

# Kultureller Wiedergewinn und energetische Sanierung - Faktor 10 im denkmalgeschützten Altbau

Dipl. Ing. Alexandra Troi\*, Dr. Arch. Manuel Benedikter\*\*,

\* EURAC Research, \*\* Studio Architekt Manuel Benedikter

\* Drususallee 1, \*\* Dr.-Streiter-Gasse 24, 39100 Bozen, Italien

\* Tel.: +39 0471 0553-30, Fax: -39, \*\* Tel: +39 0471 05070-7, Fax:-8

\*alexandra.troi@eurac.edu,\*\* info@benedikter.biz

\*www.eurac.edu, \*\*www.benedikter.biz

## 1. Hintergrund und Motivation

Die energetische Sanierung des gebauten Erbes stellt die große Herausforderung der Zukunft dar und ist der Bereich mit dem größten Einsparpotential von Energie und CO<sub>2</sub>-Emissionen, wie u.a. vom 4. IPCC-Report [1] bestätigt wird. Dies ist Hintergrund und Motivation für die Sanierung eines Flügels des Ansitzes „Kofler“ in Bozen: Bauherr Hans Glauber ist seit Jahrzehnten für den Klimaschutz aktiv und möchte als Präsident des Ökoinstitutes in Bozen auch persönlich ein Zeichen setzen, indem er seine denkmalgeschützte Wohnung energetisch vorbildlich saniert.

## 2. Historischer Bestand

Das Haupthaus des Ansitzes wurde im Jahre 1749 erbaut und hatte 1769 Wolfgang Amadeus Mozart zu Gast. Gegenstand der Sanierung ist die ehemalige Orangerie, welche etwas später als das Haupthaus entstanden ist. Um 1925 wurde die



Abbildung 1: Die Orangerie vor 1925

Orangerie in einen Wohntrakt umgewandelt; die Fenster wurden verkleinert und Innenwände eingezogen, sodass im langen schmalen Flügel eine Serie von aneinander gereihten Räumen mit zentraler Erschließung entstanden war, eine so genannte Enfilade. Der gesamte Gebäudekomplex steht unter Denkmalschutz.

### 3. Zustand vor Sanierung

Der Energieverbrauch der Wohnung vor der Sanierung errechnet sich nach [2] zu stattlichen 450 kWh/(m<sup>2</sup>a). Die Ursache liegt zum einen bei den Natursteinmauern mit einem U-Wert von 2,1 bis 2,6 W/(m<sup>2</sup>K), trotz ihrer beachtlichen Stärke von 50 bis 70 cm, sowie bei den Kastenfenstern mit Einscheibenverglasungen aus den 30er Jahren und einem U-Wert von ca. 3,0 W/(m<sup>2</sup>K).

Zum anderen verschlechtert nicht zuletzt auch das extrem ungünstige Verhältnis von Oberfläche und Volumen des langen und schmalen Objektes, welches noch dazu bis zu ca. zwei Dritteln mit einer Terrasse zum Außenbereich abschließt, den ohnehin schon hohen Energieverbrauch.



**Abbildung 2: Zustand vor Sanierung**

### 4. Ziel der Sanierung

Ziel der Umbauarbeiten war u.a. die Wiedergewinnung der ursprünglichen architektonischen Gestalt für Wohnzwecke, im Einvernehmen mit dem Denkmalamt. Durch den Rückbau der Öffnungen in der Westfassade sollte die Dimension der Fensterflächen in Anlehnung an die ehemalige Orangerie wiederhergestellt werden.

Gleichzeitig sollte eine energetische Komplettisanierung den Energiebedarf auf den eines Niedrigenergiehauses senken: Das ambitionierte Ziel war es, einen Energieverbrauch von unter 30 kWh/m<sup>2</sup>a und damit KlimaHaus A - Standard [2] zu erreichen.

Die Auflagen des Denkmalschutzes, die energetisch extrem ungünstige Form und die Ost-West-Ausrichtung des Gebäudes mit eher geringen Solargewinnen, sowie die Erhaltung der üppigen Jasminranken an der Westfassade und der Weinreben am (auf ausdrücklichen Wunsch des Bauherren) stellten bei der Planung und Ausführung der Sanierungsarbeiten eine besondere Herausforderungen dar.



