



P. Häupl, H. Löber, M. Schmidt, C. Conrad

## **ENERGETISCH UND BAUPHYSIKALISCH OPTIMIERTE SANIERUNG EINES BAUDENKMALS IN GÖRLITZ**

J. Grunewald, J. Bolsius, C. Conrad

## **BAUKLIMATISCHE, MESSTECHNISCH VALIDIERTE GEBÄUDESIMULATION UND AUSARBEITUNG EINES REGELWERKES ZUR ENERGETISCH UND UMWELTECHNISCH OPTIMIERTEN SANIERUNG EINES BAUDENKMALS IN GÖRLITZ**

Dresden, 2010

gefördert unter dem Aktenzeichen 21216 von der  
Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU)

## PROJEKTLEITUNG

### **Institut für Bauklimatik**

Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Häupl

Prof. Dr.-Ing. John Grunewald

Dipl.-Ing. Christian Conrad

Zellescher Weg 17

01069 Dresden

Tel. 0351/ 4633 5259

Fax 0351/ 4633 2627

E-Mail: John.Grunewald@tu-dresden.de

Christian.Conrad@tu-dresden.de

## KOOPERATIONSPARTNER

**Hochschule für Technik, Wirtschaft und Sozialwesen (FH) Zittau/ Görlitz,**

### **Fachbereich Bauwesen**

Prof. Dr.-Ing. Henning Löber

Prof. Dr.-Ing. habil. Manfred Schmidt

Prof. Dr.-Ing. Jens Bolsius

Theodor-Körner-Allee 16

02763 Zittau

E-Mail: jbolsius@hs-zigr.de

### **Umweltamt des Landkreises Görlitz**

Dipl.-Ing. ök. Verena Starke

Otto-Müller-Straße 7

02826 Görlitz

E-Mail: umweltamt@kreis-gr.de

### **Eigentümerin und Nutzerin**

Dipl.-Ing. Janet Conrad

Handwerk 15

02826 Görlitz

E-Mail: janet@altstadtatelier-conrad.de

## FÖRDERUNG - Aktenzeichen: 21216

### **Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU)**

An der Bornau 2

49090 Osnabrück

E-Mail: s.djahanschah@dbu.de

**Projektkennblatt**  
der  
**Deutschen Bundesstiftung Umwelt**



Az	<b>21216/02</b>	Referat	<b>25</b>	Fördersumme	<b>50.250,00 €</b>
----	-----------------	---------	-----------	-------------	--------------------

**Antragstitel** "Bauklimatische, messtechnisch validierte Gebäudesimulation und Ausarbeitung eines Regelwerkes zur energetisch und umwelttechnisch optimierten Sanierung am Beispiel eines Baudenkmals in Görlitz"

**Stichworte** Ökobau  
Baubestandspflege, Denkmal, energieeffizientes Bauen

Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)
<b>18 Monate</b>	<b>04.12.2006</b>	<b>31.12.2008</b>	<b>2</b>

Zwischenberichte	27.06.2007	19.12.2007	
------------------	------------	------------	--

<b>Bewilligungsempfänger</b>	Technische Universität Dresden	Tel	0351/463-35259
	Fakultät Architektur	Fax	0351/463-32627
	Institut für Bauklimatik	Projektleitung	
	MommSENstr. 13	Prof. Dr.-Ing. John Grunewald	
	01062 Dresden	Bearbeiter	
		Dipl.-Ing. Christian Conrad	

**Kooperationspartner** Hochschule Zittau/ Görlitz (FH), Fachbereich Bauwesen  
Umweltamt Görlitz  
Dipl.-Ing. Janet Conrad

### **Zielsetzung und Anlaß des Vorhabens**

Die Sanierung des barocken Gebäudes in Görlitz zeigt unter Beachtung der gestalterischen und denkmalpflegerischen Belange vorbildhaft das mögliche Einsparpotential im Bereich des Primärenergie-, Trink- und Abwasserverbrauchs theoretisch und praktisch. Die vorhandenen Ergebnisse sollen als Grundlage für die Sanierung gleichartiger Objekte aufgearbeitet werden. Ziel ist eine langfristige detaillierte Untersuchung und eine präzise hygrothermische Simulation des Gebäudes einschließlich Anlagentechnik mit vorhandener und zu entwickelnder Software.

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

Grundlage für das Forschungsprojekt bildet die vorangegangene vorbildhafte Sanierung. Zur Reduzierung der Transmissionswärmeverluste kamen eine kapillaraktive diffusionsoffene Innendämmung, ein Wärmedämmverbundsystem unter Beibehaltung des Erscheinungsbildes, eine Dachdämmung aus Hanf und spezielle hochwärmedämmende Fenster zur Anwendung. Bei der Anlagentechnik wurde eine Zu- und Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung, ein Schichten- und ein Pufferspeicher, eine Solaranlage, ein Kaminheizkessel, eine Grauwassernutzungsanlage und mehrere Abwasserwärmenutzungen installiert. Durch die Installation einer umfangreichen Messtechnik und einer ausgefeilten Regelungstechnik ist eine messtechnische Erfassung und Regelung aller für den Betrieb des Bauwerks wesentlichen Komponenten möglich. Für die hygrothermischen Berechnungen werden die Materialparameter der historischen Baustoffe und der eingesetzten modernen Baustoffe und die tatsächlichen anlagentechnischen Kennziffern bestimmt. Bei den eingesetzten Baukonstruktionen werden die Dauerhaftigkeit und die Zuverlässigkeit anhand der Messwerte und der hygrothermischen instationären Simulationsrechnungen bewertet. Die Beurteilung der anlagentechnischen Komponenten und die Optimierung des Gebäudemanagements erfolgt auf der Grundlage der vorangegangenen Messungen. Bei der Gebäudesimulation werden die Ergebnisse der baulichen und anlagentechnischen Simulationsrechnungen und der Messungen zusammengeführt. Die besonderen Merkmale des Gebäudes Handwerk 15, das stellvertretend für historische Gebäude vor 1900 steht, werden herausgearbeitet.

## **Ergebnisse und Diskussion**

Die anlagentechnische Ausstattung wurde auf dem neuesten Stand gehalten. Mit der Installation von weit über 300 Sensoren und 50 Ausgangszuständen ist eine messtechnische Erfassung aller für den Betrieb des Bauwerks wesentlichen bauphysikalischen und haustechnischen Komponenten für die hygrothermische Gebäudesimulation möglich. In dem Gebäude sind 12 Messstrecken (Temperatur-/Feuchtefühler in der Konstruktion, Wärmestrommessplatten usw.) in den Bauteilen vorhanden. Insbesondere durch die getrennte Erfassung der haustechnischen Anlagen (Heizung, Solaranlage, Lüftung, Wärmerückgewinnung, Erdwärme, Grauwassernutzungsanlage und Hilfsenergien) sowie des Nutzerverhaltens (Raumklima, Energie- und Wasserverbrauch, Fensteröffnungen) ist eine getrennte Bewertung der baulich konstruktiven Maßnahmen und installierter Gebäudetechnik, ihrer Ausnutzungsmöglichkeiten und des Effizienzgrades möglich.

Bei diesem historischen Gebäude liegen mit den umfangreichen Materialkennwertbestimmungen alle wesentlichen Materialkennwerte für die hygrothermischen Bauteil – und Gebäudesimulation vor.

Die Messungen wurden Anfang Oktober 05 begonnen und dauern bis heute an. Am Anfang waren noch nicht alle gebäudetechnischen Anlagen installiert. Die Messungen führten zu folgenden Ergebnissen:

- Ohne kontrollierte Wohnungslüftung - die Lüftungsanlage war bis zum Sommer 2009 noch nicht im Betrieb - wurde in den Wohnräumen eine Luftfeuchte von über 70 % gemessen. Der Einsatz der Zu- und Abluftanlage ist notwendig.
- Bis auf den Hilfsenergieverbrauch für die Heizanlagen bzgl. des Primärenergieverbrauchs wurde fast der Nullemissionsgebäudestandard erreicht, denn es werden keine konventionellen Energien eingesetzt.
- Mit dem Verbrauch für Gebäudeheizung und Trinkwassererwärmung von 25 kWh/(m<sup>2</sup> a) konnte nahezu der Passivhausstandard erreicht werden.

Ausgehend von den praktischen Erfahrungen dieser energetischen Sanierung, den Ergebnissen der Messungen und der Bauteil- und Gebäudesimulation wurde ein Sanierungsszenario mit einzelnen Sanierungsstufen mit einem Ingenieurplanungswerkzeug für historische Gebäude entworfen.

Als Ausgangsbasis für eine anschließende Dissertationsarbeit steht ein hochgedämmtes Demonstrationsgebäude mit Passivhausstandard (90 % Energieeinsparung) einschließlich eines voll betriebsfähigen Langzeitmonitoringsystems zur Verfügung.

Innerhalb des Projektzeitraumes hat ein Umdenken von strikter Ablehnung zu Forderung und Förderung energetischer Sanierung von Baudenkmalen stattgefunden. Im Freistaat Sachsen hat dieses Modellprojekt maßgebend dazu beigetragen.

## **Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation**

Eine breite Öffentlichkeit wurde durch die Besichtigungen des Testgebäudes, Vorträge auf regionalen, nationalen und internationalen Tagungen sowie durch Veröffentlichungen auf verschiedenen Fachebenen erreicht. Das Gebäude wurde gern von interessierten Bauherren und Planern als praktisches Anschauungsobjekt einer vorbildhaften energetischen Sanierung vor Ort besichtigt. So konnte im Dezember 2007 das Forschungsvorhaben Herrn Dr. Takeshi Ishizaki (National Institute for Cultural Properties, Tokio) vor Ort vorgestellt werden. Mit Vorträgen (z. B. 12. Bauklimatischen Symposium in Dresden, 12. und 14. internationale Passivhaustagung) wurde die Sanierung des Gebäudes Handwerk 15 einem Fachpublikum vorgestellt. In der Fachzeitschrift Bauphysik, im Mauerwerkskalender, der Zeitschrift „Berliner Impulse“ erschienen Fachartikel. In den Regionalzeitungen wurde über das Pilotprojekt mehrfach berichtet.

Auch in der Politik wurde das Modell- und Forschungsvorhaben mit Interesse verfolgt. Hinter dem Projekt stehen eine Vielzahl von Firmen und Behörden, die das Projekt fachlich und finanziell weit über das übliche Maß unterstützten. Das Gebäudeprojekt wurde als Praxisbeispiel innerhalb der Lehrtätigkeit für Belegarbeiten der Hochschule Zittau/ Görlitz (FH), der TU Dresden genutzt. Dabei konnten sich Studenten über thermische Sanierungen von Altbauten vor Ort informieren.

## **Fazit**

Mit sehr viel persönlichem Engagement, den richtigen Partnern und zielstrebigem Handeln ist es ohne weiteres möglich, zukünftige Anforderungen an den Klimaschutz und Energieeffizienz auch mit einer moderaten Wärmedämmung unter Beibehaltung des historischen Erscheinungsbildes an den denkmalgeschützten Fassaden zu erreichen. Die Herangehensweise und die umgesetzten Maßnahmen sind beispielgebend für ähnliche Objekte. Die Anforderungen der Denkmalpflege und die Belange des Umwelt- und Klimaschutzes konnten bei dieser Sanierung in Einklang gebracht werden.



# Abschlussreport

---





## I Hauptteil

Einleitung .....	1
Zusammenfassung .....	4
<b>1 Bestandstaufnahme und Gestaltungskonzept .....</b>	<b>5</b>
1.1 Geschichte und Denkmalwert .....	5
1.2 Erhaltene und instandgesetzte Originalsubstanz .....	9
1.3 Architektonisches Gestaltungskonzept .....	16
<b>2 Instandsetzung und energetische Baumaßnahmen .....</b>	<b>21</b>
2.1 Wärmeschutzniveau vor und nach der Sanierung .....	21
2.2 Erneuerung der Fenster .....	22
2.2.1 Dokumentation und Beurteilung des Bestandes .....	22
2.2.2 Umsetzung der Erneuerung .....	22
2.2.3 Holzkastenfenster mit 2-Scheiben- Wärmeschutzverglasung .....	23
2.2.4 Holz-Einfachfenster mit 3-Scheiben-Wärmeschutzverglasung .....	26
2.2.5 Dachliegende Fenster .....	28
2.3 Sanierung der Wände .....	29
2.3.1 Dokumentation und Beurteilung des Bestandes .....	29
2.3.2 Innendämmung der Straßenfassade .....	35
2.3.3 Innendämmung der Brandwände .....	39
2.3.4 Außendämmung der Hoffassade .....	40
2.3.5 Vermeidung der Sommerkondensation im Erdgeschoss .....	42
2.3.6 Nachträgliche Bauwerksabdichtung der Kelleraußenwand .....	43
2.4 Wiederherstellung der Decken .....	45
2.4.1 Dokumentation und Beurteilung des Bestandes .....	45
2.4.2 Herstellung der Standsicherheit des Erdgeschossgewölbes .....	50
2.4.3 Rekonstruktion der Decken über EG / 1.OG .....	50
2.4.4 Rekonstruktion der Decken über 2.OG / DG .....	52
2.5 Dachkonstruktion .....	54
2.5.1 Dokumentation und Beurteilung des Bestandes .....	54
2.6 Wiederaufbau des Dachtragwerkes .....	56
2.6.1 Dichte Gebäudehülle - luftdichte Anschlüsse .....	57
2.6.2 Zwischen- und Untersparrendämmung .....	59



<b>3</b>	<b>Erneuerung der Anlagentechnik</b>	<b>67</b>
3.1	Installation moderner Regeltechnik	67
3.2	Einbau einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung	71
3.3	Erneuerung der Heizungsanlage	74
3.4	Grau- und Regenwassernutzungsanlagen	84
<b>4</b>	<b>Ergebnisse der Gebäudemonitorings</b>	<b>89</b>
4.1	Übersicht der installierten Messtechnik	89
4.1.1	Installierte Messerfassungssysteme	89
4.1.2	Baubegleitende Installation der Sensoren	90
4.2	Analyse des Außen- und Innenklimas sowie des Nutzerverhaltens	93
4.2.1	Analyse des Außenklimas für den Standort Görlitz	93
4.2.2	Vergleich der gemessenen Klimadaten mit der Wetterstation DWD Görlitz	94
4.2.3	Innenklimamessung	96
4.3	Aufzeichnung der Messwerte in der Baukonstruktion	101
4.3.1	Mischmauerwerk mit Innendämmung, Außenwand 2.OG Nord	103
4.3.2	Ziegelmauerwerk mit WDVS, Außenwand 1.DG Süd	107
4.3.3	Mischmauerwerk mit WDVS, Außenwand 1.OG Süd	109
4.3.4	Mischmauerwerk im Erdgeschoss	112
4.3.5	Dach - Varianten der Untersparrendämmung	115
4.3.6	Kastenfenster, 2.OG Nord	120
4.3.7	Kastenfenster, 1.DG Süd	122
4.3.8	3-Scheibenwärmeschutzverglasung	124
4.3.9	Dachliegefenster, Nord, 2. DG	124
4.3.10	Bewerten und Verifizieren der baulichen Ergebnisse	127
4.4	Aufzeichnung der Messwerte der Anlagentechnik	128
4.4.1	Bestimmung von anlagentechnischen Kennziffern	133
4.4.2	Simulation der anlagentechnischen Komponenten	142
4.4.3	Bewerten und Verifizieren der anlagentechnischen Komponenten	146
4.5	Gebäudeberechnungen und -simulation	147
4.5.1	Ermittlung der vorhandenen Energiekennzahlen nach EnEV 2009	147
4.5.2	Gebäudesimulation mit DesignBuilder 2.1	151
4.5.3	Das Einsparpotentials der einzelnen Energieeinsparmaßnahmen	154
4.6	Analyse der Baukosten für die eingesetzten energetischen Maßnahmen	160
4.7	Abschätzung der gebauten Energie im Bestand	162



<b>5</b>	<b>Öffentlichkeitsarbeit</b> .....	<b>165</b>
<b>6</b>	<b>Fazit</b> .....	<b>169</b>

## II Anhang

<b>A</b>	<b>Klimaanalyse für den Standort Görlitz</b> .....	<b>I</b>
A.1	Vergleich des Standortes Görlitz mit Testreferenzjahr 09 .....	I
A.2	Jahresmittel und Klimaänderungsvorhersage .....	III
A.3	Klimafaktoren für Energieausweise nach EnEV 2009 .....	V
A.4	Klimadaten für Nachweisverfahren (EnEV, DIN 4108, DIN EN 13 788) .....	VI
<b>B</b>	<b>Aktuelle und kommende Anforderungen</b> .....	<b>IX</b>
B.1	Aktuelle und kommende Anforderungen .....	IX
B.2	Winterlicher Wärmeschutz .....	IX
B.3	Sommerlicher Wärmeschutz .....	X
B.4	Feuchteschutz .....	XI
B.5	Schallschutz .....	XII
B.6	Tragfähigkeit und Brandschutz .....	XIII
B.7	Produkteigenschaften und ökologische Aspekte .....	XIV
B.8	Energiebilanz, Umwelt- und Gesundheitsbereich .....	XV
B.8.1	Primärenergieinhalt (PEI) - „Graue Energie von Gebäuden“ .....	XV
B.8.2	Treibhauspotenzial (GWP) bzw. Treibhausgasemissionen .....	XV
B.8.3	Versäuerung (AP) .....	XVI





<b>C</b>	<b>Wärme- und Feuchteschutznachweise</b> .....	<b>XVII</b>
<b>C.1</b>	<b>Experimentell bestimmte Materialkennwerte</b> .....	<b>XVII</b>
<b>C.2</b>	<b>Bauteilsimulation mit COND/ DELPHIN</b> .....	<b>XX</b>
C.2.1	Nachweis mit dem Programm COND .....	XX
C.2.2	Hygrothermischer Nachweis mit dem Programm DELPHIN (1 D) .....	XXIII
C.2.3	Nachweis des Mindestwärmeschutzes mit DELPHIN (2 D) .....	XXVII
C.2.4	Nachweis der Tauwasserfreiheit bei Fensterkonstruktion .....	XXXIV
<b>D</b>	<b>Symbolverzeichnis</b> .....	<b>XXXV</b>
<b>E</b>	<b>Literaturverzeichnis</b> .....	<b>XXXVII</b>

## III Zeichnungen

### Energetische Maßnahmen, 3 D - Zeichnungen

**Zeichnung Holz-Einfachfenster mit 3-Scheiben -Wärmeschutzverglasung**

**Zeichnung Holz-Kastenfenster mit 2-Scheiben -Wärmeschutzverglasung**

**Zeichnungen (Ansicht, Schnitt, Grundrisse)**

# I Hauptteil

---





## Einleitung

So wie in Görlitz, einer historisch gewachsenen Stadt mit mehr als 3 500 Denkmalen, wird der europäische Kulturraum mit einer großen Zahl von Herausforderungen im Rahmen der Sanierungen denkmalgeschützter Gebäude konfrontiert.

Denkmalgeschützte Gebäude haben i. d. R. eine schlechtere Energiebilanz und können nur bedingt voll energetisch saniert werden. Die vorhandenen Sanierungsstrategien lösen die erforderlichen Aufgaben, unter Einhaltung der Auflagen des Denkmalschutzes den Energieverbrauch der Gebäude maßgeblich zu senken, die Belange des Umweltschutzes zu berücksichtigen und die Dauerhaftigkeit und Zuverlässigkeit der Konstruktionen zu gewährleisten, leider in vielen Fällen nicht.

Energieeffiziente Gebäude sollten mit so wenig wie möglich vergegenständlichter Energie errichtet und mit minimalem Energieverbrauch betrieben werden. Das zu erreichende Ziel wird heute Niedrigenergiegebäude genannt. Einen Neubau als Niedrigenergiegebäude zu errichten, stellt prinzipiell kein technisches Problem dar. Ob der Nutzer die berechneten Kenngrößen im Betrieb auch erreicht, hängt von seinem Verhalten ab. Wegen der nur unzureichenden Erfassbarkeit des Nutzerverhaltens sollte es nicht in die Gebäudebeurteilung einbezogen werden.

Ein Neubau kann so entworfen und gebaut werden, dass er sogar zum Energie generierendem Gebäude wird, wobei die erzeugte Energie gleich der zum Gebäudebetrieb benötigten Energie oder sogar größer sein kann. In diesen Fällen spricht man von einem Nullemissionsgebäude, wenn man bei der Emission vor allem den CO<sub>2</sub>-Ausstoß betrachtet.

Aus Altbauten und noch stärker aus zu Denkmalen deklarierten Gebäuden kann nur ganz selten problemlos ein Niedrig- oder gar Nullemissionsgebäude gefertigt werden. Und doch sollte bei allen Sanierungen versucht werden, diesem Ziel durch behutsames Erproben und Abwägen aller Möglichkeiten so nahe wie möglich zu kommen.

*"...In der Tendenz ist der Anteil der Haushalte am Energieverbrauch stetig gestiegen. Im Jahr 2003 hatten die Haushalte einen Anteil von 30 %. Von diesen 30 % ist ein Viertel für Warmwasser und Haushaltsstrom abzuziehen, der Rest wird ausschließlich für Raumwärme verbraucht. Um den Anteil des Energieverbrauchs der Denkmale bewerten zu können, ist ihr Anteil am Gesamtbestand baulicher Anlagen zu betrachten. Die Zahl der baulichen Anlagen in Deutschland lässt sich nur schwer berechnen. Es wird von einer Anzahl von 19,5 Millionen ausgegangen, rd. eine Million davon sind Denkmale, das entspricht 5 %. Diese Zahl ist einerseits ein relativierender Faktor; andererseits enthebt sie mit Blick auf die endlichen Ölvorräte keineswegs davor, auch bei Denkmalen das maximale Energieeinsparpotential zu suchen. Nahezu 75 % der Gebäude in Deutschland sind vor 1985 errichtet. Hinter dieser Zahl steht die große Masse der nach dem Krieg errichteten Gebäude, die oft energetisch kaum besser bestellt sind als Denkmale ..." [sächsischer Staatsminister des Innern Herr Dr. Buttolo - Grußwort zur Fachtagung im Rahmen des Modellprojektes].*

## Ausgangspunkt



### **Umdenken bei der energetischen Sanierung von Baudenkmalen**

Anhand der Geschichte des Gebäudes Handwerk 15 lässt sich sehr gut erkennen, dass die Gebäude alle 30 bis 40 Jahre den entsprechenden Anforderungen angepasst wurden. Im Umkehrschluss bedeutet das, dass sich die heutigen Sanierungen an den Anforderungen an die Energieeffizienz des Zeitraumes 2010 - 2050 orientieren müssen.

Innerhalb des Projektzeitraumes hat ein Umdenken von strikter Ablehnung zu Förderung und Förderung energetischer Sanierung von Baudenkmalen stattgefunden. In Sachsen hat dieses Modellprojekt dazu beigetragen.

Die Ergebnisse des Modellprojektes sind für Architekten, Ingenieure und Planer, denen die fachliche Umsetzung der Modernisierungs- oder Sanierungsmaßnahmen obliegt und für die Eigentümer, Verwalter und Nutzer derartiger Gebäude bedeutend.

Ein fachübergreifendes Zusammenarbeiten mit allen Beteiligten ist bei der Sanierung von denkmalgeschützter Bausubstanz anzustreben. Die Nachfrage nach den denkmalgerechten Energiesparmaßnahmen wird in den kommenden Jahren zunehmen.

*"Auch Baudenkmale sind in der Regel nur genutzt und erhalten worden, wenn sie energetisch sparsam und effizient errichtet waren und an sich verändernde Bedürfnisse angepasst werden konnten - das gilt auch heute"* [These der Landeskonservatorin Dr. R. Pohlack, 2005].

### **Ergebnisse**

Insbesondere in Zusammenhang mit dem anstehenden Stadtumbau wird sich die denkmalgeschützte Bausubstanz bei knapper werdenden Energieressourcen und stetig steigenden Energiepreisen gegen konkurrierende Niedrigenergiehausstandards behaupten müssen. In Städten wie Görlitz mit einem sehr hohen Anteil von denkmalgeschützten Gebäuden verschiedener Baustile gewährleisten dem Denkmal angepasste Energiesparmaßnahmen die nachhaltige Nutzung und den weiteren Erhalt der wertvollen Bausubstanz und damit die Wahrung der kulturellen Identität der historischen Innenstädte.

Das zeitlich lange Baugenehmigungsverfahren erschwerte die Finanzierung der Baumaßnahmen. Um das Projekt dennoch im vollen Umfang umsetzen zu können, musste es zeitlich gestreckt und alle Arbeiten äußerst sorgfältig geplant werden. Die Arbeiten wurden überwiegend in Eigenregie und mit sehr vielen Eigenleistungen durchgeführt.

Bis zum Herbst 2005 wurden die Wärmedämmmaßnahmen bis auf die Innendämmung des 1. OG abgeschlossen. Bis zur Heizperiode 2009/ 2010 konnten verspätet die Lüftungsanlage, Grauwassernutzungsanlage und Abwasserfußbodenheizung installiert werden. Das Ziel, den Primärenergiebedarf für den Heizenergie- und Warmwasserbedarf auf 40 kWh/m<sup>2</sup>a zu begrenzen (Energieeffizienzklasse A+), wird bereits mit dem vorhandenen Bauzustand erreicht. Die Anforderungen an die aktuelle Energieeinsparverordnung (EnEV 2009) werden weit übererfüllt.

Mit Hilfe der Solaranlage wurde die große speicherwirksame Bauwerksmasse ab Sommer 2006 aktiviert. Dadurch wird eine weitere Primärenergieeinsparung pro-





gnostiziert. Eine Reduzierung um den Faktor 10 erscheint auch bei denkmalgeschützten Gebäuden möglich.

Mit dem Modell- und Forschungsprojekt kann nachgewiesen werden, dass eine maßgebliche Primärenergieeinsparung und damit verbundene Reduzierung der CO<sub>2</sub> - Emission im denkmalgeschützten Altbau, insbesondere bei historischen Gebäuden vor 1900, möglich ist.

Der Restaurator würdigte die Gestaltung wie folgt: "Mit ihr erhält das Haus mit Blick auf die bisherigen schweren Eingriffe ein Gesicht zurück, wie es in dieser oder ähnlicher Art zur Bauzeit angelegt gewesen ist."

Die mit der thermischen Sanierung einhergehenden Maßnahmen (Solaranlage, Wärmedämmung der Hoffassade) sind gegenüber der erhaltenen und instand gesetzten Originalsubstanz Veränderungen, doch werden sie vom Landesamt für Denkmalpflege Sachsen "nicht als so gravierend" bewertet. Dieser Sachverhalt wurde von der Unteren Denkmalschutzbehörde Görlitz auf Antrag der Bauherrin zur Feststellung der Denkmaleigenschaft im Januar 2006 beschieden.

Die Erfahrungen aus diesem Projekt fließen zurzeit in die "Energetische Sanierung eines denkmalgeschützten Bergarbeiterhauses aus dem 16. Jh. in Freiberg" ein. Das Gebäude ist Preisträger BMWi-Wettbewerb "Energieoptimiertes Bauen 2009" EnOB (Energieoptimiertes Bauen).

#### **Ausblick**

Das Staatsministerium des Innern des Freistaates Sachsen hat im Sommer 2009 das Modellprojekt "Energetische Sanierung von Baudenkmalen" initiiert. Ein wichtiger Anstoß für dieses Vorhaben wurde durch Auseinandersetzung innerhalb der Ministerien und dem sächsischen Landtag mit der Zukunftsfähigkeit des Gebäudebestandes in Zusammenhang mit diesem Modell- und Forschungsprojekt gegeben. Sachsen hat quantitativ und absolut den größten Anteil an denkmalgeschützter Bausubstanz in der Bundesrepublik.

Im Rahmen der Landesinnovationspromotion "Bauphysikalische Bewertung von Erfahrungen aus der energetisch optimierten Sanierung eines denkmalgeschützten Barockhauses und deren Übertragung in die Praxis" werden die Ergebnisse in einen Maßnahmenkatalog für den Gebäudebestand in Sachsen übertragen und zur Validierung eines bauphysikalischen Gebäudemodells zur Optimierung der einzelnen Maßnahmen am Gebäude genutzt.

Im Jahre 2010 wurde das Gebäude in das EnOB - Langzeitmonitoring vorbereitet.



## Zusammenfassung

- Ziel** Der europäische Kulturraum wird mit einer großen Zahl von Herausforderungen im Rahmen der Sanierungen denkmalgeschützter Gebäude konfrontiert. Die Sanierung des barocken Gebäudes in Görlitz zeigt unter Beachtung der gestalterischen und denkmalpflegerischen Belange modellhaft das mögliche Einsparpotential im Bereich des Primärenergie-, Trink- und Abwasserverbrauchs theoretisch und praktisch auf.
- Umsetzung** Die Grundlage für das Modell- und Forschungsprojekt bildet die intensive Auseinandersetzung mit den Zielen der Denkmalpflege und eine enge Zusammenarbeit von verschiedenen am Bau beteiligten Fachplanern, Behörden und Gewerken. Bei der bautechnischen Umsetzung wurde besonderer Wert auf eine sinnvolle Reduzierung der Transmissionswärmeverluste gelegt. Beispielsweise wurde an der Straßenseite aus denkmalpflegerischen Gründen eine kapillaraktive diffusionsoffene Innendämmung eingesetzt. Es kommen spezielle hochwärmedämmende Kastenfenster zur Anwendung, welche das Erscheinungsbild dieses Baudenkmals beibehalten. Eine weitere Reduzierung des Primärenergiebedarfes im Bereich der Transmissionswärmeverluste ist nur bedingt wirtschaftlich, da die Lüftungswärmeverluste an Bedeutung zunehmen. Eine kostengünstige Reduzierung des Primärenergiebedarfes ist der Einbau einer Zu- und Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung. Das Herzstück der Heizungstechnik sind zwei Pufferspeicher, welche durch einen Kaminheizkessel und durch eine Solaranlage aufgeladen werden. Mittels einer Grauwassernutzungsanlage wird der Trink- und Abwasserverbrauchs reduziert.
- Ergebnis** Die Messungen wurden Anfang Oktober 2005 begonnen, wobei aber noch nicht alle gebäudetechnischen Anlagen installiert waren und führten zu folgenden Ergebnissen:
- Ohne kontrollierte Wohnungslüftung - die Lüftungsanlage war bis zum Sommer 2009 noch nicht im Betrieb - wurde in den Wohnräumen eine Luftfeuchte von über 70 % gemessen. Der Einsatz der Zu- und Abluftanlage ist notwendig.
  - Bis auf den Hilfsenergieverbrauch für die Heizanlagen bzgl. des Primärenergieverbrauchs wurde fast der Nullemissionsgebäudestandard erreicht, denn es werden keine konventionellen Energien eingesetzt.
  - Mit dem Verbrauch für Gebäudeheizung und Trinkwassererwärmung von 25 kWh/(m<sup>2</sup> a) konnte nahezu der Passivhausstandard erreicht werden.
- Mit sehr viel persönlichem Engagement, den richtigen Partnern und zielstrebigem Handeln ist es möglich, den Niedrigemissionsstandard auch mit einer moderaten Wärmedämmung unter Beibehaltung des historischen Erscheinungsbildes an den denkmalgeschützten Fassaden zu erreichen. Die Herangehensweise und die umgesetzten Maßnahmen sind beispielgebend für ähnliche Objekte. Die Kooperationspartner sind die Hochschule Zittau/ Görlitz (FH), das Umweltamt Görlitz und die Eigentümerin Janet Conrad. Das Modellvorhaben wurde durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt unter dem Aktenzeichens 21216 gefördert.



# 1 Bestandaufnahme und Gestaltungskonzept

## 1.1 Geschichte und Denkmalwert

Bei dem Objekt handelt es sich um ein viergeschossiges Wohnhaus, das sich wie alle Häuser in der Straße „Handwerk“ in geschlossener Bebauung befindet.

### Stadtentwicklung

Die Keimzelle der künftigen Stadt Görlitz war die Burg Yzhorelik am Neißeübergang, die 1130 auf Weisung des Böhmenherzogs Sobieslaus neu befestigt wurde und an deren Stelle 1268 ein Vogtshof als Sitz des Stadtvogts trat, sowie eine Kaufmannssiedlung mit einer Nikolaikirche. Daneben existierte wohl bereits seit längerem ein slawisches Dorf. Ab Beginn des 13. Jahrhunderts entstanden durch die Bautätigkeit der Kaufleute und der hinzugekommenen Handwerker südwestlich des Burgbergs der spätere Untermarkt und der umgebene städtische Bereich, der sich nach 1250 um den Obermarkt mit zugehörigen Straßen erweiterte. Beide Stadtkerne, also zunächst derjenige um den Untermarkt und später der erweiterte mit dem Obermarkt, waren schon früh von Stadtmauern umschlossen.

Die Straße „Handwerk“ befindet sich im ältesten Stadtgebiet mit Zentrum Untermarkt (siehe Abbildung 1.1).



Abb. 1.1: Stadtansicht von 1714

Das umgebene Stadtviertel heißt Neißviertel, wobei es noch drei weitere Stadtviertel gibt, deren Namen sich auf die vier hochmittelalterlichen Stadttore beziehen.

Das Handwerk verläuft von der Weberstraße aus, die in einer Flucht mit der Petersstraße steht, wobei diese Achse die Verbindung zwischen Vogtshof, Untermarkt und südlichem Stadtausgang darstellt. Zur Bezeichnung Handwerk schreibt



### **Geschichte des Gebäudes Handwerk 15**

Richard Jecht [2] folgendes: „Handwerk ist benannt nach dem Sitz des Handwerks, d.h. der Tuchmacher. Gemäß der geschichtlichen Entwicklung der Bezeichnung ist es kein Wunder, dass sich der Gassenname Handwerk in ältester Zeit nur ganz vereinzelt findet, zuerst 1392, 1449 und 1458. Umso häufiger liest man Federmarkt. Die Brände von 1525 und 1726 haben in diesem Stadtteile arg gewütet; die Häuser gehörten zumeist kleinen Handwerkern, in Sonderheit Tuchmachern... " Wie auch immer das heutige Grundstück Handwerk 15 über die Jahrhunderte bezeichnet wurde, fest steht, dass es schon seit den Zeiten der Stadtentstehung bebaut war.

Das Erscheinungsbild des heutigen Hauses Handwerk 15 bietet sich schlicht dar. Das Haus besitzt eine glatte Putzfassade, ein regelmäßiges Fensterraster mit drei Achsen nach vorn und nach hinten. Der Hauseingang mit Segmentbogen ist rechts eingeordnet, wobei sich im Erdgeschoss zu seiner linken nur ein Fenster befindet. Das Gebäude ist mit ca. 17,0 m so tief wie die anderen Gebäude der Straße. Dieses Wohngebäude zählt zu den schmalsten der Straße (siehe Abbildung 1.1).

Bei der Eingrenzung der Bauzeit können wir uns zunächst auf Fakten stützen. So ist bekannt, dass im Jahre 1726 ein Stadtbrand weite Teile des Neißviertels mit dem Handwerk niederlegte. Fraglos griff der Brand auch auf das Handwerk 15 über. Außerdem haben wir Ergebnisse einer dendrochronologischen Untersuchung verschiedener Hölzer. Es wurden Fälldaten in den Jahren 1727 (Holzbalkendecke 1. Obergeschoss), 1714 (Dachstuhl mittleres Rähm) und 1728 (Kopfband im Dachstuhl) ermittelt. So kommen wir auf eine Bauzeit nach 1728, was die Vermutung zur Gewissheit macht, dass das Haus nach dem Stadtbrand von 1726 neu aufgebaut wurde.

Stadtansichten und Quellen belegen, dass bei Stadtbränden meist die Mauern, Schornsteine und Gewölbe der Gebäude bestehen blieben, die dann im Neubau aufgingen. Dies ist auch bei Handwerk 15 der Fall. Keinesfalls erst aus der Zeit nach 1728 stammt das Erdgeschossgewölbe, welches aus einer einzigen Tonne besteht, die sich, mit verschiedenen Stichkappen versehen (siehe Abbildung 2.9), ungefähr bis in die halbe Tiefe des Hauses erstreckt. Sie gehört dem 1726 abgebrannten Bau an, dessen Erscheinungsbild sich vom heutigen Bau unterscheidet.

Dazu eine kurze Erklärung: Noch auf dem Görlitzer Stadtplan von 1714 finden wir ein Stadtbild vor, das fast ausschließlich aus den schmalen Giebelhäusern besteht, die nahtlos aneinandergereiht die Straßen der mittelalterlichen Städte säumten. Auch an der Stelle von Handwerk 15 sehen wir ein derartiges Giebelhaus, das, wie die ältere Erdgeschosstonne belegt, genau die gleiche Kubatur wie der heute bestehende Bau besitzt. Das schmale Haus wurde also nicht, wie ab der frühen Neuzeit üblich, mit anderen Häusern zusammengelegt und dann erst vom Giebel- zum Traufhaus „gedreht“, sodass ein größeres Haus - nunmehr mit übergreifendem Traufdach - entstand. Der Prozess der Hausdrehung, bei dem vor allem aus Gründen eines besseren Brandschutzes die Giebelständigkeit der Traufständigkeit wich, beschränkte sich also hier auf die Umwandlung von einem Giebelhaus zu einem Traufhaus, wobei der Brand von 1726 umfangreiche Baumaßnahmen ohnehin erforderte.

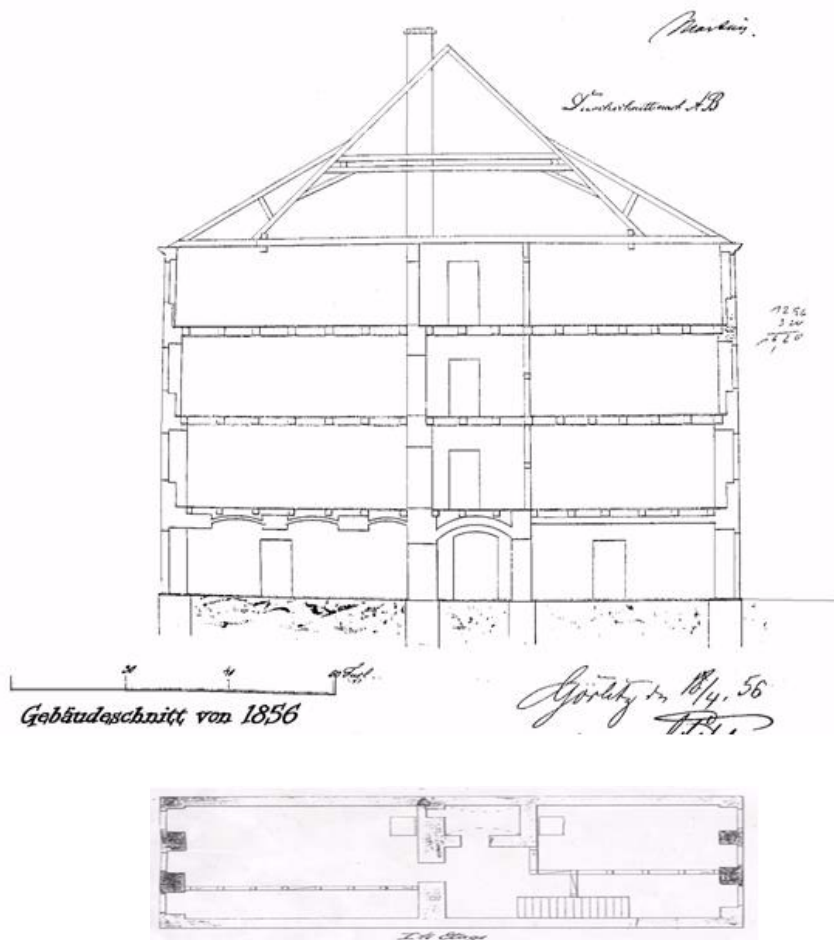


Abb. 1.2: Gebäudeschnitt und Grundriss des 1. OG von 1856

Vom Vorgängerbau ist bei Handwerk 15 die gesamte Erdgeschosssubstanz erhalten. Dazu gehören neben der erwähnten Tonne auch die hinteren Räumlichkeiten. Möglicherweise stammen auch die Außenmauern und die Innenmauern über die unteren drei Geschosse nicht erst aus dem Jahr 1728. Diesbezügliche Erkenntnisse müssen einer eingehenden Bauforschung überlassen bleiben. Die Erdgeschosstone ist fraglos auf die Zeit um 1600 zu datieren. Der Vorgängerbau, das Giebelhaus, entstammt also der Renaissance.

Ungeachtet erhaltener Vorgängerbauten, auch wenn diese nicht erhalten wären, besitzt der heutige Bau einen baugeschichtlichen Wert. Er ist in seinem Außenbild geprägt vom Barock, wobei die straßenseitigen Räume in ihrer Struktur unverändert erhalten blieben. Veränderungen brachte ein Umbau im Jahre 1856 mit sich. Zu dieser Zeit wurde der Bau nur in der Fassade saniert und neu verputzt, vor allem aber um ein drittes Obergeschoss erhöht. Dabei fiel nicht etwa das alte Kehlbalkendach von 1728 weg, vielmehr erhielt dieses mittels überdimensionaler Aufschieblinge eine neue Gestalt (siehe Abbildung 1.2). Durch die zu geringe Dachneigung im Be-

**Nutzungsanpassungen**





reich der Aufschieblinge konnte Flugschnee in den Dachraum eindringen. Diese Feuchtigkeitslast führte insbesondere in den Traufbereichen zu Feuchtigkeitsschäden und auf der Südseite zum Befall des Daches und des 3. OG mit echtem Hauschwamm. 2003 wurde der Dachstuhl aus diesem Grund unter der Verwendung aller wieder verwendbaren alten Konstruktionsteile neu errichtet.

Unabhängig von den Ergebnissen einer vertiefenden Bauforschung muss auf die im Erdgeschoss und im 1. OG sichtbare umfangreiche bauliche Substanz aus den 16. Jahrhundert hingewiesen werden. Auf den im südlichen Hausteil befindlichen Keller mit Tonnengewölbe (teilweise sind Spuren der Schalungsbretter zu erkennen) sind möglicherweise noch älter.

Die Einbindung der Straßenwand an die Gewölbetonne im Erdgeschoss deutet darauf hin, dass die Wand jünger ist und wohl der Wiederaufbauphase nach dem Brand von 1726 zuzurechnen ist. Auch verdienen die in zwei Räumen des 1. OG vorhandenen schlichten Bretterdecken Beachtung (siehe Kapitel 3.3).

Größere Eingriffe erfuhr das Haus in den 1970er Jahren. Diese betrafen vor allem die rückwärtigen Räume und das alte Treppenhaus. Letzteres, ursprünglich im mittleren Bereich des Hauses an der rechten Brandmauer angeordnet, musste einem Stahlbetontreppenhaus an der Hofseite weichen. Es wurden verschiedene Stahlbetondecken eingezogen. Im Bereich der vorderen Räume wurde ein fünfzügiger Schornstein eingebaut. Der überwiegende Teil der Innenwände wurde neu errichtet und verputzt. Durch den Einbau der Schwerkraftheizung mit den Zuleitungen und dem Einbau der schweren Gussheizkörper sowie dem Neuverlegen der Elektroleitungen wurden die alten Innenputze weitestgehend entfernt. In den Wohnungen wurde die alte Dielung durch die Verschraubung von Spanplatten zerstört.

### **Bewertung der Denkmaleigenschaft**

Das Anwesen Handwerk 15 ist denkmalfähig. Das ergibt sich aus seiner geschichtlichen und städtebaulichen Bedeutung, die in einem untrennbaren Zusammenhang mit der Stadtgeschichte und der Stadtbaugeschichte von Görlitz steht.

Das Anwesen hat eine städtebauliche Bedeutung. Bei der städtebaulichen Bedeutung "...geht es um die Erhaltung prägender Gebäude für das Erscheinungsbild einer Straße, eines Platzes oder eines ganzen Ortes" [4]. Ohne Zweifel ist das Handwerk 15 ein prägendes Gebäude für das Erscheinungsbild der gesamten näheren Umgebung. Es ist Bestandteil der geschlossenen Bebauung des Handwerks, die in Görlitz typisch ist und das Stadtbild prägt. Der Straßenraum des Handwerks besteht bereits seit dem 13. Jahrhundert. Das Bild des Hauses ist schlicht, aber in dieser Schlichtheit zeitlos historisch und nicht etwa historistisch oder gar modern.

**Das Handwerk 15 ist stadtbaugeschichtlich, baugeschichtlich und städtebaulich bedeutungsvoll.** Das Gebäude ist auch nach seiner Sanierung denkmalwürdig, d. h. , es besteht ein öffentliches Erhaltungsinteresse. Das öffentliche Interesse an der Erhaltung des Anwesens Handwerk 15 beruht vor allem auf seinem wissenschaftlich-dokumentarischen Wert. Das Objekt weist Substanz aus mehreren Jahrhunderten - von der Renaissance über das Barock bis ins 19. Jahrhundert auf. Es ist ein veritables Lehrstück in Sachen Stadtbaugeschichte und Baugeschichte. Die



Basis stellt der schmale Renaissancebau dar, der im Dach "gedreht" wird, sich nach einem Brand in Teilen in einem barocken Bau wieder findet, welcher wiederum im 19. Jahrhundert noch vor der Zeit eines auf Versatzstücke zurückgreifenden Historismus erneuert und saniert wurde. Die Fenster sind in Format und Anordnung barock. Daran hat sich, wie Pläne belegen, seit 1728 (außer der Aufstockung um ein drittes Obergeschoss) nichts geändert (siehe Abbildung 1.2).

Entstellende Veränderungen beschränken sich auf das Innere der Obergeschosse im hinteren zum Hof weisenden Hausbereich. Die gesamte Außenhaut, die Raumstruktur der straßenseitigen stets zu Wohnzwecken genutzten Räume und das Dach in seiner Veränderung von 1856 sind unverändert. Es dominiert also der Zustand von 1728.

Das Gebäude ist Teil der Blockrandbebauung des Handwerks, dessen denkmalpflegerischer Wert im Charakter von Geschlossenheit und Ursprünglichkeit liegt, wozu nicht nur der insgesamt historische Hausbestand, sondern auch die in großen Granitplatten bestehenden Fußwege beitragen. Bei der Bewertung eines Einzeldenkmals wie dem Handwerk 15 ist auch die Zugehörigkeit zu einem Gesamtzusammenhang wie hier zum insgesamt höchst denkmalrelevanten Straßenzug zu betrachten. Insofern hat der Bau eine Bedeutung für die Umgebung und das Ortsbild. Er ist ein nicht wegzudenkender Bestandteil des Ortsbildes im Bereich der alten Stadt [1].

## 1.2 Erhaltene und instandgesetzte Originalsubstanz

Die energetischen und instandhaltungsbezogenen Maßnahmen tragen zum nachhaltigen Sanieren kulturellen Erbes genauso bei wie die vorgenommenen Restaurierungsarbeiten. Sie sind Grundvoraussetzung für eine anhaltende (Wieder-) Nutzung dieser historischen Bausubstanz unter Gewährleistung der heutigen Nutzungsanforderungen.

An der Geschichte des Gebäudes Handwerk 15 lässt sich sehr gut nachvollziehen, dass eine unterlassene Anpassung an veränderte Bedürfnisse zum Leerstand führt. Diese Leerstände und die nicht fachgerechte Sanierung in den 70er Jahren führten bereits zu starken Schäden und zu einem Verlust von historischer Originalsubstanz.

Im Vorfeld der Sanierung musste man sich ausführlich mit der Denkmalfähigkeit und Denkmalwürdigkeit des Baudenkmals auseinandersetzen, um herauszufinden, was erhaltenswert ist und welche Nutzungsanpassungen möglich sind.

Das Einbinden der Denkmalbehörden in den Planungsprozess fand schon vor dem Kauf des Gebäudes statt. Die Begleitung der Sanierung durch den Restaurator ermöglichte eine fachübergreifende Zusammenarbeit. Gemeinsam mit dem Planer führte er eine umfangreiche Befunduntersuchung durch.

**Die während der Sanierung vorgenommenen Veränderungen verletzen nicht die Kriterien, die 2003 zur Begründung des Denkmalwertes herangezogen**

**Beurteilung des  
Einflusses der  
Sanierung auf den  
Denkmalwert**



**worden sind. Dieser Sachverhalt wurde von der Unteren Denkmalschutzbehörde Görlitz auf Antrag der Bauherrin zur Feststellung der Denkmaleigenschaft im Januar 2006 beschieden [5].**

Die Bauherrin und der Planer tragen die rechtliche Verantwortung und das wirtschaftliche Risiko. Die zuständigen Prüfengeure für Baustatik und baulichen Brandschutz sowie der Restaurator stehen beratend zu Seite. Durch die zukunfts-gerechte Nutzbarmachung der Altbausubstanz wurde gegenüber dem Neubau auf der grünen Wiese keine Fläche zusätzlich versiegelt. Weiterhin wurde keine Energie für die Herstellung der Baumaterialien für den Rohbau benötigt. Zum Beispiel konnte das beim Wiederaufbau des Daches aufgearbeitete Altholz verwendet werden. Für die Restaurierung der Holzbalkendecken konnte ebenfalls auf Altholz zurückgegriffen werden. Dem gegenüber steht, dass überwiegend ohne spezielle Mechanisierung gearbeitet werden musste, was zu höheren Baukosten führte. Die Bauherrin musste alle denkmalpflegerischen Mehraufwendungen allein tragen.

Durch die Sanierung konnte ein Totalverlust von städtebaulich bedeutsamer Bau-substanz verhindert werden. Ohne diese Sanierung prognostizierte der Prüfstatiker für den heutigen Zeitpunkt die ersten Teileinstürze.

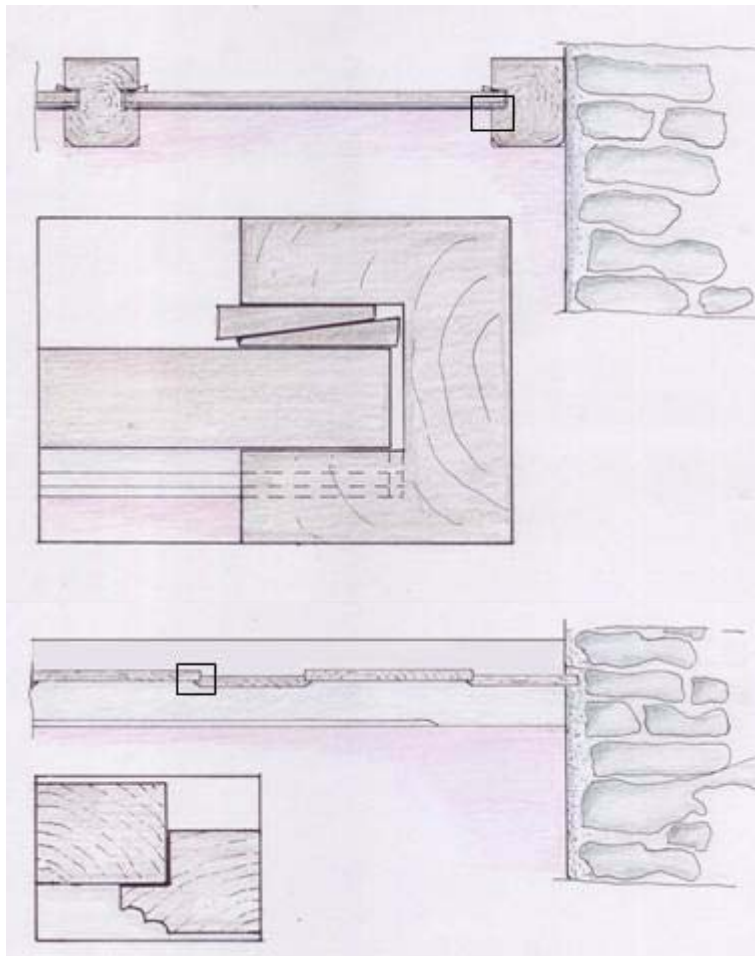
#### **Kubatur des Gebäudes**

Die Kubatur des Vorgängerbaus und des barocken Baus konnte vollständig erhalten werden (vgl. Abbildung 1.2 , Anhang Zeichnungen). Im Tonnengewölbe (EG) wurde die statisch ungünstige außermittig angeordnete Innenwand aus dem 19. Jahrhundert abgetragen. Die Stahlbetontreppe aus den 70er Jahren des 20. Jahrhunderts beeinträchtigte das Erscheinungsbild des Kulturdenkmals negativ. Sie wurde zurück gebaut. Im Erdgeschoss und im 1. Obergeschoss wurde die Kubatur wieder hergestellt. Die Herstellung der Standsicherheit des Gebäudes in den oberen Geschossen war vorrangig gegenüber der Erhaltung von Bausubstanz aus dem 19. Jahrhundert.

#### **Restaurierung der Decke über dem 1. OG Nord**

Im nördlichen Bereich des 1. OG befand sich der repräsentative Raum des Gebäudes. Die darüber liegende Decke überspannt die gesamte Hausbreite parallel zur Straße. Das Fälldatum des Holzes eines Deckenbalkens wurde mittels einer dendrochronologischen Untersuchung auf 1727 bestimmt. Die Balken wurden sicher durch Handarbeit gesägt und mit einer Stoßaxt bearbeitet.

Aufgrund der Anordnung der Einschubbretter hat dieser Deckentyp den Namen Kriech- und Deckerdecke erhalten. Dafür wurde der Deckenbalken versetzt und in Handarbeit ausgestemmt. Eine Besonderheit stellt die doppelte halbrunde Profilierung der Einschubbretter dar. Diese wurden zur damaligen Zeit mit einem Profilho-bel angefertigt (siehe Abbildung 1.3).



**Schnitt längs zur  
Spannrichtung**

**Schnitt quer zur  
Spannrichtung**

Abb. 1.3: Kriech- und Deckerdecke

Die Decke wurde in der Zeit des Barocks grob behauen, um eine ebene Verschalung mit Stuckprofilen anbringen zu können. Die Oberfläche der Balken wurde dabei stark beschädigt (siehe Abbildung 1.4) und der Querschnitt reduziert. Die Profilierung der Profile konnte nicht mehr nachkonstruiert werden.

Die Stuckkante wurde vermutlich in den 70er Jahren erneuert. Der lange anhaltende Leerstand mit Undichtheiten im Dach führten zu einer sehr hohen Feuchtigkeit der Decke insbesondere der Deckenschalung. Die Schalung musste entfernt werden, da die Decke sichtbar bleiben sollte. Der vorhandene monochrome Anstrich war so stark durch Feuchtigkeit zersetzt, dass dieser nicht mehr erhalten werden konnte. Der Befund wurde dokumentiert und diente als Grundlage für die heutige Fassung. Die Decke wurde instand gesetzt und restauriert. Für die Restaurierung konnte die Bauherrin einen gelernten Kirchenmaler gewinnen, der einen großen Erfahrungsschatz bei der Restaurierung derartiger Decken in Görlitz und die notwendigen handwerklichen Fähigkeiten besitzt. Die Erfahrungen wurden innerhalb einer Familie von Generation zu Generation überliefert. Als Anstrichsystem wurde ein Kaseintempera - Farbsystem gewählt (siehe Abbildung 1.5) .



*Abb. 1.4: Decke über dem 1. OG Nord, Kriech- und Deckerdecke, starke Schädigung der Oberfläche der Balken und Querschnittverlust*

Für die Instandsetzung und Restaurierung dieser einen Decke wurden über 400 Arbeitsstunden benötigt. In den vergangenen anderthalb Jahrzehnten konnten in Görlitz viele bemalte Holzbalkendecken gesichert und restauriert werden. Holzbalkendecken ohne Bemalung, wie die Decke über 1.OG Süd sind i. d. R. nicht förderfähig. Sie sind dennoch Ausdruck der guten handwerklichen Fähigkeiten vorangegangener Generationen und besitzen ferner eine baugeschichtliche Bedeutung vor allem für die wissenschaftlich-dokumentarische Arbeit.

#### **Ablauf Sanierung Holzbalkendecke**

Folgende Arbeiten wurden ausgeführt:

- Befunduntersuchung und baubegleitende Dokumentation,
- Freilegung, Tragfähigkeitsprüfung und Holzschutz der Balkenköpfe,
- Abnahme der Deckenverschalung,
- Lagesicherung der Einschubbretter mit mehr als 1 250 Holzkeilen,
- Einbau eines Rieselschutzes,
- holzmäßige Instandsetzung durch Aussetzen der Fehlstellen mit Altholz der Deckenbalken,
- Ergänzung von fehlenden bzw. schadhaften Einschubbrettern mit Altholz,
- farbliche Fassung der Decke anhand der Befundlage.





Abb. 1.5: Decke über dem 1. OG Nord, Kriech- und Deckerdecke nach der Restaurierung

Die Decke auf der Südseite des 1. OG stammt aus der Zeit des Wiederaufbaus des Hauses nach 1728.

**Restaurierung der  
Decke über dem 1.  
OG Süd**



Abb. 1.6: Decke über dem 1. OG Süd vor der Restaurierung



Die Holzbalken sind so bearbeitet, dass die Profilansätze (Fasen) in der Breite und im Punkt des Ansatzes erheblich variieren.

Beim Einbau des Treppenhauses in den 70er Jahren des 20. Jahrhunderts wurden die Balken durch die neue Wand geteilt und im Treppenhaus gekappt. Die Einschubretter sind eingestemmt und verleistet (siehe Abbildung 1.6). Die Decke wurde durch den Restaurator dokumentiert. Die Einschubretter waren infolge von Feuchtigkeitseinwirkungen zum Teil sehr stark geschädigt. Die ersetzten Einschubretter und Leisten wurden aus Altholz gefertigt (siehe Abbildung 1.7).



Abb. 1.7: Decke über dem 1. OG Süd nach der Restaurierung

### **Sanierung der Dachkonstruktion**

Wegen zu starker Schäden (Befall durch echten Hausschwamm, Überbelastung und irreversible starke Durchbiegungen, siehe [2.5.1]) musste das Dach wieder aufgebaut werden. Erst nach einer erneuten Ausschreibung konnte eine geeignete Zimmerei gefunden werden, welche bereit und in der Lage war, vorhandene Bauteile der alten Dachkonstruktion wieder einzusetzen (siehe [2.6]).

Die überdimensionierten Aufschieblinge stellen einen städtebaulichen Defekt dar. Dieser Nachteil wurde behoben (siehe Abbildung 1.2).

### **Fassaden**

Baubegleitend fanden bauarchäologische Untersuchungen der Fassaden statt.

"Die gesamte Fassade wurde mindestens einmal, wahrscheinlich öfter vollständig überputzt. Dafür wurde jeweils der alte Putz nahezu vollständig abgeschlagen. Deswegen ist bis auf einen Rest keine originale Oberfläche des bauzeitlichen Putzes im Putzgefüge vorhanden. In den Fugen des Mauerwerks und direkt auf den



Steinen ist noch ein sehr heller, bindemittelreicher Mörtel mit scharfkantigen Zuschlägen (bis 2 mm) erkennbar. Das ist mit Sicherheit ein barocker Mörtel. Auf einem Stein im EG hat sich eine ältere Putzoberfläche mit barocken, ockerfarbenen Fassungsresten erhalten. Diese kann Teil der bauzeitlichen Fassung sein." [6].

Diese Befundlage wurde als Grundlage für die Fassadengestaltung verwendet.

Die hier umgesetzten Möglichkeiten einer Anpassung eines WDVS auf die Belange der Denkmalspflege müssen weiter bekannt werden. Der Restaurator stellte dazu fest: "Es ist keine wesentliche Veränderung des Erscheinungsbildes der hofseitigen Fassade bei der geplanten Wärmedämmung zu befürchten, wenn diese die vorhandene und geplante Struktur aufnimmt und zudem rückbaubar ist. Weiterhin ist es keine auf repräsentative Wirkung gearbeitete Fassade. Sie wurde beim Umbau 1856 angelegt und mehrfach ausgebessert, zuletzt in den 70er Jahren des 20. Jahrhunderts, sodass die ursprüngliche Fassade quasi verloren ist." [6]

Das Erscheinungsbild dieses WDVS an der Hoffassade unterscheidet sich nicht gegenüber der Straßenfassade.



### 1.3 Architektonisches Gestaltungskonzept

Das Ziel der Stadtbildpflege ist die Aufwertung der Ästhetik der Baudenkmale. Sie richtet sich nach den jeweiligen Befundlagen des Gebäudes und nach dem Gesamterscheinungsbild in der Straße. Das Gestaltungskonzept wurde in enger Zusammenarbeit mit der Stadtbildpflege Görlitz, dem Restaurator sowie dem Görlitzer Fortbildungszentrum für Handwerk und Denkmalpflege e. V. in Görlitz entwickelt.

#### Fassadengestaltung

An den Fassaden waren keine wesentlichen originalen Befunde vorhanden (siehe [6]).

Anhand der älteren Putzoberfläche mit barocken ockerfarbenen Fassungsresten wurde in Anlehnung an das angenommene Original (Analogie) eine barocke Fassadengestaltung ausgeführt. Deren Gestaltung lehnt sich an die in der Stadt vorhandene Befundlage an. Die malerische Nutung der Rustika an der Straßenfassade korrespondiert mit dem Rückbau des 3. OG und wurde nach Abschluss der Sanierung ausgeführt. Das Gurtband oberhalb des EG ermöglicht in Zukunft auch eine teilweise Instandsetzung des EG ohne einen sichtbaren Farbanstrich.



Abb. 1.8: Straßenansicht links vor und rechts nach der Sanierung, aufgesetztes 3. OG von 1856 führte zu einer untypischen Dachform



## Eingangstüren und Fenster

Bei der Gestaltung der Eingangstüren und Fenster wurde auf Zeichnungen vor dem Umbau in den 70er Jahren des 20. Jahrhunderts zurückgegriffen (siehe Abbildung 1.9 und Abbildung 1.10). Die klassizistische Hauseingangstür wurde anhand der Originalzeichnung wieder hergestellt. Das führt zu einer barocken Fassadengestaltung mit klassizistischen Einbauelementen. Analog wurde die Gestaltung der Fenster an den Klassizismus angelehnt.

Die Höhe der Fenster im 1. DG musste im Gegensatz zu dem ursprünglichen Gestaltungskonzept aufgrund der notwendigen Fensteröffnung für das 2. Rettungsfenster vergrößert werden. Umso mehr gewinnt die Nutzung im Erdgeschossbereich an Bedeutung, da sie die Gewichtung wieder nach unten verlagert (siehe Abbildung 1.8).



Abb. 1.9: Rundbogenfenster im EG, Anfertigung nach der in der Bauakte vorgefundenen Fensteransicht

Die Fensteröffnung des Rundbogenfensters im EG sowie die Fensteraufteilung wurden anhand der in der Bauakte vorgefundenen Fensteransicht wieder hergestellt (siehe Abbildung 1.9).

Bei der baubegleitenden bauarchäologischen Untersuchung an den Fassaden wurde festgestellt, dass die Fensteröffnungen in den 70er Jahren des 20. Jahrhunderts stark verändert wurden. Eine Anpassung an eine barocke Fenstergestaltung hätte beantragt werden müssen. Eine Genehmigung war in absehbarer Zeit nicht erzielbar, sodass die genehmigte Fenstergestaltung umgesetzt wurde.





Abb. 1.10: Hauseingangstür, schadhafte Hauseingangstür aus dem 20. Jahrhundert (links), Anfertigung nach der in der Bauakte vorgefundenen Originalzeichnung (rechts)

### **Dachliegefenster als 2. Rettungsweg und Lichtband**

Die Dachlandschaft wurde durch den Einbau des Dachliegefensters, als 2. Rettungsweg in der Gaube auf der straßenseitigen Dachschräge nicht gestört, da es sich dort einfügt und an die in der Stadt vorhandene Dachfenstergestaltung anlehnt. Sie ist von der Straße aus nicht einsehbar (siehe Anlage Gebäudeschnitt).

Das Haus weist für die Görlitzer Altstadt eine typische Gebäudetiefe von ca. 17,0 m auf. Die Beleuchtungsverhältnisse sind durch die verhältnismäßig kleine Fensterfläche unbefriedigend. Die Tageslichtverhältnisse in 3 Geschossen wurden durch die Anordnung eines Lichtbandes in der Dachgalerie und in der Treppenanlage wesentlich verbessert.

Die geplante Anordnung des Ausstiegsfensters mit dem Lichtband auf der hofseitigen Dachschräge ermöglicht eine größtmögliche geschlossene Dachfläche und eine Rückbaubarkeit gegenüber sonst eingesetzten Dachgauben.

### **Balkonanlage und Dachterrasse**

Ein Balkon und eine Dachterrasse verbessern die Vermietbarkeit erheblich und sichern somit eine lang anhaltende Nutzung. Der Balkon soll sich als neues Bauelement vom historischen Bauwerk abheben. Ohne zusätzliche nachbarrechtliche Genehmigung dürfen bis zu 1,5 m tiefe Balkone angebracht werden. Um die Belichtung durch Verschattung nicht unnötig zu verschlechtern und eine ansprechende Gestaltung zu ermöglichen, wurde der äußere Stahlträger leicht gewölbt. Die Füll-elemente aus VSG - Glas wurden mit einer Mattfolie hergestellt, um ein Sichtschutz zu ermöglichen.



Auf die Einpassung der ca. 12 m<sup>2</sup> großen thermischen Solaranlage wurde besonderer Wert gelegt (siehe Kapitel 3.3). Die Anlage ist durch die Brüstung der Dachterrasse verdeckt. Das Kriterium der Uneinsehbarkeit der Anlage von den Görlitzer Türmen ist erfüllt.

## **Einpassung der Solaranlage**

In der langen Zeit des Genehmigungsverfahrens ist der favorisierte Solaranlagenhersteller in Insolvenz gegangen. Deshalb musste ein anderes System installiert werden. Der Restaurator empfahl Systeme, die leicht rückbaubar sind und sich deutlich als neue Bauelemente abheben. Mit den installierten Vakuum - Röhrenkollektoren erreicht man eine nahezu geschlossene Dachhaut, sodass nur wenige Dachsteine für einen eventuellen Rückbau im DG gelagert werden müssen. Die Dacheindeckung bleibt sichtbar (siehe Kapitel 3.3).

Die Farbgestaltung orientiert sich an der Befundlage. Die vom Restaurator vorgeschlagene Fassung wurde für das Erdgeschoss und das 1. Obergeschoss übernommen. Die Wände wurden nicht tapeziert, sondern mit einer Silikatfarbe gestrichen.

## **Farbgestaltung im Innenbereich**

Die Einbauelemente im Innenbereich orientieren sich wie die äußeren Einbauelemente an dem Klassizismus.

## **Einbauelemente im Innenbereich aus regionalem Holz**

Wie früher üblich wurde das Holz für die Tischlerei in der Region eingeschlagen. Ca. 25 km nördlich von Görlitz wurden für dieses Projekt 130 bis 150 Jahre alte Kiefern gefällt. Auf den nährstoffarmen Sandböden sind Kiefern mit sehr engen Jahresringen und somit mit hoher Qualität gewachsen. Die Holzqualität kommt der zur Erbauerzeit eingebauten Hölzer sehr nahe. Der Tischler hatte die Möglichkeit, die Bäume im Wald auszuwählen. Ein regionales Sägewerk verarbeitete das Holz unter Aufsicht und Anweisung des Tischlers weiter. In der Tischlerei wurden in traditioneller handwerklicher Fertigung aus dem Holz die Außen- und Innentüren, die Holztreppe, Fensterbretter und Sprossen, Sockelleisten sowie Bauholz u.a. gefertigt (siehe Abbildung 1.11). Kiefernholz findet sich auch in historischen Bauteilen im Dach und in den Holzbalkendecken wieder.

Der geringere Energieaufwand für den Transport des regionalen Holzes wirkt bei der Ermittlung des Primärenergiebedarfes für die Sanierungsmaßnahmen positiv aus. Die Wertschöpfung fand in der Werkstatt und auf der Baustelle vor Ort statt.



Wald,  
130 bis 150 Jahre  
alte Kiefern

ca. 60 km



Sägewerk,  
Holz nach  
technische  
Trocknung

ca. 70 km



Baustelle,  
Einbauelemente aus  
Holz (Fenster, Türen  
Treppen usw.)

Abb. 1.11: Einbauelemente im Innenbereich aus Holz aus der Region





## 2 Instandsetzung und energetische Baumaßnahmen

### 2.1 Wärmeschutzniveau vor und nach der Sanierung

Die energetischen Maßnahmen sind im Gebäudeschnitt im Zusammenhang grafisch dargestellt und farblich hinterlegt (siehe Anlage Energetische Maßnahmen). Das Wärmeschutzniveau des Vorsanierungs- und Nachsanierungszustandes wird in Tabelle 2.1 dargestellt.

Tab. 2.1: Wärmeschutzniveau des Gebäudes Handwerk 15 vor und nach der Sanierung

vor der Sanierung

Bauteil	Bezeichnung	U-Wert [W/m <sup>2</sup> K]
<b>Fenster</b>	Holz-Verbundfenster	2,5
<b>Außenwand</b>	Ziegel-, Misch- und Bruchsteinmauerwerk mit glattem Außenputz	1,0 - 2,5
<b>Dach</b>	Decke gegen unbeheiztes Dachgeschoss – Einschubdecke	1,0 - 1,2
<b>Decke über EG Straßenseite</b>	Gewölbe	0,7
<b>Decke über EG Hofseite</b>	Einschubdecke	1,0

nach der Sanierung

Bauteil	Bezeichnung	U-Wert [W/m <sup>2</sup> K]	
		Anford. EnEV[25]	Ausführung
<b>Fenster</b>	Holz-Kastenfenster mit 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung aus Solarglas	1,40	0,75
	Holz-Einfachfenster mit 3-Scheiben-Wärmeschutzverglasung aus Solarglas	1,30	1,10
<b>Außenwand (Straßenseite)</b>	Ziegel-, Misch- und Bruchsteinmauerwerk mit Dämmputz und kapillaraktive diffusionsoffene	0,35	0,4 - 0,6
<b>Außenwand (Hofseite)</b>	Ziegel-, Misch- und Bruchsteinmauerwerk mit WDVS aus Mineralwolllamelle, mineralischem Oberputz und einer Dispersions-	0,24	0,2 - 0,25
<b>Dach</b>	Zwischendämmung Hanf, Untersparrendämmung WDP	0,24	0,15

Bei der Sanierung dieses denkmalgeschützten Gebäudes konnte durch die Nutzung von Synergieeffekten der Wärmeschutzmaßnahmen mit ohnehin notwendigen Maßnahmen eine wirtschaftliche energetische Sanierung durchgeführt werden.



Das Gebäude befand sich in einem unbewohnbaren Zustand. Der lange Leerstand und die mangelhafte Dachkonstruktion trugen zu zahlreichen Schäden bis hin zum Befall durch echten Hausschwamm bei. Viele Gebäudeteile waren nicht stand-sicher. Alle Arbeiten mussten ohne Maschineneinsatz ausgeführt werden.

## **2.2 Erneuerung der Fenster**

### **2.2.1 Dokumentation und Beurteilung des Bestandes**

Die vorhandenen Verbundfenster stammten aus den 70-er Jahren des 20. Jahrhunderts. Sie waren durch unterlassene Instandhaltung so schadhaft, dass eine Aufarbeitung wirtschaftlich nicht vertretbar war. Die eingesetzten Fenster zeigen sehr deutlich, dass die Zusammenführung von Umweltschutz und Denkmalschutz möglich ist.

### **2.2.2 Umsetzung der Erneuerung**

In Zusammenarbeit mit FGT Glaswerk GmbH, Forstamt Görlitz, GSG Baubeschläge GmbH Elsterwerda konnte ein regionaler Kreislauf aufgebaut werden. Ergänzt wurde dieser Kreislauf durch die Firma Deventer Profile GmbH & Co KG. Das Glaswerk lieferte zum Beispiel spezielle noch nicht handelsübliche Glasaufbauten für die Kasten- und Einfachfenster, die einen guten Wärmedurchgangswiderstand und einen sehr hohen g-Wert besitzen.

Für das Forschungsprojekt wurde eine eigene Tischlerei für die Fertigung der denkmalgerechten Fenster, Türen und Treppen eingerichtet. Dabei konnte auf die jahrzehntelange Erfahrung der Tischler in der Denkmalpflege (z. T. aus dem VEB Denkmalpflege Dresden, Niederlassung Görlitz) zurückgegriffen werden. Alle Arbeitsschritte von der Auswahl der Kiefern nördlich von Görlitz bis hin zum Einbau und der Wartung dieser Bauteile wurden in Eigenregie und mit sehr vielen Eigenleistungen durchgeführt. Es wurden Maschinen mit Spezialwerkzeugen erworben.

Im Bereich des denkmalgeschützten Altbaus werden Holzfenster meist aus einer Einzelfertigung eingesetzt. Die handwerkliche Fertigung der Fenster von Tischlereien aus der Region wird zurzeit oft durch Importe aus den neuen EU- Ländern ersetzt.

In den letzten Jahren haben sich die thermischen Eigenschaften des Glases wesentlich verbessert. Der Holzrahmen ist zurzeit der Schwachpunkt des Fensters. In der industriellen Fertigung werden hochwärmedämmende Rahmen eingeführt. Die kleinen Tischlereien konnten mit ihrer Maschinenausrüstung nur selten mithalten.

Eine Alternative für diese Tischlereien stellt der hier aufgeführte Fenstertyp dar. Es gibt einen Markt für derart hochwertige Holzfenster. In diesem Projekt wurde der



Wissensstand der Universitäten und der Industrie mit den handwerklichen Erfahrungen der Tischler bei der Konstruktion zusammengeführt.

Tab. 2.2: Eingesetzte Wärmeschutzverglasung [7]

	Kastenfenster	Einfachfenster	Dachliegefenster
Glassorte	Diamantglas bzw. Solarglas (= D)		Floatglas
<b>1. Scheibe (i)</b> Glas/ Beschichtung/ Emissionsgrad	4 mm D/ Planitherm Solar/ ( $\epsilon_N = 0,09$ )	4 mm D/ Planitherm Solar/ ( $\epsilon_N = 0,09$ )	6 mm VSG/ Planitherm Futur N/ ( $\epsilon_N = 0,03$ )
<b>SZR</b>	12 mm Krypton 90%		
<b>2. Scheibe</b>	4 mm D	4 mm D	4 mm
<b>SZR</b>	-	12 mm Krypton 90%	
<b>3. Scheibe (e)</b> Glas/ Beschichtung/ Emissionsgrad	-	4 mm D/ Planitherm Solar/ ( $e_N = 0,09$ )	4 mm ESG/ Planitherm Futur N/ ( $\epsilon_N = 0,03$ )
$U_g =$	1,3 W/(m <sup>2</sup> *K)	0,6 W/(m <sup>2</sup> *K)	0,5 W/(m <sup>2</sup> *K)
g-Wert =	76 %	60 %	50 %
$\tau_v =$	82 %	75 %	70 %
Randverbund	SWISSPACER		
	( $\psi = 0,044$ W/ m)	keine Herstellerangaben	

### 2.2.3 Holzkastenfenster mit 2-Scheiben- Wärmeschutzverglasung

Kastenfenster gelten seit mehr als 100 Jahren als bewährte Fensterkonstruktion. Diese stammen ursprünglich aus der Zeit des Klassizismus und sind für Görlitz typisch. Sie sind als Zeugnis des hohen gestalterischen Anspruches und der handwerklichen Fähigkeiten wertvolles Kulturerbe. Die guten Gebrauchs- und Funktionseigenschaften und ihre ästhetische Wertigkeit in Verbindung mit den hervorragenden wärme- und schallschutztechnischen Eigenschaften sprechen für den Einsatz dieses Fenstertyps insbesondere bei historischer Bebauung (siehe Abbildung 2.1).

#### Kastenfenster



Stulpfenster als Kastenfenster mit Wärmeschutzverglasung aus Solarglas, eingelegte Sprossen im äußeren Fenster

#### Fensterart

3-fach lamellierte Kiefer mit durchgehenden Decklagen

#### Holz

Dickschichtlasursystem in 4 Arbeitsgängen

#### Beschichtung

(Imprägnierung, Grundierung, Zwischen – und Schlussbeschichtung)

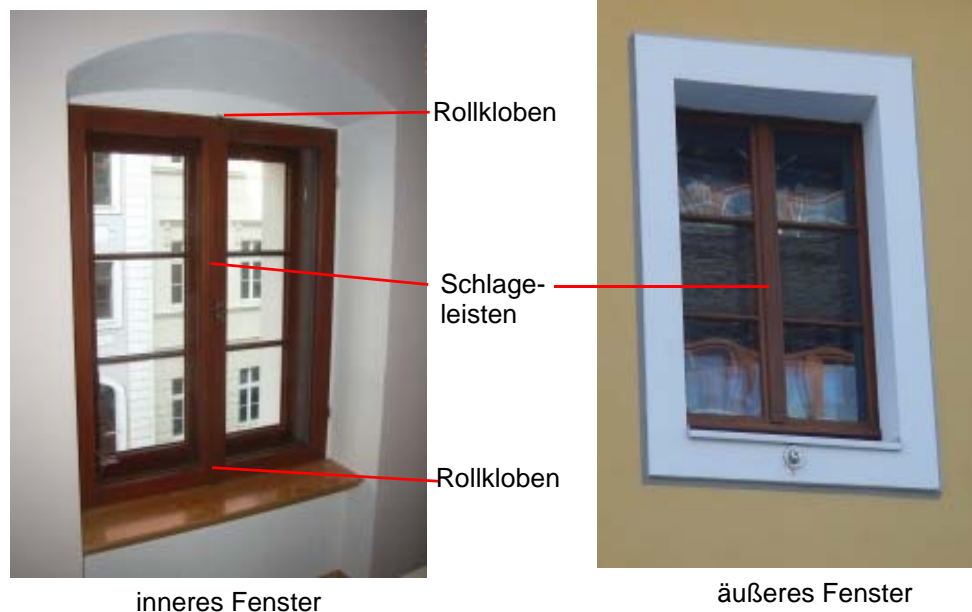


Abb. 2.1: Innen- und Außenansicht des Holz-Kastenfensters mit 2-Scheiben - Wärmeschutzverglasung aus Solarglas

### Konstruktion

Blendrahmen und Flügelhölzer besitzen als Eckverbindungen einen Doppelzapfen. Das Fenster hat jeweils einen Doppelfalz, wobei ein Falz die Gummidichtung trägt. Die Profile orientieren sich an Fenstern des 19. Jahrhunderts (siehe Anlage Zeichnung Holz-Kastenfenster). Der Flügel schlägt an die am Blendrahmen befestigte Regenschutzschiene aus Metall, die in der Außenansicht durch eine Holzleiste verdeckt wird. Die Wärmeschutzverglasung wird von innen durch Holzleisten gehalten, die durch Edelstahlstifte verdeckt befestigt sind. Die Glasleisten befinden sich jeweils zum Raum zwischen der Verglasung, um dem historischen Erscheinungsbild nahe zu kommen. Die Profilierung der Schlageleiste ist für die Görlitzer Umgebung typisch.

