

# Friedrich-Fröbel-Schule Olbersdorf

## 1 Projektübersicht



Bild 1:  
Nordwest-Ansicht des sanierten  
Gebäudes

Projektadresse	Schulweg 13, 02785 Olbersdorf
Bauherr	Landkreis Löbau/Zittau, Landratsamt
Architekt	AIZ Zittau Architektur- und Ingenieurbüro für Hoch- und Tiefbau Zittau GmbH
Anlagenplanung	Ingenieurbüro Amthor, Ingenieurbüro IckrathLandMessner
Koordination	Hochschule Zittau
Wissenschaftliche Objektbegleitung	Hochschule Zittau
Monitoring	Hochschule Zittau



Bild 2:  
Standort

Das Hauptgebäude des Olbersdorfer Schulkomplexes entstand zusammen mit einer Turnhalle 1927/28. Das Gebäude ist ein Kulturdenkmal im Sinne des sächsischen Denkmalschutzes und ist als ein bedeutendes regionales Beispiel für den sächsischen Schulbau der Weimarer Republik eingestuft.

Die Schule umfasst 22 Klassenräume für ca. 180 Schüler (siehe Tabelle 2).

Tabelle 2:  
Kenndaten

Bezeichnung	Kenndaten
Baujahr	1927 / 1928
Sanierungszeitraum	2009 – 2011
Anzahl der Schüler	180
Anzahl der Klassenzimmer	22

Zielstellung der energetischen Sanierung der Olbersdorfer Schule ist die deutliche Verringerung des Energieverbrauchs auf den sogenannten 3-Liter-Haus-Standard, d. h. die Senkung des jährlichen Primärenergiebedarfs für Beheizung und Belüftung (einschließlich Hilfsenergiebedarf) auf maximal 34 kWh/m<sup>2</sup>a.

Damit soll die Sanierung zum Musterbeispiel für zukünftige Modernisierungsvorhaben im Landkreis werden, der jedes Jahr ca. 3,2 Mio € in den Betrieb und die Erhaltung seiner Schulen investiert. In Tabelle 3 sind die Kennwerte des Gebäudes zusammengestellt.

Tabelle 3:  
Gebäudekennwerte

Bezeichnung	Einheit	Schul- gebäude
Beheizte Nettogrundfläche NGF	m <sup>2</sup>	4.439
Beheiztes Bruttovolumen V <sub>e</sub>	m <sup>3</sup>	17.880
Wärmeübertragende Hüllfläche A	m <sup>2</sup>	4.465
Hüllflächenfaktor A/V <sub>e</sub>	m <sup>-1</sup>	0,25
Spezifischer Transmissionswärmeverlust H' <sub>T</sub>	W/m <sup>2</sup> K	0,42

## 2 Gebäude vor der Sanierung

### 2.1 Architektur



Bild 3:  
Nordwest-Ansicht des unsanierten Gebäudes

Das Hauptgebäude ist ein viergeschossiger Mauerwerksbau mit Satteldach und steht am Hang. Über einen Verbindungsgang im Süden erreicht man die Turnhalle sowie einen Anbau mit Fachräumen. Der Lageplan (Bild 4) verdeutlicht die räumliche Beziehung der Einzelgebäude.

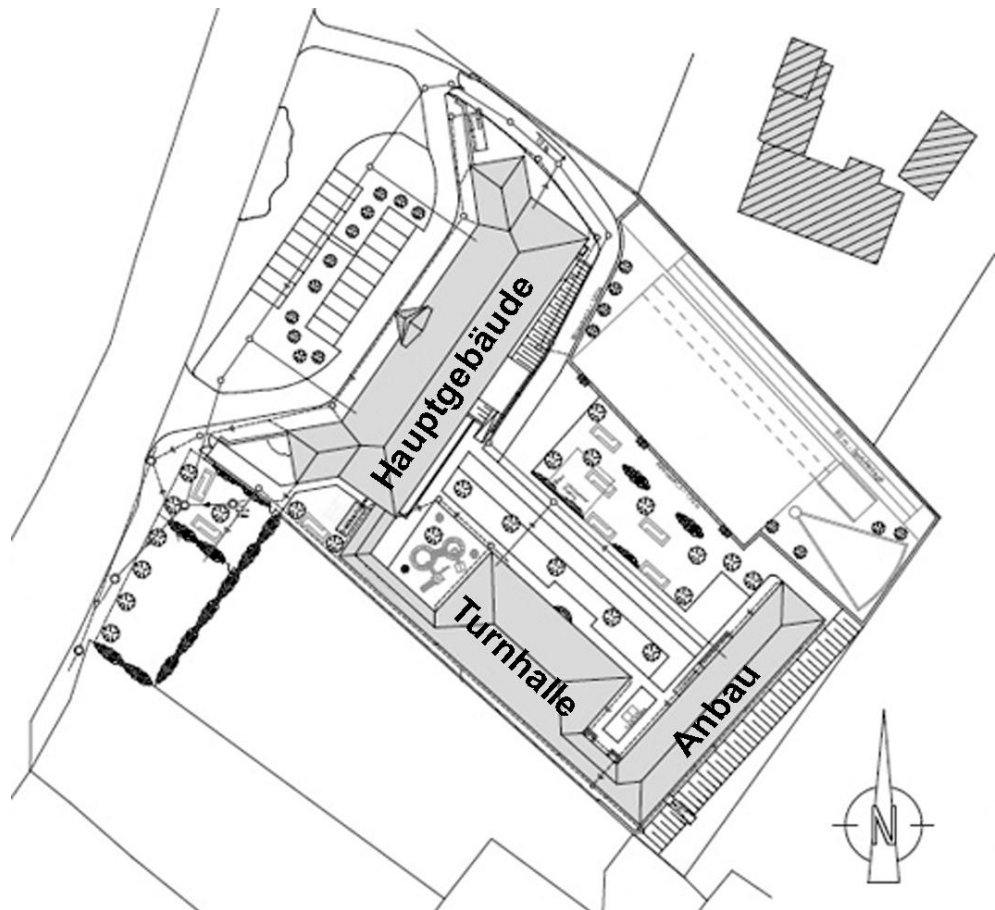


Bild 4:  
Lageplan des Schulkomplexes Olbersdorf

Der Hauptzugang zum Hauptgebäude von der Straße (West) erfolgt durch die Arkaden im zweiten Untergeschoss. Der rückwärtige Zugang führt über den Schulhof ebenerdig in das Erdgeschoss. Diese Situation wird in Bild 5 dargestellt.

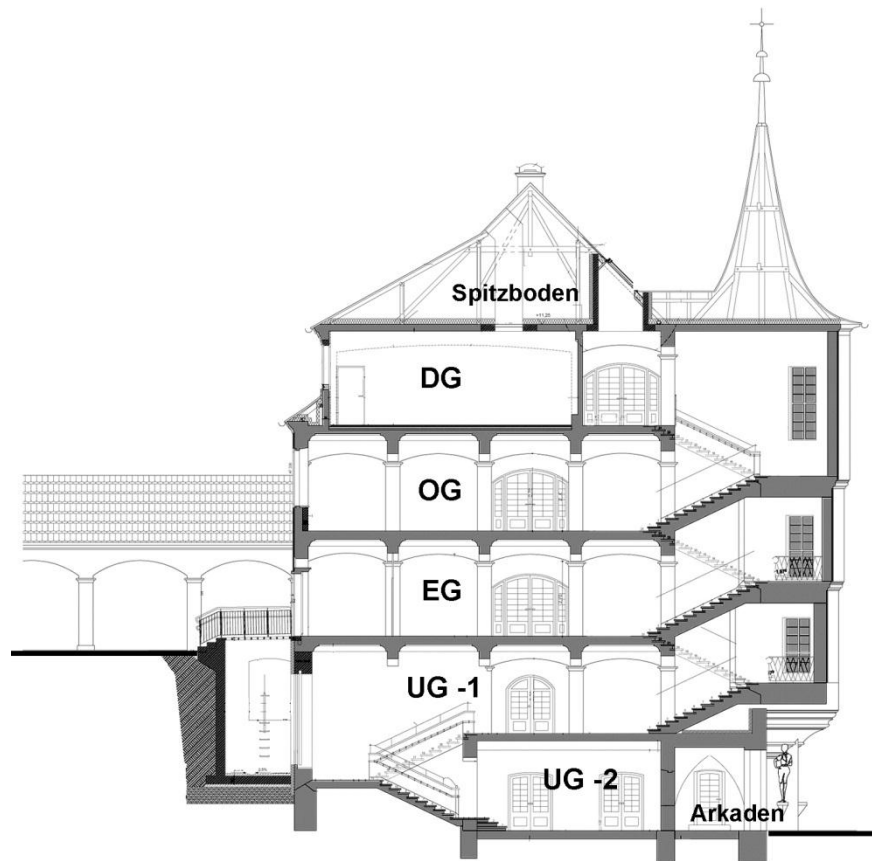


Bild 5:  
Schnitt

Der Baukörper ist dem Gebäudetyp Mittelflur-Schule zuzuordnen. In Bild 6 ist das zweite Untergeschoss dargestellt. Bild 7 zeigt die räumliche Aufteilung im ersten Untergeschoss.

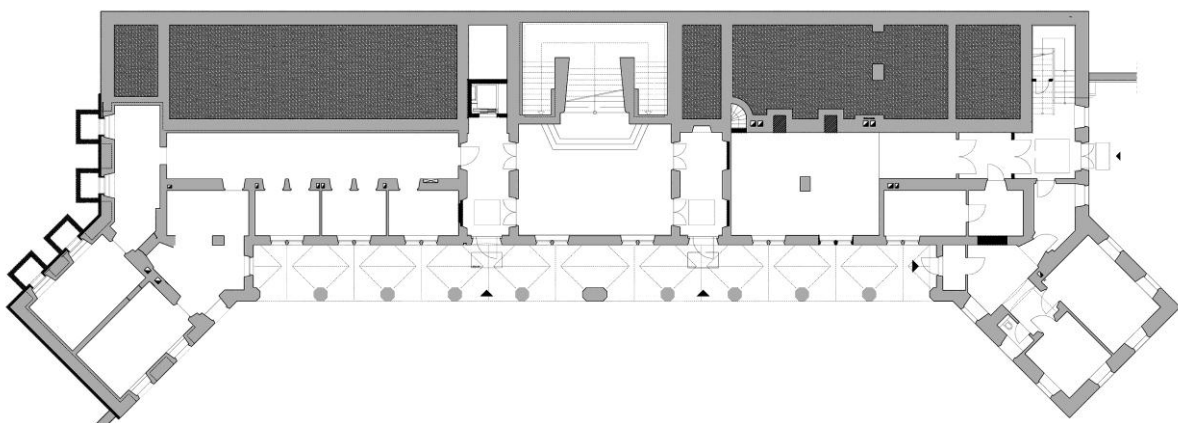


Bild 6:  
Grundriss des zweiten Untergeschosses

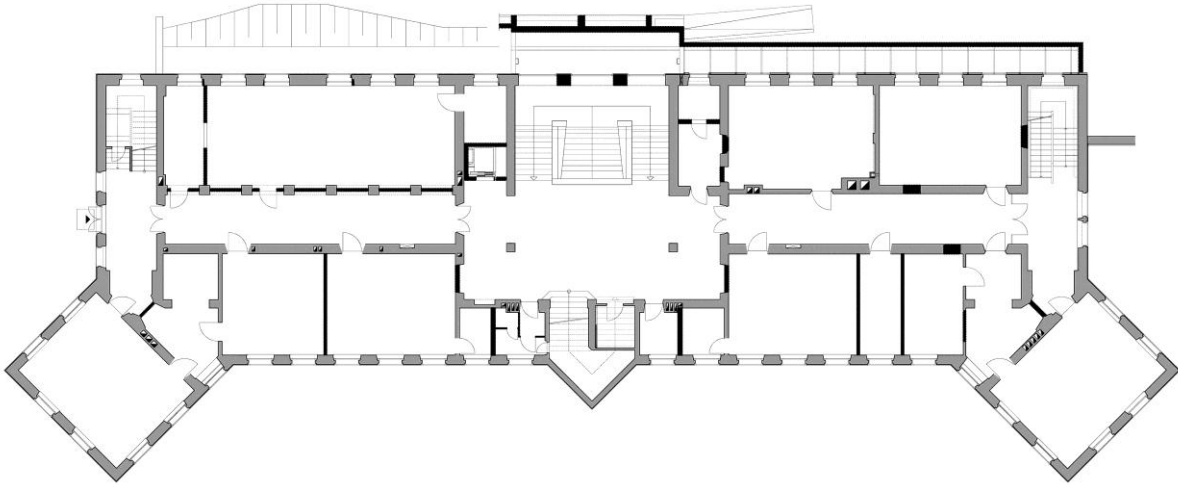


Bild 7:  
Grundriss des ersten Untergeschosses

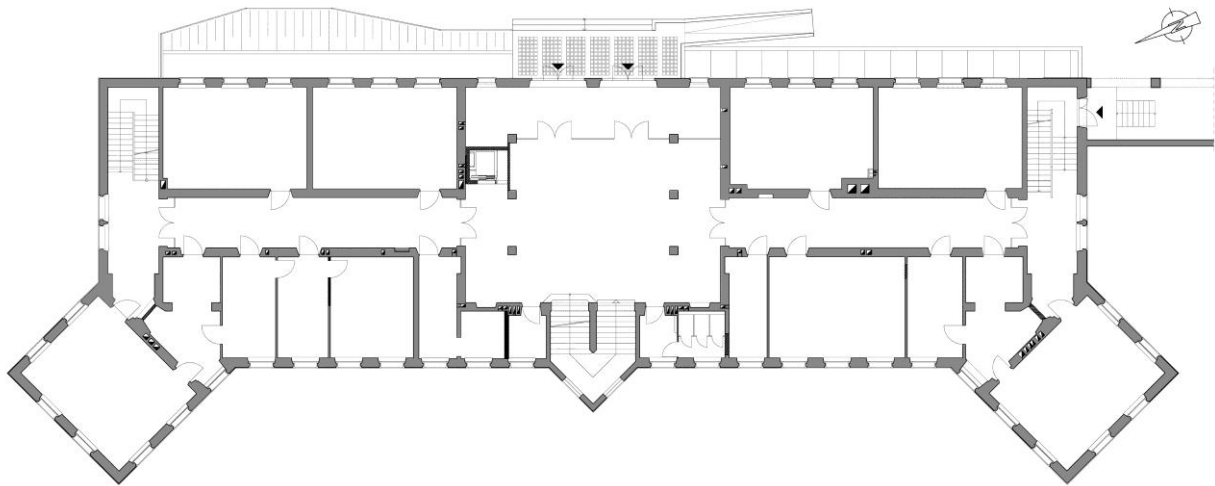


Bild 8:  
Grundriss Erdgeschoss

Die Raumaufteilung des in Bild 8 dargestellten Erdgeschosses wiederholt sich im Obergeschoss. Der Dachraum ist ausgebaut und wurde hofseitig mit lang gestreckten Gauben versehen. Oberhalb des Dachgeschosses befindet sich ein belüfteter Spitzboden, der nicht genutzt wird. Beide Geschosse werden in Bild 9 und Bild 10 gezeigt.

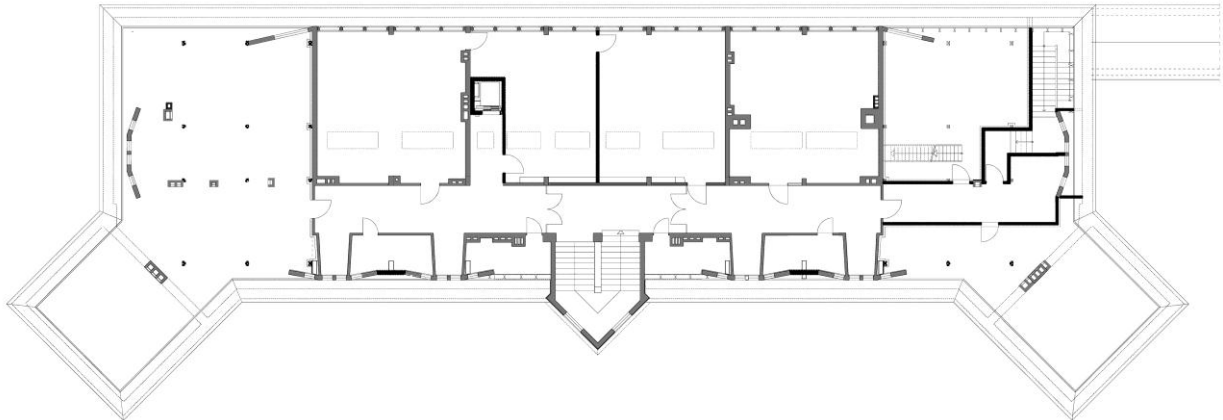


Bild 9:  
Grundriss Dachgeschoss

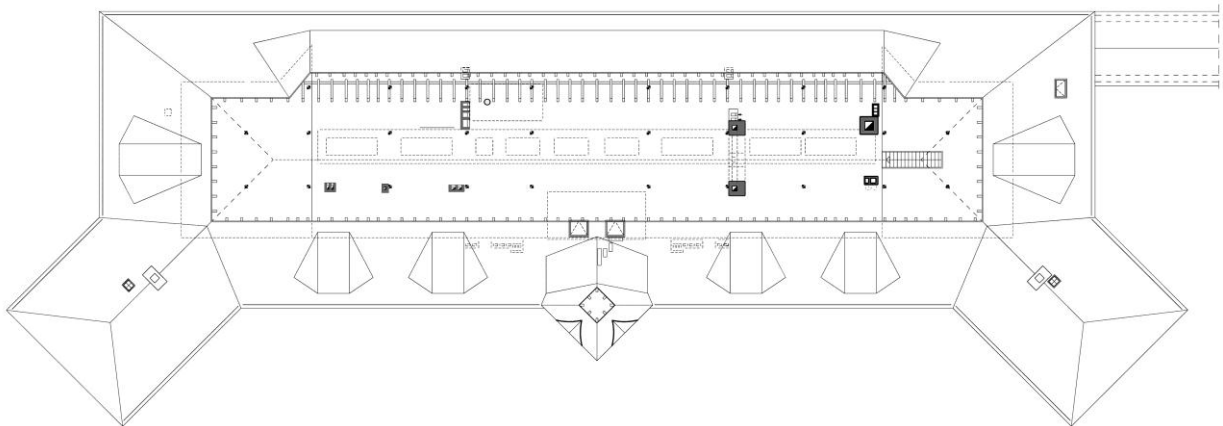


Bild 10:  
Grundriss Spitzboden

## 2.2 Hüllflächenbauteile

Das Hauptgebäude wurde in weiten Teilen als Mauerwerk mit einer Stärke von 48 cm ausgeführt. Die Wände des Gebäudes waren nicht gedämmt.

Die Fenster wurden als Kastenfenster mit einem umlaufenden Betongewände ausgebildet. Dadurch traten im Winter große Wärmeverluste auf, die in der Infrarotaufnahme in Bild 11 deutlich werden.

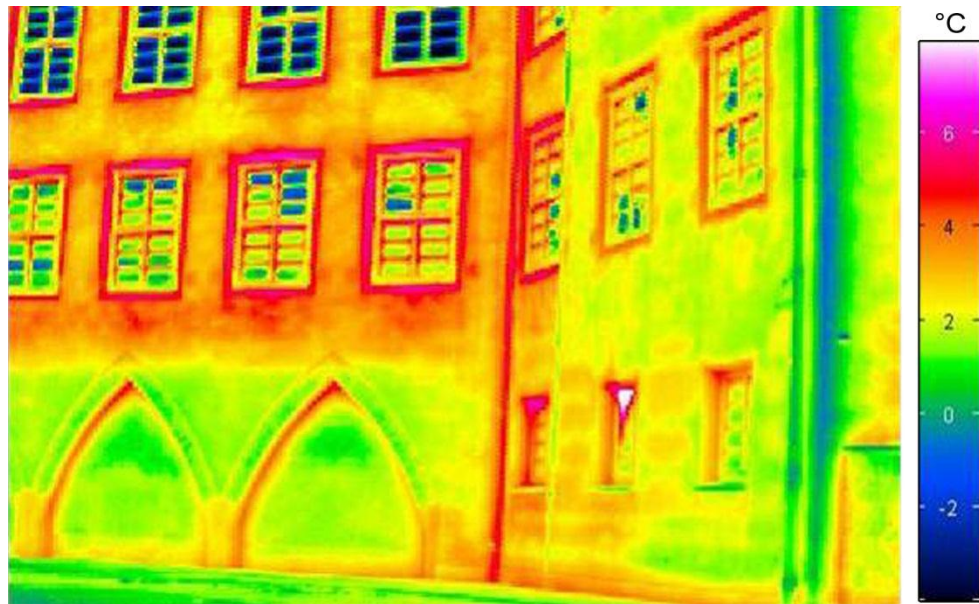


Bild 11:  
Wärmeverluste der Gebäudehülle insbesondere im Bereich der Betongewände um die Fenster  
Auf der Straßenseite wurde im Zuge früherer Sanierungsmaßnahmen die äußere Scheibenebene durch eine 2-Scheiben-Verglasung denkmalgerecht erneuert. Die innere Scheibenebene des alten Kastenfensters wurde dabei entfernt. Auf der Hofseite wurden die ursprünglichen Kastenfenster erhalten, die sowohl innen als auch außen einfach verglast waren. Insbesondere im Untergeschoss gab es zudem vereinzelt einfach verglaste Fenster.

Auch die Bodenplatte war ungedämmt, so dass sich insgesamt ein spezifischer Transmissionswärmekoeffizient  $H_T = 1,56 \text{ W/m}^2\text{K}$  ergab. In Tabelle 4 sind die Wärmedurchgangskoeffizienten der Außenbauteile aufgelistet.

Tabelle 4:  
Zusammenstellung der U-Werte der Gebäudehüllflächen vor der Sanierung

Bauteil	U-Wert [W/m <sup>2</sup> K]	Beschreibung
Außenwand	1,25	51 cm Mauerwerk, Putz
Fenster West	1,70	2-Scheiben-Isolierverglasung
Fenster Ost	2,80	Kastenfenster mit Zweifachverglasung
Obere Geschossdecke	1,70	2 cm Mörtel, 12 cm Hochlochziegel, 5 cm Estrich
Boden	3,09	20 cm Leichtbeton, 4 cm Estrich

Die Unterrichtsräume werden größtenteils einseitig über Fenster nach Ost oder West natürlich belichtet, lediglich die Eckräume sind dreiseitig befenstert. Dabei wurden der Flur- und Eingangsbereich sowie der Versammlungsraum aufgrund der Hanglage kaum durch Tageslicht belichtet. Auch in den Unterrichtsräumen im Dachgeschoss waren die natürlichen



Tageslichtverhältnisse unzureichend, was in Bild 12 dargestellt ist. Die Konsequenz war eine nahezu ganztägige Kunstlichtbeleuchtung.



