

Brüder Unität Bad Boll  
Zinzendorfschulen Königsfeld

## **Neubau eines Schulgebäudes der Zinzendorfschulen in Königsfeld im Schwarzwald auf ca. 800m Meereshöhe im Passivhausstandard mit erweiterten Tools als Modellvorhaben**

Abschlussbericht über ein Entwicklungsprojekt,  
gefördert unter dem AZ: 25732-25 von der  
Deutschen Bundesstiftung Umwelt

von

Dipl.-Kfm. Wolfgang Schaible  
Verwaltungsleiter, Zinzendorfschulen Königsfeld  
Internet: [www.zinzendorfschulen.de](http://www.zinzendorfschulen.de)

Dipl.-Ing. (FH) Reiner Ketterer  
Architekturbüro Ketterer, Königsfeld-Neuhausen  
Internet: [www.architekturbuero-ketterer.de](http://www.architekturbuero-ketterer.de)

Thomas Fiehn  
Geschäftsführer, Fiehn – Gebäudeautomation GmbH, Königsfeld  
Internet: [www.fiehn.de](http://www.fiehn.de)

Martin Westhauser  
Geschäftsführer Planungsbüro Westhauser, Tuttlingen  
Internet: [www.planungsbuero-westhauser.de](http://www.planungsbuero-westhauser.de)

Dipl.-Phys. Nicolaus Hey  
Technisch-wissenschaftlicher Koordinator, Zinzendorfschulen Königsfeld  
Internet: [www.zinzendorfschulen.de](http://www.zinzendorfschulen.de)

Königsfeld Dezember 2011



Dieser Abschlussbericht kann bezogen werden:

Bei der Deutschen Bundesstiftung Umwelt

Internetadresse:

[http://www.dbu.de/projekt\\_25732/db\\_790.html](http://www.dbu.de/projekt_25732/db_790.html)

oder

bei den Zinzendorfschulen Königsfeld

Internetadresse:

<http://www.zinzendorfschulen.de/haus-katharina-v-gersdorf/dokumentation>

Brüder Unität Bad Boll  
Zinzendorfschulen Königsfeld

## **Neubau eines Schulgebäudes der Zinzendorfschulen in Königsfeld im Schwarzwald auf ca. 800m Meereshöhe im Passivhausstandard mit erweiterten Tools als Modellvorhaben**

Abschlussbericht über ein Entwicklungsprojekt,  
gefördert unter dem AZ: 25732-25 von der  
Deutschen Bundesstiftung Umwelt

von

Dipl.-Kfm. Wolfgang Schaible  
Verwaltungsleiter, Zinzendorfschulen Königsfeld  
Internet: [www.zinzendorfschulen.de](http://www.zinzendorfschulen.de)

Dipl.-Ing. (FH) Reiner Ketterer  
Architekturbüro Ketterer, Königsfeld-Neuhausen,  
Internet: [www.architekturbuero-ketterer.de](http://www.architekturbuero-ketterer.de)

Thomas Fiehn  
Geschäftsführer, Fiehn – Gebäudeautomation GmbH, Königsfeld  
Internet: [www.fiehn.de](http://www.fiehn.de)

Martin Westhauser  
Geschäftsführer Planungsbüro Westhauser, Tuttlingen  
Internet: [www.planungsbuero-westhauser.de](http://www.planungsbuero-westhauser.de)

Dipl.-Phys. Nicolaus Hey  
Technisch-wissenschaftlicher Koordinator, Zinzendorfschulen Königsfeld  
Internet: [www.zinzendorfschulen.de](http://www.zinzendorfschulen.de)

Königsfeld Dezember 2011



**Projektkennblatt  
der  
Deutschen Bundesstiftung Umwelt**



Az	<b>25732-25</b>	Referat	Umweltechnik	Fördersumme	<b>125.000,00 €</b>
----	-----------------	---------	--------------	-------------	---------------------

**Antragstitel**                      **Neubau eines Schulgebäudes der Zinzendorfschulen  
in Königfeld im Schwarzwald auf ca. 800 m Meereshöhe,  
im Passivhausstandard mit erweiterten Tools als Modellvorhaben**

**Stichworte**

Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)
<b>36 Monate</b>	<b>17.07.2007</b>	<b>17.07.2010</b>	

Zwischenberichte	Projektfortschritt vom 06.08.2010, 10.12.2008 und 10.02.2010
------------------	---

<b>Bewilligungsempfänger</b>	Brüder Unität Bad Boll Zinzendorfschulen Königfeld Mönchweilerstr. 5 78126 Königfeld	Tel	07725 / 930110
		Fax	07725 / 938129
		Projektleitung	Architekturbüro Ketterer
		Bearbeiter	Reiner Ketterer

**Kooperationspartner**

**Zielsetzung und Anlass des Vorhabens**

- Minimaler Transmissionsenergieverbrauch durch die angewandte Passivhausbauweise sowie minimaler Lüftungsenergieverbrauch, trotz angesetzttem Frischluftbedarf pro Schüler von mind. 20 m<sup>3</sup>/h, insbesondere durch die Luftvorwärmung durch einen großen Erdwärmetauscher.
- Auch im Hochsommer tagsüber ca. 5-7 Kelvin kühlere Zulufttemperatur als die Außentemperatur. Dies sollte ohne zusätzliche Kühlenergie, sondern nur durch den geplanten Erdwärmetauscher erreicht werden.
- Schulen haben eine gewisse Vorbildfunktion und können einen Nachahmungseffekt bewirken (Umweltbewusstsein, Energiebewusstsein stärken). Schulträger können mit innovativen, ökologisch nachhaltigen Gebäudekonzepten diese Aufgabe mustergültig erfüllen, was wir hiermit beweisen wollten.
- Ein innovatives Schulgebäude wird selbst zum Lehrmittel – nicht nur für die eigenen Schüler und Lehrer, sondern für das gesamte Schulsystem.
- Weil die Schüler unsere Zukunft sind, ist nichts nahe liegender, als Innovation im Schulbereich anzusiedeln.
- Der Multiplikator kann nirgendwo größer sein. Das heißt, die geplante Ausführung soll belegen, dass ideale Luftqualität und ideales Raumklima auch mit minimalstem Energieeinsatz, max. 15 kWh pro m<sup>2</sup> und Jahr bzw. 1,5 l Öl pro m<sup>2</sup> und Jahr, auch in Höhenlagen des Schwarzwaldes von fast 800 m Höhe machbar sind.

## ***Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden***

Im Zuge der Voruntersuchung wurde nicht nur der energetische Aspekt der Passivhaustechnologie betrachtet, sondern auch den der wünschenswerten Luftqualität für Lehrer und Schüler mit geringstem energetischen Aufwand.

Freie Fensterstoßlüftung reicht nicht aus um die notwendige Luftqualität in dicht belegten Klassenzimmern dauerhaft zu erreichen (CO<sub>2</sub>-Konzentration unter 1500 ppm). Deshalb wurde eine kontrollierte Schulraum Be- und Entlüftung mit über 80%-iger Wärmerückgewinnung und vorgeschaltetem EWT (Erdwärmetauscher) in Form eines großen Luft-Erdkollektors mit ca. 800 m Länge und Durchmesser 20cm, sowie Zuluft mit mind. 20 m<sup>3</sup> pro Stunde und Person, eine Lösung für die dargestellte Aufgabe gewählt, um möglichst folgendes zu erreichen:

- immer ausreichend frischer Luft, mit
- niemals kalter Frischluft, mit
- niemals unangenehm hoher Luftfeuchtigkeit, dies
- zugluftfrei und weitgehend geräuschfrei, bei
- optimaler thermischer Behaglichkeit, mit
- Freier Nachtkühlungsmöglichkeit, mit
- Nachtabsenkung, die zu verringerten Wärmeverlusten führt, mit
- ausreichender Luftvorspülung vor Raumnutzung, mit
- kleinen Nachheizregistern pro Raum, dadurch separate Einzelraumsteuerung möglich

Folgende Grundlagen haben u. a. zur gewünschten Optimierung beitragen:

- Beschattung mit Außenjalousien, mit vollautomatischer Steuerungsführung, entsprechend dem Sonnenstand, um zu hohe, sonnenbedingte, thermische Energieeinträge zu vermeiden.  
Durch die schwere, massive Bauweise mit Kalksandstein und Beton mit hoher Speicherfähigkeit, können Tagesspitzen Temperaturen im Sommer gepuffert werden. Die Tagesspitzen Temperaturen fallen im Vergleich zu einer Leichtbauweise um ca. 1-2 Kelvin niedriger aus. Gleichzeitig kühlt das Gebäude langsamer aus als ein Gebäude in Leichtbauweise.

## **Ergebnisse und Diskussion**

Das angestrebte Ergebnis bzw. gesetzte Ziel wurde wie beil. dokumentiert, erreicht.

Der Einsatz eines großen Erdwärmetauschers bedarf jedoch bei der Gebäudeplanung schon frühzeitig ein verstärktes Ineinandergreifen mit der Lüftungsplanung.

Die Einrichtung einer sog. begleitenden Monitoring-Gruppe nach Inbetriebnahme des Gebäudes, ist für die Startzeit von 1-2 Jahren zu empfehlen.

Eine durchgängige Be- und Entlüftung von Schulräumen sollte heute die Grundlage, zumindest bei jeder neuen Schule sein. Der Luftansatz sollte nach unserer Erfahrung, möglichst nicht unter 20 m<sup>3</sup>/pro Person sein, damit ein CO<sub>2</sub>-Grenzwert von 1500 PPM möglichst nicht überschritten wird.

Ideal wäre unserer Meinung nach auch eine CO<sub>2</sub>-abhängige, Volumenstrom gesteuerte Luftmenge für jeden einzelnen Raum. Denn somit ließe sich die Luftmenge auch dem tatsächlichen Bedarf optimal anpassen.

Bei der eingebauten Lüftungsanlage wurde das Eingangsfoyer, sowie EG und 2. OG-Treppen- und Erschließungsflurbereiche, nicht be- und entlüftet. Hier hat man das Gefühl, dass die Luftqualität nicht ganz optimal ist. Bei einer zukünftigen Maßnahme würden wir hier sicherlich einen kleinen Lüftungsansatz vorsehen.

Die von uns durchgeführte Referenzmessung für die Dichtigkeit der zu 95% rechteckigen Lüftungsleitung ergab, dass die Leitungsdichte zwar den Vorgaben entsprach, jedoch unvermeidbare kleinere Undichtigkeiten nur über ein Rundrohrsystem mit Gummilippendichtung weiter optimiert werden könnte.

Dies hätte jedoch den Nachteil, dass teilweise noch höhere Installationsbereiche notwendig würden, die jedoch zwangsläufig auch zu höheren Geschosshöhen führen. Höhere Geschosshöhen bedingen mehr umbauten Raum und größere Gebäudehüllen. Dies ergibt höhere Energiekosten!

Dieser zusätzliche Aufwand sollte einmal im Verhältnis zu einer 5-10%-igen Effizienzsteigerung der Lüftungsanlage untersucht werden.

Noch wichtiger als o.g. Rohrdichtigkeit ist allerdings die Dichtigkeit des Gesamtgebäudes, die bei unserem Gebäude über den Blower-Door-Test  $n_{50}$  mit 0,3 nachgewiesen wurde und somit sehr gut war, da der Mindestwert bei  $n_{50} = 0,60$  1/h liegt.

## **Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation**

Der Bauablauf wurde auf der Homepage der Zinzendorfschulen fortlaufend dokumentiert:

[www.zinzendorfschulen.de](http://www.zinzendorfschulen.de)

Das Gebäude wurde bei verschiedenen internen und externen Veranstaltungen vorgestellt.

- Z.B. bei einem Seminar am 30.06.2010 in Mannheim zum Thema ‚**Perspektiven der Passivhausschulen und Turnhallen**‘ als Praxisbericht aus schulpädagogischer Sicht.
- Selbst eine chinesische sowie eine thailändische Delegation waren bereits vor Ort und waren begeistert.
- Auch an den jährlich stattfindenden, internationalen ‚**Passivhaustagen**‘ konnten sich alle Interessierten durch Führungen und Vorträge über das Gebäude informieren lassen.
- Das Gebäude wurde in verschiedenen Unterrichtsbereichen pädagogisch integriert.
- Immer wieder werden Führungen mit interessierten Firmen (z.B: Chefetage Fa. Siedle), Schulträgern etc. durchgeführt
- Pflichtteil bei internationalem Schüleraustauschprogramm

## **Fazit**

Das umgesetzte Projekt war für alle Beteiligten eine Herausforderung. Das gesteckte Ziel wurde mit dem großen Lufterdwärmetauscher erreicht, auch mit der Einschränkung, dass sich der Wirkungsgrad des Erdwärmetauschers bei langen extremen Kaltphasen und bei langen Heißphasen verringert.

Es wurde belegt, dass auch große Lufterdwärmetauscher, insbesondere bei konsequenter Umsetzung der Passivhaustechnologie, in der Lage sind, Gebäude im gewünschten Temperaturbereich energieeffizient zu betreiben. In unserem Fall, Schulgebäude Katharina von Gersdorf, wurde das gewünschte Ziel erreicht.

# Inhaltsverzeichnis

	<b>Seite</b>
<b>1 Verzeichnis von Bildern und Tabellen .....</b>	<b>6</b>
<b>2 Verzeichnis von Begriffen und Definitionen.....</b>	<b>7</b>
<b>3 Zusammenfassung.....</b>	<b>8</b>
<b>4 Einleitung .....</b>	<b>10</b>
<b>5 Der Entscheidungsprozess.....</b>	<b>11</b>
5.1 Ausgangssituation und Planungsphase .....	11
5.1.1 Lage des Projektes .....	11
5.1.2 Übersicht Bestandsgebäude vor Planungsbeginn .....	12
5.1.3 Planungsphase .....	13
5.1.4 Übersicht nach Projektumsetzung .....	16
5.2 Energetischer Standard mit sich ergebender Umweltrelevanz.....	19
5.2.1 Verbrauchsdaten: Bestandsgebäude – Vorgaben Neubau.....	20
5.2.2 Umweltrelevanz .....	20
5.3 Bauliche Umsetzungsvarianten.....	22
<b>6 Die Umsetzung des Projektes.....</b>	<b>23</b>
6.1 Projektzeitraum .....	23
6.2 Gebäudeaufbau .....	23
6.2.1 Baukonstruktion.....	23
6.2.2 Technische Anlagen .....	27
6.2.3 Lüftungs - und Heizungskonzept .....	28
6.2.4 Regelungskonzept.....	36

6.2.4.1	Regelung der Lüftungsgeräte .....	38
6.2.4.2	Vorregelung Heizgruppe Lüftungsnachheizregister.....	38
6.2.4.3	Heizgruppe Lüftung RLZ-Gerät .....	39
6.2.4.4	Regelung Heizkreis-Heizkörper.....	39
<b>6.3</b>	<b>Monitoring.....</b>	<b>40</b>
6.3.1	Das Monitoring-Team .....	40
6.3.2	Wesentliche Ergebnisse und Erfahrungen.....	40
<b>6.4</b>	<b>Energieverbrauch.....</b>	<b>42</b>
6.4.1	Die Thermische Funktion des Erdwärmetauschers.....	43
<b>6.5</b>	<b>Kosten.....</b>	<b>44</b>
<b>7</b>	<b>Gegenüberstellung von Investition- und Betriebskosten .....</b>	<b>45</b>
7.1	Zusätzliche Investitionskosten für die Passivhausbauweise.....	45
7.2	Betriebskostenvergleich und Amortisation.....	47
<b>8</b>	<b>Fazit.....</b>	<b>49</b>
<b>9</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>50</b>
<b>10</b>	<b>Anhang-Übersicht.....</b>	<b>50</b>

## 1 Verzeichnis von Bildern und Tabellen

---

Abbildung 1	Lage des Projektes
Abbildung 2	Übersicht Bestandsgebäude
Abbildung 3	Übersicht Erdgeschoss nach Projektumsetzung
Abbildung 4	Übersicht 1. Obergeschoss nach Projektumsetzung
Abbildung 5	Übersicht 2. Obergeschoss nach Projektumsetzung
Abbildung 6	Übersicht Schemaschnitt Neubau
Abbildung 7	Grundriss und Systemschnitt – Erdwärmetauscher (EWT)
Abbildung 8	Ansaugturm Ø 75 cm; Lufteintritt 3 m über dem Gelände
Abbildung 9	Der Lufteintrittsraum
Abbildung 10	Verlegung der Erdwärmetauscherrohre im Kalksand
Abbildung 11	Luftumlenkraum links im Bild mit luftdichter und gedämmter Zugangstür rechts
Abbildung 12	Zuluftaustrittsraum (oben links), luftdichte Türen zum Lufteintritts- und Austrittsraum (oben rechts); zentrales Lüftungsgerät (unten links); Austritt der verbrauchten Luft (unten rechts).
Abbildung 13	Schematischer Aufbau des Rotationswärmetauschers
Abbildung 14	Lüftungsinstallation im Klassenzimmer.
Abbildung 15	Referenzmessung der Dichtigkeit der Lüftungsrohre
Abbildung 16	Schema der Lüftungsanlage
Abbildung 17	Temperatur und CO <sub>2</sub> – Werte an einem Referenztag (ohne konsequente zusätzliche Pausenlüftung über Fenster)
Abbildung 18	Jahresübersicht - thermische Wirkung des EWT

## 2 Verzeichnis von Begriffen und Definitionen

---

EnEV	Energieeinsparverordnung
EWT	Erdwärmetauscher
KEA	Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg
L <sub>p</sub>	Schalldruckpegel
DDC	Direct Digital Control
OPC	OLE for Process Control
LON	Local Operating Network
EIB	Europäischer Installationsbus
CAN	Controller Area Network
TCP/IP	Transmission Control Protocol / Internet Protocol
GLT	Gebäudeleittechnik
PID	Proportional-Integral-Differential
ppm	parts per million

### 3 Zusammenfassung

---

Das Haus Katharina von Gersdorf nimmt im Gesamtensemble der Zinzendorfschulen eine herausragende Stellung ein, da es die südöstliche Flanke des Schulgeländes markiert. Ziel war, nicht nur gestalterisch, sondern auch technisch ein modernes wie auch Ressourcen schonendes Schulgebäude zu konzipieren, das über die üblichen Passivhausstandards hinaus geht.

