

# Umfassende energetische Modernisierung einer denkmalgeschützten Villa am Comer See

Dr.Ing. Oscar Stuffer – Solarraum GmbH

Goethestrasse 32, 39100 Bozen (I), Tel: +39 0471 707064, ostuffer@solarraum.it

Alexandra Troi – EURAC

Drususallee 1, 39100 Bozen (I), Tel: +39 0471 055600, alexandra.troi@eurac.edu

Valentina Cari architetto

Via XX Settembre, 8, 23822 BELLANO (I) Tel: +39.0341.821602, tiacari000@gmail.com

## 1 Ausgangslage und Rahmenbedingungen

Die am Comer See gelegene Villa Castelli ist seit ungefähr 140 Jahren im Besitz der Bauherrenfamilie. Diese hat sich entschieden, das historische Gebäude einer grundlegenden energetisch zu sanieren ohne dabei denkmalpflegerische Belange zu vernachlässigen.

Das Gebäude stammt aus dem Jahr 1849 und erfuhr im Laufe seines Bestehens, vor allem in den Jahren 1910, 1925 und 1939, verschiedene Umbau- und Erweiterungsarbeiten. Das architektonische Planungskonzept hat vorsätzlich den Weg verfolgt, die vorhandenen Raumfunktionen zu erhalten und zusätzlich die oft widersprüchliche schrittweise Erweiterung der Räume des ursprünglichen Gebäudes miteinander zu verbinden.

Die Investition konzentrierte sich auf die energetischen Maßnahmen, allerdings wurde auch Wert darauf gelegt, die dekorativen Elemente im innen und außen wiederherzustellen. Die Bauherren sind sich der langen Amortisationszeiten durchaus bewusst, sie hatten ein waches Auge sowohl auf die Sanierungs- als auch die zukünftigen Betriebskosten und legten Wert auf den optimalen Einsatz der heute verfügbaren Materialien und Technologien.



**ECKWERTE GEBÄUDE** 3 Geschosse, BGF 680 m<sup>2</sup> (NGF 564 m<sup>2</sup>), Volumen 2600 m<sup>3</sup>, O/V-Verhältnis 0.49, Oberfläche opak 1'273 m<sup>2</sup>, transparent 86 m<sup>2</sup>.

**KENNWERTE KLIMA** 2383 HGT, mittlere Außentemperatur in der Heizperiode +8°C; im Sommer starke Winde; höchste Monatsdurchschnittstemperatur +27°C

Abbildung 1: Bild und Kennwerte (Gebäude und Klima)

## 2 Umsetzung

### 2.1 Bestandsaufnahme und Projektbeschreibung

Da die Villa Castelli in mehreren Phasen gebaut und erweitert wurde, war es besonders wichtig, den Bestand genau zu erfassen. Bereits in einer früh in der Planung wurden vor Ort Bauteile und deren Aufbauten erörtert, um dann mit größtmöglicher Genauigkeit und Sicherheit in die energetische Berechnung und die Ausführungs- und Detailplanung zu gehen.

Die ältesten tragenden Wände des Gebäudes bestehen aus lokalem Gestein (Stärke 42 und 62cm). Die erste Erweiterung wurde mit Vollziegeln errichtet, die daran anschließenden mit Lochziegeln und teilweise Beton. Die Decken wurden je nach Bauphase als Holzbalkendecken und Hohlsteindecken errichtet, in der Veranda aus Stahlträgern mit Betonguss als Deckenplatte. Das Dach hatte eine primäre (Pfetten) und sekundäre (Sparren) Tragstruktur mit Rauhschalung und darauf direkt aufgelegten Mönch-und-Nonne-Ziegeln.

