

Bewilligungsempfänger:  
Stadt Schweinfurt  
Markt 1, 97421 Schweinfurt

Abschlussbericht  
über die

energetische und ökologische Modernisierung einer  
Jugendstilschule unter Denkmalschutz, Friedensschule in Schweinfurt

gefördert  
unter dem AZ 25838  
von der  
Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU)




Verfasser:  
H. Kess, Dipl. Ing. (FH) Architekt, Dipl. Biol.  
Architekturbüro Werner Haase



Karlstadt, Februar 2011

Bezugsquelle:  
Deutsche Bundesstiftung Umwelt  
Osnabrück

<b>Projektkennblatt</b> der <b>Deutschen Bundesstiftung Umwelt</b>					
Az	<b>25838</b>	Referat	<b>25</b>	Fördersumme	<b>125.000,00 €</b>
<b>Antragstitel</b>		<b>Energetische und ökologische Modernisierung einer Jugendstilschule unter Denkmalschutz, Friedensschule in Schweinfurt</b>			
<b>Stichworte</b>					
	Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)	
	<b>3 Jahre</b>	<b>13.06.2007</b>	<b>28.2.2011</b>		
Abschlussbericht					
<b>Bewilligungsempfänger</b>	Stadt Schweinfurt			Tel 09721/51-440	
	Markt 1			Fax 09721/51-889-440	
	97421 Schweinfurt			Projektleitung Stadtplanungsamt Schweinfurt	
				Bearbeiter Herr Sauer, Herr Tempel	
<b>Kooperationspartner</b>	Architekturbüro Werner Haase Julius-Echter-Str. 59 97753 Karlstadt Tel. 09353 – 9828-0				
<b>Zielsetzung und Anlass des Vorhabens</b>					
<p>Die Friedensschule in Schweinfurt ist ein qualitativ hoch stehender Schulkomplex mit erhaltenswerter Bausubstanz, bestehend aus dem Gebäude GT I von 1908 und dem Nebengebäude GT II von 1912, welches bereits unter konventionellen Gesichtspunkten saniert wurde und als Vergleichsmaßstab dienen kann. Die Gebäude stehen unter Denkmalschutz. Die Schule ist ein außerordentlich wirtschaftliches, zweispänniges Gebäude, welches erst nach 100 Jahren die erste Generalsanierung nötig hat. Die vorhandene, aus der Bauzeit stammende Dampfheizung verursachte hohe Reparaturkosten, daher soll die Heizung zukünftig auf den bereits im Gebäude liegenden Fernwärmeanschluss umgerüstet werden. Dafür mussten die Eignung und Problempunkte des baulichen Bestandes untersucht werden. Ziel ist, die Denkansätze zur Langlebigkeit von Gebäuden aus der Erbauungszeit auf heutige Anforderungen zu übertragen und ein altbauverträgliches Dämm- und Lüftungskonzept durch aufeinander abgestimmte bewährte Bautechniken zu entwickeln. Dadurch wird auf die vorhandene Bausubstanz bestmöglich reagiert, Synergien können genutzt und die Unterhalts-/Betriebskosten minimiert werden. Zudem soll gezeigt werden, dass eine kontrollierte Be- und Entlüftung auch altbauverträglich eingesetzt werden kann, um das Raumklima zu optimieren, bauphysikalische Probleme zu vermeiden und Energieverluste zu minimieren.</p>					
<b>Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden</b>					
<p><b>Bestandaufnahme:</b> Alle energetisch und bauphysikalisch relevanten Details, evtl. Probenentnahmen und Bestandsdokumentation. <b>Rahmenbedingungen festlegen:</b> Berücksichtigung rechtlicher Belange, Formulierung von Zielvorgaben, Verbrauchsreduktion, Reduzierung von Nachfolgekosten. <b>Entwicklung von Einzelmaßnahmen:</b> Erarbeitung von Maßnahmen zur Verbesserung der Gebäudehülle und Gebäudetechnik unter Gewährleistung eines guten Raumklimas bei reduziertem Energieaufwand. <b>Gesamtheitliche Sanierungsstrategie erstellen:</b> Integration einzelner Maßnahmen, Überprüfung der Lösungswege mittels Simulationen, Einbindung neuester technischer Erkenntnisse unter gezielter Nutzung von Synergieeffekten aus der Verbindung der Einzelmaßnahmen. <b>Planerische Lösung finden:</b> Umsetzung der Ergebnisse in praktikable Lösungen in teilweise unüblichen Kombinationen einzelner erprobter Techniken.</p>					
Deutsche Bundesstiftung Umwelt • An der Bornau 2 • 49090 Osnabrück • Tel 0541/9633-0 • Fax 0541/9633-190 • <a href="http://www.dbu.de">http://www.dbu.de</a>					

**Simulation:** Dynamische Simulation der Klimasituation mit den gewünschten Innenraumtemperaturen und Luftfeuchtigkeiten nach Behaglichkeitskriterien und zur Optimierung der Anlagentechnik. **Monitoring:** Erfassung der Energieverbrauchs- sowie Klimadaten im Innenraum der Schule mit zwei Messstellen mittels Datenloggern (Temperatur, Luftfeuchte) vor der Sanierung und während drei Jahren danach. Gegebenenfalls Optimierung der Regelungstechnik.

### ***Ergebnisse und Diskussion***

Die ausgeführte Innendämmung als ein kohärentes System aus innenliegendem Wärmedämmverbundsystem, Dämmputzen und Temperierungen ermöglicht den Erhalt des äußeren Erscheinungsbildes bei gleichzeitiger Reduktion der Transmissionswärmeverluste. Die ausgeführten Holzverbundfenster zeigen eine elegante Variante, das äußere Sprossenbild glasteilend und filigran auszubilden sowie eine Verschattungslamelle unauffällig im Verbundfensterzwischenraum zu integrieren. Die Maßnahmen an der Fassade sowie die mögliche Schlussdeckendämmung weisen nach, dass diese Konstruktionen bauphysikalisch beherrschbar sind und auch bei Denkmälern dauerhafte Reduktionen der Energiekosten möglich sind. Die vorhandenen Ventilationsschächte in den Dachraum konnten als vertikale Trassen für die Zu- und Abluft der neuzeitlichen Lüftungsanlage genutzt werden. Diese Trassen konnten somit substanzschonend im Gebäude integriert werden. Durch eine hocheffiziente zentrale Lüftungsanlage können insbesondere die Lüftungswärmeverluste weiter reduziert werden. Die erschlossenen Einsparungen im Heizwärmebedarf ermöglichen abschließend erst ein Niedertemperatur-Wandheizungssystem. Durch die Innendämmung in Verbindung mit effizienter Heiztechnik und effizienter Wärmerückgewinnung kann eine Reduktion von ca. 60% Primärenergieverbrauch und CO<sub>2</sub> erreicht werden.

Problematisch erwies sich immer wieder die Montage des hier verwendeten Wandheizmoduls. Bereits in der Bauphase wurden zahlreiche Beschädigungen verzeichnet.

Die Vergleichsmessungen des konventionell sanierten Nebengebäudes mit dem hier beschriebenen Hauptgebäude können weitere Impulse und Erkenntnisse geben, wie noch substanzschonender und noch denkmalverträglicher, aber auch kostengünstiger ein bauzeitliches Lüftungs-/ Ventilationssystem mit Innendämmung und entsprechender Wärmeeinbringung in die Klassenräume tatsächlich reaktiviert werden kann.

### ***Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation***

Die Sanierungsplanungen und der Baufortschritt wurden über das Stadtplanungsamt in öffentlichen Sitzungen vorgestellt. In der lokalen Presse ist wiederholt von dieser Generalsanierung berichtet worden. Dokumentationen der Industrie tragen die Sanierungsweise mit Innendämmung weiterhin in die Öffentlichkeit (Knauf-Perlite). Das Projekt wurde durch das Architekturbüro Haase bei Veranstaltungen der dena, der DBU sowie der obersten Baubehörde wiederholt einem Fachpublikum vorgestellt.

### ***Fazit***

Das gesamtheitliche Sanierungskonzept demonstriert Nachhaltigkeit, indem ein denkmalgeschütztes Gebäude durch gezielte Weiterverwendung der guten Bausubstanz, in Verbindung mit der Ergänzung von langlebigen und ökologischen Materialien, energieeffizient saniert werden kann. Die graue Energie, die dem Rohbau innewohnt, wird maximal gewahrt. Durch ganzheitliche Generalsanierung wird die Restlebensdauer einem Neubau angenähert und der Bestand im Wert gesichert.

Die dargestellte Analyse der Bestandsuntersuchung erlaubt Rückschlüsse auf andere Sanierungsaufgaben im Denkmalschutz. Insbesondere die baukonstruktiven Investitionen erwiesen sich als deutlich höher als erwartet. Hier müssen Vereinfachungen in den Systemaufbauten der Dämmschichten, aber auch prinzipielle Überlegungen zur Wahrung von aktuellen normativen Forderungen im Bestand erfolgen.

## **Inhaltsverzeichnis**

Verzeichnis von Bildern, Zeichnungen, Grafiken und Tabellen

Verzeichnis von Begriffen, Abkürzungen und Definitionen

### A. Zusammenfassung

### B. Objektbericht

1. Die ursprüngliche Ludwigschule
2. Bestandsaufnahme
3. Entwurfsplanung
4. Ausführungsplanung und Umsetzung
  - 4.1 Dämmmaßnahmen der Umfassungsflächen
  - 4.2 Heizungs-, Lüftungs- und Regelungstechnik
5. Fazit

### Anhänge

- Anhang 1: Energiegutachten, AB Haase, 2004  
Anhang 2: Regierungsvorlage einschl. Ergänzungen, AB Haase, ab 2005  
Anhang 3: Einschätzung und Bewertung des Energiegutachtens und Sanierungskonzeptes, ebök, 4/2006  
Anhang 4: Auszug aus den Ausführungsplänen, Architekturbüro Haase  
Anhang 5: Ergebnisse der thermischen Simulation der Friedensschule Schweinfurt, Ingenieurbüro Werner Haase, 2007  
Anhang 6: Auszug aus den Ausführungsplänen, Planungsbüro Rauch & Richter

## Verzeichnis von Bildern, Zeichnungen, Grafiken und Tabellen

- [Bild 1] Ansicht Südost, Stadtarchiv Schweinfurt  
[Bild 2] Ansicht Süd, Rasenparterre, Stadtarchiv Schweinfurt  
[Bild 3] Ansicht Nordwest / Ludwigstraße, Stadtarchiv Schweinfurt  
[Bild 4] Sgraffitti  
[Bild 5] Bauzeitlicher Klassenraum, Stadtarchiv Schweinfurt  
[Bild 6] Lehrerzimmer, Stadtarchiv Schweinfurt  
[Bild 7] Flur, Wandkeramik, AB Haase  
[Bild 8] Brausebad Volksschule Knauerstraße, Graphische Sammlung der Stadt Nürnberg, Schulmuseum; aus: Hygieneplan für steirische Pflichtschulen, 2002  
  
[Bild 9] Fensterfront vor der Sanierung, AB Haase  
[Bild 10] Wiederaufgebaute Friedensschule, AB Haase  
[Bild 11] Raumbuch, denkmalpflegerisch bedeutsame Ausstattung, AB Haase  
[Bild 12] Fotoraubuch, AB Haase  
[Bild 13] Lüftungsklappen Schulbad, AB Haase  
[Bild 14] Bestandsuntersuchung Rippendecke, AB Haase  
[Bild 15] Rohrzellenschalung, Georgeacopol-Winischhofer  
[Bild 16] Befall mit Hausschwamm, Würfelbruch, AB Haase  
[Bild 17] Abgeschlossene Hausschwammsanierung, AB Haase  
[Bild 18] Aufschluss - Freilegung der bauzeitlichen Rippendecke, AB Haase  
[Bild 19] Belastungstests in situ, AB Haase  
[Bild 20] Außentüre zum Pausenhof  
[Bild 21] Deckenauskragung mit Gesims, AB Haase  
[Bild 22] Arbeitsschritte der Innendämmarbeiten, AB Haase  
[Bild 23] Holzverbundfenster mit ‚innenliegender‘ Jalousie, AB Haase  
[Bild 24] Holzbalkendecke über 2. OG, OSB-Lage als Dampfsperre, AB Haase  
[Bild 25] Schäden an der Wandheizung, nachträgliche Reparaturen, während der Bauphase, AB Haase  
  
[Bild 26] Ventilationskamine im Dachraum, Bestand sowie mit Belegung durch neuzeitliche Lüftungskanäle, AB Haase  
  
[Bild 27] Lüftungsanlage Klassenräume, Planungsbüro Rauch & Richter  
[Bild 28] Raumeindrücke nach der Sanierung, AB Haase  
  
[Zeichnung 1] Orientierungsschema, AB Haase  
[Zeichnung 2] Planausschnitt Bestandsgrundriss EG, AB Haase  
[Zeichnung 3] Bestandsplan Ventilationskamine, Längsschnitt, AB Haase  
[Zeichnung 4] Detailskizze Aufschluss bauzeitliche Rippendecke, AB Haase  
[Zeichnung 5] Schnittdetail Kellerwandabdichtung und -dämmung, Regierungsvorlage, AB Haase  
  
[Zeichnung 6] Nordwestansicht, Ausführungsplanung, AB Haase  
[Zeichnung 7] Schnitt Holzbalkendecke über 2. OG, Ausführungsplanung, AB Haase  
[Zeichnung 8] Anschlussschemata Wandheizungen, Planungsbüro Rauch & Richter  
[Zeichnung 9] Lüftungsanlage Klassenräume, Planungsbüro Rauch & Richter

- [Grafik 1] Bauzeitliches Lüftungskonzept, AB Haase
- [Grafik 2] Sicherheitskonzept der Belastungsversuche, Fiedler, Kapphahn, Steffens
- [Grafik 3] Lüftungskonzept Winter-/ Sommerbetrieb, AB Haase
- [Grafik 4] Temperatur- und Feuchteprofil, Knauf-Perlite
- [Grafik 5] Dynamische Feuchtesimulation, AB Haase
- [Grafik 6] Wärmebrückendarstellung Fassadenschnitt Bestand – Saniert, Isothermen, Wärmefluss, AB Haase
- [Grafik 7] Wärmebrückendarstellung Eingangstüre, Isothermen, Wärmefluss, AB Haase
- [Grafik 8] Wärmebrückendarstellung Deckenauskragung mit Gesims, Isothermen, Wärmefluss, AB Haase
- [Grafik 9] Thermische Simulation, Heizlasten eines Schultages, IB Haase
- [Grafik 10] Mediane Kohlendioxidgehalte (CO<sub>2</sub>), Fromme, H., et al., Schierl et al., Heitmann, D. et al., September 2006
- [Grafik 11] Messung der CO<sub>2</sub>-Raumlufkonzentration in Schülerprojekten, 2008-2009
- [Grafik 12] Messung der CO<sub>2</sub>-Raumlufkonzentration im sanierten Informatikraum, 2011
- 
- [Tabelle 1] Planungsbeteiligte
- [Tabelle 2] Maximal mögliche Verkehrslasten, Prüfamts für Baustatik der LGA
- [Tabelle 3] Baukonstruktion und Gebäudetechnik im Bestand
- [Tabelle 4] Heizlasten, Rauch & Richter, IB Haase
- [Tabelle 5] Endenergie- und Primärenergiebedarf, Einsparung CO<sub>2</sub>-Emissionen, AB Haase, 2011

## Verzeichnis von Begriffen, Abkürzungen und Definitionen

Begriffsdefinitionen gemäß Energieausweis nach EnEV:

### Primärenergiebedarf

Der Primärenergiebedarf bildet die Gesamtenergieeffizienz eines Gebäudes ab. Er berücksichtigt neben der Endenergie auch die so genannte „Vorkette“ (Erkundung, Gewinnung, Verteilung, Umwandlung) der jeweils eingesetzten Energieträger (z.B. Heizöl, Gas, Strom, erneuerbare Energien etc.). Kleine Werte signalisieren einen geringen Bedarf und damit eine hohe Energieeffizienz und eine die Ressourcen und die Umwelt schonende Energienutzung.

### Endenergiebedarf

Die Endenergie gibt die nach technischen Regeln berechnete, jährlich benötigte Energiemenge für Heizung, Warmwasser, eingebaute Beleuchtung, Lüftung und Kühlung an. Er wird unter Standardklima- und Standardnutzungsbedingungen errechnet und ist ein Maß für die Energieeffizienz eines Gebäudes und seiner Anlagentechnik. Der Endenergiebedarf ist die Energiemenge, die dem Gebäude bei standardisierten Bedingungen unter Berücksichtigung der Energieverluste zugeführt werden muss, damit die standardisierten Innentemperatur, der Warmwasserbedarf, die notwendige Lüftung und eingebaute Beleuchtung sichergestellt werden können. Kleine Werte signalisieren einen geringen Bedarf und damit eine hohe Energieeffizienz.

### Nutzenergie

Die Energie, die tatsächlich genutzt werden kann, z.B. in Form von Wärme, die von den Heizflächen abgegeben wird. Weil aber bei der Verbrennung im Heizkessel und bei der Wärmeverteilung durch Heizungsrohre im Haus Verluste entstehen, ist die Nutzenergie kleiner als die Endenergie. Diese Verluste können bei alten Heizungen bis zu 50 % betragen und bei modernen Heizungen bis unter 10 % reduziert werden.

### Heizwärmebedarf

Der Jahresheizwärmebedarf eines Gebäudes errechnet sich aus den Transmissionswärmeverlusten durch z. B. Wände, Fenster, Böden und Dächer und dem Lüftungswärmeverlust, vermindert um die solaren Gewinne und die internen Wärmegewinne. Bezieht man diesen Jahresheizwärmebedarf auf die beheizbare Fläche, so erhält man die Energiekennzahl „Heizwärmebedarf pro m<sup>2</sup> und Jahr“.

### Abkürzungen:

kWh	Kilowattstunde
BRI	Brutto-Rauminhalt
BGF	Brutto-Grundfläche
NGF	Netto-Grundfläche
EnEV	Energieeinsparverordnung
WLG	Wärmeleitfähigkeitsgruppe



## A. Zusammenfassung

Die Friedensschule in Schweinfurt ist ein qualitativ hochwertiges Schulgebäude aus den Jahren 1908 / 1912. Sie genießt als Einzelobjekt Denkmalschutz. Die modellhafte energetische Sanierungsplanung der Friedensschule zeigt deutlich die Möglichkeit von Effizienzmaßnahmen: mit Bauweisen und Technologien nach dem Stand der Technik lassen sich nachhaltig erhebliche Energieeinsparungen realisieren. Diese Maßnahmenpakete sind auch bei Baudenkmalern realisierbar.

Nach intensiven Archivrecherchen, umfassenden Bestandsermittlungen und Befunduntersuchungen können wesentliche Synergien aus Bestandsmerkmalen und neuzeitlichen Ertüchtigungsmaßnahmen identifiziert werden. Dies gilt für die Baukonstruktion ebenso wie auch für die technische Gebäudeausrüstung. So konzentriert sich der Objektbericht auf das Zusammenspiel von Innendämmung, Wandheizung, Fensterelemente und Lüftungstechnik in einem denkmalgeschützten Gebäude. Die Innendämmung der Außenwände mit diffusionsoffenen und Flüssigwasser leitenden Dämmplatten ermöglicht eine Berücksichtigung des Denkmalschutzes ohne Kondensat-/ oder Schimmelprobleme bei den unvermeidbaren Wärmebrücken, wenn die winterliche Luftfeuchte durch eine Lüftungsanlage kontrolliert wird. Die gesamte Infrastruktur einer Lüftung kann denkmalverträglich in vorhandene Ventilationsschächte integriert werden. Die CO<sub>2</sub>-gesteuerte Lüftungsanlage gewährleistet eine hygienische Raumluftqualität. Holz-Verbundfenster ermöglichen neben Wärmeschutz einen unauffällig integrierten Sonnenschutz sowie filigrane, glasteilende Sprossen in der äußeren Glasscheibe.

Auf dieser Grundlage kann eine Wandheizung auf Niedrigtemperaturniveau realisiert werden. Diese Wandheizung wird als Kapillarsystem auf die Innendämmung appliziert, so dass prinzipiell keine weiteren Innenputzflächen hierfür ‚geopfert‘ werden müssen.