Bild 12:  
Typische Lichtsituation in den Klassenzimmern

Infolge der fehlenden Verschattung kam es im Sommer bereits vor Schulbeginn auf der Ostseite zu hohen thermischen Lasten. Besonders in den Unterrichtsräumen im Dachgeschoss klagten die Nutzer über teilweise unzumutbare Arbeitsbedingungen. Bei der Gebäudeanalyse wurden daher Räume dokumentiert (siehe Bild 13), für welche effektive Maßnahmen gegen sommerliche Überhitzung geplant wurden.

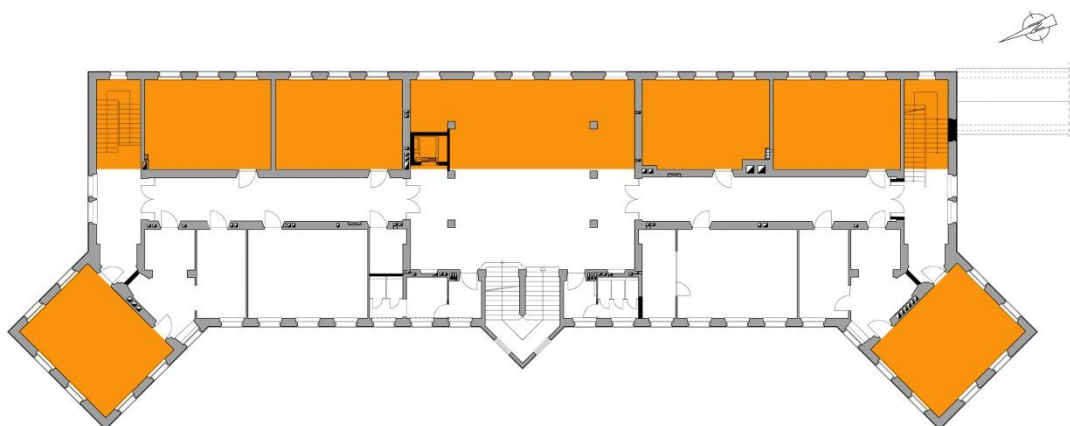


Bild 13:  
Unterrichtsräume mit hohem Risiko sommerlicher Überhitzung (orange)

## 2.3 Anlagentechnik

Die Wärmeerzeugung der Schule wurde durch zwei Gasheizkessel mit einer maximalen Leistung von jeweils 250 - 283 kW sichergestellt. Die Wärmeübergabe erfolgte über Heizkörper, die größtenteils unter den Fenstern angeordnet waren.

Gelüftet wurde ohne mechanische Unterstützung durch Ventilatoren über Fensterlüftung und in das Mauerwerk integrierte Abluftschächte, die typisch für Schulbauten der ersten Hälfte des vergangenen Jahrhunderts sind. Die integrierten Abluftschächte waren dabei nur im Eingangsbereich und teilweise in den Toiletten noch voll funktionsfähig, während sie in den Klassenräumen bei Renovierungsarbeiten größtenteils verschlossen wurden. In Bild 14 ist die Lage dieser Abluftschächte gekennzeichnet.

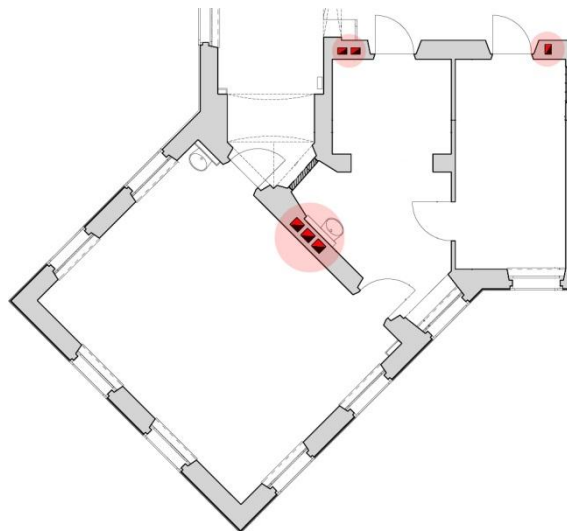


Bild 14:  
In das Mauerwerk integrierte Abluftschächte (rot)

## 2.4 Energiekennwerte

Hohe Transmissionswärmeverluste der Außenwände und Kastenfenster resultierten in einem hohen Heizenergieverbrauch. Die Verbrauchswerte sind in Tabelle 5 zusammengestellt.

Tabelle 5:  
Zusammenstellung der mittleren Verbrauchswerte von 2001 bis 2003 bezogen auf die beheizte Nettogrundfläche

Energieanteile	Endenergie	Primärenergie
	kWh/m²a	kWh/m²a
Heizung und Trinkwarmwasser	144,0	158,4
Beleuchtung	11,5	34,4
<b>Gesamt</b>	<b>155,5</b>	<b>192,8</b>

Beim Stromverbrauch handelt es sich um den Stromverbrauch für Beleuchtung und alle elektrischen Verbraucher. In Tabelle 6 sind die nach EnEV 2009 und auf Grundlage der Din V 18599 berechneten Bedarfswerte zusammengefasst.

Tabelle 6:

Zusammenstellung der nach DIN V 18599 berechneten Bedarfswerte bezogen auf die beheizte Nettogrundfläche

Energieanteile	Nutzenergie	Endenergie	Primärenergie
	kWh/m <sup>2</sup> a	kWh/m <sup>2</sup> a	kWh/m <sup>2</sup> a
Heizung	130,8	216,2	216,1
Trinkwasser	5,6	7,5	7,4
Belüftungstrom	0,0	0,0	0,0
Kühlung	0,0	0,0	0,0
Beleuchtung	11,7	11,7	30,5
<b>Gesamt</b>	<b>148,1</b>	<b>235,4</b>	<b>254,0</b>

Die berechneten Bedarfswerte für Heizung und Trinkwarmwasser liegen deutlich über den gemessenen Bedarfswerten. Ebenso liegt der berechnete Strombedarf für die Beleuchtung mit 11,7 kWh/m<sup>2</sup>a bereits über dem Gesamtstromverbrauch von 11,5 kWh/m<sup>2</sup>a. Bei den Berechnungen wurden die normierten Nutzungsprofile nach DIN V 18599 für Klassenzimmer zugrunde gelegt, die Nutzungszeiten der Verkehrsflächen wurden an die der Klassenzimmer angepasst.

### 3 Konzept und Realisierung

Durch die Sanierung wurde die Schaffung eines lernfördernden Raumklimas unter Senkung des Energieverbrauchs anvisiert. Dafür sollten Raumlufthygiene und Raumakustik verbessert und die sommerlichen Innenraumtemperaturen gesenkt werden. Besonderes Augenmerk wurde dabei auf eine denkmalgerechte, hocheffiziente Wärmedämmung der Fassade und eine beispielgebende, energieeffiziente Lüftung der Unterrichtsräume gelegt.

#### 3.1 Architektur

Im Sinne des Denkmalschutzes wurde das Gebäude in seiner Erscheinung so wenig wie möglich verändert. Im Inneren wurden die Grundrisse entsprechend modernen Schulerfordernissen überarbeitet. Im Bereich des ersten Untergeschosses auf der Hofseite entfernte man die Lichtschächte und böschte das Gelände ab, um eine bessere Nutzung des Tageslichts zu ermöglichen. Aus dem gleichen Grund wurden die Fenster im Dachgeschoss vergrößert. Die Freifläche östlich des Hauptgebäudes wurde einer umfassenden Neugestaltung unterzogen und der Boden für die Nutzung als Energiequelle von Erdwärme über Erdsonden erschlossen.

#### 3.2 Hauptnutzungsbereiche

Die gesamte Nettogrundfläche (NGF ges.) wird in sieben Hauptnutzungsbereiche eingeteilt. Dabei soll die Verteilung der Hauptnutzungen im Gebäude miteinander verglichen werden.

In Tabelle 7 ist die NGF des Hauptgebäudes prozentual nach den Hauptnutzungsbereichen eingeteilt. Im Bild 15 werden die Anteile der Nutzungen grafisch dargestellt.

Tabelle 7:  
Hauptgebäude

Hauptnutzungsbereiche	% der gesamten NGF
Klassenzimmer/ Fachräume	37,2
Verwaltung/ Lehrerzimmer	3,5
Verkehrsflächen	35,5
Pausenhalle/ Aula	-
Sanitärbereiche	1,6
Lagerräume	12,5
Sonstige	9,7

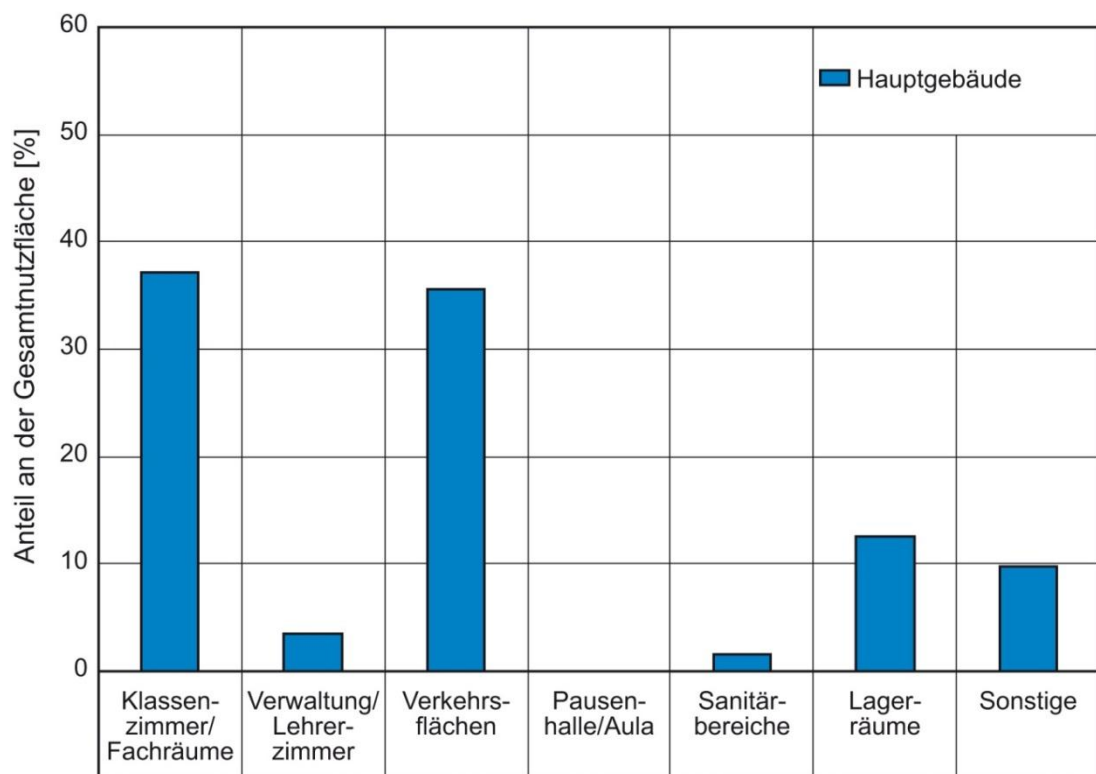


Bild 15:  
Prozentuale Anteile der Hauptnutzungen

### 3.3 Hüllflächenbauteile

Im Bereich der baulichen Substanz wurde vor allem eine Verbesserung des Wärmeschutzes der äußeren Gebäudehülle angestrebt. Da das Gebäude Kulturdenkmal im Sinne des sächsischen Denkmalschutzes ist, mussten Vorgaben hinsichtlich der Veränderung der Fassade beachtet werden.

Eine Innendämmung ist aus denkmalschützerischer Hinsicht unproblematisch, wurde hier allerdings für die Außenwandflächen aufgrund der entstehenden zahlreichen Wärmebrücken als energetisch ungünstig eingestuft. Zudem sollte eine thermische Abkopplung des massiven Außenmauerwerkes verhindert werden, welche unerwünschte höhere sommerliche Innentemperaturen zur Folge gehabt hätte. Daher sollte eine energetisch beispielgebende Lösung als Außendämmung ausgeführt werden. Um die denkmalschützerischen Anforderungen einer maximalen zusätzlichen Aufbauhöhe der Fassade von 6 cm zu erfüllen und gleichzeitig hohe energetische Effekte erzielen zu können, wurden Vakuumdämmpaneele als Fassadendämmung vorgesehen und wärmebrückenfreie Anschlussdetails entwickelt. Nachdem die Paneele an einer Musterwand erfolgreich getestet und die Zustimmung im Einzelfall erteilt wurde, wurden zunächst innovative Paneele mit Stufenfalz zur Verringerung des Wärmedurchgangs montiert. Diese erwiesen sich aber hinsichtlich bauseitiger Lagerung, Handhabung und Passgenauigkeit bei Bautoleranzen zunächst als wenig praktikabel. In enger Zusammenarbeit zwischen dem Hersteller und der den Bau begleitenden Hochschule wurden die Paneele hinsichtlich Passgenauigkeit und Handlichkeit optimiert und montiert. Dazu wurde der bestehende Außenputz abgetragen und durch einen neuen, circa 1 cm dicken Ausgleichsputz als tragfähigen Untergrund ersetzt. Anschließend wurden die 2 cm dicken Vakuumdämmpaneele sowie eine 3 cm dicke Polyurethanplatte als Überdämmung aufgeklebt. Den äußeren Abschluss bildete der 1 cm dicke Oberputz, der eine Gewebeamierung enthielt.

Die Hochschule Zittau hat die Montage der Paneele (Bild 16), ständig begleitet und dokumentiert. Die Platten wurden sowohl nach der Anlieferung als auch nach erfolgter Montage geprüft. Platten, welche einen erhöhten Gasinnendruck auswiesen, wurde gekennzeichnet und ausgetauscht.



Bild 16:  
Montage der Vakuumdämmpaneele an der Südostseite der Fassade

Nachdem die Hofseite fertiggestellt war, zeigten sich an vielen Stellen Risse im Oberputz. Eine detaillierte Untersuchung ergab, dass der Kleber sowohl zwischen dem Ausgleichputz und den Dämmpaneelen als auch zwischen den Dämmpaneelen und den Polyurethanplatten auch nach längerer Zeit nicht abgebunden hatte. Als Gründe hierfür wurden ungenaue Angaben zum Mischverhältnis von Montagekleber und Wasser sowie tiefe Außentemperaturen unter  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  sowie nichtsaugende Oberflächen der betreffenden Dämmschichten genannt. Dieser Umstand führte zu den Rissen im Oberputz. Nach einer gutachterlichen Stellungnahme wurden die Vakuumdämmpaneele rückgebaut und durch 7 cm dicke Polystyrol-Dämmplatten (WLG 032) ersetzt. Auch die übrigen Fassadenflächen wurden in dieser Weise gedämmt. So konnte unter Ausschluss einer Schädigung der historischen Bausubstanz ein immer noch ausreichender Dämmstandard der Außenwand mit einem U-Wert von  $0,34\text{ W/m}^2\text{K}$  erzielt werden. Lediglich an ausgewählten Stellen wurden die Vakuumdämmpaneele zur Gewinnung von Messwerten über die Feuchtigkeits- und Temperaturbeanspruchung belassen. Die Erfahrungen und erarbeiteten Optimierungsschritte für Vakuumdämmpaneele wurden an die Hersteller weitergeleitet und dienen nun einer stetigen Verbesserung des Produkts auf dem Weg zur Marktreife.

Vakuumdämmpaneele wurden hingegen weiterhin im Bereich der Bodendämmung der Räume im Untergeschoss eingesetzt. Ursprünglich war geplant, den kompletten Originalboden durch einen konventionellen Fußbodenaufbau zu ersetzen, aufgebaut aus einer 4 cm dicken Schicht aus Estrich über einer 10 cm dicken Leichtbetonschicht, die zum Erdreich hin durch eine 10 cm dicke Dämmung aus extrudiertem Polystyrolschaum isoliert ist. Als beim Abriss des alten Bodens jedoch an einigen Stellen große Steine gefunden wurden, entschied man sich für den Einsatz von Vakuumdämmung

in diesen Bereichen, da eine Einbringung von konventionellem Dämmstoff nur mit großem Aufwand möglich gewesen wäre. Der Einsatz von Vakuum-Dämmung ermöglichte hier einen geringen innenseitigen Fußbodenaufbau von 4 cm Estrich und 2 cm dicken Vakuumdämmpaneelen über einer 10 cm dicken Leichtbetonschicht.

Des Weiteren werden die Transmissionswärmeverluste der Dachfläche durch eine begehbare Wärmedämmung verringert, welche in den Spitzboden oberhalb des 3. Obergeschosses eingebracht wurde. Dazu wurden auf die bestehende Ziegeldecke eine 5 cm dicke Estrich-Schicht, 15 cm Mineralwolle und eine 2 cm starke OSB-Platte aufgebracht.

Besondere Sorgfalt wird auf die Planung der Bauanschlüsse gelegt, um die denkmalgeschützte Bausubstanz nicht durch Feuchtigkeitsausfall an Wärmebrücken zu schädigen. So werden die Details für die Gebäudeöffnungen, die untere Gebäudekante und den Traufanschluss hinsichtlich ihres Wärmedämmverhaltens bewertet, wodurch eine deutliche Verbesserung der wärmetechnischen Situation erreicht wird. In Bild 17 wird die gewählte Lösung für die Überdämmung des Traufbereichs gezeigt, bei welcher alle Traufstufen erhalten werden konnten.

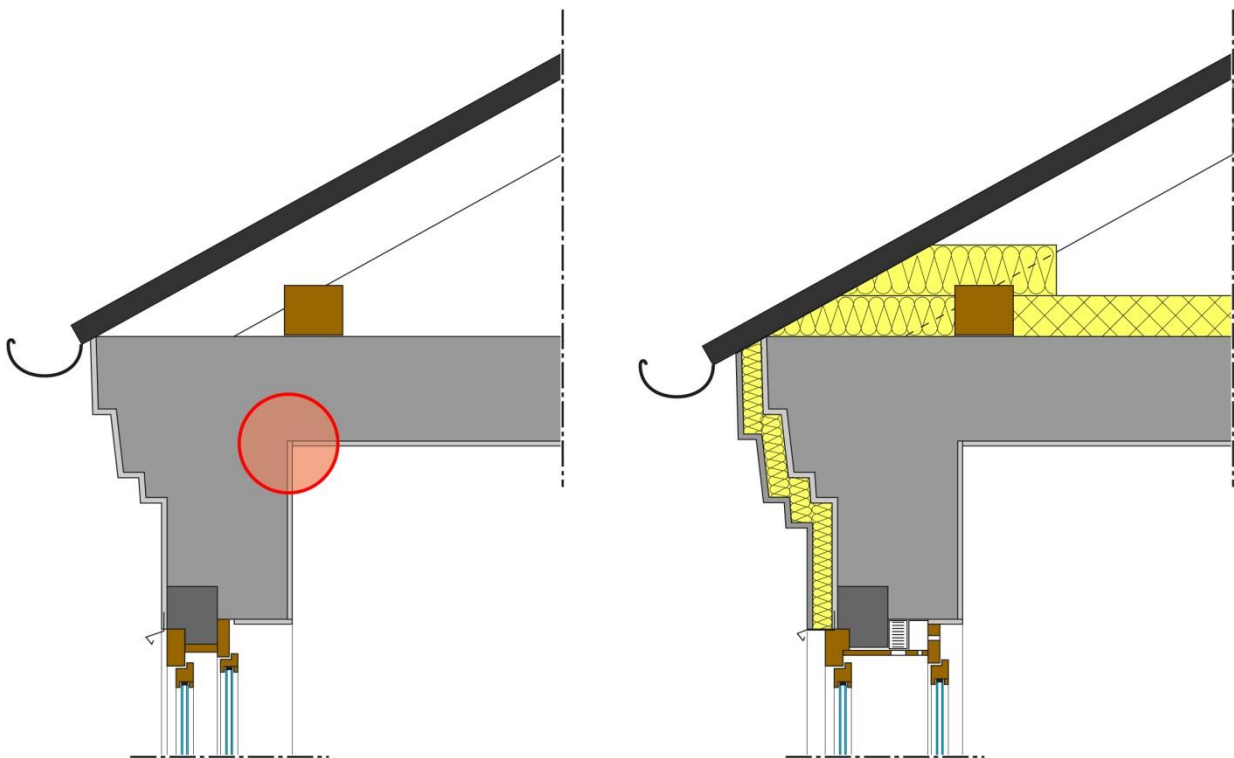


Bild 17:  
Anschlussdetails am Traufanschluss unter Einhaltung der Auflagen des Denkmalschutzes

Im Rahmen der Sanierung wurden im Schulgebäude und der Turnhalle sogenannte „Zuluft-Kastenfenster“ eingesetzt. Diese Fenster sind multifunktionale Bauteile. Sie erfüllen die Funktionen Sonnenschutz, Lüftung und Wärmerückgewinnung sowie Lichtlenkung.

Dafür wurde der Umbau der vorhandenen Kastenfenster und der teilweise mit Wärmeschutzverglasung erneuerten Fenster in Zuluft-Kastenfenster vorgenommen. Letztere mussten aufgrund von bereits eingetretenen Bauschäden ebenfalls erneuert werden. In den Kastenfenstern wurde die äußere Fensterschicht einfach und zweifach verglast, die innere Schicht weist eine Zweifachverglasung auf. Zur Optimierung des Luft- und Lichteintrags sowie zur Beurteilung des baulichen Einbauaufwands wurden drei Musterfenster angefertigt und messtechnisch untersucht. Die aus lüftungstechnischer als auch aus denkmalschützerischer Sicht optimalste Variante wurde bei allen Fenstern realisiert.

Bei dem ausgewählten System gelangt Außenluft über Lüftungsschlitze am äußeren Rahmen unten in den Fensterzwischenraum, steigt auf und tritt am inneren Fensterrahmen über Lüftungsschlitze oben in den Raum ein. Die Lüftungsschlitze am inneren und äußeren Rahmen werden in Bild 18 in der Fenstereinheit im eingebauten Zustand sichtbar.