Bei der Gebäudearchitektur wurden auf die bei Passivhäusern notwendigen passiven Solarenergieeinträge geachtet. Als Energiepuffer für Luftvorwärmung im Winter, wurde ein großer Luft-Erdwärmetauscher unter einem Teil der nordseitigen Hoffläche eingebaut. Der Luft-Erdwärmetauscher besteht aus 39 Einzelrohren mit einer Gesamtlänge von 780 m. Im weiteren Strömungsverlauf folgt ein Rotationswärmetauscher, in dem die Wärme aus der Abluft an die Zuluft übertragen wird. Hierdurch lässt sich eine Wärmerückgewinnung von ca. 80% erzielen.

Durch die sehr geringen Wärmeverluste wurde der Einsatz einer konventionellen Zentralheizung überflüssig. Die Restwärme wird über eine Lüftungsanlage, die zur hygienischen Belüftung im Raum erforderlich ist, erbracht. Mittels dezentralen Nachheizregistern wird die vorerwärmte Zuluft für jeden Klassenraum individuell erwärmt. Ebenso wird in den heißen Sommermonaten über den Luft-Erdwärmetauscher die Zuluft gekühlt. Durch diese Kühlung der Zuluft waren auch bei Außentemperaturen von über 32°C Raumtemperaturen von ca. 22°C zu erreichen.

Über einen Referenzraum werden der CO<sub>2</sub>-Gehalt und die Raumtemperatur gemessen. Somit können die Klassenzimmer bedarfsgerecht mit Frischluft versorgt werden. Zu Beginn der Betriebsoptimierung wurde der CO<sub>2</sub>-Grenzwert von 1.500 ppm überschritten. Durch eine stetige Volumenstromanpassung und entsprechende Optimierungsmaßnahmen konnte der CO<sub>2</sub>-Grenzwert jedoch eingehalten werden.

Aufgrund der zum Einsatz gekommenen hochwertigen Gebäudeleittechnik sowie der vernetzten Systemtechnik wurde die Möglichkeit geschaffen, anhand der permanent mitgeführten Aufzeichnungen, die Effizienz des Erdwärmetauschers sowie der gesamten restlichen technischen Anlage zu optimieren und zu bewerten.

Nachdem die Anlage im Herbst 2008 in Betrieb genommen wurde, zeigte sich schon in der 1. Kältephase sehr schnell, dass hier wirklich eine erhebliche Leistung durch den Erdwärmetauscher zur Verfügung gestellt wird. Anhand der Auswertungen konnte die Zielmarke von 15 kWh pro Quadratmeter beheizter Fläche und Jahr (dies entspricht z.B. einem Ölverbrauch von ca. 1,5l Öl pro Quadratmeter beheizter Fläche im Jahr) erreicht werden.

Nach wie vor werden im Rahmen der Monitoring-Gruppe die Auswertungen fortlaufend diskutiert und Verbesserungsmaßnahmen umgesetzt.

**In dieser besonderen Kombination der Passivhaustechnologie und dem Einsatz eines Erdwärmetauschers (Passivhaustechnologie mit zusätzlichen Tools) ließ sich mit dem Projekt „Haus Katharina von Gersdorf“ aufzeigen, dass zukunftstaugliche und ressourcenschonende Technologien existieren und hiermit erhebliche Energieeinsparungen bei gutem Raumklima möglich sind. Innerhalb von 25 Jahren werden durch den Einsatz dieser Technologie, im Gegensatz zu konventionellen Systemen, fast 3 Millionen kWh Heizenergie und ca. 923t CO<sub>2</sub> eingespart.“**

*Das Vorhaben wurde von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt unter dem Aktenzeichen Az: 25732-25 gefördert.*

## 4 Einleitung

---

Die Zinzendorfschulen in Königsfeld sind in Baden-Württemberg eine der größten Schulen mit Internat in privater Trägerschaft, mit 200-jähriger Geschichte.

Das Netz allgemeinbildender und beruflicher Schulabschlüsse ist weit gespannt. Von der Fachschulreife/mittlere Reife bis zur allgemeinen Hochschulreife. Die einzelnen Schul- und Internatsgebäude (insgesamt 10 Stück), sind auf vier verschiedene Standorte in Königsfeld verteilt. Der Hauptstandort mit Verwaltung und auch unser Projektgebäude, befinden sich im südlichen Ortsbereich an der Mönchweilerstraße.

Die Projektphase begann mit der Entscheidung des Leitungskollegiums der Zinzendorfschulen im Jahr 2006, den Gymnasial- und Realschulbereich mindestens zweizügig zu fahren. Dieser Beschluss zog ab diesem Zeitpunkt erhebliche Umstrukturierungs-, Erweiterungs- und Neubaumaßnahmen zwingend nach sich.

In der Ausbaustufe mussten rund 400 Schülerinnen und Schüler zusätzlich untergebracht werden. Neben vielen anderen Baumaßnahmen zeichnete es sich ab, dass dringend vier weitere Klassenräume, zwei EDV-Räume, eine Mediathek für die Oberstufenschüler und eine deutliche Erweiterung im Bereich der Lehrerzimmer benötigt wird. Diese Erfordernisse konnten nur durch einen zusätzlichen Neubau gelöst werden. Durch das begrenzte verfügbare Schulgelände konnte der Neubau nur unter Teilabriss eines vorhandenen Gebäudes erfolgen.

Das zeitliche Baufenster war aufgrund schulischer Erfordernisse exakt festgelegt: Baubeginn war im Juli 2007 und die Fertigstellung im Juli 2008.

## 5. Der Entscheidungsprozess

---

### 5.1 Ausgangssituation und Planungsphase

#### 5.1.1 Lage des Projektes



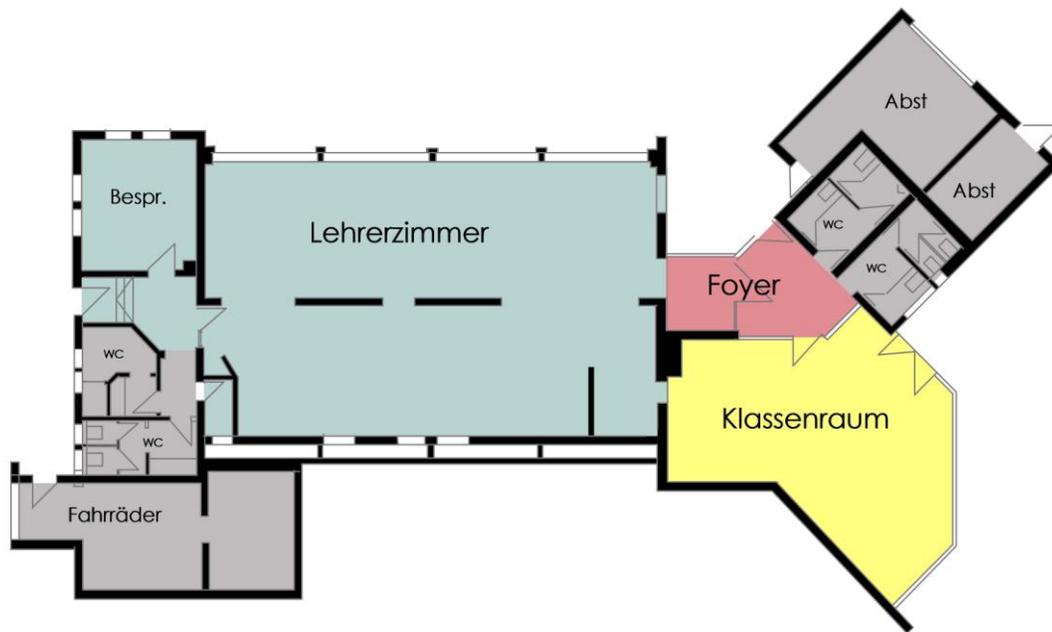
Bestandssituation vor Planungsbeginn



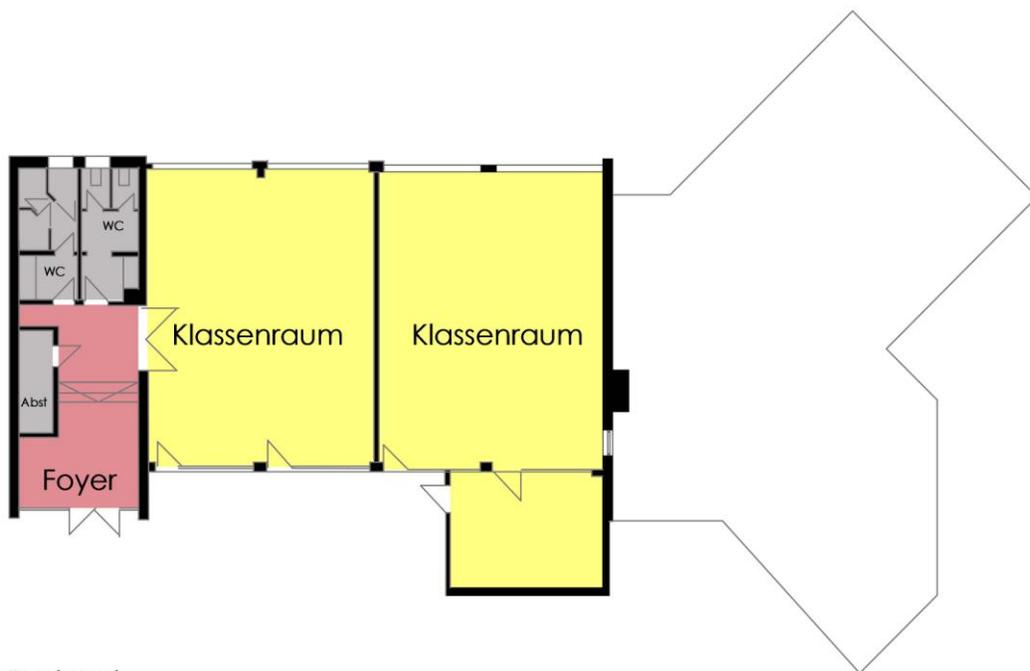
Nach Projektumsetzung

Abb. 1: Lage des Projektes

### 5.1.2 Übersicht – Bestandsgebäude vor Planungsbeginn



Bestand  
Erdgeschoss



Bestand  
Obergeschoss

Abb. 2: Übersicht Bestandsgebäude

### 5.1.3 Planungsphase

Nach der Grundsatzentscheidung zur Umsetzung der notwendigen Baumaßnahme und Abstimmung des Raumprogrammes mit dem Schulamt, wurde ein Architekturbüro, das schon seit einiger Zeit das Schulwerk betreut, mit einer Standortuntersuchung bezüglich der baulichen Umsetzung beauftragt.

Das Ergebnis führte über einen Rückbau von eingeschossigen Anbauten an einem 2-geschossigen Bestandsgebäude, zu einem angebauten, 3-geschossigen Neubau auf der Südseite des Bestandsgebäudes.

Auf der Grundlage einer ebenfalls beauftragten Vorplanung wurde daraufhin das Architekturbüro mit der Entwurfsplanung betraut.

Vorgabe an den Architekten war, ein Gebäude mit einem gewissen Alleinstellungsmerkmal zu schaffen.

Die gestalterische Vorgabe wurde durch die vorhandene Situation nicht einfacher.

Das erforderliche Raumprogramm musste aus einem vorhandenen Bestandsgebäude (= jetziger Nordflügel) und auf einem engen Baufenster, das ost-, -süd- und westseitig begrenzt war, untergebracht werden. Gleichzeitig sollte zwischen dem Bestandsgebäude, ‚Haus Spangenberg‘ und dem neuen Schulhaus mit Namen ‚Haus Katharina von Gersdorf‘, ein campusartiger Innenhof geschaffen werden.

Das neue Schulgebäude nimmt im Gesamtensemble der Zinzendorfschulen eine herausragende Stellung ein, da es die südöstliche Flanke des vorhandenen Schulgeländes markiert.

Außer den funktionellen und gestalterischen Anforderungen, stehen wir heute in der Pflicht auch hohen ökologischen und ökonomischen Ansprüchen gerecht zu werden.

Aufgrund der Anregung des beauftragten Architekturbüros, das schon seit geraumer Zeit Mitglied der IG-Passivhaus war und auch schon Erfahrung mit der Konstruktion und dem Bau von Passivhäusern hatte, entstand hier nicht nur ein Gebäude, das den gesetzlichen Mindeststandards entsprach, sondern es wurde ein Passivhaus mit so genannten ‚erweiterten Tools‘ entwickelt.

Zur Info:

In Deutschland sah es zur Planungszeit folgendermaßen aus:

Der Mittelwert für den Verbrauch an Jahresheizenergie bei Schulbauten, lag beim Gebäudebestand bei 19 l/m<sup>2</sup> [AkkP] und bei Neubauten nach damaliger gesetzlicher Vorschrift bei ca. 11 l/m<sup>2</sup> bei gleichzeitig schlechter Luftqualität, nicht idealem Raumklima und tagelanger sommerlicher Überhitzung.

Nach anfänglichem Zögern seitens der Schulleitung aus Unkenntnis über diese technologisch innovativen Zusammenhänge, erfolgte schließlich der Beschluss zu einer Planung in Passivhausbauweise.

Als Schule in freier Trägerschaft erheben wir für uns den Anspruch, nicht nur architektonisch, sondern vor allem auch ökologisch vorbildlich zu bauen. Nachdem sich die etwas höheren Herstellungskosten betriebswirtschaftlich durch die energetischen Einsparungen relativ zeitnah gegenrechnen ließen, gaben wir dieser Variante eindeutig den Vorzug.

Mit der Passivhausbauweise waren für uns folgende Ziele verbunden (siehe Antrag zur Förderung bei der DBU vom 30.06.2007, Seite 17: Ziele des Vorhabens):

„Es sollte ein Schulhaus entstehen mit höchst möglicher Qualität für Lehrer und Schüler bei geringstmöglichem energetischen Aufwand (Umweltaspekt).“

„Das heißt, die von uns geplante Ausführung sollte belegen, dass

- ideale Luftqualität
- ideales Raumklima

auch mit

- minimalstem Energieeinsatz (max. 15 kWh pro Quadratmeter und Jahr bzw. ca. 1,5 l Heizöl pro Quadratmeter und Jahr auch in den Höhenlagen des Schwarzwaldes von fast 800 m machbar sind.“

Als weitere Zielsetzung wurde festgelegt:

„Alle in den Schulen arbeitenden Schüler, Lehrer und alle in die Schulbaumaßnahme einbezogenen Personen wie Schulträger, Planer und sonstige Institutionen sind Zielgruppe der Ergebnisse des Vorhabens. Ein innovatives Schulgebäude wird selbst zum Lehrmittel, nicht nur für das gesamte Schulsystem, sondern insbesondere auch für Schüler und Lehrer“ (S.17 des Antrages von 30.6.2007).

Um die hoch gesteckten technischen Ziele realisieren zu können, wurde ein eigens entwickeltes Heiz- und Lüftungskonzept entwickelt. Kernstück ist hierbei der Einbau eines fast 800 Meter langen Erdwärmetauschers, der durch seine Pufferwirkung im Winter die kalte Zuluft erwärmt und im Sommer hingegen entsprechend abkühlt. Darüber hinaus wurde ein ausgeklügeltes Konzept erarbeitet, das auch die bedarfsgerechte Steuerung der Jalousien in die Temperaturregelung der Räume seitens der Leitebene einbindet.

Um die pädagogischen Ziele umsetzen zu können, wurden Schüler, Lehrer und Hausmeister in die Planungen des Gebäudes einbezogen. Schüler sollen im Unterricht über dieses Modellvorhaben unterrichtet werden. Führungen in die technische Räumlichkeiten und die begleitende Auswertung der Messergebnisse sollen den Infotransfer abrunden.

Mit Datum 17.7.2007 hat die DBU unserem Antrag zur Förderung des Neubaus eines Schulgebäudes als Modellbauvorhaben im Passivhausstandard mit erweiterten Tools zugestimmt. Mit der Förderung in Höhe von Euro 125.000,- (und 70.000,- Euro über die KEA) wurde das Modellbauprojekt in Passivhausbauweise schließlich realisiert.