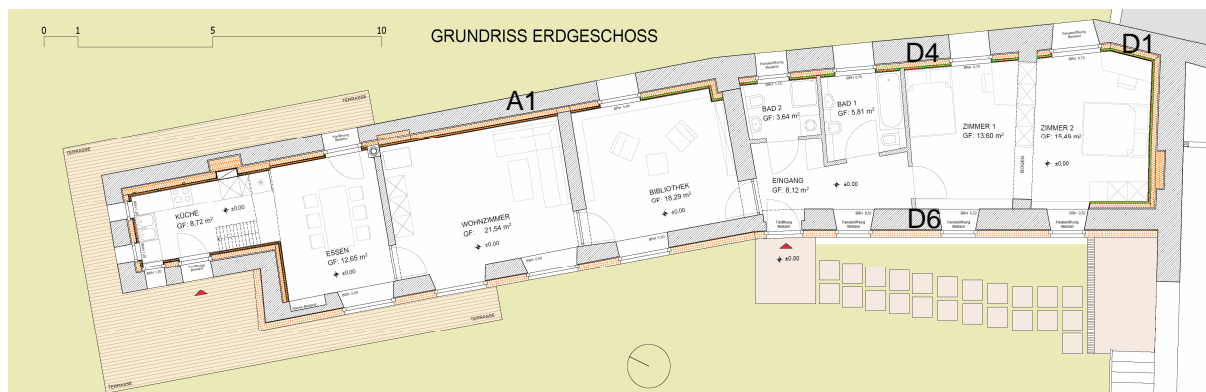
**Abbildung 3: Der Jasmin, aber auch das historische Geländer sollten auf jeden Fall erhalten bleiben.**

## 5. Maßnahmen - Gebäudehülle

### 5.1 Isolierung der Gebäudehülle

Aufgrund der Anforderungen des Denkmalschutzes und der Kostenentwicklung wurden mehrere Konzepte für eine optimale thermische Isolierung des Gebäudes untersucht. Das Erscheinungsbild der Ostfassade musste erhalten bleiben, weshalb das Gebäude in diesem Bereich nur von innen gedämmt werden konnte. Für die Nord- und Westfassaden war hingegen auch Außendämmsystem möglich.