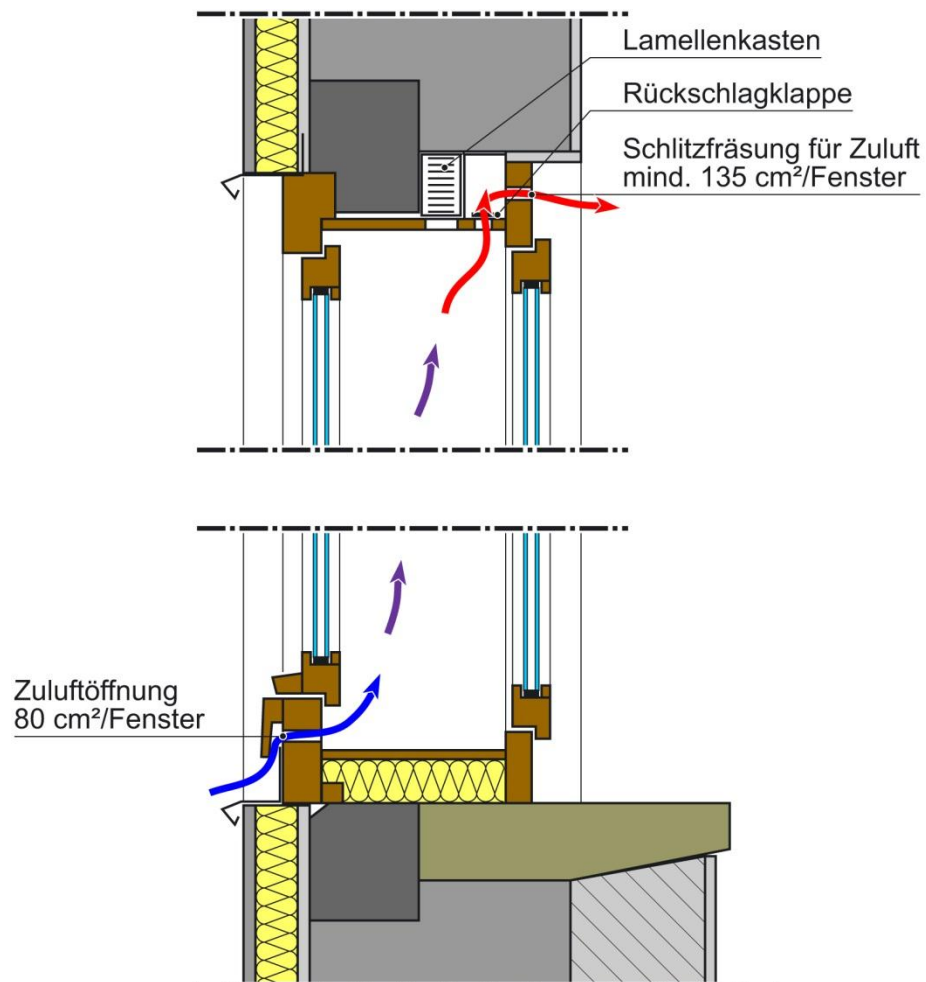


Bild 18:

Kastenfenster im eingebauten Zustand

Auf der gegenüberliegenden Raumseite wird die verbrauchte Luft über Abluftschächte mittels Ventilatoren abgesaugt. Dieses Lüftungsprinzip wird in Bild 28 im Bereich der Beschreibung des Lüftungssystems dargestellt.



Zur Vermeidung von Fehlströmungen wurden zusätzliche Winddruckbegrenzer und Rückschlagklappen in das Fenster integriert. Letztere bestehen aus einer Gummimembran, die auf einem Sperrholzbrett mit ovalen Langlöchern auf drei Seiten aufgeklebt ist. Gelangt Luft von außen über Überströmschlitze im unteren Fensterrahmenbereich in den Scheibenzwischenraum, erhöht sich dort der Luftdruck, wodurch die Membran angehoben wird. Die im Zwischenraum oben angesammelte, leicht vorgewärmte Luft gelangt dann über eine Teleskopdurchführung durch den Blendrahmen des Innenfensters und strömt von dort über Zuluftöffnungen am oberen Rand des Innenfensters in den Raum. Mit der Vorwärmung und der Zuführung oberhalb der Aufenthaltszone wird das Zugluftrisiko vermindert. Das System ist im Bild 19 im Scheibenzwischenraum auf der Rauminnenseite der Jalousien erkennbar.



Bild 19:  
Zuluftöffnungen am inneren Fensterrahmen mit integrierten Rückschlagklappen

Der Lufteintritt in den Scheibenzwischenraum des Kastenfensters erfolgt somit im Zusammenspiel von windinduziertem Staudruck auf der Fensteraußenseite in Verbindung mit Unterdruck auf der Rauminnenseite aufgrund abgesaugter Abluft. Die Abluft wird dabei in Abhängigkeit der raumseitigen CO<sub>2</sub>-Konzentrationen gesteuert.

Über dem Betongewände zwischen den beiden Fenstern wurde eine Dämmung eingebracht, um den Wärmeverlust zu reduzieren. Die Einbausituation ist in Bild 20 verdeutlicht, auf welcher das Betongewände in der Farbe Dunkelgrau gekennzeichnet ist. Zudem wurden die Heizkörper weiter in den Raum hinein versetzt und die Nischen mit Gasbetonsteinen ausgemauert, was in der Sanierungslösung rechts in Hellgrau dargestellt ist.

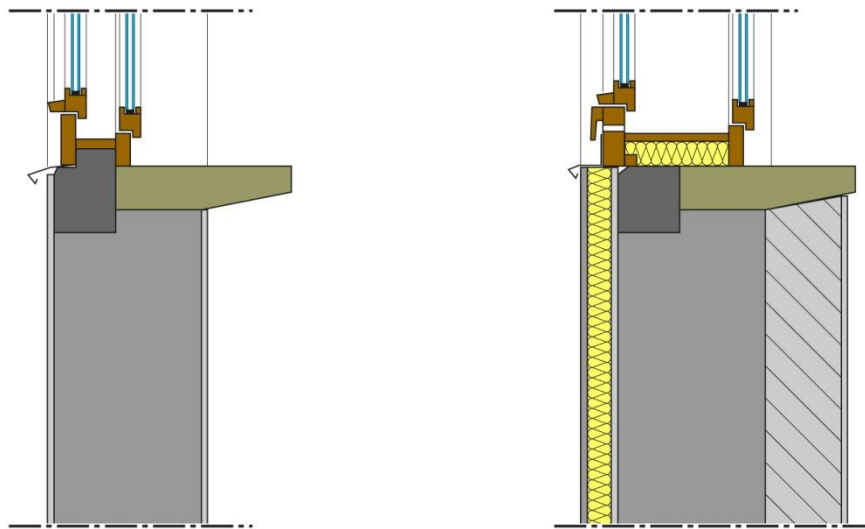


Bild 20:  
Anschlussdetail Fenster Bestand (links) und Sanierungslösung (rechts)

In Tabelle 8 sind die Wärmedurchgangskoeffizienten der Außenbauteile aufgelistet.

Tabelle 8:  
Zusammenstellung der U-Werte der Gebäudehüllflächen

Bauteil	U-Wert vorher [W/m <sup>2</sup> K]	U-Wert nachher [W/m <sup>2</sup> K]	Beschreibung
Außenwand	1,25	0,34	51 cm Mauerwerk mit 7 cm ESP-Dämmung
Fenster West	1,70	1,00	Zuluft-Kastenfenster, Außenfenster: Einfachverglasung, Innenfenster: Zweifachverglasung
Fenster Ost	2,80	0,90	Zuluft-Kastenfenster, Außenfenster mit elektrochromer Verglasung: Zweifachverglasung, Innenfenster: Zweifachverglasung
Obere Geschossdecke	1,70	0,22	Mauerwerk, 5 cm Estrich, 15 cm Mineralwolldämmung, 2 cm OSB-Platte
Boden	3,09	0,36	10 cm Beton, 2 cm Vakuumdämmpaneele, 4 cm Estrich
		0,32	10 cm XPS-Dämmung, 10 cm Beton, 4 cm Estrich

### 3.4 Sonnenschutz

In den Klassenräumen des Dachgeschosses und an den Südseiten der Eckräume wurde eine elektrochrome Verglasung der Marke EControl in den Außenflügeln realisiert, um der sommerlichen Überwärmung dieser Räume entgegenzusteuern. Die elektrochrome Verglasung besteht aus einer Sandwichscheibe mit dazwischen liegender Polymerfolie, die sich bei Anlegen

einer Spannung von ca. 3 V einfärbt. Je nach Schaltzustand wechselt das Glas die Farbe von transparent nach blau. Auf diese Weise ist der Energie- und Lichteintrag ins Gebäude steuerbar. Für den Schaltvorgang werden laut Hersteller ca. 0,5 Wh/m<sup>2</sup> benötigt. Der Grad der Lichttransmission liegt zwischen 13 und 46 % und der g-Wert zwischen 10 und 32 %. Diese Regelung ist in das Beleuchtungskonzept integriert und wird von der GLT gesteuert. Zudem haben die Lehrer in jedem Raum die Möglichkeit, mittels eines Schlüsselschalters die Einfärbung der Gläser in 5 verschiedenen Stufen zu übersteuern. In den übrigen Klassenzimmern wurde zugunsten eines erhöhten Tageslichteintrags auf die elektrochrome Verglasung verzichtet.

In die Zwischenräume aller Kastenfenster wurden Lamellen zur Gewährleistung von Blendschutz und Verschattung integriert. Diese sind stufenlos fahrbar, der Lamellenwinkel ist beliebig einstellbar, je nachdem, ob die Funktion Blendschutz oder Lichtlenkung erzielt werden soll.

### 3.5 Belichtung

Neben Blendschutz und Verschattung dienen die Jalousien im Scheibenzwischenraum vor allem auch der Lenkung des Tageslichts in die hinteren Bereiche der Klassen. Im Bild 21 ist dieser Lichteffekt dokumentiert.



Bild 21:  
Zuluft-Kastenfenster mit Lichtlenkung

Bei dem eingesetzten System wird das direkte Sonnenlicht von der Lamellenoberfläche diffus in die Tiefe des Raumes gelenkt, wodurch eine gleichmäßige Raumausleuchtung und verringerter Einsatz von künstlichem Licht erzielt wird. Das besondere Lamellenprofil der Lichtlenkjalousie ermöglicht, dass die innen liegenden Lamellen auch bei flachen Sonnenständen relativ weit geöffnet werden können. So werden

Sonnenschutz und Tageslichtnutzung bei nahezu ungestörter Sicht nach draußen optimiert. Die Stellung der Jalousien ist zudem über die Gebäudeleittechnik gesteuert, so dass diese automatisch in Sonnenschutzstellung gefahren werden, wenn keine Präsenz gemessen wird.

Zur verbesserten Tageslichtnutzung wurden zudem vorhandene Lichtschächte im Dachgeschoss zur Lichtlenkung reaktiviert bzw. ergänzt und auf der Innenseite mit hochreflektierenden, aluminiumbeschichteten Platten belegt. Lage und Aussehen eines solchen Schachtes werden in Bild 22 dargestellt.

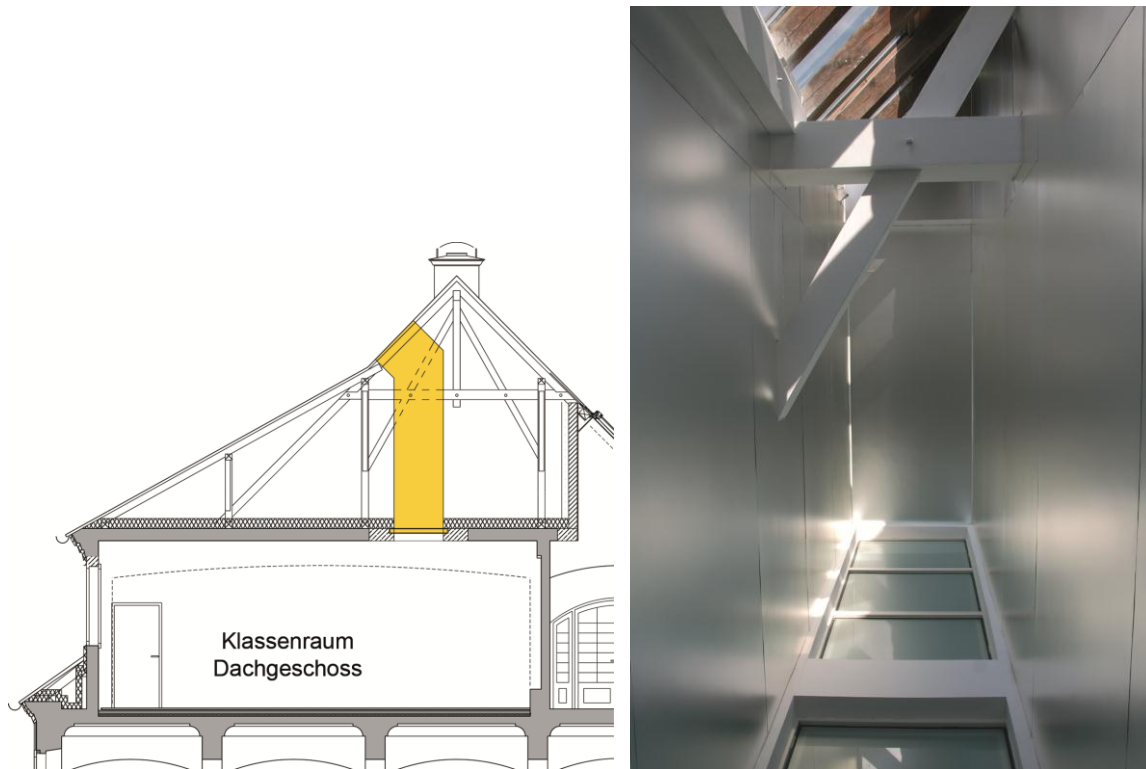


Bild 22:  
Reaktivierung vorhandener Lichtschächte und Verkleidung mit hochreflektierenden Platten

Damit kann der Tageslichteintrag in die Unterrichtsräume im Dachgeschoss verbessert werden, wie in Bild 23 aufgezeigt wird. Die Lage der Lichtschächte ist auch im Grundriss des Dachgeschosses (Bild 9) eingezeichnet.



Bild 23:  
Erhöhung des natürlichen Tageslichtanteils in den hinteren Bereichen der Klassenzimmer  
Auch Bereiche nahe oder unter Niveau des Erdbodens konnten über den neuen Lichtgraben natürlich belichtet werden.

### 3.6 Beleuchtung

In den Klassen wurden in 2 fensterparallelen Reihen mehrere Raster-Hängeleuchten mit einer Lampenleistung von jeweils 35 W installiert. Parallel zur Tafel kommen zusätzlich zwei Raster-Hängeleuchten mit einer Lampenleistung von jeweils 80 W zum Einsatz.

Das Kunstlicht wird tageslichtabhängig mit einer Solllichtstärke von 300 lx gesteuert. Bei dimmbaren Leuchten kann eine stetige Konstantlichtregelung realisiert werden, bei Leuchten, die lediglich schaltbar sind, wird die Beleuchtung ein- und ausgeschaltet. Die Abschaltung aller Leuchten erfolgt zentral nach Schulschluss am Nachmittag. Die künstliche Beleuchtung ist zudem über die GLT mit dem Sonnenschutz abgestimmt. Wird das Licht bei zugefahrenem Sonnenschutz eingeschaltet, so wird letzterer zuerst in Durchlassstellung gestellt. Zudem erfolgt eine Präsenzerfassung zur Steuerung der Lichtlenkungs- und Verschattungsmodi der Jalousien und zur Abschaltung des Kunstlichts nach 10 Minuten in unbelegten Klassenräumen.

### 3.7 Kühlung und Akustik

In den thermisch hoch belasteten Räumen im Dachgeschoss sowie in den südlichen Eckräumen im ersten Unter-, Erd- und Obergeschoss wurde die kombinierte Akustik- und Kühldecke „BASWAphon cool“ installiert. Der Systemaufbau ist in Bild 24 dargestellt.

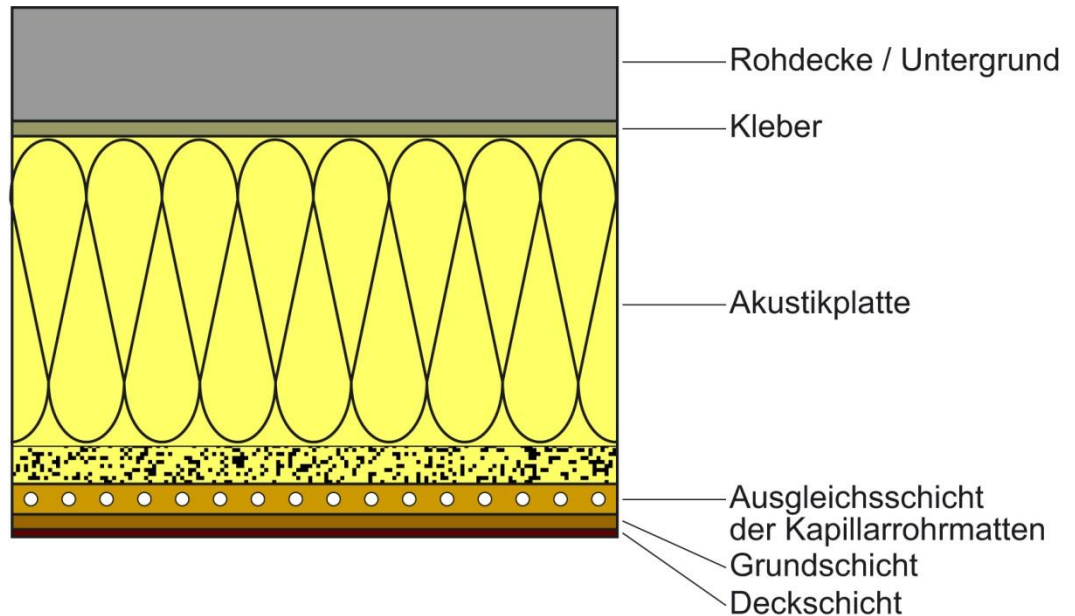


Bild 24:  
Systemquerschnitt der BASWAphon cool-Decke

Neben akustischer Dämpfung der Nebengeräusche kann mittels dieser kombinierten Akustik- und Kühldecken zudem im Sommer eine Kühlung der thermisch hoch belasteten Räume realisiert werden. Die Realisierung erfolgt über Kapillarrohrmatten, die in der Deckenschicht integriert sind. Durch die Kapillarrohrmatten wird Kühlwasser geleitet, das von Erdsonden bereitgestellt wird. Diesem System der Kühldecken wurde in vorangegangenen Planungen eine größere Effektivität bescheinigt als den zunächst geplanten Phasenwechsel-Materialien an den Innenwänden. Die erforderliche Kühlleistung beträgt im Mittel 8 kW, in der Spitze sollten bis zu 15 kW gewinnbar sein. Die Betriebszeit der Kühlung wird in der Größenordnung von 1.000 – 1.400 h erwartet. Im Zusammenhang mit der installierten Verschattung sind behagliche Verhältnisse auch im Sommerhalbjahr ohne weitere Klimatisierungsmaßnahmen möglich. In Bild 25 ist eine der Kapillarrohrmatten vor Aufbringung des Überputzes dargestellt.



Bild 25:  
Kapillarrohrmatten zur passiven Kühlung

Klassenräume, in denen das „BASWAphon cool“-System nicht installiert ist, sind zur Verbesserung der raumakustischen Situation mit dem Akustikputz „StoSilent“ ausgestattet.

## **4 Anlagentechnik**

Neben der Verbesserung der thermischen Gebäudehülle wurde die anvisierte energetische Einsparung vor allem durch den Einsatz moderner Heizungstechnik und effizienter Lüftungsstrategien erreicht. Dabei wurde vor allem Wert auf wartungsarme Technik in schulalltagstauglicher Ausführung gelegt.

### **4.1 Wärme- und Kälteversorgung**

Zur Wärmebereitstellung wurden zwei Gasabsorptionswärmepumpen der Firma Robur mit einer maximalen Leistungsaufnahme von 35 kW installiert, die als Wärmequelle die im Boden gespeicherte Erdwärme über 10 Erdsonden mit einer Tiefe von je 100 Metern erschließen. Die Wärmepumpen werden in den Leistungsbereichen von 15 kW und 30 kW betrieben. Eine modulierende Betriebsweise ist bei Wärmepumpen nicht möglich. Zur Spitzenlastabdeckung dienen zwei Gas-Brennwertkessel mit einer maximalen Leistung von je 80 kW. Bild 26 zeigt, wie mit der Kombination dieser Systeme der Heizlastbereich zwischen 15 kW und 220 kW abgedeckt wird.

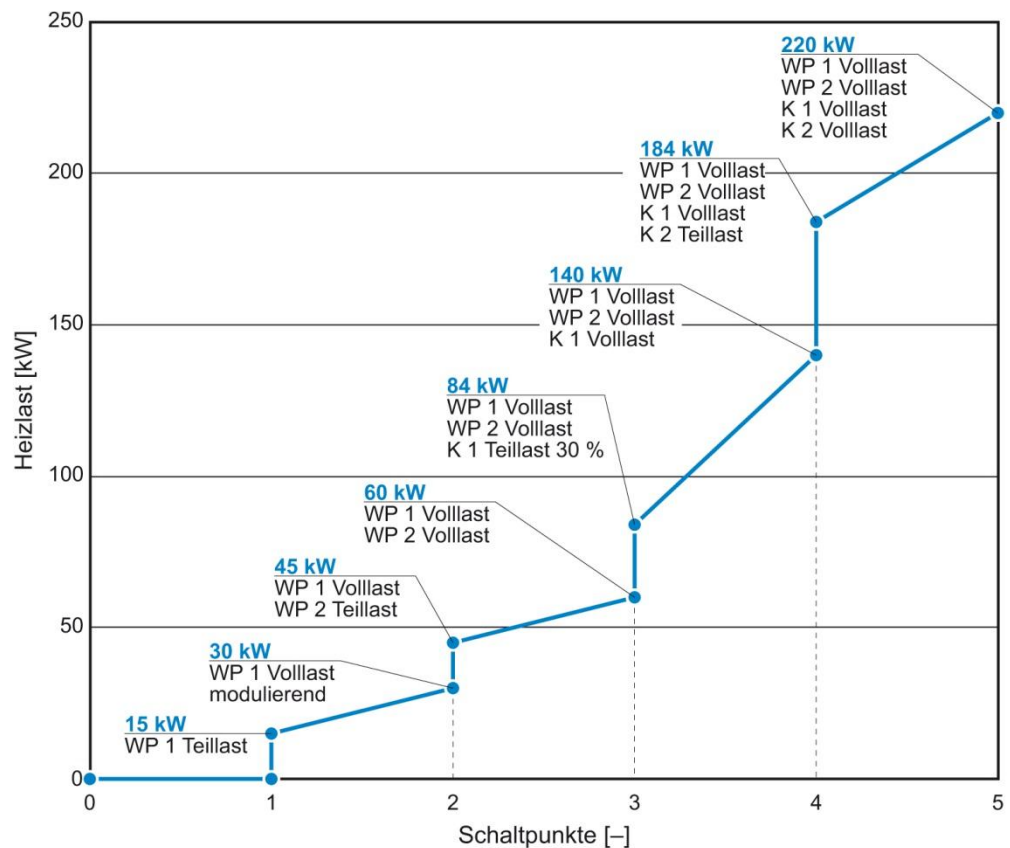


Bild 26:  
 Regelstrategie für die Wärmeerzeugeranlagen

Die Gasabsorptionswärmepumpe koppelt dabei die Nutzung von Erdwärme über Erdsonden mit einer im Vergleich zum Brennwertkessel erhöhten Ausnutzung des Brennstoffes Gas. Neben einer Senkung des Energieverbrauchs kann so der bisher nur zögerliche Einsatz dieser innovativen Technik gefördert und diese durch eine qualifizierte messtechnische Begleitung zusätzlich optimiert werden. Die Wärmeübergabe erfolgt weiterhin über Heizkörper unter den Fensterflächen, die jedoch vor die ehemaligen Fensternischen gestellt wurden. Dadurch konnten die Nischen mit Gasbetonsteinen ausgemauert werden, um die Wärmeverluste in diesem Bereich zu reduzieren. Die Raumtemperaturregelung erfolgt über Thermostatventile. Sie wurden in einer mittleren Stellung fest arretiert, damit ein Verstellen durch Schüler verhindert wird. Nachts und am Wochenende wird die Vorlauftemperatur über die GLT abgesenkt. In Bild 27 ist das Anlagenschema der Heizung dargestellt.