### 5.1.3 Übersicht nach Projektumsetzung

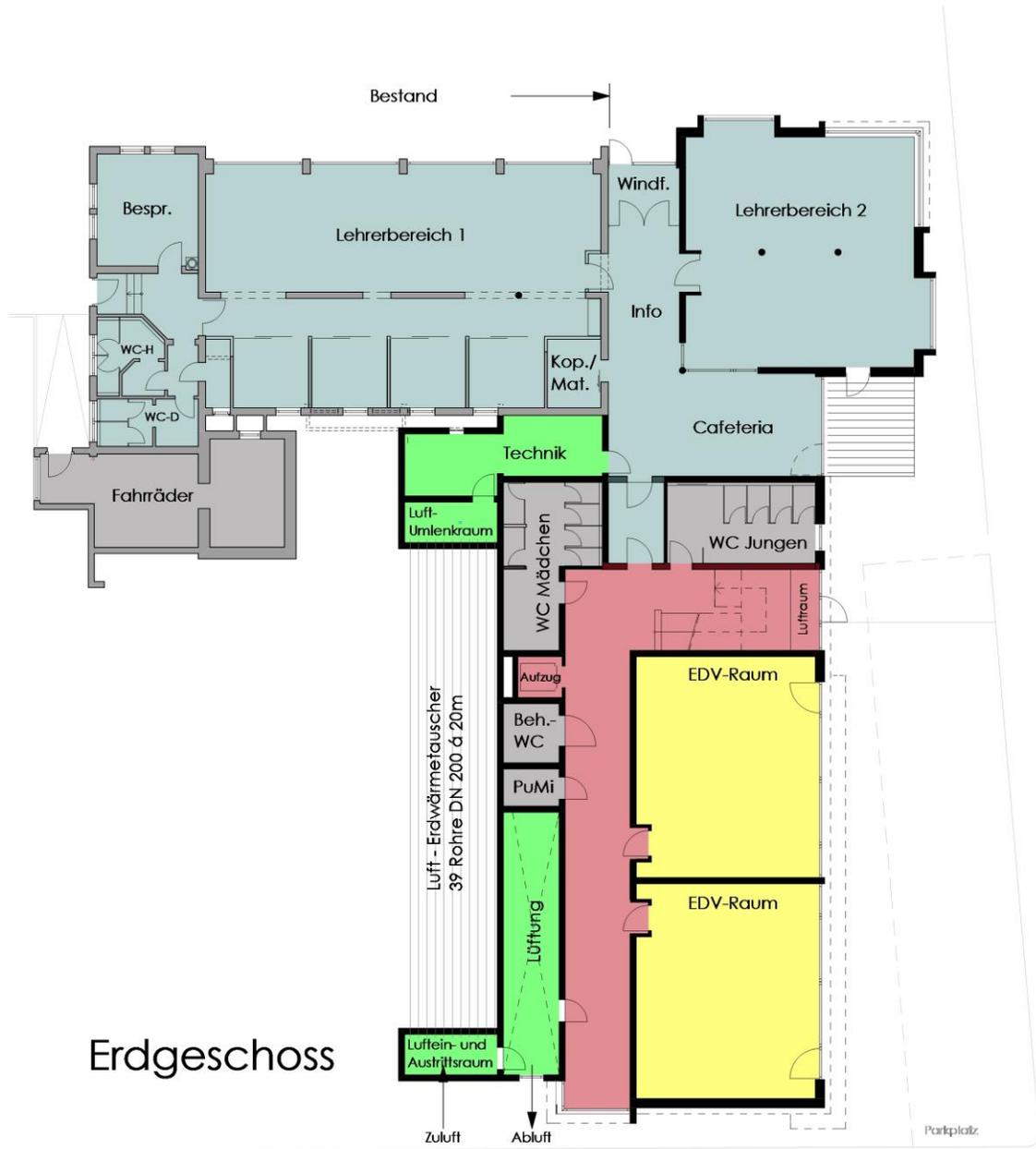
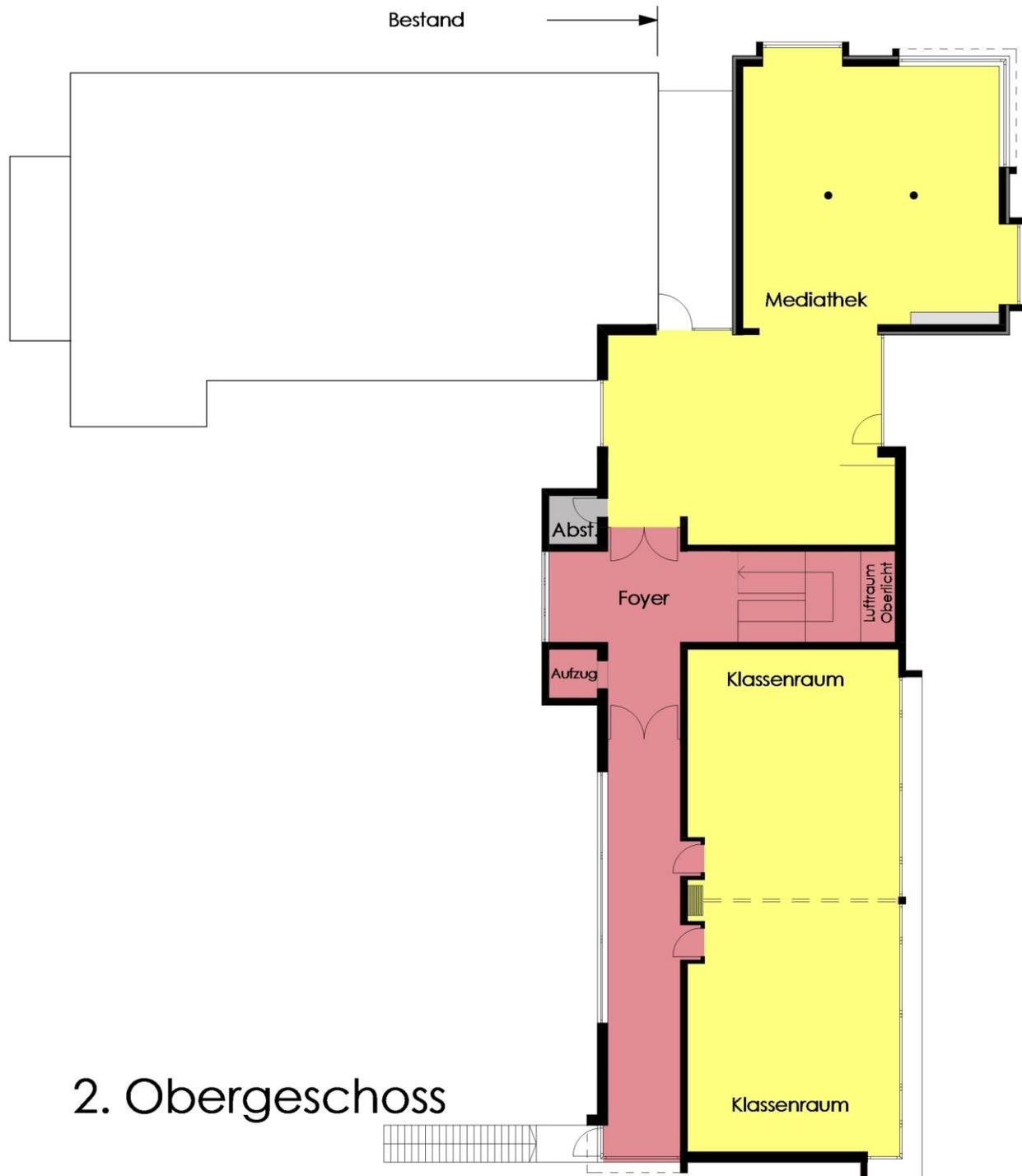


Abb. 3: Übersicht Erdgeschoss nach Projektumsetzung



Abb. 4: Übersicht 1. Obergeschoss nach Projektumsetzung



## 2. Obergeschoss

Abb. 5: Übersicht 2. Obergeschoss nach Projektumsetzung

## 5.2 Energetischer Standard mit sich ergebender Umweltrelevanz

Die ursprüngliche Planung sah vor, den Neubau energetisch nach den üblichen gesetzlichen Vorschriften zu errichten sowie eine Sanierung des Bestandsgebäudes nach gleichen Kriterien durchzuführen.

Das zur Umsetzung beauftragte Architekturbüro, das sich seit geraumer Zeit mit dem Bau von Passivhäusern beschäftigte, machte während der Planungsphase den Vorschlag, energetisch und Lüftungstechnisch deutlich mehr als den geforderten Standard nach ENEC umzusetzen. Da auch beim Schulträger der „Leidensdruck“ über vorhandene extreme Energiekosten aus den Bestandsgebäuden sehr hoch war, fand dieser neue Ansatz sehr schnell offene Türen. Die Möglichkeit, ein neues Gebäude zu bauen, das fast keine Energie mehr benötigt und gleichzeitig optimale Luftqualität aufweist, überzeugte.

Das Architekturbüro wurde beauftragt, seinen Konzeptvorschlag zu skizzieren sowie konkrete Energiedaten und Kosten zur Entscheidung vorzulegen. Da das innovative Konzept ‚nicht nur‘ eine Passivhausschule vorsah, sondern auch noch sogenannte erweiterte Tools, wurden für das angedachte Projekt von Seiten der DBU und der KEA eine Förderung in Aussicht gestellt.

Nach Vorlage der Daten und der Möglichkeiten, die die Umsetzung dieses Konzeptes bot, waren sich Schulträger und Schulleitung schnell darüber einig, dass eine Realisierung in dieser Form aus energetischer Sicht, auch in Bezug auf die Vorbildfunktion der Schule, äußerst sinnvoll ist.

**„Jeder Neubau sollte für Planer und Auftraggeber nicht nur Raum schaffen, sondern eine energetische und emissionstechnische Herausforderung sein“.**

## 5.2.1 Verbrauchsdaten: Bestandsgebäude – Vorgaben Neubau

### Bisher durchschnittlicher Verbrauch in den Bestandsgebäuden

ca. 190 KWh bzw. 19 Liter Öl oder 19 m<sup>3</sup> Erdgas

pro m<sup>2</sup> beheizter Fläche und Jahr

### Vorgaben für unseren Neubau:

max. 15 KWh pro m<sup>2</sup> beheizter Fläche und Jahr

Dieser Wert konnte mittlerweile in dem vorliegenden Messzeitraum erreicht bzw. nachgewiesen werden

**Beheizte Fläche Neubau:** 1.251 m<sup>2</sup>

## 5.2.2 Umweltrelevanz

### Angaben zur Energieeinsparung und CO<sub>2</sub>-Minderung

1.251 m<sup>2</sup> x 15 KWh/m<sup>2</sup> = 18.765 KWh/a x 25 Jahre

= 469.125 KWh Nutzwärme

### Planung nach damaliger ENEV:

1.251 m<sup>2</sup> x 110 KWh/m<sup>2</sup> = 137.610 KWh/a x 25 Jahre

= 3.440.250 KWh Nutzwärme

### Energieeinsparung

Daraus folgt bei unserem Modellprojekt ergibt sich eine

Nutzwärmeenergieeinsparung pro Jahr von 118.845 KWh

bei 25 Jahren von 2.971.125 KWh

bei 50 Jahren von 5.942.250 KWh

bei 80 Jahren von 9.507.600 KWh

### **Primärenergieeinsparung**

Unter Berücksichtigung eines Wirkungsgrades  
von  $\eta = 0,85$ , ergibt sich eine Primärenergieeinsparung

pro Jahr von	139.818 KWh
bei 25 Jahren von	3.495.441 KWh
bei 50 Jahren von	6.990.882 KWh
bei 80 Jahren von	11.185.441 KWh

Bisher wurde die benötigte  
Heizenergie im Mittel der 3 letzten Jahre  
wie folgt erzeugt:

ca. 87% mit Erdgas (= 0,254 kg CO<sub>2</sub>/KWh)

ca. 13% mit Heizöl (= 0,329 kg CO<sub>2</sub>/KWh)

Daraus ergibt sich ein Rechenwert von  
0,264 kg CO<sub>2</sub>/KWh bzw. 264 Kg CO<sub>2</sub>/MWh.

Multipliziert mit der Primärenergieeinsparung ergibt sich

### **eine CO<sub>2</sub> -Einsparung**

pro Jahr von	36.912 kg
bei 25 Jahren von	922.799 kg
bei 50 Jahren von	1.845.598 kg
bei 80 Jahren von	2.952.960 kg

## 5.3 Bauliche Umsetzungsvarianten

Im Zuge der Vorplanung wurden verschiedene bauliche Umsetzungsvarianten betrachtet wie z.B.

### A. Massivbau

#### Vorteile:

- Höhere Lebensdauer
- Höhere Energiemassenpeicherung  
und dadurch im Sommer geringere Energiespitzen
- Geringerer Zusatzaufwand für Schall- und Brandschutz

#### Nachteile:

- Längere Bauzeit
- Höhere Baukosten

### B. Holzbau

#### Vorteile:

- schnelle Umsetzungsmöglichkeit
- geringere Baukosten
- angenehmer Baustoff

#### Nachteile:

- Weniger Energiemassenspeicherung durch höhere Energiespitzen im Sommer
- Erheblicher Aufwand für Schall und Brandschutz
- Geringere Lebensdauer

### C. Stahlbau

wurde nicht untersucht, da von Seiten der Schulleitung nicht gewünscht

Nach Abwägung der Vor –und Nachteile wurde die Entscheidung zugunsten eines Massivbaus aus Kalksandstein und Beton getroffen.

Entscheidend für die gewählte Umsetzungsvariante waren hohe Schallschutzanforderungen und die geringeren sommerlichen Energiespitzen.

Der Nachteil der leicht höheren Baukosten wird durch die höherer Lebensdauer und die höhere Gebäudeunempfindlichkeit bei evtl. Wasser – oder sonstigen Schäden kompensiert.

## 6. Die Umsetzung des Projektes

---

### 6.1 Projektzeitraum

Die Durchführung des Projektes gliederte sich im zeitlichen Ablauf in folgende 3 Hauptabschnitte:

- |                                       |                          |
|---------------------------------------|--------------------------|
| 1. Vorbereitungs – und Planungsphase  | Juli 2006 bis Juni 2007  |
| 2. Umsetzungsphase                    | Juli 2007 bis Juli 2008  |
| 3. Monitoring – und Optimierungsphase | Juli 2008 bis 31.12.2011 |

### 6.2 Gebäudeaufbau

#### 6.2.1 Baukonstruktion

- **Bodenaufbau (gegen Erdreich)**

- Bodenplatte aus 25 cm starker Betonplatte auf:
- 12 cm Styrodurdämmung 3035 und 5000 mit WLZ 040 und auf
- 50 cm starkem Glasschaumschotter mit WLZ 080

Bemerkung: Es würden hier auch nur 24 cm druckfestes Styrodur ausreichen. Da wir jedoch, um tragfähigen Baugrund zu erreichen, tiefer ausheben mussten, wurde zum auffüllen gleich hochdämmender Glasschaumschotter verwendet. Auf der Bodenplatte wurde zusätzlich noch ein 65 mm starker Anhydritestrich mit 30 mm Wärme- und Trittschalldämmung mit WLZ 040 aufgebracht.

**Vorh. U-Wert = 0,096**

**mind. geforderter U-Wert bei Passivhäusern = 0,16**

- **Deckenaufbau**

- Betondecke 25 cm stark – darauf:
- 65 mm starker Anhydritestrich mit
- 30 mm starker Wärme- und Trittschalldämmung PST/SE 32/30

- **Dachaufbau**

- 25 cm starke Betondecke ,
- darauf Dampfsperre
- 260 mm Dämmung Bauder PIR mit WLZ 030
- Bituminöse Abdichtung

**Vorh. U-Wert** = 0,12

**mind. geforderter U-Wert bei Passivhäusern** = 0,16

- **Außenwandaufbau Längsbau**

- 24 cm starkes Kalksandstein-Großblockstein-Mauerwerk  
(nach Verlegeplan versetzt)
- darauf außen 240 mm starke EPS-Platten-Dämmung mit WLZ 035
- mit innenseitig ca. 15 mm starker, weiß abgefilztem Kalkputz

**Vorh. U-Wert** = 0,138 (bei KS-Wand)

**mind. geforderter U-Wert bei Passivhäusern** = 0,16

- **Außenwandaufbau Kopfbau**

- 24 cm starkes Kalksandstein-Großblockstein-Mauerwerk  
(nach Verlegeplan versetzt)
- darauf 2-lagige Mineralfaserdämmung mit insgesamt 280 mm Dämmung mit WLZ 035
- darauf 8mm starke Colorama-Mineralfaserplatten

**Vorh. U-Wert** = 0,127 (bei KS-Wand)

**mind. geforderter U-Wert bei Passivhäusern** = 0,16

- **Außenwandaufbau zum Erdreich**

- 24 cm starke Betonwand
- 24 cm starke Perimeterdämmung WLZ 040

**Vorh. U-Wert = 0,14**

**mind. geforderter U-Wert bei Passivhäusern = 0,16**

- **Fenster**

- A. Normalfenster**

- 3-fach verglaste Holzalufenster Schöb Öko-Therm

**Uw-Wert = 0,75**

- B. Pfosten-Riegelverglasung**

- 3-fachverglast RAICO-Therm-Plus

**Vorh. gesamt eingebauter Uw-Wert = 0,81**

**mind. geforderter Uw-Wert für Normfenstergröße**

**eingebaut bei Passivhäusern = 0,85**

- **Sonstiges**

- **Dachattika:**

Hier wurde trotz Massivbau, aus energetischen Gründen keine Betonattika ausgeführt, sondern eine Aufkantung in Form einer Holzständerwand gewählt. Bestimmte Anschlüsse bzw. energetisch relevante Verschaltungen, wurden, statt in Holz, aus Phonothermmaterial mit WLZ 0,076 hergestellt.