### Beschläge/ Dichtungsprofil

Die Stulpfenster sind für die Verwendung eines für das 19. Jahrhundert typischen Schlageleistengetriebes konstruiert, sodass der Flügelquerschnitt nicht durch die Beschlagsnut geschwächt wird. Dies ermöglicht eine Stulpansichtbreite (102 mm!), welche sich an Fenstern des vorangegangenen Jahrhunderts orientiert. Innen sitzt der Fenstergriff symmetrisch auf der Schlageleiste.

Die verwendeten Einbohrbänder sind sehr langlebig und benötigen keine metallischen Einbauteile, die thermische Schwachstellen darstellen. Auf die Kippfunktion wurde verzichtet um Dauerlüften und Spiegellungen in der Fassade durch angekippte Flügel zu vermeiden. Die Beschläge werden durch die neu entwickelte weich schließende Flügelfalzdichtung SV 125 geschont. Die Schwachstelle des Stulp-



fensters im Bereich der Dichtheit wird durch das Endstück VES 12 Stulp minimiert (siehe Abbildung 2.2).

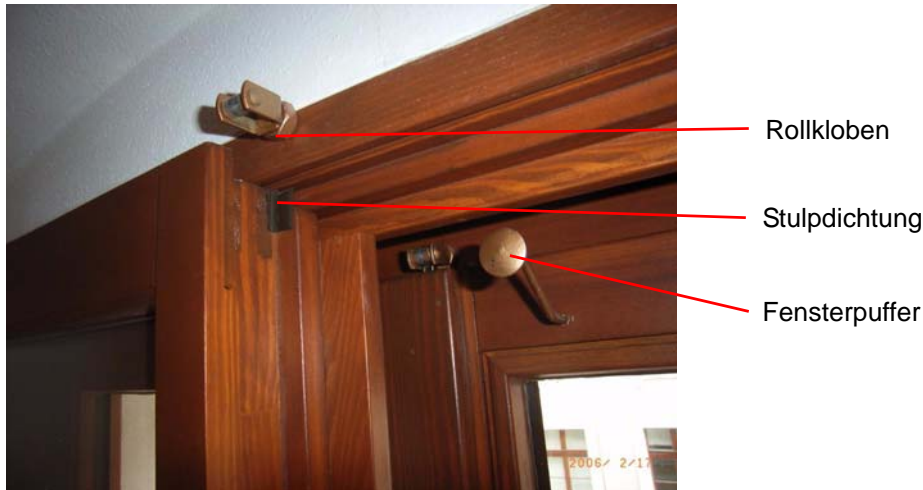


Abb. 2.2: Kastenfenster, inneres Fenster, Stulpdichtung und Fensterpuffer

Bei dem Kastenfenster mit Solarverglasung (Diamantglas, Weißglas) wurde keine Kondensatbildung auf der Innenseite der äußeren Scheibe festgestellt. Eine hohe Behaglichkeit ist bei diesem Fenstertyp auch ohne Heizflächen vor den Fenstern vorhanden.

Die zuvor geplanten Verbundfenster weisen etwa die gleichen Herstellungskosten auf wie die eingesetzten Kastenfenster. Auf der Südseite konnte durch den Einsatz dieser Kastenfenster im Gegensatz zu Einfachfenstern auf Heizflächen vor den Fenstern verzichtet werden.

Die Blendrahmen auf der Hofseite schließen bündig mit dem Mauerwerk ab. Der Rahmen wird überdämmt, sodass das äußere Erscheinungsbild beibehalten wird. Auf der Straßenseite werden die Fenster an das vorhandene Mauerwerk angeschlagen. Zusätzlich wird die Laibung gedämmt. Von dem normalen Betrachterstandpunkt wird diese Wärmeschutzverglasung als eine Scheibe wahrgenommen.

Die Stulpdichtung wurde bei den Innenfenstern komplett und bei den Außenfenstern nur im unteren Bereich eingebracht. Die inneren Fenster sind somit dichter ausgeführt. Es konnte kein Kondensat auf der Innenseite der äußeren Fenster festgestellt werden. Die Be- und Entlüftungsanlage wird mit einem leichten Unterdruck betrieben, sodass dieses Kondensatproblem von herkömmlichen Kastenfenstern noch weiter minimiert wird. Der weich schließende Gummi ist gut für historische Beschläge geeignet.

Die Lage der Beschichtung der Gläser hat einen Einfluss auf den Gesamtdurchlassgrad. Die Lage wurde so gewählt, dass der g-Wert höher ausfällt. Auf den Wärmedurchgangswiderstand hat dies nahezu keinen Einfluss.

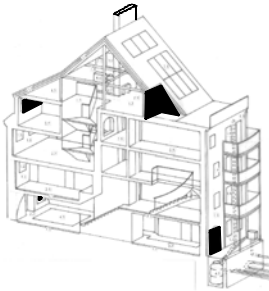
Insbesondere bei flach stehender Sonne kommt es zur Aufheizung des Scheibenzwischenraumes. Scheibenoberflächentemperaturen von ca. 60°C wurden erreicht. In der Heizperiode wirkt das Kastenfenster bei direkter Sonneneinstrahlung



wie ein kleiner Heizkörper. In den Sommermonaten kann sich dieser Effekt negativ auf den sommerlichen Wärmeschutz auswirken. Die Balkone wirken hier als ein stationärer Sonnenschutz.

#### 2.2.4 Holz-Einfachfenster mit 3-Scheiben-Wärmeschutzverglasung

##### Einfachfenster



Die Fenster in der Dachgaube, das Rundbogenfenster/ Außentür und der Dachterrassenaustritt/ Festverglasung wurden aufgrund der Einbausituation jeweils als Holz-Einfachfenster mit 3-Scheiben -Wärmeschutzverglasung aus Solarglas ausgeführt (siehe Abbildung 2.3 und Abbildung 2.4).



Abb. 2.3: Holz-Einfachfenster mit 3-Scheiben -Wärmeschutzverglasung aus Solarglas, Innenansicht

<b>Fensterart</b>	Stulpfenster mit Wärmeschutzverglasung aus Solarglas (siehe Tabelle 2.2), eingelegte Sprossen in jeden SZR (Neuheit)
<b>Holz</b>	4-fach lamellierte Kiefer mit durchgehenden Decklagen
<b>Beschichtung</b>	Dickschichtlasursystem
<b>Konstruktion</b>	Die Profile wurden gegenüber dem Kastenfenster verbreitert. Bemerkenswert sind die eingelegten Sprossen in den Scheibenzwischenräumen, die es ermöglichen, das historische Erscheinungsbild auch bei einer 3-Scheibenverglasung beizubehalten.
<b>Beschläge/ Dichtungsprofil</b>	Im Gegensatz zu den Kastenfestern wurde ein Kantengetriebe eingesetzt.



Abb. 2.4: Holz-Einfachfenster mit 3-Scheiben -Wärmeschutzverglasung aus Solarglas, Außenansicht

In der Anfangsphase kam es zu Kondensatproblemen in dem Flügelfalz. Bis Frühjahr 2009 wurde das Gebäude als Niedrigenergiehaus ohne Be- und Entlüftungsanlage mit WRG betrieben. Es wurde eine dichte Gebäudehülle hergestellt. So kommen Undichtheiten zum Vorschein, die bisher noch nicht berücksichtigt wurden. Infolge der Undichtheiten Flügel/ Glasleiste strömte feuchte warme Luft durch Konvektion über die Belüftungsöffnungen des Glasfalzes zum Flügelfalz, wo ein Teil des Wasserdampfes dieser Luft kondensierte. In sehr kalten Nächten gefror dieses Kondensat. Die Fenster konnten nicht geöffnet werden.

Weiterhin ist bei dem 2-flügligen Einfachfenster im Stulpbereich eine zusätzliche Luftundichtheit vorhanden, die mit der Stulpdichtung nur reduziert werden konnte.

Bei denkmalgeschützten Altbauten werden in der Regel keine 1-flügligen Fenster genehmigt. Die kontrollierte Wohnungslüftung wird mit einem leichten Unterdruck betrieben. Die Innenluft kann nicht in den Glasfalz- und Stulpbereich eindringen. Nach Inbetriebnahme der WRG besteht kein Mangel mehr (siehe Abbildung 2.5).

Die vorhandenen Kastenfenster sind diesbezüglich unproblematisch, ggf. muss die Dichtheit auf der äußeren Fensterebene im oberen Bereich reduziert werden.



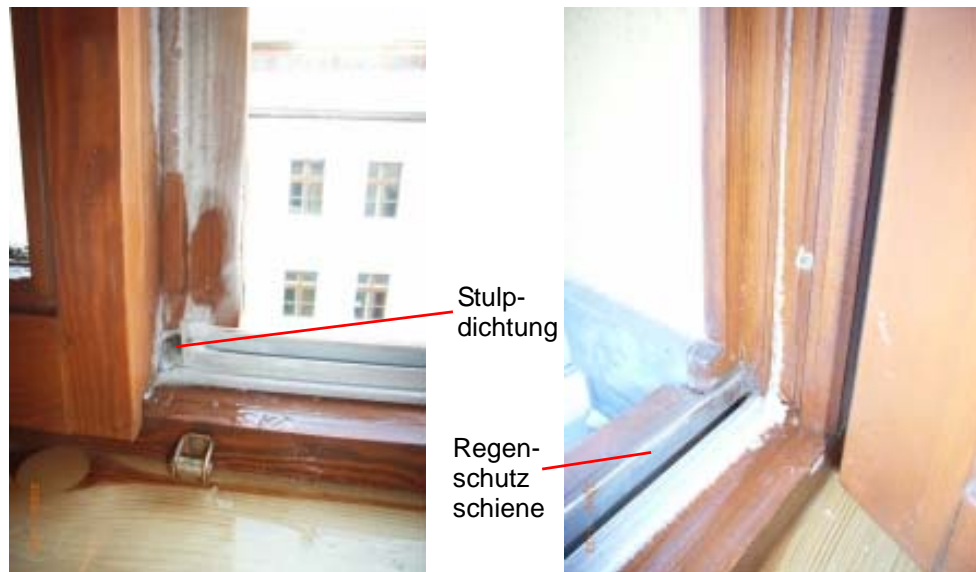
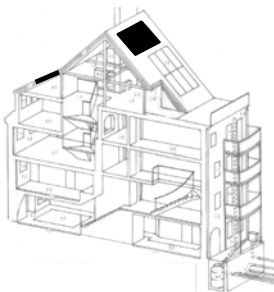


Abb. 2.5: Holz-Einfachfenster mit 3-Scheiben -Wärmeschutzverglasung aus Solarglas, 23.01.2005 Außentemperatur von -18 °C, Kondensatprobleme im Flügel falz

## 2.2.5 Dachliegefenster

### Dachliegefenster



Es wurden Dachliegefenster für eine größtmöglich geschlossene Dachfläche eingesetzt. Sie dienen als 2. Rettungsweg und als Ausstieg für den Schornsteinfeger. Handelsüblich sind zurzeit keine Dachliegefenster mit sehr guten thermischen Eigenschaften vorhanden. Ein Lichtband wurde nicht genehmigt. Daher wurden vorhandene Ausstiegsfenster mit einer 3-Scheibenwärmeschutzverglasung ( $U_g < 0,5 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ ) nachgerüstet. Der thermisch schlechte Rahmen musste in kauf genommen werden. Das Dachliegefenster auf der Nordseite besitzt eine Dachneigung von ca. 35°.





## 2.3 Sanierung der Wände

### 2.3.1 Dokumentation und Beurteilung des Bestandes

Der Keller des Gebäudes Handwerk 15 besteht aus zwei hintereinander liegenden Tonnengewölben. Die Stirnseiten der Tonnengewölbe bilden die Kelleraußenwände. Sie müssen daher keine zusätzlichen Horizontalkräfte aus dem Gewölbeschub aufnehmen. Die ca. 1,0 m dicken Außenwände nehmen den Erddruck des ca. 4,0 m tiefen Kellers auf. In den Unterlagen sind keine Aussagen über die Fundamente vorhanden; auch bei einer Suchschachtung konnten keine Fundamente im herkömmlichen Sinne festgestellt werden.

Die Wände bestehen aus einem losen Verbund aus Bruchstein (Granit und Basalt) und die Fugen aus Lehm und Kalkmörtel. An der Außenseite sind Reste einer ca. 10 bis 20 cm starken Lehmschicht als vertikale Abdichtung erkennbar. Diese Abdichtung ist vermutlich infolge der Installation der Hausanschlüsse auf der Straßenseite und durch den Anbau einer abflusslosen Grube auf der Hofseite beseitigt worden. Eine horizontale Abdichtung ist nicht vorhanden. Unter dem Aufbau des Gehweges ist ein bindiger schwer durchlässiger Boden bis zu einer Tiefe von 1,5 m vorhanden. Daran schließt sich eine nicht bindige leicht durchlässige Schicht aus Sand und Kies an. Neben einzelnen losen Steinen und Fugen war vor der Sanierung auf der Innenseite der Kelleraußenwände auch eine starke Durchfeuchtung erkennbar. Die Temperatur ist mit 8 bis 10°C relativ konstant. Die relative Luftfeuchtigkeit beträgt im Sommer nicht selten über 90 %.

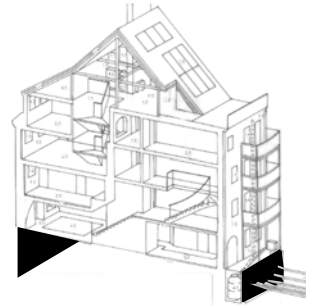
Die Außenwände des Erdgeschosses bis hin zum 2. Obergeschoss bestehen aus einem Granit-Basaltmischmauerwerk mit Bruchziegelbestandteilen mit Lehm- oder Kalkmörtelverfugung (siehe Abbildung 2.6).

Die Fenster wurden unter Verwendung eines sehr harten zementhaltigen Mörtels ersetzt (siehe Abbildung 2.14). Dabei sind die umliegenden Putzfelder mit diesem Mörtel erneuert worden.

Die gesamte Fassade wurde mindestens einmal, wahrscheinlich öfter, vollständig neu verputzt. Infolgedessen ist bis auf einen Rest keine originale Oberfläche des bauzeitlichen Putzes im Putzgefüge vorhanden. In den Fugen des Mauerwerks und direkt auf den Steinen ist noch ein sehr heller, bindemittelreicher barocker Mörtel mit scharfkantigen Zuschlägen (bis 2 mm) erkennbar. Auf einem Stein im Erdgeschoss hat sich eine ältere Putzoberfläche mit barocken, ockerfarbenen bauzeitlichen Fassungsresten erhalten. Darauf befindet sich ein bindemittelreicher Verputz mit grauen Zuschlägen (1 mm).

Auf dem zuletzt aufgetragenen Putz sind großflächige Reste eines grauen Anstriches des 20. Jahrhunderts vorhanden. Die Granitgewände der aus dem 20. Jahrhundert stammenden Eingangstür sind mit einem dünnen Zementputz und weiteren Putzschlamm überzogen worden, während an der Innenseite verschiedene Kalkputze mit Anstrichen vorhanden sind. Der Sturz besteht aus Ziegelsteinmauerwerk (siehe Abbildung 2.7).

**Kelleraußenwand**



**Außenwand EG bis 2. OG**





Abb. 2.6: Hoffassade, Außenwand aus Granit-Basaltmischmauerwerk mit Bruchziegelbestandteilen mit Lehm- oder Kalkmörtelverfugung



Abb. 2.7: Straßenfassade, Mischmauerwerk aus Granit, Basalt und Ziegelresten

Die Stärke der Außenwände reicht von ca. 95 cm im Erdgeschoss bis ca. 30 cm in den Nischen des 2. Obergeschosses. An der Straßenfassade ließ sich der Feuch-



tehorizont bis zu einer Höhe des 1. Obergeschosses visuell erkennen. Im Erdgeschoss waren starke Schäden am Putz durch aufsteigende Feuchtigkeit, Sommerkondensation und Schäden durch Salzausblühungen bis zu einer Höhe von 1,5 m vorhanden (siehe Abbildung 2.8).



Abb. 2.8: Straßenfassade, Salz und Feuchteschäden an der Erdgeschossfassade



Abb. 2.9: Außenwand, Erdgeschoss, Innenansicht





Die Fugen des Mauerwerkes waren stark sandend. Außerdem wurde gegen das Prinzip verstoßen, dass bei Putzen mit mineralischen Bindemitteln die Festigkeit des Oberputzes geringer als die des Unterputzes sein sollte, um die Temperatur- und Schwindspannungen aufnehmen zu können. Dies führte zur Schollenbildung des Putzes. In der Folge wurde die äußere Schale des darunter liegenden Mauerwerks z. T. durch Frosteinwirkung geschädigt (siehe Abbildung 2.10).



Abb. 2.10: Hoffassade, stark geschädigtes Mauerwerk, Detail

### Außenwand 1. DG



Das Gebäude wurde 1856 grundlegend verändert und um eine Wohnetage aufgestockt. Die Außenwand des 1. DG bis zum 2. DG besteht aus Mauerwerk aus einem weichen leichten Vollziegel und einem Kalkmörtel. Die Traufbereich bestand ebenfalls aus den nicht frostsicheren Ziegel. Durch das Eindringen von Feuchtigkeit waren die Ziegel in diesem Bereich zerfroren. Auf der Hofseite wurden insbesondere die Fugen zusätzlich durch das Myzel des Hausschwammes zersetzt.

An der Fassade war ein Putz mit einem hohen Zementanteil vorhanden.

### Innenwände

Die Innenwände vom Erdgeschoss bis zum 2. Obergeschoss bestehen wie die Außenwände aus Mischmauerwerk (siehe Abbildung 2.11). Die Wände nahmen innerhalb eines Geschosses auf der Ostseite i. d. R. von unten nach oben in der Breite um ca. 10 cm ab. Die Unregelmäßigkeiten im Mauerwerk der großzügig und rationell gemauerten Wände wurden mit einer dicken grauen Kalkputzschicht unter Verwendung von Bruchstücken von Ziegeln und Dachziegeln ausgeglichen. An den Wänden gibt es mehrere Putzlagen. Der oberste Putz stammt offensichtlich vom Umbau 1856. Es konnten Reste eines barocken Putzes im 1. Obergeschoss nachgewiesen werden. Auf dem Putz von 1856 gibt es als älteste Fassung einen alt-



rosaarbenen Fond mit grauem Sockel und grauer Zone unterhalb der Decke mit schwarzen und roten Begleitstrichen.

Im großen Raum an der Westwand und im Flur an der Nordwand sind Reste älterer Fassungen auf einem noch älteren Putz (vor dem Umbau 1856) vorhanden. Diese Reste weiterer Fassungen konnten nicht mehr rekonstruiert werden.



Abb. 2.11: 2. OG, Innenwände aus Mischmauerwerk, Nische zum Nachbargebäude

Die Wände zu den Nachbargebäuden bestehen aus Ziegelmauerwerk mit geschosshohen Bögen, welche mit einem Läuferverband ausgemauert wurden (siehe Abbildung 2.12). Der Putz im 1. Dachgeschoss stammt offensichtlich vom Umbau 1856. Es gibt an der Wand Reste der Anstriche aus dem 19. und 20. Jahrhundert. Das 2. Dachgeschoss ist unverputzt (siehe Abbildung 2.13).

Durch die nur 1 Stein breite Ausmauerung der Bögen sind die Mindestanforderungen an eine Brandwand nach der Sächsischen Bauordnung nicht erfüllt. Weiterhin besitzen die Wände in diesem Bereich einen schlechten Schallschutz.

Im 1. Dachgeschoss ist eine Fachwerkwand aus der 2. Hälfte des 19. Jahrhunderts vorhanden. Sie ist mit einem Läuferverband ausgemauert. Infolge der starken Schäden der Decken (siehe Kapitel 2.4.4) wurde diese zurückgebaut.



*Abb. 2.12: Innenwände aus Ziegelmauerwerk im 1. Dachgeschoss*



*Abb. 2.13: Innenwände aus Ziegelmauerwerk im 2. Dachgeschoss*





### 2.3.2 Innendämmung der Straßenfassade

Bei dem vorgefundenen stark geschädigten Mauerwerk wurde auf der Innen- und Außenseite jeder Stein auf ausreichenden Verbund mit den dahinter liegenden Schichten und jede Fuge auf hinreichende Festigkeit überprüft. Ggf. wurden die Steine neu eingesetzt und große Fehlstellen fachgerecht ausgemauert. Die geschädigten Fugen wurden erneuert. Bei den Arbeiten wurde insbesondere auf ein abnehmendes Festigkeitsgefälle von innen nach außen geachtet. Diese Arbeiten können nur von sehr erfahrenen Facharbeitern durchgeführt werden (siehe Abbildung 2.14). Aufgrund der großen Hohlräume im Mauerwerk wurde auf eine Verfestigung des Außenmauerwerkes mittels Injektionsverfahren verzichtet. Die Deckenspannrichtung verläuft parallel zur Außenwand, so dass keine zusätzlichen Vertikalkräfte aus den Decken in das Außenmauerwerk eingeleitet werden mussten.

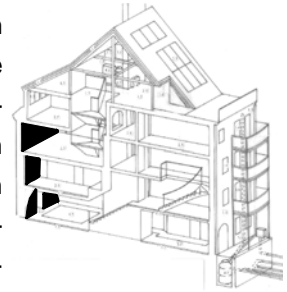


Abb. 2.14: Straßenfassade, aufwendige Sanierung des vorhandenen Mauerwerkes, Fensterleibung von der Sanierung aus den 1970er Jahren





### Geeignete Materialien für rissanfälliges Mauerwerk

Der vorhandene Fassadenputz mit einem sehr hohen Anteil an Zement besaß konstruktionsbedingte, putzgrundbedingte und putzbedingte Risse. Der vorhandene Putz hatte eine Putzstärke von bis zu 5,0 cm. Da der vorhandene Putz langfristig das Mauerwerk noch mehr geschädigt hätte, wurde er vollständig ersetzt.

In den Fassaden waren eine Vielzahl von Materialübergängen, alten nicht mehr genutzten Mauerwerksbögen und Stürze und zugesetzte Fenster vorhanden (siehe Abbildung 2.10 und Abbildung 2.14). Ein kraftschlüssiger Verbund war in den wenigsten Fällen gewährleistet. Es ist weiterhin mit konstruktionsbedingten Putzrissen zu rechnen.

An der Straßenfassade wurde die kapillaraktive diffusionsoffene Innendämmung im 1. und 2. OG mit einem herkömmlichen Dämmputz kombiniert (siehe Abbildung 2.15). Durch die Anwendung des Dämmputzes entspannt sich die hygrische Situation an der kalten Seite der Innendämmung (siehe Abbildung 2.16). Die vorhandenen Unregelmäßigkeiten im Mauerwerk, z. B. Löcher bis 10 cm Tiefe, können nur mit einem Dämmputz mit organischen Zuschlagsstoffen geschlossen werden. Gleichzeitig wird eine hohe Rissicherheit erreicht. Im EG-Bereich wurde ein mineralischer Dämmputz ausgeführt.

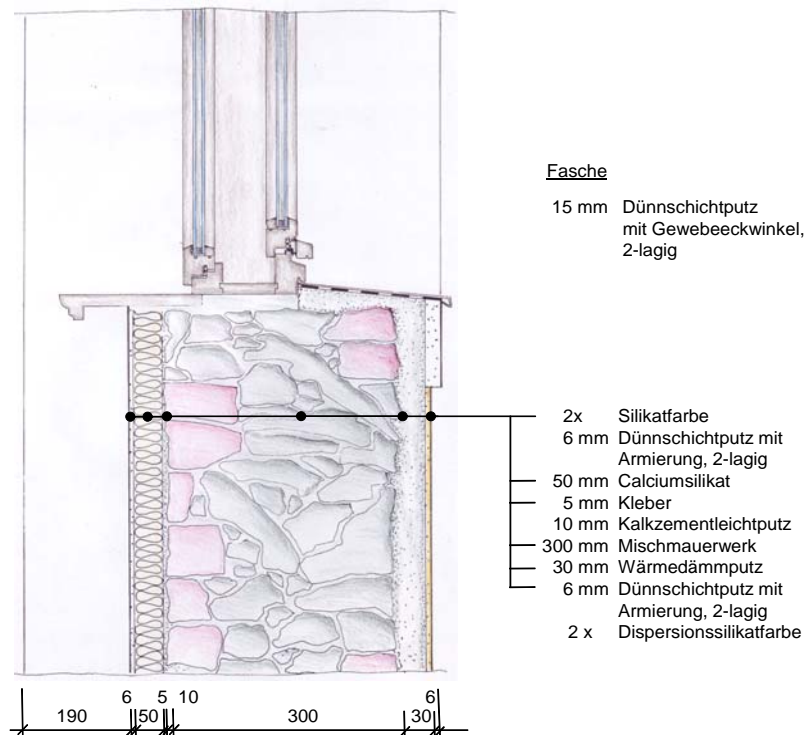


Abb. 2.15: 2.OG Nord, Fenster-nische, Innendämmung aus Calciumsilikat und Wärmedämmputz (außen)

An der Straßenfassade kann bei einem derart hochwertigen Baudenkmal aus denkmalpflegerischer und aus ästhetischer Sicht zurzeit ein WDVS nicht empfohlen werden. Die Anwendung des Sanierungsverfahren F5 – Wärmedämm - Putzsystem mit wärmedämmendem Unterputz und wasserabweisendem Oberputz reduziert die Rissanfälligkeit [8].



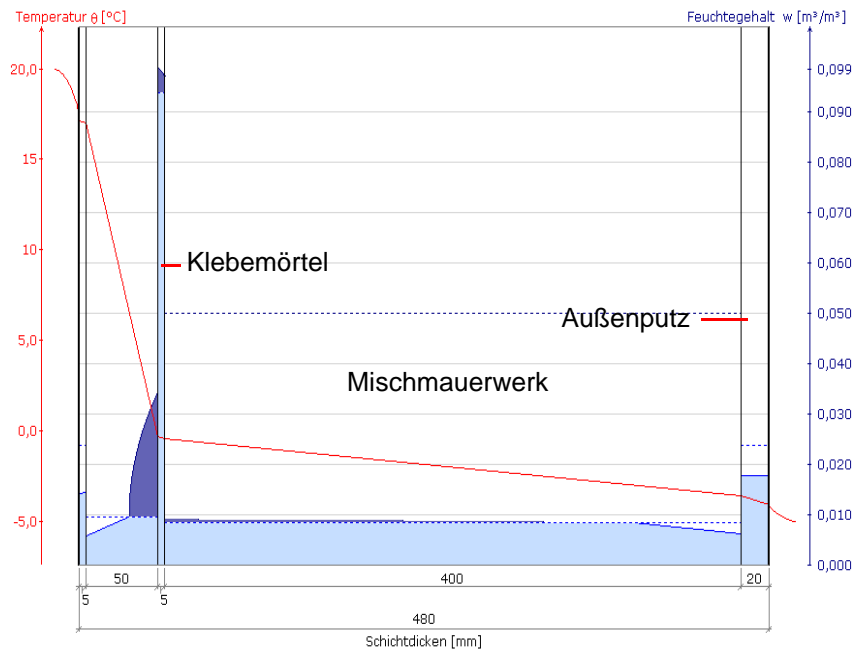
1. Aufbringen eines Spritzbewurfes auf das instand gesetzte Mauerwerk (siehe **Arbeitschritte** Abbildung 2.14).
2. Nach einem Tag Standzeit: Im Bereich des 1. und 2. Obergeschosses Anspritzen und Aufkämmen eines organischen Wärmedämmputzes (WGL 070) mit einer Schichtstärke von bis zu 50 mm mittels Putzmaschine
3. Da z. T. sehr große Unebenheiten vorhanden waren: nach einer Woche 2. Arbeitsgang notwendig.
4. Nach dem Verstoßen des Unterputzes Armierung der ganzen Fläche mit einem speziellen Dünnschicht- und Ausgleichsputz. Die Armierung im Bereich der Fenstergewände wurde um das Übergreifungsmaß nicht mit dem Dünnschicht- und Ausgleichsputz versehen.
5. Die Fensterfaschen wurden später zusätzlich mit einem Gewebeeckwinkel und einem Dünnschicht- und Ausgleichsputz hergestellt und mit Kornstärke abfilzt.
6. 1 Tag später: Separates Abfilzen der Fläche.
7. Nach einer Standzeit von 4 Wochen: Aufbringen eines rissüberbrückenden Anstrichsystems auf Dispersionssilikatbasis.

Im Erdgeschossbereich erfolgten die analogen Arbeitsschritte bei der Verwendung des mineralischen Dämmputzes, wobei eine wesentlich längere Standzeit zu beachten war.

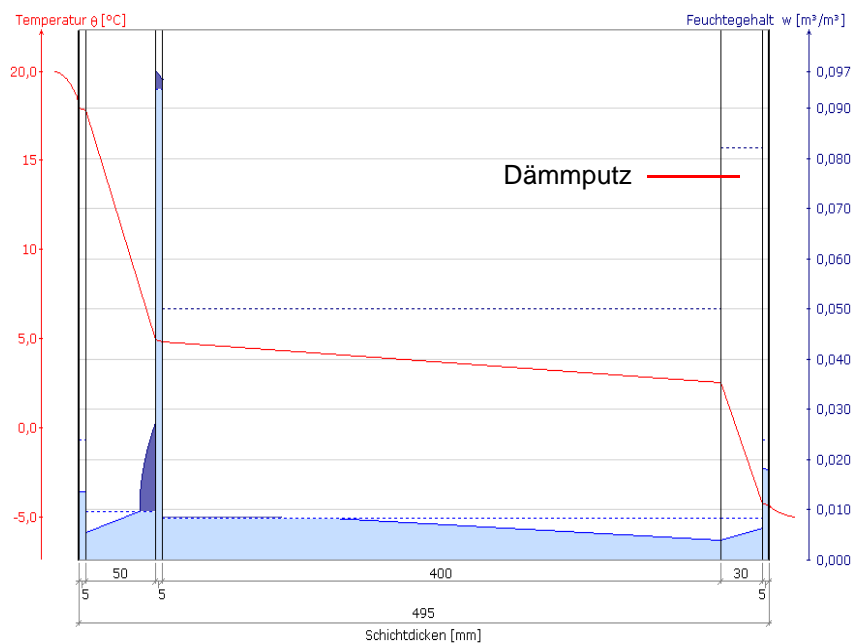
Bei dem Innenputz muss das starke Saugverhalten des Calciumsilikats berücksichtigt werden. Die Platten sind werkseitig grundiert. Das Aufziehen des Dünnschichtputzes und das Armieren sollten in einem Arbeitsgang zügig erfolgen. Das sofortige Abfilzen der Fläche mit dem Dünnschichtputz hat sich bewährt.

Die Materialkennwerte des Mischmauerwerkes wurden von im institutseigenen Labor ermittelten Werten abgeleitet, wobei jeweils die ungünstigeren Werte für die hygrothermischen Berechnung angesetzt wurden.

Bei tiefen Außentemperaturen bis  $-21^{\circ}\text{C}$  konnte ohne den Einsatz der Lüftungsanlage kein Kondensat an der kalten Seite der Wärmedämmung festgestellt werden (siehe Abbildung 4.18).



Innendämmung ohne Dämmputz, Kondensatmenge ca. 0,5 kg/m<sup>2</sup>



Innendämmung mit Dämmputz außen, Kondensatmenge ca. 0,2 kg/m<sup>2</sup>

Abb. 2.16: Hygrothermische Berechnung mit dem Programm COND, 5 cm Calciumsilikat – Innendämmung, Reduzierung der Kondensatmenge von ca. 0,5 auf ca. 0,2 kg/m<sup>2</sup> mit Dämmputz an der kalten Seite der Wärmedämmung

Die kritischen Details wurden in der Bauphase mit einem einfachen Wärmebrückenprogramm und dem Programm COND berechnet und optimiert.



Bei der straßenseitigen Außenwand mit Innendämmung wurde im Bereich des Strichbalkens ein Heizungsrohr unter Putz verlegt, um in diesem Bereich einen bauteil unkritischen Feuchtegehalt zu garantieren.



Heizungsrohr im Bereich des Strichbalkens an der Außenwand

Randdämmstreifen zur Entkopplung des Dämmputzes/ Holzbalkendecke

Abb. 2.17: 1. OG Wohnküche, Wandheizung über Wärmedämmputz, Zuführung an Wandheizflächen über Fußbodenheizung

### 2.3.3 Innendämmung der Brandwände

Calciumsilikat besitzt sehr gute brandschutztechnische Eigenschaften. Im 1. und 2. DG wurde die Innendämmung aus Calciumsilikat zur Errichtung der Brandwände und zugleich zur Wärmedämmung zu den Nachbargebäuden großflächig eingesetzt (siehe Abbildung 2.18).

Der Leerstand in den Nachbargebäuden ist der größte Unsicherheitsfaktor für das Erreichen des Passivhausstandards bei diesem Gebäude. Die untere Wohnung im Gebäude wird nur temporär beheizt. Das verwendete Calciumsilikat besitzt ein sehr geringes Schwind- und Kriechverhalten gegenüber anderen Baustoffen. Auch bei äußerst problematischen Putzuntergründen (z. B. Mischmauerwerk) konnte an den Wänden mit Calciumsilikat keine Rissbildung festgestellt werden.

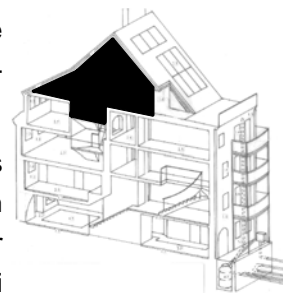
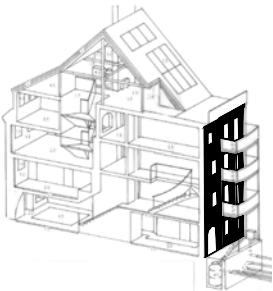




Abb. 2.18: Haustrennwand im 2. DG, West, Calciumsilikat zur Herstellung der Brandwände und als Wärmedämmung

### 2.3.4 Außendämmung der Hoffassade



Bei dem Wärmedämmverbundsystem (WDVS) (siehe Abbildung 2.20) wurde das Erscheinungsbild eines gefilzten Putzes mit aufgesetzten Faschen beibehalten. Visuell ist kein Unterschied zwischen Hof- und Straßenfassade erkennbar (siehe Abbildung 1.8, Abbildung 1.9 und Abbildung 2.20). Der eingesetzte mineralische Leichtputz als Oberputz wurde nach den Vorgaben des Stadtbildpflegers eingefärbt. Nach einer Grundierung wurde ein rissüberbrückendes Anstrichsystem auf Dispersionssilikatbasis aufgebracht.

Anzeichen für eine beginnende Veralgung des WDVS konnten nicht festgestellt werden. Die starke Krümmung in der Hoffassade konnte mit der Anwendung einer Mineralwolllamelle beibehalten werden (siehe Abbildung 2.20). Bei dem unebenen und unregelmäßigen Mauerwerk wurden vier verschiedene Dübellängen zur konstruktiven Verdübelung zusätzlich zu der Verklebung verwendet.

Die hier umgesetzten Möglichkeiten einer Anpassung eines WDVS an die Belange der Denkmalpflege sind beispielgebend und sollen einer breiten Öffentlichkeit bekannt gemacht werden.

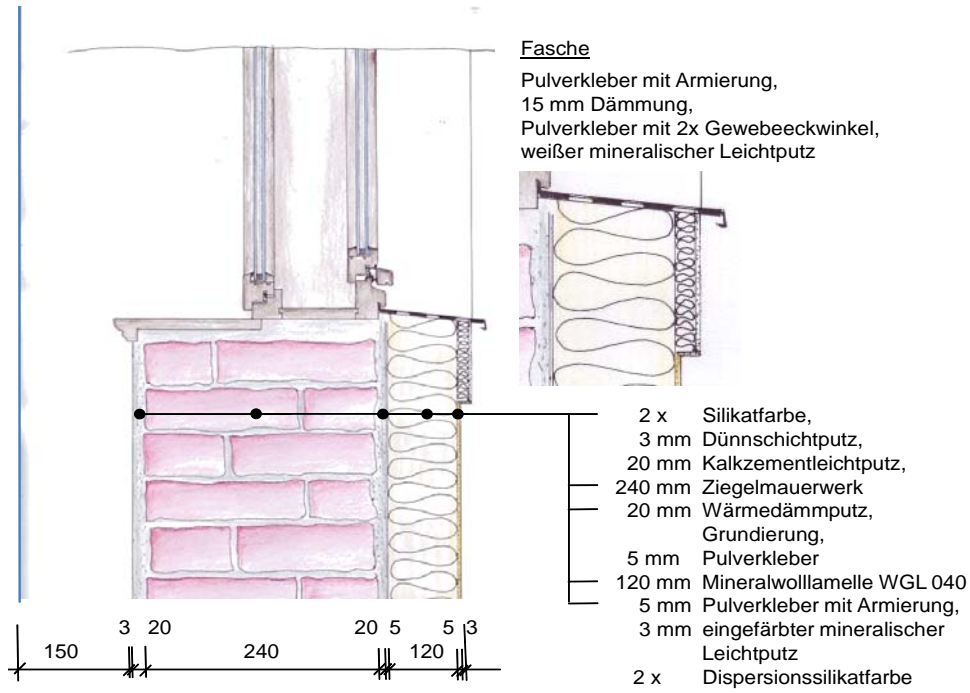


Abb. 2.19: Wärmedämmverbundsystem mit Mineralwolllamellen und aufgesetzten Faschen





*Abb. 2.20: Fenster im 1. DG Süd, Wärmedämmverbundsystem mit Mineralwolllamellen, aufgesetzten Faschen und gefilztem Putz, Beibehaltung des historischen Erscheinungsbildes; Messstrecke mit Temperaturfühler (Ntc) und Pyranometer*

Bei der Hoffassade kam das Sanierungsverfahren F6 – Wärmedämmverbundsystem zu Anwendung [8]. Besonders durch die verwendeten Mineralwolllamellen konnte eine Entkopplung von der Fassade erreicht werden. So können temperaturbedingte Rissbewegungen minimiert werden. Als Anstrichsystem wurde zusätzlich ein rissüberbrückendes Anstrichsystem gewählt.

### **2.3.5 Vermeidung der Sommerkondensation im Erdgeschoss**

Im Erdgeschoss sind geometrische Wärmebrücken im Bereich der bis zu 1,00 m dicken Innenwände vorhanden. Diese kann man bautechnisch nicht entschärfen. Daher wurde das Erdgeschoss von der thermischen Hülle nicht vollständig abgekoppelt. Es fungiert als vorgeschaltete temperierte Zone. In der Summe wurde durch die beiden gedämmten Deckenebenen ein hoher Dämmstandard erreicht.





Im Sommer wird die überschüssige Solarwärme bei Speichertemperaturen über 60 bis 70 °C zur Temperierung des Erdgeschosses genutzt, um die Sommerkondensation im Erdgeschoss zu verringern und die Warmwassertemperatur zu begrenzen. Alternativ wurde zu einem herkömmlichen Sanierputzsystem im Erdgeschoss eine Wandheizung zur Verringerung der Ursachen zur Salzdurchdringung (Anhang Gebäudeschnitt) eingesetzt.

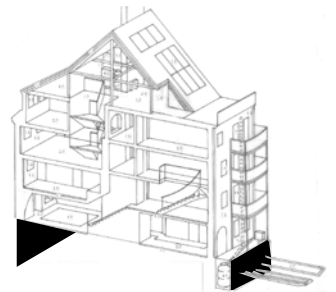
Das Mischmauerwerk wurde analog der Außenwand (siehe Kapitel 2.3.2) instand gesetzt. Nach dem Spritzbewurf wurde ein Leichtputz oder der mineralische Dämmputz als Unterputz eingesetzt. Beide Putze sind für diesen schwierigen Putzuntergrund geeignet. Je nach Erfordernis wurde in den Oberputz eine Armierung eingelegt. Bei der Wandheizung wurde die Armierung 2-lagig aufgebracht, wobei eine Lage diagonal verlegt wurde.

Die vorhandenen Bögen wurden mit einem Läuferverband geschlossen. Dieser wurde kraftschlüssig an die Ziegelsäulen angebunden und mit Edelstahlanker an die vorgefundene Ausfachung befestigt. Zusätzlich wurde der Zwischenraum mit MG III ausgefugt bzw. mit Liaporbeton bei größeren Zwischenräumen ausgefüllt. Die Übergänge von der Säule/ Bogen an die neue Ausmauerung wurde mit einer Putzbewehrung im oberen Bereich des Unterputzes ausgeführt.

**Geeignete Putze  
für rissanfälliges  
Mauerwerk**

### 2.3.6 Nachträgliche Bauwerksabdichtung der Kelleraußenwand

Eine nachträgliche horizontale Bauwerksabdichtung ist für die Funktionsfähigkeit der Abdichtung grundsätzlich erforderlich. Bei dem vorliegenden ca. 1,00 m dicken Bruchsteinmauerwerk ist es sehr schwierig, eine neue Sperrschicht durch mechanische Verfahren (Ramm-, Säge-, Maueraustauschverfahren) einzubringen, ohne die angrenzenden Bauteile zu schädigen. Bei einem Injektionsverfahren kann angesichts der vorhandenen Mauerstärke und bei der Vielzahl von Hohlräumen das Injektionsmaterial nicht gezielt und kontrolliert eingebracht werden. Aus diesen Gründen wurde auf eine nachträgliche horizontale Bauwerksabdichtung verzichtet.



Im Zusammenhang mit der Sanierung der Straße konnte eine nachträgliche vertikale Bauwerksabdichtung an der Straßenseite angebracht werden. Die Abdichtung wurde nicht bis auf die Fundamentsole ausgeführt, sondern bis ca. 50 cm unterhalb der Grenze zwischen dem bindigen Boden und einer Schicht aus Sand und Kies. Für die Abdichtung musste eine Vorsatzschale aus Beton als Abdichtungsebene hergestellt werden. Es wurde eine Dickbeschichtung mit zusätzlicher Gewebeeinlage nach DIN 18195 für den Lastfall nichtdrückendes Wasser auf waagerechten Flächen hergestellt [9]. Da die Abdichtung nur geringfügig über die eigene Kelleraußenwand hinausgeführt werden konnte, war ein fachgerechter Anschluss an die Nachbargebäude nicht ausführbar. Als Schutz für die Abdichtung und zur Vermeidung der Sommerkondensation dient eine Perimeterdämmung. Die Baugrube wurde mit Sand ausgefüllt, um ein Ableiten des anfallenden Wassers zu ermöglichen (siehe Abbildung 2.21).



*Abb. 2.21: Straßenfassade, vertikale Abdichtung mit einer Dickbeschichtung auf der Vorsatzschale aus Beton, Perimeterdämmung*

An der Südseite wurde eine ca. 2,0 m tiefe Wand im Abstand von ca. 1,00 m als Fundament für die Balkonanlage errichtet. Durch diese vorgestellte Wand lässt sich die alte Außenwand dauerhaft belüften. Der entstandene Zwischenraum besitzt außerdem zwei weitere Aufgaben: Er gewährleistet die Zugänglichkeit zur Wartung des Erdwärmeübertragers und beherbergt eine Regenwassernutzungsanlage (siehe Abbildung 2.22).

Die vorgestellten Sanierungsmöglichkeiten stellen ein Kompromiss zwischen Kosten- und Zeitaufwand und den örtlichen Gegebenheiten dar. Eine fachgerechte Ausführung einer nachträglichen Bauwerksabdichtung nach allgemein anerkannten Regeln der Technik konnte bei diesem Gebäude nicht erfolgen, was bei der



Nutzung des Kellergeschosses und des Erdgeschosses berücksichtigt werden muss.

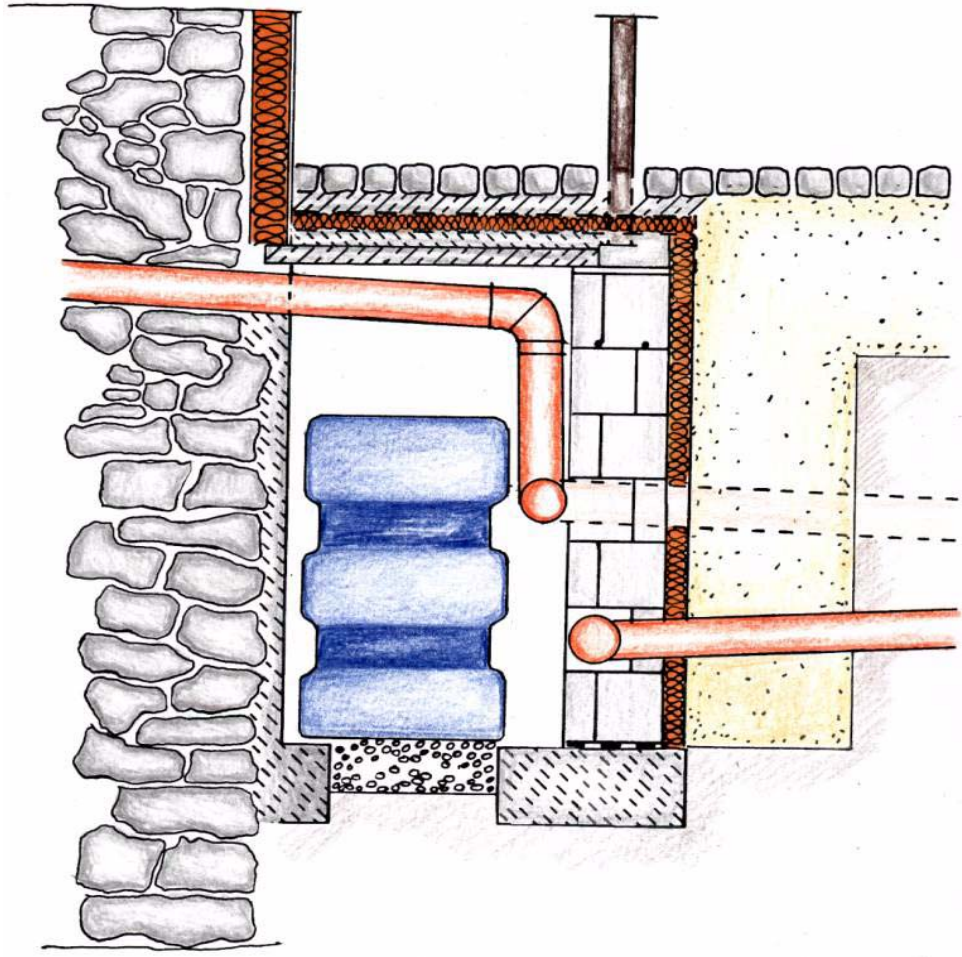
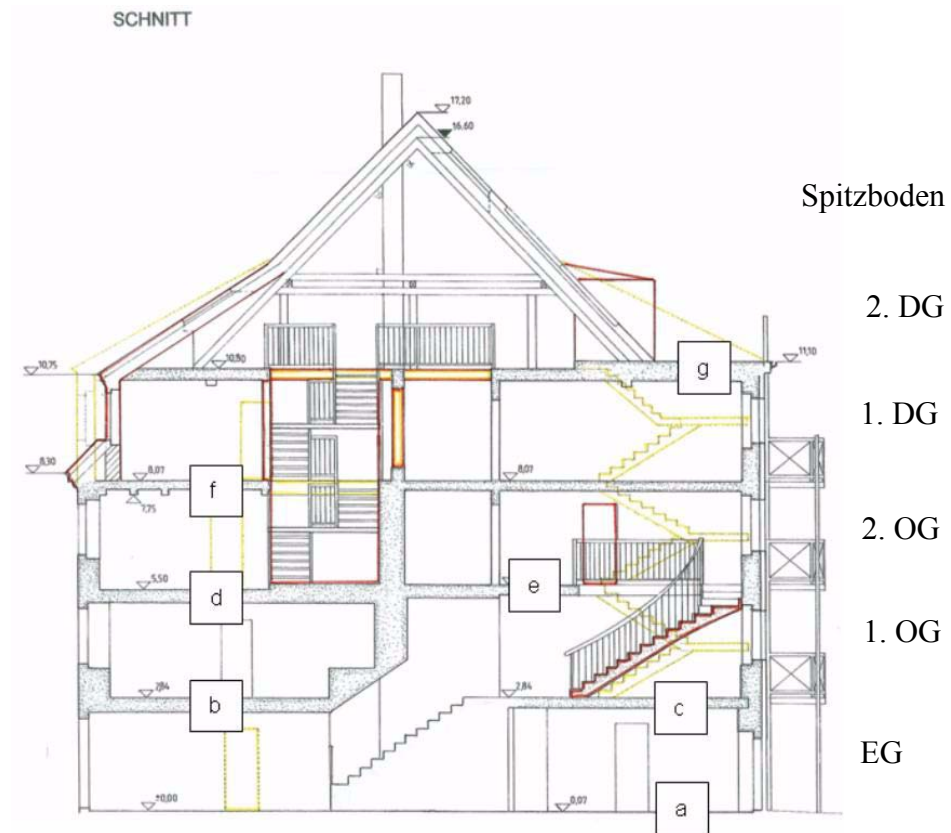


Abb. 2.22: Prinzipskizze Vorwand auf der Hofseite

## 2.4 Wiederherstellung der Decken

### 2.4.1 Dokumentation und Beurteilung des Bestandes

In dem Gebäude sind verschiedene Deckenkonstruktionen vorhanden (siehe Abbildung 2.23). Der planerische Aufwand für den Nachweis der Tragfähigkeit jeder einzelnen Konstruktion und deren Umsetzung ist sehr hoch. Diese Arbeiten sind nur bei einem derart hochwertigen historischen Gebäude gerechtfertigt.



- a ... Kellergewölbe
- b ... Erdgeschossgewölbe
- c ... Holzbalkendecke über EG Süd
- d ... Holzbalkendecke über 1. OG Nord
- e ... Holzbalkendecke über 1. OG Süd
- f ... Ziegeldecke über 2. OG Nord
- g ... Ziegeldecke über 1. DG Süd

Abb. 2.23: Übersicht über die Deckenkonstruktionen

### Kellergewölbe und Erdgeschossgewölbe

Das Kellergewölbe auf der Hofseite ist von diesem Gebäude aus zugänglich. Durch die historische Entwicklung ist das Tonnengewölbe unter dem Eingangsbereich auf der Straßenseite von dem Nachbargebäude her zugänglich. Die Tonnengewölbe bestehen aus Bruchsteinmauerwerk. Deutlich sind heute noch die Schalbretter zu erkennen (siehe Abbildung 2.24). Zum Teil sind lose Steine und Feuchteschäden im Außenwandbereich vorhanden. Zweifelsfrei gehört dieses Gewölbe zu den ältesten Bauteilen in diesem Stadtteil, welcher erstmalig ab 1250 bebaut wurde.

Das Erdgeschossgewölbe ist ebenfalls ein Tonnengewölbe, in welches zwei gewölbte Nischen hineinragen (siehe Abbildung 2.9).





Abb. 2.24: Keller, Tonnengewölbe aus Bruchsteinmauerwerk

Das Gewölbe besteht im unteren Bereich aus Bruchsteinmauerwerk und im oberen Bereich aus einem 1 Stein starken Ziegelmauerwerk mit Aussteifungsbögen (siehe Abbildung 2.25 und Abbildung 2.26).



Abb. 2.25: 1. Obergeschoss, Erdgeschossgewölbe aus Bruchsteinmauerwerk und Ziegelmauerwerk mit Aussteifungsbögen beim Aufbringen des Spritzbewurfes



*Abb. 2.26: 1. Obergeschoss, Erdgeschossgewölbe aus Bruchsteinmauerwerk und Ziegelmauerwerk mit Aussteifungsbögen vor dem Aufbringen des Spritzbewurfes, Detail*

Die tragenden Innenwände, welche die Decken- und Dachlasten abtragen, liegen außermittig vom Gewölbescheitel (siehe Abbildung 2.9).

Das Kellergewölbe auf der Straßenseite ist vom Nachbarhaus her zugänglich. Bei den Umbaumaßnahmen des Nachbarhauses im Jahre 2002 wurde die tragende Innenwand im Keller entfernt. Es konnten daraufhin Rissbildungen im nördlichen Gebäudeteil festgestellt werden.

Außermittig ist nachträglich mit Ziegelsteinen eine Trennwand eingezogen worden, die den Raum in Flur und den heutigen Raum unterteilt.

Die gemauerte Wölbung ist mit einem dicken Kalkputz überzogen. Die ursprüngliche Oberfläche ist ungleichmäßig und schnell gearbeitet worden. Unregelmäßigkeiten wurden nicht ausgebessert.

Der unregelmäßige erste Putz der Tonne wurde mindestens einmal überputzt, ohne den alten Putz zu entfernen. Unter der Ausbesserung hat sich ein Rest dieser Oberfläche mit einer monochromen grauen Fassung erhalten. Auf der derzeitigen Oberfläche gibt es mehrere Fassungen des 19. und 20. Jahrhunderts.

#### **Holzbalkendecken**

Die Deckenbalken der Holzbalkendecke über EG Süd sind sehr rationell (praktikabel, zeitsparend) bearbeitet. Der Balken war ursprünglich vollständig frei liegend und wurde später unterseitig mit einer Sparschalung mit Putz versehen. Um die Geschosshöhen auszugleichen, war oberhalb der Dielung ca. 25 cm Bauschutt vorhanden.



Die Decke über 1 OG Nord (Kriech- und Deckerdecke) und Decke über 1 OG Süd sind Abschnitt 1.3 beschrieben.

Die Decken oberhalb des 2. OG waren Einschubdecken. Bei den Decken über 2. OG waren über 80 % und bei der Decke über 1. DG alle Balkenköpfe nicht tragfähig. Sie wiesen starke Querschnittsverluste durch Fäulnis und Pilzbefall auf. Im Einschubbereich war ein Lehmverstrich vorhanden. Der verbleibende Einschubbereich war vollständig mit Bauschutt gefüllt, welches zu einer abnormen ca. 20 cm starken Verformung führte. Die Dielung war auf Kanthölzern befestigt.

### Decken über 2. OG

Zusätzlich war im südlichen Bereich im Putz Myzel des Hausschwammes vorhanden.

Die geringe Deckenhöhe der Decken über 2. OG ist offensichtlich auf den Umbau von 1856 zurückzuführen, bei dem auf die alten Deckenbalken weitere Lagen von Balken und Brettern gefügt worden sind (siehe Abbildung 2.27). Auf den Einschub Brettern, die in Zweitverwendung eingebaut wurden, gibt es Reste alter Anstriche (siehe Abbildung 2.28).



*Abb. 2.27: Decke über dem 2. OG geschädigt und nicht tragfähig, mit abnormen ca. 20 cm starken Verformungen - vermutlich vor dem Einbau der 11,5 cm Wand überbelastet, Verformungen durch langzeitigen Feuchte- und Lasteinfluss irreversibel*





Abb. 2.28: 2. Obergeschoss, Decke über 2. OG, zweitverwendete Einschubbretter

#### 2.4.2 Herstellung der Standsicherheit des Erdgeschossgewölbes

Um das Gebäude zu sichern, wurde aus dem Gewölbe über dem EG der ganze Bauschutt durch einen Leichtbeton aus Liapor durch Handarbeit ausgetauscht. Dieser Leichtbeton besitzt etwa den gleichen E-Modul wie das vorhandene Mauerwerk, sodass es zu keiner Schädigung des Gewölbes kam. Die Sicherungsmaßnahmen waren erfolgreich und die Fundamente konnten entlastet werden.

Über den Gewölben im EG wurde der Bauschutt durch einen Leichtbeton aus Liapor ausgetauscht, um das Gewölbe und die Fundamente zu entlasten. Dieser Leichtbeton wurde im EG als Tragschicht verwendet.

#### 2.4.3 Rekonstruktion der Decken über EG / 1.OG

##### EG Süd

Auf der Dielung der Decke über dem EG auf der Südseite war eine ca. 35 cm hoch Schicht aus Bauschutt vorhanden. Die Belastung aus dem Eigengewicht des Bauschutt war ca. 7,0 KN/m<sup>2</sup>. Die zulässige Verkehrslast für diese Decke beträgt 1,5 KN/m<sup>2</sup>. Die Holzbalkendecke wurde durch den Bauschutt überbelastet. Die Decke war unterseitig verschalt. Um die Fundamente zu entlasten und die Brandschutzanforderungen zu erfüllen, wurde der schwere Bauschutt durch eine über der Dielung liegende leichte Ziegeldecke ersetzt (siehe Abbildung 2.29).

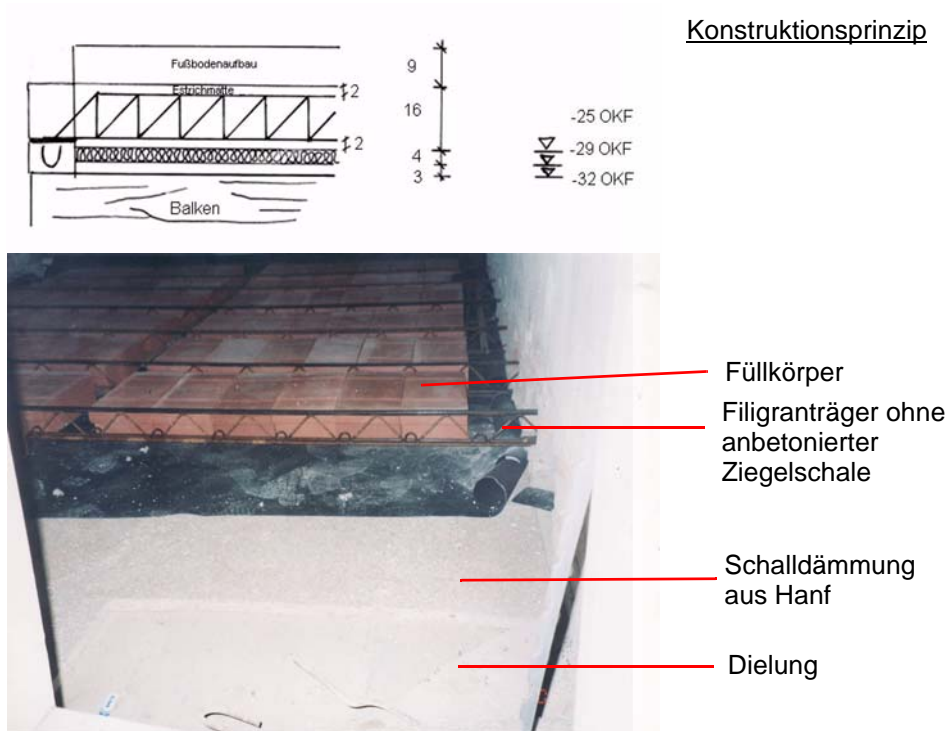


Abb. 2.29: Decke über EG Süd; oben: Konstruktionsprinzip, unten: Aufbau

Unter der Fußbodenheizung ist ein Trockensystem mit darunter liegender Trittschalldämmung aus Mineralwolle eingebaut worden.

Durch den Einzug einer Ziegeldecke im Einschubbereich wurden die Decken über 1. OG Nord statisch und brandschutztechnisch ertüchtigt. Über der Decke im 1. OG Nord kam aufgrund der großen Spannweite und der niedrigen Aufbauhöhe pumpfähiger Leichtbeton zum Einsatz. Die Filigran – S - Träger konnten sehr gut innerhalb des Gebäudes ohne den Betonfuß trotz der großen Spannweite, transportiert werden. Die Höhe der Decke ist 23 cm. Mit einer Höhe von ca. 10 cm über den vorhandenen Balken weist diese Sanierungsvariante einen geringen zusätzlichen Höhenbedarf auf. Die vorhandenen unterschiedlichen Höhen der Decke brauchten zusätzlich nicht ausgeglichen werden.

**1. OG Nord**

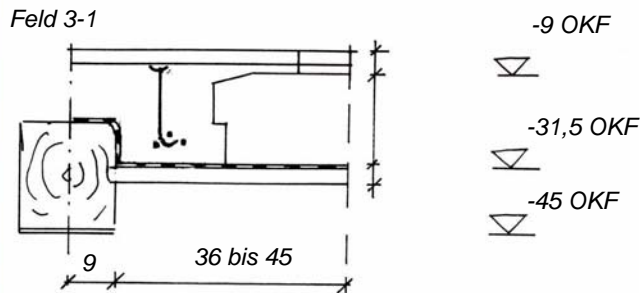


Abb. 2.30: Systemskizze, Decke über 1. OG Nord in [mm]



Gegenüber den Sanierungsstrategien mit der Herstellung eines mitwirkenden Plattenbalkens aus einem Holzwerkstoff bzw. Herstellung eines Verbundbalkens wird bei der ausgeführten Sanierungsvariante die Originalsubstanz vollständig erhalten (siehe Abbildung 2.30).

## 1. OG Süd

Analog zur Decke auf der Nordseite wurde hier im Einschubbereich eine Ziegeldecke eingezogen.

### 2.4.4 Rekonstruktion der Decken über 2.OG / DG

Bei vielen Sanierungen in der Görlitzer Altstadt wurde der Befall und Wiederbefall durch echten Hausschwamm festgestellt. Die untere Deckenverschalung der Holzbalkendecke wurde auf Empfehlung des Prüfenieurs entfernt, um eine ständige Kontrollmöglichkeit auf eventuellen Hausschwammbefall zu ermöglichen.

Um das Gebäude einer nachhaltigen Wiedernutzung zuführen zu können, empfahl der zuständige Prüfenieur, alle Holzbalkendecken über dem 2. OG aufgrund der Vielzahl von Schäden und dem äußerst ungünstigen Kostenaufwand für den Erhalt durch eine Ziegeldecke zu ersetzen. Dabei konnte auf eine chemische Schwamm-bekämpfung insbesondere im Bereich der Kinderzimmer verzichtet werden. Um die Fundamente zu entlasten, wurden die Ziegeldecken leichter als die vorhandenen Decken ausgeführt.

Das Dachtragwerk und einige Deckenabschnitte waren nicht standsicher. Die Reihenfolge der Deckensanierung wurde so gewählt, dass das Gebäude als Gesamttragwerk funktionstüchtig wurde. Die einzelnen z. T. sehr kritischen Bauzustände mussten separat nachgewiesen werden.

Vorgehensweise:

1. historischen Bauschutt im Einschubbereich ausbauen, vertikale Aussteifung des gesamten Hauses
2. Gewölbesanierung
3. Einbau der Decke über 2. OG über der alten Holzbalkendecke
4. Rückbau des Daches, Lagerung des Altholzes auf Decke über 2. OG
5. raumweiser Austausch der Decken unter Dach
6. Einbau Ziegeldecke im Einschubbereich des EG und 1.OG

## 2. OG und 1. DG

In der Regel wurden die vorhandenen Decken bis auf die Balken zurückgebaut. Die Ziegelträger wurden überhöht auf diesen Balken positioniert und vertikal durch die bis auf den Keller durchgehenden Stützen abgefangen.

Um die Fundamente zu entlasten, wurden die Ziegeldecken leichter als die vorhandenen Decken ausgeführt. Bemerkenswert ist der pumpfähige Leichtbeton für die Verfüllung der Rippen der Ziegeldecke bei den Außenbauteilen (z. B. Dachterrasse, Außenwandanschlüsse und Ringanker), um den Wärmebrückeeinfluss zu minimieren. Um das Gewölbe und die Innenwände auf der Nordseite entlasten und erhalten zu können, spannen sich die Decken über die gesamte Hausbreite. Der Restaurator sah durch diese Maßnahme keinen Verlust an erhaltenswürdiger Originalsubstanz.



Die Abtragung der Punktlasten der Ziegelträger in das Mischmauerwerk wurde über Ziegelstürze und vor Ort betonierte Auflager gewährleistet (siehe Abbildung 2.31).

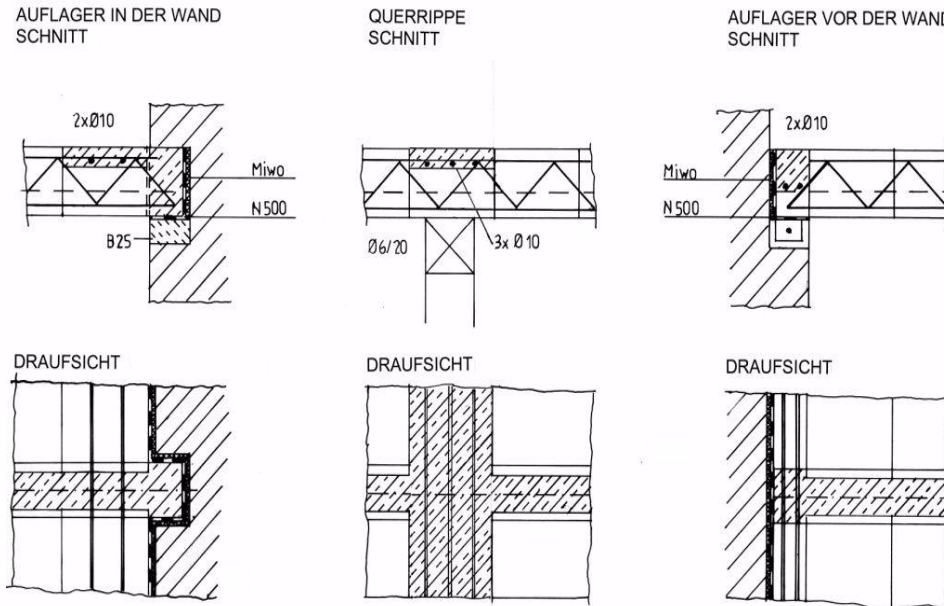


Abb. 2.31: Deckenaufleger

Mit den Ziegeldecken wurden auch deckengleiche Unterzüge und große Treppeneröffnungen realisiert (siehe Abbildung 2.32).

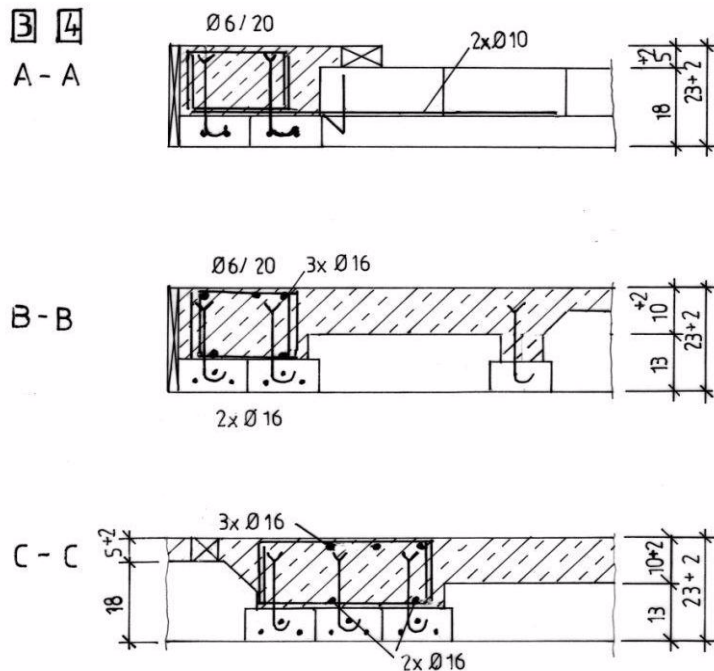
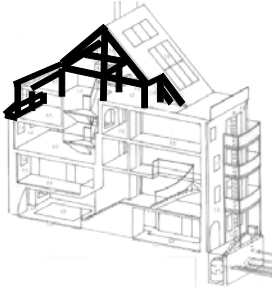


Abb. 2.32: Decke über 2. OG Nord, Treppenauge, Deckengleicher Unterzug



## 2.5 Dachkonstruktion

### 2.5.1 Dokumentation und Beurteilung des Bestandes



Das Dachtragwerk war nicht standsicher. Die Balken- und Sparrenköpfe wiesen starke Querschnittsverluste durch Fäulnis und Pilzbefall auf. Ein Sparren war gebrochen. Einige Sparren wurden durch nichtfachgerechte Umbaumaßnahmen und Änderung des ursprünglichen Systems überbelastet.



*Abb. 2.33: Detailaufnahme der Fußfette straßenseitig, beim Rückbau vorgefundene Reste einer ca. 6,50 m langen Fußfette, starke Querschnittsverluste durch Fäulnis und Pilzbefall - akuter Sicherheitsbedarf*





Abb. 2.34: Detailaufnahme eines Balkenkopfes, starke Querschnittsverluste durch Fäulnis und Pilzbefall - akuter Sicherheitsbedarf



Abb. 2.35: Befall der Decken und der Dachkonstruktion durch echten Hausschwamm





## 2.6 Wiederaufbau des Dachtragwerkes

Die vorhandene Dachkonstruktion war nicht mehr tragfähig (Hausschwammbefall, Schädigung durch Holzschädlinge und Feuchte). Die Dachkonstruktion wurde unter Verwendung von Altholz in traditioneller Zimmerarbeit wieder aufgebaut.

Viele Bauteile des historischen Dachtragwerkes wie z. B. die vorhandenen Kopfbänder wurden am ursprünglichen Standort anhand der vorhandenen Abbundzeichen eingebaut. Dabei wurden fehlende Verbindungen durch traditionelle Holzverbindungen wie z. B. der Sattelträger mit Holznägeln ersetzt (siehe Abbildung 2.35).



Sattelträger

Holznägel



hochkant verleimter Balken as KVH-Holz

Abb. 2.36: Detail der Dachkonstruktion, Ausbau und Einbau historischer Bauteile - Einbau der vorhandenen Kopfbänder an ursprünglichem Standort anhand der vorhandenen Abbundzeichen, Wiederverwendung von Altholz



### 2.6.1 Dichte Gebäudehülle - luftdichte Anschlüsse

Bei einer dichten Gebäudehülle werden die zusätzlichen Lüftungswärmeverluste infolge der Infiltration (ungewollter Luftwechsel) reduziert. Der im Zusammenhang mit dem Lüftungswärmeverlust stehende Transport von Luftfeuchtigkeit (konvektiver Feuchtetransport) wird verhindert. Durch diesen Feuchteschutz steigt die Dauerhaftigkeit der Konstruktion.

Bei einem bestehenden Gebäude ist die Herstellung einer durchgehenden Dichtungsebene im Nachhinein schwierig. Bei diesem Gebäude wurde die Dichtigkeit der Außenwandkonstruktion durch eine z. T. Neuverputzung und die Überarbeitung der Altputze sichergestellt. Neben den Fenstern, der Wohnungseingangstür und der Installationsschacht stellt die Herstellung der Luftdichtigkeit der Dachkonstruktion die größte Herausforderung für eine dichte Gebäudehülle dar. Als durchgehende Luftdichtigkeitsschicht hat die OSB-Platte bewährt. Viele Anschlusslösungen sind [10] dargestellt. Die Herstellung der durchgehenden Luftdichtigkeitsebene am Anschluss Pfetten/ Sparren ist besonders schwierig. Mit der Verwendung von Titanzinkblech und der Verlotung der Stöße konnte eine dauerhafte Detaillösung entwickelt werden. Die Mehrkosten sind durch die hohe Sicherheit dieser Anschlusslösung vertretbar (siehe Abbildung 2.41).

Auf die Durchdringungen der Dachhaut konnte bis auf die sorgfältig ausgeführten Anschlüsse der Leitungen der Solaranlage verzichtet werden, indem der vorhandene Schornstein hierfür genutzt wurde (siehe Abbildung 2.37 bis Abbildung 2.39).



Abb. 2.37: Dachkonstruktion, dauerhafter luftdichter Anschluss Schornstein/ OSB-Platten, Anbindung der Verblechung mit Hochtemperatursilikon (temperaturbeständig bis 800 °C)



Abb. 2.38: Dachkonstruktion, dauerhafter luftdichter Anschluss, Knoten Sparren/ Pfette vor Anbringung der Untersparrendämmung/ Installationsebene, Anschluss der Verblechung an OSB - Platte mit vorkomprimiertem Dichtungsband und Rissanband, Lagesicherung durch Traglattung



Abb. 2.39: Dach, Detail, luftdichter Anschluss, Durchführung der Rohre der Solaranlage durch das Dach





### 2.6.2 Zwischen- und Untersparrendämmung

Die Dämmdicke aus Hanf beträgt insgesamt 26 cm (siehe Abbildung 2.40). Besonderer Wert wurde auf eine fachgerechte Ausführung der Anschlüsse gelegt (siehe Abbildung 2.37 und Abbildung 2.39). Als Pfetten kamen Spezialanfertigungen aus hochkant verleimtem KVH-Holz zum Einsatz, welche gegenüber herkömmlichen Brettschichtholzbalken das historische Erscheinungsbild der Holzbalken beibehalten und eine hohe Rissicherheit aufweisen (siehe Abbildung 2.36).



Abb. 2.40: Dachkonstruktion, Zwischensparrendämmung aus Hanf

Die höhere Bauwerksmasse infolge der Wärmedämmlehmplatten von Haacke Cellico als Untersparrendämmung kann in der Zukunft für die Sicherstellung des sommerlichen Wärmeschutzes einen nennenswerten Beitrag leisten, z. B. durch ein für den Tagesgang optimiertes Verhalten der Baukonstruktion. Um eine energieintensive aktive Kühlung vermeiden zu können, sind die Arbeitsweise der Anlagentechnik mit dem optimalen Wirkungsgrad und das Speicher- und Transportverhalten der Baukonstruktion aufeinander abzustimmen.

Die Dachkonstruktion mit HAACKE CELLCO – Wärmedämmlehm als Untersparrendämmung und Hanf als Zwischensparrendämmung besitzt nahezu eine doppelt so große spezifische Bauwerksmasse als eine Dachkonstruktion mit Mineralwolle als Untersparrendämmung und Zwischensparrendämmung (siehe Tabelle 2.3 und Tabelle 2.4)

Die hohe Bauwerksmasse geht nur pauschal bei der Auslegung der Heizung in die Berechnung des Heizwärmebedarfes ein. Die Minimierung des Energieverbrauchs erfordert die Quantifizierung der zeit- und ortsabhängigen Energieflüsse im Bauwerk, um ggf. Energie räumlich und zeitlich verschieben zu können. Solche Berechnungen können zurzeit nur mit Simulationsprogrammen durchgeführt werden. Am



Institut für Bauklimatik der TU Dresden werden Rechenmodelle auch für den sommerlichen Wärmeschutz kontinuierlich weiterentwickelt. Zusätzlich werden die Modelle in einfache für die Praxis handhabbare Programme mit nutzerfreundlichen Bedieneroberflächen umgesetzt.

Tab. 2.3: Ermittlung des Wärmedurchgangskoeffizienten, Eigengewicht und speicherwirksame Bauwerksmasse der Dachkonstruktion mit HAACKE CELLCO – Wärmedämmlehm als Untersparrendämmung und Hanf als Zwischensparrendämmung

	Lfd.-Nr.	Teilfläche	Bauteil	U-Wert	$\Sigma d \cdot \rho \cdot c$ [J/K*m <sup>2</sup> ]			
	1	Dach	D 1	0,15	174473			
An-teil	d	Material	$\lambda_R$	$\rho$	c	d * $\rho$	R	d * $\rho$ * c
[%]	[m]		[W/m <sup>2</sup> *K]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[J/kg*K]	[kg/m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> *K/W]	[J/K*m <sup>2</sup> ]
		Übergangswiderstand außen					0,040	
100	0,016	DWD-Platte	0,09	565	2100	9,040	0,178	18984
87,5	0,26	Hanfdämmung	0,045	80	2100	18,200	5,056	38220
12,5	0,26	Fichte	0,13	450	2340	14,625	0,250	34223
100	0,015	OSB-Platten	0,13	630	2200	9,450	0,115	20790
87,5	0,003	HAACKE CELLCO – Contact - Mörtel	0,19	1400	1200	3,675	0,014	4410
87,5	0,055	HAACKE CELLCO - Wärmedämmlehm	0,08	350	1200	16,844	0,602	20213
12,5	0,058	Fichte	0,13	450	2340	3,263	0,056	7634
100	0,022	Lehmbauplatte	0,47	1200	1000	26,400	0,047	26400
100	0,003	Lehmputz	0,47	1200	1000	3,600	0,006	3600
		Übergangswiderstand innen					0,130	
						<b>105,096</b>	<b>6,493</b>	<b>174473</b>

Tab. 2.4: Ermittlung des Wärmedurchgangskoeffizienten, Eigengewicht und speicherwirksame Bauwerksmasse der Dachkonstruktion mit Mineralwolle als Untersparrendämmung und Zwischensparrendämmung

	Lfd.-Nr.	Teilfläche	Bauteil	U-Wert	$\Sigma d \cdot \rho \cdot c$ [J/K*m <sup>2</sup> ]			
	1	Dach	D 1	0,13	90401			
An-teil	d	Material	$\lambda_R$	$\rho$	c	d * $\rho$	R	d * $\rho$ * c
[%]	[m]		[W/m <sup>2</sup> *K]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[J/kg*K]	[kg/m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> *K/W]	[J/K*m <sup>2</sup> ]
		Übergangswiderstand außen					0,040	
100	0,016	DWD-Platte	0,09	565	2100	9,040	0,178	18984
87,5	0,26	Mineralwolle	0,04	30	840	6,825	5,688	5733
12,5	0,26	Fichte	0,13	450	2340	14,625	0,250	34223
100	0,015	OSB-Platten	0,13	630	2200	9,450	0,115	20790
87,5	0,058	Mineralwolle	0,04	30	840	1,523	1,269	1279
100	0,013	Gipskartonplatten, 1-lagig	0,25	850	850	11,050	0,052	9393
		Übergangswiderstand innen					0,130	
						<b>52,513</b>	<b>7,721</b>	<b>90401</b>



Als erstes muss die Tragfähigkeit der Konstruktion überprüft werden. Können die zusätzlichen Lasten aus dem Eigengewicht der Konstruktion aufgenommen werden?

