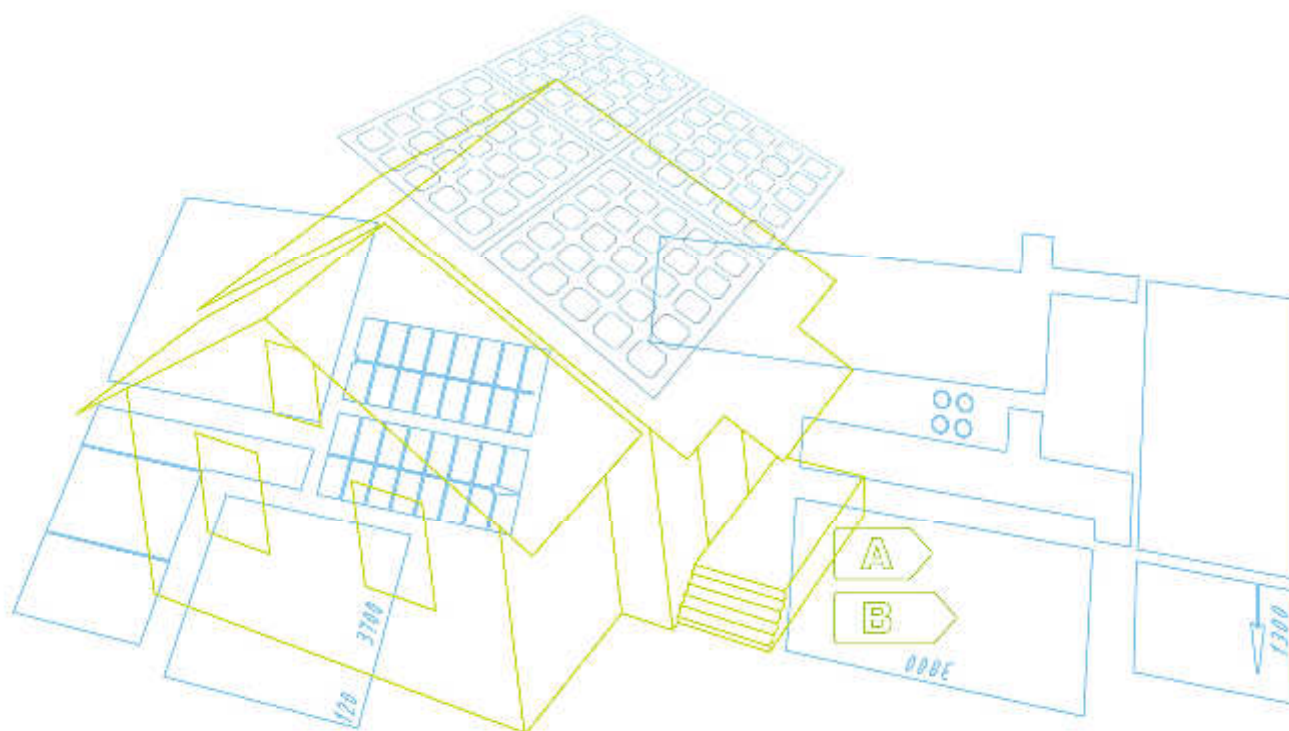




denkmalaktiv I

Sanierung alter, denkmalgeschützter Gebäude auf Aktivhausstandard?



VORWORT

Die Publikationsreihe **BLUE GLOBE REPORT** macht die Kompetenz und Vielfalt, mit der die österreichische Industrie und Forschung für die Lösung der zentralen Zukunftsaufgaben arbeiten, sichtbar. Strategie des Klima- und Energiefonds ist, mit langfristig ausgerichteten Förderprogrammen gezielt Impulse zu setzen. Impulse, die heimischen Unternehmen und Institutionen im internationalen Wettbewerb eine ausgezeichnete Ausgangsposition verschaffen.

Jährlich stehen dem Klima- und Energiefonds bis zu 150 Mio. Euro für die Förderung von nachhaltigen Energie- und Verkehrsprojekten im Sinne des Klimaschutzes zur Verfügung. Mit diesem Geld unterstützt der Klima- und Energiefonds Ideen, Konzepte und Projekte in den Bereichen Forschung, Mobilität und Marktdurchdringung.

Mit dem **BLUE GLOBE REPORT** informiert der Klima- und Energiefonds über Projektergebnisse und unterstützt so die Anwendungen von Innovation in der Praxis. Neben technologischen Innovationen im Energie- und Verkehrsbereich werden gesellschaftliche Fragestellung und wissenschaftliche Grundlagen für politische Planungsprozesse präsentiert. Der **BLUE GLOBE REPORT** wird der interessierten Öffentlichkeit über die Homepage www.klimafonds.gv.at zugänglich gemacht und lädt zur kritischen Diskussion ein.

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Forschungs- und Technologieprogramm „Neue Energien 2020“. Mit diesem Programm verfolgt der Klima- und Energiefonds das Ziel, durch Innovationen und technischen Fortschritt den Übergang zu einem nachhaltigen Energiesystem voranzutreiben.

Wer die nachhaltige Zukunft mitgestalten will, ist bei uns richtig: Der Klima- und Energiefonds fördert innovative Lösungen für die Zukunft!

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Theresia Vogel'.

Theresia Vogel
Geschäftsführerin, Klima- und Energiefonds

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Ingmar Höbarth'.

Ingmar Höbarth
Geschäftsführer, Klima- und Energiefonds

denkmalaktiv I

Sanierung alter, denkmalgeschützter Gebäude auf Aktivhausstandard?

*Thomas Mach
Michael Grobbauer
Wolfgang Götzhaber*



Projektkonsortium

- ▶ Stadt Graz Umweltamt A23 - unter Einbeziehung weiterer Ämter (Projektleitung)
- ▶ Franziskanerkloster Graz
- ▶ Institut für Wärmetechnik, TU Graz (wissenschaftliche Koordination)
- ▶ Arch. DI Michael Lingenhölle
- ▶ Güssing Energy Technologies
- ▶ Grazer Energieagentur (organisatorische Koordination)
- ▶ Institut für Hochbau, TU Graz

Projektauftragspartner

- ▶ mfg architekten
- ▶ Institut für Bauklimatik, TU Dresden

Liegenschaftseigentümer

- ▶ GBG Gebäude- und Baumanagement Graz GmbH
- ▶ Stadt Graz Amt für Wohnungsangelegenheiten A21
- ▶ Franziskanerkloster Graz

Externe Experten

- ▶ Bundesdenkmalamt (Landeskonservatorat für Steiermark)
- ▶ Beirat, bestehend aus vier ExpertInnen



Dieses Projekt wird aus Mitteln des Klima- und Energiefonds gefördert und im Rahmen des Programms Neue Energien 2020 durchgeführt.

1 Einleitung

1.1	Das Spannungsfeld „Denkmalschutz – Klimaschutz“	6
1.2	Der „denkmalaktiv“ Projektansatz	7
1.3	Einordnung in das Programm	8
1.4	Aufbau und verwendete Methoden	8

2 DISKURS

2.1	Grundlagen des Diskurses	14
2.1.1	Motivation zur Erhaltung alter Bausubstanz	14
2.1.2	Umsetzung des Schutzes historischer Gebäude in Österreich	16
2.1.3	Leitfäden zu energetischer Sanierung und Denkmalschutz	22
2.1.4	Entwicklung des Klimaschutzes	25
2.1.5	Rahmenbedingungen des gebäudebezogenen Klimaschutzes	29
2.1.6	Sanierungsförderungen für denkmalgeschützte Gebäude	32
2.2	Komponenten der „denkmalaktiv I“ Diskursführung	36
2.2.1	Workshops mit dem Bundesdenkmalamt	36
2.2.2	Interviews mit Liegenschaftsvertreter/innen und Expert/innen	39
2.2.3	Konnex zur Fachöffentlichkeit	44

3 BAUSTEINE

3.1	Anwendung kapillaraktiver Innendämmsysteme	49
3.1.1	Methoden und Vorgangsweise	49
3.1.2	Recherche zu Innendämmungen bei historischen Gebäuden	50
3.1.3	Kooperation mit anderen Projekten	51
3.1.4	Aufbau der Untersuchung	51
3.1.5	Zusammenfassung von Untersuchungszielen und -methoden	58
3.1.6	Beurteilung der Detailpunkte	60
3.1.7	Generalisierbare Erkenntnisse	85
3.1.8	Weiterer Forschungsbedarf	92
3.2	Thermisch-hygrische Ertüchtigung von Kastenfenstern	94
3.2.1	Ausgangslage / Recherche	94
3.2.2	Methoden und Vorgangsweise	94
3.2.3	Recherche/Analyse – thermische Sanierung von Kastenfenstern	95
3.2.4	In-Situ-Messungen	96
3.2.5	Thermisch-hygrische Simulation	106
3.3	Strömungstechnisches Verhalten von Kastenfenstern bei Sanierung	126
3.3.1	Aufbau des Simulationsmodells	126
3.3.2	Strömungsverhalten des unsanierten Kastenfensters	130
3.3.3	Auswertung der Sanierungsvarianten	138
3.3.4	Zusammenfassung	169
3.3.5	Einfluss von Luftkanälen im Kastenfenster	170
3.3.6	Vergleich Messung-Simulation	172
3.3.7	Gebäude-Wind-Simulation	174
3.4	Implementierung einer Lüftungsanlage in einem Schulgebäude	176
3.4.1	Gewählter Bearbeitungsansatz	176
3.4.2	Bedeutung der Raumluftqualität in Klassenräumen	177
3.4.3	Grundlagen zur Systementscheidung	177
3.4.4	Umsetzungsbeispiele dezentraler Lüftungssysteme	178
3.4.5	Diskurs mit dem Denkmalamt	179
3.4.6	Lüftungskonzept	180
3.4.7	Energieeinsparungspotenzial durch Wärmerückgewinnung	184
3.4.8	CO ₂ -Konzentrationen im Raum	187
3.4.9	Fazit	190

3.5	Auswirkungen thermischer Bauteilkonditionierung auf das thermische Raumverhalten	191
3.5.1	Zielsetzung und Referenzsystem	191
3.5.2	Simulationsaufbau und Szenariendefinition	192
3.5.3	Voruntersuchung	195
3.5.4	Erstellung der Simulationsmodelle	196
3.5.5	Parameter und Variantenstudie	199
3.5.6	Vergleich der Simulationsvarianten	212
3.6	Trocknungspotential thermischer Bauteilkonditionierung	220
3.6.1	Versuchsaufbau und Testfelder	220
3.6.2	Temperatur- und Luftfeuchtemessungen in der Konstruktion	223
3.6.3	Temperaturen auf der Innenoberfläche	228
3.6.4	Temperaturen auf der Außenoberfläche	230
3.6.5	Handmessungen (Tiefenfeuchtemessung)	232
3.6.6	Zusammenfassung der Messungen	239
3.6.7	Randbedingungen der Thermisch-hygrischen Simulation	241
3.6.8	Simulation mit gemessenem Klima	242
3.6.9	Vergleich von Messungen und Simulation	252
3.7	Nutzung aktiver thermischer Solarenergie	253
3.7.1	Aufgabenstellung im Bereich „thermische Solarenergie“	255
3.7.2	Erstellen einer thermischen Gebäude- und Anlagensimulation	255
3.7.3	Randbedingungen der thermischen Gebäudesimulation	258
3.7.4	Detaillerggebnisse der thermischen Gebäudesimulation	261
3.7.5	Randbedingungen der thermischen Anlagensimulation	263
3.7.6	Detaillerggebnisse der thermischen Anlagensimulation	266
3.7.7	Detaillierte Betrachtung von einzelnen Szenarien	272

4 KONZEPTE

4.1	Sanierungsbeispiele denkmalgeschützter/historischer Gebäude	281
4.1.1	Solarthermie auf Gaupen eines ehemaligen Klosterhofes	281
4.1.2	Solarthermieanlage einer denkmalgeschützten ehemaligen Kabelfabrik	283
4.1.3	Bauteiltemperierung für eine denkmalgeschützte Pfarrkirche	286
4.1.4	Solarthermie als Dachhaut und Ensembleschutz	288
4.1.5	Fassadenintegrierte Solarthermieanlage auf Gründerzeit Wohngebäude	290
4.1.6	Großflächige Solarthermieanlage auf Gründerzeit Hotelleriebetrieb	292
4.1.7	Analyse der Sanierungsbeispiele	295
4.2	Bestandsanalyse der Referenzgebäude	297
4.2.1	Durchführung und Ergebnisse der Bestandaufnahme	297
4.2.2	Bestandsanalyse Franziskanerkloster Graz „Klostertrakt“	298
4.2.3	Bestandsanalyse „Gründerzeitgebäude“ in der Blockrandbebauung	301
4.2.4	Bestandsanalyse „Kindergarten“ im Stadtrandgebiet	304
4.2.5	Bestandsaufnahme „Siedlungshaus“ aus der Zwischenkriegszeit	308
4.2.6	Bestandsanalyse „Schulgebäude“	311
4.2.7	Lessons Learned aus der bauphysikalischen Bestandsaufnahme	314
4.3	Energetische Potentialabschätzung der Sanierungsmaßnahmen	322
4.3.1	Vorgangsweise bei der Szenarienbewertung	322
4.3.2	Ausprägung der Komponenten in den Szenarien	322
4.3.3	Szenariendefinition	324
4.3.4	Angenommene Ausprägungen der Referenzgebäude	325
4.3.5	Auswertung der Ergebnisse von Einzelmaßnahmen	331
4.3.6	Auswertung der Ergebnisse von Kombinationsmaßnahmen	338

4.4	Architektonische Konsequenzen von Sanierungsmaßnahmen.....	342
4.4.1	Auswahl der Betrachtungskriterien	342
4.4.2	Architektonische Auswirkungen der Innendämmung	344
4.4.3	Architektonische Auswirkungen der Sanierung von Kastenfenstern	352
4.4.4	Architektonische Auswirkungen der Implementierung von Lüftungsanlagen.....	357
4.4.5	Architektonische Auswirkungen des Einsatzes einer Bauteilkonditionierung	360
4.4.6	Architektonische Auswirkungen der Ergänzung von Solartechnologien.....	364
4.5	Umsetzung im Franziskanerkloster Graz	374
4.5.1	Ansatz und Vision	374
4.5.2	Der Umsetzungsprozess	377
4.5.3	Bautechnische Sanierungsmaßnahmen	385
4.5.4	Gebäudetechnische Sanierungsmaßnahmen	388
4.5.5	Thermographische Analyse nach der Sanierung	390

5 Zusammenfassung und Ausblick

6 Nachweise

6.1	Quellennachweise	409
6.2	Vorträge, schriftliche Beiträge und Führungen.....	418
6.3	Annexberichte.....	419
6.4	Angewandte Simulationssoftware und Messeinrichtungen.....	420
6.5	interviewte Personen	422
6.6	Expertenbeirat des FFG	422
6.7	VertreterInnen des Bundesdenkmalamtes.....	422
6.8	Liegenschaftseigentümer	422
6.9	AutorInnen	423

HINWEISE:

Die einzelnen Kapitel sind klar in Bezug auf ihre Autorenschaft gekennzeichnet.
Die Verantwortung für die dargestellten Inhalte liegt bei den jeweiligen AutorInnen, bzw. bei den entsprechenden Institutionen.

Sämtliche personenbezogenen Aussagen in diesem Dokument sind als geschlechtsneutral zu verstehen, auch wenn sie mit dem Ziel einer guten Lesbarkeit anders dargestellt sind.

1 Einleitung

Thomas Mach, Wolfgang Götzhaber, Gerhard Lang

1.1 Das Spannungsfeld „Denkmalschutz – Klimaschutz“

Einerseits ...

sind die Menschen der heutigen Zeit durch eine über Jahrtausende andauernde kultur-geschichtliche Entwicklung geprägt. Bauwerke waren immer schon ein essentieller Ausdruck dieser Entwicklung. Wenn wir die Bauwerke vergangener Zeiten betrachten, dann können wir daraus politische und gesellschaftliche Zusammenhänge ablesen, technischen Fortschritt erkennen und über das Denken und Leben in jenen Zeiten Rückschlüsse ziehen. Diese gebauten Zeitzeugnisse möglichst unversehrt bestehen zu lassen und damit auch zukünftigen Generationen den Blick auf die eigenen Wurzeln zu ermöglichen ist zweifelsfrei ein **gesellschaftliches Ziel ersten Ranges**.

Andererseits ...

hat es unsere Gesellschaft mittlerweile soweit getrieben, dass wir fürchten müssen, dass unser Lebensraum in absehbarer Zeit substantiellen nachteiligen Veränderungen unterzogen werden wird. Es ist zu befürchten, dass der derzeitige beinahe ungehemmte Ausstoß treibhausrelevanter Emissionen eine Veränderung des Klimas bewirkt. Weiten Teilen der künftigen Generationen könnte durch die Auswirkungen des Klimawandels die Lebensgrundlage entzogen werden. Die durch das menschliche Handeln verursachten Emissionen zu senken um die Zukunftsfähigkeit unserer Gesellschaft aufrecht zu erhalten ist zweifelsfrei ein **gesellschaftliches Ziel ersten Ranges**.

BEWAHRUNG versus VERÄNDERUNG

Ein großer Teil der anthropogenen Treibhausgase wird durch die Nutzbarmachung von Energie für den Menschen verursacht. Ein beachtlicher Teil dieser Energie wird bereitgestellt, um unsere Gebäude zu klimatisieren. Den derzeitigen Energiebedarf unseres Gebäudebestandes zu senken sowie auf erneuerbare Energieträger umzustellen bedingt, zumindest auf Basis der derzeitig vorhandenen technischen Möglichkeiten, die Notwendigkeit von teils substantiellen Veränderungen in der baulichen und gebäudetechnischen Objektstruktur.

In der Beurteilung potentieller Sanierungsmaßnahmen bzw. Maßnahmen zur energie-technischen Ertüchtigung am einzelnen Objekt trifft der durch den Klimaschutzgedanken motivierte Wunsch nach Veränderung auf die bewahrenden Anliegen des Denkmalschutzes. Dieses Aufeinandertreffen erzeugt einen Zielkonflikt, der ein Spannungsfeld zwischen zwei anerkannten Zielsetzungen generiert. Der Begriff „Denkmalschutz“ steht dabei stellvertretend für die übergeordnete, dem Denkmalschutz zugrunde liegende Zielsetzung der Bewahrung von Werten. Der „Denkmalschutz“ als ein im Rahmen des Denkmalschutzgesetzes definierter Begriff, betrifft in Österreich in etwa 2% des Gebäudebestandes. Die grundlegende Zielsetzung der Bewahrung alter Gebäude oder Gebäudeensembles, beispielsweise die gründerzeitliche Bebauung zahlreicher österreichischer Städte, betrifft dagegen einen großen Anteil des österreichischen Gebäudebestandes insbesondere in den Stadt- und Ortskernen. Im Hinblick auf den bereits stattfindenden Wandlungsprozess der Städte und Gemeinden zu „smart cities“ – also zu emissionsfreien und lebenswerten Städten und Gemeinden - stellt sich die Frage, wie denkmalgeschützte bzw. bewahrenswerte Gebäude zu dieser Entwicklung beitragen können.

1.2 Der „denkmalaktiv“ Projektansatz

Das Forschungsprojekt „denkmalaktiv“ bearbeitet das Spannungsfeld, das sich zwischen den bewahrenden Anliegen des Denkmalschutzes und den aktuellen Erfordernissen des Klimaschutzes aufspannt. Das Gesamtkonzept beinhaltet eine Aufarbeitung der technischen und architektonischen Grundlagen im vorliegenden Teilprojekt „denkmalaktiv I“, eine Anpassung und Detaillierung der erarbeiteten Grundlagen auf ein konkretes Sanierungsvorhaben im Teilprojekt „denkmalaktiv II“ und die Begleitung der tatsächlichen Sanierungsmaßnahmen im Teilprojekt „denkmalaktiv III“ (Abb. (1)).

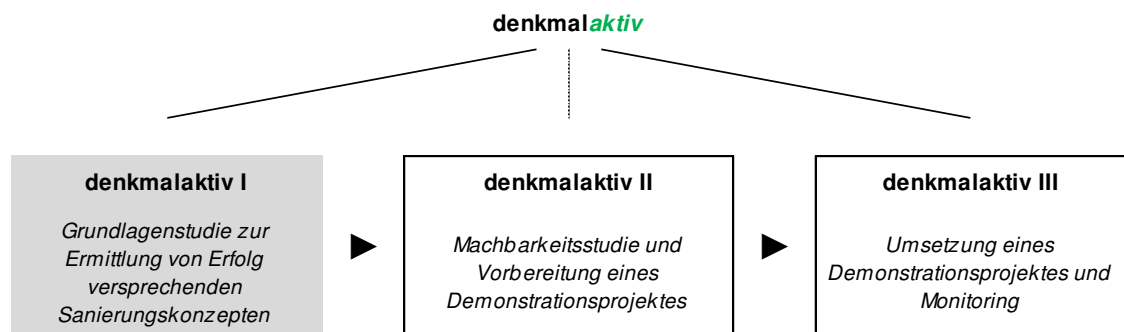


Abb. (1) Dreistufiges Konzept des Gesamtprojektes denkmalaktiv

Der Schwerpunkt des Teilprojektes „denkmalaktiv I“ liegt in der punktuellen Aufbereitung und Weiterentwicklung von Basiswissen zur emissionsreduzierenden Sanierung des historischen Gebäudebestandes. Das generierte Wissen soll dabei einerseits einen allgemeingültigen Beitrag zur Diskussion rund um die thermische Sanierung historischer, oftmals denkmalgeschützter, Gebäude liefern. Andererseits ist die Auswahl der untersuchten Inhalte bereits auf die Umsetzung eines Demonstrationsprojektes gerichtet, welches in der Stadt Graz durchgeführt und im Rahmen der Teilprojekte „denkmalaktiv II“ und „denkmalaktiv III“ wissenschaftlich begleitet werden wird.

Die Zusammensetzung des Projektteams aus universitären und privaten, vorrangig technisch orientierten, Forschungsinstitutionen, Funktionsträgern der öffentlichen Verwaltung, MitarbeiterInnen einer Energieagentur, Vertretern des Planungswesens sowie Gebäudeeigentümern ermöglicht die fachlich breitgefächerte Diskussion und Bewertung verschiedenster Ansätze. Der intensive Austausch mit Funktionsträgern des Bundesdenkmalamts bringt Verständnis für den denkmalpflegerischen Schutzgedanken in die Diskussion ein und der Gedankenaustausch mit Immobilienverwaltern zeigt die „ökonomische Sichtweise“. Der eingesetzte fachlich durchmischte Expertenbeirat ermöglicht zudem eine unabhängige und von den projektinternen Diskussionen unbeeinflusste, externe Begleitung des Projektablaufes.

Das „denkmalaktiv I“-Konsortium erarbeitete Einzelbeiträge zu verschiedensten Themenstellungen unter dem Dach der gemeinsamen Forschungsstrategie. Dementsprechend setzt sich der vorliegende Bericht kapitelweise aus diesen Einzelbeiträgen zusammen. Die Urheberschaft und die damit verbundene Verantwortung für die Inhalte und Aussagen der einzelnen Beiträge liegt bei den jeweiligen Autoren, bzw. den dahinter stehenden Institutionen.

1.3 Einordnung in das Programm

Das Projekt „denkmalaktiv I“ arbeitet an den Grundlagen unseren historisch bedingten Gebäudebestand in eine nachhaltige Zukunft zu führen. Diese nachhaltige Zukunft muss dadurch gekennzeichnet sein, dass die baulichen Zeugnisse unserer Geschichte als aktive, d.h. genutzte Komponenten eines städtischen Gefüges auch für die nachfolgenden Generationen erhalten bleiben. Dies kann jedoch nicht, zumindest nicht in der großen Masse, auf Kosten der Zukunftsfähigkeit unseres Lebensraumes geschehen. Auch im Bereich des historischen Gebäudebestandes müssen die Ziele des Klima- und Energiefonds

„ ... Verwirklichung einer nachhaltigen Energieversorgung, die Reduktion der Treibhausgas-Emissionen sowie die Steigerung der Forschungsquote“ (Klima- und Energiefonds (a), 2011)

angestrebt werden. Ein Bündel unterschiedlicher Projektaktivitäten bearbeitet die Grundlagen zur Durchführung emissionsreduzierender Sanierungsmaßnahmen an denkmalgeschützten Gebäuden, beleuchtet die entsprechenden architektonisch-denkmalflegerischen Grundlagen, arbeitet an der Weiterentwicklung entsprechender Sanierungstechniken und zeigt die Auswirkungen verschiedenster Sanierungsmaßnahmen auf der Basis von simulations- und messtechnischer Verfahren.

1.4 Aufbau und verwendete Methoden

Die Aktivitäten im Projekt „denkmalaktiv I“ gliedern sich in drei unterschiedliche Handlungsfelder mit den Bezeichnungen: DISKURS, BAUSTEINE und KONZEPTE.

Die Abb. (2) zeigt eine grafische Darstellung der drei Handlungsfelder und deren Bezug zueinander. Die Handlungsfelder bedienen sich unterschiedlichster Methoden und Ansätze. Das Handlungsfeld BAUSTEINE untersucht verschiedenste Sanierungstechniken mit den naturwissenschaftlichen Methoden der Messung und der Simulation. Im Zentrum der Bemühungen steht das Bemühen um den wissenschaftlichen (technischen) Erkenntnisgewinn in Bezug auf die Anwendung von Sanierungsmethoden. Obwohl die einzelnen Untersuchungen anhand einzelner Referenzgebäude durchgeführt wurden, lag das Bestreben darin typische, oftmals vorkommende, Konfigurationen als Ausgangsbasis zu verwenden. Darauf aufbauend wurden jeweils zahlreiche Abwandlungen dieser Ausgangssituationen angenommen um eine vielfache Anwendung der Ergebnisse zu ermöglichen (Szenariotechnik). Das Handlungsfeld KONZEPTE arbeitet auf der Grundlage von fünf Referenzgebäuden als Ausgangsbasis um eine gewisse Bandbreite an Gebäudetypologien in der Untersuchung vertreten zu haben. Das Ausklammern historisch wertvoller Gebäude mit einem jüngeren Baualter wurde bewußt vorgenommen um die Bandbreite an zu behandelnden Konstruktionen in einem, im Rahmen des Projektes, bewältigbaren Ausmaß zu halten. Davon ausgehend werden wiederum zahlreiche Variationen an Sanierungsszenarien betrachtet. Das Ziel dieser Vorgangsweise liegt, ebenso wie im Handlungsfeld BAUSTEINE, eine größere Bandbreite zu behandeln um eine Anwendung der Ergebnisse, über den gegebenen Einzelfall hinaus, möglich zu machen. Das Handlungsfeld DISKURS forciert die Auseinandersetzung mit dem Spannungsfeld Denkmalschutz – Klimaschutz. Als Startpunkte und konkretisierende Beispielfälle dieser generellen Diskussion dienen die Untersuchungen, sowohl auf der untergeordneten Ebene einzelner Sanierungsmaßnahmen, als auch auf der übergeordneten Ebene ganzer Konzepte.

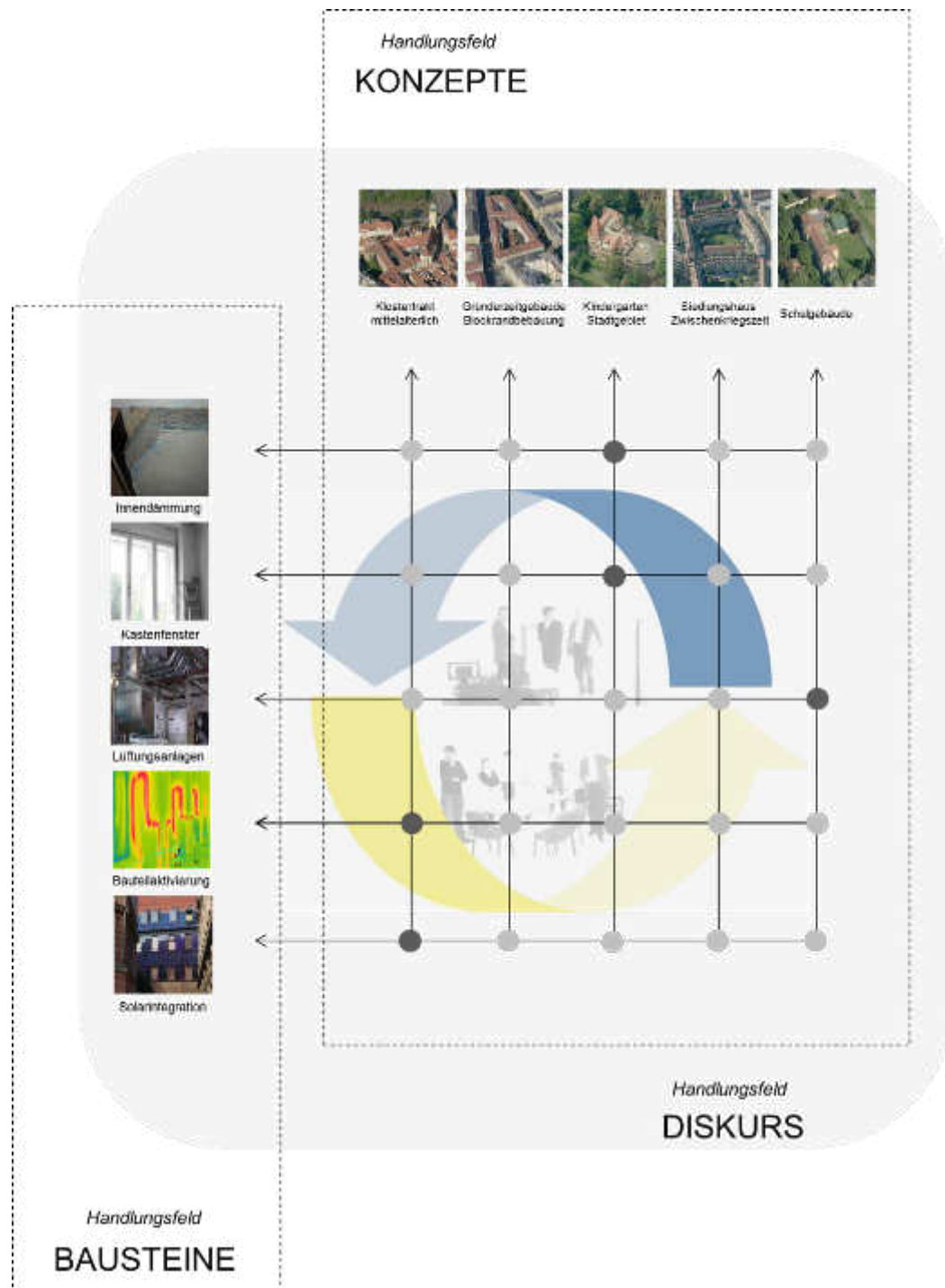


Abb. (2)

Verknüpfung der Handlungsfelder in „denkmalaktiv I“
 • markieren Schwerpunktsetzungen

In der Folge werden die grundlegenden Ansätze der Handlungsfelder und die darin im Rahmen des Teilprojektes „denkmalaktiv I“ durchgeführten Aktivitäten kurz erläutert und auf die ausführlichen Kapitel verwiesen. Die Kapitel wiederum sind die zusammengefasste und komprimierte Form umfangreicher wissenschaftlicher Annexberichte. Das Kapitel 6.3 zeigt eine Auflistung der erstellten Annexberichte.

Handlungsfeld DISKURS

Die Projektaktivitäten im Handlungsfeld DISKURS thematisieren das Spannungsfeld, das sich zwischen den Anliegen des Denkmalschutzes und den Anliegen des Klimaschutzes aufspannt. Es bietet eine Aufarbeitung der Diskussionsgrundlagen, initiiert den Dialog von Entscheidungs- und Wissensträgern hochwertiger Sanierungen (Denkmalamt, öffentliche Institutionen, Liegenschaftsverwaltern und Forschungsinstitutionen), forciert den gezielten Meinungsaustausch relevanter Stakeholder und betreibt die Vernetzung mit gleichgelagerten nationalen und internationalen Forschungsprojekten. Der im Allgemeinen geführte Diskurs wird an den Sanierungsmaßnahmen aus dem Handlungsfeld BAUSTEINE und an den Referenzgebäuden aus dem Handlungsfeld KONZEPTE konkretisiert. Das Ziel des Handlungsfeldes DISKURS liegt in einem verbesserten Verständnis der Beweggründe der beiden Anliegen und der breiten Diskussion um Lösungswege. Dazu wurden folgende Aktivitäten gesetzt:

Grundlagen des Diskurses

Grundlage eines hochwertigen Diskurses ist einerseits ein grundlegendes Verständnis für die Zielsetzungen und Notwendigkeiten der einzelnen Parteien sowie eine „Außerstreitstellung der gemeinsam anerkannten Faktenlage“. Um diese Grundlage bereitzustellen werden Denkmalschutz und Klimaschutz in Bezug auf ihre Entstehungsgeschichte, ihr zugrundeliegendes Gedankengut und dessen Umsetzung in Richtlinien, Gesetzen und Fördermöglichkeiten analysiert und beschrieben. ► Kapitel 2.1

Komponenten der „denkmalaktiv I“ Diskursführung

Das Vorantreiben des Diskurses zwischen den Anliegen des Klimaschutzes und den Anliegen des Denkmalschutzes wird mit unterschiedlichen Methoden betrieben. In drei auf die Projektlaufzeit aufgeteilten und aufeinander aufbauenden Workshops wird der Dialog zwischen dem denkmalaktiv – Team, dem Bundesdenkmalamt - Landeskonservatorat für Steiermark und ausgesuchten externen Experten aufgenommen und vertieft. Das Ziel dieses Diskurses liegt im Aufbau gegenseitigen Verständnisses der Sichtweisen und Standpunkte im Spannungsfeld der Anliegen des Klimaschutzes und des Denkmalschutzes. In Stakeholderinterviews werden auf der Grundlage strukturierter Einzelgespräche fachliche Statements verschiedener Stakeholder vorgestellt. Liegenschaftseigentümer, Energieexperten sowie Behördenvertreter bringen ihre fachliche Sichtweise und ihre einschlägigen Erfahrungen mit Sanierungen in denkmalgeschützten in den Diskurs ein. Zudem betreibt das Projekt „denkmalaktiv I,“ einen aktiven Erfahrungsaustausch mit anderen ähnlich gelagerten Forschungsprojekten. Die Zusammenarbeit mit anderen Forschungsteams sowie die Präsentation der „denkmalaktiv I“-Aktivitäten bei Konferenzen und Symposien verschiedenster Fachrichtungen positioniert das Projekt in der nationalen und internationalen Forschungslandschaft und initiiert einen entsprechenden Erfahrungsaustausch. ► Kapitel 2.2

Handlungsfeld BAUSTEINE

Die Projektaktivitäten im Handlungsfeld BAUSTEINE bearbeiten fünf konkrete Sanierungsmaßnahmen. Die Auswahl der Sanierungsmaßnahmen orientiert sich an der Wärmebilanz und reicht von der Verringerung der Transmissionswärmeverluste der opaken und transparenten Gebäudehülle über die Verringerung der Lüftungswärmeverluste und der Senkung der Vor- und Rücklauftemperaturen des Heizsystems bis zur Einbindung solarthermischer Anlagen. Ausgehend von einer Aufbereitung des Status Quo des publizierten Wissens werden technische Fragestellungen zur Ausgestaltung der Sanierungsmaßnahmen formuliert und untersucht. Die Randbedingungen zu den Untersuchungen beziehen sich auf die im Handlungsfeld KONZEPTE ausgewählten Referenzgebäude. Dabei kommen sowohl simulationstechnische Betrachtungen sowie messtechnische Analysen zum Einsatz. Das Ziel des Handlungsfeldes DISKURS liegt im Generieren technisch-wissenschaftlichen Fachwissens zur Modellierung und Funktionsweise einzelner Sanierungsmaßnahmen. Um dieses Ziel zu erreichen wurden folgende Aktivitäten gesetzt:

Thermisch-hygrische Untersuchung zur Anwendung kapillaraktiver Innendämmsysteme

Da im denkmalgeschützten Bereich die Verwendung von Außendämmsystemen in der Regel durch den Denkmalschutz untersagt wird, fokussieren sich die Untersuchungen auf Innendämmsysteme. Nach einer Aufarbeitung des Standes der Technik werden verschiedene diffusionsoffene und kapillaraktive Innendämmsysteme für das Referenzgebäude „Kinderkrippe“ auf der Grundlage thermisch-hygrischer Simulationen bewertet. ► Kapitel 3.1

Thermisch- hygrische Ertüchtigung von Kastenfenstern

Das Kastenfenster als inhärentes Element denkmalgeschützter Fassaden wird, nach Aufarbeitung der technischen Grundlagen, anhand mehrerer Betrachtungsansätze untersucht. Einerseits wird im Referenzgebäude „Kinderkrippe“ anhand zweier baugleicher Kastenfenster die Änderung des thermischen und strömungstechnischen Verhaltens durch Sanierungsmaßnahmen messtechnisch untersucht. Andererseits wird auf der Grundlage thermisch-hygrischer Simulationen der Einfluss von Innendämmung auf die Fensteranschlussfuge und den Scheibenzwischenraum sowie die Holzbauteile betrachtet. ► Kapitel 3.2

Strömungstechnisches Verhalten von Kastenfenstern bei Sanierung

Ergänzend zu den thermisch-hygrischen Untersuchungen wird auf der Grundlage gekoppelter Wärmeleitungs-Strömungssimulationen das Kastenfenster unter der Annahme verschiedenster Sanierungsmaßnahmen modelliert und punktuell mit Messergebnissen verglichen. Das Ziel dieser Untersuchung liegt im Generieren eines besseren Verständnisses des strömungstechnischen Verhaltens historischer Kastenfenster. ► Kapitel 3.3

Implementierung von kontrollierten Be- und Entlüftungsanlagen in Schulgebäuden

Nach der Verringerung der Transmissionswärmeverluste durch die Sanierung der Außenwände und der Fenster in den vorangegangenen Schritten stellt in der Regel der Lüftungswärmeverlust die größte Komponente in der Wärmebilanz der Gebäude dar. Ein technisches Mittel zu dessen Senkung liegt in der Implementierung von Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung. Nach Aufarbeitung der technischen Grundlagen wird am Beispiel des Referenzgebäudes Schulgebäude eine solche Implementierung im Planungsprozess der Sanierung eines Schulgebäudes durchgeführt. Die Analysen beziehen sich auf die technischen Möglichkeiten und die ökonomischen Auswirkungen einer solchen Implementierung. ► Kapitel 3.4

Auswirkungen thermischer Bauteilkonditionierung auf das thermische Raumverhalten

Motiviert durch die großflächige bauliche Umsetzung einer thermischen Bauteilkonditionierung im Franziskanerkloster Graz werden die thermischen Auswirkungen der Konditionierung der Außenwände des Referenzgebäudes „Klostertrakt“ anhand simulationstechnisch modellierter Einbauszenarien untersucht. Sowohl die Ausbreitung der Wärme in der Wandkonstruktion als auch die Auswirkungen auf die thermische Behaglichkeit der betroffenen Innenräume werden einer Auswertung unterzogen. ► Kapitel 3.5

Änderung des Feuchteverhalten einer Außenwand durch thermische Konditionierung

Neben einer Behaglichkeitssteigerung im Innenraum wird der thermischen Bauteilkonditionierung auch ein gewisses Trocknungspotential zugesprochen. Um die vermutete thermisch bedingte Reduktion der Bauteilfeuchtigkeit Erkenntnisse zu sammeln wird die Feuchtereduktion in einer Außenwand durch thermische Konditionierung sowohl messtechnisch in einem Laborversuch, als auch mittels thermisch-hygrischer Simulationsrechnung untersucht. ► Kapitel 3.6

Verwendung von solarthermischen Anlagen zur thermischen Bauteilkonditionierung

Ergänzend zu den Steigerungen der Energieeffizienz in den vorangegangenen Arbeitspunkten werden verschiedene Ansätze untersucht thermische Solarenergie in die Gebäudestruktur einzubringen. Dazu werden die Auswirkungen solarer Bauteilkonditionierung auf die thermische Behaglichkeit der Innenräume anhand des Referenzgebäudes Klostertrakt mittels dynamischer Systemsimulationen abgebildet und diskutiert. ► Kapitel 3.7

Handlungsfeld KONZEPTE

Die Projektaktivitäten im Handlungsfeld KONZEPTE beziehen sich auf fünf Referenzgebäude aus dem Stadtgebiet der Stadt Graz. Im ersten Schritt der Bearbeitung werden die Grundlagen zur Erstellung von Sanierungsszenarien gelegt. Dazu werden einerseits umgesetzte und publizierte Sanierungsvorhaben analysiert und andererseits werden die fünf Grazer Referenzgebäude einer eingehenden bauphysikalischen, gebäudetechnischen und architektonischen Bestandsanalyse unterzogen. Auf dieser Basis wird je Referenzgebäude eine Reihe von Sanierungskonzepten aufgestellt. Ein Sanierungskonzept versteht sich in diesem Zusammenhang als Kombination einzelner Sanierungsmaßnahmen. Die dazu eingesetzten Sanierungsmaßnahmen beziehen sich auf die im Handlungsfeld BAUSTEINE untersuchten Maßnahmen. Alle aufgestellten Konzepte werden einerseits quantitativ in Bezug auf ihr Einsparungspotential hinsichtlich Nutzenergie, Endenergie, Primärenergie und Emission bewertet. Andererseits wird eine qualitative Analyse der denkmalpflegerisch-architektonischen Auswirkungen erstellt. Das Ziel des Handlungsfeldes KONZEPTE liegt in der Gegenüberstellung und Diskussion dieser beiden Auswirkungen. Um dieses Ziel zu erreichen wurden folgende Aktivitäten gesetzt:

Sanierungsbeispiele denkmalgeschützter/historischer Gebäude

Informationen über umgesetzte Sanierungen denkmalgeschützter Gebäude werden gesammelt und analysiert. Der Fokus liegt auf der Integration solarthermischer Anlagen in historische Gebäude. Ausgehend von einer kurzen Projektbeschreibung werden die technischen Grunddaten der jeweiligen Anlage aufbereitet. ► Kapitel 4.1

Bestandsanalyse der Referenzgebäude

In der Bestandsaufnahme wird ein möglichst umfassendes Bild des Status Quo der fünf Referenzgebäude im unsanierten Zustand gezeichnet. Dieses Bild umreißt jene Komponenten, die für eine Sanierung dieser fünf Gebäude als relevant angesehen werden und gliedert sich in eine allgemein/architektonische, eine bauphysikalische und eine gebäudetechnische Analyse.

► Kapitel 4.2

Energetechnische Potentialabschätzung der Sanierungsmaßnahmen

Verschiedenste Ausprägungen der im Handlungsfeld BAUSTEINE untersuchten Sanierungsmaßnahmen werden zu Sanierungskonzepten kombiniert und auf die fünf Referenzgebäude angewendet. Folgend werden die Konzepte auf Nutzenergieebene, Endenergieebene und Primärenergieebene einer energetischen Bewertung unterzogen. Das Ziel liegt in der Bewertung der durch die Sanierungskonzepte erschließbaren primärenergetischen Einsparpotentiale.

► Kapitel 4.3

Architektonische Auswirkungen der Sanierungsmaßnahmen

Jede Sanierungsmaßnahme, die nicht danach trachtet den originalen Zustand eines Gebäudes wiederherzustellen bewirkt, eine Änderung der ursprünglich angestrebten architektonischen Wirkungsweise. Alle Sanierungsmaßnahmen haben einen mehr oder weniger, gewünschten, oder auch nicht gewünschten Effekt auf die äußere Gestalt eines Gebäudes. Die im Handlungsfeld BAUSTEINE untersuchten Sanierungsmaßnahmen werden in Bezug auf ihre diesbezüglichen Auswirkungen beschrieben und diskutiert. ► Kapitel 4.4

Umsetzungen im Franziskanerkloster Graz

Die im Franziskanerkloster Graz umgesetzten Sanierungsmaßnahmen stehen in einem engen Konnex zum Forschungsprojekt „denkmalaktiv I“. Motivation, Entwicklungsgeschichte und die durchgeführten baulichen und gebäudetechnischen Sanierungsmaßnahmen werden beschrieben.

► Kapitel 4.5

Die abschließenden Kapitel des Berichtes geben Auskunft bieten eine zusammenfassende Analyse des Teilprojektes „denkmalaktiv I“ (Kapitel 6) und bieten Quellenangaben in Bezug auf Literatur, am Projekt beteiligte Personen, verwendete Werkzeuge und Autoren (Kapitel 7).

2 DISKURS

Kulturschutz im Dialog mit Klimaschutz! – eine Annäherung

Zwei wichtige Anliegen der Gesellschaft liegen vor. Das Eine will Zeugnisse unserer Vergangenheit bewahren, das Andere will verändern, um an der Zukunftsfähigkeit unserer Gesellschaft zu arbeiten. Die beiden Anliegen treffen bei zahlreichen Sanierungsvorhaben aufeinander und generieren dabei Konfliktpotential. Im Rahmen des Projektes „denkmalaktiv I“ treffen die Vertreter der beiden Anliegen in mehreren aufeinander abgestimmten Workshops und in einer Reihe von Einzelinterviews aufeinander. Es ist nicht zu erwarten, dass dieser Zielkonflikt im Rahmen eines einzelnen Projektes aufgelöst werden kann. Jedoch kann durch gezielte Information über die Beweggründe, Zielsetzungen und Notwendigkeiten der jeweils anderen Seite das gegenseitige Verständnis gefördert werden und ein fruchtbringender Diskurs eröffnet werden. Ein Diskurs und in der Folge konkrete Sanierungslösungen, in denen sowohl die Anliegen des Denkmalschutzes als auch die Anliegen des Klimaschutzes ihre Entsprechungen finden. Zudem wird der Austausch mit unterschiedlichsten Interessensgruppen sowie anderen Forschungs- bzw. Entwicklungsprojekten aktiv gesucht und vertieft.



Abb. (3) *Kulturschutz vs. Klimaschutz*

Das Handlungsfeld DISKURS ist den Anliegen des Denkmalschutzes „und“ den Anliegen des Klimaschutzes gewidmet. Denkmalschutz und Klimaschutz sind zwei in unserer gegenwärtigen Gesellschaft unumstrittene und allgemein anerkannte Zielsetzungen. Jedes Anliegen ist für sich genommen als allgemeines Ziel der österreichischen Gesellschaft unbestritten und mit einer Reihe hoheitlicher Regelungen auf Bundes- und Landesebene hinterlegt. Am konkreten Bauobjekt treffen diese beiden Anliegen aufeinander und führen in Bezug auf die Bewertung einzelner Sanierungsmaßnahmen oftmals zu Zielkonflikten und somit zur Notwendigkeit die Auswirkungen einzelner Sanierungsmaßnahmen in Bezug auf die übergeordneten Zielsetzungen Denkmalschutz und Klimaschutz einem Diskurs zu unterwerfen.

2.1 Grundlagen des Diskurses

Ina Wetz, Sophie Grünwald, Barbara Horst, Thomas Mach

Grundlage eines jeden qualitativ hochwertigen Diskurses ist einerseits ein grundlegendes Verständnis für die Zielsetzungen und Notwendigkeiten der einzelnen Parteien, andererseits eine „Außerstreitstellung der gemeinsam anerkannten Faktenlage“. Die folgenden Erläuterungen haben zum Ziel diese Grundlagen bereitzustellen.

2.1.1 Motivation zur Erhaltung alter Bausubstanz

Die Begründung des Denkmalschutzes bzw. der Denkmalpflege in Österreich ist ein tief in der Kunstgeschichte, Philosophie und heutiger und früherer Politik verwurzelter Thema. Es werden im Folgenden Schlüsselemente und Werthaltungen des Schutzgedankens alter Bausubstanz herausgearbeitet, um einen kurzen Einblick in die Entstehung des Denkmalschutzgedankens geben zu können. In Anbetracht der Vielschichtigkeit dieser Aufgabenstellung kann naturgemäß kein Anspruch auf Vollständigkeit erhoben werden. Es soll vielmehr exemplarisch die historische und psychologische Dimension dieses Themenkomplexes aufgezeigt werden.

Auf der Webseite des Bundesdenkmalamtes wird die **Entwicklung des staatlichen Denkmalschutzes ab 1850** beschrieben. Sie beginnt mit der **Gründung** der „**K.k. Central-Commission zur Erforschung und Erhaltung der Baudenkmale**“. Dieses unter Kaiser Franz Josef I. gegründete Ressort des Bauenministeriums kann als weitläufiger **Vorgänger des heutigen Bundesdenkmalamtes** (BDA (h), 2012) angesehen werden. In der Zeit des Vielvölkerstaates der Habsburgermonarchie **zu Beginn des 20. Jhd.** nimmt die **Denkmalpflege** einen hohen Stellenwert bei der **Schaffung einer kollektiven Identität** ein (Falser, 2006, S. 3). **Alois Riegl**, einer der **bedeutendsten österreichischen Denkmalpfleger** des 19. Jhd. (BDA (h), 2012) und Verfechter eines Denkmalschutzgesetzes (Falser, 2006, S. 3) hebt die Bedeutsamkeit von Denkmälern wie folgt hervor: „... *der Kultus der Vergangenheit, der uns das Leben verschönt, die Liebe zur Heimat stärkt, die edelsten altruistischen Gefühle erweckt ...*“ (Falser, 2006, S. 3).

Ein aktuelles Verständnis von Denkmalschutz fasst Landeskonservator HR Dr. Christian Brugger wie folgt zusammen:

„Heute bedeuten Denkmalschutz und Denkmalpflege in der praktischen Umsetzung der ideellen Wertvorstellungen die wissenschaftliche Bearbeitung von und den fachgerechten Umgang mit bedeutenden historischen Objekten, Anlagen und Ensembles. Deren Spannweite erstreckt sich über alle materiellen Äußerungen menschlicher Kultur und Gesellschaft, von archäologischen Artefakten über größere und kleinere Kunstwerke bis zu hervorragenden Zeugnissen der Baugeschichte, genauso aber auch sogenannter anonymer Architektur, die ohne besonderen künstlerischen Anspruch historische Lebensformen und Funktionen dokumentiert. Er umfasst technische Denkmale ebenso wie solche der Alltagskultur, um nur einige zusätzliche Kategorien anzuführen. Verbunden ist dies bei allen generell mit der überlieferten Substanz eines Denkmals, nicht nur im Erhaltungszustand sondern auch im von allen Veränderungen in seiner Geschichte geprägten Erscheinungsbild. Diese originale Materialität ist zu bewahren oder nur marginal und ohne den Denkmalwert zu beeinträchtigen, veränderbar. Denn nur sie verfügt über die volle, authentische Dokumentationsfähigkeit für die jeweiligen Denkmalwerte. Zu ihr zählen, um ein paar Aspekte aus der Baudenkmalpflege und im Kontext zum hier bearbeiteten Spannungsfeld vorzustellen, Grundbaustoffe und Verarbeitungstechniken ebenso wie architektonische Details an Fenstern, Türen, Dächern oder Oberflächentexturen von Putzen oder auch Farbgebungen von Fassaden und Wandflächen etc. Konservierung und Restaurierung lauten daher die wesentlichen denkmalpflegerischen Tätigkeitsfelder, die auch bei baulichen Eingriffen wie Erweiterungen oder Anpassungen an aktuelle Anforderungen stets mitzudenken sind.“ (Christian Brugger, 2013)

Abb. (4) zeigt eine Auswahl weiterer Zugänge zum Thema Denkmalschutz.

„Als lebendige Zeugnisse jahrhundertealter Traditionen der Völker vermitteln die Denkmäler in der Gegenwart eine geistige Botschaft der Vergangenheit.“

(Charta von Venedig, 1964)¹

„Alte Bausubstanz ist eine nicht regenerierbare Ressource, die wesentlich zur Lebensqualität bewohnter Räume beiträgt. Wer sie zerstört, löscht den Geschichtsbezug einer Gesellschaft.“

(BDA (c), 2012)

„Unter Denkmal ...“ „... versteht man ein Werk von Menschenhand, errichtet zu dem bestimmten Zweck, um einzelne menschliche Taten oder Geschehnisse (oder Komplexe mehrerer solcher) im Bewußtsein der nachlebenden Generationen stets gegenwärtig und lebendig zu erhalten.“

(Rosenauer, 1996)

„Wir konservieren ein Denkmal nicht, weil wir es für schön halten, sondern weil es ein Stück unseres nationalen Daseins ist. Denkmäler schützen heißt nicht Genuß suchen, sondern Pietät üben. Ästhetische und selbst kunsthistorische Urteile schwanken, hier ist ein unveränderliches Wertkennzeichen gefunden.“

(Dehio-Vereinigung, 1905)²

Abb. (4) weitere Ansätze zum Thema Denkmalschutz

Denkmäler dienen nicht nur der Erinnerung an positive Geschehnisse der Vergangenheit. Besonderes Augenmerk muss auch auf den **Erinnerungswert aller negativen Ereignisse** gelegt werden. In diesem Fall kommt dem **Denkmal die Bedeutung eines Mahnmals** zu, dessen **Erhalt für die Geschichtsaufarbeitung** von großer Bedeutung ist. Bedeutende Stätten in Österreich sind insbesondere die KZ-Gedenkstätte Mauthausen sowie die Flaktürme in Wien im Arenbergpark, welche beide unter Denkmalschutz stehen. „Das äußere Erscheinungsbild ...“ dieser Denkmäler soll als „... Mahnmal des „Niemals Vergessenen“ dienen“ weshalb diese schützenswert sind (BDA (a), 2012; BDA (b), 2012; BDA (g), 2012).

¹ **Die Charta von Venedig** wurde 1964 am II. Internationalen Kongress der Architekten und Techniker der Denkmalpflege beschlossen. Sie beinhaltet gemeinsam erarbeitete Grundsätze für die Konservierung und Restaurierung von Denkmälern (Charta von Venedig, 1964).

² **Georg Dehio** war deutscher Kunsthistoriker und Zeitgenosse Riegls (Falser, 2006, S. 3).

2.1.2 Umsetzung des Schutzes historischer Gebäude in Österreich

In Österreich können, individuell je nach Gebäude, bis zu drei Mechanismen zum Schutz historischer Gebäude wirksam werden. Auf nationaler Ebene sind dies der Schutz von im öffentlichen Interesse stehenden Kulturgütern im Rahmen des **Denkmalschutzes** und der hauptsächlich auf das äußere Erscheinungsbild von Objekten bezogene **Ortsbildschutz**. Bei ausgesuchten Objekten kann die auf der internationalen Ebene fußende **UNESCO Welterbeliste** zum Schutz einzigartiger Kulturdenkmäler Bedeutung erlangen. Diese drei Schutzmechanismen werden in der Folge erklärend beschrieben.

Denkmalschutz

Um dem damaligen **Bundesdenkmalamt** und somit dem staatlichen Denkmalschutz eine gesetzliche Grundlage zu bieten, wurde **1923** das heute noch in seinen Grundzügen bestehende **Denkmalschutzgesetz** (DMSG) beschlossen (BDA (h), 2012). Das „**Bundesgesetz vom 25. September 1923, betreffend Beschränkungen in der Verfügung über Gegenstände von geschichtlicher, künstlerischer oder kultureller Bedeutung (Denkmalschutzgesetz) - 533/1923**“ durchlief seither mehrere Novellierungen und liegt derzeit in der Fassung BGBl. I Nr. 2/2008 vor (Republik Österreich (b), 1923). Der Denkmalschutz liegt demnach in der Kompetenz des Bundes und wird in erster Instanz vom Bundesdenkmalamt ausgeführt. Die Berufungsinstanz ist das Bundesministerium für Unterricht, Kunst und Kultur. Das Bundesdenkmalamt hat in jedem Bundesland eine eigene Außenstelle, welche durch je einen Landeskonservator geleitet wird (BMUKK (a), 2012). Gemäß § 1 Abs. 1 DMSG wird ein Denkmal definiert als

„... von Menschen geschaffene unbewegliche und bewegliche Gegenstände (einschließlich Überresten und Spuren gestaltender menschlicher Bearbeitung sowie künstlich errichteter oder gestalteter Bodenformationen) von geschichtlicher, künstlerischer oder sonstiger kultureller Bedeutung ...“ (Republik Österreich (b), 1923).

In diesem Sinne sind **Denkmale** gemäß § 1 Abs. 1 **schützenswert**, *„... wenn ihre Erhaltung dieser Bedeutung wegen im öffentlichen Interesse gelegen ist. Diese Bedeutung kann den Gegenständen für sich allein zukommen, aber auch aus der Beziehung oder Lage zu anderen Gegenständen entstehen. „Erhaltung“ bedeutet Bewahrung vor Zerstörung, Veränderung oder Verbringung ins Ausland“* (Republik Österreich (b), 1923). Gemäß dem § 1 Abs. 2 DMSG liegt die Erhaltung eines Denkmals im öffentlichen Interesse, wenn es sich bei dem Objekt um Kulturgut handelt, dessen Verlust den österreichischen Kulturgutbestand beeinträchtigt. Bedeutend ist auch, ob durch die Erhaltung des Denkmals unsere Zeitgeschichte dokumentiert und somit für die Nachwelt festgehalten werden kann.

Da sich das Forschungsprojekt „denkmalaktiv I“ mit schützenswerten (denkmalgeschützten) Gebäuden auseinandersetzt, beziehen sich die nachfolgenden Erläuterungen des Kapitels 2.1.2 nur auf diese. Auf bewegliche und andere unbewegliche Denkmäler/Kultur- und Naturgüter wird demnach nicht weiter eingegangen.

Im Denkmalschutzgesetz wird die **Erhaltung eines Gebäudes mittels Anwendung der folgenden Paragraphen sichergestellt**.

- § 2 Vorläufige Unterschutzstellung kraft gesetzlicher Vermutung für bewegliche Denkmale
- § 2a Unterschutzstellung durch Verordnung
- § 3 Unterschutzstellung durch Bescheid

Denkmale, die sich im „... *Eigentum des Bundes, eines Landes oder von anderen öffentlichen-rechtlichen Körperschaften, Anstalten, Fonds sowie von gesetzlich anerkannten Kirchen oder Religionsgemeinschaften befinden* ...“ (Republik Österreich (b), 1923), werden durch Anwendung des § 2 unter Schutz gestellt. Gemäß § 2 Abs. 1 liegt die Erhaltung eines Gebäudes so lange im öffentlichen Interesse, bis das Bundesdenkmalamt von Amts wegen oder auf Antrag einer befugten Person (Eigentümer, Landeshauptmann, Gemeinde, Bürgermeister - siehe § 26) eine bescheidmäßige Entscheidung über die tatsächlich notwendige Unterschutzstellung getroffen hat. Ab 01.01.2010 findet der § 2 Abs. 4 Anwendung, wonach nicht mehr jedes öffentliche Gebäude automatisch durch den § 2 Abs. 1 unter Denkmalschutz steht (Republik Österreich (b), 1923). Um, bedeutende Objekte des § 2 auch nach dem 01.01.2010 schützen zu können, hatte das BDA die letzten zehn Jahre Zeit, die entsprechenden Denkmale nach ihrer Schutzwürdigkeit zu beurteilen. Demnach wurde für alle weiterhin erhaltenswerten Gebäude eine Verordnung nach § 2a DMSG erlassen (Brugger, 2012). Der **§ 2a** erlaubt dem Bundesdenkmalamt für unbewegliche Objekte, die bereits nach § 2 unter Schutz stehen, eine Verordnung zu erlassen, wonach die gerade eben erwähnte Beendigung der automatischen Unterschutzstellung (§ 2 Abs. 4) ungültig wird. Gebäude, die nicht über die §§ 2 und 2a abgehandelt werden, können durch den **§ 3** unter Denkmalschutz gestellt werden. Das bedeutet, dass das BDA einen Bescheid ausstellt, durch welchen der Schutz des Gebäudes und somit das öffentliche Interesse an der Erhaltung sichergestellt ist (Republik Österreich (b), 1923).

Neben der Unterschutzstellung wird im DMSG in mehreren Paragraphen darauf eingegangen, **wie mit einem denkmalgeschützten Objekt umzugehen ist**. Im § 4 des Gesetzes ist die detaillierte Definition des Begriffes der **Zerstörung** zu finden. Darauf aufbauend, wird festgehalten, dass diese Zerstörung **unzulässig** ist. Gemäß § 5 müssen **Veränderungen** am Objekt **vom BDA bewilligt werden** (Republik Österreich (b), 1923). **Falls** jedoch das unter Denkmalschutz stehende **Gebäude nicht mehr erhalten werden kann**, oder durch ein Naturereignis bereits zerstört worden ist, besteht die Möglichkeit für ein **Denkmalschutzaufhebungsverfahren**. Dieses ist auch im Falle einer wissenschaftlichen Neubewertung, in der das öffentliche Interesse des Gebäudes widerlegt wird, anwendbar (BDA (k), 2012). Im § 37 DMSG werden zudem Strafbestimmungen geregelt, die **bei Zuwiderhandlung gegen Bestimmungen dieses Gesetzes** Anwendung finden. Eine gerichtliche **Geldstrafe kann** demnach zum Beispiel bei Zerstörung eines Denkmals oder der widerrechtlichen Veränderung eines denkmalgeschützten Gebäudes **verhängt werden** (Republik Österreich (b), 1923).

Auf der Homepage des Bundesdenkmalamtes ist eine Liste mit allen unbeweglichen unter Denkmalschutz stehenden Objekten in Österreich zu finden. Sie wird jährlich aktualisiert (BDA (g), 2012). Diese Liste aller unbeweglichen Denkmale wird zudem vom Gesetz gefordert (siehe dazu § 3 Abs. 4) (Republik Österreich (b), 1923).

Ortsbildschutz in Österreich

Im Gegensatz zum Denkmalschutz ist der **Ortsbildschutz den Ländern unterstellt**. Zur Bearbeitung diverser Aufgaben dieses Gegenstandes haben die einzelnen Länder Gremien zusammengestellt. In Oberösterreich gibt es Ortsbildbeiräte, in Kärnten Ortsbildpflegekommissionen, in Tirol Sachverständigenbeiräte sowie den Sachverständigenbeirat für die Innsbrucker Altstadt, in Salzburg Ortsbildschutzkommissionen sowie die Sachverständigenkommission für die Altstadterhaltung der Stadt Salzburg und in der Steiermark eine Ortsbildkommission sowie die Grazer Altstadt-Sachverständigenkommission (Gestaltungsbeirat, o.A.).

In Wien wird die Altstadterhaltung über die MA19 Architektur und Stadtgestaltung – im Speziellen über die untergeordnete Stelle „Architektonische Begutachtung“ – abgewickelt (MA 19 - Wien, 2012). **Gesetzliche Grundlage** des Ortsbildschutzes **in der Steiermark** ist das **steiermärkische Ortsbildgesetz von 1977** (Land Steiermark (g), 1977). Eine Sonderstellung nimmt der Ortsbildschutz in der **Landeshauptstadt Graz** ein, weshalb dort das **Altstadterhaltungsgesetz** (GAEG) zur Anwendung kommt (Land Steiermark (d), 2008). Gemäß dem § 1 Abs. 2 Ortsbildgesetz sowie gemäß den Erläuterungen zu § 1 Abs. 1 Altstadterhaltungsgesetz wird nicht in die Angelegenheiten des Denkmalschutzes eingegriffen (Land Steiermark (g), 1977; Land Steiermark (b), 2008).

Im Gegensatz zum Denkmalschutz, welcher das gesamte Gebäude umfasst und darauf achtet, dass die Substanz – das kulturelle Erbe – nicht verloren geht (BDA (k), 2012), dient der **Ortsbildschutz** in erster Linie **der Erhaltung** eines als stimmig erkannten **Ortsbildes**. Derzeit gibt es in der **Steiermark 68 Gemeinden**, deren landschaftlicher und baulicher Charakter den Ort prägen, somit **unter den Ortsbildschutz fallen** und als Schutzgebiete ausgewiesen sind. In Abb. (5) sind links die 67 steirischen Ortsbildgemeinden (Schutzgebiete) abgebildet. Diese müssen von der Landesregierung durch Verordnung festgelegt werden. Für die betreffenden Gemeinden besteht die **gesetzliche Verpflichtung, das Ensemble zu erhalten** und darüber hinaus ein Ortsbildkonzept zu erstellen sowie einen Ortsbilsachverständigen bei Bauverfahren bereitzustellen. Außerdem **begutachtet eine Ortsbildkommission die Gemeinden** in regelmäßigen Abständen, gibt Empfehlungen und Stellungnahmen ab und steht beratend zur Seite (Land Steiermark (h), o.A.).

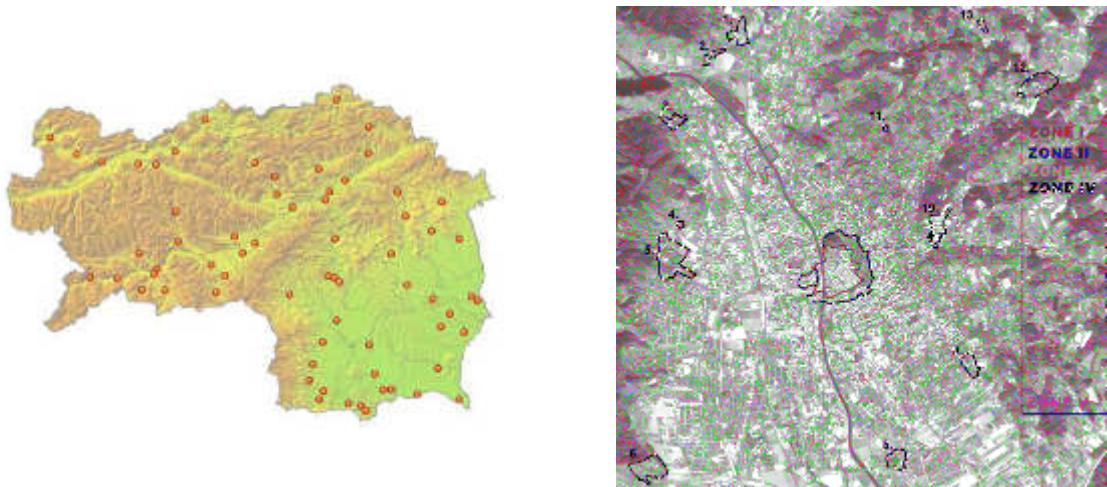


Abb. (5) Ortsbildschutzgebiete Steiermark (links) (Land Steiermark (i), o.A.),
Graz Übersicht Luftbild Schutzzonen (rechts) (Land Steiermark (m), o.A.)

Gemäß § 12 Abs. 2 besteht die Kommission aus einem Vorsitzenden und dessen Stellvertreter, dem Landeskonservator oder dessen Stellvertreter, je einem Vertreter des Steiermärkischen Gemeindebundes und des Österreichischen Städtebundes – Landesgruppe Steiermark, dem Bürgermeister oder einem von ihm bestellten Vertreter der Gemeinde und dem Ortsbilsachverständigen der betreffenden Gemeinde. Der § 3 Ortsbildgesetz regelt unter anderem die Pflichten der EigentümerInnen der betreffenden Objekte und legt somit fest, dass diese das **äußere Erscheinungsbild** ganz oder teilweise **erhalten** müssen. Damit sind die Gebäudehöhe, die Dachform, Dachneigung und Dachdeckung sowie Fassaden inklusive Portale, Tore, Fenster und Fensterteilungen, Balkone, Erker, Durchgänge, Höfe und Einfriedungen gemeint. Zusätzlich müssen alle Innenanlagen (Stiegenaufgänge, -häuser, Vorhäuser...), welche Auswirkungen auf das äußere Erscheinungsbild haben, erhalten werden (Land Steiermark (g), 1977).

Ortsbildschutzangelegenheiten der Stadt Graz werden **über** das bereits erwähnte **Grazer Altstadterhaltungsgesetz geregelt**. Dieses Gesetz dient dem **Schutz des Erscheinungsbildes der Grazer Altstadt**, sowie der Erhaltung der Baustruktur und Bausubstanz. Außerdem soll durch die Anwendung dieses Gesetzes ein **Beitrag zur Erhaltung der Altstadt als UNESCO-Weltkulturerbe** geleistet werden. Der § 2 Abs. 2 teilt die Stadt Graz in folgende **fünf Schutzgebiete** ein: die Kernzone – Zone1 – sowie die Zonen 2, 3, 4 und 5 (siehe Abb. (5) rechts) (Land Steiermark (d), 2008). Schutzgebiete im Sinne des § 2 Abs. 1 Altstadterhaltungsgesetz sind jene Gebiete, „... *die in ihrer landschaftlichen und baulichen Charakteristik das Stadtbild prägen* ...“ (Land Steiermark (d), 2008). Gebäude in diesem Schutzgebiet tragen wesentlich zum Erscheinungsbild der Stadt bei. Wie bereits beim Ortsbildschutz sind gemäß § 4 die Bauwerkshöhe, Geschosshöhe, die Dachform, Dachneigung und Dachdeckung, die Fassaden, die Gliederungen, Dekorelemente, die Portale, Tore, Fenster, Fensterumrahmungen und Fensterteilungen, Gesimse, Balkone und Erker sowie die Durchgänge, Höfe, Vorgärten und Einfriedungen geschützt (Land Steiermark (d), 2008). Ein Gremium – **die Grazer-Altstadtsachverständigenkommission (ASVK)** – **muss bei** einem **Bauverfahren innerhalb der Schutzzonen die Gebäude nach dem Grazer Altstadterhaltungsgesetz 2008 begutachten**. Diese Gutachten werden meist als Grundlage für Entscheidungen der Baubehörde herangezogen, obwohl diese nicht bindend sind. Die ASVK wird von der Landesregierung für 5 Jahre bestellt (Land Steiermark (a), o.A.) und besteht laut § 13 GAEG aus

„... zwei, von der Landesregierung nominierten Personen, davon eine als Vorsitzende/Vorsitzender eine weitere, die den Vorsitz im Verhinderungsfall stellvertretend zu übernehmen hat; einem weiteren von der Landesregierung nominierten Mitglied mit nur beratender Stimme, das über Fachwissen im Bereich der Rechtswissenschaften mit einem Schwerpunkt für Baurechtsfragen verfügt; zwei von der Stadt Graz nominierten Personen; einer/einem von der Fakultät für Architektur der Technischen Universität Graz nominierten Vertreterin/Vertreter dieser Fakultät; einer/einem von der Geisteswissenschaftlichen Fakultät der Universität Graz nominierten Vertreterin/Vertreter dieser Fakultät; einer/einem von der Ingenieurkammer für Steiermark und Kärnten nominierten Vertreterin/Vertreter dieser Kammer; einer/einem vom Bundesdenkmalamt nominierten Vertreterin/Vertreter. In Verfahren, in welchen Bauwerke, die unter Denkmalschutz stehen, behandelt werden, kommt ihr/ihm nur beratende Stimme zu“ (Land Steiermark (d), 2008).

Der § 12 GAEG regelt die Aufgaben der Kommission. Demnach kann sie neben dem erwähnten verpflichtenden Gutachten Anzeige bei der Baubehörde erstatten, falls EigentümerInnen gegen die Bestimmungen dieses Gesetzes zuwiderhandeln. Die ASVK kann Vorschläge über weitere Schutzzonen oder auch über Zuwendungen aus dem eingerichteten Altstadterhaltungsfonds einbringen. Ihr muss bei der Erstellung oder Änderungen der Flächenwidmungspläne sowie der Bebauungspläne, die das Schutzgebiet betreffen, die Gelegenheit zur Stellungnahme eingeräumt werden und sie kann ihre Meinung zu allgemeinen Fragen der Altstadterhaltung öffentlich kundtun. Außerdem kann die ASVK auf Anfrage zusätzlich eine Stellungnahme zu geplanten Vorhaben abgeben – unabhängig vom verpflichtenden Gutachten (Land Steiermark (d), 2008). *„Zur Wahrung des öffentlichen Interesses an der Erhaltung der Grazer Altstadt ...“* (Land Steiermark (d), 2008) muss die Landesregierung gemäß § 15 auch eine/en von der ASVK **unabhängige/n Altstadtanwältin/Altstadtanwalt** bestellen. Dieser **muss** unter anderem in Verfahren erster Instanz **beigezogen werden, sollte die Baubehörde vom Gutachten der Altstadt-kommission abweichen** (Land Steiermark (d), 2008).

Die UNESCO Welterbeliste

„Die UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization) ist die Organisation der Vereinten Nationen für Bildung, Wissenschaft, Kultur und Kommunikation. Sie ist eine zwischenstaatliche Organisation und hat 193 Mitgliedstaaten. Ihr Sitz ist Paris.“ (Deutsche UNESCO-Kommission e.V. (a), 2009, S. 46)

Als **internationale Schutzmaßnahme für Stadtteile und Gebäude** gibt es die **UNESCO-Welterbeliste**. Der Vertragsstaat muss bei der UNESCO um Aufnahme der jeweiligen Stätte in die Welterbeliste ansuchen. Dabei muss ein detaillierter Managementplan zur Erhaltung dieser Stätte vorgelegt werden und alle gesetzlichen Maßnahmen zum Schutz derselben bereits getroffen sein. Dann wird geprüft, ob diese Stätte den Kriterien der Welterbekonvention entspricht. „Zu den wesentlichsten Kriterien zählen die *„universelle Einzigartigkeit“* und *„Authentizität“* (historische Echtheit) eines Kulturdenkmals bzw. die *„Integrität“* einer *Naturerbestätte*“ (ICOMOS Austria (b), 2011). Über die Aufnahme in die Welterbeliste entscheidet anschließend eine Expertenrunde aus 21 Ländern, das Welterbekomitee. Zusammengefasst kann festgehalten werden, dass **nicht die UNESCO selbst die Gebiete schützt, sondern der jeweilige Staat** bereits vor Aufnahme in die Welterbeliste dafür sorgen muss (ICOMOS Austria (b), 2011). Für spezifische Angelegenheiten stehen dem Welterbekomitee laut der deutschen UNESCO Kommission (Deutsche UNESCO-Kommission e.V. (a), 2009, S. 18, 50f) drei Fachgremien beratend zur Seite. Dazu gehören **ICOMOS** der Internationale Rat für Denkmalpflege, **ICCROM** das Internationale Studienzentrum für Erhaltung und Restaurierung von Kulturgut bei **Fragen zum Weltkulturerbe** sowie **IUCN** – die Weltnaturschutzunion – bei **Fragen zum Naturerbe**.

In Zusammenhang mit den Referenzgebäuden von „denkmalaktiv I“ ist insbesondere **ICOMOS – der Internationale Rat für Denkmalpflege** – erwähnenswert (das Franziskanerkloster befindet sich in der Altstadt von Graz, welche UNESCO-Weltkulturerbe ist). ICOMOS wurde 1965 gegründet und ist ein internationaler nicht staatlicher Fachverband, der sich mit der **Dokumentation, Erforschung und Erhaltung von historischen Monumenten und Stätten befasst**. Im Besonderen **überwacht** der Rat „... internationale **Standards für den Schutz, die Erhaltung und das Management von Kulturstätten** ...“ (Deutsche UNESCO-Kommission e.V. (a), 2009, S. 50). Eine weitere Aufgabe von ICOMOS ist die **Beurteilung der vorgeschlagenen Stätten für die Welterbeliste** sowie die **Überwachung des Erhaltungszustandes** der bereits **eingetragenen Kulturgüter**. Der Hauptsitz von ICOMOS befindet sich in Paris. Das Fachgremium besteht aus 28 internationalen wissenschaftlichen Komitees (Deutsche UNESCO-Kommission e.V. (a), 2009, S. 50). Außerdem gibt es in über 110 Ländern Nationalkomitees mit mehr als 10.000 ExpertInnen (ICOMOS Austria (a), o.A.).

In **Österreich** besteht das **ICOMOS-Nationalkomitee** aus über 80 Experten, und ihr Aufgabengebiet erstreckt sich über die Organisation von Fachtagungen, Konferenzen, Exkursionen und Vorträgen sowie über die Weiterleitung von Expertise bis zur Sammlung und Evaluierung von Fachinformationen (Deutsche UNESCO-Kommission e.V. (a), 2009, S. 62). Zudem berät das Nationalkomitee die Fachwelt und Öffentlichkeit und fördert das öffentliche Interesse für Denkmalschutz und Denkmalpflege (ICOMOS Austria (a), o.A.).

Die UNESCO **Welterbeliste** (Deutsche UNESCO-Kommission e.V. (b), 2012) umfasst in Österreich die folgenden neun Kulturerbestätten: Die Altstadt von Salzburg, das Schloss und der Park von Schönbrunn, die Kulturlandschaft Hallstatt-Dachstein/Salzkammergut, die Semmeringbahn mit umgebender Landschaft, die Altstadt von Graz und das Schloss Eggenberg, die Kulturlandschaft Wachau, das historische Zentrum von Wien, die Kulturlandschaft Neusiedler See sowie prähistorische Pfahlbauten um die Alpen.

In Graz ist die **UNESCO Welterbe-Koordinationsstelle (WKE-Stelle)** in die bestehende Struktur der Stadtbaudirektion Graz integriert.

„Die Tätigkeiten der WKE-Stelle umfassen die Bearbeitung aller anfallenden Welterbe-Aktivitäten, vor allem aber die Betreuung und Beratung von ProjektwerberInnen und InvestorInnen bereits in der Projektentwicklungsphase. Dadurch werden bedenkliche Entwicklungen frühzeitig aufgezeigt. Es ist das Ziel dieser Koordinationsstelle, bereits im Vorfeld der Einreichung des Projekts durch Information und Hilfestellung etwaige Problemfelder auszuräumen. In ihrer Sonderfunktion als Mediationsschnittstelle koordiniert sie die gemeinsame Abstimmung der relevanten Fachabteilungen und übernimmt die Vermittlung zwischen den UNESCO-Anforderungen und den städtischen Belangen.“

aus: <http://www.graz.at/cms/beitrag/10027298/422105/>

2.1.3 Leitfäden zu energetischer Sanierung und Denkmalschutz

Dieser Abschnitt widmet sich den Sanierungsleitfäden für denkmalgeschützte Gebäude im deutschsprachigen Raum. Aufgrund des Konfliktpotenzials zwischen Denkmalschützern und Klimaschützern, wird das Thema Sanierung geschützter Gebäude in jüngster Zeit vermehrt von Behördenseite aufgegriffen. Neben rechtlich verbindlichen Gesetzestexten findet man daher auch Leitfäden zur Sanierung geschützter Gebäude. In diesen werden einzelne Sanierungsmaßnahmen beschrieben und nach ihrer Denkmalverträglichkeit zugeordnet. Die Leitfäden dienen in gewisser Weise als Handlungsempfehlungen und sie sollen es allen am Sanierungsprozess Beteiligten erleichtern, schneller zu einer Entscheidung bezüglich der Auswahl der durchzuführenden Sanierungsmaßnahmen zu gelangen.



(a)

Richtlinie Energieeffizienz am Baudenkmal – Österreich (a)

Die 56 seitige Richtlinie „Energieeffizienz am Baudenkmal“ „... **umfasst die Grundsätze des Bundesdenkmalamtes im Hinblick auf die energetische Sanierung von Baudenkmalen**“ (BDA (s), 2011, S. 7). Sie wurde **vom Bundesdenkmalamt herausgegeben** und soll dazu dienen, energetische Sanierungsmaßnahmen auf ihre Denkmalverträglichkeit einzuschätzen. Der Leitfaden soll als Entscheidungsgrundlage bei der Sanierung denkmalgeschützter Gebäude dienlich sein und die Konsensfindung aller Beteiligten erleichtern (BDA (s), 2011, S. 7). „*Es werden ausschließlich Methoden behandelt, die durch bauliche Veränderungen Auswirkungen auf die Substanz, Struktur und Erscheinung eines Baudenkmal haben können*“ (BDA (s), 2011, S. 7). Zuerst werden 10 denkmalpflegerische Grundregeln angeführt, welche für eine erfolgreiche energetische Sanierung ausschlaggebend sind. **Bei der Maßnahmenübersicht werden die einzelnen Eingriffe je nach ihrer Auswirkung, nach dem Ampelprinzip dargestellt.** Dabei bedeutet die Farbe **Grün** eine **denkmalverträgliche**, die Farbe **Gelb** eine **bedingt denkmalverträgliche** und die Farbe **Rot** eine **nicht denkmalverträgliche** Maßnahme (BDA (s), 2011, S. 8f).

Anschließend wird im Detail auf die einzelnen Maßnahmen, geordnet nach Bauwerkshülle und Gebäudetechnik, eingegangen. Für die einzelnen Bauteile der Bauwerkshülle (Außenwände, Decken, Böden und Gewölbe, Dächer sowie Fenster und Türen) werden verschiedenartige Maßnahmen je nach baulicher Ausführung erläutert und es wird jeweils auf ihre Denkmalverträglichkeit eingegangen (BDA (s), 2011, S. 10-30). Die Maßnahmen betreffend die Gebäudetechnik werden eingeteilt nach Wärmeerzeugung, Wärmeabgabe, Lüftung und Kühlung sowie Gebäudeautomation. Bei der Wärmeerzeugung wird auf alternative Energiesysteme wie Wärmepumpen, Solarthermie, Photovoltaik und Fernwärme eingegangen. Die Wärmeabgabe umfasst Heizkörper, Kachelöfen, Bauteilheizungen und Temperiersysteme (BDA (s), 2011, S. 30-43).

Der letzte Teil der Richtlinie behandelt das Bewilligungsverfahren zur energetischen Sanierung, rechtliche Grundlagen und Ausnahmebestimmungen des Denkmalschutzes sowie eine kurze Beschreibung eines Nachweisverfahrens bezüglich des Schadensrisikos. Im Rahmen der rechtlichen Grundlagen wird die **Ausnahmeregelung im Rahmen der Wohnbauförderung kurz erwähnt**. Der Leitfaden liegt in seiner 1. Fassung auf der Webseite des Bundesdenkmalamtes auf (BDA (s), 2011, S. 44-49).



(b)



(c)



(d)

Leitfaden „Energieeinsparung und Denkmalschutz“ – dena (b)

Das 34 seitige Dokument wurde 2010 von der deutschen Energie Agentur, kurz dena, herausgegeben. Ausschlaggebend für den Leitfaden war das Förderprogramm „Energieeffizient Sanieren“ der KfW Privatkundenbank, bei welchem Ausnahmegenehmigungen vom Anforderungsniveau für denkmalgeschützte Gebäude möglich waren. Die Broschüre soll dabei die Prüfung auf Ausnahmegenehmigungen erleichtern und auf die Schwierigkeiten bezüglich Denkmalschutz und Klimaschutz hinweisen [dena (b), 2010 S. 1,4]. Seit dem 1. April 2012 gibt es jedoch ein eigenes Förderprogramm für denkmalgeschützte Objekte [dena (a), o.A.], die Förderung „KfW-Effizienzhaus Denkmal“ [KfW, o.A.]. Im Leitfaden werden zuerst verschiedene Gebäudetypologien charakterisiert. Anschließend wird auf baukonstruktive Hinweise in Bezug auf verschiedene Bauteile, Dämmungen sowie dem Feuchteschutz eingegangen. **Anschließend werden Anforderungen aus anderen Bereichen** wie zum Beispiel dem Brandschutz behandelt. Danach wird auf die allgemeinen energetischen Anforderungen und die Ausnahmegenehmigungen im Rahmen des erwähnten Förderprogramms eingegangen. Abschließend werden Checklisten bereitgestellt und verschiedene Normen und Ansprechpartner verwiesen (dena (b), 2010).

Leitfaden zur energetischen Sanierung – Fürth (c)

In der 16 seitigen Broschüre werden die möglichen Sanierungsmaßnahmen je nach Bauteil aufgezählt. In kurzer Form wird dabei auf die Möglichkeiten und Schwierigkeiten bezüglich des Denkmalschutzes hingewiesen. Abschließend werden für Eigentümer denkmalgeschützter Gebäude Kontaktadressen zur Abwicklung von Sanierungsvorhaben bereitgestellt [Stadt Fürth, 2007].

Energetische Sanierung von Baudenkmalen – Sachsen (d)

Der 55 seitige Leitfaden soll die Vereinbarkeit von Denkmalschutz und Umweltschutz aufzeigen. In der Einleitung wird auf den Zielkonflikt der beiden Aspekte eingegangen und die Ausgangssituation beschrieben. Außerdem werden die rechtlichen Grundlagen beider Bereiche dargestellt. Anschließend wird in kurzer Form auf die möglichen Sanierungsmaßnahmen und Schadensrisiken eingegangen und Empfehlungen bezüglich des Nutzerverhaltens nach der Sanierung gemacht. Danach wird erläutert, nach welchen Gesichtspunkten des Denkmalschutzes Maßnahmen analysiert werden müssen, um die Denkmalerträglichkeit zu bewerten. Um die Thematik greifbarer zu machen, werden im folgenden Kapitel die Ergebnisse einer Pilotstudie zum Modellprojekt „Energetische Sanierung von Baudenkmalen“ präsentiert. Dabei wurde anhand für Sachsen typischer Gebäudetypen untersucht, ob verschiedene energetische Maßnahmen mit dem Denkmalschutz vereinbar sind. Das energetische Einsparpotenzial und die Beurteilung bezüglich der Denkmalverträglichkeit werden gegenübergestellt. Daraus entstand eine Bewertungsmatrix je nach Maßnahme und Gebäudekategorie die anhand des Ampelsystems die Genehmigungswahrscheinlichkeit angeben soll. Auch in dieser Broschüre werden beratende Stellen und Fördermöglichkeiten angeführt. Die verschiedenen Förderprogramme werden sehr umfassend beschrieben [Freistaat Sachsen, 2011].



(e)



(f)



(g)

Energetische Sanierung von Gründerzeitgebäuden in Frankfurt (e)

Die 37 seitige Broschüre soll die Vereinbarkeit von Denkmalschutz und Klimaschutz darstellen. Da in Frankfurt noch viele Gebäude aus der Gründerzeit stammen, wird in diesem Leitfaden speziell auf diesen Gebäudetyp eingegangen. Das Dokument soll den Hauseigentümern die verschiedenen Möglichkeiten der energetischen Sanierung aufzeigen und als Anregung zur Sanierung und somit zur Nutzung des großen Energieeinsparpotenzials dienen [Stadt Frankfurt, 2009 S. 31,3].

Zuerst wird die grundlegende Charakteristik von Gründerzeitgebäuden anhand der einzelnen Bauteile erläutert. Anschließend wird auf die möglichen Energiesparmaßnahmen bezogen auf die einzelnen Bauteile, effiziente konventionelle Heizungsanlagen sowie die Verwendung alternativer Energiesysteme wie thermische Solaranlagen, Biomasse Heizungen oder Wärmepumpen eingegangen. In kurzer Form wird dabei jeweils auf Besonderheiten in Bezug auf Baudenkmäler hingewiesen. Die energetische und wirtschaftliche Auswirkung der erwähnten Maßnahmen wurde anhand eines bestehenden Gründerzeitgebäudes mithilfe mehrerer Kennzahlen wie zum Beispiel der Energieeinsparung oder den Investitionskosten verglichen. Abschließend werden verschiedene Förderprogramme zur Sanierung von Gebäuden in Deutschland aufgelistet [Stadt Frankfurt, 2009].

Energetische Modernisierung und Denkmalpflege (f)

Die Bayerische Baubehörde und das bayerische Landesamt für Denkmalpflege haben in dieser 16 seitigen Broschüre versucht in allgemein verständlicher Form die Vereinbarkeit von Denkmalschutz und energetischer Sanierung darzustellen und Eigentümern damit einen kurzen Leitfaden zur Sanierung ihres Gebäudes zu bieten. Die Broschüre gibt Hinweise, was bei Sanierung eines geschützten Gebäudes zu beachten ist und stellt die beispielhafte Vorgehensweise bei einem Sanierungsvorhaben dar. In kurzer Form werden auch mögliche Sanierungsmaßnahmen an den verschiedenen Bauteilen beschrieben. Abgerundet wird die Broschüre mit möglichen Förderprogrammen [Bayerische Baubehörde, 2009].

Empfehlungen für die energetische Verbesserung von Baudenkmalern

Das gemeinsam von Bundesamt für Energie und der Eidgenössischen Kommission für Denkmalpflege erarbeitete 5 seitige Dokument geht zuerst auf die Notwendigkeit des Klimaschutzes und des Denkmalschutzes ein. Anschließend wird auf 2 ½ Seiten beispielhaft die Vorgehensweise einer Sanierung eines denkmalgeschützten Gebäudes erläutert und kurze Hinweise zu verschiedenen Sanierungsmaßnahmen gegeben. Es wird angemerkt, dass mit den angegebenen Empfehlungen keine Detailfragen geklärt werden können und diese somit regional bearbeitet werden müssen [Bundesamt für Energie, 2009].

Die Auswertung der betrachteten Leitfäden zeigt das folgende Bild:

Alle recherchierten Leitfäden dienen ausschließlich als Entscheidungsgrundlage für die Umsetzung energetischer Sanierungen denkmalgeschützter Gebäude und stellen zu diesem Zweck mögliche Sanierungsmaßnahmen dar. In der Mehrzahl der Leitfäden wird auf den Zielkonflikt zwischen Klimaschutz und Denkmalschutz explizit eingegangen und die Vereinbarkeit der beiden Zielsetzungen thematisiert. Am weitesten geht diesbezüglich der Leitfaden des Freistaats Sachsen in dem Sanierungsmaßnahmen in Bezug auf das energietechnische Einsparpotential und die Denkmalverträglichkeit vergleichend dargestellt werden. Der spürbare Wunsch nach für beide Seiten akzeptablen Sanierungslösungen wird auch dadurch untermauert, dass einige dieser Leitfäden im Konsens zwischen Baubehörde und Denkmalbehörde erstellt wurden. In den meisten Leitfäden werden Zusatzinformationen in Bezug auf Kontaktstellen und Ansprechpersonen angeführt, in beinahe allen werden mögliche Förderungen erläutert. Die Richtlinie des österreichischen Bundesdenkmalamtes geht jedoch auf diese Aspekte nur indirekt ein und verzichtet auf weitere Hinweise, da sie als langfristiges zu verstehendes Grundsatzpapier nicht auf die sich häufig ändernden und regional unterschiedlichen Förderungsmodalitäten bzw. personellen Zuständigkeiten reagieren kann. Es hat sich auch gezeigt, dass die einzelnen Sanierungsmaßnahmen in der österreichischen Richtlinie, insbesondere in Bezug auf ihre denkmalpflegerische Akzeptanz im Vergleich zu den anderen Leitfäden sehr detailliert beschrieben sind und somit ein guter Ausblick in Bezug auf die Genehmigungsfähigkeit einer geplanten Sanierungsmaßnahme gegeben ist.

2.1.4 Entwicklung des Klimaschutzes

Die in diesem Abschnitt beschriebene Entwicklungsgeschichte des Klimaschutzes umfasst entscheidende Forschungsergebnisse, Konferenzen, Abkommen sowie Aktionsprogramme. Beginnend mit der internationalen Ebene, werden europäische, österreichische und lokale, (steiermärkische), Zielsetzungen erwähnt. Zur übersichtlichen Darstellung werden in Abb. (6), die beschriebenen Ereignisse chronologisch eingeordnet. Um die österreichische Entwicklung hervorzuheben, werden die jeweiligen Eckpunkte auf der Unterseite des Zeitstrahls dargestellt.

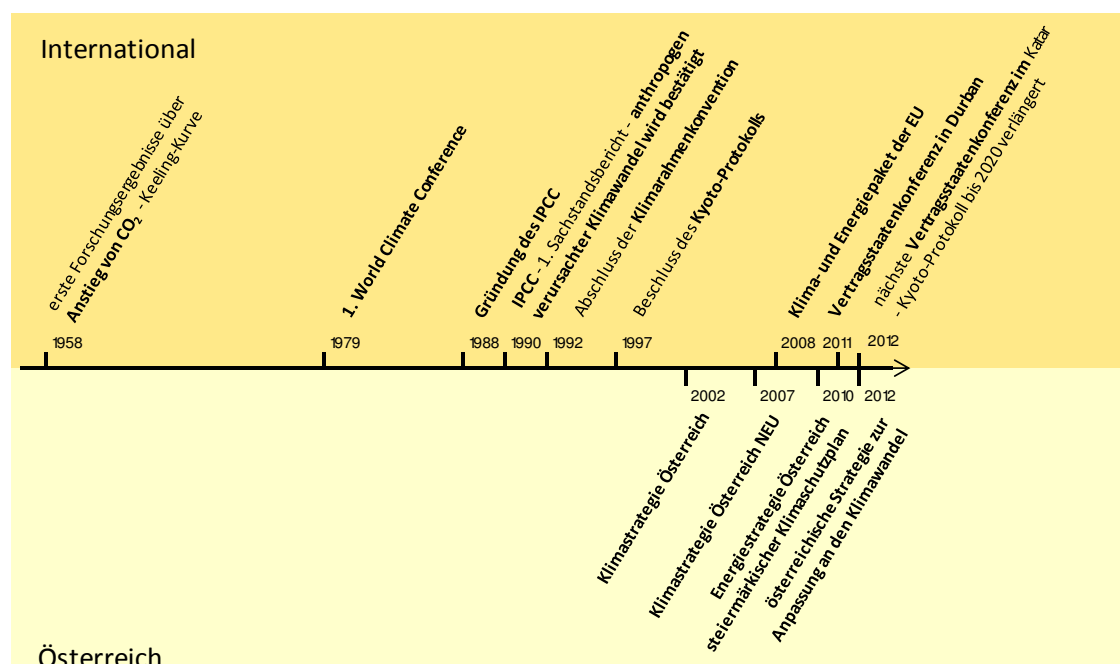


Abb. (6) wichtige Meilensteine in der Entwicklung des Klimaschutzes.

Mit den ersten direkten Messungen des CO₂ Gehalts in der Atmosphäre von Charles David Keeling wurde das Thema Klimawandel ins Rollen gebracht. Keeling **begann 1958** Daten über die CO₂ Konzentration auf einer Messstation in Hawaii aufzuzeichnen. Das in Abb. (7) dargestellte als „**Keeling Kurve**“ bekannte Diagramm, dieser bis heute gemessenen Werte, **zeigt ganz deutlich den jährlichen Anstieg des Treibhausgases** (IPCC (b), 2007, S. 100). Nachfolgend machten sich Wissenschaftler weltweit Gedanken über die veröffentlichten Daten sowie den daraus abzuleitenden verstärkten Treibhauseffekt und das Thema Klimaschutz gewann international immer mehr an Bedeutung.

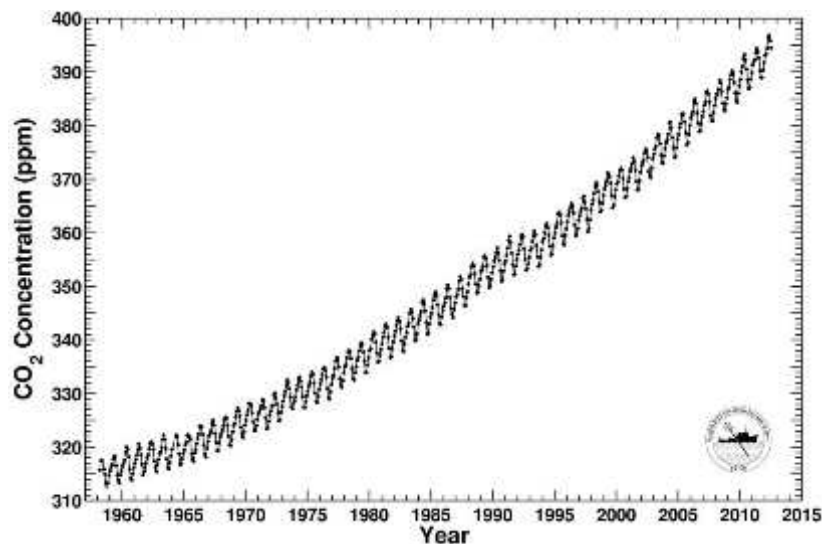


Abb. (7) „Keeling-Kurve“ – Monatsdurchschnitt der CO₂ Konzentration in der Atmosphäre, Mauna Loa Observatory – Hawaii (Scripps Institution of Oceanography, 2012).

Das erste signifikante Ereignis war die „**First World Climate Conference**“ **von 1979**, die von der World Meteorological Organization (WMO) in Genf abgehalten wurde. Der Zweck dieser Konferenz war, festzustellen, inwiefern die Wissenschaft Kenntnisse über die Klimaveränderungen und deren Auswirkungen auf die Gesellschaft besitzt (WMO, 2012). **1988** wurde in weiterer Folge gemeinsam vom United Nations Environment Programme (UNEP) und der WMO das **Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)** ins Leben gerufen. Das IPCC wurde damit beauftragt, die weltweit aktuellen wissenschaftlichen Forschungsergebnisse über den Klimawandel und dessen Auswirkungen zu bewerten sowie Strategien zur Eindämmung und Anpassung zu entwickeln. Die Ergebnisse werden in regelmäßigen Abständen in den so genannten „Assessment Reports“ publiziert (IPCC (c), 2012). Im **ersten Assessment Report** (IPCC (a), 1990, S. 52, 57) **wird der anthropogen verursachte Klimawandel bestätigt**. Das IPCC hält darin fest, dass die vom Menschen verursachten Emissionen, welche hauptsächlich durch das Verbrennen von fossilen Brennstoffen sowie durch die vermehrte Abholzung unserer Wälder entstehen, die globale Temperatur ansteigen lassen. Darauf basierend wurde vermehrt ein internationales Übereinkommen zur Eindämmung der globalen Erwärmung gefordert, was **1992** am Weltgipfel der Vereinten Nationen in Rio zum Abschluss der **Klimarahmenkonvention** führte. Darin erklären sich die Vertragsmitglieder zum gemeinsamen aktiven Klimaschutz bereit. Schon ein Jahr nach in Kraft treten der Konvention, kam man auf der ersten Vertragsstaatenkonferenz (Klimakonferenz) 1995 zur Einsicht, dass allein die Absicht zum Klimaschutz keine wesentlichen Veränderungen mit sich bringen wird und es deshalb eines weiteren Regelwerks bedarf. Somit wurde **1997** auf der dritten Vertragsstaatenkonferenz das **Kyoto Protokoll** ins Leben gerufen, welches 2005 in Kraft trat (UNFCCC (a), o.A.).

Durch das Kyoto Protokoll haben sich die Industrieländer erstmals völkerrechtlich dazu verpflichtet, ihre Emissionen im Zeitraum von 2008 - 2012 um mindestens 5 %, auf Basis des Jahres 1990, zu reduzieren (UNFCCC (c), o.A.). Darauf aufbauend hat der Bund Österreich (BMLFUW, 2007) **2002** gemeinsam mit den Ländern die erste **Klimastrategie Österreichs** beschlossen, welche Maßnahmen zur Erreichung des Kyoto Zieles beinhaltet. Österreich verpflichtet sich demnach im Zeitraum von 2008 - 2012 seine Treibhausgase um 13 % gegenüber dem Basisjahr 1990 zu reduzieren. **2007** wurde die so genannte Anpassung der Klimastrategie vom Ministerrat angenommen und dient seitdem als aktueller Maßnahmenkatalog zur Erreichung der Klimaschutzziele. In diesem Strategiepapier werden Klimaschutzmaßnahmen in vier Bereichen genannt.

- Energieaufbringung
- Raumwärme und Kleinverbrauch
- Industrie und produzierendes Gewerbe
- Verkehr.

Neben den internationalen Kyoto Zielen hat die europäische Gemeinschaft weitere Ziele zur Eindämmung des Klimaschutzes definiert, wodurch **2008** das so genannte **Klima- und Energiepaket** verabschiedet wurde. Hierin setzt sich die EU bis zum Jahr 2020 gemäß dem Lebensministerium (Lebensministerium (b), 2011) folgende Ziele:

- Reduktion der Treibhausgasemissionen auf Basis des Jahres 1990 um 20 %
- Steigerung des Anteils der erneuerbaren Energiequellen am Bruttoendenergieverbrauch auf 20 %
- Steigerung der Energieeffizienz um 20 %.

Basierend auf diesen Zielen muss Österreich folgende nationale Einzelziele bis 2020 erreichen. Zum einen muss das Land seine Emissionen in den Sektoren, die nicht dem Emissionshandelssystem zugeordnet sind, um -16 % reduzieren (auf Basis des Jahres 2005). Außerdem muss der Anteil der erneuerbaren Energieträger am Endenergieverbrauch auf 34 % erhöht werden. Als Antwort auf das Klima- und Energiepaket der EU wurde **2010** die **Energiestrategie Österreich** veröffentlicht. Das Ziel dieser Strategie ist die Stabilisierung des Endenergieverbrauchs auf dem Niveau von 2005 oder in anderen Worten die Stabilisierung des Endenergieverbrauchs auf 1.100 PJ. Darauf aufbauend werden Maßnahmenvorschläge formuliert, um die so genannten 20-20 Ziele der EU bis 2020 zu erreichen. Diese Maßnahmen werden wie auch in der Klimastrategie in die verschiedenen Bereiche gegliedert, wobei die Einteilung jener der Klimastrategie weitgehend entspricht, außer, dass zusätzlich auf den Bereich Energieversorgungssicherheit eingegangen wird (BMWFJ und BMLFUW, 2010).

Auch in der **Steiermark** überlegte man sich Maßnahmen zur Erreichung des Klima- und Energiepakets. Daraus entstand der **2010** veröffentlichte und einstimmig im Landtag beschlossene **Klimaschutzplan**. Dieses Strategiepapier wird als „... *Masterplan für die Politik* ...“ gesehen und soll „... *Innovationsimpulse für die Steiermark* ...“ (Land Steiermark (f), 2010, S. 9) auslösen.

Auf Basis der Ziele des Klima- und Energiepakets und des G8-Gipfels von L'Aquila, wurden im Klimaschutzplan zwei Szenarien entwickelt. Demnach wird im Basisziel-Szenario davon ausgegangen, dass die Treibhausgase gemäß dem Ziel des Klima- und Energiepakets bis 2020 um 16 % gegenüber dem Jahr 2005 reduziert werden.

Grundlage des Innovationsziel-Szenarios ist die Zielsetzung des G8 Gipfels in L'Aquila, welcher im Juli 2009 stattfand und auf welchem sich die Industriestaaten darauf geeinigt haben, die Treibhausgase bis 2050 um mindestens 80 % gegenüber dem Jahr 2005 zu senken. Bis 2020 wird in diesem Szenario eine Reduktion von 30 % angenommen. Auf Basis dieser Szenarien wurden 26 Maßnahmenbündel in den sechs Bereichen Gebäude, Mobilität, Land- Forst- und Abfallwirtschaft, Produktion, Energiebereitstellung und Klimastil erarbeitet (Land Steiermark (f), 2010, S. 12ff). Mit dem im Sommer 2012 veröffentlichten Klimaschutzbericht wird die Umsetzung der Maßnahmen überwacht und vorangetrieben (Land Steiermark (e), 2012, S. 5). Auch in den anderen acht Bundesländern sind ähnliche Strategiepapiere wie der steiermärkische Klimaschutzplan zu finden. Sie werden hier nicht näher erläutert, da sich das Projekt überwiegend auf die Steiermark respektive Graz bezieht. Bei Interesse sind diese jedoch über die jeweiligen Webseiten der Landesregierungen zu finden.

Auf der letzten **Vertragsstaatenkonferenz** der Klimarahmenkonvention **2011 in Durban**, Südafrika, wurde, wie in den Jahren zuvor, damit gerechnet, dass ein rechtlich verbindliches Nachfolgeprogramm für Kyoto beschlossen wird. Als Ergebnis der Konferenz wurde eine Strategie zur Entwicklung eines international verbindlichen Klimaschutzabkommens, welches bis zum Jahr 2015 verabschiedet und bis 2020 in Kraft treten soll, ausverhandelt. Außerdem wurde beschlossen, dass das Kyoto Protokoll 2013 in eine weitere Verpflichtungsperiode überläuft.

Am 8. Dezember 2012 einigten sich die 27 EU-Länder sowie weitere europäische Staaten und Australien in Katar darauf, das Kyoto-Protokoll bis 2020 zu verlängern. Die Staaten mit dem größten CO₂-Ausstoß, die USA und China, sind dem Kyoto-Protokoll jedoch nie beigetreten, Japan und Kanada sind bei der Verlängerung nicht mehr dabei. Ein Zeitplan für ein international verbindliches Klimaschutzabkommen ab 2020 wurde auf der Konferenz jedenfalls verabschiedet. Bis 2015 soll ein neues Abkommen ausgehandelt werden, das langfristig alle Länder in eine Klimaschutzvereinbarung einbezieht.

Neben Maßnahmen zur Eindämmung des Klimawandels und dessen Folgen werden auf Basis der Klimarahmenkonvention nationale Strategien zur Anpassung an den Klimawandel gefordert. Daraufhin hat das Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft im Mai **2012** ihre **österreichische Strategie zur Anpassung an den Klimawandel** veröffentlicht. Dieses Strategiepapier besteht aus zwei Teilen, wonach Teil 1 den strategischen Rahmen vorgibt sowie Hintergrundinformationen liefert und Teil 2 konkrete Handlungsempfehlungen vorschlägt (Lebensministerium (a), 2012).

Exkurs aktuelle Entwicklung des Klimaschutzes – Treibhausgase

Zur aktuellen Entwicklung der Klimaschutzmaßnahmen veröffentlicht das Umweltbundesamt jährlich einen **Klimaschutzbericht**. Der aktuell vorliegende Bericht von **2012** gibt Auskunft über den Trend der Treibhausgasemissionen von 1990-2010 (Umweltbundesamt, 2012, S. 17). Dieser ist auf der Webseite des Umweltbundesamtes abrufbar. Im Jahr **2010** wurden in Österreich Treibhausgase in der Höhe von **84,6 Mio. Tonnen CO₂-Äquivalent** emittiert. Verglichen mit dem zu erreichenden **Kyoto-Ziel** liegt diese Menge um knapp **23 % über dem zu erreichenden jährlichen Wert**. Österreich verpflichtete sich 1997, wie bereits erwähnt, seine Treibhausgasemissionen im Zeitraum 2008-2012 gegenüber dem Referenzjahr 1990 um 13 % zu reduzieren, und somit die Emissionen **auf 68,8 Mio. Tonnen zu senken**.

Wie aus Abb. (8) ersichtlich ist, kann man seit 2005 eine abnehmende Tendenz beim Ausstoß der Treibhausgase erkennen. Demnach wurden 2010 um 9 % weniger Emissionen emittiert als 2005. Bei dieser Entwicklung muss das Jahr 2009 ausgeklammert werden, da es damals aufgrund der Wirtschaftskrise, gegenüber den Jahren zuvor, zu einer drastischen Reduktion der Emissionen kam. Nimmt man dieses Jahr also aus, wurden 2010 wiederum weniger Treibhausgase in die Atmosphäre emittiert als 2008. Im Bericht wird weiter angemerkt, dass bei Beachtung des Emissionshandels, Investitionen in Projekte in Entwicklungsländer mit Ziel der Emissionsreduktion sowie der Bilanz aus Neubewaldung und Entwaldung, die Zielverfehlung nur mehr knapp 9 %, anstatt der 23 %, ausmacht (Umweltbundesamt, 2012, S. 7).

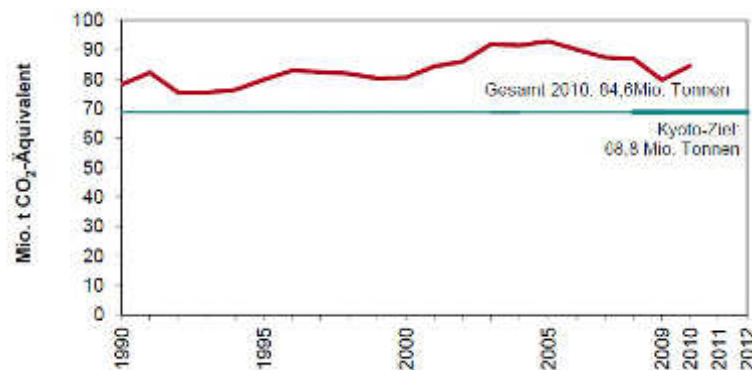


Abb. (8) Verlauf der österreichischen Treibhausgas-Emissionen im Vergleich mit dem Kyoto-Ziel, Quelle: (Umweltbundesamt, 2012, S. 18).

Die Entwicklung des **Sektors Raumwärme und sonstiger Kleinverbrauch**, welcher unter anderem **Privathaushalte und öffentliche Gebäude** inkludiert und der daher in Zusammenhang mit den Referenzgebäuden von „denkmalaktiv I“ erwähnenswert ist, **ist seit 2003** allgemein **rückläufig** und betrug im Jahr **2010 11,4 Mio. Tonnen CO₂-Äquivalent**. Die Emissionen dieses Sektors nehmen einen Anteil von 13,5 % an den gesamten österreichischen Treibhausgasen ein, wobei die erwähnten **privaten Haushalte** und öffentliche und private Dienstleistungen, zu welchen auch **öffentliche Gebäude** zählen, eine der **wichtigsten Verursacher dieses Sektors** sind. **2010 lagen die Treibhausgase dieses Sektors 4,2 % unterhalb des in der Klimastrategie 2007 geforderten sektoralen Zielwertes von 11,9 Mio Tonnen CO₂-Äquivalent**. Es sei hierbei aber anzumerken, dass **in der Klimastrategie 2002** damals noch **ein ambitionierteres Ziel** für das Jahr 2010 festgesetzt wurde. Demnach sollte dieser Sektor 2010 eine Einsparung an Treibhausgasen **von 28,1 %** gegenüber 1990 erreichen und somit nur mehr **10,7 Mio Tonnen CO₂-Äquivalent** emittieren. Das relative Ziel der Klimastrategie 2007 liegt in diesem Sektor nun nur mehr bei einer Reduktion von rund 20 % (BMLFUW, 2007, S. 21, 24; Umweltbundesamt, 2012, S. 67f). Trotz dieser Entwicklung bleibt anzumerken, dass dieser Sektor nach wie vor bedeutendes Reduktionspotenzial bietet (Umweltbundesamt, 2012, S. 25f).

2.1.5 Rahmenbedingungen des gebäudebezogenen Klimaschutzes

Um den freien Warenverkehr in der EU zu gewährleisten und somit die Schaffung des EU-Binnenmarktes voranzutreiben, war es notwendig eine Grundlage zur Harmonisierung von Normen für Bauprodukte zu schaffen. Aus diesem Grund hat der **europäische Ministerrat 1989** die **Bauproduktenrichtlinie** verabschiedet. In dieser Richtlinie werden Anforderungen an Bauwerke definiert, die in weiterer Folge Auswirkungen auf die technischen Merkmale eines Produktes haben.

Bezogen auf den Klimaschutz ist vor allem die Anforderung Nr. 6 „Energieeinsparung und Wärmeschutz“ erwähnenswert (EU-Ministerrat, 1988). In **Österreich** erfolgte die Umsetzung durch das **Bundesgesetz „über das Inverkehrbringen von Bauprodukten und den freien Warenverkehr mit diesen“** (Republik Österreich (a), 1997). In der **Steiermark** entstand daraus das **steiermärkische Bauproduktengesetz** (Land Steiermark (l), 2001) sowie **Änderungen** im **steiermärkischen Akkreditierungs-** (Land Steiermark (j), 1995) und im steiermärkischen **Baugesetz** (Land Steiermark (k), 1995).

Bezug nehmend auf die Erfüllung des Kyoto Protokolls wird in der **europäischen Richtlinie über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden** festgehalten, dass die einzelnen Mitgliedstaaten Mindestanforderungen an die Gesamtenergieeffizienz ihrer Gebäude festlegen müssen. Außerdem wird die Erstellung von Energieausweisen für Gebäude gefordert (Europäisches Parlament und EU-Ministerrat (a), 2002), womit die Grundlage für das österreichische Energieausweis-Vorlage Gesetz sowie den Energieausweis geschaffen war. **2010** kam es zur Veröffentlichung einer Neufassung der Richtlinie, wobei insbesondere die Mindestanforderungen verschärft und die Bestimmungen des Energieausweises konkretisiert wurden (Europäisches Parlament und EU-Ministerrat (c), 2010).

Österreich kam dieser EU Richtlinie nach, indem 2006 das **österreichische Energieausweis-Vorlage Gesetz** beschlossen wurde. Es regelt die Energieausweispflicht von Gebäuden, wonach bei Verkauf, Vermietung oder Verpachtung eines Gebäudes ein solcher Ausweis vorgelegt werden muss. **2012** kam es zum Neubeschluss des Gesetzes (Republik Österreich (d), 2012). Durch dieses Bundesgesetz ist nur die Vorlagepflicht geregelt. Für konkrete bautechnische Vorschriften sind die Bundesländer zuständig, weshalb grundlegende Bestimmungen zum Energieausweis für die Steiermark im § 81 steiermärkisches Baugesetz zu finden sind. Im § 82 wird zudem auf die Richtlinien und technischen Regelwerke des **Österreichischen Instituts für Bautechnik** (OIB) verwiesen (Land Steiermark (k), 1995). Das OIB hat nämlich im Jahr 2007 sechs Richtlinien herausgebracht, welche als Basis für eine Vereinheitlichung bautechnischer Vorschriften in Österreich dienen sollen. Zur Umsetzung des Energieausweises sowie für weitere energietechnische Vorschriften ist die **OIB Richtlinie 6 – Energieeinsparung und Wärmeschutz** ausschlaggebend. In dieser Richtlinie werden allgemeine Anforderungen und maximal Werte definiert. Die konkrete technische Umsetzung und die Berechnungsmethoden sind im „*OIB Leitfaden – Energietechnisches Verhalten von Gebäuden*“ sowie in den darin verwiesenen ÖNORMEN zu finden. Die Richtlinie wurde auf Basis der Neufassung der europäischen Gebäuderichtlinie **2011** novelliert (OIB (b), 2007, 2011).

Um die Endenergieeffizienz der Mitgliedstaaten zu erhöhen und damit den Energieverbrauch zu reduzieren wird in der **europäischen Richtlinie über Endenergieeffizienz und Energiedienstleistungen** des Jahres **2006** ein Energieeinsparrichtwert von mindestens 9 % festgelegt. Diese Einsparung soll durch Energiedienstleistungen und Energieeffizienzmaßnahmen von jedem Mitgliedstaat bis zum Jahr 2015 erreicht werden. Weiteres Ziel der Richtlinie ist die Forcierung eines Marktes für Energiedienstleistungen und in diesem Zusammenhang das Beseitigen von etwaigen Hindernissen (Europäisches Parlament und EU-Ministerrat (d), 2006).

Um dieser Richtlinie gerecht zu werden, wurde **2011** eine **15 a B-VG Vereinbarung zur Umsetzung der Richtlinie zwischen Bund und Ländern** beschlossen. Im Artikel 3 wird festgehalten, dass Maßnahmen zur Erreichung des Energieeinsparrichtwertes je nach Wirkungsbereich vom Bund und den Bundesländern umzusetzen sind. Außerdem wird unter anderem auf die Berechnungsmethode, die Überprüfung der Energieeinsparung und auf die regelmäßige Berichtspflicht, mittels so genannter Energieeffizienz-Aktionspläne, eingegangen (Republik Österreich (h), 2011).

Zur Umsetzung der beiden europäischen **Richtlinien 2006/32/EG über Endenergieeffizienz und Energiedienstleistungen sowie 2002/91/EG über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden** und aufgrund des in der österreichischen Klimastrategie erwarteten Potenzials des Gebäudesektors zur Reduktion der Treibhausgasemissionen, haben der Bund und die Länder **2009** eine **15 a B-VG Vereinbarung über Klimaschutzmaßnahmen in der Wohnbauförderung** abgeschlossen. Darin wird vorgesehen den Anteil der Sanierungsförderungen an der Wohnbauförderung zu steigern, um damit die Treibhausgasemissionen zu reduzieren und die völkerrechtlichen Klimaschutzziele des Kyoto Protokolls zu erfüllen. In der Vereinbarung wird die Gewährung einer Wohnbauförderung für Neubauten und Sanierungsvorhaben an die Einhaltung gewisser Mindestanforderungen geknüpft. Außerdem soll der Einsatz ökologisch verträglicher Baumaterialien sowie CO₂ armer Haustechnikanlagen vermehrt gefördert werden. Nicht nur für den Wohngebäudesektor, sondern auch für Nichtwohngebäude sieht die Vereinbarung spezielle Anforderungen vor (Republik Österreich (g), 2009).

Die erneuerbare Energien Richtlinie wurde im Rahmen des Klima- und Energiepakets der EU beschlossen und **2009** veröffentlicht. Ziel der Richtlinie ist es, dass die europäische Union den Anteil der erneuerbaren Energieträger am Bruttoendenergieverbrauch bis 2020 auf mindestens 20 % erhöht. Daraus werden für die einzelnen Mitgliedstaaten Einzelziele berechnet, womit Österreich seinen Anteil der erneuerbaren Energieträger am Bruttoendenergieverbrauch auf 34 % erhöhen muss. Außerdem wird in der Richtlinie festgelegt, dass die einzelnen Mitgliedstaaten den Anteil der erneuerbaren Energieträger am Endenergieverbrauch des Verkehrssektors bis 2020 auf mindestens 10 % erhöhen müssen (Europäisches Parlament und EU-Ministerrat (b), 2009). Im Rahmen der Umsetzung der Richtlinie in nationales Recht ist insbesondere das neue **österreichische Ökostromgesetz 2012** zu nennen. Dieses sieht gemäß dem Titel des Gesetzes die „*Förderung der Elektrizitätserzeugung aus erneuerbaren Energieträgern* (Republik Österreich (c), 2012)“ vor. Außerdem regelt das Gesetz die Herkunftsnachweispflicht der elektrischen Energie aus erneuerbaren Energieträgern sowie die Ökostromförderungen. Zusätzlich soll durch dieses Gesetz auch die Umsetzung der Richtlinie über Endenergieeffizienz und Energiedienstleistungen sicher gestellt werden (Republik Österreich (c), 2012).

Um die RICHTLINIE 2012/27/EU DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES zur Energieeffizienz vom 25. Oktober 2012 in nationales Recht zu übernehmen, wurde am 03.04.2013 die Regierungsvorlage zum **Bundes-Energieeffizienzgesetz (EnEffG)** im österreichischen Ministerrat beschlossen. Die EU-Richtlinie, auf der das neue Gesetz basiert, ergänzt bzw. ersetzt frühere Richtlinien zu diesem Thema (Änderung der Richtlinien 2009/125/EG und 2010/30/EU und Aufhebung der Richtlinien 2004/8/EG und 2006/32/EG) und sieht vor, dass die Effizienz der Energienutzung in Unternehmen und im Bund gesteigert und Energie eingespart wird, um die definierten 2020 Ziele in Österreich zu erreichen.

Zur Erreichung der Klimaschutzziele des Kyoto Protokolls und des Klima- und Energiepakets der EU hat die Republik **Österreich 2011 ein Klimaschutzgesetz** beschlossen. Das „*Bundesgesetz zur Einhaltung von Höchstmengen von Treibhausgasemissionen und zur Erarbeitung von wirksamen Maßnahmen zum Klimaschutz*“ setzt sich nach Maßgabe des § 1 das Ziel „*eine koordinierte Umsetzung wirksamer Maßnahmen zum Klimaschutz*“ (Republik Österreich (f), 2011) zu ermöglichen. Somit soll die Erarbeitung und Umsetzung von Klimaschutzmaßnahmen in Zukunft zwischen dem Bund und den Bundesländern aufgeteilt werden. In diesem Gesetz werden keine konkreten Maßnahmen angeführt, der § 3 Abs. 2 verweist aber auf durchzuführende Verhandlungen, bei denen Maßnahmen zur Einhaltung der Höchstmengen in den jeweiligen Sektoren beschlossen werden sollen (Republik Österreich (f), 2011).

Gemäß dem § 27 Immissionsschutzgesetz Luft sind für die Begrenzung der Emissionen aus Heizungsanlagen die einzelnen Bundesländer zuständig (Republik Österreich (e), 1997). In diesem Sinne wurde **2001** das **steiermärkische Feuerungsanlagenengesetz** beschlossen. Nach § 1 regelt dieses Gesetz „*das Inverkehrbringen und die Anforderungen für das Errichten und den Betrieb von Feuerungsanlagen*“ (Land Steiermark (c), 2001). Dazu werden für das Inverkehrbringen einzelner Feuerungsanlagen einzuhaltende Emissionsgrenzwerte und Wirkungsgrade vorgegeben (Land Steiermark (c), 2001). Zusätzlich wurde auf Basis des § 22 Abs. 5 Feuerungsanlagenengesetz für den Betrieb und die Überprüfung von Feuerungsanlagen sowie für die Festsetzung von Anforderungen an Brennstoffe die **steiermärkische Feuerungsanlagenverordnung** erlassen (Land Steiermark (n), 2006).

2.1.6 Sanierungsförderungen für denkmalgeschützte Gebäude

Da es bei der Sanierung eines denkmalgeschützten Gebäudes individueller Lösungen bedarf, ist mit einem planerischen Mehraufwand zu rechnen. Dieser schlägt sich wiederum in den finanziellen Mitteln nieder. Um sich durch diesen Mehraufwand nicht vor einer Sanierung abschrecken zu lassen und um diese Gebäude auf den höchstmöglichen aktuellen technischen Standard zu bringen, bedarf es geeigneter Förderungen. Diese werden im Folgenden recherchiert und analysiert. Die Einteilung der Förderungen erfolgte gemäß ihrer Motivation, ob primär Denkmalschutz oder Klimaschutz relevante Belange für die Gewährung ausschlaggebend sind.

Im Vordergrund der **Denkmalschutz motivierten Förderungen** steht die **Erhaltung bedeutender Baudenkmäler** beziehungsweise im Falle des Altstadterhaltungsfonds der Stadt Graz die Erhaltung des Erscheinungsbildes. Grundsätzlich sind daher **energetische Sanierungsmaßnahmen nicht förderbar**. Denkmalschutz motivierte Förderungen werden auf allen Ebenen, vom Bund, Land und der Stadt Graz angeboten.

Vom **Bund** beziehungsweise dem **Bundesdenkmalamt** gibt es **Förderungen gemäß § 32 DMSG** zur Sicherung, Erhaltung und Erforschung von Denkmälern (Republik Österreich (b), 1923). Von Seiten des Bundesdenkmalamtes wird angemerkt, dass diese Mittel, solange es den Sanierungsscheck mit Bezug auf denkmalgeschützte Gebäude gibt, primär für nicht-energetische Maßnahmen zur Verfügung stehen (BDA (p), 2012). **Zusätzlich** ist gemäß dem § 33 DMSG ein **Denkmalfonds** einzurichten, der aus Spenden und Strafgeldern besteht. Diese Mittel werden unterstützend für die eben erwähnten Maßnahmen des § 32 eingesetzt (Republik Österreich (b), 1923). Derzeit sind diese Mittel sehr gering (BDA (p), 2012). Die Verwaltung obliegt dem Bundesministerium für Unterricht und kulturelle Angelegenheiten (Republik Österreich (b), 1923). Um vom **Land eine Revitalisierungsförderung** zu erhalten, gilt als primäre Voraussetzung, dass das zu fördernde Objekt historisch bedeutend und erhaltenswert ist. Außerdem müssen spezielle „technische Richtlinien zur Revitalisierung“ eingehalten werden. In diesen Richtlinien wird detailliert beschrieben, wie man mit den einzelnen Bauteilen umzugehen hat, beziehungsweise in welcher Weise Maßnahmen durchzuführen sind. Maßnahmen betreffend das Heizsystem sowie der Einbau von Isolierglasfenstern und -türen wird dezidiert als nicht förderungsfähig ausgewiesen. Der Einbau einer Bauteilheizung im Sinne von Trockenlegungsmaßnahmen kann wiederum gefördert werden (Land Steiermark (p), 2012). Für kunsthistorisch wertvolle Gebäude (zum Beispiel Gebäude mit wertvoller Fassade) bietet der **Altstadterhaltungsfonds der Stadt Graz** Förderungen an. Dieser ist mit rund 100.000 Euro pro Jahr ausgestattet (Stadtbaudirektion Graz, 2012). Für die Sanierung geschützter Gebäude sei dazu anzumerken, dass dies ein sehr geringer Betrag ist.

Den größten Teil der Sanierungsförderungen machen **Klimaschutz motivierte Förderungen** aus. Diese werden erwähnt, da **denkmalgeschützte Gebäude** dabei nicht dezidiert ausgenommen werden, und daher **eine Förderung in manchen Fällen möglich** sein kann. Neben den gerade eben erwähnten, gibt es vom **Bund** im Rahmen des **Klima- und Energiefonds** sowie im Rahmen der **betrieblichen Umweltförderung** und vom **Land** im Rahmen des **steirischen Umweltlandesfonds** Förderungen für den **privaten Wohnbau und für Betriebe**. Alle drei Förderschienen bieten mehrere Arten von Förderungen an, welche von Sanierungsvorhaben über den Einsatz erneuerbarer Energien reichen (Klima- und Energiefonds (b), o.A.; Kommunalkredit (b), o.A.; Land Steiermark (r), o.A.). Außerdem gibt es noch eine so genannte **Fernwärme Sonderförderung des Landes**, welche ausschließlich Privatpersonen vorbehalten ist (Land Steiermark (o), 2012). Auch bei der **Solaranlagen-** (Solarthermie und Photovoltaik) **und Fernwärmeförderung der Stadt Graz** ist ein beschränkter Kreis antragsberechtigt. Demnach sind diese beiden Förderungen der Stadt für Privatpersonen, Wohnbauträger, Anlagenbetreiber, Vereine und in manchen Fällen freiberuflich Tätige vorgesehen (Stadt Graz (a), o.A.). Neben den Förderungen für Privatpersonen und Betriebe, gibt es vom **Bund** auch noch eine eigene **Förderschiene „Klimaschutz in Gemeinden“**. Wiederum werden die thermische Gebäudesanierung sowie der Einsatz erneuerbarer Energien gefördert (Kommunalkredit (c), o.A.).

Für die **energetische Sanierung denkmalgeschützter Gebäude** gibt es vom Bund und vom Land Steiermark Förderprogramme, welche Ausnahmen für denkmalgeschützte Gebäude vorsehen. Zum einen ist das der **Sanierungsscheck** sowie die thermische Gebäudesanierung für Betriebe bzw. Gemeinden **des Bundes**, zum anderen die **Sanierungsförderung im Rahmen der Wohnbauförderung in der Steiermark**. Beide Förderprogramme sind primär Klimaschutz motiviert und zielen somit darauf ab, die Treibhausgase zu reduzieren.

Im Rahmen der Sanierungsoffensive hat der Bund 2013 erneut den so genannten **Sanierungsscheck** beschlossen. Dafür werden 70 Millionen Euro für die Gebäudesanierung im privaten Wohnbau zur Verfügung gestellt (BMWfJ, o.A.). Soll ein denkmalgeschütztes Gebäude im Rahmen dieser Förderung saniert werden, ist die Grundvoraussetzung dafür die Vertretbarkeit der durchgeführten Maßnahmen aus denkmalpflegerischer Sicht. Um diese Vertretbarkeit nachzuweisen, benötigt man eine Bestätigung des Bundesdenkmalamtes. **Gefördert werden letztendlich thermische Sanierungen bei denen der Heizwärmebedarf (HWB) des Objektes um mindestens 10 % gesenkt wird.** Grundsätzlich können vom Sanierungsscheck die Dämmung der Außenwände, die Dämmung der obersten Geschoßdecke bzw. des Daches, die Dämmung der untersten Geschoßdecke bzw. des Kellerbodens, die Sanierung bzw. Austausch der Fenster und Außentüren sowie die Umstellung des Wärmeerzeugungssystems auf erneuerbare Energieträger gefördert werden (Kommunalkredit (a), 2013). Die Dämmung der Außenwände sowie der Austausch von Fenster und Außentüren werden im Falle einer Förderung eines geschützten Gebäudes wohl nicht zur Anwendung kommen, da derlei Maßnahmen nur schwer mit dem Denkmalschutz vereinbar sind. Zusätzlich zur „regulären“ Förderung bietet der Sanierungsscheck für denkmalgeschützte Gebäude unter gewissen Voraussetzungen Boni an. Zum Beispiel werden für die erhöhten Investitions- und Planungskosten finanzielle Mittel von maximal 2.000 Euro bereitgestellt.

Bei den Förderprogrammen **„Thermische Gebäudesanierung für Gemeinden“** und **„Thermische Gebäudesanierung für Betriebe 2013“** ist Voraussetzung, dass bei denkmalgeschützten Gebäuden der Heizwärmebedarf des Objektes um mindestens 25 % gesenkt werden muss (Förderungsaktion „Thermische Gebäudesanierung für Betriebe 2013“, bis zu 35 % der förderungsfähigen Kosten).

Im Rahmen der Förderungsaktion „**Klimaschutz in Gemeinden**“ werden thermische Sanierungen gefördert. Einreichen können alle österreichischen Gemeinden deren Bundesland an der Finanzierung des Projektes beteiligt ist. Die Förderung beträgt bis zu 21 % der förderungsfähigen Kosten. (Kommunalkredit Public Consulting 2013).

Bei der **Wohnbauförderung** sind die Ausnahmeregelungen für baukulturell wertvolle Gebäude schwieriger zu erreichen. Um eine Förderung zu erhalten, **muss im Rahmen einer umfassenden energetischen Sanierung**, welche als zeitlich zusammenhängende Sanierungsarbeiten von mindestens drei Teilen der Gebäudehülle und/oder des energetisch relevanten Haustechniksystem definiert ist, **der Heizwärmebedarf um mindestens 30 % reduziert werden** (Land Steiermark (q), 2012). Um diesen Wert zu erreichen, wird es neben der Umstellung des Heizsystems oder der Sanierung von Fenstern und Türen in vielen Fällen notwendig sein auch die Gebäudehülle zu verbessern. Im Rahmen der Wohnbauförderung wird auch die Sanierung von **Einzelmaßnahmen** gefördert. Hierbei müssen **gewisse U-Werte eingehalten werden**. Im Zuge dessen wird erwähnt, dass für **baukulturell wertvolle Gebäude wiederum „Ausnahmen von den Mindestwerten möglich“** (Land Steiermark (q), 2012) sind. Konkrete Angaben, werden demnach nicht gemacht.

Bei den erwähnten Förderungen muss die Handhabung von Doppelförderungen im Einzelfall in Erfahrung gebracht werden. Im Zuge der Recherche war dies nicht immer eindeutig bestimmbar. Erwähnenswert ist Abschnitt 4.5.1, dort werden die im Rahmen der Sanierung des denkmalgeschützten Franziskanerklosters gewährten Förderungen beschrieben.

Die Auswertung der Fördermöglichkeiten zeigt das folgende Bild:

.....

Die Recherche über Sanierungsförderungen für denkmalgeschützte Gebäude ergab, dass es **kein alleiniges Förderprogramm für die energetische Sanierung von denkmalgeschützten Gebäuden** gibt. Eigentümer eines solchen Objektes sind daher auf die rar vorhandenen Ausnahmeregelungen angewiesen oder müssen sich durch die allgemeinen Sanierungsförderungen von Bund, Land und Gemeinde, welche unabhängig vom Gebäudetyp sind, durchkämpfen. In **wenigen Förderprogrammen** werden derlei **Ausnahmeregelungen** für geschützte Gebäude gemacht. Diese sind von Seiten des Bundes der Sanierungsscheck sowie die thermische Gebäudesanierung für Betriebe bzw. Gemeinden sowie die Sanierungsförderung im Rahmen der Wohnbauförderung in der Steiermark. Beide sehen spezielle, niedrigere Anforderungen für denkmalgeschützte/baukulturell wertvolle Gebäude vor. Nachdem die mindestens **zu erreichende Einsparung von 30 % im Rahmen der Wohnbauförderung und die zu erreichende Einsparung von 25 % im Rahmen der thermischen Gebäudesanierung für Betriebe bzw. für Gemeinden ein sehr hoch gesetztes Ziel im denkmalgeschützten Bereich** ist, spielt der **Sanierungsscheck des Bundes** für private Wohngebäude eine bedeutendere Rolle. Dieser sieht bei thermischen Sanierungen, schon bei der **Reduktion des Heizwärmebedarfs um 10 %**, eine Förderung vor. Somit werden mit diesem im denkmalgeschützten Bereich **erstmalig erfüllbare Anforderungen** für die Gewährung einer Förderung ausgewiesen. Es bleibt anzumerken, dass sich **beide Förderschienen nur auf Wohngebäude konzentrieren und sie primär Klimaschutz motiviert** sind. Für **nicht denkmalgeschützte Gebäude** werden **viele Förderungen** unabhängig vom Gebäudetyp angeboten. Denkmalgeschützte Gebäude fallen aus diesen Förderungen sehr oft heraus, da die Anforderungen an die Energieeffizienz für die Gewährung einer Förderung aufgrund des eingeschränkten Handlungsspielraums nicht erreicht werden können. In Abb. (9) werden die einzelnen Förderungen je nach Motivation zusammengefasst und übersichtlich dargestellt.

.....

Die **Förderung des Bundesdenkmalamtes** bezieht sich **primär auf nicht energetische Sanierungen**. Gemäß dem § 32 DMSG dient die Förderung der Sicherung, Erhaltung und Erforschung von Denkmälern (Republik Österreich (b), 1923). Denkmalpflegerische Maßnahmen, die im Zuge einer thermischen Sanierung durchgeführt werden, können aber unter gewissen Voraussetzungen gefördert werden (BDA (p), 2012).

Der laut § 33 DMSG einzurichtende **Denkmalfonds des Bundes** unterstützt die zuvor erwähnten Förderungen des § 32 (Republik Österreich (b), 1923). **Primär** werden daher wiederum **nicht energetische Sanierungsmaßnahmen** gefördert. Der Fördertopf ist derzeit sehr beschränkt (BDA (p), 2012).

Für die **Revitalisierung von historisch bedeutenden Baudenkmalern** wird vom **Land** eine spezielle Förderung gewährt. Die Förderung dient der authentischen Erhaltung von historisch wertvollen Bauten und Anlagen (Land Steiermark (s), 2012).

Der Altstadterhaltungsfonds der **Stadt Graz** bietet für den Erhalt des Erscheinungsbildes von kunsthistorisch wertvollen Gebäuden, die in der Altstadtschutzzone liegen Förderungen an (Stadt Graz (b), o.A.; Stadtbaudirektion Graz, 2012).

Der **Klima- und Energiefonds** des **Bundes** bietet für verschiedene Zielgruppen **vielseitige Förderprogramme** an (z.B. Förderungen für thermische Sanierungen, solarthermische Anlagen, Photovoltaikanlagen, Holzheizungen...) (Klima- und Energiefonds (b), o.A.).

Wirtschaftstreibende können über **die betriebliche Umweltförderung des Bundes** Förderungen für die **thermische Gebäudesanierung, Holzheizungen, einen Fernwärmeanschluss, Wärmepumpen und viele andere** energetische Maßnahmen beantragen (Kommunalkredit (b), o.A.).

Kommunen können für die thermische Gebäudesanierung sowie für den Einsatz erneuerbarer Energien beim **Bund** eine Förderung im Rahmen des Förderprogramms „**Klimaschutz in Gemeinden**“ beantragen. Voraussetzung ist die finanzielle Beteiligung des jeweiligen Bundeslandes (Kommunalkredit (c), o.A.).

Bei der Installation einer **modernen Holzheizung, thermischen Solaranlage oder Photovoltaikanlage** können natürliche und juristische Personen eine Direktförderung aus den Mitteln des **steirischen Umweltlandesfonds** beantragen. Für Objekte in der Stadt Graz gibt es für die Heizungsumstellung auf Holzheizungen und Wärmepumpen spezielle Voraussetzungen (Land Steiermark (r), o.A.).

Stellt eine Privatperson in einem Feinstaubsanierungsgebiet sein **Heizsystem** auf **Fernwärme oder Ferngas** um, kann beim **Land Steiermark** eine **Sonderförderung** beantragt werden (Land Steiermark (o), 2012).

Für **solarthermische Anlagen, netzgekoppelte Photovoltaikanlagen** oder den Anschluss ans **Fernwärmenetz** kann beim Umweltamt der **Stadt Graz** eine Förderung beantragt werden (Stadt Graz (a), o.A.).

Der 2013 vom **Bund** wieder beschlossene **Sanierungsscheck** enthält erstmals gesonderte Voraussetzungen für denkmalgeschützte Wohnbauten (BDA (o), o.A.). Wird ein denkmalgeschütztes Objekt im Rahmen einer energetischen Sanierung durch den Sanierungsscheck gefördert, **muss der HWB um mindestens 10 % gesenkt werden** (Kommunalkredit (a), 2013).

Im Rahmen der **Wohnbauförderung** bietet das **Land Steiermark** Sanierungsförderungen an. Dabei werden bei einer umfassenden energetischen Sanierung für so genannte **baukulturell wertvolle Gebäude** Ausnahmen der erforderlichen wärmetechnischen Mindestanforderungen erwähnt. Der **HWB** sollte aber **mindestens um 30 %** gegenüber dem Ursprungszustand **verringert werden** (Land Steiermark (q), 2012).

Denkmalschutz - Klimaschutz - Klima- und Denkmalschutz motiviert

Abb. (9) Motivation und Beschreibung der einzelnen Sanierungsförderungen

2.2 Komponenten der „denkmalaktiv I“ Diskursführung

Das Projekt „denkmalaktiv I“ setzt eine Reihe von Aktivitäten um den Diskurs über Sanierungsmaßnahmen im Spannungsfeld zwischen Klimaschutz und Denkmalschutz voranzutreiben. Dabei werden gezielt mit verschiedenen Methoden unterschiedliche Stakeholder dieses Spannungsfeldes angesprochen und in den Diskurs eingebunden. Das Herausarbeiten und Kommunizieren der jeweiligen Sichtweisen und Standpunkte sowie der Austausch der entsprechenden einschlägigen Erfahrungen stehen im Zentrum des Interesses. Die gemeinsamen Ziele aller gesetzten Aktivitäten liegen einerseits in der Steigerung des gegenseitigen Verständnisses und andererseits in der gemeinsamen Suche nach Ansätzen zur Verbesserung des Status Quo.

2.2.1 Workshops mit dem Bundesdenkmalamt

Anita Magnes, Gerhard Lang

Ein zentrales Element der Diskursbearbeitung liegt im direkten Austausch des heterogen zusammengesetzten denkmalaktiv-Teams mit Vertretern des Bundesdenkmalamtes, im Speziellen mit dem Landeskonservatorat für Steiermark. Das Ziel seitens des eher bau- und energietechnisch orientierten denkmalaktiv-Teams liegt primär in der Erlangung eines besseren Verständnisses für die Anliegen des Denkmalschutzes sowie den Standpunkten und Vorgangsweisen der zuständigen Behörde. Vice versa wird die Vermittlung von Sichtweisen und Informationen des Projektteams über die Notwendigkeiten des Klimaschutzes angestrebt. Ergänzend zu dieser übergeordneten Diskussion wurden die fünf Grazer Referenzprojekte (siehe Kapitel 4.2) als Bearbeitungsobjekte in die Diskussion übernommen. Dadurch konnten die generellen, übergeordneten Sichtweisen auf konkrete Fragestellungen zur Genehmigungsfähigkeit verschiedenster Sanierungslösungen bezogen werden. Ergänzt werden die Workshops durch gemeinsame Begehungen der Referenzobjekte.



Abb. (10) Einladungen zu den „denkmalaktiv I“-Workshops

Die Vorgehensweise der drei Workshops folgt einer dreistufigen Herangehensweise: Informationsaustausch - Diskussion – Ergebnisse.

1. Workshop am 25. Oktober 2011

Im Rahmen des ersten Workshops wurden die inhaltlichen Anliegen des Denkmalschutzes und des Klimaschutzes durch die jeweiligen Proponenten vorgestellt, die Übereinstimmungen und Gegensätzlichkeiten ausgelotet sowie ersten Fragen aus der Projektbearbeitung diskutiert.

2. Workshop am 15. Mai 2012

Der zweite Workshop widmete sich verstärkt der inhaltlichen Diskussion technischer Fragestellungen. So wurden die Anwendung von Innendämmsystemen und die thermische Sanierung von Kastenfenstern thematisiert. Der Workshop behandelte die entsprechenden Versuchsanordnungen und Simulationen des Projektes „denkmalaktiv I“.

3. Workshop am 23. Oktober 2012

Mit dem abschließenden Workshop wurden Untersuchungsergebnisse zu den architektonischen wie energetischen Auswirkungen von Sanierungsmaßnahmen vorgestellt und es galt den weiteren Bedarf zur Unterstützung von energetischen Sanierungen bei denkmalgeschützten Gebäuden herauszuarbeiten.

Kernziel der Workshopreihe mit dem Bundesdenkmalamt ist den weiteren Entwicklungs-, Forschungs- und Unterstützungsbedarf für die energetische Sanierung von denkmalgeschützten Gebäuden zu identifizieren. Eine wesentliche inhaltliche Grundlage für die Gespräche stellt die im März 2011 vorgestellte Richtlinie „Energieeffizienz am Baudenkmal“ (BDA (s), 2011) des Bundesdenkmalamtes dar. Die Frage für das Projekt „denkmalaktiv I“ ist daher insbesondere, welche weiteren Informationsunterlagen oder welcher Unterstützungsbedarf zur Initiierung, Planung und Umsetzung energetischer Sanierungen von denkmalgeschützten Gebäuden zweckmäßig sind. Eingeladen zur Workshopreihe waren Vertreter des Bundesdenkmalamts - Landeskonservatorat für Steiermark und des Projektteams „denkmalaktiv I“. Beim dritten Workshop nahm zudem einer Vertreterin der Abteilung für Architektur und Bautechnik des Bundesdenkmalamts Österreich teil (Abb. (11)).



Abb. (11) Dritter „denkmalaktiv I“ – Workshop im Franziskanerkloster Graz

Zusammenfassung der Workshopreihe

Die wichtigsten Ergebnisse der Workshopreihe für nachfolgende Aktivitäten sind zusammengefasst (Vorschlagspapier):

- 1) **integrale Planung:** komplexe Bauaufgaben erfordern Spezialisten, die einen Sanierungsprozess von Anfang an mitgestalten. Die Einbindung von Mitarbeitern des Bundesdenkmalamts und von Energieexperten in einem frühen Stadium des Planungsprozesses erhöht die Erfolgsaussichten auf eine gelungene Sanierung. Zielführend hierfür ist Lobbyingarbeit durch alle beteiligten Akteure bei Interessensvertretern der Architekten und Planer.
- 2) **Checkliste für eine solide Bauaufnahme:** die Checkliste dient einer systematischen Bauaufnahme und folgt einem standardisierten Ablauf im Zuge einer Bauzustandserhebung von denkmalgeschützten Gebäuden. Die Checkliste ist Architekten und für Planer konzipiert.
- 3) **Best Practice Beispielsammlung:** eine erste Sammlung von Beispielen energetischer Sanierungen von denkmalgeschützten Gebäuden liegt vor. Diese Sammlung ist jedoch noch keineswegs vollständig bzw. sollte inhaltlich wie auch von der Anzahl der Beispiele ausgeweitet werden. Zu überlegen ist auch, ob gelungene energetische Sanierungen historisch wertvoller (aber nicht denkmalgeschützter) Gebäude aufgenommen werden sollen.
- 4) **Auszeichnung von gelungenen Sanierungen:** Im Rahmen von Preisen des Bundes, der Bundesländer oder von Interessensvertretern zum Thema Architektur und Nachhaltigkeit sollten Kategorien oder Sonderpreise für energetische Sanierungen denkmalgeschützter Gebäude aufgenommen werden.
- 5) **Plattform für Capacity Building:** für Akteure der beiden Fachrichtungen zum Informationsaustausch in Form von Seminaren, Workshops und Exkursionen sowie von aufbereiteten Informationen im Internet (siehe dazu auch die Erkenntnisse der Fachtagung „Energieeffizienz und Denkmalschutz“). Zudem bedarf es entsprechender Ausbildungen auf den Universitäten und Fachhochschulen sowie Fortbildungsmöglichkeiten für Berufstätige.
- 6) **Handbuch „Maßnahmen zur energetischen Sanierung von denkmalgeschützten Gebäuden“:** Im Handbuch sind erprobte Lösungen bei der energetischen Sanierung von denkmalgeschützten Gebäuden gesammelt. Dank entsprechender Skizzen, Fotos und detaillierte Maßnahmenbeschreibungen dient es Architekten und Planern als fachliche Unterstützung in der Planung. Auf die richtige Anwendung der Planungsdetails ist im Zuge der Begleitung durch das Bundesdenkmalamt zu achten.
- 7) **Weitere Modellsanierungen** (insbesondere der öffentlichen Hand): vorbildliche Sanierungen dienen der Motivation weiterer GebäudeeigentümerInnen und liefern zugleich (weitere) Details für das Handbuch „Maßnahmen zur energetischen Sanierung von denkmalgeschützten Gebäuden“ bzw. Beispiele für die Best Practice Sammlung.
- 8) **Förderungen:** um auch finanzielle Anreize für energetische Sanierungen von denkmalgeschützten Gebäuden zu schaffen, sind entsprechende Ausnahmen in den Förderungsbestimmungen für denkmalgeschützte Gebäude weiter zu verankern. Dies betrifft insbesondere Förderprogramme mit dem Anspruch innovative Lösungen zu unterstützen.

2.2.2 Interviews mit Liegenschaftsvertreter/innen und Expert/innen

Gerhard Lang

Neben der Diskussion mit den Experten des Bundesdenkmalamtes wurden face-to-face Interviews mit Gebäudeeigentümern und Planern geführt. Ziel dieser Gespräche war die Identifikation von förderlichen und bremsenden Faktoren für die energetische Sanierung von denkmalgeschützten Gebäuden. Grundlage für die Gespräche war ein Fragenkatalog für Gebäudeeigentümer und Planer. Die Gesprächspartner sind in Kapitel 6.5 aufgelistet. Die Inhalte der geführten Gespräche ergaben zahlreiche Aussagen zum gestellten Themenbereich. Das in der Folge beschriebene Stimmungsbild stellt eine Zusammenfassung der wesentlichen Aussagen der interviewten Personengruppe dar.

Gründe und Motive für energetische Sanierungen

Denkmalgeschützte Gebäude sind im Hinblick auf die Sinnhaftigkeit der energietechnischen Sanierung gleich zu sehen wie sonstige, nicht-denkmalgeschützte Gebäude. Bedingt durch die Rahmenbedingungen des Denkmalschutzes besteht allerdings ein Unterschied im Hinblick auf die Intensität der Sanierungsmaßnahmen. Ergebnis einer energetischen Sanierung darf keinesfalls eine Zerstörung einer denkmalrelevanten Besonderheit sein, es bedarf daher einer gewissenhaften Analyse des Bestandes. Die Anlassfälle einer (energetischen) Sanierung sind:

- Substanzerhaltung
- Wiederherstellung der Nutzungsmöglichkeit
- Anpassung für geänderte Nutzungsanforderung
- Erhöhung der Behaglichkeit

Das Gesamtpotential denkmalgeschützter Gebäude zur Reduktion der Treibhausgase ist relativ gesehen gering. Aber angesichts des allgemeinen Trends zu immer energieeffizienteren Gebäuden ist es eine wichtige Aufgabe, auch denkmalgeschützte Gebäude fit für die Zukunft (und damit weiterhin nutzbar) zu machen. Die Frage ist daher, welche Beiträge können denkmalgeschützte Gebäude als belebtes Kulturgut zum Klimaschutz leisten?

Denkmalgeschützte Gebäude weisen oftmals relativ hohe Energieverbräuche auf, bedingt durch teils geringen Wärmeschutz und hohe Raumhöhen. Steigende Betriebskosten als Ergebnis von Sanierungen ohne energetische Maßnahmen werden für gewerbliche wie öffentliche Immobilien zunehmend problematisch. Somit ist jede Sanierung eines denkmalgeschützten Gebäudes auch als effektive Chance für eine energetische Verbesserung zu betrachten oder im umgekehrten Sinn – wenn keine energetische Sanierung erfolgt – als verlorene Chance. Denn das Window-of-opportunity einer kostengünstigen energetischen Sanierung ist damit für die nächsten 30 – 40 Jahre versiegt – bis zu nächsten anstehenden Gebäudesanierung.