Die Fassade wurde nach den Vorgaben des Amtes für Denkmalschutz vollkommen restauriert. Für eine einwandfreie Funktion der Innendämmung wurde darauf geachtet, dass jegliche Fugen und Risse verschlossen wurden. Um das Gebäude statisch zu konsolidieren wurde in bestimmten Bereichen die bestehenden Decken entfernt und durch Holzverbunddecken mit Betonguss ersetzt, die die Lasten besser verteilen und das Gebäude an sich aussteifen. Das Dach wurde vollkommen erneuert.

### 2.2 Energetisches Konzept

Zu Planungsbeginn wurden die Ziele mit dem Bauherren wie folgt definiert:

- Rundumsanierung mit Schwerpunkt Energieeffizienz
- Minimierung des Energiebedarfs des gesamten Gebäudes
- Deckung des Restenergiebedarfs erneuerbar und vor Ort
- Energieautonomie auf Jahresbasis
- Klar definierte Budget

①	Transmissionswärmeverluste (Denkmalschutz!)	Innendämmung mit konsequent durchgeplanten Details
②	Lüftungsverluste reduzieren	Einbau einer Komfortlüftung
③	Steigerung solarer Gewinne	Richtige Auswahl der Gläser
④	Vorgaben Amt für Denkmalschutz „Möbel“- Fenster	Hohe Anzahl verschiedener Einbausituationen (Detailplanung & FEM-Simulation)
⑤	Klimatische Bedingungen	luftdichten Gebäudehülle

**Tabelle 1 Lösung der größten Herausforderungen an das Projekt**

In der Sanierungsstrategie wurde besonderes Augenmerk auf die Innendämmung gelegt (Produkte, Stärken, Feuchteverhalten, Knotenpunkte, siehe auch 2.3). Das Dach wurde mit

14 cm Zellulose zwischen den Sparren und 10 cm Holzfaser + 8 cm Steinwolle (Brandschutz unter der PV-Anlage) als auf den Sparren gedämmt. Die bestehenden Fenster wurde mit neuen, den Vorgaben entsprechenden ersetzt ( $U_f=1,11 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,  $U_g= 0,70 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,  $g=0,58 - 0,60$ ). Gegen das Erdreich wurde mit 20 cm XPS gedämmt. Damit (und mit der kontrollierten Lüftung) wurde der HWB über 90% reduziert, und gleichzeitig – was für die Bauherren noch wesentlicher ist – der Komfort über das gesamte Jahr maßgeblich gesteigert.

## 2.3 Ausführungs- und Detailplanung

Auf der Bestandsaufnahme aufbauend wurden die einzelnen Bauteile und Knotenpunkte analysiert und in einem integralen Planungsprozess Lösungen erarbeitet, welche sowohl Energieeffizienz als auch Wärmebrücken, das feuchtetechnisch korrekte Verhalten, architektonische Aspekte und statische Vorgaben (Erdbebensicherheit!) mit einbezogen.

Die kritischen Punkte bei der Ausführungsplanung wie bei der Ausführung der Bauarbeiten, waren sicher die hohe Anzahl von verschiedenen Knoten (ca. 30 Stk.). Um die Ausführung möglichst zu vereinfachen, beschränkte sich die Planung auf 2 Innendämmstärken (20 cm Perlite und 8 cm Aerogel wo geometrisch erforderlich). Für beide Innendämmungen wurde der Feuchtetransport simuliert (WUFI). Zudem wurden alle Knoten mit besonderem Augenmerk auf Luftdichtheit, Dampfdiffusion und Konvektion konstruktiv durchgeplant.

