

Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP

Forschung, Entwicklung,  
Demonstration und Beratung auf  
den Gebieten der Bauphysik

Zulassung neuer Baustoffe,  
Bauteile und Bauarten

Bauaufsichtlich anerkannte Stelle für  
Prüfung, Überwachung und Zertifizierung

**Institutsleitung**

Prof. Dr. Philip Leistner  
Prof. Dr. Klaus Peter Sedlbauer

IBP-Bericht EER-003/2017/953

## **Modellhafte energetische Sanierung des Dach- und Obergeschosses der Alten Schäferei im Kloster Benediktbeuern**

Durchgeführt im Auftrag  
der Deutschen Bundesstiftung Umwelt  
Aktenzeichen AZ 28688

Laufzeit: 2.9.2010 bis 31.12.2016

Der Bericht umfasst  
100 Seiten Text  
1 Tabelle  
117 Abbildungen

Dipl.-Ing. (FH) Christine Milch  
Dipl.-Ing. (FH) Bernd Pfundstein  
Prof. Dr. Ralf Kilian  
Prof. Dr. Gunnar Grün

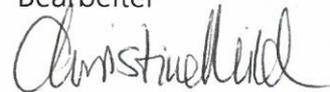
Holzkirchen, 27. März 2017

stellv. Institutsleiter



Prof. Dr.  
Gunnar Grün

Bearbeiter



Dipl.-Ing. (FH)  
Christine Milch

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Anlass und Zielsetzung des Projekts</b>	<b>6</b>
2.1	Fraunhofer-Zentrum für energetische Altbausanierung und Denkmalpflege Benediktbeuern	6
2.2	Modellhafte energetische Sanierung des Dach- und Obergeschosses der Alten Schäfllerei im Kloster Benediktbeuern	7
2.3	Nutzungskonzept Fraunhofer-Zentrum Benediktbeuern	8
<b>3</b>	<b>Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden</b>	<b>10</b>
3.1	Reparatur des Dachwerks	11
3.1.1	Konstruktion des Dachwerks	11
3.1.2	Konzept und Durchführung der Reparaturmaßnahmen	13
3.2	Dämmung der obersten Geschossdecke mit Einsatz von Vakuumgläsern	21
3.3	Reparatur der Fenster mit energetischer Ertüchtigung in Verbindung mit der Innendämmung	27
3.4	Lüftungsanlage zur Erreichung eines Museumsklimas	34
3.5	Messung und Demonstration	40
3.5.1	Messung der unterschiedlichen Dämmmaterialien der obersten Geschossdecke	40
3.5.2	Darstellung der Messdaten	44
3.5.3	Innen- und Außenklima	44
3.5.4	Perliteschüttung	45
3.5.5	Zelluloseeinblasdämmung	47
3.5.6	Hanfmatte	49
3.5.7	Kokosmatte	51
3.5.8	Mineralwolle	53
3.5.9	Holzfaser	55
3.5.10	Vergleichende Darstellung der Messdaten im Gesamtzeitraum	57
3.6	Darstellung der Messdaten im Winter 2015/2016	59
3.6.1	Innen- und Außenklima	59
3.6.2	Temperatur- und Taupunkttemperatur	59
3.6.3	Vergleichende Darstellung der Messdaten im Winter 2015/2016	62
3.6.4	Messung der Balkenköpfe in der Ebene der obersten Geschossdecke	64
3.6.5	Vorbereitende Simulation zur energetischen Ertüchtigung der Bestandsfenster	66

<b>4</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>68</b>
4.1	Reparatur des Dachwerks	68
4.2	Dämmung der obersten Geschossdecke mit Einsatz von Vakuumgläsern	68
4.3	Reparatur der Fenster mit energetischer Ertüchtigung in Verbindung mit der Innendämmung	69
4.4	Lüftungsanlage zur Erreichung eines Museumsklimas	69
4.5	Messung und Demonstration	69
<b>5</b>	<b>Diskussion</b>	<b>70</b>
5.1	Reparatur des Dachwerks	70
5.2	Dämmung der obersten Geschossdecke mit Einsatz von Vakuumgläsern	70
5.2.1	Einbauposition der Dämmmaterialien	70
5.2.2	Einsatz von begehbarem Vakuumglas im Bodenbereich	70
5.2.3	Einsatz von wärmedämmendem Glas als Treppeneinhausung	71
5.2.4	Doppelter Bodenaufbau im Bereich der Lüftungstechnik	72
5.3	Reparatur der Fenster mit energetischer Ertüchtigung in Verbindung mit der Innendämmung	72
5.4	Lüftungsanlage zur Erreichung eines Museumsklimas	72
5.5	Messung und Demonstration	72
5.6	Zusammenarbeit mit Kooperationspartner	73
<b>6</b>	<b>Öffentlichkeitsarbeit</b>	<b>73</b>
6.1	Veranstaltungen / Messeauftritte	73
6.2	Führungen durch das Fraunhofer-Zentrum Benediktbeuern	81
6.3	Artikel in Fachzeitschriften und Filmbeiträge	83
6.4	Präsentation des Fördergebers bei Vorträgen	84
6.5	Präsentation des Fördergebers am Gebäude durch das Förderhinweisschild	85
<b>7</b>	<b>Fazit</b>	<b>85</b>
<b>A.1</b>	<b>Technischer Anhang zur Energetischen Ertüchtigung von Bestandsfenstern</b>	<b>87</b>
<b>A.2</b>	<b>Technischer Anhang zu Sanierungskonzepten für Bestandsfenster</b>	<b>88</b>
<b>A.3</b>	<b>Technischer Anhang zur Auswertung der Lüftungsanlage</b>	<b>89</b>



# 1 Zusammenfassung

Das Fraunhofer-Zentrum für energetische Altbausanierung und Denkmalpflege erforscht seit dem Jahr 2010 am Standort Alte Schäfllerei im Kloster Benediktbeuern energieeffiziente Lösungen zur Erhaltung des baukulturellen Erbes und der historischen Bausubstanz. Das Zentrum ist eine Initiative des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik IBP und des Fraunhofer Informationszentrums Raum und Bau IRB in enger Abstimmung mit den Salesianern Don Boscos des Klosters Benediktbeuern als Gebäudeeigentümer und Kooperationspartner. Wir bringen dort Partner aus der Denkmalpflege, Architektur, Umwelt sowie der Bauindustrie zusammen, um historische und innovative Materialien und Techniken zu erforschen, zu erproben und zu zeigen. Zusammen mit der messtechnischen Begleitung der einzelnen Forschungsprojekte im Bereich der Energieeffizienz bei denkmalgeschützten Gebäuden dient die Alte Schäfllerei aus der Mitte des 18. Jahrhunderts als Anschauungsobjekt. Im Zuge der Maßnahmen wurde das sanierungsbedürftige Gebäude des historischen Handwerkerbereiches in Kloster Benediktbeuern erhalten und unter Berücksichtigung denkmalpflegerischer und energetischer Aspekte mit innovativen Lösungsansätzen instandgesetzt. Somit ist **die innovative energetische Optimierung des Obergeschosses samt Dachwerksinstandsetzung** eines der Beispiele, die musterhaft direkt am Gebäude gezeigt und auf weitere historische Gebäude angewandt werden können. Im Rahmen des Förderprojektes konnte der barocke Dachstuhl denkmalgerecht repariert werden. Durch die Dämmmaßnahme der obersten Geschossdecke kann das Dachgeschoss als hinterlüfteter Bereich bestehen bleiben. Dies bietet weiterhin die Möglichkeit das barocke Dachwerk für Besucher des Zentrums sichtbar zu belassen. Im Rahmen der energetischen Ertüchtigung des Obergeschosses des Kopfbaus durch Innendämmungen wurden Konzepte zur Optimierung der Bestandsfenster entwickelt und wissenschaftlich erforscht. Die Dämmmaßnahmen im Dachgeschoss des Kopfbaus wurden durch Wissenschaftler des Fraunhofer IBP messtechnisch begleitet und ausgewertet.

Der rege Austausch mit dem wissenschaftlichen Fachbeirat des Zentrums, mit Industrie und Handwerk sowie mit dem Bayerischen Landesamt für Denkmalpflege sorgt dafür, dass unsere Forschung stets aktuell und anwendungsorientiert ist. Die wichtigsten Fragen der energetischen Altbausanierungen stammen direkt aus der baulichen und denkmalpflegerischen Praxis und das Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP Holzkirchen erarbeitet dazu passende Lösungen. Auch für andere ältere, nicht unter Denkmalschutz stehende Bauwerke können die Sanierungsmaßnahmen beispielhaft sein. Die von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt DBU geförderte Maßnahme hat daher Demonstrationscharakter.

Während der zurückliegenden Projektphase wurde das Fraunhofer-Zentrum auch in den offiziellen Lageplan des Klosters Benediktbeuern aufgenommen und wird nun auf der Internetpräsenz als eine weitere Einrichtung innerhalb des Klosters geführt (<http://www.kloster-benediktbeuern.de/Einrichtungen/Fraunhofer-Zentrum-fuer-energetische-Altbausanierung-und-Denkmalpflege-Benediktbeuern>).

Klöster und historische Bauten waren schon immer identitätsstiftende Orte, an denen Geschichte und Geschichten lebendig werden. Das Fraunhofer IBP hilft zusammen mit den unterschiedlichen Fördergebern diese Orte zu bewahren und sie zukunftsfähig im Sinne von Energieeffizienz, Erreichung der Klimaziele, Nachhaltigkeit, und Kriterien der Zukunftsstadt zu machen.

Das Fraunhofer IBP will Menschen motivieren, wertvolle historische Gebäude und Denkmäler in ihrem ursprünglichen Charakter und mit Zeitzeugnissen zu erhalten, indem mögliche Wege zur schadensfreien und energieeffizienten Nutzung aufgezeigt werden. So leisten wir einen Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung und zur Energieeinsparung in Deutschland.

## 2 Anlass und Zielsetzung des Projekts

Im Folgenden werden die Hintergründe und Ziele des Forschungsvorhabens im Rahmen des Fraunhofer-Zentrums Benediktbeuern näher erläutert. Durch die Einbindung des Forschungsvorhabens in diesem öffentlich wirksamen Zentrum soll sichergestellt werden, dass die Ergebnisse und angewandten Verfahren und Methoden nachvollziehbar sind und vor Ort besichtigt wie auch in Fort- und Weiterbildungsveranstaltungen gezeigt werden können.

### 2.1 Fraunhofer-Zentrum für energetische Altbausanierung und Denkmalpflege Benediktbeuern

Die Zielsetzung des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik IBP zusammen mit seinem Partnerinstitut Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB war von Anfang an beispielhafte Wege zur sinnvollen energetischen Sanierung im Bestand aufzuzeigen und Lösungsansätze für die Erhaltung von denkmalgeschützten Gebäuden zu bieten. Diese Themen sollten im Rahmen eines Kompetenzzentrums vereint und didaktisch aussagekräftig für die breite Öffentlichkeit und Fachleute präsentiert werden. In enger Kooperation zwischen den Salesianern Don Boscos als Eigentümer der „Alten Schäfflerei“, dem Bayerischen Landesamt für Denkmalpflege, dem Bayerischen Landesamt für Umwelt, der Deutschen Bundesstiftung Umwelt, der Technische Universität München und der Wissenschaftlich-Technischen Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. (WTA) wird dieses Zentrum eine kompetente Anlaufstelle für den Laien, den Interessierten und den Fachmann sein.

Das Fraunhofer-Zentrum Benediktbeuern ist weltweit einzigartig: Es verfolgt komplett neuartige Ansätze, profitiert von bauphysikalischer Spitzenforschung und integriert Methoden der Denkmalpflege. Die Fraunhofer-Gesellschaft betreute die Sanierung der Alten Schäfflerei sowie das dort entstehende Zentrum und erhielt 2010 einen Nutzungsvertrag durch das Kloster Benediktbeuern, der es ermöglicht das Zentrum über mindestens 20 Jahre zu betreiben.

Die breite Palette der Möglichkeiten zur Altbausanierung und Denkmalpflege werden genauso wie innovative Technologien zur Energieeffizienz und nachhaltigen Sanierungen beispielhaft an einem herausragenden Kulturdenkmal de-

monstriert. Schon in der Frühphase wurde das Vorhaben in einer Art „Gläsernen Baustelle“ dem Fachpublikum sowie den interessierten Laien zugänglich gemacht. Der Betrieb setzt auf ein Geschäftsmodell, das auf folgenden Säulen basiert: Forschung, Demonstration, Beratung und Weiterbildung. Damit findet erstmals eine Bündelung von bauphysikalischem Wissen und Erfahrungen aus dem Bereich des Bauens im denkmalgeschützten Bestand in einem öffentlich wirksamen Demonstrationszentrum statt. Im Kern steht die Überzeugung, dass Forschung ein wesentlicher Faktor für das Fortbestehen unserer Baudenkmäler sowie traditionell bebauter Umgebung ist.

Nach der offiziellen Fertigstellung der Baumaßnahme werden Praxisseminare zu unterschiedlichen Techniken und Baustoffen für Handwerker, Restauratoren und Fachplaner sowie weitere Fachseminare, Schulungen und öffentliche Veranstaltungen zu Themen der Energieeffizienz und Denkmalpflege / Altbausanierung angeboten werden.

Das Kloster Benediktbeuern bietet einen idealen Standort für ein Zentrum dieser Art. Durch die bereits vorhandenen Einrichtungen, wie das Zentrum für Umwelt und Kultur (ZUK) sowie die Energiezentrale des Klosters, die beide ebenfalls von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt gefördert wurden, werden sich Synergien zum Fraunhofer-Zentrum Benediktbeuern entwickeln. Genauso zeigen die Einrichtungen der Salesianer Don Boscos eine vielfältige Infrastruktur, die durch das geplante Zentrum genutzt werden können und bereits während der Sanierungsphase für unterschiedliche Veranstaltungen genutzt wurden. Ein Schwerpunkt der Arbeit der Salesianer Don Boscos ist die Jugendarbeit. Gerade in der Denkmalpflege ist dies auch ein wichtiges Anliegen, um junge Menschen mit ihrer Geschichte und deren materiellen Zeugnissen vertraut zu machen. Daher ist auch zukünftig eine fachliche Zusammenarbeit mit der Deutschen Stiftung Denkmalschutz und der Deutschen Bundesstiftung Umwelt angedacht. Mögliche Schwerpunkte hierbei liegen zum Beispiel in der Unterstützung der Zusammenarbeit mit Schulen durch Bereitstellung von Lehrmaterial oder von Anleitungen zu Versuchen, die bauphysikalische Aspekte des Denkmalschutzes anschaulich machen (beispielsweise schädliche Mauersalze, Wärmespeicherfähigkeit alter Gemäuer, etc.).

Auf diese Weise trägt das Fraunhofer IBP mit seinem Fraunhofer-Zentrum Benediktbeuern ebenfalls zu dem für die Salesianer wichtigen Tätigkeitsfeld der Jugendarbeit bei und vermittelt gleichzeitig einen Einblick in die Ingenieurwissenschaften, was letztendlich wiederum die Nachwuchsinitiativen der Fraunhofer-Gesellschaft unterstützt.

## **2.2 Modellhafte energetische Sanierung des Dach- und Obergeschosses der Alten Schäferei im Kloster Benediktbeuern**

Die bauliche Maßnahme zur innovativen energetischen Optimierung des Obergeschosses samt Dachwerksinstandsetzung stellte den ersten wichtigen Baustein mit Modellcharakter für die Sanierung des Gebäudes dar. Die ersten baulichen Tätigkeiten am Gebäude befassten sich mit der denkmalgerechten Reparatur des

barocken Dachwerks, das auch zukünftig in seiner vollen Pracht für Besucher sichtbar bleiben sollte. Ein wichtiger Aspekt der energetischen Sanierung des Gebäudes war die Ausbildung einer thermischen Hülle (Bild 1). Im Bereich des Kopfbaus ergab die Ausbildung einer energetisch ertüchtigten bzw. gedämmten Geschossdecke den oberen Abschluss dieser Hülle.

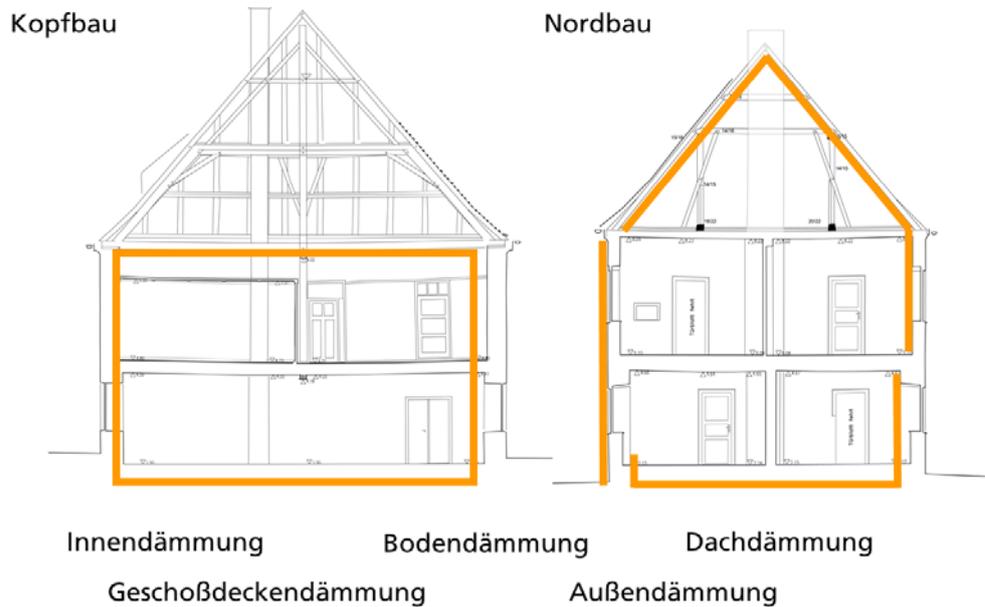


Bild 1:  
Konzept der Thermischen Hülle, Kopfbau und Nordbau der Alten Schäfflerei.

### 2.3 Nutzungskonzept Fraunhofer-Zentrum Benediktbeuern

Im November 2016 wurde das Zentrum offiziell im Rahmen einer zweitägigen Veranstaltung mit zahlreichen Fachvorträgen und dem symbolischen Durchschneiden eines roten Bandes eröffnet. Mehrere Bereiche des Gebäudes, wie Teile des Erdgeschosses oder das Dachgeschoss sind derzeit noch nicht final ausgebaut und bieten sich für weitere Forschungsprojekte an, beispielsweise zu den Themen energieeffizienter Dachausbau, Dämmung der Bodenplatte, historische Baumaterialien, Einsatz von Sanierputzen, und vieles mehr. Für die kommenden Jahre planen wir in der Alten Schäfflerei in Benediktbeuern weitere Forschung, Fortbildungen und Seminare.

Nach einer Bauabnahme durch das Landratsamt Bad Tölz-Wolfratshausen, die im Sommer 2017 geplant ist, wird das Gebäude der Alten Schäfflerei für Veranstaltungen und Seminare genutzt werden können und steht der Öffentlichkeit für den Besuch des Fraunhofer-Zentrums Benediktbeuern offen (Bild 2, Bild 3 und Bild 4).

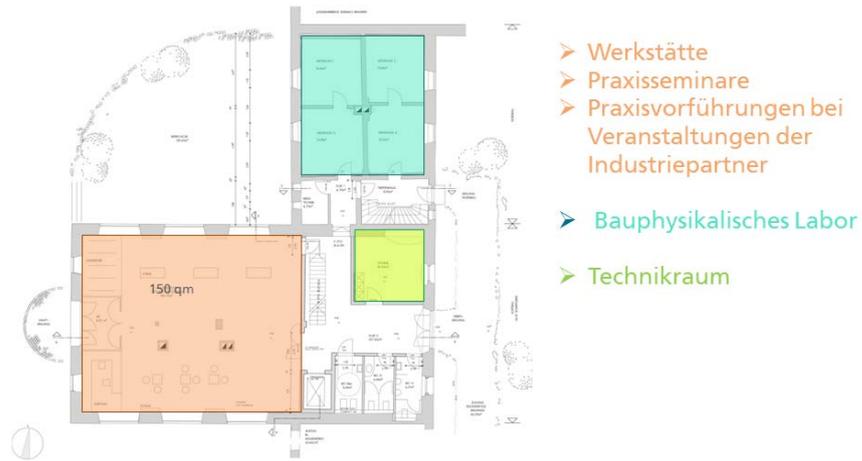


Bild 2:  
Nutzungskonzept Erdgeschoss, Alte Schöfferei.

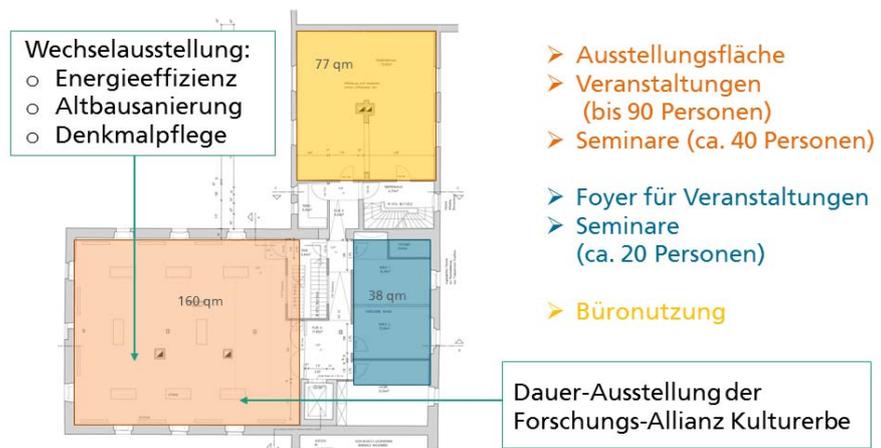


Bild 3:  
Nutzungs- und Ausstellungskonzept Obergeschoss, Alte Schöfferei.

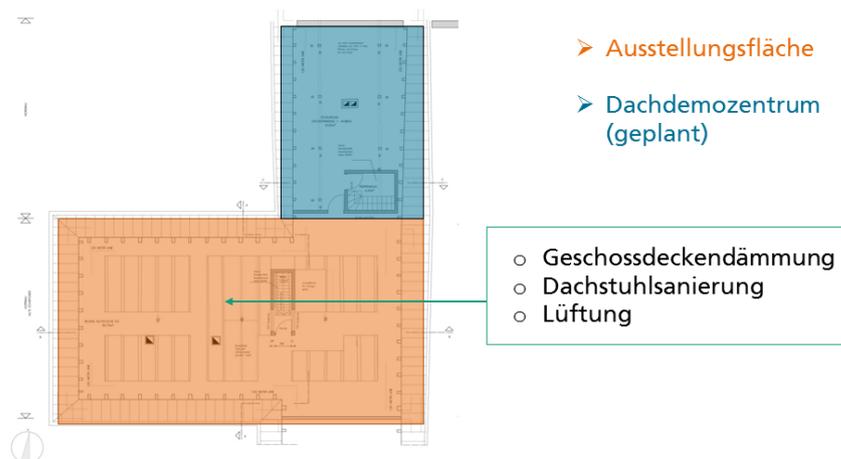


Bild 4:  
Nutzungs- und Ausstellungskonzept Dachgeschoss, Alte Schöfferei.

Da die Erhaltung historischer Bauten eine komplexe Aufgabe ist, wollen wir mit dem Fraunhofer-Zentrum Benediktbeuern die umfassende Forschung aus der Bauphysik für die Bereiche Denkmalpflege und energetische Altbausanierung öffentlich besser sichtbar und insbesondere für Bauherren leichter zugänglich machen. Wir zielen dabei auf einen multidirektionalen Wissenstransfer. Letztendlich profitieren davon alle Seiten, zum einen durch die Bündelung von Wissen und zum anderen durch die Erarbeitung und Darstellung von dauerhaften, verlässlichen Lösungen für Sanierung und Baudenkmalpflege. Dabei entsteht ein Portfolio von gut funktionierenden energetischen Sanierungsmaßnahmen, das dabei helfen soll, die Ziele der Energiewende zu erreichen und gleichsam die Weiternutzung unseres historischen Gebäudebestands in Bayern und darüber hinaus zu befördern.

Die ersten Ideen für diese Initiative stammen aus dem Jahr 2006. Das Konzept wurde in den letzten 10 Jahren sukzessive erweitert. Nach einer Anfangs-Phase der Konzeptentwicklung, des Aufbaus von Partnerschaften und der Sammlung der notwendigen Fördermittel für die Umsetzung, wird das Zentrum nun seit 2010 am Kloster Benediktbeuern, der ehemaligen Wirkungsstätte von Joseph von Fraunhofer (1787 – 1826, Namensgebers der Fraunhofer Gesellschaft), Schritt für Schritt in die Realität umgesetzt. Die letzten 5 Jahre fungierte das Gebäude der Alten Schäferei dabei als „Gläserne Baustelle“ mit viel Austausch und Diskussion, im Wechselspiel zwischen Bauaufgaben und Forschung. Die Deutsche Bundesstiftung Umwelt DBU ermöglichte u.a. die vergleichende Untersuchung von Varianten der Geschoßdeckendämmung und die energetische Ertüchtigung der historischen Fenster bei gleichzeitigem Erhalt der Originalsubstanz. Darüber hinaus sind zahlreiche Firmen aus Handwerk und Industrie an diesen Projekten mit beteiligt, auch um den Austausch zwischen Forschung, Denkmalpflege und Baupraxis sicherzustellen und zu befördern.

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

Die baulichen Maßnahmen im Rahmen des von der DBU geförderten Projektes „Modellhafte energetische Sanierung des Dach- und Obergeschosses der Alten Schäferei im Kloster Benediktbeuern“ behandeln zum einen die Reparatur des barocken Dachwerks unter denkmalpflegerischen Gesichtspunkten und die umweltgerechte Dämmung der obersten Geschossdecke mit nachwachsenden Rohstoffen. Das Konzept zur Verwendung von hochdämmenden Vakuumisolationsgläsern im Bereich der Geschossdecke und der Treppeneinhausung im DG wurde während des Projektverlaufes gemäß geltenden Richtlinien und Kosteneffizienz angepasst. Zum anderen wurden die bestehenden Fenster im Obergeschoss der Alten Schäferei schreinermäßig repariert. Die energetische Optimierung im Zusammenhang mit einer Innendämmung der Außenwand bzw. der Fensterlaibung wurde im Projektzeitraum ebenfalls realisiert. Konzepte zu innovativen Lösungen bei der energetischen Ertüchtigung dieser Bestandsfenster wurden erarbeitet. Hinzu werden die baulichen Maßnahmen ergänzt durch den Einsatz eines innovativen Lüftungssystems.

Im östlichen Bereich des Erdgeschosses des Kopfbaus wurde zu Beginn der allgemeinen Sanierungsmaßnahmen ein Technikraum errichtet, in dem die Heizungs-, Elektro- und Messtechnik für Forschungsprojekte und den Gesamtbetrieb des Gebäudes wie auch der Hausanschluss und die Übergabestation für die Fernwärme installiert sind. Die Alte Schäferei ist an die Energiezentrale des Klosters angeschlossen und mit Fernwärme aus regenerativen Quellen (zum größten Teil Hackschnitzel) versorgt.

Die von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt geförderten Maßnahmen gliedern sich in den gesamten Bauablauf wie folgt ein (Bild 5).

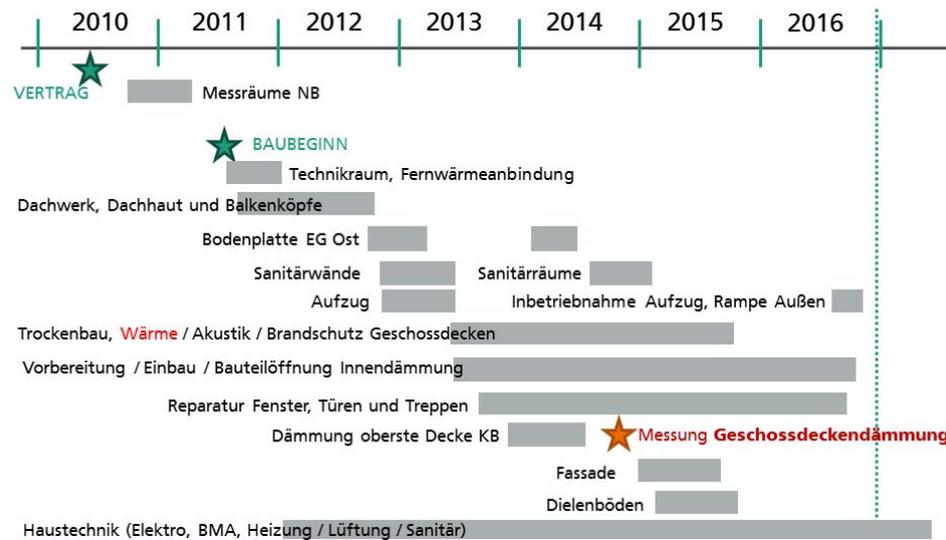


Bild 5:  
Ablauf der Baumaßnahmen an der Alten Schäferei von 2010 bis 2016.

### 3.1 Reparatur des Dachwerks

#### 3.1.1 Konstruktion des Dachwerks

Das barocke Dachwerk des ehemaligen Handwerkergebäudes „Alte Schäferei“ macht einen essentiellen Aspekt des Denkmalwerts des gesamten Gebäudes aus. Dendrochronologisch datiert sind die Hölzer des Dachstuhls auf Winter 1756/57 und Winter 1758/59 (Fälldatum), wonach die Alte Schäferei auf das Erbauungsjahr auf 1760 datiert wird. Unter einer dendrochronologischen Untersuchung versteht man eine Datierungsmethode, mit der sich das Alter von Holzteilen einer Konstruktion bestimmen lässt. Mittels Bohrproben können Jahresringe von Bäumen anhand ihrer unterschiedlichen Breite einer bestimmten, bereits erfassten und daher bekannten Wachstumszeit zugeordnet werden. Das Dachwerk der Alten Schäferei wurde auf Veranlassung des Bayerischen Landesamtes für Denkmalpflege von Herrn Otto Gschwind 2004 untersucht [1].

Vorhandene Hölzer des Dachwerks sowie der überwiegende Teil der Dachdeckung sind bauzeitlich und von großem denkmalpflegerischen Wert.

Der Kopfbau mit seinem Ost-West-gerichteten Walmdach ist als doppelt liegender Stuhl mit zwei Kehlbalkebenen ausgebildet. Zudem wird bzw. wurde der Dachstuhl durch ein Hängewerk mit drei 12 m langen Hängesäulen unterstützt. Die östliche der drei Säulen nimmt immer noch die Traglast der östlichen Decke über dem Erdgeschoss auf (Bild 6).

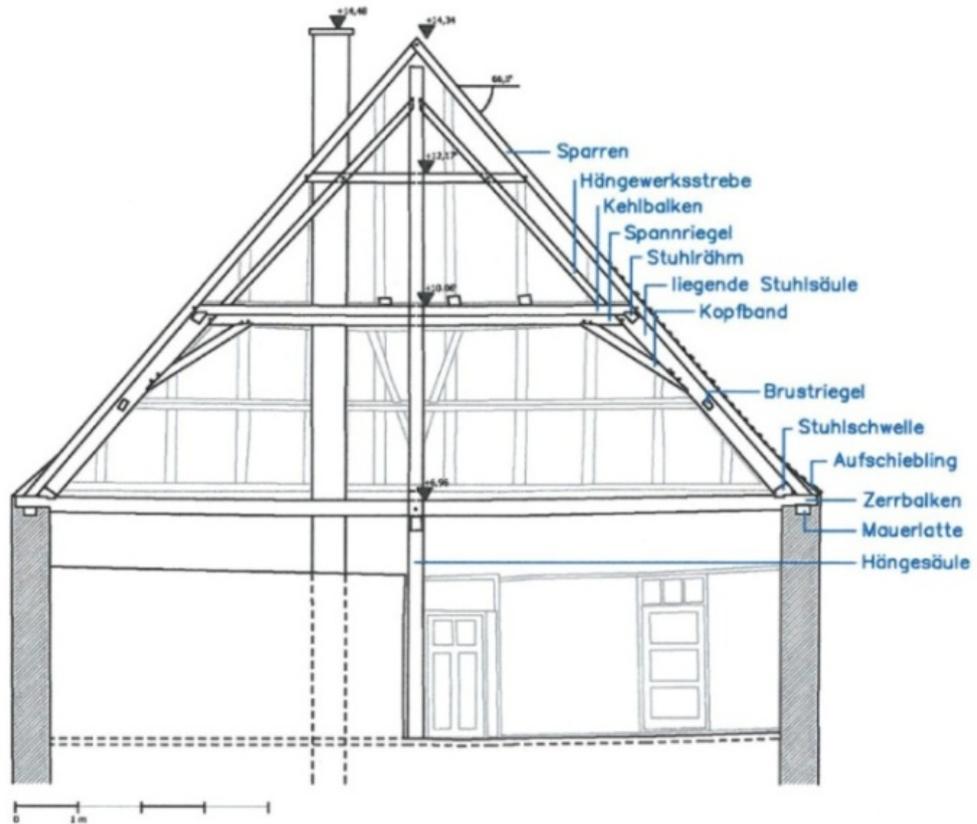


Bild 6:  
Querschnitt durch das Dachwerk des Kopfbaus, Grad Ingenieurplanungen.