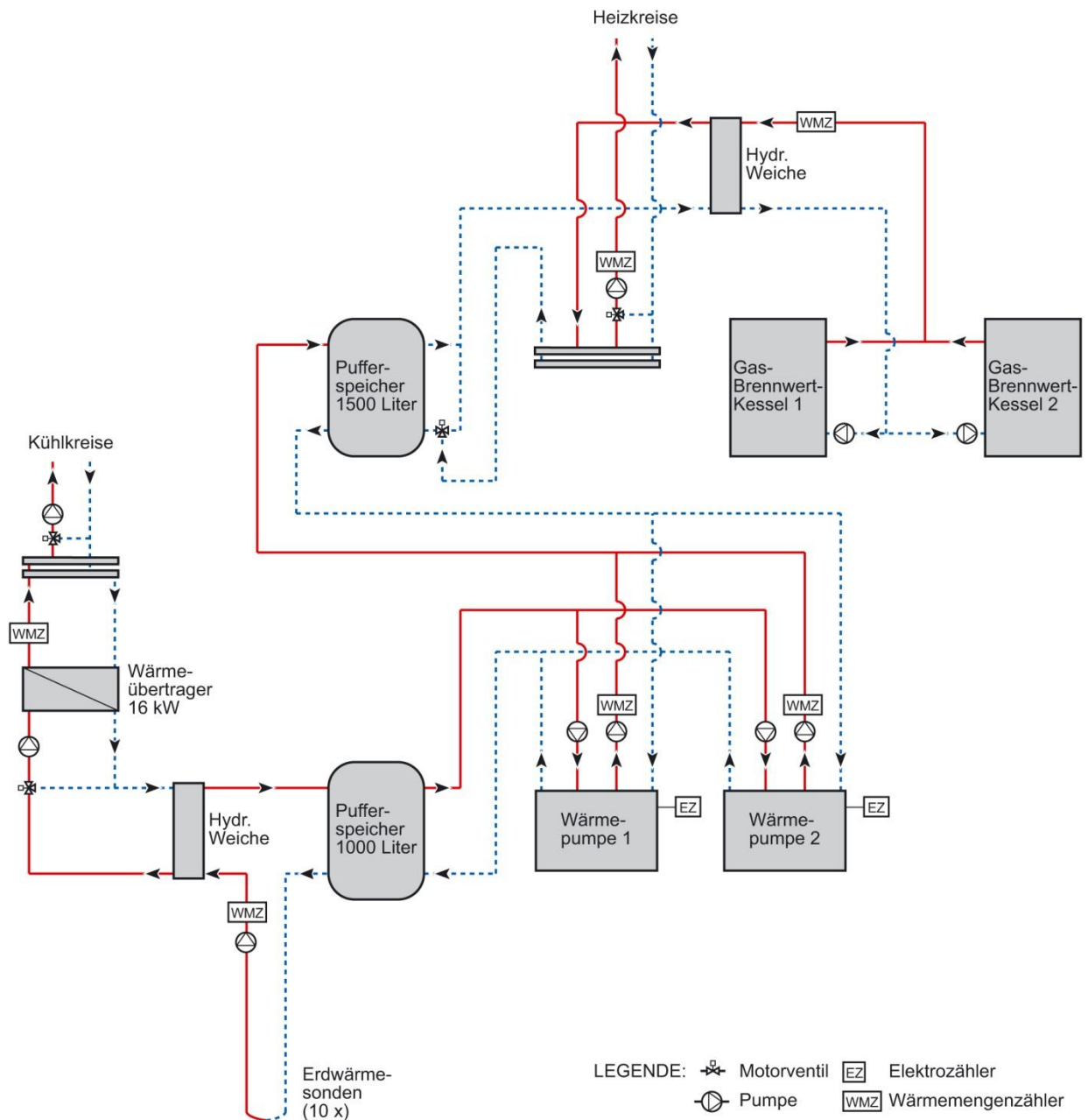


Bild 27:  
Strangenschema Heizung

## 4.2 Lüftung

Während in den Sanitärräumen eine konventionelle zentrale Abluftanlage mit Präsenzsteuerung eingesetzt wurde, wurde für die Unterrichtsräume eine bedarfsangepasste Lüftung entwickelt, welche weitgehend auf natürlicher Auftriebswirkung beruht und nur gegebenenfalls durch Ventilatoren mit geringem Elektroenergieverbrauch unterstützt wird („Hybride Lüftung“). Dazu wurden neben den Maßnahmen zur Einbringung von Frischluft durch die Zuluft-Kastenfenster verschlossene Abluftschächte wieder aktiviert, so dass verbrauchte Luft weitgehend unter Nutzung des natürlichen Auftriebs in den Dachstuhl abgeführt werden kann, von wo aus sie über Ablufthauben ins Freie geleitet wird.

Jedem Klassenzimmer wurde ein eigener Abluftschacht zugeordnet. Nach Absprache mit dem Nutzer und der damit verbundenen Konkretisierung der Raumnutzung konnte die Anzahl der Abluftschächte dabei reduziert werden, indem die lüftungstechnische Erschließung der Vorbereitungsräume über die Abluftschächte in den Klassenräumen unter Einhaltung der brandschutztechnischen Auflagen realisiert wurde.

An das obere Ende eines jeden Abluftschachts wurde ein Aufsatzelement mit regelbarem Abluft-Ventilator, einer steuerbaren Lüftungsklappe und einem Steuerbaustein installiert. Wird über einen Sensor eine erhöhte  $\text{CO}_2$ -Konzentration in dem angegliederten Klassenraum gemessen, wird der im Abluftschacht installierte Ventilator drehzahlabhängig gesteuert und erhöht so den Abluftvolumenstrom. Durch den so im Raum erzeugten Unterdruck wird auch der Frischlufteintrag durch die Zuluftkastenfenster erhöht. In Bild 28 ist das Lüftungsprinzip schematisch dargestellt.

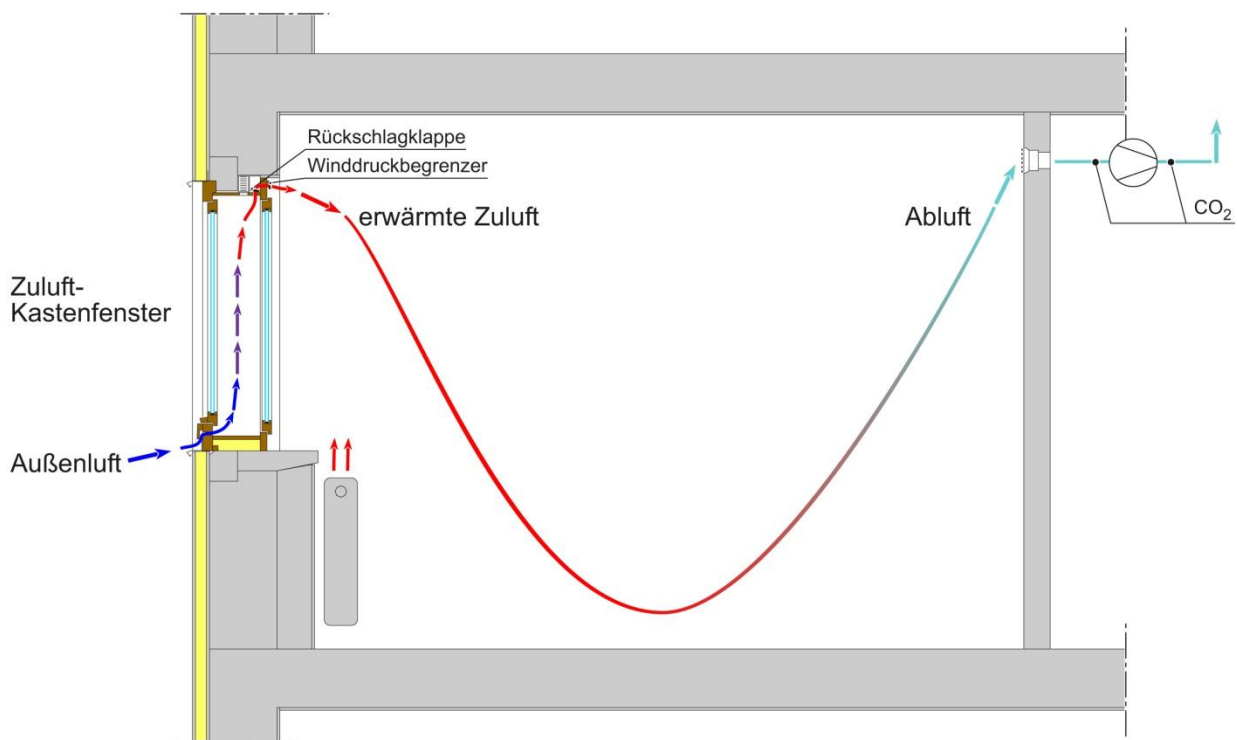


Bild 28:  
Lüftungsschema der Unterrichtsräume

Auf Wärmerückgewinnung, Kühlung oder Luftbefeuchtungsfunktion wurde zugunsten eines wartungsarmen Systems verzichtet. Um Zugluft zu vermeiden, wurden Strömungssimulationen durchgeführt und im Anschluss der maximale Volumenstrom auf  $50 \text{ m}^3/\text{h}$  pro Fenster festgelegt. Dies entspricht einem Außenluftvolumenstrom von  $150 - 200 \text{ m}^3/\text{h}$  pro Klassenraum. Dabei wird die Luftmenge über den Ventilator und die Lüftungsklappe geregelt. In Tabelle 9 ist die Regelstrategie des Abluftsystems dargestellt.

Tabelle 9:  
Regelmechanismus des Ventilators in Abhängigkeit der gemessenen  $\text{CO}_2$ -Konzentration

CO <sub>2</sub> -Konzentration [ppm]	Stufe	Steuerbefehl
< 800	Aus	Absperrklappe geschlossen, Ventilator aus
800 - 1.100	0	Absperrklappe vor dem Ventilator wird geöffnet, LED "gelb" an - Lüftung durch natürlichen Auftrieb
1.100 - 1.400	1	Absperrklappe vor dem Ventilator ist geöffnet, der Ventilator schaltet ein, LED "orange" an - Lüftung mit geringem Volumenstrom (40 %)
1.400 - 1.800	2	Absperrklappe vor dem Ventilator ist geöffnet, der Ventilator ist an, LED "orange" an - Lüftung mit mittlerem Volumenstrom (70 %)
1.800 - 2.200	3	Absperrklappe vor dem Ventilator ist geöffnet, der Ventilator ist an, LED "grün" an - Lüftung mit maximalem Volumenstrom (100 %)

LED "rot" bedeutet Störung im System

Die Ventilatoren werden von 18 Uhr bis 6 Uhr zentral über die Gebäudeleittechnik abgeschaltet, um Fehlfunktionen zu minimieren. Zudem bleibt bei Teil- oder Nichtbelegung des Unterrichtsraumes der Ventilator außer Betrieb, wodurch eine deutliche Einsparung an Elektroenergie für den Ventilatorantrieb gegenüber konventionellen Abluftanlagen erreicht wird. Bei einem Volumenstrom im Bereich von 350 m<sup>3</sup>/h – 600 m<sup>3</sup>/h wird eine elektrische Leistung von 18 W – 47 W benötigt. Der angegebene Schallbereich des Ventilators liegt bei 50 dB(A) bei 2.850 U/min, so dass für die kürzeren Schächte für die Klassen im Ober- und Dachgeschoss Schalldämpfer zur Gewährleistung eines störfreien Unterrichtsbetriebs nachgerüstet wurden (vgl. Bild 29). Der gemessene Schallpegel im Klassenraum liegt über 30 dB(A). Es wird jedoch ein Wert von 30 dB(A) angestrebt.



Bild 29:  
Reaktivierter Abluftschacht mit nachgerüstetem Schalldämpfer im Dachstuhl

Brandschutztechnische Auflagen dieses Systems waren der Einbau von Brandschutzventilen zu den Klassen, die Aufschaltung der Ventilatoren auf die Brandmeldeanlage sowie die brandschutzgerechte Verlegung der Steuerungsleitungen. Damit sind die Schächte als von den Klassen separate Brandabschnitte einzuordnen.

#### 4.3 Gebäudeleittechnik (GLT)

Über ein Instabus KNX/EIB-System werden die Funktionen Heizung, Beleuchtung, Lichtlenkung und Verschattung präsenzabhängig gesteuert. Das System ist dabei über einen IP-Router online zugänglich, wodurch ein externer Zugriff auf die Gebäude- und Anlagentechnik sowie eine für das Monitoring wichtige Datenspeicherung zur Auswertung der Verbrauchs- und Betriebsdaten ermöglicht wird.

### 5 Energiekennwerte

Der im Rahmen der Baugenehmigung erforderliche Nachweis nach der Energieeinsparverordnung (EnEV) wurde von der Hochschule Zittau erstellt. Die Berechnung erfolgte nach DIN V 18599. Die berechneten Energiekennwerte sind in Tabelle 9 zusammengestellt.

Tabelle 10:  
Zusammenstellung der Energiekennwerte, berechnet gemäß DIN V 18599

Energieanteile	Nutzenergie	Endenergie	Primärenergie
	kWh/m <sup>2</sup> a	kWh/m <sup>2</sup> a	kWh/m <sup>2</sup> a
Heizung	36,6	34,9	34,7
Trinkwasser	2,7	2,7	7,0
Belüftungstrom	0,0	0,1	0,3
Kühlung	0,0	0,0	0,0
Beleuchtung	3,3	3,3	8,6
Gesamt	42,5	41,0	50,4

Zur Erzeugung der benötigten Heizwärme werden hauptsächlich die beiden Gasabsorptionswärmepumpen eingesetzt. Diese haben im Vergleich zu Elektrowärmepumpen geringere Jahresarbeitszahlen, woraus sich der relativ geringe Unterschied zwischen Nutz- und Endenergie erklärt. Da jedoch die Wärmepumpen mit Gas betrieben werden, ist der Primärenergiebedarf ähnlich hoch wie der Endenergiebedarf.

Das benötigte Trinkwarmwasser wird vor Ort mit Elektroboilern erwärmt. In den Klassenräumen und Toiletten steht nur Kaltwasser zur Verfügung.

Der Strombedarf für die Belüftung ist relativ gering, da die Abluftventilatoren nur eine geringe Leistung aufweisen. Die Kühlung im Sommer erfolgt über Erdsonden, es wird daher kein Kühlenergiebedarf ausgewiesen.

Der Primärenergiebedarf für die Beheizung und Belüftung, der für die Bewertung nach den 3-Liter-Haus-Kriterien maßgeblich ist, beträgt 35,0 kWh/m<sup>2</sup>a. Dieser Bedarf liegt nur knapp über dem Wert eines 3-Liter-Hauses,

dessen Maximalwert bei 34 kWh/m<sup>2</sup>a liegt. Der Gesamtprimärenergiebedarf beträgt 50,4 kWh/m<sup>2</sup>a.

Im Rahmen der Validierungsmessung werden die Bedarfswerte den Verbrauchswerten gegenübergestellt.

## 6 Kosten

Die Gesamtinvestitionskosten belaufen sich auf 7,14 Mio. € netto. Davon fallen 1,81 Mio. € netto für die energetische Sanierung an, der Restbetrag wird für ohnehin fällige Umbaumaßnahmen am Schulgelände veranschlagt. Die Kosten für Anbau und Turnhalle belaufen sich in Summe ebenfalls auf 1,78 Mio. € netto, wodurch sich für die Sanierung des Schulgebäudes 5,4 Mio. € berechnen (siehe Tabelle 15).

### 6.1 Kosten der innovativen Maßnahmen

Die Kosten für die in der Friedrich-Fröbel-Schule umgesetzten innovativen baulichen Maßnahmen der Kostengruppe 300 (Bauwerk – Baukonstruktion) sind in Tabelle 11 zusammengestellt.

Sehr hohe Kosten von 1.142 €/m<sup>2</sup> verursachen die Fenster mit der elektrochromen Verglasung. Die Kosten für zehn Lichtschächte einschließlich Belegung mit hochreflektierender Folie und Einbau im Dachgeschoss betragen 149.992 €. Diese Maßnahme reduziert jedoch die Betriebskosten für verringerten Kunstlichteinsatz in den Unterrichtsräumen im Dachgeschoss. Insgesamt liegen die innovativen baulichen Maßnahmen bei 1.424.029 €.

Tabelle 11:  
Zusammenstellung der absoluten und der auf die Bauteile bezogenen Bruttokosten der innovativen Maßnahmen der Kostengruppe 300

Innovative Maßnahmen Kostengruppe 300	Fläche	Stück	Netto-Kosten		
	m <sup>2</sup> / -	Anzahl	€	€/m <sup>2</sup>	€/Stück
Vakuumdämmpaneele Fassade	2.014	-	345.274	171	-
Vakuumdämmpaneele Fußboden	90	-	9.412	105	-
Kalziumsilikat-Platten	295	-	12.941	44	-
Zuluftkastenfenster	-	195	575.759	-	2.953
Lichtlenkung	173	-	53.542	309	-
Elektrochrome Verglasung	92	-	105.042	1.142	-
Lichtschächte (10 Stück)	-	10	149.992	-	14.999
Akustik	385	-	172.067	447	-
Summe innovative Maßnahmen	-	-	1.424.029	-	-

Zu den innovativen Maßnahmen im Anlagenbereich gehören die in Tabelle 11 zusammengestellten Positionen. Die Kosten für Wärmepumpe, Erdsonden inklusive Bohrung und Mehrkosten durch zusätzliche Heizflächen liegen ohne Montage bei 91.030 €. Auch bei der Lüftung handelt es sich um die Kosten der Ertüchtigung der Abluftschächte ohne Berücksichtigung der Abluftgeräte. Die Kosten für die Kühldecken in den thermisch hoch belasteten Räumen im Dachgeschoss (263 m<sup>2</sup>) belaufen sich auf 82.604 €. Die gesamten Kosten der Kostengruppe 400 (Bauwerk – Technische Anlagen) der innovativen Maßnahmen liegen bei 417.434 €.

Tabelle 12:  
Zusammenstellung der absoluten Bruttokosten der innovativen Maßnahmen der Kostengruppe 400

Innovative Anlagenteile KG 400	Netto-Kosten
	€
Abluftschächte	106.792
Gas-Wärmepumpen inkl. Erdsonden	91.030
Beleuchtung	81.179
Messtechnik	55.829
Kühldecke	82.604
Sonstiges	0
Summe innovative Maßnahmen	417.434

## 6.2 Kosten der Kostengruppe 300 und 400

In Tabelle 13 sind die gesamten Kosten der Kostengruppe 300 zusammengestellt. Sie belaufen sich, bezogen auf die Nettogrundfläche von 4.439 m<sup>2</sup>, auf 744 €/m<sup>2</sup> (ohne die Kosten für Anbau und Turnhalle). Die nettogrundflächenbezogenen Gesamtkosten der Kostengruppe 400 liegen bei 329 €/m<sup>2</sup> (vgl. Tabelle 14). Die beiden Kostengruppen zusammen betragen 1.073 €/m<sup>2</sup>.

Tabelle 13:  
Zusammenstellung der Gesamtkosten der Kostengruppe 300

Gewerk KG 300	Netto-Kosten	
	€	€/m <sup>2</sup> NGF
Rohbau	387.880	87
Fassadenbauarbeiten	928.941	249
Dachabdichtung und Eindeckung	193.924	52
Malerarbeiten	227.552	61
Schlosser	63.458	17
Bodenbelag	435.045	117
Trockenbau	391.388	105
Holzbauarbeiten	323.627	73
Sonstiges	351.378	94
Summe KG 300	3.303.194	744
Kosten Anbau	90.697	-
Kosten Turnhalle	65.521	-

Tabelle 14:  
Zusammenstellung der Gesamtkosten der Kostengruppe 400

Gewerk KG 400	Netto-Kosten	
	€	€/m <sup>2</sup> NGF
Sanitär	130.237	29
Heizung	338.893	76
Lüftung	46.469	10
Elektroinstallation	353.306	80
Beleuchtung	150.395	34
Fernmeldeanlagen	89.228	20
Förderanlagen	63.271	14
Nutzungsspezifische Anlagen	142.078	32
Gebäudeautomation / GLT	146.292	33
Sonstiges	0	0
Summe KG 400	1.460.170	329

### 6.3 Gesamtkosten

Die in Tabelle 15 gezeigten Kosten setzen sich aus den Kostengruppen 200 bis 700 des Schulgebäudes zusammen. Die Kostengruppe 300 weist mit 3.303.194 € den höchsten Betrag auf. Danach kommen die Kosten für die Anlagentechnik mit 1.436.157 €. Die gesamten Kosten belaufen sich auf 5.389.065 €. Die letzte Spalte zeigt die nettogrundflächenbezogenen Kosten. Die gesamten Kosten einschließlich der energetisch relevanten Kosten von 4,7 Mio € belaufen sich auf 5,4 Mio. €. Auf die Nettogrundfläche von 4.439 m<sup>2</sup> bezogen sind das 1.214 €/m<sup>2</sup>.

Tabelle 15:  
Zusammenstellung der absoluten und der nettogrundflächenbezogenen Kosten der Kostengruppe 200 bis 700 für den Schulbau (ohne Turnhalle und Anbau)

Gewerke	Netto-Kosten	
	€	€/m <sup>2</sup> NGF
KG 200, Herrichten und Erschließen	10.177	3
KG 300, Bauwerk - Baukonstruktion	3.303.194	744
KG 400, Bauwerk - Technische Anlagen	1.436.157	385
KG 500, Außenanlagen	52.689	14
KG 600, Ausstattung	2.355	1
KG 700, Baunebenkosten	584.494	157
Summe	5.389.065	1.214

## 7 Validierungsmessungen

Seit Anfang April 2011 liegen belastbare Messdaten vor. Es ist geplant, das Monitoring bis Ende Januar 2013 weiterzuführen. Da momentan die Verbrauchsdaten noch nicht für ein komplettes Jahr vorliegen, werden im Folgenden nur die Raumlufttemperaturen und die CO<sub>2</sub>-Konzentrationen in einigen Räumen für die Zeit von 1. April 2011 bis 29. Februar 2012 dargestellt. Die Daten werden in einem zeitlichen Abstand von einer Minute gemessen. Für die Auswertung werden die Werte zu halbstündlichen Mittelwerten zusammengefasst.