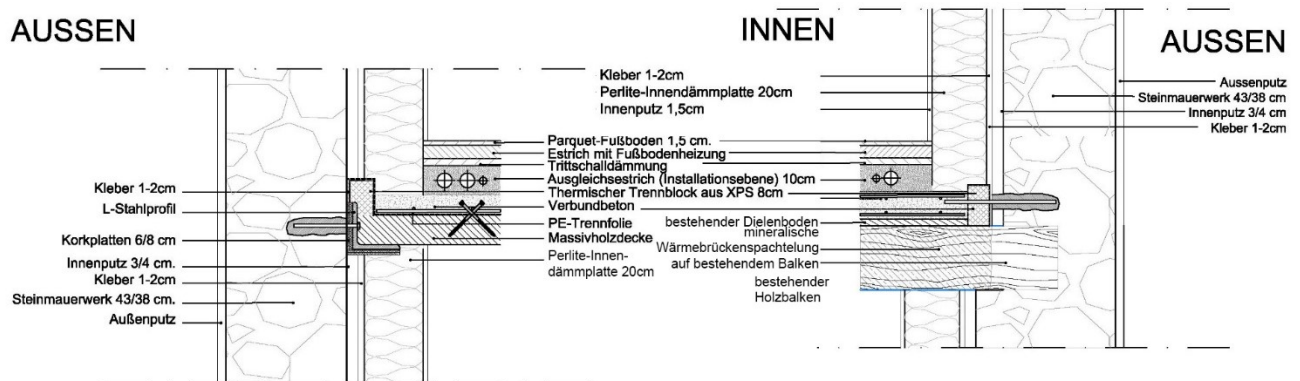


Abbildung 2: Zwischendeckenaufleger auf Außenwand mit statischer Konsolidierung (links) und Balkenkopf auf Außenwand (rechts)

## 2.4 Anlagentechnik

Die ursprüngliche „Anlage“ bestand aus verschiedenen Kachelöfen, im Zuge der letzten Erweiterung wurde ein Öl-Brenner für Brauchwarmwasser und Heizkörper eingebaut.

Im sanierten Zustand reduzieren drei Komfortlüftungen (jeweils eine pro Geschöß,  $480 \text{ m}^3/\text{h}$  je Gerät,  $WRG=87\%$  lt PHI,  $\text{Stromeffizienz}=0,32 \text{ Wh/m}^3$ ) die Lüftungswärmeverluste und gewährleisten die Lufthygiene (primär  $\text{CO}_2$ -Konzentration, Raumluftfeuchte). Wärme, Kälte und Warmwasser stellt eine Wärmepumpe mit Tiefensonden bereit. Verteilt werden Wärme und Kälte über den Fußboden – bei der Kühlung geht es also mehr um Komfortverbesserung

(Softcooling) denn um echte Klimatisierung sodass Kondensat im Bodenaufbau vermieden wird. Elektrischer Energie wird mit der in der Dacheindeckung integrierten und von außen nicht erkennbaren PV-Anlage (doppelt gekräuselter Aluminiumblecheindeckung samt integrierten monokristallinen PV-Modulen ) produziert und mit Micro-Windturbinen am Dach.

## 2.5 Hygrothermische Simulationen

Die Berechnung des Wärme- und Feuchtetransports mit dynamischen Simulationsprogrammen wie z.B. DELPHIN erlaubt es, das Feuchte-Verhalten eines Konstruktionsdetails unter den real zu erwartenden Klimabedingungen zu bewerten. Außerdem können Feuchtespeicherung und kapillarer Flüssigwassertransport, feuchteabhängige Materialeigenschaften und Phasenumwandlung berücksichtigt werden. Dies bedeutet, dass manche Konstruktionen, welche nach EN 13788 ausgeschlossen werden müssten, sich bei der Berücksichtigung von Feuchtespeicherung und Kapillartransport doch als tauglich erweisen. Außerdem helfen die 2D Simulationen, Schwachstellen zu identifizieren und zu entschärfen.

Der Begrenzung des *Inneren Kondensats* (beim Monatsbilanzverfahren) entspricht die Analyse der *Kondensations- und Trocknungszyklen*, der Bewertung von Tauwasser und Schimmelrisiko mit dem Temperaturfaktor  $f_{RSI}$  die Auswertung von *Temperatur und Feuchtigkeit auf der Innenwandoberfläche* im Zeitverlauf, bzw. bei relativen Feuchtigkeiten über 75% im Isoplethediagramm (siehe Abb xx). Neben der 1D-Berechnung des Wandaufbaus (siehe 3.2), wurden insbesondere zwei Details auch 2D simuliert: Die Balkenköpfe und das Anschlussdetail mit auf einem Metallprofil aufliegender Holzdecke (Abb 2).

