

Evangelische Kirchengemeinde zu  
Heinsberg

**Umbau, Erweiterung und energeti-  
sche Sanierung der evangelischen  
Christuskirche und des Pfarrhauses  
in 52525 Heinsberg**

Abschlussbericht über ein For-  
schungsprojekt - gefördert unter  
dem Az: 30125-25 von der  
Deutschen Bundesstiftung Umwelt



von

**RoA** - Rongen Architekten GmbH  
Wassenberg

Prof. Dipl.-Ing. Ludwig Rongen  
Architekt Dipl.-Ing. Reiner Wirtz

Juli 2013



06/02		<b>Projektkennblatt</b> der <b>Deutschen Bundesstiftung Umwelt</b>			
Az	<b>30125-25</b>	Referat		Fördersumme	<b>68.582,-</b>
<b>Antragstitel</b>		<b>Umbau, Erweiterung und energetische Sanierung der evangelischen Christuskirche und des Pfarrhauses in 52525 Heinsberg</b>			
<b>Stichworte</b>					
Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)		
<b>15 Monate</b>	<b>23.12.2011</b>	<b>22.03.2013</b>			
Zwischenberichte	1. Bericht vom 22.03.2012				
<b>Bewilligungsempfänger</b>	Evangelische Kirchengemeinde Heinsberg, Erzbischoff-Phillip-Str. 12, 52525 Heinsberg			Tel 0 24 52 / 2 49 78	
	vertreten durch Herrn Pfarrer Walde			Fax 0 24 52 / 39 55	
				Projektleitung Prof. L. Rongen	
				Bearbeiter R. Wirtz	
<b>Kooperationspartner</b>					
Rongen Architekten GmbH, Propsteigasse 2, 41849 Wassenberg Prof. Dipl.-Ing. Ludwig Rongen, Architekt + Stadtplaner BDA, Passivhauszertifizierer Dipl.-Ing. Reiner Wirtz, Architekt, Passivhauszertifizierer					
<b>Zielsetzung und Anlaß des Vorhabens</b>					
Zielsetzung des Vorhabens ist es, den Heizenergiebedarf und damit letztlich auch den tatsächlichen Energieverbrauch der bestehenden Kirche und des Pfarrhauses auf ein Minimum zu reduzieren. Dabei soll der ‚EnerPHit‘-Standard des Passivhausinstitutes Darmstadt (Prof. Dr. W. Feist) erreicht und eine Zertifizierung durchgeführt werden. Aufgrund der besonderen Gebäudenutzung (Kirche, multifunktionales Nichtwohngebäude) mit Innendämmung - für die noch keine allgemein gültigen Zertifizierungskriterien bestehen – soll die energetische Sanierung der Kirche in Planung und Bauausführung als Modellmaßnahme betrieben werden, um am Beispiel dieses Objektes die zukünftigen Zertifizierungskriterien zu entwickeln.					
<b>Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden</b>					
In einem ersten Schritt wird die Kirche saniert und um einen Mehrzweckraum, eine Krypta und Nebenräume erweitert. Der Erweiterungsbaukörper soll im Passivhaus-Neubaustandard realisiert, das Gesamtobjekt Kirche als „ein Gebäude“ nach EnerPHit zertifiziert werden. Erst nach Abschluss der Sanierungsarbeiten in und an der Kirche wird im Rahmen der finanziellen Möglichkeiten der Kirchengemeinde auch die energetische Optimierung des Pfarrhauses angegangen, da zahlreiche gemeindliche Aktivitäten (Baby-Krabbelgruppen, Alternachmittage etc.) im Pfarrhaus durchgeführt werden, solange die Kirche und der neue Mehrzweckraum noch nicht verfügbar sind. Ein insgesamt erfolgreicher Abschluss dieser Maßnahme könnte dann eine Vorbildwirkung auch für die zuhauf vorhandenen Kirchen anderer Kirchengemeinden und auch für unzählige Denkmäler haben, was eine enorme, in ihrer Quantität nicht abzuschätzende Umweltentlastung bedeuten würde, zumal gerade im Altbaubereich ein riesiges Potential zur Energieeinsparung und Umweltentlastung liegt.					
Deutsche Bundesstiftung Umwelt • An der Bornau 2 • 49090 Osnabrück • Tel 0541/9633-0 • Fax 0541/9633-190 • http://www.dbu.de					

## **Ergebnisse und Diskussion**

Die ursprünglich im Jahr 1953 erbaute Christuskirche der Evangelischen Gemeinde Heinsberg wurde energetisch hochwertig saniert und durch einen Anbau und eine Krypta erweitert. Im Rahmen der energetischen Sanierung wurde zur Sicherstellung eines nachhaltig minimalen Heizenergieverbrauchs das Ziel verfolgt, den vom Passivhausinstitut Darmstadt definierten EnerPHit-Standard eines ‚Passivhauses im Bestand‘ zu erreichen.

Die besondere Herausforderung bei der Verwirklichung dieser Zielsetzung lag in der äußeren Gestalt des Kirchengebäudes, das in Ziegelsichtmauerwerk errichtet worden war. Dieser authentische Materialcharakter des Gebäudeensembles aus Kirche und dem unmittelbar benachbarten Pfarrhaus sollte so weit wie möglich bewahrt werden, so dass nur innere Wärmedämmsysteme infrage kamen. Deren spezifischen Randbedingungen waren jedoch für ein nach den EnerPHit-Kriterien zu zertifizierendes Nichtwohngebäude noch nicht hinreichend untersucht. Wegen der daraus erwachsenden bauphysikalischen Fragestellungen war eine Vielzahl von Planungsleistungen und Untersuchungen -insbesondere die hygrothermische Simulation der denkbaren Varianten des innen gedämmten Wandaufbaus- erforderlich, die über den üblichen Umfang einer Werkplanung weit hinausgingen. Mit Hilfe der Förderung durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU) konnte dieses Vorhaben schließlich umgesetzt werden.

Das aufgrund der Belastung durch Schlagregen besonders sensible Bauteil ‚Außenwand in Sichtmauerwerk mit Innendämmung‘ wurde mittels intensiver Simulationsberechnungen zur Bestimmung des optimalen Schichtaufbaus - in Verbindung mit der Auswahl insbesondere des geeigneten Dämmmaterials – optimiert. Es zeigte sich, dass vor allem der anzusetzende Wasseraufnahmekoeffizient des vorhandenen Ziegelstein-Sichtmauerwerks das Ergebnis bestimmt und daher soweit wie möglich realitätsnah erfolgen sollte. Zum einen waren hierzu die Materialeigenschaften der Mauerwerksbestandteile auf der sicheren Seite abzuschätzen bzw. wurden labortechnisch bestimmt. Andererseits war auch die rein handwerkliche Ausführungsqualität sowohl des Mauerwerksgefüges als auch der Verfübung unter dem Gesichtspunkt der Schlagregensicherheit zu bewerten. Letztlich wurde dieses Bauteil – ausgehend von der ‚alten‘ Bestandswand aus ca. 38 cm starkem Ziegelmauerwerk mit ca. 2 cm innerem Kalkzementputz – unter Verwendung von 20 cm Zellulosedämmung, hinter einer zweilagigen Plattenverkleidung aus 16 mm DWD-Platten und 12,5 mm Gipskartonplatten, energetisch ertüchtigt.

Als Dampfbremse wurde eine feuchtevariable Bahn aus einem Polyethylen-Copolymer ausgewählt.

Die hygrothermische Eignung ergab sich jedoch auch aus der Innentemperatur des zu sanierenden Gebäudes und der daraus abzuleitenden Feuchteinträge im Winter.

Die Heinsberger Christuskirche wurde mit Datum vom 12.04.2013 vom Passivhausinstitut Darmstadt als erstes Nichtwohngebäude mit Innendämmung überhaupt nach den vom PHI aufgestellten Kriterien des EnerPHit-Standards zertifiziert.

## **Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation**

Erläuterung der geplanten Maßnahmen durch Herrn Prof. Rongen im Rahmen eines Radiointerviews im WDR 5 Leonardo am 25.07.2012

Vorstellung der Umbauarbeiten in der Endphase der Bautätigkeit durch einen Fernsehbericht in der Aktuellen Stunde des WDR-Fernsehens

Die Energieagentur NRW legte zur Fertigstellung der Sanierungsarbeiten ein Projektfaltblatt ‚Evangelische Christuskirche Heinsberg zur Verteilung in ganz NRW vor.

Das Projekt wird von Seiten des Büros Rongen Architekten auf verschiedenen Baufachtagungen vorgestellt (17. Internationale PH-Tagung 2013 in Frankfurt, Fachtagung „Energieeffizienz in kirchlichen Liegenschaften am 23.05.2013 in Münster).

## **Fazit**

Die evangelische Christuskirche in Heinsberg ist mit Hilfe der durchgeführten energetischen Sanierung in ein ‚Passivhaus im Bestand‘ umgewandelt worden. Die Sanierungsmaßnahme ist von Ihrem äußeren Erscheinungsbild gelungen und findet ausschließlich positive Resonanz

Der Heizwärmebedarf des Kirchengebäudes ist von ursprünglich 183 kWh/(m<sup>2</sup>\*a) auf nun 45 kWh/(m<sup>2</sup>\*a) verringert worden. Die Reduzierungsrate liegt somit bei 75 %

Der U-Wert der Außenwand reduzierte sich von vormals 1,525 W/(m<sup>2</sup>\*K) auf 0,204 W/(m<sup>2</sup>\*K)

Die Summe der reinen Baukosten (KG 300 und 400 gem. DIN 276) für Umbau, Erweiterung und energetische Sanierung lag bei rd. 1,040 Mio. Euro (brutto, incl. MWSt.)

# INHALTSVERZEICHNIS

Projektkennblatt	3
Inhaltsverzeichnis	5
Verzeichnis von Bildern und Tabellen	7
Verzeichnis von Begriffen und Definitionen	8
Zusammenfassung	9
Einleitung	
<b>1 – Ausgangssituation – Zielsetzung – Vorgehen</b>	<b>11</b>
Hauptteil	
<b>2 – Gebäudebestand – Ist-Situation</b>	<b>15</b>
2.1 Äußere Gebäudegestalt	15
2.2 Innere Gebäudegestalt (Bestand)	16
2.3 Haustechnik	18
<b>3 – Architektonisches Konzept</b>	<b>19</b>
3.1 Entwurf	19
3.2 Haustechnik	23
<b>4 – Simulationsberechnungen / EnerPHit-Nachweis</b>	<b>24</b>
4.1 Bestimmung der Wasseraufnahmefähigkeit des Außenmauerwerks (IBAC)	24
4.2 Bauteilsimulation Außenwände (PHI)	27
4.3 Überwachung der Bauteilfeuchte Außenwand	32
<b>5 – Umsetzung: Bau-Detailplanung und Ausführung</b>	<b>34</b>
5.1 Wände	34
5.2 Boden	36
5.3 Zwischendecke + Dach	38
5.4 Fenster	40
5.5 Sonnenschutz	41

5.7 Grabplatten	42
5.8 Orgelempore	42
5.9 Pfeiler Nebenschiff	43
<b>6 – Umsetzung: Haustechnik</b>	<b>44</b>
6.1 Heizung (Wärmepumpe)	44
6.2 Lüftung	45
6.3 Elektrotechnik	47
Fazit	
<b>7 – Ergebnis / Ausblick</b>	<b>49</b>
Literaturverzeichnis	57

#### **Anhänge:**

- A Architekturpläne
- B Pläne Haustechnik
- C Prüfbericht ‚Untersuchungen an Ziegelsteinen und Mörteln – Evangelische Christuskirche, Heinsberg‘, Institut für Bauforschung AC, RWTH Aachen, 2012
- D Zwischenbericht Simulation Bauteilfeuchte, Passivhaus-Institut Darmstadt, 2012
- E Endbericht Simulation Bauteilfeuchte, Passivhausinstitut Darmstadt, 2013

## Verzeichnis von Bildern und Tabellen

- Abb. 1: Christuskirche mit neuem Anbau  
Abb. 2: Christuskirche: Erweiterungsbau und Sakristei  
Abb. 3: Christuskirche Glockenturm  
Abb. 4: Evg. Christuskirche vor der Sanierung  
Abb. 5: Innenraum Seitenschiff nach Sanierung  
Abb. 6: Vorderfront vor der Sanierung  
Abb. 7: Haupteingang vor der Sanierung  
Abb. 8: Blick auf die Orgel (vor der Sanierung)  
Abb. 9: Altarbereich (vor der Sanierung)  
Abb.10: Grundrisszeichnung 1952  
Abb.11: Innenputz auf Ziegelmauerwerk (Bestand)  
Abb.12: Orgelempore (vor der Sanierung)  
Abb.13: Beheizung mit 4 Gasgeräten in den Nischen der Kirchenfenster  
Abb.14: Abgasführung der inneren Heizöfen  
Abb.15: Grundriss Erdgeschoss – saniert, mit Erweiterungsbau  
Abb.16: Mittelgang  
Abb.17: Ansicht Westseite nach Sanierung und Erweiterung  
Abb.18: Querschnitt Christuskirche  
Abb.19: Gebetsraum im Sockel des Turmes  
Abb.20: Längsschnitt Christuskirche  
Abb.21: Ansicht Ostseite nach Sanierung und Erweiterung  
Abb.22: Anschnitt Bestandsmauerwerk  
Abb.23: Bohrkern B6  
Abb.24: mittlere Materialrohddichte  
Abb.25: mittlere Wasseraufnahme  
Abb.26: Wasseraufnahmekoeffizient  
Abb.27: mittlere Wasseraufnahme  
Abb.28: Zwischenvariante Wandaufbau  
Abb.29: Zwischenstand: Porenfüllgrad der Ziegel bei unterschiedlichen Tiefen  
Abb.30: Zwischenstand: Gesamtfeuchte in den einzelnen Bauteilschichten über den Simulationszeitraum von 10 Jahren.  
Abb.31: Zwischenstand: Berechnete relative Feuchte in ausgewählten Tiefen der Innendämmung  
Abb.32: Außenwand: endgültiger Wandaufbau  
Abb.33: Konstruktion der inneren Dämmschale  
Abb.34: Detailzeichnung Innendämmung Süd  
Abb.35: relative Feuchte im Bauteilquerschnitt  
Abb.36: Jahresverlauf der Holzfeuchte  
Abb.37: Einblasöffnung Zellulosedämmung  
Abb.38: EnerPHit-Zertifikat  
Abb.39: Detail Innendämmung Bestandswand  
Abb.40: Feuchteadaptive Dampfbremshahn  
Abb.41: Innendämmung Außenwand 30 cm  
Abb.42: Fugenverspachtelung GK-Schale  
Abb.43: Innenschale verspachtelt  
Abb.44: Neubau Außenwand Holz  
Abb.45: Innenschale gemalert  
Abb.46: Neubau Außenwand Klinker  
Abb.47: Detail Neubau Außenwand Klinker  
Abb.48: Bodenaufbau Christuskirche Bestand  
Abb.49: Bodenaufbau neu im Bestandsgebäude  
Abb.50: Bodenrandabschluss Kiesstreifen  
Abb.51: Detail Randstreifen  
Abb.52: Fußbodenaufbau im Seitenschiff  
Abb.53: Bodenaufbau Neubau Kellergeschoss  
Abb.54: Zwischendecke zum Dachraum  
Abb.55: Deckenuntersicht vor der Sanierung  
Abb.56: Umhüllung Zangenkopf  
Abb.57: Deckenuntersicht nach der Sanierung  
Abb.58: Indach-PV-Anlage First  
Abb.59: Indach-PV-Anlage Traufe  
Abb.60: Indach-PV-Anlage  
Abb.61: Fensteranschluss innen  
Abb.62: Fensteranschluss horizontal  
Abb.63: Fensteranschluss vertikal  
Abb.64: Windfanganlage  
Abb.65: Holzlamellen vor Windfang  
Abb.66: Verglasung vor Grabplatte  
Abb.67: Brüstung Orgelempore  
Abb.68: Wandaufleger Orgelempore  
Abb.69: Kolonnadenpfeiler  
Abb.70: Fußpunkt Pfeiler  
Abb.71: Wärmepumpe in Außenaufstellung  
Abb.72: Heißwasserspeicher  
Abb.73: Heizschlangen der Fußbodenheizung  
Abb.74: Lüftungsgerät im Dachraum  
Abb.75: Funktionseinheiten des Lüftungsgerätes  
Abb.76: Deckenluftauslässe Kirche während der Montage  
Abb.77: Zu-/Abluft Mehrzweckraum (Neubau)  
Abb.78: Andachtsraum im KG („Krypta“)  
Abb.79: Indach-PV-Anlage  
Abb.80: Ausleuchtung historischer Grabplatten  
Abb.81: Ensemble evangelische Christuskirche mit Pfarrhaus nach Umbau und Sanierung  
Abb.82: Christuskirche mit Erweiterungsbau  
Abb.83: Erweiterungsbau  
Abb.84: Blick von der Orgelempore nach Umbau und Sanierung  
Abb.85: Altarbereich mit Blick in den Erweiterungsbau  
Abb.86: Unterirdischer Andachtsraum (Krypta)  
Abb.87: Gartenansicht: Erweiterungsbau und Sakristei  
Abb.88: Innenhof mit Wasserbecken, Sonne und Sternen

## Verzeichnis von Begriffen und Definitionen

A	Jahr (annum)
BA	Bauabschnitt
BDT	Blower-Door-Test
Bj.	Baujahr
C	Celsius
CO <sub>2</sub>	Kohlendioxid
COP	Wirkungsgrad (Coefficient of performance)
Ct	Cent
EnerPHit	Passivhaus im Bestand
EnEV	Energieeinsparverordnung
i.d.R.	in der Regel
JAZ	Jahresarbeitszahl
KD	Kerndämmung
Kg	Kilogramm
PEI	Primärenergieinhalt
PHPP	Passivhausprojektierungspaket
PH	Passivhaus
PHI	Passivhausinstitut Darmstadt
PHK	Passivhauskomponenten
SBG	Schlagregenbeanspruchungsgruppe
TRH	Treppenhaus
w	Wasseraufnahmekoeffizient
W	Watt
WRG	Wärmerückgewinnung
WDVS	Wärmedämm-Verbundsystem

## Zusammenfassung

Die ursprünglich im Jahr 1953 fertiggestellte Christuskirche der Evangelischen Gemeinde Heinsberg wurde energetisch hochwertig saniert und durch einen Anbau erweitert.

Im Rahmen der energetischen Sanierung wurde zur Sicherstellung eines nachhaltig minimalen Heizenergieverbrauchs das Ziel verfolgt, den vom Passivhausinstitut Darmstadt definierten EnerPHit-Standard eines ‚Passivhauses im Bestand‘ zu erreichen.

Die besondere Herausforderung bei der Verwirklichung dieser Zielsetzung lag in der äußeren Gestalt des Kirchengebäudes, das in Ziegelsichtmauerwerk errichtet worden war. Dieser authentische Materialcharakter des Gebäudeensembles aus Kirche und dem unmittelbar benachbarten Pfarrhaus, welches beispielgebend für den Wiederaufbau der Stadt Heinsberg nach deren fast vollständiger Zerstörung im 2. Weltkrieg war, sollte so weit wie möglich bewahrt werden, so dass nur innere Wärmedämmsysteme infrage kamen.

Deren spezifischen Randbedingungen waren jedoch für ein nach den EnerPHit-Kriterien zu zertifizierendes Nichtwohngebäude noch nicht hinreichend untersucht. Wegen der daraus erwachsenden bauphysikalischen Fragestellungen war eine Vielzahl von Planungsleistungen und Untersuchungen, insbesondere die hygrothermische Simulation der denkbaren Varianten des innen gedämmten Wandaufbaus, erforderlich, die über den üblichen Umfang einer Werkplanung weit hinausgingen. Mit Hilfe der Förderung durch die Deutsche

Bundesstiftung Umwelt (DBU) konnte dieses Vorhaben schließlich umgesetzt werden.

Es zeigte sich, dass vor allem der anzusetzende Wasseraufnahmekoeffizient des vorhandenen Ziegelstein-Sichtmauerwerks das Ergebnis bestimmt und daher soweit wie möglich realitätsnah erfolgen sollte.



**Abb. 3: Christuskirche mit neuem Anbau**

Zum einen sind hierzu die Materialeigenschaften der Mauerwerksbestandteile auf der sicheren Seite abzuschätzen oder – mit größerem Aufwand - labortechnisch zu bestimmen. Andererseits ist auch die rein handwerkliche Ausführungsqualität sowohl des Mauerwerksgefüges als auch der Verfüzung unter dem Gesichtspunkt der Schlagregensicherheit zu bewerten. Die hygrothermische Eignung hängt jedoch auch ab von der Innentemperatur des zu sanierenden Gebäudes und der daraus abzuleitenden Feuchteinträge im Winter.

Die Heinsberger Christuskirche wurde mit Datum vom 12.04.2013 vom Passivhausinstitut Darmstadt als erstes Nichtwohngebäude im EnerPHit-Standard zertifiziert.



Abb. 4: Christuskirche: Erweiterungsbau und Sakristei

## EINLEITUNG

### 1 Ausgangssituation – Zielsetzung – Vorgehen

Im Zeitraum Von 2005 bis 2012 sind die Energiekosten für Gas in Deutschland um 31,6 % und für leichtes Heizöl sogar um 65,8 % angestiegen. Betrug die Inflationsrate im Juni 2013 gegenüber Juni 2011 gerade 3,5 %, so verteuerte sich Heizöl im selben Zeitraum um 4,9 % (Quelle: Stat. Bundesamt; BMWi).

Auch wenn der relative Tiefpunkt der Rohölkosten Mitte 2009 bei knapp über 60 US \$ je Barrel lag, war dies also kein Zeichen für einen nachhaltigen „Preisverfall“; aktuell, im Juli 2013, liegen die Kosten für ein Barrel Rohöl bei 106,60 US \$. Das Verbrauchsgut „Energie“ entwickelt sich allmählich zu einem unbezahlbaren „Luxusartikel“, der aber zur Erhaltung unserer „Lebensqualität“ auch weiterhin -und zwar für alle- verfügbar und bezahlbar bleiben muss!

Der im Oktober 2007 im spanischen Valencia vorgelegte Bericht des Weltklimarates hat zweifelsfrei den Menschen als Ursache für die dramatische Klimaveränderung verantwortlich gemacht. Der Klimawandel ist nicht mehr aufzuhalten! Dennoch gilt es, alles in unserem (menschlichen) Ermessen Mögliche zu tun, um die Auswirkungen des Klimawandels soweit wie möglich zu begrenzen. Die Auswirkungen der Klimaveränderungen nehmen erkennbar zu. Inzwischen warnt die Expertengruppe „Arctic Monitoring und Assessment Programme“ (AMAP) vor einem Anstieg des Meeresspiegels um 0,9 m -1,6 m bis zum Jahr 2100,

wie in der dänischen Zeitung „Politiken“ kürzlich zu lesen war.

Weltweit leben 150 Millionen Menschen auf einer Höhe von bis zu einem Meter über dem Meeresspiegel.

Bei seiner letzten großen Prognose im Jahr 2007 war der Weltklimarat (IPCC) noch von einem Anstieg des Meeresspiegels auf Grund der globalen Klimaerwärmung von 0,19 bis 0,59 Meter ausgegangen. Nach einer gemeinsamen Studie des Potsdam-Instituts für Klimafolgenforschung (PIK) und

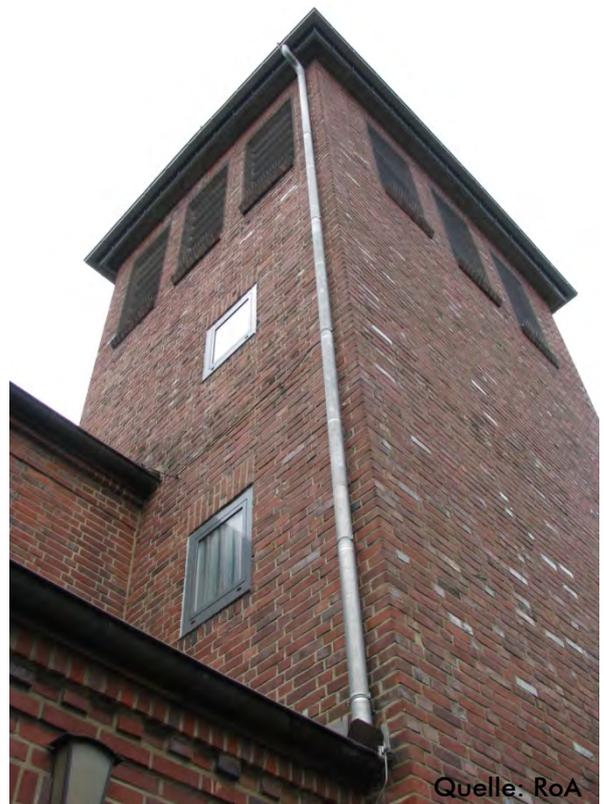


Abb. 5: Christuskirche Glockenturm

der Universität Helsinki aus dem Jahr 2010 könnte der Meeresspiegel im Jahr 2100 sogar um 0,7 m - 1,9 m höher stehen als heute. Um dies zu verhindern ist unverzügliches und konsequentes Handeln zwingend erforderlich!

Die Erschließung neuer Energiequellen wird die gegenwärtigen Energie- und Klimaprobleme auf weitere Sicht nicht lösen können.

...und Kernkraft ist längst keine Antwort mehr auf eine der wichtigsten Fragen unserer Zeit - die Frage nach Klima und Umweltschutz - was inzwischen auch im politischen Raum akzeptiert ist. Längst ist die Zeit zum Umdenken gekommen: Umdenken im Alltag, Umdenken im Verbrauchen, Umdenken im Bauen.

Klima- und Umwelt gerechtes Bauen heißt „Energie sparend“ bauen. Ein weiterer ungehemmter Energieverbrauch wird zunehmend ausschlaggebend zur weltweiten Verschlechterung unserer Lebensbedingungen beitragen.

Unser erstes Ziel kann daher nur heißen

**„ENERGIE SPAREN“.**

Die energetischen Anforderungen an Neubauten sind in Deutschland im Vergleich zu anderen Staaten sehr hoch.

Wenn man jedoch bedenkt, dass 85 % des Gebäudebestandes in Deutschland vor dem Jahr 1982 erbaut worden sind und diese Gebäude ca. 92 % der gesamten Energie in Anspruch nehmen, die derzeit von allen Gebäuden in Deutschland zusammen verbraucht wird, dann bedarf es keiner Überlegung, wo im Gebäudebereich das größte Einsparpotential steckt, nämlich in der **energetischen Sanierung des Altbaubestandes**.

Gerade dieser Verantwortung will sich die Evangelische Christuskirche Heinsberg stellen. Deshalb erfolgt im Zusammenhang mit den inzwischen durchgeführten Instandsetzungs- und Umbauarbeiten in und an der Christuskirche auch eine energetische Sanierung des Gesamtensembles, einschließlich also des ebenfalls variabel nutzbaren Pfarrhauses.

## Aktuelle Problemstellung

Bei einer Altbaumodernisierung ist häufig der (Neubau-)Passivhaus-Standard mit vernünftigen Mitteln nicht erreichbar. So war es überfällig, auch energetische Zertifizierungskriterien für Altbauten, die ganz andere Anforderungen an die Planer und Ausführenden stellen, zu schaffen. Das Passivhaus Institut in Darmstadt hat inzwischen das Zertifizierungssystem „EnerPHit - Qualitätsgeprüfte Modernisierung mit Passivhaus-Komponenten“ entwickelt. So können jetzt Bestandsgebäude nach diesem System als „Passivhaus im Bestand“ berechnet und zertifiziert werden. Allerdings ist diese Zertifizierungsmöglichkeit für bestehende Nichtwohngebäude bislang nur auf solche mit Außendämmung beschränkt gewesen.



**Abb. 4: Evg. Christuskirche vor der Sanierung**

Im Zusammenhang mit dem geplanten Umbau und der Erweiterung der evangelischen Christuskirche in Heinsberg um einen neuen Mehrzweckraum, welcher für sich den Anforderungen eines Passivhaus-Neubaus entspricht, sollte auch eine energetische Sanierung der Bestandsbauten Kirche und Pfarrhaus erfolgen.

Diese wurde zwischenzeitlich für die Kirche auch erfolgreich umgesetzt. Die energetische Sanierung des Pfarrhauses wird in einem zweiten Bauabschnitt folgen.

Das Kirchengebäude ist ein regional typischer Ziegelbau aus den 50er Jahren. Das Pfarrhaus wurde in den Jahren 1950/1951 erbaut, direkt gefolgt von der Christuskirche in 1952/1953.

Das Gesamtensemble Kirche mit Pfarrhaus sollte in seinem gewohnten und prägnanten Erscheinungsbild erhalten bleiben, um nach der durchgeführten Sanierung auch für andere stadtbildprägende Bauten mit markanter Außenfassade Beispiel gebend sein. Deshalb sollten die Kirche und auch das Pfarrhaus von innen gedämmt werden.

In von Beginn an enger Zusammenarbeit mit den Fachplanern und insbesondere auch mit dem Passivhaus Institut wurden Wege und Lösungen gefunden, wie Bestandsgebäude mit Innendämmung energetisch optimiert werden können, ohne dass Bauschäden zu befürchten sind.

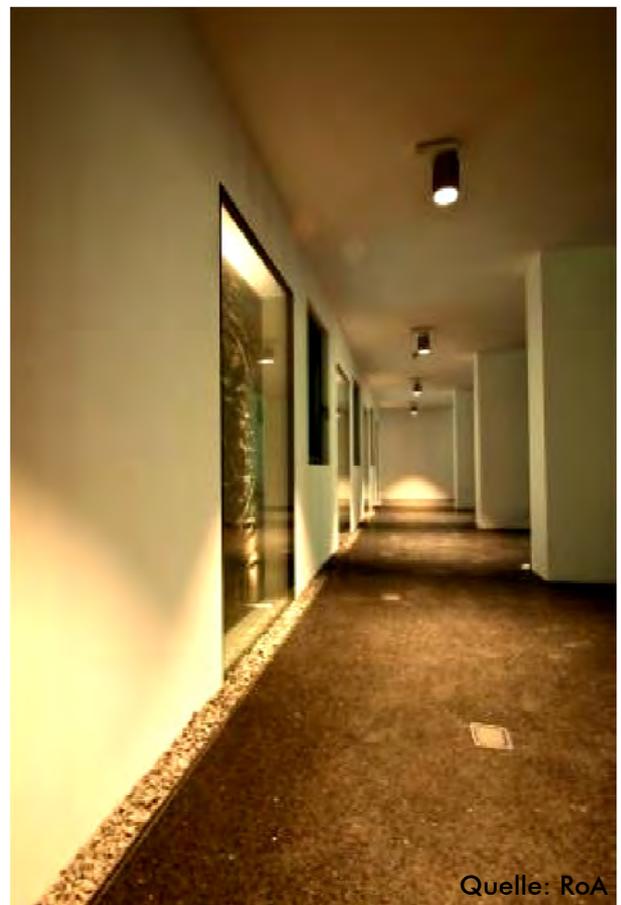
Gerade für denkmalgeschützte Bauten bedarf es dringend angemessener Lösungen zur energetischen Sanierung, die deren Denkmalcharakter nicht zerstören. Dass die immer stärker wachsenden Anforderungen an die Energieeffizienz von Gebäuden auch im Bestand auf Dauer das Erscheinungsbild ganzer historisch geprägter Stadtbilder zerstören könnte, genau das sind die Sorgen der Verantwortlichen in den Kommunen.

Auch wenn die Christuskirche kein geschütztes Denkmal nach § 3 DSchG ist, wurde dennoch sorgfältig mit den historischen Werten dieses Kirchenbaus umgegangen, wenn auch nicht alle erhaltenswerten Details bewahrt werden konnten.

Nach einer Gebäudestrukturanalyse aus dem Jahr 2009 lagen die Kennzahlen für die Energiemittelwerte der Christuskirche in den Jahren 2006 - 2009 bei 183 kWh je m<sup>2</sup> Nettogeschossfläche bzw. 130 kWh je m<sup>2</sup> Nettogeschossfläche beim Pfarrhaus. Wenn man bedenkt, dass die Kirche längst nicht jeden Tag

beheizt worden ist und dies nur stundenweise, dann liegt der Energiebedarf der Kirche weit über dem üblicher unsanierter Bestandsgebäude.

Da aber bislang für Bestandsgebäude mit Innendämmung, die hier nur in Frage kommen kann, noch keine EnerPHit-Zertifizierungskriterien definiert sind, sollten die entsprechenden Kriterien im Zusammenhang mit der energetischen Sanierung und dem Umbau der Kirche im Rahmen eines Pilotprojektes erarbeitet werden. Es waren dazu umfangreiche Untersuchungen und Planungen erforderlich, damit die optimale (sinnvolle!) Lösung, die auch für zahlreiche andere vergleichbare Kirchbauten Beispiel gebend sein soll, gefunden werden konnte.



Quelle: RoA

Abb. 5: Innenraum Seitenschiff nach Sanierung



## HAUPTTEIL

### 2 Gebäudebestand – Ausgangssituation

#### 2.1 Äußere Gebäudegestalt

Bei der Christuskirche handelt es sich um einen schlichten Rechteckbaukörper mit flach geneigtem Satteldach und einem schmalen Seitenschiff an der Nordseite. Der Innenraum des Gebäudes präsentiert sich in der Art einer Hallenkirche. An der Südostecke der Kirche befindet sich die Sakristei, an der Nordwestecke wurde der gedrungene Glockenturm errichtet.



Abb. 6: Vorderfront vor der Sanierung

Das Mauerwerk der Kirche ist ein homogenes Sichtmauerwerk aus regional typischen rot-blau-bunten, Ziegelsteinen im ‚neuen Reichsformat‘ (247 \* 114 \* 62 mm), die handwerklich ambitioniert im ‚flämischen Verband‘ vermauert wurden. Die Außenwände sind in der Regel 36,5 cm stark und nur auf der Wandinnenseite mit einem ca. 2 cm dicken Putzmörtel aus Kalkzement verputzt.

Im Bereich des Turmes erreicht die Wandstärke 50 cm, wohingegen das nach Norden orientierte Seitenschiff aufgrund der

niedrigeren Wandhöhe mit einer Materialdicke von 30 cm auskommt.

Der Boden der Kirche besteht aus schwarzen Natursteinplatten, die im Dickbett, ohne Wärmedämmung auf die Betonbodenplatte aufgebracht worden sind.

Das Dach ist als leicht belüftetes Dach konzipiert. Die Trennung von Kirchenschiff und Dach erfolgt über eine auf Traufhöhe eingezogene Deckenlage im Bereich der Untergurte der Dachbinder. Oberhalb dieser Zwischendecke wurde in früheren Jahren bereits eine Dämmung aus Mineralwolle (10 cm stark) aufgelegt. Diese wurde in das spätere Sanierungskonzept einbezogen.

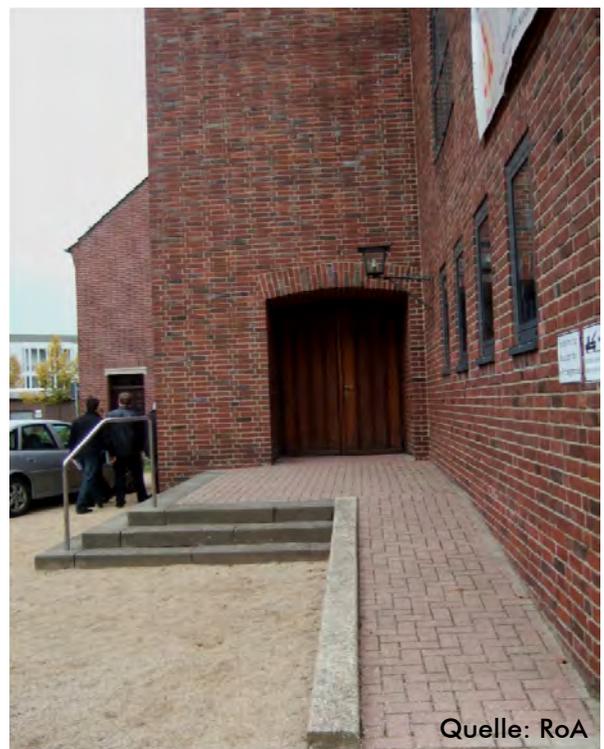


Abb. 7: Haupteingang vor der Sanierung

## 2.2 Innere Gebäudegestalt (Bestand)

Die Christuskirche präsentierte sich vor Beginn der Umbauarbeiten in ihrem Inneren als ein unpräziser, jedoch in die Jahre gekommener Feierraum in der Art einer Hallenkirche, mit einer angenehm proportionierten, aus der Hauptwand entwickelten Pfeilerarkade im Übergang zu dem niedrigeren Seitenschiff, welches auf der Nordseite des Kirchenraumes angeordnet ist.

Neben eher vordergründigen gestalterischen Mängeln, deren Ursache die zuletzt gehemmte Bereitschaft war, in den zum



Abb. 8: Blick auf die Orgel (vor der Sanierung)

Umbau bestimmten Raum noch Renovierungsaufwand zu investieren, war jedoch auch Nachbesserungsbedarf von grundsätzlicher Art erkennbar. So sollte der von seinem Charakter her vorrangig monofunktionale Kirchenraum in Verbindung mit dem beabsichtigten Erweiterungsbau mehr-



Abb. 9: Altarbereich (vor der Sanierung)

deutiger werden, um so einer gewachsenen Zahl nichtkirchlicher Veranstaltungen besser zu entsprechen. Zugleich sollte jedoch die

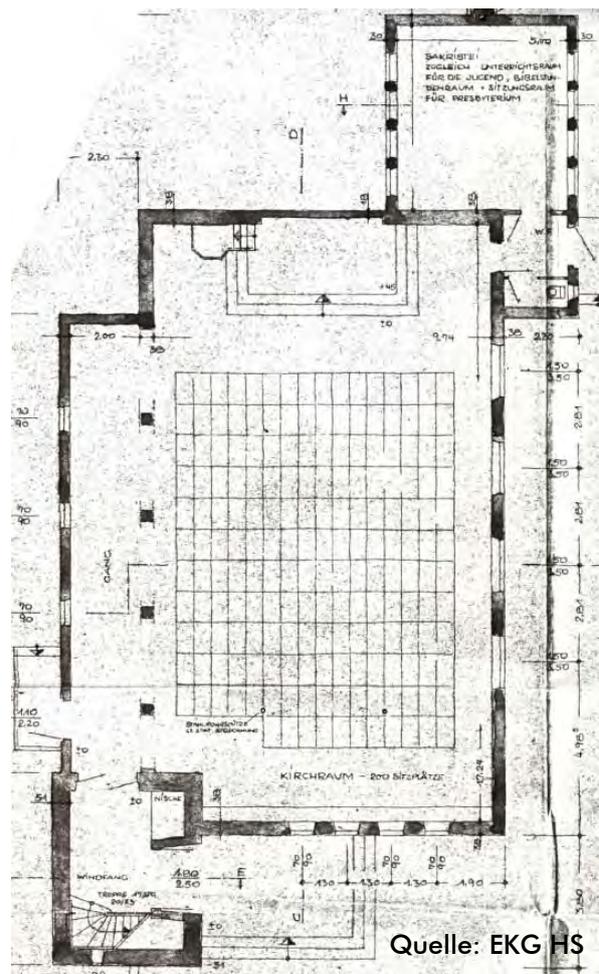


Abb. 10: Grundrisszeichnung 1952

durchaus gewollte sakrale Anmutung des Gottesdienstraumes nicht einer multifunktionalen Beliebigkeit geopfert werden. Die energetische Qualität des Gebäudes, die in vielerlei Hinsicht noch dem Anforderungsprofil aus der Bauphase der Kirche von vor rd. 60 Jahren entsprach, sollte hochgradig auf PH-Standard verbessert werden.