Der hölzerne Lastenaufzug auf der ersten Kehlbalkebene im Dachraum des Kopfbaus befindet sich etwa in Höhe des Treppenaufgangs. Die Bauteile wurden auf das Jahr 1682 datiert und demnach scheint der Aufzug im Dach der Alten Schäfllerei zweitverwendet zu sein (Bild 7). Mit seinen aussteifenden Andreaskreuzen, den originalen Verzapfungen und Abbundzeichen der Holzteile sowie der sichtbaren originalen Dachziegeln ist das barocke Dachwerk ein Schmuckstück und wurde als solches einer konservatorischen und denkmalgerechten Instandsetzung zugeführt (Bild 8).



Bild 7:  
Hölzerne Winde im Dachraum des Kopfbaus,  
Foto: Uwe Gaasch.



Bild 8:  
Dachwerk des Kopfbaus mit Andreaskreuzen  
(liegender Stuhl), Ansicht Nord.

### 3.1.2 Konzept und Durchführung der Reparaturmaßnahmen

Ziel war es, das gesamte Dachwerk als eines der „Ausstellungsstücke direkt am Gebäude“ im Rahmen des Fraunhofer-Zentrums Benediktbeuern zu zeigen. Das Konzept sah vor das Dach des Kopfbaus nicht zu dämmen, sondern vielmehr als hinterlüftetes Dachwerk (Kaltdach) auszubilden, um es den Besuchern des Zentrums in seiner Gesamtheit präsentieren zu können. Nach einer allgemeinen und ausführlichen Voruntersuchung durch den fachplanenden Architekten [2] und einem Sanierungskonzept des beauftragten Statikbüros [3] im Jahre 2010 wurde ein Maßnahmenkonzept [4] erstellt, das sowohl die denkmalpflegerischen, als auch die energieeinsparenden Maßnahmen in Verbindung mit der Neuzuführung der Gebäudenutzung aufzeigte. Im Rahmen des Ergänzungsfachs „Angewandte Bauaufnahme“ am Lehrstuhl für Baugeschichte, historische Bauforschung und Denkmalpflege der TU München untersuchten Studentinnen im Winter 2010/11 den gesamten Dachstuhl des Kopfbaus und des nördlichen Anbaus in Form eines verformungsgerechten Aufmaßes [5].

Beginn des ersten Bauabschnittes war August 2011 nach Erhalt der offiziellen Baugenehmigung. Das Gebäudeensemble (bestehend aus Kopfbau nach Westen und den beiden nördlich und südlich angrenzenden Flügelbauten) wurde komplett eingerüstet und mit einem Schutzdach versehen (Bild 9, Bild 10). Um die schadhaften Bereiche des Dachwerks zimmermannsmäßig optimal reparieren und Holzteile austauschen zu können, wurden die zum großen Teil bauzeitlichen Dachziegel abgenommen, gelagert und anschließend zur Wiederverwendung geprüft.



Bild 9:  
Abgedeckter Dachstuhl des Kopfbaus unter dem Schutzdach, Foto: Uwe Gaasch.



Bild 10:  
Schutzeinhausung im Bereich des Kopfbaus mit Baukran.

## Schädlingsbefall

Nach Abnahme der Ziegel konnten schadensträchtige Teile und Verbindungen des Dachwerks gut zugänglich und sichtbar gemacht werden. Der gesamte Kehlbereich des Kopfbaus war für lange Zeit starker Feuchtigkeit ausgesetzt und durch angrenzende Wohnnutzung häufig temperiert. Dies waren ideale Bedingungen für verschiedene Schwämme. Laut statischem Gutachten findet sich „an den Konstruktionshölzern ... Braunfäule mit großformatigem Würfelbruch, was für einige Schwämme typisch ist.“. Da es Schwammarten gibt, „die trockenheitsresistente Dauerformen bilden und dabei bis zu acht Jahre überdauern und anschließend bei ausreichender Feuchtigkeit wieder weiterwachsen“ können, war die Empfehlung des Ingenieurbüros Grad durch einen Sachverständigen in der Alten Schäferei die vorliegende Art festzustellen [3].

Anders als das Dachwerk des Kopfbaus ist das Dach des Nordbaus als einfaches Kehlbalkendach mit doppelt stehendem Stuhl mit geschosshohen Diagonalaussteifungen ausgebildet. Hier traten starke Feuchteschäden im Anschlussbereich zur angrenzenden Jugendherberge in Form von verschiedenen Pilzen entlang der Trennwand und im Bereich des Streichgespärres sowie Zerrbalken und Sparren auf. Zum einen zeigte sich an den Konstruktionshölzern Braunfäule, zum anderen wiesen die angrenzenden Bohlen und die darunterliegenden Balkenteile Weißfäule auf.

## Sparren, Fußpunkte und Balkenköpfe

Etwaige Schäden auf den **Sparrenoberseiten** wurden vermutlich durch unregelmäßig verlegte bzw. dimensionierten Dachlatten verursacht. An mehreren Stellen waren die Dachlatten bereits abgerutscht und dadurch lagen die Ziegel in keinem korrekten Verbund. Hieraus resultierte die Gefahr einer rinnenförmigen Fäulnis auf der Sparrenoberseite. Sparren, Kehl- bzw. Deckenbalken, bei denen es durch Fehlstellen in der Dacheindeckung zu Fäulnisschäden gekommen war, wurden an der schadhafte Oberseite ausgenommen und durch Überblattungen

mit Neuholz aus Kiefer bzw. Fichte (mit Borsalzlösung imprägniert) wieder geschlossen. Abgesunkene Sparren, verdrehte und verschobene Holzverbindungen wurden zimmermannsmäßig nachgerichtet. Die horizontal liegenden **Zerrbalkenköpfe** (Enden eines Balkens, die in der Mauer bzw. auf der Mauerschwelle aufliegen, siehe Schemadetail anhand Bild 11) waren in der Mauerkrone eingemauert und konnten bei möglicher Tauwasserbildung bzw. Flugschnee nicht vollständig austrocknen. Durch querschnittsgleichen Austausch bzw. Ergänzung des schadhaften verfaulten Holzes wurden nahezu alle Balkenköpfe sowie eine Vielzahl der Sparrenfußpunkte und hölzernen Aufschieblinge ausgetauscht.

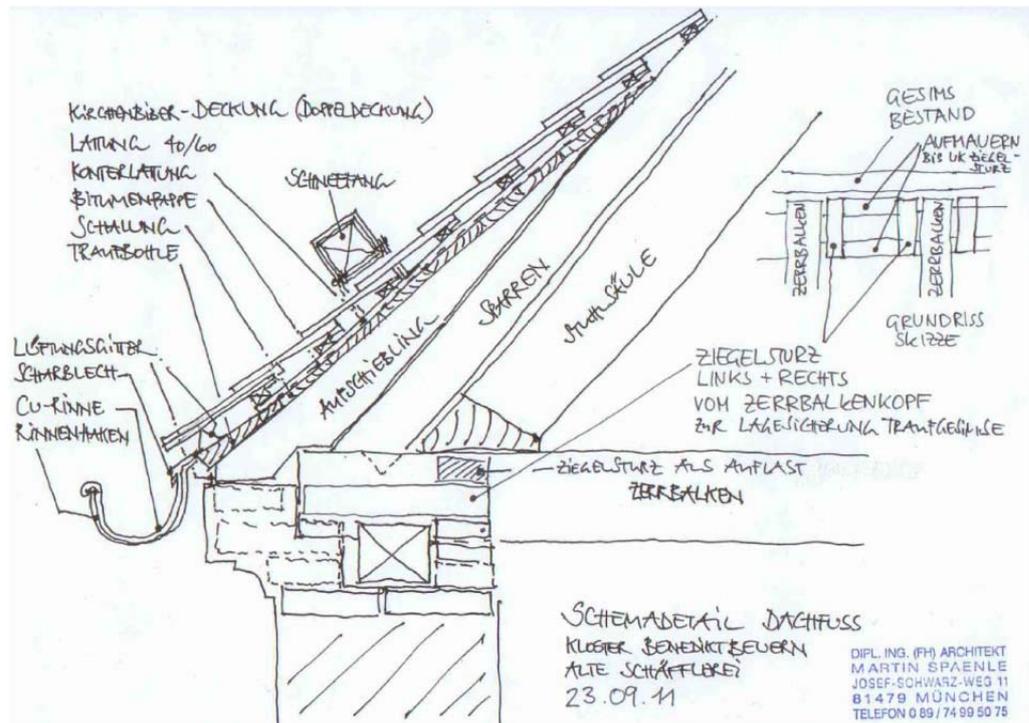


Bild 11:  
Schemadetail Dachfuß, Architekturbüro Spaenle.

Schadhaftes Holz wurde dabei gesundgeschnitten und ergänzt. Die Reparatur der schadhaften Holzverbindungen im Traufbereiche funktioniert größtenteils durch neue Holzverblattungen und Verzapfungen. Im unteren Bereich ab Traufe bis zu 2 m Höhe wurde ein Unterdach als Verschalung zum Schutz in diesem Bereich installiert, das mit echter Belüftung von unten funktioniert. Somit ist eine Sicherung gegen Wassereintrag gegeben und das Dach im problematischsten Bereich geschützt (siehe Bild 14, Bild 15).



Bild 12:  
Dachgeschoss des Kopfbaus mit neuen Hölzern zur Längs- und Queraussteifung.



Bild 13:  
Balkenköpfe der Zerrbalkenebene mit diagonalem Zugeisen.



Bild 14:  
Querschnittsgleiche Überblattungen an der Sparrenoberseite.



Bild 15:  
Neuanfertigung der Aufschieblinge und Verschalung des unteren Traufbereichs.

Die **Mauerschwelle** aus Weichholz war durch früheren Wassereintrag ebenfalls größtenteils fäulnisgeschädigt (Bild 16, Bild 17) und musste ausgetauscht werden. Ersetzt wurde sie durch beständigeres Eichenholz. Ein zusätzlicher Elastomerstreifen als Auflager dient dazu, dass die Schwelle nicht direkt auf der Mauer aufliegt und möglichst luftumspült ist. Der Streifen liegt ohne Überstand unter der Mauerlatte, damit sich der Streifen unter dem Gewicht des Balkenkopfs nicht zusammendrücken und Wasser sammeln kann. Ansonsten bestünde die Gefahr, dass die Mauerlatte „im Wasser liegt“ und an der Unterseite geschädigt werden könnte. Nach Einschätzung der Statiker ist die Verwendung von Dachpappe als Auflager der Mauerlatte nicht geeignet, da sich das Material möglicherweise zersetzt und somit einen Nährboden für Pilze darstellt. Anschließend wurde die Mauerkrone mit einem ausreichend großen Luftspalt von ca. 2 cm zum Balkenkopf wieder aufgemauert, um eine Kondensatbildung im Bereich des Übergangs zwischen Holz und Mauerwerk zu vermeiden (Bild 18, Bild 19).



Bild 16:  
Fäulnissschäden am Fußpunkt des westlichen Gratsparrens und der Mauerlatte.



Bild 17:  
Schäden an eingemauerter Mauerlatte.



Bild 18:  
Überblattung des Balkenkopfs und Verzapfung des Sparrenfußpunktes.



Bild 19:  
Neue Mauerlatte aus zweilagigem Eichenholz auf einem Elastomerauflager.

## Verformungen der Dachstühle

Während des Abdeckens des Ziegelbestandes wurde neben Schäden am Dachwerk eine Verformung im westlichen Walmbereich sichtbar, die bereits ein Ausbauchen der Westfassade verursacht hatte. Holzverbindungen des Dachstuhls hatten sich gelöst und dadurch drückten Konstruktionshölzer auf die westliche Außenmauer. Da die Dachdeckung abgenommen war und die Mauerlatte ausgetauscht werden musste, konnte eine Rückformung durchgeführt und der Dachstuhl wieder ausgerichtet und kraftschlüssige Holzverbindungen hergestellt werden. Zudem empfahl das beauftragte Statikbüro die Rückverankerung der Fußpunkte durch Flacheisen auf Höhe der Zerrbalkenoberkante, die jeweils diagonal zulaufend auf die Mitte der westlichen Mauerkrone verbaut wurden (Bild 13). Zusätzlich wurden hölzerne Längs- und Querverstrebungen zwischen den

Firstsäulen in der ersten Kehlbalkenebene eingebracht (Bild 12). Somit steht der Dachstuhl des Kopfbaus statisch gesehen wieder in sich.

Die Untersuchung des Statikers ergab auch, dass auch der Dachstuhl des Nordbaus durch Absenkungen der Dachwerksmitte und wegen zu geringer Längsaussteifung verformt war. Die schadhaften Teile der Dachkonstruktion des Nordbaus wurden ebenfalls ausgetauscht. Insbesondere der nördliche Anschluss zur angrenzenden Jugendherberge des Klosters war durch eindringendes Wasser stark in Mitleidenschaft gezogen. In diesem Bereich mussten sowohl Sparren, als auch Zerrbalken erneuert werden.

Da historische Dachwerke sehr elastisch ausgebildet sind, können Überbeanspruchungen einzelner Stellen durch Lastumlagerung ausgeglichen werden. Bei der gesamten Reparatur des Dachwerks wurde großer Wert darauf gelegt, möglichst viel originales Holz zu erhalten – tatsächlich waren es am Ende der Dachwerksreparatur 95 % des Altholzbestandes.

Das Dachwerk der beiden Gebäudeteile Kopf- und Nordbau war im Sommer 2012 fertig instandgesetzt. Das Dach des Nordbaus soll dabei zukünftig gedämmt als Warmdach ausgebildet werden. Hierfür wurde bei der Reparatur bereits eine Schalung eingebaut, um später daran mit Dämmmaterialien anschließen zu können.

### Spengler- und Blitzschutzarbeiten

Die Traufe des Kopf- und Nordbaus wurde verblecht, eine Dachrinne aus Kupfer umlaufend an Kopf- und Nordbau angebracht und dem Verlauf der Mauerkante angepasst (Bild 20, Bild 21). An vier Positionen wurden Fallrohre für die Regenentwässerung montiert sowie Blitzableiter neu gesetzt und fachgerecht abgeleitet (Bild 22, Bild 23).



Bild 20:  
Dachrinne aus Kupfer mit Lochblech, Kopf-  
bau.



Bild 21:  
Saier an der Nordwestecke des Kopfbaus.



Bild 22:  
Blitzableiter und Blitzschutzklammern in der Gratzone des Kopfbaus.



Bild 23:  
Blitzableiter und Kaminabschluss, Nordbau der Alten Schäfflerei.

## Schleppgauben

Im Dach der Alten Schäfflerei befinden sich drei Schleppgauben. Die Dachgauben befanden sich in stark desolatem Zustand und konnten in ihrer originalen Form nicht gehalten werden. Die Gauben sind jeweils zwischen zwei Sparren positioniert und laufen nach oben hin in konischer Form aus. Die Lattung zur Befestigung der Kirchenbiber waren mit geschmiedeten Nägeln angebracht, was wiederum auf eine bauzeitliche Entstehung der Gaube hindeutet. Die seitlichen Gaubenwände wurden direkt auf die Ziegeleindeckung des Daches aufgesetzt und anschließend von innen und außen verputzt. Die Fensterstöcke waren aus Eichenholz gefertigt und weisen besonders im unteren Stockbereich große Schäden auf (Bild 24). Erklärtes Ziel war es die bauzeitlichen Schleppgauben der Alten Schäfflerei zu erhalten und wieder instand zu setzen. Da die Konstruktion der Gauben aber bereits stark beschädigt (siehe Bild 25) und die Gaubenflanken direkt auf die Dacheindeckung mit Kirchenbibern aufgesetzt war, wurde gemeinsam mit dem Bayerischen Landesamt für Denkmalpflege beschlossen, die Gauben abzutragen und durch eine Holzkonstruktion zu rekonstruieren. Da die Dachdeckung ohnehin im Rahmen der Sanierung des Daches abgenommen wurde, erwies es sich als unrealistisch die aufgesetzten Gaubenwände zu belassen. Nach der umfassenden Dokumentation eines Restaurators [6] wurden die Gauben abgenommen. Allein die Fensterstöcke aus Eichenholz wurden rückgestellt, um nach Reparatur und Auswechslung schadhafter Teile mit Neuholz wieder eingesetzt zu werden (Bild 26).

Zimmermannsmäßig wurden die Rohkonstruktionen aus Neuholz gefertigt. Die Dachflächen unterhalb der Gauben wurden mit Schalungsbrettern versehen, um hier der Feuchteproblematik in Form von Flugschnee und Schlagregen entgegen zu wirken. Die alten Fensterstöcke konnten repariert werden und sind in die Holzkonstruktion wieder eingesetzt (Bild 27).

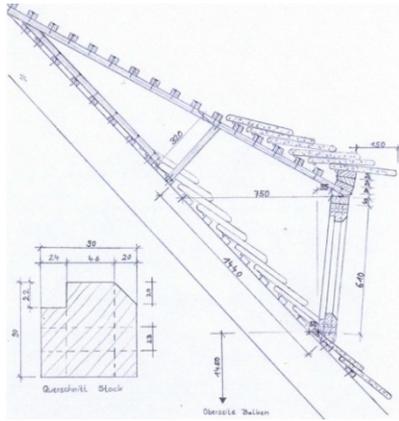


Bild 24:  
Schnittzeichnung von Gaupe Ost (idealisiert),  
Johannes von Miller.



Bild 25:  
Bauzeitliche Schleppgaube im Süden der Al-  
ten Schöfflerei.

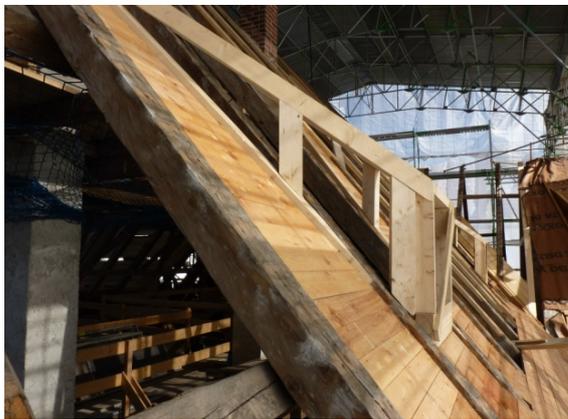


Bild 26:  
Rohkonstruktion der südlichen Gauben,  
Kopfbau.



Bild 27:  
Rekonstruktion der Schleppgauben und neu-  
eingedecktes Dach mit originalen Kirchenbi-  
bern, Kopfbau der Alten Schöfflerei.

## Dacheindeckung und Dachhaut

Das Dach der Alten Schöfflerei war mit handgestrichenen Kirchenbiberziegel, dem sogenannten Biberschwanz eingedeckt. Die Ziegeldeckung und die Dachlattung der Dachhaut der Alten Schöfflerei waren größtenteils noch im originalen Zustand erhalten (Bild 28). Durch zwischenzeitliche Reparaturmaßnahmen wurden teilweise originale Ziegel ausgetauscht. Durch entstandene Lücken in der Dachdeckung und ungleiche Ziegelformate war die originale Dachlattung doch sehr in Mitleidenschaft gezogen und wurde erneuert. Im Bereich der Brandwand zwischen Süd- und Kopfbau wurde die Holzlattung durch ausgeschäumte Hohlprofile aus Edelstahl ersetzt, um ggf. einen Brandüberschlag zwischen beiden Gebäudeteilen zu verhindern (Bild 29).



Bild 28:  
Originale Ziegeleindeckung und Lattung,  
Kopfbau der Alten Schäferei.



Bild 29:  
Lattung aus Edelstahl-Hohlprofilen, zur Ver-  
meidung eines möglichen Brandüberschlags  
zwischen Kopfbau und Südbau.

Mit den nach der Abnahme gelagerten Bestandsziegeln des Kopfbaus sowie der angrenzenden Seitengebäude konnte nach Prüfung ein Grundstock für die Wiedereindeckung des gesamten Kopfbaus geschaffen werden. Die seitlichen Flügelbauten sollten ohnehin mit neuen, nach altem Vorbild gebrannten Dachziegeln belegt werden. Auch die schadensträchtigen Zonen am Kopfbau, wie Trauf- und Gratbereiche und First wurden mit neuem Material eingedeckt (Bild 30, Bild 31).



Bild 30:  
Kombination von originalen Kirchenbibern  
und nachgebranntem Ziegelmaterial, Kopf-  
bau.



Bild 31:  
Kehle zwischen Kopfbau mit originalen Kir-  
chenbibern und Südbau mit nachgebrannten  
Dachziegeln.

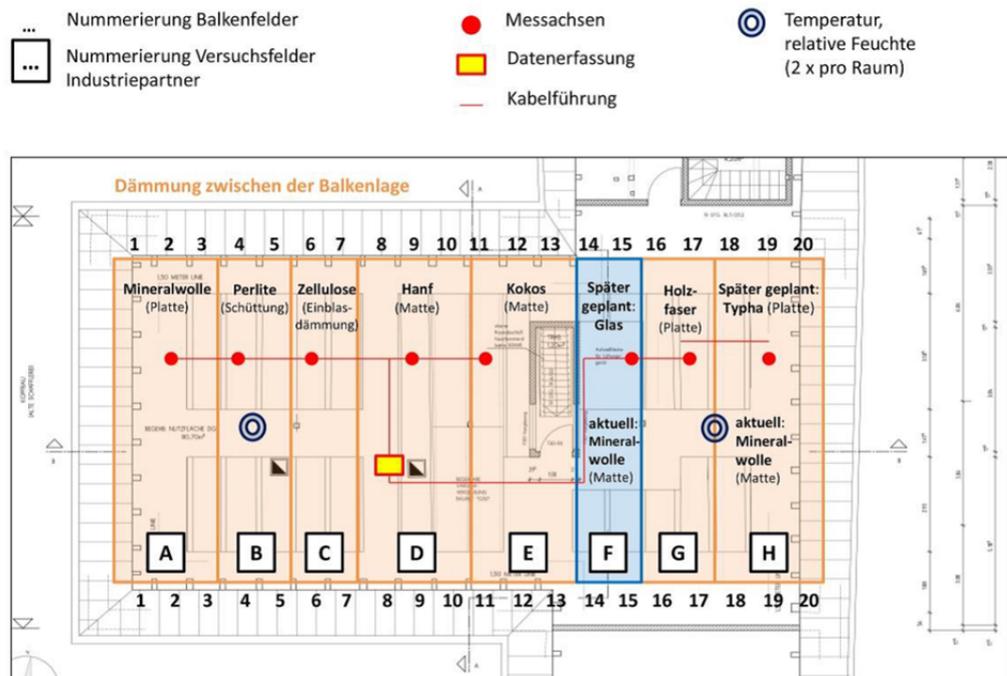
### 3.2 Dämmung der obersten Geschossdecke mit Einsatz von Vakuumgläsern

Nachdem die Dachinstandsetzung abgeschlossen war, verlagerten sich die Maßnahmen auf die energetische Ertüchtigung der obersten Geschossdecke im Bereich des Kopfbaus. Der Einsatz von unterschiedlichen Materialien soll auch hier

eine modellhafte Sanierung eines Baudenkmals zeigen und Demonstrationscharakter aufweisen. Die oberste Geschossdecke zu schließen und energetisch zu ertüchtigen war eine notwendige Maßnahme, um eine Temperierung des Obergeschosses zu ermöglichen und ideale Bedingungen für ein parallel laufendes Forschungsprojekt zu Innendämmungen in diesem Bereich zu gewährleisten.

Um aber auch das barocke Dachwerk mit seinen zimmermannsmäßigen Verbindungen weiterhin für die Besucher des Fraunhofer-Zentrums Benediktbeuern sichtbar zu belassen, sah das Konzept vor, die Dachfläche des Kopfbaus außer den durchzuführenden Reparaturmaßnahmen weiterhin als hinterlüftetes Dach zu belassen. Mit dieser Maßnahme soll eine Möglichkeit zur Instandsetzung im Rahmen der modellhaften Sanierung gezeigt werden, die auf andere denkmalgeschützte Gebäude ebenfalls anzuwenden und übertragbar ist.

Das darunterliegende Obergeschoss sollte allerdings eine **thermische Trennung** zur Außenluft erfahren. Nach einer eingehenden Recherche für den Denkmalbereich wurden geeignete Materialien für die energetische Ertüchtigung der obersten Geschossdecke ausgewählt: Zum Einsatz kamen Dämmungen aus nachwachsenden Materialien wie Perliteschüttung, Zellulose-Einblasdämmung, Holzfasermatten, Hanf- und Kokosmatten sowie Typhaplatten (siehe Bild 32). Als Referenz und herkömmliches Material im westlichen und östlichen Wandbereich sollte Mineralwolle verwendet werden.



Orientierungsplan Geschossdeckendämmung  
(Einteilung der Flächen nicht maßstäblich)  
Planstand 28.03.2014

Bild 32:  
Orientierungsplan Dämmmaterialien in der obersten Geschossdecke.

Um einen **homogenen Randbereich am Wandanschluss** schaffen zu können, an den sowohl die geplante Innendämmung von unten, als auch die Geschossdeckendämmung seitlich anschließen, erarbeitete das Fraunhofer IBP eine Konstruktion, die umlaufend an der Mauer angebracht wurde und die Anschlüsse in unterschiedlichen Ebenen aufnimmt (Bild 33). An den Wandverbund angepresst wurde die Folie zusätzlich durch einen umlaufenden Dämmstreifen, der einen identischen Wandanschluss für die Geschossdecken- und auch die Innendämmungen bietet.

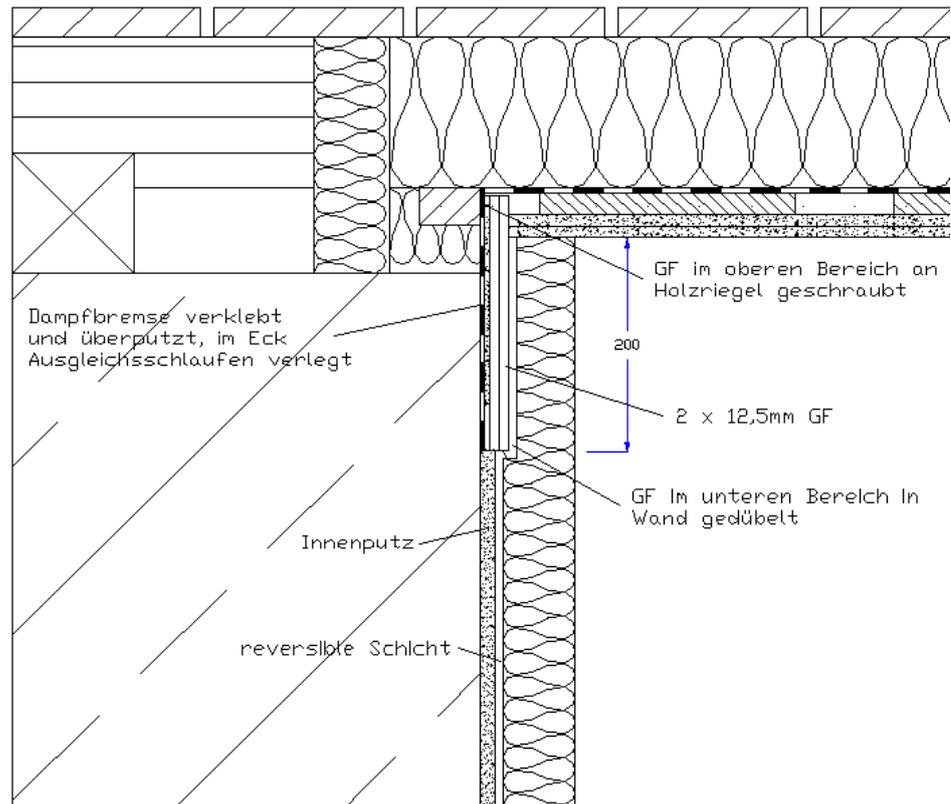


Bild 33:  
Detail Deckenanschluss der Innendämmung an die oberste Geschossdecke OG – DG.

Als Folie zwischen der doppeltbeplankten Gipskartonlage als untere Ansicht der Decke über dem Obergeschoss wurde eine feuchteadaptive Klimamembran-Folie luft- und winddicht an die Wand sowie den längslaufenden Holzunterzug angeschlossen (Bild 34, Bild 35).



Bild 34:  
Aufbau der obersten Geschossdecke (Trockenbau, doppelt beplankt), Deckenunterseite, Obergeschoss Kopfbau.



Bild 35:  
Fertiggestellte Decke im Obergeschoss Kopfbau mit bereits installierten Lüftungsrohren.

Nachdem der luftdichte Anschluss der Folie fertiggestellt war, wurden unterschiedliche Dämmmaterialien in Form von Matten, Platten, Schüttung und Einblasdämmung eingebracht. Mattenmaterialien wurden in mehreren Lagen im überlappenden Kreuzverbund verbaut, um eine mögliche Durchströmung zu minimieren. Die Dämmmaterialien wurden, anders als das anfängliche Konzept vorsah, zwischen die Zerrbalkenlage eingebaut (siehe Kapitel 5.2.1 und Bild 36).



Bild 36:  
Einbau der unterschiedlichen Materialien als Zwischenbalkendämmung im Dachgeschoss Kopfbau.

Während des Einbaus der Dämmungen platzierten Wissenschaftler des Fraunhofer IBP Sensoren in unterschiedlichen Schichten des gesamten Aufbaus, die Temperatur, Feuchte und Wärmestrom erfassen (siehe Kapitel 3.5 und Bild 37). Als oberer Bodenabschluss im Dachgeschoss des Kopfbaus wurden Holzdielen aufgelegt und durch Schrauben in den Zerrbalken befestigt.



Bild 37:  
Installieren der Messensoren für Temperatur, Feuchte und Wärmestrom im Deckenprofil unterhalb der Dämmung.

Seit Herbst 2013 wurde der Kopfbau der Alten Schäferei im Rahmen des parallel laufenden Innendämmungsprojektes beheizt und somit musste vorerst eine provisorische Lösung zur Schließung der Treppenöffnung ins hinterlüftete Dachgeschoss in Form einer gedämmten Dachluke ausgebildet werden (Bild 38).



Bild 38:  
Provisorische Klappe als Deckel der Treppenöffnung ins Dachgeschoss.

Der anfänglich geplante Einsatz von begehbaren Vakuumgläsern in der obersten Geschossdecke und die Ausbildung einer Glaskuppel als oberen Treppenabschluss für mehr Transparenz zwischen Ober- und Dachgeschoss konnte aus unterschiedlichen Gründen nicht ausgeführt werden (siehe Kapitel 5.2.2 und 5.2.3).

Der Ausbau der Einhausung in Trockenbaukonstruktion konnte allerdings nicht zeitnah durchgeführt werden, da wegen der Messungen bzw. etwaigen Störungen des Raumklimas im darunterliegenden Obergeschoss länger andauernde Arbeiten im Bereich der Treppenöffnung nicht möglich waren. Die Forschungstätigkeiten, die einen der essentiellen Aspekte des Fraunhofer-Zentrums Benediktbeuern darstellen, waren im zeitlichen Ablauf vorrangig zu behandeln, um die Messung nicht nachhaltig zu stören. Es war ein notwendiger Schritt, die baulichen Maßnahmen nicht nur in diesem Fall auf die Forschungstätigkeit zeitlich abzustimmen. Als die Messperiode abgeschlossen war, konnte die Unterkonstruktion aus Holz ab Mai 2016 gestellt und der Zwischenraum zwischen der beidseitigen Gipskartonbeplankung ausgedämmt werden (Bild 39).



Bild 39:  
Holzunterkonstruktion des oberen Treppenhausabschlusses im Dachgeschoss des Kopfbaus.