## 2.6 Monitoring der Energieeffizienz und des Innenraumklimas

Die Energiebilanz des Gebäudes wird mit dem Wärmemengenzähler direkt am Wärmeerzeuger zusammen mit dem Stromverbrauch der Pumpen und der Energieproduktion der dachintegrierten integrierten Photovoltaikanlage und der Windturbine erstellt.

Das mikroklimatische Monitoring sieht die Erfassung der Temperatur, der relativen Feuchte, des Beleuchtungsgrades und der CO<sub>2</sub>-Konzentration vor. Diese Daten bilden den wesentlichen Teil des „Diagnose-Kits“ für ein historisches Gebäude, da sie einen direkten Einfluss auf die Erhaltung der Konstruktion und auf die Nutzerbehaglichkeit haben. Außerdem werden zur bauphysikalischen Überwachung an acht als potentiell kritisch eingestuften Anschlussdetails je 7 Sensoren Temperatur- und Feuchteprofile messen. Damit können die Ergebnisse der (hygrothermischen) Simulationen im realen Langzeittest bewertet werden.

# 3 Ergebnisse

## 3.1 Energieeffizienz

Der HWB wurde von 248 kWh/m<sup>2</sup>a auf 18 kWh/m<sup>2</sup>a reduziert, was einer Einsparung von über 90% entspricht. Der Kühlbedarf hingegen erhöht sich durch die Entkoppelung der Masse der Außenwände durch die Innendämmung von 8,4 kWh/m<sup>2</sup>a auf 11,5 kWh/m<sup>2</sup>a.

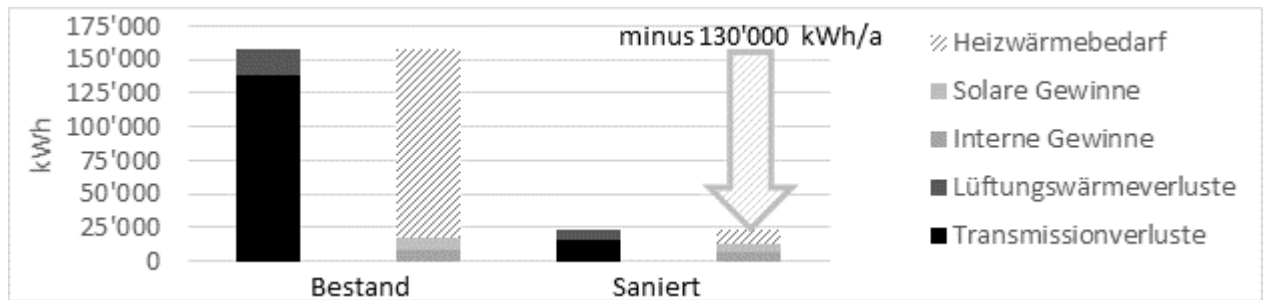


Abbildung 3: Energiebilanz – Bestand und sanierter Zustand

## 3.2 Bauteilverhalten

Die Jahreszyklen der Wasserbilanz des sanierten Bauteils unterscheiden sich nur gering von jener des Bestandes. Beide pendeln sich innerhalb von 2-3 Jahreszyklen ein, wobei sich die über den Winter im Bauteil angehäuften Feuchtigkeit, im darauf folgenden Sommer wieder komplett austrocknet. Einzig das Mittel der Wasserbilanz - über die Jahre betrachtet - erhöht sich geringfügig von  $3,5 \text{ kg/m}^2$  auf  $4,5 \text{ kg/m}^2$  (Wandaufbau mit Aerogel:  $5,5 \text{ kg/m}^2$ ). Der Wassergehalt der Perlitedämmung pendelt sich genauso wie die Wasserbilanz des gesamten Aufbaues innerhalb von 2-3 Jahreszyklen ein. Der maximale Wassergehalt übersteigt ab dem 3. Jahreszyklus nicht die  $1,95 \text{ [M.-%]}$  (Wandaufbau mit Aerogel:  $3,50 \text{ [M.-%]}$ ).