Die einzelnen Planungsschritte und Methoden werden erläutert:

- Bestandsaufnahme, Bestandsanalyse, Bestandsuntersuchungen
- instationäre, dynamische Feuchtesimulation
- Wärmebrückenanalyse
- thermische Gebäudesimulation zur Heizlastbestimmung

Gefördert wird die energetische und ökologische Modernisierung durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU), Osnabrück unter AZ 25838. Folgende Kooperationspartner bearbeiten u. a. das Objekt:

Projektleitung / Hochbau	Stadt Schweinfurt Dipl. Ing. G. Tempel und Dipl. Ing. M. Sauer
Hochbau	Architekturbüro Werner Haase, Karlstadt Leistungsphasen 1-4: Dipl. Ing. W. Haase, Dipl. Ing. J. Schrauth Leistungsphasen 5-8: Dipl. Ing. S. Hahne, Dipl. Ing. H. Keß, Dipl. Ing. J. Spieß
Heizung, Lüftung, Sanitär	Planungsbüro Rauch & Richter, Gochsheim B. Richter, D. Rauch
Elektro	Elektroplanungsbüro Bopp, Schweinfurt R. Werner, Elektromeister / Elektrotechniker
Tragwerk	Ingenieurbüro Stefan, Schweinfurt Dipl. Ing. Stefan

Tabelle 1: Planungsbeteiligte

## B. Objektbericht

### 1. Die ursprüngliche Ludwigschule

Die Friedensschule verdeutlicht in ihrer Historie alle heute wieder diskutierten Fragen des nachhaltigen Bauens. Das bestimmende Thema war von Anfang an Standort- und Innenraumqualität und der damit verbundene Baustandard und dessen Ästhetik.

Für heute anstehende Sanierungen ist eine Einschätzung der Wertigkeit entscheidend, insbesondere bei denkmalgeschützten Gebäuden, um eine substanzschonende Sanierungsstrategie entwickeln zu können. Daher sei der Ausflug in die Historie des Gebäudes im Folgenden erlaubt.

Bereits im Vorfeld des Schulhausneubaus in Schweinfurt wurden Weichenstellungen bezüglich des richtigen Standortes eingeleitet:

*„Was bei der Gesamtanlage des Schulhauses den Bauplatz betrifft, so soll derselbe im Mittelpunkt des Schulbezirks (nicht Schulortes) liegen. Derselbe soll eine freie und ruhige, nicht durch Straßenlärm und geräuschvolle oder raucherzeugende Gewerbebetriebe gestörte Lage haben und eine zweckmäßige Anordnung der Gebäude derart gestatten, daß die Unterrichtszimmer nach den Himmelsrichtungen richtig angelegt und in ausgiebigster Weise mit guter Luft und viel Licht versorgt werden können (Schweinfurter Tagblatt, 17.12.1904)*

Der öffentliche Schulbau hat sich zu dieser Zeit bereits als eigenständige Architekturaufgabe etabliert. Bautechnische und hygienische Standards werden verbindlich, Raumprogramme sind eingeführt: Natürliche Belichtung, künstliche Beleuchtung, zentrale Heizung, Lüftung, Aborte mit Wasserspülung, Ausstattung, Raumgrößen, Erschließung, Bedarf an Sonderräumen sind geregelt, der Unterricht ist prinzipiell nach Jungen und Mädchen aufgeteilt, aus Kostengründen werden oftmals Doppelschulen gebaut, Frontalunterricht wird praktiziert.

Der Schulbau prosperierte als nationale und soziale Aufgabe und erlebte nicht zuletzt aufgrund der fortschreitenden Urbanisierung und Umsetzung der allgemeinen Schulpflicht einen Aufschwung. Die Umsetzung dieser Bauaufgabe stand und steht heute noch im Spannungsfeld der Baumasse solcher Gebäude. Die damalige Architekturkritik thematisierte bereits die Gefahren der Monotonie und der additiven Beliebigkeit.

In Schweinfurt entschied man sich für einen Wettbewerb, um den neuen Schulhausbau zu realisieren. Der 1906 folgende Wettbewerb des ‚Münchner (oberbayerischen) Architekten- und Ingenieurvereins‘ *„zur Erlangung von Projektskizzen für einen Schulhausneubau in Schweinfurt“* bot aber auch wieder Anlass für weitere Diskussionen. Schulgebäude mit traditionellen Bauformen - *„... in der Form und Sichtweise der alten Monumentalbauten...“* - insbesondere mit *„hochgiebelige Dächern“* (Schweinfurter Tagblatt, 1908), konkurrierten mit einem Entwurf des selbstbewusst auftretenden Stuttgarter Architekten und Dozenten an der technischen Hochschule in Stuttgart, Paul Bonatz: In einem Schreiben an den 1. Bürgermeister der Stadt Schweinfurt plädiert Bonatz für sein Projekt Zwilling:

*„... Solange ich die Entwürfe selbst nicht gesehen hatte, nahm ich an, daß mit dem I. und II. Preis bessere Lösungen als mein an dritte Stelle verwiesenes Projekt gegeben seien, und legte die ganze Angelegenheit als erledigt bei Seite. Jetzt drängt es mich*

*aber in ehrlichem Interesse für die Sache Ihnen die Ausführung meines Projektes „Zwillinge“ dringend ans Herz zu legen. – Ich verzichte darauf, den Unterschied meiner Arbeit mit den beiden erstprämiierten zu charakterisieren und vertraue darauf, daß mein Projekt für sich selbst spricht und überzeugt.“ (Brief von Paul Bonatz an den 1. Bürgermeister in Schweinfurt, Gampel 2007).*

Paul Bonatz erhielt für sein Projekt ‚Zwillinge‘ per Magistratsbeschluss den Zuschlag. Somit konnte auch in Schweinfurt ein von einem der einst wichtigsten Vertreter einer moderat-konservativen Moderne geschaffenes Schulgebäude der später sogenannten Stuttgarter Schule entstehen.



Bild 1: Ansicht von Südost

Die frühen Entwürfe seiner Schulen entwarf er „als hochfahrende Schlösser des Wissens und die trotz aller Größe niemanden unterwerfen, sondern jeden erheben wollen, lichtdurchflutet, von großzügiger Weite und gelassener Eleganz.“ Der Architekturhistoriker Julius Posener charakterisiert weiterhin die Bonatzschen Werke mit „Monumentalität von Natur aus und Freundlichkeit.“ (FAZ, 2011)

Neben dem im September 1908 feierlich eingeweihten Schulgebäude wurden Hausmeisterwohnung und Turnhalle in gesonderten Gebäuden untergebracht. Turnhof und Spielfläche mit freistehenden Hofbrunnen wurden chaussiert, dazwischen wurde ein Rasenparterre angelegt.

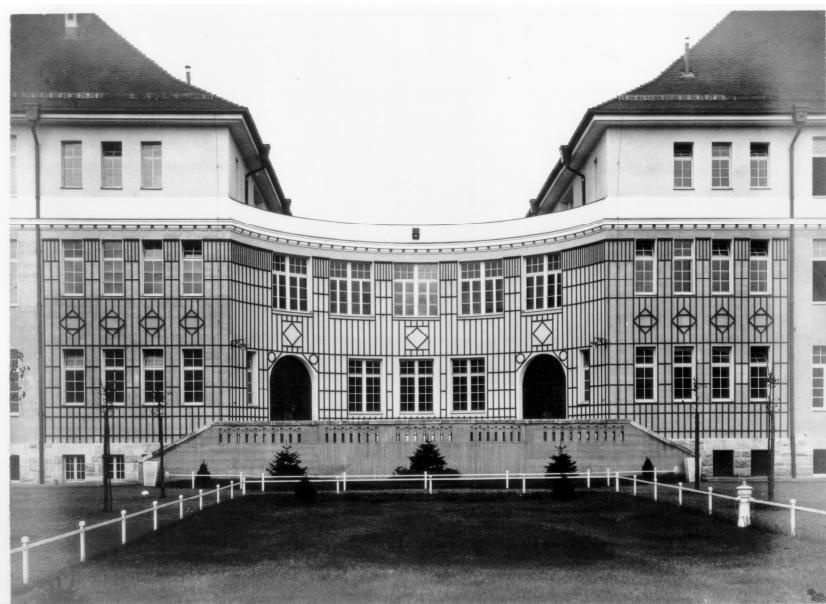


Bild 2: Ansicht von Süden, Schulhof, Rasenparterre

Die beiden einfach verputzten, 4 geschossigen Seitenpavillons mit ihren Walmdächern sind in ihrer Grundform kompakt angelegt. Sie erhielten lediglich stirnseitige Erker und risalitartig hervortretende Treppenhäuser mit betonten Portalen. Deren schmückende Plastiken zeichneten bereits die getrennten Eingänge des Jungen- und Mädchentraktes ab.



Bild 3: Ansicht von Nordwest / Ludwigstraße

Die Fuge des dreigeschossigen Mittelbaus gliederte das Bauvolumen elegant und verband doch mit dem horizontalen Attikagesims in seiner Fortsetzung als Gurtgesims die Hauptgebäude. Der das konkav-konvexen Wechselspiel zitierende Mittelbau ist reicher mit Putzreliefs (Sgraffitti) als Kratzputz mit Frescolithbildern (die vier Elemente, Tierfiguren und Märchen) verziert. Den oberen Abschluss bildete von beiden Hauptgebäuden zugängliche Dachterrasse.



Bild 4: Sgraffitti

Lohnend ist der Blick in das Raumkonzept der Schule. In der Ludwigschule wurden die Erkenntnisse des ‚neuzzeitlichen‘ Schulbaus umgesetzt. Das Schulhaus fasste in den beiden Flügelbauten die 24 Klassenzimmer. Die Klassenräume messen 10,3 m in der Länge und 6,2 m in der Breite. Bei dem um die Jahrhundertwende üblichen zusammenhängenden Schulbanksystem mit zwei Sitzplätzen (Rettig-Banksystem: Stühle oder unverrückbar mit dem Tisch verbundene Bank, hochklappbare Tischplatte mit festem Kasten für Hefte und Bücher) konnten die Klassenzimmer 60-66 Schüler fassen. Die relativ geringe Tiefe war zum einen der Tageslicht-Optimierung, aber auch den möglichen Spannweiten der einachsiger gelagerten Eisen-Beton-Rippendecken geschuldet. Die folgende Darstellung verdeutlicht die gute natürliche Beleuchtung der Klassenräume über die hohen, eng gesetzten Holz-Kastenfenster.



Bild 5: Bauzeitlicher Klassenraum

Im nach außen hin ornamentalen Mittelbau sind die repräsentative sowie Verwaltungsräume untergebracht: Zimmer des Schulleiters, Lehrerzimmer, Bibliothek,

Lehrmittelräume. Die Sonderbeilage des Schweinfurter Tagblattes würdigte die Ausstattung als *“in einfacher Stilweise, besten Materialien und gediegener Ausführung wurden geschmackvolle Einrichtungen geschaffen.“* (Schweinfurter Tagblatt 5.9.1908).



Bild 6: Lehrerzimmer

Die Flure sind als winterlicher Bewegungsraum mit einer Breite von 3,7 m über die ganze Gebäudelänge mit dielenartiger Erweiterung im Mittelbau, wahrscheinlich mit trennenden Türelementen (Mädchen-/ Jungenflügel) konzipiert worden (- es wurden aber keine weiteren Hinweise auf bauzeitliche Abtrennung gefunden). Hochwertige Wandkeramik wechselte mit Holzvertäfelungen als Garderobenwände und Trinkbrunnen.

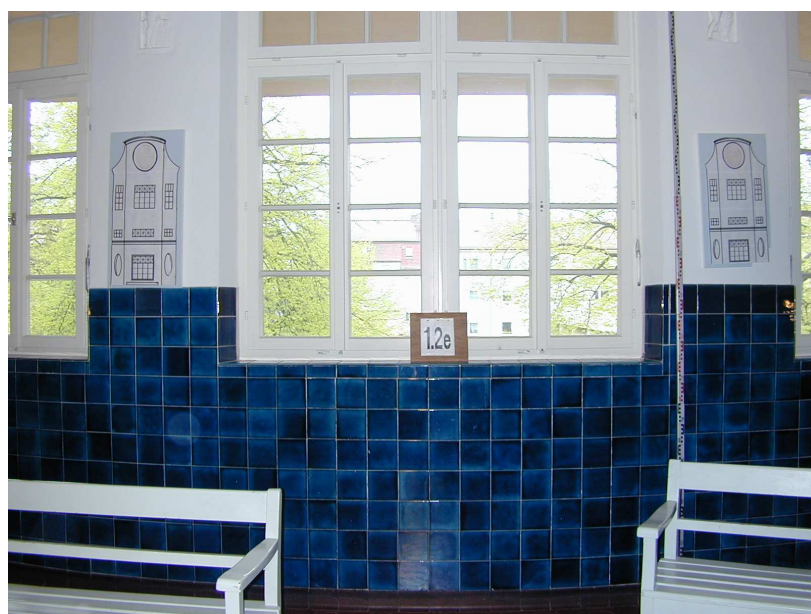


Bild 7 a, b: Flur mit hochwertiger Wandkeramik

Im ausgehenden 19. Jahrhundert verfestigten sich schultechnische und auch hygienische Erkenntnisse. Im Souterrain der Ludwigschule fanden neben der Schul-/Lehrküche das Brausebad Platz. So wurden um 1900 Duschräume in Schulen integriert, um allen Kindern zu ermöglichen, sich zumindest einmal pro Woche gründlich zu waschen. Die nachfolgende Graphik des Brausebads der Nürnberger Volksschule Knauerstraße verdeutlicht die wöchentliche Körperhygiene.



Bild 8: Brausebad der Volksschule Knauerstraße, Nürnberg 1901 (Graphische Sammlung der Stadt Nürnberg, Schulmuseum; aus: Hygieneplan für steirische Pflichtschulen, 2002)

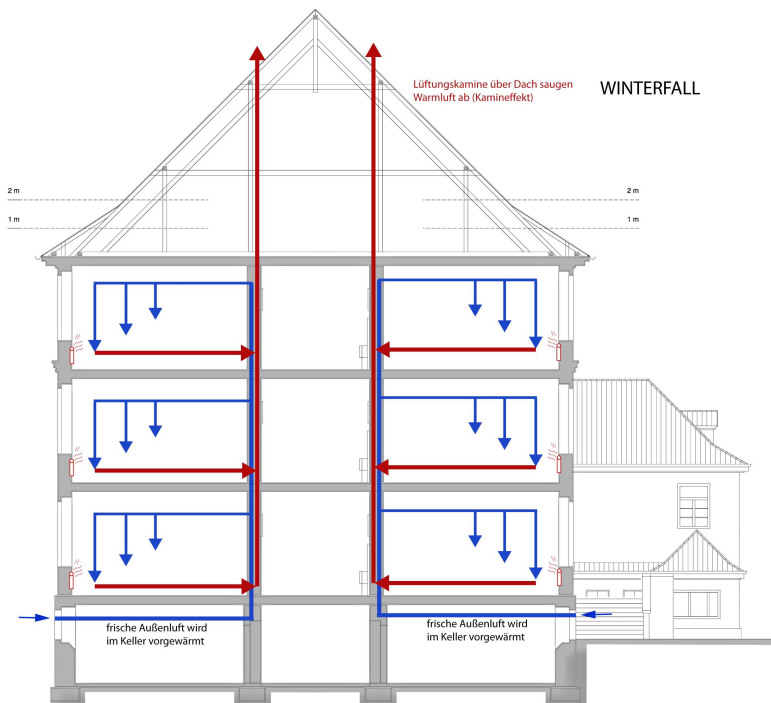
Neben der natürlich nötigen Heizungsanlage – ausgeführt als Niederdruckdampfanlage – sollte besonderes Augenmerk der vorhandenen Lüftungsanlage des Schulgebäudes gelten. In der „Lüftungslehre“ um die Jahrhundertwende standen zwei konträre Ansichten sich gegenüber, „... , nämlich die Pettenkofer's, welche die schädliche Einwirkung verbrauchter Luft in überfüllten Räumen auf eine chemische Veränderung der Luft, gemessen am Kohlesäuregehalt (Kohlensäuremaßstab) zurückführt und die Flügge's, welche der physikalischen Veränderung, vor allem der Erhöhung der Temperatur und der Feuchtigkeit die Schuld bemißt und die durch die verbrauchte Luft auftretenden Störungen als Wärmestauungserscheinungen ansieht. ...“ (Die Forderungen der Gesundheitspflege an den Schulhausbau unter dem Druck der wirtschaftlichen Verhältnisse, Prof. Dr. H. Selter, in Zentralblatt der Bauverwaltung, 43. Jahrgang, 5.1.1923).

Während ‚physikalische Veränderungen der Raumluft‘ sicherlich auch eine Rolle spielen, sind die experimentell gewonnenen Erkenntnisse Pettenkofers heute Allgemeingut. Nach Pettenkofer ist der hygienische Innenraumluftwert für CO<sub>2</sub> benannt – die Pettenkofer-Zahl. Ihren Grenzwert gab Pettenkofer mit 0,10 Vol % bei intellektueller Arbeit an, ein heute noch gültiger Grenzwert (siehe unten).

Bereits vor dem Bau der Ludwigschule fand das Thema Lüftung Einzug in den Schulbau. Der Oberpfälzer Schulanzeiger von 1884 schreibt im Paragraph neun zur Lufterneuerung in den Schulzimmern verbindlich ‚Ventilationskamine‘ einschließlich definierte Querschnitte vor: „... der Luftkamin muß zur Ableitung der verbrauchten Luft im Schulzimmer zwei Öffnungen haben: die eine zunächst dem Fußboden, die andere zunächst der Decke. Diese Öffnungen müssen doppelt so groß sein als der Querschnitt des Luftkamins. Die Öffnungen zunächst dem Boden ist nur mit einem

*Drahtgitter zu versehen, während die obere einen beweglichen Verschluss zu erhalten hat. Bei geheiztem Zimmer ist die obere Öffnung geschlossen zu halten. Außerdem müssen sämtliche Fenster mit beweglichem Oberlichte versehen sein, welches mittels Stellvorrichtung herabgelassen werden kann.“ (Oberpfälzer Schulanzeiger, Nr. 7, Regensburg, 1. Juli 1884)*

Zwei Jahrzehnte später waren die Lüftungssysteme weiterentwickelt, es sollte eine hygienisch einwandfreie Raumlufte durch eine damals mustergültig ausgeführte Lüftung erzielt werden. Die Lüftungstechnik ist zentralisiert worden: Die Frischluft wurde über ‚Frischlufkkammern‘ im Kellergeschoss via Zuluftkanäle und Zuluftschächte in die Klassenräume geführt. Abluftkanäle ließen die verbrauchte Luft in den Luft durchströmten Dachraum bzw. über Dachreiter entweichen. Steuerbar war das Lüftungssystem raumseits durch Jalousieklappen der innenwandseitigen Lüftungsschächte, zentral durch Schieber zwischen Zuluftkanälen und Frischlufkkammern sowie durch Drosselklappen der Abluftschächte. In der Literatur finden sich Hinweise auf einen möglichen dreifachen Luftwechsel pro Stunde.



Grafik 1: Bauzeitliches Lüftungssystem, Architekturbüro Werner Haase

Dieses technisch fortschrittliche und kostengünstige System einer thermisch angetriebenen Lüftungsanlage hatte sich bewährt. Die Sonderbeilage des Schweinfurter Tagblattes griff anlässlich der Eröffnung des neuen Schulhauses auch die technischen Besonderheit ausführlich auf:

*„ ... In 2 mit dem Außen in Verbindung stehenden Räumen wird die frische Luft gereinigt, angefeuchtet über Rippenheizkörpern bis zu 30°C angewärmt und in einem Zwischenraum unter der Korridordecke des Kellergeschosses geleitet. Von hier aus steigt diese warme reine Luft durch gemauerte Schächte und strömt in allen Lehrräumen unterhalb der Decke aus. Damit diese Luft in Zirkulation kommt, ist auf der entgegengesetzten Seite derselben Wandfläche eine Öffnung oberhalb des Fußbodens welche in einem Schacht nach dem Dachboden, beziehungsweise Dachreiter, die in den Zimmern zu Boden fallende schlechtere Luft abgesaugt wird. Auf diese Weise ist bei einer gewissenhaften Bedienung stetig für gute, reine Luft*



*gesorgt, die für die am Fenster sitzenden Kindern lästige Fensterzugluft wird in einfacher, erstmalig zur Anwendung gebrachter Einrichtung, in Form eines entlang der Fensterbrüstung liegenden Heizschlangrohres beseitigt. ...“ (Schweinfurter Tagblatt 1908).*

Temperierungen im Bereich der undichten Fenster beseitigten Zugscheinungen, ansonsten wurde die Raumheizung durch Radiatoren in den mittleren Fensterbänken erfüllt. Einen Eindruck kann die vor der Sanierung vorgefundene Situation vermitteln.



Bild 9: Fensterfront vor Sanierung

Bereits 1911 beschlossen der Magistrat Schweinfurt und das Kollegium der Gemeindebevollmächtigten einen Erweiterungsbau zur Ludwigschule, der ein Stockwerk niedriger gehalten wurde und sich vom Schulhof aus fast als ein dritter Seitenpavillon der Ludwigschule präsentiert.