Um eine optimale Wärmedämmung hin zum hinterlüfteten Dach mit nahezu Außentemperatur gewährleisten und eine thermische Hülle in der obersten Geschossebene ausbilden zu können, wurde ein Aufbau mit Gesamtstärke von ca. 30 cm geplant. Da das Element mit unterschiedlichen baulichen Linien wie der Dachneigung, dem oberen Abschluss hin zur Kehlbalkenebene und der Hän- gesäule harmonisieren muss, wurde der Umriss der Einhausung als Schablone vorgefertigt und aufgebaut. Nach Begutachtung und nochmaliger Abstimmung hinsichtlich auftauchenden Fragen des Fluchtwegs (Austrittsbreite/ -tiefe der Treppe im Dachgeschoss und damit verbunden die Frage der Öffnungsrichtung der Fluchttür) konnte die Holzständerkonstruktion aufgestellt und beidseitig doppelt mit Gipskarton beplankt werden (energetische und brandschutztechnische Aspekte). Die Dämmung zwischen der Holzkonstruktion und der Einsatz einer Dampfbremse komplementieren den Aufbau, der Außen- und Innenklima optimal voneinander trennt. Im Juni 2016 konnte die Einhausung fertiggestellt werden (Bild 40).



Bild 40:  
Fertigstellung des oberen Treppenhausabschlusses mit doppelter Gipskarton-  
Beplankung.

Nach Fertigstellung der obersten Geschossdecke, Aufbau der Treppeneinhausung und Verrohrung der Lüftungstechnik konnte abschließend die Konzeptionierung der Sichtfenster für die jeweiligen Geschossdämmungen angegangen werden. Die Stahlrahmen zur Halterung der Sicherheitsgläser liegen jeweils auf zwei Zerrbalken auf und geben den Besuchern Einblick in die darunter verbauten Dämmmaterialien.

### 3.3 Reparatur der Fenster mit energetischer Ertüchtigung in Verbindung mit der Innendämmung

Ein erklärtes Ziel des Fraunhofer IBP war es von Anfang an die Bestandsfenster aus den 1940er Jahren zu halten und durch zusätzliche Komponenten, wie z. B. innen liegende Fenster mit Wärmeschutzverglasung oder Austausch der Gläser energetisch zu ertüchtigen. So bleibt das äußere Erscheinungsbild der Gebäudefassaden erhalten. Als vorbereitende Arbeit für die energetische Optimierung wurden sämtliche Fenster hinsichtlich ihrer individuellen Schadensbilder und Details (Baukörperanschluss, Wasserablauf, Verglasung, Beschläge, Beschichtung) dokumentiert [7]. Im September 2013 wurden die Fenster des Obergeschosses einer fachgerechten Reparatur unterzogen. Die Bestandsfenster wurden wieder gang- und schließbar gemacht, die Anschlüsse zwischen Fensterstock und Mauerwerk wurden abgedichtet, schadhafte Hölzer wurden ausgetauscht bzw. partiell erneuert. Lose Beschichtungen wurden substanzschonend abgenommen und die Holzteile grundiert. Bei der Reparatur der Fenster verblieben die Fensterstöcke während der Ertüchtigung in der Fensteröffnung, um eine unnötige Schädigung des Rahmens und des Mauerwerks zu verhindern. Nur die Flügel wurden entnommen und in der Werkstatt bearbeitet. Ein Maler setzte die Beschläge und Hölzer des Fensterstocks und -rahmens instand und trug innen wie außen die Endbeschichtung auf. Parallel wurde das durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie gefördertes Forschungsprojekt „EnOB Innendämmungen“ durchgeführt, bei dem insgesamt 10 verschiedene Varianten der In-

nendämmung in reversibler Form, also mit dem Ziel der schadensfreien Rückbaubarkeit ausgeführt und detailliert vermessen wurden. Alle Fensterlaibungen, die an einen gedämmten Wandbereich anschließen, wurden im Zuge der Innen-dämmarbeiten ebenfalls mit dem jeweiligen Dämmmaterial belegt (Bild 41).



Bild 41:  
Anschlussarbeiten im Laibungsbereich mit unterschiedlichen Dämmmaterialien, hier Schilfrohr.

Diese Arbeiten sind die Voraussetzung sowie der Ausgangspunkt für die nachfolgenden energetischen Ertüchtigungsmöglichkeiten.

Für die energetische Ertüchtigung der reparierten Fenster ist die Demonstration und didaktische Aufbereitung von unterschiedlichen Lösungsansätzen geplant, um den Besuchern eine große Bandbreite an möglichen Fensterertüchtigung zu zeigen. Das Konzept sieht weiter vor, in der Ausstellung des Zentrums weitere Lösungen anhand von Musterfenstern zu präsentieren sowie Bestandsfenster und ertüchtigte Fenster gegenüberzustellen. Zu den bekannten Ertüchtigungsmöglichkeiten zählen Kastenfenster-, Verbundfenster- und Winterfensterlösungen, bei denen aber u. U. bauphysikalische Probleme und Fragestellungen zur Denkmalverträglichkeit auftreten können. Die Variante, ein Bestandsfenster komplett auszutauschen, bedeutet einen gravierenden Substanzverlust und ist in der Denkmalpflege nur unter bestimmten Voraussetzung eine gangbare Alternative.

Unterschiedliche Varianten der energetischen Fensterertüchtigung durch Einbringen adaptiver Lösungen wurden im Rahmen von wissenschaftlichen Untersuchungen näher betrachtet. Die Arbeit „Bestandsfenster der Alten Schäfflerei im Kloster Benediktbeuern – Potentiale energetischer Ertüchtigungen von Bestandsfenstern am Beispiel der Alten Schäfflerei im Kloster Benediktbeuern“ von Stephanie Heinrich befasst sich mit verschiedenen erhaltenden und additiven Sanierungsvorschlägen und zeigt die jeweiligen bauphysikalischen Eigenschaften [8].

Die durch das Fraunhofer IBP betreute Arbeit behandelt „neben der Erweiterung der Bestandsfenster zum Kasten- und Verbundfenster mit verschiedenen Gläsern auch Sanierungsvarianten mit Vorfenstern und das Austauschen von Bestandsverglasungen mit unterschiedlichen Scheiben. Die verschiedenen Lösungen werden auf ihre Vor- und Nachteile sowie auf die Potenziale der Energieeinsparung untersucht.

So kann laut Berechnungen nach DIN EN ISO 10077-1 der Wärmedurchgangskoeffizient der Bestandsfenster mit einem durchschnittlichen  $U_w$ -Wert von  $4,6 \text{ W/m}^2\text{K}$  auf  $U_w$ -Werte bis  $1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$  gesenkt werden. Bei einem Hüllflächenanteil der sanierten Fenster von  $3,7 \%$  wird durch diese Verbesserung an der sonst unsanierten Alten Schäfflerei eine Einsparung von bis zu  $12 \%$  des ursprünglichen Nutzenergiebedarfs erreicht.

Um eine schadensfreie Sanierung zu gewährleisten, wird bei den Sanierungen zudem auf die Temperaturen im Laibungsbereich geachtet. Da bei einigen Ertüchtigungsvarianten die nach DIN 4108-2 festgelegten  $12,6 \text{ }^\circ\text{C}$  unterschritten werden, muss bei Umsetzung einiger Varianten eine Laibungssanierung vorgenommen werden, um Schimmelgefahr und Kondensat zu vermeiden.

Als geeignetste Sanierungsmöglichkeit stellt sich das Kastenfenster heraus. Ohne zusätzliche Sanierungsmaßnahmen werden durch unterschiedliche Kastentiefen gute Wärmedurchgangskoeffizienten und Oberflächentemperaturen an Laibung und Scheibe erreicht. Eine bauphysikalische Schwachstelle des Kastenfensters mit gut dämmender Innenverglasung besteht, trotz undichter äußerer Verglasungsebene, im Auftreten von Kondensat auf der Innenseite der äußeren Scheibe. [...] Dieser sollte bei der praktischen Umsetzung der Sanierungsmaßnahmen untersucht und durch geeignete Maßnahmen unterbunden werden“ [8].

Weitere Details zur Untersuchung der Bestandsfenster und deren Sanierungsvorschläge sind im Technischen Anhang A.1 enthalten.

In einer weiteren Untersuchung zum Thema „Bestandsanalyse und Ausarbeitung energetischer Sanierungsmaßnahmen denkmalgeschützter Fenster am Beispiel der Alten Schäfflerei im Kloster Benediktbeuern“ von Johannes Widl [9] wurden unterschiedliche Ertüchtigungsvarianten anhand eines Referenzfensters (Holz-Einfachfenster aus den 1940er Jahren (siehe Bild 42) in Nordausrichtung im Obergeschoss des Kopfbau erarbeitet. Mittels Thermografieaufnahmen des Fensters und der Fassade war es möglich, die bestehende Bausubstanz energetisch zu bewerten. Ganz deutlich bilden sich hier beispielsweise Leckagen am unteren Blendrahmen ab. Diese Erkenntnisse gehen u. a. in die Konzeptplanung der energetischen Sanierungsvarianten der Bestandfenster ein (Bild 43, Bild 44).



Bild 42:  
Holz-Einfachfenster als Referenzfenster für Untersuchungen zur energetischen Ertüchtigung von Bestandsfenstern.

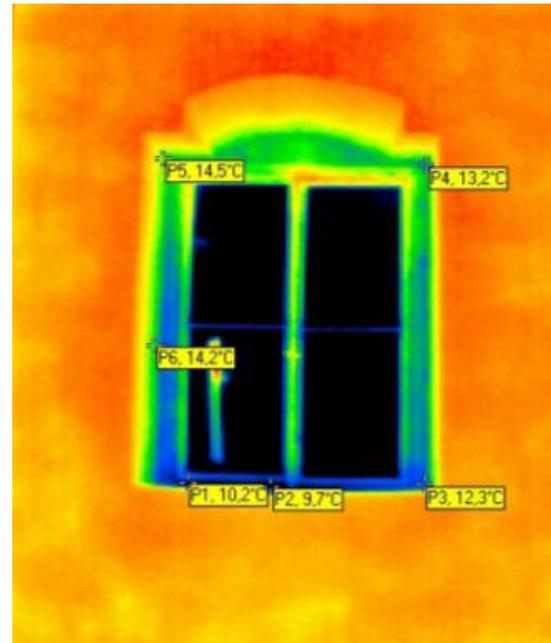


Bild 43:  
Leckagen am Blendrahmen, Innenansicht eines Beispielfensters im Obergeschoss des Kopfbaus.

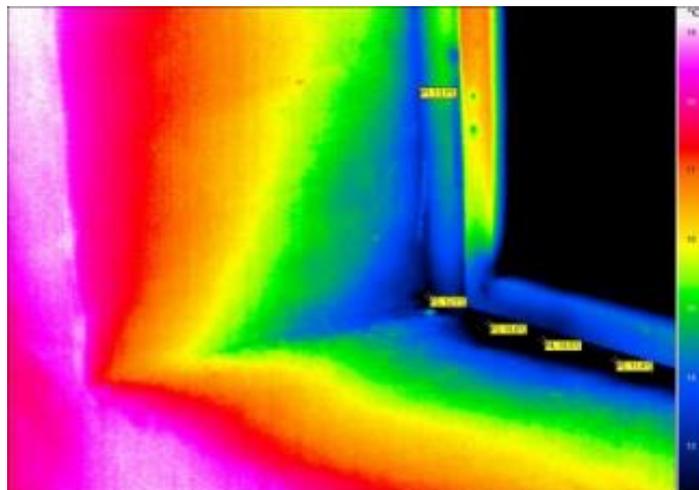
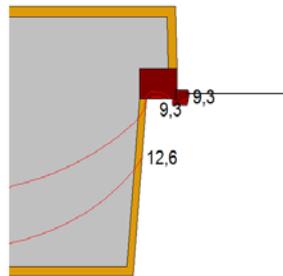


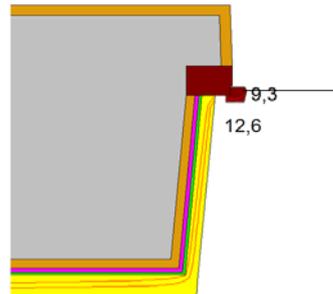
Bild 44:  
Der Ausschnitt einer Thermografieaufnahme des Referenzfensters zeigt eine bestehende Leckage am unteren Blendrahmen, für deren Ursache ein undichter Baukörperanschluss verantwortlich ist; aus [9].

Im Rahmen der Untersuchungen wurden stationäre Berechnungen des Referenzfensters (Bestand) im Vergleich zur Berechnung mit einer gedämmten Laibungsvariante sowie Simulationen mit WUFI®-2D durchgeführt.

Randbedingungen:  
- 5 °C Außentemperatur  
+ 20 °C Raumtemperatur  
50 % Raumluftheuchte



(Quelle: Stationäre Berechnung am Bestand)



(Quelle: Stationäre Berechnung mit Aerogel-Dämmputz als Innendämmsystem)

Bild 45:

Wärmebrücken-Berechnungen am Bestand – Stationäre Betrachtung; aus [9].

In der Arbeit wurden Lösungen mittels Scheibenaustausch, Erweiterung zu einem Kastenfenster oder Einsatz einer vorgeblendeten Scheibenebene vor das reparierte Bestandsfenster auf ihre denkmalgerechte Eignung und die Realisierbarkeit am Gebäude untersucht. Die nähere Betrachtung zeigt, dass es bei den untersuchten Varianten durchaus machbare Lösungen hinsichtlich der Denkmalverträglichkeit und technisch korrekten Einbausituation gibt. Allerdings sind Kernfragen der Anschlussproblematik und des Einsatzes diverser Materialien und Techniken in einem Baudenkmal noch nicht hinreichend erforscht und weiterentwickelt.

Nach der Bestandsanalyse und Variantenauswahl wurde ein Bewertungskatalog erstellt. In dieser Bewertung spielten zwei Faktoren eine wichtige Rolle. Ein wichtiger Aspekt war die denkmalpflegerische Bewertung der jeweiligen Ertüchtigungsvariante. Einen weiteren Schwerpunkt bildet die Bewertung der bautechnischen Realisierbarkeit am vorhandenen Gebäude. Beide Bewertungskriterien waren absolute Ausschlusskriterien.

Tabelle 1:  
Mögliche Sanierungskonzepte für das Referenzfenster im Obergeschoss der Alten Schäferei; aus [9].

Konzept	Denkmal- verträglich?	Am Bau realisierbar?
Instandsetzung der Bestandsfenster	ja	ja
Fensteraustausch und Einbau eines neuen Isolierglasfensters nach historischem Vorbild	nein	ja
Fensteraustausch und Einbau eines Kastenfensters nach historischem Vorbild	nein	ja
Einsetzen neuer Verglasungen in den Bestandsrahmen	vorstellbar	ja
Bestehendes Einfachfenster mit vorgeblendetem Isolierglasfenster nach historischem Vorbild	nein	nein
Bestehendes Einfachfenster mit vorgeblendetem Winterfenster	nein	ja
Einbau einer Energievorsatzscheibe	ja	ja
Erweiterung vom Einfachfenster zum Verbundfenster nach außen	nein	nein
Erweiterung vom Einfachfenster zum Verbundfenster nach innen	nein	nein
Erweiterung vom Einfachfenster zum Kastenfenster mit Futterkasten	vorstellbar	ja
Erweiterung des Einfachfensters mit einem Innenvorfenster	vorstellbar	ja

Die Herausforderung im Umgang mit einem Baudenkmal ist die Abwägung hinsichtlich zur Diskussion stehender Varianten der energetischen Ertüchtigung von Bestandsfenstern. So ist ein technisch korrekt eingebautes Fenster nach Regeln der RAL-Montage mit Dichtungsfuge und Kompriband nicht automatisch gut in einem Baudenkmal umsetzbar. Es stellt sich hier die Frage der Materialien, die im Rahmen einer Montage nach RAL verwendet werden oder die Herangehensweise bei der technisch korrekten Ausführung des Bauteilanschlusses (Abnehmen originaler Substanz etc.). Denkmalpflegerisch unproblematische bzw. gängige Lösungen bergen allerdings Probleme hinsichtlich des luftdichten Anschlusses, der durch Stopfmaterial wie z. B. Hanf nicht gewährleistet werden kann. Hier sind also weiterhin Einzelfallbetrachtungen notwendig und die Bereitschaft zu weiterführender Forschung sowie zur Ausarbeitung von Lösungen, die sowohl der Denkmalpflege, als auch den technischen Anforderungen gerecht werden.

## Herausforderung: Bauteilanschluss

### Variante 1: „technisch korrekt“

- Neue Fensterebene wird „technisch korrekt“ eingebracht (Dichtungsfuge, Kompriband)
- Montage nach RAL

### Variante 2: „denkmalverträglich“

- Neue Fensterebene wird eingehobelt und verschraubt
- Zum Abdichten wird loses Stopfmateriale verwendet

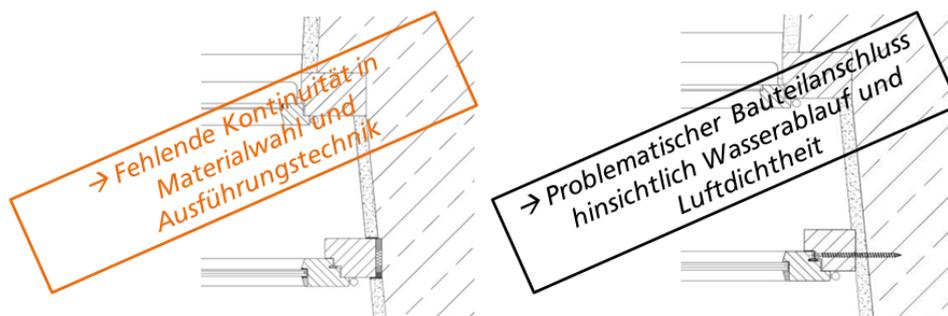


Bild 46:

Fragestellungen beim denkmalgerechten und technisch korrekt ausgeführten Bauteilanschluss.

Im Zusammenhang mit den eingebauten unterschiedlichen Innendämmungssystemen wird mit der energetischen Ertüchtigung der Fenster die Hülle des Obergeschosses des Kopfbaus energetisch komplett optimiert. Lösungen mit zusätzlichen Komponenten, wie beispielsweise innen liegende Kastenfenster, werden in die Ebene der Innendämmung integriert. Hierzu wurden bauphysikalische, konstruktive, materialtechnische Fragestellungen sowie Aspekte der Denkmalpflege ausgearbeitet. Die Wissenschaftler des Fraunhofer IBP entwickelten zusammen mit dem Architekten ein Konzept mit Varianten, die in ihrer Ausführung auf die einzelnen Fenster des Obergeschosses hinsichtlich ihrer individuellen Beschaffenheit (Abstand Fensterflügel zu Laibung und Fensterbank, Ausbildung der Fensterbank bzw. geputzte Brüstung, etc.) abgestimmt ist (Bild 46). Die finale Ausführung der energetischen Fensterertüchtigung nach der bereits vollzogenen Fensterreparatur konnte während der Messphase im Obergeschoss im Rahmen des Innendämmprojekts bis Ende 2016 nicht durchgeführt werden und wird nun ab Frühjahr 2017 umgesetzt werden. In Hinblick auf die Vielfältigkeit der Fensterertüchtigung sieht das momentane Konzept vor, Varianten mit einem möglichst minimalinvasiven Eingriff an Brüstung und Laibung des jeweiligen Fensters zu realisieren. Hierbei finden sich Varianten zur energetischen Ertüchtigung durch ein klassisches Kastenfenster mit Futterkasten, als auch Lösungen durch Vorfenster ohne Futterkasten. Je nach Einbausituation soll nochmals unterschieden werden, ob das Element in der Innendämmebene bzw. auf der Fensterbank (Brüstung) eingesetzt wird. Ebenfalls soll eine „modernere“ Lösung aus einem vorgesetzten Metallrahmen zum Einsatz kommen. Bei Fenstern, deren bestehende Einbausituation keine andere Möglichkeit zulässt, wird eine energetische Verbesserung durch den Austausch von Glasscheiben erzielt.



steht ein hoher Befeuchtungsbedarf und ein erhöhter Heizenergieverbrauch im Winter. Das Kompakt-Klimagerät wurde eingebaut, um einen Teil der Wärme und der Feuchte aus der Raumluft rückzugewinnen und somit den Energieverbrauch für die Befeuchtung und die Beheizung des Ausstellungsraums zu senken. Die Lüftungsanlage trägt somit nicht direkt zum Raumklima bei, sondern dient in erster Linie der energieeffizienten Frischluftversorgung. Des Weiteren können Luftschadstoffe aus der Außenluft gefiltert werden.“ [10] Um für bauphysikalische und messtechnische Untersuchungen in Forschungsprojekten vor Ort im Baudenkmal adäquate raumklimatische Bedingungen zu erreichen war ein zentrales Lüftungsgerät mit Feuchterückgewinnung vorgesehen. Hierbei sollte zusätzlich die Anlageneffizienz vermessen und die Energieeinsparung durch Nutzung der Feuchterückgewinnung experimentell in situ ermittelt werden. Dies sind wichtige Teilaspekte, die insbesondere für museale Klimaanwendungen relevant sind. Für eine Anlage mit Feuchterückgewinnung sprach eine regelungstechnische Optimierung und die in situ Wirkungsgradmessung.

Um die Anlage im barocken Dachgeschoss so denkmalverträglich wie möglich zu positionieren, fiel in Abstimmung mit dem Architekten und dem zuständigen Gebietsreferenten des Landesamtes für Denkmalpflege der Entschluss, die Anlage zwischen zwei vorhandenen, jedoch nicht im Gebrauch stehenden Kamin-schächten zu platzieren. Diese Position eignet sich sowohl für den Anschluss von Zu- und Abluft, als auch von Frisch- und Fortluft, die über die Kamine angesaugt bzw. abgeführt werden kann.

„Die Verteilung der konditionierten Luft erfolgt über zwei Luftschächte an der Decke des Obergeschosses, um ein möglichst homogenes Strömungsprofil zu erzeugen. Die warme, feuchte Abluft wird in der Deckenmitte abgesaugt. Die messtechnische Untersuchung erfolgt mithilfe von sieben Sensoren, die im Zwei-Sekundentakt die Temperatur und die relative Feuchte messen. Aus diesen beiden raumluftechnischen Parametern kann der Messfühler anschließend automatisch die absolute Feuchte berechnen. Ein Datenlogger nimmt alle Werte, die an verschiedenen Positionen der Lüftungsanlage und am Rohrleitungsnetz erhoben werden, auf und legt sie auf dem Speichermedium ab. Bei dem raumluftechnischen Gerät handelt es sich um ein Komfort-Klimagerät mit Regenerativ-Energieaustauscher. Laut Herstellerangaben kann damit ein Temperaturwirkungsgrad von über 90 % erreicht werden, wodurch diese Lüftungstechnologie als äußerst effizient gilt. Zusätzlich findet eine partielle Feuchterückgewinnung von 45 % bis 65 % statt. Das Komfort-Klimagerät beinhaltet zwei Wärmespeicher, die abwechselnd mit Außen- und Fortluft beaufschlagt werden. Die Lüftungsanlage wurde messtechnisch untersucht und erfolgte über mehrere Sensoren. Sie zeichnen die Temperatur, die relative und die absolute Raumluftheuchte an bestimmten Positionen der Lüftungsanlage, des Dachstuhls und des Obergeschosses auf“ [10].

Wegen verschiedener Unwägbarkeiten waren immer wieder Abwägungsschritte und Änderungen der geplanten Maßnahmen notwendig, die während der Projektplanung und auch während des Bauablaufs nicht erkennbar waren. In Bezug auf die Lüftungsanlage im Dachgeschoss des Kopfbaus bezogen sich diese Über-

legungen auf die technische Ausführung sowie die Größe und die Position der Anlage. Aufgrund der gemachten negativen Erfahrungen mit dem Einbau der Lüftungsanlage für das Erdgeschoss (nicht Teil des DBU-geförderten Projektes) hinsichtlich der Größe und des Platzanspruchs der Anlage sowie der zu verlegenden Rohre musste das Einbau-Konzept für die, im Rahmen der DBU-Förderung relevante und im Dachgeschoss zu installierende Lüftungsanlage überarbeitet werden.

Ziel war es, ein platzsparendes und visuell ansprechenderes Konzept der Rohr- und Kanalverlegung zu entwickeln. Hier wurde zuerst der Weg über einen doppelten Boden verfolgt, bei dem die Rohranlage nicht in der Balkenebene des Dachstuhls, sondern unsichtbar in der Bodenkonstruktion verlaufen sollte. Dieses Konzept schien für das barocke Dachwerk des Baudenkmals die ästhetisch und technisch optimale Lösung zu sein. In diesem Kontext war jedoch noch das Ergebnis der Arbeit zum Thema „Trittschalldämmung“ abzuwarten, welche ebenfalls in die Konzeption der Bodenkonstruktion eingehen sollte. Aufgrund der schlechten Trittschalldämmung im Dachgeschoss ist eine Lösung erforderlich, bei der das Lüftungsgerät im besten Fall keinen Kontakt zur Decke hat. Um Vibrationsgeräusche der laufenden Anlage und Schallübertragungen in Hinblick auf die Nutzung im Obergeschoss zu vermeiden, wurde die Anlage auf eine Stahlkonstruktion aufgeständert, die entkoppelt vom Boden, an den Kaminen angebracht wurde (Bild 48).



Bild 48:  
Stahlkonstruktion zur akustischen Entkopplung der Lüftungsanlage vom Dielenboden des Dachgeschosses.

Mitte November 2014 konnte der beauftragte Herstellerfirma nach langwierigen Verzögerungen durch Abstimmungen hinsichtlich Ausführungsplanung, enthal-

tenen notwendigen Komponenten etc. mit den Arbeiten am Aufbau der Lüftungsanlage im Dachgeschoss des Kopfbaus begonnen werden (Bild 49).



Bild 49:  
Blick ins Dachgeschoss mit der installierten Lüftungsanlage.



Bild 50:  
Klimagerät im Dachgeschoss zur Regulierung des Klimas im Obergeschoss der Alten Schäfllerei zwischen vorhandenen Kaminschächten positioniert.

Im Bereich der Kanalführung bzw. der Detailausführung musste nachgebessert werden. Die Durchführung der Kanäle ins Obergeschoss, beispielsweise der Abluft (Bild 51, Bild 54), war entgegen besprochener Vorstellung des Fraunhofer IBP zu voluminös ausgebildet. Die Zuführung und Kanalbiegung musste daher bodennaher umgesetzt werden (Bild 52).



Bild 51:  
Kanalführung im Dachgeschoss mit Durchführung ins darunterliegende Geschoss. In diesem Bereich musste nachgebessert werden, um die Kanäle möglichst nah im Bodenbereich zu verziehen (Bild vom Vorzustand).



Bild 52:  
Nachgebesserte Kanalführung Zuluft ins Obergeschoss.



Bild 53:  
Befeuchter im Obergeschoss des  
Kopfbaus.



Bild 54:  
Abluft Kanäle im Obergeschoss.

Im Dezember 2014 wurde ein Befeuchter im Obergeschoss des Kopfbaus installiert, der im Rahmen des Innendämmprojekts zur Raumbefeuchtung benötigt wurde und auch bei zukünftigen Forschungsprojekten zum Einsatz kommen soll (Bild 53). Zusammen mit der installierten Heizung konnte so das Klima im Obergeschoss auf 20 °C / 50 % r.F. (museales Klima) eingestellt werden. Im Anschluss folgten der Einbau der Brandschutzklappen hin zum Obergeschoss sowie dazugehörige Verpressarbeiten, um die brandschutztechnischen Anforderungen gewährleisten zu können. Anschließend wurde die Anlage von der Herstellerfirma geprüft und angeschlossen. Da wegen laufender Messungen im darunterliegenden Geschoss (Innendämm-Projekt) notwendige Stromleitungen und -zuführungen nicht verzogen werden konnten, musste die Inbetriebnahme der Lüftungsanlage weiter verschoben werden. Um die Messungen nicht durch größere Eingriffe im Ober- und Dachgeschoss zu stören, wurde beschlossen, sämtliche Arbeiten in diesen Bereichen erst nach Beendigung der Messperiode ab Mai 2015 fortzuführen. Um die Lüftungsanlage in Betrieb nehmen zu können, war neben den funktionierenden technischen Komponenten auch die Gewährleistung des Brandschutzes ein essentieller Aspekt. Auch diese Arbeiten wurden auf den Zeitraum nach Mai 2015 verschoben. Bis dahin wurden weitere notwendigen Brandschutz-Schotts im Obergeschoss montiert und eine provisorische Brandmeldeanlage installiert, die relevante Bereiche des Gebäudes abdeckt.

Im August 2015 wurde die Elektrik für den Betrieb der Lüftungsanlage und der provisorischen Brandmeldeanlage (BMA) im Dachgeschoss des Kopfbaus fertiggestellt. Hinzu entschloss sich das Fraunhofer IBP eine Entsalzungsanlage für die Wasser- und Heizleitungen zu installieren, um etwaigen Schäden durch einen überhohen Wert an Wasserhärte einzudämmen. Die Inbetriebnahme der Lüf-

tungsanlage wurde weiterhin verschoben, da Komponenten fehlten, wie z.B. Regelungssensoren, Brandschutzschotts etc. Aber auch Abstimmungsprobleme und Verschiebungen von Vorortterminen hinsichtlich der Herstellerfirma und der ausführenden Firma waren Gründe für die langen Verzögerungen bei der Inbetriebnahme der Anlage. Sowohl die Lüftungsanlage als auch die provisorische BMA sind inzwischen seit November 2015 in Betrieb genommen. Die dafür notwendigen brandschutztechnischen Komponenten sind eingebaut (Bild 55). Durch die Anbindung bzw. Aufschaltung des Lüftungsgerätes auf das Desigo-Gebäudeautomationssystem kann die Anlage zukünftig geregelt und gesteuert werden.



Bild 55:  
Lüftungsanlage im Dachgeschoss des Kopfbaus.

### 3.5 Messung und Demonstration

Um die verschiedenen eingebauten Varianten hinsichtlich Temperatur, Feuchte und Wärmedurchgang zu überprüfen wurden umfangreiche Messungen installiert und durchgeführt. Das Monitoring ermöglicht das Zeigen einer erfolgreichen Ertüchtigung und erlaubt bei kritischen Konstruktionen ein frühzeitiges Handeln durch die Wissenschaftler und Planer vor dem Eintreten eines Schadensfalls. Die Daten wurden online gespeichert und durch die Wissenschaftler zusammengeführt und ausgewertet. Die verbauten Sensoren machen Untersuchungen unter einer realen Einbausituation möglich. Zusätzlich wurde geplant, die über Jahre hinweg gewonnenen Messdaten zu visualisieren und Interessierten online, sowie auch vor Ort verfügbar zu machen.

#### 3.5.1 Messung der unterschiedlichen Dämmmaterialien der obersten Geschossdecke

Wie bereits beschrieben, wurde die Dämmung der Geschossdecke in der Zerrbalkenebene realisiert. Die beiden anderen Varianten „Unter der Balkenebene“ und „Auf der Balkenebene“ konnte aus genannten Gründen nicht umgesetzt werden. Die messtechnische Untersuchung wurde trotzdem bei allen verbauten Dämmmaterialien in diesem Bereich untersucht.

## Einbau der Messtechnik

Die Messsensoren wurden jeweils im nördlichen Bereich der jeweiligen Dämmmaterialien installiert. Bild 56 zeigt die Positionen der Sensoren, die in den unterschiedlichen Schichten des Dämmaufbaus eingesetzt sind.

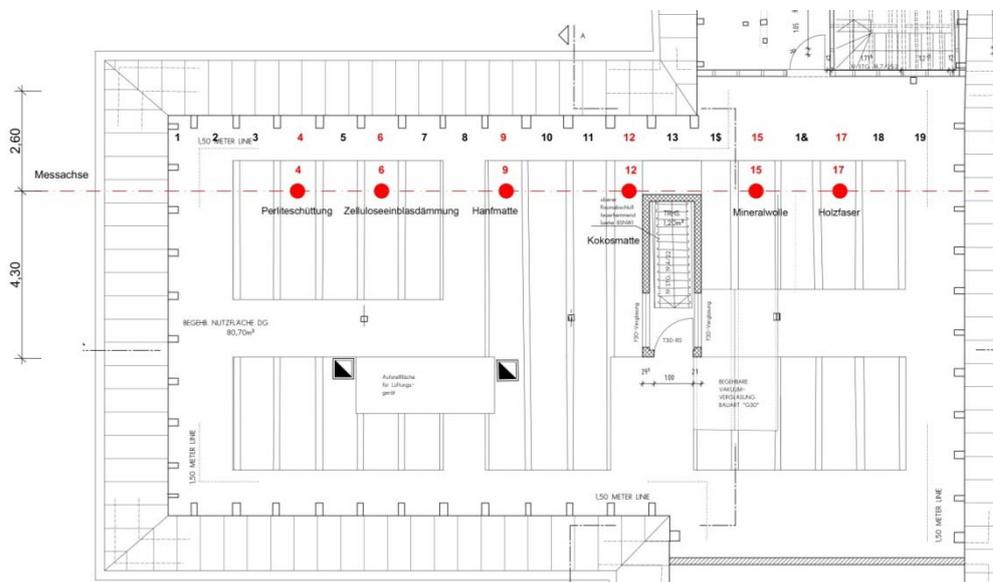


Bild 56:  
Übersicht der verbauten Dämmungen in der Zerrbalkendecke.

