

IEA Solares Heizen und Kühlen Task 47: Nachhaltige Sanierung von Dienstleistungsgebäuden

C. Dankl, T. Mach,
D. Brandl, S. Holper,
T. Ferhatbegovic

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

6/2015

Impressum:

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber:
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien
Leiter: DI Michael Paula

Liste sowie Downloadmöglichkeit aller Berichte dieser Reihe unter
<http://www.nachhaltigwirtschaften.at>

IEA Solares Heizen und Kühlen Task 47: Nachhaltige Sanierung von Dienstleistungsgebäuden

DIⁱⁿ Claudia Dankl,
Österreichische Gesellschaft für Umwelt und Technik (ÖGUT)

Dr. Thomas Mach, DI Daniel Brandl
Technische Universität Graz – Institut für Wärmetechnik IWT

DI Stefan Holper
Technische Universität Graz – Institut für Hochbau, IHT

Dr. Tarik Ferhatbegovic
AIT Austrian Institute of Technology GmbH
Energy Department

Wien/Graz, September 2014

Ein Projektbericht im Rahmen der Programmlinie



Impulsprogramm Nachhaltig Wirtschaften

Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie

Vorbemerkung

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Programm FORSCHUNGSKOOPERATION INTERNATIONALE ENERGIEAGENTUR. Es wurde vom Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie initiiert, um Österreichische Forschungsbeiträge zu den Projekten der Internationalen Energieagentur (IEA) zu finanzieren.

Seit dem Beitritt Österreichs zur IEA im Jahre 1975 beteiligt sich Österreich aktiv mit Forschungsbeiträgen zu verschiedenen Themen in den Bereichen erneuerbare Energieträger, Endverbrauchstechnologien und fossile Energieträger. Für die Österreichische Energieforschung ergeben sich durch die Beteiligung an den Forschungsaktivitäten der IEA viele Vorteile: Viele Entwicklungen können durch internationale Kooperationen effizienter bearbeitet werden, neue Arbeitsbereiche können mit internationaler Unterstützung aufgebaut sowie internationale Entwicklungen rascher und besser wahrgenommen werden.

Dank des überdurchschnittlichen Engagements der beteiligten Forschungseinrichtungen ist Österreich erfolgreich in der IEA verankert. Durch viele IEA Projekte entstanden bereits wertvolle Inputs für europäische und nationale Energieinnovationen und auch in der Marktumsetzung konnten bereits richtungsweisende Ergebnisse erzielt werden.

Ein wichtiges Anliegen des Programms ist es, die Projektergebnisse einer interessierten Fachöffentlichkeit zugänglich zu machen, was durch die Publikationsreihe und die entsprechende Homepage www.nachhaltigwirtschaften.at gewährleistet wird.

Dipl. Ing. Michael Paula

Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

Inhaltsverzeichnis

1.	Kurzfassung.....	5
2.	Abstract.....	8
3.	Einleitung.....	10
3.1.	Allgemeine Einführung in die Thematik.....	10
3.2.	Beschreibung des Standes der Technik in dem Forschungsgebiet.....	10
3.3.	Ausgangssituation / Motivation des Projektes.....	10
3.4.	Beschreibung der Vorarbeiten zum Thema.....	11
3.5.	Kurzbeschreibung des Aufbaus (Kapitel) des Ergebnisberichts	11
3.5.1.	Subtask A: Advanced Exemplary Projects - Information Collection & Brief Analysis ...	11
3.5.2.	Subtask B: Market and Policy issues and Marketing Strategies	12
3.5.3.	Subtask C: Assessment of Technical Solutions and Operational Management	12
3.5.4.	Subtask D: Environmental and Health Impact Assessment.....	12
4.	Hintergrundinformation zum Projekttinhalt	13
4.1.	Beschreibung der österreichischen Kooperation.....	13
4.1.1.	Österreichische Gesellschaft für Umwelt und Technik (ÖGUT).....	13
4.1.2.	Institut für Wärmetechnik, Technische Universität Graz	14
4.1.3.	Austrian Institute of Technology (AIT).....	14
4.2.	Beschreibung der Projektziele (bezogen auf das Kooperationsprojekt und auf das österreichische Teilprojekt)	14
4.2.1.	Projektziel 1	15
4.2.2.	Projektziel 2	15
4.2.3.	Projektziel 3	16
5.	Ergebnisse des Projektes.....	16
5.1.	Fachliche Inhalte zu Projektziel 1	16
5.1.1.	INPUT zu SUBTASK A "Advanced Exemplary Projects - Information Collection & Brief Analysis" 16	
5.1.2.	INPUT zu SUBTASK B.....	17
5.2.	Fachliche Inhalte zu Projektziel 2.....	18
5.2.1.	Energietechnische Modernisierung denkmalgeschützter Gebäude INPUT zu SUBTASK B 18	
5.2.2.	Ergebnisse aus dem Forschungsprojekt „denkmalaktiv I“.....	20
5.2.3.	Energietechnische Ertüchtigung historischer Kastenfenster INPUT zu SUBTASK C... 26	
5.2.4.	Kapillaraktive Innendämmsysteme INPUT zu SUBTASK C	32
5.3.	Fachliche Inhalte zu Projektziel 3.....	44
5.3.1.	System- und Prozessmodellierung.....	47
5.3.2.	Simulation und Modellvalidierung.....	49
5.3.3.	Modellbasierter Steuer- und Reglerentwurf.....	49
6.	Vernetzung und Ergebnistransfer.....	52

6.1.	Darstellung der österreichischen Zielgruppe, für die die Projektergebnisse relevant sind ...	52
6.2.	Wie wurden die relevanten Stakeholder in das Projekt eingebunden?	52
6.3.	Ergebnistransfer im Rahmen der öffentlichen Meetings von TASK 47	53
6.4.	Beschreibung der Relevanz und des Nutzens der Projektergebnisse	54
7.	Schlussfolgerungen, Ausblick und Empfehlungen	55
8.	Verzeichnisse	56
8.1.	Quellenverzeichnis	56
8.2.	Abbildungsverzeichnis	59
8.3.	Tabellenverzeichnis	60
8.1.	Formelverzeichnis	60
9.	Anhang	61
9.1.	Endberichte der Subtasks	61
9.2.	Publikationen auf der TASK 47-Website	61
9.3.	TASK 47 Seminar; April 3, 2014 – Frankfurt, Germany	63
9.4.	TASK 47 Seminar, April 5, 2013 – Sydney, Australia	64
9.5.	TASK 47 Seminar on Exemplary Buildings, September 7, 2012 – Brussels	65

1. Kurzfassung

- **Ausgangssituation/Motivation**

Im Projekt TASK 37 „Advanced Housing Renovation with Solar & Conservation“ im Implementing Agreement „Solar Heating and Cooling“ (SHC) der „Internationalen Energieagentur“ (IEA) wurden in den Jahren 2006 bis 2010 Technologien und Konzepte untersucht, die zu einer verbesserten, d.h. einer nachhaltigeren, Sanierung bzw. Modernisierung von Wohnbauten beitragen sollen. Unter der Leitung von Operating Agent Fritjof Salvesen (Norwegen) entschied sich das beteiligte Konsortium, in einer leicht geänderten Zusammensetzung, die Aktivitäten im Rahmen eines weiteren IEA TASKS auf die Renovierung von Nicht-Wohngebäuden auszudehnen. Im Jahr 2011 wurde die Arbeit an Sanierungskonzepten von Nicht-Wohngebäuden im Rahmen des IEA SHC TASK 47 gestartet.

- **Inhalte und Zielsetzungen**

Die internationale Expertengruppe des IEA SHC TASK 47 setzt sich zwei technische und ökonomische Ziele: Einerseits das Generieren von Wissen mit der Zielsetzung, Nicht-Wohngebäude durch eine nachhaltige und kosteneffiziente Sanierung zu „Near Zero Energy“-Gebäuden zu machen. Andererseits die Identifikation wesentlicher markt- und politikrelevanter Zusammenhänge für eine nachhaltige, kosteneffiziente Sanierung von Nicht-Wohngebäuden und die Entwicklung entsprechender Marketingstrategien.

- **Methodische Vorgehensweise**

Im Fokus der Arbeiten stand die Sanierung von Dienstleistungsgebäuden, v.a. Bürogebäuden, Ausbildungsgebäuden und Kindergärten (bzw. Krippen), einschließlich historischer und denkmalgeschützter Gebäude. Neben Subtask A, der der Analyse und Darstellung ambitionierter Beispielprojekte diente, wurden in Subtask B marktrelevante und politikrelevante Zusammenhänge und Marketingstrategien untersucht. Subtask C war der Bewertung technischer Lösungen und der Betriebsführung gewidmet, Subtask D der Bewertung umwelt- und gesundheitsrelevanter Aspekte bei der Sanierung von Schulgebäuden.

- **Ergebnisse**

Das österreichische Team war auf allen internationalen Treffen im Rahmen von TASK 47 vertreten und hat verschiedenste Inhalte entsprechend den gesetzten Schwerpunkten in die Diskussionen eingebracht. Zahlreiche Templates österreichischer Demonstrationsprojekte sind auf der Website veröffentlicht. In die Berichte von Subtask B und C wurden österreichische Ergebnisse und Erfahrungen eingebracht und eigenständige Kapitel verfasst. Die Ergebnisse sind in Broschüren, wissenschaftlichen Publikationen und technischen Reports publiziert und auf Workshops präsentiert worden.

Die Projektpartner des österreichischen Konsortiums, ÖGUT, IWT der TU Graz und AIT, widmeten sich verschiedenen Schwerpunkten, die in Subtask A, B und C einfließen:

- **ÖGUT:** Dissemination von Demonstrationsprojekten sowie markt- und politikrelevanter Ergebnisse aus dem Forschungsprogramm „Haus der Zukunft Plus“

Die ÖGUT hat zahlreiche Demonstrationsprojekte aus Österreich in das Projekt eingebracht und hat mit Unterstützung der BearbeiterInnen der Forschungsprojekte entsprechende Projektpräsentationen („Templates“) erstellt. Bei den meisten eingebrachten Sanierungsprojekten handelt es sich um Demonstrationsgebäude des Forschungsprogramms „Haus der Zukunft“: die Schule Schwanenstadt, das Chemiehochhaus der TU Wien, das Amtsgebäude in Bruck an der Mur, die Bauingenieur fakultät der Universität Innsbruck oder aber auch die ASO4 in Linz, die in der Kategorie Sanierung mit dem österreichischen Staatspreis für Architektur und Nachhaltigkeit 2012 ausgezeichnet worden war. Das Template zur Sanierung des Franziskanerklosters in Graz, das auch im Rahmen des TASK-Meetings im September 2013 in Graz besichtigt worden war, wurde in Zusammenarbeit mit der TU Graz erstellt.

- **IWT TU Graz:** Diskussion und Präsentation bau- und energietechnischer Ansätze bei der Sanierung historischer Gebäude

Im Fokus des Interesses stand die Bearbeitung von Sanierungskonzepten zur Sanierung bzw. Modernisierung des denkmalgeschützten Gebäudebestandes auf der Basis der in den österreichischen Forschungsprojekten „denkmalaktiv I“ und „denkmalaktiv II“ erarbeiteten Ergebnisse. Dabei wurde einerseits der Sanierungsprozess an sich am Beispiel des Franziskanerklosters Graz analysiert. Andererseits wurden mittels messtechnischer und numerischer Methoden die thermische Modernisierung historischer Kastenfenster und die Anwendung von Innendämmsystemen untersucht.

- **AIT:** Vernetzung zum Thema Integration innovativer regelungstechnischer Ansätze in Nicht-Wohngebäuden

Ziel der Arbeiten des AIT war eine integrierte Gesamtlösung zur minimalinvasiven Sanierung der Steuerungs- und Regelungsansätze in Systemen für Heiz-, Kühl- und Lüftungszwecke in Nicht-Wohngebäuden, auf Basis von innovativen, mathematisch unterstützten Ansätzen mittels fortgeschrittenen Methoden der Regelungstechnik, durch Anpassung der Energieverbräuche an den tatsächlichen Bedarf an Energie und Luftqualität. Durch die mathematische Modellierung von gebäudespezifischen Zuständen (Temperaturen, CO₂-Konzentrationen, Feuchtigkeitswerten) sowie die Klassifizierung von Luftqualität mittels Sensorik, erzielten Projekte eine beträchtliche Energieverbrauchsoptimierung, Energieeinsparung und damit Energieeffizienzerhöhung. Anhand von Empfehlungen für das Facility Management von Nicht-Wohngebäuden (z.B. des ENERGYbase <http://www.energybase.at/>) mittels optimierten Sollwerten für die konventionelle HKL-Regelung

(z.B. Sollwertoptimierung für die Betonkernaktivierung) wurden die Energieeinsparungspotenziale im Rahmen des anvisierten Projektvorhabens demonstriert und validiert.

2. Abstract

- **Starting point / motivation**

In TASK 37 "Advanced Housing Renovation with Solar & Conservation", in the Implementing Agreement "Solar Heating and Cooling" (SHC) of the "International Energy Agency" (IEA) technologies and concepts to improve the sustainable renovation and modernization of residential buildings were studied in the years 2006-2010. Under the direction of the Operating Agent Fritjof Salvesen (Norway) the participating consortium chose, in a slightly different composition, to extend the activities in the context of another IEA TASK. In the year 2011 IEA SHC TASK 47 was started to work on concepts for the renovation and modernization of non-residential buildings.

- **Contents and goals**

The international group of experts in IEA SHC TASK 47 has defined two technical and economic goals. The first goal was to work on the development of a solid knowledge base on how to renovate non-residential buildings towards the near zero energy building standards in a sustainable and cost efficient way. The second goal was to identify the most important market and policy issues as well as marketing strategies for such renovations

- **Methods of treatment**

In the focus of the task there was the renovation of non-residential buildings, including protected and historic buildings: office buildings, educational buildings and nursing homes. Besides subtask A, which was dedicated to information collection and brief analysis of advanced exemplary projects, in subtask B market and policy issues and marketing strategies were examined. Subtask C was dedicated to the assessment of technical solutions and operational management and subtask D to the environmental and health impact assessment in regard to the renovation of school buildings.

- **Expected results / conclusions**

Participants from the Austrian team took part in all task meetings and contributed to the international discussion according to the work plan. Several templates of Austrian best-practice examples are published on the task website. Furthermore contributions to the technical reports of task B and C were written by the Austrian experts. Results are published in brochures, scientific publications and technical reports and have been presented at several workshops as well.

The Participation of the Austria team at IEA SHC TASK 47 is dedicated to disseminate the findings of Austrian research projects e.g. of the research program 'Building of Tomorrow' to international level. The three project partners had a different focus:

- **ÖGUT:** dissemination of results of research projects of the programme “Building of Tomorrow (Plus)”

ÖGUT has brought several demonstration projects of successful renovations in Austria into TASK 47 and has edited the template mostly together with the original project team. Most examples are demonstration projects of the Austrian research programme “Building of Tomorrow”: the renovation of a school in Schwanenstadt to passive house standard, a building of the Vienna University of Technology at Getreidemarkt, the renovation of an office building in Bruck/Mur or the ASO4, a school in Linz that had been awarded the Austrian State Prize for Architecture and Sustainability in the category renovation in 2012. The template of the renovation of the Franciscan Monastery in Graz that had been visited during the TASK meeting in Graz in September 2013 was edited in collaboration with the TU Graz.

- **IWT TU Graz:** Discussion and Presentation of constructional and energy technical aspects of the renovation of historical buildings

The focus of interest was on the investigation of concepts for the renovation and modernization of listed buildings. The activities are based on the Austrian research projects "denkmalaktiv I" and "denkmalaktiv II". On the one hand, the modernization process was analyzed on the example of the Franciscan monastery Graz. On the other hand, the thermal upgrading of historical box type windows and the application of internal insulation systems were examined by numerical simulation and measurement.

- **AIT:** networking in the field of integration of innovative control systems in non-residential buildings

The aim of AIT's participation was an integrated solution for the minimal invasive renovation of energy management and control approaches in systems for heating, cooling and ventilation purposes in the non-residential building sector (HVAC). Based on innovative mathematical approaches using advanced methods of control engineering, the energy consumption due to the HVAC systems is adapted to the real requirements for energy and the air quality in buildings. Due to mathematical modelling of building-specific conditions (temperature, CO₂ concentrations, and humidity levels) and the classification of air quality using integrated sensor technologies, the project achieves significant energy consumption reduction, essential energy savings and thus leads to an overall energy efficiency boost. On the basis of recommendations for facility management of non-residential buildings (e.g.: ENERGYbase <http://www.energybase.at/>) by means of optimized set-points for conventional HVAC control (e.g.: set-point optimization for the concrete core activation system in the building), the potential energy savings were demonstrated and validated in the context of the targeted project proposal.

3. Einleitung Allgemeine Einführung in die Thematik

Die Empfehlung des „Intergovernmental Panel on Climate Change“ (IPCC), eine 50-prozentige Reduktion der vom Menschen verursachten CO₂-Emissionen bis 2050 umzusetzen, um schwere Probleme der globalen Erwärmung zu vermeiden, trifft auf immer breiter werdende Zustimmung.

Der IEA-Bericht „Energy Technology Perspective 2008“ präsentierte im Jahr 2008 Szenarien, wie man diese Emissionsreduktion erreichen könnte. Eine der Rückschlüsse am Gebäudesektor zeigt, dass eine breite Umwandlung des Gebäudebestandes in Richtung eines sehr niedrigen Energieverbrauchs, bis hin zum „Nullenergiegebäude“, notwendig ist.

Gebäude sind für bis zu 35 % des Gesamtenergieverbrauchs in vielen an der IEA beteiligten Ländern verantwortlich. Das EU-Parlament verabschiedete im April 2009 eine Empfehlung an die Mitgliedsstaaten zur Festlegung entsprechender Zwischenziele zur Reduktion des Energieverbrauchs. Für die Jahre 2015 und 2020 soll der angestrebte Anteil von Nullenergiegebäuden am Gebäudebestand festgelegt werden.

Ebenso muss eine drastische Reduktion des Primärenergieverbrauchs des Gebäudebestandes an Nicht-Wohngebäuden erreicht werden, damit die Emissionsreduktionsziele eingehalten werden können. Parallel zur Umsetzung von Maßnahmen zur Energieeinsparung muss die dezentrale Energieproduktion angekurbelt werden.

3.2. Beschreibung des Standes der Technik in dem Forschungsgebiet

Seit Jahrzehnten wird, insbesondere in der europäischen Forschung, an Konzepten gearbeitet, den Energieverbrauch des Gebäudebestandes einerseits zu verringern und andererseits mit erneuerbarer Energie zu decken. Die entsprechenden Konzepte zur Energieeinsparung und deren marktgängige Umsetzung haben bereits, nicht zuletzt auf der Grundlage anspruchsvollerer Regelwerke, zu einer deutlichen Reduktion des zur Konditionierung benötigten spezifischen Energieverbrauchs bei Neubauten geführt.

Die Umsetzung der energietechnischen Ertüchtigung des Altbestandes hingegen bleibt hinter den technischen Möglichkeiten weit zurück. Obwohl Demonstrationsprojekte schon mehrfach gezeigt haben, dass auch im Altbestand durch Modernisierung eine dem Neubau ähnliche Energieeffizienz erreichbar ist, wird in der großen Masse der Sanierungstätigkeiten auf eher moderate Verbesserungen gesetzt und somit das technisch mögliche Einsparungspotential nicht ausgenutzt.

3.3. Ausgangssituation / Motivation des Projektes

Einige beispielhafte Sanierungsprojekte haben bereits gezeigt, dass der Primärenergieverbrauch drastisch reduziert und dabei gleichzeitig die Lebensqualität gesteigert werden kann. Bisher wurden die Erfahrungen aus diesen Projekten nicht so systematisch analysiert, dass daraus eine zuverlässige Informationsquelle für Planer aufbereitet werden konnte.

3.4. Beschreibung der Vorarbeiten zum Thema

Im Jahr 2006 formierte sich eine internationale Gruppe aus Experten auf dem Gebiet der Energietechnik, der Bauphysik, der Architektur und des Marketings um der Frage nachzugehen, wie hochwertige Sanierungen von Wohngebäuden zustande kommen. Hochwertig bezieht sich in diesem Zusammenhang insbesondere auf eine ambitionierte Reduktion des Energiebedarfs. Der Bogen spannte sich von der Untersuchung der Motivation, derartige Sanierungen durchzuführen, über die vergleichende Analyse gebauter Sanierungsobjekte bis hin zur Weiterentwicklung diverser Sanierungstechniken. Diese im Rahmen des TASK 37 „Advanced Housing Renovation with Solar & Conservation“, der „Internationalen Energieagentur“ (IEA) im Implementing Agreement „Solar Heating and Cooling“ (SHC) durchgeführten Aktivitäten wurden bis in das Jahr 2010 weitergeführt und mit der Erstellung einiger Berichte abgeschlossen (siehe <http://task37.iea-shc.org/>). In der Schlussphase der Bearbeitung entschied sich das beteiligte Konsortium, in leicht geänderter Zusammensetzung, die Aktivitäten im Rahmen eines weiteren IEA TASKs auf die Renovierung von Nicht-Wohngebäuden auszuweiten. Im Jahr 2011 wurde die Arbeit an Sanierungskonzepten von Nicht-Wohngebäuden im Rahmen von IEA SHC TASK 47 gestartet.

3.5. Kurzbeschreibung des Aufbaus (Kapitel) des Ergebnisberichts

Der IEA SHC TASK 47 ist sowohl inhaltlich als auch organisatorisch in vier Subtasks gegliedert. Jeder Subtask verfolgt in seiner Bearbeitung eigene Sichtweisen, eigene Methoden und ebenso auch eigenständige Ergebnisberichte. Im Folgenden werden die Subtasks und deren Ergebnisberichte kurz dargestellt. Der weitere Aufbau des Projektberichts richtet sich nach den Beiträgen der drei Projektpartner des österreichischen Teams.

3.5.1. Subtask A: Advanced Exemplary Projects - Information Collection & Brief Analysis

Unter der Subtaskleitung von Fritjof Salvesen (Norwegen) analysierte und diskutierte das internationale Expertenteam ambitionierte Sanierungsprojekte aus den teilnehmenden Ländern. Ziel dieser Analyse war es, aus durchgeführten Sanierungsvorhaben, Rückschlüsse auf erfolgversprechende Sanierungs- bzw. Modernisierungstechniken zu ziehen. Zu diesem Zweck wurde ein Darstellungs- bzw. Analyseschema entworfen, in dem alle untersuchten Projekte in derselben Struktur, in Bezug auf technische Aspekte wie auch auf Entscheidungsprozesse, dargestellt wurden. Folgende Beispielprojekte wurden anhand des Templates dargestellt und vergleichend analysiert:

- ASO4 Karlhofschule in Linz, Austria
- Franziskanerkloster Graz, Austria
- Sanierung des Lazaristenklosters (historisches Gebäude): Kaiserstraße 7, Vienna; Austria
- Administration building Bruck/Mur - Austria
- Sanierung des Gebäudes am Getreidemarkt: TU Vienna Plus Energy - Austria
- Refurbishment of the Riva Bella School - Belgium
- Solbraaveien Office Center - Asker, Norway

- Rockwool International Office Building - Hedehusene, Denmark
- Office and Workshop Building at Fraunhofer ISE - Germany
- Powerhouse Kjørbo – Norway
- Printing Workshop and Office Building - Germany
- Schüco Italian Headquarter - Italy
- Boligselskapet Sjaelland Office Building - Denmark
- Kampen School, Norway
- School in Schwanenstadt - Austria
- Osram Culture Centre – Denmark
- Kindergarten Vejtoften - Denmark
- NVE Building - Norway
- School Renovation - Cesena, Italy
- Norwegian Tax Authority Building Renovation - Oslo, Norway

3.5.2.Subtask B: Market and Policy issues and Marketing Strategies

Unter der Subtaskleitung von Trond Haavik (Norwegen) stand die Analyse von Entscheidungsprozessen bei Sanierungsvorhaben im Fokus des Interesses. Die detaillierte Betrachtung mehrerer Projektierungs-, Planungs-, und Bauprozesse brachte Erkenntnisse zu Treibern und zu Hindernissen in Prozessen zur hochwertigen Modernisierung von Nicht-Wohngebäuden. Der Endbericht von Subtask B beinhaltet zudem marktrelevante und politikrelevante Zusammenhänge und Marketingstrategien und ist nach folgender Struktur gegliedert:

- Introduction
- Identifying the potential
- Learning from decision making processes
- Examples of existing decision making support tools
- Recommendations to policy makers

3.5.3.Subtask C: Assessment of Technical Solutions and Operational Management

3.6.