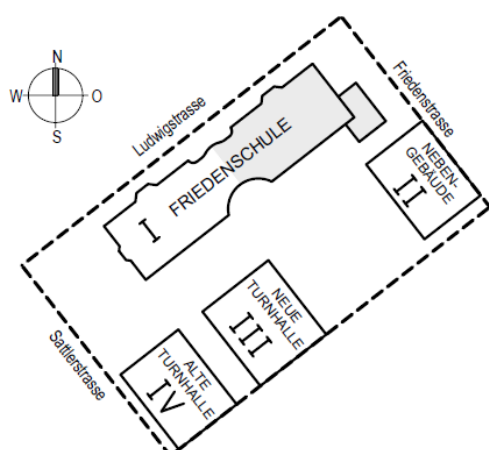
Der 2. Weltkrieg hinterließ seine zerstörerischen Spuren mit Fliegerbombentreffern. Im Jahre 1950 erfolgte der Wiederaufbau der Ludwigschule. Der zurückgesetzte Mittelbau wurde im 2. Obergeschoss komplett überbaut, die feingliederte Struktur durch ein homogenes, alle Gebäudeabschnitte überspannendes abgewalmtes Satteldach vereinheitlicht. Dieser jetzt massige Baukörper prägt heute noch das Stadtbild.



Bild 10: Heutige Friedensschule nach Wiederaufbau

1969 wurde die Ludwigschule in Friedensschule umbenannt. Die heutige Situation zeigt das folgende Orientierungsschema. Dem nordöstlichen Seitenpavillon des Gebäudeteils I ist das Hausmeister-Haus angegliedert. Gebäudeteil II ist der 1912 fertiggestellte Erweiterungsbau.

## ORIENTIERUNGSSCHEMA



Zeichnung 1: Orientierungsschema, Planausschnitt aus Bestandsplan ohne Maßstab, AB Haase, Mai 2005

GT I	<p>Schulgebäude BJ 1908, Wiederaufbau DG und 2. OG BJ 1949                  Umbauter Raum ca. 24.100 m<sup>3</sup>                  HNF ca. 2.260 m<sup>2</sup>                  4-geschossig, KG, EG, 1. OG, 2. OG                  DG nicht ausgebaut, Walmdach ca. 45°                  Ausrichtung Hauptdachfläche: Nordwest - Südost                  Kellergeschoss ca. zur Hälfte im Erdreich                  im Nord-Osten kleiner 2-geschossiger Anbau, derzeit als                  Hausmeisterwohnung genutzt</p>
GT II	<p>Schulgebäude BJ 1912                  Umbauter Raum ca. 6.800 m<sup>3</sup>                  HNF ca. 825 m<sup>2</sup>                  3-geschossig, KG, EG, OG                  DG nicht ausgebaut, Walmdach ca. 45°                  Ausrichtung Hauptdachfläche: Nordost - Südwest                  Kellergeschoss ca. zur Hälfte im Erdreich                  Wärmeverbund mit Heizung GT I</p>
GT III	<p>Turnhalle BJ 1969                  Umbauter Raum ca. 3.170 m<sup>3</sup>                  HNF ca. 300 m<sup>2</sup>                  1-geschossig, Flachdach, nicht unterkellert                  Wärmeverbund mit Heizung GT I</p>
GT IV	<p>Turnhalle BJ 1952                  Umbauter Raum ca. 5.155 m<sup>3</sup>                  HNF ca. 300 m<sup>2</sup>                  1-geschossige Halle, 3-geschossige Nebenräume KG, EG, OG                  DG nicht ausgebaut, Satteldach ca. 30°                  Ausrichtung Hauptdachfläche: Nordwest - Südost                  KG vollständig im Erdreich, Halle nicht unterkellert                  Wärmeverbund mit Heizung GT I</p>

## 2. Bestandsaufnahme

Die Generalsanierung eines Bestandsgebäudes, insbesondere eines Denkmals bedarf grundsätzlich einer eigenen Methodik in der Planungsphase. Die Planungsphase wird durch die zwei prägenden Prozesse der Bestandsaufnahme und der Sanierungsplanung gekennzeichnet. Die folgenden Überlegungen beziehen sich auf Profanbauten wie die hier vorliegende Schule.

Wesentlich für die Bestandsaufnahme ist das frühzeitige Sammeln aller zugänglichen und ableitbaren Informationen über das Gebäude, da so eine Basis für alle prinzipiellen Entscheidungen geschaffen wird. Umgekehrt formuliert können lückenhafte Grundkenntnisse zu Entscheidungen führen, die im weiteren Bauverlauf Mehrkosten aus sogenannten Überraschungen, aber auch prinzipiell vermeidbare Mehrkosten nach sich ziehen.

Von Beginn an muss auch das Ziel bereits berücksichtigt werden. Hier gilt es, die Vision, den baulichen Endzustand und vor allem den Weg dahin zu antizipieren. So kann auch ein frühzeitiger Abgleich der erreichbaren Ziele bzw. eine Bewertung der Erreichbarkeit dieser Ziele erfolgen. Insbesondere Denkmäler sind keine beliebig überformbaren Gebäude, die sämtliche neuzeitlichen Anpassungen bei gleichzeitigem Erhalt der Denkmaleigenschaften zulassen.

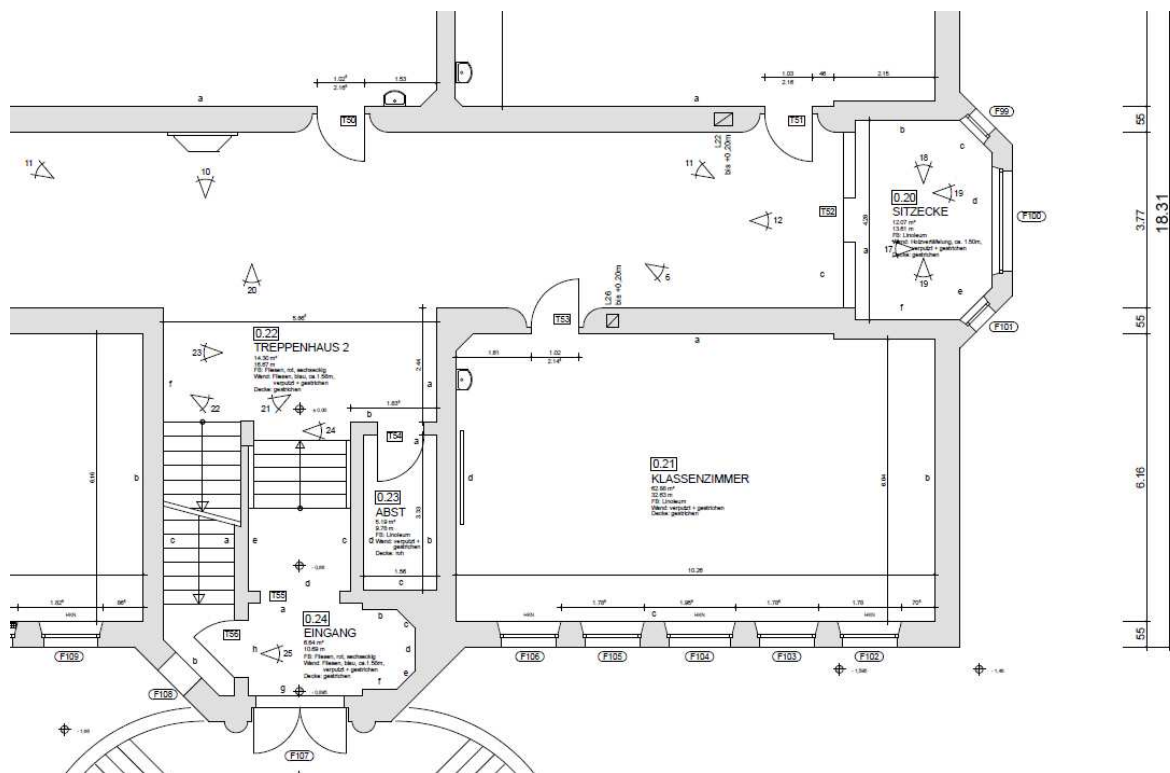
Eine Bestandsaufnahme sollte lapidar ausgedrückt so umfassend sein, wie es die Projektziele nötig machen. Die nötigen Erkenntnisse lassen sich verschiedenen Kategorien zuordnen:

- Quantitative Merkmale: äußere und innere Abmessungen, Abgleich mit vorhandenen Planunterlagen
- Qualitative und gestalterische Merkmale: neuzeitliche Ausstattung, Hinweise auf bauzeitliche Ausstattungen, bau- und kunsthistorische, handwerkliche Indizien sowie Schäden der Ausstattung
- Funktionale Merkmale: neuzeitliche Grundrissanlage mit seiner internen und externen Erschließung im städtebaulichen Kontext, Abgleich mit möglicher bauzeitlicher Situation, sowie erkennbare funktionale Defizite
- Konstruktive Systeme, Merkmale und Eigenschaften sowie deren erkennbaren oder wahrscheinlichen Schäden, Symptome und Ursachen (Systemschäden)
- Materialität und deren Eigenschaften, Schäden, Symptome und Ursachen (Substanzschäden)
- Haustechnische neuzeitliche Systeme und Ausstattungen, bauzeitliche Haustechnik, erkennbare Defizite und Schäden

In der praktischen Denkmalpflege kommt der Auftrag hinzu, möglichst umfassend den Denkmalcharakter, die Originalität zu bewahren. Ein Ergebnis der Bestandserfassung muss daher ein Überblick über wertvolle erhaltenswerte, empfindliche sowie ungestörte Gebäudebereiche, umgekehrt gänzlich gestörte Zonen und grundrissliche Nutzungsreserven sein. Daraus können bereits Gestaltungsspielräume für die weitere Planung abgeleitet werden. Diese Erkenntnisse können über unterschiedliche Methoden gewonnen werden,

selbstverständlich sollten zerstörungsfreie Untersuchungen immer Vorrang haben. [vgl. Schmidt 2008]

Die Bestandsuntersuchungen der Friedensschule wurden 2005 durchgeführt. Die maßliche Bestandsaufnahme basierte auf neuzeitlichen, aber unvollständigen Bestandsplänen aus der Wiederaufbauzeit nach dem II. Weltkrieg (Wiederaufbauplanung von 1949) sowie Plänen eines Gebäudeaufmaßes von 1959. Die Pläne wurden durch Überprüfung der Hauptmaße des Gebäudes und der einzelnen Innenräume verifiziert. Oberflächenmaterialien wurden direkt im Raum vermerkt. Um eine einheitliche Bezeichnung der Räume mitsamt Wandflächen und Bauelemente wie Fenster und Türen zu erhalten, wurde eine strikte Codierung eingeführt.



Zeichnung 2: Planausschnitt Bestandsplan, EG-Grundriss, Originalmaßstab 1:50, AB Haase, Mai 2005

Denkmalrelevante Ausstattungsmerkmale wurden fotografiert und in den Plänen direkt durch durchgängig nummerierte ‚Blickwinkel‘ referenziert.



Bild 11: Ausschnitt aus dem Raumbuch für denkmalpflegerisch bedeutende Ausstattung, AB Haase, Mai 2005

Parallel wurde auf Basis der Codierung ein komplettes Fotoraumbuch des Bestandes gefertigt. Die jeweilige Zuordnung erfolgt durch ebenfalls in das Bild eingestellte Raum- und Wandnummerierungen.

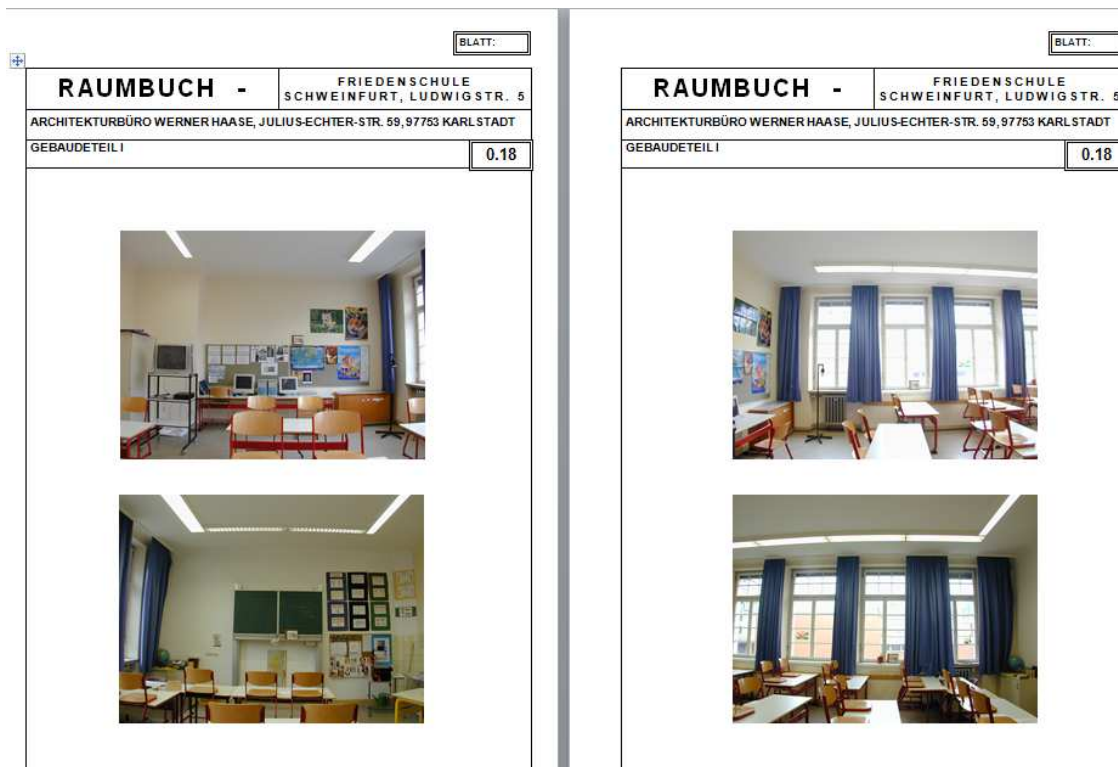


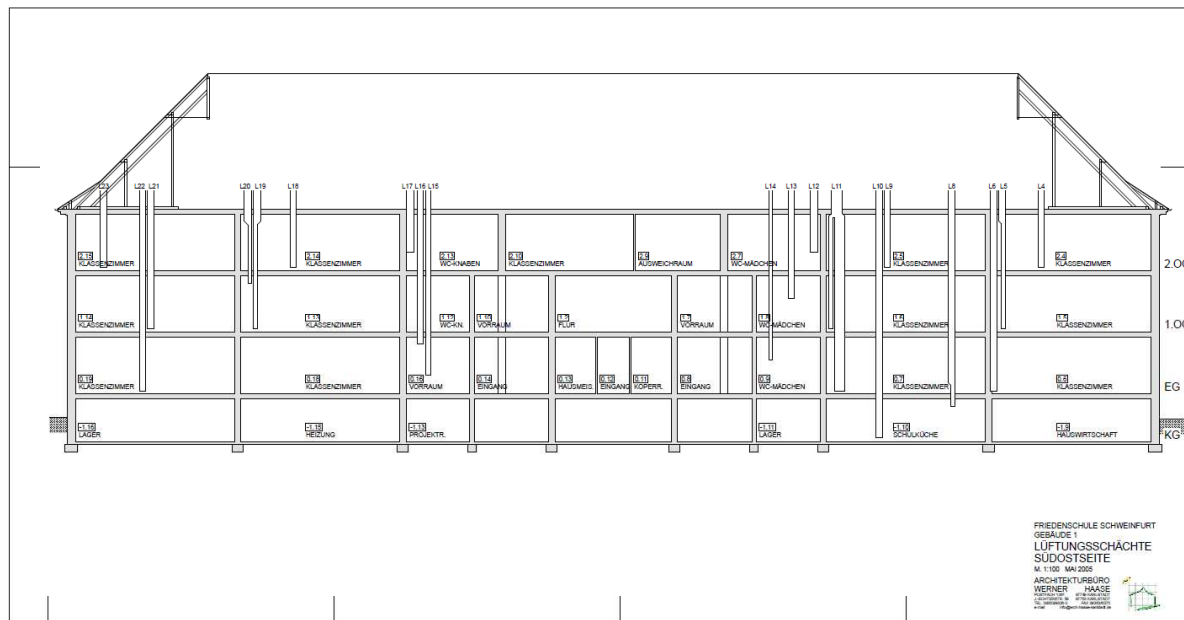
Bild 12: Ausschnitt aus dem Fotoraumbuch, AB Haase, Mai 2005

In wenigen Räumen wurden Lüftungsklappen in den flurparallelen Innenwänden festgestellt wie hier im ehemaligen Schulbad.



Bild 13: Lüftungsklappen des Ventilationskamins im ehemaligen Schulbad

In der Regel wurden die Klappen der bauzeitlichen Ventilationskamine nahezu komplett entfernt, die Durchbrüche zugemauert. Allerdings mündeten die Abluftkamine immer noch, bauzeitlich unverändert in den Dachraum. So konnten diese nach entsprechender Reinigung eingemessen werden. Die Durchgängigkeit dieser vertikalen Schächte wurde mit entsprechender Nummerierung dokumentiert.



Zeichnung 3: Bestandsplan Ventilationskamine, Längsschnitt, Originalmaßstab 1:100, AB Haase, Mai 2005

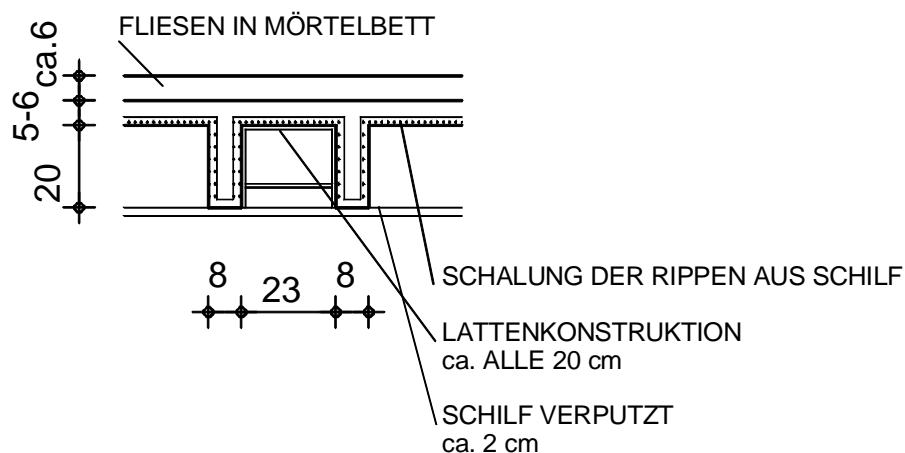
Zum damaligen Untersuchungszeitpunkt ist man letztendlich von einem vereinfachten Lüftungssystem, nämlich einfache Abluftschächte über Dach

ausgegangen. Entsprechende Hinweise aus alten Planunterlagen wurden nicht bewertet, da aufgrund der Planung einer Lüftungszentrale im Dachgeschoss eigentlich nur die vertikalen Schächte von den Klassenräumen in das Dach nötig waren. Daher wurde die Lage der Zuluftschächte nicht untersucht. Das komplette bauzeitliche System offenbarte sich später bruchstückhaft in der Bauphase, als bei Eingriffen immer wieder die weiteren Schächte erschienen und bei strukturellen Veränderungen entsprechend mit Beton ausgegossen werden mussten. Es konnte aber keine entsprechende Dokumentation aufgrund der dicht gedrängten Bauzeit und fortgeschrittenen Baumaßnahme durchgeführt werden.

Bauteiluntersuchungen wurden im Untersuchungszeitraum an einer Geschosdecke und der Dachdecke durchgeführt. Beide Untersuchungen genügten lediglich für erste Einschätzungen. Der Aufschluss der Geschosdecke offenbarte eine bauzeitliche Rippendecke.



Bild 14: Bestandsuntersuchung bauzeitliche Rippendecke, AB Haase, 2005



Zeichnung 4: Detailskizze Aufschluss bauzeitliche Rippendecke, AB Haase, 2005

Hierbei handelt es sich um eine Wayss'sche Rohrzellendecke oder eine angelehnte Deckenkonstruktion. Sogenannte ca. einen Meter lange Rohrzellen werden als verlorene Schalung genutzt. Schilfrohrmatten werden auf Holzrahmen mit gespannten Stahlbändern befestigt. In den abgeschalteten Rippen werden die Stahleinlagen eingebracht, die abschließend mit Beton ausgegossen werden.

Unterseits werden ebenfalls Schilfrohmatten als Putzträger angebracht. Die folgende Abbildung zeigt eine fertiggestellte Rohrzellenschalung.