Abb. 11: Innenputz auf „geteertem“ Ziegelmauerwerk (Bestand)

Unter dem Gesichtspunkt einer angemessenen Gestaltung des Kirchenraumes waren diverse weitere Aspekte von besonderer Bedeutung:

- Zustand und grundsätzliche Wirkung der Heizöfen in den Nischen unter den Hauptfenstern der Kirche signalisierten umfassenden Erneuerungsbedarf.
- Die Altarzone sollte zugunsten einer frei im Raum stehenden, allseitig ‚umgehbar‘ Plattform von der bisher geschlossenen, bühnenartigen Wirkung befreit werden. Die wuchtige alte Kanzel entfiel. Zugleich sollte der Standpunkt des Altars so definiert werden, dass auch aus dem rechtwinklig an den Hauptraum anschließenden Erweiterungsraum eine vollwertige Sichtbeziehung möglich wäre.

- Im Bereich der Giebelwand hinter dem Altar (Ostwand) sollte eine Durchblickmöglichkeit nach draußen geschaffen werden, Ostlicht sollte einfallen können.



Abb. 12: Orgelempore (vor der Sanierung)

- Die geschlossene Brüstung der Orgelempore schnitt die hintere Raumzone der Kirche optisch ab und verkleinerte auf diese Weise den subjektiv wahrnehmbaren Raum. Eine ‚leichter‘ anmutende Gestaltung der Empore sollte hier Abhilfe schaffen.
- Die konstruktiven Elemente der Orgelempore stellten zugleich eine Herausforderung für die Detailplanung dar, da sie den für die Montage der Innendämmung vorgesehenen Bereich durchdringen.
- Der Hauptzugang zur Kirche sollte aus seiner vormaligen Lage, nämlich seitlich über die Sockelzone des Turmes geführt, heraus in die Mittelachse des Hauptraumes gelegt werden.
- Die Zugangszone zur Kirche sollte wegen deren Lage am Innenstadtrand als eine leicht aufzusuchende Alltagskapelle hergerichtet werden.
- Die in die Nordwand eingelassenen historischen Grabplatten waren in das Innendämmkonzept einzubeziehen.

## 2.3 Haustechnik

Eine einfache Elektroinstallation aus den 1950er Jahren und eine Raumbeheizung mittels – zwischenzeitlich immerhin schon auf Erdgasbetrieb umgestellter - Einzelöfen in den 4 Fensternischen der Südwand der Kirche kennzeichneten den Stand der haustechnischen Anlagen des Bestandes.

Nachgerüstet worden war des Weiteren auch bereits eine Beschallungsanlage

Neben der technischen Ineffizienz der Beheizung, ihrer mangelnden Steuerungsmöglichkeiten und der insgesamt damit einhergehenden geringen thermischen Behaglichkeit, war auch dem Umstand Rechnung zu tragen, dass die vier Heizöfen jeweils einzeln an separate Rauchgasabzüge

angeschlossen waren. Bei diesen Schornsteinen war vormalig bereits eine Ertüchtigung mit Edelstahleinsätzen vorgenommen worden, welche den oberen Abschluss der vorhergehenden Schornsteinmündungen um ca. 1,00 m überragten!

Durch ihre prominente Sichtbarkeit in der Südfassade der Christuskirche, oberhalb des Traufbereiches, beeinträchtigten sie die äußerliche Wahrnehmung des Bauwerks erheblich.

Der bei einer Kirche essentielle Anspruch auf eine würdevolle Grundgestalt wurde durch diese eher profanen Ausstattungsdetails ebenso ungewollt wie effektiv konterkariert.



Abb. 13: Beheizung mit 4 Gasgeräten in den Nischen der Kirchenfenster



Abb. 14: Abgasführung der inneren Heizöfen

### 3 Architektonisches Konzept

#### 3.1 Entwurf

Die Architekturplanung für den Umbau und die Erweiterung der Christuskirche sieht vor, in der südöstlichen Ecke des Bestandsbaues einen eingeschossigen Erweiterungsbau mit Flachdach zu errichten.

Städtebaulich schließt dieser Querriegel den vorhandenen Freiraum zwischen der Kirche und dem Pfarrhaus baulich ab und bildet so eine neue räumlich gefasste Situa-

tion aus, die durch eine entsprechende Gestaltung der Außenanlagen (Pflasterung der Bodenflächen; Schaffung einer Freitreppe) zu einem städtisch geprägten Platz wird. Der Erweiterungsbau dient der Vergrößerung des bisherigen Flächenangebotes des Kirchenraumes und steigert dessen räumliche Komplexität. Durch eine hochwertige Mobilwand wird die Erweiterung im gemeindlichen Alltag vom Gottesdienst-

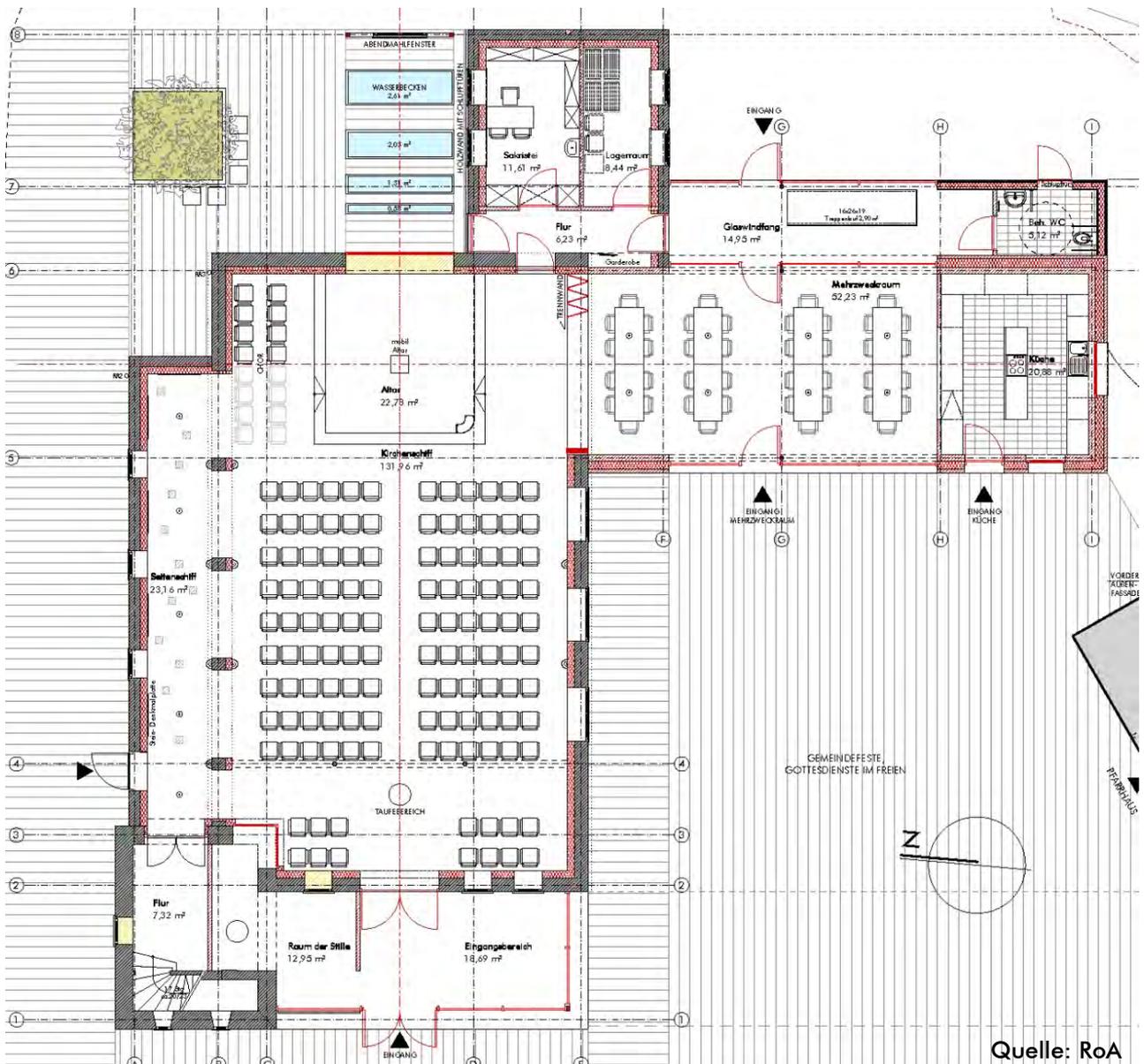


Abb. 15: Grundriss Erdgeschoss – saniert, mit Erweiterungsbau

raum abgetrennt und steht dann als Gruppenraum für unterschiedliche Nutzungen zur Verfügung. Ergänzt wird das Raumprogramm der Erweiterung durch eine große Küche, die Feiern und insbesondere den sonntäglichen ‚Gemeindekaffee‘ nach dem Gottesdienst ermöglicht, und zugehörige Hilfsräume im Kellergeschoss (WC-Räume; Technik)

Eine Besonderheit im Kellergeschoss ist der neu geschaffene Andachtsraum. Dieser ist im Grundriss ellipsenförmig angelegt und wird nur durch ein einzelnes Oberlicht über dem dort aufgestellten historischen Taufbecken belichtet. Wegen seiner Materialstim-

An der Ostseite wird der Zugangsbereich zur Kirche gänzlich neu organisiert. Der Kirchenraum wird nun über die Mittelachse



Abb. 86: Mittelgang

des Gebäudes erschlossen. Der gegebene Höhenunterschied zur Straße wird über drei Stufen einer Freitreppe bzw. eine seitlich



Abb. 67: Ansicht Westseite nach Sanierung und Erweiterung

mung in grobem Sichtbeton und der prägnanten Form der Raumbegrenzung entsteht ein atmosphärisch aufgeladener Betraum von hoher architektonischer Qualität.

Die Sakristei bleibt in ihrer Lage und Funktion erhalten, fasst jedoch seitlich eine intime Hofsituation ein, die mit Wasserbassin und Quellanlage - bei geeignetem Wetter - für Taufen und ansonsten für kleinere Messfeiern, Andachten etc. genutzt werden kann.

gelegene, rollstuhlgerecht flach geneigte Zufahrtsrampe überwunden.

Im Zusammenhang mit der Änderung der Lage des Haupteinganges wurde eine neue Windfanganlage geschaffen, die der bisherigen Kirche vorgelagert ist. Da die Christuskirche unmittelbar am Anfang (...bzw. Ende) der innerstädtischen Einkaufszone von Heinsberg gelegen ist, wurde im Sinne der ‚Citykirchen‘ - Bewegung auch eine



Abb. 18: Querschnitt Christuskirche

Möglichkeit geschaffen, direkt im Eingangsbereich eine leicht zugängliche Stelle für ein spontanes Innehalten, ein Gebet, zu schaffen. Seitlich, im Übergang zur früheren Eingangszone im Turmsockel, ist daher ein kleiner Andachtsraum mit Sichtkontakt zum Hauptschiff der Kirche eingebunden, der dieses jederzeit zulässt.

Dort können auch Gedenkerzen angezündet und Gebetszettel hinterlegt werden. Die im Turm gelegene vertikale Erschließung der Orgelempore wurde neu organisiert, so dass im Gegensatz zu früher der Zugang zur Empore geregelt werden kann. Eine neue Treppe führt vom Seitenschiff aus nun zu der oberen Ebene hoch.



Abb. 19: „Raum der Stille“ im Sockelbereich des Turmes

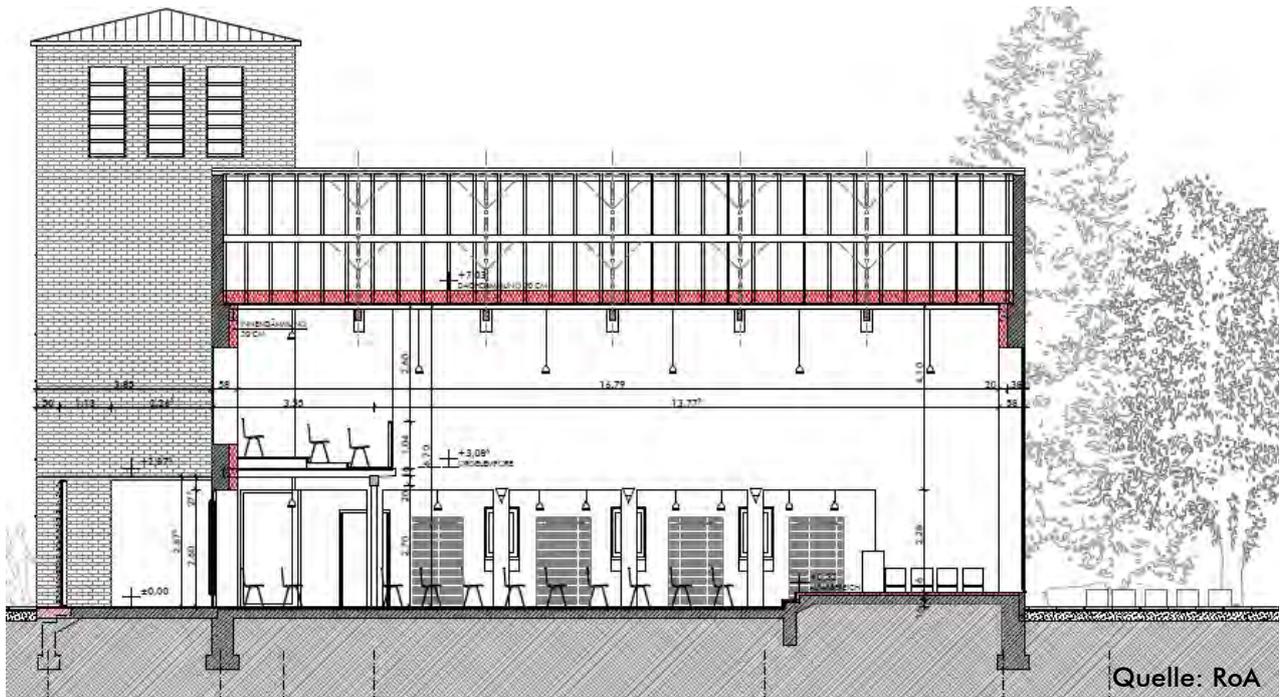


Abb. 100: Längsschnitt Christuskirche

Durch eine verglaste Brüstung schottet sich diese Ebene nicht mehr rigoros vom übrigen Kirchenraum ab und beeinträchtigt somit kaum noch dessen Proportionen. In der östlichen Abschlusswand wurde eine große Fensteröffnung geschaffen, die vom Hauptraum aus den Blick über den Altar

hinaus ins Freie ermöglicht.

Die künstlerische Verglasung des an der Südfassade durch den Erweiterungsbau weggefallenen Kirchenfensters wurde als Abschluss der Blickachse aus der Kirche heraus frei im Außenraum aufgestellt.



Abb. 211: Ansicht Ostseite nach Sanierung und Erweiterung

## 3.2 Haustechnik

### Heizung: Fußbodenheizung mit Wärmepumpe

Die Beheizung des sanierten und erweiterten Kirchengebäudes erfolgt über eine monovalente Luft-Wasser Wärmepumpe. Es handelt sich um ein zur Außenaufstellung konzipiertes Gerät, das oberirdisch in die Freianlagen platziert wurde.

Die Leistung der Wärmepumpe liegt bei 17,2 kW. Das von der Wärmepumpe erzeugte Heizungswarmwasser wird Heißwasserpufferspeicher geführt und von in das Niedertemperatur-Fußbodenheizungssystem eingespeist.

### Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung

Für die Belüftung des Gebäudekomplexes wurde die Errichtung einer zentralen Lüftungseinheit mit Wärmerückgewinnung konzipiert. Die erforderliche Förderleistung liegt bei 4300 m<sup>3</sup> je Stunde. Bei Vollbelegung des Gebäudes mit bis zu 200 Personen stehen somit je Person 21,5 m<sup>3</sup> Luftmenge je Stunde zur Verfügung.

Das Lüftungsgerät ist in Ermangelung anderer verfügbarer Räume in der Dachzone der Bestandskirche oberhalb des Hauptraumes eingebaut worden.

Da letztlich nur die Montage eines einzelnen Lüftungsgerätes zur Realisierung vorgesehen wurde, muss dieses in der Lage sein, einerseits bei eher seltenen größeren Veranstaltungen mit bis zu 200 BesucherInnen die volle Kapazität des erforderlichen Maximalvolumenstroms bereitzustellen und andererseits im deutlich überwiegenden normalen Alltagsbetrieb, mit z.B. nur wenigen Besuchern einer Kursveranstaltung im

Mehrzweckraum, mit der Inanspruchnahme einer um 90% reduzierten Förderleistung zurecht zu kommen.

Die Bewältigung dieser Spreizung mit Hilfe von zwei unterschiedlich leistungsfähigen Lüftungsgeräten wurde geprüft und verworfen.

Da keine unmittelbare Verbindung zwischen der Dachzone des Altbaues und dem Neubauteil besteht, wird die Verbindung verdeckt in einer Aufdickung der Giebelwand geführt.

Zusätzlich resultiert daraus das architektonische Element der breit abgeschrägten Laibungen bei der zentralen Glasöffnung in der östlichen Giebelwand.

### Elektrotechnik

Die elektrischen Anlagen wurden im Zuge der Gebäudesanierung komplett erneuert. Das Beleuchtungssystem wurde auf aktuelle, Energie sparende Komponenten umgestellt, die eine raumatmosphärisch effektvolle Belichtung des Raumes in unterschiedlichen Nutzungszuständen ermöglichen.

Die südliche Dachhälfte des Kirchenschiffes wurde genutzt, um eine dachintegrierte Photovoltaikanlage mit einer Leistung von 14 kW<sub>peak</sub> zu errichten.

Die PV-Anlage ist in der Lage, übers Jahr gerechnet den Gesamtenergiebedarf des Gebäudes, einschließlich Heizung und der klassischen elektrischen Verbraucher (Licht etc.) abzudecken (keine Autonomie!).

## 4 Simulationsberechnungen -EnerPHit-Nachweis

### 4.1 Bestimmung der Wasseraufnahmefähigkeit des Außenmauerwerks (IBAC)

Aufgrund der Erkenntnis, dass die Wasseraufnahmefähigkeit eines Sichtmauerwerks als wesentliche Kenngröße bezüglich der Eignung der Außenwand für eine Innendämmung anzusehen ist, wurden diese Werte anhand von fünf dem Mauerwerk entnommenen Steinproben labortechnisch ermittelt.

Da in der Bestandskirche - im Zusammenhang sowohl mit der Erweiterungsabsicht als auch wegen der im Altgebäude architektonisch gewollten Vergrößerung von Außenöffnungen - gleich mehrere größere Durchbruchstellen vorgesehen waren, konnten die Steinproben ohne dauerhaft störende Eingriffe in die verbleibende Altsubstanz ausgeführt werden.

Für die Klassifizierung der Regenschutzwirkung von Außenputzen und -beschichtungen nach DIN 4108-3:2001-07 gelten folgende Stufen:

Als *wasserhemmend* gelten Fassaden mit einem Wasseraufnahmekoeffizienten ( $w$ -Wert) im Bereich von 0,5 bis 2,0  $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0,5})$

Als *wasserabweisend* gelten entsprechend Fassaden mit einem  $w$ -Wert  $\leq 0,5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0,5})$  und einer wasserdampfdiffusionsäquivalenten Luftschichtdicke ( $s_d$ ) von  $\leq 2,0\text{m}$ .

Abhängig von der Schlagregenbeanspruchungsgruppe (SRG I [gering] bis SRG III

[stark]), der die Wandfläche zuzuordnen ist, gelten zur Gewährleistung der Schlagregensicherheit entweder keine Anforderungen (SRG I), oder aber die Wand muss wasserhemmend (SRG II) bzw. wasserabweisend (SRG III) sein.

Das Maß der Schlagregenbeanspruchung ist der entsprechenden Übersichtskarte im Anhang C der DIN 4108-3 zu entnehmen. Die Stadt Heinsberg liegt im Bereich der Schlagregenbeanspruchungsgruppe II.

Nach einer Ortsbesichtigung zur Inaugenscheinnahme des Zustandes der Außenwände im Bestand wurden anschließend die entnommenen Proben im Institut für Bauforschung der RWTH Aachen (IBAC) gemäß DIN EN 1925:1999-05 untersucht.

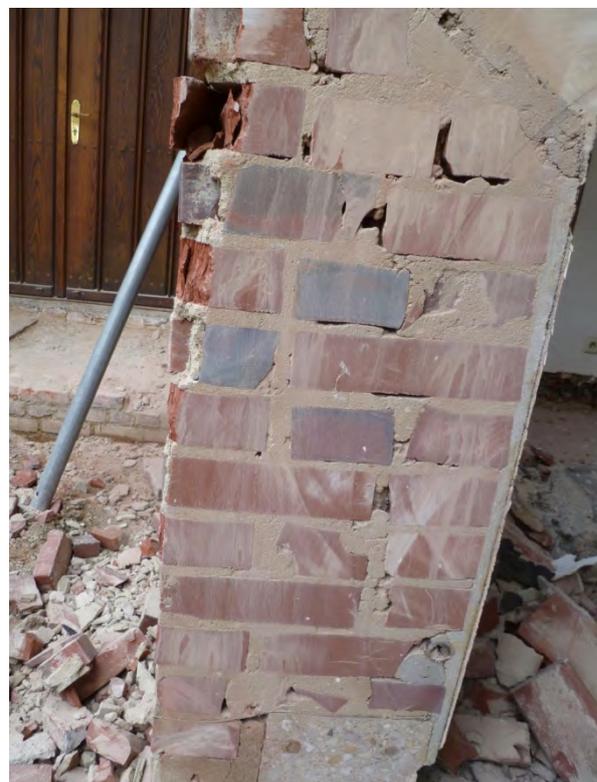


Abb. 22: Anschnitt Bestandsmauerwerk

Ziel war hierbei die Bestimmung des Wasseraufnahmekoeffizienten (w-Wert). Auch wurde die Wasserdampfdurchlässigkeit des Materials in Anlehnung an DIN EN ISO 12572:2001-09 ermittelt. Dabei wurden die Eigenschaften sowohl des Steinmaterials als auch des Versetzmörtels erfasst.

Als Basisdaten für die Bestimmung des w-Wertes wurden im Rahmen der Laboruntersuchung des weiteren die Trockenrohichte der Materialproben und deren Wasseraufnahme unter Atmosphärendruck ermittelt.

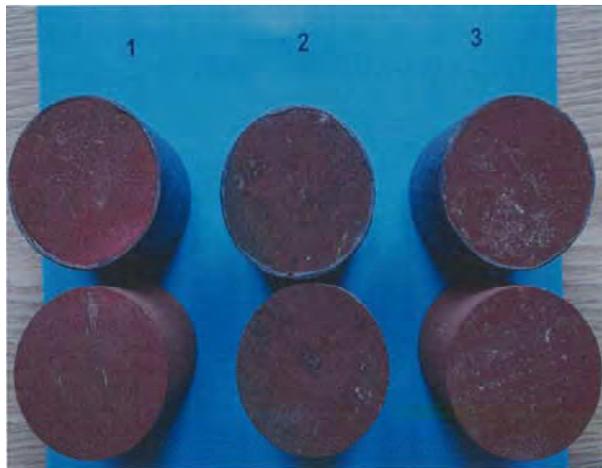


Abb. 123: Bohrkern B6 Quelle: IBAC

Die Trockenrohichte des Materials liegt im Mittel bei 1,891 kg/dm<sup>3</sup> (Mauerziegel) bzw. 1,690 kg/dm<sup>3</sup> (Versetzmörtel).

Material	Mittelwert	Standardabweichung
	kg/dm <sup>3</sup>	
1	2	3
Mauerziegel	1,891	0,031
Versetzmörtel	1,690	0,052

Abb. 24: mittlere Materialrohichte [IBAC-12]

Die Wasseraufnahme des Materials liegt im Mittel bei 8,49 M.-% (Mauerziegel) bzw. 10,76 M.-% (Versetzmörtel)

Material	Mittelwert	Standardabweichung
	M.-%	
1	2	3
Mauerziegel	8,49	1,12
Versetzmörtel	10,76	1,10

Abb. 25: mittlere Wasseraufnahme [IBAC-12]

Die ermittelten Wasseraufnahmekoeffizienten der Mauerwerksproben aus der Evangelischen Christuskirche in Heinsberg weisen eine große Schwankungsbreite auf.

Die Einzelwerte liegen zwischen 0,6 und 81,2 g/(m<sup>2</sup>\*s<sup>0,5</sup>), umgerechnet von den hier ermittelten Sekunden- auf die in DIN 4108-3 verwendeten Stundenwerte entspricht dies einer Bandbreite von 0,036-4,872 kg/(m<sup>2</sup>\*h<sup>0,5</sup>).

Material	Prüfkörper Nr.	Bestimmtheitsmaß	Wasseraufnahmekoeffizient
		%	m <sup>2</sup> x s <sup>0,5</sup>
1	2	3	4
Mauerziegel	1	99,97	28,5
	2	98,23	81,2
	3	99,34	48,7
	4	94,48	0,6
	5	99,70	3,8
	6	99,66	80,4
Versetzmörtel	1	88,63	30,4
	2	99,86	40,0
	3	99,91	39,5
	4	93,70	32,8
	5	95,76	32,6
	6	99,07	36,4

Abb. 26: Wasseraufnahmekoeffizient [IBAC-12]

Die mittleren Laborergebnisse für den w-Wert liegen bei ca. 40 g/(m<sup>2</sup>\*s<sup>0,5</sup>), also ca. 2,4 kg/(m<sup>2</sup>\*h<sup>0,5</sup>).

Eine Klassifizierung als ‚wasserhemmend‘ wird somit knapp verfehlt.

Der mittlere Wasserdampfdiffusionswiderstand der Mauerwerksproben liegt bei einem Wert von ca. 25  $\mu$ .

Die Ergebnisse dieser Mauerwerksuntersuchung des IBAC wurden schließlich in die Simulationsberechnung des PHI übernommen.

Da die statistische Verteilung der im Labor ermittelten unterschiedlichen Wasseraufnahmekoeffizienten im Bestandsmauerwerk unmöglich zu bestimmen ist, wurden dabei der Bauteilsimulation zum Zweck einer hö-

heren Sicherheit der Berechnungsergebnisse die Werte der ungünstigsten Probe zugrunde gelegt.

Material	Prüfkörper Nr.	Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl ( $\mu$ )
1	2	3
Mauerziegel	1	16,4
	2	21,4
	3	15,9
	4	53,5
	5	29,0
Versetzmörtel	1	6,3
	2	14,6
	3	26,9
	4	28,0
	5	1)

Abb. 27: mittlere Wasseraufnahme [IBAC-12]

## 4.2 Hygrothermische Bauteilsimulation der Außenwände (PHI)

Da die angestrebte energetische Sanierung mit Innendämmung bauphysikalisch sensibel ist - weil im Bereich des Anschlusses der Wärmedämmung an die Außenwand die Gefahr des Kondensatausfalls lauert - sollte durch hygrothermische Untersuchungen die Eignung der geplanten Bauteilquerschnitte festgestellt werden. Auch ging es darum, Materialauswahl und Schichtenfolge insgesamt zu optimieren.

Zur grundsätzlichen Einschätzung der Eignung unterschiedlicher Dämmstoffe wurden seitens des PHI erste Vergleichsberechnungen mit den Materialvarianten Calciumsilikatplatte, Mineralwolle, Multiporplatten Polystyrol (EPS) und Zellulose in jeweils 20 cm Stärke durchgeführt. Die Ergebnisse zeigten, dass vordergründig dem Aspekt der Wasseraufnahme des Bestandsmauerwerks eine größere Bedeutung zukommt als der Wahl des Dämmstoffes.

Material	Dicke [cm]	$\lambda$ [W/(mK)]	$\mu$ [-]	sd-Wert [m]
Mauerwerk (Steinprobe 5)	36	0,966	29	10,44
Nur für Westfassade:				
Trass Mineralischer Dämmputz /	2	0,1	6,9	0,14
Trass Kalk Putz		0,75	11	0,22
Zellulose Dämmung	20	0,04	2,1	0,41
Holzfasерplatte	1,5	0,05	5	0,07
Gipskartonplatte	1,25	0,2	10	0,13

Abb. 28: Zwischenvariante Wandaufbau

Quelle: PHI

Die Basissimulationen, die noch ohne spezifische Messwerte - insbesondere des Wasseraufnahmekoeffizienten des Bestandsmauerwerks - auskommen mussten und für welche stattdessen - in Abschätzung auf der ‚sicheren Seite‘ - ungünstige Datenbank-

werte genutzt wurden, führten bei nicht zusätzlich behandelten Außenoberflächen für alle untersuchten Dämmstoffe zu stark durchnässten Wandaufbauten.

Die Gegenprobe mit wasserabweisend beschichtetem Außenmauerwerk (hydrophobiert, w-Wert  $\leq 0,5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0,5})$ ) ergab hingegen für alle Dämmstoffvarianten stabile Werte der relativen Feuchte um 80%, ohne dass eine längerfristig fortschreitende Auffeuchtung ermittelt wurde. Bei zusätzlich verbesserten w-Werten der Außenwandoberflächen (w-Wert  $\leq 0,05 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0,5})$ ) ergaben die Simulationsberechnungen sogar eine längerfristige Trocknung des Mauerwerks ca. 60% rel. Feuchte, wobei sich bei den Varianten mit Mineralwolle und Zellulose Dampfbremsen mit eher kleinen  $s_d$ -Werten ( $\mu$  ca. 0,7) als vorteilhafter erwiesen.

### Debatte Hydrophobierung

Unter Praktikern gibt es nach wie vor große Hemmungen, Ziegelwände zu hydrophobieren. Hersteller solcher Beschichtungssysteme behaupten zwar regelmäßig, das Material sei diffusionsoffen. Diese Aussage erweist sich jedoch nicht immer als zutreffend. Auch wenn der Lieferant bzw. die verarbeitende Firma dann rein formal in der Verantwortung stehen, ist es dennoch nachteilig für alle Baubeteiligten, wenn sie am Ende ein Passivhaus realisiert haben, das nicht funktioniert oder Bauschäden aufweist.

Ein weiteres Problem von Hydrophobierungen ist nahezu immer, dass die hydrophobierende Wirkung im Laufe der Zeit abnimmt und die Schäden dann umso heftiger

auftreten. Kaum ein Immobilieneigentümer nimmt es auf sich, Hydrophobierungen regelmäßig (incl. aller Nebenarbeiten, wie erneutes Einrüsten der Fassaden u. a.) nachzuarbeiten.

Es wurde daher mit Hilfe der Bauteilsimulation weiter untersucht, den energetisch sanierten Wandaufbau so zu gestalten, dass funktionsfähige Querschnitte auch ohne Hydrophobierung der Ziegelschale erreicht werden sollten.

Vorbereitend dazu wurden die im vorangegangenen Abschnitt 4.1 beschriebenen Laboruntersuchungen der aus dem Bestandsgebäude stammenden Mauerwerksproben initiiert, um besser zutreffende Materialkennwerte zu erhalten, welche in die Simulationsberechnung eingestellt werden konnten. Weitere Simulationsberechnungen wurden durchgeführt und brachten verwert-

bare Ergebnisse wie auch neue Fragestellungen: „Es wurden für alle fünf vollständig vermessenen Steinproben hygrothermische Simulationen für den Bestandsfall ausgeführt um die Eigenschaften des Steins und bisherigen Feuchteverhältnisse einschätzen zu können. Die Ergebnisse weichen für die verschiedenen Proben ab, für die fortführenden Berechnungen mit Innendämmung wurde zunächst der kritischste Fall (Probe Nr. 5) betrachtet.

Für die Ziegel ist die Durchfeuchtung bei Minusgraden von Interesse, da hier bei auftretendem Frost Schäden entstehen können. Nach der Sanierung ist das Mauerwerk wie zu erwarten insgesamt kälter. Die Durchfeuchtung der Ziegel würde nach Anbringung der Innendämmung bei Minusgraden jedoch weiterhin im ähnlichen Bereich wie zuvor liegen. Mit maximal ca. 30-40%

### Durchfeuchtung Mauerwerk mit Innendämmung

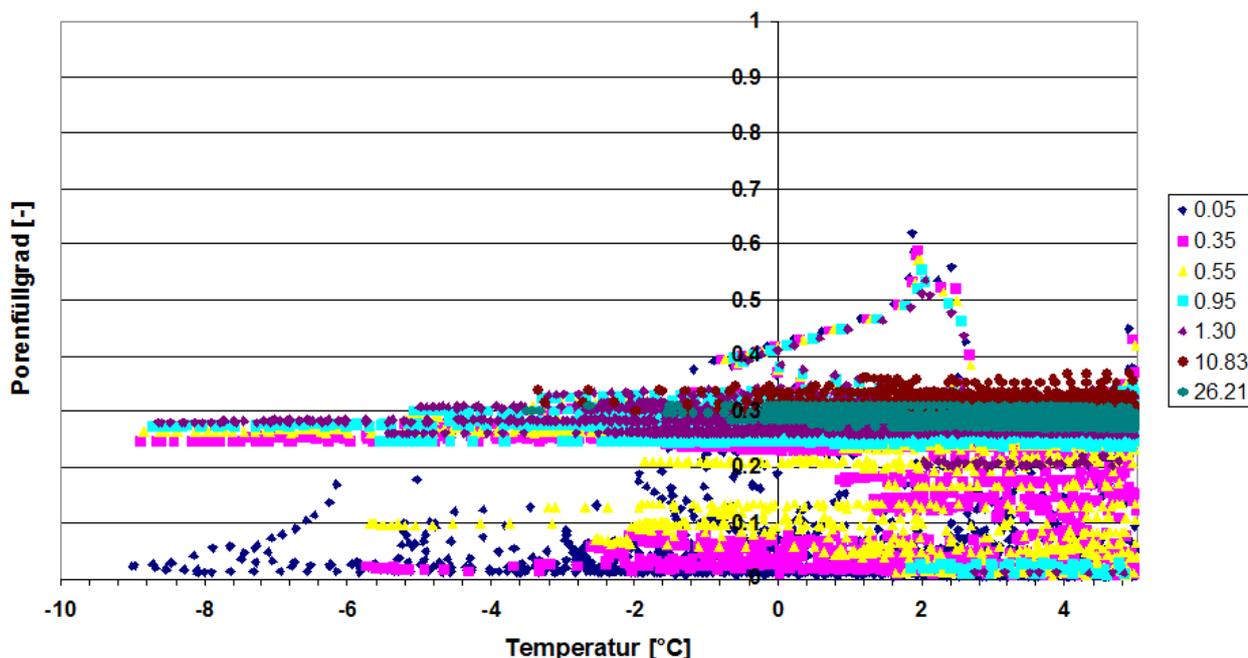


Abb. 29: Zwischenstand: Porenfüllgrad der Ziegel bei unterschiedlichen Tiefen (Legende = Tiefe in cm von außen).

Quelle:PHI

(siehe Abbildung 29), sind keine Frostschäden zu erwarten, die Ziegel werden nicht durch die Innendämmung gefährdet.“ [PHI-12]

Zudem galt es, die Beständigkeit der Innendämmung zu beurteilen. Bis zu diesem Zeitpunkt konnte noch keine dauerhafte Lösungsvariante identifiziert werden, so

dass vertiefte Berechnungen erforderlich wurden.

Bei einer 20 cm starken Innendämmung mit Zellulose trat zwar keine dauerhafte Auffeuchtung auf, die im Winter aufgenommene Feuchte konnte im Sommer wieder austrocknen (siehe hierzu Abbildung 30).

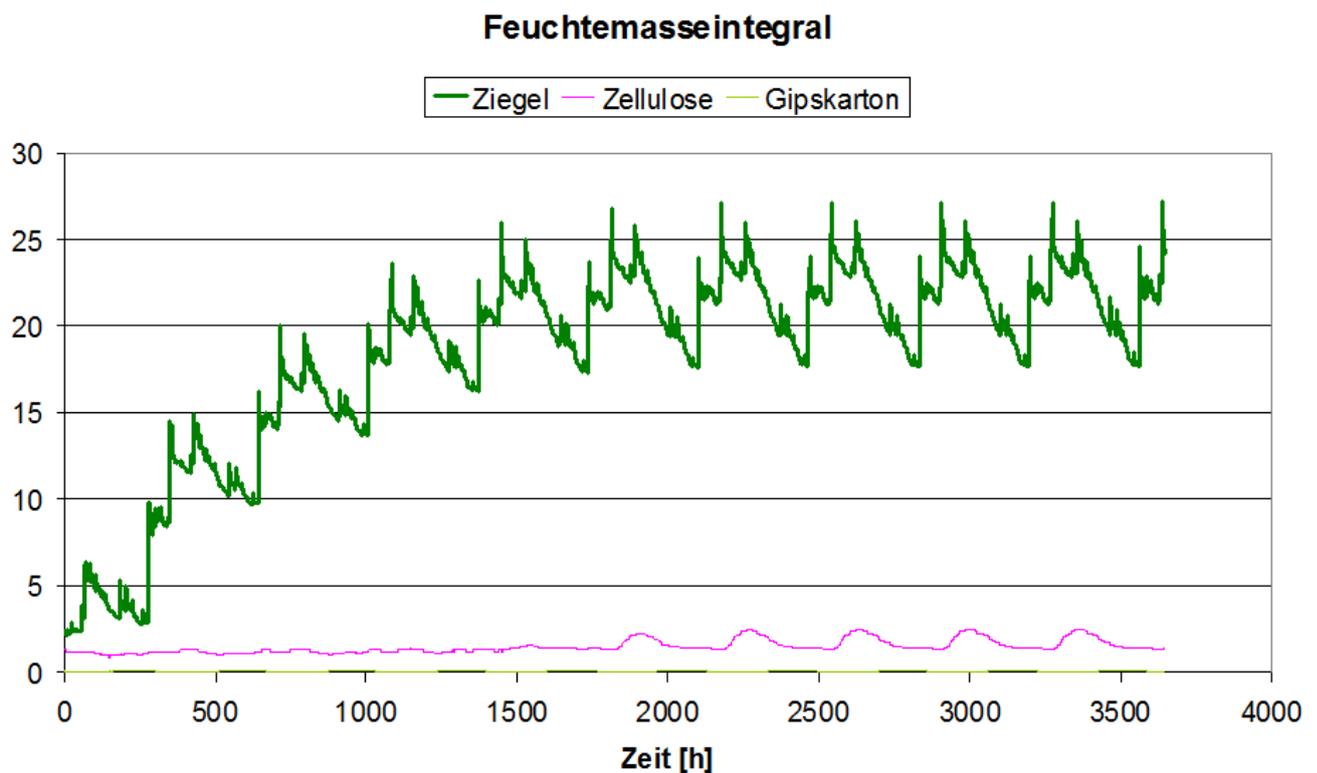


Abb.30: Zwischenstand: Gesamtfeuchte in den einzelnen Bauteilschichten über den Simulationszeitraum von 10 Jahren. (Ausgangspunkt = 80% relative Feuchte) Quelle: PHI

Die Ergebnisse wiesen jedoch auf eine sehr hohe Feuchte der Zellulose hin, insbesondere im Grenzbereich zum Mauerwerk. Im Winterfall entstand bis zu einer Tiefe von ca. 5 cm Kondensat.

Die relative Feuchte lag in den äußeren Schichten ganzjährig über 75 %, davon mehr als 80 % aller Jahresstunden über 90 % relative Feuchte (siehe Abb. 31).