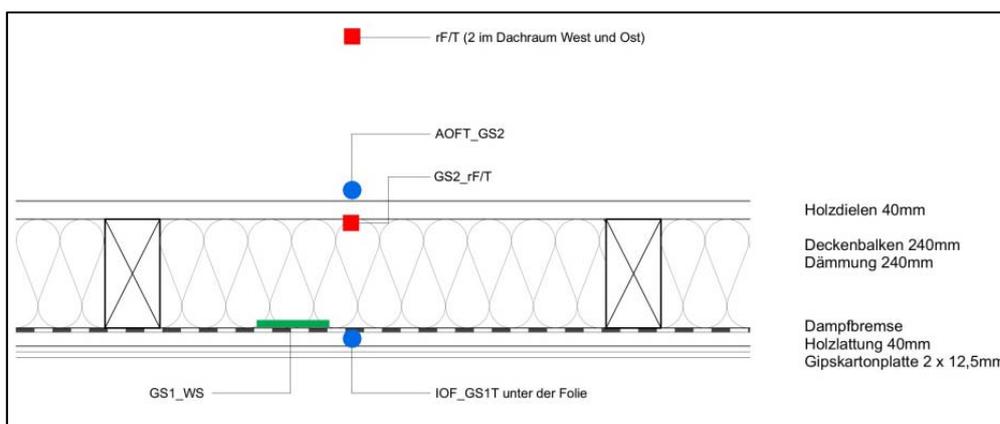


Bild 57:  
Messachse mit einzelnen Sensoren im Querschnitt des Deckenaufbaus.

Die Messachse (Bild 57) erfasst neben Innen- und Außenklima zwei Grenzschichten (GS1 und GS2) im Querschnitt des Dämmaufbaus. Grenzschicht 1 befindet sich an der raumseitig verlegten Dampfbremse, an ihr werden die Innenoberflächentemperatur (IOFT) sowie der Wärmestrom erfasst. Grenzschicht 2 wird durch den Holzdielenbelag dargestellt. An dessen Unterseite werden relative Feuchte und Temperatur durch einen Kombisensor erfasst, an der Oberseite des Holzdielenbodens die Außenoberflächentemperatur (AOFT).

Im hinterlüfteten Dachraum und auch im darunterliegenden Obergeschoss sind (östlich und westlich) zwei Kombisensoren installiert. Es werden Messwerte zur Raumlufttemperatur und relativen Feuchte erfasst und diese dienen als Randparameter für die Messungen in der Geschossebene (Bild 58).

Für die Installation der Sensoren wurde die Dämmung an ausgewählten Positionen nochmals entfernt und nach dem Einsetzen der Sensoren wieder fachgerecht eingelegt und verschlossen (Bild 59, Bild 60).



Bild 58:  
Abgehängter Kombisensor im Westen auf der zweiten Kehlbalkenebene.



Bild 59:  
Einbau der Messsensorik im Bereich der ge-  
dämmten Zerrbalkenebene.



Bild 60:  
Wärmefluss-scheibe auf der Dämmebene  
fixiert.

### 3.5.2 Darstellung der Messdaten

Die Messdaten werden in zwei unterschiedlichen Zeitabschnitten dargestellt. Der Gesamtzeitraum umfasst die Daten von 1.12.2014 bis 1.12.2016. Der „Winter“-Zeitraum umfasst die Daten von 1.11.2015 bis 1.5.2016. Die Messdaten werden minütlich erfasst, zur Übersicht in der Darstellung wird mit Stundenmittelwerten und gleitenden Monatsmittelwerten gearbeitet.

### 3.5.3 Innen- und Außenklima

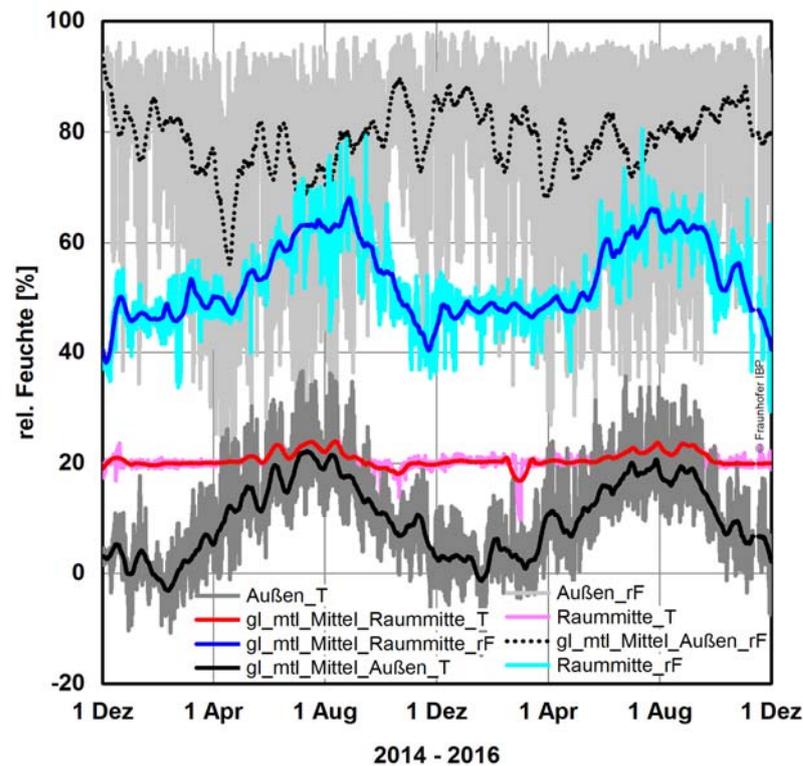


Bild 61:  
Innen- und Außenklima in Stundenmittel- und gleitenden Monatsmittelwerten  
im Messzeitraum von 1.12.2014 bis 1.12.2016.

### 3.5.4 Perliteschüttung

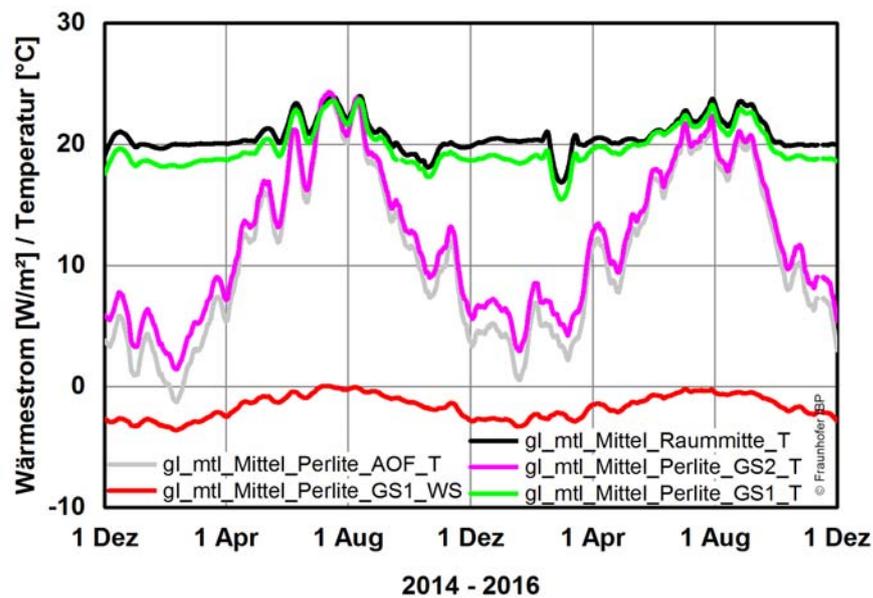


Bild 62:  
Wärmestrom und Temperaturen in der Messachse der Perliteschüttung im Messzeitraum von 1.12.2014 bis 1.12.2016 in gleitenden Monatsmittelwerten.

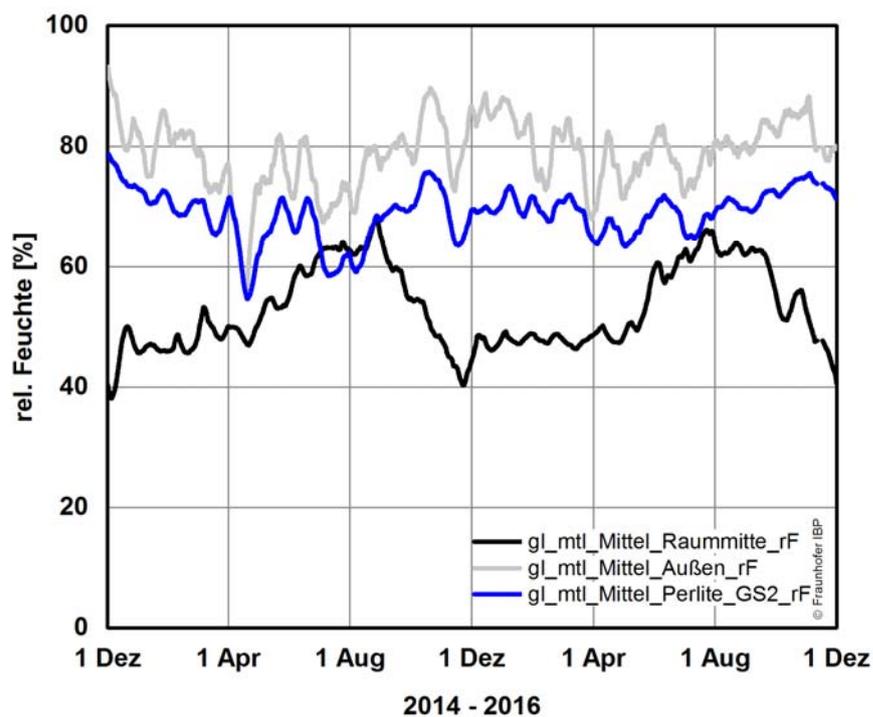


Bild 63:  
Relative Feuchte in Grenzschicht 2 der Perliteschüttung sowie des Innen- und Außenklimas im Messzeitraum von 1.12.2014 bis 1.12.2016 in gleitenden Monatsmittelwerten.

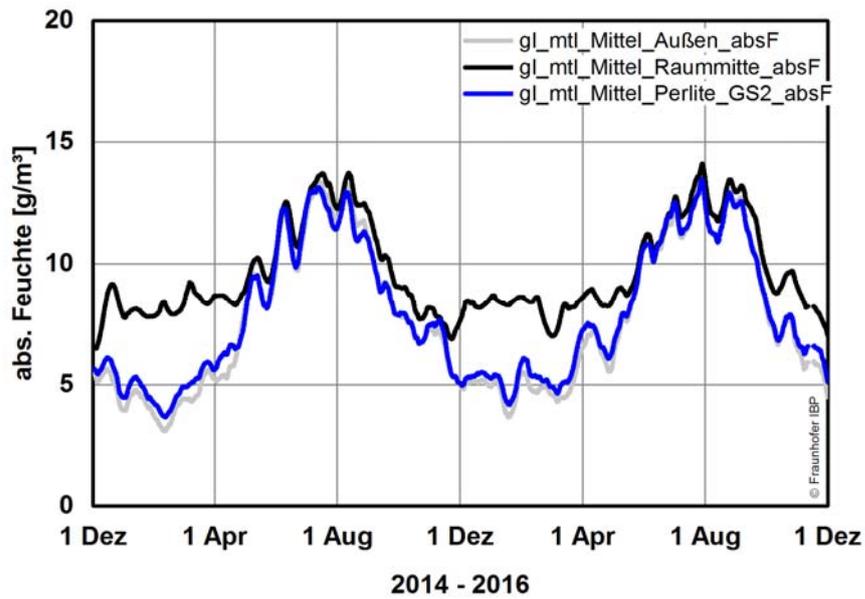


Bild 64:  
Absolute Feuchte in Grenzschicht 2 der Perliteschüttung sowie des Innen- und Außenklimas im Messzeitraum von 1.12.2014 bis 1.12.2016 in gleitenden Monatsmittelwerten.

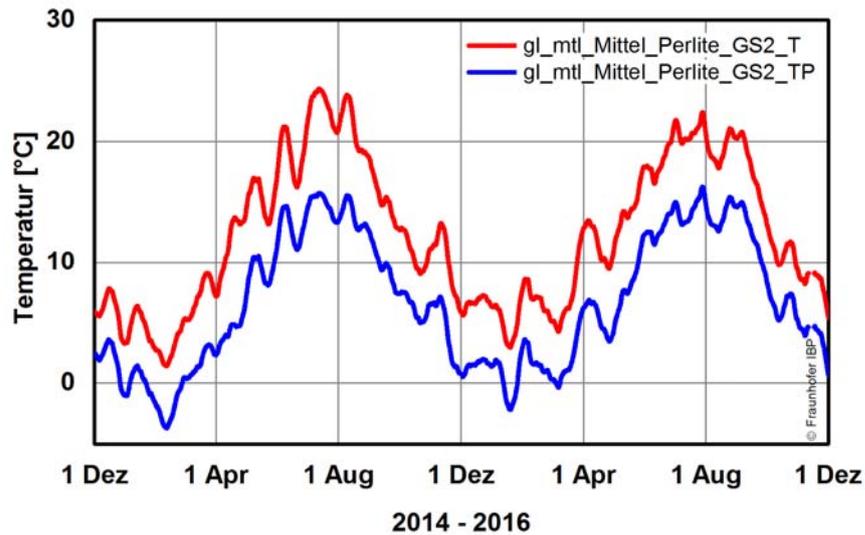


Bild 65:  
Temperatur und Taupunkttemperatur in Grenzschicht 2 der Perliteschüttung im Messzeitraum von 1.12.2014 bis 1.12.2016 in gleitenden Monatsmittelwerten.

### 3.5.5 Zelluloseeinblasdämmung

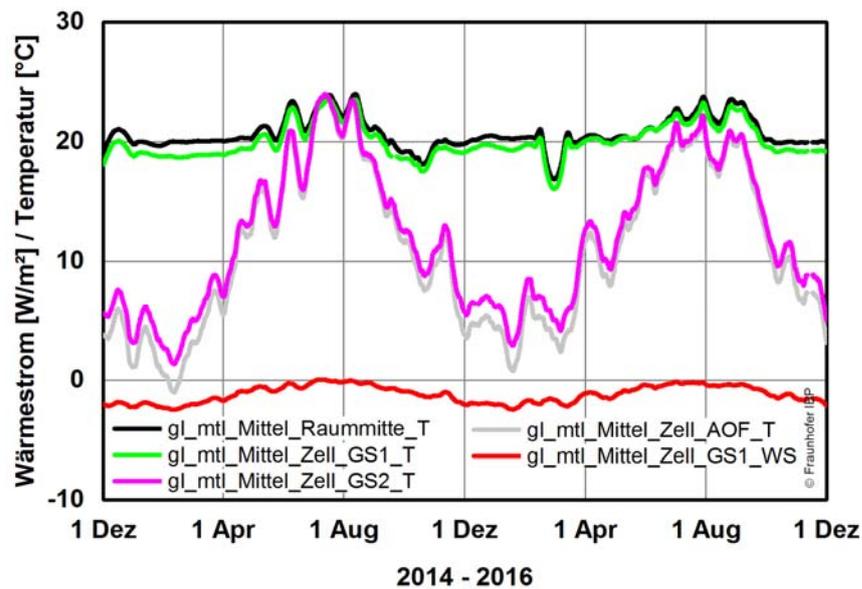


Bild 66:  
Wärmestrom und Temperaturen in der Messachse der Zelluloseeinblasdämmung im Messzeitraum von 1.12.2014 bis 1.12.2016 in gleitenden Monatsmittelwerten.

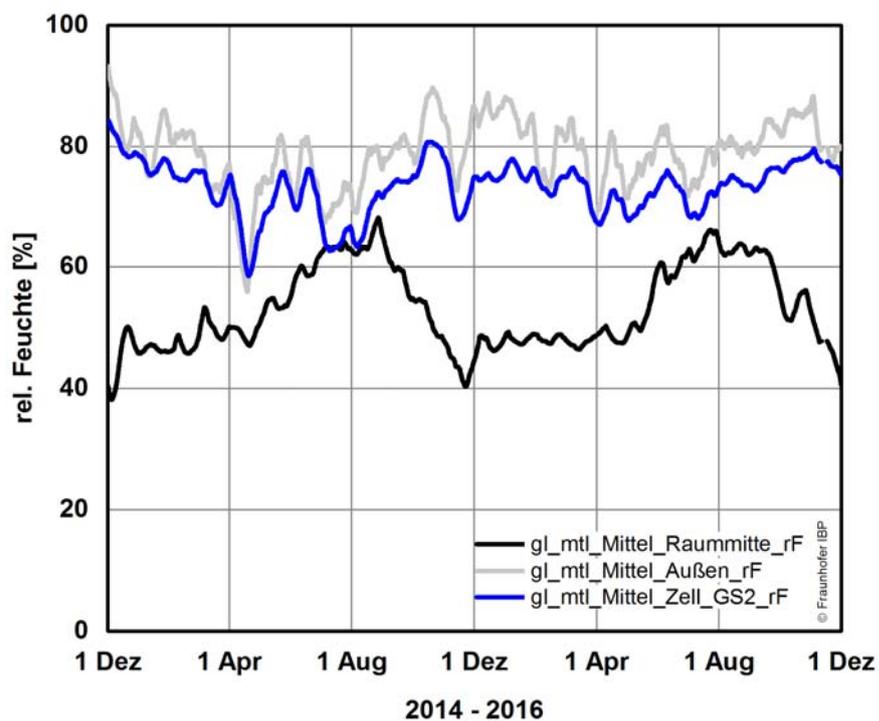


Bild 67:  
Relative Feuchte in Grenzschicht 2 der Zelluloseeinblasdämmung sowie des Innen- und Außenklimas im Messzeitraum von 1.12.2014 bis 1.12.2016 in gleitenden Monatsmittelwerten.

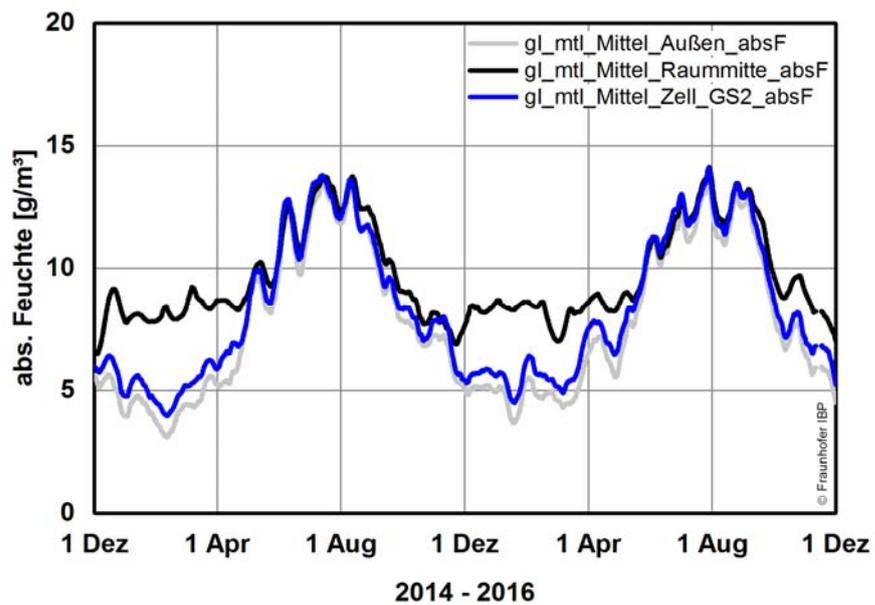


Bild 68:  
Absolute Feuchte in Grenzschicht 2 der Zelluloseeinblasdämmung sowie des Innen- und Außenklimas im Messzeitraum von 1.12.2014 bis 1.12.2016 in gleitenden Monatsmittelwerten.

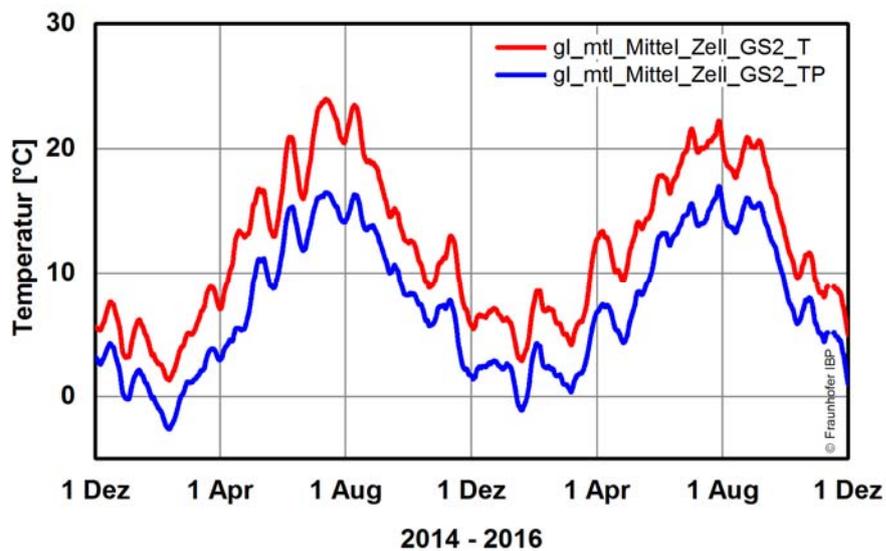


Bild 69:  
Temperatur und Taupunkttemperatur in Grenzschicht 2 der Zelluloseeinblasdämmung im Messzeitraum von 1.12.2014 bis 1.12.2016 in gleitenden Monatsmittelwerten.

### 3.5.6 Hanfmatte

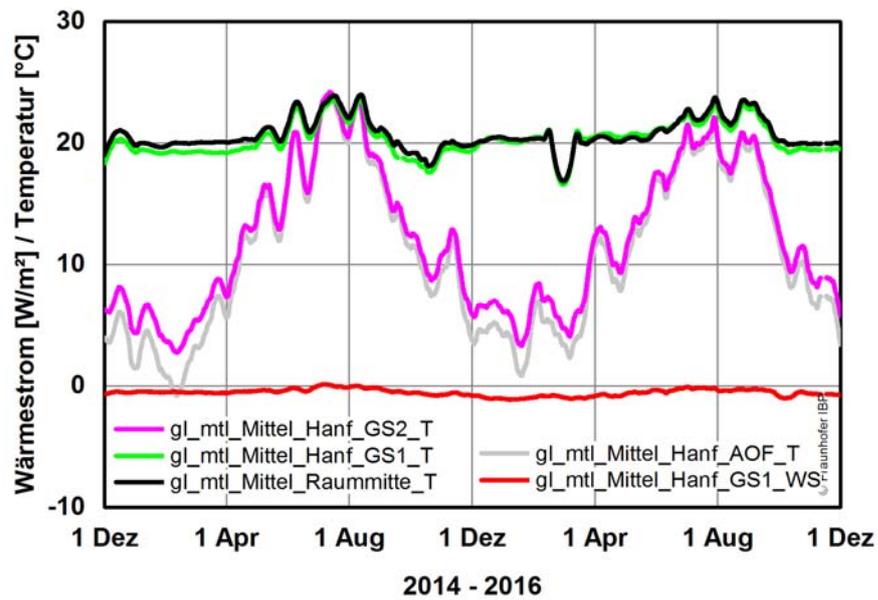


Bild 70:  
Wärmestrom und Temperaturen in der Messachse der Hanfdämmung im Messzeitraum von 1.12.2014 bis 1.12.2016 in gleitenden Monatsmittelwerten.

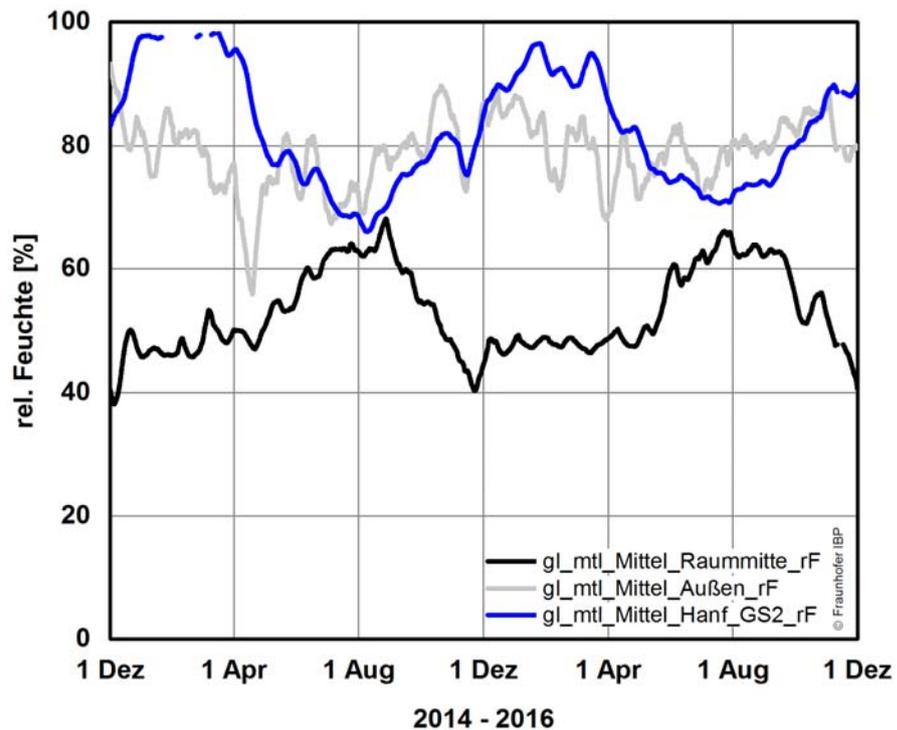


Bild 71:  
Relative Feuchte in Grenzschicht 2 der Hanfdämmung sowie des Innen- und Außenklimas im Messzeitraum von 1.12.2014 bis 1.12.2016 in gleitenden Monatsmittelwerten.

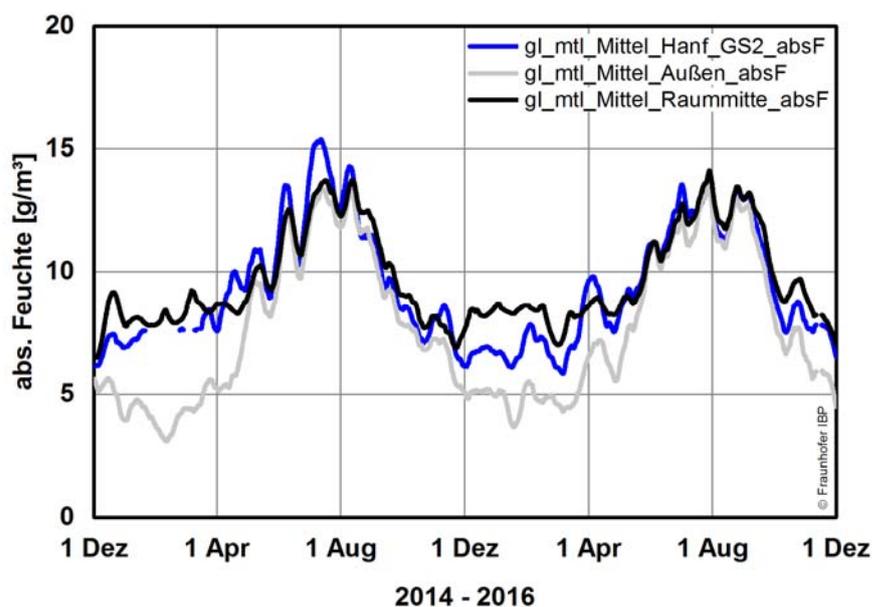


Bild 72:  
Absolute Feuchte in Grenzschrift 2 der Hanfdämmung sowie des Innen- und Außenklimas im Messzeitraum von 1.12.2014 bis 1.12.2016 in gleitenden Monatsmittelwerten.

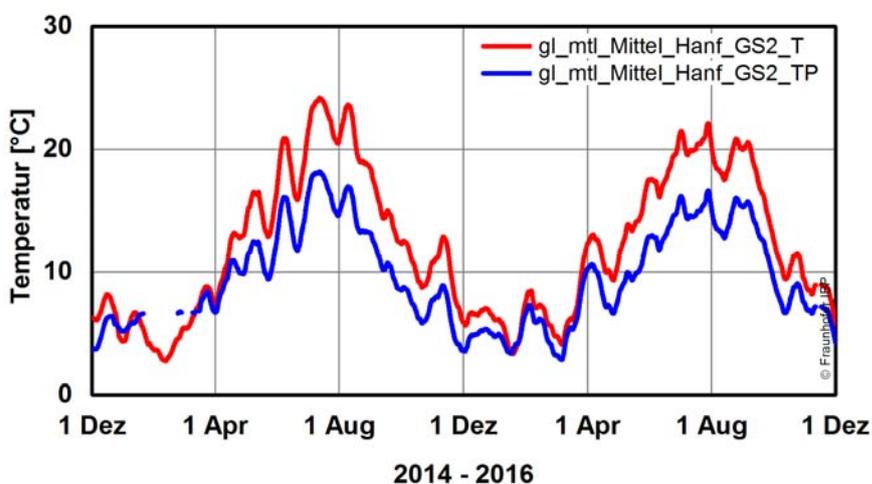


Bild 73:  
Temperatur und Taupunkttemperatur in Grenzschrift 2 der Hanfdämmung im Messzeitraum von 1.12.2014 bis 1.12.2016 in gleitenden Monatsmittelwerten.

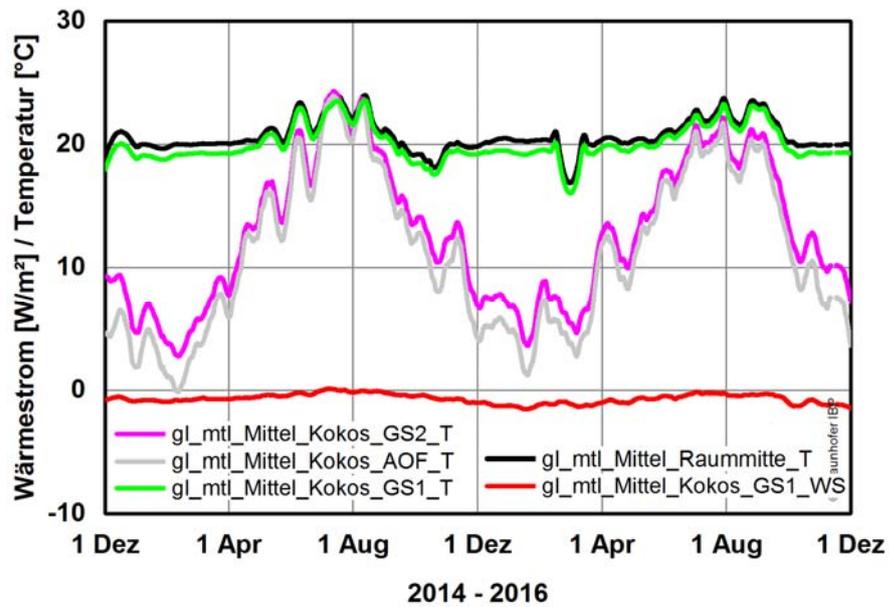


Bild 74:  
Wärmestrom und Temperaturen in der Messachse der Kokosdämmung im Messzeitraum von 1.12.2014 bis 1.12.2016 in gleitenden Monatsmittelwerten.