Bild 15: Rohrzellenschalung, Abbildung aus Georgeacopol-Winischhofer, U., in: Steine sprechen, 2000, Nr.118, S.7-10

Die das 2. Obergeschoss des ehemaligen Nord-Ost-Pavillons überspannende Holzbalkendecke wurde nach dem II. Weltkrieg zum Dachraum hin mit einem schwimmenden Zementestrich abgeschlossen. Dies war augenscheinlich im Bereich der Treppenaufgänge zu erkennen. Im Bauverlauf zeigte sich, dass die Signifikanz der beprobten Stellen keinen Allgemeinschluss zugelassen hat. Im Baubetrieb mussten daher weitere Untersuchung des Tragwerks, insbesondere der bauzeitlichen Rippendecken und der Holzbalkendecke im Dachbereich angeschlossen werden. Im Dachbereich wurde ein lokaler Hausschwammbefall (*Serpula lacrymans*) gefunden. Im Zuge des Rückbaus wurden weiße bis hellgraue Pilzmyzelien sichtbar, die das Holz flächig überdeckten. An den Fußpunkten der Sparren war das Holz würfelbruchartig zerstört.



Bild 16: Befall mit Hausschwamm, Würfelbruch

Feuchtigkeit drang in die Schichten unterhalb des Estrichs bzw. der Polystyrol-Dämmung ein, erhöhte die Holzfeuchte ausreichend, so dass die Lebensgrundlage für den echten Hausschwamm geschaffen war. Ursachen des Wassereintruchs waren meist undichte Anschlussstellen – offensichtlich im Dachanschlussbereich



des Hausmeistergebäudes. Befallene Holzbauteile wurden entsprechend der WTA-Richtlinien zurückgebaut, Mauerwerk wurde abgestrahlt und abgeflammt, im „durchwachsenen“ Mauerwerk wurden Mycelien im Injektionsverfahren bekämpft.



Bild 17: Fertiggestellte Hausschwammsanierung, AB Haase

Schwieriger entwickelte sich die Problematik der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit der bauzeitlichen Rohrzellendecken. Bei Rückbauarbeiten im Kellergeschoß traten erhebliche Schäden an den Betonrippen zutage, die zum einen auf frühere Installationsarbeiten zurückzuführen sind (Befestigung von Lasten von unten an den Rippen), zum anderen sind die Betondeckungen des Rippenstahles seit der Bauzeit überhaupt nicht gegeben. Der teilweise offen liegende, untere Rippen-Stahl zeigte eine leichte Oberflächenkorrosion, aber ohne signifikante Querschnittsverluste. Es ist ein mangelhafter Verbund der Biegebewehrung in den Rippen gegeben, Schubbewehrung und rückverankernde Auflagerbewehrung fehlen (bauzeitlich noch). Aufgrund der festgestellten Schäden mussten weitere Untersuchungen, diesmal repräsentativ für alle Geschosse und Deckensituationen durchgeführt werden.



Bild 18: Aufschluss mit kompletter Freilegung der bauzeitlichen Rippendecke, AB Haase

Das Schadensbild bzw. der seit der Bauzeit existente Zustand glichen sich. Die eingebundenen Tragwerksplaner kamen nach Untersuchungen der Beton-Druckfestigkeit und der Stahl-Zugfestigkeit zum Schluss, dass die bauzeitlichen Decken für die nach aktueller DIN 1055 anzusetzenden Verkehrslasten nicht ausreichend bewehrt sind. Die Konsequenz lautet: Die Verkehrslasten werden nicht zuverlässig abgetragen, die Decken sind daher nicht standsicher. Weiterhin wird die Dauergebrauchstauglichkeit aufgrund der fehlenden Betondeckung und der damit verbundenen Korrosionsgefahr für den Bewehrungsstahl eingeschränkt.

Für eine weitere Einschätzung wurden die Verkehrslasten bei gegebener Bewehrung ermittelt, soweit dies überhaupt aufgrund der nicht bekannten Grundlagen wie Lagerung, Belastung, Werkstoffeigenschaften, Zustandsmerkmale wirklichkeitsnah rechnerisch möglich ist. In Frage stehen z.B. Betonverbund des Stahles an den Flanken und der Oberseite, Rückverankerung im Massivstreifen und damit Zugbandwirkung im Feldbereich der entstehenden Gewölbewirkung.

Laut Prüfamts für Baustatik der LGA – Zweigstelle Würzburg werden folgende mögliche Verkehrslasten genannt:

	Maximal mögliche, rechnerisch ermittelte Verkehrslast [kN/m <sup>2</sup> ]	Geforderte Verkehrslast nach DIN 1055 [kN/m <sup>2</sup> ]
Flure	3,1	5,0
Klassenzimmer	2,2	3,0

Tabelle 2: Maximal mögliche Verkehrslasten, Prüfamts für Baustatik der LGA – Zweigstelle Würzburg, Untersuchungsbericht vom 20.05.2008

Konsequenz dieser Ergebnisse wäre ein Subsidiärtragwerk aus Stahl gewesen, das vor allem erheblichen Aufwand im vorbeugenden baulichen Brandschutz – die Technikinstallationen waren bereits weit fortgeschritten – und eine erhebliche Beeinträchtigung des originalen Erscheinungsbildes bedingt hätte. Die massive Störung des Baubetriebes, damit verbundene Rückbaunotwendigkeiten, hätten erhebliche Mehrkosten von mind. einer halben Million Euro bedingt.

Auf Initiative der Stadt Schweinfurt wurde parallel die Alternative eines Belastungsversuches in situ verfolgt. In Form einer experimentellen, minimal destruktiven Tragsicherheitsbewertung wurde erneut versucht, die Standsicherheit empirisch und nicht auf Basis einer statisch-mathematischen Modellbildung nachzuweisen. Eine ansteigende Versuchslast wird in die zu untersuchenden Bauteile bis zum Erreichen einer Versuchsziellast eingebracht. Die Versuchsziellast wird vorab berechnet, die Bauteile werden dann bis zu deren Betrag belastet. In der Regel liegt die Versuchsziellast deutlich über der rechnerischen Tragsicherheit, aber auch unter der Versuchsgrenzlasterlast, die zu einer irreversiblen Schädigung des Bauteils führt. Es resultiert ein möglicher Nutzlastzuwachs, der empirisch abgesichert ist, somit ist es auch legitim, Sicherheitsbeiwerte abzumindern. Der Nutzlastzuwachs kann verwandt werden, um Baumängel / -fehler zu kompensieren oder höhere Verkehrslasten zu ermöglichen.



Grafik 2: Sicherheitskonzept der Belastungsversuche, aus Deutsches Ingenieurblatt, Rettung vor dem Garaus, Fiedler, Kapphahn, Steffens, Berlin 5/2008

Das Verfahren: Drei übereinander liegende Deckenabschnitte der Klassenräume (je 25 Rippen) und der Flure (je 13 Rippen) werden via Stahlrahmen zur Lasteinbringung und via Stabstähle mit einer Messbasis im Kellergeschoss verbunden. Dort erhöhen Hydraulikzylinder die externe Versuchslast, parallel werden die sich ergebenden Durchbiegungen und Schallemissionsraten zur Beurteilung des Betonzustandes aufgezeichnet. [vgl. Fiedler et al. 2008]



Bild 19: Belastungstests in situ, Fotos AB Haase

Die Durchbiegungsmessungen für die verschiedenen Lastzustände sowie der Gebrauchstauglichkeitstest mittels zeitlich ca. 20 Minuten andauernder externer Versuchslast zeigten reversible Verläufe. Die geringen Schallemissionsraten deuten im Rippenbereich eine Zugbandwirkung und im Auflagerbereich eine Querkraftaufnahme durch Gewölbebildung an. Die Ingenieursgesellschaft für experimentelle Mechanik mbH (ifem) resümiert die Untersuchungen in ihrem vorläufigen Bericht vom 11.08.2008:

*„Die örtlichen Belastungsversuche an den Geschosdecken sind planmäßig abgeschlossen worden. In sämtlichen Stichprobenfeldern wurden die Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit durch problemloses Erreichen der Versuchsziellasten und durch reversibles Verformungsverhalten unter Gebrauchslast nachgewiesen. Es bestehen unsererseits vorbehaltlich der Stellungnahme des Prüfenieurs keine Bedenken, die positiven Ergebnisse auf die nicht untersuchten Deckenplatten gleichen Typs aller Trakte dieser Schule zu übertragen. Die Voraussetzungen für die Ergebnisse und damit für die dauernde Ausnutzung der nachgewiesenen Verkehrslasten sind:*

- *Einhalten der Lastansätze, insbesondere  $p = 3,00 \text{ kN/m}^2$  (Klassenräume),  $p = 5,00 \text{ kN/m}^2$  (Flure), keine dynamische Lasten (Sport, Tanzen, etc.)*
- *unveränderte statische Verhältnisse, damit die experimentell ermittelten Reserven der Decke nicht verloren gehen. .. „ [ifem 2008]*

Die Unterbrechung bzw. Beeinträchtigungen der Bauaktivitäten haben sich in finanzieller und denkmalpflegerischer Hinsicht gelohnt. Es deutet sich hier aber ein Dilemma des Arbeitens im Bestand, soll heißen der nötigen Untersuchungstiefe an. Die Aufklärung sämtlicher im Objekt vorhandener Informationen ist ein wissenschaftliches Ziel. Idealerweise vervollständigen die einzelnen Indizien sich zu einem vollständigen Bild über das Objekt. Indizien und Befunde lassen sich nur im Kontext verstehen. Hierbei wird nicht nur der historische, bauzeitliche Urzustand, sondern auch ein kontinuierliches Bild über alle Zeitphasen des Bauwerks entwickelt. Das akademische Bedürfnis nach objektiver Wahrheit muss gerade bei der praktischen Denkmalpflege enden, wenn historische Substanz zerstört wird. Allerdings können „weiße Flecken“ in den Grundrissen unter Umständen zu Planungen führen, die dann in einer späteren Bauphase doch zur Beeinträchtigung eben jener anfangs zu schonender Substanz führen. [vgl. Schmidt 2008]

Welche Untersuchungstiefe ist also angezeigt? Welche Vorgehensweise bedingt die größten nicht destruktiven Erkenntnisse über ein Bauwerk unter Berücksichtigung der Umbauintentionen?

Entscheidend ist der Überblick über das Projekt. Das Projektziel, insbesondere die Definition der angestrebten Qualitäten, die Bauphase als der Weg zu diesem Ziel werden in den ersten Leistungsphasen, insbesondere in der Grundlagenermittlung und im Vorentwurf formuliert. Im Vorentwurf muss eine Rückkopplung zur Bestandsaufnahme stattfinden, die Bestandsaufnahme muss mit dem Wissen um die zukünftigen Planungen von qualifizierten und erfahrenen Bearbeitern durchgeführt werden. Damit kann der Blick auch von Anfang an auf den neuralgischen Detailpunkten ruhen. Die Bestandsaufnahme darf weder isoliert noch kurzschlüssig betrieben werden, so dass wenige, oftmals einzeln beobachtete Fälle zu Verallgemeinerungen führen. Dagegen führt eine strenge induktive Gebäudeuntersuchung zu aus mehrfacher Erfahrung abgeleiteten allgemeinen Begriffen wie z.B. Konstruktionsweisen bzw. Materialität, die Deduktionen zugrunde gelegt werden. Francis Bacon schreibt 1620 in *Novum Organum* über die Prinzipien der Induktion: *„Die Empirie kommt nicht über das Besondere hinaus, sie schreitet immer nur von Erfahrungen zu Erfahrungen, von Versuchen zu neuen Versuchen; die Induktion dagegen zieht aus den Versuchen und Erfahrungen die Ursachen und allgemeinen Sätze heraus und leitet dann wieder neue Erfahrungen und Versuche aus diesen Ursachen und allgemeinen Sätzen und Prinzipien ab.“* [Bacon 1620]

Dieses Vorgehen muss mit den Prinzipien der praktischen Denkmalpflege in Einklang gebracht werden. Selbstverständlich muss nicht wie im naturwissenschaftlichen Arbeiten eine Prüfung der negativen Instanzen, der Ausnahmen allumfassend folgen, es genügt mit Ingenieurwissen hypothetische, aufgrund von Konstruktionsprinzipien wahrscheinliche Ableitungen aufzustellen. So lässt sich in der Regel das Tragwerk eines Gebäudes erschließen. Die Materialität und deren Zustand bedürfen unter Umständen einer weiteren Untersuchungstiefe. Hier ist eine statistische Signifikanz anzustreben, der Zustand einer Rippenbewehrung kann nicht aus einer Untersuchungsstelle abgeleitet werden.

Zunächst gilt es, alle Möglichkeiten auszuschöpfen, um mit zerstörungsfreien Methoden Resultate zu erzielen:

- archivierte Planunterlagen und baubegleitende Unterlagen sichten und auswerten
- maßstäbliches, auf geodätischer Basis hergestelltes Aufmaß mit verbindlichem Orientierungssystem
- Verformungen detektierende Vermessungen, insbesondere der Deckensituationen über eine einheitliche horizontale Bezugsebene („Meterriß“)
- Fotodokumentation

Die Aufmaßzeichnungen können heute unproblematisch mit CAD räumlich erstellt werden. So können frühzeitig gerade bei haustechnisch anspruchsvollen Projekten Planungsgrundlagen für die weiteren Fachdisziplinen zur Verfügung gestellt werden. Die im 1. Schritt gewonnenen Aufmaßpläne dienen als Grundlage weiterer Untersuchungen:

- Systematische Tragwerksuntersuchung mit Untersuchung der gesamten Baukonstruktion (System- und Substanzdefizite und –schäden)
- Befunduntersuchung, im Regelfall lassen sich konstruktive Untersuchungen und Befundungen in den gestörten / geschädigten Zonen koordinieren
- Materialuntersuchungen

Die gewonnenen Erkenntnisse werden in einem Raumbuch oder in einem datenbankbasierten, bauteilorientierten, virtuellen Gebäudemodell zusammengefasst. Hier stehen sie allen projektbeteiligten Fachdisziplinen in der Planungsphase, vor allem dann auch in der Phase des Gebäudebetriebs zur Verfügung.

Es folgen als wesentliche Schritte das Bewerten und Interpretieren der Daten. Es zeichnen sich notwendige Maßnahmen wie Reparaturen, aber auch hochwertige Bereiche, die belassen werden sollten, ab. Auf dieser Basis ist der Vorentwurf aller Fachdisziplinen weiter zu erstellen bzw. zu bewerten. Im Grunde ist dieses frühe Arbeiten als iterativer Prozess zu verstehen. Dieses iterative Arbeiten ist vor allem auf Grund der noch geringen Komplexität des Planungsfortschrittes möglich.

### 3. Entwurfsplanung

Die 2005 vorgefundene Baukonstruktion des Gebäudes und Gebäudetechnik ist nachfolgend zusammengefasst:

Bauteil / Gebäudeelement	Vorgefundene Ausführung
Außenwände	Ziegelmauerwerk, ca. 45 (2. OG) bis 75 cm (KG), innen mit Kalkputzen bekleidet
Fenster	2-fach verglaste Holzverbundfenster, äußere Verbundscheibe mit Sprossen
Bauzeitliche Decken KG bis über 1.OG	Untersicht Schilfputzträger verputzt, Rohrzellen-Beton-Rippendecke, Sandausgleich, Betonestrich, PVC-Beläge, in Fluren und WCs bauzeitl. Keramische Bodenfliesen
Bauzeitliche Decken über 2.OG	Untersicht Schilfputzträger verputzt auf Holzlattung, Holzbalkendecke, Holzschalung, Polystyrolämmung, Zementestrich
Neuzeitliche Decken im südwestlichen Gebäudeflügel („Bombentreffer“)	Untersicht Schilfputzträger verputzt auf Holzlattung, Stahlbeton-Rippendecke, Polystyrolämmung, Zementestrich
Dach	Holzdachstuhl, mehrfach stehendes Pfettendach, als Kaltdach, Ziegeleindeckung
Bodenplatte	Beton, Fliesenbelag
Öl-Dampfkesselanlage / Warmwasserheizkessel	2 x 651 kW (Baujahr 1976 / 1980) 151 kW (Baujahr 1970)
Beleuchtung	Leuchtstoffröhren mit KVGs

Tabelle 3: Baukonstruktion und Gebäudetechnik im Bestand

Für die gesamte Liegenschaft (Gebäude I, II sowie zwei Turnhallen) liegen durchschnittliche, aber nur gemeinsam erfasste jährliche Verbrauchswerte vor: ca. 50.000 l Heizöl für Heizwärme, ca. 70.000 kWh Stromverbrauch, ca. 1.900 m<sup>3</sup> Wasserverbrauch.

Die Anforderungen an den Mindestwärmeschutz, Brandschutz, Schallschutz (Klassenraumtüren), an die Raumakustik weichen erheblich von den heutigen Standards ab.

Insbesondere die schallharten Oberflächen der Flure sowie in den Klassenräumen - etwas durch textile Vorhänge gemindert - führen zu langen Nachhallzeiten. Exemplarisch gemessene Nachhallzeiten in Klassenräumen mit schallharten Raumbegrenzungsflächen lagen im Bereich von 1 bis 1,5 Sekunden. Bei empfohlenen Nachhallzeiten von 0,45 bis 0,7 Sekunden (DIN 18041) ist von einer ungenügenden Sprachverständlichkeit und ungenügender Minderung des Geräuschpegels auszugehen. Bei der hohen Anzahl an Schülern an der Friedensschule mit Migrationshintergrund ist gerade die Qualität der Sprachverständlichkeit entscheidend.

Aufgrund der Gebäudeeinstellung als Hochparterre (Nutzung der Kellerräume zum Teil als Aufenthaltsräume) und fehlender Rampen ist keine Barrierefreiheit gegeben.

Feuchteprobleme sind an den Kelleraußenwänden innenseitig im Übergang zur Bodenplatte festzustellen. In diesem Zusammenhang müssen neben einer

Überprüfung der Feuchtigkeitsabdichtung die beschädigten Grundleitungen (Brüche, Wurzeleinwachsungen) sowie Regenstandrohre instandgesetzt werden. Über dem Pausenhofausgang ist in der Decke 2. OG ein Riss ohne Ursachenhinweis zu erkennen, der entlang der Bogenform der Außenwand läuft. Die Decke zeigt keine weiteren Schäden. Die Stützen unter dieser Decke weisen am Fußpunkt größere Abplatzungen auf, hier muss eine fortgeschrittene Betonstahl-Korrosion notiert werden.

Die Beheizung erfolgte mittels der Dampfheizung. Morgens wurde die Schule im Winter mit 130°C Vorlauftemperatur überhitzt (lokale Verbrennungsgefahr) und die Heizung danach komplett abgeschaltet. Die Räume kühlen dann bis zur Mittagszeit aus. Die Temperaturen in den Fluren und Treppenhäusern liegen teilweise unter 10°C. Die vorhandene Dampfheizung verursachte aufgrund ihrer Ineffizienz in der Wärmeerzeugung und Wärmebereitstellung sowie Ersatzteilbeschaffung in handwerklicher Einzelanfertigung hohe Kosten.

Der energetische Status wurde durch das Architekturbüro Werner Haase im Energiegutachten vom Oktober 2004 ausführlich beurteilt und durch das Ingenieurbüro für Energieberatung, Haustechnik und ökologische Konzepte (ebök) 2006 geprüft.

Die Generalsanierung entsprechend der Regierungsvorlage des Architekturbüros Haase vom September 2005 hatte übliche und notwendige Modernisierungsmaßnahmen zum Inhalt:

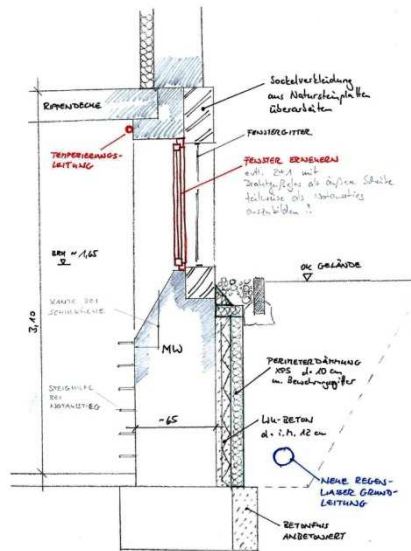
- Ausstattungen der Fachräume;
- Überarbeitung sämtlicher Bauteil-Oberflächen (Bodenbeläge, Wandbekleidungen);
- brandschutzrelevante Maßnahmen wie Ausbildung, Sicherung, Abschluss und Unterteilung der Rettungswege mittels entsprechend klassifizierter Türelemente sowie Ertüchtigung der Feuerwiderstandsdauer der tragenden und raumabschließenden Bauelemente. Durch entsprechende Unterdecken sollen gleichzeitig die Raumakustik verbessert und Feuerwiderstandsdauer ertüchtigt werden. Treppenträume werden mit RWA-Elemente ausgestattet. Klassenräume erhalten vollwandige, dichtschießende Türen, die zugleich Schallschutzanforderungen genügen. Unvermeidbare Abweichungen von der aktuellen Bayerischen Bauordnung werden mit einer automatischen Brandmeldeanlage kompensiert;
- Zusätzlich zu den akustisch wirksamen Unterdecken werden akustisch wirksame Flächen an den Wänden, aufgrund der großen Raumhöhe oberhalb von Schränken oder Tafeln appliziert;
- Erstellen der Barrierefreiheit durch Bau entsprechende Zugangsrampen und interner Aufzugsverbindung und Hubeinrichtung; Installation eines WCs für Menschen mit Behinderung; die äußere Zugangsrampe wird im Nachgang im Rahmen der Außenputzsanierung im Jahr 2012 errichtet.