Ziele/Standards energetischer Sanierungen denkmalgeschützter Gebäude

Festgelegte Standards sind - abgesehen von baurechtlichen oder förderungstechnischen Vorgaben in der Regel - nicht vorhanden. Die energetischen Ziele orientieren sich an den Möglichkeiten der jeweiligen Immobilie (die Grundlage dafür liegt in einer gewissenhaften Bestandsaufnahme und Analyse). Dabei sind bei besonders hohen Bestandsenergiekennzahlen tendenziell höhere Einsparquoten zu erzielen. Im Zuge der Sanierungsplanung sollte das jeweils verfügbare und machbare Potenzial für energetische Verbesserungen genutzt werden. Wesentliche Ziele einer Sanierung sind:

- zeitgemäße Behaglichkeit mit Wandtemperierung als besondere Chance für das Baudenkmal
- Multifunktionalität von Räumen: Mehrfachnutzungen je nach Erfordernis.
- Maßnahmen sollen reversibel sein
- Reduktion des Energieverbrauchs und damit der Energiekosten
- Vermeidung von Treibhausgasemissionen

Vorzeigeprojekte energetischer Sanierungen denkmalgeschützter Gebäude

Vorzeigeprojekte von energetisch sanierten, denkmalgeschützten Gebäude sind rar. Die in der interviewten Gruppe bekanntesten „Vorzeigeprojekte“ sind einerseits das Franziskanerkloster in Graz, welches von fast allen Interviewpartnern genannt wird und wegen seines Gesamtkonzepts besondere Beachtung findet. Andererseits wird die Bauteilaktivierung im Schloss Schönbrunn in Wien mehrfach genannt. Weitere einzeln genannte Beispiele, bei denen energetische Aspekte laut den Interviewpartnern zumindest teilweise Berücksichtigung fanden sind:

- Sanierung und Erweiterung des Zanklhofs in Graz³
- Um- und Zubau des Schlossmuseums in Linz
- Renovierung des Stiftungshauses „Schönowitz“ in Leoben
- Palais Sackstraße - Stadtmuseum Graz
- Pastorenhaus in Fresach, Kärnten
- Joanneumsviertel in Graz

Herausforderungen bei energetischen Sanierungen denkmalgeschützter Gebäude

Die Herausforderungen an energetische Sanierungen denkmalgeschützter Gebäude werden sehr unterschiedlich bewertet: von „nicht sonderlich schwerer“ bis hin zu „deutlich höherer Aufwand“ gehen die Meinungen klar auseinander. Zum Teil dürfte allerdings der Sanierungsprozess von denkmalgeschützten Gebäuden im Allgemeinen im Fokus der Interviewpartner gelegen haben. Die von den Interviewpartnern genannten Probleme und Herausforderungen lassen sich in 3 Kategorien zusammenfassen:

a) Technische Herausforderungen

Einhellig werden bauphysikalische Herausforderungen als die wesentliche bautechnische Problemstellung betrachtet. So gilt es mit aufsteigender Mauerwerksfeuchtigkeit, Vermeidung der Kondensation bei Innendämmung, Wärmebrücken und Dämmung von obersten Geschoßdecken, statischen Erfordernissen, fachgerechten Fensteranschlüssen, Schallschutz bei Fenstern und Sonderkonstruktionen der Moderne umzugehen und technisch zuverlässige Maßnahmen zu entwickeln.

- Festgehalten wird, dass es keine allseits gültigen Standardlösungen gibt und dass es solider bauphysikalischer Kenntnisse (Wissen und Erfahrung) bedarf.
- Für manche Maßnahmen wird die Materialtreue (z.B.: Putz- und Farbverpflichtungen) als nicht zweckmäßig erachtet. Dies führe zum Teil zu kürzeren Sanierungsintervallen. Andererseits wird auch darauf hingewiesen, dass eine Fassade „lebt“ und die Inhomogenität der Fassade wesentlich zum historischen Erscheinungsbild eines Gebäudes beiträgt.
- Das Thema Gebäudekühlung werde künftig zusehends, insbesondere bei Dachgeschoßausbauten ins Spiel kommen.

³ Anmerkung: der Zanklhof ist nicht denkmalgeschützt.

b) Prozesstechnische Herausforderungen

Der Sanierungsprozess wird in Summe als aufwändiger als für nicht-denkmalgeschützte Gebäude beschrieben. Der höhere Aufwand resultiert aus umfassenderen Bestandsaufnahmen, zum Teil höheren Planungserfordernissen (z.B. für Nutzungsanpassungen) und erforderlichen Abstimmungen mit den beteiligten Behörden (Bauamt und Bundesdenkmalamt) sowie mit weiteren Meinungsbildnern (wie z.B. die Altstadtsachverständigenkommission in Graz). Energietechnische Vorhaben gehen in diesem Prozess somit leicht verloren.

Die zweite prozesstechnische Herausforderung betrifft die Sicherung der Sanierungsqualität in Planung und Ausführung. Wesentlicher Erfolgsfaktor ist die laufende Kontrolle der geplanten und umgesetzten Maßnahmen. Einerseits würden mangels von Erfahrungswerten zu hohe Sicherheiten in die Planung aufgenommen, andererseits werden die Vorgaben der Planung in der Ausführung nur unzureichend umgesetzt bzw. für den Betrieb nicht richtig eingestellt. Ergebnis sei ein ineffizientes Zusammenspiel von Gebäudehülle und Haustechnik. Es bedarf daher des laufenden Diskurses von Planern und ausführenden Firmen, samt nachfolgender Evaluierung des Betriebs.

c) Kostenseitige Herausforderungen

Die Frage, ob die energetische Sanierung denkmalgeschützter Gebäude kostenintensiver ist als die energetische Sanierung sonstiger Gebäude wurde mangels objektiver Vergleichbarkeit nicht eindeutig beantwortet. Der erhöhte Planungs- und Abstimmungsaufwand, sowie gewisse Unsicherheiten in der Maßnahmenplanung und Durchführung lassen zumindest höhere Planungskosten erwarten. In der Argumentation gegenüber dem Investor oder Gebäudeeigentümer sind – ähnlich wie bei nicht-denkmalgeschützten Gebäuden – die energetischen Sanierungsmaßnahmen auf Basis von Lebenszykluskosten zu bewerten. Diese Betrachtung unterstützt tendenziell energetische Maßnahmen, die in der Anschaffung in der Regel einmalig höhere Kosten verursachen, im laufenden Betrieb aber zu geringere Kosten führen. Schlussendlich wird ein finanzieller Unterstützungsbedarf zur Finanzierung besonderer denkmalpflegerischer Aufgaben (unabhängig ob „mit“ oder „ohne“ einen energierelevanten Anteil) von mehreren Interviewpartnern gesehen.

 Erfahrungen mit dem Bundesdenkmalamt in Sanierungsverfahren

Die Erfahrungen mit dem Bundesdenkmalamt sind durchwegs gut, die Befragten schätzen die verstärkte Orientierung des Bundesdenkmalamts zur unterstützenden, den Sanierungsprozess begleitenden Einrichtung. Diese Ausrichtung sollte weiter intensiviert werden, konkrete, in der Planung belastbare Aussagen werden insbesondere von den Planern begrüßt. Als für den Planungsprozess hinderlich werden unterschiedliche Einschätzungen oder Beurteilungen von Bundesdenkmalamt und Altstadtsachverständigenkommission betrachtet. Im Hinblick auf die energetische Sanierung von denkmalgeschützten Gebäuden sei zudem zu beobachten, dass weder Planer noch Bauherr das Thema der energetischen Sanierung ernsthaft aufgreifen, zumal die diese einen erhöhten Aufwand bedeutet. Diesbezüglich besteht noch Aufklärungsarbeit und Informationsbedarf. Weiterer Unterstützungsbedarf besteht in Form von (siehe auch den nachfolgenden Punkt):

- eine Dokumentation alter Bauweisen und eine Beschreibung des Umgangs mit diesen Bauweisen in der Sanierung
- Exemplarische Maßnahmenbeispiele mit konkreten Lösungen und Kostenansätzen
- erfolgreiche Sanierungsbeispiele mit vorher-nachher-Vergleichen
- Entsprechende Ausbildungen auf den Universitäten/Fachhochschulen und Fortbildungsangebote für bereits Berufstätige

Erfahrungen mit der Richtlinie „Energieeffizienz am Baudenkmal“

Die Richtlinie „Energieeffizienz am Baudenkmal“ ist zum Zeitpunkt der Gespräche nur teilweise bekannt, die Inhalte sind großteils unbekannt. Die Richtlinie wird grundsätzlich als wichtiger und richtiger Schritt sowie als leicht verständlich betrachtet, allerdings für die konkrete Planung als nicht ausreichend beurteilt. Die Weiterentwicklung von Unterstützungsmaterial in Richtung der Planer wird daher begrüßt. Auf inhaltlicher Ebene sei eine Vertiefung im Hinblick auf denkmalverträgliche Wärmedämmung noch erforderlich. Fraglich sei, ob die Richtlinie von den Adressaten (Bauherren) gelesen und angenommen werden wird. Wichtig für den Erfolg (energie-technischer) Sanierungen ist jedenfalls der kontinuierliche Diskurs von Bauherren, Planern, Ausführenden und Bundesdenkmalamt.

Hilfestellungen für mehr und energetisch bessere Sanierungen von denkmalgeschützten Gebäuden

a) Finanzielle Unterstützung

Es zeigt sich bei Bauherren und Planern eine mangelnde Bereitschaft, in die energetische Sanierung Planungsaufwand und Geld zu investieren. Langfristig wirksame Sanierungen bei denkmalgeschützten Gebäuden brauchen daher neben kontinuierlicher Informations- und Überzeugungsarbeit gesonderte Bestimmungen in bestehenden Förderungen (des Bundes, der Bundesländer und der Gemeinden), um Anreize für energetische Sanierungen bei denkmalgeschützten Gebäuden zu setzen.

a) Inhaltliche konsensorientierte Unterstützung

Von Planern und Bauherren wird eine inhaltlich unterstützende Beratung durch das Bundesdenkmalamt in der Planungs- und Umsetzungsphase als positiv und wichtig für das Gelingen der Sanierung betrachtet. Vertrauensbildend dabei ist eine sachliche Bearbeitung mit möglichst konkreten Hinweisen, um die Planungssicherheit zu erhöhen.

b) Sammlung erfolgreicher Beispiele

Die Interviews zeigen erneut, dass gut dokumentierte Beispiele von energetischen Sanierungen denkmalgeschützter Gebäude rar sind und dass entsprechender Informationsbedarf besteht. Wichtig Informationsinhalte sind dabei die erzielbaren Einsparpotenziale (Energie, CO₂, laufende Kosten), die aus den Maßnahmen resultieren Investitionskosten, die detaillierte Beschreibung der Maßnahmen sowie Erfahrungen in der Umsetzung und im Betrieb.

c) Öffentliche Einrichtungen als Vorbild

Gerade öffentliche Gebäude stehen häufig unter Denkmalschutz. Im Sinne der Vorbildwirkung (aber auch enger Budgets der öffentlichen Hand) stehen gerade Bund, Bundesländer und Gemeinden in der Verantwortung, ihren Gebäudebestand im Sinne des Denkmalschutzes und des Klimaschutzes vorbildlich zu bewirtschaften. Derartige Gebäude bilden zudem den Erfahrungs- und Wissenspool für die zuvor genannte Sammlung erfolgreicher Beispiele.

d) Aufzeigen denkmalgeschützter Gebäude in Katasterplänen

Vorgeschlagen wird auch eine Aufnahme von Informationen über denkmalgeschützte Gebäude in Katasterplänen (sog. „Denkmalschutzkataster“), mit einer Kurzbeschreibung, welche Teile des Gebäudes denkmalgeschützt sind. Dieser Katasterplan könnte mit einer Kategorisierung des Denkmalwertes kombiniert werden, z.B.: Denkmal mit Alleinstellungsmerkmal wie das Schloss Eggenberg, Denkmal mit besonderen Merkmalen wie die Eishalle in Graz und sonstige Denkmäler.

e) Serviceeinrichtung in der Gemeinde

Gerade für private, unerfahrene Eigentümer sind Bau- und Denkmalschutzverfahren komplexe bürokratische Vorgänge – energetische Maßnahmen gehen in solchen Prozessen leicht verloren. Vorgeschlagen wird, eine Serviceeinrichtung in Gemeinden, die als unabhängige Beratungsstelle Bauwerber bei der (energetischen) Sanierung von denkmalgeschützten Gebäuden zur Seite steht, den erforderlichen Prozess erklärt und im Sinne der Bewusstseinsbildung mögliche Umsetzungsmaßnahmen sowie erfolgreiche Sanierungsbeispiele präsentiert.

f) Checkliste „Bestandsanalyse“ für Planer

Grundlage für jede erfolgreiche Sanierung ist eine gewissenhafte Bestandsanalyse. Als vorteilhaft wird eine standardisierte Vorlage für Planer gesehen, die einerseits die Anfangsphase des Planungsprozess und andererseits die technischen Bestandteile der Bauaufnahme beinhaltet. Die Checkliste verfolgt somit zwei Ziele:

- Den Planungsprozess von Anfang an als integralen Planungsprozess zumindest unter Einbindung des Bundesdenkmalamtes zu gestalten. Die Einbindung weiterer Experten (Bauphysiker, Statiker, Heizungstechniker, ...) ist von der jeweiligen Bauaufgabe abhängig.
- Eine vollständige und solide Dokumentation und Bewertung des Gebäudebestandes als Grundlage für den Diskurs mit dem Bundesdenkmalamt und die Maßnahmenplanung mit den beteiligten Experten.

Entwicklung des Immobilienmarkts für denkmalgeschützte Gebäude

Nicht sanierte Gebäude werden (unabhängig ob denkmalgeschützt oder nicht) zunehmend als kostenmäßige Belastung betrachtet. Andererseits gibt es eine Kundengruppe die bereit ist, für historisch wertvolle Gebäude (Denkmalschutz ist dabei ebenfalls nicht maßgebend) höhere Mieten oder Investitionen in Kauf zu nehmen. Wohnen im Altbestand folgt damit dem Trend, dass viele Menschen ihren Wohnraum wieder vermehrt in den Städten suchen. Denkmalgeschützte bzw. historisch wertvolle Gebäude müssen die aktuellen Anforderungen und Erwartungen der Kundengruppe erfüllen. Die Zielgruppe lässt sich folgendermaßen charakterisieren:

- Gut situierte, wohlhabende Personen
- Personen mit hohem Bildungsstandard
- kinderlose Paare und Singles
- Personen mit aufgeschlossenem Verhältnis zu Urbanität
- Personen schätzen gute Infrastruktur
- Personen, die „anders“ wohnen wollen

Wohnen (oder auch Arbeiten) im Altbestand vermittelt nach außen somit ein gewisses Image. Wenngleich Heiz- und Energiekosten nicht das entscheidende Thema für Mieter oder Käufer sind, so lässt sich beobachten, dass die Nachfrage nach zertifizierten Gebäuden steigt. Die gängigen Gebäudezertifizierungen wie klima:aktiv oder ÖGNI berücksichtigen Energie in ihren Bewertungskatalogen. Diese Nachfrage nach Gebäudezertifizierungen geht wohl einher mit einer leicht sicht- und kommunizierbaren Positionierung aus Imagegründen. Die zentralen Kriterien für die Entscheidungen von Mietern oder Käufern für oder gegen eine Immobilie sind wie allgemein üblich:

- Lage
- Nutzungstauglichkeit
- Wohnqualität
- Kosten (Kaufpreis oder Miete sowie Betriebskosten)

2.2.3 Konnex zur Fachöffentlichkeit

Ergänzend zu den projektinternen Workshops, Begehungen und Interviews suchte das „denkmalaktiv I“-Team den Konnex zur Fachöffentlichkeit um einerseits den „denkmalaktiv“ Ansatz einer Thematisierung des Zielkonfliktes Klimaschutz vs. Denkmalschutz zu positionieren und andererseits projektexterne Erkenntnisse und Standpunkte in die Projektergebnisse integrieren zu können. Als Mittel zur Umsetzung wurde eine breitgefächerte Vortragstätigkeit, die Organisation einer Fachtagung, die Vernetzung mit ähnlich gelagerten nationalen und internationalen Forschungsprojekten sowie das Einrichten einer Homepage gewählt.

Präsentationen und Vorträge

Das Projektteam entwickelte eine rege und aktive Teilnahme an unterschiedlichsten Tagungen und Kongressen mit dem Ziel den Diskurs in eine breite und fachlich heterogene Expertengruppe zu tragen. Wichtig war dabei den Zielkonflikt zwischen Denkmalschutz und Klimaschutz sowohl den im Wesentlichen technisch orientierten, eher mit dem Klimaschutz assoziierten Expertengruppen als auch den im Wesentlichen künstlerisch-kulturell orientierten, eher mit dem Denkmalschutz assoziierten Expertengruppen näherzubringen. 0 zeigt eine entsprechende symbolische Darstellung und Kapitel 6.2 beinhaltet eine Auflistung der vom Projektteam gehaltenen Präsentationen und schriftlichen Beiträge.



Abb. (12) Symbolische Darstellung der fachlich heterogenen Expertengruppen

Fachtagung zu Energieeffizienz & Denkmalschutz

Am 25. Oktober 2012 gestaltete das „denkmalaktiv I“ - Team auf Initiative der IG Passivhaus PLUS gemeinsam mit dem „Center of Excellence for Renewable Energy“ eine Fachtagung zum Thema Energieeffizienz und Denkmalschutz (GovernEE Energy Day). Abb. (13) zeigt einige Eindrücke dieser im Franziskanerkloster Graz durchgeführten Veranstaltung.



Br. Matthias, Franziskanerkloster
Moderation, Gerhard Lang, GEA



Lisa Rücker
Vizebürgermeisterin der Stadt Graz



Bruno Maldoner
Bundesministeriums für Unterricht, Kunst und Kultur



Johannes Sima
Bundesdenkmalamt



Peter Kautsch
Technische Universität Graz



Daniel Brandl
Technische Universität Graz

Abb. (13) Eindrücke der Fachtagung zu Energieeffizienz und Denkmalschutz

Im ursprünglichen Projektdesign von „denkmalaktiv I“ war eine Expertendiskussionsrunde vorgesehen. Das Projektteam hat sich im Zuge des Projektverlaufs entschieden, eine breitenwirksame Veranstaltung zu machen, da die Projekterkenntnisse gezeigt haben, dass sowohl unter Denkmalschützern als auch unter Energieexperten und Architekten/Planern großer Informationsbedarf an innovativen und machbaren Lösungen zur energetischen Sanierung von denkmalgeschützten Gebäuden besteht.

Die Fachtagung wurde in Kooperation mit CERE⁴ und dem Projekt GovernEE⁵, welches sich mit Energieeffizienz und erneuerbare Energieträger in historischen Gebäuden beschäftigt, abgehalten.

Experten aus dem Bereich des Denkmalschutzes (Bundesdenkmalamt und Bundesministerium für Unterricht, Kunst und Kultur) und Experten aus dem Gebiet der Energietechnik präsentierten fachliche Beiträge. Besonders Highlight der Tagung war die Führung durch das sanierte Franziskanerkloster. Es ist mit dieser Veranstaltung gelungen, ein bislang ungewohnt harmonisches Zusammenführen von Denkmalexperten und Energieexperten zustande zu bringen. Mit einer Teilnehmeranzahl von rund 60 war die Veranstaltung ausgebucht.

Die Fachtagung gliederte sich in vier Abschnitte:

- Die Sanierung des Franziskanerklosters in Graz: Idee und Umsetzung
- Die energetische Sanierung aus Sicht des Denkmalschutzes
- Umsetzungsmodelle für energetische Sanierungen
- Aktuelle Ergebnisse aus der wissenschaftlichen Forschung

Die Fachtagung hat besonders positive Rückmeldungen von den Referenten und TeilnehmerInnen erhalten. Hervorgehoben wurden die sachliche Auseinandersetzung mit dem oft auch emotional geführten Thema, die Möglichkeit der direkten Besichtigung vor Ort und der Beitragsmix aus der Praxis und der Wissenschaft. Aus Sicht des „denkmalaktiv I“ - Teams besteht ein weiterer Bedarf an Veranstaltungen dieser Art. Empfehlenswert für künftige Tagungen ist die stärkere Eingrenzung auf einzelne Themen, Mögliche Themen für künftige Fachtagungen sind die in „denkmalaktiv I“ behandelten Schwerpunkte:

- Thermische Sanierung von Außenfenstern
- Innendämmung
- Kontrollierte Be- und Entlüftungsanlagen
- Solarthermie am Baudenkmal
- Bauteilkonditionierung

Die Events sollten, im zeitlichen Rahmen eines Halbtages, multi-methodisch aufbereitet werden und folgende Komponenten enthalten:

- Besichtigung von umgesetzten Maßnahmen vor Ort
- Praxisbeiträge aus Sicht der Denkmalpflege, der Energieeffizienz bzw. -bereitstellung
- neue Erkenntnisse aus der Wissenschaft

⁴ CERE: Center of Excellence for Renewable Energy, Energy Efficiency and Environment, www.cere.com

⁵ GovernEE: Good Governance in Energy Efficiency (Web: <http://www.governeeproject.eu/>), betreut von CERE und gefördert im Rahmen des Programms Central Europe

Vernetzung mit ähnlich gelagerten Forschungsprojekten

In „denkmalaktiv I“ entwickelten sich verschiedene Aktivitäten, die zur Kontaktaufnahme mit anderen Forschungsprojekten ähnlicher Ausrichtung führten. Das EU-Projekt „new4old“ und seine österreichische Ergänzung aus der Programmlinie „Haus der Zukunft“ hatten als österreichisches Referenzprojekt ebenso wie „denkmalaktiv I“, das Franziskanerkloster Graz, jedoch in einer sehr frühen Phase der Projektentwicklung bzw. Umsetzung. Über das EU-Projekt „3encult“ konnte Kontakt zu verschiedenen europäischen Anlaufstellen mit ähnlichen Forschungsinhalten aufgenommen werden. Im Forschungsbereich Innendämmung ist mit dem nationalen Forschungsprojekt OEKO-ID eine Kooperation eingegangen worden. Das Projekt OEKO-ID lieferte die Messwerte unterschiedlicher Innendämmsysteme, welche in „denkmalaktiv I“, mit den generierten Simulationsergebnissen verglichen wurden. Der Konnex zu einer internationalen Expertengruppe, die sich mit dem Thema thermische Sanierungsbeschäftigt wurde, über den TASK 47 der Internationalen Energieagentur (IEA) im implementing agreement „solar heating and cooling“ (SHC) hergestellt. Die an „denkmalaktiv I“ beteiligten Institute der TU Graz sind Projektpartner in diesem Task und bringen die erarbeiteten Ergebnisse in die biannualen Expertentreffen und den internationalen Endbericht des TASK 47 ein und vergleichen die Projektergebnisse mit den Erfahrungen der internationalen Expertengruppe. Die einzelnen Forschungsprojekte sind in der Folge kurz dargestellt.



New energy for old buildings

Das internationale Projekt beschäftigte sich mit der Verwendung erneuerbarer Energieträger sowie der Durchführung von Energieeffizienzmaßnahmen in historischen Gebäuden. www.new4old.eu/

New4Old - Neue Energie für alte Gebäude

Nationales Zusatzprojekt zum europäischen Projekt new4old mit Konzentration auf das österreichische Referenzprojekt, das Franziskanerkloster in Graz www.hausderzukunft.at/results.html/id6142



Efficient Energy for EU Cultural Heritage

Das Projekt 3ENCULT schlägt eine Brücke zwischen der Erhaltung historischer Gebäude und den Anforderungen des Klimaschutzes. 3ENCULT geht von der Annahme aus, dass historische Gebäude nur dann dauerhaft überleben, wenn sie auch genutzt werden. Je nach kulturhistorischem Wert der Gebäude wird angestrebt eine Senkung des Energieverbrauchs um den Faktor 4 bis zu Faktor 10 zu demonstrieren. www.3encult.eu

OEKO-ID

Innendämmungen zur thermischen Gebäudeertüchtigung. OEKO-ID bearbeitet die Möglichkeiten und Grenzen ökologischer, diffusionsoffener Dämmsysteme. Als Ergebnis des Projektes wird ein Katalog möglicher, insbesondere feuchte-technischer Problempunkte und deren Lösung sowie ein Konzept für den aktiven Wissenstransfer zu Entscheidungsträgern und Ausführenden vorliegen.



IEA SHC TASK47 - Solar Renovation of Non-Residential Buildings

Der Task 47 der Internationalen Energieagentur besteht aus Experten aus ca. acht europäischen Ländern und Australien. Der Task bearbeitet den Bereich der Sanierung von Nicht-Wohngebäuden. www.iea-shc.org/task47

3 BAUSTEINE

Technische Lösungen einzelner Sanierungsmaßnahmen



Innendämmung



Kastenfenster



Lüftungsanlagen



Bauteilaktivierung



Solarintegration

Abb. (14)
zur Untersuchung
ausgewählte
Bausteine

Ein auf Energieeinsparung abzielendes Sanierungskonzept kann als Kombination einzelner energietechnisch relevanter Sanierungs- bzw. Modernisierungsmaßnahmen gesehen werden. Im Teilprojekt „denkmalaktiv I“ werden die einzelnen Sanierungsmaßnahmen als BAUSTEINE bezeichnet. Der Begriff BAUSTEINE weist darauf hin, dass aus diesen Grundelementen ganze Konzepte zusammengestellt werden können, was im Falle des vorliegenden Projektes im Handlungsfeld KONZEPTE für die fünf Grazer Referenzgebäude auch durchgeführt wird.

Die Auswahl und Gliederung der einzelnen BAUSTEINE gründet sich auf Überlegungen zur Verbesserung der Wärmebilanz eines Gebäudes im Zuge von Sanierungs- bzw. Modernisierungstätigkeiten. Den Beginn macht die Reduktion der Transmissionswärmeverluste der Außenhülle, die bei denkmalgeschützten Gebäuden, falls überhaupt zulässig, meist nur durch Innendämmung und Ertüchtigung der bestehenden Kastenfenster bewirkt werden kann. Der in der Regel zweitgrößte Verlustposten wird durch die Lüftungswärmeverluste gebildet. Hier ist der Einsatz kontrollierter, mechanischer Lüftungssysteme mit Wärmerückgewinnung anzudenken, wodurch im Regelfall nicht nur der Wärmeverlust des Gebäudes verkleinert wird, sondern auch die Luftqualität in den Innenräumen verbessert werden kann. Nach der Betrachtung der Wärmeverluste wird die Art der Wärmeerbringung durch thermische Aktivierung des Mauerwerks thematisiert. Die Einbeziehung erneuerbarer Energiequellen durch die Integration solarer Energiegewinnung schließt den Betrachtungsbogen.

Das Handlungsfeld BAUSTEINE bietet im ersten Schritt Analysen zum derzeitigen Stand der Technik bzw. zum Stand der wissenschaftlichen Diskussion. Aufgesetzt auf diesem Wissensstand werden in einem zweiten Schritt Studien zu diesen Konzeptbausteinen durchgeführt. Diese beziehen sich mehrheitlich auf Aufgabenstellungen die im Zusammenhang mit den im Handlungsfeld KONZEPTE vorgestellten Referenzgebäuden stehen. Die bearbeiteten Fragestellungen beziehen sich hauptsächlich auf Sanierungsmaßnahmen die im Kontext denkmalgeschützter Gebäude als umsetzbar erscheinen. Die in den Untersuchungen angestrebte Verbesserung des Verständnisses physikalischer Wirkungsweisen verschiedenster Sanierungsmaßnahmen ist auch für den Kontext der nicht-denkmalgeschützten Gebäude anwendbar und somit zur Bewertung von Sanierungsmaßnahmen dieses deutlich größeren Gebäudesegementes verwertbar.

3.1 Anwendung kapillaraktiver Innendämmsysteme

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

Im Zuge der weltweiten Bestrebungen zur Energieeinsparung und nicht zuletzt der Einführung des Energieausweises für Bestandsobjekte in Österreich im Jahre 2009 kommt der thermischen Ertüchtigung bestehender Bausubstanz besondere Bedeutung zu. Dabei ist die Sanierung innerstädtischer und denkmalgeschützter Bauwerke durch Außendämmungen mit erheblichem Aufwand verbunden, wenn nicht gar zufolge bereits erreichter Baufluchtlinien, reich strukturierter Fassaden oder schwieriger Eigentumsverhältnisse gänzlich unmöglich. Obwohl bei Planung und Ausführung anspruchsvoller als Außendämmungen bieten Innendämmungen die technisch sinnvolle Möglichkeit, den U-Wert bestehender Außenwände um rund 50–70 % zu senken und die behaglichkeitsrelevanten inneren Oberflächentemperaturen zu erhöhen. Dabei gewinnen diffusionsoffene, kapillaraktive Systeme gegenüber solchen mit innenliegender Dampfbremse zunehmend an Bedeutung.

Da durch Innendämmungen der Taupunkt weiter in das Innere der Wandkonstruktion rückt, ist einerseits die Unschädlichkeit möglichen Tauwasseranfalls für sämtliche Regelwandquerschnitte und Bauteilanschlüsse nachzuweisen, andererseits infolge der nun niedrigeren Temperaturen der Außenwandoberflächen die Gefahr von Frostabplatzungen hintanzuhalten. Im Hinblick auf die zunehmend für Innendämmungen verwendeten organischen Materialien stellen die Vermeidung von mikrobiellem Wachstum und die Langzeitstabilität der eingesetzten Systeme weitere Problemkreise dar. 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. Neben der baupraktischen Eignung kommt dabei in Zukunft der ökologischen Verträglichkeit der verwendeten Baustoffe besondere Bedeutung zu.

Eines der ersten derartiger Systeme war die Innendämmung mit Magnesit gebundenen Holzwoleplatten. Seit den 90er-Jahren des 20. Jhdt. verfolgen CalciumSilikat-Dämmsysteme dasselbe Ziel unter Ausnutzung der hohen kapillaren Leitfähigkeit des Materials – wobei eine wesentliche Voraussetzung der vollflächige hygrische Kontakt zur Bestandswand ist. Dieser Umstand schränkt die Anwendbarkeit plattenförmiger Systeme auf stark unebenen Wandoberflächen jedoch deutlich ein. In einem Projekt des Institutes für Hochbau und Bauphysik wurde ein Innendämmsystem auf Basis aufspritz- und verputzbarer Altpapier-Zellulose entwickelt und in der Wandfläche erfolgreich getestet (Kautsch et.al., 2006).

3.1.1 Methoden und Vorgangsweise

Eine umfassende Recherche zum Stand der Technik und Wissenschaft im Bereich Innendämmungen stellte den Anfang der Auseinandersetzung dar. Zeitlich überlappend bzw. begleitend wurde die Bestandsaufnahme der beispielhaften Projekte durchgeführt. Darauf aufbauend wurden Konzepte zur Sanierung von Außenwänden entwickelt, deren Schwerpunkt in der Lösung der typischen Detailpunkte insbesondere gründerzeitlicher Bauwerke liegt. Die Detailpunkte wurden abschließend einer hygrothermischen instationären Simulation in Varianten unterzogen, um Erkenntnisse über das Verhalten von unterschiedlichen Dämmsystemen bei unterschiedlichen Details zu erlangen, wobei auf Vielfalt sowohl der Dämmsysteme als auch der Detailpunkte besonderer Wert gelegt wurde. Die Simulationen wurden in Abstimmung mit dem parallel laufenden Projekt OEKO-ID durchgeführt, um sicher zu stellen, dass in den beiden Projekten ergänzende aber unterschiedliche Fragestellungen behandelt werden.

3.1.2 Recherche zu Innendämmungen bei historischen Gebäuden

Zur Recherche und Analyse im Bereich thermische Sanierung von Außenwänden wurde den Projektschwerpunkten entsprechend der Stand der Technik und Wissenschaft für Innendämmungen aufgearbeitet. Der Fokus der Recherche liegt auf die bauphysikalischen Aspekte der Innendämmung, die Einteilung der Innendämmungssysteme und Lösungen von Anschlussdetails. In der Literatur fanden sich kaum Angaben zu Bauteilanschlüssen, was die engere Schwerpunktsetzung des Projektes in diesem Bereich bestätigt hat.

Die Recherche ist auf den deutschsprachigen Raum und auf den Zeitraum bis zum Jahr 2002 rückwirkend eingeschränkt, da hier die relevanten Publikationen zu erwarten sind. Der Schwerpunkt liegt auf Publikationen aus den letzten 5 Jahren. (nach 2006) Publikationen vor 2006 werden inhaltlich auf Relevanz geprüft. Es wurden 20 Quellensammlungen und Kataloge abgefragt und 61 Quellen aufgearbeitet. Das Quellenverzeichnis liegt in gesonderter Form digital vor, digitale Quellen wurden gesammelt und im gesonderten Verzeichnis verlinkt.

Stand der Technik und Wissenschaft

Bei der thermischen Sanierung innerstädtischer und denkmalgeschützter Bauwerke sind Außendämmungen oft aufgrund Denkmalschutzes, Bauflichtlinien oder aufgrund des mit ihrer Errichtung verbundenen Aufwandes nicht möglich und Innendämmungen werden erforderlich. Diese können (siehe auch projektzugehörige Recherche) entweder als dampfsperrende Systeme (z.B. mit Dämmungen aus Schaumglas), als dampfbremsende Systeme (mit dampfbremsenden Schichten oder Folien oder als kapillaraktive Systeme ausgeführt werden und zu einer Senkung des U-Wertes um ca. 50 - 70 % führen. Kapillaraktive, diffusionsoffene Systeme begegnen dem Problem einer durch die Innendämmung auf die Innenseite der tragenden Außenkonstruktion wandernden Kondensationsebene oder -zone dadurch, dass die Feuchtezunahme und ev. Kondensation zugelassen wird und die Systeme durch sorptive und kapillare Transportvorgänge nach innen und außen rücktrocknen, wobei vom System nur der Rücktrocknungsvorgang nach innen kontrolliert werden kann.

Kenntnisdefizite

Wie in Fachkreisen bekannt und auch aus der Recherche entnehmbar, sind viele kapillaraktive Innendämmungssysteme in ihre grundlegenden Eignung bekannt und als funktionsfähig akzeptiert. Es kommen aber immer wieder neue Systeme auf den Markt und insbesondere die für den praktischen Einsatz unabdingbaren Bauteilanschlüsse sind noch wenig untersucht, Konstruktionsregeln oder -kataloge mit hygrothermische Beurteilung fehlen völlig, weshalb zur Zeit jedes System im konkreten Einsatzfall durch Simulationen nachzuweisen ist. Eine einfache Beurteilung anhand Wärmebrückenkatalogen ist aufgrund der Komplexität nicht möglich. Im Projekt „denkmalaktiv I“ wurden daher eine Reihe von Bauteilanschlüssen, die typisch für das Baualter der fünf Referenzprojekte (mit Ausnahme der älteren Teile des Franziskanerklosters) sind, in Varianten mit unterschiedlichen Dämmsystemen untersucht, um im Vergleich der Systeme einerseits die Eignung für unterschiedliche Anschlüsse zu überprüfen und andererseits generalisierbare Erkenntnisse als Basis für eine Systematisierung zu gewinnen.

Die vollinhaltliche Recherche findet sich im Annexbericht 1.4:

- Recherche / Analyse zur thermischen Sanierung von Außenwänden
siehe Kapitel 6.3

3.1.3 Kooperation mit anderen Projekten

Von wesentlicher Bedeutung für das gegenständliche Vorhaben war das Projekt „OEKO-ID – Innendämmungen zur thermischen Gebäudeertüchtigung - Möglichkeiten und Grenzen ökologischer, diffusionsoffener Dämmsysteme“. In diesem Projekt werden von August 2010 bis Juni 2013 anhand von Vor-Ort-Untersuchungen an einem adaptierten Bestandsgebäude fünf diffusionsoffene und ökologische Innendämmsystemen über den Zeitraum von je zwei Kondensations- und Austrocknungsperioden hygrothermisch vermessen, simulationstechnisch modelliert und weiterentwickelt. Dabei werden die für organische Baumaterialien unter Umständen kritischen Feuchtigkeitsbelastungen erfasst.

Die Beurteilung des damit zusammenhängenden Schimmelpilzrisikos erfolgt durch die Entwicklung eines neuartigen molekularbiologischen Monitoring-Verfahrens, welches in der Lage sein wird, etwaigen mikrobiellen Befall nahezu zerstörungsfrei festzustellen. Während in OEKO-ID die grundlegende Eignung von ökologischen Dämmsystemen im Vordergrund steht, werden in „denkmalaktiv I“ Bauteilanschlüsse mit marktüblichen Dämmsystemen konzipiert sowie durch eine simulationstechnische Überprüfung kontrolliert und bewertet. Der Schwerpunkt im gegenständlichen Projekt liegt somit in der konkreten Anwendbarkeit der Aussagen für die Sanierungspraxis, insbesondere hinsichtlich der zu untersuchenden Detailpunkte und der Interaktion von Innendämmung und Kastenfenster.



Abb. (15) unterer der beiden Messräume OEKO-ID mit Testfeldern der Innendämmungssysteme

3.1.4 Aufbau der Untersuchung

Als Grundlage der Untersuchungen müssen Entscheidungen zur Wahl des zu untersuchenden Referenzgebäudes und der zu untersuchenden bautechnischen Details getroffen werden. Zudem sind die Abgrenzung der Aufgabenstellung und die Definition der Untersuchungsszenarien festzulegen. Das vorliegende Kapitel zeigt die entsprechenden Ergebnisse dieser Entscheidungen und die Kriterien zu deren Auswahl.

Auswahl des Referenzgebäudes

Als Referenzprojekt für die Untersuchung von typischen Konstruktionen wurde aus folgenden Gründen das Objekt Schönbrunnngasse 30 in Graz-Mariagrün gewählt:

- Das Objekt hat sich im Zuge der Bearbeitung als das wahrscheinlichste Objekt für eine Fortführung der Forschung in Richtung eines Demonstrationsobjektes herausgestellt und wurde daher in der bauphysikalischen und hochbaulichen Bestandsaufnahme prototypisch und tiefer untersucht. Es lagen also wesentlich genauere Kenntnisse über die tatsächliche Konstruktion vor, als in den anderen Referenzobjekten. Die angenommenen Waddicken bestätigten sich im Wesentlichen, wenn auch in situ eine breitere Vielfalt vorgefunden wurde.
- Aufgrund der Bauzeit (erste Bauphase Neorenaissance (1885/86), Zubau Jugendstil (1902/1903)) deckt das Objekt sowohl die Hochzeit als auch das Auslaufen der österreichischen Gründerzeit (ca. 1860 bis 1914) ab und damit typische historistische Detailkonstruktionen.
- Aufgrund der umfangreichen messtechnischen Untersuchungen und Simulationen des Objektes im Rahmen des Projektes OEKO-ID liegen von Mauerwerk und Mörtel genaue hygrothermische Kennwerte für die Simulation vor. Diese stellen zwar eine im Grunde nicht generalisierbare objektspezifische Besonderheit dar, dürften aber mit den in Ostösterreich üblichen Baustoffen besser korrelieren, als in der Literatur zu findende Kennwerte, die über den gesamten europäischen Raum mit Schwerpunkt Mittel- und Norddeutschland streuen

Auswahl der Detailpunkte

Folgende Kriterien wurden an die Auswahl der Detailpunkte gestellt:

- **generalisierbare Details**
die ausgewählten Details sollen im (denkmalgeschützten) Altbestand möglichst in ähnlicher Form vorkommen. Sonderlösungen am Objekt Schönbrunnngasse insbesondere bautechnisch experimentelle Details des Jugendstils blieben ausgeklammert
- **geometrische Vielfalt**
die Details sollen eine Reihe unterschiedlicher Anschlusstypologien aufweisen, da die geometrische Situation am Anschluss, insbesondere die Verhältnisse Innen- zu Außenoberfläche und die Anordnung von die Innendämmung durchdringenden Bauteilen maßgeblichen Einfluss auf Wärmeverluste, Temperaturen im Bauteil und Rücktrocknung haben
- **klimatische Vielfalt**
die klimatischen Bedingungen der anschließenden Bauteilzone sollen bei wenigen Details einen großen Variantenreichtum ergeben, also nicht nur die unmittelbare Beziehung zum Außenklima ist bestimmend, sondern auch anliegende divergente Innenklimate wie unausgebautes Dachgeschoss und unbeheizter Keller sollen behandelt werden
- **im Projektzeitraum bewältigbar**
natürlich ist die Vielfalt der Detailpunkte insbesondere in Varianten und Optimierungen nach erfolgter erster Simulation ein erstrebenswerter Zugang. Im Projekt wurde dieser Ansatz aber zugunsten einer Darstellung der o.a. Vielfalt aus Zeitmangel aufgegeben, so dass keine Optimierungen der Details oder Vergleichssimulationen zur Abklärung vermuteter Ursachen nicht völlig erklärbares Verhaltens möglich waren

Nachstehende Detailpunkte und Varianten wurden untersucht, siehe dazu Abb. (16):

- **ungestörter Wandbereich**

... der ungestörte Wandbereich wurde eingehend auch mithilfe eines Querprofils der Feuchteverteilung untersucht, um das grundlegende Verhalten der Dämmsysteme zu analysieren und eine Referenz für die nachfolgenden Details zu haben

- **Detail 1 - Außenkante**

... dient der Analyse einer einfachen geometrischen Wärmebrücke mit im Vergleich zur Innenoberfläche großer Außenfläche mit erwartet hoher Rücktrocknung nach außen

- **Detail 1 – Innenwandanschluss**

... dient der Analyse einer einfachen geometrischen Wärmebrücke mit im Vergleich zur Innenoberfläche kleiner Außenfläche mit erwartet geringer Rücktrocknung nach außen

- **Detail 2 - Variante 1**

- Traufanschluss zu ungeheiztem Dachgeschoss**

... der Anschluss der obersten Geschossdecke zum unbeheizten Dachraum stellt die Grenze zu zwei Klimaten - Außenklima und ungeheizter Dachraum mit verminderten solaren Wärmegegewinnen ohne Schlagregenbelastung - sowie eine geometrische und konstruktive Wärmebrücke dar. Das Detail dient als Basisvergleich für die nachfolgenden thermisch günstigeren Varianten und wird mit dem ungestörten Wandbereich und dem geometrisch ähnlichem Innenwandanschluss verglichen. Die Geschossdecke besteht aus einer Holzmassivdecke mit verdübelten Balken (Dippelbaumdecke) und einer Auflage aus Ziegelpflaster im Sandbett

- **Detail 2 - Variante 2a**

- Traufanschluss zu ungeheiztem Dachgeschoss mit Außendämmung der obersten Geschossdecke**

... hier wird zusätzlich zu Variante 1 die Geschossdecke auf der Oberseite gedämmt und dadurch der Wärmeschutz und die hygrische Belastung der Holzmassivdecke reduziert

- **Detail 2 - Variante 2b**

- Traufanschluss zu ungeheiztem Dachgeschoss mit Außendämmung der obersten Geschossdecke und zusätzlicher Dämmung der Gesimsoberkante unter der Fußpfette**

... in dieser Variante wird die zusätzliche Dämmung einer Wärmebrücke (außenseitige „Halsdämmung“, Überdämmung der Wärmebrücke) untersucht, um die Wirksamkeit solcher Maßnahmen im Prinzip zu bestätigen, wenn auch aufgrund der geringen Dicke der Zusatzdämmung kein maßgeblicher Effekt festzustellen ist

- **Detail 2 - Variante 3**

- Traufanschluss zu ungeheiztem Dachgeschoss mit Randdämmung auf der Innenseite (Halsdämmung)**

... hier wird aufbauend auf Variante 1 der unmittelbare Anschlussbereich der Geschossdecke an die Außenwand mit einem begleitendem Streifen Innendämmung versehen. Diese Lösung kommt zum Einsatz, wenn auf der Oberseite der Geschossdecke keine Dämmung möglich ist. Die prinzipielle Eignung einer solchen Maßnahme, wird untersucht, ebenso kann der Vergleich zu Variante 2 hergestellt werden

- **Detail 3 - Variante 1**

- **Anschluss Stahlbetontreppenpodest mit Terrazzobelag mit stumpf anschließender Innendämmung**

- ...Treppenpodeste und -stufen aus dem untersuchten Baualter wurden in die Außenwand eingemauert und kragen von dieser aus, was eine große Einbindetiefe und entsprechende Auflast (Übermauerung) erfordert. Dadurch entsteht eine massive stoffbedingte Wärmebrücke in einer ähnlichen Geometrie wie der Innenwandanschluss aber mit wesentlich höheren Wärmeverlusten. Das Detail stellt somit einen Modellfall für stark wirksame Wärmebrücken mit einer einfachen Geometrie dar

- **Detail 3 - Variante 2**

- **Anschluss Stahlbetontreppenpodest mit Terrazzobelag mit im Anschlussbereich ausgesparter Innendämmung**

- ... um im Bauteil die Wärmebrücke zu erwärmen, wird die Innendämmung im Anschlussbereich des Treppenpodestes ausgespart und die Lösung mit Variante 1 verglichen sowie die Tauglichkeit dieser Maßnahme untersucht. Sie stellt den extremen Modellfall auch für Anschlüsse mit Dämmkeilen dar.

- **Detail 4 - Variante 1a**

- **Traversenkappendecke als Zwischendecke zwischen beheizten, innen gedämmten Geschossen**

- ... eine Traversenkappendecke besteht aus quer zur Außenwand angeordneten Stahlwalzprofilen und quer dazu auf diesen aufliegenden flachen Ziegeltonnengewölben, die üblicherweise die unterste Geschossdecke bilden. Im Anschlussbereich zur Außenwand liegt die Decke auf der Wand auf, die sich über der Geschossdecke für gewöhnlich verjüngt (50 cm bzw. 30 cm Rohbauwanddicke). Hier wird eine komplexe geometrische und konstruktive Wärmebrücke im Zusammenwirken mit Innendämmung untersucht.

- **Detail 4 - Variante 1b**

- **Gründungszone mit oberirdischen Erdgeschoss und erdberührten Fußboden**

- ... erlaubt die Untersuchung einer massiven Wärmebrücke (ungedämmter Fußboden) in Kombination mit hoher Feuchtelast von außen (Erdreich). Solche Situationen stellen einen Grenzfall für den Einsatz von Innendämmungen dar und sind prototypisch für stark wirksame Wärmebrücken und erlauben den Vergleich mit Detail 3, wobei hier eine noch stärkere Ausprägung der Wärmebrücke und zusätzliche Feuchtelast herrschen

- **Detail 4 - Variante 2**

- **Traversenkappendecke als Zwischendecke zwischen beheizten, innen gedämmten Erdgeschoss und ungeheiztem ungedämmten Kellergeschoss**

- ... ähnlich wie beim Traufanschluss grenzen auch hier drei Klimate an den Anschluss an: Innen- und Außenklima und Kellerklima. Zusätzlich wirkt die komplexe geometrische Wärmebrücke und es kann untersucht werden, in wieweit aufsteigende Feuchte aus dem Erdreich diesen Detailpunkt beeinflusst

Ausgeklammerte Fragestellungen

In der Auswahl der zu untersuchenden Details der in diesem Kapitel dargestellten Ergebnisse wurden Einschränkungen vorgenommen. So ist die Untersuchung der Balkenköpfe dem Projekt OEKO-ID zuzurechnen und wird hier nicht durchgeführt. Die Untersuchung des Anschlusses der Innendämmung an Kastenfenster wird dem Themenbereich Kastenfenster zugeordnet und somit in Kapitel 3.2 besprochen.

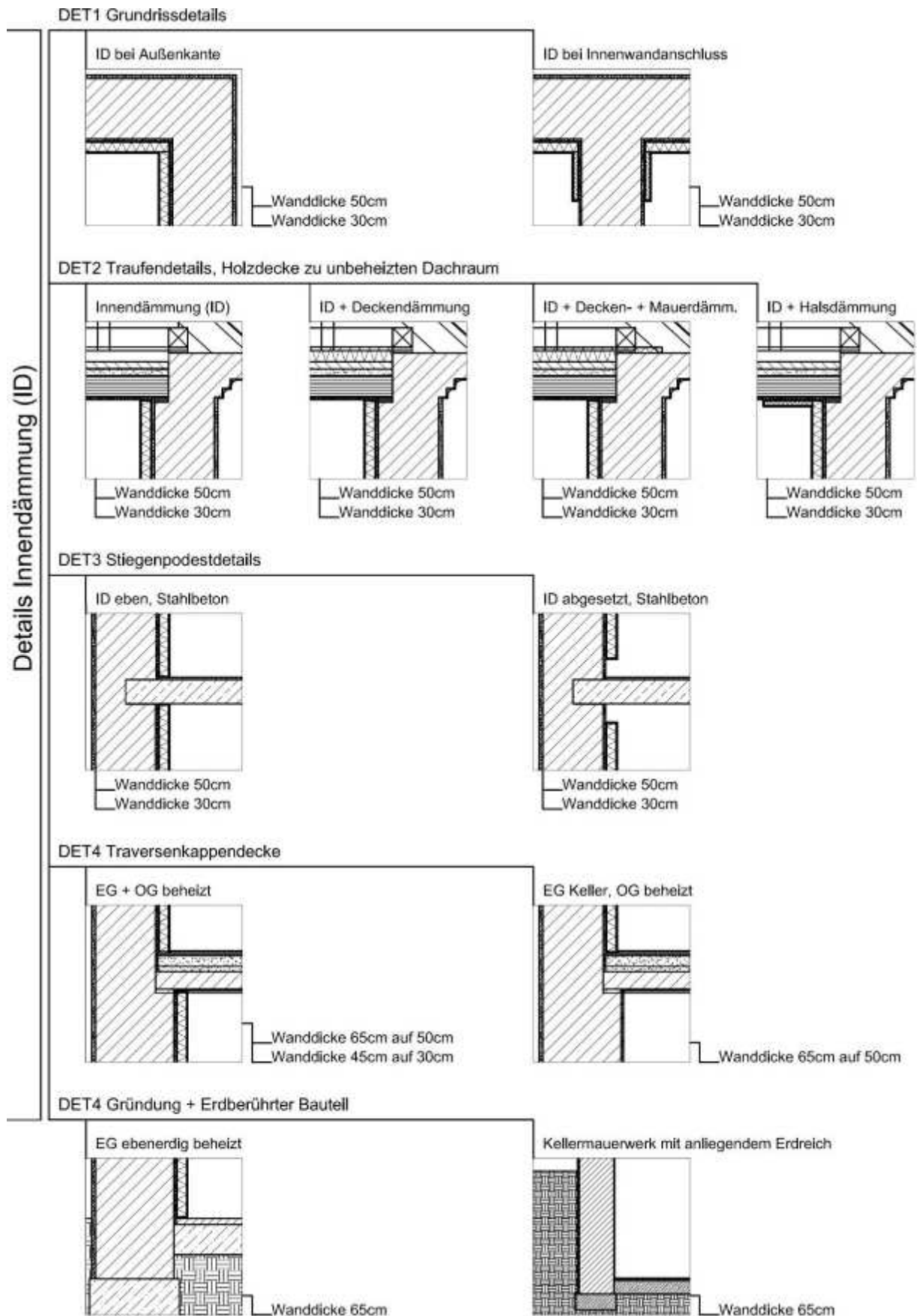


Abb. (16)

Übersicht Detailpunkte mit Innendämmung, ID=Innendämmung

Wanddicke

Im Referenzgebäude wurden unterschiedliche Wanddicken von ca. 70 bis ca. 25 cm gefunden. Aus der Literatur und unter Zugrundelegung des bekannten damals üblichen NF-Ziegelformates (29 cm x 14,5 cm x 6,5 cm) ergeben sich folgende ungefähren Rohbauwanddicken: 30, 60, 75 cm. Dicken von ca. 50 cm und 65 cm wurden insbesondere im erdberührten Teil als Mischmauerwerk oder unter Verwendung anderer Ziegelformate hergestellt und sind ebenfalls üblich. Die Dicken ab 60 cm finden sich üblicherweise nur im Kellergeschoß, wo auch die Wanddicken aufgrund des üblichen Mischmauerwerks stark streuen. Vielfach wurde der erdberührte Teil mit Bruchsteinmauerwerk errichtet und der oberirdische Wandteil mit Ziegeln gemauert, wobei Abweichungen durch dickere Mörtelfugen und dickeren Putz ausgeglichen wurden. Da im Objekt Schönbrunngrasse 30 keine Wanddicken über 70 cm angetroffen wurden, wurde eine Rohbauwanddicke von 65 cm als Maximum festgelegt. Mauerwerk mit 65 cm Rohbauwanddicke wurde lediglich als Kellermauerwerk betrachtet. Nach einigen vergleichenden Simulationen zum Abklären der auftretenden Bedingungen in den Dämmsystemen an einfachen Anschlüssen und im ungestörten Wandbereich wurde eine Rohbauwanddicke von 30 cm als kritisch eingestuft. Lediglich in Anschlüssen zum Erd- bzw. Kellergeschoß (unterste Geschossdecke) wurden höhere Wanddicken (Rohbauwanddicke 50 cm bzw. 65 cm) festgelegt, da hier höhere Vertikallasten der oberen Geschosse abzutragen sind.

Dämmsysteme

Es wurden weitgehend bekannte Innendämmungssysteme ausgesucht, die hinsichtlich ihrer Materialparameter bekannt und validiert sind (Abb. (17)). Dabei wurde Augenmerk auf ein breites Spektrum hinsichtlich des hygrothermischen Verhaltens bzw. Wirkprinzips des Systems sowie des Wärmeschutzes gelegt. Alle Systeme mit Ausnahme iQ-Therm wurden mit einer Dämmstoffdicke von 12 cm simuliert, iQ-Therm mit der maximal verfügbaren Dämmstoffdicke von 8 cm. Calsitherm wurde zusätzlich mit 8 cm Dämmstoffdicke berechnet, um den thermisch ungünstigsten Fall abzudecken. Alle Systeme mit Ausnahme Cellulose wurden mit 8 mm dicker Klebeschicht und 10 mm dickem Innenputz vorgesehen, Cellulose ohne Klebeschicht mit 15 mm dickem Innenputz. Die Dämmsysteme stellen unterschiedliche hygrothermische Systeme zur Lösung der Innendämmung dar, so dass divergente Wirkungsprinzipien überprüft werden können:

• Systeme Calsitherm

- Dämmung mit mikroporösem offenporigen Calciumsilikatgerüst mit weitgehend homogenem Porenspektrum mit signifikantem Wasseraufnahmekoeffizienten
- mit 12 cm Dämmstoffdicke ein System im üblichen Wirkprinzip (hohe Feuchte an der Grenzfläche und mit anschließender Rücktrocknung) mit ausgewogenem Diffusionswiderstand und Flüssigwasserleitfähigkeit, mit 8 cm Dämmstoffdicke das System mit dem geringsten Wärmedurchlasswiderstand

• System Multipor

- Dämmung aus Calciumhydratschaum mit inhomogenem Porenspektrum mit geringem Wasseraufnahmekoeffizienten
- mit 12 cm Dämmstoffdicke das System mit dem höchsten Wärmedurchlasswiderstand mit ausgewogenem Diffusionswiderstand und sehr guter Flüssigwasserleitfähigkeit bei geringem Wassergehalt, die mit zunehmendem Wassergehalt nur mehr wenig ansteigt; Wirkprinzip vorwiegend hohe Flüssigwasserleitfähigkeit und dadurch Vermeiden hohen Wassergehalts

• System Cellulose

- Dämmung aus aufgespritzten mit Bindemittel versehenen Celluloseflocken mit sehr hohem Wasseraufnahmekoeffizienten
- mit 12 cm Dämmstoffdicke sehr guter Wärmedurchlasswiderstand und ausgezeichnete Flüssigwasserleitfähigkeit im unteren bis mittleren und hohem Bereich des Wassergehalts; System im üblichen Wirkprinzip (hohe Feuchte an der Grenzfläche und mit anschließender Rücktrocknung) ohne Anschlussfugen, da durch Aufspritzen Toleranzen ausgeglichen werden

• System iQ-Therm

- Dämmung aus Polyurethanschaumplatte, senkrecht zur Oberfläche stehende, mit kapillaraktiven mineralischen Mörtel verfüllte Kanäle mit geringem Wasseraufnahmekoeffizienten
- mit 8 cm Dämmstoffdicke bereits sehr guter Wärmedurchlasswiderstand, geringe Gesamtwassermasse bis zur Sättigung mit hoher Flüssigwasserleitfähigkeit im relativ unteren und relativ oberen Bereich; Wirkprinzip reduzierte Auffeuchtung durch hohen Diffusionswiderstand und gute Rücktrocknung bei geringem Feuchtegehalt

Bezeichnung	Erläuterung	Schicht	Dicke [m]	λ [W/mK]	μ [-]	R [m²K/W]	sd [m]	RIDS [m²K/W]	sd,IDS [m]
Calsitherm CT12	mikroporöses offenporiges Calciumsilikat-gerüst	Kleber	0,008	0,920	38,4	0,01	0,31	1,95	1,08
		Dämmung	0,120	0,063	5,4	1,90	0,65		
		Innenputz	0,010	0,282	12,1	0,04	0,12		
Multipor MP12	Dämmplatte aus Calciumhydrat-schaum, inhomogenes Porenspektrum	Kleber	0,008	0,192	13,1	0,04	0,10	2,95	1,04
		Dämmung	0,120	0,042	6,7	2,86	0,80		
		Innenputz	0,010	0,192	13,1	0,05	0,13		
Isocell-Cellulose ZL12	aufgespritzte, mit Bindemittel versehene Celluloseflocken	Kleber	-	-	-	-	-	2,53	0,41
		Dämmung	0,128	0,052	2,5	2,46	0,32		
		Innenputz	0,015	0,225	6,2	0,07	0,09		
Calsitherm CT08	mikroporöses offenporiges Calciumsilikat-gerüst	Kleber	0,008	0,920	38,4	0,01	0,31	1,31	0,86
		Dämmung	0,080	0,063	5,4	1,27	0,43		
		Innenputz	0,010	0,282	12,1	0,04	0,12		
iQ-Therm IQ08	Polyurethanschaumplatte, senkrecht zur Oberfläche stehende, mit kapillaraktiven mineralischen Mörtel verfüllte Kanäle	Kleber	0,008	0,497	18,7	0,02	0,15	2,62	2,45
		Dämmung	0,080	0,031	27,0	2,58	2,16		
		Innenputz	0,010	0,479	13,9	0,02	0,14		

Abb. (17) Übersicht über die untersuchten Innendämmsysteme im Projekt „denkmalaktiv I“

3.1.5 Zusammenfassung von Untersuchungszielen und -methoden

Die o.a. auf allgemeines und abstraktes Niveau modifizierten Detailausarbeitungen wurden auf die bauphysikalische Eignung mit unterschiedlichen angeführten Innendämmungssystemen untersucht. Besonderes Augenmerk galt dem Verhalten von Wärmebrücken. Untersucht wurden einerseits das allgemeine Verhalten des Details im Hinblick auf Temperatur- und Feuchtefelder sowie schädliche Feuchteanreicherung bei Holzbauteilen und Schimmelpilzwachstum an der inneren Bauteiloberfläche jeweils in den vermutet kritischen Punkten der Konstruktion.

Generelles Ziel ist es, die Eignung der unterschiedlichen Innendämmungssysteme für die Sanierung von Baudenkmälern, insbesondere des 19. und beginnenden 20. Jahrhunderts gemäß der Auswahl der Referenzobjekte festzustellen und Empfehlungen für die Ausführung einiger Details mit Innendämmungen zu geben sowie anhand der Ergebnisse abstrahierbare Kenntnisse zum Einsatz von Innendämmungen und ein besseres Verständnis für deren konkretes Verhalten im Vergleich zu gewinnen.

Ausgewertet wurden auf Basis instationärer hygrothermischer Simulationen generell die Jahresmittelwerte der Temperatur, relativen und absoluten Luftfeuchte sowie Extreme der relativen Luftfeuchte im Jahresverlauf an ausgewählten Punkten, weiters Gesamtwassermenge im Bauteil bis zum eingeschwungenen Jahr und Temperatur- und Feuchtefelder am feuchtesten und wenn erforderlich am trockensten Tag. Auf Basis stationärer Wärmebrückenberechnung wurden Oberflächentemperaturfaktor (f_{Rsi}) und linearer Wärmebrückenverlustkoeffizient (ψ) ermittelt. Untersuchungen zum Jahresverlauf der relativen Luftfeuchte, zur überhygroskopischen Feuchte im Bauteil oder in Bauteilschichten oder andere anlassbezogene Analysen ergänzten die Untersuchungen. Dabei wurden folgende Untersuchungsziele enger betrachtet:

Schimmelbildung infolge erhöhter Oberflächenfeuchtigkeit

Schimmelbildung an den Wänden stellt durch die einhergehende Sporenbildung eine Gefährdung der körperlichen Gesundheit dar und führt zu unschönen Verfärbungen. Um die Gefahr der Schimmelbildung bewerten zu können stehen zwei Modelle zur Verfügung:

Bei stationären Berechnungen wurde der Oberflächentemperaturfaktor f_{Rsi} gemäß ÖNORM B 8110 Teil 2 für eine Bewertung herangezogen. 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 (siehe Ojanen, T., et. al.; Mold Growth Modeling of Building Structures Using Sensitivity Classes of Materials) für ein eingeschwungenes Jahr (s.o.) genutzt um festzustellen, ob Schimmelbildung zu erwarten ist. Das Modell ist in der Lage, Wachstum und Rückbildung auf verschiedenen Baumaterialien zu unterscheiden. Dabei wird auf Basis stündlicher Simulationsergebnisse von Temperatur und relativer Luftfeuchte unter Einbeziehung des Empfindlichkeitskriteriums (Anfälligkeit der Oberfläche und des Grundmaterials für Schimmelbildung in den Werten 1 bis 4, in den Berechnungen durchgehend 3), materialbedingter Grenzwerte für Temperatur und relative Luftfeuchte sowie Rückbildungskoeffizient (materialabhängige Rückbildung des Schimmelwachstums bei Trocknung) ein Index errechnet (Wachstum ab Index 1 aufwärts). In keinem der untersuchten Details wurde Schimmelwachstum nach diesem dynamischen Modell festgestellt.

Holzerstörung an Holzbauteilen

Tritt in Holzbauteilen dauerhaft erhöhte Feuchtigkeit z.B. durch Kondensat auf, so besteht die Gefahr, dass die Wachstumsbedingungen für Holzfäulepilze erreicht werden. Holzfäulepilze verursachen einen Abbau der Holzmasse und stellen eine Gefahr für die körperliche Gesundheit dar, wenn Sporenbildung in innenraumluftumspülten Bereichen stattfindet. Um festzustellen ob und in welchem Ausmaß die Gefahr von Holzmasseverlust besteht, wird das Modell für Holzerstörung nach Viitanen (siehe Viitanen, H., et. al.; Towards modelling of decay risk of wooden materials) verwendet, welches den Holzmasseverlust in Masse% für Fichtenholz wieder gibt. Dabei kennzeichnet ein Wert über 0 beginnende Holzerstörung. Als Eingangsdaten für die Berechnung dienen der zeitliche Jahresverlauf von Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit des eingeschwungenen Jahres. Im Zuge dieser Arbeit wurde der Holzmasseverlust über drei Jahre aufsummiert ausgegeben, wobei dafür eine zyklische Aneinanderreihung der Daten des eingeschwungenen Jahres erfolgte.

Temperatur und Feuchte im Bauteil

Für die Beurteilung überhygroskopischer Feuchte im Bauteil liegen keine dynamischen Modelle vor. Schädliches Bauteilkondensat tritt nach ÖNORM B 8110 Teil 2 in der stationären Betrachtung nach Monatsmittelwerten dann auf, wenn:

- die auftretende Kondensatmenge 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

Diese für stationäre Bedingungen festgelegten Kriterien beziehen sich immer auf einen Bauteil oder eine Bauteilschicht in der Fläche und sind daher nur bedingt auf die Beurteilung eines zweidimensionalen Bauteilanschlusses anzuwenden. Folgende Überlegungen bilden die Basis der Beurteilung der Schädlichkeit des Bauteilkondensates:

- Die vollständige Rücktrocknung wird dadurch bestätigt, dass die Gesamtwassermenge im Bauteil beim Erreichen des eingeschwungenen Zustandes (s.u.) nicht mehr zunimmt
- Die Speicherung der anfallenden Wassermenge wird vorausgesetzt, da es sich bei den eingesetzten Stoffen und den Innendämmsystemen entlang der erwarteten Stellen hoher Feuchte um kapillaraktive Materialien handelt.
- Eine visuelle Überprüfung der Temperatur- und Feuchtefelder auf kritische Bedingungen wird durchgeführt.
- Eine Bewertung der möglichen Schädigung der betroffenen Bauteile wird in der Diskussion der Simulationen der einzelnen Detailpunkte durchgeführt.
- Für die Beurteilung der Holzerstörung liegt mit dem o.a. Kriterium des Holzverlustes in Masse% nach Viitanen ein genaueres Modell vor, als die angeführte Ö-Norm bietet.

Überprüft wird das Erreichen eines eingeschwungenen Zustands, der dadurch definiert ist, dass der Jahresmittelwert der Gesamtwassermenge im Bauteil zwischen dem eingeschwungenem und dem folgenden Jahr um nicht mehr als 1,5 ‰ zunimmt, dadurch kann auch keine weitere Belastung von Bauteilen oder Grenzschichten auftreten, die bereits Kondensat speichern. Zusätzlich werden die Maximalwerte der Luftfeuchte auf überhygroskopische Feuchte geprüft und dieser Umstand ausgewiesen, um in diesen Bereichen das Anordnen potentiell durch Kondensat gefährdende Bauteile oder Stoffe (Gipsplatten, korrosionsgefährdende Metalle u.ä.) zu vermeiden. Gemeinsam mit der Beurteilung des Temperatur- und Feuchtefeldes und der gesamten Bauteilbeurteilung auf Basis der Simulation wird eine ausreichende Prüfung des Kriteriums überhygroskopische Feuchte erreicht. Im Folgenden sind Werte über 95 % relativer Luftfeuchte als überhygroskopisches Wasser und solche über 99 % als Kondensat definiert.

Mögliche Frostgefährdung der Außenbauteile

In der Simulation des ungestörten Wandbereichs werden die Anzahl der Frost-Tauwechsel und die Eisbildungswahrscheinlichkeit ermittelt. Die untersuchten Wärmebrücken sollten aufgrund höherer Temperatur in der Außenzone gegenüber dem ungestörten Wandaufbau ein günstigeres Verhalten aufweisen. Wird die Gefrierpunktttemperatur in einem Element der Simulation unterschritten und steigt im weiteren Verlauf wieder über 0 °C, so wird dies als ein Frost-Tauwechsel registriert. Für die Eisbildungswahrscheinlichkeit muss als Grenzbedingung zuerst der Gefrierkapillardruck überschritten werden, ab welchem Eis entstehen kann, wobei auch Unterkühlungen möglich sind. In Ermangelung von Messwerten wurde diesbezüglich in Delphin5 die Festlegung getroffen, dass erst bei einer Unterschreitung des Gefrierkapillardruckes um 25 % eine hundertprozentige Wahrscheinlichkeit vorliegt, dass sich Eis bildet. Diese Modelle für den Frost-Tauwechsel und die Eisbildungswahrscheinlichkeit sind erste Versuche die Frostgefährdung von Außenbauteilen in den instationären Simulationen zu beurteilen. Aufgrund nicht vorhandener, vergleichbarer Messdaten konnten diese Modelle jedoch noch nicht validiert werden, dementsprechend die Gefahr von Frostschäden nur qualitativ anhand von Vergleichen von Sanierungsvarianten eingestuft werden kann.

3.1.6 Beurteilung der Detailpunkte

Die Beurteilung der Detailpunkte auf der Grundlage des Berechnungs- und Simulationsprogrammes Heat2 (HEAT2) und unter Zuhilfenahme des Simulationsprogrammes Delphin5 (Delphin). Das Bewertungsverfahren orientierte sich an folgender Vorgangsweise:

- Erfassen der ursprünglichen Detailpunkte am Bestand (Bestandsaufnahme) mit Sichtbeurteilung und Studium der einschlägigen Literatur zu baualtertypischen Konstruktionen
- Entwickeln abstrakter, allgemeiner Detaillösungen am Bestand
- Entwickeln von Sanierungslösungen, Instationäre hygrothermische Simulation der Bauteile nach den angeführten Randbedingungen und Kriterien
- Instationäre hygrothermische Simulation der Bauteile nach den angeführten Randbedingungen und Kriterien
- Stationäre Wärmestromberechnungen für die Varianten mit dem besten und schlechtesten Wärmeschutz (U-Werte, linearer Wärmebrückenkoeffizienten (Ψ), Oberflächentemperaturfaktoren f_{Rsi})
- Diskussion und Beurteilung der Eignung und Anwendbarkeit der Detaillösung und eingesetzten Dämmsysteme

ungestörter Wandbereich

Da in ersten Simulationen das hygrische Verhalten der Dämmsysteme nicht eindeutig begründbar war, wurde für eine genauere Analyse der ungestörte Wandbereich für eine Rohbauwanddicke eindimensional instationär als Nordwand simuliert und dabei im engen Abstand um die Grenzfläche zwischen Bestand und Innendämmsystem mehrere Punkte im Mauerwerk und Dämmsystem hinsichtlich Temperatur und relativer Luftfeuchte ausgewertet. Diese Untersuchung bildet auch die Referenz für die übrigen Detailpunkte (vgl. Abb. (52) und Abb. (53).

Sowohl in der stationären als auch instationären Betrachtung besteht an der Innenoberfläche keine Schimmelgefahr, die Jahresmittelwerte der inneren Oberflächentemperatur folgen dem Wärmedurchlasswiderstand und liegen zwischen 19,90 °C (Calsitherm 08) und 20,60 °C (Multipor 12).

Während Multipor einen Jahresmittelwert der relativen Luftfeuchte von 74,85 % bei gleichzeitig geringster Temperatur und geringster absoluter Luftfeuchte aufweist, liegt das Jahresmittel der anderen bei ca. 90 % relativer Luftfeuchte. Weiters wurde für Multipor auch die geringste Gesamtwassermasse im Bauteil festgestellt und dies obwohl Calsitherm und iQ-Therm mit 8 cm Dämmdicke ein geringeres Volumen aufweisen. Der Jahresmittelwert der absoluten Luftfeuchte ist ebenfalls bei Multipor signifikant am niedrigsten, gefolgt von iQ-Therm und Calsitherm 12, sowie Cellulose und Calsitherm 08.

Beim System Calsitherm steigt die relative Luftfeuchte in der Kondensationsperiode bis an die Grenze des hygroskopischen Bereiches an und trocknet dann über die hohe Flüssigwasserleitfähigkeit wieder aus. Dabei profitiert die dünnere Dämmung, die eine raschere Rücktrocknung ermöglicht. Der im Vergleich zu den anderen Systemen höher diffusionshemmend wirkende Kleber behindert die Diffusion ein wenig und hält die Feuchte in der Dämmung. Das System mit dem signifikant geringsten Diffusionswiderstand ist Cellulose. Es weist trotzdem nur die dritthöchste Gesamtwassermenge aber aufgrund der niedrigen Temperatur an der Grenzfläche die höchste Porenluftfeuchte (Maximum 95,95 %) auf. Die sehr hohe Flüssigwasserleitfähigkeit im hohen hygroskopischen und im überhygroskopischen Bereich führt zu einer guten Rücktrocknung.

Das System iQ-Therm weist den höchsten Diffusionswiderstand auf, so dass sich keine überhygroskopische Feuchte bildet und die Gesamtwassermasse im Bauteil nach Multipor am geringsten ist. Die Flüssigwasserleitfähigkeit ist auf die Mörtelfüllung der Kanäle beschränkt. Beide Eigenschaften führen gemeinsam zu einer verzögerten Feuchtezunahme (Diffusionswiderstand) und einer verzögerten Rücktrocknung.

Bei den Dämmstoffen Calsitherm und Isocell-Cellulose ist mit überhygroskopischem Wasser im Bereich des Klebers bzw. des Bestandputzes zu rechnen, weshalb bei Durchdringungen und Einbauten in diesem Bereich die Verwendung feuchteempfindlicher Materialien gut überlegt sein will.

Im Außenputz nimmt durch die Innendämmung die überhygroskopische Feuchte zu, und zwar umso mehr, je höher der Wärmedurchlasswiderstand des Dämmsystems ist. Überhygroskopische Feuchte tritt dabei aber nur über einen Zeitraum von max. 2 Tagen auf, zu kurz um eine Folge von Feuchtetransportvorgängen aus dem Bauteilinneren zu sein. Es kann begründet angenommen werden, dass überhygroskopische Feuchte im Außenputz durch kurzfristige Einwirkungen aus dem Außenklima (Regen, Entstrahlung) ausgelöst wird, die Feuchtemasse aber durch die Innendämmung höher ist als ohne (Abb. (18)).

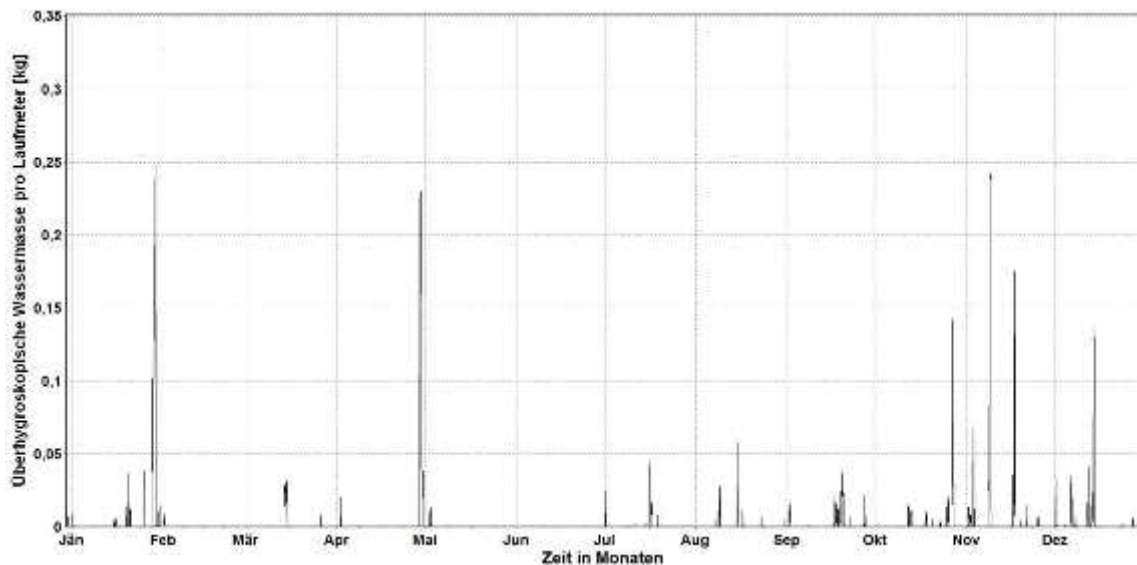


Abb. (18) *überhygroskopische Wassermasse im Außenputz von 12 cm Multipor für das eingeschwungene Jahr (ungestörter Wandbereich)*

Es wurden im Außenputz zahlreiche Frost-Tau-Wechsel sowie in der obersten Schicht bei allen Systemen eine Eisbildungswahrscheinlichkeit von 1, die im ungedämmten System nicht auftritt, festgestellt. Mangels Vergleichsdaten und messtechnischer Überprüfung können diese Werte aber nicht validiert und eingeordnet werden, da dieser Bewertungsansatz neu und in Entwicklung ist.

Im Hinblick auf die Gesamtwassermasse stellen Multipor 12 und iQ-Therm 08 im ungestörten Wandbereich die günstigsten Systeme dar, wobei Multipor eine vergleichsweise geringe Luftfeuchte aufweist. Beide Systeme haben zudem den höchsten Wärmeschutz. Alle untersuchten Systeme erweisen sich im ungestörten Wandbereich als geeignet, überhygroskopische Feuchte an der Grenzfläche tritt bei Calsitherm 08 und Cellulose 12 im Jahresmaximum auf.

Außenkante

Sowohl in der stationären wie instationären Betrachtung erwiesen sich die Systeme als schimmelfrei. In der Bestandsinnenkante herrschen aufgrund der Wärmebrückenwirkung tiefere Temperaturen. Die Kante ist umso wärmer, je höher der Wärmedurchlasswiderstand des Dämmsystems ist, wobei iQ-Therm zusätzlich von der hohen Querwärmeleitung über den Systemputz mit hoher Wärmeleitfähigkeit profitiert. Die absolute Luftfeuchte ist nahezu konstant.

An der Grenzfläche Bestand/Innendämmsystem lassen sich im Vergleich zum ungestörten Wandbereich relativ und absolut trockenere Werte trotz geringerer Temperatur feststellen, welche durch eine stärkere Rücktrocknung bzw. geringere Feuchtezunahme infolge vergleichsweise geringer Innenoberfläche oder das größere Volumen (Querverteilung der Feuchtemenge) begründet sind. Überhygroskopische Feuchte tritt im Vergleich zum ungestörten Wandsystem im eingeschwungenen Jahr nur mehr beim System Cellulose 12 auf, wo der Einbau feuchteempfindlicher Bauteile kritisch zu betrachten ist.

Im Außenputz ergibt sich bei allen Systemen überhygroskopische Feuchte, wobei wie im ungestörten Wandbereich ein kurzzeitiges Auftreten vermutet werden darf, da es in den Mittelwerten keine signifikanten Abweichungen gibt. Die geringste Feuchte an der Grenzfläche stellt sich beim System Multipor 12 gefolgt vom System iQ-Therm 08 ein. Alle Systeme können aber als geeignet für den Einsatz an der Außenkante bewertet werden.

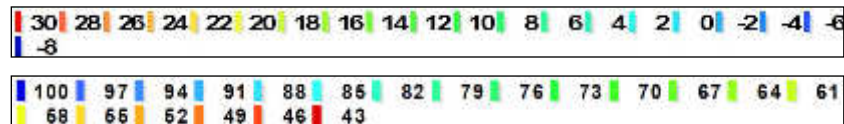


Abb. (19) Farbskalenlegende zur Beurteilung der Temperatur (oben) und relativen Luftfeuchte (unten) in den nachfolgenden Temperatur- und Feuchtefeldern

Seite 64 von 424

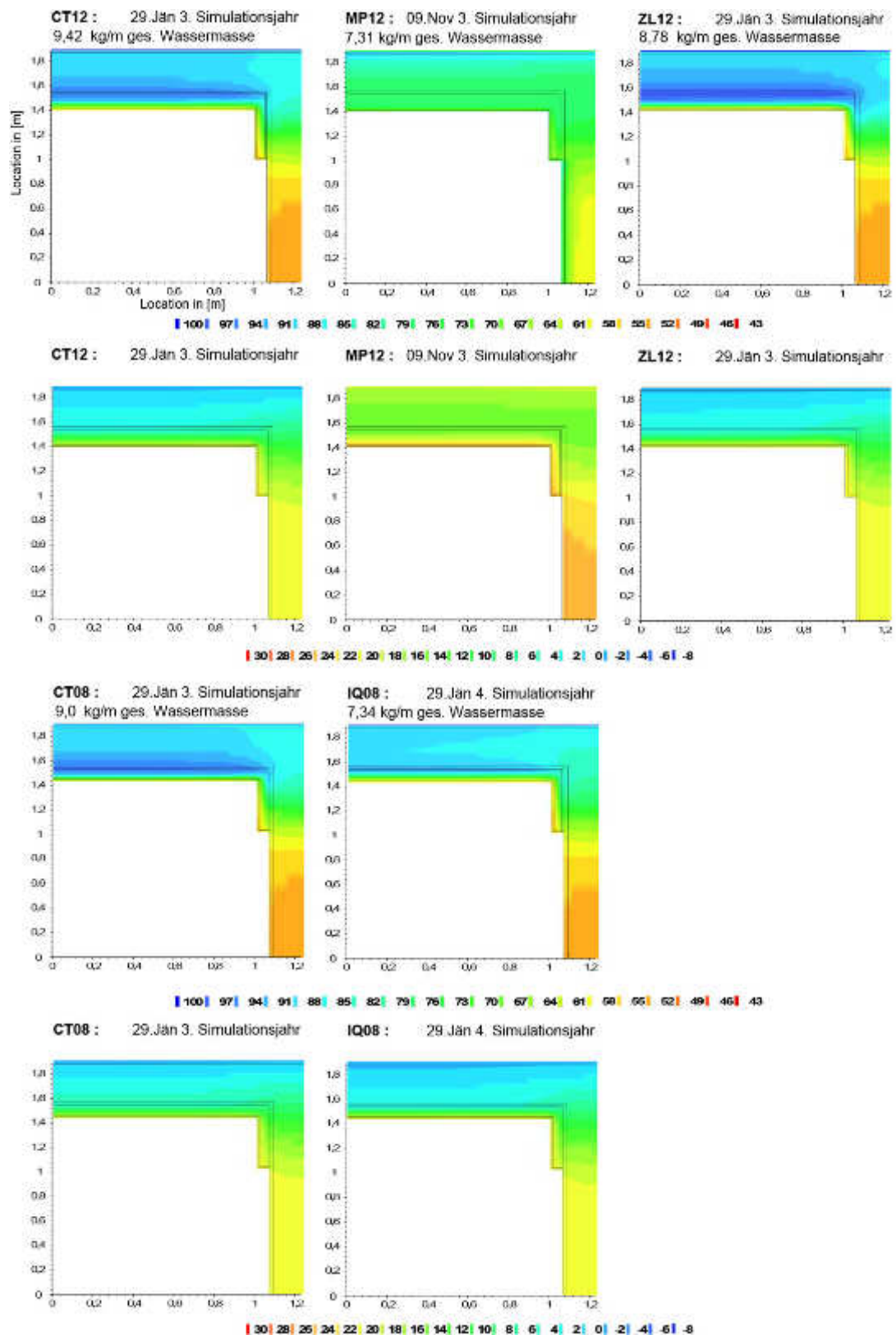


Abb. (21) Verlauf der relativen Luftfeuchte und der Temperatur im Bauteil am feuchtesten Tag im eingeschwungenen Jahr im Detail1 – Innenwandanschluss

Innenwandanschluss

Sowohl in der stationären wie instationären Betrachtung erwiesen sich die Systeme als schimmelfrei. Bedingt durch die Wärmebrücke der anschließenden Innenwand ist die Innenkante gegenüber der Oberfläche des ungestörten Wandaufbaus bei allen Systemen kühler, was zu einer lediglich unwesentlich höheren relativen Luftfeuchtigkeit führt. Bei iQ-Therm ist wieder der Einfluss der Querleitung über die Putzschicht und die dadurch höhere Temperatur zu erkennen.

An der Kante zwischen Bestandsinnenwand und Halsdämmung sind die Oberflächentemperaturen bei Calsitherm 12 und 08 etwas höher als im ungestörten Wandbereich, bei den restlichen Systemen geringfügig niedriger, was einerseits durch die Wärmedurchlasswiderstände der Halsdämmung und andererseits durch die Wärmequerleitung in die Bestandskante zu erklären ist.

Die Innenwand erwärmt die Bestandsinnenkante im Bauteil, sodass trotz erhöhter absoluter Luftfeuchte aufgrund Feuchtezutritts über die Stirnseite der Halsdämmung und die Innenwand geringere Jahresmittelwerte sowie Jahresmaxima und -minima der relativen Luftfeuchten als in den Grenzflächen der Außenkante und des ungestörten Bereiches auftreten. Die Temperaturen in P3 folgenden Wärmedurchlasswiderständen der Dämmsysteme. An der Grenzfläche liegt keine überhygroskopische Feuchte vor.

Alle Systeme erweisen sich als geeignet für den Anschluss einer Innendämmung mit Halsdämmung. Die erwünschte Wirkung der Halsdämmung im Hinblick auf höhere Innenoberflächentemperaturen in der Innenkante kann bestätigt werden, es kommt aber in Folge zu höherer absoluter Luftfeuchte in der Bestandsinnenkante, die jedoch unkritisch bleibt.

Taufanschluss - für den Traufanschluss wurden folgende Varianten untersucht

- Variante 1 - Traufe mit stumpf an die Geschossdecke anschließender Innendämmung
- Variante 2 a - wie Variante 1, jedoch oberseitige Dämmung aus Mineralwolle (Dicke 12 cm) bis zur Fußpfette
- Variante 2b - wie Variante 2a, jedoch zusätzliche, 5 cm dicke Mineralwolledämmung unter der Fußpfette
- Variante 3 - wie Variante 1, jedoch zusätzliche Innendämmung im Anschlussbereich an die Bestandsinnenkante unter der obersten Geschossdecke (Halsdämmung)

In der Diskussion der Ergebnisse wurden wo sinnvoll Vergleiche zwischen den Varianten, zum ungestörten Wandbereich, zur Außenecke und zum Innenwandanschluss mit Halsdämmung gezogen. Die Jahresmitteltemperatur ist in Variante 1 an der Innenkante beim System Multipor 12 am zweittiefsten (17,42 °C), der Maximalwert der relativen Luftfeuchte mit 94,41 % am höchsten, die Unterschiede der Maxima zwischen den Systemen jedoch gering. Eine genauere Auswertung über das eingeschwungene Jahr zeigt, dass die Maxima nur kurzfristig über 90 % liegen und keine überhygroskopische Feuchte vorkommt. Die thermisch verbesserten Varianten 2a und 2b weisen geringere Werte der relativen Luftfeuchte und höhere Temperaturen auf. Erwähnenswert ist, dass das System Multipor 12 den höchsten Wärmedurchlasswiderstand aufweist, und trotzdem einen vergleichsweise niedrigen Jahresmittelwert der Temperatur an der Innenkante. Dies ist Folge einer Überlagerung von Strahlungswärmeverlusten zur Bestandsinnenkante, die natürlich bei Systemen mit hohem Wärmedurchlasswiderstand besonders kühl ist, und der Querwärmeleitung über den Putz von der Fläche in die Kante.

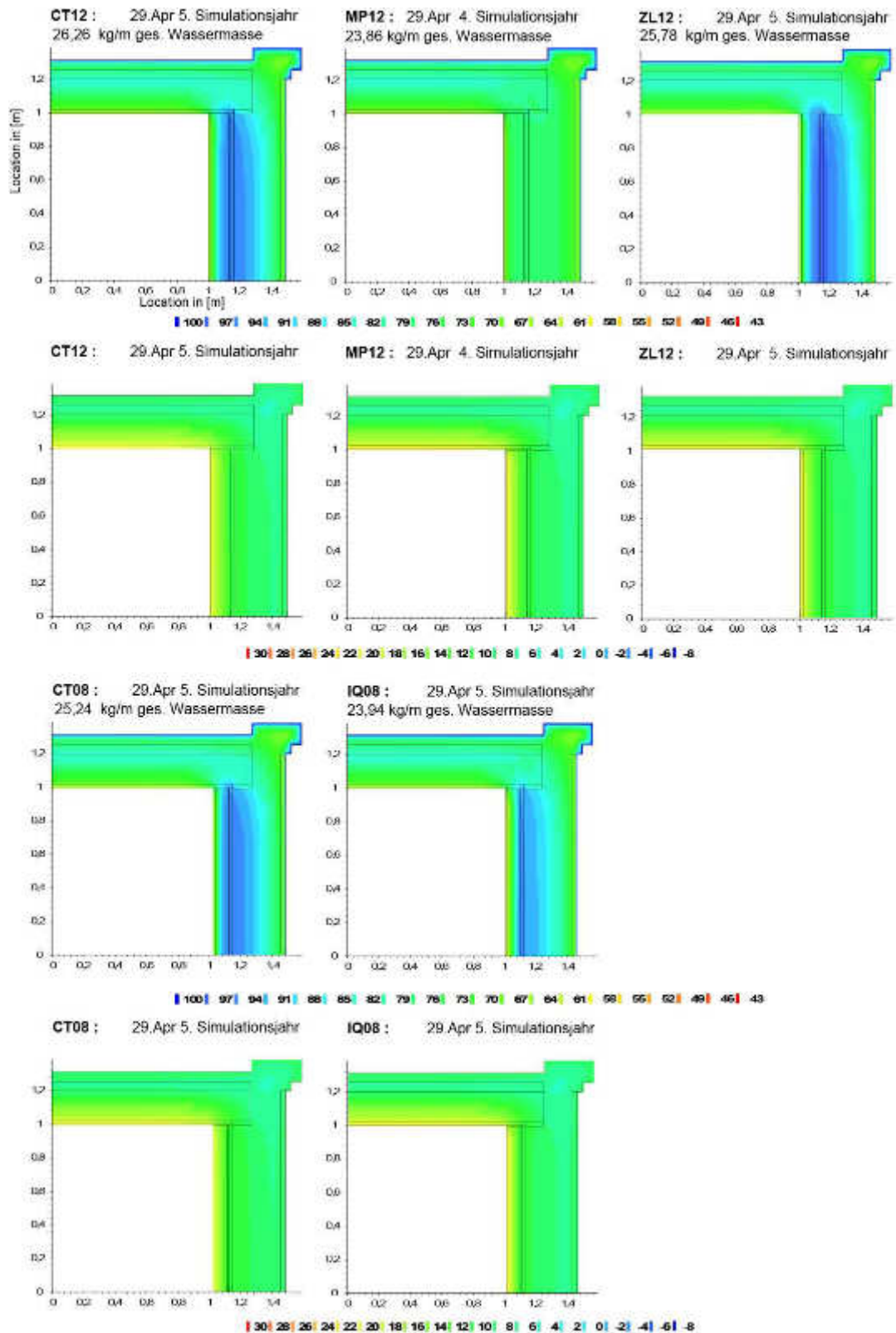


Abb. (22) Verlauf der relativen Luftfeuchte und der Temperatur im Bauteil am feuchtesten Tag im eingeschwungenen Jahr im Detail Traufe - Variante 1

Innenoberfläche

In Variante 3 entfällt die luftgefüllte Fuge in der Innenkante und der Deckenanschluss ist zusätzlich gedämmt, was insgesamt die höchsten Temperaturen in der Innenkante ergibt. Die Reihung der Systeme folgt dabei einer Kombination aus Wärmedurchlasswiderstand des Systems in Wärmestromrichtung und Dicke in der Halsdämmung und Querwärmeleitung über den Systeminnenputz. Hier wurde mit 87,06% bei Calsitherm 08 der höchste Maximalwert der relativen Feuchte und mit 18,70 °C die niedrigste Innenkantentemperatur festgestellt. An der inneren Kante von Halsdämmung und Bestandsdeckenputz ist die Temperatur primär abhängig vom Wärmedurchlasswiderstand der Halsdämmung, überlagert vorwiegend von der Wärmeleitung über die Bestandsdecke, den Bestandsdeckenputz und den Systemkleber in die Bestandsinnenkante. Davon profitiert Cellulose, da dort der Kleber entfällt und somit die geringsten Wärmeverluste und höchsten Temperaturen und geringste relative Luftfeuchte (Jahresmittelwert Temperatur 19,16 °C, Maximum relative Luftfeuchte 83,76 %) auftreten, während Multipor die tiefste Temperatur (Jahresmittelwert 18,95 °C) und Calsitherm 08 das höchste Maximum der relativen Luftfeuchte (86,30 %) aufweisen. Diese Kante ist aufgrund des Abstands zur Außenkante mit Ausnahme von Multipor und iQ-Therm wärmer als die Innenkante, wo der Wärmeschutz in der Kante wirksamer als der Abstand zur Außenkante und die Innenkante wärmer ist.

Im dynamisch berechneten Schimmelindex nach Viitanen weist keines der Systeme eine Gefährdung auf. In der stationären Betrachtung zeigt die Variante 1 kritische Oberflächentemperaturen an der Innenkante. Die absolute Feuchte ist über alle untersuchten Punkte an der Innenoberfläche nahezu gleich, so dass die Temperatur maßgeblich für die Werte der relativen Luftfeuchte ist.

Die Simulationsdauern bis zum eingeschwungenen Jahr sind aufgrund des Einflusses der feucheträgeren Holzmassivdecke mit Ausnahme Variante 2 länger als im ungestörten Bereich, in der die Dämmung dazu führt, dass die Holzmassivdecke stärker vom Außenklima abgekoppelt ist.

Die Holzmassivdecke nimmt generell nur wenig am Feuchteaustausch teil, weswegen die absolute Feuchte im Vergleich zum ungestörten Wandbereich in Variante 1 zunimmt. Da die Rücktrocknung wesentlich über das Innendämmungssystem erfolgt und das System feuchter ist, weisen die Systeme mit hoher Flüssigwasserleitfähigkeit im hohen Feuchtebereich tendenziell eine bessere Performance auf. Multipor ist weiterhin am trockensten, Cellulose relativ und Calsitherm 08 absolut am feuchtesten, iQ-Therm liegt in den Werten nahe an Calsitherm 12. Die Temperatur ist aufgrund der Querwärmeleitung im Deckenbereich höher als in Außenkante und ungestörtem Wandbereich, die Werte der relativen Luftfeuchte daher trotz höherer absoluter Luftfeuchte niedriger.

Es kann also vermutet werden, dass das Detail zumindest in Variante 1 länger feucht ist, als der ungestörte Wandbereich und die Außenkante. In Variante 1 ist die Bestandsinnenkante nicht der feuchteste Punkt im System, sondern dieser aufgrund des Einflusses der Holzmassivdecke nach innen in die Dämmung verschoben.

Mit besserem Wärmeschutz in Variante 2 sinkt die Gesamtwassermasse im Bauteil aufgrund verringerter relativer Luftfeuchte und Sorption bei geringfügig höherer absoluter Luftfeuchte in der Bestandsinnenkante, die vermutlich nur deshalb auftritt, weil diese nun wieder der feuchteste Punkt ist. Die Dämmung der Geschossdecke wirkt sich günstig auf Temperatur und Feuchte aus, wobei die Unterschiede zwischen Variante 2a und 2b erkennbar, aber geringfügig sind.

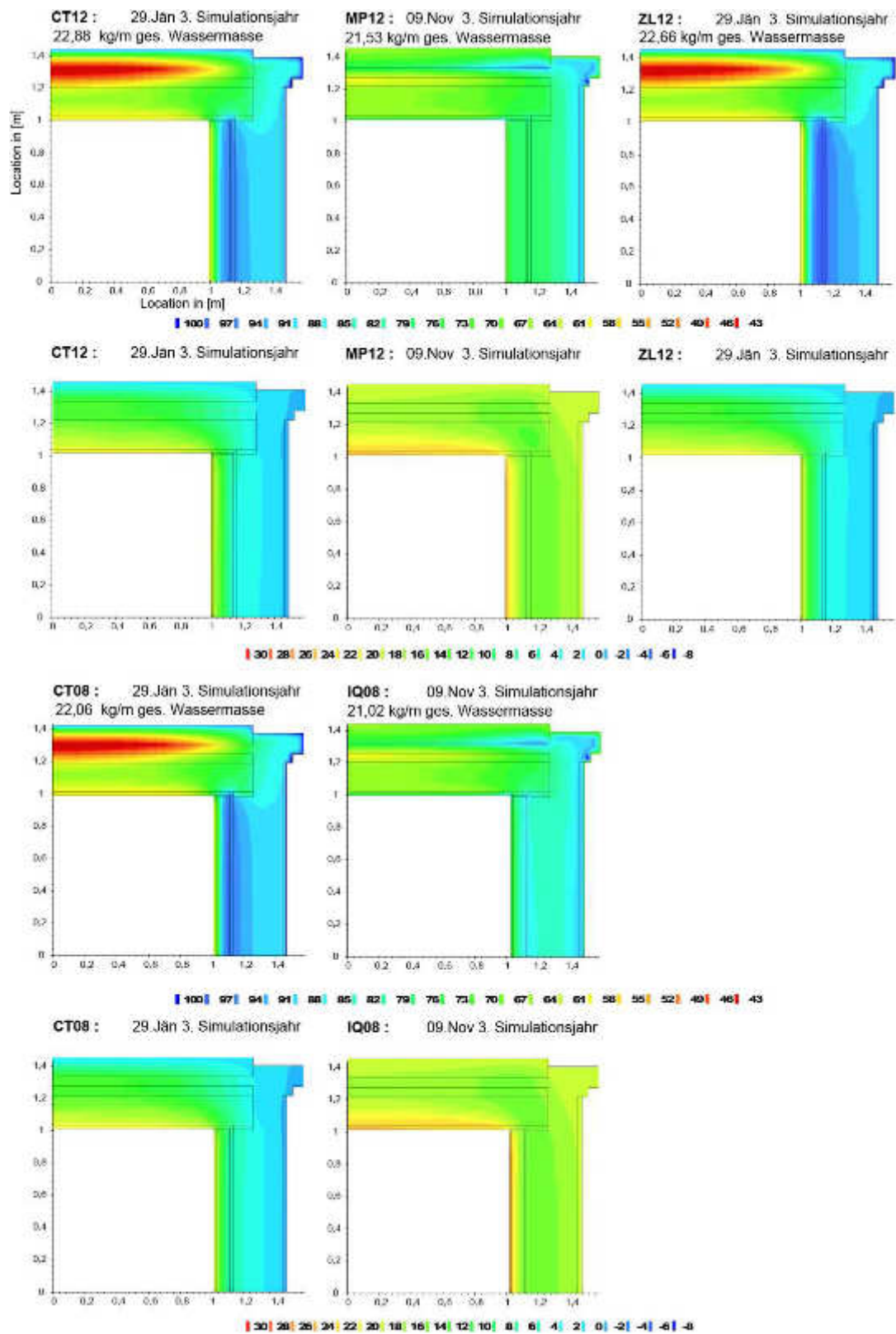


Abb. (23) Verlauf der relativen Luftfeuchte und der Temperatur im Bauteil am feuchtesten Tag im eingeschwungenen Jahr im (Detail Traufe- Variante 2a

Die Verbesserungen in Variante 2b weisen aber nach, dass eine außenliegende Dämmung sinnvollerweise soweit über die Wärmebrücke gezogen werden sollte, wie möglich. In Variante 2 ergibt sich die vermeintlich paradoxe Situation, dass die Systeme iQ-Therm 08 und Multipor 12 trotz höherer Temperaturen im Vergleich zu den anderen Systemen eine höhere Feuchte im Ziegelbelag und in der Mineralwolle in Form einer Feuchtelanze zum Gesimsrand hin aufweisen, was eine Folge widriger Außenklimabedingungen im November ist, auf die die trockenen Systeme sensibel reagieren.

Diese Feuchtelanze entsteht durch die nach innen und unter verschobenen äußeren Feuchte-maxima im Mauerwerk, die an die Stirnseite der Mineralwollendämmung stoßen und diese auffeuchten, und könnte leicht durch eine kapillar- und dampfsperrende Trennlage unterbunden werden.

Bauteilinneres

In Variante 3 werden in der Bestandsinnenkante aufgrund des Diffusionswiderstands der Halsdämmung durchgehend geringere Werte der absoluten Luftfeuchte als in Variante 1 erreicht. Dadurch wird auch das Auflager der Rastlade trockener und die massebezogene Holzfeuchte sinkt. Die Halsdämmung führt bei Cellulose und in geringerem Maß bei Calsitherm aber zu einer moderaten Zunahme der relativen Luftfeuchte im Auflagerbereich der Holzmassivdecke. Durch die Grenzschicht der Halsdämmung wird die Deckenunterkante in den Feuchtetransport einbezogen, was einerseits zu einer stärkeren Beteiligung der Holzmassivdecke an der Auffeuchtung bei Cellulose 12 andererseits zu einer Verlagerung des feuchtesten Punktes bei den Systemen Calsitherm in die Dämmung führt.

Die im Detail weiter außen liegenden Punkte folgenden Tendenzen an der Bestandsinnenkante mit verringerter Temperatur und Feuchte, wobei mit zunehmendem Abstand zur Innenkante die Werte sich in den unterschiedlichen Details annähern und zunehmend von den Außenbedingungen bestimmt werden.

Generell ergibt sich ein ähnliches Bild wie bei den bisherigen Details: Multipor 12 weist die signifikant geringste relative und absolute Luftfeuchte auf, gefolgt vom iQ-Therm 08. Cellulose 12 ist tendenziell relativ, Calsitherm 08 absolut am feuchtesten.

Überhygroskopische Feuchte im Dämmsystem

Überhygroskopische Feuchte konnte an keinem der untersuchten Punkte bei keinem System festgestellt werden. Aufgrund der hohen Maximalwerte der relativen Luftfeuchte ist der Einsatz feuchteempfindlicher Bauteile an der Grenzschicht bei allen Systemen außer Multipor und in Variante 3 lediglich bei Cellulose 12 kritisch zu hinterfragen. Dabei muss in Variante 1 und 3 der Umstand in Betracht gezogen werden, dass die feuchtesten Punkte nicht immer in der ausgewerteten Stelle zu finden sind.

Holzbauteile

Der Holzzerstörungsindex nach Viitanen weist bei keinem der Systeme Holzzerstörung aus. Hinzu kommt, dass das Eichenholz, aus dem das Auflager (Rastlade) zumeist besteht, nach ÖN EN 350 Teil 2 durch eine höhere Dauerhaftigkeit gegenüber holzzerstörenden Pilzen charakterisiert ist, was die Wahrscheinlichkeit von Holzzerstörung weiter minimiert.

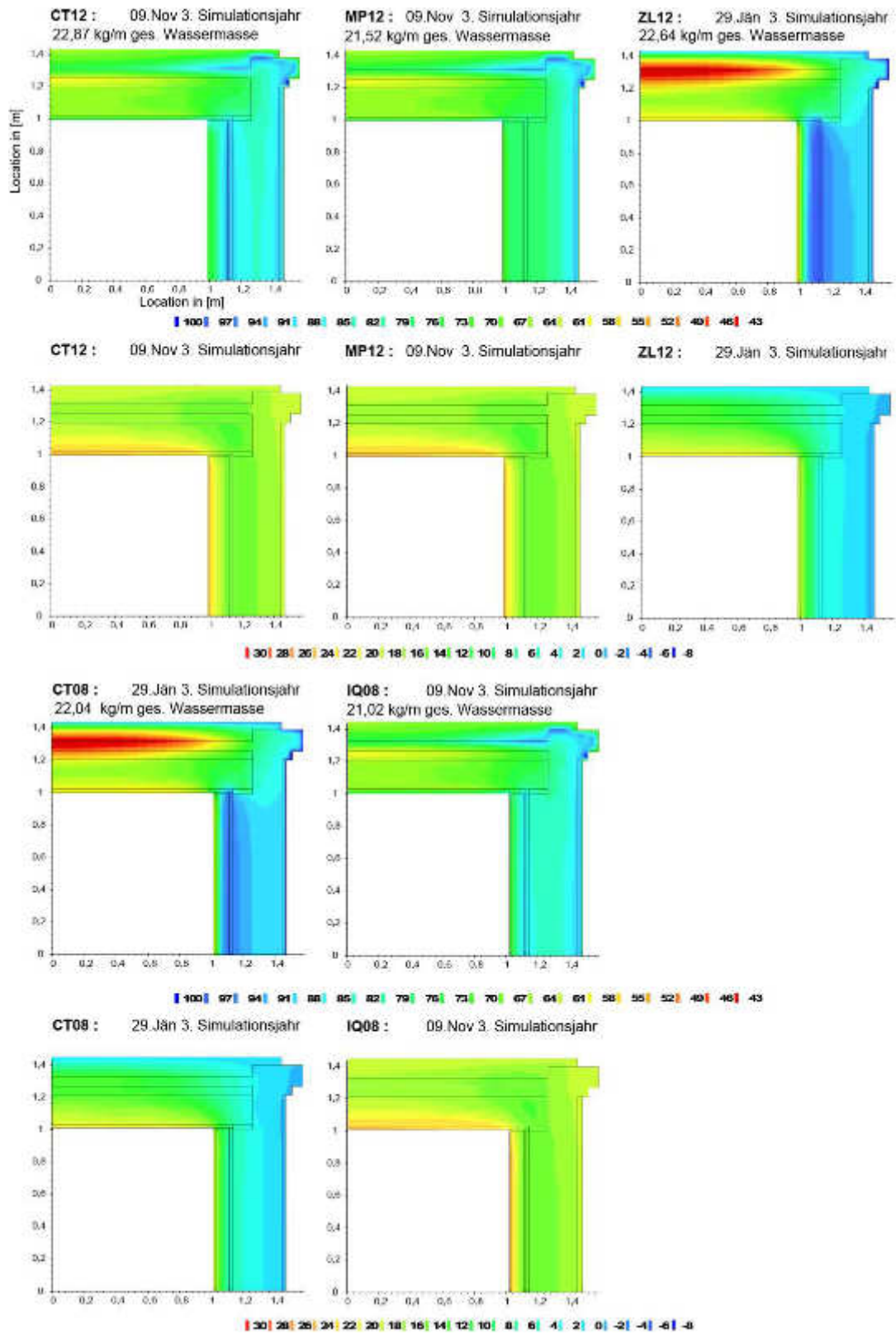


Abb. (24) Verlauf der relativen Luftfeuchte und der Temperatur im Bauteil am feuchtesten Tag im eingeschwungenen Jahr im Detail Traufe Variante 2b

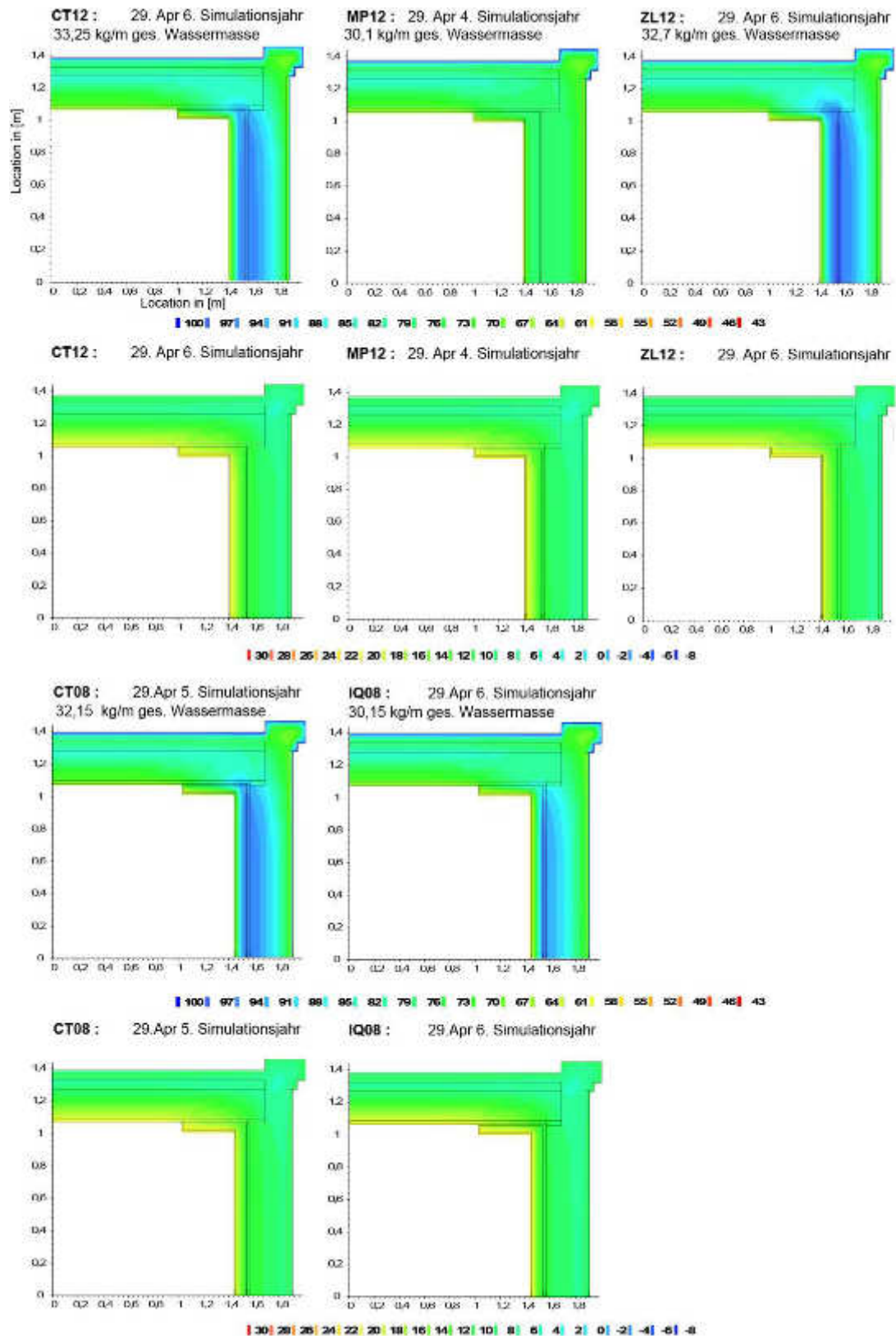


Abb. (25) Verlauf der relativen Luftfeuchte und der Temperatur im Bauteil am feuchtesten Tag im eingeschwungenen Jahr der 8 cm Dämmungen im Detail Traufe Variante 3

Abgesehen von Multipor ist die maximale massebezogene Holzfeuchtigkeit in Variante 1 bei allen Dämmsystemen höher als 20 M% (siehe Tab. (47)), was nach EN 335 Teil 1, Anhang A der unterste Grenzwert für Schimmelwachstum ist. In den Varianten 2 ist die Holzfeuchte geringfügig geringer, in Variante 3 wird auch bei iQ-Therm 08 eine maximale massebezogene Holzfeuchtigkeit von weniger als 20 M% erreicht.

Trotz der bestätigten Unbedenklichkeit im dynamischen Modell nach Viitanen sollte zumindest die Entwicklung der Anerkennung dieses Systems in der Fachwelt beobachtet werden, um die positive Beurteilung der Simulationsergebnisse erhärten zu können oder ev. in Folge in Frage stellen zu müssen.

Zusammenfassende Bewertung

Für alle Systeme kann in allen untersuchten Detailpunkten bei den gegebenen Randbedingungen die Eignung bestätigt werden.

Hinsichtlich Schimmelbildung auf der Innenoberfläche sind alle Systeme unkritisch, mit Ausnahme in Variante 1 sogar im kritischen stationären Nachweis nach Oberflächentemperaturfaktor. Bezüglich Bauteilfeuchte stellt im Gegensatz zu den anderen bislang besprochenen Detailpunkten Multipor 12 das generell trockenste System bei höchstem Wärmedurchlasswiderstand dar, das auch unbedenkliche Werte der massebezogenen Holzfeuchtigkeit für den instationären Grenzwert nach ÖN EN 335 Teil 1, Anhang A aufweist.

iQ-Therm 08 ist nach wie vor das zweittrockenste System bei ebenfalls hohem Wärmedurchlasswiderstand, wobei aufgrund des Entfalls einer Flanke zur Rücktrocknung der Systemvorteil nicht mehr so ausgeprägt ist.

Cellulose 12 weist hohe Maximalwerte der relativen Luftfeuchte an der Bestandsinnenkante auf, was im Vergleich zu Calsitherm dem höherem Wärmeschutz geschuldet ist. Alle drei Systeme weisen eine signifikant hohe Holzfeuchte und Auffeuchtung der Holzmassivdecke im Auflagerbereich mit Ausnahme in Detailvarianten 2 auf.

Im Vergleich der Detailvarianten zeigt Variante 3 die beste Performance im Hinblick auf geringe Holzfeuchte und hohe Innenoberflächentemperaturen. Für die Bedingungen im Bauteil weist Variante 2 die besten Bedingungen auf, wobei die Dämmung des Randbereichs in Variante 2b zwar nur geringe Wirkung aber eine grundsätzlich Eignung solcher Maßnahmen zeigt.

In keinem der untersuchten Detailpunkte konnte Holzerstörung festgestellt werden, wobei öfter Werte nahe oder über der kritischen massebezogenen Holzfeuchte von 20 M% nach EN 335 Teil 1, Anhang A erreicht und gesondert ausgewiesen wurden.

Treppenpodestanschluss

In Variante 1 dieses Anschlusses schließt die Innendämmung oben und unten stumpf an das Treppenpodest an, wobei mit Ausnahme Cellulose oben eine luftgefüllte Anschlussfuge und bei allen Systemen unten eine Mineralwolletrennlage simuliert wurden. Es entsteht an der inneren Bauteiloberfläche im Zeitraum von Oktober bis Mai mehrmalig und kurzfristig überhygroskopische Feuchte (s. Abb. (28)) und es werden die Kondensatbedingungen ebenfalls mehrmals erreicht. Der Schimmelindex nach Viitanen weist jedoch kein Schimmelwachstum aus.

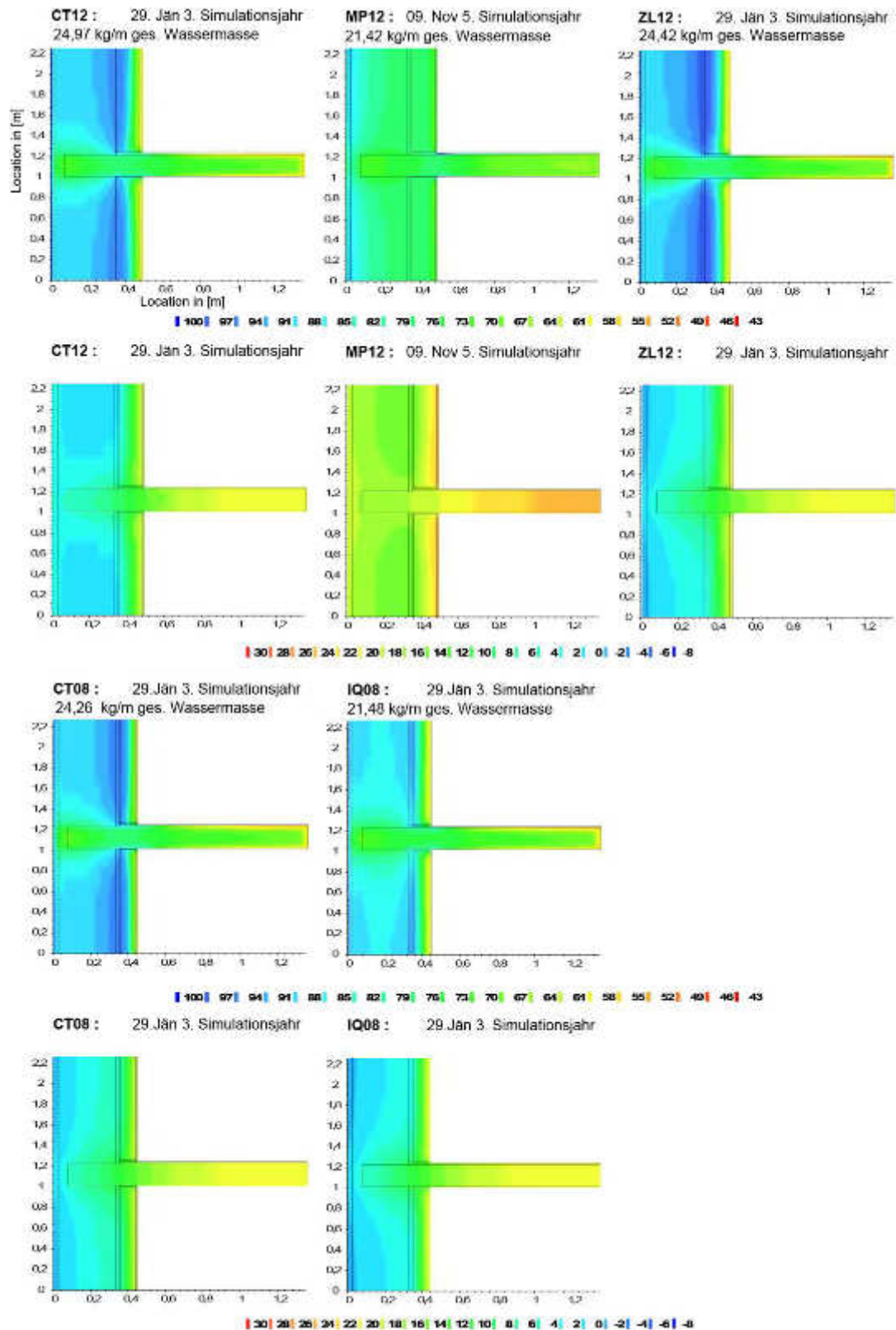


Abb. (26) Verlauf der relativen Luftfeuchte und der Temperatur im Bauteil am feuchtesten Tag im eingeschwungenen Jahr im Treppenpodest - Variante 1

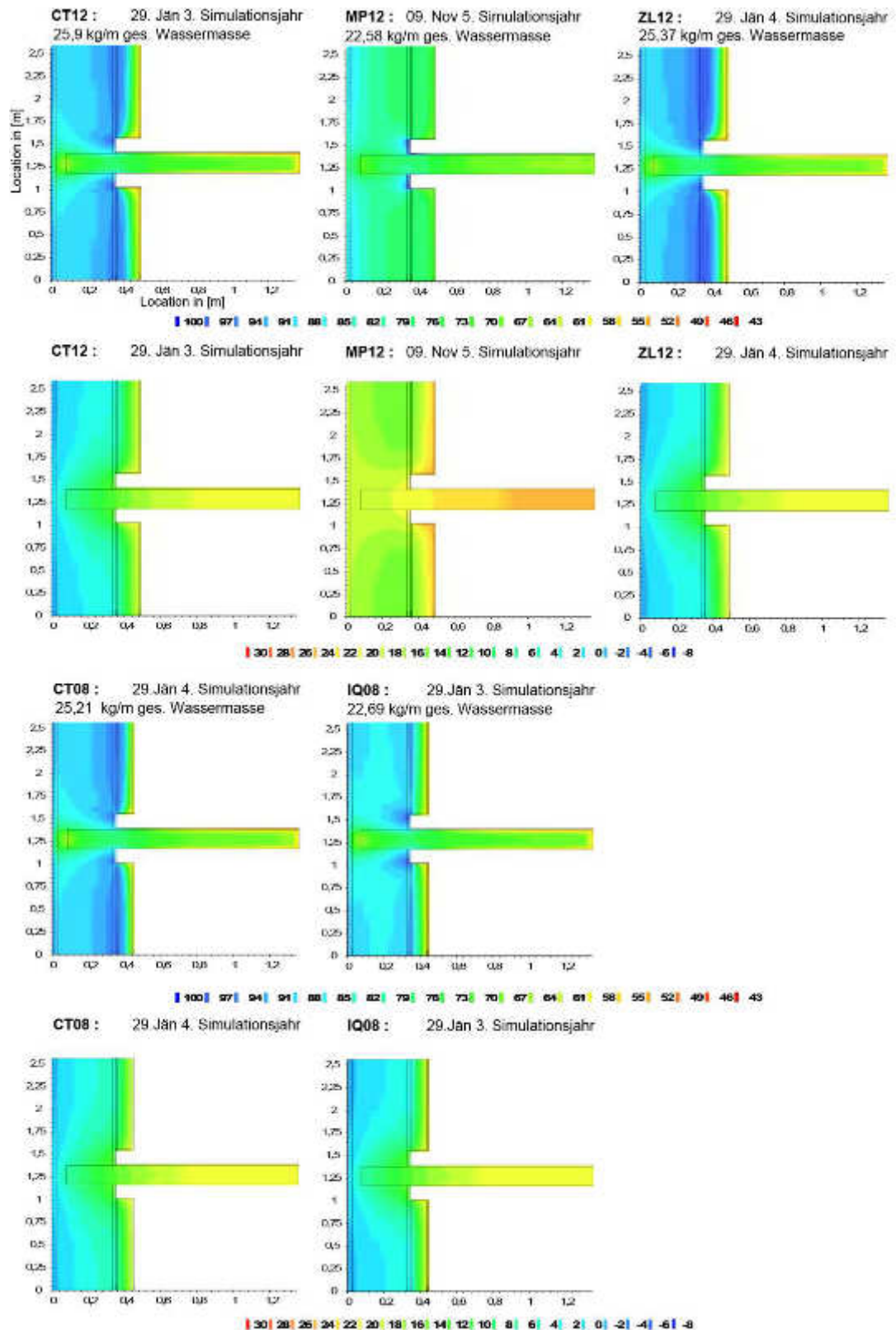


Abb. (27) Verlauf der relativen Luftfeuchte und der Temperatur im Bauteil am feuchtesten Tag im eingeschwungenen Jahr im Treppenpodest - Variante 2

Trotzdem sollten so hohe Werte der relativen Luftfeuchte nicht unkritisch gesehen und keine feuchteempfindlichen Bauteile (z.B. Abschlussprofile) eingesetzt werden sowie jede weitere Abkühlung durch unzureichende Beheizung oder mangelnde konvektive Erwärmung vermieden werden. Im stationären Nachweis liegen Kondensatbedingungen vor.

Im Bauteilinneren verhält sich die Grenzfläche analog dem ungestörten Wandbereich, allerdings sind sowohl die Temperaturen aufgrund der Wärmebrücke als auch die Werte der absoluten Luftfeuchte höher, was durch den verringerten Diffusionswiderstand der Anschlussfugen erklärt werden kann. Es entsteht in keinem der Punkte überhygroskopisches Wasser, wobei eine höhere Dicke des Mineralwolltrennstreifens zwischen Dämmsystem und Podest für das System Cellulose 12 kritische Bedingungen erzeugen würde.

Cellulose 12 weist auch als einziges System über einen längeren Zeitraum in der Kondensationsperiode im Bauteil überhygroskopisches Wasser auf, das allerdings zuverlässig rücktrocknet. An der Stirnfläche der Podestplatte prägt bereits das Außenklima die Verhältnisse, dem leichte Modulierungen durch die Bedingungen an der Grenzfläche überlagert sind.

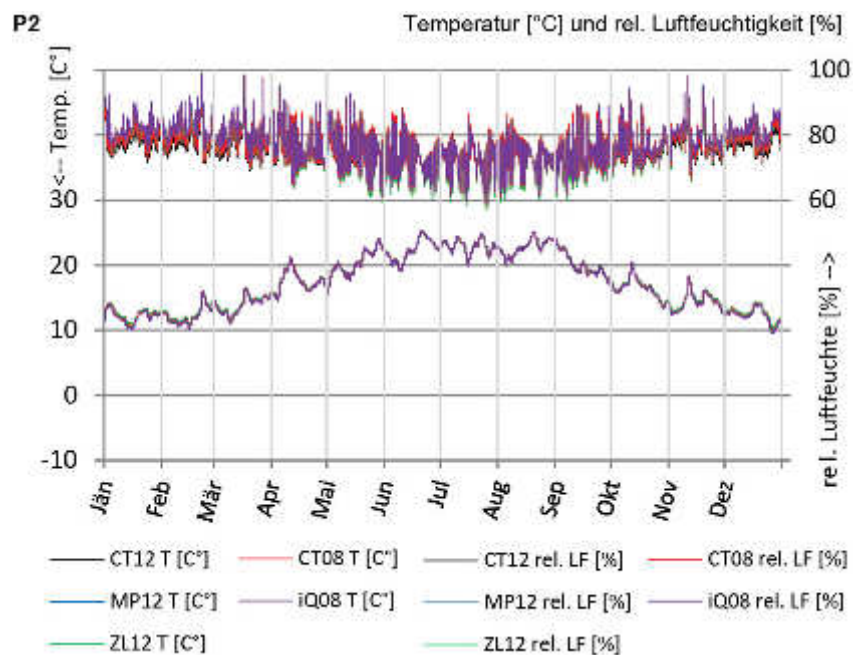


Abb. (28) *eingeschwungener Jahresverlauf der Temperatur und rel. Luftfeuchte an der Oberfläche in P2 (Treppenpodest Variante 1)*

Die Ausführung nach Variante 1 ist für alle untersuchten Systeme grundsätzlich geeignet, die Reihung der Systeme nach der auftretenden Luftfeuchte entspricht dem ungestörten Bereich, wobei die Wärmebrücke den Unterschied zwischen den Systemen nivelliert.

Variante 2 erweist sich aufgrund der kritischen Bedingungen an der Innenoberfläche als unbrauchbar.

Anhand des Treppenpodestes kann gezeigt werden, dass Innendämmungssysteme auch bei kritischen Wärmebrücken sinnvoll eingesetzt werden können. Die Bedingungen im Anschlussbereich der Innendämmung an die Wärmebrücke sind an der Oberfläche und an der Grenzfläche günstiger als bei der Ausführung mit abgesetzter Innendämmung.

Nimmt man diese Ausführung nach Variante 2 als Modell für den Bestand (was angesichts der Dominanz der Wärmebrücke möglich scheint), sollte die Innendämmung sogar bessere, zumindest aber nicht schlechteren Bedingungen im Anschlussbereich zur Wärmebrücke als der Bestand bieten. Die trotzdem nicht gänzlich unkritischen Bedingungen z.B. beim System Cellulose 12 sowie die niedrigen Temperaturen sollten sinnvollerweise durch eine Sanierung der Wärmebrücke an der Außenseite verbessert werden, wie das bereits am Traufdetail in Variante 2b als sinnvoll nachgewiesen wurde.

Traversenkappendeckenanschluss als Zwischengeschossdecke

In diesem Detail wird eine Traversenkappendecke als Trenndecke zwischen zwei beheizten, innen gedämmten Geschossen untersucht, wobei die Rohbauwanddicke über der Decke 30 cm und unter der Decke 50 cm beträgt.

Die beiden Punkte an der Bauteiloberfläche weisen aufgrund der Wärmebrücke geringere Temperaturen auf, als der ungestörte Wandbereich. Sie sind prinzipiell höher, je höher der Wärmedurchlasswiderstand des Dämmsystems ist, wobei Wärmeaustauschvorgänge an den Anschlussfugen überlagert sind. Die absolute Feuchte divergiert vermutlich durch Sorptionsvorgänge abhängig von Temperatur und relativer Luftfeuchte bedingt, gering zum ungestörten Wandbereich. Die Jahresmittelwerte und -maxima der relativen Luftfeuchte an der Anschlusskante des Innendämmsystems an den Fußboden sind höher als im ungestörten Wandbereich, liegen aber im unkritischen Bereich. Im Deckenanschluss erreichen die Systeme Multipor mit einem Maximum von 94,51 % relativer Luftfeuchte und iQ-Therm 08 mit 94,15 % einen Wert nahe an der überhygroskopischen Grenze (s. Abb. (30)). Die Kontrolle des Jahresverlaufs zeigt kurzfristige Spitzen, die jedoch augenscheinlich den überhygroskopischen Bereich nicht erreichen. Sowohl der Schimmelindex nach Viitanen als auch der stationäre Nachweis nach ÖN B8110, Teil 2 weisen keine Schimmelgefahr nach.

Der Deckenanschluss der Grenzfläche ist aufgrund der anschließenden dickeren Wand des unteren Geschosses wärmer, die restlichen Punkte sind kälter als die Vergleichsebene im ungestörten Wandbereich. Alle Punkte im Bauteile mit Ausnahme der Grenzfläche zum Trennstreifen zum Fußboden weisen geringere Werte der relativen Luftfeuchte auf, dieser Punkt ist mit Ausnahme Cellulose 12 geringfügig feuchter. Multipor 12 weist über alle Punkte eine erhöhte relative Luftfeuchte auf, was dem sensiblen Verhalten des Systems auf geringfügige Einflüsse wie verstärkte Sorption durch erhöhte relative Luftfeuchte bzw. geringe Zunahme der absoluten Luftfeuchte zuzuschreiben ist. Insgesamt kann jedoch festgestellt werden, dass die Analyse der Punkte im Bauteilanschluss im Wesentlichen das dem ungestörten Wandbereich analoge Verhalten ergibt: das trockenste System ist mit Abstand Multipor 12, gefolgt von iQ-Therm, dass trotz hohen Diffusionswiderstandes jedoch nur mehr wenig Abstand zu den Systemen Calsitherm zeigt. Hier wirkt sich die relativ höhere Feuchtezunahme an der Grenzfläche bei iQ-Therm aufgrund der geringeren Dicke und der Feuchtetransportvorgänge am Rand der Innendämmung nivellierend aus.

Cellulose 12 ist weiterhin das relativ feuchteste System, liegt aber trotz sehr geringen Diffusionswiderstandes nahe an den Systemen Calsitherm, die ein tiefes Eindringen der Auffeuchtung an der Grenzfläche in das angrenzende Mauerwerk und als einziges System am feuchtesten Tag eine Verbindung der Feuchtefelder der beiden Randzonen der Innendämmungen zeigen. Diese Verteilung der Feuchte über eine größere Fläche wirkt bedämpfend auf die Differenzen der absoluten Feuchte zum ungestörten Wandbereich.

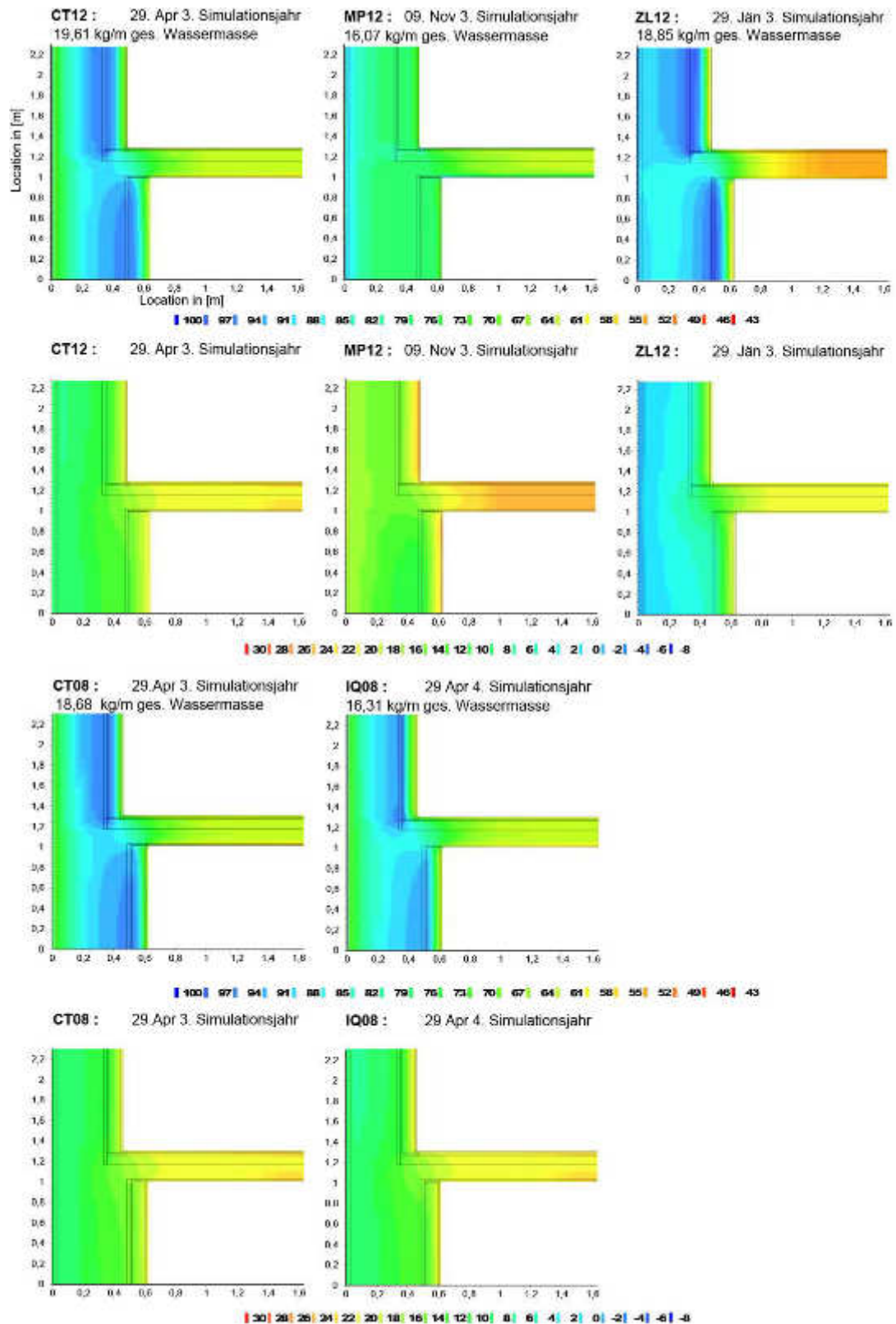


Abb. (29) Verlauf der relativen Luftfeuchte und der Temperatur im Bauteil am feuchtesten Tag im eingeschungenen Jahr an der Traversenkappendecke als Zwischengeschossdecke

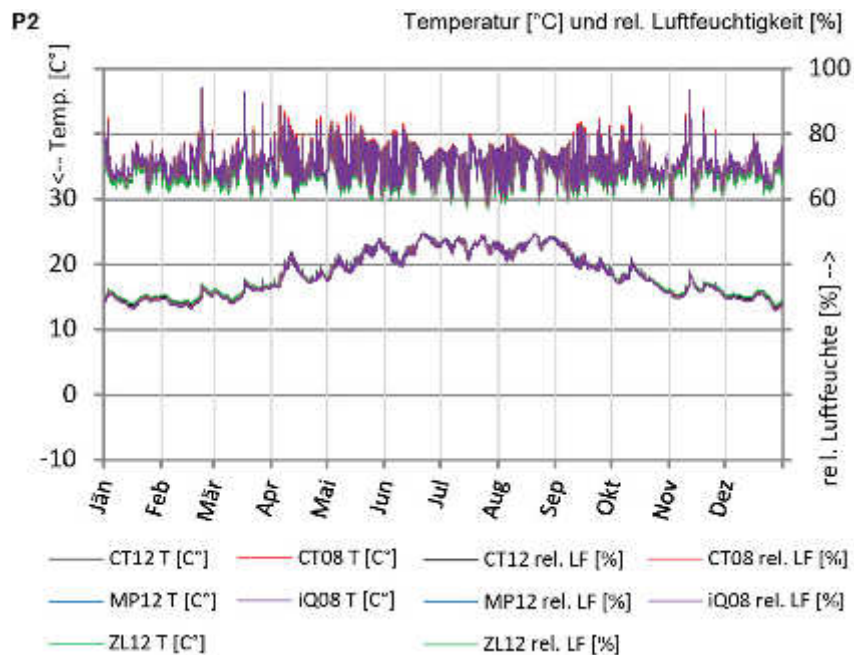


Abb. (30) *eingeschwungener Jahresverlauf der Temperatur und rel. Luftfeuchte an der Oberfläche in P2 (Traversenkappendecke/ Zwischengeschoßdecke - Detail 4 Variante 1a)*

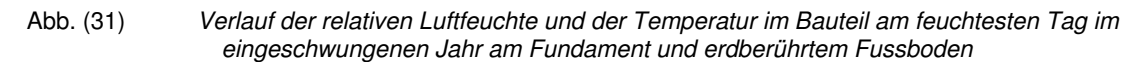
An den Feuchtefelder lässt sich erkennen, dass durch den Einfluss der Übergangszone zwischen dickerer Außenwand und Traversenkappendecke ein Trocknungseffekt aufgrund der größeren anschließenden Mauerwerksfläche entsteht, der das Feuchtemaximum aus dem Anschlusspunkt Grenzfläche zu unterem Trennstreifen nach oben verlagert, wobei möglicherweise bei Cellulose 12 in dieser Zone überhygroskopische Feuchte entsteht.

In den restlichen Punkten im Bauteil ist dieser Effekt nicht zu beobachten, allerdings weisen die Maxima der relativen Luftfeuchte bei Calsitherm 12, Cellulose 12 und Calsitherm 08 überhygroskopische Feuchte und bei iQ-Therm 08 grenzwertige Daten aus. Der Einbau feuchteempfindlicher Bauteile im Bereich ist mit Ausnahme des Systems Multipor nicht zu empfehlen. Für den angrenzenden Holzfußboden bestehen unkritische Bedingungen.

Anschluss Fundament und erdberührter Fußboden

In diesem Detail wird der Anschluss von Innendämmungssystemen an den erdberührten Fußböden mit geringem Wärmeschutz untersucht, wie er bei einem gänzlich aus dem Erdreich ragendem, nicht unterkellertem Erdgeschoss möglich ist. Die Außenwand wurde mit einer Rohbauwanddicke von 65 cm angenommen, der Fußboden besteht aus einer Betonplatte mit Betonestrich. Das Erdreich wurde gemäß den Randbedingungen so simuliert, dass 50 cm unter der Fundamentunterkante die aus einer gesonderten Simulation gewonnenen Eingangsdaten angesetzt wurden.

An der Schnittkante Fußbodenoberkante und Systemputzinnenoberfläche überlagert der Einfluss der Wärmebrücke die Wirksamkeit der Innendämmung in so hohem Maß, dass zur durch die Innendämmung abgekühlten Grenzfläche so viel Wärme abfließt, dass deren Bedingungen bis zur Oberfläche durchschlagen.



Das System mit dem höchsten Wärmedurchlasswiderstand wird an der Oberfläche zum kältesten System und umgekehrt. Dies führt zu Maxima der relativen Luftfeuchte, die gänzlich im überhygroskopischen Bereich nahe der Grenze zum Kondensat liegen. Wie aus dem Jahresverlauf zu erkennen ist, wirken diese Bedingungen über einen längeren Zeitraum im Frühjahr (Abb. (32)).

An der adiabaten Schnittstelle der Fußbodenkonstruktion an der Innenoberfläche ergibt sich ebenfalls trotz hoher Jahresmittelwerte der Temperatur überhygroskopische Feuchte in den Maxima. Die Innenoberfläche am Fußboden und in der Kante zwischen Fußboden und Systemputz weist daher kritische Werte auf.

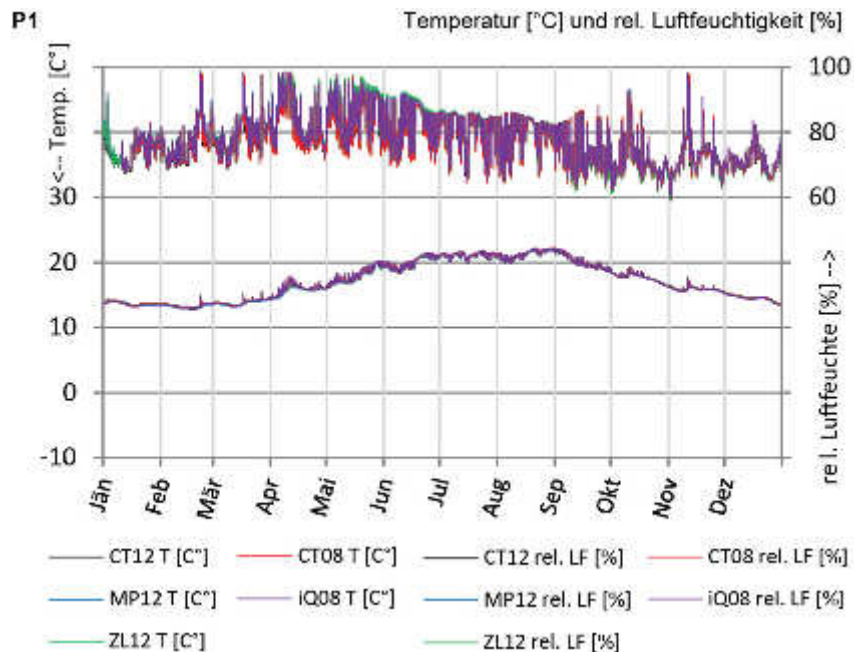


Abb. (32) *eingeschwungener Jahresverlauf der Temperatur und rel. Luftfeuchte an der Oberfläche in P1 (Detail 4 Variante 1b-Gründung)*

An der Schnittstelle Grenzfläche zu Fußboden sind die Temperaturen aufgrund der Wärmebrücke höher als im ungestörten Wandbereich, wobei dem Wärmedurchlasswiderstand des Systems die Verluste an der Wärmebrücke überlagert sind, weshalb insbesondere die Temperaturen beim dünneren System iQ-Therm höher sind, als der Wärmedurchlasswiderstand erwarten lassen würde. Die absolute Luftfeuchte ist geringfügig höher als im ungestörten Wandbereich, die Maxima der relativen Luftfeuchte liegen nahe dem Grenzwert der überhygroskopischen Feuchte. Bei Cellulose 12 und bei den Systemen Calsitherm liegt das Feuchtemaximum an der Grenzfläche über den untersuchten Punkten. Aufsteigende Feuchte ist in den Feuchtefeldern deutlich zu erkennen, erreicht aber niemals die Zone der untersuchten Punkte.

Die Punkte an der Außenoberfläche des Bauteils (Unterkante erdberührter Fußboden adiabate Grenze, untere Schnittkante Fußboden/Mauerwerk und Schnittkante Außenputz/Erdreich) sind gänzlich vom Außen- bzw. Erdklima dominiert. Sie weisen alle Jahresmittelwerte der relativen Luftfeuchte im überhygroskopischen Bereich und Maxima über der Kondensatgrenze auf. Überhygroskopische Feuchte im Bauteil findet sich durchgehend in den Maximalwerten der relativen Luftfeuchte an der Innenoberfläche (Fußbodenoberseite und Innenkante Dämmsystem/Fußboden) sowie bei Cellulose 12 an der Grenzfläche am adiabaten Rand und durchgehend in den Maxima an der Außenoberfläche.

Sowohl an der Innen- als auch an der Außenoberfläche dominiert das angrenzende Klima, wobei die Situation insbesondere am Fußbodenanschluss der Innenoberfläche (Systeminnenputz) durch die Abkühlung durch die Innendämmungsmaßnahme über einen längeren Zeitraum kritisch ist. Der Einbau feuchteempfindlicher Bauteile ist hier und an der Fußbodenoberfläche bei allen Systemen ebenso wie an der Bauteilaußenoberfläche ausgeschlossen. An der Grenzfläche im ungestörten Wandbereich sollte der Einbau feuchteempfindlicher Bauteile bei Cellulose 12 kritisch gesehen werden.

Die Eignung einer Innendämmungsmaßnahme für so stark wirksame erdberührte Wärmebrücken kann nicht bestätigt werden. Der Vergleich mit der ebenfalls stark wirksamen Wärmebrücke der Traversenkappendecke in Variante 1a und 2a sowie dem Treppenpodestanschluss in Variante 1 zeigt aber, dass Innendämmungen bei solchen Wärmebrücken sinnvoll eingesetzt werden können, wenn auch eine „Entschärfung“ der Wärmebrücke an der Außenseite z.B. durch Perimeterdämmung aus XPS oder Glasschaumschotter immer eine sinnvolle Begleitmaßnahme ist. Im erdberührten Bereich mit seinen hohen Speichermassen und Feuchteinträgen ist ohne zusätzliche Maßnahmen eine Innendämmung mit den untersuchten Systemen und unter den untersuchten Randbedingungen nicht zu empfehlen.

Traversenkappendeckenanschluss als Trenndecke zum unbeheizten Kellergeschoss

In diesem Detail wird eine Traversenkappendecke als Geschoßdecke zu einem unbeheizten Keller untersucht. Die Außenwand im Erdgeschoss weist eine Rohbaudicke von 50 cm auf und wird mit Innendämmung thermisch verbessert. Die Kelleraußenwand hat eine Rohbauwanddicke von 65 cm und bleibt ungedämmt. Die aufsteigende Feuchte wird in einer gesonderten Simulation ermittelt und als Eingangsdaten an einer Schnittstelle 40 cm unter der Deckenunterkante angesetzt. Im Keller wird ein Klima gemäß der Randbedingungen simuliert, im Erdgeschoss das übliche Innenklima.

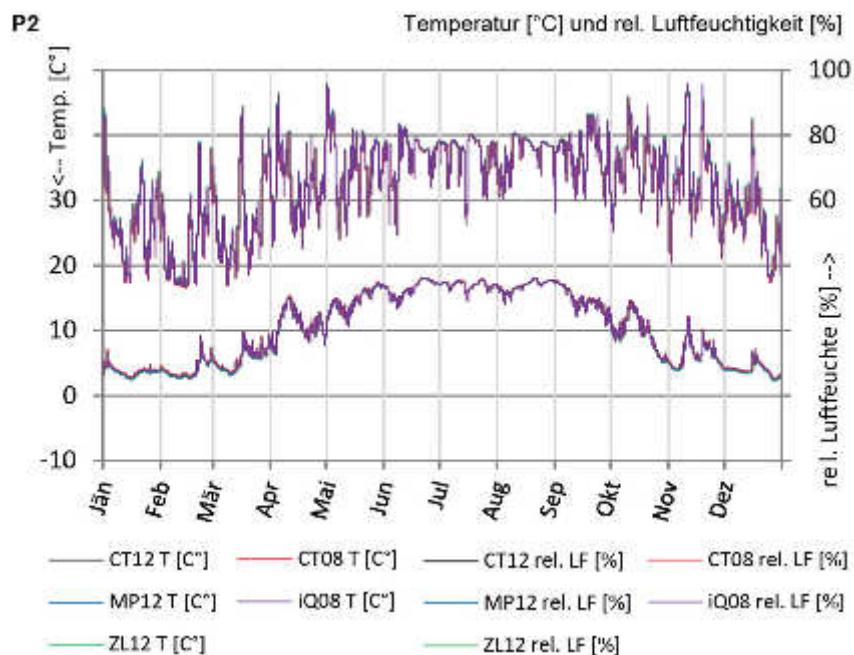


Abb. (33) *eingeschwungener Jahresverlauf der Temperatur und rel. Luftfeuchte an der Oberfläche in P2 (Detail 4 Variante 2a-Traversenkappendecke/Kellerdecke)*

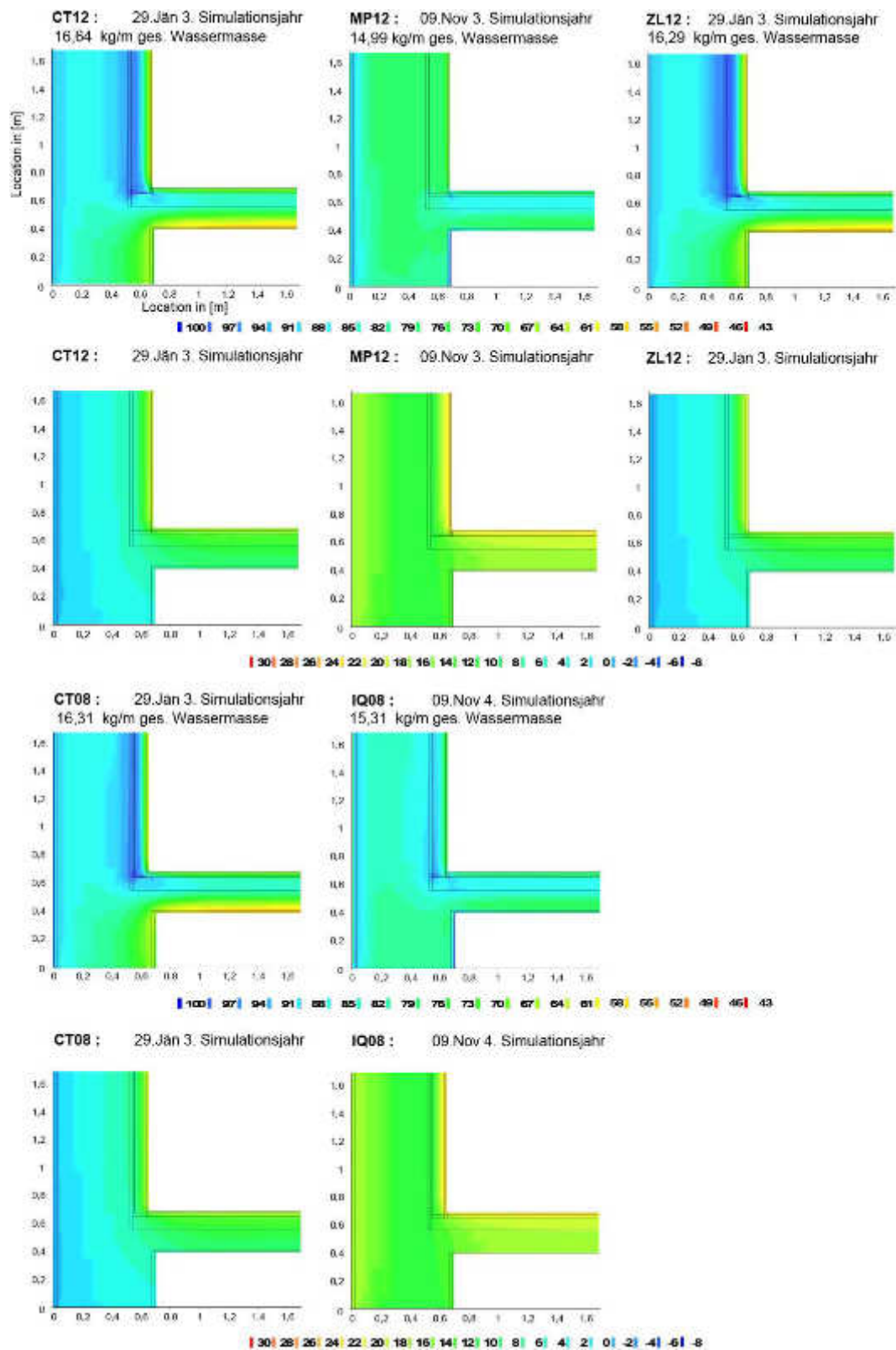


Abb. (34) Verlauf der relativen Luftfeuchte und der Temperatur im Bauteil am feuchtesten Tag im eingeschwungenen Jahr an der Traversenkappendecke als Kellerdecke

Im Bauteil wurden die Grenzfläche des Dämmsystems über und unter dem Entkopplungstreifen aus Mineralwolle sowie die untere Außenkante der Schüttung untersucht. An der Grenzfläche treten Bedingungen nahe dem ungestörten Wandbereich auf. Abweichungen sind durch die Wärmebrückeneinflüsse bestimmt.