Unter der Subtaskleitung von Doreen Kalz (Deutschland) wurden unterschiedlichste Sanierungslösungen, technische Lösungsansätze sowie Regelungskonzepte untersucht. Der dazugehörige Endbericht „Assessment of Technical Solutions and Operational Management“ beinhaltet zudem Behaglichkeitsanalysen, Analysen zur Veränderung der Belichtung durch Sanierungen bzw. eine Reihe verschiedener Untersuchungen zu bautechnischen und/oder gebäudetechnischen Sanierungstechniken.

3.6.1.Subtask D: Environmental and Health Impact Assessment

Unter der Subtaskleitung von Sophie Trachte (Belgien) wurde das Thema der nachhaltigen Sanierung von Schulgebäuden betrachtet. In dem umfangreichen Endbericht „Sustainable Refurbishment -

School Buildings - A guide for Designers and Planners“ (Arbeitstitel) werden zahlreiche Aspekte, die bei der Renovierung von Schulgebäuden eine Rolle spielen, aufgearbeitet, illustriert und vergleichend dargestellt.

Die Homepage des IEA SHC TASK 47 bietet weiterführende Informationen zu Inhalten, Beteiligungen und Ergebnissen, inklusive der englischsprachigen Ergebnisdokumente. Die Endberichte zu den vier genannten Subtasks werden, nach Freigabe durch die Internationale Energieagentur, unter folgender Internet-Adresse veröffentlicht werden: <http://task47.iea-shc.org/>

4. Hintergrundinformation zum Projektinhalt

TASK 47 holt Best-practice-Beispiele von innovativen Sanierungen von Dienstleistungsgebäuden vor den Vorhang, die gezeigt haben, dass der Primärenergiebedarf bei gleichzeitiger Verbesserung der Innenraumlufthausqualität drastisch gesenkt werden kann. Viele Gebäudeeigentümer wissen nichts von diesen Möglichkeiten, daher werden bei Sanierungsprojekten oft zu wenig ehrgeizige Einsparungsziele verfolgt. Projekte, die mit zu geringen Ambitionen saniert werden, sind für Klimaschutz- und Einsparungsziele für mindestens 10 bis 20 Jahre verloren, bis die nächste Sanierung ansteht.

TASK 47 hat sich zudem die Erarbeitung von Wissensgrundlagen, wie Dienstleistungsgebäude, auf nachhaltige und kostengünstige Art und Weise, zu Zero-Energy-Gebäuden modernisiert werden können, zur Aufgabe gemacht.

Dabei fanden Markt- und Politikrelevante Zusammenhänge und Strategien gleichermaßen Beachtung. Ein Großteil des Teams des TASK 47 hat bereits im vorangegangenen Task zur nachhaltigen Sanierung von Wohngebäuden zusammen gearbeitet. Das Team umfasst Teilnehmer aus Norwegen (beteiligte Organisationen: Asplan Viak AS – ehemals KanEnergi, Segel AS, ENOVA, SINTEF Building and Infrastructure), Deutschland (Fraunhofer – Institut für Solare Energiesysteme, Fraunhofer – Institut für Bauphysik, Firma Daylighting), Belgien (Architecture et Climat – University of Louvain La Neuve, Passiefhuis-Plattform vzw), Australien (Faculty Architecture, Design and Planning – University of Sydney), Österreich (ÖGUT; IWT – TU Graz, AIT) und Dänemark (Danish Building Research Institute) und Italien (ENEA – Italian Agency for New Technology, Energy and Sustainable Economic Development, POLITECNICO DI MILANO – BEST Department).

4.1. Beschreibung der österreichischen Kooperation

Am IEA SHC TASK 47 waren drei österreichische Institutionen mit folgenden Aufgaben beteiligt:

4.1.1. Österreichische Gesellschaft für Umwelt und Technik (ÖGUT)

Bearbeitung des Themenbereiches: Dissemination von Projekten und Ergebnissen aus der Programmlinie „Haus der Zukunft“ sowie aus dem Forschungsprogramm „Haus der Zukunft Plus“

Konkrete Aufgaben: Einbringen von mindestens zwei „Haus der Zukunft“-Demonstrationsprojekten in Subtask A.

Prüfung weiterer Projekte hinsichtlich der Eignung für Aufnahme in die Datenbank für Subtask A und Weiterleitung des Daten-Sheets an die ProjektnehmerInnen

Einbringen markt- und politikrelevanter Ergebnisse in Subtask B, z.B. strategische Entscheidungshilfen (Entscheidungsmatrix für Sanierungen Projekt BIGMODERN)

4.1.2. Institut für Wärmetechnik, Technische Universität Graz

Bearbeitung des Themenbereiches: Bau- und energietechnische Aspekte der Sanierung von historischen Gebäuden

Die Arbeiten der Technischen Universität Graz konzentrieren sich auf Subtask C „Assessment of Technical Solutions and Operational Management“

Das Institut für Wärmetechnik kooperierte in der messtechnischen und simulationstechnischen Bearbeitung mit dem **Institut für Hochbau** (IHB) der Technischen Universität Graz. Das IHB führte die Untersuchungen zu kapillaraktiven Innendämmsystemen durch. Das Institut für Wärmetechnik kooperierte zudem in der Betrachtung der Sanierungsprozesse mit der **Grazer Energieagentur** (GEA) um Ergebnisse aus den österreichischen Forschungsprojekten „denkmalaktiv I“ und „denkmalaktiv II“ für den TASK 47 aufzubereiten.

4.1.3. Austrian Institute of Technology (AIT)

Bearbeitung des Themenbereiches: Automatisierungs- und Regelungskonzepte im Nichtwohnbereich bei Renovierungen

Einbringen technischer Aspekte aus dem Renovierungskonzept Schulren+, sowie Ergebnisse der Ausarbeitung einer Wetterprognose geführten Regelung aus Proklim und Proklim+

Die Arbeiten des AIT konzentrieren sich ebenfalls auf Subtask C „Assessment of Technical Solutions and Operational Management“

4.2. Beschreibung der Projektziele (bezogen auf das Kooperationsprojekt und auf das österreichische Teilprojekt)

Der IEA SHC TASK 47 hat sich technische und ökonomische Ziele gesetzt:

- Generieren von Wissen mit der Zielsetzung Nichtwohngebäude durch eine nachhaltige und kosteneffiziente Sanierung zu „Near-Zero Energy“ Gebäuden zu machen.
- Identifikation der wesentlichen marktrelevanten und politikrelevanten Zusammenhänge dies zu erreichen und Entwicklung entsprechender Marketing Strategien

Das Erreichen der oben genannten Ziele konzentrierte sich im Wesentlichen auf folgende Nutzungs- bzw. Gebäudetypen, wobei entsprechend der Durchführung im Programm Solar Heating and Cooling der IEA ein Schwerpunkt auf der aktiven und passiven Nutzung der Solarthermie lag:

- Bürogebäude
- Ausbildungsgebäude
- Kindergärten (bzw. Krippen)
- Hotels
- Supermärkte

Die Ergebnisse werden in Broschüren, wissenschaftlichen Publikationen, Technischen Reports und Workshops präsentiert.

Bezogen auf das österreichische Teilprojekt verfolgten die drei Projektpartner unterschiedliche Teilziele bei der Bearbeitung von TASK 47:

4.2.1. Projektziel 1

Dissemination von Projekten und Ergebnissen aus der Programmlinie Haus der Zukunft

Verantwortung: Österreichische Gesellschaft für Umwelt und Technik (ÖGUT)

Aus Projekten der österreichischen Forschungsprogramme „Haus der Zukunft“ und „Haus der Zukunft plus“ liegen wesentliche Erkenntnisse zur Renovierung von Dienstleistungsgebäuden vor. Studien wurden erstellt, beispielsweise zur Entwicklung von Sanierungskonzepten für Schulgebäude, aber auch die Umsetzung richtungsweisender Sanierungen von Demonstrationsgebäuden wie der Schule Schwanenstadt wurde unterstützt. Zahlreiche Ansatzpunkte für einen internationalen Know-how-Transfer sind gegeben. Im Nachfolgeprogramm „Haus der Zukunft Plus“ wurde das Thema Sanierung ebenfalls in vielen Forschungsprojekten, u.a. in drei Leitprojekten, behandelt, von denen eines den Schwerpunkt der Sanierung von Bundesgebäuden hat. Auch Technologien zur Energiegewinnung zum Einsatz in Bestandsgebäuden werden untersucht, auch hier können Projekte und Kontakte ins internationale Netzwerk eingebracht werden.

4.2.2. Projektziel 2

Diskussion und Präsentation bau- und energietechnischer Aspekte bei der Sanierung historischer Gebäude

Verantwortung: IWT, TU Graz

Das Institut für Wärmetechnik war gemeinsam mit dem Institut für Hochbau (beide TU Graz) federführend am Forschungsprojekt „denkmalaktiv“ (Leitung: Umweltamt der Stadt Graz) beteiligt. In „denkmalaktiv“ wurde die Sanierung von städtischen Gebäuden unter besonderer Berücksichtigung des Denkmalschutzes behandelt. Mehrere Problemstellungen aus dem Projekt „denkmalaktiv“ wurden in TASK 47 eingebracht und sind an entsprechender Stelle näher erläutert:

- 1) Aktiv solare Nutzung zur thermischen Konditionierung von historischen Gebäuden
- 2) Sanierung und Modernisierung von Kastenfenstern

3) Thermische Sanierung durch Innendämmung

4.2.3. Projektziel 3

Automatisierungs- und Regelungskonzepte im Nichtwohnbereich bei Renovierungen

Verantwortung: Austrian Institute of Technology (AIT)

Bei der Sanierung findet immer eine Änderung der Randbedingungen in einem technischen System statt. Eine solche Änderung hat somit Auswirkungen auf die zu regelnden Systemparameter (Regelstrecke). Je nach Grad der Renovierung kann sich das auf verschiedenen Arten bemerkbar machen. Im schlimmsten Fall führt eine nicht angepasste Regelung an die neuen Verhältnisse zu häufigen Schaltzeiten der Anlagen, ineffizientem Betrieb und Einbußen im Komfort. Es war somit angestrebt, passendere regelungstechnische Verfahren anzuwenden, die ohne großen Aufwand in bestehende Systeme integriert werden können. Modellbasierende Prädiktive Regelung (MBPC) stellt für diese Voraussetzungen einen vielversprechenden Ansatz dar. Die Verfahrenstechnik, wo diese Art der Regelung schon seit vielen Jahren etabliert ist, dient hier als Vorbild. Eine Implementierung von MBPC-Algorithmen in eine bestehende Software (oft C, C++), wie sie in Gebäudemanagement-Systemtopologien verwendet werden, bedeutet keinen zusätzlichen baulichen Aufwand, wie bei baulichen Sanierungsmaßnahmen.

5. Ergebnisse des Projektes

5.1. Fachliche Inhalte zu Projektziel 1

Dissemination von Projekten und Ergebnissen aus der Programmlinie Haus der Zukunft

Verantwortung: Österreichische Gesellschaft für Umwelt und Technik (ÖGUT)

Claudia Dankl, Thomas Steffl, Susanne Supper, Hannes Warmuth

5.1.1. INPUT zu SUBTASK A “Advanced Exemplary Projects - Information Collection & Brief Analysis”

Auf nationaler Ebene ist die ÖGUT im Auftrag des österreichischen Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT) seit vielen Jahren im Programm-Management des Forschungsprogramms „Haus der Zukunft“ bzw. „Haus der Zukunft Plus“ tätig. Die ÖGUT gestaltet in Kooperation mit dem BMVIT sowie mit den weiteren Trägern des Programm-Managements, der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft FFG und der Austria Wirtschaftsservice awa die Ausschreibungen, betreut laufende Projekte, organisiert die Vernetzung der programmteilnehmenden ForscherInnen und ist verantwortlich für die Verbreitung von Projektergebnissen über die Website und auf diversen Veranstaltungen. Diese Tätigkeit im Programm-Management war wesentliche Grundlage für die Beteiligung der ÖGUT am TASK 47, da die ÖGUT wesentliche Sanierungsprojekte kennt und mit den jeweiligen ProjektnehmerInnen zusammen arbeitet.

Als erstes Best-practice-Beispiel von österreichischer Seite wurde die im Jahr 2007 abgeschlossene Sanierung der Hauptschule in Schwanenstadt auf Passivhaus-Standard für TASK 47 aufbereitet. Für die Darstellung der Best-practice-Beispiele haben die ExpertInnen von TASK 47 ein Template erarbeitet, nach dem die jeweiligen Projekte darzustellen sind, um die Vergleichbarkeit für den Endbericht von Subtask A zu gewährleisten. Neben allgemeinen Informationen zum Projekt wie dem Standort oder den Projektbeteiligten auf der ersten Folie sind Angaben zum Hintergrund und den Zielen, zum Entscheidungsprozess (als Grundlage für die Aufnahme der Projekte in den Bericht zum Subtask B), zur Gebäudehülle, zu den Haustechniksystemen, zum Energieverbrauch und allgemein zur Umweltbilanz des jeweiligen Sanierungsprojekts zu machen. Die Templates wurden von der ÖGUT bzw. von den ForscherInnen im Rahmen noch laufender „Haus der Zukunft Plus“-Leitprojekte ausgefüllt. Die jeweilig verantwortlichen HauptautorInnen sind auf der ersten Folie am Template genannt. Folgende Projekte wurden in den TASK 47 eingebracht und mit den beteiligten ExpertInnen diskutiert:

- Sanierung der Schule Schwanenstadt
- Sanierung der TU Wien auf Plus-Energie-Standard (Erarbeitung des Templates gemeinsam mit Schöberl & Pöll)
- Sanierung des Amtsgebäudes in Bruck an der Mur (Erarbeitung des Templates vom BIGMODERN-Projektteam)
- Sanierung der Bauingenieur fakultät der TU Innsbruck (Erarbeitung des Templates vom BIGMODERN-Projektteam)
- Sanierung des Franziskanerklosters in Graz (Erarbeitung des Templates gemeinsam mit der TU Graz)
- Sanierung der ASO4 Karlhofschule in Linz (Erarbeitung des Templates gemeinsam mit Grundstein Architekten)

Bei der Sanierung der Karlhofschule handelt es sich nicht um ein Forschungsprojekt aus dem Programm „Haus der Zukunft“, sondern um den Träger des Österreichischen Staatspreis für Architektur und Nachhaltigkeit 2012. Das Projekt wurde auf Anfrage der ÖGUT von Grundstein Architekten für TASK 47 bearbeitet.

Die Projekte werden vom Leiter des Subtask A in einem Bericht ausgewertet. Der Bericht wird voraussichtlich Ende 2014 auf der Website von TASK 47 zur Verfügung stehen.

5.1.2.INPUT zu SUBTASK B

Claudia Dankl, Hannes Warmuth

Für den Subtask B werden Interviews mit Stakeholdern der Sanierung der Schule Schwanenstadt durchgeführt. Claudia Dankl sprach mit dem Leiter des „Haus der Zukunft“-Projekts, Günter Lang. Hannes Warmuth von der ÖGUT interviewt im Oktober 2013 den Schwanenstädter Bürgermeister Staudinger und den Architekten Heinz Plöderl. Mehrmalige Versuche, einen Vertreter der Firma Obermayr Holzkonstruktionen zu dem abgeschlossenen Projekt zu interviewen, scheiterten. Wesentlicher Anreiz für diese erste Sanierung einer Schule in Österreich auf Passivhaus-Standard war die Ausschreibung im Forschungsprogramm „Haus der Zukunft“. Wichtig war weiters das große

Engagement der lokalen Akteure und die Einbindung lokaler Firmen. Das Projekt stieß auf große Skepsis bei den Eltern, da Vorbehalte gegenüber damals noch neuen Technologien, wie z.B. die mechanische Lüftungsanlage, bestanden. Der Skepsis wurde durch Exkursionen zu bereits umgesetzten Projekten und durch die probeweise Installation von Lüftungsgeräten zur Testung begegnet.

5.2. Fachliche Inhalte zu Projektziel 2

Diskussion und Präsentation bau- und energietechnische Aspekte der Sanierung historischer Gebäude

Verantwortung: Institut für Wärmetechnik und Institut für Hochbau / TU Graz

5.2.1. Energietechnische Modernisierung denkmalgeschützter Gebäude INPUT zu SUBTASK B

Thomas Mach, Gerhard Lang

Ein großer Teil der emittierten anthropogenen Treibhausgase wird durch die Nutzbarmachung von Energie für den Menschen verursacht. Ein beachtlicher Teil dieser Energie wird bereitgestellt, um unsere Gebäude zu heizen, zu kühlen und zu lüften. Um den derzeitigen Energiebedarf unserer Gebäude zu reduzieren (und dadurch eine Senkung der Treibhausgas-Emissionen zu erreichen), müssen der Energieverbrauch gesenkt und vermehrt erneuerbaren Energiequellen eingesetzt werden. Im Bereich des Neubaus können entsprechende Gebäude bereits in der Planung mit dem entsprechenden Design und den benötigten gebäudetechnischen Komponenten ausgestattet werden. Bezüglich der energietechnischen Modernisierung bestehender Gebäude sind oft erhebliche substantielle Veränderungen in der baulichen und gebäudetechnischen Struktur der Gebäude vorzunehmen. Jede Umsetzung von Maßnahmen zur Modernisierung eines Gebäudes verursacht jedoch neben der gewünschten Veränderung ebenso eine Veränderung des architektonischen Ausdrucks. Ist nun der architektonische Ausdruck in einem geschichtlichen bzw. kulturhistorischen Kontext wertvoll, dann trifft der durch den Klimaschutzgedanken motivierte Wunsch nach Veränderung auf die bewahrenden Anliegen des Denkmalschutzes. Dieses Aufeinandertreffen erzeugt einen Zielkonflikt, der ein Spannungsfeld zwischen den beiden Zielsetzungen generiert (Abbildung 1).

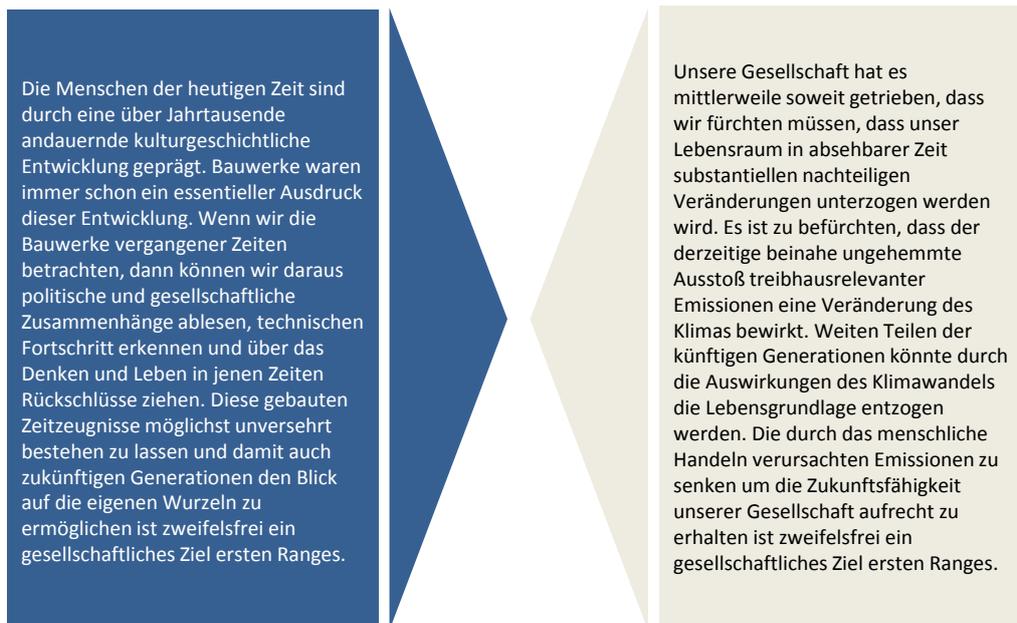


Abbildung 1: Spannungsfeld zwischen Bewahrung und Veränderung

Das Anliegen der Bewahrung kulturhistorischer Werte hat ebenso wie das Anliegen der Reduktion der anthropogen verursachten Treibhausgase eine historische Entwicklung hinter sich, in der sich die Begriffe „Klimaschutz“ und „Denkmalschutz“ als Synonyme dieser beiden Anliegen durchgesetzt haben. Beide Begriffe beschreiben wichtige Anliegen unserer Gesellschaft und sind (zumindest in den meisten Ländern) durch Gesetze rechtlich hinterlegt. Obwohl sich die nationalen Ausformungen und die entsprechenden Richtlinien, Verordnungen und Gesetze einzelner Länder in Nomenklatur und Vorgangsweise unterscheiden, folgen dennoch alle den gleichen Grundgedanken. Nachfolgend werden die Begriffe „Denkmalschutz“ und „Klimaschutz“ stellvertretend für ihre jeweils übergeordneten Zielsetzungen verwendet (Abbildung 2).

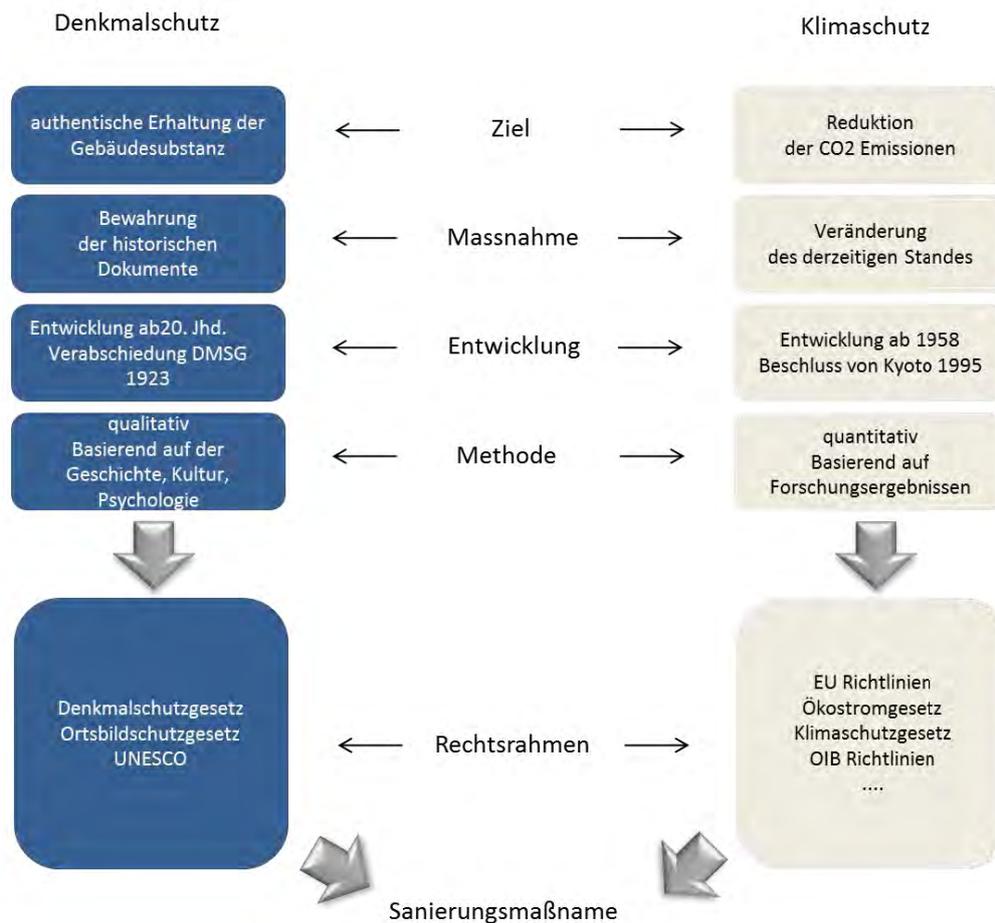


Abbildung 2: Vergleich Denkmalschutz – Klimaschutz in Österreich

In der Behandlung der konkreten Bauaufgabe zeigt sich, dass mit dem Denkmalschutz und dem Klimaschutz zwei sehr unterschiedliche Ansätze aufeinandertreffen. Dadurch entsteht ein Interessenskonflikt, wenn es zu Entscheidungen über konkrete bautechnische bzw. gebäudetechnische Maßnahmen kommt. Die Behandlung dieses Zielkonfliktes wird insbesondere dadurch erschwert, dass der Denkmalschutz auf einer qualitativen Betrachtungsweise beruht, die auf architektonischen, geschichtlichen und kulturhistorischen Aspekten fußt und sich somit einer naturwissenschaftlichen Messbarkeit weitgehend entzieht.

Demgegenüber steht die quantitative Betrachtungsweise des Klimaschutzes mit der Forderung nach einer Reduktion des anthropogenen Treibhausgasausstoßes. Die dazugehörigen Vorgangsweisen basieren auf naturwissenschaftlich definierten Grundlagen, physikalischen Modellen bzw. reproduzierbaren Methoden.