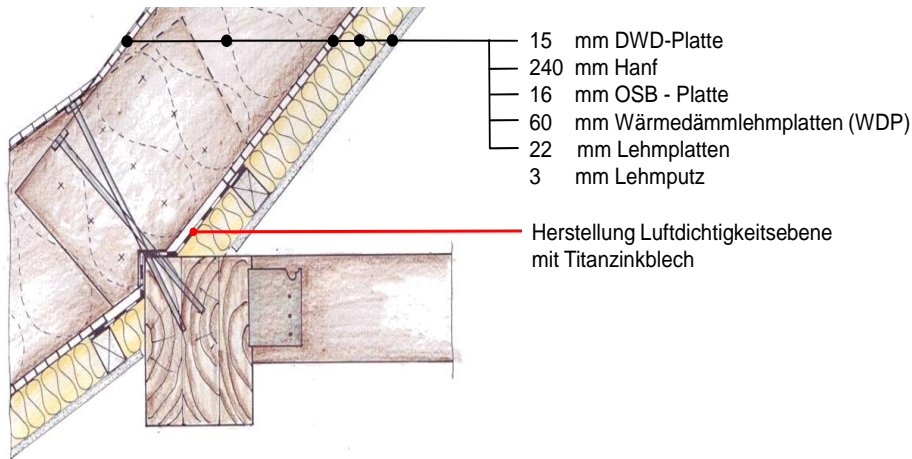


Abb. 2.41: Dach, Detail, Sparren/ Petteanschluss mit Dachaufbau und Herstellung der Luftdichtigkeit

Die Traglattung 58/ 38 wurde mit Spannplattenschrauben 6 x 120 mm hochkant angebracht. Dazu wurde mit 0,7 x Durchmesser der Spannplattenschraube vorgebohrt (siehe Abbildung 2.41). Ein vorheriger Schnurschlag erleichterte das Ausrichten der Dachlatten.

### Traglattung

Die gelieferten WDP – Platten hatten Abmaße von Länge/ Breite/Höhe: 500/ 250/ 55 [mm]. Die trockene Dachlattung hatte eine Höhe von 58 mm. Die Platten lassen sich sehr gut mit einer Diamantscheibe (mit Abzug) zurecht schneiden. Die Platten wurden mit dem CELLCO – Contact - Mörtel an die OSB – Platte vollflächig verklebt. An die OSB – Platte wurde der CELLCO – Contact - Mörtel mit einer 8 mm Zahnkehle längs aufgetragen. Auf den WDP – Platten wurde der Contact - Mörtel eingearbeitet und quer mit der Zahnkelle abgezogen. Vor dem Anbringen wurde auf die untere Dachlatte und an die Oberseite der WDP – Platte der Contact - Mörtel aufgetragen. Die Platten saugten sich an der Dachschräge so an, dass keine zusätzliche Befestigung mehr notwendig war. Ggf. kann an der Oberseite die Fuge mit

### WDP – Platten





HAACKE CELLCO - Wärmedämmlehm (WDL) geschlossen werden (siehe Abbildung 2.42).



Abb. 2.42: HAACKE CELLCO®-Wärmedämmlehm-Platte (WDP) als Untersparrendämmung, Fuge mit HAACKE CELLCO®-Wärmedämmlehm (WDL), Detail



Abb. 2.43: HAACKE CELLCO - Wärmedämmlehm-Platte (WDP) als Untersparrendämmung, Messfeld WDP



Die Lehmbauplatten haben Abmaße von Länge: 1250 mm, Breite: 625 mm, Höhe: 22 mm.

**Lehmbauplatten**



*Abb. 2.44: Lehmbauplatten, Fugen armiert mit CELLCO – Contact - Mörtel und einen Gewebe, Machenweite 8 x 8 mm, Überdeckung von je 10 cm*



*Abb. 2.45: Lehmbauplatten, Fugen armiert mit CELLCO – Contact - Mörtel und einen Gewebe, Machenweite 8 x 8 mm, Überdeckung von je 10 cm, nach einem Tag Standzeit*



Bei dem Zuschnitt der Platten werden beide Seiten mit dem Messer angeritzt, wobei das eingelegte Gewebe durchtrennt wird. Danach lassen sich die Platten leicht weg brechen. Die Platten werden so angebracht, dass so wenig wie möglich Stöße auf der Traglattung entstehen. Eine Platte wurde mit 25 Spannplattenschrauben 5 x 50 mm befestigt. Ggf. müssen an den Stößen Spannplattenschrauben 5 x 60 mm schräg eingebracht werden. Die Fuge von ca. 1 cm wurde mit Wasser, ggf. mit Pumpspritze, vorgehäst. Als Fugenmaterial wurden Lehmbauplattenreste eingeweicht. Die Fuge muss voll ausgefüllt werden. Die Standzeit bis zur Weiterverarbeitung sollte mindestens 4 Tage betragen, da danach das Schwinden und die Rissbildung in der Regel abgeschlossen sind (siehe Abbildung 2.44). Das Beimischen von CELLCO – Contact – Mörtel hat sich nicht bewährt, da infolge dessen ein stärkeres Schwindverhalten vorhanden war. Die Fugen wurden mit CELLCO – Contact - Mörtel und einem Gewebe, Maschenweite 8 x 8 mm, mit einer Überdeckung von je 10 cm armiert. Es sollten maximal nur zweimal Gewebe übereinander angebracht werden. Die Grobbestandteile im Mörtel führten zu einem zusätzlichen Aufbau. Auch hier ist ein Vornässen mit Wasser sinnvoll. Die Weiterverarbeitung kann am nächsten Tag erfolgen (siehe Abbildung 2.45 und Abbildung 2.46).

Bei starken Unebenheiten der Unterkonstruktion ist ein zweilagiger Putz zu empfehlen. Um die vorhandenen Bruchstücke der Lehmbauplatten zu recyceln, wurden in diesem Fall als Unterputz eingeweichte Lehmbauplattenreste zum Ausgleich der Unebenheiten infolge der Höhendifferenzen der Wärmedämmlehmplatten verwendet.

### Lehmputz



Abb. 2.46: Lehmbauplatten, vorgehästeter Unterputz bei dem Anbringen des Lehmfeinputzes



Ebenfalls war auch hier ein Vornässen notwendig. Nach einem Tag Standzeit wurde der Feinputz mit einer Schweizer Klette aufgebracht und mit einem feinen Schwammbrett abgefilzt (siehe Abbildung 2.46).

Als Anstrichsystem sollte ein diffusionsoffenes System verwendet werden. Der Lehmputz ist stark absandend. Gute Erfahrungen wurden mit einer reinen Silikat - Innenfarbe erzielt, wobei beim ersten Anstrich Fixtiv (Grundierung) beigemischt wurde.

### **Anstrich**







## 3 Erneuerung der Anlagentechnik

### 3.1 Installation moderner Regeltechnik

Für die Solaranlage, Heizkreise, Kaminheizkessel, Grauwassernutzungsanlage, Fußbodenabwasserheizung usw. gibt es einzelne firmen- und anlagenspezifische Regeltechnik als Insellösungen. An der Verknüpfung der einzelnen Regelungen über ein Bus-System (z. B. LON - BUS, EIB - BUS) wird zurzeit im Bereich der Gebäudetechnik gearbeitet. Die Datenerfassung und Datenaufzeichnung für das angestrebte Forschungsprojekt waren zu Beginn des Projektes nur bedingt möglich. D. h. zusätzlich zu den einzelnen Regelungen hätte parallel eine Messwert- und Datenerfassungsanlage installiert werden müssen. Eine andere Möglichkeit ist die Installation von Regeltechnik aus der Automatisierungstechnik. Eine Programmierung auf gebäudetechnische Anforderungen ist sehr umfangreich.

Beide Varianten wurden aus Kostengründen verworfen. Eine Alternative ist der Einsatz der freiprogrammierbaren Universalregelung von der Firma „Technische Alternative“.

Die freiprogrammierbare Universalregelung UVR 1611 (16 Eingänge, 11 Ausgänge, siehe Abbildung 3.1) von der Firma „Technische Alternative - elektronische Steuerungsgerätegesellschaft mbH“ [11] kann durch über 24 Funktionsmodule praktisch auf jede Anlagenkonfiguration abgestimmt werden. Die Funktionsmodule können bis über 42- mal pro Regler aufgerufen werden.

Es wurden sechs UVR 1611 (siehe Abbildung 3.2) und drei CAN-Monitore (Bedienteil) im Netzwerk installiert. Diese Regelungen stellen eine ausgereifte preiswerte technische Alternative zu herkömmlichen firmenspezifischen Reglerkonzepten dar. Zusätzlich werden sie für die Messwert- und Datenerfassung genutzt.

Über das Netzwerk kann jeder Regler auf über 96 Sensoren (Temperatur, Volumenstrom, Strahlungssensor, Digitaleingänge, Feuchtesensoren), die Ausgangszustände der Funktionen und Ausgänge sowie auf die 3 Bedienteile zugreifen. Das Auslesen erfolgt über 4 Datenlogger. Die Regler wurden so ausgestattet, dass sie 2 Wärmemengenzähler (WMZ) ersetzen. Durch die 12 benötigten WMZ für das Gebäude ergibt sich die Anzahl von 6 eingesetzten Reglern. Für die Praxis soll die Programmierung soweit optimiert werden, dass vergleichbare Gebäude mit 1 bis 2 Steuerungen ausgestattet werden können.

**Firmen- und anlagenspezifische Regeltechnik**

**Aufbau einer freiprogrammierbaren Universalregelung**



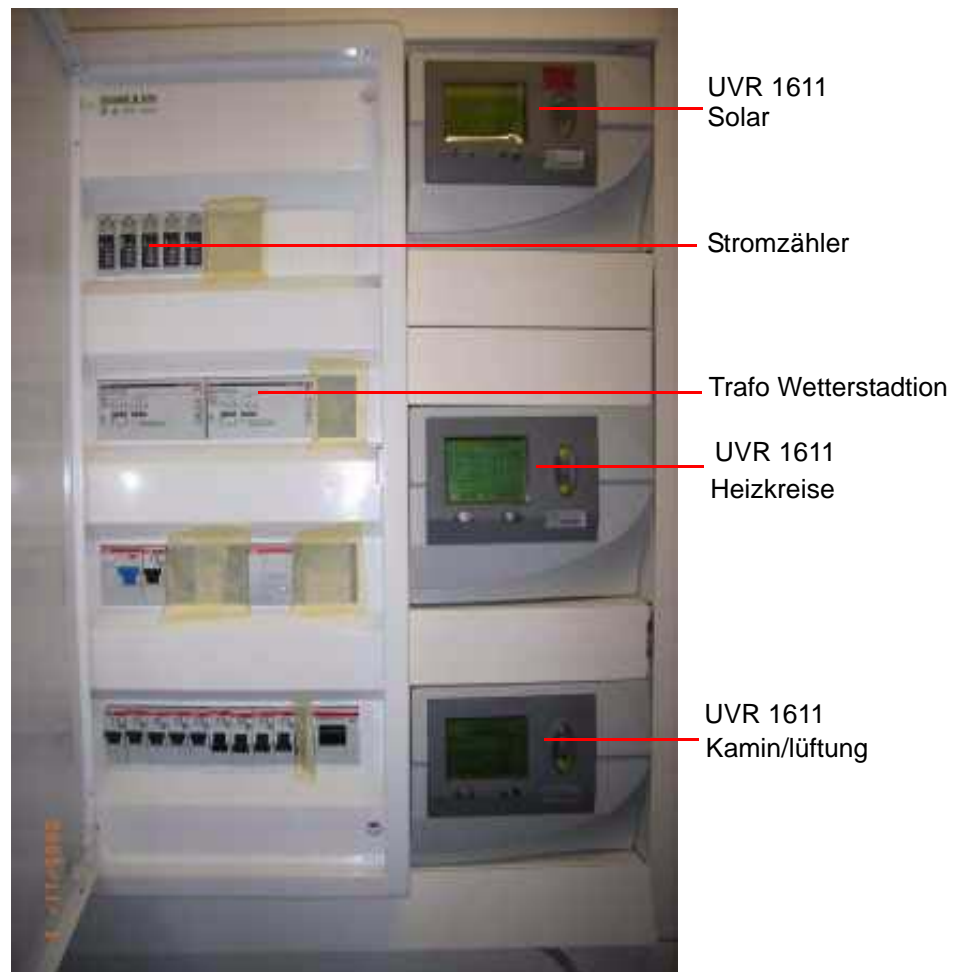


Abb. 3.1: 2. DG, Technikraum, Regeltechnik während der Installation, Unterverteilung mit Stromzähler, 3 UVR - Regler für Solar, Heizung und Kamin/ Lüftung zur Regelung und Datenerfassung

### Programmierung

Durch diese Regler ist es möglich, alle für das Forschungsprojekt notwendigen Steuer- und Regelungsprozesse im Gebäude ohne Einschränkungen selbst mittels des grafischen Programmierprogramms TAPPS (siehe Abbildung 3.3) zu programmieren.

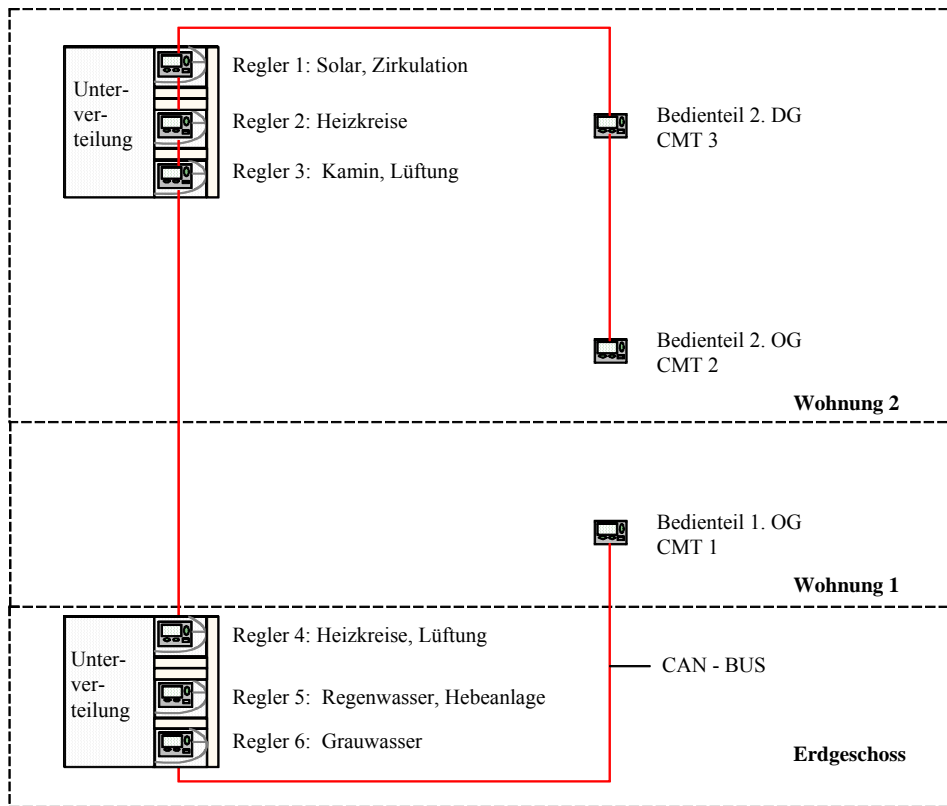


Abb. 3.2: Vernetzung der Steuer-, Regel- und Messtechnik im Testgebäude

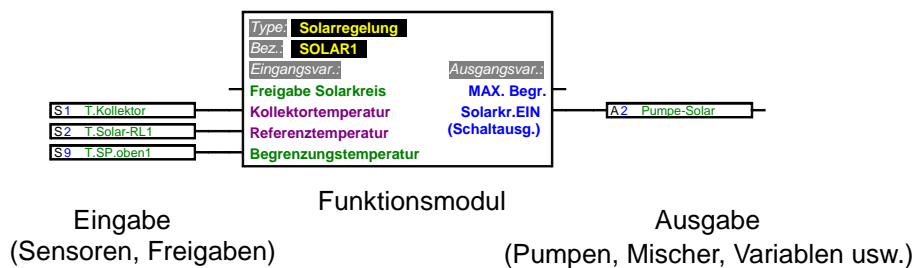


Abb. 3.3: Grundschemata des grafischen Programmierprogramms TAPPS

Die Programmierung ist durch einen HLS - Facharbeiter mit PC – Kenntnissen möglich. Mittels eines Simulationsbordes kann die Programmierung auf Funktionsfähigkeit überprüft werden. Die Herstellerfirma bietet eine Kontrolle der Programmierung an und ist somit mit den Anforderungen in der Praxis bestens vertraut. Durch die differenzierte Freigabe, Anwender/ Fachmann/ Experte können Fehlbedienungen vermieden werden. Es können bis zu 4 drehzahlgesteuerte Ausgänge (Wellenpaket-, Phasenanschnittmodus) programmiert werden.

**Erfassung der Messwerte**



Bemerkenswert ist das im Regler implementierte patentierte Kalibrierverfahren für die WMZ, welches vor Ort durchgeführt wird und eine sehr hohe Genauigkeit der Datenerfassung gewährleistet.

Analog eines PC kann der Regler mit einem Bios-, Betriebssystem- und Programmupdate auf den neusten Stand gehalten werden.

Mit dem Bedienteil CAN-Monitor mit eingebautem Temperatur- und Feuchtefühler kann effektiv das Raumklima geregelt werden.

Mit der eingesetzten Steuer- und Regeltechnik konnten schon in vielen Fällen Fehlfunktionen in dem Betrieb der Gebäudetechnik festgestellt werden, die sonst bei anderen Gebäuden unbemerkt bleiben (siehe z. B. Solaranlage). Die Fehlfunktionen konnten durch Änderung der Programmierung behoben werden.

#### **Vorteile der UVR**

Die freiprogrammierbare Universalregelung UVR 1611 hat folgende Vorteile:

- Regelung und Steuerung aller anlagentechnischen Komponenten mit einem System
- Reduzierung der Kosten für Regelung bei dem Einsatz mehrerer Anlagenkomponenten
- Vernetzung – Zugriff auf alle Sensoren und Ausgangszustände im Gebäude
- preiswerte Datenaufzeichnung für die Funktionskontrolle

#### **Nachteile der UVR**

Bei dem Einsatz der freiprogrammierbare Universalregelung muss die folgendes beachtet werden:

- Einarbeitungszeit für die Programmierung
- keine „steckerfertige“ Installation des Reglers

#### **Reduzierung des Stromverbrauches**

Zur Regelung der Heizkreise der Fußboden/ Wandheizung werden insgesamt 35 Stellantriebe mit einer Leistung von je 1,5 bis 2,0 W benötigt. Die Stellventile sind an, wenn die eingestellte Temperatur am Raumregler unterschritten wird. Über die UVR - Regler werden Gruppen von Raumreglern über ein individuelles Zeitprogramm im Absenkbetrieb abgeschaltet, um den Stromverbrauch zu senken (siehe Abbildung 3.12).

Zurzeit wird im Gebäude mehr Primärenergie für Strom benötigt als für Heizung und Warmwasser inklusive der Hilfsenergien. Die Reduzierung des Stromverbrauches der elektrischen Geräte nimmt an Bedeutung zu. Eine wirksame Maßnahme ist, die vorhandenen Warmwasseranschlüsse für Geschirrspüler und Waschmaschine zu nutzen.

Der Verbrauch an Primärenergie wird durch das Kochen mit Gas reduziert. Ein Gaskochfeld ist in der Küche integriert. Der Energieverbrauch für die Beleuchtung wird durch die Verbesserung der Tageslichtverhältnisse durch die Dachliegefenster im 2. DG reduziert.

Der Energieverbrauch der Messtechnik ist nicht unerheblich. So werden durch die UVR -Steuerung die Heizung für den Windgeschwindigkeitsgeber und den Windrichtungsgeber mit max. 40 W und der Niederschlagsgeber mit 50 W erst bei Außentemperaturen unter 2°C eingeschaltet.



### 3.2 Einbau einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung

Zurzeit wird in der Regel bis zu 3-mal täglich unkontrolliert über die Fenster gelüftet. Die Luftfeuchtigkeit (ohne Lüftungsanlage) ist mit bis zu 70% zu hoch und die maximale CO<sub>2</sub> – Konzentration von 2 000 ppm liegt weit über dem zulässigen Grenzwert (siehe Abbildung 4.55 und Abbildung 4.56). Der Lüftungswärmeverlust ist anhand der Messreihen deutlich erkennbar (siehe Abbildung 4.55). Der Einsatz der Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung ist folgerichtig, um kontrolliert die anfallende Feuchte und CO<sub>2</sub> ohne großen Wärmeverlust abzuführen.

**Motivation für den Einbau einer Lüftungsanlage**

In der 2. Hälfte der Heizperiode 2009/2010 wurde die Lüftungsanlage vollständig in Betrieb genommen.

**Realisierte Baumaßnahmen**

Bei der Auslegung der Lüftungsanlage wurde besonderer Wert auf deutlich reduzierte Betriebskosten (geringeren Stromverbrauch und längere Standzeit der Filter) gelegt.

**Auslegung der Lüftungsanlage**

Als Satz ausformulieren - Stufen zur Senkung der Betriebskosten bei dem Einsatz einer Lüftungsanlage:

1. Einsatz von Wärmeübertragern mit Wärmebereitstellungsgrad > 90 % mit energiesparenden, gut regelbaren Ventilatoren ohne Nacherwärmung der Zuluft
2. Absenkung des Volumenstroms außerhalb der Hauptnutzungszeiten mittels Zeitsteuerung (0-10 V Steuerausgang)
3. Kanalnetz mit geringen Druckverlusten und damit verbundenem geringeren Stromverbrauch - Zuluftkanal und Abluftkanal verläuft vom Raum bis hin zum WRG
4. Betrieb der Lüftungsanlage in der „Nicht – Heizperiode“ als Abluftanlage ohne Wärmerückgewinnung
5. Regelung der relativen Luftfeuchtigkeit und ggf. an die CO<sub>2</sub>-Konzentration der Raumluft durch den Volumenstrom (siehe Abbildung 3.4, CMT1, CMT2)

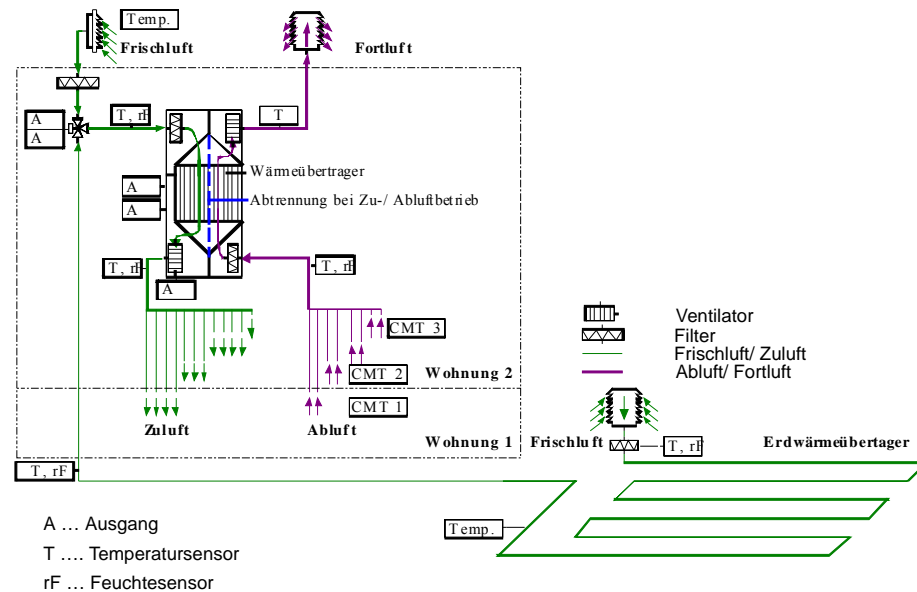


Abb. 3.4: Vereinfachtes Anlagenschema der Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung für die Programmierung des Reglers

### Technische Umsetzung

Das Wärmerückgewinnungsgerät wird über ein 0-10 V Steuersignal der UVR - Regelung gesteuert. Das Signal wird unabhängig von dem veränderbaren externen Druckverlust der Lüftungsanlage in einen zugehörigen Volumenstrom umgesetzt.

Alle einzelnen Stufen der Senkung der Betriebskosten werden schrittweise durchgeführt und die Auswirkungen auf das Bauwerk erfasst. Durch die Volumenkonstantregelung ist eine Erfassung des Wärmebereitstellungsgrades und des dazugehörigen elektrischen Stromverbrauches über den Betriebszeitraum möglich.

Bei einer sommerlichen Hitzeperiode wird einer kontrollierten intensiven Nachtlüftung mit der Lüftungsanlage ohne Kondensatausfall im Kanalnetz der Vorrang gegenüber einer Kühlung des Gebäudes mittels des Erdwärmeübertragers am Tage gegeben. Das Gebäude weist einen guten sommerlichen Wärmeschutz durch eine klimagerechte Konstruktion auf.

Tab. 3.1: Kenndaten des Wärmerückgewinnungsgerätes Paul Atmos 175 DC [12]

Wärmebereitstellungsgrad:	85 bis 95 %
Leistungsaufnahme:	15 bis 150 W (stufenlos regelbar)
Volumenstrom:	50 bis 300 m <sup>3</sup> /h (bei 150 Pa externem Druckverlust)
Schalldruckpegel: (nach DIN EN ISO 3743-1, 3 m Abstand)	18 dB (A) bei 50 m <sup>3</sup> /h , 22 dB (A) bei 150 m <sup>3</sup> /h, 27 dB (A) bei 300 m <sup>3</sup> /h

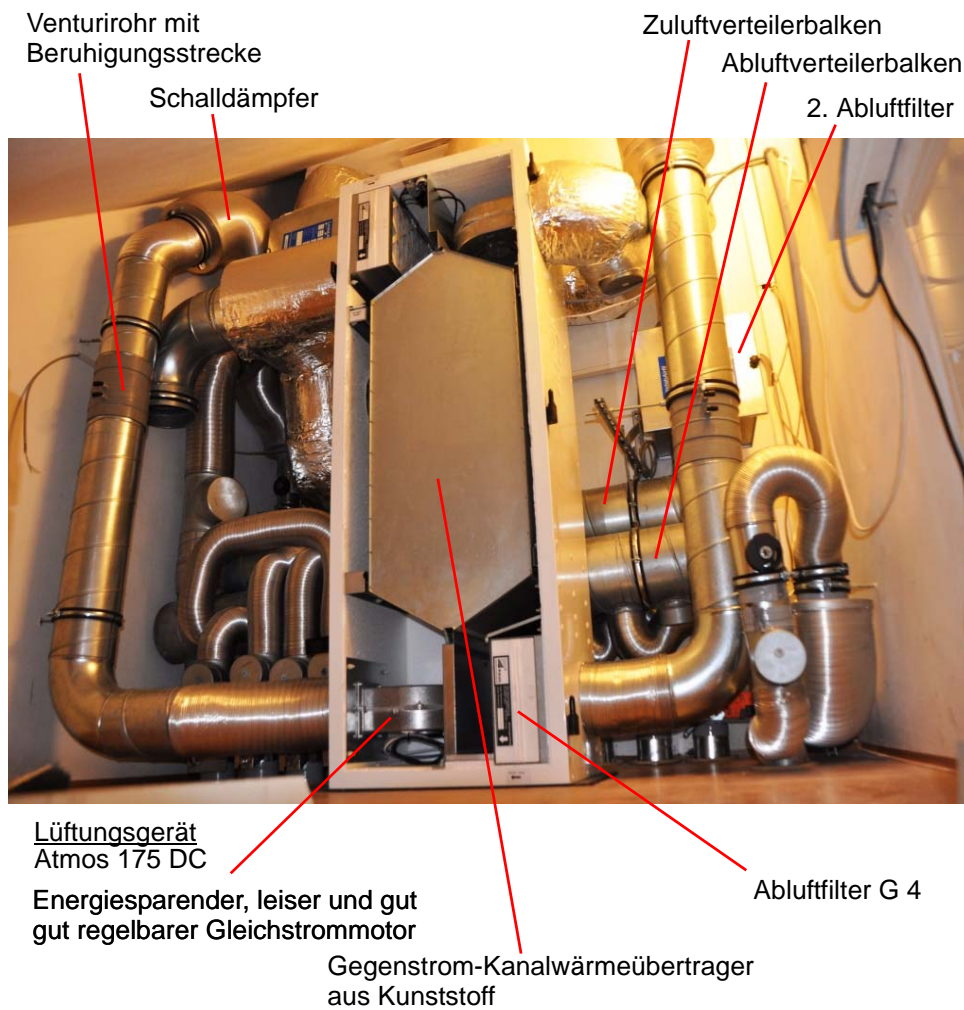


Abb. 3.5: Lüftungsanlage während der Installation

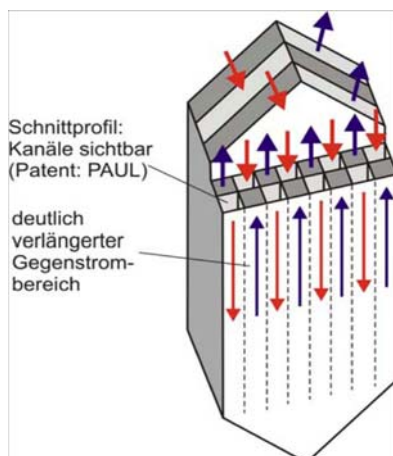


Abb. 3.6: Prinzip des Kanalgegenstromwärmeübertragers mit einem Wirkungsgrad von > 90 % [12]





### 3.3 Erneuerung der Heizungsanlage

#### Bestand

Im Gebäude war pro Wohnung eine Schwerkraftheizung, bestehend aus einem Festbrennstoffkessel und als Heizflächen Gussradiatoren und Plattenheizkörper, vorhanden. Der Kessel stand im Bad. Die Trinkwassererwärmung erfolgte durch einen Gasdurchlauferhitzer.

#### Neue Komponenten

Die Speicher sind das Herzstück der Heizungsanlage. In diese kann die Solaranlage über einen längeren Zeitraum geringe und der Kaminheizkessel kurzzeitig unkontrolliert große Wärmemengen einlagern. Analog werden an die Heizkreise kontinuierlich geringe und für die Bereitstellung des Warmwassers kurzfristig große Wärmemengen abgegeben.

#### Speicher- und Trinkwassererwärmung

Die Einbauhöhe für die Speicher ist im DG begrenzt. Deshalb wurden ein Pufferspeicher mit einem Solarkreislauf und ein Hygiene- Schichtkombispeicher (HSK), bestehend aus zwei Solarkreisläufen und einem Edelstahlwellrohr, installiert (siehe Abbildung 3.7). Diese konnten kostengünstig mit einem Ladearm eines LKW über ein Dachliegefenster ins 2. DG eingehoben werden.

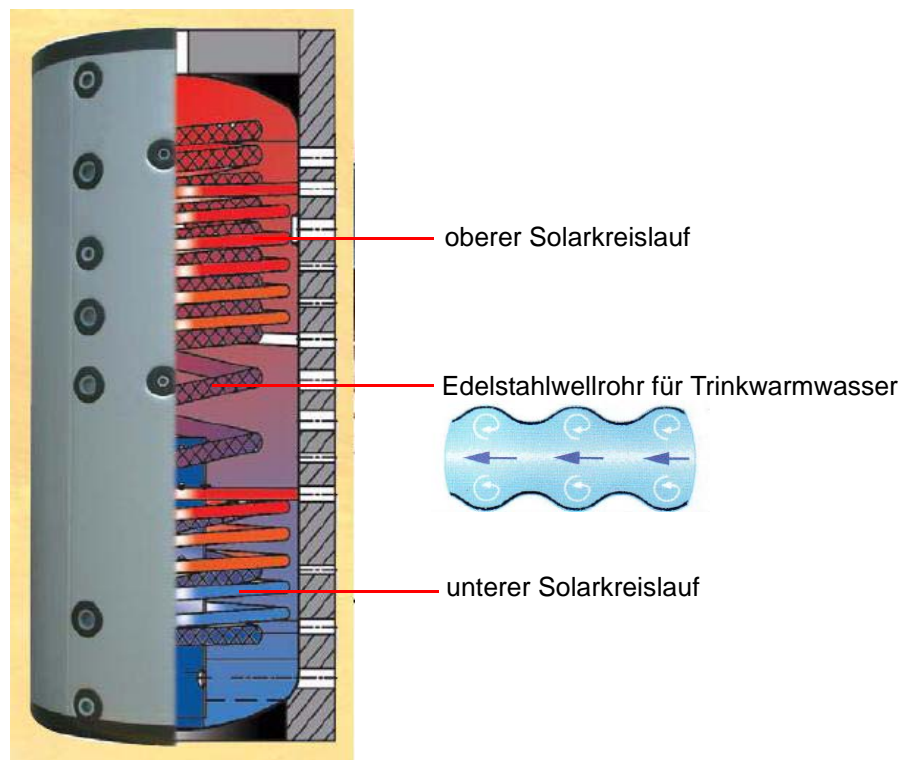


Abb. 3.7: Hygiene- Schichtkombispeicher (HSK) mit zwei Solarkreisläufen und einem Edelstahlwellrohr



Die Größe der Speicher ist so bemessen, dass in der Heizperiode für einen Tag der Heiz- und Warmwasserbedarf vom Festbrennstoffkessel bevorratet werden kann. In der „Nichtheizperiode“ kann für bis zu sieben Tage der Warmwasserbedarf von der Solaranlage eingelagert werden.

Im Edelstahlwellrohr wird das Trinkwasser im Durchlauf erhitzt. Durch die Begrenzung des Warmwasservolumens auf 55 Liter und das verwendete Durchlaufprinzip entfallen energieaufwändige thermische Desinfektionsmaßnahmen für eine Legionellenbekämpfung. Die Speicher können in vier verschiedenen Varianten zueinander geschaltet werden.

Die Schichtung reicht von 20°C im unteren Bereich des Kaltwasserzuflusses bis zu 80°C bei Beschickung durch den Festbrennstoffkessel im oberen Bereich. Durch diese gute Schichtung steht eine hohe Zapftemperatur für das Warmwasser zur Verfügung.

Die Verteilung des Trinkwarmwassers erfolgt innerhalb der thermischen Hülle. Bei Benutzung der Ferienwohnung wird die Zirkulationspumpe freigegeben. Der Hilfsenergieverbrauch der Zirkulationspumpe und der Wärmeverlust (siehe Abbildung 3.8) infolge der Warmwasserverteilung werden separat erfasst. Die Wärmemenge, die durch die Erwärmung des Kaltwassers in der thermischen Hülle erfolgt (siehe Abbildung 3.8), wird ebenfalls aufgezeichnet.

### Zirkulation des Trinkwarmwassers

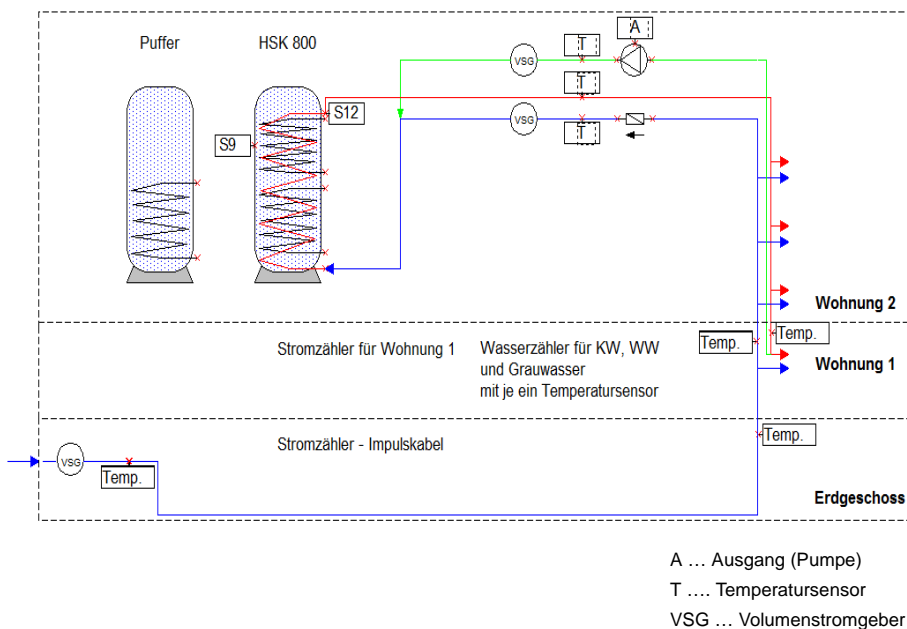


Abb. 3.8: Vereinfachtes Anlagenschema der Zirkulation für die Programmierung des Reglers



Um die Energieverluste durch die Zirkulation des Warmwassers zu minimieren, sind folgende Steuerungsfunktionen vorgesehen:

- Die Zirkulationspumpe schaltet bei Erreichen einer berechneten Warmwassertemperatur ab. Diese hängt von den vorhandenen Temperaturen im HSK-Speicher ab (siehe Abbildung 3.8).
- Am Ausgang des Edelstahlwellrohres aus dem HSK – Speicher wird die Temperatur mit einem ultraschnellen Sensor gemessen. Ein kurzzeitiges Betätigen des Warmwasserhahnes führt zu einer Veränderung der Temperatur. Daraufhin wird die Zirkulationspumpe angesteuert.
- Es wird ein Zeitprogramm hinterlegt, wann die berechnete Warmwassertemperatur benötigt wird. In der übrigen Zeit kann die Zirkulation über die Steuerung oder über den ultraschnellen Sensor angefordert werden.

### Unterstützung durch eine Solaranlage

Die Solaranlage mit einer Kollektorfläche von 12,16 m<sup>2</sup> befindet sich auf der hofseitigen Dachfläche mit einer Neigung von 45° und einer SSW-Ausrichtung (siehe Abbildung 3.9).

Die eingesetzten vakuumgedämmten Röhren mit integriertem Wärmerohr werden über eine trockene Systemanbindung an das Systemrohr mit dem Wärmeübertrager verbunden. Dadurch können einzelne Röhren ggf. ausgetauscht werden. Die solarthermischen Wandler der Solaranlage, Vakuum-Röhrenkollektoren, funktionieren nach dem Heat-Pipe-Prinzip.



Abb. 3.9: Vakuum - Röhrenkollektoren, geschlossene Dachhaut, rückbaubare Anlage



Die Solaranlage wurde für die Unterstützung der Heizungsanlage ausgelegt. Im Sommer wird die überschüssige Solarwärme bei Speichertemperaturen über 60 bis 70 °C zur Temperierung des Erdgeschosses genutzt, um die Sommerkondensation im Erdgeschoss zu verringern und die Warmwassertemperatur zu begrenzen.

Weiterhin wird die große speicherwirksame Bauwerksmasse im Erdgeschoss dieses Denkmals zur Langzeitspeicherung aktiviert. Unter der Fußbodendämmung des Bades und des Flurs im 1. OG wurde ein Heizkreis installiert, um große Wärmemengen langfristig in das Gewölbe und in die Erdgeschosswände einlagern zu können. Dies führt zu einem späteren Beginn der Heizperiode.

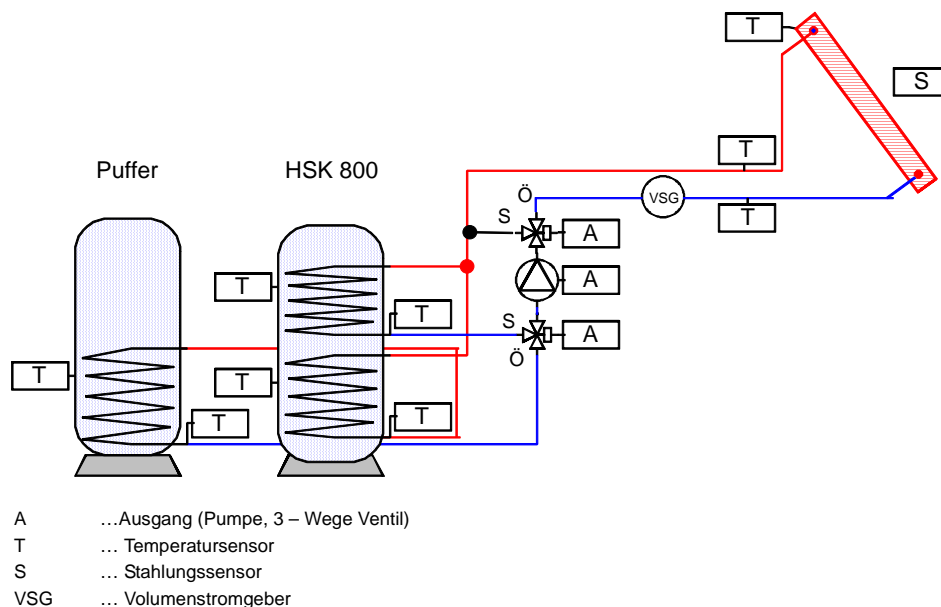


Abb. 3.10: Vereinfachtes Anlagenschema der Solaranlage für die Programmierung des Reglers

Die Steuerung der Solaranlage erfolgt über eine UVR – Steuerung. Dabei wird durch die Ansteuerung mit dem Wellenpaketmodus aus der Pumpe eine drehzahlgesteuerte Pumpe mit reduziertem Stromverbrauch.

Der obere Solarkreislauf (Solar 1) wird mit der Solarvorrangschaltung bei einer Strahlung von 200 W/m<sup>2</sup> senkrecht auf die Kollektorfläche (siehe Abbildung 3.10) zur schnellen Trinkwassererwärmung genutzt. Die Ausgänge der Pumpe und der beiden Stellventile sind geschaltet. Die Kollektortemperatur wird mittels Drehzahlsteuerung auf konstant 60 °C gehalten.

Bei Erreichen der geforderten Speichertemperatur bzw. nicht ausreichender Sonnenstrahlung wird auf die unteren Solarkreisläufe (Solar 2) zur Unterstützung der Heizung bzw. Trinkwassererwärmung sowie zur Temperierung im Erdgeschoss umgeschaltet (siehe Abbildung 3.10).

Die Temperaturdifferenz zwischen Kollektor und Rücklauf wird konstant auf 8 Kelvin gehalten. In der Heizperiode wird nur Solar 2 betrieben. Zurzeit werden die Schalt- und Differenztemperaturen optimiert.



Mit den Temperatursensoren im Vor- und Rücklauf und dem Volumenstromgeber werden die Leistung und die Wärmemenge ermittelt. Die Betriebsstunden werden getrennt nach Solar 1 und Solar 2 aufgezeichnet. Der eingesetzte Hilfsenergieverbrauch (Stromverbrauch inkl. Regler und Datenerfassung) der Solaranlage wird gemessen.

In der Anfangsphase konnten folgende Funktionsstörungen aufgezeichnet und behoben werden:

1. Durch die eingesetzten Solarkollektoren besitzt die Anlage einen geringen Strömungswiderstand im hydraulischen System. Insbesondere in der Nacht kam es bei ausgeschalteter Pumpe und Rückschlagventil zu Rückströmungen. Die Temperatur der Kollektorfühler war nur geringfügig unter der maximalen Speichertemperatur.
2. Durch die Startfunktion sollen Stillstände durch spätes Anspringen der Solarpumpe verhindert werden. Dazu wird in einem vorgegebenen Zeitfenster die Pumpe für 2 min angeschaltet. Da aber das obere Stellventil zur Verhinderung der Rückströmungen ca. 2 min zum Öffnen benötigt wurde, konnte diese Funktion nicht ausgeführt werden. Die UVR wurde so programmiert, dass das Stellventil entsprechend zeitiger angesteuert wird.
3. Bei der Startfunktion kam es in den Morgen- und Abendstunden zu wesentlichen Wärmeauslagerungen. Die Startfunktion wurde deshalb mit einem Strahlungssensor gekoppelt.

Durch diese Anlagekonfiguration, die sehr gute Ausrichtung ohne Verschattung und eine optimierte Regelung wird ein hoher Wirkungsgrad auch bei tiefen Außentemperaturen und geringer Sonneneinstrahlung erzielt (siehe Abbildung 4.53). Das Ziel, in der Nichtheizperiode den Trinkwarmwasserbedarf vollständig durch die Solaranlage zu decken, wurde erreicht. Die niedrige Vorlauftemperatur der Wand- und Fußbodenheizung und die Nutzung zur Temperierung des Erdgeschosses ermöglichten eine gute Auslastung der Anlage.

Durch die Kombination der Solaranlage mit dem schweren (denkmalgeschützten) Gebäude konnten die Nachteile des trägen Gebäudes durch die Bauteilaktivierung positiv für die Gesamtenergiebilanz genutzt werden. Die Schäden z. B. durch Sommerkondensation werden minimiert. Die Übertragung dieser beispielhaften Anlagentechnik und die Erfahrungen auf vergleichbar schwere historische Gebäude, z. B. Kirchen, sollten weiter verfolgt werden.

#### **Festbrennstoffkessel/ Kaminheizkessel**

Der verbleibende Wärmebedarf des Gebäudes wird durch einen Kaminheizkessel gedeckt (siehe Abbildung 3.11).

Der Kamin wird mit Stückholz befeuert. Holz ist ein erneuerbarer Brennstoff. Dieser nachwachsende einheimische Rohstoff ist in der Region langfristig verfügbar. Der Primärenergiefaktor wurde laut Herstellerangaben mit  $f_P=0,2$  festgelegt.





Eine Heizpatrone sichert die Versorgungssicherheit bei Abwesenheit. Die Anschlüsse für eine Gas-Brennwerttherme im 2. DG, Holzvergaserkessel bzw. Pelletofen im Erdgeschoss sind soweit vorbereitet, dass diese problemlos nachgerüstet werden könnten.

Die Lagerung des benötigten Holzes bzw. Holzbriketts für eine Heizperiode sind im Haus möglich. Es werden zurzeit ca. 4 Festmeter Nadelholz bzw. 2 Tonnen Holzbriketts pro Heizperiode benötigt. Bei der Befuerung des Kamins kann das Nützliche mit dem Angenehmen verbunden werden. Die Arbeitszeit für den Betrieb des Kaminheizkessels wird daher nicht in Ansatz gebracht. Der Einsatz eines Kaminheizkessels wird eigengenutzten 1 - 2 - Familienhäusern vorbehalten bleiben.

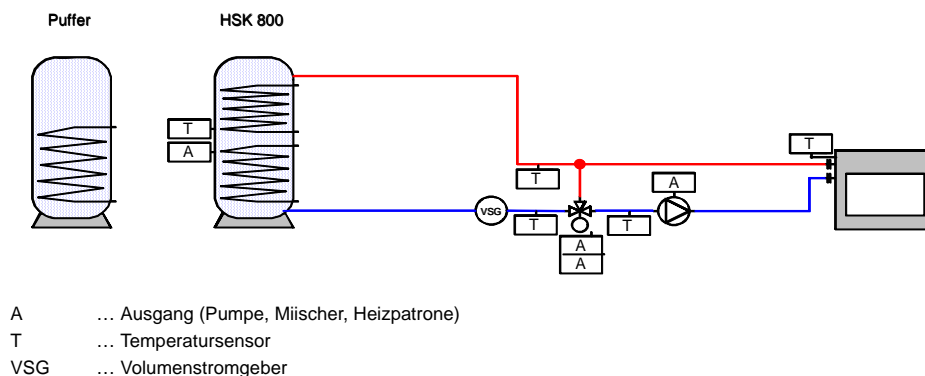


Abb. 3.11: Vereinfachtes Anlagenschema des Kaminheizkessels für die Programmierung des Reglers

Die Wärmeabgabe an den HSK- Speicher ist unkontrolliert und unkontinuierlich (siehe Kapitel 4.4.2). Um optimale Verbrennungsvorgänge und eine Langlebigkeit des Kessels zu gewährleisten, wird mittels eines Mischers (siehe Abbildung 3.11) die Vorlauftemperatur auf 60°C gehalten. Der Kamin wird mit Calciumsilikatplatten gedämmt, welche gute brandschutztechnische Eigenschaften besitzen. Bei dem nächsten Verbrennungsvorgang ist der Kamin vorgewärmt. Nach dem Verbrennungsvorgang wird der Mischer geschlossen, um eine Rückströmung und damit verbundene Verfälschung der Messwerte zu vermeiden.

In der Heizperiode 2005/ 2006 wurde die drehzahlgesteuerte Ladepumpe mittels einer Differenzregelung zwischen den Temperatursensoren des Kamins und des HSK - Speichers betrieben.

Dabei war die Differenz zwischen den beiden Temperaturen durch die gute Schichtung im HSK - Speicher größer als die eingestellte Temperaturdifferenz, sodass die Pumpe in den meisten Fällen mit maximaler Drehzahl gelaufen ist. In der Heizperiode 2006/ 2007 wird der Sensor des Kamins mit einer Absolutwertregelung auf mindestens 65°C analog der Solar 1 betrieben. Damit wird eine bessere Anpassung der Drehzahl der Pumpe an die unkontrollierte Leistungsabgabe des Kamins an den Speicher und eine prognostizierte Einsparung an Hilfsenergie von ca. 30% erreicht.

Der Pufferspeicher und die HSK können vielfältig zueinander geschaltet werden. Es hat sich bewährt, nur die HSK mit dem Festbrennstoffkessel zu laden, da am



Morgen – nach Einschalten der Heizung - das Heizungswasser mit ca. 20 °C in den Pufferspeicher gelangt und am Tage durch die Solaranlage (Heizungsunterstützung Solar 2) mit einem hohen Wirkungsgrad wieder aufgeladen wird. Die Umladung in dem Pufferspeicher ist durch den Solarkreislauf Solar 2 und Solarpumpe ab einer vorgegebenen Temperaturdifferenz zwischen Temperatursensoren des Pufferspeichers und des HSK - Speichers bei abgeschaltetem Kollektorfeld möglich (vgl. Abbildung 3.10).

Mit den Temperatursensoren im Vor- und Rücklauf und dem Volumenstromgeber werden die Leistung und die Wärmemenge ermittelt (siehe Abbildung 3.11). Die Betriebstunden werden aufgezeichnet.

Der Heizkessel befindet sich innerhalb des beheizten Raumvolumens im 2. DG. Bei Häusern mit hohem Dämmstandard kommt es bei herkömmlichen Kaminen zur Überheizung des Raumes, da die ganze Wärmeleistung unkontrolliert an den Raum abgegeben wird. Die angegebene Wasserwärmeleistung des Kaminheizkessels ist mit 11,5 kW die Durchschnittsleistung. In der Anfeuerungphase wurden bis zu 3-mal höhere Leistungen gemessen. Die niedrige Raumwärmeleistung von 3,4 kW ist größer als die berechnete Heizleistung für das 2. DG. Eine Überheizung des Raumes wurde nicht festgestellt. Eine Verteilung findet über die Lüftungsanlage mit WRG statt.

Die Verbrennungsluft zum Betrieb wird aus dem Aufstellraum entnommen. Bei Räumen mit einem Volumen  $< 4 \text{ m}^3$  pro 1 kW Heizleistung kann an einem vorgesehenen Anschluss Frischluft zusätzlich zugeführt werden. Die Dunstabzugshaube wird im Umluftbetrieb betrieben. Die Lüftungsanlage regelt anhand des Druckes den Zu- und Abluftstrom, sodass bei Beheizung des Kamins selbständig der Abluftstrom der Lüftungsanlage reduziert wird.

Am Kaminheizkessel befindet sich ein ca. 3,5 m langes Rauchrohr. Die Wärmeabgabe in den Raum kann mittels drei hochtemperaturbeständigen Thermoelementen aufgezeichnet werden. Nach Auswertung dieser Messwerte soll eventuell eine Kupferschlange um das Rauchrohr gelegt werden, um den Wirkungsgrad des Kessels zu erhöhen und die Wärmeabgabe an den Raum zu reduzieren.

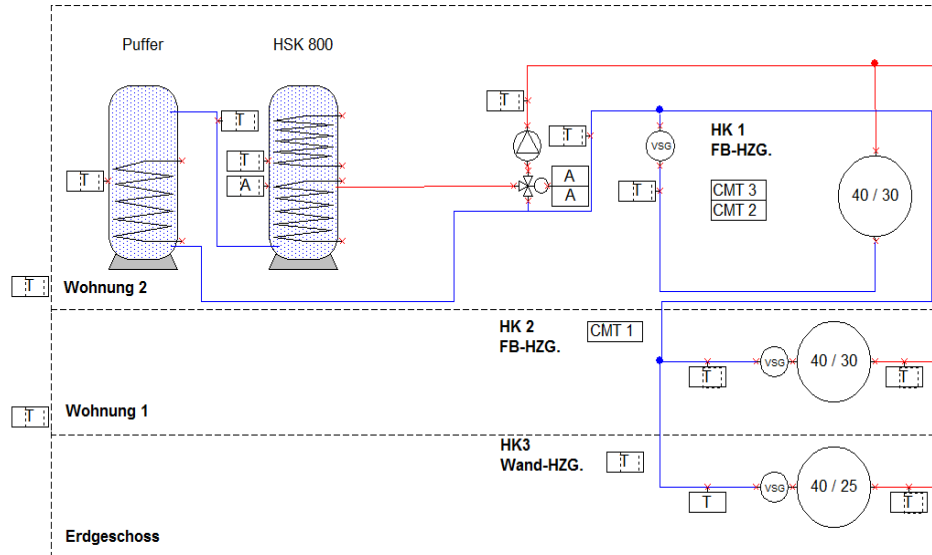
### **Heizkreise und Heizflächen**

Durch den anzusetzenden variierenden Leerstand in der Nachbarbebauung müssen verhältnismäßig große Heizflächen (Kombination aus Fußboden-, Wandheizung und innenwandorientierten Heizkörpern) vorgehalten werden (siehe Abbildung 3.14 und Abbildung 3.15). In der Praxis führt das zu einer geringen Vorlauftemperatur. Dies ist günstig für einen hohen Wirkungsgrad der Solaranlage.

Das thermische Verhalten der jeweiligen Gebäudeteile ist unterschiedlich. Im Erdgeschoss wird zur Vermeidung von Sommerkondensation Heizenergie benötigt.



Die Wohnung 1 im 1. OG verhält sich wie ein sehr schweres Gebäude. Das thermische Verhalten der Wohnung 2 reicht vom schweren bis zum leichten Gebäude.



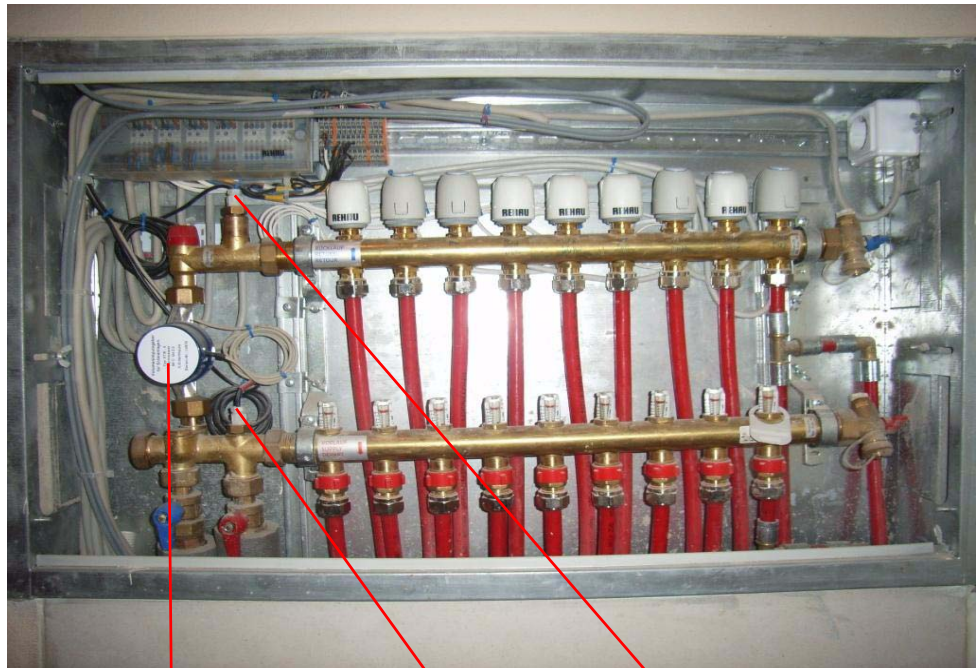
- A ... Ausgang (Pumpe, Heizpatrone)
- T ... Temperatursensor
- VSG ... Volumenstromgeber

Abb. 3.12: Vereinfachtes Anlagenschema der Heizkreise für die Programmierung des Reglers

In der Wohnung 1 ist ein (CMT1) und in der Wohnung 2 sind zwei (CMT2, CMT3) Bedienteile mit Raumtemperatursensoren installiert. Im Gebäude sind drei verschiedene Heizkreise vorhanden. Um die Heizkreise mit einer Pumpe und einem Mischer betreiben zu können, werden durch die UVR – Regler für jeden Heizkreis die Vorlauftemperatur in Abhängigkeit von der Außentemperatur und den Raumtemperaturen (CMT1-3) berechnet und die maximale Vorlauftemperatur eingestellt. Die drehzahlgesteuerte Pumpe steuert mittels der Differenzregelung die Rücklauftemperatur des Sensors.

Die Rücklauftemperatur ergibt sich aus der berechneten Vorlauftemperatur minus der gewünschten Temperaturdifferenz (siehe Abbildung 3.12). Der Heizkreis 3 wird zur Temperierung des Erdgeschosses mit überschüssiger Solarwärme zur Vermeidung der Sommerkondensation eingesetzt. Bei der Anhebung der Raumtemperatur sinkt die relative Luftfeuchtigkeit. Der Heizkreis wird bei Überschreiten einer für die Bauteile kritischen relativen Luftfeuchte eingeschaltet (siehe Abbildung 3.12).

Die Raumregler steuern die einzelnen Ventile der Fußboden- und Wandheizung in den Wohnungen. In der Wohnung 2 sind drei Benutzergruppen (Wohnküche/ Dusche/ Arbeitszimmer, Kinder- und Schlafzimmer, Galerie im 2. DG), welche mit einem Zeitprogramm gesteuert werden, vorhanden. In den Absenkezeiten wird die selbstregulierende Flächenheizung abgeschaltet. Bei dem Heizkreis 3 werden die Stellmotoren direkt über den Regler angesteuert. Die Zustände der Ventile werden für die Gebäudesimulation aufgezeichnet.



Volumenstromgeber VSG

Pt 1000 Vorlauf

Pt 1000 Rücklauf

Abb. 3.13: 1. OG, Heizkreisverteiler 2, Raumregler, Stellventile, Volumenstromgeber (VSG), Temperatursensoren (Pt 1000)



Abb. 3.14: Wandheizung in die Holzdoppelständerwand integriert, Holzdoppelständerwand mit Hanfdämmung



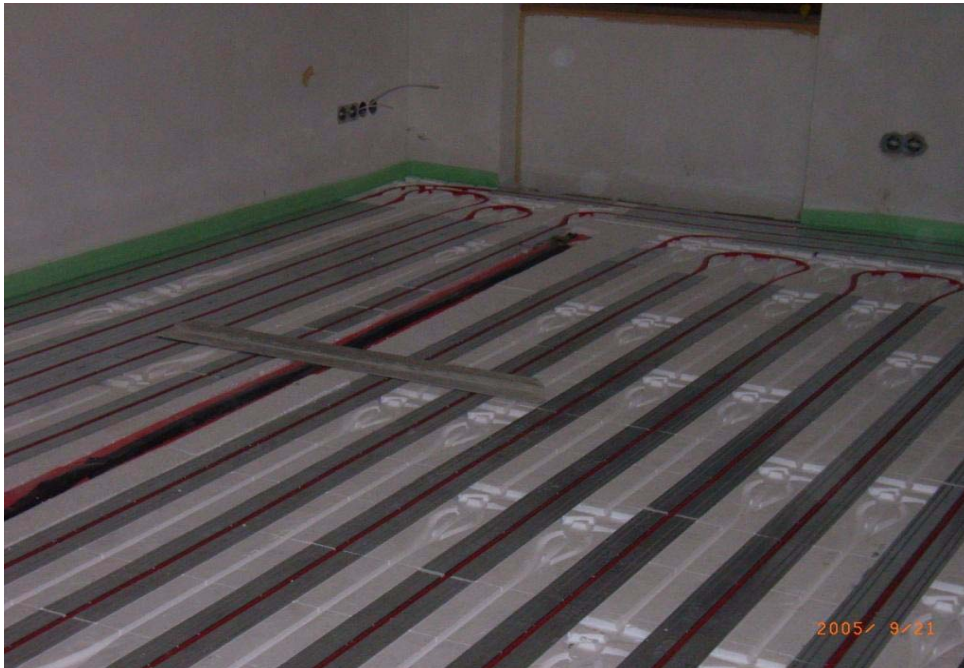


Abb. 3.15: Fußbodenheizung als Trockensystem

Bei der straßenseitigen Außenwand mit Innendämmung wird im Bereich des Strichbalkens ein Heizungsrohr unter Putz verlegt, um in diesem Bereich einen bauteilunkritischen Feuchtegehalt zu garantieren (siehe Abbildung 2.17).

Um eine Schädigung an den historischen Holzbalkendecken zu vermeiden, wurde eine kontinuierliche Wärmeabgabe mit einem hohen Strahlungsanteil ohne große Temperaturschwankungen gewählt.

Die Messungen zeigen, dass die Fußboden- und Wandheizungen sehr träge sind. Bei einer Stoßlüftung benötigen sie sehr lange, um den Raum nachzuheizen. Die Stoßlüftung ist beim Betrieb der Lüftungsanlage nicht notwendig (siehe Kapitel 4.4.2).

Bei Nichtbelegung der Wohnung 1 – Ferienwohnung - wird untersucht, ob auch hier eine zusätzliche Temperierung bzw. Absenkbetrieb zur Gewährleistung einer unkritischen relativen Luftfeuchtigkeit für die historisch wertvollen Holzbalkendecken benötigt wird. Hierbei können Rückschlüsse auf den zunehmenden temporären und dauerhaften Leerstand gezogen werden. Die gegenseitige Beeinflussung der Heizung und der Lüftungsanlage soll herausgearbeitet werden.

Für jeden Heizkreis werden die Leistung und die Wärmemenge ermittelt (siehe Abbildung 3.12). Die Betriebsstunden und die benötigt Hilfsenergie werden erfasst. In der Heizperiode 2005/ 2006 war nur der Heizkreis 1 aktiv. Ab Sommer 2006 wurde die überschüssige Solarwärme ins Erdgeschoss eingelagert.





### 3.4 Grau- und Regenwassernutzungsanlagen

#### Grauwassernutzungsanlage

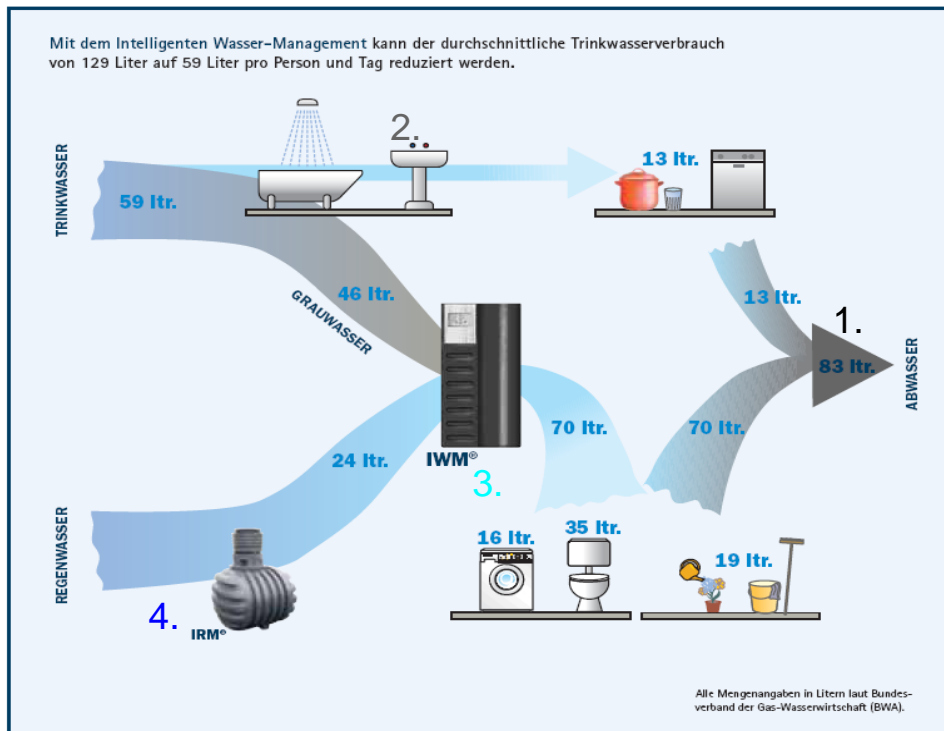
Im innerstädtischen Bereich mit einer mehrgeschossigen Bebauung ist es nicht möglich, den Wasserbedarf für die Toilettenspülung und für das Wäschewaschen allein von dem anfallenden Regenwasser zu decken. In Kombination mit einer Grauwasseranlage (siehe Abbildung 3.16) kann in erheblichem Maße der Trink- und Abwasserverbrauch reduziert werden (siehe Abbildung 3.17).

Es wurden ein zusätzlicher Abwasserkanal, ein Grauwassernetz und die Regenwassertanks installiert. Die Installation der Grauwassernutzungsanlage und der „Fußbodenabwasserheizung“ wurde mit der Fertigstellung des Erdgeschosses vorgenommen. Die Steuerung erfolgt über eine UVR - Steuerung.



Abb. 3.16: GEP - Grauwassernutzungsanlage IWM-Wassermanager WME 4, 300 l/d Aufbereitungsleistung, B/T/H: 75 cm/ 70 cm/ 150 cm [13]

Bei der vollbiologischen Grauwassernutzungsanlage (siehe Abbildung 3.16) werden das Bade- und Duschwasser im Gebäude soweit aufbereitet, dass es zum Wäschewaschen, zur Reinigung im Gebäude und zur Toilettenspülung wieder verwendet werden kann.



1. fäkalienhaltiges Abwasser

2. fäkalienfreies Abwasser

3. aufbereitetes Grauwasser

4. Regenwasserdruckleitung

Abb. 3.17: Mögliches Einsparpotential bei der Verwendung von Regen- und Grauwasser-nutzungsanlagen im innerstädtischen Bereich [13]

Das Grauwasser wird in 2 Schritten aufbereitet. Im 1. Schritt erfolgt eine biologische Aufbereitung durch eine Sauerstoffanreicherung. Im 2. Schritt wird das Betriebswasser mittels einer Mikrofiltration hygienisiert. Bei diesem System wird mit geringeren Stromkosten gegenüber Systemen mit einer UV-Hygienisierung gerechnet.

Die Grauwassernutzungsanlage hat einen Überlauf in den Abwasserkanal. Wenn zuviel geklärtes Grauwasser vorhanden ist, läuft dieses über einen weiteren Überlauf in die Regenwassertanks. Da der Regenwasserkanal direkt unter dem Erdgeschossfußboden verläuft und sich die Regenwassertanks unter dieser Ebene befinden, ist eine zusätzliche Rückschlagsicherung notwendig (siehe Abbildung 3.18).

Mit den Temperatursensoren und dem Volumenstromgeber werden die Leistung und die Wärmemenge in Bezug auf die Wärmeabgabe in den Raum berechnet. Mittels der Differenz zwischen Kaltwasser und dem Temperatursensor des Grauwassers und Volumenstromgeber wird die wieder gewonnene Abwasserwärme ermittelt. Die Betriebsstunden und der Stromverbrauch der Grauwassernutzungsanlage werden aufgezeichnet.

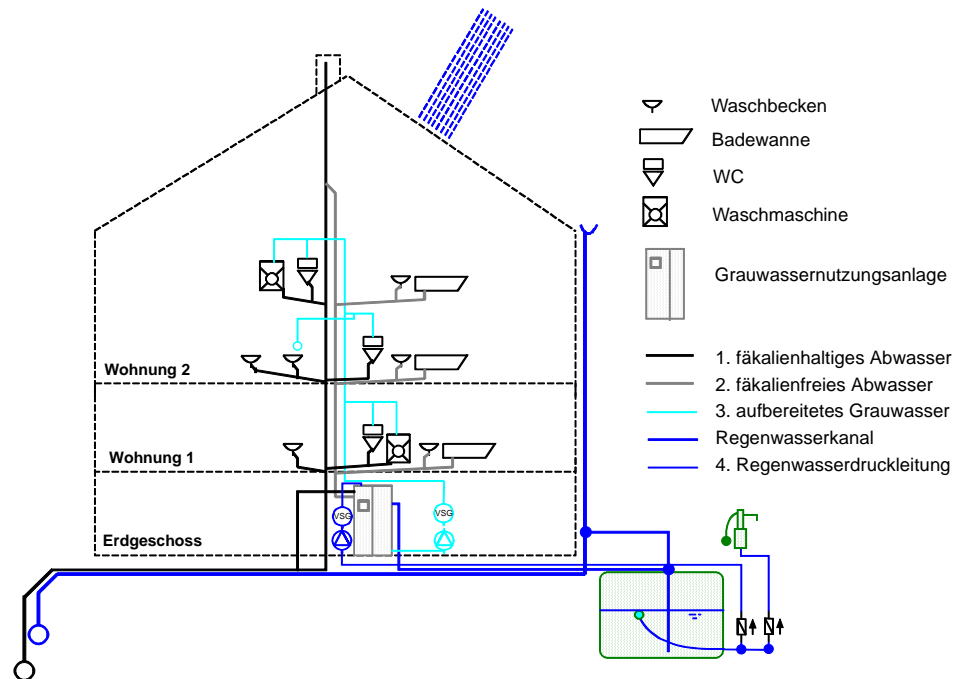


Abb. 3.18: Vereinfachtes Anlagenschema der Grauwasser- und Regenwassernutzungsanlage für die Programmierung des Reglers

Der Geschirrspüler besitzt einen Warmwasseranschluss. Die Waschmaschine ist an das Grauwassernetz angeschlossen und kann ggf. mittels eines Vorschaltgerätes direkt für den Waschgang Warmwasser anfordern.

### Regenwasser-nutzungsanlage

Für die Einspeisung von Regenwasser in das Abwassernetz ist in Görlitz ein zusätzlicher Zähler notwendig. Die damit verbundene Zählergebühr ist der Hauptgrund, dass eine Einspeisung in das Grauwassernetz derzeit nicht erfolgt.

Zurzeit wird in Görlitz an einer Regelung zur Abgabe für versiegelte Flächen gearbeitet. Wie die Einspeisung von Regenwasser in das Abwassernetz danach berechnet wird, ist zum jetzigen Zeitpunkt noch ungewiss. Die Regenwasseranlage versorgt die Blumenkästen der Balkonanlage und den Garten. Nach einer Klärung der Versiegelungsabgabe kann ggf. eine Einspeisung von Regenwasser in die Grauwassernutzungsanlage wirtschaftlich werden.

### Abwasserfuß-bodenheizungen

Durch die Grauwasseranlage steigt das Temperaturniveau des fäkalienhaltigen Abwassers, welches mittels einer Hebeanlage durch im Fußboden verlegte Rohre gepumpt wird (siehe Abbildung 3.19). Um Verstopfungen zu vermeiden, werden die groben Bestandteile im Abwasser mit einer Edelstahlschneidwerkspumpe zerkleinert. Es besteht die Möglichkeit, durch die Pumpe der Grauwasseranlage die Abwasserleitung mit ca. 5 bar zu spülen. Das Abwasser wird periodisch in die



Rohre gepumpt. Die Wärme des Abwassers wird solange an den Raum abgeben, bis die Temperatur des Abwassers die Raumtemperatur erreicht hat.

In der ersten Heizperiode wurden im Erdgeschoss Raumtemperaturen unter 5 °C gemessen. Die Temperaturdifferenz zwischen Abwasser und Raumluft ist ausreichend, um die Raumtemperatur mit der Fußbodenabwasserheizung anzuheben, d. h., dass ein großer Anteil der Energie für die Bereitstellung des Warmwassers und für die Temperierung des Erdgeschosses wieder genutzt wird.

Die Anhebung der Raumtemperatur führt zu einer Minimierung der Transmissionswärmeverluste der Decken über dem Erdgeschoss und dem Keller sowie der Innenwände zum Treppenhaus.



Abb. 3.19: Fußbodenabwasserheizung, 60 m PE 50 im Erdgeschoss

Analog zum Aufbau der Abwasserfußbodenheizung wird eine Grauwasserfußbodenheizung eingebaut. Die Investitions- und die Stromkosten sind durch den Wegfall der Edelstahl-schneidwerkspumpe wesentlich geringer. Die Temperaturdifferenz zwischen ca. 32 °C warmen Badewasser und der Raumlufttemperatur im EG ist auch über das ganze Jahr ausreichend, um die „Werkstatt“ im EG zu temperieren (siehe Anlagen Zeichnung Grundriss EG). Das Grauwasser wird durch die Fußbodenheizflächen in die Grauwassernutzungsanlage gepumpt. Ein Vergleich der einzelnen Varianten in Bezug auf die Energieeffizienz und die Wirtschaftlichkeit wird durchgeführt.

Für den breiten Einsatz dieser Systeme wird am Testgebäude eine Langzeiterprobung durchgeführt. Zurzeit wird nur die Grauwasserfußbodenheizung empfohlen. Bei der Abwasserfußbodenheizung liegen noch keine ausreichenden Langzeiterfahrungen vor.







## 4 Ergebnisse der Gebäudemonitorings

### 4.1 Übersicht der installierten Messtechnik

#### 4.1.1 Installierte Messerfassungssysteme

Für die messtechnischen Untersuchungen am Gebäude wurden zwei unabhängige Systeme installiert. Das installierte System für die Gebäudesteuer- und Regelung kann gleichzeitig zur messtechnischen Untersuchung genutzt werden (siehe Kapitel 3.1, Abbildung 3.2).

Für die Erfassung des Innen- und Außenklimas, des Nutzerverhaltens und der 12 Messstrecken wird auf ein bewährtes Messerfassungssystem zurückgegriffen.

**Messerfassungssystem Firma Ahlborn**

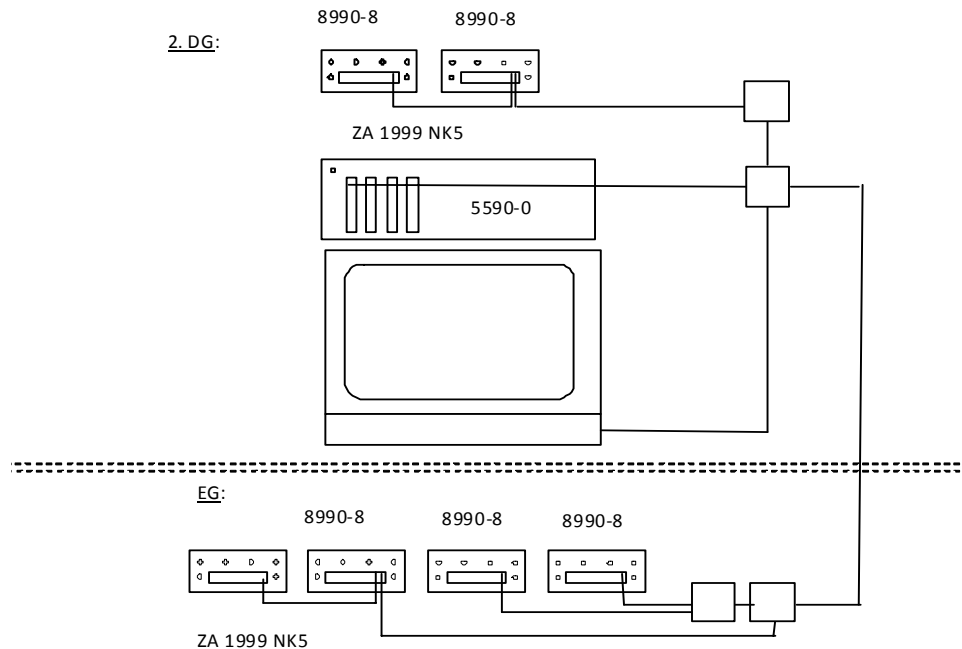


Abb. 4.1: Anordnung Ahlborn - Netzwerk

Analog zu der Messdatenerfassungsanlage im 2. DG mit Klemmkästen ist die Messtechnik im EG aufgebaut. Die messtechnischen Untersuchungen erstrecken sich auf die Erfassung der meteorologischen Daten in dem Altstadtquartier (innerstädtisch, z. B. weniger Besonnung) und des Wärme- und Feuchteverhaltens des Gebäudes (Raumlufttemperatur, Raumluftfeuchte, Oberflächentemperatur, Baustofffeuchte und Temperaturverlauf innerhalb der Bauteile). Weiterhin werden der Verbrauch der Primärenergieträger, die solaren Wärmegevinne durch die Solarkollektoren sowie der Volumenstrom und die Temperatur der Zu- und Abluft erfasst. Für die Quantifizierung der Luftqualität wird die  $\text{CO}_2$ -Konzentration der Luft temporär gemessen.