- Rissanierung im Boden sowie Beton- und Stahlsanierung am Fußpunkt der Stützen am Pausenhofeingang bis auf eine Höhe von ca. 2-3 m;
- Erneuerung der Sanitärinstallation (wassersparende WCs und 1 Liter Urinale mit Sensorautomatik), Warmwasserbereitung (elektronisch gesteuerte, dezentrale Elektrodurchlauferhitzer) sowie Grundleitungserneuerung bzw. Grundleitungs-sanierung. Regenwassergrundleitungen sollen so verlegt werden, dass eine Regenwassernutzung im grundgereinigten, zukünftig überflüssigen Öltank im ehemaligen Kokskeller prinzipiell möglich ist;
- Komplette Erneuerung der Elektro- und EDV-Installation; in den Klassenräumen sind Rasterleuchten mit EVGs als Grund- und Tafelbeleuchtung (ca. 500 W + 200 W) verbaut. Die Steuerung erfolgt vor Ort oder zentral über die Gebäudeleittechnik. In den Fluren sind Langfeldleuchten mit Prismenwannen (ca. 3,5 W/m<sup>2</sup>) realisiert. Allgemein-/ Nebenräume und Flure sind über Präsenzmelder gesteuert.

Darüber hinaus lag der Focus auf einer gesamtheitlichen, energetischen Sanierungsstrategie. Dabei werden Einzelmaßnahmen zur Verbesserung der Gebäudehülle und Gebäudetechnik gewählt, die sich aufeinander abgestimmt energetisch ergänzen bzw. die vorhandenen Ressourcen des Gebäudes nutzen:

- Die Außenwände erhalten eine Innendämmung, die mit einer oberflächennahen Wandheizung kombiniert wird. Die Innendämmung verbessert zum einen den Dämmwert der Außenwand (U-Wert<sub>Bestand</sub> ca. 1,5 W/m<sup>2</sup>K, U-Wert<sub>Neu</sub> ca. 0,34 W/m<sup>2</sup>K), zum anderen verhindert bzw. bremst sie effektiv die Wärmeleitung von der Wandheizung in die kalten Umfassungswände. Prinzipiell sollten Dämmstoffe zum Einsatz kommen, die keine Dampfsperre benötigen, nichtbrennbar und ökologisch unbedenklich sind. Als Dämmstoffe wurde daher eine im kompletten Querschnitt hydrophobierte, diffusionsoffene Calcium-Silikat-Hydrat-Dämmplatte (Mineraldämmplatte) vorgeschlagen. Aufgrund der zwei Bauabschnitte und der damit verbundenen zweimaligen öffentlichen Ausschreibung wurde im folgenden Bauabschnitt eine kapillar leitende Perlite-Dämmplatte eingebaut.
- Auf der Innendämmung wird eine Wandheizung ausgeführt. Die Wandheizung wird als Kapillarrohrsystem aus Kupfer gewählt, um eine gleichmäßige Oberflächentemperatur erzielen zu können. Verkröpfte Vor- und Rücklaufanordnung ermöglichen deren Platzieren in Schlitzen, so dass die erforderlichen, einbettenden Putzstärken gering gehalten werden können. Ansatzpunkt für eine Wandheizung ist die Erhöhung der Wandoberflächentemperatur zur Vermeidung von Schimmelbildung und die Möglichkeit, 1 bis 2 Kelvin geringere Raumlufttemperaturen aufgrund des Strahlungseffektes einstellen zu können;
- Im Kellergeschoss wird eine Sonderlösung anvisiert. Im Zuge der Neuverlegung der Grundleitungen werden die Kelleraußenwände außenseitig abgedichtet und gedämmt. Aufgrund des möglichen rauen Mauerwerks wurde eine verlorene Schalung mit aufkaschierter Perimeterdämmung vorgeschlagen, der Zwischenraum wird mit wasserundurchlässigem Beton ausgegossen.





Zeichnung 5: Schnittdetail Kellerwandabdichtung und -dämmung, Regierungsvorlage, AB Werner Haase, 2005

- Die Außenfenster sollen als gedämmte Holz-Aluminium-Einfachfenster mit Raffstore-Sonnenschutz im Verbundfenster-Zwischenraum eingebaut werden. Der Sonnenschutz ist keinem erhöhten Verschleiß ausgesetzt, ein Windwächter oder aufwändige Steuerungen sind nicht erforderlich. Bei Bedarf kann die äußere Scheibe zu Reinigungs- und Wartungszwecken geöffnet werden. Die Bedienung kann manuell oder elektrisch erfolgen.
- Im Dachgeschoss wird ein zentrales Lüftungsgerät mit Wärmerückgewinnung im Winter in einer separaten Lüftungszentrale installiert. Mittels Bypass-Schaltung kann im Sommer die Nachtkühle in das Gebäude transportiert werden. Zu- und Abluft werden über die bauzeitlichen Ventilationskamme geführt, so dass diese als vertikale Erschließungsschächte dienen. Die kontrollierte Lüftung wird CO<sub>2</sub>-parametriert betrieben.



Grafik 3: Lüftungskonzept, links Winterbetrieb, rechts Sommerbetrieb, Regierungsvorlage, AB Werner Haase, 2005

## 4. Ausführungsplanung und Umsetzung

### 4.1 Dämmmaßnahmen der Umfassungsflächen

Durch eine Innendämmung verschiebt sich der Taupunkt im Wandquerschnitt nach innen, da die Wärmeleitung nach außen gebremst wird. Vom Rauminnen über Konvektion oder Diffusion eindringende Feuchtigkeit kann kondensieren, in Hohlräumen kann Schimmel wachsen. Innendämmende Konstruktionen müssen daher zuverlässig diesen Wassertransport z.B. über dampfdichte Materialien oder Dampfsperren verhindern, allerdings ist die perfekte, dichte Ebene insbesondere in komplizierten Anschlussdetails in der Altbausanierung baupraktisch kaum möglich. Alternative Wandaufbauten mit Innendämmung weisen folgende Eigenschaften auf:

- geringer Wasserdampf-Diffusionswiderstand - Wasser kann nach Oberflächendiffusion oder direkt über den Porenraum wieder in die Dampfphase gelangen und in den Raum entsprechend des Wasserdampfgradienten diffundieren (Wasserdampfdiffusionswiderstand  $< 10$ )
- Kapillar wirkendes Material – kondensierte Luftfeuchtigkeit wird über den Materialquerschnitt verteilt
- Wasserspeicherfähigkeit ohne signifikante Änderung der Dämmeigenschaft
- möglichst anorganische Materialien mit einem hohen pH-Wert – im alkalischen Milieu wachsen keine Schimmelpilze

Wesentlich ist auch der Zustand bzw. die vorgefundene Konstruktion der Außenwand. Das Mauerwerk der Außenwand muss trocken sein und mit entsprechenden vertikalen bzw. horizontalen Sperrschichten bzw. Abdichtungen gegen eindringende oder aufsteigende Feuchtigkeit ausgeführt sein. Im Fassadenbereich ist die Schlagregendichtigkeit herzustellen. Die Hüllflächen sind zwingend luftdicht auszuführen, so dass konvektiver Feuchteintrag ausgeschlossen werden kann.

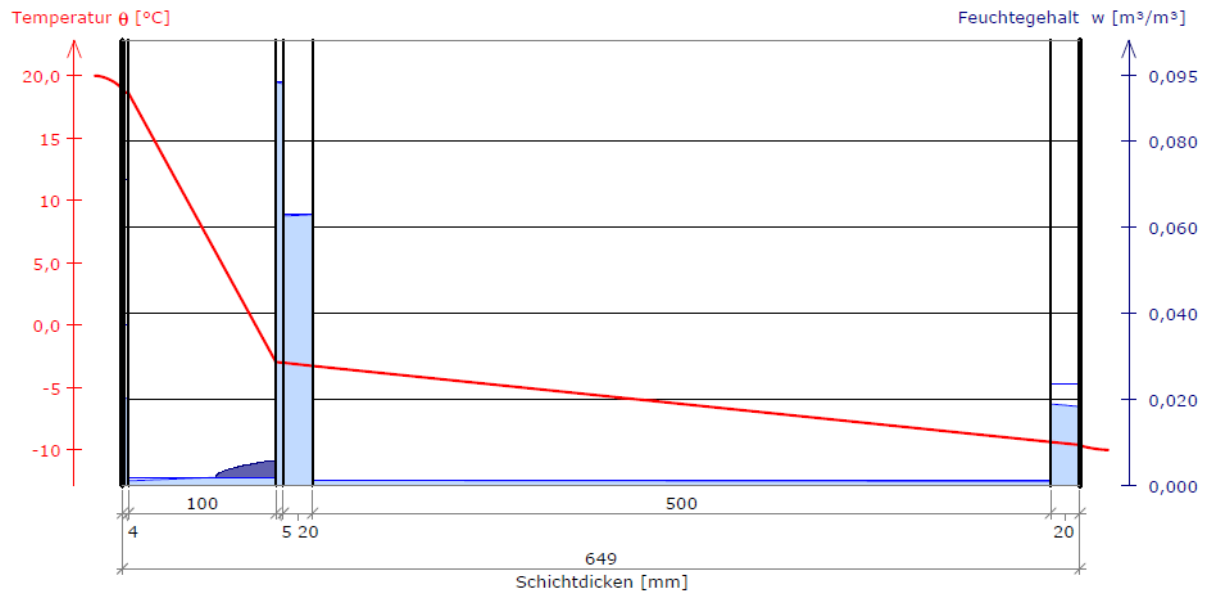
Nach Materialproben des vorhandenen Ziegelmauerwerks wurde die optimale Dämmstärke mittels instationärer und dynamischer Feuchteberechnung betrachtet. Bei dieser Simulation des instationären Temperatur- und Feuchteverhaltens werden die wesentlichen Transportmechanismen bei natürlichen Klimabedingungen berücksichtigt. Die durchgeführten instationären Feuchteberechnungen wiesen für die gewählte Dämmstärke mit 10 cm keine kritischen Feuchtegehalte auf. Dies gilt sowohl für die im 1. Bauabschnitt verwendete Calcium-Silikat-Hydrat als auch für die im 2. Bauabschnitt eingesetzte Perlite-Dämmplatte<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Bauphysikalische Kennwerte - Calcium-Silikat-Hydrat-Platte:

Wärmeleitfähigkeit  $\lambda = 0,045/0,047$  W/(mK), Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl  $\mu = 3$ , Wasseraufnahmekoeffizient bei kurzzeitigem Eintauchen nach DIN EN 1609 WP = 2,0 kg/m<sup>2</sup>; bei langfristigem Eintauchen nach DIN EN 12087 WLP = 3,0 kg/m<sup>2</sup>, Sorptionsfeuchte  $< 6$  Masse-%, Rohdichte ca. 115 kg/m<sup>3</sup>, Druckfestigkeit im Mittel  $> 300/350$  kPa, Zugfestigkeit  $\geq 80$  kPa;

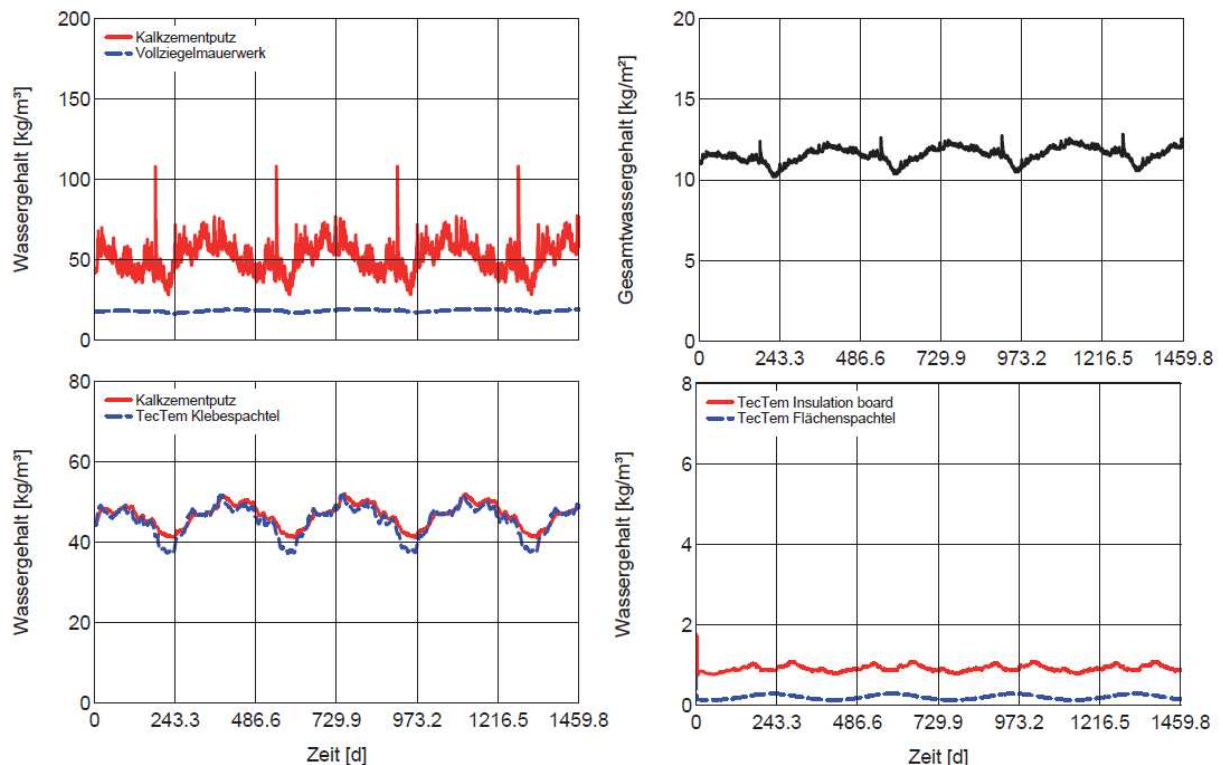
Bauphysikalische Kennwerte - Perlite-Platte:

Wärmeleitfähigkeit  $\lambda = 0,045$  W/(mK), Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl  $\mu = 5-6$ , Wasseraufnahmekoeffizient 1,98 kg/m<sup>2</sup>s<sup>0,5</sup>, Rohdichte ca. 90 - 105 kg/m<sup>3</sup>, Druckfestigkeit im Mittel  $> 200$  kPa, Zugfestigkeit  $\geq 80$  kPa Biegefestigkeit  $\geq 130$  kPa;



Grafik 4: Temperatur- und Feuchtprofil, Kondensat ist dunkel eingefärbt, Berechnung durch Knauf-Perlite, 2009

Auch die dynamische Betrachtungsweise des Feuchteverhaltens zeigte keine signifikante Feuchteanreicherung in irgendeinem Bauteilquerschnitt im Lauf der Jahre.



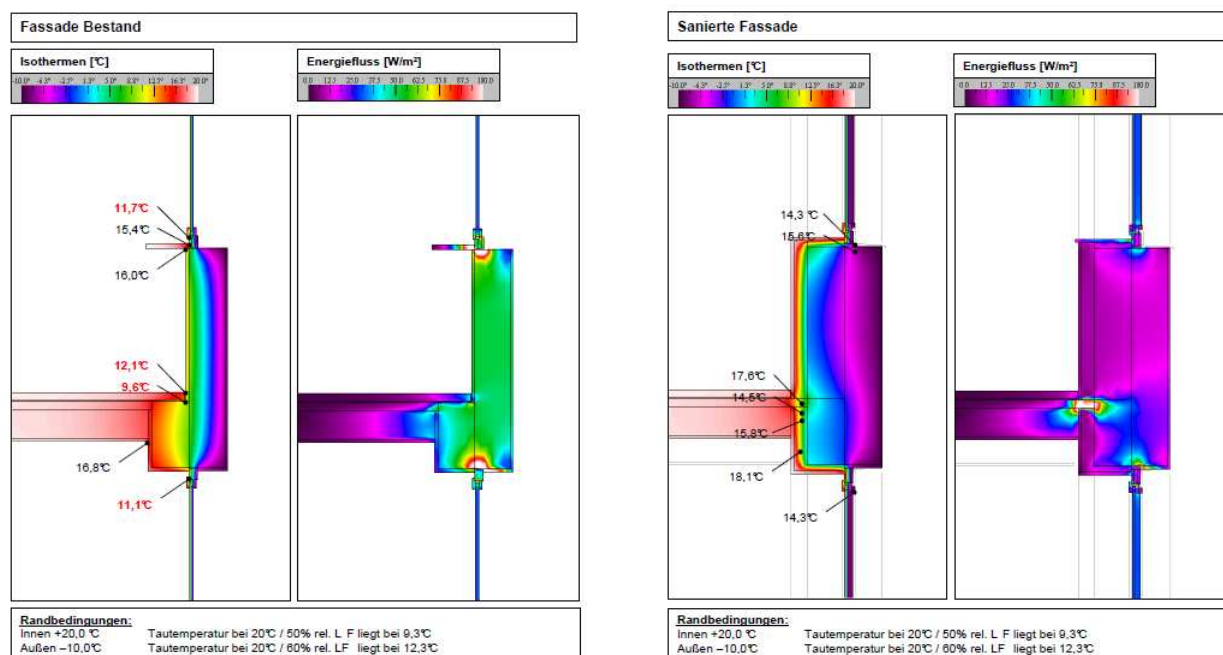
Grafik 5: Dynamische Feuchtesimulation, AB Haase, 2009

Der Regelaufbau einer Innendämmung in der Wandfläche ist somit unproblematisch. Besondere Aufmerksamkeit verdienen dagegen alle Anschlussdetails, insbesondere sämtliche einbindenden Bauteile. Diese Wärmebrücken durchstoßen die Dämmebene und weisen eine erhöhte Wärmeleitung über die Außenwandfläche auf. Es muss mit

örtlicher Unterschreitung der Taupunkttemperatur gerechnet werden, Resultat wären möglicherweise Tauwasser bis hin zu Schimmelpilzen und Materialschäden.

Diese Problematik muss im Kontext mit der beabsichtigten Reduzierung der installierten Heizleistung und der Umstellung auf ein Niedertemperatur-Wandheizsystem gesehen werden. Im Bestand führten Wärmebrücken nicht zu hygienischen Problemen, weil zunächst einmal das „Hochtemperatur-Heizsystem“ für ausreichenden Wärmenachschub sorgte, so dass sich an den kritischen Stellen keine dauerhafte Unterschreitung der Taupunkttemperatur einstellte. Mit reduzierter Heizleistung und reduzierter Vorlauftemperatur fehlt dieser Wärmenachschub. Zunächst sollten im Einklang mit den Anforderungen des Denkmalschutzes konstruktive Lösungen gefunden werden, die Schäden durch Kondensat und Schimmelbefall dauerhaft verhindern. Ist dennoch mit örtlicher Unterschreitung der Taupunkttemperatur zu rechnen, werden Temperierleitungen geprüft, die die Oberflächentemperaturen ausreichend anheben können, um Tauwasserschäden zu verhindern.

Als Randbedingungen für die Berechnung wurden folgende Oberflächentemperaturen angesetzt: Oberfläche innen: +20,0 °C, Oberfläche außen: -10,0 °C, Temperatur im kalten Dachraum: ± 0,0 °C. Für Raumtemperaturen von 20°C liegt demnach die Taupunkttemperatur bei 50% relativer Luftfeuchte bei 9,3°C, und bei 60% relativer Luftfeuchte bei 12,3°C. Demnach ist davon auszugehen, dass bei Temperaturen unter 12,5 °C mit Oberflächenkondensat zu rechnen ist. Die nachfolgende Darstellung des Isothermenverlaufes und des Energieflusses zeigt die beschriebene Problematik am Beispiel der einbindenden Rippendecke.



Grafik 6: Wärmebrückendarstellung Fassadenausschnitt Bestand – Saniert mit Innendämmung, Isothermenverlauf, Wärmefluss, AB Werner Haase

Nach diesen prinzipiellen Betrachtungen wurden im Rahmen der Ausführungsplanung geschossweise mögliche Wärmebrückensituationen identifiziert, deren Baukonstruktion in situ ermittelt, teilweise auch aus den bekannten Aufschlüssen abgeleitet. Dabei spielte natürlich immer wieder die denkmalpflegerische Wertigkeit einzelner Bauteiloberflächen (hochwertige bauzeitliche Fliesen, Deckenstuck, Holzlamperien usw.) in Kombination mit geometrischen Wärmebrücken eine entscheidende Rolle. Gelingt die Lösung mit Maßnahmen auf der Innenseite nicht, werden bei geringerer

denkmalpflegerischer Wertigkeit Maßnahmen auf der Außenseite wie der Dämmputz im Leibungsbereich der Eingangstüre in Erwägung gezogen.