## 3.3 Hygrothermische Simulationen

Die in der Planungsdiskussion als kritisch eingestuften Punkte beim Detail mit dem umlaufenden Metallprofil haben sich in der Simulation als unproblematisch erwiesen: im Balkenkopf kommt es trotz durch das Metall unterbundenem Feuchtransport nicht zu einer Aufspeicherung von Feuchtigkeit und auch die Feuchtwerte im durch die Wärmebrücke kühleren Punkt in Kork und Perlite-Dämmung sind unkritisch. Während des gesamten Jahres kommt es im Klima am Comosee nicht zu Tauwasseranfall in der Konstruktion (bewertet über überhygroskopische Feuchte), für Klima Essen hingegen wäre sehr wohl ein Tauwasseranfall zu beobachten. Auch an der oberen Raumecke des unten angrenzenden Raumes ist die Temperatur hoch genug, sodass Schimmelprobleme ausgeschlossen werden können.

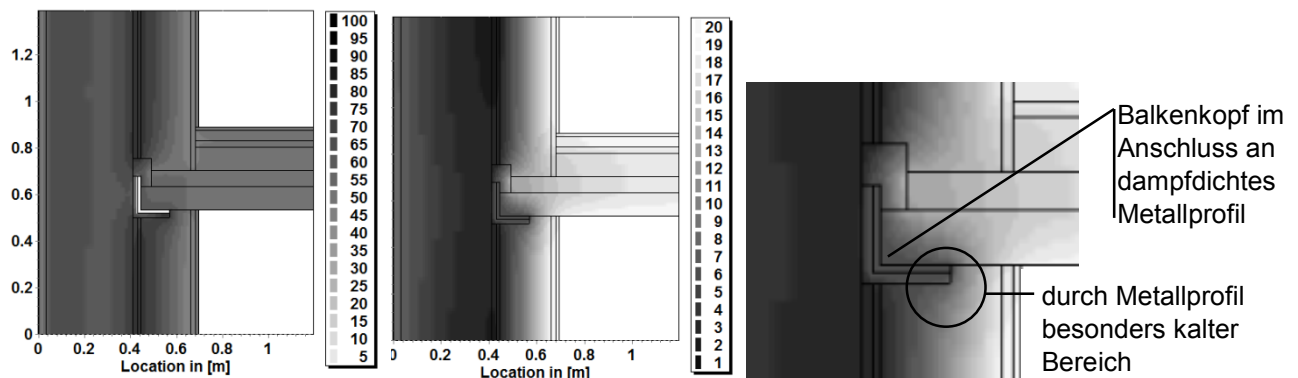


Abbildung 4: Als kritisch identifiziert und überprüfte Details im 2-dim. Feuchte- bzw. Temperaturfeld