An der Schnittkante Fußboden/Systeminnenputz werden tiefere Temperaturen als im ungestörten Wandbereich festgestellt, wobei Wärmebrückeneinflüsse die Reihung der Oberflächentemperatur nach Wärmedurchlasswiderstand des Dämmsystems überlagern. Die absolute Luftfeuchte divergiert kaum zum ungestörten Wandbereich, die Jahresmittelwerte der relativen Luftfeuchte liegen demzufolge höher, aber auch in den Maxima deutlich unter der Grenze zur überhygroskopischen Feuchte, wenn auch weit über dem ungestörten Wandbereich.

An der Innenkante Kellerdecke zu Außenwand finden sich um mehr als 10 K unter dem ungestörten Wandbereich liegende Temperaturen und ein wesentlich durch das Kellerklima beeinflusstes Feuchteverhalten. Die Jahresmittelwerte der relativen Luftfeuchte betragen über alle Systeme 65,12 % mit geringen Abweichungen zwischen den Systemen. Die Maxima liegen mit einem Mittel aller Systeme von 95,8 % (mittlere Abweichung 0,12 %) noch enger zusammen und allesamt im Bereich überhygroskopischer Feuchte, die aber dem Jahresverlauf nach nur kurzfristig in Mai und November auftritt. Der Schimmelindex nach Viitanen weist beide Punkte als unkritisch aus.

Die Differenz der Jahresmittelwerte der relativen Luftfeuchte zum ungestörten Wandbereich beträgt im Mittel ca. 3,2 %. Wie im ungestörten Wandbereich ist Multipor relativ am trockensten und Cellulose 12 am feuchtesten. Bei allen Systemen mit Ausnahme Multipor überschreiten die Jahresmaxima die Grenze zur überhygroskopischen Feuchte.

Die untere Außenkante der Schüttung ist nur geringfügig kälter als das untere Ende der Grenzfläche und absolut trockener, es tritt keine überhygroskopische Feuchte auf.

Die Analyse der Feuchte- und Temperaturfelder zeigt keinen maßgeblichen Einfluss aufsteigender Feuchte und homogene, unauffällige Temperaturverteilung. Um die Dehnungsfuge zwischen Systemputz und Holzfußboden entsteht ein Feuchtehotspot infolge unzureichenden Diffusions- und Wärmeschutzes, der beim System Multipor 12 auch den feuchtesten Punkt darstellt.

Das Aufkommen überhygroskopischer Feuchte lässt am unteren Ende der Grenzfläche den Einbau feuchteempfindlicher Bauteile außer beim System Multipor und am Kellerdeckenrand bei allen Systemen nicht angeraten erscheinen. Im ungestörten Wandbereich gilt diese Einschränkung nur für Cellulose und im abgeschwächten Maß, da das Auftreten auf wenige Spitzen in Mai und November beschränkt ist.

Maßnahmen zur Abkühlung der kritischen Bereiche oder zur Reduktion der konvektiven Erwärmung sind aber jedenfalls zu unterlassen.

Die Randzone des Holzfußbodens weist nach Viitanen keine Gefährdung auf, allerdings liegen beide Punkte bei allen Systemen nahe oder über der kritischen massebezogene Holzfeuchte von 20 M% nach ÖN EN 335 Teil 1, Anhang A. Eine weitere Abkühlung oder Reduktion der konvektiven Erwärmung sollte jedenfalls unterbleiben.

3.1.7 Generalisierbare Erkenntnisse

generelles Verhalten am ungestörten Wandbereich

Zur Abklärung von in den Detailpunkten nicht schlüssig erklärbaren Unterschieden zwischen den Dämmsystemen wurde für alle Innendämmsysteme am ungestörten Wandbereich ein Profil der Feuchteverteilung am feuchtesten Tag ermittelt, dass gute Korrelation mit den Maxima des Jahresverlaufes der relativen Luftfeuchte zeigen Abb. (36) und Abb. (36). Dabei zeigt sich innerhalb der Dämmung ein annähernd linearer Temperaturverlauf, es ist als keine maßgeblicher Veränderung der Wärmeleitfähigkeit durch die Feuchtezunahme zu erkennen. Der Verlauf der relativen Luftfeuchte im Bauteil wird vom Zusammenwirken der Faktoren Flüssigwasserleitfähigkeit, Diffusionswiderstand und Wärmedurchlasswiderstand bestimmt. Die höchste relative Luftfeuchte wird an oder um die Grenzschicht erreicht, wobei Cellulose 12 den höchsten Wert (über 95 %) erreicht. Der Feuchteverlauf bei Calsitherm 12 und 8 ist ähnlich, im Maximum aber um ca. 5 % niedriger mit einem ausgeprägten Knick am Kleber, der einen hohen Diffusionswiderstand aufweist. Multipor 12 erreicht an der Grenzfläche ein Maximum von 75 %, das niedriger als die Feuchte im Außenputz ist. iQ-Therm 08 erreicht maximal 90 % und weist ebenfalls einen charakteristischen Knick auf (hoher Diffusionswiderstand des Klebers im Vergleich zum Bestandputz).

Die Dämmung des Systems Multipor 12 verfügt über ein inhomogenes Porenspektrum. Große, sichtbare, abgeschlossene Poren tragen zum Feuchtetransport wenig bei. Die die Poren umgebende Materialmatrix dagegen verfügt über eine ausgezeichnete Feuchteleitfähigkeit im mittleren und hohen Feuchtebereich, allerdings nicht bei maximalem Feuchtegehalt. Bis zu einem Wassergehalt der einer Luftfeuchte zwischen 95 und 96 % entspricht, übersteigt die Flüssigwasserleitfähigkeit die der anderen Systeme. Betrachtet man den Jahresverlauf der relativen Luftfeuchte an der Grenzschicht Dämmsystem/Bestand im eingeschwungenen Jahr, stellt man fest, dass sie im Bereich in der Multipordämmung die überwiegende Zeit unter 95 % beträgt. Steigt die Luftfeuchte dort an, wird sie besser verteilt und wegtransportiert als bei Isocell-Cellulosedämmung oder Calsitherm, sodass eine höhere Feuchteakkumulation nicht stattfindet. Hinzu kommt, dass der Wasserdampf-Diffusionswiderstand der Multipor-Dämmung ($\mu = 6,7$) höher ist als der Widerstand der Isocell-Cellulose-Dämmung ($\mu = 2,5$) oder der Calsitherm-Dämmung ($\mu = 5,4$). Dadurch gelangt außerdem weniger Feuchte in die Konstruktion und in den Bereich der Kondensationsebene.

Bei den Polystyrol-Mörtel-Hybridplatten (iQ-Therm) verfügt nur der kapillaraktive Mörtel über Flüssigwasserleitfähigkeit, die Dämmung insgesamt aber über eine niedrigen Wasseraufnahmekoeffizienten ($A_w = 0,013 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}^{0,5}$, $\mu = 27$). Der Flächenanteil des Mörtels ist sehr klein gegenüber dem Flächenanteil des umgebenden Polyurethandämmstoffs, die Flüssigwasserleitfähigkeit des Mörtels ist aber sehr hoch. Ein weiterer Grund für das gleichfalls gute Abschneiden der Hybridplatte ist jedoch der im Vergleich hohe Diffusionswiderstand, weshalb weniger Raumlufteuchte durch die Konstruktion diffundieren kann.

Die an der Grenzfläche Bestand/Dämmsystem auftretende Temperatur resultiert aus den Wärmedurchlasswiderständen der Dämmsysteme. Während Multipor einen Jahresmittelwert der relativen Luftfeuchte von 74,85 % bei gleichzeitig geringster Temperatur und geringster absoluter Luftfeuchte aufweist, liegt das Jahresmittel der anderen bei ca. 90 % relativer Luftfeuchte. Weiters wurde für Multipor auch die geringste Gesamtwassermasse im Bauteil festgestellt und dies obwohl Calsitherm und iQ-Therm mit 8 cm Dämmstärke ein geringeres Volumen aufweisen.

Das Gesamtsystem Multipor 12 weist mit einem s_d -Wert von 1,04 m einen ähnlichen Diffusionswiderstand wie das System Calsitherm 12 mit 1,08 m auf, gleichzeitig einen höheren Wärmedurchlasswiderstand von 2,95 $\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$ im Gegensatz zu 1,95 $\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$ bei Calsitherm 12. Daher liegt natürlich die Temperatur tiefer, die relative Luftfeuchte ist aber aufgrund der geringen absoluten Luftfeuchte ebenfalls gering (MP12: 7,31 g/m^3 , CT12: 9,17 g/m^3).

Die Menge eindiffundierender Feuchte ist also nicht alleine oder sogar wenig entscheidend, sondern die Menge der im Dämmstoff in Gegenrichtung zum Diffusionsstrom transportierten Feuchte. Die Ursache ist in der hohen Flüssigwasserleitfähigkeit bei geringem Wassergehalt (= geringer Luftfeuchtigkeit) zu suchen, was auch zur geringsten Gesamtwassermenge aller verglichenen Systeme führt.

Isocell-Cellulose 12 weist aufgrund des sehr geringen Diffusionswiderstandes (s_d -Wert = 0,39) eine signifikant höhere Gesamtwassermasse (5,397 kg) im Vergleich zu Multipor (4,418 kg) auf. Dazu passt auch, dass dieses System nach der Trocknungsperiode recht rasch wieder eine hohe relative Luftfeuchte aufweist. Die hohe Flüssigwasserleitfähigkeit im überhygroskopischen Bereich stellt die Eignung des Systems sicher, bei dem sich die dritthöchste absolute Feuchte (9,10 g/m^3) und der höchste Jahresmittelwert der relativen Luftfeuchte (90,81 %) infolge hohen Wärmedurchlasswiderstandes (2,38 $\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$) sowie der höchste Maximalwert der relativen Luftfeuchte (Maximum: 95,95 %, Minimum: 78,19 %) findet. Die großen Schwankungen im Jahresverlauf sind auf den hohen Feuchteeintrag aufgrund geringen Diffusionswiderstand und der effizient gegenwirkenden Flüssigwasserleitfähigkeit zurück zu führen, dieses System ist wesentlich von dieser Wechselwirkung geprägt.

Das System Calsitherm weist mit 12 cm Dämmstoffdicke die höchste und mit 8 cm Dämmstoffdicke die zweithöchste Gesamtwassermenge auf. Der Diffusionswiderstand ist mit einem s_d -Wert von 1,08 (12 cm) und 0,86 (8 cm) höher als bei Cellulose (s_d = 0,39) und ähnlich dem System Multipor 12 (s_d = 1,04), wobei der Kleber einen signifikant höheren Diffusionswiderstand (μ = 38,4) aufweist, als alle anderen Systembestandteile aller Systeme mit Ausnahme iQ-Therm. Trotz höchstem Diffusionswiderstand aller Systeme außer iQ-Therm (für CT12) sind die Gesamtwassermenge und die absolute Feuchte hoch (12 cm: 9,17 g/m^3 , 8 cm: 9,50 g/m^3) und trotz des relativ geringen Wärmedurchlasswiderstandes die relativen Luftfeuchten ebenso. Das System Calsitherm ist geprägt von hoher Feuchteanreicherung und von der Dämmstoffdicke abhängiger Rücktrocknung (bei 8 cm höher als bei 12 cm), wobei der Kleber eine dampfbremsende Wirkung aufweist und für eine gezielte Rückhaltung eindiffundierender Feuchte an der Systemgrenze zum Bestand sorgt.

iQ-Therm ist aufgrund seiner Systembeschaffenheit gesondert zu betrachten. Alle Systembestandteile weisen einen hohen Diffusionswiderstand auf, die Dämmung dabei mit μ = 27 den höchsten aller verglichenen Systembestandteile. Daraus folgen die zweitniedrigste Gesamtwassermenge und die zweitniedrigste absolute Feuchte (8,68 g/m^3). Trotz geringer Dämmstoffdicke ist der Wärmedurchlasswiderstand mit 2,62 $\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$ hoch, daraus resultiert eine hohe relative Luftfeuchte sowohl im Jahresmittel (87,90 %) als auch in den wenig streuenden Extremen (Maximum: 92,31 %, Minimum: 82,08 %). iQ-Therm weist ein ausgeprägtes Plateau der Flüssigwasserleitfähigkeit und gute Leitfähigkeit unter und über dem Plateau auf, was die Trocknung verzögern dürfte. Die Feuchtezunahme verläuft aufgrund des hohen Diffusionswiderstandes ebenso langsamer und moderater als bei allen Systemen mit Ausnahme Multipor 12. iQ-Therm ist gekennzeichnet von geringen Schwankungen der Luftfeuchte im Jahresverlauf, die auf verzögerte und gedämpfte Feuchtezunahme in Folge hohem Diffusionswiderstands und verzögerte und gedämpfte Trocknung aufgrund einer Stagnation der Flüssigwasserleitfähigkeit bei einem Wassergehalt zwischen ca. 0,01 und 0,07 m^3/m^3 zurückzuführen sind.

Überhygroskopische Feuchte tritt im Dämmsystem signifikant von Dezember bis Mai nur bei Cellulose 12 und geringfügig im Februar und März bei Calsitherm auf. Sie bei Cellulose ist im Wesentlichen auf Dämmung und Kleber beschränkt und trocknet zuverlässig rück. Der Einbau feuchteempfindlicher Bauteile ist aber bei Cellulose 12 kritisch zu betrachten.

- Das System Multipor zeigt aufgrund der günstigen Flüssigwasserleitfähigkeit im hygroskopischen Bereich bei der auftretenden relativen Luftfeuchte von 72,88 % bis 76,37 %, eine geringe Gesamtwassermenge, während die restlichen Systeme Werte der relativen Luftfeuchte um 90 % aufweisen.
- Beim System Calsitherm steigt die relative Luftfeuchte in der Kondensationsperiode bis an die Grenze des hygroskopischen Bereiches an und trocknet dann über die hohe Flüssigwasserleitfähigkeit wieder aus. Dabei profitiert die dünnere Dämmung, die eine raschere Rücktrocknung ermöglicht. Der im Vergleich zu den anderen Systemen höher diffusionshemmend wirkende Kleber scheint die Diffusion ein wenig zu behindern und die Feuchte in der Dämmung zu halten. Calsitherm weist zudem im Bereich um 90 % relative Luftfeuchte eine höhere sorptive Wasseraufnahme als Cellulose auf, was ebenfalls Einfluss auf die hohe Gesamtwassermasse hat.
- Das System mit dem signifikant geringsten Diffusionswiderstand ist Cellulose. Es weist trotzdem nur die dritthöchste Gesamtwassermenge aber die höchste Porenluftfeuchte auf (niedriger Temperatur aufgrund hohen Wärmedurchlasswiderstands). Hier wirkt sich die sehr hohe Flüssigwasserleitfähigkeit aller Dämmstoffe im hohen hygroskopischen und überhygroskopischen Bereich günstig auf die Stabilität und Eignung des Systems aus, wobei die hohe relative Luftfeuchte hinsichtlich holzerstörender Pilze und das Auftreten überhygroskopischer Feuchte hinsichtlich Auswaschungen noch untersucht werden sollte.
- Das System iQ-Therm weist hingegen den höchsten Diffusionswiderstand auf, was den Diffusionsstrom so reduziert, dass sich keine überhygroskopische Feuchte bildet und die Gesamtwassermasse im Bauteil nach Multipor am geringsten ist. Die Flüssigwasserleitfähigkeit ist zwar auf die Mörtelfüllung der Kanäle beschränkt, aber bei einem Wassergehalt bis $0,09 \text{ m}^3/\text{m}^3$ mit einem ausgeprägten Plateau zwischen $0,01$ und $0,07 \text{ m}^3/\text{m}^3$ hoch. Diese Bedingungen führen zu einer verzögerten Feuchtezunahme (Diffusionswiderstand) und einer verzögerten Rücktrocknung ähnlich wie bei Calsitherm 12.
- Im Hinblick auf die Gesamtwassermasse stellen Multipor 12 und iQ-Therm 08 im ungestörten Wandbereich die günstigsten Systeme dar, wobei Multipor eine vergleichsweise geringe Luftfeuchte aufweist. Beide Systeme weisen zudem den höchsten Wärmeschutz auf.

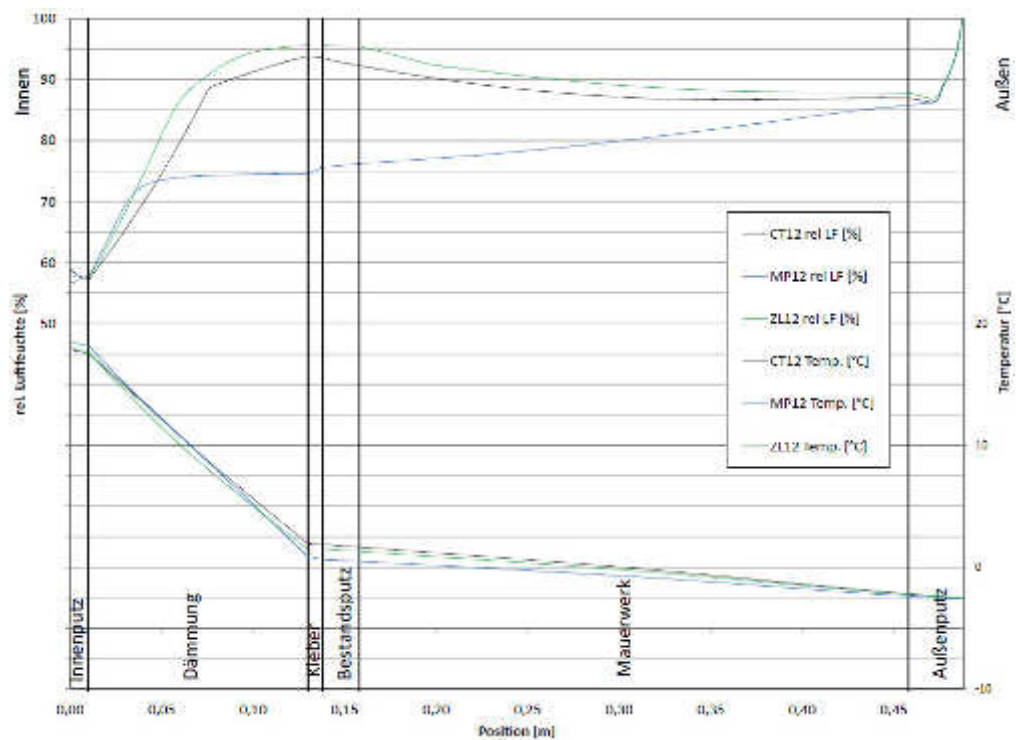


Abb. (35) Verlauf der relativen Luftfeuchte und der Temperatur im Bauteil am feuchtesten Tag (29. Jänner) im eingeschwungenen Jahr der 12 cm Dämmungen (ungestörter Wandbereich)

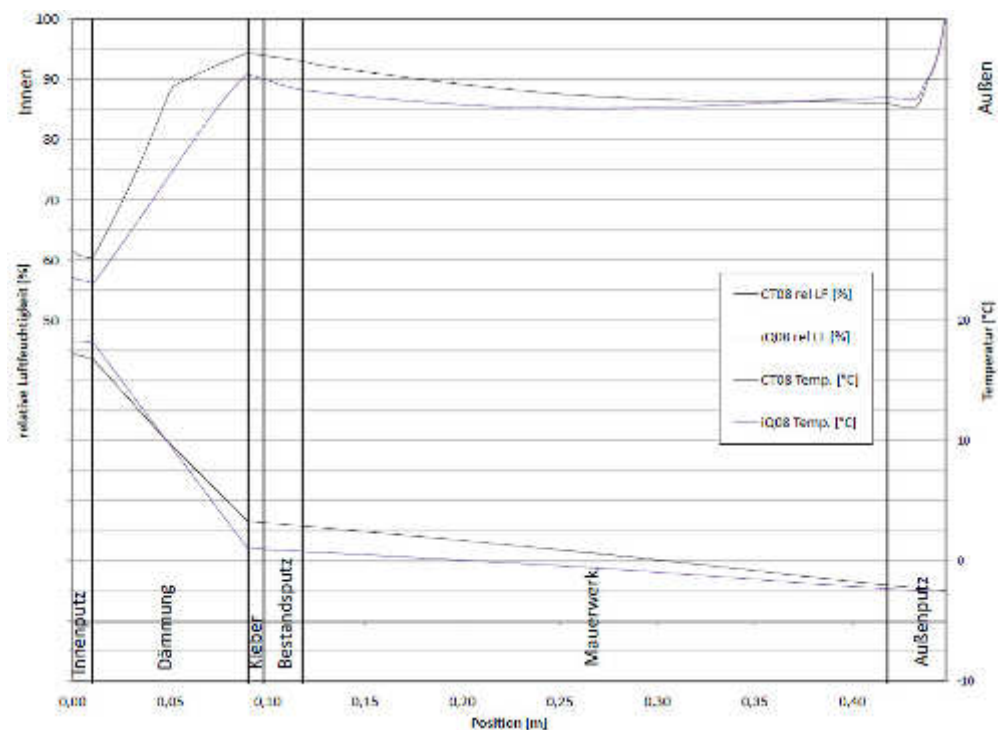


Abb. (36) Verlauf der relativen Luftfeuchte und der Temperatur im Bauteil am feuchtesten Tag (29. Jänner) im eingeschwungenen Jahr der 8 cm Dämmungen (ungestörter Wandbereich)

Eignung an den Details (Wärmebrücken)

Innenoberfläche

- Für die Bedingungen an der Innenoberfläche ist der Wärmedurchlasswiderstand des Dämmsystems bei einfachen Anschlüssen maßgeblich für die Höhe der Temperatur. Durch Wärmeaustauschprozesse an Fugen und an Wärmebrücken kommt es zu Modifikationen des Verhaltens, besonders ausgeprägt beim System iQ-Therm, dass bei generell günstigem Verhalten aufgrund geringer Baudicke und hohem Wärmedurchlasswiderstand besonders anfällig auf Wärmebrücken reagiert.
- Die relative Luftfeuchte an der Oberfläche wird durch die Temperatur bestimmt. Geringe Einflüsse auf die absolute Luftfeuchte sind durch temperaturabhängige Sorptionsprozesse zwischen den Systemen möglich, wurden aber nicht näher untersucht.
- Durch eine geringe Wasseraufnahmefähigkeit des Systemputzes kann bei starken Wärmebrücken in Kombination mit den dann niedrigen Temperaturen eine lokale, raumseitige erhöhte relative Luftfeuchte an angrenzenden Bauteilen ergeben (Feuchtehotspot, z.B. bei Multipor und iQ-Therm am Treppenpodest bzw. erdberührter Fußboden). Ist zusätzlich die Kapillarleitung unterbrochen (z.B. durch einen luftgefüllten Spalt), kommt es bei allen Systemen zu einer signifikanten Ausbildung eines solchen Hotspots (siehe Holzfußbodenanschluss bei Traversenkappendecke als Trenndecke zu unbeheiztem Kellergeschoß).

Dämmsystem und Bauteil

- Multipor weist über unterschiedliche Detailpunkte eine Auffeuchtung nur im Bereich der Bauteilaußenfläche auf, weshalb eine Zunahme der Gesamtwassermenge im Vergleich von ähnlichen Details oder zu anderen Dämmsystemen nicht notwendigerweise im Verhalten des, eben sehr trockenen, Dämmsystems sondern oft an anderer Stelle im Detail zu suchen ist. Multipor ist über alle Details absolut und relativ am trockensten und zeigt die geringsten Schwankungen der Gesamtwassermasse im Vergleich trockenster und feuchtester Tag (vgl. Anschluss Innenwand). Multipor 12 reagiert am unsensibelsten und kann zusätzlich eindringende Feuchte besser transportieren als andere Dämmsysteme. Der feuchteste Tag ist bei Multipor 12 stärker durch das angrenzende Klima bestimmt, da in der Konstruktion weniger Feuchte vorhanden ist als in den anderen Dämmvarianten und dadurch diesbezügliche Veränderungen an den Bauteiloberflächen größeres Gewicht haben.
- Bei einer Abtrocknung über eine vergrößerte Außenfläche (z.B. Außenkante) zeigt sich, dass Systeme mit einem höheren Diffusionswiderstand, wie iQ-Therm günstiger verhalten, da der reduzierten eindiffundierenden Feuchte eine größere Rücktrocknung nach außen gegenübersteht. In der Kante sinkt die absolute Luftfeuchte im Vergleich zum ungestörten Wandbereich bei allen Systemen.
- Bei komplexen Detailpunkten mit maßgeblicher Wärmebrückenwirkung gleicht sich die Performance von iQ-Therm der von Calsitherm 12 an, der hohe Diffusionswiderstand und die geringe Rücktrocknung werden zunehmend nachteilig wirksam.
- Bei maßgeblicher Wärmebrückenwirkung gleicht sich die Performance der Systeme an, wobei Multipor weiterhin deutlich trockener ist.
- Je weiter außen in einer Wärmebrücke die untersuchten Punkte liegen, desto geringer ist der Unterschied zwischen den Systemen, da zunehmend der Einfluss des Außenklimas bestimmend wird.

- Ein hohe Gesamtwassermasse bei den Systemen Calsitherm ist durch das hohe Feuchtespeichervermögen, insbesondere im Vergleich zu Cellulose, mit bestimmt.
- Cellulose 12 ist wesentlich durch die hohe Auffeuchtung aufgrund des geringen Diffusionswiderstands des Gesamtsystems geprägt, was sich durchgehend in allen Details sowohl im meist höchsten Maximum als auch in der größten Streuung der Extreme der relativen Luftfeuchte zeigt.
- Mit zunehmender Wärmebrückenwirkung steigt die Gefahr überhygroskopischer Feuchte im Dämmsystem, wobei Cellulose und Calsitherm am sensibelsten reagieren.
- Bei den Dämmstoffen Calsitherm und Isocell-Cellulose ist mit überhygroskopischem Wasser im Bereich des Klebers bzw. des Bestandputzes zu rechnen, weshalb bei Durchdringungen und Einbauten in diesem Bereich die Verwendung feuchteempfindlicher Materialien gut überlegt sein will.
- Eine Holzmassivdecke (stellvertretend für große Massivholzflächen) nimmt wenig am Feuchteausaustausch teil. Dadurch reduziert sich die sorptive und kapillare Rücktrocknung auf das Dämmsystem, das wie z.B. im Traufanschluss nur an einer Flanke anliegt, während eine gewisse Feuchtezunahme über die Decke und den Putz erfolgt. Unter solchen Bedingungen weisen Systeme mit hoher Flüssigwasserleitfähigkeit im hohen Feuchtebereich tendenziell eine bessere Performance relativ zum ungestörten Wandbereich auf, wobei die generelle Überlegenheit der tendenziell trockeneren Systeme nicht aufgehoben wird.
- Kann die Auffeuchtung im Wesentlichen nur über eine Flanke erfolgen, reduziert sich der Nachteil diffusionsoffener Systeme wie Cellulose, da weniger Feuchte in den Bauteil eindringt. Stark diffusionshemmende Systeme wie iQ-Therm verlieren den Vorteil geringer Auffeuchtung zu einem gewissen Maß, wenn das System eine reduzierte Rücktrocknung aufweist.
- Die Reduktion der Wärmeverluste durch eine (zusätzliche) Außendämmung z.B. an einer Flanke wie der obersten Geschossdecke wirkt sich für die eher feuchteren Systeme (Cellulose und Calsitherm) günstig aus, da durch die höheren Temperaturen die sorptive Wasseraufnahme und der Flüssigtransportprozess zunehmen.
- Ein Außendämmung oder ein „Überdämmen“ der Wärmebrücke wirkt sich günstig auf die Temperaturen und die absolute Luftfeuchte aus.
- Eine „Halsdämmung“ kann in Kombination mit einer wenig am Feuchtetransport teilnehmenden Bauteilschicht wie z.B. einer Holzmassivdecke bei Systemen mit tendenziell hoher Feuchte (Cellulose, Calsitherm) zu einer Zunahme der Gesamtwassermasse und der absolute Luftfeuchte in der Grenzschicht führen, da eine weitere Flanke zur Feuchteverteilung zur Verfügung steht. Dabei kann die Auffeuchtung auch so hoch ausfallen, dass der sonst wenig am Transportprozess teilnehmende Bauteil signifikant feucht wird.
- An der Grenzfläche zu wenig am Feuchtetransport teilnehmenden Flächen wie z.B. Massivholzflächen kommt es zu einer Abnahme der relativen Luftfeuchte. Dadurch kann sich kein ausreichendes Gefälle des Porenwasserdrucks für die Rücktrocknung einstellen und das Maximum der Feuchte verschiebt sich in der Grenzfläche oder aus der Grenzfläche in die Dämmung weg vom eigentlich Randpunkt und dem gering kapillaraktiven Teil. Dieser Effekt ist umso ausgeprägter, je feuchter das System ist.
- An der Grenzfläche zu massiven kapillaraktiven Bauteilen (z.B. Mauerwerksmassen) kommt es zu einer Trocknung aufgrund der Verteilung der anfallenden Feuchtigkeit über eine größere Fläche. Dadurch verschiebt sich die feuchteste Stelle innerhalb der Grenzfläche in Richtung des adiabaten Randes bzw. des dann feuchteren ungestörten Bereichs. Dieser Effekt ist umso ausgeprägter, je feuchter das System ist.

- Die Feuchtezunahme an Grenzflächen von Dämmung und Mauerwerk oder an den Außenflächen des Bestandes kann zu einer (lanzenförmigen) Feuchtezunahme in kapillaraktiven bzw. diffusionsoffenen Stoffen (wie z.B. Mineralwolle) führen, wobei bei sehr trockenen Systemen (Multipor, iQ-Therm), der auslösende Feuchtehorizont auch ins Bauteilinnere wandern kann. Solche Bauteile sollten durch Trennlagen geschützt werden, wobei mögliche Verlagerungen der Feuchtehorizonte durch solche Trennlagen durch Simulationen geprüft werden müssen.
- Innendämmungen können auch bei beträchtlichen Wärmebrücken (Treppenpodest, Traversenkappendecke als Zwischendecke) zielsicher eingesetzt werden und dürften auch die Verhältnisse an der Innenoberfläche im Vergleich zum Bestand an der Grenz zum durchdringenden Bauteil verbessern. Ein Aussparen des Dämmsystems an der Wärmebrücke ist jedenfalls nachteilig.
- Innendämmungen können auch bei zwei angrenzenden Klimaten wie z.B. bei einer Trenndecke zum unbeheizten Keller noch zielsicher eingesetzt werden, die Gefahr unbeherrschbarer Zustände insbesondere an der Innenkante zur Wärmebrücke steigt.
- Bei massiven Wärmebrücken kehrt sich die Oberflächentemperaturreihenfolge um, dass System mit dem höchsten Wärmedurchlasswiderstand wird innen am kältesten und umgekehrt.
- In Kombination von massiven Wärmebrücken und hoher Feuchtelast von außen (z.B. Anschluss erdberührter Fußboden) werden grenzwertige Zustände erreicht. Selbst wenn die Eignung in der instationären Betrachtung noch gegeben ist, dürfen keine zusätzlichen gefährdenden Maßnahmen wie Abkühlung oder Reduktion konvektiver Erwärmung mehr auftreten, um das System am Versagen zu hindern. Solche Situationen können mit Innendämmungen nur durch Begleitmaßnahmen (Feuchtesperre, außenliegende Dämmung der Wärmebrücke) bewältigt werden und benötigen unbedingt die Überprüfung durch Simulationen.

Bestätigung des Verhaltens im ungestörten Wandbereich

- Das Verhalten der Dämmsysteme im ungestörten Wandbereich hat sich im Wesentlichen in den untersuchten Detailpunkten bestätigt.
- Multipor ist uneingeschränkt absolut und nahezu immer relativ am trockensten (Ausnahme Innenoberfläche bei massiver Wärmebrücke), es zeigt sich deutlich die Überlegenheit des Ansatzes, eine hohe Flüssigwasserleitfähigkeit mit ausreichendem Diffusionswiderstand zu kombinieren und dabei eine gute Abstimmung der Systembestandteile vorzunehmen
- iQ-Therm erweist sich meist als absolut das zweittrockenste System, relativ können auch hohe Werte der relativen Luftfeuchte erreicht werden, insbesondere in Kombination mit Wärmebrücken an der Innenoberfläche. Das System reagiert hinsichtlich Temperatur an der Grenzfläche sensibel auf Strahlungsaustausch und Wärmeleitung an der Stirnfläche vorbei, da es eben eine geringe Baudicke und hohen Wärmedurchlasswiderstand aufweist. Bei Rücktrocknung nur über ein Flanke zeigt sich ebenfalls tendenziell eine Abnahme der Performance
- Calsitherm weist ein recht hohes Feuchtespeichervermögen kombiniert mit einer nicht so hohen Flüssigwasserleitfähigkeit im hohen Feuchtebereich auf, die ähnlich der von Multipor ist, das aber nie so feucht wird. Der innerhalb des Systems sehr hohe Diffusionswiderstand des Klebers trägt ebenso zur üblicherweise hohen absoluten Feuchte bei, die mitunter in Werten im überhygroskopischen Bereich resultiert. Der Wärmedurchlasswiderstand ist vergleichsweise nieder, weshalb die Werte der relativen Luftfeuchte im unauffälligen Mittelfeld liegen. Dieses generelle Verhalten zeigt sich auch bei den Detailanschlüssen.

- Cellulose 12 weist einen sehr guten Wärmedurchlasswiderstand auf, der gemeinsam mit dem geringen Diffusionswiderstand aber an der Grenzfläche zu hohen Maximalwerten der relativen Luftfeuchte, sehr oft auch im überhygroskopischen Bereich, führt. Die hohe Flüssigwasserleitfähigkeit sorgt antagonistisch dazu zu verlässlicher Rücktrocknung, in Summe ergeben sich hohe Schwankungen der relativen Luftfeuchte im Jahresverlauf. Der Einsatz in Kombination mit feuchteempfindlichen Bauteilen ist aber generell kritisch zu sehen.
- Jedes der Systeme ist mit den geschilderten Nachteilen und mitunter grenzwertigen Situationen für alle Detailpunkte mit Ausnahme des erdberührten Fußbodens geeignet, wenn auch bei hoher Feuchtebelastung oder hoher Wärmebrückenwirkung im Hinblick auf Konstruktionssicherheit und Stabilität des Verhaltens tendenziell dem System Multipor, das zudem noch den höchsten Wärmedurchlasswiderstand bietet, der Vorzug gegeben werden muss.

3.1.8 Weiterer Forschungsbedarf

Obwohl nach den vorliegenden Erkenntnissen die Erstellung eines abstrahierbaren Detailkataloges (analog Wärmebrückenkatalog) bei hygrothermischen Simulationen bei Innendämmungen noch nicht möglich ist, hat sich trotzdem eine Reihe von Gesetzmäßigkeiten gezeigt, die durch weitere Untersuchungen und eine tiefere, im gegenständlichen Projekt nicht mehr mögliche Auswertung der gewonnenen Daten, bestätigt oder widerlegt werden könnte.

- Wenn auch ein Detailkatalog im eigentlichen Sinne im Rahmen dieser Arbeit nicht erstellt werden konnte, sollte es durch weitere Untersuchungen - soweit reichen die Erkenntnisse doch - möglich sein, Konstruktionsempfehlungen im Umgang mit Innendämmungen entwickeln zu können und die spezifische Eignung mancher Systeme für bestimmte Einsatzfälle besser bestätigen zu können.
- Dazu wird es erforderlich sein, bei allen Unschärfen an der Grenze des jeweiligen Verhaltens, Innendämmungssysteme in Zukunft differenzierter zu betrachten und zu systematisieren - das Zusammenspiel von Wärmedurchlasswiderstand, Diffusionswiderstand und Feuchteleitfähigkeit zeigt doch ein erklär- und systematisierbares Zusammenwirken.
- Weiters wird es notwendig sein, neben weiteren, auch synthetischen Simulationen zur Provozierung bestimmten Verhaltens (z.B. gezieltes Ausschalten von Flanken, Variation der Kennwerte des Bestandes) weitere Untersuchungen des Materialverhaltens durchzuführen, um die Zusammenhänge zwischen Flüssigwasserleitfähigkeit und Porenluftfeuchte sowie Temperatur und Sorption besser verstehen zu lernen.
- Detailanschlüsse müssen in zwei Richtungen weiter untersucht werden:
 - konkrete Lösungen der in der Sanierung auftretenden Probleme, um die Vielfalt der Anschlüsse zu erschließen
 - Reduktion der gewonnenen Vielfalt auf das wesentliche Wirkprinzip am Detail, dass sich aus der Geometrie, dem Verhalten der angrenzenden Bauteile und den angrenzenden Klimaten ergibt
- Daraus lässt sich ein Parcours synthetischer Details gewinnen, mit denen in einem standardisierten Verfahren die grundlegende Eignung von Innendämmungssystemen für den praktischen Einsatz bestätigt werden könnte, sowie die Grenzen des Modells, ab denen jedenfalls durch Simulation und Messung Sicherheit für die Eignung gewonnen oder eben andere Maßnahmen gesetzt werden müssen

- Wenn schon nicht die generelle Eignung für jeden Einsatzfall bestimmt werden kann, sollte doch die generelle mangelnde Eignung bestätigt werden können, also jene Situationen wo Innendämmungen nicht mehr zielsicher eingesetzt, andere oder auch nur ergänzende Maßnahmen jedenfalls erforderlich sind
- Dazu müssen auch die Simulationswerkzeuge leistungsfähiger werden. Der zweidimensionale Anschluss wird auf Dauer nicht mehr ausreichend sein können und gewisse Komfortfunktionen, wie das automatisierte Auswerfen feuchtester und trockenster Stellen oder von Verläufen der Feuchte über die Zeit auch nach der Simulation müssen möglich werden
- Die verwendeten Indices nach Viitanen bringen unerwartet günstige Ergebnisse, was eine gewisse Besorgnis ob ihre Spezifität aufkommen lässt. Diese lange untersuchten und entwickelten Beurteilungsmethoden benötigen eine kritische Würdigung und Bestätigung durch die breite Scientific Community
- im Hinblick auf die Anschlüsse bzw. generell des Verhalten erdberührter Bauteile fehlen noch für dynamische Simulationen geeignete Grenzwerte bzw. Klimate, insbesondere weil die Messungen dar Bedingungen in situ zeit- und mittelaufwändig ist.

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.

3.2 Thermisch-hygrische Ertüchtigung von Kastenfenstern

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

3.2.1 Ausgangslage / Recherche

Das Kastenfenster - also ein Fenstertypus, der durch zwei hintereinander angeordnete Fensterebenen entsteht, die einen stehenden Luftraum einschließen – ist, im Gegensatz zu dem durch industrielle Serienfertigung gekennzeichneten und einbaufertig gelieferten modernen Isolierglasfenster, ein zum Großteil traditionell handwerklich hergestelltes Fenster, an dessen Herstellung mehrere Professionisten beteiligt waren und das – im Gegensatz zu industriell hergestellten modernen Konstruktionen – meist ein hohes Potenzial für Wiederinstandsetzungen bietet.

Der riesige Bestand an historischen Kastenfenstern insbesondere in den Städten Mitteleuropas – man spricht von 100 Mio. zu sanierender Kastenfenster alleine in Deutschland, bzw. umgerechnet auf Österreich rund 10 Mio. - stellt ein hervorragendes Potenzial zur energetischen Ertüchtigung bei gleichzeitiger Steigerung der Behaglichkeit von Häusern mit Geschichte dar und kann einen wesentlichen Beitrag zum nachhaltigen Umgang mit den zur Verfügung stehende Ressourcen leisten.

Unsanierete Kastenfenster weisen in der Regel – abgesehen von oft vorhandenen Verwitterungs- und Verwindungserscheinungen - im Vergleich zu zeitgemäßen Standards zu hohe Fugen-Luftdurchlässigkeiten und zu geringen Wärmeschutz, nicht selten auch fehlenden oder unzureichenden Sonnen- bzw. Blendschutz auf. Gerade dieser Aspekt gewinnt zunehmend an Bedeutung, da innerstädtische Gebäude vielfach als Büros genutzt werden und die – an sich meist sehr ansprechenden - alten Fenster den neuen Anforderungen an das Tageslichtmanagement kaum Rechnung tragen.

In den letzten 15 Jahren wurden zahlreiche Studien und Leitfäden zur Sanierung von Kastenfenstern publiziert und es kann daher das Thema Instandsetzung bzw. Wiederherstellung dieser historischen Fenster als gelöst betrachtet werden. Auch wurden einige Ertüchtigungsmaßnahmen vorgestellt bzw. getestet, wie z.B. Abdichtung der inneren Flügelfugen, Austausch der inneren Scheibe gegen eine Einfachscheibe mit low-e-Beschichtung, ja sogar gegen ein Isolierglaselement. Bemerkenswert ist dabei, dass Messungen realer Fensterkonstruktionen nahezu vollständig fehlen sowie die Bauanschlussfuge dabei völlig unbetrachtet blieb.

3.2.2 Methoden und Vorgangsweise

Die Sanierung von Kastenfenstern erfolgt in der Praxis durch Erhaltungsmaßnahmen und Gangbarmachung. Als weiterführende thermische Verbesserungsmaßnahmen kommen unter anderem der Einbau von Dichtungen und der Austausch der Verglasung gegen low-e-beschichtete Gläser oder Isoliergläser in Frage. Ein etwaiger Glasaustausch wird aufgrund der veränderten Außenansicht denkmalpflegerisch kritisch gesehen. Technisch führt dieser, neben dem Abkühlen des Scheibenzwischenraums, zu einer Reduktion der Strahlungswärmegewinne und natürlicher Belichtung durch verringerten Gesamtenergiedurchlass sowie Lichttransmission einerseits sowie zu verringerten Wärmeverlusten durch langwellige Strahlung andererseits.

Die Bauanschlussfuge des Kastenfensters wird in der Regel nicht verändert und ist kaum untersucht, wobei durch die Verbesserung des Wärmeschutzes am Fenster eine Verlagerung des Taupunktes der Gesamtkonstruktion an oder in die Anschlussfuge zu erwarten ist. Durch Innendämmung kann dieses unerwünschte Verhalten maßgeblich verschärft werden, da weniger Wärme zur Bauanschlussfuge nachströmen kann. Diese Abkühlung bewirkt eine Erhöhung der relativen Luftfeuchte, wodurch verbesserte Wachstumsbedingungen für holzzerstörende Pilze entstehen können. Aus diesen Überlegungen, die auch durch die Recherche gestützt wurden, ergaben sich zwei Handlungsfelder:

- Untersuchung üblicher Sanierungsmaßnahmen von Kastenfenstern hinsichtlich Veränderung des thermischen und hygrischen Verhaltens, der Lichttransmission und der Strömung im Scheibenzwischenraum durch In-Situ-Messungen, um ein besseres Verständnis für das Verhalten des Kastenfensters in hygrothermischer Hinsicht und bezüglich Konvektion zu erhalten. Dabei wurden zwei baugleiche Kastenfenster im Objekt Schönbrunnsgasse 30 mit entsprechender Sensorik ausgestattet und über ein Jahr überwacht. Eines der Fenster wurde lediglich gangbar gemacht, das andere zusätzlich mit einer Dichtung der inneren Stockfalzfuge und eine Innenverglasung mit low-e-Beschichtung versehen. Die Messungen werden über die Projektlaufdauer hinaus durchgeführt.
- Hygrothermische Simulation von Sanierungsvarianten der Bauanschlussfuge in Kombination mit unterschiedlichen Innendämmungssystemen, da sowohl die verbesserte Luftdichtheit durch die Fenstersanierung als auch die Veränderung des Temperatur- und Feuchtehaushaltes des Mauerwerks durch das Innendämmsystem zu einer stärkeren hygrischen Belastung der Bauanschlussfuge führen.

Eine Validierung der Simulationen mit den Messdaten musste unterbleiben, da die Messungen keine ausreichenden Daten für eine vollständige Validierung bieten und in der Projektlaufzeit keine aufwändigen Vergleichsrechnungen mehr möglich waren. Gleichwohl stellen die gewonnenen Messdaten eine ausgezeichnete Datenbasis für zukünftige Simulationen dar.

3.2.3 Recherche/Analyse – thermische Sanierung von Kastenfenstern

Zur Recherche und Analyse im Bereich Kastenfenster wurde den Projektschwerpunkten entsprechend der Stand der Technik und Wissenschaft aufgearbeitet. Der Fokus der Recherche liegt auf wissenschaftlich untersuchten Sanierungsvarianten, ergänzend wurde handwerklich geprägte Literatur mit geringerer Wertung mit aufgenommen. Die Recherche ist auf den deutschsprachigen Raum ohne zeitliche Begrenzung eingeschränkt. Neuere Publikationen aus der Forschung (nach 2003) werden inhaltlich genauer aufbereitet, ältere Publikationen (vor 2003) werden nur grob aufgearbeitet. Bei Veröffentlichungen aus dem nichtwissenschaftlichen Bereich, zum Beispiel Leitfäden für Planer und Ausführende, wird die Literatur erfasst und auf Relevanz geprüft. Es wurden 14 Quellensammlungen und Kataloge abgefragt und 74 Quellen aufgearbeitet. Das Quellenverzeichnis liegt in gesonderter Form digital vor, digitale Quellen wurden gesammelt und im gesonderten Verzeichnis verlinkt.

Die vollinhaltliche Recherche findet sich im Annexbericht 1.8



Recherche und Analyse zur Sanierung von Kastenfenstern

Die vollinhaltliche Beschreibung der Untersuchung findet sich im Annexbericht 2.6 -3.6

Kastenfenster_Konzepte,Simulation, Messung

siehe Kapitel 6.3

3.2.4 In-Situ-Messungen

Durch die Sanierung von Kastenfenstern können in wärme- und schalltechnischer Hinsicht moderne Ansprüche erfüllt werden, ohne das historische Gesicht von Gebäuden maßgeblich zu verändern. Die Eigenschaften und Vorteile von Kastenfenstern sind in situ allerdings noch wenig untersucht. Deshalb wurden die hygrothermischen Verhältnisse in zwei historischen Kastenfenstern, insbesondere die Wirkungsweise der Scheibenzwischenräume, in situ mit Hilfe einer aufwändigen Messtechnik erfasst. Die beiden baugleichen, dreiflügeligen Kastenfenster liegen in zwei praktisch gleichgroßen Räumen im Dachgeschoss des Kindergartens Schönbrunnngasse 30 und sind nach Südwesten ausgerichtet. Der Zugang erfolgt über einen sehr großen Flur (siehe Abb. (37)).



Abb. (37) links: Grundriss Dachgeschoss mit Außenklimasensoren und Räumen; rechts: Außenansicht Südwestfassade Schönbrunnngasse 30 mit verbessertem Kastenfenster (linker roter Kreis), instand gesetztem Kastenfenster (rechter roter Kreis) sowie Außenklimamessung (blauer Kreis). Das gesamte Dachgeschoss wird lediglich als Abstellraum benutzt. In Abb. (116) sind die externen Sensoren markiert.

Sanierungsarbeiten

Die Kastenfenster beider Räume wurden zunächst instand gesetzt, d.h. die Gangbarkeit wurde wiederhergestellt, alter, schadhafter Anstrich entfernt und auf eine neue Grundierung wurde eine neue Deckschicht aufgebracht. Das Fenster in Raum 2-Ve (Raum mit verbesserten Maßnahmen) wurde mit einer eingefrästen Dichtung am Innenflügel versehen und die innere Scheibe durch ein Glas mit so genannter low-e-Beschichtung (K-Glas) ersetzt.

Messeinrichtung

Außenklima

Auf der Außenwand des unmittelbar angrenzenden Eckraumes mit der Messdatenerfassung und Zusatzheizung mit gleicher Ausrichtung (Front nach Südwesten) werden bereits die Außentemperatur, -luftfeuchte und Globalstrahlung in dem zeitgleich ablaufenden Projekt der TU Graz „ÖKO-ID“ (FFG-Projektnummer 818908) aufgezeichnet (siehe blauer Kreis in Abb. (37)). Auf der Außenoberfläche des „verbesserten“ Kastenfensters wurde ein weiterer, baugleicher Strahlungssensor (Sternpyranometer) angebracht, um divergierende Zustände der einwirkenden Globalstrahlung zu erfassen.



Abb. (38) Sensoren in den Kastenfenstern: oberer und unterer kombinierter Temperatur-/Luftfeuchtefühler im roten Kreis, oberer und unterer Strömungssensor im blauen Kreis, Oberflächentemperaturen an den Scheiben und am Futterholz rote Pfeile, Oberflächentemperatur an der raumseitigen Verkleidung im grünen Kreis

Kastenfenster

Die Grundausstattung der Messeinrichtung wurde Anfang November 2011 installiert und in Betrieb genommen.

- auf der Innenseite der Außenscheibe, der Futterstockoberfläche und der Außenseite der inneren Scheibe befinden sich Oberflächentempersensoren (rote Pfeile in Abb. (38))
- kombinierter Temperatur-/Luftfeuchtefühler in der Bauanschlussfuge zwischen Futterstock und Mauerwerk
- Zwei kombinierte Temperatur-/Luftfeuchtesensoren in der Mitte des Kastenfensterzwischenraums (rote Kreise in Abb. (38))
- zwei Hitzedrahtanemometer in gleicher Höhe wie die Temperatur-/Luftfeuchtesensoren (blaue Kreise in Abb. (38))
- kombinierter Temperatur-/Luftfeuchtefühler in der Mitte der unteren Innenkante des Rollokastens des verbesserten Kastenfensters



Abb. (39) Pyranometer innen (grüner Kreis) und außen (roter Kreis) sowie Temperatur/Luftfeuchtefühler (blauer Pfeil) über Heizkörper in Raum 2-Ve

Raumklima und Globalstrahlung

- kombinierter Temperatur-/Luftfeuchtefühler ca. 35 cm über den Warmwasserradiatoren in der Mitte des Kastenfensters (blauer Pfeil in Abb. (39))
- Pyranometer am selben Befestigungswinkel (grüner Kreis in in Abb. (39)).
- Luftbefeuchter in beiden Räumen

Durch die Verteilung der getesteten Fenster auf zwei Räume konnten unterschiedliche Raumklima-Szenarien verwirklicht werden. In Raum 2-Ve wurden aber auch ungewöhnliche Raumklimata realisiert, um das Verhalten von Kastenfenstern unter kritischen Bedingungen zu testen.

Ergänzungen und Veränderungen im Februar 2012

- Mitte Februar 2012 wurde die Messeinrichtung mit zwei Handmessgeräten „testo 177-H1“ der Firma testo ergänzt. In beiden Räumen erweitern sie die Messstrecke in 20 cm Höhe durch einen zusätzlichen, raumseitigen Oberflächentempersensor auf der inneren Verkleidung der Bauanschlussfuge. Zeitgleich messen sie auch die Raumtemperatur und -luftfeuchte in einem Abstand von ungefähr 1,50 m zum Fenster bzw. Heizkörper.
- Am 8.2. (Raum 1-In und externer Sensor ÖKO-ID), 10.2. (Raum 2-Ve) und 14.2. (externer Sensor DMA) wurden die Pyranometer in eine vertikale Position gebracht.

Ergänzungen und Veränderungen Mitte Juni 2012

- Da sich die gemessenen Werte der Pyranometer aus den beiden Projekten im Tagesablauf zeitweise deutlich unterschieden, wurde ein weiterer Sensor nahe des instand gesetzten Kastenfensters befestigt.
- Der Abstand der Hitzedrahtanemometer von der inneren Fensterscheibe wurde auf ungefähr 12 mm verringert, da parallel durchgeführte Strömungssimulationen des Instituts für Wärmetechnik der TU Graz dort das Maximum der Geschwindigkeit vermuten lassen und sich in den bisherigen Messungen ein nicht völlig erklärbares Bild des Strömungsverlaufes ergeben hat.
- Diese Messungen werden erst in der folgenden Winterperiode relevant, die bereits nach dem Berichtszeitpunkt und Projektende liegt. Die Messungen werden aber fortgesetzt.
- Im verbesserten Kastenfenster wurde ein weiterer Temperaturfühler an der oberen Fensterfuge der äußeren Scheibe befestigt (rechter Flügel), um die durch einströmende Luft beeinflusste Temperatur zu erfassen.

weitere Änderungen in Folge

Um eine Unwägbarkeit der Messergebnisse zwischen den Räumen auszuschließen, wurden an beiden Zimmertüren umlaufende Leisten mit Lippendichtungen angebracht.

Zusammenfassung der Sensoren

In Abb. (40) sind alle Sensoren des Projekts aufgeführt.

Raum	Ort	Gemessene Größe und Sensorenanzahl			
		Temperatur	Luftfeuchte	Strömung	Strahlung
Raum 1-In	Strahlung - extern				1
	Kastenfensterzwischenraum	2	2	2	
	Scheiben und Futter-Oberflächentemperatur	3			
	Bauanschlussfuge	1	1		
	Über der Heizung	1	1		1
Raum 2-Ve	Strahlung - extern				1
	Kastenfensterzwischenraum	2	2	2	
	Scheiben und Futter-Oberflächentemperatur	3			
	Bauanschlussfuge	1	1		
	Über der Heizung	1	1		1
	Rollokasten (nur Raum 2-Ve)	1	1		
	Obere Fuge ext. Scheibe (nur Raum 2-Ve)	1			
		16	9	4	4
				Gesamt:	33
Zusatzsensoren:					
Außenklima		1	1		
Beide Räume	Raumklima	2	2		

Abb. (40) Ort, Anzahl und Art der Messsensoren

Zusammenfassung der Messergebnisse

Die in-Situ-Messung des Kastenfensters lieferte eine Reihe von Messdaten, die gut zum Vergleich unterschiedlicher Randbedingungen und der daraus resultierenden Folgen mit Simulationswerkzeugen geeignet sind. Dennoch wurde eine Validierung der gegenständlichen Simulationen der Kastenfenster aber nicht durchgeführt, da insbesondere Messungen der Wärmeübergangswiderstände durch Wärmestromplatten aus Kostengründen nicht möglich waren. So wurden in den Simulationen ungünstigere Randbedingungen als in den in-Situ-vermessenen Fenstern, wie z.B. Fenster in Nordrichtung, angenommen.

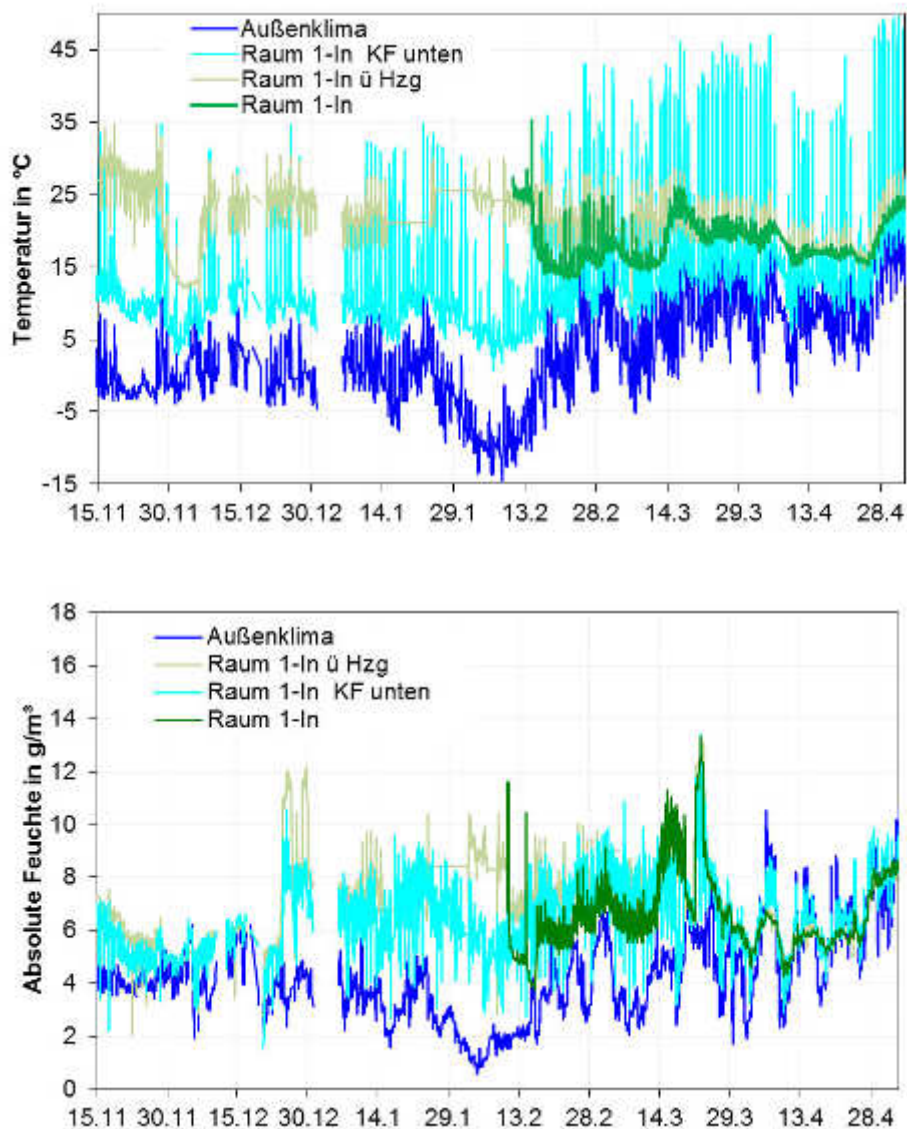


Abb. (41) oben Temperatur und unten absolute Feuchte in g/m^3 von Außenklima, Raumklima und Kastenfenster-Zwischenraumklima in Raum 1-In

Signifikant sind folgende Ergebnisse:

- eine sehr hohe Temperaturdifferenz im Scheibenzwischenraum von oben und unten
- daraus resultierend bei gleicher absoluter Luftfeuchte im Scheibenzwischenraum eine hohe Differenz der relativen Feuchte
- häufiges Kondensat im Fenster in Raum 1-In mit nicht abgedichtetem Innenflügel, kein sichtbares Kondensat im Fenster in Raum 2-Ve
- langsames Abkühlen des Raumes 2-Ve nach Deaktivieren der Heizung aufgrund reduzierter Wärmeverluste durch das verbesserte Fenster
- die Luftfeuchte im Scheibenzwischenraum moduliert besonders in der kalten Jahreszeit im instand gesetzten Fenster in Raum 1-In überwiegend mit der Innenluft, im mit Dichtung in der inneren Stockfalfuge versehenem verbessertem Fenster in Raum 2-Ve überwiegend mit der Außenluft

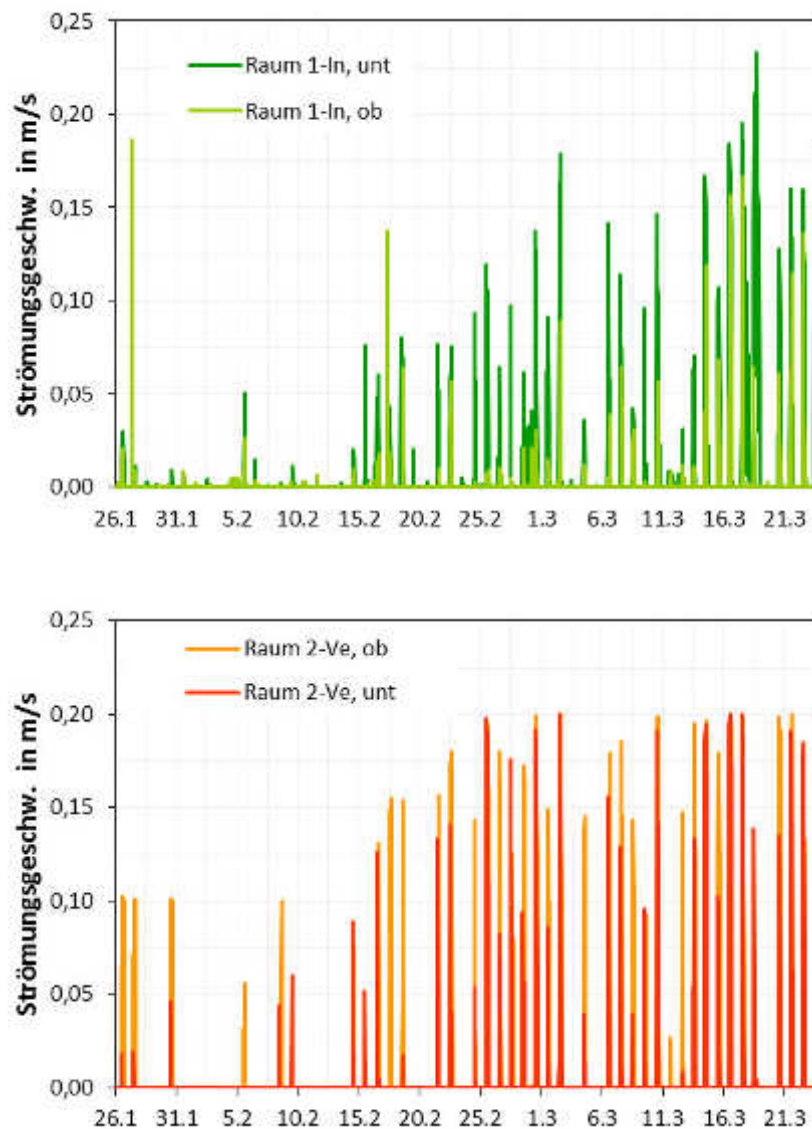


Abb. (42) Strömungsgeschwindigkeiten in unterschiedlichen Höhen im instand gesetzten (Raum 1-In links) und im verbesserten Fenster (Raum 2-Ve rechts)

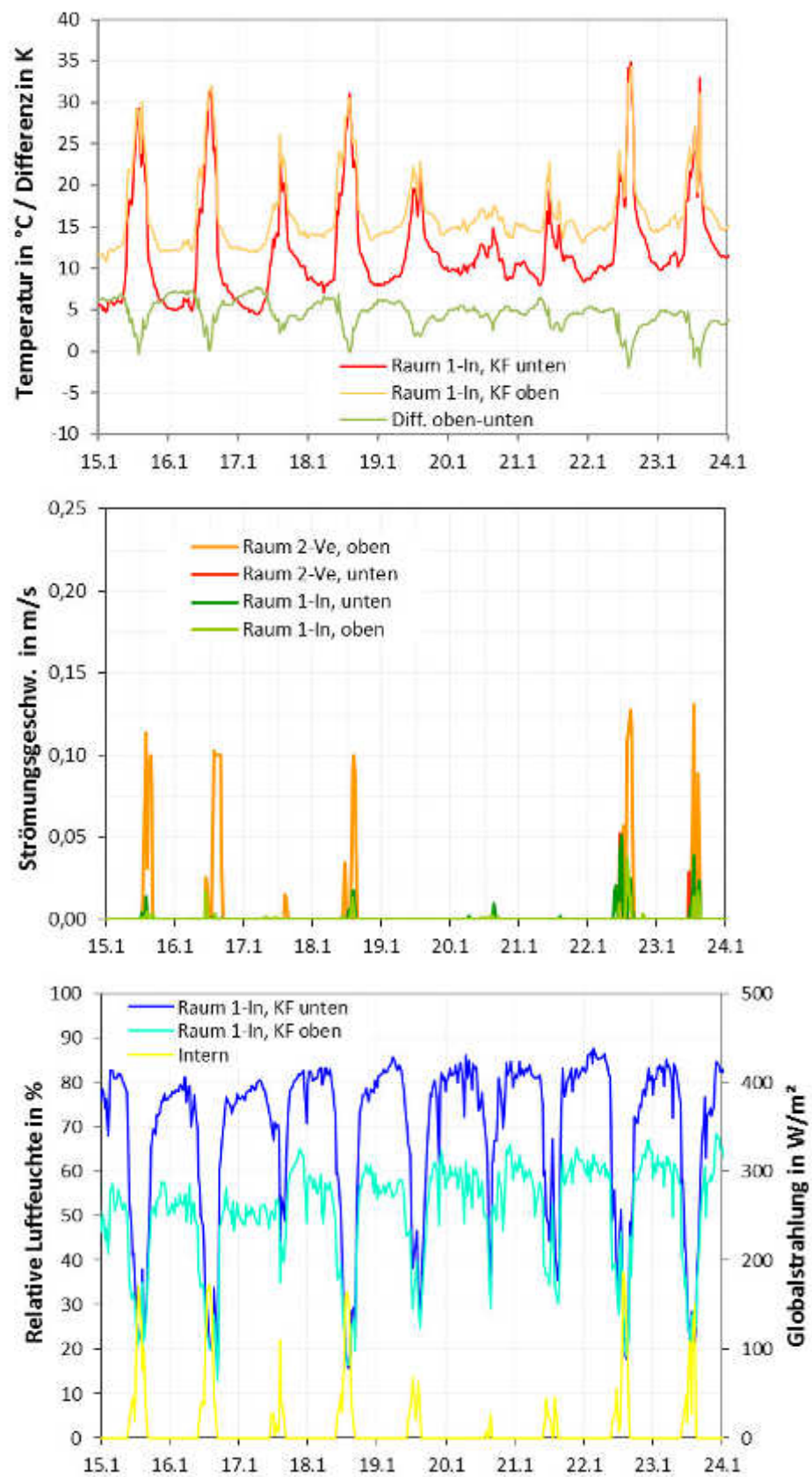


Abb. (43) Temperatur (oben), Strömung (mitte) und Luftfeuchte (unten) in der Mitte des instand gesetzten Kastenfensters in unterschiedlichen Höhen Mitte Januar in Raum 1-In

- in Fensternähe weist die Luft in Raum 1-In eine niedrigere absolute Feuchte auf als das Fenster in Raum 2-Ve, vermutlich aufgrund des Ausströmens feuchter Luft durch den undichten Innenflügel
- in beiden Fenstern sehr gering ausgebildete Konvektionswalze bei geringem Globalstrahlungsangebot und geringen Temperaturdifferenzen zwischen unten und oben im Scheibenzwischenraum, maßgebliche Konvektionswalze und höhere Temperaturdifferenzen bei zunehmender Globalstrahlung - es wird vermutet, dass die Anordnung der Strömungssensoren ca. 30 mm vom inneren Abschluss des Scheibenzwischenraums lediglich eine bei auftreffender Globalstrahlung breite Walze misst, nicht jedoch eine schmalere Walze, die durch Temperaturdifferenz von innen und außen entsteht - die Lage der Sensoren wurde daher (s.o.) verändert, Ergebnisse sind aber erst nach Projektende zu erwarten

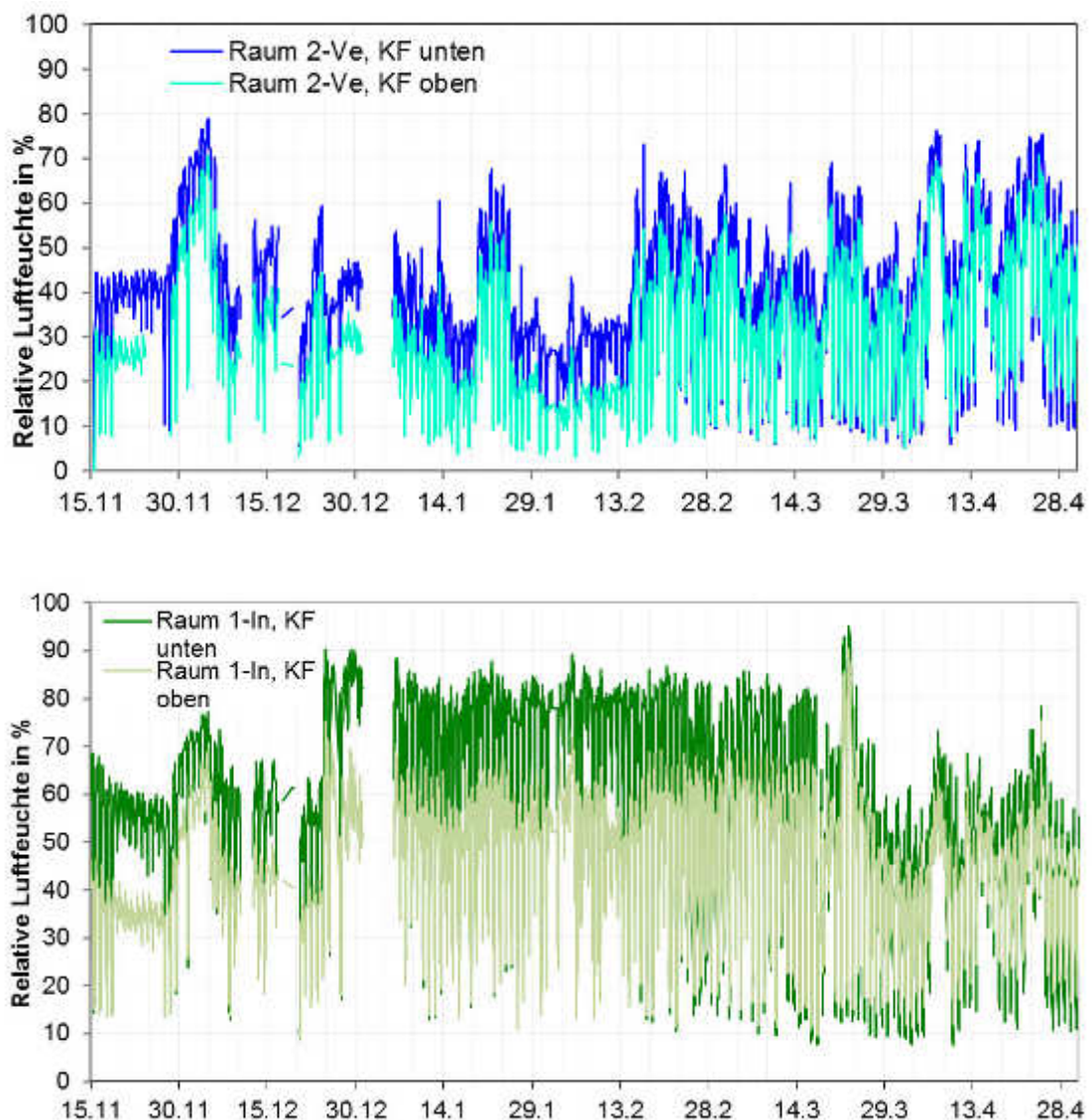


Abb. (44) Luftfeuchteverlauf in der Mitte der Kastenfenster in unterschiedlichen Höhen im verbesserten Fenster (oben) (Raum 2-Ve) und im instand gesetzten Fenster (unten) (Raum 1-In)

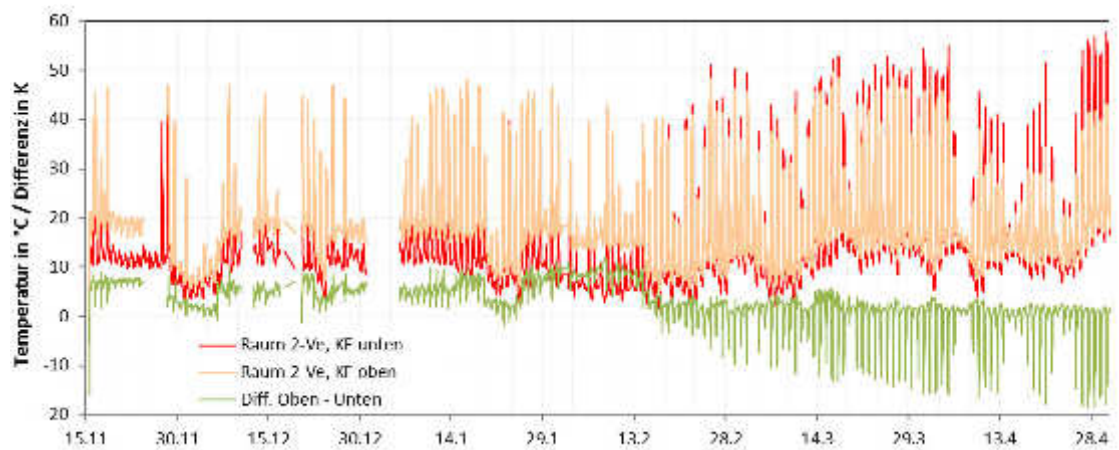


Abb. (45) Temperaturverlauf in der Mitte der Kastenfenster in unterschiedlichen Höhen und deren Differenz im verbesserten Fenster

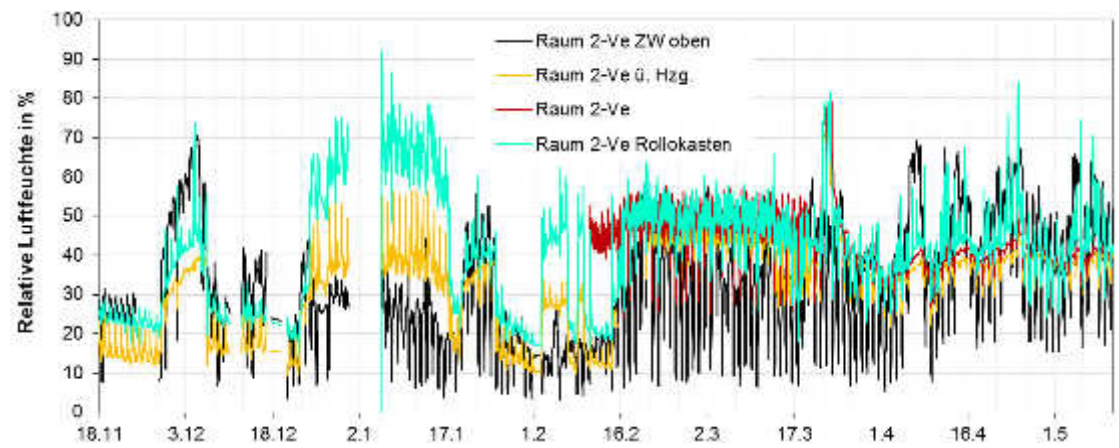


Abb. (46) relative Luftfeuchten in Raum 2-Ve, Kastenfensterzwischenraum (ZW) und im Rollokasten

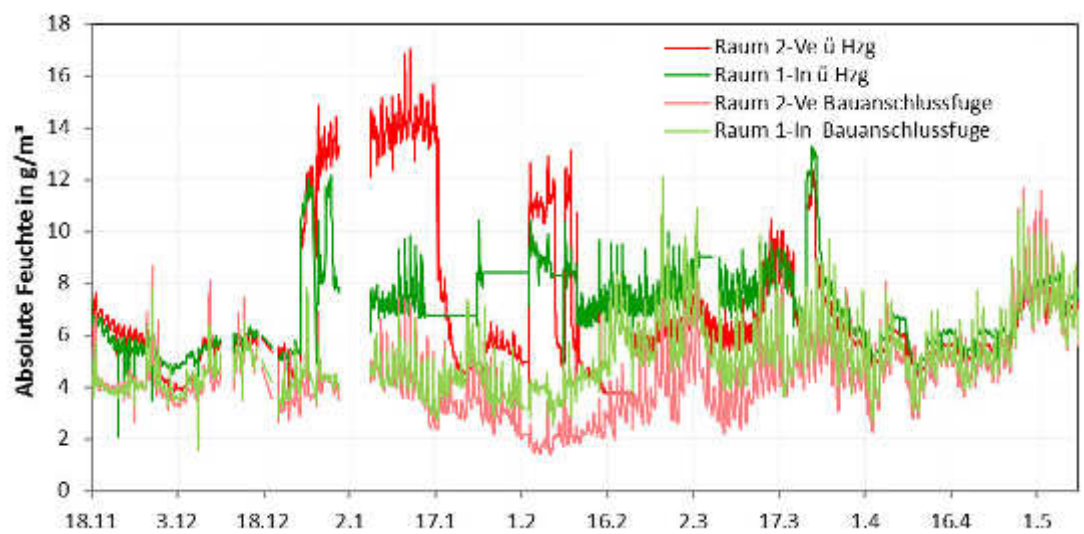


Abb. (47) Verlauf der Temperatur im Raum über der Heizung und in der Bauanschlussfuge

- es ist kein maßgeblicher Einfluss der Temperaturdifferenz zwischen innen und außen auf die Ausbildung der Konvektionswalze bei der ursprünglichen Anordnung der Strömungssensoren festzustellen, ebenso kein messbarer Einfluss von Windes ist kein maßgeblicher Einfluss der Temperaturdifferenz zwischen innen und außen auf die Ausbildung der Konvektionswalze bei der ursprünglichen Anordnung der Strömungssensoren festzustellen, ebenso kein messbarer Einfluss von Wind
- die Bedingungen im Rollladenkasten sind stark durch die Innenluft geprägt, wobei die Temperatur im Vergleich durchschnittlich um 8 K niedriger ist. Das Einbinden des Rollladenkastens in die Dichtungsmaßnahmen ist nicht nur aus Gründen der Energieersparnis sondern auch zum Schutz der Konstruktion vor Feuchteschäden zu empfehlen
- die absolute Luftfeuchte in der Bauanschlussfuge wird von der Außenluft bestimmt, im gegenständlichen Fall scheint also ein gut ausgeführter innerer Abschluss der Anschlussfuge – wenn auch in geringfügig unterschiedlichem Maß - vorzuliegen. Unter diesen Randbedingungen folgt die Temperatur gedämpft und verzögert der des Scheibenzwischenraums. Damit moduliert auch die relative Luftfeuchte in der Fuge mit der Temperatur im Scheibenzwischenraum und der Außenluftfeuchte, wobei in Raum 1- In ein stärkerer Einfluss der Innenluftfeuchte vorzuliegen scheint. Im Gegensatz zu den eindeutigen Bedingungen der Temperaturabhängigkeit kann eine eindeutige Abhängigkeit der relativen Luftfeuchte in der Bauanschlussfuge von den angrenzenden Klimaten nicht festgestellt werden
- im Sommer- wie im Winterfall führen die Abdichtung der inneren Stockfalzfuge und vor allem die low-e-Beschichtung der inneren Glasscheiben zu größeren täglichen Temperaturamplituden im Scheibenzwischenraum, die sich ev. nachteilig auf die Konstruktion auswirken können. Für die Bedingungen im Innenraum sind die Maßnahmen aber jedenfalls zielführend und die Abdichtung der innere Stockfalzfuge reduziert die Luftfeuchte im Scheibenzwischenraum signifikant und vermeidet soweit beurteilbar Kondensat gänzlich

Die in-Situ-Messungen der Kastenfenster zeigen eine Reihe komplexer Zusammenhänge auf, die noch nicht vollständig interpretiert werden können, da die Messperiode erst ein Jahr betrug. Neben den einzelnen Erkenntnissen, deren Abstrahierbarkeit noch nicht erwiesen ist, ist das Aufzeigen weiteren Forschungsbedarfs ebenso wichtig.

Weitere Messungen und Forschungsbedarf

Die Messungen werden außerhalb des gegenständlichen Forschungsprojektes noch bis Juni 2013 weiter geführt. Die veränderte Sensorposition der Anemometer kann bei annähernd vergleichbaren Randbedingungen eventuell einen besseren Aufschluss über das Ausbilden der Konvektionswalze geben und die sonstigen Messungen die getroffenen Analysen und begründeten Vermutungen verifizieren gegebenenfalls aber auch in Frage stellen. Die Auswertung außerhalb eines geförderten Projektes wird aber von den verfügbaren Personalressourcen abhängen und die Auswertung als solche ist zum jetzigen Zeitpunkt keineswegs gesichert.

Die in den Messungen festgestellten Umstände definieren den weiteren Forschungsbedarf:

- wie beeinflussen unterschiedliche Sanierungsmaßnahmen die Zustände im und am Fenster, das Raumklima und die Energieverluste
- wodurch sind die Bedingungen in der Bauanschlussfuge bestimmt und ab wann besteht Sanierungsbedarf – auch in Abhängigkeit von anderen Sanierungsmaßnahmen
- kann das Kastenfenster zielsicher in hygrothermischen Simulationen und in CFD-Simulationen abgebildet werden und gelingt es, diese Simulationen miteinander dynamisch zu koppeln

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass das Verhalten der Kastenfenster keineswegs immer mit den theoretischen Annahmen übereinstimmt. Daher sind Messungen von Kastenfenstern im Labor unverzichtbar für kontrollierte Randbedingungen und Versuchsanordnungen.

Nachteilig ist dabei, dass die originale Beschaffenheit der Bauanschlussfuge nicht oder nur schwer nachzustellen ist. In-Situ-Messungen erschließen erst den Blick auf die komplexen Zusammenhänge und ermöglichen es, die Versuchsanordnungen im Labor und die Versuche selbst zielgerichtet und der Komplexität des Verhaltens entsprechend aufzustellen und durchzuführen. Weitere Untersuchungen erfordern daher:

- eine Reihe von baugleichen, möglichst typischen Kastenfenstern mit genauerer und vielfältigerer Messeinrichtung zu bestücke
- erforderliche ergänzende Messeinrichtungen sind vor allem: verbesserte Strömungsmessung im Scheibenzwischenraum, Kondensatfühler, mehrere hygrothermische Messstellen in der Bauanschlussfuge, Erfassung der Windströmungen unmittelbar am Fenster, mehrmalige ergänzende Blower-Door-Messungen mit unterschiedlichen Zuständen hinsichtlich Dichtheit von Fensterebenen und Bauanschlussfugen, horizontale hygrothermische Messstrecken, Erfassung der Globalstrahlung an mehreren Stellen im Scheibenzwischenraum, Messung von Außenluftbedingungen, Regenfühler und Globalstrahlung sowie Innen- und Außenluftdruck
- ergänzende gezielte Messungen unterschiedlicher Sanierungsmaßnahmen in-Situ
- Messdauer in-Situ zumindest drei Jahre sowie Untersuchung baugleicher Kastenfenster im Labor unter kontrollierten Bedingungen
- gezielte Vergleichsmessungen mit anderen Kastenfenstertypen
- Erstellen von Modellen für Simulationen mit weitgehender Übereinstimmung mit In-Situ-Messergebnissen und Anpassen dieser Modelle an andere Kastenfenstertypen

3.2.5 Thermisch-hygrische Simulation

Untersuchungsgegenstand

Bei der thermischen Sanierung innerstädtischer und denkmalgeschützter Bauwerke sind Außendämmungen oft aufgrund des Denkmalschutzes, von Baufluchtlinien oder des mit ihrer Errichtung verbundenen Aufwandes nicht möglich und Innendämmungen werden erforderlich. Diese können (siehe auch projektzugehörige Recherche) entweder als dampfsperrende Systeme (z.B. mit Dämmungen aus Schaumglas), als dampfbremsende Systeme (mit dampfbremsenden Schichten oder Folien) oder als kapillaraktive Systeme ausgeführt werden und zu einer Senkung des U-Wertes um ca. 50 - 70 % führen. Kapillaraktive, diffusionsoffene Systeme begegnen dem Problem einer durch die Innendämmung auf die Innenseite der tragenden Außenkonstruktion wandernden Kondensationsebene oder -zone dadurch, dass die Feuchtezunahme und ev. Kondensation zugelassen wird und die Systeme durch sorptive und kapillare Transportvorgänge nach innen und außen rücktrocknen, wobei vom System nur der Rücktrocknungsvorgang nach innen kontrolliert werden kann.

Kenntnisdefizite

Wie in Fachkreisen bekannt und auch aus der Recherche entnehmbar, sind viele kapillaraktive Innendämmungssysteme in ihrer grundlegenden Eignung bekannt und als funktionsfähig akzeptiert. Es kommen aber immer wieder neue Systeme auf den Markt und insbesondere die für den praktischen Einsatz unabdingbaren Bauteilanschlüsse sind noch wenig untersucht, Konstruktionsregeln oder -kataloge mit hygrothermischer Beurteilung fehlen völlig, weshalb zur

Zeit jedes System im konkreten Einsatzfall durch Simulationen nachzuweisen ist. Eine einfache Beurteilung anhand von Wärmebrückenkatalogen ist aufgrund der Komplexität nicht möglich.

Im Projekt „denkmalaktiv I“ wurden daher eine Reihe von Bauteilanschlüssen, die typisch für das Baualter der fünf Referenzprojekte (mit Ausnahme der älteren Teile des Franziskanerklosters) sind, in Varianten mit unterschiedlichen Dämmsystemen untersucht, um im Vergleich der Systeme einerseits die Eignung für unterschiedliche Anschlüsse zu überprüfen und andererseits generalisierbare Erkenntnisse als Basis für eine Systematisierung zu gewinnen.

Als Referenzprojekt für die Untersuchung von typischen Konstruktionen wurde aus folgenden Gründen das Objekt Schönbrunngrasse 30 in Graz-Mariagrün gewählt:

- Das Objekt hat sich im Zuge der Bearbeitung als das wahrscheinlichste Objekt für eine Fortführung der Forschung in Richtung eines Demonstrationsobjektes herausgestellt und wurde daher in der bauphysikalischen und hochbaulichen Bestandsaufnahme prototypisch und tiefer untersucht. Es lagen also wesentlich genauere Kenntnisse über die tatsächliche Konstruktion vor, als in den anderen Referenzobjekten. Die angenommenen Waddicken bestätigten sich im Wesentlichen, wenn auch in situ eine breitere Vielfalt vorgefunden wurde.
- Aufgrund der Bauzeit (erste Bauphase Neorenaissance (1885/86), Zubau Jugendstil (1902/1903)) deckt das Objekt sowohl die Hochzeit als auch das Auslaufen der österreichischen Gründerzeit (ca. 1860 bis 1914) ab und damit typische historistische Detailkonstruktionen.
- Aufgrund der umfangreichen messtechnischen Untersuchungen und Simulationen des Objektes im Rahmen des Projektes OEKO-ID liegen von Mauerwerk und Mörtel genaue hygrothermische Kennwerte für die Simulation vor. Diese stellen zwar eine im Grunde nicht generalisierbare objektspezifische Besonderheit dar, dürften aber mit den in Ostösterreich üblichen Baustoffen besser korrelieren, als in der Literatur zu findende Kennwerte, die über den gesamten europäischen Raum mit Schwerpunkt Mittel- und Norddeutschland streuen

Folgende Kriterien wurden an die Auswahl der Detailpunkte gestellt:

- **generalisierbare Details**
die ausgewählten Details sollen im (denkmalgeschützten) Altbestand möglichst in ähnlicher Form vorkommen. Sonderlösungen am Objekt Schönbrunngrasse insbesondere bautechnisch experimentelle Details des Jugendstils blieben ausgeklammert
- **geometrische Vielfalt**
die Details sollen eine Reihe unterschiedlicher Anslusstypologien aufweisen, da die geometrische Situation am Anschluss, insbesondere die Verhältnisse Innen- zu Außenoberfläche und die Anordnung von die Innendämmung durchdringenden Bauteilen maßgeblichen Einfluss auf Wärmeverluste, Temperaturen im Bauteil und Rücktrocknung haben
- **im Projektzeitraum bewältigbar**
natürlich ist die Vielfalt der Detailpunkte insbesondere in Varianten und Optimierungen nach erfolgter erster Simulation ein erstrebenswerter Zugang. Im Projekt wurde dieser Ansatz aber zugunsten einer Darstellung der o.a. Vielfalt aus Zeitmangel aufgegeben, so dass keine Optimierungen der Details oder Vergleichssimulationen zur Abklärung vermuteter Ursachen möglich waren und diese auf ein anderes Projekt verschoben werden mussten

Ausgeklammert blieben folgende Detailvarianten:

- Kombinationen von Innendämmungen mit Außendämmungen: Gerade in der Leibung würde eine Außendämmung im Anschlussbereich an den Fensterstock die zu erwartende Abkühlung in der Bauanschlussfuge reduzieren. Da aber Außendämmungen, auch wenn sie im Leibungsbereich ins Mauerwerk eingestemmt werden, denkmalpflegerisch kritisch zu sehen und bei außen bündig angeordneten Fenstern nicht möglich sind, wurden diese Varianten nicht weiter verfolgt.
- Kombinationen von Innendämmung mit weiteren Sanierungsvarianten: Als weitere Sanierungsvarianten für das Kastenfenster wurden Ausführungen mit Isoliergläsern innen und/oder außen, mit Sonnenschutzvorrichtungen (Rollläden, Klappläden) und mit innen vorgesetzten Zusatzflügeln diskutiert. Diese Varianten blieben bei der Betrachtung der Bauanschlussfuge aus Gründen des bewältigbaren Projektvolumens unberücksichtigt.

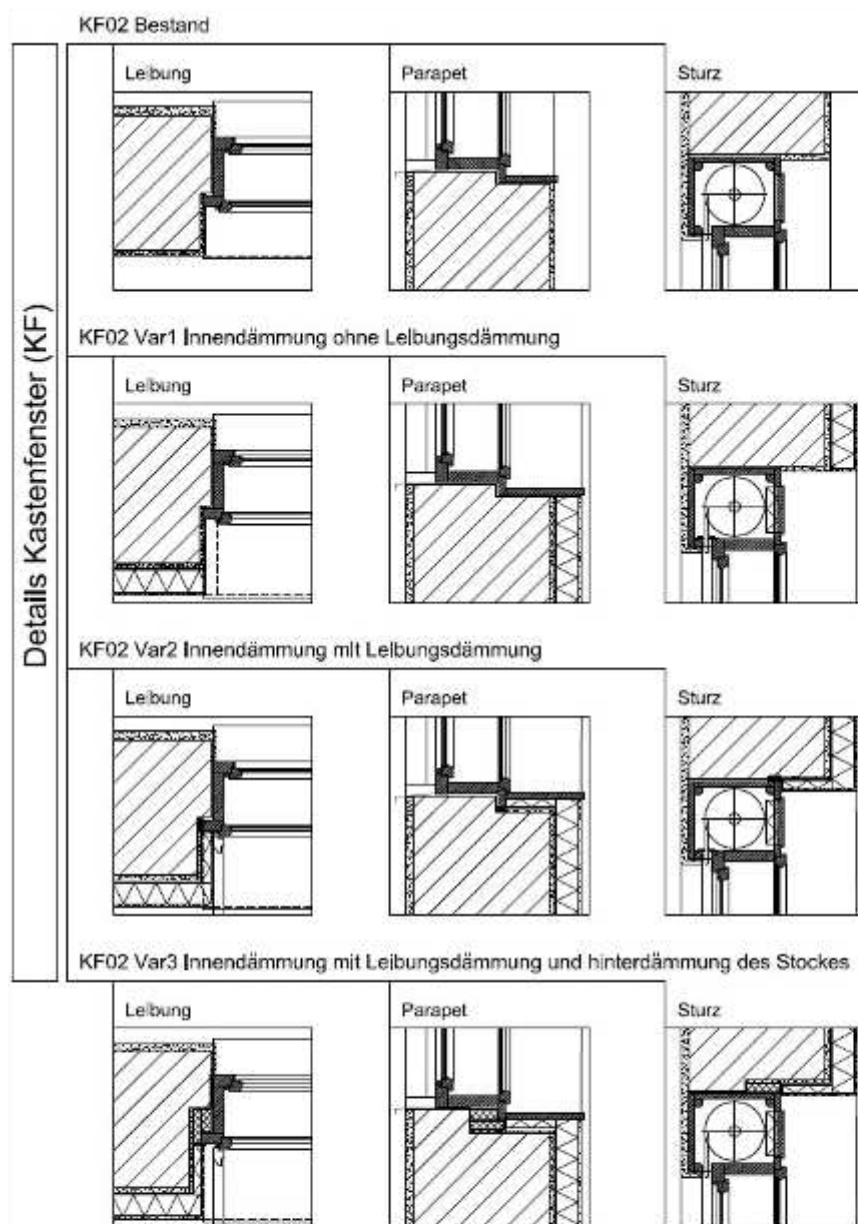


Abb. (48) Übersicht über die Sanierungsvarianten der Bauanschlussfuge

Detailpunkte und Varianten

Wanddicke

Im Referenzgebäude wurden unterschiedliche Wanddicken von ca. 70 bis ca. 25 cm gefunden. Aus der Literatur und unter Zugrundelegung des bekannten damals üblichen NF-Ziegel-formates ergeben sich folgende Rohbauwanddicken: 30, 50, 60, 65, 75 cm

Die Dicken ab 60 cm finden sich üblicherweise nur im Kellergeschoß, wo auch die Wanddicken aufgrund des üblichen Mischmauerwerks stark streuen. Bei einer Wanddicke von 30 cm liegt das Kastenfenster im Sturzbereich innen und außen bündig. Dadurch ergibt sich eine für die zu untersuchende Bauanschlussfuge hygrothermisch günstigere Situation, da der Fugenbereich innen niemals so stark überdämmt werden kann, wie bei einem 50 cm dicken Rohbau-mauerwerk mit Innenleibung. Aus diesem Grund wurde die Variante mit 30 cm dicker Wand verworfen. Allen Varianten wird somit eine 50 cm dicke Außenwand (55 cm Gesamtwanddicke mit Innen- und Außenputz) zugrunde gelegt.

Lage des Fensters

Eine innen bündig oder mittig liegende Anordnung des Kastenfensters weist eine weniger tiefe Leibung auf, was zu hygrothermisch günstigeren Verhältnissen in Bezug auf die Detailvarianten in der Bauanschlussfuge führt. Ein vollständig außen bündig liegendes Fenster selber Bauweise wie die im Referenzobjekt anzutreffenden und messtechnisch untersuchten Fenster, würde im Sturzbereich einen nach außen vorspringenden Rollladenkasten und vor der Außenwandfläche liegende seitliche Führungen der Rollläden (Schienen mit Klappscheren) bedingen. Zwar ist dieser Fenstertyp als Grazer-(Hamburger)-Stock-Fenster nicht unbekannt, jedoch musste diese Variante aufgrund der fehlenden Vergleichbarkeit und wegen ihrer sehr speziellen Ausführung verworfen werden. Bei außen im Sturzbereich bündig liegendem Fenster werden die ungünstigsten Verhältnisse in der Bauanschlussfuge erreicht, da diese nach außen wenig und nach innen maximal gedämmt ist. Diese Variante wurde den weiteren Untersuchungen zu Grunde gelegt.

Detailpunkte

Nachstehende Varianten wurden in den Detailpunkten Horizontalschnitt, Parapet und Sturz untersucht:

- **Kastenfenster Bestand**

Die Bestandssituation wurde ohne Innendämmungsmaßnahme in einer Variante mit Bestandverglasung und einer Variante mit low-e-beschichteter Verglasung im Innenflügel untersucht, um einerseits die Eignung des historischen Fensters nachzuweisen und andererseits um Vergleichswerte für die stattfindenden Messungen und die nachfolgenden Variantenuntersuchungen zu erhalten. Weiters werden die Auswirkungen einer Dämmung der Rollladenabdeckung mit 40 mm Polyurethan betrachtet. Alle weiteren Detailuntersuchungen werden mit einer low-e-beschichteten Innenverglasung und PU-Dämmung im Rollladenkasten durchgeführt.

- **Kastenfenster Variante 1**

(Innendämmung ohne Leibungsdämmung)

Hier werden nur auf der Innenseite der Außenwand die verschiedenen Dämmsystem aufgebracht, wobei die Leibung und Bauanschlussfuge, bis auf die Erneuerung der Innenfensterbank aufgrund der tieferen Leibung, unverändert bleibt.

- **Kastenfenster Variante 2**

(Innendämmung mit Leibungsdämmung)

Zusätzlich zur Innendämmung wird eine 30 mm dicke Leibungsdämmung angebracht, wobei auf die Funktionsfähigkeit des Kastenfensters Rücksicht genommen wird und um die Öffenbarkeit der Flügel zu gewährleisten die Bestandsleibung geringfügig abgetragen werden muss. Der Anschluss der Innendämmung an den Fensterstock erfolgt bei allen Dämmsystemen außer Cellulose mittels luftgefüllter und dauerelastisch oberflächlich verfugter Anschlussfuge. Zusätzlich wird noch die Fuge zwischen Innenfensterrahmen und Mauerwerk ausgekratzt und mit Polyurethanschaum verfüllt.

- **Kastenfenster Variante 3**

(Innendämmung mit Leibungsdämmung und gedämmter Bauanschlussfuge)

In dieser Variante wird der Innenfensterrahmen abgenommen und die Bauanschlussfuge bis 130 mm von der Außenkante des Fensterstocks ausgebrochen und mit PU-Dämmung ausgefüllt. Die Mauerleibung wird so weit abgetragen, dass bei 30 mm Dämmstoffdicke noch ein Anschluss der Leibungsdämmung an den Innenfensterrahmen möglich ist.

Dämmsysteme

Als Dämmsysteme kommen die unter "Anwendung kapillaraktiver Innendämmsysteme" angeführten zum Einsatz.

Untersuchungsziele

Die folgenden Untersuchungsziele wurden analog zum Arbeitsbereich "Anwendung kapillaraktiver Innendämmsysteme" definiert und bearbeitet:

- Schimmelbildung infolge erhöhter Oberflächenfeuchtigkeit
- Holzerstörung an Holzbauteilen
- Temperatur und Feuchte im Bauteil

Untersuchungsmethoden

Die Beurteilung der Detailpunkte erfolgte analog zum Arbeitsbereich "Anwendung kapillaraktiver Innendämmsysteme" mit den dort angeführten Werkzeugen.

Kastenfenster – Bestand

Neben der Referenzvariante mit Bestandsverglasung wurde ein verbessertes Kastenfenster mit low-e-beschichteter Verglasung und einer 40 mm dicken Polyurethandämmung an der Außenseite der Rollladenkastenabdeckung in den drei Details Horizontalschnitt, Parapet und Sturz betrachtet. In beiden Varianten wurde von einer dichten Innenflügelebene ausgegangen und, um die ungünstigste Situation abzubilden, keine außenseitige Belüftung des Scheibenzwischenraums modelliert.

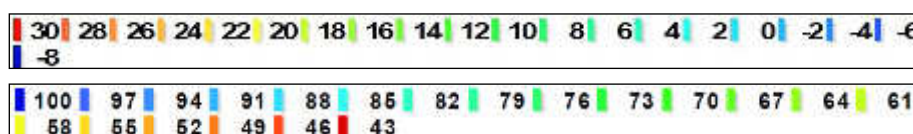


Abb. (49) Farbskalenlegende zur Beurteilung der Temperatur (oben) und relativen Luftfeuchte (unten) in den nachfolgenden Temperatur- und Feuchtefeldern

Innenoberfläche

An der Innenoberfläche der Mauerleibung finden sich in keiner der Detailvarianten (Horizontalschnitt, Parapet und Sturz) Differenzen aufgrund der Verglasungsart. Nur die Rollladenkasten-dämmung senkt im Sturzbereich die Oberflächentemperatur an der Kante Innenfensterrahmen zu Mauerleibung geringfügig. Eine unterschiedliche Ausführung des Kastenfensters bewirkt hier einen größeren Einfluss als die Verglasung bzw. Rollladendämmung. So ergeben sich an der Kante Innenfensterrahmen zu Mauerleibung mit einem dünneren Innenfensterrahmen niedrigere Werte der Temperaturen, aber auch niedrigere Werte der absoluten Luftfeuchte. Durch den dünneren Fensterrahmen wird Feuchte leichter in die Bauanschlussfuge und weiter nach außen transportiert, als es im Parapet und besonders im Sturz mit luftgefülltem Rollladenkasten der Fall ist. Eine Fensterbank wirkt als Innendämmung und mit hohem Wasserdampfdiffusionswiderstand auch dämpfend auf den Feuchtetransport über die Mauerleibung. Dadurch erhöht sich die Oberflächentemperatur und sinkt der Feuchteeintrag, was eine Reduktion der relativen Luftfeuchte zur Folge hat.

Die stationären Berechnungen ergeben für die Kante Innenfensterrahmen zu Mauerleibung Oberflächentemperaturfaktoren von 0,69 im Horizontalschnitt und Parapet sowie in der Bestandsvariante des Sturzdetails aus. Durch die temperatursenkende Rollladendämmung fällt der Wert in der Variante KGlas mit 0,67 niedriger aus und unterschreitet den Grenzwert zur Vermeidung von Kondensation gemäß ÖNORM B 8110 Teil 2 (0,69). Die instationären Simulationen ergeben an der Kante Innenfensterrahmen zu Mauerleibung Maximalwerte der relativen Luftfeuchte um 91,5 % im Horizontalschnitt und Werte des Schimmelindex nach Viitanen von 0,0. Bei Werten über 1 entsteht mikroskopisches Schimmelwachstum, die Situation stellt sich also unkritisch dar.

Bauteilinneres

Die im gesamten Scheibenzwischenraum zu erwartende Abkühlung infolge des verringerten Strahlungsaustausches mit den Rauminnenoberflächen durch die low-e-beschichtete Verglasung fällt gering aus. Diese wird durch den verringerten Strahlungsanteil des Wärmetransports zwischen der Außen- und Innenscheibe überlagert. So entsteht eine Entkoppelung der Verglasungen, wodurch sich der äußere Bereich des Scheibenzwischenraums stärker am Außenklima und der innere Bereich stärker am Innenklima orientiert. Die Folge daraus ist ein größeres horizontales Temperaturgefälle im Kastenfenster in den Wintermonaten, wobei dieser Effekt am Fensterstock und den Holzflügeln bereits gering ist.

Auch im Scheibenzwischenraum zeigen sich Unterschiede infolge der Kastenfensterausführung: Temperaturänderungen aufgrund des dünneren Innenfensterrahmens beschränken sich auf den Innenflügel selbst. Der erhöhte Feuchteeintrag ist aber auch an der Verglasung mit geringfügig höheren Werten der absoluten und relativen Luftfeuchte zu beobachten. Im Sturzdetail sorgt der Rollladenkasten für einen trockeneren Scheibenzwischenraum.

An der Verglasung steigen die Werte der relativen Luftfeuchte in allen drei Details an der Innenseite der Außenscheibe auf 100 % an. Es entsteht also Kondensat, wobei der Effekt durch die low-e-beschichtete Verglasung verstärkt wird. Die Temperatur und in weiterer Folge die relative Luftfeuchte unterliegen starken Tagesschwankungen und weisen das ganze Jahr über überhygroskopische Feuchte auf (siehe Abb. (50)). Von Anfang November bis Ende Mai kommt es an der Innenseite der Außenscheibe zu Kondensat, wobei Anfang Mai in der Variante mit KGlas noch deutlich höhere Werte relativer Luftfeuchte anzufinden sind, was auf eine längere Rücktrocknungsphase infolge höherer Flüssigwassermengen zurückzuführen ist.

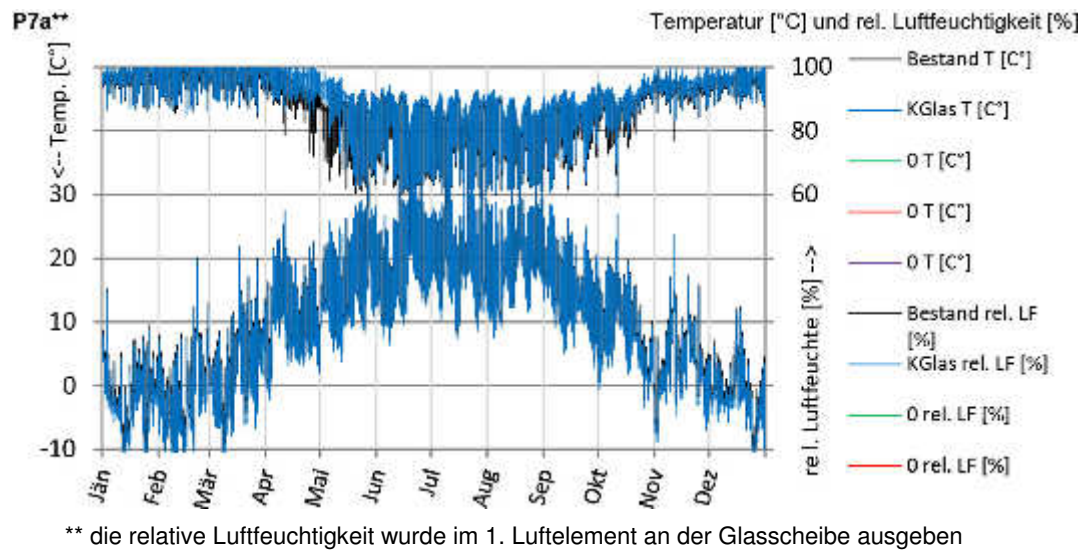


Abb. (50) *Kastenfenster Bestand – Horizontalschnitt, Eingeschwungener Jahresverlauf der Temperatur und relative Luftfeuchte an der Glasoberfläche in P7a***

In der Bauanschlussfuge weisen die unterschiedlichen Verglasungsarten nur marginale Differenzen auf. Die Rollladenkastendämmung senkt im Sturzbereich die Temperaturen geringfügig, wobei die absolute Feuchte nur marginal beeinflusst wird. Auch hier hat die Bauart des Kastenfensters einen größeren Einfluss als die Verglasungsart und die Rollladenkastendämmung. Die Bauanschlussfuge wird durch einen dünneren Innenfensterrahmen (Parapet, Sturz) erwartungsgemäß wärmer und feuchter. Im Parapet sinken insgesamt aber die Werte der relativen Luftfeuchte in der Bauanschlussfuge, da der Feuchteintrag über die Mauerleibung ($\mu_{\text{Putz}} = 10$ [-], $\mu_{\text{Mauerwerk}} = 10$ [-]) wesentlich größer ist als über den lackierten Innenfensterrahmen ($\mu_{\text{Holz}} = 200$ [-], $sd_{\text{Lack}} = 1,2$ [m]) und die Fensterbank diesen mindert.

Alle Punkte in Holzbauteilen weisen Maximalwerte relativer Luftfeuchte unter 90 % auf, wobei sich das Maximum an der Außenkante des Fensterstocks, nahe dem Außenklima im Parapet mit 88,9 % einstellt. Die maximale Holzfeuchte mit 18,77 Masse% tritt ebenfalls am Parapet auf. In allen Details ergeben sich Werte des Holzmasseverlusts nach Viitanen von 0,0, daher ist keine Gefährdung von Holzbauteilen zu erwarten.

Überhygroskopische Feuchtigkeit

Es tritt in allen Betrachtungsbereichen über das ganze Jahr verteilt überhygroskopische Feuchte auf, wobei die Mengen in Innenputz und Mauerwerk vernachlässigbar gering sind (siehe Abb. (51)). Die sich im Außenputz zeigenden Maximalwerte sind zwar hoch, doch treten diese als Spitzen über sehr kurze Zeiträume auf und trocknen jeweils rasch vollständig zurück. Hervorgerufen werden diese Spitzen durch Extremereignisse im Außenklima, wie Kombinationen von tiefen Lufttemperaturen, Entstrahlung, hoher Luftfeuchtigkeit oder Schlagregen.

Im Scheibenzwischenraum treten das ganze Jahr über überhygroskopische Wassermengen bis 2 g auf, was angesichts des großen Volumens vernachlässigbar gering ist und vor allem auf die großen Temperaturschwankungen zwischen Tag und Nacht zurückzuführen sind, wie auch in Abb. (29) ersichtlich. In den Monaten Dezember bis April erhöhen sich die Mengen auf bis zu 20 g (Monatsmittel), wobei in der Bestandsvariante aufgrund höherer Außenscheibentemperaturen nur die halbe Flüssigwassermenge erreicht wird.

Überhygroskopisches Wasser (relative Luftfeuchte über 95 %) bildet sich nicht nur an der Außenscheibe sondern in geringen Maßen über kurze Zeiträume in annähernd der gesamten Luftschicht und auch am Fensterstock. Durch die Lackierung und die Trägheit des Holzbaustoffes zeigen aber Punkte im Fensterstock keine erhöhten Werte relativer Luftfeuchte. Die im Rollladenkasten auftretenden überhygroskopischen Wassermassen konzentrieren sich auf den Auslassbereich des Rollladens und sind dort, gleich wie die Mengen im Außenputz, von extremen Außenklimaereignissen induziert.

Analog zu den Luftfeuchtwerten der ausgewerteten Punkte zeigen sich höhere Flüssigwassermengen im Scheibenzwischenraum des Parapetdetails durch einen dünneren Innenflügel und niedrigere Flüssigwassermengen im Sturzdetaill durch den Rollladenkasten, der eine rasche Abfuhr von Feuchte ermöglicht.

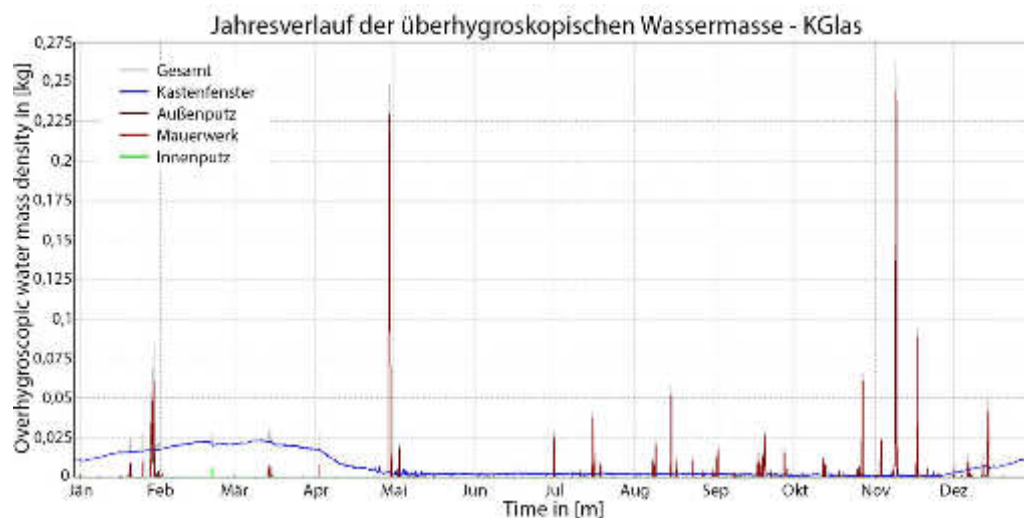


Abb. (51) *Kastenfenster Bestand – Parapet, Eingeschwungener Jahresverlauf der überhygroskopischen Feuchte des Bestandsfensters, KGlas*

Zusammenfassende Bewertung

Trotz Erreichen bzw. Unterschreiten der Grenzwerte der Oberflächentemperaturfaktoren zur Vermeidung von Kondensation gemäß ÖNORM B 8110 Teil 2 mit 0,69 (bzw. 0,67 in Variante KGlas mit PU-Rollladenkastendämmung) an der Kante Innenfensterrahmen zu Mauerleibung, zeigen die Ergebnis der instationären Simulationen keine Gefährdung durch Schimmelbildung an der Innenoberfläche. Dies bestätigt eine ausreichend gewählte Sicherheit in der Normung.

Auch das Mauerwerk und die Bauanschlussfuge zeigen keine erhöhten Werte relativer Luft- oder Holzfeuchte. Somit ist das Kastenfenster, wie es hier modelliert wurde, erwartungsgemäß als einwandfrei funktionstüchtig zu beschreiben.

Kastenfenster Variante 1 – Innendämmung ohne Leibungsdämmung

Allen weiteren Betrachtungen wird eine low-e-beschichtete Innenverglasung und 40 mm PU-Dämmung an der Rollladenabdeckung zugrunde gelegt. In Variante 1 sind auf das Bestandsmauerwerk die unterschiedlichen Innendämmsysteme aufgebracht, wobei die Mauerleibung und der Fensterstock nicht verändert werden. Aufgrund der tieferen Leibung muss jedoch die Fensterbank erneuert werden.

Innenoberfläche

Durch die Erhöhung des Wärmedurchlasswiderstandes an der Wandinnenoberfläche durch die verschiedenen Dämmsysteme kühlt das gesamte Mauerwerk inklusive der Mauerleibung ab. In den Simulationsergebnissen konnte festgestellt werden, dass sich die niedrigste Oberflächen-temperatur und damit höchste relative Luftfeuchte der Mauerleibung nicht exakt an der Kante Innenfensterrahmen zu Mauerleibung ausbildet. Die niedrige Wärmeleitfähigkeit und spezifische Wärmekapazität des Fensterholzes dämpfen den Temperaturverlauf stark und die niedrigsten Temperaturen treten im Bestandsputz ca. 10 mm vom Innenfensterrahmen entfernt auf.

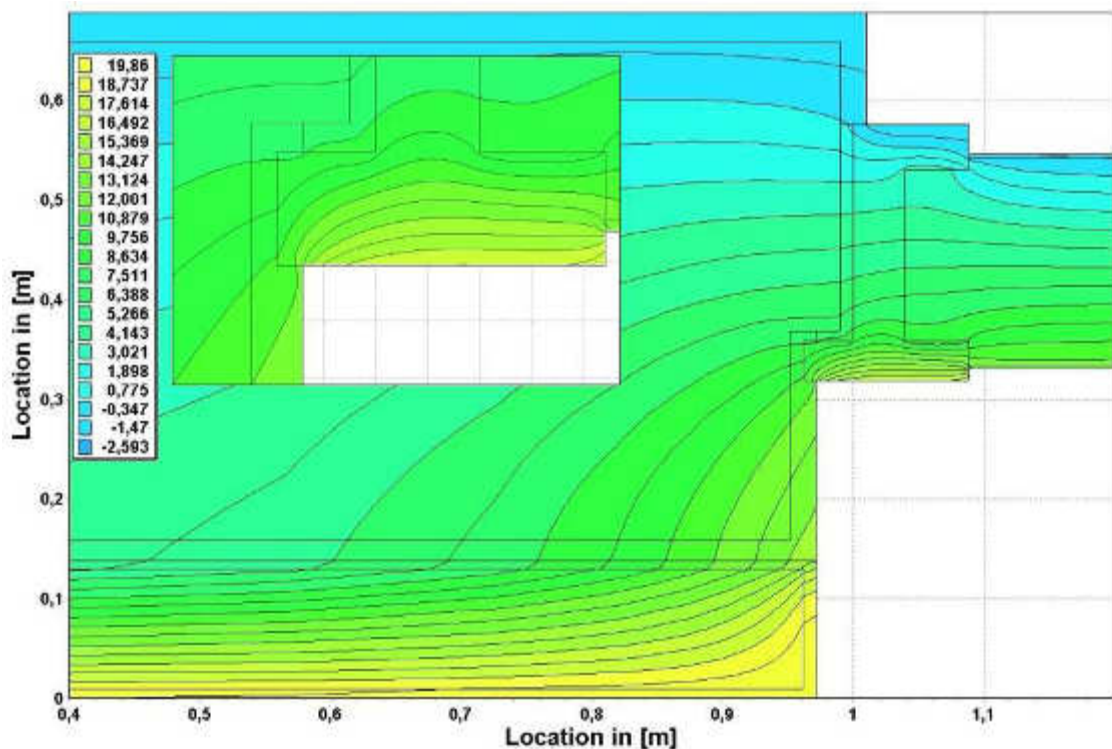


Abb. (52) Kastenfenster Variante 1 – Horizontalschnitt, Isothermenverlauf von Multipor 12 cm am feuchtesten Tag (29. Jänner)

Die Werte der absoluten Luftfeuchte an der Leibungsoberfläche werden durch die unterschiedlichen Dämmvarianten marginal beeinflusst. Daher ist die relative Luftfeuchte temperaturabhängig und es bildet sich ein Hotspot im Horizontalschnitt und Sturz am kältesten Punkt der Mauerleibung im Bereich der Kante Innenfensterrahmen zu Mauerleibung aus. Im Parapet bleibt diese Erhöhung der relativen Luftfeuchte aufgrund der wärmedämmenden Innenfensterbank aus.

Da die Werte relativer Luftfeuchte direkt von der Oberflächentemperatur abhängig sind, ergeben sich die höchsten Werte relativer Luftfeuchte bei Multipor 12, dem Dämmsystem mit dem höchsten Wärmedurchlasswiderstand ($R_{IDS, \text{Multipor 12}} = 2,95 \text{ [m}^2\text{K/W]}$) und die niedrigsten Werte bei Calsitherm 08 mit dem niedrigsten Wärmedurchlasswiderstand ($R_{IDS, \text{Calsitherm 08}} = 1,31 \text{ [m}^2\text{K/W]}$). Die Differenzen zwischen den Dämmsystemen sind aber sehr gering, so dass kein Dämmsystem als klar kritischer hervorgeht. Die mittleren Abweichungen betragen im Jahresmittelwert der Temperatur 0,09 K und der relativen Luftfeuchte 0,48 Prozentpunkte (siehe Abb. (53)).

Mit Oberflächentemperaturfaktoren an der Kante Innenfensterrahmen zu Mauerleibung von 0,58 bei Multipor 12 und 0,60 bei Calsitherm 08 im Horizontalschnitt und 0,57 sowie 0,59 im Sturz zeigen sich in diesen Details in den stationären Berechnungen kritische Werte. Die instationären Simulationen ergeben an der Innenoberfläche starke Tagesschwankungen in den Werten relativer Luftfeuchte mit Maxima von 98,32 % an der Mauerleibung (P7) im Horizontalschnitt bei Multipor 12 (siehe Abb. (53)).

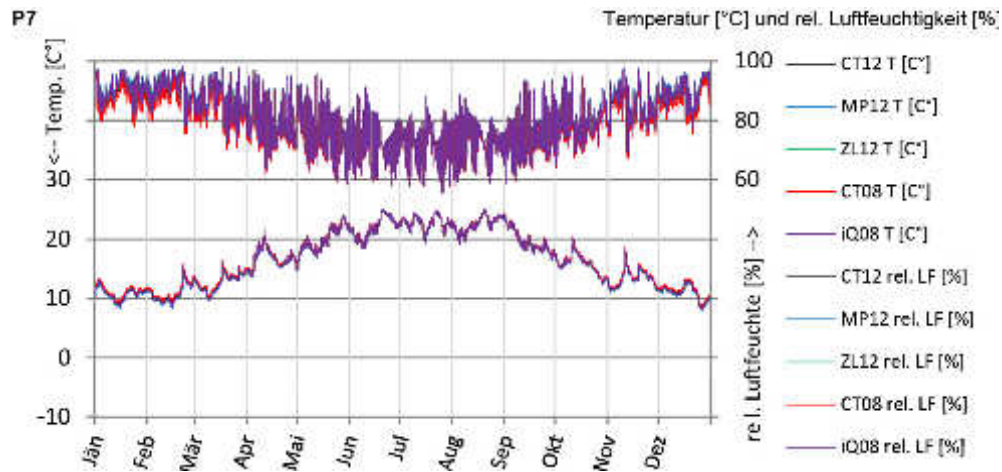


Abb. (53) Kastenfenster Variante 1 – Horizontalschnitt, Eingeschwungener Jahresverlauf der Temperatur und relativen Luftfeuchte an der Leibungsoberfläche in P7, 10 mm von Innenfensterrahmen entfernt

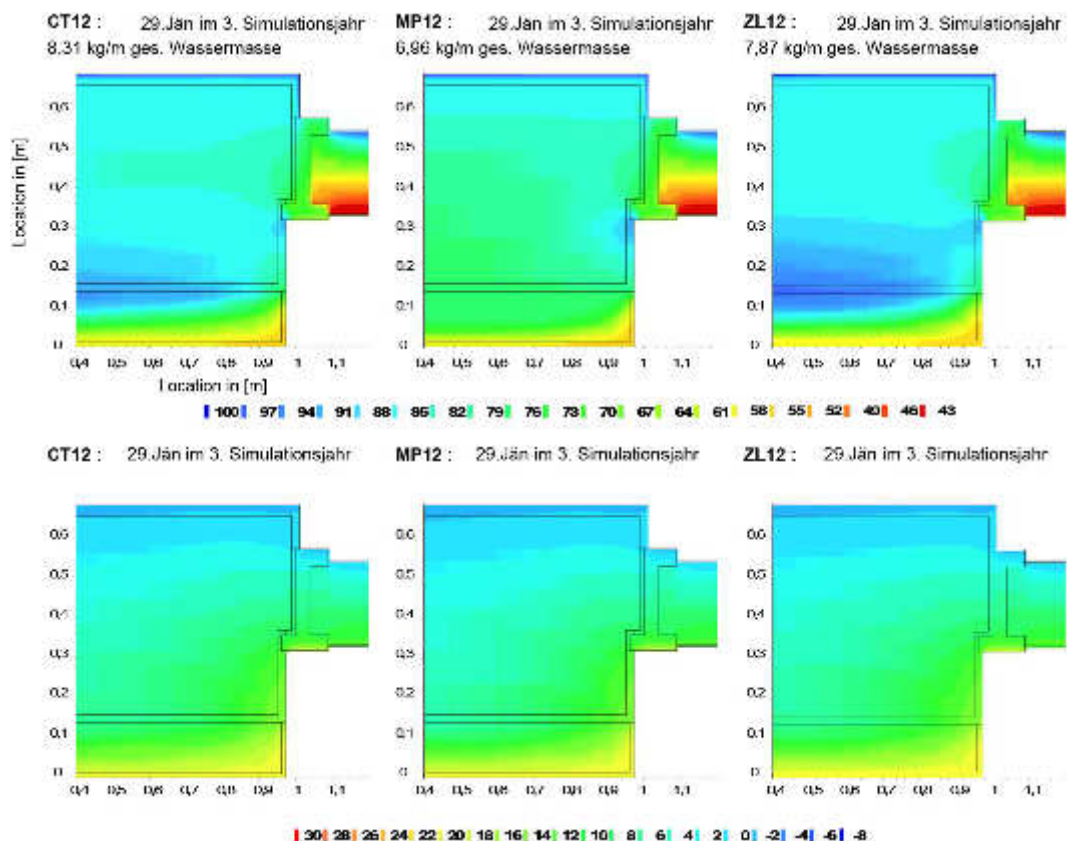


Abb. (54) Kastenfenster Variante 1 – Horizontalschnitt, Verlauf der relativen Luftfeuchte und der Temperatur im Bauteil am feuchtesten Tag im eingeschwungenen Jahr der 12 cm Dämmungen

Bauteilinneres

Es ergeben sich für alle Dämmvarianten außer Calsitherm 08 Werte des Schimmelindexes nach Viitanen von 0,1, CT08 weist 0,0 auf. Die kritischen Werte sind nicht über einen ausreichenden Zeitraum hoch genug um Schimmelwachstum zu verursachen und die Konstruktion ist in diesem Bereich trotz Auftretens von überhygroskopischem Wasser an der Innenoberfläche als schadensfrei zu bewerten.

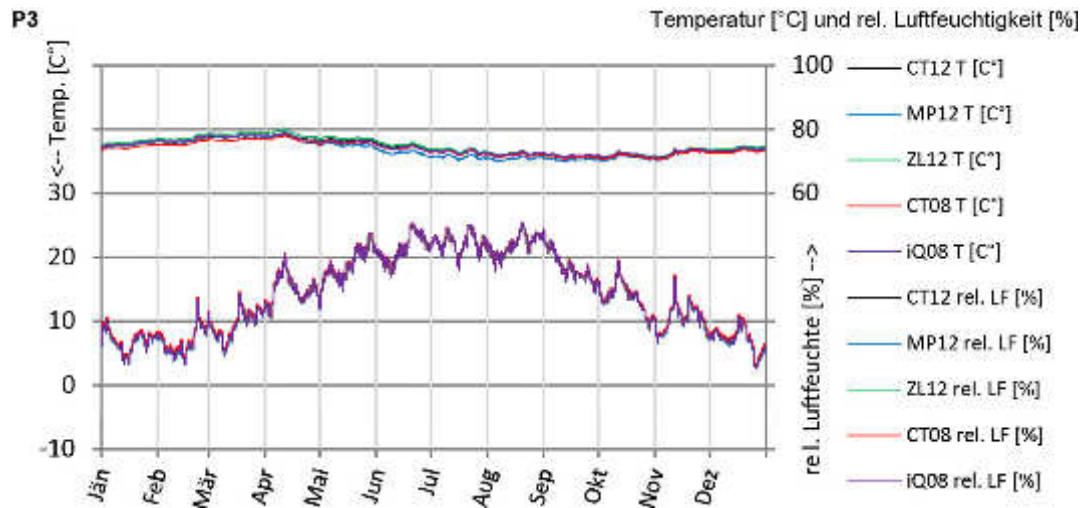


Abb. (55) Kastenfenster Variante 1 – Horizontalschnitt, Eingeschwungener Jahresverlauf der Temperatur und relative Luftfeuchte in P3

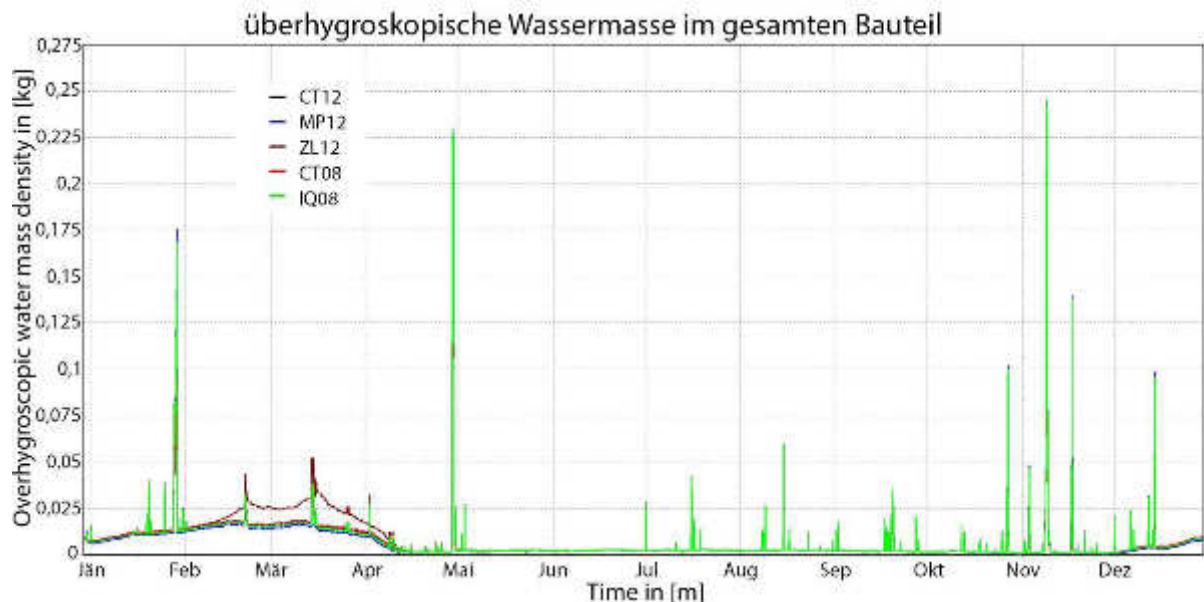


Abb. (56) Kastenfenster Variante 1 – Horizontalschnitt, Eingeschwungener Jahresverlauf der überhygroskopischen Wassermasse im Gesamtbauteil der einzelnen Varianten

Die im ungestörten Wandaufbau an der Grenzfläche Innendämmsystem zu Bestandsmauer auftretenden höheren Werte relativer Luftfeuchte nehmen in allen Dämmvarianten zur Mauerleibung hin ab. An der Leibungsoberfläche selbst zeigen sich nur mehr marginale Differenzen zwischen den Dämmvarianten in den Werten der absoluten Luftfeuchte.

So überwiegen in der Leibungsbildung die positiven Effekte der Rücktrocknung und des Wärmeeintrags den zusätzlichen Feuchteintrag (siehe Abb. (53))

Bereits knapp hinter der Innenoberfläche nehmen die Rücktrocknungseffekte spürbar ab und das Feuchteverhalten der einzelnen Dämmsysteme zu. Der Einfluss der Differenzen zwischen den Innendämmsystemen auf die Bauanschlussfuge ist aufgrund der vorherrschenden Detailgeometrie aber vernachlässigbar gering, was in den nahezu deckungsgleichen Verläufen der Temperatur und relativen Luftfeuchte an der Außenkante des Innenfensterrahmens (P3) ersichtlich ist (siehe Abb. (55)).

Die kritischsten Werte in der Bauanschlussfuge treten im Horizontalschnitt auf, da im Parapet trotz dünnerem Innenfensterrahmen die Fensterbank den Feuchteintrag über die Mauerleibung stark verminderte und im Sturz durch die günstigere Ausbildung der Bauanschlussfuge ohne Maueranschlag und dem luftgefüllten Rollladenkasten mit dünnem Holzrahmen ein höherer Feuchteabtransport nach außen möglich ist.

Im Scheibenzwischenraum bzw. Rollladenkasten ist durch die Innendämmungsmaßnahme eine geringfügige Temperaturabsenkung am Fensterstock bei marginalen Veränderungen der absoluten Luftfeuchte zu beobachten (größte Temperaturabsenkung im Mittel der Dämmungsvarianten 0,6 K in der inneren Rollladenkastenkante (P6)).

Die maximale Holzfeuchte wird in Variante 1 erwartungsgemäß nahe dem in der Mauerleibung auftretenden Hotspot an der Innenkante des Innenfensterrahmens mit 22,84 Masse% bei Multipor 12 gefunden. Hier liegt nur Calsitherm 08 mit 19,64 Masse% unter dem Grenzwert für Schimmelwachstum nach EN 335 Teil 1, Anhang A mit 20 Masse%. Der Holzmasseverlust nach Viitanen gibt für alle Dämmsysteme und betrachteten Punkte einen Wert von 0,0 aus. So sind auch die auftretenden Feuchten in Holzbauteilen als unkritisch zu sehen.

Überhygroscopische Feuchte

Im Außenputz tritt infolge der stärkeren Abkühlung anhängig vom jeweiligen Innendämmsystem mehr Flüssigwasser auf als in der Bestandssituation. Am zuvor beschriebenen Hotspot im Leibungsputz tritt im Horizontalschnitt und Sturz bei allen Dämmsystemen in den Monaten November bis März überhygroscopisches Wasser in Mengen unter 1 g (Monatsmittelwerte) auf. Aufgrund des geringen Ausmaßes und der vollständigen Rücktrocknung kann man diese Mengen als unkritisch betrachten.

Als einziges Dämmsystem tritt bei Cellulose 12 in den Monaten Februar bis April an der Grenzfläche Innendämmsystem zu Bestandsmauer Flüssigwasser auf. Die Mengen betragen aber aufgrund der Rücktrocknung über die Mauerleibung nur einen Bruchteil der Mengen im ungestörten Wandaufbau.

Zusammenfassende Bewertung

Durch die Abkühlung des Mauerwerks und der Leibung erreichen die Oberflächentemperaturen im Vergleich zur Bestandssituation extrem niedrige Werte im Bereich der Kante Innenfensterrahmen zu Mauerleibung, wobei überhygroscopische Feuchte entsteht (Hotspot). Da an der Innenoberfläche die Temperaturen und durch annähernd gleichbleibende Werte absoluter Luftfeuchte auch die Werte relativer Luftfeuchte vom Wärmedurchgangswiderstand des Innendämmsystems abhängen, ergeben sich die kritischsten Werte relativer Luftfeuchte bei Multipor 12. Zwischen den Dämmsystemen treten nur geringe Unterschiede auf, daher hebt sich kein Dämmsystem als klar am kritischsten hervor.

Aufgrund von Trocknungseffekten und erhöhtem Wärmeeintrag über die Mauerleibung ergeben sich infolge von Feuchteanreicherungen der einzelnen Dämmsysteme an der Grenzfläche Innendämmsystem zu Bestand keine problematischen Werte an der Mauerleibung im Bereich der Innendämmsysteme.

Die Bauanschlussfuge mit dem Fensterstock zeigt keine erhöhten Werte relativer Luftfeuchte, somit ist nur der Bereich des beschriebenen Hotspots als problematisch zu betrachten, wobei die instationären Simulationen sehr hohe Werte relativer Luftfeuchte zeigen, sich jedoch keine Schädigung ergibt.

Kastenfenster Variante 2 – Innendämmung mit Leibungsdämmung

Zusätzlich zur Innendämmung wird in Variante 2 an die Leibung eine 30 mm dicke Dämmstoffschicht des jeweiligen Dämmsystems aufgebracht. Es wird dabei so wenig Bestandsmauerwerk wie möglich abgenommen, wobei aber die Funktionsfähigkeit des Kastenfensters zu gewährleisten ist (Öffenbarkeit der Fensterflügel). Die Fuge zwischen Innenfensterrahmen und Mauerwerk wird dabei ausgekratzt und mit Polyurethan verfüllt. Der Anschluss an den Fensterstock erfolgt in allen Dämmsystemen außer Cellulose mittels luftgefüllter und dauerelastischer nach innen abgeschlossener Anschlussfuge.

Innenoberfläche

Durch die Leibungsdämmung fallen die Innenoberflächentemperaturen an der Kante Fensterrahmen zu Mauerleibung entsprechend hoch aus. Es ändern sich die Werte der absoluten Luftfeuchte im Vergleich zu Variante 1 nur marginal.

Die Oberflächentemperaturfaktoren zwischen 0,61 bei Multipor 12 im Sturz und 0,69 bei Calsitherm 08 im Horizontalschnitt liegen jedoch weiterhin unter dem Grenzwert der Norm. Die Differenzen zwischen den Dämmsystemen sind gering (mittlere Abweichung im Horizontalschnitt des Jahresmittelwerts der Temperatur 0,09 K und des der relativen Luftfeuchte 1,09 Prozentpunkte) und abhängig von den Wärmedurchlasswiderständen des Innen- und Leibungsdämmsystems, dem Feuchteverhalten der Dämmsysteme an der Grenzfläche Dämmsystem zu Bestand sowie der Ausbildung der Anschlussfuge.

Bauteilinneres

An der Grenzfläche Leibungsdämmung zu Bestand bildet sich ein Bereich erhöhter relativer Luftfeuchte, analog zum Verhalten der einzelnen Dämmsysteme im ungestörten Wandaufbau, wobei wie in Variante 1 ein Hotspot an der Kante Innenfensterrahmen zu Bestandsmauerwerk entsteht. Insgesamt zeigen sich auch hier sinkende Werte relativer Luftfeuchte zur Mauerinnenkante hin. An der Innenkante der Bestandsmauer (Grenzfläche zwischen Innendämmsystem zu Bestand, P8) zeigen die Jahresverläufe der Temperaturen zuerst eine Reihung nach Wärmedurchlasswiderstand der Leibungsdämmung und erst danach nach dem Wärmedurchlasswiderstand des Innenwanddämmsystems. Die niedrigsten Temperaturen treten bei iQ-Therm 08 auf. Im Jahresverlauf der relativen Luftfeuchte zeigt Multipor 12 nahezu konstant niedrige Werte relativer Luftfeuchte über das ganze Jahr hindurch. Bei Cellulose 12 steigt die relative Luftfeuchte durch den niedrigsten s_d -Wert aller Dämmungen im Oktober und November rascher als bei den anderen Systemen und erreicht mit knapp über 93 % (im Horizontalschnitt und Sturz) die höchsten Werte. IQ-Therm 08 mit hohem Wasserdampfdiffusionswiderstand zeigt einen langsameren Anstieg und verzögerte Rücktrocknung. So erreicht iQ-Therm erst im September wieder die Werte relativer Luftfeuchte der anderen Systeme.

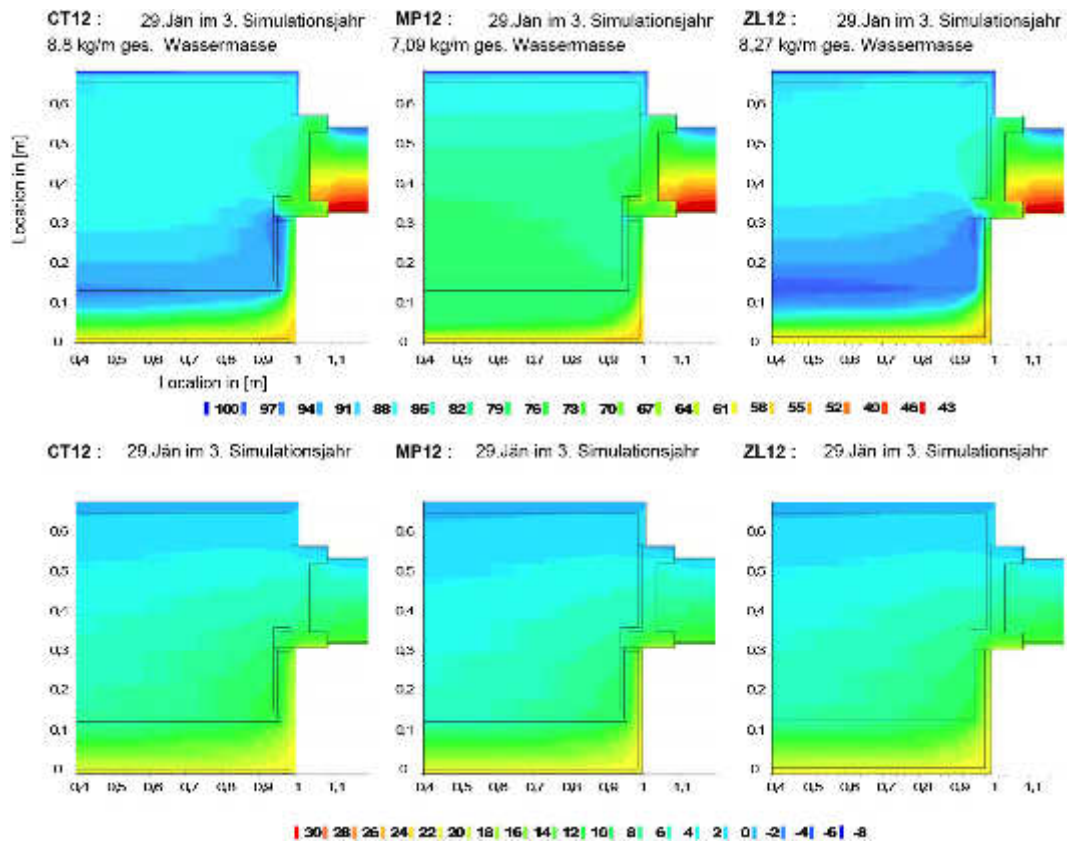


Abb. (57) Kastenfenster Variante 2 - Horizontalschnitt, Verlauf der relativen Luftfeuchte und der Temperatur im Bauteil am feuchtesten Tag im eingeschwungenen Jahr der 12 cm dicken Dämmungen

Im Bereich des Hotspots an der Grenzfläche Leibungsdämmung zu Bestand ergeben sich im Vergleich zu Variante 1, ohne Leibungsdämmung, zwar höhere Jahresmittelwerte der relativen Luftfeuchte, jedoch sinken die Maxima auf Werte nahe der Grenze zur überhygroskopischen Feuchte ab. Multipor 12 weist auch im Bereich der Anschlussfuge, also einer Schwachstelle zum Innenraum, mit einem Maximalwert relativer Luftfeuchte von 84,5 % klar das günstigere Verhalten aller Dämmsysteme auf. Die Abweichungen zwischen den anderen Dämmsystemen sind gering, so kann keines dieser Dämmsystem als eindeutig am kritischsten bezeichnet werden.

In allen drei Details (Horizontalschnitt, Parapet und Sturz) werden niedrigere Werte absoluter Luftfeuchte in der Bauanschlussfuge beobachtet als in Variante 1. Dies ist einerseits auf die teilweise Überdämmung des Innenfensterrahmens und der Mauerleibung zurückzuführen, wodurch über die Mauerleibung und Fensterrahmen weniger Feuchte in die Bauanschlussfuge eindringt, andererseits führt auch die PU-Dämmung ($\mu_{PU} = 70$ [-]) zwischen Innenfensterrahmen und Mauerwerk zu einem verminderten Feuchtetransport von Leibung zu Bauanschlussfuge. Um festzustellen, welchen Einfluss die PU-Dämmung im Hinblick auf Feuchte-transport- und -speicherprozesse hat, sind weitere Untersuchungen nötig. Neben der erwartungsgemäßen Abnahme der Temperatur nehmen auch die Werte der absoluten Luftfeuchte ab und sinken die der relativen Luftfeuchte geringfügig. Insgesamt zeigt sich in Variante 2 an der Bauanschlussfuge also eine leichte Verbesserung gegenüber Variante 1.

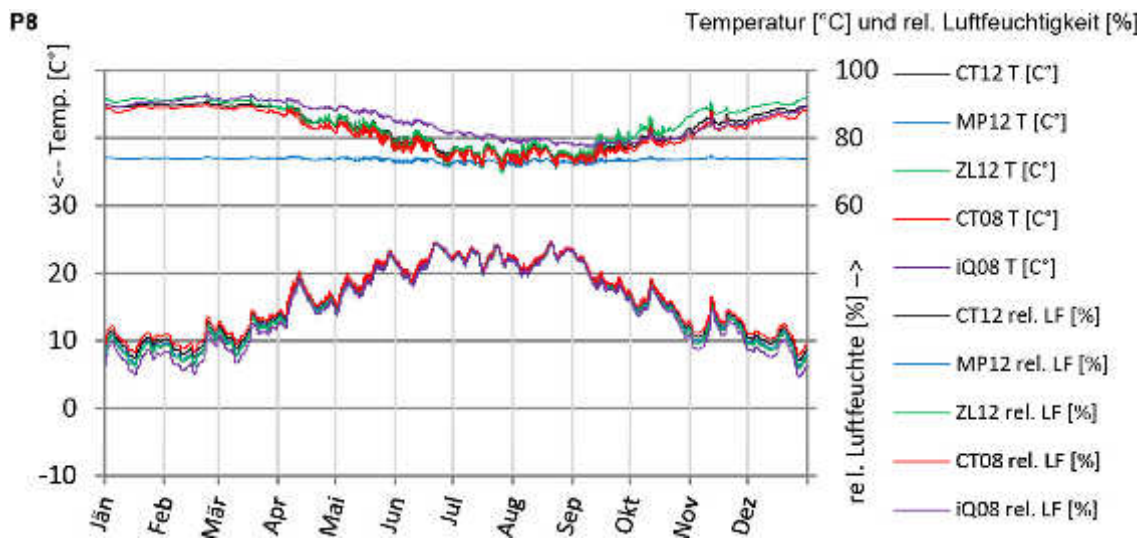


Abb. (58) Kastenfenster Variante 2 – Horizontalschnitt, Eingeschwungener Jahresverlauf der Temperatur und rel. Luftfeuchte an der Oberfläche in P8

Bereich	Leibung				
	Jahresmittelw. Temperatur [°C]	Jahresmittelw. rel. Luftfeuchte [%]	Jahresmittelw. abs. Luftfeuchte [g/m³]	Min. rel. Luftfeuchte [%]	Max. rel. Luftfeuchte [%]
P7	Kastenfenster Variante 1 – Horizontalschnitt (Innenoberfläche)				
CT12	16,57	81,07	11,44	55,63	98,18
MP12	16,41	81,91	11,44	55,58	98,32
ZL12	16,49	81,50	11,44	55,66	98,24
CT08	16,72	80,27	11,43	55,53	98,05
iQ08	16,47	81,59	11,44	55,64	98,27
P7	Kastenfenster Variante 2 – Horizontalschnitt (Grenzfläche Leibungsdämmung - Bestand)				
CT12	14,27	86,50	10,62	73,38	96,12
MP12	13,51	78,26	9,17	70,57	84,41
ZL12	13,72	86,70	10,29	71,61	94,87
CT08	14,56	85,69	10,70	72,85	95,59
iQ08	13,48	87,22	10,20	76,13	95,93

Abb. (59) Kastenfenster Variante 1 und Variante 2 - Horizontalschnitt, Werte für Temperatur, relative Luftfeuchtigkeit und mittlere absolute Luftfeuchte in P7 für das eingeschwungene Jahr⁶

An der Außenkante des Innenfensterrahmens (P3) zeigen sich nur mehr geringe Differenzen zwischen den Temperaturverläufen der einzelnen Dämmsysteme (siehe Abb. (60)). Im Verlauf der relativen Luftfeuchte weist Cellulose 12 in den Wintermonaten leicht höhere Werte als Calsitherm und iQ-Therm, Multipor 12 über das gesamte eingeschwungene Jahr niedrigere Werte als die anderen Dämmsysteme auf.

⁶ orange Markierung: höchste Temperatur, geringste Luftfeuchte; blaue Markierung: niedrigste Temperatur, höchste Luftfeuchte

Die höchsten Holzfeuchten treten in Variante 2, gleich wie in Variante 1, im Bereich der Kante Innenfensterrahmen zu Bestandsleibung auf. Hier zeigt Cellulose 12 mit 20,9 Masse% im Sturz (P2) die maximale Holzfeuchte, wobei im Horizontalschnitt mit 20,7 Masse% nur geringfügig niedrigere Werte vorhanden sind. Aufgrund der fehlenden Luftanschlussfuge bei Cellulose 12 fallen die Werte dort deutlich höher aus als bei den anderen Dämmsystemen (zweithöchste Holzfeuchte in P2 im Sturz bei Calsitherm 12 mit 17,62 Masse%). Der Holzmasseverlust nach Viitanen beläuft sich für alle Punkte und Dämmsysteme auf 0,0, daher ist keine Schädigung von Holzbauteilen bei dieser Ausführungsvariante zu erwarten.

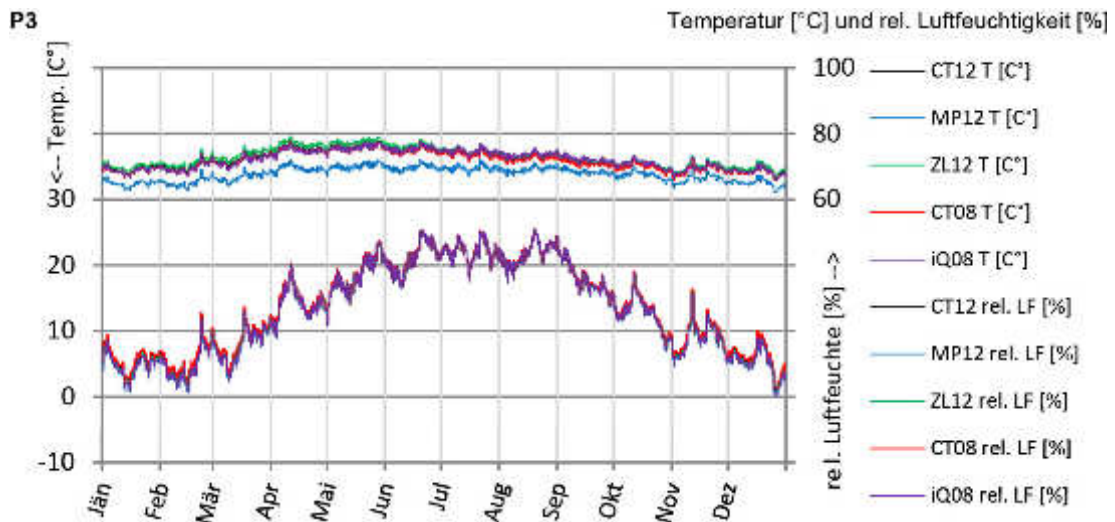


Abb. (60) Kastenfenster Variante 2 – Horizontalschnitt, Eingeschwungener Jahresverlauf der Temperatur und rel. Luftfeuchte an der Oberfläche in P3

Überhygroskopische Feuchte

Im Mauerwerk treten an der Grenzfläche Leibungsdämmung zu Bestandsmauerwerk am beschriebenen Hotspot bei allen Dämmsystemen außer Multipor Maximalwerte der relativen Luftfeuchte knapp über 95 % auf. Die Mengen liegen in den Monatsmittelwerten aber unter 1 g und trocknen vollständig zurück und sind daher vernachlässigbar gering. Der Rücktrocknung über die Mauerleibung nimmt durch die Leibungsdämmung ab, was sich in höheren Monatsmittelwerten der überhygroskopischen Wassermenge bei Cellulose 12 im Bereich des Innendämmsystems in Variante 2 zeigt (siehe Abb. (61)). Cellulose 12 bleibt weiterhin das einzige Dämmsystem mit auftretendem Flüssigwasser an der Grenzfläche Innenwanddämmsystem zu Bestand, wobei keine so hohen Werte wie im ungestörten Wandaufbau erreicht werden.

Zusammenfassende Bewertung

Durch die 30 mm starke Leibungsdämmung wird die Oberflächentemperatur im Vergleich zu Variante 1, ohne Leibungsdämmung, markant erhöht, erreicht aber nicht die Jahresmittelwerte vor der Sanierung, was auch auf die veränderte Lage (näher am Scheibenzwischenraum bzw. Rollladenkasten) zurückzuführen ist. Die Leibungsdämmung erzeugt an der Grenzfläche zum Bestandsmauerwerk einen Bereich höherer relativer Luftfeuchte wie im ungestörten Wandaufbau mit einem Hotspot an der Kante Innenfensterrahmen zu Bestandsmauerwerk. Die Maximalwerte sinken jedoch im Vergleich zu Variante 1 auf Werte um 95 %, wobei die Jahresmittelwerte leicht ansteigen. Insgesamt ist auch hier eine Verbesserung der Situation zu beobachten.