- **Wandvorlagen:**

Wandvorlagen bei Fenstern etc. wurden ebenfalls in ausgedämmter Holzbauweise ausgeführt, und energetisch relevante Verschaltungen bzw. Verkleidungen und Anschlüsse, wurden ebenfalls aus Phonothermmaterial hergestellt

- **Blower Door Test**

n<sub>50</sub> mit 0,3 nachgewiesen

(zulässig für Passivhäuser n<sub>50</sub> bis 0,6)

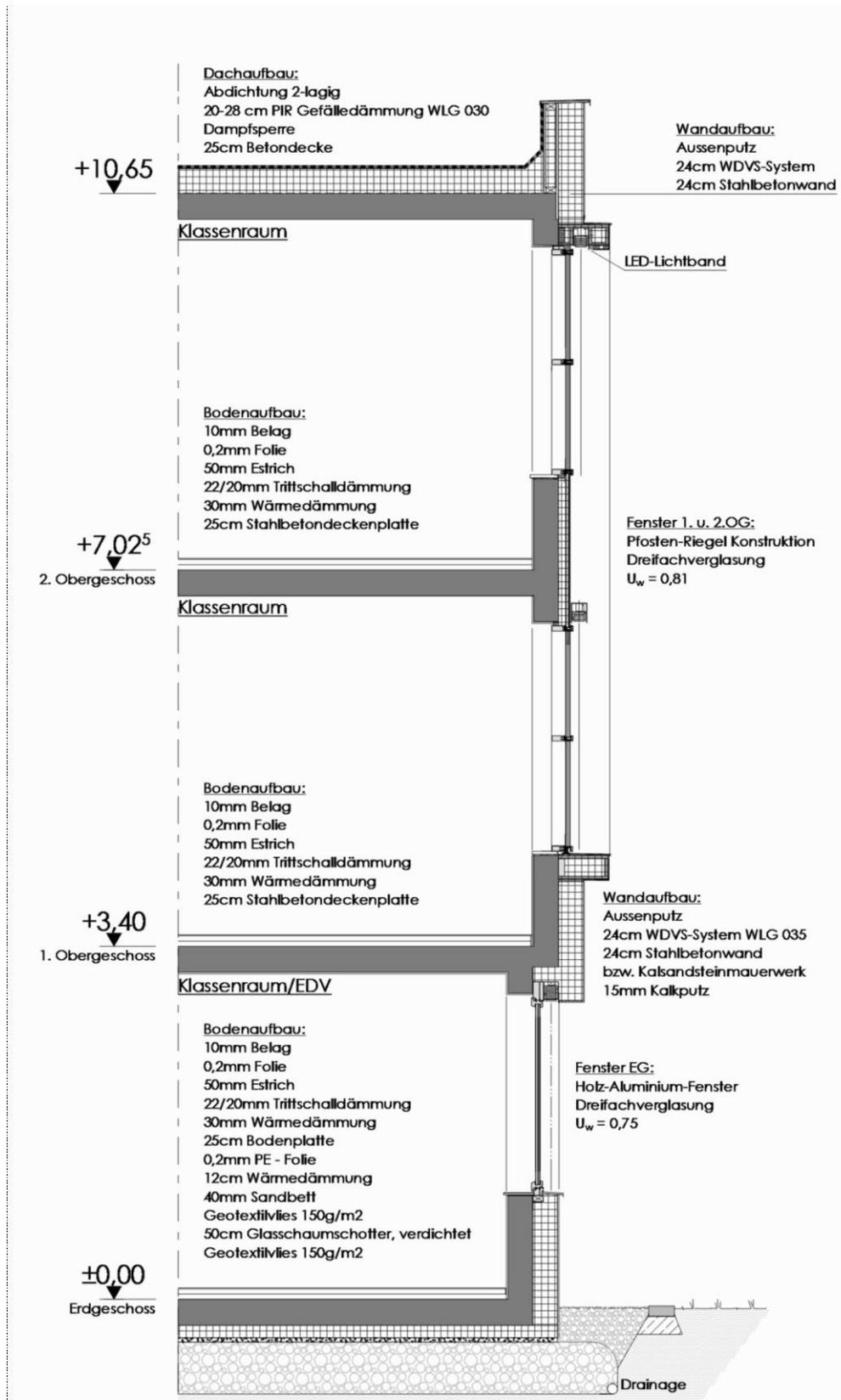


Abb. 6: Schemaschnitt Neubau

## 6.2.2 Technische Anlagen

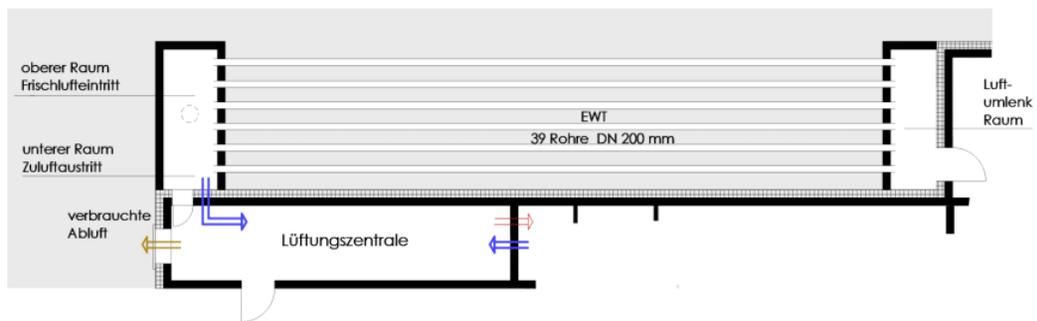
Elektro	EIB-Bustechnik, tageslichtabhängige Beleuchtung (teilweise LED-Technik), Datennetze, Fenster- und Türenüberwachung
Heizung	Restwärmeversorgung über Nahwärmeanschluss an Heizzentrale Schulzentrum. Raumwärmeeintragung ausschließlich über die Lüftung.
Lüftung	Zentrale Zu- und Abluftanlage mit vorgeschaltetem Erdwärmetauscher (insgesamt ca. 780m), Rotationswärmetauscher zur Wärmerückgewinnung. Einzelraumregelung mit kleinen warmwassergeführten Nachheizregistern.
Regelung	Gebäudeleittechnik, Heizung, Lüftung, Elektro. CO <sub>2</sub> -Sensor im Referenzraum
Sonstiges	Sonnenstands gesteuerte Elektrojalousien (wird von Oktober – Ende Februar ohne Sonnenstandssteuerung betrieben, um in der kalten Jahreszeit die gewünschte Sonnenenergie aufnehmen zu können)

### 6.2.3 Lüftungs- und Heizungskonzept

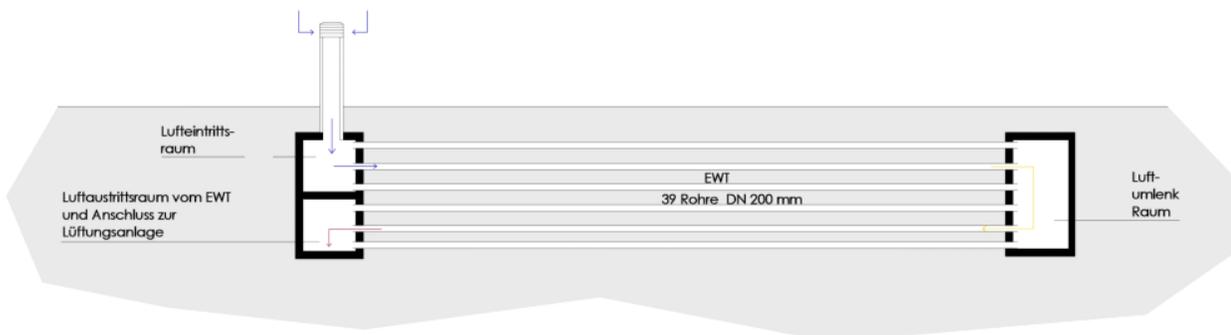
Ein Herzstück des neuen Schulhauses ist die Lüftungstechnik. Auf der Grundlage der räumlichen Belegungszahl, wurde die erforderliche Gesamtluftmenge ermittelt. Ansatz ca. 20 m<sup>3</sup>/h Frischluft pro Person (AkkP). Das führte zu folgendem Ergebnis:

Bei Klassenzimmer mit maximal 30 Personen = Luftvolumenstrom von 600 m<sup>3</sup>/h.

Beim Lehrerbereich, Bibliothek und Mediathek wurde aufgrund stark schwankender Personenzahlen mit einem zweifachen Luftwechsel pro Stunde gerechnet. Dies bedeutet, dass das Luftvolumen des Raumes 2mal je Stunde ausgetauscht wird. Dadurch ergab sich eine maximal notwendige Luftmenge bzw. Luftvolumenstrom von 6700 m<sup>3</sup>/h.



Schema Grundriss des thermisch vom Hauptgebäude getrennten EWT mit Anschluss an Lüftungszentrale



Schemaschnitt Erdwärmetauscher

Abbildung 7: Grundriss und Systemschnitt – Erdwärmetauscher (ETW)

Über dem Lufteintrittsraum wird über ein Edelstahlansaugrohr mit  $\varnothing$  75cm, 3m über dem Gelände die Frischluft angesaugt (siehe Abb. 4). Regenschutzlamellen, hinterlegtes Vogelschutzgitter und die Höhe, verhindern das Ansaugen von Blättern und Staub in Bodennähe, sowie das Eindringen von Kleintieren. Innen unter dem Ansaugturm ist noch ein zusätzlicher Schmutzfilter angebracht, der in regelmäßigen Abständen gewartet werden muss.



Abbildung 8: Ansaugturm  $\varnothing$  75 cm;  
Lufteintritt 3 m über dem Gelände.



Abbildung 9: Der Lufteintrittsraum.

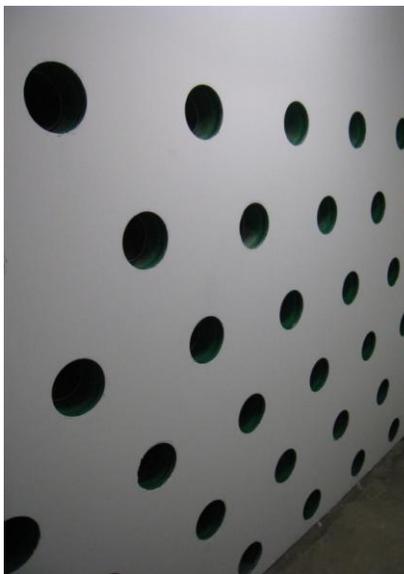
Den Frischlufteintritt des Edelstahlansaugturms mit Schmutzfilter mit Abgang der Wärmetauscherrohre in Richtung des Luftumlenkraums zeigt Abbildung 9.

Zwischen Frischlufteintrittsraum und Luftumlenkraum sowie Luftumlenkraum und Frischlufteintrittsraum (zum Lüftungsgerät) wurden die Erdwärmetauscherrohre in Kalksand verlegt. Die jeweils ca. 20m langen Erdwärmetauscherrohre sind mit einer antimikrobiellen Rohrinnebeschichtung beschichtet, so dass die hygienischen Anforderungen gewährleistet werden.



Abbildung 10: Verlegung der Erdwärmetauscherrohre im Kalksand.

Die Frischluft wird über insgesamt 39 Rohre mit  $\varnothing$  200 mm dem Lüftungsgerät durch das Erdreich zugeführt. Der Erdreichwärmetauscher wurde mit einer Gesamtlänge von 780 m ausgelegt. Alle Rohre wurden mit 2% Gefälle Richtung Luftumlenkraum verlegt. Dort befindet sich ein luftdicht verschlossener Bodenablauf. Somit könnten bei Bedarf die ganzen Erdwärmetauscherrohre relativ einfach durchgespült bzw. gereinigt werden.



luftdichte, gedämmte Kühlraumtüre zum Luftumlenkraum

Abbildung 11: Luftumlenkraum links im Bild mit luftdichter und gedämmter Zugangstür rechts.

Die Frischluft strömt vom so genannten Lufteintrittsraum über die Erdwärmetauscherrohre in den Luftumlenkraum.



Abbildung 12: Zuluftaustrittsraum (oben links); luftdichte Türen zum Lufteintritts- und Austrittsraum en rechts);  
zentrales Lüftungsgerät (unten links), Austritt der verbrauchten Luft (unten rechts).

Vom Luftumlenkraum strömt die Frischluft über die EWT-Rohre in den so genannten Zuluftaustrittsraum mit Anschluss (rechts – hier nicht sichtbar) an die zentrale Lüftungsanlage.

Das Lüftungsgerät ist mit einem Rotationswärmetauscher mit einer Rückwärmzahl von 80% zur Wärmerückgewinnung ausgestattet. Die kalte Außenluft wird somit durch die warme Abluft aus den Räumen des Gebäudes vorerwärmt. In den Sommermonaten kann der Rotationswärmetauscher außer Betrieb genommen werden (vgl. Sommerbypass).

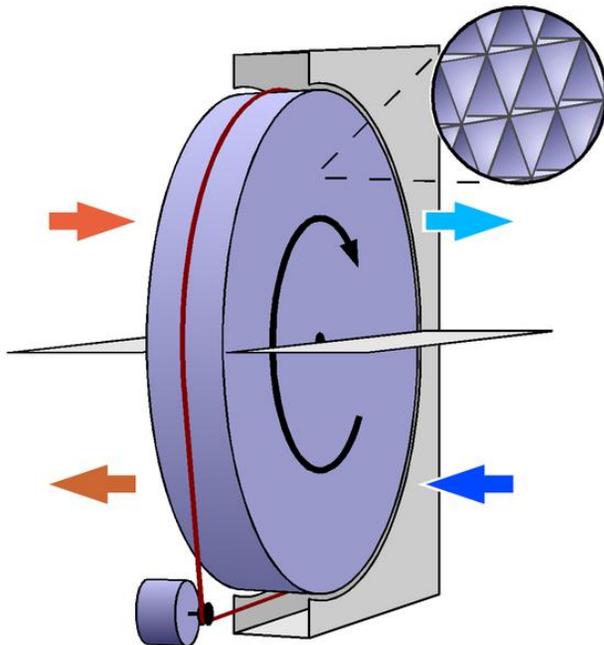


Abbildung 13: Schematischer Aufbau des Rotationswärmetauschers.

Damit wird verhindert, dass sich die kühle Zuluft aus dem Erdwärmetauscher über die Abluft zusätzlich erwärmt. Die Abluft strömt zunächst durch den Wärmeüberträger und erwärmt dessen Lamellen. Im nächsten Schritt werden die Lamellen durch die kontinuierliche Drehung des Wärmerades in den Zuluftstrang gedreht. Die Lamellen geben nun ihre Wärme an die einströmende Außenluft ab.

Unter der Annahme, dass die Außenlufttemperatur nach dem Erdwärmetauscher  $0^{\circ}\text{C}$  beträgt und die Ablufttemperatur aus den Klassenräumen  $20^{\circ}\text{C}$ , kann die Zuluft auf eine Temperatur von ca.  $14,8^{\circ}\text{C}$  vorerwärmt werden. Bei einem Luftvolumenstrom von  $6.700\text{m}^3/\text{h}$  entspricht das einer Leistung von ca.  $33\text{ kW}$ .

Ein zentrales Heizregister innerhalb des Lüftungsgerätes sorgt für die notwendige Grundwärme. Die noch notwendige Restwärmemenge der Zuluft zu den genutzten Räumen wird mittels kleinen Nachheizregistern pro Raum erreicht.



Abbildung 14: Lüftungsinstallation im Klassenzimmer.

Dadurch ist auch eine separate Einzelraumregelung möglich, bei gleichzeitig reduzierten Wärmeverlusten durch die Lüftungskanäle.

Filteranlagen im Lüftungsgerät entfernen die üblichen Luftverschmutzungen, Pollen usw. Über ein Kanalsystem innerhalb der thermischen Hülle wird über die Flure und Durchdringungen in die Klassenräume die Zuluft in die einzelnen Klassenräume eingebracht. Die Luftkanalführung in den Klassenräumen erfolgt parallel zur Flurtrennwand, oberhalb der Schrankflächen.

Über Weitwurfdüsen (-gitter) wird die Zuluft in die Räumlichkeiten dann eingebracht. Hierbei wird der Effekt der Induktion ausgenutzt. Durch die konische Bauform (Düsenform) wird die Zuluft mit einer hohen Austrittsgeschwindigkeiten und gleichzeitig geringer Lautstärke in den Raum geblasen. Dadurch werden sowohl im Heiz- als auch im Kühlfall große Eindringtiefen sowie eine gute Raumdurchmischung erreicht. Die Düsen können mit Schwenkkörpern manuell um einen Winkel von ca. 20° verstellt werden.

Alle Durchdringungen durch die Wände zwischen Flur und Klassenräumen wurden mit Kulissenschalldämpfer und Brandschutzklappen ausgeführt. Ebenso wurden die Klassenräume untereinander (Geschossweise) mittels Schalldämpfer und Brandschutzklappen voneinander getrennt.

Die Abluft aus dem Lehrerbereich 2 erfolgt über so genannte Überströmeinheiten in die Lehrer-Cafeteria und weiter in die WC-Anlagen. Dies hat zur Folge, dass diese Räume eine temperierte Zuluftversorgung erhalten und keine zusätzliche Beheizung mittels Heizkörper erforderlich ist. In den WC-Anlagen wird die Abluft dann abgesaugt und über ein Kanalsystem dem Lüftungsgerät in der Technikzentrale zurückgeführt. Eine Überströmung der Zuluft aus den Unterrichtsräumen in die Flurbereiche und eine Nutzung der Flure als Abluftkanal wurde aus brandschutztechnischen Gründen nicht realisiert.

Lediglich die Flure wurden aufgrund des geringeren Luftvolumenstroms zusätzlich mit Heizkörpern ausgestattet.

Die Wärmeversorgung der Heizkörper, Nachheizregister und des Erhitzers im Lüftungsgerät erfolgt indirekt über eine Nahwärmeleitung aus der Heizungszentrale des Schulzentrums.