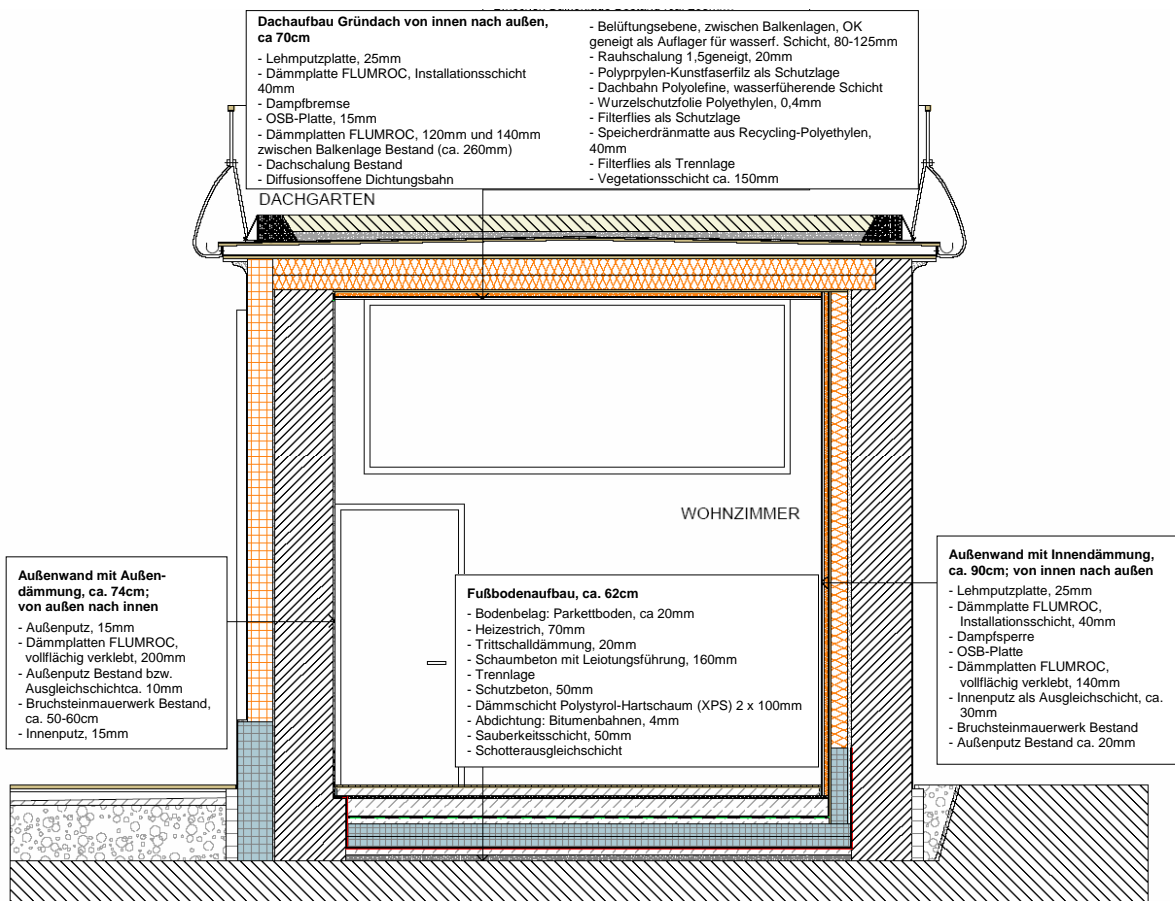
Im ersten Ansatz war für den gesamten Gebäudeteil ein Innendämmsystem mit Vakuum-Paneelen (VIP) angedacht. Diese höchst effiziente und platzsparende Variante wurde aber aus Kostengründen wieder verworfen. Im nächsten Ansatz wurde eine Mischung aus Innen- und Außendämmung geplant. Dies hatte den Vorteil, dass mehr Speichermasse innerhalb der warmen Hülle des Gebäudes zur Verfügung stand. Anfangs wurde auch hier mit einer VIP-Innendämmung das thermische Verhalten der Hülle simuliert. Nach einer detaillierten Kostenschätzung wurde eine dritte und letzte Umplanung notwendig: um die Kosten weiter zu senken, verzichtete der Bauherr auf ein VIP-System und nahm den Platzverlust in Kauf.



**Abbildung 4: Grundriss des sanierten Flügels mit Dämmung. Die Buchstabencodes bezeichnen Messstellen (siehe Abschnitt 7)**

Die thermische Isolierung an der gesamten Ost- und Nordfassade wurde als Innendämmung mit der Steinwolle FLUMROC ausgeführt. Im Bereich der Westfassade – in welcher die alten Öffnungen wieder hergestellt wurden - konnte außen gedämmt werden. Dank eines Laubenganges im Obergeschoss, welcher eine optische Trennung zum Erdgeschoss des Gebäudes bildet, ist es an dieser Fassade

möglich, einen ästhetisch einwandfreien Übergang zur bestehenden Fassade im noch nicht sanierten Obergeschoss zu erreichen. Breite Überlappungsbereiche der Innen- mit der Außendämmung verhindern Wärmebrücken im Bereich des Wechsels der Dämmebenen. In den Schlafzimmern wurden Holzweichfaser- anstelle von Steinwolleplatten als Innendämmung eingesetzt. Auf diese Weise kann das eventuell unterschiedliche Verhalten der zwei Materialien messtechnisch untersucht werden.



**Abbildung 5: Aufbau der vier typischen Isoliervarianten im Schnitt**

**Tabelle 1: Erreichte U-Werte der vier typischen Isoliervarianten**

	Innendämmung	Außendämmung	Decke zur Terrasse	Fußbodenaufbau
U-Wert (W/m²K)	0.17	0.16	0.17	0.17

Das bestehende Gründach wurde bis auf die Sparren (16x26 cm) abgetragen und der Zwischensparrenbereich mit 26 cm Steinwolle satt ausgedämmt. Die gesamte Konstruktion des neuen Dachaufbaus wurde diffusionsoffen ausgebildet. Die eigentliche wasserführende Schicht unter dem Gründach liegt über der Hinterlüftungsebene des Flachdaches.