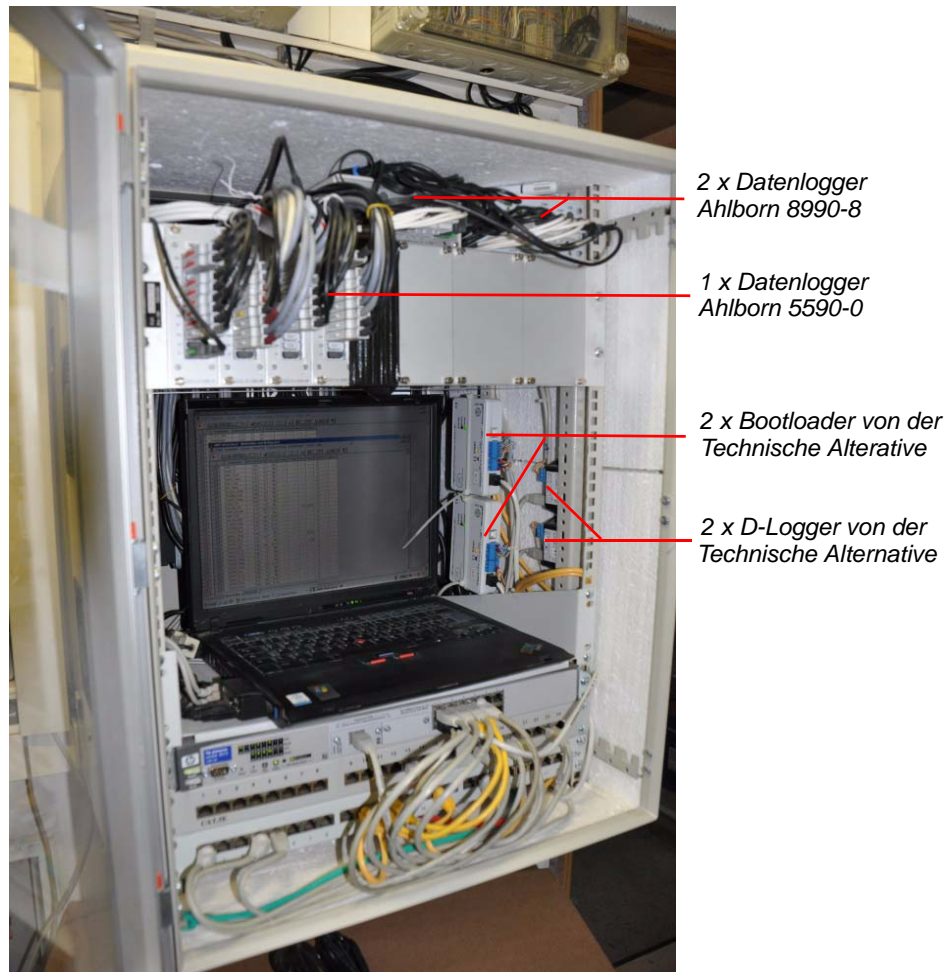


Abb. 4.2: Messdatenerfassungsanlage Firma Ahlborn im 2. DG mit minimalem Platzbedarf

#### 4.1.2 Baubegleitende Installation der Sensoren

Die eingesetzte Sensorik wurde zusätzlich zur herkömmlichen messtechnischen Erfassung aller für den Betrieb des Bauwerks wesentlichen bauphysikalischen und haustechnischen Komponenten speziell für die hygrothermische Gebäude- und Bauteilsimulation unter Einbezug der Gebäudetechnik ausgerichtet. Es können verschiedene Arbeitszyklen der Anlagentechnik am Gebäude erprobt und die Auswirkung auf das einzelne Bauteil, das Innenklima und andere Komponenten der TGA unter realen Bedingungen erfasst werden. Dies ist eine Grundvoraussetzung für die Kalibrierung von Simulationswerkzeugen, welche eine Übertragung der gewonnenen Erkenntnisse auf den Gebäudebestand ermöglichen.

#### Klima und Nutzerverhalten

Klima ist die Gesamtheit aller an einem Ort möglichen Wetterzustände, einschließlich ihrer typischen Aufeinanderfolge sowie ihrer tages- und jahreszeitlichen Schwankungen. Das Klima wird dabei jedoch nicht nur von Prozessen innerhalb der Atmosphäre, sondern vielmehr durch das Wechselspiel aller Sphären der Erde (Kontinente, Meere, Atmosphäre) sowie der Sonnenaktivität geprägt. Es umfasst



zudem unterschiedlichste Größenordnungen, wobei vor allem die zeitliche und räumliche Dimension des Klimabegriffs von entscheidender Bedeutung für dessen Verständnis ist [14].

Der Nutzer hat Einfluss auf das Raumklima (Temperatur, relative Feuchtigkeit, Luftwechselrate) und einen entscheidenden Einfluss auf den Gebäudeenergieverbrauch. Mit der Erfassung des Innenklimas (Temperatur, relative Feuchtigkeit, Luftwechselrate - Fensteröffnungszeiten, Volumenstrom der Lüftungsanlage, Stellung der Ventile der Flächenheizung) kann das Nutzerverhalten erfasst werden.

Unter Baukonstruktion versteht man die Konstruktion von Bauwerken und Gebäuden. Dies umfasst sowohl den Konstruktionsprozess als auch das Ergebnis, das Gefüge der Bauteile im fertigen Bauwerk [14].

### **Baukonstruktion**

Die Begriffe Haustechnik, Technische Gebäudeausrüstung (TGA), Gebäudetechnik, Anlagentechnik oder Versorgungstechnik beschreiben alle dasselbe Themengebiet ... . Eine genaue Abgrenzung der Begriffe ist nur schwer möglich. Unter Versorgungstechnik fasst man heute alle technischen Maßnahmen zusammen, die in Räumen und Gebäuden, aber auch Betriebsstätten und öffentlichen Einrichtungen der energetischen (Heizung, Beleuchtung) und stofflichen (Wasser, Luft) Versorgung bzw. der Entsorgung aller Abfallprodukte (Abwasser, Müll) gelten. Der Zweck ist, das Gebäude für die Bewohner und Nutzer „benutzbar“ zu machen und verschiedene Sicherheitsaufgaben zu erfüllen. Einerseits sind damit üblicherweise notwendige Ausstattungsmerkmale wie Kanalisation, Stromversorgung oder Beleuchtung gemeint. Andererseits umfasst der Begriff der Haustechnik aber auch alle zusätzlichen Anlagen, die zur Automatisierung von Arbeitsvorgängen in Gebäuden eingesetzt werden [14].

### **Anlagentechnik**

Im Rahmen einer Landesinnovationspromotion wird eine langfristige detaillierte Untersuchung des Gebäudes weitergeführt und 2010 in die Querauswertung des EnOB – Langzeitmonitoring aufgenommen. Hierfür wird die Regel- und Steuertechnik erweitert.

Es wurden über 200 Sensoren und 50 Ausgangszustände anstelle von 40 geplanten eingebaut (siehe Tabelle 4.1). Der Bauablauf musste auf umfangreiche Installationsarbeiten erweitert und abgestimmt werden.



Tab. 4.1: Übersicht die Messpunkte (Stand 2009)

	Windgeschwindigkeitsgeber	Windrichtungsgeber	Niederschlagsgeber	Pyranometer	Feuchtefühler	Temperaturfühler	Luftdrucksensor	Wärmeflussplatte	Fensterschließkontakte	Volumenstromgeber	Wärmemengenzähler	Stromzähler	Ausgangszustände	Summe
<b>Klima und Nutzerverhalten</b>														
Wetterstation	1	1	1	1	2	1	1							9
Innenklima					20	20								40
Nutzerverhalten									27				19	46
<b>Baukonstruktion</b>														
1. Messstrecke AW 2.OG Nord				1	1	8		1						11
2. Messstrecke AW 1.DG Süd				1		6		1						8
3. Messstrecke AW 1.OG Süd						3		1						4
4. Messstrecke AW EG Nord						6								6
5. Messstrecke IW EG						4								4
6. Messstrecke Dach Nord					2	4		1						7
7. Messstrecke Dach Nord					2	4		1						7
8. Messstrecke Dach Nord					2	4		1						7
9. Messstrecke Dach Süd						4		1						5
10. Messstrecke Fenster Nord						5								5
11. Messstrecke Fenster Süd						4								4
12. Messstrecke DLF Nord						(4)								
<b>Anlagentechnik</b>														
Hausanschlüsse										1		1		2
Messtechnik											1			1
Solaranlage und Speicher			1			14				1	1	1	4	22
Zirkulation						2				1	1	1	1	6
Kamin						7				1	1	1	4	14
Heizkreise						8				3	3	1	14	29
Lüftungsanlage					6	8						1	6	21
Warmwasser						3				1	1			5
Grauwassernutzungsanlage						6				3	3	1	1	14
Fußbodenabwasserheizung						3		1		1	1	1	2	9
<b>Summe</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>5</b>	<b>35</b>	<b>129</b>	<b>1</b>	<b>8</b>	<b>27</b>	<b>12</b>	<b>11</b>	<b>9</b>	<b>51</b>	<b>291</b>



## 4.2 Analyse des Außen- und Innenklimas sowie des Nutzerverhaltens

### 4.2.1 Analyse des Außenklimas für den Standort Görlitz

Das thermische und hygrische Verhalten der Bauteile und des gesamten Gebäudes wird durch nachfolgende Außenklimaparameter beeinflusst:

1. Lufttemperatur
2. Relative Luftfeuchtigkeit bzw. Partialdruck des Wasserdampfes
3. Direkte und indirekte Strahlung
4. Himmelsgegenstrahlung - langwellige Abstrahlung
5. Schlagregen (Komponente aus Wind und Niederschlag)
6. Luftdruck

Für eine bauphysikalische Bauteil- und Gebäudebemessung ist eine Quantifizierung dieser Außenklimaparameter erforderlich.

### Klimamessstation



Abb. 4.3: Klimamessstation





#### 4.2.2 Vergleich der gemessenen Klimadaten mit der Wetterstation DWD Görlitz

Es werden die Klimadaten der Wetterstation des Deutschen Wetterdienstes der Station Görlitz mit dem innerstädtischen Klima der Wetterstation auf dem Dach des Gebäudes Handwerk 15 verglichen. Die Wetterstation des DWD Görlitz befindetet sich ca. 4 km westlich außerhalb der Bebauung auf dem Flugplatz Görlitz.

#### Außenlufttemperatur im Sommer 2007

Exemplarisch wird die Außenlufttemperatur in einem Monat in der Heizperiode und in einer Hitzeperiode zur Verdeutlichung zwischen dem freien Feld und der innerstädtischen Bebauung herangezogen.

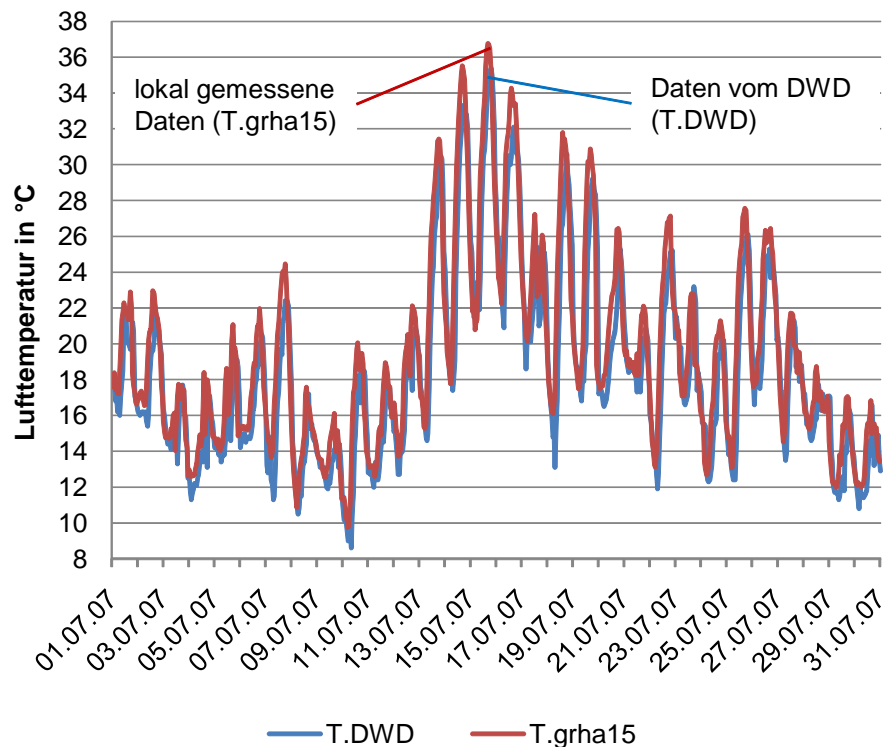


Abb. 4.4: Verlauf der Außenlufttemperatur am Handwerk 15 (innerstädtisch) und der Außenlufttemperatur der Station DWD Görlitz im Juli 2007 in [°C]

Die Abbildung 4.4 zeigt den Verlauf der Außenlufttemperatur am Handwerk 15 (innerstädtisch) und der Außenlufttemperatur der Station DWD Görlitz (freie Feld) für Juli 2007. Der Vergleich der Außenlufttemperatur am Handwerk 15 (innerstädtisch) mit der Außenlufttemperatur der Station DWD Görlitz schließt grobe Messfehler der Wetterstation des Gebäudes Handwerk 15 aus. Die Hitzeperiode erreicht ihr Maximum mit 36,8 °C am 16 Juli um 17:00 Uhr im innerstädtischen Bereich ca. 2 m über dem Dach des Gebäudes Handwerk 15 und 35,4 °C um 16:00 Uhr auf dem Flugplatz (siehe Abbildung 4.5). Die Phasenverschiebung zwischen innerstädtischem Bereich und freiem Feld liegt bei 1 Stunde. Die Maximaltemperatur und Minimaltemperatur sind im innerstädtischen Bereich um 1 Kelvin höher. Am Gebäude selbst gibt es noch zusätzlich Temperaturunterschiede zwischen den Geschossen und der Nord- und Südfassade.

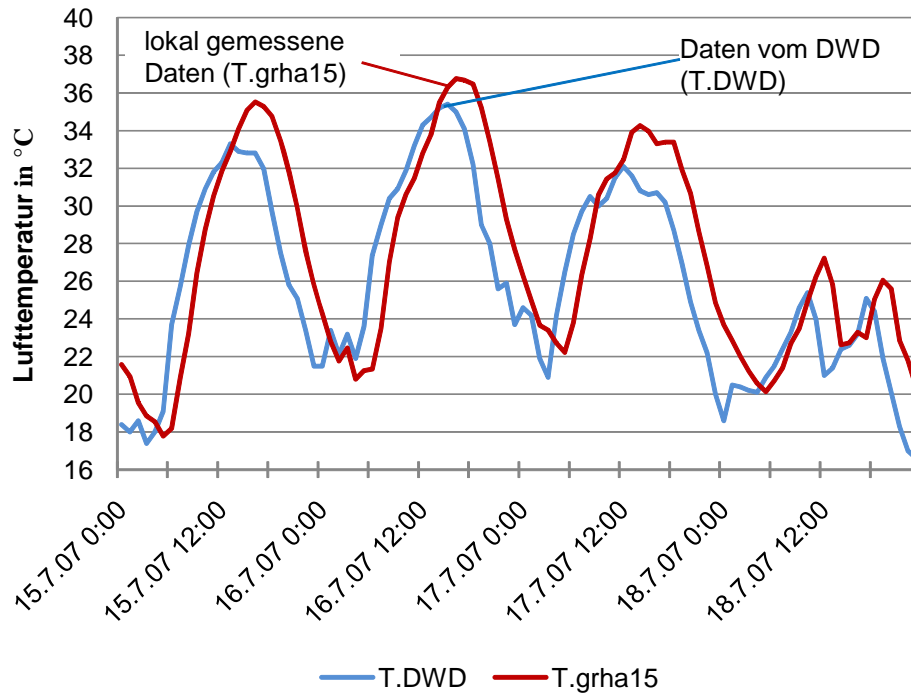


Abb. 4.5: Verlauf der Außenlufttemperatur am Handwerk 15 (innerstädtisch) und der Außenlufttemperatur der Station DWD Görlitz für den 15. bis 18. Juli 2007 in [°C]

Allein aus der Differenz der Außenlufttemperatur am Handwerk 15 (innerstädtisch) minimiert um die Außenlufttemperatur der Station DWD Görlitz ohne Berücksichtigung der Phasenverschiebung können keine Aussagen abgeleitet werden.

Bei der Bemessung des sommerlichen Wärmeschutzes sollte bei innerstädtischer Bebauung ein Zuschlag von 1 Kelvin zu den Testreferenzjahren vorgenommen werden. Diese Differenz sollte auch bei der Klimaänderungsvorhersage für Görlitz für den innerstädtischen Bereich weiter untersucht werden. In Zukunft werden Lufttemperaturen in der Innenstadt von Görlitz von über 40 °C keine Seltenheit mehr sein.

Für die Heizperiode wird der Monat Januar 2008 betrachtet. Auch hier können keine groben Messfehler der Wetterstation auf dem Gebäude Handwerk 15 festgestellt werden (siehe Abbildung 4.6). Der innerstädtische Bereich von Görlitz ist im Mittel um ca. 0,5 Kelvin wärmer als der Flugplatz Görlitz.

**Außenluft-  
temperatur im  
Winter 2008**

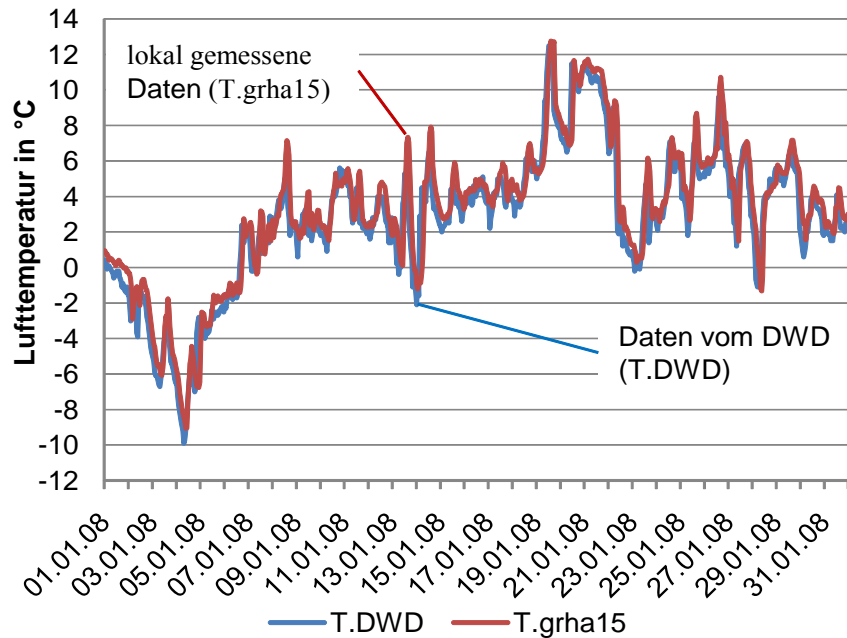


Abb. 4.6: Verlauf der Außenlufttemperatur der Stadion DWD Görlitz und am Handwerk 15 (innerstädtisch) im Januar 2008 in [°C]

#### 4.2.3 Innenklimamessung

### Sensoren für Innenklimamessung

Das Innenklima wird durch die Gebäudeleittechnik über den UVR - Regler [11] mit den Temperatur/ Feuchtesensoren RFS-DL und über die im Bedienteil CAN - Monitor mit integrierten Temperatur/ Feuchtesensoren erfasst. Für die Gebäudesimulation wird die Innenklimamessung durch die sehr genauen kapazitiven Feuchtefühler Typ FHA646 der Firma Ahlborn [15] ergänzt (siehe Abbildung 4.7).

Eine Übersicht über die Anzahl und die Lage der Sensoren für die Innenklimamessung ist in Abbildung 4.8 dargestellt.



Temperatur/  
Feuchtesensor RFS-DL

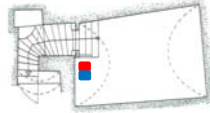
CAN – Monitor

kapazitiver Feuchtefühler  
Typ FHA646

Abb. 4.7: Eingesetzte Sensoren für die Innenklimamessung [11], [15]



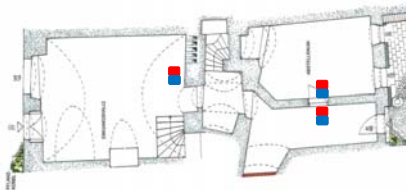
Keller



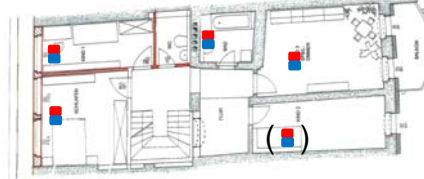
2. Obergeschoss (Wohnung 2)



Erdgeschoss



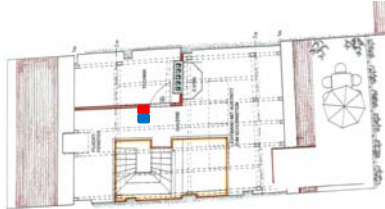
1. Dachgeschoss (Wohnung 2)



1. Obergeschoss (Wohnung 1)



2. Dachgeschoss (Wohnung 2)



■ Temperaturfühler

■ Feuchtefühler

Abb. 4.8: Lage der Sensoren für die Innenklimamessung

Als Veranschaulichung der Messungen des Innen- und Außenklimas sowie des Nutzerverhaltens werden die 1. Heizperiode, der Juli 2007 und der Januar 2008 herangezogen.

Die Abbildung 4.9 zeigt das Außenklima und das Innenklima in der Wohnküche im 2. OG (siehe Abbildung 4.8) in der 1. Heizperiode nach dem Einzug. Die Raumlufttemperatur (WK\_Temp) liegt im Mittel bei 19°C. Nach Auskunft der Nutzer wird diese Temperatur als behaglich empfunden. Dies ist auf die höheren Oberflächentemperaturen infolge der Innendämmung und der Flächenheizung zurückzuführen. Das Gebäude ist thermisch sehr stabil. Die relative Luftfeuchtigkeit (WK\_Feucht) liegt im Mittel zwischen 60 und 70 % relativ hoch. Größere Ausschläge werden nach oben durch Kochen und tiefere durch Lüften verursacht. Die Innentemperatur geht maximal ca. 2,0 Kelvin infolge der Pumpenabschaltung in der Nacht zurück.

**Innenklima in der  
Wohnküche im  
2.OG in der  
Heizperiode**

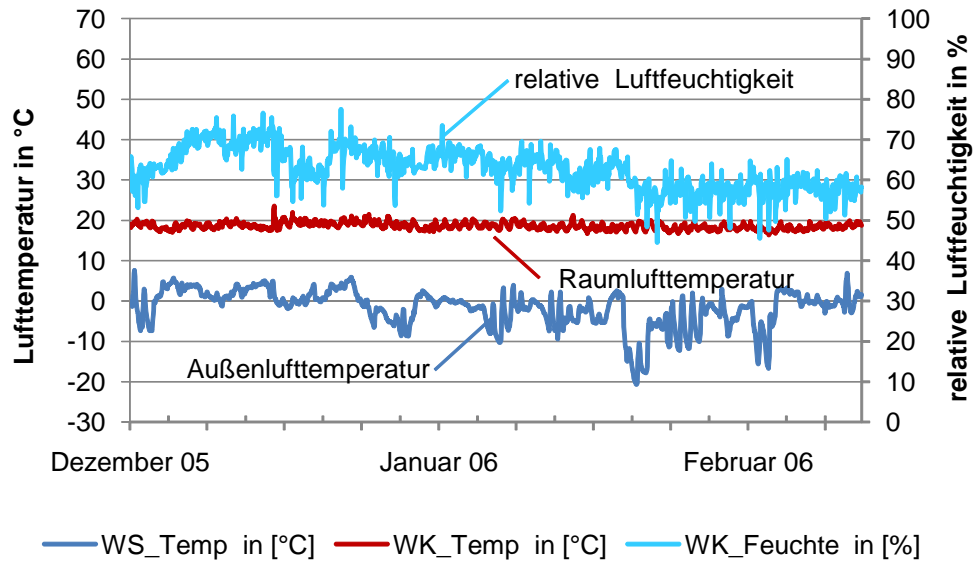


Abb. 4.9: Temperatur- und Feuchteverlauf des Außenklimas und des Innenklimas in der Wohnküche im 2. OG vom 01.12.05 bis zum 15.02.06

In der 3. Heizperiode liegt die mittlere Innentemperatur (WK\_Temp) bei ca. 20,5 °C (siehe Abbildung 4.10). Das Geschoss wird in dieser Heizperiode wochentags als Büro genutzt. Desweiteren ist das Gebäude mehr durchgewärmt als nach dem langen Leerstand nach der 1. Heizperiode und die Wohnung im 1. Obergeschoss wird auch temporär in den Wintermonaten als Ferienwohnung genutzt.

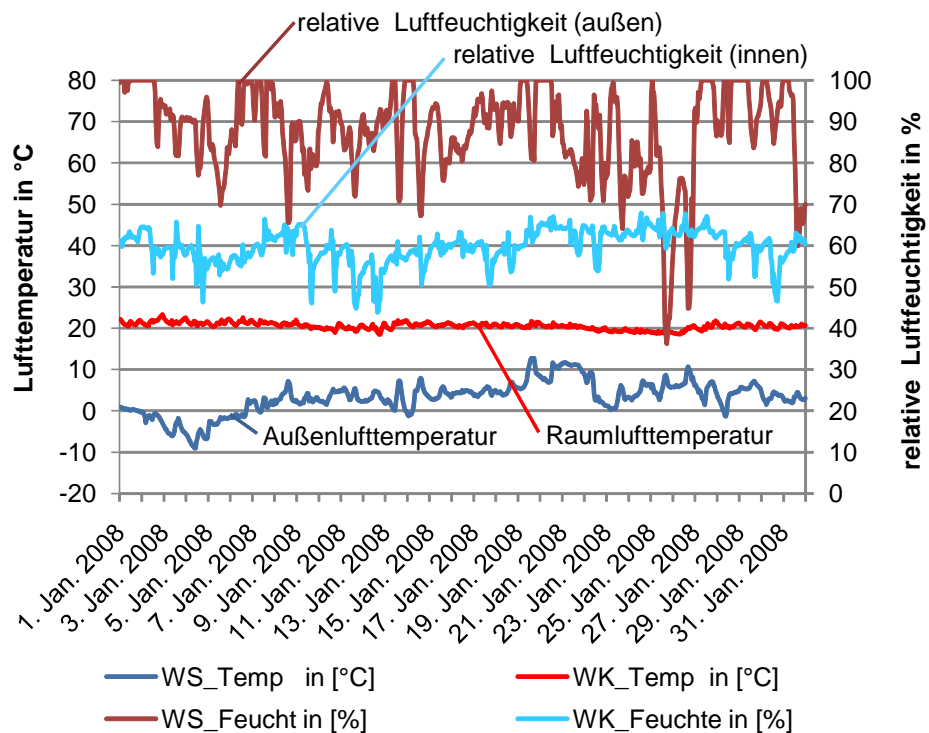


Abb. 4.10: Temperatur- und Feuchteverlauf des Außenklimas und des Innenklimas in der Wohnküche im 2. OG im Januar 2008





Die mittlere relative Luftfeuchtigkeit (WK\_Feucht) liegt in dieser Heizperiode bei 60%. Der Einfluss der Innentemperatur auf die relative Luftfeuchtigkeit ist größer als der Einfluss des Außenklimas. Je höher die Innentemperatur umso niedriger ist die relative Luftfeuchtigkeit. Der Temperaturrückgang infolge der Pumpenabschaltung in der Nacht liegt in der 3. Heizperiode bei ca. 1,0 Kelvin.

Vom 15. bis zum 20. Juli war eine extreme Hitzeperiode mit über 36 °C Außenlufttemperatur (WS\_Temp) im innerstädtischen Bereich, gemessen von der Wetterstation auf dem Gebäude Handwerk 15 (siehe Abbildung 4.11). Die Innenlufttemperatur (WK\_Temp) folgt dieser Außentemperaturerhöhung nur sehr stark gedämpft. Die Innenlufttemperatur bleibt bei diesen extremen Außentemperaturbedingungen unter 26 °C. Die Schwankung der Innenlufttemperatur im Tagesverlauf liegt bei ca. 1,0 Kelvin.

### Innenklima in der Wohnküche im 2.OG in einer extremen Hitzeperiode

Das Gebäude besitzt bis zum 1. Dachgeschoss einen sehr guten sommerlichen Wärmeschutz. Die mittlere relative Luftfeuchtigkeit (WK\_Feucht) ist im Sommer höher als in der Heizperiode und liegt im Mittel bei 65 %.

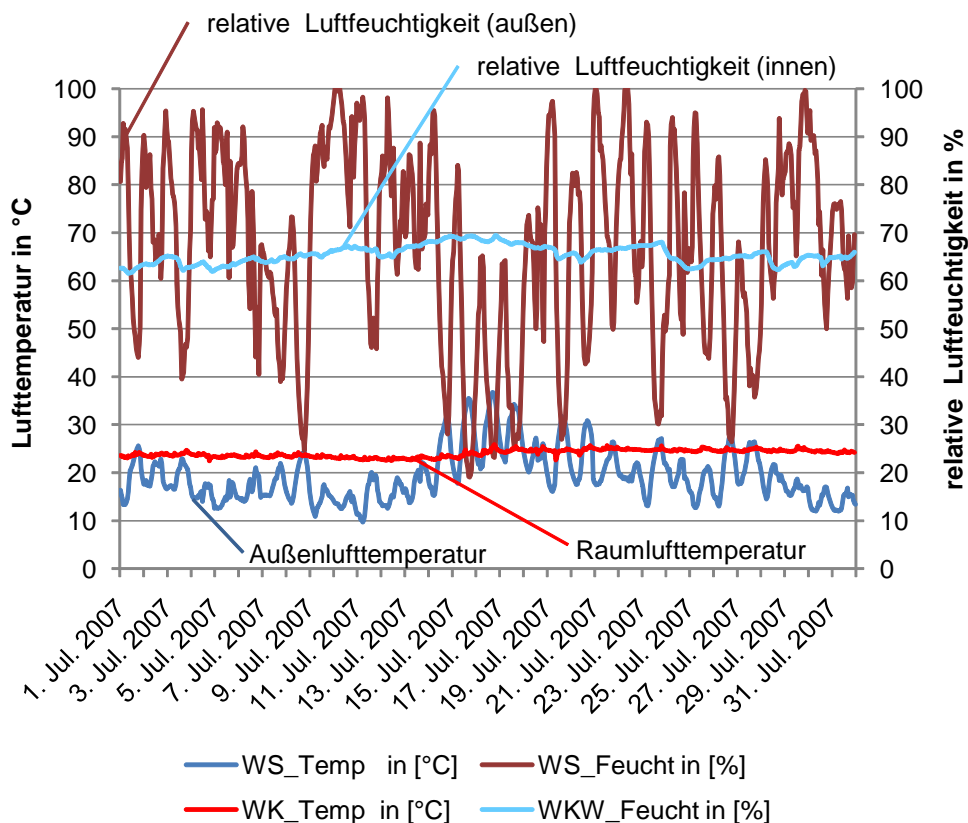


Abb. 4.11: Temperatur- und Feuchteverlauf des Außenklimas und des Innenklimas in der Wohnküche im 2. OG im Juli 2007



## Innenklima im 2. Dachgeschoss

Im Winter 2008 wurde die Untersparrendämmung angebracht (siehe Kapitel 4.3.5). Die Abbildung 4.12 zeigt die Zusammenhänge zwischen Innen- und Außenklima, dem Lüftungsverhalten und der Beheizung der Räume am 07. und 08. August 2008 auf. Die Außentemperatur (Temperatur außen) beträgt am 07. August zwischen 16 und 33 °C. Die Raumtemperatur im 2. Dachgeschoss in einer Schönwetterperiode kühlt sich in den Morgenstunden des 07. August von 26 °C auf 25 °C ab. Das Maximum der Raumlufttemperatur wird mit 28 °C erst in den späten Nachmittagstunden dieses Tages erreicht. Dies zeigt, dass mit einer Tagesamplitude von nur 3 Kelvin die speicherwirksame Bauwerksmasse der hohen Außentemperatur an diesem Tag mit über 33 °C und einer hohen Strahlungsbelastung von 3 großen unverschatteten Dachliegefenstern mit einer Neigung von 45 Grad (siehe Abbildung 3.9, oberhalb Solaranlage) entgegenwirken kann. Anhand der Strahlungsbelastung am 08. August kann man die Bewölkung erkennen. Die Außentemperatur erreicht am 08. August nur Werte um die 27 °C. Der Dachraum kann sich relativ schnell wieder in den Bereich von 23,5 bis 25,5 °C abkühlen durch eine intensive Lüftung.

Eine weitere Reduzierung der äußeren Wärmelasten ist durch eine Verschattung der Dachliegefenster notwendig. Mit der Erhöhung der speicherwirksamen Bauwerksmasse im Bereich der Untersparrendämmung und einer Verschattung kann in diesem Dachbereich ein wirksamer sommerlicher Wärmeschutz erreicht werden.

Diese Messergebnisse werden auch von den Aussagen der Nutzer bestätigt. Durch die Anbringung der Untersparrendämmung wurde der sommerliche Wärmeschutz „merklich“ verbessert.

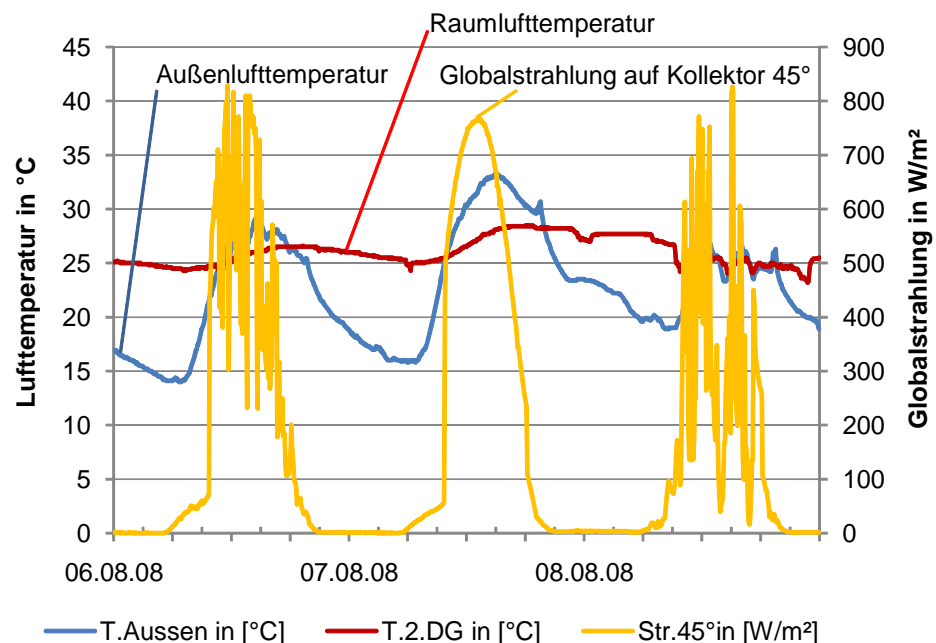


Abb. 4.12: Verlauf des Innen- und Außenklimas vom 06. bis 08. August 2008



### 4.3 Aufzeichnung der Messwerte in der Baukonstruktion

Die Menge der Daten macht es notwendig, eine eigene Datenverwaltung zu erstellen. Die Darstellung der Messdaten mittels der Projektbilder und grafischer Darstellung hilft die Zusammenhänge und eventuelle Störungen bei der Messwerterfassung besser zu erkennen.

Bei den Messstrecken und der Aufzeichnung des Außen- und Innenklimas können die Projektbilder mit dem Programm AMR WinControl (siehe Abbildung 4.13) erzeugt werden.

#### Projektbilder - Darstellung

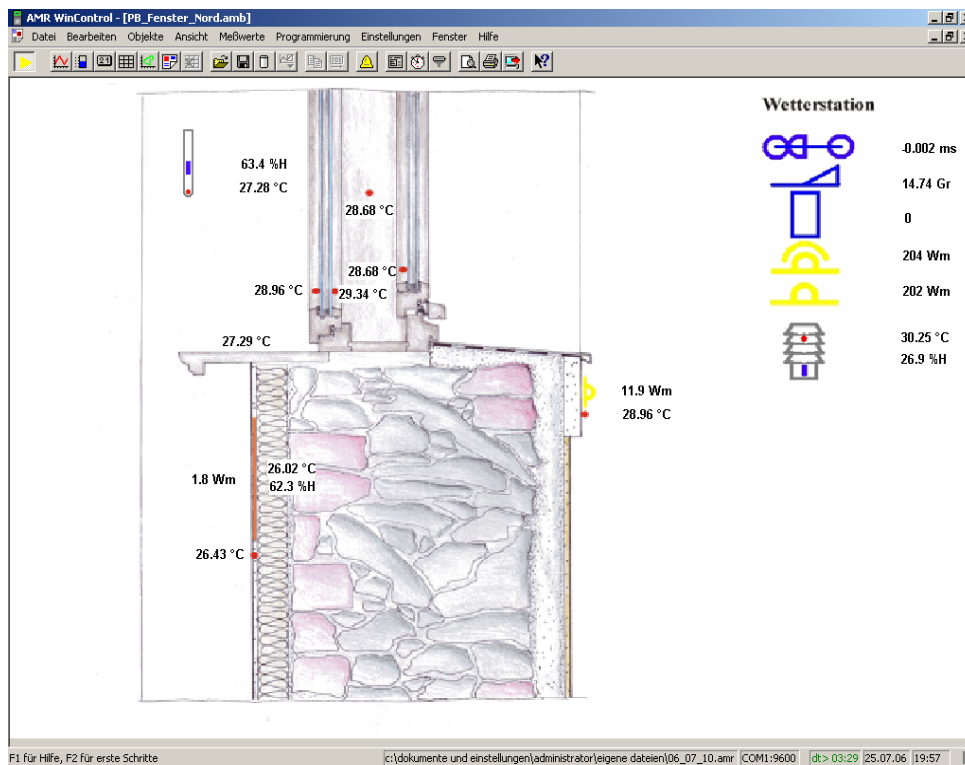
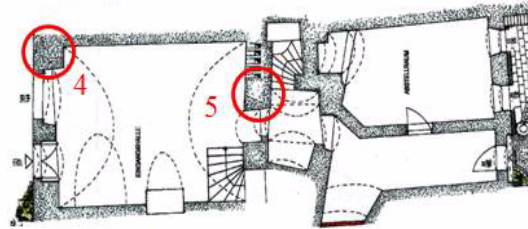


Abb. 4.13: Projektbild der Messstrecke Fenster 2. OG Nord Innendämmung, Wetterstation, Online - Datenerfassung und Darstellung der Messwerte mit Programm AMR WinControl, 5 cm Calciumsilikat innen, 3 cm Dämmputz außen, mit Temperaturfühler (Ntc), Miniaturfühler (Feuchte, Temperatur), Wärmeflussplatte, Pyranometer, Innen- und Außenklimateaufzeichnung

Bei der Aufzeichnung der Messwerte fallen regelmäßig Wartungs- und Prüfarbeiten an. So werden die Fühler in bestimmten Intervallen kalibriert. Es erfolgt eine kontinuierliche Datenauslesung mittels 11 Datenloggern auf einem PC. Das Intervall von 5 min ermöglicht auch eine genaue Aufzeichnung der Vorgänge in der Gebäudetechnik.

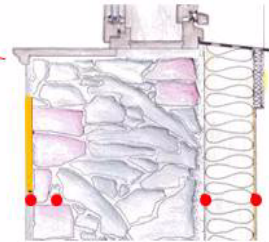


Erdgeschoss

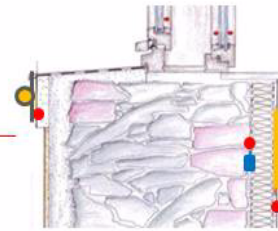


- Wärmestrommessplatte
- Temperatursensor
- Feuchtesensor
- Pyranometer

1. Obergeschoss



2. Obergeschoss



1. Dachgeschoss

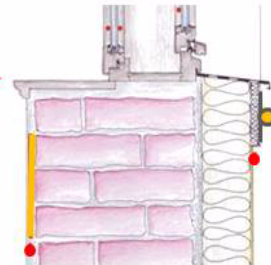
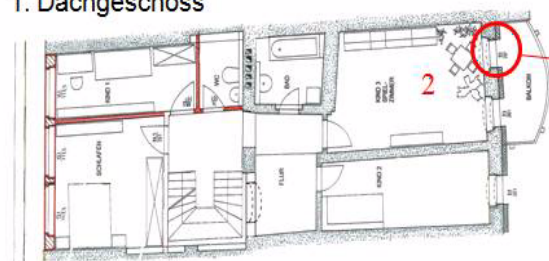


Abb. 4.14: Übersicht über die Messtrecken in den Wandkonstruktionen



#### 4.3.1 Mischmauerwerk mit Innendämmung, Außenwand 2.OG Nord

Die Messungen und die hygrothermischen Berechnungen (siehe Kapitel 2.3.2) wurden für das kritische Bauteil durchgeführt.

Es befindet sich unterhalb der Fensternische im 2. OG Nord (siehe Abbildung 2.15 und Abbildung 4.16).

2. Obergeschoss

**Lage der  
Messstrecke  
Innendämmung**

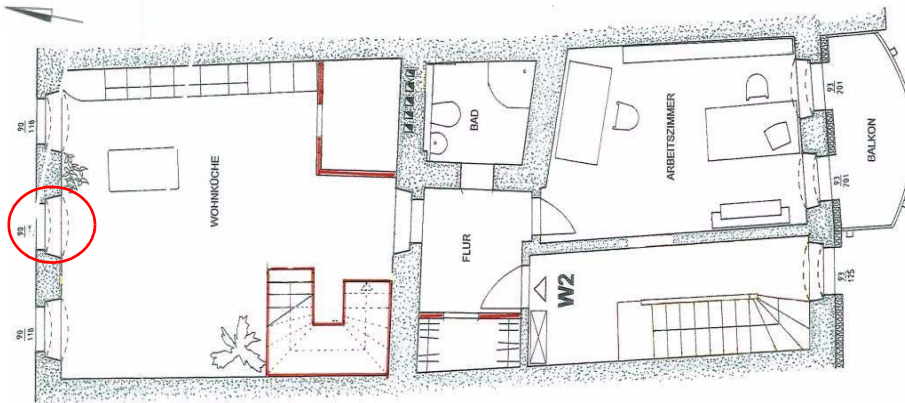


Abb. 4.15: Lage der Messstrecke Fenster 2. OG Nord Innendämmung im Gebäude

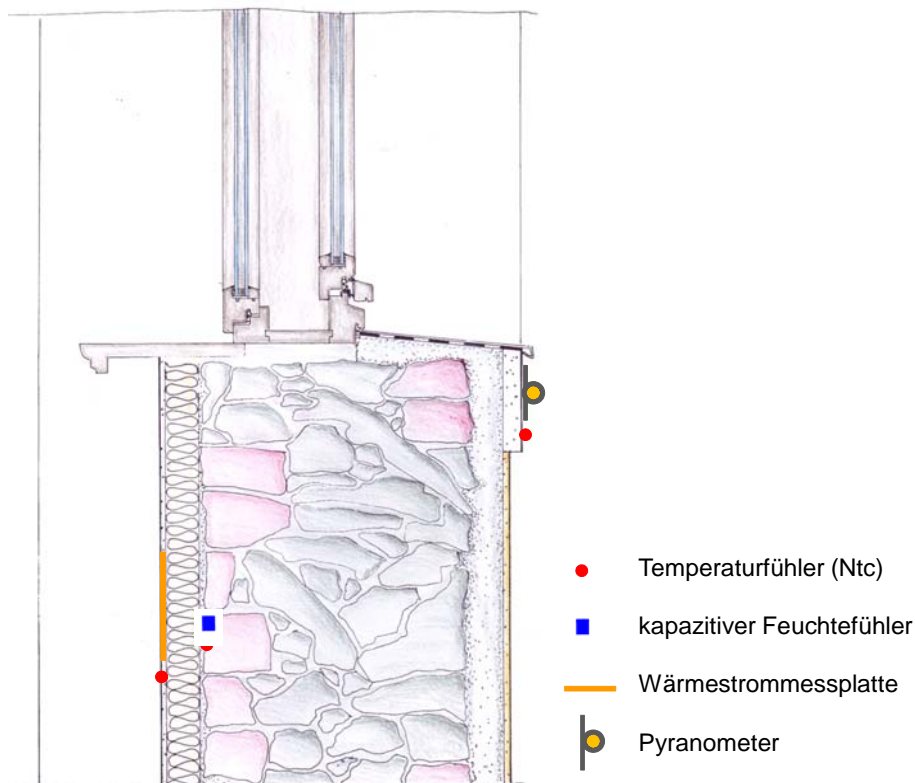


Abb. 4.16: Messstrecke Fenster 2. OG Nord Innendämmung, 5 cm Calciumsilikat innen, 3 cm Dämmputz außen, mit Temperaturfühler (Ntc - Negative Temperature Coefficient Thermistors = Heißleiter), Miniaturfühler (Feuchte, Temperatur). Wärmeflussplatte, Pyranometer





### Wand mit Innendämmung im Winter

Das Abbildung 4.17 zeigt die Ergebnisse der Messungen in der Außenwand der Wohnküche im 2.OG und des Innen- und Außenklimas in der 1. Heizperiode nach dem Einzug. Die Feuchte (WKW\_Feucht) an der kalten Seite der Wärmedämmung ist mit ca. 92,5 % an den kalten Januartagen am höchsten. Es kommt zu keiner Kondensatbildung. Die Temperatur (WKW\_Temp) hinter der kalten Seite der Innendämmung folgt der Außentemperatur (Aussen\_Temp) in stark gedämpfter Form.

Die Raumlufttemperatur (WK\_Temp) liegt im Mittel bei 19°C. Nach Auskunft der Nutzer wird diese Temperatur als behaglich empfunden. Dies ist auf die höheren Oberflächentemperaturen infolge der Innendämmung und der Flächenheizung zurückzuführen. Das Gebäude ist thermisch sehr stabil. Bei Pumpenstillstand in der Nacht ist ein maximaler Abfall der Raumtemperatur um 2 K vorhanden.

Die Raumluftfeuchte (WK\_Feucht) liegt im Mittel zwischen 60 und 70 % relativ hoch. Größere Ausschläge werden nach oben durch Kochen und tiefere durch Lüften verursacht.

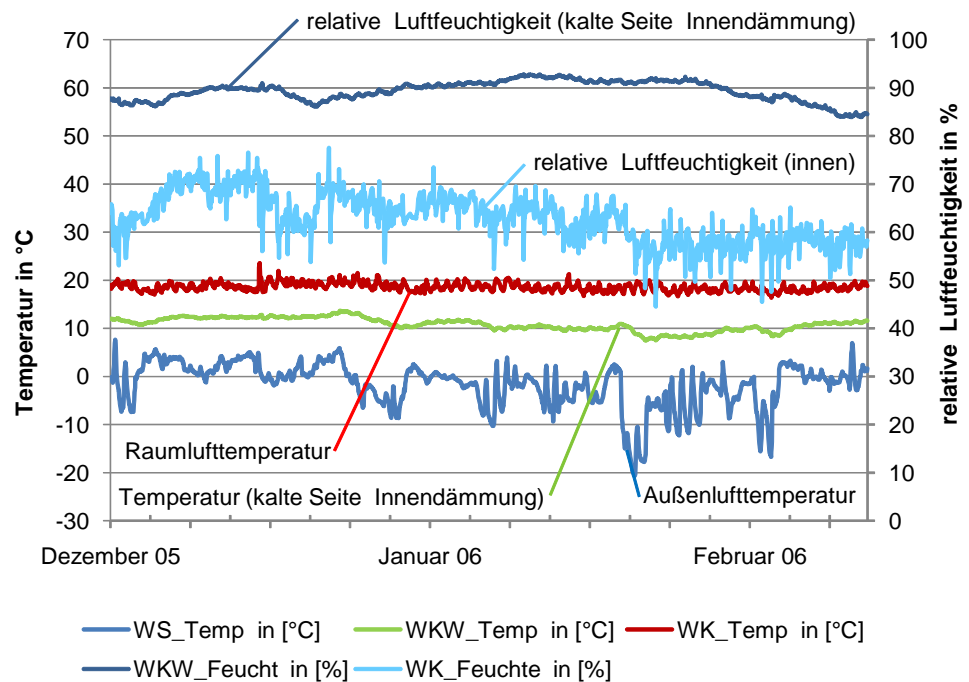


Abb. 4.17: Temperatur- und Feuchteverlauf in der Außenwand der Wohnküche im 2. OG und des Innen- und Außenklimas vom 01.12.05 bis zum 15.02.06

### Wand mit Innendämmung im Sommer

Die höhere relative Luftfeuchtigkeit (WKW\_Feucht) an der kalten Seite der Innendämmung geht durch die diffusionsoffene Konstruktion auf das Niveau der relativen Luftfeuchtigkeit des Innenraumes (WK\_Feucht) im Juli 2007 zurück (siehe Abbildung 4.18).

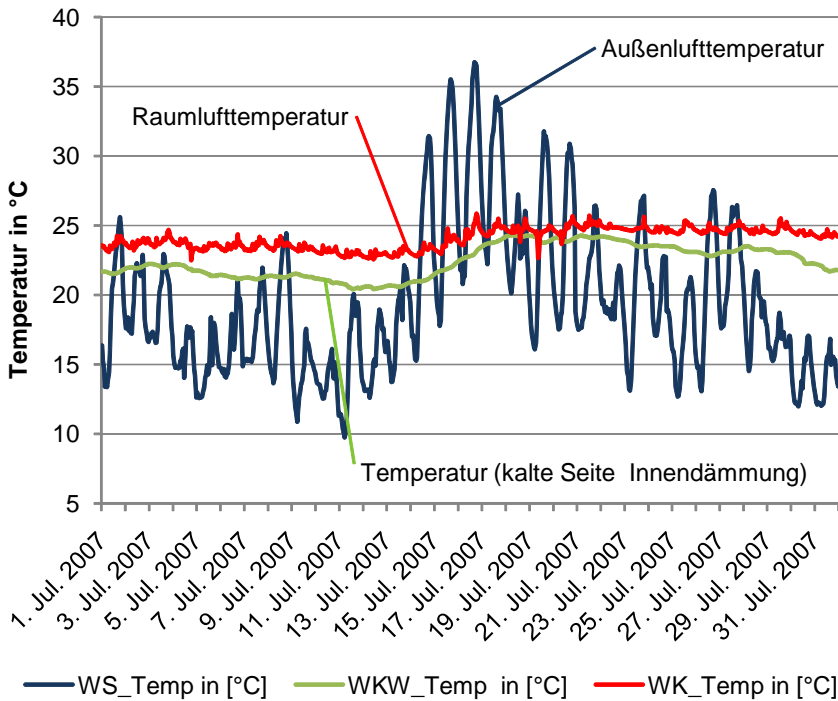
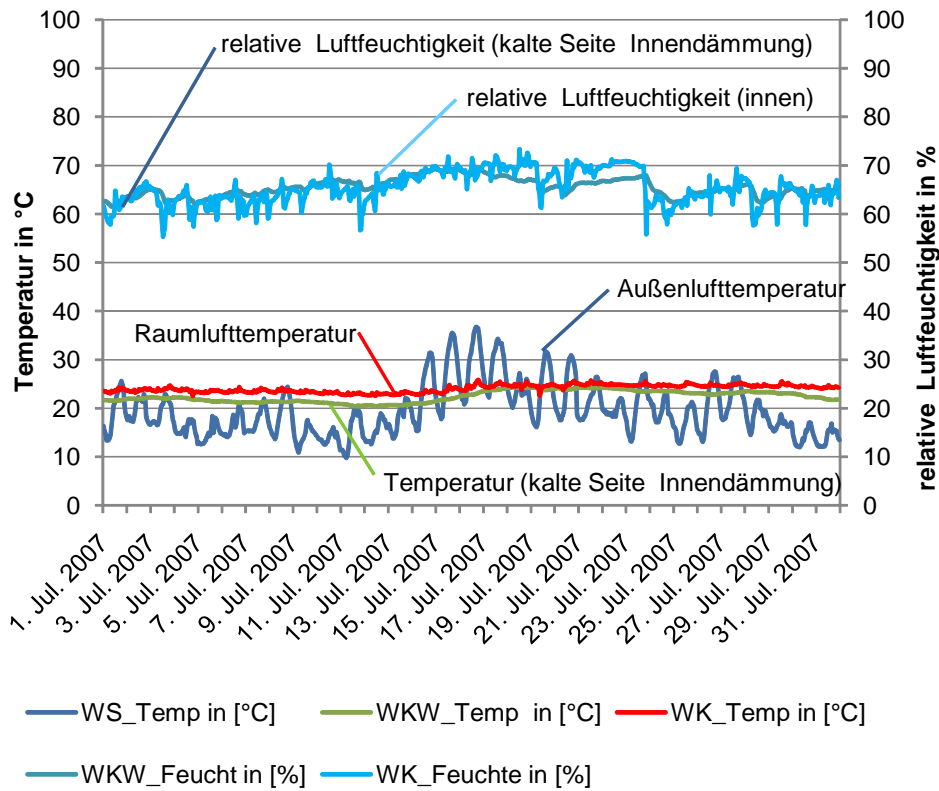


Abb. 4.18: Temperatur- und Feuchteverlauf in der Außenwand der Wohnküche im 2. OG und des Innen- und Außenklimas im Juli 2007 in [°C] bzw. [%]



Bei der extremen Hitzeperiode zwischen 15. und 20. Juli ist die Temperatur (WKW\_Temp) an der kalten Seite der Wärmedämmung geringer als die Raumtemperatur (WK\_Temp). Das bedeutet, dass selbst in der Nische mit einer geringeren Wanddicke die Bauwerksmasse noch einen Anteil zur Pufferung der Innentemperatur leistet.

### Wand mit Innendämmung in der 3. Heizperiode

In der 3. Heizperiode ist die relative Luftfeuchtigkeit (WKW\_Feucht) an der kalten Seite der Wärmedämmung im Januar 2008 mit maximal 85 % um über 7% niedriger als in den kalten Januartagen des Jahres 2006 (siehe Abbildung 4.19). Die Temperatur (WKW\_Temp) an der kalten Seite der Wärmedämmung folgt der Außentemperatur der Wetterstation auf dem Dach des Gebäudes Handwerk 15 (WS\_Temp) stark gedämpft. Anhand des Temperaturunterschiedes zur Außen- bzw. Innentemperatur kann man sehr deutlich die Dämmwirkung der 5 cm starken Innendämmung ablesen (siehe Abbildung 4.19).

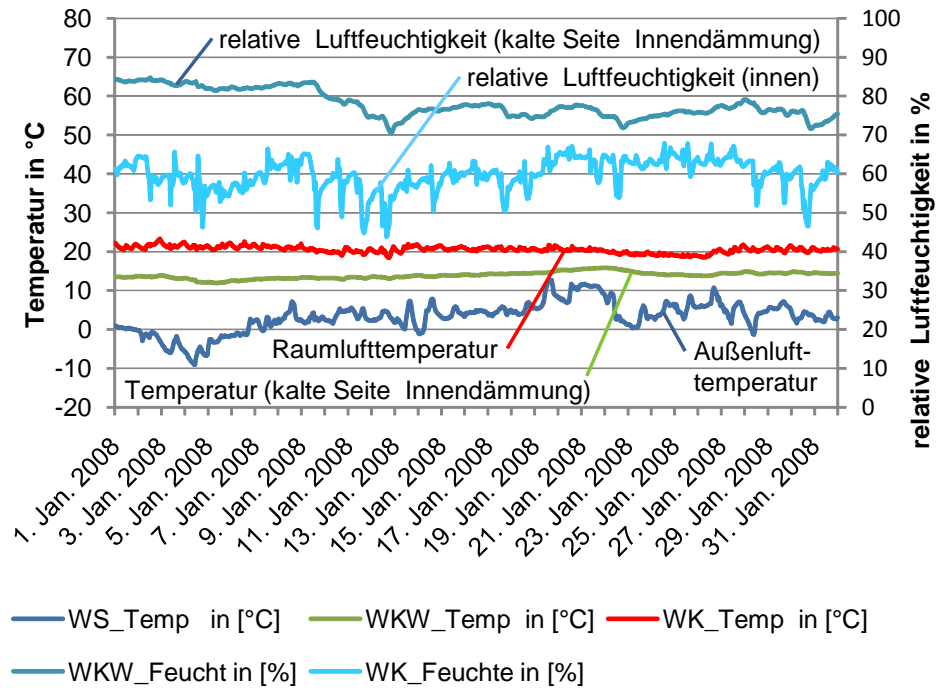


Abb. 4.19: Temperatur- und Feuchteverlauf in der Außenwand der Wohnküche im 2. OG und des Innen- und Außenklimas im Januar 2008 in [°C] bzw. [%]



#### 4.3.2 Ziegelmauerwerk mit WDVS, Außenwand 1.DG Süd

Im 1. DG wurde auf der Südseite eine Messstrecke installiert (siehe Abbildung 4.20 und Abbildung 4.21). Diese weist experimentell die Wirksamkeit des WDVS nach.

**Lage der  
Messstrecke  
Ziegelmauerwerk  
mit WDVS**

##### 1. Dachgeschoss

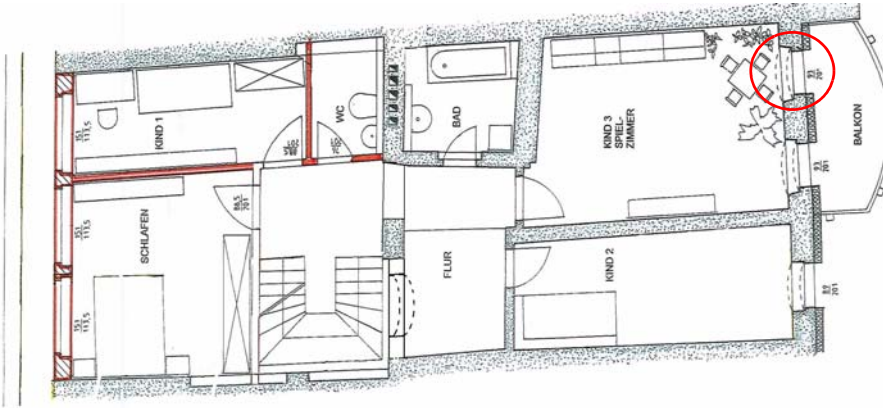


Abb. 4.20: Lage der Messstrecke Außenwand 1.DG Süd im Gebäude

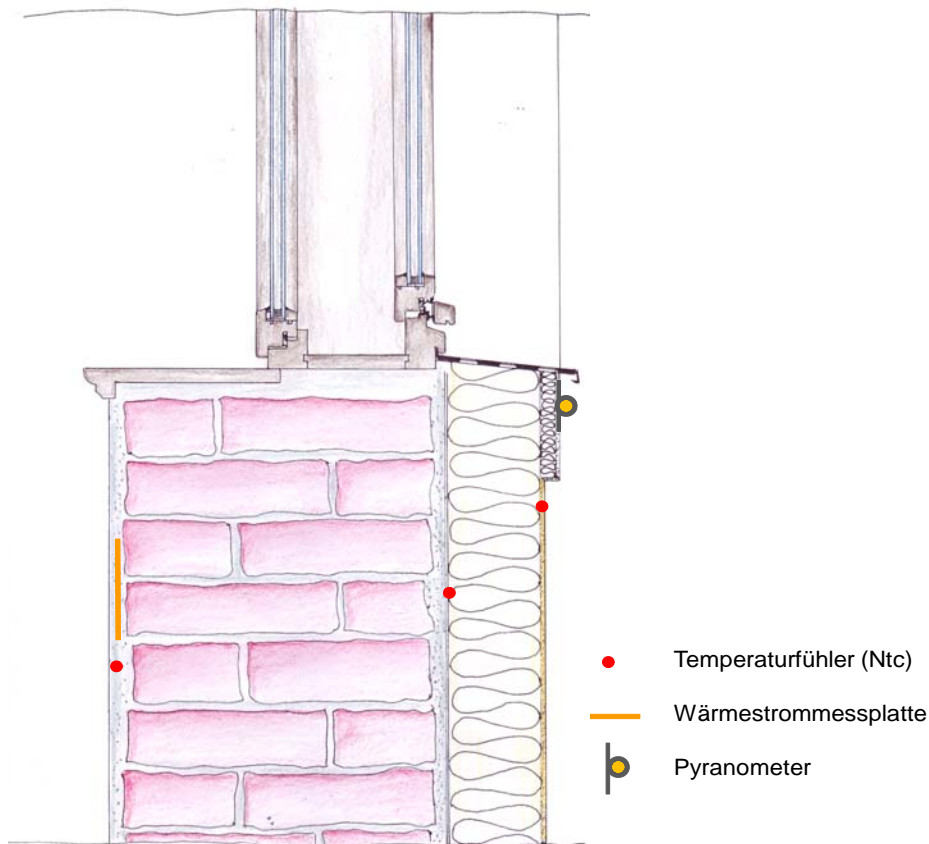


Abb. 4.21: Messstrecke am Fenster des 1. DG Süd, Wärmedämmverbundsystem



### Vergleich Wärmestrom Wand mit Innendämmung und WDVS

Der Vergleich des Wärmestromes zwischen der Wand mit Innendämmung und der Wand mit Wärmedämmverbundsystem ist in der Abbildung 4.22 dargestellt. Die großen Ausschläge bei dem Verlauf des Wärmestroms sind auf Lüften und auf Änderung der Raumlufttemperatur zurückzuführen, da sich die Wärmestrommessplatte direkt unter dem Dünnstrichputz auf der Innenseite der Wand befindet. Bei einer stationären Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) folgt bei konstanter Innentemperatur der Wärmestrom direkt der Außentemperatur. Dies ist bei den vorliegenden Wandkonstruktionen nicht der Fall. Obwohl die Innentemperatur des hochgedämmten Gebäudes nahezu konstant ist kann der U-Wert nicht direkt aus den Messwerten ohne Berücksichtigung des instationären Verhaltens abgeleitet werden. Die Annahmen zur stationären Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) sind sehr stark vereinfacht.

Um Aussagen treffen zu können, wurde eine Trennlinie hinzugefügt. Der Wärmestrom der Wand mit Innendämmung und Wärmedämmputz außen ist im Mittel doppelt so hoch wie bei der Wand mit WDVS. Durch die vollständige Aktivierung der speicherwirksamen Bauwerksmasse bei der Wand mit WDVS schlagen tiefe Außentemperaturen nur sehr stark zeitversetzt durch. Bei der Wand mit Innendämmung ist die Phasenverschiebung geringer (siehe Abbildung 4.22). Durch die Anwendung des WDVS wird die Wirkung der speicherwirksamen Bauwerksmasse verbessert.

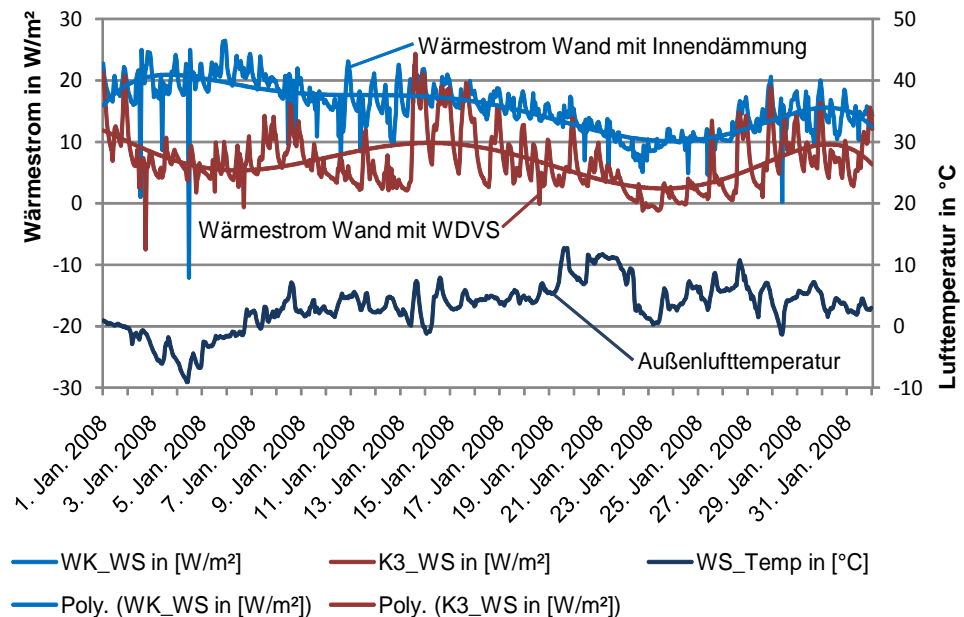


Abb. 4.22: Temperatur- und Wärmestromverlauf in der Außenwand der Wohnküche (WK) im 2. OG (Nord) und im Kinderzimmer 3 (K3) im 1.DG (Süd) sowie Außenlufttemperatur im Januar 2008 in [°C] bzw. [W/m²]





### 4.3.3 Mischmauerwerk mit WDVS, Außenwand 1.OG Süd

Die Messstrecke der Außenwand aus Mischmauerwerk mit WDVS ist im 1. OG auf der Südseite. Die Wandstärke in der Nische hat eine Stärke von 52 cm (siehe Abbildung 4.23). Bei der Messstrecke wurden für ein Temperaturprofil 6 Temperatursensoren sowie eine Wärmestrommessplatte eingesetzt (siehe Abbildung 4.24).

**Lage der  
Messstrecke  
Mischmauerwerk  
mit WDVS**

#### 1. Obergeschoss

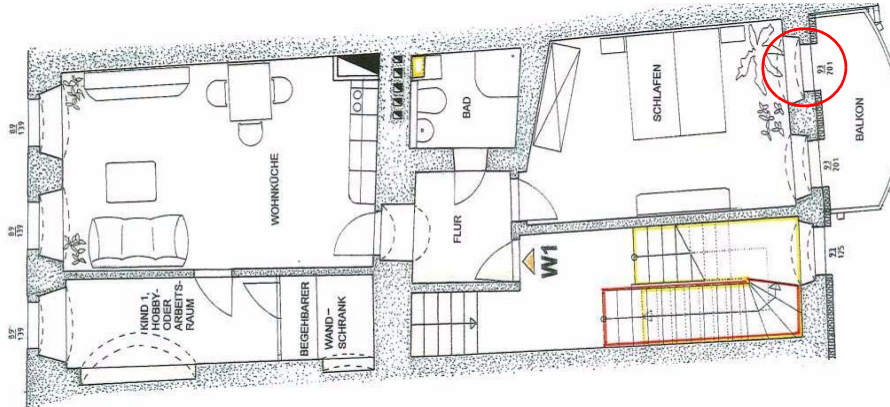


Abb. 4.23: Lage der Messstrecke Außenwand 1.OG Süd im Gebäude

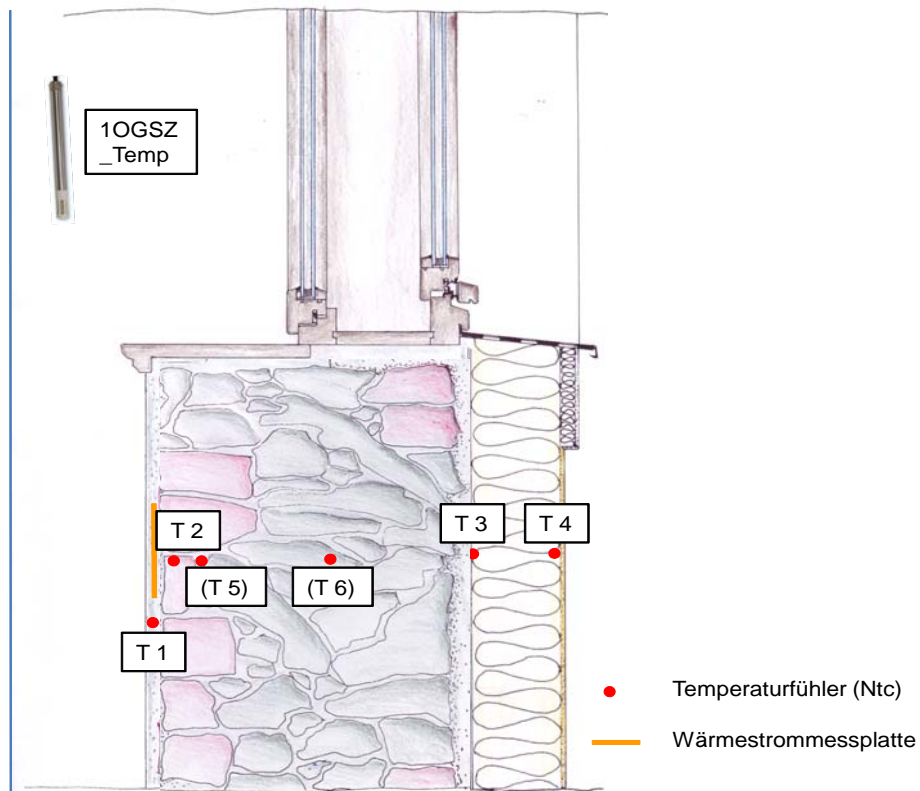


Abb. 4.24: Messstrecke am Fenster des 1. OG Süd, Wärmedämmverbundsystem

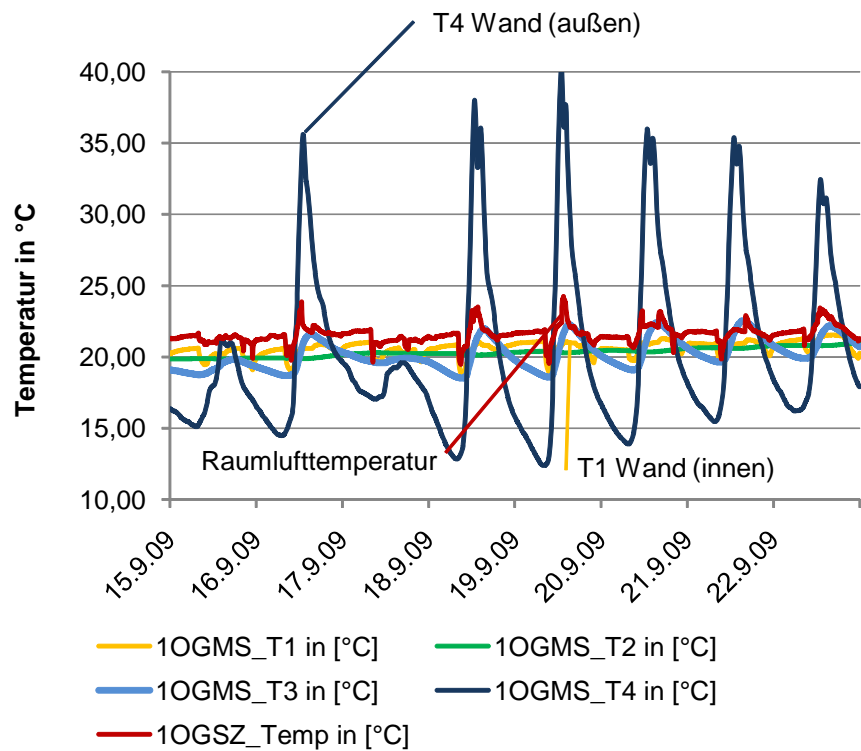


Abb. 4.25: Temperaturverlauf in der Außenwand Schlafzimmer im 1. OG (Süd) im Zeitraum 15. September bis 22. September 2009 in [°C]

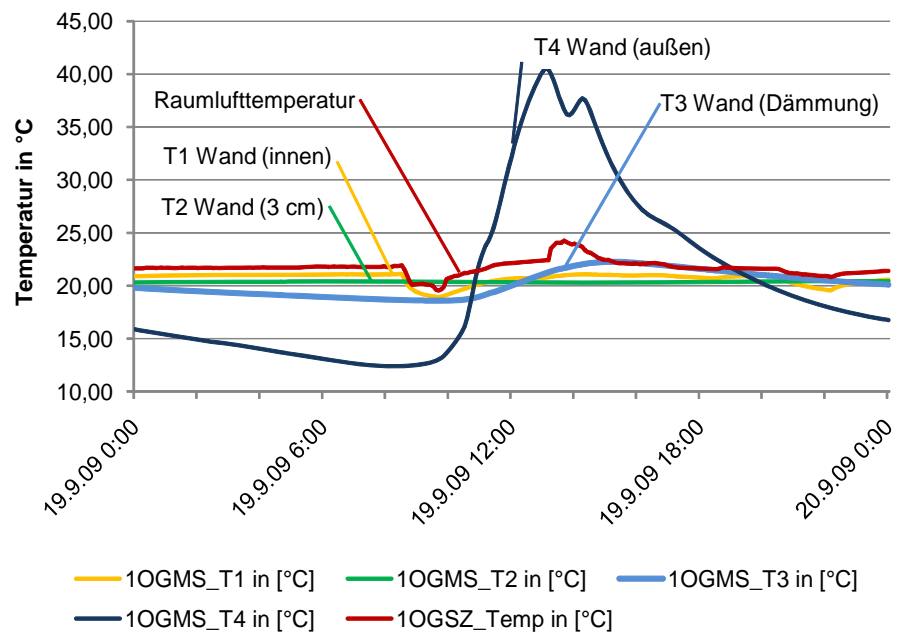


Abb. 4.26: Temperaturverlauf in der Außenwand Schlafzimmer im 1. OG (Süd) am 19. September 2009 in [°C]



Die Messstrecken 3 bis 9 konnten erst im Frühjahr 2009 angeschlossen und in Betrieb genommen werden. Es wird jeweils der Zeitraum von 15. Bis 22. September betrachtet, um die Unterschiede der einzelnen Konstruktionen direkt vergleichen zu können.

Die Oberflächentemperatur außen (T4) unterhalb des Oberputzes des WDVS beinhalten die physikalische Vorgänge in der Grenzschicht zwischen Wand und Außenklima (Temperatur, Feuchtigkeit, Strahlung, Wind, Regen). Die Unsicherheiten bei den dynamisch sehr schwierig zu simulierenden Vorgängen in der Grenzschicht werden durch diesen zusätzlichen Temperatursensor minimiert (siehe Abbildung 4.24).

Die Abbildung 4.25 und Abbildung 4.26 zeigt die starke Temperaturamplitude des Oberflächensensors T4 infolge der Globalstrahlung überlagert um die Tagesamplitude der Außenlufttemperatur.

Diesem Sensor folgt der Temperatursensor an der Innenseite des WDVS sehr stark gedämpft und ohne eine nennenswerte Phasenverschiebung.

Im Innern der Außenwand aus Mischmauerwerk in der Nische ist die Temperatur (T2) nahezu konstant.

Die Oberflächentemperatur (T1) auf der Innenseite der Wand ist geringer als die Raumlufttemperatur und folgt dieser gedämpft.

Bei der Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) für die Berechnung des Energieverbrauches des Gebäudes wird diese Speicherwirksamkeit dieser überschweren Außenwand nicht berücksichtigt. Bei der Wohnung 1 im 1. OG führt dies zu einem späteren Beginn der Heizperiode.

**Verhalten der  
Messstrecke  
Mischmauerwerk  
mit WDVS**



#### 4.3.4 Mischmauerwerk im Erdgeschoss

##### Lage und Aufbau der Messstrecken im EG

Die Messstrecken Mischmauerwerk mit Innendämmung, Außenwand EG Nord und Mischmauerwerk, Innenwand EG befinden sich in der Eingangshalle mit dem Tonnengewölbe. Die Eingangshalle im Erdgeschoss dient als vorgeschaltete temperierte Zone zu den Wohnungen (siehe Abbildung 4.27).

Diese Messstrecken bestehen jeweils aus Oberflächentempersensoren und Temperatursensoren in der Wand. Mit ihnen soll die energetische Beurteilung des überschweren Erdgeschosses erfolgen (siehe Abbildung 4.27).

Der Oberflächentempersensor befindet sich direkt unter dem Dünn-schichtputz. In den Tiefen 3 cm, 10 cm und Im Kern der Wand befinden sich jeweils ein Sensor zur Beurteilung des Einflusses des Innen- bzw. des Außenklimas.