### 3.5.7 Kokosmatte

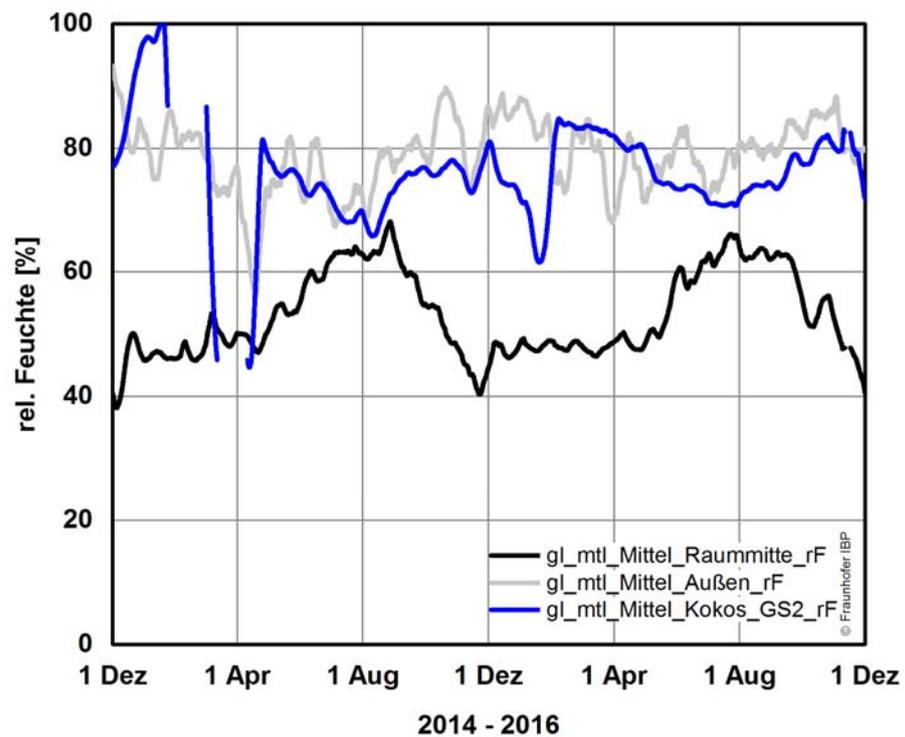


Bild 75:  
Relative Feuchte in Grenzschicht 2 der Kokosdämmung sowie des Innen- und Außenklimas im Messzeitraum von 1.12.2014 bis 1.12.2016 in gleitenden Monatsmittelwerten.

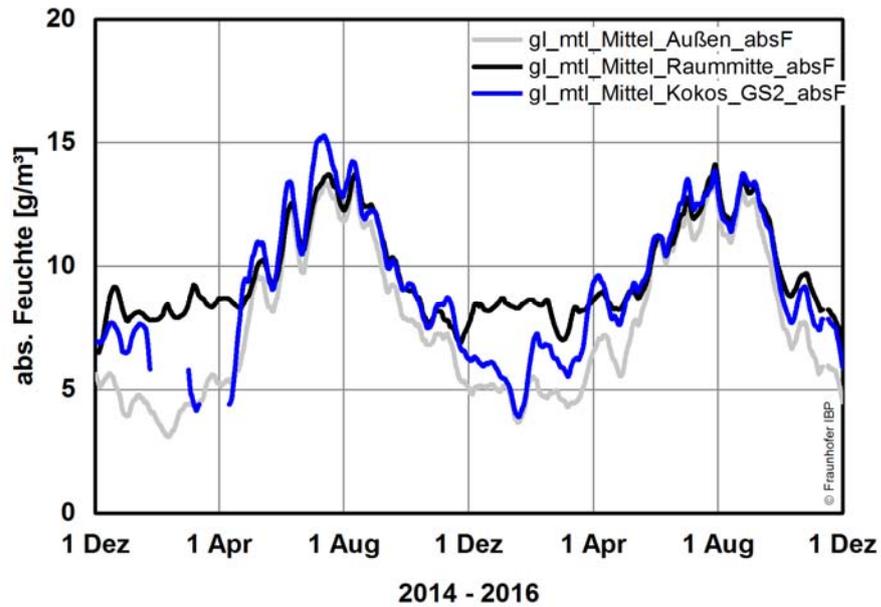


Bild 76:  
Absolute Feuchte in Grenzschicht 2 der Kokosdämmung sowie des Innen- und Außenklimas im Messzeitraum von 1.12.2014 bis 1.12.2016 in gleitenden Monatsmittelwerten.

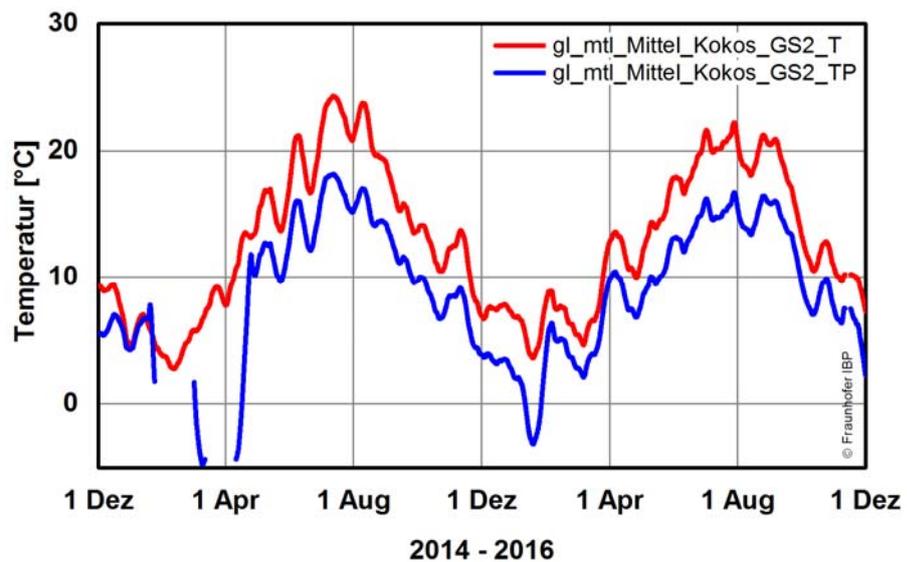


Bild 77:  
Temperatur und Taupunkttemperatur in Grenzschicht 2 der Kokosdämmung im Messzeitraum von 1.12.2014 bis 1.12.2016 in gleitenden Monatsmittelwerten.

### 3.5.8 Mineralwolle

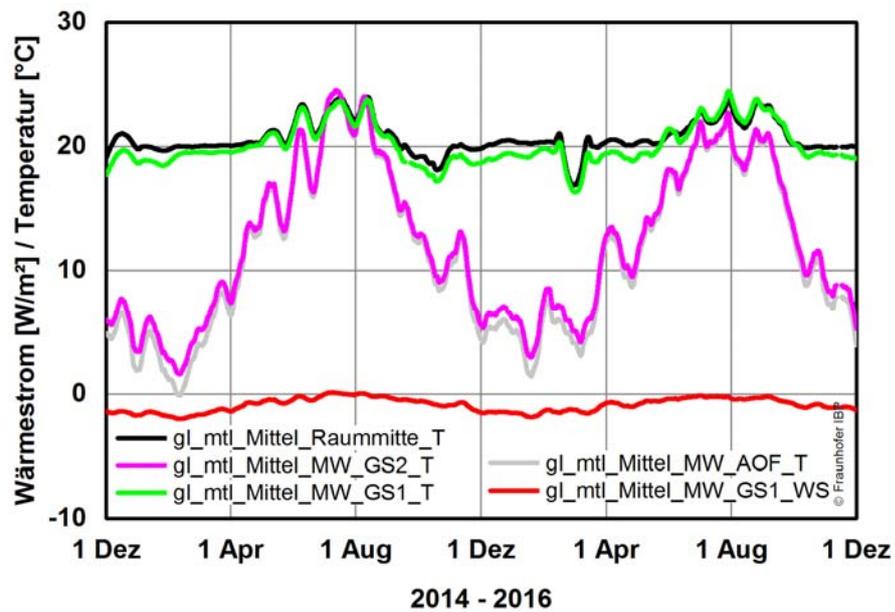


Bild 78:  
Wärmestrom und Temperaturen in der Messachse der Mineralwollgedämmung im Messzeitraum von 1.12.2014 bis 1.12.2016 in gleitenden Monatsmittelwerten.

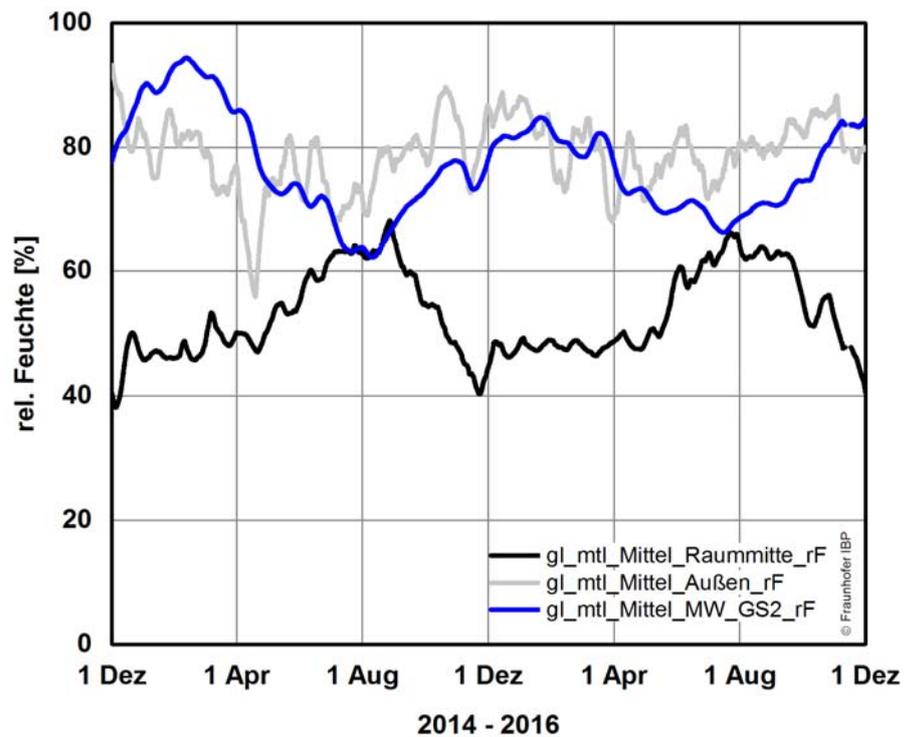


Bild 79:  
Relative Feuchte in Grenzschicht 2 der Mineralwollgedämmung sowie des Innen- und Außenklimas im Messzeitraum von 1.12.2014 bis 1.12.2016 in gleitenden Monatsmittelwerten.

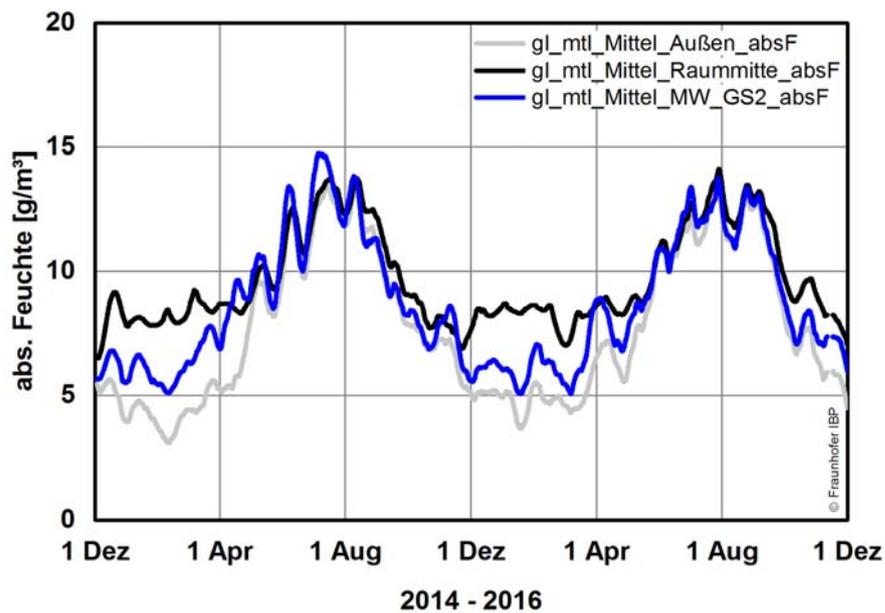


Bild 80:  
Absolute Feuchte in Grenzschicht 2 der Mineralwollgedämmung sowie des Innen- und Außenklimas im Messzeitraum von 1.12.2014 bis 1.12.2016 in gleitenden Monatsmittelwerten.

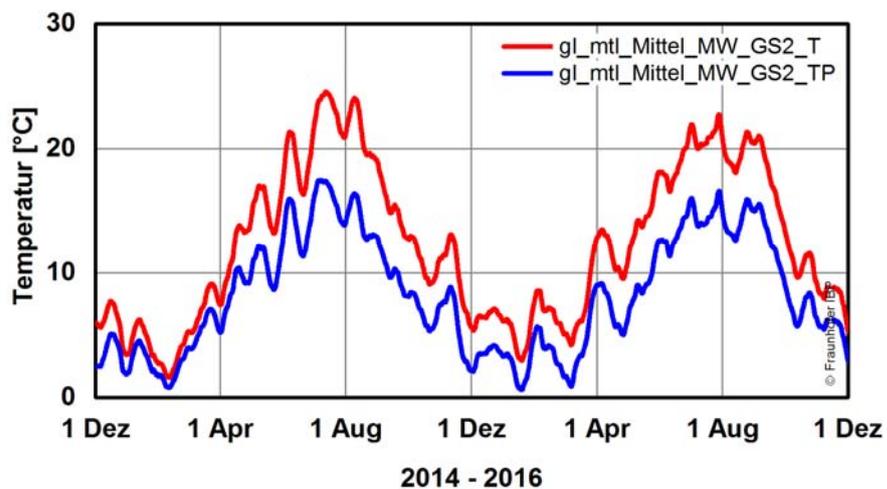


Bild 81:  
Temperatur und Taupunkttemperatur in Grenzschicht 2 der Mineralwollgedämmung im Messzeitraum von 1.12.2014 bis 1.12.2016 in gleitenden Monatsmittelwerten.

### 3.5.9 Holzfaser

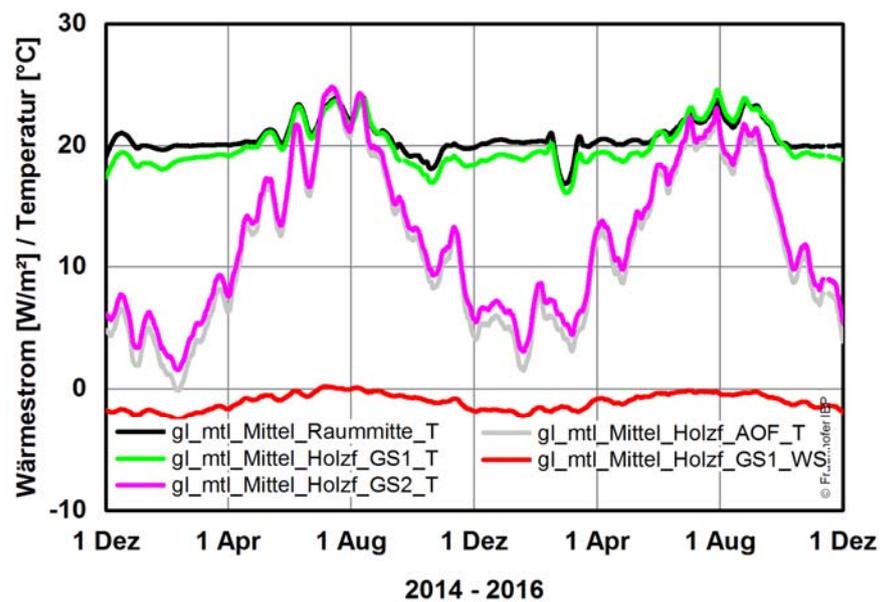


Bild 82:  
Wärmestrom und Temperaturen in der Messachse der Holzfaserdämmung im Messzeitraum von 1.12.2014 bis 1.12.2016 in gleitenden Monatsmittelwerten.

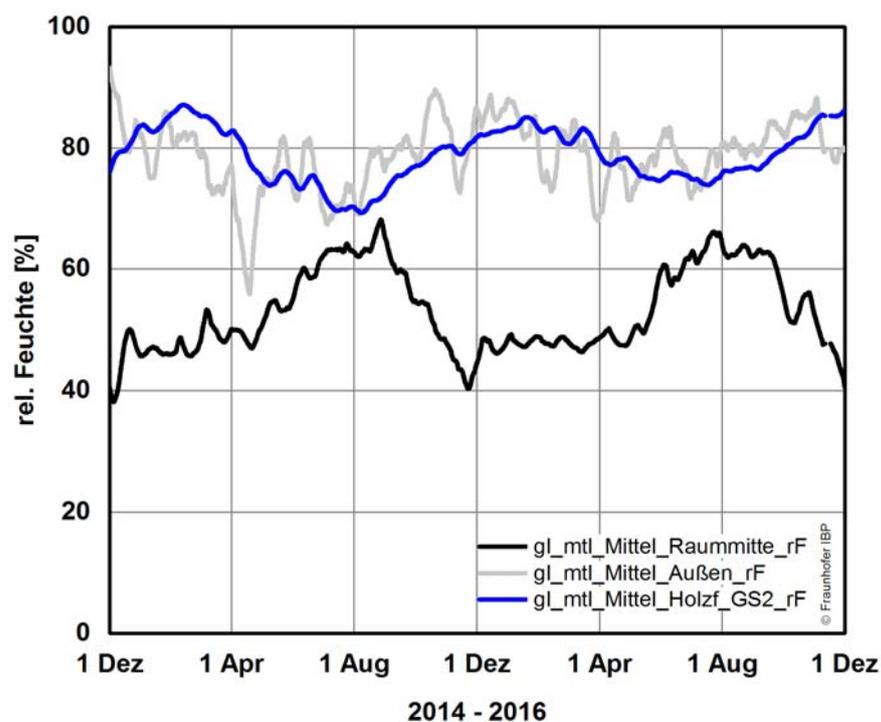


Bild 83:  
Relative Feuchte in Grenzschicht 2 der Holzfaserdämmung sowie des Innen- und Außenklimas im Messzeitraum von 1.12.2014 bis 1.12.2016 in gleitenden Monatsmittelwerten.

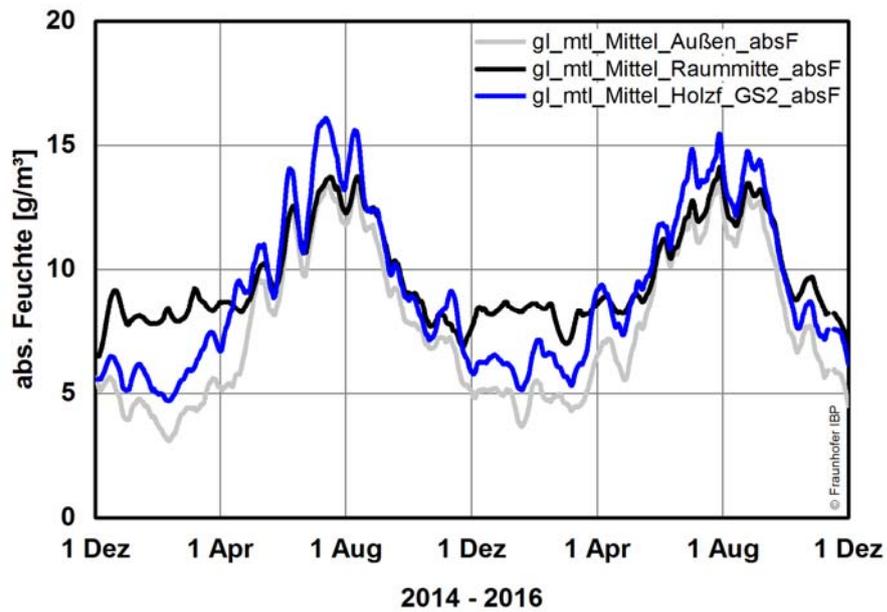


Bild 84:  
Absolute Feuchte in Grenzschicht 2 der Holzfaserdämmung sowie des Innen- und Außenklimas im Messzeitraum von 1.12.2014 bis 1.12.2016 in gleitenden Monatsmittelwerten.

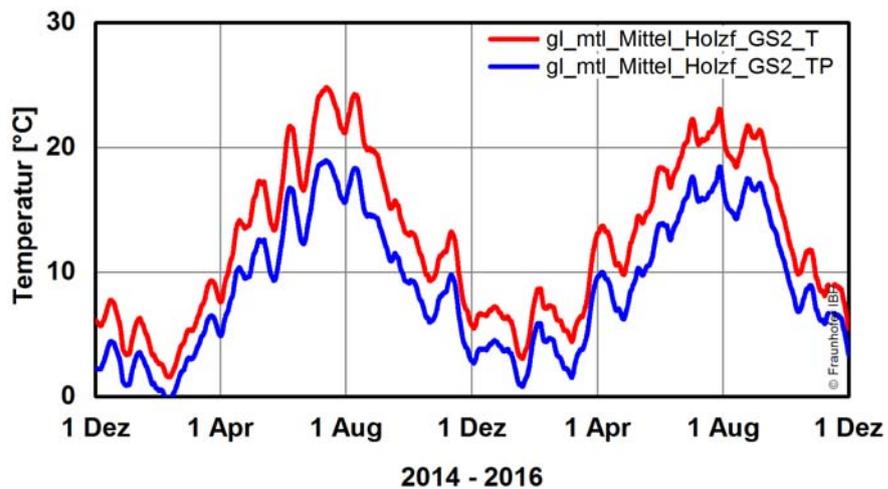


Bild 85:  
Temperatur und Taupunkttemperatur in Grenzschicht 2 der Holzfaserdämmung im Messzeitraum von 1.12.2014 bis 1.12.2016 in gleitenden Monatsmittelwerten.

### 3.5.10 Vergleichende Darstellung der Messdaten im Gesamtzeitraum

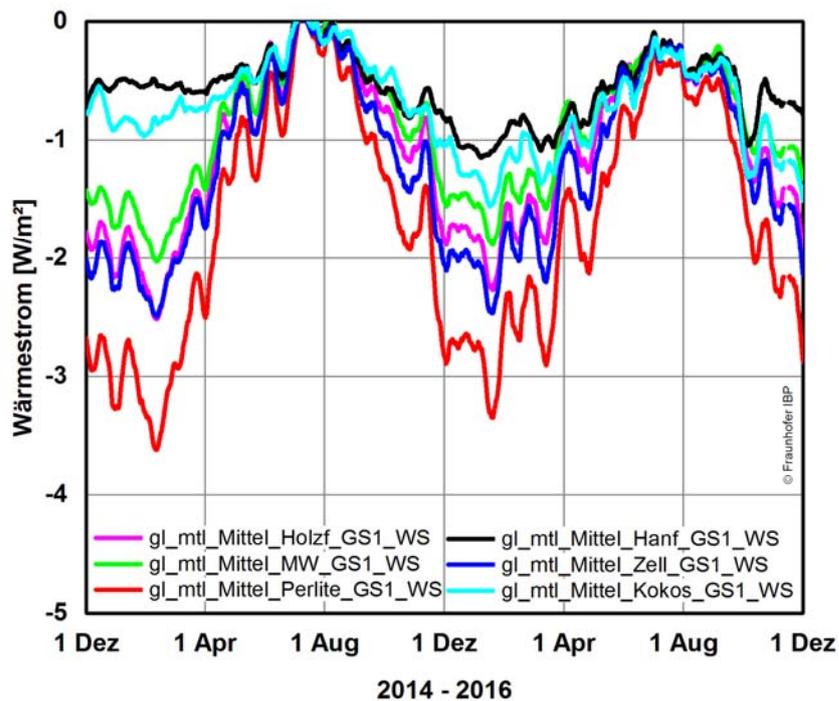


Bild 86:  
Wärmeströme in Grenzschicht 2 aller untersuchten Dämmungen im Messzeitraum von 1.12.2014 bis 1.12.2016 in gleitenden Monatsmittelwerten.

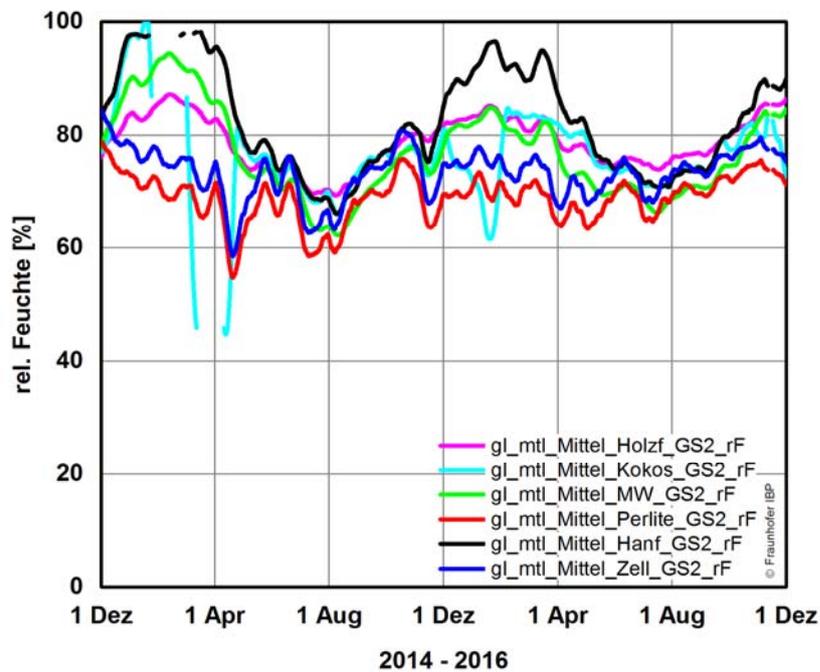


Bild 87:  
Relative Feuchte in Grenzschicht 2 aller untersuchten Dämmungen im Messzeitraum von 1.12.2014 bis 1.12.2016 in gleitenden Monatsmittelwerten.

Bild 62, Bild 66, Bild 70, Bild 74, Bild 78, Bild 82 zeigen die Temperaturverläufe über die Messachse mit Raum- und Außenoberflächentemperatur aller verbauten Dämmungen. Zusätzlich ist der Verlauf des Wärmestroms im Graphen mit eingetragen. Bild 86 zeigt die Wärmeströme aller Dämmungen vergleichend im Gesamtzeitraum. Den Verlauf der relativen Feuchte innen und außen, sowie in der Grenzschicht 2 (GS2) auf der Kaltseite der jeweiligen Dämmung stellen die Bild 63, Bild 67, Bild 71, Bild 75, Bild 79 und Bild 83 dar. Der Verlauf der relativen Feuchte in Grenzschicht 2 zeigt bei der Perlite Dämmung deutlich die Abhängigkeit zum Außenklima, ohne auf Feuchtigkeit aus dem Innenraum zu reagieren. Bei der Zellulosedämmung ist der gleiche Effekt zu beobachten. Ein starkes Ansteigen der relativen Feuchte in den Wintermonaten zeigt die Hanfmattendämmung. Die Kokosdämmung lässt auch darauf schließen, doch kann die Messdatenerfassung aufgrund eines defekten Sensors in diesem Bereich dies nicht sicher bestätigen. Ab einem Wert von mehr als 80% relativer Feuchte zeigt der Sensor zu geringe Werte an.

Die absolute Feuchte der Grenzschicht 2 ist bei Zellulose und Perlite ebenfalls nahezu identisch zur Außenluft und zeigt keine Reaktion auf die Befeuchtung des Innenraums in den Wintermonaten. Sowohl die Kokos- als auch die Hanfdämmung zeigen auch hier wieder in den Wintermonaten die höchsten Feuchtegehalte.

Eine zusätzliche Darstellung der Feuchte in Form der Taupunkttemperatur mit Vergleich zur Schichttemperatur der Grenzschicht 2 ist in den Bildern Bild 65, Bild 69, Bild 73, Bild 77, Bild 81 und Bild 85 abgebildet. Während der kritischen Winter- und Frühjahrsmonate liegt kein Ansteigen der Taupunkttemperatur bis auf die Temperatur der Grenzschicht 2 vor, Ausnahme stellen die Hanf- und Kokosdämmung dar.

Der Zwischensparrenraum der Kokosmattendämmung grenzt an zwei Öffnungen der oberen Geschossdecke. Das eine Nachbarfeld enthält die Treppenöffnung ins Dachgeschoss, durch das andere Nachbarfeld verläuft der Zuluft Schacht der Lüftungsanlage in das Obergeschoss. In diesen Bereichen kann ein erhöhter Einfluss durch das Innenraumklima entstehen, vor Allem während der Einbauphase, als noch keine diffusionsdichte Ebene fertiggestellt war. Die Fehlfunktion des Kombisensors der Kokosmattendämmung oberhalb 80 % relativer Feuchte kann hier ihren Anfang haben (Bild 87). Die Messdaten der relativen Feuchte in den Sommermonaten entsprechen jedoch denen der anderen Dämmsysteme, weshalb hier nicht auf eine unkontrollierte Auffeuchtung geschlossen werden kann.

Die Hanfdämmung weist im ersten Winter eine sehr hohe Feuchte auf. Es sind auch hier Ausfälle des Sensors aufgetreten. Der Verlauf der relativen Feuchte in Bild 87 lässt jedoch ebenfalls nicht auf eine Auffeuchtung schließen.

### 3.6 Darstellung der Messdaten im Winter 2015/2016

#### 3.6.1 Innen- und Außenklima

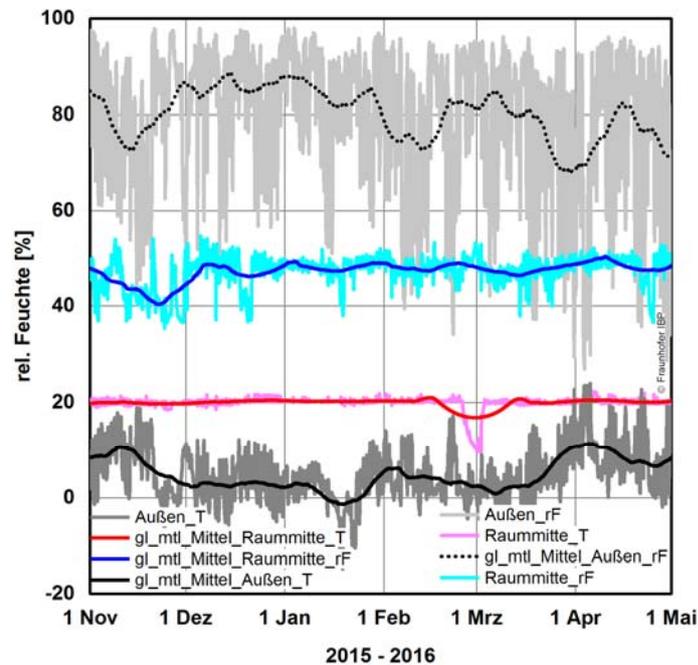


Bild 88:  
Innen- und Außenklima in Stundenmittel- und gleitenden Monatsmittelwerten im Messzeitraum von 1.11.2015 bis 1.5.2016.

#### 3.6.2 Temperatur- und Taupunkttemperatur

##### Perliteschüttung

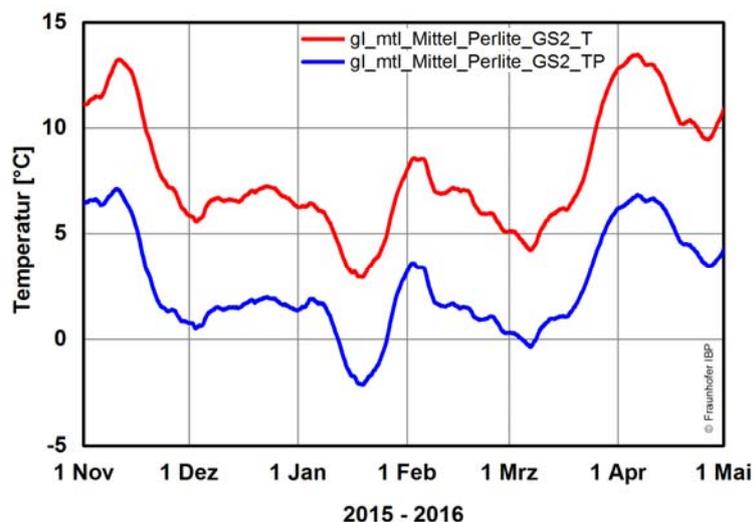


Bild 89:  
Temperatur und Taupunkttemperatur in Grenzschicht 2 der Perliteschüttung im Messzeitraum von 1.11.2015 bis 1.5.2016 in gleitenden Monatsmittelwerten.