Der Boden wurde bis auf die Unterkante der Fundamente ausgehoben, gegen aufsteigende Feuchtigkeit horizontal und vertikal entlang der Wände isoliert und mit 20 cm expandiertem Polystyrol gedämmt.

## 5.2 Luftdichte und Dampfdichte

Um Bauschäden an der Innendämmung auszuschließen und die höchste Effizienz der kontrollierten Lüftung zu gewährleisten, wurden alle Anschlussdetails im Sinne einer optimalen Luftdichtigkeit entwickelt und ausgeführt. Der durchgeführte Blower-Door Test nach DIN EN 13829, Verfahren B, bestätigt den Erfolg mit einem Ergebnis von  $n_{50}=0,66$  /h.

Der historische, unter Denkmalschutz stehende Kachelofen wurde in seine Einzelteile zerlegt und erhält selbstverständlich eine raumluftunabhängige, sowie luftdicht abschließbare Frischluftzufuhr.

Im Bereich der Innendämmung wurde vor der 140mm starken Dämmebene raumseitig eine Aluminium-Dampfsperre ( $s_d \geq 100$ ) angebracht, welche im Anschlussbereich mit der Dampfbremse ( $s_d=2,0$ ) der diffusionsoffen ausgeführten Decke überlappt und verklebt wurde.

Die gesamte Elektro- und Hydraulikinstallation wurde raumseitig in einer eigenen Installationsschicht innerhalb der thermischen Hülle geführt. Es gibt keine Durchdringungen und Verletzungen der Dampfsperre. Um dies zu überprüfen – und eventuelle Leckagen in der Dampfsperre auffindig zu machen und beheben zu können – wurde ein erster Luftdichtigkeitstest nach der Rohinstallation und vor Anbringung der Innenbeplankung durchgeführt

## 5.3 Anschluss Innen- und Außenwand

Die Wärmebrücken im Anschlussbereich zwischen Innenwänden und Außenwänden konnten in den meisten Fällen vermieden werden, indem die Bauteile (durch Sägeschnitten) thermisch voneinander getrennt wurden und somit die Innendämmung ungehindert entlang der Außenwand durchgezogen werden konnte. An nur zwei



**Abbildung 5: thermisch getrennte Innenwand**

Stellen war diese Vorgehensweise aus statischen Gründen nicht möglich: bei dem Bogen im Schlafbereich und bei der tragenden Innenwand, auf der eine Außenwand des Obergeschosses liegt.

#### 5.4 Fenster

Bei der Montage der Fenster wurden aufgrund der zwei unterschiedlichen Dämmsysteme zwei Einbau-Lösungen entwickelt, die zur Ausführung kamen. In beiden Fällen sind die Fenster jeweils in der Dämmebene positioniert worden.

Im Fall der Innendämmung wurde zunächst ein Blindstock montiert, dann die Dämmschicht angebracht und diese anschließend mit einer OSB-Trägerplatte beplankt. Die OSB-Platten bilden gleichzeitig eine ebene Fläche, auf welcher die Elektro- und Hydraulik- Installationen vorgenommen werden konnten. Die Dampfsperre wurde vorher fachgerecht mit einer Lattung und darunterliegenden Dichtungsbändern auf die OSB-Platte montiert. Die Aluminiumdampfsperre wurde mit dem Blindstock verklebt. Der Blindstock wurde mit einem doppelten Stufenfalz ausgebildet, um das Abdichten der Fuge zwischen Fenster und Blindstock mit zwei umlaufenden Komtribändern zu ermöglichen.

Im Fall der Außendämmung wurde der Blindstock auf der Außenseite der Wand vor der jeweiligen Fensteröffnung montiert und über Stahlwinkel an der Natursteinmauer befestigt. Anschließend wurden die Fugen zwischen Mauerwerk und Blindstock mit Klebeband abgedichtet, bevor die Fensterleibungen und Innenwände verputzt werden konnten. Nach dem Spachteln der 20 cm starken Außendämmung konnten die Fenster in Position gebracht und eingesetzt werden. Auch hier gewährleisteten 2 umlaufende Dichtungsbänder die Luftdichtheit des Anschlusses zwischen Fensterflügel und Fensterrahmen.