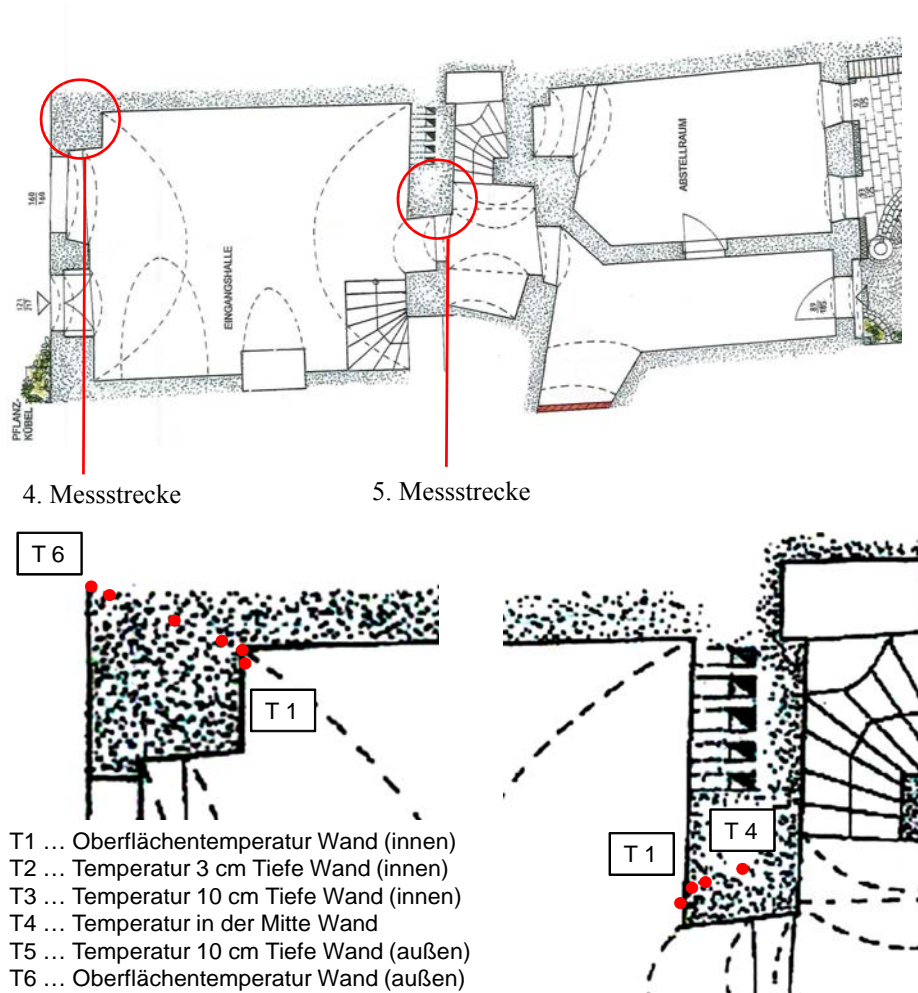
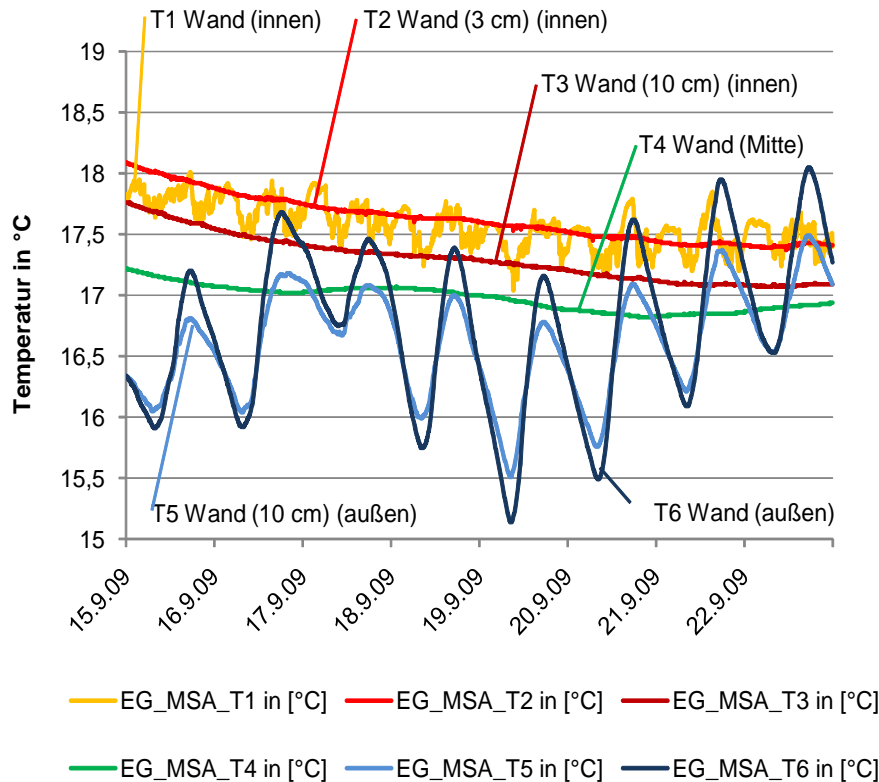


Abb. 4.27: Grundriss Erdgeschoss, 4. und 5. Messstrecke mit Temperatursensoren (Ntc)



### Verhalten der straßenseitigen Außenwand im EG



. 4.28: Temperaturverlauf in der Außenwand Eingangshalle im EG (Nord) (EG\_MSA)  
4. Messstrecke im Zeitraum 15. September bis 22. September 2009 in [°C]

Die Abbildung 4.28 zeigt die Temperaturen im Zeitraum von 15. Bis 22. September 2009 in der straßenseitigen Außenwand im Erdgeschoss. Die Außenwand aus Mischmauerwerk/ Bruchsteinmauerwerk hat an dieser Stelle eine Stärke von über 90 cm. Auf der Innenseite wurde ein 3 cm bis 5 cm starker mineralischer Dämmputz aufgebracht.

Die Oberflächentemperatur auf der Wandaußenseite T6 folgt der Außenlufttemperatur. Auf der Nordseite sind nicht so starke Schwankungen der Temperatur infolge der Strahlung wie an der Südwand (siehe Abbildung 4.25 und Abbildung 4.26) vorhanden. Die Temperatur T5 in 10 cm Tiefe (außen) folgt der Oberflächentemperatur T6 infolge der hohen Wärmeleitfähigkeit des Mischmauerwerkes leicht gedämpft. Die Oberflächentemperatur T1 auf der Innenseite schwankt im Tagesgang um ca. 0,5 Kelvin. In 3 cm Tiefe ergibt die Wandtemperatur T2 nahezu eine Trendlinie zur Oberflächentemperatur. Durch diesen Temperaturverlauf folgt die Wandtemperatur T3 in 10 cm Tiefe um ca. 0,5 Kelvin niedriger. In der Wandmitte befindet sich der Temperatursensor T4. Die Tagesamplitude des Außenklimas ist nicht mehr vorhanden. Jedoch ist der Wetterverlauf über mehrere Tage in der Temperaturkurve ablesbar. Grobe Fehler in den Messungen sind nicht erkennbar und die Meßergebnisse sind plausibel.





### Thermisches Verhalten der Innenwand im EG

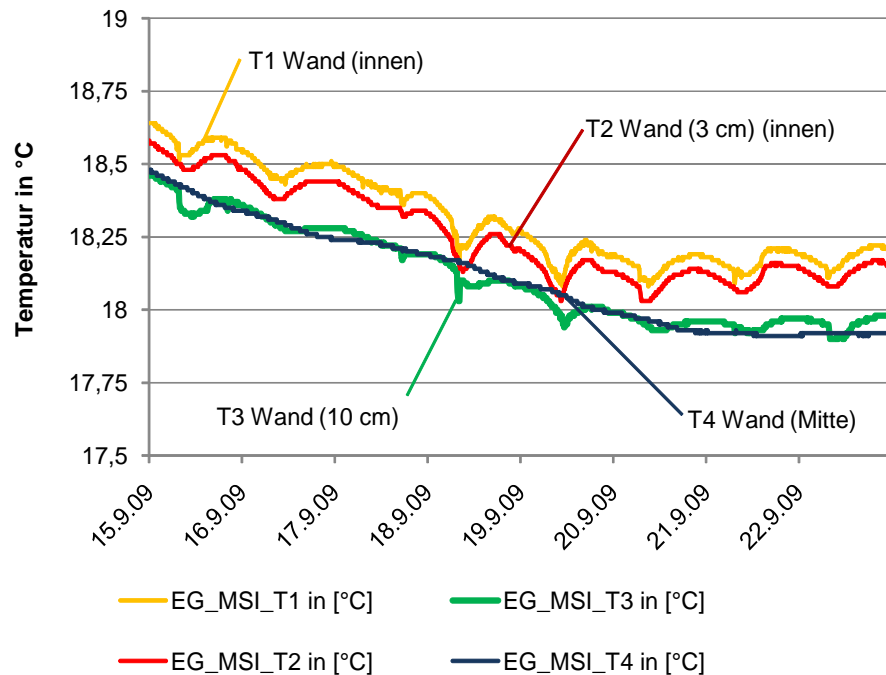


Abbildung 4.29: Temperaturverlauf in der Innenwand Eingangshalle im EG (Nord) (EG\_MSI)  
5. Messstrecke im Zeitraum 15. September bis 22. September 2009 in [°C]

Der Temperaturverlauf im Zeitraum von 15. bis 22. September 2009 der Innenwand im Erdgeschoss wird in der Abbildung 4.29 dargestellt. Die Innenwand besteht ebenfalls aus Mischmauerwerk/ Bruchsteinmauerwerk. Die Wandstärke beträgt 103 cm.

Die Oberflächentemperatur T1 schwankt im Tagesgang um ca. 0,2 Kelvin. In 3 cm Tiefe folgt die Wandtemperatur T2 der Oberflächentemperatur. Die sehr geringen Unterschiede zwischen Oberflächentemperatur T1 Wandtemperatur T2 sind erst durch die eingesetzte hochgenaue Messtechnik, gleiche Kabellängen und gleiche Scharasche der Ntc- Temperatursensoren erfassbar.

Die Temperaturen in 10 cm Tiefe (T3) und in Wandmitte (T4) sind durchschnittlich 0,2 Kelvin kälter als die Oberflächentemperatur. In 10 cm Tiefe sind die Tagungsschwankungen (Temperatursensor T3) sehr gering.

Das Erdgeschoss ist eine sehr thermisch stabile Zone. Dies geht aus der Innenklimamessung und aus der Messung der Innenwände und Außenwände hervor. Eine Ursache ist die nicht vollständige Abkopplung vom Kellergeschoß.

Für die Simulation der angrenzenden Wohnung im 1. Obergeschoss ist die Annahme einer Jahresamplitude der Temperatur als äußere Randbedingung als Vereinfachung möglich und nach der Auswertung der Temperaturverläufe der Wände und des Innenklimas im Erdgeschoss hinreichend genau.



#### 4.3.5 Dach - Varianten der Untersparrendämmung

Es wurden Standard- Messstrecken analog der Innendämmung im 2. Obergeschoss zur Beurteilung des thermisch/ hygrothermischen Verhaltens der Untersparrendämmung besonderes zur Verbesserung des sommerlichen Wärmeschutzes installiert (siehe Abbildung 4.30 bis Abbildung 4.33).

**Lage und Aufbau der Messstrecken im Dach**



Abb. 4.30: Anordnung der Messstrecken 6. bis 9. im 3. Dachgeschoss (Spitzboden)

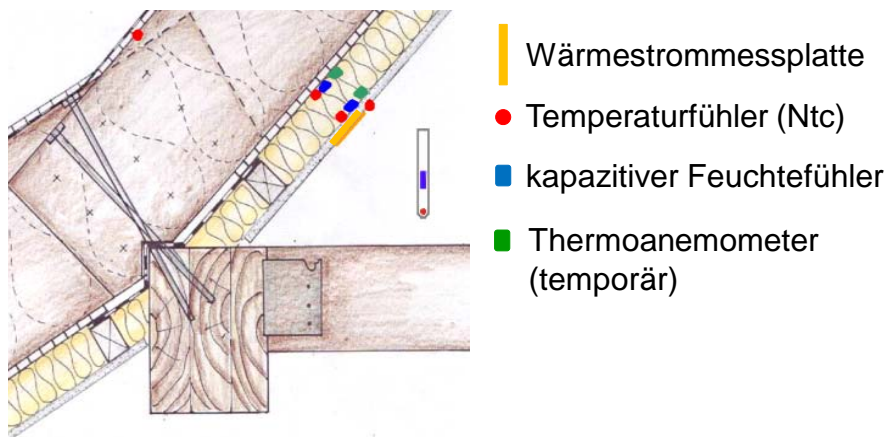


Abb. 4.31: Aufbau der Messstrecken im 3. Dachgeschoss (Spitzboden)

Im Spitzboden (3. Dachgeschoss) befinden sich auf der Nordseite die Messstrecken mit der Untersparrendämmung aus Wärmedämmlehmplatten (WDP, 6. Mess-



strecke), Korkplatten (EKP, 7. Messstrecke) und Hanf (8. Messstrecke) (siehe Abbildung 4.30, Abbildung 4.32 und Abbildung 4.33).

Die 6. - 8. Messstrecken sind der Messstrecken zur Beurteilung des thermisch/ hydrothermischen Verhaltens der Untersparrendämmung analog der Innendämmung im 2. Obergeschoss (siehe Abbildung 4.31).

Auf der Südseite des Daches wurde die 9. Messstrecke ohne den Temperatur-Feuchtesensoren ausgestattet (siehe Abbildung 4.30).

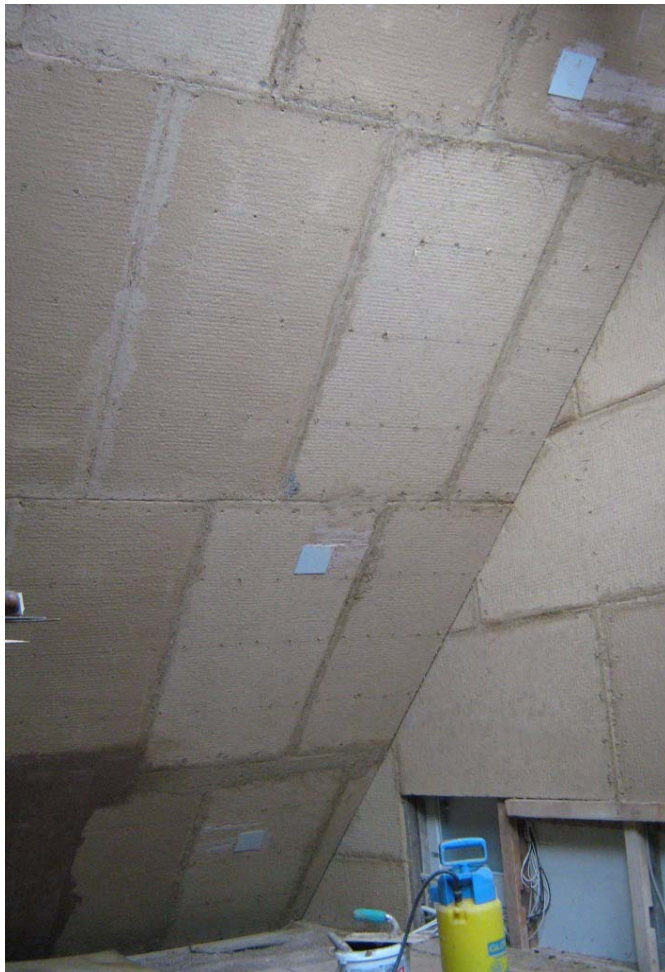


Oben: Hanfdämmung

Mitte: Korkplatte (EKP)

Unten: Wärmedämmlehm-Platte (WDP)

Abb. 4.32: Anordnung der Messstrecken im 3. Dachgeschoss



Oben: Hanfdämmung

Mitte: Korkplatte (EKP)

Unten: Wärmedämm-  
lehm-Platte (WDP)



Temperatur-  
sensor (Ntc)

Wärmestrom-  
messplatte

Abb. 4.33: Anordnung der Messstrecken im 3. Dachgeschoss, Wärmestrommessplatten, Temperatursensoren (Ntc)





### Hygrothermisches Verhalten des Daches mit WDP-Platten

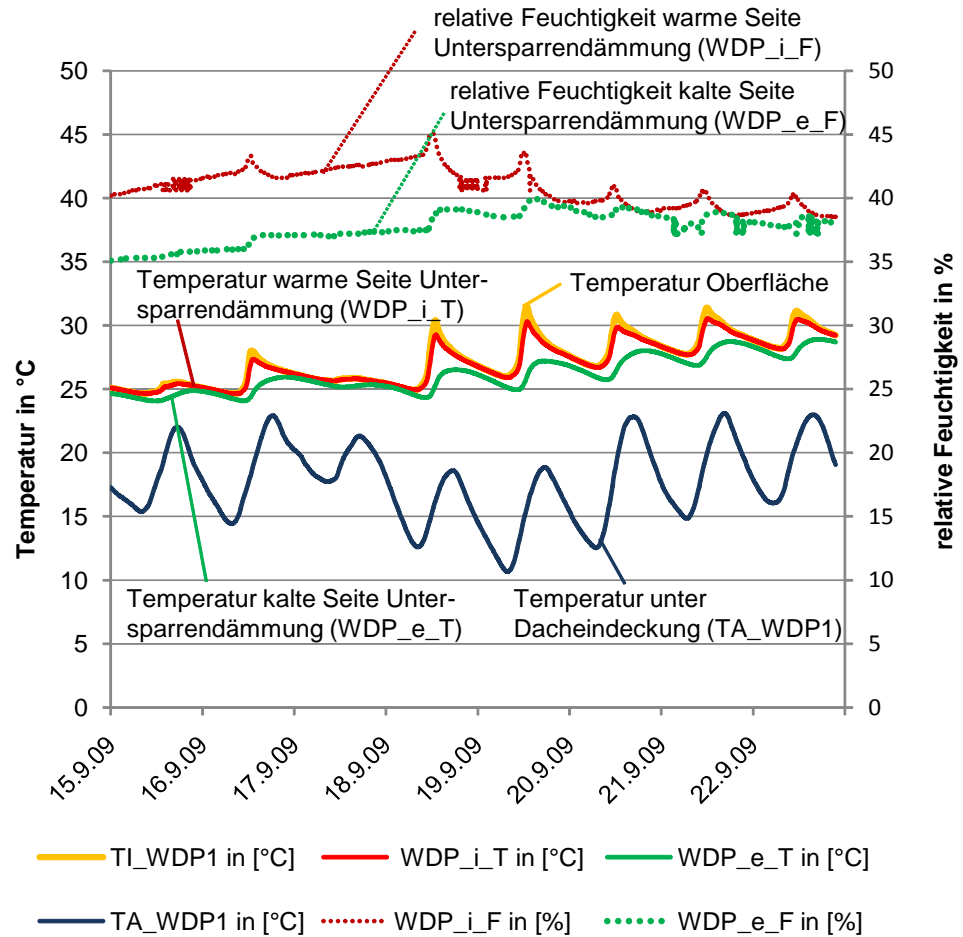


Abb. 4.34: Temperatur- und Feuchteverlauf im Dach 3. DG, 6. Messstrecke im Zeitraum 15. September bis 22. September 2009 in [°C] bzw. [%]

In der Abbildung 4.34 ist der Temperatur- und Feuchteverlauf der 6. Messstrecke (Dach Nord, Untersparrendämmung mit WDP - Wärmedämmlehmplatten) im Zeitraum von 15. Bis 22. September 2009 dargestellt. Die relative Feuchtigkeit in der Konstruktion liegt im unkritischen Bereich zwischen 35 % und 45 %. Die Oberflächentemperatur auf der Dachinnenseite TI\_WDP1 ist nur geringfügig höher als die Temperatur unter der Lehmplatte WDP\_i\_T. Die Temperatur auf der kalten Seite der Untersparrendämmung WDP\_e\_T folgt gedämpft den Temperaturen auf der Innenseite der Dachkonstruktion.

In dem Dachgeschoss war zu dieser Zeit noch eine direkte Wärmeabgabe des Kaminheizkessels an den Raum vorhanden. Dies führte kurzzeitig zu hohen Innentemperaturen in der Übergangszeit. Dies wurde erst 2010 durch einen zusätzlichen Abgaswärmetauscher eliminiert. Um bessere Meßergebnisse zu erzielen wurde extra innerhalb der temperierten Zone im Erdgeschoss 2010 ein Pelletkessel installiert.





Die Untersparrendämmung des Daches besteht aus WDP - Wärmedämmlehmplatten. Zusätzlich wurden 2 Testfelder mit Kork (7. Messstrecke) und Hanf (8. Messstrecke) installiert.

In der Abbildung 4.35 ist der Temperaturverlauf an der kalten Seite der Untersparrendämmung und unterhalb der Dacheindeckung zu sehen. Die Temperatur an der kalten Seite der Untersparrendämmung ist bei den WDP-Platten aufgrund deren schlechteren Wärmedämmung am höchsten. Die Temperaturamplitude ist bei der Hanfuntersparrendämmung auf Grund seiner geringeren Speichermasse am größten. Die Temperaturen unterhalb der Dacheindeckung liegen in den ersten drei Tagen nahezu übereinander. Die kurzzeitig höheren Innentemperaturen infolge des Betriebes des Kaminheizkessels schlagen bei der Untersparrendämmung aus Hanf (geringste Speichermasse) am meisten bis auf die Temperaturen unterhalb der Dacheindeckung durch. Fehlfunktionen der Sensoren sind nicht erkennbar. Die Oberflächentemperatur auf der Dachinnenseite und die Temperatur unter der Dacheindeckung können als äußere Randbedingungen für die Bauteilsimulation genutzt werden. Bei der Bauteilsimulation können dann die anderen Temperatur- und Feuchtigkeitsverläufe nachgerechnet und mit den gemessenen Werten verglichen werden (Validierung).

### Thermisches Verhalten des Daches mit verschiedenen Untersparrendämmsystemen

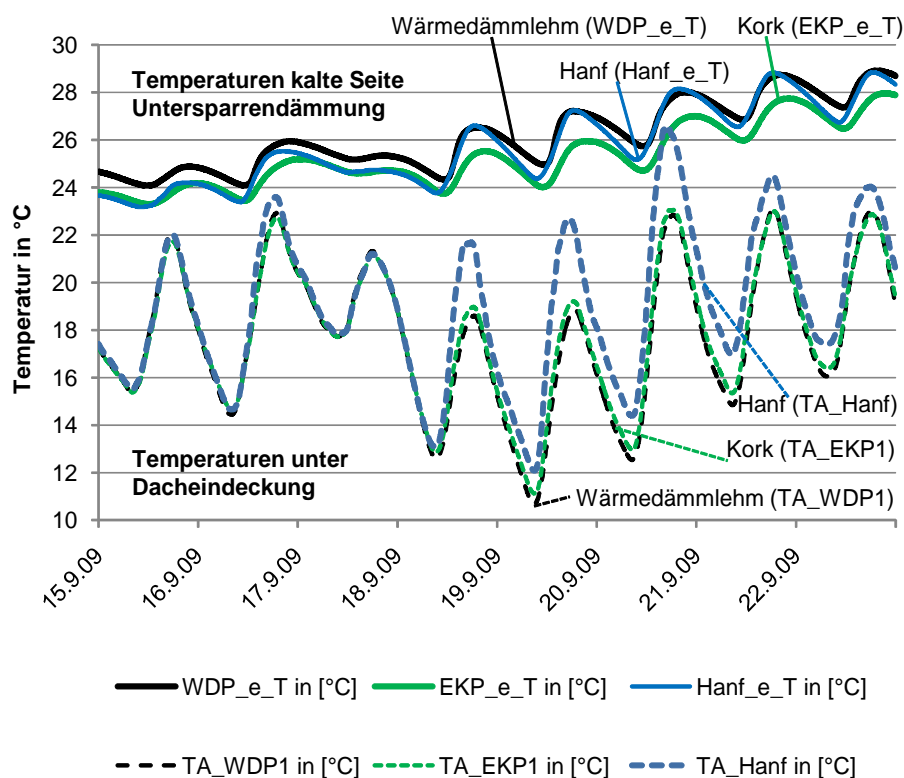


Abb. 4.35: Temperaturverlauf im Dach 3. DG, 6. - 8. Messstrecke im Zeitraum 15. September bis 22. September 2009 in [°C]



#### 4.3.6 Kastenfenster, 2.OG Nord

##### Lage und Aufbau der Messstrecke Kastenfenster, 2.OG Nord

Es befindet sich jeweils auf der Nord- und Südseite (Lage siehe Abbildung 4.15 und Abbildung 4.20) an den Fenstern eine Messstrecke (vgl. Abbildung 4.36 und Abbildung 4.39).

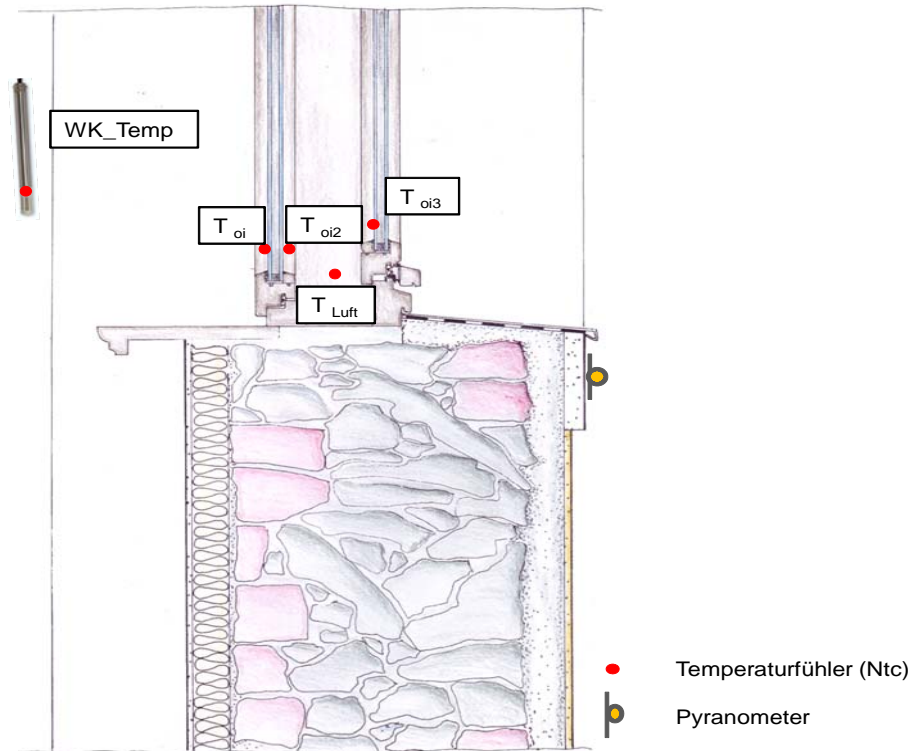


Abb. 4.36: Aufbau der Messstrecke im Kastenfenster, 2. OG Nord



Abb. 4.37: Kastenfenster, 2. OG Nord, Aufzeichnung der Scheibenoberflächentemperaturen mit Ntc-Fühler



Es werden die Scheibenoberflächentemperaturen, die Temperaturen im Raum zwischen den Verglasungen online aufgezeichnet (siehe Abbildung 4.36 und Abbildung 4.37). Ergänzt werden diese Daten durch die Außen- und Innenklimadaten (vgl. Abbildung 4.3 und Abbildung 4.21).

Zur Erfassung der Oberflächentemperaturen wurden die Ntc- Fühler (eng. Negative Temperature Coefficient Thermistors) mit speziellen Klarsilikon auf die Glasoberfläche aufgeklebt (vgl. Abbildung 4.37).

Die Temperaturen steigen von außen nach innen (Temperatur im Fensterkasten, Scheibenoberflächentemperatur und Raumlufttemperatur) zu an. Auf der Nordseite liegt die maximale Globalstrahlung bei ca. 120 W/m<sup>2</sup>. Im gleichen Zeitraum vom 15. bis 22. September 2009 liegt diese auf der Südseite bei bis zu 800 W/m<sup>2</sup>. Der Einfluss der Einstrahlung auf die Energiebilanz auf der Nordseite ist gering. Die Transmission überwiegt. Die Transmission überwiegt bei dem Fenster auf der Nordseite (vgl. Abbildung 4.38).

### Thermisches Verhalten des Kastenfensters, 2.OG Nord

Die Beschichtung der Wärmeschutzverglasung befindet sich jeweils auf der inneren Scheibe zum Scheibenzwischenraum. Es kommt zu Emission der kurzwelligigen Strahlung. Die emittierte Energie wird auf die innere Scheibe der Wärmeschutzverglasung übertragen. Der Luftraum im Kastenfenster zwischen den beiden Flügel-paaren erwärmt sich.

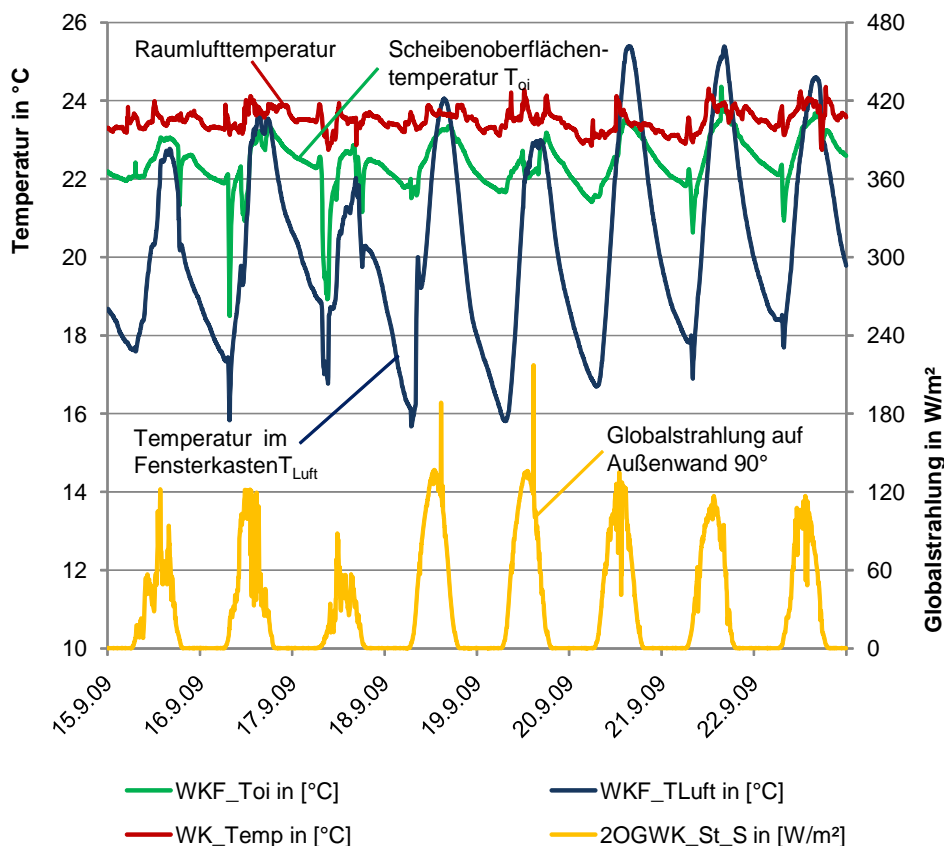


Abb. 4.38: Kastenfenster, 2. OG Nord, Aufzeichnung der Scheibenoberflächentemperaturen in [°C] (Primärachse), Globalstrahlung auf Wand in [W/m<sup>2</sup>] (gelb, Sekundärachse)



#### 4.3.7 Kastenfenster, 1.DG Süd

##### Lage und Aufbau der Messstrecke Kastenfenster, 1.DG Süd

Auf der Südseite wurde der gleiche Aufbau der Messstrecke vorgenommen (vgl. Abbildung 4.36 und Abbildung 4.39). Sie befindet sich oberhalb Messstrecke Mischmauerwerk mit WDVS (siehe Abbildung 4.20).

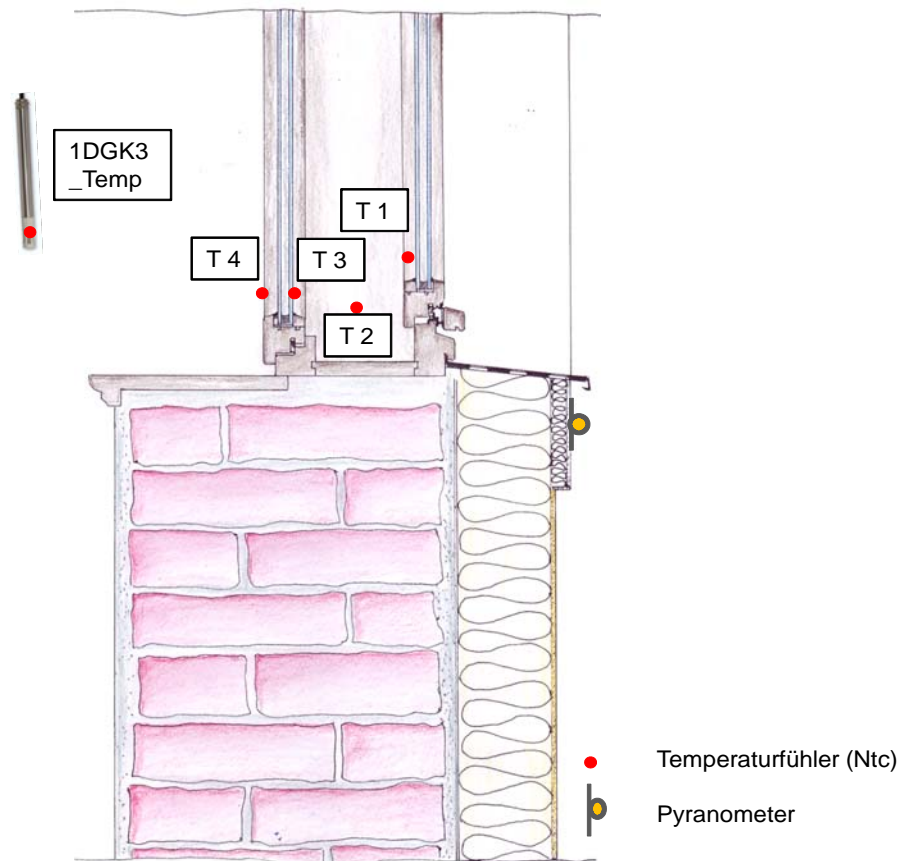


Abb. 4.39: Aufbau der Messstrecke im Kastenfenster, 1. DG Süd

##### Thermisches Verhalten des Kastenfensters, 1.DG Süd

Die Temperaturen auf der Südseite steigen nur nachts von außen nach innen (Temperatur im Fensterkasten, Scheibenoberflächentemperatur und Raumlufttemperatur) an. Die maximale Globalstrahlung im Zeitraum vom 15. bis 22. September 2009 liegt ca.  $800 \text{ W/m}^2$ . Dadurch steigt die Temperatur im Fensterkasten auf über  $55 \text{ }^\circ\text{C}$  an. Auch die Scheibenoberflächentemperatur ist mit maximal  $35 \text{ }^\circ\text{C}$  sehr hoch. Es findet eine Umkehrung der Transmission statt: von der Energie vom Fensterkastens in Richtung Innenraum und gleichzeitig auch nach außen. In der Übergangszeit, bei flachem Einstrahlungswinkel, ist dieser Effekt erwünscht. In der Hitzeperiode wirken die Balkone als Verschattung (vgl. Abbildung 4.40).

Diese zusätzlichen Energiegewinne der Kastenfenster werden in den derzeitigen Verordnungen und Normen nicht berücksichtigt. Bei einer genauen Gebäudesimulation sollte dieser zusätzliche Energiestrom nicht vernachlässigt werden.

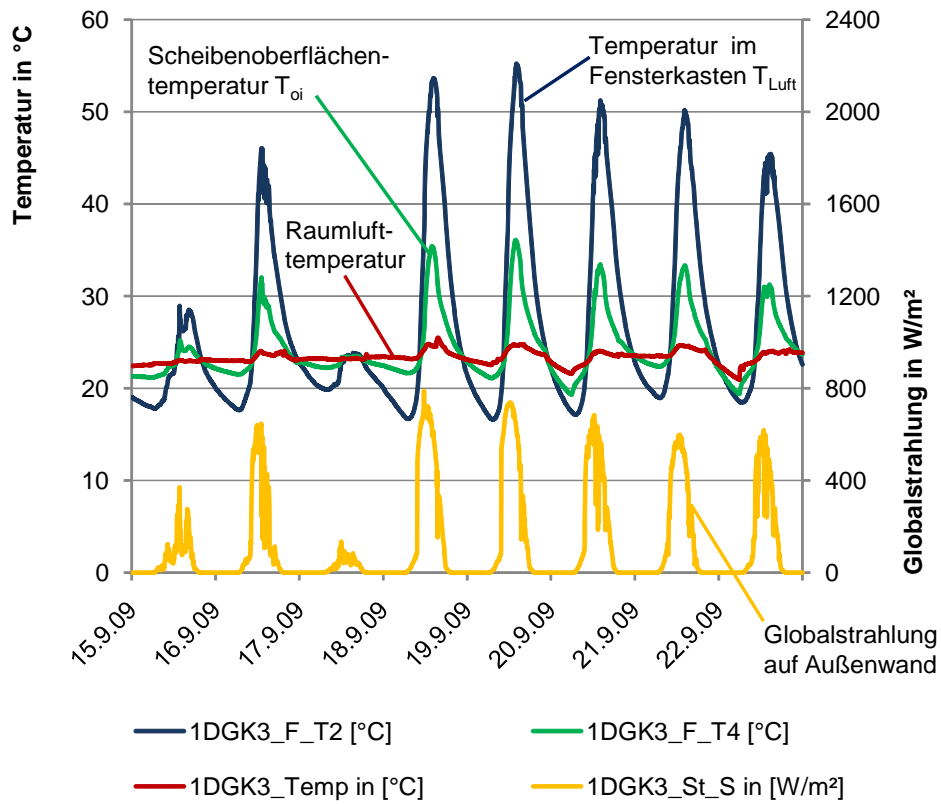


Abb. 4.40: Kastenfenster, 1. DG Süd, Aufzeichnung der Scheibenoberflächen-temperaturen in [°C] (Primärachse), Globalstrahlung auf Wand in [W/m²] (gelb, Sekundärachse)





### 4.3.8 3-Scheibenwärmeschutzverglasung

Die eingelegten Sprossen verursachen eine Wärmebrücke, die für die Beibehaltung des Erscheinungsbildes eine akzeptable Lösung darstellt (siehe Abbildung 2.4). Die Gefahr der Tauwasserbildung besteht nicht. Nur bei Außentemperaturen unter  $-15\text{ °C}$  und hoher Raumluftfeuchte konnten Kondensatbildungen im Bereich der Sprossen festgestellt werden (siehe Abbildung 2.5).

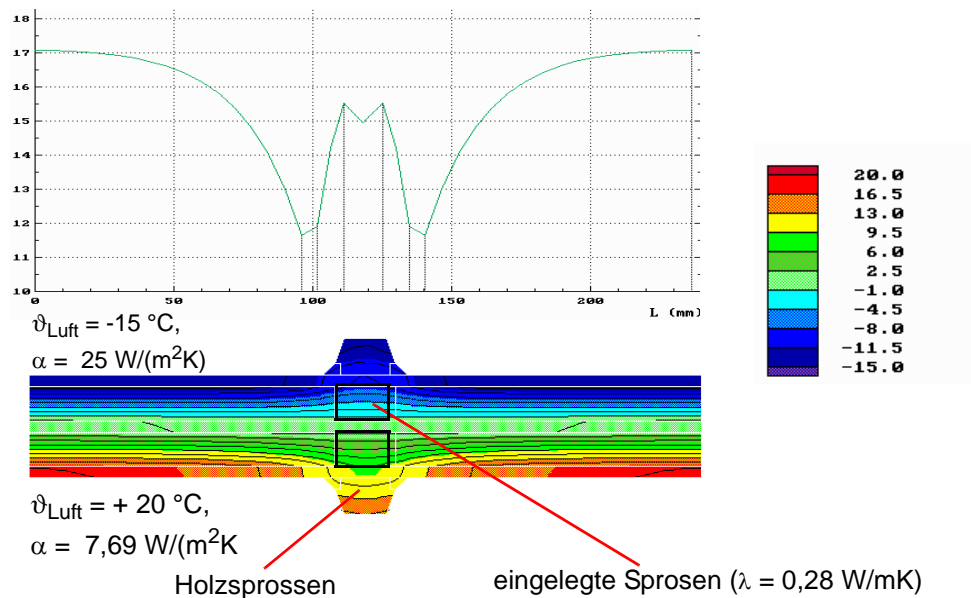


Abb. 4.41: Stromlinienbild und Oberflächentemperatur, 3-fach Verglasung mit zwei eingelegten Sprossen und aufgesetzten Holzsprossen, zulässige innere Oberflächentemperatur von  $\vartheta_{\text{min}} = 11,6\text{ °C}$ , Stromlinienbild mit Abstand Isotherme 2 Kelvin, Berechnung mit dem Programm Quickfield

### 4.3.9 Dachliegefenster, Nord, 2. DG

#### Thermisches Verhalten des Dachliegefenster, 2.DG Nord

Bei dem mit einer 3-Scheiben – Wärmeschutzverglasung nachgerüsteten Dachliegefenster wurden Kondensat und Reifbildung festgestellt. Durch die sehr guten thermischen Eigenschaften der Glasscheibe kommt es zu Beeinträchtigungen. Durch eine außenliegende Beschichtung kann diese Beeinträchtigung vermindert werden. Um eine Quantifizierung vornehmen zu können werden jeweils ein Oberflächensensor auf der Außen- und Innenseite bei einer beschichteten und unbeschichteten Verglasung angebracht (siehe Abbildung 4.42).

Die Glasoberfläche hat bei klarem Himmel eine starke Abstrahlung. Die Konvektion der Außenluft und die Transmission durch die 3-fache Verglasung reichen nicht aus, um die Glasoberflächen ausreichend nachzuheizen. Bei klarem Himmel kommt es schon bei ca.  $10\text{ °C}$  zur Kondensation und bei ca.  $2\text{ °C}$  Außenlufttemperatur zum Zufrieren auf der Glasoberfläche der äußeren Scheiben. An einigen Tagen ist die Scheibe den ganzen Tag zugefroren.



Kondensatbildung am 12.11.2005

K-Glasscheibe

Floatglasscheibe



Reifbildung am 20.02.2006

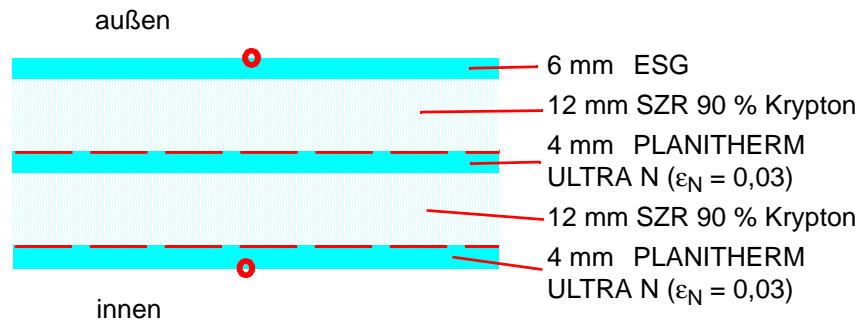
*Abb. 4.42: Dachliegefenster als 2. Rettungsweg, thermisch sehr gute 3-Scheibenverglasung, Kondensatbildung und Reifbildung außen, Verhinderung der Kondensatbildung und Zufrieren der Scheibe durch eine außen liegende Beschichtung*



### Neuartige Verglasung für Horizontalverglasungen

Gemeinsam mit der FGT Glaswerk GmbH wird eine Wärmeschutzverglasung mit einer Beschichtung nach außen für diesen Anwendungsfall entwickelt und eingesetzt (siehe Abbildung 4.43). Analoge Anwendungsgebiete sind vorhanden.

ohne äußere Beschichtung



mit äußerer Beschichtung

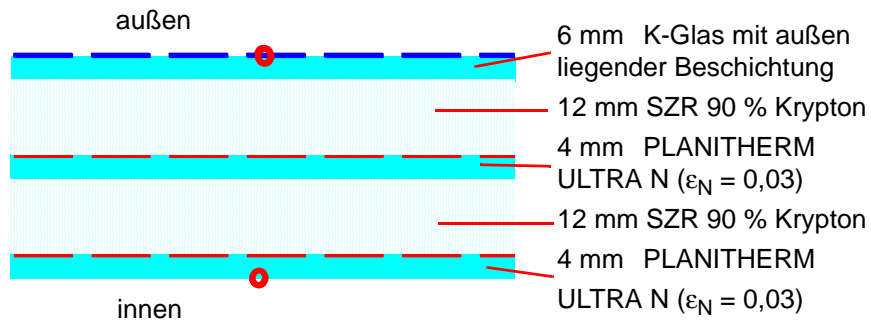


Abb. 4.43: Dachliegefenster, 2. DG Nord, Aufzeichnung der Scheibenoberflächentemperaturen mit Ntc-Fühler

Es gibt drei Ansätze, diese Beeinträchtigungen zu minimieren:

- Hartbeschichtung auf der Glasoberseite analog des K-Glases minimiert die Emission
- Beschichtung, welche die Oberflächenspannung herabsetzt und somit die Kondensatbildung minimiert bzw. Kondensat läuft ab- Clearchild - Beschichtung
- Anbringen eines zusätzlichen Abschlusses außen, z. B. Rollo

Es findet eine Langzeituntersuchung zu 1. und 2. statt. Bei dem 1. Ansatz konnten die Kondensatbildung und das Zufrieren wirksam verhindert werden.



#### 4.3.10 Bewerten und Verifizieren der baulichen Ergebnisse

Bei dem Mischmauerwerk der Straßenfassade wurde eine kapillaraktive diffusions-offene Innendämmung aus Calciumsilikat im 1. und 2. OG mit einem herkömmlichen Dämmputz kombiniert (siehe Abbildung 4.16). Mit dieser Innendämmung konnte der Mindestwärmeschutz erreicht werden [36]. Eine weitere Erhöhung des Dämmstandards verschärft die thermische und hygrothermische Situation im Bereich der Anschlussbauteile. Ein WDVS ist an der Straßenfassade bei diesen hochwertigen Baudenkmalen aus denkmalpflegerischer Sicht zurzeit nicht genehmigungsfähig und würde in den Straßenraum hineinragen.

An der Hoffassade (siehe Abbildung 4.21) wurde ein energieeffizienteres WDVS bestehend aus einer Mineralwolllamelle und einem mineralischen Leichtputz als Oberputz angebracht. Die Kastenfenster wurden bündig zu der Mauerwerksaußenkante eingesetzt und überdämmt. Das Erscheinungsbild eines gefilzten Putzes mit aufgesetzten Faschen wird auf der Hofseite beibehalten. Diese Möglichkeiten der Anpassung eines WDVS auf die Belange der Denkmalspflege sind vorbildlich und sollten weiter bekannt gemacht werden.

Im 1. und 2. DG wurde die Innendämmung aus Calciumsilikat zur Errichtung der Brandwände und zugleich als Wärmedämmung zu den Nachbargebäuden großflächig eingesetzt (siehe Abbildung 2.18). Diese Maßnahme ist aufgrund des vorhandenen Leerstandes und der Nichtbeheizung bzw. Absenkung der Heizung der nicht energetisch sanierten Nachbargebäude notwendig.

Die innerhalb des Projektes in Eigenregie hergestellten hochwärmedämmenden Kastenfenster mit zwei Wärmeschutzverglasungen aus Solarglas ( $U_G = 1,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ,  $g = 0,76$ ) besitzen einen niedrigen U-Wert von  $0,75 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  (siehe Abbildung 2.1). Diese Fenster haben eine sehr gute Schalldämmung und eine ausreichende Luftdichtigkeit. Der Einsatz einer 3-Scheibenverglasung bei den verhältnismäßig kleinen Fensteröffnungen und der geforderten mehrteiligen Fenstergestaltung führt zu einer aus denkmalpflegerischen und ästhetischen Gesichtspunkten unakzeptabel großen Ansichtsbreite des Stulpes. Die Profile orientieren sich an Fenstern des 19. Jahrhunderts. Bei dem in der Gaube verwendeten günstigeren 2-teiligen Einfachfenstern mit 3-Scheibenverglasung (siehe Abbildung 2.3) gab es Probleme mit der Herstellung einer ausreichenden Luftdichtigkeit im Stulpbereich. Der Schallschutz ist im direkten Vergleich zu den Kastenfenstern erheblich schlechter.

Das Dachliegefenster wurde mit einer thermisch ausgezeichneten 3-Scheibenverglasung nachgerüstet. Dort wurden Kondensatbildung und Reifbildung auf der äußeren Scheibe bei klarem Himmel infolge der starken Nachtstrahlung beobachtet. Durch eine Beschichtung auf der äußeren Scheibe war es möglich, die Energieemission der Verglasung im langwelligem Bereich zu reduzieren. Nach über 4 Jahren konnte keine nennenswerte Alterung der K-Glasscheibe festgestellt werden (siehe Abbildung 4.42).

#### Außenwände

#### Gebäudetrennwände

#### Fenster



### Dach

Das Dach wurde zwischen den Sparren mit Hanf gedämmt. Die Untersparrendämmung mit Wärmedämmlehm-Platten verbessert den sommerlichen Wärmeschutz durch die Erhöhung der speicherwirksamen Bauwerksmasse im Tagesverlauf spürbar (siehe Abbildung 4.31).

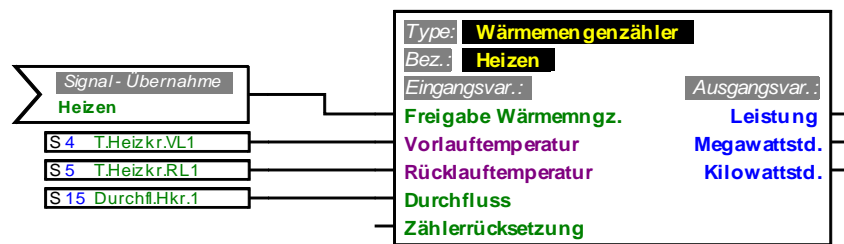
## 4.4 Aufzeichnung der Messwerte der Anlagentechnik

Zur Erfassung der Energiebereitstellung und des Energieverbrauches wurde das Steuer- und Regelungssystem der Firma "Technische Alternative - elektronische Steuerungs-gerätesgesellschaft mbH" verwendet. Bei diesem System wird die Regelung gleichzeitig zur Erfassung der Messdaten genutzt. Dazu wurde die freiprogrammierbare Universalregelung UVR 1611 (16 Eingänge, 11 Ausgänge) mittels dem Programm TAPPS für die Messwerterfassung programmiert.

### Prinzip Energieerfassung

Mit der Funktion Wärmemengenzähler werden zwei Temperatursensoren (Pt 1000) und ein Volumenstromgeber (VSG) zu einem Wärmemengenzähler mit einer hohen Auflösung der Momentanleistung und einer fortlaufenden Zählung der Energiemenge. Bemerkenswert ist unter anderem das Kalibrierprogramm der UVR 1611-Steuerung. Dies ermöglicht eine Kalibrierung der Wärmemengenzähler im eingebauten Zustand. Bei diesem System kann gleichzeitig die Energie für den Fall Kühlen und Heizen erfasst werden (siehe Abbildung 4.44).

### Waermemengenzaehler Heizung



### Waermemengenzaehler Kuehlung

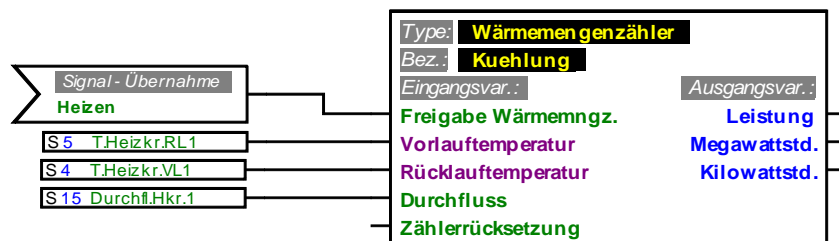


Abb. 4.44: Funktionsmodul Wärmemengenzähler des grafischen Programmierprogramms TAPPS





Über einen Bootloader erfolgt die Anbindung des Steuer- und Regelungssystems der UVR 1611 an ein LAN – Netzwerk zur Fernregelung und Visualisierung. Die Darstellung des Anlageschemas als Grundlage für die Programmierung (siehe z. B. Abbildung 3.10) wird gleichzeitig als ONLINE - Schema für die Darstellung im Browser genutzt.

Mit Hilfe des Programms WINSOL werden täglich die Verläufe aller wichtigen Eingangs- und Ausgangszustände analysiert (siehe z. B. Abbildung 4.45).

## Funktionskontrolle



Abb. 4.45: Visualisierung der Anlagentechnik mit dem Programm WINSOL, Beispiel, Solaranlage, Heizkreis 1, Kaminheizkessel und Warmwasser am 07.07.2007

Die Messungen umfassen die Heizperioden vom 01.10.2005 bis 30.09.2006, 01.10.2006 bis 30.09.2007 und 01.10.2007 bis 30.09.2008. Die Messungen wurden fortlaufend durchgeführt. Da die Messtechnik kontinuierlich erweitert wurde, konnten zum Ende der Monate 04/07 und 07/08 keine Monatswerte bei der Solaranlage mitgeschrieben werden. Die Messwerte wurden an dieser Stelle gewichtet.

## Ergebnisse der Energieerfassung

Die Abbildung 4.47 zeigt die Energiebereitstellung und die Abbildung 4.46 den Energieverbrauch der Wohnung 2 in drei Heizperioden. In der 1. Heizperiode musste das Gebäude, welches längere Zeit leer stand, auf Raumtemperatur hochgeheizt werden.

Dies gilt auch für die Inbetriebnahme der Wohnung 1 in der 3. Heizperiode, da im Herbst 2007 die Wohnung 1 (Ferienwohnung) fertiggestellt wurde. Demzufolge steigt die Wärmemenge für die Bereitstellung des Warmwassers in der Heizperiode 2007/2008 an.

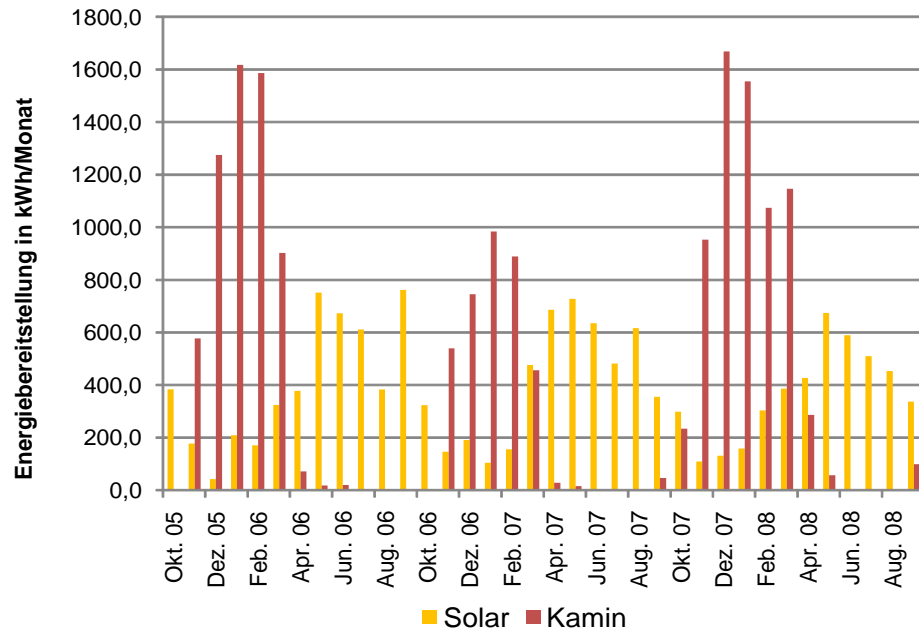


Abb. 4.46: Diagramm 01 Energiebereitstellung durch die thermische Solaranlage und den Kaminheizkessel in dem Zeitraum vom 01. Oktober 2005 - 30. September 2008 in [kWh]

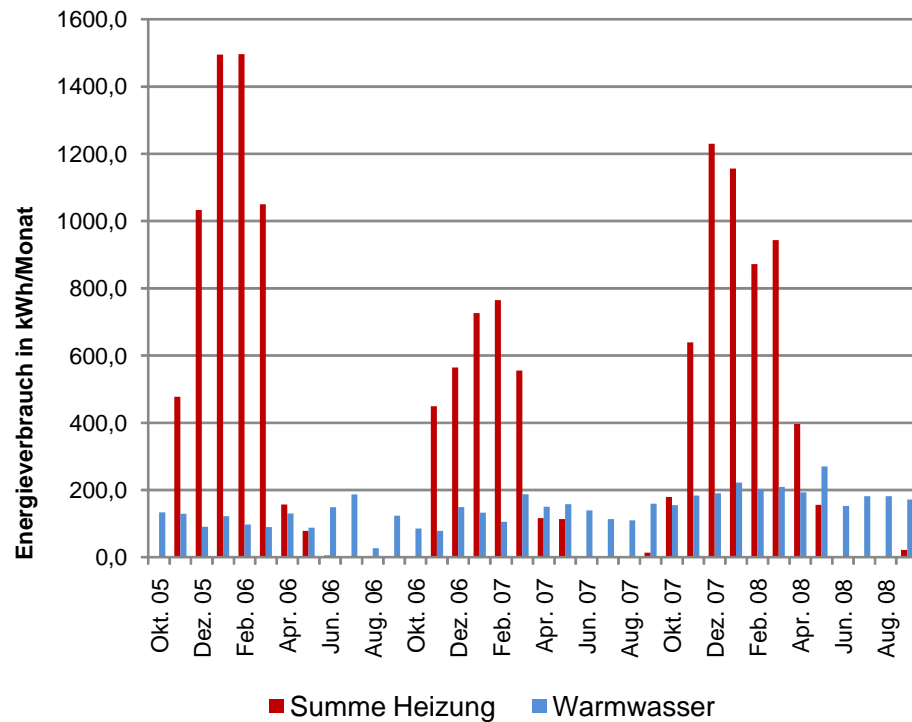


Abb. 4.47: Energieverbrauch der Wohnung 2 Heizung (Heizkreis 1 mit direkter Wärmeabgabe des Kaminheizkessels an den Raum und Warmwassererwärmung) im Zeitraum vom 01. Oktober 2005 30. September 2008 in [kWh]



Der Heizkaminessel musste ab Herbst 2007 auch die Energie für die Beheizung der Ferienwohnung bereit stellen, so dass die Betriebszeit und damit verbunden die Wärmeabgabe des Kamins an den Raum in der Wohnung 2 gestiegen sind.

In den Monaten November bis Mai gelangt die Energie der Solaranlage direkt in die Heizung. Dadurch steigt der Wirkungsgrad der Solaranlage infolge der geringeren Vorlauftemperatur (siehe Erläuterungen Kapitel 4.4.2). Dieser Sachverhalt und die Neigung der Solaranlage von 45 °C bewirken die hohen Solarerträge in den Monaten April/ Mai bzw. September.

Die Abbildung 4.48 und Tabelle 4.2 zeigt die aufgeschlüsselte Energiebereitstellung und den Energieverbrauch des Gebäudes Handwerk 15 in Görlitz. Das Gebäude liegt auf Passivhausniveau. Der Verlauf des Energieverbrauches wird sich in den kommenden Jahren durch weite Optimierung der Steuer- und Regelungstechnik, Inbetriebnahme der Lüftungsanlage und die Austrocknung der restlichen Baufeuchte im Erdgeschoss und Kellergeschoss verändern.

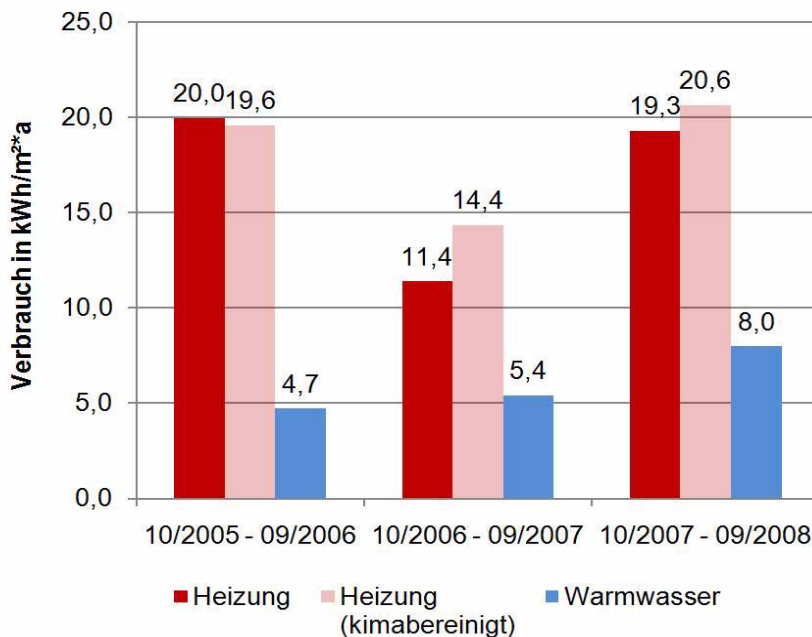


Abb. 4.48: Energieverbrauch der Wohnung 2 Heizung (Heizkreis 1 mit direkter Wärmeabgabe des Kaminheizkessels an den Raum und Warmwassererwärmung) im Zeitraum vom 01. Oktober 2005 30. September 2008 in [kWh]



Tab. 4.2: Energiebereitstellung und Energieverbrauch im Gebäude Handwerk 15 in Görlitz im Zeitraum vom 01.10.2005 bis 30.09.2008 pro Jahr

<b>Energiebereitstellung</b>							
	Q <sub>Solar</sub>	Q <sub>Kamin</sub>				Q <sub>Hilfsen</sub>	Q <sub>Endenergie</sub>
		Q <sub>Speicher</sub>	t <sub>Kamin</sub>	Q <sub>Raum</sub>	Q <sub>Kamin</sub>		
	[kWh/a]	[kWh/a]	[h/a]	[kWh/a]	[kWh/a]	[kWh/a]	[kWh/a]
10/2005 - 09/2006	4867,2	4722,3	395,8	1345,8	6068,1	257,0	11192,3
10/2006 - 09/2007	4898,4	2890,9	239,3	813,7	3704,6	214,2	8817,2
10/2007 - 09/2008	4379,6	5208,0	548,3	1864,3	7072,3	196,8	11648,7
<b>Energieverbrauch</b>							
	Q <sub>Hkr.1</sub>	Q <sub>Kamin</sub>	Q <sub>Wohnen2</sub>	Klima-faktor	Q <sub>Wohnen2</sub>	Q <sub>WW</sub>	Q <sub>temp. EG +</sub> Q <sub>Wohnen1</sub> Q <sub>Verluste+</sub>
		Q <sub>Raum</sub>		nach PLZ	1)		
	[kWh/a]	[kWh/a]	[kWh/a]	[-]	[kWh/a]	[kWh/a]	[kWh/a]
10/2005 - 09/2006	4445,9	1345,8	5791,7	0,98	5675,9	1365,6	3778,0
10/2006 - 09/2007	2490,0	813,7	3303,7	1,26	4162,7	1569,1	3730,2
10/2007 - 09/2008	3728,5	1864,3	5592,8	1,07	5984,3	2314,7	3544,4
	[kWh/ m <sup>2</sup> *a]	[kWh/ m <sup>2</sup> *a]	[kWh/ m <sup>2</sup> *a]		[kWh/ m <sup>2</sup> *a]	[kWh/ m <sup>2</sup> *a]	
10/2005 - 09/2006	15,3	4,6	20,0		19,6	4,7	
10/2006 - 09/2007	8,6	2,8	11,4		14,4	5,4	
10/2007 - 09/2008	12,9	6,4	19,3		20,6	8,0 <sup>2)</sup>	

Das Aufheizen einzelner Gebäudeteile ist nicht die Hauptursache für die Unterschiede bei dem klimabereinigten Energieverbrauch von über 25 % zwischen den drei Heizperioden. Die Hauptursache liegt in den nicht energetisch sanierten Nachbargebäuden begründet. So standen einzelne Wohnungen leer bzw. wurden einzelne Räume nur zeitweise beheizt.



#### 4.4.1 Bestimmung von anlagentechnischen Kennziffern

Für das angestrebte Ziel, eine wesentliche Reduzierung des Primärenergieverbrauches, ist die Optimierung des Ertrages der thermischen Solaranlage notwendig. Infolge der städtebaulichen Gegebenheiten können die Fläche und die Ausrichtung der Solaranlagen nicht verändert werden. Demzufolge wurden bei diesem bestehenden Gebäude Vakuumkollektoren auf der Hofseite zur Erhöhung der Erträge, besonders in der Übergangszeit, verwendet.

Bei der Kombination der Solaranlage mit dem schweren (denkmalgeschützten) Gebäude werden die Nachteile des trägen Gebäudes durch die Bauteilaktivierung im Sommer positiv für die Gesamtenergiebilanz genutzt. Die Schäden z. B. durch Sommerkondensation werden minimiert.

Nach den Prüf- und Berechnungsverfahren [16] wurde der Wirkungsgrad des thermischen Solarkollektors bestimmt. Der Wirkungsgrad eines thermischen Solarkollektors hängt von der Einstrahlung  $G$ , der Temperaturdifferenz zwischen der mittleren Kollektor- und Außenlufttemperatur und der Dämmung des Kollektors ab (siehe Abbildung 4.49).

#### Solaranlage

#### Wirkungsgrad eines thermischen Solarkollektors

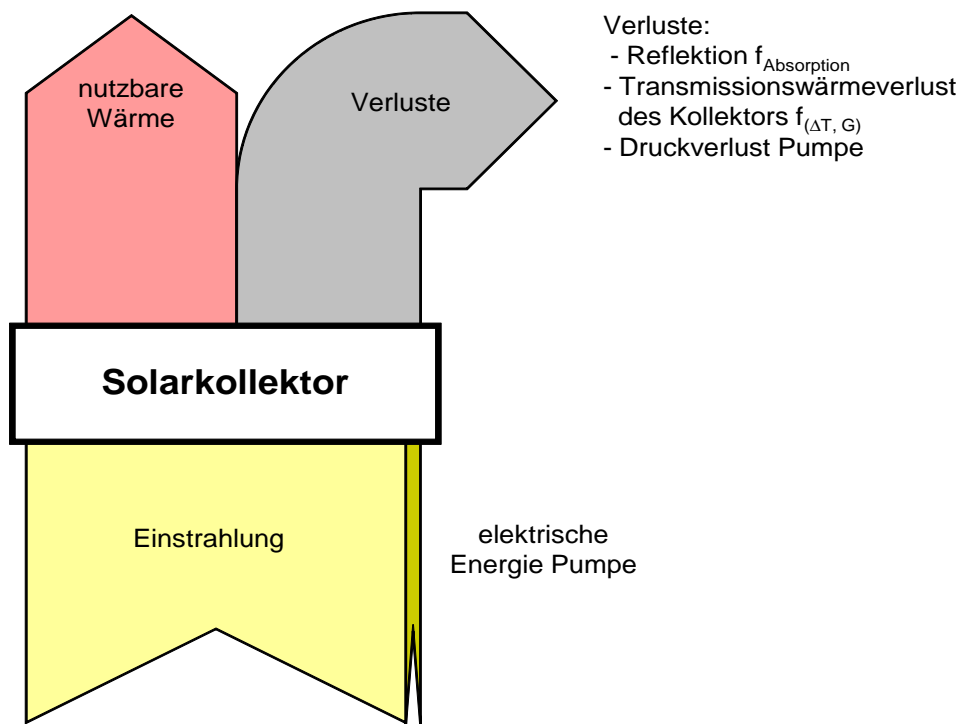


Abb. 4.49: Energieschema eines thermischen Solarkollektors

Der lineare Wärmedurchgangskoeffizient liegt bei Vakuumröhrenkollektoren bei ca. 0,8 bis 1,5  $\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ . Flachkollektoren besitzen einen um den Faktor 3 schlechteren linearen Wärmedurchgangskoeffizienten. Um die Transmissionswärmeverluste noch weiter zu reduzieren, muss die Temperaturdifferenz zwischen der mittleren Kollektor- und Außenlufttemperatur durch die Gesamtanlage reduziert werden.



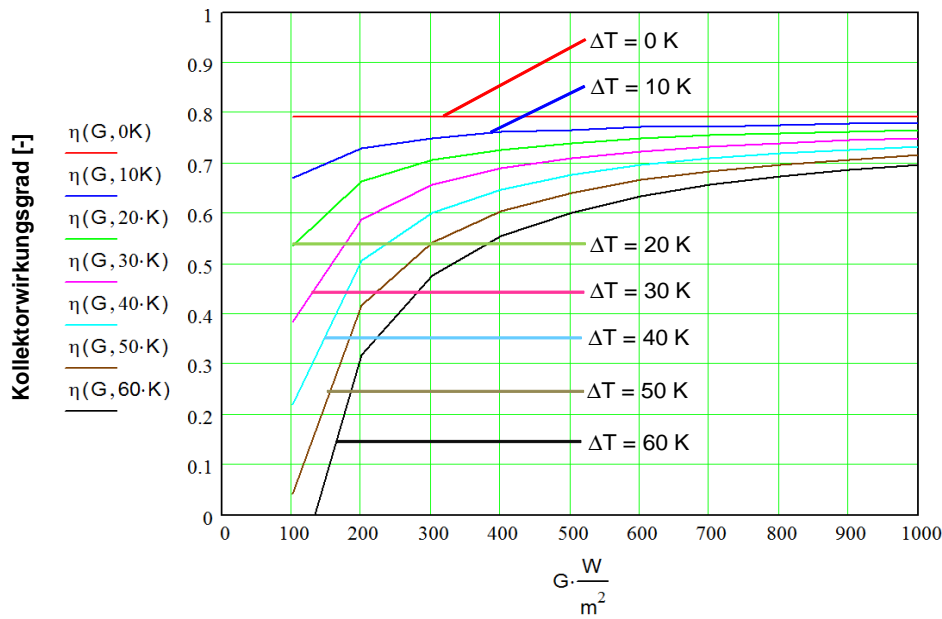


**Berechnung des Kollektorwirkungsgrades und der Leistung des eingesetzten Vakuumkollektors**

:	Vakuumkollektor SOL 200	
$\eta_0 := 0.79$		Konversionsfaktor
$\alpha_1 := 1.13 \cdot \frac{W}{m^2 \cdot K}$		Wärmedurchgangskoeffizient bei $(T_m - T_a) = 0$
$\alpha_2 := 0.0074 \cdot \frac{W}{m^2 \cdot K^2}$		Koeffizient zur Berechnung des temperaturabhängigen Wärmedurchgangskoeffizienten
$A_A := 8 \cdot m^2$		Absorberfläche des Kollektors
$G := 100 \cdot \frac{W}{m^2}, 200 \cdot \frac{W}{m^2} .. 1000 \cdot \frac{W}{m^2}$		hemisphärische solare Bestrahlungsstärke
$t_a := 273.15 \cdot K + 10 \cdot K$		Umgebungslufttemperatur
$t_m := 273.15 \cdot K + 40 \cdot K$		mittlere Temperatur des Wärmeträgers
$\Delta T := t_m - t_a$		$\Delta T := 0 \cdot K, 10 \cdot K .. 60 \cdot K$
Berechnung		
$\eta(G, \Delta T) := \eta_0 - \frac{(\alpha_1 \cdot \Delta T + \alpha_2 \cdot \Delta T^2)}{G}$		Kollektorwirkungsgrad
$Q(G, \Delta T) := \eta(G, \Delta T) \cdot G \cdot A_A$		Nutzwärmeleistung des Sonnenkollektors bei $\Delta T$ und $G$
$Q\left(300 \cdot \frac{W}{m^2}, 50 \cdot K\right) = 1.296 \text{ kW}$		$Q\left(300 \cdot \frac{W}{m^2}, 30 \cdot K\right) = 1.572 \text{ kW}$
$Q\left(500 \cdot \frac{W}{m^2}, 50 \cdot K\right) = 2.56 \text{ kW}$		$Q\left(500 \cdot \frac{W}{m^2}, 30 \cdot K\right) = 2.836 \text{ kW}$
$Q\left(1000 \cdot \frac{W}{m^2}, 50 \cdot K\right) = 5.72 \text{ kW}$		$Q\left(1000 \cdot \frac{W}{m^2}, 30 \cdot K\right) = 5.996 \text{ kW}$

Die Abbildung 4.50 und die Abbildung 4.51 zeigen den Zusammenhang zwischen Einstrahlung, Temperaturdifferenz zwischen Umgebungslufttemperatur und mittlerer Temperatur des Wärmeträgers (Kollektor).

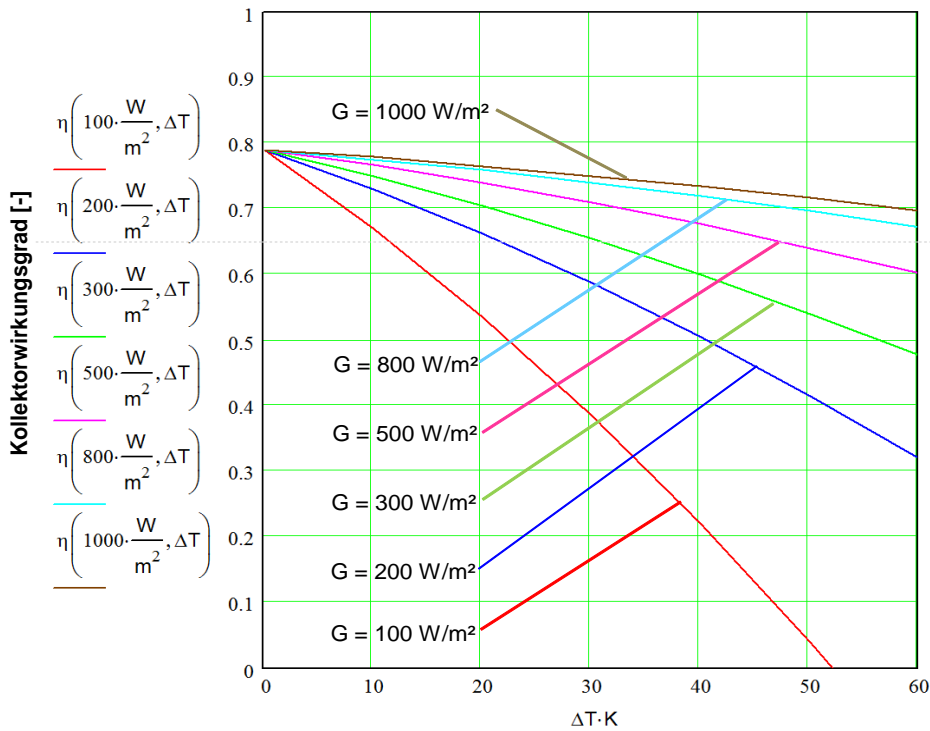
Bei steigender Globalstrahlung steigt der prozentuale Anteil des Kollektorwirkungsgrades an. Der prozentuale Anteil des Kollektorwirkungsgrades sinkt bei steigender Temperaturdifferenz zwischen Umgebungslufttemperatur und mittlerer Temperatur des Wärmeträgers (Kollektor).



Zusammenhang  
Temperatur-  
differenz,  
Globalstrahlung  
und  
Kollektorwirkungs-  
grad

hemisphärische solare Bestrahlungsstärke (Globalstrahlung) [ $\frac{W}{m^2}$ ]

Abb. 4.50: Zusammenhang Temperaturdifferenz Umgebungslufttemperatur und mittlerer Temperatur des Wärmeträgers, Globalstrahlung und Kollektorwirkungsgrad



Temperaturdifferenz zwischen Umgebungslufttemperatur und mittlerer Temperatur des Wärmeträgers (Kollektor) in Kelvin

Abb. 4.51: Zusammenhang Globalstrahlung, Temperaturdifferenz Umgebungslufttemperatur und mittlerer Temperatur des Wärmeträgers und Kollektorwirkungsgrade



Bei einer Einstrahlung von  $300 \text{ W/m}^2$  kann bei einer Reduzierung der Temperaturdifferenz von  $50 \text{ K}$  auf  $30 \text{ K}$  der Wirkungsgrad um über  $20 \%$  gesteigert werden (siehe Abbildung 4.51). Bei dem Modellprojekt wurde dies durch die Reduzierung der Systemtemperatur mit dem Einsatz einer Fußbodenheizung erzielt. Die Rücklauf-temperatur der Flächenheizung liegt bei ca.  $28 \text{ }^\circ\text{C}$  anstatt  $45^\circ\text{C}$  bis  $70 \text{ }^\circ\text{C}$  bei herkömmlichen Plattenheizkörpern. Die mittlere Temperatur des Wärmeträgers liegt somit  $18^\circ\text{C}$  bis  $42 \text{ }^\circ\text{C}$  niedriger. Bei  $300 \text{ W/m}^2$  Einstrahlung und  $50 \text{ Kelvin}$  Temperaturdifferenz erzielt ein Flachkollektor keine Erträge mehr. Bei diesen Randbedingungen kann der eingesetzte Vakuumkollektor über  $160 \text{ W/m}^2$  Wärme an die Speicher abgeben. Auch bei  $30 \text{ K}$  Temperaturdifferenz und dieser niedrigen Einstrahlung ist der Ertrag ca.  $100 \%$  höher als bei modernen Flachkollektoren.

### Vergleich Messung und Berechnung

Mit Hilfe des Prüf- und Berechnungsverfahrens wurden die Herstellerangaben des Vakuumröhrenkollektors SOL 200 der Firma Stiebel Eltron überprüft. Es werden die Vor-/ und Rücklauf-temperaturen (Pt 1000), der Volumenstromgeber (VSG) und ein Strahlungssensor in der Ebene des Kollektors gemessen (siehe Anlagenschema Abbildung 3.10) und mit den Berechnungen verglichen.

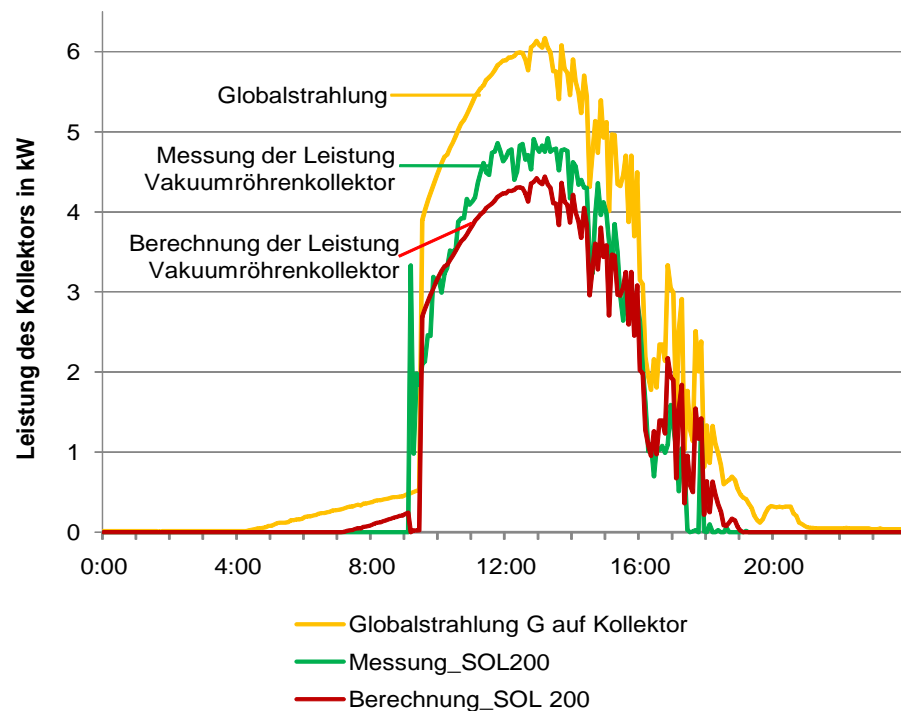


Abb. 4.52: Globalstrahlung, Messung und Berechnung der Leistung der Solaranlage mit Vakuumröhren am 22.06.2008 in [kW]

Die Abbildung 4.52 zeigt die Übereinstimmung zwischen Rechnung und Messung des Kollektors. Die Messwerte liegen bei hohen Einstrahlwerten ca.  $10 \%$  über der Berechnung. Für eine Langzeitmessung im Betriebszustand sind diese Werte zufriedenstellend.