Bei diesen sehr hohen relativen Feuchten wäre mit Schimmelbildung zu rechnen, auch andere Schäden, wie beispielsweise ein Absacken der Dämmung, wären nicht auszuschließen. Auch war noch zu klären, ob und welche Probleme verursacht durch lange Perioden hoher Feuchte (u.a. auch bei Frost) zu erwarten seien. [PHI-12]

## Relative Feuchte - Zellulose

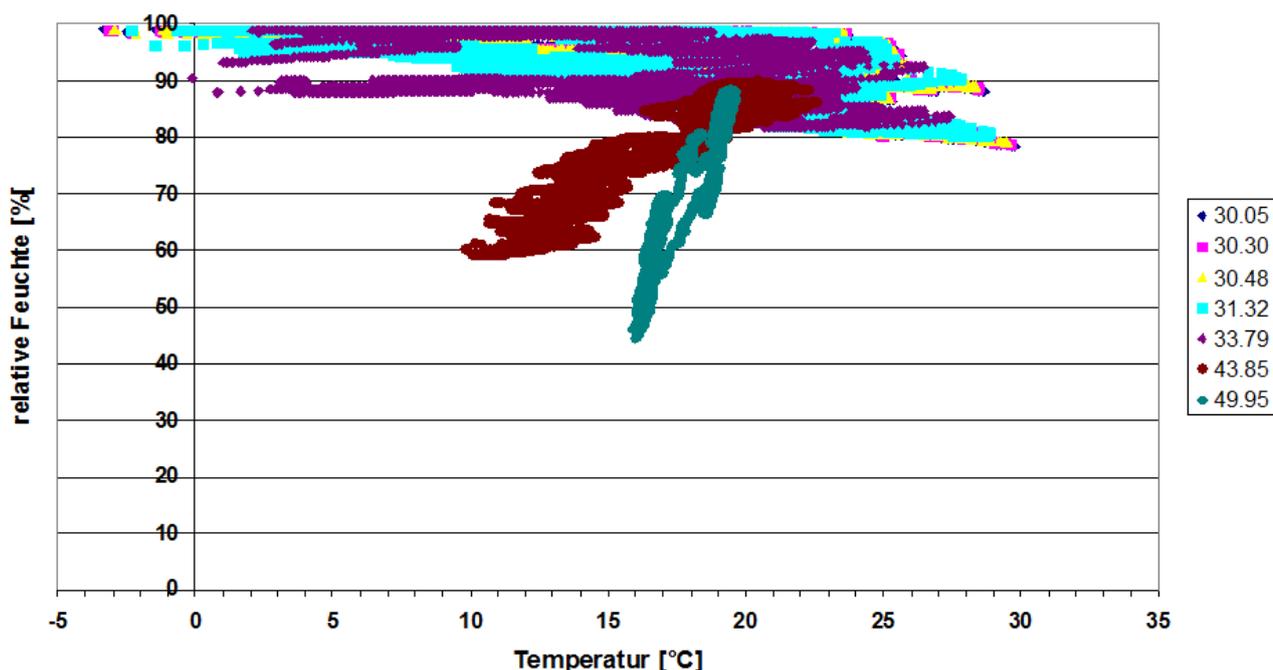


Abb. 31 Zwischenstand: Berechnete relative Feuchte in ausgewählten Tiefen der Innendämmung  
(Legende: Konstruktionstiefe in cm ab Außenoberfläche der Wand) Quelle: PHI

Die Bauteilaufbauten wurden in der Folge weiter differenziert und durch eine feuchteadaptive Dampfbremse ergänzt.

Eine solche Dampfbremse ändert ihre Eigenschaften bezüglich der Dampfdiffusion in Abhängigkeit von der Temperatur- bzw.

weiteren Klimabedingungen: Im Winter hemmt sie das Eindringen der höheren inneren Luftfeuchte in die Konstruktion, im Sommer ermöglicht sie hingegen das Ausdiffundieren von eingeschlossener Bauteilfeuchte in Richtung des dann relativ gesehen bedeutend trockeneren Innenraumes.

Material	Dicke [cm]	$\lambda$ [W/(mK)]	Diffusions- widerstand [-]	Dichte [kg/m <sup>3</sup> ]	Wasser- aufnahme- koeffizient [kg/(m <sup>2</sup> √s)]	Poro- sität [m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]
Mauerwerk (Steinprobe 5)	36	0,996	29	1891	0,004	0,25
Trass-Kalk-Putz	2	0,3	11	1600	0,07	0,49
Zellulosedämmung in Holzunter- konstruktion	20	0,04	2,1	55	0,56	0,93
DWD-Platte	1,5	0,1	11	565	0,07	
Dampfbremse Intesana connect	0,045	0,17	16.700			
Gipskartonplatte	1,25	0,2	10	850	0,28	0,65

Abb. 32: Außenwand: endgültiger Wandaufbau

Quelle: PHI/RoA

Letztlich hängen die erreichten Feuchteverhältnisse in der Konstruktion stark vom Durchfeuchtungsgrad der Mauer selbst ab.



Quelle: RoA

Abb. 33: Konstruktion der inneren Dämmschale

Unterschiedliche Materialeigenschaften lassen den Regen mehr oder weniger tief in die Konstruktion einziehen und beeinflussen umgekehrt die Austrocknungsbedingungen. Der zu erwartende Durchfeuchtungsgrad des Mauerwerks liegt jedoch im Mittel und während der Frostperioden unter 30% und

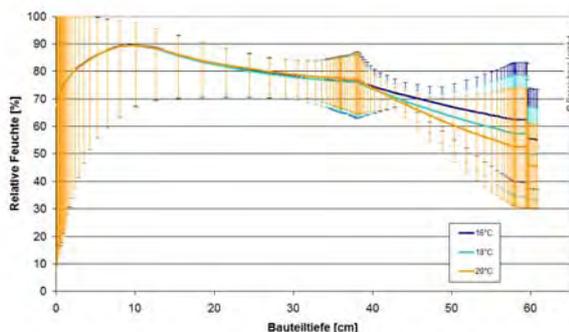
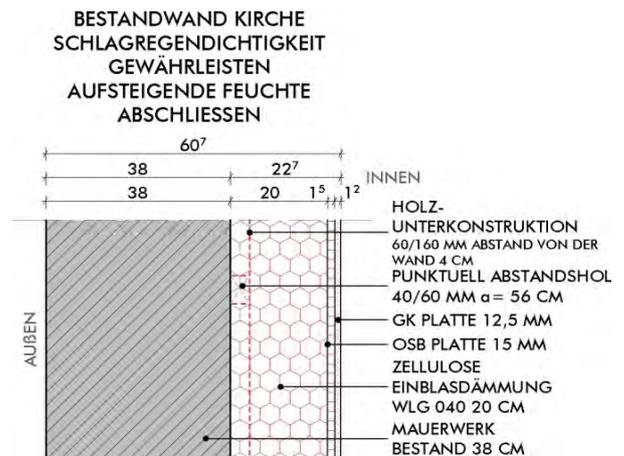


Abb. 35: relative Feuchte im Bauteilquerschnitt (Jahresmittelwert unterschiedlicher Varianten - Historical Brick Cluster mit Anpassung an Steinprobe 2) Quelle: PHI

ist somit in Ordnung. Auch der Vergleich mit den Simulationsergebnissen des Bestandsmauerwerks bestätigt, dass die Durchfeuchtung nach der Sanierung in den äußeren Schichten kaum ansteigt.

Mehr Aufmerksamkeit ist hingegen der Feuchtigkeit an den Materialschnittstellen raumseitig des Mauerwerks zu widmen. Im einzelnen Fall der ungünstigsten Stein-



AUSSENWAND W5 KIRCHE

Quelle: RoA

Abb. 34: Detailzeichnung Innendämmung Süd

probe 2 wird der Untersuchungsschwellenwert für potentielles Schimmelpilzwachstum nach [WUFI Bio] geringfügig überschritten (60 mm statt 50 mm; der Grenzwert für nicht mehr akzeptable Bedingungen liegt bei 200 mm). Da jedoch das Risiko in allen Fällen als niedrig eingestuft wurde und -



Abb. 36: Jahresverlauf der Holzfeuchte (Berechnung für die 2 Referenzfälle der Steinmodelle; 50% Schlagregenbelastung; 16°C Mindest-Innentemperatur) Quelle: PHI

wenn überhaupt - ausschließlich außenseitig der luftdichten Ebene (Dampfbremse) besteht, wurde diesbezüglich letztlich kein weiterer Handlungsbedarf identifiziert. [PHI-13]

Jedoch bleibt aller Simulationsmethodik zum Trotz eine Restungewissheit bezüglich der tatsächlichen zukünftigen Prozesse innerhalb des Mauerwerksverbundes, insbesondere wegen der Schlagregendichtigkeit und des damit verbundenen Verlaufs der Bauteil-

#### 4.3 Überwachung der Bauteilfeuchte Außenwand

Auch die unmittelbar dem Kirchengebäude entnommenen Mauerwerksproben sind letztlich immer nur Zufallsstichproben. Es ist daher nicht vorhersagbar, ob bzw. inwieweit der übrige Gebäudebestand die gleichen Eigenschaften aufweist wie die labortechnisch geprüften Proben. Aus diesem Grund wurden Ideen für eine dauerhafte Kontrolle der im Inneren der Außenwände herrschenden bauphysikalischen Bedingungen entwickelt

Ohne großen Aufwand betreiben zu müssen wurden an gut erreichbaren Stellen der westli-



Abb. 37: Einblasöffnung Zellulosedämmung

feuchte innerhalb der unterschiedlichen Baumaterialien in der sanierten Außenwand. Ein umfangreiches Monitoring des Gebäudes in den ersten Betriebsjahren könnte hier zwar helfen, jedoch ist der damit verbundene Aufwand nur in Einzelfällen gerechtfertigt und finanzierbar. Stattdessen wurde für die Christuskirche in Heinsberg eine einfache Überprüfungsroutine erdacht, welche einen schlanken Überblick über die Werte ermöglicht, die hier wirklich von Interesse sind.

chen und südlichen Außenwand verdeckt Messfühler zur Erfassung der Holzfeuchte innerhalb der Tragkonstruktion der Dämmschale eingebaut. Sie ermöglichen es, über längere Zeit die Feuchteverhältnisse im Bereich unmittelbar vor der Innenkante der alten Außenwand zu erfassen.

Sicherheitsreserven der Simulationsberechnungen stecken sowohl in der Wahl der Steineigenschaften – gearbeitet wurde jeweils, wie in Kap. 4.1 ausgeführt, mit den Werten der ungünstigsten Materialprobe – als auch bezüglich der Klimadaten. Da der für die Simulation bestmögliche verfügbare Klima- und Wetterdatensatz (Stadt Essen) örtlich im Bereich der Schlagregenbeanspruchungsgruppe III der DIN 4108-3 angesiedelt ist, die Heinsberger Christuskirche jedoch in der Beanspruchungsgruppe II liegt, bleiben hier Spielräume für die Angleichung von Simulation und Realität wirksam. Sofern sich über die Zeit entgegen der Erwartung doch Aufweichungen einstellen sollten, wäre es möglich, zusätzliche Schutzmaßnahmen im Bereich der äußeren Ziegelschale (z.B. die bereits erörterte Hydrophobierung) zu ergreifen.

# Zertifikat

Zertifikats-ID: 5877 - 5976\_PHI\_EP\_20130412\_JS1

Passivhaus Institut  
Dr. Wolfgang Feist  
Rheinstraße 44/46  
D-64283 Darmstadt

Das Passivhaus Institut verleiht dem Gebäude

## Erweiterung und energet. Sanierung der Christuskirche in Heinsberg

das Zertifikat



Bauherrschaft:	Evangelische Kirchengemeinde Heinsberg Erzbischof-Philipp-Str. 12 52525 Heinsberg
Architektur:	Rongen Architekten GmbH Propsteigasse 2 41849 Wassenberg
Haustechnik:	Detlef Stickel Planungsbüro TGA Westpromenade 76 52525 Heinsberg

Die Planung des Gebäudes erfüllt die vom Passivhaus Institut vorgegebenen Kriterien für die Modernisierung mit Passivhaus-Komponenten.

Bei sachgemäßer Bauausführung hat das Gebäude die folgenden Eigenschaften:

Gebäudekennwerte:	Kennwert	Grenzwert	
Jährlicher spezifischer Heizwärmebedarf	45 kWh/(m <sup>2</sup> a)	≤ 25 kWh/(m <sup>2</sup> a)	- <sup>1</sup>
Jährlicher spezifischer Primärenergiebedarf <sup>2</sup> für Heizung, Warmwasser, Lüftung, Licht und elektr. Geräte bei Standardnutzung	80 kWh/(m <sup>2</sup> a)	≤ 161 kWh/(m <sup>2</sup> a)	✓
Luftdichtheit der Gebäudehülle n <sub>50</sub> -Wert laut Drucktest	0,8 h <sup>-1</sup>	≤ 1,0 h <sup>-1</sup>	✓
<b>Mittlerer Wärmeschutzstandard der Einzelbauteile:</b>			
Außendämmung zu Außenluft Wärmedurchgangskoeffizient	0,12 W/(m <sup>2</sup> K)	≤ 0,15 W/(m <sup>2</sup> K)	✓
Außendämmung zu Erdreich <sup>2</sup> Wärmedurchgangskoeffizient	0,17 W/(m <sup>2</sup> K)	≤ 0,30 W/(m <sup>2</sup> K)	- <sup>3</sup>
Innendämmung zu Außenluft Wärmedurchgangskoeffizient	0,20 W/(m <sup>2</sup> K)	≤ 0,35 W/(m <sup>2</sup> K)	✓
Innendämmung zu Erdreich <sup>2</sup> Wärmedurchgangskoeffizient	0,23 W/(m <sup>2</sup> K)	≤ 0,75 W/(m <sup>2</sup> K)	✓
Wärmebrücken Δ <sub>U</sub> Gebäudehülle (ohne Fenstereinbau-Wärmebrücke)	0,02 W/(m <sup>2</sup> K)	kein Grenzwert	
Fenster Wärmedurchgangskoeffizient U <sub>w, eingebaut</sub>	0,83 W/(m <sup>2</sup> K)	≤ 0,85 W/(m <sup>2</sup> K)	✓
Außentüren Wärmedurchgangskoeffizient U <sub>D, eingebaut</sub>	0,80 W/(m <sup>2</sup> K)	≤ 0,80 W/(m <sup>2</sup> K)	✓
Lüftungsanlage effektiver Wärmebereitstellungsgrad	75,2 %	≥ 75 %	✓

<sup>1</sup>Grenzwert hier nicht relevant <sup>2</sup>Grenzwert gebäudeabhängig unterschiedlich hoch <sup>3</sup>Grenzwert nicht erreichbar (Ausnahmeregelung)

Zertifizierungskriterien erfüllt? Auswahl des Bewertungsverfahrens	nach Heizwärmebedarf	
	nach Bauteilqualität	✓

ausgestellt:  
Darmstadt 12.04.2013

*Wolfgang Feist*  
Dr. Wolfgang Feist

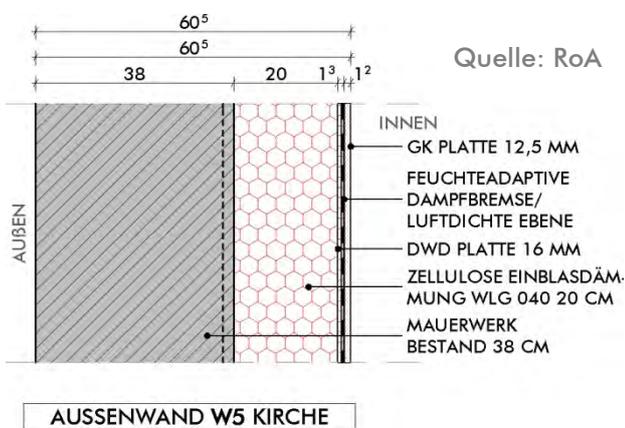
Abb.38: EnerPHit-Zertifikat

Quelle: PHI

## 5 Umsetzung: Detailplanung

### 5.1 Wände

Das Außenmauerwerk der Christuskirche bestand vor der Sanierung aus überwiegend ca. 38 cm starkem Ziegelmauerwerk mit einer zweilagigen inneren Putzschicht aus Trass-Kalk-Putz. Teilweise war auf der ersten Putzlage ein Bitumenanstrich aufgebracht und von der zweiten Putzschicht abgedeckt worden.



AUSSENWAND W5 KIRCHE

Abb. 39: Detail Innendämmung Bestandswand

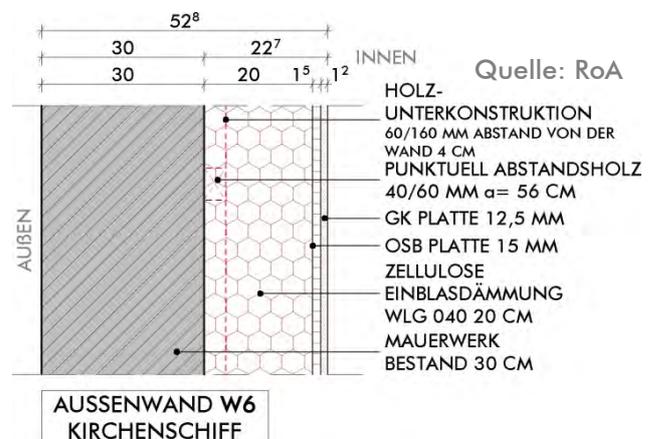
Im Bereich des nördlich gelegenen Seitenschiffes hat das Bestandsmauerwerk eine Stärke von nur 30 cm.

Die Putzschichten mit bituminöser Beschichtung wurden, soweit sie vorhanden war, entfernt. Danach erfolgte der Aufbau des Regel-



Abb. 40: Feuchteadaptive Dampfbremsbahn

querschnitts der Innendämmung aus 20 cm Zellulose (Einblasdämmung) zwischen den Ständern eines mit 4 cm Abstand vor die Ziegelsteinwand errichteten Holzständerwerks (Querschnitt 6/16 cm; Achsabstand der Unterkonstruktion 56-62,5 cm).



AUSSENWAND W6 KIRCHENSCHIFF

Abb. 41: Innendämmung Außenwand 30 cm

Den inneren Abschluss des Wandaufbaues bildet eine zweilagige Beplankung aus einer 15 mm Holzfaserverplatte (DWD) und einer 12,5 mm starken Gipskartonplatte. Zwischen diese beiden Platten wurde eine feuchteadaptive Dampfbremsbahn eingebaut.



Abb. 42: Fugenverspachtelung GK-Innenschale



Abb. 43: Innenschale verspachtelt

Im Bereich des Erweiterungsbaues wurden passivhausgerechte Wandaufbauten aus tragendem Kalksandsteinmauerwerk und gedämmten Außenschalen ausgeführt. Die Wärmedurchgangskoeffizienten der Konstruktionsvarianten liegen im Bereich von 0,14-0,15 W/(m<sup>2</sup>\*K).

Die äußeren Oberflächen dieser Wände sind aus architektonischen Gründen in zwei verschiedenen Varianten detailliert worden. Auf der landschaftsgärtnerisch geprägten Hofseite wurde eine horizontale Holzleisten-schalung ausgeführt. Hingegen kam auf der ‚städtischen‘ Seite am neuen Vorplatz eine



Abb. 45: Innenschale gemalert

Klinkerschale in sog. ‚wildem Verband‘ zur Ausführung, deren anthrazitfarbenen Steine sich von dem rot-braunen Steinmaterial der Kirche bewusst etwas absetzen.

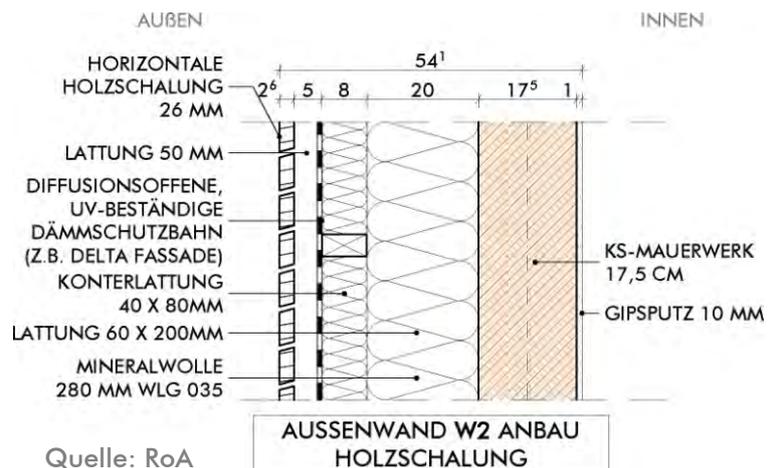


Abb. 46: Neubau Außenwand Holz



Abb. 44: Neubau Außenwand Klinker

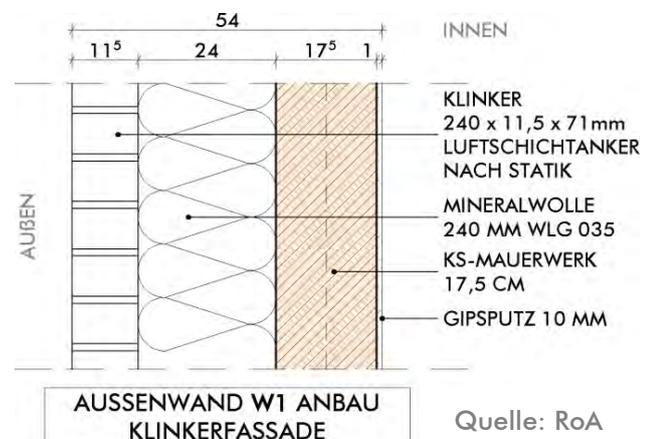


Abb. 47: Detail Neubau Außenwand Klinker

## 5.2 Boden

Der frühere Bodenaufbau der Christuskirche, der aus im Dickbett verlegten Werksteinplatten bestand, wurde entfernt, um Platz für eine gedämmte Fußbodenkonstruktion zu schaffen. Damit die Höhendifferenz zum vorhandenen Geländeniveau und insbesondere

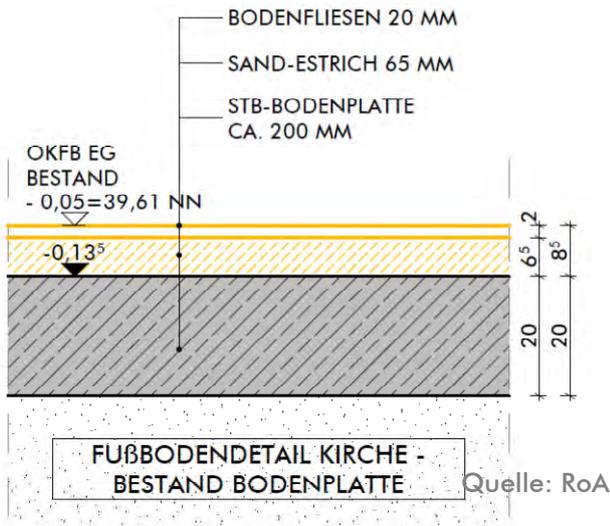


Abb. 48: Bodenaufbau Christuskirche Bestand

zur tiefer liegenden Straßenebene nicht nennenswert vergrößert werden musste – über eine Stufen- und Rampenanlage sollte eine neue, niedragschwellige Anbindung des Kircheneingangs an die Fußgängerzone zur angrenzenden Erzbischof-Phillip-Straße

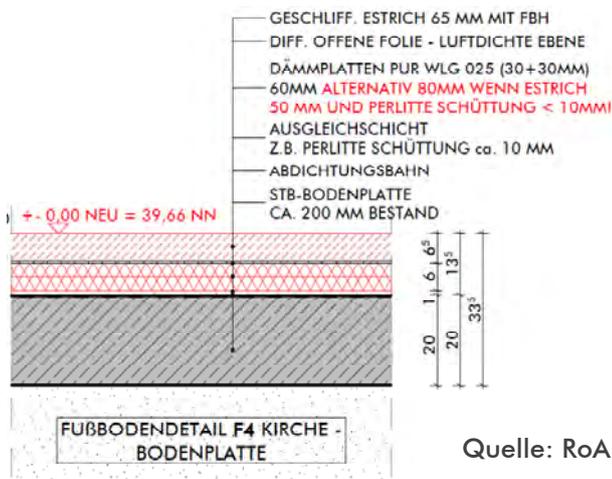


Abb. 49: Bodenaufbau neu im Bestandsgebäude

geschaffen werden – wurde das Höhenniveau des Kirchenbodens um nur rund 5 cm gegenüber dem Zustand vor der energetischen Sanierung angehoben. Die großen öffentlich genutzten Räume erhielten eine Bodenoberfläche aus Micro-Terrazzo. Zur



Abb. 50: Bodenrandabschluss Kiesstreifen

Vermeidung von Sockelleisten wurde die Bodenzone unmittelbar vor der aufgehenden Wand als Kiesstreifen ausgebildet.

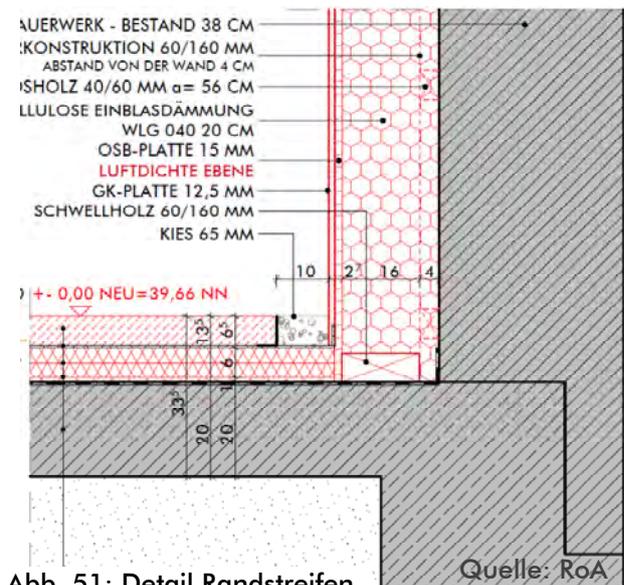


Abb. 51: Detail Randstreifen

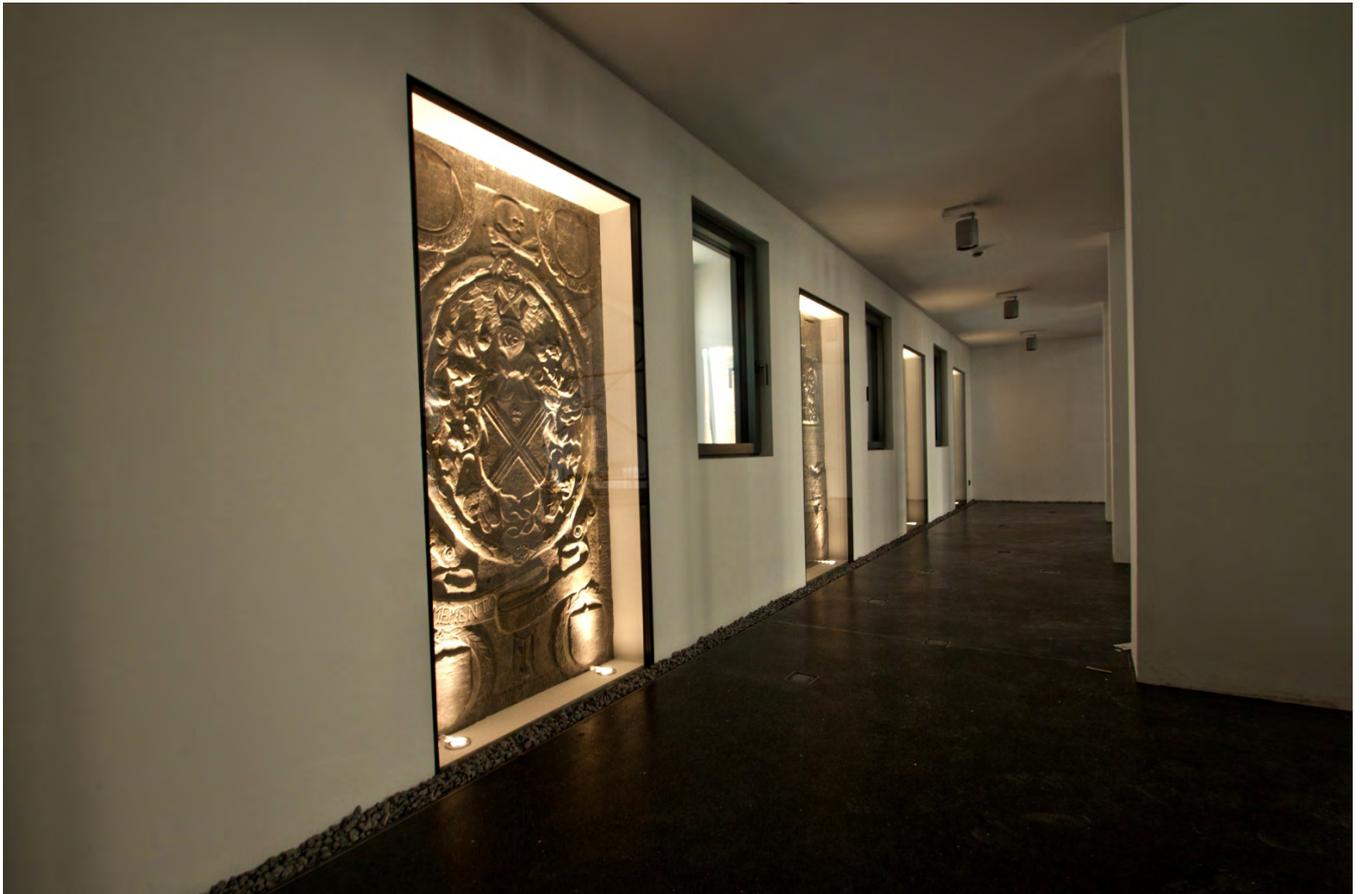
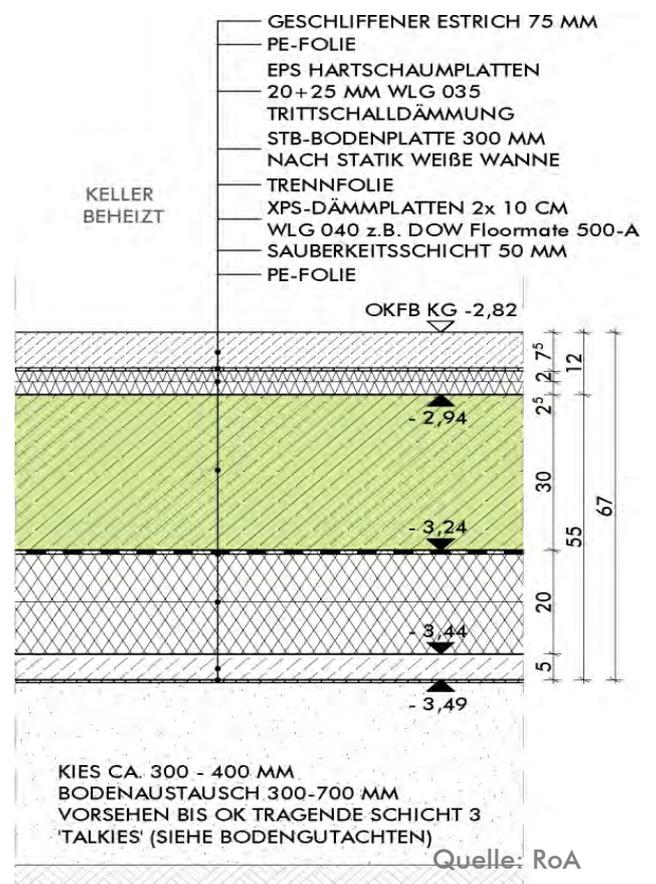


Abb. 52: Fußbodenaufbau im Seitenschiff

Im Bereich des Erweiterungsbaues wird der neu geschaffene Bodenaufbau mit ca. 30 cm stark aufgelegtem expandiertem Polystyrol (EPS) gedämmt. Der in die thermische Hülle eingebundene Kellerbereich hingegen hat einen Bodenaufbau der unter Verwendung von extrudiertem Polystyrol (XPS) gedämmt wurde.

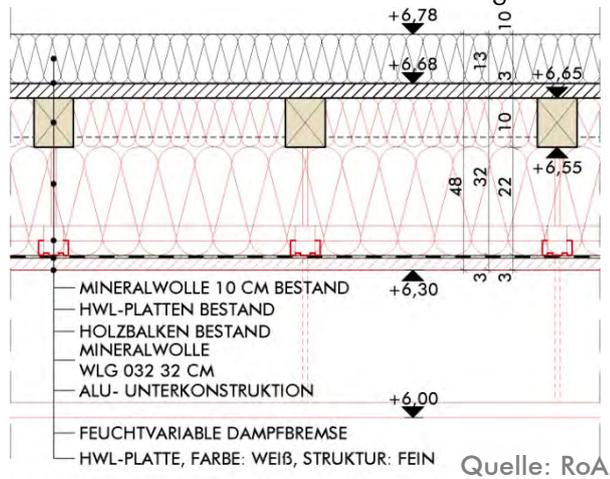
Die passivhausgerechten Wärmedurchgangskoeffizienten der Konstruktionen liegen hier zwischen 0,119 und 0,160 W/(m<sup>2</sup>\*K)

Abb. 53: Bodenaufbau Neubau Kellergeschoss



### 5.3 Zwischendecke und Dach

Die den Kirchenraum seit jeher nach oben abschließende Decke wurde auf der Unterseite wärmedämmtechnisch ertüchtigt und in der Fläche luftdicht ausgeführt. Auf diese Weise konnte vermieden werden, dass die in den Kirchenraum ragenden Untergurte der Dachbinder auch nach der Sanierung noch die thermische Hülle durchdringen.



DACHAUFBAU D2 - KIRCHE - GEDÄMMTE DECKE

Abb. 54: Zwischendecke zum Dachraum

Eine spezielle Herausforderung war dabei die thermische und luftdichte Einfassung der zusätzlich nach unten vorstehenden Zangen der Dachstuhlstreben. Diese wurden punktuell zusätzlich mit Dämmmaterial umhüllt.

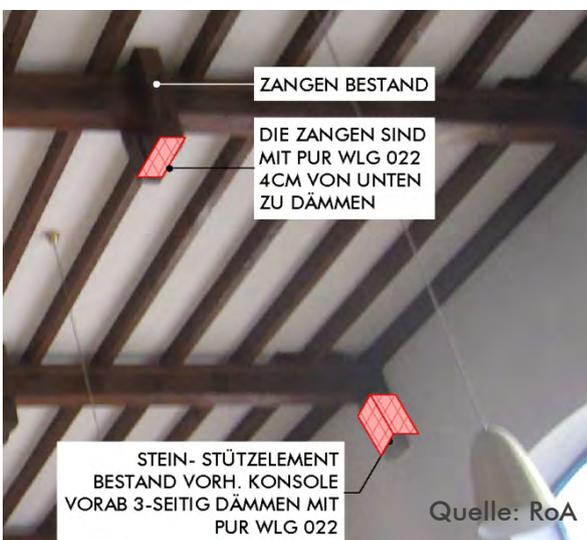


Abb. 55: Deckenuntersicht vor der Sanierung

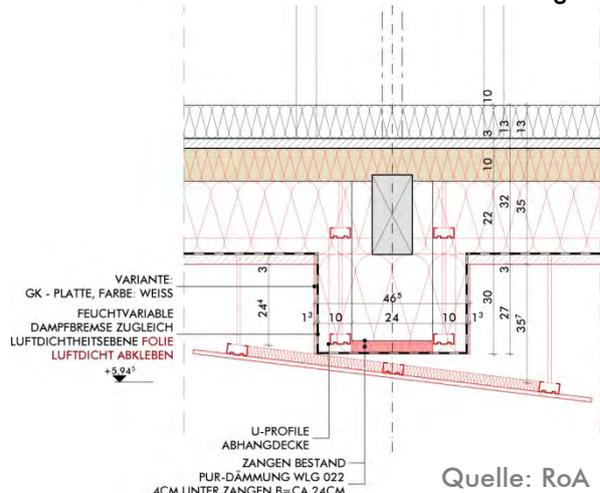


Abb. 56: Umhüllung Zangenkopf

stehende Stufung der Decke wurde mit frei hängenden akustischen Deckensegeln so abgedeckt, dass keine optische Beeinträchtigung der Deckenuntersicht entsteht. Zusätzlich wurden die Segel für den Einbau einer indirekten Beleuchtung genutzt.

Der Wärmedurchgangskoeffizient der Decke liegt bei  $0,148 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ .



Abb. 57: Deckenuntersicht nach der Sanierung

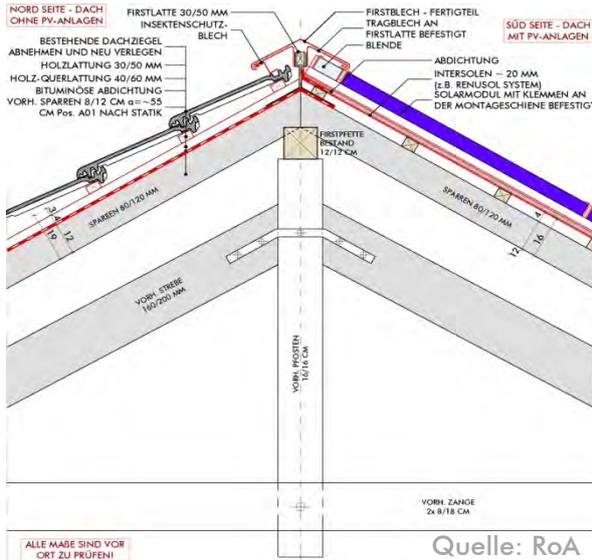


Abb. 58: Indach-PV-Anlage First

Die südliche Dachhälfte wurde vollständig mit einer Photovoltaikanlage als randlose Indach-Konstruktion ausgestattet. Diese Komplettbelegung der Dachfläche war architektonisch von großer Bedeutung um den Würde-

Charakter des Kirchengebäudes unbedingt zu bewahren. Die Details der Anschlußbereiche (Traufe, First, Ortgang) müssen diesem Anspruch dann natürlich auch entspre-

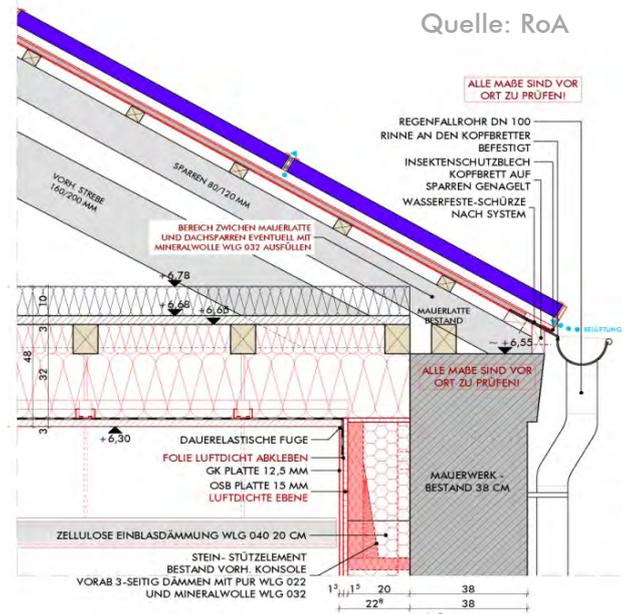


Abb. 59: Indach-PV-Anlage Traufe



Abb. 60: Indach-PV-Anlage

Quelle: RoA

## 5.4 Fenster

Die Erneuerung der Fensteranlagen war von der Thematik geprägt, eine Vielzahl vorhandener Kirchenfenster mit künstlerischer Verglasung auf Passivhausstandard zur ertüchtigen. Letztlich wurden die Bestandsfenster – obwohl es sich bei diesen schon um Isolierglasfenster handelt – nicht bezüglich ihres Wärmeschutzes in Ansatz gebracht. So konnte der zwischen den Bestands- und den Neufenstern entstehende Luftzwischenraum belüftet werden, um Kondensatprobleme ausschließen zu können. Zur Sicherstellung des nötigen Wärmeschutzes wurden hier – wie auch bei allen übrigen neuen Fensteröffnungen - hochwertige, schlanke Passivhausfenster aus Fiberglassrahmen eingebaut.

Die Fenster wurden an der Nahtstelle der neuen Innenschale zur Bestandswand montiert und sorgfältig luftdicht angeschlossen.