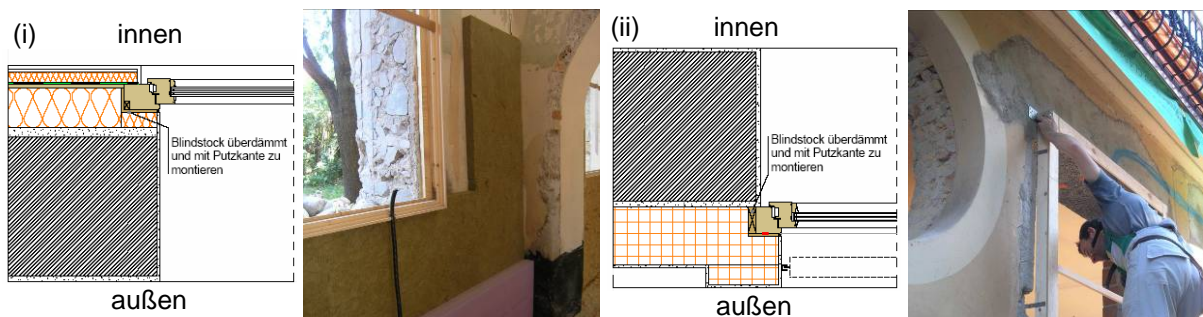


Abbildung 6: Details zum Einbau der Fenster bei (i) Innendämmung und (ii) Außendämmung

## **6. Maßnahmen - Energiesystem**

Die kontrollierte Lüftung ist mit einer zentralen Wärmerückgewinnung und einem direkt durchströmten Erdreichwärmetauscher zur Vorwärmung der Zuluft im Winter bzw. Kühlung derselben im Sommer ausgestattet. Sie garantiert nicht nur eine konstant hohe Luftqualität, sondern spart gleichzeitig 4300 kWh/a an Heizenergie (bei einem Lüftungsstrom von 220 m<sup>3</sup>/h), was 30 kWh/(m<sup>2</sup>a) entspricht.

Alle Räume werden über eine Niedertemperatur-Fußbodenheizung beheizt, Raumthermostate steuern die acht Heizkreise. Sowohl die Raumheizung als auch die Brauchwasser-versorgung sind an das Heizsystem des Haupthauses angeschlossen, welches zeitgleich mit der Sanierung des Wohnflügels von Erdgas auf Holzpellets umgestellt wurde, sodass der gesamte Komplex klimaneutral wird.

In der Planung war zusätzlich eine solare Brauchwassererwärmung angedacht. Sie konnte aber aufgrund der Vorgaben der Denkmalpflege nicht umgesetzt werden. Dennoch wurden die nötigen Anschlüsse vorgesehen, um später die Solaranlage gegebenenfalls leichter integrieren zu können.

## **7. Monitoring und Simulation**

Sowohl das aktive Energiesystem des Objektes als auch das hygrothermische Verhalten der unterschiedlichen Dämm Lösungen, speziell der potentiellen Problemstellen, werden monitoriert und wissenschaftlich ausgewertet. Die Informationen von 70 eingebauten Sensoren werden im Laufe der nächsten Jahre erlauben, die gewählten Lösungen zu evaluieren und verifizierte Erfahrung weiterzugeben.

### **7.1 Monitoring des aktiven Energiesystems**

Der technische Energiebedarf des Gebäudes wird mit Hilfe von je zwei Wärme- und Stromzählern gemessen: Sie erfassen den Heizenergieverbrauch, den elektrischen Verbrauch der Heiz- und Zirkulationspumpen im Heizraum, den elektrischen Verbrauch der Technikzelle mit Lüftungsgerät und Regelung und die Wärmeverluste der Brauchwasserzirkulation - durch den Einbau zusätzlicher Temperatursensoren, getrennt nach Verlusten von der Heizzentrale bis zur Wohnung und innerhalb der Gebäudehülle.

Die Wohnung verfügt über eine kontrollierte Lüftung mit Wärmerückgewinnung und einen von der Zuluft direkt durchströmtem Erdreichwärmetauscher. Jeweils vor und nach dem Erdreichwärmetauscher werden Temperatur und Feuchtigkeit der Frischluft gemessen. Das ermöglicht neben der Bestimmung der Vorwärm- bzw. Vor-kühlleistung die Erfassung einer potentiellen Entfeuchtung der Luft im Sommer durch Kondensation im Erdreichwärmetauscher. Des Weiteren werden die Temperatur und Feuchtigkeit der Zuluft sowie die Temperatur der Fortluft aufgezeichnet, sodass die Funktion der Wärmerückgewinnung bewertet werden kann.