Bei der Erfassung der Energiemenge hat die spezifische Wärmekapazität der Solarträgerflüssigkeit einen großen Einfluss. Die spezifische Wärmekapazität ist stark von dem Anteil des Frostschutzmittels und der Temperatur abhängig. Eine Überprüfung der Einstellung bei dem Wärmemengenzähler wurde vorgenommen. Bei dem eingesetzten UVR - Regler ist der Einfluss der Temperaturabhängigkeit, der Dichte und der spezifischen Wärmekapazität der Wärmeträgerflüssigkeit berücksichtigt. Durch das verwendete Kalibrierverfahren wird eine sehr hohe Genauigkeit der Temperaturdifferenzmessung erreicht (siehe Kapitel 3.1). Die Toleranz des verwendeten einfachen Globalstrahlungssensors GBS01 der Gebäudeleittechnik beträgt  $\pm 5\%$  und  $\pm 50 \text{ W/m}^2$ . Da sich der Globalstrahlungssensor in der Ebene des Kollektors befindet entfallen Fehler infolge der Berechnung der Einfallswinkel-Korrekturfaktoren. Der Volumenstromgeber besitzt bei dem vorhandenen Durchfluss eine Genauigkeit zwischen  $+3\%$  und  $-1\%$ . Der Einfluss der Windgeschwindigkeit wurde vernachlässigt.

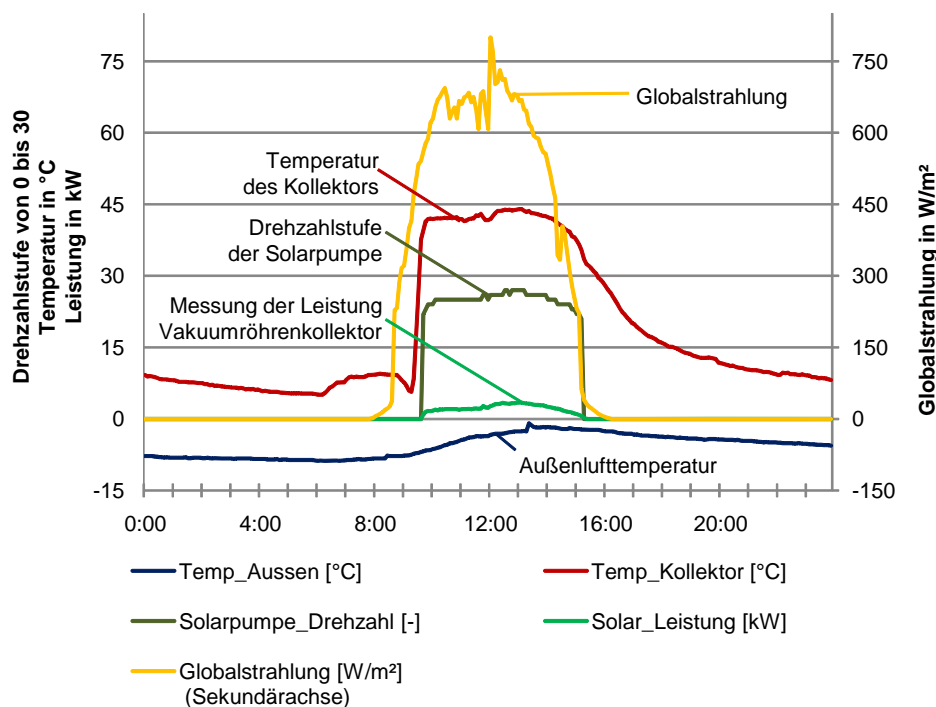


Abb. 4.53: Temperaturverlauf, Strahlungsverlauf sowie Drehzahlstufe und Leistungsverlauf der Solaranlage am 09.01.2006, die Energiebereitstellung beträgt 12,6 kWh

Die Abbildung 4.53 stellt einen Teil der Aufzeichnungen vom 09.01.06 des Betriebes der Solaranlage dar. Die Außentemperatur (Aussen\_Temp) reicht von  $-11^{\circ}\text{C}$  bis  $4^{\circ}\text{C}$ . Die Strahlung (S7\_Strahlung), welche auf die Fläche der Solaranlage fällt, erreicht in den Mittagsstunden ein Mittel von  $700 \text{ W/m}^2$ . Die Drehzahlstufen der Solaranlage reichen von 0 bis 30. Der Drehzahlverlauf (P2\_Pume\_Drehzahlstufe) und der damit verbundene Leistungsverlauf (Leistung\_Solar) folgen der einfallenden Strahlung. Für einen guten Wirkungsgrad der Anlage ist eine geringe Temperaturdifferenz zwischen Kollektortemperatur (S1\_Kollektor\_Temp) und der Außentemp-



eratur notwendig. Die niedrige Kollektortemperatur wird indirekt durch eine geringe Vorlauftemperatur infolge der Flächenheizung erreicht. Die mittlere Leistung der Solaranlage von 3,5 KW entspricht einem sehr guten Wirkungsgrad von über 60 % bei tiefen Außentemperaturen. Die Energiebereitstellung beträgt am 09.01.2006 durch regenerative Energie von der Solaranlage 12,6 kWh.

Tab. 4.3: *Kenndaten [Firma Stiebel Eltron] und Messwerte der Solaranlage in der Heizperiode 2005/2006*

Absorberfläche:	$A_A =$	8,00 m <sup>2</sup>
Aperturfläche:	$A_a =$	8,56 m <sup>2</sup>
Gesamtfläche des Kollektors:	$A_G =$	12,16 m <sup>2</sup>
Konversionfaktor	$\eta_0 =$	0,79
Wärmeverlustfaktor	$\alpha_1 =$	1,13 W/m <sup>2</sup> *K
Wärmeverlustfaktor	$\alpha_2 =$	0,0074 W/m <sup>2</sup> *K
solarer Deckungsgrad am Verbrauch für Trinkwassererwärmung und Heizungswärmeverbrauch		$\alpha_{sol} =$ 47 bis 62 %
Energieertrag in kWh/(m <sup>2</sup> *a) der Solaranlage bezogen auf		
- die Absorberfläche	$Q_{sol}/A_G =$	547 bis 608
- die Gesamtfläche des Kollektors in:	$Q_{sol}/A_G =$	360 bis 400
Aufwandszahl [Verhältnis zwischen Energieertrag zu eingesetzter Hilfsenergie (inkl. Reglung)]:		$\varepsilon_{sol} =$ 57 bis 61

In der Heizperiode 2006/2007 wurde eiZusn solarer Deckungsgrad  $\alpha_{sol}$  von über 60 % erreicht.

Bei dem Kaminheizkessel wurden die Herstellerangaben überprüft. In der 3. Heizperiode wurde die Brennstoffuhr genau dokumentiert. Das verwendete Brennmaterial wurde täglich gewogen. Zusätzlich wurde die Abgastemperatur mit einem Hochtemperatursensor (Thermoelement bis 600 °C) in das Abgasrohr direkt über den Kessel eingebaut. Die Herstellerangaben und dessen Prüfbericht konnten bestätigt werden. In diesen Angaben ist das Brennmaterial für das Anfeuern nicht enthalten.

### Kaminheizkessel

Der Betrieb des Kaminheizkessels am 09.01.2006 wird in der Abbildung 4.54 dargestellt. Die Leistungsabgabe (Kamin\_Leistung) ist sehr unkontinuierlich. Die maximale Leistung beträgt über 30 KW. Die mittlere Leistung des Kamins entspricht mit ca. 12 KW den Herstellerangaben. Die Energiebereitstellung des Heizkamin-kessels an den Pufferspeicher beträgt 30,3 kWh.

Die Drehzahlstufe (A7\_Pumpe\_Drehzahlstufe) beträgt bei dem Verbrennungsvorgang den Maximalwert von 30. Die Temperatur des Kamins (S1\_Kamin\_Temp)





schwankt zwischen 60 und 80 °C. Die Senkung des Stromverbrauches der Ladepumpe ist durch ein Konstanthalten der Temperatur auf mindestens 70°C und eine Anpassung der Drehzahlstufen an die Leistungsabgabe der Ladepumpe möglich.

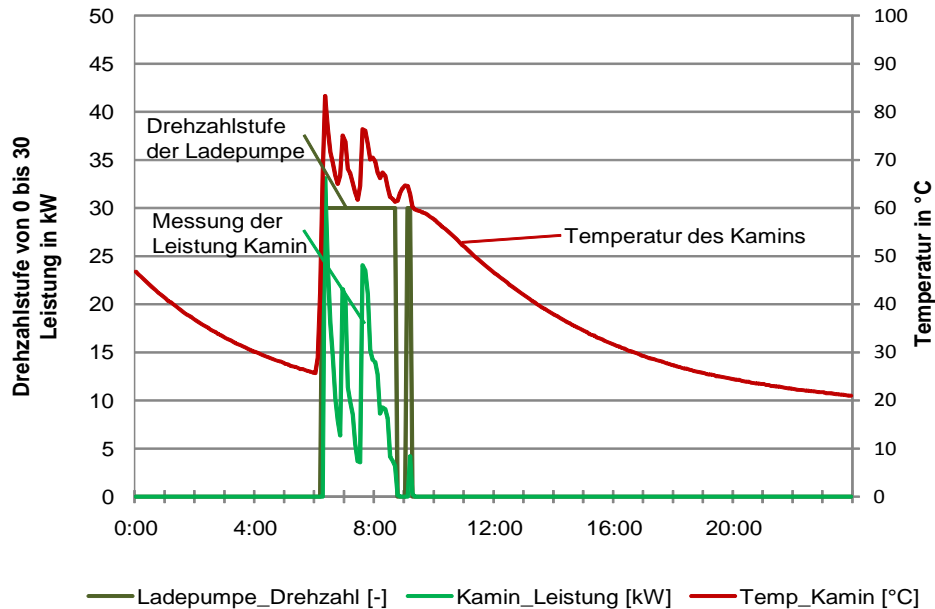


Abb. 4.54: Temperaturverlauf, Drehzahlstufe- und Leistungsverlauf des Kaminheizkessels am 09.01.2006, die Energiebereitstellung beträgt 30,3 kWh

Tab. 4.4: Kenndaten und Messwerte des Kaminheizkessels [17]

Nennwärmeleistung	$P_K =$	14,90 kW
- Wasserwärmeleistung (Abgaben an Speicher)	$P_{K,W} =$	11,50 kW
- Raumwärmeleistung	$P_{K,L} =$	3,40 kW
Wasserinhalt $V_K =$		58 Liter
Wirkungsgradklasse 2 nach EN 13229	$\eta_K =$	65 %
Deckungsgrad am Verbrauch für Trinkwassererwärmung und Heizungswärmeverbrauch	$\alpha_K =$	53 %

Im Zuge der Überarbeitung der 1. BImSchV [18] sind die Anforderungen stark gestiegen. Eine Vielzahl von derartigen wasserführenden Kaminheizkesseln werden die Anforderungen nach der Übergangszeit nicht ohne Nachrüstung erfüllen können. Daher wurde der nachfolgende Nachrüstatz eingebaut, um die einzelnen Maßnahmen auf deren Wirksamkeit validieren zu können:

1. Isolierung des Kaminheizkessels mit bis zu 20 cm hochtemperaturbeständigem Calziumsilikat und Steinwolle
2. kesseltemperaturabhängige Regelung der Primärluftzufuhr mittels motorischer Drosselklappe



3. geregelter Abgaswärmetauschertemperatur mit Hochtemperatursensor (Thermoelement) vor und nach den Wärmetauscher
4. Überwachung und Regelung des Kaminzuges mit einem Differenzdrucksensor mittels einer motorischen Drosselklappe
5. Erfassung des Restsauerstoffgehaltes mittels einer Breitband-Lambdasonde

Die Untersuchungen sind noch nicht abgeschlossen. Eine sinnvolle Nachrüstungen sind die temperaturabhängige Steuerung der Primärluftzufuhr und die Isolierung des Kamins. Bei den Abgaswärmetauschern ist eine Kontrolle der Abgastemperatur zur Sicherstellung der Dauerhaftigkeit des Schornsteins notwendig. Inwieweit direkt in den Verbrennungsprozess regelungstechnische eingegriffen wird muss mit den zuständigen Schornsteinfeger abgestimmt werden.

Bei der Quantifizierung der Wärmeabgabe des Kamins an den Raum wurden bisher die Herstellerangaben genutzt. Nach der Isolierung des Kaminheizkessels werden die Herstellerangaben mit 3,4 kW Wärmeabgabe an den Raum bei weiten nicht mehr erreicht. Bei dem extrem niedrigen Energieverbrauch des Gebäudes ist es für eine genaue Bilanzierung günstiger die Energieumwandlung außerhalb der thermischen Hülle durchzuführen. Im Herbst 2010 wurde daher ein Pelletkessel im Erdgeschoss installiert.

Der Pelletkessel gibt im Volllastbetrieb die Energie an die Pufferspeicher ab. Die Pufferspeicher werden ohnehin für den Betrieb der Solaranlage benötigt. Dabei werden wird eine optimale Verbrennung mit minimalen Feinstauemissionen und CO-Ausstoß erreicht, welche schon heute die Anforderung an die Stufe 2 nach [18] erfüllen.

Die Abbildung 4.55 zeigt die Zusammenhänge zwischen Innen- und Außenklima, dem Lüftungsverhalten und der Beheizung der Räume am 09.01.2006 auf. Die Heizung (Leistung\_HK1) wird bei tiefen Außentemperaturen (Aussen\_Temp) von 20.00 Uhr bis 4.00 Uhr abgeschaltet. Die Raumtemperatur (WK\_Temp) sinkt von 19°C auf 17,5°C ab. Die Flächenheizung benötigt ca. 1 Stunde, um die geforderte Raumtemperatur einzustellen. Die Leistung des Heizkreises 1 schwankt infolge des Öffnens und Schließens der Stellventile der Wand/Fußbodenheizung durch den Raumregler. Der Heizwärmeverbrauch liegt an diesem Tag bei 50,2 kWh.

## Heizflächen

Die Raumluftfeuchte (WK\_Feucht) sinkt nach dem Lüften um 7.15 Uhr von 65 auf 40 % kurzzeitig ab. Es dauert ca. 30 min nach dem Lüften, um die Raumtemperatur wieder auf 19°C anzuheben. Die Leistung des Heizkreises 1 steigt kurzzeitig auf über 10 KW an. Die grüne Fläche kennzeichnet den zusätzlichen Heizenergieverbrauch infolge des Lüftens.

Die hohe Feuchtigkeitsbelastung infolge des Kochens wird an diesem Tag nicht durch Lüften abgeführt. Die Raumluftfeuchte an diesem Wintertag beträgt überwiegend 60 bis 65 %.

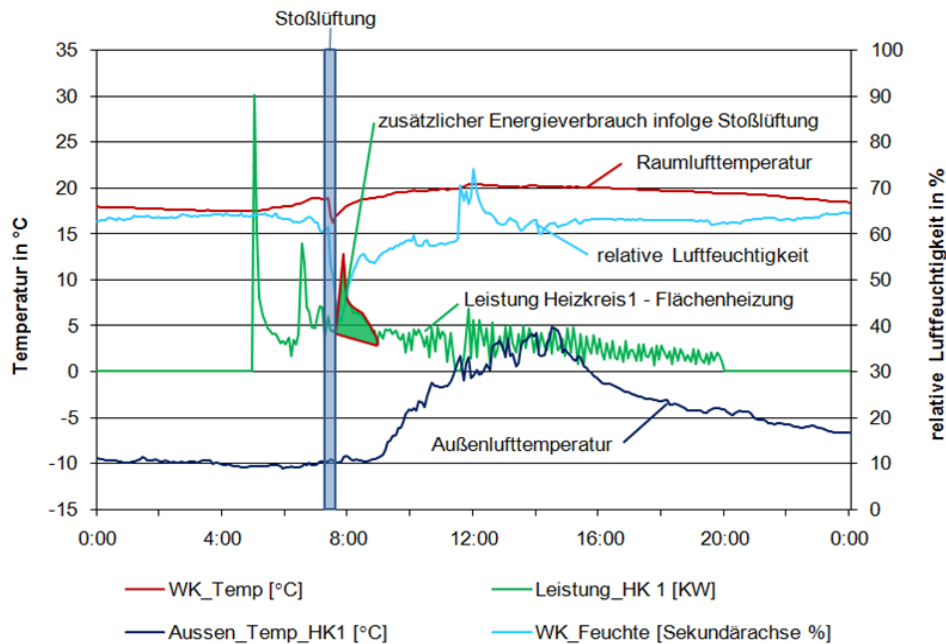


Abb. 4.55: Temperaturverlauf, Raumluffteuchteverlauf, Drehzahlstufe- und Leistungsverlauf der Heizflächen am 09.01.2006, der Heizwärmeverbrauch beträgt 50,2 kWh

Die anderen genutzten Räume werden ebenso wie die Wohnküche gleichmäßig temperiert. Durch das thermisch extrem stabile Gebäude wird der Mindestwert von 16 °C bei der Nachtabsenkung nie unterschritten. Selbst bei einem 1-wöchigen Winterurlaub musste nicht nachgeheizt werden, um die 16 °C zu halten.

Bei den schützenswerten temperatur- und feuchtesensiblen Holzbalkendecken im 1. Obergeschoss (Ferienwohnung) ist durch die Fußbodenheizung eine Begrenzung der Aufheizgeschwindigkeit vorhanden. Ansonsten kann mit dem verwendeten Gebäudeleitsystem ohne Zusatzkosten eine Begrenzung der Aufheizgeschwindigkeit vorgenommen werden, was bei anderen Systemen mit einem sehr hohen technischen Aufwand verbunden ist.

Die Lüftungswärmeverluste und die damit verbundene Luftwechselrate sind bei einer energetischen Bewertung von hochgedämmten Gebäuden von entscheidender Bedeutung. Dabei ist die anzusetzende Luftwechselrate bei sanierten Gebäuden mit sehr großen Unsicherheiten verbunden. Die mit einer Tracergasmessung bestimmte Infiltration des Gebäudes beträgt  $n = 0,1$  bis  $0,2 \text{ h}^{-1}$  vor dem Abschluss der Abdichtungsmaßnahmen.

Eine Gebäudesimulation einer Nutzungseinheit hat gezeigt, dass der Energieverbrauch mit einer ungesteuerten Zu- und Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung (WRG) genauso hoch ist wie bei einer unzureichenden Fensterlüftung. In der Heizperiode 09/10 wurde eine bedarfsgesteuerte Zu- und Abluftanlage mit WRG

(Gegenstrom-Kanalwärmeübertrager) sowie Drosselklappen für bestimmte Nutzungseinheiten in Betrieb genommen (siehe Kapitel 3.2).

#### Luftwechselrate



Dabei war die temporär bestimmte CO<sub>2</sub>-Belastung in dem Schlafzimmer im 1. Obergeschoss (Grundriss siehe Abbildung 4.7) mit über 2000 ppm zu hoch (siehe Abbildung 4.56). Der empfohlene CO<sub>2</sub>-Grenzwert für Raumluft beträgt 1.000 ppm. Bei Werten darüber machen sich Müdigkeit und Konzentrationsschwäche bemerkbar. Der zulässige Grenzwert für Luft in Schulklassen beträgt 1500 ppm.

## Raumluftqualität

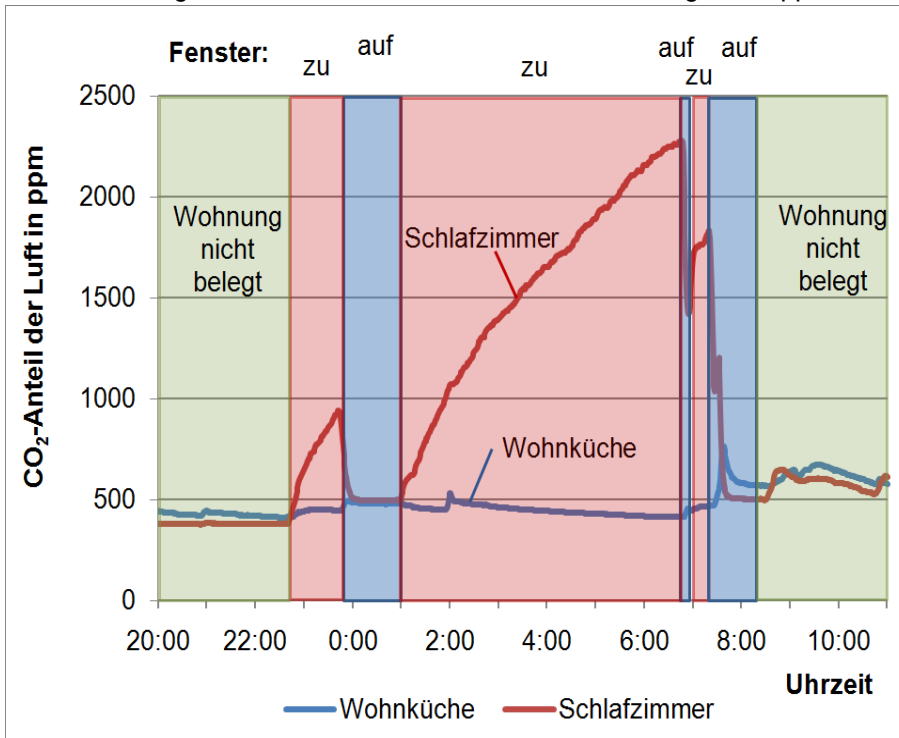


Abb. 4.56: Verlauf des CO<sub>2</sub>-Anteil der Luft in ppm am 18.03.2009 in der Wohnung 1. Obergeschoss (Ferienwohnung)

Die Wohnung 2 ist eine Maisonettwohnung über 4 Etagen. Die Räume Wohnküche (2. Obergeschoss), Flure (1. Dachgeschoss) und Galerie (Wohnzimmer, 2. Dachgeschoss und Spitzboden) bilden mit den Treppen eine große zusammenhängende Gebäudezone (Grundriss siehe Abbildung 4.7). In diesem Abschnitt lag der Anteil der CO<sub>2</sub>-Konzentration der Raumluft nicht über 1000 ppm. Eine Belüftung dieser Zone zur Sicherstellung einer ausreichenden Luftqualität ist durch das große Raumvolumen mit anteilig wenigen Benutzern nicht notwendig.

Das Einsparpotential der Grauwassernutzungsanlage ist sehr stark nutzerabhängig. Bei einem sparsamen Umgang mit Trinkwasser entsteht nicht so viel fäkalienfreies Abwasser, welches wieder aufbereitet werden kann. Im Projektzeitraum erstreckte sich die Wärmerückgewinnung vorerst auf die Wärmeabgabe an den Technikraum und dessen Temperierung (Grundriss siehe Abbildung 4.7).

## Grauwassernutzungsanlage

Empfehlenswert ist die Nachrüstung eines zusätzlichen Membranausdehnungsgefäßes bei der Druckerhöhungsanlage. Dadurch konnte der Stromverbrauch der Anlage von 3,5 kWh [13] auf ca. 2,0 kWh pro Tag reduziert werden.

### 4.4.2 Simulation der anlagentechnischen Komponenten



Mit dem Programm GETSOLAR - ENERGIEBILANZ DER SOLARSIMULATION - wurde eine Simulation der anlagentechnischen Komponenten durchgeführt. Der Wirkungsgrad der Solaranlage ist auch vom Anlagensystem und der Energieeffizienz des Gebäudes abhängig. Die Energieeffizienz des Gebäudes geht mit der Heizgrenztemperatur und dem Jahresheizwärmebedarf ein. Je höher die Energieeffizienz des Gebäudes (niedrige Heizgrenztemperatur und niedriger Jahresheizwärmebedarf) umso geringer sind auch die solaren Erträge der Heizungsunterstützungen sowie der Kollektorwirkungsgrad. Nachfolgende Randbedingungen wurden der Simulation zu Grunde gelegt.

<b>Projekt:</b>	<b>Solare Kombianlage</b>
Standort:	Görlitz, geogr. Breite: 51,2°
Kollektor:	$A_A = 8,00 \text{ m}^2$ Stiebel Eltron SOL 200
Kennlinie:	$\eta_0 = 0,790$ $\alpha_1 = 1,130 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ $\alpha_2 = 0,0074 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^2)$
Neigung:	45,0° Südabweichung: 10,0°
Anlagentyp:	Kombi-Pufferspeicher (4)
Kombipuffer:	1545 + 55 Liter (Heiz- + Warmwasser)
Temperatur:	max. 95°C / min. 45°C
Wärmebedarf:	10,00 kWh/Tag = 246 Liter/Tag von 10°C auf 45°C 10,00 MWh/Jahr Heizwärmebedarf
Solares Heizen:	bei $T_{\text{au\ss}en} < 12^\circ\text{C}$ Heizkreis: 35/28°C, 5,0 kW bei -16°C
Konv. Energie:	Pelletkessel
Nutzungsgrad:	je 85% bei Betrieb in Winter / Frühjahr, Herbst / Sommer

#### Randbedingungen

Tab. 4.5: Ergebnisse der Simulation der Solaranlage mit den Programm GetSolar

Monat	Solarertrag [kWh]	Solares Heizen* [kWh]	Einstrahlung [kWh]	Fremdenergie [kWh]	Deckungsrate Warmw. [%]	Heizg. [%]	Wirkungsgrad [%]
Januar:	179	63	462	219	35	4	39
Februar:	333	214	665	195	38	14	50
März:	399	274	714	209	37	20	56
April:	676	563	1040	209	35	60	65
Mai:	565	124	1313	55	112	92	43
Juni:	398	0	1348	0	98	0	30
Juli:	424	0	1224	0	102	0	35
August:	407	0	1263	0	97	0	32
September:	417	152	896	6	72	84	46
Oktober:	424	309	746	219	34	32	57
November:	151	55	366	233	30	4	41
Dezember:	83	11	271	247	23	1	31
<b>Summe:</b>	<b>4456</b>	<b>1766</b>	<b>10308</b>	<b>1583</b>	<b>63</b>	<b>18</b>	<b>43</b>



Nach der Simulation ergibt sich eine Gesamtdeckungsrate für Warmwasser und Heizung von 31,2% und ein spezifischer Kollektor-Jahresertrag von 557 kWh/m<sup>2</sup> (siehe Tabelle 4.5) und liegt im Bereich der Messungen (siehe Tabelle 4.3). In den Sommermonaten wird die Bereitstellung der Energie für das Warmwasser nahezu vollständig durch die Solaranlage gedeckt. Der Wirkungsgrad sinkt bei der Simulation in den Sommermonaten infolge der hohen Kollektortemperatur und der geringen Abnahme. Die Anlage geht einige Male in "Stillstand" aufgrund geringer Abnahme im Sommer (siehe Abbildung 4.57 und die Abbildung 4.58). In der Heizperiode steigt der Wirkungsgrad aufgrund des Einsatzes der Fußbodenheizung trotz tieferer Außentemperaturen (siehe Abbildung 4.50 und die Abbildung 4.51). Für das Simulationsprogramm sind die Klimadaten von Görlitz mit den Meteodaten-Generator erzeugt worden. Bei den Jahresdatensätze wird die Abweichung des Monatsmittels vom langjährigen Mittelwert der Einstrahlung angegeben.

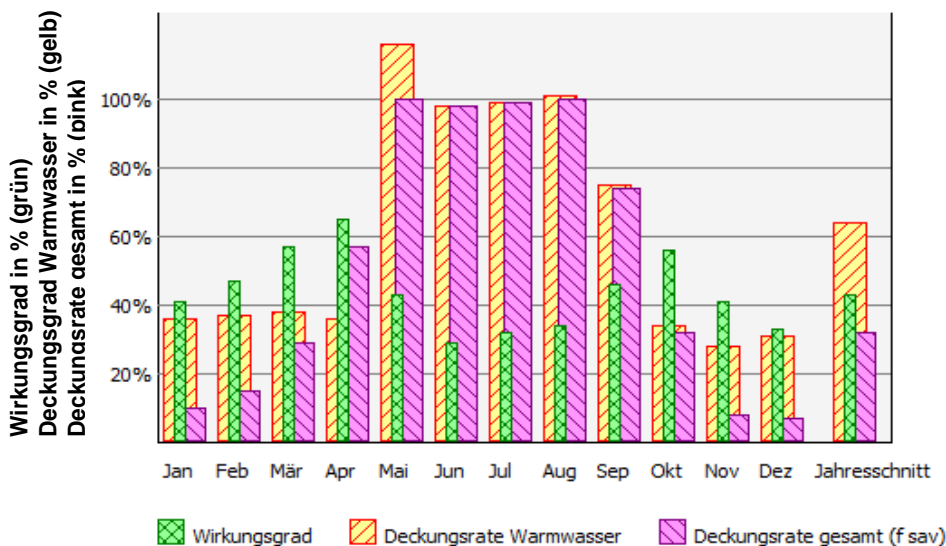


Abb. 4.57: Simulation des Wirkungsgrades der Solaranlage und der solaren Deckungsraten in [%] mit den Programm GetSolar

Bei dem Gebäude Handwerk 15 in Görlitz wird durch Bauteilaktivierung im Sommer zur Minimierung der Schäden durch Sommerkondensation mehr Energie abgenommen. Die Speichertemperaturen können somit auf 75 °C begrenzt werden. Die Anlage geht nicht in Stillstand. Die Messungen in den Jahren 2006 und 2007 zeigen im Vergleich zur Simulation höher Erträge in den Sommermonaten. In den Wintermonaten weist die Simulation höhere Erträge aus. Die Vakuumkollektoren können bei Schnee nicht freigetaut werden. Ggf. sind hiermit die Mehrerträge der Simulation in den Wintermonaten zu erklären (siehe Abbildung 4.59).



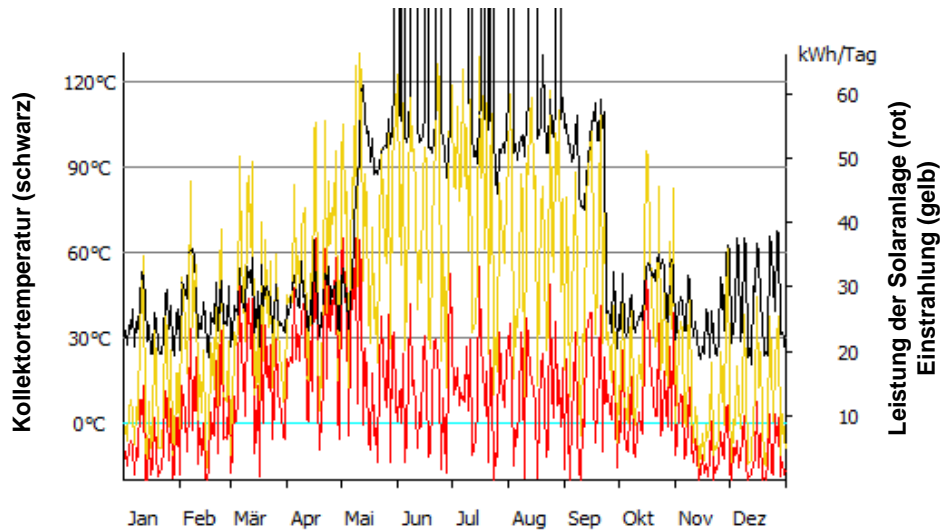
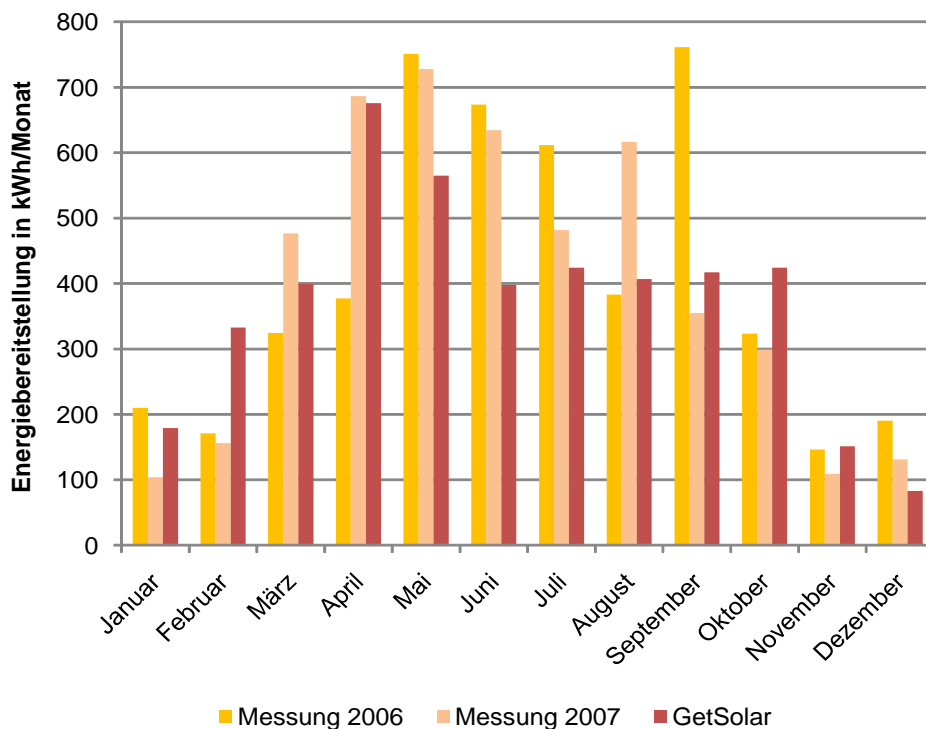


Abb. 4.58: Simulation der Leistung der Solaranlage (rot) in [kW], der Kollektortemperatur (schwarz) in [°C] und der Einstrahlung (gelb) mit dem Programm GetSolar



Vergleich  
Simulation/  
Messung

Abb. 4.59: Vergleich der Erträge der Solaranlage in [kWh] zwischen den Messungen in den Jahren 2006 und 2007 gegenüber der Simulationsrechnung mit dem Programm GetSolar



#### 4.4.3 Bewerten und Verifizieren der anlagentechnischen Komponenten

Die gemessene Luftfeuchtigkeit ohne kontrollierte Wohnungslüftung mit bis zu 70% und die temporär bestimmte CO<sub>2</sub>-Belastung in den Schlafräumen mit über 2000 ppm waren zu hoch. Die mit einer Tracergasmessung bestimmte Infiltration des Gebäudes von  $n < 0,1 \text{ h}^{-1}$  und das dreimal tägliche Lüften reichten nicht aus, um die Feuchtigkeitslasten immer sicher abzuführen und eine ausreichende Versorgung mit Frischluft sicherzustellen. Eine Gebäudesimulation einer Nutzungseinheit hat gezeigt, dass der Energieverbrauch mit einer ungesteuerten Zu- und Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung (WRG) genauso hoch wäre wie bei einer unzureichenden Fensterlüftung. In der Heizperiode 09/10 wurde eine bedarfsgesteuerte Zu- und Abluftanlage mit WRG (Gegenstrom-Kanalwärmeübertrager) sowie Drosselklappen für bestimmte Nutzungseinheiten in Betrieb genommen. Bei der Auslegung der Lüftungsanlage wurde besonderer Wert auf deutlich reduzierte Betriebskosten (geringerer Stromverbrauch und längere Standzeit der Filter) gelegt.

**Kontrollierte  
Wohnungslüftung**

Der Pufferspeicher und der Hygiene-Schichtkombispeicher befinden sich innerhalb der thermischen Hülle im 2. Dachgeschoss. Die Solaranlage befindet sich auf der Hofseite. Die eingesetzten vakuumgedämmten Röhren mit integriertem Wärmerohr ermöglichen in Kombination mit der Flächenheizung einen hohen Wirkungsgrad bei tiefen Temperaturen und geringer Sonneneinstrahlung. Im Sommer wird die überschüssige Solarwärme zur Temperierung des Erdgeschosses herangezogen, um Sommerkondensation im Erdgeschoss zu verhindern und die Wärmeabgabe der Speicher im Dachgeschoss innerhalb der Hitzeperiode zu begrenzen. Durch den Heizenergiebedarf im Sommer zur Vermeidung von Schäden ist eine ganzjährige Abnahme der Solarenergie gegeben. Dies führt zu dem hohen solaren Deckungsgrad von über 50 %. Der verbleibende Wärmebedarf des Gebäudes wird mit einem Kaminheizkessel bereitgestellt. Der Kaminheizkessel wurde 2010 nachgerüstet (siehe Kapitel 4.4.1). Für eine bessere Bilanzierung der Energiebereitstellung wurde im Herbst 2010 ein Pelletkessel außerhalb der thermischen Hülle installiert. Somit ist auch eine kontinuierliche und nutzerunabhängige Energieversorgung vorhanden. Durch den anzusetzenden Leerstand in der Nachbarbebauung müssen große Heizflächen (Kombination aus Fußboden-, Wandheizung und innenwandorientierten Heizkörpern) vorgehalten werden. Bei Pumpenstillstand in der Nacht und bei Außentemperaturen unter -10°C fällt die Raumtemperatur um max. 1 Kelvin ab.

**Heizungsanlage**

Mit der Kombination von Regenwasser- und Grauwassernutzungsanlage wurde der Trink- und Abwasserverbrauch erheblich reduziert. Bei der voll-biologischen Grauwassernutzungsanlage wird das Bade- und Duschwasser im Gebäude mit einer so hohen Wasserqualität aufbereitet, dass es zum Reinigen im Gebäude, zur Toilettenspülung und auch zum Wäschewaschen verwendet werden kann. Der Anteil der Energie zur Trinkwassererwärmung am Gesamtenergieverbrauch steigt mit besserer Energieeffizienz des Gebäudes. Es wird untersucht, inwieweit dieser Energieanteil aus dem Abwasser in der thermischen Hülle unkompliziert zurück gewonnen werden kann.

**Trink- und  
Abwasseranlage**



## 4.5 Gebäudeberechnungen und -simulation

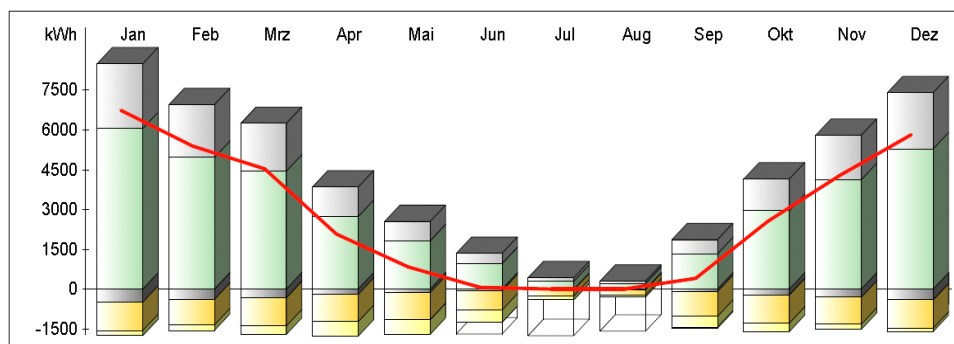
### 4.5.1 Ermittlung der vorhandenen Energiekennzahlen nach EnEV 2009

Die vorhandenen Bauteile sind in den Abschnitt 3 und 4 dargestellt. Die Energieeinsparverordnung EnEV [25] regelt den öffentlich-rechtlichen Nachweis über die energetische Qualität des Gebäudes. Es werden vereinfachte Annahmen getroffen.

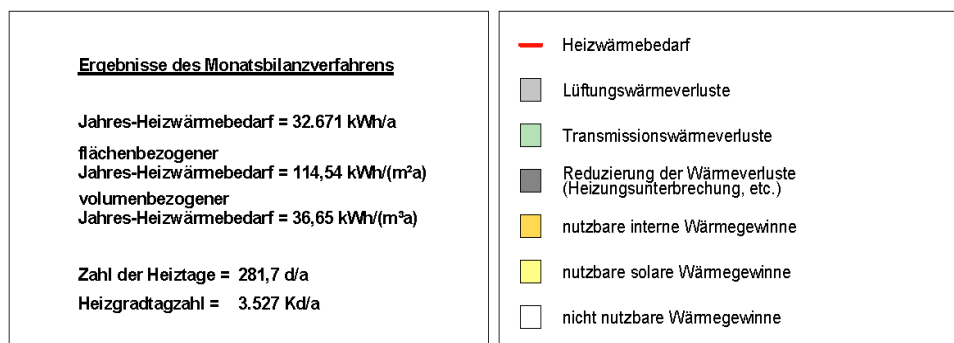
Die stark schwankenden Einflusskriterien bei Wohngebäuden wie das Nutzerverhalten in Abhängigkeit von der Altersstruktur und dem gewünschtem thermischen Komfort, relative Abwesenheiten oder Leerstand können nicht berücksichtigt werden. Der Einfluss des regionalen und über Jahre schwankenden Klimas und die Rolle wie die unterschiedlichen Gebäudeformen und Bauformen, Materialien usw. werden vernachlässigt.

Die Abbildung 4.60 zeigt die Energieeinsparpotential im Bereich der Transmissionswärmeverluste.

vor der Sanierung

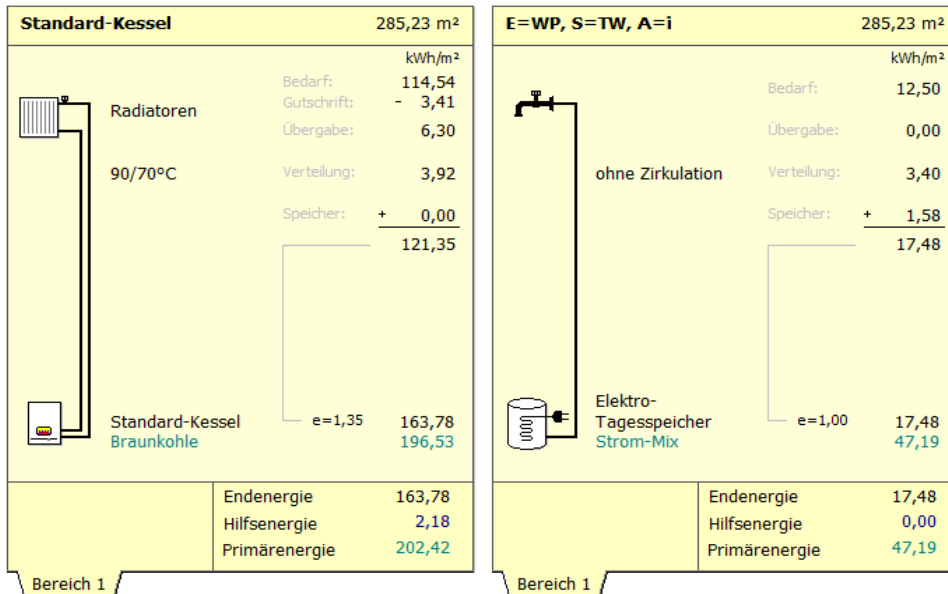


Bilanzierung vor der Sanierung



Gebäudedaten		Klimadaten	
Gebäudehüllfläche	= 356,98 m²	Raumtemperatur:	19,0 °C
Gebäudevolumen	= 891,34 m³	Deutschland	
Beheiztes Luftvolumen	= 677,42 m³	mittlere Außentemperatur	6,5 °C
Gebäudenutzfläche	= 285,23 m²	Normaußentemperatur	- 12,0 °C
AV <sub>e</sub> -Verhältnis	= 0,40 1/m		

Abb. 4.60: Diagrammdarstellung der Monatsbilanzierung nach EnEV 2009 vor der Sanierung

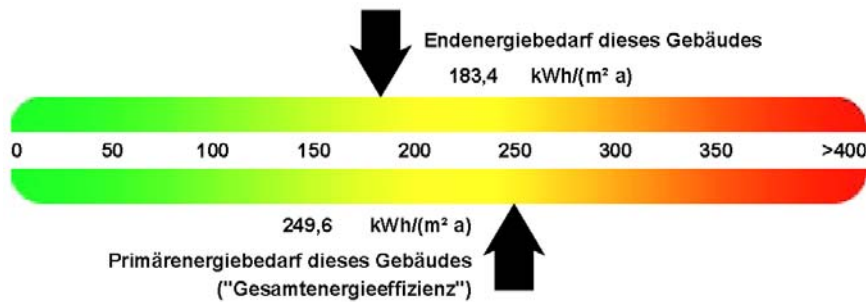


**Anlagentechnik vor der Sanierung**

Abb. 4.61: Berechnung der vorhandenen Anlagentechnik nach DIN 4701

Der hohe Nutzenergiebedarf von ca. 114 kWh/m<sup>2</sup>a für die Heizung spiegelt die schlechte Energieeffizienz des Gebäudes vor der energetischen Sanierung wieder. Die Energiebereitstellung erfolgte durch die Verbrennung von Braunkohle in einem Festbrennstoffkessel. Die Energiebereitstellung für Warmwasser erfolgt über Elektro-Tagesspeicher. Die Aufwandzahl der gesamten Anlagentechnik beträgt 1,96.

**Energiebedarf vor der Sanierung**



**Anforderungen gemäß EnEV<sup>2)</sup>**

**Primärenergiebedarf**

Ist-Wert **249,6** kWh/(m<sup>2</sup> a) Anforderungswert **111,0** kWh/(m<sup>2</sup> a)

**Energetische Qualität der Gebäudehülle H<sub>T</sub>'**

Ist-Wert **1,12** W/(m<sup>2</sup> K) Anforderungswert **0,91** W/(m<sup>2</sup> K)

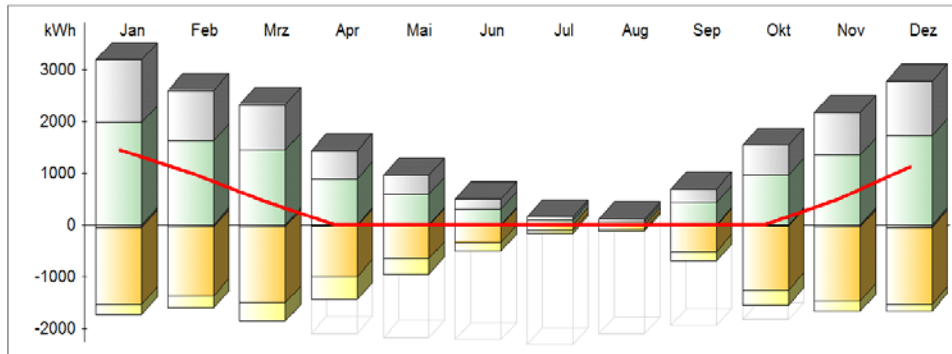
Abb. 4.62: zulässig und vorhandener Transmissionswärmeverlust H<sub>T</sub>' in [W/m<sup>2</sup>K] und Jahres - Primärenergiebedarf q<sub>p</sub> in [kWh/m<sup>2</sup>a]

Der vorhandene Primärenergiebedarf entspricht mit ca. 250 kWh/m<sup>2</sup>a einem normalen unsanierten Altbau. Die schlechten U -Werte der Außenwände werden durch das günstige A/V - Verhältnis von 0,4 kompensiert (siehe Abbildung 4.61). Die Anforderungen an ein bestehendes Gebäude (140 % der Neubauanforderungen) werden nicht erfüllt (siehe Abbildung 4.62).



In der Abbildung 4.63 sind die erheblich reduzierten Transmissions- und Lüftungswärmeverluste dargestellt. Die Heizperiode verkürzt sich um über 3 Monate. Durch den Dachausbau verbessert sich das A/V Verhältnis von 0,4 auf  $0,32 \text{ m}^{-1}$  (siehe Abbildung 4.60 und Abbildung 4.63).

nach der  
Sanierung



Bilanzierung nach  
der Sanierung

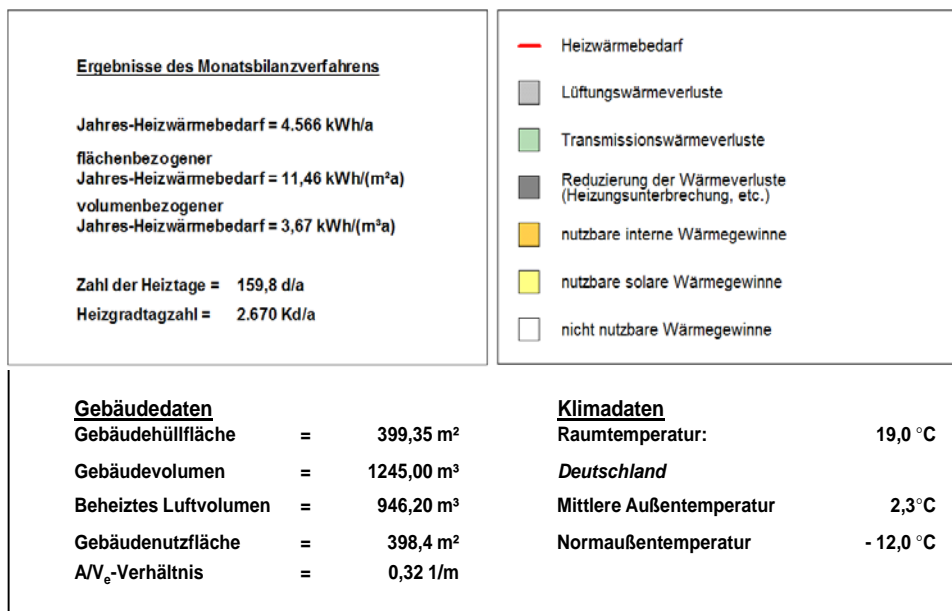


Abb. 4.63: Diagrammdarstellung der Monatsbilanzierung nach EnEV 2009 nach der Sanierung

Der niedrige flächenbezogene Jahres-Heizwärmebedarf von ca.  $11,5 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  für die Heizung spiegelt die hohe Energieeffizienz des Gebäudes nach der energetischen Sanierung wieder. Der Einsatz der Lüftungsanlage wird mit einer Gutschrift von ca.  $19 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  berücksichtigt. Dieser Wert ist zu hinterfragen. Der Beitrag zur Energieeinsparung der Solaranlage wird bei diesen Verfahren nur vereinfacht berücksichtigt. Die Energiebereitstellung erfolgte durch den Pelletheizkessel.

Die Energiebereitstellung für Warmwasser erfolgt in der Nichtheizperiode ausschließlich über die Solaranlage.

Bei der Berechnung der Anlagenaufwandzahl des Pelletheizkessels wird der energieeffiziente Betrieb im Vollastbetrieb in Kombination mit den beiden Pufferspeichern der Solaranlage unzureichend berücksichtigt (vgl. Abbildung 4.64).



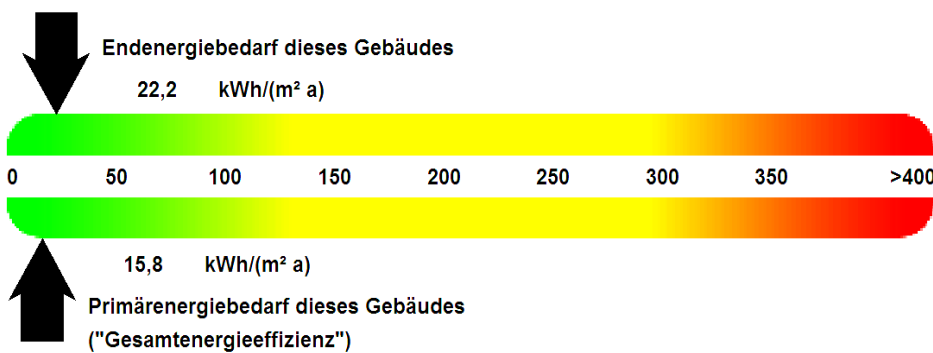
**Anlagentechnik nach der Sanierung**

Standard-Kessel		398,4 m <sup>2</sup>	E=WP, S=TW, A=i		398,4 m <sup>2</sup>
	mit Lüftungsanlage	- 19,18		ohne Zirkulation	Bedarf: 12,50
	Bedarf:	29,68		Übergabe:	0,00
	integr.Heizflächen	Gutschrift: - 2,45		Verteilung:	3,14
	Übergabe:	0,40		Speicher: +	2,32
	35/28°C	Verteilung:			17,96
		0,50			
	Pufferspeicher	Speicher: + 0,10			
		9,05			
	Solare Heizungs-Unterstützung	10%		Biomasse-Wärmeerzeuger	24,8%
	Sonnen-Energie	e=0,00		Holzpellets	e=1,46
		0,00			6,51
	Biomasse-Wärmeerzeuger	90%		Solare Trinkwasser-Erwärmung	75,2%
	Holzpellets	e=1,37		Sonnen-Energie	e=0,00
		11,12			0,00
		2,22			
	Endenergie	11,12		Endenergie	6,51
	Hilfsenergie	2,74		Hilfsenergie	0,22
	Primärenergie	9,62		Primärenergie	1,89
Bereich 1			Bereich 1		

Abb. 4.64: Berechnung der neuen Anlagentechnik nach DIN 4701

Der Energiebedarf nach der Sanierung ist in der Abbildung 4.65 dargestellt. Die Anforderungen an einen Neubau werden weit übererfüllt. Die Anforderungen werden nach der EnEV 2009 an den Transmissionswärmeverlust um ca. 2/3 und die Anforderungen an den Jahr-Primärenergiebedarf um ca. 75 % unterschritten. Der Energieverbrauch liegt auf Passivhausniveau. Der Jahr-Primärenergiebedarf wird nach der EnEV 2009 um ca. 90 % reduziert (vgl. Abbildung 4.62 und Abbildung 4.65).

**Energiebedarf nach der Sanierung**



**Anforderungen gemäß EnEV<sup>2)</sup>**

Primärenergiebedarf

Ist-Wert 15,8 kWh/(m<sup>2</sup> a) Anforderungswert 67,0 kWh/(m<sup>2</sup> a)

Energetische Qualität der Gebäudehülle H<sub>t</sub>'

Ist-Wert 0,29 W/(m<sup>2</sup> K) Anforderungswert 0,91 W/(m<sup>2</sup> K)

Abb. 4.65: zulässig und vorhandener Transmissionswärmeverlust H<sub>t</sub>' in [W/m<sup>2</sup>K] und Jahres - Primärenergiebedarf q<sub>p</sub> in [kWh/m<sup>2</sup>a] nach der Sanierung





#### 4.5.2 Gebäudesimulation mit DesignBuilder 2.1

Untersuchungen des Energiebedarfs von Gebäuden werden mittels Gebäudesimulationen seit etwa 50 Jahren verfolgt. Programme die dabei Verwendung finden sind unter anderem TRNSYS, TAS, DOE-2.1E, BLAST und EnergyPlus mit seinem Aufsatz DesignBuilder 2.1. Dieses Programm wird vornehmlich in den USA und Großbritannien eingesetzt. In Deutschland ist es noch relativ unbekannt. Entwickelt wurde es von Firma DesignBuilder Ltd., Gloucestershire (GB) und ist als englischsprachige Version verfügbar. Die deutschsprachige Version wird am Institut für Bauklimatik an der TU-Dresden erarbeitet.

Die Gebäudesimulation nutzt die heute zu günstigen Konditionen verfügbare Rechentechnechnik. Dieser Zustand war in der Vergangenheit nicht gegeben, so dass man sich mit vereinfachenden Berechnungsverfahren behalf. Auch die EnEV 2009 und Verfahren der DIN-Normen DIN 4108 Wärmeschutz im Hochbau oder die neue DIN V 18599 rechnen mit Näherungsverfahren, dessen Ergebnisse eine Ungenauigkeit von bis etwa +-30 % enthalten. Diese Ungenauigkeiten haben zur Entwicklung des Passivhaus-Projektierungspakets PHPP für neugebaute Wohngebäude geführt, da man erkannte, dass zur Bestimmung der Energiekennwerte von optimierten Baukonstruktionen die erprobten Näherungsverfahren nicht mehr ausreichend sind. Die Erfahrungen werden zurzeit auf andere Gebäudetypen übertragen.

Durch Steigerung der Anforderungen an die Energieeffizienz gelangen die etablierten Rechenverfahren immer mehr an ihre Grenzen. Um die gestiegenen Anforderungen abbilden zu können, werden die Rechenverfahren immer komplizierter. Die Nachvollziehbarkeit und die Kontrolle sind erschwert. Als Beispiel dafür kann die DIN V 18599 gelten. Das Verfahren der Gebäudesimulation ist nicht weniger komplexer. Die Eingabe einer Fülle von Daten ist dafür nötig. Allerdings werden dabei weniger Pauschalierungen vorgenommen. Zum Beispiel werden mittels der Klimadaten stündlich (oder noch genauer) die energetischen Zustände des Gebäudes in Abhängigkeit vom Außenklima und Nutzerprofilen über einen Jahresverlauf berechnet. Das Ergebnis dieses Rechenverfahrens liegt aus diesem Grunde näher an der Realität, auch wenn durch Unsicherheiten, wie zum Beispiel beim Nutzerverhalten, die Realität nicht korrekt abbilden werden kann.

Das Programm DesignBuilder ist eine Nutzeroberfläche für die Eingabe der dreidimensionalen Gebäudegeometrie und aller für den Energiehaushalt des Bauwerks relevanter Daten des Gebäudes. Die Daten werden dem Gebäudesimulationsprogramm EnergyPlus übergeben, welches anschließend die Simulationsberechnung durchführt.

Im DesignBuilder 2.1 wird ein vereinfachtes 3D - Gebäude erstellt. Den Baukonstruktionen (Wand, Decke, Dach, Fenster, Türen usw.) werden Konstruktionsaufbauten mit der Angabe von Materialien und deren bauphysikalischen Kennwerten mit einer Vielzahl von Randbedingungen zugeordnet.

#### Einordnung der Gebäudesimulation

#### DesignBuilder 2.1



Vereinfachung der Geometrie

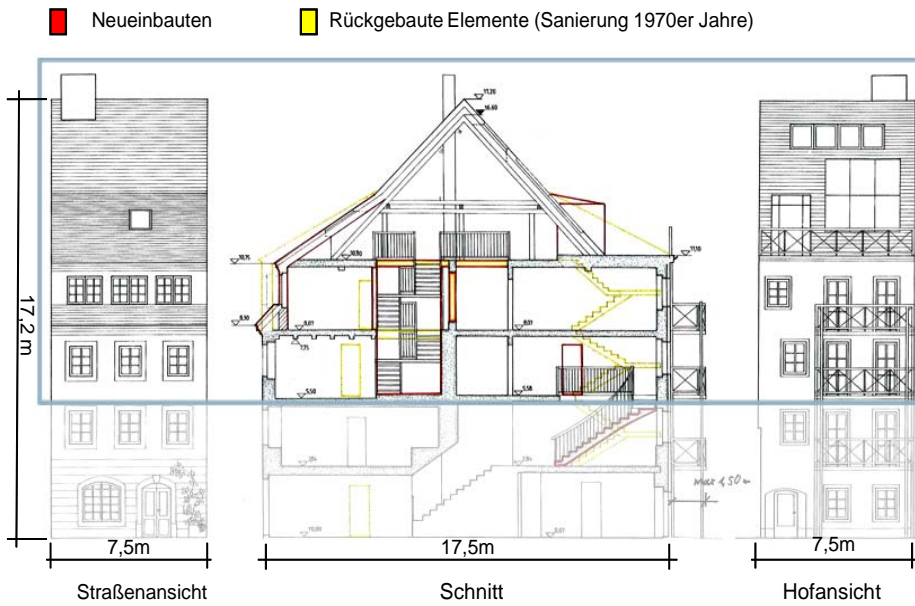


Abb. 4.66: Bearbeiteter Bereich - Wohnung 2



Abb. 4.67: Vereinfachung des Grundrisses 2. OG, 1. DG und 2. DG und Nutzungszuordnung



Anschließend werden die entstandenen Räume zoniert. Jeder Zone können vorhandene und eigene Nutzerprofile sowie Beleuchtung, technische Anlagen zugeordnet werden. Das Programm baut das Gebäude in einer hierarchischen Struktur auf. Ausgehend vom Gesamtgebäude, müssen in der Block- und Zonenebene die Nutzungsrandbedingungen und die Eigenschaften der Umschließungsflächen (Gebäudehülle) definiert werden. Bei der vorliegenden Gebäudesimulation wird die Wohnung 2 betrachtet. Bauphysikalisch irrelevante Details werden bei der bauphysikalischen Simulation vernachlässigt (siehe Abbildung 4.66 und Abbildung 4.67).

Zur Simulation anlagentechnischer Parameter stehen zahlreiche Eingabemöglichkeiten zur Verfügung, um das vorhandene System abbilden zu können. Der Gewinn erneuerbaren Energien ist darstellbar.

Es wird gegenwärtig an der Sammlung und Dokumentation der Eingabeparameter gearbeitet, um den Arbeitsaufwand bei der Eingabe zu minimieren. Damit können schon in der Entwurfsphase Aussagen über die Energieeffizienz des Gebäudes getroffen werden. Zur Vervollständigung dieser Daten dient auch dieses Modellprojekt.

Berechnet wird der Energiebedarf für die Beheizung, Belüftung (Infiltration, freie und mechanische Lüftung) und Klimatisierung des Gebäudes, des Warmwasserbedarfs, des Energiebedarfs für Beleuchtung unter Berücksichtigung des Tageslichts), Arbeitsmittel und Geräte, sowie interne Wärmegewinne und Gewinne durch Sonneneinstrahlung. Mit dem Programm können Aussagen zu Komfort und zur Behaglichkeit im Raum (Operativtemperatur getroffen werden.

## Ablauf Programm

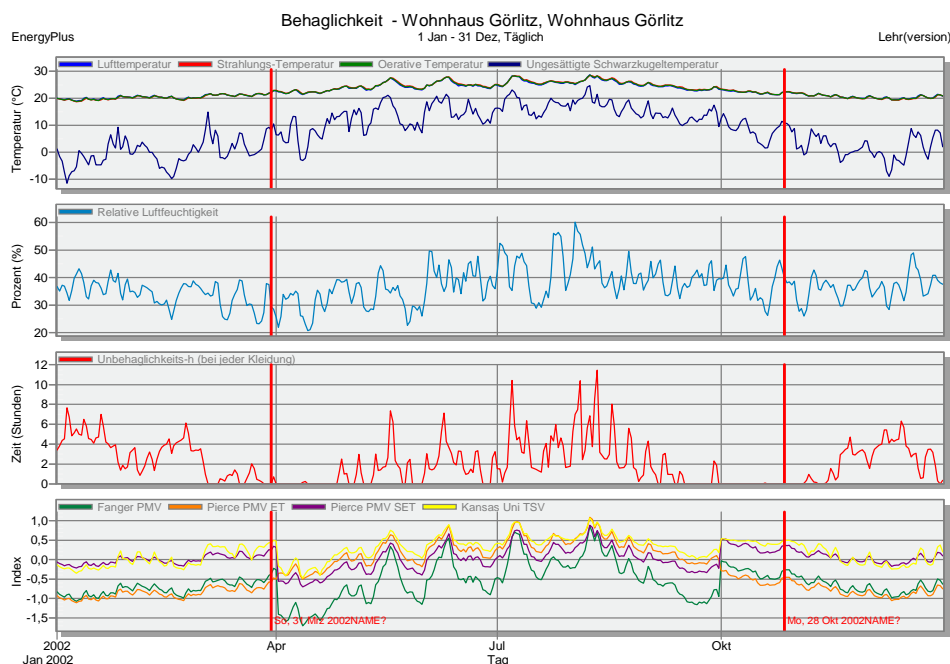


Abb. 4.68: Beispiel Ausgabe Behaglichkeit des Programms DesignBuilder



Die Simulationsergebnisse lassen sich in Tabellenform oder grafisch am Bildschirm darstellen, die mit verschiedenen Exportfunktionen (z. B. nach MS Excel oder MS Word) verknüpft sind. Darstellbar sind die Konditionen jeder Zone, sämtliche Energieverbräuche inklusive einer Berechnung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes und über das gesamte Jahr.

#### **4.5.3 Das Einsparpotentials der einzelnen Energieeinsparmaßnahmen**

Die Untersuchung des Einsparpotentials der einzelnen Energieeinsparmaßnahmen wurde in Stufen/Varianten ausgehend von einem energetisch voll sanierten Gebäude durchgeführt.

Die Summe der Energieeinsparung jeder einzelnen Energieeinsparmaßnahmen ausgehend vom energetisch unsanierten Altbaubestand ist nicht gleich der Energieeinsparung des energetisch voll sanierten Gebäudes. Zur Berechnung wurde das Programm ENERGIEBERATER [21] genutzt, da dieses oder vergleichbare Programme in der Ingenieurpraxis verwendet werden. Die Ergebnisse der Gebäudesimulation und der Berechnungen mit den PHPP [22] wurden in den vereinfachten angepassten Randbedingungen, abweichend von den öffentlich - rechtlichen Nachweis der EnEV, verwendet. Bei diesem energetisch voll saniertem Gebäude wurden die Messungen mit dem vereinfachten Berechnungen verglichen.

Um eine wirtschaftliche energetische Sanierung durchführen zu können, ist eine Kombination mit ohnehin notwendigen Maßnahmen unabdingbar. Die Reihenfolge der Sanierungsstufen ergibt sich aus dem Bauablauf und aus praktischen Erfahrung dieser vorliegenden Sanierung.

#### **Energetische unsanierter Altbau**

#### **Ist- Zustand**

Bei der Berechnung wurde nicht von dem Gebäudezustand vor der Sanierung dieses Modellprojektes ausgegangen. Der Anteil vergleichbarer unsanierter Gebäude mit einem Leerstand vor der Sanierung von über 8 Jahren und Kohleheizung ist heute sehr gering. Ein viel größerer Anteil hat der teilsanierte denkmalgeschützte Gebäudebestand aus der Zeit vor 19. Jahrhundert ohne energetische Sanierung nach 1990. Leider besteht bei diesen Gebäuden nicht mehr die Möglichkeit eine wirtschaftliche energetische Sanierung an einem Stück durchzuführen.

Bei diesen Gebäuden umfassten die Energieeinsparmaßnahmen in den 90er Jahren meist nur die Aufarbeitung der Fenster bzw. der Austausch der Fenster durch Einfachfenster mit 2-Scheiben-Isolierverglasung. Die Fußböden wurden in der Regel nur aufgedoppelt und mit einem neuem Fußbodenbelag versehen. Die Modernisierung der Heizungsanlagen erfolgte überwiegend mit einem Niedertemperaturkessel mit Plattenheizkörpern (Auslegung 70/55) und einer Trinkwassererwärmung mit einer durchlaufenden Zirkulation.



### **Sicherstellung der hygienischen Mindestanforderungen**

### **Sanierungsstufe 1**

Als erstes muss ein Sanierungskonzept erarbeitet werden welches auch die weiteren Sanierungsstufen beinhaltet. Eine klare Zielvorstellung der zu erreichenden energetischen Qualität des Gebäudes ist vorzugeben [24].

Die Wohnungen sind infolge von Zuglufterscheinungen teilweise unbehaglich. Die Reduzierung der Luftwechselrate durch Minimierung der offensichtlichen Undichtigkeiten an Fenster, Türen und an den Baukonstruktionen (Bauteilübergängen) muss mit einer Sicherstellung des Mindestwärmeschutzes einhergehen. In der Regel sind hierfür unter anderem eine lokale Dämmung im Fensterbereich und der Gebäudeecken notwendig. Die Streitigkeiten zwischen Mieter und Vermietern über die Schimmelbildung sind meist teuer als deren Beseitigung.

Die vorhandene Luftfeuchtigkeit und das CO<sub>2</sub> in der Raumluft sollten im ersten Schritt durch eine gesteuerte Abluftanlage in den Bädern/ WC's abgeführt werden. Dabei sollten die Luftführung der Zuluft beachtet werden.

Die Luftwechselrate wurde mit der DIN EN 832 [25] (belüftete Gebäude, Tabelle F2 und F3) berechnet. Dabei ergibt sich mit der Reduzierung der Undichtigkeiten und durch den Einsatz einer gesteuerten Abluft eine Reduzierung der Luftwechselrate von  $n = 0,9 \text{ h}^{-1}$  auf  $n = 0,38 \text{ h}^{-1}$ .

Weitere einfache Energieeinsparmaßnahmen wie zum Beispiel die Dämmung der Heizungsrohre (außerhalb der energetischen Hülle), Zeit- und Temperaturgesteuerte Zirkulationspumpe usw. können ohne große Investitionen durchgeführt werden.

### **Dämmung der Kellerdecke und der obersten Geschossdecke**

### **Sanierungsstufe 2**

Die Dämmung der Decke unter den untersten Wohngeschoss ist bei historisch wertvollen Holzbalken und Gewölben nicht so einfach möglich wie bei einem voll sanierbaren Altbaubestand [24] mit einer unterseitigen Dämmung der Decke über dem Keller.

Unabhängig davon sollte bei einem Mieterwechsel oder bei einer Erneuerung des Fußbodenbelags der Fußboden aufgenommen und gedämmt werden. Bei einer geringen zur Verfügung stehenden Bauhöhe sollten Dämmstoffe mit einer sehr niedrigen Wärmeleitfähigkeit (z. B. Pur) eingesetzt werden. Eine zweite Dämmebene von Treppenhaus zum unbeheizten (Tief-) Keller ist ebenso anzustreben.

Die Temperierung des Erdgeschosses ist bei einer niedrigen absoluten Luftfeuchte im Winter sowohl auch bei einer hohen absoluten Luftfeuchte im Sommer notwendig. Die Oberflächentemperatur der Außenwand (Winter) bzw. der Innenwand (Sommer) sollte nicht die Taupunkttemperatur der Raumluft unterschreiten.

Bei der Komplettsanierung dieses Gebäude wurde der vorhandene Bauschutt der letzten Jahrhunderte in dem Gewölbe und auf der Holzbalkendecke durch Dämmstoff ersetzt (siehe Kapitel 2.4).



### **Dämmung der Brandwand bzw. Abseitenwände**

**Sanierungsstufe 3**

Ebenso wie die Dämmung der Decke ist die Dämmung der Abseitenwände bzw. Gebäudetrennwände zu den Nachbargebäuden unabhängig von der Sanierung der äußeren Hülle und sollte im Zusammenhang mit den Schönheitsreparaturen einhergehen. Bei den Wänden zu den Nachbargebäuden wurden im Dachgeschoss neben der Sicherstellung eines ausreichenden Brandschutzes mit der Verwendung von 10 cm Calziumsilikatplatten der U-Wert von  $U = 1,21 - 1,04 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  auf  $U = 0,40$  bis  $0,42 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  reduziert (vgl. Tabelle 2.1) (siehe Kapitel 2.3.3).

### **WDVS, Erneuerung der Fenster an der Hoffassade sowie Ergänzung der Dachdämmung**

**Sanierungsstufe 4**

Die Dämmung der Hoffassade mit einem Wärmedämmverbundsystem (WDVS mit U-Wert  $< 0,25 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ) sollte mit dem Austausch gegen passivhaustaugliche Fenster und Ergänzung der Dachdämmung für einen U-Wert  $< 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  durchgeführt werden. Die Dämmstoffstärke bei einem denkmalgeschützten Gebäude ist aufgrund des Erscheinungsbildes begrenzt.

Bei der gleichzeitigen Sanierung des Daches kann eine fachgerechte Konstruktionslösung im Bereich der Traufe unter Berücksichtigung der Stärke des WDVS erfolgen. Auf der Hofseite könnte auch mit einer Aufsparrendämmung ein ansprechendes Erscheinungsbild erreicht werden. Um die sogenannten Schießscharten bei der Dämmung mit den WDVS zu vermeiden, sollten die Fenster bis auf die Außenkante des vorhandenen Mauerwerks herausgesetzt und mit den WDVS überdämmt werden (siehe Kapitel 2.2.3, Kapitel 2.3.4 und Kapitel 2.6.2).

Weiterhin ist eine Vorbereitung bzw. Herstellung der Anschlüsse für eine Solaranlage an dieser Stelle sinnvoll.

Es wurden die Wärmeübergangskoeffizienten vor der Sanierung (siehe Tabelle 2.1) angesetzt. Legendlich beim Dach wurde eine Teilsanierung mit  $U = 0,30 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  vorausgesetzt.

### **Innendämmung und Erneuerung der Fenster an der Straßenfassade**

**Sanierungsstufe 5**

Die Innendämmung der Straßenfassade ist sehr sorgfältig zu planen. Ggf. ist ein Bauphysiker hinzuzuziehen. Mit der Innendämmung sollten gleichzeitig die vorhandenen Fenster zu energetisch hocheffizienten Fenster aufgearbeitet bzw. durch neue Fenster auf Passivhausniveau ersetzt werden. Alle Wärmebrücken erfüllen die Anforderungen der DIN 4108 Teil2. Es wird mit einen reduzierten Wärmebrückenzuschlag von  $\Delta U_{WS} = 0,05 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  anstatt  $\Delta U_{WS} = 0,10 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  weitergerechnet.

Bei dieser Sanierungsstufe haben alle Fenstern zwei Dichtebenen, so dass nun eine dichte Gebäudehülle vorliegt. Es wurde eine Reduzierung der Luftwechselrate von  $0,38 \text{ h}^{-1}$  auf  $0,25 \text{ h}^{-1}$  angesetzt (siehe Kapitel 2.6.1).





### Solaranlage und Pelletkessel

Die Potentiale zur Reduzierung des Energieverbrauches auf der Gebäudeseite sind nahezu ausgeschöpft. Die Erhöhung der Energieeffizienz der Energiebereitstellung und die Reduzierung des Primärenergieverbrauches kann mit dem Austausch des Kessel und der Installation einer thermischen Solaranlage erreicht werden (siehe Kapitel 3.3). Die meisten Kessel, welche nach 1990 eingebaut wurden, müssen heute aufgrund der Standzeit ausgetauscht werden. Wenn in dem Gebäude die Möglichkeit besteht, Pellets oder andere erneuerbarer Energieträger (Stückholz) zu lagern, sollte überprüft werden, ob ein Energieerzeuger mit erneuerbaren Rohstoffen verwendet werden kann.

Durch viele Modellprojekte und auch diese vorbildhafte energetische Sanierung ist die Installation von thermischen Solaranlagen auf denkmalgeschützten Gebäuden in Sachsen genehmigungsfähig geworden [26].

Im Zusammenhang mit dem Kesseltausch und der Installation der Solaranlage sollte die Heizungszentrale mit Pufferspeicher neu aufgebaut werden und ggf. Hocheffizienzpumpen usw. nachgerüstet werden.

Diese Sanierungsstufe hat das Gebäude zum Abschluss des Projektes. Der berechnete Energieverbrauch stimmt mit den Messwerten überein.

### Sanierungsstufe 6

### Energetisch voll saniertes Gebäude

Die energetischen Maßnahmen wie in den Abschnitten 3 und 4 konnten erst im Jahr 2010 vollständig umgesetzt werden. Die Lüftungsanlage wurde 2010 in Betrieb genommen. Eine zonenweise bedarfsgerechte Steuerung der Zu- und Abluft und zusätzliche Maßnahmen zur Herstellung einer sehr dichten, diffusionsoffenen Gebäudehülle wurden umgesetzt. Dabei wurde die Luftwechselrate (inkl. Wärmerückgewinnung) von  $0,25 \text{ h}^{-1}$  auf  $0,10 \text{ h}^{-1}$  gegenüber der gesteuerten Abluftanlage (Nachlaufrelais innenliegendes Bad/WC) reduziert. Durch das thermisch sehr stabile Gebäude stieg die mittlere Raumlufttemperatur auf über  $20 \text{ °C}$ , da es zu nahezu keiner Temperaturabsenkung infolge des Abschaltens der Heizungspumpe kommt. Die Erträge der Solaranlage gehen zurück, da sich die Heizperiode verkürzt sowie die Heizgrenztemperatur verkleinert.

Im bewohnten Zustand ist es nicht einfach, die Frischluft in den Mehrfamilienhäusern zentral über eine Erdwärmeübertrager zu führen. Als praktikable Lösung ist eine dezentrale, wohnungsweise Anordnung der Lüftungsgeräte. Eine Nacherwärmung der Frischluft sollte vorzugsweise über ein Warmwasserregister erfolgen.

### Sanierungsstufe 7



Für die Berechnung wurden die Gebäudedaten und Nutzung wie folgt angesetzt:

- Gebäudenutzung: Wohngebäude,
- Anteil unbeheizt: 5 %
- Gebäudeart: mittlere Bauart
- Normaußentemperatur: - 14 °C (Görlitz)
- innere Wärmequellen: 3,0 W/m<sup>2</sup>, 8 Personen

Der bei dem Ist-Stand berechnete Endenergieverbrauch liegt in den Bereichen von verschiedenen Felduntersuchungen [27] [28]. Der Endenergieverbrauch der Sanierungsstufe 6 wurde gemessen und stimmt mit den Berechnungen überein, so dass bei dieser Berechnung Messungen validierte Ober- und Untergrenzen des Endenergieverbrauches vorliegen. Die Fehlertoleranz bei dem Endenergieverbrauch der anderen Sanierungsstufen ist dadurch eingegrenzt.