## Zelluloseeinblasdämmung

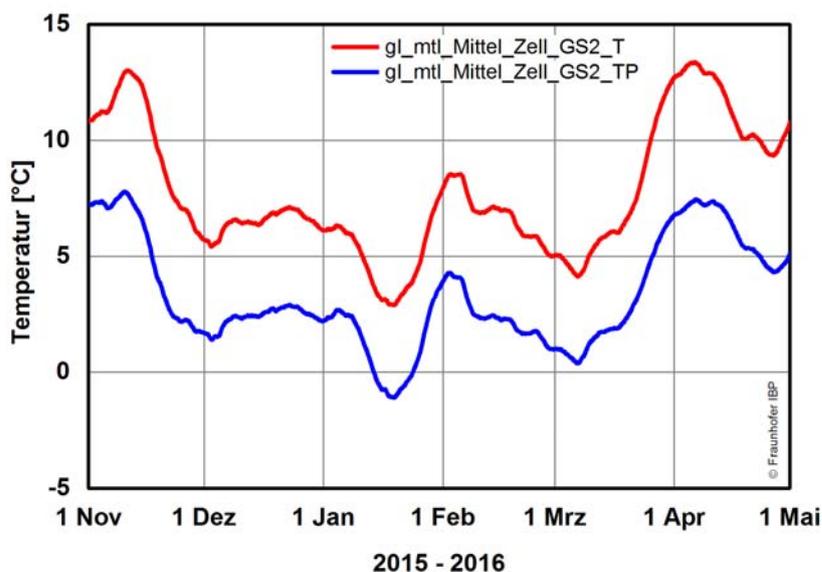


Bild 90:  
Temperatur und Taupunkttemperatur in Grenzschicht 2 der Zelluloseeinblasdämmung im Messzeitraum von 1.11.2015 bis 1.5.2016 in gleitenden Monatsmittelwerten.

## Hanfmatte

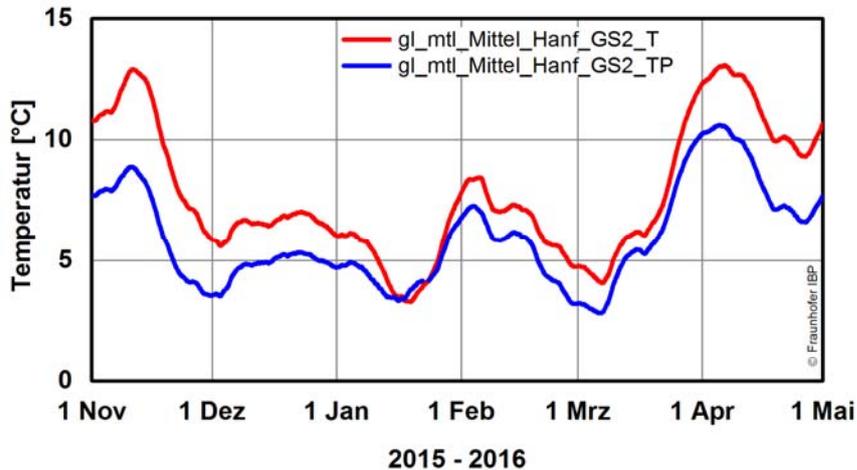


Bild 91:  
Temperatur und Taupunkttemperatur in Grenzschicht 2 der Hanfdämmung im Messzeitraum von 1.11.2015 bis 1.5.2016 in gleitenden Monatsmittelwerten.

## Kokosmatte

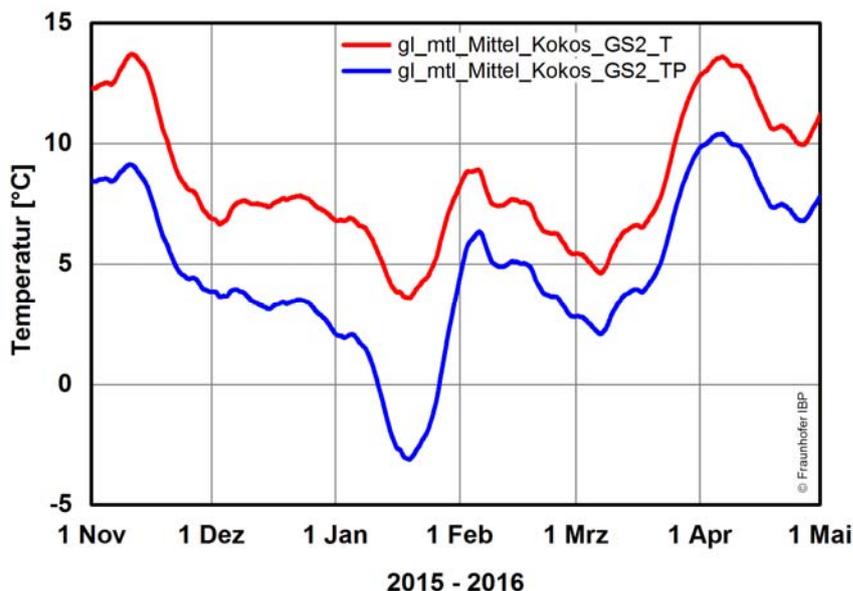


Bild 92:  
Temperatur und Taupunkttemperatur in Grenzschicht 2 der Kokosdämmung im Messzeitraum von 1.11.2015 bis 1.5.2016 in gleitenden Monatsmittelwerten. Mineralwolle.

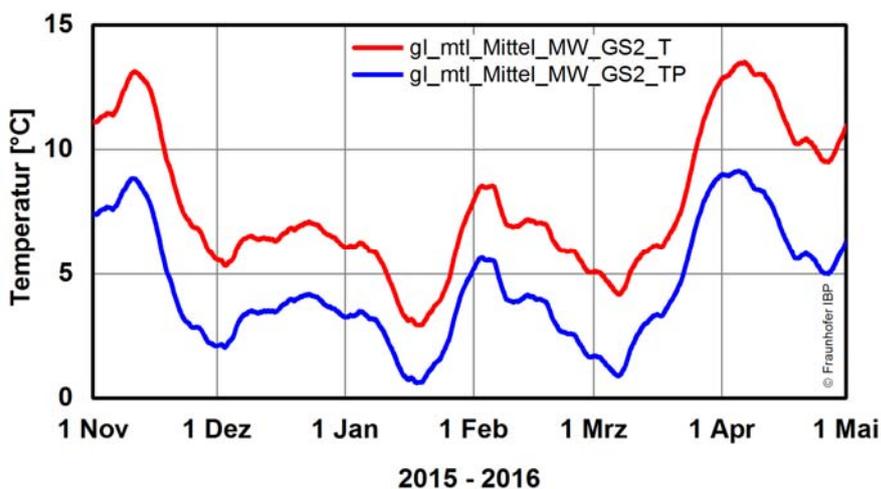


Bild 93:  
Temperatur und Taupunkttemperatur in Grenzschicht 2 der Mineralwollendämmung im Messzeitraum von 1.11.2015 bis 1.5.2016 in gleitenden Monatsmittelwerten.

## Holzfaser

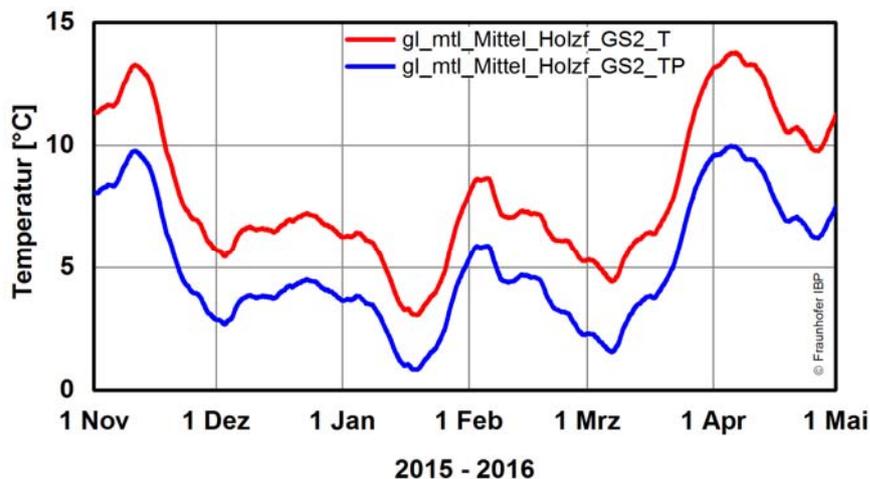


Bild 94:  
Temperatur und Taupunkttemperatur in Grenzschicht 2 der Holzfaserdämmung im Messzeitraum von 1.11.2015 bis 1.5.2016 in gleitenden Monatsmittelwerten.

### 3.6.3 Vergleichende Darstellung der Messdaten im Winter 2015/2016

#### Wärmestrom

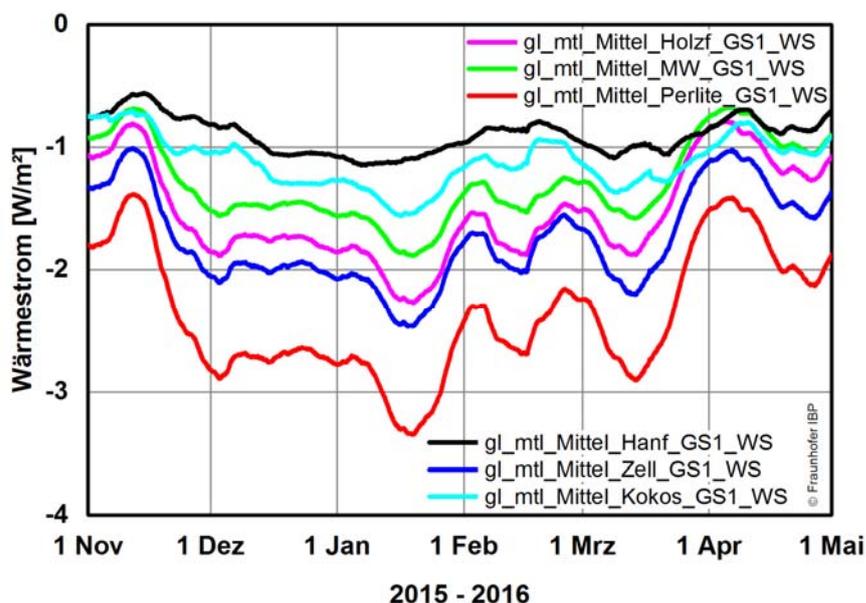


Bild 95:  
Wärmeströme in Grenzschicht 2 aller untersuchten Dämmungen im Messzeitraum von 1.11.2015 bis 1.5.2016 in gleitenden Monatsmittelwerten.

## Relative Feuchte

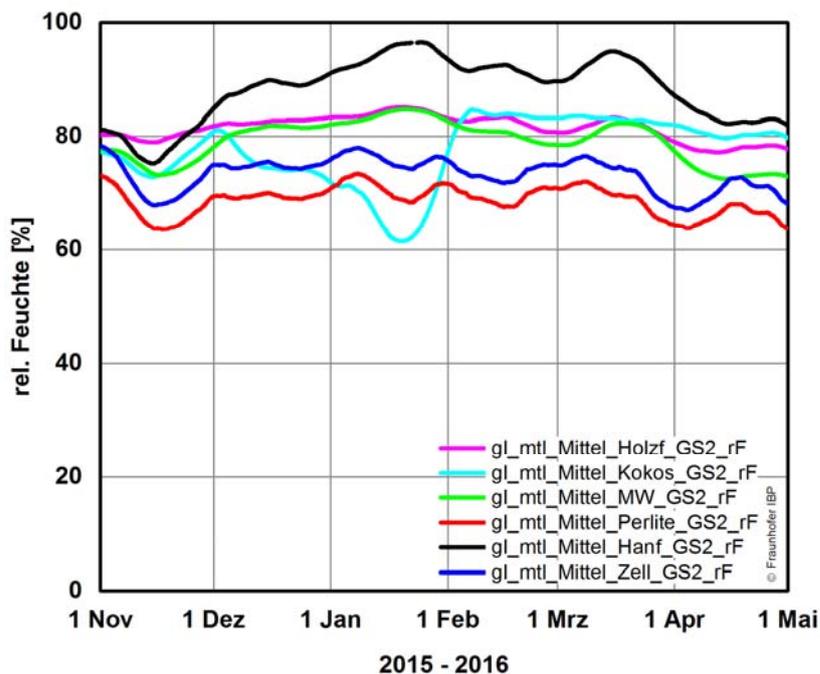


Bild 96:  
Relative Feuchte in Grenzschicht 2 aller untersuchten Dämmungen im Messzeitraum von 1.11.2015 bis 1.5.2016 in gleitenden Monatsmittelwerten.

## Absolute Feuchte

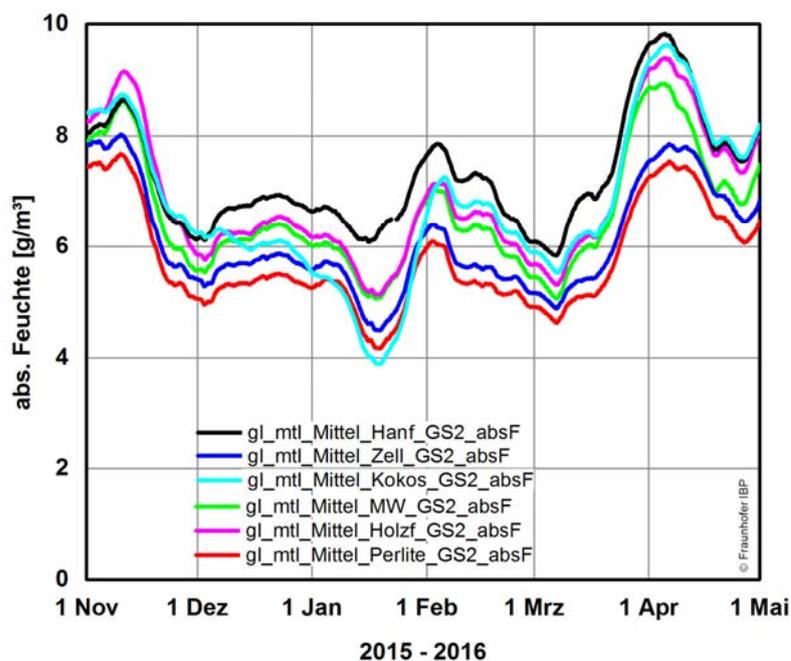


Bild 97:  
Absolute Feuchte in Grenzschicht 2 aller untersuchten Dämmungen im Messzeitraum von 1.11.2015 bis 1.5.2016 in gleitenden Monatsmittelwerten.

Bild 89 bis Bild 94 zeigen den Verlauf der Taupunkttemperatur mit Vergleich zur Schichttemperatur der Grenzschicht 2 von 1.11.2015 bis 1.5.2016. Die Hanfmattendämmung (Bild 91) zeigt deutlich eine Taupunktunterschreitung über einen Zeitraum von ca. zwei Wochen. Die Kokosmattendämmung (Bild 92) zeigt zwar keine Unterschreitung im Graphen an, jedoch ist hier aus der Interpretation der relativen Feuchte mit dem Hintergrund des defekten Sensors (Bild 75) ebenfalls damit zu rechnen. Alle anderen Dämmbaufbauten verhalten sich gegenüber Tauwasserausfall unkritisch.

Bild 95 zeigt den Vergleich der Wärmeströme aller verbauten Dämmungen. Sie ergeben sich durch verschieden dicke Aufbauten und Wärmeleitfähigkeiten der Dämmstoffe.

Die relative Feuchte in Bild 96 und die absolute Feuchte in Bild 97 zeigen wie die Einordnung aller Dämmstoffe zwischen Hanf, mit den höchsten Feuchtegehalten und Perlite, mit den Niedrigsten.

### 3.6.4 Messung der Balkenköpfe in der Ebene der obersten Geschossdecke

Die durch Überplattungen reparierten Balkenköpfe der Zerrbalken im Dachgeschoss wurden in einem Langzeit-Monitoring durch das Fraunhofer IBP messtechnisch begleitet und untersucht. Die hier vorgestellten Messungen wurden im Projekt „Energieoptimiertes Bauen: Energetisches Bewertungsverfahren für Bestandsgebäude mit Holzbalkendecken – Bauphysikalisches Verhalten von Hölzern“ durchgeführt [11].

„Auf beiden Dachseiten wurden für die Messung des Verlaufs der Holzfeuchte je vier alte unsanierte und 4 sanierte Holzbalkenköpfe ausgewählt. Die Messungen erfolgen mit je einer Widerstandsmessung oberflächennah und einer in der Tiefe (Bild 98).



Bild 98:

Ansicht der Balkenköpfe auf der Südseite mit seitlich angebrachten Messschrauben zur Ermittlung der Holzfeuchten im oberflächennahen Bereich und im Balkenkopfkern, an neu sanierten und an alten unsanierten Balkenköpfen.

In Bild 99 ist für die Südseite des Kopfbaus der Alten Schäferei der Verlauf der Holzfeuchte dargestellt. Hier ist nur eine sehr geringe Abhängigkeit des Feuchtegehaltes von der Jahreszeit erkennbar. Bei allen Balkenköpfen schwanken die Wassergehalte um die 20 M.-%, oder knapp darunter. Dies gilt sowohl für die oberflächennah gemessenen Feuchten als auch für die im Kernbereich. Die einzige Ausnahme bildet hier „Balken, neu 1, Süd, Tief“, bei dem der Wassergehalt deutlich tiefer liegt. Insgesamt liegen die Wassergehalte der alten Balkenköpfe tendenziell geringfügig höher.

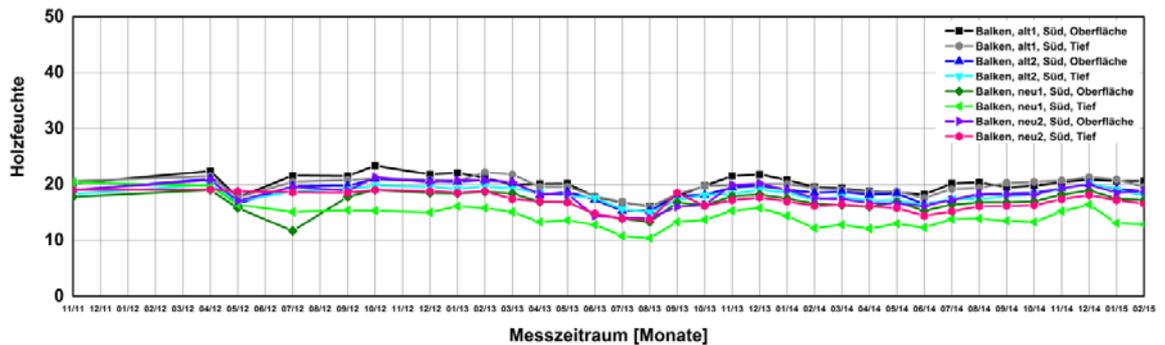


Bild 99:  
Verlauf der an den Dachbalken im Kopfbau auf der Südseite gemessenen Holzfeuchten für einen Zeitraum von etwas mehr als drei Jahren.

Auf der Westseite (siehe Bild 100) ergibt sich, abgesehen von der etwas größeren Streuung der Anfangswassergehalte, nahezu das gleiche Bild. Auch liegen die Wassergehalte in der Winterzeit bei um die 20 M.-% und sinken in den Sommermonaten auf 15 M.-% oder knapp darunter.

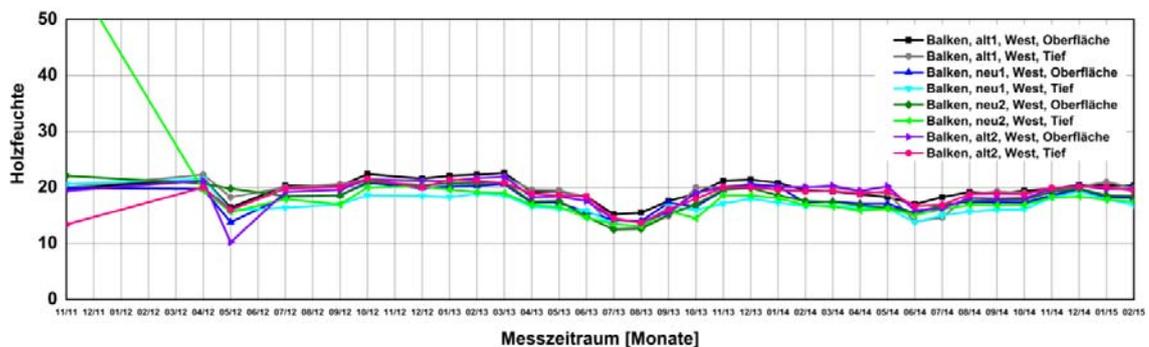


Bild 100:  
Verlauf der an den Dachbalken im Kopfbau auf der Westseite gemessenen Holzfeuchten für einen Zeitraum von etwas mehr als drei Jahren.

Insgesamt zeigen die Messwerte für die Holzfeuchte der Dachbalken der alten Schäferei sowohl für die Südseite als auch für die Westseite ein völlig unspektakuläres Bild, das die Art der Ausführung der Balkenkopfsanierung bestätigt. Der Jahresgang ist nur sehr schwach ausgeprägt und mit um die 20 M.-% im Winter und um die 15 M.-% im Sommer wird es, solange die Dacheindeckung unbeschädigt bleibt, keinerlei Feuchteschäden geben. Dies ist sicher auch darin begründet, dass das Dach auch nach der Sanierung ein Kaltdach geblieben ist, das

vom Stockwerk darunter gut abgedämmt ist und in das nur eine geringfügige zusätzliche Feuchtelast durch die Nutzung (z.B. bei Dachführungen) eingebracht wird“ [11].

### 3.6.5 Vorbereitende Simulation zur energetischen Ertüchtigung der Bestandsfenster

Die reparierten Bestandsfenster sollen energetisch untersucht werden. Auch hier werden unterschiedliche Varianten eingesetzt. Geplant ist der Einbau eines klassischen Kastenfensters mit Stockholz, Vorsatzfenster in der Fensterlaibung, moderne Lösungen als Vorsatzfenster vor der Laibung auf die Wandinnenseite montiert sowie Scheibenaustausch (Bild 101, Bild 102).

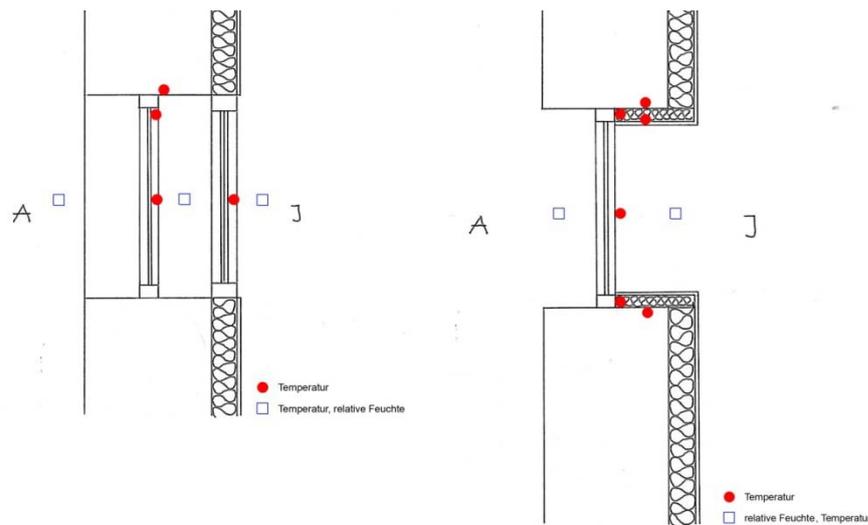


Bild 101:  
Beispiel: Schnitt zur energetischen Fensterertüchtigung mit zusätzlichen Komponenten.

Bild 102:  
Beispiel: Schnitt zur energetischen Fensterertüchtigung mit Dämmung der Fensterlaibung.

Um sich den verschiedenen Möglichkeiten einer Fensterreparatur zu nähern, wurden zu diesem Thema wissenschaftliche Untersuchungen und Simulationen zu verschiedenen Ertüchtigungsvarianten durchgeführt. Die Ergebnisse der Simulationen sind detailliert in [8] und [9] beschrieben.

Stephanie Heinrich fasst in ihrer Arbeit „Bestandsfenster der Alten Schöfflerei im Kloster Benediktbeuern – Potentiale energetischer Ertüchtigungen von Bestandsfenstern am Beispiel der Alten Schöfflerei im Kloster Benediktbeuern“ die unterschiedlichen Sanierungsmöglichkeiten folgendermaßen zusammen: „Als geeignetste Sanierungsmöglichkeit stellt sich das Kastenfenster heraus. Ohne zusätzliche Sanierungsmaßnahmen durch unterschiedliche Kastentiefen werden annehmbare Wärmedurchgangskoeffizienten und Oberflächentemperaturen an Laibung und Scheibe erreicht. Das bestmögliche Ergebnis in Hinblick auf Wärmedurchgangskoeffizienten, Nutzenergiebedarf und Oberflächentemperaturen wird mit einer Krypton-Isolierverglasung in der inneren Ebenen erzielt. So wird ein  $U_w$ -Wert von  $1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$  ermittelt. Dies entspricht einer Verbesserung des

Wärmedurchgangskoeffizienten von ca. 70 % und hat eine Verbesserung von 12 % des gesamten Nutzenergiebedarfs zur Folge. [...] Praxiserfahrungen zeigen, dass trotz eines undichteren Außenfensters bei zu guter Innenseite im Kastenfenster an der Innenseite der Außenseite Kondensat auftreten kann. Der Grund hierfür liegt in der geringen Temperatur im Kastenzwischenraum, welche durch die gute Dämmung der inneren Scheibe entsteht. Da dieser Effekt allerdings nicht bei allen Fenstern gleichmäßig auftritt, muss eine weitere Komponente ausschlaggebend sein. Es kann vermutet werden, dass das anfallende Kondensat von der Ausrichtung des Fensters abhängt. Solare Einstrahlung würde die Luft im Kastenzwischenraum aufheizen, wodurch die relative Luftfeuchtigkeit sinkt. Dies würde bedeuten, dass Fenster mit Süd-, aber auch mit Ost- und Westausrichtung von diesem Phänomen nicht bzw. nicht so stark betroffen sind. Diese Behauptungen sind allerdings nicht belegt. Darum würde sich vor allem der Fenstertypus 1.04 besonders gut für vergleichende Messungen und Versuche am Projekt „Alte Schäferei“ eignen. Hier könnte ein Fenster in jede Himmelsrichtung zu einem Kastenfenster mit Krypton gefüllter Isolierglasscheibe erweitert werden, um dieses Phänomen zu beobachten.

Da eine solche Ertüchtigungsmethode nicht auf Fenster 1.01 anwendbar ist, muss dies gesondert betrachtet werden. Je nach Lösung der Laibungsproblematik auf der Innenseite wäre eine Winterfensterkonstruktion mit Krypton-Isolierverglasung angebracht. Neben den erwähnten vier Kastenfenstern mit Krypton-Isolierverglasung im Fenstertypus 1.04 sollte auch ein Kastenfenster mit Low-E-beschichteter Einfachverglasung zum Vergleich ausgeführt werden. Um die oben aufgestellte These zu überprüfen, sollte das Low-E-beschichtete Kastenfenster nach Norden ausgerichtet sein. So kann die Ursache für mögliches Tauwasser im Krypton-Kastenfenster besser untersucht und Lösungsvarianten entwickelt werden. Die weiteren Fenster des Typus 1.04 sowie das Fenster 1.16 können mit verschiedenen neuen Verglasungen oder Winterfensterkonstruktionen ausgeführt werden. Die Festlegung der Ertüchtigungsvariante sollte von der Laibungssanierung abhängen. [...] Das Fenster 1.01 erreicht seine besten Werte mit einer Krypton-Winterfensterkonstruktion. Ob sich diese Ertüchtigungsvariante eignet, hängt von den Laibungssanierungsmöglichkeiten ab. [...] Um bei den Sanierungen Schadensfreiheit zu gewährleisten, sollte bei allen Ertüchtigungen immer ein besonderes Augenmerk auf die Sanierung der Laibung gelegt werden“ [8].

Johannes Widl kommt in seiner Arbeit „Bestandsanalyse und Ausarbeitung energetischer Sanierungsmaßnahmen denkmalgeschützter Fenster am Beispiel der Alten Schäferei im Kloster Benediktbeuern“ zu folgendem Fazit: „Die vorgeschlagenen Konzepte müssen auf Denkmalverträglichkeit überprüft werden. [...] In der Detaillierung wird klar, welche Konzepte aufgrund baulicher Gegebenheiten nicht durchführbar sind. In dem untersuchten Objekt trifft dies vor allem auf Konzepte, die nach außen montiert werden, zu. Der Vergleich der Ergebnisse der mit Normrandbedingungen durchgeführten stationären Rechnungen zeigt, dass derartige Berechnungen nicht für eine Beurteilung der Situation im Altbaubereich und insbesondere bei einer Vielzahl denkmalgeschützter Gebäude geeignet sind. Die konstant angesetzte 50 % Raumluftfeuchte bei 20 °C

Innentemperatur sind dafür im Winter viel zu hoch angesetzt und entsprechen in keiner Weise der realen Bedingungen. Nur für den (gut gedämmten) Neubau sind diese Randbedingungen sinnvoll einsetzbar. Im Altbaubereich ergeben sich aufgrund höherer Undichtheiten und den sich dadurch einstellenden Infiltrationsluftwechsel in der Heizperiode deutlich niedrigere und damit unkritischere Raumluftfeuchten. Hierzu kommt, dass größere denkmalgeschützte Gebäude eher selten einer Wohnraumnutzung unterliegen.

Als geeignetstes Konzept stellt sich das Einbringen einer zweiten Fensterebene heraus. Hierbei spielt der zusätzliche Futterkasten energetisch keine Rolle. Die Leibung im Scheibenzwischenraum kann mit dem jeweiligen Innendämmsystem belegt werden. Weitere Erkenntnis ist, dass die Verglasung der neuen Fensterebene die energetische Verbesserung eindeutig beeinflusst. [...] Mithilfe WUFI®-2D Berechnungen wurde der Einfluss des Luftwechsels im Zwischenraum der Fensterebenen feuchtetechnisch bewertet. Die Berechnungen zeigen, dass die innerer Fensterebene möglichst dicht zu gestalten ist. Eine abgedichtete innere Fensterebene verringert den Wassergehalt auf der Innenseite der äußeren Verglasung und verhindert somit Tauwasser. Gleichzeitig soll die äußere Ebene möglichst offen gestaltet sein. Hierfür wird bei der Instandsetzung empfohlen keine zusätzliche Dichtebene am Bestandsfenster zu schaffen“ [9].

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Reparatur des Dachwerks

Das barocke Dachwerk des Kopfbaus der Alten Schäfllerei wurde zimmermannsmäßig saniert und repariert. Schadhafte Bereiche der Dachhölzer wurden gesundgeschnitten und querschnittsgleich ausgetauscht bzw. erneuert. 95 % des originalen Altholzes konnte durch eine umsichtige Reparatur erhalten werden. Durch statische Maßnahmen wie z. B. die längs- und querlaufenden Zughölzer in der Kehlbalkebene des Dachstuhls sorgen dafür, dass das zurückverformte Dachwerk statisch wieder optimal in sich steht.

### 4.2 Dämmung der obersten Geschossdecke mit Einsatz von Vakuumgläsern

Bei der Dämmung der obersten Geschossdecke kamen unterschiedliche Materialien in der Zerrbalkenebene zum Einsatz. Die thermische Hülle des Kopfbaus hat damit den oberen Abschluss erlangt. Eine großflächige separate Umsetzung aus Vakuumglas konnte mangels Verfügbarkeit entsprechender zulässiger Gläser nicht wie ursprünglich konzeptioniert umgesetzt werden. Eine hochdämmende Einhausung der Treppe ins Dachgeschoss wurde in Trockenbauweise mit einzelnen Glasschlitzten ausgebildet. Die Glasausschnitte im Bodenbereich des Dachgeschosses zur Demonstration der unterschiedlichen Dämmmaterialien wurden umgesetzt.

#### **4.3 Reparatur der Fenster mit energetischer Ertüchtigung in Verbindung mit der Innendämmung**

Die schreinermäßige Reparatur der Fenster ist erfolgt.

Der Einbau der Innendämmung im Obergeschoss des Kopfbaus, welcher Teil eines parallel laufenden Forschungsprojektes über Innovative Innendämmung darstellte, erfolgte im Zeitraum von Oktober 2013 bis September 2015. Die Gewinnung von Industriepartnern für die Forschungstätigkeit im Bereich der Innendämmungen stellte sich anfangs als kompliziert und langwierig heraus, was auch alle weiteren Maßnahmen an den Fenstern betraf.

Eine weitere Herausforderung war die Konzeptionierung der einzelnen Ertüchtigungsvarianten der Bestandsfenster und das Finden von Fensterherstellern, die sich bereit erklärten im Rahmen einer Partnerschaft mit dem Fraunhofer IBP zum Thema energetische Fensterinstandsetzung zu forschen. Im Laufe der Instandsetzung der Alten Schäfllerei in Einbeziehung der unterschiedlichen Forschungs- und Förderprojekte zeigte sich, dass es bei diesem Thema erheblichen Diskussionsbedarf intern, aber auch mit Vertretern der Denkmalpflege gab und damit einen entsprechenden Mehraufwand in der Abstimmung der Ausführungsplanung.