5.2.2. Ergebnisse aus dem Forschungsprojekt „denkmalaktiv I“

Das österreichische Forschungsprojekt „denkmalaktiv I“ [1] behandelte das Spannungsfeld Klimaschutz - Denkmalschutz im Gebäudebestand auf einer technischen sowie auf einer diskursgeführten Handlungsebene. Die Ergebnisse zeigten folgendes Bild:

... ein limitiertes Einsparungspotential ist erschließbar

Obwohl aus denkmalpflegerischer Sicht die Erhaltung des originalen Ausgangszustandes das unbestrittene Ideal darstellt, konnte gezeigt werden, dass in Abstimmung mit dem Denkmalschutz sowohl bauliche als auch gebäudetechnische Maßnahmen gesetzt werden können, die zu einer energietechnischen Verbesserungen führen können. Die Intensität der Einsparung ist jedoch großen Einschränkungen unterworfen. Plusenergiegebäude sind, auf der Grundlage der zurzeit zur Verfügung stehenden Sanierungsmethoden, zwar technisch annähernd realisierbar, würden jedoch in den meisten Fällen tiefgreifende Änderungen im architektonischen Ausdruck der Gebäude zur Folge haben und kulturellen Schutzgedanken massiv widersprechen.

... solare Technologien besonders problematisch

Insbesondere der Einsatz solarer Technologien bei denkmalgeschützten Gebäuden wird von den Vertretern des Denkmalschutzes sehr kritisch gesehen. Der Grund dafür liegt in der damit verbundenen Notwendigkeit, großflächige Kollektorfelder in die Gebäudehülle zu integrieren. Die dadurch verursachte massive Veränderung des gestalterischen Ausdrucks des Gesamtgebäudes widerspricht den Schutzziele des Denkmalschutzes. Die räumliche Entkoppelung der denkmalgeschützten Bausubstanz von den solartechnischen Anlagen könnte hier einen Lösungsansatz darstellen.

... Wissensdefizite in der technischen Ausführung

Die Diskussion hat gezeigt, dass weitgehende Einigkeit darin besteht, dass das technische Wissen in Bezug auf die energietechnische Ertüchtigung historischer Gebäude immer noch unzureichend ausgebildet ist. Die traditionell eingesetzten ingenieurtechnischen Methoden bedienen sich zahlreicher Vereinfachungen in der Modellierung der Fragestellungen. Als Konsequenz sind die in der Regel angewandten Modellierungsmöglichkeiten oftmals nicht in der Lage, das thermisch-hygrische Verhalten der Bauteile so detailliert abzubilden, dass eine Sicherstellung der Schadensfreiheit garantiert werden kann. Die Folge dieser Unsicherheit ist meist die Ablehnung der Energieeffizienz steigernden Maßnahmen aus Angst vor Bauschäden. Entsprechende Forschungstätigkeit und die Umsetzung von Best-practice-Beispielen könnte hier eine deutliche Verbesserung bewirken.

... die individuelle Vielfalt erschwert die Standardisierung

Die Mannigfaltigkeit an geometrischen und materialbedingten Konstellationen verlangt nach sorgfältigen Bestandsaufnahmen, individuellen Planungen und maßgeschneiderten baulichen und gebäudetechnischen Ausführungen. Die daraus resultierende Bearbeitung ist naturgemäß kostenintensiv und fehleranfällig. Die Entwicklung entsprechender Sanierungstechniken würde eine hohe Multiplizierbarkeit aufweisen, da nicht nur die Gruppe der denkmalgeschützten Gebäude, sondern der gesamte Sanierungsmarkt profitieren würde.

... widersprüchliche Bescheide der unterschiedlichen Behörden (bezogen auf Stadt Graz)

Aufgrund der legislativen Zuständigkeit müssen zwei verschiedene Behörden den Sanierungsmaßnahmen zustimmen: die Grazer Bau- und Anlagebehörde für die Einhaltung des (regionalen) Steiermärkischen Baugesetzes und das Bundesdenkmalamt für die Erfüllung des (nationalen) Denkmalschutzgesetzes. Beide Behörden erteilen eigenständige Bescheide (in Bezug auf die

jeweiligen Gesetze), die sich von den Entscheidungen der zweiten Behörde unterscheiden können. Für denkmalgeschützte Gebäude gibt es zwei weitere Gremien, die in den Prozess der Baugenehmigung involviert sind: die Grazer Altstadt-Sachverständigenkommission (unterstützt vom Altstadtanwalt) und den Internationalen Rat für Denkmalpflege – ICOMOS (verantwortlich für die Erhaltung des UNESCO-Weltkulturerbes). Beide Gremien haben beratende Funktionen in diesem Prozess – die Empfehlungen in den Berichten sind für die Behörden nicht verpflichtend einzuhalten, können aber einen starken Einfluss auf die Entscheidungsprozesse haben. Besonders im Falle von voneinander abweichenden Entscheidungen der Behörden zu den geplanten Sanierungsmaßnahmen kann der Prozess der Baugenehmigung somit stark verkompliziert werden.

... unterschiedliche Denkschulen der Interessensgruppen

Im Diskurs um Denkmalschutz und Klimaschutz treffen Naturwissenschaftler und Techniker auf Kunsthistoriker und Architekten, die allesamt ihre jeweiligen Anliegen vertreten. Die unterschiedlichen Denkansätze der Beteiligten erschweren das gegenseitige Verständnis der Vorgangsweisen und Standpunkte signifikant. Die Unterschiede zeigten sich im Wesentlichen in zwei Komponenten: Einerseits argumentierten kulturell-künstlerisch geprägte Diskutanten auf einer qualitativen Ebene, wogegen naturwissenschaftlich geprägte Experten im Wesentlichen auf Zahlenmaterial verweisen. Andererseits argumentierten die leidenschaftlichen Vertreter des Denkmalschutzes oftmals mit der Besonderheit des Einzelfalls und der damit verbundenen unverzichtbaren individuellen Betrachtungsweise. Die naturwissenschaftlich-technische Prägung verlangt demgegenüber das Suchen nach Gemeinsamkeiten der Einzelfälle, um verborgene Gesetzmäßigkeiten zu erkennen und daraus bestenfalls allgemeingültige Regeln abzuleiten.

... für denkmalgeschützte Gebäude schwierige Förderdefinitionen

Die finanziellen Förderungsanreize zur thermischen Ertüchtigung von Gebäuden sind in der Regel an das Erreichen eines maximalen, rechnerisch nachzuweisenden Energiebedarfs gekoppelt. Dieser Maximalwert ist entweder eine Vorgabe eines Absolut-Wertes oder errechnet sich aus einer prozentuell vorgegebenen Einsparung. Aufgrund der Einschränkungen des Denkmalschutzes sind diese Zielwerte für viele denkmalgeschützte Gebäude oftmals nicht erreichbar und Förderanreize aus dem Bereich des Klimaschutzes bleiben unwirksam. Dies sollte auch unter dem Aspekt gesehen werden, dass auch unter Denkmalschutzaufgaben deutliche Energieeinsparungen durch Sanierungen bzw. Modernisierungen erreicht werden können. Auch wenn die Verbesserung zur Erlangung einer Förderung zu gering ausfällt, könnte, aufgrund der energieintensiven Ausgangssituation vor der Sanierung, eine bedeutende Menge an Energie eingespart werden. Eine Intensivierung der bereits vorhandenen Ansätze, für denkmalgeschützte Gebäude auch thermische Ertüchtigungen mit einer kleineren Einsparungsquote als förderungswürdig anzusehen, würde im denkmalgeschützten Bereich ein zusätzliches Sanierungspotential erschließen.

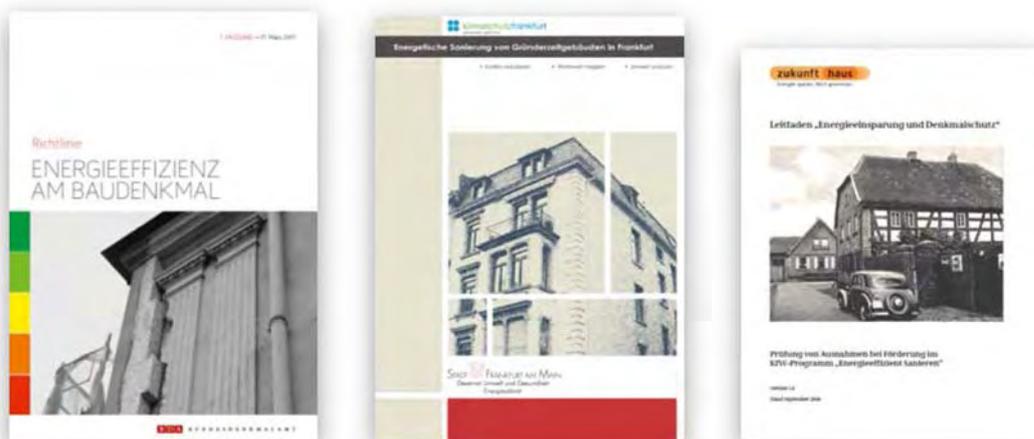
... der Wunsch nach rechtzeitiger Einbindung

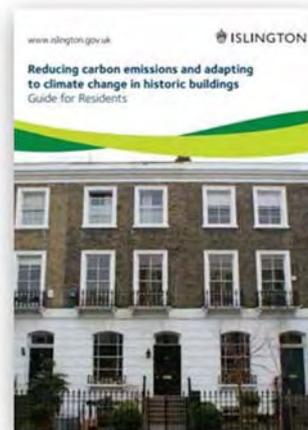
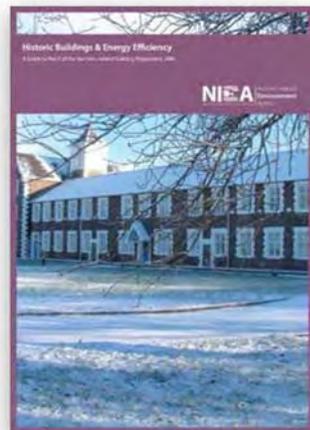
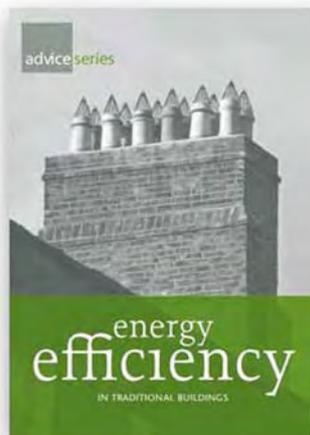
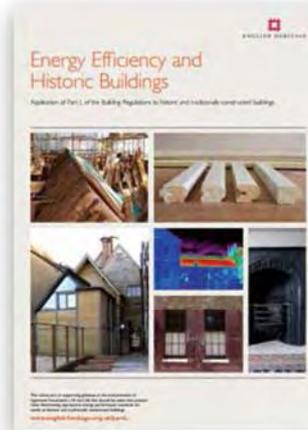
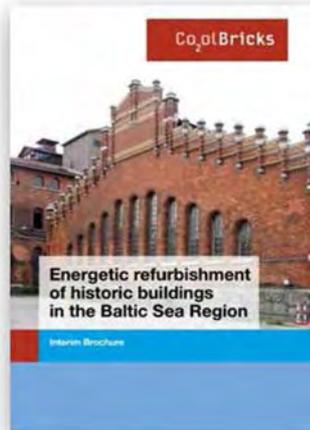
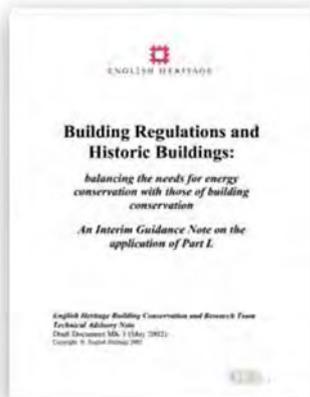
Aus der Sicht der Vertreter des Bundesdenkmalamtes passiert die Einbeziehung des Bundesdenkmalamtes in Sanierungsverfahren oftmals zu spät. Denn eine „rechtzeitige“ Einbindung birgt die

Möglichkeit, gemeinsam mit dem Bundesdenkmalamt genehmigungsfähige Lösungen zu entwickeln. Ist der Entwicklungsprozess zu weit fortgeschritten und sind damit wesentliche Entscheidungen bereits getroffen, kann oftmals nur mehr ein negativer Bescheid ausgestellt werden und die Chance auf eine Reduktion der Umweltwirkungen ist vertan.

... Hilfestellung im Genehmigungsverfahren

Der aus der Sicht des Denkmalschutzes nachvollziehbare Ansatz, dass ein jedes Gebäude als einzigartig zu betrachten ist und in der Folge auch die behördliche Genehmigung einzelner Baumaßnahmen individuell entschieden wird, hat einen entscheidenden Einfluss auf den Prozess der Sanierungsplanung. Im Zuge der Planung von Sanierungsmaßnahmen stellt sich oftmals die Frage, ob eine mögliche Sanierungsmaßnahme denkmalpflegerisch genehmigt werden würde. Die Individualität der Genehmigungsfähigkeit verhindert jedoch die Einführung von entsprechenden Regelwerken. Die Standardisierung von Bewertungsprozessen, so wie in den Naturwissenschaften und in der Technik üblich, ist dadurch im Bereich des Denkmalschutzes nicht möglich. Einen Ansatz, diese für den Planungsprozess hinderlichen Unsicherheiten zu verkleinern, zeigt die durch das Bundesdenkmalamt (BDA) in Österreich erarbeitete Gestaltung der Richtlinie „Energieeffizienz am Baudenkmal“ [2]. In einem umfangreichen Dokument wird den Planern der Sanierung denkmalgeschützter Gebäude eine Hilfestellung zur Frage der Genehmigungsfähigkeit einzelner Modernisierungsmaßnahmen gegeben. Abbildung 3 zeigt eine weitere Auswahl verschiedener Leitfäden zur Unterstützung der Planung denkmalgeschützter Gebäude.





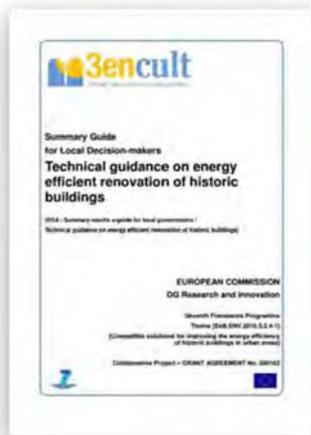


Abbildung 3: Leitfäden zur Unterstützung der Planungsmaßnahmen bei denkmalgeschützten Gebäuden, obere Reihe von links nach rechts: [2],[3],[4], zweite Reihe von links nach rechts: [5],[6],[7], dritte Reihe von links nach rechts: [8],[9],[10], vierte Reihe von links nach rechts: [11],[12],[13], letzte Reihe [14],

Es ist Handlungsbedarf gegeben

Es hat sich gezeigt, dass das Spannungsfeld zwischen Denkmalschutz und Klimaschutz ein bisher zu wenig diskutiertes Themenfeld aufspannt. Ein fruchtbringender Diskurs über kulturhistorisch verträgliche, die Energieeffizienz steigernde Sanierungslösungen hat bisher nur in einem sehr geringen Ausmaß stattgefunden. Das daraus ableitbare fehlende Wissen hemmt die Suche nach validen mit dem Denkmalschutz abgestimmten technischen Sanierungsmaßnahmen. Der Diskurs der beiden Interessensgruppen des Denkmalschutzes und des Klimaschutzes muss intensiviert werden, um das gegenseitige Verständnis der beteiligten Protagonisten zu stärken, um auf dieser Basis nach gemeinsamen Lösungswegen für energietechnisch relevante Sanierungstechniken suchen zu können.

Sollten entsprechende Sanierungslösungen im Einklang mit Denkmalschutz und Klimaschutz nicht gefunden werden, ist ein Attraktivitätsverlust denkmalgeschützter Gebäude zu befürchten. Sollte sich dieser Attraktivitätsverlust darin äußern, dass denkmalgeschützte Gebäude ungenutzt bleiben, würden auch die finanziellen Mittel zur Erhaltung ausbleiben, was längerfristig die Konsequenz des Verfalls mit sich bringen würde. Die Vermeidung dieses Szenarios liegt sowohl im Interesse des Denkmalschutzes als auch weitgehend im Interesse des Klimaschutzes.

5.2.3. Energietechnische Ertüchtigung historischer Kastenfenster INPUT zu SUBTASK C

Daniel Brandl, Thomas Mach, Werner Lerch

Kastenfenster stellten in vielen europäischen Städten im 19. Jahrhundert bis in die Mitte des 20. Jahrhunderts den „Stand der Technik“ des Fensterbaus dar und entwickelten sich dadurch zu einem integralen Bestandteil des Erscheinungsbildes unserer Städte. Insbesondere Kastenfenster aus Holz sind ein integraler Bestandteil unserer historisch gewachsenen Stadtkerne geworden. Über Jahrhunderte der europäischen Geschichte war das Kastenfenster ein wesentliches Element der Fassadengestaltung, das jedoch im Zuge der derzeitigen Modernisierungsaktivitäten nach und nach verschwindet. Getrieben durch den stetig steigenden Druck zu höherer Energieeffizienz im Gebäudebestand schreitet die Modernisierung voran und verringert den Bestand historischer Kastenfenster ständig. Als Folge des Austausches der Kastenfenster gegen neue einschalige Fenstersysteme werden eine Reihe wichtiger Qualitäten unwiederbringlich verändert. Die Bedeutung dieser Veränderung zeigt sich an zwei Argumenten: Erstens liegt das Veränderungspotential im europäischen Raum von vielen Millionen Stück. In einer Studie von Holste et al. [21] wird der Bestand auf ca. 100 Millionen Kastenfenster allein für Deutschland geschätzt. Andererseits handelt sich um eine irreversible Entwicklung, die in ihrer Unwiederbringlichkeit endgültig ist. Es stellt sich die Frage wie die Auswirkungen dieser Veränderung in Bezug auf das allgemein anerkannte gesellschaftliche Ziel der Stärkung der ökologischen, sozialen und ökonomischen Nachhaltigkeit (siehe Bekenntnis der Österreichischen Bundesregierung zur Umsetzung der Agenda 21) zu bewerten sind. Dazu müssen die betroffenen Bewertungsaspekte, wie beispielsweise, der kulturelle Wert, die gestalterische Qualität, der erreichbare Wärme- und Schallschutz sowie die Belichtungsqualität gegenüber gestellt werden.

Insbesondere im Bereich der wärmetechnischen Leistungsfähigkeit modernisierter Kastenfenster ist der publizierte Informationsstand als unzureichend einzustufen. Die im Bauwesen anzutreffenden technischen Werte beziehen sich in der Regel auf sehr vereinfachte Modelle und basieren teilweise auf groben Abschätzungen. Detaillierte Analysen zum wärmetechnischen und strömungstechnischen Verhalten von Kastenfenstern fehlen. Aus dieser Motivation heraus wurden im vorliegenden Ansatz numerische Analysen eines unsanierten Kastenfensters mittels CFD (computational fluid dynamics) durchgeführt, sowie verschiedenste Maßnahmen zur energietechnischen Modernisierung simulations-technisch und messtechnisch untersucht. In Abbildung 4 ist auf der linken Seite der Aufbau des untersuchten Kastenfensters schematisch dargestellt.

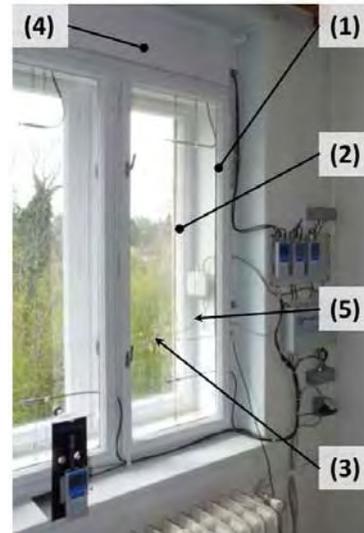
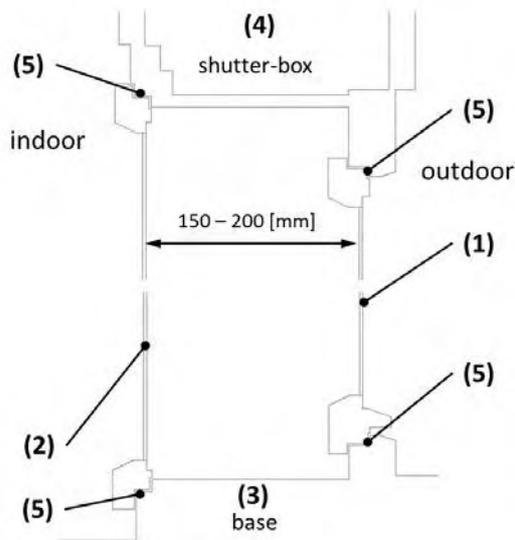


Abbildung 4: Links ist der Aufbau eines Kastenfensters schematisch dargestellt, das Bild auf der rechten Seite zeigt ein Kastenfenster mit installierten Mess-Sensoren aus dem Projekt „denkmalaktiv I“ [20].

Prinzipiell besteht ein Kastenfenster aus einem äußeren (1) und einem inneren (2) Fensterflügel, dem Fensterstock (3) und eventuell einem Rollokasten (4) in dem die Verschattungseinrichtung untergebracht werden kann. Im Bereich des Falzes zwischen den Fensterrahmen und den Fensterstöcken ist eine mehr oder weniger ausgeprägte Luftdurchlässigkeit gegeben (5), durch die Außenluft in den Scheibenzwischenraum und in der Folge in den Innenraum eindringen kann.

Die durchgeführten Modellierungen sollen zum besseren Verständnis der physikalischen Vorgänge im Inneren von Kastenfenstern und zur Entwicklung neuer Methoden beitragen. Die Ausführungen beinhalten Teile aus zwei kürzlich erstellten Veröffentlichungen [15],[16] sowie Teile von Ergebnissen aus dem nationalen Forschungsprojekt „denkmalaktiv I“ [20].

In Abbildung 5 sind die untersuchten Konzepte zur Verbesserung des thermischen Verhaltens schematisch dargestellt. Ausgangsbasis war ein originales Kastenfenster (A), um das Strömungsverhalten und die Wärmeübergänge zu untersuchen. In der ersten Verbesserungsvariante (B) wurden die inneren Luftspalte mit einer speziell ans Fenster angepassten Dichtung versehen, um einen unkontrollierbaren Luftwechsel zwischen Innenraum und äußerer Umgebung zu unterbinden. In der nächsten Variante (C) wurde zusätzlich zu dieser Spezialdichtung die innere Verglasung durch eine Wärmedämmverglasung ausgetauscht. Eine weitere Verbesserungsmaßnahme war eine zusätzliche Wärmedämmung für den Rollokasten und an Teilen der Innenseite der Außenmauer, um auch dort die Wärmeverluste zu reduzieren. In Variante (D) wurde dem Kastenfenster ein weiteres (luftundurchlässiges) Fenster vorgesetzt. Dadurch entsteht ein weiterer Fensterzwischenraum und der Luftwechsel mit der äußeren Umgebung findet nur mit den Zwischenräumen im Kastenfenster und diesem zusätzlichen Zwischenraum statt. Eine luftundurchlässige Trennwand im Kastenfensterzwischenraum soll in Variante (E) wiederum dazu dienen, den Luftwechsel zwischen Innenraum und äußerer Umgebung zu verhindern und das thermische Verhalten zu verbessern.

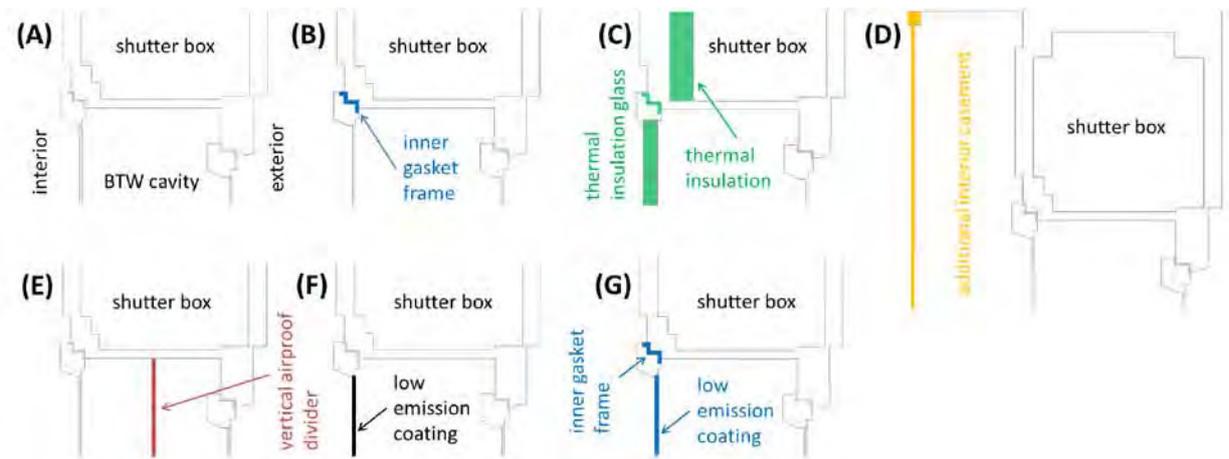


Abbildung 5: Schematische Darstellung der Verbesserungskonzepte für historische Kastenfenster [16].