**Fehlertoleranz  
Endenergie-  
verbrauch**

Tab. 4.6: *Energiekennzahlen der Sanierungsstufen und des Ist-Standes 90er*

			Einheit	+Lüftung mit WRG	+Solar+Pellet	+Innendämmung	+WDVS, Dach	+Brandwand	+ Kellerdecke	+Abluft	Stand 90er
Sanierungsstufen				7	6	5	4	3	2	1	Ist
	Raumtemperatur	$T_i$	°C	20	19,6	19,6	19,6	19,6	19,6	19,6	19,6
	Luftwechsel	n	h <sup>-1</sup>	0,10	0,25	0,25	0,38	0,38	0,38	0,38	0,90
	Norm - Außentemperatur		°C	2,6	3,1	2,9	5,0	5,7	5,7	6,0	6,8
	Zahl der Heiztage		d	193,6	212,5	212,5	264,7	286,8	287,7	296,8	323,6
	Wärmebrückenzuschlag	$\Delta U_{WS}$	W/m <sup>2</sup> K	0,05	0,05	0,05	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Heizen	Heizenergieverbrauch	$q''_h$	kWh/(m <sup>2</sup> a)	13,6	20,8	20,8	48,0	67,9	73,8	83,1	117,9
	Energieertrag der Solaranlage solares Heizen	$q_{h,sol}$	kWh/(m <sup>2</sup> a)	3,9	5,3						
	Deckungsanteil Solar	$\alpha_{h,sol}$	%	32,8	16,1						
	Hilfsenergie	$q_{h,HE}$	kWh/(m <sup>2</sup> a)	2,5	2,9	0,4	0,6	0,8	0,8	0,9	1,2
	Endenergie	$q_{h,E}$	kWh/(m <sup>2</sup> a)	11,0	37,8	45,3	76,8	99,0	105,4	115,5	153,7
	Primärenergie inkl. Hilfsenergie	$q_{h,P}+q_{h,HE,P}$	kWh/(m <sup>2</sup> a)	8,9	15,5	50,8	89,1	111,0	118,2	129,6	172,4
Warmwasser	Warmwasserbedarf	$q_{TW}$	kWh/(m <sup>2</sup> a)	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2
	Energieertrag der Solaranlage Trinkwassererwärmung	$q_{TW,sol}$	kWh/(m <sup>2</sup> a)	7,3	6,6						
	Deckungsanteil Solar	$\alpha_{TW,sol}$	%	46,3	42,4						
	Hilfsenergie	$q_{TW,HE}$	kWh/(m <sup>2</sup> a)	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,6
	Endenergie	$q_{TW,E}+q_{TW,HE,E}$	kWh/(m <sup>2</sup> a)	12,3	13,2	18,2	17,9	17,7	17,7	17,7	25,9
	Primärenergie inkl. Hilfsenergie	$q_{TW,P}+q_{HE,TW,P}$	kWh/(m <sup>2</sup> a)	2,8	3,0	20,5	20,1	19,9	19,9	19,9	30,3
	Endenergie inkl. Hilfsenergie	$q_E+q_{HE,E}$	kWh/(m <sup>2</sup> a)	27,5	56	66	97	120	126	136	177
	Primärenergie inkl. Hilfsenergie	$q_P+q_{HE,P}$	kWh/(m <sup>2</sup> a)	16	23	75	111	137	144	155	202
	CO <sub>2</sub> -Emissionen		kg/(m <sup>2</sup> a)	4	5	17	25	31	33	35	46

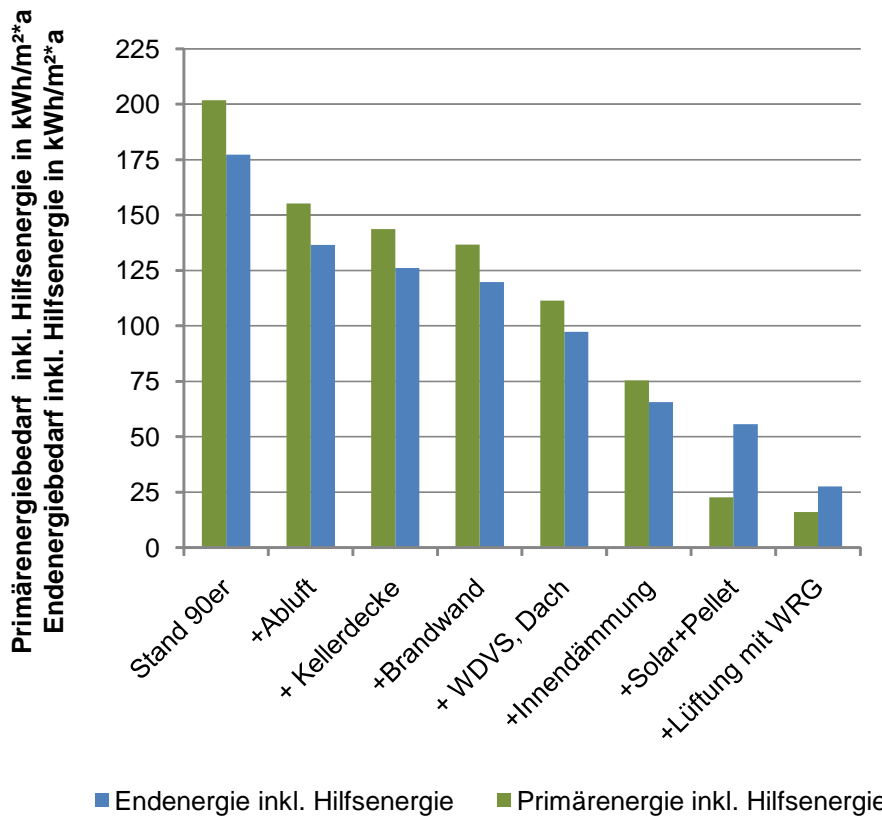


Abb. 4.69: Jahres - Endenergiebedarf  $q_E$  und Jahres - Primärenergiebedarf  $q_p$  in [kWh/m²a] der Sanierungsstufen und des Ist-Standes 90er

Der Energiebedarf nach den einzelnen Sanierungsstufen ist in Tabelle 4.6 und in Abbildung 4.69 dargestellt. Die Anforderungen an bedingt sanierbaren Altbau [24] können erfüllt werden. Es werden die Anforderungen nach der EnEV 2009 an den Transmissionswärmeverlust und die Anforderungen an den Jahr-Primärenergiebedarf weit unterschritten (vgl. Abbildung 4.65). Es wird der Sanierungsstufe 7 mit dieser Berechnung ca. 5 kWh/(m²\*a) geringerer Endenergiebedarf berechnet. Die Abweichung von ca. 5 kWh/(m²\*a) beträgt gegenüber dem Ist- Zustand - energetische unsaniertes Altbau - prozentual nur 3%. Bei der Sanierungsstufe 7 - energetisch vollsaniertes Gebäude - entsprechen ca. 5 kWh/(m²\*a) jedoch 18%. Das heißt, je höher die Energieeffizienz des Gebäudes ist, desto größer wird der Einfluss des Rechenverfahrens und der Nutzer.



#### 4.6 Analyse der Baukosten für die eingesetzten energetischen Maßnahmen

Bei den Eigentümern von denkmalgeschützten Gebäuden gibt es eine sehr hohe Verunsicherung bei den zu erreichenden energetischen Niveau des Gebäudes, welches die zukünftigen Anforderungen erfüllt kann. Diese Gebäude müssen in der jetzigen Sanierungsperiode energetisch so fit gemacht werden, um auch bei zu erwartenden Energiepreisstörungen [29] in Zukunft wirtschaftlich betrieben werden zu können.

In der Abbildung 4.70 ist eine mögliche Kostenzuordnung der Energieeinsparmaßnahme bei Baudenkmalen dargestellt.

Die Wirtschaftlichkeit von nachträglichen Wärmeschutzmaßnahmen hängt von den Baukosten inkl. Planungskosten und den Energiebereitstellungskosten ab. Die Zuordnung der Mehrkosten der Energieeinsparmaßnahmen bei Baudenkmalen ist besonders schwierig, weil sie von einer Vielzahl von Faktoren abhängen. Die zusätzlichen Kosten für die Planung und die Erreichung der Genehmigungsfähigkeit müssen mit berücksichtigt werden! Die reinen Herstellkosten der Energieeinsparmaßnahmen bei Baudenkmalen spielen bei der Wirtschaftlichkeit nicht die Hauptrolle. Bei der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung werden heute nur die "Sowieso-kosten" und ggf. Förderungen berücksichtigt. Die "Sowiesokosten" fallen bei der Gebäudesanierung sowieso an, ohne dass ein Beitrag zur Verbesserung des Wärmeschutzes erfolgt (z. B. Gerüstkosten). Die den Energieeinsparmaßnahmen zuzurechnenden "energierelevanten" Baukosten werden in der Regel ohne die "Sowiesokosten" angesetzt. Leider kann an dieser Stelle nur grob geschätzt werden. Hier spielen auch die Prioritäten der Bauherren eine große Rolle. Zum Beispiel, wie viel wert ist es einem Bauherrn, wenn durch den Einsatz der Kastenfenster mit 2 x Wärmeschutzverglasung der Schallschutz seines Fensters gegenüber dem Vorsanierungsstand um mehrer Stufen steigt (vgl. Kapitel 2.2)?

**Vorbemerkung**

**Einflusskriterien  
Wirtschaftlichkeit**

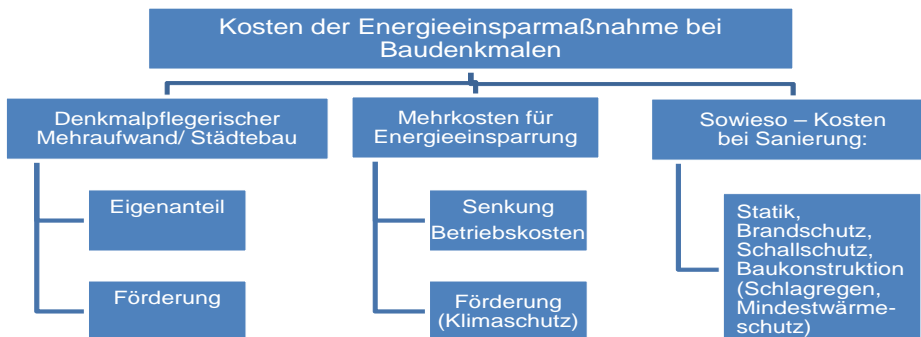


Abb. 4.70: Kostenzuordnung der Energieeinsparmaßnahmen bei Baudenkmalen



Besonders schwer zu Quantifizieren ist der gesellschaftliche Gewinn durch den Erhalt des Baudenkmals. Auch der Klimaschutz der unmittelbar mit der die Energieeinsparmaßnahme erfolgt, ist nur indirekt zu quantifizieren. Wie hoch ist der Gewinn für die Einsparung von einer Tonne CO<sub>2</sub>? Der Staat versucht diese Kostenanteile durch Fördermaßnahmen zu kompensieren. Eine gute Zusammenstellung für Sachsen ist in [26] vorhanden. Leider ist diese Förderung sehr stark von den persönlichen Verhältnissen (persönlicher Steuersatz, Zugang zu Fördermitteln usw.) abhängig. Positiv hierbei anzumerken ist die neue Herangehensweise bei der Förderung im Freistaat Sachsen, welche auch Familien mit Kindern den Zugang zu einem selbstgenutzten Baudenkmal ermöglicht [26].

Bei der Sanierung des Gebäudes Handwerk 15 sind keine üblichen Einflussfaktoren für die Berechnung der Wirtschaftlichkeit von Energieeinsparmaßnahme bei Baudenkmalen vorhanden.

### **Randbedingungen beim Modellprojekt**

- Die Kosten und der Zeitbedarf für das Erreichen der Genehmigungsfähigkeit des Projektes waren so hoch, dass die geplante Bauausführung durch Firmen nicht mehr finanziert werden konnte. Heute sollten derartige Kosten durch [26] in Sachsen nicht mehr zu erwarten sein.
- Alle Bauarbeiten mussten in Eigenregie und mit einem übergroßen Anteil an Eigenleistungen ausgeführt werden.
- Die Bezugskosten für die Baumaterialien sind für private Bauherren höher.
- Der Zeitaufwand insbesondere für die Herstellung der Anlagentechnik für das Forschungsprojekt ist ca. um das Vierfache höher als das bei einer vergleichbaren Anlagentechnik.

Betrachtet man die reinen Mehrkosten für die energetische Sanierung aus heutiger Sicht, heutigen Randbedingungen und den Erfahrungen aus diesem Modellprojekt kombiniert mit einer geschickten Planung und Bauausführung sind wirtschaftliche Sanierungen von denkmalgeschützten Gebäuden möglich. Zusammenfassend kann man sagen:

**Jede Sanierung eines Bauteils muss mit der höchstmöglichen Energieeffizienz einhergehen.**

Mit den im Kapitel 4.5.3 aufgeschlüsselten Ergebnissen der einzelnen Pakete von Energieeinsparmaßnahmen können für vergleichbare Gebäude mit geringem Zeitaufwand und unter Berücksichtigung der spezifischen Randbedingungen eine Wirtschaftlichkeitsberechnung durchgeführt werden.



#### 4.7 Abschätzung der gebauten Energie im Bestand

Auf den ersten Blick betrachtet ist die Sanierung eines Baudenkmals im Vergleich zum Neubau unwirtschaftlich. Dies ist im Wesentlichen auf Auflagen im Denkmalsbereich, den schlechten Bauzustand und die Vielzahl der Arbeiten, welche nicht mit Maschineneinsatz durchgeführt werden können, zurückzuführen. Der Rückbau ist oft trotz sehr stark geschädigter Bausubstanz und aus Gründen des Denkmalschutzes nicht möglich. Bei dieser Betrachtungsweise wird der gesellschaftlich-ideelle Gewinn, den der Erhalt der Bausubstanz mit sich bringt, nicht berücksichtigt. Oft wird auch die gebaute Energie im Bestand, d. h. die Energie, die nötig wäre, um ein gleichwertiges Gebäude neu zu errichten, nicht bilanziert.

#### Vorbemerkung

In Zukunft sollte eine gesamtheitliche Betrachtung die Grundlage für die Entscheidung bilden, ob ein bestehendes Gebäude weiter genutzt werden kann. Dabei geht nicht nur die Gesamtenergiebilanz, welche für die Erstellung/Sanierung, den Betrieb und den Rückbau benötigt wird, mit ein, sondern auch der Komfort, die Nutzungsflexibilität, die Wirtschaftlichkeit, das persönliche Interesse und ggf. das gesellschaftliche Interesse an der Erhaltung eines Baudenkmals.

#### Gesamtheitliche Betrachtung

Die Menge der gebauten Energie im Bestand kann allerdings mit der heute vorhandenen Datenbasis an Normen und Materialkennwerten nur näherungsweise berechnet werden. Am Beispiel des Hauses Handwerk 15 heißt das, dass die nachfolgenden Vorteile des vorhandenen Gebäudes bzw. Randbedingungen unter Umständen nur teilweise mit in die Abschätzung mit einfließen können:

1. Der Energieaufwand, welcher bei der Erstellung, dem Rückbau und Wiederaufbau über viele Lebenszyklen dieses Gebäudes verwendet wurde, ist schwer berechenbar. Es kamen z. B. Baustoffe aus der Region zum Einsatz, welche ohne großen Maschineneinsatz verarbeitet wurden.
2. Das Gebäude weist eine extrem große Bauwerksmasse auf, welche man heute nicht mehr bauen würde. Dies führt, trotz der Innendämmung in Kombination mit dem Dämmputz auf der Außenseite an der Straßenfassade, zu einem sehr guten ganzjährigen Wärmeschutz. Die gemessene Raumtemperatur der Wohnküche in einer sommerlichen Hitzeperiode steigt im Tagesmaximum nicht über 25°C an.
3. Die Anforderungen an den Schallschutz nach [20] werden bei der überschweren Außenwand und durch die Kastenfenster mit 4 - Scheibenverglasung weit übererfüllt. Ein Einfluss von außen ist bei geschlossenem Fenster kaum wahrnehmbar. Der Lärm, welcher über die vorhandenen Holzbalkendecken/Ziegeldecken dringt, wird übersensibilisiert wahrgenommen.





Zur Abschätzung der gebauten Energie im Haus Handwerk 15 kommt vereinfacht nur das Volumen des weiter genutzten Mauerwerkes zum Ansatz, welches für ein neues Gebäude zur Schließung dieser Baulücke hätte neu errichtet werden müssen. Die Energie für die Herstellung der Baugrube, für den Rückbau usw. fließt nicht in die Betrachtung ein.

### Abschätzung der gebauten Energie

In der Literatur wird eine Spanne von 0,58 bis 0,75 kWh für den Primärenergieinhalt des Ziegels angegeben [34]. Da [31] einen großen Datenbestand besitzt, werden für die Abschätzung Daten aus dieser Quelle verwendet. Daraus ergibt sich der in nachfolgender Tabelle ausgewiesene Wert von ca. 9,5 kWh/m<sup>2</sup> \* a über eine Nutzungsdauer von 80 Jahren (siehe Tabelle 4.7).

Tab. 4.7: *Überschlag des benötigten Primärenergieinhaltes zur Herstellung der Innen- und Außenwände eines vergleichbaren Neubaus*

	Volumen [m <sup>3</sup> ]	Dichte [kg/m <sup>3</sup> ]	Masse [kg]	PEI [kWh/kg]	PEI * Masse [kWh]
Kellerwände Außenwände	82,5	1600	132000	0,69	91667
Nachbargebäude	105,0	1600	168000	0,69	116667
Hof- und Straßen- fassade	32,5	920	29900	0,69	20764
Innenwände	65,0	1600	104000	0,69	72222
	285,0		433900		301319

$A_N =$	398 m <sup>2</sup>
Nutzungsdauer =	80 a
Primärenergieinhalt für AW u. IW bezogen auf die Nutzungsdauer und Nutzfläche ( $A_N$ nach EnEV) =	
	9,5 kWh/m <sup>2</sup> * a

Dies bedeutet eine Einsparung, die der Hälfte bis zu zwei Dritteln des Energiebedarfs des Hauses Handwerk 15 nach der Sanierung entspricht. Dieses Ergebnis zeigt, dass die gebaute Energie in Zukunft bei Energieeffizienzberechnungen im Speziellen und bei Entscheidungen zur Erhaltung des Bestandes im Allgemeinen nicht mehr vernachlässigt werden sollte.





## 5 Öffentlichkeitsarbeit

Das übergeordnete Ziel dieses Modell- und Forschungsprojektes besteht in der Darstellung der möglichen Minimierung des Primärenergie-, Trink- und Abwasserverbrauchs bei denkmalgeschützten Gebäuden. Die positiven Erfahrungen aus dieser vorbildhaften energetischen Sanierung eines denkmalgeschützten Gebäudes müssen weiter verbreitet werden. Eine breite Öffentlichkeit wurde durch die Besichtigungen des Testgebäudes, Vorträge auf regionalen, nationalen und internationalen Tagungen sowie durch Veröffentlichungen auf verschiedenen Fachebenen erreicht (siehe Tabelle 5.1 und Tabelle 5.2).

### Vorträge

Tab. 5.1: Vorträge

2004	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hausmesse in Dresden</li> <li>- Tag der erneuerbaren Energie in Görlitz</li> <li>- Tag des offenen Denkmals in Görlitz</li> </ul>
2005	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tag der offenen Sanierungstür in Görlitz</li> <li>- Ehrenkolloquium zu Ehren von Prof. Schmidt in Zittau</li> </ul>
2006	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tag der erneuerbaren Energie in Görlitz</li> <li>- <b>Fachtagung „Klimaschutz und Denkmalschutz - Gemeinsam für energiegerechte Sanierungen“ in Görlitz</b></li> </ul>
2007	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 12. Bauklimatischen Symposium in Dresden</li> <li>- Tagesseminar der Denkmalsakademie in Dresden</li> </ul>
2008	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 12. internationale Passivhaustagung in Nürnberg</li> <li>- IFM Symposium in Dresden</li> <li>- Referatssitzung der WTA in Görlitz</li> <li>- Tagesseminar der Denkmalsakademie in Görlitz</li> </ul>
2009	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tagesseminar der Denkmalsakademie in Frankfurt (am Main)</li> <li>- Tag der erneuerbaren Energie in Görlitz</li> <li>- Messe Konventa in Löbau</li> </ul>
2010	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Internationale Konferenz Solarökologische Bausanierung in Wietow</li> <li>- 14. Internationale Passivhaustagung in Dresden: "Bauphysikalische Bewertung von Erfahrungen aus der energetisch optimierten Sanierung eines denkmalgeschützten Barockhauses und deren Übertragung in die Praxis"</li> <li>- 1st Central European Symposium on Building Physics 13-15 September 2010, Cracow - Lodz, Poland: "Towards real word calibration of whole building simulation models – a baroque house demonstration project"</li> </ul>



Auch in der Politik wurde das Modell- und Forschungsvorhaben mit Interesse verfolgt. Der heutige Innenminister des Freistaates Sachsens, Herr Dr. Buttolo, der Landtagsabgeordnete Herr Bandmann, der Bundestagsabgeordnete Herr Kretschmer und andere Landtagsabgeordnete und Stadträte besuchten das Testgebäude.

Das Gebäudeprojekt wurde als Praxisbeispiel innerhalb der Lehrtätigkeit für Belegarbeiten der Hochschule Zittau/ Görlitz (FH) und der TU Dresden genutzt. Dabei konnten sich Studenten über thermische Sanierungen von Altbauten vor Ort informieren.

Die Angehörigen des Institutes für Bauklimatik der TU Dresden haben im Rahmen der Adventsfeier 2005 eine Exkursion nach Görlitz unternommen und sich dabei auch über den Stand der Forschungsarbeiten im Haus Handwerk 15 informiert.

Im Dezember 2007 wurde das Forschungsvorhaben Herrn Dr. Takeshi Ishizaki (National Institute for Cultural Properties, Tokio) vor Ort vorgestellt.

## Veröffentlichungen

Tab. 5.2: Veröffentlichungen

2004	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Görlitzer Amtsblatt</li> <li>- Sächsische Zeitung „Mit Köpfchen Duschen und mit Erdwärme heizen“</li> </ul>
2005	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Görlitzer Altstadt Zeitung „Handwerk 15 – ein Modell- und Forschungsprojekt“</li> </ul>
2006	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sächsische Zeitung „Das Handwerk 15 gilt als Pilotprojekt“</li> <li>- Görlitzer Amtsblatt „Klimaschutz und Denkmalschutz - Gemeinsam für energiegerechte Sanierungen“</li> </ul>
2007	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Symposium „Energetisch und bauphysikalisch optimierte Sanierung eines Baudenkmals in Görlitz“</li> <li>- Bauphysik „Energetisch und bauphysikalisch optimierte Sanierung eines Baudenkmals in Görlitz“</li> <li>- Energie – Impulse „Energetisch und bauphysikalisch optimierte Sanierung eines Baudenkmals in Görlitz“</li> </ul>
2008	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 12. internationale Passivhaustagung „Energetisch und bauphysikalisch optimierte Sanierung eines Baudenkmals“</li> <li>- Sächsische Zeitung „Heizkosten lassen sich auch in einem Denkmal sparen“</li> <li>- Mauerwerkskalender 2009 „Energetische Optimierungen an Bestands-Mauerwerk – Beispiel aus der Praxis: Historisches Mauerwerk als gebaute Energie im Gesamtanierungskonzept eines denkmalgeschützten Gebäudes“</li> <li>- Passivhaus - Die Wanderausstellung im Freistaat Sachsen von der Sächsischen Energieagentur saena</li> </ul>



Tab. 5.2: Veröffentlichungen

2009	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dresdner Transferbriefe „Energetische Optimierung an Baudenkmalen: Pilotprojekt für ein Gesamtsanierungskonzept denkmalgeschützter Gebäude“</li> <li>- ENERGIE-IMPULSE 02/09 Architektur und Energieeffizienz: Beispiel „Sanierung Einfamilienhaus“</li> </ul>
2010	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 14. Internationale Passivhaustagung in Dresden: "Bauphysikalische Bewertung von Erfahrungen aus der energetisch optimierten Sanierung eines denkmalgeschützten Barockhauses und deren Übertragung in die Praxis"</li> <li>- 1st Central European Symposium on Building Physics 13-15 September 2010, Cracow - Lodz, Poland: "Towards real word calibration of whole building simulation models – a baroque house demonstration project"</li> <li>- Wanderausstellung "Kostengünstiges und energieeffizientes Bauen" z. B. in Dresden und in Leipzig</li> </ul>

Hinter dem Projekt stehen Firmen und Behörden, die das Projekt fachlich und finanziell weit über das übliche Maß unterstützten. Darunter sind Ahlborn Mess- und Regelungstechnik GmbH, Calsitherm Silikatbaustoffe GmbH, EnBW AG, FGT Glaswerk GmbH, Forstamt Görlitz, GSG Baubeschläge GmbH Elsterwerda, Ingenieurbüro Heuschkel, Keimfarben GmbH & Co KG, maxit Baustoffwerke GmbH, Paul Wärmerückgewinnung GmbH, Niederschlesische Sparkasse, Peter Jung Diplom-Restaurator, Rehau AG + Co, Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie - Energieeffizienz-Zentrum (EEZ), Stiebel Eltron GmbH & Co. KG, Technische Alternative elektronische Steuerungsgerätegesellschaft mbH, Umweltamt Görlitz u. a. .



# Mit Köpfchen duschen, mit Erdwärme heizen

Am Tag der Erneuerbaren Energie wurden umweltfreundliche Projekte vorgestellt

Zum Tag der Erneuerbaren Energie sind am Sonnabend die Görlitzer Beiträge eines „Energie-IQ-Wettbewerbs“ vorgestellt worden. Außerdem konnten umweltfreundliche Anlagen zur Energiegewinnung besichtigt werden.

Von Matthias Nicko

Eintauchen in die Welt der Erneuerbaren Energien wollten am Sonnabend nicht allzu viele Menschen. So fand sich in der Fischmarktschule nur ein Dutzend Zuhörer ein. Dort erläuterten die pfiffigen Görlitzer jene Ideen, mit denen sie ihre Stadt beim Energie-IQ-Wettbewerb des Karlsruher Energieunternehmens EnBW vertreten hatten.

## Görlitzer Projekt errang sogar den Hauptpreis

Die Neißestadt hatte 2002 als erste ostdeutsche Kommune mit zwölf eingereichten Projekten am Wettbewerb teilgenommen. Eines der drei im März ausgezeichneten Görlitzer Projekte wurde sogar mit dem Hauptpreis, 50.000 Euro, belohnt. Verdient hatten ihn sich die Bernardi-Ingenieure aus der Rauschwalder Straße. Mit dem Geld wollen sie ihr ökologisches Energieversorgungskonzept für den Neubau der Kindertagesstätte Biesnitzer Straße in die Tat umsetzen.

Nach dem Abriss des derzeit noch Kohle beheizten Hauses wird dort eine Wärmepumpe die in der Erde gespeicherte Sonnenwärme für die Gebäudeheizung und die

## Das Haus Handwerk 15 gilt als Pilotprojekt

Die Forscher des Instituts für Bauklimatik der Technischen Universität Dresden interessieren sich für sanierte Denkmale in der Neißestadt.

Ausgangspunkt für die Sanierung...

### Eine Kleinstkläranlage für Bade- und Duschwasser

Zu den Ausgezeichneten gehörten auch die Ingenieure Janet und Christian Conrad aus der Uferstraße, denen es mittels Kleinstkläranlage möglich ist, gebrauchtes Bade- und Duschwasser zur neuerlichen Benutzung aufzubereiten.

Mit den Ideen der Familie zur „Wärmedämmung in Altbauten“ ließen sich derweil bis zu 50 Prozent Energie sparen, schätzt Conrad. Auf dem Dach des Hauses im Handwerk 15 schwebt ihm noch ein Solardach vor.

Gottfried Semmling, der Conrads Vortrag verfolgte, interessierte sich besonders für die Vereinbarkeit eines solchen Projekts mit dem Denkmalschutz. Der Bündnisgrüne Stadtrat zeigte sich überzeugt, dass eine gute Innendämmung auch dem Portemonnaie von Altbau-Bewohnern zugute kommt.

mit Stefan Unger Mann für Görlitz einer Ein-1000-Mer-Stadt einher Pkws. die Freunnten der shufen soz (je einer) fürs erste itz ein Pi-igen Miet-merhin erlang sechs bis zehn Pkws.“ Und ließe sich obendrein noch umweltfreundlich betanken. Entweder mit Pflanzenöl (zurzeit 60 Cent pro Liter) oder Biodiesel von der Markersdorfer Tankstelle (80 Cent).

### Wasserkraftanlage konnte besichtigt werden

Auch jenseits der Fischmarktschule präsentierten am Tag der Erneuerbaren Energie Privatpersonen und Firmen aus Görlitz und Umgebung ihre umweltfreundlichen Ideen. So konnte die Wasserkraftanlage an der Vierradenmühle besichtigt werden. In Königshufen und Biesnitz gewährten Besitzer von Solaranlagen einen Blick hinter die Kulissen (siehe nebenstehender Text). Im Görlitzer Umland öffneten unter anderem die Windparkanlage Reichenbach und das Biomasseheizwerk Ostritz ihre Pforten. In Jänkendorf stellte eine Familie ihre Wärmepumpe vor.



Abb. 5.1: Berichte in Regionalzeitungen über das Modell- und Forschungsprojekt





## Fazit

Die Sanierung des barocken Gebäudes in Görlitz zeigt unter Beachtung der gestalterischen und denkmalpflegerischen Belange modellhaft das mögliche Einsparpotential im Bereich des Primärenergie-, Trink- und Abwasserverbrauchs theoretisch und praktisch auf.

Bei dieser Sanierung wurde dieses Ziel durch behutsames Erproben und Abwägen verschiedener Möglichkeiten und Sonderkonstruktionen erreicht. Hierbei wurden scheinbare Nachteile, z. B. große Bauwerksmasse, zum Vorteil für die Energiebilanz des Gebäudes umgewandelt. Zugleich erhöhte sich der Nutzungskomfort. Im Gebäude sind gleichmäßige Raumtemperaturen vorhanden.

Mit sehr viel persönlichem Engagement, den richtigen Partnern und zielstrebigem Handeln ist es ohne weiteres möglich, den Niedrigemissionsstandard bei denkmalgeschützten Gebäuden zu erreichen. Die Herangehensweise und die umgesetzten Maßnahmen sind beispielgebend für ähnliche Objekte. Die angewandten Sonderkonstruktionen müssen bei den zuständigen Behörden weiter bekannt gemacht werden, um zukünftig schnelle und unbürokratische Genehmigungsverfahren zu ermöglichen.

Es sei daran erinnert, wie sehr gerade die kommenden 2 bis 3 Jahrzehnte hinsichtlich Energiewende Klimaschutz, Umweltschutz usw. von sehr entscheidender Bedeutung sein werden. Erschöpfen sich doch in diesem Zeitraum die Vorräte an Öl und Gas unwiederbringlich.

Bedingt durch die starke Energiepreissteigerung konnte innerhalb der Projektlaufzeit ein Umdenken für die thermische Sanierung denkmalgeschützter Gebäude beobachtet werden. Eigentümer fragen derartige Sanierungsstrategien vermehrt nach.

Die Sanierung der 70-er Jahre des Gebäudes Handwerk 15 zeigt aber auch, dass die Missachtung von allgemein anerkannten Regeln der Technik verbunden mit einer Vernachlässigung des Bauunterhalts in kürzester Zeit zu einem großen Verlust an historisch wertvoller Originalsubstanz führen kann. Der starke Konkurrenzdruck von energieeffizienteren und damit wirtschaftlicheren Gebäuden auf die historischen Gebäude kann zum Einsatz von Maßnahmen führen, welche die Dauerhaftigkeit der Gebäude gefährden.

Mit dem nachfolgenden Forschungsprojekten werden die notwendigen energetischen Maßnahmen soweit wissenschaftlich und technisch aufgearbeitet, dass alle Beteiligten an Sanierungen denkmalgeschützter Gebäude sie mit einem geringen Risiko für das zu sanierende Gebäude anwenden können.

Die Anforderungen der Denkmalpflege und die Belange des Umwelt- und Klimaschutzes konnten in Einklang gebracht werden. Hierfür ist ein gegenseitiges Aufeinander zugehen bei gemeinsamer Zielsetzung, die Kulturdenkmale einer dauerhaften Nutzung zuzuführen, anzustreben.



## II Anhang

---





## A Klimaanalyse für den Standort Görlitz

### A.1 Vergleich des Standortes Görlitz mit Testreferenzjahr 09

Für die Bauteil- und Gebäudesimulation stellt der Deutsche Wetterdienst (DWD) Klimadaten von typischen Jahren von realen Wetterereignissen für 15 Klimazonen für die Belange der Heiz- und Raumlufttechnik zur Verfügung. Es sind keine Mittelwerte. Für einen extremen Winter wurden der Dezember, Januar und Februar (DJF) 1984/85 und für extremen Sommer die Monate Juni, Juli und August (JJA) des Jahres 1983 verwendet. Der Standort Görlitz befindet sich in der Klimazone 09. Referenzstation hierfür ist Chemnitz (siehe Abbildung A. 1).

#### Klimazonen in Deutschland

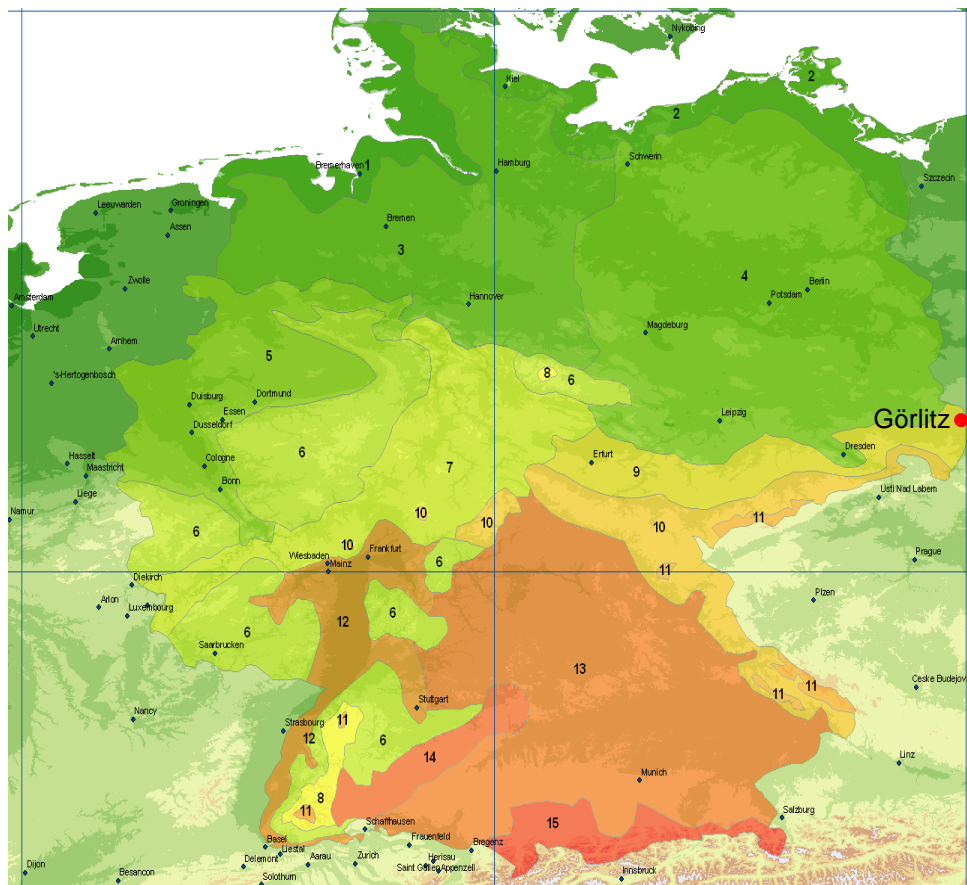


Abb. A.1: Zonenkarte, Einteilung der Bundesrepublik Deutschland in 15 Klimazonen für die Belange der Heiz- und Raumlufttechnik, Görlitz liegt in Klimazone 09

Der Deutsche Wetterdienst hat 2008 die Wetterwarte in Görlitz als erste der 12 Klimareferenzstationen in Deutschland eingeweiht. Beispielhaft wurden im Kapitel 4.2.2 die wichtigste Außenklimakomponente, die Lufttemperatur, zwischen dem Testreferenzjahr (TRY) 09, die Klimadaten der Wetterstation des DWD Chemnitz und Görlitz, die Klimadaten von Meteonorm für Görlitz sowie die Klimawerte des Nachweisverfahrens (Energieeinsparverordnung - EnEV) [19] verglichen.

#### Wetterwarte in Görlitz

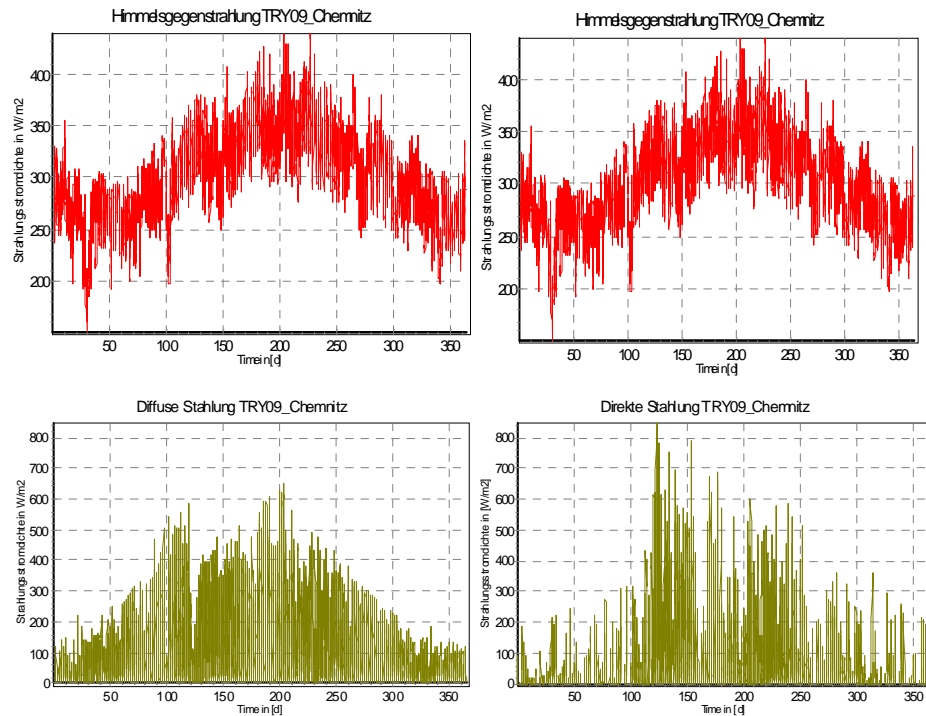


Abb. A.2: Temperatur, Himmelsgegenstrahlung, direkte Strahlung und indirekte Strahlung des Testreferenzjahres 09

### Vergleich Jahresmitteltemperaturen

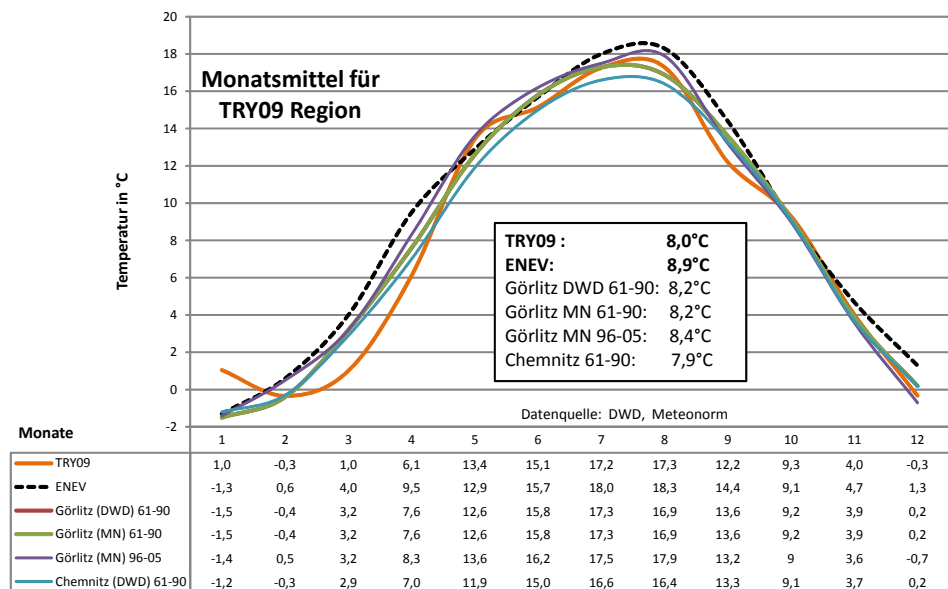


Abb. A.3: Monatsmitteltemperaturen des Testreferenzjahres (TRY) 09, der Wetterstation des DWD Chemnitz und Görlitz, von Meteonorm sowie der Energieeinsparverordnung





Die Jahresmitteltemperaturen des TRY 09 und der Klimastationen Chemnitz und Görlitz liegen um 0,5 bis 1,0 Kelvin unter der Jahresmitteltemperatur der EnEV.

Auffällig ist aber, dass die Klimawerte des TRY 09 in den Monaten Januar, Februar und März (JFM) von den Monatsmitteltemperaturen abweichen (siehe Abbildung A.2 und Abbildung A.3).

## A.2 Jahresmittel und Klimaänderungsvorhersage

Das Abbildung A.4 zeigt die Jahresmitteltemperaturen in [°C] und die Jahresniederschläge in [mm] von der Wetterstation Görlitz von 1949 bis 2008. In der linearen Interpolation nimmt die Temperatur zu und die mittleren jährlichen Niederschlagshöhen ab. Das geht mit den Aussagen des Sächsischen Klimaatlasses konform [32].

**Jahresmittel-  
temperaturen und  
Jahresnieder-  
schläge**

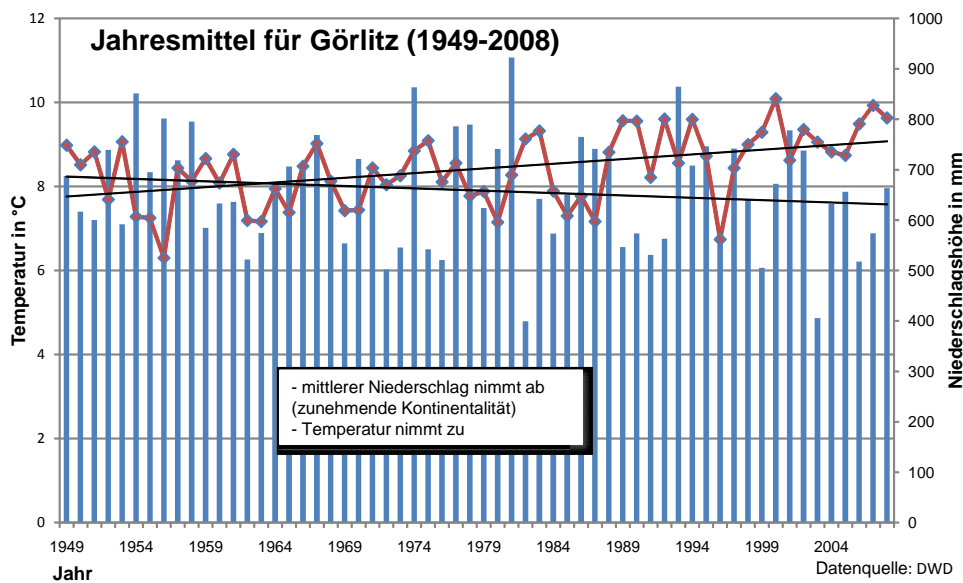


Abb. A.4: Jahresmitteltemperaturen in [°C] und Jahresniederschläge in [mm] von der Wetterstation Görlitz von 1949 bis 2009

Bei der Klimaänderungsvorhersage wurde Meteonom verwendet. Es kombiniert Modell-, Satellitendaten und Stationsdaten. Für die Klimaänderungsvorhersage wird hierbei das Modell Hadley CM3 (kurz: HadCM3) angewendet. Dieses Modell ist ein globales gekoppeltes Ozean-Atmosphärenmodell des Hadley Centre, UK [33]. auf Grundlage des Szenariums IS92a [34].

Dabei ist zu beachten, dass HadCM3 ein globales Modell ist und die räumliche Auflösung bei etwa 300km liegt. Das Szenario IS92a wird als business as usual Szenario bezeichnet. Dieses wurde schon 1992 vom IPCC definiert.



**Einordnung des Szenarios IS92a**

In Abbildung A.5 ist die Einordnung des Szenarios IS92a zu anderen Szenarien dargestellt. Im Vergleich zu anderen Szenarien ist die globale Klimaerwärmung noch sehr moderat. Als optimistische Variante wird heute mittlerweile mit A1B als best case und A1F1 als worst case gerechnet.

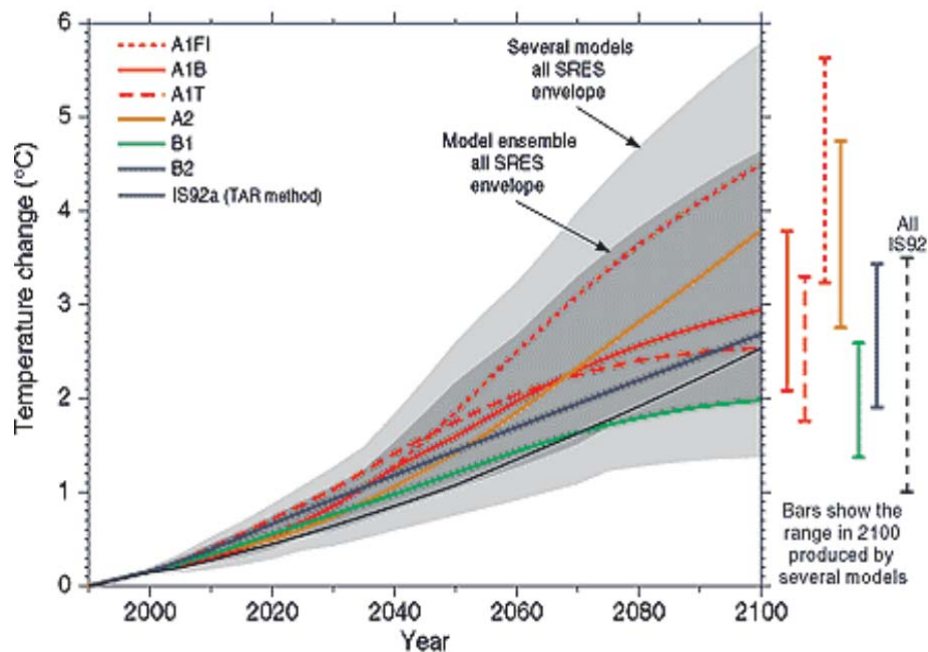
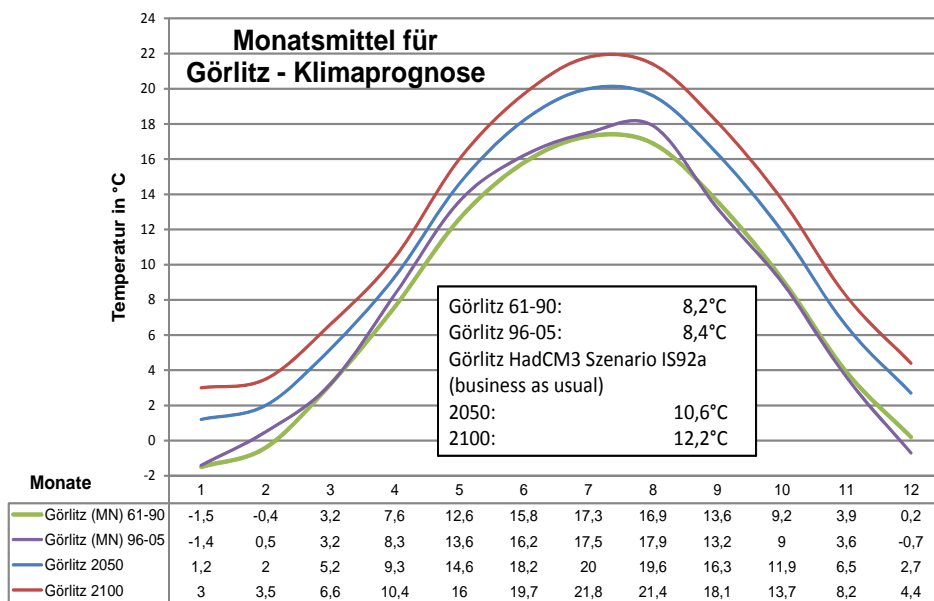


Abb. A.5: Einordnung des verwendeten Szenarios IS92a zur Klimaänderungsvorhersage [34]

**lokale Auswirkungen der Klimaerwärmung Standort Görlitz**



Datenquelle: Meteonorm

Abb. A.6: Klimaänderungsvorhersage der Monatsmitteltemperaturen in [°C] für Görlitz [Meteonorm]



Bei dem verwendeten Modell HadCM3 sind die lokalen Auswirkungen der Klimaerwärmung für den Standort Görlitz erheblicher. (siehe Abbildung A.6). Die zu erwartenden Monatsmitteltemperaturen im Winter wie im Sommer liegen in 40 Jahren ca. 2 Kelvin und in 90 Jahren ca. 4 Kelvin höher als heute. Das bedeutet, dass wir in der Heizperiode mit geringeren Energieverbräuchen rechnen können, aber die sommerlichen Hitze- und Trockenperioden erheblich zunehmen werden. Die Bedeutung des sommerlichen Wärmeschutzes zur Vermeidung bzw. Verringerung des Kühlenergieverbrauches wird zunehmen. Desweiteren muss sehr rationell mit den vorhandenen Wasserressourcen umgegangen werden.

### A.3 Klimafaktoren für Energieausweise nach EnEV 2009

Für den Energieausweis auf der Grundlage des Energieverbrauchs nach EnEV 2009 [19] wird der Energieverbrauch mittels eines Klimafaktors bereinigt.

Der Klimafaktor kann entweder aus Klimadaten berechnet oder von Tabellen des Bundesinstitutes für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) übernommen werden. Zusätzlich bietet der Deutsche Wetterdienst ortsgenaue Klimafaktoren nach Postleitzahlen in Tabellenform an. Die Tabelle A.1 zeigt sowohl die Klimadaten auf der Grundlage der vom BBSR ausgewählten Wetter-Stationen (Liste des BBSR) als auch die ortsgenaue Klimafaktoren des Deutschen Wetterdienstes an.

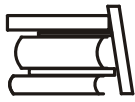
Die Klimafaktoren der Stationen werden auf der Grundlage der Klimatabellen des DWD von selbst berechnet. Die ortsgenaue Klimafaktoren des DWD werden monatlich vom DWD übernommen [35].

#### Klimafaktoren für Görlitz

Tab. A.1: Klimafaktor nach PLZ 02826 und Standort [35]

Zeitraum	DWD PLZ 02826	Station Görlitz	Abweichung
10/2005 - 09/2006	0,98	0,962	101,90%
10/2006 - 09/2007	1,26	1,218	103,50%
10/2007 - 09/2008	1,07	1,029	104,00%

Für die Klimabereinigung der Messdaten werden die ortsgenaue Klimafaktoren des DWD verwendet (vgl.Kapitel 4.4.1).



## A.4 Klimadaten für Nachweisverfahren (EnEV, DIN 4108, DIN EN 13 788)

### Energieeinsparverordnung 2009

Die Außenklimabereinigung wurde unter Kapitel A.3 dargestellt. Die EnEV 2009 [19] geht von einer mittleren Innentemperatur von 19 °C aus. Bei dem hochgedämmten Gebäude Handwerk 15 in Görlitz kommt es zu keiner nennenswerten Nachtabsenkung im eingeschwungenen Zustand. Die Heizgrenztemperatur wird bei der EnEV mit 15 °C angegeben. Auch hier weicht dieses Gebäude erheblich ab. Die Heizung musste erst bei ca. 10 bis 12°C betrieben werden. Dazu kam noch der wesentlich verzögerte Heizbeginn durch das überschwere Gebäude.

### DIN 4108 – Teil 2 Mindestwärmeschutz

Der Mindestwärmeschutz kennzeichnet den geringsten erforderlichen Wärmedurchlasswiderstand  $R_{\min}$  von Bauteilen (Wände, Decken, Fußböden), der „...an jeder Stelle der Innenoberfläche der Systemgrenze bei ausreichender Beheizung und Lüftung unter Zugrundelegung üblicher Nutzung ein hygienisches Raumklima sicherstellt, so dass Tauwasserfreiheit und Schimmelpilzfreiheit an Innenoberflächen von Außenbauteilen im Ganzen und in Ecken gegeben ist.“ (siehe [36], 3.1.2). Unterschreitet die Oberflächentemperatur auf der Innenseite eines Außenbauteiles unter winterlichen Verhältnissen die Taupunkttemperatur der Innenraumluft, dann fällt an dieser Oberfläche Tauwasser aus. Lebensbedingungen für Schimmelpilze sind bereits gegeben, wenn noch kein frei sichtbares Tauwasser entsteht. Die Luftfeuchte an der Bauteiloberfläche sollte deshalb nicht längere Zeit oberhalb 80% liegen. Um dieses Kriterium einzuhalten, muss die Innenoberflächentemperatur des Bauteils über dieser so genannten „Schimmeltemperatur“ liegen. Für die Berechnungen müssen die Temperaturen nach Tab. 3.2-1 und die Wärmeübergangswiderstände nach Tab 3.2-2 verwendet werden.

Tab. A.2: Klimate für die (thermische) Berechnung des  $f_{R_{Si}}$  Wertes nach DIN 4108-2 [37]

Lufttemperatur, innen:	$\theta_i = 20 \text{ °C}$
relative Luftfeuchte innen:	$\varphi_i = 50 \text{ %}$
Lufttemperatur, außen:	$\theta_e = - 5 \text{ °C}$

Das vorhandene Innenklima weicht von den Klimaten für die (thermische) Berechnung des  $f_{R_{Si}}$  Wertes nach DIN 4108 - 2 [36] (siehe Tabelle A.2) ab. Die relative Luftfeuchte (innen) und die Lufttemperatur (innen) sind höher. Die Lufttemperatur außen liegt im Monatsmittel darüber. Die Unterschiede werden beispielhaft bei der Simulation der Fensterleibung in Kapitel C dargestellt.

### DIN 4108 – Teil 3 und DIN EN 13788 - Feuchteschutz

Zur Bewertung einer geplanten Maßnahme können in Anlehnung an die DIN 4108 Teil 3 [37] vereinfachte Annahmen zum Klima zugrunde gelegt werden (siehe Tabelle A.3), die für nicht klimatisierte Wohn- und Büroräume sowie in Gebäuden mit vergleichbarer Nutzung gelten.



Tab. A.3: Vereinfachte Klimarandbedingungen nach DIN 4108 Teil 3 Tabelle A.1 [37]

DIN 4108 Teil 3  
Tabelle A.1

	Temperatur $\theta$ in [°C]	Relative Luftfeuchte $\phi$ in [%]	Dauer in [d]
<b>Tauperiode</b>			<b>60 Tage</b>
Innenklima	20 °C	50 %	
Außenklima	-10 °C	80 %	
<b>Verdunstungsperiode</b>			<b>90 Tage</b>
Innenklima	12 °C	70 %	
Außenklima	12 °C	70 %	

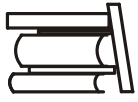
Die in der DIN 4108 Teil 3 [37] angesetzten Außenklimarandbedingungen werden über diesen langen Zeitraum nicht erreicht. Die absolute Luftfeuchtigkeit ist gegenüber dem gemessenen Innenklima geringer, wiegt aber die harten Randbedingungen nicht auf (siehe Tabelle A.3).

Tab. A.4: Klimarandbedingungen nach DIN EN 13788 (Oberflächenfeuchte und Tauwasserbildung) Tabelle C [38]

Klimarandbedingungen nach DIN  
EN 13788

	$T_i$ in [°C]	$\phi_i$	$T_e$ in [°C]	$\phi_e$
<b>Januar</b>	20,00	0,57	-1,00	0,85
<b>Februar</b>	20,00	0,58	0,00	0,84
<b>März</b>	20,00	0,54	4,00	0,78
<b>April</b>	20,00	0,51	9,00	0,72
<b>Mai</b>	20,00	0,51	14,00	0,68
<b>Juni</b>	20,00	0,50	18,00	0,69
<b>Juli</b>	20,00	0,56	19,00	0,73
<b>August</b>	20,00	0,52	19,00	0,75
<b>September</b>	20,00	0,56	15,00	0,79
<b>Oktober</b>	20,00	0,57	10,00	0,83
<b>November</b>	20,00	0,57	5,00	0,88
<b>Dezember</b>	20,00	0,59	1,00	0,88

Das Testreferenzjahr, die Monatsmittelwerte des Deutschen Wetterdienstes und das gemessene Außenklima am Gebäude Handwerk 15 sind ungünstiger als die Klimarandbedingungen der DIN EN 13788 Tabelle C [38]. Die absolute Luftfeuchtigkeit der DIN EN 13788 [38] ist ebenfalls gegenüber dem gemessenen Innenklima ungünstiger.







## B Aktuelle und kommende Anforderungen

### B.1 Aktuelle und kommende Anforderungen

An die einzelnen Bauteile werden zurzeit Anforderungen auf den Gebieten des winterlichen Wärmeschutzes, der Ökonomie, des Schallschutzes, der Tragfähigkeit, des Brandschutzes und der Dauerhaftigkeit der Konstruktion gestellt. Neue Anforderungen sind im Bereich des sommerlichen Wärmeschutzes, im Umwelt- und Gesundheitsbereich über den ganzen Lebenszyklus des Bauwerkes zu erwarten.

### B.2 Winterlicher Wärmeschutz

Während der kälteren Jahreszeit kommt dem winterlichen Wärmeschutz die größte Bedeutung zu. Hochgedämmte Wände, Dächer und Böden lassen die Wärme kaum nach außen. So erhöht sich die Oberflächentemperatur der Wände und Decken. Der Wohnkomfort verbessert sich erheblich, die Umgebung wird als behaglich empfunden. Das Resultat ist ein geringer Energiebedarf zur Erwärmung der Räume.

Eine wesentliche bauphysikalische Größe im Zusammenhang mit dem winterlichen Wärmeschutz ist der sogenannte U-Wert. Er beschreibt den Wärmedurchgang durch ein Bauteil. Je kleiner der U-Wert eines Bauteils ist, umso besser ist seine wärmedämmende Eigenschaft. Der U-Wert eines Bauteils hängt im Wesentlichen ab von der Wärmeleitfähigkeit  $\lambda$  (Lambda) der verwendeten Baustoffe und ihrer jeweiligen Schichtdicke  $d$ . Je geringer die Wärmeleitfähigkeit  $\lambda$  einer Schicht ist, desto besser ist deren Dämmwirkung. Materialien, die als Wärmedämmstoffe zum Einsatz kommen, haben in der Regel einen  $\lambda$  - Wert von 0,01 bis 0,1 W/(mK). Für die U-Werte verschiedener Bereiche der Gebäudehülle werden in der EnEV entsprechende Vorgaben gesetzlich vorgeschrieben, die beim Neubau von Gebäuden ebenso wie bei der Sanierung eingehalten werden müssen. Im Bereich des winterlichen Wärmeschutzes sind in den letzten Jahrzehnten durch die bauphysikalische Forschung erhebliche Einsparpotentiale aufgezeigt worden, welche in den kommenden Jahren bei Neubauten, aber besonders im Gebäudebestand, umgesetzt werden müssen (siehe Tabelle B.5).

Tab. B.5: Anforderungen an den Wärmedurchgangskoeffizienten in [W/(m<sup>2</sup>\*K)] der einzelnen Bauteile nach EnEV 2009 [19] und nach Anforderungen der Klimaschutzstandards [24]

	EnEV 2009	Voll sanierbarer Bestand	Bedingt sanierbarer Bestand mit Innendämmung	Bedingt sanierbarer Bestand ohne Innendämmung
U-Wert Aussenwand	0,24	< 0,15	< 0,30	k. A.
U-Wert Dach/ oberste Geschossdecke	0,24	< 0,15	< 0,15	< 0,15
U-Wert Kellerdecke	0,30	< 0,30	< 0,30	< 0,30
U-Wert Fenster	1,30	< 0,85	< 0,85	< 0,85

Nach [24] sollten weitere Anforderungen zum Erreichen der Klimaschutzziele unabhängig vom Gebäudestatus eingehalten werden:

- Wärmebereitstellungsgrad der Lüftungsanlage > 85 %
- Gesamtaufwandzahl der Heizungsanlage < 1,15 mit geringem Hilfsstromeinsatz
- Einsatz erneuerbarer Energien
- Strombedarf in den Haushalten mit einem Endenergiekennwert < 15 kWh/m<sup>2</sup>\*a (Energiebezugsfläche)



### B.3 Sommerlicher Wärmeschutz

Während man im Winter versucht, die Wärme im Gebäude zu halten, muss man im Sommer verhindern, dass sich die Räume nicht zu stark erwärmen. Die Wärmedämmung, welche im Winter das Gebäudeinnere warmhält, trägt im Sommer dazu bei, die Zufuhr von Wärme über die Gebäudehülle zu reduzieren.

Dennoch kann sich ein Gebäude im Sommer aufheizen. Grund dafür ist die intensive Sonnenstrahlung, die entweder als kurzwellige Strahlung über die Fenster oder als langwellige (Ab-)Strahlung von aufgeheizten Bauteilen die Raumluft aufheizt. Das Problem dabei ist, dass zwar die kurzwellige Strahlung von der Sonne die Fenster durchdringen kann, die langwellige Abstrahlung von Innen jedoch nicht. Das heißt, Wärmeenergie, die einmal über die Fenster „eingefangen“ wurde, gibt das Gebäude nicht wieder nach außen ab – eine regelrechte Wärmefalle!

Daher ist es auch bei gut gedämmten Gebäuden notwendig, auf einen ausreichenden sommerlichen Wärmeschutz zu achten:

- Das Gebäudeinnere muss durch geeignete Maßnahmen gegen die direkte Sonneneinstrahlung durch verglaste Flächen geschützt werden. Am besten funktioniert dies durch Verschattung der Glasflächen von außen, z.B. durch außenliegende Jalousien. Ein Vorteil kann so bewusst ausgenutzt werden. Während die Sonne im Winter sehr tief steht, strahlt sie im Hochsommer nahezu senkrecht auf die Erde. Es ist also durchaus möglich, die Sonnenenergie im Winter gezielt über Fensterflächen zu „ernten“ und sie im Sommer durch Elemente zur Schattierung „auszusperren“. Vor allem Dachflächenfenster sollten mit einer außen angeordneten Verschattungseinrichtung ausgestattet werden, um die direkte Sonneneinstrahlung gezielt verhindern zu können.
- Die Raumlüftung – insbesondere die intensive Nachtlüftung durch die geöffneten Fenster – trägt zu einer angenehmen Temperatur im Sommer bei. Strömt die kühlere Luft in den Nachtstunden durch die Räume, können sich aufgeheizte Bauteile wieder abkühlen. Zusätzlich kann mittels einer mechanischen Lüftung und eines Wärmetauschers auch während des Tages gekühlte Luft in die Räume geleitet werden.
- Auch die Masse der Bauteile und deren spezifische Wärmekapazität spielen eine wichtige Rolle. Ältere Gebäude wirken vor allem auf Grund ihrer massiven Bauweise im Sommer selbst am Nachmittag noch angenehm kühl. Allzu leichte Konstruktionen hingegen heizen sich rasch auf und geben dann die Wärme ungebremst an den Innenraum weiter.

Die neuesten Energiespartechniken für das Niedrigst- bzw. Plusenergiehaus sind primär für den winterlichen Wärmeschutz optimiert worden. Für die Sicherstellung und ggf. für die Erhöhung der Behaglichkeit in den Schönwetterperioden ist der Verbrauch von Primärenergie für die Kühlung der Gebäude zum Teil gestiegen. Bei nicht wenigen Passivhäusern und Energieplushäusern ist ein höherer Primärenergiebedarf für Kühlung im Sommer als für Heizung im Winter erforderlich. Bei nicht aktiv gekühlten Bauwerken mit hohem Dämmstandard ist die maximale Raumlufttemperatur gegenüber herkömmlichen Gebäuden höher und die Einstellzeit länger. Des Weiteren können höhere innere Wärmelasten infolge von Beleuchtung und EDV nur geringfügig über die Umfassungskonstruktionen abgegeben werden. Bei vielen hochgedämmten Gebäuden ist die speicherwirksame Bauwerksmasse, welche der hohen Raumtemperatur entgegenwirkt, geringer. Die Forderungen des sommerlichen Wärmeschutzes (mittlere Empfindungstemperatur kleiner als 26°C) können bei zunehmend lang anhaltenden Hitzeperioden infolge der Klimaerwärmung unter Umständen nicht eingehalten werden.



Die derzeitige Rechtsprechung besagt, dass auch im Sommer angemessene Raumtemperaturen sichergestellt werden müssen. In den aktuell gültigen vereinfachten Normen und Verordnungen wird die speicherfähige Bauwerksmasse ohne Berücksichtigung der spezifischen Wärmekapazität der einzelnen Baustoffe ermittelt. Eine Verbesserung des sommerlichen Wärmeschutzes durch den Einsatz von Baustoffen mit einer hohen spezifischen Wärmekapazität und einer optimierten Phasenverschiebung der Baukonstruktion kann somit nicht berücksichtigt werden. Ferner können bei Anwendung dieser Berechnungsverfahren keine direkten Aussagen über die zu erwartende Raumlufttemperatur abgeleitet werden.

Die hohe Bauwerksmasse der bestehenden Gebäude und des Mauerwerkes im Allgemeinen kann in der Zukunft für die Sicherstellung des sommerlichen Wärmeschutzes einen nennenswerten Beitrag leisten, z. B. durch ein für den Tagesgang optimiertes Verhalten der Baukonstruktion. Um eine energieintensive aktive Kühlung vermeiden zu können, sind die Arbeitsweise der Anlagentechnik mit dem optimalen Wirkungsgrad und das Speicher- und Transportverhalten der Baukonstruktion aufeinander abzustimmen.

Die hohe Bauwerksmasse geht nur pauschal bei der Auslegung der Heizung in die Berechnung des Heizwärmebedarfes ein. Die Minimierung des Energieverbrauchs erfordert die Quantifizierung der zeit- und ortsabhängigen Energieflüsse im Bauwerk, um ggf. Energie räumlich und zeitlich verschieben zu können. Solche Berechnungen können zurzeit nur mit Simulationsprogrammen durchgeführt werden. Am Institut für Bauklimatik der TU Dresden werden Rechenmodelle auch für den sommerlichen Wärmeschutz kontinuierlich weiterentwickelt. Zusätzlich werden die Modelle in einfache für die Praxis handhabbare Programme mit nutzerfreundlichen Bedieneroberflächen umgesetzt.

## B.4 Feuchteschutz

Die Sicherstellung der Langlebigkeit der Konstruktion und die Vermeidung von Bauschäden im Lebenszyklus des Gebäudes sollen heute schon innerhalb der Planungsphase beurteilt und nachgewiesen werden.

Ein großer Teil der Schäden an Baukonstruktionen und Gebäuden ist direkt oder indirekt auf erhöhte Durchfeuchtungen infolge Tauwasserbelastung, Einbaufeuchte, Schlagregen, aufsteigende Feuchte u. ä. zurückzuführen. Die Komplexität nimmt noch weiter zu, wenn der Einfluss von bauschädlichen Salzen beurteilt werden soll. Hier besteht in den nächsten Jahrzehnten ein erheblicher Forschungsbedarf. Eine umfassende feuchtetechnische Beurteilung von Baukonstruktionen erfordert die Quantifizierung der instationären Prozesse über einen langen Zeitraum (mindestens 3 Jahre). Der rechentechnische Aufwand für die gekoppelte hygrothermische Modellierung eines Bauteils kann erheblich größer sein als bei einer rein thermischen Beurteilung. Mit einem durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie geförderten Projekt [40] wird derzeit ein Feuchteatlas erarbeitet, der anhand von typischen Wandkonstruktionen erstmalig ein Set von Methoden für die Praxis bereit stellt, welches eine umfassende feuchtetechnische Beurteilung von Umfassungskonstruktionen erlaubt. In dem Projekt werden Bemessungs- und Simulationsverfahren parallel angewendet und auf ihre Aussagen hin geprüft. Für die Simulationsergebnisse werden bestehende Kriterien bewertet und erweiterte, neue Kriterien vorgeschlagen, die eine weitergehende Beurteilung der Dauerhaftigkeit ermöglichen.

Feuchteschutz und Wärmeschutz werden oft vollkommen unabhängig voneinander betrachtet. Das ist grundlegend falsch, da es einige äußerst wichtige Wechselwirkungen gibt, die unbedingt berücksichtigt werden müssen.



Wasser ist in der Lage, Wärme erheblich besser zu leiten als Luft. Da die Wärmeleitfähigkeit der Dämmstoffe direkt von deren Porosität und damit dem Luftgehalt der Stoffe abhängt, können feuchte Dämmstoffe nicht die versprochene Dämmwirkung aufweisen. Es muss also darauf geachtet werden, dass Feuchtigkeit nicht innerhalb der Konstruktion kondensiert.

Luft nimmt Feuchtigkeit in Form von Wasserdampf auf. Je wärmer die Luft ist, umso mehr Wasser kann sie aufnehmen. Die absolute Luftfeuchte gibt an, wie viel Gramm Feuchtigkeit in einem Kubikmeter Luft enthalten sind. Die relative Luftfeuchtigkeit hingegen ist das Maß für den Feuchtigkeitsgehalt gemessen an der maximal möglichen Luftfeuchte in Abhängigkeit von der Lufttemperatur. An warmen, schwülen Tagen ist die relative Luftfeuchtigkeit sehr hoch. Beträgt die relative Luftfeuchte 100 %, so ist die Luft mit Wasser gesättigt. Sobald sich die Luft dann abkühlt, muss ein Teil des Wassers weichen – es kondensiert zu Wassertropfchen. In der Natur lässt sich dies in Form von Nebel beobachten.

Kühlt sich feuchte, warme Luft an kalten Flächen ab, so kondensiert das Wasser an diesen Flächen – sie beschlagen. Der Taupunkt beschreibt die Temperatur, bei der die Luft bei Abkühlung mit Wasserdampf gesättigt ist und sich an Oberflächen Wasser abscheidet bzw. Kondensation eintritt. Bei Erreichen des Taupunkts herrscht definitionsgemäß eine relative Luftfeuchtigkeit von 100 %.

Tauwasser entsteht bei Unterschreitung des Taupunktes. Statt Tauwasser wird auch der Begriff Kondensat oder überhygroskopische Feuchte verwendet. Tritt es auf Bauteiloberflächen auf, kann es zu Schäden kommen (Schimmel, Rußpilze, Veralgung). Innerhalb eines Gebäudes treten konstruktive Schäden auf z.B. an Holzbalkenköpfen, Hausschwamm, etc.

An Gebäuden können auch Teile von Konstruktionen infolge von Schlagregen und Wasserdampf durchfeuchten. In Wänden, Decken etc. entsteht Tauwasser vor allem dann, wenn Wasserdampf aus warmen Räumen nach außen dringt und dabei in den außenliegenden kälteren Bauteilschichten kondensiert. Dies kann ebenfalls zu Feuchteschäden führen. Auf der Wandinnenoberfläche können unter ungünstigen Bedingungen Schimmelpilze entstehen, wenn eine relative Luftfeuchte von 75% über eine längere Zeitdauer von mehreren Tagen eingetragen wird.

Maßnahmen zur Dämmung von Gebäuden können also – werden sie unsachgemäß geplant oder ausgeführt – zu erheblichen Problemen im Feuchtehaushalt des Gebäudes und der Konstruktion führen. Werden sie jedoch mit dem notwendigen Sachverstand vorgenommen, besteht in der Regel keine Gefahr. Moderne Simulationsprogramme ermöglichen es, Räume mit konkret beschriebenen Außenhüllen und vorgegebenen Nutzungen im Innern über mehrere Jahre zu simulieren und die Funktionstüchtigkeit der vorgesehenen Dämmung nachzuweisen.

## **B.5 Schallschutz**

Schall wirkt nicht nur von außen auf ein Bauwerk ein. Innerhalb der Gebäude verursachen die Benutzer und Bewohner sowie Haushaltgeräte und gebäudetechnische Anlagen ebenfalls Geräusche und Lärm. Damit sich die Schallwellen nicht unnötig ausbreiten und so zur Belästigung der Bewohner führen können, sind geeignete Dämmmaßnahmen (Schalldämmung) umzusetzen. Diese sollen die Schallausbreitung innerhalb der Räume ebenso wie die Schallübertragung von einem Raum zum anderen über Decken und Wände reduzieren. Die Übertragung von Schall über Bauteile kann durch eine massive Bauweise bzw. die Entkopplung von Bauteilen mittels Dämmstoffen bereits reduziert werden.



Offenporige Dämmstoffe sind besonders gut zur Schallabsorption geeignet. Sie können zur Verbesserung der Schalldämmung und der akustischen Eigenschaften von Räumen beitragen. In der DIN 4109 – „Schallschutz im Hochbau“ sind die Anforderungen an die Schalldämmung zusammengestellt [20]. Die Dämmstoffe werden in Schallabsorptionsklassen (A bis E) eingeteilt, nach denen man einschätzen kann, wie gut ein Material zur Absorption von Schallwellen geeignet ist.

Die steigenden Ansprüche an den Komfort werden sich in höheren Ansprüchen an den Schallschutz widerspiegeln. Man unterscheidet Anforderungen an den Schutz gegen Außenlärm und Schutz gegen Geräusche aus fremden Räumen [20].

Bei den hohen Anforderungen an den winterlichen Wärmeschutz wurde die Masse der Ziegelaußenwände bei Neubauten immer weiter reduziert. Dies führte zu einer Verschlechterung des Schallschutzes und zu einer Zunahme des Einflusses von Schallbrücken. Bei dem Neubau werden zur Sicherstellung des erhöhten Schallschutzes zu den Nachbargebäuden zweischalige Hauswände aus biegesteifen Schalen hergestellt. Da im Bestand meist eine einschalige Konstruktion vorliegt, ist hier eine Verbesserung nur bedingt möglich.

Der Schallschutz der Außenwandkonstruktion ergibt sich aus dem Schallschutz der einzelnen Bauteile Außenwand und Fenster. Die schallschutztechnisch günstigen Kastenfenster wurden nach und nach durch Einfachfenster ersetzt. Bei den Einfachfenstern ist die Ausbildung der Verglasung maßgebend für Schalldämmmaß.

Der Schutz gegen Geräusche aus fremden Räumen ist bei den in historischen Gebäuden vorhandenen Holzbalkendecken anspruchsvoll. Die Anforderungen an den Schallschutz der Decken sind bei einem Gebäude mit zwei Wohneinheiten geringer als bei einem Mehrfamilienhaus.

Durch eine höhere Masse und die Mehrschichtigkeit der Konstruktion (Installationsebene/ Untersparrendämmung) kann eine Verbesserung des Schallschutzes des Daches erreicht werden.

## B.6 Tragfähigkeit und Brandschutz

Die Sicherstellung eines ausreichenden Brandschutzes und der Tragfähigkeit ist bei der Auswahl eines geeigneten Dämmstoffes zu beachten. In der Norm DIN 4102 [39] ist die Prüfung und Beurteilung von Dämmstoffen entsprechend dem Brandverhalten geregelt. Man teilt Baustoffe in die Baustoffklassen A 1 und A 2 (nichtbrennbar) B 1 (schwerentflammbar) und B 2 (normalentflammbar) ein.

Das Brandverhalten wird nicht nur vom Dämmstoff selbst, sondern auch von evtl. Bindemitteln, Klebern, Flammschutzmitteln, Beschichtungen usw. positiv oder negativ beeinflusst. Im Brandfall können einige Dämmstoffe giftige Gase freisetzen – entsprechende Vorkehrungen gegen die Entzündung müssen daher beim Entwurf der Konstruktion getroffen werden.

Die Temperaturbeständigkeit von Dämmstoffen ist ebenfalls eine wichtige Materialeigenschaft. Merkmale wie Maßhaltigkeit, Formstabilität und die thermischen Zersetzung bestimmen die Grenze der Anwendungstemperatur.

Durch die Einstufung als A 1 Baustoff ist das Mauerwerk i. d. R. bei einer ausreichenden Wandstärke im verputzten Zustand in Bezug auf den Brandschutz eher unproblematisch. Meist gibt es Probleme im Bestand bei der Ausführung der Brandwand zu den Nachbargebäuden im Bereich des Dachgeschosses.



Die Einschätzung der Tragfähigkeit des vorhandenen Misch- bzw. Bruchsteinmauerwerks kann sich in der Praxis aufgrund von fehlenden Materialdaten schwierig gestalten.

Nach der Sächsischen Bauordnung mussten die Decken F 90 A besitzen. Die Dachtragkonstruktion und das Dach selbst müssen nach der Sächsischen Bauordnung F 30 B erzielen. Dies wurde auch im Brandschutzkonzept festgelegt. Durch die verwendeten Lehmbauplatten mit einer Stärke von 22 mm und durch den Feinputz mit einer Mindeststärke von 3 mm werden diese Anforderungen erfüllt. Die traditionell zimmermannsmäßig errichtete Dachkonstruktion besitzt ausreichende Tragfähigkeitsreserven, um die zusätzlichen Lasten der Wärmedämmlehmplatten und der Lehmbauplatten aufnehmen zu können.

## **B.7 Produkteigenschaften und ökologische Aspekte**

Häufig werben Hersteller mit besonderen Eigenschaften ihrer Produkte, treffen damit jedoch in der Regel nur eine qualitative Aussage. Wird ein Dämmstoff als atmungsaktiv charakterisiert, so bedeutet dies, dass das Material die Diffusion von Wasserdampf zulässt. Lässt beispielsweise eine Innendämmung keine Diffusion zu, so gelangt auch keine Luftfeuchtigkeit aus dem Raum in die Konstruktion und muss folglich über die Lüftung abgeführt werden. Feuchteausgleichende (feuchteregulierende) Baustoffe sind in der Lage Feuchtigkeit aus der Raumluft aufzunehmen und später wieder abzugeben. Dies trägt zu einem angenehmen Raumklima bei und dient darüber hinaus dem Bauwerksschutz. Als kapillaraktiv werden Baustoffe mit sehr hohem Saugvermögen bezeichnet. Solche Materialien transportieren Wasser durch ihr Kapillarporensystem vergleichsweise schnell. Die Kategorien „wassersaugend“, „wasserhemmend“ und „wasserabweisend“ charakterisieren verschiedene Abstufungen dieser Eigenschaft. Andere Eigenschaften wie hautsympatisch oder allergikerfreundlich sind vor allem für den Moment der Verarbeitung von Interesse.

Bei der ökologischen Einschätzung von Dämmstoffen muss neben der Dämmwirkung auch der Energieaufwand für deren Herstellung betrachtet werden. Ebenso spielen herstellungsbedingte Schadstoffemissionen und die gesundheitlichen Wirkungen auf den Menschen eine Rolle bei der Bewertung.

Als Primärenergiebedarf (oder auch Primärenergieaufwand) bezeichnet man die Menge an Energie, die zur Herstellung eines Dämmstoffs aufgewendet werden muss. Bei der Berechnung müssen die Kosten für die Förderung der benötigten Rohstoffe (z.B. Rohöl oder Ton) sowie für deren Verarbeitung (z.B. das Brennen von Ziegeln oder die Herstellung von Schaumstoffen) mit einfließen. Nicht betrachtet werden hingegen die Kosten für den Einbau und die abschließende Entsorgung oder ggf. das Recycling.