Abb. 61: Fensteranschluss innen

Abb. 62: Fensteranschluss horizontal

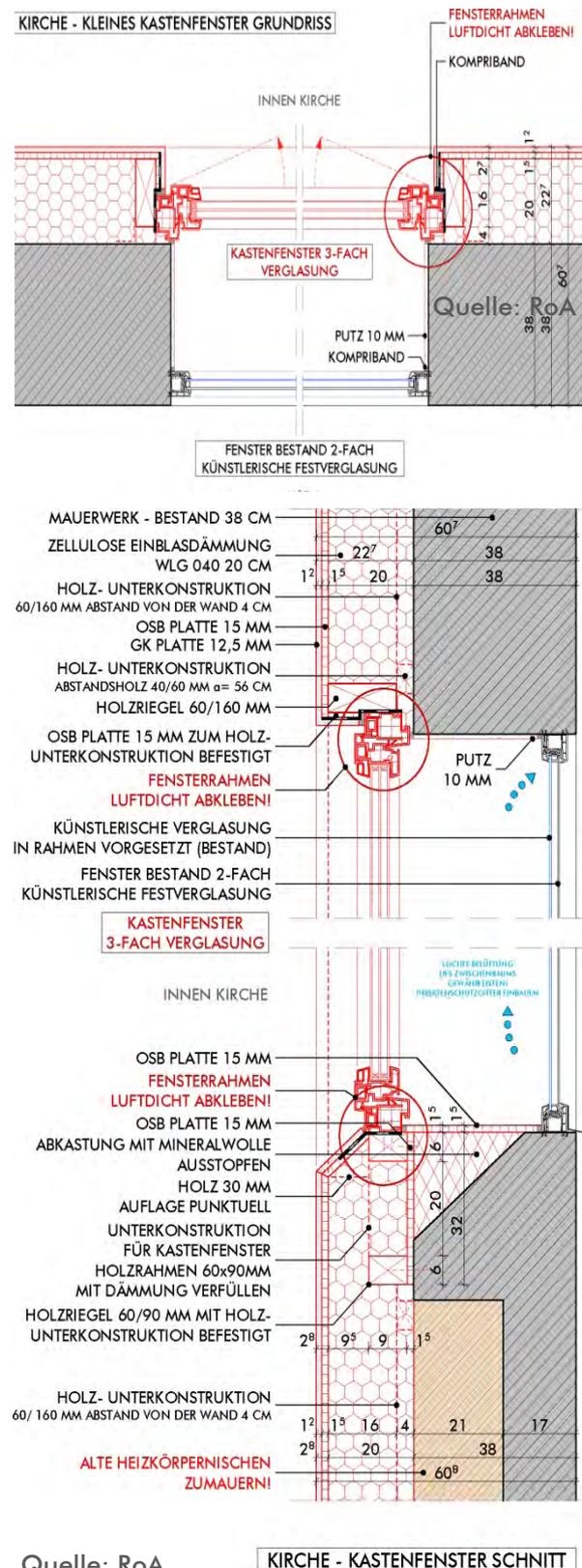


Abb. 63: Fensteranschluss vertikal

## 5.5 Sonnenschutz

Die Bestandsfenster der Christuskirche haben im Zuge der energetischen Sanierung keinen zusätzlichen Sonnenschutz erhalten. Da der Lochanteil der Gebäudefassade gering ist, war dies für den Sommerfall energetisch verkraftbar. Auch die große neue Fensteröffnung des Ostgiebels konnte aufgrund ihrer Ausrichtung und der natürlichen Verschattung durch eine bodendenkmalpflegerisch geschützte und mit hohen Bäumen bewachsene Aufwallung ohne technische Verschattungselemente ausgeführt werden. Lediglich die Verglasungen des Erweiterungsbaues erhielten einen mobilen Sonnenschutz aus textilen Senkrechtmarkisen. Der neu



Abb. 64: Windfanganlage

geschaffene gläserne Windfang vor dem Kircheneingang wird mit statisch angebrachten horizontalen Holzlamellen vor übermäßigem Sonneneinfall geschützt.

Fensteranschluss

vertikal



Abb. 65: Holzlamellen vor Windfang

## 5.6 Grabplatten

Die Jahrhunderte alten Grabplatten aus Naturstein waren bei der Errichtung der Kirche in die Außenwand des nördlichen Seitenschiffes eingelassen worden. Sie sollten angemessen würdig erhalten werden und nicht einfach hinter der inneren Dämmschale verschwinden. Um Kondensatbildung im Inneren der nach der Sanierung ansonsten optimal gedämmten Kirche zu vermeiden, wurde vor die Grabplatten jeweils eine luftdicht angeschlossene, hochdämmende Festverglasung aus Dreifachglas angebracht. Der entstehende Luftspalt zwischen den Grabplatten und der Verglasung wird zur Ausleuchtung genutzt.

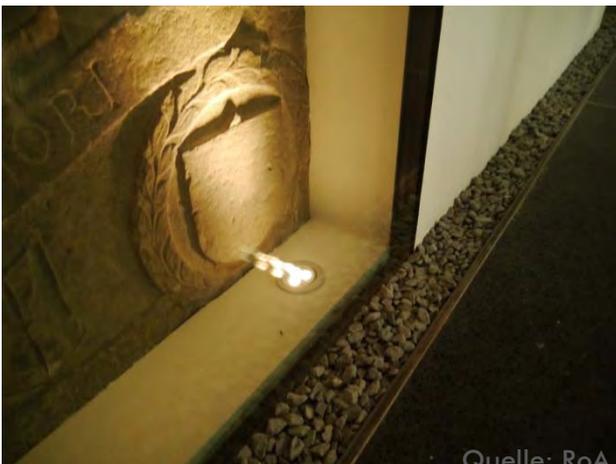


Abb. 66: Verglasung vor Grabplatte

## 5.7 Orgelepore

Die ehemals geschlossenen, massiv wirkenden Brüstungselemente der Orgelepore wurden durch eine filigrane Stahl-Glas-Konstruktion ersetzt.

Die vorhandenen Holzbalkenaufleger in der westlichen Außenwand entlang der Emporenrückseite konnten komplett zurückgeschnitten werden. Stattdessen erfolgte eine Lastabtragung über die ansonsten



Abb. 67: Brüstung Orgelepore

nur konstruktiv erforderlichen Pfosten der Innenschale. Als punktuelle Wärmebrücken verblieben ein Wandaufleger des vorderen Hauptträgers der Empore sowie die Fußpunkte der beiden schlanken Stahlstützen, welche die Orgelepore abfangen. Diese wurden sorgfältig luftdicht angeschlossen und durch Begleitdämmungen optimiert.



Abb. 68: Wandauflager Orgelepore

## 5.8 Pfeiler Nebenschiff

Die Pfeilerkolonnade im Übergang von dem höheren Kirchenhauptschiff zum niedrigeren nördlichen Seitenschiff war im Ursprungszustand der Kirche fluchtgleich aus der Raumbegrenzungswand entwickelt worden. Da die Innendämmung auch in der Wandzone oberhalb der Kolonnade erforderlich war, ergab sich die Gefahr eines Versatzes der Fluchten der oberen nördlichen Kirchenwand einerseits und der darunter befindlichen Pfeilerkolonnade andererseits. Diese wurde durch eine einseitige Aufdickung des Pfeilers zum Kirchoraum hin umgangen.

Da das Mauerwerk der Pfeiler die thermische Hülle sowohl im Fuß- wie auch im Kämpferbereich durchstößt, war diesen Zonen erhöhter Aufmerksamkeit zu widmen, wengleich die Wärmebrückeneffekte aufgrund des hier nicht gegebenen Kontaktes

außenluftkalten Bauteilen bereits in ihrer Brisanz gedämpft waren. Die innere Lage der betreffenden Anschlusspunkte zum Erdreich bzw. zum Dachraum oberhalb des Seitenschiffes hin konnte hier genutzt und durch schmale Begleitdämmungen innerhalb des Bodenaufbaues bzw. der Deckenbekleidung ausreichend energetisch optimiert werden.



Abb. 70: Fußpunkt Pfeiler

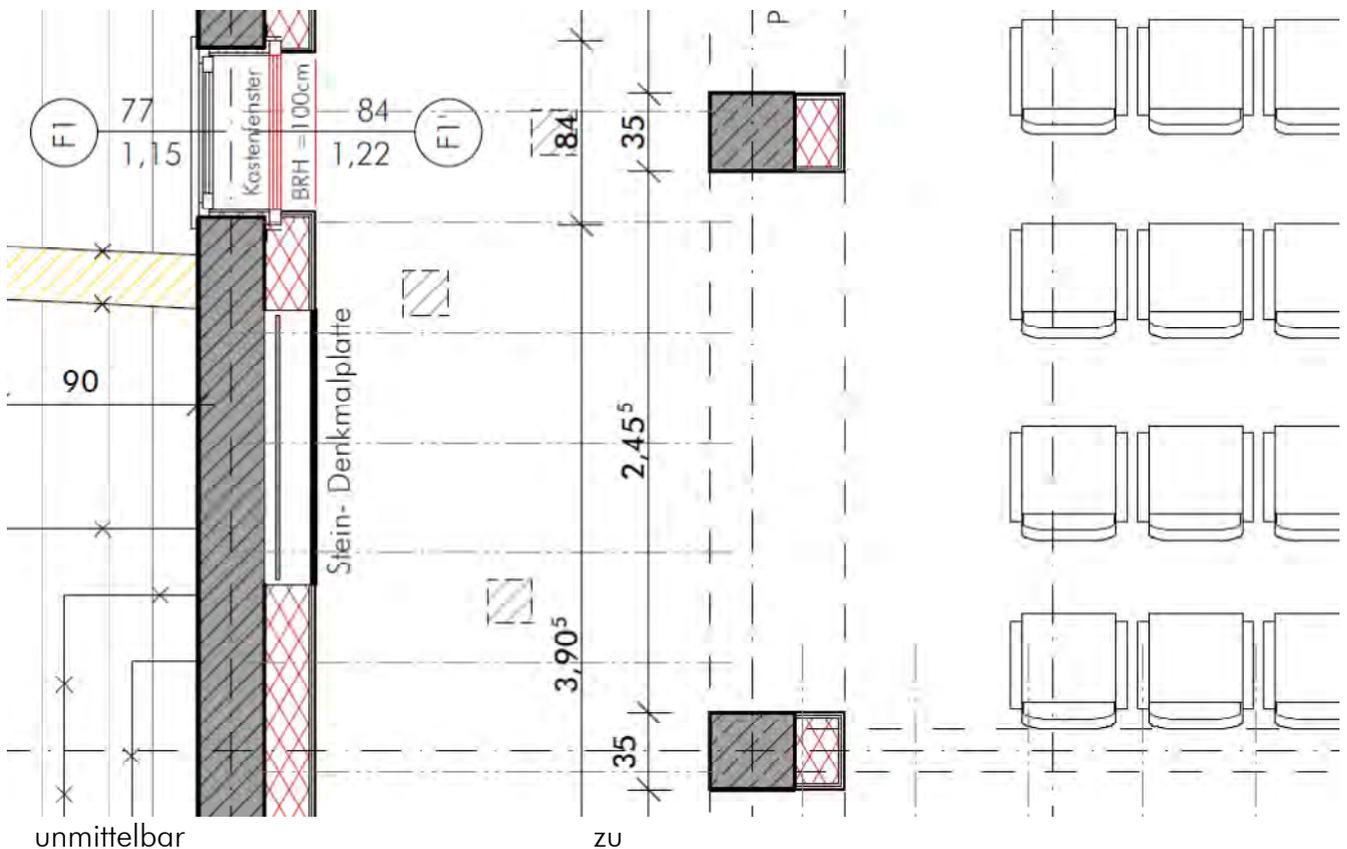


Abb. 69: Kolonnadenpfeiler

## 6 Umsetzung: Haustechnik

Die Integration moderner haustechnischer Systeme in bestehende Gebäude stellt besondere Herausforderungen an die planenden ArchitektInnen und Ingenieur-Innen. Je mehr von der vorhandenen Bausubstanz erhalten und genutzt werden soll, sei es aufgrund gestalterischer bzw. denkmalpflegerischer Belange oder auch aus rein wirtschaftlichen Gründen, desto stärker sind die ArchitektInnen gefordert, bei Ihrer Entwurfskonzeption die haustechnischen Belange den heutigen Anforderungen gemäß zu berücksichtigen. Dies beginnt bereits mit der Grundlagenermittlung und setzt sich anschließend fort sowohl im Entwurf als auch in der Planungskoordination.

### 6.1 Heizung: Fußbodenheizung auf Basis einer Wärmepumpe

Die Beheizung des sanierten und erweiterten Kirchengebäudes erfolgt über eine monovalente Luft-Wasser Wärmepumpe der Firma Buderus, Typ Logatherm WPL 18A. Es handelt sich um ein zur Außenaufstellung konzipiertes Gerät, das oberirdisch in die Freianlagen platziert wurde. Die



Abb. 71: Wärmepumpe in Außenaufstellung

Leistung der Wärmepumpe liegt bei 17,2 kW. Die Wärmepumpe erreicht eine Jahresarbeitszahl von 3,9, ihre Jahresaufwandszahl liegt dem entsprechend bei 0,26.

Das von der Wärmepumpe erzeugte Heizungswarmwasser wird über einen im beheizten Kellergeschoss des Neubauteils aufgestellten Heißwasserpufferspeicher mit 500 l Speichervolumen geführt und von



Abb. 72: Heißwasserspeicher

dort aus anschließend - dem Bedarf entsprechend - in das Nieder temperatur-Fußbodenheizungssystem (40°/33°) für die Räume im Erd- und Kellergeschoss eingespeist.



Abb. 73: Heizschlangen der Fußbodenheizung

## 6.2 Lüftungsanlage

Für die erforderliche mechanische Belüftung des Gebäudekomplexes wurde die Errichtung einer zentralen Lüftungseinheit mit Wärmerückgewinnung konzipiert. Die erforderliche Förderleistung liegt bei 4300 m<sup>3</sup> je Stunde. Bei Vollbelegung des Gebäudes mit bis zu 200 Personen stehen somit je Person 21,5 m<sup>3</sup> Luftmenge je Stunde zur Verfügung.

Das hierfür ausgewählte passivhauszertifizierte Lüftungsgerät Ventech LG 4000 der Firma Pichler musste in Ermangelung anderer verfügbarer Räume in der Dachzone der Bestandskirche oberhalb des Hauptraumes eingebaut werden. Es steht somit im unbeheizten Bereich. Der effektive Wärmebereitstellungsgrad der Gegenstrom-Wärmetauschereinheit liegt dennoch bei 75,2%.

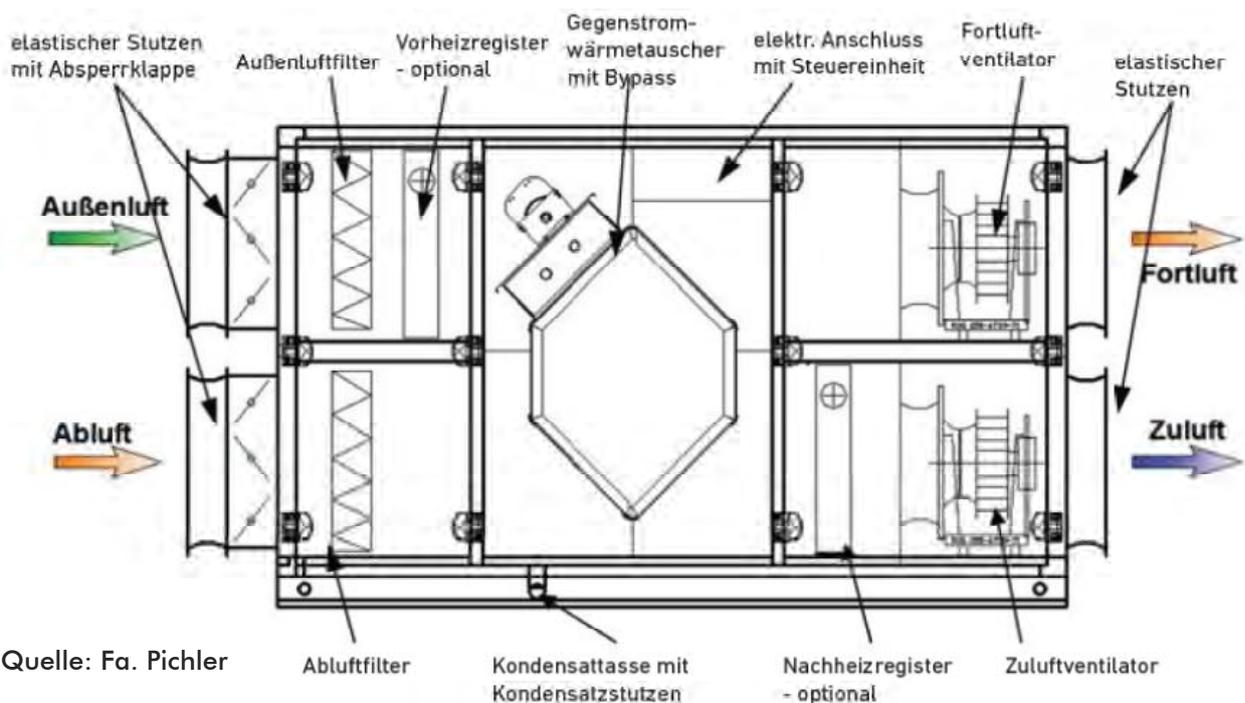
Herausfordernd war die Anforderung an die Lüftungsanlage eine starke Spreizung der Betriebszustände zu ermöglichen. Bei eher



Quelle: RoA

Abb. 74: Lüftungsgerät im Dachraum

seltener größeren Veranstaltungen mit bis zu 200 BesucherInnen muss die Anlage die volle Kapazität des verfügbaren Luftförderolumens bereitstellen. Im deutlich überwiegenden normalen Alltagsbetrieb, mit z.B. nur wenigen Besuchern einer Kursveranstaltung im Mehrzweckraum, werden hingegen stündlich nur wenige Hundert m<sup>3</sup> Förderleistung in Anspruch genommen.



Quelle: Fa. Pichler

Abb. 75: Funktionseinheiten des Lüftungsgerätes



Quelle: RoA

**Abb. 76: Deckenluftauslässe Kirche während der Montage**

Die Bewältigung dieser Spreizung mit Hilfe von zwei unterschiedlich leistungsfähigen Lüftungsgeräten wurde in der Planungsphase erörtert, letztlich jedoch verworfen, da der zusätzlich zu erwartende investive Aufwand zu hoch war.

Die Führung der größeren Lüftungsleitungen für den Kirchenraum war unproblematisch, da der gesamte Dachboden als Verteilerzone zur Verfügung stand. Dabei wurde in Kauf genommen, dass diese Luftkanäle sich grundsätzlich im unbeheizten Bereich befinden. Ideenfindung war hingegen bezüglich der Führung der Zu- und Abluftleitungen des flachen Erweiterungsbaues gefordert. Da keine unmittelbare Verbindung zwischen der Dachzone des Altbaues und dem Neubauteil vorhanden war, musste die Verbindung entweder außen, sichtbar

vor der Ziegelsteinfassade, geführt werden oder innerhalb des Kirchenraumes, wo sie den ansonsten harmonischen Gesamteindruck des Raumes beeinträchtigen würde. Schließlich wurde eine verdeckte Führung in der aufgedickten Giebelwand gefunden, welche zusätzlich durch breit abgeschrägte Laibungen die neue Glasöffnung in der Mittelachse der Kirche betont.



Quelle: RoA

**Abb. 77: Zu-/Abluft Mehrzweckraum (Neubau)**

### 6.3 Elektrotechnik

Im Zuge der Gebäudesanierung wurde die komplette elektrische Anlage erneuert. Das Beleuchtungssystem konnte auf aktuelle, Energie sparende Komponenten umgestellt werden. Dabei kamen überwiegend LED-Leuchten zum Einsatz



Abb. 78: Andachtsraum im KG („Krypta“)

Aufgrund der geosteten Ausrichtung des Kirchengebäudes entsteht im Zusammenhang mit dem traditionellen Satteldach eine Aufteilung der Dachfläche in einen Nord- und einen Südteil. Letzterer wurde genutzt, um eine dachintegrierte Photovoltaikanlage mit einer Leistung von  $14 \text{ kW}_{\text{peak}}$  zu errichten.

Die PV-Anlage ist in der Lage, ca. 14.000 kWh Strom im Jahr zu liefern. Sie deckt damit den Heizwärmebedarf des Gebäudekomplexes komplett ab.



Abb. 79: Indach-PV-Anlage

Der Gesamtenergiebedarf des Gebäudes, einschließlich der elektrischen Verbraucher (Licht etc.) liegt gemäß PHPP-Kalkulation bei rd. 10.000 kWh/Jahr, so dass ein echtes ‚Plusenergiehaus‘ auf der Basis eines Passivhauses (...im Bestand) geschaffen wurde.

Auch Primärenergetisch ist die Bilanz – wenn auch knapp – ausgeglichen: rd. 26.000 kWh Primärenergiebedarf steht eine minimal höhere Erzeugungsmenge gegenüber.



Abb.80: historische Grabplatten im Seitenschiff



## Fazit

### 7 Ergebnis / Ausblick

Die evangelische Christuskirche in Heinsberg ist mit Hilfe der durchgeführten energetischen Sanierung in ein ‚Passivhaus im Bestand‘ umgewandelt worden. Das Bauwerk wurde dabei vom Passivhausinstitut (PHI) Darmstadt als erstes Nichtwohngebäude mit Innendämmung überhaupt nach den vom PHI selbst aufgestellten Kriterien des EnerPHit-Standards zertifiziert. Der Heizwärmebedarf des Kirchengebäudes ist dabei von ursprünglich 183 kWh/(m<sup>2</sup>\*a) auf nun 45 kWh/(m<sup>2</sup>\*a) verringert worden.

Die Reduzierungsrate liegt somit bei 75 %

Das aufgrund der Belastung durch Schlagregen besonders sensible Bauteil ‚Außenwand in Sichtmauerwerk mit Innendämmung‘ wurde mittels intensiver Simulationsberechnungen zur Bestimmung des optimalen Schichtaufbaus - in Verbindung mit der Auswahl insbesondere des geeigneten Dämmmaterials – optimiert.

Letztlich wurde dieses Bauteil – ausgehend von der ‚alten‘ Bestandswand aus ca. 38

cm starkem Ziegelmauerwerk mit ca. 2 cm innerem Kalkzementputz – unter Verwendung von 20 cm Zellulosedämmung, hinter einer zweilagigen Plattenverkleidung aus 16 mm DWD-Platten und 12,5 mm Gipskartonplatten, energetisch ertüchtigt.

Als Dampfbremse wurde eine feuchtevariable Bahn aus einem Polyethylen-Copolymer ausgewählt.

Der U-Wert der Außenwand reduzierte sich von vormals 1,525 W/(m<sup>2</sup>\*K) auf nun nur noch 0,204 W/(m<sup>2</sup>\*K)

Die Summe der reinen Baukosten (KG 300 und 400 gem. DIN 276) für Umbau, Erweiterung und energetische Sanierung lag bei rd. 1,040 Mio. Euro (brutto, incl. MWSt.)

Davon entfielen ca. auf

- Neubauteil (Erweiterung) 460.000 €
- Umbau nicht energetisch 240.000 €
- Energetische Sanierung 340.000 €



Abb. 81: Ensemble evangelische Christuskirche mit Pfarrhaus nach Umbau und Sanierung



Abb. 82: Christuskirche mit Erweiterungsbau



Quelle: RoA

Abb. 83: Erweiterungsbau

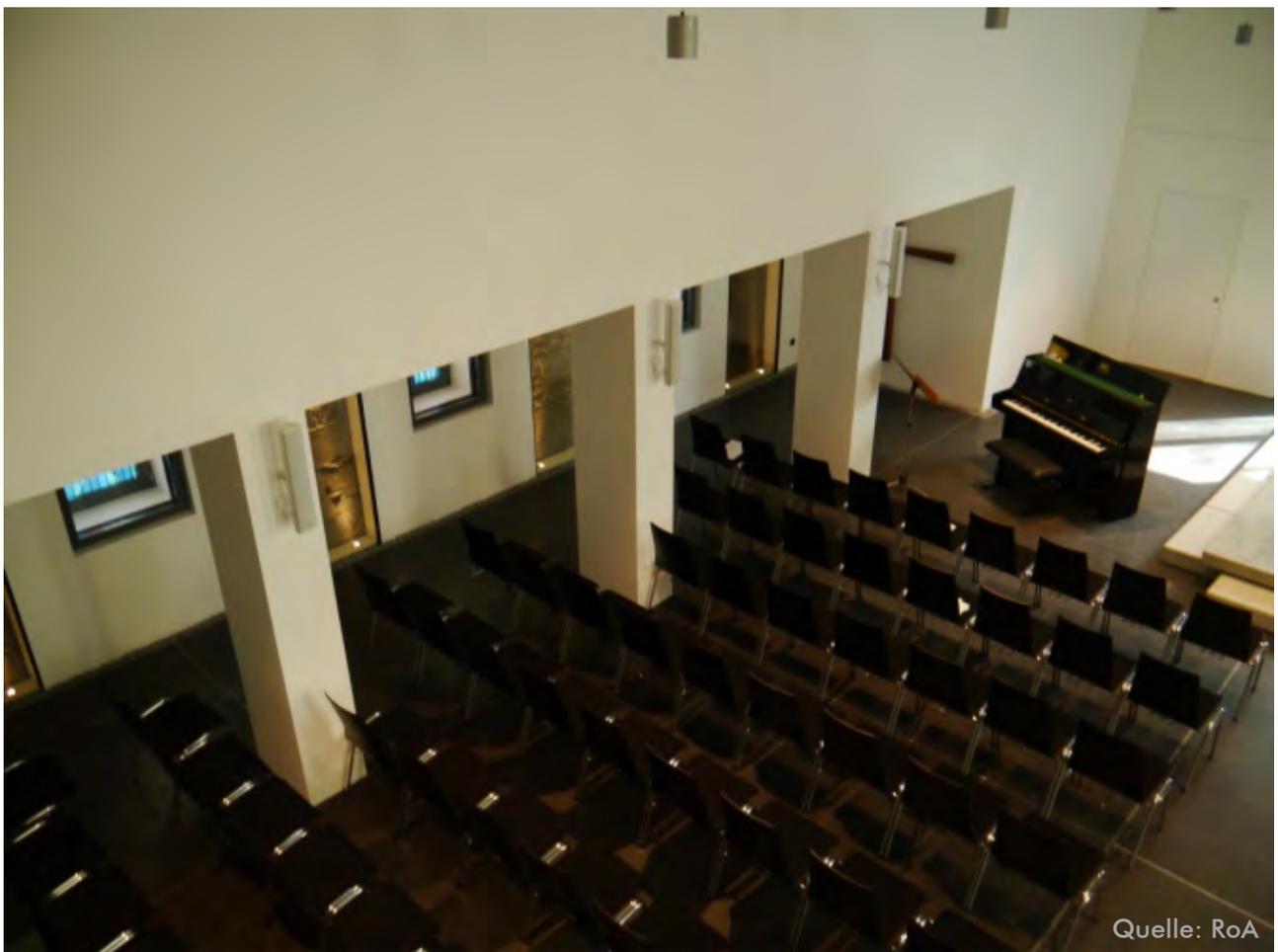


Abb. 84: Blick von der Orgelempore nach Umbau und Sanierung



Abb. 85: Altarbereich mit Blick in den Erweiterungsbau (Entwurf Altar: RoA)



Quelle: RoA

Abb. 86: Unterirdischer Andachtsraum (Krypta)

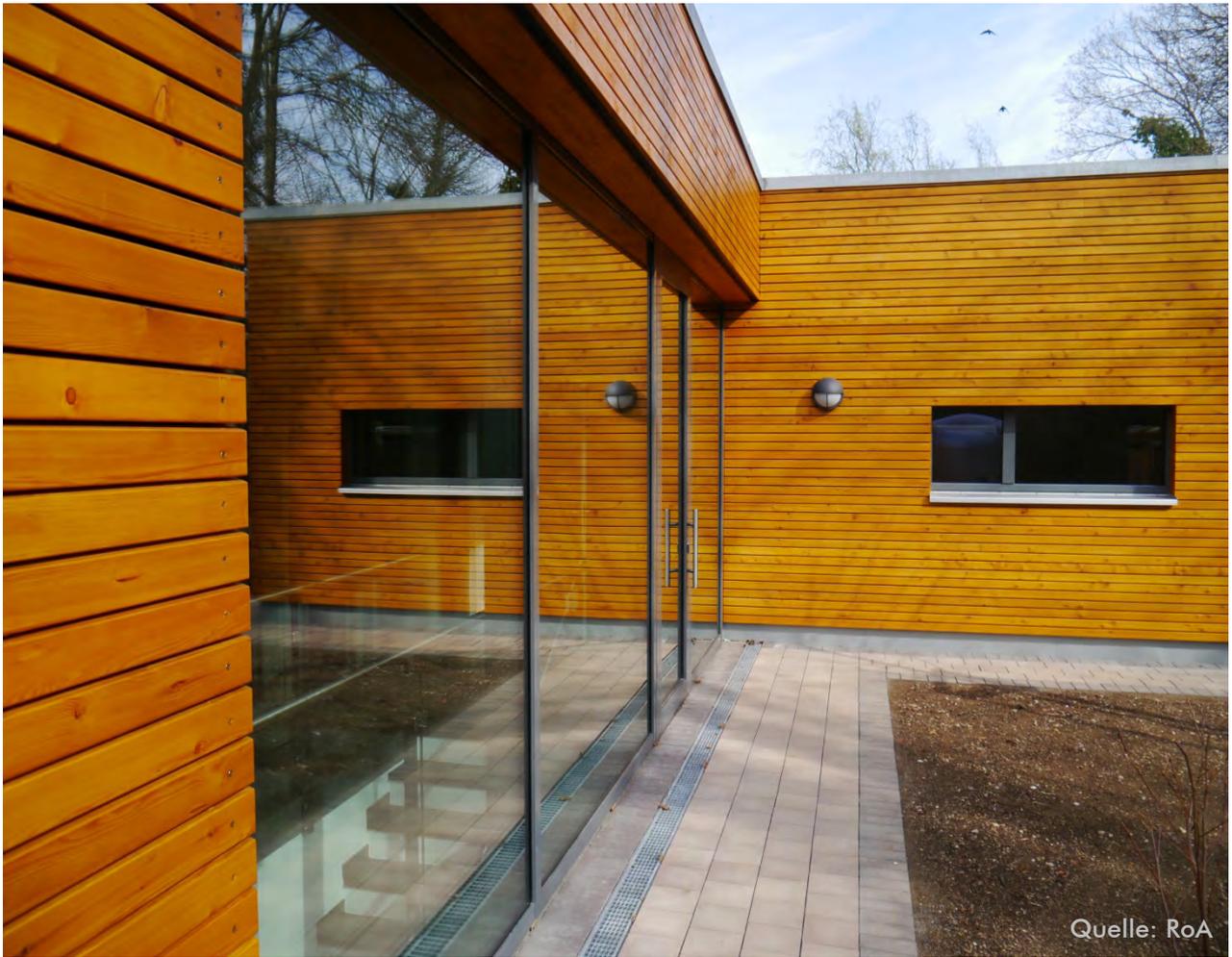


Abb. 87: Gartenansicht: Erweiterungsbau und Sakristei



Abb. 88: Innenhof mit Wasserbecken, Sonne und Sternen

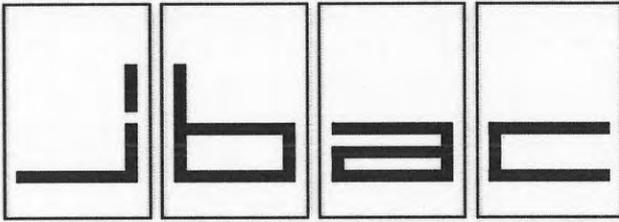
## Literaturverzeichnis

- [AKKP-32] Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser: Faktor 4 auch bei sensiblen Altbauten – Passivhauskomponenten und Innendämmung, PHI, Darmstadt, 2005
- [IBAC-12] RANKERS, R.: Prüfbericht 1666 – Untersuchungen an Ziegelsteinen und Mörteln – Evangelische Christuskirche, Heinsberg (Manuskript), IBAC, Aachen, 2012
- [PHI-12] SCHULZ, T.: Zwischenbericht Feuchtesimulation, (Manuskript), PHI, Darmstadt, 2012
- [PHI-13] GROVE-SMITH, J. und Feist, W.; Ottinger, O.; Schulz, T.; Steiger, J.; Zieba, A.: Hygrothermische Untersuchung zur Innendämmung der EnerPHit-Sanierung der Evangelischen Christuskirche Heinsberg, PHI, Darmstadt, 2013
- [RBL-05] BORSCH-LAAKS, R.: Keine Angst vor Innendämmung! Holzbau/Quadriga, 5/2005, S. 13-18
- RBL-08] BORSCH-LAAKS, R.: Innendämmung in Holzbauweise Holzbau/Quadriga, 2/2008, S.19-24
- [WUFI-Bio] WUFI-Bio 3.0: Software zur Beurteilung von Schimmelpilzwachstum; Fraunhofer Institut für Bauphysik, Holzkirchen, 2013

## Anhänge (Daten-CD)

- A** Architekturpläne
- B** Pläne Haustechnik
- C** Prüfbericht ‚Untersuchungen an Ziegelsteinen und Mörteln – Evangelische Christuskirche, Heinsberg‘, Institut für Bauforschung AC, RWTH Aachen, 2012
- D** Zwischenbericht Simulation Bauteilfeuchte, Passivhaus-Institut Darmstadt, 2012
- E** Endbericht Simulation Bauteilfeuchte, Passivhausinstitut Darmstadt, 2013

MU ✓  
Zw ✓



INSTITUT FÜR BAUFORSCHUNG AACHEN

FORSCHUNG · ENTWICKLUNG  
ÜBERWACHUNG  
PRÜFUNG · BERATUNG

	<b>RWTHAACHEN UNIVERSITY</b>		

## Prüfbericht M 1666

Untersuchungen an Ziegelsteinen und  
Mörteln – Evangelische Christus-  
Kirche, Heinsberg

Ra/Sc

2. Ausfertigung

**THEMA**

Untersuchungen an Ziegelsteinen und Mörteln  
– Evangelische Christus-Kirche, Heinsberg

**Prüfbericht Nr.**

M 1666  
vom 26.07.2012

**Projektbearbeitung**

Dr. rer. nat. R. Rankers

Reinhard Rankers

**Auftraggeber/Förderer**

Evangelische Kirchengemeinde Heinsberg  
Erzbischof-Philip-Str. 12  
52525 Heinsberg

**Vertragsdatum/Auftragsbestätigung** 19.07.2012

**Ihr Aktenzeichen**

Dieser Bericht umfasst 22 Seiten, davon 5 Textseiten.

Soweit Versuchsmaterial nicht verbraucht ist, wird es nach 4 Wochen vernichtet. Eine längere Aufbewahrung bedarf einer schriftlichen Vereinbarung. Die auszugsweise Veröffentlichung dieses Berichtes, seine Verwendung für Werbezwecke sowie die inhaltliche Übernahme in Literaturdatenbanken bedürfen der Genehmigung des ibac.

## 1 ALLGEMEINES

Die evangelische Kirchengemeinde Heinsberg beabsichtigt, an der Christus-Kirche Maßnahmen zur energetischen Sanierung durchzuführen. Diese Maßnahmen werden seitens des Passivhaus Instituts, Darmstadt, betreut. Für bauphysikalische Simulationen benötigt das Passivhaus Institut Angaben hinsichtlich Materialkenngrößen der Mauerziegel und Mörtel des Mauerwerks der Christus-Kirche. Das Institut für Bauforschung Aachen (ibac) wurde von der evangelischen Kirchengemeinde mit Untersuchungen zur Charakterisierung der Wasseraufnahme dieser Baustoffe beauftragt. Auf Untersuchungen zur Wärmeleitfähigkeit der Baustoffe wurde nach Rücksprache mit dem seitens der Kirchengemeinde beauftragten Architektenbüro RONGENARCHITEKTEN GmbH zunächst aus Kostengründen verzichtet.

## 2 ORTSBESICHTIGUNGEN

Dr. R. Rankers, Mitarbeiter des ibac, führte am 07. und 21.05.2012 Ortsbesichtigungen zusammen mit Mitarbeitern des Architekturbüros RONGENARCHITEKTEN an der Christus-Kirche durch. Bei der zweiten Ortsbesichtigung wurden ihm Mauerziegel und Versetzmörtel, die angabegemäß aus der Außenfassade der Kirche stammten, für die notwendigen Laboruntersuchungen übergeben.

Im Rahmen der Ortsbesichtigungen wurden an den Kirchenaußenfassaden folgende Beobachtungen gemacht:

- Die Ziegel wiesen unterschiedliche Rotfärbungen und Oberflächenstrukturen auf, die durch unterschiedliche Brennbedingungen während ihrer Herstellung hervorgerufen worden sind.
- Die Verfugung der Außenfassade war an mehreren Stellen schadhaft (Flankenabrisse zum Ziegel, fehlender Mörtel).
- Einige Ziegel wiesen Risse auf, die durch die Herstellung bedingt waren.
- Im nordöstlichen Bereich der Kirche hatte eine Setzung des Bauwerks stattgefunden. Die entstandenen Risse waren unsachgemäß mit einer polymeren Dichtungsmasse verschlossen worden.
- Der Sockelbereich der Nordfassade wies eine starke Feuchtebelastung auf.
- In der Südfassade waren im Bereich der Heizungs-nischen unter den Fenstern Risse im einschaligen Mauerwerk vorhanden.

- Bei einem neuen Durchbruch der Außenfassade war feststellbar, dass zwischen Außenschale und Hintermauerwerk keine Luftschicht vorhanden war.

In den Bildern B1 bis B5, Seiten B1 bis B3, sind Besonderheiten der Außenfassade exemplarisch dokumentiert.

### **3 LABORUNTERSUCHUNGEN UND ERGEBNISSE**

#### **3.1 Probenvorbereitung**

Die rötlichen Vollziegel hatten folgende Abmessungen:

- Länge: 247 mm
- Breite: 114 mm
- Höhe: 62 mm

Das Ziegelformat entspricht dem „neuen Reichsformat“.

Aus sechs Mauerziegeln mit bewitterter Sichtfläche wurden jeweils drei Bohrkerne (Durchmesser: 50 mm) in Richtung Steinbreite (parallel zur Lagerfläche) entnommen. Aus diesen Bohrkernen wurden Prüfkörper mit einer Länge von 50 mm und der bewitterten Sichtfläche (Läuferseite) als Prüfkörper herausgeschnitten. Jeweils zwei Bohrkerne aus den sechs Ziegeln sind in den Bildern B6 und B7, Seite B4, photographisch dokumentiert.

Auf den Lagerflächen der Ziegel haftete der Versetzmörtel in größeren Platten und nur vereinzelt Reste des Verfugmörtels. Die Dicke des Verfugmörtels war in den Lagerfugen zwischen 20 und 25 mm, in den Stoßfugen zwischen 12 und 20 mm. Der Versetzmörtel mit der Höhe von 16 mm hatte ein dichtes Gefüge und keine visuell feststellbaren Poren oder Risse.

Der plattenförmige Versetzmörtel ließ sich von der Ziegeloberfläche durch leichtes Schlagen mit Meißel und Hammer trennen. Aus diesen Mörtelplatten wurden senkrecht zur Kontaktfläche zum Ziegel Bohrkerne entnommen.

### **4 PRÜFUNGEN UND ERGEBNISSE**

#### **4.1 Trockenrohdichte**

Die Prüfkörper wurden bei der Vorbereitung zur Bestimmung des Wasseraufnahmekoeffizienten infolge Kapillarwirkung gemäß DIN EN 1925 /1/ bei  $70 \pm 2$  °C bis zur Masse-

konstanz getrocknet. Die anschließend ermittelten Trockenrohdichten der Prüfkörper sind in den Tabellen A1a und A1b, Seite A1, zusammengefasst.

## **4.2 Wasseraufnahme unter Atmosphärendruck**

Die Wasseraufnahme unter Atmosphärendruck wurde gemäß DIN EN 13755 /2/ ermittelt. Die ermittelten Wasseraufnahmen der Prüfkörper sind in den Tabellen A2a und A2b, Seite A2, zusammengefasst.