Zusätzlich wurden das originale Kastenfenster (A) und das Fenster mit der Dichtung an den inneren Fensterflügel (B) mit einer low emission Beschichtung versehen, die dazu dient, den Wärmeverlust über Strahlung über die verhältnismäßig großen Glasflächen zu vermindern (F) und (G). Die hier präsentierten Ergebnisse stammen zum Teil aus kürzlich von Brandl et al. veröffentlichten Studien zum Thema thermischen Verhaltens von Kastenfenstern [15],[16]. Als Simulationswerkzeug wurde die CFD (Computational Fluid Dynamics) Software Fluent von ANSYS [22] verwendet, mit deren Hilfe das thermische sowie auch das strömungstechnische Verhalten bis ins Detail aufgelöst werden konnte. Mehr über den Aufbau der CFD Modelle ist in den oben genannten Veröffentlichungen ([15],[16]) bzw. im Projektendbericht des abgeschlossenen Forschungsprojektes „denkmal aktiv I“ [20] nachzulesen. Das für die Untersuchungen verwendete zweidimensionale CFD-Modell, mit dem alle Verbesserungskonzepte untersucht wurden, ist in Abbildung 6 mit einem Temperaturkonturplot hinterlegt dargestellt.

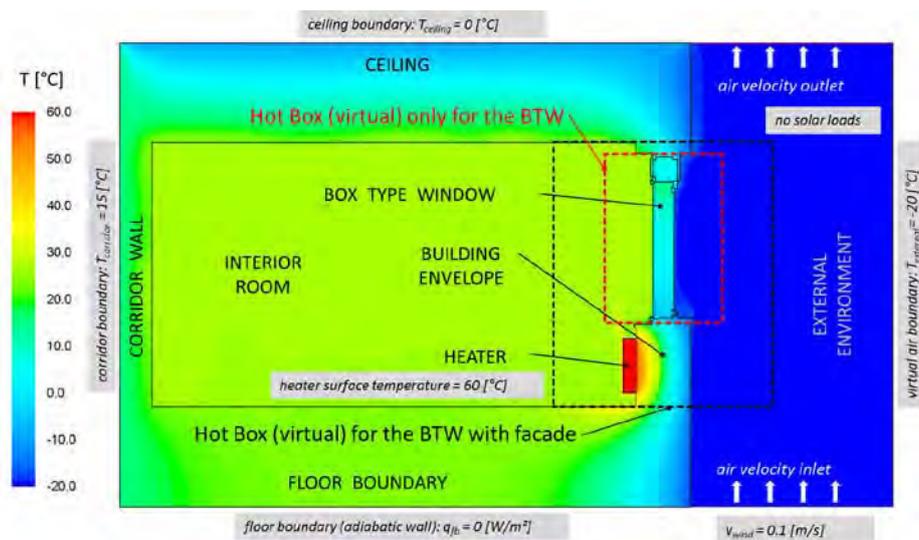


Abbildung 6: Darstellung des zwei-dimensionalen CFD Modells inklusive Beschreibung der Zonen und Randbedingungen. Zusätzlich ist ein Temperaturkonturplot hinterlegt, der aus der Untersuchung des originalen Kastenfensters (A) stammt [16].

Folgende Randbedingungen wurden für die CFD Simulationen angesetzt:

- Das Kastenfenster wurde zu stationären winterlichen Bedingungen untersucht, bei denen eine Außentemperatur von -20°C und keine solare Einstrahlung vorherrschten. Die Temperatur im Gang wurde mit 15°C angenommen.
- Als Randbedingung wurde außerdem eine Windgeschwindigkeit von 0.1 m/s vertikal die Fassade nach oben gerichtet angesetzt, die sich aus den Voruntersuchungen und einer Gebäude-Wind Simulation für diese Fassade ergab [20].
- Der Raum, in dem sich das betrachtete Fenster befindet, liegt im obersten Stock eines dreistöckigen Gebäudes. Der darunterliegende annähernd baugleiche Raum und ein ähnliches Nutzungsverhalten lassen die Annahme zu, dass kein Wärmeaustausch zwischen den beiden Räumen stattfindet.
- Der Dachaufbau wurde im Modell vereinfacht dargestellt und eine dafür entsprechend angepasste Randbedingung von 0°C angenommen, um die Wärmeverluste über die Decke des Raumes entsprechend zu berücksichtigen.
- Der Effekt der Wärmezufuhr über den Heizkörper wurde mit einer Heizkörperoberflächentemperatur von 60°C angenommen.

In den Simulationen wurde das $k-\varepsilon$ Turbulenzmodell verwendet, das sich nach Literaturrecherche und einigen Tests als das Beste erwies. Die Luft konnte vereinfacht als inkompressibles ideales Gas betrachtet werden, da die auftretenden Strömungen sehr niedrig waren [22]. Um den Austausch von Wärmestrahlung zu berücksichtigen wurde zusätzlich noch das „Discrete Ordinate“ Strahlungsmodell verwendet [22]. Alle weiteren Details können in den zuvor schon erwähnten Veröffentlichungen nachgelesen werden ([15],[16],[20]).

Um die aus den Simulationen ermittelten Daten vorab zu prüfen wurde ein Vergleich zwischen messtechnisch erfassten Daten aus einer in situ Messung und den Simulationsergebnissen durchgeführt. Im Zuge des Projekts „denkmalaktiv I“ [20] wurden zwei baugleiche Fenster in einer ehemaligen psychiatrischen Klinik (heute ein Kindergarten) mit der entsprechenden Messtechnik ausgestattet, um Temperaturen, Strahlung und auch Luftfeuchte zu messen. Eines der beiden instandgesetzten Fenster (A) wurde nach Konzept (B) in Abbildung 5 verbessert.

In Abbildung 7 ist für die beiden Fenster und Räume der Verlauf der Temperaturen über ein paar im Wintertage dargestellt, an denen besonders niedrige Außentemperaturen vorherrschten. Über Nacht ohne den Einfluss der Solaren Strahlung herrschten relativ konstante Bedingungen, die sich gut für einen Vergleich mit einer stationären CFD Simulation eignen. Die Temperaturanstiege am Tag in den Verläufen in Abbildung 7 wurden maßgeblich von der solaren Strahlung beeinflusst.

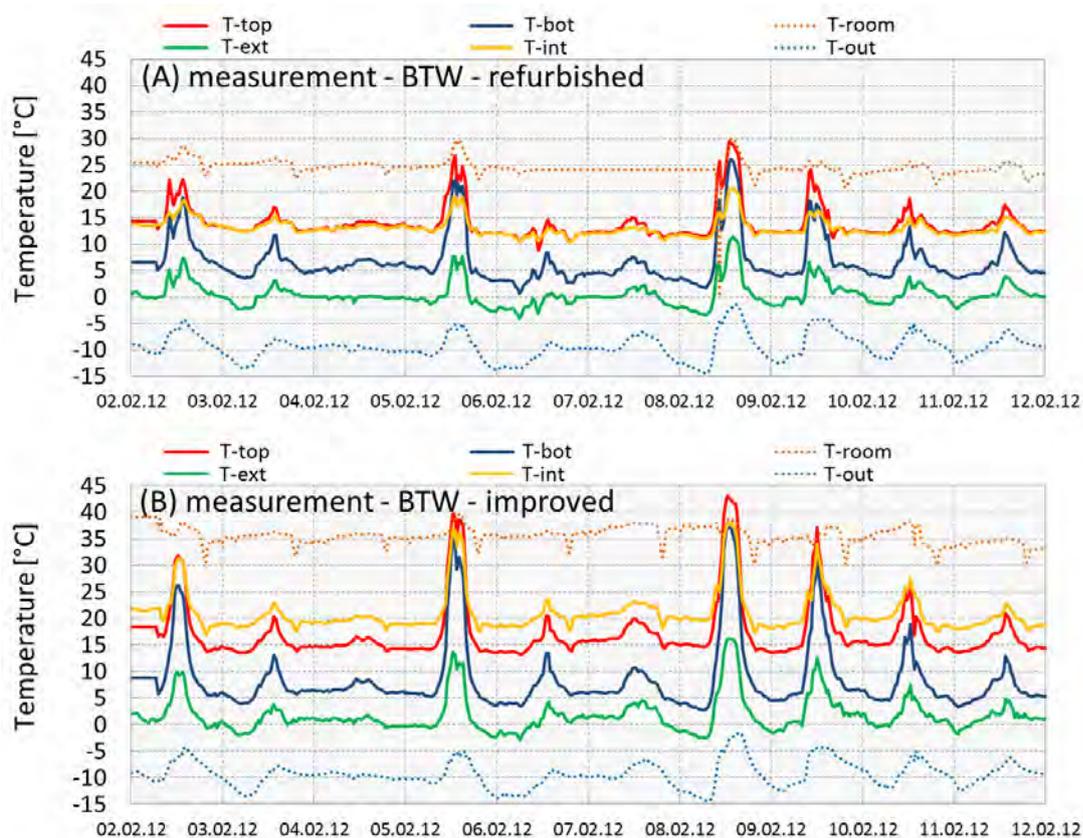


Abbildung 7: Auszug der gemessenen Temperaturen 2012 für (A) das originale und (B) das verbesserte Kastenfenster [16].

Die konstanten Temperaturmesswerte wurden in den CFD Simulationen als Randbedingungen bzw. zum Vergleich verwendet. In Abbildung 8 ist ein Vergleich zwischen den Temperaturprofilen über die Fensterhöhe und den an den entsprechenden Stellen gemessenen Temperaturen für die beiden Fenster (A) und (B) abgebildet.

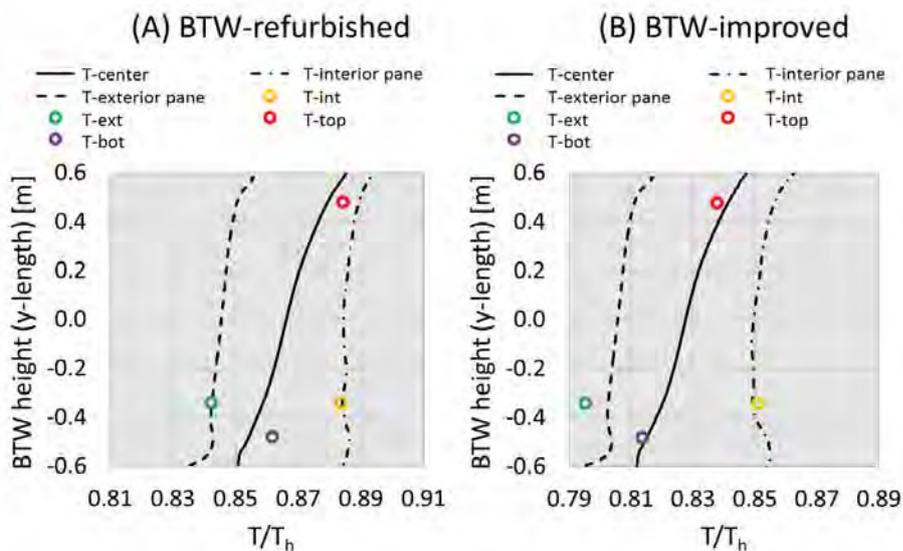


Abbildung 8: Vergleich von gemessenen Temperaturen mit den Temperaturverläufen aus den CFD Simulationen für (A) das originale und (B) das verbesserte Kastenfenster [15].

In Abbildung 9 ist die Strömungs- und Temperaturcharakteristik für Kastenfenster dargestellt. Die beiden Fensterflügel sind weit genug voneinander entfernt, sodass an jedem Fensterflügel an den Scheiben entlang jeweils eine freie (natürliche) konvektive Strömung entsteht. Diese Konvektionsschichten sind relativ schmal sodass sich in einem großen Bereich in der Mitte des Fensterzwischenraums sowohl Temperatur als auch Strömungsgeschwindigkeit kaum ändern. So stellt sich eine zirkulierende Strömung ein, wobei die Temperatur im Kastenfensterzwischenraum nach oben hin stetig ansteigt.

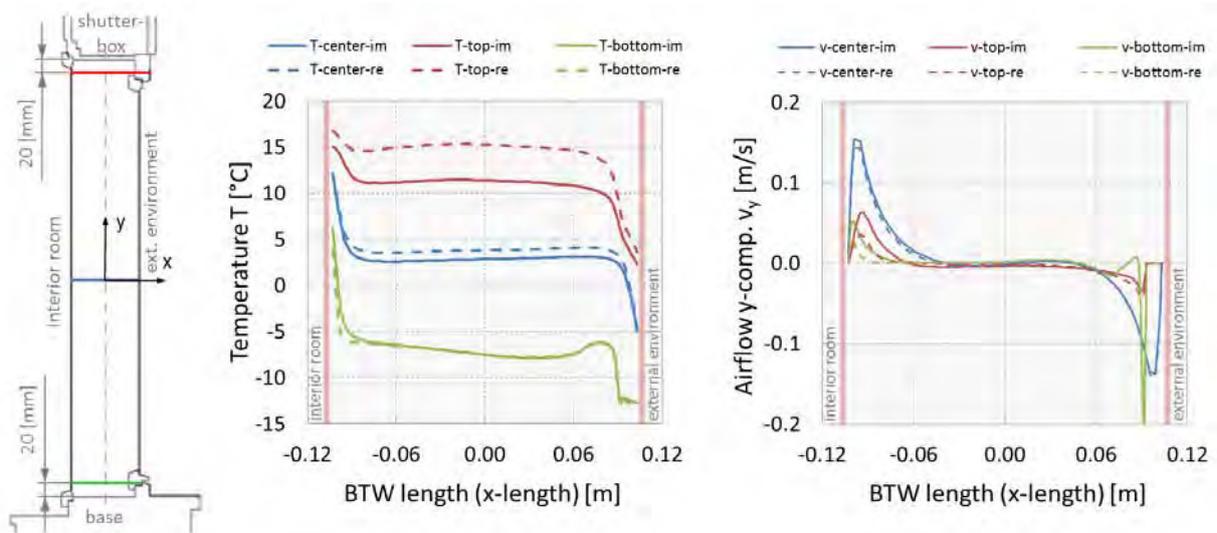


Abbildung 9: Darstellung von Temperatur und Strömungsprofilen zwischen den zwei Fensterflügeln an drei unterschiedlichen Fensterhöhen [15],[16],[20].

Im Endbericht von Subtask C von TASK 47 ist eine ausführliche Wärmestromanalyse für alle Verbesserungskonzepte inklusive des originalen Kastenfensters enthalten. Hier werden allerdings nur die wichtigsten Erkenntnisse präsentiert.

Der Wärmeverlust durch die Außenwände war in allen Fällen fast gleich hoch. Lediglich in der Variante (C) mit der Innendämmung fielen die Wärmeverluste geringer aus. Die Wärmeverluste über den Rollkasten waren in den Varianten (C) und (D) geringer als in den andere Varianten. In den Konzepten (A) und (B) ergab die Wärmestromdichte für die Fenster einen Wert über 100 W/m^2 , in der Variante (C) hingegen lag der Wert unter 50 W/m^2 . In den restlichen Konzepten bewegte sich die Wärmestromdichte an den Fenster zwischen 70 und 85 W/m^2 .

Durch die Randbedingung einer konstanten Heizkörperoberflächentemperatur variierte die vom Heizkörper abgegebene Wärme in den einzelnen Szenarien. Je niedriger demnach die vom Heizkörper abgegebene Wärme war, desto besser ist der Wärmeschutz. Basierend auf der über den Heizkörper zugeführten Wärme aus Variante (A) wurde folgende Verbesserung erzielt: In Variante (B) wurde die Wärmezufuhr um 1 % verringert, in Variante (c) um 16 %, in den Varianten (D), (E) und (F) um ca. 8 % und in Variante (G) um 9 %.

Weiters wurde auch der U-Wert für alle Szenarien ermittelt. Dazu wurde die Simulationsdomäne auf das Fenster bzw. auf das Mauerwerk reduziert. Somit wurde eine virtuelle Hotbox kreiert. Die obere und untere Grenze im Simulationsmodell wurden als adiabatisch definiert, an der linken Grenze wurde eine Temperatur von 20°C aufgeprägt und an der rechten Grenze eine Temperatur von -20°C. In der Simulation stellte sich dadurch ein konstanter Wärmestrom ein. Damit konnten anschließend der U-Wert sowohl für die Außenfassade als auch für das Fenster alleine für alle untersuchten Varianten ermittelt werden.

Tabelle 1: Ermittelte U-Werte aus den CFD Simulationen

Renovation concepts		(A) refurbished	(B) inner gasket frame	(C) thermal insulated	(D) additional interior casement	(E) vertical airproof divider	(F) (A) + low emission coating	(G) (B) + low emission coating
BTW	U-values [W/(m ² *K)]	1.74	1.69	0.76	1.32	1.32	1.38	1.32
	heat flux [W/m ²]	78.1	76.2	34.2	59.2	59.4	62.0	59.4
Facade with BTW	U-values [W/(m ² *K)]	1.37	1.35	0.65	1.09	1.08	1.12	1.08
	heat flux [W/m ²]	61.6	60.5	29.2	48.8	48.6	50.5	48.6

Ausgehend von Konzept (A) konnte der U-Wert durch die Integration einer inneren Abdichtung der Luftspalte um 3 % gesenkt werden. Im Vergleich dazu ergab die thermische Sanierung mit Fenstertausch, Innendämmung und Dichtung eine Verbesserung des U-Werts um 56 %. Das Aufbringen einer Low-emission-Beschichtung in Konzept (F) brachte eine Reduktion des U-Werts von 21 %, die restlichen Varianten ergaben eine Senkung des Werts von 24 %.

5.2.4. Kapillaraktive Innendämmsysteme INPUT zu SUBTASK C

Stefan Holper, Michael Grobbauer, Peter Kautsch, Severin Zimmer, Ulrich Ruisinger

Bei der thermischen Sanierung innerstädtischer und denkmalgeschützter Bauwerke sind Außendämmungen aufgrund des Denkmalschutzes, der Baufluchtlinien oder aufgrund des mit ihrer Errichtung verbundenen Aufwandes oftmals nicht möglich. Obwohl bei Planung und Ausführung anspruchsvoller als Außendämmungen bieten Innendämmungen oftmals eine technisch sinnvolle Möglichkeit, den U-Wert bestehender Außenwände um rund 50 bis 70 % zu senken und die behaglichkeitsrelevanten inneren Oberflächentemperaturen zu erhöhen. Neben den bereits seit längerem bekannten Ausführungen mit innenliegender Dampfbremse oder dampfdichten Dämmstoffen verfolgen neuere, diffusionsoffene Konstruktionen das Ziel, schädliche Wasserdampfkondensation unter Ausnutzung der hohen Sorptions- und kapillaren Leitfähigkeit des Dämmmaterials zu vermeiden.

Während insbesondere kapillaraktive Innendämmungssysteme in den letzten Jahren hinsichtlich ihrer grundlegenden Eignung vielfach untersucht wurden, sind diverse Detailpunkte in ihrer Wechsel-

wirkung zwischen Dämmsystem und einbindenden Bauteilen noch wenig untersucht. Die generelle Verwendbarkeit von Innendämmungen in konkreten Projekten entscheidet sich aber nicht zuletzt an Detailpunkten, die mit herkömmlichen Methoden (Beurteilung aus der Erfahrung oder mithilfe von stationären Wärmebrückenberechnungen und Wärmebrückendetails) nicht bewertet werden können, da einerseits keine Detailkataloge vorliegen, andererseits eine reine Wärmestromberechnung nicht geeignet ist, das komplexe hygrothermische Verhalten abzubilden.

Der Schwerpunkt des gegenständlichen Projektes liegt in der generellen Betrachtung der Eignung unterschiedlicher bekannter Systeme für übliche und typische Anschlüsse sowie in deren Abbildung im Rahmen von Simulationsberechnungen. Als Referenzobjekt dient das Gebäude Schönbrunngrasse 30 in Graz-Mariagrün, wobei die Auswahl der Detailpunkte auf Reproduzierbarkeit und Multiplizierbarkeit abzielt, so dass die Ergebnisse auch für andere Objekte aussagekräftig sein sollen. Die durchgeführten Modellierungen sollten zum besseren Verständnis der physikalischen Vorgänge beim Einsatz kapillaraktiver Innendämmsysteme führen. Die Ausführungen basieren auf den Ergebnissen des nationalen Forschungsprojektes „denkmalaktiv I“ [20].

Aus einer großen Auswahl an Innendämmsystemen wurden vier dieser Systeme für eine eingehende Untersuchung ausgewählt. Für diese Innendämmsysteme, die alle ein unterschiedliches thermisch-hygrisches Verhalten aufweisen, wurde generell aufgrund des Energiebedarfs für das Gebäude in den Untersuchungen jeweils eine Wandstärke von 12 cm gewählt. Das Innensystem iQ-Therm wurde in den Untersuchungen mit einer Dicke von 8 cm ausgeführt, da dies die maximal erhältliche Dämmstärke war. Dafür wurde das System Calsitherm neben 12 cm auch mit 8 cm Dämmstärke ausgeführt, um einen Vergleich mit iQ-Therm zu ermöglichen und um Ergebnisse einer Variante mit höherem U-Wert zu erhalten.

- **System Calsitherm (CT 08 & 12)** – Die Dämmung besteht aus einem mikroporösen offenporigem Calciumsilikat mit weitgehend konstanter Porengröße. Bei einer Dämmstärke von 8 cm wies die Calsitherm Innendämmung die geringste Dämmwirkung von den untersuchten Systemen auf.
- **System Multipor (MP12)** – Dieses Dämmsystem besteht aus Calciumhydratschaum mit variierender Porengröße. Multipor mit einer Dämmstärke von 12 cm zeigte die beste Dämmwirkung von allen untersuchten Systemen.
- **System Cellulose (ZL12)** – Dieses System besteht aus Celluloseflocken, die mit einem Bindemittel gemeinsam auf die Wand aufgesprüht werden. Um die Unebenheiten auszugleichen, die durch das Aufsprühen entstehen, muss der Innenputz dicker ausgeführt werden als bei den übrigen Dämmsystemen.
- **System iQ-Therm (iQ08)** – Die Dämmung besteht aus Polyurethanschaum mit senkrecht zur Oberfläche orientierten Kanälen, die mit kapillaraktivem mineralischen Mörtel gefüllt sind. Dieses Dämmsystem erzielte die zweitbeste Dämmwirkung bei einer Dämmstärke von nur 8 cm.

Tabelle 2: Materialeigenschaften der untersuchten Innendämmsysteme

Bezeichnung	Erläuterung	Schicht	Dicke [cm]	λ [W/mK]	μ [-]	R [m ² K/W]	S _d [m]	R _{II,S} [m ² K/W]	S _{d,II,S} [m]
Calsitherm CT12	Mikroporöses offenporiges Calciumsilikatgerüst	Kleber	0,8	0,920	38,4	0,01	0,31	1,95	1,08
		Dämmung	12,0	0,063	5,4	1,90	0,65		
		Innenputz	1,0	0,282	12,1	0,04	0,12		
Calsitherm CT08	Mikroporöses offenporiges Calciumsilikatgerüst	Kleber	0,8	0,920	38,4	0,01	0,31	1,31	0,86
		Dämmung	8,0	0,063	5,4	1,27	0,43		
		Innenputz	1,0	0,282	12,1	0,04	0,12		
Multipor MP12	Dämmplatte aus Calciumhydratschaum, inhomogenes Porenspektrum	Kleber	0,8	0,192	13,1	0,04	0,10	2,95	1,04
		Dämmung	12,0	0,042	6,7	2,86	0,80		
		Innenputz	1,0	0,192	13,1	0,05	0,13		
Isocell-Cellulose ZL12	aufgespritzte, mit Bindemittel versehene Cellulose flocken	Kleber	-	-	-	-	-	2,38	0,41
		Dämmung	12,0	0,052	2,5	2,31	0,32		
		Innenputz	1,5	0,225	6,2	0,07	0,09		
iQ-Therm iQ08	Polyurethanschaumplatte, senkrecht zur Oberfläche stehende, mit kapillaraktiven mineralischen Mörtel verfüllte Kanäle	Kleber	0,8	0,497	18,7	0,02	0,15	2,62	2,45
		Dämmung	8,0	0,031	27,0	2,58	2,16		
		Innenputz	1,0	0,479	13,9	0,02	0,14		

Anschlussdetails

Wie zuvor schon erwähnt, wurden unterschiedliche Anschlussdetails ausgewählt, um das Verhalten der Innendämmsysteme entsprechend untersuchen zu können. Dafür wurden typische historische Konstruktionen ausgewählt, die sehr häufig im Bereich der unter Denkmalschutz stehenden Gebäude vorkommen. Die Auswahl basierte auf Referenzgebäuden in der Stadt Graz, wobei auf die Multiplizierbarkeit der Details geachtet wurde.