Eine Wetterstation mit Temperatur- und Feuchtigkeitsfühler, Windgeber und Einstrahlungssensor ergänzt die Installation. Alle Messdaten werden im 10-Minuten-Intervall zentral gespeichert und regelmäßig an den EURAC-Server übertragen.

## 7.2 Monitoring und Simulation des hygrothermischen Verhaltens der unterschiedlichen Dämmlösungen

Das Monitoring des passiven Systems verfolgt in erster Linie das Ziel, das hygrothermische Verhalten der gewählten Dämmsysteme zu überprüfen, insbesondere an den schon während der Planung erkannten potentiellen Problemstellen: Für diese waren vom Planungsbüro „Felderer & Klammsteiner Ingenieure“ Temperatur- und Feuchteverteilung berechnet worden.

An vier Stellen werden in Form eines Profils über den Wandquerschnitt Temperatur und Feuchtigkeit in mehreren Tiefen gemessen, sowie der Wärmestrom erfasst.

**Tabelle 1: Aufbau der Profilmessstellen**

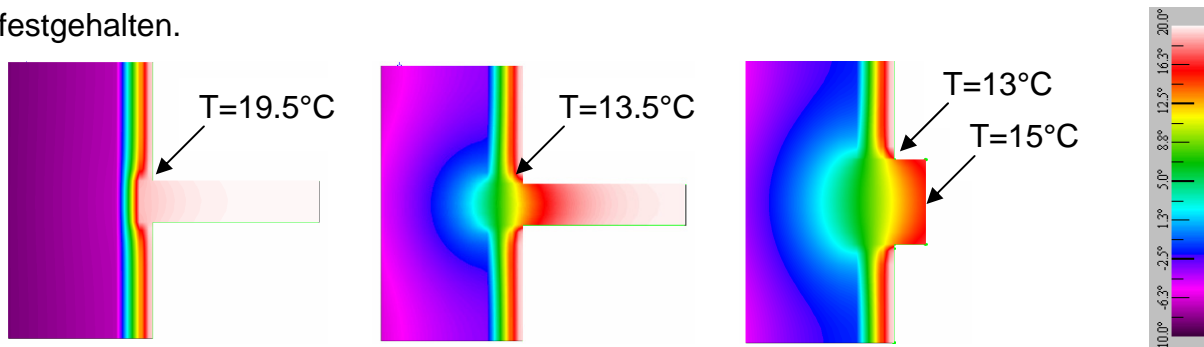
Sensoren		Beschreibung	Messstelle
innen		Profil Innendämmung	A1
		Profil Außendämmung	D6
		Reduziertes Profil Innendämmung	D1, D4
<ul style="list-style-type: none"> <li>● Temperatur</li> <li>○ Temperatur und Feuchtigkeit</li> <li>■ Naturstein</li> <li>■ Dämm-Material</li> <li>▬ Wärmeflussmessplatte</li> <li>▬ Dampfsperre</li> <li>□ Gips/OSB-Platte</li> </ul>			

Die Beobachtung des hygrischen Verhaltens kann mit genügender Genauigkeit über die Messung der relativen Feuchtigkeit der Luft erfolgen. Da die Luftfeuchtigkeit im durch den Sensor entstehenden Luftraum mit der Materialfeuchte der Umgebung im



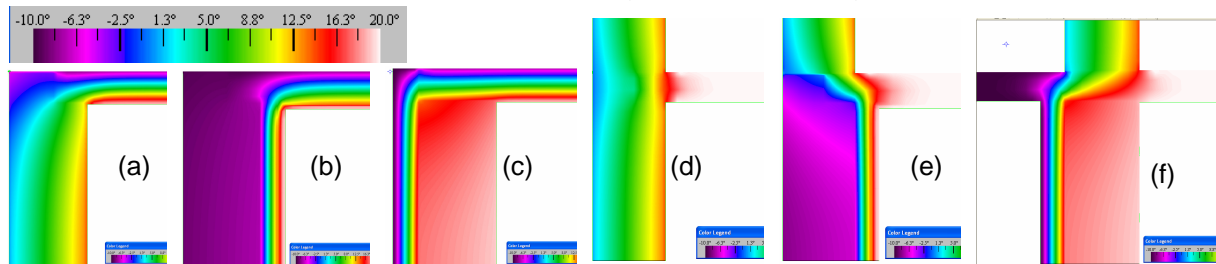
Gleichgewicht steht, kann über die Sorptionsisotherme des Materials auf letztere zurückgerechnet werden.