## **4.3 Bestimmung des Wasseraufnahmekoeffizienten in Folge Kapillarkwirkung**

Die Bestimmung des Wasseraufnahmekoeffizienten infolge von Kapillarkwirkung erfolgte gemäß DIN EN 1925 /1/. Die Mantelflächen der getrockneten Prüfkörper (siehe 4.1) wurden vor der Wasserlagerung versiegelt. Bei den Ziegelprüfkörpern wurde die bewitterte Sichtfläche ins Wasser eingetaucht.

Die Ergebnisse der Versuche sind in den Tabellen A3a bis A3b, Seiten A3 und A4, zusammengefasst und in den Bildern B8 bis B19, Seiten B5 bis B10, graphisch dargestellt. Bei der graphischen Darstellung wurde die flächenbezogene Wasseraufnahme gegen die Quadratwurzel der Versuchszeit (in Sekunden) aufgetragen.

Für die graphischen Darstellungen wurde im Zeitraum, in dem eine gleichmäßige Zunahme der Wasseraufnahme vorlag, die Regressionsgerade berechnet. Das Bestimmtheitsmaß der Regression und die aus der Regressionsgeraden berechneten Wasseraufnahmekoeffizienten für die einzelnen Prüfkörper sind in der Tabelle 3c, Seite A4, zusammengefasst.

## **4.4 Bestimmung der Wasserdampfdurchlässigkeit**

Die Bestimmung der Wasserdampfdurchlässigkeit erfolgte in Anlehnung an DIN EN ISO 12572 /3/. Die Prüfkörper hatten folgende Abmessungen:

- Ziegel: Durchmesser: 50 mm, Höhe: 50 mm
- Mörtel: Durchmesser: 50 mm, Höhe: 14 mm

Die Prüfbedingung entsprachen dem Satz C der Tabelle 1 der DIN EN ISO 12572 (Temperatur 23 °C; relative Luftfeuchte im trockenen Zustand 50 %, relative Luftfeuchte im feuchten Zustand 93 %). Der Abstand zwischen der Lösung und den Prüfkörpern betrug 50 mm.

Die aus den Masseänderungen berechneten Diffusionsströme in kg/s sind in Tabelle A4a, Seite A5, zusammengefasst. Tabelle A4b, Seite A6, enthält die aus den Prüfergebnissen berechneten Wasserdampfdiffusionswiderstandszahlen ( $\mu$ ) der Prüfkörper.

Die graphische Auswertungen der Versuche sind in den Bildern B20 und B21, Seite B11, dokumentiert.

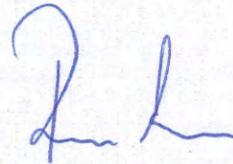
Die Institutsleitung  
i. A.



Dr. rer. nat. H. Nebel



Der Sachbearbeiter  
i. A.



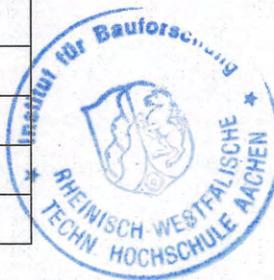
Dr. rer. nat. R. Rankers

## LITERATUR

- /1/ DIN EN 1925:1999-05 Prüfverfahren für Naturstein: Bestimmung des Wasseraufnahmekoeffizienten infolge Kapillarwirkung
- /2/ DIN EN 113755:2008-08 Prüfverfahren für Naturstein: Bestimmung der Wasseraufnahme unteratmosphärischen Druck
- /3/ DIN EN ISO 12571:2001-09 Wärm- und feuchtetechnisches Verhalten von Baustoffen und Bauprodukten; Bestimmung der Wasserdampfdurchlässigkeit

**Tabelle 1a:** Trockenrohddichte;  
Einzelwerte der Mauerziegel- und Mörtelprüfkörper

Material	Prüfkörper Nr.	Trockenrohddichte
		kg/dm <sup>3</sup>
1	2	3
Mauerziegel	1	1,846
	2	1,895
	3	1,921
	4	1,890
	5	1,932
	6	1,860
Versetzmörtel	1	1,685
	2	1,607
	3	1,765
	4	1,679
	5	1,662
	6	1,741



**Tabelle 1b:** Trockenrohddichte;  
statistische Auswertung der Einzelwerte

Material	Mittelwert	Standardabweichung
		kg/dm <sup>3</sup>
1	2	3
Mauerziegel	1,891	0,031
Versetzmörtel	1,690	0,052



Tabelle 2a: Wasseraufnahme unter Atmosphärendruck;  
Einzelwerte der Mauerziegel- und Mörtelprüfkörper

Material	Prüfkörper Nr.	Wasseraufnahme
		M.-%
1	2	3
Mauerziegel	1	8,94
	2	9,89
	3	7,99
	4	6,38
	5	8,46
	6	9,26
Versetzmörtel	1	10,48
	2	12,23
	3	9,61
	4	9,85
	5	12,30
	6	10,08



Tabelle 2b: Wasseraufnahme unter Atmosphärendruck;  
statistische Auswertung der Einzelwerte

Material	Mittelwert	Standardabweichung
	M.-%	
1	2	3
Mauerziegel	8,49	1,12
Versetzmörtel	10,76	1,10



**Tabelle 3a: Wasseraufnahme infolge Kapillarwirkung;  
Einzelwerte der Mauerziegel- und Mörtelprüfkörper**

Material	Prüfdauer	Prüfkörper					
		1	2	3	4	5	6
	s	g/m <sup>2</sup>					
1	2	3	4	5	6	7	8
Mauerziegel	0	0	0	0	0	0	0
	300	483	1011	837	82	154	1884
	600	693	1417	1114	82	185	2387
	1200	981	2105	1566	92	226	3147
	1800	1186	2659	1915	92	246	3732
	3600	1705	4487	2916	108	318	5324
	7200	2485	6972	4641	139	406	7064
	14400	3491	7049	6572	195	555	7126
	28800	4811	7044	6736	252	714	7111
	86400	7588	7105	6782	488	1135	7162
Versetzmörtel	0	0	0	0	0	0	0
	300	1918	696	685	1366	1422	1366
	600	2341	959	992	1732	1764	1658
	1200	2657	1402	1391	2108	2128	2069
	1800	2682	1686	1677	2175	2231	2264
	3600	2713	2330	2132	2268	2340	2377
	7200	2739	2613	2199	2314	2372	2408
	14400	2775	2644	2245	2340	2413	2444
	28800	2765	2644	2245	2294	2397	2428
	86400	2832	2691	2275	2351	2434	2480



**Tabelle 3b:** Wasseraufnahme nach 24 Stunden infolge Kapillarwirkung;  
statistische Auswertung der Einzelwerte

Material	Prüfkörper Nr.	Wasseraufnahme
		M.-%
1	2	3
Mauerziegel	1	10,49
	2	9,53
	3	8,64
	4	2,46
	5	2,70
	6	9,44
Versetzmörtel	1	13,67
	2	13,94
	3	10,94
	4	12,33
	5	12,67
	6	11,60



**Tabelle 3c:** Bestimmtheitsmaße der Regressionen und berechnete Wasseraufnahme-  
koeffizienten

Material	Prüfkörper Nr.	Bestimmtheitsmaß	Wasseraufnahme- koeffizient
		%	$m^2 \cdot s^{0,5}$
1	2	3	4
Mauerziegel	1	99,97	28,5
	2	98,23	81,2
	3	99,34	48,7
	4	94,48	0,6
	5	99,70	3,8
	6	99,66	80,4
Versetzmörtel	1	88,63	30,4
	2	99,86	40,0
	3	99,91	39,5
	4	93,70	32,8
	5	95,76	32,6
	6	99,07	36,4



**Tabelle 4a:** Masseänderung je Zeiteinheit der Mauerziegel- und Mörtelprüfkörper zu den verschiedenen Versuchszeiten

Material	Prüfdauer	Diffusionsstrom des Prüfkörper				
		1	2	3	4	5
	h	$10^{-10}$ kg/s				
1	2	3	4	5	6	7
Mauerziegel	0	0	0	0	0	0
	19	24,1	21,1	27,6	19,4	23,4
	98	6,7	5,2	7,3	3,0	4,6
	116	5,6	4,8	6,9	1,5	3,9
	144	4,4	2,4	4,3	2,0	1,6
	169	3,9	3,6	4,1	1,0	2,0
	188	3,8	3,2	4,7	1,0	3,4
	356	5,5	4,2	5,7	1,8	3,1
	522	5,0	3,9	5,4	1,5	2,8
Versetzmörtel	0	0	0	0	0	1)
	19	59,8	33,3	20,9	19,0	
	98	39,2	26,5	10,9	11,4	
	116	36,6	25,0	10,3	11,1	
	144	33,8	17,4	7,9	8,5	
	169	36,4	16,9	8,1	7,8	
	188	40,1	18,6	8,8	7,3	
	356	17,5	17,5	9,4	5,5	
	522	41,4	17,5	9,2	10,0	

1) Prüfergebnisse nicht verwertbar, da Prüfkörper Fehlstellen aufwies.



Tabelle 4b: Berechnete Wasserdampfdiffusionswiderstandszahlen ( $\mu$ )  
der Mauerziegel- und Mörtelprüfkörper

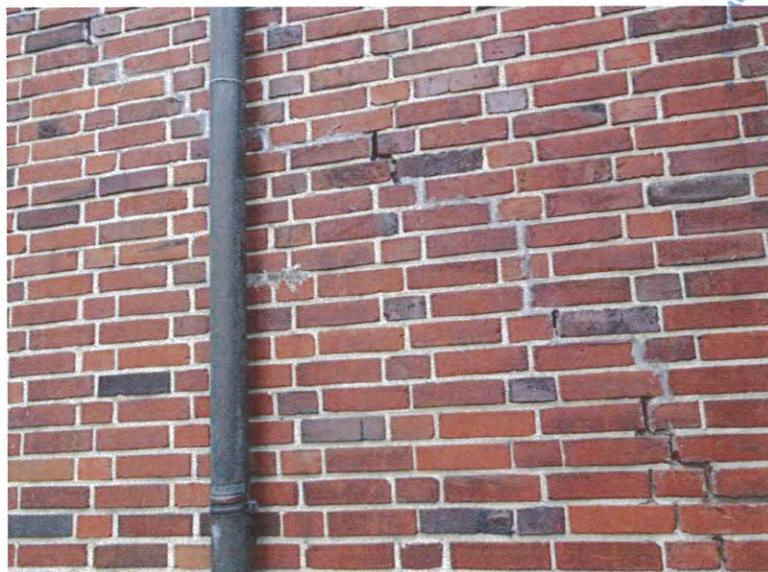
Material	Prüfkörper Nr.	Wasserdampfdiffusions- widerstandszahl ( $\mu$ )
1	2	3
Mauerziegel	1	16,4
	2	21,4
	3	15,9
	4	53,5
	5	29,0
Versetzmörtel	1	6,3
	2	14,6
	3	26,9
	4	28,0
	5	1)



1) Prüfergebnisse nicht verwertbar, da Prüfkörper Fehlstellen aufwies.



**Bild B1:** Setzungsrisse im nordöstlichen Bereich der Kirche



**Bild B2:** Setzungsrisse im nordöstlichen Bereich der Kirche;  
unsachgemäße „Instandsetzung“ mit einer polymeren Dichtungsmasse

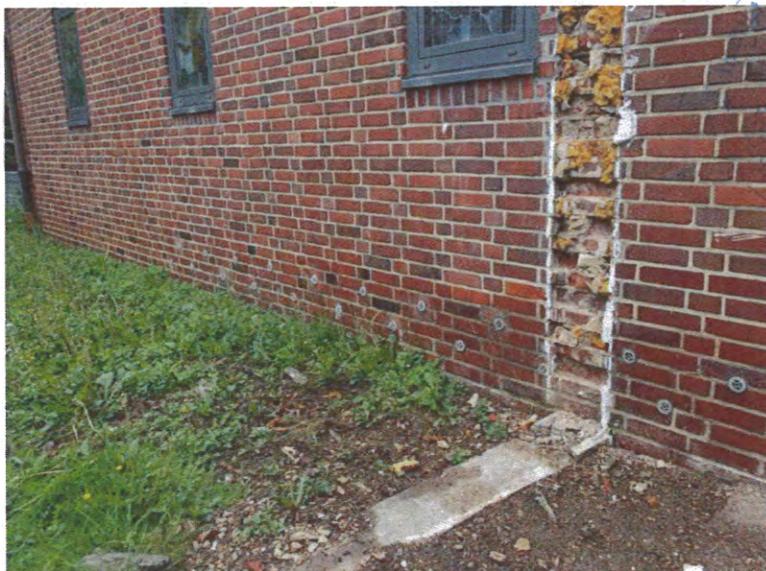


Bild B3: Durchfeuchtung des Sockelbereiches an der Nordfassade

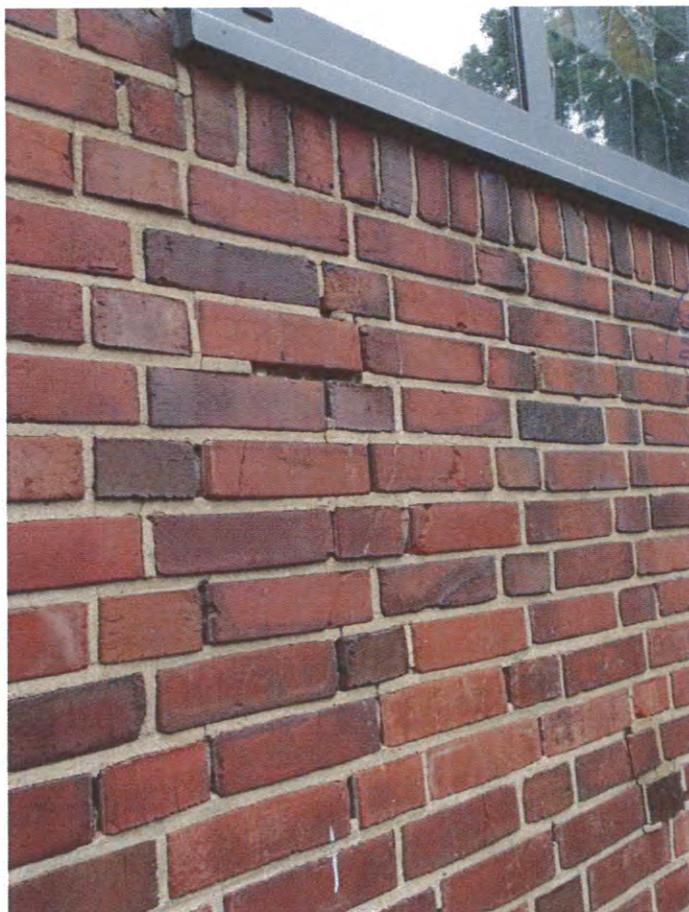


Bild B4: Starke Schädigung des einschaligen Mauerwerks der Südfassade im Bereich der Heizungs-nischen unter den Fenstern

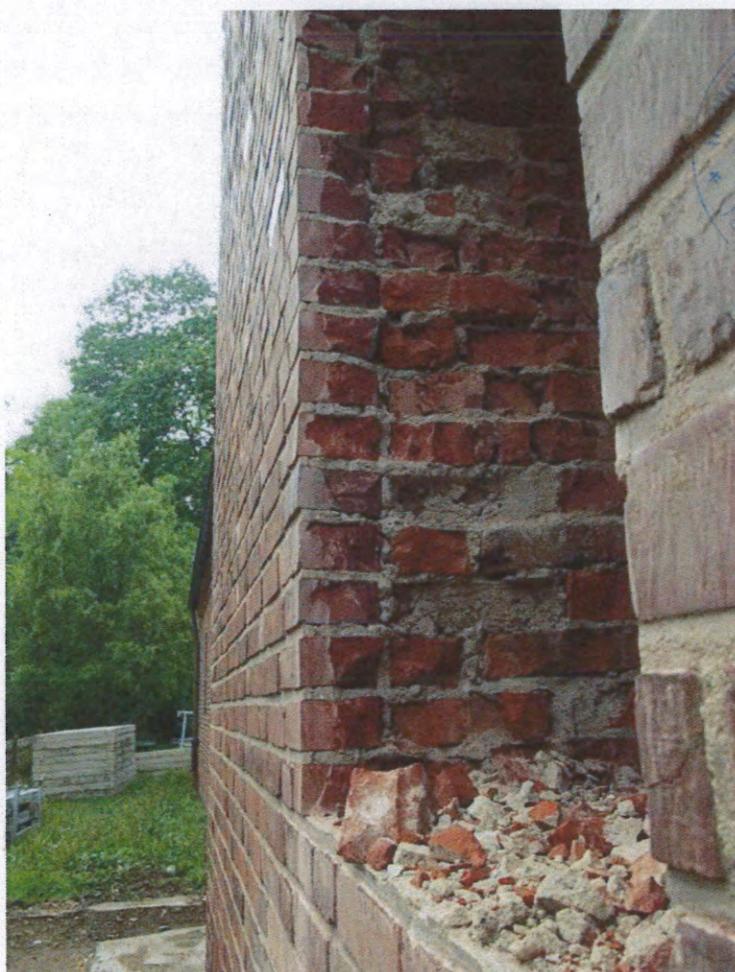


Bild B5: Verbund zwischen Außenschale und Hintermauerwerk

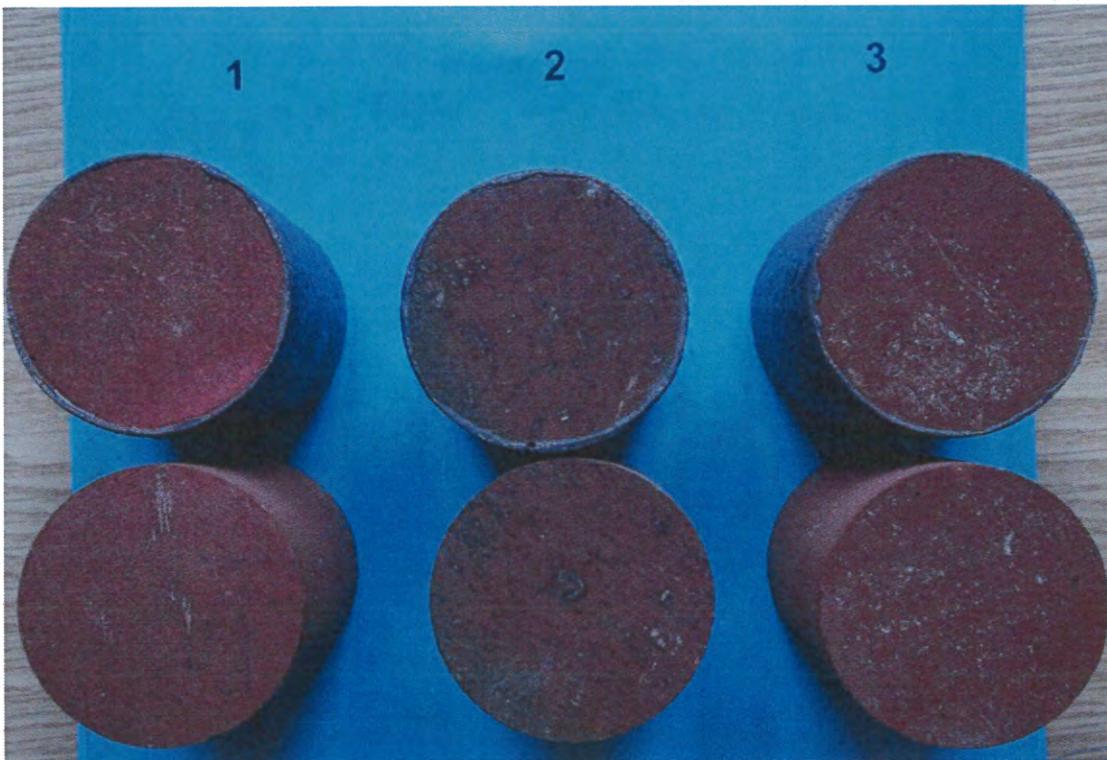


Bild B6: Bohrkerne aus den Ziegeln 1, 2 und 3

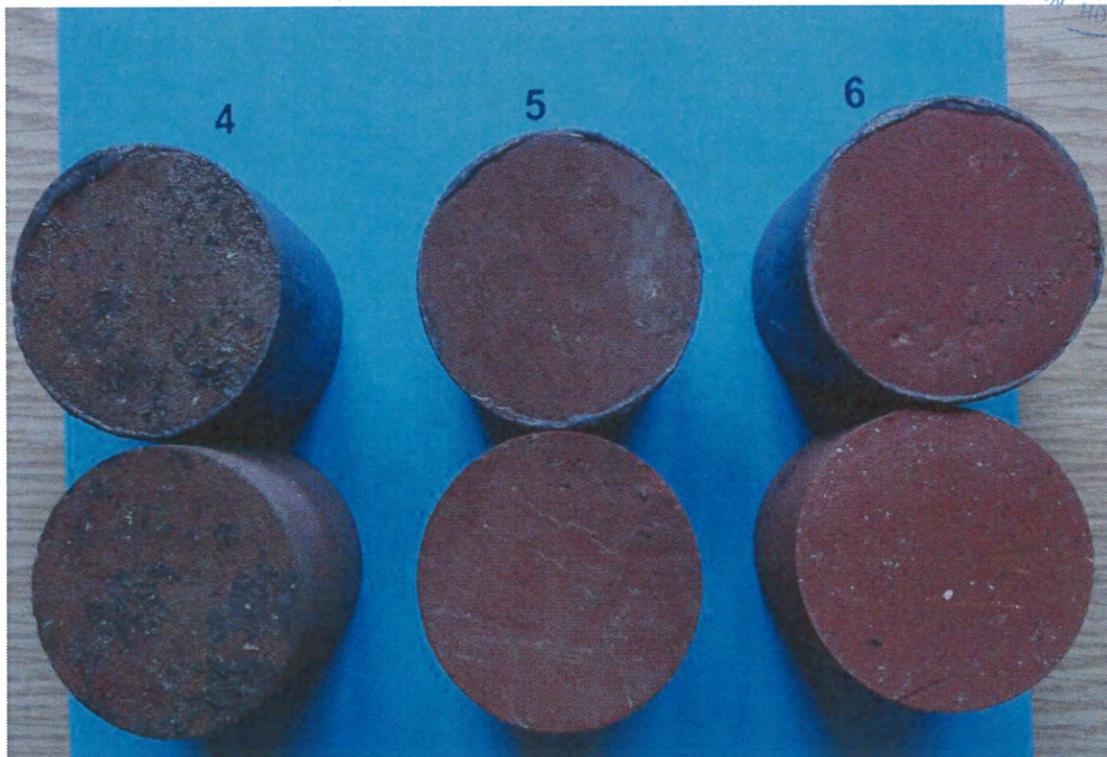
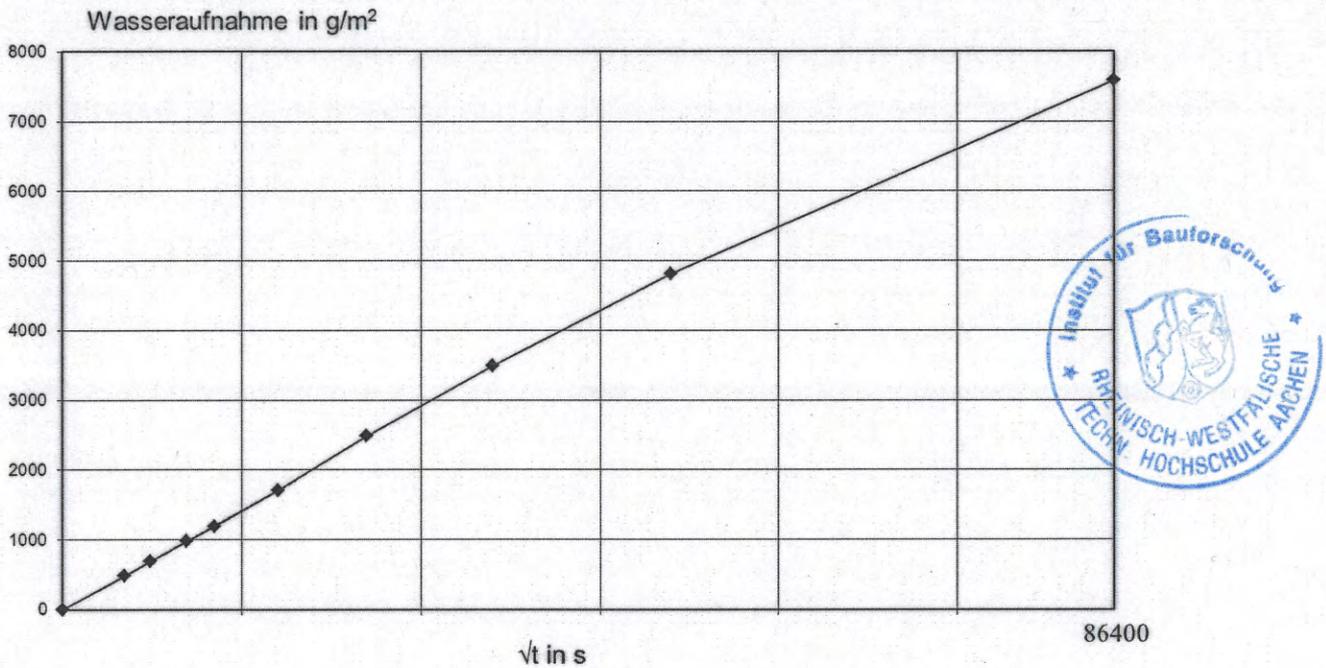
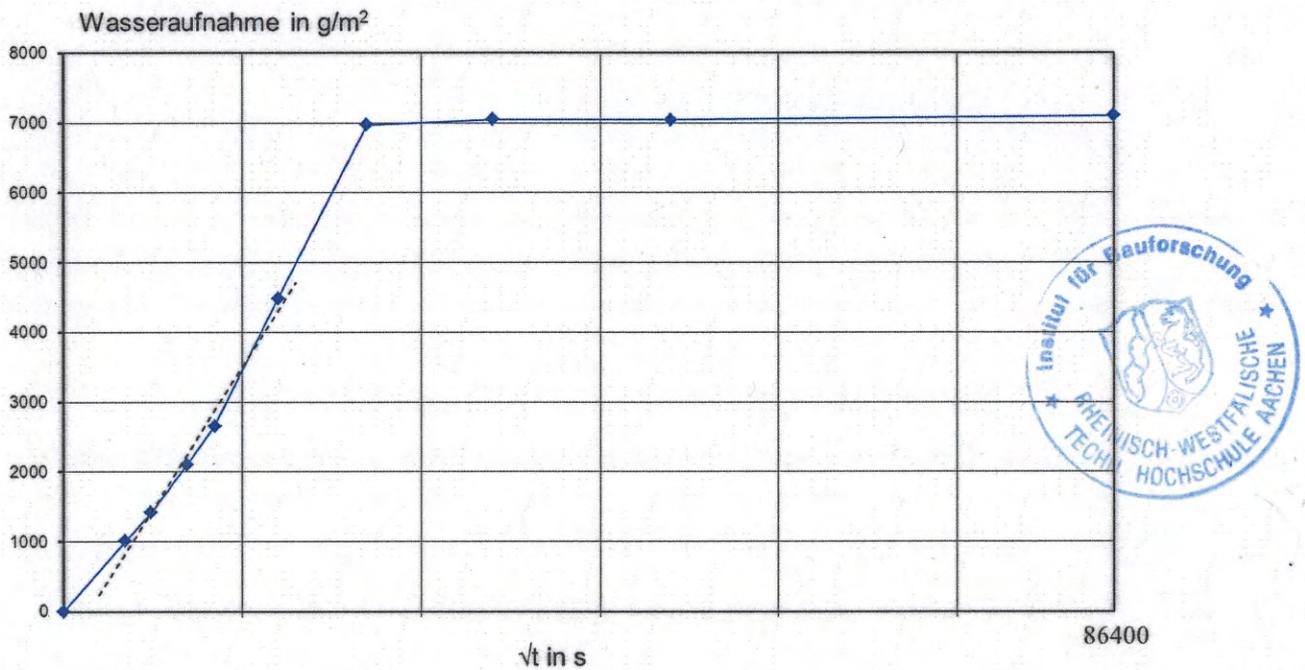


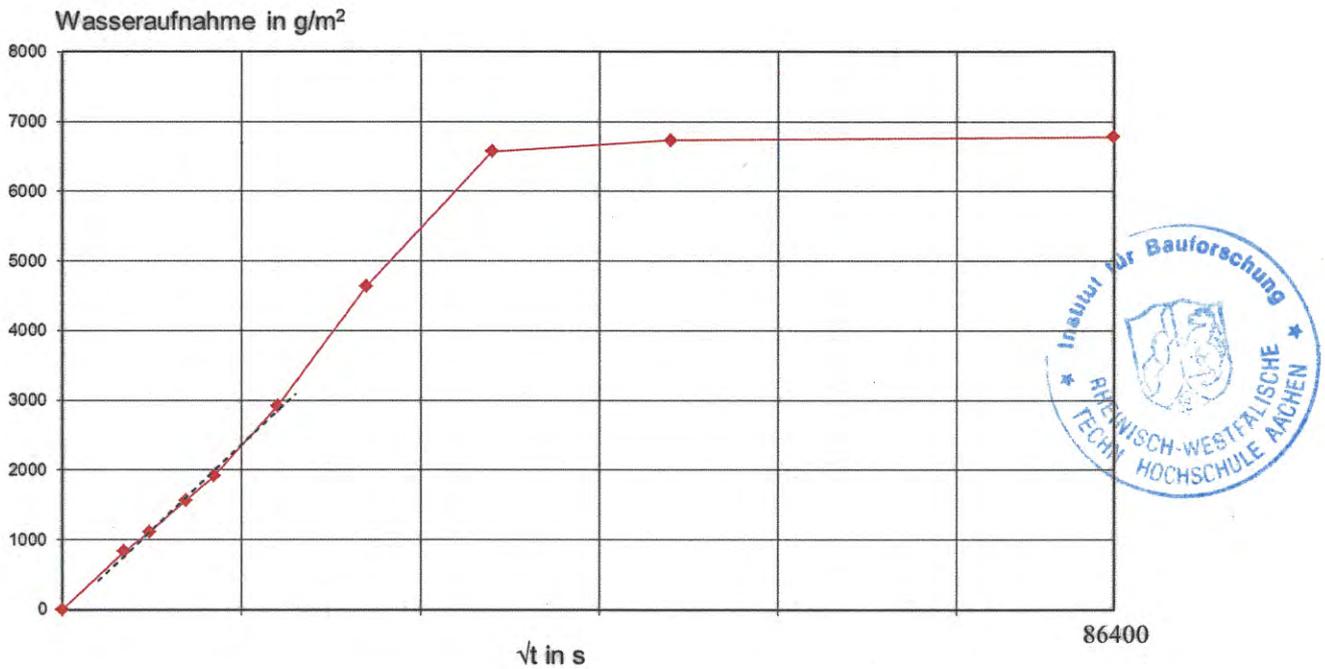
Bild B7: Bohrkerne aus den Ziegeln 4, 5 und 6



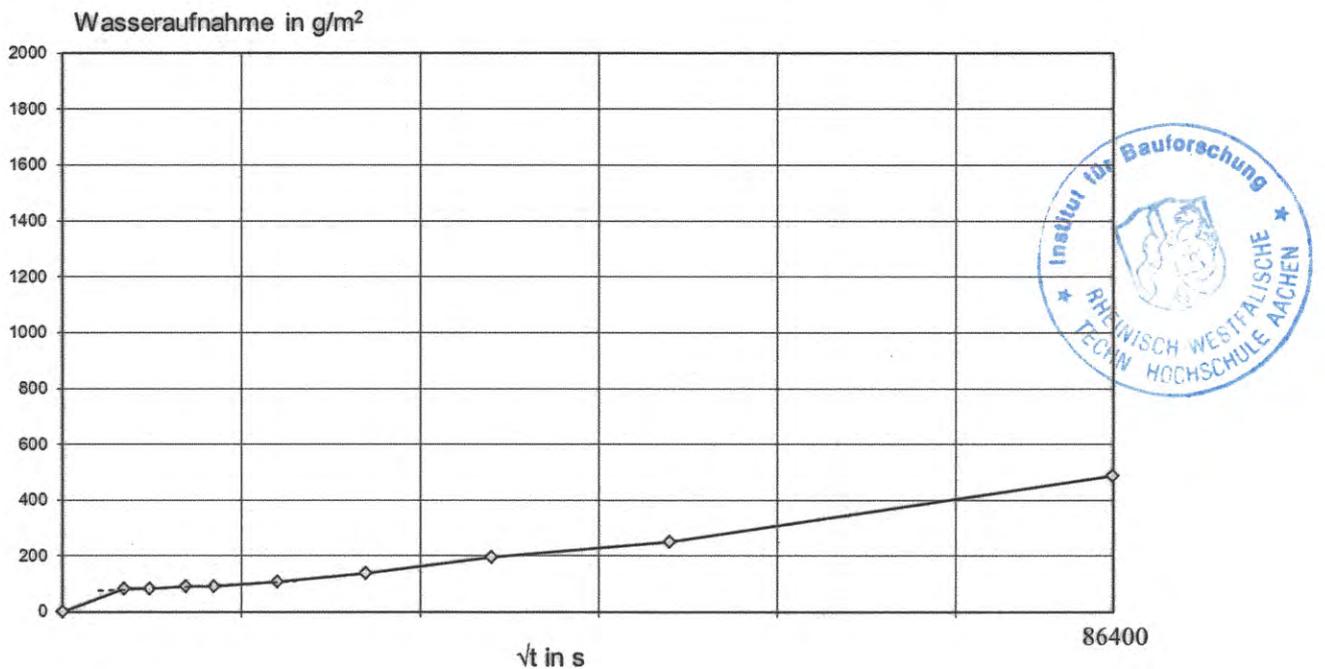
**Bild B8:** Wasseraufnahme infolge Kapillarwirkung als Funktion der Quadratwurzel der Versuchszeit in Sekunden; Mauerziegelprüfkörper Nr. 1



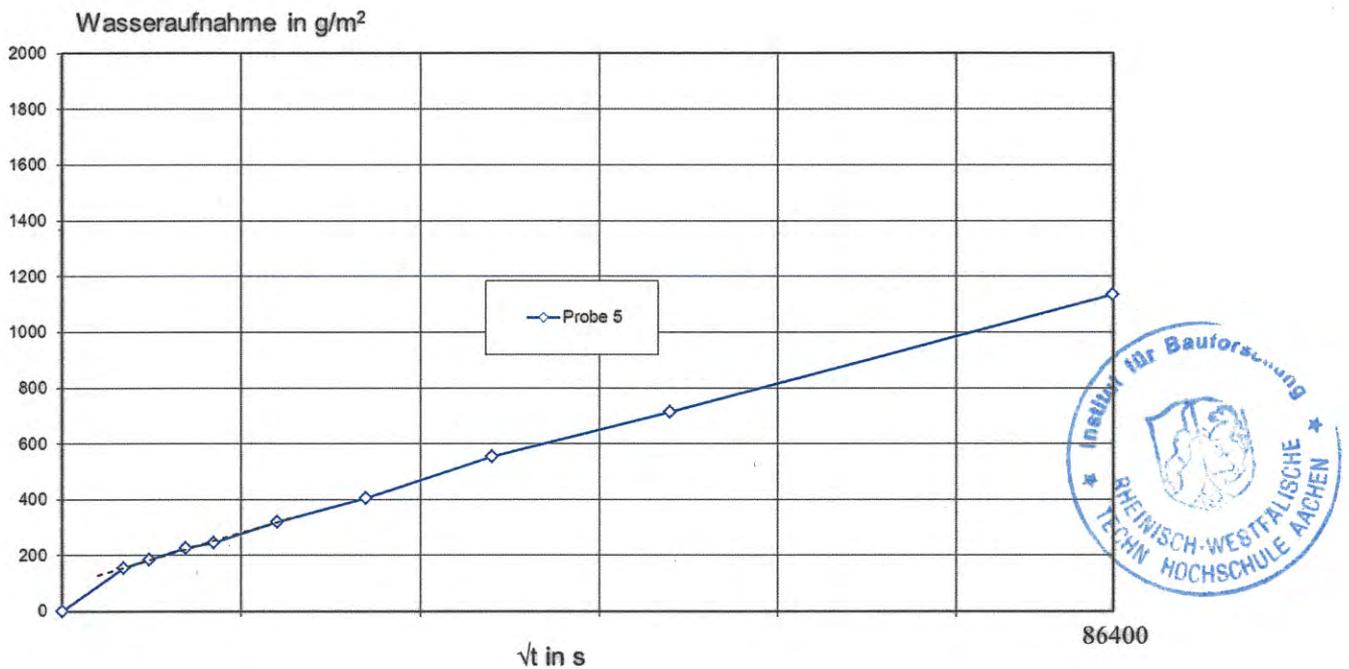
**Bild B9:** Wasseraufnahme infolge Kapillarwirkung als Funktion der Quadratwurzel der Versuchszeit in Sekunden; Mauerziegelprüfkörper Nr. 2



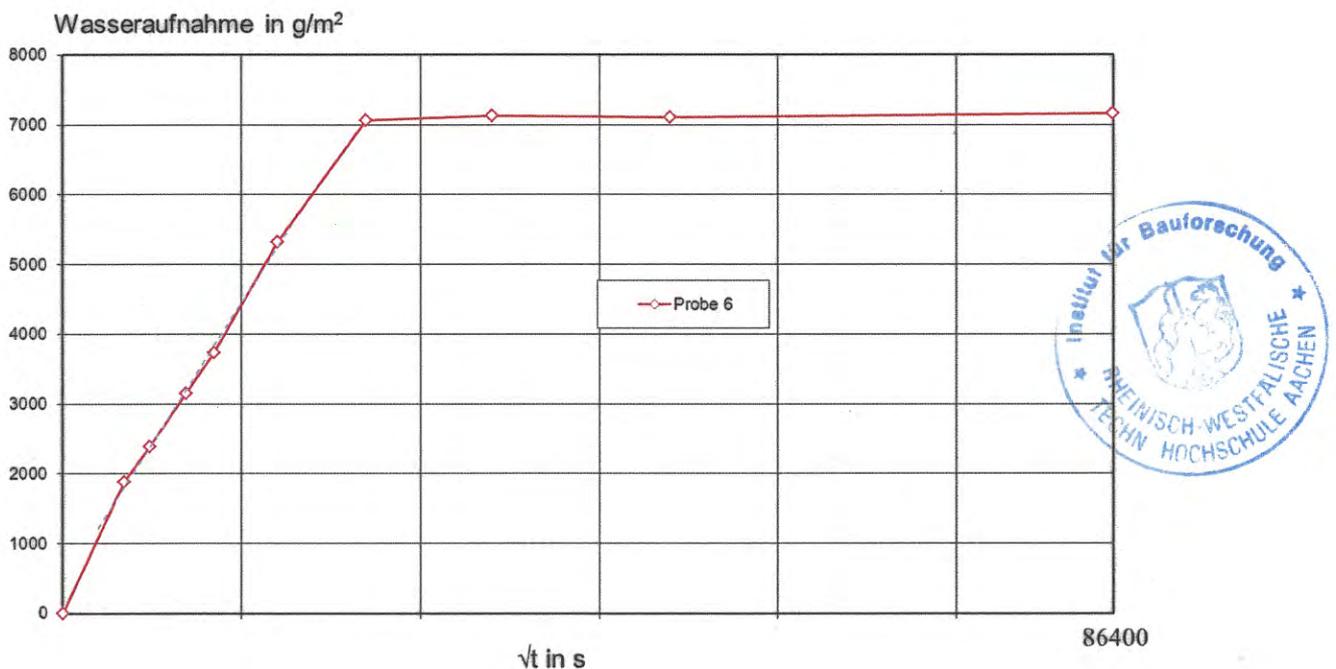
**Bild B10:** Wasseraufnahme infolge Kapillarwirkung als Funktion der Quadratwurzel der Versuchszeit in Sekunden; Mauerziegelprüfkörper Nr. 3