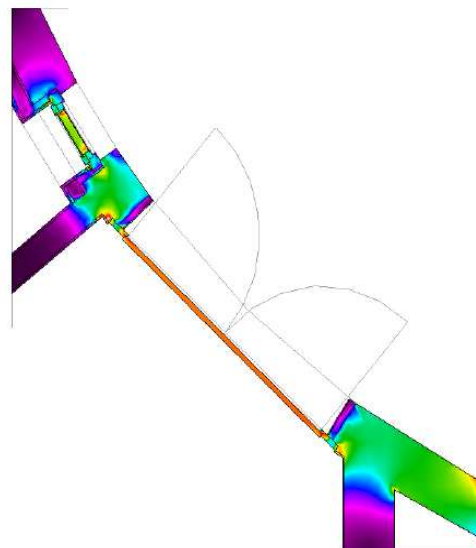
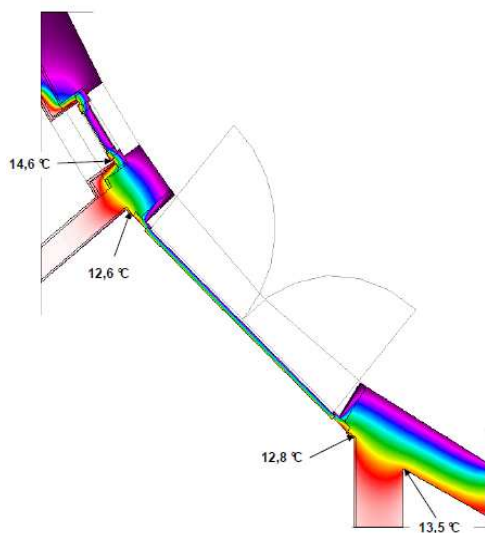
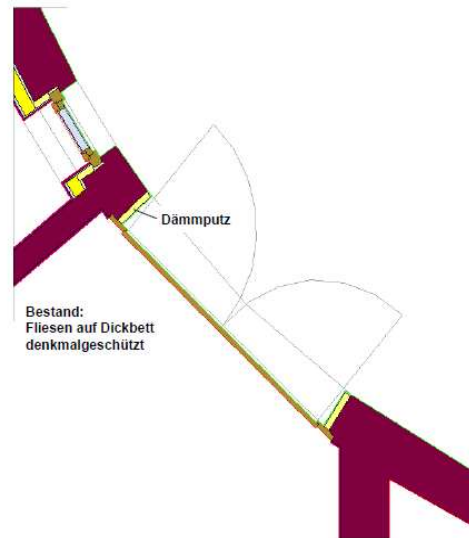


Bild 20 / Grafik 7: Wärmebrückendarstellung der Eingangstüre mit denkmalgeschützter Fliesenbekleidung, Isothermenverlauf, Energiefluss, AB Werner Haase

Oft gelang es nicht, eine rein baukonstruktive Lösung zu entwickeln, dann wurden die Bauteilaufbauten mit Temperierleitungen geprüft. Für die Simulation wurden Temperierleitungen zur örtlichen Bewärmung von kalten Bauteilen nachgebildet. Dies ist mit der verwendeten Software nur näherungsweise durch Ansatz erhöhter Oberflächentemperaturen in bestimmten Bereichen möglich. Dazu wurde davon ausgegangen, dass in den Rücklaufleitungen der Heizung 25°C als Wärmeabgabe zur Verfügung stehen. Diese werden am Fußpunkt der Brüstungen vorgesehen. Es wurde unterschieden in heizungsabhängige und heizungsunabhängige Temperierleitungen. Die heizungsabhängige Leitung läuft immer parallel mit der normalen Beheizung des

Raumes, indem die Rücklaufleitung ungedämmt, aber mit Schutzhülle eingeputzt wird, so dass die vorhandenen 25°C zur gezielten Erwärmung am Brüstungsfußpunkt genutzt werden. Die heizungsunabhängige Leitung funktioniert prinzipiell genauso. Sie muss jedoch gegebenenfalls mit längeren Laufzeiten arbeiten, um bei stärkerem Wärmeabfluss an nicht dämmbaren Stellen einen größeren Wärmenachschub gewährleisten zu können. Hierfür müssen gesonderte Heizkreise vorgesehen werden.

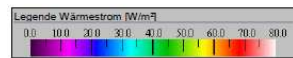
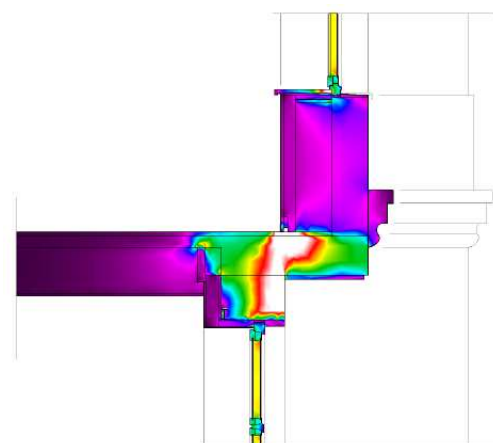
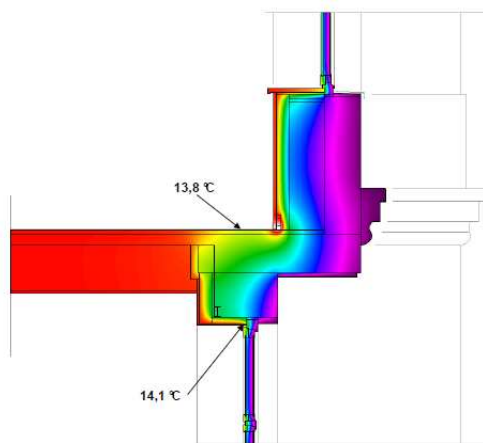
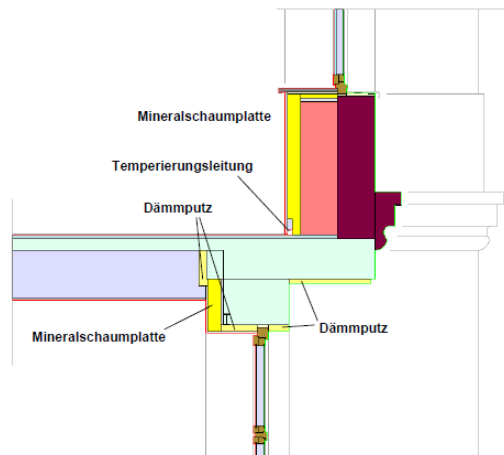


Bild 21 / Grafik 8: Wärmebrückendarstellung der neuzeitlichen Deckenauskrägung mit Gesims, Isothermenverlauf, Energiefluss, AB Werner Haase

Die Berechnungen zeigen, dass die Oberflächentemperaturen im Allgemeinen über der kritischen Oberflächentemperatur von 12,5 °C liegen. An den einbindenden Geschossdecken kann mit einer Rücklauftemperierung am Brüstungsfuß für ausreichenden Wärmenachschub gesorgt werden. Trotzdem überschreiten die Temperaturen an Anschlüssen der Innendämmung als Dämmputz an die Fenster und der einbindenden Decken nur gering den Grenzwert von 12,5°C. Es muss in Abhängigkeit von der Luftfeuchtigkeit also damit gerechnet werden, dass speziell bei längeren kalten Witterungsphasen unter -15°C Außentemperatur kurzzeitig Oberflächenkondensat auftreten kann. Daher muss mit stark alkalischen und kapillar wirksamen Putzsystemen einer Schimmelbildung bei kurzzeitiger Feuchteentwicklung

entgegengewirkt werden. In diesen Bereichen muss auf jeden Fall auf Gipsputze und Dispersionsanstriche verzichtet werden.

In einzelnen Punkten waren aufgrund des Denkmalschutzes keine oder nur geringe Maßnahmen möglich. Grundsätzlich wirkt sich das Wandheizungssystem auf die Problematik positiv aus. Durch die Strahlungswärme kann bei gleicher Behaglichkeit mit einer minimal reduzierten Lufttemperatur außerhalb der Unterrichtszeiten gearbeitet werden, sodass auch gleichzeitig die Gefahr von Kondensatbildung gesenkt wird. Gleichzeitig wird das Gebäude mechanisch belüftet. Dadurch sinkt vor allem im Winter die relative Luftfeuchtigkeit deutlich unter 60% ab. Damit sinken auch die Taupunkttemperaturen weiter ab. Gegebenenfalls können die Laufzeiten der Lüftungsanlage an längeren kalten Witterungslagen minimal verlängert werden, um die Feuchtebelastung im Gebäude zu senken.

Die mineralischen Dämmplatten können in der Fläche unproblematisch verarbeitet werden. Folgender Schichtenaufbau wurde hergestellt:

- alte Heizkörpernischen werden ausgemauert, so dass eine einheitliche Wandfläche ohne Rücksprünge entsteht
- Ausgleichputz als Kalkzementputz nach Entfernen alter, nicht tragfähiger Putzschichten
- vollflächig geklebte Innendämmplatten, Entkopplung am Fußpunkt zur Decke mit Hanfdämmstreifen
- Aufbringen der Armierungsschicht einschließlich Verdübelung; die verdübelte Armierungsschicht soll die zusätzlichen Lasten aus der Wandheizung abtragen
- Anbringen der Kapillarrohrheizung aus Kupfer, Lötarbeiten zur Elementverbindung
- Dichtigkeitsprüfung
- Einputzen der verkröpften Vor- und Rücklaufleitungen mit Dämmputz
- Flächiges, 2-lagiges Einputzen mit Leichtputz mit Lehmantteilen, faserarmiert bei gleichzeitigem leichtem Anheizen der Wandheizung (20°C), zusätzlich wird im Bereich der Wandheizung im oberen Drittel eine weitere Gewebearmierung zur Rissesicherheit aufgrund der hohen Heiztemperaturen (Vorlauftemperaturen bis max. 60°C) eingebracht

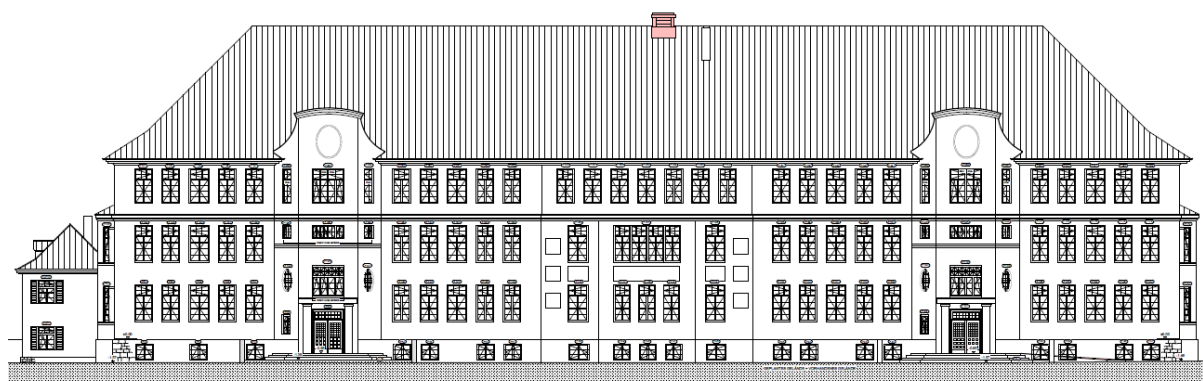
Aufwändige Anschlüsse wie das Ausfüllen der Rippenfelder am Auflager der Außenwand wurde mit Dämmputzen auf Perlitebasis gelöst, da hier durch die Schilfmattenschalung und zahlreiche Betonnasen ‚plastisch‘ angearbeitet werden konnte. Ebenso wurden die Fensteranschlüsse ausgeführt, hier genügte die zur Verfügung stehende Tiefe nicht für einen Normaufbau mit (Leibungs-)dämmplatten.



Bild 22: Arbeitsschritte der Innendämmung, AB Werner Haase

Die Außenfenster und -türen wurden denkmalgerecht als Holz-Verbundfenster (Wärmedurchgangskoeffizient  $U_w$  ca.  $1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ ) mit innenliegender Zweifachverglasung und außenliegender Walzglasscheibe ausgebildet. Besondere Abstimmung mit der Denkmalpflege erfuhren Sprossenteilungen der außenliegenden Einfachscheibe. Aufgrund der außenliegenden Einfachscheibe waren filigrane und damit bauzeitähnliche Sprossenbilder (Sprossenbreite ca.  $27 \text{ mm}$ ) möglich. Ebenfalls in Anlehnung an die Bauzeit wurden sämtliche Eingangstüren ausgeformt.





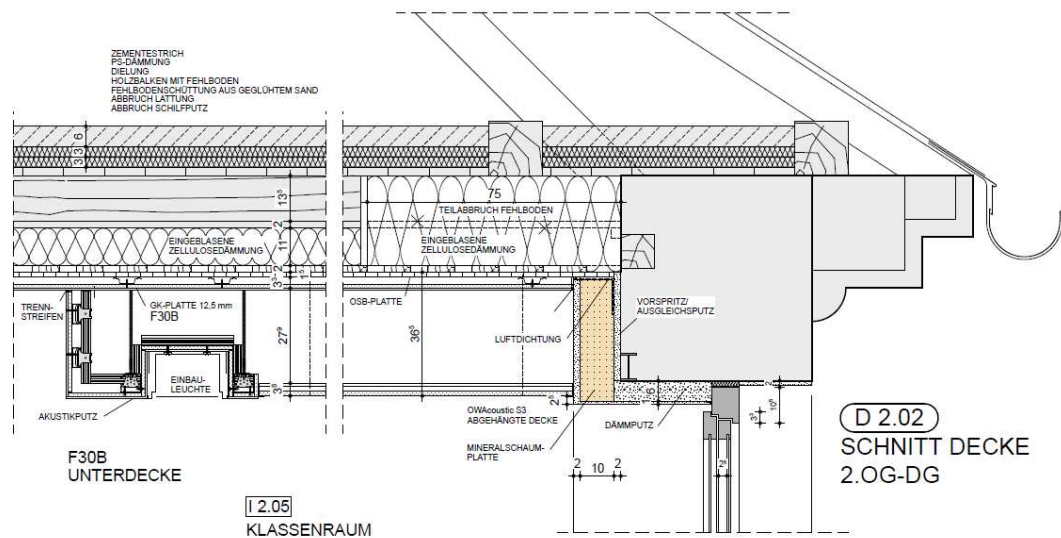
Zeichnung 6: Nordwestansicht, Ausführungsplanung, AB Haase

Verschattungselemente wurden im Scheibenzwischenraum als 25 mm breite Jalousien mit unterseitiger Wärmestoppbeschichtung, betrieben in 24 V-Technik, integriert. Somit können im Vergleich zum vorgefundenen Bauzustand vor- oder aufgesetzte Jalousiekästen/ -blenden entfallen, von außen betrachtet wirken die Jalousien wie innenliegende Elemente. Dieses Erscheinungsbild fand somit auch die Zustimmung der Denkmalbehörde.



Bild 23: Holzverbundfenster mit ,innenliegender' Jalousie, AB Haase

Die nötige Dämmung der Decke über 2. OG zum Dachraum hin wurde luftdicht mit einer dampfsperrende Lage OSB-Platten abgesperrt. Die Felder der Holzbalkendecke wurden mit einer Zellulosedämmung ausgeblasen. Die folgende Darstellung und Fotos verdeutlichen die Arbeitsschritte an der Schnittstelle zu den Innendämmarbeiten – nach den Grundputzen waren die luftdichten Wandanschlüsse möglich, so dass Oberputze bzw. die Innendämmung folgen konnten.



Zeichnung 7 / Bild 24: Schnitt Holzbalkendecke über 2. OG, Ausführungsplanung, OSB-Lage als Dampfsperre, AB Haase

## 4.2 Heizungs-, Lüftungs- und Regelungstechnik

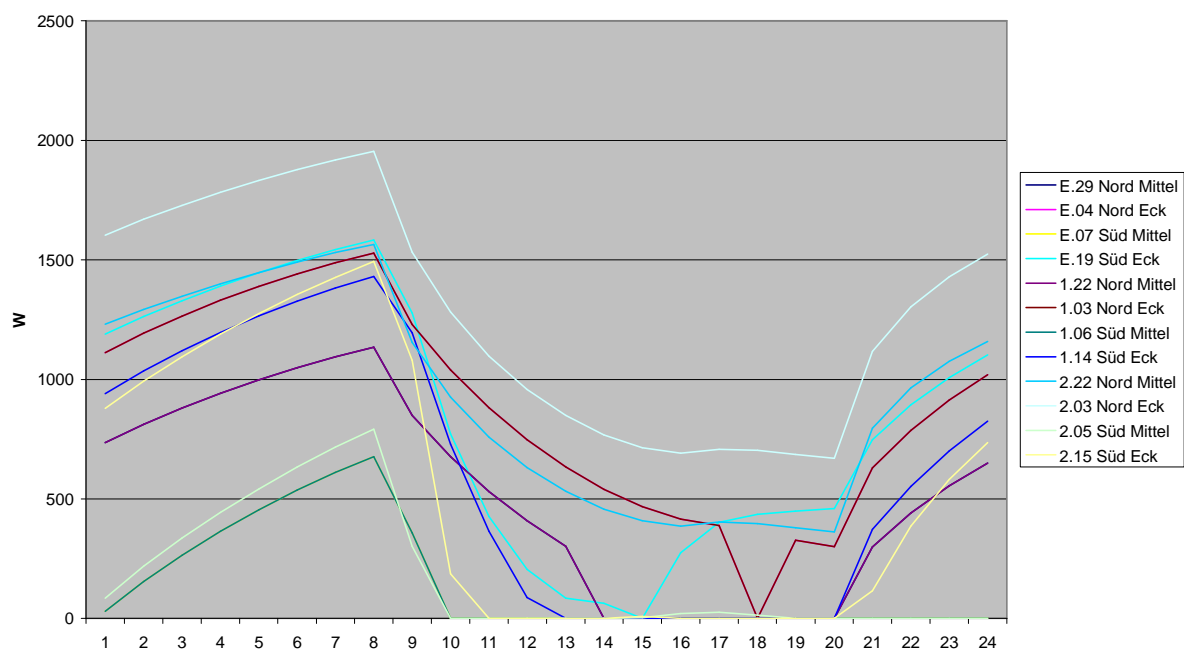
Gemäß der Festlegungen der Regierungsvorlage wird die Kombination einer Wärmebereitstellung durch einen Nahwärmeanschluss mit dem Niedertemperatur-Wandheizsystem weiter vertieft. In einer thermischen Gebäudesimulation erfolgt eine weitere Prüfung des Zusammenspiels der wärmedämmenden Baukonstruktion und des Heizungs- und Lüftungskonzeptes.

Mittels einer thermischen Gebäudesimulation repräsentativer Räume (jeweils Mittel- und Eckräume mit Süd- und Nordausrichtung pro Geschoss) werden unterschiedliche Heizlastfälle ermittelt und verglichen:

- Heizlast nach statischen Berechnungsvorgabe der DIN EN 12831
- Heizlast mittels dynamischer Simulation ohne Wärmebrücken
- Heizlast mittels dynamischer Simulation mit Wärmebrücken infolge räumlicher und denkmalrelevanter Situationen

Die thermische Gebäudesimulation berücksichtigt neben meteorologische Daten, Sonnenstandsberechnungen, bauphysikalische Bauteil-Kenndaten vor allem Algorithmen zum instationären Wärmefluss durch Bauteile sowie zur Wärmespeicherung von Bauteilen. Ebenfalls wird eine Lüftungsanlage mit einem Wärmerückgewinnungsgrad von durchschnittlich 80 % und einer Zuluftmenge pro Klassenraum von 450 m<sup>3</sup>/h implementiert. Interne Wärmegewinne ergeben sich aus Personen- und Beleuchtungswärme (25 Personen, 20 W/m<sup>2</sup> Beleuchtungsleistung). In der Schulzeit wird das Gebäude mit einer Klassenraumtemperatur von 20°C beheizt. Während der Ferien wird das nicht genutzte Schulgebäude frostfrei gehalten. In den Klassenzimmern herrscht eine Mindesttemperatur von 10°C.

Vergleich der Heizlasten mit Wärmebrücken über einen Tag bei Schulbetrieb



Grafik 9: Thermische Simulation, Heizlasten eines Schultages, Ingenieurbüro Werner Haase, 2007

Die höchste Heizlast liegt gegen 8.00 Uhr morgens vor. Bedingt durch die inneren Lasten fällt in der Folge die benötigte Last ab, bis dann am Abend wieder geheizt

werden muss, um eine Ausgangstemperatur von ca. 20°C zu Schulbeginn erreichen zu können.