Ein wichtiges Kriterium für den Auswahlprozess der Anschlussdetails war es, neben den geometrischen und materialbedingten Faktoren, auch klimatische Einflüsse wie z.B. einen unconditionierten Keller oder unausgebaute Dachgeschosse zu berücksichtigen. Weiters wurden auch verschiedene Wandstärken der Mauerwerke in die Untersuchungen eingeschlossen, da Wandstärken vor allem in historischen Gebäuden sehr stark variierten.

Weiter wurden noch die Anschlüsse der inneren Wärmedämmung sowie die Positionen der Fenster in den Mauerwerken berücksichtigt. Diese große Anzahl von Varianten machte Voruntersuchungen nötig, um eben die Anzahl der für diese Arbeit interessanten Untersuchungsfälle (Simulationsfälle) zu reduzieren. Alle für die folgenden Untersuchungen wichtigen Anschlussdetails sind in Abbildung 10 und Abbildung 11 dargestellt.

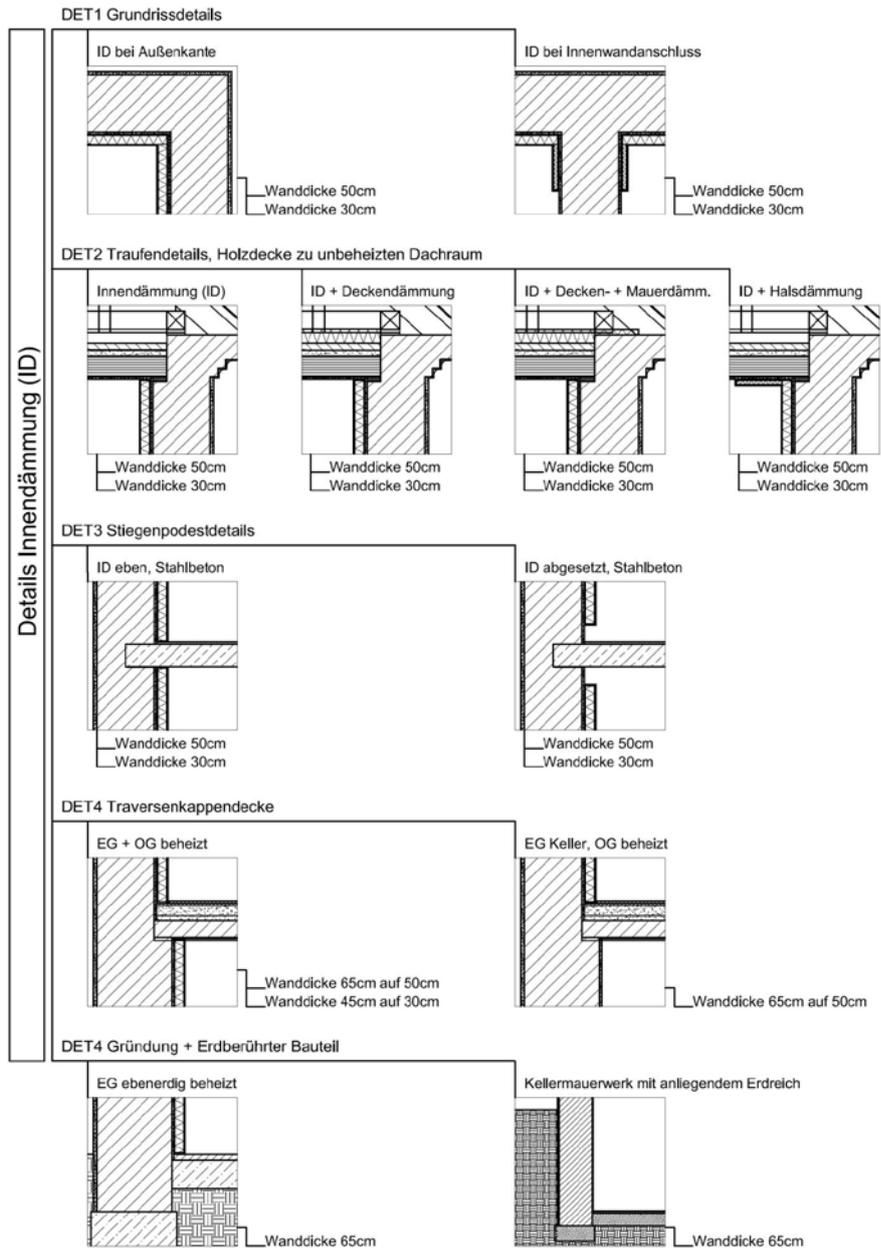


Abbildung 10: Anschlussdetails - allgemein

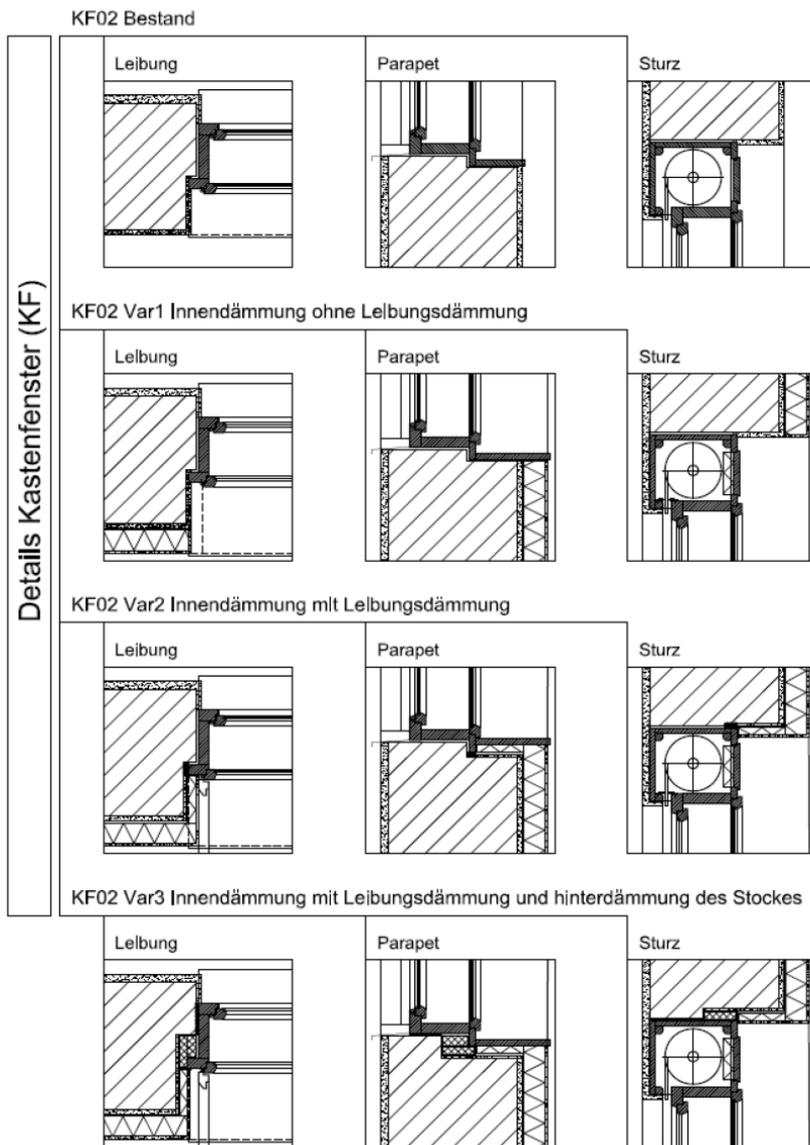


Abbildung 11: Anschlussdetails - Kastenfenster

Generell wurde für alle Arten der Anschlussdetails derselbe Untersuchungsansatz gewählt. Zuerst wurde mittels einer Literaturrecherche bzw. Untersuchung direkt an vorhandenen Objekten nach geeigneten Konstruktionen und dafür repräsentativen Details gesucht. Danach wurden Sanierungskonzepte aufgestellt und mit Hilfe diverser Voruntersuchungen kritische Details und Varianten identifiziert, um die Anzahl der Simulationsvarianten minimieren zu können. Die ausgewählten Anschlussdetails wurden einer stationären thermischen (mit Heat2), sowie einer instationären thermisch-hygrischen Simulation (mit Delphin5) unterzogen. Mit Heat2 wurden der Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert), der lineare Wärmedurchgangskoeffizient (ψ -Wert) und der Temperaturfaktor (f_{Rsi} -Wert) ermittelt. Mit der Hilfe von Delphin5 war es möglich, für die gesamte Detailgeometrie und für die gesamte Simulationsperiode den Wärme- und Feuchtigkeitstransport gekoppelt zu betrachten.

Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit wurden über die gesamte Detailgeometrie jeweils für den Tag mit dem höchsten und niedrigsten Wassergehalt dargestellt, und der jährliche Durchschnitt und die

maximalen (kritischen) Werte wurden ermittelt. Für die interessanten Positionen im Simulationsmodell (z.B. an den Stellen, an denen man kritische Bedingungen erwartet) wurden der Verlauf von Temperatur und relativer Luftfeuchtigkeit für ein ganzes Simulationsjahr dargestellt, um eine korrekte Bewertung zu gewährleisten. Für die Simulationen und den Vergleich der verschiedenen Innendämmsysteme galten die folgenden Bewertungskriterien:

- **Niedrige Oberflächentemperaturen und Schimmelbildung an der inneren Oberfläche:** Schimmelbildung kann sowohl zu Schäden an der Bausubstanz führen, als auch ein gesundheitliches Risiko für die Bewohner darstellen. Dabei gilt ein Wert für den Oberflächentemperaturfaktor f_{Rsi} von 0,71 als unterer Grenzwert für Schimmelwachstum. Bei instationären Simulationen wurde das maßgeblich von Viitanen entwickelte Bewertungsmodell [24] für ein eingeschwungenes Jahr (s.o.) genutzt um festzustellen, ob Schimmelbildung zu erwarten ist. Das Modell basiert auf stündlichen Werten von Temperatur und relativer Luftfeuchtigkeit und ist in der Lage, Wachstum und Rückbildung auf verschiedenen Baumaterialien zu unterscheiden.
- **Zerstörung von Holz:** Permanent hohe Feuchtigkeit in Holzkonstruktionen kann zum Wachstum von Organismen führen, die das Holz angreifen und zerstören. In der EN 335-1 [25] liegt die kritische Grenze für den Wassergehalt bei 20 % bezogen auf die Masse (M %). Um diesen Effekt in den Simulationen zu berücksichtigen, wurde ein weiteres Modell von Viitanen [26] verwendet. Mit diesem Modell lässt sich der Holzschwund in M% wiederum für stündlich wechselnde Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit ermitteln.
- **Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit innerhalb der Konstruktion:** Für die Ermittlung der kritischen Temperatur und der relativen Luftfeuchtigkeit in den Anschlussdetails war kein dynamisches Berechnungsmodell verfügbar. Lt. ÖNORM B 8110-2 tritt jedoch schädliches Wasserdampfkondensat (in einem eindimensionalen System) auf, wenn:
 - die auftretende Kondensat-Menge in den Sommermonaten nicht rücktrocknet
 - bei rücktrocknendem Kondensat die Kondenswassermenge in der betroffenen Bauteilschicht nicht gespeichert werden kann bzw. an Berührungsflächen von kapillar nicht oder wenig aufnahmefähigen Schichten $0,5 \text{ kg/m}^2$ überschreitet
 - bei rücktrocknendem Kondensat der Wärmedurchgangswiderstand des gesamten Bauteils um 10 % oder mehr vermindert wird
 - bei rücktrocknendem Kondensat die betroffenen Bauteile geschädigt werden
 - bei rücktrocknendem Kondensat bei Holz und Holzwerkstoffen eine Erhöhung des massebezogenen Feuchtigkeitsgehalts um mehr als 3 % auftritt.
- **Frostgefahr:** Außenliegende Bauteile erfahren durch das Anbringen einer Innendämmung niedrigere Temperaturen als beim ursprünglichen Bau geplant war. Dies gilt auch für den meist nicht frostbeständigen Bestands-Innenputz-. Darum wurden die Einflüsse durch wiederholte Frier- und Tautvorgänge in den Materialien untersucht, jedoch konnten die Ergebnisse nicht validiert werden, da keine geeigneten Daten für einen Vergleich verfügbar waren.

Die standardisierten Berechnungsmodelle für Wasserdampfdiffusion berücksichtigen den Transport von Wasser in der flüssigen Phase nicht. Darum weisen die Innendämmsysteme in solchen Berechnungen während der Kondensationsperioden einen hohen Feuchtigkeitsgehalt auf, da das Kondensat nicht abtransportiert wird. Das führt wiederum zu hohen Wassermassen, die sich während des Sommers nicht mehr vollständig rücktrocknen können (siehe Tabelle 3). In Delphin 5 hingegen wird der Flüssigwassertransport in den Simulationen mitberücksichtigt, was zu niedrigeren Wassermengen in der Konstruktion führt. Generell zeigten die Simulationsergebnisse für alle Innendämmsysteme ein positives Verhalten an, wobei durch die unterschiedlichen Materialien die Ergebnisse zwischen den einzelnen Systemen voneinander abweichen. In allen Systemen wurde der höchste relative Feuchtigkeitsgehalt im Bereich zwischen der Innendämmung und der Außenmauer festgestellt.

Tabelle 3: Ergebnisse aus normativen Berechnungen und hygrothermischen Simulationen (eindimensionaler Wandaufbau)

Dämmsystems	ÖNORM B 8110-2		Simulation mit Delphin5	
	Kondensatmasse* [kg/m ²]	Rücktrocknung	Kondensatmasse* [kg/m ²]	Rücktrocknung
CT12	2,194	Nein	-	Ja
MP12	1,846	Nein	-	Ja
ZL12	4,891	Nein	0,228	Ja
CT08	2,691	Nein	0,010	Ja
iQ08	0,599	Ja	-	Ja

*überhygroskopische Wassermasse nach der Kondensationsperiode

In diesem Bereich lag die relative Luftfeuchtigkeit für das Dämmsystem Multipor unter 80 %, wohingegen diese in allen anderen Systemen teilweise über 90 % lag (Abbildung 12). Dies ist auf die ausgezeichnete Flüssigwasserleitfähigkeit des Materials Multipor im hygroskopischen Bereich der relativen Luftfeuchtigkeit zurückzuführen (In Delphin5 wird die Feuchtemenge oberhalb 95 % Luftfeuchtigkeit als überhygroskopisches Wasser ausgegeben. Eventuell anfallendes Kondensat im Bauteil ist im Flüssigwassergehalt enthalten. Im Folgenden sind Werte über 95 % relativer Luftfeuchtigkeit als überhygroskopisches Wasser und solche über 99 % als Kondensat definiert).

Mit dem System Calsitherm wird in den Kondensationsperioden an der Grenzfläche Innendämmsystem zu Bestand die hygroskopische Grenze erreicht, über den Sommer findet auf Grund der guten Flüssigwasserleitfähigkeit des Materials eine Rücktrocknung statt. Der Rücktrocknungsprozess verläuft im System mit geringerer Wandstärke schneller (CT08). Wegen eines hohen Wasserdiffusionswiderstands des Klebemörtels zwischen Dämmung und Mauer wird aber der Rücktrocknungseffekt vermindert.

Den niedrigsten Wasserdampfdiffusionswiderstand besitzt das Dämmsystem Cellulose. Dieses System zeigte die rascheste Wasseranreicherung und weist die höchsten maximal auftretenden relativen Feuchtigkeitsgehalte auf. Jedoch ist durch die ausgezeichnete Wasserleitfähigkeit des Materials, vor allem im Bereich über der hygroskopischen Grenze, die Funktion des Systems stets gewährleistet. Durch die langen Perioden in denen die Feuchtigkeit über dem hygroskopischen Bereich liegt, sollten aber noch Auswirkungen auf feuchteempfindliche Materialien (z.B. Metalle, Holz), die sich in den Bereichen mit hohem Feuchtigkeitsgehalt befinden, genauer untersucht werden.

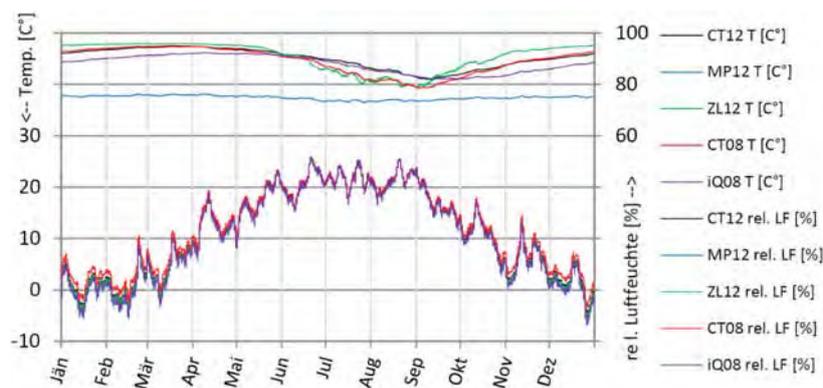


Abbildung 12: Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit in der Schicht zwischen Innendämmung und Bestands-Außenmauerwerk (eindimensionaler Wandaufbau)

Das Dämmmaterial iQ-Therm besitzt den höchsten Wasserdampfdiffusionswiderstand von allen Systemen und vermindert somit das Eindringen von Wasserdampf in die Konstruktion. Zusätzlich kann durch die mit Mörtel gefüllten Kapillaren flüssiges Wasser besser aus der Konstruktion abtransportiert werden. Dies hat zur Folge, dass für dieses Dämmsystem im Vergleich zu den anderen Systemen eine niedrigere Wassermenge an der Grenzfläche Innendämmsystem zu Bestandsmauerwerk und ein langsamerer Rücktrocknungsprozess auftreten.

Aus den Simulationsergebnissen geht hervor, dass Multipor 12 und iQ-Therm die niedrigsten Wassermassen im Bauteil aufweisen und die besten Dämmeigenschaften besitzen, wobei für Multipor 12 die niedrigste relative Luftfeuchtigkeit auftritt. In allen Systemen führte die Integration der Innendämmung dazu, dass unter den gewählten Randbedingungen im gesamten Bestandsmauerwerk Temperaturen unter 0 °C auftreten (Abbildung 12). Darum muss das gesamte Bestandsmauerwerk, inklusive Innenputz, frostbeständig sein, was in historischen Gebäuden oftmals nicht der Fall ist. In Anschlussdetails mit schwachen Wärmebrücken hängt die Innenoberflächentemperatur sehr stark vom thermischen Widerstand der Dämmsysteme ab.

An Anschlüssen mit stärker ausgeprägten Wärmebrücken wird die Innenoberflächentemperatur jedoch sehr durch den Wärmetransport infolge der Wärmebrücke beeinflusst. Dies trifft von den untersuchten Innendämmungen vor allem auf das System iQ-Therm 08 zu, einerseits durch die dünnere Dämmschicht und andererseits durch die hohe Dämmwirkung. Die absolute Luftfeuchtigkeit an der Innenoberfläche des Anschlussdetails wird auf Grund ihrer Nähe zum Innenraumklima kaum von der Mauer oder dem Dämmsystem beeinflusst. Daher hängt die relative Luftfeuchtigkeit maßgeblich von der Oberflächentemperatur ab und ist hoch an starken Wärmebrücken in Kombination

mit gut dämmenden Innendämmsystemen (Multipor und iQ-Therm). Ist das Innendämmsystem durch Lufträume (z.B. Fugen) nicht mit den flankierenden Bauteilen verbunden, behindert das in diesem Bereich Rücktrocknungsprozesse und der Effekt wird geringfügig verstärkt.

In Anschlussdetails mit großen Bauteiloberflächen zur Rücktrocknung (z.B. Außenkanten von Außenwänden) verhalten sich Systeme mit hohem Dampfdiffusionswiderstand (wie iQ-Therm) besser als Systeme mit niedrigerem Dampfdiffusionswiderstand. Der Trocknungseffekt gegenüber dem Außenklima verringert die Feuchtigkeitsanreicherung, und an der inneren Ecke zwischen Bestandsaußenmauerwerk und Innendämmung fällt die relative Luftfeuchtigkeit geringer aus als in einem eindimensionalen Wandsegment. Innendämmsysteme können auch an Konstruktionen mit erheblichen Wärmebrücken angebracht werden, wie z.B. Betondecken oder Stiegenpodesten. Dadurch kann die Temperatur an der Innenoberfläche der Wärmebrücke erhöht werden, jedoch sollten an dieser Stelle Luftspalte vermieden werden um die Oberflächentemperatur nicht zu senken, was die relative Luftfeuchtigkeit steigen lässt (Abbildung 13).

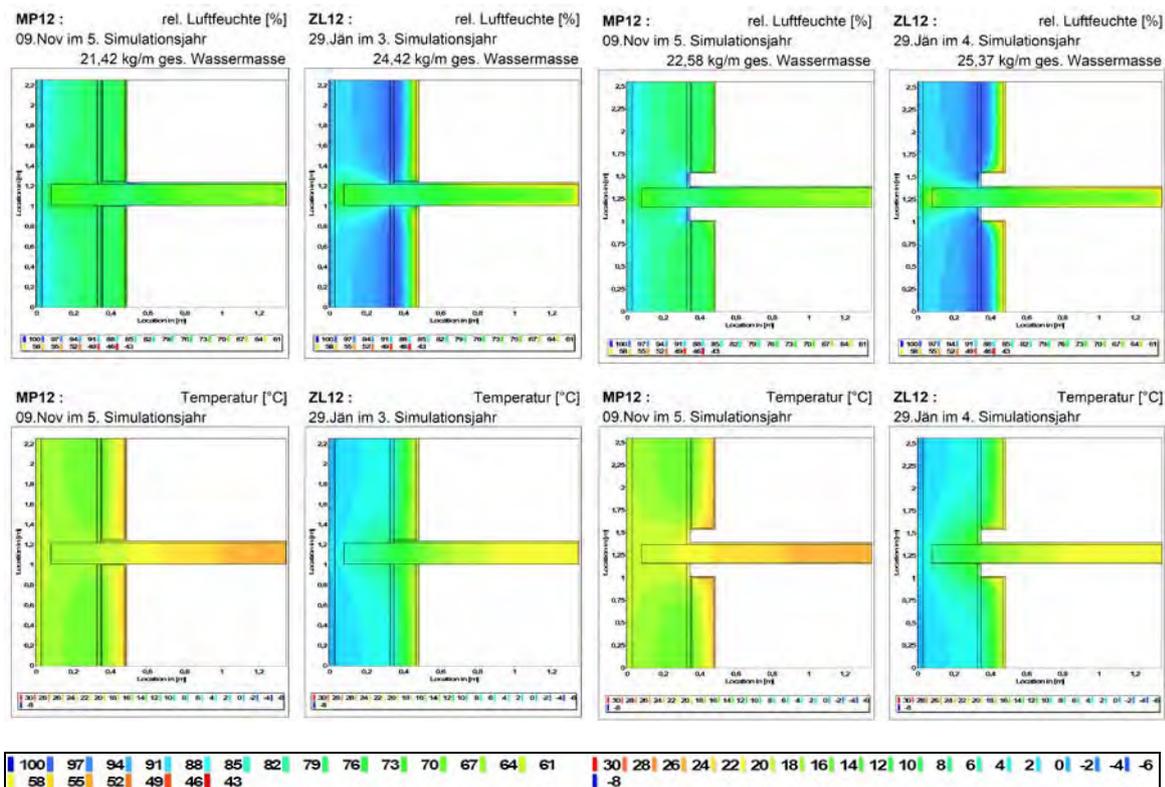


Abbildung 13: Relative Luftfeuchtigkeit (oben) und Temperatur (unten) im Anschlussdetail Außenwand zu Stiegenpodest am Tag mit der höchsten Gesamtwassermasse; links: Innendämmung an das Stiegenpodest angeschlossen, rechts: Innendämmung mit 15 cm Abstand zum Stiegenpodest; Multipor 12 und Cellulose 12.

In Anschlussdetails mit erheblichen Wärmebrücken ändert sich das Verhalten von Innendämmsystemen, sodass Systeme mit hohen thermischen Widerständen (Multipor, IQ-Therm) die niedrigsten Innenoberflächentemperaturen aufweisen.

Durch eine zusätzliche Wärmedämmung an der Außenseite (kalten Seite) einer Konstruktion (z.B. Dämmung am Dachboden oder der Kellerdecke) steigt die Temperatur in der gesamten Konstruktion

an, wodurch der Wassertransport steigt und die relative Luftfeuchtigkeit herabgesenkt wird. Von diesem Effekt profitieren vor allem die Systeme mit generell hohen Feuchtigkeitsgehalten. Eine Holzdecke trägt nur wenig zum Gesamtwassertransport bei, wodurch der Rücktrocksungsprozess z.B. im Bereich der Traufe (Anschluss Außenwand-Decke-Dachboden) niedriger ausfällt. Dadurch wird in Systemen mit hoher Flüssigwasserleitfähigkeit im Bereich der hygroskopischen Grenze die Performance im Vergleich zu eindimensionalen Segmenten verbessert. Alle Systeme mit einer niedrigen auftretenden Gesamtwassermasse zeigen gleich gute Eigenschaften wie sonst.