Mittelwerte des überhygroskopischen Wassers in [g]												
	Jan	Feb	März	April	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
ZL12	Ungestörter Wandaufbau (50 cm Wanddicke)											
Innendämm-system	4,63	61,05	96,20	31,99	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ZL12	Kastenfenster Variante 1 - Horizontalschnitt											
Innendämm-system	0,00	4,19	10,10	1,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ZL12	Kastenfenster Variante 2 - Horizontalschnitt											
Innendämm-system	0,13	13,29	27,14	5,63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Abb. (61) *ungestörter Wandaufbau (50 cm), Kastenfenster Variante 1 und Variante 2 – Horizontalschnitt, Mittelwerte des überhygroskopischen Wassers im eingeschwungenen Jahr bei Cellulose 12⁷*

In der Bauanschlussfuge sind ebenfalls sinkende Werte der relativen Luftfeuchte aufgrund geringerer Feuchteinträge über die Mauerleibung infolge der Leibungsdämmung zu beobachten, somit ist auch Variante 2 als funktionstüchtig zu beurteilen.

Kastenfenster Variante 3 –

Innendämmung mit Leibungsdämmung und gedämmter Bauanschlussfuge

In Variante 3 wird so viel Mauerleibung wie nötig abgebrochen um eine maximale Dämmung der Bauanschlussfuge zu erreichen und eine 30 mm dicke Leibungsdämmung anzubringen. Dennoch kommt die fertige Leibungsoberfläche in etwa in gleicher Lage wie der Bestandsputz zu liegen. Der Innenfensterrahmen wird umlaufend abgenommen und das Mauerwerk in gleicher Ebene bis 130 mm hinter die Innenoberfläche des Fensterrahmens abgebrochen. Der so entstandene Hohlraum wird inklusive dem Rest der unveränderten Bauanschlussfuge mit PU-Schaum verfüllt. Der Anschluss des Innendämmsystems erfolgt wie in Variante 2, außer bei Cellulose, mittels luftgefüllter und nach innen dauerelastisch verschlossener Anschlussfuge.

Innenoberfläche

Erst durch die Dämmung der Bauanschlussfuge in Variante 3 ergeben sich Oberflächentemperaturfaktoren von über 0,71, was dem Grenzwert zur Vermeidung von Schimmelbildung gemäß ÖNORM B 8110 Teil 2 entspricht (im Horizontalschnitt und Parapet zwischen 0,76 (Multipor 12) und 0,79 (Calsitherm 08)). Im Sturz wird die Kante Fensterrahmen zu Leibungsdämmsystem jedoch durch den fehlenden Fensteranschlag nicht mit der PU-Dämmung überdämmt und so fallen die Werte niedriger aus (0,69 bei Multipor 12 bzw. 0,70 bei Calsitherm 08). Mit einer maximalen relativen Luftfeuchte bei Calsitherm 12 von 88,35 % im Sturz und Werten des Schimmelindex nach Viitanen in allen Dämmvarianten von 0,0 ist keine Gefährdung zu erwarten.

⁷blaue Markierung: überhygroskopische Wassermasse über 0,1 g (außer Außenputz)

Bauteilinneres

Durch die gleiche Ausführung der Wand- und Leibungsdämmung wie in Variante 2 zeigen sich an den Grenzflächen der Innendämmung zum Mauerwerk ähnliche Werte der Temperatur und Luftfeuchte mit einem Hotspot an der Kante Innenfensterrahmen zu Bestandsmauerwerk. Es ergeben sich im Hotspot nur gering höhere Werte der Temperatur und Luftfeuchte, was sich auch in den überhygroskopischen Wassermengen im Mauerwerk mit Monatsmittelwerten unter 1 g feststellen lässt.

Der Innenfensterrahmen wird durch die PU-Dämmung und die veränderte Lage der Leibungsdämmung im Vergleich zu Variante 2 deutlich wärmer. Im Parapet ist die Erwärmung im Jahresmittel über alle Dämmvarianten um 3,79 K (P2) am größten. Die absolute Luftfeuchte steigt nur gering. Das führt zu einem starken Rückgang der Jahresmittelwerte relativer Luftfeuchte, in P2 im Mittel im Horizontalschnitt um 11,89 Prozentpunkte, im Parapet um 3,78 Prozentpunkte und im Sturz um 8,7 Prozentpunkte. Der Rückgang fällt im Parapet geringer aus, da durch die Fensterbank der diffusive Eintrag bereits in Variante 2 geringer ist.

Im Sturz zeigen sich an der Kante PU-Dämmung zur Grenzfläche (P3) in den Dämmsystemen Calsitherm, Cellulose und iQ-Therm zwar nur geringfügige Mengen überhygroskopischen Wassers im Januar, Februar und März, jedoch liegen die Werte relativer Luftfeuchte über einen langen Zeitraum über 90 % (siehe Abb. (62)). Dies kann bei feuchteempfindlichen Materialien wie Holz zu Schäden führen. Multipor 12 zeigt auch hier deutlich niedrigere Werte relativer Luftfeuchte als die anderen Dämmsysteme.

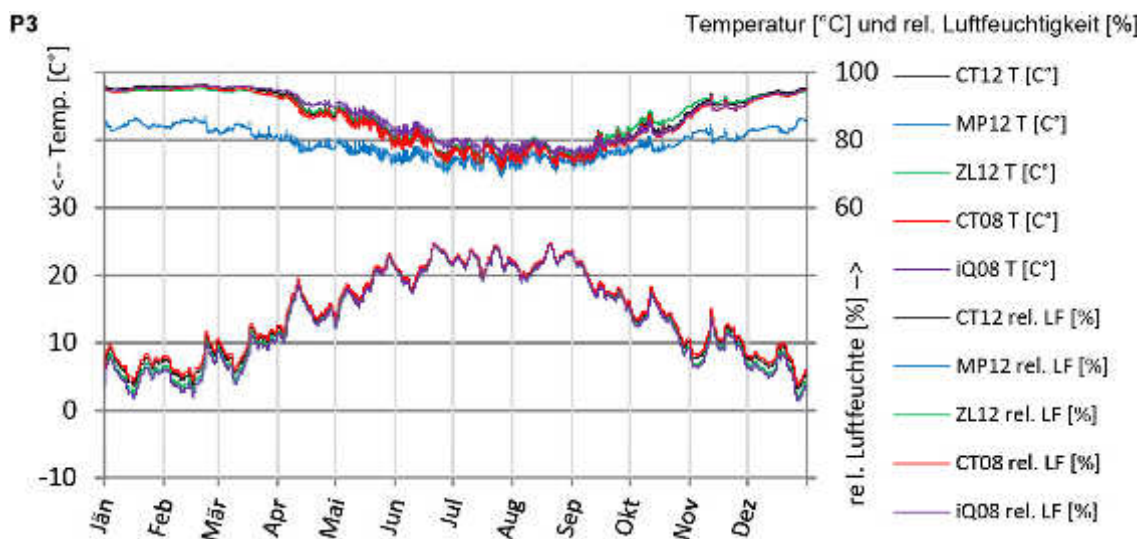


Abb. (62) Kastenfenster Variante 3 – Sturz, Eingeschwungener Jahresverlauf der Temperatur und rel. Luftfeuchte an der Oberfläche in P3

Durch die vollständige Dämmung der Bauanschlussfuge mit PU sinkt erwartungsgemäß die Temperatur an der Außenseite der Bauanschlussfuge. Der Fensterstock weist im Außenbereich der Bauanschlussfuge auch eine geringere absolute Luftfeuchte aufgrund des verminderten Feuchtetransportes in der ausgeschäumten Bauanschlussfuge auf. Insgesamt zeigt sich auch hier ein positiver Effekt in Variante 3 mit niedrigeren Werten relativer Luftfeuchte als in Variante 2.

An der Stockaußenkante tritt die höchste Holzfeuchte in Variante 3, mit 18,1 Masse% bei iQ-Therm 08 im Parapet auf, wobei dies keinen kritischen Wert darstellt. Der Holzmasseverlust nach Viitanen gibt für alle betrachteten Punkte einen Wert von 0,0 aus, es ist daher keine Gefährdung von Holzbauteilen zu erwarten.

Überhygroroskopische Feuchte

Im Bereich des Mauerwerks treten in Variante 3 marginal höhere Monatsmittelwerte der überhygroroskopischen Wassermaße auf, wobei diese unter 1 g bleiben. Als einziges Dämmsystem weist Multipor 12 in diesem Bereich kein Flüssigwasser auf. Im Bereich des Innendämmsystems weist nur Cellulose 12 Werte relative Luftfeuchte über 95 % auf, wobei die dadurch entstehenden Flüssigwassermengen in Variante 3 nur marginal von den Mengen in Variante 2 abweichen.

Zusammenfassende Bewertung

Die zusätzliche Dämmung der Bauanschlussfuge sorgt für eine starke Erwärmung des Innenfensterrahmens inkl. der kritischen Bereiche an der Innenoberfläche (Kante Fensterahmen – Mauerleibung). Diese Zone ist mit dieser Detailgeometrie aber ohnehin bereits durch die Leibungsdämmung (Variante 2) unkritisch.

Am Feuchtehotspot an der Kante Innenfensterrahmen zum Bestandsmauerwerk zeigen sich aufgrund des verminderten Feuchtetransports und höheren Dämmleistung durch die PU-Dämmung in der Bauanschlussfuge in Variante 3 höhere Werte relativer Luftfeuchte. Da dieser kritische Bereich an der Kante der PU-Dämmung liegt und das anschließende Mauerwerk eine gute Feuchteweiterleitung besitzt, fällt der Anstieg gering aus und führt zu keinen kritischen Werten.

Die durch die PU-Dämmung reduzierte Trocknung von Innenoberfläche, Innenfensterstock und Scheibenzwischenraum nach außen wird durch die höheren Temperaturen kompensiert. Die Abkühlung des Mauerwerks hält sich in Grenzen und führt zu keinen kritischen Bedingungen. Die Holzfeuchte nimmt im Vergleich zu Variante 2 ab.

Abseits vom hohen Aufwand ist diese Variante durchaus zu empfehlen, wenn auch schon in der weniger aufwändigen Sanierungsvariante 2 durchwegs unkritische Bedingungen festgestellt wurden.

generalisierbare Erkenntnisse

- Multipor zeigt im Leibungsbereich in allen Detailvarianten analog zum ungestörten Wandaufbau in der Grenzfläche zum Mauerwerk und an der Innenkante niedrigere Werte relativer Luftfeuchte als die anderen Dämmsysteme
- iQ-Therm zeigt an der Bestandsinnenkante ein extrem langsames Rücktrocknungsverhalten und benötigt den ganzen Sommer um die Werte der anderen Dämmsysteme zu erreichen
- Cellulose weist an der Innenkante aufgrund des geringen Wasserdampfdiffusionswiderstandes ein rascheres Auffeuchten der Grenzfläche zur Bestandsmauer im Herbst auf als die anderen Systeme
- Die Verwendung von low-e-beschichtetem Glas hat einen geringen Einfluss auf die Bauanschlussfuge und Mauerleibung

- der Rollladenkasten birgt durch sein großes mit dem Aussenklima verbundenes Luftvolumen starkes Trocknungspotential
- die Bauanschlussfuge stellt durch die Möglichkeit des Feuchtetransportes nach außen ein stabiles System dar
- die Bestandssituation des Kastenfensters ist einwandfrei funktionstüchtig
- Durch Innendämmungsmaßnahmen ohne Leibungsdämmung entsteht eine kritische Abkühlung im Bereich der Kante Fensterstock zu Innenleibung
- durch zusätzliche Leibungsdämmung ergeben sich Innenoberflächentemperaturen im unkritischen Bereich
- eine zusätzliche Dämmung der Bauanschlussfuge führt zu einem weiteren Anstieg der Innenoberflächentemperaturen mit überwiegend positiven Effekten, wobei an der Anschlussfuge Fenster zu Leibungsdämmung hohe Werte der relativen Luftfeuchte entstehen
- es wird davon abgeraten Innendämmsysteme mit hohem Wärmedurchlasswiderstand ohne Leibungsdämmung einzusetzen
- die Leibungsdämmung sollte dabei so gewählt werden, dass zumindest die Innenoberflächentemperaturen der unsanierten Leibung erreicht werden. Nachweise dafür sind unaufwändig stationär möglich.

weiterer Forschungsbedarf

- weitere Untersuchungen von Detailvarianten und Abklärung der offen gebliebenen Fragen
- Validierung der Simulationen durch Messungen und Laboruntersuchungen am Bestandsfenster und in den Sanierungsvarianten
- Untersuchung von unterschiedlichen Kastenfenstertypen und -ausführungen sowie Einbausituationen, da sich die Fenstergeometrie als maßgeblicher Einflussfaktor herausgestellt hat
- Unterschiedliche Sanierungsvarianten am Kastenfenster in Kombination mit CFD-Simulationen
 - Isolierverglasungen
 - Sonnenschutzeinrichtungen
 - Austausch des gesamten Innenrahmens durch neuen Holzfensterrahmen
- Untersuchungen mit unterschiedlichen Holz- und Mauerwerkstoffen insbesondere im Hinblick auf das Diffusionsverhalten
- Untersuchungen des Zustands und Diffusionswiderstands vorhandenen Kastenfensterbauteile
- weitere Untersuchungen zur Validität der Aussagen des Schimmelpilzindex und Holzzerstörungsindex nach Viitanen in Simulationen und Laboruntersuchungen
- Variantenstudien zum Schimmelindex nach Viitanen mit anderen als den hier eingesetzten Baustoffen und Beschichtungen
- Untersuchungen/Simulationen zur vorgeschädigten, z.B. über lange Zeit ungeschützt berechneten Holzbauteilen bzw. Kastenfenstern
- Durch weitere Betrachtungen könnte sich zeigen, dass durch die begrenzte Elementanzahl und Rechenkapazitäten gewisse Vereinfachungen nicht zulässig sind, die hier aber erforderlich waren.

3.3 Strömungstechnisches Verhalten von Kastenfenstern bei Sanierung

Daniel Brandl, Thomas Mach

Die strömungstechnischen Vorgänge durch und innerhalb historischer Kastenfenster besitzen einen gewichtigen Einfluss auf das thermische Verhalten dieser Fenster. Die Methoden der „klassischen Bauphysik“ geben in Bezug auf die Modellierung dieser strömungstechnischen Vorgänge jedoch nur bedingt Auskunft. Ein grundlegendes Verständnis dieser Vorgänge bildet jedoch die Grundlage einer angestrebten Verbesserung im Sanierungsfall. Aus der Motivation qualitative und erste Ansätze quantitativer Aussagen über das Strömungsverhalten in historischen Kastenfenstern zu erhalten werden ergänzend zu den thermisch-hygrischen Untersuchungen in Kapitel 3.2 gekoppelte Wärmeleitungs-Strömungssimulationen durchgeführt. Dabei wird das untersuchte Kastenfenster im unsanierten Zustand und unter der Annahme verschiedener Sanierungsmaßnahmen modelliert und punktuell mit den Messergebnissen verglichen. Das Ziel dieser Untersuchung liegt im Generieren eines besseren Verständnisses des strömungstechnischen Verhaltens in einem unsanierten Fenster und der Änderung desselben bei unterschiedlichen Sanierungsmaßnahmen. Um einen Abgleich der Ergebnisse zwischen der thermisch-strömungstechnischen und der thermisch-hygrischen Untersuchung zu ermöglichen werden die Fenstergeometrie, die klimatische Randbedingungen und die thermischen Stoffwerte aus Kapitel 3.2 übernommen. Die in der Folge dargestellten Ergebnisse stützen sich auf den entsprechenden Annexbericht:

- Thermisch- strömungstechnische Simulation der Konzepte zur Sanierung von Kastenfenstern siehe Kapitel 6.3

3.3.1 Aufbau des Simulationsmodells

Die Untersuchung des thermisch-strömungstechnischen Verhaltens wird mit Hilfe des Werkzeugs der **CFD (Computational Fluid Dynamics)** durchgeführt. CFD ist eine Simulationsmethode um Strömungsverhalten, Wärmeleitung, Strahlung und Stoffübergänge virtuell nachzubilden. Die Simulationen werden mit der CFD-Software FLUENT ANSYS Version 12.1.4. durchgeführt. Alle verwendeten Berechnungsmodelle in Bezug auf Strömung, Energie und Strahlung sind im FLUENT ANSYS Theorie-/User's Guide (ANSYS, Inc. (a), 2011; ANSYS, Inc. (b), 2011) genau beschrieben (siehe Kapitel 6.4). Zur Ermittlung des Strömungsverhaltens im Kastenfenster wird das „**Realizable k- ϵ** “ Modell mit dem Zusatz „**Enhanced Wall Treatment**“ eingesetzt. Der Einfluss durch die Gravitation muss aktiviert sein um eine natürliche Konvektion zu ermöglichen. Die Luft wird als **ideales inkompressibles Gas** behandelt. Zusätzlich ist in den Simulationen der verschiedenen Sanierungsvarianten das „**Discrete Ordinate**“ Modell zur Berücksichtigung des Strahlungsaustausches eingeschaltet. Der Effekt der solaren Strahlung für den Sommerfall wird unter zu Hilfenahme der Literaturquellen (Streicher, o.A.; Duffie & Beckman, 1991) ermittelt, und an den betroffenen Positionen in der Simulationsgeometrie als Randbedingung einer Wärmequelle angegeben. Bevor man jedoch mit den Simulationen starten kann benötigt man ein **Netzgittermodell** des Kastenfensters inklusive aller untersuchungstechnisch relevanten Komponenten und Zonen. Dafür wird zunächst ein dreidimensionales Modell des Fensters mitsamt Rahmen, Mauer und Fensterbänken laut Abmessungen der Kastenfenster aus den In-Situ-Messungen (siehe Kapitel 3.2.4) im Dachgeschoss des Kindergartens in der Schönbrunnngasse 30 erstellt ((a) in Abb. (63)). Dieses dient als Basis für die Simulationsmodellerstellung. Da in den Kastenfenstern der Zwischenraum einem Rechteck ähnelt, reicht in den Simulationen des Kastenfensters ein **zweidimensionales Simulationsmodell** aus. Dieses ergibt sich durch den Schnitt durch das dreidimensionale Modell ((b) und (c) in Abb. (63)). Nachdem die zweidimensionale Geometrie erstellt ist kann die Generierung des Simulations-Gitternetzes erfolgen.

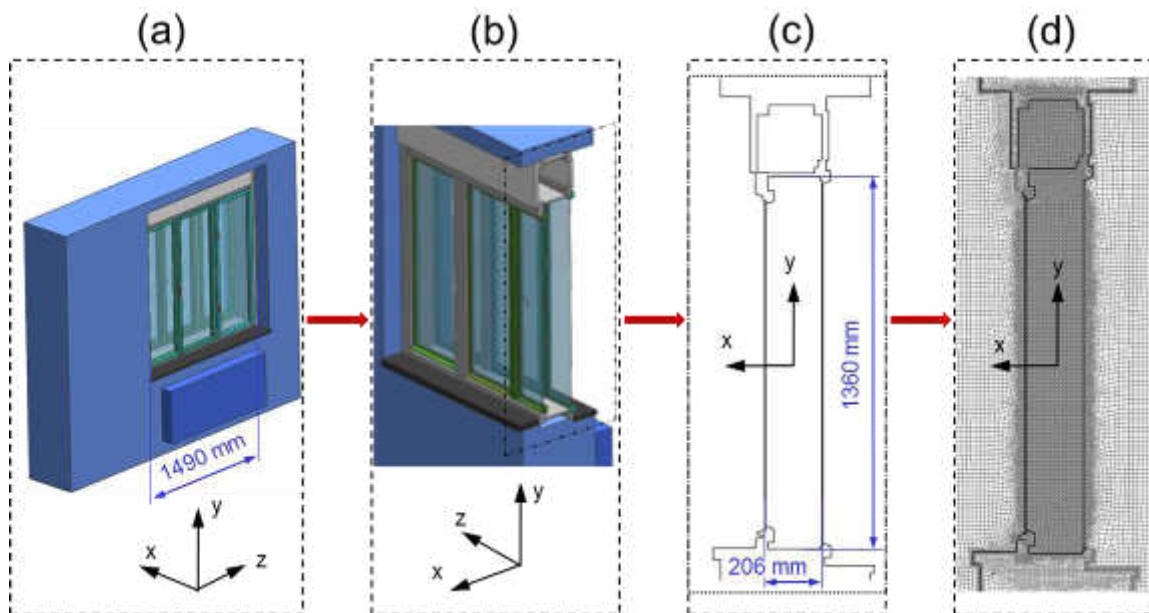


Abb. (63) (a) 3D-Modell des Kastenfensters, (b) mit eingezeichnetem Schnitt zur Erzeugung der (c) Modelle für die 2D-Simulation, (d) Ausschnitt aus einem der Kastenfenstergittermodelle

Zur Netzgittererzeugung wird in diesem Fall die Software GAMBIT verwendet (Beschreibung siehe Kapitel 6.4). Die Kastenfenstergeometrie wird von den Zonen der Luftkanäle ausgehend mit der Methode „Pave“ vernetzt (Abb. (64)). Die Luftkanäle bestehen aus 0,5 [mm] Quads. Von dort wächst das Gitter in alle restlichen Zonen des Modells. Vor Start der Simulation werden noch die Grenzbereiche der Luft zu festen Materialien verfeinert, wobei die Zellen eine Größe bis zu 0,1 [mm] erreichen können.

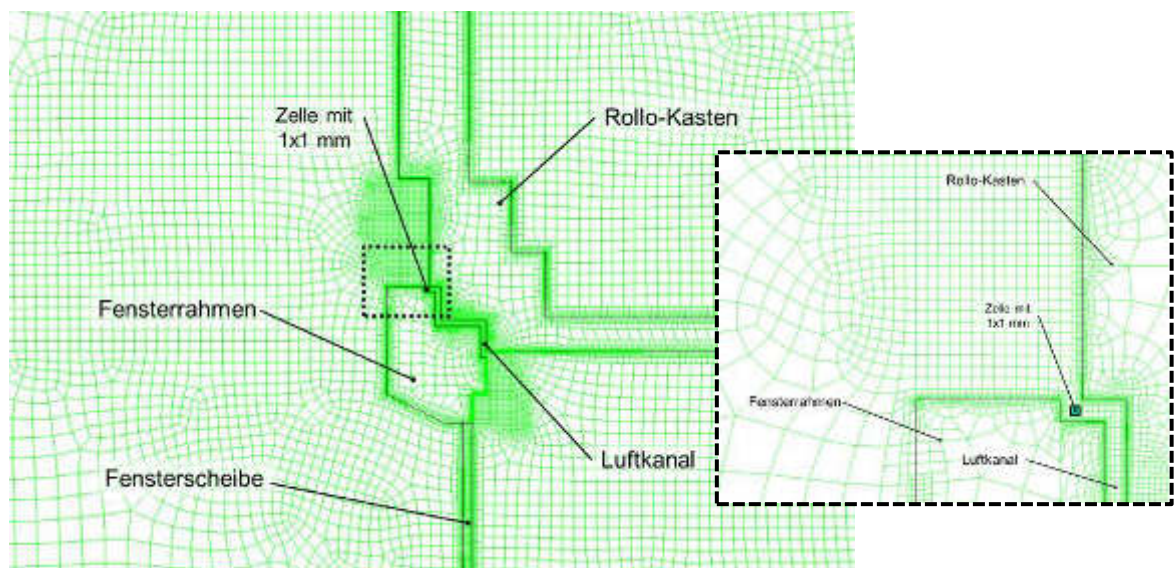


Abb. (64) Darstellung zweier Ausschnitte des Netzgitters im Bereich des oberen inneren Luftkanals des Kastenfensters.

Das gesamte Simulationsmodell (siehe Abb. (65)) besteht aus folgenden Komponenten:

- Die erste Komponente im Modell ist das Kastenfenster, mitsamt allen notwendigen Details, wie z.B. die Luftkanäle zwischen Rahmen und Fensterrahmen.
- Zusätzlich ist auch noch der Teil der Gebäudehülle hinzugefügt, in dem das Kastenfenster eingebaut ist. Als obere und untere Grenze dienen die Deckenzone und die Geschosswischenzone.
- Für den späteren Vergleich des Einflusses der Sanierungsvarianten des Kastenfensters, soll ein Innenraum dienen, der durch die Innenwand-Zone abgeschlossen ist. Die Abmessungen des Raums sind dem Gebäude in der Schönbrunnngasse nachempfunden.
- Um den Einfluss des Luftwechsels im Fenster mitberücksichtigen zu können, ist im Modell eine Zone, die einen Teil der Außenumgebung darstellt, hinzugefügt. In dieser Zone kann auch der Einfluss des Winds auf die Gebäudefassade mitberücksichtigt werden.
- Im Innenraum ist zusätzlich auch ein Heizkörper abgebildet, um den Raum in den Simulationen beheizen zu können.
- Die Zonen, die den Einfluss der Solaren Strahlung widerspiegeln, sind im Modell nicht explizit dargestellt.

Der Zweck der Untersuchung ist zwar nur die Untersuchung des Verhaltens innerhalb des Kastenfensters, die zusätzlichen Zonen sind jedoch notwendig, um die Einflüsse von außen auf das Fenster in der Simulation nachbilden zu können. Die Randbedingungen an den Grenzen des Simulationsmodells zur simulationstechnischen Untersuchungen, die in Abb. (65) angeführt sind, lauten wie folgt:

- Die untere Geschossgrenze ist als eine adiabate Grenze definiert, unter der Annahme, dass der Raum unterhalb das gleiche thermische Verhalten aufweist.
- Die obere Geschossgrenze beinhaltet die Wärmeverluste über das Dach, mit der Angabe einer Temperatur.
- In der Ganggrenze ist die Wechselwirkung zwischen dem Innenraum und dem Gang in diesem Geschoss definiert.
- Da man nur einen Ausschnitt der äußeren Umgebung in der Simulation darstellen kann, benötigt man eine Abgrenzung dieser Zone. Die Abgrenzung besteht aus einer virtuellen Wand, für die die Eigenschaften der Luft gelten, und aus einem Ein- und Auslass für die Luft, um den Einfluss des Winds in die Simulation mit einfließen zu lassen.

Zur näheren Untersuchung des thermisch –strömungstechnischen Verhaltens sind zwei unterschiedliche klimatische Zustände gewählt worden. Diese beiden Fälle sind als großzügig angenommene Extrembedingungen für die Region anzusehen, in der sich das Gebäude mit dem Kastenfenster befindet.

- **Winterfall**
mit einer Außentemperatur von -20 [°C], keiner Solaren Einstrahlung, aber mit einer Heizkörperoberflächentemperatur von 60 [°C]
- **Sommerfall**
mit einer Außentemperatur von 40 [°C], und einer Globalstrahlung von 1000 [W/m²] bei einem Einstrahlwinkel von 66 [°].

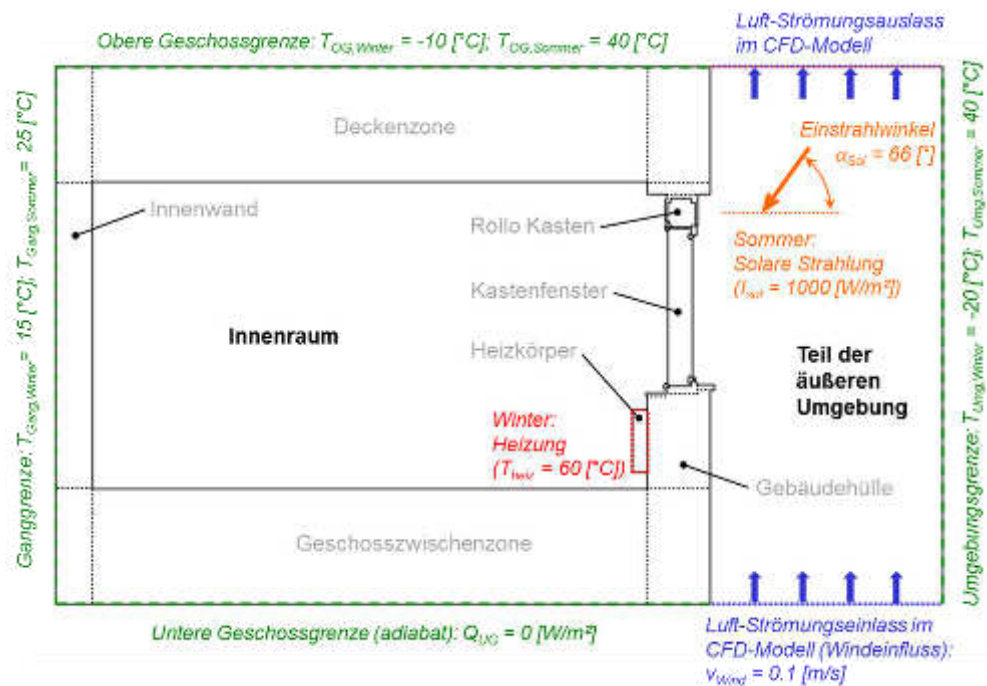


Abb. (65) Simulations-Modellaufbau für die Kastenfenster-Sanierungs-Varianten-Studie

Im Zuge des Projektes wurden verschiedenartigste Konzepte zur Sanierung historischer Kastenfenster diskutiert. Für die **Sanierungsvarianten** mit der höchsten Umsetzungswahrscheinlichkeit in denkmalgeschützten Gebäuden werden Strömungsmodelle erstellt, sowie CFD-Simulationen durchgeführt und ausgewertet. Abb. (66) zeigt die Ausgangsvariante (001-unsaniert) und fünf mögliche Sanierungsmöglichkeiten. Die detaillierte Beschreibung der einzelnen Varianten und Sanierungsmaßnahmen ist in Kapitel 3.3.3 nachzulesen.

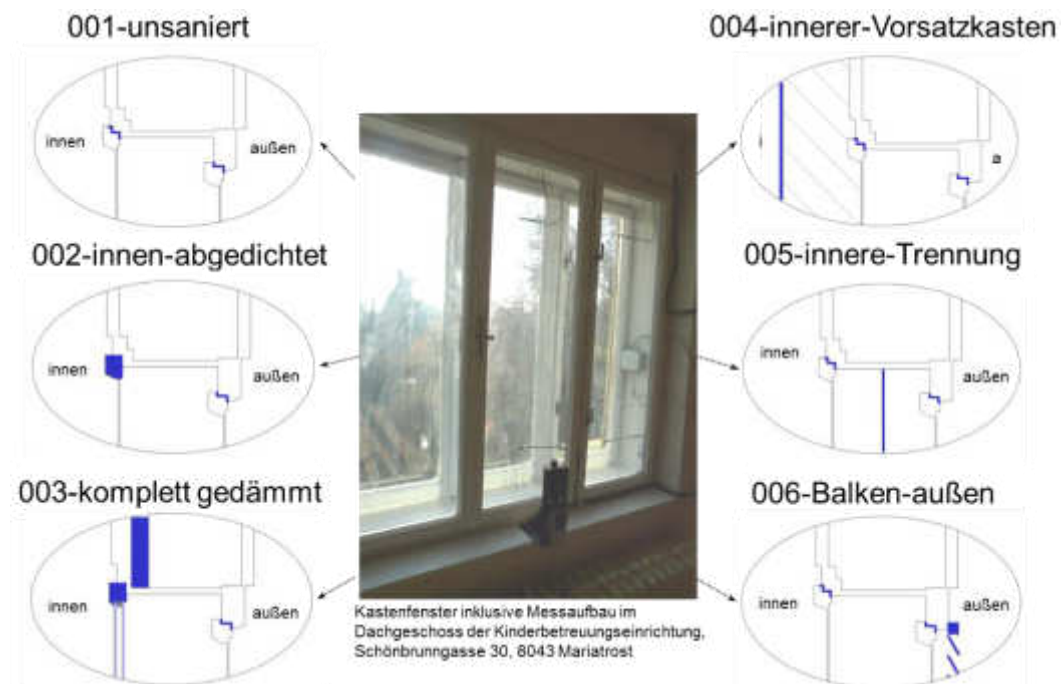


Abb. (66) Darstellung der Kastenfenster-Sanierungsvarianten

3.3.2 Strömungsverhalten des unsanierten Kastenfensters

Die erste Variante ist das Kastenfenster im unsanierten Zustand. Durch die Konstruktionsweise der Kastenfenster bzw. auch durch die Alterung und den Verzug der Materialien entstehen eben zwischen Fensterrahmen und Rahmen (Falz) Luftkanäle, durch die Luft zwischen Innenraum und äußerer Umgebung ausgetauscht werden kann. Dies kann in den Heizperioden zu Wärmeverlusten bzw. im Sommer zu unbehaglichen Zuständen im Innenraum führen. Die Abmessungen der Luftkanäle variieren im Bereich der historischen Kastenfenster oft sehr stark, darum muss diesbezüglich eine Annahme getroffen werden. Darum sind in alle Simulationsvarianten die Luftkanäle mit einer Breite von je 2 [mm] versehen. Die für die Auswertung besonders interessanten Bereiche sind in der Nähe des Fenster-Sockels, die Fenstermitte obere Fensterbereich.

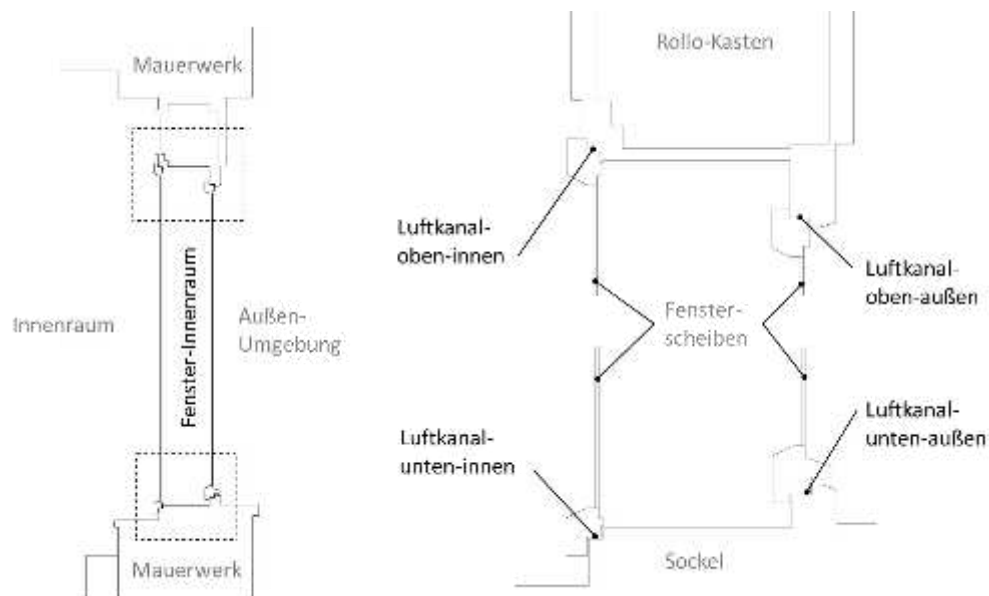


Abb. (67) Ausschnitt aus Simulationsmodell Variante 001, Kastenfenster unsaniert

Die Simulationen zu den Bedingungen des **Winterfalls** lieferten für die Variante (001) des unsanierten Kastenfensters folgendes Ergebnis. In Abb. (68) ist die Luftströmung im **Sockelbereich** des Kastenfensters dargestellt. Die dort nummerierten Bereiche sind markante Bereiche, die im Detail betrachtet werden. Die Luft strömt außen die Fassade aufwärts, unterliegt einem Strömungsabriss im Bereich der Fensterbank außen. Dadurch entsteht im Bereich des unteren äußeren Luftkanal eine Zirkulation (1). Im Innenraum strömt die an der Inneren Fensterscheibe abgekühlte Luft abwärts, wird vom Fensterrahmen umgelenkt und strömt weiter über die innere Fensterbank in Richtung der vom Heizkörper aufgeheizten Luft und vermischt sich dort mit dieser (2). Von außen strömt die kalte Luft von außen durch den Luftkanal des unteren äußeren Fensterrahmens in den Kastenfensterinnenraum (3). Die Luft strömt weiter bis zum unteren inneren Fensterrahmen (4), und wird zum Teil über den inneren unteren Luftkanal in den Raum geleitet (5). Der innere Fensterrahmen im Sockelbereich des Kastenfensters verursacht einen Luftwirbel im Bereich des Luftkanals (8). Der Teil der nicht in den Raum strömt, wird an der Innenscheibe erwärmt und strömt aufwärts (6). An der Außenscheibe strömt die Luft abwärts, wird durch den Fensterrahmen unten außen gestört und umgelenkt (7). Die Strömung teilt sich an dieser Stelle auf. Unterhalb der Kante des Rahmens sind zwei Strömungswirbel zu beobachten.

An der Abwärtsströmung war des Weiteren noch zu beobachten, dass sich ab etwa der Fenstermitte kontinuierlich mit weiter abnehmender Fensterhöhe ein verhältnismäßig kleiner Luftstrom von der Hauptströmung abspaltet. Dadurch nimmt der abwärts gerichtete Luftstrom entlang der Fensterscheibe ca. ab der Mitte des Fensters ab. Die abgespaltene Luft strömt in der Folge über die Fenstertiefe und fügt sich an die Aufwärtsströmung an der inneren Fensterscheibe an. Das bewirkt die Verbreiterung der Auftriebsströmung bis ca. zur Mitte des Fensters.

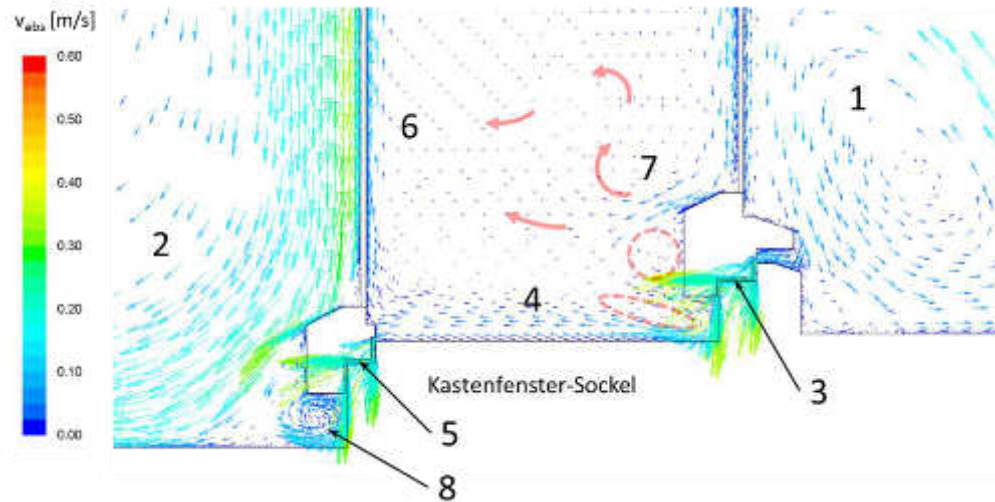


Abb. (68) vektorielle Darstellung der Luftströmung im Kastenfenster-Innenraum im Bereich des Kastenfenster-Sockels

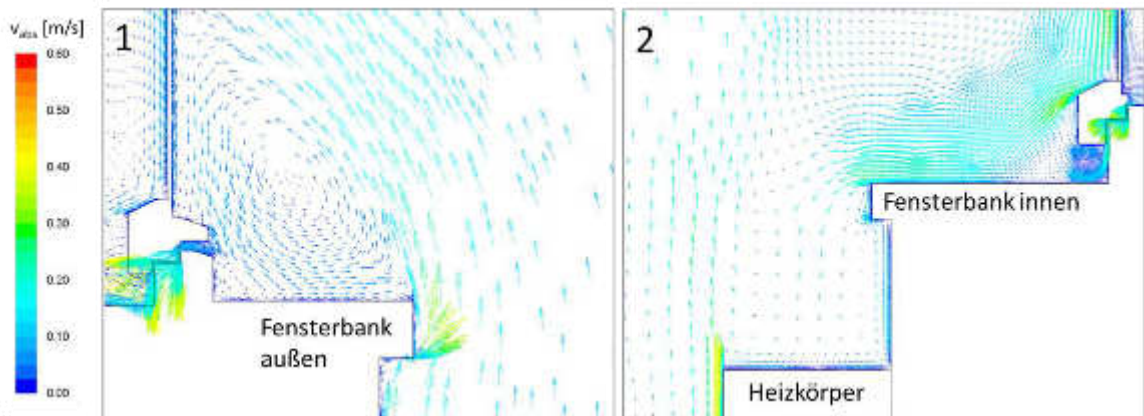


Abb. (69) Strömungs-Details zu Abb. (68), Darstellung der Luftströmungen in Form von Vektoren

Im Bereich der **Fenstermitte** des Kastenfensters (dargestellt in Abb. (70)) verhält sich die Luftströmung folgendermaßen. An der inneren Fensterscheibe wird die Luft im Kastenfenster-Innenraum aufgewärmt. Dadurch stellt sich eine Auftriebsströmung ein (1). An der äußeren Fensterscheibe wird die Luft abgekühlt und sinkt Richtung Fenstersockel ab (2). Im Bereich der Fenstermitte sind Auf- und Abtriebs-Strömung am stärksten ausgeprägt (Intensität und Breite des Luftstroms). In der Zone zwischen diesen beiden Strömungen entlang der Fensterscheiben sind vergleichsweise nur sehr geringe Luftbewegungen erkennbar.

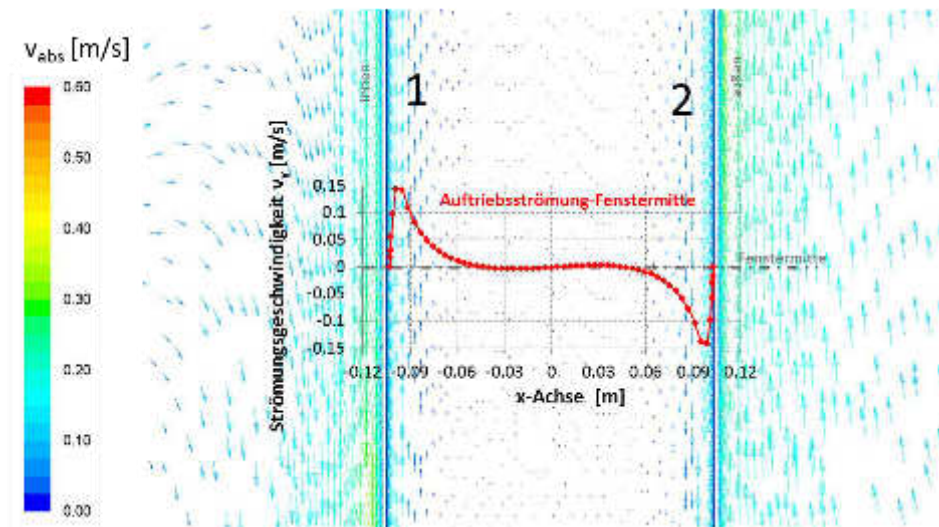


Abb. (70) Vektorielle Darstellung der Strömung der Luft im Bereich der Mitte des Kastenfenster-Innenraums. Zusätzlich ist der Verlauf der Auftriebs-Strömung über die Fenstertiefe an der Fensternmitte dargestellt

In der Darstellung der Luftströmung im **oberen Bereich des Kastenfensterinnenraums** sind ebenfalls die wichtigen Details markiert. Im oberen Bereich strömt ein Teil der aufgewärmten Raumluft durch den Luftkanal zwischen Falz und innerem oberen Fensterrahmen in den Kastenfensterinnenraum (1). Die mit der aufsteigenden Luft aus dem Kastenfensterinnenraum vermischte Raumluft strömt weiter Richtung äußeren oberen Fensterrahmen (2). Durch den Luftkanal gelangt dort ein Teil der Luft in die äußere Umgebung (3). Der restliche Anteil umströmt den Fensterrahmen und strömt abwärts Richtung Fenstersockel. Weiter ist ab der Mitte des Kastenfensters an der raumseitigen Fensterscheibe zu beobachten, dass der aufsteigende Luftstrom mit weiter zunehmender Höhe schmaler wird. Ähnlich wie im unteren Bereich an der äußeren Fensterscheibe, löst sich kontinuierlich Luft von dem Strom. Diese wandert über die Fenstertiefe auf die andere Seite des Fensters. Das bewirkt die Zunahme der Breite der Abwärtsströmung außenseitig. Die an der Decke des Fensterzwischenraums nach unten umgelenkte Luftströmung wird durch den oberen äußeren Fensterrahmen gestört, was in diesem Bereich noch zusätzlich zu Luft Verwirbelungen führt.

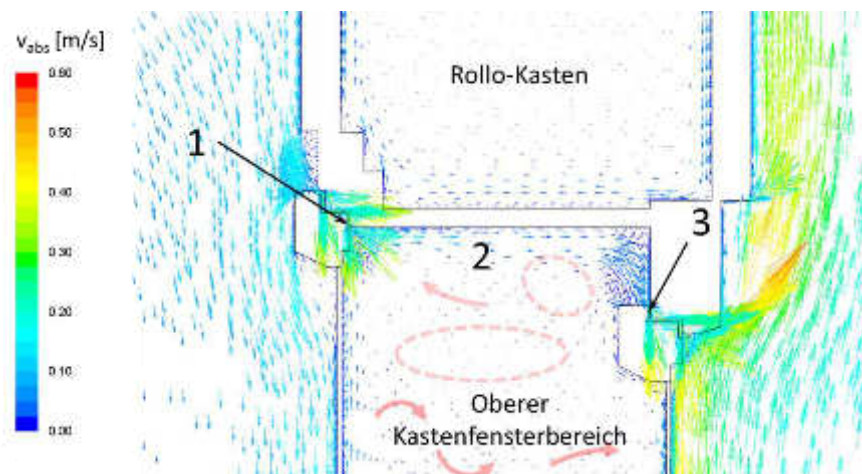


Abb. (71) vektorielle Darstellung der Luftströmung im oberen Bereich des Kastenfenster-Innenraums

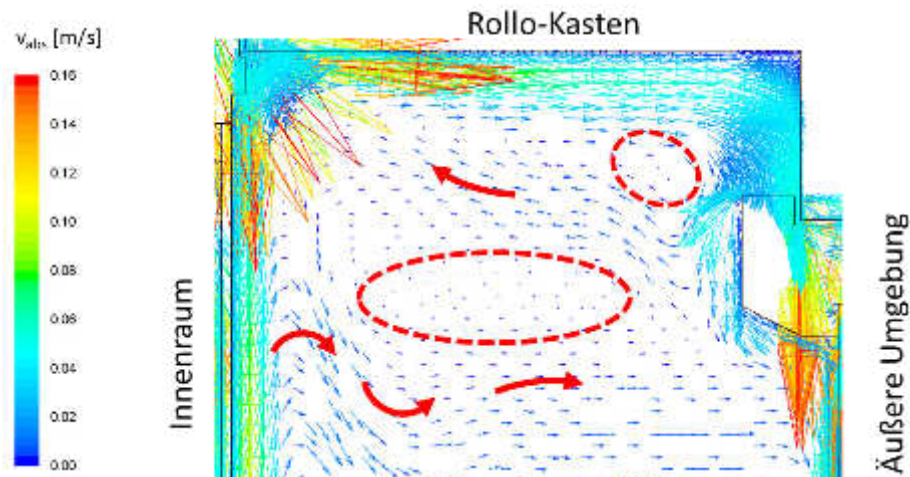


Abb. (72) Strömungs-Details zu Abb. (71), Darstellung der Luftströmungen in Form von Vektoren

In Abb. (73) wird die Luftströmung entlang des Fensters raumseitig dargestellt. In diesem Bereich wird der Effekt des Aufheizens der Luft durch den Heizkörper und der Einfluss der durch die im Kastenfenster bestehenden Luftkanäle ein- bzw. austretende Luftströme sichtbar. In diesem Bereich wird sich die Strömung in Abhängigkeit von der Sanierungsvariante ein bestimmtes Strömungsbild ergeben. Dies ist besonders interessant, wenn es um den Vergleich zwischen der Simulationsvariante mit dem unsaniertem Fenster (Fall 001) und der Variante mit der Dichtung innenseitig (Fall 002) geht. Hier in Abb. (73) sind zwei Luft-Verwirbelungen erkennbar, die vermutlich aus dem Zusammenspiel der aufsteigenden Luft vom Heizkörper und der Luftströme der Luftkanäle entstehen. Unter Detail 1 ist die Zirkulation im unteren Bereich des Kastenfensters und über dem Heizkörper dargestellt. Die Zirkulation reicht bis knapp über die unter Hälfte des Kastenfensters. Im oberen Bereich (siehe Detail 2 in Abb. (73)) ist eine weitere größere Zirkulation zu erkennen, welche die von Richtung Heizkörper aufwärtsströmende Luft beeinflusst. Ob diese Verwirbelungen, laut Vermutung, tatsächlich durch die Luftkanäle im Kastenfenster entstehen, kann mit der Auswertung der zweiten Sanierungsvariante beantwortet werden.

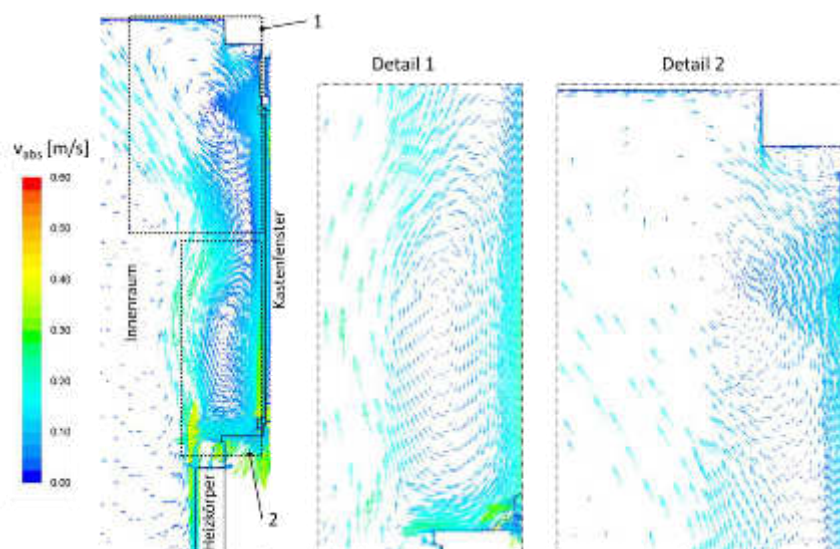


Abb. (73) Darstellung der Luftströmung, vom Heizkörper bis zur Decke des Innenraums, im Bereich der inneren Fensterscheibe des Kastenfensters. Detail 1 stellt den Strömungs-Wirbel im Deckenbereich, Detail 2 die Luftzirkulation knapp über dem Heizkörper dar

In Abb. (74) ist der Verlauf der Temperatur zwischen den Grenzen von -20 und 20 [°C] im (a) unteren und (b) oberen Bereich des Kastenfensterzwischenraums dargestellt. Man erkennt das Eindringen der kalten Luft von außen im unteren Bereich bzw. das Entweichen der aufheizten Luft im Raum durch die oberen Luftkanäle bis in die Umgebung zu zeigen.

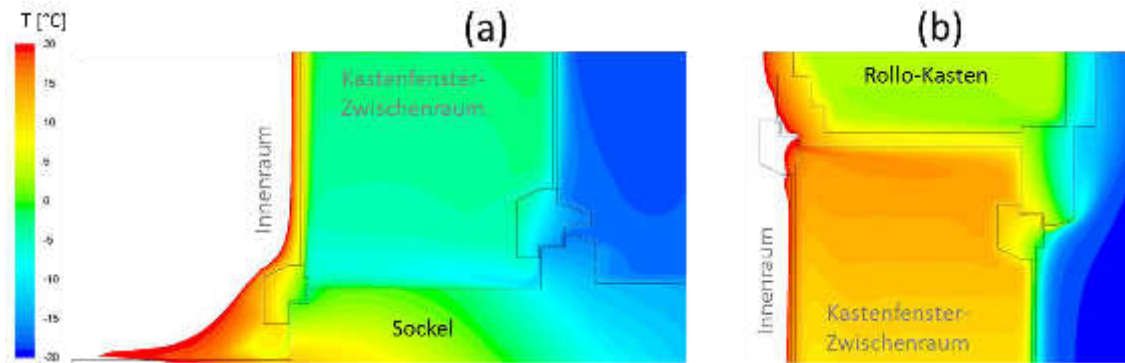


Abb. (74) Darstellung des Temperaturverlaufs von -20 bis 20 [°C] im (a) unteren und (b) oberen Bereich des Kastenfenster-Zwischenraums

Die folgenden Diagramme dienen zum Vergleich von Temperaturen und Strömungsgeschwindigkeiten (die Komponente, die den Auftrieb der Luft beschreibt) an verschiedenen Positionen des Kastenfensterzwischenraums. Im ersten Diagramm sind **Temperatur und Strömungsgeschwindigkeit entlang der Fenstertiefe (x-Achse)** im unteren und oberen Bereich des Kastenfensters, sowie in dessen Zentrum, abgebildet (siehe Abb. (75)).

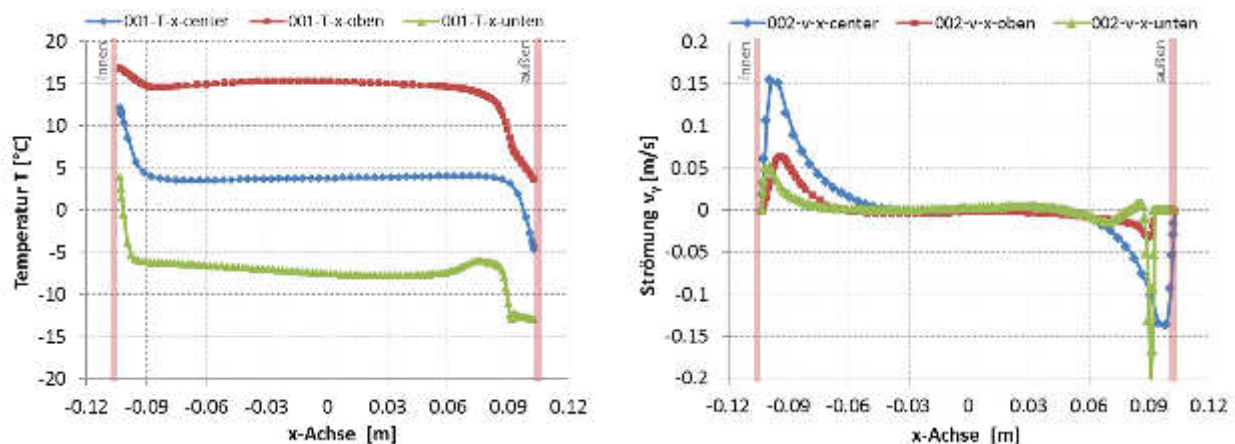


Abb. (75) Die Diagramme stellen den Verlauf von Temperatur und Auftriebs-Strömungsgeschwindigkeit entlang der Fenstertiefe im Kastenfenster (= als x-Achse definiert) dar. Grüne Kurve: Schnitt durchs Fenster 20 [mm] über dem Sockelboden, Blaue Kurve: Schnitt in der Fenstermitte, Rote Kurve: Schnitt 20 [mm] unter dem Rollo-Kasten

Ausgehend von der Seite, an der sich der Innenraum befindet, sinkt die **Temperatur** im Bereich der Aufwärtsströmung ab. Über die Tiefe des Zwischenraums bleibt die Temperatur annähernd konstant (vor allem im Bereich der Fenstermitte = blaue gefärbte Kurve). Im Bereich der Abwärtsströmung entlang der äußeren Fensterscheibe fällt die Temperatur weiter.

Die Temperaturkurve im unteren Bereich des Kastenfensters weist eine Temperaturspitze auf, die sich durch die Vermischung von einströmender Außenluft und der an der äußeren Fensterscheibe abwärtsströmenden Luft im Kastenfenster erklären. Im Bereich des Zentrums (bei $x=0$) des Zwischenraums ist die **Strömungsgeschwindigkeit** sehr gering. Die Intensität nimmt jedoch in Richtung der beiden Fensterscheiben zu. Auf- und Abtrieb an den Fensterscheiben sehen in den ungestörten Bereichen in ihrer Form und Intensität sehr ähnlich aus, lediglich die Strömungsrichtung ist umgekehrt. Im Bereich der Fenstermitte sind die Auslenkungen am stärksten ausgeprägt. Die Strömungsspitze an der Außenseite im Strömungsverlauf für den unteren Fensterbereich (grün) zeigt den Einfluss der von außen einströmenden kalten Luft.

Weiter sind **Temperatur und Strömungsgeschwindigkeit entlang der Fensterhöhe (y-Achse)** verlaufend, wiederum für drei Positionen, in Diagrammen dargestellt (siehe Abb. (76)). Abgesehen vom oberen und unteren Randbereich beschreiben die Kurven einen stetigen Anstieg der **Temperatur** vom Sockel bis zum oberen Zwischenraumbereich. Die Kurve besitzt einen Wendepunkt etwa in der Mitte der Fensterhöhe. Dort ist der Temperaturanstieg (Steigung = $\Delta T/\Delta y$) am geringsten. Die Unregelmäßigkeiten im oberen und unteren Bereich entstehen durch die Luftströmungen in den Luftkanälen. Die Temperaturspitzen im oberen und unteren Bereich des Kastenfensters beschreiben den Temperatureffekt, der durch die ins Kastenfenster eindringenden Luftströme entsteht. Auf- und Abtrieb der **Luftströmung** beschreiben in den von den Luftkanälen ungestörten Bereichen entlang der Fensterhöhe jeweils eine bauchförmige Kurve. Das heißt, dass die Luft an der Fensterscheibe bis ca. zur Fenstermitte der beschleunigt, und anschließend von dort weg wieder abgebremst wird. Die zwei Strömungsspitzen im grün gefärbten Verlauf, der die Geschwindigkeit der Luftströmung entlang der äußeren Fensterscheibe darstellt, zeigen den Einfluss der Luftströmungen im oberen und unteren äußeren Luftkanal an. Die Abschnitte mit Sinus-ähnlichen Verläufen kennzeichnen eine Zirkulation der Luft.

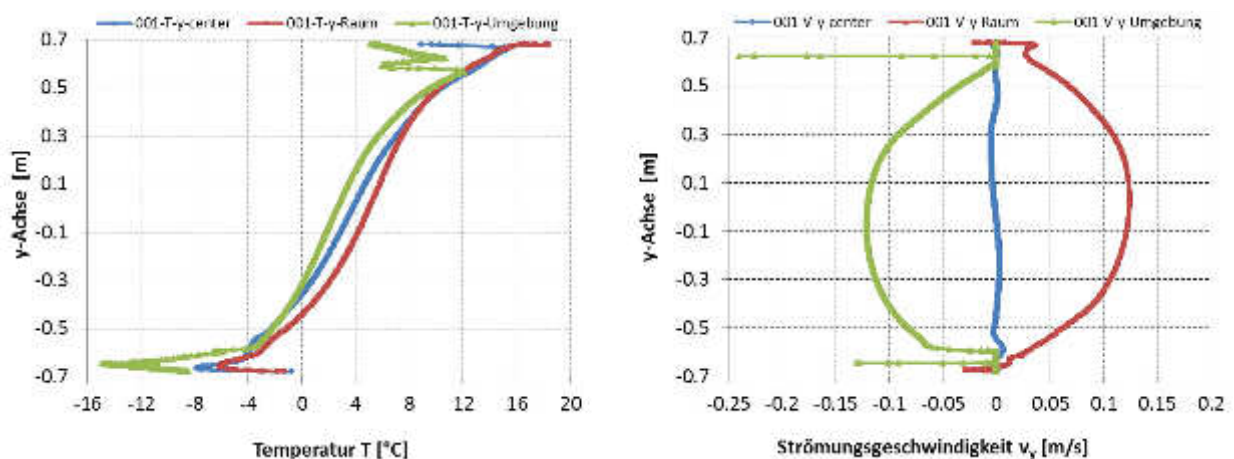


Abb. (76) Die Diagramme stellen den Verlauf von Temperatur und Auftriebs-Strömungsgeschwindigkeit entlang der Fensterhöhe im Kastenfenster (= als y-Achse definiert) dar. Grüne Kurve: Schnitt über die Kastenfensterhöhe, 10 [mm] entfernt von der inneren Scheibe, Rote Kurve: Schnitt 10 [mm] entfernt von der äußeren Scheibe, Blaue Kurve: Schnitt in der Fenstermitte

Die Ergebnisse aus der Simulation zu den Randbedingungen des **Sommerfalls** verändert sich das Strömungsbild im Kastenfensterzwischenraum im Vergleich zum Winterfall zuvor. Vor allem im **unteren Bereich** treten ein paar signifikante Veränderungen auf. Die wichtigsten Stellen in diesem Bereich sind in Abb. (77), (b) gekennzeichnet.

Durch die Solare Einstrahlung werden die im Sichtbereich liegenden Flächen entsprechend der in der Simulation definierten Absorptionseigenschaften aufgeheizt. Dadurch werden Sockelbereich und Fensterrahmen (1) unterschiedlich temperiert. Die unterschiedlichen Temperaturen wirken sich in strömungs-technischer Hinsicht in Form von Verwirbelungen im unteren Bereich aus (2), (3), (4), (5), (6). Die Strömung beruhigt sich ca. Mitte der Fensterhöhe. Im Zentrum (7) des Kastenfensterzwischenraums ist ein Auftrieb der Luft zu erkennen. Die Luft strömt von dort weg gleichmäßig aufwärts bis zum oberen Abschluss des Zwischenraums. An den Fensterscheiben hingegen tritt in diesem Bereich (8), (9) eine Abwärtsströmung auf. Da die Temperatur der Luft im Fensterzwischenraum höher als im Innenraum und an der äußeren Umgebung ist, wird diese an den Scheiben abgekühlt und sinkt in den Bereich der Verwirbelung ab, bzw. trägt zusätzlich zu den Unregelmäßigkeiten im Strömungsbild bei. Durch die unteren Luftkanäle, (10), (11) gelangt Luft aus dem Innenraum und der Umgebung in den Fensterzwischenraum. Die Strömungsintensität ist jedoch relativ gering (Im Winterfall beträgt die Strömungsgeschwindigkeit zirka das Zwanzigfache im Vergleich zum Sommer). Im Bereich der Luftkanalöffnungen im Raum und in der Umgebung (12), (13) entstehen aufgrund der Störung der Strömung durch die Fensterbänke wiederum Luft-Verwirbelungen.

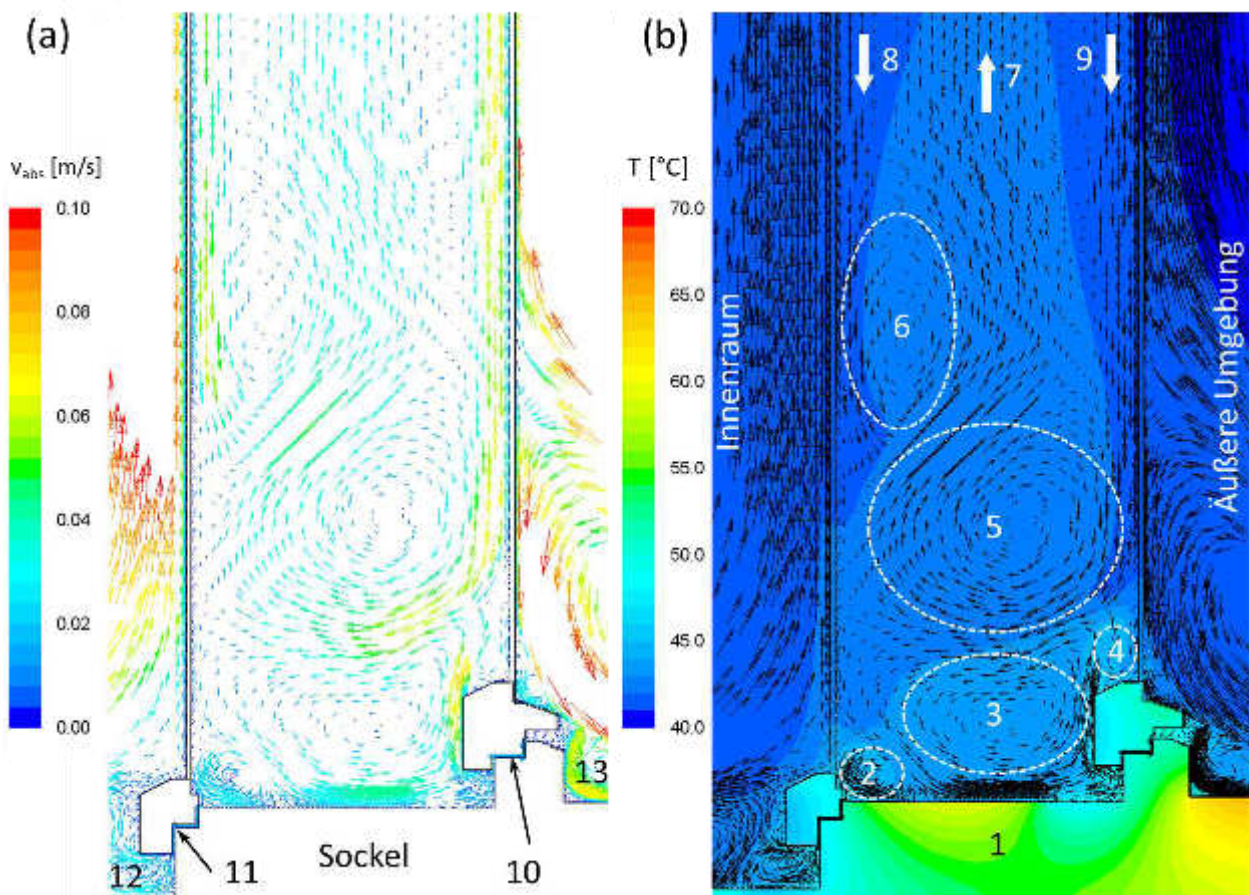


Abb. (77) In Abbildung (a) ist die Strömung vom unteren Bereich bis ca. zur Mitte des Kastenfensterzwischenraums in Form von Geschwindigkeitsvektoren dargestellt. In Abbildung (b) stellt der Farbverlauf die Temperatur dar. Zusätzlich ist die Strömung hier ebenfalls mittels Vektoren veranschaulicht.

Abb. (78) zeigt den **oberen Bereich im Kastenfensterzwischenraum**. Die Luft, die zentral aufwärts strömt (1), wird an der Decke nach innen und außen umgelenkt (4). Ein Teil der Luft geht durch die Luftkanäle in den Innenraum und die Äußere Umgebung verloren (5), (6), der restliche Anteil strömt an den Fensterscheiben entlang abwärts Richtung Sockelbereich (2), (3). Vom aufwärts orientierten Luftstrom (1) wird kontinuierlich Luft nach in Richtung beider Fenster abgezweigt, die ihre Richtung um 180 [°] dreht, und mit den Abwärtsströmungen an den Fensterscheiben vermischt wird (2), (3).

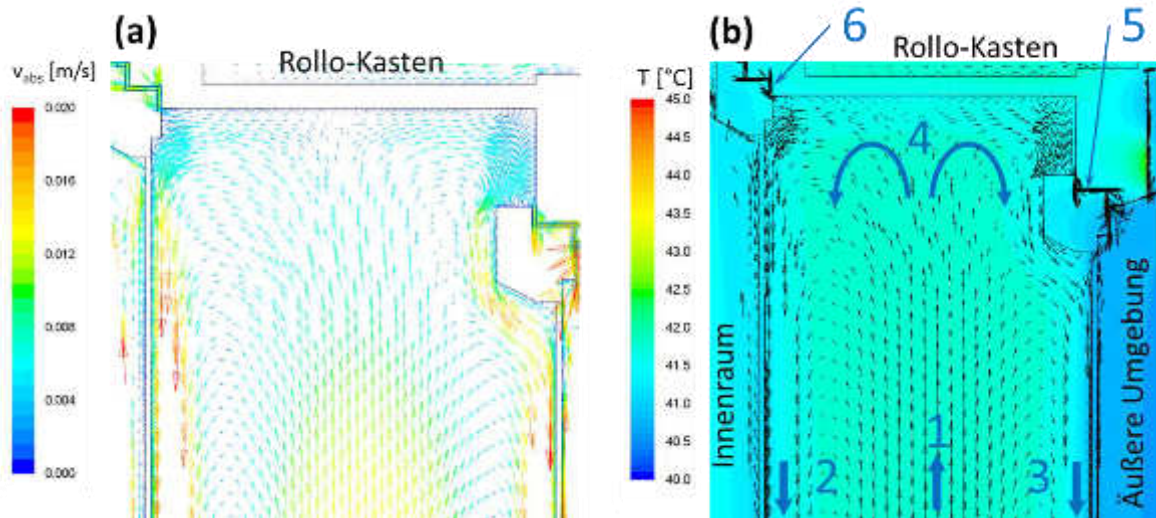


Abb. (78) In Abbildung (a) ist die Strömung vom oberen Kastenfensterbereich in Form von Geschwindigkeitsvektoren dargestellt. In Abbildung (b) ist die Temperatur als Farbverlauf inklusive Strömungsvektoren dargestellt

In den oberen Regionen des Kastenfensters ist der **Temperaturverlauf über die Fenstertiefe (x-Achse)** Abb. (79) annähernd linear. An den Grenzen zu den Fensterscheiben ist eine leichte Temperaturabsenkung erkennbar. In der Mitte in Bezug auf die Fensterhöhe gesehen ist die Absenkung an den Grenzen stärker ausgeprägt. Der sich stark verändernde Temperaturverlauf im unteren Bereich entsteht durch den Einfluss der zum Teil unterschiedlichen Aufheizung der Luft an den Oberflächen im Fensterzwischenraum.

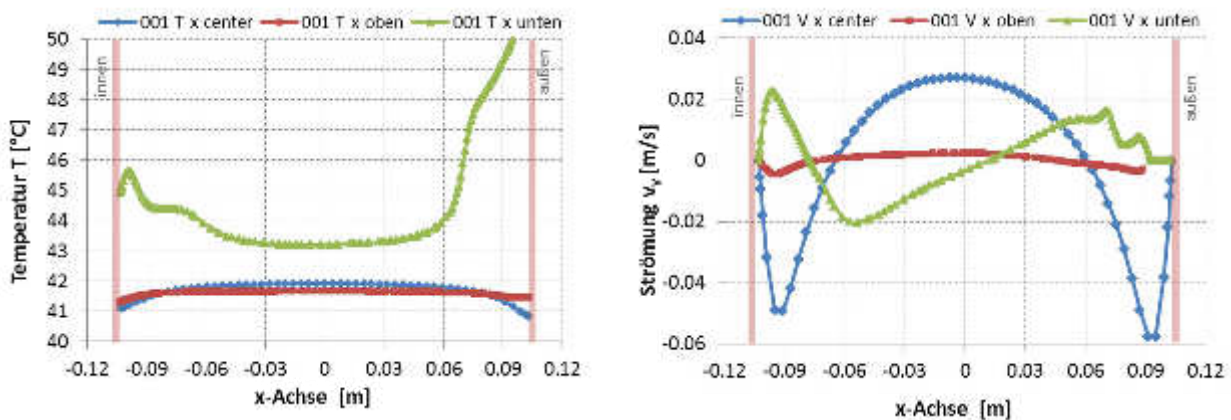


Abb. (79) Die Diagramme stellen den Verlauf von Temperatur und Auftriebs-Strömungsgeschwindigkeit entlang der Fenstertiefe im Kastenfenster (= als x-Achse definiert) dar. Grüne Kurve: Schnitt durchs Fenster 20 [mm] über dem Sockelboden, Blaue Kurve: Schnitt in der Fenstermitte, Rote Kurve: Schnitt 20 [mm] unter dem Rollo-Kasten

Im oberen Bereich (dargestellt durch die rote Kurve) ist der **Strömungsgeschwindigkeitsverlauf über die Fenstertiefe (x-Achse)** Abb. (79) beinahe konstant und vergleichsweise gering. An den Fenstergrenzen sinkt die Luft leicht ab, im Zentrum ist ein geringer Auftrieb zu verzeichnen. Im Verlauf für den Bereich der Fenstermitte (blaue Kurve) sind die Auf- und Abtriebs Strömung gut erkennbar. Der Verlauf im unteren Bereich des Kastenfensters führt durch mehrere Strömungs-Verwirbelungen, die durch die sinusförmig verlaufenden Kurvenbereiche erkennbar sind.

Der **Verläufe der Temperatur über die Fensterhöhe (y-Achse)** Abb. (80) im des Zwischenraums (bei $x = 0$) verzeichnen einen stetigen Abfall der Temperatur in Richtung Fenstersockel. Die Temperatur im Schnitt in der Nähe der Außenscheibe verläuft ähnlich des Schnitts raumseitig. Nur im unteren Bereich sind signifikante Unterschiede feststellbar, da der Rahmen zusätzlich von außen durch die Sonne beheizt wird und dies zu zusätzlicher Erwärmung der Luft im Bereich des unteren äußeren Rahmens im Zwischenraum führt. Im Diagramm mit dem **Strömungsgeschwindigkeitsverlauf über die Fensterhöhe (y-Achse)** Abb. (80) sind durch die sinusähnlich verlaufenden Bereiche in der unteren Hälfte des Fensterzwischenraums die Bereiche zu erkennen in denen Luft-Verwirbelungen auftreten. Im oberen Bereich hat sich die Strömung beruhigt, und erfährt einen Auftrieb im Zentrum des Zwischenraums (blaue Kurve), an den Fenstergrenzen sinkt die Luft im oberen Bereich ab. Die Intensität nimmt in allen Kurven in diesem Diagramm in Richtung Decke des Zwischenraums ab. In der grün eingefärbten Kurve, die die Strömungsgeschwindigkeit in der Nähe der äußeren Fensterscheibe beschreibt, ist die Strömung in den dort im Schnitt liegenden Luftkanälen in Form von Peaks erkennbar.

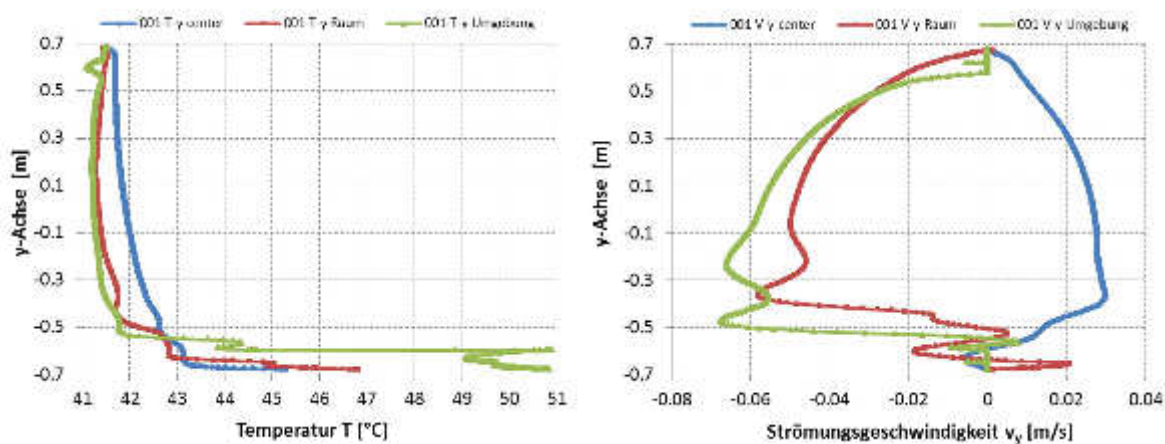


Abb. (80) Die Diagramme stellen den Verlauf von Temperatur und Auftriebs-Strömungsgeschwindigkeit entlang der Fensterhöhe im Kastenfenster (= als y-Achse definiert) dar. Grüne Kurve: Schnitt über die Kastenfensterhöhe, 10 [mm] entfernt von der inneren Scheibe, Rote Kurve: Schnitt 10 [mm] entfernt von der äußeren Scheibe, Blaue Kurve: Schnitt in der Fenstermitte

3.3.3 Auswertung der Sanierungsvarianten

Nachdem die Variante des unsanierten Kastenfensters untersucht ist, werden nun die CFD-Simulation zu den zuvor in Kapitel 3.3.1 angeführten, für die Untersuchung ausgewählten Sanierungsvarianten (siehe Abb. (66)) ausgewertet. Zusätzlich werden auch erste Quervergleiche mit der Variante des unsanierten Kastenfensters in Form von Temperatur und Strömungsprofilen angeführt.

Kastenfenster mit Dichtung innenseitig – Variante 002

Eine Maßnahme zur Verbesserung der thermischen Eigenschaften ist in dieser Variante umgesetzt (Abb. (81)). Die Luftkanäle, die vom Kastenfensterzwischenraum zum Innenraum führen, sind abgedichtet. Die Luft wird nur mehr zwischen der äußeren Umgebung und dem Kastenfensterzwischenraum ausgetauscht, so lange sich das Fenster im geschlossenen Zustand befindet.

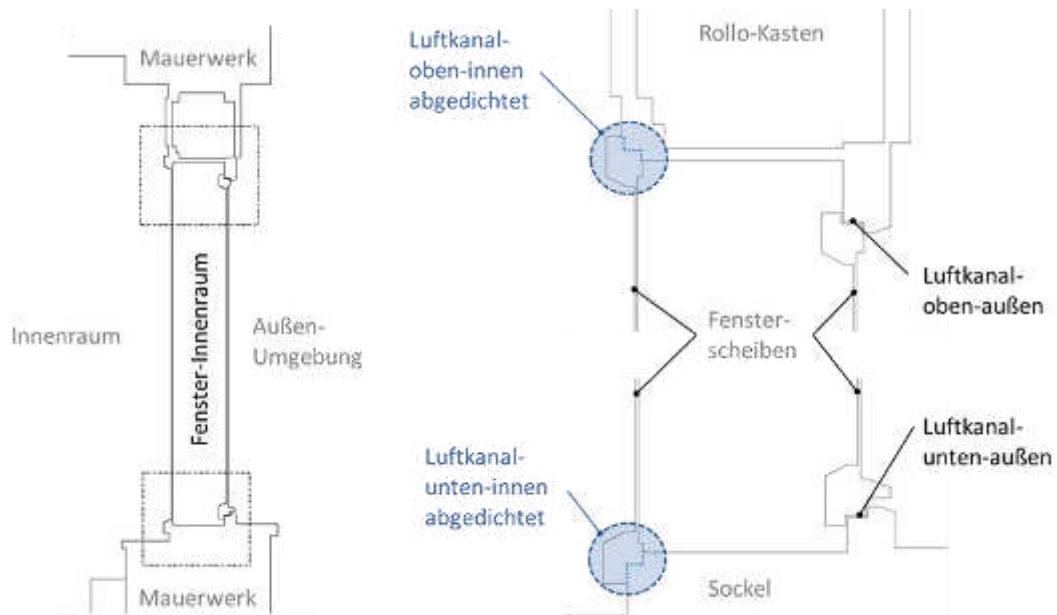


Abb. (81) Ausschnitt aus Simulationsmodell Variante 002, Kastenfenster innenseitig abgedichtet

In den Ergebnissen der Simulationen zum **Winterfall** sind auf den ersten Blick in den Strömungs- und Temperaturverläufen, verglichen mit den Simulationsergebnissen aus der Sanierungsvariante 001, keine gravierenden Veränderungen festzustellen. Im Bereich der raumseitigen Luftkanäle des Kastenfensterzwischenraums weichen der Temperaturverlauf und die Strömung aus Variante 002 jedoch aufgrund der Dichtung etwas ab. Bei Betrachtung der Temperatur in bestimmten Grenzbereichen, kann der Unterschied in der thermischen Performance visualisiert werden. In Abb. (82) ist der Temperaturbereich von 10 bis 20 [°C] für den oberen Bereich des Kastenfensters farblich hinterlegt. Es ist erkennbar, dass durch die Abdichtung des inneren Fensters die wärmere Luft aus dem Raum nicht mehr in den Kastenfensterzwischenraum strömen kann. Dadurch findet die Vermischung der kälteren Außenluft mit der aufgeheizten Raumluft nicht mehr statt, und die Luft im Kastenfenster bleibt in kälterem Zustand. Bei gleicher Heizleistung wird dadurch die Raumtemperatur leicht angehoben, die Lufttemperatur im Kastenfenster abgesenkt.

Im unteren Bereich des Kastenfensters ist zum Vergleich das Temperaturfeld von 0 bis 10 [°C] farblich markiert. Dies dient zur Veranschaulichung des kalten Luftstroms in Variante 001, der durch die Dichtung in Variante 002 verhindert wird. Die Abkühlung der Raumluft wird vermindert, was sich wiederum positiv auf die Raumtemperatur auswirkt. Das Strömungsbild ändert sich bis auf die Luftkanalströmung nur geringfügig.

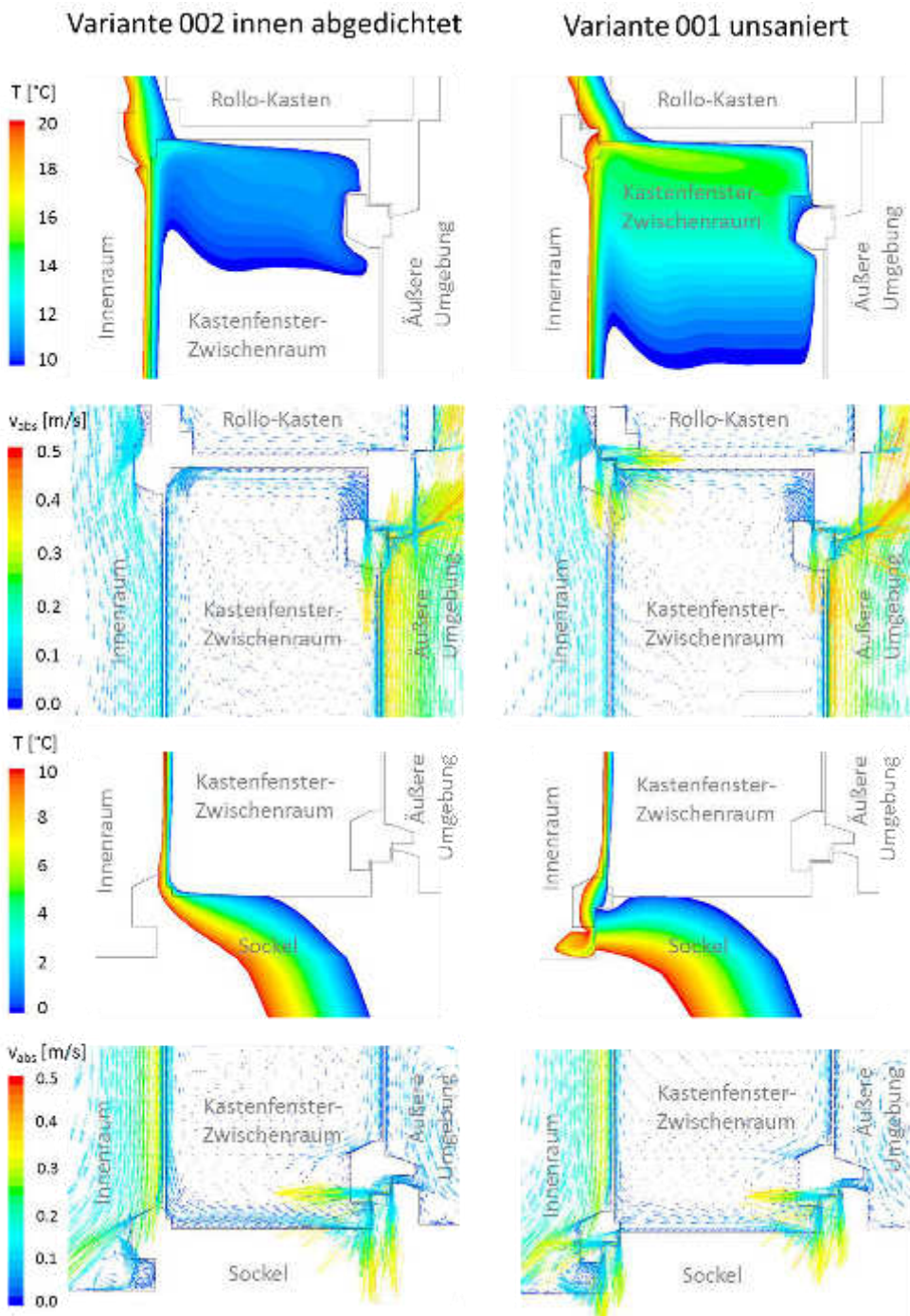


Abb. (82) Gegenüberstellung der beiden Sanierungsvarianten 001 (unsaniert) und 002 (innenabgedichtet) im oberen Bereich und im unteren Bereich (Sockel) des Kastenfensters. Hier werden jeweils Temperaturprofil (die zwei oberen Abbildungen) und Strömungsfeld (die beiden unteren Abbildungen) miteinander verglichen

Bei Betrachtung des **Temperaturverlaufs über die Fenstertiefe** (normal zur Fensterfläche von der Außenscheibe bis zur Innenscheibe) für die Sanierungsvariante 002 ist festzustellen, dass die Temperaturen in beinahe allen Bereichen des Kastenfensters sehr ähnlich wie in der unsanierten Variante (001) verlaufen. An der Innenseite ist eine geringfügige Abweichung zu erkennen, die durch die Dichtung erklärt werden kann. Die Temperaturverläufe weichen weiter voneinander ab, je weiter man in der Betrachtung im Kastenfenster nach oben Richtung Rollo-Kasten wandert.

Der **Strömungsgeschwindigkeitsverlauf über die Fenstertiefe** ist in dieser Sanierungsvariante ebenfalls wieder den Profilen aus der Variante des unsanierten Fensters ähnlich. Entlang der raumseitigen Fensterscheibe ist die Auftriebsströmung in der Sanierungsvariante 002 höher als im unsanierten Kastenfenster. Der **Temperaturverlauf über die Fensterhöhe** (vom Fenstersockel bis zur Rollokastenunterseite) ist ebenfalls den Verläufen aus den Diagrammen der unsanierten Variante sehr ähnlich. Jedoch wird hier der (im Vergleich zur Variante 001) in den zuvor beobachteten Temperaturprofilen geringere Anstieg der Temperatur vom Sockel bis zur Decke des Kastenfensterzwischenraums bekräftigt. Die Kurven des **Strömungsgeschwindigkeitsverlaufs über die Fensterhöhe** stimmen auch hier beinahe überein. Die einzige markante Abweichung ist im Verlauf der Strömung in der Nähe zur raumseitig liegenden Fensterscheibe festzustellen. Der Auftrieb der Luft ist in diesem Bereich stärker ausgeprägt als im Fall 001.

Die Simulationsergebnisse für den **Sommerfall** von Variante 002 und 001 zeigen ebenfalls ein ähnliches Verhalten auf. Durch die Einwirkung der Globalstrahlung wird wieder der Sockelbereich (1) im Kastenfenster aufgeheizt. Dadurch entstehen im unteren Bereich des Luftraums diverse Luft Verwirbelungen (2), (3), (4). Diese Wirbel beruhigen sich nach ca. dem ersten Drittel der Fensterhöhe. Von dort beginnt die Luft wieder im Zentrum vertikal nach oben zu steigen (5), an den Fensterscheiben kühlt die Luft aufgrund der niedrigeren Temperatur im Innenraum und der äußeren Umgebung ab und sinkt abwärts bis in den Bereich der Luft Verwirbelung (6), (7).

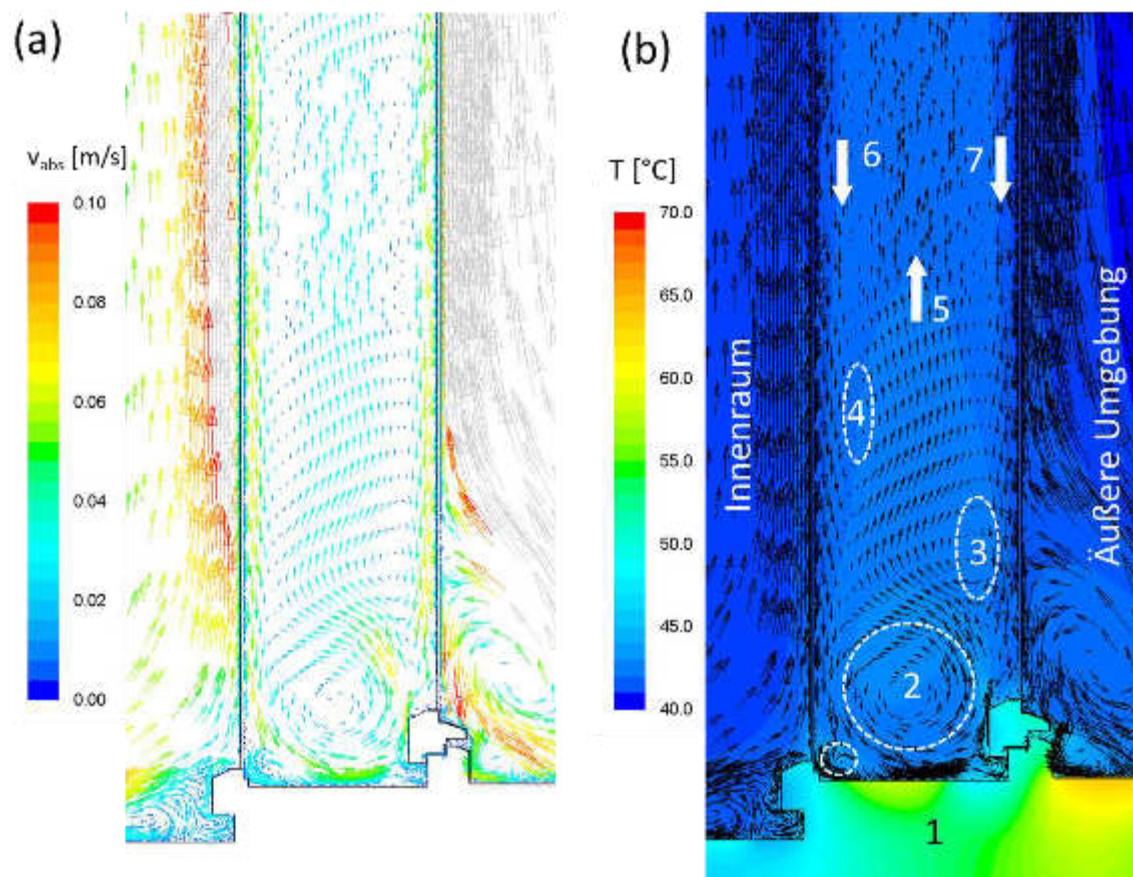


Abb. (83) Darstellung von (a) Geschwindigkeitsvektoren und (b) Temperaturprofil für die untere Hälfte des Kastenfensterzwischenraums im Sommerfall für Sanierungsvariante

In Abb. (84) sind Strömung und Temperaturverlauf für den oberen und unteren Bereich im Kastenfenster Zwischenraum jeweils für die Basisvariante (001) und die Variante mit der raumseitigen Fensterdichtung (002) zum Vergleich dargestellt. In den zum Vergleich gestellten Abbildungen ist die Temperatur im Bereich von 40 bis 50 [°C] dargestellt.

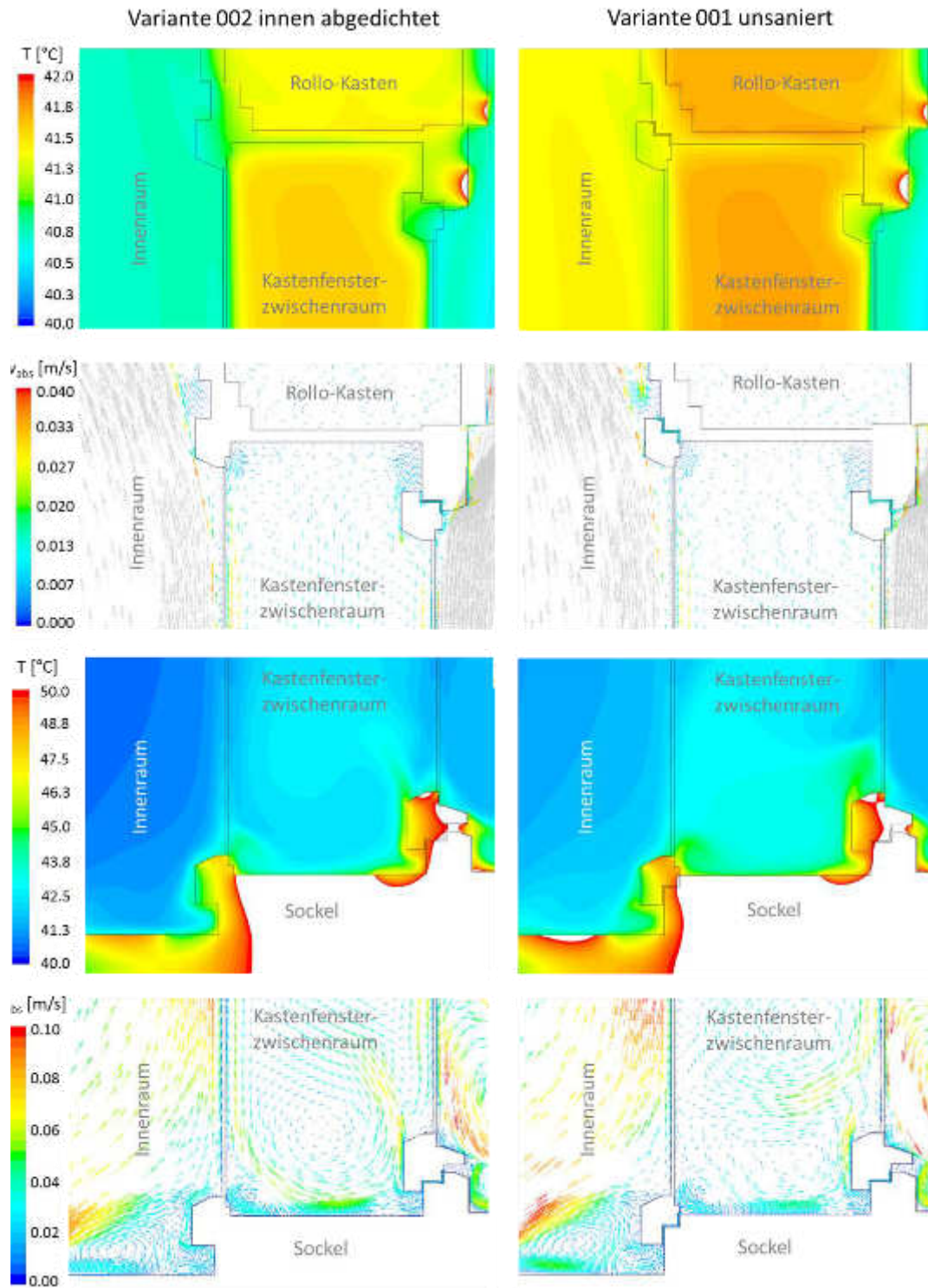


Abb. (84) Vergleich von Temperaturverlauf und Luftströmung im unteren und oberen Bereich des Kastenfenster Zwischenraums zwischen der unsanierten Variante (001) und der Variante mit der raumseitigen Abdichtung (002)

KF mit Isolier-Verglasung Innenseitig und Dämmung – Variante 003

In dieser Sanierungsvariante wird die innere Verglasung durch eine Isolierverglasung ersetzt. Diese besteht aus einer Doppelverglasung mit einer Edelgasfüllung. Die Glasscheiben sind in einer Stärke von 4 [mm] ausgeführt, der Zwischenraum mit der Gasfüllung ist mit einer Tiefe von 12 [mm] ausgeführt. An den Rändern wird die Verglasung durch einen Edelstahlsteg miteinander verbunden. So wie in Variante 002 sind auch hier die Luftkanäle auf der Innenraumseite abgedichtet. Der Innenraum des Rollo-Kastens ist raumseitig mit einer 50 [mm] dicken Wärmedämmung versehen. Die Luftkanäle raumseitig sind, wie in Variante 002 wiederum luftundurchlässig abgedichtet. In Abb. (85) sind zusätzlich noch Bereiche des Mauerwerks in blauer Markierung hervorgehoben. In diesem Fall wurden zwei untergeordnete Varianten simuliert, im ersten Fall mit dem Mauerwerk im Originalzustand, und im zweiten Fall mit der Integration einer 50 [mm] dicken Dämmschicht in den markierten Bereichen. Der Vergleich unter diesen beiden Fällen wird in der Auswertung kurz angesprochen.

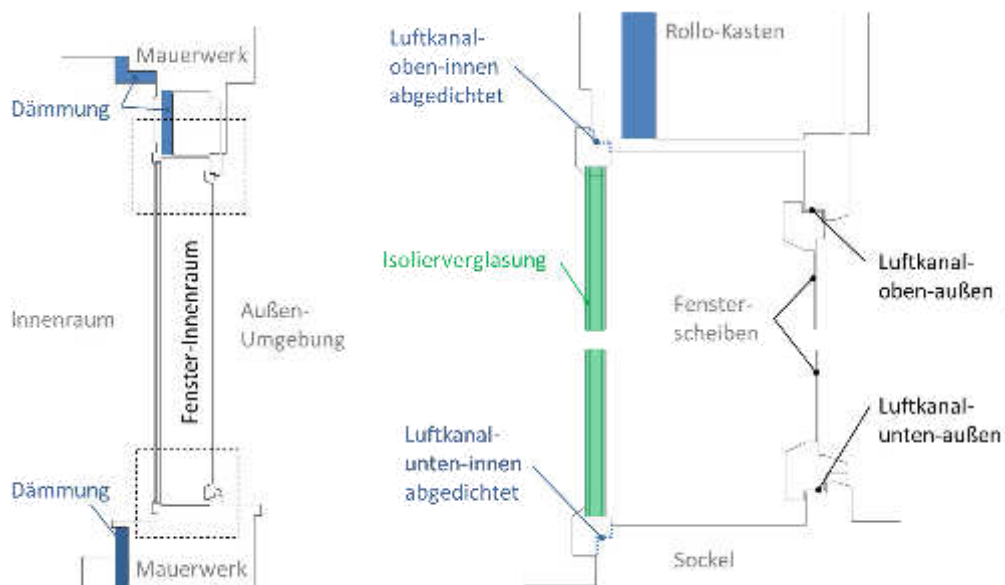


Abb. (85) Ausschnitt aus Simulationsmodell Variante 003, Kastenfenster innenseitig abgedichtet, Isolierverglasung und zusätzliche Dämmung

Die Simulationsergebnisse zum **Winterfall** lassen ebenfalls wieder auf ein ähnliches Strömungsbild schließen. Auf den ersten Blick ist wieder die Temperaturschichtung von kalt (unten) nach warm (oben) im Kastenfensterzwischenraum und die dadurch entstehende Konvektionswalze zu beobachten. Im unteren Bereich im Kastenfensterzwischenraum treten jedoch im Vergleich zur Strömung im unsanierten Kastenfenster ein paar kleine Veränderungen auf (Abb. (86)). Die an der Außenscheibe absinkende Luft, die am unteren Fensterrahmen gestört wird, dringt in diesem Fall bis zum Sockelboden durch, und wird erst an der Isolierglasscheibe wieder nach oben gelenkt (1). Dadurch entsteht ein großer Luftwirbel im Zentrum (2), der den Strömungsbereich der innen aufsteigenden Luft beeinflusst und die Luft im Bereich über dem Wirbel teilweise ablenkt (3). Darüber ist wieder die Abspaltung der Luft vom Luftstrom an der Äußeren Fensterscheibe zu beobachten (4), wie es auch in den beiden Varianten zuvor aufgetreten ist. Durch die Dämmung ist der Unterschied der Raumtemperatur und der Temperatur im Kastenfenster größer als zuvor. Die Temperatur im Kastenfenster ist niedriger als in Variante 001, die Raumtemperatur ist in diesem Fall höher.

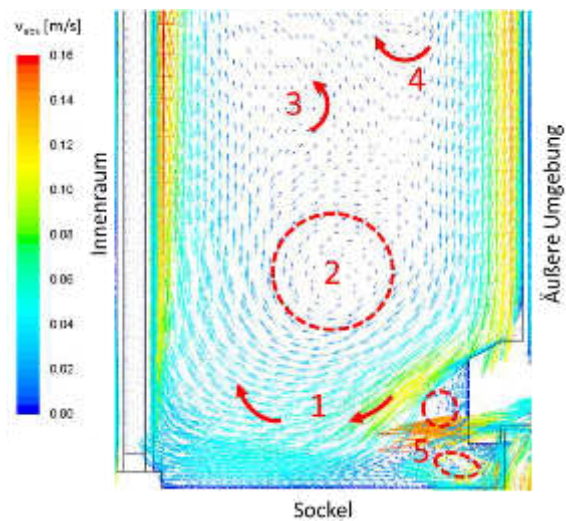


Abb. (86) *Darstellung der Luftströmung in Form von Geschwindigkeitsvektoren für den unteren Bereich im Kastenfensterzwischenraum*

Eine strömungstechnische Veränderung ist in der Raumluftrömung direkt am Fenster aufgetreten. In den bisherigen Simulationsvarianten waren direkt an der Scheibe Luftwirbel auszumachen, die warme Luft strömte in leicht schlangenlinienförmig in Richtung Decke des Innenraums. In dieser Variante legt sich die Luftströmung, vom Heizkörper aus kommend, nach der Zirkulation der Luft, die aufgrund der Fensterbankkante entsteht, direkt an die Fensterscheibe an und strömt dort aufwärts (Abb. (87)). Kurz vor dem oberen Fensterrahmen löst sich der Luftstrom von der Scheibe, wird umgelenkt und strömt die Decke entlang in den Innenraum.

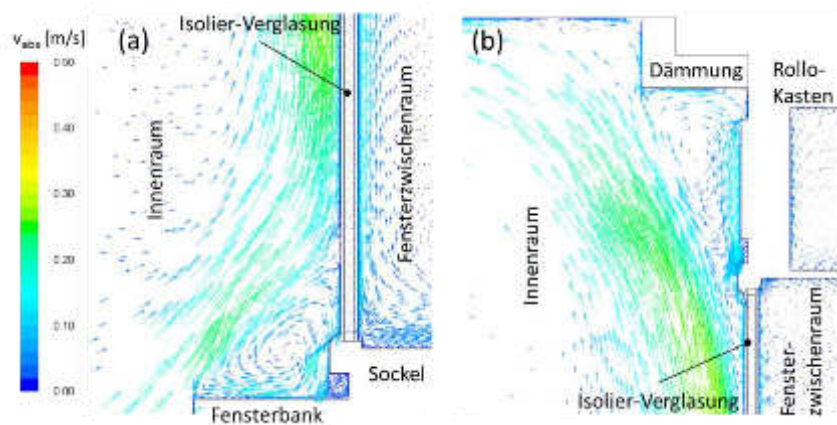


Abb. (87) *Darstellung der Luftströmung in vektorieller Form für den Innenraum in der Nähe der Scheibe (a) im unteren Bereich und (b) im oberen Bereich des Kastenfensters*

Durch die Isolierverglasung und die zusätzliche Innendämmung entsteht direkt an der Grenze zum Raum ein starker Abfall der Temperatur in Richtung äußerer Umgebung. Das heißt die Kälte von außen kann sehr tief ins Mauerwerk eindringen und auch in den Kastenfenster Zwischenraum eindringen. Dafür geht aus dem Innenraum weniger der erzeugten Wärme an den Zwischenraum oder der Erwärmung des Mauerwerks verloren. Die einzige Wärmebrücke entsteht durch die Stahlstege in der Isolierverglasung (siehe Abb. (88)). Im Simulationsbild ergeben sich dadurch jedoch keine signifikanten Veränderungen. Die Luft, die von außen durch den unteren äußeren Luftkanal im Fenster in den Zwischenraum strömt wird genau an dieser Stelle umgelenkt und strömt, ähnlich wie in Variante 002 nach oben.

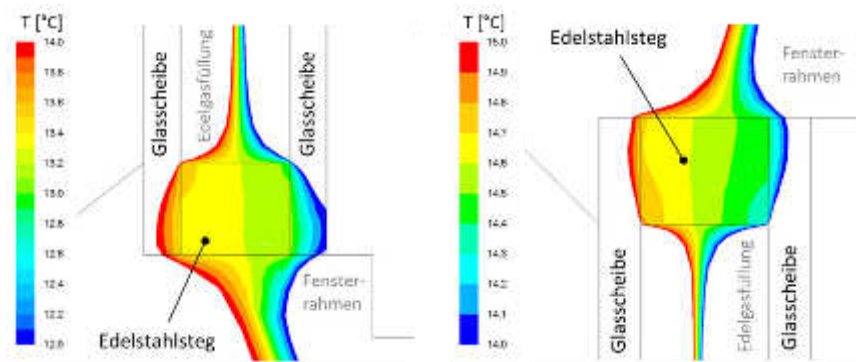


Abb. (88) Darstellung des Temperaturverlaufs im Bereich der Stahlstege der Isolierverglasung

In der nächsten Abbildung Abb. (89) werden die ermittelten Temperaturverläufe aus der Variante des unsanierten Kastenfensters mit den Ergebnissen aus der Untersuchung der Sanierungsvariante 003 verglichen. Aufgrund der Isolierverglasung geht weniger Wärme vom Innenraum an den Kastenfensterzwischenraum verloren. Das gleiche gilt für den Rollo-Kasten. Durch die zusätzliche Integration der Innendämmmaßnahmen ist auch der Unterschied im Temperaturverlauf des Mauerwerks zu erkennen. Das Mauerwerk wird vom Heizkörper weniger aufgeheizt, wodurch mehr Wärme zur Beheizung des Raums zur Verfügung steht.

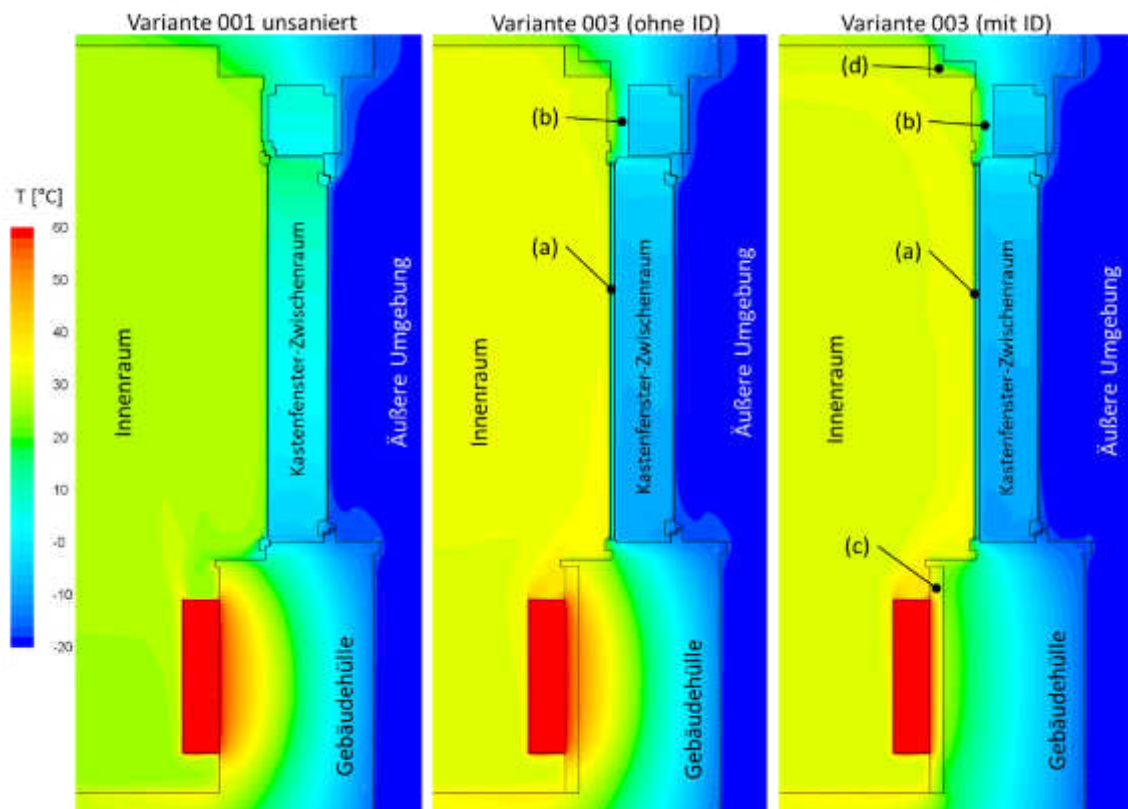


Abb. (89) Vergleich des Temperaturverlaufs im Kastenfensterbereich und der umliegenden Mauern und Lufträume für die beiden Simulationsvarianten 003, mit der (a) Isolierverglasung, der Dämmung des (b) Rollo-Kastens jeweils mit und ohne Dämmung (c und d) an den Innenwänden mit der Variante des unsanierten Kastenfensters

Im Sockelbereich des Kastenfenster Zwischenraums ist hier im **Sommerfall** in dieser Variante die Intensität der Solare Einstrahlung gleich wie in den Varianten 001 und 002, da das Fenster an der Außenseite nicht verändert wurde Abb. (90). Durch den Einbau der Isolierverglasung wird der Innenraum weniger stark aufgeheizt. Im Zwischenraum entstehen wieder die üblichen Verwirbelungen der Luft ((2) bis (7)). Die Auftriebsströmung liegt wieder im Zentrum des Fensters (8), an den Fensterscheiben strömt die Luft, wie bisher in den Auswertungen des Sommerfalls, wieder Richtung Fenstersockel.

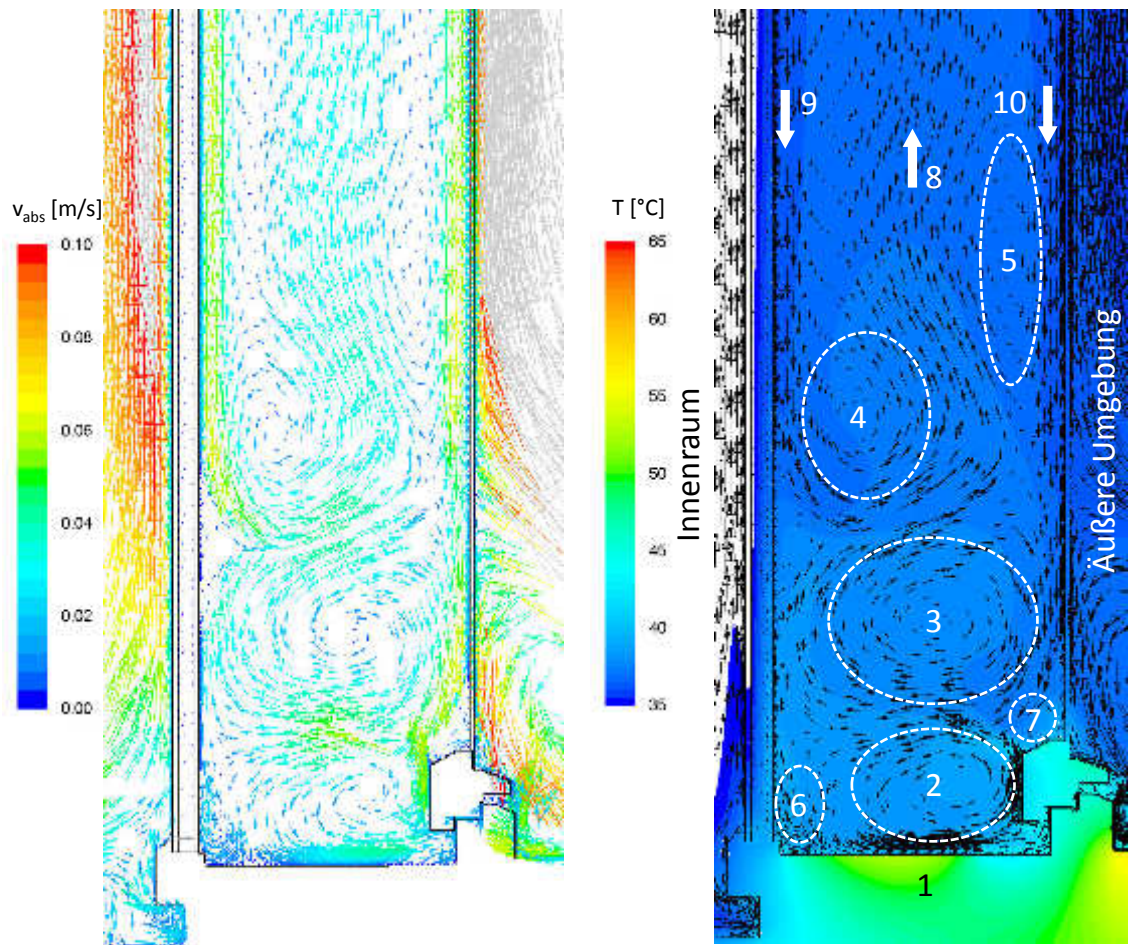


Abb. (90) Darstellung von (a) Geschwindigkeitsvektoren und (b) Temperaturprofil für die untere Hälfte des Kastenfensterzwischenraums im Sommerfall für Sanierungsvarinate 002

Der Verlauf der **Lufttemperaturen über die Fenstertiefe** (normal zur Fensterfläche von der Außenseite bis zur Innenseite) sieht den Ergebnissen aus Variante 001 zwar wieder ähnlich, die Temperaturen sind jedoch niedriger. Im Bereich des Sockels raumseitig ist die Abweichung am größten. Auch bei der Untersuchung des **Strömungsgeschwindigkeitsverlaufes über die Fenstertiefe** ist die Ähnlichkeit erkennbar. Der **Temperaturverlauf über die Fensterhöhe** (vom Fenstersockel bis zur Rollokastenunterseite) liegt in Variante 003 auf einem niedrigeren Temperaturniveau. Die Verläufe **Strömungsgeschwindigkeitsverlauf über die Fensterhöhe** sind sich auch in diesem Vergleich sehr ähnlich, bis auf die an der raumseitig liegenden Fensterscheibe stärker ausgeprägten Auftriebsströmung.

KF mit innerem Vorsatzkasten – Variante 004

Falls ausreichend Platz im Fensterbereich vorhanden sein sollte, besteht die Möglichkeit, ein weiteres Fenster innenseitig zu installieren (siehe Abb. (91)). Somit entsteht ein weiterer Fensterraum. Dieses Prinzip wird in Sanierungsvariante 004 umgesetzt. Das Kastenfenster selbst bleibt dabei in der unsanierten Ausgangsvariante bestehen. Das heißt, die Luftkanäle sind hier nicht abgedichtet. Das Fenster des sogenannten Vorsatzkastens ist allerdings luftundurchlässig ausgeführt, sodass die Luft aus dem Raum nicht mit der Außenluft in Kontakt kommt. Der Vorsatzkasten erstreckt sich von der Fensterbank bis über den Rolllkasten. Der Zwischenraum ist ca. 160 [mm] tief ausgeführt.

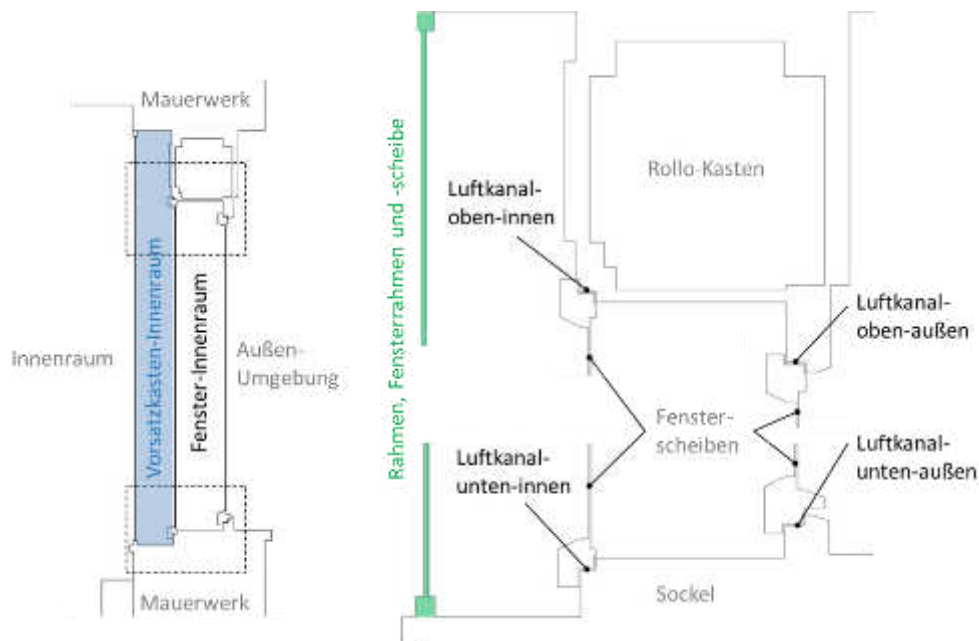


Abb. (91) Ausschnitt aus Simulationsmodell Variante 002, Kastenfenster innenseitig abgedichtet

Durch den Vorsatzkasten entsteht ein zweiter Zwischenraum, in dem im **Winterfall** wieder eine Konvektionswalze zu beobachten ist. Die Temperatur ist im Mittel höher als im Kastenfenster Zwischenraum. Dadurch ist der Wärmeaustausch mit dem Raum niedriger, und die Raumtemperatur ist dadurch höher als in Variante 001. Im **Bereich des Sockels** strömt die kalte Luft von außen durch den Luftkanal in den Kastenfenster Zwischenraum (1). Die Luft strömt dann weiter Richtung Vorsatzkasten (2). Von oben sinkt die an der äußeren Fensterscheibe abgekühlte Luft bis zum Fensterrahmen ab. Dort löst sich der Luftstrom auf und verursacht Verwirbelungen (3). Das Verhalten im Kastenfensterzwischenraum ähnelt in diesem Bereich wieder dem Verhalten aus der Variante mit dem unsanierten Kastenfenster. Am Fenster, das die Grenze zum Vorsatzkasten bildet, wird die Luft zum einen Teil nach oben umgelenkt (4). Ein Teil des Luftstroms gelangt über den Luftkanal (5) in den Vorsatzkasten. Die dort einströmende Luft wird mit der absinkenden Luft an der Grenzscheibe vermischt. Wie an der Außenscheibe strömt auch an der Grenzscheibe (8) die Luft, die aufgrund der niedrigeren Temperatur im Kastenfenster Zwischenraum absinkt, bis zum Fensterrahmen, und geht dort in eine Verwirbelung der Luft über (6). An der Fensterscheibe, welche die Grenze zum Innenraum bildet (7), wird die Strömung nach oben umgelenkt. Im Vorsatzkasten sieht das Strömungsbild im Bereich des Sockels eher aus wie im Kastenfenster mit der Isolierverglasung (Variante 003).

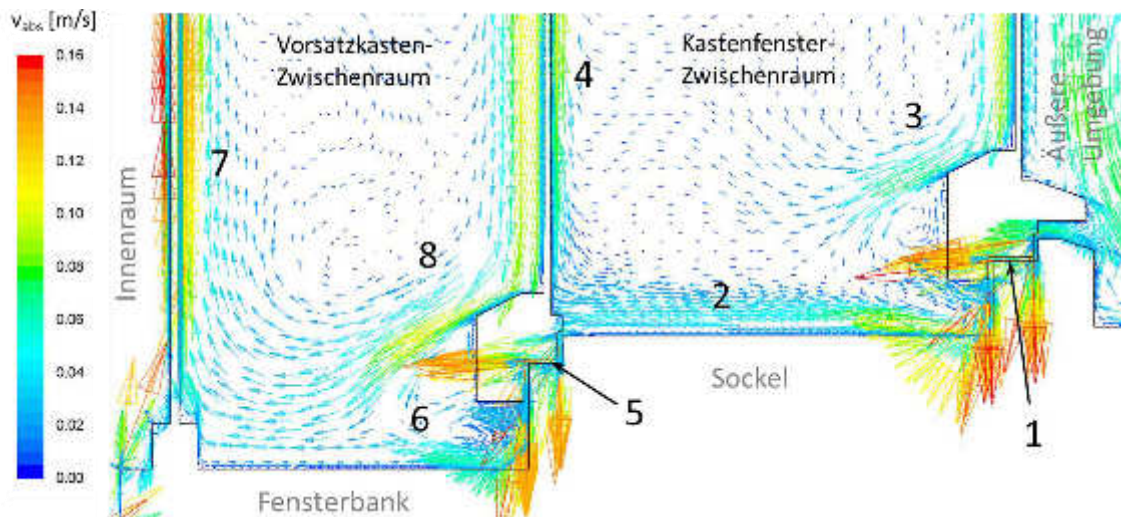


Abb. (92) vektorielle Darstellung der Luftströmung im Kastenfenster-Innenraum im Bereich des Kastenfenster-Sockels

Im Bereich der **Fenstermitte** sind jeweils zwei Aufwärts- (2), (4) und zwei Abwärtsströmungen (1), (3) aus. Im Kastenfenster Zwischenraum sieht das Strömungsbild aus wie in den Ergebnissen aus den Varianten im Winterfall zuvor. Das Strömungsbild im Vorsatzkasten ist zwar ähnlich, aber da der Raum dort schmaler ist, ist die Zone mit niedriger Strömungsintensität wesentlich kürzer. Also auch im mittleren Bereich des Kastenfensters sind Ähnlichkeiten in der Luftströmung im Kastenfensterzwischenraum zur Variante 001 und im Vorsatzkastenzwischenraum zur Variante 003 erkennbar.

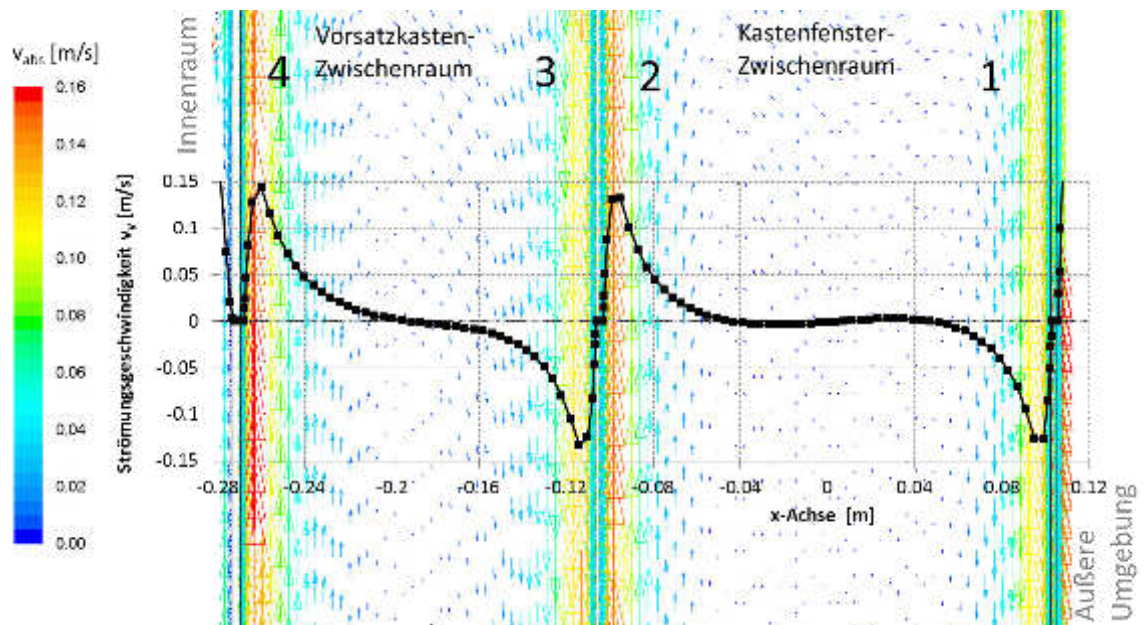


Abb. (93) vektorielle Darstellung der Luftströmung im Kastenfenster-Innenraum im Bereich der Mitte des Kastenfenster Zwischenraums

Im **oberen Bereich des Kastenfensters** ist im Vergleich zu den vorherigen Ergebnissen keine merkbare Veränderung im Strömungsbild erkennbar (Abb. (94)). An der Innenseite strömt die an der Fensterscheibe aufgeheizte Luft aufwärts Richtung Decke (1). An der Decke wird die Luft dort mit der aus dem Vorsatzkasten einströmender Luft vermischt (7) und fließt anschließend von dort in Richtung äußeren oberen Luftkanal (2). Ein Teil der Luft geht durch den Luftkanal an die Umgebung verloren (4), der Rest umströmt den Fensterrahmen und wird an der äußeren Fensterscheibe abgekühlt und sinkt abwärts. Im Vorsatzkasten strömt Luft an der raumseitig liegenden Fensterscheibe aufwärts (5). Am Rollo-Kasten entlang strömt die Luft abwärts am Fensterrahmen vorbei. Am Fensterrahmen (6) strömt ein Teil der Luft durch den Luftkanal in den Kastenfenster Zwischenraum.

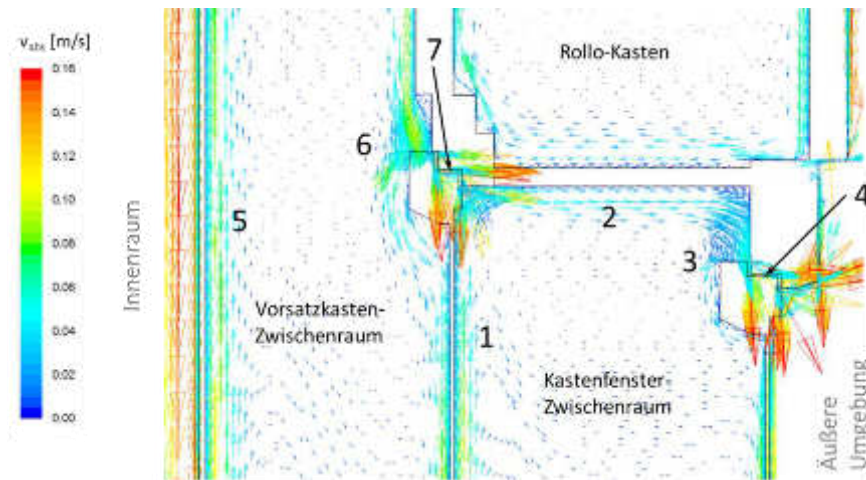


Abb. (94) vektorielle Darstellung der Luftströmung im Kastenfenster-Innenraum im Bereich der Mitte des Kastenfenster Zwischenraums

An der **Decke des Vorsatzkastenzwischenraums** (Abb. (95)) wird die von unten aufwärtsströmende Luft (1) an der Innenseite ohne erkennbare Verwirbelungen umgelenkt, strömt in Richtung Rollo-Kasten (2), und sinkt von dort wieder abwärts (3).

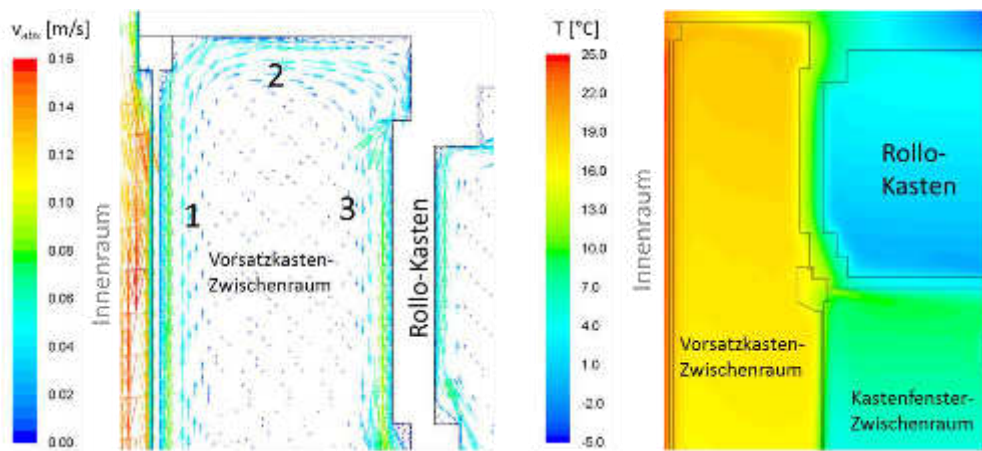


Abb. (95) vektorielle Darstellung der Luftströmung im Kastenfenster-Innenraum im Bereich der Mitte des Kastenfenster Zwischenraums

Für den ersten **Vergleich** ist das **Temperaturfeld im Sockelbereich** des Kastenfensters zusammen mit der Variante 001 dargestellt. Das Temperaturfeld liegt zwischen den Grenzen von 0 und 60 [°C], um so das Verhalten im Bereich des Vorsatzkastens und über dem Heizkörper und am Fensterbrett vergleichen zu können (Abb. (96)). In der Variante 004 strömt die Luft, die vom Heizkörper aufwärts und legt sich an die Fensterscheibe des Vorsatzkastens. In Variante 001 dagegen wird diese Strömung von der in den Innenraum eindringenden Luftströmung stark beeinflusst und abgekühlt. Die Strömung kann sich nicht an die Fensterscheibe anlegen. Das bedeutet für Variante 004, dass die Wirkung der Heizung eindeutig besser ist, und sich diese Sanierungsmaßnahme auszahlt.

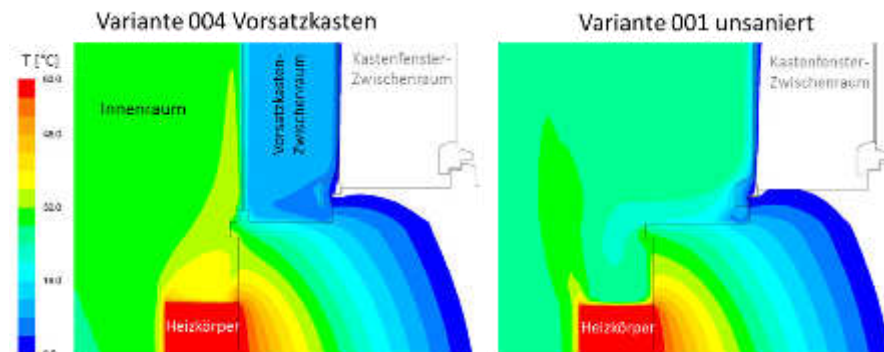


Abb. (96) Darstellung des Temperaturfelds im Sockelbereich des Kastenfensters für die Varianten 001 und 004 in einem Temperaturbereich von 0 bis 60 [°C]

Auch beim **Vergleich** des **oberen Bereichs des Kastenfensters** zwischen Variante 001 und 004 sind gravierende Unterschiede feststellbar (Abb. (97)). Obwohl der innere obere Luftkanal im Kastenfenster nicht abgedichtet wurde, geht weniger Wärme an die Umgebung verloren, da der Vorsatzkasten als Temperaturpuffer wirkt.

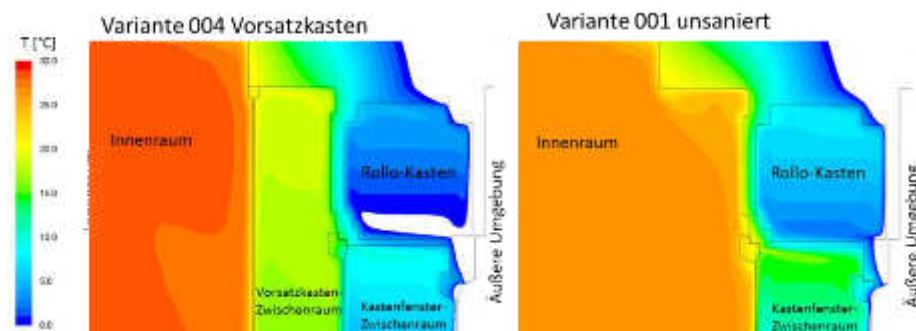


Abb. (97) Darstellung des Temperaturfelds im oberen Bereich des Kastenfensters für die Varianten 001 und 004 in einem Temperaturbereich von 0 bis 30 [°C]

Die **Temperaturverläufe über die Fenstertiefe** zeigen wiederum eine der Ausgangsvariante ähnliche Charakteristik, jedoch sind die Temperaturen im Kastenfensterzwischenraum in dieser Variante niedriger als in der Ausgangsvariante. Der Verlauf der **Strömungsgeschwindigkeiten über die Fenstertiefe** liegt im Gegensatz zu den Temperaturen beinahe deckungsgleich übereinander. In den **Temperaturverläufen über die Fensterhöhe** liegen die Kurven im unteren Bereich nahe beieinander, und weichen Richtung oben immer weiter voneinander ab. Bei Betrachtung der **Strömungsgeschwindigkeitsverläufe über die Fensterhöhe** sind nur minimale Unterschiede zwischen Variante 001 und 004 feststellbar.

Für den **Sommerfall** wird das Kastenfenster wieder unterteilt im oberen und unteren Bereich betrachtet. In Abb. (98) ist die untere Hälfte des Kastenfensters und des Vorsatzkastens abgebildet. Die Solare Aufheizung findet zur Mittagszeit bei maximalem Einstrahlwinkel in dieser Variante abgesehen von dem schmalen Bereich am Fußboden und am Heizkörper, nur mehr in den Zwischenräumen des Kastenfensters und des Vorsatzkastens statt (1). Dieser Effekt allein bringt schon eine Verringerung der Innenraumtemperatur mit sich. In den unteren Bereichen entstehen in beiden Zwischenräumen Verwirbelungen als Effekt der aufgeheizten Oberflächen ((3) bis (6) und (12) bis (13)). Durch den Luftkanal unten außen gelangt Luft von außen ins Kastenfenster (2). Die Strömungsgeschwindigkeit ist aber relativ niedrig. Zusätzlich gelangt auch durch den unteren Luftkanal, der an den Vorsatzkasten anschließt, Luft in den Kastenfenster Zwischenraum (10). In beiden Zwischenräumen sind ab einer gewissen Höhe wieder die im Zentrum liegende aufsteigende der Luftströme (7), (15) und die jeweils an den Fensterscheiben die Richtung Sockel abwärts orientierten Luftströmungen ((8), (9), (16) und (17)) zu erkennen.

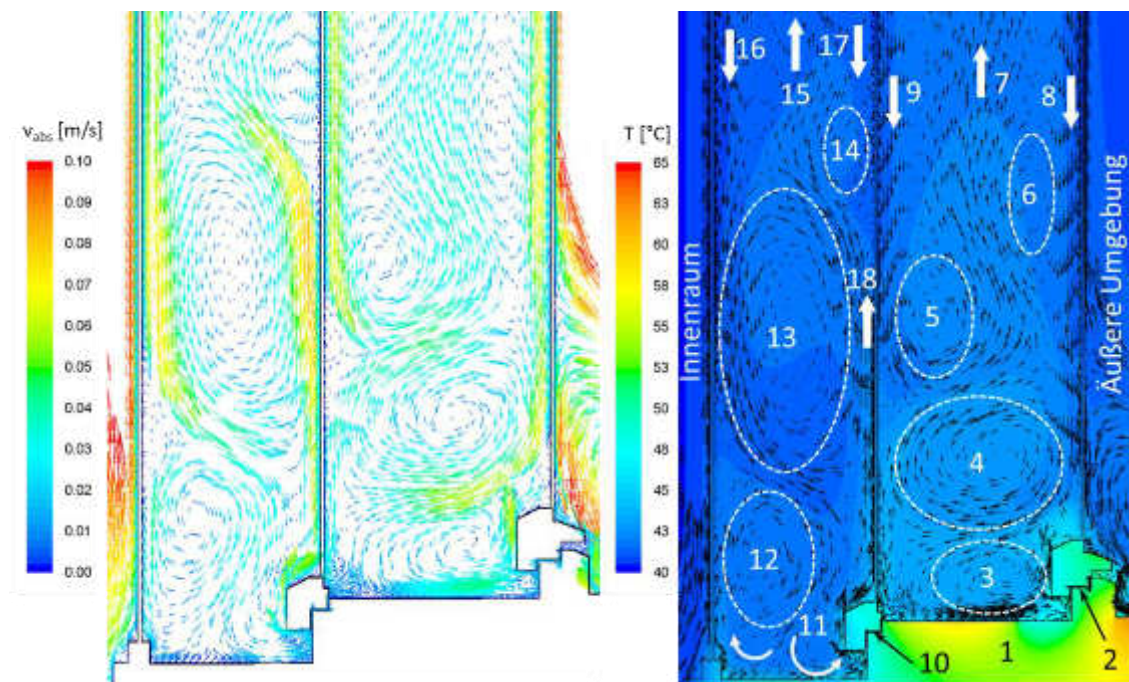


Abb. (98) Darstellung von Geschwindigkeitsvektoren und Temperaturprofil für die untere Hälfte des Kastenfensterzwischenraums im Sommerfall für Sanierungsvarinate 004 mit dem Vorsatzkasten

Im **oberen Bereich** des Kastenfensterzwischenraums strömt die aufsteigende Luft (1) bis zur Decke und wird wieder nach rechts und links aufgeteilt, umgelenkt und strömt zum Teil den Fensterscheiben entlang zurück nach unten (2). Der restliche Anteil der Luft geht durch die beiden Luftkanäle in den Zwischenraum des Vorsatzkastens (3) und an die Äußere Umgebung (4). Im oberen Bereich des Vorsatzkastens steigt die Luft ebenfalls zentral aufwärts (5) und an den Fensterscheiben abwärts (6), (7). Im oberen Bereich löst sich dieses Strömungsverhalten ca. ab Höhe des oberen Fensterrahmens des Kastenfensters auf (8). Ein Teil strömt bis zur Decke, die beiden anderen Teile werden in Richtung der Fensterscheibe und des Rollo-Kastens umgelenkt.

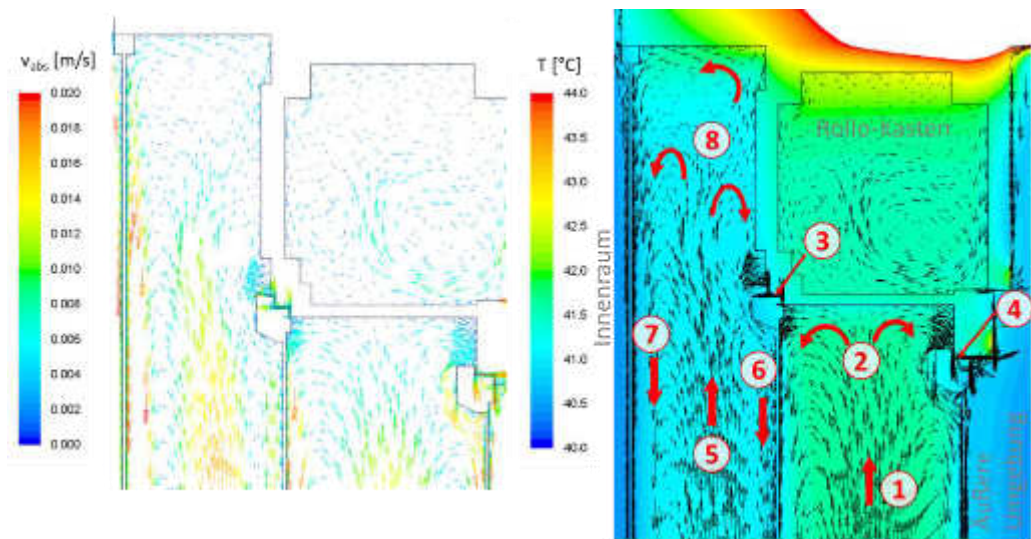


Abb. (99) Darstellung von Geschwindigkeitsvektoren und Temperaturprofil für die obere Hälfte des Kastenfensterzwischenraums im Sommerfall für Sanierungsvariante 004 mit dem Vorsatzkasten

In Abb. (100) ist zum Vergleich der Varianten 001 und 004 das Temperaturprofil abgebildet. Hier ist zu beobachten, dass der Temperaturbereich von 41 bis 42.5 [°C] in Variante 001 bis in den Innenraum reicht. In Variante 004 dagegen endet dieser Bereich bereits innerhalb des Vorsatzkastens.

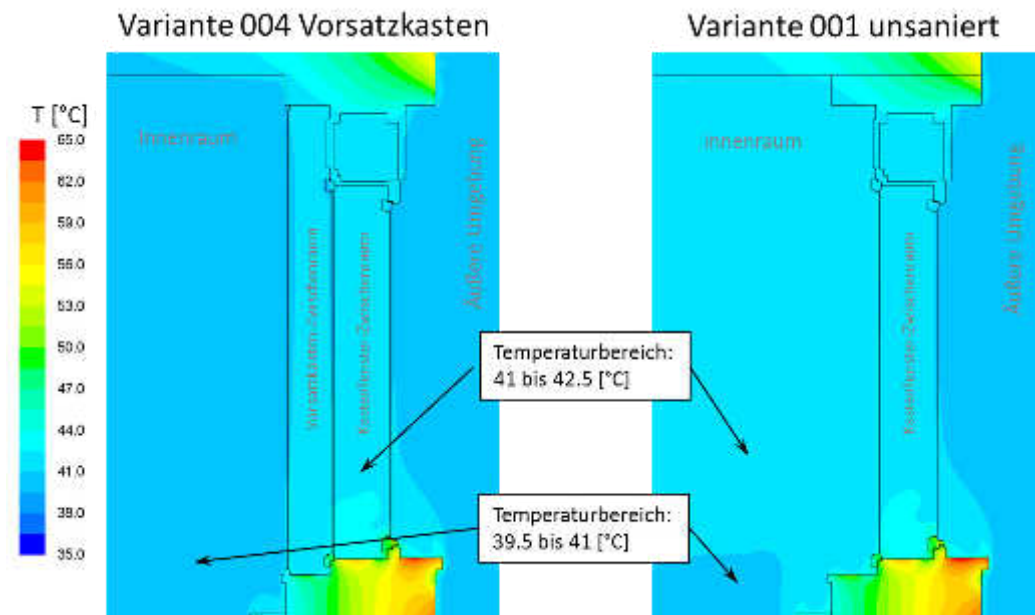


Abb. (100) Darstellung des Temperaturverlaufs im Bereich des Kastenfensters im Bereich von 35 bis 65 [°C] für die beiden Varianten 001 und 004

KF mit innerer Trennung – Variante 005

In dieser Sanierungsvariante wird, ähnlich wie in Variante 004 zuvor, ebenfalls ein zweiter Zwischenraum geschaffen. Durch eine Trennplatte (-wand), die im Kastenfensterzwischenraum zentral positioniert wird, teilt sich der Raum in zwei Zonen auf (Abb. (101)). Die Luftkanäle in den Fensterrahmen bleiben hier in diesem Fall bestehen. Das heißt die Innere Kammer wird von der Raumluft durchströmt, die Äußere Kammer von der Luft aus der Umgebung. Durch die Trennplatte kann die Luft der inneren Kammer nicht direkt mit der Luft aus der Äußeren Kammer in Berührung kommen. Lediglich der Wärmeaustausch zwischen den Kammern über die Trennplatte ist möglich. Die Trennplatte ist in den Simulationen zu dieser Sanierungsvariante als Plexiglasscheibe ausgeführt. Für die Betrachtungen, in denen die Solare Einstrahlung miteinbezogen wird (Sommerfall), kann zusätzlich noch in opaker und transparenter Ausführung der Platte unterschieden werden.

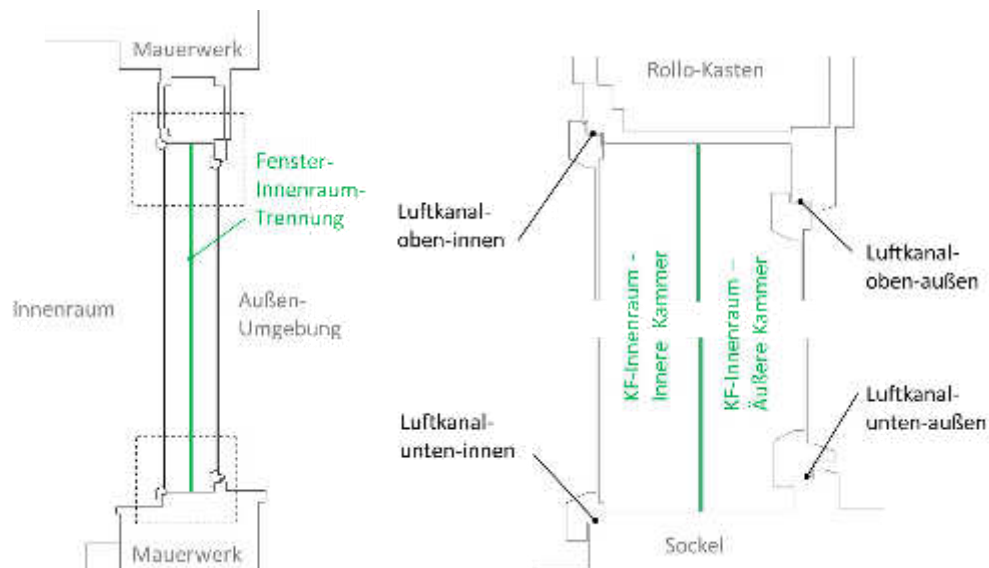


Abb. (101) Ausschnitt aus Simulationsmodell Variante 002, Kastenfenster innenseitig abgedichtet

Im **Winterfall** legt sich die vom Heizkörper aufgeheizte, nach oben strömende Luft im Raum gleich nach der Verwirbelung an der Fensterbank an die Fensterscheibe des Kastenfensters an. Zunächst werden Strömung und Temperaturen im **Sockelbereich** beschrieben Abb. (102). In die äußere Kammer strömt kalte Luft aus der Umgebung ein (1). Am Boden im Sockelbereich strömt die Luft Richtung Trennwand (2), an der diese umgelenkt und nach oben geführt wird. An der Trennwand wird die Luft aufgeheizt und strömt weiter nach oben (6). Etwa auf Höhe des äußeren unteren Fensterrahmens entstehen Verwirbelungen der Luft (3), (4), die wahrscheinlich aufgrund der Verkleinerung des Zwischenraums auftreten. Darüber wird die von oben an der Außenscheibe abwärts strömende Luft (7) umgelenkt und in Richtung Trennwand befördert (5). In der inneren Kammer wird die Luft an der Trennwand abgekühlt und sinkt abwärts zum Sockelboden des Kastenfensters (8). Am Boden wird die Luft umgelenkt und Richtung inneren unteren Fensterrahmen befördert (9). Dort geht ein Teil der Luft durch den Luftkanal im Fensterrahmen in den Innenraum (11), der restliche Anteil strömt an der inneren Fensterscheibe entlang aufwärts (10). In der inneren Kammer verhält sich die Strömung im unteren Bereich wieder wie in der Sanierungsvariante mit der Isolierverglasung (Variante 003).

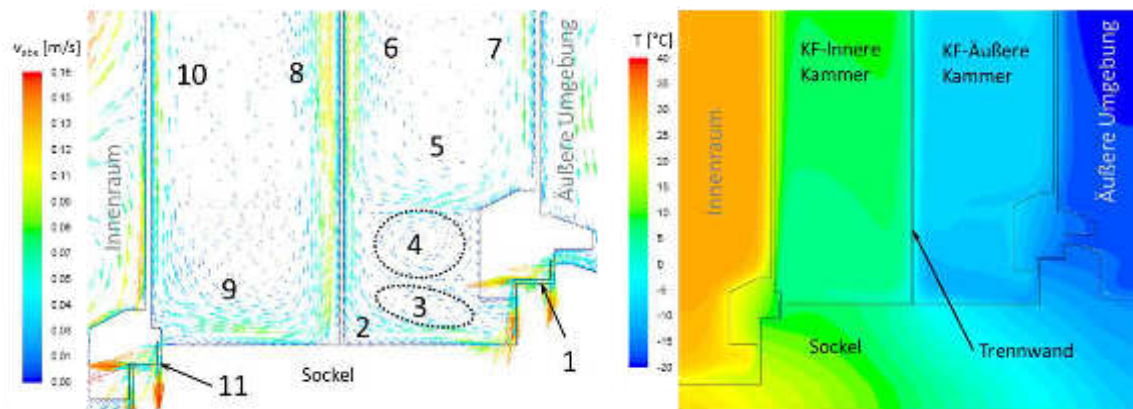


Abb. (102) Darstellung von Geschwindigkeitsvektoren und Temperaturprofil für den Sockelbereich der beiden Kammern des Kastenfensterzwischenraums im Winterfall für Sanierungsvariate 005 mit der internen Trennung

Im **oberen Bereich** des Kastenfensters strömt die aufgeheizte Luft an der inneren Fensterscheibe aufwärts zum inneren oberen Fensterrahmen (1). Aus dem Innenraum gelangt ein Luftstrom mit höherer Temperatur in die innere Kammer (3) und vermischt sich mit der aufsteigenden Luft aus der Kammer. Diese strömt dann Richtung Trennwand (2), und sinkt diese entlang abwärts (4). Ein Teil der Luft vollführt eine S-förmige Schleife und gelangt dann wieder zur Trennwand zurück. In der äußeren Kammer steigt die Luft an der Trennwand aufwärts (5), wird an der Decke der Kammer umgelenkt (6) und strömt Richtung äußeren oberen Fensterrahmen. Dort wird die Strömung geteilt, ein Teil strömt in die äußere Umgebung (7). Der Rest wird am Fensterrahmen umgelenkt, und strömt in Form einer Schleife zuerst Richtung Trennwand (8), und gelangt schließlich zur äußeren Fensterscheibe. Von dort sinkt die Luft wieder abwärts in den unteren Bereich der äußeren Kammer im Kastenfenster Zwischenraum (9).