Fühler für die Temperatur in jedem Raum übermitteln einer DDC-Regelung die entsprechenden örtlichen Zustände. Die Regelung verändert bedarfsgerecht evtl. notwendige Anpassungen durch die Nachheizregister. Zusätzlich wird in einem Referenzraum der CO<sub>2</sub>-Gehalt gemessen. Über diesen Fühler kann der Luftvolumenstrom angepasst werden.

Vor Schulbeginn werden alle Räume über die Lüftungsanlage vorgelüftet, um den Schulbetrieb unter hygienisch einwandfreien Raumluftbedingungen beginnen zu können. Die Vorspülphase dient gleichzeitig zur leichten Nachheizung nach der Nichtnutzungszeit.

In warmen Perioden (Sommer) ist eine Nachtkühlung über die Lüftungsanlage vorgesehen. Wenn die Außenluft kühler als die Raumtemperatur ist, kann mit der Lüftungsanlage ein etwa 2-facher Luftwechsel in den Unterrichtsräumen induziert werden. Ansonsten wird die Lüftungsanlage in den Nachtstunden ausgeschaltet.

Der Rotationswärmetauschers ist mit einer Frostschutzschaltung ausgestattet. Bei Unterschreitung einer Mindestzulufttemperatur löst die Frostschutzschaltung eine Sicherheitsfunktion aus, um das Einfrieren des Wärmetauschers zu verhindern.

Eine weitere Kontrollfunktion ist die Filterüberwachung, welche eine zu starke Verschmutzung der Filter anzeigt. Somit kann sichergestellt werden, dass die Zuluft in die Räume immer einer hohen Qualität entspricht.

Die Filterüberwachung dient zusätzlich der Energieeinsparung. Bei zu stark verschmutzten Filtern steigt der Druck, welche die Ventilatoren des Lüftungsgerätes überwinden müssen enorm an. Diese erhöhte Druckdifferenz wirkt sich direkt auf die Leistung der Ventilatoren und somit auf deren Stromverbrauch aus.



Abbildung 15: Referenzmessung der Dichtigkeit der Lüftungsrohre.

Um einen optimalen Wirkungsgrad der Lüftungsanlage zu erhalten, sollte auch auf die Dichtigkeit der Leitungsverlegung großer Wert gelegt werden. Die von uns durchgeführte Referenzmessung für die Dichtigkeit der zu 95% rechteckigen Lüftungsleitung ergab, dass die Leitungsdichte zwar den Vorgaben entsprach, jedoch unvermeidbare kleinere Undichtigkeiten nur über ein Rundrohrsystem mit Gummilippendichtung weiter optimiert werden könnte.

Dies hätte jedoch den Nachteil, dass teilweise noch höhere Installationsbereiche notwendig würden, die jedoch zwangsläufig auch zu höheren Geschosshöhen führen.

Höhere Geschosshöhen bedingen mehr umbauten Raum und größere Gebäudehüllen. Dies ergibt höhere Energiekosten!

Dieser zusätzliche Aufwand sollte einmal im Verhältnis zu einer 5-10%-igen Effizienzsteigerung der Lüftungsanlage untersucht werden.

Noch wichtiger als o.g. Rohrdichtigkeit ist allerdings die Dichtigkeit des Gesamtgebäudes, die bei unserem Gebäude über den Blower-Door-Test  $n_{50}$  mit 0,3 nachgewiesen wurde und somit sehr gut war, da der Mindestwert bei  $n_{50} = 0,60$  1/h liegt.

## 6.2.4 Regelungskonzept

Die Luftversorgung mit planmäßig notwendigen Temperaturen wird über eine DDC-Regelung mit Schaltschrank in der Technikzentrale bedarfsgerecht geregelt.

Zur Betriebsoptimierung bzw. Anpassung der Anlagentechnik (Installationspläne siehe Anhang [Technik 1 bis 5]) und deren Einstellung, wurde über den Verlauf der letzten 2 Jahre eine Trendaufzeichnung und Analyse erstellt.

Alle physikalischen und virtuellen regelungstechnischen Werte können in beliebigen Zeitintervallen mit Hilfe der GLT-Software Cosmoweb aufgezeichnet werden. Die Definition der Datenpunkte (Trend) erfolgt über die Logg-Grafik.

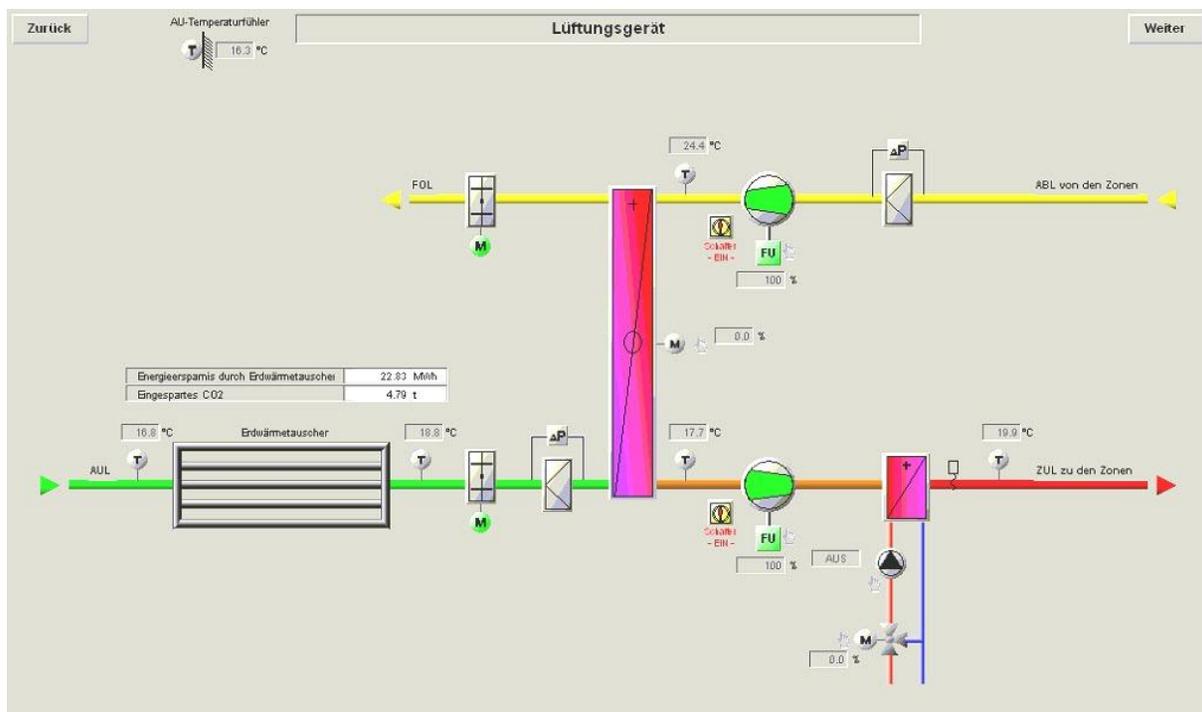


Abbildung 16: Schema der Lüftungsanlage.

Die High Power Automationsstation COSMOS 700 OPEN ist frei programmierbar. Sie kommuniziert offen mit anderen Systemen wie z.B. OPC, LON, EIB und ist mit vielen bereits integrierten Funktionen ausgestattet. Die Netzwerkfähigkeit über Ethernet-TCP-IP ermöglicht eine leichte Integration in vorhandene Netze. Durch Ihre volle Kompatibilität zu den anderen OPEN Automationsstationen lassen sich so einfach komplexe Liegenschaften vernetzen. Mit bis zu 32 COSMOS IO-Modulen wird die Verbindung zu Automationsebene über CAN Bus mit der COSMOS 700 OPEN realisiert. Alle Komponenten sind zur Montage auf Normschienen geeignet.

Über EIB-Weiche wurde eine direkte Kommunikation des DDC-Systems mit dem EIB realisiert. Es wurden sowohl Werte zur Anzeige auf der Anzeigetafel sowie einfache Meldungen wie z.B. Präsenzmeldungen zwischen beiden Systemen übertragen.

Die GLT-Software COSMOweb ist eine webbasierte Gebäudemanagement-Software (GLT) zur Bedienung, Beobachtung, Parametrierung und umfassendes Alarmmanagement von Steuerungs- und Regelungsgeräten (Controller). Sie stellt einen Webserver zur dynamischen Datenaufbereitung der Informationen für Intranet /Internet und Darstellung über Standardbrowser zur Verfügung.

Die Aufzeichnungen können sowohl Zeit als auch Ereignisabhängig sein. Somit können Grenzwertüberschreitungen schnell identifiziert und dokumentiert werden. Die GLT-Technik ermöglicht die komfortable Darstellung und Auslesung, sowie die Weiterverarbeitung mit Standardprogrammen wie zum Beispiel MS-Excel.

Die Datenerfassung wird in einem Leitrechner vor Ort gespeichert. Die Regelungsfirma kann während der Optimierung über Internet auf diesen zugreifen. Auch eine Aufbereitung der Messergebnisse im Jahresverlauf kann durch die Regelungsfirma durchgeführt werden.

Durch das Regelkonzept werden folgende Daten ständig erhoben, kontrolliert und dokumentiert:

**Allgemein:**

- Außentemperatur
- Lufteintrittstemperatur Erdwärmetauscher = Außentemperatur
- Luftaustrittstemperatur Erdwärmetauscher = Zulufttemperatur Rotationswärmetauscher
- Abluft Lüftungsanlage
- Wärmemengenzähler für übertragene Energie für die Heizkörper, Nachheizregister und Erhitzer des Lüftungsgerätes

**Referenzklassenzimmer:**

- Lufteintrittstemperatur
- Raumtemperatur
- CO<sub>2</sub>-Gehalt

**Foyer:**

Visuelle Illustration der erhobenen Daten mit z.B.  
Darstellung der eingesparten CO<sub>2</sub>-Menge im  
Vergleich zu den vorhandenen Bestandsgebäuden

#### **6.2.4.1 Regelung des Lüftungsgeräts**

Die Lüftungsanlage wird durch die Bedarfsanforderung des Raumes, das Zeitprogramm und die so genannten Vorspülintervalle in Betrieb gesetzt.

Die Ventilatoren sind zur Drehzahlreduzierung mit Frequenzumformern ausgestattet. Es ist eine Sockeldrehzahl definiert. Nach Anforderung über die Raumtemperatur Soll-/Ist-Differenzen sowie über die gemessene Luftqualität im Referenzraum wird die Drehzahl entsprechend bis auf max. Drehzahl erhöht. Steuerungstechnisch folgt der Ablüfter dem Verhalten des Zulüfters. Bei günstigen Außenverhältnissen schaltet die Lüftungsanlage in die freie Nachtkühlung, bei der die kühle Außenluft das aufgeheizte Gebäude abkühlt.

Aus dem eingegebenen Zulufttemperatur-Sollwert und den aus den Raum-Regelzonen übergebenen Raumtemperatur Soll- und Istwerten wird die Zulufttemperatur errechnet. Mit diesem errechneten Zulufttemperatur-Sollwert und dem Istwert wird die Regelabweichung ermittelt. In Abhängigkeit dieser Regelabweichung wird durch den PID-Regelalgorithmus die Ausgangssignale der einzelnen Stellglieder berechnet und an diese ausgegeben. Auf den Erdwärmetauscher kann kein Einfluss genommen werden. Dieser ist immer ins System integriert.

Ein Antiblockierschutz einmal täglich verhindert das Festsetzen der Erhitzerpumpe und des Ventils.

#### **6.2.4.2 Vorregelung Heizgruppe Lüftung - Nacherhitzer**

Es handelt sich um eine witterungsgeführte Vorlauftemperaturregelung. Der Wärmebedarf einer Lüftungsanlage ist umgekehrt von der Höhe der Außentemperatur abhängig. Aus diesem Grund wird bei der witterungsgeführten Regelung die Vorlauftemperatur in Abhängigkeit von der Störgröße, der Außentemperatur, geregelt.

Die Anforderung der Heizgruppe erfolgt durch Öffnung eines Zonenventils der Nacherhitzer in der Mediathek, Bibliothek, der Klassenräume oder des Lehrerbereichs 2. Der Vorlauf-Sollwert resultiert aus Berechnungen und kann nicht verändert werden. Es kann allerdings der Fußpunkt die Heizkennlinie verändert werden. Diese wurde auf Werte eingestellt, bei denen die Lüftungsgeräte erfahrungsgemäß genügend Energie zum Aufheizen der Zuluft erhalten.

Aus dem Vorlaufsollwert und dem Istwert des Vorlaufs wird die Regelabweichung ermittelt. In Abhängigkeit dieser Regelabweichung wird durch den PID-Regelalgorithmus ein Ausgangssignal berechnet und an das Stellglied ausgegeben. Ein einmal täglich wirksamer Antiblockierschutz verhindert das Festsetzen der Pumpe und des Ventils.

### **6.2.4.3 Heizgruppe Lüftung - RLT-Gerät**

Der Betrieb der einzelnen Verbraucherpumpen wird erfasst. Bei Betrieb mindestens einer Pumpe wird die Zubringerpumpe bedarfsabhängig angefordert, um das Heizmedium vom Heizungsverteiler zum Lüftungsgerät bzw. zur Vorregelung der Nacherhitzerzonen zu fördern. Ein Antiblockierschutz einmal täglich verhindert das Festsetzen der Pumpe.

### **6.2.4.4 Regelung Heizkreis - Heizkörper**

Es handelt sich auch hier um eine witterungsgeführte Vorlauftemperaturregelung. Der Wärmebedarf einer Heizungsanlage ist in erster Linie umgekehrt von der Höhe der Außentemperatur abhängig. Analog zu Abschnitt 5.4.2 wird bei der witterungsgeführten Regelung die Vorlauftemperatur in Abhängigkeit von der Störgröße, der Außentemperatur, geregelt. Bei richtig eingestellter Heizkurve (d.h. die Zuordnung der jeweiligen Vorlauftemperatur zur jeweils herrschenden Witterungs- bzw. Außentemperatur) ergibt sich hierbei eine konstante Raumtemperatur. Desweiteren ist eine automatische Sommerabschaltung und Pumpenantiblockierschaltung realisiert.

Es besteht die Möglichkeit den Heizkreis über Zeitschaltuhr zwischen Tag- u. Nachtbetrieb (abgesenkt) umzuschalten.

Grundlage für die Berechnung des Sollwertes bildet die Heizkennlinie, bei der jeder Außentemperatur genau eine bestimmte Vorlauf-Solltemperatur zugeordnet ist.

Die aktuellen Vorlauf-Soll und -Istwerte des Heizkreises werden unter Heizungsregler angezeigt. Der Vorlauf-Sollwert resultiert aus Berechnungen und kann nicht verändert werden. Es kann allerdings der Fußpunkt der Heizkennlinie verändert werden. Hier sollte ein Wert, der ungefähr der gewünschten Raumtemperatur entspricht, eingegeben werden.

Außerhalb der Nutzungszeiträume wird der Vorlaufsollwert der Heizkreise zur Energieeinsparung abgesenkt. Aus dem Vorlaufsollwert und dem Istwert des Vorlaufs wird die Regelabweichung ermittelt. In Abhängigkeit dieser Regelabweichung wird durch den PID-Regelalgorithmus ein Ausgangssignal berechnet und an das Stellglied ausgegeben. Ein Antiblockierschutz, der einmal täglich aktiv wird, verhindert das Festsetzen der Pumpe und des Ventils.

## **6.3 Monitoring**

### **6.3.1 Das Monitoring-Team**

Die Zinzendorfschulen in Königsfeld sind mit dem Ziel angetreten, einen Schulhausneubau zu realisieren, der durch Einsatz hochinnovativer Technik neue Maßstäbe hinsichtlich Energieverbrauch und Raumqualität setzt. Mit der Fertigstellung und Inbetriebnahme des Gebäudes wurde ein erster wichtiger Meilenstein des Vorhabens erreicht. Da sich jedoch der wirkliche Erfolg des Projektes an den Herausforderungen des „rauen Alltags“ misst, wurde für das begleitende Monitoring ein spezielles Leitungsteam gebildet. Seine zentralen Aufgaben liegen in der technischen Kontrolle und Analyse des laufenden Betriebes sowie in der kontinuierlichen Optimierung der Betriebsdaten. Dem Expertenkreis gehören Vertreter der Zinzendorfschulen und der am Projekt beteiligten Firmen an. Das Team trifft sich in regelmäßigen Abständen. Die Bündelung technischer Aspekte sowie der Erfahrungen aus Sicht von Lehrern und Schülern erwies sich hierbei als besonders wichtig.

### **6.3.2 Wesentliche Ergebnisse und Erfahrungen**

Bei der Inbetriebnahme des Schulgebäudes wurde die Lüftungsanlage auf einen Volumenstrom von ca. 4.700 m<sup>3</sup>/h eingestellt. Dadurch sollte ein minimaler Stromverbrauch erzielt werden. Während des Monitorings wurde allerdings festgestellt, dass sich ein hoher CO<sub>2</sub>-Gehalt (bis zu 2.000 ppm) in den Klassenzimmern einstellte. Aufgrund dieser Messwerte wurde der Luftvolumenstrom kontinuierlich erhöht, so dass der gewünschte Grenzwert von ca. 1.500 ppm [AkkP] eingehalten werden konnte.

Es hat sich auch gezeigt, dass sich in den Klassenzimmern, vor allem im Obergeschoss in den Sommermonaten sehr hohe Temperaturen einstellen. Die Spitzenwerte von bis zu 26°C konnten durch die gesteigerte Luftleistung in den Normalbereich abgesenkt werden. Zusätzlich wurde die Vorspülphase der Lüftungsanlage in den frühen Morgenstunden aktiviert, um mit der noch kalten Außenluft die Klassenzimmer vorab zu konditionieren.