Stationäre Berechnungen mit Anschlussdetails an historische Kastenfenster ohne Innendämmung weisen bis auf die Innenkante Fenster zu Mauerwerk (der Temperaturfaktor liegt in diesem Bereich unter dem Limit laut ÖNORM B 8110) keine kritischen Feuchtegehalte im Übergang zwischen Fenster und Mauerwerk auf. Die Ergebnisse aus den instationären Simulationen mit Delphin5 zeigen keine Gefahr vor Kondensation und Schimmelbildung an.

Durch die Integration der Innendämmung (Innendämmung ohne Dämmung an der Fensterlaibung, Variante 1) sinken die Temperaturen im Mauerwerk ab. Auch im Bereich der Fensterlaibung sinkt die Temperatur, wodurch ein Bereich mit höherer relativer Luftfeuchtigkeit entsteht. Aufgrund der Rücktrocksungseffekte im Bereich der Fensterlaibung wird die absolute Luftfeuchtigkeit in diesem Bereich kaum von den verschiedenen Innendämmsystemen beeinflusst. Die relative Luftfeuchtigkeit wird daher ausschließlich von der Temperatur beeinflusst, die für das System Multopor 12 auf Grund der besten Dämmwirkung am niedrigsten ausfällt. Generell sind nur minimale Unterschiede in der relativen Luftfeuchtigkeit feststellbar und alle Systeme eignen sich gut als Dämmung für dieses Anschlussdetail (Abbildung 14).

In der Variante 2 der Innendämmsysteme ist auch an der Fensterlaibung eine Innendämmung (mit 30 mm Dicke) angebracht wodurch sich höher ausgeprägte Oberflächentemperaturen als in Variante 1 ergeben. Diese erreichen aber nicht die Oberflächentemperaturen wie in der unsanierten Bestandskonstruktion. Das Verhalten der Grenzfläche zwischen Innendämmsystem und Bestandsmauerwerk in der Fensterlaibung ist grundsätzlich als analog zum Verhalten im eindimensionalen Wandaufbau zu betrachten. Ähnlich wie in Variante 1 bildet sich aber ein Bereich mit hoher relativer Luftfeuchtigkeit an der Kante Fenster zu Bestandsmauerwerk an der Grenzfläche Innendämmung zu Bestandsmauerwerk aus. In Summe verbessert sich das gesamte Verhalten in Variante 2 noch einmal im Vergleich zu Variante 1.

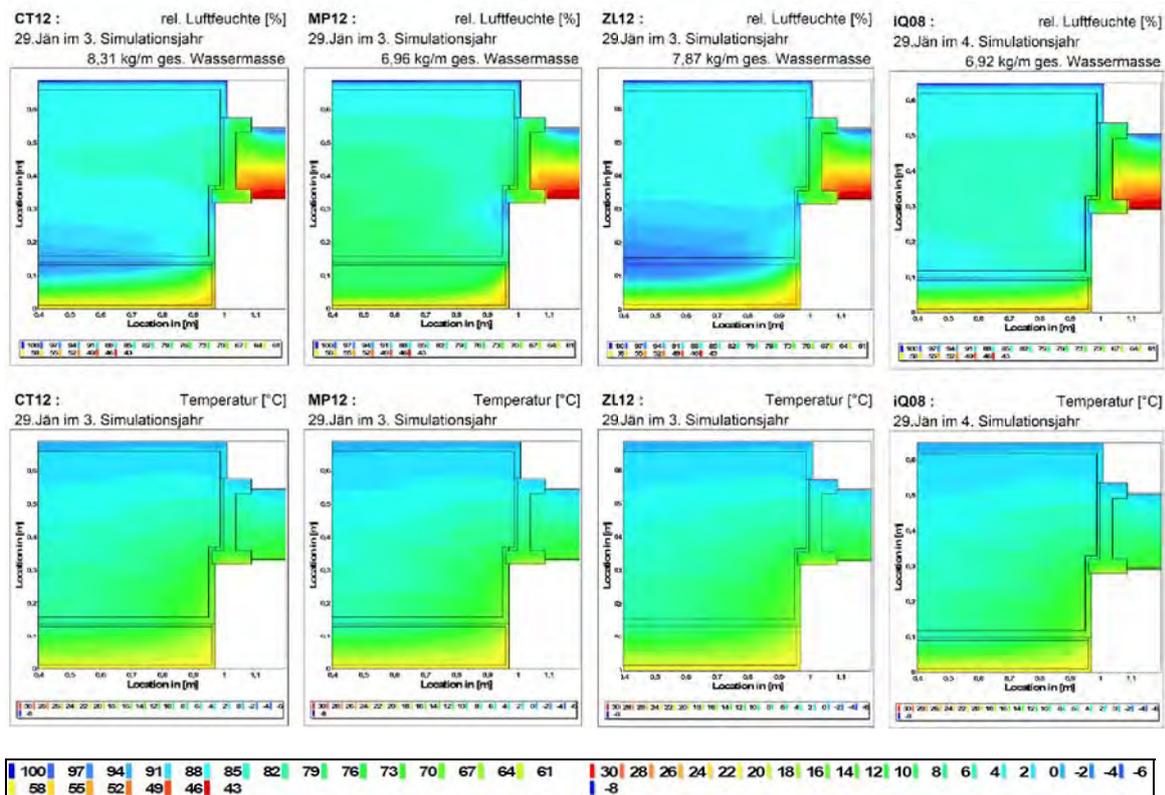


Abbildung 14: Relative **Luftfeuchtigkeit** (oben) und Temperatur (unten) für einen Horizontalschnitt durch ein Kastenfenster mit Innendämmung (Variation 1) am Tag mit der höchsten Gesamtwassermasse; von links nach rechts dargestellt: Calsitherm 12, Multipor 12, Cellulose 12, iQ-Therm 08.

Zusätzlich zu den Verbesserungsmaßnahmen aus Variante 2 ist in Variante 3 noch der Luftspalt zwischen Fensterrahmen und Mauerwerk mit einer Polyurethandämmung gefüllt. Dadurch erhöht sich die Temperatur am inneren Holzrahmen und in den anschließenden Bauteilen. Weiters wird der Wärmeverlust weiter vermindert und der thermische Komfort im Bereich des Fensters durch die höheren Oberflächentemperaturen verbessert. Im zuvor in den Variante 1 und 2 beschriebenen Bereich mit hoher relativer Luftfeuchtigkeit (Kante Fensterrahmen zu Bestandsmauerwerk) steigt der Wert der relative Luftfeuchtigkeit leicht an, bewegt sich aber außerhalb des kritischen Bereichs. Die Polyurethandämmung bewirkt eine Verringerung des Rücktrocknungsprozesses, was aber durch die höheren auftretenden Temperaturen ausgeglichen wird und sich eine leichte Verbesserung zu Variante 2 einstellt. Abseits vom hohen Aufwand ist diese Variante durchaus zu empfehlen, wenn auch schon in der weniger aufwändigen Sanierungsvariante 2 durchwegs unkritische Bedingungen festgestellt wurden.

Zusammenfassung

Das Verhalten der Innendämmungssysteme der eindimensionalen Wandschnitte wurde zum Großteil durch die zweidimensionalen Modelle der Systeme bestätigt.

Multipor weist in fast allen Fällen die niedrigste absolute und relative Luftfeuchtigkeit auf (außer in Anschlussdetails mit signifikanten Wärmebrücken). Die Kombination aus hoher Flüssigwasserleitfähig-

keit, adäquatem Wasserdampfdiffusionswiderstand und einer guten Abstimmung der einzelnen Komponenten resultiert in einem dominierenden System.

iQ-Therm erreicht in den meisten Fällen in den Anschlussdetails die zweitniedrigste absolute Luftfeuchtigkeit. Höhere Werte relativer Luftfeuchtigkeit treten an der Innenoberfläche von Konstruktionen in Bereichen mit Wärmebrücken auf. Durch die dünnere Dämmsystemdicke (8 cm) mit hohem Wärmedurchlasswiderstand ist dieses System besonders anfällig für Wärmeflüsse über Flankenbauteile am Wärmedämmsystem.

Calsitherm besitzt eine hohe Wasserspeicherfähigkeit und eine niedrige Flüssigwasserleitfähigkeit im Bereich höherer relativer Luftfeuchtigkeit. Die Flüssigwasserleitfähigkeit ist gleich hoch wie im System Multipor, obwohl dort nie solch hohe relative Luftfeuchtigkeit auftritt. Auch der Wasserdampfdiffusionswiderstand vom Klebemörtel trägt zu den hohen Feuchtegehalten bei. Im Vergleich zu den anderen untersuchten Systemen ist der Wärmedurchlasswiderstand gering. Darum sind die Temperaturen an der Grenzfläche zwischen Innendämmung und Mauerwerk vergleichsweise hoch und in Folge die relative Luftfeuchtigkeit niedrig. Alles in allem ist dieses System in Bezug auf die auftretenden Werte der relativen Luftfeuchtigkeit im Mittelfeld der untersuchten Systeme einzureihen. Dieses generelle Verhalten des Innendämmungssystems ist in allen untersuchten Varianten vorzufinden.

Cellulose zeigt einen guten Wärmedurchlasswiderstand, was zu niedrigen Temperaturen in der Grenzfläche zwischen Dämmung und Mauerwerk führt. In Kombination mit dem niedrigen Wasserdampfdiffusionswiderstand sind Werte hoher relativer Luftfeuchtigkeit zu beobachten, häufig sogar über dem hygroskopischen Bereich. Dadurch ist die Kombination dieses Dämmsystems mit Feuchte-sensitiven Materialien generell kritisch. Durch die hohe Flüssigwasserleitfähigkeit ist eine effektive Rückrocknung gewährleistet, was zu starken Schwankungen des Wassergehalts im Jahresverlauf führt.

Die beschriebenen Nachteile der unterschiedlichen Dämmsysteme führen bei manchen Anschlussdetails zu grenzwertigen Verhältnissen, jedoch ist jedes Innendämmsystem für die untersuchten Anschlussdetails (mit Ausnahme der Anschlussdetails zum Erdreich) einsetzbar. Aufgrund der Ergebnisse hinsichtlich Stabilität und Sicherheit des Verhaltens der einzelnen Innendämmsysteme ist das System Multipor zu bevorzugen, da es darüber hinaus auch die besten Wärmedurchgangskoeffizienten aufweist.

Das ursprüngliche Ansinnen, mit der Untersuchung unterschiedlicher Detailpunkte mit unterschiedlichen Innendämmsystemen und einer guten Streuung der Eigenschaften sowohl auf der Einwirkseite (Detail) als auch auf der Lösungsseite (Dämmsystem) die Arbeit an einem abstrahierbaren Detailkatalog für die Sanierung des Bestands beginnen zu können, hat sich nicht erfüllt. Zu vielfältig und komplex ist das Verhalten sowohl der Bestandskonstruktionen als auch der Dämmsysteme.

Abschließend kann festgestellt werden, dass zwar weiterhin Simulationen zur Absicherung von Innendämmungsmaßnahmen nötig sind, aber mit weiterer Anstrengung Konstruktionsregeln entwickelt werden können und die mangelnde Eignung für gewisse Anschlüsse oder Einsatzgebiete bestätigt werden kann. Es stünde dem breiten Einsatz dann nichts mehr im Wege, wenn zwar für den konkreten Anlassfall nicht sicher gesagt werden könnte, wie gut ein System performt, aber bestätigt werden kann, dass es nicht versagt. Weitere Untersuchungen können hier auch die Basis einer validen Normierung schaffen.

5.3. Fachliche Inhalte zu Projektziel 3

Automatisierungs- und Regelungskonzepte im Nichtwohnbereich bei Renovierungen

Verantwortung: Austrian Institute of Technology (AIT)

Gebäude samt den Energiesystemen für Heiz-, Kühl- und Lüftungszwecke (HKL), gehören global zu den größten Energieverbrauchern. Die konventionellen, industriell eingesetzten Steuer- und Regelungskonzepte für die HKL- und Gebäudeprozesse, basieren zumeist auf empirischen Überlegungen, gehen jedoch dabei in ihrer Grundstruktur, nicht auf die Problematik der Energieeffizienz im laufenden Betrieb, ein. Die Regelziele sind dabei üblicherweise starr ausgeführt und zielen lediglich auf die Stabilisierung des eigentlichen HKL Prozesses ab. Dabei ist das physikalische Verhalten der geregelten HKL- und Gebäudeprozesse der entscheidende Faktor, für einen sicheren und energieeffizienten HKL- und Gebäudebetrieb, worauf die konventionellen Steuerungen und Regelungen keinen Bedacht im Betrieb nehmen. Modellbasierte Regelungskonzepte (MBR) zeigen in dieser Hinsicht bemerkenswerte Vorteile gegenüber anderen, konventionellen und in der Regel empirischen Steuer- und Regelansätzen von heute. Dabei wird die Dynamik der geregelten HKL Energiesysteme sowie die Bauphysik des Gebäudes auf der Grundlage eines mathematischen Modells formuliert und für Steuer- und Regelzwecke verwendet.

In einer umfassenden Studie wurde gezeigt, dass das Energiesparpotenzial bei Verwendung von MBR, für das untersuchte Heizsystem, je nach Isolierung und Außentemperatur, zwischen 15 % und 28 % lag [27]. Ähnliche Studien berichten von anderen Einsparungskennzahlen [28], [29], [30]. Den Problemen der Energieineffizienzen der HKL- und Gebäudeprozesse im Nichtwohngebäudebereich widmet sich daher dieses Forschungsvorhaben, mit dem Ziel, eine Steigerung der Energieeffizienz von Gebäuden bei niedrigen Investitions- und Betriebskosten (minimalinvasive Sanierung von Gebäuden), mit Hilfe mathematisch unterstützter, linearer Steuer- und Regelkonzepte, zu erreichen. Die Ergebnisse umfassen intelligente Steuer- und Regelalgorithmen um HKL Prozesse energieoptimal zu führen. Dabei stehen die mathematische Modellierung, der systematische Reglerentwurf sowie die Ableitung der Regeln für den Einsatz im linearen Bereich der Gebäudeautomatisierung im Vordergrund.

Stand der Technik

41 % des gesamten Energieverbrauchs im Jahr 2010 entfielen allein auf Nichtwohngebäude [31], [32]. Im Jahr 2009, wurde der Endenergieverbrauch für Heizsysteme und die Warmwasserbereitung in

Österreich mit 28 % ermittelt [33]. Dabei sind über 80 % der heutigen Bausubstanz dringend sanierungsbedürftig, da deren Heizwärmebedarf bis zu 300 kWh/m²a beträgt [34]. Auf Grund des geringen Neubauanteils sind Verbesserungsmaßnahmen an bestehenden Gebäuden, die den Energiebedarf dominieren, besonders wichtig [35]. Diese können sowohl durch Sanierungsmaßnahmen als auch durch Verbesserungen des Gebäudebetriebs realisiert werden. Während bei Sanierungen in der Regel mit hohen Investitionskosten auch hohe Einsparungen erzielt werden können, sind wesentlich geringere Investitionen notwendig, um den Gebäudebetrieb zu verbessern. Dies ist eine gute Voraussetzung, um Optimierungen im Bereich der Gebäudeautomatisierung nachhaltig anzuwenden und so einen nennenswerten Beitrag zu Energieeinsparungen im Gebäudebereich zu leisten. Eine Klimastudie von McKinsey [36] kommt zum Schluss, dass die größten CO₂-Vermeidungspotenziale im Bereich Gebäude bis 2020 im Bereich des Anlagenbetriebs liegen. Explizit werden dort die Effizienzsteigerung von Lüftungsanlagen und der Einsatz von verbessertem Energiemonitoring- und Energiemanagementsystemen genannt. Der Energieverbrauch ist dabei verbunden mit den Nutzeranforderungen an den Komfort. Im Idealfall wird der gewünschte Komfort mit einem Minimum an Energie bereitgestellt. In der Praxis werden Gebäude jedoch oft weit entfernt von diesem Optimum betrieben, so dass entweder die Komfortanforderungen oder die Zielwerte für den Energieverbrauch verfehlt werden. Insbesondere bei Nichtwohngebäuden ist ein hohes Einsparpotential vorhanden. Allein durch Änderungen der Betriebsführung können hier bis zu 30 % der Energie eingespart werden [37], [38]. Die Entwicklung eines fortgeschrittenen, intelligenten Energiemanagementkonzepts ist ein notwendiges Unterfangen, das auch die Anforderungen an die Minimalinvasivität der Lösung erfüllt – die Nachfrage ist dementsprechend sehr groß [39], [40], [41], [42], [43].

HLK Systemregelkreise sind meist nichttrivialer Natur aufgebaut und verlangen ein hohes Maß an Erfahrung von Seiten der HKL Systeminstallateure und folglich auch der Gebäudetechniker. HKL Systeme werden im Allgemeinen dynamisch betrieben, was in erster Linie auf Grund von (rapiden) Wetterveränderungen, (dynamischen) Veränderungen der Energienachfrage etc. auch nötig ist. Ferner hat man im Gebäudebetrieb oftmals mit einem Systemverhalten zu tun, welches besondere Anforderungen an die heutigen HKL Regelkreise stellt. Nichtsdestotrotz, müssen HKL Regelungen „...*Behaglichkeit, bei minimalem Energieverbrauch und Kostenaufwand...*“ liefern (vgl. [44]). Die thermische Behaglichkeit muss daher zu jeder Zeit durch Heizen, Kühlen und Lüften, unabhängig von störenden Effekten und veränderlichen äußeren Bedingungen, gewährleistet werden [39]. Durch ein energieeffizientes Gebäudemanagementsystem (engl. *building management system* (BMS)), lässt sich eine gesamtheitliche Überwachung aller Regelkreise und Subsysteme in HKL Kreisen gewährleisten. In Abhängigkeit des BMS Anwendungsbereiches, werden die nachfolgenden Konzepte, laut [45], in BMS implementiert: (1) Gebäudeautomatisierung, (2) Gebäudemanagement, (3) Energiemanagement. Die heutzutage implementierten Steuer- und Regelkonzepte innerhalb der Gebäudeautomation haben grundlegende Auswirkungen auf den energieeffizienten Betrieb von Gebäuden und Heiz-, Kühl- und Lüftungsanlagen (HKL), sind allerdings meist heuristische Ansätze (siehe EN15232 [37], ohne einen systematischen und damit nachvollziehbaren Hintergrund, und berufen sich meist auf eine jahrelange Erfahrung der Anwender in der HKL Systembranche. Die Steuerung samt Regelung ist hier sehr starr ausgeführt (nach Regeln, Zeitplänen, Kennlinien), und ist

meist nur für einen bestimmten Betriebspunkt ausgelegt [29, pp. 163–166]. Die Forschung und Entwicklung muss daher hier mit aller Macht ansetzen, da hierin das meiste Potential für Energieeffizienzverbesserungen steckt, weil Gebäude und die zugehörigen Energiesysteme kaum in starren Betriebspunkten geregelt werden, sondern einen sehr hohen Grad an Betriebsaktivität innerhalb großer, ausgedehnter Systemgrenzen aufweisen. Modellbasierte, mathematisch motivierte Steuer- und Regelansätze arbeiten hier systemnah und bieten dadurch diverse Möglichkeiten, HKL Systeme optimal zu nutzen.

Das vorliegende Projekt erfasst methodisch die Entwicklung von innovativen modellbasierten Steuer- und Regelkonzepten für Heizungs-, Kühlungs- und Lüftungszwecke in Nicht-Wohngebäuden, zum Zwecke der Implementierung und Einbettung in existierende Gebäudeautomatisierungssysteme, zur systematischen und nachhaltigen Energieeffizienzsteigerung des Gebäudebetriebs. Abbildung 15 verdeutlicht das Konzept, welches im Rahmen dieses Forschungsvorhabens zur Anwendung gekommen ist.

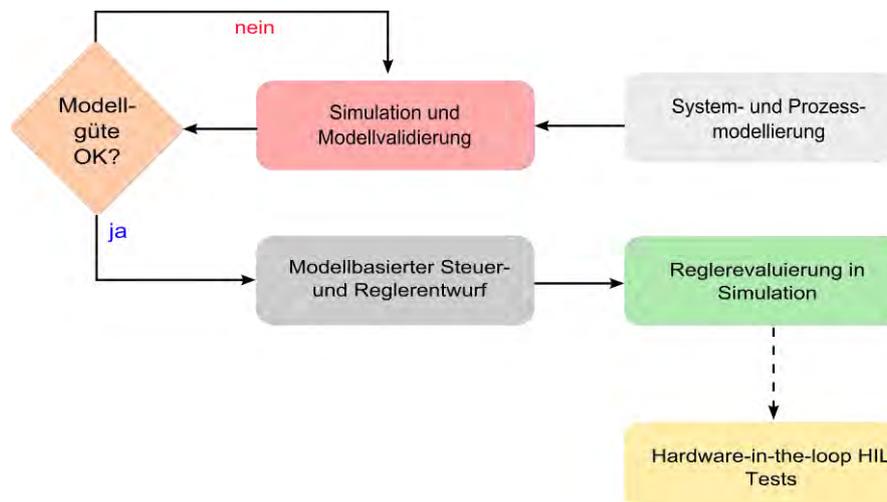


Abbildung 15: Entwicklungsprozess für die modellbasierte Steuerung und Regelung.

5.3.1. System- und Prozessmodellierung

Ausgehend von einem mathematischen Modell der Form

Formel 1: Mathematische Formulierung des Steuer- und Regelproblems.

Mit der Kostenfunktion:

$$J(\mathbf{x}(t), \mathbf{u}(t)) := \int_t^{t+T_p} \mathcal{F}(\mathbf{x}(\tau), \mathbf{u}(\tau), \tau) d\tau + \mathcal{G}(\mathbf{x}(t+T_p), t+T_p)$$

Mit der dynamischen Systemformulierung:

$$\dot{\mathbf{x}}(t) = \mathbf{f}(\mathbf{x}(t), \mathbf{u}(t)) \text{ with } \mathbf{x}(0) = \mathbf{x}_0$$

Mit den Systembeschränkungen:

$$\mathbf{g}(\mathbf{x}(t+T_p)) = 0$$

$$\mathbf{h}(\mathbf{x}(t), \mathbf{u}(t), t) \leq 0$$

welches die Definition des Regelziels (Kostenfunktion $J(\mathbf{x}(t), \mathbf{u}(t))$), die dynamische Formulierung des Systemverhaltens (Erste Ableitung der Systemzustände $\mathbf{x}(t)$), sowie systemspezifische Beschränkungen ($\mathbf{g}(\mathbf{x}), \mathbf{h}(\mathbf{x})$) beinhaltet. In der Kostenfunktion wird das Ziel der erhöhten Energieeffizienz des HKL Betriebs mathematisch ausformuliert.

Der implementierte Optimierungsalgorithmus versucht diese entsprechend zu maximieren bzw. entsprechend den Energieverbrauch der beteiligten Aktuatoren (Wärmepumpen, Wasserpumpen, Stellventile) zu minimieren. Bei den mathematischen Modellen handelt es sich in der Regel um „grey-box“ Ansätze, wo die wesentlichen Dynamiken mit Differentialgleichungen erster Ordnung beschrieben sind, wobei unbekannte Parameter mit Hilfe von Messdaten geschätzt werden. Im Rahmen dieses Vorhabens wurden die Modelle in der Programmiersprache Modelica erstellt und in der Simulationsumgebung Dymola validiert.

Abbildung 16 zeigt die HKL Systemkonfiguration des Testgebäudes ENERGYbase in Wien. Die Versorgung des Betonkernaktivierungssystems (Heizung und Kühlung) erfolgt über druckgeregelter Pumpen. Die dafür notwendige Energie wird einem Hilfstank (ca. 3 m³ Volumen) entnommen. Die Regelung erfolgt kaskadiert mit Sollwerten in der Betondecke, sowie Temperatursollwerten im Hilfstank, die entsprechend einer Zweipunktregelung, den Einschalt Augenblick der Wärmepumpen bestimmen. Als Back-up-Wärmeversorgungssystem dient die Solarthermie, die mit einer eigenen Regelungsstrategie versehen, Wärme in einen Schichtspeicher liefert. Daraus wird dann die notwendige Wärme einerseits für Kühlzwecke (desiccant cooling) oder für Heizzwecke (Betonkernaktivierung) entnommen.