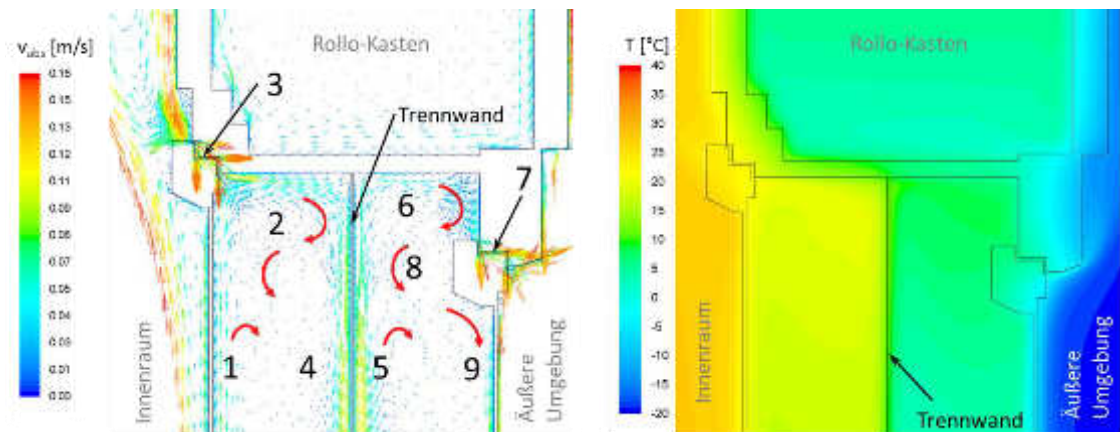


Abb. (103) Darstellung von Geschwindigkeitsvektoren und Temperaturprofil für den oberen Bereich der beiden Kammern des Kastenfensterzwischenraums im Winterfall für Sanierungsvariate 005 mit der internen Trennung

Hier im **Vergleich mit der unsanierten Variante des Kastenfensters** sind der Sockelbereich und der obere Kastenfensterbereich (Abb. (104)) mit entsprechend den Grenzen gesetzten Temperaturbereichen abgebildet. Im Sockelbereich wird die von außen einströmende Luft an der Trennwand nach oben befördert.

Die Temperaturen in der vorderen Kammer sind hier zwar niedriger, aber dafür kann die kalte Luft nicht mehr, so wie in der Variante 001, in den Innenraum gelangen. Im oberen Bereich wird die aufgeheizte Raumluft, die durch den Luftkanal in die innere Kammer strömt, an der Trennwand nach unten umgelenkt. An der Trennwand gibt die Luft auf dem Weg nach unten zum Sockel einen Teil der Wärme über die Trennwand ab und strömt dann zurück in den Innenraum. Dadurch geht innerhalb des Kastenfensters nur mehr der Anteil der Wärme des Luftstroms an die Umgebung, der an die äußere Kammer übertragen wird.

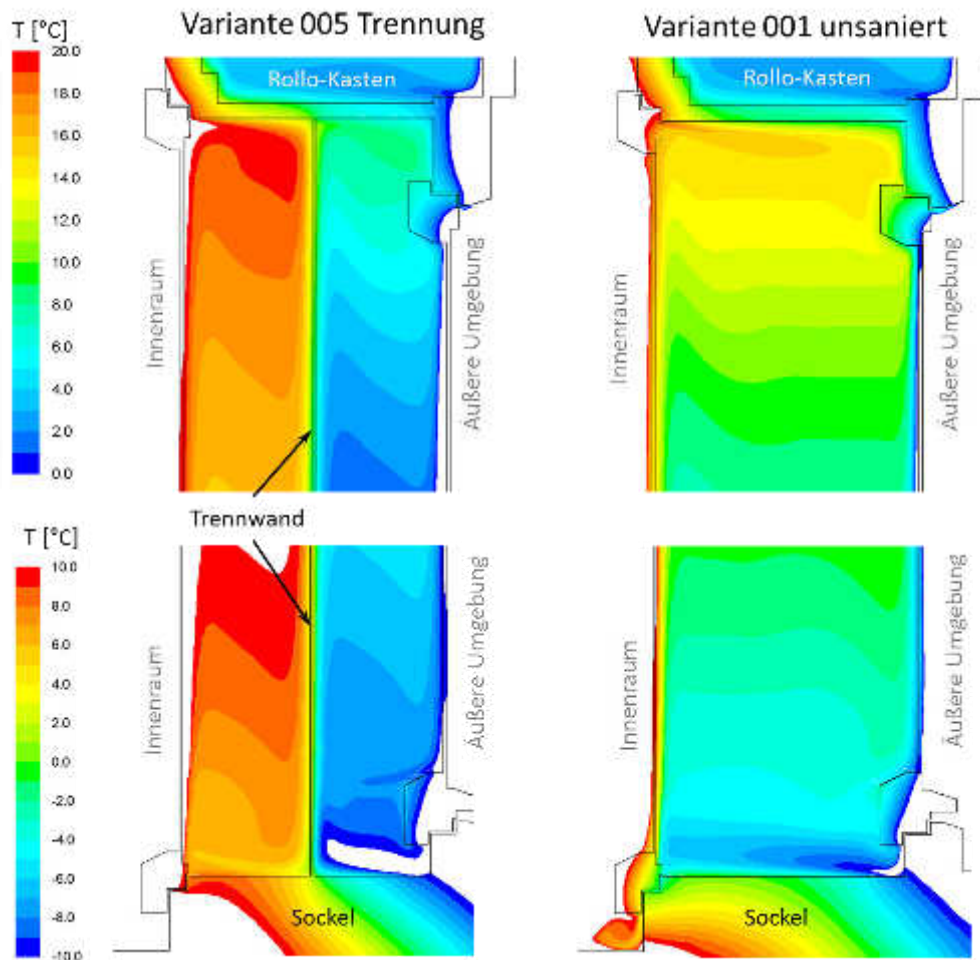


Abb. (104) Vergleich der Simulationsvarianten 001 und 005 im Bereich des Sockels im Temperaturbereich von -10 bis 10 [°C] und des oberen Kastenfenster Zwischenraums im Temperaturbereich zwischen 0 und 20 [°C] dargestellt.

Im Bereich der inneren Kammer in Variante 005 liegt der **Temperaturverlauf über die Fenstertiefe** deutlich über dem Verlauf aus Variante 001. Die Differenz zwischen den beiden Kurven ist dabei im Sockelbereich am größten, und im oberen Bereich am geringsten. Ebenfalls ist die Temperaturdifferenz zwischen äußerer und innerer Kammer im unteren Bereich höher als oben. Die **Strömungsverläufe über die Fenstertiefe** weisen im Bereich der internen Trennung weitere Geschwindigkeitsspitzen auf, die von der Intensität höher sind als die Spitzen in der Variante 001 an den Fensterscheiben. Die Strömungsspitzen an den Fensterscheiben in Variante 005 mit der Trennwand sind hingegen niedriger als in der unsanierten Variante. Die **Temperaturverläufe über die Fensterhöhe** aus der Variante 005 liegen weit von den Verläufen aus Variante 001 entfernt. Der Verlauf der Temperatur von unten nach oben ist dabei außerhalb des Einflussbereichs der Luftkanäle annähernd linear.

Für den **Sommerfall** gibt es zwei Simulationsvarianten. In einer der Varianten ist eine opake Trennwand im Kastenfenster installiert, in der anderen eine transparente. Zuerst wird die **untere Hälfte des Kastenfensterzwischenraums** bei transparenter Trennung betrachtet Abb. (105). Bei der Verwendung einer transparenten Trennung werden die Flächen in beiden Kammern im Kastenfenster aufgeheizt (1). Dadurch entstehen in beiden Kammern Luft Wirbelungen (4), (8). Ab ca. der Hälfte der Fensterhöhe endet die Wirbelzone und die Strömung steigt im Zentrum der Kammer ungestört aufwärts (5), (9). An den Fensterscheiben und der Trennwand strömt die Luft in beiden Kammern abwärts Richtung Sockel. Durch die unteren Luftkanäle strömt Luft aus dem Innenraum und der Umgebung in die Kammern (2), (3). Die Strömungsgeschwindigkeit dort ist jedoch sehr nieder.

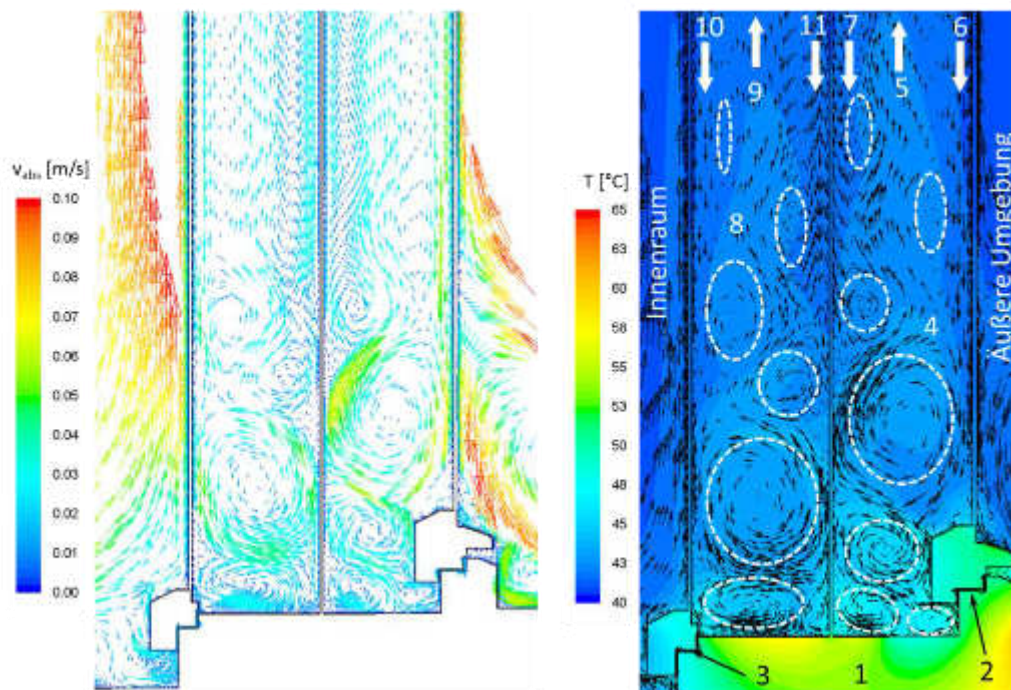


Abb. (105) Darstellung von Geschwindigkeitsvektoren und Temperaturprofil des unteren Bereichs der beiden Kammern des Kastenfensterzwischenraums für Sanierungsvarinate 005 mit der internen transparenten Trennung im Sommerfall

In **der oberen Hälfte des Kastenfensterzwischenraums** Einsatz einer transparenten Trennung treten geringfügige Strömungsunterschiede in den einzelnen Kammern auf. In der äußeren Kammer strömt die Luft im Zentrum aufwärts Richtung Decke (1). An der Position knapp unter dem oberen äußeren Fensterrahmen teilt sich die Strömung in drei Richtungen auf (2). An beiden Seiten wird ein Teil der Luft umgelenkt und sinkt abwärts entlang der Fensterscheibe (3) und der Trennwand (4). Der dritte Strom steigt weiter aufwärts und wird an der Decke nochmals aufgeteilt und umgelenkt (5). Der Teil der Luft, der in Richtung Trennwand umgelenkt wird, strömt an dieser entlang abwärts, der andere Teil der Luft strömt in Richtung Fensterrahmen und wird zum Großteil durch den Luftkanal nach außen befördert (6). Ein geringer Teil umströmt den Fensterrahmen und sinkt anschließend entlang der Fensterscheibe abwärts. In der inneren Kammer verhält sich die Strömung im oberen Bereich wie in den Ergebnissen aus den vorherigen Varianten. Die Luft strömt im Zentrum aufwärts (7), wird an der Decke umgelenkt (8), und sinkt an der Trennwand (9) und der Fensterscheibe (10) entlang nach unten Richtung Sockel. Ein Teil der Luft strömt durch den Luftkanal des inneren oberen Fensterrahmens in den Innenraum (11).

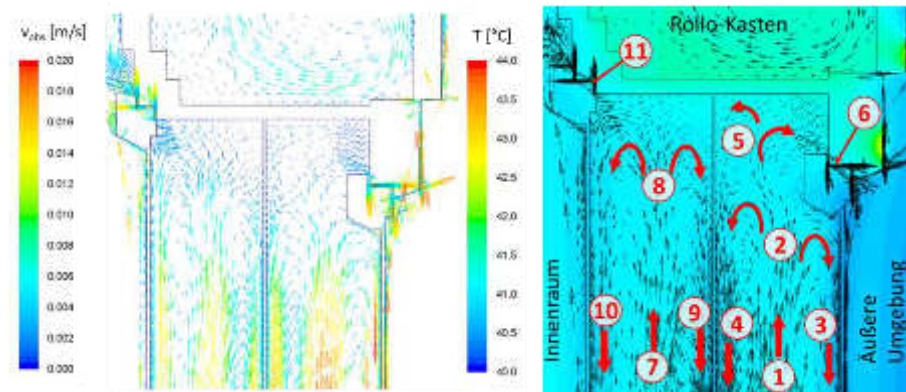


Abb. (106) Darstellung von Geschwindigkeitsvektoren und Temperaturprofil des oberen Bereichs der beiden Kammern des Kastenfensterzwischenraums für Sanierungsvariate 005 mit der internen transparenten Trennung im Sommerfall

Bei Einsatz einer **opaken Trennung** der Kammern bleiben die innere Kammer im Kastenfensterzwischenraum und der Raum vom Einfluss der Sonne unberührt. Dafür wird die Trennwand selbst durch die Sonnenstrahlung aufgeheizt. Deswegen entstehen nur in der äußeren Kammer die Verwirbelungen der Luft (2). Diese enden wieder etwa bei der Hälfte der Höhe des Fensters. Im Zentrum strömt die Luft von dort weg vertikal aufwärts (3). Eine Abwärtsströmung ist in dieser Position nur an der äußeren Fensterscheibe zu erkennen (3). Durch den Luftkanal im unteren äußeren Fensterrahmen strömt Luft in die äußere Kammer (1), durch den Luftkanal des unteren inneren Fensterrahmens gelangt ein Teil der Luft aus dem Innenraum in die innere Kammer des Kastenfensters (7). In der Innenkammer entsteht eine Konvektionswalze, ähnlich den Ergebnissen aus den Simulationen im Winterfall. An der inneren Fensterscheibe strömt die Luft in diesem Fall aber abwärts (5), wird im Sockelbereich Richtung Trennwand umgelenkt (6), und strömt dann an dieser entlang aufwärts zur Decke des Kastenfensters zurück (8).

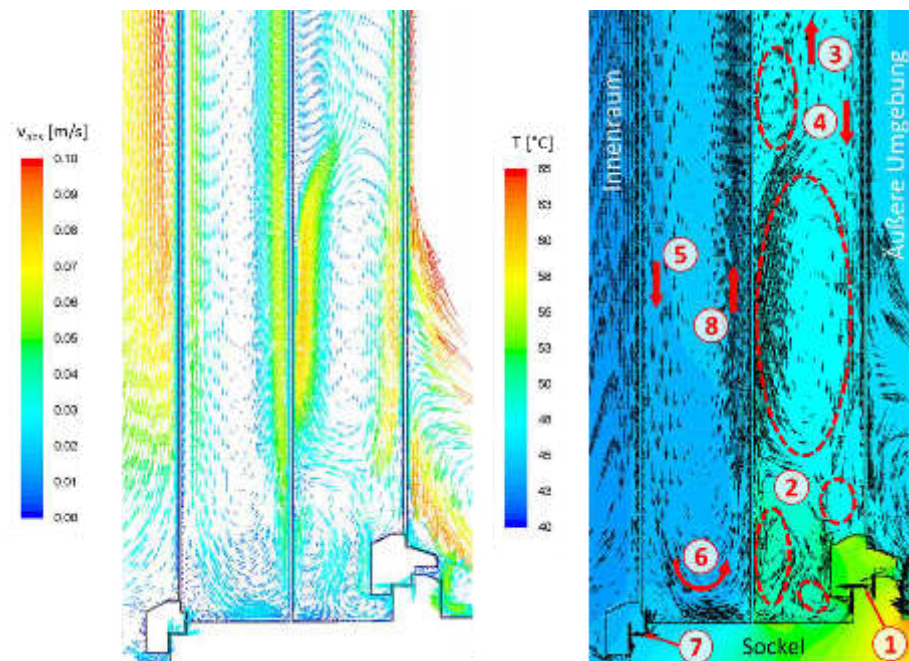


Abb. (107) Darstellung von Geschwindigkeitsvektoren und Temperaturprofil des unteren Bereichs der beiden Kammern des Kastenfensterzwischenraums für Sanierungsvariate 005 mit der internen opaken Trennung im Sommerfall

In der **oberen Hälfte des Kastenfensters** bei Verwendung einer opaken Trennung strömt die Luft in der äußeren Kammer im Zentrum aufwärts Richtung Decke (1). Im Bereich knapp unter dem äußeren oberen Fensterrahmen teilt sich der Luftstrom, ähnlich wie bei der transparenten Trennung in drei Komponenten auf (2). Zwei Komponenten davon werden um 180 [°] umgelenkt und strömen entlang der Fensterscheiben abwärts, die dritte Komponente strömt weiter aufwärts Richtung Decke der äußeren Kammer. Dort teilt sich die Strömung abermals auf (3). Eine Komponente wird Richtung Trennwand umgelenkt, und strömt diese entlang abwärts. Die zweite Komponente strömt zum Fensterrahmen, wo ein Teil davon durch den Luftkanal an die Umgebung verloren geht (4). Der Rest umströmt den Fensterrahmen und sinkt dann entlang der äußeren Fensterscheibe entlang abwärts. In der inneren Kammer treten in der oberen Hälfte Verwirbelungen der Luft auf, die bisher nur im Sockelbereich bei Solarer Einstrahlung zu beobachten waren (6). Die Konvektionswalze, die im unteren Bereich beobachtet wurde, endet etwa nach dem zweiten Drittels der Fensterhöhe (5). In der Region der Decke wird die Luft Richtung oberen inneren Fensterrahmen umgelenkt (7), und strömt dann die innere Fensterscheibe entlang abwärts. Ein Teil der Luft verlässt dabei die innere Kammer durch den Luftkanal im Fensterrahmen und gelangt in den Innenraum (8).

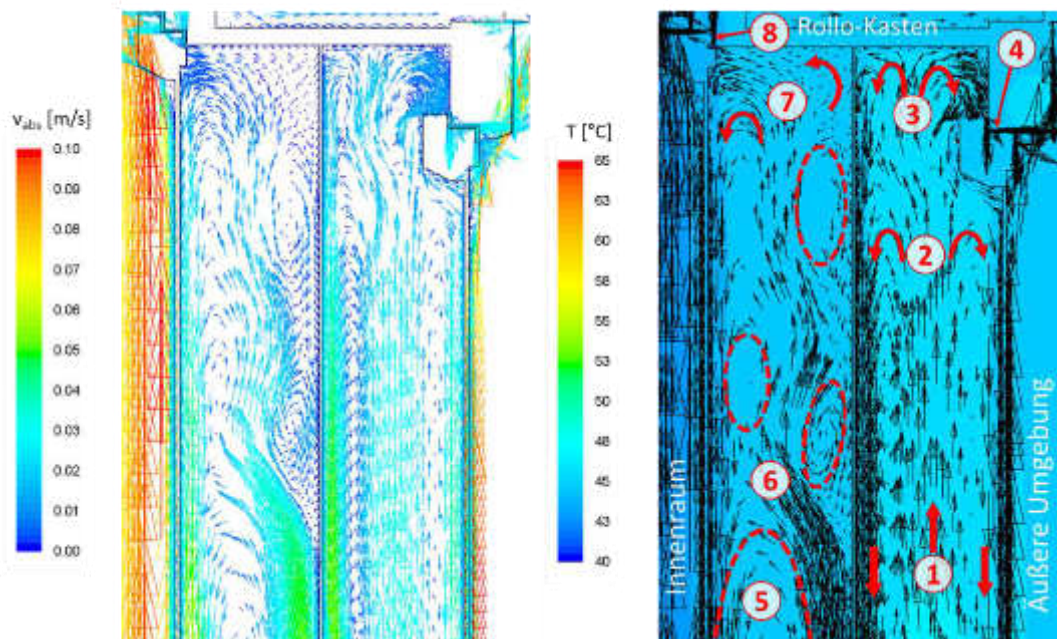


Abb. (108) Darstellung von Geschwindigkeitsvektoren und Temperaturprofil des oberen Bereichs der beiden Kammern des Kastenfensterzwischenraums für Sanierungsvariante 005 mit der internen opaken Trennung im Sommerfall

Für einen **Vergleich der Temperaturen** im Kastenfenster werden jeweils die untere und die obere Hälfte des Kastenfensters der Varianten 005 mit opaker und transparenter, und der Variante 001 des Kastenfensters im unsanierten Zustand abgebildet (Abb. (109), Abb. (110)). Zwischen der unsanierten Variante und der Variante mit der transparenten Trennung ist in der **unteren Hälfte** (Abb. (109)) des Kastenfensters nur ein minimaler Unterschied feststellbar, abgesehen davon, dass durch die Trennung des Zwischenraums zwei Auftriebsströmungen entstehen. Bei Verwendung einer opaken Trennung hingegen ist ein deutlicher Temperaturunterschied zwischen den beiden Kammern erkennbar.

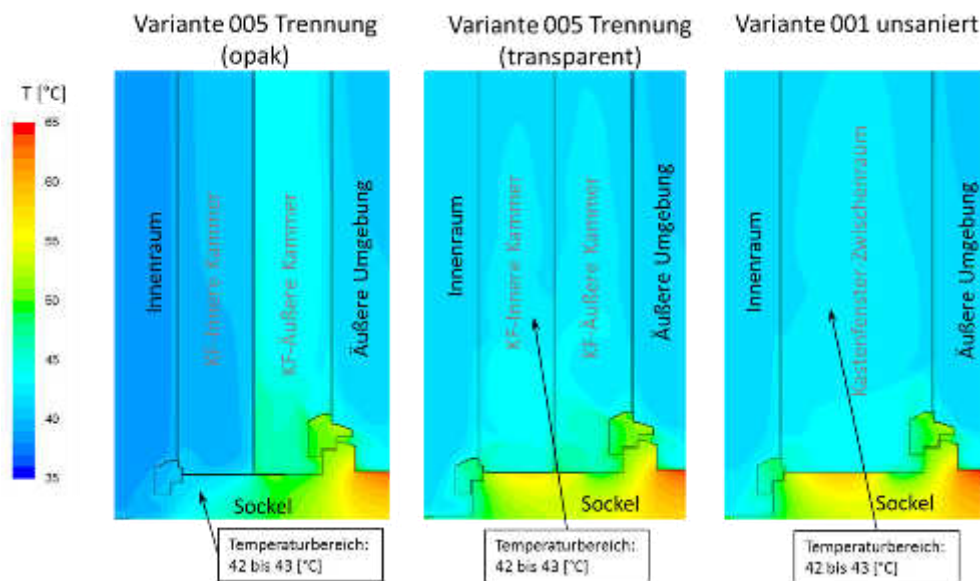


Abb. (109) Vergleich der Temperaturen in der unteren Hälfte des Kastenfensters für die beiden Varianten der inneren Trennung und der unsanierten Variante

Bei Betrachtung der **oberen Hälfte** (Abb. (110)) sieht die Verteilung der Temperatur in jeder Variante anders in der Art der Verteilung und der Intensität aus. Die höchsten Temperaturen treten in der äußeren Kammer der Variante 005 mit opaker Trennung auf. In der inneren Kammer sind hier die Temperaturen am niedrigsten. Die Temperaturen in beiden Kammern der Variante mit der transparenten Trennung sind im Vergleich zur unsanierten Variante niedriger.



Abb. (110) Vergleich der Temperaturen in der oberen Hälfte des Kastenfensters für die beiden Varianten der inneren Trennung und der unsanierten Variante

In den folgenden **Diagrammen** sind **Temperatur** und **Strömungsgeschwindigkeit** (Auftriebsströmung) für das Kastenfenster mit der transparenten und der opaken Trennung dargestellt. Zum Vergleich zusätzlich wieder die Verläufe vom unsanierten Kastenfenster. Unter Verwendung einer transparenten Trennung liegt der **Temperaturverlauf über die Fenstertiefe (x-Achse)** Abb. (111) in beiden Kammern im unteren Bereich über dem Verlauf aus dem unsanierten Kastenfenster. Der Verlauf in der Mitte des Kastenfensters ist der Verlauf der Variante 001 ähnlich, bis auf den Bereich, in der die Trennwand positioniert ist.

Der Temperaturverlauf im oberen Bereich des Kastenfensters verläuft im Diagramm annähernd als Gerade, welche unterhalb der Temperaturkurve aus Variante 001 in diesem Bereich liegt. Bei der opaken Trennung liegt der Verlauf der Temperatur im unteren Bereich des Kastenfensters in der inneren Kammer deutlich unter dem des unsanierten Kastenfensters. An der Trennung steigt die Temperatur sprunghaft an und liegt ab diesem Bereich bis zur Außenscheibe weit über der des unsanierten Fensters. Der Temperaturverlauf in der Fenstermitte weist ebenfalls einen sprunghaften Anstieg im Bereich der Trennwand auf. Im oberen Bereich ist in diesem Bereich kein sprunghafter Anstieg mehr zu beobachten. Dort liegt die Temperaturkurve in beiden Kammern unter der aus dem unsanierten Kastenfenster. In dieser Variante liegen die über die Fensterhöhe betrachteten Temperaturkurven in der inneren Kammer sehr nah beieinander. Nach der Trennung entstehen aufgrund der unterschiedlich starken Temperatursprünge große Abweichungen. Die Verläufe der **Strömungsgeschwindigkeit über die Fenstertiefe (x-Achse)** zeigt Abb. (111). Das Geschwindigkeitsprofil, das sich in der unsanierten Variante über die gesamte Fenstertiefe erstreckt, ist von der Form in der Variante mit der transparenten Trennung in jeder Kammer einzeln erkennbar. Die maximale Auslenkung des Auftriebs ist in der Fenstermitte in beiden Fällen ca. gleich groß, im unsanierten Kastenfenster ist die maximale Abwärtsströmung höher.

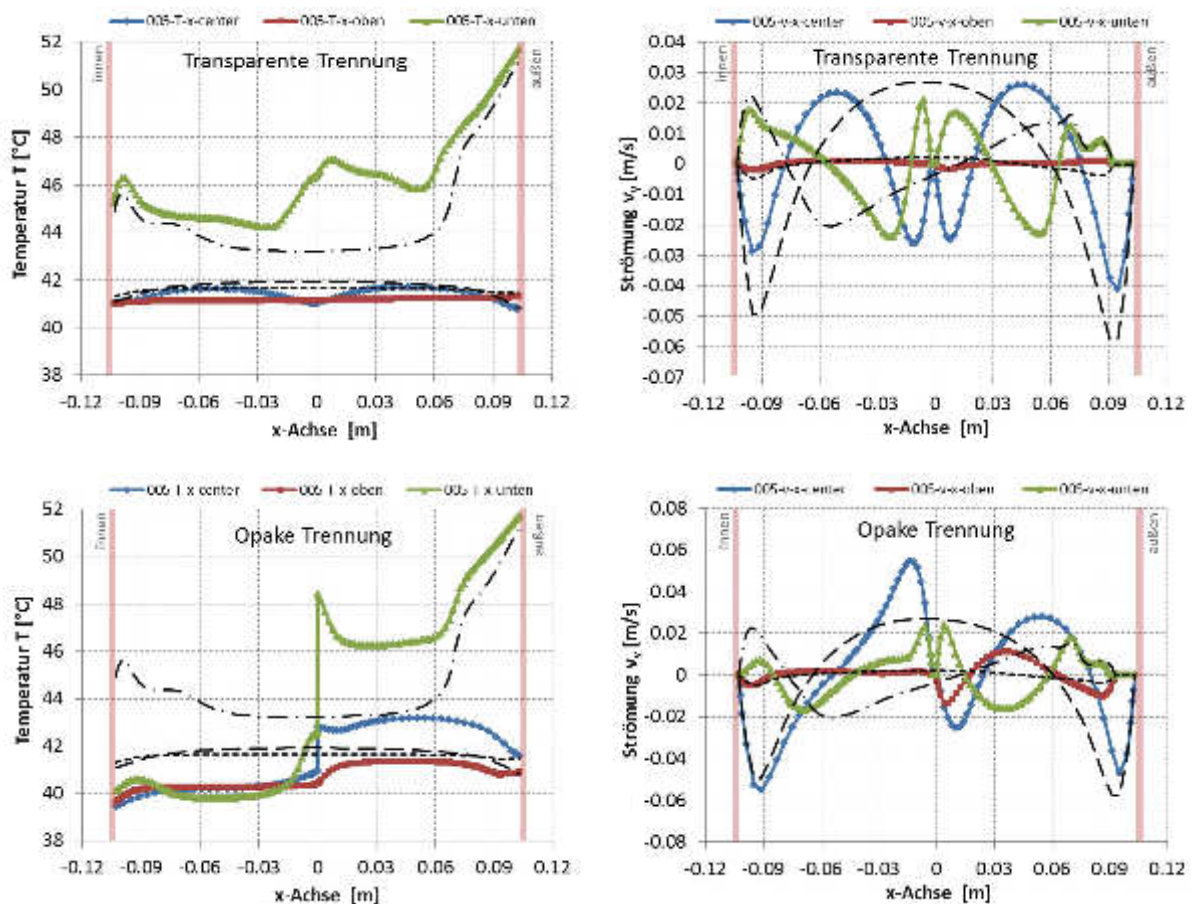


Abb. (111) Die Diagramme stellen den Verlauf von Temperatur und Auftriebs-Strömungsgeschwindigkeit entlang der Fenstertiefe im Kastenfenster (= als x-Achse definiert) dar: Grüne Kurve = Schnitt durchs Fenster 20 [mm] über dem Sockelboden, Blaue Kurve = Schnitt in der Fenstermitte, Rote Kurve = Schnitt 20 [mm] unter dem Rollo-Kasten. Die schwarzen Linien stellen als Vergleich die ermittelten Verläufe für die Variante des unsanierten Kastenfensters (Fall 001) dar: strichpunktiert = Schnitt durchs Fenster 20 [mm] über dem Sockelboden, lang strichliert = Schnitt in der Fenstermitte, kurz strichliert = Schnitt 20 [mm] unter dem Rollo-Kasten

In der Variante mit der opaken Trennung unterscheidet sich der Strömungsverlauf in der inneren Kammer im unteren und mittleren Bereich deutlich von den Verläufen mit der transparenten Trennung. In der äußeren Kammer verändert sich der Verlauf der Strömung nur im oberen Bereich.

Im Falle der transparenten Trennung liegen die **Temperaturverläufe über die Fensterhöhe (y-Achse)** Abb. (112) bis auf den oberen und unteren Bereich knapp beisammen. Die Temperaturkurven aus Variante 001 sind um eine Spur höher. Im Kastenfenster mit der opaken Trennung im Sommerfall ist eine große Streuung der Temperaturkurven feststellbar. Die blau eingefärbte Kurve beschreibt die Temperatur im inneren (zentriert) der Trennwand. Der sprunghafte Anstieg der Temperatur stellt den Grenzbereich zwischen dem Bereich der solaren Aufheizung und des im Schatten liegenden Bereichs der Trennwand dar. Die **Strömungsgeschwindigkeitsverläufe über die Fensterhöhe (y-Achse)** sind ebenfalls in Abb. (112) abgebildet. Die Abwärtsströmung an den Fensterscheiben ist im Kastenfenster mit transparenter Trennung niedriger als im unsanierten Kastenfenster. Die Strömungsverwirbelungen enden in dieser Variante früher als in Variante 001. Die Geschwindigkeitskurven in der Nähe der Fensterscheiben im Kastenfenster mit opaker Trennung unterscheiden sich sehr stark von den Kurven aus dem unsanierten Kastenfenster.

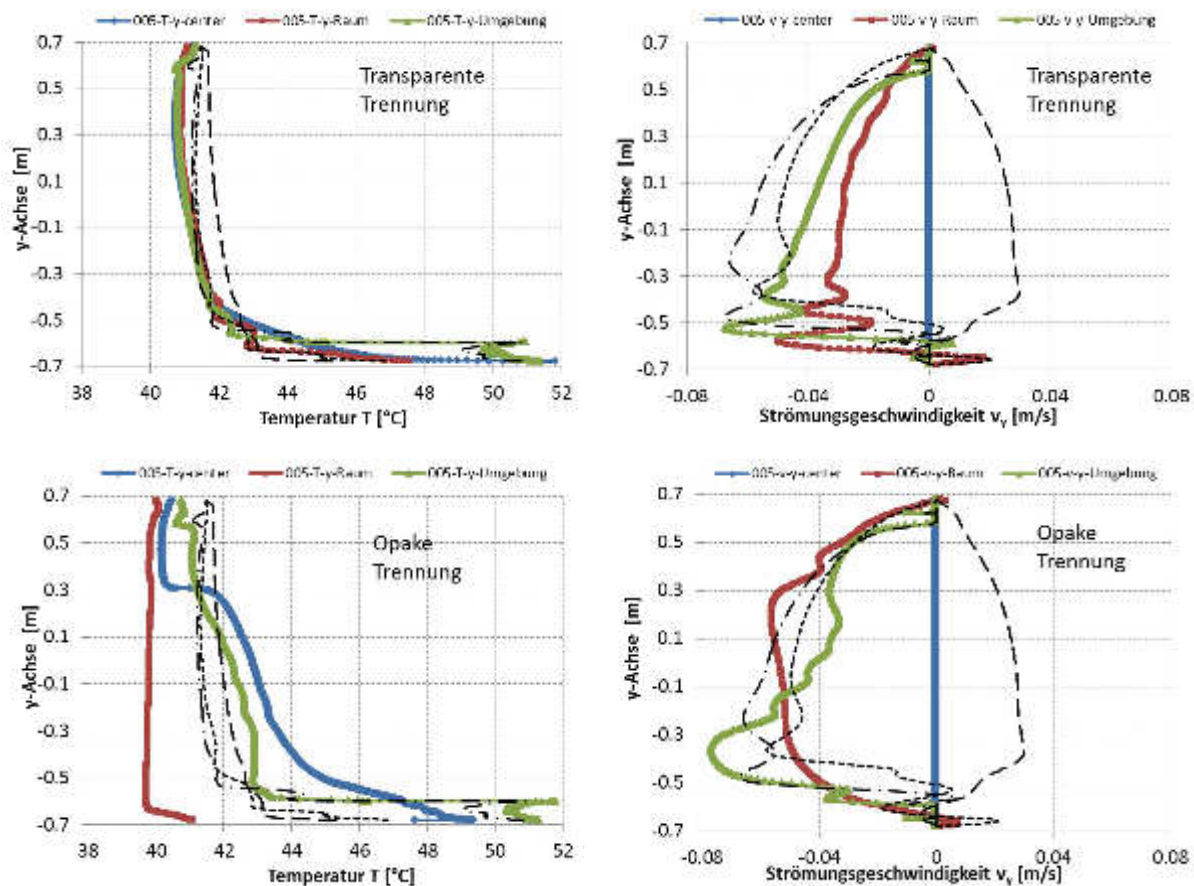


Abb. (112) Die Diagramme stellen den Verlauf von Temperatur und Auftriebs-Strömungsgeschwindigkeit entlang der Fensterhöhe im Kastenfenster (= als y-Achse definiert) dar. Grüne Kurve: Schnitt über die Kastenfensterhöhe, 10 [mm] entfernt von der inneren Scheibe, Rote Kurve: Schnitt 10 [mm] entfernt von der äußeren Scheibe, Blaue Kurve: Schnitt in der Fenstermitte. Die schwarzen Linien stellen als Vergleich die ermittelten Verläufe für die Variante des unsanierten Kastenfensters (Fall 001) dar: strichpunktirt = Schnitt 10 [mm] entfernt von der äußeren Scheibe, lang strichliert = Schnitt in der Fenstermitte, kurz strichliert = Schnitt 10 [mm] entfernt von der inneren Scheibe

KF mit Balken Außen (traditioneller Holzbalken) – Variante 006

In vielen Fällen ist zusätzlich zu dem Kastenfenster außenseitig noch ein Holzbalken installiert, um vor allem im Sommer eine Abschirmung gegen die Solare Strahlung zu schaffen. Im Simulationsmodell sieht das ganze so aus, dass eine Reihe von Holzlamellen in einem Winkel von 45 [°] vor dem Kastenfenster installiert ist. Die Lamellen sind oben und unten durch einen Vierkantrahmen abgeschlossen. Der Balken liegt unten direkt am Fensterrahmen an, oben ist ein schmaler Luftkanal zwischen Balkenrahmen und Fensterrahmen vorhanden.

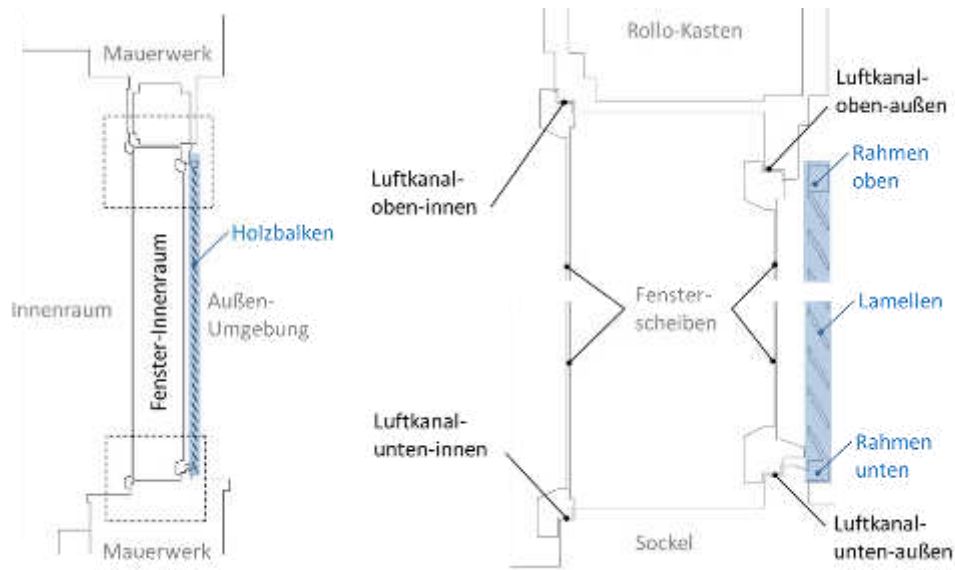


Abb. (113) Ausschnitt aus Simulationsmodell Variante 002, Kastenfenster innenseitig abgedichtet

Im **Winterfall** sind Strömungs- und Temperaturprofil im Kastenfenster Zwischenraum dem Profil aus der Variante 001 sehr ähnlich. Darum wird auf die Beschreibung der Strömung und des Temperaturverlaufs für den Zwischenraum hier nicht mehr näher eingegangen. Dafür wird der Bereich, in dem sich der Holzbalken befindet, strömungs- und temperaturtechnisch genauer unter die Lupe genommen. Im **Sockelbereich** tritt vor dem Holzbalken aufgrund der Umströmung der Fensterbank außen ein Strömungswirbel (1) auf. An den Lamellen (2) vorbei in den Zwischenbereich von Holzbalken und Kastenfenster strömt die kalte Luft direkt abwärts Richtung Luftkanal des unteren inneren Fensterrahmens (3). Dies gilt aber nur für die ersten zwei Lamellen an der dritten Lamelle (5) teilt sich die Strömung bereits je in eine auf- und abwärts strömende Komponente, darüber steigt die Luft, die durch die Lamellen strömt, nur mehr nach oben. Im Bereich des unteren Fensterrahmens (3) teilt sich der Luftstrom auf, Ein Teil der Luft gelangt durch den Luftkanal in den Kastenfenster Zwischenraum, eine zweite Strömungskomponente bildet sich entlang der äußeren Fensterscheibe aufwärts aus (4).

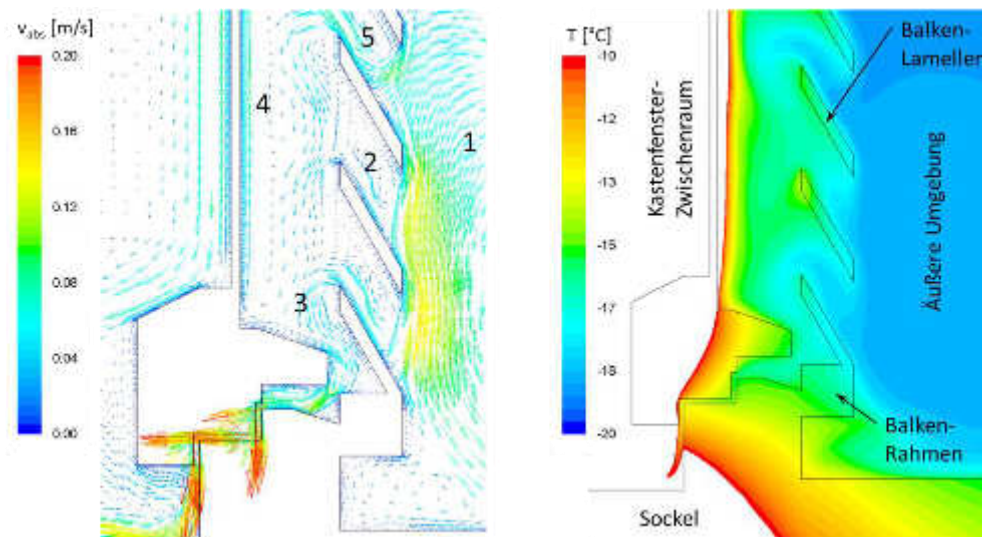


Abb. (114) Darstellung der Luftströmung in Form von Geschwindigkeitsvektoren und des Temperaturprofils im Bereich des Holzbalkens im Bereich des Kastenfenstersockels

Im Bereich der **Fenstermitte** stellt sich folgendes in Abb. (115) dargestelltes Strömungsbild ein. Außen strömt die Luft aufgrund der Randbedingung des Winds aufwärts (1). Ein Teil der aufwärts strömenden Luft wird an jeder Lamelle abgezweigt und gelangt in den Raum, der zwischen dem Holzbalken und der äußeren Fensterscheibe des Kastenfensters liegt (2). Im Bereich des Eintritts der Luft in den Kanal, der zwischen den Lamellen entsteht (3), tritt eine Verwirbelung der Luft auf. Im Raum zwischen dem Holzbalken und dem Kastenfenster strömt die Luft weiter aufwärts (4). In den Luftkanälen zwischen den Lamellen zu Beginn des obersten Viertels des Holzbalkens (Abb. (116)), taucht zu dem Luftwirbel am Eintritt des Luftkanals (5) ein weiterer Luftwirbel auf (6) mit entgegengesetzter Rotation auf. Dadurch gelangt weder Luft in den Zwischenbereich hinein noch heraus. Der Wirbel wird, je weiter man oben man die Strömung in den Luftkanälen betrachtet, immer größer. Am drittletzten Luftkanal schlägt die Strömung um und die Luft strömt von dort an vom Zwischenbereich in die Umgebung (siehe Abb. (117)) hinaus.

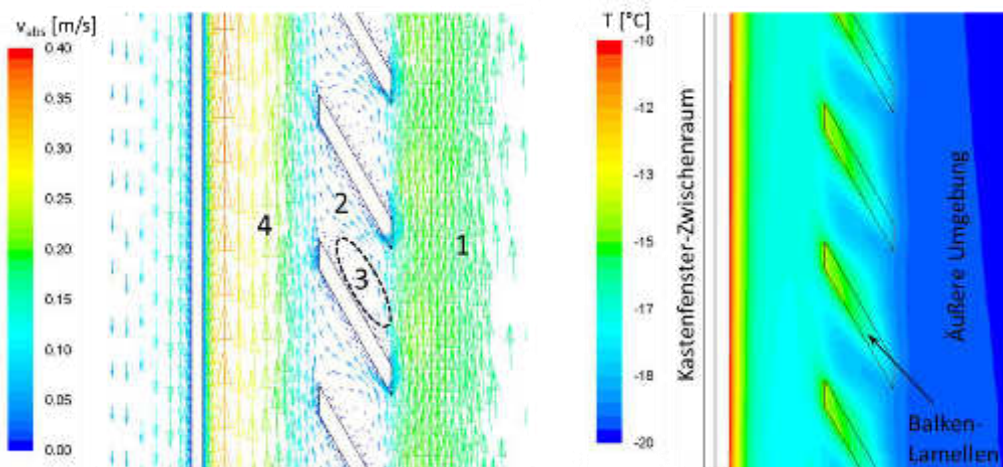


Abb. (115) Darstellung der Luftströmung in Form von Geschwindigkeitsvektoren und des Temperaturprofils im Bereich des Holzbalkens im Bereich der Mitte des Kastenfensters

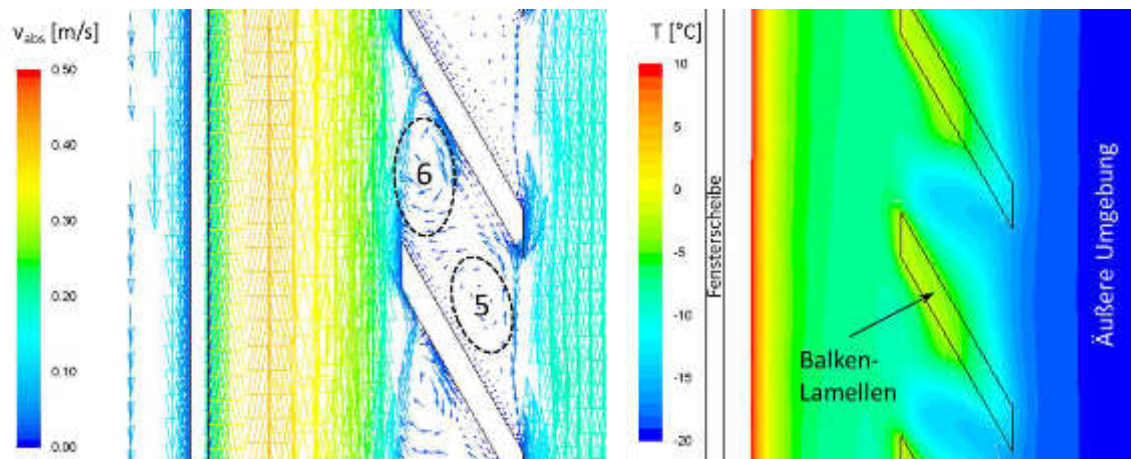


Abb. (116) *Abbildung der Strömung der Luft in vektorieller Form und des Temperaturprofils für eine Lamelle im Bereich nach drei Viertel der Fensterhöhe, dem Bereich in der an der Lamelle ein zweiter Luftwirbel auftritt*

Im **oberen Bereich** zwischen Holzbalken und Fensterscheibe strömt die Luft aufwärts Richtung oberen Fensterrahmen (1). Von diesem Luftstrom zweigt, wie zuvor schon festgestellt, an den letzten Luftkanälen jeweils ein Teil der Luft ab und strömt nach außen an die Umgebung (2). An den Oberseiten der Lamellen in diesen Luftkanälen entstehen dabei Luftverwirbelungen (3). Die aus den Luftkanälen strömende Luft wird durch den Wind abgelenkt, sodass ein großer Luftwirbel an der letzten Holzlamelle und am Rahmen des Holzbalkens entsteht (4). Die Luft im Zwischenraum wird mit der aus dem Kastenfenster strömenden Luft vermischt (6) und gelangt durch den schmalen Luftkanal zwischen dem Fensterrahmen und dem Holzbalkenrahmen nach außen an die Umgebung (7).

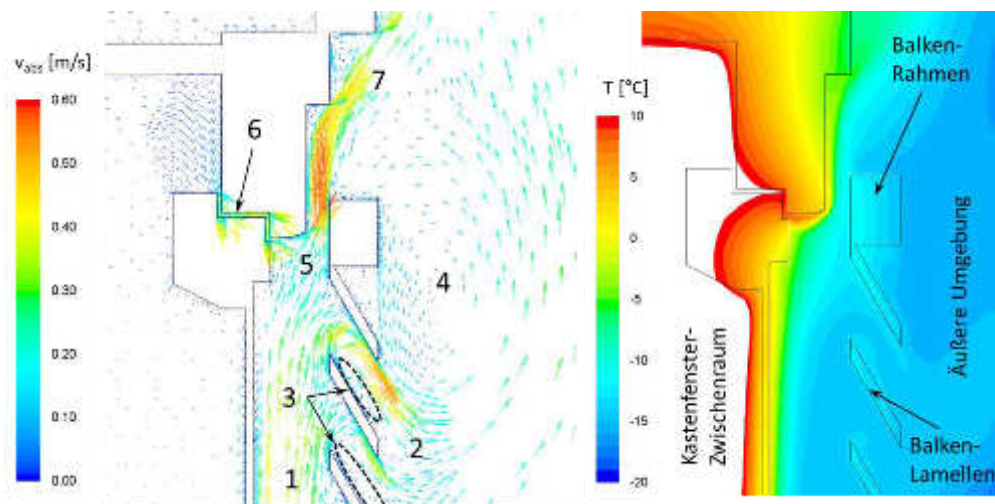


Abb. (117) *Darstellung der Luftströmung in Form von Geschwindigkeitsvektoren und des Temperaturprofils im Bereich des Holzbalkens im oberen Bereich des Kastenfensters*

Bei einem **Vergleich** des Strömungsverhaltens im Kastenfensterzwischenraum zwischen Variante 001 und 006 ist feststellbar, dass sich die Ergebnisse sehr ähnlich sind (Abb. (118)). Die Temperatur im Kastenfensterzwischenraum hingegen ist in der Variante mit dem Holzbalken höher.

Im Bereich zwischen Holzbalken und dem Fenster ist die Lufttemperatur ebenfalls höher als im Bereich knapp außerhalb der Fensterscheibe in der Variante des unsanierten Kastenfensters. Im oberen Bereich des Kastenfenster Zwischenraums unterscheiden sich die beiden Varianten in ihrem Strömungsverhalten und Temperaturprofil kaum. Lediglich im Bereich der Lamellen des Holzbalkens in Variante 006 ist die Temperatur höher als an der gleichen Position im unsanierten Fall des Kastenfensters.

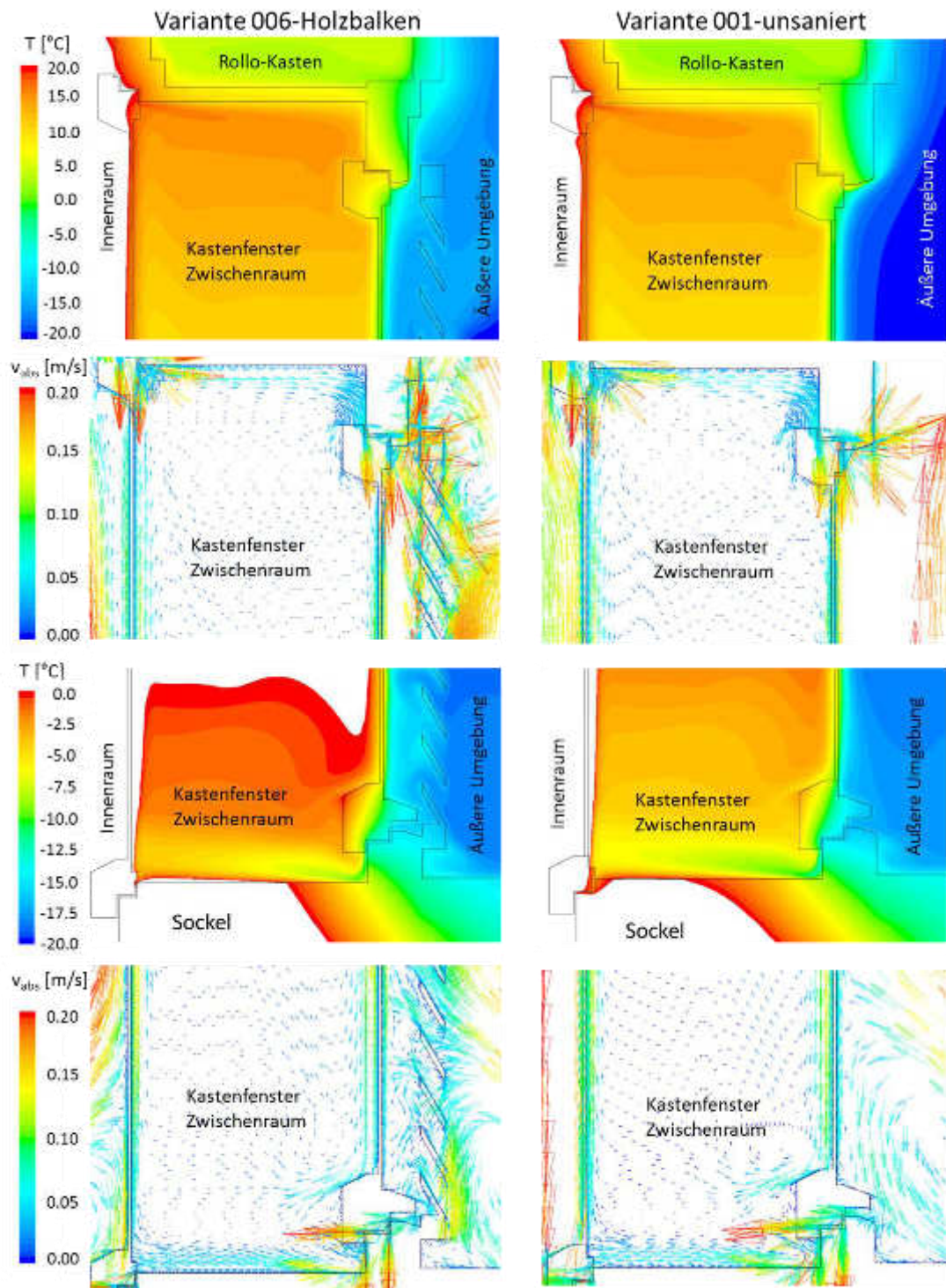


Abb. (118) Vergleich von Temperatur und Strömung zwischen den Varianten mit integriertem Holzbalken und dem unsanierten Kastenfenster im unteren und oberen Bereich

Durch den vorgesetzten Holzbalken ist der Fenster Zwischenraum im **Sommerfall** nicht mehr dem Einfluss der Solaren Einstrahlung ausgesetzt. Dadurch verändern sich auch dementsprechend die Strömung sowie die Temperatur der Luft im Kastenfenster Zwischenraum und im Innenraum. Die Luft sinkt im **unteren Bereich** entlang der inneren Fensterscheibe zum Sockelboden (1), da die Temperatur im Innenraum niedriger als im Kastenfenster Zwischenraum ist. Die Luft wird am Boden umgelenkt, strömt Richtung Außenseite (2), und steigt von dort über den Fensterrahmen und dann entlang der äußeren Fensterscheibe aufwärts (5). Durch die beiden Luftkanäle in den Fensterrahmen strömt Luft in den Zwischenraum des Kastenfensters.

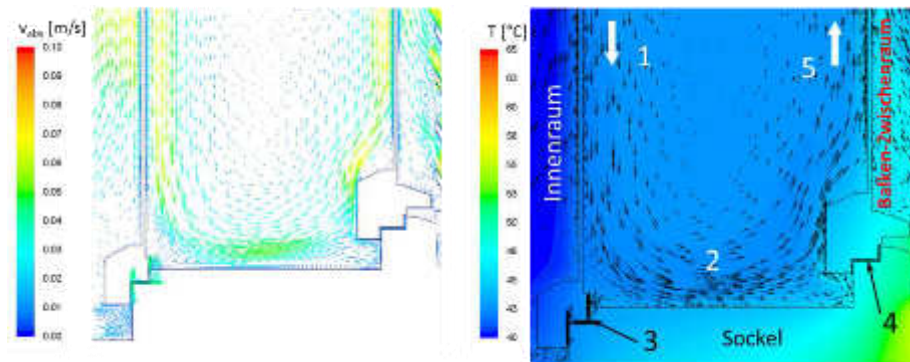


Abb. (119) Darstellung von Temperaturprofil und Strömungsvektoren für den Sockelbereich des Kastenfensters im Sommerfall für das Kastenfenster mit vorgesetztem Holzbalken.

Im Bereich des Holzbalkens (Abb. (120)) gelangt die Luft von außen durch die Lamellen in den Balken Zwischenraum. Durch die Verwirbelung der Luft außerhalb des Balkens (1) trifft diese in einem Winkel von annähernd 90 [°C] auf die untersten drei Lamellen auf. Dadurch entstehen in diesen Luftkanälen weitere Strömungswirbel. Trotzdem gelangt ein Teil der Luft vorbei in den Balken Zwischenraum und wird dort aufwärts getrieben (4). Die obere Grenze des Luftwirbels außen (1) liegt ca. auf Höhe der vierten Lamelle des Balkens. Ab dort strömt die Luft ohne Wirbelbildung durch den Luftkanal in de Zwischenraum (3). Am Fensterrahmen außen bilden sich Strömungswalzen aus (5).

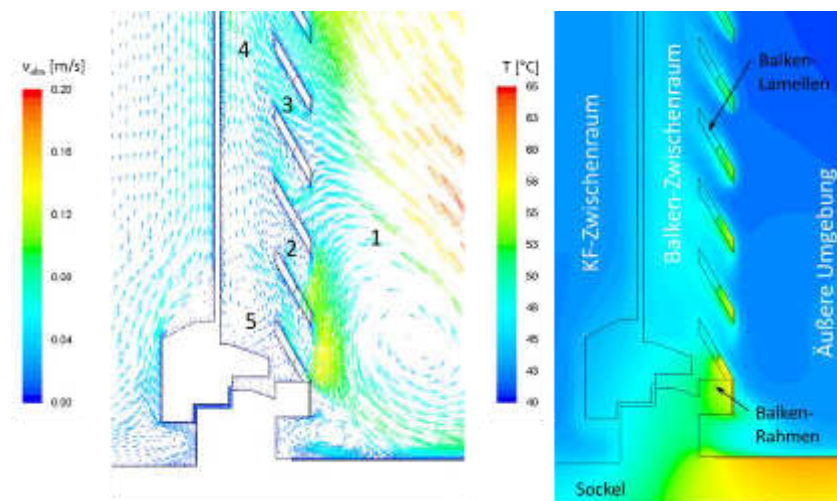


Abb. (120) Darstellung von Temperaturprofil und Strömungsvektoren im unteren Bereich des Holzbalkens

In der **Fenstermitte** ist eine Abwärtsströmung an der raumseitig positionierten Fensterscheibe (1), und an der äußeren Scheibe eine Auftriebsströmung von gleicher Stärke und Profilform (2) zu erkennen. In Richtung Zentrum des Fensters nimmt die Strömung von beiden Seiten der Fenster ausgehend ab.

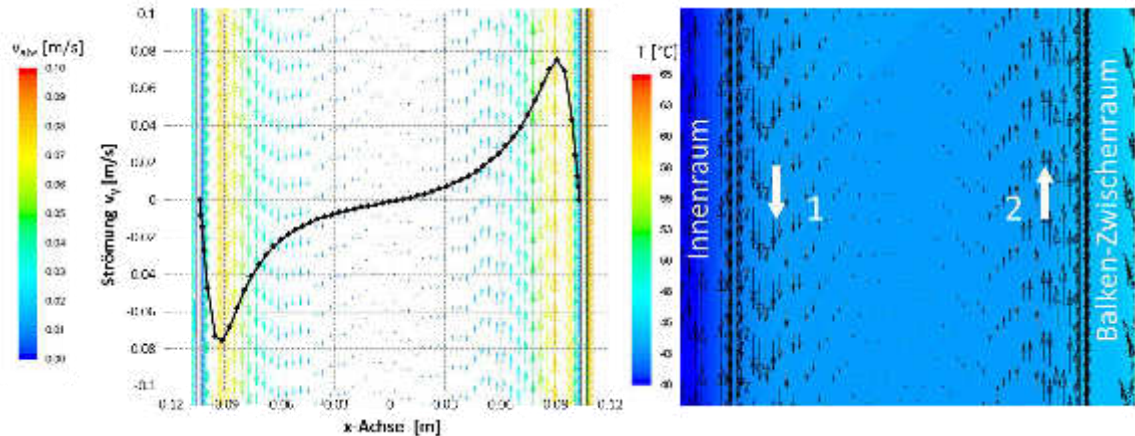


Abb. (121) Darstellung von Temperaturprofil und Strömungsvektoren im Bereich der Fenstermitte des Kastenfensters für den Sommerfall im Kastenfenster mit vorgesetztem Holzbalken

Im Bereich des Balkens strömt die Luft außen (1) und im Balken Zwischenraum (2) aufwärts, wobei die Strömungsgeschwindigkeit stetig zunimmt. Ein kleiner Teil der Luft von außen strömt in diesem Bereich durch den Luftraum zwischen den Holzlamellen in den Bereich zwischen Holzbalken und Fensterscheibe. Ähnlich wie in der Umströmung der Lamellen im Winterfall entsteht auch hier am Eingang der Kanäle ab einer gewissen Höhe am Balken ein Luftwirbel (3). Etwas weiter oben am Balken (Abb. (123)) entsteht außerdem auch wieder der entgegengesetzte Wirbel (5) und die Umkehrung der Strömung in den Kanälen zwischen Lamellen vom Balkenzwischenraum nach außen (6).

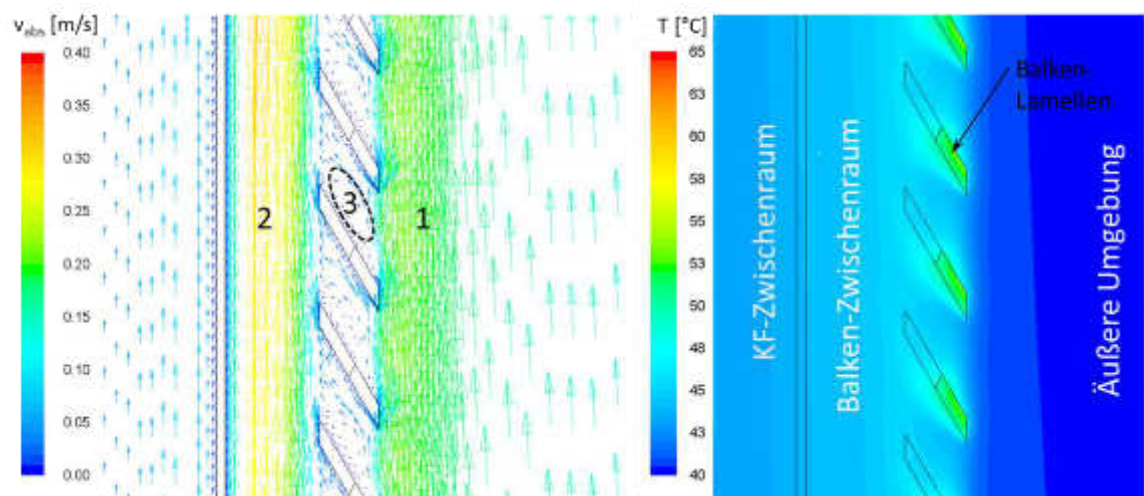


Abb. (122) Darstellung von Temperaturprofil und Strömungsvektoren im Mittelbereich des Holzbalkens

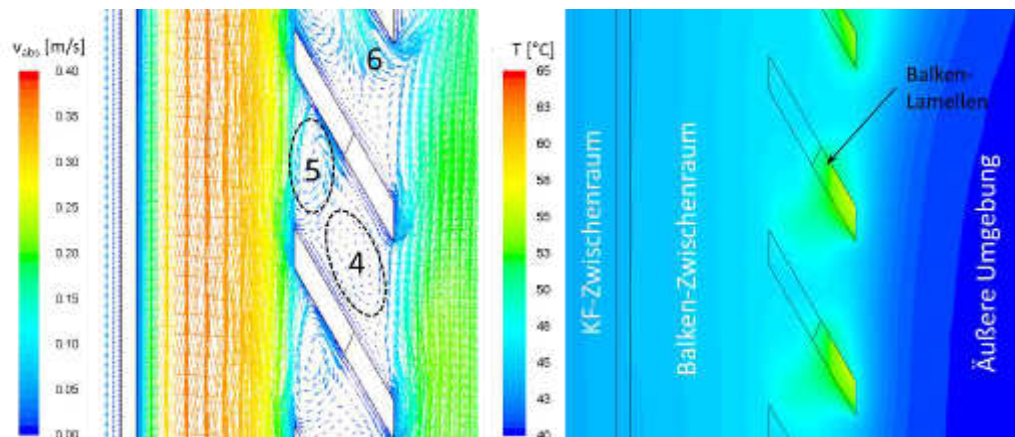


Abb. (123) Darstellung von Temperaturprofil und Strömungsvektoren zwischen mittleren und oberen Bereichs des Balkens

Im **oberen Bereich** des Kastenfensters strömt die Luft an der äußeren Fensterscheibe weiter aufwärts bis zum oberen äußeren Fensterrahmen (1). Dort wird die Strömung umgelenkt (3) und ein Luftstrom wird dort abgezweigt, welcher aufwärts in Richtung der oberen inneren Fensterrahmen strömt. Der Hauptanteil der Luft sinkt jedoch abwärts Richtung Fensterboden (2) und schließt somit die Konvektionswalze. Ein Teil des oben abgezweigten Luftstroms gelangt durch den Luftkanal des oberen inneren Fensterrahmens in den Innenraum (6). Direkt unter der Decke des Kastenfensterzwischenraums entsteht ein Luftwirbel (4). Aus dem Balken-zwischenraum strömt Luft von geringem Ausmaß ins Kastenfenster (5). Im Bereich des Holzbalkens sieht das Strömungsbild (Abb. (125)) dem aus dem Winterfall ähnlich. Die Luft strömt aufwärts Richtung des oberen äußeren Fensterrahmens. Durch die Kanäle zwischen den Lamellen strömt die Luft im oberen Bereich nach außen (2), wobei sich an den Oberseiten der Holzlamellen Luftwirbel bilden (3). Die nach außen strömende Luft wird durch den Einfluss des Winds nach oben gelenkt, wodurch im Bereich des Balkenrahmens und der letzten Holzlamelle eine weitere Luftverwirbelung auftritt (4). Die übrige Luft im Balken Zwischenraum teilt sich hier abermals auf (5), und strömt einerseits in geringem Ausmaß durch den Luftkanal des oberen äußeren Fensterrahmens in den Zwischenraum des Kastenfensters (6) und andererseits durch den Kanal zwischen dem Fensterrahmen und dem Balkenrahmen hinaus in die Umgebung (7).

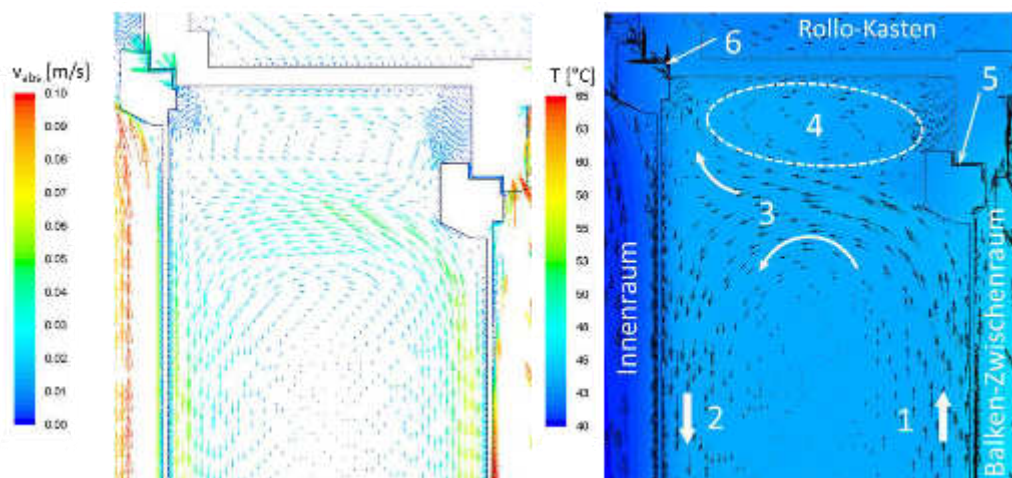


Abb. (124) Darstellung von Temperaturprofil und Strömungsvektoren für den oberen Bereich des Kastenfensters im Sommerfall für das Kastenfenster mit vorgesetztem Balken

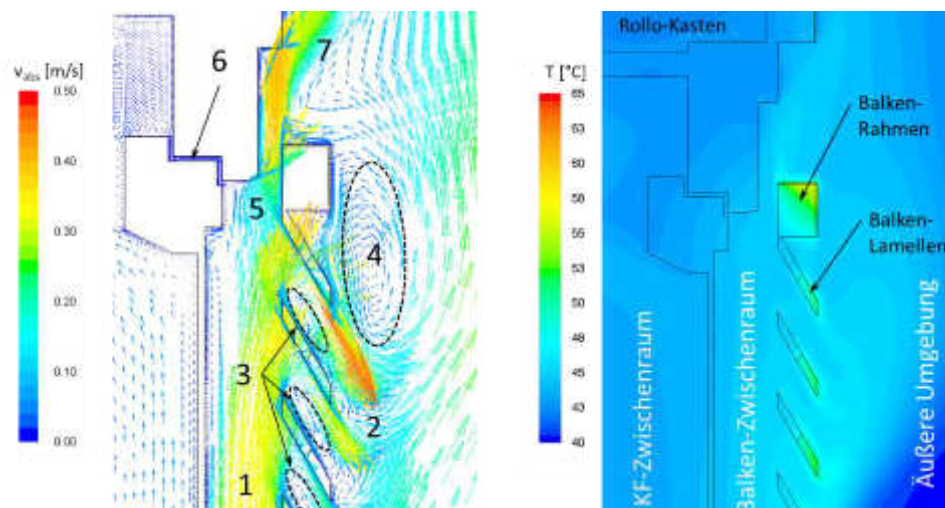


Abb. (125) Darstellung von Temperaturprofil und Strömungsvektoren im oberen Bereich des Balkens

3.3.4 Zusammenfassung

Es war mittels Simulation möglich erste qualitative Erkenntnisse über das Verhalten der Luftströme in einem historischen Kastenfenster zu gewinnen. Zudem wurden einige Sanierungsvarianten simulationstechnisch abgebildet um die damit verbundenen Veränderungen am Strömungsverhalten aufzuzeigen. Die auftretenden Strömungsgeschwindigkeiten sind jedoch sehr niedrig und teilweise geometrisch sehr fein aufgelöst, sodass eine aussagekräftige messensorische Erfassung außerhalb von Laborbedingungen schwer herstellbar erscheint. Die Vorortvermessung im Gebäude ist dazu mehreren nicht ausreichend definierten Randeinflüssen (lokale Windverhältnisse, wechselhafte Solartstrahlung, etc) ausgesetzt. Mit Hilfe einer fortführenden Studie in der Form von experimentellen Messungen unter Laborbedingungen in Kombination mit einer simulationstechnischen Abbildung des Messaufbaus zur Validierung der Messdaten könnten auch quantitative Aussagen über die Sanierungsvarianten getroffen werden. Um dennoch einen Vergleich der untersuchten Varianten aufzuzeigen werden in Abb. (126) die Temperaturen und Strömungsgeschwindigkeit in den Luftkanälen, zwischen Fenster und Rahmen im Kastenfenster, zum Vergleich festgehalten. Für die Variante 002 und 003 gibt es in diesem Fall keine Werte, da in beiden Fällen die inneren Luftkanäle mit einer Dichtung versehen sind. Die präsentierten Werte können in zukünftigen Simulationen zur Festlegung der Randbedingung der ein- und ausgehenden Luftströme herangezogen werden.

Simulationsvariante	Strömungsgeschwindigkeit in [m/s]				Temperatur [°C]			
	Luftkanal unten innen	Luftkanal oben innen	Luftkanal unten außen	Luftkanal oben außen	Luftkanal unten innen	Luftkanal oben innen	Luftkanal unten außen	Luftkanal oben außen
001-Winter	0.220	0.237	0.250	0.275	-0.69	20.68	-15.39	9.72
001-Sommer	0.009	0.008	0.011	0.011	48.78	41.40	50.38	41.28
002-Winter	-	-	0.242	0.263	-	-	-15.24	7.35
002-Sommer	-	-	0.010	0.010	-	-	49.96	41.07
003-Winter	-	-	0.153	0.160	-	-	-15.14	-3.75
003-Sommer	-	-	0.011	0.011	-	-	50.07	41.06
004-Winter	0.151	0.160	0.217	0.234	-1.25	14.55	-15.52	4.48
004-Sommer	0.009	0.009	0.012	0.012	48.73	41.16	50.24	41.19
005-Winter	0.162	0.169	0.203	0.220	9.64	22.14	-15.42	5.02
005-Sommer-opak	0.019	0.019	0.022	0.021	40.75	39.64	51.13	40.80
005-Sommer-transparent	0.009	0.009	0.011	0.011	48.32	41.11	50.85	41.04
006-Winter	0.205	0.220	0.252	0.277	1.85	20.45	-14.08	10.66
006-Sommer	0.032	0.096	0.005	0.005	42.22	39.85	47.61	43.44

Abb. (126) in den Tabellen sind Temperaturen und Geschwindigkeit in den Luftkanälen des Kastenfensters zum Vergleich festgehalten

3.3.5 Einfluss von Luftkanälen im Kastenfenster

Im Zuge der Untersuchung des thermischen und strömungstechnischen Verhaltens von Kastenfenstern wurde der Einfluss der Luftkanäle eingehender untersucht. In dieser Untersuchung wird ebenfalls wieder ein zweidimensionales Simulationsmodell verwendet. Die Luftkanalbreite beträgt für alle Kanäle 2 [mm]. Die Temperatur der Innenwände beträgt in der Untersuchung 25 [°C], die Außentemperatur wird in Temperaturschritten von 10 [°C] schrittweise von -20 [°C] auf +40 [°C] erhöht. Die Untersuchung wird für die Simulationsvarianten des unsanierten und des innenseitig abgedichteten Kastenfensters durchgeführt. Als Ergebnis sind Temperatur- und Strömungsgeschwindigkeitsverläufe (bzw. Massenstrom) für die einzelnen Luftkanäle in Abhängigkeit zur Außentemperatur in Diagrammen abgebildet (Abb. (128) u. Abb. (129)). Mehr Details zum Aufbau und die Ergebnisse der Untersuchung sind im Annexbericht 3.6b „Thermisch- strömungstechnische Simulation der Konzepte zur Sanierung von Kastenfenstern“ (siehe Kapitel 6.3).

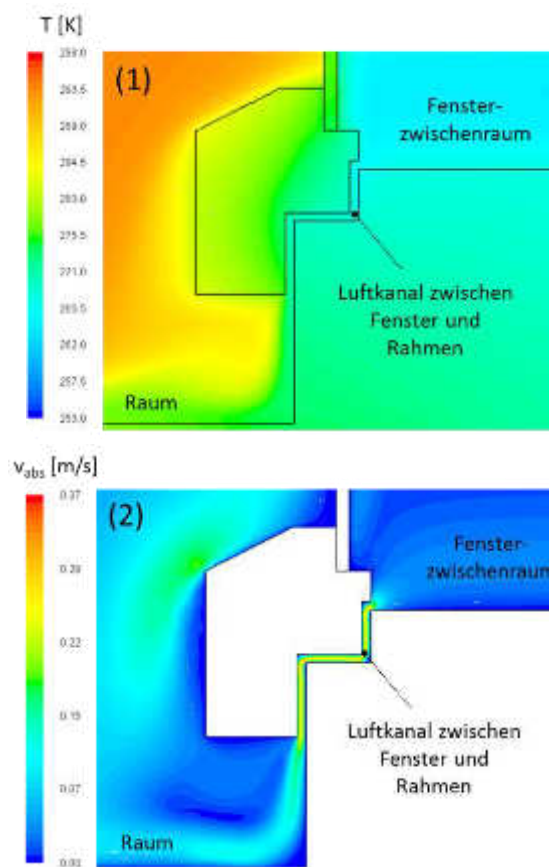


Abb. (127) Ausschnitt des 2D-Modells des Kastenfensters im Bereich des Fensters und des Fensterrahmens unten raumseitig. (1) Darstellung des Verlaufs der Temperaturen, (2) Darstellung des Absolutbetrags der Strömungsgeschwindigkeit im Luftraum.

Grundsätzlich geht aus den Simulationsergebnissen hervor, dass ein Luftaustausch zwischen Außen- und Raum-Zone über das Kastenfenster stattfindet, so lange ein Temperaturgefälle zwischen Innen und Außen vorherrscht. Der Massenstrom ändert sich gemäß Simulation in allen Luftkanälen linear in Abhängigkeit zur Außentemperatur. Ein positives Vorzeichen für den Massenstrom in den Diagrammen bedeutet, dass die Luft aus dem Kastenfensterzwischenraum durch den jeweiligen Luftkanal in den Innenraum bzw. in die Umgebung entweicht, bei einem negativen Vorzeichen strömt die Luft in den Zwischenraum des Kastenfensters.

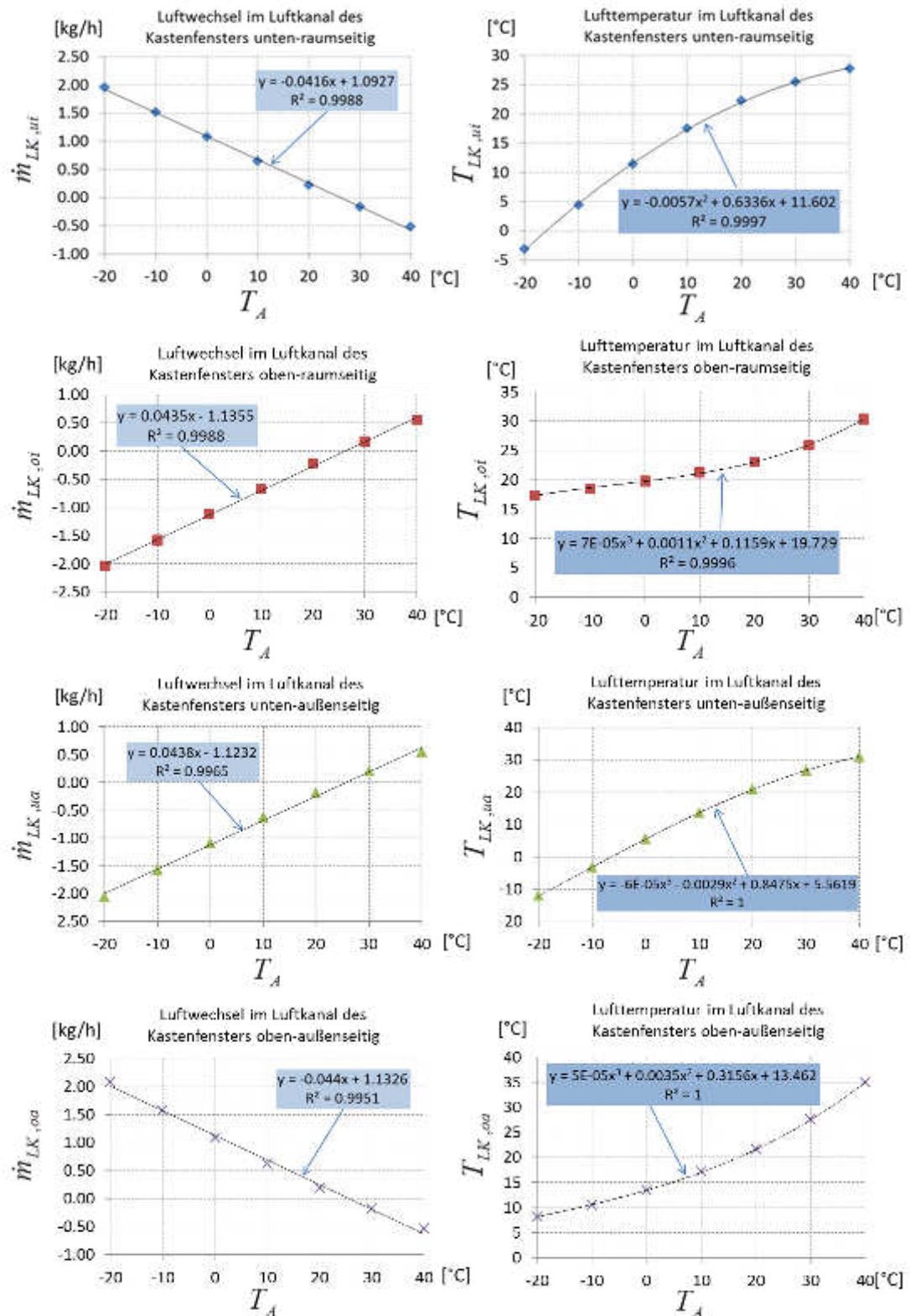


Abb. (128) In den Diagrammen sind der von der Außentemperatur abhängige Massenstrom der Luft und die Temperatur für den entsprechenden Luftkanal im Kastenfenstermodell für die unsanierte Kastenfenstervariante dargestellt.

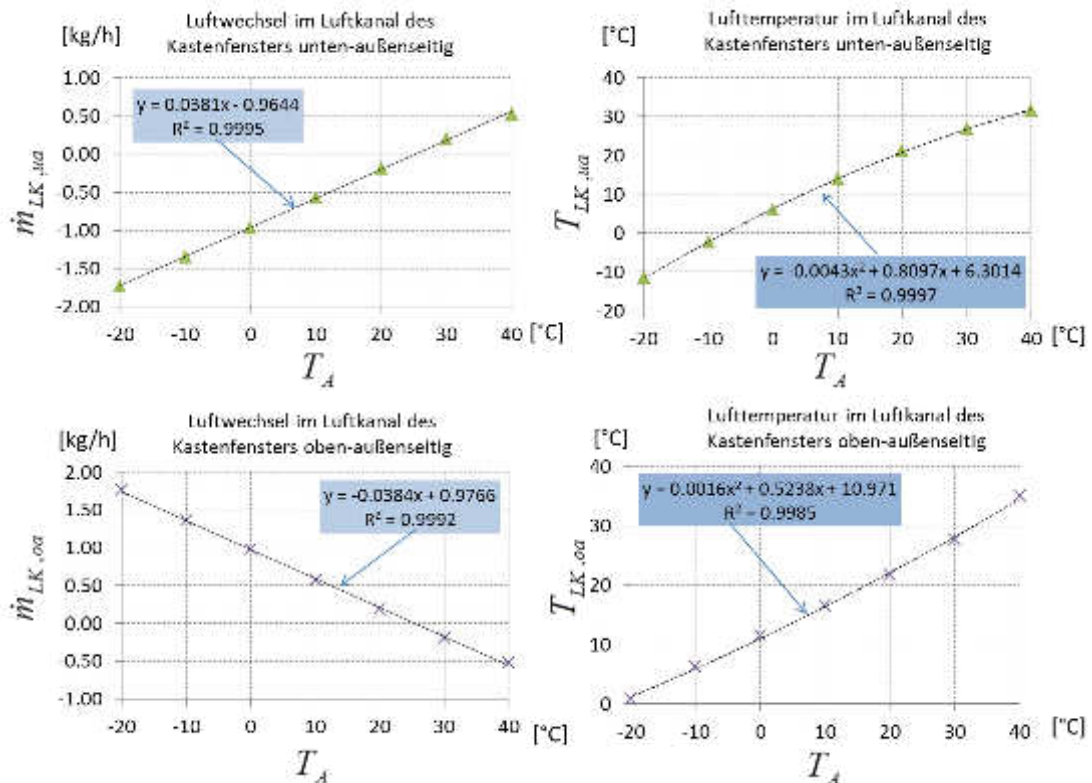


Abb. (129) In den Diagrammen sind der von der Außentemperatur abhängige Massenstrom der Luft und die Temperatur für den entsprechenden Luftkanal im Kastenfenstermodell für die Kastenfenstervariante mit den innen abgedichteten Luftkanälen dargestellt.

3.3.6 Vergleich Messung-Simulation

Für einen ersten Vergleich von Messung und Simulation des unsanierten Kastenfensters für den Winterfall wird aus den vorhandenen Messdaten ein Messperiode gewählt, an der alle gemessenen Temperaturen über längeren Zeitraum annähernd konstant verlaufen (siehe Abb. (130)). Danach werden im Simulationsmodell die gemessene Außentemperatur und Raumtemperatur als Randbedingung festgesetzt. In dem Fall ergab die Messung eine Außentemperatur von -10 [°C] bei einer Raumtemperatur von 35 [°C]. Die Simulation läuft unter Veränderung der Randbedingungen so lange, bis im Simulationsmodell an den Messpositionen der Raum- und Außentemperatur die beiden gemessenen Werte erreicht werden.

Aus dem Simulationsergebnis werden dann die Temperaturverläufe über der Kastenfensterhöhe dargestellt, an dessen Position sich im Messaufbau die Temperaturfühler befinden (siehe Abb. (131)). Zum Vergleich sind im Diagramm die Messwerte dieser Fühler an den entsprechenden Positionen dargestellt. Je näher der Messwert sich am entsprechenden Temperaturverlauf befindet, umso besser ist die Übereinstimmung von Messung und Simulation in diesem Punkt.

Aus dem Diagramm in Abb. (131) geht hervor, dass die gemessenen und die simulierten Temperaturen an den Fensterscheiben sehr gut übereinstimmen. Die gemessenen Temperaturen im Kastenfensterzwischenraum sind jedoch ca. um 2 [°C] höher als im Simulationsergebnis, wobei die Tendenz der steigenden Temperatur Richtung aufwärts im Zwischenraum übereinstimmt. Ein möglicher Grund für diese Abweichung könnte die vereinfachte Annahme zur Dimensionierung der Luftkanäle mit einer einheitlichen Kanalbreite von 2 [mm] im Simulationsmodell sein.

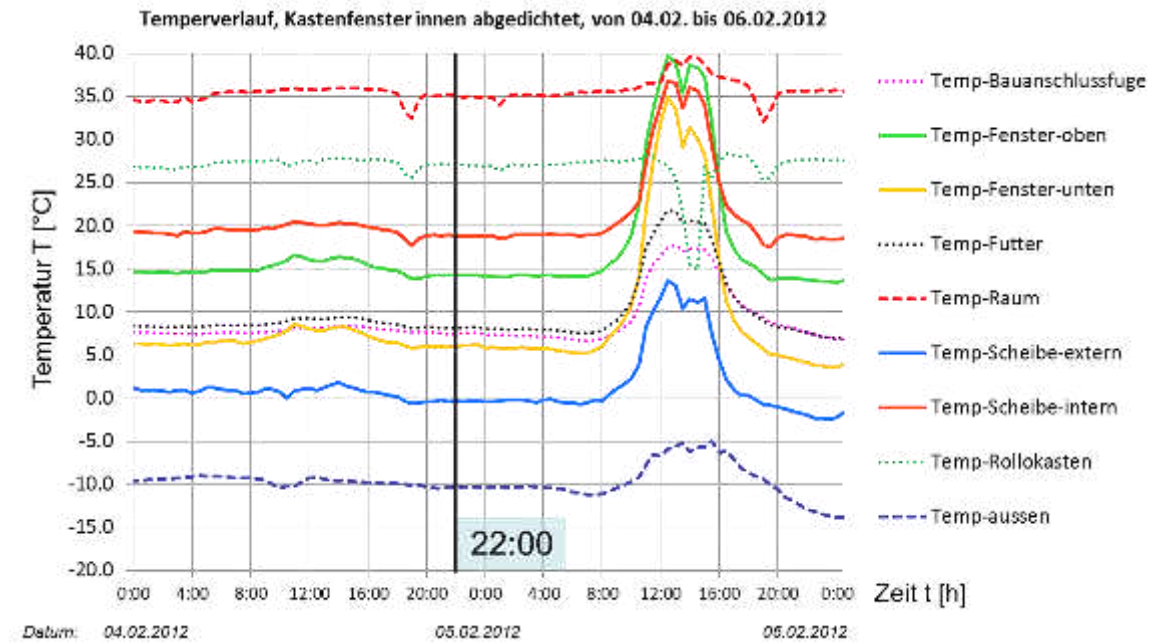


Abb. (130) Auszug aus der Temperaturmessung des unsanierten Kastenfensters im Kindergarten in der Schönbrunngrasse 30 [Datengrundlage, Institut für Hochbau, TUG]

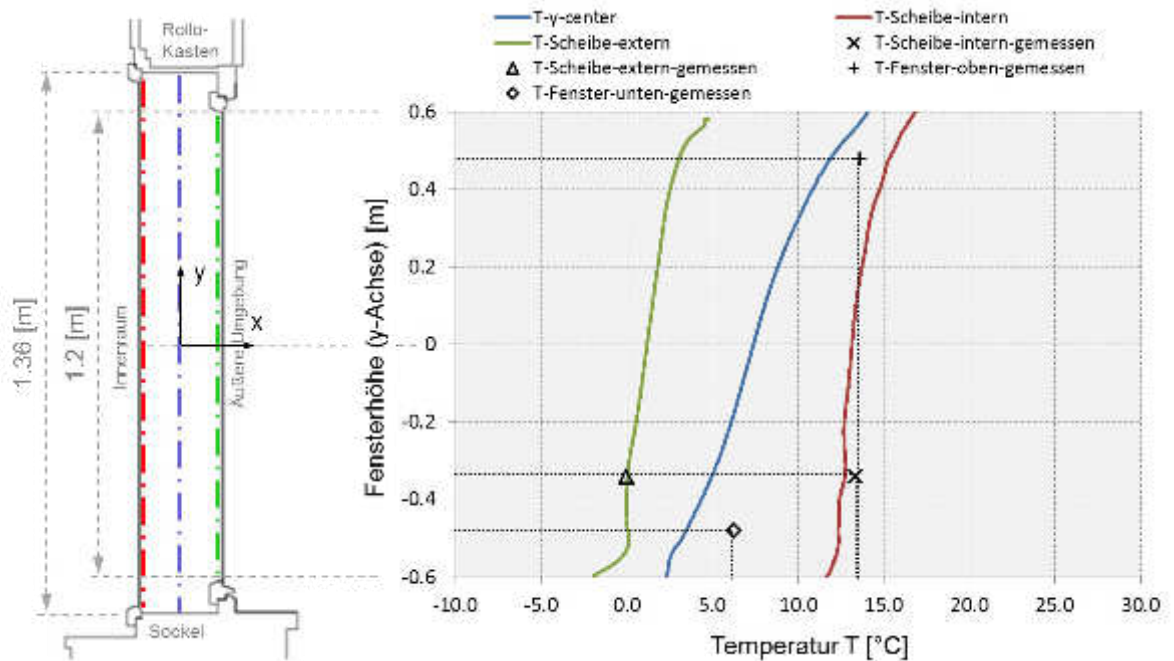


Abb. (131) Darstellung der Temperaturverläufe im Kastenfensterzwischenraum über die Fensterhöhe an den Positionen, an denen sich die Temperaturfühler im Messaufbau befinden. Zusätzlich sind die Messwerte aus dem gewählten Messpunkt zum Vergleich im Diagramm als Punkte dargestellt.

3.3.7 Gebäude-Wind-Simulation

Zusätzlich zu den Kastenfenstersimulationen das Gebäude, in dem sich die betreffenden Fenster befinden, einer Windanalyse unterzogen. Das Simulationsmodell besteht aus dem Gebäude und einem ausreichend großen Ausschnitt der Umgebung (Abb. (132)). In den Simulationen wurden die Parameter der Windrichtung und Windstärke variiert. Für acht verschiedene Anströmrichtungen werden Windgeschwindigkeiten von 0.1 [m/s] bis zu 15 [m/s] eingesetzt.

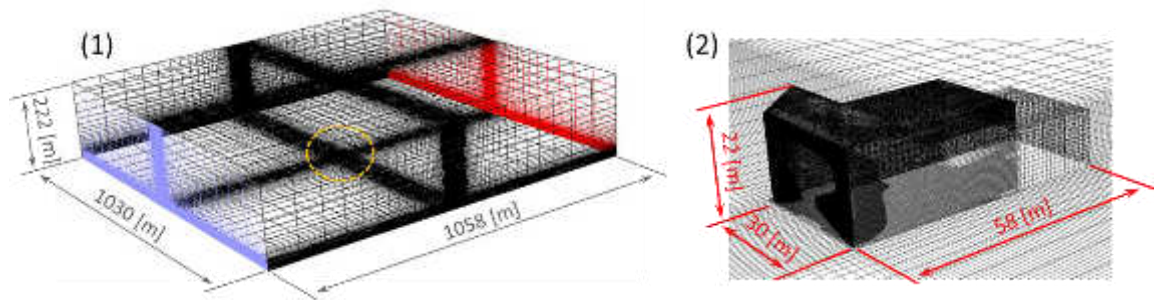


Abb. (132) (1) Darstellung des Gittermodells zur Windanalyse am Gebäude der Schönbrunngrasse 30, 8043 Mariatrost, im Fall von aufkommendem Südwind, (2) Ausschnitt aus dem Gittermodell, in dem sich das Gebäude befindet.

In Abb. (133) ist ein Beispiel eines der Simulationsergebnisse in Form von Konturen des dynamischen Drucks dargestellt. Aus den Simulationsergebnissen werden Windgeschwindigkeiten und Drücke, für den Bereich am Gebäude an dem sich das betreffende Kastenfenster befindet, extrahiert und zum Vergleich tabellarisch festgehalten. Das Fenster befindet sich im Dachgeschoss an der Südseite des Gebäudes (ca. 15-17 [m] vom Boden entfernt). Die Druckauswertung kann zur Ermittlung des Luftwechsels durch das Fenster verwendet werden, vorausgesetzt man kennt die Fugenlänge und den Fugendurchlasskoeffizient.

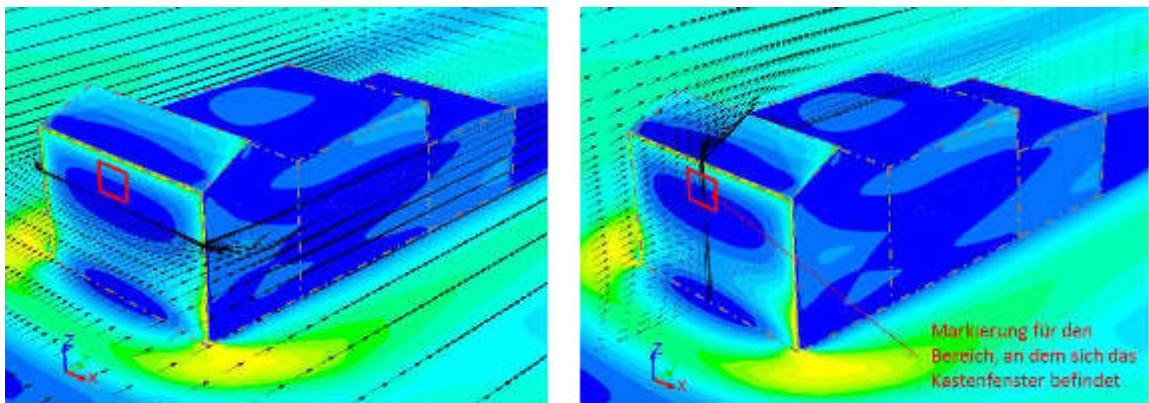


Abb. (133) Konturverlauf des dynamischen Drucks an den Gebäudeflächen und dem Boden für 1 [m/s] Wind und 0 [°] (Süden) Windrichtung. Zusätzlich ist in zwei verschiedenen Ebenen im Modell die Windströmung in Form von Vektoren dargestellt.

Abb. (134) zeigt den Verlauf der Windgeschwindigkeit entlang der Gebäudefassade an der Position, an der sich das Kastenfenster befindet. Die Geschwindigkeit ist in die des Koordinatensystems entsprechenden drei Komponenten (x, y, z) aufgeteilt.

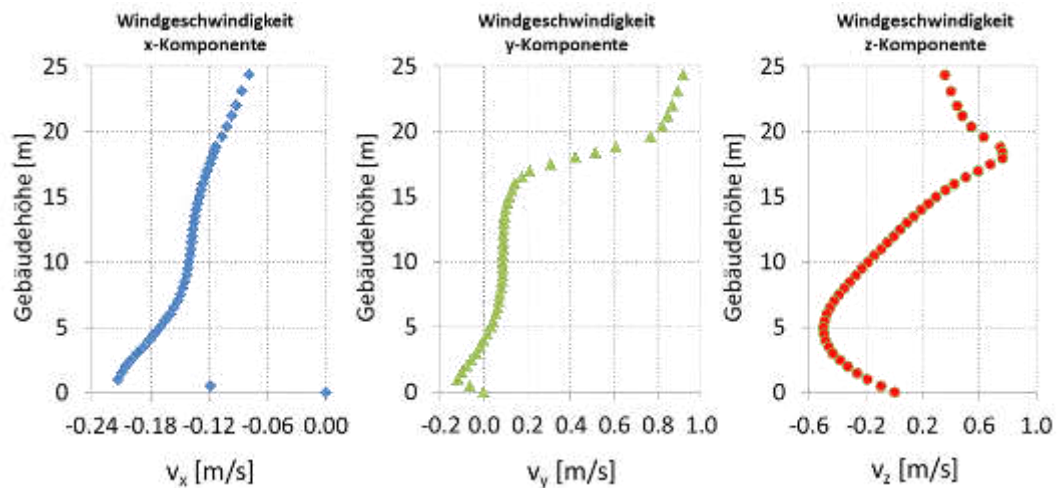


Abb. (134) In den Diagrammen sind die Geschwindigkeitskomponenten der Luftströmung entlang der Gebäudehöhe dargestellt, für den Fall 1 [m/s] Wind und 0 [°] (Süden) Windrichtung.

In den Diagrammen in Abb. (135) ist der dynamische Druck (Staudruck) in Abhängigkeit von der Windstärke bei einer bestimmten Windrichtung dargestellt. Der Staudruck wird an der Position am Gebäude dargestellt, an der sich das Kastenfenster befinden würde.

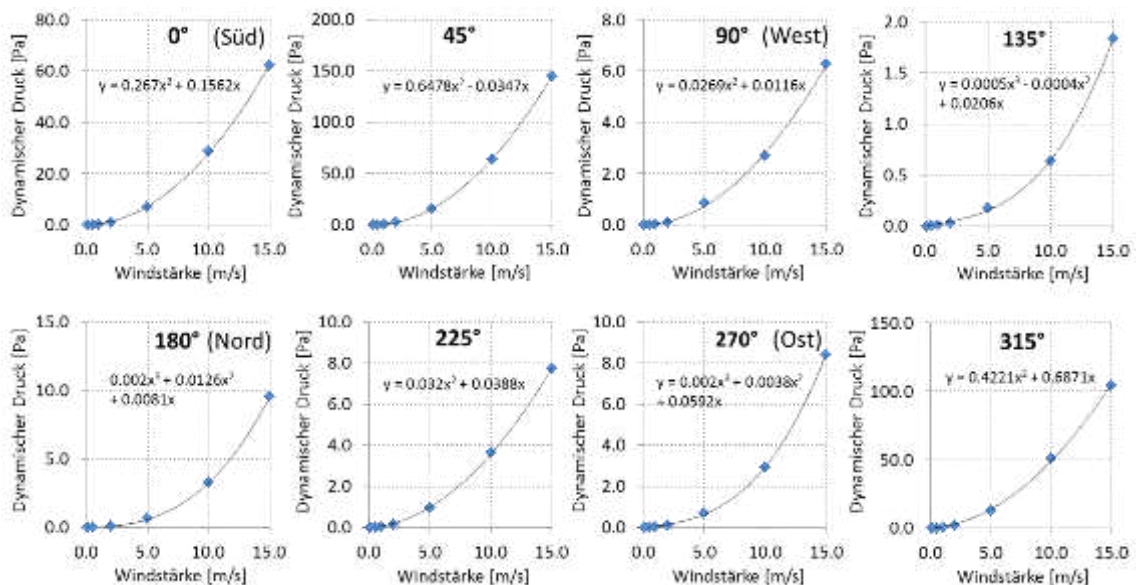


Abb. (135) In den Diagrammen wird der Staudruck für unterschiedliche Windrichtungen und Windstärken im Bereich des Gebäudes, an dem sich das Kastenfenster befindet, abgebildet

Mit Hilfe der Fit-Kurven aus den Diagrammen in Abb. (135) wurde aus Wetterdatensätzen (Windgeschwindigkeit und Richtung) der zeitliche Verlauf des Staudrucks an der Gebäudefassade ermittelt. Dieser Verlauf des dynamischen Drucks vor dem Kastenfenster und weitere Details zum Aufbau und zu den Ergebnissen der Untersuchung sind im Annexbericht 3.6b „Thermisch- strömungstechnische Simulation der Konzepte zur Sanierung von Kastenfenstern“ (siehe Kapitel 6.3) detailliert beschrieben.

3.4 Implementierung einer Lüftungsanlage in einem Schulgebäude

Katharina Kreuter, Klaus Paar, Richard Zweiler

Außenfassaden sind grundsätzlich ein zentraler Bestandteil der Wirkung eines Gebäudes. In denkmalgeschützten Gebäuden sind daher thermische Ertüchtigungen der Außenhülle in den seltensten Fällen genehmigungsfähig. Dem aus den Anforderungen des Klimaschutzes stammende Wunsch nach einer Reduktion des Heizwärmebedarfs kann somit oftmals nicht durch entsprechende Dämmmaßnahmen entsprochen werden. Die zweitgrößte Position in der Wärmebilanz eines Gebäudes ist meist der hygienisch bedingte Lüftungswärmeverlust. Im Rahmen des Projektes „denkmalaktiv I“ wurde auf Grundlage der durchgeführten Recherche (siehe Kapitel 6.3) und der Bestandsaufnahme der Referenzgebäude (siehe Kapitel 4.2) entschieden, dass im BAUSTEIN Lüftungswärmeverlust eine beispielhafte Planung einer Lüftungsanlage in einem denkmalgeschützten Gebäude durchlaufen werden sollte um in Bezug auf die Durchführbarkeit und Sinnhaftigkeit eines solchen Ansatzes Erfahrungen sammeln zu können.

3.4.1 Gewählter Bearbeitungsansatz

Als Musterobjekt für die im Rahmen von „denkmalaktiv I“ beispielhafte Planung und Bewertung einer möglichen Umsetzung einer Lüftungsanlage wurde das Referenzgebäude Volksschule St. Peter (Abb. (136)), ausgewählt. Entscheidend für diese Auswahl war, dass insbesondere in Klassenräumen von Schulgebäuden die Bereitstellung einer hochwertigen Raumluftqualität eine besondere Rolle spielt. Zudem erschien die Umsetzungswahrscheinlichkeit in diesem Referenzgebäude am größten.



Abb. (136) Volksschule St. Peter

3.4.2 Bedeutung der Raumlufthqualität in Klassenräumen

Die Raumlufthqualität ist einer der wichtigsten Faktoren in Bezug auf die Behaglichkeit in Innenräumen. Ein wichtiger Indikator für die Raumlufthqualität ist die Zufriedenheit der Personen im Raum. Es ist darauf zu achten, dass die Raumlufth als frisch empfunden werden sollte. Als einen weiteren Indikator zur Bewertung der Raumlufthqualität wird mittlerweile vermehrt die CO₂-Konzentration herangezogen. Die CO₂-Konzentration der Außenlufth beträgt zwischen 360 ppm (parts per million) und 500 ppm. Als Grenzwert für eine noch ausreichende Raumlufthqualität oftmals ein Wert von 1000 ppm angegeben. Da bei Personenbelegung im Raum durch den Menschen selbst ständig CO₂ abgegeben wird, ergibt sich durch die Betrachtung der Personenbelegung ein geeigneter Parameter zur Bestimmung der Raumlufthqualität bzw. eine Regelgröße zur Steuerung des Frischlufthvolumenstroms.

Neben Personenanzahl, Raumvolumen und Belüftungsart ist die Nutzung des Raumes ein weiterer wichtiger Faktor. In Klassenräumen beispielsweise ist eine hohe Personenbelegung gegeben, bei Fensterlüftung sind die Lüftungsintervalle und die tatsächliche Durchführung der Fensterlüftung sowie deren Dauer stark von den Nutzern abhängig. In vielen Fällen wird die Fensterlüftung auf die Häufigkeit und Dauer der Pausen beschränkt. Dies führt zu deutlich erhöhter CO₂-Konzentration im Raum. Die Folgen können Befindlichkeitsstörungen wie beispielsweise Beeinträchtigung der Leistungsfähigkeit, Konzentrationsstörungen und Kopfschmerzen sein. Untersuchungen zu den gesundheitlichen Wirkungen von Kohlendioxid haben gezeigt, dass sich eine Verringerung der CO₂-Konzentration verstärkend auf die sogenannten Sick-Building-Syndrom-assoziierten Beschwerden auswirken kann. Da es sich bei diesem Syndrom um komplexe Zusammenhänge mehrerer Faktoren handelt, müssen die Wechselbeziehungen der einzelnen Parameter stets im Kontext betrachtet werden (Nachtigall, 2007).

Zu beachten ist bei Klassenräumen allerdings nicht nur die CO₂-Konzentration im Raum sondern auch die Raumlufthfeuchte. Besonders in den Wintermonaten, in denen die absolute Außenlufthfeuchte gering ist, kommt es in Innenräumen immer wieder zu Unterschreitungen der als behaglich empfundenen relativen Lufthfeuchte. Anzustreben ist dabei ein Bereich von 30 bis 45% r.F. Allerdings muss darauf geachtet werden, dass die relative Feuchte nicht unter 20% abfällt. Ansonsten führt dies zu Reizungen der Schleimhäute und insbesondere bei KontaktlinseinträgerInnen oft zu Beschwerden über trockene Augen (Greml, Kapferer, Leitzinger, & Gössler, 2010). Aus diesen Gründen ist es besonders wichtig, gerade in Schulgebäuden großes Augenmerk auf die Raumlufthqualität zu legen. Die gestellten Forderungen können jedoch mit Fensterlüftung kaum erreicht werden, wodurch geeignete Lüftungsanlagen in Betracht gezogen werden müssen.

3.4.3 Grundlagen zur Systementscheidung

Lüftungsanlagen dienen zur Sicherstellung einer geeigneten Raumlufthqualität in Innenräumen. Für den Einsatz in Klassenräumen in denkmalgeschützten Gebäuden sind jedoch nur einige Konzepte geeignet. Grundlegend unterscheidet man zentrale von dezentralen Systemen.

zentrale Systeme

Bei einer zentralen Lüftungsanlage wird das Gebäude von einem zentralen Lüftungsgerät mit Frischlufth versorgt, wobei mittels eines Wärmetauschers ein Teil der Wärme der ausströmenden Raumlufth der einströmenden Frischlufth zugeführt werden kann. Die Bezeichnung zentral wird deshalb verwendet, weil sich die Lüftungsanlage zentral in einem Raum des Gebäudes befindet (Haustechnikzentrale) und von dort aus den Rest des Gebäudes mit Lufth versorgt.

Daraus ergibt sich dann ein Kanalnetz, welches die Zuluft aus der Zentrale direkt in die einzelnen Räume transportiert. Die Abluft kann über die Gänge abgesaugt und der zentralen Lüftungsanlage zugeführt werden (Schöberl, Bednar, Steininger, & Kuzmich, 2004). Die Vorteile einer zentralen Lüftungsanlage liegen darin, dass notwendige Wartungsarbeiten wie beispielsweise Filterwechsel, Wartung der Ventilatoren etc. zentral im Haustechnikraum durchgeführt werden können. Außerdem ist der Nutzer vom zentralen Lüftungsgerät räumlich getrennt, weshalb sich diesbezüglich in der Regel keine akustische Beeinträchtigung der Nutzung ergibt. Ein Nachteil eines zentralen Systems ist ein langes Zu- bzw. Abluftrohrsystem bedingt durch die zentrale Positionierung des Lüftungsgeräts.

dezentrale Systeme

Bei einer dezentralen Lüftungsanlage wird ein Lüftungsgerät pro Raum eingesetzt um den Luftwechsel zu gewährleisten. Meist werden dezentrale Lüftungsgeräte direkt in der Außenwand montiert, daher kommt es zu Durchbrüchen in der Gebäudehülle. Bei dezentralen Geräten mit Wärmerückgewinnung ist der Wärmerückgewinnungsgrad meist geringer als bei Zentrallüftungsgeräten. Durch die direkte Montage im Raum, wird kein langes Kanalnetz benötigt, weshalb ein nachträglicher Einbau beispielsweise im Falle einer Sanierung leicht zu bewerkstelligen ist. Die raumweise Positionierung des Lüftungsgeräts hat jedoch den Nachteil, dass es keine räumliche Trennung zwischen Lüftungsgerät und Nutzräumen gegeben ist und auf eine etwaige akustische Beeinträchtigung der Nutzung bedacht genommen werden muss.

Luftheizung

Bei gut gedämmten Gebäuden welche durch die Abdichtung der Gebäudehülle sehr luftdicht sind und nur einen sehr geringen Luftaustausch über Undichtigkeiten der Gebäudehülle zulassen und dadurch einen sehr niedrigen Heizwärmebedarf aufweisen (beispielsweise Passivhäuser) ist es möglich, das gesamte Gebäude ausschließlich über die Zuluft zu beheizen (Holzer, 2007). Der Vorteil dieses Systems liegt in der Einsparung eines zusätzlichen Heizsystems. Ohne Sanierung des gesamten Gebäudes auf Passivhausniveau ist es jedoch nicht möglich, mit den zugeführten Frischluftvolumenströmen die Heizlast abzudecken.

3.4.4 Umsetzungsbeispiele dezentraler Lüftungssysteme

Das Gebäude der Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin (HTW Berlin) wurde ab 1896 von Emil Rathenau auf einem Grundstück an der Spree für die AEG und das Kabelwerk Oberspree errichtet. Seit 2006 wird das denkmalgeschützte Gebäude allerdings durch die HTW Berlin genutzt. Die Sanierung der unter Denkmalschutz stehenden Industriebauten dauerte vier Jahre und beinhaltete auch die Integration dezentraler Lüftungskomponenten. Durch die Vorgaben des Berliner Senats bezüglich Luftqualität war eine Lüftungsanlage unumgänglich.

Da eine zentrale Lösung ausgeschlossen war, wurde ein Fensterlüfter der Firma SIEGENIA-AUBI weiterentwickelt um den hohen Anforderungen bedingt sowohl durch die geforderte Luftqualität als auch durch den Denkmalschutz gerecht zu werden. Durch den modularen Aufbau des eingesetzten AEROMAT VT eignet sich dieses Gerät zur Anpassung an die individuellen Anforderungen der Gebäude und zeichnet sich darüber hinaus durch hohe Energieeffizienz bei gleichzeitig hohen Luftleistungen aus. Der Ansaugbereich der Lüfter ist von außen nicht sichtbar und konnte daher problemlos in die denkmalgeschützte Fassade integriert werden (AZ/Architekturzeitung, o.A.).



Abb. (137) *Darstellung der Fensterlüfter und der Fassade der HWT (AZ/Architekturzeitung, o.A.).*

Die Sanierung der Hauptschule in Schwanenstadt war ein Demonstrationsprojekt für die Passivhaussanierung – das Schulgebäude steht nicht unter Denkmalschutz wurde allerdings als Referenz ausgewählt, da es sich um eine erfolgreiche Umsetzung einer dezentralen Lüftungsanlage in einem Schulgebäude handelt. Die Be- und Entlüftung erfolgt über dezentrale Lüftungsgeräte mit variablen Luftmengen von 100 bis 500 m³/h. Jedes Lüftungsgerät verfügt über eine variable Luftmengensteuerung die durch einen Luftfeuchtefühler geregelt wird. Die Geräte sind mit einer hocheffizienten Wärmerückgewinnung (80 – 90%) sowie stufenlos geregelten Gleichstromventilatoren ausgestattet. Die Zu- und Abluft wird direkt durch die Außenwand geführt und an der Fassade ausgeblasen beziehungsweise angesaugt. Durch die Anbringung der Lüftungsgeräte in den Klassenzimmern wurde auf kompakte Bauweise und einen niedrigen Schallleistungspegel (Gehäuseabstrahlung <38db(A), Schallleistung an den Luftaustrittsstutzen <45dB(A), Schallleistung am Luftauslass <30dB(A)) geachtet. Weitere entscheidende Kriterien waren ein hoher Wärmebereitstellungsgrad (>80%), effiziente Gleichstromventilatoren (<0,4W/m³ geförderter Luft) sowie intelligente Luftmengenregelung (CO₂- oder feuchtegeführt) LIT.

3.4.5 Diskurs mit dem Denkmalamt

Im Rahmen der „denkmalaktiv I“- Workshops wurden mehrere Gespräche des Projektteams mit Vertretern des Bundesdenkmalamtes zum Thema Lüftungsanlagen geführt. Ergänzt wurden diese Diskussionen durch mehrere Vorortbegehungen des Projektteams, teilweise durchgeführt unter Beteiligung des Denkmalamtes, des planenden Architekten sowie des zuständigen Liegenschaftsvertreters. Im Zuge dieser Treffen wurde die Schule mehrmals besichtigt und die Möglichkeiten einer Lüftungsanlage vor Ort diskutiert. Das Projektteam erarbeitete in Abstimmung mit dem Bundesdenkmalamt eine Integrationslösung einer Lüftungsanlage. Die Abstimmung mit dem Bundesdenkmalamt ergab eine klare Aussage bezüglich dezentraler Lüftungsanlagen. Der Einsatz dezentraler Lüftungsgeräte ist, auch bei optisch ansprechender Ausführung, ein massiver Eingriff in die historische Substanz. Da die Zuluft und die Fortluft raumweise mit dem Außenraum verbunden werden müssen, ergibt sich an der Außenseite der Fassade eine hohe Sichtbarkeit und Beeinflussung des historischen Fassadenbildes.

Zentrale Lüftungsanlagen sind projektabhängig möglich. Wenn sie erlaubt sind, sollten so wenige Räume als möglich mit den Lüftungsanlagen in Berührung kommen. So wurde in einem ersten Entwurf für die Schule die Lüftungsanlage in den Gang gelegt und dann in die jeweiligen Räume geführt. Hier gab es von den Vertretern des Bundesdenkmalamtes ein klares Statement, dass die großen Dimensionen der Lüftungsrohre sowie der Abzweiger in die Klassenräume die Wirkung des Ganges empfindlich stören würde.

Daraufhin wurde eine Leitungsführung über die Klassenräume entwickelt. In den Klassenräumen können die Rohre durchaus sichtbar dargestellt werden, da sie eine wesentlich geringere Beeinträchtigung des Erscheinungsbildes der Räume bedeuten als im Gangsystem. Die Vertreter des BDA vertraten die Ansicht, dass wenn ein neues modernes Element wie eine Lüftungsanlage in ein historisches Gebäude implementiert wird, dann kann diese auch gezeigt werden, wenn der Denkmalcharakter der betroffenen Bereiche nicht beeinträchtigt wird. Je nach Gestaltungskonzept sind grundsätzlich alle Farbvarianten denkbar. Auf die Ausformulierung der nach Außen sichtbaren Lüftungselemente muss besondere Beachtung geschenkt werden. So sollten Ansaug- und Ausblaselemente über Dach mit historischen-geformten Dachgaupen überbaut werden und so nach Außen kaum ablesbar sein.

3.4.6 Lüftungskonzept

Durch den Einbau einer Lüftungsanlage kann die Raumluftqualität in den Klassenräumen deutlich verbessert werden. Die Wirksamkeit der Fensterlüftung ist wesentlich von den Nutzern abhängig, eine gleichbleibend hohe Raumluftqualität kann dadurch nur sehr schwer realisiert werden. Mit einer zentralen Lüftungsanlage mit hochwirksamen Wärmerückgewinnungssystemen sollen die Wärmeverluste durch Lüftung reduziert werden. Die Wärmeverluste des Gebäudes durch Transmission werden weiterhin vom bestehenden Heizungssystem gedeckt.

Lüftungszentrale

Zur Erreichung des geforderten Wärmerückgewinnungsgrades wurde ein Lüftungsgerät des Herstellers Menerga gewählt. Das System Resolair Regenerativ - Energieaustauscher gehört zu den Klimageräten mit den zurzeit höchsten bekannten Temperaturwirkungsgraden. Das Gerät, Resolair Regenerativ-Energieaustauscher, enthält zwei Wärmepakete mit hochsensibler Akkumulatorenmasse, durch die Außen- und Fortluft wechselweise gefördert wird. Die Akkumulatorenmasse hat die Eigenschaft, Wärme aus einem Wärmeluftstrom sehr schnell aufzunehmen und diese genauso schnell an einen kalten Luftstrom wieder abzugeben. Vor und hinter den Paketen ist je ein Klappensystem angeordnet. Das innere Klappensystem wird durch Elektromotoren betrieben. Das äußere Klappensystem arbeitet dynamisch. Die Ventilatoren im Zuluft- und Abluftteil fördern gleichzeitig warme Fortluft durch das eine und kalte Außenluft durch das andere Wärmepaket. In Intervallen von ca. einer Minute wird der Luftstrom durch das innere Klappensystem umgelenkt. Die Dynamikkappen auf der Außenluftseite bewirken eine Gleichrichtung der Luftströme. Durch die wechselnde Beaufschlagung der Wärmepakete wird die Wärme der Abluft fast vollständig auf die kalte Außenluft übertragen. Zusätzlich kann mit einer Feuchterückgewinnung von 45 – 65 % gerechnet werden. In Zyklus 1 lenkt das motorische Klappensystem die Abluft über den Akkumulator 1 und heizt diesen auf (Abb. (138)). Gleichzeitig strömt kalte Außenluft durch den Akkumulator 2, in dem sie mit der im vorhergehenden Zyklus gespeicherten Wärme aufgeheizt wird. In Zyklus 2 wird die Außenluft durch die im Akkumulator 1 gespeicherte Wärme aufgeheizt. Die Abluft heizt nun den entwärmten Akkumulator 2 auf und bereitet den nächsten Zyklus vor (Menerga GmbH, 2011).

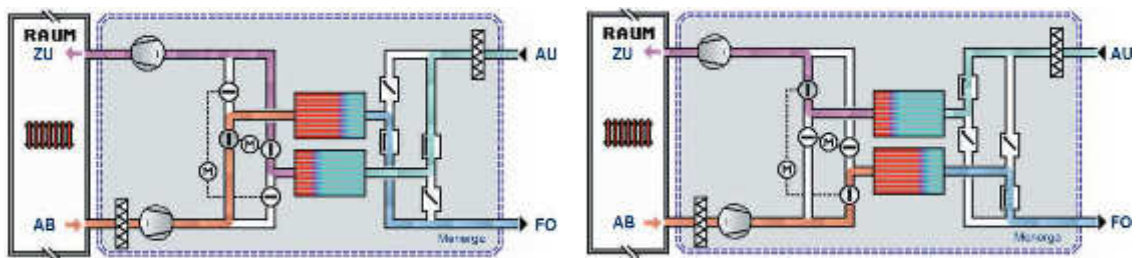


Abb. (138) schematische Darstellung hocheffiziente regenerative Wärmerückgewinnung, links: Zyklus 1 und rechts: Zyklus 2 (Menerga GmbH, 2011)

Luftvolumenströme

Die Ermittlung der Luftmengen für eine mechanische Be- und Entlüftung erfolgte nach der aus den vorliegenden Bestandsplänen erhobenen Raumkubatur und einem 2-fachen Luftwechsel gemäß OIB-Richtlinie 6 (OIB (c), 2007). Wie in Abb. (139) zu sehen ist, ergibt sich für die Summe der Räume ein Gesamtluftvolumenstrom von 5.120 m³/h.

Raumaufstellung VS St. Peter	BESTAND												
	1. Obergeschoss						2. Obergeschoss						
Raumbezeichnung	Klasse	Klasse	Klasse	Gruppen raum	Gruppen raum	Klasse	Klasse	Klasse	Klasse	Gruppen raum	Gruppen raum	Klasse	
Fläche [m²]	74,50	71,76	77,87	30,80	30,67	57,28	75,37	70,93	77,26	30,80	30,67	60,07	688
Raumhöhe [m]	2,60	2,60	2,60	2,60	2,60	2,60	2,60	2,60	2,60	2,60	2,60	2,60	31,20
Raumhöhe [m]	3,85	3,78	3,77	3,77	3,77	3,77	3,82	3,74	3,58	3,64	3,64	2,81	3,67
Volumen [m³]	193,7	186,6	202,5	80,1	79,7	148,9	196,0	184,4	200,9	80,1	79,7	156,2	1788,75
Volumen [m³]	287	271	294	116	116	216	288	265	277	112	112	169	2.522
Luftwechsel [1/h]	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Zuluft Lüftungsanlage [m³/h]	580	550	590	240	240	440	580	540	560	230	230	340	5.120
Abluft Lüftungsanlage [m³/h]	580	550	590	240	240	440	580	540	560	230	230	340	5.120

Abb. (139) Aufstellung der erforderlichen Luftmengen nach OIB-Richtlinie 6 (OIB (c), 2007)

Umfangreiche Messungen durch Menerga haben Temperaturwirkungsgrade von über 90% ergeben, daher kann in den meisten Fällen auf eine Nacherwärmung der Zuluft verzichtet (Menerga GmbH, 2011). Durch die unvermeidlichen Energieeinträge der Ventilatoren kann ab einem Temperaturwirkungsgrad von 93% eine verlustfreie Lüftungsbilanz nachgewiesen werden. Durch diesen Ansatz ergibt sich ein scheinbarer Temperaturwirkungsgrad von 100%, die Zulufttemperatur befindet sich ohne zusätzliche Wärmequelle auf demselben Temperaturniveau wie die Raumtemperatur.

	°C	η_{Temp}		°C	kW Vent.	m³/h	Δt		°C	η_{Temp}
t_{AUL}	-12,0	0,93	t_{WTA}	18,7	2,25	5.120	1,3	t_{ZUL}	20,0	1,00
t_{FOL}	-9,8		t_{WTE}	20,9	1,57	5.120	0,9	t_{ABL}	20,0	

Abb. (140) Betrachtungsansatz für verlustfreie Lüftungsbilanz

Abb. (140) zeigt, wie die Zuluft auf dasselbe Temperaturniveau wie die Abluft gebracht werden kann. Bei einer minimalen Außentemperatur von -12 °C kann die Luft durch das Wärmerückgewinnungssystem mit einem Temperaturwirkungsgrad von 93 % auf 18,7 °C erwärmt werden. Der komplett im Luftstrom sitzende Zuluftventilator bewirkt durch Verluste eine Temperaturerhöhung der Zuluft um 1,3 °C, wodurch sich eine Zulufttemperatur von 20 °C ergibt.

Schematische Darstellung

In Abb. (141) ist die Lüftungsanlage mit Kanalführung und Klassenräumen schematisch dargestellt. Die Lüftungszentrale ist im Technikraum im Erdgeschoss untergebracht, über zentrale Steigstränge wird die Zu- und Abluft in die einzelnen Geschosse und von dort in den Klassenräumen verteilt.

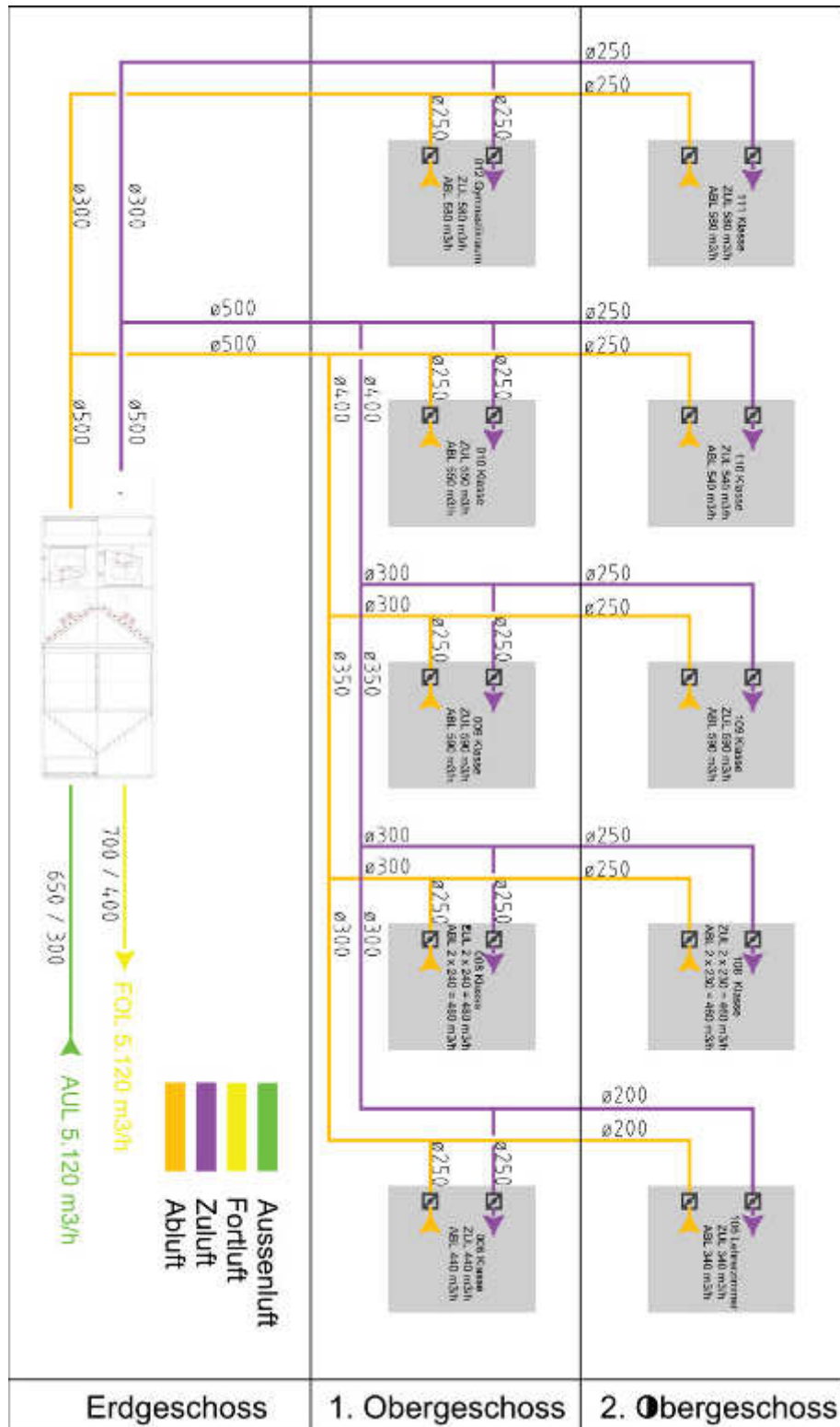


Abb. (141) schematische Darstellung des zentralen Lüftungskonzepts



Abb. (142) Leitungsführung in der Volksschule St. Peter in den Grundrissen und Schnitten

In Abb. (143) sind die Laufmeter der jeweilig benötigten Bauteile des Lüftungskanalsystems inklusive der erforderlichen Dimensionen angeführt. Die Luftgeschwindigkeiten in im Kanalnetz liegen (in den Verteilsträngen zu den Klassen) zwischen 2,5 und 3,4 m/s.

Position	Anzahl	Einheit	Position	Anzahl	Einheit
Düsen für DN 200	12	lfm	Spiralfalzrohr 500	24	lfm
Düsen für DN 250	60	lfm	Spiralfalzrohr 400	36	lfm
Drosselklappe 200	2	Stk	Spiralfalzrohr 350	24	lfm
Drosselklappe 250	18	Stk	Spiralfalzrohr 300	90	lfm
Kanal 100-750mm	22	m ²	Spiralfalzrohr 250	167	lfm
Kanalformstücke 100-750mm	15	m ²	Spiralfalzrohr 200	20	lfm

Abb. (143) Übersicht Kanallängen und –durchmesser

Kostenschätzung

Auf Basis der Planung wurde auch eine grobe Kostenschätzung für Lüftungszentrale und Verrohrung durchgeführt. Dafür wurden Angebote eingeholt bzw. die Kosten der notwendigen Lüftungsbauteile aus Preislisten entnommen. Die Investitionskosten für diese Anlage können daher mit etwa € 75.000,- angenommen werden (Abb. (144)).

Position	Einheit	Anzahl	Stückpreis	Preis exkl.	Position	Einheit	Anzahl	Stückpreis	Preis exkl.
Lüftungsgerät	Stk	1	€ 47 352	€ 47 352	Kanal 100-750mm	m ²	22	€ 35	€ 770
Düsen für DN 200	Stk	12	€ 23	€ 276	Kanalformstücke 100-750mm	m ²	15	€ 40	€ 600
Düsen für DN 250	Stk	60	€ 25	€ 1 500	Spiralfalzrohr 500	lfm	24	€ 103	€ 2 472
Drosselklappe 200	Stk	2	€ 50	€ 100	Spiralfalzrohr 400	lfm	36	€ 86	€ 3 096
Drosselklappe 250	Stk	18	€ 60	€ 1 080	Spiralfalzrohr 350	lfm	24	€ 76	€ 1 824
Wetterschutzgitter	Stk	2	€ 100	€ 200	Spiralfalzrohr 300	lfm	90	€ 63	€ 5 670
					Spiralfalzrohr 250	lfm	167	€ 48	€ 8 016
					Spiralfalzrohr 200	lfm	20	€ 33	€ 660
					Summe				€ 73 616

Abb. (144) Aufschlüsselung Kosten zentrale Lüftungsanlage

3.4.7 Energieeinsparungspotenzial durch Wärmerückgewinnung

Die Lüftungsanlage bewirkt eine deutliche Verbesserung der Raumluftqualität durch kontinuierlichen Frischlufteintrag. Zusätzlich werden die Lüftungswärmeverluste minimiert. Mit Hilfe einer Berechnung auf Basis von Wetterdaten soll das Einsparungspotential an Lüftungswärmeverlusten abgeschätzt werden.

Randbedingungen

Als Basis wird Fensterlüftung betrachtet. Die OIB-Richtlinie 6 definiert hierbei einen 1,2-fachen Luftwechsel, wobei die Energie zur Aufwärmung der Frischluft auf das Temperaturniveau des Raumes als Energieverlust betrachtet werden kann. Dem gegenüber steht ein zweifacher Luftwechsel der Lüftungsanlage ohne erforderliche Nacherwärmung der Zuluft. Hier muss jedoch der Energieaufwand für die Ventilatoren eingerechnet werden.

Auf Grundlage des Testreferenzjahres Graz aus dem Programm TRNSYS wurde dem stündlichen Temperaturverlauf ein Nutzungsprofil gegenübergestellt, in welchem die tatsächlichen Unterrichtszeiten hervorgehoben wurden. Dazu wurden auch sämtliche Sonn- und Feiertage sowie die Ferienzeiten ermittelt. Abb. (145) zeigt die Außenlufttemperatur für das Testreferenzjahr, Standort Graz sowie die Zeiten der Nutzung. Wobei das Nutzungsprofil die Stillstandszeiten an den Wochenenden, sowie Feiertagen und Ferien miteinbezieht.

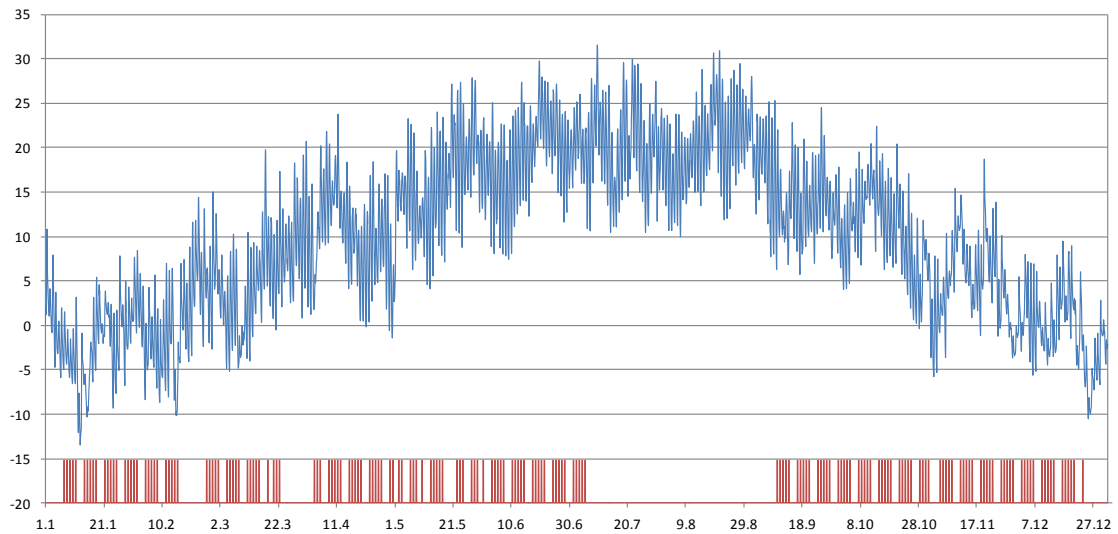


Abb. (145) *Jahrestemperaturverlauf der Außenluft des Testreferenzjahres Graz (TRNSYS) und Darstellung des Nutzungsprofils*

Wärmeverlustberechnung

Auf Basis dieser Daten wurde eine energetische Gegenüberstellung von Fensterlüftung und Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung vorgenommen. Bei Vorliegen einer negativen Temperaturdifferenz zwischen Innenraum (20°C gemäß OIB-Richtlinie 6) und Umgebung tritt ohne vollständige Wärmerückgewinnung ein Energieverlust auf, welcher stündlich bilanziert wird (Abb. (146)). Die OIB-Richtlinie 6 definiert einen 1,2-fachen Luftwechsel bei Fensterlüftung, dieser trägt aufgrund nicht möglicher Wärmerückgewinnung zur Gänze zum Energieverlust bei. Bei einem 2-fachen Luftwechsel (mechanisch) ohne Wärmerückgewinnung wäre dieser Wert entsprechend höher. In der vorliegenden Berechnung wurde die Solarstrahlung nicht berücksichtigt.

hour	date time	weekday	amb. temp. °C	using/ class	using/ day	using/ time	using/ sum	losses kWh 1,2/h	losses kWh 2/h
8 544	22.12.13 23:00	Sonntag	2.3	1	0	0	0	0.0	0.0
8 545	23.12.13 0:00	Montag	1.7	1	1	0	0	0.0	0.0
8 546	23.12.13 1:00	Montag	0.7	1	1	0	0	0.0	0.0
8 547	23.12.13 2:00	Montag	-0.5	1	1	0	0	0.0	0.0
8 548	23.12.13 3:00	Montag	-1.3	1	1	0	0	0.0	0.0
8 549	23.12.13 4:00	Montag	-1.8	1	1	0	0	0.0	0.0
8 550	23.12.13 5:00	Montag	-2.3	1	1	0	0	0.0	0.0
8 551	23.12.13 6:00	Montag	-2.7	1	1	0	0	0.0	0.0
8 552	23.12.13 7:00	Montag	-2.9	1	1	0	0	0.0	0.0
8 553	23.12.13 8:00	Montag	-2.9	1	1	1	1	24.0	40.0
8 554	23.12.13 9:00	Montag	-2.7	1	1	1	1	23.9	39.8
8 555	23.12.13 10:00	Montag	-2.6	1	1	1	1	23.7	39.5
8 556	23.12.13 11:00	Montag	-2.5	1	1	1	1	23.6	39.4
8 557	23.12.13 12:00	Montag	-2.4	1	1	1	1	23.5	39.2
8 558	23.12.13 13:00	Montag	-1.8	1	1	0	0	0.0	0.0
8 559	23.12.13 14:00	Montag	-1.1	1	1	0	0	0.0	0.0
8 560	23.12.13 15:00	Montag	-1.2	1	1	0	0	0.0	0.0
8 561	23.12.13 16:00	Montag	-1.6	1	1	0	0	0.0	0.0
8 562	23.12.13 17:00	Montag	-2.1	1	1	0	0	0.0	0.0
8 563	23.12.13 18:00	Montag	-2.6	1	1	0	0	0.0	0.0
8 564	23.12.13 19:00	Montag	-3.2	1	1	0	0	0.0	0.0
8 565	23.12.13 20:00	Montag	-3.8	1	1	0	0	0.0	0.0
8 566	23.12.13 21:00	Montag	-4.4	1	1	0	0	0.0	0.0
8 567	23.12.13 22:00	Montag	-5.0	1	1	0	0	0.0	0.0
8 568	23.12.13 23:00	Montag	-5.5	1	1	0	0	0.0	0.0
8 569	24.12.13 0:00	Dienstag	-6.0	0	1	0	0	0.0	0.0
Sum/year								935	17 715

Abb. (146) *Auszug stundenweise Wärmeverluste in Abhängigkeit des stündlichen Luftwechsels*

Abb. (147) zeigt das Ergebnis dieser Simulation. Bei einer Nutzungsdauer von 1.825 h pro Jahr ist für die Erwärmung der Außenluft bei Außenlufttemperaturen von unter 20 °C, die mittels Fensterlüftung zugeführt wird, eine jährliche Energiemenge von etwa 17.000 kWh_{th} anzusetzen. Im Gegensatz dazu ist bei der Lüftungsanlage keine Nacherwärmung der Zuluft notwendig, dafür muss jedoch eine Energiemenge von etwa 7.000 kWh_{el} für die Ventilatoren eingerechnet werden.

	1,2 - facher Luftwechsel			2 - facher Luftwechsel		
Bezeichnung	Fenster	Lüftungs-anlage	Einheit	Fenster	Lüftungs-anlage	Einheit
Luftwechsel:	1.2	2	1/h	2	2	1/h
Zulufttemperatur:	variabel	20	°C	variabel	20	°C
Nutzungsdauer:	1 825	1 825	h/a	1 825	1 825	h/a
Energie Erwärmung Zuluft:	17 000	0	kWh _{th} /a	28 400	0	kWh _{th} /a
Energie Antrieb Anlage:	0	7 000	kWh _{el} /a	0	7 000	kWh _{el} /a

Abb. (147) *Ergebnis der energetischen Abschätzung mit 1,2-fachen und 2-fachen Luftwechsel bei Fensterlüftung und 2-fachen Luftwechsel bei mechanischer Lüftung*

Die Auflistungen zeigen die Unterschiede, die durch den variierten Luftwechsel auftreten. Die Gegenüberstellung soll einen Vergleich ermöglichen, bei dem die Luftwechselzahlen sowohl bei Fensterlüftung als auch bei einer mechanischen Lüftungsanlage gleich sind. Allerdings wird darauf hingewiesen, dass aufgrund der meist auf die Pausen begrenzten Fensterlüftung ein geringerer Luftwechsel als bei einer Lüftungsanlage zu erwarten ist. Der Unterschied des Wärmeverlustes durch Fensterlüftung liegt bei 11.400 kWh_{th}.

Für eine grobe Betriebskostenabschätzung wird als Strompreis 0,19 €/kWh und als Wärmepreis 0,08 €/kWh (Wirkungsgrad berücksichtigt) angenommen (E-Control, 2013). Dabei ergeben sich Kosten durch Wärmeverlust für den ersten Fall mit 1,2-fachen Luftwechsel (Fensterlüftung) von 1.360 €/a welche den Kosten für Ventilatoren von 1.330 €/a gegenüberstehen. Somit würden die Stromkosten zum Betrieb der Ventilatoren nur knapp unter den Kosten des dadurch eingesparten Wärmeverlustes liegen.

Im Falle der Gegenüberstellung eines zweifachen Luftwechsels bei Fensterlüftung und eines zweifachen Luftwechsels bei Einsatz einer mechanischen Lüftungsanlage ergeben sich ebenfalls die Stromkosten von 1.330 €/a zum Betrieb der Ventilatoren, allerdings würden dabei insgesamt 2.272 €/a an Kosten, bedingt durch den reduzierten Wärmeverlust, eingespart werden.

Das Ergebnis der Abschätzung in Abb. (147) zeigt, dass durch eine Lüftungsanlage keine Kosteneinsparungen zu erwarten sind, sondern die Kosteneinsparungen durch Wärmerückgewinnung in etwa durch die Kosten für Antriebsenergie der Ventilatoren aufgewogen werden. Zusätzliche fallen Kosten für Wartungsarbeiten (z.B. Filtertausch) an. Die Raumluftqualität kann damit jedoch deutlich verbessert werden. Im folgenden Kapitel werden Abschätzungen zur Verbesserung der CO₂ Situation in den Klassen dargelegt.

3.4.8 CO₂-Konzentrationen im Raum

Die CO₂-Konzentration ist ein wesentlicher Einflussfaktor für die Behaglichkeit in Innenräumen. Erhöhte Konzentrationen stellen zwar kein unmittelbares Gesundheitsrisiko dar, Befindlichkeitsstörungen wie beispielsweise Beeinträchtigung von Leistungsfähigkeit, Konzentration und Kopfschmerzen können jedoch auftreten. Außerdem zeigen diverse Studien einen deutlichen Zusammenhang der CO₂-Konzentration mit Phänomenen, die meist mit dem Sammelbegriff Sick-Building-Syndrom beschrieben werden (z.B. Reizungen und Trockenheit von Schleimhäuten, Müdigkeit, Kopfschmerzen) (Boos, et al., o.A.). Abb. (148) zeigt die Korrelation zwischen der CO₂-Konzentration im Raum über der CO₂-Konzentration in der Außenluft mit der Unzufriedenheit der Personen im Raum nach (Bienfait, et al., 1992).

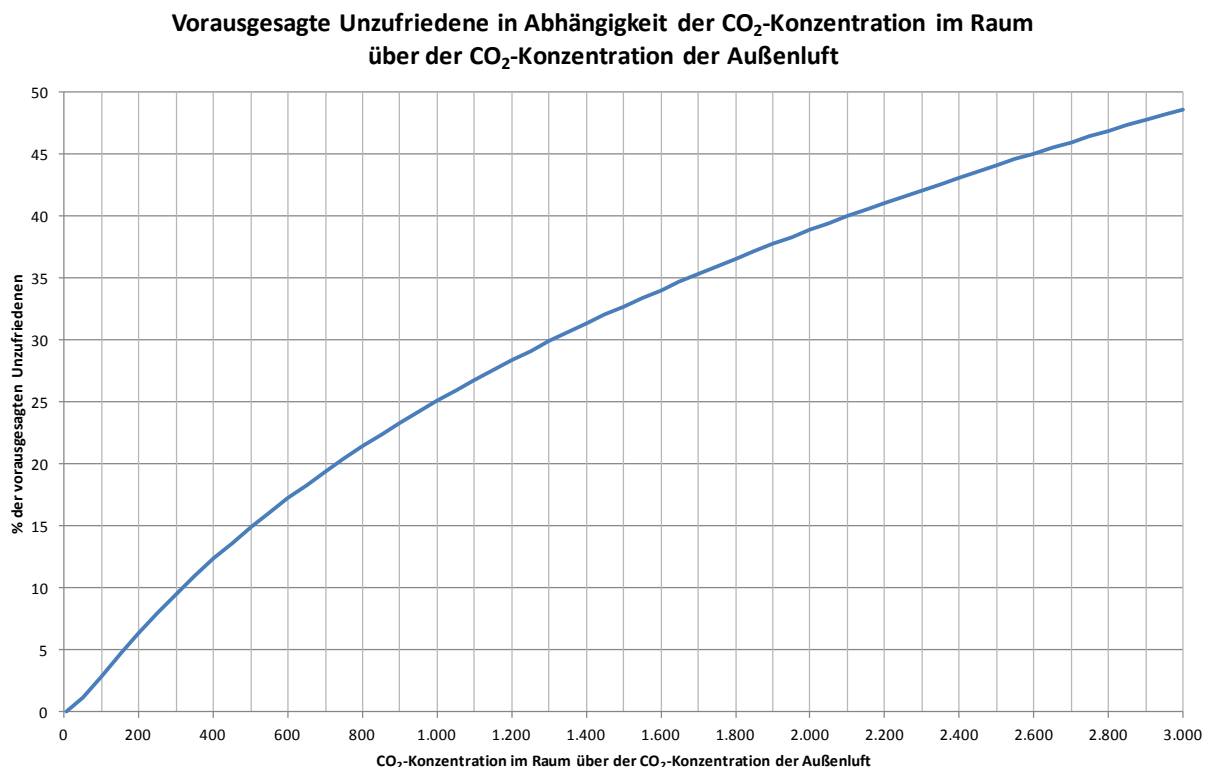


Abb. (148) Anzahl der unzufriedenen Personen in einem Raum in Abhängigkeit der CO₂-Konzentration nach (Bienfait, et al., 1992)

Zur Beurteilung der Verbesserung der Raumluftqualität wurde mit Hilfe eines Simulationsprogramms zur Berechnung der CO₂-Konzentration in Innenräumen und Schulen (Twrdik, 2002) die Unterschiede dargestellt. Um die Unterschiede deutlich zu machen, wurde einerseits der Klassenraum im 2. Obergeschoss mit dem geringsten Raumvolumen gewählt. Als zweiter Raum wurde einer der drei etwa gleich großen Klassenräume im 1. Obergeschoss gewählt. Für beide Varianten werden folgende Grunddaten zur Verfügung gestellt:

Es wird von „durchschnittlich“ dichten Fenstern ausgegangen. Die Personenbelegung wird mit 25 Kindern im Alter von 10 Jahren und einer erwachsenen Lehrkraft angesetzt. Der Unterricht beginnt um 8 Uhr und wird mit Unterrichtseinheiten zu je 45 Minuten durchgeführt. Zwischen den Unterrichtseinheiten liegen 5 Minuten lange Pausen in denen die Fenster geöffnet werden. Zusätzliche Pausen werden von 9:40 h bis 10:00 h und 11:45 h bis 12:00 h mit Öffnung aller Fenster angesetzt. Unterrichtsschluss ist 13:40. Der Luftwechsel der Lüftungsanlage wird als 2-fach angenommen.

Raum 1 / Klasse 2. OG / 60 m² Raumfläche / 2,8 m Raumhöhe

Wie in Abb. (149)– oben deutlich zu sehen ist, steigt die CO₂-Konzentration im Klassenraum deutlich über 2.000 ppm an, der gleitende Stundenmittelwert liegt in einem Bereich zwischen 1.500 und 2.500 ppm. (Gleitende Stundenmittelwerte werden ermittelt, indem die Menge der gleitenden Mittelwerte iterativ über einen Ausschnitt der CO₂-Konzentration berechnet werden). Dieser verwendete Ausschnitt wird überlappend verschoben, d.h. wiederholt wird der erste Wert aus dem betrachteten Ausschnitt gestrichen und der erste Wert nach dem Ausschnitt hinzugenommen. Der Maximalwert der CO₂-Konzentration wird am Ende des Unterrichts erreicht und beträgt 3.185 ppm. In Abb. (149) - unten ist der gleiche Klassenraum, jedoch mit Lüftungsanlage. Deutlich ist zu erkennen, dass die CO₂-Konzentration kaum über 1.500 ppm ansteigt, der Maximalwert mit 1.582 ppm wird wieder am Ende der Unterrichtszeit erreicht.