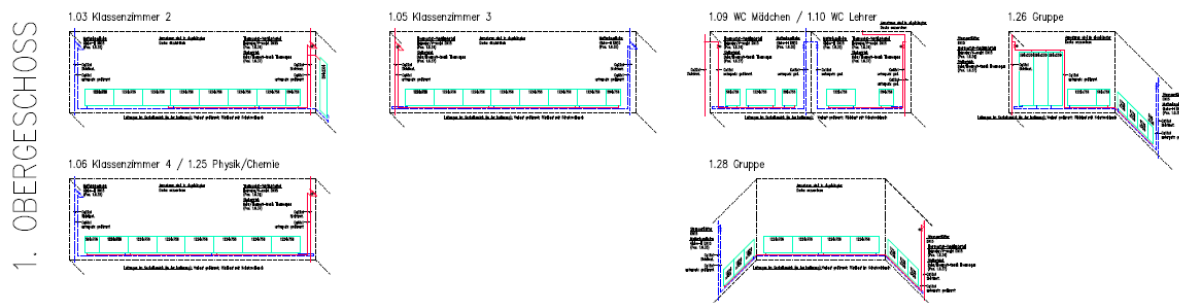
In der Zusammenschau ergeben sich für die ausgewählten Räume die folgenden Heizlasten.

<b>Raum</b>	<b>Fläche</b>	<b>Statisch errechnete Heizlast (Rauch &amp; Richter)</b>	<b>Simuliert Heizlast i. d. Schulzeit mit Wärmebrücken (RT 20)</b>	<b>Simuliert Heizlast i. d. Ferien mit Wärmebrücken (RT 10)</b>
<b>EG</b>				
E.04	61,32 m <sup>2</sup>	2074 W	1528 W	1433 W
E.29	62,16 m <sup>2</sup>	1799 W	1134 W	1182 W
E.07	62,21 m <sup>2</sup>	1694 W	677 W	907 W
E.19	61,61 m <sup>2</sup>	3438 W	1583 W	1258 W
<b>1.OG</b>				
1.03	61,31 m <sup>2</sup>	2074 W	1528 W	1433 W
1.22	62,21 m <sup>2</sup>	1768 W	1134 W	1182 W
1.06	62,21 m <sup>2</sup>	1694 W	677 W	907 W
1.14	61,62 m <sup>2</sup>	1885 W	1430 W	1234 W
<b>2.OG</b>				
2.03	62,30 m <sup>2</sup>	2581 W	1953 W	1751 W
2.22	62,90 m <sup>2</sup>	2158 W	1565 W	1506 W
2.05	62,34 m <sup>2</sup>	2146 W	792 W	1265 W
2.15	62,31 m <sup>2</sup>	2373 W	1494 W	1552 W

Tabelle 4: Heizlasten, statische Berechnung, Rauch & Richter, thermische Simulation, Ingenieurbüro Werner Haase

Die Raumheizlasten im EG und im 1. OG gleichen sich, da beide Geschosse über die Decken an beheizte Bereiche grenzen. Ausnahme bildet der Raum E.19, der an einen gering beheizten Bereich im KG anliegt. Im 2. OG steigen die Wärmeverluste durch die Wärme abgebenden Deckenfläche zum unbeheizten Dachboden an. Differenzen zwischen der Heizlastberechnung nach DIN EN 12831 und der thermischen Simulation resultieren aus der Berücksichtigung interner Lasten und nicht berücksichtigter Wärmeverlust durch Innenbauteile. In der Energie-Bilanz nach thermischer Simulation zur Auslegung der Gesamtanlage werden nur die Wärmeverluste durch die wärmeabgebenden Hüllflächen gewertet.

Für die Auslegung der Raumheizflächen wurden die statischen Heizlastberechnungen zugrunde gelegt. Zur Ausführung gelangt eine Wandheizung als Kapillarsystem aus Kupfer mit Einzelraumregelung. Auf der Innendämmung montiert kann so eine gleichmäßige Oberflächentemperatur erzielt werden. Durch Verlegen der verkröpften Vor- und Rücklaufleitungen in horizontalen Schlitzern in der Dämmung kann dieses Kapillarsystem ohne großen Platzbedarf integriert werden. Nischenausbildung für Heizkörper mit u.U. kritischen Anschlusspunkten der Innendämmung entfallen. Prinzipiell wird hiermit die bauphysikalische ‚Gebrauchstauglichkeit‘ der Innendämmung erhöht. Das Kapillarsystem ermöglicht geringe Putzstärken, somit geringere „zu verankernde“ Lasten.



Zeichnung 8: Anschlussschemata Wandheizungen, Planungsbüro Rauch & Richter, 2008/2010

Die eigentlich eher ungünstige Lage aufgrund der – zwar gedämpften, aber immer noch vorhandenen – Wärmeverluste durch die Außenwand wird gerechtfertigt, weil in der Ausgangsplanung die Putze der Außenwand durch die Dämmmaßnahmen sowieso betroffen sind, sämtliche anderen Putze des Denkmals prinzipiell erhalten werden können. Dementsprechend müssen größere Wandheizflächen diese Wärmeverluste kompensieren. Nachteilig wirkt sich auch die Beschränkung der Heizflächen auf die Brüstungen aus, da so eine Abschirmung der Strahlungswärme durch die unmittelbar davor sitzenden Schüler stattfindet. Prinzipiell geringere Raumtemperaturen aufgrund der Strahlungswärme können somit während des Schulbetriebs nicht realisiert werden. Die Bauphase zeigte, dass der heizungsseitige Aufwand bei diesem, herstellerseits als intern hydraulisch abgeglichenen System, als hoch eingestuft werden muss. Neben einer aufwändigen Verlegung und einem aufwändigen Abgleich, einem prinzipiellen Fremdstofffiltersystem bereitet vor allem die Entlüftung Probleme. Diese kann mit einer zunächst ständigen Entgasung realisiert werden. Ohne schützende Putzschichten sind die offenliegenden Kapillaren im Baustellenbetrieb leicht zu beschädigen. Hier ist ein kleinteiliger Arbeitsablauf empfehlenswert, der aber wirtschaftlich kaum noch zu vertreten ist. In jüngster Zeit werden einige Leckagen im 1. Bauabschnitt entdeckt, deren Ursachen noch nicht abschließend geklärt werden konnten. Es handelt sich immer um Abrisse der Kapillare vom kapillaren Sammelrohr, die in der Folgezeit weiter untersucht werden müssen.



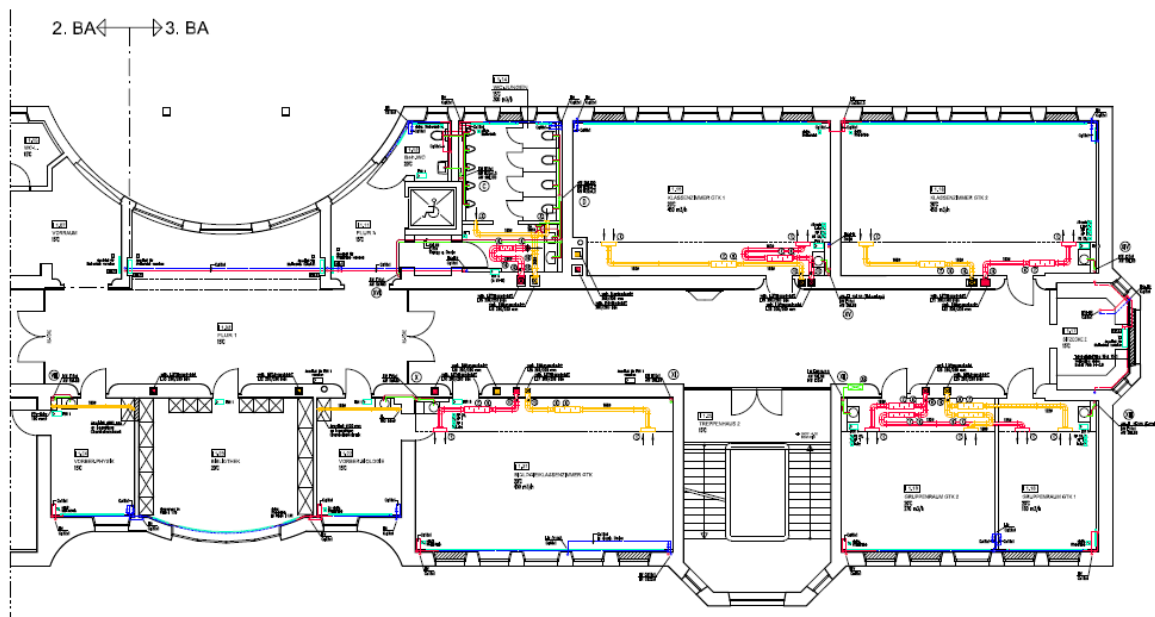
Bild 25: Schäden an der Wandheizung, nachträgliche Reparaturen, während der Bauphase, AB Haase

Das Lüftungskonzept nutzt die vorhandenen vertikalen Trassen der bauzeitlichen Ventilationskamine vom Dachraum aus: von der Lüftungszentrale aus werden ein bis zwei Klassenräume gemeinsam angefahren. Die neuen Lüftungsrohre wurden abschnittsweise über die Stützen der Ventilationskamine vom Dachraum aus eingebaut.



Bild 26: Ventilationskamine im Dachraum, Bestand sowie mit Belegung durch neuzeitliche Lüftungskanäle, AB Haase

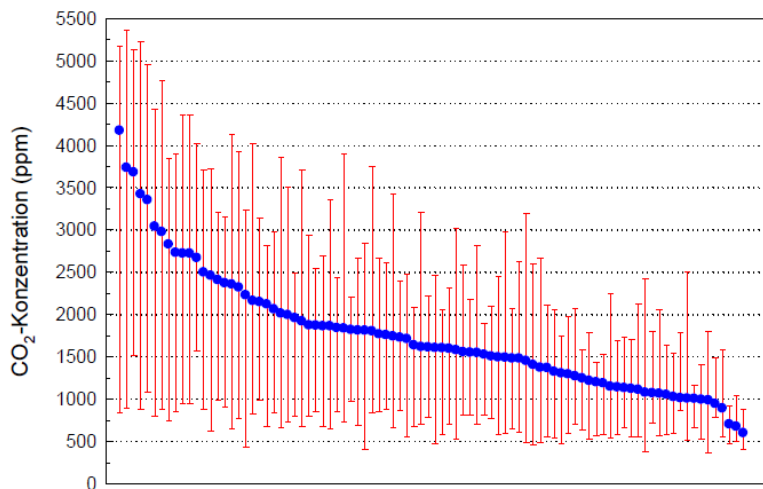
Im Klassenraum erfolgt ein weiterer Leitungsverzug in einer Abkofferung, die parallel zur Flurwand verläuft. Hier können auch revisionierbar die gesamten Einbauteile von Brandschutzklappe, über Schalldämpfer bis Volumenstromregler untergebracht werden.



Zeichnung 9 / Bild 27: Lüftungsanlage Klassenräume, Planungsbüro Rauch & Richter

Mit immer längeren Aufenthaltszeiten in Innenräumen muss ein Paradigmenwechsel erfolgen, der Raumlufthygiene und Gesundheit, aber auch Lern- und Sozialverhalten in einen Zusammenhang setzt. Hygienisch bedenkliche Raumluf-Zusammensetzungen bedingen zunehmende Ermüdungserscheinungen, deren Symptome von Aufmerksamkeits-, Wahrnehmungsstörungen, Störungen der Koordination zwischen Auge und Hand bis hin zu veränderten sozialen Verhalten reichen. [Unfallkasse Hessen, 2008] In einer Studie des Instituts für interdisziplinäre Schulforschung (ISF) konnten Korrelationen zwischen CO<sub>2</sub>-Konzentration der Raumluf und Herzfrequenz als Ausdruck der physischen Beanspruchung festgestellt werden. Mit verbesserter Raumlufqualität konnte bei ca. zwei Drittel der Probanden eine Reduzierung der mittleren Herzfrequenz verzeichnet werden [Tiesler et al., 2008]

In der Fülle der möglichen Luftschadstoffe von flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) über mikrobiologisch erzeugte organische Verbindungen (MVOC) bis Feinstaub kann der CO<sub>2</sub>-Gehalt der Raumluf als Indikator der Raumlufqualität dienen. Besonders bei kleinen Raumvolumina mit ungenügender Fischlufzufuhr und großer Anzahl an aktiven Menschen verschlechtert sich die Raumlufqualität in kurzer Zeit signifikant. Im Allgemeinen gelten seit Pettenkofer Belastungen der Innenraumluf unter 1000 ppm CO<sub>2</sub> als hygienisch unbedenklich, zwischen 1000 und 2000 ppm CO<sub>2</sub> als hygienisch auffällig, über 2000 CO<sub>2</sub> ppm als hygienisch inakzeptabel. Die Untersuchung ‚Frische Luft an bayerischen Schulen – Untersuchung zur Verbesserung der Luftqualität‘ an Münchner und Dachauer Schulen offenbarte drastische Belege für bedenkliche Raumlufqualitäten:

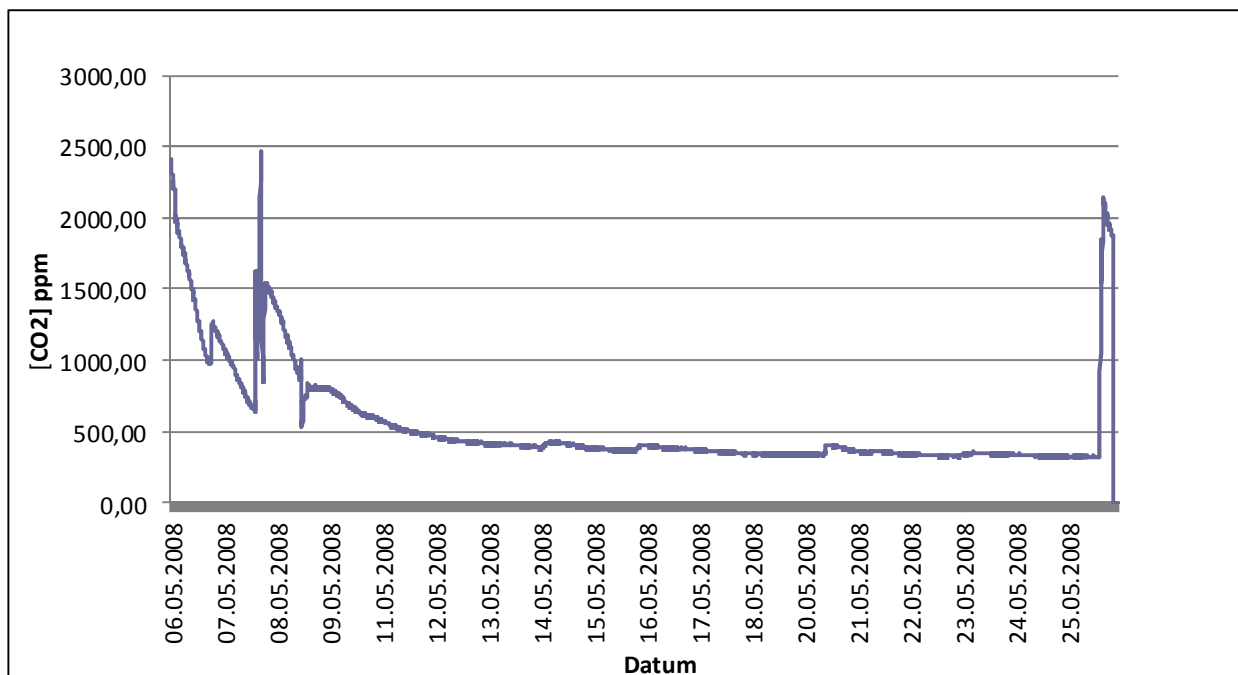
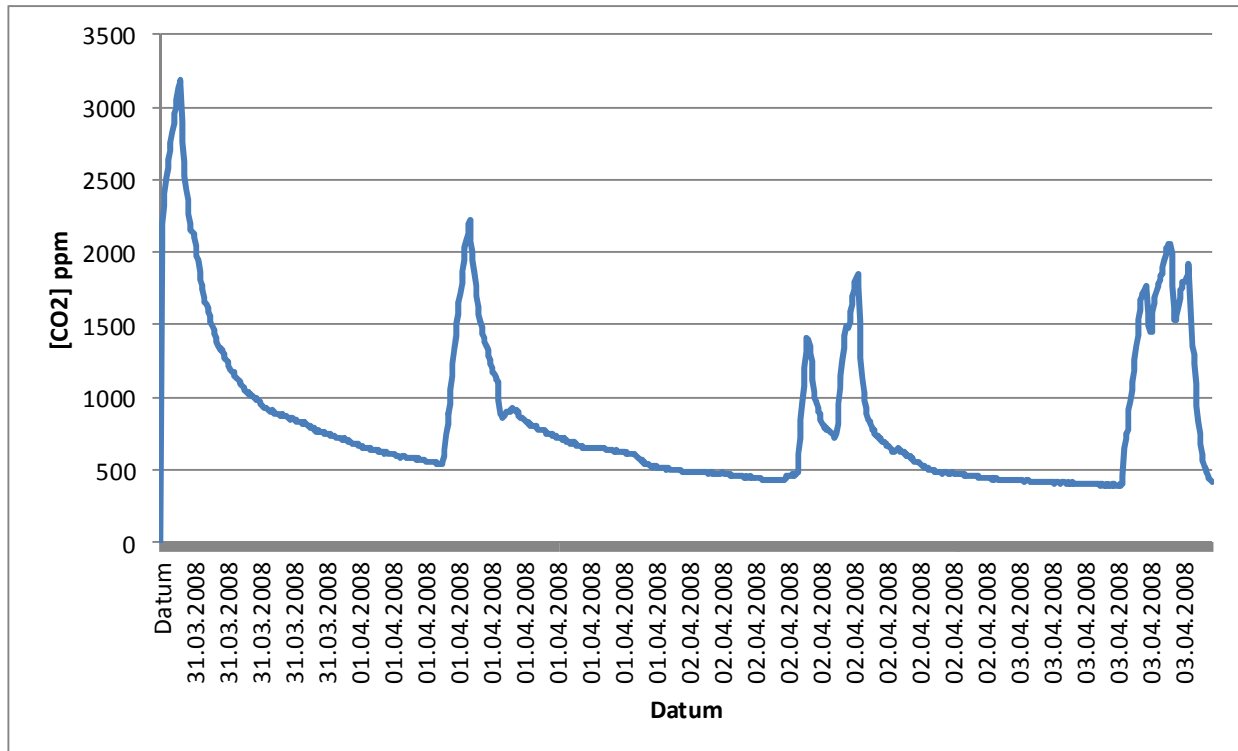


Einzelmessungen in Klassenräumen

Grafik 10: Mediane Kohlendioxidgehalte (CO<sub>2</sub>), Minima und Maxima in den einzelnen Klassenräumen in der Wintermessperiode, aus: Frische Luft an bayerischen Schulen – Untersuchung zur Verbesserung der Luftqualität, Fromme, H., et al., Schierl et al., Heitmann, D. et al., September 2006

„Die medianen CO<sub>2</sub>-Innenraumlufgehalte der Klassenräume bewegten sich in einem Bereich von 598 bis 4172 ppm (Winter) bzw. von 480 bis 1875 ppm (Sommer). Insgesamt ergab sich in der Sommermessperiode ein erheblich niedrigeres Belastungsniveau. Während in der Wintermessperiode die Tagesmediane in 92 % der Klassenräume 1.000 ppm überschritten, waren es im Sommer lediglich 28 %. Noch deutlicher ist die Reduktion bei den Werten über 1500 ppm. Im Winter lagen noch 60% der Tagesmediane über diesem Wert, im Sommer aber nur noch 9%.“ [Fromme et al., 2006]