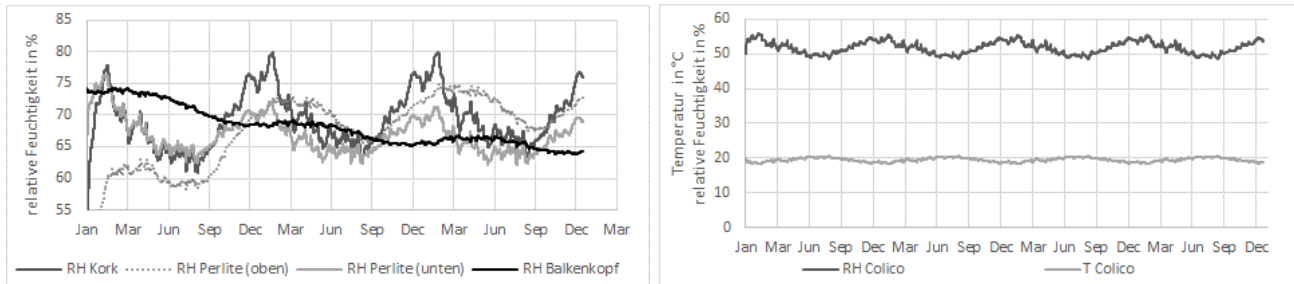


Abbildung 5: Relative Feuchtigkeit in der Konstruktion (links) und in der Raumecke (rechts)

Auch beim Balkenkopf zeigt die hygrothermische Simulation zwar klar die Kältebrücke an, die Feuchtigkeit steigt aber nicht in kritische Bereiche (siehe Abb 6). Insgesamt ermittelt die Simulation für das Klima am Como See überhaupt keine Phasen mit Kondensation (Feuchtigkeit im überhygroskopischen Bereich). Auch hier verhält sich die Simulation für Klima Essen (jeweils mit Schlagregen) kritischer.

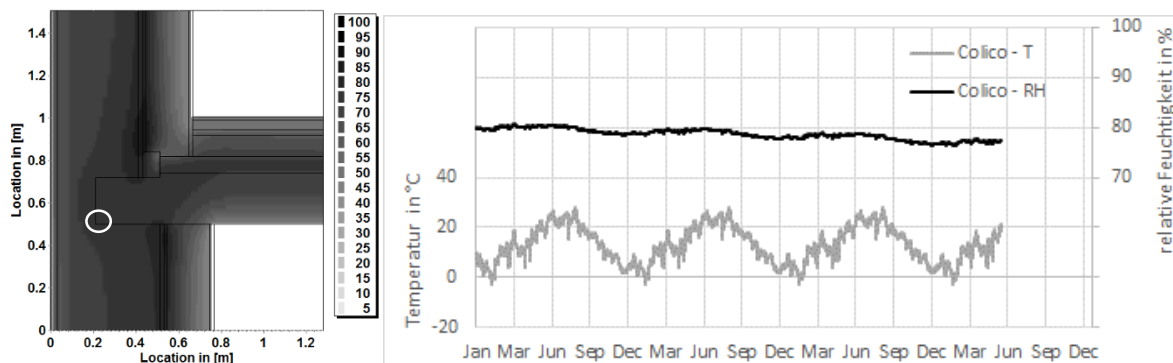


Abbildung 6: 4.2. Knoten Zwischendeckenaufleger am 26.11. (3250) am 5.4. (3380) und am 24.7.(3490)

### 3.4 Qualitätskontrollen

Der Luftdichtheitstest ergab einen optimalen Luftwechsel (n50) für das gesamte Gebäude von 0,41 1/h (EN 13829:2000 Methode B). Die Infrarotaufnahmen während dem Blower Door Test zeigten auch an kritischen Knotenpunkten wie den Fensterrahmen oder an der Lüftungsanlage nur geringe Leckagen. Die größten Undichtheiten waren bei den Dachfenstern zu finden. Mit dem Monitoring (siehe 2.6) werden in den nächsten drei Jahren sowohl der energetische als auch der raum- und bauklimatische Erfolg der Sanierung bewertet werden.

## 4 Anschließend

Die Sanierung der Villa Castelli am Como See zeigt, dass eine energetische Sanierung auf beinahe Passivhaus-Niveau mit dem Denkmalschutz durchaus kompatibel ist. Wichtig ist es, das Gebäude gut zu analysieren und zu verstehen, die passenden Lösungen für die Vielzahl der „Spezialstellen“ im Team zu entwickeln und durch Berechnungen und Simulationen so weit abzusichern, dass sie auch die für den Denkmalpfleger wichtige Schadenssicherheit garantieren.