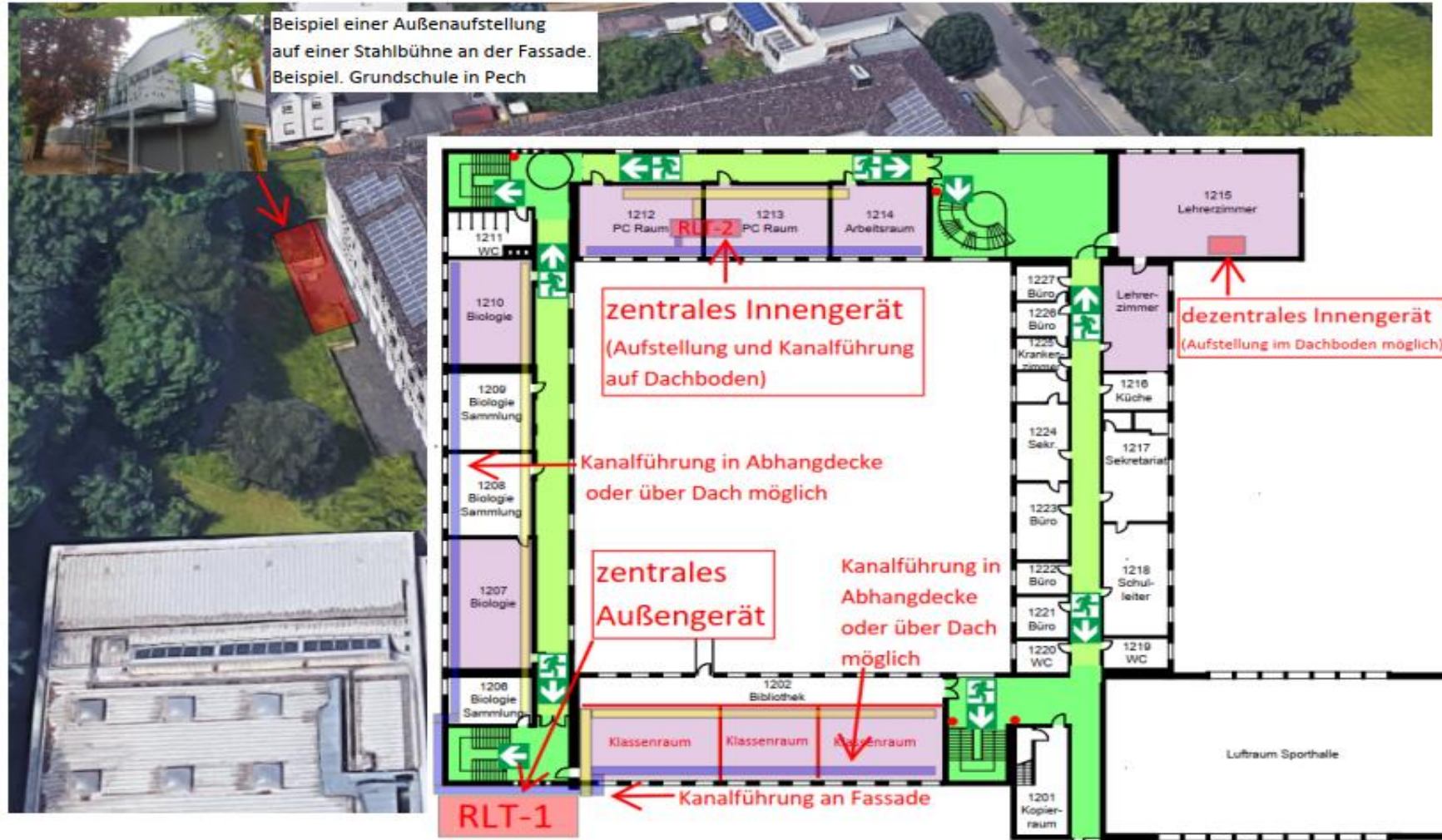
Zentrale Lüftungsanlage: Beispiel Außenaufstellung (Haus-1)

Beispiel Variante einer Außenaufstellung eines zentralen Lüftungsgerätes an der Außenfassade am Haus-1



Zentrale Lüftungsanlage: Kanalführung

Die Kanalverteilung wird teils an der Fassade ins Gebäude oder durch das Dach in die einzelnen Klassen geführt.



Investitionskosten einer zentralen Lüftungsanlage

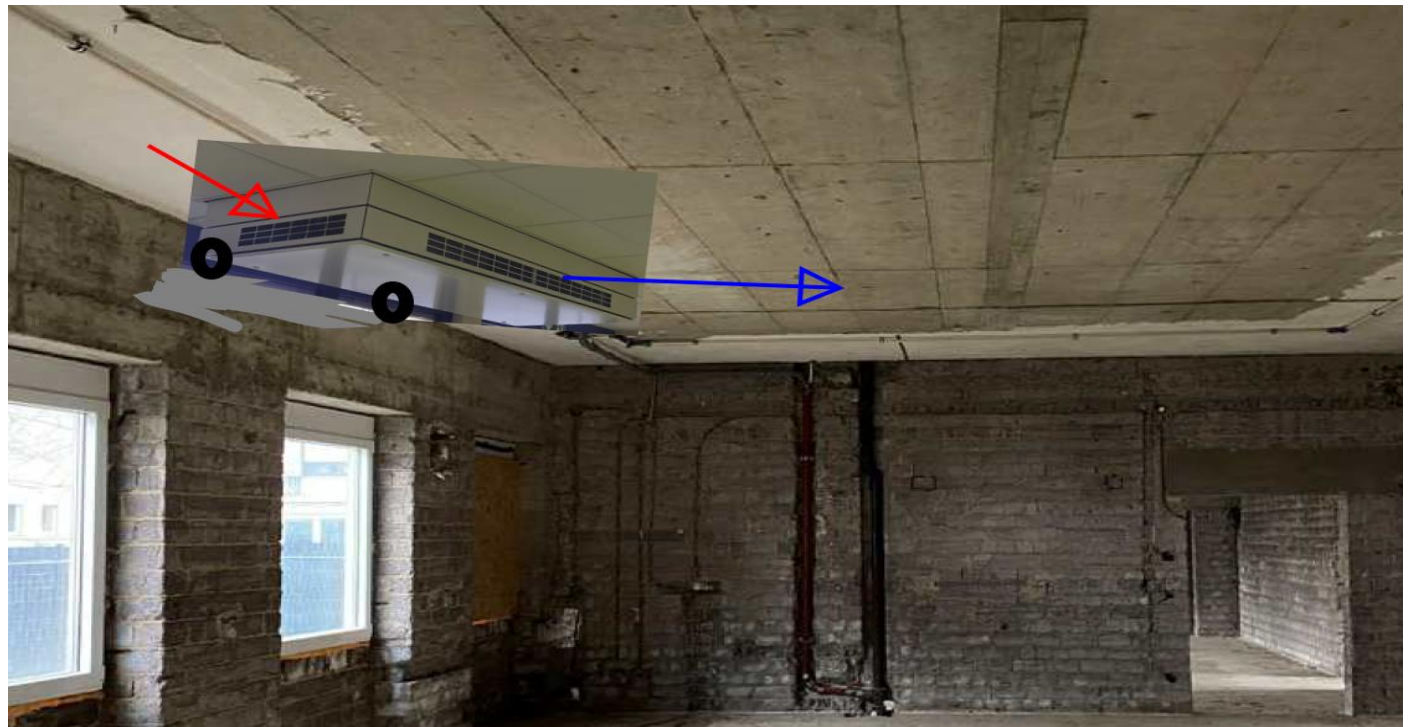
Das Konzept der zentralen RLT beinhaltet ein aufgeständertes Zentralgerät am Treppenhaus von Haus 1, sowie kleinere Zentralgeräte im Dachbodenbereich, für ca. 63 Klassen mit einem Luftwechselanteil von 40.950 m³/h. Für die Gewichtsaufnahme sind Stahlbauten und Lastverteilträger sowie Durchbrüche mit Verstärkungen kalkuliert. Wir gehen von vereinfachten Brandabschnitten aus (Gebäude geringer Höhe). Kanalführung in Abhangdecken mit Diffus-Luftauslässen.