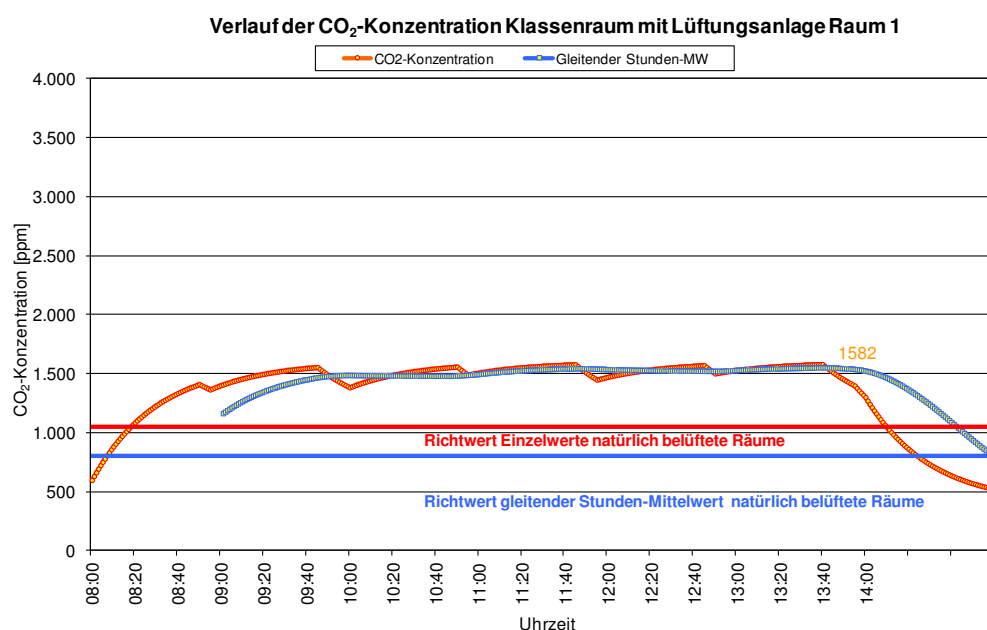
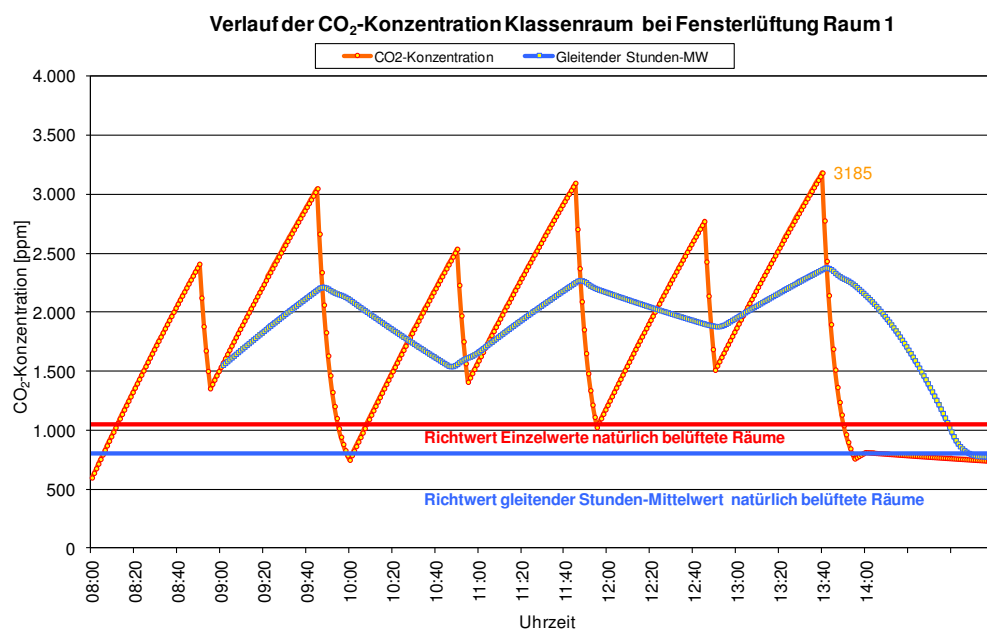


Abb. (149) Verlauf der CO₂-Konzentration im Raum 1: oben bei Fensterlüftung und unten mit Lüftungsanlage (Twrdik, 2002)

Raum 1: Klasse 2. OG / 72 m² Raumfläche / 3,8 m Raumhöhe

In Abb. (150) – oben ist die Simulation der CO₂-Konzentration bei gleicher Belegung, aber deutlich höherem Raumvolumen angegeben. Dadurch liegt die durchschnittliche CO₂-Konzentration nur bei etwa 1.400 ppm, der Spitzenwert beträgt 2.133 ppm. Hier ist deutlich zu sehen, wie wichtig Unterrichtsräume mit großen Volumina bei reiner Fensterlüftung sind. Die Abb. (150) - unten zeigt, dass auch bei Nutzung einer Lüftungsanlage das Raumvolumen einen entscheidenden Einfluss auf die Raumluftqualität hat. Hier liegt der Mittelwert der CO₂-Konzentration bei etwa 1.100 ppm, das Maximum beträgt 1.135 ppm am Ende der Unterrichtsperiode.

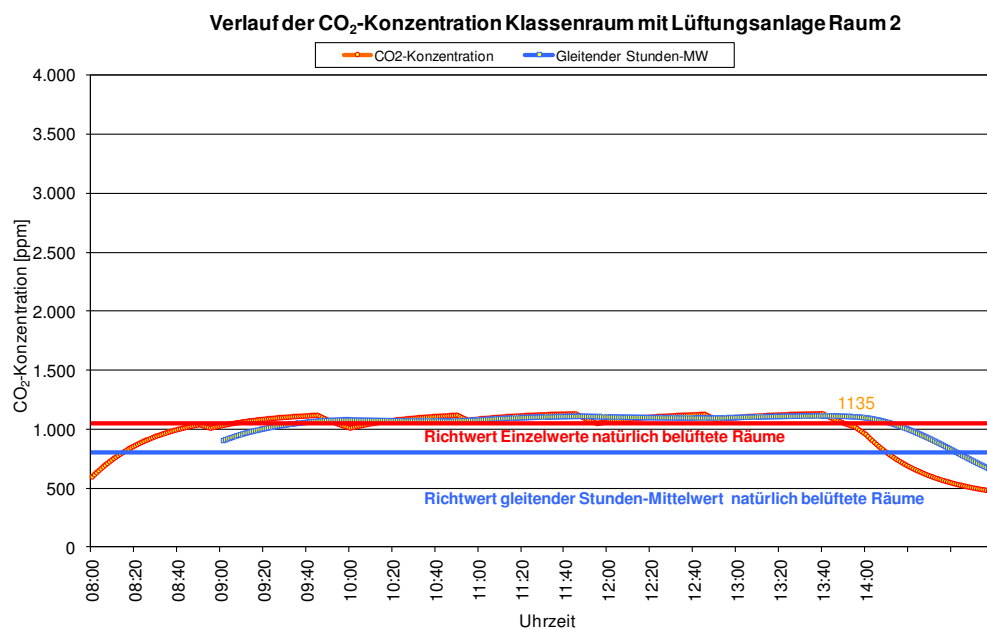
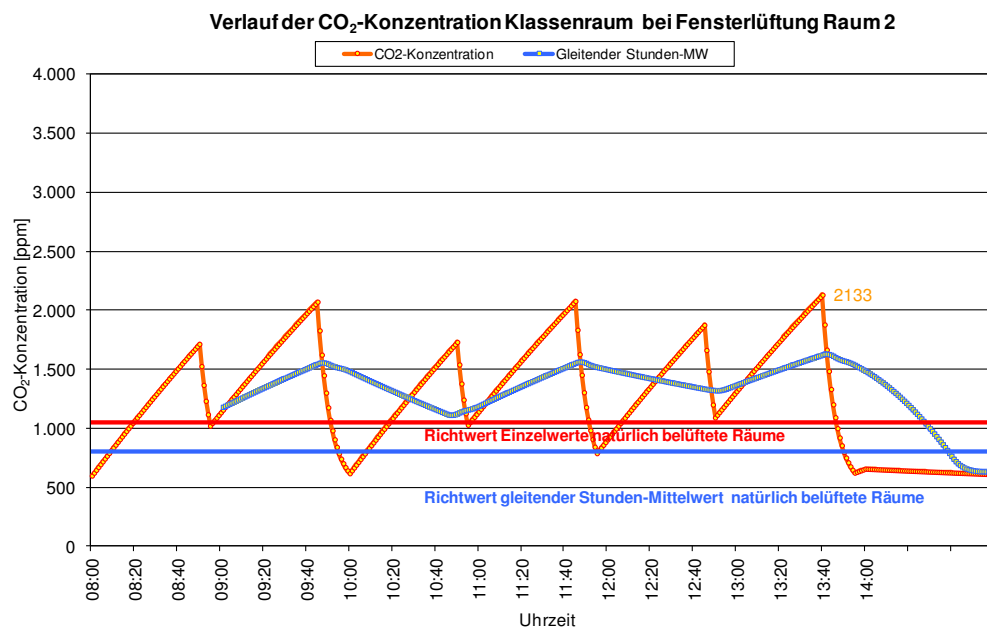


Abb. (150) Verlauf der CO₂-Konzentration im Raum 2: oben bei Fensterlüftung und unten mit Lüftungsanlage (Twrdik, 2002)

3.4.9 Fazit

Die durchgeführten Planungsarbeiten und Berechnungen haben gezeigt, dass mit Hilfe einer Lüftungsanlage die Raumlufthqualität in Klassenräumen deutlich verbessert werden kann. Bei Fensterlüftung sind die auftretenden durchschnittlichen und maximalen CO₂-Konzentrationen deutlich höher als bei Lüftung über eine Lüftungsanlage. Dabei wurde den Berechnungen zu Grunde gelegt, dass nach jeder Unterrichtseinheit und während der Pausen alle Fenster voll geöffnet werden. Ob dies im tatsächlichen Schulbetrieb immer durchgeführt wird darf bezweifelt werden.

Die Gegenüberstellung des Wärmeverlustes bei Fensterlüftung (mit zwei verschiedenen Luftwechselzahlen) und der Lüftung mittels mechanischem Lüftungsgerät diente einer groben Abschätzung der Wirtschaftlichkeit der Anlage. Allerdings sollte gleich zu Beginn festgestellt werden, dass die Wirtschaftlichkeit der Lüftungsanlage allein kein entscheidendes Kriterium sein darf, da die verbesserte Luftqualität und die daraus resultierenden Vorteile nicht monetär abgebildet werden können.

Es wurden zwei Berechnungen bzgl. des Lüftungswärmeverlustes durchgeführt, welche einerseits eine realistische Annahme des Luftwechsels beinhaltet - den 1,2-fachen Luftwechsel bei Fensterlüftung (Frischlufzufuhr während den Pausen) - und einer realistisch weniger umsetzbaren Luftwechselzahl von 2 bei Fensterlüftung (Lüften auch während der Unterrichtsstunde). Diese Werte wurden einem konstanten 2-fachen Luftwechsel der Lüftungsanlage gegenübergestellt.

Die Betriebskostensituation zeigt im Falle des 1,2-fachen Luftwechsels bei Fensterlüftung, dass die Energieeinsparung durch Wärmerückgewinnung durch die Betriebskosten der Anlage in etwa aufgewogen werden – somit verursacht eine Lüftungsanlage im Vergleich zur Fensterlüftung nur Mehrkosten in den Bereichen Investition und Wartung.

Im Falle des 2-fachen Luftwechsels würde sich ein anderes Bild ergeben, da dabei die Einsparungen durch die Wärmerückgewinnung und die daraus resultierenden reduzierten Wärmeverluste deutlich höher liegen. Allerdings muss dieser Vergleich kritisch betrachtet werden, da die Fensterlüftung während der Schulstunde aus diversen Gründen (Lärmbelästigung, Zugluftproblematik,...) selten umgesetzt werden kann, weshalb die Variante 1,2-facher Luftwechsel eher der Realität entspricht.

Wie die durchgeführten Berechnungen gezeigt haben, ist das Raumvolumen ebenfalls ein weiterer entscheidender Faktor für die Raumlufthqualität.

Die Investitionskosten einer Lüftungsanlage mit hochwirksamer Wärmerückgewinnung sind aufgrund der angenommenen neuwertigen Technik für das untersuchte Referenzgebäude sehr hoch (Kostenschätzung ca. € 75.000,-) und auch die Einbindung in die Bausubstanz erfordert denkmalschutzbedingt erhöhten Planungsaufwand. Grundsätzlich muss im vorliegenden Fall eine zentrale Lüftungsanlage aus Sicht des Denkmalschutzes einer dezentralen Anlage, vorgezogen werden, da die Implementierung dezentraler Lüftungssysteme aufgrund der Beeinträchtigung der Aussenfassade durch Zuluft- und Abluftöffnungen wenig Chancen auf genehmigungsfähigkeit eingeräumt wurden.

In Anbetracht dieser Tatsachen muss also die Frage gestellt werden, welchen Wert einer deutlichen Verbesserung des Raumlufthzustandes in den Klassenräumen beigemessen wird.

3.5 Auswirkungen thermischer Bauteilkonditionierung auf das thermische Raumverhalten

Daniel Brandl, Thomas Mach, Richard Heimrath

Die Aufarbeitung des derzeitigen publizierten Wissensstandes über thermische Bauteilkonditionierung im Sanierungsfall hat deutlich aufgezeigt, dass für das Verständnis der thermischen und hygrischen Vorgänge in thermisch aktivierten Wänden noch zahlreiche Wissensdefizite bestehen. Insbesondere die Beeinflussung der rauminternen thermischen Behaglichkeit durch klimatische Randbedingungen, die Konfiguration des Innenraumes und der Ausbildung der thermischen Anlage entzieht sich bisher weitgehend einer quantitativen Analyse. Im vorliegenden Kapitel wird auf eben diese Beeinflussung eingegangen. Im Zuge diverser Renovierungsmaßnahmen im Franziskanerkloster im Zentrum von Graz wurde unter anderem ein neues Wärmeverteilsystem installiert. Es handelt sich dabei um in die Wand eingestemmte Heizungsrohre welche in die äußerst massiven Mauerverbände integriert wurden. Abb. (151) zeigt im linken Bild eine thermografische Aufnahme nach der Inbetriebnahme der thermischen Konditionierung. Anhand der Verteilung des Temperaturniveaus läßt sich die Verlegeform der Heizrohre gut nachvollziehen. Im rechten Bild sind die Verlegeschlitzte im Zuge der baulichen Integration dargestellt. Die vollinhaltliche Untersuchung findet sich im Annexbericht 2.5 – 3.5: Bauteiltemperierung, Konzepte und Simulation, siehe Kapitel 6.3.



Abb. (151) Thermografische Aufnahme nach der Inbetriebnahme und Verlegeschlitzte im Zuge der baulichen Integration. Datenquelle des Bildmaterials: Thermografiebericht Projekt „denkmalaktiv I“

3.5.1 Zielsetzung und Referenzsystem

Das Ziel der durchgeführten Untersuchungen liegt in der Erstellung eines Simulationsmodells zur Abbildung der im Franziskanerkloster umgesetzten Maßnahmen. Im Zentrum der Betrachtungen liegt das Generieren von Erkenntnissen in Bezug auf die Wirkungsweise derartiger thermischer Massenkonditionierungen. Ein nach Süden gerichteter Raum im zweiten Obergeschoss des Südtraktes des Franziskanerklosters wird als bauliche Grundlage (Raumgeometrie und materielle Durchbildung) für die Gestaltung des Referenzsystems herangezogen. Abb. (152) zeigt die Lage des Vergleichsraums, der eine Nutzfläche von 26,5 m² und eine Raumhöhe von 3,33 m (Nettovolumen von 88,25 m³) aufweist. Die Außenwand (70 cm) und die Trennwände zu den seitlichen angrenzenden Nachbarräumen sind mit einer Stärke von 38 cm angesetzt. Die Trennwand zum Erschließungsgang variiert zwischen 55 cm und 93 cm.

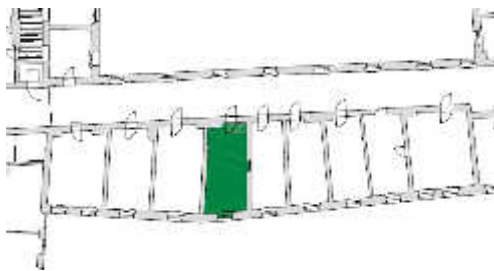


Abb. (152) (a) Ausschnitt vom Grundriss des 2. Stockwerks des Südtraktes des Franziskanerkloster mit dem für die Untersuchung ausgewählten Vergleichsraum (links) und Außenansicht des Südtrakts (rechts)

3.5.2 Simulationsaufbau und Szenariendefinition

Mit Hilfe der Software Gambit werden die geometrischen Strukturen erzeugt, die Volumen entweder als Festkörper oder als Fluid definiert, die Flächen vordefiniert und die für die Simulation erforderlichen Gitterzellen erzeugt. Die einzelnen Bauteilschichten werden, unter Berücksichtigung der Wärmeleitwerte der verschiedenen Materialien, vereinfacht als ein homogener Körper dargestellt. Das geometrische Modell berücksichtigt die Eingangstür des Vergleichsraums, durch die man in den Gang des Klostertrakts gelangt, um in der Simulation den Einfluss der Temperaturen, die in diesem Gang herrschen, miterfassen zu können, ebenso wie das Kastenfenster in der Außenwand als vereinfachtes Modell. Es besteht aus den Fensterrahmen, -gläsern, und dem sich zwischen den zwei Fenstern befindlichen Luftraum. Die Rohrleitungen des Heizsystems bestehen aus einem einfachen Rohr, das von einem fluiden Wärmeträgermedium durchströmt wird.

Für die Untersuchung werden vier verschiedene dreidimensionale Modelle für den Vergleichsraum erstellt - je eine Geometrie pro Art der Führung der Heizleitungen in der Verlegewand. Dabei wird grundsätzlich zwischen einer Verlegung des Vor- und des Rücklaufes ausschließlich in der Außenwand des Vergleichsraumes (Vertikalkreis) und einer Verlegung des Vorlaufes in der Außenwand und einer Verlegung des Rücklaufes in der Trennwand zum erschließenden Klostergang oder der Klostergangaußenwand (Horizontalkreis) unterschieden. Diese beiden Verlegesysteme werden in einer Ausprägung rein horizontal geführt oder in einer zweiten Ausprägung zusätzlich in vertikalen Schleifen verzogen um die Länge der wärmeabgebenden Heizrohre zu vergrößern. Aus Kombinationen dieser Verlegeformen ergeben sich die in Abb. (153) dargestellten vier Einbauvarianten der Heizleitungen. Der Rohrdurchmesser ist bei allen Varianten mit 0,02 m angesetzt.

Die so zusammengesetzten Einbauvarianten werden in der Folge einer Szenarienbewertung unterzogen. Die Kombination der verschiedenen Einbauvarianten mit verschiedenen Massenströmen und Temperaturniveaus im Heizrohr für Vor- und Rücklauf, verschiedenen Außentemperaturen und verschiedenen Wandmaterialien führt zu dem in Abb. (154) dargestellten Szenarienbaum. Das Ziel dieser Auswertungen liegt im Aufzeigen der unterschiedlichen Sensitivitäten dieser Parameter auf das Simulationsergebnis.

Einbauvariante 1 (Horizontalschleife)

In der ersten Variante wird für den Simulationsraum die zum Raum liegende Fläche der Außenwand des Raums durch den Einbau einer Rohrleitung als Heizfläche aktiviert. Die Rücklaufleitung verläuft an der Nordfassade, die nicht im Simulationsmodell enthalten ist.

Auslegungsdaten: Rohrlänge Vorlauf: 5,16 m; Rohrlänge Rücklauf: 0,00 m

Einbauvariante 2 (Vertikalschleife)

Die nächste Variante der Rohrleitungsverlegung sieht zusätzlich zu der einen Leitung wie in Variante 1 eine weitere Leitung vor. In der oberen Leitung wird der Warmwasser-Vorlauf geführt, darunter befindet sich die Rücklaufleitung zum Pufferspeicher des Heizsystems.

Auslegungsdaten: Rohrlänge Vorlauf 5,16 m; Rohrlänge Rücklauf: 5,16 m

Einbauvariante 3 (Horizontalschleife mit Schlaufen)

In dieser Variante wird die Vorlaufleitung weiter variiert. Um die Fläche zum Wärmeaustausch in der Wand zu vergrößern, wird die Leitung in der Wand mehrmals umgelenkt. Die Rücklaufleitung bleibt dabei im Vergleich zu Einbauvariante 2 unverändert.

Auslegungsdaten: Rohrlänge Vorlauf: 5,16 m; Rohrlänge Rücklauf: 11,83 m

Einbauvariante 4 (Vertikalschleife mit Schlaufen)

In der vierten Variante wird eine weitere Fläche im Raum als Heizfläche aktiviert. Eine weitere Rohrleitung ist in die gangseitig orientierte Mauer integriert.

Auslegungsdaten: Rohrlänge Vorlauf: 11,83 m; Rohrlänge Rücklauf: 7,23 m

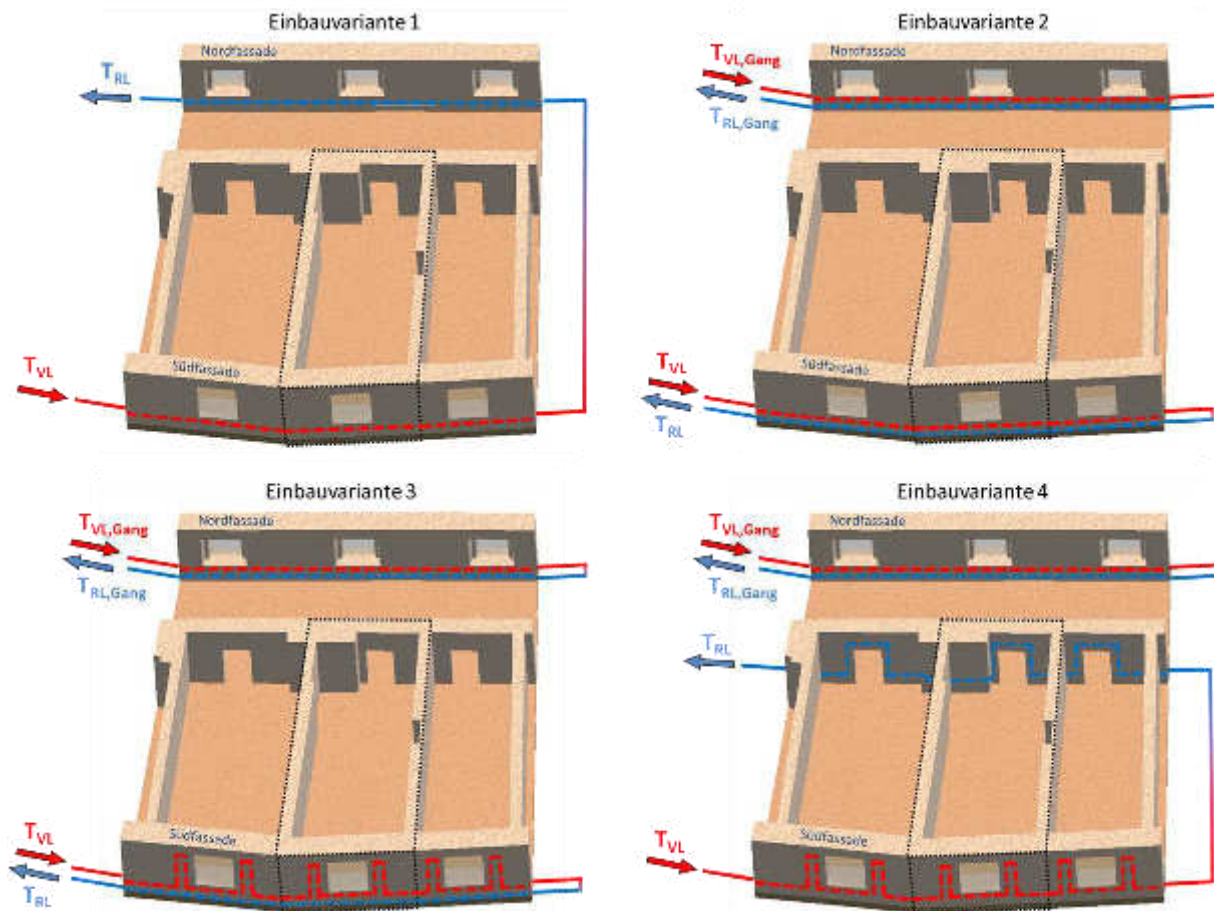


Abb. (153) schematische Darstellung der Einbauvarianten der Bauteilheizung

Nr.	Verlegeform (Heizfläche in [m²])	Massenstrom (Strömung [m/s])	Außentemperatur in [°C]	Vor- und Rücklauf- temperatur in [°C]		Wandmaterial	
	A _{Heiz}	V _{Heiz}	T _U	T _{VL}	T _{RL}		
Einbauvariante 1 (Horizontalschleife)							
1-01	Vorlauf (0.32 [m²])	0.5 [m/s]	-10 [°C]	60 [°C]	45 [°C]	Mischmauerwerk feucht	
1-02		1 [m/s]	-10 [°C]	60 [°C]	45 [°C]	Mischmauerwerk feucht	
1-03			-20 [°C]	45 [°C]	40 [°C]		
1-04			0 [°C]				
1-05				33 [°C]	28 [°C]		
1-06		0.5 [m/s]		60 [°C]	45 [°C]		
1-07	Vorlauf (0.32 [m²])	0.5 [m/s]	-10 [°C]	60 [°C]	45 [°C]	Ziegelmauer	
1-08	Vorlauf (0.32 [m²])	0.5 [m/s]	-20 [°C]	45 [°C]	40 [°C]	Mischmauerwerk feucht	
1-09			0 [°C]	45 [°C]	40 [°C]		
1-10			-20 [°C]	33 [°C]	28 [°C]		
1-12			0 [°C]	33 [°C]	28 [°C]		
Einbauvariante 2 (Vertikalschleife)							
2-01	Vor u. Rücklauf (0.64 [m²])	0.5 [m/s]	-10 [°C]	60 [°C]	45 [°C]	Mischmauerwerk feucht	
2-02		1 [m/s]	-10 [°C]	60 [°C]	45 [°C]	Mischmauerwerk feucht	
2-03			-20 [°C]	45 [°C]	40 [°C]		
2-04			0 [°C]				
2-05				33 [°C]	28 [°C]		
2-06		0.5 [m/s]		60 [°C]	45 [°C]		
2-07	Vor u. Rücklauf (0.64 [m²])	0.5 [m/s]	-10 [°C]	60 [°C]	45 [°C]	Ziegelmauer	
2-08	Vor u. Rücklauf (0.64 [m²])	0.5 [m/s]	-20 [°C]	45 [°C]	40 [°C]	Mischmauerwerk feucht	
2-09			0 [°C]	45 [°C]	40 [°C]		
2-10			-20 [°C]	33 [°C]	28 [°C]		
2-12			0 [°C]	33 [°C]	28 [°C]		
Einbauvariante 3 (Horizontalschleife mit Schlaufen)							
3-01	Vorlauf m. Schleife (1.06 [m²])	0.5 [m/s]	-10 [°C]	60 [°C]	45 [°C]	Mischmauerwerk feucht	
3-02		1 [m/s]	-10 [°C]	60 [°C]	45 [°C]	Mischmauerwerk feucht	
3-03			-20 [°C]	45 [°C]	40 [°C]		
3-04			0 [°C]				
3-05				33 [°C]	28 [°C]		
3-06		0.5 [m/s]		60 [°C]	45 [°C]		
3-07	Vorlauf m. Schleife (1.06 [m²])	0.5 [m/s]	-10 [°C]	60 [°C]	45 [°C]	Ziegelmauer	
3-08	Vorlauf m. Schleife (1.06 [m²])	0.5 [m/s]	-20 [°C]	45 [°C]	40 [°C]	Mischmauerwerk feucht	
3-09			0 [°C]	45 [°C]	40 [°C]		
3-10			-20 [°C]	33 [°C]	28 [°C]		
3-12			0 [°C]	33 [°C]	28 [°C]		
Einbauvariante 4 (Vertikalschleife mit Schlaufen)							
4-01	Aktivierung 2. Wand (1.19 [m²])	0.5 [m/s]	-10 [°C]	60 [°C]	45 [°C]	Mischmauerwerk feucht	
4-02		1 [m/s]	-10 [°C]	60 [°C]	45 [°C]	Mischmauerwerk feucht	
4-03			-20 [°C]	45 [°C]	40 [°C]		
4-04			0 [°C]				
4-05				33 [°C]	28 [°C]		
4-06		0.5 [m/s]		60 [°C]	45 [°C]		
4-07	Aktivierung 2. Wand (1.19 [m²])	0.5 [m/s]	-10 [°C]	60 [°C]	45 [°C]	Ziegelmauer	
4-08	Aktivierung 2. Wand (1.19 [m²])	0.5 [m/s]	-20 [°C]	45 [°C]	40 [°C]	Mischmauerwerk feucht	
4-09			0 [°C]	45 [°C]	40 [°C]		
4-10			-20 [°C]	33 [°C]	28 [°C]		
4-12			0 [°C]	33 [°C]	28 [°C]		

Abb. (154) Übersicht der Parameter und der Einbauvarianten der Bauteilheizung in einem Simulationsraster dargestellt

3.5.3 Voruntersuchung

Bevor man die dreidimensionale Untersuchung der Bauteilheizung durchführt liefert eine einfache Voruntersuchung erste Erkenntnisse über das Verhalten der Luftströmungen im Wohnraum. In der Voruntersuchung wurden zweidimensionale Gitter verwendet, die einmal den Vertikalschnitt im Bereich des Raums mit, und ohne Fenster darstellen. Randbedingungen sind in diesem Fall eine Außentemperatur von $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$, und die Temperaturen des Heizmediums im Heizsystem (Vorlauftemp. = $60\text{ }^{\circ}\text{C}$, Rücklauftemp. = $45\text{ }^{\circ}\text{C}$) - Abb. (155).

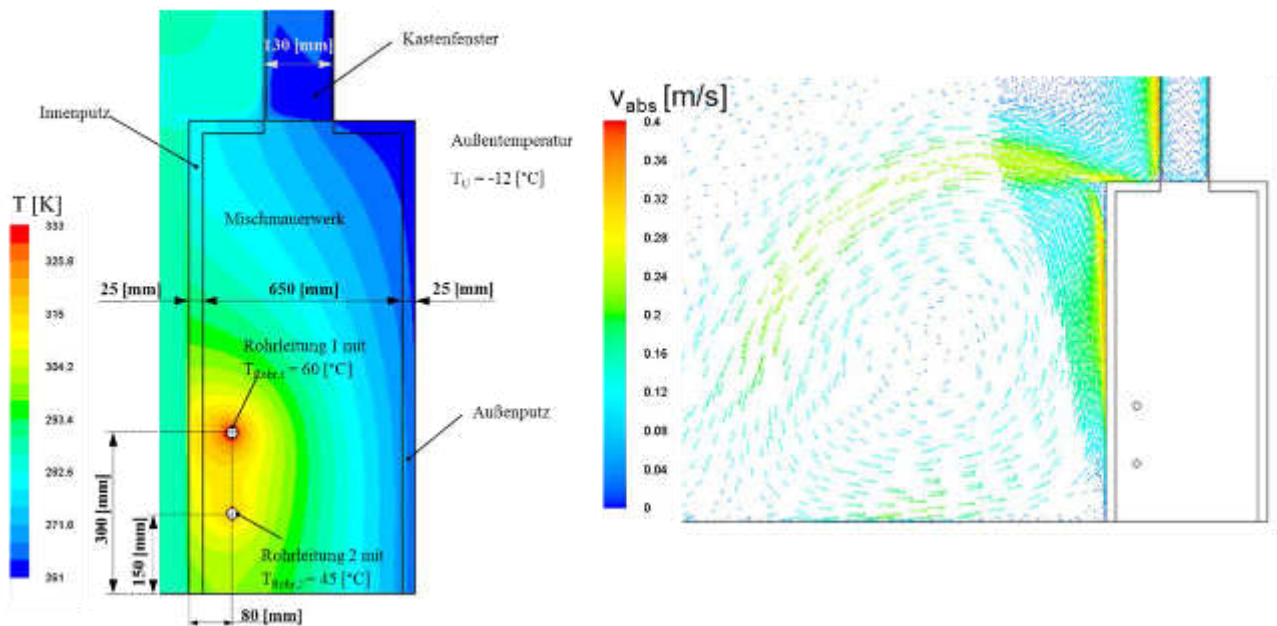


Abb. (155) Ausschnitt aus der 2D-Simulation des Raums S2.08 im Franziskanerkloster mit integrierter Bauteilheizung. Ins Mauerwerk sind zwei Rohrleitungen integriert, die von Wasser mit unterschiedlichen Temperaturen durchströmt werden

Die ersten Untersuchungen ergaben eine zu erwartende Luftzirkulation, die im Bereich zur Gebäudeaußenhülle hin, aber vor allem im Fensterbereich und in der Region, in der die Bauteilheizung integriert ist, am stärksten ausgeprägt ist. Dabei war festzustellen, dass an der Kante der Fensterbank die kalte Luft vom Fensterbereich kommend, und die durch die Bauteilheizung erwärmte Luft zusammenstoßen, sich vermischt, und in den Raum strömt. Je höher die Heizleistung (z.B. zwei statt nur einem Heizrohr in der Wand verbaut) ist, desto höher ist dabei die Temperatur dieses Luftstroms, und umso weiter strömt dieser in die Tiefe des Raums.

Durch die kontinuierliche Zirkulation der Luft im Raum ist die Temperatur beinahe homogen verteilt. Nur im Randbereich (Fenster, Gebäudeaußenhülle) sind Vergleichsweise große Differenzen zu feststellbar. Die Temperaturen waren allerdings sehr niedrig, was auf das geringe Verhältnis von Heizfläche zur Fläche der Gebäudeaußenhülle zurückzuführen ist. Darum müssen detailliertere Untersuchungen in einem dreidimensionalen Simulationsmodell durchgeführt werden. Außerdem besitzt die Außenhülle nur einen Anteil an Fensterfläche, was in der 2D-Analyse nicht berücksichtigt wurde. Eine weitere Erkenntnis aus der Voruntersuchung ist, dass die detaillierte Modellierung des Wandaufbaus nur wenig Einfluss auf die Temperatur- und Strömungsverläufe hat.

3.5.4 Erstellung der Simulationsmodelle

Für die spätere Untersuchung sollen nun vier verschiedene dreidimensionale Modelle für den Raum S2.08 erstellt werden (eine Geometrie pro Einbauvariante Abb. (153)). Diese werden mit Hilfe der Software Gambit (siehe Kapitel 6.4) aufgebaut. In Gambit werden die geometrischen Strukturen erzeugt, die Volumen entweder als Festkörper oder als Fluid definiert, die Flächen werden vordefiniert, und vor allem werden hier die für die Simulation erforderlichen Gitterzellen erzeugt. Die Modelle bestehen aus folgender Grundstruktur:

- Boden und Decke, deren Abmessungen aus den CAD-Zeichnungen des Franziskanerklosters entnommen wurden.
- Die restlichen Umhüllungen des Raums, ebenfalls laut den CAD- Skizzen. Mauerwerk, Verputz, usw. werden vereinfacht als ein homogener Körper dargestellt, da es für die folgenden Untersuchungen nur eine sehr geringe Rolle spielt. Man muss nur beachten, die Werte für die Wärmeleitung korrekt anzugeben (Berücksichtigung der Schichten und Wärmleitwerte der verschiedenen Materialien).
- Auf Details wie Fußboden, oder andere zusätzliche Installationen an Decke, Boden und den Wänden wird im Modell ebenfalls nicht näher eingegangen, da dies voraussichtlich keinen, oder nur einen sehr geringen Einfluss auf das Simulationsergebnis haben wird. Die Veränderung der Wärmeleitung kann hier ebenfalls in die jeweiligen Wände miteinberechnet werden.
- Mitberücksichtigt wird im Modell die Tür, durch die man in den Gang des Klostertrakts gelangt, um in der Simulation den Einfluss der Temperaturen, die in diesem Gang herrschen, mitefassen zu können.
- Weiter ist auch das Doppelfassadenfenster im Raum als vereinfachtes Modell in der Geometrie verankert. Es besteht aus den Fensterrahmen, -gläsern, und dem sich zwischen den zwei Fenstern befindlichen Luftraum.
- Die Rohrleitungen des Heizsystems bestehen aus einem einfachen Rohr, das von dem Heizfluid (Wasser vom Solarthermie-Heizsystem) durchströmt wird.

Randbedingungen

Grundsätzlich werden alle Wände als adiabat angesetzt, d.h. unter der Annahme, dass alle umliegenden Räume annähernd gleich beheizt werden, verliert man keine Wärme durch die Wände. Es gibt allerdings zwei Ausnahmen:

- Die erste Ausnahme ist die Wand, die zum Gang orientiert ist. An dieser Wand wird als Randbedingung eine mittlere Gangtemperatur von 16 [°C] für alle Simulationen angenommen.
- Die zweite Ausnahme ist die Wand, die den Raum vor den Außentemperaturen schützen soll. Hier wird für die anstehenden Simulationen ebenfalls ein gemittelter Wert für die Temperatur eingesetzt, der je nach der klimatischen Gegebenheit im Untersuchungsfall variieren kann.

Zusätzlich können noch die Wassereintrittstemperatur, und die Massenströme für jede Rohrleitung separat eingestellt werden, um eine weitere Variable ins System einzubinden, und somit die dem Raum zugeführte Heizleistung zu ändern.

$$\dot{Q}_{Heiz} = \dot{m}_W \cdot c_{p_W} \cdot \Delta T_W$$

Q_{Heiz} Zur Verfügung stehende Wärme, um den Wohnraum zu beheizen [W]

$\dot{m}_W$ Massenstrom des Heizmediums (Wasser) [kg/s]

c_{p_W} spezifische Wärmekapazität [J/(kg*K)]

ΔT_W Temperaturdifferenz des Heizmediums (Von Ein- Austritt) [K]

$$Q_{Heiz} = k_{Heiz} \cdot A_{Heiz} \cdot \Delta T_{Heiz}$$

Q_{Heiz} dem Raum zugeführte Heizleistung [W]

k_{Heiz} Wärmedurchgangszahl für die Heizfläche [W/(m²*K)]

A_{Heiz} Heizfläche [m²]

ΔT_{Heiz} ...Temperaturdifferenz zwischen Raum und Umgebung

Energiebilanz für den Raum sieht wie folgt aus:

$$Q_{Heiz} - Q_{V,Gang} - Q_{V,Aussen} = 0$$

$$Q_{V,Gang} = U_{Gang} \cdot A_{Gang} \cdot (T_{Raum} - T_{Gang})$$

$$Q_{V,Aussen} = U_{Aussen} \cdot A_{Aussen} \cdot (T_{Raum} - T_{Aussen})$$



$Q_{V,Gang}$ Wärmeverluste zum Gang [W]

$Q_{V,Aussen}$ Wärmeverluste nach Außen [W]

U_{Gang} Wärmedurchgangszahl der Mauer Gangseitig [W/(m²*K)]

U_{Aussen} Wärmedurchgangszahl der Gebäudeaußenhülle [W/(m²*K)]

A_{Gang} Wärmedurchgangsfläche der Mauer Gangseitig [m²]

A_{Aussen} Wärmedurchgangsfläche der Gebäudeaußenhülle [m²]

T_{Raum} Temperatur im Simulationsraum [K]

T_{Gang} Temperatur im Gang [K]

T_{Aussen} Außentemperatur [K]

Simulationssoftware und Berechnungsmodelle

Es soll für den Raum S2.08 mit integrierter Bauteilheizung die Parameter, welche die Behaglichkeit im Raum beschreiben, durch die CFD-Simulation ermittelt werden. Dafür werden in der Simulation folgende Berechnungsmodelle verwendet:

- Zur Berechnung der Strömungsgleichungen (Massenerhaltung, Impulsgleichung, Turbulenz) wird das k-ε-realizable Modell (ANSYS, Inc. (a), 2011) verwendet. Dieses ist für komplexe Grenzschichtströmungen mit hohen Druckgradienten und leichtem Drall gut geeignet. Für die Untersuchungen im Rahmen dieser Arbeit ist dieses Modell gut geeignet.
- Für die Ermittlung der Temperaturverläufe ist die Gleichung für Energieerhaltung in der Simulation aktiviert.
- Zusätzlich soll auch noch der Einfluss der Wärmestrahlung auf Temperatur und Strömung im Raum berücksichtigt werden. Dafür wird das Discrete Ordinate (DO) Modell (ANSYS, Inc. (a), 2011) im Wellenlängenbereich der Wärmestrahlung eingesetzt.

Gitterprüfung

Bevor man mit den eigentlichen Simulationen für die Parameter- und Variantenstudie beginnen kann, muss zuerst noch die Qualität des erzeugten Gittermodells geprüft werden. Für die Gitterprüfung wurden drei unterschiedlich fein aufgelöste Gittermodelle erzeugt. Ausgangsbasis war ein Gitter mit ca. 500.000 Zellen (Gitter-Grob). Dieses Gitter wurde dann weiter verfeinert. Alle Zellen die den Luftraum darstellen wurden gleichmäßig verkleinert. Die Anzahl der Gitterzellen für dieses Gitter (Gitter-Fein) ist auf ca. 4 Mio. Zellen angestiegen. Danach wurde noch einmal weiter verfeinert. Hierbei wurden jedoch nur mehr Zellen adaptiert, die einen bestimmten Grenzwert von einem Geschwindigkeitsgradienten überschritten, weil ansonsten das Gitter (Gitter-Feiner) mit den vorhandenen Rechnerkapazitäten nicht mehr für die Simulation geeignet gewesen wäre. Das weiter verfeinerte Gitter besteht aus etwa 8 Mio. Zellen. Für diese drei Gittervarianten wurde nun eine Gitter-Analyse durchgeführt, um zu überprüfen, welches Gitter man am besten für die anstehenden Untersuchungen verwenden soll. Um die Ergebnisse vergleichen zu können wurden im Modell Kontrollflächen und Linien angelegt.

An wichtigen Positionen (z.B. vor dem Fenstersims) wurden zusätzlich noch Kontrolllinien kreiert, um an diesen Stellen den genauen Verlauf von Temperatur und Geschwindigkeit in den verschiedenen Gittern verfolgen und vergleichen zu können (Abb. (156)). Hierbei ist zu erkennen, dass die Temperaturen für das feine und das feinere Gitter gut übereinstimmen. Im groben Gitter sieht der Verlauf der Temperatur, dem der beiden anderen zwar ähnlich, aber die Werte sind um mindestens 0.5 [°C] niedriger. Bei den Geschwindigkeitsverläufen ist generell eine höhere Abweichung zu verzeichnen. Die Verläufe vom Gitter Fein und Feiner liegen aber auch hier näher beieinander.

Aus der Gitteranalyse geht hervor, dass das Gitter Grob nicht fein genug aufgelöst, und somit für weitere Simulationen nicht geeignet ist. Die beiden anderen Gitter können für eine weitere Studie verwendet werden. Die Wahl fällt hierbei auf das Gitter Fein, da die Zellenanzahl im Vergleich zu Gitter Feiner deutlich geringer ist, und damit auch der Rechenaufwand um ein Vielfaches niedriger sein wird.

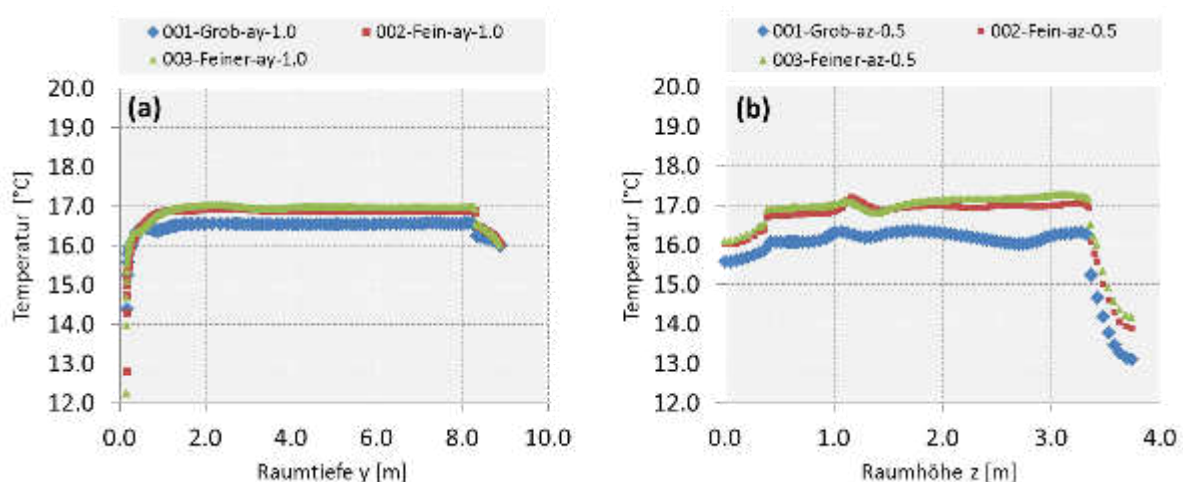


Abb. (156) In den Diagrammen ist der Temperaturverlauf (a) in 1 [m] Abstand vom Boden entlang der Raumtiefe, (b) nahe beim Fenstersims (Abstand = 0.5 [m]) über die Raumhöhe im Simulationsraum dargestellt. Hier werden jeweils die drei unterschiedlichen Gitter verglichen.

3.5.5 Parameter und Variantenstudie

Hier werden thermisches und strömungstechnisches Verhalten der einzelnen Simulationsfälle beschrieben und miteinander verglichen. Zuerst wird für jede unterschiedliche Einbauvariante die erste Simulationsvariante aus dem Simulationsraster (Abb. (154)) als Beispiel betrachtet, und das Strömungs- sowie das Temperaturverhalten für diesen Fall genauer beschrieben. In der ersten Simulationsvariante beträgt die Vorlauftemperatur des Wassers für die Bauteilheizung 60 [°C], die Rücklauftemperatur liegt bei 45 [°C]. Die Außentemperatur beträgt dabei jeweils -10 [°C]. Zur näheren Beschreibung der Strömung und des Temperaturverlaufs im Simulationsmodell werden Kontrollflächen konstruiert, um die Temperaturen und Strömung der Luft zu veranschaulichen. Die Kontrollflächen sind in Abb. (157) im Simulationsmodell dargestellt. Die drei nach dem Koordinatensystem unterschiedlich ausgerichteten Ebenen (yz, xz) im Luftraum dienen als Unterstützung zur Beschreibung des Verhaltens der Raumluft. Zusätzlich sind parallel zur Außenfassade Schnittebenen im Abstand von 0,2 [m] angelegt, um das Temperaturverhalten und den Einfluss der Heizrohre in der Außenfassade betrachten zu können. Nach der Beschreibung des thermischen und strömungstechnischen Verhaltens im Detail werden die Simulationsvarianten untereinander verglichen und bewertet. Für die Vergleiche wird jeweils ein Parameter als konstante Größe angesetzt (Außentemperatur, Heizwassertemperatur, usw.).

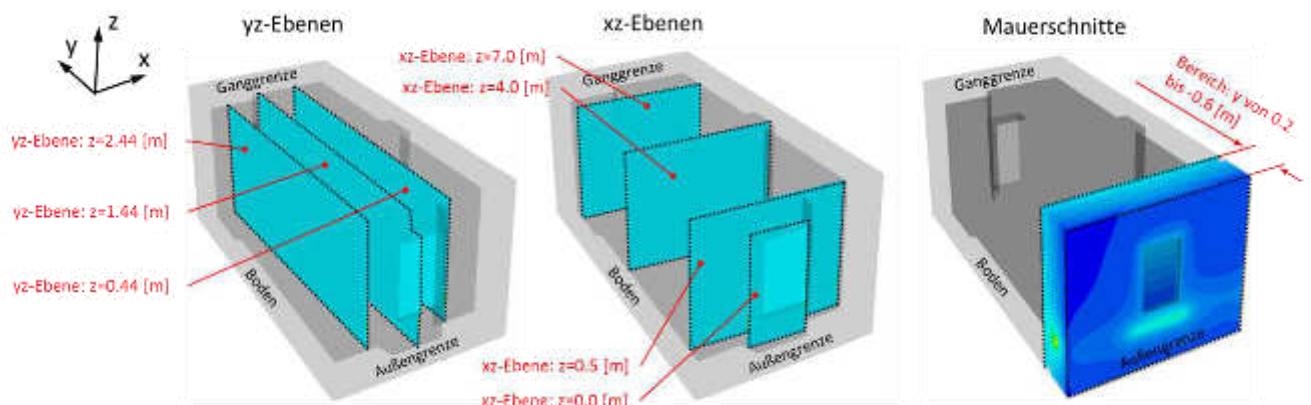


Abb. (157) Darstellung der Flächen im Simulationsmodell, anhand deren das thermische und strömungstechnische Verhalten beschrieben wird

Einbauvariante 1 (Horizontalschleife)

In der ersten Art der Verlegung der Heizrohre ist nur die Vorlaufleitung in der Außenfassade integriert (Abb. (158)). Die Mitte des Heizrohrs liegt in diesem Simulationsmodell 50 [mm] von der Innenwand und 600 [mm] vom Fußboden entfernt im Mauerwerk eingebaut. Anhand des Simulationsfalles 1-01 soll nun das thermische und strömungstechnische Verhalten für diese Einbauvariante näher beschrieben werden. In der Darstellung des Temperaturprofils der Innenwände des Simulationsraums ist zu erkennen, dass das eine eingebaute Heizrohr nicht ausreicht, um den Raum auf einen behaglichen Zustand zu beheizen. In den Bereichen unter- und oberhalb des Heizrohrs dringt die Kälte in den Raum durch, vor allem im Bereich des Fensters, an dem die Fassade dünner ausgeführt ist.

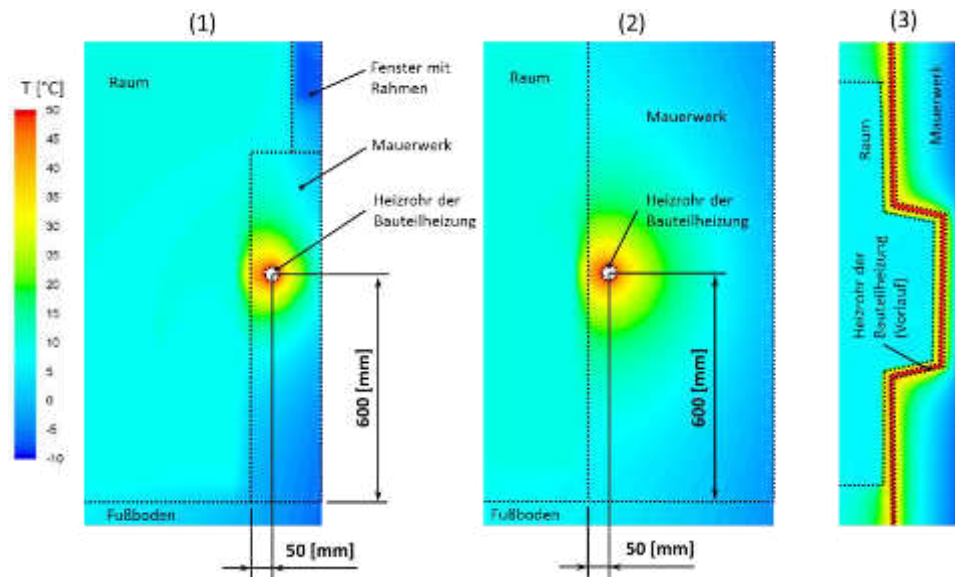


Abb. (158) Darstellung eines zweidimensionalen Ausschnitts im Bereich der Außenfassade zur Veranschaulichung des Heizrohrverlaufs durchs Mauerwerk mit Darstellung des Temperaturprofils für Einbauvariante 1. (1) Schnitt in der yz-Ebene im Bereich des Fensters, (2) Schnitt in der yz-Ebene außerhalb des Fensterbereichs, (3) Schnitt in der xy-Ebene im Bereich der Heizrohre

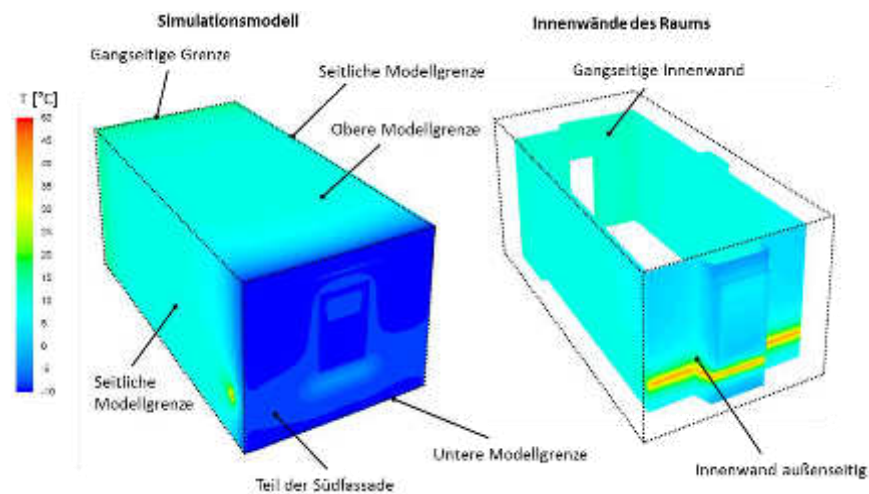


Abb. (159) Darstellung des Simulationsmodells für Einbauvariante 1 mit dazugehörigem Temperaturprofil. Daneben ist zusätzlich das Temperaturprofil für die Innenwände des Raums abgebildet.

Im Raum stellt sich eine Temperaturschichtung (die mittlere Fußbodentemperatur beträgt 9.31 $^{\circ}\text{C}$, an der Decke beträgt der gemittelte Wert 9.48 $^{\circ}\text{C}$) ein (Abb. (160)). Die mittlere Raumtemperatur beträgt 9.46 $^{\circ}\text{C}$. An der Seite des Raums, die zum Gang angrenzt, herrschen auf Grund der Randbedingung 16 $^{\circ}\text{C}$ an der Außenseite der gangseitig gelegenen Mauer, die höchsten Temperaturen. An der Mauer strömt die Luft aufwärts, und danach die Decke entlang Richtung Fenster. Die Raumluft wird an der Innenseite der Außenfassade (speziell im Bereich des Fensters) durch die niedrige Außenlufttemperatur (von -10 $^{\circ}\text{C}$). Im Bereich der Wand wird die Luft im oberen Bereich abgekühlt und sinkt abwärts. Im Bereich des Heizrohrs der Bauteilheizung wird die Luft aufgeheizt, und strömt aufwärts. Knapp über der Position des Heizrohrs trifft die aufsteigende Luft auf die von oben kommende abgekühlte Luft.

In diesem Bereich wird die Luft um ca. 90 [°] umgelenkt, beschreibt einen S-förmigen Verlauf aufwärts, und wird danach ca. auf Mitte der Raumhöhe in den Raum Richtung Gangseite befördert. Unterhalb des Heizrohrs ist ein Luftwirbel zu beobachten. Außerhalb dieses Wirbels strömt die Luft den Boden entlang Richtung Gangseite.

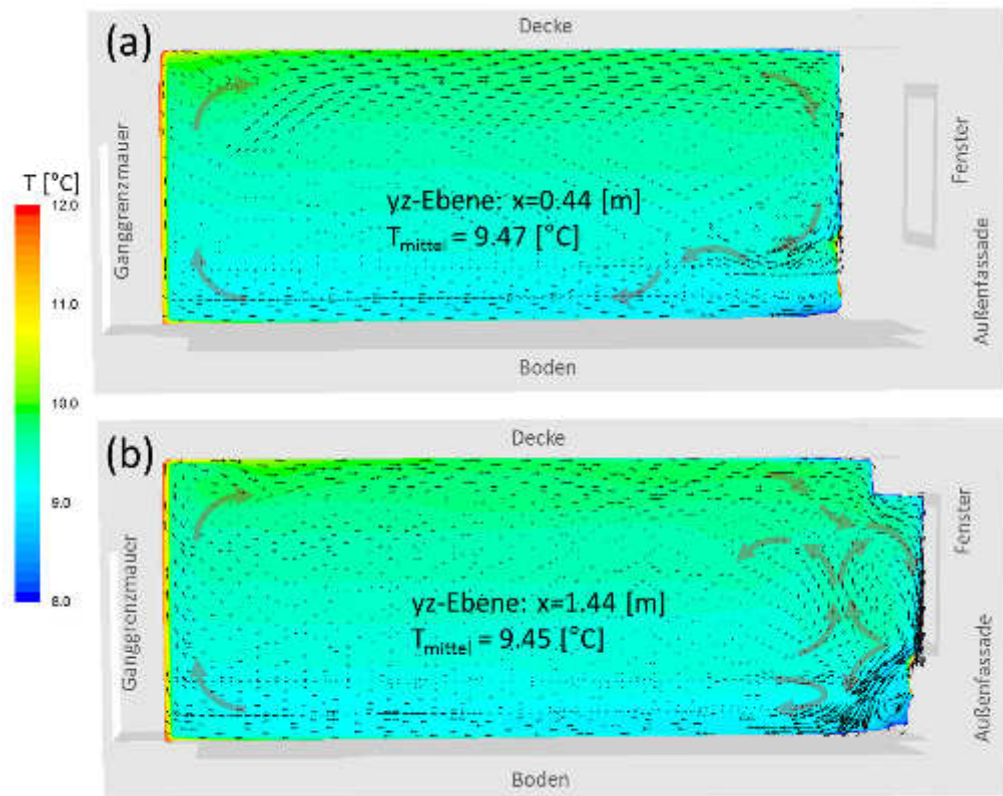


Abb. (160) Darstellung von Temperaturprofilen und Strömungsvektoren der Luft in der yz-Ebene im Simulationsraum bei unterschiedlichen x-Koordinaten für Einbauvariante 1.

Im Bereich, in dem sich das Fenster befindet sieht das Strömungsbild der Luft geringfügig anders aus. Die Luft wird am Fenster stärker abgekühlt als im Wandbereich. Die Abwärtsströmung ist dadurch viel stärker ausgeprägt. Durch den Einfluss der beheizten Stelle in der Außenfassade entsteht an der Innenwand der Fassade ein Luftwirbel, der bis zum Boden reicht. Die kalte Luft wird an der Stelle des Heizrohrs umgelenkt, strömt in Form eines Bogens zum Fußboden, und von dort weiter Richtung Gangseite. Ein Teil der Luft strömt aufwärts und bildet in der Fensternische einen weiteren Strömungswirbel. In der Fensternische bilden sich auf Höhe der Fensterscheibe mehrere Luftwirbel aus, die durch den Einfluss des beheizten Bereichs in der Fassade verursacht werden. (Abb. (161)). An den Seiten der Fensternische strömt die Luft abwärts bis knapp über der Position des Heizrohrs in der Fassade. Auf Höhe des unteren Fensterabschlusses ist ein Teil der in Abb. (160) beschriebenen bogenförmigen Luftströmung Richtung Boden zu sehen. Im Strömungsprofil im Abstand von 0.2 [m] zur Innenwand der Außenfassade ist ebenfalls ein Teil der Abwärtsströmung zu erkennen. Im Bereich der Decke und an den Seiten in dieser Ebene sinkt die Luft abwärts. Im Bereich der Kanten zur Fensternische sind hier unterhalb und oberhalb der Höhe des Heizrohrs weitere Strömungswirbel feststellbar.

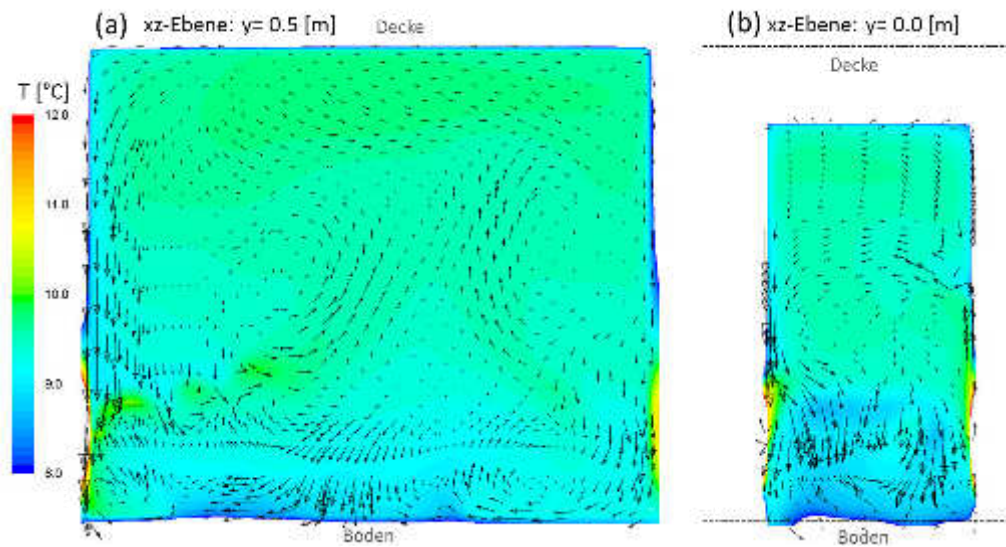


Abb. (161) In den beiden Abbildungen sind Temperaturprofil und Strömungsvektoren (a) im Bereich an der Innenwand der Außenfassade und (b) im Bereich der Fensternische für Einbauvariante 1 dargestellt.

Zum Abschluss zur Beschreibung des Verhaltens für die Einbauvariante 1 ist das Temperaturprofil für Schnitte durch das Simulationsmodell parallel zur Außenfassade dargestellt (Abb. (162)). Ausgehend von der Koordinate 0.0 (= Position der Innenwand der Außenfassade im Simulationsmodell) sind die Schnitte in Abständen von 0.1 [m] nach innen und außen angeordnet. Da die Wandstärke der Außenmauer nicht überall gleich groß ist, sieht das Temperaturprofil nicht symmetrisch aus. Der Einfluss der Aufheizung des Mauerwerks durch die Bauteilheizung fällt im Vergleich zur gesamten Fläche der Mauer sehr gering aus. Zum Bereich des Fensters und zur Fensternische hin steigt die Temperatur leicht an.

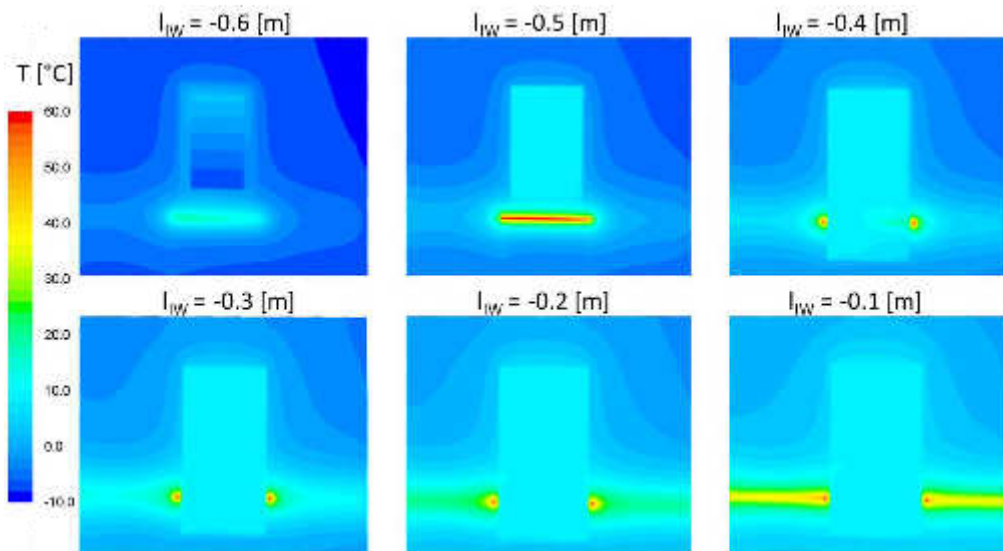


Abb. (162) Darstellung des Temperaturprofils (für Luft und Mauerwerk) in Schnittflächen parallel zur Außenmauer für Einbauvariante 1. Die Koordinate l_W gibt den Abstand zur Innenwand an, wobei die positive Koordinate Richtung Gangseite orientiert ist

Einbauvariante 2 (Vertikalschleife)

In dieser Variante ist Verlegung des Heizrohrs gleich wie in Einbauvariante 1, mit dem Unterschied, dass zusätzlich unterhalb der Leitung mit dem Heizwasser Vorlauf ein weiteres Heizrohr in die Mauer eingebaut ist (Abb. (163)). Die zweite Leitung führt in dieser Art der Verlegung den Rücklauf des Heizwassers mit sich und befindet sich 250 [mm] über dem Fußboden ebenfalls wieder im Abstand von 50 [mm] zur Innenwand. Auch hier wird das thermische und strömungstechnische Verhalten wieder anhand einer Simulationsvariante (Variante 2-01 in diesem Fall) beschrieben. Mit dieser Art der Heizrohrverlegung wird das Entstehen niedriger Temperaturen im unteren Mauerbereich verhindert. Aber wie zuvor in Einbauvariante 1 bleibt auch hier der Bereich der Mauer ab dem Fenster vom Einfluss der Bauteilheizung unberührt (Abb. (164)).

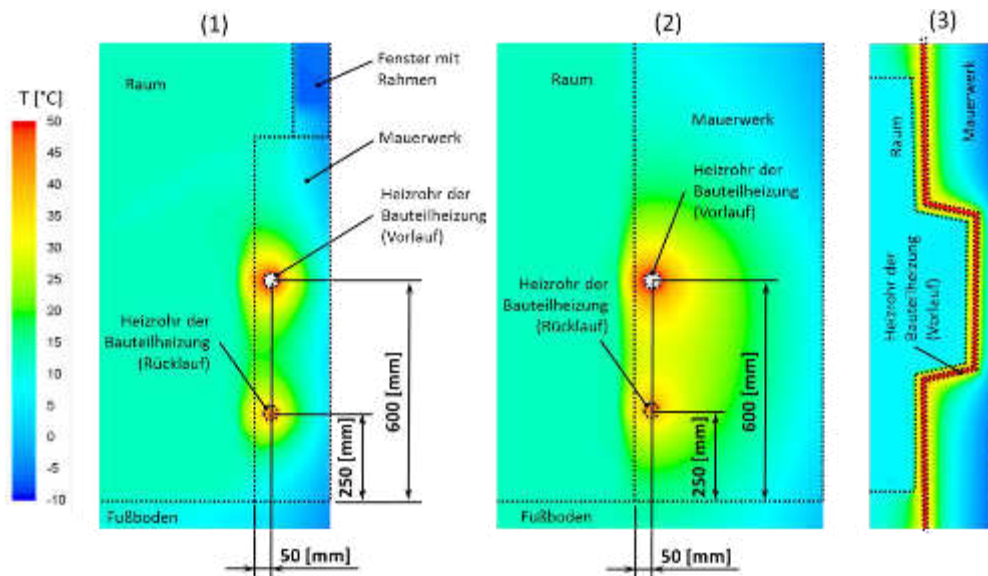


Abb. (163) Darstellung eines zweidimensionalen Ausschnitts im Bereich der Außenfassade zur Veranschaulichung des Heizrohrverlaufs durchs Mauerwerk mit Darstellung des Temperaturprofils für Einbauvariante 2. (1) Schnitt in der yz-Ebene im Bereich des Fensters, (2) Schnitt in der yz-Ebene außerhalb des Fensterbereichs, (3) Schnitt in der xy-Ebene im Bereich der Heizrohre

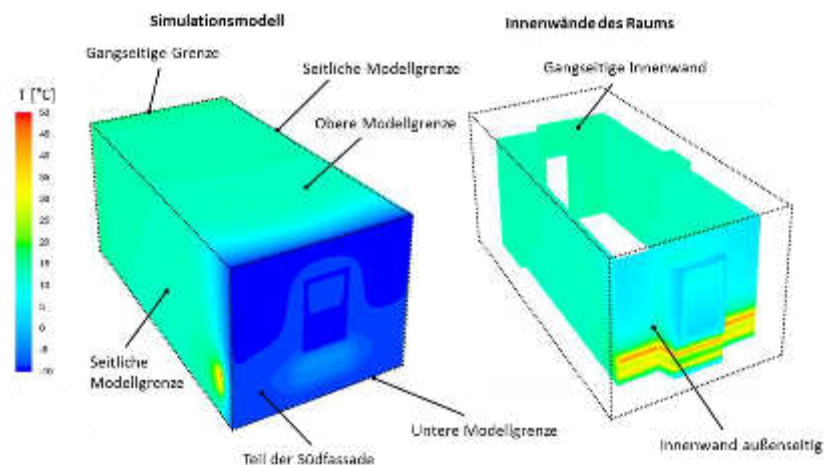


Abb. (164) Darstellung des Simulationsmodells für Einbauvariante 2 mit dazugehörigem Temperaturprofil. Daneben ist zusätzlich das Temperaturprofil für die Innenwände des Raums abgebildet.

Die gemittelte Raumluft liegt bei dieser Art der Verlegung der Heizrohre im Mauerwerk bei einem Wert von $12.88\text{ }^{\circ}\text{C}$. Es stellt sich ebenfalls wieder eine Temperaturschichtung ein, in der die Temperatur mit zunehmender Raumhöhe leicht ansteigt. Die Temperaturdifferenz zwischen der xy-Ebenen (Abb. (165)) ist in dieser Variante größer als in Einbauvariante 1. Anders als in der Variante zuvor ist hier die mittlere Fußbodentemperatur ($12.87\text{ }^{\circ}\text{C}$) höher als die mittlere Temperatur der Decke ($12.70\text{ }^{\circ}\text{C}$). Die Ursache davor ist wahrscheinlich auf das zusätzliche Heizrohr in der Außenfassade zurückzuführen. Die Wärme wird in diesem Simulationsmodell über die Mauer auch zum Fußboden geleitet.

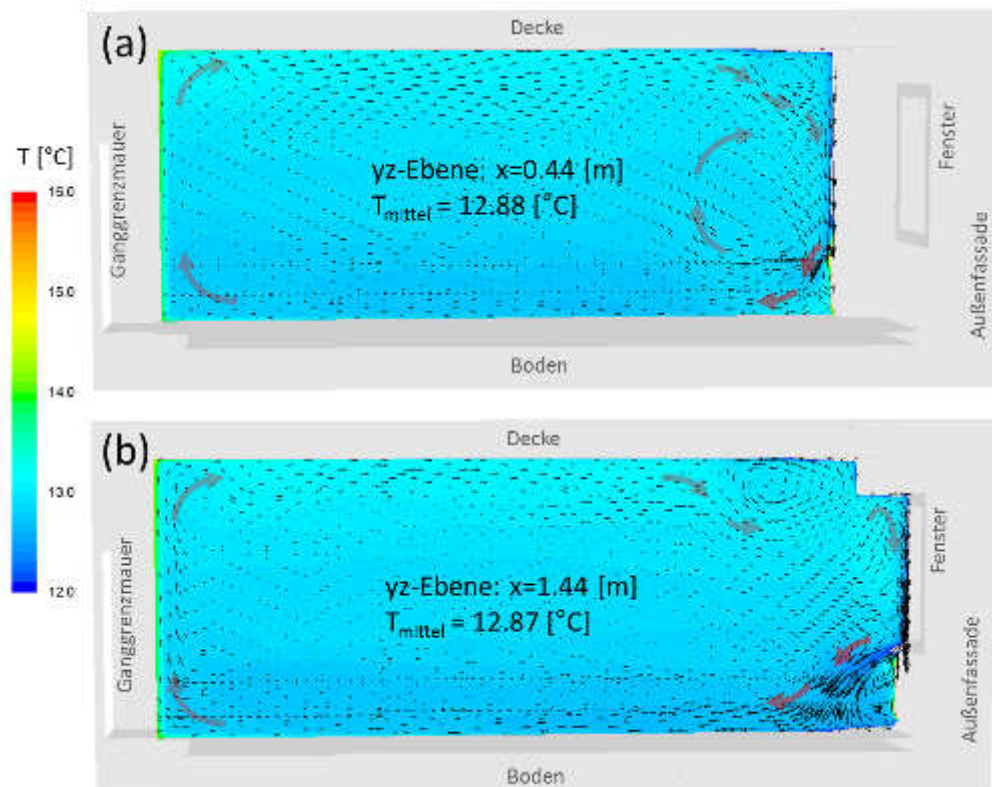


Abb. (165) Darstellung von Temperaturprofilen und Strömungsvektoren der Luft in der yz-Ebene im Simulationsraum bei unterschiedlichen x-Koordinaten für Einbauvariante 2.

Die Temperatur im Raum ist immer noch niedriger als die Temperatur, die an der Gangseite als Randbedingung festgelegt ist. Die Luft strömt die gangseitige Mauer aufwärts, die Decke entlang Richtung Außenfassade (Abb. (165)). An der Außenmauer ist im Bereich der Bauteilheizung ein Strömungswirbel zu erkennen. Am Übergang von der Decke zur Außenmauer ist ein weiterer Strömungswirbel zu beobachten. Die Luft, welche die Decke entlang strömt, wird vor der Verwirbelung nach unten gelenkt und strömt ca. auf Mitte der Raumhöhe der Außenmauer entgegen. Im Fensterbereich teilt sich die Luft auf. Ein Teil strömt bis zum Bereich der Bauteilheizung und vermischt sich in diesem Bereich mit der abwärts strömenden Luft. Der andere Teil der Luft strömt aufwärts bis zur Decke der Fensternische, wird dort umgelenkt, und sinkt schließlich die Fensterscheibe entlang abwärts und wird dabei abgekühlt. Im Bereich der Mauer liegt der Strömungswirbel nicht direkt am Übergang von Decke und Außenmauer. Die Luft umströmt dort den Wirbel und gelangt zum Übergang von Decke und Mauer. Von dort aus sinkt die Luft abwärts bis zum Boden. Im Bereich der Bauteilheizung ist nur eine minimale Ablenkung zu erkennen. Dafür ist oberhalb des Bereichs der Bauteilheizung ein Strömungswirbel zu erkennen. In Abb. (166) ist die Luftströmung in den Ebenen parallel zu Außenfassade im Bereich der Mauer und des Fensters dargestellt.

Im Bereich des Fensters im oberen Drittel der Raumhöhe strömt die Luft aufwärts, wird an der Decke zu beiden Seiten umgelenkt, und sinkt an den Seiten abwärts Richtung Boden (Abb. (166)). Im unteren Drittel ist der bogenförmige Luftstrom zur Decke erkennbar. An beiden Seiten von diesem Luftstrom ist jeweils ein Strömungswirbel zu beobachten.

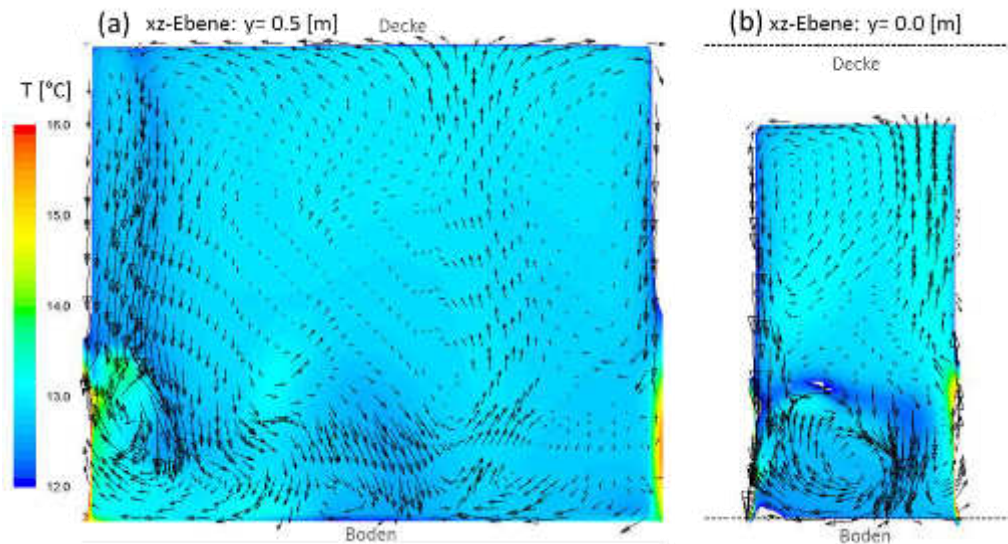


Abb. (166) In den beiden Abbildungen sind Temperaturprofil und Strömungsvektoren (a) im Bereich an der Innenwand der Außenfassade und (b) im Bereich der Fensternische für Einbauvariante 2 dargestellt.

Zum Abschluss der Beschreibung von Einbauvariante 2 sind Schnitte durch das Simulationsmodell parallel zur Außenfassade dargestellt (Abb. (167)). Ausgehend von der Koordinate 0.0 (= Position der Innenwand der Außenfassade im Simulationsmodell) sind die Schnitte in Abständen von 0.1 [m] nach innen und außen angeordnet. Da die Wandstärke der Außenmauer nicht überall gleich groß ist, sieht das Temperaturprofil nicht symmetrisch aus. Die Temperatur ist im Mauerwerk durch die Integration des zweiten Heizrohrs zumindest im unteren Bereich höher als in Einbauvariante 1. Im oberen Bereich ist nahezu kein Unterschied feststellbar.

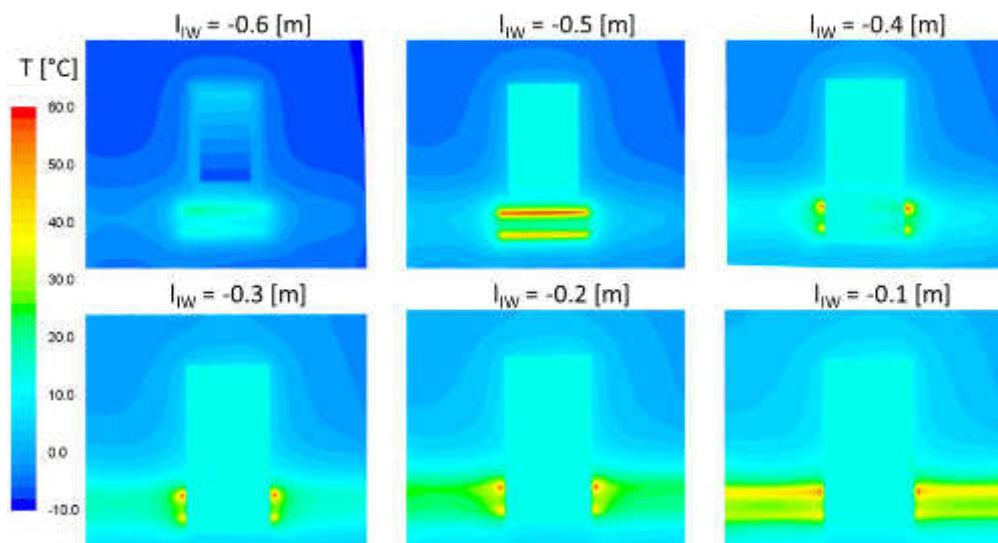


Abb. (167) Darstellung des Temperaturprofils (für Luft und Mauerwerk) in Schnittflächen parallel zur Außenmauer für Einbauvariante 2. Die Koordinate l_{IW} gibt den Abstand zur Innenwand an, wobei die positive Koordinate Richtung Gangseite orientiert ist

Einbauvariante 3 (Vertikalschleife mit Schlaufe)

In dieser Form der Verlegung sind, wie in Einbauvariante 2, zwei Heizrohre in der Außenfassade integriert. Um aber den Einfluss der Heizung auszuweiten, wird das obere Heizrohr mit zwei zusätzlichen Heizschleifen verlegt, die links und rechts vom Fenster knapp über Höhe des Fensterabschlusses reichen (Abb. (168)). Zusätzlich ergibt sich dadurch auch noch eine Vergrößerung der Heizfläche.

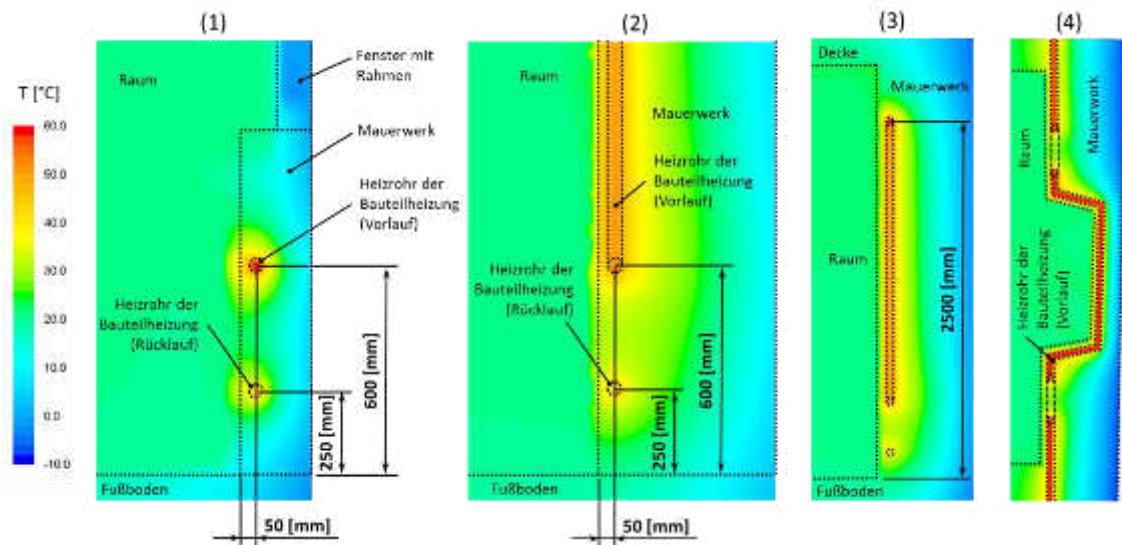


Abb. (168) Darstellung eines zweidimensionalen Ausschnitts im Bereich der Außenfassade zur Veranschaulichung des Heizrohrverlaufs durchs Mauerwerk mit Darstellung des Temperaturprofils für Einbauvariante 3. (1) Schnitt in der yz-Ebene im Bereich des Fensters, (2), (3) Schnitt in der yz-Ebene außerhalb des Fensterbereichs, (4) Schnitt in der xy-Ebene im Bereich der Heizrohre

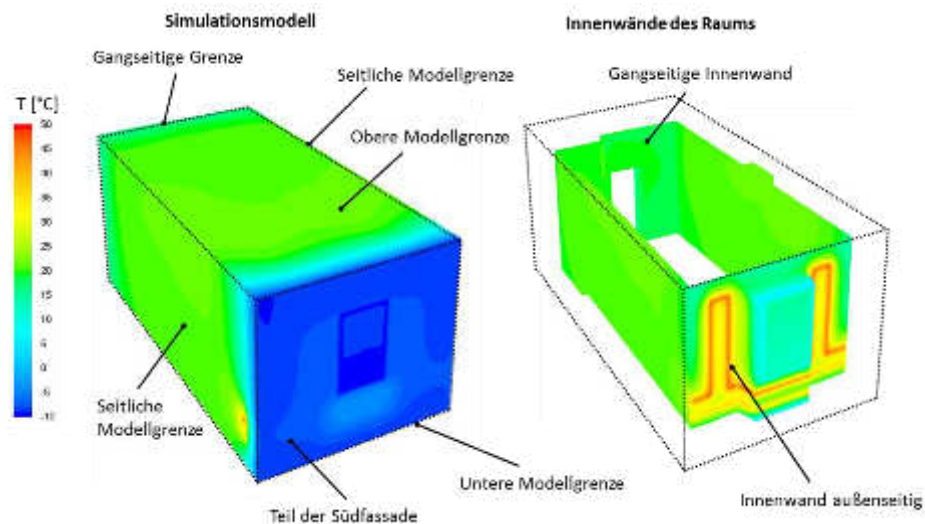


Abb. (169) Darstellung des Simulationsmodells für Einbauvariante 3 mit dazugehörigem Temperaturprofil. Daneben ist zusätzlich das Temperaturprofil für die Innenwände des Raums abgebildet

Anhand der Temperaturprofile in den Kontrollebenen (Abb. (170)) lässt sich auch hier eine Temperaturschichtung feststellen, in der die Temperatur Richtung Decke ansteigt. Die Raumtemperatur beträgt im Mittel 20.77 $^{\circ}\text{C}$, die mittlere Fußbodentemperatur ist mit 19.98 $^{\circ}\text{C}$ in dieser Variante wieder niedriger als die mittlere Deckentemperatur (20.75 $^{\circ}\text{C}$).

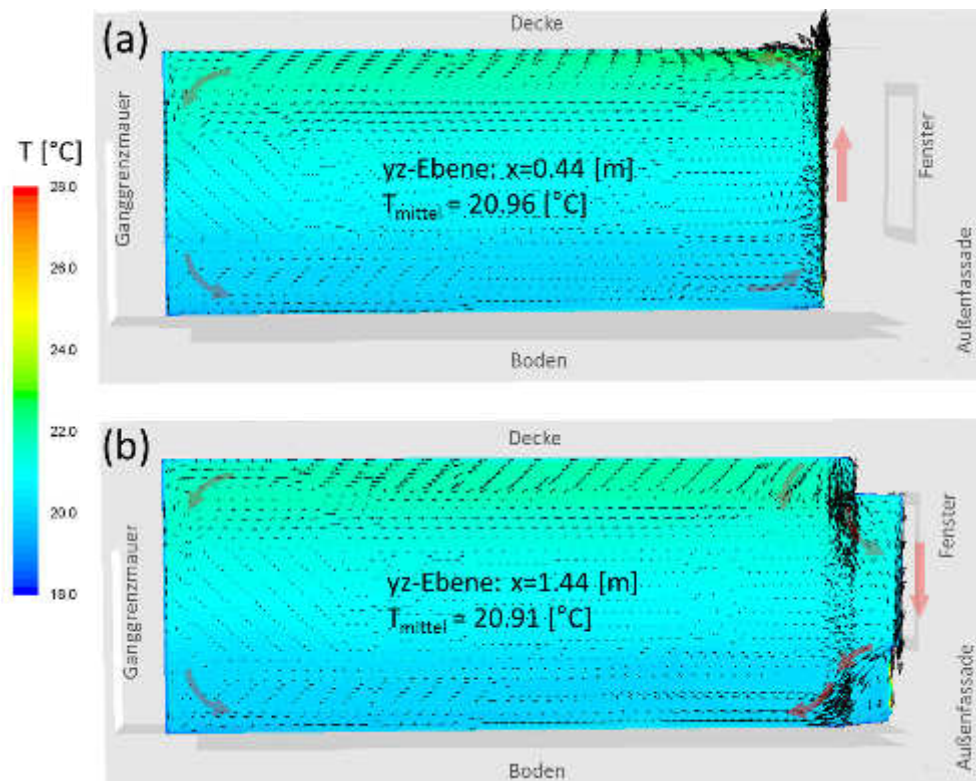


Abb. (170) Darstellung von Temperaturprofilen und Strömungsvektoren der Luft in der yz-Ebene im Simulationsraum bei unterschiedlichen x-Koordinaten für Einbauvariante 3.

Die Raumtemperatur ist bei dieser Einbauvariante erstmals höher als die gesetzte Randbedingung an der Gangseite. Dadurch strömt die Luft hier an der gangseitigen Mauer und der Tür von der Decke abwärts Richtung Boden. An der Decke ist eine Strömungswalze zu beobachten (Abb. (170)). An der Decke ist die Strömung in Richtung Gang gerichtet, darunter strömt die Luft bis zur Außenmauer und wird dort nach oben gelenkt. Durch die Heizrohrschleife wird die Luft im Bereich der Außenmauer aufgeheizt und strömt dadurch aufwärts. Am Boden strömt die Luft von der Gangseite aus in Richtung Außenfassade. Diese stößt jedoch ca. zwei Meter davor auf eine Gegenströmung. Die Luft aus der mittleren Höhenschicht im Raum wird an der Grenze der Aufwärtsströmung an der Mauer zu einem kleinen Anteil nach unten, und anschließend in Richtung Gangseite umgelenkt. Im Bereich des Fensters wird die Luft an der Außenfassade sowie an der Fensterscheibe abgekühlt und abwärts befördert. Auch in dieser Variante ist der bogenförmige Abwärtsstrom zu beobachten, der am Fenster im Bereich der Bauteilheizung beginnt und am Fußboden endet. Neben dieser Strömung und an der oberen Kante der Fensternische sind jeweils Strömungsverwirbelungen zu erkennen. Der Grund für die stark ausgeprägte Abwärtsströmung an der Decke im Fensterbereich ist in Abb. (171) erkennbar. Im nahen Einflussbereich der Heizrohrschlaufen steigt die Luft bis zur Decke und wird dort in mehrere Richtungen umgelenkt. Da sich an beiden Seiten des Fensters jeweils eine Heizschleife befindet, treffen in der Mitte zwei Luftströme aufeinander und bilden in weiterer Folge zwei Strömungswirbel mit entgegengesetztem Drehsinn. In yz-Ebene 1.44 [m] ist genau der Bereich des Wirbels dargestellt, in dem die Luft abwärts strömt. In den Abbildungen ist auch wieder ein Teil des bogenförmigen Abwärtsstrom unter dem Fenster zu beobachten. Wenn man die Strömung an den Seitenwände der Fensternische in dieser Variante mit der Strömung aus den beiden vorherigen Varianten vergleicht, ist festzustellen dass sich die Strömungsrichtung der Luft in diesem Bereich umgedreht hat. In der Mitte der Fensterscheibe sinkt die Luft wieder ab und somit bilden sich auch in der Nische zwei Strömungswirbel aus.

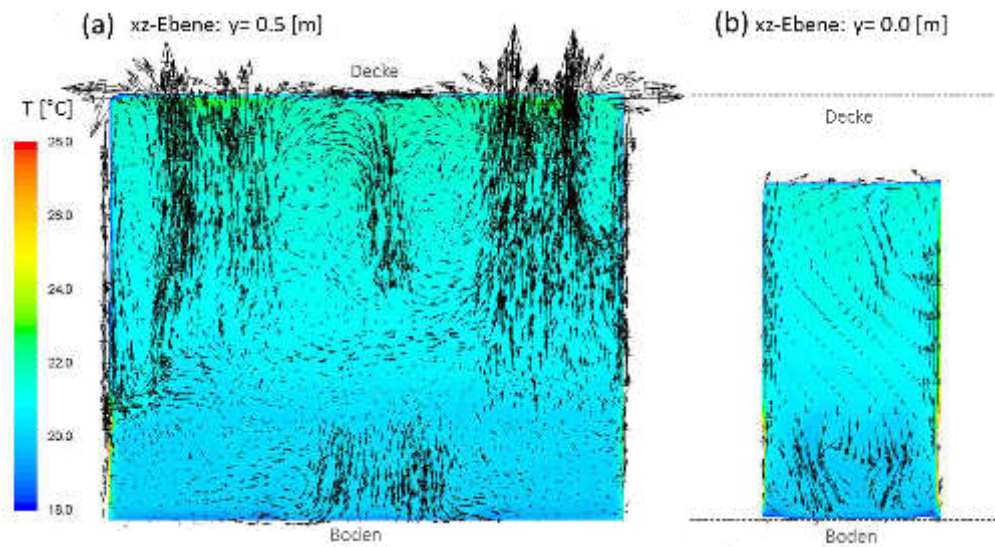


Abb. (171) In den beiden Abbildungen sind Temperaturprofil und Strömungsvektoren (a) im Bereich an der Innenwand der Außenfassade und (b) im Bereich der Fensternische für Einbauvariante 3 dargestellt.

Zum Abschluss der Beschreibung von Einbauvariante 3 sind Schnitte durch das Simulationsmodell parallel zur Außenfassade dargestellt (Abb. (172), Abb. (167)). Ausgehend von der Koordinate 0.0 (= Position der Innenwand der Außenfassade im Simulationsmodell) sind die Schnitte in Abständen von 0.1 [m] nach innen und außen angeordnet. Da die Wandstärke der Außenmauer nicht überall gleich groß ist, sieht das Temperaturprofil nicht symmetrisch aus. Der Einfluss der Heizrohrschleife wirkt sich auch auf die Temperatur im Mauerwerk positiv aus. Nun sind auch die Bereiche bis über dem Fenster dem Einfluss der Heizung ausgesetzt. Lediglich die oberen äußeren Ecken im Simulationsmodell liegen im Temperaturbereich unter der 0 [°C] Grenze.

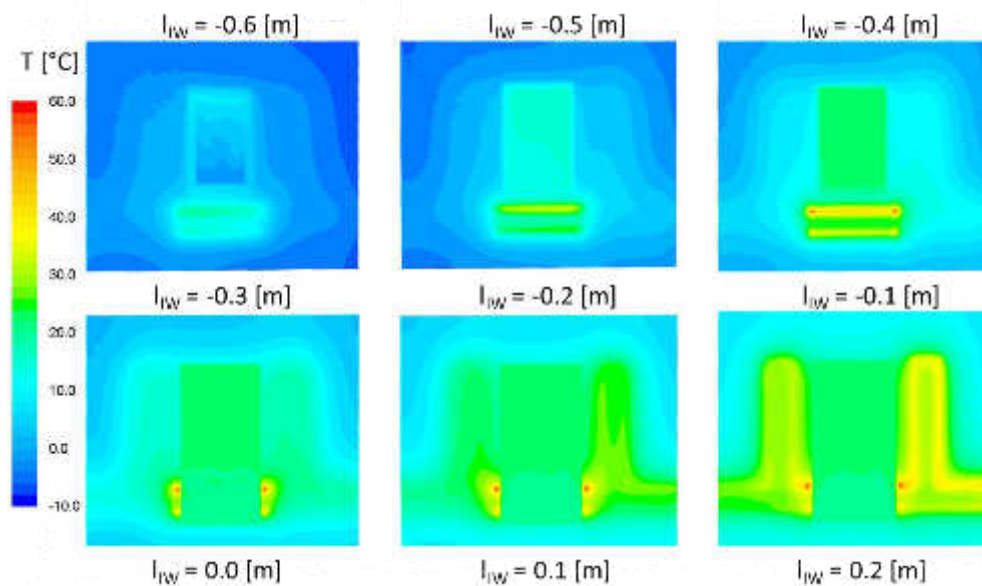


Abb. (172) Darstellung des Temperaturprofils (für Luft und Mauerwerk) in Schnittflächen parallel zur Außenmauer für Einbauvariante 3. Die Koordinate l_W gibt den Abstand zur Innenwand an, wobei die positive Koordinate Richtung Gangseite orientiert ist

Einbauvariante 4 (Horizontalschleife mit Schlaufe)

In der letzten Variante in dieser Untersuchung wird das Heizrohr, welches den Rücklauf des Heizwasserkreises beinhaltet, aus der Außenfassade (Abb. (173)) entfernt und stattdessen in der Mauer an der Gangseite (Abb. (174)) untergebracht. Der Abstand der vom Boden zur Heizrohrmittellinie beträgt 600 [mm]. Das Heizrohr befindet sich von der Innenwand ausgehend ca. 50 [mm] tief in der Mauer.

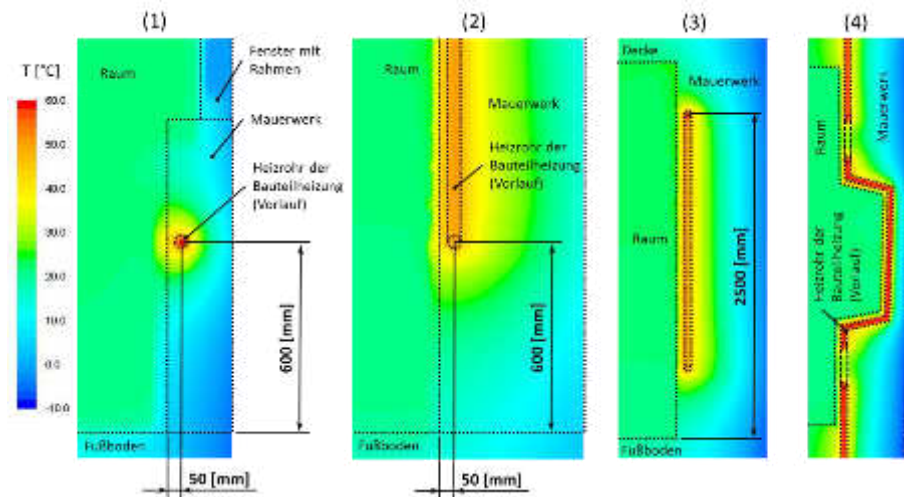


Abb. (173) Darstellung eines zweidimensionalen Ausschnitts im Bereich der Außenfassade zur Veranschaulichung des Heizrohrverlaufs durchs Mauerwerk mit Darstellung des Temperaturprofils für Einbauvariante 4. (1) Schnitt in der yz-Ebene im Bereich des Fensters, (2) u. (3) Schnitt in der yz-Ebene außerhalb des Fensterbereichs, (4) Schnitt in der xy-Ebene im Bereich der Heizrohre

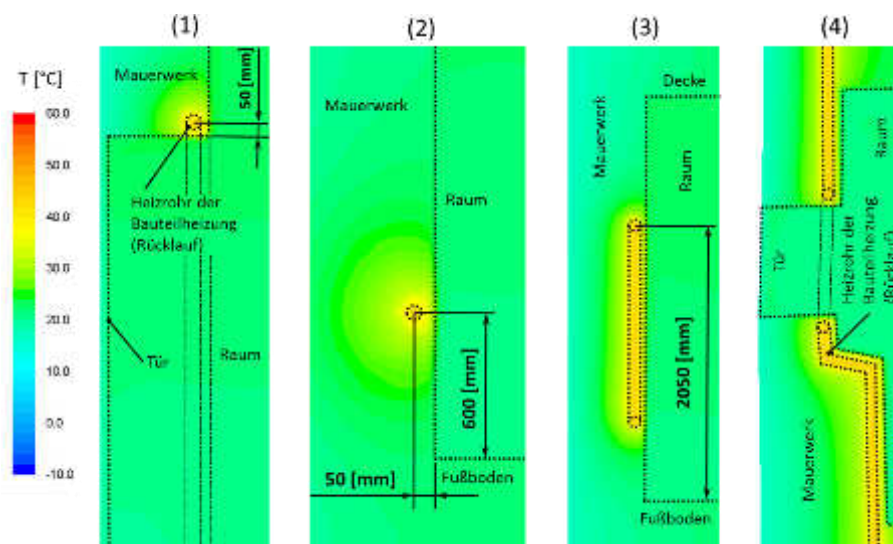


Abb. (174) Darstellung eines zweidimensionalen Ausschnitts im Bereich der gangseitigen Mauer zur Veranschaulichung des Heizrohrverlaufs durchs Mauerwerk mit Darstellung des Temperaturprofils für Einbauvariante 4. (1) Schnitt in der yz-Ebene im Bereich der Tür, (2) u. (3) Schnitt in der yz-Ebene außerhalb des Bereichs der Tür, (4) Schnitt in der xy-Ebene im Bereich der Heizrohre

Man verliert mit dieser Art der Verlegung des Heizrohrs zwar Heizleistung an der Außenfassade, aber dafür erhält man zusätzlich Heizleistung über die Mauer an der Gangseite. Bei Beobachtung des Temperaturprofils an den Innenwänden (Abb. (175)) ist zu erkennen, dass an der Innenwand der Außenfassade im unteren wieder niedrigere Temperaturen auftauchen.

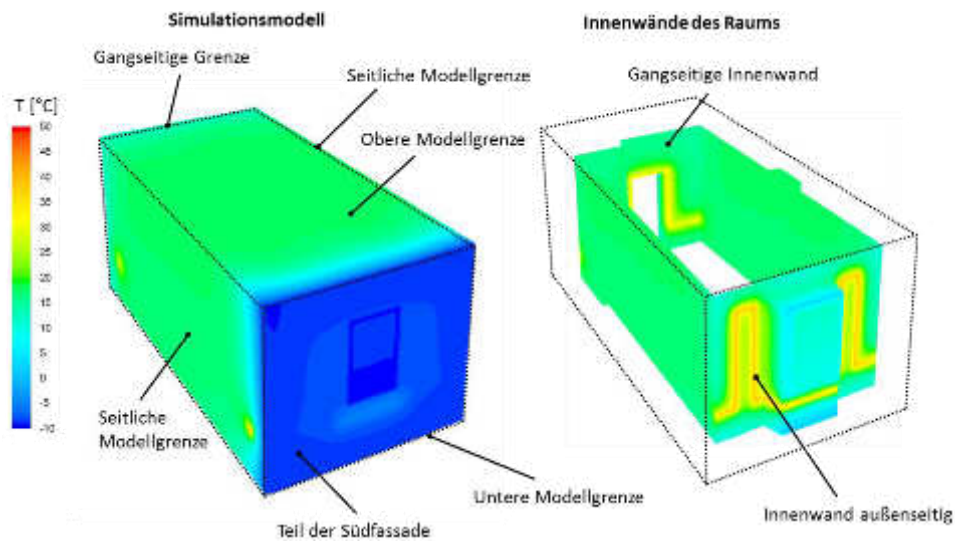


Abb. (175) Darstellung des Simulationsmodells für Einbauvariante 4 mit dazugehörigem Temperaturprofil. Daneben ist zusätzlich das Temperaturprofil für die Innenwände des Raums abgebildet

Die mittlere Raumtemperatur beträgt in dieser Variante 21.77 [°C]. Auch hier stellt sich eine Schichtung mit steigender Temperatur bei zunehmender Raumhöhe ein (Abb. (177)). Die Fußbodentemperatur liegt im Mittel bei 20.51 [°C], die mittlere Temperatur der Raumdecke beträgt 22.00 [°C]. Die Luftströmung im Raum sieht bei dieser Art der Heizrohrverlegung (Abb. (177)) sowohl im Bereich des Fensters, als auch im Bereich der Wand an der Außenmauer dem Strömungsbild aus der Einbauvariante 3 sehr ähnlich (Abb. (170)). In Abb. (176) sind Strömung und Temperaturprofil für den gangseitigen Bereich des Raums dargestellt, um so den Einfluss des Heizrohrs im Mauerwerk zu beschreiben. Durch die Integration des Heizrohrs im Mauerwerk sind in diesem Bereich ebenfalls Auftriebsströmungen zu beobachten. Im Bereich der Umlenkung des Heizrohrs seitlich um die Tür strömt die Luft komplett vom Boden bis zur Decke ((2) in Abb. (176)). Im Türbereich sinkt die Luft an der Tür abwärts, ab der Kante der Türnische steigt die Luft zur Decke ((1) in Abb. (176)). An den Stellen der Mauer, an denen sich das Heizrohr in der Nähe des Fußbodens befindet, steigt Luft bis ca. zur Mitte der Räume auf und trifft dort auf den Luftstrom, welcher von der Außenmauer die Decke entlang und an der Mauer der Ganggrenze abwärts strömt ((3) in Abb. (176)).

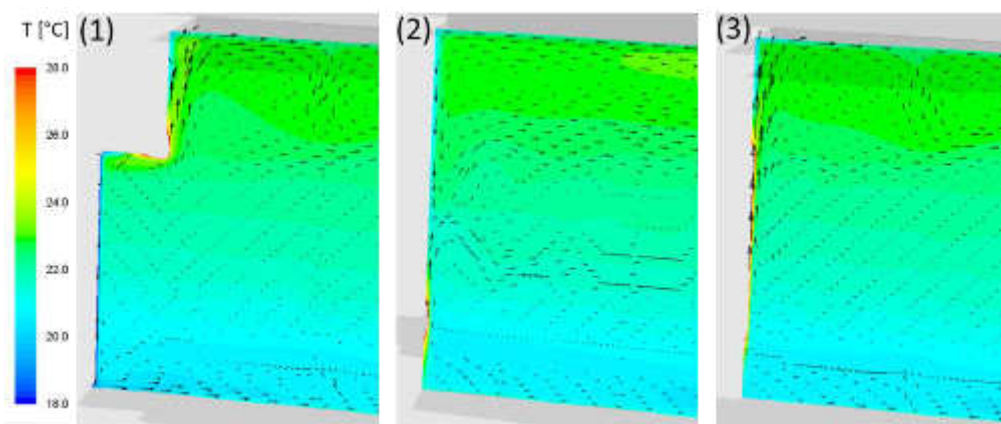


Abb. (176) In der Abbildung sind stellen drei Schnittebenen im Raum die Strömung und das Temperaturprofil in Kombination mit Strömungsvektoren das thermische und strömungstechnische Verhalten im Bereich zur Ganggrenze dar. (1) Schnittbene im Bereich der Tür, (2) Schnittbene im Wandbereich bei einer Wandstärke von ca. 0.6 [m], (3) Schnittbene im Wandbereich der Mauer mit einer Wandstärke von etwa 0.9 [m]

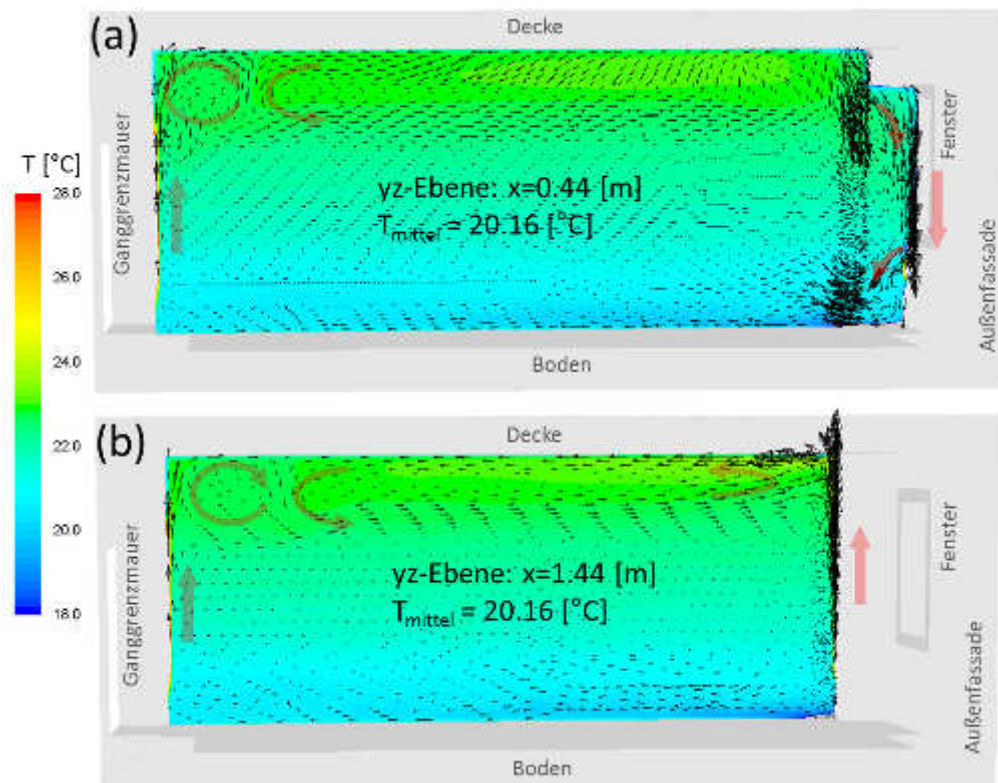


Abb. (177) Darstellung von Temperaturprofilen und Strömungsvektoren der Luft in der yz-Ebene im Simulationsraum bei unterschiedlichen x-Koordinaten für Einbauvariante 4.

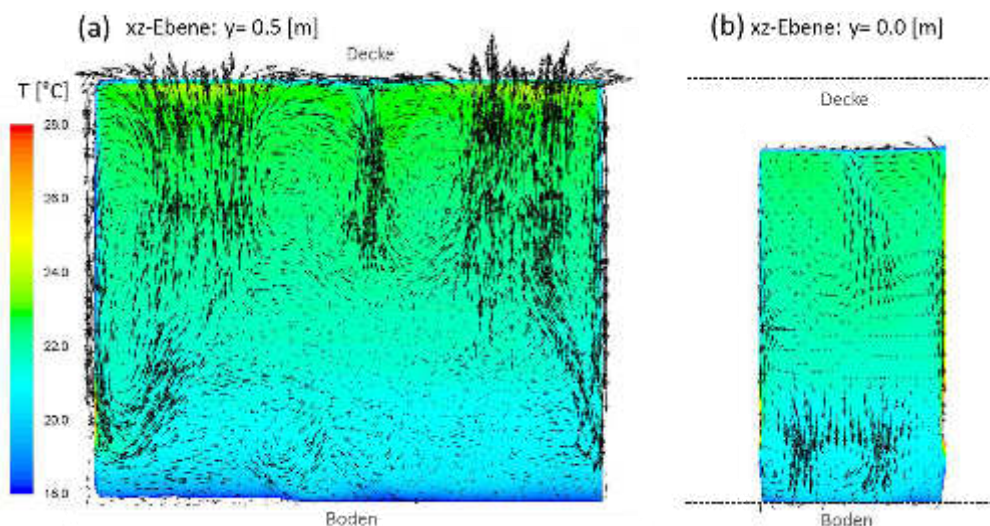


Abb. (178) In den beiden Abbildungen sind Temperaturprofil und Strömungsvektoren (a) im Bereich an der Innenwand der Außenfassade und (b) im Bereich der Fensternische für Einbauvariante 4 dargestellt.

Abschliessend zur Beschreibung der Einbauvariante 4 sind Schnitte durch das Simulationsmodell parallel zur Außenfassade dargestellt (Abb. (179) Abb. (167)). Ausgehend von der Koordinate 0.0 (= Position der Innenwand der Außenfassade im Simulationsmodell) sind die Schnitte in Abständen von 0.1 [m] nach innen und außen angeordnet. Da die Wandstärke der Außenmauer nicht überall gleich groß ist, sieht das Temperaturprofil nicht symmetrisch aus. Auch hier sind die Bereiche bis über dem Fenster dem Einfluss der Heizung ausgesetzt. Da jedoch nur mehr ein Heizrohr vorliegt ist dieser Einfluss geringer als in Einbauvariante 3.

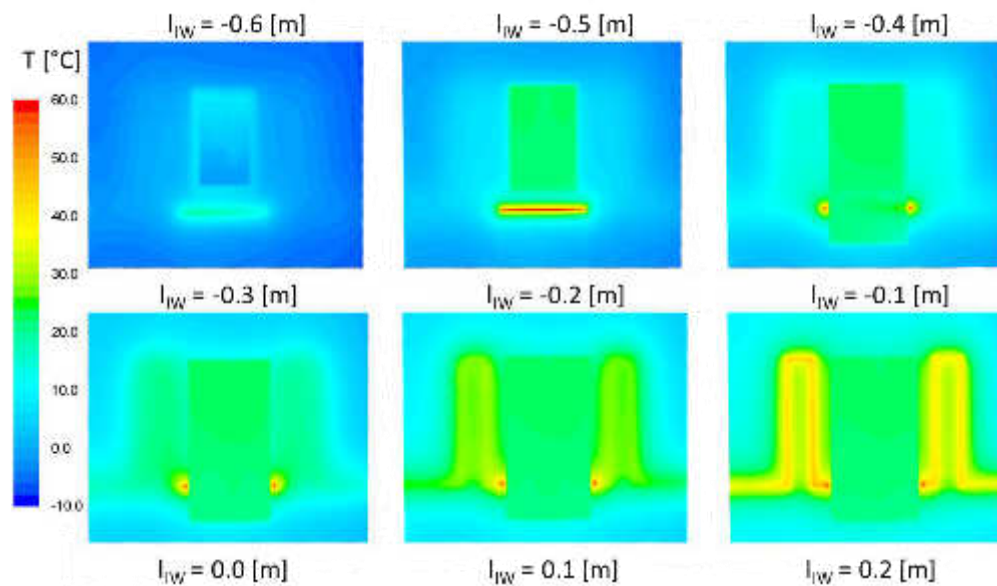


Abb. (179) Darstellung des Temperaturprofils (für Luft und Mauerwerk) in Schnittflächen parallel zur Außenmauer für Einbauvariante 4. Die Koordinate l_W gibt den Abstand zur Innenwand an, wobei die positive Koordinate Richtung Gangseite orientiert ist

3.5.6 Vergleich der Simulationsvarianten

Nachdem die einzelnen Einbauvarianten beschrieben sind, sollen Vergleiche der Simulationsvarianten (Abb. (154)) bei jeweils einer konstanten Größe zum Vergleich gegenübergestellt werden. In den Vergleichen wird die Simulationsvariante X-02 nicht mit berücksichtigt da in den Voruntersuchungen aufgrund des stationären Verhaltens keine erkennbaren Unterschiede zu Variante X-01 auftraten. In Abb. (180) sind alle berechneten Simulationsvarianten in einem Diagramm zum Vergleich dargestellt. In der Gesamtübersicht ist der Unterschied bei Einsatz der unterschiedlichen Einbauvarianten bei gleichen Randbedingungen in den Punkten (über-einander entlang der y-Achse angeordnet) zu beobachten.

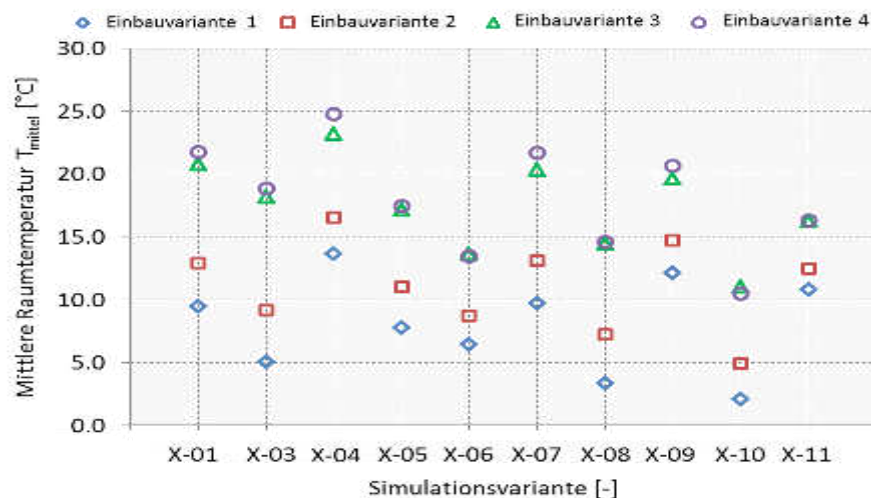


Abb. (180) Im Diagramm ist zur Gesamtübersicht von jeder Simulationsvariante die mittlere Raumtemperatur als Vergleich eingetragen. Auf der x-Achse sind übereinander die Ergebnisse jeweils bei gleicher Außentemperatur und Heizwassertemperatur angeordnet.

Vergleich der Varianten von Außentemperaturen und Heizwassertemperaturen

Zum Vergleich der Auswirkung auf die mittlere Temperatur im Raum des Simulationsmodells durch die Variation des Heizwassers sind die Ergebnisse der Varianten mit je gleicher Außentemperatur in einem Diagramm zusammengefasst dargestellt (Abb. (181)). Zur besseren Veranschaulichung sind die Punkte der gleichen Einbauvariante im Diagramm mit Geraden verbunden. Im Fall von 60 [°C] Vor- und 45 [°C] Rücklauf-temperatur wird die in diesem Fall maximal erreichbare Temperierung des Heizwasser betrachtet. Bei Vor- und Rücklauf-temperatur von 33 und 28 [°C] wird der niedrigste Betriebsfall der Bauteilheizung beschrieben. Um dazwischen einen weiteren Fall betrachten zu können, dient die Variante mit den Heizwassertemperaturen von 45 [°C] Vorlauf- und 40 [°C] Rücklauf-temperatur. Diese Annahme der Temperaturen liegt bezogen auf die Heizleistung ca. in der Mitte zwischen dem angenommenen Maximum und Minimum. Das Ergebnis aus dem Vergleich zeigt für jede Variante einen annähernd linearen Verlauf. Die mittlere Temperatur im Raum ist höher, je größer die gesamte zur Verfügung stehende Heizfläche für den Raum ist. Dabei ist eine Ausnahme zu beobachten. Je niedriger die Außentemperatur liegt, umso mehr nähert sich die Temperatur in den Ergebnisse aus Einbauvariante 4 den Temperaturen von Einbauvariante 3 an. Bei niedrigen Heizwassertemperaturen und Außentemperaturen ist die Art der Verlegung in Einbauvariante 3 laut den Simulationsergebnissen am effektivsten.

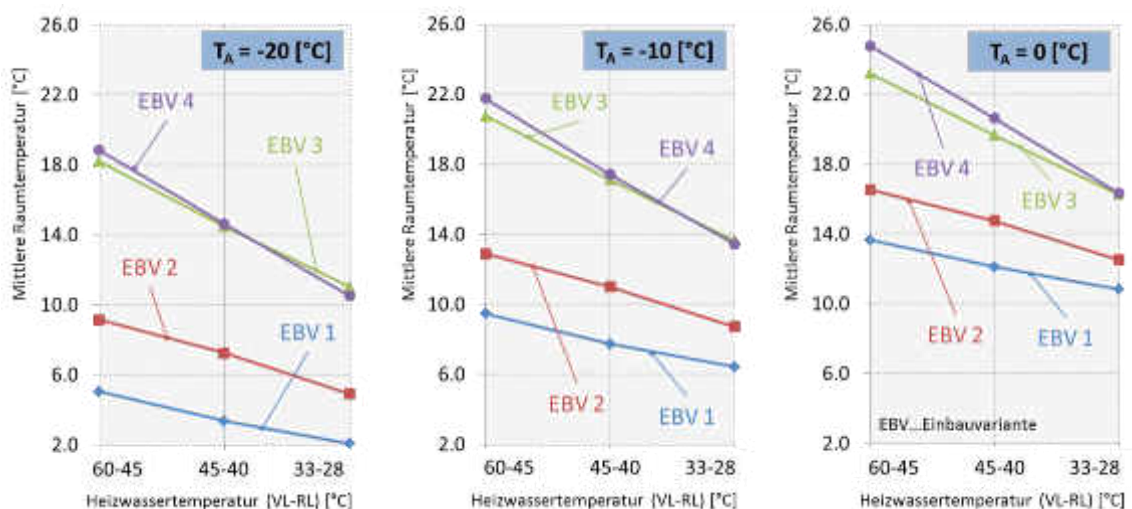


Abb. (181) In den Diagrammen sind die Varianten mit unterschiedlichen Heizwassertemperaturen bei gleicher Außentemperatur zum Vergleich dargestellt (T_A ...Außentemperatur, VL...Vorlauf, RL...Rücklauf).

Der Effekt, dass beim Betrieb der Bauteilheizung mit geringeren Heizwassertemperaturen trotz größerer Heizfläche niedrigere Temperaturen im Raum entstehen, ist in Abb. (182) noch besser dargestellt. In jedem Diagramm sind die aus den Simulationsvarianten resultierenden mittleren Raumtemperaturen bei gleichem Betrieb der Bauteilheizung (gleiche Vor- und Rücklauf-temperaturen) zu den drei unterschiedlichen Außentemperaturen aufgetragen. Auch hier ist ein annähernd linearer Verlauf erkennbar. Im Falle hoher Heizwassertemperaturen liegt der Verlauf der Raumtemperatur für Einbauvariante 4 noch über der von Einbauvariante 3. Bei Einstellung mittlerer Heizwassertemperaturen liegen die beiden Verläufe schon näher beieinander, bei niedrigen liegt der Verlauf für Einbauvariante 4 schon leicht unter dem von Einbauvariante 3.

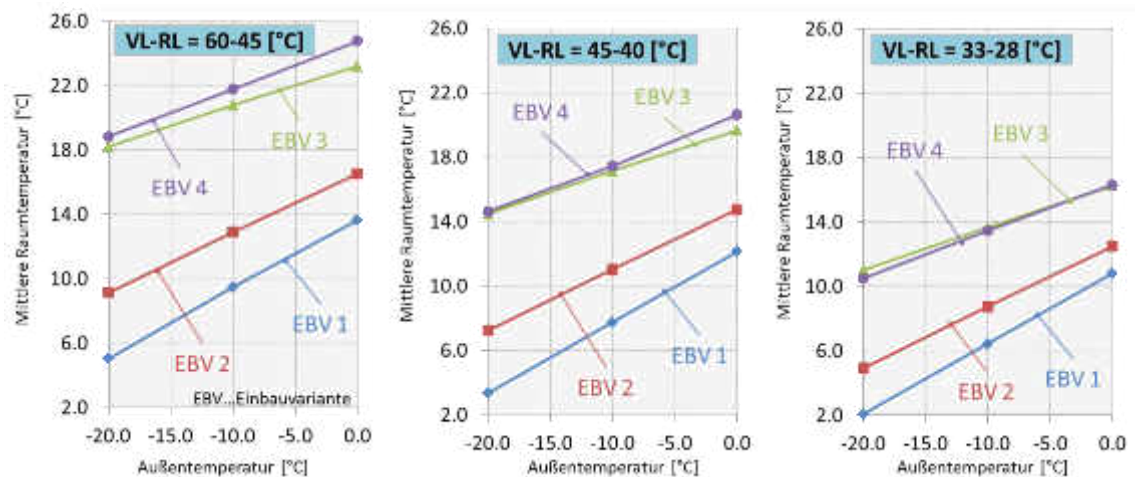


Abb. (182) In den Diagrammen sind die Simulationsvarianten mit unterschiedlichen Außentemperaturen bei jeweils gleichen Heizwassertemperaturen dargestellt.

Vergleich unterschiedlicher Wandmaterialien

In der Simulationsvariante X-07 kommt zum Vergleich ein anderes Wandmaterial zum Einsatz. Hierbei wird theoretisch das komplette Mauerwerk ein Material eingesetzt, das mit den Eigenschaften ähnlicher Wärmekapazität, niedriger Dichte und Wärmeleitfähigkeit wie das Mischmauerwerk, ausgestattet ist.

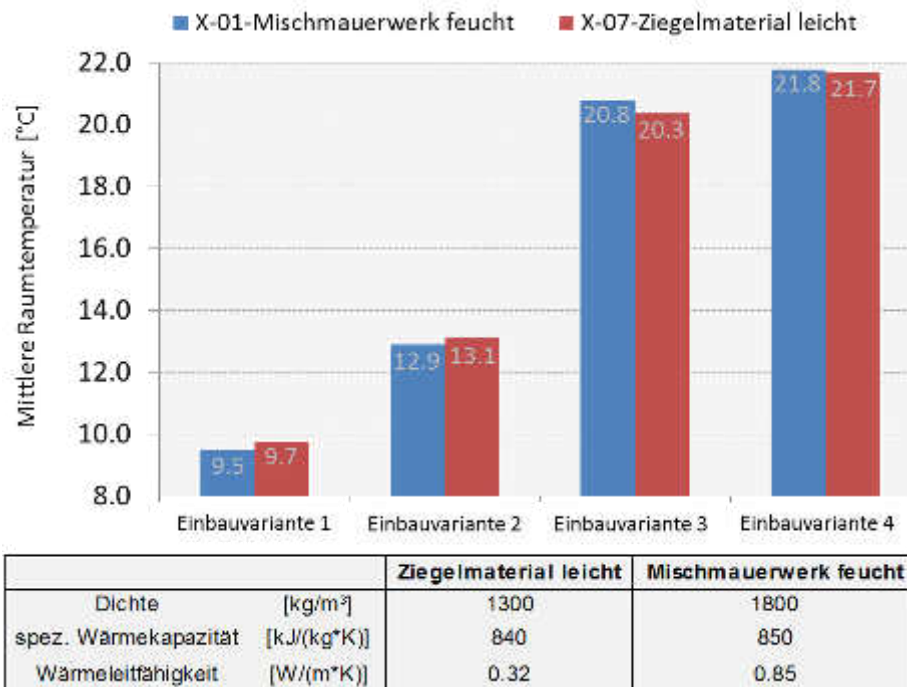


Abb. (183) Vergleich der mittleren Raumtemperatur aus den Simulationsergebnissen bei Verwendung zweier unterschiedlicher Wandmaterialien.

In den Simulationsvarianten X-01 und X-07, deren Ergebnisse in Form der mittlere Raumtemperaturen zum Vergleich im Diagramm in Abb. (183) dargestellt sind, herrschen abgesehen von dem Wandmaterial dieselben Randbedingungen. Die Gegenüberstellung ergibt, dass bei den Simulationen mit den Einbauvarianten 1 und 2 die Temperaturen unter den Einstellungen des Ziegelmaterials leicht höher ausfallen. Bei Einbauvariante 3 und 4 dreht sich das Ergebnis um und die mittlere Raumtemperatur ist in diesen Varianten bei der Verwendung der Stoffdaten für das Mischmauerwerk feucht höher.

Vergleich der Temperatur- und Strömungsprofile

In den folgenden vier Abbildungen werden das Temperaturprofil und die Luftströmung im Bereich der Außenfassade der einzelnen Varianten zum Vergleich gegenübergestellt. Mit Hilfe der Profile sollen hier die Unterschiede der Varianten in den Luftströmungen im Raum dargestellt werden. Weiter können aber auch die unterschiedliche Verteilung der Temperatur sowohl im Innenraum (Luft), als auch im Mauerwerk betrachtet werden.

Es handelt sich um zwei dimensionale Profilschnitte (Ebenen) durch das Simulationsmodell (siehe Abb. (184)). Der erste Schnitt (yz-Ebene bei $x = 3.0$ [m]) liegt in einem Bereich außerhalb des Fensters und außerhalb der in Einbauvariante 3 und 4 implementierten Schlaufe. Der zweite Schnitt liegt im Bereich der Außenfassade, in der das Heizrohr der Bauteilheizung vertikal verläuft (yz-Ebene bei $x = 2.8$ [m]). Der dritte Profilschnitt liegt an der Position, an der das Heizrohr horizontal im oberen Bereich des Mauerwerks verläuft (yz-Ebene bei $x = 2.6$ [m]). Der letzte Schnitt liegt genau im Zentrum des Kastenfensters, um dort die Strömung und den Verlauf der Temperatur vergleichen zu können (yz-Ebene bei $x = 1.44$ [m]).

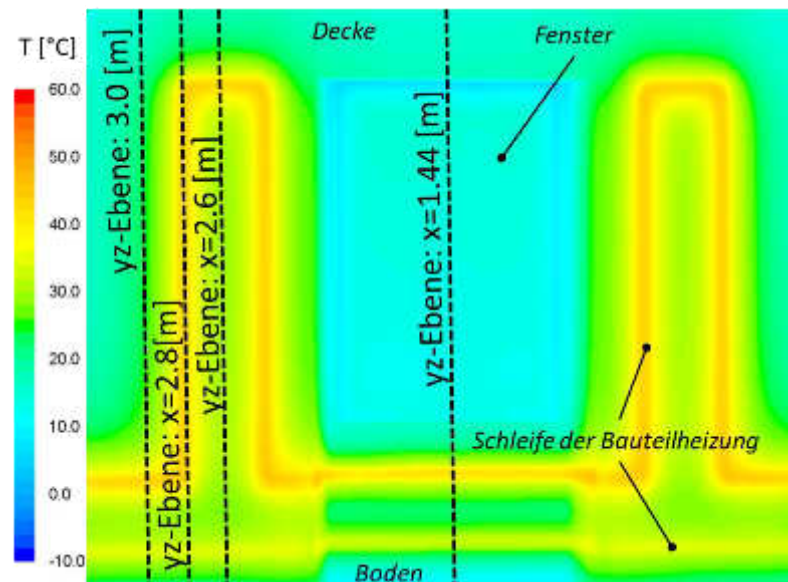


Abb. (184) Darstellung der Position der Profilschnitte zum Vergleich von Temperatur und Strömung im Bereich der Außenfassade. Die strichlierten Linien stellen den Schnitt durch das Simulationsmodell dar. Das Bild, in dem die Linien eingezeichnet sind, stellt die Innenwand der Außenfassade des Testraums dar (inklusive Temperaturprofil).

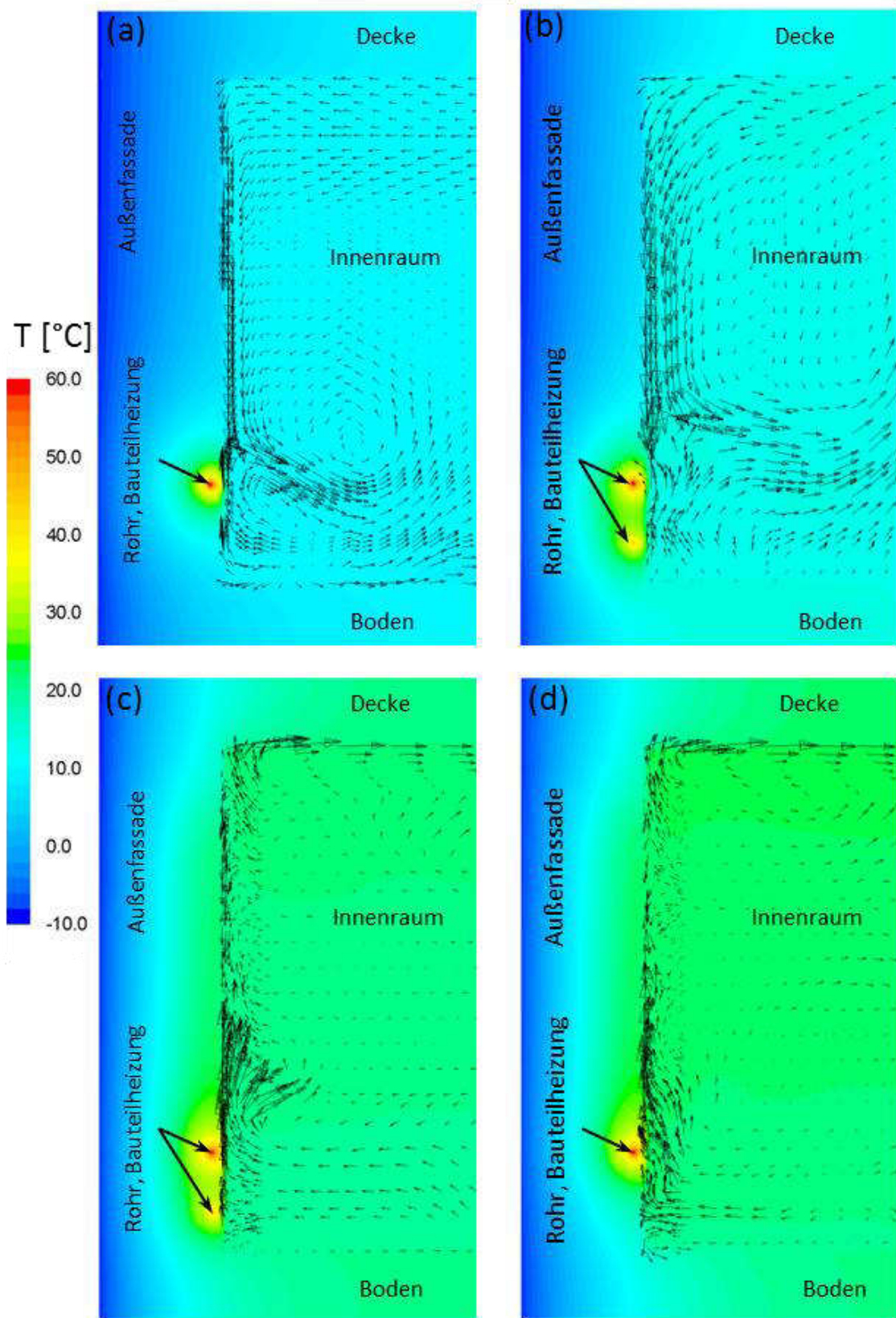


Abb. (185) Darstellung des Profilschnitts der yz-Ebene bei $x = 3.0 \text{ [m]}$ im Simulationsmodell. Eingezeichnet sind hier Temperaturverteilung und Strömungsvektoren für die Luftströmung im Innenraum bei (a) Simulationsvariante 101, (b) Simulationsvariante 201, (c) Simulationsvariante 301 und (d) Simulationsvariante 401.

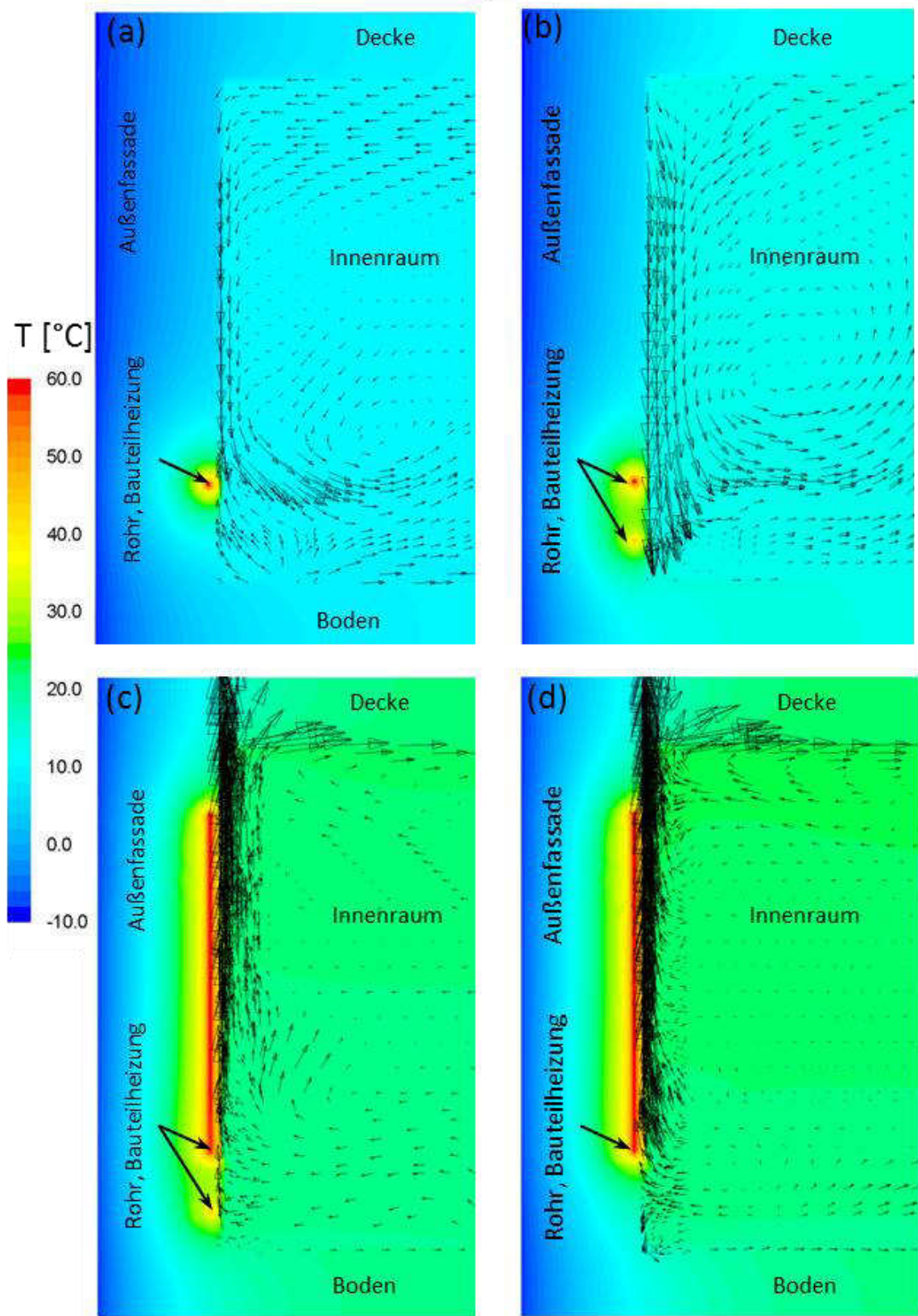


Abb. (186) Darstellung des Profilschnitts der yz-Ebene bei $x = 2.8 \text{ [m]}$ im Simulationsmodell. Eingezeichnet sind hier Temperaturverteilung und Strömungsvektoren für die Luftströmung im Innenraum bei (a) Simulationsvariante 101, (b) Simulationsvariante 201, (c) Simulationsvariante 301 und (d) Simulationsvariante 401.

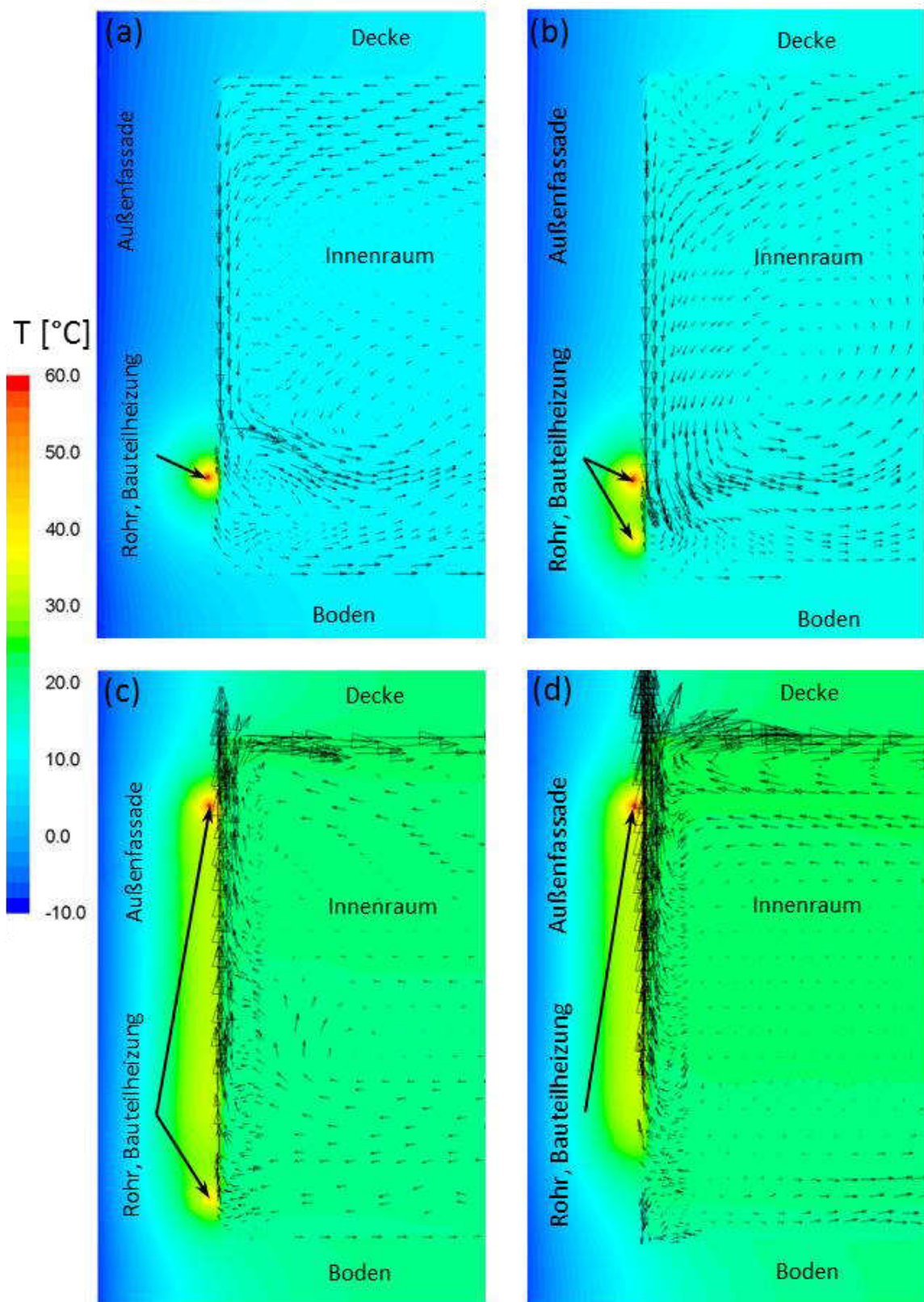


Abb. (187) Darstellung des Profilschnitts der yz-Ebene bei $x = 2.6$ [m] im Simulationsmodell. Eingezeichnet sind hier Temperaturverteilung und Strömungsvektoren für die Luftströmung im Innenraum bei (a) Simulationsvariante 101, (b) Simulationsvariante 201, (c) Simulationsvariante 301 und (d) Simulationsvariante 401.

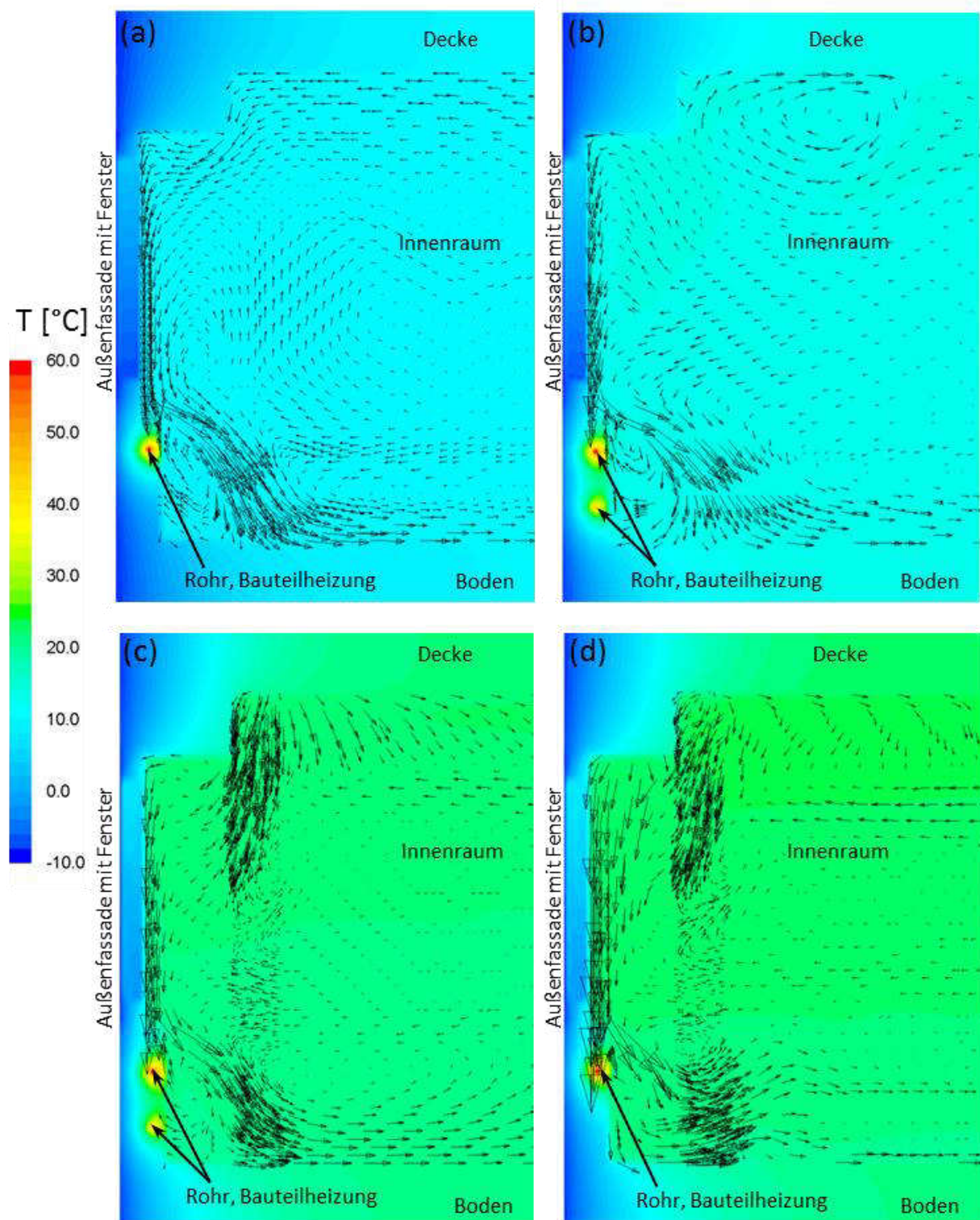


Abb. (188) Darstellung des Profilschnitts der yz-Ebene bei $x = 1.44$ [m] im Simulationsmodell. Eingezeichnet sind hier Temperaturverteilung und Strömungsvektoren für die Luftströmung im Innenraum bei (a) Simulationsvariante 101, (b) Simulationsvariante 201, (c) Simulationsvariante 301 und (d) Simulationsvariante 401.

3.6 Trocknungspotential thermischer Bauteilkonditionierung

Ulrich Ruisinger, Daniel Brandl

Bei der Bauteiltemperierung werden Heizrohre (Vor- und Rücklauf) auf dem rohen Mauerwerk befestigt oder oberflächennah in die eventuell etwas ausgekratzten Mauerwerksfugen eingesetzt. Anschließend werden Wand und Rohre verputzt. Der Einbau einer derartigen Bauteiltemperierung im Franziskanerkloster Graz motivierte das „denkmalaktiv I“ Projektteam eine Untersuchung derartiger Konditionierungssysteme vorzunehmen. Die Bauteiltemperierung wird als Methode beschrieben mit der zum einen durch wenige, in der Wand eingebrachte Heizungsrohre Räume bis zu einer gewissen Temperatur temperiert werden können. Diese Annahme wurde im vorangegangenen Kapitel 3.5 thematisiert. Zum anderen sollen feuchte Wände damit schonend getrocknet und anschließend auch dauerhaft trocken gehalten werden können. Letztere Wirkung wird auch als probates Mittel gegen (permanent) aufsteigende Feuchte beschrieben. Diese „Vermutung“ sollte einer näheren Betrachtung unterzogen werden.

Die bereits im Franziskanerkloster Graz verlegten Heizleitungen konnten nur bedingt dazu herangezogen werden um die gesamte Fragestellung, Raumheizung und Schutz vor aufsteigender Feuchte durch Bauteiltemperierung, zu untersuchen. Die Problematik der aufsteigenden Feuchte ließ sich an diesem Objekt nicht oder nur unzureichend analysieren, da keine bzw. nur eine sehr geringe und schwer bestimmbare Feuchtebelastung durch aufsteigende Feuchte vorlag. Zudem wären Voruntersuchungen der Bestandswand notwendig geworden, die wegen des Eingriffs in die Bausubstanz zu aufwändig und im Ergebnis zu ungenau eingeschätzt wurden. Ferner lagen keine detaillierten Kenntnisse über die wärme- und feuchtetechnischen Speicher- und Transporteigenschaften der Baumaterialien vor. Diese sind für eine tiefgreifende Untersuchung notwendig.

3.6.1 Versuchsaufbau und Testfelder

Am Institut für Bauklimatik der Technischen Universität Dresden bestand die Möglichkeit, schon bestehende Testwände bezüglich der Fragestellung zu modifizieren und einzusetzen. Die Heizungsrohre wurden durch elektrische Heizdrähte simuliert. Der Versuchsaufbau befindet sich im Bauphysikalischen Forschungs- und Entwicklungslabor des Institutes für Bauklimatik in Dresden, die Testwand ist nach Westen ausgerichtet. In einem Abstand von ca. 5 m steht ein weiteres Gebäude von ungefähr 4 m Höhe. In ungefähr 8 m Entfernung in südlicher Richtung steht zwischen den beiden Gebäuden ein niedriger Laubbaum, der Wind- und Schlagregeneinfluss auf die Testwand ist deshalb gering. Auf dem Dach des Laborgebäudes werden meteorologische Daten wie Global-, Diffusstrahlung, Windrichtung, Windstärke, Niederschlag, Temperatur sowie die Luftfeuchte erfasst. Die untersuchten Testfelder befinden sich in einem abgetrennten Raum mit separater Heizung. Das Innenklima im Versuchsraum wird im 3-Minuten-Rhythmus gemessen und auf 30 min-Werte gemittelt. Zur Untersuchung der Auswirkungen einer Wandtemperierung auf aufsteigende Feuchte in einem Mauerwerk wurde am Institut für Bauklimatik der TU Dresden ein Testfeld geschaffen. Es besteht aus vier Einzelfeldern, welche untereinander und von der umgebenden Wand durch 100 mm dicke Schaumglasplatten thermisch entkoppelt sind. Das Schaumglas verhindert gleichfalls den Feuchtetransport zwischen den verschiedenen Feldern. Die in diesem Versuch genutzten beiden Felder sind an der Basis mit einem Wassergefäß versehen, in welches das Mauerwerk eingepasst wurde. Diese Gefäße können maximal 2 Liter Flüssigkeit aufnehmen. Das rechte Feld, im folgenden Feld A genannt, besitzt ein Heizelement, welches über einen Temperaturfühler in der Heizebene gesteuert wird. Das danebenliegende Feld B hat kein Heizelement.

Die Fotos in Abb. (189) illustrieren die unverputzte Testwand (links oben) und die Ansichten der verputzten Testwand (8. Oktober 2012). Wie zu sehen ist, steigt das eingefüllte Wasser im Außen- und Innenputz gleichermaßen an. Das linke untere Bild zeigt die beiden Datenlogger im Regal. Die blauen Flächen auf den beiden Testwänden sind die Wärmeflussplatten. Auf dem rechten Bild lassen sich noch die Markierungen für die händische Erfassung des Feuchtegehalts zu erkennen. Die transparent-gelben Kugeln in den Wassergefäßen reduzieren die Verdunstung über der freien Wasseroberfläche.



Abb. (189) links oben: Innenansicht mit Blick in das Gefäß zum Einfüllen des Wassers vor Anbringung der Messtechnik und des Innenputzes, links unten: Aufnahmen während der Messungen am 8. Oktober 2012, rechts: frontale Innenansicht des beheizten Feldes A

Die Felder sind mit einer Vielzahl von Sensoren ausgestattet, um die einzelnen Versuchsschnitte messtechnisch zu begleiten. Die Lage und der Typ der Sensoren sind in Abb. (190) dargestellt. Die stationären Sensoren sind:

NTC-Sensoren: messen Temperaturen an verschiedenen Stellen der Wandinnen- und Außenoberfläche sowie am Heizdraht („NTC 1“ bis „NTC 3“ und „Außensensor 1“ bis 3). Sie sind jeweils in den Putz eingebracht worden.

Kombinierte, kapazitive Feuchte-/Temperatursensoren: messen Temperaturen und Luftfeuchte auf dem Mauerwerk, das heißt, ungefähr in der Grenzfläche zwischen Mauerwerk und Putz („LFS 1“ und „LFS 2“). Im Gegensatz zu NTC-Sensoren sind die Messfühler hier von einer schützenden Metallhülle umgeben. Die Sensoren sind deshalb leicht luftumspült.

Wärmeflussplatten: Wärmeflussmenge in der Höhe des Heizdrahts in Feld A.