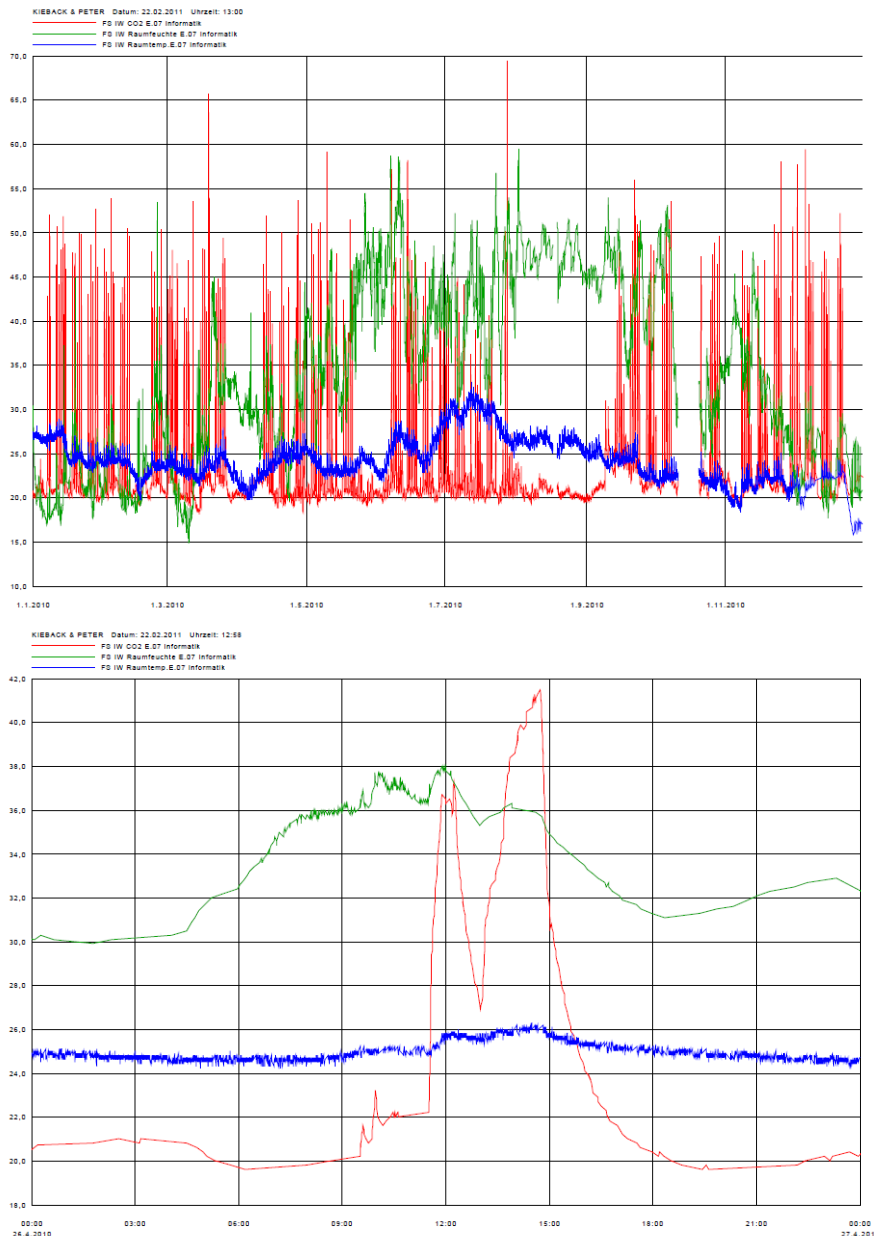
Vor Sanierungsbeginn wurden in Unterrichtsprojekten ebenfalls die CO<sub>2</sub>-Raumluftgehalte gemessen. Messräume waren unterschiedliche Bestandsräume im 2. Bauabschnitt, ein Unterrichtsraum mit provisorisch ausschließlich als Abluftkamin reaktiviertem Ventilationskamin sowie ein Unterrichtsraum im konventionell sanierten Nebengebäude. Hierbei wiederholte sich das bereits geschilderte Szenario. Die CO<sub>2</sub>-Konzentrationen überschritten deutlich die hygienischen Grenzwerte.



Grafik 11: Messung der CO<sub>2</sub>-Raumluftkonzentration in Schülerprojekten, 2008-2009; oben: Bestandsraum im 2. Bauabschnitt mit geöffnetem Abluftschacht (I1.18/19); unten: Bestandsraum im konventionell sanierten Nebengebäude (II1.04)



In der Friedensschule versorgt ein zentrales Lüftungsgerät die Klassenräume über eine CO<sub>2</sub>-geführte Volumenstromregelung mit 450 m<sup>3</sup>/h Zuluft, d.h für durchschnittliche Klassenbesetzungen stehen 18 bis 22,5 m<sup>3</sup>/h Person frische Luft zur Verfügung. Die nach der Sanierung aufgezeichneten CO<sub>2</sub>-Raumluftkonzentrationen zeigen demnach das genaue Gegenteil der früheren Messungen. Im Jahresverlauf 2010 wurden Höchstwerte von maximal 1400 ppm CO<sub>2</sub>-Raumluftkonzentration erreicht.



Grafik 12: Messung der CO<sub>2</sub>-Raumluftkonzentration im sanierten Informatikraum IE.07, 2011; oben: Messzeitraum 2010, unten: Messzeitraum eines Tages; Ordinatewerte müssen mit dem Faktor 20 multipliziert werden, um die CO<sub>2</sub>-Konzentration der Abluft zu erhalten

Die Lüftungsanlage stellt vorrangig die Raumlufthygiene sicher. Im Winter trägt sie wirksam zur Entfeuchtung der Raumlucht bei. Auf den positiven Zusammenhang der geringeren Luftfeuchte bei Wärmebrücken, die aus Denkmalschutzgründen nicht überarbeitet werden können, wurde weiter oben hingewiesen. Aufgrund des hohen Grades der Wärmerückgewinnung von über 85 % – es wurde ein zweiter Plattenwärmetauscher integriert – können die Lüftungswärmeverluste effektiv reduziert

werden, die Raumheizlasten liegen dadurch in einem Lastbereich, der über Wandheizungen im Niedertemperaturbereich dargestellt werden kann.

Die technische Gebäudeausrüstung der Friedensschule wird über eine zentrale Gebäudeleittechnik gesteuert. Sämtliche Räume können heizungstechnische über entsprechend ansteuerbare Einzelraumventile (Raumtemperatur bis 22 / 23 °C) separat geregelt werden. Seitens des Nutzers werden zu Unterrichtsbeginn 20 °C in den Klassenräumen vorgegeben.

Gleiche Einzelraumregelung gilt für die Lüftung: Durch CO<sub>2</sub>-geführte Volumenstromregler erfolgt eine kontinuierliche Regelung zwischen 800 bis 1200 ppm CO<sub>2</sub> (Schaltung: Grundlüftung – maximale Lüftung pro Klassenraum). Die Lüftungsanlage läuft nur während der Schulzeiten, morgens werden die Klassenräume vor Unterrichtsbeginn vorgespült.

Sämtliche Parameter können im Endausbau erfasst und zentral verwertet werden:

- Heizwärmeverbrauch über Wärmemengenzähler bzw. über Differenzmessungen
- Stromverbräuche für Anlagentechnik und Schulbetrieb
- CO<sub>2</sub>-Konzentration, Luftfeuchte und Raumtemperatur
- Temperaturfühler in der Ebene des Ausgleichspitzes

## 5. Fazit

Die denkmalgeschützte Friedensschule ist eine der größten Schulen der Stadt Schweinfurt. Der Schulkomplex besteht aus dem Hauptgebäude (GT I) von 1908, einem kleineren Schulgebäude von 1912 (GT II) sowie 2 Turnhallen von 1952 (GT III) und 1969 (GT IV). Die innere Ausstattung und die Gebäudetechnik bestanden über 100 Jahre ohne nennenswerte General-Sanierungsmaßnahmen. Ausnahme bilden natürlich die Reparaturen nach den Bombentreffern im II. Weltkrieg.

Seinerzeit wurde mit Weitblick Qualität gebaut: Beispielsweise waren Flure hochwertig gefliest, Gebrauchsspuren sind zu erkennen, aber keine der üblichen Schäden der Gebrauchstauglichkeit vieler neuzeitlicher Materialien. Die Denkmalqualität ist im äußeren Erscheinungsbild, aber auch zum Teil im Inneren augenfällig. Die anspruchsvolle Aufgabe besteht darin, diese Qualitäten in der Überarbeitung zu sichern und diese Qualitäten bauphysikalisch schadensfrei bei den energieeffizienten Ertüchtigungs-Maßnahmen zu berücksichtigen. Die ausgeführte Innendämmung als ein kohärentes System aus innenliegendem Wärmedämmverbundsystem, Dämmputzen und Temperierungen ermöglicht den Erhalt des äußeren Erscheinungsbildes bei gleichzeitiger Reduktion der Transmissionswärmeverluste. Die ausgeführten Holzverbundfenster zeigen eine elegante Variante, das äußere Sprossenbild glasteilend und filigran auszubilden sowie eine Verschattungslamelle unauffällig im Verbundfensterzwischenraum zu integrieren. Die Maßnahmen an der Fassade sowie die mögliche Schlussdeckendämmung weisen nach, dass diese Konstruktionen bauphysikalisch beherrschbar sind und auch bei Denkmälern dauerhafte Reduktionen der Energiekosten möglich sind.

Im Prinzip war diese Schule mit einem nur auf Thermik beruhenden Lüftungssystem ausgestattet, das bereits um 1900 für eine hygienische Luftqualität in den Schulräumen sorgte. Die in den Flurwänden angeordneten Ventilationskamine waren in Zu- und Abluftschächte unterteilt. Zuluft wurde aus dem Keller zugeführt, in der bauzeitlichen Berichterstattung wurden sogar Luftbehandlungen wie Vorerwärmung und Befeuchtung erwähnt. Die Abluft wurde in den Dachraum, in Folge über Dachreiter ins Freie transportiert. Dieses System wurde im Sommer mit kippbaren Oberlichtern kombiniert, um eine effektive Nachtlüftung herbeizuführen. In den meisten Fällen wurden diese Lüftungskamine durch Vermauern der Öffnungen außer Kraft gesetzt und teilweise als Müllschächte genutzt.

Die vorhandenen Schächte in den Dachraum konnten als vertikale Trassen für die Zu- und Abluft der neuzeitlichen Lüftungsanlage genutzt werden. Diese Trassen konnten somit substanzschonend im Gebäude integriert werden. Durch eine hocheffiziente zentrale Lüftungsanlage können insbesondere die Lüftungswärmeverluste weiter reduziert werden. Die erschlossenen Einsparungen im Heizwärmebedarf ermöglichen abschließend erst ein Niedertemperatur-Wandheizungssystem.

Die folgende Tabelle fasst die vorliegenden Kennwerte aus dem Erläuterungsschreiben zum Energiegutachten 2004 (Erläuterung des Gesamtenergiebedarfes an die Regierung von Unterfranken, Architekturbüro Haase Januar 2006) zusammen. Aufgrund der zum Erstellungszeitpunkt noch nicht vorliegenden Rechenvorschriften für Nicht-Wohngebäude wurde eine überschlägige Betrachtung nur des Heizwärmebedarfes durchgeführt. Durch die Innendämmung in Verbindung mit effizienter Heiztechnik und effizienter Wärmerückgewinnung wurde eine Reduktion von ca. 50 % Gesamtheizenergiebedarf für beide Schulgebäude

prognostiziert. Die Aufteilung erfolgte im Verhältnis der Nettogrundflächen der beiden Gebäude (Gebäudeteil I: 4287 m<sup>2</sup> NGF; Gebäudeteil II: 1184 m<sup>2</sup> NGF).

	Bestand	Saniert, gerechnet	Saniert, vermessen
Endenergiebedarf Erdöl Heizung	275.000 kWh		Wird in den folgenden Monaten vermessen und nachgereicht
Endenergiebedarf Fernwärme Heizung		199.000 kWh	
Endenergiebedarf Strom	Keine getrennten Daten vorliegend		
Jahres-Endenergiebedarf Q <sub>E</sub> ''	Keine Berechnungen vorliegend		
normierter Jahres-Endenergiebedarf q <sub>E</sub> ''			
<b>Einsparung des Jahres-Endenergiebedarfes</b>			
Jahres-Primärenergiebedarf Q <sub>P</sub> ''	Keine Berechnungen vorliegend		
normierter Jahres-Primärenergiebedarf Q <sub>P</sub> ''			
<b>Einsparung des Jahres-Primärenergiebedarfes</b>			
CO <sub>2</sub> -Emissionen	Keine Berechnungen vorliegend		
normierte CO <sub>2</sub> -Emissionen			
<b>Einsparung CO<sub>2</sub>-Emissionen</b>			
<b>Absolute Einsparung pro Jahr</b>			

Tabelle 5: Endenergie- und Primärenergiebedarf, Einsparung CO<sub>2</sub>-Emissionen, Architekturbüro Werner Haase, 2011

Die zusammengefassten Gewerke-Rechnungen ergeben folgende Kostenfeststellung (bezogen auf m<sup>2</sup> NGF des Hauptgebäudes):

Für die Kostengruppe 300 – Baukonstruktionen: 669 €/m<sup>2</sup> (netto)

Für die Kostengruppe 400 – Technische Gebäudeausrüstung: 417 €/m<sup>2</sup> (netto)

Das gesamtheitliche Sanierungskonzept demonstriert Nachhaltigkeit, indem ein denkmalgeschütztes Gebäude durch gezielte Weiterverwendung der guten Bausubstanz, in Verbindung mit der Ergänzung von langlebigen und ökologischen Materialien, saniert werden kann. Die graue Energie, die dem Rohbau innewohnt, wird maximal gewahrt. Durch vorausschauende Planung können darüber hinaus Putzflächen sowie Unterdecken und –böden in situ belassen und überarbeitet werden (- Erhalt ist über 50 % möglich). Durch ganzheitliche Generalsanierung wird die Restlebensdauer einem Neubau angenähert und der Bestand im Wert gesichert.

Die dargestellte Analyse der Bestandsuntersuchung erlaubt Rückschlüsse auf andere Sanierungsaufgaben im Denkmalschutz. Insbesondere die baukonstruktiven Investitionen erwiesen sich als deutlich höher als erwartet. **Hier müssen Vereinfachungen in den Systemaufbauten der Dämmschichten, aber auch prinzipielle Überlegungen zur Wahrung von aktuellen normativen Forderungen im Bestand erfolgen.**



Bild 28: Raumeindrücke nach der Sanierung, Architekturbüro Werner Haase, 2010

Da die Wandheizflächen noch nicht einwandfrei funktionieren, konnten bis heute die entsprechenden Heizwärmeverbräuche nicht repräsentativ ausgewertet werden. Weiterhin sind noch nicht alle Zählstellen abschließend aufgelegt, so dass keine abschließende Aussage zu den faktischen Energieverbrauchswerten möglich ist.

Mit Funktionieren der Wandheizungen und der restlos aufgelegten Mess-, Steuer- und Regeltechnik können weitere grundsätzliche Parametrierungen erfolgen. Die zentrale Datenerfassung des Gebäude und der entsprechenden Aggregate ermöglichen in den nächsten Monaten eine differenzierte Anlagenoptimierung. Zur Evaluierung der Energiekennwerte können zahlreiche Messpunkte abgerufen werden.

Folgende Gesamtverbräuche werden ausgewertet:

- Strom gesamt pro Gebäudeteil bzw. Bauabschnitt
- Strom für Lüftung, Lüftungsgeräte, Ventilatoren usw.
- allgemeiner Wärmearbeitsstrom (Pumpen, MSR usw.)
- Wärmeverbrauch pro Gebäudeteil bzw. Bauabschnitt, ggf. aufgeteilt nach Lage im Gebäude und Orientierung

Weiterhin sollten zur systemischen Bewertung in den Gebäudeteilen repräsentative Klassenräume ausgewählt werden, mit deren Messdaten die Gesamtverbräuche normiert werden können. Hierbei werden in den Unterrichtsräumen folgende Parameter erfasst:

- Betriebsstrom repräsentativer Klassenräume

- Raumtemperatur, Raumlufffeuchte, CO<sub>2</sub>-Konzentration, ggf. Volumenstrom Lüftung
- Referenzwerte Temperatur, Luftfeuchtigkeit, CO<sub>2</sub>-Konzentration (Stadtlage) der Umgebung
- Temperaturwerte der in der Außenwand eingebauten Meßfühler

Es sollte eine mindestens einjährige Bewertung der Messergebnisse mit daraus abgeleiteten Optimierungsmaßnahmen geplant werden. Dabei mündet die monatliche Datenerfassung und -ermittlung, Aufbereitung und Analyse der übermittelten Meßdaten in einen vierteljährigen Funktionsreport (Datenauswertung, Zeitreihen, Statistiken, Soll-Ist-Vergleiche), der allen beteiligten Fachdisziplinen für gemeinsame Besprechungen zur Anlagentoptimierung zur Verfügung gestellt wird.

Mit den systematisch erfassten Messgrößen können weitere Antworten auf offene systemische Fragen gefunden werden:

- ab welchen Zeiträumen der Nicht-Belegung wird eine Temperaturabsenkung bei Wandheizflächen sinnvoll. Die montierte Flächenheizung reagiert aufgrund ihres oberflächennahen Einbaus schnell, allerdings ergeben sich auch Verluste in den Wandquerschnitt. Inwieweit die miterwärmten Speichermassen der Innenwände die gesamte Regelgeschwindigkeit beeinflussen, kann in diesem Zusammenhang empirisch geklärt werden.
- Aufgrund der Strahlungswärme müsste eine anfängliche Raumtemperatur von kleiner 20 °C realisierbar sein, da hier noch keine oder nur vereinzelt abschirmenden Schüler in der Nähe der Brüstungsheizung sitzen. Mit den in die Klassen kommenden Schüler steigen die internen Lasten und damit auch die Betriebstemperatur auf größer 20 °C.
- Gleichen diese Vorteile der Strahlungswärme höhere Volumenströme aufgrund geringerer Temperaturspreizung, steigenden Druckverlust aufgrund der Kapillartechnik und damit steigenden Pumpenstrom im Vergleich zu einer konventionellen Heizkörpertechneik aus?
- Mit welchem oberen / unteren Schwellenwert der CO<sub>2</sub>-Konzentration wird eine dauerhaft hygienisch unbedenkliche Raumluff im Unterrichtszeitraum erreicht. Welche Vorspülzeiten ergeben optimale CO<sub>2</sub>-Startkonzentrationen sowie minimale Energieverluste durch kompensierende Wandheizung (fehlende internen Lasten)
- Sämtliche Daten können parallel für das hier beschriebene Hauptgebäude und das konventionell sanierte Nebengebäude (ohne mechanische Belüftung) aufgezeichnet werden. Beide Gebäude sind bauzeitlich analog konstruiert und strukturiert. Das Nebengebäude bietet daher eine ausgezeichnete Möglichkeit für Vergleichsmessungen, die einen Teil der oben angeführten Fragen beantworten können. Ebenfalls vorstellbar wäre eine vergleichende Evaluierung der Nutzerakzeptanz und der empfundenen Behaglichkeit
- Möglicherweise ergeben gerade diese Vergleichsmessungen weitere Impulse, wie noch substanzschonender und noch denkmalverträglicher, aber auch kostengünstiger ein bauzeitliches Lüftungssystem mit Innendämmung und entsprechender Wärmeeinbringung in die Klassenräume tatsächlich reaktiviert werden kann.

## Literaturverzeichnis

- [Schweinfurter Tagblatt 1904] Schweinfurter Tageblatt vom 17.12.1904, Quelle: homepage der Friedensschule
- [Gampl 2007] Privates Archiv, R. Gampl, pensionierter Rektor der Friedensschule
- [Schweinfurter Tagblatt 1908] Schweinfurter Tageblatt vom 5.9.1908, Quelle: homepage der Friedensschule
- [FAZ 2011] Frankfurter Allgemeine Zeitung, 24. Januar 2011
- [Zentralblatt der Bauverwaltung 1923] Die Forderungen der Gesundheitspflege an den Schulhausbau unter dem Druck der wirtschaftlichen Verhältnisse, Prof. Dr. H. Selter, in Zentralblatt der Bauverwaltung, 43. Jahrgang, 5.1.1923
- [Schmidt 2008] Management in der Denkmalpflege, Wolf Schmidt, München 2008
- [Fiedler et al. 2008] Deutsches Ingenieurblatt, Rettung vor dem Garaus, Fiedler, Kapphahn, Steffens, Berlin 5/2008
- [ifem 2008] Experimentelle Tragsicherheitsbewertung von Geschossdecken der Frieden-Volksschule, Ingenieurgesellschaft für experimentelle Mechanik, G. Kapphahn, Markkleeberg 2008
- [Bacon 1620] Novum Organum, F. Bacon, 1620, zitiert aus Philosophisches Wörterbuch, Hrsg. G. Schischkoff, Stuttgart 1982
- [Unfallkasse Hessen 2008] Frische Luft für frisches Denken – Neue Unterrichtsqualität in unseren Klassenräumen, Unfallkasse Hessen, 2008
- [Tiesler et al., 2008] Tiesler, G.; Schönwälder, H.-G.; Ströver, F., Gesundheitsfördernde Einflüsse auf das Leistungsvermögen im schulischen Unterricht, ein Beitrag zur Ergonomie der Schule, 2008
- [Fromme et al., 2006] Frische Luft an bayerischen Schulen – Untersuchung zur Verbesserung der Luftqualität, Fromme, H., et al., Schierl et al., Heitmann, D. et al., 9/2006

## **Anhänge**