Bild 30, Bild 32 und Bild 34 zeigen die Raumlufttemperaturen für die Klassenräume 217, 304 und 310 in Abhängigkeit der Außenlufttemperaturen. Da in den Räumen Präsenzmelder installiert sind, ist es möglich, die Raumlufttemperaturwerte nur dann zu verwenden, wenn Personen im Raum anwesend sind. Bild 31, Bild 33 und Bild 35 zeigen dazu so genannte Rasterdiagramme (engl. Carpet-Plot), damit ist es möglich den zeitlichen Verlauf der Temperaturen in den Räumen grafisch darzustellen. (es werden hier alle Messwerte verwendet auch die bei Abwesenheit von Personen)

Der Raum 217 befindet sich im Erdgeschoss auf der Südwestseite. Es handelt sich um einen Raum mit drei Außenwänden. Die Raumlufttemperaturen



bewegen sich zwischen 18 °C und 26 °C. Werte unter 20 °C ergeben sich, wenn in den Pausen die Fenster geöffnet werden. Bei hohen Außenlufttemperaturen über 30 °C steigen die Raumlufttemperaturen nicht über 26 °C an. In diesem Raum liegen somit auch bei sommerlichen Höchsttemperaturen die Raumlufttemperaturen in einem behaglichen Bereich. Der Klassenraum 304 liegt im Obergeschoss und grenzt an die westliche Außenwand. Die Raumlufttemperaturen liegen in einem Band zwischen 20 °C und 26 °C. Nur wenige Temperaturwerte befinden sich unterhalb 20 °C. Der Klassenraum 310 befindet sich auf der Ostseite des Gebäudes. Die maximalen Raumlufttemperaturen sind minimal höher als die Werte im Raum 304.

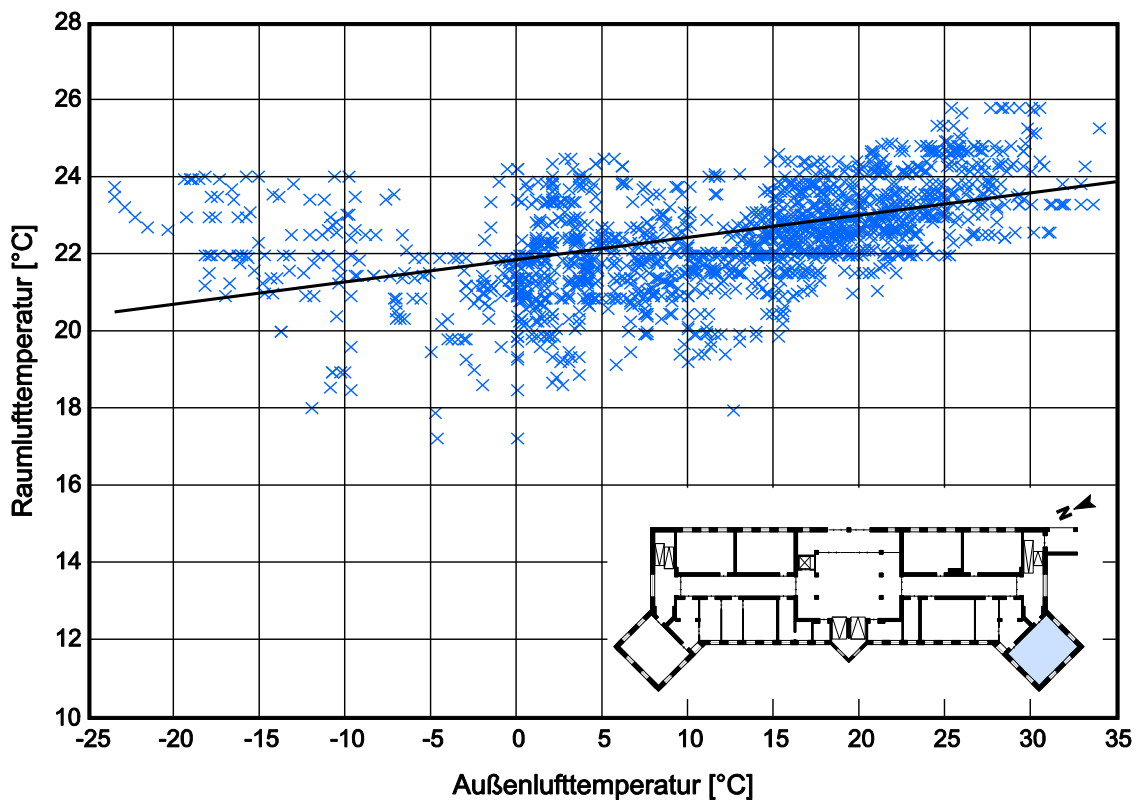


Bild 30:  
Darstellung der Raumlufttemperaturen für den Klassenraum 217 während der Anwesenheit von Personen im Raum in Abhängigkeit der Außenlufttemperatur für den Zeitraum von 1. April bis 29. Februar 2012

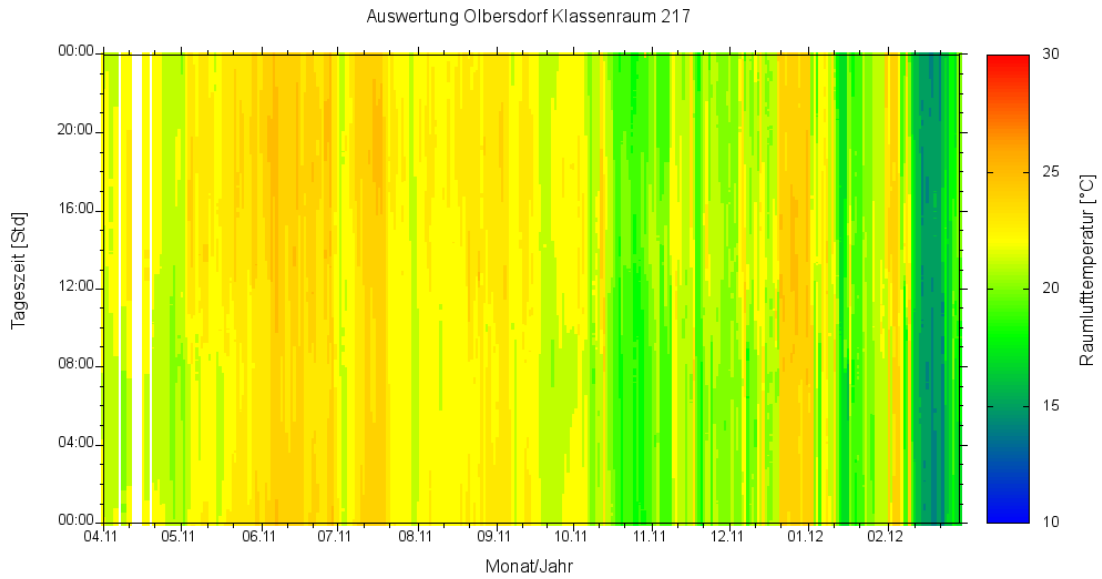


Bild 31:  
Darstellung eines Carpet-Plots der Raumlufthtemperen für den Klassenraum 217 für den Zeitraum von 1. April bis 29. Februar 2012 (es werden hier alle Messwerte verwendet - auch die bei Abwesenheit von Personen)

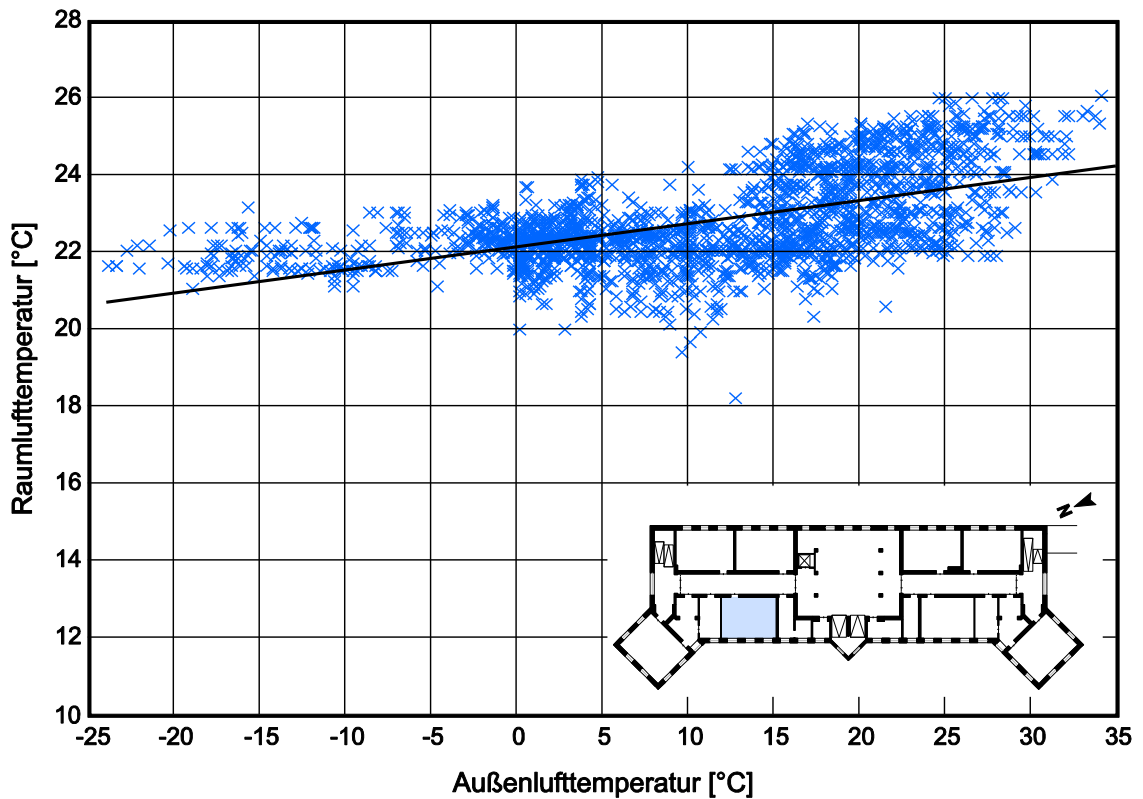


Bild 32:  
Darstellung der Raumlufthtemperen für den Klassenraum 304 während der Anwesenheit von Personen im Raum in Abhängigkeit der Außenlufttemperatur für den Zeitraum von 1. April bis 29. Februar 2012

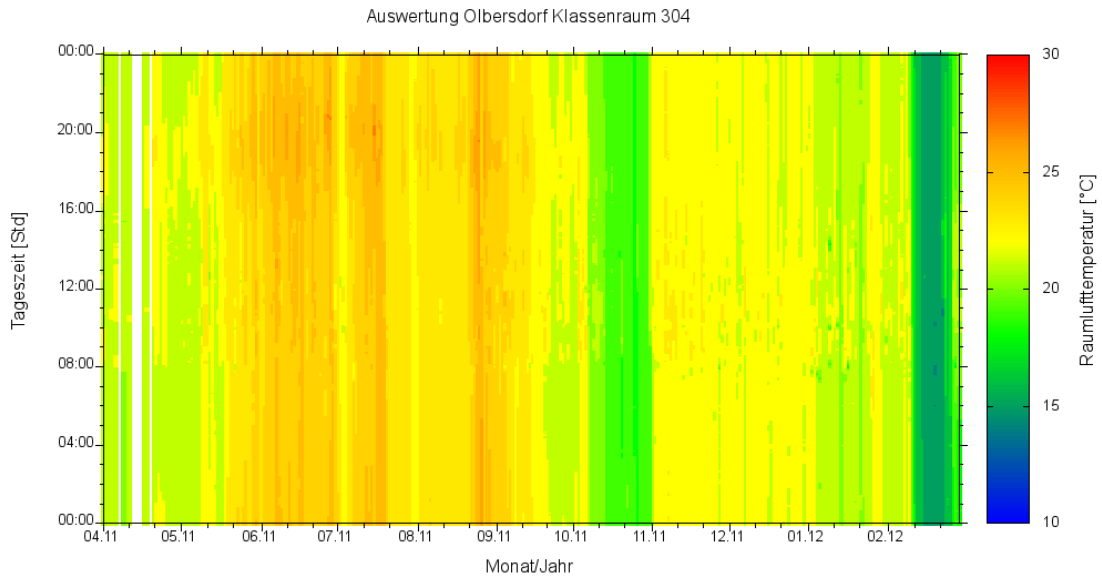


Bild 33:  
Darstellung eines Carpet-Plots der Raumlufthtemperen für den Klassenraum 304 für den Zeitraum von 1. April bis 29. Februar 2012 (es werden hier alle Messwerte verwendet - auch die bei Abwesenheit von Personen)

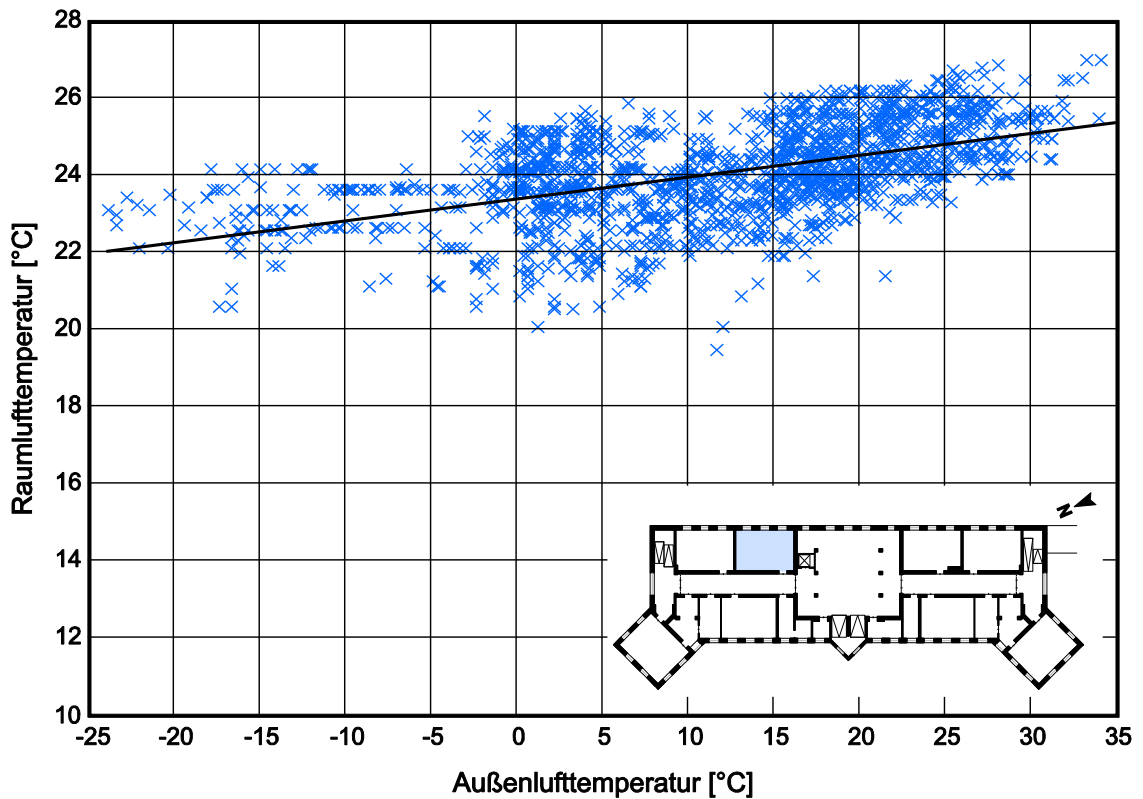


Bild 34:  
Darstellung der Raumlufthtemperen für den Klassenraum 310 während der Anwesenheit von Personen im Raum in Abhängigkeit der Außenlufttemperatur für den Zeitraum von 1. April bis 29. Februar 2012

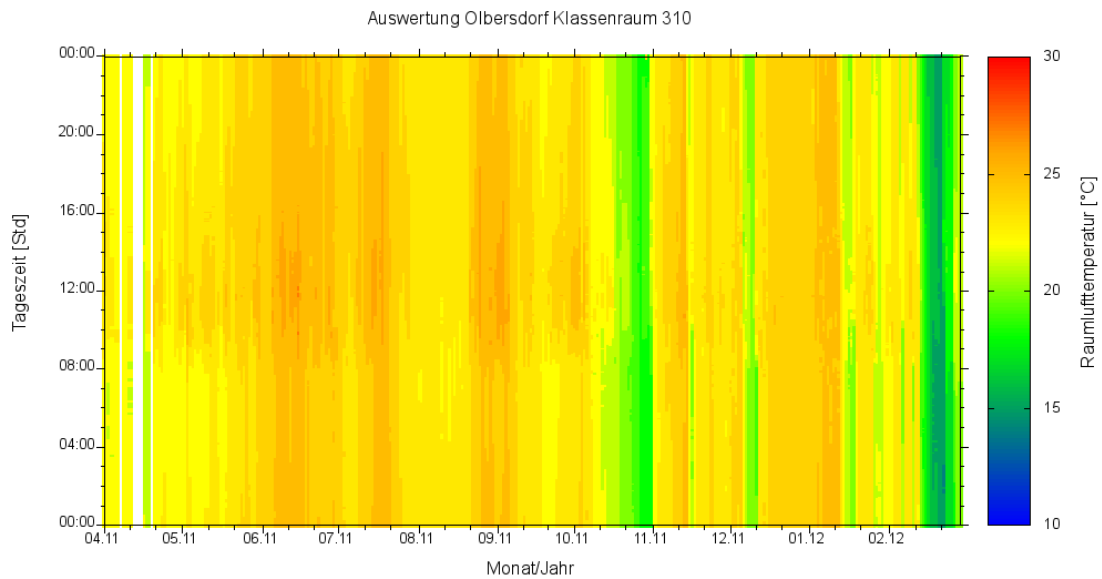


Bild 35:

Darstellung eines Carpet-Plots der Raumlufttemperaturen für den Klassenraum 310 für den Zeitraum von 1. April bis 29. Februar 2012 (es werden hier alle Messwerte verwendet - auch die bei Abwesenheit von Personen)

Die Bewertung der Raumluftqualität in den Klassenräumen erfolgt mittels CO<sub>2</sub>-Sensoren. In Bild 92, Bild 94 und Bild 96 sind die Häufigkeiten bestimmter CO<sub>2</sub>-Konzentrationen für die Klassenräume 217, 304 und 310 dargestellt. Die Messwerte werden ebenfalls nur dann herangezogen, wenn Personen im Raum anwesend sind. Bild 93, Bild 95 und Bild 97 zeigen darüber hinaus den zeitlichen Verlauf der Kohlendioxidkonzentration anhand von Carpet-Plots. Aus den Bildern ist erkennbar, dass in allen Räumen CO<sub>2</sub>-Konzentrationen von über 1.500 ppm auftreten.

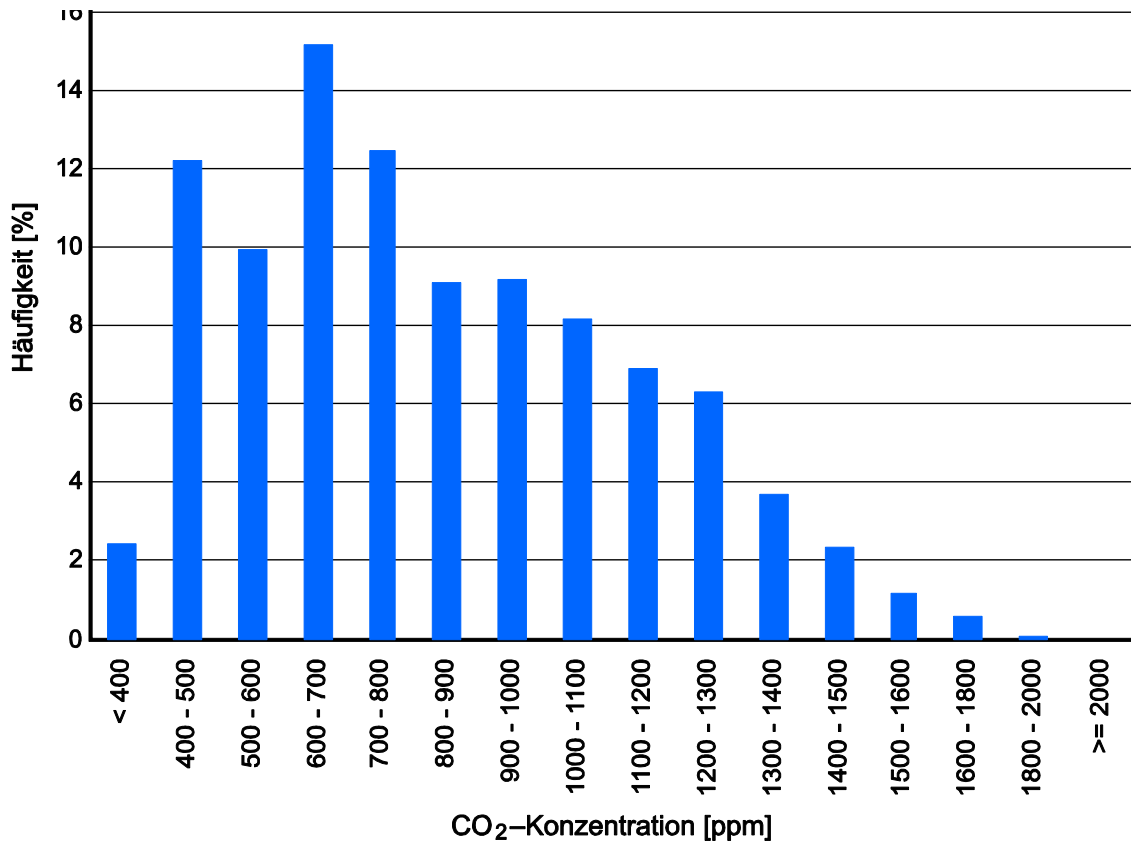


Bild 36:  
Darstellung der prozentualen Häufigkeiten der CO<sub>2</sub>-Konzentration im Klassenraum 217 während der Anwesenheit von Personen im Raum für den Zeitraum von 1. April 2011 bis 29. Februar 2012

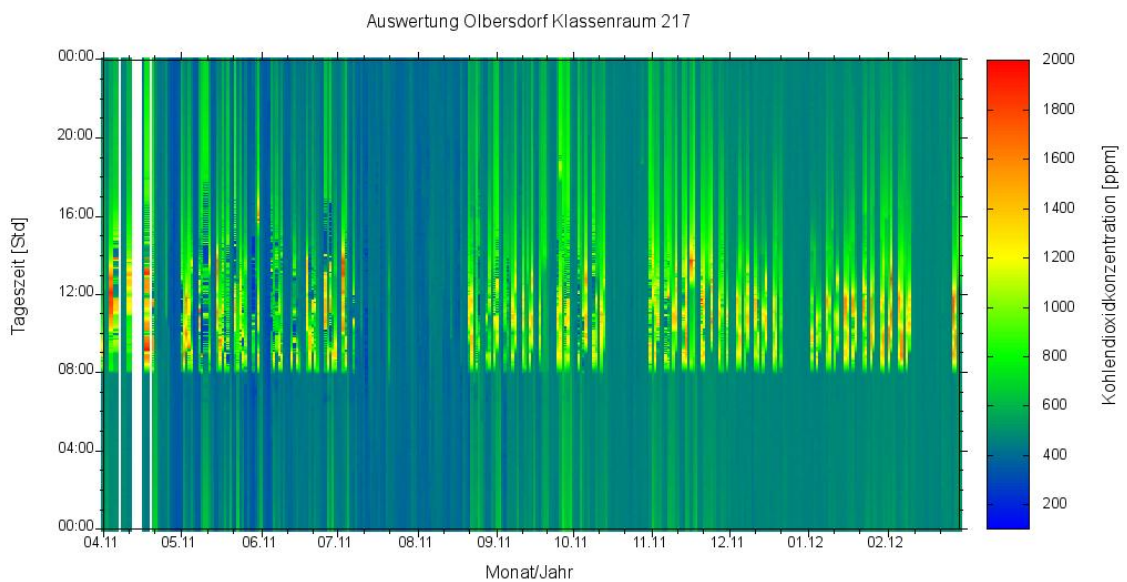


Bild 37:  
Darstellung eines Carpet-Plots der CO<sub>2</sub>-Konzentration im Klassenraum 217 für den Zeitraum von 1. April 2011 bis 29. Februar 2012 (es werden hier alle Messwerte verwendet - auch die bei Abwesenheit von Personen)

Am deutlichsten zeigt sich dies im Klassenraum 304. Im Gegensatz zu Raum 217 und 310 gibt es kein Maximum bei 500 bis 700 ppm, sondern es treten alle Konzentrationen bis ca. 1.400 ppm in ähnlich hoher Häufigkeit auf. In diesem Raum liegen auch Konzentrationen von über 2.000 ppm vor. Im

Vergleich zu den beiden anderen Räumen weist der Klassenraum 304 die schlechteste Raumlufthqualität auf, da zu ca. 15 % der Aufenthaltszeit die CO<sub>2</sub>-Konzentrationen über 1.500 ppm liegen.