Investitions- & Betriebskosten für dezentrale Geräte

Die Investitionskosten beziehen sich im Dezentralen Konzept auf 63 Deckengeräte mit „Teil Versenkung“ in Abhangdecken und zwei Rohrgitter an der Fassade. Für die Gewichtsaufnahme an z.B. Rippendecken werden Stahlunterkonstruktionen nötig sein. Die Luftauslegung liegt bei 650 m³/h pro Klassenraum. Aus Akustikgründen empfehlen wir den Einbau von 1000 m³/h Geräten mit niedriger Drehzahl.

Optische Einbausituation bei vorhandenen Abhangdecken von mind 35 cm:
Die Filter der Anlagen müssen jährlich ausgetauscht werden und kosten pro Satz ca. 450 €.
Auf eine elektrische Nachheizung der Luft wurde in Referenzprojekten problemlos verzichtet.
Die elektrische Aufnahme eines Gerätes liegt bei ca. 305 W.



Beispiel eines dezentralen Gerätes



Technische Daten

	Filterklassen	30 dB(A)	35 dB(A)
Maximale Kapazität ¹⁾	ePM ₁₀ 50 %	950 m ³ /h	1050 m ³ /h
	ePM ₁ 55 %	926 m ³ /h	1024 m ³ /h
	ePM ₁ 80 %	903 m ³ /h	998 m ³ /h
Wurfweite (0,2 m/s) ¹⁾		8 m	9,5 m
Nominelle Leistungsaufnahme ²⁾		305 W	
Nominelle Stromaufnahme ²⁾		2,2 A	
Versorgungsspannung		230 V + N + PE / 3 x 230/400 V + N + PE ³⁾	
Leistungsfaktor		0,60	
Anschlusskabel		5 x 2,5 mm ²	
Empfohlene Sicherung		3 x 13 A	
Maximale Sicherung		3 x 16 A	
Empfohlenes Fehlerstromrelais		Typ A	
Gegenstromwärmetauscher		2x Aluminium	
Kanalanschlüsse		Ø 315 mm ²	
Kondensatablaufschlauch, Durchmesser innen/außen		Ø 6/9 mm	
Außenluftfilter		ePM ₁₀ 50 %, ePM ₁ 55 % oder ePM ₁ 80 %	
Abluftfilter		ePM ₁₀ 50 %	
Farbe, Paneele		RAL 9010 (weiß)	
Gewicht		301,5 kg	
Abmessungen (BxHxT)		2.325 x 561 x 1.283 mm	
Leckstrom AC		≤ 0,4 mA	
Dichtheitsklasse (Luftleckage)		Klasse L2 gem. EN 1886:2007	

Variante 1: Zentrale Lüftungsanlage

Die Belüftung der Klassenräume erfolgt über eine zentrale RLT-Anlage. Die Anlage verfügt über eine effiziente Wärme- und Feuchterückgewinnung im Winter und Klimatisierung im Sommer. Die Kühlung kann passiv in der Nacht über die „Nachtauskühlung“ erfolgen. Die Geräte können mit einem Kühlregister ausgestattet werden.

Vorteile	Nachteile
Gezielte Verbesserung der Luftqualität & Hygiene	Großer Aufstellort benötigt
Geringe Lärmbelästigung in den Klassenräumen	Aufwendiger Planungsaufwand & Umsetzung
Luftdurchströmung durch Kanalführung gezielter und effektiver	Einzuhaltende Brandschutzbedingungen + Statikprüfung
Integrierte Klimatisierung, Nachtauskühlung	Keine CO ₂ geführte Einzelraumregelung

Aufgrund der baulichen Gegebenheiten und begrenzten Platzverhältnissen unter dem Dach (Abb. 5) ist eine Außenaufstellung auf einer erhöhten Stahlbühne zu bevorzugen. Damit lässt sich eine große Lüftungsanlage vor Vandalismus sowie Beschädigungen durch ein erneutes Hochwasser schützen.



Abbildung Dachraum Are-Gymnasium (Altbau)

Die Kanalführung lässt sich an der Fassade durch die Außenwand in die entsprechenden Korridore einführen und dort weiter verteilen. Dadurch lässt sich Brandschutzmaßnahmen wie Promat und Brandschutzklappen, welche hohen Wartungsaufwand bedeuten vermeiden.