Neben diesen Wandprofilen werden drei Innenwandeinbindungen (eine davon hinterdämmt, die andere nicht) vergleichend untersucht, indem jeweils die Temperaturen an der raumseitigen Kante und am Übergang Dämmung-Außenmauer gemessen werden. Am einbindenden Bogen wird die Temperatur der raumseitigen Oberfläche sowie die Temperatur zum (nicht mehr genutzten) Kamin hin festgehalten.



**Abbildung 8: zweidimensionale Wärmestromberechnung (Therm5.2) der Innwandeinbindung; Temperatur in °C bei Innwandeinbindung (a) thermisch getrennt, (b) nicht thermisch getrennt, (c) Bogen**

Außerdem werden Temperatur und Feuchtigkeit in den Balkenköpfen an drei Stellen aufgenommen: (i) Decke zu Terrasse, Innendämmung, (ii) Decke zu Terrasse, Außendämmung, (iii) Decke zu beheiztem Obergeschoß, Innendämmung. Beim Balkonanschluss werden die Temperatur an der raumseitigen Deckenkante und Außenkante sowie Temperatur und Feuchtigkeit im Balken gemessen.



**Abbildung 9: zweidimensionale Wärmestromberechnung (Therm 5.2) der Balkenköpfe – Temperaturen in °C; unter Terrasse (a) ohne Dämmung, (b) mit Innendämmung, (c) mit Außendämmung; unter Obergeschoß (d) ohne Dämmung, (e) mit Innendämmung (f) bei Balkon. Ergänzend zum Monitoring wird das hygrothermische Verhalten mit Delphin simuliert werden. Das so entwickelte Modell kann u.a. dazu dienen, die Messerfahrung auf nicht monitorierte Bereiche zu extrapolieren.**

## 8. Fazit

Das Ziel – Klimahaus A mit Heizenergiebedarf kleiner 30 kWh/(m<sup>2</sup>a) [2] – wurde erreicht. Die Botschaft: Selbst unter extrem ungünstigen Bedingungen (Gebäudeform, Ausrichtung, Denkmalschutz) ist eine energetische Sanierung bei Wahrung, ja sogar teilweiser



Wiedergewinnung des ästhetisch-kulturellen Erbes möglich. Das Projekt zeigt einmal mehr, dass die energetische Sanierung alter Bausubstanz bei entsprechend detaillierter Planung nicht nur einen Beitrag für die Umwelt leistet, sondern auch zum Erhalt unserer Kulturlandschaft beiträgt

**Abbildung 10: Kurz vor der Fertigstellung**

## 9. Forschungsprojekt und Partner

Beim wissenschaftliche Monitoring des Gebäudes arbeiten EURAC Research, das Studio Architekt Manuel Benedikter, das Ingenieurbüro Felderer-Klammsteiner und Bauherr Hans Glauber eng zusammen.

## 10. Literatur

[1] [www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch)

[2] [www.klimahausagentur.it](http://www.klimahausagentur.it)

## 11. Summary

At “Ansitz Kofler”, a listed building in Bolzano dating from the 1750s, the old Orangery, which had been transformed into a housing unit in 1925, was refurbished – both aesthetically towards the historic roots and energetically towards a low energy building: Applying a very efficient insulation (internal and external – meeting the preservation of monuments’ demands), windows with passive house standard, a ventilation with heat recovery, and avoiding thermal bridges with sophisticated solutions, the heating demand could be lowered from more than 450 kWh/(m<sup>2</sup>a) to less than 30 kWh/m<sup>2</sup>a). The building is now being monitored scientifically with the aim to provide validated experience for the refurbishment of our cultural heritage.