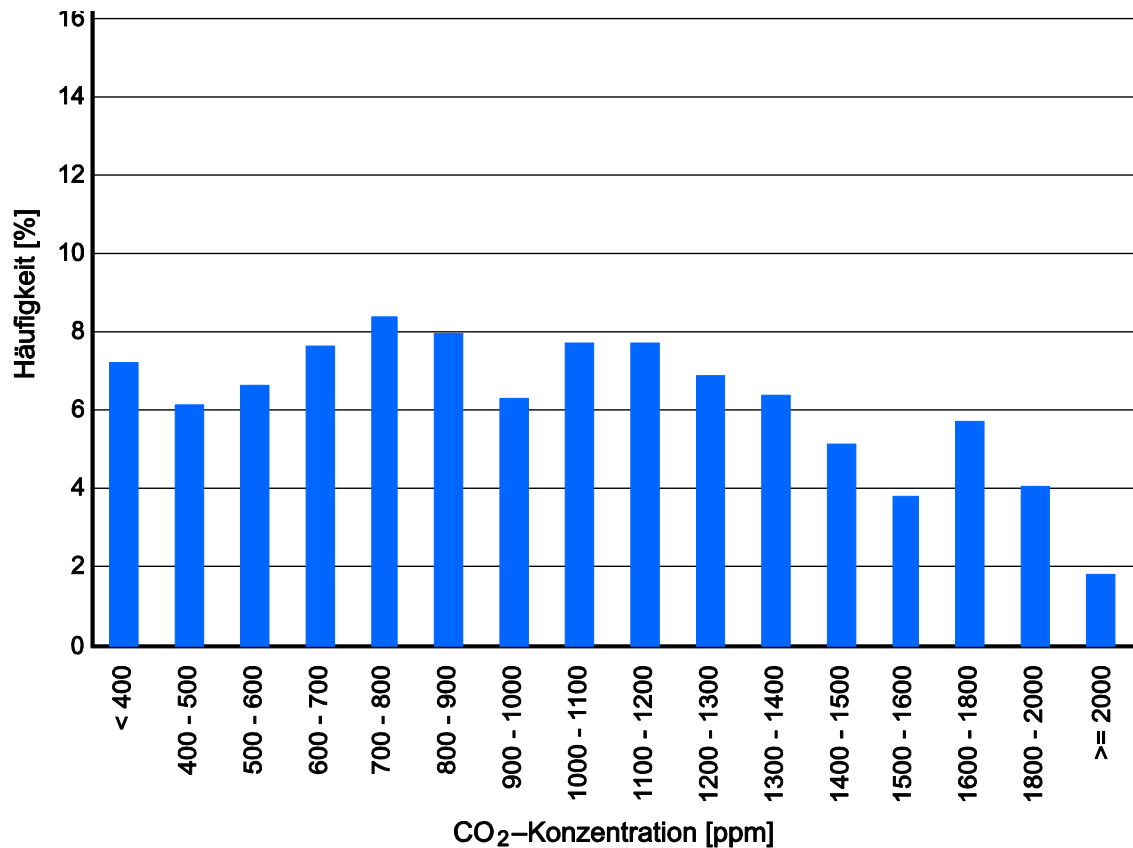


Bild 38:  
Darstellung der prozentualen Häufigkeiten der CO<sub>2</sub>-Konzentration im Klassenraum 304 während der Anwesenheit von Personen im Raum für den Zeitraum von 1. April 2011 bis 29. Februar 2012

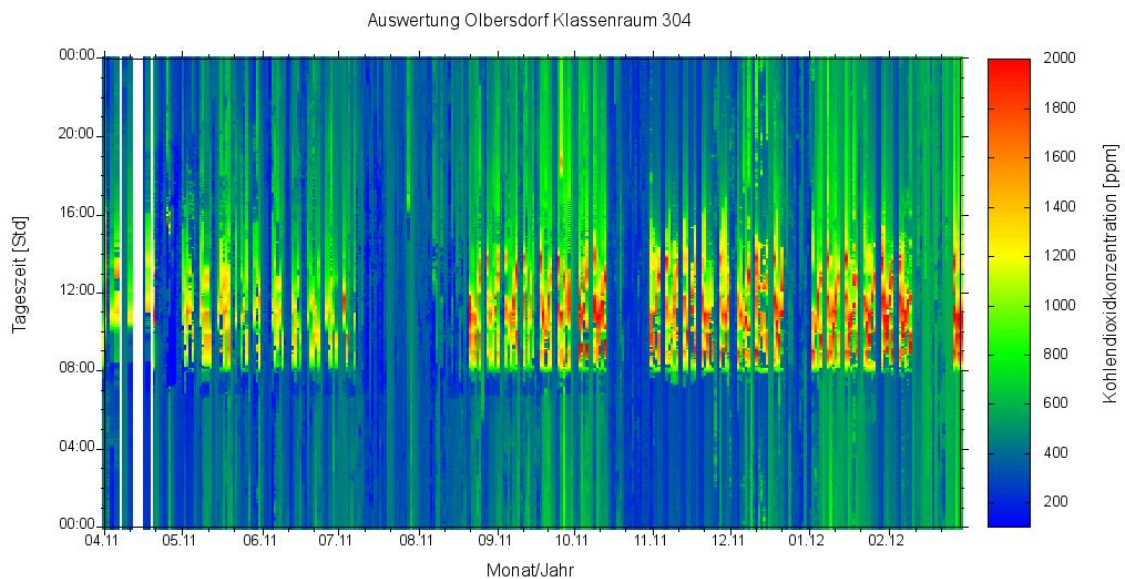


Bild 39:  
Darstellung eines Carpet-Plots der CO<sub>2</sub>-Konzentration im Klassenraum 304 für den Zeitraum von 1. April 2011 bis 29. Februar 2012 (es werden hier alle Messwerte verwendet - auch die bei Abwesenheit von Personen)

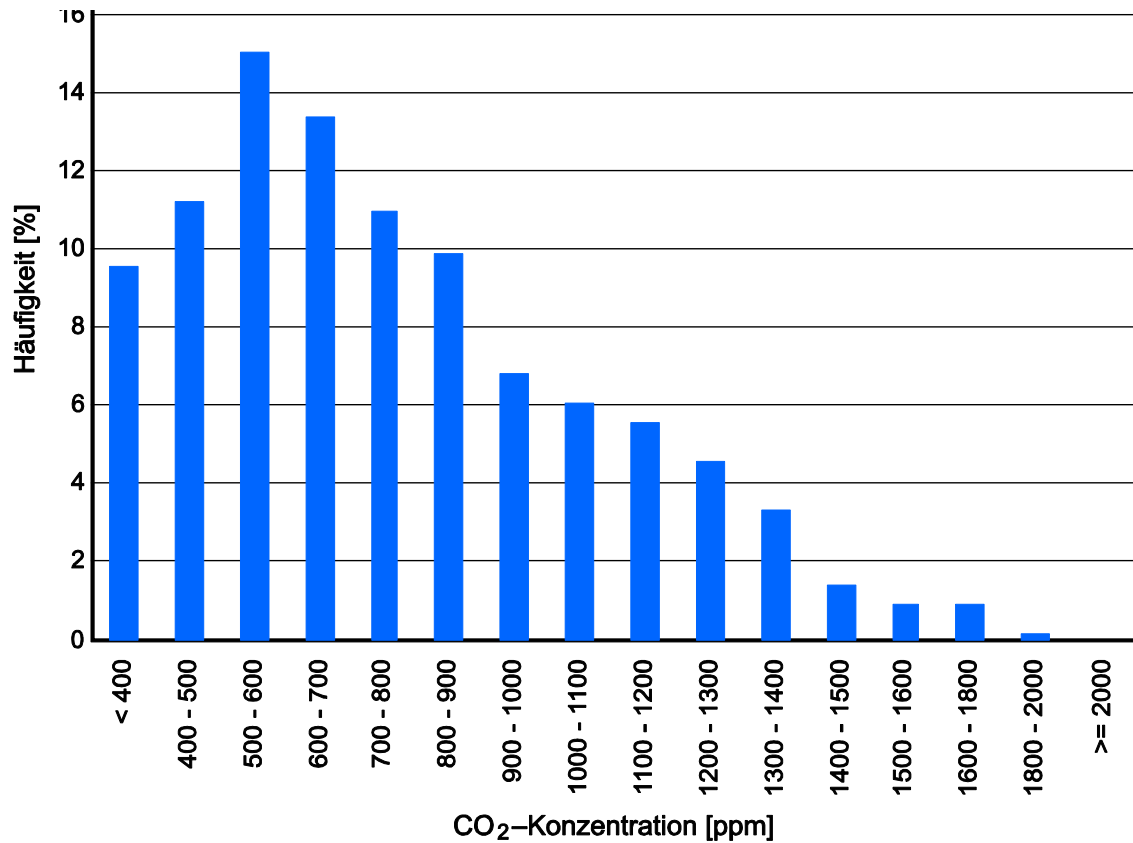


Bild 40:  
Darstellung der prozentualen Häufigkeiten der CO<sub>2</sub>-Konzentration im Klassenraum 310 während der Anwesenheit von Personen im Raum für den Zeitraum von 1. April 2011 bis 29. Februar 2012

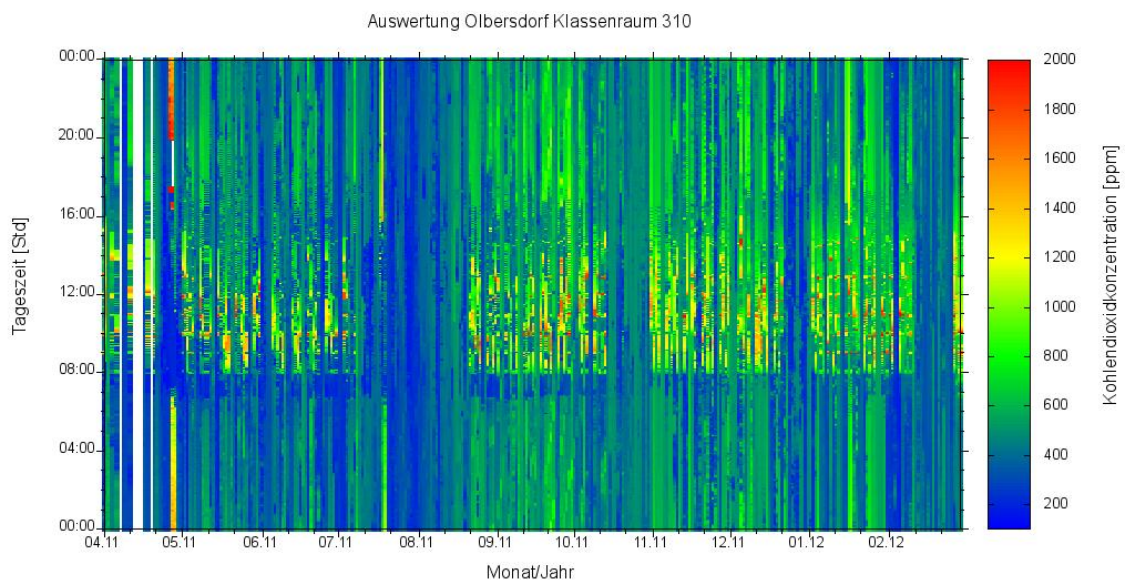


Bild 41:  
Darstellung eines Carpet-Plots der CO<sub>2</sub>-Konzentration im Klassenraum 310 für den Zeitraum von 1. April 2011 bis 29. Februar 2012 (es werden hier alle Messwerte verwendet - auch die bei Abwesenheit von Personen)

## **8 Sozialwissenschaftliche Untersuchung**

An der Friedrich-Fröbel-Schule für Lernförderung in Olbersdorf (Landkreis Löbau-Zittau) werden ca. 200 Schüler von 27 Lehrkräften in den Klassen 1 bis 9 unterrichtet. Vor der Sanierung stand das denkmalgeschützte Gebäude einige Jahre lang leer. In dieser Zeit und während der Sanierung fand der Unterricht in einem älteren Gebäude in Zittau statt. In diesem Schulgebäude erfolgte eine erste schriftliche Befragung aller Schüler der Klassen 4 bis 9 im Zeitraum August bis September 2010. Die Beteiligung lag bei 80 %, 129 von ca. 160 Schülern füllten den Fragebogen aus. Die Ergebnisse wurden der Schulleitung im Juli 2011 zur Verfügung gestellt. Der Erhebung ging eine Besprechung mit der Schulleitung voraus, in der das Projektteam den Ablauf der Begleitforschung vorgestellte und die Schulleitung ihrerseits das Vorgehen bei der Planung der Sanierung und pädagogische Begleitmaßnahmen erläuterte.

Im Februar 2011 zog die Friedrich-Fröbel-Schule von Zittau in das sanierte Gebäude in Olbersdorf um. Am 12. Mai 2011 fand die offizielle Einweihung des Bildungsgebäudes statt. Nachdem die Schülerinnen und Schüler sowie die Lehrkräfte erste Erfahrungen mit dem Gebäude im Sommer und im Winter gemacht hatten, fanden im Januar 2012 Gruppendiskussionen mit Schülern, Lehrern und Elternvertreter statt. Im Anschluss daran erfolgte eine zweite schriftliche Schülerbefragung im Februar 2012 mit einem Rücklauf von 78 % (125 ausgefüllte Fragebögen). Die Lehrkräfte wurden ebenfalls zweimal befragt; bei der Erstbefragung in Zittau füllten 20 Lehrerinnen und Lehrer, bei der Zweitbefragung 24 Lehrkräfte den Fragebogen aus.

### **8.1 Beurteilung des Gebäudes und des Raumklimas**

Bild 42 zeigt die Bewertung verschiedener Komfortbedingungen in den Klassenzimmern aus der Sicht von Schülern und Lehrern im Vergleich des alten Gebäudes zum neuen Gebäude. Die Beurteilung erfolgte anhand von Schulnoten.



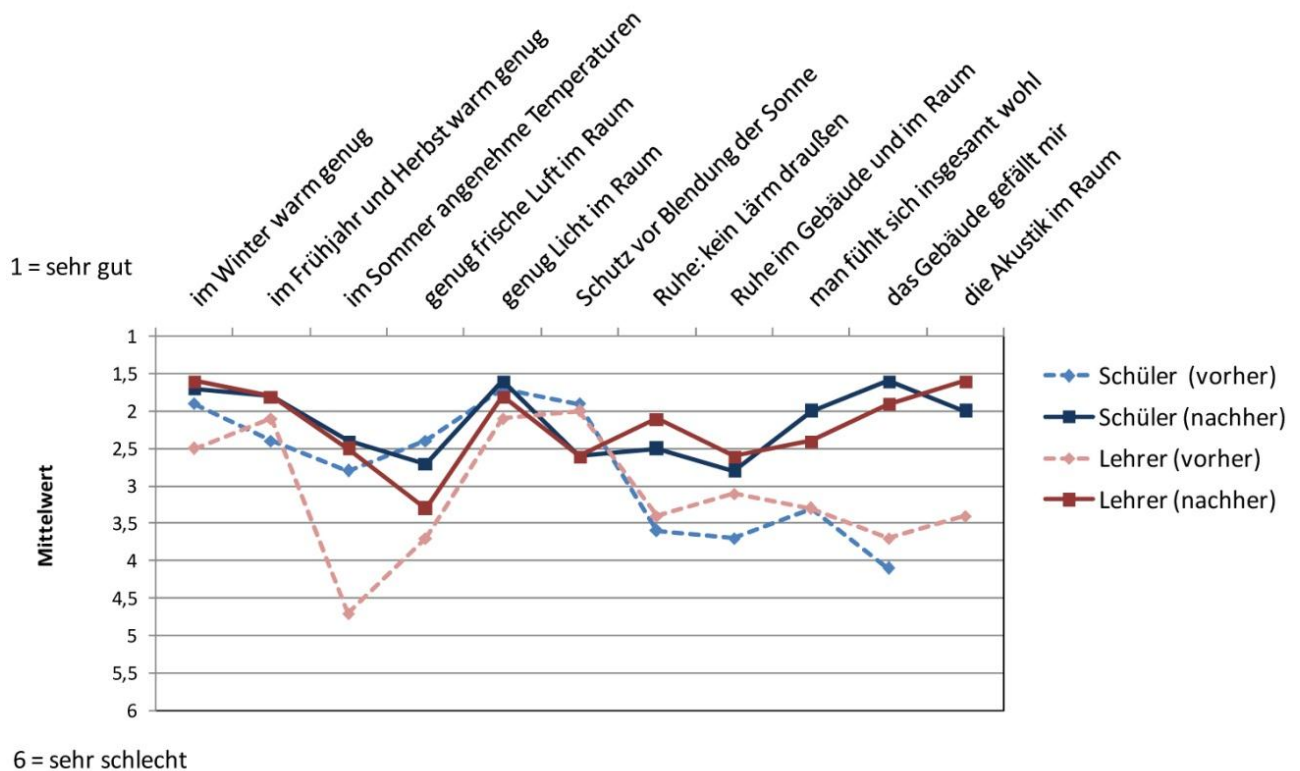


Bild 42:  
Beurteilung der Klassenzimmer im Hinblick auf das Raumklima

Im sanierten Gebäude zeigten sich sowohl bei den Schülern wie bei den Lehrern bessere Bewertungen als in der alten Schule bei dem überwiegenden Teil der Komfortaspekte. Eine deutliche Verbesserung sahen vor allem die Lehrer in den angenehmeren Temperaturen in den Klassenzimmern während der Sommermonate. Weitere Verbesserungen konnten für die akustischen Bedingungen in den Räumen festgestellt werden. Schüler wie Lehrer gaben in der schriftlichen Befragung an, sich insgesamt wohler zu fühlen, das sanierte Gebäude gefällt deutlich besser als die frühere Schule. Auch in den Gruppendiskussionen mit Schülern, Lehrern und Elternvertretern wurde einhellig bestätigt, dass das Gebäude ein außerordentlich attraktives Erscheinungsbild aufweist.

Als Problembereiche fallen im sanierten Gebäude der Blendschutz und die Luftqualität auf. In den Gruppendiskussionen brachten Schüler, Lehrer und Elternvertreter zur Sprache, dass die Luft schnell stickig werde. Der Umstand, dass die Jalousien automatisch hochfahren, wenn das Fenster geöffnet wird, sei ein Grundproblem für die Komfortbedingungen gerade in Klassenzimmern mit nur einer Fensterseite. Die Jalousien würden zudem sehr abdunkeln, was die Nutzung von künstlichem Licht erforderlich mache und die Schüler gerade im Sommer über Müdigkeit klagen ließe. Die manuelle Steuerung der Jalousie sei sehr umständlich, da der Schlüssel steckenbleiben müsse, aber gleichzeitig für andere Zwecke benötigt werde.

Andere innovativen technischen Elemente im sanierten Gebäude wurden von den Schülern und Lehrern gut beurteilt (s. Bild 43). Die automatische Lichtsteuerung sowie das Be- und Entlüftungssystem wurden von den Lehrern etwas schlechter bewertet als von den Schülern.

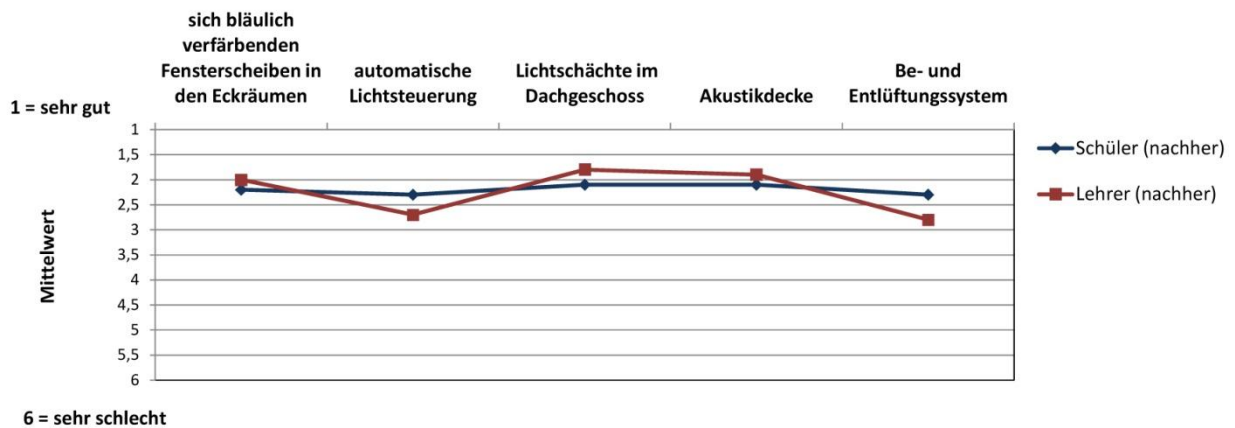


Bild 43:  
Bewertung der innovativen technischen Elemente

Bei den technischen Elementen fielen 62 % der Schüler und 25 % der Lehrer störende Geräusche durch die Jalousie auf, ebenso wurden von 29 % der Schüler und 13 % der Lehrer störende Lüftungsgeräusche angegeben. Automatische Funktionen in einem Gebäude fanden die Schüler der Gruppendiskussion ganz praktisch, sie möchten aber auch alles selbst beeinflussen können.