Sofern Räume schwerer erreichbar sind (bspw. nördliche Räume), lässt sich hier für drei Räume im OG und drei im EG eine kleinere zentrale Lüftungsanlage für 6 Räume platzieren und die Kanalführung für das EG durch das OG durchleiten.

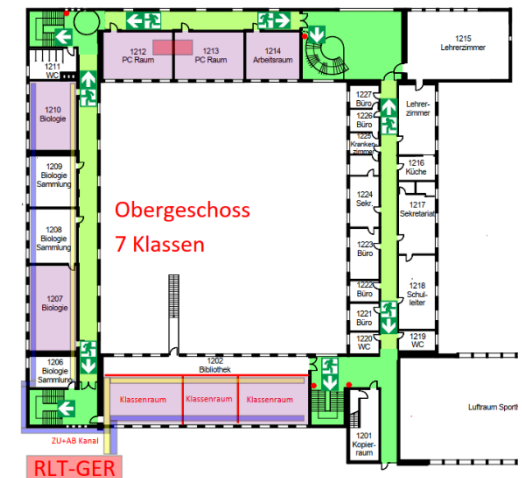


Abbildung Konzept zur Außenaufstellung und Kanalverteilung

Variante 2: Dezentrale Lüftungsanlage

Die Belüftung der Klassenräume erfolgt über dezentrale mechanische Lüftungsgeräte. Diese Geräte sind ebenfalls mit Wärme- und Feuchterückgewinnung ausgestattet. Die Kühlung kann passiv in der Nacht über die „Nachtauskühlung“ erfolgen. Die Geräte können mit einem Kühlregister ausgestattet werden. Dies setzt jedoch die Installation von Wärmepumpen voraus. Eine aktive Kühlung ist somit aufwendig und kostenintensiv.

Vorteile	Nachteile
Individuelle Steuerung der Anlagen	Platzbedarf in den Klassenräumen
Geringer Planungsaufwand	Wartungsaufwand von mehreren Geräten
Kein Luftverteilsystem notwendig	Erhöhter Geräuschpegel
Unkompliziert nachrüstbar/aus-tauschbar	Klimatisierung benötigt wei-tere Geräte

Die dezentralen Lüftungsgeräte werden in den benötigten Klassenräumen installiert. Die Zu- und Abluft erfolgt unmittelbar durch die Außenwand. Grundsätzlich sind zwei Arten von Geräten für diese Nutzung geeignet. Ein Deckengerät ist aufwändiger im Einbau, beansprucht jedoch keinen direkten Raum im Klassenzimmer (Abb. 12). Das Standgerät im Vergleich ist einfach im Einbau, benötigt jedoch einen Aufstellplatz. Da die Geräte unabhängig von einander laufen, kann für jedes Klassenzimmer individuell entschieden werden.



Abbildung Bsp. für Deckengerät

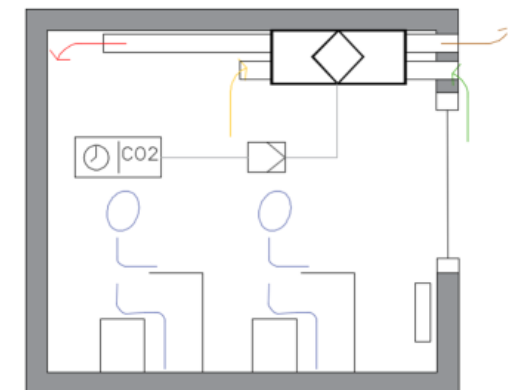


Abbildung Schema dezentrale Lüftung

Energiesimulation Haus 1 (Are Gymnasium)



Abbildung Gebäudesimulation Ansicht 2

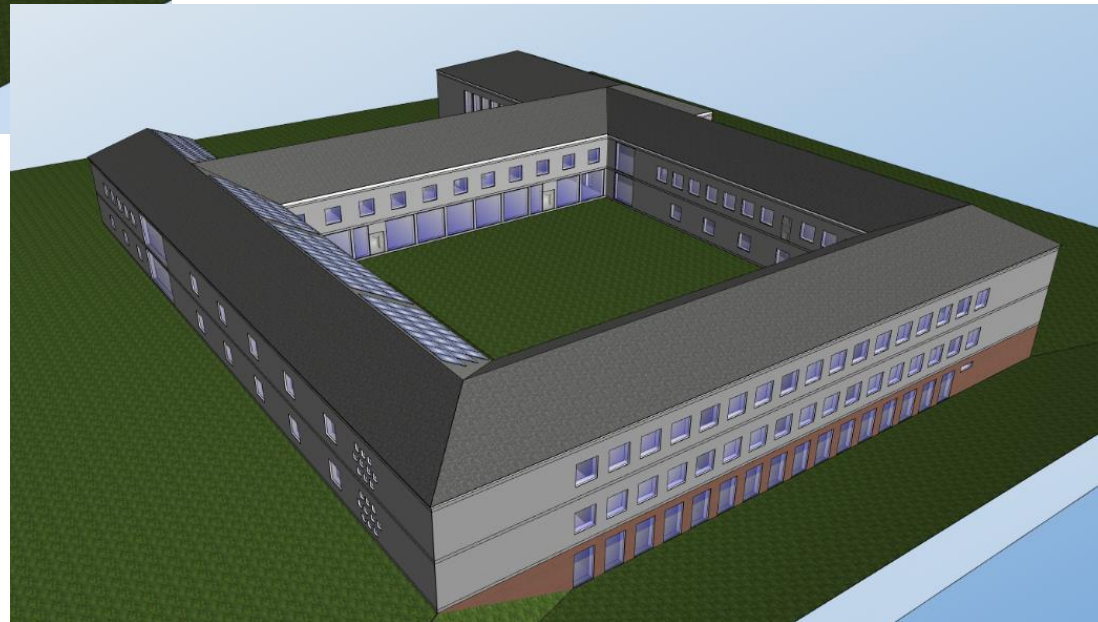


Abbildung Gebäudesimulation Ansicht 3

Sommerlicher Wärmeschutz (Nachtauskühlung)

Ist-Zustand

Erfassungsdaten

Zone : Klassenzimmer (Schule), Gruppenraum (Kindergarten)
 Raum : Raum 1 Klassenzimmer (Schule), Gruppenraum (Kindergarten)
 Grundfläche A_g : 50,00 m²

Fenster:

Nr.	Bezeichnung	Orientierung Neigung	dauerhaft verschattet	$F_{c,*}$	Sonnen- schutz permanent	F_s	g	g_{total}	Fläche [m ²]
1	Fenster 1	> 60°	nein	1,00	nein	1,00	0,78	0,780	9,00

Berechneter Sonneneintragskennwert : **0,140**

Maximal zulässiger Sonneneintragswert

Zuschlagswerte:

Klimaregion (Klimazone C - sommerheiß)
 Gebäudebauart (schwere Bauart - > 130 Wh/(Km²))
 Nachtlüftung (ohne Nachtlüftung) : 0,011
 Fensterflächenanteil : 0,009
 Sonnenschutzverglasung (Nein) : 0,000
 Fensterneigung : 0,000
 Orientierung : 0,000
 Einsatz passiver Kühlung (Nein) : 0,000

Maximal zulässiger Sonneneintragskennwert : **0,020**

Ergebnis

Anforderung nicht erfüllt !	0,140 > 0,020
Erforderlicher mittlerer Gesamtdurchlassgrad g_{tot}	0,111

Mit RLT-Nachtauskühlung

Erfassungsdaten

Zone : Klassenzimmer (Schule), Gruppenraum (Kindergarten)
 Raum : Raum 1 Klassenzimmer (Schule), Gruppenraum (Kindergarten)
 Grundfläche A_g : 50,00 m²

Fenster:

Nr.	Bezeichnung	Orientierung Neigung	dauerhaft verschattet	$F_{c,*}$	Sonnen- schutz permanent	F_s	g	g_{total}	Fläche [m ²]
1	Fenster 1	> 60°	nein	1,00	nein	1,00	0,78	0,780	9,00

Berechneter Sonneneintragskennwert : **0,140**

Maximal zulässiger Sonneneintragswert

Zuschlagswerte:

Klimaregion (Klimazone C - sommerheiß)
 Gebäudebauart (schwere Bauart - > 130 Wh/(Km²))
 Nachtlüftung (hohe Nachtlüftung) : 0,145
 Fensterflächenanteil : 0,009
 Sonnenschutzverglasung (Nein) : 0,000
 Fensterneigung : 0,000
 Orientierung : 0,000
 Einsatz passiver Kühlung (Nein) : 0,000

Maximal zulässiger Sonneneintragskennwert : **0,154**

Ergebnis

Anforderung erfüllt !	0,140 < 0,154
------------------------------	-------------------------

Heizlastberechnung vom Haus 1 (Bestand ohne RLT)

Mit einer Heizlastberechnung wird ermittelt wie viel Energie die Heizungsanlage abgeben muss, um das Gebäude warm zu halten. Durch die derzeitige manuelle Fensterlüftung liegen besonders im Winter erhebliche Lüftungswärmeverluste vor. Eine Lüftungsanlage mit einer Wärmerückgewinnung von 80 % würde diese Verluste reduzieren.

WÄRMEVERLUSTE		
Transmission		
an Außenluft	$\Sigma \Phi_{T,ie}$	134.422 W
an unbeheizte Bereiche oder Nachbargebäude	$\Sigma \Phi_{T,iae}$	38.868 W
an andere Nutzungseinheiten	$\Sigma \Phi_{T,iaBE}$	- W
an Erdreich	$\Sigma \Phi_{T,ig}$	11.411 W
Summe	$\Sigma \Phi_T$	184.700W
Lüftung		
durch Leckagen, ALD oder Nutzung oder Mindestwert	$\Sigma \Phi_{V,leak/min,i}$	25.231 W
Zuluftvolumenstrom	$\Sigma \Phi_{V,sup,i}$	- W
Überström-Luftvolumenstrom	$\Sigma \Phi_{V,transfer,ij}$	- W
Summe	$\Sigma \Phi_V$	25.231W
HEIZLAST		
Standard-Heizlast	Φ_{stand}	209.931W
Zuschlag erhöhte Innentemperatur oder Aufheizzuschlag	Φ_{zuschl}	- W
Norm-Heizlast	Φ_{HL}	209.931W
spez. Werte	φ_{HL}	35 W/m ²
	φ_{HL}	11 W/m ³

Berechnungsbeispiel:

Lüftungswärmeverluste Ist-Zustand:
25 kW

Lüftungswärmeverluste mittels RLT:
5 kW

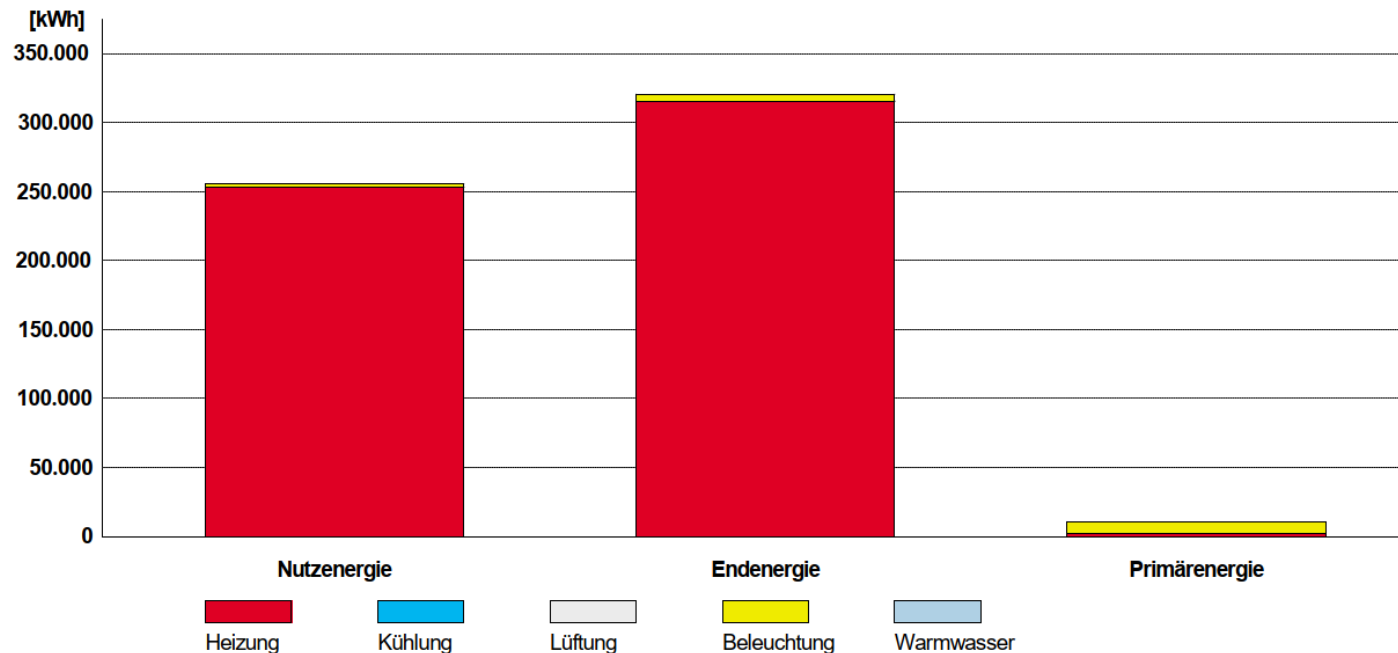
bei 80 % Wärmerückgewinnung
20 kW Heizlasteinsparung.