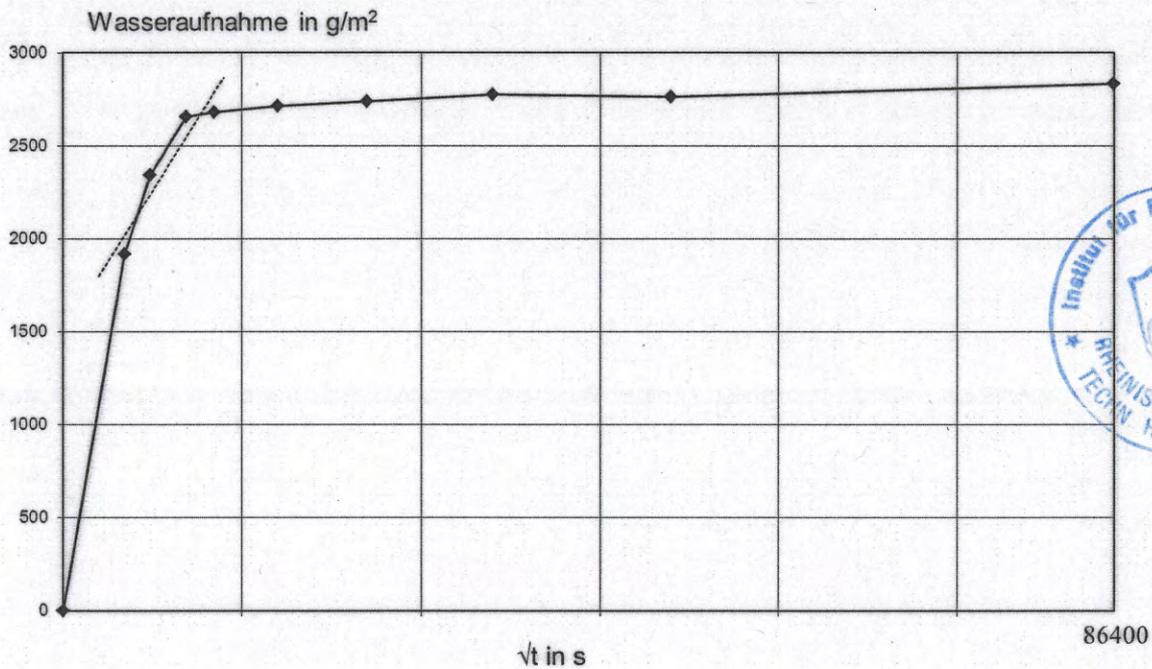
**Bild B11:** Wasseraufnahme infolge Kapillarwirkung als Funktion der Quadratwurzel der Versuchszeit in Sekunden; Mauerziegelprüfkörper Nr. 4



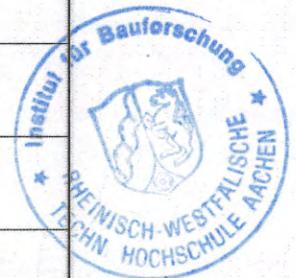
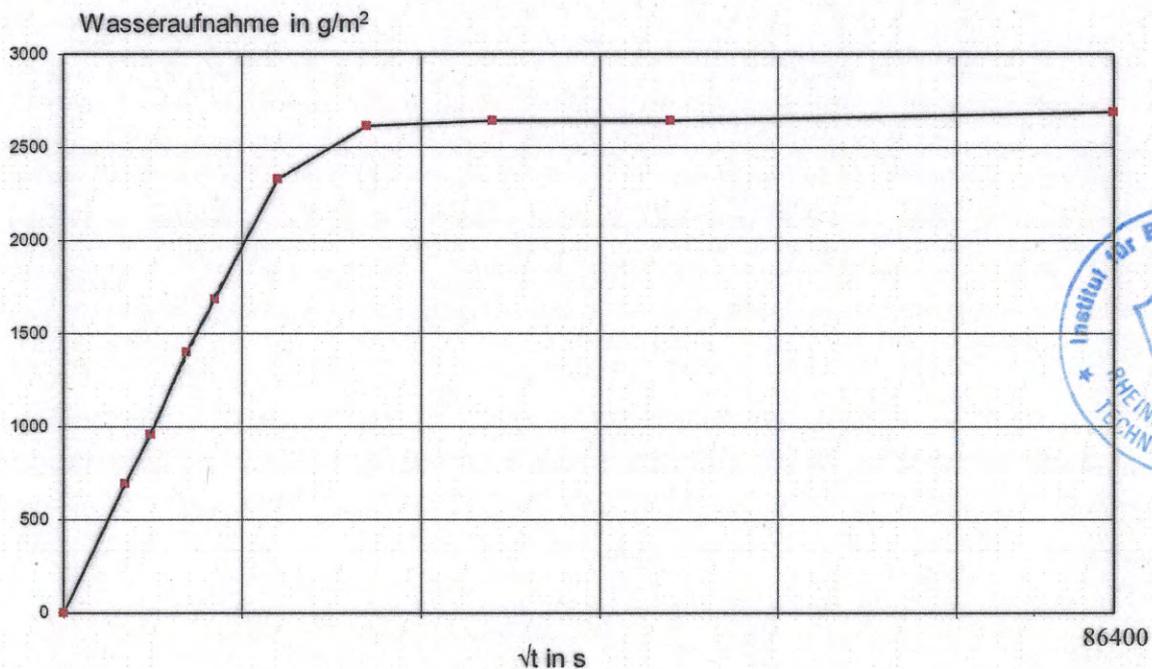
**Bild B12:** Wasseraufnahme infolge Kapillarwirkung als Funktion der Quadratwurzel der Versuchszeit in Sekunden; Mauerziegelprüfkörper Nr. 5



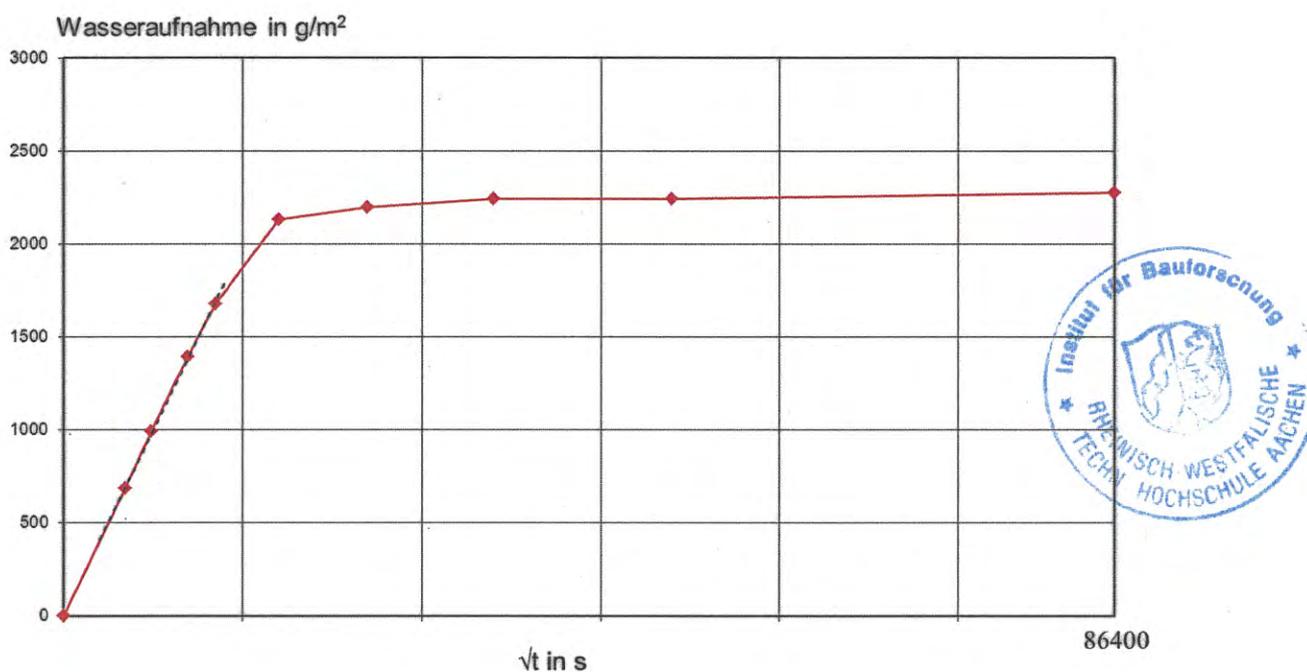
**Bild B13:** Wasseraufnahme infolge Kapillarwirkung als Funktion der Quadratwurzel der Versuchszeit in Sekunden; Mauerziegelprüfkörper Nr. 6



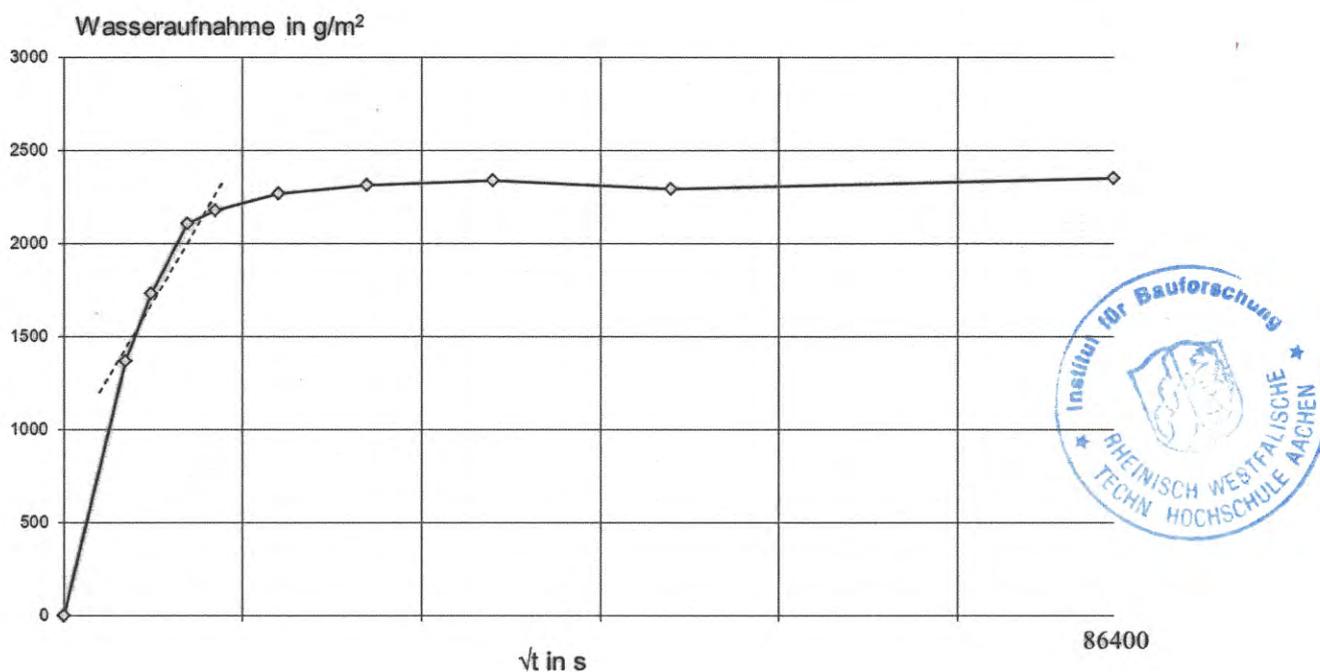
**Bild B14:** Wasseraufnahme infolge Kapillarwirkung als Funktion der Quadratwurzel der Versuchszeit in Sekunden; Versetzmörtelprüfkörper Nr. 1



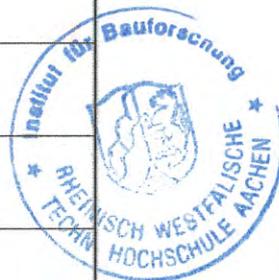
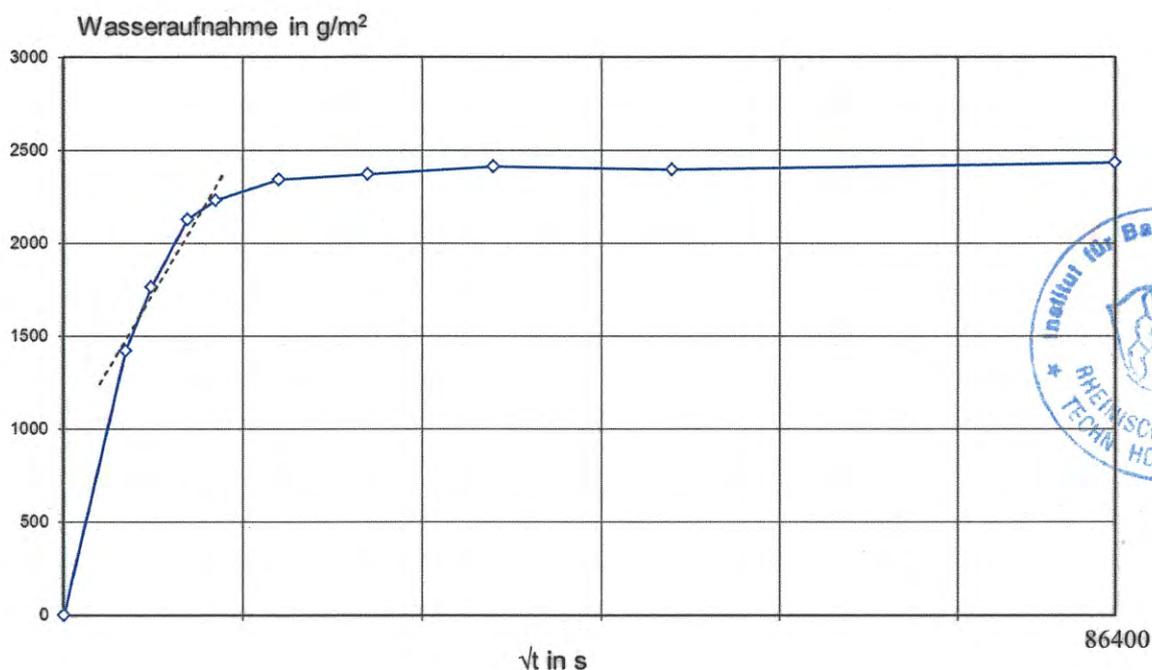
**Bild B15:** Wasseraufnahme infolge Kapillarwirkung als Funktion der Quadratwurzel der Versuchszeit in Sekunden; Versetzmörtelprüfkörper Nr. 2



**Bild B16:** Wasseraufnahme infolge Kapillarwirkung als Funktion der Quadratwurzel der Versuchszeit in Sekunden; Versetzmörtelprüfkörper Nr. 3



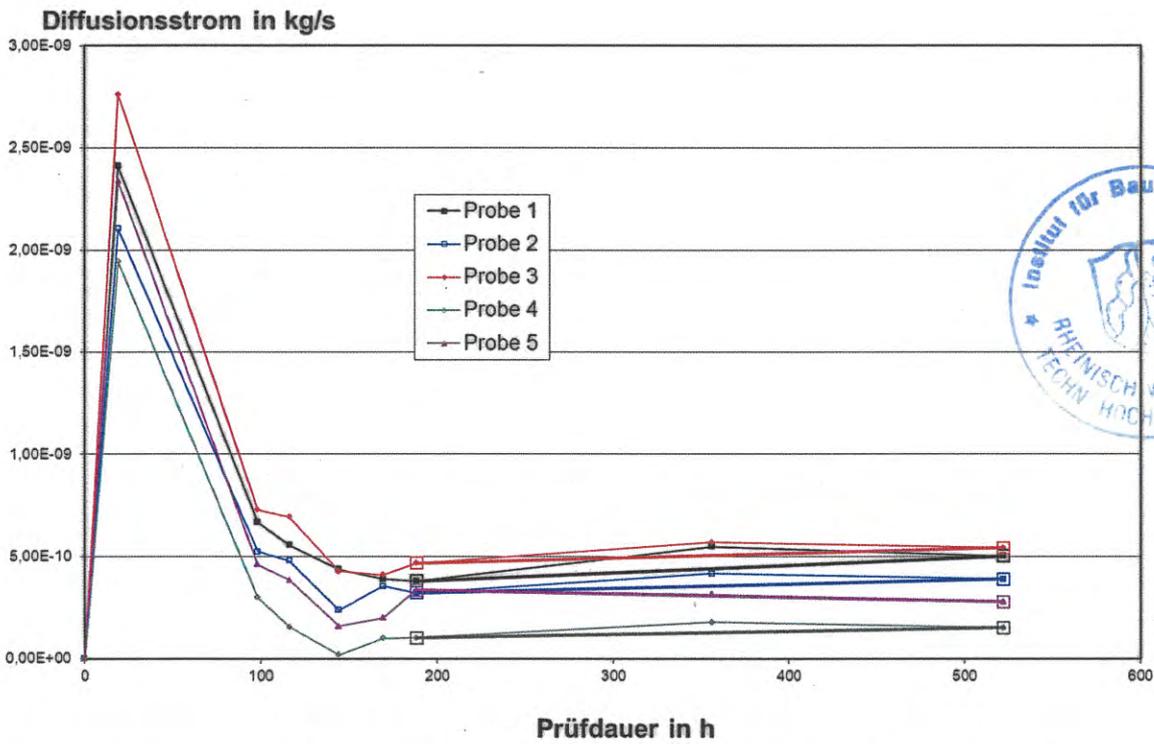
**Bild B17:** Wasseraufnahme infolge Kapillarwirkung als Funktion der Quadratwurzel der Versuchszeit in Sekunden; Versetzmörtelprüfkörper Nr. 4



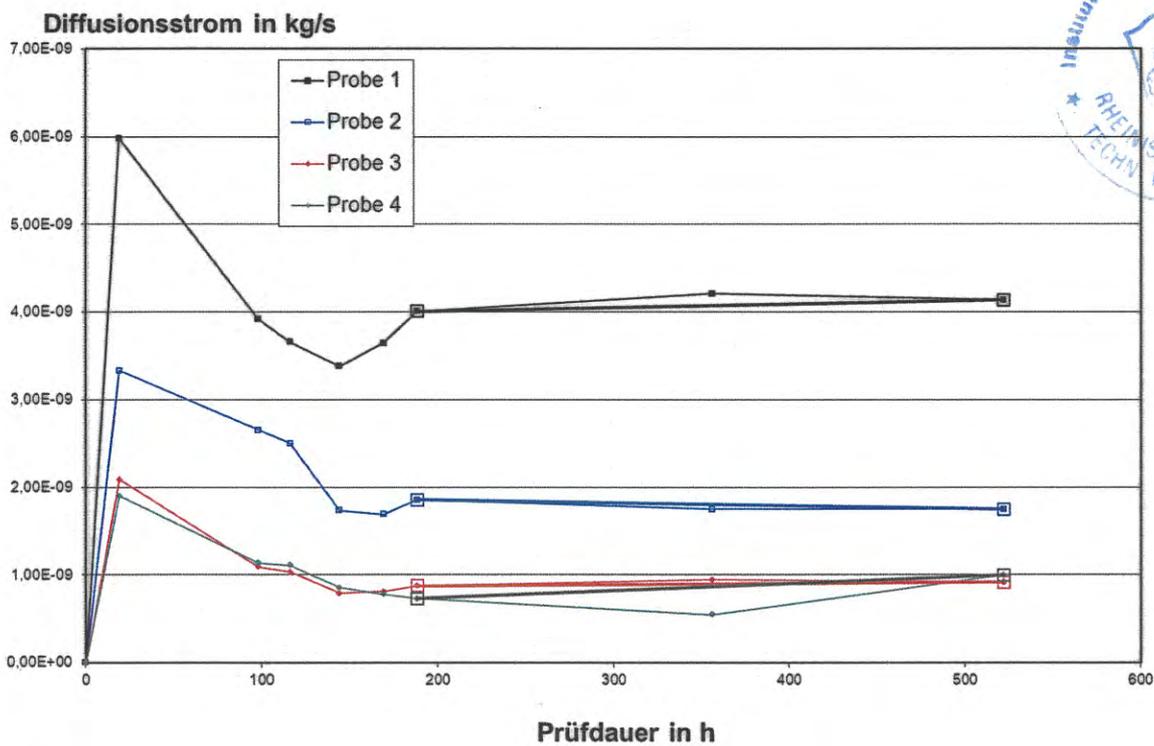
**Bild B18:** Wasseraufnahme infolge Kapillarwirkung als Funktion der Quadratwurzel der Versuchszeit in Sekunden; Versetzmörtelprüfkörper Nr. 5



**Bild B19:** Wasseraufnahme infolge Kapillarwirkung als Funktion der Quadratwurzel der Versuchszeit in Sekunden; Versetzmörtelprüfkörper Nr. 6



**Bild B20:** Masseänderung je Zeiteinheit der Mauerziegelprüfkörper in kg/s zu den verschiedenen Versuchszeiten



**Bild B21:** Masseänderung je Zeiteinheit der Mörtelprüfkörper in kg/s zu den verschiedenen Versuchszeiten

## Zwischenbericht zu den hygrothermischen Berechnungen -Innendämmung Kirche Heinsberg

Es wurden für alle fünf vollständig vermessenen Steinproben hygrothermische Simulationen für den Bestandsfall ausgeführt um die Eigenschaften des Steins und bisherigen Feuchteverhältnisse einschätzen zu können. Die Ergebnisse weichen für die verschiedenen Proben ab, für die fortführenden Berechnungen mit Innendämmung wurde zunächst der kritischste Fall (Probe Nr. 5) betrachtet.

Für die Ziegel ist die Durchfeuchtung bei Minusgraden von Interesse, da hier bei auftretendem Frost Schäden entstehen können. Nach der Sanierung ist das Mauerwerk wie zu erwarten insgesamt kälter. Die Durchfeuchtung der Ziegel liegt nach Anbringung der Innendämmung bei Minusgraden jedoch weiterhin im ähnlichen Bereich wie zuvor. Mit maximal ca. 30-40% (siehe Abbildung 1), sind keine Frostschäden zu erwarten, die Ziegel werden nicht durch die Innendämmung gefährdet.

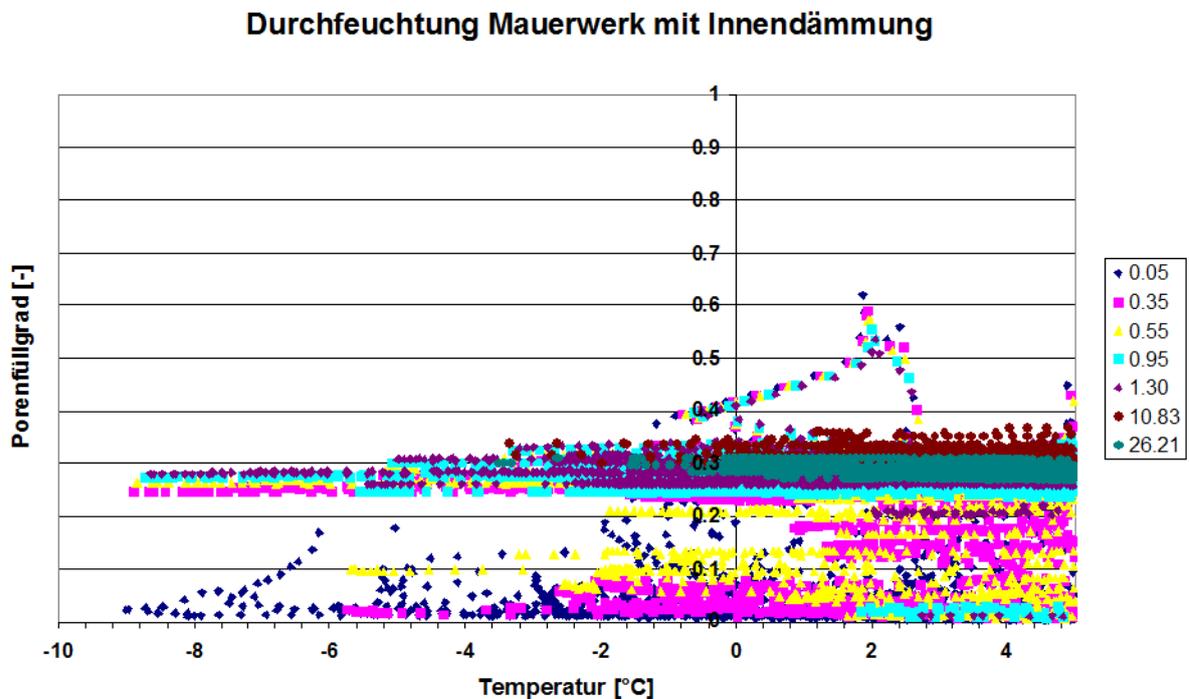


Abbildung 1: Porenfüllgrad der Ziegel bei unterschiedlichen Tiefen (Legende = Tiefe in cm von außen).

Zudem ist die Beständigkeit der Innendämmung zu beurteilen. Wir konnten bisher noch keine dauerhafte Lösungsvariante identifizieren, zusätzliche Berechnungen sind notwendig. Einige Stichpunkte zum aktuellen Stand:

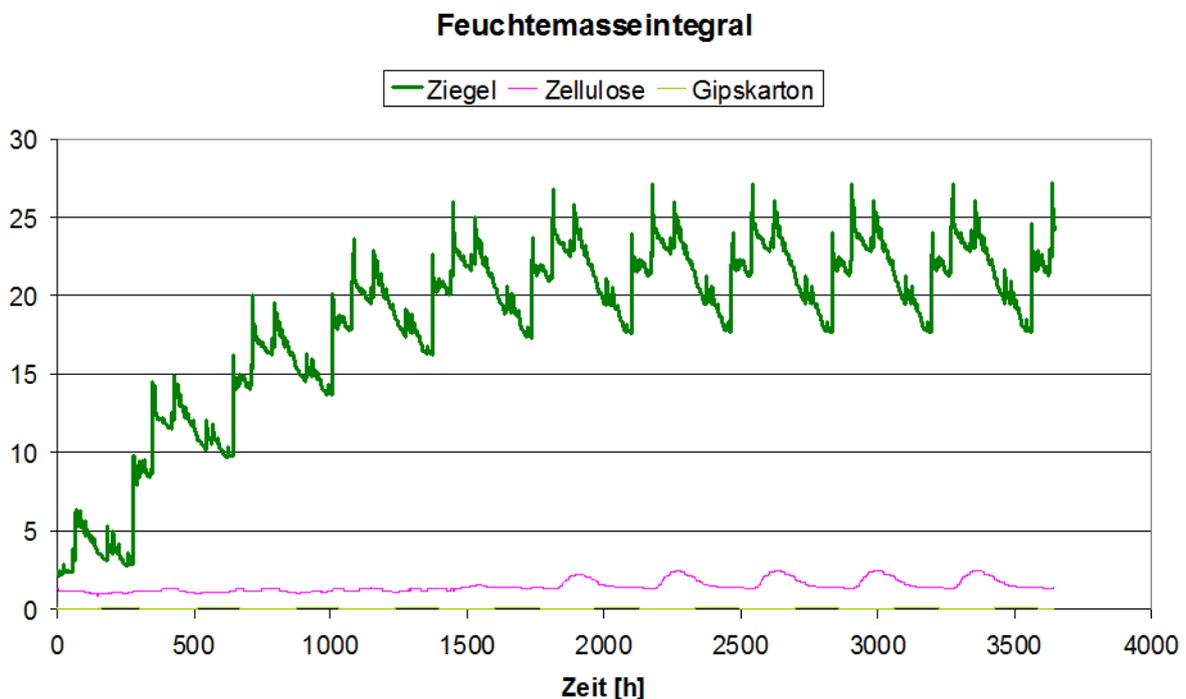
- Es tritt bei einer 20 cm starken Innendämmung mit Zellulose keine dauerhafte Auffeuchtung auf, die im Winter aufgenommene Feuchte trocknet im Sommer wieder aus (siehe Abbildung 2).
- Die ersten Ergebnisse weisen auf eine sehr hohe Feuchte der Zellulose hin, insbesondere im Grenzbereich zum Mauerwerk. Im Winter tritt bis zu einer

Tiefe von ca. 5 cm Kondensat auf. Die relative Feuchte liegt in den äußeren Schichten ganzjährig über 75 %, davon mehr als 80 % aller Jahresstunden über 90 % relative Feuchte (siehe Abbildung 3).

Bei diesen sehr hohen relativen Feuchten ist mit Schimmelbildung zu rechnen, auch andere Schäden, wie beispielsweise ein Absacken der Dämmung, sind nicht auszuschließen. Es gilt noch klären ob und welche Probleme verursacht durch lange Perioden hoher Feuchte (u.A. auch bei Frost) zu erwarten sind.

#### Zum weiteren Vorgehen:

- Prüfen welche Konditionen für Zellulose und Holzkonstruktion vertretbar sind. (Literaturrecherche & Kontaktaufnahme mit Herstellern)
- Optimierungsmöglichkeiten der Konstruktion an verschiedenen Steinproben berechnen, z.B.
  - o Hydrophobierung des Mauerwerks um Wasseraufnahme zu reduzieren
  - o Feuchtesperre zwischen Mauerwerk und Dämmung um zu verhindern dass die Dämmung die von außen kommende Feuchte aufsaugt
  - o Dämmstärke reduzieren um die Temperatur an der Grenzschicht von Mauerwerk und Dämmung zu erhöhen
  - o Alternatives Dämmmaterial
  - o ... weitere?



**Abbildung 2: Gesamtfuchte in den einzelnen Bauteilschichten über den Simulationszeitraum von 10 Jahren. (Ausgangspunkt = 80% relative Feuchte)**

### Relative Feuchte - Zellulose

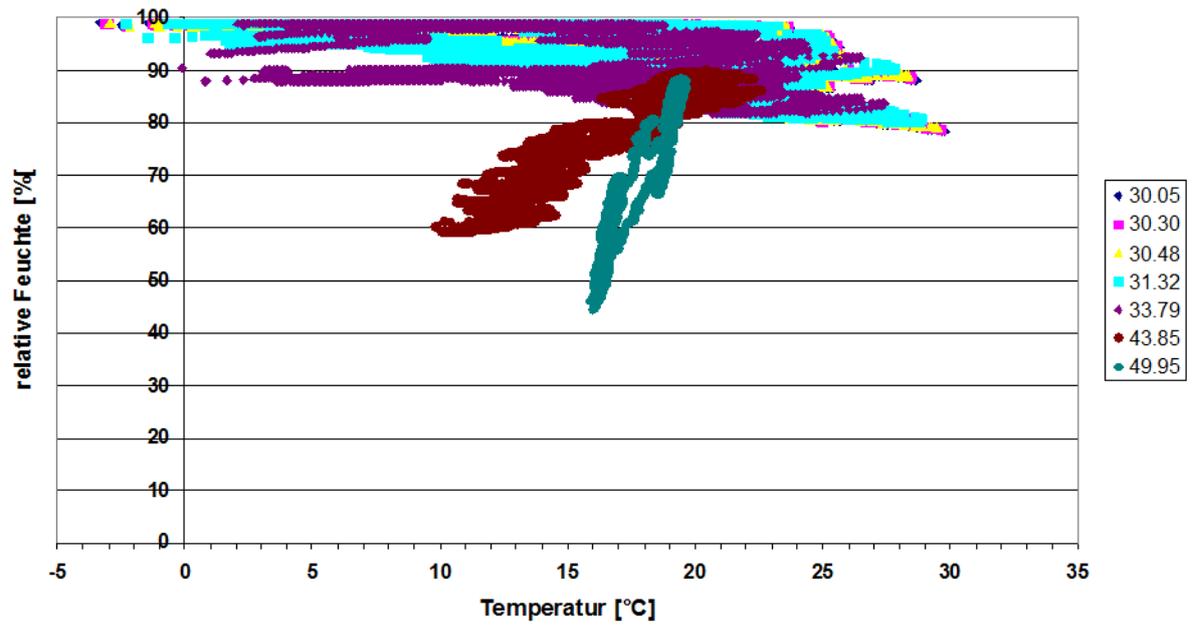


Abbildung 3: Berechnete relative Feuchte in ausgewählten Tiefen der Innendämmung (Legende: Konstruktionstiefe in cm ab Außenoberfläche der Wand).

Passivhaus Institut, 01.09.2012

Jessica Grove-Smith

# Hygrothermische Untersuchung zur Innendämmung der EnerPHit-Sanierung der Evangelischen Christuskirche Heinsberg

Passivhaus Institut, August 2013

## Inhaltsübersicht

1	Einleitung.....	1
2	Projektbegleitende Empfehlungen.....	2
3	Untersuchung des realisierten Wandaufbaus.....	3
3.1	Materialeigenschaften.....	3
3.2	Wandaufbau.....	4
3.3	Randbedingungen.....	5
3.3.1	Außenklima.....	5
3.3.2	Innenbedingungen.....	8
3.3.3	Wärme- und Stoffübergangskoeffizienten.....	9
3.4	Bewertungskriterien.....	9
3.5	Ergebnisse / Simulationen.....	11
3.5.1	Einfluss der Mauerwerkseigenschaften.....	11
3.5.2	Einfluss des Schlagregens.....	17
3.5.3	Einfluss der Innenbedingungen.....	20
3.5.4	Holzfeuchte der Referenzfälle.....	21
4	Zusammenfassung.....	22
6	Literaturangaben.....	24

## 1 Einleitung

Bei der ambitionierten energetischen Sanierung der evangelischen Christus-Kirchengemeinde in Heinsberg kam nur Innendämmung zur Reduzierung der Transmissionswärmeverluste in Frage, da außenseitig das Sichtmauerwerk erhalten bleiben sollte. Innendämmung kann im kühlgemäßigten Klima Mitteleuropas unter Umständen eine bauphysikalische Herausforderung darstellen, weil erhöhtes Potential zur Kondensatbildung und Auffeuchtung innerhalb der Konstruktion (insb. Übergang kalte Dämmung zu Bestandsmauerwerk) besteht. Um einen geeigneten Wandaufbau zu identifizieren und bauphysikalische Schadensfreiheit sicherzustellen, wurde im Rahmen dieses Sanierungsprojekts das Passivhaus Institut (PHI) beauftragt, dynamische hygrothermische Simulationen für in Frage kommende Konstruktionen mit Innendämmung durchzuführen.

Für die hygrothermischen Berechnungen wurde die Software Delphin [DELPHIN] verwendet, ein numerisches Simulationsprogramm für den gekoppelten Wärme-Feuchte- und Stofftransport. Hygrothermische Berechnungen sind stark nichtlinear, so dass die Rechenergebnisse erheblich von den gewählten Eingangsparametern abhängen. Alle Berechnungen wurden vom PHI projektbegleitend durchgeführt, d.h. die Eingangsparameter wurden im Laufe des Projektes nach aktuell vorliegenden Informationen angepasst. Auch beim endgültigen Rechenmodell bestanden noch Unsicherheiten bzgl. einiger Daten (Materialeigenschaften, Regenbelastung), so dass abschließend mehrere Varianten des realisierten Aufbaus berechnet wurden. In diesem Abschlussbericht wird kurz auch auf die projektbegleitenden Erkenntnisse und relevanten Entscheidungen eingegangen, im Wesentlichen aber werden die Simulationsergebnisse zum realisierten Wandaufbau erläutert.

## **2 Projektbegleitende Empfehlungen**

Bereits zu Beginn der Planungsphase wurden zahlreiche Simulationen mit verschiedenen Parametervariationen durchgeführt, um erste Empfehlungen z.B. hinsichtlich der Wahl des Dämmmaterials und der dann notwendigen hygrischen Eigenschaften der restlichen Bauteilschichten (z.B. Dampfsperre) zu erarbeiten. Es wurden verschiedene Dämmmaterialien in Erwägung gezogen – die Wahl fiel letztendlich auf 20 cm Zellulose Einblasdämmung mit einer Holzunterkonstruktion. Aus hygrothermischer Sicht bietet Zellulose insofern eine interessante Option, da das Material bei hoher Feuchtebelastung ggf. anfallende Feuchtigkeit aufnehmen und puffern sowie umverteilen kann ohne davon geschädigt zu werden.

Unabhängig vom gewählten Dämmmaterial ist die Ertüchtigung des Bestandsmauerwerks (insbesondere der Fugen) und sorgfältige Detailplanung (insbesondere der Wärmebrücken) unumgänglich. Auch Feuchteinträge durch aufsteigende Feuchte sind zu vermeiden. Das Bestandsmauerwerk enthielt bereits eine Horizontalsperre bei ca. 30 cm über der Bodenplatte. Der Feuchteschutz wurde während der Sanierungsmaßnahmen mit einer außen liegenden Sockelabspernung bis zur Höhe dieser Horizontalsperre, sowie über eine Bitumenabspernung der Betonbodenfläche ertüchtigt. Die vorgefundene Abdichtung hinter der alten Innenputzebene wurde vollständig abgetragen um eine Feuchteaufnahme durch die Zellulose zu ermöglichen und eine Auffeuchtung des Mauerwerks zu verhindern. Als zusätzlicher Feuchtepuffer wurde zwischen Mauerwerk und Dämmung auf den Wetterseiten West & Süd eine neue Putzschicht angebracht.

## **3 Untersuchung des realisierten Wandaufbaus**

### **3.1 Materialeigenschaften**

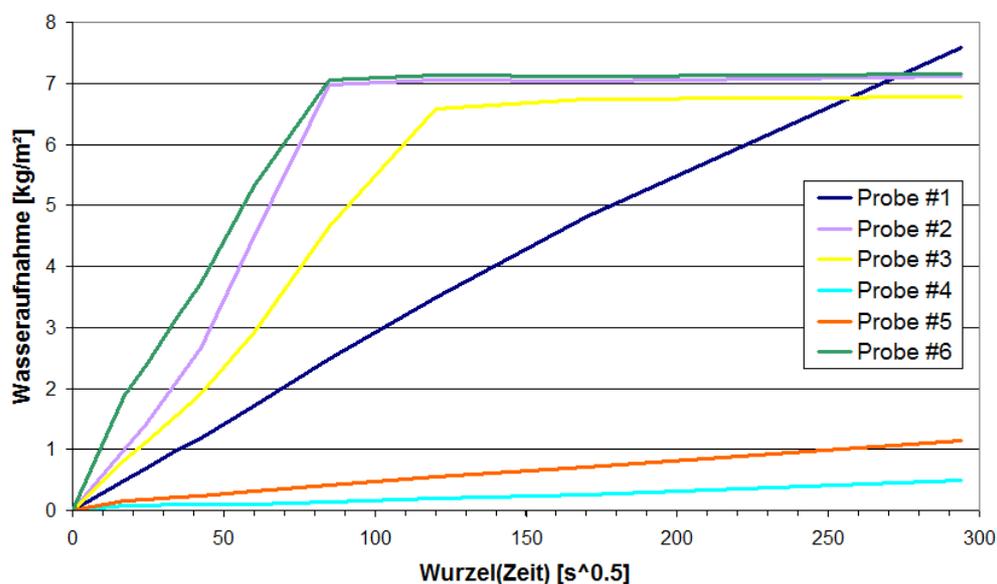
Für hygrothermische Simulationen sind eine Reihe von Parametern zur Spezifizierung der Materialien und Beschreibung des Feuchtetransports notwendig. Es wurden jeweils die in der Materialdatenbank der Software DELPHIN hinterlegten Daten und Funktionen verwendet und ggf. mit projektspezifischen Angaben ergänzt bzw. angepasst.

Bereits bei den ersten Voruntersuchungen wurde deutlich, dass die Eigenschaften des Mauerwerks ausschlaggebend für die zu erwartende Feuchte in der Konstruktion sind. Um die Situation möglichst genau abbilden und verlässliche Empfehlungen geben zu können, wurden daher Messdaten von Steinproben des Gebäudes angefordert, die in der Simulation verwendet werden können. Die Messreihe der insgesamt jeweils 5 vollständig vermessenen Stein- und Mörtelproben wurde vom Institut für Bauforschung Aachen, der Rheinisch-Westphälischen Technischen Hochschule Aachen durchgeführt [Rankers 2012]. Sie enthält Messergebnisse der Trockenrohdichte, der Wasseraufnahme unter Atmosphärendruck und infolge Kapillarwirkung, sowie der Dampfdurchlässigkeit der einzelnen Proben (siehe Tabelle 2). Eine umfangreiche Messung inklusive Bestimmung der Feuchtetransportfunktionen konnte im Rahmen des Projektes aus zeitlichen Gründen nicht realisiert werden. Für diese Kennwerte musste daher auf die vorhandenen Daten der Delphin Materialdatenbank zurück gegriffen werden, jeweils angepasst mit den Ergebnissen der vermessenen Steinproben. Als Basismaterialien wurden zwei unterschiedliche Steintypen aus der Datenbank ausgewählt („Historical Brick Cluster“ und „Clinker“), welche Feuchteknennwerte in der Größenordnung der Messdaten aufweisen, sich aber in den Feuchtetransportfunktionen unterscheiden.