Zur Frage nach Problemen beim Arbeiten in der Schule ist aus Sicht der Schüler eine Abnahme der Störungen in vier Bereichen zu verzeichnen: "zu warm", "zu laut", "insgesamt unbehaglich", "Luft zu feucht" (s. Bild44). Eine Verschlechterung der Situation gegenüber dem alten Schulgebäude sahen die Schüler hingegen bei der Luftqualität und bei der Zugluft.

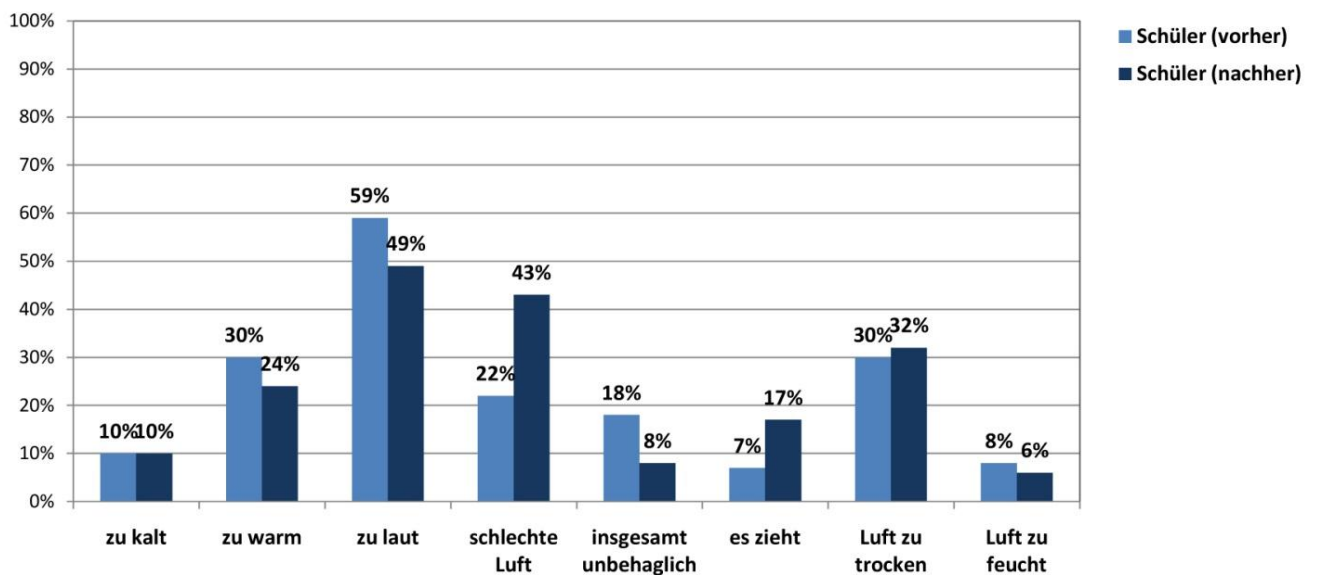


Bild 44:  
Probleme bzw. Störungen beim Arbeiten in der Schule aus Sicht der Schüler im Vergleich

Aus Sicht der Lehrer zeichnet sich mehrheitlich eine deutliche Abnahme der Probleme in nahezu allen Bereichen ab (s. Bild 45). Im Unterschied zu den

Schülern nahmen bei den Lehrern die Beschwerden über die Luftqualität ab, allerdings zeigte sich auch bei den Lehrern eine Zunahme der Beschwerden über Zugluft.

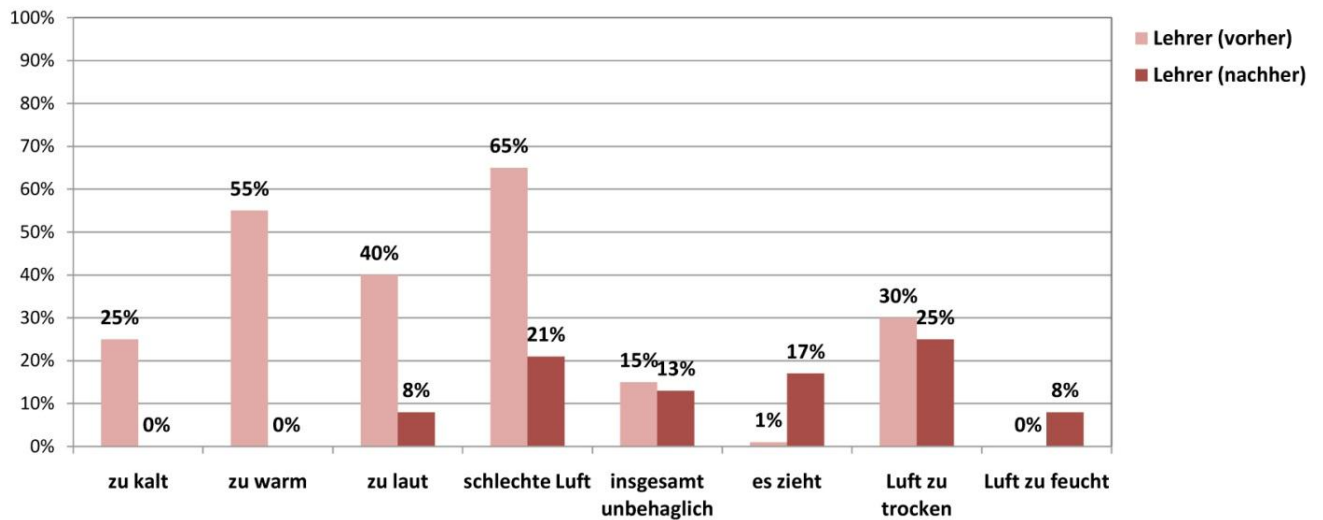


Bild 45:  
Probleme bzw. Störungen beim Arbeiten in der Schule aus Sicht der Lehrer im Vergleich

Hinsichtlich der Auswirkungen auf das körperliche Empfinden und das Unterrichtsgeschehen zeigen die Angaben kaum eine Abnahme bei der Kategorie "man kann sich schlecht konzentrieren" (von 58 % im alten Gebäude auf 56 % im sanierten Gebäude), während eine deutliche Reduzierung bei der Kategorie "man kann die Lehrer schlecht verstehen" festgestellt werden kann (von 40 % auf 20 %). Verdoppelt hat sich der Prozentsatz der Schüler, die angaben, "schneller müde zu werden". Eine leichte Zunahme zeigte sich auch bei der Kategorien "man bekommt Kopfschmerzen" (von 43 % auf 47 %).

Als Wirkung der räumlichen Veränderung gaben sowohl die Schüler (77 %) als auch die Lehrer (73 %) an, dass insgesamt im sanierten Gebäude bessere Lernbedingungen herrschen. Während im alten Schulgebäude 61 % der Lehrer negative Auswirkungen des Raumklimas auf die Lernbedingungen angaben, bewerteten 55 % der Lehrer im sanierten Gebäude die Auswirkungen des Raumklimas auf die Lernbedingungen positiv (s. Bild 46).

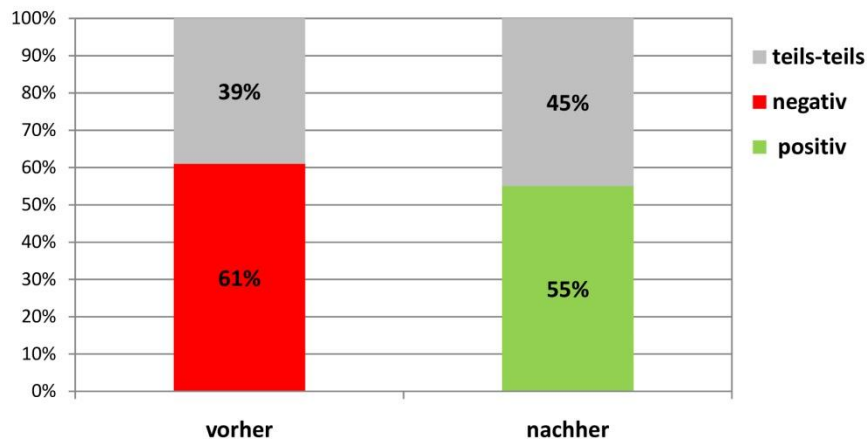


Bild 46:  
Auswirkung des Raumklimas auf die Lernbedingungen aus Lehrersicht

Bild 47 zeigt die Erwartungen der Lehrer an die Sanierung des Gebäudes. Sie konzentrierten sich auf eine bessere Luft in den Räumen (85 %), bessere Akustik (70 %), bessere Regelungsmöglichkeit der Temperatur (95 %) und auf generell bessere Lernbedingungen (70 %). Für 50 % der Lehrer war eine flexiblere Beleuchtungsregelung wichtig.

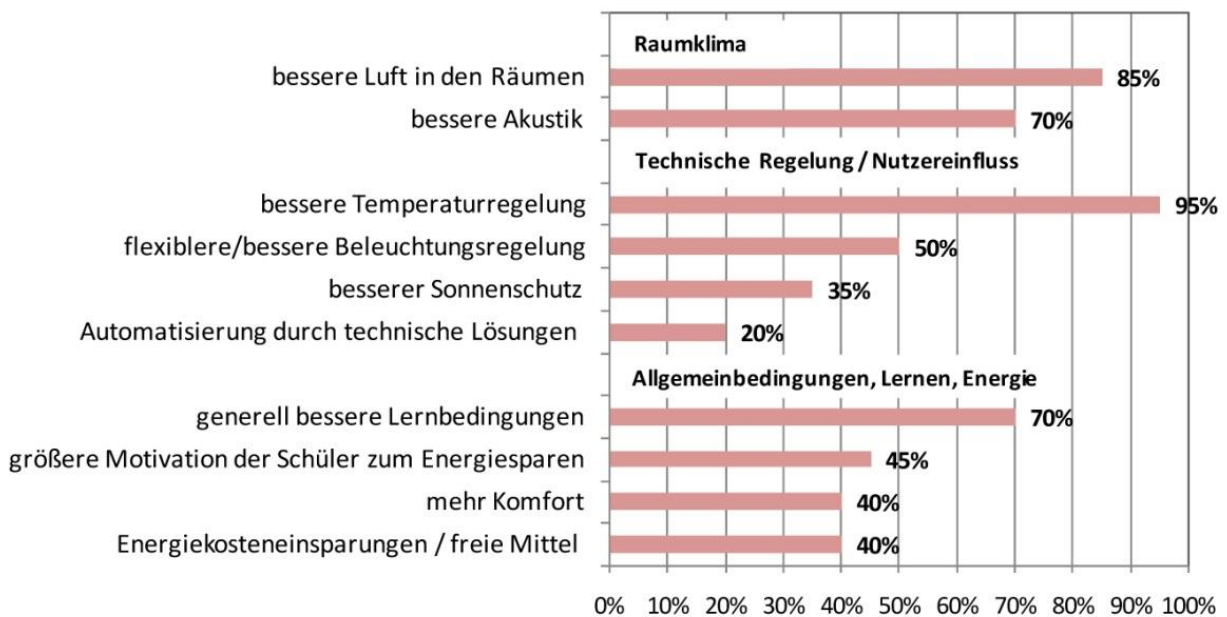


Bild 47:  
Die Erwartungen der Lehrkräfte an die Sanierung des Gebäudes (Erstbefragung)

Fasst man die Kategorien "voll und ganz" und "im Wesentlichen" der Frage „Wurden diese Erwartungen erfüllt?“ zusammen, wurden die Erwartungen der Lehrer zu 91 % erfüllt.

## 8.2 Pädagogisches Konzept

Ein eigens entwickeltes Konzept zum Umzug in den sanierten Altbau war nur insofern vorgesehen, dass Informationsveranstaltungen erfolgen sollten und der Energieverbrauch visualisiert werden sollte. Die Lehrer sollten ein Verständnis für das Energiekonzept des Gebäudes entwickeln und den Schülern weitervermitteln. Allerdings war zunächst einige Skepsis gegenüber der Technik vorhanden. Nach der Sanierung gaben alle Lehrer, die sich an der Befragung beteiligt hatten, an, auf die energietechnischen Besonderheiten des Gebäudes aufmerksam gemacht worden zu sein, 90 % fühlten sich ausreichend darüber informiert. In der Gruppendiskussion gaben die Lehrer an, dass sie sich selbst gern noch stärker mit dem Gebäude beschäftigt hätten, aber ihre Möglichkeiten für eine noch intensivere Einbindung des Themas häufig durch andere wichtige Unterrichtsinhalte erschwert seien.

Der Elternbeirat war informiert; neben einer Führung konnte die Schule im Rahmen eines "Tages der offenen Tür" besichtigt werden. Am ersten Schultag erfolgte eine Führung durch das Gebäude, die Schüler lernten bei Orientierungsspielen, sich im neuen Schulgebäude zurecht zu finden. In der Gruppendiskussion gaben die Elternvertreter an, dass sie gerne bereits vor dem Umzug in das Gebäude eine Besichtigung gehabt hätten. Aus der Gruppendiskussion mit einigen Schülern war zu entnehmen, dass es bekannt war, dass es sich um ein Forschungsprojekt handelt und es um Energieeinsparung geht.

Für den Unterricht waren mit den Schülern Projektstage und vereinzelte Aktivitäten geplant. Das Thema sollte vorrangig in das Unterrichtsfach Physik integriert werden. Bild 48 zeigt, dass sich der Anteil an Aktivitäten nach Angabe der Lehrer im sanierten Gebäude deutlich höher war als in der alten Schule. Informationen zum Thema Energiesparen haben sich um 16 % erhöht, insbesondere die Durchführung konkreter Maßnahmen hat sich um 28 % auf 70 % erhöht.

Dies spiegelt sich im Ergebnis der Befragung zu den im Unterricht behandelten Themenbereichen wider: 80 % der Schülerinnen und Schüler gaben in der Zweitbefragung an, sich im Unterricht bereits mit dem Energiesparen allgemein beschäftigt zu haben, das sind 20 % mehr als bei der Erstbefragung. Folgen des Energieverbrauchs und des Klimawandel wurden nach Angaben der Schüler seltener behandelt als in der alten Schule. 74 % der Schüler gaben an, auf energietechnische Besonderheiten des sanierten Gebäudes aufmerksam gemacht worden zu sein, 52 % gaben an, dass diese Besonderheiten im Unterricht besprochen wurden. An Messungen waren die Schüler in der sanierten Schule nicht beteiligt, Mess-Ergebnisse waren ihnen nicht bekannt. In der Gruppendiskussion gaben die Schüler an, dass sie gern noch mehr über das Energiekonzept gehört oder den Heizungskeller besichtigt hätten.

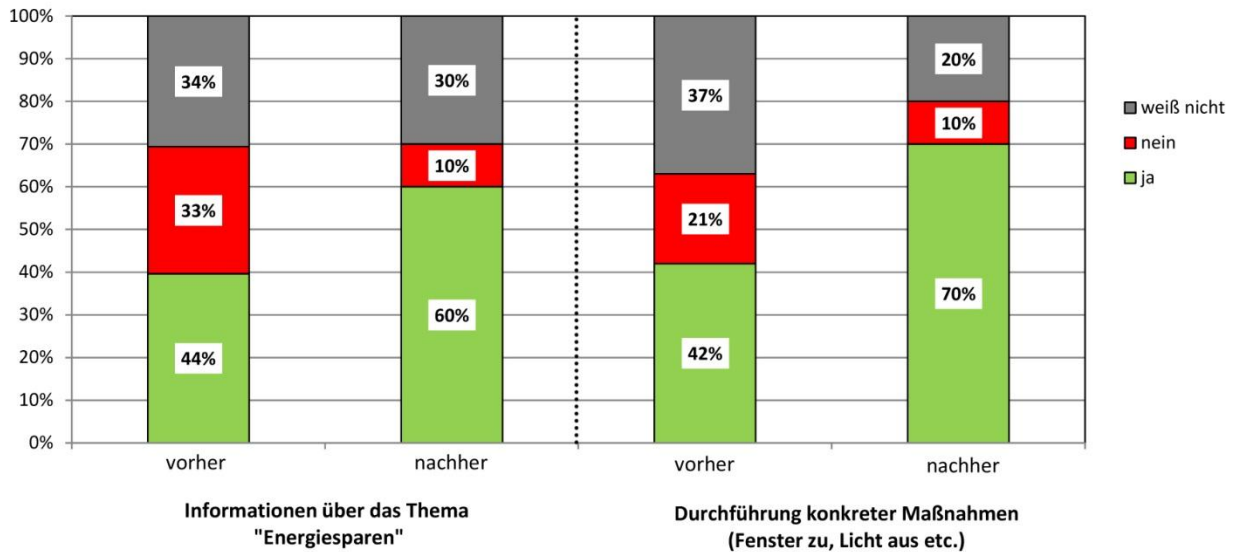


Bild 48:  
Angaben der Lehrer zur Durchführung von Energiesparaktivitäten mit Beteiligung der Schüler im alten und im sanierten Gebäude

Über den Erfolg solcher Maßnahmen urteilten die Lehrkräfte unterschiedlich (Bild 49): Der Anteil der Lehrer, die diese Aktivitäten als sehr erfolgreich bezeichneten, blieb in etwa gleich (7 % vorher bzw. 9 % nachher), eingeschränkten Erfolg sahen im sanierten Gebäude 83 % der Lehrer gegenüber 50 % in der alten Schule.

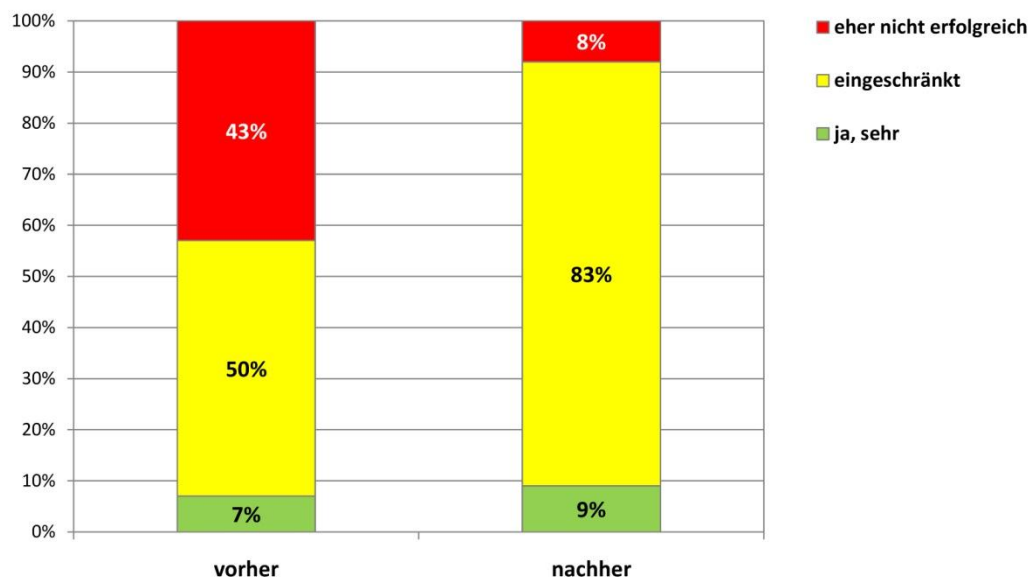


Bild 49:  
Bewertung der Lehrer über den Erfolg von Aktivitäten zum Energiesparen in der Schule

85 % der Lehrkräfte gaben bei der Erstbefragung an, dass sie versuchen, die Schüler zu energiesparendem Verhalten zu motivieren, aber nur 20 % der Lehrkräfte hielten die Schülerinnen und Schüler für interessiert am Thema „Energiesparen“; auch in der Folgebefragung gaben nur 19 % der Lehrer an, dass sie die Schüler für überwiegend interessiert am Thema Energiesparen halten. 68 % der Lehrer hielten in der Befragung nach der Sanierung

dennoch die Behandlung der technischen Besonderheiten des Gebäudes im Unterricht für sinnvoll.

### 8.3 Einstellungen der Schüler zu Energie und konkretes Einsparverhalten

84 % aller Schülerinnen und Schüler hielten es bei der Erstbefragung allgemein für "sehr wichtig" oder "ziemlich wichtig", dass man Energie spart (Bild 50). Dieser Prozentsatz hat sich in der Zweitbefragung auf 91 % erhöht.

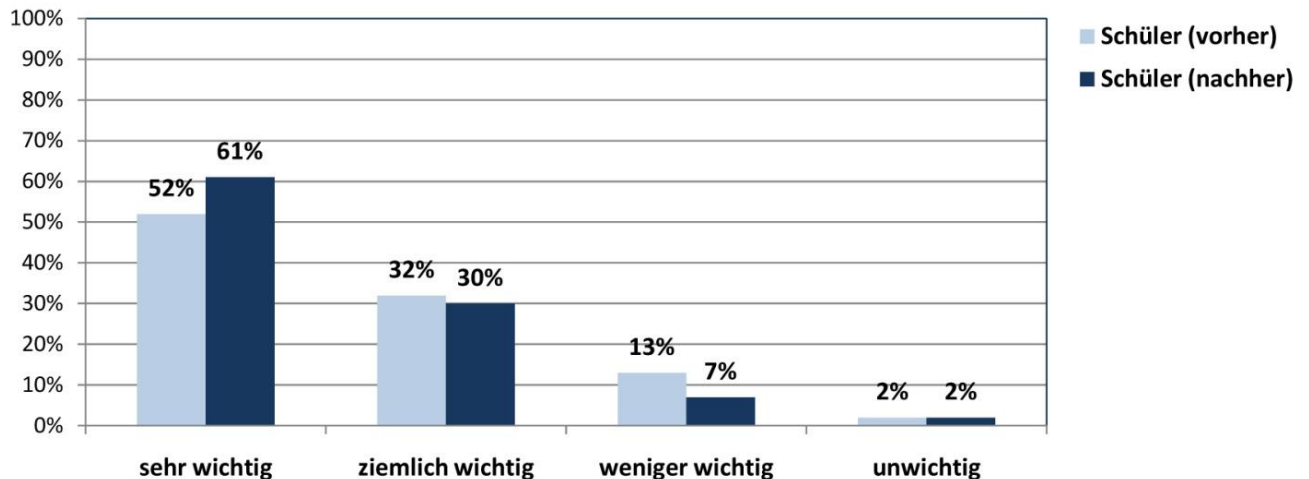


Bild 50:  
Wichtigkeit des Energiesparens im Allgemeinen

Gefragt nach der Wichtigkeit des Energiesparens aus persönlicher Sicht, ergaben sich sowohl für die Erstbefragung (64 %) als auch für die Zweitbefragung (65 %) niedrigere Werte im Vergleich zur Wichtigkeit des Energiesparens allgemein.