Eine weitere Verbesserung der CO<sub>2</sub>-Werte und der Temperaturen konnte durch das Nachrüsten von fehlenden Leitblechen des Rotationswärmetauschers erzielt werden. Die Leitbleche haben die Funktion, eine Fehlzirkulation im Übergangsbereich des Rotationswärmetauschers zwischen Abluft und Zuluft zu verhindern. Durch die fehlenden Leitbleche konnte ein Teil der Abluft direkt in die Zuluftkammer des Lüftungsgerätes strömen. Der CO<sub>2</sub>-Gehalt der Luft war somit schon vor Erreichen der Klassenräume etwas erhöht.

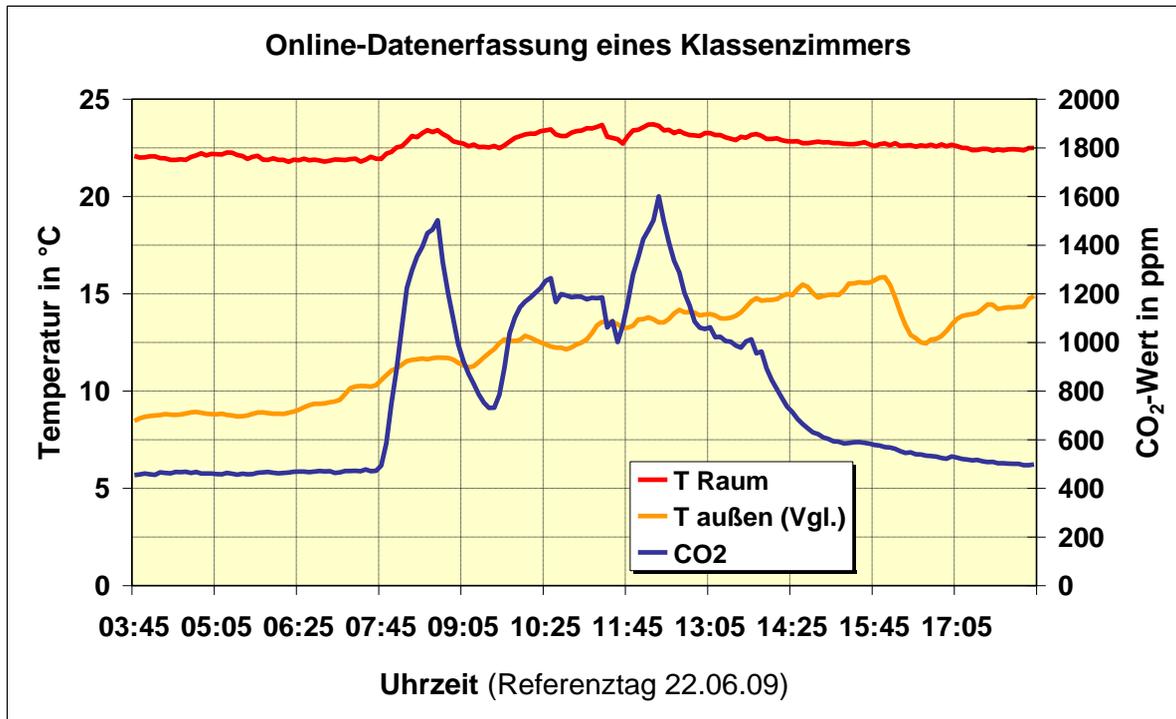


Abbildung 17: Temperatur und CO<sub>2</sub> – Werte eines Referenztags.  
(ohne konsequente zusätzliche Pausenlüftung über Fenster)

Die Abbildung 17 zeigt exemplarisch die Kurvenverläufe von Temperatur und CO<sub>2</sub> in einem Klassenraum sowie der Außentemperatur im Vergleich, wie sie sich im Verlaufe eines repräsentativen Schultages darstellen. Ein wesentlicher Hinweis ist: Dass trotz der mechanischen Zwangsbelüftung auch in den Pausen über die Fenster zusätzlich stoßgelüftet werden sollte. Wichtig dabei ist, dass der CO<sub>2</sub>-Gehalt in den Klassenzimmern während der Pausen verstärkt abgebaut werden muss.

Die derzeitige personelle Nutzung des Lehrerbereichs 2 mit maximal 3 bis 5 Personen (ursprüngliche Planung > 20 Personen) bedingt im Vergleich zu den Klassenzimmern deutlich unterschiedliche klimatische Erfordernisse. Da der architektonisch vorspringende Raum zusätzlich durch mehrere Außenwände begrenzt ist, sind hier im Winter die Raumtemperaturen tendenziell eher zu niedrig. Zur energiesparenden Regelung der Raumtemperatur (Stromverbrauch der Lüftung eingeschlossen) wird daher künftig eine Entkoppelung von den generellen Bedürfnissen der Klassenzimmer angestrebt. Ein lokales Heizmodul soll in den frühen Morgenstunden eine unabhängige Vortemperierung ermöglichen. Trotz des zusätzlichen Stromverbrauchs dieses Heizmoduls, wird insgesamt von einer Energieeinsparung ausgegangen, da die Lüftungsanlage dadurch deutlich später zugeschalten werden kann.

## 6.4 Nachgewiesener Energieverbrauch

Von Januar bis einschließlich Dezember 2009 wurde ein Energieverbrauch von insgesamt 18.981 kWh ermittelt. Der Restwärmebedarf des Gebäudes liegt bei 15 KW. Es wurde eine Anschlussleitung (Heizregister) von 28 KW eingerichtet, die aber auf 15 KW begrenzt wurde. Der Gesamtwärmeenergiebedarf für die Lüftung, ist in den 18.981 kWh Jahresverbrauch enthalten (Wärmemenge für Raumwärme und Lüftung). **Bei einer beheizten Fläche von 1251 m<sup>2</sup> ergibt sich daraus ein Energieeinsatz von 15,17 kWh pro Quadratmeter und Jahr, der bereits im ersten Referenzjahr den projektseitig vorgegebenen Zielwert (15 kWh pro m<sup>2</sup> und Jahr) erreicht.**

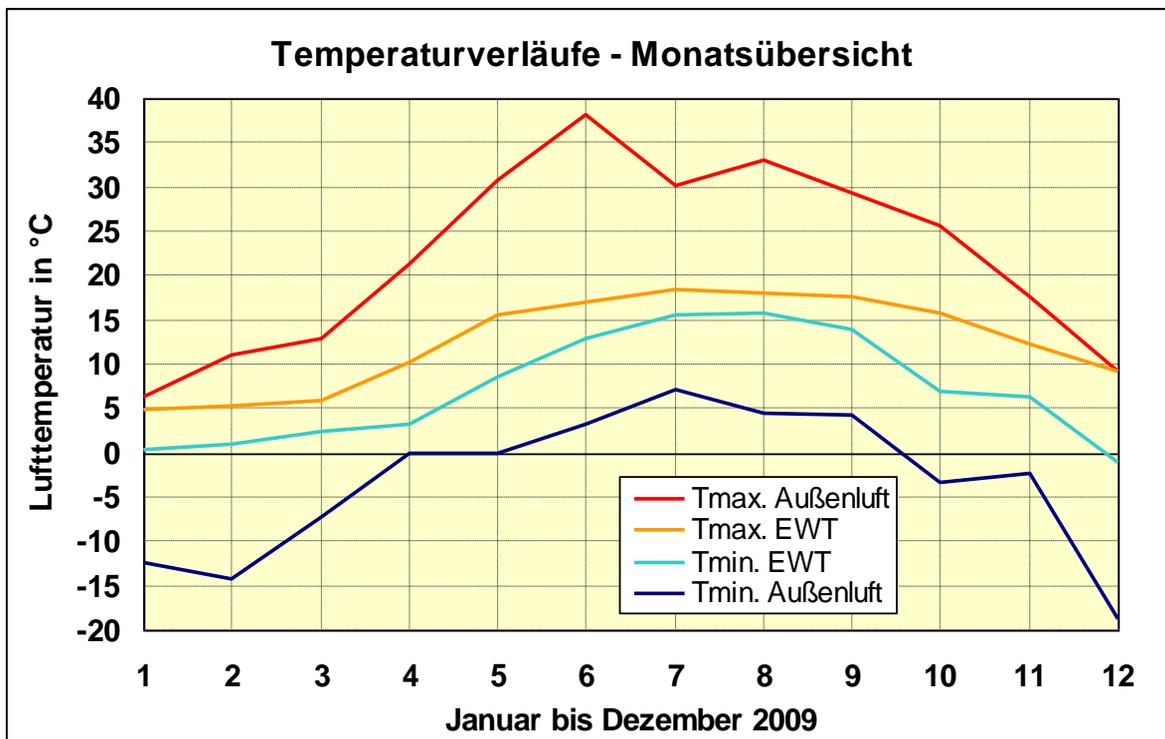


Abbildung 18: Jahresübersicht - thermische Wirkung des EWT.

### 6.4.1 Thermische Funktion des Erdwärmetauschers

Die thermische Funktion des Erdwärmetauschers (EWT) verdeutlicht das Temperaturdiagramm über den Referenzzeitraum des Jahres 2009. Die beiden Kurven Tmin- und Tmax-Außenluft beziehen sich auf die minimale und maximale Temperatur der vom EWT angesaugten Außenluft und stellt diese in einer monatlichen Übersicht dar. Die Kurven Tmin- und Tmax-EWT stellen hierzu die minimalen und maximalen Temperaturverläufe der Luft nach Durchlaufen des 800m langen EWT-Erdkanales dar. Der Vergleich von Sommer- und Wintermonaten belegt die nachhaltige thermische Pufferwirkung des EWT.

So erreichte die angesaugte Außenluft im Dezember 2009 bei einer minimalen Außentemperatur von  $-18,10^{\circ}\text{C}$  nach Durchströmen des Erdwärmetauschers eine Temperatur von minimal  $-1,18^{\circ}\text{C}$  ( $\Delta T = +17,57$  Kelvin). Bei einem Luftvolumenstrom von  $6.000 \text{ m}^3/\text{h}$  entspricht diese Erhöhung einer Heizleistung von ca. 35 kW.

Im Sommer hingegen kann die Kühlwirkung des Erdreichs zur Vorkonditionierung genutzt werden. Bei einer maximalen Außentemperatur von  $38,20^{\circ}\text{C}$  im Juni 2009 (August  $33,08^{\circ}\text{C}$ ) wurde die angesaugte Luft nach Verlassen des Erdwärmetauschers auf  $17,02^{\circ}\text{C}$  (August  $17,97^{\circ}\text{C}$ ) heruntergekühlt. Dies entspricht einer maximalen Kühlleistung von ca. 42 kW.

Anhand der Messergebnisse (siehe auch [Monitoring 1 bis 3] im Anhang) können folgende Rückschlüsse getroffen werden:

Oktober bis März: Heizperiode  
Luft wird über den EWT vorerwärmt → positiver Effekt

April und Mai: Heizperiode / Übergangszeit  
Luft wird über den EWT gekühlt → muss nachgeheizt werden  
→ negativer Effekt  
Mögliche Abhilfe: Sommerbypass über den Ansaugturm/  
-schacht

Juni bis August: Luft wird über den EWT gekühlt → positiver Effekt  
Jedoch: Nacherwärmung über RWT!  
→ Rotationswärmetauscher in den Sommermonaten ausschalten!



## 7 Gegenüberstellung von Investitions- und Betriebskosten

---

Ohne Kostenansatz für eine Be- und Entlüftungsanlage, da eine ausreichende Be- und Entlüftung aller Schulräume (dauerhafter max. CO<sub>2</sub>-Wert ≤ 1500 ppm) Heute eine Grundbedingung, zumindest bei Neubauten sein sollte.

### 7.1 Zusätzliche Investitionskosten

Die zusätzlichen Investitionskosten für die geplante Passivhausbauweise stellen sich in unserem Fall etwa wie folgt dar:

#### ➤ Bodenplatte

Bei einem normalen Gebäude nach ENEC hätten hier 12 cm Styrodur unter der Bodenplatte voll ausgereicht. Durch den bei uns vorhandenen, schlechten Baugrund mussten noch zusätzlich 50 cm Baugrund ausgehoben werden.

Zusatzaufwand:

50 cm Glasschaumschotter statt 50 cm Mineralschotter

= 554 m<sup>2</sup> x 50,00 €/m<sup>2</sup>

= € 27.700,00

#### ➤ Außenwände

Nach ENEC hätten hier ca. 12 cm Außendämmung mit WLZ 035 ausgereicht.

Durch die gewählte Passivhausbauweise wurden beim Längsgebäude ein Wärmedämmverbundsystem mit 240 mm Dämmung, WLZ 035 angebracht.

Beim Kopfbau wurden außen 280 mm Mineralwolle, WLZ 035 angebracht.

Im UG- zum Erdreich hätten 100 mm Perimeterdämmung mit WLZ 040 ausgereicht.

Durch die gewählte Passivhausbauweise wurde jedoch eine 240 mm starke Perimeterdämmung mit WLZ 040 angebracht

Zusatzaufwand:

Beim Längsbau -

120 mm stärkere Außenwanddämmung beim Wärmedämmverbundsystem

= 417 m<sup>2</sup> x 12,50 €/m<sup>2</sup>

= € 5.212,50

Beim Kopfbau –

160 mm stärkere Außenwanddämmung bei der Fassadenplattenverkleidung

= 244 m<sup>2</sup> x 45,00 €/m<sup>2</sup>

= € 10.980,00

zum Erdreich –

140 mm stärkere Perimeter- Außenwanddämmung beim Wärmedämmverbundsystem

= 130 m<sup>2</sup> x 17,00€/m<sup>2</sup>

= € 2.210,00

Außenwände gesamt = € 18.402,50

➤ **Dach**

Hier hätten nach ENEV ca. 200mm Dämmung mit WLZ 040 ausgereicht.

Durch die gewählte Passivhausbauweise wurden jedoch 260 mm Dämmung mit WLZ 030 eingebaut.

Zusatzaufwand:

60 mm stärkere Dämmung mit WLZ 030

= 435 m<sup>2</sup> x 23,50 €/m<sup>2</sup> = € 10.222,50

➤ **Fenster**

Hier hätten nach ENEV  $U_w = 1,30$  ausgereicht.

Durch die gewählte Passivhausbauweise wurden jedoch

3-fachverglaste Fenster mit  $U_w 0,81$  eingebaut.

Zusatzaufwand:

368 m<sup>2</sup> Fensterfläche (vorrangig Pfosten-Riegel-Konstruktion)

= 368 m<sup>2</sup> x 80,00 €/m<sup>2</sup> = € 29.440,00

➤ **Mehraufwand für Attika und Wandvorlagen**

Der Zusatzaufwand für die Passivhaustaugliche Ausbildung von Attika und Wandvorlagen lässt sich lt. internem Kostenvergleich etwa wie folgt beziffern:

130 lfdm Attika x 35,- €/ lfdm = € 4.550,00

166 lfdm Wandvorlagen x 20,- €/ lfdm = € 3.320,00 = € 7.870,00

➤ **Lüftungsanlage**

Der Kostenaufwand mit Mess-, Regel-, Schalt- und Steuervorrichtung sowie Regelungserweiterung, Gebäudeleitsystem und EIB Einbindung

= € 121.660,00

➤ **Erdwärmetauscher**

Der Kostenaufwand für Erdwärmetauscher, Lufteintritts- und Luftumlenkraum mit erforderlicher baulicher Vergrößerung. Verlegung von antimikrobiellen Rohren DN 200, Verfüllung mit Brechsand, ohne Kosten für Wiederherstellung der vorh. Pflasterflächen im Innenhofbereich

= € 83.325,00

## Zusammenstellung der zusätzlichen Investitionskosten für die Passivhausbauweise

➤ Bodenplatte	= € 27.700,00
➤ Außenwände	= € 18.402,50
➤ Dach	= € 10.222,50
➤ Fenster	= € 29.440,00
➤ Attika und Wandvorlagen	= € 7.870,00
➤ Lüftungsanlage	= € 121.660,00
➤ Erdwärmetauscher	= € 83.325,00
	Gesamt = € 298.620,00
	+ 15% NK = € 44.793,00
<b>Gesamte Zusatzkosten</b>	<b>= € 343.413,00</b>

---

Das bedeutet in unserem Fall, dass die Kosten für die reine Passivhausbauweise **mit** Lüftung und Erdwärmetauscher ca. 12,5% und bei einer reinen Passivhausbauweise **ohne** Erdwärmetauscher ca. 9% höher waren, als für eine Bauweise nach ENEC.

## 7.2 Betriebskostenvergleich + Amortisation

Zwischen Bauweise nach ENEV und der gewählten Passivhausbauweise (ohne Berücksichtigung der für uns in beiden Fällen zum Standard gehörenden Be- und Entlüftungsanlage).

Da sich für die Gebäudeinstandhaltungskosten bei beiden Bauweisen keine wesentlichen Unterschiede darstellen lassen, beschränkt sich der Betriebskostenvergleich in erster Linie auf den energetischen Bereich.

### Energieverbrauch:

Jahresverbrauch bei Planung nach damaliger ENEV:

$$1251 \text{ m}^2 \times 110 \text{ KWh/m}^2 = 137.610 \text{ KWh}$$

Jahresverbrauch durch gewählte Passivhausbauweise:

$$1251 \text{ m}^2 \times 15 \text{ KWh/m}^2 = 18.765 \text{ KWh}$$

$$\text{eingesparte Jahres-Energiemenge} = 118.845 \text{ KWh}$$

dadurch ergibt sich, bei einem derzeitigen Gaspreis von ca. 6 Cent/KWh, eine jährliche Energiekosteneinsparung von:  $118.845 \text{ KWh} \times 6 \text{ Cent} = 7.130,70 \text{ €}$

D.h., lässt man im Moment den Zinsaufwand für die Zusatzkosten und zu erwartenden Energiekostensteigerungen unberücksichtigt, würden sich durch die jährlichen Energiekosteneinsparung, die Zusatzkosten für die Passivhausbauweise in **15,1 Jahren** (Energiekosten Stand bei Bauende) amortisieren.