Die Lüftungswärmeverluste reduzieren sich mit einer RLT-Anlage mit WRG voraussichtlich um 20 kW und senkt somit die gesamte Heizlast auf ca. 190 kW ab.

Der Fernwärmeanschluss könnte hier um Anschlussleistungen und Grundgebühren positiv nach unten angepasst werden.

Energiebilanz der Klassenräume ohne RLT-Anlage (Variante A)

in kWh/a in kWh/m²a	Gesamt	Heizung	Kühlung	Lüftung	Beleuchtung	Warmwasser
Nutzenergie	255.724	252.947	0	0	2.777	0
	140,89	139,36	0	0	1,53	0
Endenergie	320.392	315.532	0	0	4.860	0
	176,52	173,84	0	0	2,68	0
Primärenergie	10.917	2.169	0	0	8.748	0
	6,01	1,20	0	0	4,82	0

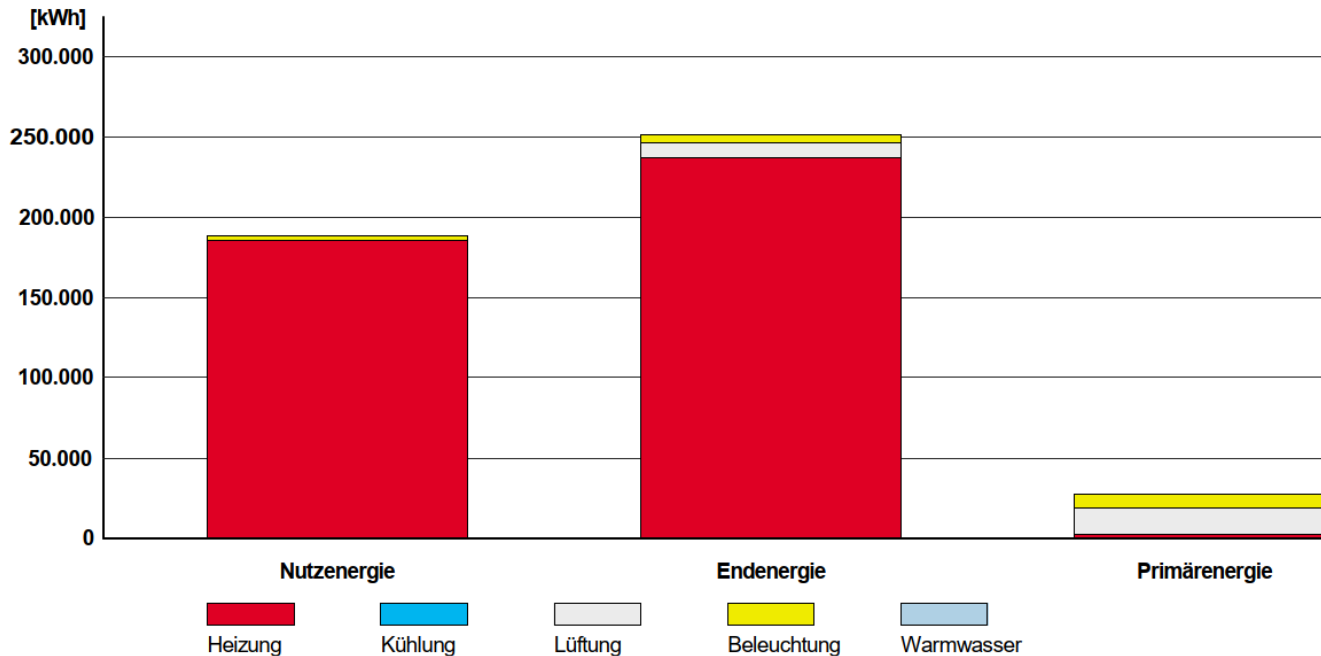


In den nachfolgenden Diagrammen sind die Energiebilanzen der zu belüftenden Klassenräume im Detail dargestellt.

Anhand der Endenergie können die jährlichen Energiekosten annähernd berechnet werden.

Energiebilanz der Klassenräume mit einer RLT-Anlage (Variante B)