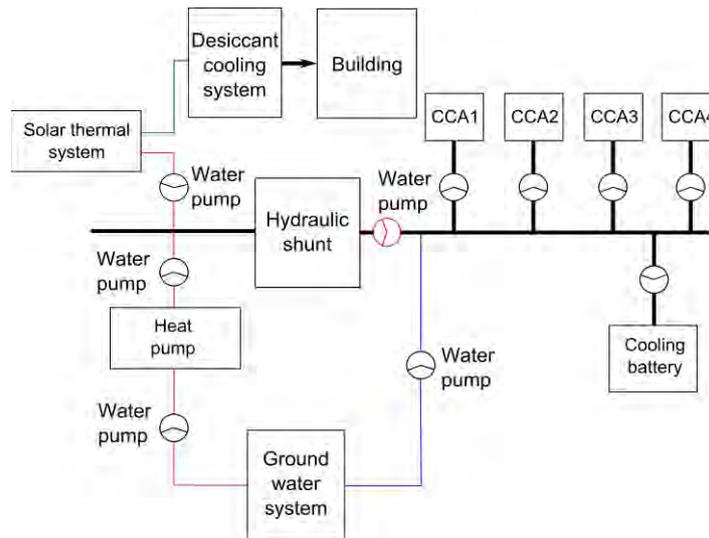


Abbildung 16: Skizze HKL Systemkonfiguration ENERGYbase. Systemregelung erfolgt über Sollwerte für die Deckentemperatur CCA1-CCA4.

Für die Optimierung des Gesamtprozesses aus Abbildung 16 war es notwendig, die Komponenten (Wärmepumpe, Wasserpumpen) entsprechend zu modellieren. In der Regel wurden hierfür einfache thermische Beziehungen herangezogen. Das Gebäude wurde vereinfacht auf Basis von thermischen RC Netzwerken modelliert [46]. Einen Auszug aus der mathematischen Formulierung liefern die Formel 2 und Formel 3. Dabei wurden die Zonen (in der Regel 11-12 Zonen) auf 4 Zonen zusammengefasst (d.h.: jeweils 4 Differentialgleichungen).

Formel 2: Mathematische Beschreibung Kopplung Betonkernaktivierung – Raum (vereinfacht mit 4 Zonen).

$$\begin{aligned} \dot{T}_{BKA}^{\{NW\}} &= \frac{1}{c_{th,BKA}^{\{NW\}}} \left(\dot{m}^{\{NW\}} c_p (T_{VL} - T_{BKA}^{\{NW\}}) - UA^{\{NW\}} (T_{BKA}^{\{NW\}} - T_{ROOM}^{\{NW\}}) \right) \\ \dot{T}_{BKA}^{\{NO\}} &= \frac{1}{c_{th,BKA}^{\{NO\}}} \left(\dot{m}^{\{NO\}} c_p (T_{VL} - T_{BKA}^{\{NO\}}) - UA^{\{NO\}} (T_{BKA}^{\{NO\}} - T_{ROOM}^{\{NO\}}) \right) \\ \dot{T}_{BKA}^{\{SW\}} &= \frac{1}{c_{th,BKA}^{\{SW\}}} \left(\dot{m}^{\{SW\}} c_p (T_{VL} - T_{BKA}^{\{SW\}}) - UA^{\{SW\}} (T_{BKA}^{\{SW\}} - T_{ROOM}^{\{SW\}}) \right) \\ \dot{T}_{BKA}^{\{SO\}} &= \frac{1}{c_{th,BKA}^{\{SO\}}} \left(\dot{m}^{\{SO\}} c_p (T_{VL} - T_{BKA}^{\{SO\}}) - UA^{\{SO\}} (T_{BKA}^{\{SO\}} - T_{ROOM}^{\{SO\}}) \right) \end{aligned}$$

Formel 3: Mathematische Beschreibung der thermischen Kopplung Räume/Zonen untereinander.

$$\begin{aligned} \dot{T}_{RAUM}^{\{NW\}} &= \frac{1}{c_{th,RAUM}^{\{NW\}}} \left(UA^{\{NW\}} (T_{BKA}^{\{NW\}} - T_{RAUM}^{\{NW\}}) - UA^{\{NW-NO\}} (T_{RAUM}^{\{NW\}} - T_{RAUM}^{\{NO\}}) + UA^{\{SW-NW\}} (T_{RAUM}^{\{SW\}} - T_{RAUM}^{\{NW\}}) \right) \\ \dot{T}_{RAUM}^{\{NO\}} &= \frac{1}{c_{th,RAUM}^{\{NO\}}} \left(UA^{\{NO\}} (T_{BKA}^{\{NO\}} - T_{RAUM}^{\{NO\}}) - UA^{\{NO-SO\}} (T_{RAUM}^{\{NO\}} - T_{RAUM}^{\{SO\}}) + UA^{\{NW-NO\}} (T_{RAUM}^{\{NW\}} - T_{RAUM}^{\{NO\}}) \right) \\ \dot{T}_{RAUM}^{\{SW\}} &= \frac{1}{c_{th,RAUM}^{\{SW\}}} \left(UA^{\{SW\}} (T_{BKA}^{\{SW\}} - T_{RAUM}^{\{SW\}}) - UA^{\{SW-NW\}} (T_{RAUM}^{\{SW\}} - T_{RAUM}^{\{NW\}}) + UA^{\{SO-SW\}} (T_{RAUM}^{\{SO\}} - T_{RAUM}^{\{SW\}}) \right) \\ \dot{T}_{RAUM}^{\{SO\}} &= \frac{1}{c_{th,RAUM}^{\{SO\}}} \left(UA^{\{SO\}} (T_{BKA}^{\{SO\}} - T_{RAUM}^{\{SO\}}) - UA^{\{SO-SW\}} (T_{RAUM}^{\{SO\}} - T_{RAUM}^{\{SW\}}) + UA^{\{NO-SO\}} (T_{RAUM}^{\{NO\}} - T_{RAUM}^{\{SO\}}) \right) \end{aligned}$$

5.3.2. Simulation und Modellvalidierung

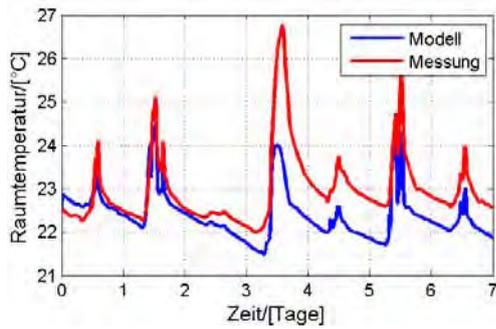


Abbildung 17: Validierung der thermischen Raum-/Zonenmodelle für eine Zone aus Formel 2 und Formel 3 für einen 7-Tage-Vergleich zw. Modellverhalten und Simulation.

Abbildung 17 zeigt Validierungsergebnisse für eine Zone, wobei das Modellverhalten mit Messungen verglichen worden ist. Der Modellfehler ist relativ gesehen klein. Das Modell in der Form reicht für einen systematischen Reglerentwurf entsprechend der Abfolge aus Abbildung 15 aus.

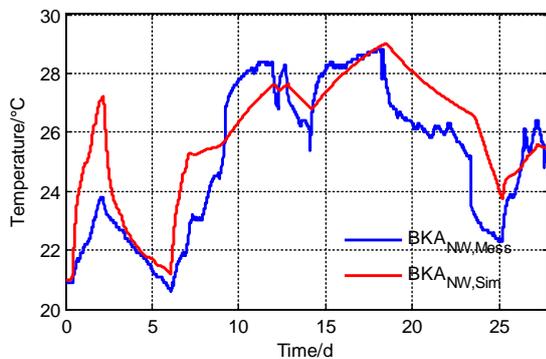


Abbildung 18: Validierung der Gleichungen aus Formel 2 für die Betonkernaktivierung - Temperaturverlauf für eine Zone.

5.3.3. Modellbasierter Steuer- und Reglerentwurf

Die Arbeiten in diesem Abschnitt hängen stark von den Vorarbeiten aus (1) und (2) ab. Die richtige Modellgüte und damit ein gut nachgebildetes Realsystemverhalten sind eine notwendige Bedingung für den systematischen Steuer- und Reglerentwurf.

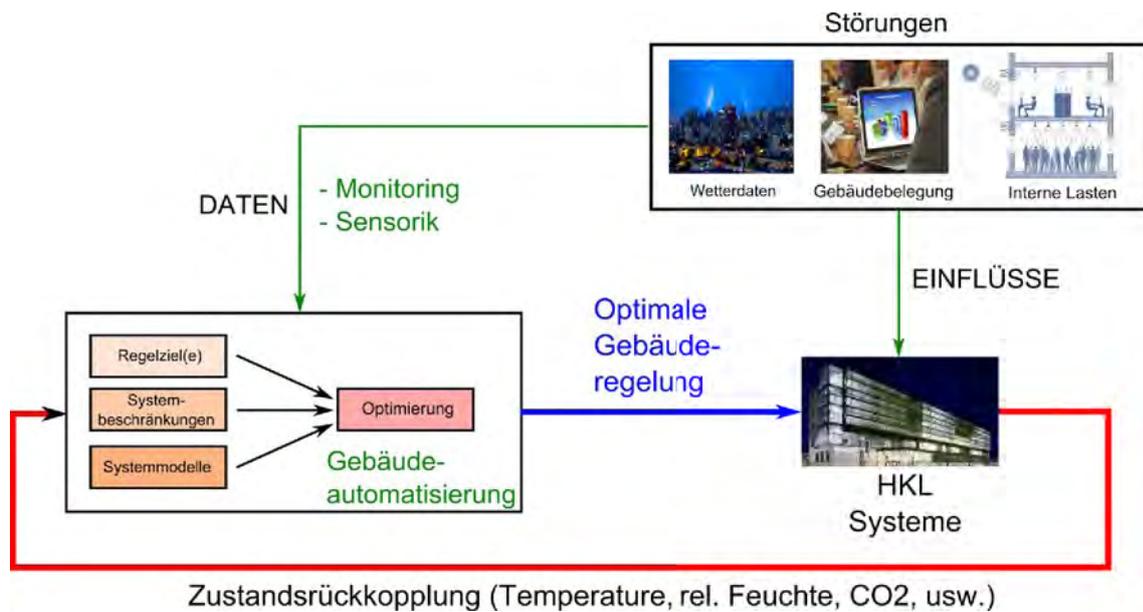


Abbildung 19: Konzept für den Einsatz der modellbasierten Steuerung- und Regelung im linearen Bereich der Gebäudeautomatisierung.

Abbildung 19 verdeutlicht des Weiteren das in diesem Projektvorhaben verfolgte Steuer- und Regelkonzept für den linearen Bereich der Gebäudeautomatisierung. In der Regel ist der Betrieb der HKL-Gewerke nichtlinear, kann jedoch auf Grund der Beschränkungen des HKL Betriebs auch in einen linearen Betrieb (durch z.B. Linearisierung der Modellgleichungen) übergeführt werden. Dies wiederum vereinfacht den Reglerentwurf um einiges und erlaubt auch Optimierungsläufe im laufenden Betrieb mit beschränkten rechnerischen Ressourcen. Das Konzept dient der optimalen Führung der vorhandenen Regelkreise der HKL-Gewerke. Die Systemmodelle aus Abbildung 19 müssen allerdings das Systemverhalten (samt verbauten Regelstrategien) beinhalten. Während der Optimierung – um einen robusten und sicheren (optimierten) Betrieb der HKL Anlagen zu gewährleisten – müssen Systembeschränkungen eingehalten werden (z.B.: max./min. zulässige Temperaturwerte). Des Weiteren beinhaltet der Optimierungsalgorithmus die mathematische Formulierung des optimalen Regelziels (z.B.: Senkung des Energieverbrauchs der an der Steuerung und Regelung der HKL Konfiguration beteiligten Aktuatoren).

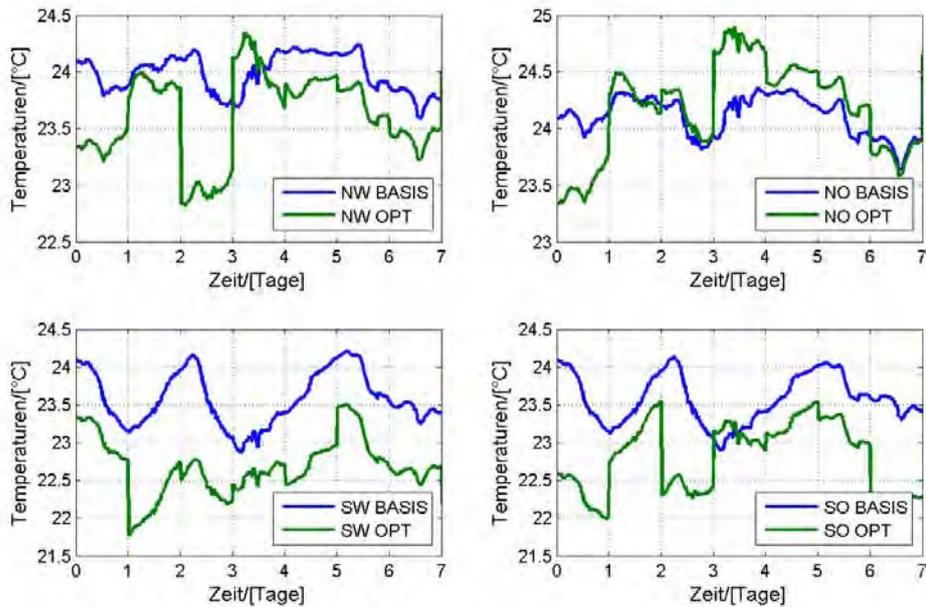


Abbildung 20: Darstellung der koordinierten, dynamischen und optimalen Sollwertverschiebung der Betonkernaktivierung in der ENERGYbase im Rahmen des Proof of Concepts im linearen Bereich der Gebäudeautomatisierung.

Abbildung 20 verweist auf das koordinierte Verschieben der Sollwerte der Betonkernaktivierung der Zonenregelung der ENERGYbase (Testgebäude). Die Temperaturverläufe unter Einbindung der hier vorgestellten innovativen Regelkonzepte (grüne Kurven: OPT in der Legende) deutlich unterhalb der Basis (konventionelle Regelung, blaue Kurven, BASIS in der Legende). Diese Maßnahme ist koordiniert und bewirkt für einen gewählten Zeitraum von 7 Tagen, eine Senkung des elektrischen Energieverbrauchs um ca. 10 %, was aus Abbildung 21 ersichtlich ist.



Abbildung 21: Darstellung des elektr. Energieverbrauchs der an der Regelung beteiligten Wärmepumpen für die konventionelle Regelung (BASIS) sowie die innovative, optimale Regelung (OPT).

Das koordinierte Energiemanagement auf Basis von dynamischen Sollwertänderungen (z.B.: für Heizzwecke) ist ein vielversprechendes Mittel, um die Energieeffizienz von HKL-Gewerken in Nichtwohngebäuden mit minimalinvasiven Aufwand zu steigern.

6. Vernetzung und Ergebnistransfer

6.1. Darstellung der österreichischen Zielgruppe, für die die Projektergebnisse relevant sind

Das Fachwissen zur thermischen Sanierung historischer Gebäude ist im Bau- und Planungswesen mit großen Unsicherheiten verbunden. Die Untersuchungen zur Modernisierung historischer Kastenfenster und zur Anwendung kapillaraktiver Innendämmsysteme zielen auf eine Verbesserung des diesbezüglichen Wissenstandes ab. Die davon profitierende Zielgruppe findet sich im Planungswesen, insbesondere bei Architekten und Bauphysikern.

Für das AIT sind als Resultat dieses Forschungsvorhabens unter anderem Leistungen mit modellbasierten Steuer- und Regelansätzen im linearen Bereich der Gebäudeautomatisierung, in erster Linie für Gebäudeautomatisierungsfirmen wichtig. Durch das optimierte und koordinierte Speichermanagement der HKL-Gewerke, werden auch Hersteller von Solarthermieanlagen sowie Wärmepumpen- und Speichersystemen und Photovoltaikanlagen (Einbindung von erneuerbaren Energieträgern in das Energiemanagement von HKL-Gewerken und Gebäuden) mit den Ergebnissen angesprochen.

6.2. Wie wurden die relevanten Stakeholder in das Projekt eingebunden?

Die österreichische Teilnahme am TASK 47 in AP2 zielte auf die Vernetzung der Ergebnisse der nationalen Forschungsprojekte „denkmalaktiv I“ und „denkmalaktiv II“ mit dem internationalen Expertenteam von TASK 47. Das Institut für Wärmetechnik sowie das Institut für Hochbau (beide TU Graz) und in späterer Folge auch die Grazer Energieagentur verfolgten dieses Ziel in Abstimmung mit der ÖGUT seit der Phase der Task Definition. Das österreichische Team des TASK 47 brachte sich bereits in der Formulierung des Annextextes in die Gestaltung des internationalen TASK 47 Projektes ein und machte das Thema der energietechnischen Sanierung historischer, oftmals denkmalgeschützter, Bausubstanz zu einem Standbein des internationalen Projektes.

Es folgten mehrere Präsentationen in den Expert Meetings über die Ergebnisse der nationalen Projekte, zahlreiche Diskussionen mit dem internationalen Expertenteam, Beiträge in Konferenzen und Fachjournalen, sowie ein Workshop und ein Expert Meeting in Graz. Ebenso ist das Engagement des österreichischen Teams an der Gestaltung der internationalen Endberichte der entsprechenden Subtasks A, B, und C sichtbar. Entsprechende Kapitel thematisieren den bei Sanierungen denkmalgeschützter Gebäude auftretenden Zielkonflikt zwischen Denkmalschutz und Klimaschutz, zeigen die Aufarbeitung eines Entscheidungsprozesses am Beispiel des Franziskanerklosters Graz und zeigen simulationstechnische Untersuchungen zur sanierungstechnischen Maßnahmen bei Kastenfenstern und Innendämmungen.

Die hier vorgestellten Ergebnisse legen den Fokus auf die Sanierung von Nichtwohngebäuden. Ebenso ist eine Adaption und Übertragung in den Wohnbereich denkbar. Dadurch ist bei dem innovativen Konzept ein hohes Maß an Interoperabilität vorhanden.

Dem Sanierungsmarkt wird in der Energiestrategie Österreich auf Grund des Energiesparpotentials eine sehr große Bedeutung beigemessen. Zum Zwecke der Erreichung eines nachhaltigen und damit dauerhaft energieeffizienten und komfortablen Gebäudebetriebs, sind neue minimalinvasive Ansätze im Bereich des Energie- und Facility Managements notwendig, welche auf eine kontinuierliche und dem Systembetrieb angepasste Optimierung setzen.

Um schon in der Projektphase ein hohes Maß an Marktakzeptanz anzuvisieren, wurden relevante Stakeholder (Integratoren von Automatisierungssystemen, Netzbetreiber, Gebäudebetreiber) in das Projektgeschehen direkt eingebunden (über das Konsortium – „Neue Energien 2020“ CoOpt FFG. Nr. 834677 oder „Haus der Zukunft“ Pro Klim+ FFG Nr. 833694). Damit kann zur Laufzeit des Projekts eine dynamische Risikomitigation, durch den Einfluss der relevanten Stakeholder in Feedbackmanier, erzielt werden.

6.3. Ergebnistransfer im Rahmen der öffentlichen Meetings von TASK 47

Ein Anliegen von TASK 47 war es, die Ergebnisse nicht nur innerhalb des Projekts zu diskutieren, sondern den Stand der Bearbeitung auch der Fachcommunity zu präsentieren. Dafür wurden im Rahmen von drei Meetings öffentliche Seminare bzw. Workshops im Rahmen von fachspezifischen Veranstaltungen organisiert.

Ein Workshop mit dem Schwerpunkt der Präsentation von Demonstrationsgebäuden (Titel: Retrofit of Non-Residential Buildings) fand am 7. September 2012 auf der Passivehouse Fair in Brüssel statt; aus Österreich stellte Claudia Dankl dort die Beispiele der Sanierung der Schule Schwanenstadt und des Franziskanerklosters vor. Präsentationen und weitere Information siehe <http://task47.iea-shc.org/seminar-2012-09-07>

Im Rahmen des Meetings in Australien fand am 5. April ein TASK 47-Seminar an der Architekturfakultät der Universität in Sydney statt, die von Studierenden und nationalen FachexpertInnen besucht wurde. Claudia Dankl stellte dort das österreichische Forschungsprogramm „Haus der Zukunft“ mit einem Schwerpunkt auf Sanierungsprojekte vor. Präsentationen und weitere Information siehe <http://task47.iea-shc.org/seminar-2013-04-05>

Das letzte TASK-Meeting in Stuttgart wurde zeitlich so gelegt, dass ein Workshop im Rahmen der Messe „light+building“ organisiert werden konnte. Das öffentliche Seminar zur Präsentation beispielhafter Ergebnisse des Projekts fand am 3. April 2014 in Frankfurt statt. Claudia Dankl stellte dort die Demonstrationsgebäude Franziskanerkloster in Graz und Lazaristenkloster in der Kaiserstraße in Wien vor. Präsentationen und weitere Information siehe <http://task47.iea-shc.org/seminar-2014-04-03>

6.4. Beschreibung der Relevanz und des Nutzens der Projektergebnisse

Klimaschutz und ökonomische Gründe verändern unseren Gebäudebestand laufend in Richtung einer deutlich höheren Energieeffizienz. Während die Umsetzung im Neubau in der Regel auf der Grundlage technischer Regelwerke und einfacher Berechnungen durchgeführt werden kann, ist die Situation in der Modernisierung bestehender, historischer Bauwerke, deutlich komplexer. Fehlendes Wissen über den Schichtaufbau der Konstruktionen und Detailausbildungen, unterschiedlichste nicht genormte Materialien und etwaige Einschränkungen aus einem kulturellen Schutzgedanken heraus, erschweren die Arbeiten mit bestehender, alter Bausubstanz.

Die Diskussion hat gezeigt, dass das Fachwissen zur energietechnischen Modernisierung historischer Gebäude immer noch unzureichend ausgebildet ist. Die im Bauwesen eingesetzten Bewertungsmethoden arbeiten auf der Basis zahlreicher Vereinfachungen. Als Konsequenz daraus sind die üblicherweise angewandten Modellierungsmöglichkeiten oftmals nicht in der Lage das thermisch-hygrische Verhalten der Bauteile so detailliert abzubilden, dass eine Sicherstellung der Schadensfreiheit garantiert werden kann. Die Folge dieser Unsicherheit ist meist die Ablehnung der Energieeffizienz steigernden Maßnahmen aus Angst vor Bauschäden.

Diesen Unsicherheiten im ersten Schritt entsprechende Forschungsarbeiten und im zweiten Schritt Anwendungen in Demonstrationsgebäuden entgegenzustellen war das Ziel des vorliegenden Ansatzes. Die Dissemination dieses Ansatzes in die Expertenrunde des TASK 47 hat zudem gezeigt, dass dieses Thema nicht nur in Österreich sondern auch in den meisten teilnehmenden Ländern auf Resonanz gestoßen ist.

Im Rahmen der Erforschung und Entwicklung der modellbasierten Steuer- und Regelansätze, wurden Plattformen erschaffen in welchen Ansätze dieser Art auf die Bedürfnisse der geregelten HKL-Gewerke schnell angepasst werden können. Damit ist insgesamt ein Maß an Multiplizierbarkeit dieser Methode gegeben und kann schnell auf gängige Gebäude angepasst werden. Des Weiteren konnten Kompetenzen im Bereich der vereinfachten, gleichungsbasierten Modellierung ausgebaut werden. Ebenso konnten die Kompetenzen im Bereich der Gebäudeautomatisierung mit speziellem Fokus auf regelungstechnische Fragestellungen erweitert werden.

Die Beteiligung am IEA TASK 47 hat einen wesentlich Beitrag dazu geleistet, das Wissen über innovative Ansätze in der modellbasierten Steuerung und Regelung von Gebäuden auszuweiten und in entsprechenden Communities unterzubringen. Für den Standort Österreich bedeutet das einen weiteren Schritt in Richtung energieeffizienter Nicht-Wohngebäude mit verbesserten Steuer- und Regelkonzepten, Kostensenkung im laufenden Betrieb und Teilnahme an der Verfolgung der Klimawandelziele mit minimalinvasiven Maßnahmen im Rahmen der Sanierung.

7. Schlussfolgerungen, Ausblick und Empfehlungen

Die gewonnenen Erkenntnisse wurden einerseits der Fachöffentlichkeit zur weiteren Verwendung zugänglich gemacht. Andererseits fließen die Erkenntnisse auch in die Planung und Umsetzung der Modernisierung des Franziskanerklosters Graz ein (dritter Bauabschnitt).

Das Thema der Sanierung denkmalgeschützter Gebäude konnte von österreichischer Seite mit steigender Intensität in die internationale Expertenrunde eingebracht werden. Dies ist insbesondere daran zu erkennen, dass das Expertenteam am Ende der Projektlaufzeit einen Vorschlag für einen diesbezüglich ausgerichteten weiterführenden Task erarbeitet hat. Das „IEA SHC Task Proposal“ trägt den Titel „Deep Renovation of Historic and Listed Buildings towards lowest possible energy demand and CO₂ emission (NZEB)“. Das SHC Executive Committee (ExCo) zeigte Interesse an einem derartigen Task und ist zurzeit auf der Suche nach potentiell teilnehmenden Ländern.