### Betriebskosten wie gebaut im ersten Betriebsjahr

$$18.765 \text{ KWh} \times 0,06 \text{ €/KWh} = 1.125,90 \text{ €}$$

Zum Vergleich:

### Betriebskosten - falls nach ENEV erstellt - im ersten Betriebsjahr

$$137.610 \text{ KWh} \times 0,06 \text{ €/KWh} = 8.256,60 \text{ €}$$

**ergibt eine Einsparung im 1. Betriebsjahr von 7.130,70 €**

Setzt man für die Energiekosten eine angenommene Energiepreissteigerung von durchschnittlich 5%/Jahr an, würden sich die unverzinsten Zusatzkosten für die Passivhaustechnologie ohne Erdwärmetauscher in ca. 20,5 Jahren und mit Erdwärmetauscher in etwa 25 Jahren amortisieren. (Lt. Bundesverband der Energie und Wasserwirtschaft e.V. sind seit Januar 2004 – Mai 2011, die Gaspreise um 125% gestiegen.)

Setzt man für die Zusatzkosten jedoch eine Verzinsung von z.B. 4% an, würden sich die Zusatzkosten nicht wirtschaftlich darstellen lassen, da allein die Mehrkosten für die Verzinsung der Zusatzkosten leicht höher liegt als die Kosten der Energiekosteneinsparung.

Zur Info:

Energiekosteneinsparung nach 25 Jahren	=	340.328,00 €
Energiekosteneinsparung nach 50 Jahren	=	1.492.798,00 €
Energiekosteneinsparung nach 80 Jahren	=	6.925.541,00 €

## 8 Fazit

---

Die Planung war, Passivhaustechnologie mit der gewollten Be- und Entlüftung der Klassenzimmer über einen großen Erdwärmetauscher zu kombinieren und die vorhandenen energetischen Vorteile bezüglich Luftvorwärmung bzw. Vorkühlung zu nutzen.

Nach unserer Erfahrung, sind großvolumige Erdspeicher als Grundlage für eine großzügige, energieoptimierte Heizungs- und Lüftungsanlage, eine wirkliche Alternative. Durch sie lassen sich die hohen Frischluftmengen, z. B. bei Schulgebäuden, ohne erhebliche Fremdenergie in beachtlichem Maße vorwärmen bzw. vorkühlen.

Grundlage sollte jedoch bei jedem Gebäudeneubau und bei jeder Sanierung die Passivhausbauweise mit ihren Vorgaben sein. Die frühzeitige Einbindung aller an der Planung Beteiligten sowie der späteren Nutzer ist unbedingt empfehlenswert.

Die ersten 2 Betriebsjahre sollten aus unserer Sicht unbedingt durch ein Monitoring begleitet werden. Wesentliche Optimierungsmaßnahmen konnten durch das regelmäßige Zusammenkommen von Projektbeteiligten im Rahmen der Monitoring-Gruppe umgesetzt werden.

Ein Verbesserungsvorschlag zur weiteren Optimierung der benötigten Luftmengen ist der Einsatz von Einzelraumregelungen für jeden Klassenraum. Grund hierfür ist, dass der CO<sub>2</sub>-Wert und der sich dadurch ergebende Lüftungsbedarf stark von der Personenbelegung abhängig sind.

Ein großer dauerhafter Vorteil des eingesetzten Erdwärmetauschersystems sind die zukünftig minimalen technischen Folgekosten bei Heizung und Lüftung.

Unsere Wünsche und Gedanken konnten beim Bau des Gebäudes durch das kooperative miteinander zwischen Planer, beteiligten Fachingenieuren sowie Schul- bzw. Verwaltungsleitung und motivierten Handwerkern, optimal umgesetzt werden. Die gesteckten Ziele wurden erreicht und über die durchgängigen Aufzeichnungen belegt.

## 9 Literaturverzeichnis

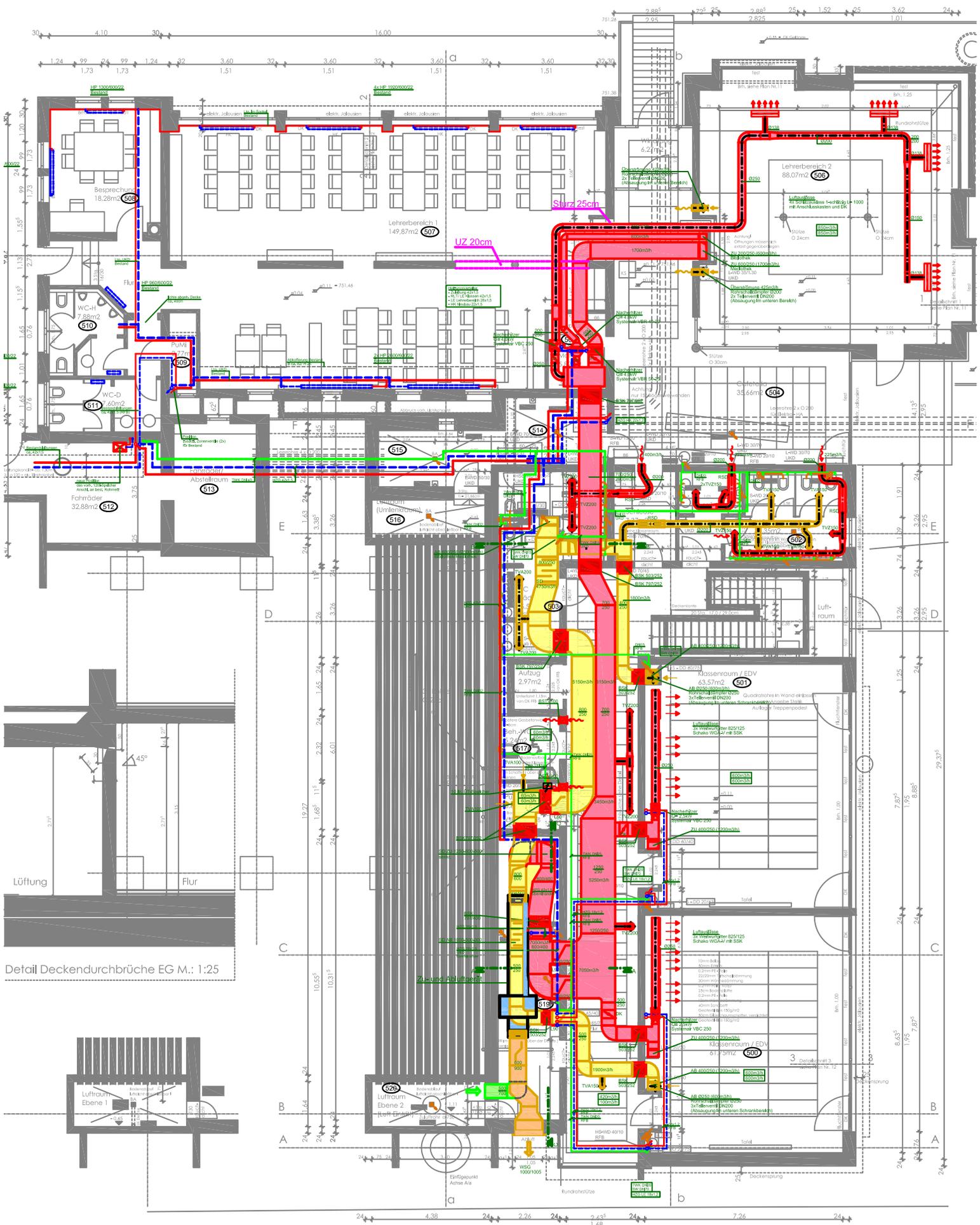
---

- [AkkP] Passivhaus Schulen  
Protokollband des Arbeitskreises kostengünstige  
Passivhäuser Phase III; Passivhaus Institut;  
1. Auflage, Darmstadt 2006

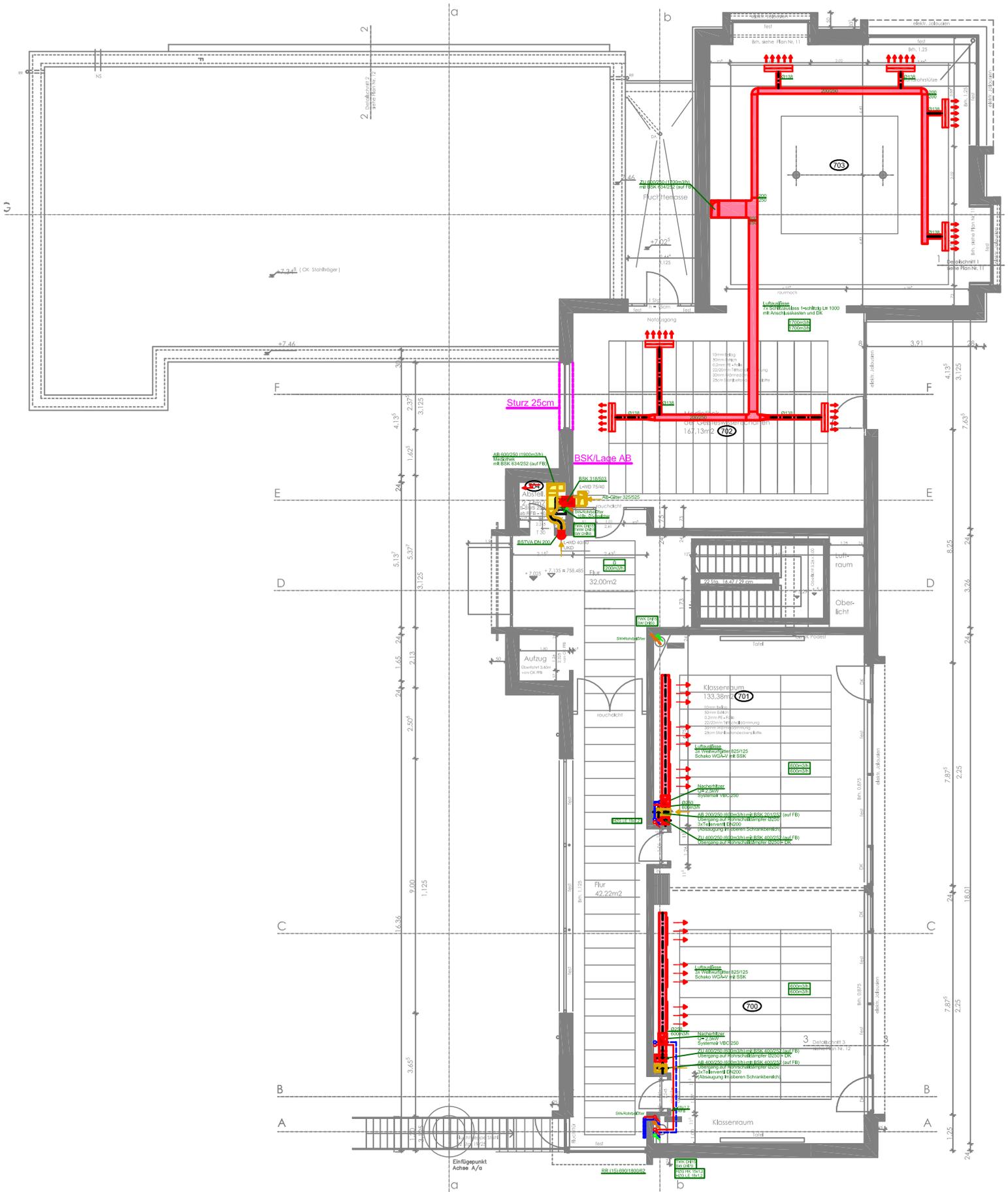
## 10 Anhang

---

- [Technik 1] Grundriss Erdgeschoss  
[Technik 2] Grundriss 1. Obergeschoss  
[Technik 3] Grundriss 2. Obergeschoss  
[Technik 4] Schema Lüftung Zentrale  
[Technik 5] Schema Nachheizung Lüftung
- [Monitoring 1] Zustandsdarstellung Februar 2009  
[Monitoring 2] Zustandsdarstellung Juni 2009  
[Monitoring 3] Zustandsdarstellung Dezember 2009







TECHNIK 3 2.OBERGESCHOSS

ZULUFT

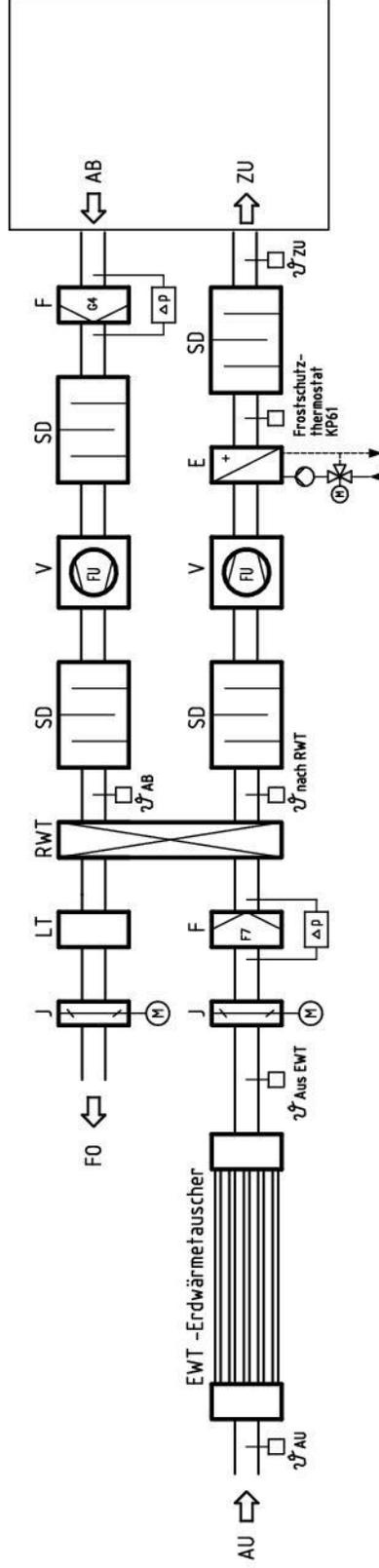
- J -Jalousieklappe
- F -Filter
- RWT -Rotationswärmetauscher
- SD -Schalldämpfer
- V -Ventilator
- E -Erhitzer
- SD -Schalldämpfer

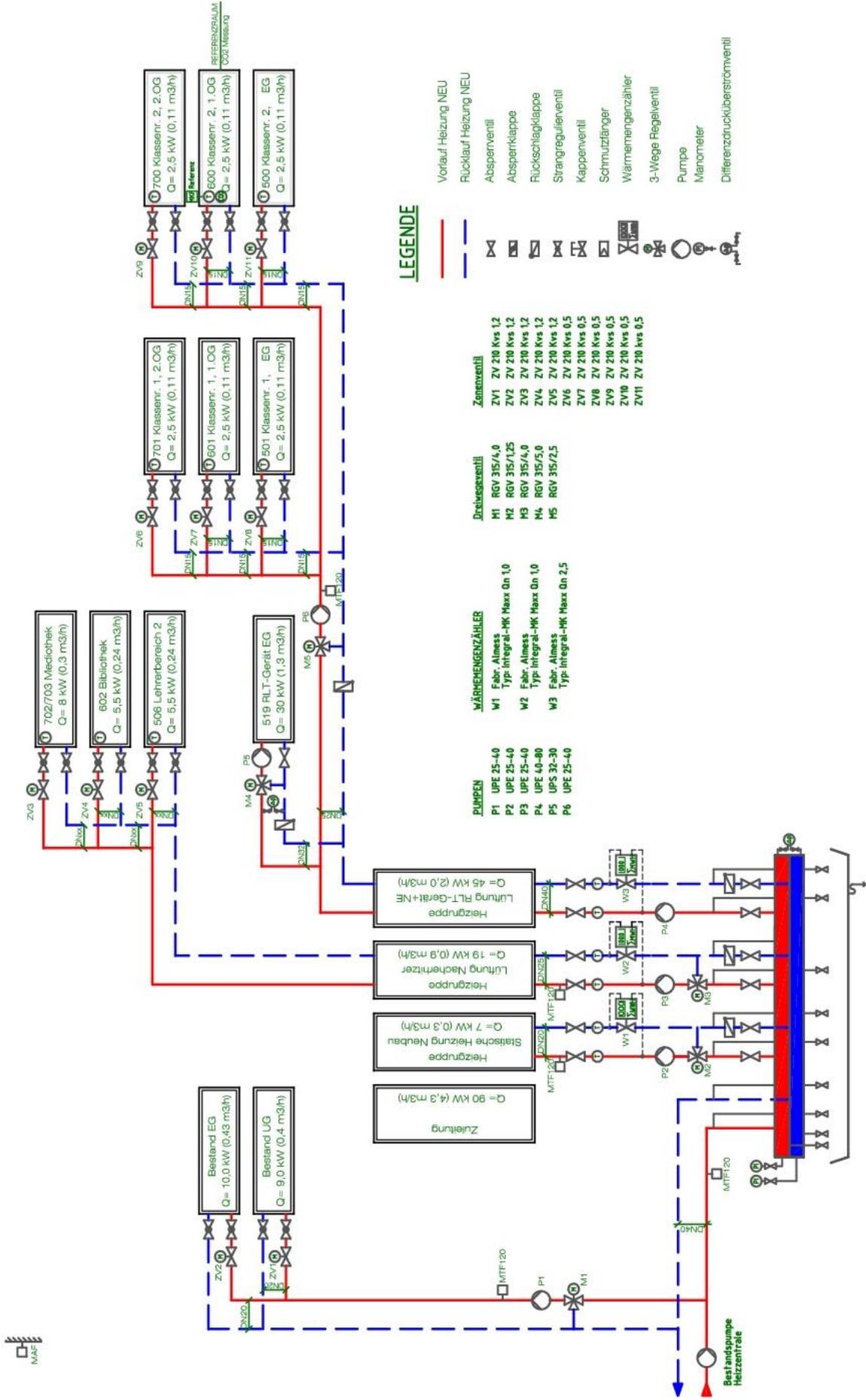
ABLUF

- J -Jalousieklappe
- LT -Leerteil
- RWT -Rotationswärmetauscher
- SD -Schalldämpfer
- V -Ventilator
- SD -Schalldämpfer
- F -Filter