Die Messergebnisse der Ziegelproben weisen mitunter eine starke Streuung auf, so dass keine typischen mittleren Eigenschaften des Mauerwerks daraus hervor gehen. Insbesondere bei der kapillaren Wasseraufnahme der Ziegelproben (siehe Abbildung 3) wurden sowohl sehr unterschiedliche Aufnahmegeschwindigkeiten als auch abweichende Sättigungswerte gemessen. Auch der Diffusionswiderstand wies eine starke Streuung auf. Die Daten weisen auf ein unhomogenes Mauerwerk hin, die in der Simulation angesetzten Parameter bleiben somit trotz der durchgeführten Material-Vermessung mit einer erheblichen Unsicherheit behaftet. Um einer systematischen Verfälschung der Ergebnisse und daraus abgeleiteten Empfehlungen vorzubeugen, wurde für den Referenzaufbau eine Sensitivitätsanalyse hinsichtlich der Mauerwerkseigenschaften durchgeführt.

	Mauerziegel		Mörtel	
	Mittelwert	Stdabw.	Mittelwert	Stdabw.
Dichte [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]	1891	31	1690	52
Wasseraufnahmekoeffizient [ $\text{kg}/(\text{m}^2\sqrt{\text{s}})$ ]	0,041	0,036	0,035	0,004
Kapillare Sättigung [ $\text{m}^3/\text{m}^3$ ]	0,038	0,020	0,074	0,009
Wasseraufnahme unter Atmosphärendruck [ $\text{m}^3/\text{m}^3$ ]	0,045	0,007	0,064	0,009
Diffusionswiderstand [-]	27,2	15,6	19,0	10,4

**Tabelle 1: Zusammenfassung der Messergebnisse aus dem Prüfbericht [Rankers 2011] zu den Ziegel- und Mörtelproben der Christuskirche Heinsberg.**



**Abbildung 1: Wasseraufnahme infolge Kapillarwirkung der verschiedenen Mauerziegelproben (Daten aus dem Prüfbericht [Rankers 2012])**

### 3.2 Wandaufbau

Tabelle 1 ist eine Auflistung der einzelnen Schichten der realisierten Wandkonstruktion wie sie im Rechenmodell abgebildet wurde. Der Wandaufbau wurde vereinfacht in einem 1-dimensionalen Modell abgebildet, d.h. Effekte durch Mörtelfugen und die Holzunterkonstruktion in der Dämmebene wurden nicht berücksichtigt. Dieses vereinfachte Vorgehen wird in dem vorliegenden Fall insbesondere auf Basis der unsicheren Mauerwerkseigenschaften als ausreichend genau erachtet. Da weder die Stein- noch die Mörtel­eigenschaften im Detail bekannt sind, würde ein zweidimensionales Modell bei stark erhöhter Komplexität und Rechenaufwand nicht zu einer erhöhten Verlässlichkeit der Rechenergebnisse

führen. Betrachtet wurde insbesondere die „Schlechtwetterfassade“ mit West-Orientierung. Als Rechenzeitraum wurden 10 Jahre angesetzt und nur der eingeschwungene Zustand (letztes Rechenjahr) zur Auswertung heran gezogen.

	Material	Dicke [cm]	Diffusionswiderstand		Wasseraufnahmekoeff. $a_w$ [kg/(m <sup>2</sup> s <sup>0.5</sup> )]	Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\text{trocken}}$ [W/(mK)]
			$\mu$	$s_d$ -Wert [m]		
Mauerwerk	Historical Brick DELPHIN original	36	45,1	16,24	0,051	0,996
	Klinker DELPHIN original		25	9	0,03	0,96
	Probe #1		16,4	5,9	0,028	0,996
	Probe #2		21,4	7,7	0,081	
	Probe #3		15,9	5,72	0,049	
	Probe #4		53,5	19,26	0,001	
	Probe #5		29	10,44	0,004	
Innenputz	Trass-Kalk-Putz	2	12	0,24	0,07	0,3
Dämmung	Zellulose	20	2,1	0,42	0,56	0,04
Innenverkleidung	DWD-Platte	1,5	11	0,17	0,07	0,1
Dampfbremse	Feuchteadaptive Folie	-	-	0,29-12	wasserdicht	0,17
Innenverkleidung	Gipskartonplatte	1,25	10	0,13	0,28	0,2

**Tabelle 2: Aufbau des endgültig berechneten Wandaufbaus für die Sanierung der Westfassade mit den wesentlichen Materialeigenschaften.**

### 3.3 Randbedingungen

#### 3.3.1 Außenklima

In die Berechnung gehen folgende Daten als Stundenmittelwerte ein:

- Außentemperatur
- Relative Außenluftfeuchte
- Direkt- und Diffusstrahlung auf die Horizontale
- Niederschlagsmenge
- Windgeschwindigkeit & -richtung

Aus diesen Daten werden die zu erwartete Schlagregenbelastung sowie auch die Solarstrahlung für die gewählte Fassadenorientierung softwareintern berechnet.

Für den Projektstandort Heinsberg wurde als Referenzort für die Klimadaten das ca. 75 km (Luftlinie) entfernt liegende Essen herangezogen, der Referenzort des Deutschen Wetterdienstes (DWD) für die entsprechende Klimazone [TRY 2011]. Es wurden insbesondere zwei Datenquellen herangezogen: Stundendaten erzeugt mit der Software [Meteonorm V6], mitgelieferte Daten aus dem Simulationsprogramm Delphin, sowie der Testreferenzdatensatz für Essen des DWD. Verwendet wurden nach einer Plausibilitätsprüfung die Daten aus Meteonorm.

Die hygrothermischen Vorgänge im Bauteil werden von allen oben angegebenen Klimarandbedingungen beeinflusst, eine besonders kritische Rolle bei Innendämmssystemen spielt dabei die Schlagregenbelastung der Außenfassade. Nach [DIN 4108-3] liegt Essen in der höchsten Schlagregenbeanspruchungsgruppe III (> 800 mm). Heinsberg, hingegen, liegt weiter westlich und fällt in der Zone der mittleren Beanspruchungsgruppe II (600-800 mm). Die herangezogenen Quellen für die Klimadaten (Essen) weisen unterschiedliche Werte für die Niederschlagsmenge auf: 608 mm/Jahr nach Meteonorm, 934 mm/Jahr nach DWD und 1054 mm/Jahr nach Delphin (siehe Abbildung 4 für den monatlichen Niederschlag im Vergleich). Vor dem Hintergrund, dass Heinsberg in einer niedrigeren Schlagregenbeanspruchungsgruppe liegt als Essen wurden die vergleichbar niedrigen Werte aus Meteonorm direkt übernommen. In Abbildung 5 ist die aus der Niederschlagsmenge überschlägig berechnete Schlagregenbelastung in freier Lage in Abhängigkeit der Fassadenorientierung aufgeführt. Diese Auswertung bestätigt, dass die Westfasse der höchsten Belastung ausgesetzt ist. Um den Einfluss der Schlagregenbelastung zu verdeutlichen, wurden drei Varianten betrachtet: Volle Regenbelastung, 50% Belastung und kein Regeneintrag (ideale Abschirmung bzw. ideale Hydrophobierung der Außenfassade)

### Niederschlagsmenge in Essen

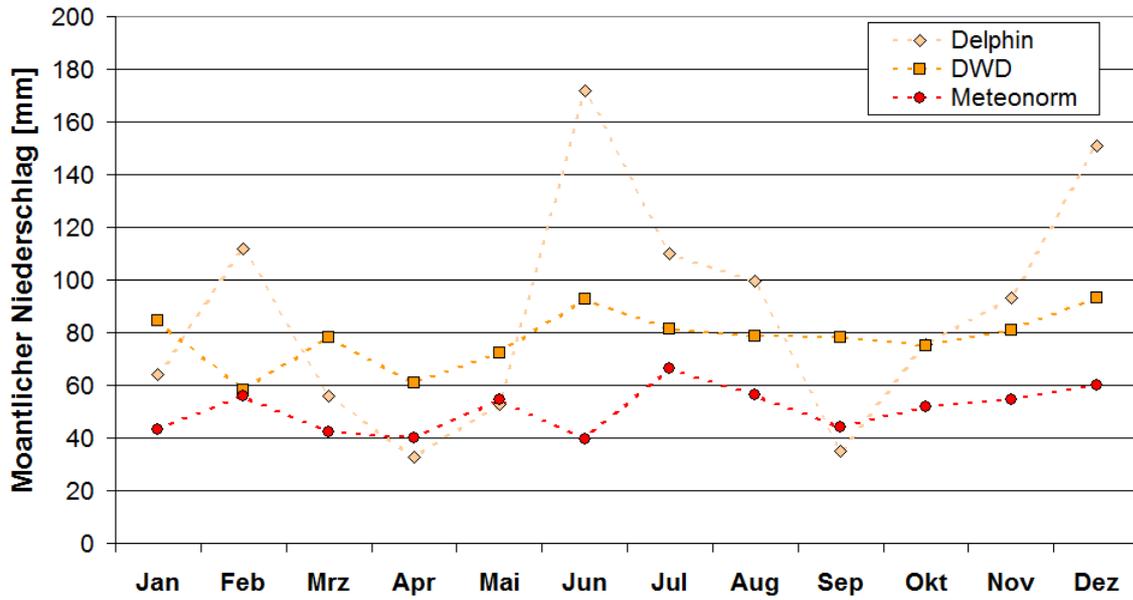


Abbildung 2: Monatliche Niederschlagsmengen in Essen im Vergleich aus drei verschiedenen Quellen [Delphin], [Meteornorm] und [TRY 2011].

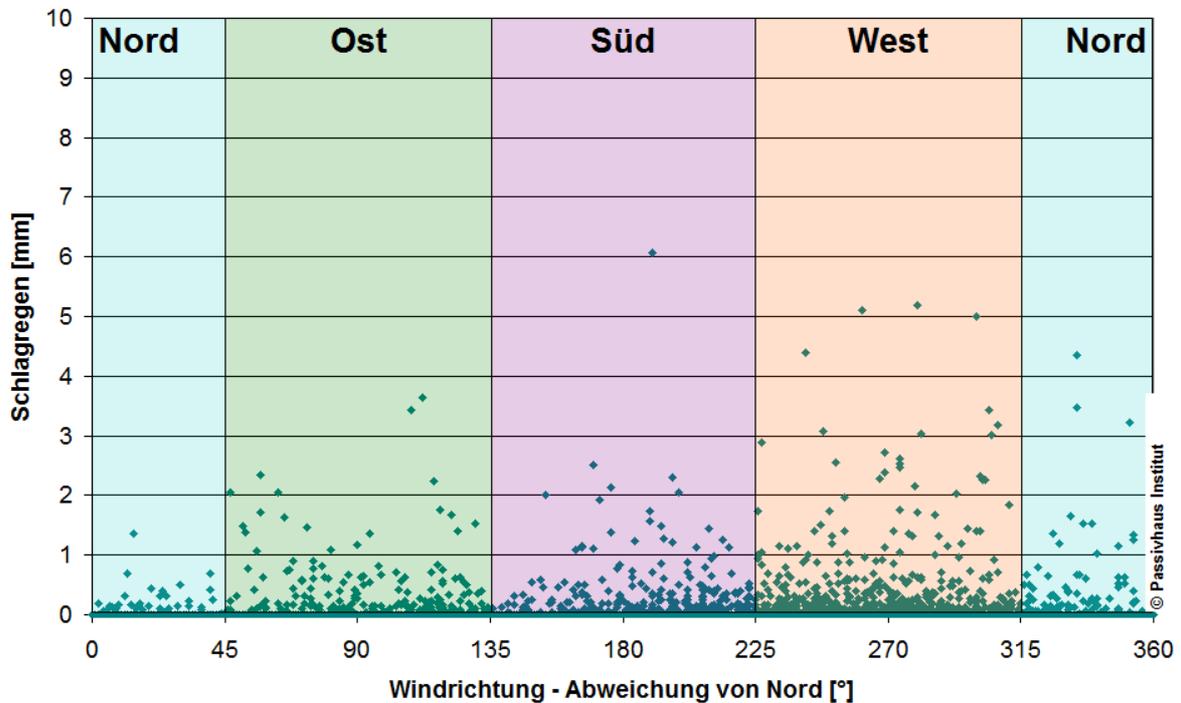


Abbildung 3: Abschätzung der Schlagregenbelastung in freier Lage (nach [Künzel 1994]:  $0.2 \cdot \text{Windgeschwindigkeit} \cdot \text{Niederschlag}$ ).

### 3.3.2 Innenbedingungen

Die Innenbedingungen (Temperatur und Feuchte) können entscheidend für die bauphysikalischen Vorgänge im Bauteil sein. Niedrigere Feuchten im Innenraum ermöglichen z.B. eine Austrocknung während hohe Feuchten eine zusätzliche Feuchtebelastung bewirken können. Da die Innenbedingungen jedoch stark von der Nutzung des Gebäudes abhängen, sind sie schwer voraussagbar. Ausschlaggebend sind dabei die Wärme- und Feuchtequellen durch Personen und Geräte, sowie die Regulierung der Temperatur bedingt durch die gewählte Beheizungs- und Lüftungsstrategie. Für die vorliegende Untersuchung wurden für die Innenbedingungen verschiedene Varianten angesetzt um den Einfluss der Innenbedingungen zu verdeutlichen und Handlungsempfehlungen daraus abzuleiten. Zu diesem Zwecke wurden durchschnittliche Konditionen als Sinus-Funktion über den Jahresverlauf angesetzt. Die verschiedenen betrachteten Varianten sind in Tabelle 2 aufgeführt.

Variantenbezeichnung	Monatsmittlere Temperatur [°C]	Monatsmittlere relative Feuchte [%]
16°C	16-18,6	37-70%
18°C	18-20	33-66%
[WTA Merkblatt 6-2-1] niedrige Feuchtelast	20-22	30-60%

Tabelle 3: Minima und Maxima der angesetzten Innenraumkonditionen.

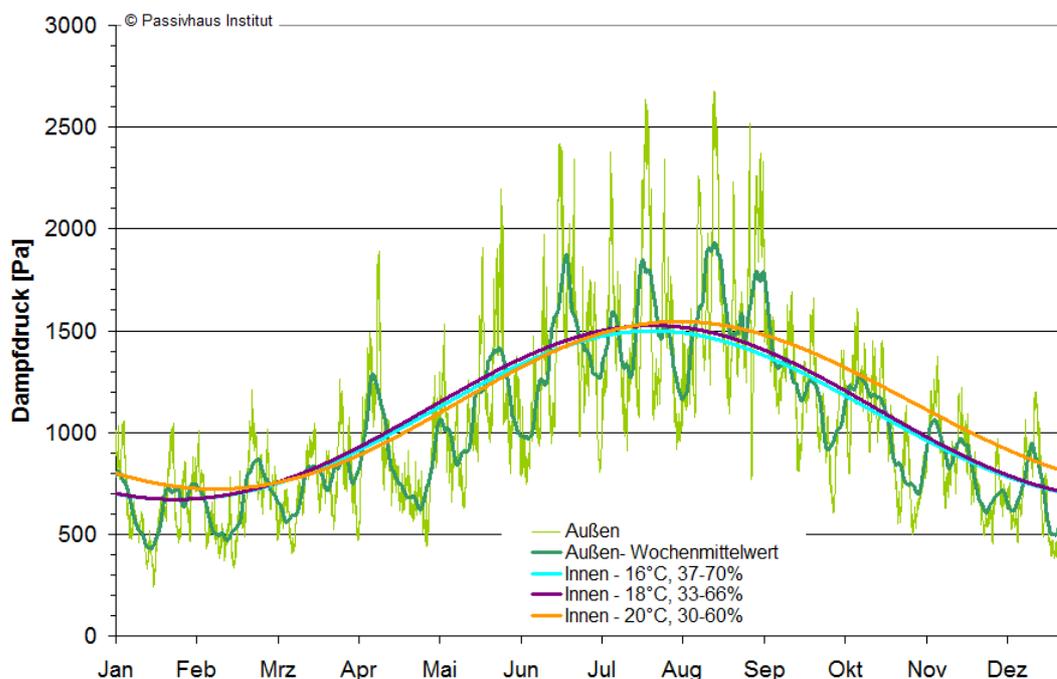


Abbildung 4: Dampfdruck außen und im Gebäude für die verschiedenen angesetzten Innenrandbedingungen.

### 3.3.3 Wärme- und Stoffübergangskoeffizienten

Auch die Wärme- und Stoffübergänge an den Bauteiloberflächen sind mitunter ausschlaggebend für das Rechenergebnis und mit Unsicherheiten behaftet. Im Rahmen dieser Studie wurden Mittelwerte in Übereinstimmung mit [DIN 4108] und den Default-Einstellungen der Delphin Software verwendet, entsprechend der Angabe in Tabelle 3.

	<b>Wärmübergang <math>\alpha</math> [W/(m<sup>2</sup>K)]</b> (konvektiv + strahlungsbedingt)	<b>Stoffübergang <math>\beta</math> [s/m]</b>
Außen	25 <sup>1</sup>	2*10 <sup>-7</sup>
Innen	8	3*10 <sup>-8</sup>

**Tabelle 4: Die in der Berechnung angesetzten Wärme- und Stoffübergangskoeffizienten an den Wandoberflächen.**

## 3.4 Bewertungskriterien

Die durchgeführten hygrothermische Simulationen sind zeitlich hoch aufgelöste Berechnungen des Wärme- und Feuchtetransports im Bauteil. Dabei werden unterschiedliche Transportmechanismen berücksichtigt, die am Ende zu räumlich und zeitlich aufgelösten Temperatur- und Feuchtwerten im Bauteil führen. Es gilt nun diese Daten hinsichtlich der Dauerhaftigkeit und gesundheitlicher Unbedenklichkeit (Schimmelbildung) zu bewerten, was unter Umständen nicht eindeutig zu beantworten ist. Die anzusetzenden Kriterien sind oft nicht als strenge Grenzen definiert sondern vielmehr als Wahrscheinlichkeiten für das Auftreten eines Problems. Demnach hat der Betrachter einen gewissen Spielraum bei der Beurteilung von Konstruktionen und die Entscheidungsfindung ist nicht immer eindeutig. Die anzusetzenden Kriterien hängen zudem von den Eigenschaften der eingesetzten Materialien ab und können daher nicht pauschal angewendet werden. Im Folgenden werden die Bewertungskriterien kurz erläutert welche im Zusammenhang der vorliegenden Untersuchung angewendet wurden:

<sup>1</sup> Die Praxiserfahrung zeigt, dass 25 W/(m<sup>2</sup>K) tendenziell zu hoch liegen – nach [Künzel 1994] und [WTA Merkblatt 6-2-1] sind 17 W/(m<sup>2</sup>K) angebracht. Der Wert wurde an dieser Stelle zur Vergleichbarkeit mit anderen Berechnungen bewusst nicht abweichend von den Normangaben angepasst.

### **Dauerhaftigkeit der Konstruktion**

Die wesentliche grundlegende Voraussetzung für die Beständigkeit einer Konstruktion ist, dass sich keine der Bauteilschichten im Laufe der Zeit fortwährend aufweicht. Jahreszeitliche Schwankungen des Feuchtegehalts sind zu erwarten - es muss aber sicher gestellt sein, dass die Konstruktion nach einer Feuchtebelastung wieder austrocknen kann.

Zudem dürfen die einzelnen Materialien nicht Bedingungen ausgesetzt werden, die auf Dauer zu kritischen Schäden führen können. Im Falle des mit Zellulose innen gedämmten Mauerwerks gelten folgende Anhaltspunkte:

### **Frostschäden im Mauerwerk**

Durch die Innendämmung wird das Mauerwerk im Gesamtquerschnitt kälter als im unsanierten Zustand. Von besonderer Relevanz für die Dauerhaftigkeit der Steine ist der Feuchtegehalt bei Minusgraden, da bei auftretenden Frost- und Tauereignissen erhebliche Schäden auftreten können. Unter welchen Umständen tatsächlich Schäden auftreten ist materialabhängig und ein noch nicht endgültig geklärt Aspekt aktueller Forschung. Die Anzahl der zu erwartenden Frost-Tau-Wechsel ist ein wesentlicher Bestandteil der Beurteilung, wobei es keine klare Grenze für garantierte Schadensfreiheit gibt. Zur Beurteilung der Gefahr von Frostschäden wurde in der vorliegenden Untersuchung der Porenfüllgrad der Ziegel im unsanierten und sanierten Fall bei Minusgraden verglichen. Nach [WTA Merkblatt E-6-5] muss der Durchfeuchtungsgrad (Wassergehalt/Porosität) unter 30 % liegen.

### **Höhe der Feuchtigkeiten in der Dämmebene**

Laut Herstellerangaben ist Zellulose ein sehr tolerantes Material bei hohen Feuchtelasten. Eventuell auftretendes Kondensat/Flüssigwasser wird aufgesaugt und gespeichert ohne dass davon ein dauerhafter Schaden am Dämmmaterial zu erwarten ist. Dem zulässigen Feuchtegehalt der Zellulose wird auf Basis dieser Aussage in der vorliegenden Untersuchung daher *keine* Grenze gesetzt. Es gilt jedoch zu beachten, dass niedrige Feuchten aus verschiedenen Gründen vorteilhaft und anzustreben sind z.B. wegen potentiell erhöhtem Schimmelrisiko, erhöhter Feuchtebelastung der Holzunterkonstruktion und wegen einer nicht zu vernachlässigen Beeinträchtigung der Dämmwirkung.

### **Holzfeuchte**

Holz ist ein organisches Material, in dem sich bei hohen Feuchtegehalten zerstörende Pilze ansiedeln können und Holzabbau verursachen. Kriterien zu kritischen Holzfeuchten sind ebenfalls Thema aktueller Forschung und nicht endgültig geklärt. Die Norm [DIN 68800-2] und [WTA Merkblatt E-6-5] begrenzen die langfristige zulässige Feuchte von Holzbauteilen pauschal auf 20 Masseprozent – ein

Kriterium das nach aktuellem Stand der Forschung tendenziell auf der sicheren Seite liegt. Zudem sollte nach [DIN 68800-2] die Schwankungsbreite der Holzfeuchte im Jahresverlauf möglichst unter 3 Masseprozentpunkten liegen. Es gibt alternative Ansätze mit einem temperaturabhängigen Bewertungs-Modell (siehe z.B. [Kehl et.al. 2013]).

Die Holzunterkonstruktion der Innendämmung wurde bei den hier beschriebenen Simulationen nicht direkt berechnet. Als Ansatz zur Beurteilung der Holzfeuchte wurde die berechnete relative Feuchte in der Dämmebene über eine Sorptionsisotherme für Holz in die entsprechende Ausgleichfeuchte des Holzes umgerechnet. Angenommen wurde hierfür die in der DELPHIN Datenbank hinterlegte Sorptionsisotherme für Fichtenholz.

### **Schimmelbildung**

Schimmelpilze treten in verschiedensten Arten auf. Sie können eine Gefährdung für die Dauerhaftigkeit der Konstruktion sein und stellen bei Belastung der Raumluft potentiell eine Gesundheitsgefährdung dar. Schimmelbildung und –wachstum kann nur unter bestimmten Randbedingungen auftreten. Erstrebenswert ist eine Konstruktion, in der im gesamten Bauteilquerschnitt keine Schimmelbildung zu erwarten ist. Die Konstruktion wird jedoch nur als definitiv ungeeignet bewertet, wenn Schimmelbildung raumseitig der luftdichten Ebene nicht ausgeschlossen werden kann. Zur Bewertung des Schimmelrisikos wird das Isoplethen-Modell von [Sedlbauer 2001] heran gezogen und das darauf basierende Auswertungstool [WUFI Bio].

## **3.5 Ergebnisse / Simulationen**

Es wurden zahlreiche Modellvarianten berechnet, von denen nur ein Ausschnitt in diesem Bericht gezeigt wird, um die wesentlichen Einflussfaktoren und Erkenntnisse zu erläutern. Herangezogen wurden nur der tatsächlich realisierte Wandaufbau der Westfassade. Die Parameterstudien beziehen sich im Wesentlichen auf den Einfluss der Mauerwerkseigenschaften, der Schlagregenbelastung, sowie der Innenbedingungen. Zur Bewertung der Ergebnisse werden insbesondere die relative Feuchte im Bauteilquerschnitt sowie der berechnete Porenfüllgrad (berechneter Wassergehalt geteilt durch Porosität) herangezogen und hinsichtlich der zuvor beschriebenen Kriterien analysiert.

### **3.5.1 Einfluss der Mauerwerkseigenschaften**

In Abbildung 7 bis Abbildung 11 sind einige Ergebnisse unter Variation der hygrischen Mauerwerkseigenschaften aufgeführt. Diese Grafiken verdeutlichen, dass die erreichten Feuchteverhältnisse in der Konstruktion stark vom Mauerwerk abhängen, insbesondere der Durchfeuchtungsgrad der Mauer an sich. Je nach Materialeigenschaften wird der Regen mehr oder weniger weit in die Konstruktion

transportiert und kann besser oder schlechter wieder austrocknen. Für die Referenzberechnungen, die in diesem Bericht analysiert werden, wurden jeweils zwei Varianten angesetzt: „Historical Brick“ angepasst mit den Werten der Steinprobe #2 und die Originaleigenschaften „Clinker“. Diese ausgewählten Referenzsteine führen tendenziell zu höherer Feuchte im Bauteilquerschnitt, womit die Berechnungen eher auf der sicheren Seite liegen. Da es sich offenkundig um ein sehr unhomogenes Mauerwerk handelt sind die berechneten Ergebnisse auf Basis dieser Steine jedoch nicht repräsentativ für das gesamte Bauteil. In der Praxis ist zu erwarten, dass es kritische und weniger kritische Bereiche gibt – wie diese sich gegenseitig ausgleichen ist nicht vorhersagbar.

Für das Mauerwerk an sich ist nicht unbedingt die relative Feuchte wichtig, sondern vielmehr der Durchfeuchtungsgrad (siehe Abbildung 8 und Abbildung 9). Die hier gezeigten Ergebnisse mit Dämmung sind bezüglich Mauerwerksfeuchte alle in Ordnung, da der Durchfeuchtungsgrad im Mittel und während den Frostperioden unter 30%<sup>2</sup> liegt. Eine temporäre Überschreitung in den äußeren Bauteilschichten (bis zu einer Tiefe von 5 cm) während Regenereignissen wird nicht als problematisch erachtet. Die Varianten „Historical Brick“ mit Anpassung der Messdaten der Steinproben 4 und 5 sind am kritischsten, hier werden in den äußersten Schichten bis zu 30% Durchfeuchtungsgrad auch während Frostperioden berechnet. Zur Beurteilung ist ein Vergleich mit dem unsanierten Fall sehr wertvoll. Die Ergebnisse zeigen, dass die Durchfeuchtung in den äußeren Schichten kaum gegenüber dem unsanierten Fall ansteigt, daher ist auch gegenüber dem Bestand kein wesentlich erhöhtes Frostschadensrisiko durch die Innendämmung zu erwarten.

Die Feuchtigkeit an den Materialschnittstellen raumseitig des Mauerwerks hingegen ist auf Basis des Isoplethen-Modells zum Teil nicht ganz unbedenklich. Für alle Steinvarianten liegt die Feuchte innerhalb des Bauteils für längere Zeiträume deutlich über dem untersten Schimmelwachstumsgrenze „Lowest Isopleth of Mould“ (LIM Bau), insbesondere am Übergang des Mauerwerks zur Dämmung. Das Risiko fällt bei beiden Steintypen (Historical Brick und Clinker) ähnlich aus, mehr oder weniger ausgeprägt je nach angesetzter Steinprobe. Die Eigenschaften der Probe Nr. 2 sind am kritischsten. Die Auswertung mit [WUFI Bio] ergibt ein jährliches Schimmelwachstum (Substratklasse 1) von bis zu ca. 60 mm im Falle der „Clinker“-Steinprobe Nr. 2. Bei allen anderen Varianten liegt das Wachstum unter 50 mm, nach WUFI Bio ein akzeptabler Wert. Werden mehr als 50 mm erwartet, werden nach WUFI Bio zusätzliche Untersuchungen empfohlen um sicher zu gehen, ob die Situation unproblematisch ist, erst ab 200 mm gelten die Bedingungen als inakzeptabel. Vor dem Hintergrund, dass das Schimmelrisiko in allen Fällen als niedrig eingestuft wird und wenn überhaupt vorhanden, das Risikopotential ausschließlich außenseitig der

---

<sup>2</sup> Zur Berechnung wird die Porosität aus der Delphin Datenbank übernommen, da keine genaueren Angaben vorhanden sind.

luftdichten Ebene (Dampfbremse) besteht, wurde an dieser Stelle kein Handlungsbedarf identifiziert.

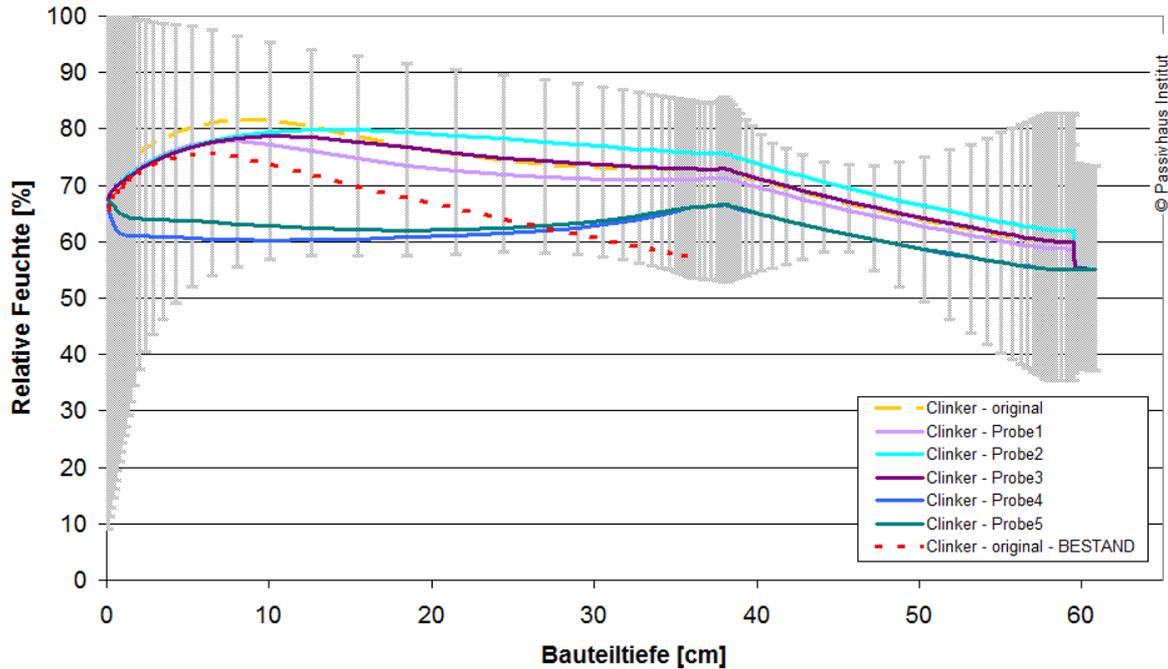
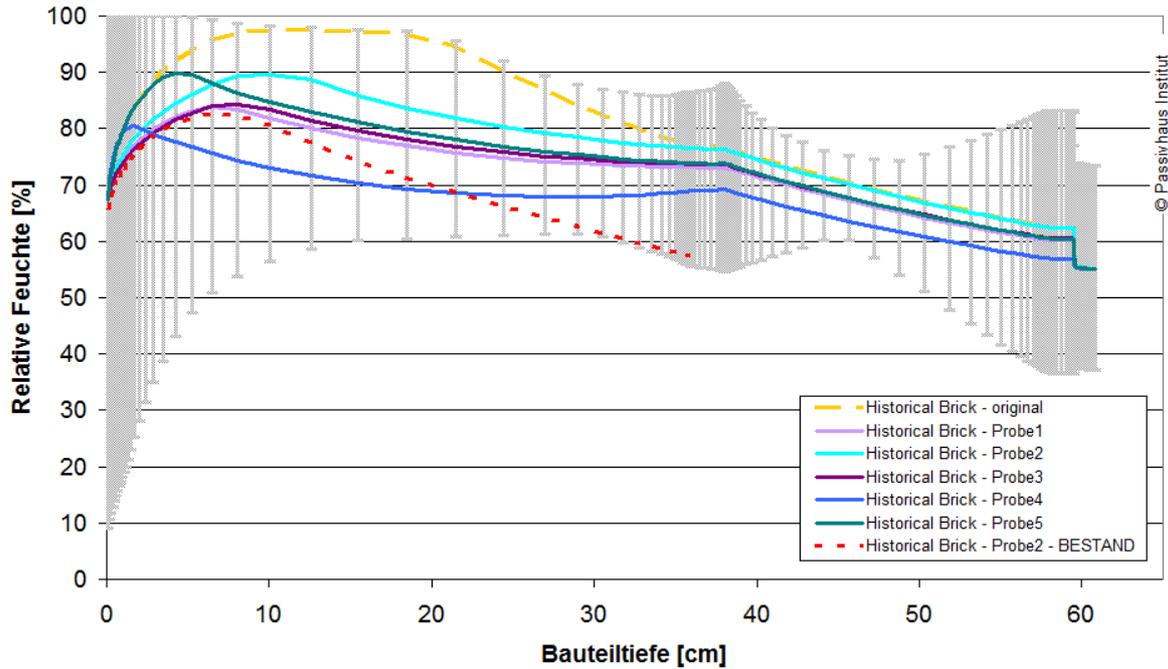
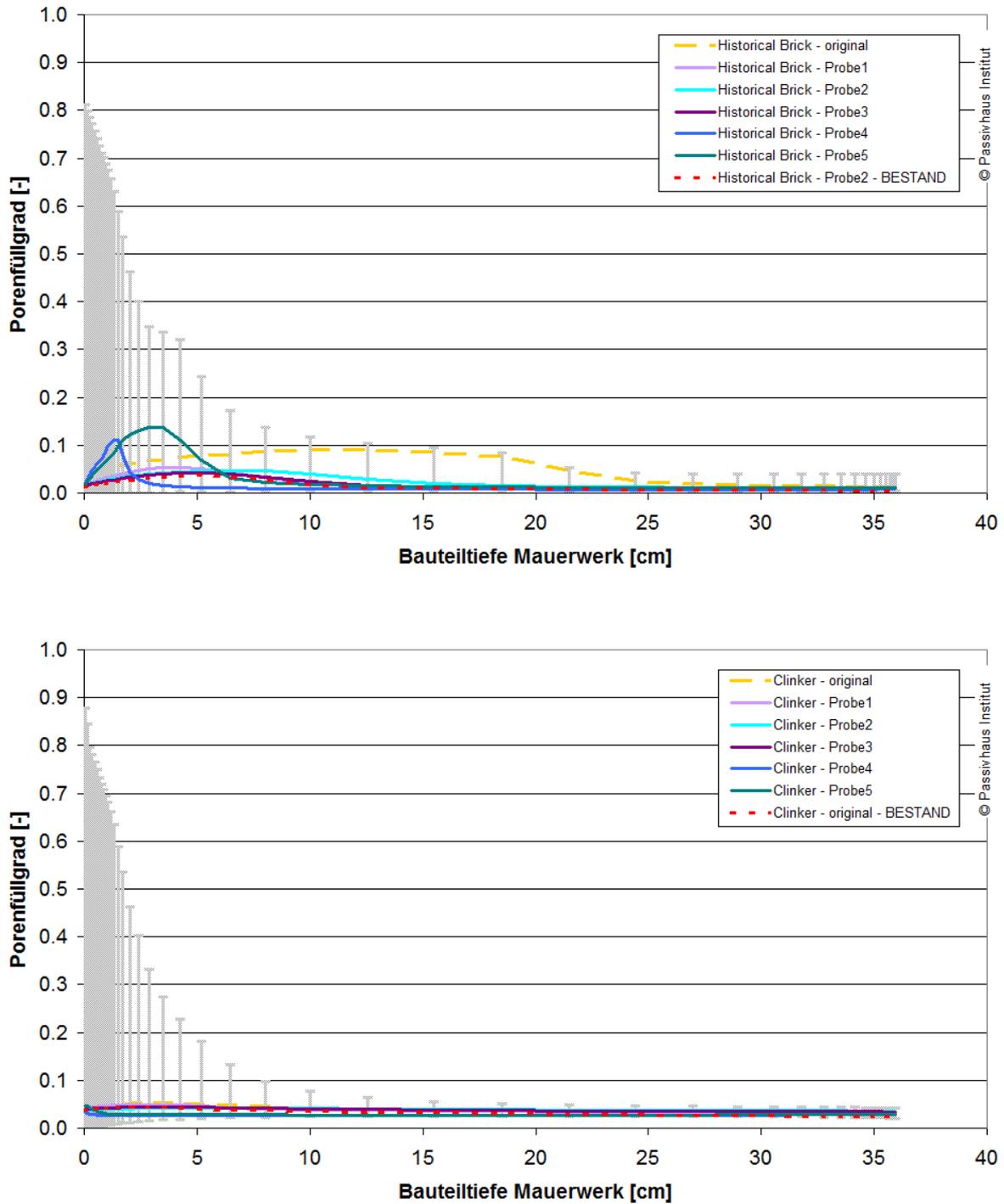
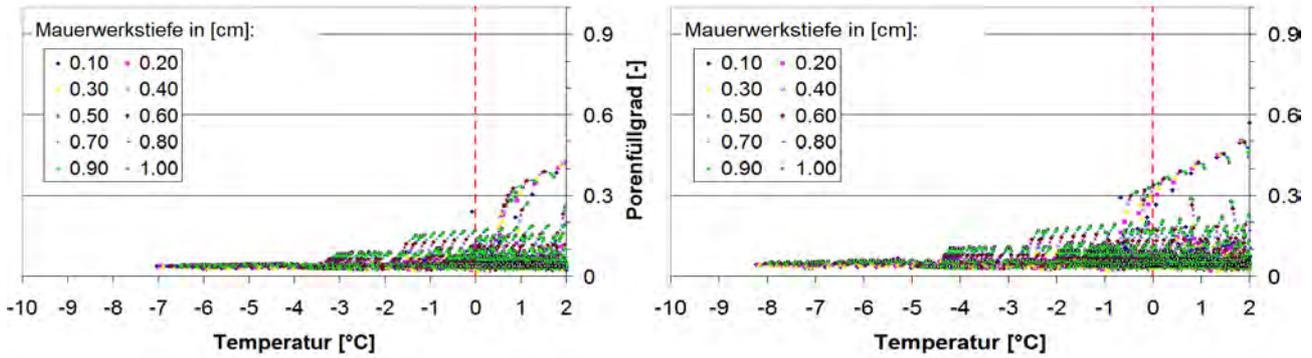


Abbildung 5: Relative Feuchte im Bauteilquerschnitt (Jahresmittelwert unterschiedlicher Varianten & Gesamtschwankungsbreite der Stundenmittelwerte) für unterschiedliche Eigenschaften des Mauerwerks. Die Originalkennwerte aus der Delphin Materialdatenbank wurden mit den Messergebnissen der fünf Mauerwerksproben angepasst. „Historical Brick Cluster“ (oben) und „Clinker“ (unten).