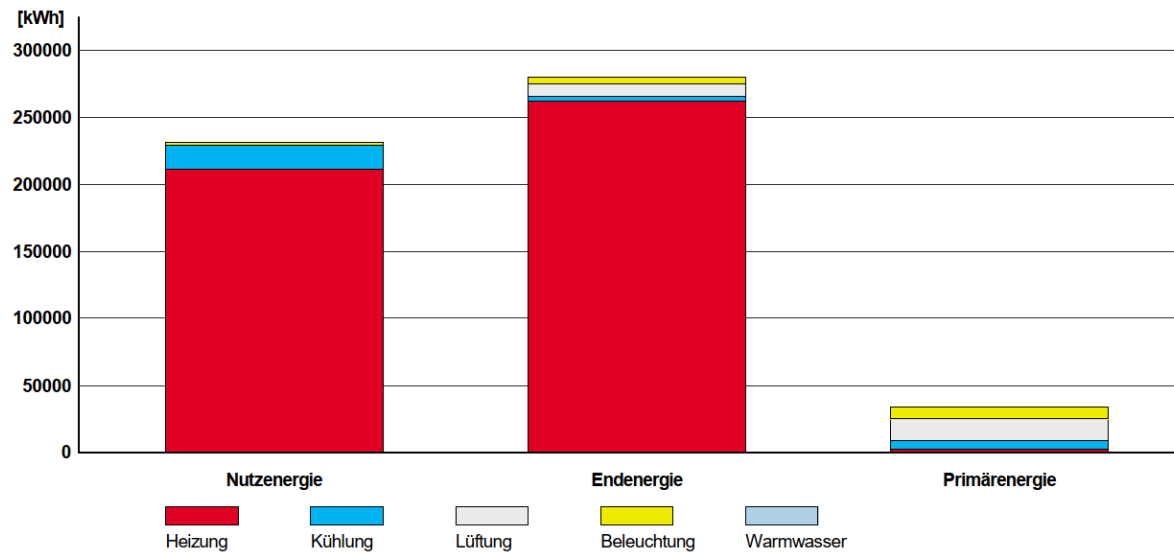
in kWh/a in kWh/m ² a	Gesamt	Heizung	Kühlung	Lüftung	Beleuchtung	Warmwasser
Nutzenergie	188.806	186.029	0	0	2.777	0
	104,02	102,49	0	0	1,53	0
Endenergie	251.100	237.164	0	9.076	4.860	0
	138,34	130,66	0	5,00	2,68	0
Primärenergie	27.183	2.099	0	16.336	8.748	0
	14,98	1,16	0	9,00	4,82	0



Mittels einer RLT-Anlage kann, durch das Entfallen des Fensterlüftens im Winter, sowie die Wärmerückgewinnung der Lüftungsanlage, die Endenergie der Heizung um 25 % gesenkt werden. Dies würde zur Reduzierung der gesamten Endenergie um 20% führen. Die Lüftungsanlage erzeugt einen mehrbedarf in der Endenergie von 9.000 kWh an Strom.

Energiebilanz der Klassenräume für eine RLT-Anlage mit Klimatisierung (Variante C & D)

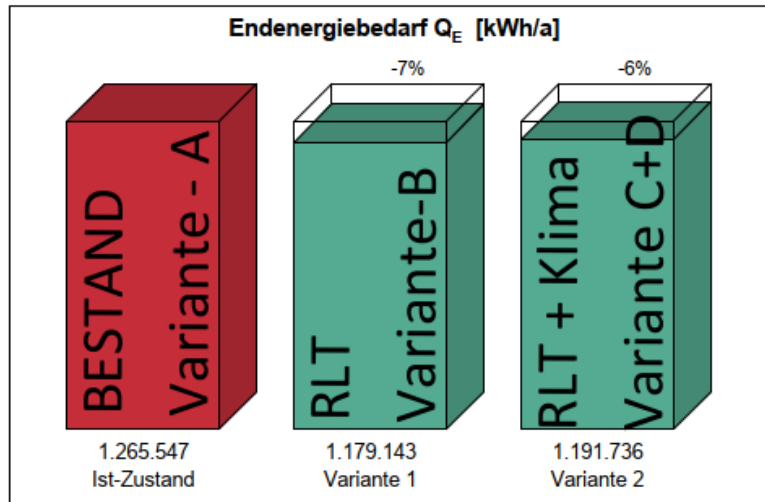
in kWh/a in kWh/m ² a	Gesamt	Heizung	Kühlung	Lüftung	Beleuchtung	Warmwasser
Nutzenergie	231.987	211.878	17.333	0	2.777	0
	127,81	116,73	9,55	0	1,53	0
Endenergie	254.685	237.164	3.585	9.076	4.860	0
	154,12	130,66	1,98	5,00	2,68	0
Primärenergie	33.824	2.286	6.454	16.336	8.749	0
	18,63	1,26	3,56	9,00	4,82	0



Mittels einer RLT-Anlage plus Klimatisierung erhöht sich die Endenergie gegenüber einer Lüftung ohne zusätzlicher Klimatisierung um ca. 1,4 %.

Bei beiden Varianten kann der Stromertrag aus der Schuleigenen PV-Anlage für die Lüftung genutzt werden. Somit können die Energiekosten für Lüftung sowie Kühlung reduziert werden.

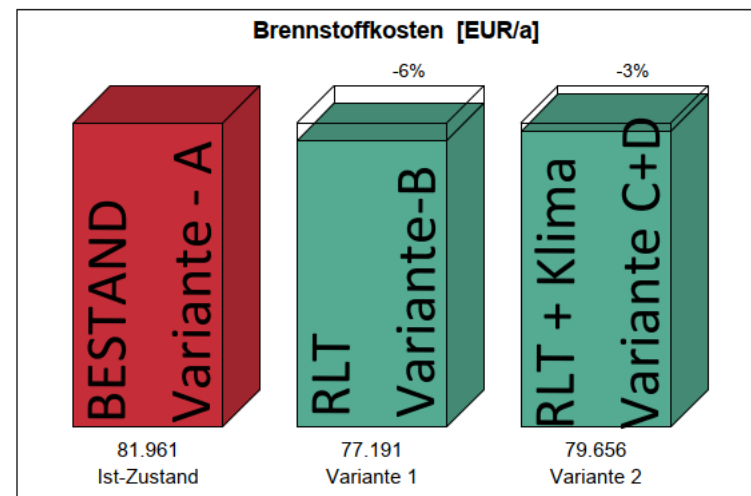
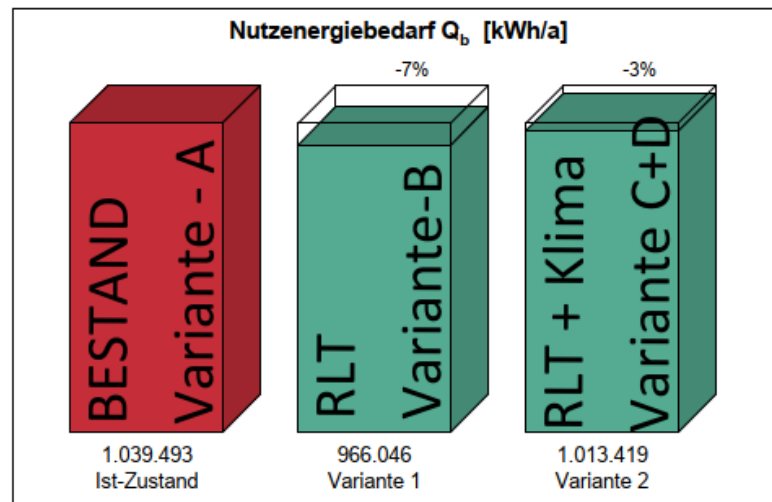
Variantenvergleich anhand Haus 1 (Variante A – D)



Der Variantenvergleich anhand von Haus 1 mit den zu belüftenden Klassenräumen mittels einer RLT-Anlage mit Wärmerückgewinnung in Variante B, sowie einer Lüftung inklusive Kühlung durch Direktverdampfer oder mittels Heiz- und Kühldecke in Variante C&D.