MESSGRÖSSEN

- U<sup>+</sup>AU -Aussentemperatur
- U<sup>+</sup>EN EWT -Eintrittstemperatur EWT
- U<sup>+</sup>AUS EWT -Austrittstemperatur EWT
- U<sup>+</sup>ZU -Zulufttemperatur
- U<sup>+</sup>RT -Raumlufttemperatur
- U<sup>+</sup>nach RWT -Temperatur nach RWT
- U<sup>+</sup>AB -Ablufttemperatur





### LEGENDE

- Vorlauf Heizung NEU
- - - Rücklauf Heizung NEU
- ⊗ Absperrventill
- ⊗ Absperrklappe
- ⊗ Rückschlagklappe
- ⊗ Strangreguliventill
- ⊗ Kappenventill
- ⊗ Schmutzfänger
- ⊗ Wärmemengenzähler
- ⊗ 3-Wege Regelventill
- ⊗ Pumpe
- ⊗ Manometer
- ⊗ Differenzdrucküberströmventill

- Zonenventill**
- ZV1 ZV 210 Kvs 12
  - ZV2 ZV 210 Kvs 12
  - ZV3 ZV 210 Kvs 12
  - ZV4 ZV 210 Kvs 12
  - ZV5 ZV 210 Kvs 12
  - ZV6 ZV 210 Kvs 0,5
  - ZV7 ZV 210 Kvs 0,5
  - ZV8 ZV 210 Kvs 0,5
  - ZV9 ZV 210 Kvs 0,5
  - ZV10 ZV 210 Kvs 0,5
  - ZV11 ZV 210 Kvs 0,5

- Drehregulventill**
- M1 RGV 315/4,0
  - M2 RGV 315/1,25
  - M3 RGV 315/4,0
  - M4 RGV 315/5,0
  - M5 RGV 315/2,5

- WÄRHEMENGEZÄHLER**
- W1 Fabr. Almes
  - Typ: Integral-HK Maxx On 1,0
  - W2 Fabr. Almes
  - Typ: Integral-HK Maxx On 1,0
  - W3 Fabr. Almes
  - Typ: Integral-HK Maxx On 2,5

- PUMPEN**
- P1 UPE 25-40
  - P2 UPE 25-40
  - P3 UPE 25-40
  - P4 UPE 40-80
  - P5 UPE 32-30
  - P6 UPE 25-40

Verbrauch: 3393 kWh/mth.  
 Februar 09: 3393 kWh/mth.  
 Gesamt Stand Ende  
 Februar 09: 18407 kWh

ZULUFT

- J -Jalousieklappe
- F -Filter
- RWT -Rotationswärmetauscher
- SD -Schalldämpfer
- V -Ventilator
- E -Erhitzer
- SD -Schalldämpfer

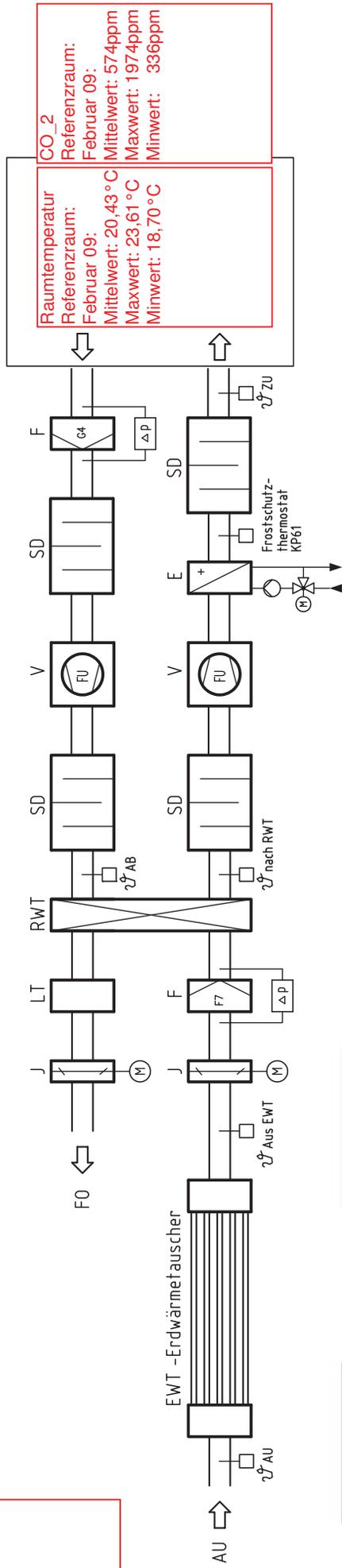
ABLUF

- J -Jalousieklappe
- LT -Leerteil
- RWT -Rotationswärmetauscher
- SD -Schalldämpfer
- V -Ventilator
- SD -Schalldämpfer
- F -Filter

MESSGRÖSSEN

- ϑ<sub>AU</sub> -Aussentemperatur
- ϑ<sub>EIN EWT</sub> -Eintrittstemperatur EWT
- ϑ<sub>AUS EWT</sub> -Austrittstemperatur EWT
- ϑ<sub>ZU</sub> -Zulufttemperatur
- ϑ<sub>RT</sub> -Raumlufttemperatur
- ϑ<sub>nach RWT</sub> -Temperatur nach RWT
- ϑ<sub>AB</sub> -Ablufttemperatur

Außentemperatur  
 Februar 09: 0,24 °C  
 Mittelwert: 10,99 °C  
 Maxwert: -14,29 °C  
 Minwert: -14,29 °C



Raumtemperatur  
 Referenzraum:  
 Februar 09: 20,43 °C  
 Mittelwert: 23,61 °C  
 Maxwert: 1974ppm  
 Minwert: 18,70 °C

CO\_2  
 Referenzraum:  
 Februar 09: 574ppm  
 Mittelwert: 1974ppm  
 Maxwert: 336ppm  
 Minwert: 336ppm

Temperaturen vor dem EWT  
 Februar 09: 1,56 °C  
 Mittelwert: 8,72 °C  
 Maxwert: -12,13 °C  
 Minwert: -12,13 °C

Temperaturen nach dem EWT  
 Februar 09: 3,58 °C  
 Mittelwert: 5,29 °C  
 Maxwert: 0,97 °C  
 Minwert: 0,97 °C

Temperaturen nach RWT  
 Februar 09: 14,76 °C  
 Mittelwert: 18,55 °C  
 Maxwert: 10,58 °C  
 Minwert: 10,58 °C

Auswertung  
 Feb. 2009

DATUM:	ÄNDERUNG:		
OBJEKT:	NEUBAU EINES SCHULGEBÄUDES "HAUS KATHARINA VON GERSDORF" MÖNCHWEILERSTRASSE, 78128 KÖNIGSFELD		
PLAN:	SCHEMA LÜFTUNG ZENTRALE		
OBJEKT-NR.:	PLAN-NR.:	DATUM:	PLAN-GR.:
676-07	5	15.11.2007 ps	
MASSTAB:	1 : 50		

Planungsbüro Westhauser  
 Heizung - Lüftung - Sanitär  
 Energieberatung - Planung - Bauleitung

Eiss-Branstimm-Weg 9 Telefon: 07461/8882  
 78632 Tullingen Telefax: 07461/8825

Verbrauch: Juni 09: 136 kWh/mth.  
 Gesamt Stand Ende Juni 09: 21.791 kWh  
 Beheizte Fläche: 1.251 m<sup>2</sup>  
 Spez. Verbrauch: 17,42 kWh/m<sup>2</sup>

MESSGRÖSSEN

- ∅<sub>AU</sub> - Aussentemperatur
- ∅<sub>EIN EWT</sub> - Eintrittstemperatur EWT
- ∅<sub>AUS EWT</sub> - Austrittstemperatur EWT
- ∅<sub>ZU</sub> - Zulufttemperatur
- ∅<sub>RT</sub> - Raumlufttemperatur
- ∅<sub>nach RWT</sub> - Temperatur nach RWT
- ∅<sub>AB</sub> - Ablufttemperatur

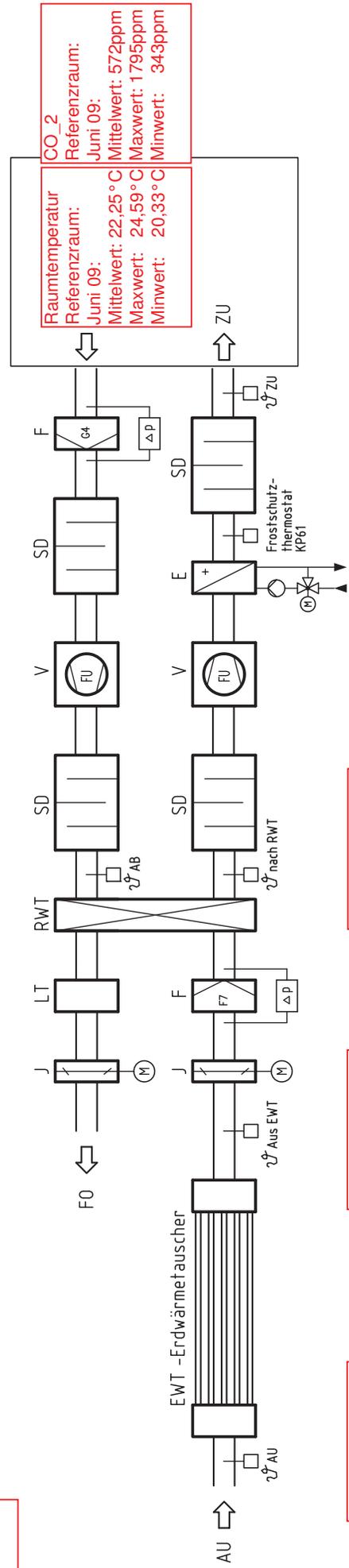
ABLUF

- J - Jalousieklappe
- LT - Leerteil
- RWT - Rotationswärmetauscher
- SD - Schalldämpfer
- V - Ventilator
- SD - Schalldämpfer
- F - Filter

ZULUF

- J - Jalousieklappe
- F - Filter
- RWT - Rotationswärmetauscher
- SD - Schalldämpfer
- V - Ventilator
- E - Erhitzer
- SD - Schalldämpfer

**Außentemperatur**  
 Juni 09: Mittelwert: 15,97°C  
 Maxwert: 38,20°C  
 Minwert: 3,14°C



**Raumtemperatur**  
 Referenzraum: Juni 09: Mittelwert: 22,25°C  
 Maxwert: 24,59°C  
 Minwert: 20,33°C

**CO<sub>2</sub>**  
 Referenzraum: Juni 09: Mittelwert: 572ppm  
 Maxwert: 1795ppm  
 Minwert: 343ppm

**Temperaturen vor dem EWT**  
 Juni 09: Mittelwert: 16,20°C  
 Maxwert: 27,07°C  
 Minwert: 5,70°C

**Temperaturen nach dem EWT**  
 Juni 09: Mittelwert: 14,62°C  
 Maxwert: 17,02°C  
 Minwert: 12,91°C

**Temperaturen nach RWT**  
 Juni 09: Mittelwert: 17,83°C  
 Maxwert: 21,52°C  
 Minwert: 15,25°C

**Auswertung Juni 2009**

DATUM:	ÄNDERUNG:	 Planungsbüro Westhauser Heizung - Lüftung - Sanitär Energieberatung - Planung - Bauleitung	
OBJEKT:	NEUBAU EINES SCHULGEBÄUDES "HAUS KATHARINA VON GERSDORF" MÖNCHWEILERSTRASSE, 78128 KÖNIGSFELD		
PLAN:	SCHEMA LÜFTUNG ZENTRALE		
OBJEKT-NR.:	PLAN-NR.:	DATUM:	PLAN-GR.:
676-07	5	15.11.2007 ps	PLAN-GR.:
	MASSTAB:	1 : 50	

Verbrauch:  
 Dezember 09: 3.736 kWh/mth.  
 Gesamt Stand Ende  
 Dezember 09: 27.936 kWh  
 Gesamt Stand Anfang  
 Januar 09: 8.955 kWh  
 Gesamt Verbrauch 2009:  
 18.981 kWh/a  
 Beheizte Fläche: 1.251 m<sup>2</sup>  
 Spez. Verbrauch: 15,17 kWh/m<sup>2</sup>

MESSGRÖSSEN

- ϕ<sub>AU</sub> - Aussentemperatur
- ϕ<sub>EIN</sub> EWT - Eintrittstemperatur EWT
- ϕ<sub>AUS</sub> EWT - Austrittstemperatur EWT
- ϕ<sub>ZU</sub> - Zulufttemperatur
- ϕ<sub>RT</sub> - Raumlufttemperatur
- ϕ<sub>nach</sub> RWT - Temperatur nach RWT
- ϕ<sub>AB</sub> - Ablufttemperatur

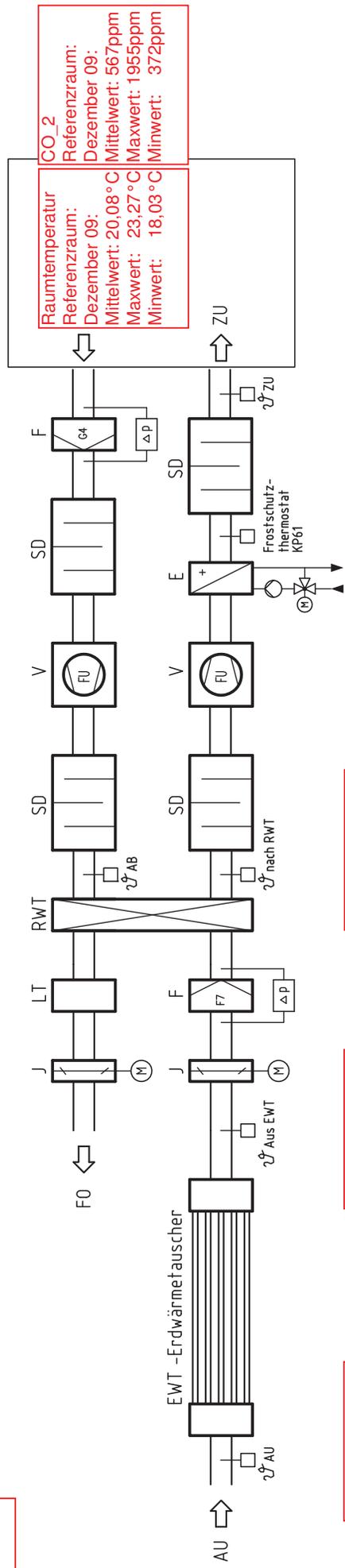
ABLUF

- J - Jalousieklappe
- LT - Leerteil
- RWT - Rotationswärmetauscher
- SD - Schalldämpfer
- V - Ventilator
- SD - Schalldämpfer
- F - Filter

ZULUF

- J - Jalousieklappe
- F - Filter
- RWT - Rotationswärmetauscher
- SD - Schalldämpfer
- V - Ventilator
- E - Erhitzer
- SD - Schalldämpfer

Außentemperatur  
 Dezember 09: 0,08 °C  
 Mittelwert: 9,12 °C  
 Maxwert: -18,75 °C  
 Minwert: -18,75 °C



Raumtemperatur  
 Referenzraum:  
 Dezember 09: 20,08 °C  
 Mittelwert: 20,08 °C  
 Maxwert: 23,27 °C  
 Minwert: 18,03 °C

CO 2  
 Referenzraum:  
 Dezember 09:  
 Mittelwert: 567ppm  
 Maxwert: 1955ppm  
 Minwert: 372ppm

Temperaturen vor dem EWT  
 Dezember 09: 1,77 °C  
 Mittelwert: 9,17 °C  
 Maxwert: -18,10 °C  
 Minwert: -18,10 °C

Temperaturen nach dem EWT  
 Dezember 09: 4,37 °C  
 Mittelwert: 9,16 °C  
 Maxwert: -1,18 °C  
 Minwert: -1,18 °C

Temperaturen nach RWT  
 Dezember 09: 16,38 °C  
 Mittelwert: 20,17 °C  
 Maxwert: 20,17 °C  
 Minwert: 10,15 °C

Auswertung  
 Dezember 2009

DATUM:	ÄNDERUNG:	Planungsbüro Westhausen
OBJEKT:	NEUBAU EINES SCHULGEBÄUDES "HAUS KATHARINA VON GERSDORF"	Heizung - Lüftung - Sanitär
PLAN:	SCHEMA LÜFTUNG ZENTRALE	Energieberatung - Planung - Bauleitung
OBJEKT-NR.:	676-07	Eisen-Brandström-Weg 9 Telefon: 07461 18082 72632 Tübingen Fax: 07461 18025
PLAN-NR.:	5	MASSTAB:
DATUM:	15.11.2007 ps	PLAN-GR.:
		1 : 50