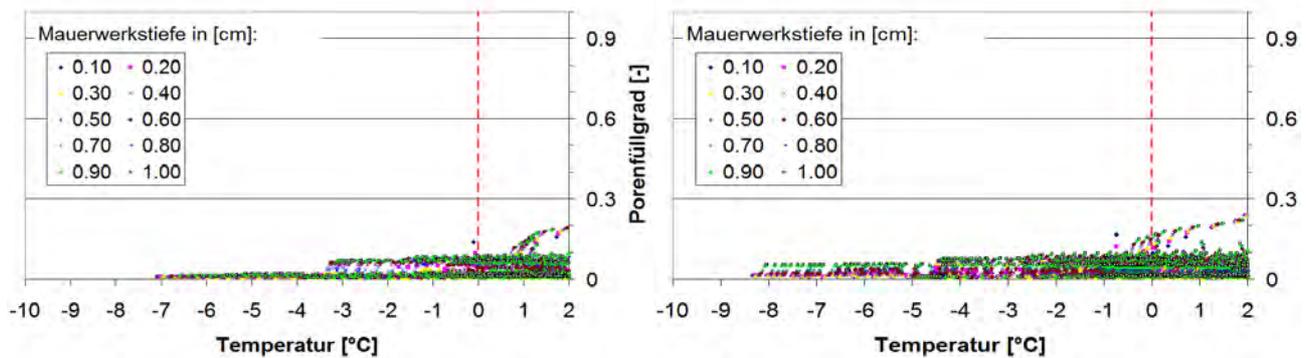


**Abbildung 6: Porenfüllgrad im Bauteilquerschnitt des Mauerwerks (Jahresmittelwert unterschiedlicher Varianten & Gesamtschwankungsbreite der Stundenmittelwerte) für unterschiedliche Eigenschaften des Mauerwerks. Die Originalkennwerte aus der Delphin Materialdatenbank wurden mit den Messergebnissen der fünf Mauerwerksproben angepasst. „Historical Brick Cluster“ (oben) und „Clinker“ (unten).**

“Clinker”:



“Historical Brick”- Probe 2:



“Historical Brick”- Probe 4:

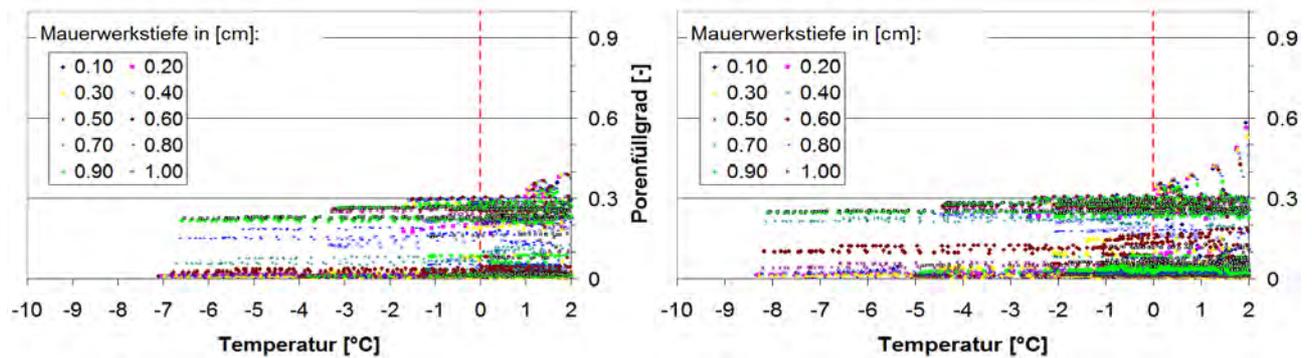


Abbildung 7: Porenfüllgrad im äußersten cm des Mauerwerks für drei beispielhafte Steinmodelle während bei potentiellen Frosttemperaturen (<0°C) jeweils für den Bestandsfall (links) und nach der Sanierung mit Innendämmung (rechts).

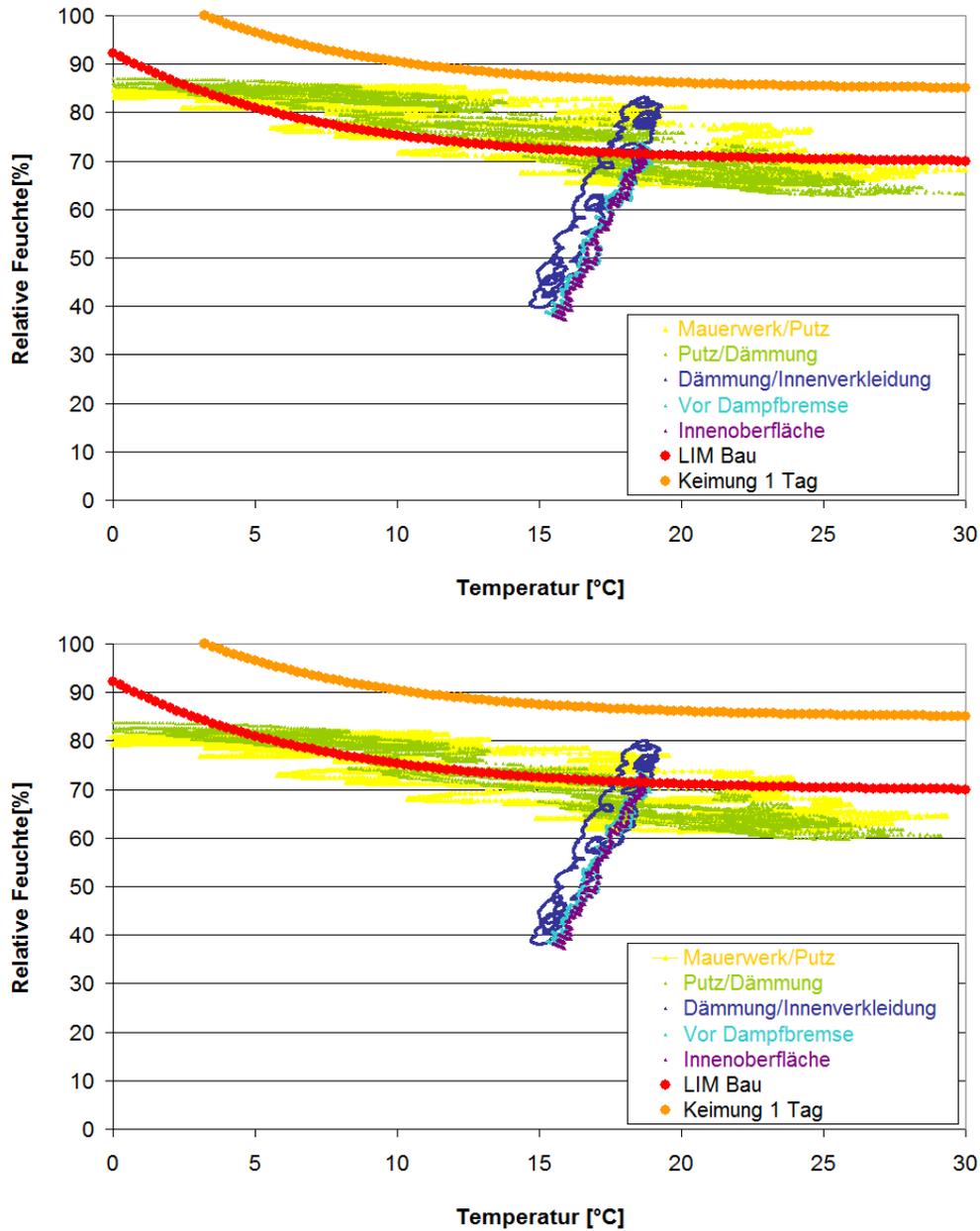


Abbildung 8: Die berechnete Temperatur und Feuchte für die zwei Referenzsteine „Historical Brick Cluster“ Probe Nr.2 (oben) und „Clinker“ original (unten).

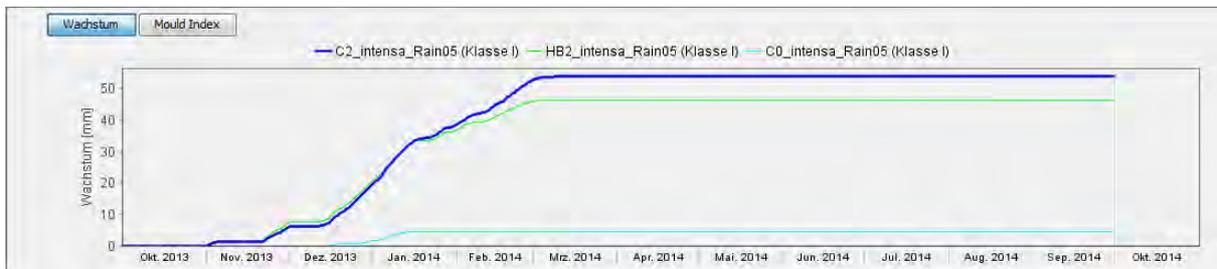


Abbildung 9: Screenshot einer beispielhaften Auswertung mit [WUFI Bio]. Risiko von Schimmelwachstum besteht in den Wintermonaten, nur eine der betrachteten Varianten wird als potentiell schwierig (Schimmelwachstum > 50 mm/Jahr) identifiziert.

### 3.5.2 Einfluss des Schlagregens

An erster Stelle ist zu vermerken, dass die Schlagregenbelastung mit dem angewendeten Rechenverfahren auf Stundenbasis tendenziell überschätzt wird (vgl. [WTA Merkblatt E-6-5]). Ein Grund für diese Überschätzung ist eine Anrechnung des Gesamtniederschlags in exponierter Lage, obgleich in der Praxis allein durch die umstehende Bebauung meist ein gewisser Schutz vorhanden ist und in der Realität ein Teil der Regentropfen von der Fassade wieder wegspritzen und somit nicht von der Konstruktion aufgenommen werden. Zudem treten reelle Regenereignisse in vielen Fällen nur kurzzeitig auf (Dauer < 1 h), die Wasseraufnahme der Konstruktion ist daher in der Praxis geringer als vom Modell mit stundenmittleren Niederschlagsmengen berechnet. Vor dem Hintergrund dieses ausschlaggebenden Einflussfaktors wurde hinsichtlich der Schlagregenbelastung eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt. Hierfür wurde für verschiedene Steineigenschaften jeweils ein Expositionsfaktor der Schlagregenbelastung von 0% (idealer Schlagregenschutz), 50%, 80% und 100% angesetzt.

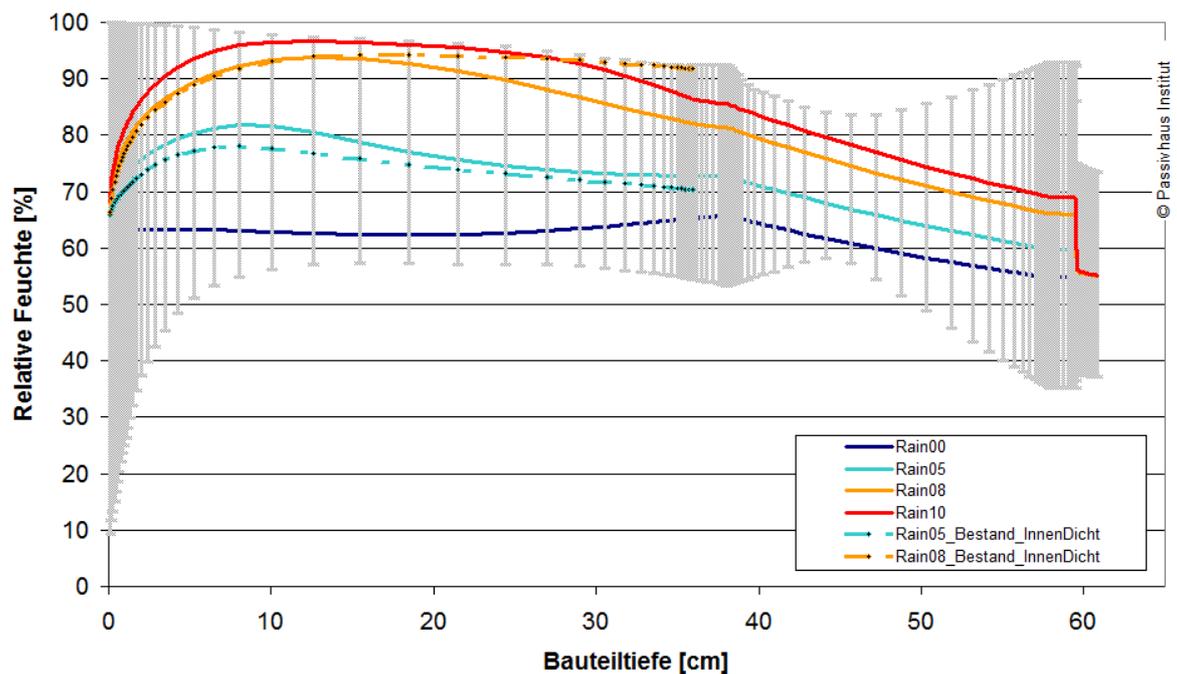
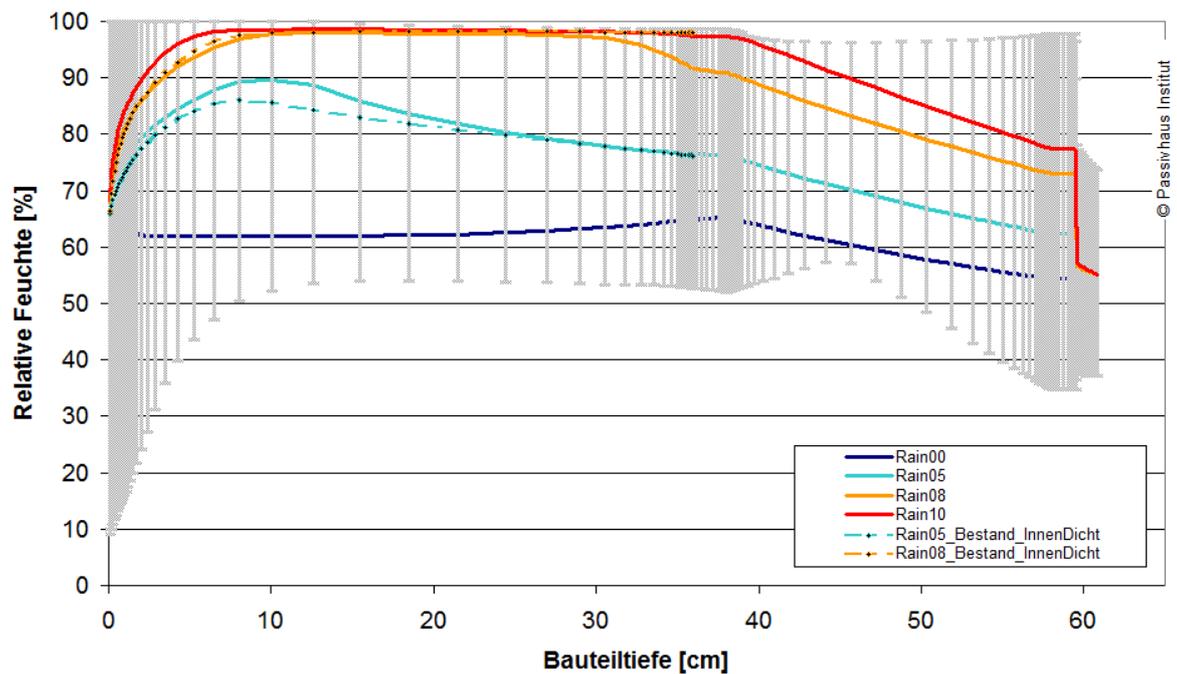
Die Ergebnisse veranschaulichen sehr deutlich, dass die Schlagregenmenge einen ausschlaggebenden Einfluss auf die Durchfeuchtung der Konstruktion hat. Bei allen untersuchten Mauerwerkseigenschaften wird die Konstruktion bei großer Schlagregenbelastung zu sehr hohen Feuchtigkeiten im Bauteilquerschnitt. In Abbildung 12 sind beispielhafte Ergebnisse dargestellt. Der aufgesogene Niederschlag kann demnach bei hoher Belastung weder nach außen (Mauerwerkseigenschaften) noch nach innen (Dampfbremse) genügend austrocknen und sammelt sich dauerhaft in der Konstruktion an. Es werden sowohl kritische Durchfeuchtungsgrade des Mauerwerks erreicht, als auch ein hohes Schimmelrisiko in der Dämmebene.

Interessant ist an dieser Stelle der Vergleich mit Simulationsergebnissen der Bestandswand bei unterschiedlicher Schlagregenbelastung (gestrichelte Linien in Abbildung 12). Die berechneten Werte sind mit Vorsicht zu betrachten und nur orientierend in die Analyse einzubeziehen, da weder die Innenbedingungen, noch die Dichtigkeit der vorgefundenen Schwarzabdichtung bekannt sind. Mit einer Annahme eines  $s_d$ -Wertes von 75 m zeigt sich, dass auch bei der Bestandskonstruktion bei hoher Regenbelastung bereits Gefahr von Auffeuchtung bestand. Da die Bestandswand keine auf Schlagregen zurück zu führende Schäden aufwies, ist davon auszugehen, dass die tatsächliche Belastung nicht den pessimistischen Parameterannahmen entspricht. Für die endgültigen Referenzberechnungen, die in diesem Bericht analysiert werden, wurde jeweils ein Schlagregenreduktionsfaktor von 50% der Meteonorm-Klimadaten angesetzt.

Der Bauherr wurde vor Projektfertigstellung auf den kritischen Einfluss der Schlagregenbelastung von außen hingewiesen. Die einzige Möglichkeit, eine Auffeuchtung durch Regen sicher zu vermeiden, ist ein effektiver Schlagregenschutz. Vor dem Hintergrund der unsicheren Mauerwerkseigenschaften und unbekanntem

tatsächlichen Schlagregenbelastung wurde seitens des PHI frühzeitig auf das potentielle Risiko hingewiesen und zusätzliche Maßnahmen als Schlagregenschutz angesprochen. Schlagregenschutz für Sichtmauerwerk ist ein nicht triviales Thema, für das es nach aktuellem Stand der Forschung keine einfache und eindeutige Lösung gibt. Ein möglicher Lösungsansatz, welcher seitens PHI vorgeschlagen wurde, ist die Fassadenhydrophobierung, die bei korrekter und qualitativ hochwertiger Durchführung einen effektiven Schutz gegen die Schlagregenbelastung bewirken kann. Bei fehlerhafter Implementierung oder ungeeignetem Untergrund können durch eine Hydrophobierung jedoch erhebliche und nicht reversible Folgeschäden am Mauerwerk auftreten. Probleme entstehen insbesondere dann, wenn Wasser und Salze hinter die hydrophobierte Schicht gelangen (Risse, Fugen, aufsteigende Feuchte o. Ä.) und durch die reduzierte Kapillarleitung und ggf. erhöhtem Diffusionswiderstand nicht genügend austrocknen und so zu einer kritischen Auffeuchtung führen können. Tendenziell nimmt die Wirkung einer Hydrophobierung zudem mit der Zeit langsam ab und muss daher für eine dauerhafte Lösung nach einigen Jahren nachgearbeitet werden. In der Praxis gibt es sowohl erfolgreiche als auch problematische Sanierungsbeispiele mit Hydrophobierung. Die Technik befindet sich in ständiger Weiterentwicklung, um Schäden auszuschließen und eine möglichst lange Dauerhaftigkeit der Imprägnierung gewährleisten zu können. Die angewendeten Methoden und Imprägnierungsmittel sind vielseitig und immer mehr auf die individuellen Erfordernisse spezialisiert. Voraussetzung für eine Hydrophobierung ist eine fachgerechte Untersuchung des Mauerwerks und der lokalen Verhältnisse. Die Entscheidung für oder gegen Hydrophobierung ist letztendlich eine Abwägung des Schadenrisikos ohne diesen imprägnierenden Schlagregenschutz gegenüber einer realistischen, fachmännischen Abschätzung des notwendigen Aufwands und der erzielbaren Hydrophobierungs-Wirkung beim individuellen Projekt.

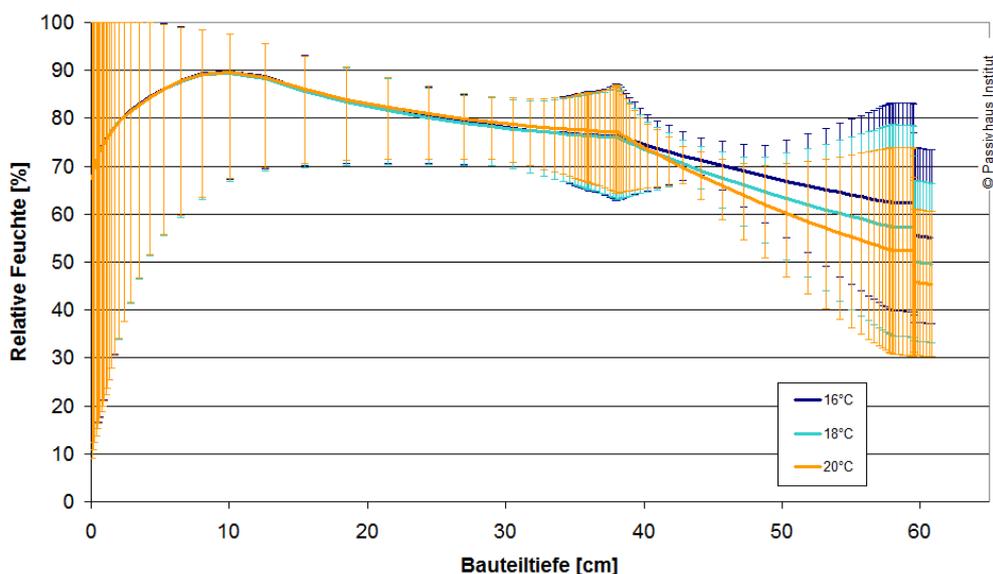
Die Entscheidung bei der Christus-Kirche in Heinsberg fiel letztendlich *gegen* eine Hydrophobierung des Mauerwerks. Einer der Gründe hierfür war das nicht ganz intakte Mauerwerksbild des Bestandes, mit zum Teil vorhandener Rissbildung durch Setzungsprozesse. Trotz Sanierung der vorgefundenen Schäden konnte zukünftige Rissbildung durch Setzungsprozesse aufgrund des vorgefundenen Baugrundes nicht ausgeschlossen werden. Auch wenn die Fassade hinsichtlich dieser Mangelstellen ertüchtigt wurde, erschweren diese Problemstellen die qualitätsgerechte Umsetzung einer Hydrophobierung und erhöhen somit das Risiko für Folgeschäden. Als fester Bestandteil der Gesamtrisikobewertung wurde letztendlich die Entscheidung getroffen, an kritischen, exponierten Stellen eine stichprobenhafte messtechnische Überwachung der Wandfeuchte zu installieren. Diese Überwachung ermöglicht ein nachträgliches Einschreiten, falls es tatsächlich zu einer Auffeuchtung innerhalb der Konstruktion kommen sollte.



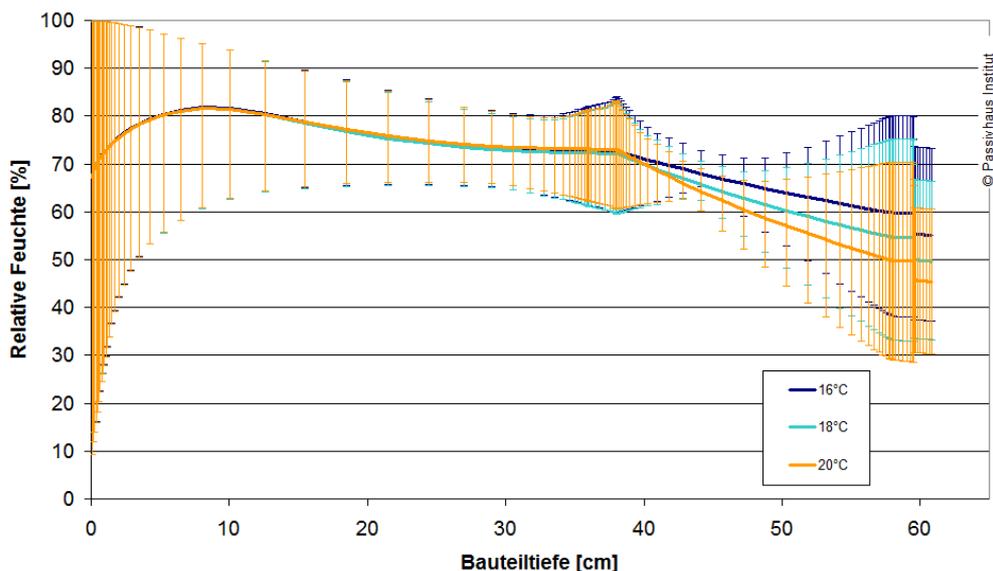
**Abbildung 10: Relative Feuchte im Bauteilquerschnitt (Jahresmittelwert unterschiedlicher Varianten & Gesamtschwankungsbreite der Stundenmittelwerte) bei unterschiedlicher Schlagregenbelastung. 0-100% des Meteororm Niederschlags. Mauerwerkseigenschaften basierend auf der Delphin Materialdatenbank „Historical Brick Cluster“ mit Anpassung der Steinprobe Nr.2 (oben) und „Clinker“ unverändert (unten).**

### 3.5.3 Einfluss der Innenbedingungen

Ausgewählte Referenzvarianten wurden mit verschiedenen plausiblen mittleren Innenbedingungen berechnet. Im Vergleich zum Ergebnisspektrum unter Variation der Mauerwerkseigenschaften oder Schlagregenbelastung sind die Innenbedingungen im vorliegenden Fall nicht vordergründig entscheidend für die Dauerhaftigkeit der umgesetzten Konstruktion. Sie haben kaum einen Einfluss auf die Feuchteverhältnisse im Mauerwerk, lediglich auf die der raumseitigen Materialschichten. Ein erhöhtes Entfeuchtungspotential nach innen, was bei niedriger Raumfeuchte durchaus besteht und dazu beitragen kann die Situation zu entschärfen, wird durch die verwendete Dampfbremse reduziert. In Abbildung 14 sind einige beispielhafte Ergebnisse aufgeführt aus denen die Zusammenhänge hervor gehen. Eine niedrigere Raumfeuchte entschärft das Schimmelrisiko, ist sonst aber nicht ausschlaggebend für die Dauerhaftigkeit der Konstruktion. Dennoch wird empfohlen, dauerhaft hohe Feuchtelasten in der Kirche zu vermeiden und darauf zu achten, dass die Temperaturen nicht zu stark abgesenkt werden, da dies unvermeidlich eine Erhöhung der relativen Feuchte mit sich bringt.



**Abbildung 11: Relative Feuchte im Bauteilquerschnitt (Jahresmittelwert unterschiedlicher Varianten & die jeweilige Schwankungsbreite der Stundenmittelwerte) bei unterschiedlichen Innenbedingungen. Mauerwerkseigenschaften basierend auf der Delphin Materialdatenbank „Historical Brick Cluster“ mit Anpassung der Steinprobe Nr.2.**



**Abbildung 12: Relative Feuchte im Bauteilquerschnitt (Jahresmittelwert unterschiedlicher Varianten & die jeweilige Schwankungsbreite der Stundenmittelwerte) bei unterschiedlichen Innenbedingungen. Mauerwerkseigenschaften basierend auf der Delphin Materialdatenbank „Clinker“ unverändert**

### 3.5.4 Holzfeuchte der Referenzfälle

Wie in Abschnitt 3.4 beschrieben, gibt es auf dem aktuellen Stand der Forschung keine unumstrittenen festen Kriterien zur Beurteilung kritischer Holzfeuchte. Betrachtet wird in diesem Abschnitt die zu erwartende Holzfeuchte der beiden Referenzvarianten in den 4 äußersten cm der Dämmebene, in der sich punktuelle Abstandshölzer für die eigentlich tragende Holzunterkonstruktion befinden. Dies ist der schwierigste Punkt, weiter innen liegenden Hölzer sind in jedem Fall einer niedrigeren Feuchte ausgesetzt. Wie in Abbildung 13 erkennbar, überschreitet die Holzfeuchte an der betrachteten Stelle in den Wintermonaten temporär den Grenzwert nach [DIN 68800-2] von 20 M-%, und auch die Schwankungsbreite im Jahresverlauf ist in beiden Fällen größer als 3 M-%. Nach diesem Bewertungsansatz sind 20 M-% als langfristig zulässige Feuchte nicht akzeptabel. Da sich die Überschreitung jedoch auf einen begrenzten Zeitraum bezieht wird die Situation zwar als grenzwertig aber nicht als inakzeptabel eingestuft. Setzt man die temperaturabhängigen Kriterien nach [Kehl et.al. 2013] zur Bewertung an (siehe Abbildung 14), so ist die Situation unproblematisch, da der kritische Bereich in dem es zum Holzabbau kommen kann nie überschritten wird.

Generell ist eine niedrige und möglichst konstante Feuchte in der Dämmebene wünschenswert für eine Dauerhaftigkeit der Holzunterkonstruktion. Wie in den vorherigen Abschnitten gezeigt wurde sind hierfür die Randbedingungen ausschlaggebend, insbesondere die Schlageregenbelastung.

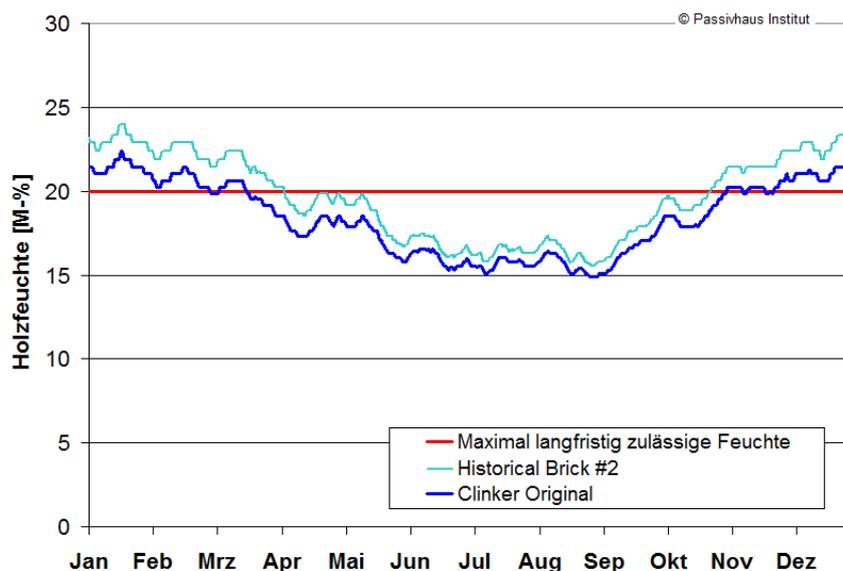


Abbildung 13: Der berechnete Jahresverlauf der Holzfeuchte für die beiden Referenzfälle der Steinmodelle “Historical Brick” und “Clinker” mit 50% Schlagregenbelastung und 16°C Mindest-Innentemperatur.

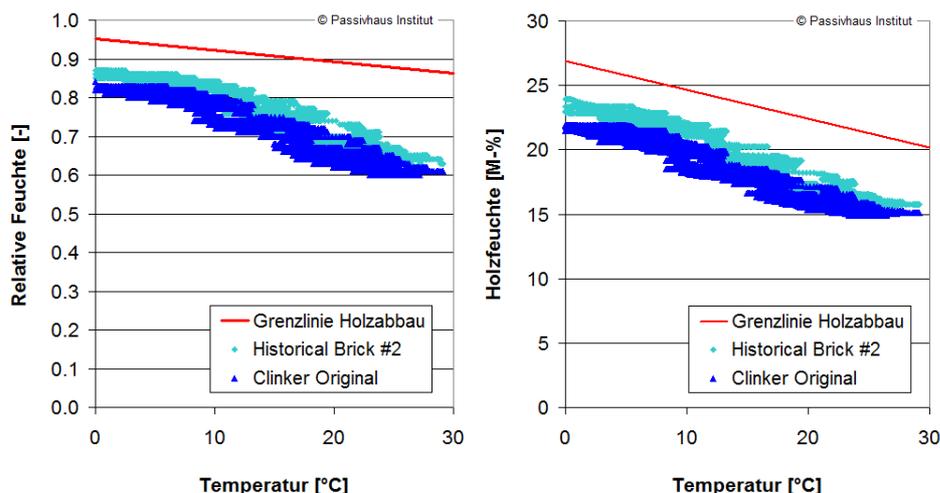


Abbildung 14: Beurteilung der Holzfeuchte nach den vorgeschlagenen Kriterien aus [Kehl et.al. 2013].

## 4 Zusammenfassung

Zur Beurteilung der bauphysikalischen Eigenschaften der gewählten Innendämmmaßnahme mit 20 cm Zellulose des Bestandsmauerwerks der Christuskirche in Heinsberg wurden dynamische hygrothermische Simulationen durchgeführt. In die Berechnungen gehen sowohl Klimarandbedingungen ein als auch die Eigenschaften der verwendeten Materialien. Es wurde herausgearbeitet, dass die wesentlichen Einflussgrößen für die betrachtete Konstruktion die Schlagregenbelastung in Folge von Niederschlag, sowie die Eigenschaften des Mauerwerks sind. Für diese

Eingangsgrößen wurden jeweils Parametervariationen des Rechenmodells durchgeführt um eine Bandbreite der reell möglichen Bedingungen abzubilden. Die abgebildeten Varianten sind zum größten Teil unbedenklich, jedoch zeigte sich auch, dass bei ungünstigen Randbedingungen ein Risiko von kritischer Auffeuchtung im Mauerwerk bestehen könnte. Einen wesentlichen Einfluss auf das Ergebnis haben die hygrischen Eigenschaften des Mauerwerks. Die Vermessung einiger Mauerwerksproben weist darauf hin, dass es sich bei der Bestandswand um ein sehr inhomogenes Mauerwerk handelt. Einige Steine nehmen nur wenig Feuchte auf und können gut wieder austrocknen, während andere die anfallende Feuchte akkumulieren. Allein diese Tatsache erschwert die Möglichkeit, verlässliche Aussagen zum erwarteten hygrothermischen Verhalten zu erarbeiten. Für eine präzisere Analyse wären zusätzliche und umfangreichere Steinmessungen erforderlich. Der tatsächlich ausschlaggebende Faktor für die Schadensfreiheit ist jedoch die Schlagregenbelastung. Bei starkem Regen ist eine kritische Auffeuchtung nicht auszuschließen. Dieses Risikopotential wurde bereits während dem Planungsprozess identifiziert und nach möglichen Lösungen gesucht. Eine von jeglichem Risiko befreite Konstruktionslösung konnte unter den gegebenen unsicheren Randbedingungen leider nicht identifiziert werden. Als Sicherheitsmaßnahme wurde ein Putz zwischen Bestandsmauerwerk und Dämmung aufgebracht, welcher bei hoher Feuchte als zusätzlicher Feuchtepuffer agiert. Die Möglichkeiten einer Hydrophobierung als Schlagregenschutz wurden in Erwägung gezogen und deren Potentiale gegen den erforderlichen Aufwand und die möglichen Folgerisiken abgewogen. Im Endeffekt wurde diese Maßnahme in diesem Projekt nicht eingesetzt. Installierte stichprobenhafte Feuchtesensoren im Wandaufbau ermöglichen eine messtechnische Überwachung im Betrieb.

Die Risiken und Potentiale von Konstruktionslösungen mit Innendämmung hängen stark von den individuellen projektspezifischen Randbedingungen ab, daher wird bei ähnlichen Projekten, die sich nach den Lösungsansätzen dieser Kirche richten möchten, empfohlen, ebenfalls eine eigene hygrothermische Analysen durchzuführen. Die Verlässlichkeit der Rechenergebnisse hängt dabei stark von der Präzision der Randbedingungen (Materialeigenschaften, Außen- und Innenbedingungen) ab. In der Praxis gibt es bereits realisierte Sanierungsprojekte mit ähnlichen Wandaufbauten (Zellulose als Innendämmung), bei denen bisher keine bauphysikalischen Probleme aufgetreten sind (z.B. das Energie Plus Haus Weber in Österreich [Ronacher 2012]). Da die potentielle Auffeuchtung jedoch ein langsamer Prozess ist, ist die langjährige Erfahrung noch abzuwarten. Der Stand der Forschung zeigt, dass insbesondere bei Sichtmauerwerk ein Konzept für den Schlagregenschutz für die bauphysikalische Dauerhaftigkeit der Konstruktion wichtig ist. Die Christus-Kirche in Heinsberg ist ein wegweisendes Pilotprojekt – die hohen Dämmstärken wurden ganz im Sinne der angestrebten Heizenergieeinsparung nach dem Konzept der Sanierung mit Passivhauskomponenten zum EnerPHit Standard umgesetzt.

## 6 Literaturangaben

- [DELPHIN] DELPHIN 5.6.8: Numerisches Simulationsprogramm für den gekoppelten Wärme-, Feuchte-, und Stofftransport in kapillarporösen Baustoffen. Technische Universität Dresden, Insitut für Bauklimatik, Dresden 2012.
- [DIN 4108] Deutsches Institut für Normung: DIN 4108; Wärmeschutz im Hochbau; Beuth-Verlag; Berlin 1991.
- [DIN 68800-2] DIN 68800-2: 1996-05: Holzschutz. Teil 2: Vorbeugende bauliche Maßnahmen im Hochbau, Beuth-Verlag, Berlin 1996.
- [Kehl et.al. 2013] D. Kehl, U. Ruisinger, R. Plagge, J. Grundewald: Holzbalkenköpfe bei innengedämmten Mauerwerk – Ursache der Holzerstörung und Beurteilung von Holz zerstörenden Pilzen. Tagungsunterlage 2. Internationaler Dämmkongress, Hrsg.: Technische Universität Dresden, Insitut für Bauklimatik, Dresden 2013.
- [Künzel 1994] H.M. Künzel: Bestimmung der Schlagregenbelastung von Fassaden; IBP-Mittlung 21 (1994); Fraunhofer Institut für Bauphysik; Stuttgart 1994.
- [Meteonorm V6] Meteonorm 6.1: Globale meteorologische Datenbank; Meteotest, Bern, 2010.
- [Rankers 2012] R. Rankers: Untersuchungen an Ziegelsteinen und Mörteln – Evangelische Christus-Kirche Heinsberg; Prüfbericht M1666 vom 26.12.2012; Insitut für Bauforschung Aachen; 2012.
- [Ronacher 2012] Energie Plus Haus Weber – Demonstrationsobjekt im Spannungsfeld zw Tradition u. Moderne zur Erreichung höchster energiestrategischer Ziele. Neue Energien 2020, Endbericht, 2012. <http://www.architekten-ronacher.at>
- [Sedlbauer 2001] Sedlbauer, K. - Vorhersage von Schimmelpilzbildung auf und in Bauteilen. Dissertation, Universität Stuttgart, 2001.
- [TRY 2011] Aktualisierte und erweiterte Testreferenzjahre von Deutschland für mittlere, extreme und zukünftige Witterungsverhältnisse. Climate & Environment Consulting Potsdam und Deutscher Wetterdienst im Auftrag des BBR; Offenbach, 2011.

- [WTA Merkblatt 6-2-1] WTA-Merkblatt 6-2-01/D; Simulation wärme- und feuchte-technischer Prozesse. Deutsche Fassung vom Mai 2002. Fraunhofer IRB Verlag; Stuttgart 2006.
- [WTA Merkblatt E-6-5] WTA-Merkblatt 6-5: Ausgabe 11.2012/D; Nachweis von Innendämmsystemen mittel numerischer Berechnungsverfahren. Deutsche Fassung vom November 2012. WTA Publications; 2012.
- [WUFI Bio] WUFI-Bio 3.0: Software zur Beurteilung von Schimmelpilzwachstum; Fraunhofer Institut für Bauphysik, Holzkirchen 2013.

## **Anmerkung**

Dieser Bericht ist im Kontext des Forschungsprojektes gefördert unter dem AZ 30125-25 von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) entstanden. Er gilt begleitend zum Abschlussbericht desselben Projektes, verfasst von RoA - Rongen Architekten GmbH.

### Autorin:

Jessica Grove-Smith

### Unter Mitarbeit von:

Wolfgang Feist, Oliver Ottinger, Tanja Schulz, Jan Steiger, Anna Zieba.

Passivhaus Institut, Darmstadt, August 2013.