Der Endenergiebedarf ist die Menge an Energie, die vom Wärmeerzeuger benötigt wird. Davon werden Verluste wie z.B. der Wärmeverlust über das Fernwärmenetz im Boden oder Anlageverluste im Gebäude abgezogen und es ergibt sich der Nutzenergiebedarf. Beide Werte reduzieren sich mit einer RLT-Anlage.

Trotz zusätzlicher Stromkosten für den Betrieb der Lüftungsanlagen, reduzieren sich auch die gesamten Brennstoffkosten.



Fazit

Gemäß der hygienisch-medizinische Stellungnahme zur Lüftungssituation in den kreiseigenen Schulen des Kreises Ahrweiler von Prof. Dr. med. Dr. h.c. M. Exner, sind aufgrund der Gegebenheiten keine technischen Lüftungsmaßnahmen notwendig. Das Reduzieren der CO₂ Konzentration im Raum kann mittels Stoßlüften gewährleistet werden.

Eine Lüftungsanlage kann den Komfort eines Klassen- bzw. Aufenthaltsraums verbessern.

Die Studie zeigt, dass eine Energieeinsparung von durchschnittlich 4% durch eine Lüftungsanlage möglich wäre.

Aufgrund der hohen Investitionskosten sowie den Wartungs- und Instandhaltungskosten, welche über den erwarteten Einsparungen liegen, kann die Anlage nicht als wirtschaftlich betrachtet werden.

Im Falle eines Neubaus ist eine Wirtschaftlichkeit anhand eines geeigneten Heizungs- und Lüftungskonzept in Abstimmung mit der Architektur neu zu bewerten. Dies wird am bestehenden Gebäudeteil Haus 4, Passivhaus mit einer Lüftungsanlage, deutlich.

Temperaturmessungen ergaben, dass im Schuljahr 2022 an zehn Schultagen eine Außentemperatur von 26°C überschritten wurde. Somit besteht zum Zeitpunkt der Studie keine zwingende Notwendigkeit der aktiven Kühlung. Bauliche Maßnahmen wie Sommerlicher Wärmeschutz oder Nachtauskühlung mittels offener Fenster sind zu priorisieren. Bei erfolgreich umgesetzten Baulichen Maßnahmen ist eine aktive Kühlung punktuell denkbar.

Der Grundföndersatz für Anlagentechnik der KfW beträgt zum Zeitpunkt der Studie 15 %.

Eine Förderung im Zuge des Wiederaufbaues ist nicht möglich, da keine flächendeckenden Lüftungsanlagen in den kreiseigenen Schulen vor der Flut vorhanden waren.

Investitions- & Betriebskosten für das Are-Gymnasium

	RLT ohne Klimatisierung Variante B		RLT mit Klimatisierung Variante C		Deckensegel mit RLT Variante D
	Zentral	Dezentral	Zentral	Dezentral	Zentral
Investitionskosten	1.125.740 €	1.228.080 €	1.432.760 €	1.765.365 €	1.125.740 €
Planungskosten	237.941 €	218.782 €	295.715 €	307.020 €	473.620 €
Baukosten	434.945 €	230.265 €	537.285 €	281.435 €	996.030 €
Summe	1.798.626 €	1.677.127 €	2.265.760 €	2.353.820 €	2.595.390 €
<i>Förderungen* 15%</i>	269.794 €	251.569 €	339.864 €	353.073 €	389.309 €
Summe inkl. Förderungen	1.528.832 €	1.425.558 €	1.925.896 €	2.000.747 €	2.206.082 €
Wartungskosten/Jahr	23.027 €	34.796 €	29.679 €	45.541 €	23.027 €
Energiekosten/Jahr kompl.	27.100 €	27.100 €	29.500 €	29.500 €	29.500 €

Die geschätzten Kosten sind inklusive 19% Mehrwertsteuer.

* KfW Förderung für Anlagentechnik: Der Grundfördersatz beträgt 15 % der förderfähigen Ausgaben. Die Höchstgrenze der förderfähigen Ausgaben für energetische Maßnahmen nach den Nummern 5.1, 5.2 und 5.4 beträgt insgesamt 500 Euro pro Quadratmeter Nettogrundfläche (im thermisch konditionierten Gebäudevolumen) nach § 3 Absatz 1 Nummer 22 GEG (Gebäudeenergiegesetz).

Brennstoffdaten		
Strom	Arbeitspreis – je kWh	30 Cent/kWh
Fernwärme	Arbeitspreis – je kWh	6,4 Cent/kWh

Prognose in Form eines Kostenrahmens anhand von Kennzahlen (Klassenräume)

	1	2	3	4	5	6
Schulen	Are Gymnasium	PJG	Boeselager	Don-Bosco	Levana	BBS
Klassenanzahl	63	65	44	33	26	101
RLT mit WRG - Zentral	1.528.832 €	1.577.366 €	1.067.755 €	800.817 €	630.946 €	2.450.984 €
Wartungskosten/Jahr	23.027 €	23.758 €	16.082 €	12.062 €	9.503 €	36.916 €
Energiekosten/Jahr kompl.	27.100 €	27.960 €	18.927 €	14.195 €	11.184 €	43.446 €
RLT mit Klima - Zentral	1.925.896 €	1.987.036 €	1.345.070 €	1.008.803 €	794.814 €	3.087.548 €
Wartungskosten/Jahr	24.940 €	25.732 €	17.418 €	13.064 €	10.293 €	39.983 €
Energiekosten/Jahr kompl.	29.500 €	30.437 €	20.603 €	15.452 €	12.175 €	47.294 €
Deckensegel mit RLT	2.206.082 €	2.276.116 €	1.540.755 €	1.155.567 €	910.446 €	3.536.734 €
Wartungskosten/Jahr	23.027 €	23.758 €	16.082 €	12.062 €	9.503 €	36.916 €
Energiekosten/Jahr kompl.	29.500 €	30.437 €	20.603 €	15.452 €	12.175 €	47.294 €

Die geschätzten Kosten sind inklusive 19% Mehrwertsteuer.