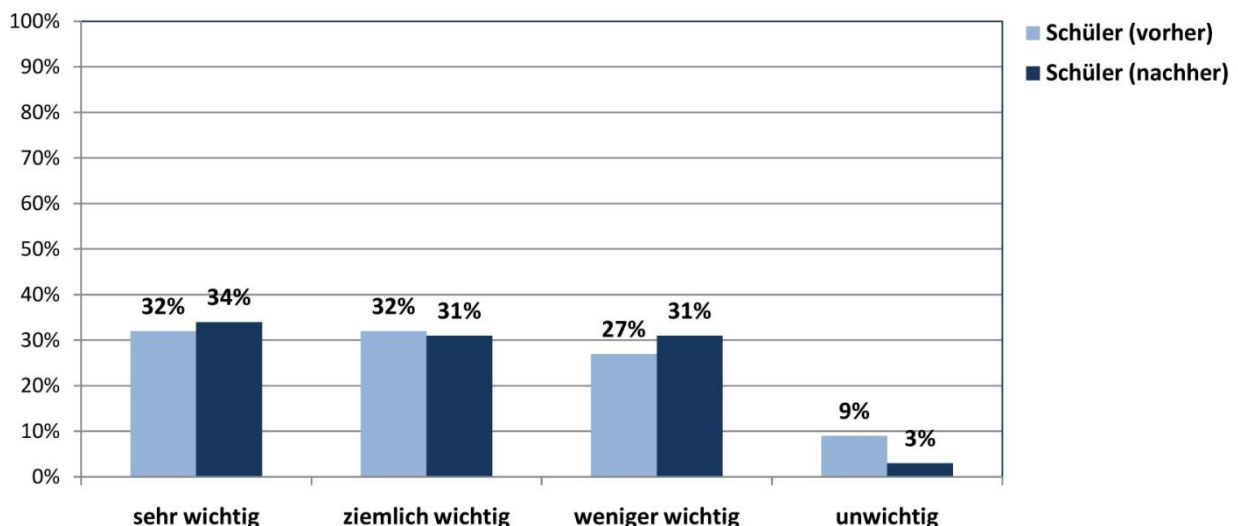


Bild 51:  
Wichtigkeit des Energiesparens für die eigene Person

Die persönliche Wichtigkeit drückt sich am deutlichsten im Verhalten zuhause aus (s. Bild 52). Eine deutliche Erhöhung der Anzahl im Vergleich zwischen Erst- und Zweitbefragung war für die Verhaltenskategorie „Fenster zum

Lüften nur kurz öffnen, wenn die Heizung an ist“ zu registrieren, während bei „unnötiges Licht ausschalten“ der Prozentsatz fast gleich blieb. In den anderen Bereichen ist eine Verschlechterung der Werte zu verzeichnen.

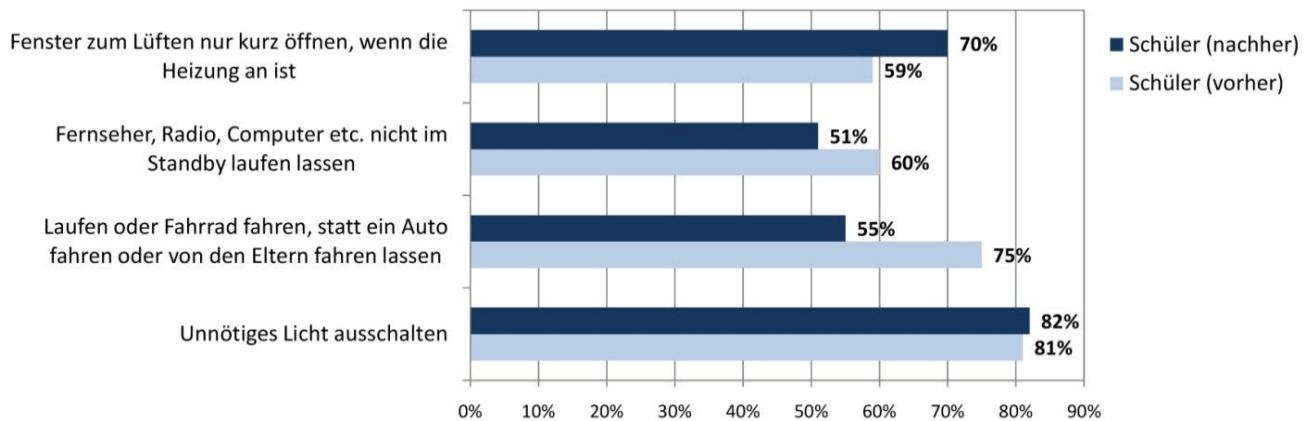
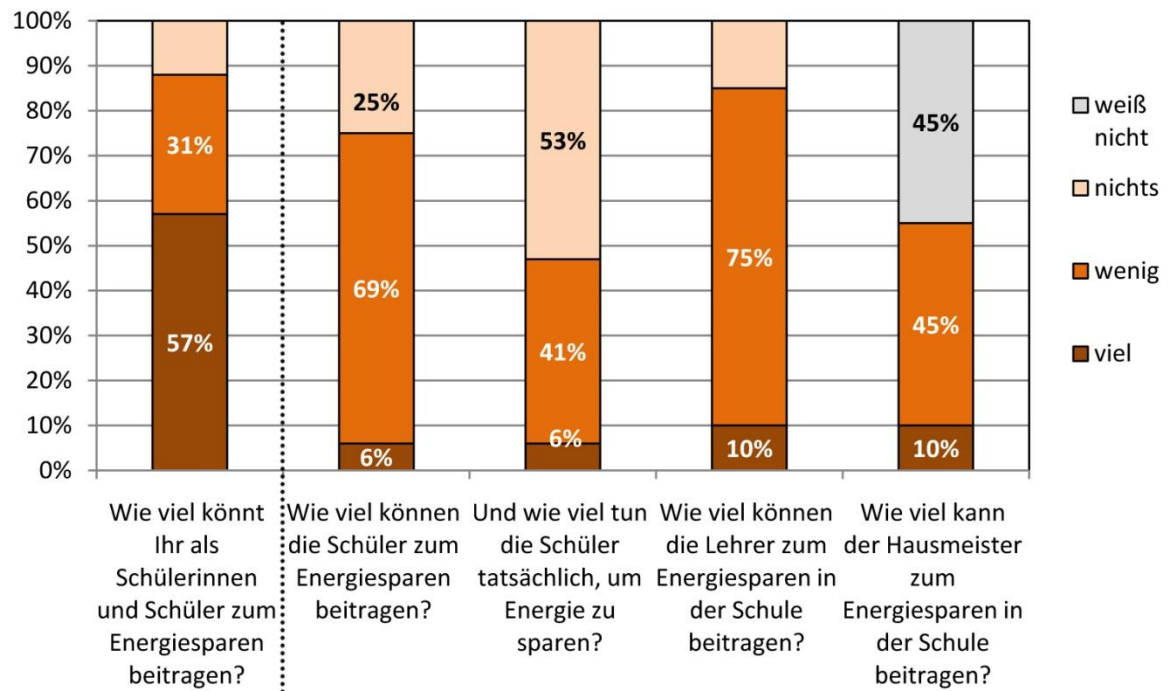


Bild 52:  
Konkretes Energiesparverhalten zu Hause

Ihre Möglichkeiten, viel zum Energiesparen in der Schule beizutragen, sahen die Schüler bei der Erstbefragung mit 57 % deutlich ausgeprägter als die Lehrkräfte mit 6 % (s. Bild 53). Dies entspricht auch dem Prozentsatz des tatsächlichen Beitrags der Schüler aus Sicht der Lehrer. Im sanierten Gebäude bewerteten die Lehrer den Beitrag der Schüler mit 26 % deutlich höher als in der alten Schule, allerdings blieb die Beurteilung der tatsächlichen Möglichkeiten zum Energiesparen seitens der Schüler aus Sicht der Lehrer sehr gering: Kein Lehrer gab nach der Sanierung an, dass die Schüler viel zum Energieeinsparen beitragen können. Insgesamt schätzten die Lehrkräfte auch ihren eigenen Beitrag mit 10 % als eher gering ein, ebenso wie den Beitrag des Hausmeisters.



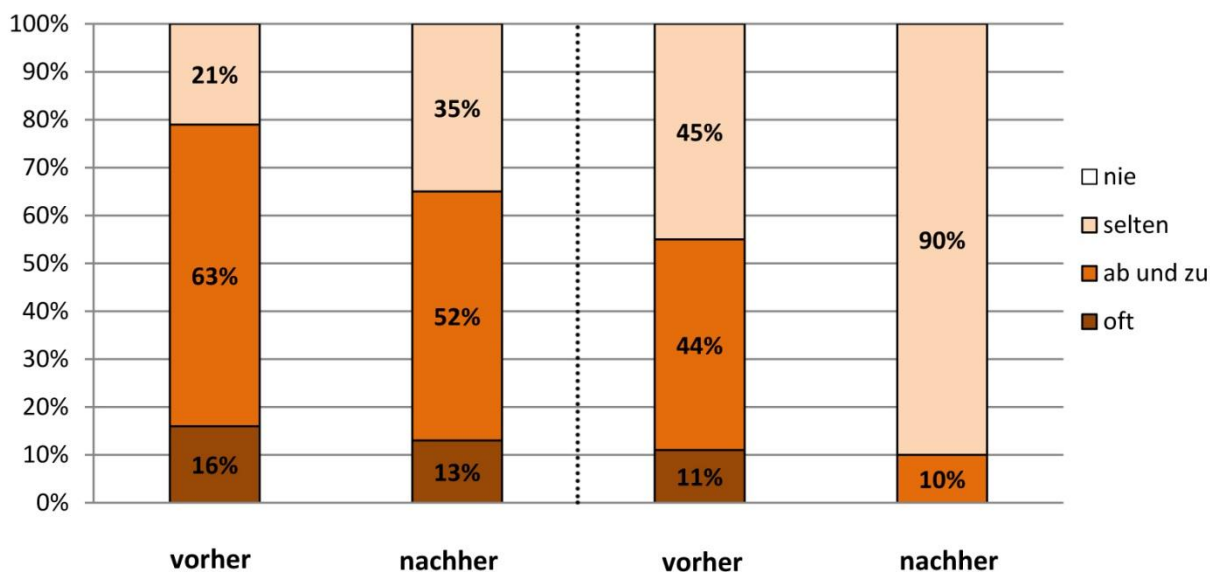


Antworten der Schüler ..... Antworten der Lehrkräfte .....

Bild 53:  
Beurteilung des Beitrags der Schüler, Lehrer und des Hausmeisters zum Energiesparen in der Schule (Erstbefragung)

Betrachtet man die Angaben zu konkretem Verhalten, zeigt sich beim Umgang mit der Beleuchtung wenig Veränderung (s. Bild 54). Eine deutliche Verbesserung ist hingegen beim Fensteröffnen zu verzeichnen. In der Heizperiode bleiben die Fenster nach Angabe der Lehrer nur zu 10 % nach Unterrichtsende geöffnet. Im sanierten Gebäude ist sowohl aus Sicht der Lehrer (83 %) wie der Schüler (61 %) der Einfluss auf die Raumtemperatur durch manuelle Regelung der Heizkörper deutlich höher als in der alten Schule. Nach Angaben der Lehrer hat sich die Häufigkeit von Diskussionen zur Raumtemperatur sowie zur Fensterlüftung nahezu halbiert. Aus Sicht der Schüler ergaben sich hingegen im sanierten Gebäude etwas höhere Werte bei der Frage, wie häufig über die Raumtemperaturen diskutiert wird.

### Wie oft kommt es vor, ...



...,dass das Licht nicht ausgemacht wird, wenn die Schüler das Klassenzimmer verlassen?

...,dass in der Heizperiode die Fenster offen bleiben, wenn die Schüler das Klassenzimmer verlassen?

Bild 54:

Angaben der Lehrer zu energierelevantem Verhalten der Schüler nach Unterrichtsende

Befragt nach spezifischem persönlichen Beitrag zum Energiesparen, zeigen sich bei den Schülern im Vergleich zwischen altem und saniertem Gebäude Verbesserungen in über der Hälfte der wählbaren Antwortmöglichkeiten (s. Bild 55). 93 % der Schülerinnen und Schülern gaben an, zum Schulschluss die Fenster zu schließen. Mit 80 % in der Zweitbefragung gegenüber 33 % bei der Erstbefragung, liegt der größte Zugewinn bei der Regulierung der Raumtemperatur über die Heizung statt über das Öffnen der Fenster. Auch wurde beim Öffnen der Fenster eher die Heizung herunter gedreht. 78 % der Schüler (gegenüber 70 % bei der Erstbefragung) gaben an, im Klassenraum unnötiges Licht auszuschalten. Der Anteil der Energiebeauftragten in den Klassen hat sich geringfügig von 16 % auf 18 % erhöht.

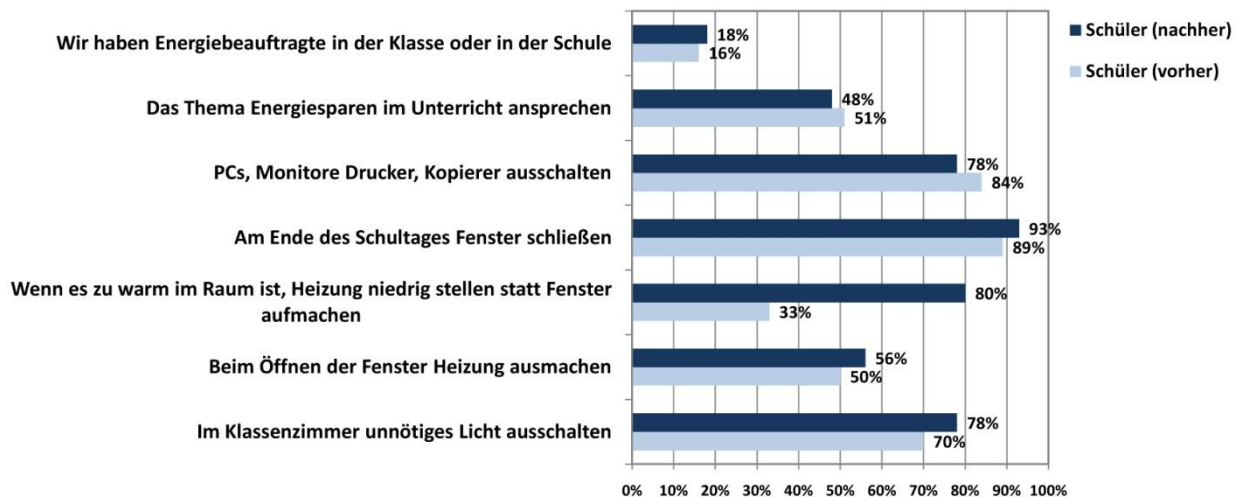


Bild 55:  
Konkrete Energiespar-Aktivitäten im Schulalltag

Das sanierte Gebäude war für 64 % der Schüler Gesprächsthema zu Hause. 58 % der Lehrer waren der Meinung, dass die Schüler aus dem Gebäude für das Thema Energiesparen lernen können, bei den Schülern waren es 47 %. In Hinblick auf Transfer von schulischen Maßnahmen und dort erworbenen energierelevanten Verhaltensweisen zeigte sich, dass 70 % der Schüler "nur kurzes Lüften, wenn die Heizung an ist" auch im privaten Bereich anwenden (in der Erstbefragung 59 %). Andere Bereiche, wie der Umgang mit der Standby-Funktion von elektrischen Geräten oder die Verkehrsmittelwahl, haben nicht profitiert, hier war eher ein Rückgang zu verzeichnen. 14 % der Schüler gaben an, zu Hause "oft" über Energiesparen zu sprechen, 43 % taten dies „gelegentlich“ und 43 % „nie“. In der Gruppendiskussion mit den Lehrern wurde die Einschätzung deutlich, dass Energiebewusstsein in erster Linie zu Hause vermittelt wird und die Schüler dies in den Schulalltag einbringen.

## 8.4 Fazit

Die Nutzerakzeptanz des sanierten Gebäudes der ‚Friedrich-Fröbel‘-Schule in Olbersdorf fiel insgesamt hoch aus. Der Umzug in die sanierte Schule hat erheblich zu einer Verbesserung des Wohlbefindens aus Sicht von Schülern, Lehrern und Eltern beigetragen. Eine deutliche optische Verbesserung wurde im Außen- wie im Innenbereich wahrgenommen, auch beim thermischen und akustischen Komfort in den Klassenräumen. Die energetisch relevanten technischen Besonderheiten wurden weitgehend gut akzeptiert, wobei die automatische Lichtsteuerung und das Be- und Entlüftungssystem von den Lehrern etwas schlechter bewertet wurde als beispielsweise die Akustikdecke und die Lichtschächte im Dachgeschoss. Ein Problembereich und Optimierungsbedarf zeigten sich sowohl in der schriftlichen Befragung wie in den Gruppendiskussionen im Raumklima. Hier wurde insbesondere die Luftqualität in Verbindung mit visuellem Komfort bemängelt: In den Räumen werde es schnell stickig, beim Lüften fährt der Sonnenschutz hoch und es kommt zu Blendung.

Einzelne schulische Aktivitäten zum Thema Energiesparen wurden durchgeführt. Auch wenn sich die Lehrer hinsichtlich des Erfolges dieser Maßnahmen eher pessimistisch zeigten, lässt sich in einigen energierelevanten Verhaltensbereichen eine positive Veränderung verzeichnen. Im Nutzerverhalten als Einflussgröße auf die Energiebilanz zeigte sich vor allem für die Heizperiode, dass das Fensteröffnen und die Temperaturregelung im sanierten Gebäude von den Schülern deutlich energiebewusster vorgenommen wurden als in der alten Schule. Dies ist umso bemerkenswerter, als nach Angaben von Lehrern und Schülern bereits im alten Gebäude Wert auf konkrete energierelevante Verhaltensweisen gelegt wurde. Für die Sommermonate deutet sich Schulungsbedarf für adäquates Fensteröffnen an, um das Kühlungskonzept besser zu unterstützen: Äußerungen der Lehrer und Schüler legen nahe, dass im Sommer die Fenster zu häufig offen stehen (hierauf weisen auch Messungen der Fensteröffnungsdauer im Gebäude im Rahmen der Masterarbeit von C. Schweizer, 2012, hin). Beim Umgang mit dem Kunstlicht waren leichte Veränderungen zu verzeichnen; unnötiges Licht in den Klassenräumen wird nun öfter ausgeschaltet.

Interesse am Energiekonzept des Gebäudes wurde sowohl von Lehrern als auch von Schülern formuliert; im Hinblick auf Energieeinsparung liegt möglicherweise noch ausbaufähiges Potenzial durch eine stärkere Einbindung der Schüler in Messungen und die Vermittlung von Mess-Ergebnissen. So könnte sich beispielsweise das Erleben des Effektes des energiesparenden Verhaltens auf den Energiebedarf wiederum positiv auf die Motivation auswirken und zu einem nachhaltigeren Verhalten führen. Ein Transfer energiesparenden Verhaltens in den Privatbereich aus subjektiver Sicht der Schüler ließ sich nur eingeschränkt feststellen. Während das offensichtlich gut eingeübte Verhalten im Winter (Fensteröffnung und Temperaturregelung) auch zu Hause in der Zweitbefragung häufiger genannt wurde, verschlechterten sich die Werte in anderen energierelevanten Aspekten. Möglicherweise liegt dem ein Rebound-Effekt zugrunde, wonach verstärktes energiesparendes Verhalten in einem Bereich durch eine reduzierte Beachtung eines anderen Bereiches relativiert wird.

Insgesamt bestätigten die Lehrer und Eltern in den Gruppendiskussionen dem sanierten Gebäude die Eignung als Demonstrationsprojekt. Dies zeige auch die positive Resonanz von Besuchern und die wiederholte Wahl des Gebäudes als passende Umgebung für Veranstaltungen. Im Spätjahr 2012 ist geplant, einen Workshop im Bildungsgebäude Olbersdorf zu veranstalten.

## 9 Weiterführende Informationen

### 9.1 Literatur

Landratsamt Zittau, HS Zittau, Fachbereich Bauwesen: Projektbeschreibung Energetische Sanierung Schulgebäude Olbersdorf (2006)

Milke, F., Bolsius, J. : Präsentationen im Rahmen des Symposiums EnEff:Schule in Biberach, Demonstrationsvorhaben 3-Liter-Haus-Schule Olbersdorf (21. April 2009)

### 9.2 Projektpartner

Projektsteuerung	Hochschule Zittau / Görlitz, Fachbereich Bauwesen, Prof. Dr. Bolsius, <a href="mailto:jbolsius@hs-zigr.de">jbolsius@hs-zigr.de</a>
Architektur	AIZ Zittau Architektur- und Ingenieurbüro für Hoch- und Tiefbau Zittau GmbH, <a href="mailto:kontakt@bauplanung-aiz.de">kontakt@bauplanung-aiz.de</a>
Forschung, Evaluierung, Energiekonzept	- Leitung, Energiekonzept: Hochschule Zittau / Görlitz, Fachbereich Bauwesen, Prof. Dr. Bolsius, <a href="mailto:jbolsius@hs-zigr.de">jbolsius@hs-zigr.de</a> - Raumluftrömungssimulation, Beleuchtungskonzept: TU Dresden - Wärmekonzept, Anlagensimulation: Institut für Technische Gebäude ausrüstung Dresden - Fassadendämmung, Vakuum-Dämm-Paneele, Optimierung Zuluft Kastenfenster: Bauhaus-Uni-Weimar
Anlagentechnik	- Heizung, Lüftung: Ingenieurbüro Amthor, - Gebäudeleittechnik, Elektrotechnik: Ingenieurbüro IckrathLandMessner, <a href="mailto:info@ib-ilm.de">info@ib-ilm.de</a>
Förderprogramm	Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie: „EnEff:Schule“
Monitoring	Hochschule Zittau / Görlitz, Fachbereich Bauwesen, Prof. Dr. Bolsius, <a href="mailto:jbolsius@hs-zigr.de">jbolsius@hs-zigr.de</a>

### 9.3 Links

Homepage der Schule: <http://www.sn.schule.de/~fs-froebel-zi/>

Homepage EnEff:Schule: [www.eneff-schule.de](http://www.eneff-schule.de)