Wie in allen Bereichen werden Umweltzeichen auch an Dämmstoffe vergeben, wenn diese über besonders gute ökologische Eigenschaften verfügen, so dass sie sich aus der Produktvielfalt positiv hervorheben. Ein weit verbreitetes Umweltzeichen ist der „Blaue Engel“. Im Bereich der Dämmstoffe wird dieses für Produkte vergeben, die überwiegend aus Recyclingmaterialien wie Altglas oder Altpapier hergestellt werden. Andere Umweltzeichen werden beispielsweise durch das Institut für Baubiologie Rosenheim GmbH oder durch die Arbeitsgemeinschaft umweltverträgliches Bauprodukt vergeben. Bei der Vergabe der unterschiedlichen Umweltzeichen werden die Produkte nach verschiedenen Kriterien beurteilt. Ein direkter Vergleich ist aus diesem Grund nicht möglich.

Zur Verbesserung des Brandschutzes und als Schutz vor Schimmel werden einigen nachwachsenden Dämmstoffen Borsalze, Aluminiumsulfat u.a. Chemikalien zugesetzt. Aufgrund dieser Zuschläge sind diese Produkte zum Teil nicht kompostierbar und müssen auf Deponien entsorgt werden. Bei Einsatz von Stützfasern aus Polyester ist die Kompostierbarkeit ebenfalls eingeschränkt.





## B.8 Energiebilanz, Umwelt- und Gesundheitsbereich

Durch die starke Reduzierung des Heizwärmebedarfes in den letzten Jahren (Passivhaus  $< 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ ) nimmt die Bedeutung der Energie zur Herstellung bzw. für die Sanierung eines Gebäudes an der Gesamtenergiebilanz zu und ist nicht mehr vernachlässigbar. Diese „Graue Energie“, die in Form von Baumaterial und Technik investiert wird, beträgt in der Regel zwischen 500 und 1500 kWh pro  $\text{m}^2$  [30].

Die Berechnungsgrundlagen für die Anforderungen im Umwelt-, Gesundheitsbereich und den Primärenergieverbrauch über den ganzen Lebenszyklus des Bauwerkes (Herstellung, Nutzung, Rückbau, Verwertung und Entsorgung) werden zurzeit entwickelt. Zukünftig ist mit einer weiteren Steigerung der Energieeffizienz und einer Reduktion der Treibhausgasemissionen und ggf. des Versäuerungspotenzials des Bodens über dem gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes zu rechnen.

In Österreich ist die Berechnung der Ökokennzahlen bereits fester Bestandteil der Wohnungsbauförderung. Der Ökoindex 3 (OI3) ist eine ökologische Beurteilung von Materialien. Dabei werden der Primärenergieinhalt (PEI), das Treibhauspotential (GWP) und die Säurebildungspotential (AP) der Baustoffe mit anderen energetischen Maßnahmen über ein Punktsystem bewertet [31]. Es ist eine umfangreiche Materialdatenbank, welche für alle am Bau Beteiligten zur Verfügung steht und ständig aktualisiert wird. Ein Normentwurf für die Berechnung der „Grauen Energie von Gebäuden“ liegt bereits in der Schweiz vor. Die Norm SIA 2032 ist so ausgerichtet, dass sie als Entscheidungshilfe in der Vorstudie- und Vorprojektphase angewendet und die Berechnung im laufenden Planungsprozess weiter verfeinert werden kann.

In Deutschland sind entsprechende Normen nicht vorhanden. Erst als Grundlage für die Regelung des Handels von  $\text{CO}_2$  – Zertifikaten ist mit der Erarbeitung von entsprechenden Richtlinien zu rechnen. Erst danach wird die Industrie die notwendigen Materialkennwerte ermitteln lassen und an die Öffentlichkeit weitergeben. Die Entwicklung einer gesamteuropäischen Norm mit einheitlichen Regelungen ist anzustreben, wo z. B. gleiche Bilanzgrenzen festgelegt werden müssen, damit die Vergleichbarkeit gegeben ist.

### B.8.1 Primärenergieinhalt (PEI) - „Graue Energie von Gebäuden“

Der Primärenergieinhalt beschreibt den zur Herstellung des Produktes notwendigen (Primär-) Energieverbrauch. Dabei wird zwischen erneuerbarer und nicht erneuerbarer Primärenergie unterschieden.

Die Graue Energie eines Gebäudes ist der kumulierte Energieaufwand für die Erstellung und den Rückbau des Gebäudes inklusive dem kumulierten Energieaufwand bei Ablauf der Nutzungsdauer von Bauteilen. Nicht zur Grauen Energie gehören die Betriebsenergie und die Energie für den Unterhalt des Gebäudes.

### B.8.2 Treibhauspotential (GWP) bzw. Treibhausgasemissionen

Die Herstellung eines Produktes oder die Bereitstellung einer Dienstleistung hat die Emission von Treibhausgasen zur Folge. Zu den Treibhausgasen zählen neben dem Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ) auch Methan, Lachgas und weitere klimawirksame Gase. Die Treibhausgasemissionen werden als äquivalente Kohlendioxidmasse ausgedrückt. Parallel zum Energieaufwand können auch die kumulierten Treibhausgasemissionen berechnet werden. Beim Ökoindex 3 wird dies als Treibhauspotential GWP (Global Warming Potential) bezeichnet [31]. Das Treibhauspotential kann für verschiedene Zeithorizonte (20, 100 oder 500 Jahre) bestimmt werden. Der kürzeste Zeithorizont von 20 Jahren wird in der Regel für die Berechnung des Temperaturanstieges auf dem Festland herangezogen. Die längeren Zeithorizonte werden für die Berechnung des Anstieges des Meeresspiegels verwendet.

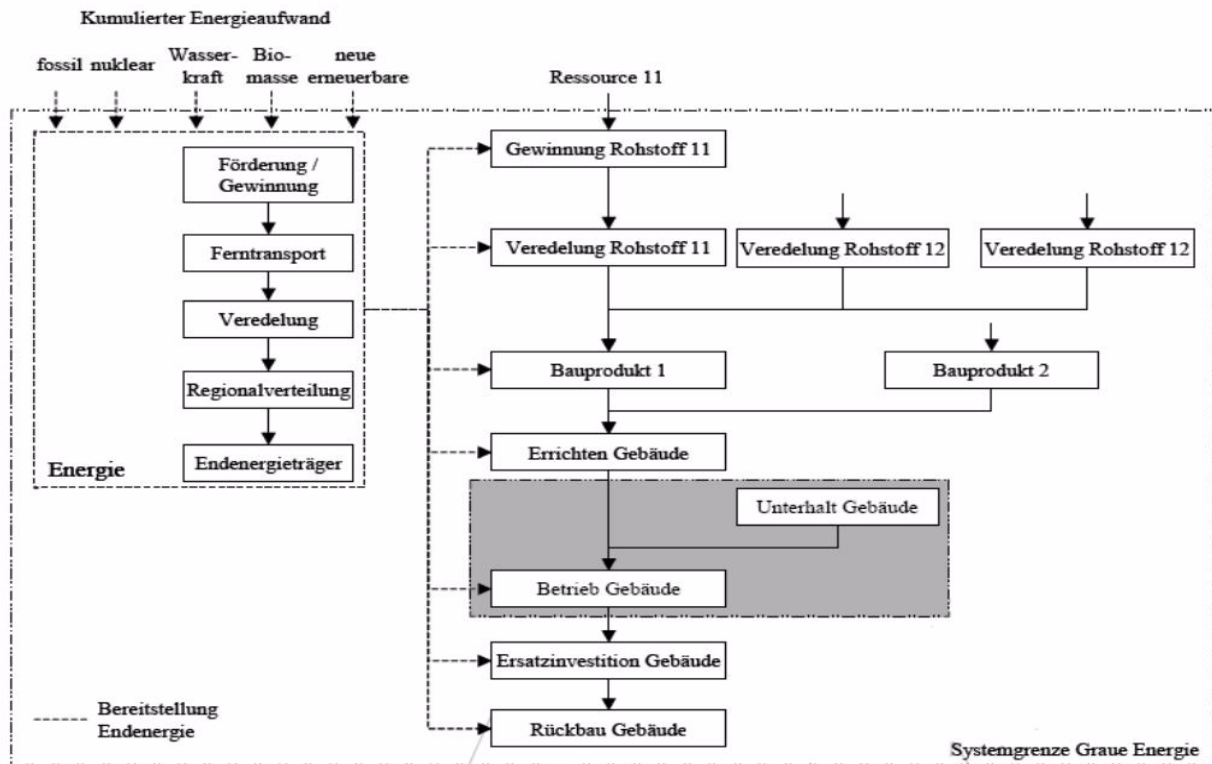
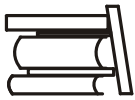


Abb. B.7: Energie im Lebenszyklus eines Gebäudes

### B.8.3 Versäuerung (AP)

Die Verminderung der Versäuerung ist eine regionale Aufgabe. Die Versäuerung wird im Wesentlichen durch die Wechselwirkungen von Schwefeldioxid ( $\text{SO}_2$ ) und Stickoxiden ( $\text{NO}_x$ ) mit anderen Bestandteilen der Luft verursacht. In wenigen Tagen können Schwefelsäure ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) und Salpetersäure ( $\text{HNO}_3$ ) entstehen. Die genauen Auswirkungen sind heute nur bruchstückhaft bekannt. Diese haben negative Auswirkungen auf unsere natürliche Umwelt wie Seen, Flüsse, Wälder und Böden. Das Säurebildungspotential (AP) wird relativ zum Säurebildungspotential von Schwefeldioxid ( $\text{SO}_2$ ) angegeben [31].



## C Wärme- und Feuchteschutznachweise

### C.1 Experimentell bestimmte Materialkennwerte

Für die Bauteil- und Gebäudesimulation und für die detaillierte Bewertung der vorhandenen historischen Baumaterialien und neue eingebaute Materialien sind hygrothermische Materialkennwerte erforderlich. Für die vorhandenen historischen Baumaterialien und zum Teil für die neuen Baustoffe waren keine hygrothermischen Materialkennwerte bekannt. An dem Gebäude Handwerk 15 wurden sehr umfangreiche Materialkennwertbestimmungen durch das Labors des Institutes für Bauklimatik vorgenommen.

Es wurde eine Vielzahl von experimentellen Messungen für die Bestimmung der hygrothermischen Materialkennwerte durchgeführt. Die relevanten Kenndaten sind in Tabelle C.6 aufgelistet.

#### hygrothermischen Materialkennwerte

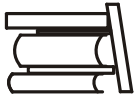
Die Tabelle C.7 zeigt die Materialien und deren Materialkennwerte, die in diesem Projekt am Gebäude Handwerk 15 in Görlitz experimentell untersucht wurden.

Tab. C.6: Auflistung der erforderlichen bauphysikalische Kennwerte

Kennwert, Funktion	Formelzeichen	Einheit
Dichten (Feststoff, Trockenrohddichte)	$\rho_m, \rho_d$	[kg/m <sup>3</sup> ]
Porosität	$\Phi_o$	[m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]
Spezifische Wärmekapazität	$c_p$	[J/(kgK)]
Wärmeleitfähigkeit	$\lambda_r$	[W/(mK)]
Kapillare Wassersättigung	$\theta_{cap}$	[m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]
Wasseraufnahmekoeffizient	$A_w$	[kg/(m <sup>2</sup> h <sup>0,5</sup> )]
Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl	$\mu$	[ - ]
kapillare Leitfähigkeit	$k_{(\theta)}$	[m/s]
Wasserretention (überhygroskopisch und hygroskopisch)	$\theta_{(\psi)}, \theta_{(\varphi)}$	[m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]
Verlauf der kapillaren Wasseraufnahme und Trocknungsverlauf	$m_{(t)}$	[kg]

Außer den Materialkennwerten wurden die Materialfunktionen dieser Baustoffe bestimmt (siehe Tabelle C.7). Die hygrothermische Bauteilsimulation bzw. Feuchte- und Wärmetransportberechnungen basieren auf der numerischen Lösung von gekoppelten Differentialgleichungen mit feuchte- und temperaturabhängigen Transport- und Speicherkoeffizienten. Die Laborexperimente hingegen liefern Basiskennwerte (oder -parameter), die einer Interpretation bedürfen, um als Parameter der Transport- und Speicherkoeffizienten verwendet werden zu können. Die

#### Erstellung von Materialfunktionen



Interpretation der Laborkennwerte zur Generierung von Materialfunktionen, welche die Materialeigenschaften adäquat beschreibenden, ist die wesentliche Aufgabe der Materialmodellierung. Das Materialmodell umfasst ein Set von Materialfunktionen einschließlich der Material- und Modellparameter. Die Anwendung des Materialmodells erfolgt notwendigerweise in drei Stufen: Modellierung, Kalibrierung und Validierung.

1. Modellierung - Anwendung geeigneter Materialfunktionen an den im Labor gemessenen Materialdaten
2. Kalibrierung - Bestimmung von Funktionsparametern durch Simulation von Laborexperimenten und deren Optimierung
3. Validierung - Vergleich zwischen gemessenem und berechnetem Materialverhalten anhand von Experimenten, die nicht zur Kalibrierung herangezogen wurden

### **Materialmodell**

Im Rahmen des Projektes wird ein am IBK entwickeltes Materialmodell verwendet. Dieses "Ingenieurmodell zur hygrothermischen Materialcharakterisierung" ermöglicht die Verknüpfung komplexer, aus thermodynamischen Grundlagen abgeleitete Funktionen mit einfachen, aus der Ingenieurpraxis bekannten Kennwerten. Das Materialmodell besitzt den Vorteil der einfachen Handhabung und der Erweiterbarkeit auf andere Problemstellungen, da es keine prinzipiell einschränkenden Voraussetzungen bezüglich der Modellierung von Transportvorgängen unterliegt.

Im Ergebnis steht ein im gesamten Feuchtebereich kalibriertes, auf thermodynamischen Grundlagen basierendes Transportmodell für den gekoppelten Flüssigwasser-, Wasserdampf- und Wärmetransport. Das Modell ist für die wissenschaftliche Weiterentwicklung zugänglich und z. B. auf den Salztransport und Salzkristallisationsprozesse erweiterbar. Die Anpassungsgenauigkeit kann durch eine erweiterte, über die Mindestanforderungen hinausgehende Bestimmung von Messdaten entsprechend erhöht werden.

Das Ingenieurmodell zur hygrothermischen Materialcharakterisierung besitzt eine Reihe interner Funktions- und Materialparameter. Die internen Funktionsparameter werden durch Kalibrierung bestimmt. Dem Nutzer sichtbar ist ein Mindestsatz an Messdaten, die als Basisparameter bezeichnet werden. Basisparameter sind: Trockenraumdichte, Porosität, Wärmeleitfähigkeit und Wärmekapazität, kapillarer Sättigungsfeuchtegehalt, Wasseraufnahmekoeffizient, Dampfdiffusionswiderstandsfaktor (dry-cup / wet-cup Werte), Retentions- und Sorptionsfeuchtedaten, Permeabilitätsmessungen nahe Sättigung, Verlauf der kapillaren Wasseraufnahme und die Bestimmung des Trocknungsverlaufes. Die Messparameter fließen in das Materialmodell ein und präzisieren die physikalischen Modellvorstellungen.

In die IBK-Datenbank für die Programme COND und DELPHIN und das zurzeit neu entwickelte Multizonenprogramm werden die Materialien aus dem Gebäude Handwerk 15 aufgenommen.



Tab. C.7: Übersicht über die am Gebäude Handwerk 15 in Görlitz experimentelle untersuchten Materialien und deren Materialkennwerte

	Dichte	Spez. Wärme- kapazität	Wärme- leitfähig- keit	Porosität	Kapillare Wasser - sättigung	$\mu$ - Wert	Wasserauf- nahme- koeffizient
Symbol	$\rho$	c	$\lambda_R$	$\Phi_0$	$\Theta_{cap}$	$\mu$	$A_w$
	kg/m <sup>3</sup>	J/kgK	W/mK	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>	-	kg/m <sup>2</sup> s <sup>0,5</sup>
Altbauziegel von 1857	1665	844	0.415	0.3718	0,2343**	13**	0,3568**
Altbauziegel von 1977	1860	839	0.702	0.2979	0.1513	12*	0.1377
Dünnschicht- und Ausgleichputz, maxit multi 270S	1388	597	0.478	0.4762	0.2389	26	0.0451
Wärmedämmender Systemleichtputz, maxit therm 74M	820	713	0.175	0.6904	0.2826	29	0.0878
Wärmedämm Systemputz, maxit herm 75	228	1090	0.058	0.9141	0.0970	28	0.0083
Fließbeton, maxit ton 908 FB	2088	857	1.805	0.2120	0.2302	129	0.0448
Leichtbeton, maxit ton 915 FB	1503	1074	0.604	0.4328	0.2226	81	0.0319
Porengrundputz, maxit san Grund	1124	438	0.261	0.5760	0.1398	11	0.0191
Sanierspritzbewurf, maxit san Vorspritz	1673	847	0.892	0.3688	0.2196	16	0.1002
Kalk-Zement-Leichtputz, maxit ip18L	1254	582	0.507	0.5270	0.2461	13	0.0328
Brillantputz Glattputz, KEIM	1273	608	0.282	0.5195	0.0184	26	0.0019
Pulverkleber-90, KEIM	1363	855	0.658	0.4857	0.0258	68	0.0067
Wärmedämmlehmplatte, Haacke Cellco	364	1100	0.076	0.8625	0.3144	11	0.0705
Wärmedämmlehmplatten Kleber, Haacke Cellco	707	945	0.190	0.7332	0.5538	15	0.0376
Thermokork Ct04, Haacke Cellco	114	2253	0.047	0.9570	0.0051	29	0.0094
Stampflehm Kork, Haacke Cellco	368	885	0.074	0.8611	0.2837	8	0.0549
Calcium Silikat Silcal 250, Calsitherm	270	1158	0.069	0.9100	0.7927	4	1.1146



## C.2 Bauteilsimulation mit COND/ DELPHIN

Die kritischen Details wurden in der Bauphase mit einem einfachen Wärmebrückenprogramm und dem Programm COND berechnet und optimiert (siehe z. B. Abbildung 2.16). Sie wurden soweit aufgearbeitet, dass sie mit dem am Institut entwickelten Programm DELPHIN weiter untersucht werden können. Der Wärme-, Luft- und Feuchtetransport in kapillarporösen Baustoffen wird an diesen Konstruktionen simuliert und mit den Messwerten verglichen.

Bei der Bemessung und Sicherstellung der Langlebigkeit der Konstruktion wurden folgende Arbeitsschritte vorgenommen

1. Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten, Nachweis des Mindestwärmeschutzes und hygrothermischer Nachweis mit dem Programm COND der Konstruktion im ungestörten Bereich (1 D) mit dem Stufenklima der DIN 4108 Teil 3
2. wenn 1. nicht erfüllt, hygrothermische Simulation mit dem Programm DELPHIN im ungestörten Bereich mit dem Stufenklima der DIN 4108 Teil 3 und ggf. mit Klimarandbedingungen des Testreferenzjahres
3. Nachweis des Mindestwärmeschutzes mit dem Programm DELPHIN im gestörten Bereich (Wärmebrücke - 2 D) mit den Randbedingungen der DIN 4108 Teil 2
4. ggf. hygrothermische Simulation mit dem Programm DELPHIN im gestörten Bereich (Wärmebrücke - 2 D) mit dem Stufenklima der DIN 4108 Teil 3
5. ggf. wenn 4. nicht erfüllt, hygrothermische Simulation mit dem Programm DELPHIN im gestörten Bereich (Wärmebrücke - 2 D) mit den Klimarandbedingungen des Testreferenzjahres (siehe Feuchteatlas)
6. ggf. Berechnung des Wärmebrückenverlustkoeffizienten

Mit dem Programm DELPHIN können alle bauphysikalischen Nachweise geführt werden. Hierzu müssen die Randbedingungen und die Ausgabe angepasst werden. In der Zusammenarbeit mit den Entwicklern von DELPHIN wurde ein Tool zur automatischen Erzeugung der Randbedingungen und der Ausgabeformate für die verschiedenen Nachweise entwickelt.

### C.2.1 Nachweis mit dem Programm COND

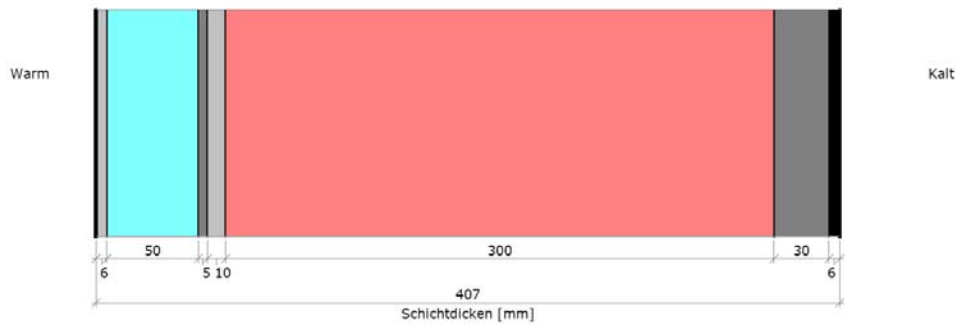
Die Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten, der Nachweis des Mindestwärmeschutzes und der hygrothermische Nachweis wurden mit dem Programm COND [41] der Konstruktion im ungestörten Bereich (1 D) durchgeführt.

Exemplarisch wird dies für die Außenwand (Nische) Nord, 2. Obergeschoss die Vorgehensweise dargestellt. Der Berechnung wird einmal wie ausgeführt mit einer

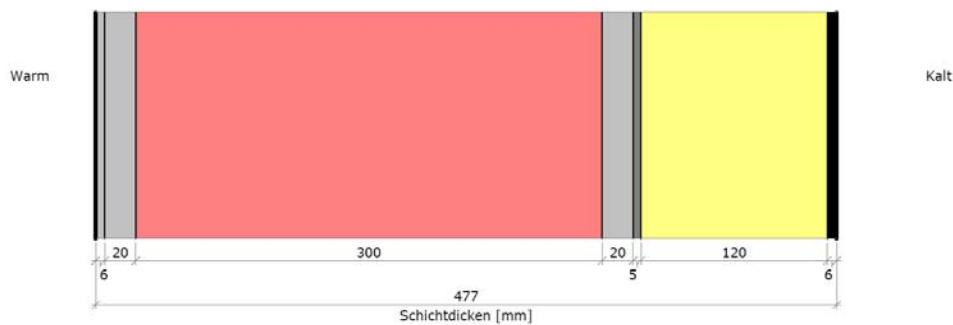




diffusionsoffenen Innendämmung mit Wärmedämmputz (außen) und vergleichsweise mit einem Wärmedämmverbundsystem durchgeführt. Die Konstruktionsvarianten sind in der Abbildung C.8 dargestellt.



diffusionsoffene Innendämmung mit Wärmedämmputz



Wärmedämmverbundsystem

Abb. C.8: Konstruktionsaufbau der Außenwand 2. OG Nord mit 5 cm Calciumsilikat innen, 3 cm Dämmputz außen und Variante mit Wärmedämmverbundsystem

Die Temperatur des Mischmauerwerkes bei der Außenwand mit Innendämmung ist geringer als die Temperatur der Außenwand mit WDVS.

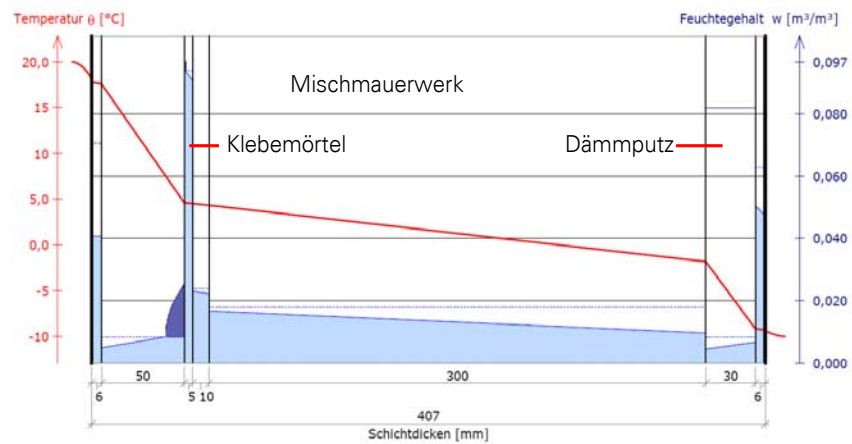
Der Wärmedurchgangskoeffizient der Wände beträgt:

$$U_{\text{unsaniert}} > 3,00 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K}) \gg U_{\text{zulässig}} \text{ nach DIN 4108 Teil 2}$$

$$U_{\text{Innendämmung}} = 0,65 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$$

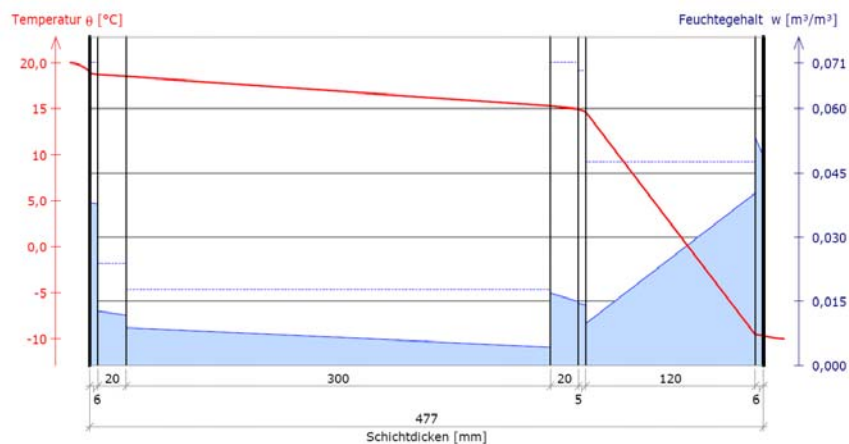
$$U_{\text{WDVS}} = 0,33 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$$

Der Mindestwärmeschutz ist bei dieser Wand nicht erfüllt. Es muss mit Oberflächenkondensat gerechnet werden. Der Wärmedurchgangskoeffizient der Wand mit WDVS beträgt nur die Hälfte gegenüber dem der Wand mit Innendämmung.



Kondensat (überhygroskopische Feuchte) ist dunkel eingefärbt!

Innendämmung mit Dämmputz, Kondensatmenge ca. 0,227 kg/m<sup>2</sup>



Außenwand mit Wärmedämmverbundsystem, kein Kondensat

Abb. C.9: Hygrothermische Berechnung mit dem Programm COND, Temperatur- und Feuchteprofil der Außenwand mit 5 cm Calciumsilikat - Innendämmung und Dämmputz (außen) und der Außenwand mit Wärmedämmverbundsystem

Die Kondensatmenge (nach Glaser)  $w_T = 1,143 \text{ kg/m}^2$  ist kleiner als die potentielle Trocknungsmenge  $w_V = 1,948 \text{ kg/m}^2$ . Die Kondensatmasse am Ende der Kondensationsperiode (nach COND)  $M_c = 0,227 \text{ kg/m}^2$  ist unter Beachtung der kapillaren Leitfähigkeit der Baustoffe geringer als die zugehörige Trocknungsmenge unter Berücksichtigung der Klimadaten der DIN 4108 Teil 3. Bei dem gemessenen Innenklima von 22 °C und 65 % relative Luftfeuchtigkeit im Winter würde sich die Kondensatmasse am Ende der Kondensationsperiode (nach COND) rechnerisch auf  $M_c = 0,648 \text{ kg/m}^2$  um das 3fache erhöhen. Die Kondensatmasse unter Beachtung der kapillaren Leitfähigkeit der Baustoffe liegt im zulässigen Bereich. Auch bei diesen Randbedingungen entsteht bei der Wand mit WDVS kein Kondensat.



### C.2.2 Hygrothermischer Nachweis mit dem Programm DELPHIN (1 D)

Beispielhaft wird hier die eindimensionale hygrothermische Berechnung für die Messstrecke im 2. OG Nord Innendämmung erläutert.

Die instationäre Temperaturfeldberechnung (siehe Abbildung C.10) der Außenwand mit Innendämmung und Dämmputz außen zeigt, dass die Temperatur im Bereich des Mischmauerwerks [1.] dem Jahrgang der Außentemperatur stark gedämpft folgt. Während der sommerlichen Hitzeperiode kommt es nur zu einem geringen Wärmestrom [2.] von außen nach innen, d. h. der sommerliche Wärmeschutz wird bei diesem Wandaufbau nicht wesentlich verschlechtert. Die tiefen winterlichen und hohen sommerlichen Außentemperaturen [3.] werden im Tagesgang durch den Dämmputz zum Teil gepuffert.

**Temperaturfeld-  
berechnung-  
Innendämmung**

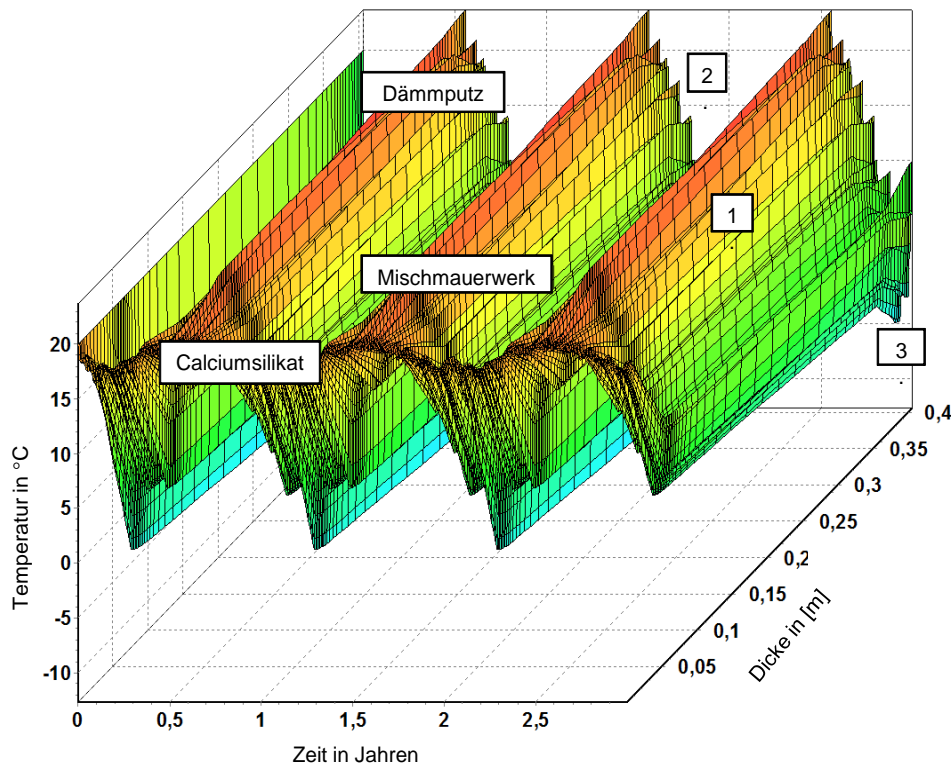
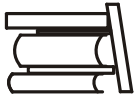


Abb. C.10: Außenwand 2. OG Nord Innendämmung, Temperaturfeldberechnung mit dem IBK-Programm Delphin, Testreferenzjahr 09 (Görlitz), innen (20°C/ 50 %)

Bei der Außenwand mit WDVS zeigt die instationäre Temperaturfeldberechnung (siehe Abbildung C.11), dass die Temperatur im Bereich des Mischmauerwerks [1.] dem Jahrgang der Außentemperatur nicht folgt, sondern von der Innentemperatur abhängig ist. Während der sommerlichen Hitzeperiode ist der Wärmestrom [2.] von außen nach innen geringer als bei der Innendämmung. Die tiefen winterlichen und hohen sommerlichen Außentemperaturen [3.] werden im Tagesgang durch die Außendämmung stark gepuffert.

**Temperaturfeld-  
berechnung-  
WDVS**



WDVS

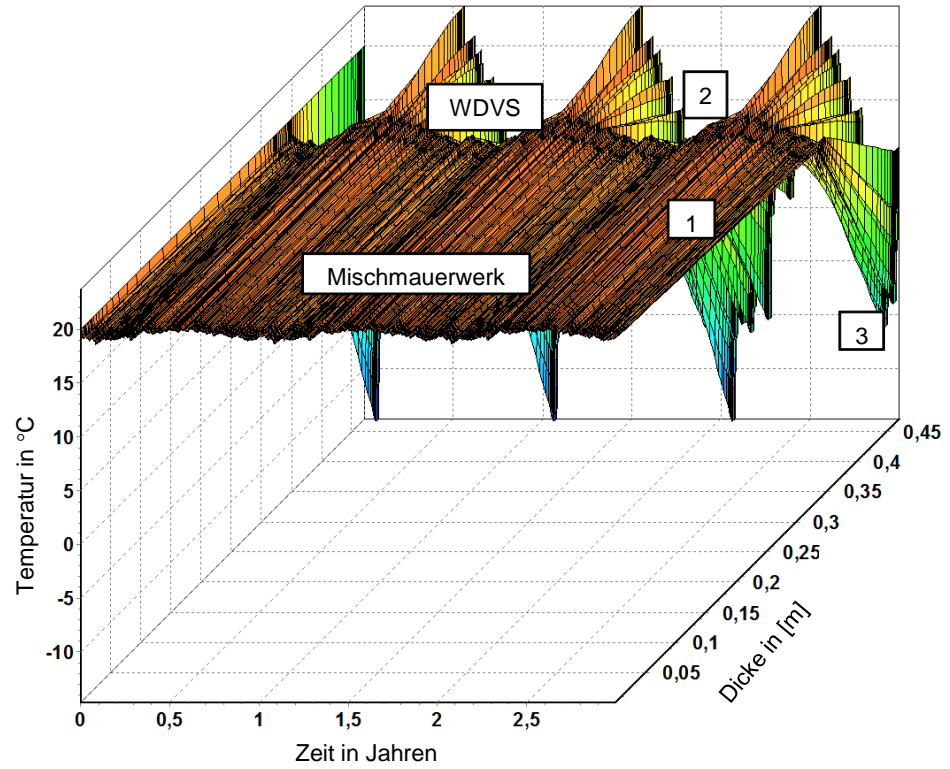


Abb. C.11: Außenwand 2. OG Nord mit WDVS, Vergleichssimulation, Temperaturfeldberechnung mit dem IBK-Programm Delphin, Testreferenzjahr 09 (Görlitz), innen (20°C/ 50 %)

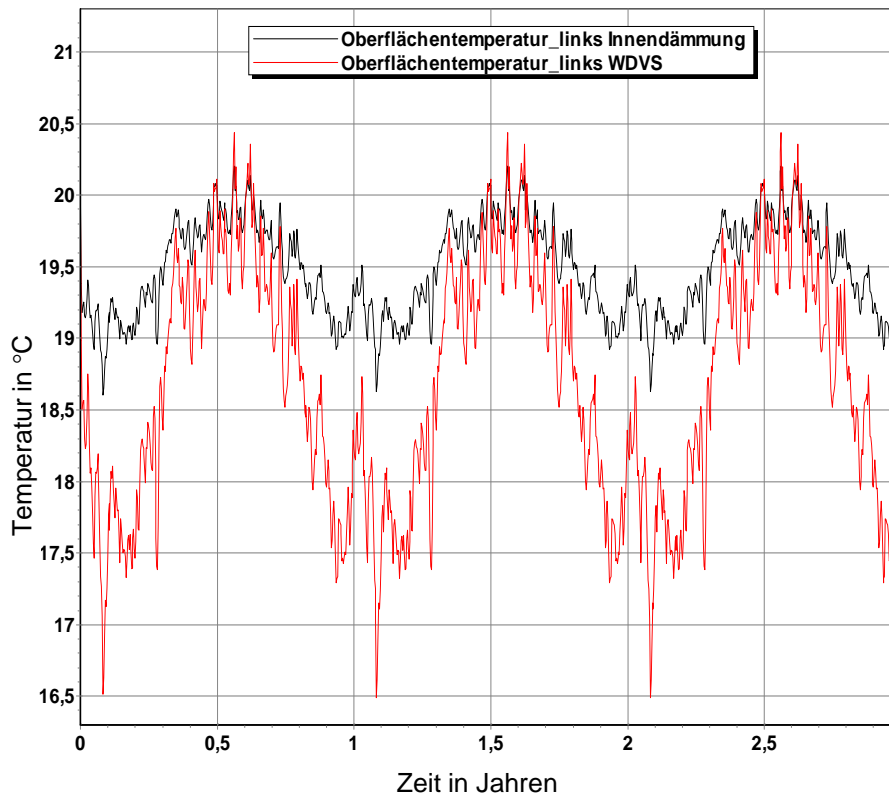


Abb. C.12: Außenwand 2. OG Nord mit WDVS, Vergleichssimulation, Temperaturfeldberechnung mit dem IBK-Programm Delphin, Testreferenzjahr 09 (Görlitz), innen (20°C/ 50 %)

Die Oberflächentemperatur der Außenwand mit Innendämmung und Dämmputz auf der Innenseite ist im Sommer geringfügig höher und im Winter wesentlich tiefer als die Oberflächentemperatur der Außenwand mit WDVS (siehe Abbildung C.12). Das Speichervermögen der Wand mit WDVS ist größer als das Speichervermögen der Wand mit Innendämmung.

Die Abbildung C.13 zeigt die Feuchtefeldberechnung bei der Außenwand 2. OG Nord, Innendämmung. In den Wintermonaten kommt es zu keiner Kondensatbildung hinter der 5 cm starken Calciumsilikatplatte [1.]. Die relative Luftfeuchtigkeit an der kalten Seite der Innendämmung nimmt in den Sommermonaten ab [2.].

**Feuchtefeld-  
berechnung  
Innendämmung**

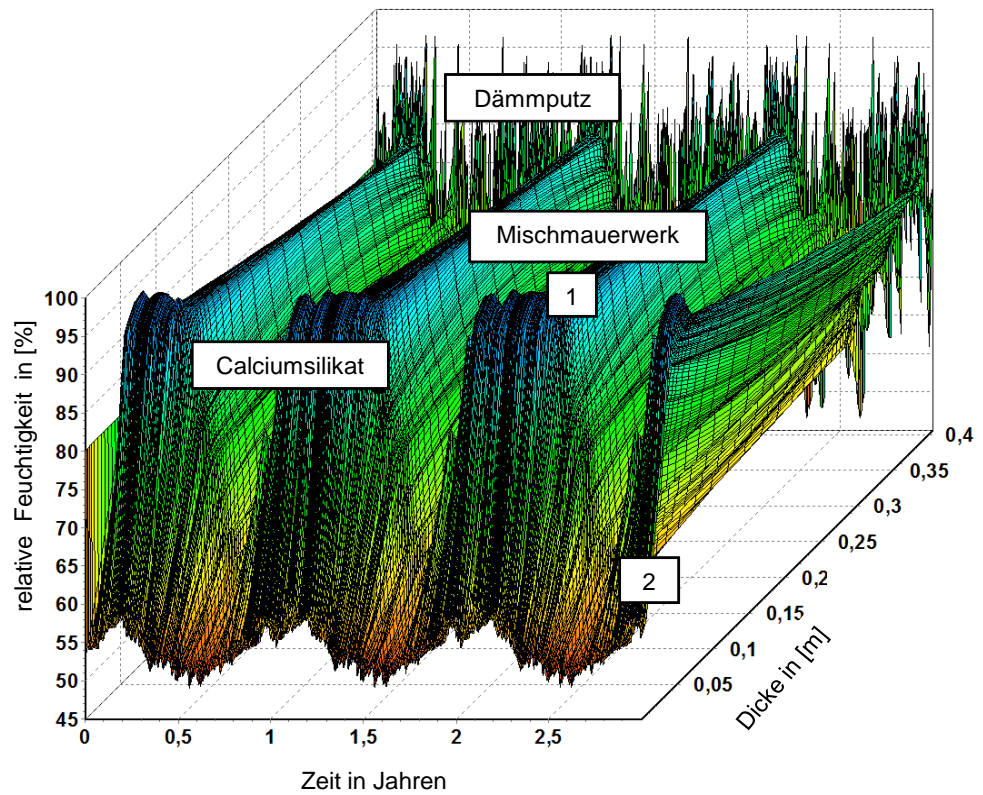


Abb. C.13: Außenwand 2. OG Nord Innendämmung, Feuchtefeldberechnung mit dem IBK-Programm Delphin, Testreferenzjahr 09, innen (20°C/ 50 %)

### Feuchtefeldberechnung WDVS

Bei der Wand mit WDVS ist die relative Luftfeuchtigkeit des Mischmauerwerkes wesentlich geringer als bei der Wand mit Innendämmung[1.]. Die relative Luftfeuchtigkeit des Mischmauerwerkes nimmt in den Sommermonaten zu [2.]. Das Außenklima schlägt auf der Außenseite des WDVS stärker durch als bei der Wand mit Innendämmung [3.] (siehe Abbildung C.14).



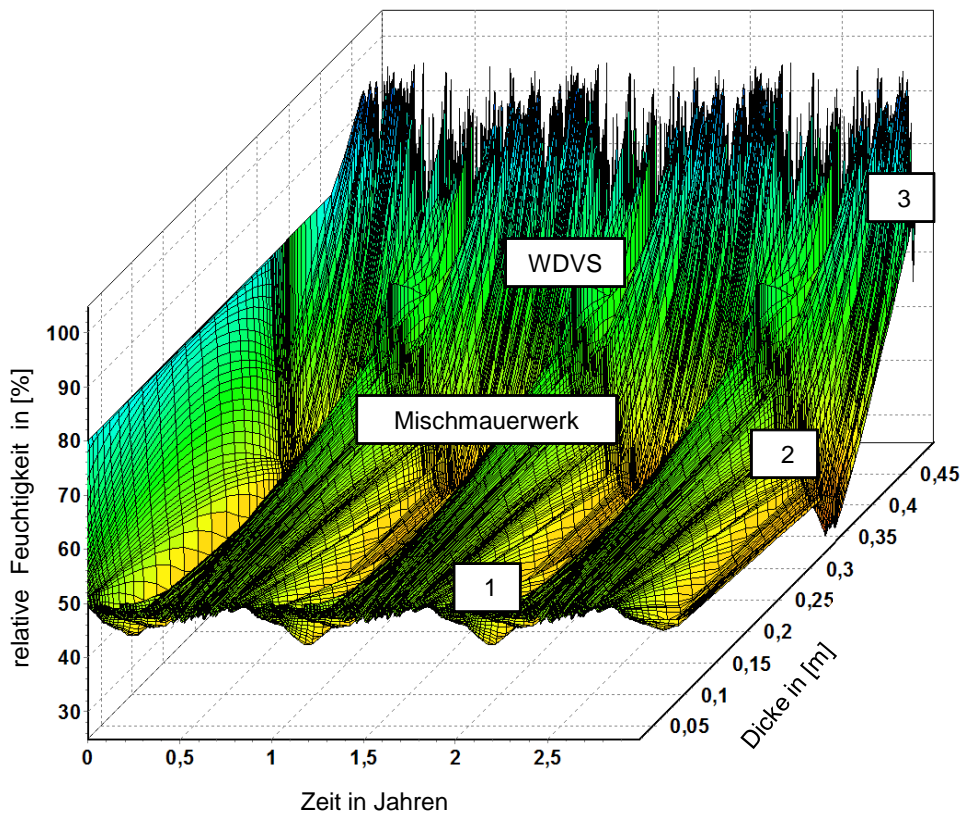


Abb. C.14: Außenwand 2. OG Nord WDVS, Feuchtefeldberechnung mit dem IBK-Programm Delphin, Testreferenzjahr 09, innen (20°C/ 50 %)

Zurzeit werden das Innenklima der Wohnung 2 ohne Lüftungsanlage und das Außenklima aufgezeichnet und mit den Simulationsrechnungen verglichen. Dadurch können die Auswirkungen der einzelnen Maßnahmen, insbesondere der Lüftungsanlage auf die Innendämmung, besser quantifiziert werden.

### C.2.3 Nachweis des Mindestwärmeschutzes mit DELPHIN (2 D)

Bei dem Gebäude mit einem hohen Dämmstandard und einer gewissenhaften Detaillausbildung wurde der Einfluss der Wärmebrücken bereits baulich minimiert. Das spiegelt sich auch im rechnerischen Nachweis für die Energiebedarfserfassung wieder. Für den Nachweis stehen drei Varianten zur Auswahl. Das ist einmal die pauschale Berücksichtigung ohne rechnerischen Nachweis, zweitens der Äquivalenznachweis gemäß den Details in der DIN 4108 Beiblatt 2 [39] und zum dritten der Einzelnachweis aller Verlustkoeffizienten über ein numerisches Verfahren.

Für das untersuchte Gebäude wird die dritte Variante umgesetzt. Dabei ist für die Wärmebrücken nachzuweisen, dass sie in Bezug auf die Energieverluste (Kennwert  $\psi$ ) und die entstehenden Oberflächentemperaturen (Kennwert  $f_{Rsi}$ ) im



Vergleich zu den Planungs- und Ausführungsdetails der DIN 4108 - Beiblatt. 2 gleichwertig oder besser sind.

Der praktische Einfluss des punktuellen Wärmebrückenverlustes liegt bei einem vergleichbar hoch gedämmten Gebäude bei 0,02 % des Gesamttransmissionswärmebedarfes eines betrachteten Raumes, so dass dieser geringe Einfluss nicht weiter berechnet wurde [43].

**Temperaturfaktor  
 $f_{Rsi}$**

Für alle Wärmebrücken, die nicht beispielhaft in DIN 4108, Beiblatt 2 aufgeführt sind, muss zur Vermeidung von Schimmelpilzbildung der Temperaturfaktor an der ungünstigsten Stelle die Mindestanforderung  $f_{Rsi} \geq 0,7$  erfüllen, d. h., dass unter stationären Randbedingungen nach DIN 4108-02 eine raumseitige Oberflächentemperatur von  $\theta_{si} \geq 12,6^\circ\text{C}$  einzuhalten ist. Fenster sind davon ausgenommen.

**Längenbezogener  
Wärmedurchgangskoeffizient  $\Psi$**

Die Berücksichtigung von Wärmebrückenverlusten kann in den Nachweisverfahren nach EnEV 2009 [19] mit individuellen  $\Psi$  – Werten oder mit verschiedenen, pauschalen Zuschlägen erfolgen.

Die Erhöhung um  $\Delta U_{WS} = 0,10 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  ist der rechnerisch ungünstigste Fall. Bei Anwendung dieser Variante, sind aus energetischer Sicht keine weiteren Restriktionen hinsichtlich der konstruktiven Gestaltung der Bauteilanschlüsse zu beachten. Für diese Beaufschlagung sind keine Nachweise erforderlich. Sie stellt daher die Standardvariante dar. Eine pauschale Erhöhung der Wärmedurchgangskoeffizienten aller Bauteile der Gebäudehülle um  $\Delta U_{WS} = 0,05 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  ist möglich, wenn die geplanten Konstruktionen in den Planungs- und Ausführungsbeispielen der DIN 4108 Beiblatt 2 [39] enthalten sind oder denen gleichwertig sind.

Der genaue rechnerische Nachweis der Wärmebrücken mit spezifischen längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten ( $\Psi$ -Werten) kann bei einer sorgfältigen Planung den rechnerischen Transmissionswärmeverlust erheblich reduzieren. Der Wärmebrückenanteil wird dann weitgehend eliminiert. Bei Anwendung dieser Variante sind für jeden Wärmebrückenanschluss der längenbezogene Wert und dessen wirksame Länge zu ermitteln.

**Gleichwertigkeitsnachweis**

Die Gleichwertigkeit nach DIN 4108 Beiblatt 2 [39] ist gegeben, wenn mit Hilfe einer numerischen Berechnung nach DIN EN ISO 10211 [39] unter Verwendung der Randbedingungen aus der DIN 4108 Beiblatt 2 der bei dem äquivalenten Ausführungsbeispiel genannte Referenzwert eingehalten oder unterschritten wird. Zusätzlich ist zur Vermeidung von Schimmelpilzwachstum im ungünstigsten Punkt die Einhaltung eines Temperaturfaktors  $f_{Rsi} \geq 0,7$  notwendig, so wie dies auch bei allen in Beiblatt 2 [39] dargestellten zweidimensionalen Detaillösungen der Fall ist. Alternativ zur numerischen Berechnung der Werte können Ergebnisse aus Wärmebrückenkatalogen bzw. -atlanten oder produktspezifischen Detailkatalogen verwendet werden, deren Berechnungen auf den in Beiblatt 2 [39] festgelegten Randbedingungen basieren.



Die Wärmebrückenberechnung wird nach der DIN EN ISO 10211 durchgeführt. Sie stellt die grundlegende Norm für die Berechnung von zwei- und dreidimensionalen Wärmebrückenanschlüssen dar und legt die folgenden Spezifikationen für die Berechnung fest:

- die geometrischen Randbedingungen,
- die Unterteilungen des Modells (Schnittebenen etc.),
- die wärmetechnischen Randbedingungen und
- die zu verwendenden wärmeschutztechnischen Kennwerte und Beziehungen.
- Bei allen Berechnungen wurden die Materialkenngrößen so gewählt, dass stets die ungünstigsten Werte zur Anwendung kommen.

Der Einfluss der Befestigung mit stiftförmigen metallischen Verbindungsmitteln bleibt bei Holzverschalungen oder gleichwertigen Konstruktionen unberücksichtigt.

Bei dem Gebäude Handwerk 15 befinden sich die meisten Wärmebrücken auf der Straßenseite. Die Straßenseite besitzt eine Innendämmung in Kombination mit einem Wärmedämmputz und hochdämmenden Kastenfenstern. Folgende Anschlussdetails mussten bearbeitet werden:

- Anschluss Fenster (Sturz, Laibung und Brüstung)
- Anschluss Innenwand an Außenwand
- Gebäudeecke - Brandwand zum Nachbargebäude/ Straßenfassade auf der Nordseite
- Deckenanschluss an Straßenfassade
- Anschluss Traufe

Dabei sind die unterschiedlichen Randbedingungen bei der Berechnung des  $\Psi$ -Wertes und der  $\Psi$ -Wertes zu beachten (siehe Abbildung C.15).

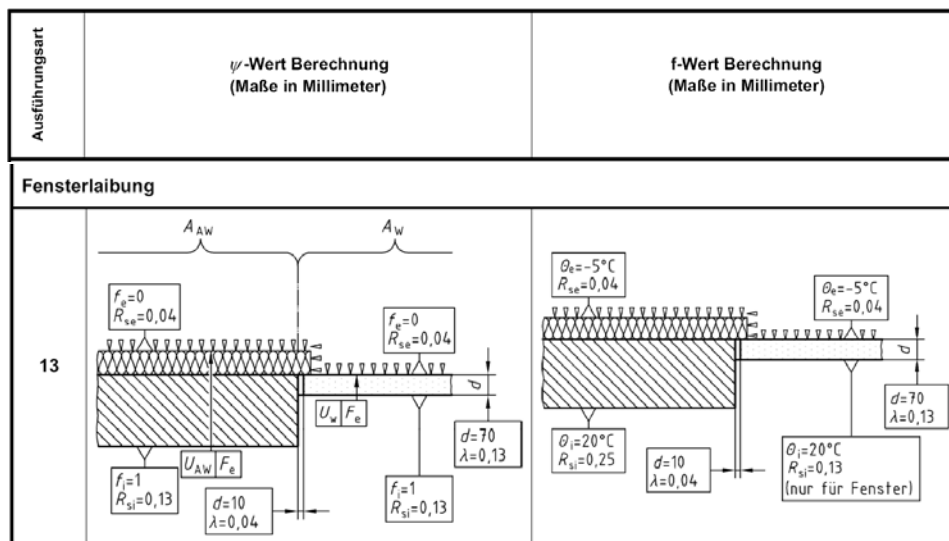
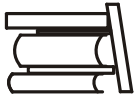


Abb. C.15: Definition der Randbedingungen nach DIN 4108 Beiblatt 2, Tabelle 7 /1/ für Fensterlaibung



Bei der Bestimmung der Anschlusslängen wurde bei dem Nachweis des Mindestwärmeschutzes das 3fache der Bauteildicke angesetzt. Dies ist der ungünstigere Fall. Bei der Berechnung des Wärmebrückenverlustkoeffizienten wurden einmal die Anschlusslängen analog des Mindestwärmeschutzes und einmal die halbe Fensterbreite und Wandlänge des Fensterpfilers verwendet. Die Geometrie wurde vereinfacht.

Bei dem Gebäude Handwerk 15 laufen die Holzbalken parallel zur Straßenfassade, so dass bei diesem Gebäude das kritische Detail Holzbalkenkopf mit Innendämmung nicht vorhanden ist.

**Anschlussdetail  
Fensterlaibung  
Kastenfenster/  
Außenwand**

Bei dem Anschlussdetail Fensterlaibung Kastenfenster/ Außenwand war im Leibungsbereich nur sehr wenig Platz für das Herumführen der Innendämmung. An dieser Stelle konnte nur ein Dämmputz ausgeführt werden. Exemplarisch werden an diesem Detail der Nachweis des Mindestwärmeschutzes und die Berechnung des Wärmebrückenverlustkoeffizienten durchgeführt.

**a) Konstruktion**

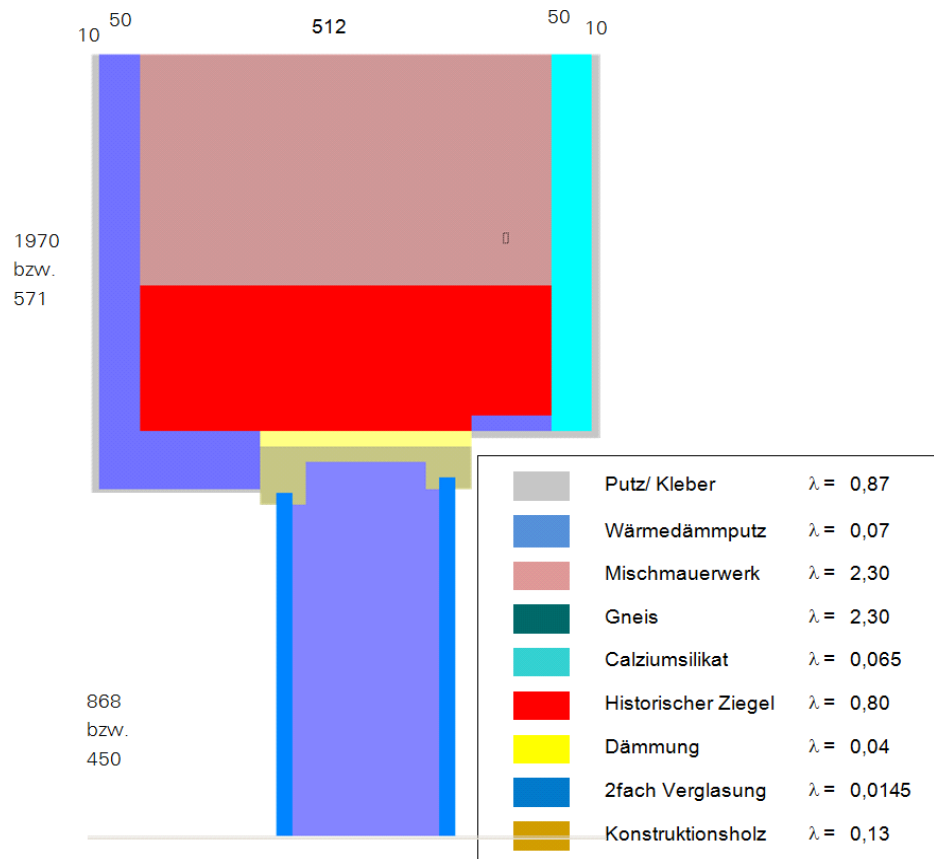


Abb. C.16: Diskreditierungsgitter in [mm], Materialien, Wärmeleitfähigkeit in [W/m\*K]



b) Nachweis des Mindestwärmeschutzes nach DIN 4108

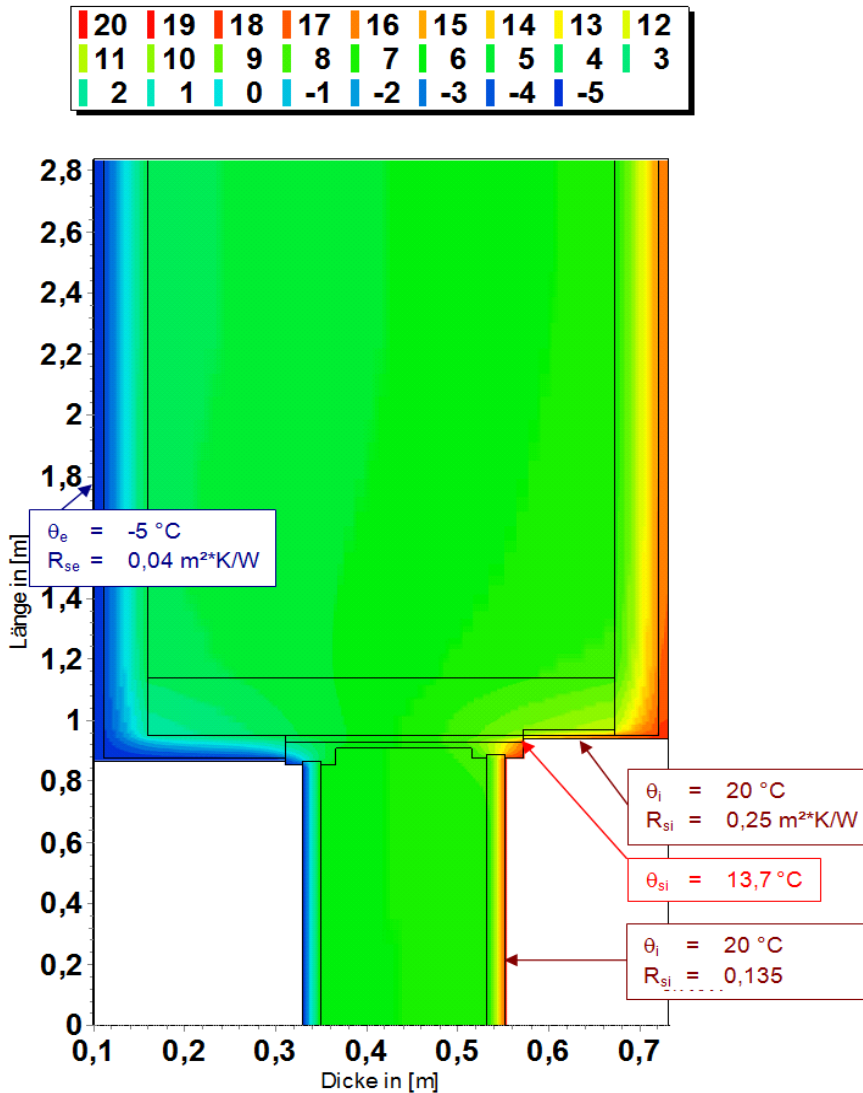


Abb. C.17: Temperaturfeld in [°C], Oberflächentemperatur in [°C], Randbedingungen nach DIN 4108 Teil 2

Ergebnisse der Berechnung:

Detailpunkt	Oberflächentemperatur	Temperaturfaktor an der Innenoberfläche	
Wand:	$\theta_{si}=13,7 \text{ °C} \geq 12,6 \text{ °C}?$	$f_{Rsi} = 0,75 \geq 0,7$	Nachweis erfüllt!

Der Nachweis des Mindestwärmeschutzes zur Vermeidung von Schimmelpilzbildung und Tauwasserausfall auf der Bauteiloberfläche nach DIN 4108 Teil 2 ist erfüllt.



Die Abbildung C.18 zeigt eine instationäre Vergleichsrechnung mit den Klimadaten des TRY09 und des Meteororm Datensatzes für Görlitz. Die minimale Oberflächentemperatur für den kritischen Punkt liegt bei den Meteororm Datensatz bei 13,0 °C und bei den Klimadaten des TRY09 bei 13,2 °C. Die Temperatur mit den Klimarandbedingungen der Norm DIN 4108 Teil 2 liegt bei 13,8 °C.

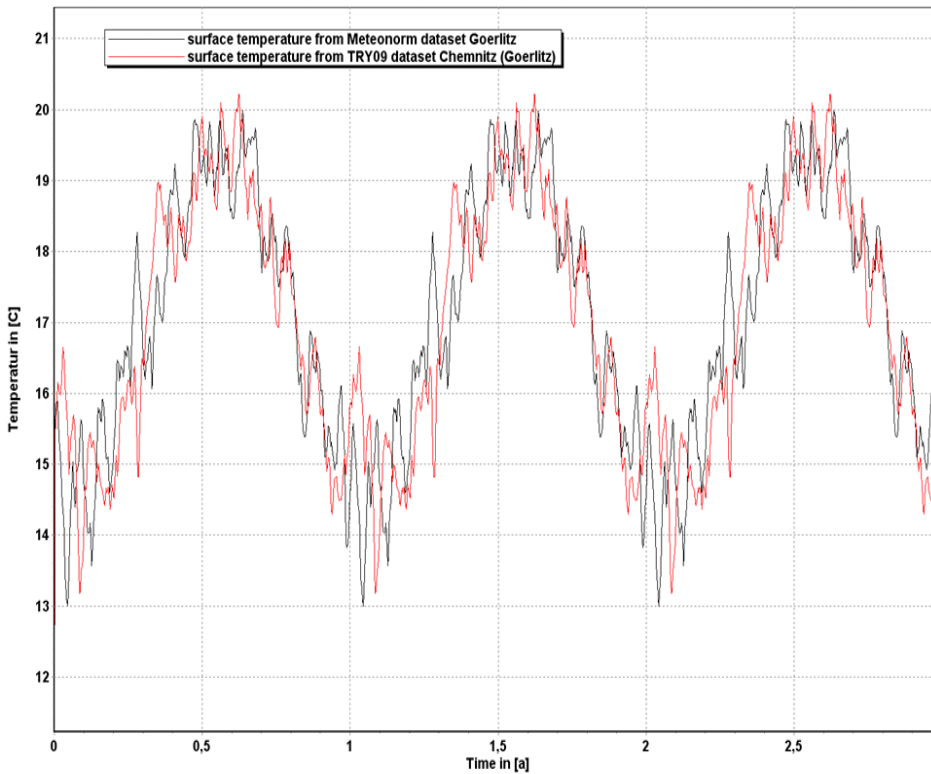


Abb. C.18: Oberflächentemperatur für den kritischen Punkt, Berechnungen mit den Klimadaten des TRY09 und des Meteororm Datensatzes für Görlitz

**c) Berechnung des Referenzwertes  $\Psi$  und Nachweis der Gleichwertigkeit**

Bild	Ausführungsart	Darstellung für den Nachweis der Gleichwertigkeit nach 3.5, a) und b) (Maße in Millimeter)	Bemerkungen	Referenzwert für $\psi$ für den Nachweis der Gleichwertigkeit nach 3.5, c) und d)
<b>Fensterlaibung</b>				
48	monolithisches Mauerwerk		Der Referenzwert für $\Psi$ ist für mittigen Einbau angegeben. Gilt analog für den Fall, dass die Lage des Fensters im mittleren Drittel der Wand ist. Die Fuge zwischen Blendrahmen und Baukörper ist mit Dämmstoff ( $\geq 10$ mm) ausgefüllt.	$\leq 0,05$ W/(m · K)

Abb. C.19: Referenzwert des Ausführungsbeispiels Fensterbrüstung für monolithisches Mauerwerk nach DIN 4108 Beiblatt 2, Tabelle 4 /1/



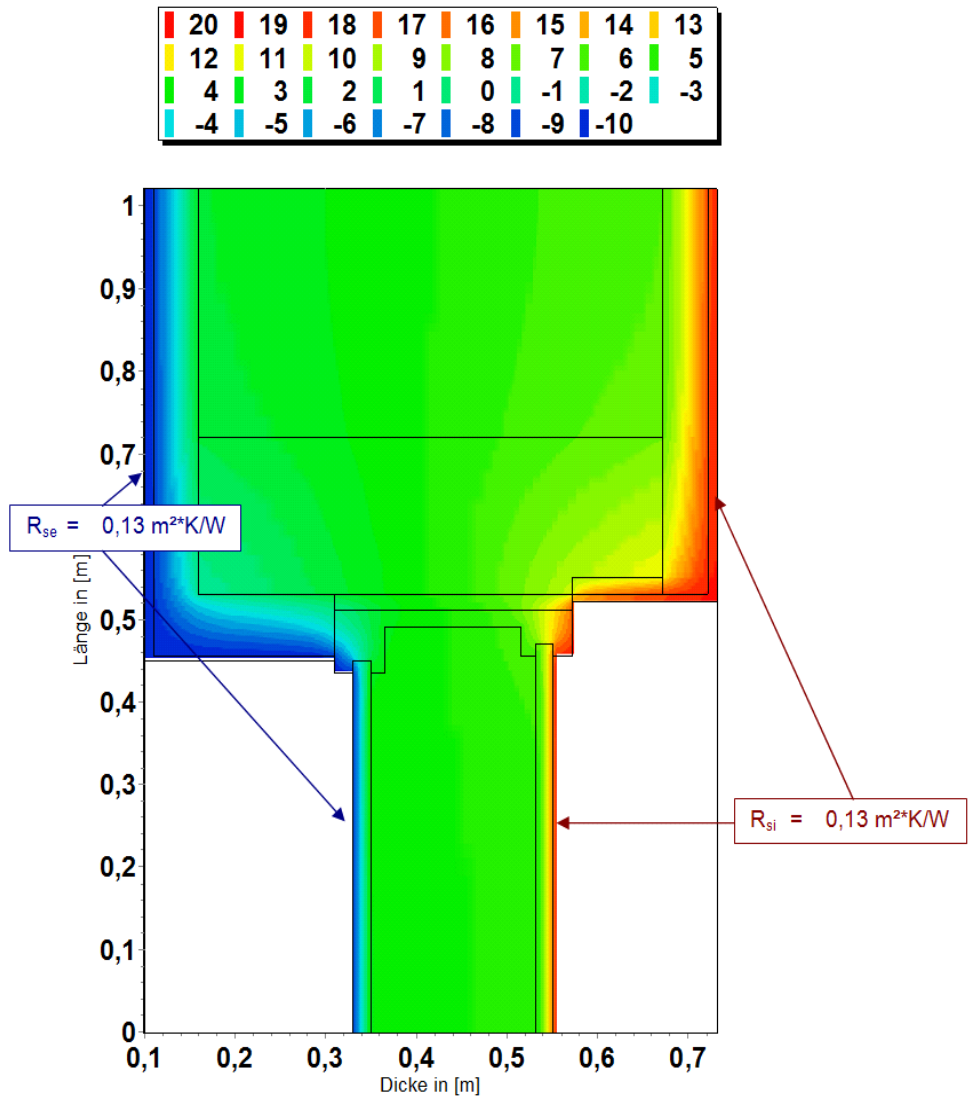


Abb. C.20: Temperaturfeld in [°C], Randbedingungen nach DIN EN ISO 10 211

Ergebnisse der Berechnung:

unge- störter Bereich	$l$	$\theta_i - \theta_e$	$\Phi_{2D}$	$L_{2D}^*$	$\Phi_{1D}$	$U_{1D}^{**}$	$\Psi^{***}$
	[m]	[K]	[W/m]	[W/(m²K)]	[W/m²]	[W/(m²K)]	[W/(m²K)]
Wand	1,970	30			15,870	0,529	
Fenster	0,868	30				0,750	
Wärme- brücke	2,838	30	42,01	1,400			-0,293



Pfeiler	l	$\theta_i - \theta_e$	$\Phi_{2D}$	$L_{2D}^*$	$\Phi_{1D}$	$U_{1D}^{**}$	$\Psi^{***}$
	[m]	[K]	[W/m]	[W/(m*K)]	[W/m <sup>2</sup> ]	[W/(m <sup>2</sup> *K)]	[W/(m*K)]
Wand	0,571	30			14,458	0,482	
Fenster	0,450	30				0,750	
Wärmebrücke	1,021	30	15,35	0,512			-0,101

$$* L_{2D} = \Phi_{2D} / (\theta_i - \theta_e)$$

$$** U_{1D} = F_{1D} / (\theta_i - \theta_e)$$

$$*** \Psi = L_{2D} - U_{1D,i} * l_i$$

Der längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizient beträgt im bei vollen Ansetzen der Anschlusslängen - 0,29 W/(m\*K) und im Pfeilerbereich - 0,10 W/(m\*K).

Der Nachweis der Gleichwertigkeit nach DIN 4108 Beiblatt 2 ist erfüllt (siehe Abbildung C.19).

#### C.2.4 Nachweis der Tauwasserfreiheit bei Fensterkonstruktion

Bei der Konstruktion der Einfachfenster mit 3-Scheiben Wärmeschutzverglasung aus Solarglas wurde während der Bauzeit die Tauwasserfreiheit nachgewiesen (siehe Kapitel 4.3.8).



## D Symbolverzeichnis

Symbol	Einheit	Beschreibung	Lateinische Symbole
$A_A$	$m^2$	Absorberfläche des Kollektors	
$A_N$	$m^2$	Nutzfläche	
$e$	-	Aufwandszahl	
$f_P$	-	Primärenergiefaktor	
$g$	-	Gesamtenergiedurchlässigkeit (DIN EN 410)	
$h_0$	-	Konversionfaktor (Solaranlage)	
$P$	W	Leistung	
PEI	kWh/kg	Primärenergieinhalt	
$e$	-	Aufwandszahl	
$G$	$W/m^2$	hemisphärische solare Bestrahlungsstärke Absorberfläche des Kollektors	
$t_a$	$^{\circ}C$	Umgebungslufttemperatur	
$t_m$	$^{\circ}C$	mittlere Temperatur des Wärmeträgers	
$f_{Rsi}$	-	Temperaturfaktor	
$Q$	kW	Nutzwärmeleistung des Sonnenkollektors bei $\Delta T$ und $G$	
$Q$	kWh/a	Wärmemenge (pro Jahr)	
$U$	$W/(m^2 \cdot K)$	Wärmedurchgangskoeffizient	
Symbol	Einheit	Beschreibung	Griechische Symbole
$\Delta$	-	Differenz	
$\alpha$	-	Deckungsgrad	
$\eta_0$	-	Konversionsfaktor	
$\alpha_1$	$W/(m^2 \cdot K)$	Wärmedurchgangskoeffizient bei $(T_m - T_a) = 0$	
$\alpha_2$	$W/(m^2 \cdot K^2)$	Koeffizient zur Berechnung des temperaturabhängigen Wärmedurchgangskoeffizienten	
$\varepsilon_N$	-	normaler Emissionsgrad der Beschichtung	
$\eta$		Wirkungsgrad	
$\eta$	-	Kollektorwirkungsgrad	
$\tau_v$	-	Lichttransmissionsgrad	
$\Psi$	$W/m \cdot k$	Längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient	



<b>Indizes</b>	<b>Symbol</b>	<b>Beschreibung</b>
	air	Luft (engl.: air)
	cap	Wert bei kapillarer Sättigung (engl.: capillary)
	co	(Gebäude-)Winkel (engl.: corner)
	i	innen
	e	aussen
	K	Kessel

<b>Abkürzungen</b>	<b>Symbol</b>	<b>Beschreibung</b>
	CMT	CAN - Monitor, Bedienteil der Regelung
	DG	Dachgeschoss
	DWD	diffusionsoffene Holzfaserverplatte mit aussteifender Wirkung für Wand und Dach
	EG	Erdgeschoss
	EnEV	Energieeinsparverordnung
	ESG	Einscheibensicherheitsglas
	KVH	Konstruktionsvollholz
	OG	Obergeschoss
	OSB	Oriented Strand Board - englisch für eine Grobspanplatte mit Holzstruktur-Oberfläche
	SWISSPACER	thermisch verbesserter oder kurz "WARM-EDGE"-Abstandhalter
	SZR	Scheibenzwischenraum
	UVR	Universalregelung
	VSG	Volumenstromgeber
	VSG	Verbundsicherheitsglas
	ESG	Einscheibensicherheitsglas
	WDP	Wärmedämmlehmplatten
	WDVS	Wärmedämmverbundsystem
	WMZ	Wärmemengenzähler
	WRG	Wärmerückgewinnung
	WTA	Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege



## E Literaturverzeichnis

- [1] Denkmalbegründung vom 18.03.2003 und 25.01.2006, Landesamt für Denkmalspflege Sachsen
- [2] Richard Jecht, Geschichte der Stadt Görlitz, Görlitz 1926 S.492
- [3] Bauakte des Gebäudes Handwerk 15, Stadtverwaltung Görlitz, Bauunterlagen ca. ab 1850
- [4] Denkmalschutz und Erhaltung Wurster, Hansjörg; München (Deutschland, Bundesrepublik), C.H.Beck
- [5] Bescheid zur Feststellung der Denkmaleigenschaft, Unter Denkmalschutzbehörde Görlitz, Januar 2006
- [6] Untersuchungsdokumentation Handwerk 15, Bürgerhaus, Juli 2002, Dipl.-Restaurator Peter Jung
- [7] Technische Datenblätter, Saint-Gobain-Glass Deutschland
- [8] WTA-Merkblatt 2-4-08 D „Beurteilung und Instandsetzung gerissener Putze an Fassaden“ (ersetzt Merkblatt 2-4-94/D), Hrsg.: Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e. V.
- [9] DIN 18195 (Normenreihe): Bauwerksabdichtung. Beuth-Verlag, Berlin
- [10] DIN 4108 - 7: 2001-02 „Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Teil7: Luftdichtheit von Gebäuden, Anforderungen, Planungs- und Ausführungsempfehlungen sowie -beispiele“, Beuth-Verlag, Berlin 2001
- [11] [www.ta.co.at](http://www.ta.co.at)
- [12] [www.paul-lueftung.net](http://www.paul-lueftung.net)
- [13] [www.gep.info](http://www.gep.info)
- [14] <http://de.wikipedia.org>
- [15] [www.ahlborn.com](http://www.ahlborn.com)
- [16] DIN EN 12975-2:2006 (D) „Thermische Solaranlagen und ihre Bauteile –Kollektoren – Teil 2: Prüfverfahren“,NA Bau im DIN, Berlin 2006
- [17] [www.gerco.de](http://www.gerco.de)
- [18] Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen (1. BImSchV), Februar 2010, BGBl. I S.38
- [19] EnEV 2009 „Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden. - Energieeinsparverordnung“ vom 30. April 2009, BGBl. I S. 954
- [20] DIN 4109: 1989-11: „Schallschutz im Hochbau, Anforderungen und Nachweise“, Beuth-Verlag, Berlin 1989
- [21] [www.hottenroth.de](http://www.hottenroth.de)
- [22] [www.passiv.de](http://www.passiv.de)



- [23] DIN 4108 Beiblatt 2, Ausgabe:2004-01 „Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Wärmebrücken - Planungs- und Ausführungsbeispiele“, Beuth-Verlag, Berlin 2004
- [24] Tagungsband der 14. Internationalen Passivhaustagung 2010, S. 415 - 420 „Das Dilema der mittleren Qualität“ R. Vallentin, Mai 2010
- [25] DIN EN 832, Ausgabe:1998-12 „Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden - Berechnung des Heizenergiebedarfs; Wohngebäude“ Deutsche Fassung“ EN 832, Beuth-Verlag, Berlin 2003
- [26] „Energetische Sanierung von Baudenkmalen - Handlungsanleitung für Behörden, Denkmaleigentümer, Architekten und Ingenieure“ Staatsministerium des Innern (SMI) des Freistaat Sachsen, Dresden 2011
- [27] VDI 3807/1, Ausgabe: März 2007 „Energie und Wasserverbrauchskennwerte für Gebäude: Grundlagen“ und  
VDI 3807/2, Ausgabe Juni/1998 „Energieverbrauchskennwerte für Gebäude: Heizenergie und Stromverbrauchskennwerte“
- [28] „Energieeffizienz im Altbau: Werden die Sanierungspotenziale überschätzt? Ergebnisse auf Grundlage des ista-IWH-Energieeffizienzindex“ Institut für Wirtschaftsforschung Halle, Wirtschaft im Wandel 9/2010
- [29] VDI 2067 (Normenreihe) „Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen“
- [30] Graue Energie von Gebäuden. Entwurf SIA Merkblatt 2032, 2008
- [31] www.baubook.at (Die Web-Plattform öbox und ixbau unterstützt die Umsetzung von nachhaltigen Gebäuden. Sie bietet eine exemplarische Auswahl an Produkten und erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Gesamt-Projektleitung: baubook GmbH, Alserbachstrasse 5/8, 1090 Wien, Österreich)
- [32] Sachsen im Klimawandel - Eine Analyse, SMUL, 2008
- [33] <http://en.wikipedia.org/wiki/HadCM3>
- [34] [http://www.grida.no/publications/other/ipcc\\_sr/?src=/Climate/ipcc/emission/027.htm](http://www.grida.no/publications/other/ipcc_sr/?src=/Climate/ipcc/emission/027.htm) und  
[http://www.cics.uvic.ca/scenarios/index.cgi?More\\_Info-Emissions](http://www.cics.uvic.ca/scenarios/index.cgi?More_Info-Emissions)
- [35] <http://www.arch-m.de/info/klimafaktor.html>
- [36] DIN 4108 - 2 „Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz“, Beuth-Verlag, Berlin 2003
- [37] DIN 4108 – 3 „Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz, Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung“, Beuth-Verlag, Berlin 2001
- [38] DIN EN 13788 „Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen Raumseitige Oberflächentemperatur zur Vermeidung kritischer Oberflächenfeuchte und Tauwasserbildung im Bauteilinneren Berechnungsverfahren (ISO 13788:2001) Deutsche Fassung EN ISO 13788, Beuth-Verlag, 2001





- [39] DIN 4102 (Normenreihe): „Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen“, Beuth-Verlag
- [40] Feuchteatlas - in Bearbeitung, IRB - Verlag, 2011
- [41] [www.bauklimatik-dresden.de/cond](http://www.bauklimatik-dresden.de/cond)
- [42] [www.bauklimatik-dresden.de/delphin](http://www.bauklimatik-dresden.de/delphin)
- [43] "Anschlussdetails von Niedrigenergiehäusern"; Hauser, Schulze, Stiegel; Fraunhofer IRB-Verlag, 1996
- [44] DIN EN ISO 10211 "Wärmebrücken im Hochbau - Wärmeströme und Oberflächentemperaturen - Detaillierte Berechnungen", Beuth-Verlag, April 2008



## III Zeichnungen

---