Die Anzahl der Klassen wurde dem Schulentwicklungsplan des Landkreis Ahrweiler vom August 2023 entnommen.

Prognose in Form eines Kostenrahmens anhand von Kennzahlen (Klassenräume)

Schulen	7	8	9	10	11	12	13
	Rhein-Gym	IGS	EKG	FOS	JKS	Burgweg	Wimbach
Klassenanzahl	65	58	43	38	22	17	8
RLT mit WRG - Zentral	1.577.366 €	1.407.496 €	1.043.488 €	922.152 €	533.878 €	412.542 €	194.137 €
Wartungskosten/Jahr	23.758 €	21.199 €	15.717 €	13.889 €	8.041 €	6.214 €	2.924 €
Energiekosten/Jahr kompl.	27.960 €	24.949 €	18.497 €	16.346 €	9.463 €	7.313 €	3.441 €
RLT mit Klima - Zentral	1.987.036 €	1.773.047 €	1.314.500 €	1.161.652 €	672.535 €	519.686 €	244.558 €
Wartungskosten/Jahr	25.732 €	22.961 €	17.023 €	15.043 €	8.709 €	6.730 €	3.167 €
Energiekosten/Jahr kompl.	30.437 €	27.159 €	20.135 €	17.794 €	10.302 €	7.960 €	3.746 €
Deckensegel mit RLT	2.276.116 €	2.030.996 €	1.505.738 €	1.330.652 €	770.378 €	595.292 €	280.137 €
Wartungskosten/Jahr	23.758 €	21.199 €	15.717 €	13.889 €	8.041 €	6.214 €	2.924 €
Energiekosten/Jahr kompl.	30.437 €	27.159 €	20.135 €	17.794 €	10.302 €	7.960 €	3.746 €

Die geschätzten Kosten sind inklusive 19% Mehrwertsteuer.

Die Anzahl der Klassen wurde dem Schulentwicklungsplan des Landkreis Ahrweiler vom August 2023 entnommen.

Prognose über alle Schulen

Schulen Insgesamt	Gesamt (Brutto)
Klassenanzahl insgesamt	583
RLT mit WRG - Zentral	14.147.760 €
Wartungskosten/Jahr	213.087 €
Energiekosten/Jahr kompl.	250.783 €
RLT mit Klima - Zentral	17.822.180 €
Wartungskosten/Jahr	230.794 €
Energiekosten/Jahr kompl.	272.992 €
Deckensegel mit RLT	20.415.008 €
Wartungskosten/Jahr	213.087 €
Energiekosten/Jahr kompl.	272.992 €

Eine Amortisation ist nicht innerhalb der Lebensdauer der Geräte zu erwarten.

Beispiel Grundschule Wachtberg Pech Zentrales RLT Gerät



Abbildung Grundschule Pech Außenaufstellung zentrale RLT

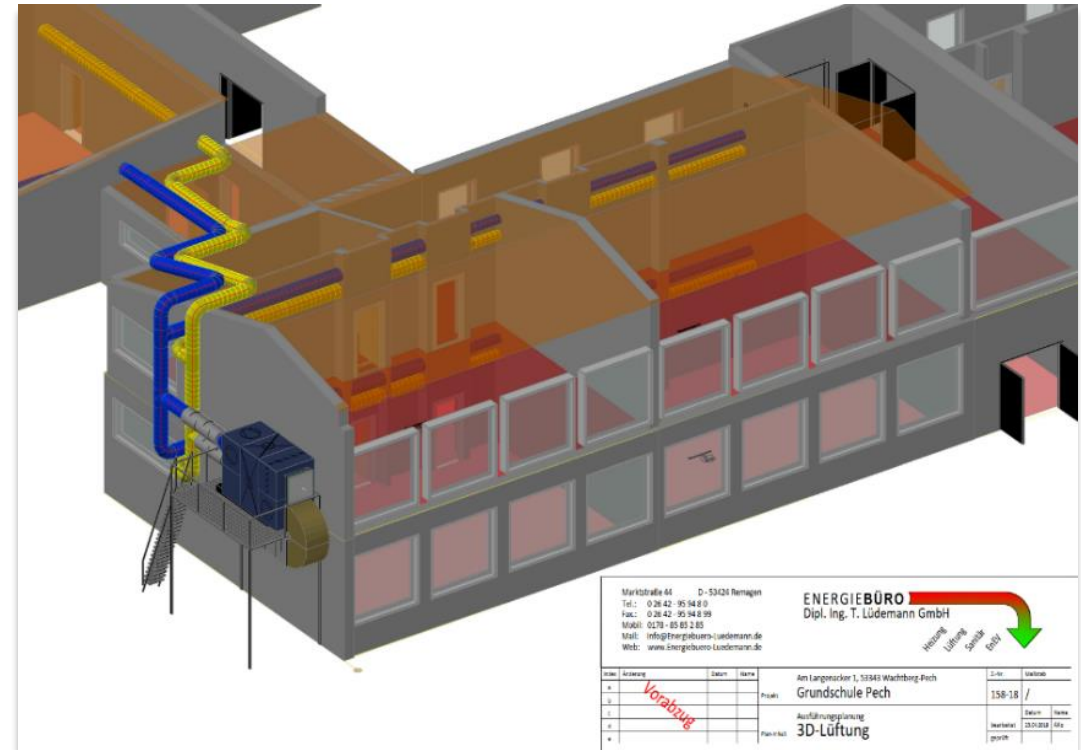


Abbildung Zeichnungen Planung Grundschule Pech

Beispiel Grundschule St. Martin Remagen Zentrales RLT-Gerät im Dach



Beispiel KiTa Göthe Knirpse Remagen Dezentrales RLT Gerät (in Abhangdecke)



Beispiel Grundschule St Martin Remagen Dezentrales Stand RLT-Gerät



Beispiel Grundschule Oberwinter Dezentrales RLT Gerät (unter Abhangdecke)



Beispiel KITA Familienzentrum Wachtberg Villip Zentral RLT Gerät (Dachaufstellung)