Die Umsetzung der unterschiedlichen Ertüchtigungsvarianten in Verbindung mit dem Anschluss von Innendämmung im Laibungsbereich konnte daher nicht innerhalb des Projektzeitraums umgesetzt werden. Wissenschaftliche Untersuchungen zur weiteren energetischen Ertüchtigung der Bestandsfenster wurden allerdings durchgeführt und dienten als Grundlage für die Entscheidung hinsichtlich der tatsächlich zu verbauenden Varianten. Die ersten Lösungen zur energetischen Ertüchtigung werden im Frühjahr 2017 eingebaut werden und sind vor Ort zu besichtigen.

#### **4.4 Lüftungsanlage zur Erreichung eines Museumsklimas**

Eine Kompakt-Klimagerät wurde im unbeheizten Dachgeschoss der Alten Schäfllerei eingebaut. Die Anlage ist zwischen den beiden Kaminen positioniert, die zur Zuführung der Außenluft bzw. zur Abführung der Fortluft verwendet werden. Die Verteilung der konditionierten Luft erfolgt über zwei Luftschächte an der Decke des Obergeschosses, um ein möglichst homogenes Strömungsprofil zu erzeugen. Die warme, feuchte Abluft wird in der Deckenmitte abgesaugt [10]. Die Ausführung der Anlage wurde auf die Bedürfnisse der Raumkonditionierung im Obergeschoss geplant und umgesetzt.

#### **4.5 Messung und Demonstration**

Klimamessungen im Dach- und Obergeschoss, Messungen an den Balkenköpfen der Dachbalken sowie im Bereich der Dämmung der obersten Geschossdecke wurden als Langzeit-Monitoring durchgeführt. Simulationen der unterschiedlichen Ansätze zur Bestandsfensterertüchtigung wurden in zwei unterschiedlichen

wissenschaftlichen Untersuchungen erarbeitet und werden ab 2017 umgesetzt. Alle Maßnahmen werden dokumentiert und sind vor Ort zu besichtigen.

## 5 Diskussion

Die Ziele innerhalb des Projektes wurden größtenteils wie konzipiert erreicht. Bei den Abweichungen der Umsetzung und der Änderung des anfänglichen Konzepts waren v. a. brandschutztechnische oder denkmalrelevante Gründe ausschlaggebend.

### 5.1 Reparatur des Dachwerks

Die denkmalgerechte Reparatur des barocken Dachwerks konnte durch querschnittsgleichen Austausch schadhafter Hölzer erreicht werden. 95 % des historischen Holzbestandes konnte somit erhalten werden.

### 5.2 Dämmung der obersten Geschossdecke mit Einsatz von Vakuumgläsern

#### 5.2.1 Einbauposition der Dämmmaterialien

Das Konzept sah anfangs vor die Dämmmaterialien unter der Balkenlage anzubringen und einen kleineren Teil als Zwischenbalken- und Aufbalkendämmung auszuführen. Bei der bauphysikalisch vorteilhafteren Dämmung über der Zerrbalkenlage wären die Holzbauteile weiterhin im Kaltbereich angesiedelt gewesen. Nach eingehender Abwägung und Abstimmung mit der zuständigen Denkmalbehörde und dem Landesamt für Denkmalpflege sowie dem beauftragten Architekten wurde das Konzept allerdings aus ästhetischen Gründen angepasst und die Dämmung der Geschossdecke auf die Lage zwischen den Zerrbalken reduziert. Im Vordergrund stand hier die Entscheidung zu einer homogenen Deckenflucht im Obergeschoss.

#### 5.2.2 Einsatz von begehbarem Vakuumglas im Bodenbereich

Das ursprüngliche Konzept bei Antragsstellung sah vor, in dem jeweils zur Treppenöffnung angrenzenden Balkenfeld sowie über der bauzeitlichen Treppe ein wärmedämmendes und begehbare Vakuumglas einzusetzen. Der einzigartige Blick vom Obergeschoss hinauf in den First des barocken Dachstuhls und auf das hölzerne Aufzugswerk aus der Mitte des 17. Jahrhunderts sollte hier weiterhin gewährleistet sein und mit einer geschickten Beleuchtungstechnik in Szene gesetzt werden. Das Fraunhofer IBP diskutierte unterschiedliche Glasausführungen und war in Gesprächen mit unterschiedlichen Herstellern hinsichtlich eines geeigneten Produkts, allerdings brachte das Scheibenmaterial mit dem Aspekt der Begehrbarkeit durch ein eingezogenes Gitterraster nicht mehr die gewünschte Transparenz. Neben der Materialwahl waren auch denkmalpflegerische und brandschutztechnische Gründe (Brandlasten im Ausstellungsbereich, Obergeschoss Kopfbau) sowie die Kosteneffizienz ausschlaggebend für eine Anpassung der ursprünglich angedachten Ausführung.

### 5.2.3 Einsatz von wärmedämmendem Glas als Treppeneinhausung

Anfang des Jahres 2015 entschied sich das Fraunhofer IBP schließlich zu einer Umplanung im Bereich des Treppenaufgangs. Von einem begehbaren Glas wurde abgesehen (siehe vorhergehender Abschnitt). Vielmehr sah die weitere Planung vor einen transparenten oberen Abschluss im Bereich des Treppenaufgangs auszuführen. Verschiedene Varianten mit gestalterischen, technischen und brandschutzrelevanten Aspekten wurden vom beauftragten Architekturbüro und dem Brandschutzgutachter in enger Abstimmung mit dem Fraunhofer IBP geprüft (Bild 103).

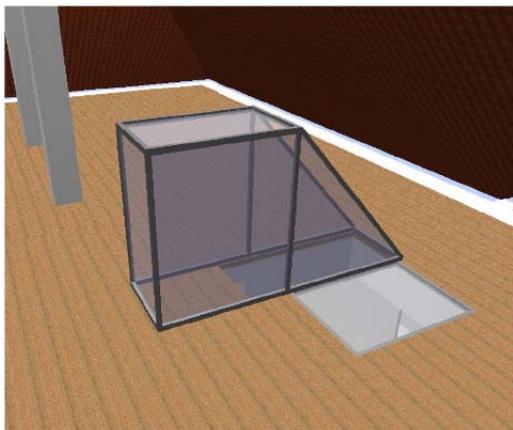


Bild 103:  
Favorisierte Variante einer Glaseinhausung über der bauzeitlichen Treppe.

Die Idee die Treppeneinhausung über der Treppenöffnung ins Dachgeschoss ebenfalls als Glaskonstruktion auszuführen, scheiterte schließlich ebenfalls an brandschutztechnischen Vorschriften. Die langwierige und schließlich erfolglose Suche nach einem geeigneten Hersteller im Wärmeschutzglas-Segment bzw. der maßvolle Einsatz der zur Verfügung stehenden finanziellen Mitteln waren weitere Gründe für die Änderungen des Konzeptes. Aus all den vorher genannten Gründen resultierte dann der Entschluss, das Treppenhaus in Trockenbau auszubilden. Seitens des Brandschutzbeauftragten war keine andere Alternative zu realisieren. Allerdings wurden durch einzelne Glaselemente in der Trockenbaukonstruktion trotzdem interessante Durchblicke für die Besucher geschaffen: beispielsweise auf die historische Hängesäule und Treppe als auch ins Dachwerk.

Neben der Funktionalität und des Brandschutzes war dem Fraunhofer IBP genauso wie dem Bayerischen Landesamt für Denkmalpflege der ästhetische Ansatz im Sinne des gestalterischen Anspruchs innerhalb des Demonstrationsvorhabens äußerst wichtig. Die äußerst intensive Findungsphase für eine geeignete Lösung in Form eines Glasaufbaus als oberen Abschluss des Treppenauges und damit als thermische Abtrennung zwischen den stark unterschiedlichen Klimazonen im Dach- und Obergeschoss, als auch der Versuch einen geeigneter Partner zur Umsetzung der Konstruktion zu gewinnen, verursachten während der Projektlaufzeit weitere erhebliche Verzögerungen im Bauablauf, mit denen zu Beginn nicht zu rechnen waren.

#### **5.2.4 Doppelter Bodenaufbau im Bereich der Lüftungstechnik**

Durch eine zwischenzeitliche Konzeptänderung hinsichtlich der Verwirklichung eines doppelten Bodens hatten sich weitere, im Fördervertrag enthaltene Arbeiten (z. B. begehbare Glas im Dachgeschoss, Einhausung des Treppenaufgangs aus Glas) verzögert. Die geschlossene Bohlenlage im Dachgeschoss sollte als „Unterboden“ für den Aufbau eines doppelten Bodens dienen. Nach dem Einbau der Lüftungsanlage sollte dann die zweite Bodenebene eingezogen werden. Aus Gründen der Überwachung von Fehlstellen bei der Kanalführung und der Lüftungsanlage, die auf den Bohlen montiert wurde, sowie aus Gründen der Statik (zusätzliche Lasten, die auf den Dachstuhl wirken würden) und Gestaltung wurde auf einen zusätzlichen „doppelten“ Boden verzichtet. Im Sinne des Demonstrationscharakters aller durchgeführten Maßnahmen innerhalb der Sanierung der Alten Schäferei entschied sich das Fraunhofer IBP dazu, die Kanäle für Zu- und Abluft der Lüftungsanlage sowie alle technischen Details offen zu zeigen. Besuchern des Zentrums sollen somit die technischen Anforderungen zu Lüftungsanlagen in Bestandsgebäuden demonstriert werden können.

#### **5.3 Reparatur der Fenster mit energetischer Ertüchtigung in Verbindung mit der Innendämmung**

Für die Ertüchtigung der Fenster wurde im Rahmen des Projektes ein umfassendes Konzept entwickelt und zahlreiche Varianten betrachtet. Die Umsetzung der verschiedenen Lösungsansätze hinsichtlich einer energetischen Ertüchtigung konnten in der Projektlaufzeit nicht abschließend ausgeführt werden. Alle historischen Bestandsfenster wurden jedoch bereits durch einen Fensterrestaurator in Stand gesetzt und repariert. Grund hierfür waren die zeitlichen Verzögerungen bei parallel laufenden Projekten, die in Zusammenhang mit den adaptiven Fensterlösungen stehen. Der Einbau der Innendämmung war essentiell für weitere Arbeiten an den Bestandsfenstern, da die Laibungsdämmung notwendig für den Bauteilanschluss notwendig ist. Allerdings sind alle Vorarbeiten sowohl konstruktiv, als auch planerisch vollzogen, um die ausgewählten Fensterlösungen ab dem Frühjahr 2017 umsetzen zu können.

#### **5.4 Lüftungsanlage zur Erreichung eines Museumsklimas**

Das Kompakt-Klimagerät wurde eingebaut, um einen Teil der Wärme und der Feuchte aus der Raumluft rückzugewinnen und somit den Energieverbrauch für die Befeuchtung und die Beheizung des Ausstellungsraums zu senken. Die Lüftungsanlage dient somit in erster Linie der energieeffizienten Frischluftversorgung. Des Weiteren können Luftschadstoffe aus der Außenluft gefiltert werden. Die Befeuchtung wurde aus hygienischen Gründen nicht in der Lüftungsanlage realisiert und erfolgt nun dezentral über einen Ultraschall-Verdampfer im Raum.

#### **5.5 Messung und Demonstration**

Die umgesetzten Lösungen werden umfangreich messtechnisch dokumentiert und die Ergebnisse auf unterschiedlichen Fachtagungen und über Publikationen

verbreitet. Alle Aspekte wurden detailliert dokumentiert und sind vor Ort zu besichtigen. Die umgesetzten Maßnahmen dienen dabei immer wieder als Anregung für Gespräche und Diskussionen unter den Besuchern des Zentrums.

## 5.6 Zusammenarbeit mit Kooperationspartner

Die Zusammenarbeit mit dem Salesianer Don Boscos des Klosters Benediktbeuern als Kooperationspartner verlief von Anfang an sehr vertrauensvoll. Das Fraunhofer IBP unterstützte das Kloster bei der Antragsstellung und der Berichtserstellung. In Abstimmung mit dem Direktor des Klosters setzte das Fraunhofer IBP einen Großteil der baulichen Maßnahmen um. Die Projektpartner stimmten sich über wichtige Entscheidungen ab und kooperierten auch bei der Akzeptanz der öffentlichen Wirkung durch Einbindung des Fraunhofer-Zentrums Benediktbeuern auf der Homepage des Klosters etc.

## 6 Öffentlichkeitsarbeit

Seit Beginn der Nutzungsübernahme 2010 und der baulichen Tätigkeiten im August 2011 lebten die Wissenschaftler des Fraunhofer IBP das Konzept einer lebendigen „Gläsernen Baustelle“. Das Fraunhofer-Zentrum Benediktbeuern präsentierte sich und seine Förderer und Kooperationspartner auf unterschiedlichen Veranstaltungen und Messen. Regelmäßige Führungen über die Baustelle zeigten interessierten Laien und Fachleuten die jeweiligen Sanierungsschritte und bekamen Einblick in die Forschung in der Alten Schäfflerei.

Weitere Informationen zur Öffentlichkeitsarbeit im Rahmen des Fraunhofer-Zentrums Benediktbeuern sind im Anhang A.4 Zusammenstellung der Öffentlichkeitsarbeit 2010 – 2016 aufgeführt.

### 6.1 Veranstaltungen / Messeauftritte

Das Gebäude der Alten Schäfflerei im Kloster Benediktbeuern wurde am 1. August 2010 von den Salesianern Don Boscos dem Fraunhofer IBP zur Nutzung als Fraunhofer-Zentrum für energetische Altbausanierung und Denkmalpflege übergeben. Teil des **Festaktes am 29. Juli 2010** in Kloster Benediktbeuern war die Unterzeichnung des Nutzungsvertrages der Alten Schäfflerei zwischen den Salesianern Don Boscos und der Fraunhofer-Gesellschaft (Bild 104). Neben Herrn Prof. (Univ. Stellenbosch) Dr. Gossner (Vorstand Fraunhofer-Gesellschaft) und den beiden Institutsleitern des Fraunhofer IBP Herrn Prof. Dr. Hauser und Herrn Prof. Dr. Sedlbauer zählten Herr Staatsminister Dr. Heubisch (Bayerisches Staatsministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst), Frau LMRin Dr. Kratzer (Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit) und Herr Generalsekretär Dr. Brickwedde (Deutschen Bundesstiftung Umwelt) zu den Gästen.



Bild 104:

Prominente Gäste zum Festakt mit Unterzeichnung des Nutzungsvertrags: Dr. Brickwedde, Prof. (Univ. Stellenbosch) Dr. Gossner, Christine Milch, Prof. Dr. Sedlbauer, Dr. Britta von Rettberg, Staatsminister Dr. Heubisch, LMRin Dr. Kratzer, Prof. Dr. Hauser, Direktor des Klosters Benediktbeuern Pater Claudius Amann SDB.

Das Fraunhofer-Zentrum Benediktbeuern und seine ersten Projekte wurden während der gesamten Projektlaufzeit auf zahlreichen Tagungen und Veranstaltungen präsentiert. Im Rahmen dieser Vorträge stellten die Wissenschaftler des Fraunhofer IBP auch immer das Projekt „Modellhafte energetische Sanierung des Dach- und Obergeschosses der Alten Schäfllerei“, gefördert durch die Deutschen Bundesstiftung Umwelt DBU, vor.

Im Jahr 2010 wurde auf unterschiedlichen öffentlichen Veranstaltungen und Messen über das Vorhaben berichtet, wie beispielsweise beim **Tag des offenen Denkmals**, der „**denkmal 2010**“ in Leipzig, den **Münchner Wissenschaftstagen** und den **Salzburger Altbautagen**.

Im Jahr 2011 präsentierte das Fraunhofer IBP sein Fraunhofer-Zentrum Benediktbeuern sowie die dort angesiedelten Projekte auf der „**BAU München**“, bei der Vortragsreihe „**Denkmalpflege und Energieeffizienz**“ in der **TU München** (Lehrstuhl Bauphysik), der Veranstaltung „**Energy Management in Cultural Heritage**“ in Dubrovnik, einer Veranstaltung der Regierung von Oberbayern zu Energieeffizienz und Denkmalpflege „**Energetische Sanierung – Gut gestaltet**“ und dem „**19. Kongress städtebaulicher Denkmalschutz**“ in Quedlinburg.

Im Jahr 2012 stellte das Fraunhofer IBP sein Fraunhofer-Zentrum Benediktbeuern auf unterschiedlichen öffentlichen Veranstaltungen und Messen vor. Beispielsweise auf der ersten „**Monumento**“ in Salzburg (Januar 2012), bei der **Sonderschau Exempla der Internationalen Handwerksmesse in München** zum Thema Glas und „Energetische Ertüchtigung von Bestandsfenstern“ (März 2012) sowie bei Veranstaltungen wie dem „**3. Bioenergietag im Oberland**“ oder der

**GCTP-Fachtagung der Deutschen Bundesstiftung Umwelt** wurde auch über das Vorhaben „Modellhafte energetische Sanierung des Dach- und Obergeschosses der Alten Schächflerei“ informiert. Das Konzept des Zentrums mit den dort angesiedelten Forschungsvorhaben wurde auch Veranstaltungen vorgestellt, wie beispielsweise auf der **Woche der Umwelt** in Schloss Bellevue im Juni 2012, zu dem das Fraunhofer IBP mit seinem Fraunhofer-Zentrum Benediktbeuern eingeladen war. In diesem Rahmen wurden u. a. die DBU-geförderten Forschungsvorhaben gezeigt. Weitere Gelegenheiten zur Präsentation gab es am **Lernfest** in Kloster Benediktbeuern mit mehreren Tausend Besuchern (Juni 2012), dem **Seminar „Bauphysik und Denkmalpflege“**, das im Rahmen des Fort- und Weiterbildungsprogramms des Fraunhofer-Zentrums ebenfalls im Juni 2012 stattfand und der **Veranstaltung „Temperierung“** der Landesstelle für die nichtstaatlichen Museen in Bayern in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer IBP und dem Fraunhofer-Zentrum Benediktbeuern. Auf der **denkmal 2012 in Leipzig** war das Fraunhofer IBP mit seinem Zentrum auf einem Fraunhofer-Gemeinschaftsstand vertreten und konnte dort zusammen mit anderen Fraunhofer-Instituten ihre Arbeiten und Forschungsvorhaben auf dem Gebiet des „Kulturerbeerhalts“ präsentieren (Bild 105).



Bild 105:

Impressionen unseres Fraunhofer-Gemeinschaftsstandes auf der denkmal 2012 in Leipzig, auf dem das Fraunhofer IBP das Vorhaben in Kloster Benediktbeuern und seine Partner und Förderer präsentierte.

Ende November 2012 fand sich der **Fachbeirat** des Zentrums zur dritten Sitzung in den Räumen des Fraunhofer IBP ein, um über aktuelle Maßnahmen und geplante Projekte sowie die Ausrichtung des Zentrumskonzepts zu diskutieren.

Im Februar 2013 führte das Fraunhofer IBP ein Zusatz-**Seminar zu Bauphysik und Denkmalpflege** in Benediktbeuern durch, das wie auch beim vorigen Mal

auf reges Interesse stieß. Teil des Seminars war wiederum eine Führung durch die Gläserne Baustelle der Alten Schäfflerei. Präsenz zeigte das Fraunhofer IBP auch mit Mitarbeitern des Fraunhofer-Zentrums Benediktbeuern im April 2013 auf der **Hannover Messe** und informierte neben dem EU-Projekt EFFESUS auch über das Zentrum und seine Arbeit.

Das Fraunhofer IBP und fünf weitere Fraunhofer-Institute waren mit einem großen gemeinsamen Messestand im November 2014 auf der **denkmal 2014 in Leipzig** vertreten. Unter der Devise „Kulturelles Erbe – wirtschaftliche Chancen“ stellte das Fraunhofer IBP Holzkirchen innovative und neuartige Lösungen für die energetische Sanierung auf Gebäude- und Quartiersebene vor und präsentierte sich mit seinem Fraunhofer-Zentrum für energetische Altbausanierung und Denkmalpflege Benediktbeuern (Bild 106).

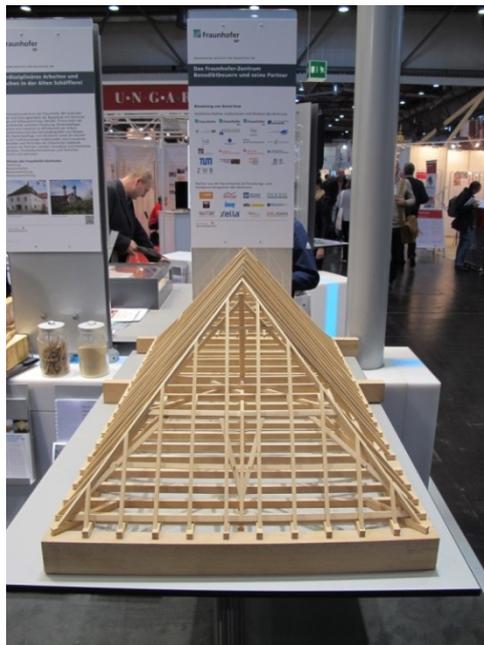


Bild 106:

Exponat des barocken Dachstuhls der Alten Schäfflerei als Studienarbeit der TU München, Fraunhofer-Gemeinschaftsstand auf der denkmal 2014 in Leipzig.

Das **sechste EFFESUS Projekttreffen** fand im Januar 2015 im Kloster Benediktbeuern statt. 42 Vertreter der 23 Partner aus ganz Europa diskutierten den aktuellen Stand des Projektes mit dem Thema der Erforschung von Energieeffizienz historischer Stadtquartiere. Ein Bestandteil des Treffens war neben dem EFFESUS Symposium auf der BAU 2015 im Januar auch eine ausführliche Führung durch die Alte Schäfflerei, welche eines der sieben "case studies" des EU-Projektes darstellt. Ein im Projekt entwickelter Innendämmputz wurde hier appliziert und konnte besichtigt werden. Zudem verschafften sich die Teilnehmer einen Überblick zu laufenden Forschungsvorhaben am Fraunhofer-Zentrum Benediktbeuern im Bereich der energetischen Sanierung (Bild 107, Bild 108).



Bild 107:  
EFFESUS Projekttreffen im Barocksaal des Klosters Benediktbeuern.

Im April 2015 war eine Veranstaltung **„Spannungsfeld Farbe und Sanierung in der Denkmalpflege“** der Firma Keim in Benediktbeuern anberaumt. Mitarbeiter des Fraunhofer IBP waren als Referenten zum Thema „Innendämmung / Energetische Sanierung in der Denkmalpflege“ beteiligt. Anschließend bot sich den ca. 100 Teilnehmern die Möglichkeit, die Alte Schäfllerei zu besichtigen und das Fraunhofer-Zentrum Benediktbeuern kennenzulernen. Die Firma Keim ist einer der Kooperationspartner des Fraunhofer-Zentrums Benediktbeuern.

Im Mai 2015 lud das Fraunhofer IBP zum **Zentrumsleitungsrat nach Benediktbeuern** ein, um über den aktuellen Baufortschritt, neueste Ergebnisse verschiedener Forschungsprojekte und neue Ansätze für die Kooperation im Rahmen des Fraunhofer-Zentrums vor Ort zu informieren. Das Treffen fand in einer erweiterten Runde mit Vertretern der Denkmalpflege und des WTA statt. Am Ende des internen Symposiums wurde die **Partnerschafts-Tafel im Eingangsbereich der Alten Schäfllerei feierlich enthüllt** (Bild 109). Hier finden sich nun alle Förderer der denkmalpflegerischen und energetischen Instandsetzung des Gebäudes sowie Industriepartner des Fraunhofer-Zentrums Benediktbeuern wieder. Auch die DBU als Förderer der Instandsetzungsmaßnahmen in der Alten Schäfllerei ist mit einem Logo auf der Partnertafel sichtbar.



Bild 108:  
Internes Symposium „Industriepartner-Forum“ im Kloster Benediktbeuern.



Bild 109:  
Feierliche Enthüllung der Partnerschafts-Tafel im Eingangsbereich der Alten Schäfllerei.

Im September 2015 öffnete das Fraunhofer-Zentrum Benediktbeuern wieder seine Pforten für die interessierte Öffentlichkeit. Mitarbeiter des Fraunhofer IBP führten die Besucher (insgesamt ca. 100 Teilnehmer) durch das Gebäude und erläuterten die aktuellen baulichen Maßnahmen sowie die laufenden Forschungs- und Förderprojekte. In einer kleinen Ausstellung mit Exponaten und Plakaten wurden nochmals Themen der energetischen Altbausanierung und Forschung z. B. zur Dämmung der obersten Geschossdecke etc. präsentiert (Bild 110, Bild 111).



Bild 110:  
Führung mit interessierten Besuchern  
beim Tag des offenen Denkmals.

Bild 111:  
Ausstellung mit Exponaten und Plaka-  
ten wird beim Tag des offenen Denk-  
mals von den Besuchern besichtigt.

Kurz vor der feierlichen Eröffnung des Fraunhofer-Zentrums Benediktbeuern prä-  
sentierte sich das Fraunhofer IBP im November 2016 mit seinem Vorhaben auf  
der **Denkmal 2016 in Leipzig**.

Nach Jahren intensiver Arbeit und Weiterentwicklung wurde das Fraunhofer-  
Zentrum für energetische Altbausanierung und Denkmalpflege Benediktbeuern  
am 17. und 18. November feierlich eröffnet (Bild 112, Bild 113). Bei einem  
**zweitägigen Symposium** wurde gemeinsam mit Fachleuten, Industriepartnern  
und Politikern sowie der allgemeinen Öffentlichkeit zum Thema »**Technologien  
für die Denkmalpflege**« informieren und diskutieren. Im Rahmen des **Festak-  
tes** am 18. November wurde das Fraunhofer-Zentrum Benediktbeuern dann zu-  
dem als eines der 100 besten Vorhaben unter dem Motto »**NachbarschaftIn-  
novation – Gemeinschaft als Erfolgsmodell**« im Wettbewerb »**Ausge-  
zeichnete Orte im Land der Ideen**« prämiert. Zur Bestätigung für das Konzept  
und die geleistete Arbeit erhielt das neu gestaltete Fraunhofer-Zentrum für  
energetische Altbausanierung und Denkmalpflege die Auszeichnung. Neben der  
Preisverleihung gab es viele interessante Vorträgen zu Baudenkmalpflege, Kli-  
mawandel und der Bedeutung historischer Gebäude, bei denen die Fördergeber  
mit Vorträgen das Programm bereicherten.



Bild 112:

Auszeichnung im Bundeswettbewerb »Deutschland -Land der Ideen«: Katharina Roth (Land der Ideen), Christoph Grießer (Deutsche Bank), Dipl. Ing. (FH) Christine Milch, Prof. Dr. Klaus Peter Sedlbauer und Prof. Dr.-Ing. Ralf Kilian (alle Fraunhofer IBP), Prof. Dr. Alfred Gossner (Vorstand der Fraunhofer-Gesellschaft) Prof. Dr. Gunnar Grün (Fraunhofer IBP), Pater Reinhard Gesing SDB (Direktor des Klosters Benediktbeuern).

Selbstverständlich durfte auch das zeremonielle Durchschneiden eines symbolischen roten Bandes zur offiziellen Eröffnung nicht fehlen. Im Anschluss brachten Führungen der Öffentlichkeit die Themen zur Altbausanierung näher und rundeten damit die gelungene Veranstaltung ab.



Bild 113:

Durchschneiden des symbolischen roten Bandes, v. links.: Dipl.-Ing. (FH) Christine Milch (Fraunhofer IBP), Dipl.-Ing.(FH) Martin Spaenle (Architekt), Generalkonservator Prof. Dipl.-Ing. Architekt Mathias Pfeil (Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege). hinten: Markus Kratz (Projektträger Jülich), vorne: Prof. (Univ. Stellenbosch) Dr. rer. pol. Alfred Gossner (Fraunhofer-Gesellschaft), Pater Reinhard Gesing SDB (Direktor des Klosters Benediktbeuern). Dr. Heinrich Botter-

mann (Generalsekretär der DBU/ Geschäftsführer des DBU Zentrums für Umweltkommunikation und der DBU Naturerbe GmbH), MDgtin Dr. Monika Kratzer (Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz), Annette Liebeskind (Deutsche Stiftung Denkmalschutz), Prof. Dr. Klaus Peter Sedlbauer (Fraunhofer IBP), Dipl.-Ing. Thomas H. Morszeck (Fraunhofer IRB), Prof. Dr.-Ing. Ralf Kilian (Fraunhofer IBP).

Mehr Informationen zur Eröffnungsveranstaltung:

[https://www.ibp.fraunhofer.de/de/Presse\\_und\\_Medien/Presseinformationen/pm\\_18112016\\_benediktbeuren.html](https://www.ibp.fraunhofer.de/de/Presse_und_Medien/Presseinformationen/pm_18112016_benediktbeuren.html)

## 6.2 Führungen durch das Fraunhofer-Zentrum Benediktbeuern

Neben allgemeinen Führungen über die Baustelle für unterschiedliche Zielgruppen, hatte die Alte Schäfllerei im September 2011 beim **Tag des offenen Denkmals** wieder der interessierten Öffentlichkeit seine Pforten geöffnet. Neben einer Ausstellung zum Zentrum im Allgemeinen wurde in diesem Jahr eine Baustellenführung mit dem aktuellen Thema „Dachinstandsetzung“ angeboten, bei der die Besucher über die Baustelle geführt wurden und sich über die ersten Sanierungsmaßnahmen direkt am Gebäude informieren konnten.

Im März 2012 wurde die zweite öffentliche **Baustellenführung über die „Gläserne Baustelle“** angeboten, bei der auch das Modellvorhaben der DBU präsentiert wurde. Um die 40 Personen nahmen an der Vorstellung des ersten Bauabschnitts, der Dachinstandsetzung, teil. Zum **Tag des offenen Denkmals** im September 2012 öffnet das Fraunhofer-Zentrum Benediktbeuern wieder seine Pforten und präsentiert der interessierten Öffentlichkeit die bisherigen baulichen Maßnahmen und die erfolgreiche Durchführung des ersten Bauabschnitts. Rund 200 interessierte Besucher fanden sich zu den Führungen und zur allgemeinen Besichtigung in der Alten Schäfllerei ein.



Bild 114:

Zahlreiche Besucher aus der Region informieren sich bei thematischen Führungen zu Fragen der Denkmalpflege und der energetischen Altbausanierung, wie hier am Tag des Offenen Denkmals im Jahr 2012.

Im Rahmen der Veranstaltung **„Temperierung – zum aktuellen Forschungsstand“** im November 2012 in Benediktbeuern wurden Führungen durch die Alte Schäferei mit Vorstellung der laufenden Bauarbeiten und Forschungsthemen sowie Förderer und Partner angeboten. Initiiert wurde die Veranstaltung von der Landesstelle für die nichtstaatlichen Museen in Bayern in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer IBP und den Universitäten München sowie Stuttgart.

Im Februar und Juli 2014 besichtigten die jeweils ca. 20 Teilnehmer des Lehrgangs **„Energieberater für Baudenkmale und erhaltenswerte Bausubstanz“** der **Bayerische Architektenkammer** die Alte Schäferei. Bei dieser Besichtigung konnten viele anregende Gespräche mit den Planern über die modellhaften Strategien der denkmalgerechten Instandsetzung geführt werden. Der zweite Block des Seminars fand jeweils im Kloster Benediktbeuern statt. Neben den Architekten waren April 2014 auch **Studenten der Universität Stuttgart** zu einem Rundgang eingeladen, bei dem die hier umgesetzten und geplanten Maßnahmen erläutert wurden. Mit dem **bayernweiten „Tag der Energie“** im Juli 2014 lud die Bayerische Ingenieurekammer-Bau Interessierte ein, herausragende Projekte zur Energieeinsparung und Energieeffizienz in den Regionen Bayerns zu besichtigen. Die Alte Schäferei beteiligte sich als eine von 34 Projekten mit einer Führung durch die „Gläserne Baustelle“ (Bild 114, Bild 115). Dabei erhielten die Teilnehmer Einblicke in die Forschung und Umsetzung energetischer Sanierungsmaßnahmen und erfuhren Wissenswertes zum Thema Energieeffizientes Bauen.



Bild 115:  
Führung durch die Alte Schäferei.

Im Jahr 2015 fanden wieder Führungen über die **„Gläserne Baustelle“** des Fraunhofer-Zentrums Benediktbeuern statt. Im April machten sich **Studenten der Universität Stuttgart** im Rahmen einer Exkursion zum Fraunhofer-Institut für Bauphysik Holzkirchen ebenfalls ein Bild vom aktuellen Stand der Baumaßnahmen und des Aufbaus des Zentrums in der Alten Schäferei Benediktbeuern.