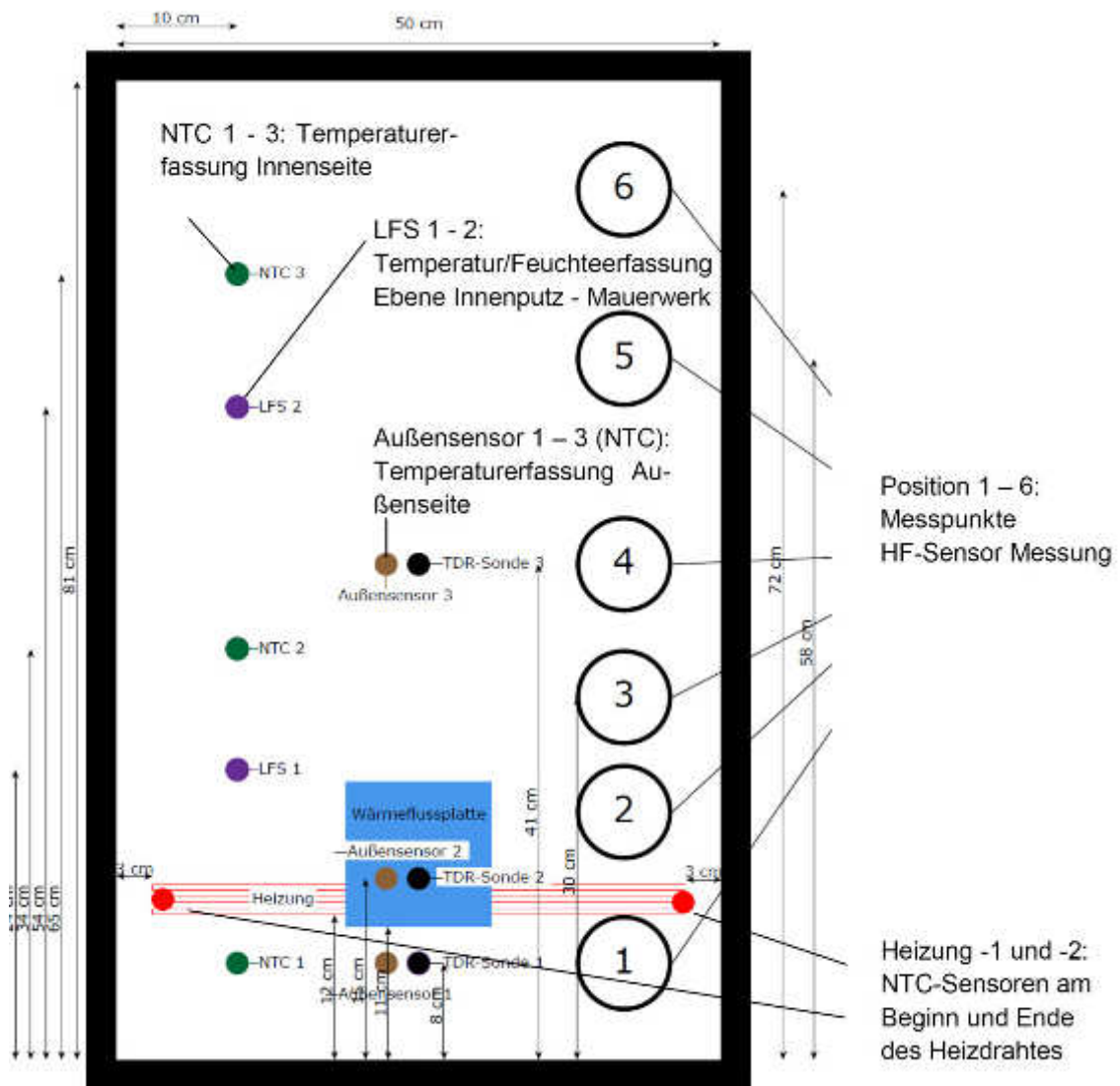


Abb. (190) Skizze des rechten Testfeldes A mit dem Heizelement

Neben den Feuchtesensoren lassen sich auch die Temperatursensoren für die qualitative Bewertung von Feuchtezuständen heranziehen. Indirekt ermöglichen die Temperatursensoren Rückschlüsse auf den Feuchtezustand des Mauerwerks, da die Wärmeleitfähigkeit von Baumaterialien feuchteabhängig ist. Ein feuchtes Mauerwerk wird deshalb während eines hohen Temperaturgefälles im Winter innen kälter und außen wärmer sein als ein trockenes Mauerwerk. Ferner wurde ein Handgerät eingesetzt, welches die Mauerwerksfeuchte in unterschiedlichen Tiefen mit Hilfe von Mikrowellen misst. Dabei handelt es sich folglich um ein zerstörungsfreies Messverfahren. Da es sich um ein Handgerät handelt, konnten Feuchtwerte in unterschiedlichen Höhen der Wände ermittelt werden. Durch verschiedene Messköpfe konnte die Feuchte auch in unterschiedlichen Tiefen gemessen werden. Die Messpositionen ,1' bis ,6' für die händischen Messungen sind in Abb. (190) angegeben. Die Messung erfolgte in unterschiedlichen Zeitabständen bzw. nach Änderung der Versuchsbedingungen wie Befeuchtung oder Heizung. Die „Roh-“Messwerte dieses Gerätes, welches die Dielektrizitätskonstante eines Baumaterials erfassen, sind zunächst nur qualitativer Natur, daß heißt, sie sind nicht geeignet um den tatsächlichen Feuchtegehalt eines Materials zu bestimmen.

Für die Umrechnung der rohen Messwerte sind in den Geräten selber vorgefertigte Kurven für verschiedene Materialien abgelegt. Mit Hilfe dieser Kurven können die rohen Messwerte in eine Materialfeuchte umgerechnet werden. Inwieweit die Messwerte vom realen Feuchtegehalt abweichen hängt davon ab, wie gut die in der Software des Gerätes abgelegte Kurve zur Feuchtespeicherfunktion des gemessenen Materials paßt. Das Problem bei der Messung eines üblichen historischen Ziegelmauerwerks besteht darin, daß es sich um mehrere Baustoffe handelt. Ungefähr 10-25 % des eigentlichen Ziegelmauerwerks besteht aus Mörtel. Die Feuchtespeicherfunktionen von Ziegel und Mörtel weichen in der Regel weit voneinander ab. Die später angezeigten Messwerte sind deshalb einer weiteren Ungenauigkeit unterlegen, da, je nach Messpunkt, ein mehr oder weniger großer Anteil an Mörtel enthalten ist und die Messreihen deshalb gewisse Sprünge aufweisen können. Um diese Abweichungen zu reduzieren werden pro Messung an jedem der sechs Messpunkte insgesamt drei Messwerte erhoben, von denen ein Mittelwert gebildet wird. Die in den späteren Diagrammen angegebenen Werte sind aus diesen Gründen in erster Linie als qualitative Darstellung zu interpretieren und nicht als exakte Messwerte der Materialfeuchte. Problematisch an den Messwerten dieser Art der Erfassung ist, daß sie von Salzen beeinflusst werden. In den Kalibrierkurven wird die Salzabhängigkeit nicht berücksichtigt.

Die Beheizung wurde mit Hilfe von elektrisch betriebenen Heizdrähten bewerkstelligt, welche in einer hitzebeständigen Heizmatte eingebunden waren. Die Heizmatte wurde in der Länge soweit zusammengefaltet, daß eine rechteckige Querschnittsfläche mit der Kantenlänge 8 * 10 mm entstand. Die Regelung der Heizdrähte wurde durch den Temperaturregler ETC 200 realisiert. Die Temperaturen wurden auf 30°C begrenzt, was der niedrigen Rücklauftemperatur eines Heizsystems entspricht.

Versuchsablauf

Nach Einbau der Wandtemperierung und Aufbringung des Innenputzes wurden die Wassergefäße der Testfelder nach einer 28-tägigen Abbindezeit des Innenputzes mit je zwei Litern Wasser befüllt. In der Folge wurde regelmäßig der Wasserstand kontrolliert und nachgefüllt, sodass die Testwände permanent ein bis drei Zentimeter hoch im Wasser standen. Trotz nahezu konstanter Wassermenge in den Befeuchtungswannen konnte kein Feuchteanstieg oberhalb der Messposition ,1' (Abb. (190)) in beiden Testfeldern festgestellt werden. Die Sensoren LFS 1 verzeichneten einen Anstieg der relativen Luftfeuchte auf knapp 70 % in Feld B bzw. 90 % in Feld A, der den Erwartungen zumindest in Feld B nicht entsprach. Aus diesem Grund wurde ab Anfang November 2012 die gesamte Testfeldfläche regelmäßig mit Wasser besprüht. In der Folge stieg der Wassergehalt auch oberhalb der Positionen ,1' an. Wie die Simulationen später zeigen werden, konnte erst durch das zusätzliche Besprühen die erwünschten Feuchteverteilung (siehe Abb. (223)) erzielt werden. Mitte Januar 2013 wurde begonnen, das Testfeld A über den eingebauten Heizdraht zu temperieren. Mit der Beheizung setzte die Besprühung der Innenwandoberflächen aus, das Befüllen der Wassergefäße wurde weiter betrieben.

3.6.2 Temperatur- und Luftfeuchtemessungen in der Konstruktion

Dieser Abschnitt dokumentiert die Messwerte von Temperatur und relativer Feuchte der in der Putzschicht im Testfeld integrierten LFS-Sensoren für den gesamten Versuchszeitraum, aufgeteilt in die entsprechenden Teilabschnitte. Die relevanten Sensoren sind in der schematischen Darstellung des Testfelds abgebildet. Der Sensor LFS 2 liegt in der Putzschicht ca. 30 cm über dem Sensor LFS 1, der wiederum 24 cm vom unteren Rand des Testfelds entfernt ist Abb. (191).

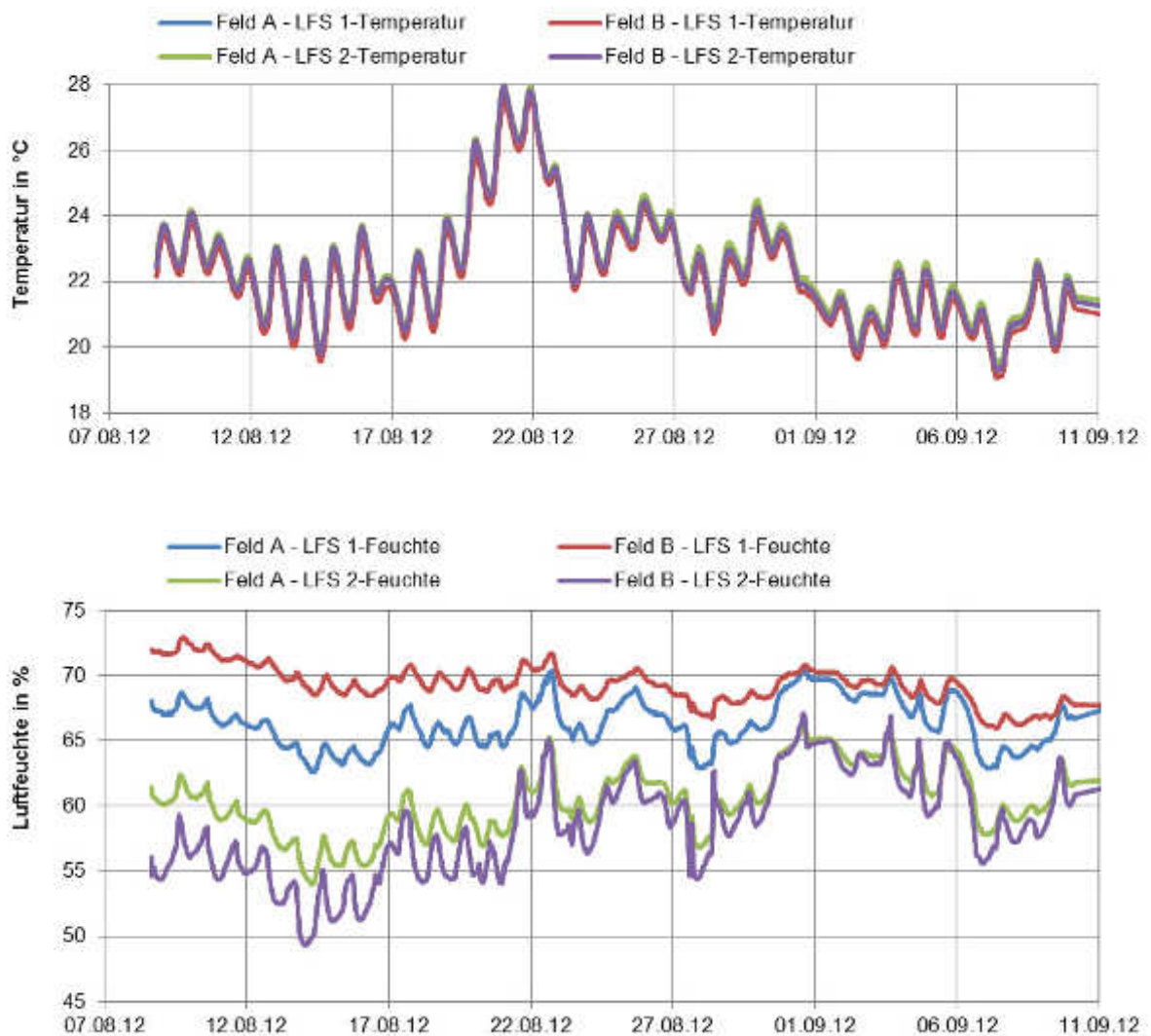


Abb. (191) zeitlicher Verlauf von Temperatur (oben) und relativer Luftfeuchte (unten) zwischen Putzschicht und Mauerwerk in beiden Testfeldern vom 7.8.2012 bis zum 11.09.2012

Der erste Abschnitt der Messung bis 11.09.2012 befindet sich vor der ersten Befüllung der Befeuchtungswannen mit Wasser, die Bauteilheizung war noch nicht aktiv. Die in diesem Abschnitt gemessenen Temperaturen sind an allen Messpositionen annähernd gleich. Am unteren der beiden Messpunkte der Temperatur und Feuchtemessung im Testfeld A (Feld A-LSF 1) lag die gemessene Feuchte zu Anfang dieses Abschnitts des Messzeitraums unterhalb des Werts aus Testfeld B (Feld B-LSF 1), die beiden Messwerte näherten sich jedoch bis zum Ende dieses Messabschnitts an (Abb. (191) unten). Der Sensor LSF 2 in Feld A maß anfangs eine höhere Feuchte als in Feld B, die Werte näherten sich ebenfalls an. Die beiden Felder starteten somit von unterschiedlichen Ausgangspunkten. Während Feld B vergleichsmäßig ausgeglichen feucht war, bestanden zwischen den Messpunkten in Feld B bis Ende September größere Differenzen. Doch auch nachdem sich die Graphen der beiden Felder angeglichen haben, ist es an den unteren Messpunkten LFS 1 in beiden Felder um etwas mehr als 5 % feuchter. Dies könnte daran liegen, dass die im Raum zurückgesetzte Lage zwischen den Schaumglasabtrennungen dazu führt, dass der untere Teil einen etwas geringeren Luftaustausch mit der Raumluft aufweist und deshalb feuchter bleibt.

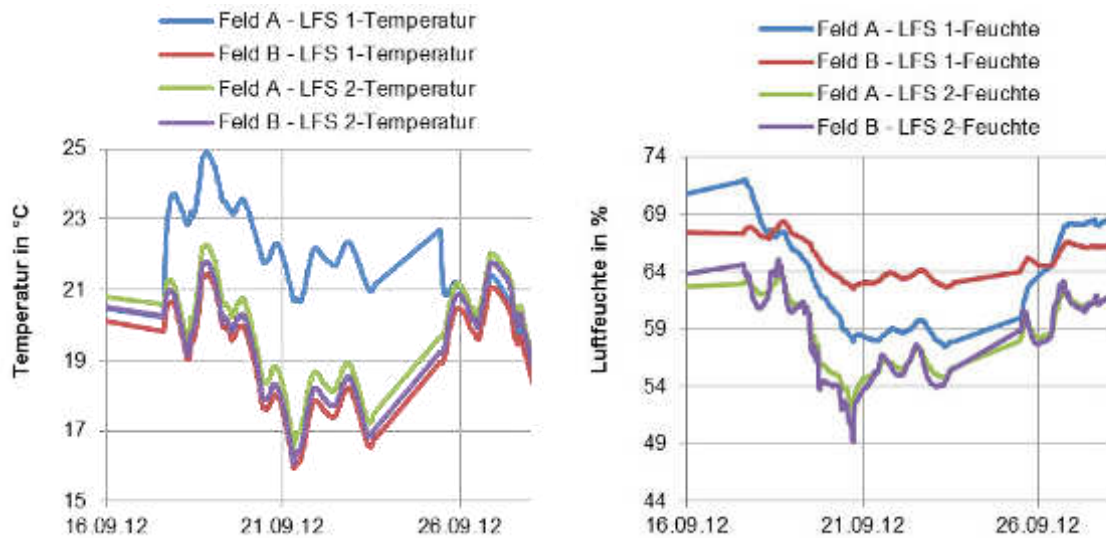


Abb. (192) zeitlicher Verlauf von Temperatur (links) und relativer Luftfeuchte (rechts) zwischen Putzschicht und Mauerwerk in beiden Testfeldern vom 16.9.2012 bis zum 26.09.2012

Im Zeitraum vom 17.9.2012 bis zum 25.9.2012 war die Bauteilheizung in Feld A zu Testzwecken aktiviert, die Temperaturen in der Nähe des Heizdrahtes (LSF 1) setzen sich daraufhin merklich ab (s. Abb. (192) links). Die gemessene Temperatur im unteren Bereich des Testfelds A liegt in diesem Abschnitt um ca. 3 bis 5 °C über den anderen Messstellen sowohl in Feld A als auch in B. An Punkt LSF 2 im beheizten Feld A verlaufen die Temperaturen um durchschnittlich 0,4 bzw. 0,7 K höher. Diese Differenz könnte in der Beheizung begründet sein, da in Abb. (191) die beiden oberen LSF-Temperatur Sensoren über einen längeren Zeitraum hinweg nahezu deckungsgleich verliefen. Da auch wärmere Luft in den Materialporen und Kapillaren mehr Feuchte aufnehmen kann, sinkt wegen der höheren Temperaturen die relative Feuchte an der unteren Messposition LSF 1 auf unter 60 % ab. Auch am oberen Messpunkt LSF 2 in Feld A sinkt die Luftfeuchte, wobei nicht klar ist, inwieweit dies auf die Beheizung zurückzuführen ist, denn in Feld B vollzieht der Sensor ähnliche Bewegungen.



Abb. (193) zeitlicher Verlauf von relativer Luftfeuchte (unten) zwischen Putzschicht und Mauerwerk in beiden Testfeldern vom 26.9.2012 bis zum 1.11.2012

Ab dem 26.9.2012 (Abb. (193)) begann die regelmäßige Füllung der Befeuchtungswannen. Die Bauteilheizung in Feld A war in diesem Zeitabschnitt weiterhin inaktiv. Die relative Feuchte stieg an den unteren Messstellen LSF 1 zu Beginn kurz an, und verlief dann bis 12.10.2012 annähernd konstant. Ab diesem Zeitpunkt war an den Messsensoren im unteren Bereich ein Anstieg der Feuchte zu verzeichnen, der voraussichtlich auf äußere Einflüsse zurückzuführen war, da er sich simultan bei allen Linien abzeichnete. Der Anstieg fiel jedoch in Testfeld B (rote Linie) deutlich geringer aus als in Testfeld A (blaue Linie), obwohl die beiden Testfelder den gleichen Aufbau besitzen. Wie in Abb. (189) zu sehen ist, gelangte ungefähr zu diesem Zeitraum die Feuchtefront in den Bereich der unteren Luftfeuchtesensoren. Die oberen beiden Messfühler LFS 2 verlaufen nahezu deckungsgleich und werden nicht von der Feuchtezufuhr beeinflusst. Die offensichtlichen Unterschiede in der Feuchteentwicklung trotz identischer Randbedingungen erschwert die Beurteilung der Bauteilaktivierung. Unter der Annahme, dass für die Ziegel und den Mörtel jeweils identische Produkte verwendet wurden, werden die Gründe für das unterschiedliche Verhalten in der Erstellung der Wand vermutet:

- Bei der Erstellung der Testwände wurden die Ziegel unterschiedlich lang oder evtl. sogar überhaupt nicht gewässert bzw. wurden sie zu unterschiedlichen Zeiten eingebaut, so daß sie nicht denselben Feuchtegehalt im oberflächennahen Bereich aufwiesen. Nicht gewässerte Ziegel verursachen hohe Flüssigwassertransportwiderstände (Derluyn, Janssen, & Carmeliet, 2011).
- Der Mörtel wurde ungleichmäßig (mit Lücken) aufgetragen.
- Ein Mörtel mit niedrigem w/z-Wert (Mengen-Verhältnis von Wasser zu Zement) wurde aufgebracht bzw. wurde der Mörtel zu unterschiedlichen Zeiten aufgebracht, so daß der w/z-Wert unterschiedlich war und in der Folge unterschiedliche Transportparameter aufwies.
- In der Wand haben sich lokal Risse gebildet, die eine kapillare Weiterleitung von Wasser verhindern, für ein Temperatursignal dagegen kein Widerstand darstellen.

Die Temperaturen lagen im basalen Bereich der Testfelder knapp unterhalb der Messwerte der im oberen Bereich positionierten Sensoren. Da feuchtes Mauerwerk Wärme besser leitet, ist zu vermuten, dass sich die Wärmeleitfähigkeit der untersten, feuchten Ziegellage und des umgebenden Mörtels erhöhte und niedrigere Temperaturen verursachte.

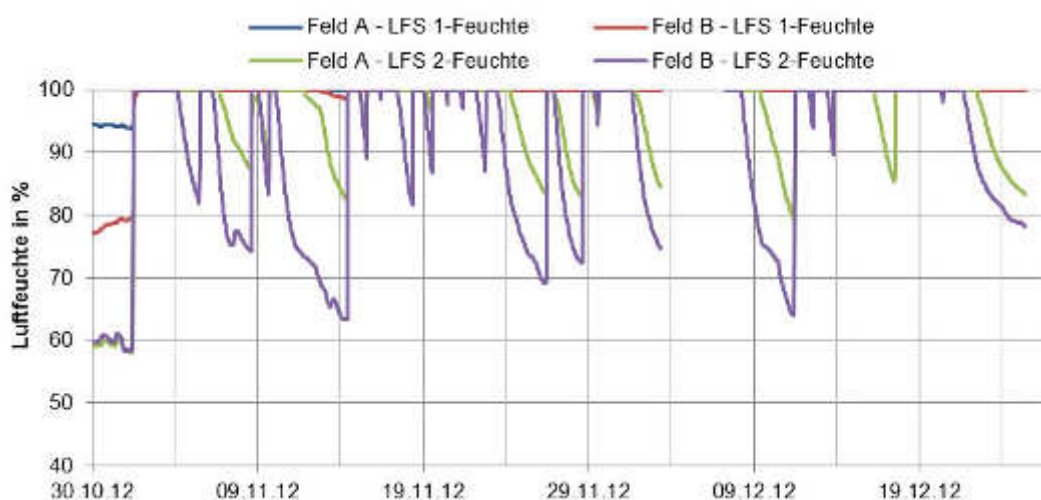


Abb. (194) zeitlicher Verlauf von Temperatur (oben) und relativer Luftfeuchte (unten) zwischen Putzschicht und Mauerwerk in beiden Testfeldern vom 30.10.2012 bis zum 23.12.2012

Ab dem 1.11.2012 wurde die Oberfläche der Testfelder regelmäßig mit Wasser besprüht ohne den Heizdraht zu aktivieren. Dadurch erreichte der Messwert aller LFS-Sensoren 100 % Luftfeuchte Abb. (193). Zwischen den Sprühvorgängen hält die Messung im basalen Bereich diesen Wert. Im oberen Bereich trocknet das Material an der Oberfläche aus, der Feuchtegehalt sinkt bis zum nächsten Sprühvorgang ab. Analog zu den Beobachtungen in Abb. (193) verhielt sich das Feld B ohne Heizdraht günstiger und trocknete weitaus schneller als Feld A aus. In diesem Zeitabschnitt treten etwas größere Abweichungen der Temperaturmesswerte auf. Die unteren Messfühler registrierten zumeist niedrigere Temperaturen als die oberen, bedingt durch den schon beschriebenen Einfluss der Feuchte auf die Wärmeleitfähigkeit.

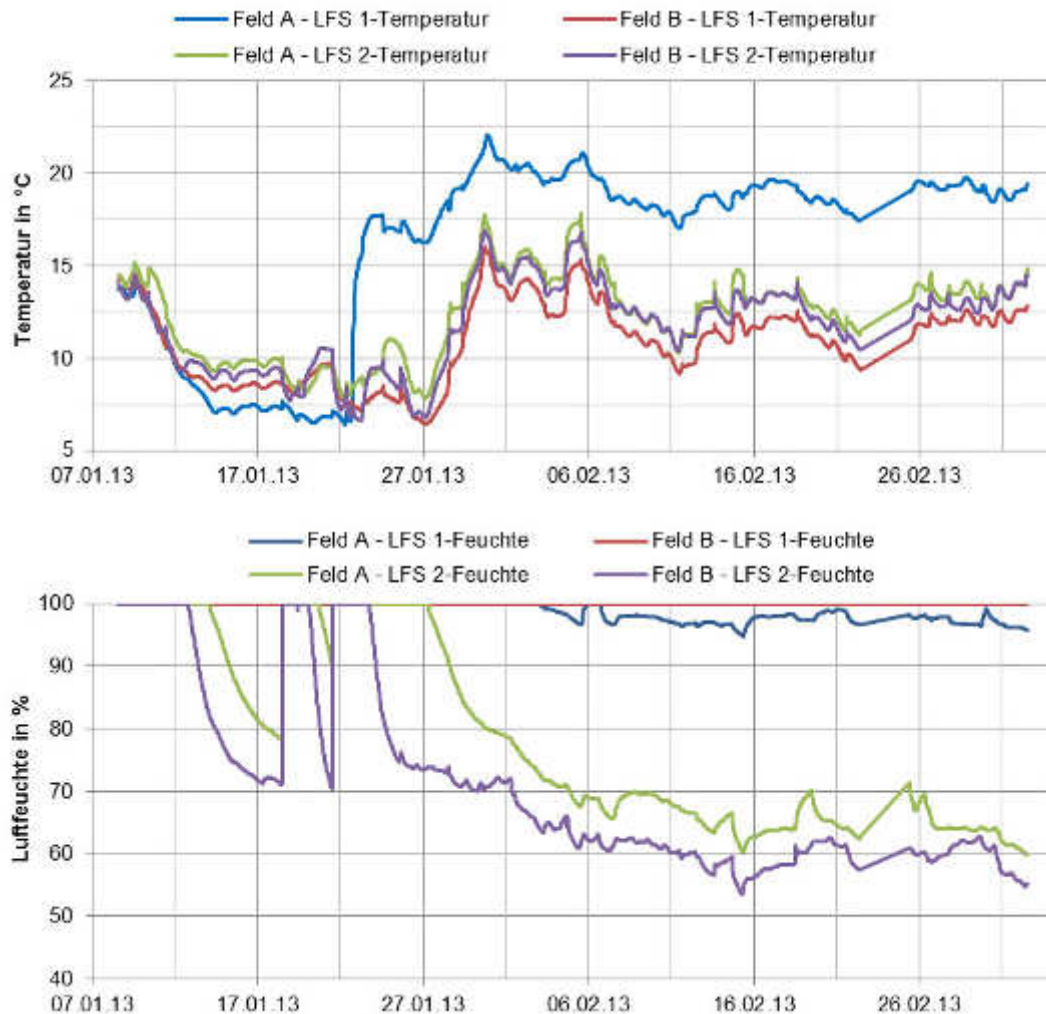


Abb. (195) zeitlicher Verlauf von Temperatur (oben) und relativer Luftfeuchte (unten) zwischen Putzschicht und Mauerwerk in beiden Testfeldern vom 7.1.2013 bis zum 6.3.2013

Am 22.1 wurde der Heizdraht mit einer Temperatur von 32°C eingeschalten, am Morgen desselben Tages wurde die Wandoberfläche zum letzten Mal besprüht. Die Heizquelle spiegelt sich sofort im Temperaturverlauf wider (Abb. (195)). In einer Entfernung von nur ca. 120 mm zum Heizdraht unter dem Innenputz ist der Wärmeeintrag allerdings schon deutlich abgeschwächt. An der unteren Messstelle verlaufen die Temperaturen durch den Heizdraht um 6 bis 10 K höher. Die Durchschnittstemperaturen im Februar betragen in Feld A unten 19,0°C und oben 13,4°C. In Feld B betragen die mittleren Temperaturen im Februar unten 11,8 und oben 13°C. Somit könnte vermutet werden, daß an der oberen, 420 mm entfernten Messstelle immer noch ein schwaches Heizsignal ankommt, welches die Temperaturen um knapp einen halben Kelvin erhöht.

Dies kann allerdings auch anderen Umständen geschuldet sein, zumal schon vor Beginn der Zusatzheizung die Temperaturen ebenfalls höher verliefen: Im Dezember betrug die durchschnittliche Temperatur an LFS-2 in Feld A 11,2°C und in Feld B 10,6°C. Demzufolge war die Temperaturdifferenz vor der Inbetriebnahme des Heizdrahtes sogar höher. An der oberen Messstelle LFS-2 lässt sich ähnliches beobachten wie schon bei Abb. (194): Das unbeheizte Feld B trocknet weitaus schneller ab als Feld A mit der Zusatzheizung und bleibt auch bis in den März feuchter. Am unteren Sensor dagegen kann ein umgekehrtes Bild konstatiert werden. Während der untere Feuchtesensor im Feld B konstant auf 100 % verharrt, trocknet das Material um den Sensor in Feld A unter dem Einfluss der Beheizung moderat ab, verbleibt aber auch bis zum Ende der Messperiode über 95 % Luftfeuchte. Allerdings muss hier angefügt werden, dass Messungen der relativen Feuchte in Materialien grundsätzlich und unabhängig vom Hersteller Probleme aufweisen können. Unter länger anhaltender, sehr hoher Feuchte um 100 % verharrt der Messwert zuweilen länger als in der Realität auf konstant 100 % Luftfeuchte oder der Sensor wird durch die lange Feuchteeinwirkung sogar unbrauchbar (Ruisinger, Steinwender, Ettenauer, & Kautsch, 2012). Dass die Messwerte im beheizten Feld jedoch ebenso nahe 100 % verlaufen, lässt die Daten des unbeheizten Feldes von 100 % plausibel erscheinen.

3.6.3 Temperaturen auf der Innenoberfläche

In den ersten beiden Monaten der Messungen treten auf den Innenoberflächen der beiden Felder keine Unterschiede auf (Abb. (196)). Kurz vor der Befüllung der Wassergefäße am 26.9.2012 führte ein Testlauf des Heizdrahtes zu höheren Temperaturen an den unteren beiden NTC-Sensoren. Ab dem 26.9.2012 differieren die Temperaturverläufe aufgrund der unterschiedlichen Wärmeleitfähigkeit, die durch die aufgenommene Feuchtigkeit entstehen. Bis Anfang November 2012 verlaufen die unteren beiden NTC-1-Sensoren in beiden Feldern ebenso synchron wie die oberen vier NTC-2 und -3.

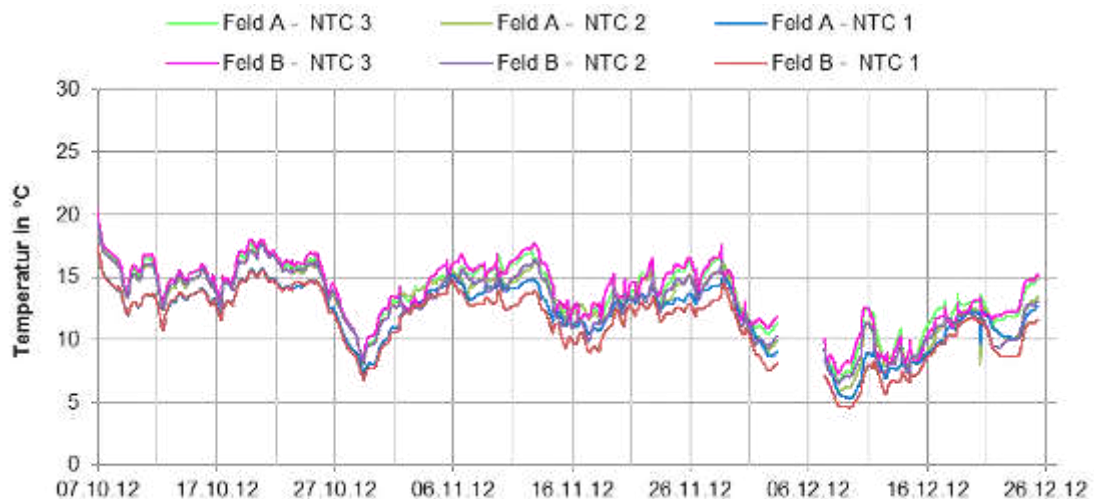


Abb. (196) Temperaturverlauf auf den Innenoberflächen der beiden Felder vom 7.10.2012 bis zum 26.12.2012

Bis zum Besprühen der Wandoberflächen ab 1.11.2012 blieb es bei diesen, auf 2 Ebenen weitgehend übereinstimmenden Graphen (Abb. (196)). Das Besprühen der Felder ab November 2012 verursachte ein weiteres Divergieren der Linien. Tendenziell ordneten sich die Graphen aber entsprechend ihrer Höhe ein: die oberen Messfühler (2 * NTC-3) registrierten die höchsten Temperaturen, die unteren, feuchtesten Messstellen (2 * NTC-1) die niedrigsten Temperaturen. An den unteren Sensoren NTC-1 fällt auf, dass die Temperaturen in Feld B niedriger sind, was auf eine höhere Durchfeuchtung des Feldes B hindeutet.

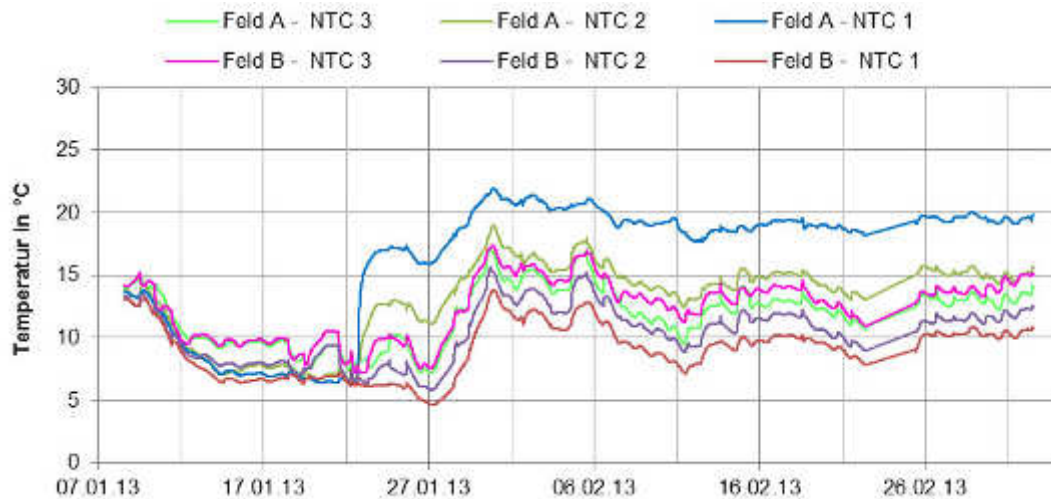


Abb. (197) Temperaturverlauf auf den Innenoberflächen der beiden Felder vom 7.01.2013 bis zum 5.3.2013

Die Inbetriebnahme des Heizdrahtes am 22.1.2013 kehrte die Reihenfolge der Temperaturen in Feld A um. An der untersten Messstelle war es fortan am Wärmsten, gefolgt von dem Sensor NTC-2, wenngleich dieser lediglich um 1 bis 2 K über den Temperaturen bei NTC-3 verlief. Die oberen Temperaturfühler NTC-3 in den beiden Feldern bewegten sich bis zum 22.1.2013 weitestgehend konform bzw. waren die Durchschnittstemperaturen im Dezember gleich hoch. Im Februar 2013 betrugen die durchschnittlichen Temperaturen am oberen Sensor NTC-3 im beheizten Feld A 12,9°C und im unbeheizten Feld B 13,7°C. Offensichtlich ist der Temperaturimpuls im oberen Bereich der Testwand abgeklungen und der Effekt der niedrigeren Wärmeleitfähigkeit des schneller abtrocknenden Testfeldes B überwiegt. An einer weiteren, hier sonst nicht dokumentierten Temperaturmessstelle knapp unterhalb der oberen Kante (NTC-4) hatte sich die Differenz zwischen den beiden Feldern auf ungefähr 0,3 K verringert, war also annähernd abgeklungen bzw. sind mit einer derart niedrigen Differenz schon zu viele Unwägbarkeiten verbunden als daß sie zwingend einem bestimmten bauphysikalischen Effekt zugerechnet werden könnte. Schon aufgrund der Feststellungen im Anschluß an Abb. (194) und Abb. (195) war eine großflächigere Erwärmung innerhalb der Konstruktion nahezu ausgeschlossen worden.

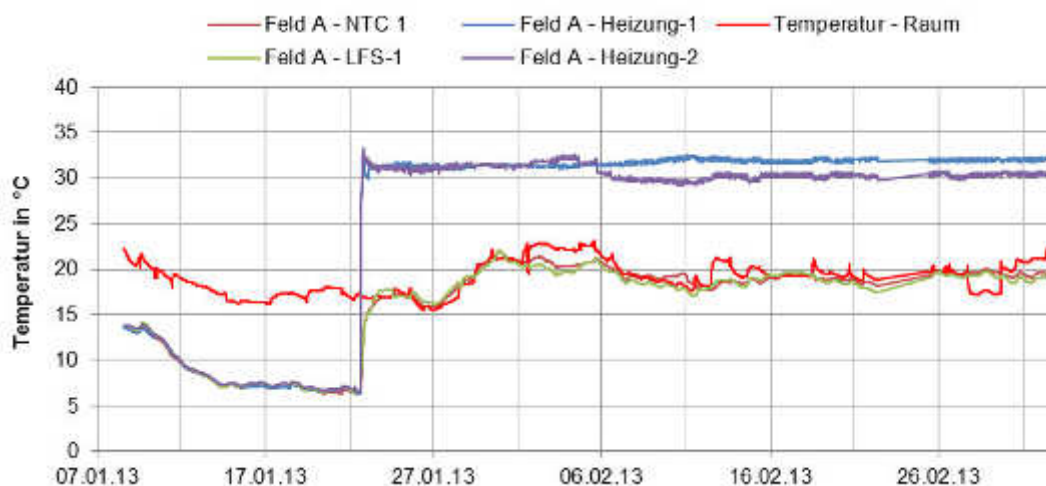


Abb. (198) Temperaturverlauf an den unteren Temperatursensoren in Feld A vom 7.01.2013 bis zum 5.3.2013

Wenngleich sich der Einfluss der Zusatzheizung in den Abb. (195) und Abb. (197) deutlich abzeichnete, ist es bemerkenswert, wie schnell der Temperaturimpuls abebbt. In Abb. (198) sind die Graphen von zwei Temperatursensoren abgebildet, welche am Anfang und Beginn des Feldes die Temperaturen am Heizdraht messen, welcher mit einer Temperatur von ca. 30°C betrieben wird. Der Fühler NTC-1 befindet sich nur ungefähr 40 mm unterhalb des Heizdrahtes, der Sensor LFS-1 ungefähr 120 mm oberhalb des Drahtes. Beide Linien verlaufen fast deckungsgleich, obwohl sie in unterschiedlicher Entfernung vom Heizdraht liegen. Der Einfluß der Innenraumtemperatur ist hier wahrscheinlich dominanter und sorgt dafür, daß die Temperaturen auf und unter dem Putz nicht wesentlich darüber steigen.

3.6.4 Temperaturen auf der Außenoberfläche

Die Temperaturen auf den Außenoberflächen verliefen bis Anfang Oktober ähnlich. Die unteren beiden Sensoren in Feld A registrierten anschließend fast identische Temperaturen Abb. (199)). Um bis zu 5 K kälter waren die Temperaturen am oberen Sensor ,3'. Da die Feuchte aus dem basalen Bereich nicht bis in die oberen Ziegelreihen transportiert wurde (s. nächstes Kapitel und Abb. (200)), war der Feuchtegehalt dort niedriger und der Wärmewiderstand höher. Trotz „fehlender“ direkter Strahlung im Dezember übte die niedrigere Wärmeleitfähigkeit somit einen höheren Einfluss aus und der obere Bereich kühlte stärker ab.

In Feld A waren die Temperaturen an den unteren Sensoren ab November 2012 um ungefähr 2,5 K höher als an den Sensoren ,1' und ,2' in Feld B (vgl. Abb. (199) und Abb. (200)). Diese Beobachtung steht im Einklang mit den Erläuterungen zu Abb. (196), wonach das Feld B im unteren Bereich feuchter sein müsse, da die Innenraumtemperaturen am unteren Sensor niedriger seien. Der oberste Sensor ,3' in Feld B (lila in Abb. (200)) verläuft deutlicher abgesetzt von den unteren Sensoren.

Die niedrigsten *und* höchsten Temperaturen wurden jeweils an den oberen Außensensoren ,3' verzeichnet, was an dieser Stelle nicht unerklärlich ist. Möglich ist, dass hier lokale, strukturelle Veränderungen bzw. eine lokale Schädigung wie feine Risse zu dem unterschiedlichen Verhalten führten. Es wird ausgeschlossen, dass dieses Phänomen durch strahlungstechnisch bedingte Effekte verursacht wird, da die Randbedingungen sehr ähnlich sind, und die Unterschiede nicht nur tags oder nachts auftreten, wenn kurz- bzw. langwellige Strahlung die Temperaturen besonders beeinflussen, sondern vielmehr über einen sehr langen Zeitraum hinweg.

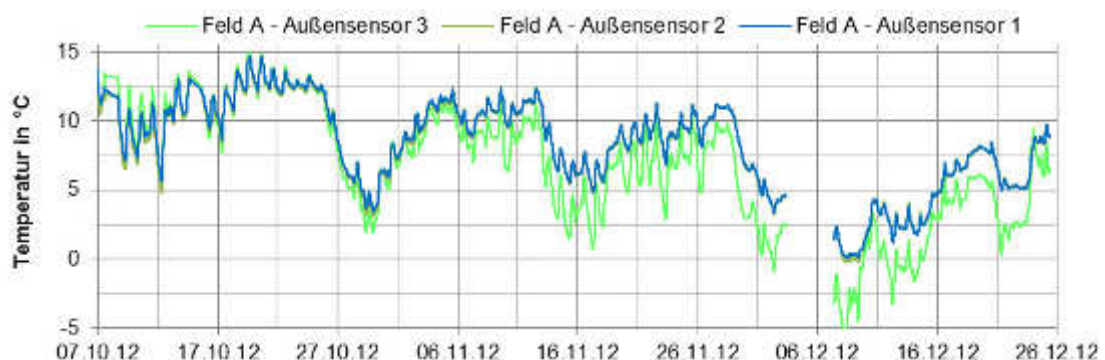


Abb. (199) Temperaturverlauf auf den Außenoberflächen in Feld A (oben) und Feld B (unten) vom 7.10.2012 bis zum 26.12.2012

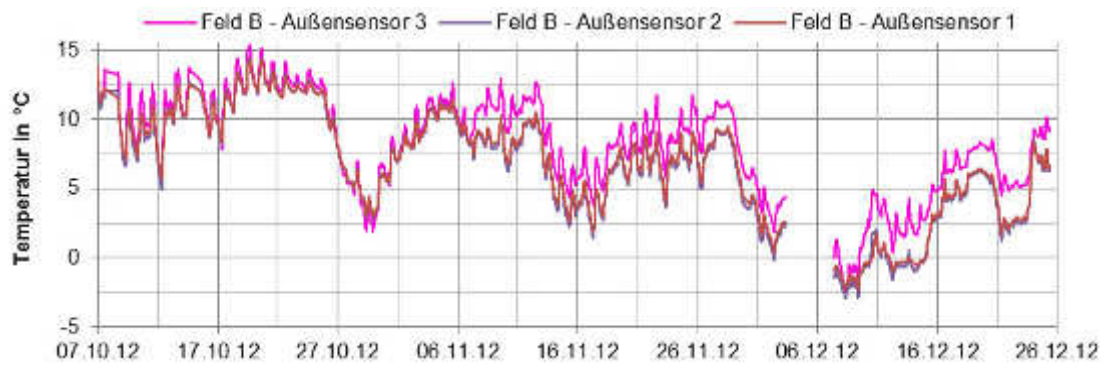


Abb. (200) Temperaturverlauf auf den Außenoberflächen in Feld A (oben) und Feld B (unten) vom 7.10.2012 bis zum 26.12.2012

Im Jahr 2013 verändert sich die Temperaturverteilung innerhalb der Wand nicht. In Feld A (Abb. (201) oben) steigt allerdings die Differenz zwischen dem unteren und mittleren Temperatursensor. Waren die Durchschnittstemperaturen im Dezember 2012 mit $4,6^{\circ}\text{C}$ noch gleich hoch, betrugen Sie an Sensor ,1' im Februar $6,7^{\circ}\text{C}$ und an Sensor ,2' $6,0^{\circ}\text{C}$, die Temperaturdifferenz zwischen dem mittleren und oberen Sensor 3 blieb dagegen fast konstant und betrug im Dezember $2,6$ und im Februar $2,8^{\circ}\text{C}$. Wie in Abb. (201) zu erkennen ist, beginnt sich Ende Januar der Abstand zwischen den beiden Kurven zu vergrößern, sodass der Abstand zwischen den Sensoren ,1' und ,2' auf den Einfluss der Zusatzheizung zurückgeführt werden kann.

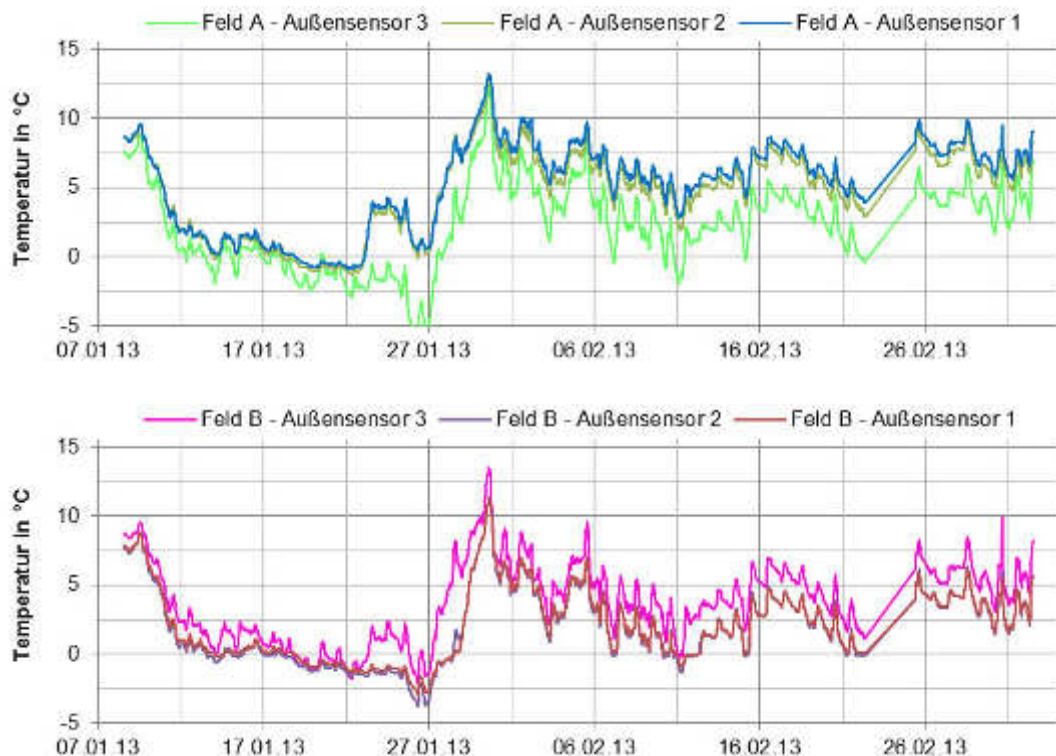


Abb. (201) Temperaturverlauf auf den Außenoberflächen in Feld A (oben) und Feld B (unten) vom 7.1.2013 bis zum 7.03.2013

3.6.5 Handmessungen (Tiefenfeuchtemessung)

Zeitlicher Verlauf in unterschiedlichen Tiefen der Konstruktion - Zu bestimmten Zeitpunkten wurde an den Testfeldern eine zusätzliche Feuchtemessung mittels Handmessgerät durchgeführt. In Abb. (202) sind die Messdaten aus den Feuchtemessungen mittels Handmessgerät, bezogen auf den Messzeitpunkt, dargestellt. Die Messungen wurden in sechs unterschiedlichen Höhen am Testfeld durchgeführt, die in Abb. (190) mit der Nummerierung ,1‘ bis ,6‘ beschrieben sind. Zusätzlich variierte die Messung auch in der Messtiefe (1 cm, 5 cm, 9 cm und 20 cm). Die Handmessungen starteten parallel mit der Befeuchtung der Testfelder.

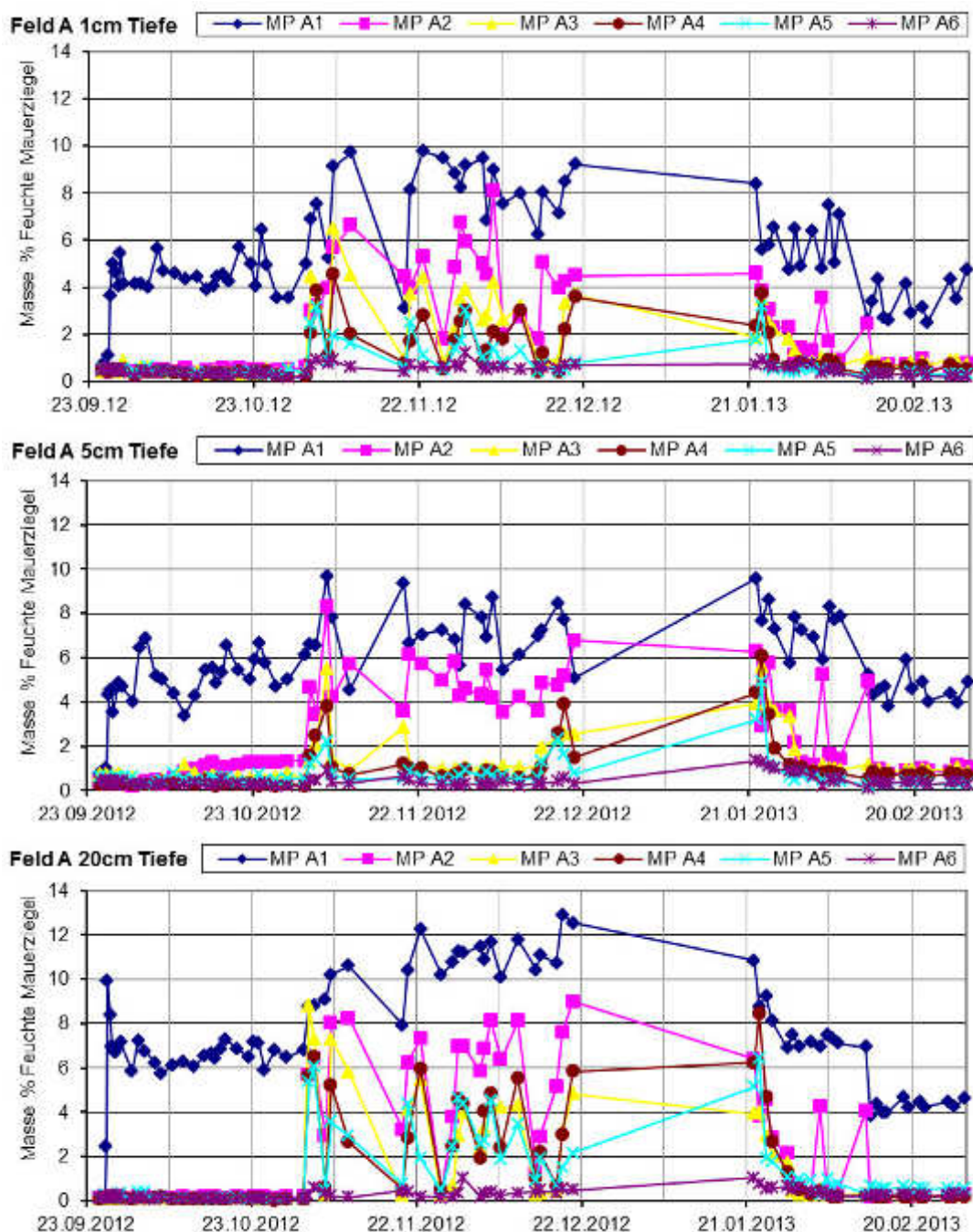


Abb. (202) Verlauf des Feuchtegehalts im Mauerwerk, gemessen in unterschiedlicher Höhe (MP A1 bis A6, siehe Abb. (190)) und in verschiedenen Tiefen im Testfeld A vom 23.9.2012 bis zum 1.3.2013

Im unteren Bereich A1 von Feld A stieg die Feuchte sofort nach dem ersten Wasserkontakt in allen vier Tiefen, 1, 5, 9 und 20 cm, konstant an, nachdem das Wassergefäß befüllt wurde. An allen anderen Messstellen ändert sich die Feuchte erst, als die Oberfläche des Testfelds zusätzlich besprüht wurde. Mit Ausnahme der oberen beiden Sensoren A5 und A6 sind die Messwerte sehr unstat. Die Schwankungen lassen sich mit den Eigenschaften der händischen Mikrowellenmessung begründen.

Auf das Besprühen reagierten alle Messpunkte mit Ausnahme der Position A6 in unterschiedlicher Intensität. In Abhängigkeit vom Abstand zum Wassergefäß ordnen sich die verschiedenen Feuchteprofile an, wobei es immer wieder zu Überlappungen kommt: Nach der untersten Messstelle A1 wurden an A2 ab November etwas niedrigere Feuchte verzeichnet, worauf der Bereich A3 folgt. Das Aussetzen des Besprühens und der Beheizung Mitte Januar sind offensichtlich. In allen Tiefen des Mauerwerks sank der Feuchtegehalt, an der Messstelle A2 waren noch vereinzelt höhere Werte zu verzeichnen. Alle höher gelegenen Messbereiche fielen innerhalb einer knappen Woche unterhalb der Marke von einem Masseprozent.

Auch im Bereich um A1 sank der Feuchtegehalt. Wegen der Wasserzuführung aus den weiterhin gefüllten Gefäßen stellte sich hier ein Feuchteniveau ein, das etwas unter dem Niveau vor dem Besprühen vorherrschte. Folgende durchschnittlichen Werte für die Materialfeuchte an Messpunkt A1 wurden vor und nach dem Besprühen ermittelt:

Messpunkt A1	1 cm Tiefe	5 cm Tiefe	9 cm Tiefe	20 cm Tiefe
bis 16.11.2012	4,5	5,1	5,9	6,8
ab 22.1.2013	4,6	4,1	5,7	6,0

Abb. (203) *Durchschnittliche Messwerte an Messpunkt A1 in unterschiedlichen Tiefen vor und nach dem Besprühen der Wandinnenoberfläche*

Somit reduzierte sich die Feuchte um bis zu 1 M%. In der ersten Schicht, dem gut wasserleitfähigen Putz (Tiefe: 1 cm), gab es praktisch keine Veränderung. In den anderen Tiefen 5, 9 und 20 cm deuten die niedrigeren Werte auf eine gewisse trocknende Wirkung der „thermischen“ Horizontalsperre hin, die Beheizung führt aber nicht zu einer signifikant niedrigeren Feuchtebelastung. Wegen der Schwankungen der Messwerte an Messpunkt A2 erschien eine detailliertere Auswertung in Tabelle 1 nicht sinnvoll. Es ist dennoch zumindest ab 13.2.2013 erkennbar, dass auch an Messpunkt A2 ähnlich niedrige Feuchtwerte erreicht werden wie vor dem Besprühen.

Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass Konstruktionen bei kälterem Außen- und Innenklima langsamer austrocknen. Hätten im Februar vergleichbare Außentemperaturen wie im September und Oktober 2012 vorgeherrscht, hätte sich die Feuchtebelastung an der untersten Stelle unter Umständen deutlicher vom Zustand des Vorjahres abgesetzt.

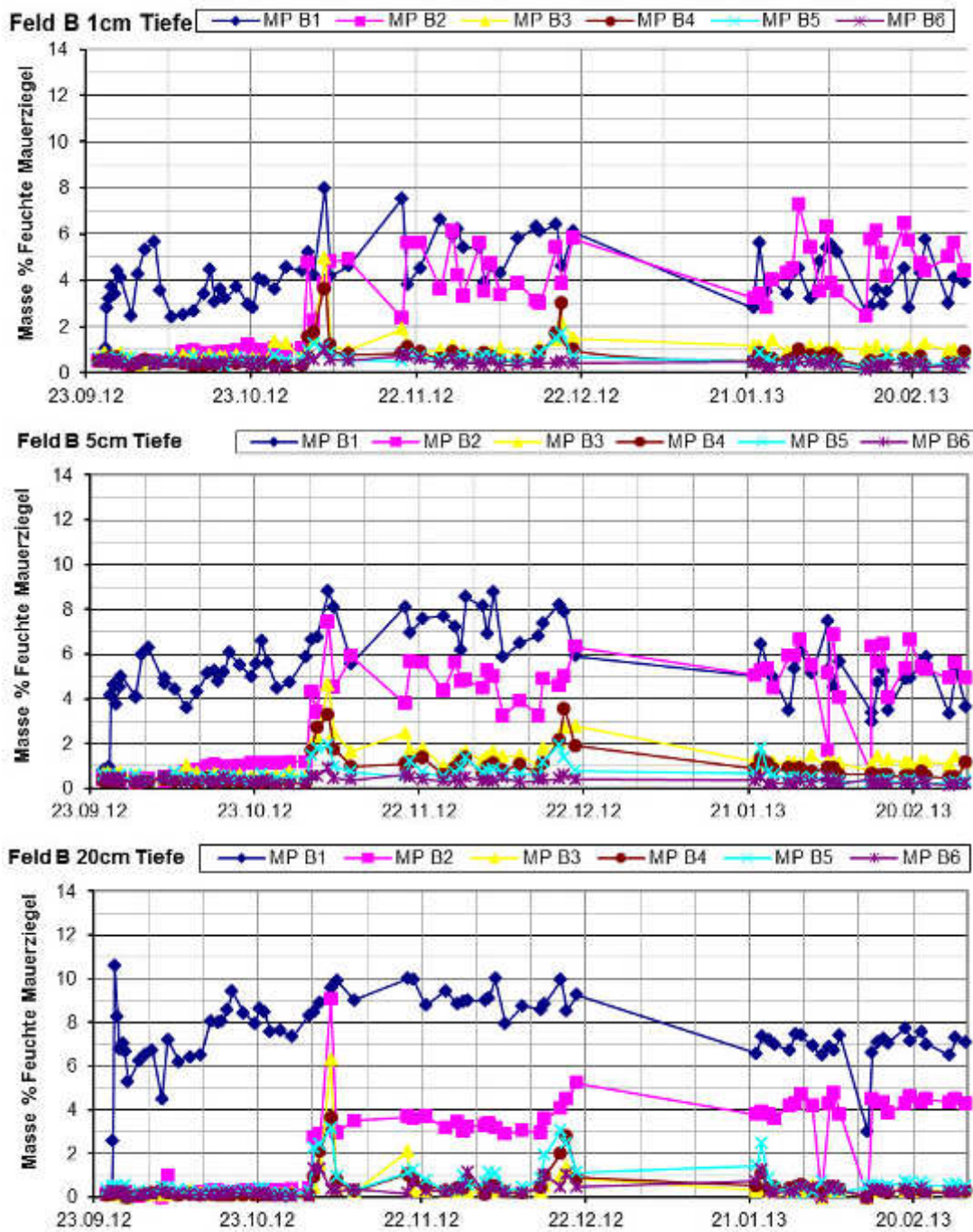


Abb. (204) Verlauf des Feuchtegehalts im Mauerwerk, gemessen auf unterschiedlichen Höhen (MP B1 bis B6, siehe Abb. (190)) und in verschiedenen Tiefen am Testfeld B vom 23.9.2012 bis zum 1.3.2013

Wie schon in Feld A wirkte sich der bloße Wasserkontakt am Fuß der Testwand B im Wesentlichen nur auf die unterste Messstelle B1 aus und dies wieder in allen vier Messtiefen. An der nächsten Messposition B2 jedoch stieg die Feuchte auch moderat auf ungefähr 1 Masseprozent Feuchte an. Auf den zusätzlichen, durch Besprühen aufgetragenen Wassereintrag reagierte das Mauerwerk weniger ausgeprägt als in Feld A. Rasche und eindeutige Feuchteakkumulation war nur an den Messpositionen B1 und B2 festzustellen.

Besonders die Daten dieser Bereiche waren hohen Schwankungen unterworfen. In den Mess-tiefen 1 und 5 cm, welche nahe der Innenoberfläche liegen, wurden an Messposition B2 höhere Feuchten ermittelt. An den Messpunkten B3 und B4 kommt es lediglich um den 7.11.2012 und 19.12.2012 zu kurzen „Ausschlägen“. Danach sanken die Messwerte in beiden Bereichen auf ca. 1 Masseprozent zurück.

Das Ende der Phase des Besprühens und der Beheizung war in den Profilen des Feldes B weniger deutlich zu erkennen. Die Bereiche um B1 und B2 blieben vergleichsweise feucht, alle Messpunkte oberhalb B2 waren schon und blieben weiterhin relativ trocken. Insgesamt deutet ein Vergleich der Feuchteprofile in den Abb. (202) und 0 darauf hin, dass im Testfeld B zwischen den Messpositionen B2 und B3 ein hoher Flüssigwasserwiderstand vorhanden ist, da sich in Feld B auch nicht während der Phase des zusätzlichen Wassereintrags ein durchgehendes, abgestuftes Feuchteprofil ausbildete wie in Feld A. Die nachfolgende Tabelle vergleicht analog zu Testfeld A die durchschnittlichen Messwerte in unterschiedlichen Tiefen vor und nach dem Besprühen.

Messpunkt B1	1 cm Tiefe	5 cm Tiefe	9 cm Tiefe	20 cm Tiefe
bis 16.11.2012	3,9	5,3	6,7	7,7
ab 22.1.2013	4,0	4,9	6,0	6,9

Messpunkt B2	1 cm Tiefe	5 cm Tiefe	9 cm Tiefe	20 cm Tiefe
bis 16.11.2012	1,3	1,4	1,1	0,9
ab 22.1.2013	4,7	5,1	4,0	3,0

Abb. (205) *Durchschnittliche Messwerte an Messpunkt B1 (oben) und B2 (unten) in unterschiedlichen Tiefen vor und nach dem Besprühen der Wandinnenoberfläche*

Messpunkt B1, welcher schon vor dem Besprühen höhere Feuchtwerte aufwies, trocknete demnach im ungefähr selben Maß wie A1 aus. Ein reiner Vergleich der beiden untersten Messpunkte würde demnach einen nur sehr mäßigen bzw. nicht vorhandenen Effekt der Beheizung auf die aufsteigende Feuchte konstatieren. Aufschlussreich sind die Daten von Messpunkt B2. Dort waren vor dem Besprühen Feuchtegehalte um 1 M% gemessen worden. Nach der Phase des zusätzlichen Feuchteintrags durch Besprühen blieben dort die Messwerte der Materialfeuchte auf einem relativ hohen Niveau zwischen ungefähr 3 und 5 %. Leider lässt sich nicht eindeutig feststellen, wodurch das günstigere Austrocknungsverhalten von Punkt A2 gegenüber B2 verursacht wird: durch eine hohe Kapillarwirkung im Bereich von B1 und B2 oder durch die Beheizung in Feld A, welche sich aufgrund des beständigen Feuchtenachschubes nur auf Punkt A2, nicht aber auf A1 auswirkt oder ob sich die Feuchte in Feld A auch oberhalb von A2 besser verteilen kann als oberhalb von Punkt B2.

Feuchte-Tiefenprofile in unterschiedlichen Zeitabschnitten

Im Zeitabschnitt bis Anfang November feuchteten nur die untersten Messpunkte der Testfelder A1 und B1 durch den Wasserkontakt auf. Die Feuchte stieg in der Tiefe leicht von ca. 4 auf 7 Masseprozent an. An den anderen Messpunkten A2 bis A6 und B2 bis B6 wurde im Randbereich eine leicht höhere Feuchte als im Inneren des Mauerwerks registriert. Zwei Masseprozent wurden an keinem der Messpunkte überschritten. Im nächsten dokumentierten Zeitabschnitt, vom 1.11. bis zum 20.12.2012, stieg in der Innenputzschicht am Messpunkt A1 und B1 durch das Besprühen der Wandoberflächen der Feuchtegehalt weiter an.

Auch an den Messpunkten A2 und B2 und besonders im (linken) Feld A war nun ein hohes Feuchteniveau erreicht (Abb. (206)). Weiter oben liegende Messstellen an den Positionen ,3' bis ,5' nahmen nur in Feld A mit den Heizdrähten deutlich an Feuchte zu. In Feld B hingegen wurde an diesen Positionen nur ein geringer Anstieg dokumentiert, hier wurden 2 Masseprozent Feuchte nicht überschritten. Die oberste Messstelle ,6' blieb in beiden Feldern übereinstimmend trocken.

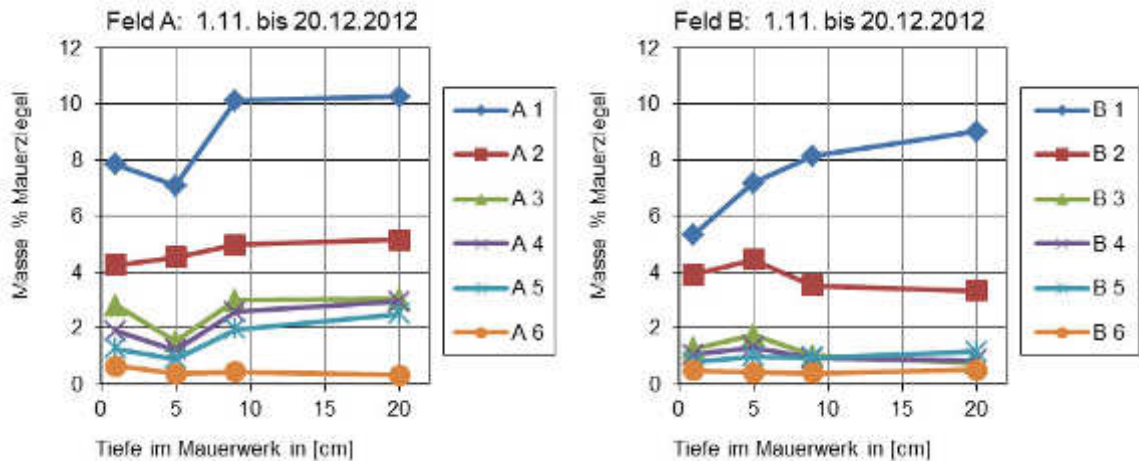


Abb. (206) Feuchteprofil im Mauerwerk, Mittelwerte vom 1.11. bis zum 20.12.2012 in Feld A (links) und Feld B (rechts) während der Phase der zusätzlichen Befeuchtung über die Wandinnenoberflächen

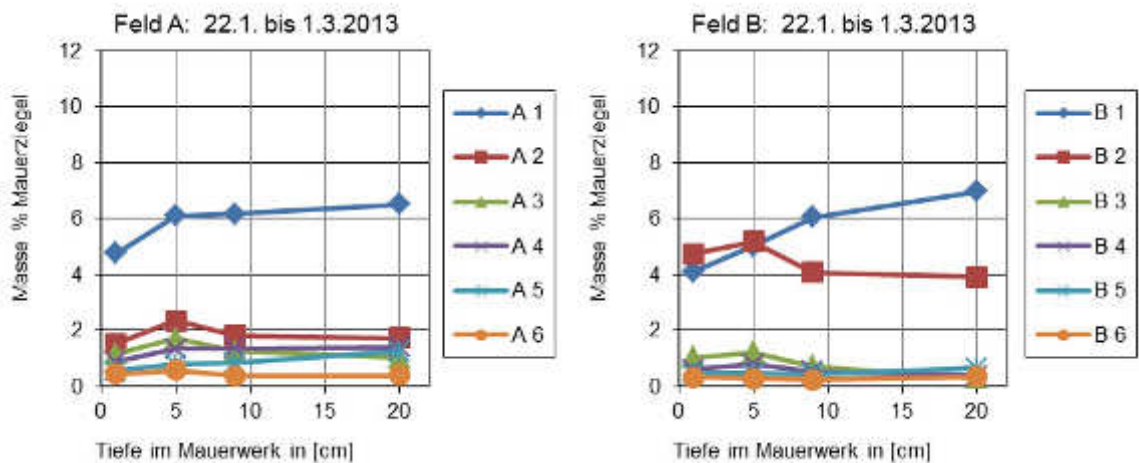


Abb. (207) Feuchteprofil im Mauerwerk, Mittelwerte vom 22.1. bis zum 1.3.2013 in Feld A (links) und Feld B (rechts) nach der Beheizung und Befeuchtung über die Wandinnenoberflächen

Nach Beendigung der Besprühvorgänge und mit der Zuführung von Wärme ab 22.1.2013 fiel mit Ausnahme der untersten Messstelle A1 die Feuchte an den Messpositionen ,2' bis ,5' deutlich ab, wobei in Abb. (207) immer noch eine leichte Abstufung in Abhängigkeit von der Höhe erkennbar ist. Das Feuchte-Tiefenprofil an Messpunkt A1 fiel wieder ungefähr auf den Verlauf vor der zusätzlichen Befeuchtung durch Besprühen zurück. Obwohl auch in Feld B weiterhin permanenter Wasserkontakt auf der Unterseite der Testmauer bestand, wurde an allen Messstellen oberhalb der Messposition B2 ein niedrigerer Feuchtegehalt als in Feld A registriert (Abb. (207) rechts).

Am untersten Messpunkt ,1' glichen sich die beiden Profile weitgehend trotz des Betriebes des Heizdrahtes. Der Heizeffekt tritt lediglich beim Vergleich der Messstellen A2 und B2 hervor: Hier wurde im unbeheizten Feld B eine weitaus höhere Feuchtebelastung vorgefunden. Die Abb. (206) und Abb. (207) bestätigen die geäußerte Vermutung, wonach der kapillare Transport zwischen den Messstellen B2 und B3 einen sehr hohen Widerstand erfährt, z.B. durch feinste Risse zwischen Ziegel und Mörtel oder innerhalb der Verfugung. Ein solcher Transportwiderstand kann dafür mitverantwortlich sein, dass das Feuchteniveau in dem darunter liegenden Bereich für einen gewissen Zeitraum höher bleibt, da eine kapillare Entspannung nach oben unterbrochen wird.

Direkter Vergleich einzelner, ausgewählter Messpunkte

In den folgenden Abbildungen werden einige Messpositionen in den beiden Feldern beispielhaft direkt gegenübergestellt. Aus derartigen Vergleichen, die im Anhang nahezu vollständig aufgeführt werden, geht hervor, dass an nahezu allen Messpositionen ,1' bis ,6' in allen Tiefen die Testwand B trockener war als Testwand A. Diese Beobachtung steht dem „erwarteten“ Effekt der Beheizung diametral gegenüber.

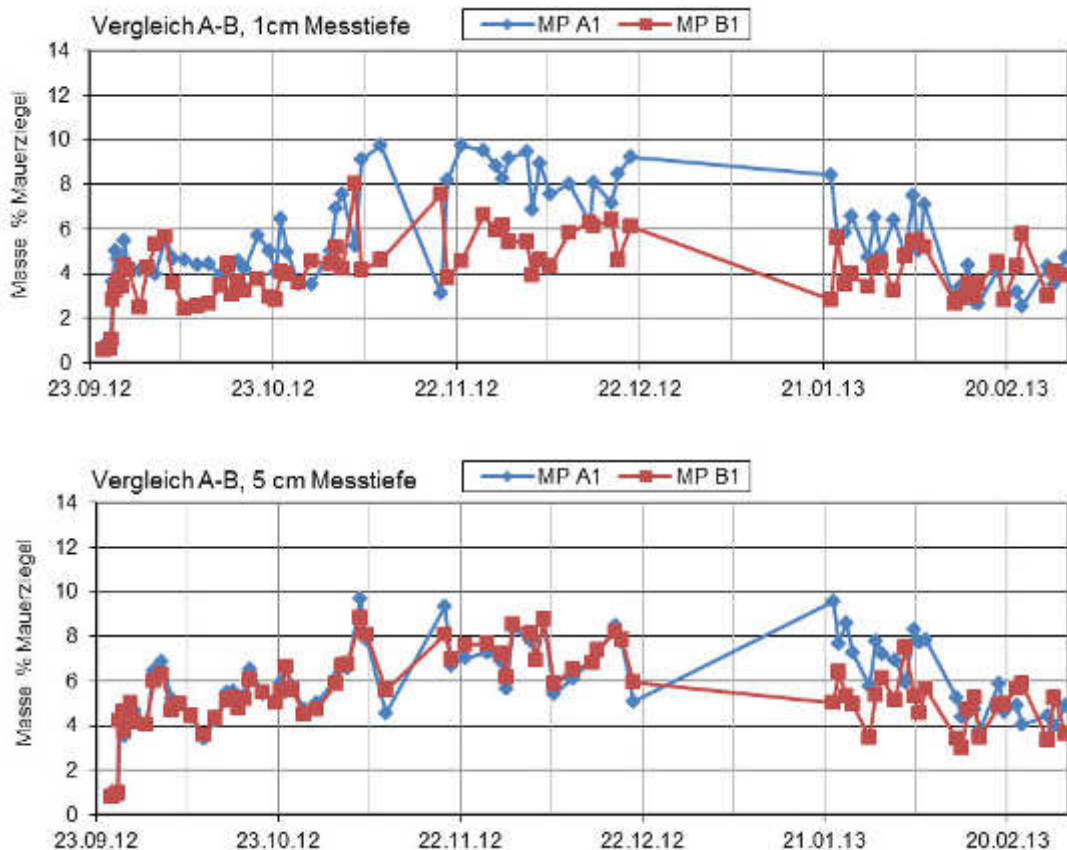


Abb. (208) Vergleich des zeitlichen Verlaufs der händischen Feuchtemessung am untersten Messpunkt ,1' in beiden Feldern in 1 cm (oben) und in 5 cm Messtiefe (unten) vom 23.9.2012 bis zum 1.3.2013

An der untersten Messstelle in einem Zentimeter Messtiefe, also im Innenputz, war der Feuchtegehalt gemäß den Ergebnissen der Handmessungen in Feld A meistens höher, selbst während der Phase der Beheizung. Auch in den Messtiefen 9 und 20 cm (hier nicht abgebildet) war während der Beheizung in Feld A ein höherer Feuchtegehalt verzeichnet worden.

In 5 cm Tiefe dagegen waren ähnliche Werte festgestellt worden (0 unten). Nach der Phase der Beheizung und des Feuchteintrags ab 22.1.2013 verblieben die Messwerte in Feld A etwas länger auf einem höheren Niveau bis sie Mitte Februar auf das Niveau von Feld B absanken.

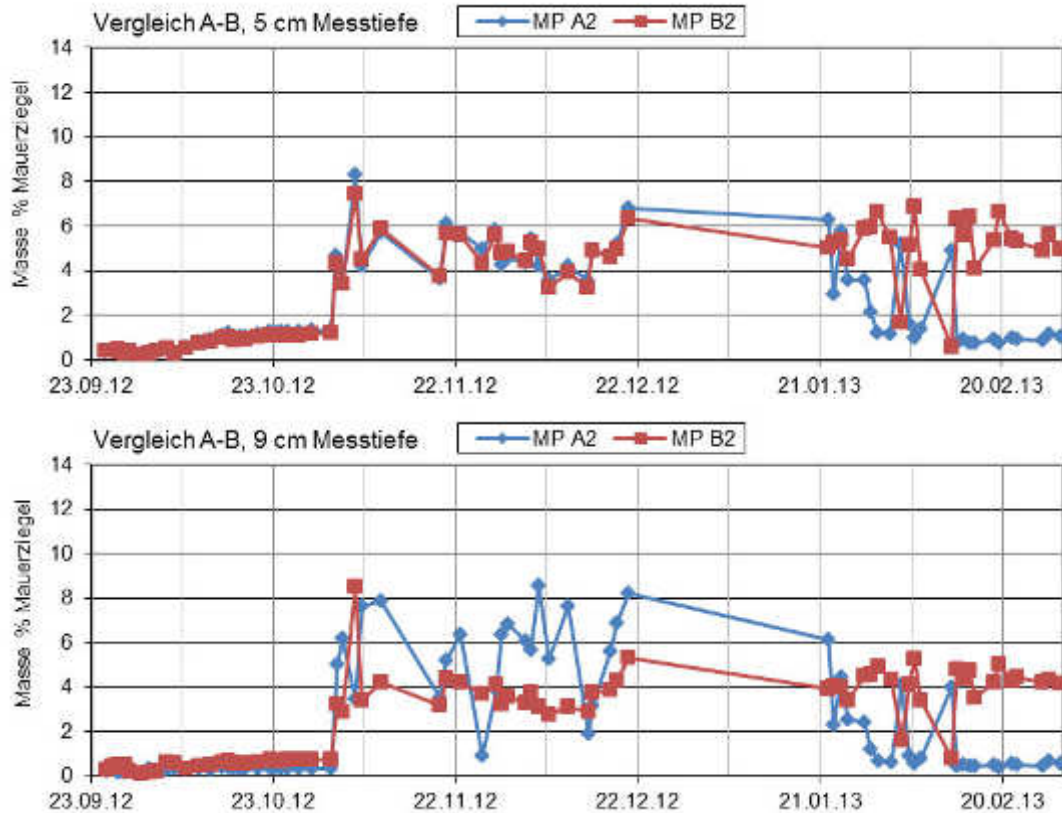


Abb. (209) Vergleich des zeitlichen Verlaufs der händischen Feuchtemessung an Messpunkt ,2' in beiden Feldern in 5 cm (oben) und 9 cm (unten) Messtiefe vom 23.9.2012 bis zum 1.3.2013

An den Messpositionen A2 und B2 war eine ähnliche Verteilung ermittelt worden. In 5 cm Tiefe wurden bis Anfang Februar vergleichbare Feuchtegehalte gemessen worden, anschließend, nach einer Phase von uneindeutigen Schwankungen bleibt das Feld B feuchter, was schon am Ende des vorigen Abschnitts anhand der Feuchteprofile hervorgehoben worden war. Auch in 9 cm Messtiefe, wie an einigen anderen Stellen, erschweren große Schwankungen in den Messwerten, die vor allem in Feld A vorkamen, eine Beurteilung. Tendenziell zeichnete sich ab, dass Testwand A während der Phase der Befeuchtung höheren Feuchtegehalten ausgesetzt war, nach Beheizung und Befeuchtung, also bei identischen Randbedingungen, jedoch wieder abtrocknete, im Gegensatz zu Feld B, welches nur in dieser Messposition vergleichsweise feucht blieb. Analoge Entwicklungen ergeben sich an allen ,2'-er Messpunkten sowie in 20 cm Tiefe an den Positionen A1 und B1.

Die geringsten Schwankungen der Messwerte wurden an den Messwerten in 5 cm Tiefe verzeichnet, diese Messwerte erschienen demzufolge verlässlicher. Die geringeren Ausschläge werden unter Umständen dadurch verursacht, dass der für diese Tiefe verwendete Messkopf nicht durch den Einfluss vertikaler Mörtelfugen innerhalb des Mauerwerks in zweierlei Hinsicht gestört wird: Zum einen ist das sehr unterschiedliche Sorptionsverhalten von Mörtel und Mauerwerk durch eine einzige hinterlegte Kurve im Messgerät nicht korrekt zu erfassen, zum anderen ist es möglich, dass über die durchgehenden vertikalen Fugen mehr Feuchte transportiert wird als über die Ziegel (Christoffer, Deutschländer, & Webs, 2004).

Die beiden Diagramme in Abb. (210) stehen symptomatisch für den Gang der Feuchtwerte an den Messpunkten in 30, 45 und 60 cm Höhe (3', 4' und 5'). Bis Anfang November 2012 und ab Februar 2013 unterscheiden sich die Verläufe zwischen Feld A und B praktisch nicht. In den Messtiefen 1, 9, und 20 cm (Abb. (210) unten) wurden anschließend in Feld A zwar wechselhafte aber überwiegend höhere Feuchten gemessen als in Feld B. In 5 cm Tiefe stimmen die Kurven beider Messfelder weitgehend überein.

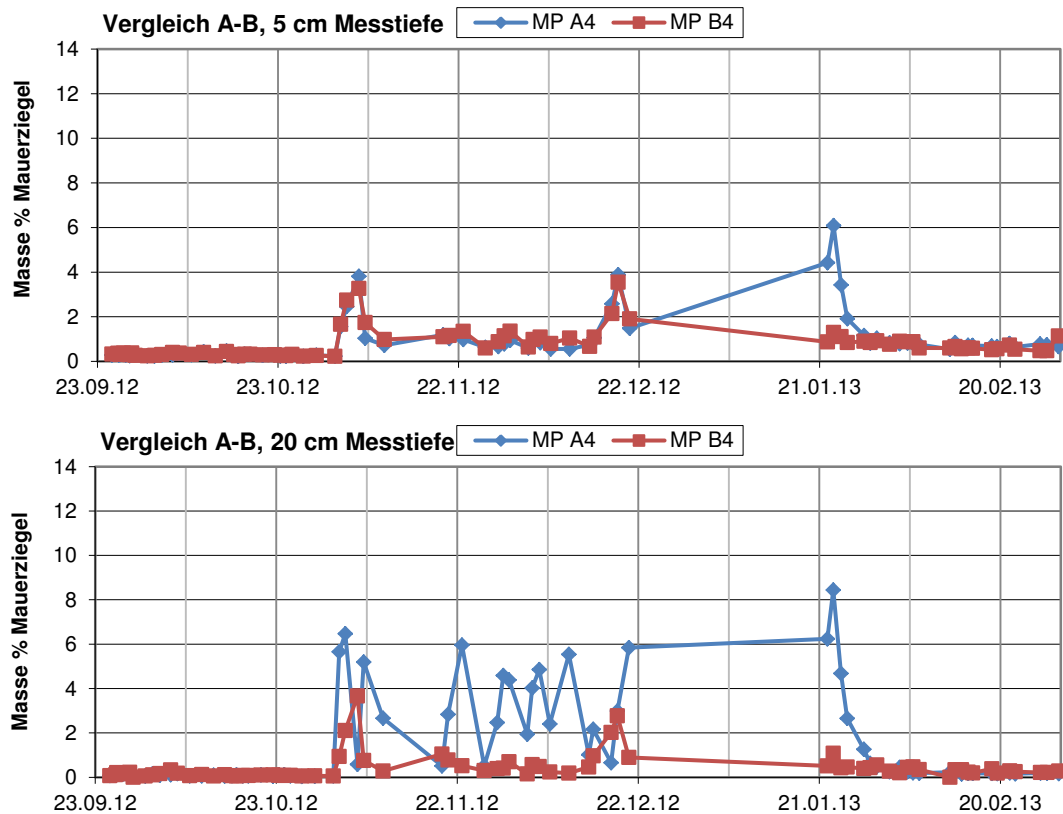


Abb. (210) Vergleich des zeitlichen Verlaufs der händischen Feuchtemessung an Messpunkt ,4' in 5 cm und 20 cm Messtiefe vom 23.9.2012 bis zum 1.3.2013

3.6.6 Zusammenfassung der Messungen

Um die Auswirkungen einer moderaten Bauteiltemperierung zu überprüfen, wurde in der Fuge zwischen der ersten und zweiten Steinreihe einer 24 cm dicken Ziegelwand eine Matte mit Heizdrähten eingebracht. In einer baugleichen Testwand, welche durch einen vertikalen Schaumglasstreifen abgetrennt war, wurde keine Beheizung vorgesehen. Anschließend erfolgte jeweils die Applikation eines Innenputzes, der über einen Monat lang austrocknete. Beide Testwände, die in einer herkömmlichen Außenwand eines Laborgebäudes integriert sind, stehen in Wassergefäßen, welche sich mit mehreren Zentimetern Wasser befüllen lassen. In den Grenzschichten zwischen Ziegelmauerwerk und Außen- sowie Innenputz waren verschiedene Temperatur- und Luftfeuchtesensoren in unterschiedlicher Höhe untergebracht. Weiters waren in den Innenputzen in der Höhe der Heizdrahtmatte Wärmeflussplatten eingebettet. Ein Datenlogger zeichnete alle konstruktiven Messwerte und das Innenklima auf. Auf dem Dach des Laborgebäudes befanden sich Sensoren zur Messung des Außenklimas. Die stationären Messungen wurden durch die zerstörungsfreie Messung mittels niederfrequenter Mikrowellentechnik ergänzt. Diese ließ sich in unterschiedlichen Höhen und, mittels verschiedener Aufsätze, in mehreren Tiefen durchführen.

Ab Ende September 2012 waren die Gefäße permanent mit Wasser von mindestens einem Zentimeter Höhe gefüllt. Als festgestellt wurde, dass die Feuchte kaum über die unterste Ziegelschicht hinaus aufstieg, wurde ab November 2012 auf die Innenoberflächen der beiden Testwände mehrere Male wöchentlich jeweils ein halber Liter Wasser fein aufgesprüht, worauf die Feuchte auch in höheren Ziegellagen anstieg. Ab Mitte Januar 2013 begann die Phase der Beheizung von Testfeld A, in der die Befeuchtung beider Wandinnenoberfläche eingestellt wurde, die Gefäße blieben weiterhin befüllt.

Schon vor der Phase der Beheizung zeigten die Messungen, dass sich beide Testwände, obgleich aus identischem Material und gleicher Konstruktion, im hygrothermischen Verhalten unterschieden. Testwand A mit Heizdraht durchfeuchtete vergleichsweise homogener und höher, während die Testwand B nur während der Beheizung im untersten Teil feuchter war. Selbst bei Betrieb des Heizdrahtes war das nicht beheizte Feld B im oberen Bereich trockener. Es wird deshalb vermutet, dass sich im unteren Bereich des Testfeldes B ein hoher Flüssigwasserleitwiderstand, z.B. durch einen feinen Fugenabriss, ausgebildet hatte.

Zusätzlich zu den vermuteten konstruktiven Unterschieden ließen die verschiedenen Arten der Messung zum Teil widersprechende Schlussfolgerungen zu. Aufgrund der aufgezeichneten Innenraumtemperaturen und der Wärmeflüsse konnte geschlossen werden, dass Testwand B im unteren Teil tatsächlich feuchter war. Die Luftfeuchtesensoren und die Ergebnisse der händischen Messungen ergaben dagegen, dass die Testwand A mit Beheizung nahezu überall feuchter war, was an den schon genannten Gründen des Flüssigwassertransports liegen kann. Eine Erwärmung um die Heizdrahtmatte herum stellte sich zwar ein, allerdings war der Wärmeimpuls nicht sehr weitreichend. Die Luftfeuchte am unteren Sensor in Feld A war wegen der Beheizung niedriger, an den oberen Luftfeuchtesensoren war Testwand A dagegen trotz Beheizung etwas feuchter, was auf lokal sehr begrenzte Auswirkungen der Heizdrahtmatte schließen lässt.

Gemäß den händischen Messungen sind die Effekte der moderaten Wandbeheizung von ca. 30°C gering. Sie wirkten sich nur sehr wenig auf die unterste Messstelle in ungefähr 4 cm Entfernung vom Heizdraht aus. Nur an der darüber liegenden Messstelle, die sich ungefähr 10 cm über dem Heizdraht befand, wurden eindeutig trockenere Verhältnisse erzielt. Die Widersprüche könnten durch die Einschränkungen der händischen Messungen verursacht worden sein.

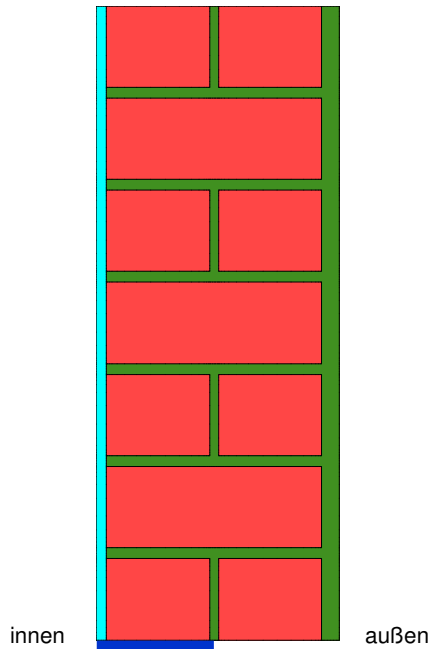
Es wurde sehr deutlich, dass bei der Errichtung derartiger Testwände auf exakt identische Ausführung geachtet werden muss, da die bloße Verwendung identischer Materialien und gleicher Konstruktions- und Fugenmasse nicht ausreichend ist. Selbst bei den verhältnismäßig kontrollierten Verhältnissen an den beiden überschaubar großen Testwänden hatten offenbar schon sehr kleine Unregelmäßigkeiten große Auswirkungen auf die Messergebnisse. Dies lässt vermuten, dass vergleichbare Messungen in Bestandswänden realer Gebäude, an denen die Forschungsarbeit eventuell nur begleitend durchgeführt wird, weitaus größeren Ungenauigkeiten unterworfen sein könnte, die, wenn überhaupt, nur durch einen sehr hohen Messaufwand genau berücksichtigt werden könnten. Insofern ist eine Fortführung der Experimente im Labormassstab ein richtiger Weg. Weiterhin wäre eine Fortsetzung der Versuche bei höheren Betriebstemperaturen bis 60°C wünschenswert.

Die Untersuchungen zur Bauteiltemperierung wurden simulationstechnisch begleitet. Zunächst wurden Simulationen angestellt, um den zeitlichen Verlauf des Versuchs abzuschätzen. Es sollte in Erfahrung gebracht werden wie lange es dauert, bis das Aufsaugen von der Unterkante und das Abtrocknen in einem ungefähren Gleichgewicht stehen.

3.6.7 Randbedingungen der Thermisch-hygrischen Simulation

Konstruktionsaufbau

Die Abmessungen der realen Ziegel konnte in den Simulationen nachgebildet werden und betrugen 240*115*72 mm. Durch die zweidimensionale Abbildung der Mauerwerkswand in der Simulationssoftware Delphin5 können allerdings nicht die abwechselnden vertikalen Fugen zwischen den Bindern modelliert werden. Die in den Simulationen gewählte Tiefe in z-Richtung beträgt in Übereinstimmung mit den tatsächlichen Wandaufbauten 0,55 m.



Wandaufbau

10 mm Innenputz: Remmers Grundputz
 240 mm Vollziegel: Wienerberger Normziegel
 Mörtel: Maxit MXUP (Undercoat light)
 10 mm Außenputz: Maxit MXUP (Undercoat light)

Abb. (211) Screenshot aus Delphin5 mit dem simulierten Detail und Diskretisierung, links unten der Bereich mit Wasserkontakt

Materialkennwerte und –funktionen für die Simulationen

Für die Beschreibung des Materialverhaltens in den Simulationen wurde auf die Ergebnisse der umfangreichen Materialmessungen des Instituts für Bauklimatik an der TU Dresden zurückgegriffen. Die Eigenschaften aller verwendeten Materialien wurden am Bauphysikalischen Forschungs- und Entwicklungslabor des Instituts für Bauklimatik eingehend untersucht. Die Wärmeleitfähigkeit des Ziegels wurde entsprechend den Messergebnissen angepasst.

	Dichte	Spez. Wärmekapazität	Wärmeleitfähigkeit	Effektives Porenvolumen	Wasseraufnahmekoeffizient	μ - Wert
Symbol	ρ	c	$\lambda_{10, tr}$	μ_{eff}	A_w	μ
Einheit	kg / m ³	J / kg·K	W / mK	Vol%	kg / m ² s ^{0,5}	-
Mörtel & Außenputz (Fa. Maxit)	1250	580	0,507	40,0	0,0328	12,5
Vollziegel (Fa. Wienerberger)	1790	890	0,63	31,9	0,1987	18
Innenputz (Fa. Remmers)	1000	860	0,220	33,1	0,0212	11,3

Abb. (212) charakteristische hygrothermische Kennwerte der Materialien

Auf der Unterseite der Mauerwerkswand war druckloser Wasserkontakt angeordnet. In der Annahme, dass die Weiterleitung des auf der Innenseite eingefüllten Wassers mit zunehmender Entfernung von der Innenoberfläche reduziert wird, ist der Wasserkontakt nur am Innenputz, dem inneren Ziegel und der Mörtelfuge angeordnet. Wie in Abb. (211) dargestellt ist, wird der Sockel nicht modelliert. Da die Wände in wasserdichten Gefäßen stehen, ist eine Berücksichtigung des Sockels aus hygrischer Sicht nicht notwendig. Da das ebenerdige Gebäude auf einem, nach außen abgeschlossenen Streifenfundament steht, stellt der Sockel allerdings eine Wärmebrücke dar, welche im Winter niedrigere Temperaturen verursacht. Aus Zeitgründen wurde der Sockel in den Simulationen vernachlässigt.

Transportwiderstand über Grenzschichten von Materialien

Im Gegensatz zum Wärmetransport können Grenzschichten zwischen Materialschichten, z.B. zwischen Mörtel und Mauerwerksziegel, einen zusätzlichen Transportwiderstand ausüben. Praktische Untersuchungen und Simulationsergebnisse (Derluyn, Janssen, & Carmeliet, 2011) zeigen, dass bei idealem Kontakt zwischen Mörtel und Ziegel das Wasseraufsaugverhalten der Proben mit berechneten Ergebnissen übereinstimmt. Diese idealen Kontaktverhältnisse zwischen Mörtel und Ziegel wurden verglichen mit Bauteilproben, in denen frischer Mörtel zwischen kapillar gesättigten Ziegelproben und zwischen trockenen Ziegelproben eingebracht wurde. Anhand von Messdaten und Simulationsergebnissen wurde gefolgert, dass ein Transportwiderstand in der Grenzschicht zwischen Mörtel und Ziegel existiert und mit dem Wassergehalt der Ziegel steigt. Für den Transportwiderstand werden verschiedene Gründe aufgeführt:

- Je geringer der Feuchtegehalt des Ziegels bei Einbau war desto niedriger waren die Feuchtetransportkoeffizienten
- Bestandteile des Zementes, werden in die Kapillarporen des Ziegels geschwemmt und verringern den Porendurchmesser und damit das Transportvermögen
- Durch die mit dem Abbinden des Mörtels verbundenen Schwind- und Quellvorgänge entstehen Luftschichten zwischen den Materialien, sodass keine voller Kontakt zwischen Mörtel und Ziegel besteht
- Die unterschiedlichen Porenstrukturen führen zu einer Reduktion des Feuchtetransports

Der durch Simulationen ermittelte Transportwiderstand beträgt $1,25 \cdot 10^{10}$ m/s für den Fall des kapillar gesättigten Ziegel und $2,5 \cdot 10^{10}$ m/s für den trockenen Ziegel.

3.6.8 Simulation mit gemessenem Klima

Für die Zeitplanung des Versuches wurden im Vorfeld Simulationen mit der Software Delphin5 angestellt. Als instationäres Außenklima kamen Stundenwerte eines Testreferenzjahres (Test reference year - TRY) zur Anwendung. Im Folgenden werden die Simulationen mit gemessenem Klima dokumentiert.

Validierung der Simulationen durch Messergebnisse

Eine Validierung der Simulationen bedeutet, dass die Simulationsergebnisse den Messergebnissen gegenübergestellt werden um zu überprüfen, inwieweit sie übereinstimmen. Dafür müssen in der Regel eine Reihe von Simulationen durchgeführt werden, da trotz der gemessenen Materialeigenschaften und der Aufzeichnung des Außen- und Innenklimas einige Parameter und die Messwerte gewissen Unsicherheiten unterliegen.

So können die Klimaübergangsbedingungen oder Kontaktwiderstände innerhalb der Konstruktion nicht gemessen werden, sondern müssen indirekt bestimmt werden. Dazu werden entsprechende Simulationsparameter immer wieder einzeln verändert, um den Einfluß einzelner Parameter zu überprüfen welche Einstellungen den Messergebnissen am Nächsten kommen. Die variierten Parameter sollten dabei nicht einen bauklimatisch sinnvollen Rahmen verlassen. So wäre im vorliegenden Fall ein Absorptionskoeffizient für die kurzwellige Strahlung von $a = 0,9$ nicht sinnvoll, da dieser Wert einem nahezu schwarzen Körper entspricht. Trotzdem ist es möglich, dass mit einem solchen, „nicht sinnvollen“ Wert die Messergebnisse sehr gut wiedergegeben können. Sollte die Variation anderer, beeinflussender Parameter kein ebenso gutes Ergebnis erzielen, wird dies jeweils erläutert.

Wird eine ausreichende Übereinstimmung zwischen Messwerten und Simulationsergebnissen erzielt, können in Variationsstudien bestimmte Veränderungen untersucht werden, z.B. die Verwendung anderer Materialien in unterschiedlicher Dicke oder die Anordnung abweichender Innen- und Außenklimadaten.

Randbedingungen, Materialien und weitere bestimmende Faktoren in den Simulationen

Für das Innen- und Außenklima wurden die am Objekt gemessenen Werte bzw. die ergänzten Messwerte der DREWAG angesetzt. Für die langwellige Abstrahlung wurde der Datensatz eines Testreferenzjahres verwendet.

Der Einsprühvorgang mit einem halben Liter Wasser pro Feld dauerte ungefähr je fünf Minuten, ungefähr ein Drittel des aufgesprühten Wassers lief in die Wassergefäße ab, ein nicht zu quantifizierender Anteil, jedoch höchstwahrscheinlich kleiner Teil, verdampfte, da die Felder mit sehr feinem Nebel besprüht wurden. Eine Oberfläche kann nur so lange Wasser aufnehmen, bis die Sättigung erreicht ist. Die Tatsache, dass Wasser herabließ zeigt, dass mehr Feuchte zur Verfügung gestellt wurde, als durch die Wand aufgenommen werden konnte.

Der Wasserkontakt in den Wassergefäßen wurde in den Simulationen als (bau-)praktisch drucklos (Druckhöhe: 1 mm) vereinbart. Da dem an der Unterseite angeordneten Wasser eine Temperatur zugeordnet werden muß, wurden im Vorfeld Simulationen der beiden Testwände angestrengt, in denen die Temperaturen auf der Unterseite ungefähr zentimeterweise ausgegeben wurden. Die ausgegebenen Temperaturen der unterschiedlichen Temperaturbereiche konnten dann in allen folgenden Simulationen dem Wasser zugeordnet werden.

Für die Abbildung des Heizdrahtes wurde innerhalb der Konstruktion eine Art Leerstelle von der Größe der Heizdrahtmatte geschaffen. Innerhalb dieser Leerstelle war den diskretisierten Elementen keine Materialeigenschaften zugewiesen worden. Dadurch ließ sich den Rändern der Leerstelle eine Randbedingung zuordnen, in diesem Fall eine Temperatur von 30°C.

Auch Materialeigenschaften sind gewissen Schwankungen unterworfen, selbst wenn, wie im vorliegenden Fall, ein Produkt schon ausführlich gemessen oder überprüft worden war. Abweichungen zwischen vorherigen Messungen und den besonderen Materialien vor Ort können aus verschiedenen Gründen auftreten:

- Die Rezeptur der Putze wurde mittlerweile (leicht) verändert, ohne dass dies vom Hersteller kommuniziert oder durch eine Namensänderung kenntlich gemacht wurde. Schon kleinste Mengen chemikalischer Zusätze können große Änderungen in den Transport- und Speichereigenschaften von Materialien verursachen.

- Beim Einbau der Materialien waren spezielle Klimaverhältnisse gegeben, sodass Putze oder Mörtel nicht auf dieselbe Weise wie in den Versuchen aushärteten. Das kann ebenfalls eine veränderte Porenstruktur nach sich ziehen.
- Das Verhältnis von Wasser zu festen Bestandteilen wurde beim Einbau von Putz oder Mörtel nicht eingehalten.
- Trockene, nicht gewässerte Ziegelsteine verursachen durch das schnelle Aufsaugen freien Wassers für hohe Kontaktwiderstände zwischen Ziegel und Putzen oder Mörtel.
- Durch klimatische Einflüsse verändern sich die Materialeigenschaften im Laufe der Zeit oder es bilden sich Risse.

Es folgt eine Auflistung der variierten Parameter.

Varierte Materialeigenschaften:

- μ -Wert
- Wärmeleitfähigkeit λ
- Wasseraufnahmekoeffizient A_w

Varierte Klimaübergangsbedingungen:

- Innerer und äußerer thermischer Wärmeübergangskoeffizient
- Adsorptionskoeffizient
- Oberflächenemissionskoeffizient
- Regenexpositionsfaktor

Ferner wurden wegen der ausschließlich zweidimensional möglichen Simulationen die Auswirkungen einer in der Mitte durchgehenden mittleren Fuge überprüft sowie unterschiedliche Kontaktwiderstände zwischen Mörtel und Ziegel.

In den hier vorgestellten Simulationen waren ein innerer thermischer Übergangswiderstand von $0,17 \text{ m}^2\text{K/W}$ und ein äußerer Übergangswiderstand von $0,08 \text{ m}^2\text{K/W}$ gewählt worden. Beide Übergangswiderstände sind aufgrund der lokalen, speziellen geschützten Lage der Testwände höher als in einschlägigen Richtlinien wie der ÖNORM B 8110-2 oder DIN 4108-3 angegeben. Ebenfalls wegen der besonderen Lage, d.h. weil es sich um eine vertikale Wand handelt die direkt gegenüber einem ungefähr gleichgroßen Gebäude steht, wurde ein niedriger langwelliger Oberflächenemissionskoeffizient von $0,28$ angeordnet. Der Absorptionskoeffizient für die kurzwellige Strahlung entspricht $0,3$, was ebenfalls sehr niedrig ist. Dies entspricht einem ausgesprochen hellen Farbanstrich bzw. einer matten Metalloberfläche, welche hier eigentlich nicht gegeben ist. Bei höheren Absorptionskoeffizienten um $a=0,6$, das würde einer hellgrauen Oberfläche entsprechen, waren zu hohe Temperaturen registriert worden. Die Wärmeleitfähigkeit der Ziegel wurde von $0,63$ auf $0,7 \text{ W/mK}$ erhöht. Der Übergangswiderstand zwischen den Ziegeln und dem Mörtel betrug zwischen $1.0\text{e}+09$ und $1.0\text{e}+10 \text{ m/s}$.

Temperaturen in der Innenputzschicht

Die Übereinstimmung zwischen gemessenen und berechneten Messkurven in beiden Feldern ist an der oberen NTC-3 Messposition sehr gut. Häufig verlaufen die berechneten Kurven ein bis zwei Kelvin oberhalb der gemessenen Werte, besonders in den ersten beiden Wochen und ab Mitte Dezember 2012.

Da die Wärmeleitfähigkeit der Ziegel bereits auf 0,7 W/mK erhöht worden war, eine Maßnahme, die die berechneten Temperaturen an den Innenoberflächen im Winter reduziert, wurde entschieden, die Wärmeleitfähigkeit nicht weiter zu erhöhen.

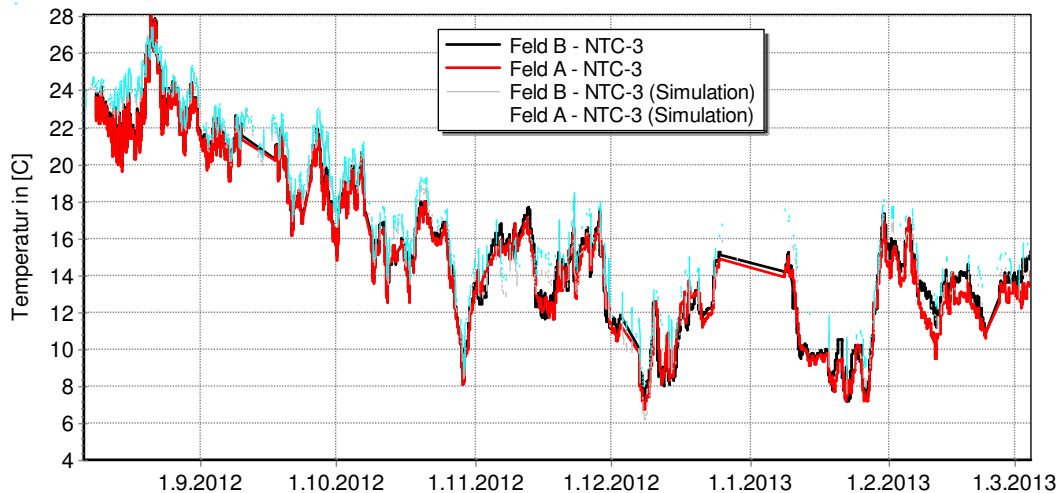


Abb. (213) Verlauf der oberen NTC-3-Tempersensoren in der Innenputzschicht beider Felder: Gemessene Daten und Simulationsergebnisse vom 6.8.2012 bis zum 4.3.2013

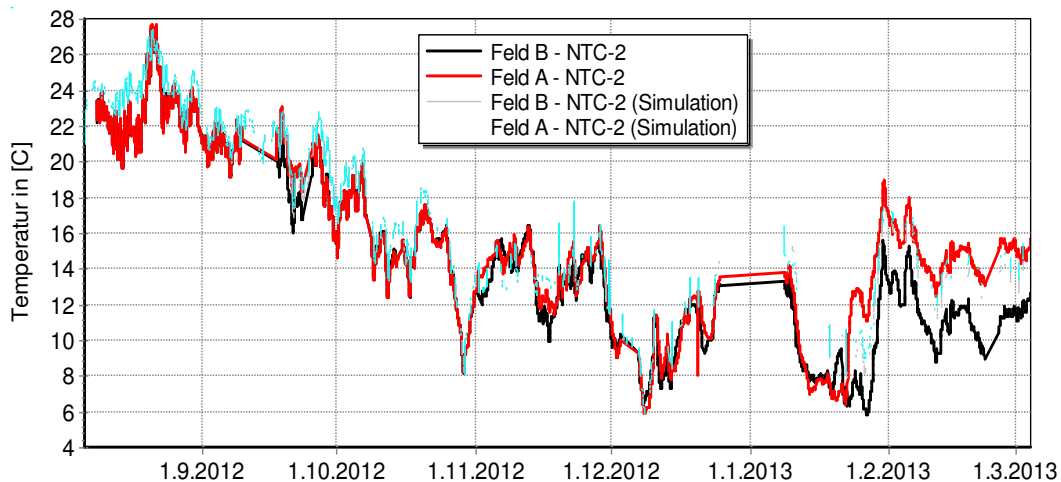


Abb. (214) Verlauf der mittleren NTC-2-Tempersensoren in der Innenputzschicht beider Felder: Gemessene Daten und Simulationsergebnisse vom 6.8.2012 bis zum 4.3.2013

Auch an den mittleren NTC-2-Messstellen ist die Übereinstimmung zwischen Messung und Rechnung überwiegend gut (Abb. (214)), jedoch mit ähnlichen Einschränkungen wie bei Abb. (213). Ab Januar 2013 betragen die Abstände zwischen den Mess- und Simulationskurven häufiger etwas mehr als zwei Kelvin bzw. sind die Differenzen beider simulierter Kurven zum Graph in Feld A kleiner als zum Graph des Feldes B. Hier, wie auch in Abb. (213) fällt auf, dass sich alle simulierten Kurven während der Beheizungsphase weit weniger stark unterscheiden als die jeweiligen Messkurven. Dies deutet darauf hin, dass die feuchteabhängige Wärmeleitfähigkeit unter Umständen doch weiter verändert werden sollte, da sich das Wärmesignal von der Innenseite in den Simulationen weniger ausgeprägt zu bemerken ist.

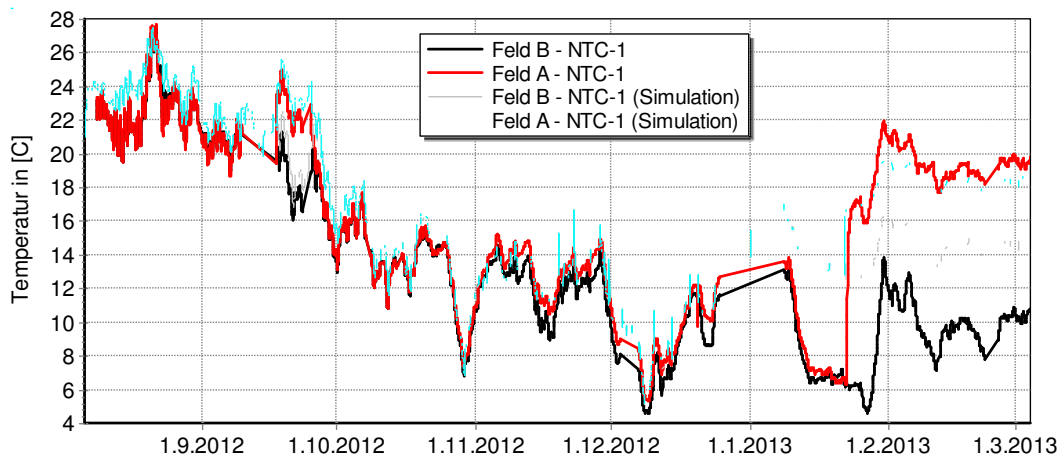


Abb. (215) Verlauf der unteren NTC-1-Tempersensoren in der Innenputzschicht beider Felder : Gemessene Daten und Simulationsergebnisse vom 6.8.2012 bis zum 4.3.2013

Der Gang der Temperaturen an der untersten Messstelle im Innenputz Abb. (215) stimmte bis Januar wie schon in den vorangegangenen Bildern bis Januar 2013 sehr gut überein. Anschließend kam es allerdings zu sehr großen Differenzen zwischen Messung und Rechnung, welche sich in Feld A mit Beginn der Beheizung wieder minimierten. Im unbeheizten Feld B waren die Unterschiede mit bis zu 7 K inakzeptabel groß. Wegen der großen Differenzen in Feld B und der geringen in Feld A wird vermutet, dass ein steilerer (linearer) Anstieg der feuchteabhängigen Wärmeleitfähigkeit zu besseren Ergebnissen führen könnte.

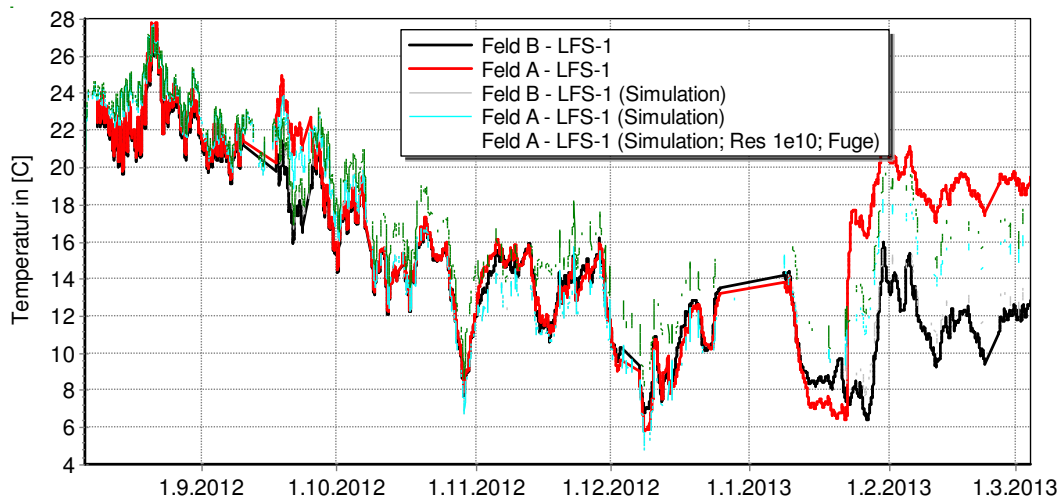


Abb. (216) Verlauf der unteren LFS-1-Tempersensoren in der Innenputzschicht beider Felder: Gemessene Daten und Simulationsergebnisse vom 6.8.2012 bis zum 4.3.2013

Abb. (216) mit den Temperaturen am unteren kombinierten LFS-Luftfeuchte-/Temperatursensor läßt vermuten, dass auch die Art der Messung die Daten beeinflusst, da hier andere Entwicklungen wie in Abb. (215) zu beobachten sind. Hier gleichen sich im Gegensatz zu Abb. (215) Messung und Rechnung im beheizten Feld A selbst ab Januar 2013 gut, während die Differenzen in Feld B mit bis zu 3 K größer sind. Zum Vergleich ist hier eine weitere Simulationsvariante für den Sensor in Feld B abgebildet. Die grüne Linie repräsentiert eine Simulation, in welcher der Übergangswiderstand zwischen Mörtel und Ziegel statt $3 \cdot 10^9$ $1 \cdot 10^{10}$ m/s betrug und die mittlere, eigentlich unterbrochene Mörtelfuge durchgängig war (dünne grüne Linie in Abb. (216)). Wie zu sehen ist, stimmt diese Kurve 2012 weniger gut überein, ab der Beheizungsphase ist jedoch der Abstand etwas geringer als bei der Vorzugsvariante.

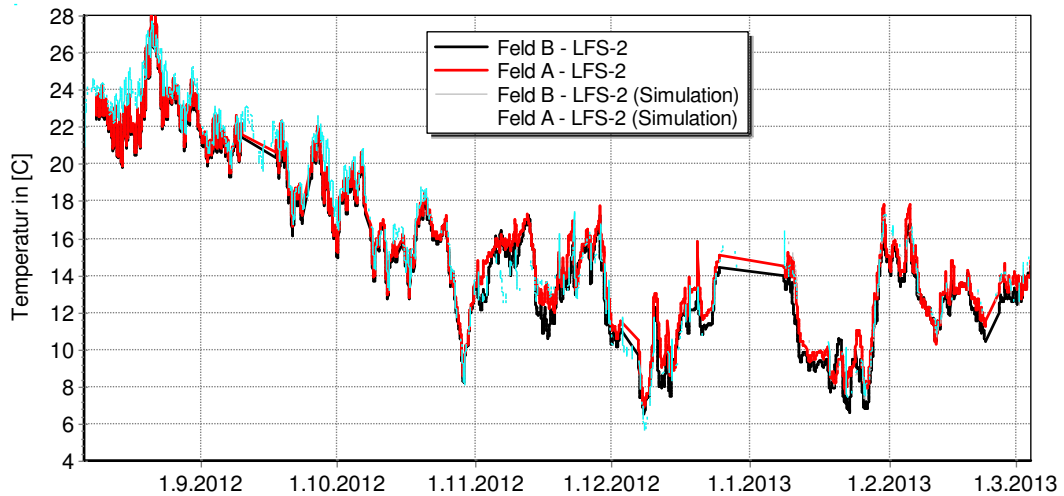


Abb. (217) Verlauf der oberen LFS-2-Temperatursensoren in der Innenputzschicht beider Felder : Gemessene Daten und Simulationsergebnisse vom 6.8.2012 bis zum 4.3.2013

Abgesehen von kurzfristigen, etwas größeren Abweichungen zu Beginn der Messungen bzw. Simulationen und von Anfang bis Mitte November 2012 bewegen sich alle Messdaten und Simulationsergebnisse an den oberen LFS-2-Temperatursensoren überwiegend gleichförmig (Abb. (217)). Die Übereinstimmung ist sehr gut.

Luftfeuchte in der Innenputzschicht

Im Vergleich zur Temperatur sind Luftfeuchteverläufe in Materialporen bzw. Hohlräumen schwieriger zu validieren, da die Luftfeuchte von mehr Parametern deutlicher abhängig ist, u.a. von der Temperatur. Zudem ist ein generelles, produktunabhängiges Problem bei kapazitiven Luftfeuchtesensoren die Messung bei Luftfeuchten über 95 %. Immer wieder werden die Sensoren bei lang anhaltender, sehr hoher Feuchte defekt. Oder sie zeigen weitaus länger 100 % Luftfeuchte an, wie es in der Realität tatsächlich vorkommt, da die hohe Luftfeuchte aus den Sensoren langsamer austrocknen kann als im umgebenden Material.

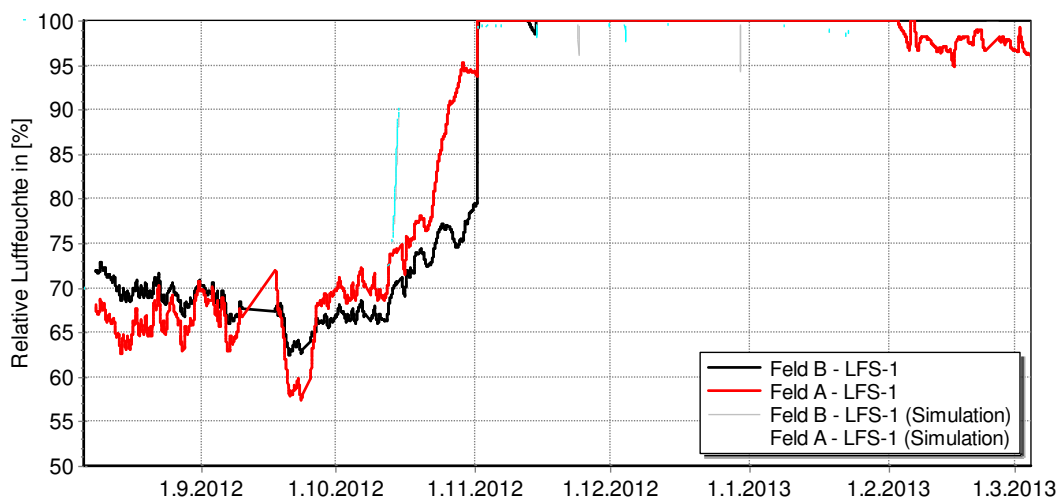


Abb. (218) Verlauf der unteren LFS-1-Luftfeuchtesensoren in der Innenputzschicht beider Felder : Gemessene Daten und Simulationsergebnisse vom 6.8.2012 bis zum 4.3.2013

An der Messposition des unteren kombinierten Temperatur-/Luftfeuchtesensors verlaufen die beiden simulierten Kurven bis zur Beheizungsphase praktisch deckungsgleich (s. Abb. (218)). Auch danach, ab Mitte Januar unterscheiden sie sich nur um ca. einen Prozent Luftfeuchte, wobei der Graph des beheizten simulierten Feldes unter dem des unbeheizten Feldes verläuft. Die grundsätzlichen Bewegungen der Messdaten werden durch die Simulationsergebnisse wiedergegeben. Allerdings bewegen sich die simulierten Kurven vor November 2012 um 5 bis 10 % unter den Messdaten und verlaufen insgesamt weitaus ruhiger. Nach Beginn der Befüllung der Wassergefäße beginnt der Anstieg der simulierten Luftfeuchten gleichmäßiger und schneller als in den Messdaten. In den Simulationen durchnässt das Mauerwerk im unteren Bereich schon vor dem Besprühen der Innenoberflächen. Eine niedriger skalierte Flüssigwassertransportfunktion in den Simulationen könnte den Anstieg der Luftfeuchte verzögern, sodass die Graphen bis Ende Oktober besser übereinstimmen würden. Das Abtrocknen im beheizten Feld A wird von der Simulation – allerdings in beiden Feldern - gut wiedergegeben, auch wenn die Trocknung früher einsetzt. Die zeitliche Diskrepanz kann vom erwähnten, verzögerten Abtrocknen der Luftfeuchtesensoren verursacht werden.

An den oberen LFS-Luftfeuchtefühlern verliefen die Kurven der Simulationsvarianten wieder nahezu deckungsgleich (Abb. (219)). Die Messwerte waren ebenfalls von Beginn an deutlich lebhafter als die Simulationsergebnisse. Dies könnte ein Hinweis darauf sein, dass der μ -Wert des Innenputzes reduziert oder die Wärmeleitfähigkeit erhöht werden sollte. Beides würde zu einer direkteren Beeinflussung der hygrothermischen Verhältnisse im Mauerwerk durch das Innenklima führen. Sehr gut erkennbar ist die hohe Materialfeuchte nach dem Besprühen der Innenoberfläche. In den Messwerten werden 100 % erreicht. Dass die beiden Testfelder danach unterschiedlich schnell abtrockneten kann an unterschiedlichen Faktoren liegen, die schon erläutert wurden. Jedenfalls erreichten die Werte in den Simulationen nur ungefähr 90 % relative Luftfeuchte. Dies ist erneut ein Hinweis darauf, dass die Flüssigwasserleitfähigkeit des Putzes zu gering ist und erhöht werden sollte. Eventuell könnte der Feuchteübergangskoeffizient der Innenoberfläche vergrößert werden, sodass ein höherer Anteil des aufgesprühten Wassers aufgenommen werden würde.

Ausgesprochen gut geben beide (!) Simulationsergebnisse das Abtrocknen des LFS-2 Luftfeuchtesensores in Feld B nach der Phase der Besprühung (ab Mitte Januar) wieder. Der Luftfeuchtesensor in Feld A verläuft 5 bis 10 % über den Simulationsergebnissen (s. Abb. (219)).

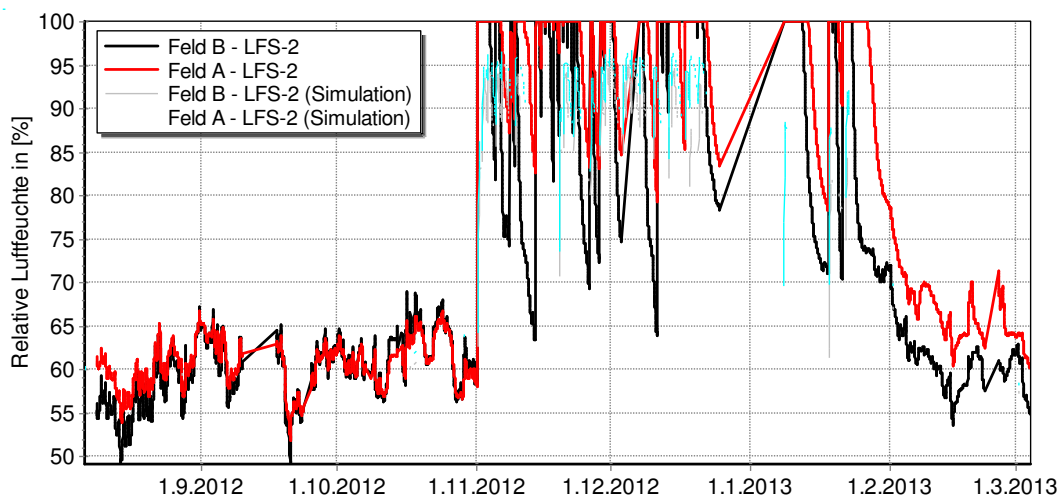


Abb. (219) Verlauf der oberen LFS-2-Luftfeuchtesensoren in der Innenputzschicht beider Felder : Gemessene Daten und Simulationsergebnisse vom 6.8.2012 bis zum 4.3.2013

Temperaturen in der Außenputzschicht

In einem vorangegangenen Kapitel zu den Messwerten war festgehalten worden, dass an den Außentemperatursensoren die unteren Fühler ,1' und ,2' jeweils gut übereinstimmten, während die obersten Sensoren ,3' sich sehr deutlich von den Kurven der Sensoren ,1' und ,2' nach unten bzw. oben absetzten. Wie in Abb. (220) und Abb. (221) dargestellt, unterschieden sich die Simulationsergebnisse an allen Monitorpunkten der Außenputzschicht und in beiden Feldern nur marginal voneinander. Die Simulationen zeichnen hier den Temperaturverlauf an den unteren beiden Sensoren in Feld A und B jeweils sehr gut nach. Die Kurven der ,3'-er Sensoren können jedoch nicht wieder gegeben werden.

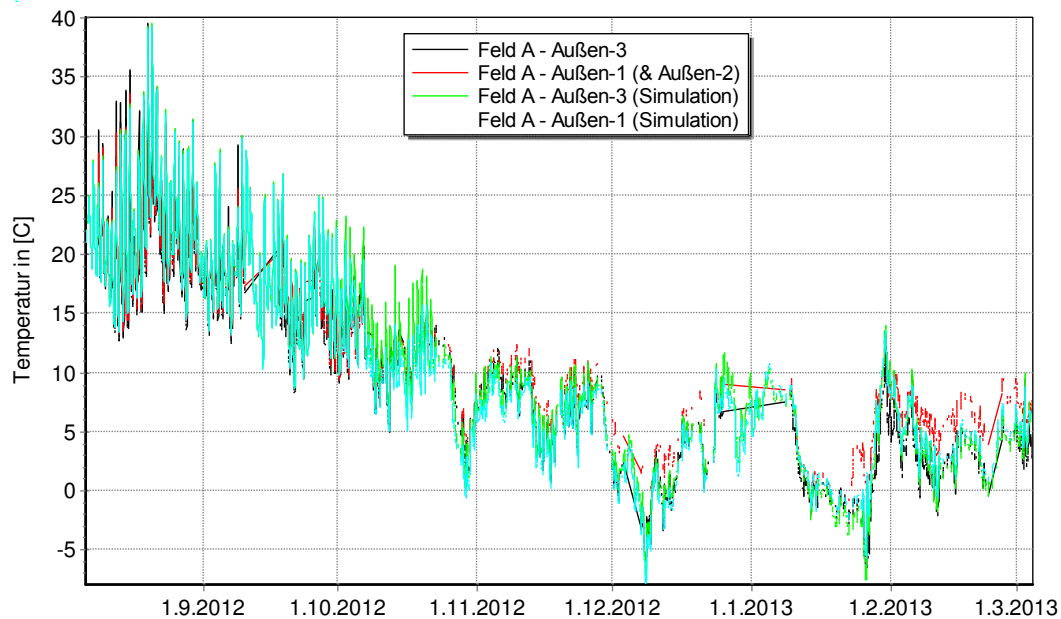


Abb. (220) Verlauf der Außen-Temperatursensoren in der Außenputzschicht des beheizten Feldes A: Gemessene Daten und Simulationsergebnisse vom 6.8.2012 bis zum 4.3.2013

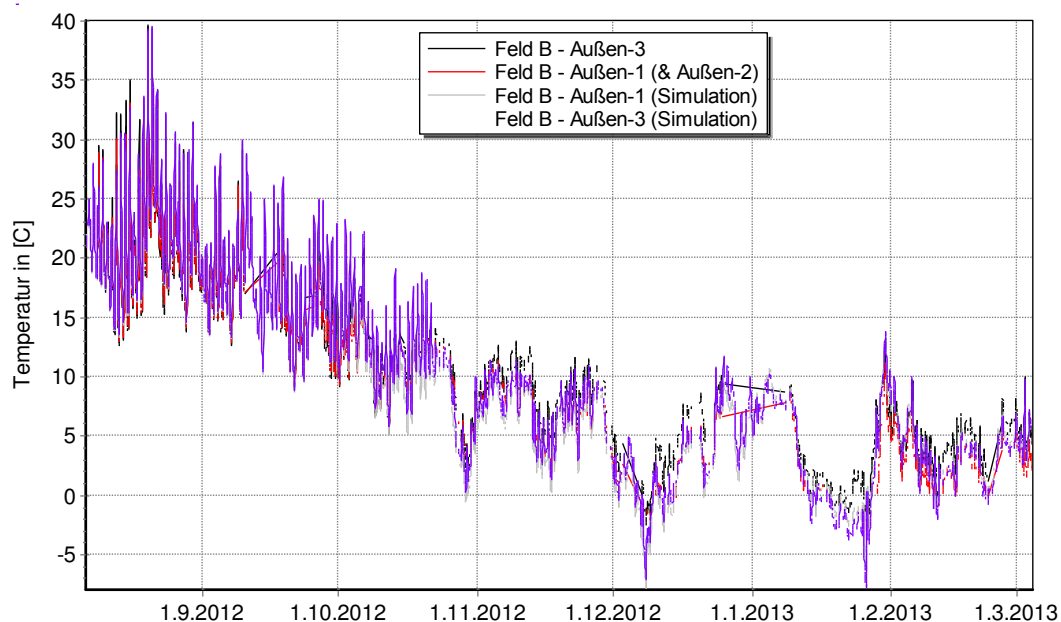


Abb. (221) Verlauf der Außen-Temperatursensoren in der Außenputzschicht des unbeheizten Feldes B: Gemessene Daten und Simulationsergebnisse vom 6.8.2012 bis zum 4.3.2013

Temperatur- und Feuchtefelder

Die folgenden beiden Abbildungen illustrieren die zweidimensionale Temperaturverteilung am 27. Januar, fünf Tage nach Beginn der Beheizungsphase. Alle nachfolgenden Abbildungen sind Ergebnisse der zweidimensionalen Simulationen.

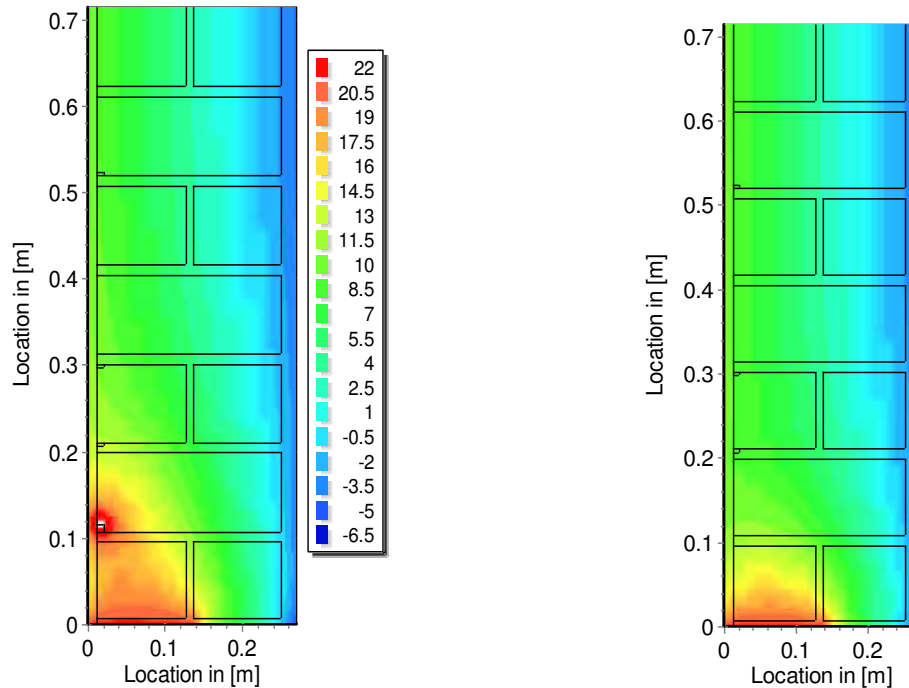


Abb. (222) Temperaturverteilung am 27. Januar 2013 in Feld A (links) mit und Feld B (rechts) ohne Beheizung

Anhand der Temperaturverteilung in Abb. (222) kurz nach Inbetriebnahme der Heizdrahtmatte kann der ungefähre Einflußbereich der Heizdrahtmatte und auch des Wärme transportierenden Wassers abgeschätzt werden. Der Bereich, in dem die Testwand A deutlich durch die Heizdrähte erwärmt wird, ist bei Außentemperaturen um -6°C und Innenraumtemperaturen um 17°C gering und mißt nur weniger als 10 cm. Der erweiterte Bereich, in welchem die Temperaturen in geringem Umfang erhöht werden, misst ungefähr 30 cm. Ab der vierten (Feld B ohne Beheizung) und fünften (Feld A mit Beheizung) Ziegellage sind die Isothermen parallel zu den Wandoberflächen, d.h. der Einfluss von einströmendem Wasser und Heizrohr sind weitgehend abgeklungen. Es ist auch zu erkennen, dass das von unten eindringende Wasser die untere Ziegellage bis in die äußere Ziegelschicht erwärmt.

Abb. (223) vergleicht die zweidimensionale Verteilung der Luftfeuchte in den Wandaufbauten am 27. Januar, fünf Tage nach Beginn der Beheizungsphase. In der linken und mittleren Darstellung der Feuchteverteilung betrug der Flüssigwassertransportwiderstand übereinstimmend $3 \cdot 10^9 \text{ m/s}$. Klar erkennbar ist, dass die Heizdrahtmatte fast keinen Einfluss auf die Feuchteverteilung im Inneren der 24 cm dicken Wand hatte. Die Höhe und Form der Feuchtefronten war fast deckungsgleich. Lediglich in der Innenputzschicht trocknete wegen der Beheizung ein Streifen an der Oberfläche etwas weiter herunter, fast bis auf die Höhe der Heizdrähte. Unterhalb der Heizdrähte war wegen der permanenten Wasseraufnahme aus den Gefäßen kein Abtrocknen wahrnehmbar. Anhand des rechten Bildes in Abb. (223) wird offensichtlich, dass ein etwas höherer Flüssigwasserleitwiderstand von $1 \cdot 10^{10} \text{ m/s}$ statt $3 \cdot 10^9 \text{ m/s}$ eine weitaus höhere Wirkung als die Heizdrahtmatte erzielt, da die Feuchtefront fast eine ganze Ziegellage tiefer zum Stehen kommt.

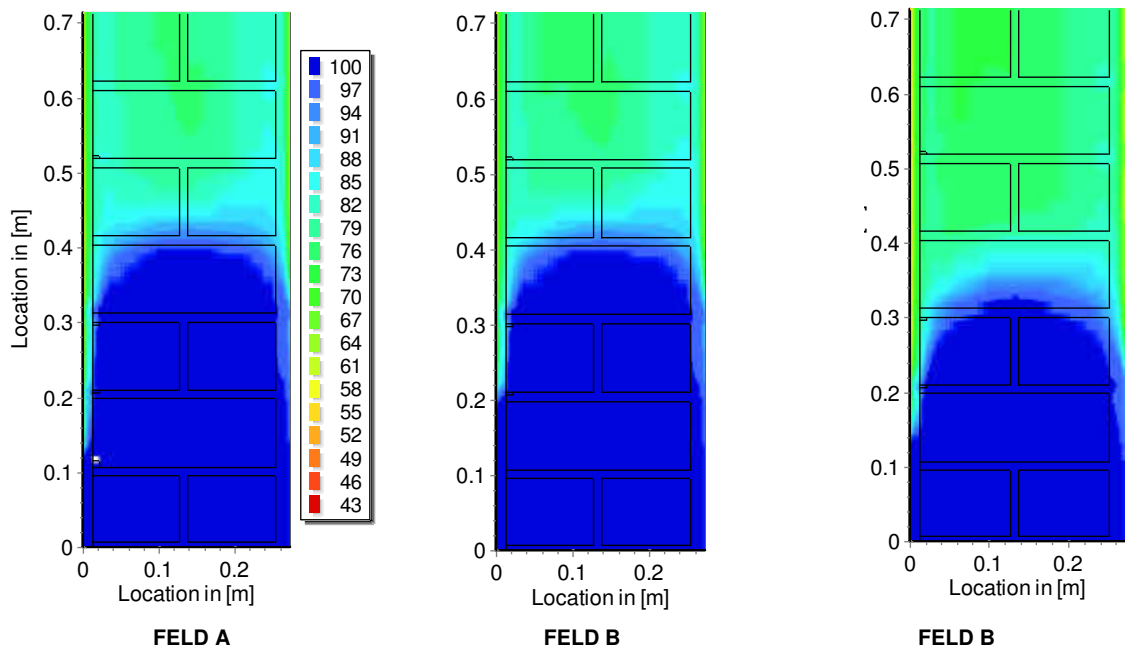


Abb. (223) Verteilung der relativen Luftfeuchte am 27. Januar 2013 in Feld A (links) mit und Feld B (mitte) ohne Beheizung, sowie Feld B ohne Beheizung mit einem Kontaktwiderstand von $1e10$ m/s (rechts) statt $3e9$ m/s zwischen Ziegel und Mörtel

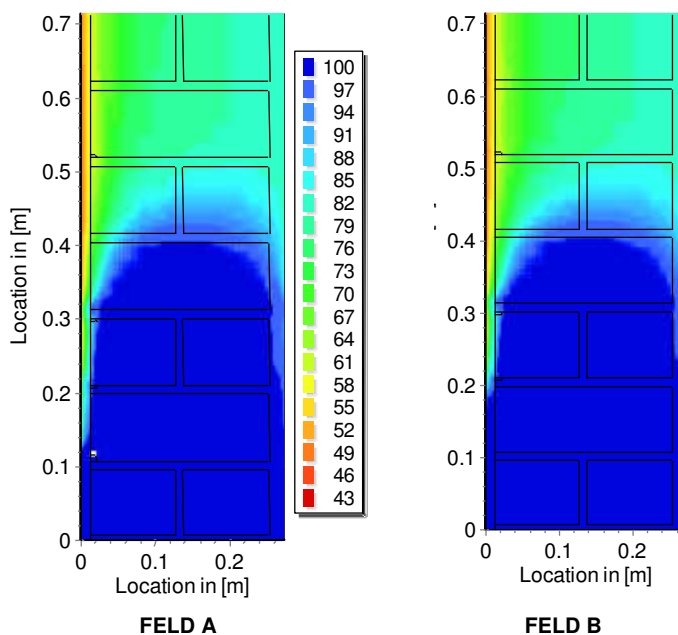


Abb. (224) Verteilung der relativen Luftfeuchte am 22. Februar 2013 in Feld A (links) mit und Feld B (rechts) ohne Beheizung

Zur Überprüfung der weiteren Vorgänge in den Simulationen sind die Feuchtefelder ungefähr einem Monat nach Beginn der Heizphase, am 22. Februar, ebenfalls abgebildet (Abb. (224)). Wie schon in Abb. (223) unterschieden sich die beiden Feuchtefelder des dünnen Mauerwerks kaum: nur ein schmaler, weniger feuchter Streifen in der Innenputzschicht zog sich bis kurz vor die Heizdrahtmatte hin, die restliche Form der Feuchteverteilung war austauschbar.

Eine niedrig temperierte Beheizung ist im Winter offensichtlich nicht geeignet, um mittels einer „thermischen Trennung“ massiv aufsteigende Feuchte von einer nahen Feuchtequelle zu verhindern. Eine Erhöhung der Temperaturen auf 60°C würde sicherlich zu besseren Ergebnissen führen.

3.6.9 Vergleich von Messungen und Simulation

Bis zur Phase der Beheizung wurde an allen Temperatursensoren eine sehr gute Übereinstimmung zwischen Messdaten und Berechnungsergebnissen erzielt. Ab der Heizphase divergieren die Messungen und Simulationen etwas mehr an den unteren Messstellen auf der Innenseite und an den oberen Messstellen auf der Außenseite. Dabei weisen die Abweichungen keine eindeutige Tendenz auf: an einem Sensor werden die Messwerte im beheizten Feld A gut wiedergegeben während in Feld B sehr große Abweichungen ermittelt wurden, an einem anderen Sensor konnte die Qualität der Übereinstimmung vertauscht sein.

Die „lebhaften“ Luftfeuchte-Messwerte wurden bei trockenem Mauerwerk zwar träger, aber in den Größenordnungen ähnlich, bzw. im Fall den oberen Bereichen sehr ähnlich nachgezeichnet. Die Aufnahme hoher Feuchte von den Wandinnenoberflächen im oberen Bereich, der nicht permanent durchfeuchtet war, erfolgte in den Simulationen nicht in dem Maße wie in den Testwänden. Hier wäre eine höhere Feuchteaufnahme durch Veränderung der entsprechenden Parameter zielführend.

Insgesamt konnte festgestellt werden, dass die Messwerte zwischen einzelnen Messstellen eine größere Spreizung aufwiesen als die Simulationsergebnisse, d. h. die in den Simulationen erstellten Modelle waren transportierten Wärme und insbesondere Feuchte in geringerem Ausmaß als die realen Wände. Durch weitere Simulationsstudien könnten diese Abweichungen sicher weiter reduziert werden.

Die durch die Heizdrähte erwirkte Erwärmung und Trocknung des Mauerwerks war auch in den Simulationen stark lokal begrenzt. Bei solch niedrigen Betriebs-Temperaturen um 30°C ist eine solche Maßnahme zumindest bei sehr nahem Grundwasserkontakt nicht zielführend. Mit höheren Heiztemperaturen könnte sicherlich ein nachhaltigerer Effekt erzielt werden.

3.7 Nutzung aktiver thermischer Solarenergie

Richard Heimrath, Angelika Swatek, Thomas Mach

Die Nutzung regenerativer Energieformen stellt die letzte Komponente in der schrittweisen Vorgangsweise des Projektes „denkmalaktiv I“ dar. Die Aufgabenstellung ergibt sich aus dem im Franziskanerkloster Graz umgesetzten Konzept (siehe Kapitel 4.5) einer thermischen Solaranlage, welche gekoppelt über einen thermischen Speicher mit einer Bauteilheizung als Wärmeabgabesystem ausgestattet ist. Ausgehend von der im Franziskanerkloster umgesetzten Anlage stellt sich die Frage nach übergeordnetem Systemwissen in Bezug auf diesen Ansatz. Es interessieren dabei Fragen nach der bestmöglichen Systemkonfiguration und der Sensitivität der einzelnen Systemkomponenten auf das Systemverhalten, ebenso wie die Fragestellung nach der „besten“ Betriebseinstellung bzw. der anzustrebenden Regelungstechnik. Um einen Überblick über publiziertes Wissen zu erhalten, wird zunächst eine entsprechende Recherche durchgeführt.

Recherche Solarthermie

Einen umfangreichen Überblick über die aktuelle Lage der Forschungslandschaft im Bereich der Solarthermie zeigt die „Technology Roadmap: Solar Heating and Cooling“ der Internationalen Energie Agentur (IEA). Zu Beginn dieser Publikation werden der aktuelle Markt sowie die heutigen Technologien für Solarenergie analysiert. Darauf aufbauend wird die Entwicklung der einzelnen Anwendungsbereiche der Solarthermie visionär bis 2050 beschrieben. Abschließend werden konkrete Empfehlungen hinsichtlich der zu verfolgenden Technologien sowie für die Politik abgegeben. Die Roadmap kann auf der Webseite der IEA unter <http://www.iea.org/> heruntergeladen werden. Die Auswertung der enthaltenen Themen und das Screening der publizierten Inhalte einer Reihe für die Solarthermie wesentlichen Konferenzen (Abb. (225)) ergab das folgende Bild:

Großes Augenmerk wird derzeit auf modulare, multifunktionelle, vorgefertigte Solarfassaden gelegt. Durch die **Steigerung des Vorfertigungsgrades** werden die Baukosten erheblich gesenkt, die Bauzeit verkürzt und auch die Installation der Kollektoren erleichtert. Weiterer Forschungsschwerpunkt sind Kollektoren, die als eigenständiges Element eingesetzt werden. Diese **multifunktionellen Kollektoren** findet man zum Beispiel als Fensterladen, Balkonbrüstung oder als Beschattungsvorrichtung. Um es Architekten zu erleichtern solarthermische Kollektoren bei ihren Entwürfen einzubeziehen, ist die **gestalterische Integration** ein großes Forschungsfeld. Dabei werden Fragestellungen zum Design sowie zur Farb- und Formgestaltung der Kollektoren behandelt. Um die teuren Materialien Kupfer und Aluminium auf Dauer ersetzen zu können, wird an Kollektoren aus Polymerstoffen geforscht. Weiterer Forschungsschwerpunkt hinsichtlich der **Materialien im Kollektor** sind auch verschiedenartige Glasabdeckungen. Da Strom produzierende Photovoltaikzellen einen großen Überschuss an Wärme erzeugen, sind auch kombinierte Kollektoren für die Strom und Wärme Produktion, sogenannte **PV/T Kollektoren** ein aktuelles Forschungsthema. Ein weiterer großer Forschungsbereich sind Kollektoren zur Energieerzeugung für industrielle Prozesse. Da die Industrie sehr hohe Temperaturen für ihre Prozesswärme benötigt, wird daran geforscht, wie man mithilfe von **konzentrierenden Kollektoren** die Solarthermie auch in diesem großen Anwendungsbereich einsetzen kann. Die Frage nach **neuartiger Energiespeicherung** ist bei allen dargebotsabhängigen Energiequellen von großer Bedeutung. Für die solarthermische Energiespeicherung wird derzeit vermehrt an kompakten Langzeitspeichern geforscht. Hierzu wird insbesondere der Einsatz thermochemischer Materialien bzw. Phasenwechselmaterialien erprobt. Außerdem werden **neuen Materialien für die Speicherhülle gesucht**, wobei insbesondere Polymerspeicher in Frage kommen.

Eine Anwendung, die seit den letzten Jahren in der Forschung in aller Munde ist, ist das Thema der „**Solaren Kühlung**“. Hierbei wird über eine Solarthermieranlage die Energie für die Gebäudekühlung hergestellt. Das Kühlsystem besteht demnach aus Sonnenkollektoren und einer Kältemaschine. Diese Art der Kühlung hat die Besonderheit, dass das Gebäude vor allem im Sommer, wenn also auch genügend Sonnenenergie zur Verfügung steht, gekühlt wird. Um das Heizsystem eines Gebäudes so weit als möglich aus erneuerbaren Energiequellen zu speisen, wird an der **Optimierung des Systems Sonnenkollektoren in Kombination mit Wärmepumpen** gearbeitet. Dabei kommt die Wärme für Warmwasser und Heizung primär aus den Kollektoren. Sollten die Kollektoren zu wenig Energie liefern, wird einfach auf die Wärmepumpe zurückgegriffen. **Nah- und Fernwärmenetze**, die von einer großflächigen Solarthermieranlage gespeist werden, sind weiterhin ein aktuelles Forschungsthema. Da es im städtischen Bereich viele nicht mehr verwendete Grundstücke oder geeignete Dachflächen auf Industriehallen gibt, ist dieser Anwendungsbereich speziell im dicht besiedelten Gebiet besonders zukunftssträftig. Um den Kunden eine Qualitätssicherung zu gewähren und ihnen die Möglichkeit zu bieten die verschiedenen Produkte zu vergleichen und zu bewerten, wird in der letzten Zeit vermehrt an **Qualitätsstandards, Zertifikaten und standardisierten Prüfverfahren** gearbeitet. Auf allen Konferenzen waren Vorträge zu Beispielprojekten von solaren **Netto-Null-Energiehäusern bzw. Plusenergiehäusern** zu finden. Gesamtlösungen werden gerne gezeigt und spielen auch eine wichtige Rolle hinsichtlich der Effizienz der erneuerbaren Energiesysteme. Ergänzend waren noch folgende Themen vereinzelt anzufinden: Solares Trocknen, Solare Lüftungsanlagen, Entsalzen mittels Solarthermie, Destillation mittels Solarthermie, Solares Kochen, billige Sonnenenergie für sozial benachteiligte Gruppen in Entwicklungsländern, sowie Simulationstools für Architekten, Ingenieure und Planer.

Solar World Congress

Der Solar World Congress wird alle zwei Jahre von der ISES – The International Solar Energy Society – organisiert und findet seit den 1950er statt. Die letzte internationale Konferenz fand von 28. August - 2. September 2011 in Kassel, Deutschland statt und stand unter dem Thema „Rapid Transition to a Renewable Energy World“.

<https://www.ises.org>

Symposium Thermische Solarenergie

Das Symposium „Thermische Solarenergie“ findet jährlich in Bad Staffelstein, Deutschland statt und wird von OTTI – Ostbayerische Technologie-Transfer-Institut e.V. – organisiert. Das 22. Symposium wurde zwischen 9. und 11. Mai 2012 abgehalten. Das Symposium ist primär für Teilnehmer aus dem deutschsprachigen Raum gedacht.

<http://www.otti.de/>

Gleisdorf Solar

Die internationale Konferenz „Gleisdorf SOLAR“ wird von der AEE – Institut für nachhaltige Technologien – in Kooperation mit der Stadt Gleisdorf und der Feistritzwerke Steweg GmbH organisiert. Das letzte Mal fand die Konferenz von 03-05 September 2008 statt.

<http://www.aee-intec-events.org>

EuroSun

Die „EuroSun Konferenz“ wird alle zwei Jahre von der ISES Europe Gruppe organisiert. 2010 fand sie in Graz statt und wird heuer zum neunten Mal von 18-20 September 2012 in Rijeka, Kroatien abgehalten.

<https://www.ises.org>

Energy Forum on Solar Building Skins

Die internationale Konferenz „Energy Forum on Solar Building Skins“ wird vom Economic Forum in München organisiert. Heuer findet das EnergyForum zum 7. Mal statt und wird, wie das Jahr zuvor, von 06-07 Dezember in Brixen abgehalten.