In erster Linie wurden durch den praxisnahen Einsatz der Methoden, Kenntnisse darüber gewonnen wie solche HKL-Gewerke regelungstechnisch handzuhaben sind. In der Regel sind thermodynamische Systeme aus der Sicht der Regelung äußerst schwierig handzuhaben. Die Ausweitung der regelungstechnischen Kenntnisse ist unabdingbar um Ziele wie Energieeffizienz im HKL Betrieb systematisch zu erreichen. Die dazugewonnenen Kenntnisse im Bereich der HKL Gebäudeautomatisierung können entweder universitär (Systemtheorie) weiter verwendet werden aber auch praktisch eingesetzt werden (z.B. durch Integration in Gebäudeautomatisierungssysteme mit Optimierung im laufenden Betrieb und Unterstützung des Facility Management).

8. Verzeichnisse

8.1. Quellenverzeichnis

- [1] denkmalaktiv I, Refurbishment of old and listed buildings to active-house standards?, Austrian research project funded by the "Climate and Energy Fund", 2009 - 2013
- [2] BDA, Bundesdenkmalamt, Richtlinie „Energieeffizienz am Baudenkmal“, 1. Fassung, Wien am 17. März 2011
- [3] „Energetische Sanierung von Baudenkmalen“, Sächsisches Staatsministerium des Innern, Dresden, 2011
- [4] „Energetische Sanierung von Gründerzeitgebäuden in Frankfurt“, 2. Auflage, Frankfurt am Main, 2009
- [5] „Leitfaden zur energetischen Sanierung für die Westliche Innenstadt in Fürth“, Kurzinformation für Eigentümer denkmalgeschützter Häuser, Baureferat der Stadt Fürth, 2007
- [6] Leitfaden „Energieeinsparung und Denkmalschutz“, Deutsche Energie-Agentur (Version 1.4), Berlin im September 2010
- [7] „Energetische Modernisierung und Denkmalpflege“, Oberste Baubehörde im Bayerischen Staatsministerium des Innern und Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege, München 2009
- [8] "Building Regulations and Historic Buildings": (in English) balancing the needs for energy conservation with those of building conservation. An Interim Guidance Note on the application of Part, L. English Heritage, 2004.
- [9] "Energetic refurbishment of historic buildings in the Baltic Sea Region": (in English) Co2ol Bricks – Climate Change, Cultural heritage and Energy Efficient Monuments, Brochure 04 – Interim Brochure. Free and Hanseatic City of Hamburg, Department of Heritage Preservation, Hamburg in September 2012
- [10] "Energy Efficiency and Historic Buildings": (in English) Application of Part L of the Building Regulations to historic and traditionally constructed buildings, English Heritage, März 2011
- [11] "Energy Efficiency in Traditional Buildings": (in English) (DoEHLG Advice Series) Department of the Environment, Heritage and Local Government, 2010.
- [12] "Historic Buildings & Energy Efficiency": (in English) A Guide to Part F of the Northern Ireland Building Regulations 2006, Northern Ireland Environment Agency, 2006
- [13] "Reducing carbon emissions and adapting to climate change in historic buildings": (in English) Sustainable Historic Buildings - Guide for Residents, Islington
- [14] "Technical guidance on energy efficient renovation of historic buildings": (in English) Summary Guide for Local Decision-makers, European Commission DG Research and Innovation, Seventh Framework Programme – Compatible solutions for improving the energy efficiency of historic buildings in urban areas, Bozen/Italien März 2013
- [15] Brandl, D., Mach, T., Grobbauer, M., Ruisinger, U., Hochenauer, C., Analysis of Natural Convection and Heat Transfer for Traditional Box Type Windows, International Journal on Energy Conversion (ISSN 2281-5295), Vol. 1, N. 6, 2013.
- [16] Brandl, D., Mach, T., Grobbauer, M., Ruisinger, U., Hochenauer, C., Analysis of the thermal behaviour of historical box type windows for renovation concepts with CFD, Sustainable Building Conference 2013 (ISBN 978-3-85125-301-6), pp. 181-194
- [17] Gamerith, H., Höfler, K., Vabitsch, G., Ferk, H., and Reiterer, E., Historische Fenster: Untersuchungskriterien zur Bestimmung der Erhaltungswürdigkeit historischer Fenster. (historical windows: Criteria for the determination of the conservation worthiness of historical windows) Graz, 1997.
- [18] Grobbauer, M., Holper, S., Ruisinger, U., Kautsch, P., Zimmer, S., insitu measurement data belonging to Chapter 3.2: Thermisch-hygrische Ertüchtigung von Kastenfenstern, Austrian research project „denkmalaktiv I“ Nr. 82120, 2013

- [19] Müller, R., Holzfenster: Konstruktion, Schäden, Sanierung, Wartung (wooden windows: structure, damage, renovation, service) (Korr. Nachdr. Köln: Rudolf-Müller, 2011).
- [20] Mach, T., Grobbauer, M., Götzhaber, W., denkmalaktiv I, Sanierung alter, denkmalgeschützter Häuser (refurbishment of old, historical buildings), Austrian research project Nr. 82120, 2013
- [21] Holste, F., Urban, A., Wilken, M., Erhaltung der Kastenfenster durch gezielte Verbesserungsmaßnahmen, Frauenhofer IRB, 1996.
- [22] ANSYS Fluent 14.0. Userguide/Theoryguide.
- [23] ÖNORM B 8110 Teil 2: Wärmeschutz im Hochbau – Teil 2: Wasserdampfdiffusion und Kondensationsschutz, Ausgabe: 2003-07-01
- [24] Ojanen, T., Viitanen, H., Peuhkuri, R., Lähdesmäki, K., Vinha, Salminen, K.: Mold Growth Modeling of Building Structures Using Sensitivity Classes of Materials in Proceedings of Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Whole Buildings XI International Conference in Clearwater Beach, Florida, OakRidge National Laboratory, 2010
- [25] ÖNORM EN 335 Teil 1: Dauerhaftigkeit von Holz und Holzprodukten – Definition der Gefährdungsklassen für einen biologischen Befall, Ausgabe: 2006-10-01
- [26] Viitanen, H., Toratti, T., Makkonen, L., Peuhkuri, R., Ojanen, T., Ruokolainen, L., Räsänen, J.: „Towards modelling of decay risk of wooden materials” in Eur. J. Wood Prod. (2010) 68: 303–313
- [27] J. Siroky, F. Oldewurtel, J. Cigler, and S. Prívvara, “Experimental analysis of model predictive control for an energy efficient building heating system,” Applied Energy, vol. 88, no. 9, pp. 3079–3087, Sep. 2011.
- [28] R. Freire, “Predictive controllers for thermal comfort optimization and energy savings,” Energy and Buildings, vol. 40, no. 7, pp. 1353–1365, 2008.
- [29] F. Oldewurtel, A. Parisio, C. N. Jones, D. Gyalistras, M. Gwerder, V. Stauch, B. Lehmann, and M. Morari, “Use of model predictive control and weather forecasts for energy efficient building climate control,” Energy and Buildings, vol. 45, pp. 15–27, Feb. 2012.
- [30] M. Maasoumy and A. Sangiovanni-Vincentelli, “Total and Peak Energy Consumption Minimization of Building HVAC Systems Using Model Predictive Control,” IEEE Design Test of Computers, vol. 29, no. 4, pp. 26–35, 2012.
- [31] “Energy efficiency trends in buildings in the EU – lessons from the ODYSSEE MURE projectEnerdata.” 2012.
- [32] J. Laustsen, “Energy Efficiency Requirements in Building Codes, Energy Efficiency Policies for New Buildings,” p. 85, 2008.
- [33] “Federal Ministry of Economy, Family and Youth; ‘Energiestatus Österreich 2011.’”.
- [34] B. Schwarze, “Maßnahmen zur Erhöhung der Energieeffizienz im Bauwesen.” ESPAN, 30-Mar-2010.
- [35] L. Itard, Building Renovation and Modernisation in Europe : State of the art review ERABUILD Final Report. Delft, The Netherlands, 2008.
- [36] McKinsey & Company, “Kosten und Potentiale der Vermeidung von Treibhausgasemissionen in Deutschland.” Sektorperspektive Gebäude, 2007.
- [37] S. Katipamula and M. R. Brambley, “Review Article: Methods for Fault Detection, Diagnostics, and Prognostics for Building Systems—A Review, Part I,” HVAC&R Research, vol. 11, no. 1, pp. 3–25, 2005.

- [38] uponor, Praxishandbuch der technischen Gebäudeausrüstung (TGA): Band 2: Gebäudezertifizierung, Raumluf- und Klimatechnik, Energiekonzepte mit thermisch aktiven Bauteilsystemen, Geplante Trinkwasserhygiene. Beuth Verlag, 2013.
- [39] T. Ferhatbegović, "Model Based Control for Building Management Systems," Vienna University of Technology, Vienna, 2012.
- [40] G. Zucker, T. Ferhatbegović, and D. Bruckner, "Building automation for increased energy efficiency in buildings," in IEEE International Symposium on Industrial Electronics (ISIE), 2012, 2012, pp. 1191–1196.
- [41] E. Commission, Europe's energy position: markets & supply. Publications Office of the European Union 2010., 2010.
- [42] G. Escrivá, I. Segura-Heras, and M. Alcázar-Ortega, "Application of an energy management and control system to assess the potential of different control strategies in HVAC systems," Energy and Buildings, vol. 42, no. 11, pp. 2258–2267, 2010.
- [43] F. K. Fong, V. I. Hanby, and T. T. Chow, "HVAC system optimization for energy management by evolutionary programming," Energy and Buildings, vol. 38, no. 3, pp. 220–231, 2006.
- [44] C. P. Underwood, HVAC Control Systems: Modelling, Analysis and Design. Spon Press, 1999.
- [45] Ashrae, 2007 ASHRAE Handbook : HVAC Applications. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers., 2007.
- [46] T. Ferhatbegovic, S. Hauer, and G. Zucker, "Methodology for deploying model based control concepts for load shaping in the non-residential building sector," in IECON 2013 - 39th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, 2013, pp. 5735–5740.

8.2. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Spannungsfeld zwischen Bewahrung und Veränderung	19
Abbildung 2: Vergleich Denkmalschutz – Klimaschutz in Österreich.....	20
Abbildung 3: Leitfäden zur Unterstützung der Planungsmaßnahmen bei denkmalgeschützten Gebäuden, obere Reihe von links nach rechts: [2],[3],[4], zweite Reihe von links nach rechts: [5],[6],[7], dritte Reihe von links nach rechts: [8],[9],[10], vierte Reihe von links nach rechts: [11],[12],[13], letzte Reihe [14],.....	25
Abbildung 4: Links ist der Aufbau eines Kastenfensters schematisch dargestellt, das Bild auf der rechten Seite zeigt ein Kastenfenster mit installierten Messsensoren aus dem Projekt „denkmalaktiv I“ [20].	27
Abbildung 5: Schematische Darstellung der Verbesserungskonzepte für historische Kastenfenster [16]......	28
Abbildung 6: Darstellung des zwei dimensional CFD Modells inklusive Beschreibung der Zonen und Randbedingungen. Zusätzlich ist ein Temperaturkonturplot hinterlegt, der aus der Untersuchung des originalen Kastenfensters (A) stammt [16]......	28
Abbildung 7: Auszug der gemessenen Temperaturen 2012 für (A) das originale und (B) das verbesserte Kastenfenster [16].	30
Abbildung 8: Vergleich von gemessenen Temperaturen mit den Temperaturverläufen aus den CFD Simulationen für (A) das originale und (B) das verbesserte Kastenfenster [15].	30
Abbildung 9: Darstellung von Temperatur und Strömungsprofilen zwischen den zwei Fensterflügeln an drei unterschiedlichen Fensterhöhen [15],[16],[20].	31
Abbildung 10: Anschlussdetails - Allgemein.....	35
Abbildung 11: Anschlussdetails - Kastenfenster	36
Abbildung 12: Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit in der Schicht zwischen Innendämmung und Bestands-Außenmauerwerk (eindimensionaler Wandaufbau)	39
Abbildung 13: Relative Luftfeuchtigkeit (oben) und Temperatur (unten) im Anschlussdetail Außenwand zu Stiegenpodest am Tag mit der höchsten Gesamtwassermasse; links: Innendämmung an das Stiegenpodest angeschlossen, rechts: Innendämmung mit 15 cm Abstand zum Stiegenpodest; Multipor 12 und Cellulose 12.....	40
Abbildung 14: Relative Luftfeuchtigkeit (oben) und Temperatur (unten) für einen Horizontalschnitt durch ein Kastenfenster mit Innendämmung (Variation 1) am Tag mit der höchsten Gesamtwassermasse; von links nach rechts dargestellt: Calsitherm 12, Multipor 12, Cellulose 12, iQ-Therm 08.	42
Abbildung 15: Entwicklungsprozess für die modellbasierte Steuerung und Regelung.	46
Abbildung 16: Skizze HKL Systemkonfiguration ENERGYbase. Systemregelung erfolgt über Sollwerte für die Deckentemperatur CCA1-CCA4.	48
Abbildung 17: Validierung der thermischen Raum-/Zonenmodelle für eine aus Formel 2 und Formel 3 für einen 7-Tage-Vergleich zw. Modellverhalten und Simulation.....	49
Abbildung 18: Validierung der Gleichungen aus Formel 2 für die Betonkernaktivierung - Temperaturverlauf für eine Zone.....	49
Abbildung 19: Konzept für den Einsatz der modellbasierten Steuerung- und Regelung im linearen Bereich der Gebäudeautomatisierung.	50
Abbildung 20: Darstellung der koordinierten, dynamischen und optimalen Sollwertverschiebung der Betonkernaktivierung in der ENERGYbase im Rahmen des Proof of Concepts im linearen Bereich der Gebäudeautomatisierung.....	51
Abbildung 21: Darstellung des elektr. Energieverbrauchs der an der Regelung beteiligten Wärmepumpen für die konventionelle Regelung (BASIS) sowie die innovative, optimale Regelung (OPT).	51

8.3. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Ermittelte U-Werte aus den CFD Simulationen.....	32
Tabelle 2: Materialeigenschaften der untersuchten Innendämmsysteme.....	34
Tabelle 3: Ergebnisse aus normativen Berechnungen und hygrothermischen Simulationen (eindimensionaler Wandaufbau).....	38

8.4. Formelverzeichnis

Formel 1: Mathematische Formulierung des Steuer- und Regelproblems.	47
Formel 2: Mathematische Beschreibung Kopplung Betonkernaktivierung – Raum (vereinfacht mit 4 Zonen).....	48
Formel 3: Mathematische Beschreibung der thermischen Kopplung Räume/Zonen untereinander. ...	48

9. Anhang

9.1. Endberichte der Subtasks

Die Endberichte aus den Subtasks A, B, C und D sind zum Zeitpunkt der Berichtslegung des Endberichts des österreichischen Teams noch nicht abgeschlossen. Die Berichte werden nach Approbation durch die IEA auf der Website von SHC TASK 47 (<http://task47.iea-shc.org/>) zur Verfügung gestellt werden.

9.2. Publikationen auf der TASK 47-Website

Unter der Rubrik „Publications“ auf der TASK 47-Website stehen die Templates der Sanierungsprojekte zur Verfügung, unter <http://task47.iea-shc.org/publications> können mit Stand September 2014 folgende Broschüren downgeloadet werden:

Franciscan Monastery, Graz

Jänner 2014 - PDF 2,57MB - Posted: 9.29.2014

By: Sophie Grünewald, TU Graz, Claudia Dankl, ÖGUT

The main part of this protected monument is from 1250 to 1650. Solar thermal collectors and heat pump, 92% energy saving, the final 8% plan to be covered by PV.



School Renovation Cesena, Italy

Jänner 2014 - PDF 1,1MB - Posted: 9.29.2014

Presentation that outlines a major renovation of a primary school built in the 1960s. Includes building envelope, heating system, renewable energy system and lighting



Kaiserstraße 7, Vienna; Austria

Jänner 2014 - PDF 1,29MB - Posted: 3.18.2014

By: Walter Hüttler, Johannes Rammerstorfer

Monastery, listed Building from 1904 with residential use of the top floors. Primary energy demand reduced by 60%



Administration building Bruck/Mur - Austria

2014 - PDF 1,57MB - Posted: 2.25.2014

By: Dirk Jäger,

BIG Bundesimmobiliengesellschaft

The office building from 1964 has several innovative features like a special façade, bivalent heat pump and lighting concept. 140 m2 PV modules on the roof. 85% reduction in heat demand.



TU Vienna Plus Energy - Austria

2014 - PDF 1,54MB - Posted: 2.25.2014

By: Helmut Schöberl, Richard Hofer, Schöberl & Pöll GmbH; Claudia Dankl, Hannes Warmuth, ÖGUT

The building from the 1970s renovated to a plus energy standard. Passive night-time cooling, and 336 kWp façade integrated PV system.



Refurbishment of the Riva Bella School - Belgium

2014 - PDF 1,97MB - Posted: 2.25.2014

By: Sophie Trachte; Contact : sophie.trachte@uclouvain.be

The semi-prefabricated building from 1970 renovated in 2010/12 at very low budget. Prefabrication and re-use as well as free and night cooling.



Solbraaveien Office Center - Asker, Norway

Jänner 2014 - PDF 1,03MB - Posted: 2.1.2014

By: Anna Svensson, Espen Aronsen

The building from 1980-82 has reduced the energy consumption to 60% while increasing the indoor air quality.



Rockwool International Office Building - Hedehusene, Denmark

Dezember 2013 - PDF 1,27MB - Posted: 2.1.2014

By: Kirsten Engelund Thomsen and Jørgen Rose

The building from 1979 was renovated in 2013. Features heat pump, solar collectors and PV system.



Office and Workshop Building at Fraunhofer ISE - Germany

Fraunhofer ISE Campus

August 2013 - PDF 1,76MB - Posted: 8.14.2013

By: Doreen Kalz and Arnulf Dinke

Building from 1975 renovated in 2011. Wall insulation including ventilation ducts.



Powerhouse Kjørbo – Norway

August 2013 - PDF 1,6MB - Posted: 8.14.2013

By: Arne Førland-Larsen

Two office buildings from early 1980s are renovated to a plus energy standard using high insulation standard, PV and ground coupled heat pump.



Printing Workshop and Office Building - Germany

August 2013 - PDF 0,96MB - Posted: 8.14.2013

By: Doreen Kalz

Building from 1978 renovated in 2005 and 2011. Thermal comfort evaluated both in summer and winter condition.



Schüco Italian Headquarter - Italy

Jänner 2013 - PDF 2,06MB - Posted: 11.25.2013

By: G. Pansa, T. Poli

The building from 1990 includes several solar energy installations; 600 kWp PV system, solar absorption chiller 15 kWf and 10 m2 solar collectors for DHW



Boligselskapet Sjælland Office Building - Denmark

Jänner 2013 - PDF 1,73MB - Posted: 11.25.2013

By: Jørgen Rose and Kirsten Engelund Thomsen

The office building from 1968 was extended with a penthouse to the top of the building. 130 m2 PV-system included.



Kampen School, Norway

Jänner 2013 - PDF 1,4MB - Posted: 3.12.2013

By: Mads Mysen and Anna Svensson

A demonstration project where new concepts for energy efficient ventilation and lighting are integrated, using the existing ducts and demand control sensors.



School in Schwanenstadt - Austria

Jänner 2013 - PDF 1,1MB - Posted: 2.10.2013

By: Claudia Dankl, Thomas Steffi and Susanne Supper

School building from 1960s with numerous expansions. Renovated in 2006/07 to meet the passive house standards.



Osram Culture Centre – Denmark

Jänner 2013 - PDF 1,6MB - Posted: 2.10.2013

By: Jørgen Rose and Kirsten Engelund Thomsen

Built in 1953 as an industrial building and renovated in 2009. The first prefabricated building in Copenhagen.



Kindergarten Vejtoften - Denmark

Oktober 2012 - PDF 1,3MB - Posted: 10.19.2012

By: Jørgen Rose and Kirsten Engelund Thomsen

Built in 1971 with minimal insulation standard. One of 27 kindergartens in the municipality that will undergo an extensive energy renovation. The method developed in this project will be applied in all the other kindergartens.



NVE Building - Norway

Oktober 2012 - PDF 1,23MB - Posted: 10.19.2012

By: Anders Johan Almas, Michael Klinski, Niels Lassen

The office building was constructed through 1962 -64 for the Norwegian Water Resources and Energy Directorate. Protected elements both internal and external. The first protected building in Norway to be renovated to energy level B or better.



Norwegian Tax Authority Building Renovation - Oslo, Norway

Juni 2012 - PDF 1,17MB - Posted: 7.2.2012

By: TASK 47

Presentation that outlines the renovation of the high-rise Norwegian Tax Authority building in Oslo, Norway. The renovation includes high insulated building facade, increased air tightness, energy recovery, and high efficiency technical systems.



Ebenfalls von der TASK 47-Website downgeloadet werden können die Präsentationen, die im Rahmen der öffentlichen TASK-Workshops und -Seminare gehalten wurden (<http://task47.iea-shc.org/past>):

9.3.TASK 47 Seminar; April 3, 2014 – Frankfurt, Germany

<http://task47.iea-shc.org/seminar-2014-04-03>

Präsentationen:

1. [Renovation of non-residential buildings towards sustainable standards. Overview of the IEA-SHC TASK 47](#)
Fritjof Salvesen, Asplan Viak, Norway
2. [Important lessons learned from 20 European exemplary retrofit projects for non-residential buildings](#)
Fritjof Salvesen, Asplan Viak, Norway
3. The challenge of retrofitting historic buildings – Examples from [Vienna](#) and [Graz](#)
Claudia Dankl, ÖGUT – Österreichische Gesellschaft für Umwelt and Technik, Austria
4. [Deep retrofit of older office buildings: Lessons learned and recommendations](#)
Kirstin Eklund Thomsen, Danish Building Research Institute, Denmark
5. [Powerhouse Kjørbo – Office building renovated to plus-energy standard](#)
Mari Lyseid Authen, Asplan Viak, Norway
6. [Overview and evaluation of marked and policy issues for the retrofit of non-residential buildings](#)
Trond Haavik, Segel
7. [How to achieve high daylighting quality in retrofitted non- residential buildings? Cross comparison of retrofitted European buildings and recommendations](#)
Roman Jakobiak, daylighting.de UG, Germany
8. [Retrofitting German school buildings to achieve the energy performance standards of plus energy schools and 3-litre buildings.](#)
Johann Reiss, Fraunhofer Institute for Building Physics, Germany
9. [Successful retrofit of non-residential buildings: Technical analysis of heating and cooling concepts](#)
Dooren Kalz, Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems, Germany
10. [Design Guideline for sustainable refurbishment of school buildings](#)
Sophie Trachte, Architecture et Climat, Belgium (presented by Fritjof Salvesen)

9.4.TASK 47 Seminar, April 5, 2013 – Sydney, Australia

Präsentationen:

- [Introduction to TASK 47 and experiences from exemplary renovation projects](#)
Fritjof Salvesen, Asplan Viak AS – Norway
- [Where is the energy saving potential, and how can it be released?](#)
Trond Haavik - Norway
- [Evaluation of building and plant performance for four demonstration buildings](#)
Simon Winiger, Fraunhofer-Institute for Solar Energy Systems ISE

- [Renovation of Non-Residential Buildings towards Sustainable Standards](#)
Sophie Trachte, Architecture et Climat – UCL
- [Austrian Research, Technology and Innovation Program](#)
C. Dankl, Haus der Zukunft
- [Lighting standards in renovated buildings](#)
Roman Alexander Jakobiak
- [160 Ann Street, Brisbane, Australia](#)
Richard Hyde
- [Solar Retrofit – Sydney, Australia -- PV grid connected system](#)
Brett Pollard
- [Retrofitting for Peak Demand Load Reduction](#)
Mark. B. Luther
- [Turning a poor environmental performing building around, case study](#)
C. McCabe - Austria
- [388 George St, Sydney, Australia](#)
Lester Partridge
- [Bioclimatic Retrofitting of University Buildings](#)
M. Liu - AUS

9.5.TASK 47 Seminar on Exemplary Buildings, September 7, 2012 – Brussels

Präsentationen:

- [Welcome and Introduction by OA Fritjof Salvesen](#)
- [School of Schwanenstadt, Austria](#)
- [Kindergarten in HÅ,je-Taastrup, Denmark](#)
- [Norwegian Tax Directorate](#)
- [Office in Vorst, Belgium](#)
- [High Rise Commercial Building, Australia](#)
- [Printing Workshop, Germany](#)
- [Franciscan Monastery in Graz - Historic Building](#)