Auch im Jahr 2016 nahm das Fraunhofer IBP mit seinem Fraunhofer-Zentrum Benediktbeuern am **Tag des offenen Denkmals** teil. Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des Fraunhofer IBP führten die Besucher durch die »Gläserne Baustelle«. Insgesamt 145 Interessierte besichtigten das Demonstrationszentrum in der Alten Schäfflerei.

Neben der Führung über die „**Gläsernen Baustelle**“ gab es zahlreiche Anfragen von Institutionen mit Bezug zur Energieeffizienz und Denkmalpflege, die eine Führung durch das Gebäude bzw. das Fraunhofer-Zentrum Benediktbeuern gebucht haben. Neben externen Ingenieur- und Fachplanungsbüros, waren Einrichtungen wie die Bürgerstiftung Energiewende Oberland, der AK Denkmalpflege der Hochschule Rosenheim, Studenten des Lehrstuhls Bauphysik Stuttgart etc. interessiert. Auch wurden die Alte Schäfflerei sowie die dort stattfindenden und geplanten Projekte mehrfach Fraunhofer-intern präsentiert. Zu nennen sind hier insbesondere die Vorstandsklausur des Fraunhofer-Vorstandes und eine Fraunhofer-Veranstaltung im Rahmen der Verabschiedung des Präsidenten Prof. Bullinger in Benediktbeuern.

### 6.3 Artikel in Fachzeitschriften und Filmbeiträge

Die Arbeiten und Forschungen am Zentrum erweckten auch reges Interesse bei der regionalen Tagespresse, u.a. Tölzer Kurier und Münchener Merkur aber auch überregionale wie SZ, Deutsches Handwerksblatt und Welt am Sonntag.

- „Forschen für die Denkmalpflege“, Deutsches Handwerksblatt, Verfasserin: Bettina Heimsoeth, Ausgabe der Handwerkskammer Düsseldorf, Nr. 7, 10. April 2014, Seite 11 und Ausgabe HWK Ostmecklenburg-Vorpommern, Nr. 6, 16. Juni 2014, Seite 50;
- „Respekt vor dem Erbe und den Ressourcen“, Immobilien-Teil der Süddeutschen Zeitung, Verfasser: Jochen Bettzieche, Jahr/Ausgabe: SZ, Nr. 155, Mittwoch, 9. Juli 2014

Über Forschung wurde v.a. in Fachmedien berichtet, wie in „Ausbau und Fassade“ oder „EnEV aktuell“, aber auch auf dem Internet-Radio Detektor FM. Ein Fernsehbeitrag entstand 2014 für das Magazin Stationen (Kirche und Welt) des Bayerischen Rundfunks. Auch bei der 3-teiligen Fernsehreihe „Joseph von Fraunhofer – Dunkle Linien im Sonnenlicht“ auf BR alpha, wurde das Zentrum vorgestellt. Zur Eröffnung des Fraunhofer-Zentrums Benediktbeuern im November 2016 wurde ein Image-Film durch die Abteilung Öffentlichkeitsarbeit der Fraunhofer-Gesellschaft gedreht (<https://www.fraunhofer.de/content/dam/zv/de/video/2016/fraunhofer-zentrum-benediktbeuern-1080p-h264-dt.mp4>).

## 6.4 Präsentation des Fördergebers bei Vorträgen

Bei Präsentationen auf Veranstaltungen oder Seminaren zeigten die Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen des Fraunhofer IBP bzw. des Fraunhofer-Zentrums Benediktbeuern gerne auch die beteiligten Fördergeber auf ihren Folien. Hier ist ein Beispiel aus dem Standard-Foliensatz des Fraunhofer-Zentrums Benediktbeuern abgebildet, die bei allen internen und externen Vorstellungen von Forschungsprojekten und Themen gezeigt werden.

### Inhaltliche Projektpartner und Förderer



Bild 116:  
Beispielfolie zur Präsentation der Fördergeber.

## 6.5 Präsentation des Fördergebers am Gebäude durch das Förderhinweisschild

Im Eingangsbereich des Fraunhofer-Zentrums Benediktbeuern wurde das Förderhinweisschild des Fördergebers Deutsche Bundesstiftung Umwelt für alle Besucher sichtbar angebracht.



Bild 117:  
Förderhinweisschild im Eingangsbereich des Fraunhofer-Zentrums Benediktbeuern.

## 7 Fazit

Die Alte Schäfllerei in Kloster Benediktbeuern konnte in vielen Bereichen so instandgesetzt werden wie es die anfänglichen Planungen vorgesehen hatten. Aspekte des Brandschutzes, der Denkmalverträglichkeit oder andere unvorhersehbare Umstände verhinderten einzelne Ideen zur Herangehensweise und bauliche Lösungsansätze und erforderten eine behutsame Anpassung der Maßnahmen. Diese führten aber meist nicht zu essentiellen Beeinträchtigungen hinsichtlich der gesamten Ausrichtung der baulichen Umsetzung bzw. der Demonstrationsfähigkeit des dort eingerichteten Fraunhofer-Zentrums für energetische Altbausanierung und Denkmalpflege. So wurde beispielsweise der ursprüngliche Ansatz, drei Varianten der Geschoßdeckendämmung zu realisieren aus baulichen wie auch aus ästhetischen Überlegungen heraus wieder verworfen und nur die Variante mit Zwischen-Balken-Dämmung realisiert. Aus bauphysikalischer Sicht ist diese Variante eher kritisch zu betrachten als die beiden anderen, da die Dachbalken sowohl im warmen wie auch im kalten Bereich liegen. Daher ist die-

ser Fall in Hinblick auf Monitoring der sicherlich relevanteste, aus dem man auch am meisten lernen kann.

Durch die Einbindung der Forschung und wissenschaftlichen Untersuchungen in unterschiedlichen Bereichen der baulichen Instandsetzungsarbeiten kam es immer wieder zu zeitlichen Verzögerungen im Ablauf der gesamten Baumaßnahme. Doch das Zusammenspiel von Bau und Forschung innerhalb der energetischen und denkmalgerechten Sanierung eines barocken Baudenkmals inmitten einer der ältesten Klosteranlagen Oberbayerns macht dieses Modellvorhaben nach wie vor zu einem besonderen Projekt mit großer Außenwirkung und interessanten Aspekten zu den Themen Altbausanierung, Denkmalpflege und Energieeffizienz.

Auch in Zukunft werden im Fraunhofer-Zentrum Benediktbeuern weiter Forschungsansätze verwirklicht werden und machen es daher zu einem Art „Lebendigem Modell einer Gebäudesanierung“. Gerade in Hinblick auf die Sicherung und Bewahrung national wertvoller Kulturgüter und historischer Kulturlandschaften plant das Fraunhofer IBP zukünftig weitere Ideen zu entwickeln, wie z. B. die energetische Ertüchtigung von schützenswerten Dachflächen hinsichtlich „Sammeln von Energie unter der Dachfläche“. Hierfür steht das Dachgeschoss des Nordbaus für die Umsetzung zur Verfügung. Auch die energetische Optimierung historischer Bodenaufbauten oder die Kombination von Innendämmung und Wandheizung sollen weitere Themen sein, die von den Wissenschaftlern des Fraunhofer IBP weiterentwickelt bzw. erforscht werden. Das Bewahren von Bauten in schützenswertem Umfeld ist ein essentielles Ziel des Fraunhofer IBP.

## A.1 Technischer Anhang zur Energetischen Ertüchtigung von Bestandsfenstern

Im Rahmen ihrer Masterthesis (Modul 9.3 ) im Studiengang Energie Effizienz Design E2D an der Hochschule Augsburg untersuchte Frau Stephanie Heinrich 2012 in ihrer Arbeit **Bestandsfenster der Alten Schäfflerei im Kloster Benediktbeuern - Potentiale energetischer Ertüchtigungen von Bestandsfenstern am Beispiel der Alten Schäfflerei im Kloster Benediktbeuern** eine Auswahl der Bestandsfenster des Obergeschosses der Alten Schäfflerei und simulierte unterschiedliche Ertüchtigungsvarianten.

Der Technische Anhang A.1 befindet sich aus Gründen des Seitenumfangs auf CD.

## A.2 Technischer Anhang zu Sanierungskonzepten für Bestandsfenster

Im Rahmen seiner Bachelorarbeit ***Bestandsanalyse und Ausarbeitung energetischer Sanierungsmaßnahmen denkmalgeschützter Fenster am Beispiel der Alten Schäferei im Kloster Benediktbeuern*** im Studiengang Innenausbau der Hochschule Rosenheim untersuchte Herr Johannes Widl 2014 eines der Bestandsfenster im Obergeschoss der Alten Schäferei als Referenzfenster und erarbeitete unterschiedliche Sanierungskonzepte hinsichtlich Energieeffizienz und Denkmalverträglichkeit.

Der Technische Anhang A.2 befindet sich aus Gründen des Seitenumfangs auf CD.

### A.3 Technischer Anhang zur Auswertung der Lüftungsanlage

Im Rahmen der Projektarbeit ***Auswertung der messtechnische Untersuchung der Lüftungsanlage im Kloster Benediktbeuern – Beurteilung der Wärme- und Feuchterückgewinnung und Bewertung des Raumklimas im Ausstellungsraum des Fraunhofer-Zentrums Benediktbeuern*** im Studiengang Environmental Engineering (M.Sc.) an der Technischen Universität München (TUM) analysierte Frau Michelle Österle 2016 die in der Alten Schäfllerei eingebaute Lüftungsanlage.

Der Technische Anhang A.3 befindet sich aus Gründen des Seitenumfangs auf CD.

#### A.4 Zusammenstellung der Öffentlichkeitsarbeit 2010 – 2016

Das Fraunhofer IBP präsentierte das Fraunhofer-Zentrum Benediktbeuern bereits seit Beginn der Nutzungsübernahme und der baulichen Maßnahmen als „Gläserne Baustelle“ und Demonstrationsvorhaben hinsichtlich Forschung und Vermittlung zum Thema Energieeffizienz in der Denkmalpflege. Die Öffentlichkeitsarbeit im Rahmen des Zentrums ist in dem Dokument **Öffentlichkeitsarbeit 2010 – 2016 – Fraunhofer-Zentrum für energetische Altbausanierung und Denkmalpflege Benediktbeuern des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik IBP** zusammengefasst.

## Literaturverzeichnis

- [1] GSCHWIND, O. *Dendrochronologische Baualtersbestimmung*, 2004.
- [2] SPAENLE, M. *Kloster Benediktbeuern Alte Schächflerei – Bericht zur Voruntersuchung*, 2010.
- [3] STEINBACH, U. *Tragwerksgutachten und Sanierungskonzept*, Grad Ingenieurplanungen GmbH, 2010.
- [4] SPAENLE, M. *Maßnahmenkonzept Instandsetzung*, 2010.
- [5] PAHLE, S., u.a. *Zur Baugeschichte Gebäude der ehemaligen Schächflerei und Wagnerei im Kloster Benediktbeuern*, Studienarbeit des Ergänzungsfachs „Angewandte Bauaufnahme“ am Lehrstuhl für Baugeschichte, historische Bauforschung und Denkmalpflege, Technische Universität München, 2010.
- [6] MILLER, J. von. *Bestandserfassung Drei Schleppegauben auf dem Dach der ehemaligen Schächflerei*, 2011.
- [7] MILCH, C., SCHINDLER, C. *Schadensdokumentation der Fenster der Alten Schächflerei für das Fraunhofer-Zentrum Benediktbeuern*, 2011.
- [8] HEINRICH, S. *Bestandsfenster der Alten Schächflerei im Kloster Benediktbeuern – Potentiale energetischer Ertüchtigungen von Bestandsfenstern am Beispiel der Alten Schächflerei im Kloster Benediktbeuern*, Masterthesis Modul 9.3 im Studiengang Energie Effizienz Design E2D. Hochschule Augsburg, 2012.
- [9] WIDL, J. *Bestandsanalyse und Ausarbeitung energetischer Sanierungsmaßnahmen denkmalgeschützter Fenster am Beispiel der Alten Schächflerei im Kloster Benediktbeuern*, Bachelorarbeit im Studiengang Innenausbau. Hochschule Rosenheim, 2014.
- [10] ÖSTERLE, M. *Auswertung der messtechnische Untersuchung der Lüftungsanlage im Kloster Benediktbeuern – Beurteilung der Wärme- und Feuchterückgewinnung und Bewertung des Raumklimas im Ausstellungsraum des Fraunhofer-Zentrums Benediktbeuern, Projektarbeit im Studienfach Environmental Engineering (M.Sc.)*. Technische Universität München (TUM), 2016.
- [11] GROSKINSKY, T., KRUS, M., THIEL, A. *Energetisches Bewertungsverfahren für Bestandsgebäude mit Holzbalkendecken EnOB – BEWERTUNGSVERFAHREN FÜR HOLZBALKENKÖPFE*, 2016.

## Bildverzeichnis

Bild 1: Konzept der Thermischen Hülle, Kopfbau und Nordbau der Alten Schäfflerei.	8
Bild 2: Nutzungskonzept Erdgeschoss, Alte Schäfflerei.	9
Bild 3: Nutzungs- und Ausstellungskonzept Obergeschoss, Alte Schäfflerei.	9
Bild 4: Nutzungs- und Ausstellungskonzept Dachgeschoss, Alte Schäfflerei.	9
Bild 5: Ablauf der Baumaßnahmen an der Alten Schäfflerei von 2010 bis 2016.	11
Bild 6: Querschnitt durch das Dachwerk des Kopfbaus, Grad Ingenieurplanungen.	12
Bild 7: Hölzerne Winde im Dachraum des Kopfbaus, Foto: Uwe Gaasch.	13
Bild 8: Dachwerk des Kopfbaus mit Andreaskreuzen (liegender Stuhl), Ansicht Nord.	13
Bild 9: Abgedeckter Dachstuhl des Kopfbaus unter dem Schutzdach, Foto: Uwe Gaasch.	14
Bild 10: Schutzeinhausung im Bereich des Kopfbaus mit Baukran.	14
Bild 11: Schemadetail Dachfuß, Architekturbüro Spaenle.	15
Bild 12: Dachgeschoss des Kopfbaus mit neuen Hölzern zur Längs- und Queraussteifung.	16
Bild 13: Balkenköpfe der Zerrbalkenebene mit diagonalem Zugeisen.	16
Bild 14: Querschnittsgleiche Überblattungen an der Sparrenoberseite.	16
Bild 15: Neuanfertigung der Aufschieblinge und Verschalung des unteren Traufbereichs.	16
Bild 16: Fäulnisschäden am Fußpunkt des westlichen Gratsparrens und der Mauerlatte.	17
Bild 17: Schäden an eingemauerter Mauerlatte.	17
Bild 18: Überblattung des Balkenkopfs und Verzapfung des Sparrenfußpunktes.	17
Bild 19: Neue Mauerlatte aus zweilagigem Eichenholz auf einem Elastomerauflager.	17

Bild 20: Dachrinne aus Kupfer mit Lochblech, Kopfbau.	18
Bild 21: Saier an der Nordwestecke des Kopfbaus.	18
Bild 22: Blitzableiter und Blitzschutzklammern in der Gratzone des Kopfbaus.	19
Bild 23: Blitzableiter und Kaminabschluss, Nordbau der Alten Schöfflerei.	19
Bild 24: Schnittzeichnung von Gaube Ost (idealisiert), Johannes von Miller.	20
Bild 25: Bauzeitliche Schleppgaube im Süden der Alten Schöfflerei.	20
Bild 26: Rohkonstruktion der südlichen Gauben, Kopfbau.	20
Bild 27: Rekonstruktion der Schleppgauben und neueingedecktes Dach mit originalen Kirchenbibern, Kopfbau der Alten Schöfflerei.	20
Bild 28: Originale Ziegeleindeckung und Lattung, Kopfbau der Alten Schöfflerei.	21
Bild 29: Lattung aus Edelstahl-Hohlprofilen, zur Vermeidung eines möglichen Brandüberschlags zwischen Kopfbau und Südbau.	21
Bild 30: Kombination von originalen Kirchenbibern und nachgebranntem Ziegelmaterial, Kopfbau.	21
Bild 31: Kehle zwischen Kopfbau mit originalen Kirchenbibern und Südbau mit nachgebrannten Dachziegeln.	21
Bild 32: Orientierungsplan Dämmmaterialien in der obersten Geschossdecke.	22
Bild 33: Detail Deckenanschluss der Innendämmung an die oberste Geschossdecke OG – DG.	23
Bild 34: Aufbau der obersten Geschossdecke (Trockenbau, doppelt beplankt), Deckenuntersicht, Obergeschoss Kopfbau.	24
Bild 35: Fertiggestellte Decke im Obergeschoss Kopfbau mit bereits installierten Lüftungsrohren.	24
Bild 36: Einbau der unterschiedlichen Materialien als Zwischenbalkendämmung im Dachgeschoss Kopfbau.	24
Bild 37: Installieren der Messsensoren für Temperatur, Feuchte und Wärmestrom im Deckenprofil unterhalb der Dämmung.	25
Bild 38: Provisorische Klappe als Deckel der Treppenöffnung ins Dachgeschoss.	25
Bild 39: Holzunterkonstruktion des oberen Treppenhausabschlusses im Dachgeschoss des Kopfbaus.	26

Bild 40: Fertigstellung des oberen Treppenhausabschlusses mit doppelter Gipskarton-Beplankung.	27
Bild 41: Anschlussarbeiten im Laibungsbereich mit unterschiedlichen Dämmmaterialien, hier Schilfrohr.	28
Bild 42: Holz-Einfachfenster als Referenzfenster für Untersuchungen zur energetischen Ertüchtigung von Bestandsfenstern.	30
Bild 43: Leckagen am Blendrahmen, Innenansicht eines Beispielfensters im Obergeschoss des Kopfbaus.	30
Bild 44: Der Ausschnitt einer Thermografieaufnahme des Referenzfensters zeigt eine bestehende Leckage am unteren Blendrahmen, für deren Ursache ein undichter Baukörperanschluss verantwortlich ist; aus [9].	30
Bild 45: Wärmebrücken-Berechnungen am Bestand – Stationäre Betrachtung; aus [9].	31
Bild 46: Fragestellungen beim denkmalgerechten und technisch korrekt ausgeführten Bauteilanschluss.	33
Bild 47: Konzept zu unterschiedlichen Ausführungen der energetischen Ertüchtigung von Bestandsfenstern im Obergeschoss des Kopfbaus.	34
Bild 48: Stahlkonstruktion zur akustischen Entkopplung der Lüftungsanlage vom Dielenboden des Dachgeschosses.	36
Bild 49: Blick ins Dachgeschoss mit der installierten Lüftungsanlage.	37
Bild 50: Klimagerät im Dachgeschoss zur Regulierung des Klimas im Obergeschoss der Alten Schäfllerei zwischen vorhandenen Kaminschächten positioniert.	37
Bild 51: Kanalführung im Dachgeschoss mit Durchführung ins darunterliegende Geschoss. In diesem Bereich musste nachgebessert werden, um die Kanäle möglichst nah im Bodenbereich zu verziehen (Bild vom Vorzustand).	38
Bild 52: Nachgebesserte Kanalführung Zuluft ins Obergeschoss.	38
Bild 53: Befeuchter im Obergeschoss des Kopfbaus.	39
Bild 54: Abluft Kanäle im Obergeschoss.	39
Bild 55: Lüftungsanlage im Dachgeschoss des Kopfbaus.	40
Bild 56: Übersicht der verbauten Dämmungen in der Zerrbalkendecke.	41
Bild 57: Messachse mit einzelnen Sensoren im Querschnitt des Deckenaufbaus.	41

Bild 58: Abgehängter Kombisensor im Westen auf der zweiten Kehlbalkenebene.	42
Bild 59: Einbau der Messsensorik im Bereich der gedämmten Zerrbalkenebene.	43
Bild 60: Wärmeflusssscheibe auf der Dämmebene fixiert.	43
Bild 61: Innen- und Außenklima in Stundenmittel- und gleitenden Monatsmittelwerten im Messzeitraum von 1.12.2014 bis 1.12.2016.	44
Bild 62: Wärmestrom und Temperaturen in der Messachse der Perliteschüttung im Messzeitraum von 1.12.2014 bis 1.12.2016 in gleitenden Monatsmittelwerten.	45
Bild 63: Relative Feuchte in Grenzschicht 2 der Perliteschüttung sowie des Innen- und Außenklimas im Messzeitraum von 1.12.2014 bis 1.12.2016 in gleitenden Monatsmittelwerten.	45
Bild 64: Absolute Feuchte in Grenzschicht 2 der Perliteschüttung sowie des Innen- und Außenklimas im Messzeitraum von 1.12.2014 bis 1.12.2016 in gleitenden Monatsmittelwerten.	46
Bild 65: Temperatur und Taupunkttemperatur in Grenzschicht 2 der Perliteschüttung im Messzeitraum von 1.12.2014 bis 1.12.2016 in gleitenden Monatsmittelwerten.	46
Bild 66: Wärmestrom und Temperaturen in der Messachse der Zelluloseeinblasdämmung im Messzeitraum von 1.12.2014 bis 1.12.2016 in gleitenden Monatsmittelwerten.	47
Bild 67: Relative Feuchte in Grenzschicht 2 der Zelluloseeinblasdämmung sowie des Innen- und Außenklimas im Messzeitraum von 1.12.2014 bis 1.12.2016 in gleitenden Monatsmittelwerten.	47
Bild 68: Absolute Feuchte in Grenzschicht 2 der Zelluloseeinblasdämmung sowie des Innen- und Außenklimas im Messzeitraum von 1.12.2014 bis 1.12.2016 in gleitenden Monatsmittelwerten.	48
Bild 69: Temperatur und Taupunkttemperatur in Grenzschicht 2 der Zelluloseeinblasdämmung im Messzeitraum von 1.12.2014 bis 1.12.2016 in gleitenden Monatsmittelwerten.	48
Bild 70: Wärmestrom und Temperaturen in der Messachse der Hanfdämmung im Messzeitraum von 1.12.2014 bis 1.12.2016 in gleitenden Monatsmittelwerten.	49
Bild 71: Relative Feuchte in Grenzschicht 2 der Hanfdämmung sowie des Innen- und Außenklimas im Messzeitraum von 1.12.2014 bis 1.12.2016 in gleitenden Monatsmittelwerten.	49

Bild 72: Absolute Feuchte in Grenzschicht 2 der Hanfdämmung sowie des Innen- und Außenklimas im Messzeitraum von 1.12.2014 bis 1.12.2016 in gleitenden Monatsmittelwerten.	50
Bild 73: Temperatur und Taupunkttemperatur in Grenzschicht 2 der Hanfdämmung im Messzeitraum von 1.12.2014 bis 1.12.2016 in gleitenden Monatsmittelwerten.	50
Bild 74: Wärmestrom und Temperaturen in der Messachse der Kokosdämmung im Messzeitraum von 1.12.2014 bis 1.12.2016 in gleitenden Monatsmittelwerten.	51
Bild 75: Relative Feuchte in Grenzschicht 2 der Kokosdämmung sowie des Innen- und Außenklimas im Messzeitraum von 1.12.2014 bis 1.12.2016 in gleitenden Monatsmittelwerten.	51
Bild 76: Absolute Feuchte in Grenzschicht 2 der Kokosdämmung sowie des Innen- und Außenklimas im Messzeitraum von 1.12.2014 bis 1.12.2016 in gleitenden Monatsmittelwerten.	52
Bild 77: Temperatur und Taupunkttemperatur in Grenzschicht 2 der Kokosdämmung im Messzeitraum von 1.12.2014 bis 1.12.2016 in gleitenden Monatsmittelwerten.	52
Bild 78: Wärmestrom und Temperaturen in der Messachse der Mineralwollgedämmung im Messzeitraum von 1.12.2014 bis 1.12.2016 in gleitenden Monatsmittelwerten.	53
Bild 79: Relative Feuchte in Grenzschicht 2 der Mineralwollgedämmung sowie des Innen- und Außenklimas im Messzeitraum von 1.12.2014 bis 1.12.2016 in gleitenden Monatsmittelwerten.	53
Bild 80: Absolute Feuchte in Grenzschicht 2 der Mineralwollgedämmung sowie des Innen- und Außenklimas im Messzeitraum von 1.12.2014 bis 1.12.2016 in gleitenden Monatsmittelwerten.	54
Bild 81: Temperatur und Taupunkttemperatur in Grenzschicht 2 der Mineralwollgedämmung im Messzeitraum von 1.12.2014 bis 1.12.2016 in gleitenden Monatsmittelwerten.	54
Bild 82: Wärmestrom und Temperaturen in der Messachse der Holzfaserdämmung im Messzeitraum von 1.12.2014 bis 1.12.2016 in gleitenden Monatsmittelwerten.	55
Bild 83: Relative Feuchte in Grenzschicht 2 der Holzfaserdämmung sowie des Innen- und Außenklimas im Messzeitraum von 1.12.2014 bis 1.12.2016 in gleitenden Monatsmittelwerten.	55
Bild 84: Absolute Feuchte in Grenzschicht 2 der Holzfaserdämmung sowie des Innen- und Außenklimas im Messzeitraum von 1.12.2014 bis 1.12.2016 in gleitenden Monatsmittelwerten.	56

Bild 85: Temperatur und Taupunkttemperatur in Grenzschicht 2 der Holzfaserdämmung im Messzeitraum von 1.12.2014 bis 1.12.2016 in gleitenden Monatsmittelwerten.	56
Bild 86: Wärmeströme in Grenzschicht 2 aller untersuchten Dämmungen im Messzeitraum von 1.12.2014 bis 1.12.2016 in gleitenden Monatsmittelwerten.	57
Bild 87: Relative Feuchte in Grenzschicht 2 aller untersuchten Dämmungen im Messzeitraum von 1.12.2014 bis 1.12.2016 in gleitenden Monatsmittelwerten.	57
Bild 88: Innen- und Außenklima in Stundenmittel- und gleitenden Monatsmittelwerten im Messzeitraum von 1.11.2015 bis 1.5.2016.	59
Bild 89: Temperatur und Taupunkttemperatur in Grenzschicht 2 der Perliteschüttung im Messzeitraum von 1.11.2015 bis 1.5.2016 in gleitenden Monatsmittelwerten.	59
Bild 90: Temperatur und Taupunkttemperatur in Grenzschicht 2 der Zelluloseeinblasdämmung im Messzeitraum von 1.11.2015 bis 1.5.2016 in gleitenden Monatsmittelwerten.	60
Bild 91: Temperatur und Taupunkttemperatur in Grenzschicht 2 der Hanfdämmung im Messzeitraum von 1.11.2015 bis 1.5.2016 in gleitenden Monatsmittelwerten.	60
Bild 92: Temperatur und Taupunkttemperatur in Grenzschicht 2 der Kokosdämmung im Messzeitraum von 1.11.2015 bis 1.5.2016 in gleitenden Monatsmittelwerten. Mineralwolle.	61
Bild 93: Temperatur und Taupunkttemperatur in Grenzschicht 2 der Mineralwollendämmung im Messzeitraum von 1.11.2015 bis 1.5.2016 in gleitenden Monatsmittelwerten.	61
Bild 94: Temperatur und Taupunkttemperatur in Grenzschicht 2 der Holzfaserdämmung im Messzeitraum von 1.11.2015 bis 1.5.2016 in gleitenden Monatsmittelwerten.	62
Bild 95: Wärmeströme in Grenzschicht 2 aller untersuchten Dämmungen im Messzeitraum von 1.11.2015 bis 1.5.2016 in gleitenden Monatsmittelwerten.	62
Bild 96: Relative Feuchte in Grenzschicht 2 aller untersuchten Dämmungen im Messzeitraum von 1.11.2015 bis 1.5.2016 in gleitenden Monatsmittelwerten.	63
Bild 97: Absolute Feuchte in Grenzschicht 2 aller untersuchten Dämmungen im Messzeitraum von 1.11.2015 bis 1.5.2016 in gleitenden Monatsmittelwerten.	63
Bild 98: Ansicht der Balkenköpfe auf der Südseite mit seitlich angebrachten Messschrauben zur Ermittlung der Holzfeuchten im	

oberflächennahen Bereich und im Balkenkopfkern, an neu sanierten und an alten unsanierten Balkenköpfen.	64
Bild 99: Verlauf der an den Dachbalken im Kopfbau auf der Südseite gemessenen Holzfeuchten für einen Zeitraum von etwas mehr als drei Jahren.	65
Bild 100: Verlauf der an den Dachbalken im Kopfbau auf der Westseite gemessenen Holzfeuchten für einen Zeitraum von etwas mehr als drei Jahren.	65
Bild 101: Beispiel: Schnitt zur energetischen Fensterertüchtigung mit zusätzlichen Komponenten.	66
Bild 102: Beispiel: Schnitt zur energetischen Fensterertüchtigung mit Dämmung der Fensterleibung.	66
Bild 103: Favorisierte Variante einer Glaseinhausung über der bauzeitlichen Treppe.	71
Bild 104: Prominente Gäste zum Festakt mit Unterzeichnung des Nutzungsvertrags: Dr. Brickwedde, Prof. (Univ. Stellenbosch) Dr. Gossner, Christine Milch, Prof. Dr. Sedlbauer, Dr. Britta von Rettberg, Staatsminister Dr. Heubisch, LMRin Dr. Kratzer, Prof. Dr. Hauser, Direktor des Klosters Benediktbeuern Pater Claudius Amann SDB.	74
Bild 105: Impressionen unseres Fraunhofer-Gemeinschaftsstandes auf der denkmal 2012 in Leipzig, auf dem das Fraunhofer IBP das Vorhaben in Kloster Benediktbeuern und seine Partner und Förderer präsentierte.	75
Bild 106: Exponat des barocken Dachstuhls der Alten Schöfflerei als Studienarbeit der TU München, Fraunhofer-Gemeinschaftsstand auf der denkmal 2014 in Leipzig.	76
Bild 107: EFFESUS Projekttreffen im Barocksaal des Klosters Benediktbeuern.	77
Bild 108: Internes Symposium „Industriepartner-Forum“ im Kloster Benediktbeuern.	78
Bild 109: Feierliche Enthüllung der Partnerschafts-Tafel im Eingangsbereich der Alten Schöfflerei.	78
Bild 110: Führung mit interessierten Besuchern beim Tag des offenen Denkmals.	79
Bild 111: Ausstellung mit Exponaten und Plakaten wird beim Tag des offenen Denkmals von den Besuchern besichtigt.	79
Bild 112: Auszeichnung im Bundeswettbewerb »Deutschland -Land der Ideen«: Katharina Roth (Land der Ideen), Christoph Grießer (Deutsche Bank), Dipl. Ing. (FH) Christine Milch, Prof. Dr. Klaus	

Peter Sedlbauer und Prof. Dr.-Ing. Ralf Kilian (alle Fraunhofer IBP), Prof. Dr. Alfred Gossner (Vorstand der Fraunhofer-Gesellschaft) Prof. Dr. Gunnar Grün (Fraunhofer IBP), Pater Reinhard Gesing SDB (Direktor des Klosters Benediktbeuern).	80
Bild 113: Durchschneiden des symbolischen roten Bandes, v. links.: Dipl.-Ing. (FH) Christine Milch (Fraunhofer IBP), Dipl.-Ing.(FH) Martin Spaenle (Architekt), Generalkonservator Prof. Dipl.-Ing. Architekt Mathias Pfeil (Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege). hinten: Markus Kratz (Projektträge Jülich), vorne: Prof. (Univ. Stellenbosch) Dr. rer. pol. Alfred Gossner (Fraunhofer-Gesellschaft), Pater Reinhard Gesing SDB (Direktor des Klosters Benediktbeuern). Dr. Heinrich Bottermann (Generalsekretär der DBU/ Geschäftsführer des DBU Zentrums für Umweltkommunikation und der DBU Naturerbe GmbH), MDgtin Dr. Monika Kratzer (Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz), Annette Liebeskind (Deutsche Stiftung Denkmalschutz), Prof. Dr. Klaus Peter Sedlbauer (Fraunhofer IBP), Dipl.-Ing. Thomas H. Morszeck (Fraunhofer IRB), Prof. Dr.-Ing. Ralf Kilian (Fraunhofer IBP).	80
Bild 114: Zahlreiche Besucher aus der Region informieren sich bei thematischen Führungen zu Fragen der Denkmalpflege und der energetischen Altbausanierung, wie hier am Tag des Offenen Denkmals im Jahr 2012.	81
Bild 115: Führung durch die Alte Schäferei.	82
Bild 116: Beispielfolie zur Präsentation der Fördergeber.	84
Bild 117: Förderhinweisschild im Eingangsbereich des Fraunhofer-Zentrums Benediktbeuern.	85

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Mögliche Sanierungskonzepte für das Referenzfenster im Obergeschoss der Alten Schäfflerei; aus [9].	32
--	----