<http://www.energy-forum.com>

Abb. (225) Wichtige Konferenzen mit einem Fokus auf solarthermische Energienutzung

3.7.1 Aufgabenstellung im Bereich „thermische Solarenergie“

Die Recherche zeigte einen guten Überblick über die aktuellen und in den letzten Jahren publizierten Forschungsthemen, brachte jedoch wenig Information über das gesuchte Systemwissen in Bezug auf die im Franziskanerkloster umgesetzte Anlage. Insbesondere die Koppelung zwischen Solarthermie und thermischer Bauteilkonditionierung scheint ein wenig bearbeitetes Forschungsfeld darzustellen. Für den Teilaspekt der thermischen Bauteilkonditionierung sind zumindest einige Informationen zu finden. Die Konzentration liegt dabei auf der Darstellung von Ausführungsbeispielen im Bereich historischer, oftmals sakraler Gebäude (z.B. (Künzel, Künzel, & Großkinsky, 2007) oder (Planungsgesellschaft, 2009)). Der Fokus dieser Veröffentlichungen liegt im Wesentlichen auf der Baupraxis und der Beschreibung bauphysikalischer und handwerkstechnischer Themen (z.B. (Großschmidt, 2004, Band 9)). Demgegenüber steht der Einsatz thermischer Bauteilkonditionierung im Neubau. In diesem Forschungsfeld findet schon seit mehreren Jahren ein reger wissenschaftlicher Diskurs, insbesondere im Bereich der Aktivierung von Geschoßdecken, statt. Dies hat dazu geführt, dass umfangreiche Literatur über die Wirkungsweise und entsprechende Berechnungs- bzw. Simulationsmodelle publiziert wurden und somit als Stand der Wissenschaft bezeichnet werden können (z.B. (Koschenz & Lehmann, 2000) oder (Glück, 2001)).

Aufbauend auf der in der durchgeführten Recherche deutlich gewordenen Notwendigkeit grundlegendes Systemwissen über das Zusammenspiel von solarthermischer Wärmeumwandlung und thermischer Bauteilkonditionierung zu generieren, wurde die im Folgenden beschriebene Konkretisierung der Aufgabenstellung vorgenommen:

Ausgehend von den massiven Mauern alter Bausubstanz des Franziskanerklosters Graz wird die Möglichkeit untersucht, mit Hilfe einer solarthermischen Anlage das Mauerwerk und die dahinterliegenden Räume möglichst behaglich zu temperieren. Seitens der Solaranlage werden unterschiedliche Systemhydrauliken sowie Dimensionierungen betrachtet. Auf der Wärmeabgabeseite werden unterschiedliche Flächen, beziehungsweise Verlegungsvarianten hinsichtlich ihrer Wärmübertragungseffizienz analysiert. Ebenso werden die Behaglichkeitskriterien der unterschiedlichen Verlegevarianten mit in die Betrachtungen aufgenommen. Die im Projekt verwendete Simulationsumgebung TRNSYS 17 ist ein modular aufgebautes, dynamisches Gebäude- und Anlagensimulationsprogramm, mit dem auch das Verhalten von thermischen Solarenergiesystemen und Systemen zur rationellen Energienutzung simuliert werden kann (siehe Kapitel 6.4).

3.7.2 Erstellen einer thermischen Gebäude- und Anlagensimulation

Die zu installierende Solaranlage hat vorrangig die Aufgabe, das Mauerwerk auf Temperatur zu bringen um einerseits eine Austrocknung und andererseits eine Grundtemperierung der Räumlichkeiten zu ermöglichen. Je nach Größe und Anwendungsgebiet der thermischen Solaranlage gibt es unterschiedliche Möglichkeiten der hydraulischen Verschaltung. Eine verhältnismäßig kleine Anlage zur reinen Temperierung der Speichermasse wird voraussichtlich weder einen Speicher noch eine Nachheizung benötigen. Diese Anlagenkonfiguration stellt also bezogen auf die Investitionskosten den günstigen Fall dar. Plant man zusätzlich zur Bauteiltemperierung auch noch eine Warmwasserbereitung oder auch eine teilsolare Raumheizung, so sind zusätzlich zur größeren Kollektorfläche auch ein Wärmespeicher und ein Nachheizungssystem (z.B. Biomasse, Fernwärme) notwendig. Dadurch liegen die Investitionskosten gleichauf mit derzeitigen thermischen Solaranlagen, wobei durch die Bauteilaktivierung vor allem die überschüssige Solarenergie der Sommermonate genutzt werden kann, wodurch wiederum ein deutlich höherer spezifischer Kollektorertrag zu erzielen ist.

Als Wärmeabgabesystem der thermischen Solaranlage wird ein Referenzgebäude mit Wandheizung in der thermischen Gebäude- und Anlagensimulation aufgebaut. Ein Geschoss des Südtrakts des Franziskanerklosters wird mittels Trimble SketchUp (SketchUp, 2012) geometrisch abgebildet und hinsichtlich der Wandaufbauten, der internen Lasten, des Luftwechsels und des Nutzungsverhaltens definiert. Eine besondere simulationstechnische Herausforderung stellen hierbei die bis zu eineinhalb Meter starken Wände und die Nutzung des 3D-Modells für die Strahlungsverteilung sowie die Berechnung der Behaglichkeit für einen räumlich definierten Punkt dar. Bei der Simulation des Gesamtsystems sind drei wesentliche Punkte zu beachten.

Als ersten wichtigen Punkt gilt es die Wärmeabgabe der Wandheizung an den Raum bzw. an das Mauerwerk zu analysieren und zu optimieren. Hinsichtlich der Wandheizung gibt es einige Aspekte, die es zu beachten gilt. Das Temperaturniveau an der Wandoberfläche sollte möglichst regelmäßig sein, um eine gleichmäßige Rücktrocknung der Wände zu ermöglichen. Ebenso darf eine maximale Oberflächentemperatur nicht überschritten werden, um einerseits die Behaglichkeitskriterien einzuhalten und um andererseits Materialveränderung zu vermeiden.

Die Lage des Rohres in der Wand (Überdeckung des Rohres) und der Verlegeabstand der Rohre zueinander, als auch die Art der hydraulischen Rohrströmung (laminar oder turbulent) sind hierbei ebenso im Detail mit zu beachten. Hinsichtlich der Geometrie wurde hier als Basisvariante eine typische Verlegetiefe und typische Verlegeabstände aus den vorliegenden, realisierten Projekten analysiert und übernommen.

Als zweiten wesentlichen Punkt gilt es die Lage der Wandheizung im Raum zu analysieren und zu optimieren. Dabei sind die Raumgeometrie, die Oberflächentemperatur und das Verhältnis Nettogeschoßfläche zu verlegter Rohrleitungslänge zu variieren und hinsichtlich der Behaglichkeitskriterien zu analysieren. Hierbei ist das Ziel, die Behaglichkeit im Jahresverlauf auszuwerten und zu verbessern. Die geometrische Lage der aktivierten Wandflächen sind den drei Varianten der Abb. (226) zu entnehmen. Die Einbauvariante (1) zeigt eine alleinige Vorlaufleitung, gerade in der Außenwand positioniert. In der Einbauvariante (2) ist der Vorlauf über der kälteren Rücklaufleitung in der Außenwand positioniert. Die letzte dargestellte Einbauvariante (3) zeigt die in der vorliegenden Arbeit genutzte Verlegung, bei der die Vorlaufleitung zusätzlich im Bereich der Fensterleibung hochgezogen worden ist. Die Rücklaufleitung wird wie in Einbauvariante (2) parallel zum Boden geführt. Die Wahl der Leitungsführung ist mit den im Kapitel 3.5 gewählten Szenarien abgestimmt.

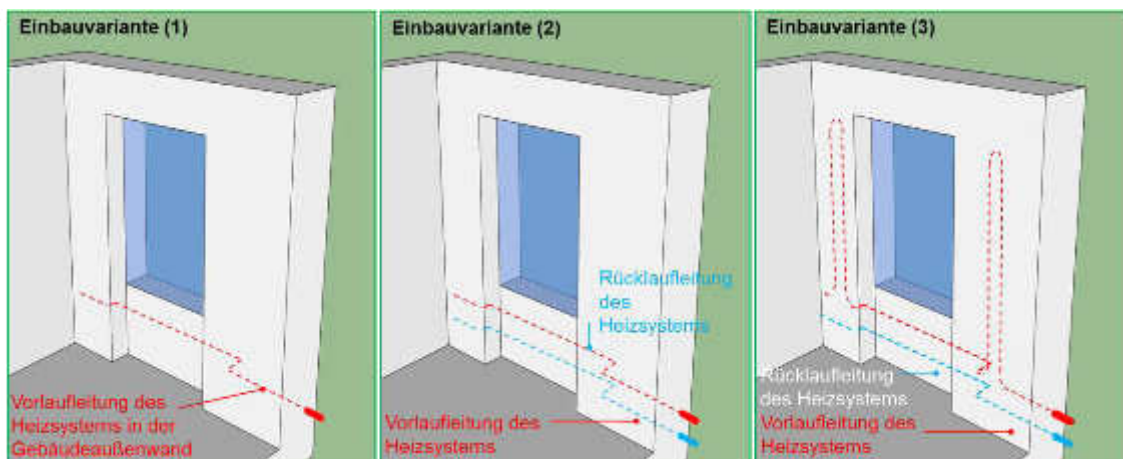


Abb. (226) Schematische Darstellung der Einbauvarianten der Bauteilheizung im Außenwandbereich

Der dritte, wichtigste Punkt ist die systemhydraulische Realisierung der thermischen Solaranlage, die als Wärmequelle für die Wandheizung genutzt wird. In Abhängigkeit der Wärmenutzung wird es nötig sein unterschiedliche Systemhydrauliken zu definieren und hinsichtlich der Funktion in der thermischen Anlagensimulation zu überprüfen.

Ein erstes **System A** (siehe Abb. (227)) wird nur zur Temperierung der Speichermassen und des dahinter liegenden Raumes genutzt. Dies ist mit einer einfach gehaltenen Systemhydraulik möglich, die sowohl auf einen Energiespeicher als auch auf eine Nachheizung verzichten kann. Zusätzlich besitzt dieses System A eine Vorlauftemperaturbegrenzung und eine Regelung, die im Falle einer zu hohen Kollektorstücktemperatur das System ausschaltet. Dies wird vor allem dann nötig sein wenn die Anlage bereits sehr groß im Verhältnis zur Wärmeabgabefläche dimensioniert wurde. Das **System B** (siehe Abb. (227)) entspricht fast einer konventionellen thermischen Solaranlage mit einem zentralen Energiespeicher. Jedoch wird das System B als alleiniges Heizsystem für die Wandheizung konzipiert. Der Verzicht auf eine Nachheizung hält das System noch einfach und kostengünstig. Das **System C** (siehe Abb. (227)) entspricht nun einer konventionellen thermischen Solaranlage mit einem zentralen Energiespeicher und einer Nachheizung mittels Fernwärme oder Biomasse. Das System C ermöglicht nun neben einer echten teilsolaren Raumheizung über die temperierte Speichermasse auch die Möglichkeit der Integration der Warmwasserbereitung mit dem großen Vorteil, dass in den Sommermonaten die Solaranlage überschüssige Wärme an die Speichermasse abgeben kann. Dadurch werden im Vergleich mit konventionellen teilsolaren Raumheizungen deutlich höhere spezifische Kollektorerträge erreicht. Je nach gewählter Systemhydraulik gilt es das sinnvolle Verhältnis von Kollektorfläche zur Wärmeabgabefläche anhand der Behaglichkeitsparameter zu ermitteln. Das System A wird hierbei eher klein gehalten werden müssen, die Systeme B und C hingegen können aufgrund ihrer Regelbarkeit und Speichermöglichkeit deutlich größer dimensioniert werden. Basierend auf diesen Anlagenschemata werden Auslegungsrichtlinien erstellt, die zur Dimensionierung derartiger Sonderfälle genutzt werden können. Die Dimensionierung soll nach Möglichkeit über einfach handhabbare Nomogramme, basierend auf dem Heizwärmebedarf der zu temperierenden Räume, ermöglicht werden.

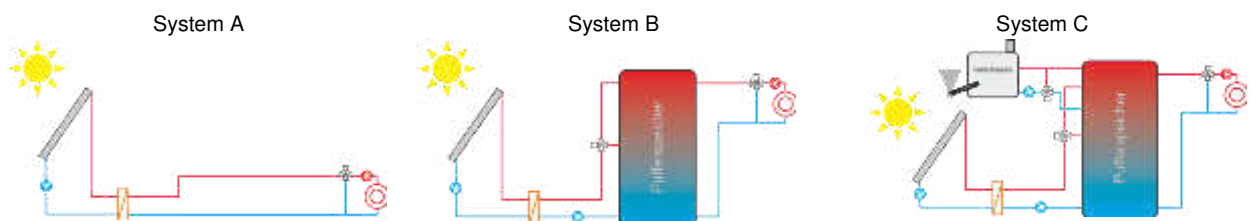


Abb. (227) Schematische Darstellung der betrachteten teilsolaren Heizungskonzepte
 System A: Solarthermie Direkt, System B: Solarthermie mit Pufferspeicher,
 System C: Solarthermie mit Pufferspeicher und Nachheizung

Aus den oben genannten Randbedingungen der möglichen Kombinationen aus einer teilsolaren Raumheizung und der definierten Einbauvariante (3) der Wärmeabgabefläche ergeben sich die nachfolgend dargestellten Varianten. In der Szenarienmatrix Abb. (228) sind alle variablen Randbedingungen dargestellt. Die Einbauvariante (3) der Wandheizung wird in allen Szenarien gleich belassen. Variationen werden beim Energiespeicher (mit oder ohne), der Nachheizung (mit oder ohne), der Sollvorlauftemperatur (60, 45 und 30 °C) und der installierten Kollektorfläche (26 bis 234 m²) vorgenommen. In Summe werden damit 60 Szenarien definiert, die es erlauben sollen einen Überblick hinsichtlich der Dimensionierung und des Solarertrags der teilsolaren Wandheizung zu erhalten.

Solarthermische Anlage			
zusätzliche Komponenten		Vorlauftemperatur	Kollektorfläche
Energiespeicher nicht integriert	keine Nachheizung	60 °C	26 m ²
			78 m ²
		45 °C	130 m ²
Energiespeicher wird integriert	Biomasse, Fernwärme		182 m ²
		30 °C	234 m ²

Abb. (228) Szenarienmatrix für die Kombination der solarthermischen Anlage (System A, B und C) mit der Wärmeabgabefläche (Einbauvariante (3)).

Die thermische Simulation setzt sich aus den zwei Teilbereichen thermische Gebäudesimulation und thermische Anlagensimulation zusammen. In den nachfolgenden Kapiteln wird auf die entsprechenden Randbedingungen eingegangen, die getroffenen Annahmen erläutert und grafisch dargestellt.

3.7.3 Randbedingungen der thermischen Gebäudesimulation

Als Referenzobjekt dient das Referenzgebäude Klostertrakt (siehe Kapitel 4.2.2). Da einerseits nicht die gesamte Bruttogeschoßfläche mittels wandverlegter Rohre konditioniert und es andererseits hinsichtlich des Simulationsaufwandes nicht sinnvoll erscheint den kompletten Gebäudekomplex im Detail simulationstechnisch abzubilden, basiert das der Simulation hinterlegte Modell auf dem 2. Obergeschoß des sogenannten Südtrakts.

Der Südtrakt dient vorwiegend zum Wohnen und zeigt einen einhüftigen Grundriss mit einem nördlich gelegen Gang zur Erschließung der südlich gelegenen Wohnräume (siehe Abb. (229)). Diese zehn Innenräume weisen unterschiedliche Grundrisse auf, wodurch eine spätere Interpretation der Simulationsergebnisse hinsichtlich ihrer Vergleichbarkeit enorm erschwert werden würde. Deshalb wurden, ausgehend vom Realsystem für die Modellbildung des Referenzgebäudes, mehrere Vereinfachungen vorgenommen. Der originale Grundriss des Südtraktes des zweiten Obergeschoß (Reithofer, 2012) wurde hinsichtlich der Flächen und Wandstärken ausgewertet. Darauf aufbauend wurden thermische Zonen gleicher Grundfläche und gleicher Wandstärke definiert, etwaige Schrägstellungen der Wände begradigt, die Flächen vergleichmäßig und in Trimble SketchUp dreidimensional abgebildet. Die Simulation ist in TRNSYS (Version 17.1) abgebildet. Standardmäßig werden die Raumlufttemperaturen und eine Energiebilanz zonenweise in Stundenschritten berechnet und für ein Simulationsjahr aufgezeichnet.

Die Erstellung des thermischen Modells in drei Dimensionen erfolgte mittels Trimble SketchUp (SketchUp, 2012). In diesem wurde die Geometrie des Referenzobjektes im Detail abgebildet, wobei die Fenster- und Türflächen bereits eingezeichnet, sowie in ihrer geografische Lage fixiert wurden. Die Definition der einzelnen Wandaufbauten erfolgte im Anschluss im Programm zur Definition des Gebäudes (TRNbuild, 2012).

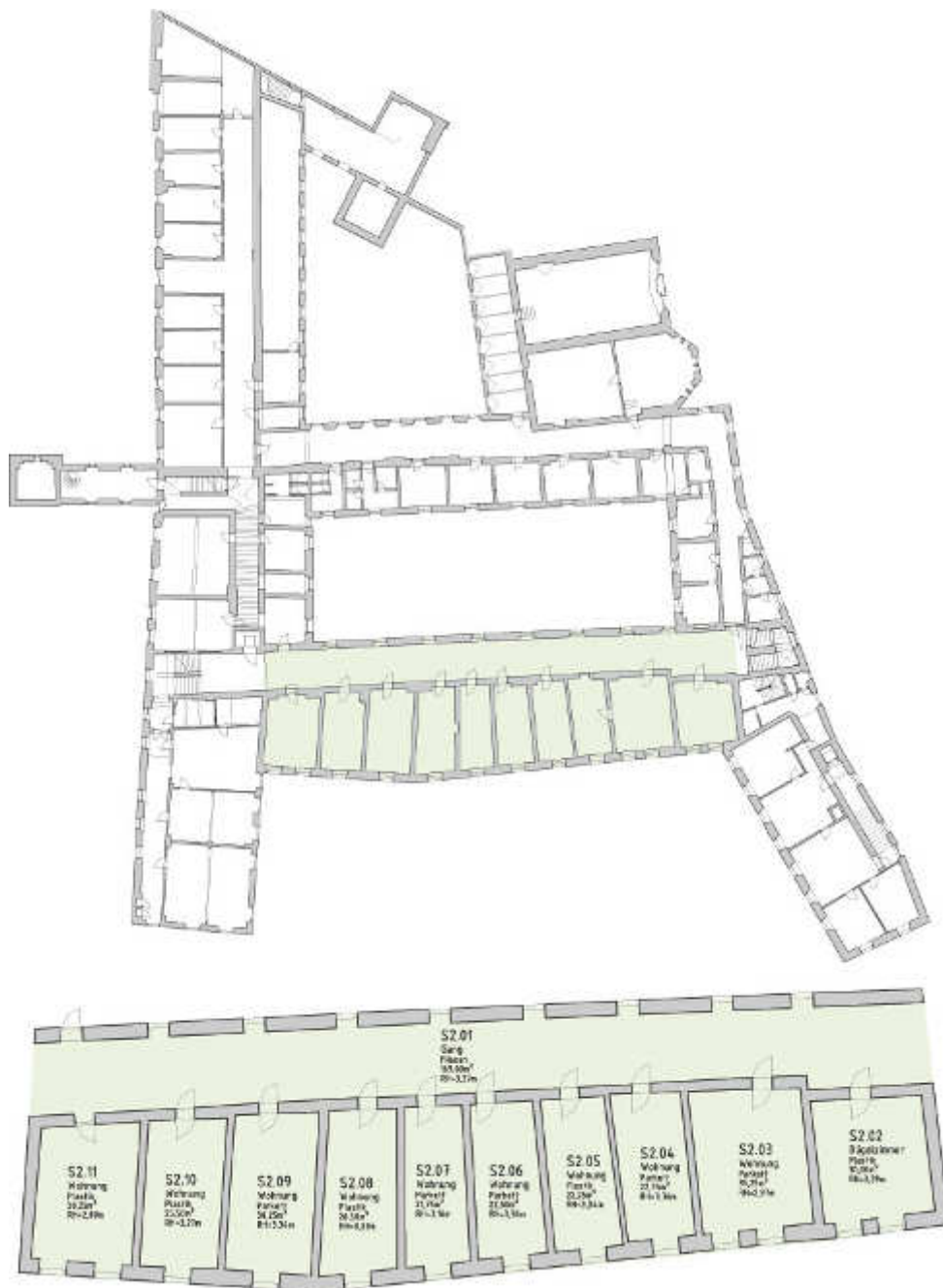


Abb. (229) Geometrische Grundlage der thermischen Modellbildung – 2. OG Südtrakt

In der nachfolgenden Grafik Abb. (230) ist das Modell für die thermische Gebäudesimulation mit elf thermischen Zonen ersichtlich. Das thermische Gebäudemodell wurde hinsichtlich der Außenabmessungen mit Bruttoabmessungen generiert, um die Wärmebrücken in den Raumecken zu berücksichtigen. Für die Luftvolumina werden jedoch die Nettoabmaße, bzw. das Nettovolumen verwendet. Hierzu sind die Nettoabmaße dargestellt sowie die Nettoflächen und Nettovolumina zusammengefasst. In der Abb. (230) sind die mit wandverlegten Rohren aktivierbaren Flächensegmente, für die Einbauvariante (3), an der südlichen Außenwand ersichtlich. Das rechteckige Flächensegment ist für die Rücklaufleitung und das darüber liegende Flächensegment, welches an den Fenstern hochgezogen wird, ist für die Vorlaufrohrschlange vorgesehen.

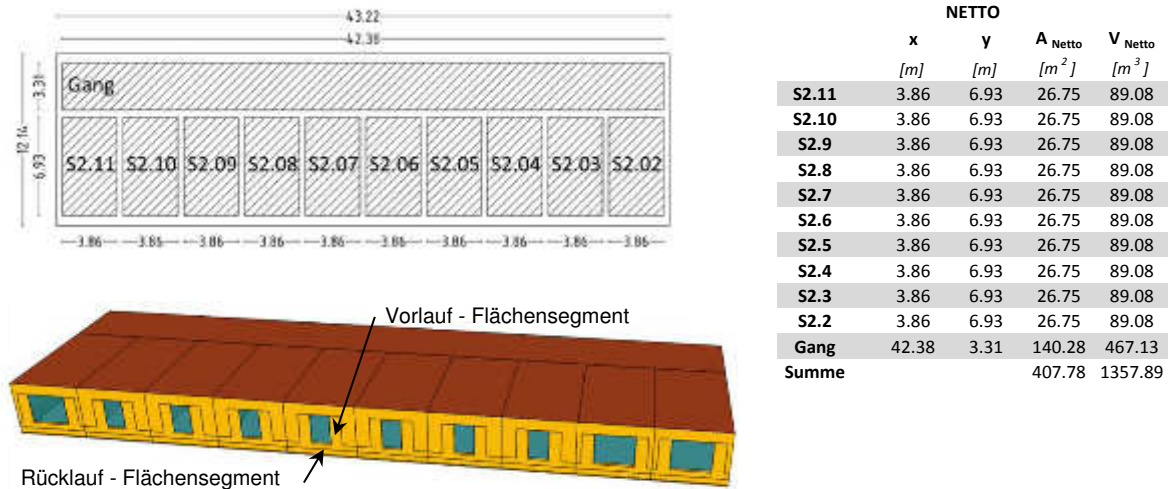


Abb. (230) Nettoabmessungen des Referenzobjektes und Ansicht Süd des 3D Modell des betrachteten Referenzobjektes

Randbedingungen der Simulation

Der Simulation wurden eine Reihe von Rahmenbedingungen zu Grunde gelegt. Da die in einer Simulation angesetzten Rahmenbedingungen bei der Interpretation der Simulationsergebnisse immer miteinbezogen werden müssen, sind diese in der Folge kurz und zusammenfassend dargestellt.

Klima

Das Referenzobjekt befindet sich in der Grazer Innenstadt, daher wurde in der thermischen Simulation ein mittels Meteororm (Meteororm - Version 7.0) generierter Klimadatensatz der Stadt Graz hinterlegt. Das Jahresmittel der Außenlufttemperatur liegt bei 8,3°C, das Jahresminimum bei - 14,8°C und das Jahresmaximum bei 29,6 °C. Die Jahressumme der Globalstrahlung des angesetzten Klimadatensatzes liegt bei 1143 kWh/m²a.

Innenwärmen

Für die thermische Gebäudesimulation war es auch notwendig, realistische Annahmen bezüglich der Höhe und der zeitlichen Verteilung der internen Lasten zu treffen. In der Simulation wird davon ausgegangen, dass sich in den Ruhezeiten (12:00-15:00 und 19:00-5:00) je eine Person (100W/Pers) in einer Wohnung befindet, die mittags und abends für je drei Stunden einen Computer (100W/Comp.) benutzt. Die Wohnungen sind weiters mit einem Telefon und einem Radio ausgestattet. Die Beleuchtung wird sowohl in den Wohnungen als auch im Gang täglich von 19:00-22:00 eingeschaltet. Dem Gangbereich werden keine weiteren internen Lasten zugerechnet. Ebenso wurden die vorliegenden internen Lasten hinsichtlich ihres radiativen und konvektiven Anteils definiert und in die thermische Gebäudesimulation übernommen. Unter Berücksichtigung der Nettogeschoßfläche je thermischer Zone und der zeitlichen Verteilung der Lastwerte ergeben sich folgende zwei Wochenprofile der internen Lasten für eine Wohnung und den Gang.

Konstruktionsaufbauten

Die Konstruktionsaufbauten wurden gemäß der in der bauphysikalischen Bestandsaufnahme (siehe Kapitel 4.2) ermittelten Werte angenommen. Die Dicke des Mauerwerks liegt zwischen 0,42 m (Trennwände zwischen Innenräumen) und 0,68 m (Außenmauer), wobei eine Wärmeleitfähigkeit von $\lambda = 0,83 \text{ W/mK}$ angenommen wird. Die Wärmeübergangskoeffizienten (U-Werte) sind für innengelegene Wandflächen mit $\alpha_i = 7 \text{ W/m}^2\text{K}$ und für außen gelegene Bauteile mit $\alpha_a = 25 \text{ W/m}^2\text{K}$ angenommen. Die Bestandsaufnahme sieht außerdem an der Innen- und Außenseite eine wenige Millimeter dünne Kalkputzschicht vor, welche, aufgrund des geringen Einflusses auf Wärmedurchgangskoeffizient und Speicherefähigkeit des Bauteils, in der Simulation vernachlässigt wurde. In der Simulation hinterlegt ist eine 2-fach Isolierverglasung (4 mm Glas / 16 mm Luft / 4 mm Glas) mit einem g-Wert von 0,755. Der Gesamtwärmedurchgangskoeffizient des Fensters ($U_{\text{Fenster}} = 2,8 \text{ W/m}^2\text{K}$) ergibt sich aus den beiden Teilen Verglasung und Rahmen mit ihren jeweiligen Flächenanteilen und U-Werten.

Luftaustausch zwischen den thermischen Zonen

Um die Beeinflussung der thermischen Zonen untereinander besser abbilden zu können, wurde ein Luftwechsel zwischen den Innenräumen und dem verbindenden Gang angenommen. Als mögliche Luftgeschwindigkeit wurden 0,15 m/s definiert, als Austauschflächen dienen die Türen zwischen dem Gang und den Wohnungen. Es wird davon ausgegangen, dass im Jahresdurchschnitt diese rund fünf Minuten pro Stunde geöffnet sind, sodass sich in Summe ein stündlicher Luftmassenstrom von etwa 48 kg ergibt.

Verschattung

Für die Verschattung wurde festgelegt, dass bei Überschreitung einer Raumlufttemperatur von $T_{W\_oben} = 25 \text{ °C}$ in den Wohnungen eine außen liegende Verschattung heruntergelassen wird und dabei der Verschattungsgrad 75 % beträgt. Diese Maßnahme ist bis zu einem Unterschreiten der Raumlufttemperatur von $T_{W\_unten} = 23 \text{ °C}$ wirksam.

Weitere Annahmen

Für die Infiltration wurde standardmäßig $0,4 \text{ h}^{-1}$ als Luftwechselrate angesetzt. Eine kontrollierte Be- und Entlüftung wurde nicht definiert. Die Infiltration ist hier als Summe aus hygienischem Luftwechsel und windindizierter Fugenlüftung definiert. Die Heizung ist sowohl im Gang als auch in den Wohnungen aktiviert. Die zu haltenden Raumlufttemperaturen betragen in den Wohnräumen $T_{\text{Wohnung}} = 21 \text{ °C}$ und im Erschließungsgang $T_{\text{Gang}} = 16 \text{ °C}$.

3.7.4 Detaillierergebnisse der thermischen Gebäudesimulation

Abb. (231) zeigt die spezifische Energiebilanz des Referenzobjektes. Dabei ist ersichtlich, dass der Heizwärmebedarf des Gangs etwas geringer ist als der der einzelnen Wohnungen. Die unterschiedliche Fensterfläche in den einzelnen Wohnungen zeigt sich auch in der Energiebilanz, wobei der größere Input an Solarstrahlung durch die größeren Verluste der Fensterfläche im Jahresverlauf kompensiert wird, und sich so der Heizwärmebedarf kaum von den Wohnungen mit geringerer Fensterfläche unterscheidet.

Die vorliegenden spezifischen Energiekennzahlen sind für ein Gebäude dieser Altersklasse deutlich zu gering. Bei Gebäuden mit diesem Alter ist im unsanierten Zustand laut Energieausweis mit etwa 160 bis 200 kWh/m²a zu rechnen. In unserem Fall erreichen wir für die betrachteten Zonen (mittleres Geschoß) etwa 80 kWh/m²a. Dies ist zum einen auf die Lage der betrachteten Zonen im Gebäude zurückzuführen und zum anderen auf die bereits sanierten Außenfenster.

Des Weiteren sind die Resultate der Berechnungsverfahren (Energieausweis und thermische Gebäudesimulation) nicht direkt miteinander vergleichbar. Der jährliche Nutzenergiebedarf des zweiten Obergeschoßes des Südtrakts beträgt in Summe, unter den gegebenen Randbedingungen etwa 29100 kWh/a. Um die geringe Energiekennzahl (80 kWh/m²a) zu verifizieren, wurde der Südtrakt zusätzlich dreigeschoßig, mit reduzierter Anzahl an thermischen Zonen in Trimble SketchUp abgebildet und in der thermischen Gebäudesimulation gerechnet.

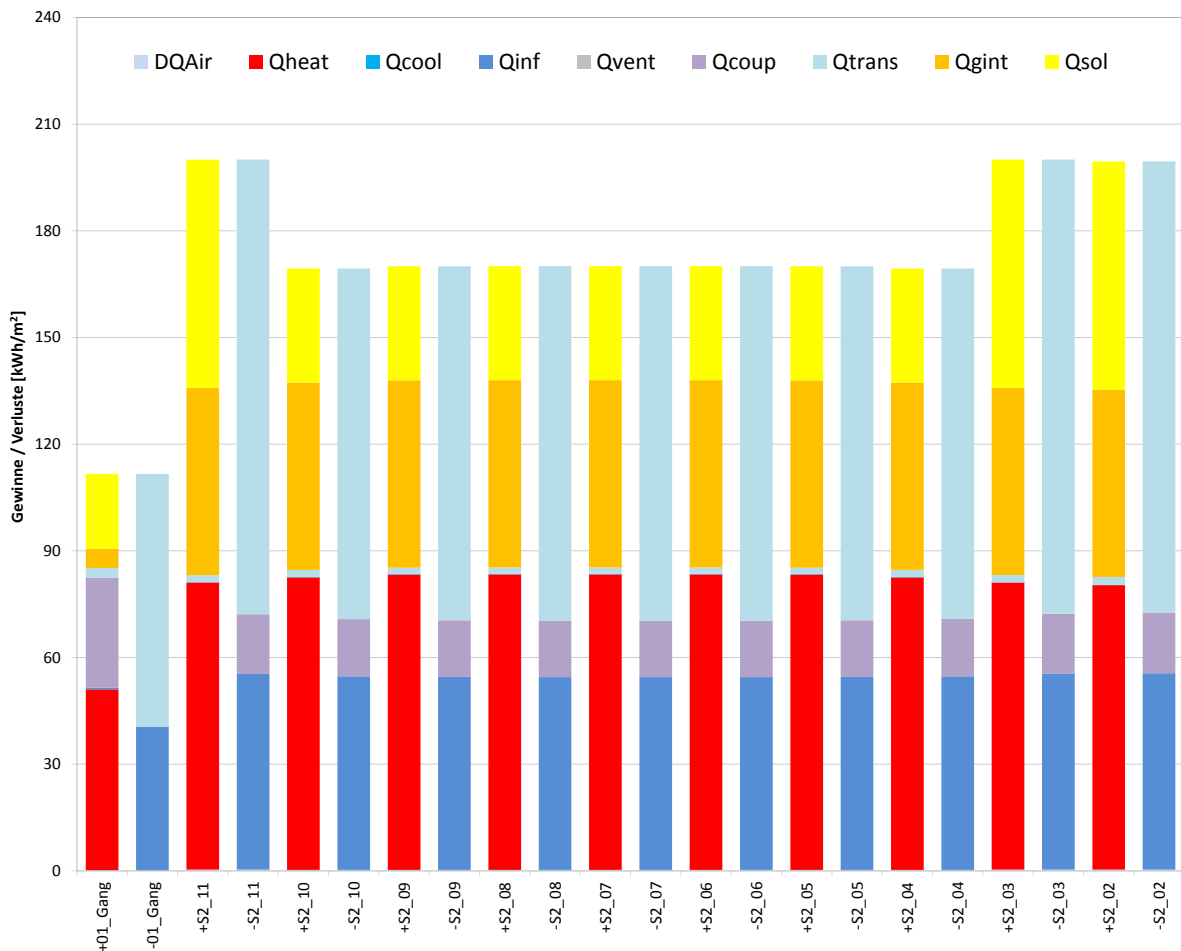


Abb. (231) Zonenweise spezifische Energiebilanz des Referenzobjektes:
 Q_{inf} ...Infiltration, Q_{trans} ...Transmission, Q_{heat} ... Heizen, Q_{vent} ...Lüftung, Q_{gint} ...interne Lasten,
 Q_{cool} ...Kühlen, Q_{coup} ...Koppelung von Räumen, Q_{sol} ...Solarstrahlung

Hieraus ergaben sich die in der Abb. (232) dargestellten spezifischen Energiekennzahlen. Dabei ist deutlich erkennen, dass das mittig gelegene Geschoß den geringsten Energiebedarf (etwa 95 kWh/m²a) aufweist, gefolgt vom Erdgeschoß (etwa 165 kWh/m²a) und dem Dachgeschoß mit dem größten Energiebedarf von etwa 230 kWh/m²a. Aufgrund der Zusammenlegung der thermischen Zonen, ergibt sich eine Erhöhung des Energiebedarfs von 80 auf etwa 95 kWh/m²a. Daraus ergibt sich dann für den gesamten Südtrakts ein mittlerer Heizwärmebedarf von etwa 163 kWh/m²a.

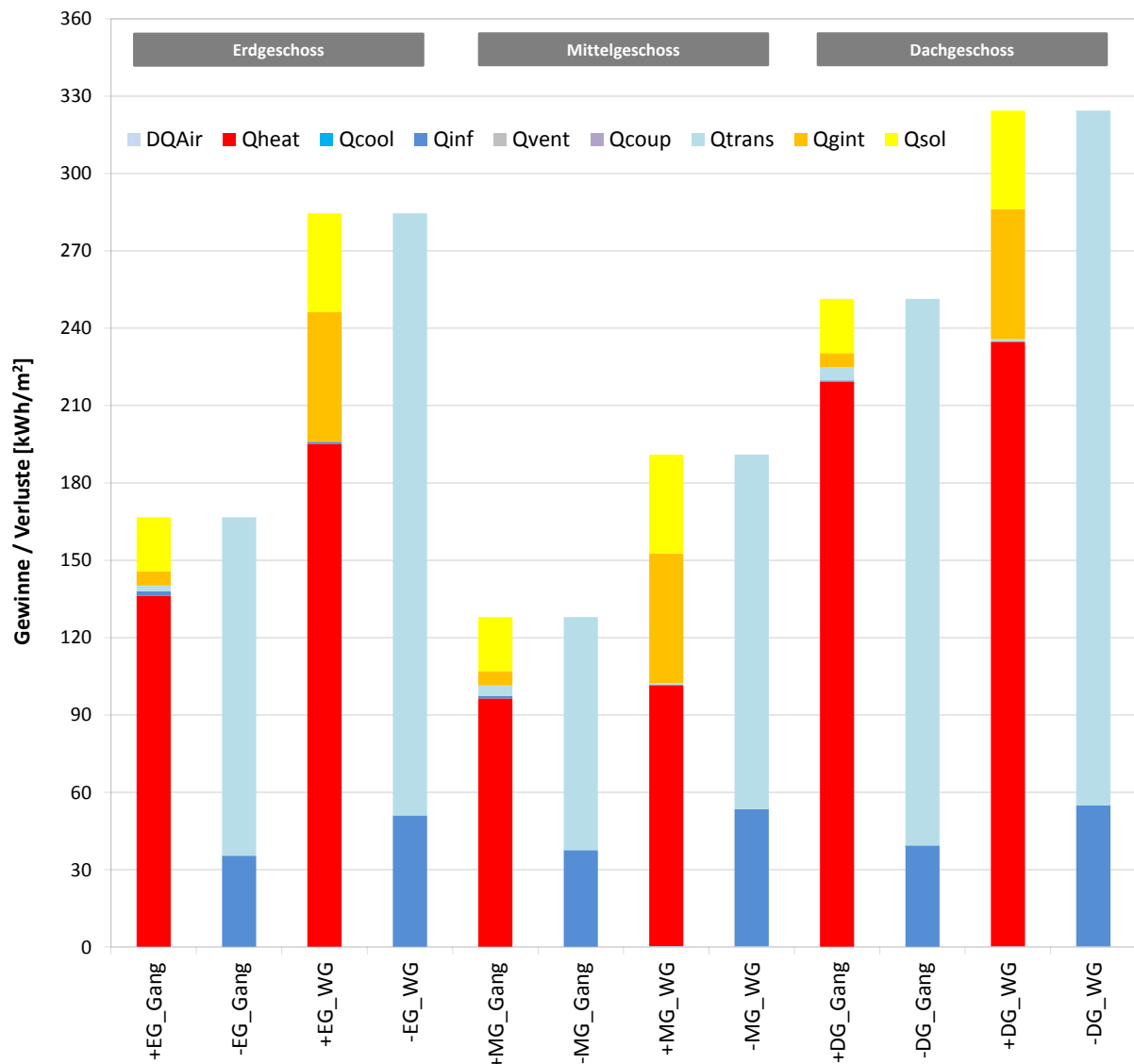


Abb. (232) Zonen- Stockweise spezifische Energiebilanz des Referenzobjektes:
 Q_{inf} ...Infiltration, Q_{trans} ...Transmission, Q_{heat} ... Heizen, Q_{vent} ...Lüftung, Q_{gint} ...Interne Lasten,
 Q_{cool} ...Kühlen, Q_{coup} ...Koppelung von Räumen, Q_{sol} ...Solarstrahlung

3.7.5 Randbedingungen der thermischen Anlagensimulation

Für die nachfolgenden Berechnungen sind nachkommend die wesentlichen Randbedingungen der thermischen Anlagensimulation der teilsolaren Raumheizung dargestellt. Betrachtet werden drei unterschiedliche Hydraulikkonzepte, die sich hinsichtlich des Energiespeichers, der Nachheizung und der Sollvorlauftemperaturen unterscheiden. Als Kenngröße für die Dimensionierung der Solaranlage wird die Auslastung II verwendet. Als Auslastung II der Kollektorfläche wird der Nutzenergiebedarf des Gebäudes je m^2 installierter Kollektorfläche definiert. Alternativ wäre es möglich die Auslastung auch als Nettogeschoßfläche je m^2 installierter Kollektorfläche zu definieren. Bei dieser Definition ergibt sich der Vorteil einer einfacheren Auslegung, da die zu beheizende Fläche zumeist verfügbar ist.

Andererseits ist die Gültigkeit der spezifischen Kenngröße auf Gebäude mit einem ähnlichen Heizwärmebedarf (hier ca. 80 kWh/m²a) beschränkt. Hinsichtlich der Darstellung der Nomo-gramme, für die thermischen Solaranlagen wird die Auslastung II als Heizwärmebedarf je kWh Energiebedarf und Jahr des beheizten Gebäudes herangezogen. Als Wärmeabgabesystem dienen die wandverlegten Rohrschlangen, die in etwa 6 cm Tiefe verlegt sind. Der Abstand zwischen verlegten Rohren beträgt ca. 30 cm. Die Verlegung der Rohre erfolgt primär an der Außenwand und kann bei Bedarf auch im Bereich der Innenwände verlegt werden. Die genaue Position der Rohrleitungen in der thermischen Gebäude- und Anlagensimulation ist in Abb. (233) dargestellt.

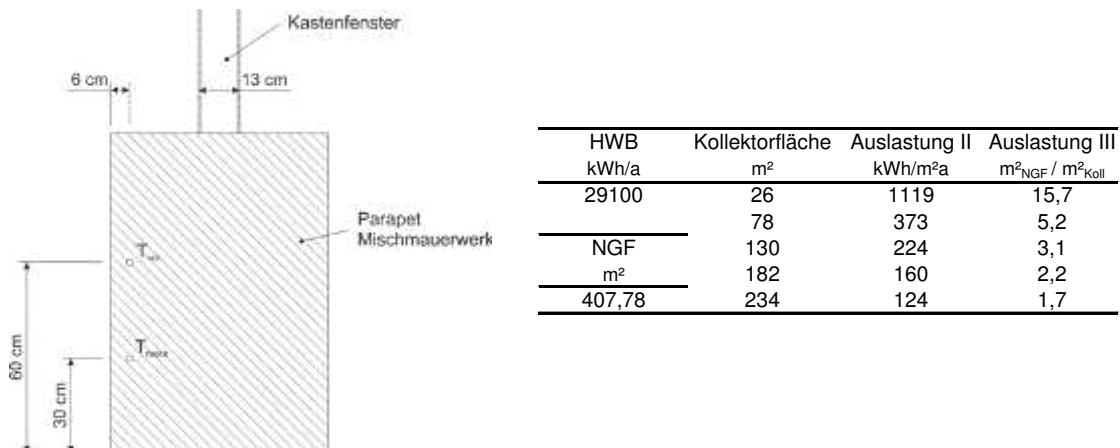


Abb. (233) links: Schematische Darstellung der Außenwand, im Bereich des Parapets – geometrische Lage der Vor- und Rücklaufleitung, rechts: Auslastung der thermischen Kollektorfläche, Auslastung II = HWB/Kollektorfläche, Auslastung III = Nettogeschosßfläche/Kollektorfläche

Da der untersuchte Einsatz der thermischen Solaranlage einen bisherigen Einzelfall darstellte standen zur Dimensionierung des Solarsystems keine Erfahrungswerte zur Verfügung. Die Systemhydraulik wurde daher in einem ersten Schritt gemäß dem Stand der Technik für Mehrfamilienhäuser konfiguriert (siehe ⁸Heimrath, 2004) und darauf folgend im Rahmen der Sensitivitätsanalyse variiert.

Für die Grundtemperierung der aktivierten Wandflächen sind zumindest die drei angeführten, unterschiedlichen Solarsysteme denkbar. Die Kollektorfläche ist hinsichtlich ihrer Verschaltung und hydraulischen Ausführung in allen drei Varianten ident. Lediglich beim Energiespeicher und der eventuell vorhandenen Nachheizung unterscheiden sich die drei Systeme.

Die Varianten ohne Energiespeicher müssen mit der Speicherkapazität der Außenwand ihr Auslangen finden. Die Szenarien mit Energiespeicher haben zusätzlich noch ein spezifisches Speichervolumen von 50 l/m² installierter Kollektorfläche. Dies reicht aus um in etwa eine 2 - 3 Tage andauernde Periode mit geringer Einstrahlung zu überbrücken. Jene Szenarien, die zusätzlich noch eine Nachheizung beinhalten, besitzen einen dauerwarmen Bereich von 0,5 m³. Dadurch reduziert sich das mögliche Solarvolumen. Im Gegenzug kann das gesamte Jahr über die geforderte Sollvorlauftemperatur zur Verfügung gestellt werden. In der nachfolgenden Abb. (234) sind nun die wesentlichen Randbedingungen zu den abgebildeten teilsolaren Raumheizungskonzepten zusammengefasst.

⁸ Heimrath, R., 2004: Simulation, Optimierung und Vergleich solarthermischer Anlagen zur Raumwärmeversorgung für Mehrfamilienhäuser, Dissertation am Institut für Wärmetechnik der TU Graz, Graz, 2004

thermische Solaranlage	Flachkollektor, sehr gut Ausrichtung Anstellwinkel Kollektorfläche	$i_0 = 0.8$; $a_1 = 3.3 \text{ W/m}^2\text{K}$; $a_2 = 0.01 \text{ W/m}^2\text{K}^2$ Süd 45° variabel
Solarkreislauf	Fluidmischung Fluidkonzentration spez. Wärmekapazität (20 °C)	Ethylenmischung 33 % 3.62 kJ/kgK
externer Wärmetauscher	Übertragungskapazität	spezifisch, Funktion der Kollektorfläche in W/K
Rohrleitung Solarseitig	Kupferrohr gedämmt Durchmesser außen/innen Dämmstärke / Wärmeleitfähigkeit	2 x 18 m 21 mm / 18 mm 30 mm / 0.045 W/mK
Energiespeicher	Pufferspeicher geschichtete Beladung Höhe Volumen spezifisches Speichervolumen Dämmstärke / Wärmeleitfähigkeit spez. Wärmekapazität (20 °C)	spezifisch, Funktion der Kollektorfläche in m variabel, in m ³ 50 l/m ² Kollektorfläche 0.15 m; 0.045 W/mK 4.19 kJ/kgK
Nachheizung	Nachheizung mit Pelletskessel Jahresnutzungsgrad	18 kW $\eta = 80 \%$
Referenzgebäude	Mittelgeschoß Franziskanerkloster Beheizte/gekühlte Wohnfläche Soll-Raumtemperatur Heizwärmebedarf ohne WW Spezifischer Heizwärmebedarf ohne WW Solarertrag durch Fenster Gesamter Energieverlust	407 m ² 21 °C (Wohnräume); 16 °C (Gang) 29100 kWh/a 74 kWh/m ² a (Wohnräume); 50 kWh/m ² a (Gang) 14069 kWh/a 72953 kWh/a
Wandheizung	Wandverlegte Rohrschlange Verlegetiefe Vorlaufleitung Verlegehöhe Soll-Vorlauftemperatur Rücklaufleitung Verlegehöhe Soll-Rücklauftemperatur Rohrdurchmesser	5 cm 60 cm 60, 45, 30 °C 25 cm 45, 35, 25 °C 20 x 1.9 mm
Warmwasserbedarf	ist bei reiner Wandheizung nicht relevant	- kWh/a

Abb. (234) Randbedingungen des teilsolaren Raumheizungssystems und des Referenzgebäudes

thermische Solaranlage		
Pumpe Primär-/Sekundärkreis		
$\Delta T_{\text{set ein}}$	10 K	
$\Delta T_{\text{set aus}}$	2 K	
$T_{\text{Koll max}}$	96 °C	
Temperaturdifferenz Speicher Kollektor		
Nachheizung Speicher		
500 l Speichervolumen dauerwarm		
$T_{\text{set ein}}$	$T_{\text{vor wh set}}$	°C
$\Delta T_{\text{aux ein}}$	5 K	
Wärmeabgabekreis Wandheizung		
$T_{\text{vor wh set}}$	30 / 40 / 60 °C	
$T_{\text{raum ein}}$	21.5 °C	
$T_{\text{raum aus}}$	22.5 °C	
Wärmeabgabekreis idealer Radiator		
$T_{\text{raum ein}}$	21.0 °C	
$T_{\text{raum aus}}$	21.0 °C	

In der Abb. (235) sind die wesentlichen Regelparameter, des Solarkreises und der Wärmeabgabekreise dargestellt. Die thermische Solaranlage wird klassisch über die Kollektoraustrittstemperatur und die untere Speichertemperatur geregelt. Falls es eine Nachheizung im Energiespeicher gibt, dann wird der dauerwarme Bereich auf die notwendige Sollvorlauftemperatur plus 5 K geheizt. Die Wandheizung auf eine Raumluftsoltemperatur von 22 °C +/- 0,5 K geregelt. Das heißt, dass bei einer Unterschreitung der Raumluftsoltemperatur, d.h. kleiner als 21,5 °C, die Wandheizung aktiviert wird. Erst über einer Solltemperatur von 22,5 °C wird die Nachheizung über die Wand beendet. Im Gegenzug wird der zweite Wärmeabgabekreis (idealer Radiator) erst bei einer Unterschreitung der Raumluftsoltemperatur von 21 °C aktiviert. Damit ist der Vorrang der Wandheizung hinsichtlich des idealen Radiators gegeben.

Abb. (235) Regelparameter des teilsolaren Raumheizungssystems

3.7.6 Detaillierergebnisse der thermischen Anlagensimulation

Im vorliegenden Kapitel werden nun, basierend auf den zuvor dargestellten Randbedingungen, die Resultate der Simulation der teilsolaren Wandheizung dargestellt. Die Bezeichnung der Zonen bezieht sich auf die Nummerierung in Abb. (230). Die Szenarien die gerechnet wurden setzen sich aus den Attributen der Szenarienmatrix (Abb. (228)) zusammen.

In den Szenarien 1 bis 15 wird das System A mit unterschiedlichen Sollvorlauftemperaturen betrachtet. Hierbei werden je Sollvorlauftemperatur die Kollektorflächen zwischen 26 und 234 m² variiert. Die Szenarien 16 bis 30 stellen das System B (mit Energiespeicher, ohne Nachheizung) dar. In den Szenarien 31 bis 45 wird ein System A (ohne Energiespeicher) mit einer Nachheizung realisiert, die es ermöglicht die geforderten Sollvorlauftemperaturen das gesamte Jahr zu halten. Die letzten Varianten 46 bis 60 stellen das System C (mit Energiespeicher und Nachheizung) dar. Die betrachteten Heizungssysteme sind in der Abb. (227) schematisch dargestellt.

In der Abb. (236) sind die betrachteten Szenarien und deren änderbaren Attribute (Speicher, Nachheizung, Vorlauftemperatur und die Kollektorfläche) dargestellt. Auf der Seite der Ergebnisse sind der Heizwärmebedarf (HWB), der Heizenergiebedarf (HEB), die solare Einstrahlung auf die geneigte Kollektorfläche (IG_K) und der solare Ertrag (Q_Sol) der Kollektorfläche die in den Speicher bzw. über den Wärmetauscher geht, dargestellt. Noch zwei wichtige Parameter für die Beurteilung der teilsolaren Raumheizung sind in der Abb. (236) dargestellt, zum einen der spezifische Kollektorertrag (SE) und zum anderen der solare Deckungsgrad (SD).

Generelle Aspekte

Aus einer Erhöhung der Kollektorfläche resultiert immer ein höherer solarer Deckungsgrad. Eine Erhöhung der Kollektorfläche bewirkt bei allen Szenarien ohne Nachheizung (01 - 30) immer einen größeren Heizenergiebedarf. Dies ergibt sich aufgrund der in der Außenwand situierten Wandheizung und der damit immer größer werdenden Wärmeverluste nach außen. Besitzt das Heizungssystem eine Nachheizung, dann zeigt sich, bei größer werdender Kollektorfläche, ein gleichbleibender bzw. leicht sinkender Heizenergiebedarf. Dies ist auf die nun gesicherte Vorlauftemperatur (60 / 45 / 30 °C) zurückzuführen. Bei höchster Vorlauftemperatur ist auch der Wärmeverlust über die Außenwand am größten, was sich beim Heizenergiebedarf der Szenarien 30 - 60 zeigt.

Die Vergrößerung der Kollektorfläche führt in allen Fällen zu einer Reduktion des Nachheizenergiebedarfs. Aufgrund der Erhöhung der Wärmeverluste durch die Wandheizung kann nicht bei allen Szenarien erreicht werden, dass der Nachheizenergiebedarf (Q_{aux}) unter dem Heizwärmebedarf (ca. 30 MWh) zu liegen kommt. Die Systeme ohne Nachheizung erreichen ab einer Kollektorfläche von etwa 78 m² dieses Kriterium. Bei den Systemen mit Nachheizung schaffen dieses Kriterium lediglich die Szenarien mit Energiespeicher, einer Sollvorlauftemperatur von 30 °C und einer Kollektorfläche von zumindest 130 m².

Ein gut gedämmter Energiespeicher bringt in allen gerechneten Szenarien eine deutliche Verbesserung des solaren Deckungsgrades. Im Mittel, ergibt sich ein um 12 bis 18 Prozentpunkte höherer solarer Deckungsgrad. Eine zusätzliche Verlegung der Wandheizung im Innenwandbereich würde zeigen, dass der solare Deckungsgrad deutlich erhöht werden kann ohne den Heizenergiebedarf an sich weiter zu erhöhen. Hierbei führen die wandverlegten Rohrleitungen nicht zu einer Erhöhung der Wärmeverluste des Gebäudes nach außen sondern immer zu einer Raumtemperaturerhöhung.

Annahmen					Ergebnisse					
Energie-speicher	Nach-heizung	Vorlauf-tempera-tur	Kollektor-fläche		HWB MWh/a	HEB MWh/a	IG_K MWh/a	Q_Sol MWh/a	SE kWh/m²a	SD %
SZ01	nicht integriert	ohne Nachheizung	60°C	26 m²	29.1	39.2	33.8	5.9	225.1	11.7%
SZ02				78 m²	29.1	43.6	101.4	13.2	169.0	28.0%
SZ03				130 m²	29.1	45.0	168.9	15.8	121.6	33.0%
SZ04				138 m²	29.1	46.9	236.5	19.0	104.2	38.3%
SZ05				234 m²	29.1	48.8	304.1	22.1	94.6	43.2%
SZ06			45°C	26 m²	29.1	41.3	33.8	8.8	338.9	19.1%
SZ07				78 m²	29.1	44.9	101.4	15.5	198.6	32.8%
SZ08				130 m²	29.1	45.7	168.9	17.4	133.6	36.3%
SZ09				138 m²	29.1	47.5	236.5	20.6	113.2	41.7%
SZ10				234 m²	29.1	49.0	304.1	23.4	99.8	45.8%
SZ11			30°C	26 m²	29.1	42.1	33.8	10.1	387.7	22.3%
SZ12				78 m²	29.1	43.2	101.4	13.6	174.4	29.8%
SZ13				130 m²	29.1	43.6	168.9	14.9	114.3	32.2%
SZ14				138 m²	29.1	44.3	236.5	16.9	92.6	35.8%
SZ15				234 m²	29.1	44.9	304.1	18.2	77.8	37.8%
SZ16	integriert	ohne Nachheizung	60°C	26 m²	29.1	40.0	33.8	6.8	260.7	12.6%
SZ17				78 m²	29.1	49.2	101.4	20.1	257.4	36.3%
SZ18				130 m²	29.1	55.9	168.9	30.0	231.1	49.6%
SZ19				138 m²	29.1	61.3	236.5	37.9	208.3	57.8%
SZ20				234 m²	29.1	66.7	304.1	45.4	194.2	64.5%
SZ21			45°C	26 m²	29.1	41.8	33.8	9.3	358.8	19.1%
SZ22				78 m²	29.1	51.2	101.4	23.5	300.7	42.5%
SZ23				130 m²	29.1	57.4	168.9	33.2	255.1	54.4%
SZ24				138 m²	29.1	63.0	236.5	41.6	228.6	62.8%
SZ25				234 m²	29.1	66.3	304.1	47.1	201.1	67.8%
SZ26			30°C	26 m²	29.1	43.2	33.8	11.2	431.7	23.9%
SZ27				78 m²	29.1	48.5	101.4	21.4	274.2	40.2%
SZ28				130 m²	29.1	50.3	168.9	25.2	194.0	44.5%
SZ29				138 m²	29.1	51.4	236.5	27.0	148.3	45.2%
SZ30				234 m²	29.1	52.7	304.1	28.5	121.7	45.2%
SZ31	nicht integriert	mit Nachheizung	60°C	26 m²	29.1	93.1	33.8	8.6	332.3	12.2%
SZ32				78 m²	29.1	93.6	101.4	13.3	170.5	16.2%
SZ33				130 m²	29.1	93.4	168.9	16.3	125.6	19.3%
SZ34				138 m²	29.1	92.9	236.5	21.2	116.7	24.4%
SZ35				234 m²	29.1	93.1	304.1	25.5	108.9	27.7%
SZ36			45°C	26 m²	29.1	92.0	33.8	10.2	390.7	9.4%
SZ37				78 m²	29.1	89.8	101.4	14.6	187.7	13.9%
SZ38				130 m²	29.1	88.1	168.9	16.6	127.4	16.5%
SZ39				138 m²	29.1	85.6	236.5	21.1	115.9	22.6%
SZ40				234 m²	29.1	83.9	304.1	24.6	105.1	27.4%
SZ41			30°C	26 m²	29.1	66.8	33.8	9.6	370.8	12.0%
SZ42				78 m²	29.1	61.6	101.4	12.5	160.4	17.1%
SZ43				130 m²	29.1	59.5	168.9	14.0	107.8	20.4%
SZ44				138 m²	29.1	57.1	236.5	16.9	93.1	26.9%
SZ45				234 m²	29.1	54.8	304.1	18.2	77.8	30.5%
SZ46	integriert	mit Nachheizung	60°C	26 m²	29.1	94.5	33.8	11.6	444.8	14.1%
SZ47				78 m²	29.1	96.5	101.4	28.5	366.0	29.1%
SZ48				130 m²	29.1	98.0	168.9	39.9	306.9	38.7%
SZ49				138 m²	29.1	98.6	236.5	48.5	266.7	46.9%
SZ50				234 m²	29.1	98.9	304.1	55.9	239.0	53.9%
SZ51			45°C	26 m²	29.1	91.4	33.8	12.5	481.7	12.4%
SZ52				78 m²	29.1	89.7	101.4	28.9	370.9	30.4%
SZ53				130 m²	29.1	88.4	168.9	40.5	311.5	43.5%
SZ54				138 m²	29.1	87.4	236.5	48.8	268.1	53.4%
SZ55				234 m²	29.1	84.0	304.1	54.0	230.7	61.5%
SZ56			30°C	26 m²	29.1	68.3	33.8	12.6	484.5	16.9%
SZ57				78 m²	29.1	59.0	101.4	23.7	303.3	37.0%
SZ58				130 m²	29.1	53.9	168.9	26.4	203.0	43.8%
SZ59				138 m²	29.1	52.8	236.5	27.6	151.6	45.2%
SZ60				234 m²	29.1	53.3	304.1	28.9	123.4	45.5%

Abb. (236) Energiebedarf des Gebäudes und des Heizungssystems, solarer Deckungsgrad SD und spezifischer Ertrag SE der installierten Kollektorfläche (IG_K ...Globalstrahlung auf die installierte Fläche , Q_sol ..Nutzenergie der Solaranlage an das Heizungssystem im Speicher)

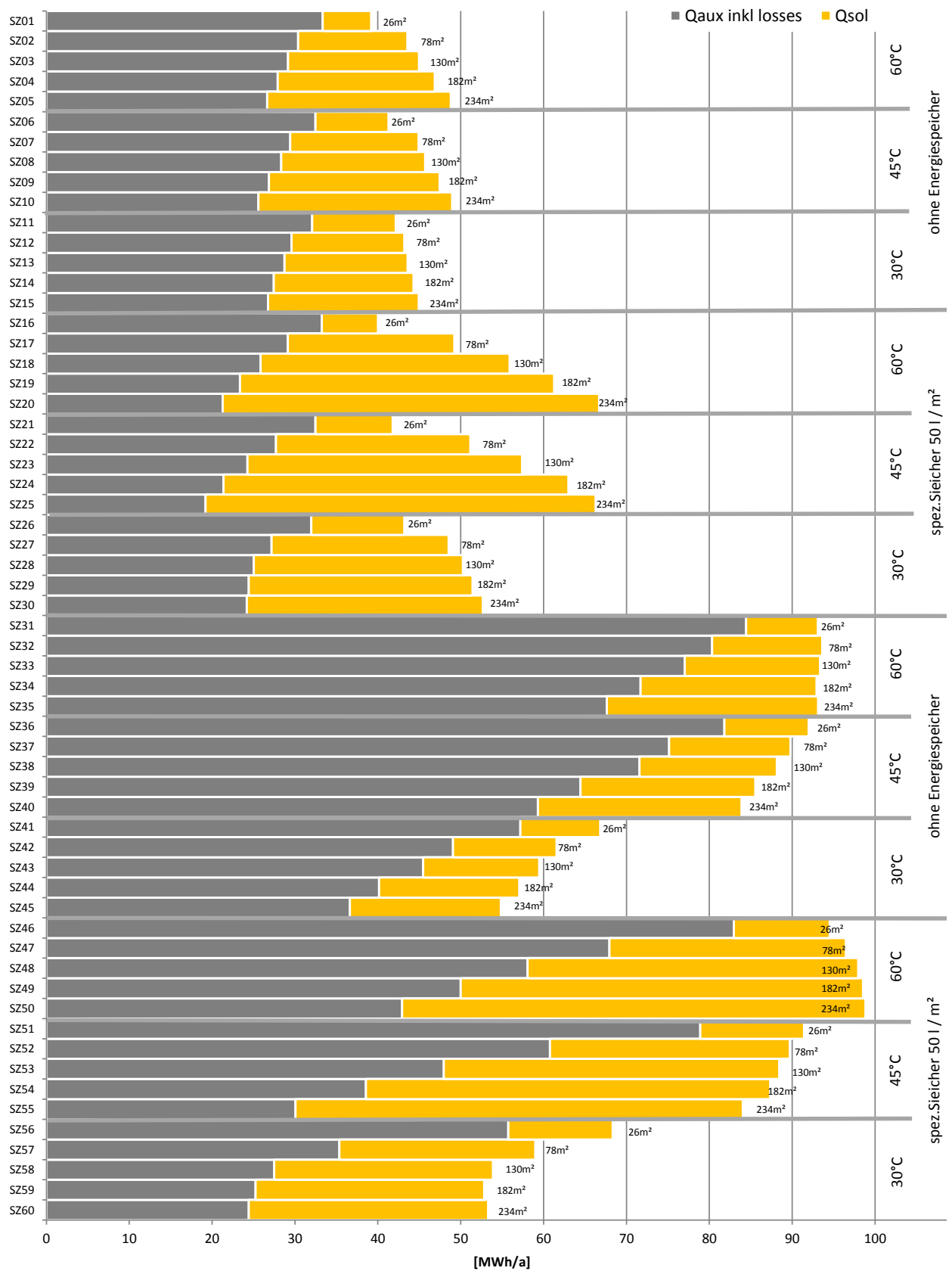


Abb. (237) Solarer Energieeintrag (Q_{sol}) und Nachheizenergiebedarf (Q_{aux}) der teilsolaren Raumheizung in den unterschiedlichen Szenarien

Szenarien 01 bis 30 - ohne Nachheizung

Diese Konzepte zeichnen sich durch ihren geringen Heizenergiebedarf und Nachheizenergiebedarf aus. Dieser ergibt sich durch das begrenzte Potential der installierten Kollektorfläche im Wechselspiel mit der Wandheizung und dem eventuell verfügbaren Energiespeicher bei gleichzeitig geringen Verlusten des Gesamtsystems. Die solaren Deckungsgrade erreichen ohne verfügbaren Energiespeicher zwischen 11 und 46 %. Der spezifische Kollektorertrag liegt hierbei zwischen 78 und 388 kWh/m²a. Mit Energiespeicher erreichen die solaren Deckungsgrade zwischen 13 und 68 %. Der spezifische Kollektorertrag liegt hier deutlich höher bei etwa 120 bis 430 kWh/m²a.

Ein fehlender Energiespeicher begrenzt den möglichen solaren Deckungsgrad, da an Tagen mit geringer oder fehlender solarer Einstrahlung der Bedarf nicht gedeckt werden kann. Im Gegenzug kann das System mit Energiespeicher mehr Wärmebedarf decken und damit die verfügbare Solarstrahlung (IG_K) deutlich besser verwerten. Im Gegenzug steigt auch der notwendige Heizenergiebedarf dieser Varianten an, da sowohl der Energiespeicher Verluste verursacht als auch die in der Außenwand platzierte Wandheizung zusätzliche Transmissionswärmeverluste verursacht.

Die solare Wärmeabgabe an die Wandheizung stellt die relevante Wärmesenke im System dar und da es keine Nachheizung gibt, führt eine Erhöhung der Vorlauftemperatur zu einer Erhöhung des solar deckbaren Heizenergiebedarfs. Dies ist zusätzlich auf die Regelung der Sollvorlauftemperatur zurückzuführen, die zwar die maximale Solltemperatur begrenzt, aber auch Temperaturen unter der Solltemperatur zulässt. Schafft die Solaranlage nur 40 °C statt den geforderten 45 °C, so werden diese trotzdem genutzt. Solare Temperaturen über der geforderten Solltemperatur, werden auf die Solltemperatur heruntergemischt.

Szenarien 31 bis 60 - mit Nachheizung

Diese Konzepte zeichnen sich durch eine konstante Sollvorlauftemperatur, bedingt durch die Nachheizung, aus. Dadurch ergibt sich für diese Konzepte ein deutlich höherer Heizenergiebedarf und Nachheizenergiebedarf. Die solaren Deckungsgrade erreichen ohne Energiespeicher zwischen 9 und 30 %. Der spezifische Kollektorertrag liegt hierbei zwischen 78 und 391 kWh/m²a. Unter Annahme eines Energiespeichers erreichen die solaren Deckungsgrade zwischen 12 und 61 %. Der spezifische Kollektorertrag liegt hier deutlich höher bei etwa 123 bis 484 kWh/m²a. Die Nachheizung führt auf der einen Seite dazu, dass die Wandheizung mit konstanten Vorlauftemperaturen beaufschlagt wird, was zu erhöhten Wärmeverlusten nach außen führt. Zum anderen wird der Energiespeicher im obersten Bereich auf Temperatur gehalten, wodurch sich der solare Ertrag reduziert und die Wärmeverluste erhöhen.

Variation der Kollektorneigung

Die Neigung der installierten Kollektorfläche ist ein wesentlicher Parameter, der bei einem Neubau, in der Planung noch beeinflusst werden kann, bei denkmalgeschützten Gebäuden aber meist als vorgegeben angenommen werden muss. Nachfolgend werden zusätzlich zu den 45° Kollektorneigung der Abb. (238) und Abb. (239) noch zwei weitere Kollektorneigungen (25° und 65°) betrachtet.

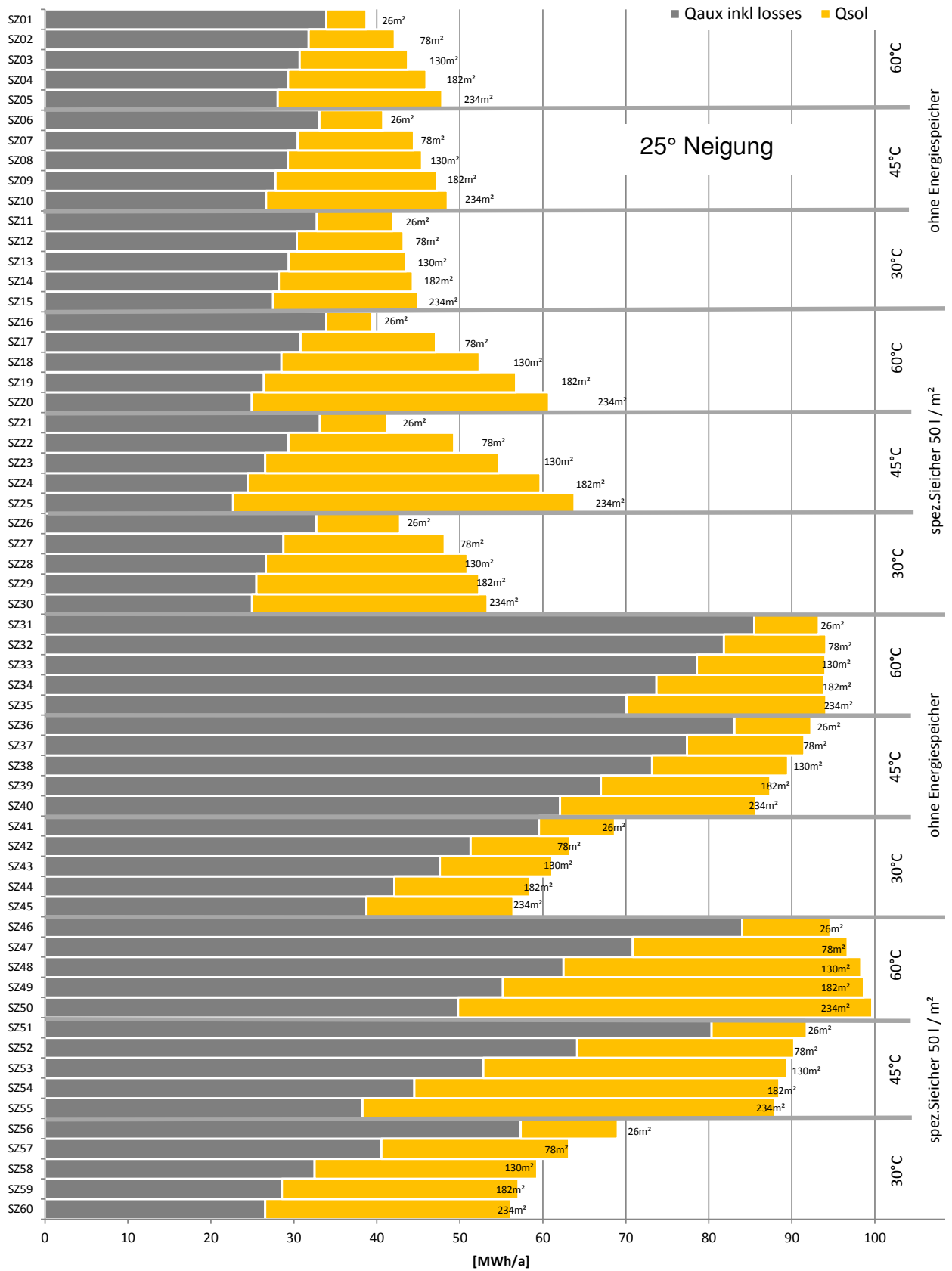


Abb. (238) Szenarienmatrix: Solarer Energieeintrag (Q_{Sol}) und Nachheizenergiebedarf (Q_{aux}) der teilsolaren Raumheizung, bei der Variation der Kollektorneigung (25° und 65°)

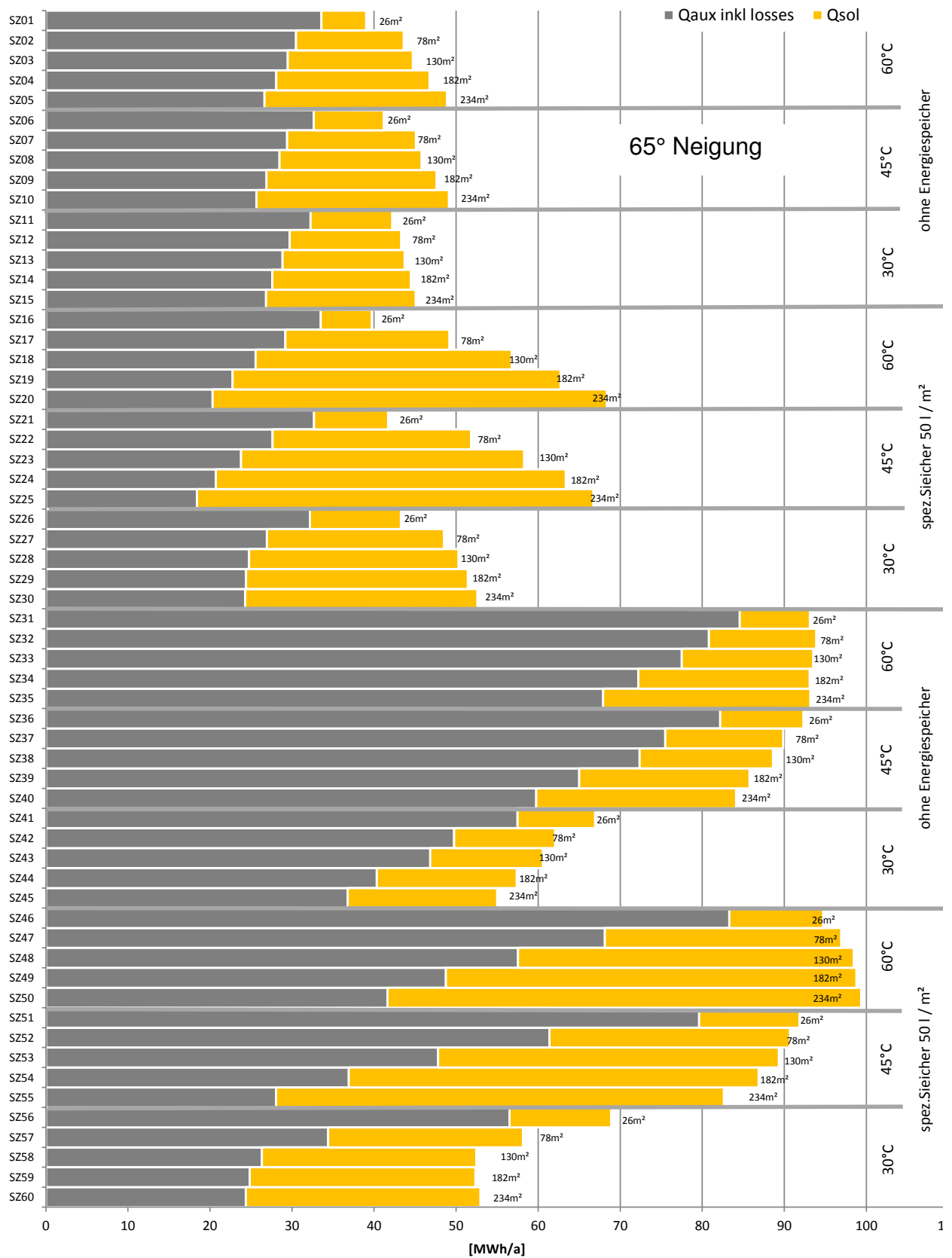


Abb. (239) Szenarienmatrix: Solarer Energieeintrag (Q_{Sol}) und Nachheizenergiebedarf (Q_{aux}) der teilsolaren Raumheizung, bei der Variation der Kollektorneigung (25° und 65°)

Betrachtet man die Varianten ohne Energiespeicher, dann zeigt sich, dass eine Kollektorneigung von 25° etwas schlechter hinsichtlich des mittleren solaren Deckungsgrades und des spezifischen Kollektorertrags ist. Die in den Basisszenarien gewählte Kollektorneigung von 45° stellt sich, im Vergleich mit 25 und 65°, als die Beste dar. Eine Erhöhung der Kollektorneigung auf 65° bringt marginale Einbußen hinsichtlich der 45° Neigung.

Das tatsächliche Optimum hinsichtlich der Kollektorneigung muss aber für jedes Szenario individuell gefunden werden. Bei den Szenarien mit Energiespeicher zeigt sich ein ähnliches Bild, jedoch ist hier zu erkennen, dass sich das Optimum in Richtung 65° verschiebt und wahrscheinlich zwischen den gerechneten Neigungen von 45° und 65° liegen wird. Generell sind die Unterschiede hinsichtlich des solaren Deckungsgrades aber als gering einzuschätzen. Die maximalen Differenzen liegen bei etwa 11 Prozentpunkten des solaren Deckungsgrades. Hierbei zeigt sich, dass die größten Unterschiede bei den Szenarien mit Energiespeicher schlagend werden. Ohne Energiespeicher sind die Differenzen bei maximal 6 Prozentpunkten zu finden.

3.7.7 Detaillierte Betrachtung von einzelnen Szenarien

Die Funktionsweise einer teilsolaren Raumheizung ist durchaus geläufig und muss an dieser Stelle nicht näher erläutert werden. Die wandverlegten Einzelrohre hingegen sind hinsichtlich ihrer Funktion und Leistungsfähigkeit noch nicht ausführlich untersucht. Um nun einen Eindruck über das Konzept der Wandheizung zu erhalten, werden nachfolgend einzelne Aspekte exemplarisch näher betrachtet. In Abb. (240) sind die Austrittstemperaturen der einzelnen Rohrsegmente je thermischer Zone dargestellt. Die Lage der Rohrsegmente kann Abb. (230) entnommen werden.

Die Abb. (240) links zeigt nun das Szenario 43 (Energiespeicher, Nachheizung und 130 m² Kollektorfläche) mit einer Sollvorlauftemperatur von 30 °C während einer kalten Winterwoche. Nach der Durchströmung der Zone 02 (siehe Abb. (229)) erreicht die Austrittstemperatur etwa 29,5 °C. In der Zone 11 (am Ende des Vorlaufes) hat das Wärmeträgermedium noch 25,5 °C. Im Rücklauf kühlt sich das Medium weiter ab und hat nach der Zone 02 noch etwa 24 °C. Vergleicht man die mittleren Temperaturen je Zone in der dargestellten Woche, so zeigen sich Temperaturen zwischen 25,3 und 26,7 °C. Dies bedeutet, dass in jeder der aktivierten Zonen in etwa die gleiche Leistung vom Rohr an die Wand, in weiterer Folge, an den Raum abgegeben wird.

In der warmen Sommerwoche (Abb. (240) unten) zeigt sich, dass die Zonen nicht geheizt werden und die Austrittstemperaturen der Wandheizungssegmente einer gedämpften Raumlufttemperatur entsprechen. Die Unterschiede in der Raumlufttemperatur ergeben sich durch die Lage im Geschoß und aufgrund der unterschiedlichen Fensterflächen der Zonen 02 und 11 im Vergleich zur Zone 07. Die über die Woche gemittelten Wandtemperaturen im Bereich der Rohrleitung liegen zwischen 23,3 und 24,2 °C.

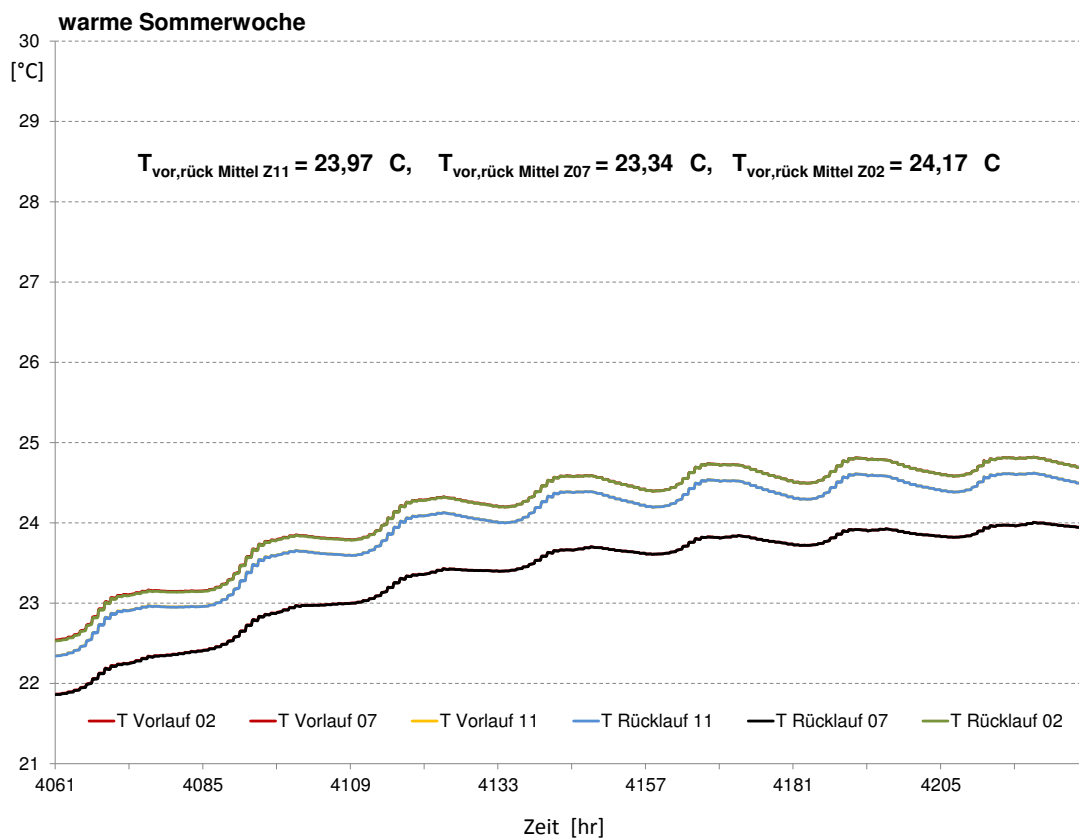
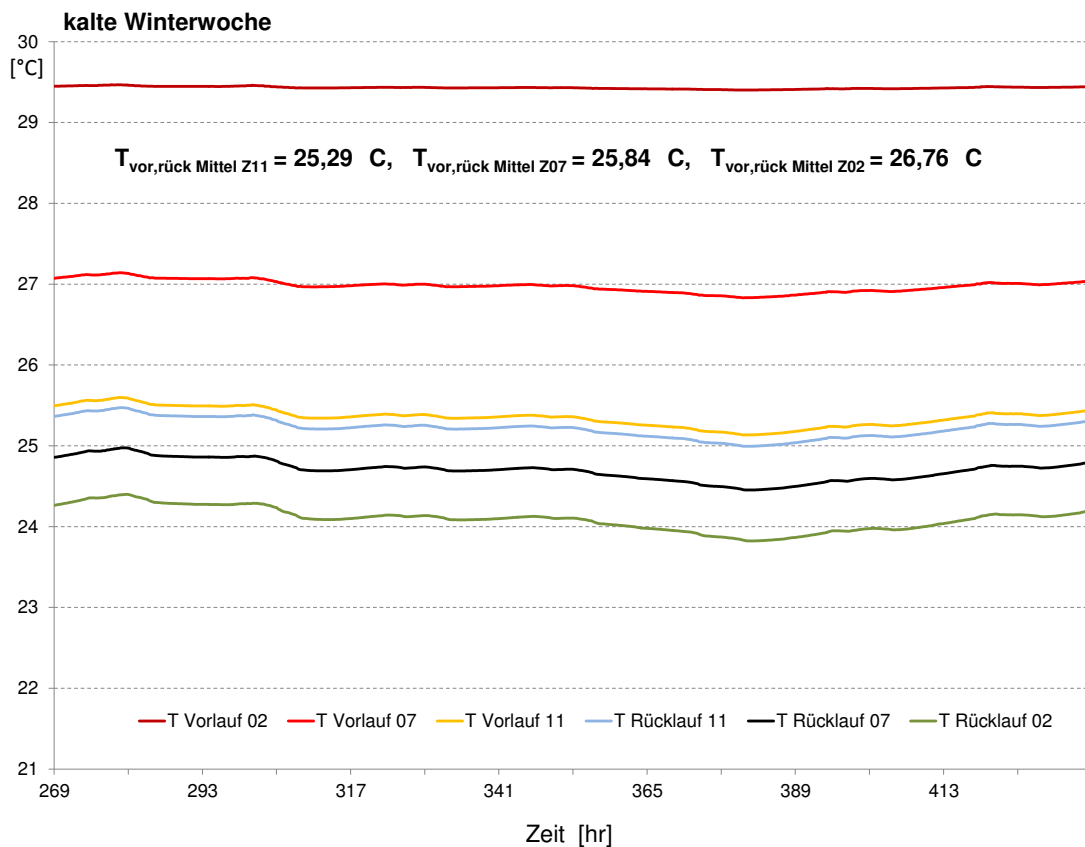


Abb. (240) Zonenaustrittstemperaturen aus den Wandheizungssegmenten der Zonen 02, 07 und 11, dargestellt für eine kalte Winterwoche und eine warme Sommerwoche.

Temperaturen der Innenwandoberflächen und Außenwandoberflächen

Die Behaglichkeitskriterien der ISO 7730:2006 schreiben vor, dass beheizte Wand-, Decken- und Bodentemperaturen eine gewisse Asymmetrie in der Strahlungstemperatur nicht überschreiten dürfen. Gemäß ISO 7730:2006 darf in einem Innenraum eine maximale Temperaturdifferenz (kleiner 23 K) zwischen einer beheizten Wandfläche der kältesten Wandfläche im Raum auftreten. Wenn man davon ausgeht, dass die Innenwand etwa 19 °C aufweist, dürfte eine beheizte Außenwand bis zu 42 °C Oberflächentemperatur aufweisen. Bei dem in Abb. (241) gezeigten Szenario einer kalten Winterwoche mit 30 °C Vorlauftemperatur und in der Zone 07 mit etwa 27 °C Kerntemperatur, stellen sich an der Außenwand, im Bereich des Vorlaufs etwa 23 °C an der Innenwand ein. Die Innenwandtemperatur im Bereich einer nicht aktivierten Außenwand beträgt hingegen etwa 18 °C und liegt damit unter der Raumlufttemperatur von etwa 21 °C. Die Temperaturen an der Außenseite der Außenwand liegen etwas höher als die Außenlufttemperatur. Hierbei zeigen sich lediglich marginale Unterschiede zwischen der aktivierten und der nicht aktivierten Wandfläche.

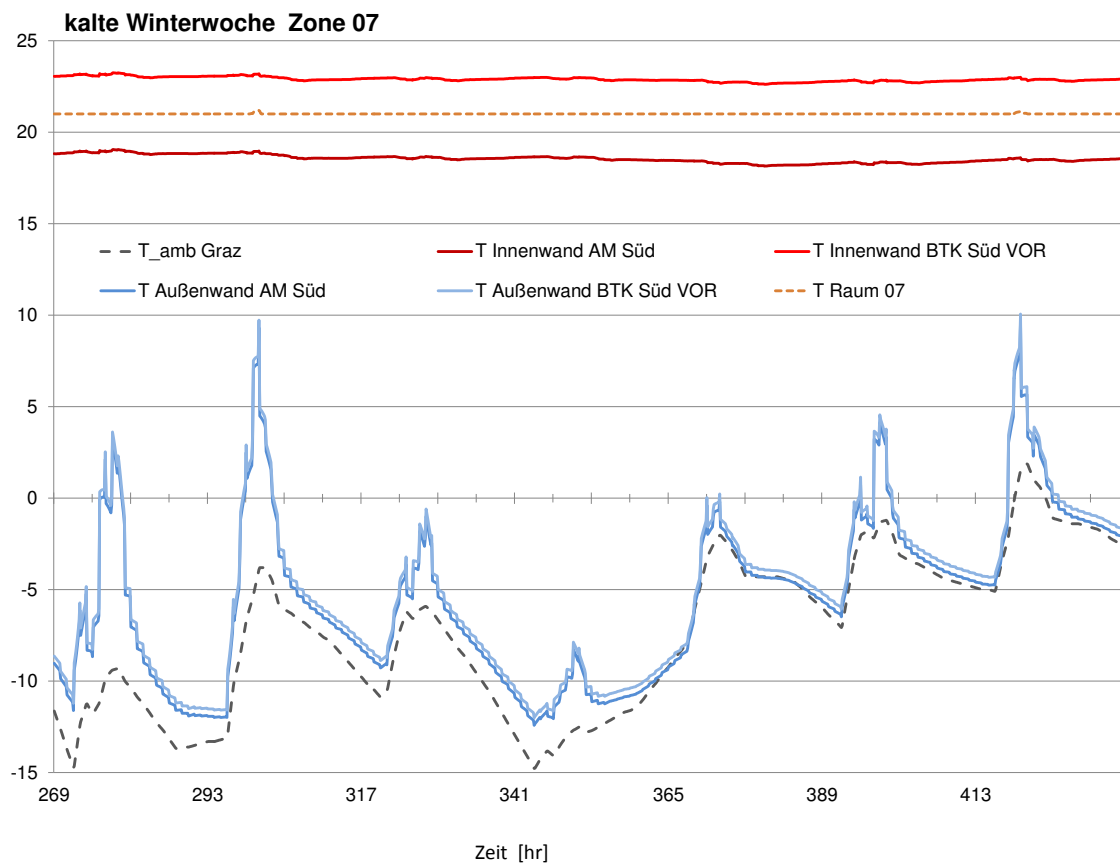


Abb. (241) Wandoberflächentemperaturen (innen und außen), der Raumlufttemperatur und der Außenlufttemperatur der mittleren Zone 07, dargestellt für eine kalte Woche.

In der warmen Sommerwoche Abb. (242) liegen sowohl die Innen- als auch die Außentemperaturen der beiden Wandflächen ident übereinander. Während die Raumlufttemperatur im Tageszyklus zwei kleine Temperaturspitzen aufweist, zeigt die Temperatur an der Innenoberfläche lediglich leichte Peaks im Tagesrhythmus. Bei der Außentemperatur zeigt die Wandtemperatur eine deutliche Ausprägung im Tagesrhythmus. Unter Tags wird durch die solare Einstrahlung die Oberflächentemperatur deutlich über die Außenlufttemperatur angehoben. In den Nachtstunden kühlt die Oberfläche nahezu bis auf Umgebungstemperatur aus.

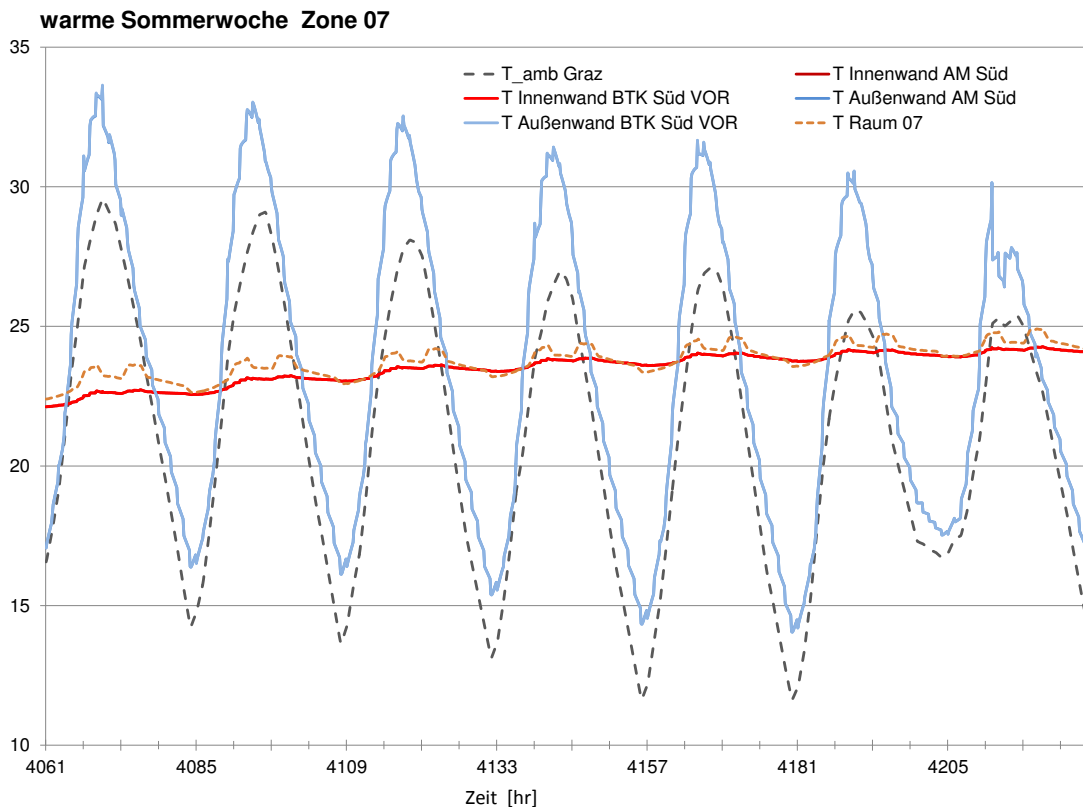


Abb. (242) Wandoberflächentemperaturen (innen und außen), der Raumlufttemperatur und der Außenlufttemperatur der mittleren Zone 07, dargestellt für eine warme Woche.

Behaglichkeitsdiagramm der Szenarien 33 / 38 und 43

Die Norm ISO 7730 (ISO7730, 2006) legt Kategorien der Innenraumqualität fest. Bei Räumen der Kategorie A sind die einzuhaltenden Grenzen sehr eng (hohes Erwartungsniveau, weniger als 6 % Unzufriedene), bei Gebäuden der Kategorie C sind die Grenzen weiter gefasst (weniger als 15 % Unzufriedene). Zusätzlich wird in einem Abschnitt darauf eingegangen, dass es bestimmte Adaptationsprozesse geben kann, wie beispielsweise die Anpassung der Kleidung, Veränderung der Körperhaltung oder eine erhöhte Aktivität. Dies kann in eine Akzeptanz von geringeren Temperaturen münden.

Im den nachfolgenden Diagrammen in Abb. (243), sind die Temperaturbereiche der operativen Raumlufttemperatur (A bis C) über der mittleren Tagesaußenlufttemperatur dargestellt. Die drei exemplarischen Grafiken stellen die operativen Raumlufttemperaturen der mittleren Zone 07 mit unterschiedlicher Vorlauftemperatur in die Wandheizung dar. Es handelt sich um die Szenarien 33, 38 und 43 mit Nachheizung und 130 m² Kollektorfläche. Der Unterschied zwischen den drei Varianten ergibt sich durch die unterschiedliche Sollvorlauftemperatur von 30, 45 oder 60 °C.

Es zeigt sich, dass es in den Sommermonaten in keinem der Szenarien in der Zone 07 zur Überhitzung kommt. In der Heizperiode stellen sich durch eine Erhöhung der Sollvorlauftemperatur deutlich höhere Temperaturen ein. Bei 30 °C liegen die operativen Raumlufttemperaturen auf der Grenze zwischen der Kategorie A und B bei etwa 21 °C. Erhöht man die Sollvorlauftemperatur auf 60 °C, so kann die operative Raumlufttemperatur auf etwa 21,2 °C im Minimum angehoben werden. Damit liegen nahezu alle Temperaturen im Bereich der Kategorie A.

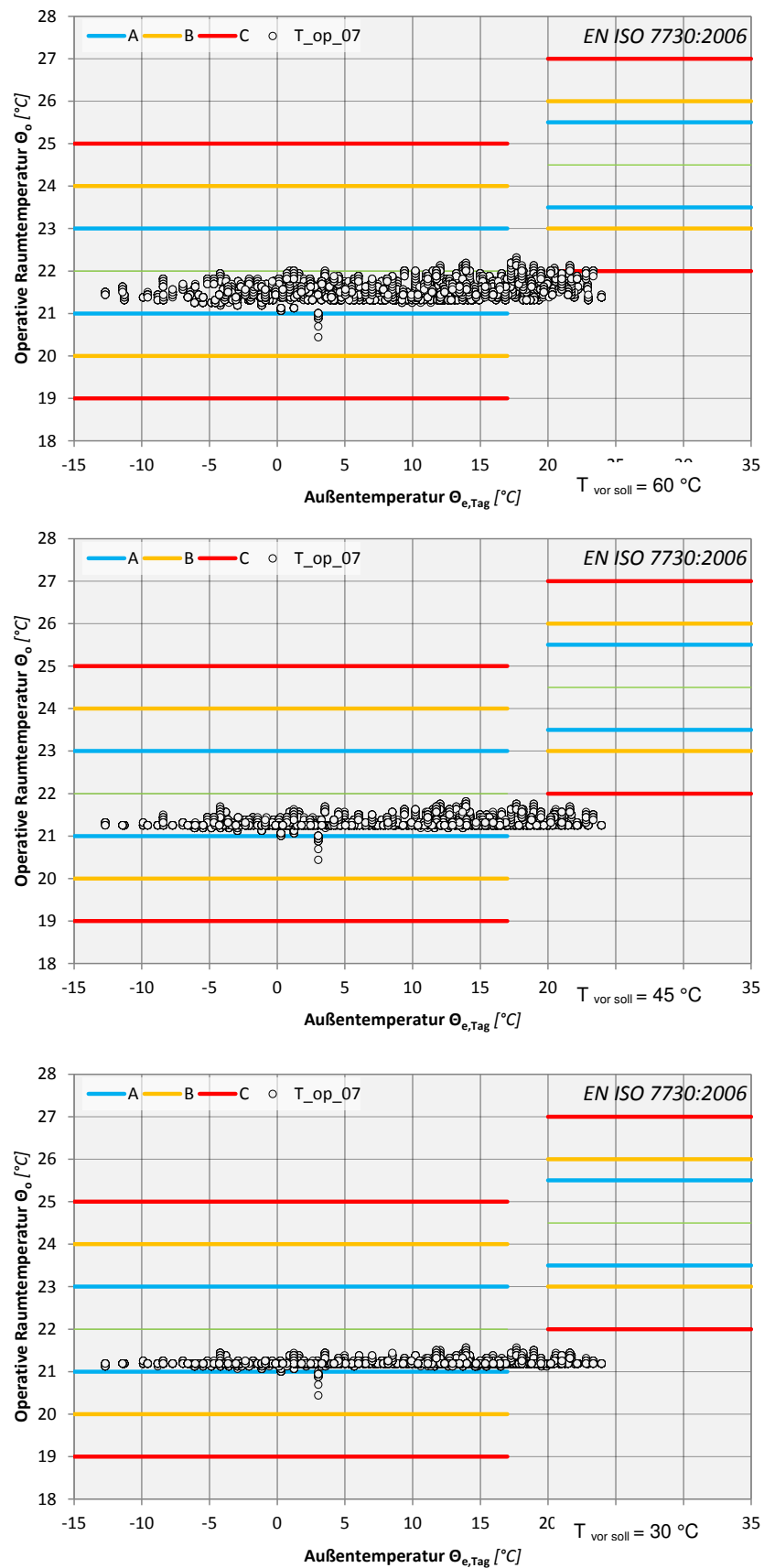


Abb. (243) Behaglichkeitsdiagramme nach ISO 7730: 2006, für die Zone 07, für die Szenarien 33, 38 und 43. Die Szenarien unterscheiden sich hinsichtlich der Sollvorlauftemperatur.

Nomogramme für teilsolare Raumheizung mit Wandheizung

Zur Darstellung der Ergebnisse in Form von Nomogrammen hat sich die sogenannte Auslastung der Kollektorfläche als spezifische Kenngröße für sinnvoll erwiesen. Die Auslastung ist ein Maß für die Dimensionierung einer Solaranlage und beschreibt, mit welcher Last (der jährliche Nutzenergieverbrauch in kWh) ein Quadratmeter installierter Kollektorfläche beaufschlagt wird. Basierend auf der Auslastung als Maßzahl für die Dimensionierung werden nun Teilergebnisse der Szenarienmatrix dargestellt. Für die Szenarien 01-15 (kein Energiespeicher, ohne Nachheizung) ist in Abb. (244) beispielhaft der Verlauf des solaren Deckungsgrades und des spezifischen Kollektorertrages in Abhängigkeit der Auslastung dargestellt. Mit diesem Nomogramm ist es möglich, das Solarsystem für eine Wandheizung, das eine ähnliche Abnehmerstruktur, Leistung und Systemkonfiguration (Vorlauftemperatur) aufweist, schnell auszulegen. Mit dem Heizwärmebedarf und der jeweiligen Kollektorfläche kann über die Kennzahl der Kollektorauslastung der solare Deckungsgrad (SD) als auch der spezifische Kollektorertrag (SE) der Kollektorfläche ermittelt werden.

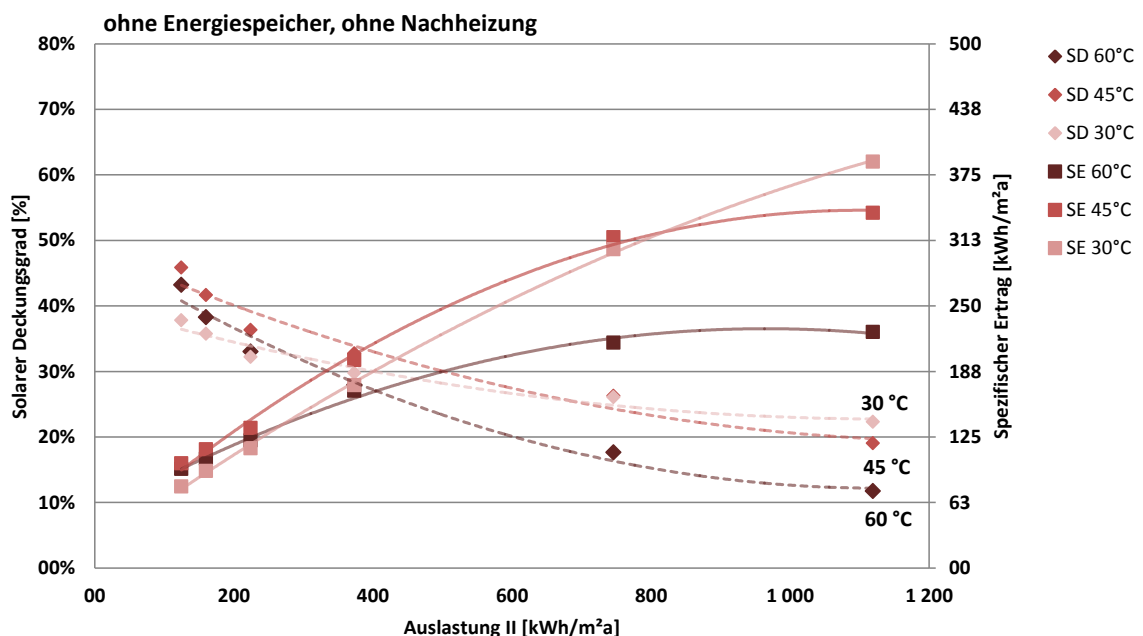


Abb. (244) *Nomogramm – teilsolare Raumheizung, Szenarien ohne Energiespeicher und ohne Nachheizung*

Im betrachteten Fall des Südtraktes, ist eine definierte Länge an Rohrleitung verlegt. Diese Rohrleitung wird mit einer definierten Vorlauftemperatur beaufschlagt. Die damit aktivierte Fläche reicht in keinem Fall für die alleinige Heizung der Räumlichkeiten aus. Daraus ergibt sich, dass mit steigender Temperatur des Vorlaufs die an den Raum abgegebene Wärme immer größer wird. Das für die Solaranlage nutzbare Potential steigt also mit steigender Vorlauftemperatur.

In Abb. (244) sind nun die Szenarien 01 bis 15 dargestellt. In diesen Szenarien wird kein Energiespeicher genutzt und es gibt keine Nachheizung. Betrachtet man nun den solaren Deckungsgrad über der Auslastung, so kann man bei hoher Auslastung (d.h. kleine Kollektorfläche) erkennen, dass eine hohe Vorlauftemperatur die geringsten solaren Deckungsgrade (SD) liefert. Bei hoher Auslastung ist es von Vorteil die Vorlauftemperatur möglichst gering zu halten.

Erhöht man die Kollektorfläche (d.h. kleine Auslastung), so dreht sich das Bild um. Hier ist es von Vorteil eine höhere Vorlauftemperatur zu wählen, damit die Kollektorfläche längere Laufzeiten erreicht und der spezifische Ertrag höher wird. Der spezifische Ertrag fällt in diesen Szenarien auf sehr geringe Werte zwischen 70 bis 120 kWh/m²a. Hier ist zu überlegen, ob die obere Grenztemperatur der Raumlufthtemperatur von derzeit 22,5 °C nicht auf zumindest 24 °C erhöht wird, um auch in den Frühlings- und Herbstmonaten noch einen von der Solaranlage deckbaren Bedarf zu erhalten. Des Weiteren wäre hier eine Ergänzung der Solaranlage um eine Warmwasserbereitung zu erwägen.

Im folgenden Nomogramm (Abb. (245)) sind der solare Deckungsgrad und der spezifische Ertrag für die Szenarien 16 bis 30 dargestellt. Hierbei wird die teilsolare Raumheizung inklusive eines Energiespeichers, aber ohne Nachheizung realisiert. Dieser Energiespeicher ermöglicht deutlich höhere solare Deckungsgrade, da auch in Nachtstunden und bei Schlechtwetterperioden Wärme an die Wandheizung abgegeben wird. Betrachtet man nun den solaren Deckungsgrad über der Auslastung, so kann man bei hoher Auslastung (d.h. kleine Kollektorfläche) erkennen, dass eine hohe Vorlauftemperatur die geringsten solaren Deckungsgrade (SD) liefert. Bei hoher Auslastung ist es daher von Vorteil die Vorlauftemperatur möglichst gering zu halten.

Erhöht man die Kollektorfläche (d.h. kleine Auslastung und hoher solarer Deckungsgrad), so dreht sich auch hier das Bild um. Auch hier ist es von Vorteil eine höhere Vorlauftemperatur zu wählen, um für die Kollektorfläche eine längere Laufzeiten zu erhalten und dadurch den spezifische Kollektorertrag zu erhöhen. Der spezifische Ertrag fällt in diesen Szenarien auf geringe Werte zwischen 120 bis 190 kWh/m²a. Auch bei diesen Szenarien ist eine Ergänzung der Solaranlage um eine Warmwasserbereitung zu erwägen, um in den Sommermonaten die Solaranlage zumindest sporadisch zu nutzen. Bei geringer Auslastung (d.h. große Kollektorfläche) ist hier zusätzlich ersichtlich, dass das Wärmeabgabepotential bei 30 °C Vorlauftemperatur erschöpft ist und die zusätzlich installierte Kollektorfläche nicht mehr den Ertrag bringen kann, wie es bei den Szenarien mit 45 und 60 °C der Fall ist.

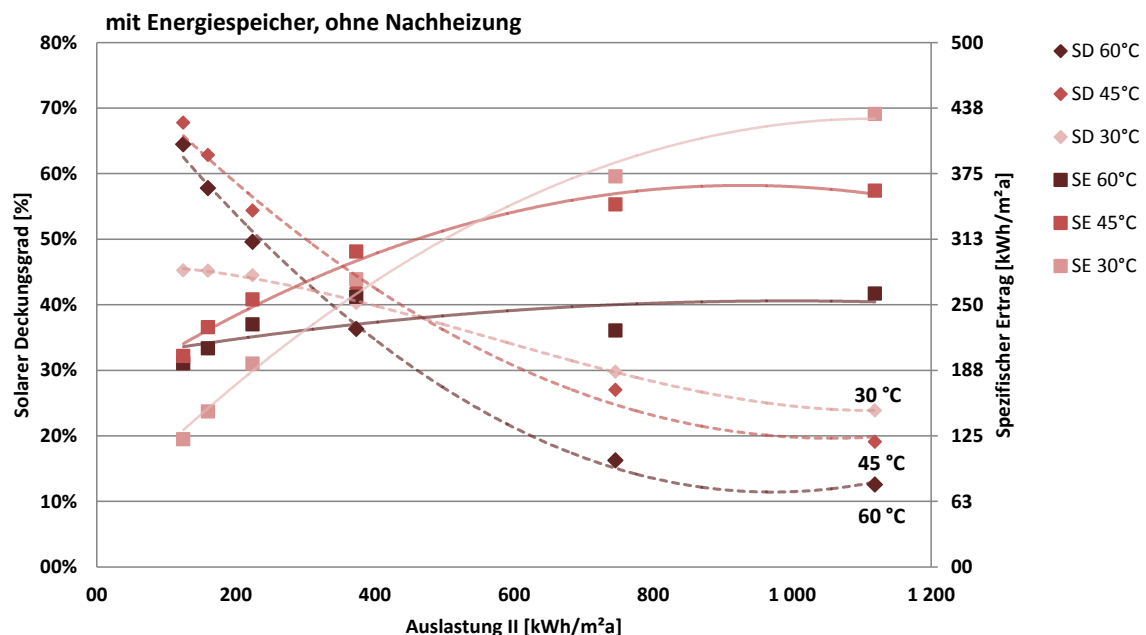


Abb. (245) Nomogramm – teilsolare Raumheizung, Szenarien mit Energiespeicher und ohne Nachheizung

Zusammenfassend kann zu den Nomogrammen gesagt werden, dass die spezifische Größe der Auslastung hier nur bedingt verwendet werden kann. Die spezifische Auslastung ermittelt sich als Verhältnis des Heizwärmebedarfs zur installierten Kollektorfläche. Dieser Heizwärmebedarf ist im Fall einer konventionellen Flächenheizung der richtige Bezugswert. Bei der Nutzung einer Wandheizung an einer ungedämmten Außenwand stellt sich aber mit dem Betrieb der Heizung ein völlig anderer Heizwärmebedarf des Gebäudes ein. Dies kann mit der vorliegenden Kennzahl der Auslastung nicht berücksichtigt werden, was sich in Abb. (244) und Abb. (245) anhand der nicht einheitlichen Verläufe der Kennlinien interpretieren lässt. Eine einfache Auslegung unter der Verwendung von leicht verfügbaren Werten (wie des Heizwärmebedarfs) anhand von Nomogrammen wird bei dieser speziellen Art der Verwendung der teilsolaren Raumheizung nicht möglich sein. Hier wird man nicht umhin kommen ein Solarsystem passend zur Wärmeabgabefläche zu dimensionieren und hinsichtlich der Neigung, Ausrichtung und Vorlauftemperatur unter der Verwendung einer dynamischen Anlagen-simulation zu optimieren.

4 KONZEPTE

Sanierungsmaßnahmen im Spannungsfeld zwischen Denkmalschutz und Klimaschutz

Aufbauend auf den generellen Erkenntnissen aus dem Handlungsfeld DISKURS (Entstehung, Zielgrößen und Umsetzung des Denkmalschutzes und des Klimaschutzes) werden im Handlungsfeld KONZEPTE für die fünf Referenzgebäude thermische Sanierungskonzepte erstellt und bewertet. Ein Sanierungskonzept wird im vorliegenden Zusammenhang als theoretische Kombination einzelner Sanierungsmaßnahmen, jeweils in Bezug auf eines der Referenzgebäude gesehen. Die Auswahl der Sanierungsmaßnahmen orientiert sich an den im Handlungsfeld BAUSTEINE untersuchten Sanierungsansätzen. Die Gebäude repräsentieren dabei jeweils einen im Grazer Stadtgebiet oftmals vorkommenden Gebäudetyp. Die Gesamtheit aller unter den gegebenen Einschränkungen möglichen Sanierungsmaßnahmen wird als Sanierungsmatrix bezeichnet. Die Sanierungsmatrix hat den Charakter einer rein aus Kombination gebildeter Möglichkeitsform und ist somit per se wertfrei. Betrachtet wird die Sanierungsmatrix aus den beiden wertenden Sichtweisen des Denkmalschutzes und des Klimaschutzes. Der Denkmalschutz mit in der Regel qualitativen Bewertungen vor dem Hintergrund seiner bewahrenden bzw. erhaltenden Anliegen. Demgegenüber steht die Sichtweise des Klimaschutzes mit seinen in der Regel quantitativen Bewertungsmethoden vor dem Hintergrund der Verkleinerung der Umweltbelastung, Abb. (246).

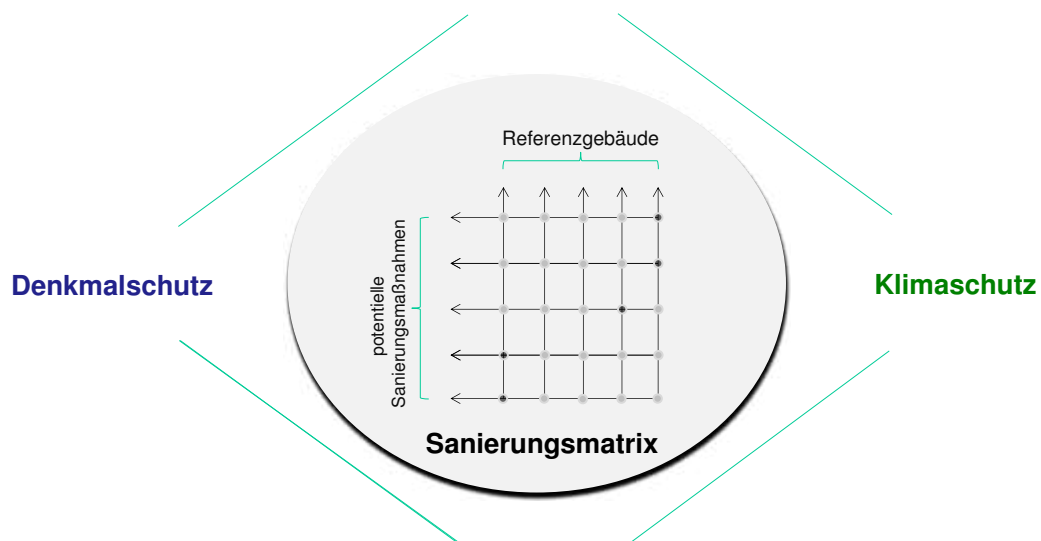


Abb. (246) Grundsätzlicher Ansatz des Handlungsfeldes Konzepte

Die Grazer Referenzgebäude selbst stehen unter striktem Denkmalschutz, jedoch existiert im mitteleuropäischen Gebäudebestand eine große Anzahl von Gebäuden gleicher oder sehr ähnlicher typologischer Ausprägung welche deutlich weniger oder auch gar nicht dem Denkmalschutz unterliegen. Dies ermöglicht für die erarbeiteten Ergebnisse ein weit über den Bereich der denkmalgeschützten Gebäude hinausgehendes Einsatzgebiet.

Die Bearbeitung des Handlungsfeldes beginnt mit der Darstellung umgesetzter Beispiele zur Einbindung solarthermischer Anlagen in denkmalgeschützte Gebäude, wird mit einer Bestandsaufnahme der Grazer Referenzgebäude weitergeführt und endet in der Diskussion der Sanierungskonzepte aus den Sichtweisen des Klimaschutzes und des Denkmalschutzes.

4.1 Sanierungsbeispiele denkmalgeschützter/historischer Gebäude

Das nachfolgende Kapitel zeigt verschiedenartige Beispiele auf, wie solarthermische Anlagen in den teils denkmalgeschützten Altbau integriert werden können. Ausgehend von einer kurzen Projektbeschreibung werden die technischen Grunddaten der jeweiligen Anlage aufbereitet und die im Rahmen der Sanierung zu bewältigenden Herausforderungen und Erfahrungen erwähnt.

4.1.1 Solarthermie auf Gaupen eines ehemaligen Klosterhofes

Der ehemalige Klosterhof in St. Afra in Freiheit 16, 01662 Meißen stammt ursprünglich aus dem 13. Jahrhundert. Die vorhandene Bausubstanz wurde um 1480 errichtet. Die letzten Sanierungen fanden zwischen 1999-2004 statt. Das Objekt, die evangelische Akademie, ist im Besitz der evangelisch-lutherischen Landeskirche Sachsens (Pfau Architekten (a), 2012). Im Zuge der Sanierung und des Umbaus des denkmalgeschützten Klosterhofes in eine Tagungs- und Begegnungsstätte mit Beherbergungs- und Verpflegungsbetrieb (Dr. Scheffler & Partner GmbH (a), o.A.) wurde 2002 auch eine kleinflächige Solarthermieanlage als Dachhaut von vier Gaupen installiert, welche der Warmwasserbereitung dient (Pfau Architekten (a), 2012).



Abb. (247) Solarthermiegaupen der evangelischen Akademie St. Afra (Pfau Architekten (a), 2012).

Der Hintergrund und die technischen Daten

Um einen Beitrag zum sorgsamem Umgang mit der Schöpfung zu leisten, wurde für den Umbau des 2.250 m² (Bruttogeschoßfläche) großen evangelischen Klosterhofes in eine Tagungs- und Begegnungsstätte besonderes Augenmerk auf den Einsatz umweltverträglicher Technik und erneuerbarer Energien gelegt. Neben der Ressourcenschonung nahm auch der Denkmalschutz und somit der Umgang mit der alten Bausubstanz eine wichtige und nicht ganz einfache Rolle ein. Aus diesen Gedanken heraus entstand 2002 die 10 m² große solarthermische Anlage für die Warmwasserbereitung des Kreuzganghauses, einen zirka 1.800 m² großen Teil des gesamten Ensembles und Kern der Tagungs- und Beherbergungsstätte.

Die Solarthermieanlage besteht aus vier Modulen zu je 2,5 m², welche als Dachhaut von vier Gaupen dienen (Pfau Architekten (a), 2012). Diese zurückhaltende Anlage (Dr. Scheffler & Partner GmbH (a), o.A.) mit individueller Konstruktion aus Grundrahmen mit überfalteter Glasabdeckung besteht aus Flachkollektoren, welche sich auf dem zu versorgenden Kreuzganghaus befinden. Sie sind nach Süden ausgerichtet und haben eine Neigung von zirka 23 Grad. Der berechnete solare Deckungsgrad beträgt 36 %. Neben der Solarthermieanlage decken ein Öl- und ein Gasheizkessel sowie ein Blockheizkraftwerk den restlichen Bedarf an Warmwasser ab. Das Speichersystem besteht aus einem 800 Liter großen Pufferspeicher für die Vorwärmung und einem 350 Liter großen Warmwasserspeicher, welcher über das konventionelle Heizsystem bei Bedarf nachgeheizt werden kann. Die Speicher befinden sich im konditionierten Keller. Zum besseren Verständnis der gesamten Anlage ist in Abb. (248) ein Funktionsschema dieser abgebildet. Die Solarthermieanlage verursachte Kosten von zirka 10.000 Euro, exklusive Speicher und Verrohrung in der Heizzentrale. Im Zuge der gesamten Sanierung wurden rund 55% der Kosten der installierten Photovoltaikanlage, der Solarthermieanlage inklusive Regelungen, Messwerterfassung und Visualisierung vom Bund beziehungsweise der deutschen Bundesstiftung Umwelt gefördert (Pfau Architekten (a), 2012).

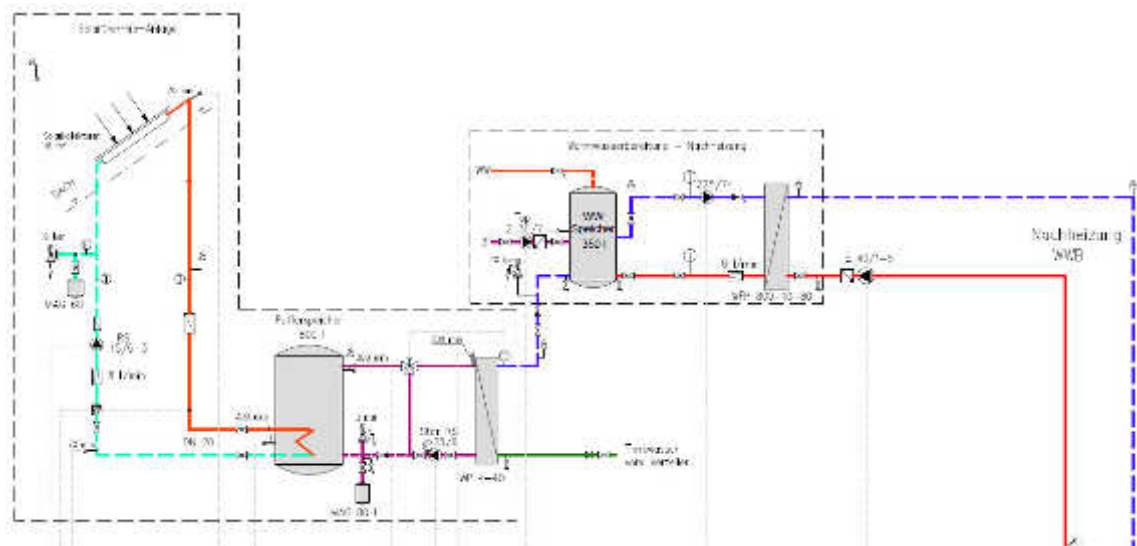


Abb. (248) Funktionsschema Solarthermie (Pfau Architekten (a), 2012).

Anlagentyp	Warmwasserbereitung
Kollektorfläche in m²	10 m ² Flachkollektoren als Dachhaut von 4 Gaupen
In Kombination mit	Öl-, Gasheizkessel und BHKW
Solarer Deckungsgrad	36 % (WWWB)
Speichervolumen in Liter	1 x 800 Liter und 1x 350 Liter für WWWB
Standort der Speicher	Keller konditioniert

Abb. (249) Technische Informationen zur Solarthermieanlage der evangelischen Akademie St. Afra.

Die Erfahrungen

Nach Auskunft des ausführenden Architekten funktioniert die solarthermische Anlage derzeit bestimmungsgemäß. In der Vergangenheit war sie jedoch für einige Zeit aufgrund einer Leitungsundichtigkeit außer Betrieb. Dabei wurde die hölzerne Gaupenkonstruktion beschädigt, was aber mittlerweile wieder behoben wurde. Es findet kein direktes Monitoring der Anlage statt, die Erträge werden aber über den Wärmemengenzähler abgelesen und festgehalten.

Die Architekten sehen es als größte Herausforderung, das Verständnis für die Konzeption und Verwendung von individuellen Teilen zu erwirken. In diesem Zusammenhang werden die Konstruktion der Gaupen selbst sowie die nach mehrmaliger Abwägung der Argumente erreichte Zustimmung der Denkmalschutzbehörde als vergleichsweise einfach beschrieben. 2011 musste aufgrund einer vernachlässigten Wartung eine kleine Sanierung der Anlage durchgeführt werden, bei der eine Notwasserauffangung gegen Leckagen ergänzt wurde (Pfau Architekten (a), 2012). Die Zusammenarbeit mit der Denkmalschutzbehörde beschreiben die Architekten wie folgt:

„Zu Beginn bestehen immer Vorbehalte. Wichtig ist immer die jeweiligen Kompetenzen zu beachten und gegenseitig zu würdigen. In der Detailbearbeitung kann dann eine gute, gegenseitig bereichernde Zusammenarbeit erfolgen. Jede Seite muss erkennen nicht allein die richtige Lösung zu wissen, sondern diese zusammen erarbeiten zu müssen.“ (Pfau Architekten (a), 2012)

Planung: Ingenieurbüro Dr. Scheffler & Partner GmbH

Ausführung: Architekt: Pfau Architekten, Dresden

4.1.2 Solarthermieanlage einer denkmalgeschützten ehemaligen Kabelfabrik

Das ehemalige Fabrikgebäude A des Campus Wilhelminenhof der Hochschule für Technik und Wirtschaft (HTW), in der Wilhelminenhofstraße 75a, in 12459 Berlin wurde 1904 erbaut. Es befindet sich auf dem Gelände eines ehemaligen Gewerbezentrums, welches in seiner Gesamtheit unter Denkmalschutz steht. Um den Erhalt des Baudenkmals sicherzustellen, entschied man sich zwischen 1998 und 2000 für eine umfassende Sanierung. Im Zuge dessen wurde auch eine großflächige, dachintegrierte solarthermische Anlage zur Heizungsunterstützung, Warmwasserbereitung und Bauteiltemperierung installiert (Augustin, F. (b), 2003).



Abb. (250) Das Gebäude A am Wilhelminenhof (Augustin, F. (c), o.A).

Vorweg sollte noch erwähnt werden, dass im Zuge der Gebäudeübernahme durch die Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin die solarthermische Anlage 2005 außer Betrieb genommen wurde. Dennoch können aus diesem Beispiel interessante Informationen herausgeholt werden.



Abb. (251) Solarthermieranlage am Gebäude A des Campus Wilhelminenhof. 2. und 4. Foto von li. (Augustin, F. (b), 2003), restliche Fotos von (Corona Solartechnik GmbH, 2007).

Der Hintergrund und die technischen Daten

Die Stockwerksfabrik am Wilhelminenhof wurde von 1909 bis 1993 als Kabelfabrik genutzt. Nach der Schließung der Fabrik, entschied sich der ehemalige Eigentümer, die BLEG – Berliner Landesentwicklungsgesellschaft mbH – das Gebäude für gewerbliche Zwecke zu sanieren. Im Rahmen dieser Sanierung wurde im Sommer 1999 am neu aufgestockten Tonnendach des Gebäudes eine nach Südosten ausgerichtete großflächige, dachintegrierte solarthermische Anlage installiert. Diese Anlage besteht aus zirka 560 m² dachintegrierten unverglasten Edelstahlabsorbern der Schweizer Firma Energie Solaire SA. Aufgrund architektonischer Gegebenheiten ist die aktive Absorberfläche etwas geringer. Die Sonnenenergie diente der thermischen Abdichtung des Bauwerks (mittels Bauteilheizung in den Kellerwänden), der Warmwasserbereitung und der Heizungsunterstützung. Primäre Heizquelle war ein Niedertemperaturheizsystem. Die Energie kam mittels Übergabestation von einem erdgasbetriebenen Blockheizkraftwerk (BHKW) auf dem Gelände des Wilhelminenhofes. Für die Bauteilheizung im Keller wurden im Sockelbereich der erdberührenden Wände mit Kunststoff ummantelte Kupferrohre zirka 5 cm tief in die Außenwände verlegt. Durch den Dauerbetrieb der wärmeleitenden Heizrohre sollte das Gebäude gegen die Bodenfeuchte abgedichtet werden (Augustin, F. (b), 2003). Die Vorlauftemperaturen betrugen rund 28 C (Augustin, F. (a), 2012). Das Warmwasser wurde in zwei kombinierten Warmwasserbehältern zu je 1.000 Liter gespeichert. Einer der Behälter wurde über die Solaranlage vorgeheizt, der andere über das BHKW anschließend nachgeheizt. Für die Heizungsunterstützung wurde die Energie in zwei Pufferspeichern mit je 9.300 Liter Fassungsvermögen gespeichert. Die Speicher befinden sich im Keller und wurden vor Ort zusammengeschweißt. Die Heizungsunterstützung erfolgte indirekt über die Anhebung der Rücklauftemperaturen des BHKW (ARGE Thomas Müller, Ivan Reimann Architekten und inros Lackner AG, 2006/2007). Die Jahressimulation des Ingenieurbüros AZIMUT ergab einen solaren Deckungsgrad für Warmwasser und Heizung von 6 %. Der Deckungsgrad nur für Warmwasser wurde mit 21 % und jener für die Heizung mit 5 % berechnet. Der Systemnutzungsgrad wird mit 14 % angegeben (Augustin, F. (b), 2003). Zum besseren Verständnis der Anlage ist in Abb. (252) ein vereinfachtes Funktionsschema der Anlage abgebildet. Die Maßzahlen der Abbildung unterscheiden sich teilweise vom beschriebenen Text. Unabhängig davon kann das Schema jedoch zur Erklärung der Anlage verwendet werden.

Aufgrund der ansprechenden Integration der solarthermischen Anlage, wurde diese im Jahr 2000 mit dem Architektur-Preis „Architektur und Solarthermie“ ausgezeichnet (Deutsches Kupfer-Institut, 2000). Die Anlage wurde zudem durch den Senat von Berlin durch das Förderprogramm Zukunftsinitiative ökologisches Wirtschaften (ZÖW) gefördert (Corona Solartechnik GmbH, 2007).

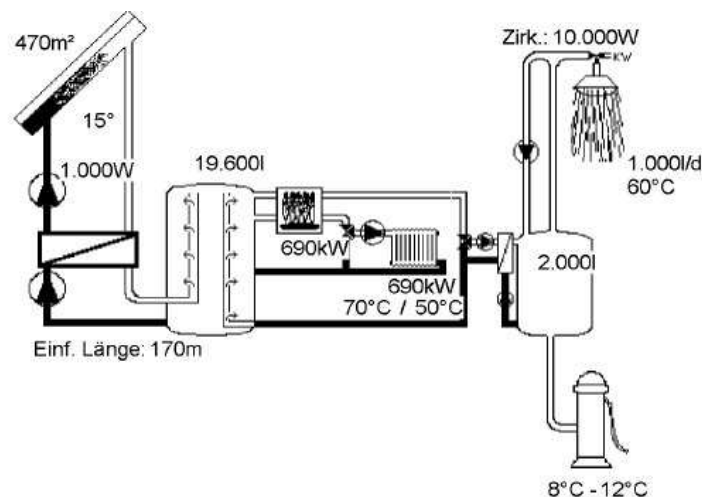


Abb. (252) Vereinfachtes Funktionsschema der Solarthermieranlage am Wilhelminenhof Berlin (BLEG, 2003).

Anlagentyp	Bauteilheizung, Warmwasserbereitung, Heizungsunterstützung
Kollektorfläche in m²	560 m² dachintegrierte unverglaste Edelstahlabsorber
In Kombination mit	erdgasbetriebenen BHKW
Vorlauftemperatur	28 °C für die Bauteiltemperierung
Solarer Deckungsgrad	6 % (HWB + WWWB)
Speichervolumen in Liter	Heizung: 2 x 9.300, Warmwasser 2 x 1.000
Standort der Speicher	Keller

Abb. (253) Informationen zur Solarthermieranlage des Wilhelminenhofes.

Die Erfahrungen

Gemäß dem Architekten Frank Augustin erbrachte die Installation der solarthermischen Anlage anfänglich erhebliche Bau- und Betriebskosteneinsparungen (Augustin, F. (b), 2003). Im Jahr 2005 fanden Ausbauarbeiten am Gebäude statt, da die Übernahme durch die Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin bevorstand. Zu dieser Zeit wurde auch die Solarthermieranlage außer Betrieb genommen (Wlodarczak, 2012). Anfänglich plante die HTW die solarthermische Anlage im betriebsbereiten Zustand zu erhalten und daher die korrodierten Rohre auszutauschen. Im Rahmen einer umfassenden Analyse durch die zuständigen Planer stellte sich aber heraus, dass die Anlage in dieser Form für die HTW nicht mehr zweckmäßig ist (ARGE Thomas Müller, Ivan Reimann Architekten und inros Lackner AG, 2006/2007). Es wurde festgestellt, dass die Bauteiltemperierung im Keller nicht zum gewünschten Effekt geführt hat und stattdessen Bauschäden entstanden sind. Durch höhere Temperaturen kam es zur Durchfeuchtung der Kellerwände, weshalb die Bauteiltemperierung abgeschaltet und eine Abdichtung gegen nicht drückendes Wasser durch Injektion hergestellt wurde. Gemäß Herrn Wlodarczak der HTW sind mithilfe dieser Lösung die Kellerwände nun seit fünf Jahren trocken (Wlodarczak, 2012). Die Heizungsunterstützung erfolgte, wie erwähnt, indirekt über die Anhebung der Rücklauftemperaturen des BHKWs. Da die benötigten Rücklauftemperaturen bei zirka 50 °C liegen und derlei Temperaturen von den Kollektoren nur im Sommer erreicht werden, wurde festgehalten, dass die Anlage zur Heizungsunterstützung nicht mehr zweckmäßig ist. Auch der letzte Anwendungsbereich der Kollektoren, die Warmwasserbereitung, wurde stillgelegt. Da es durch die jetzige Nutzung an Verbrauchern mangelt, werden die 2.000 Liter Trinkwasser als hygienisch bedenklich angesehen.

Somit haben die zuständigen Planer empfohlen, nur einen Warmwasserspeicher zu erhalten und diesen thermisch zu desinfizieren. Für eine derartige Desinfektion reichen aber die erzielbaren Temperaturen der Solarthermieanlage nicht aus und daher sollte das Wasser über das BHKW erwärmt werden (ARGE Thomas Müller, Ivan Reimann Architekten und inros Lackner AG, 2006/2007).

Planer: Ingenieurbüro AZIMUT

Ausführung: Architekt: DI Frank Augustin

4.1.3 Bauteiltemperierung für eine denkmalgeschützte Pfarrkirche

Die Pfarrkirche St. Bartholomäus in der Pfarrgasse 2, 97478 Knetzgau, in Bayern stammt aus der Gotik und wurde seither mehrmals umgebaut und erweitert. Die letzte Änderung erfolgte 2002 mit dem Anbau einer Sakristei. Eigentümer der Kirche ist die Kath. Kirchenstiftung St. Bartholomäus. Die Kirche steht unter Denkmalschutz (Hein, 2012). Aufgrund von statischen Problemen, Feuchteschäden und durch die Elektroheizung verursachte Verschmutzungen entschied man sich 2001 zu einer Sanierung des Sakralbaus. Um die Feuchteschäden in den Griff zu bekommen, wurde daher eine Bauteiltemperierung geplant, deren Energie aus einer Solarthermieanlage kommen sollte. Da zu dieser Zeit auch das Dach des nicht denkmalgeschützten Pfarrsaales saniert werden musste, entschied man sich dazu die dachintegrierte Anlage auf eben diesem neuen Dach zu montieren (Sonnenkraft Deutschland GmbH, 2007).



Abb. (254) *Pfarrkirche St. Bartholomäus in Knetzgau (Hein, 2012)*



Abb. (255) *Solarthermieranlage der Pfarrkirche St. Bartholomäus in Knetzgau
(Sonnenkraft Deutschland GmbH, 2007)*

Der Hintergrund und die technischen Daten

Auslöser für die Sanierung der Kirche waren die wahrgenommenen Verschmutzungen der Wandmalereien. Darauf basierend wurden Messungen im Kircheninneren durchgeführt und diese führten zu dem Ergebnis, dass die Verschmutzungen auf die nur zu Gottesdiensten eingeschalteten Elektroheizungen unter den Bänken und auf die Feuchtigkeit im Wandsockelbereich zurückzuführen sind. Um dieses Problem in den Griff zu bekommen, war es nötig eine dauerhafte Beheizung des Kirchenraumes zu gewährleisten. So entschied man sich 2001 für eine 96 m² große Solarthermieranlage, deren Energie für die Bauteiltemperierung in der Kirche, sowie für die Heizungsunterstützung im Pfarrhaus, im Pfarrsaal sowie in der 2002 erbauten Sakristei herangezogen werden sollte. Die speziellen Indach-Kollektoren wurden im Zuge der Sanierung des angrenzenden Pfarrsaales auf eben diesem Dach installiert und stammen von der Firma Sonnenkraft (Sonnenkraft Deutschland GmbH, 2007). Sie sind nach Süden ausgerichtet und haben eine Neigung von zirka 30 Grad. Der solare Deckungsgrad wird gemäß Architekten Hein auf zirka 40 % geschätzt (Hein, 2012). Die Energie der Kollektoren wird in zwei Pufferspeichern zu je 3.000 Liter im Technikraum des Kirchenkellers gespeichert. Die Anlage ist auch im Sommer in Betrieb und bis auf den Winter kann die Kirche ausschließlich über die Solarthermieranlage beheizt werden. Dann hilft das Heizsystem des Pfarrhauses, ein mit erdgasbetriebener konventioneller Heizkessel mit 95 kW Leistung, aus. Für die Bauteilheizung in der Kirche wurden in den Wänden 1.400 m Kupferrohre in Wandsockelhöhe von zirka 1,5 m verlegt, ein Flachrohr wurde durch die Sockel der Sitzbänke gezogen und der Altarbereich erhielt eine Fußbodenheizung (Sonnenkraft Deutschland GmbH, 2007). Die Vorlauftemperatur in der Kirche beträgt 38 °C, die Rücklauftemperatur liegt bei 33 °C (Hein, 2012).

Anlagentyp	Bauteiltemperierung und Heizungsunterstützung
Kollektorfläche in m²	96 m ²
In Kombination mit	Erdgasbetriebener Heizkessel
Vorlauf/Rücklauftemperatur	38° / 33°
Solarer Deckungsgrad	Geschätzt ~40 %
Speichervolumen in Liter	3.000
Standort der Speicher	Kirchenkeller

Abb. (256) *Informationen zur Solarthermieranlage der Pfarrkirche St. Bartholomäus in Knetzgau*

Die Erfahrungen

Gemäß der Auskunft des zuständigen Architekten Herbert Hein funktioniert das System immer noch ausgezeichnet. Das Raumklima ist ausgeglichen und beinahe konstant. Das Ziel, das Innenraumklima von kühl und feucht auf mäßig warm und trocken zu verschieben, wurde erreicht. Durch die Bautrocknung mögliche Risse am hölzernen Mobiliar konnten bislang keine festgestellt werden und die Durchfeuchtung der Wände wurde gänzlich beseitigt.

Sogar die Orgel hat von der Sanierung und den jetzigen konstanten Temperaturen profitiert. Das Nachstimmen der Pfeifen war bisher nicht mehr erforderlich. Temperaturmessungen an den Wand-, Fußboden- und Deckenoberflächen, die im Winter 2002/03 an 12 verschiedenen Stellen durchgeführt wurden, haben ergeben, dass die maximalen Temperaturdifferenzen im gesamten Raum lediglich zwischen 1,5 °C und 2 °C lagen. Kurz nach der Inbetriebnahme der Solaranlage gab es Schwierigkeiten mit den Pufferspeichern, was in weiterer Folge den Wirkungsgrad der Solaranlage negativ beeinflusste. Man löste das Problem, indem die Speicher nicht mehr durch den Heizkessel mitbeladen wurden. 2009 wurde festgestellt, dass aufgrund von Konstruktionsfehlern einige Kollektorfelder defekt waren, weshalb alle Kollektoren kostenfrei ausgetauscht wurden. Eine planerische und regelungstechnische Herausforderung waren die überaus unterschiedlichen Vorlauftemperaturen in den einzelnen Gebäudeteilen. Die Kirche benötigt einen Vorlauf von 38 °C, die Heizkörper im Pfarrhaus 55 °C, die Fußbodenheizung in der Sakristei 35 °C und das Luftheizungssystem im Pfarrsaal 90 °C. Abschließend wird vom Architekten angemerkt, dass die solarthermische Anlage durchaus mehr leisten könnte, würde das Heiz- und Temperierungssystem der verschiedenen Gebäudeteile ganzheitlich saniert und miteinander abgestimmt werden (Hein, 2012).

Planung: Sonnenkraft GmbH

Architektur: Architekt Herbert Hein

4.1.4 Solarthermie als Dachhaut und Ensembleschutz

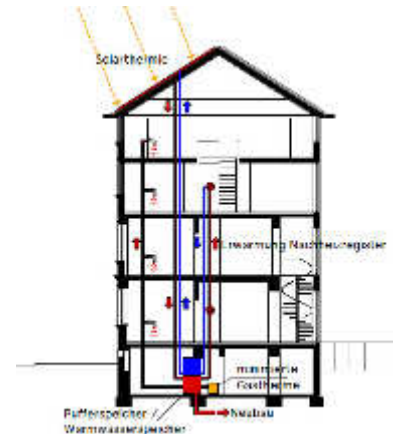
In der Ploenniestraße 14-16, in Darmstadt wurde ein zweigeschossiges aus der Gründerzeit stammendes Objekt aufgestockt, sowie eine Baulücke durch einen Neubau geschlossen. Das gesamte Wohn- und Bürogebäude „opusHouse“ ist im Eigentum von Frau Anke Mensing, die auch gleichzeitig dem zuständigen Architektenbüro „opusArchitekten“ angehört. Der Altbau wurde ca. um 1900 erbaut, stammt aus der Gründerzeit und steht unter Ensembleschutz. Im Rahmen dieses Bauprojektes, wurden auf dem straßenseitigen Dach neben PV-Modulen auch Solarthermiemodule (24 m²) zur Warmwasserbereitung und Heizungsunterstützung installiert (Opus Architekten, 2012).



Abb. (257) *OpusHouse (Opus Architekten, 2012).*

Der Hintergrund und die technischen Daten

Im Jahr 2006/2007 entschlossen sich die opus Architekten das alte aus der Gründerzeit stammende Wohngebäude aufzustocken und die daneben liegende Baulücke mit einem Neubau für Büro Zwecke zu schließen. Aufgrund der aktuellen Themen Ressourcenknappheit und steigender Energiekosten entschied man sich dazu erneuerbare Energiequellen zu nutzen. Daher wurde auf dem straßenseitigen Dach des aufgestockten Altbaus eine nach Osten ausgerichtete 24 m² große Solarthermieranlage für die Warmwasserbereitung und zur Heizungsunterstützung installiert. Die Flachkollektoren sind dachintegriert und dienen somit auch gleichzeitig als Dachhaut. Die Neigung der Kollektoren beträgt rund 32,5 Grad und der Deckungsgrad, welcher über Simulationsberechnungen ermittelt wurde, beträgt 21 %. Die Solarthermieranlage versorgt nur die 297 m² große Wohnfläche des Altbaus mit warmem Wasser, in den Büros steht nur kaltes Wasser zur Verfügung. Die Energie der Anlage wird in einem 1.000 Liter großen Pufferspeicher im Keller gesammelt, welcher den Trinkwasser und auch den Heizwasserkreislauf bedient. Das als Passivhaus konzipierte Ensemble verfügt über eine kontrollierte Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung. Die Zuluft wird über einen Erdwärmetauscher erwärmt. Kann damit jedoch nicht die gewünschte Temperatur erreicht werden, wird über eine Gas-Brennwerttherme nachgeheizt. Aufgrund des Ensembleschutzes wurde über die Farbgebung sowie Detailausbildung versucht, die Kollektoren möglichst unauffällig zu gestalten und an die umgebende aus Metall- und Schieferdeckung bestehende Dachlandschaft anzupassen.



Anlagentyp	Warmwasserbereitung und Heizungsunterstützung
Kollektorfläche in m²	24 m ²
In Kombination mit	Minimierte Gas-Brennwerttherme
Solarer Deckungsgrad	21 %
Speichervolumen in Liter	1 x Pufferspeicher mit 1.000 Liter
Standort der Speicher	Keller

Abb. (258) Solarthermische Kollektorfläche, energetisches Schema der Solarthermieranlage und Informationen zur Solarthermieranlage OpusHouse in Darmstadt (Opus Architekten, 2012)

Die Kosten für die Solarthermieranlage inklusive Pufferspeicher beliefen sich auf 12.000 Euro brutto. Für die Anlage erhielt die Bauherrin zwei Förderungen vom Bund. Eine rund 13,5 %ige Förderung vom Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle und von der Kfz Privatkundenbank ein zinsgünstiges Darlehen. Das Objekt erhielt seit Fertigstellung schon mehrere Auszeichnungen bezüglich nachhaltiges Bauen, Effizienzhaus sowie Solarpreise. Die letzte Auszeichnung war der Green Building Award 2011 von der Region Frankfurt/Rhein/Main (Opus Architekten, 2012).

Die Erfahrungen

Gemäß der Auskunft der Architekten funktioniert die Anlage seit der Inbetriebnahme einwandfrei. Es wird ein Monitoring durch die opus Architekten und weitere Firmen durchgeführt. Derzeit liegen aber noch keine Auswertungen vor. Als größte Herausforderung beschreiben die Architekten die Suche nach den gewünschten Solarthermie- und Photovoltaikmodulen. Die Notwendigkeit für spezielle Module ergab sich aufgrund des Ensembleschutzes. Die Besonderheiten der Module beziehen sich auf die Farbgebung, die passende Modulgröße sowie diverse Detailausbildungen. Die Zusammenarbeit mit der Denkmalschutzbehörde verlief sehr gut. Die Behörde wurde von der Planung weg eingebunden und den Architekten selbst war es ein Anliegen, die Grundsätze des Denkmalschutzes zu beachten und diese in das Bauvorhaben einzubeziehen. Zusätzlich wird die offene Grundhaltung des damaligen Leiters der Denkmalschutzbehörde gegenüber dem Vorhaben erwähnt. Dieser hat sich gemäß den Architekten „... einer modernen Interpretation des historischen Ensemble ...“ nicht verschlossen (Opus Architekten, 2012).

Haustechnik: Ingenieurbüro inPlan

Architektur: opus Architekten BDA

4.1.5 Fassadenintegrierte Solarthermieranlage auf Gründerzeit Wohngebäude

Im Rahmen des Leitprojekts „Gründerzeit mit Zukunft“, gefördert durch das Forschungs- und Technologieprogramm „Haus der Zukunft“, wurde das Gründerzeitgebäude Wißgrillgasse 10, in 1140 Wien-Penzing, 14. Wiener Gemeindebezirk generalsaniert (Ulreich & Gassner, 2012, S. 5, 10, 16). Das Mehrfamilienwohnhaus wurde um 1900 erbaut und ist im Besitz der WEG Wißgrillgasse 10. Die Fassadengliederung ist laut MA 19 geschützt. Bei der energieoptimierenden Sanierung im Jahr 2010 wurde mit Bedacht auf die Umweltverträglichkeit, als Ergänzung zur errichteten Pellets-Heisanlage, eine fassadenintegrierte Solarthermieranlage für die Warmwasserbereitung und zur Heizungsunterstützung installiert (Gassner & Partner Baumanagment GmbH, 2012).



Abb. (259) Gründerzeitgebäude „Roofjet“, Wißgrillgasse in Wien
(Gassner & Partner Baumanagment GmbH, 2012).



Abb. (260) Solarthermieanlage des Gründerzeitgebäudes Wißgrillgasse (Gassner & Partner Baumanagment GmbH, 2012).

Der Hintergrund und die technischen Daten

Ziel der Generalsanierung des Gründerzeitgebäudes 2010 war die Energieoptimierung. Neben der Dämmung des gesamten Gebäudes sowie der Installation verschiedener Lüftungssysteme wurde auch eine fassadenintegrierte Solarthermieanlage zur Warmwasserbereitung und Heizungsunterstützung geplant und errichtet. Die Anlage versorgt das gesamte 3.236 m² (Bruttogrundfläche lt. ÖNORM 1800) große Gebäude und wird in Kombination mit einer Pellets-Heizanlage genutzt. Kollektorfläche mit Flachkollektoren beträgt 31,5 m², sie ist nach Süden ausgerichtet und in die Fassade der Feuermauer in die Dämmebene integriert.

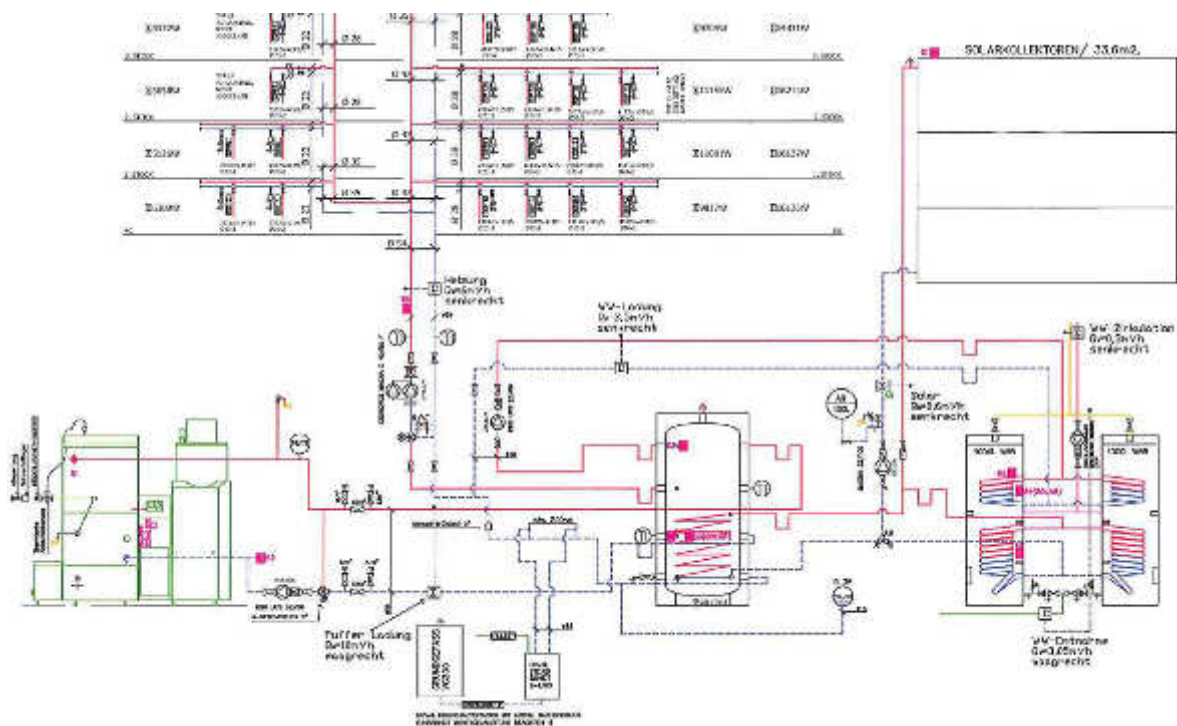


Abb. (261) Funktionsschema Solarthermie (Gassner & Partner Baumanagment GmbH, 2012).

Anlagentyp	Warmwasserbereitung und Heizungsunterstützung
Kollektorfläche in m²	31,5 m ² Bruttofläche / 28,8 m ² Aperturfläche
In Kombination mit	Biomasseanlage mit Pellets
Vorlauf/Rücklauftemperatur	Fußbodenheizung: 32/38°C, Radiatoren: 70/55°C
Solarer Deckungsgrad	6,60 %
Speichervolumen in Liter	1 x Pufferspeicher mit 2.000 l, 2 x Warmwasserspeicher mit je 1.000 l
Standort der Speicher	Heizraum im Kellergeschoß

Abb. (262) Informationen zur Solarthermieanlage des „Roofjet“ in der Wißgrillgasse in Wien.

Die gesamten Leitungen wurden in einen zentralen Heizraum im Kellergeschoß geführt, wo sich auch alle Steuerungselemente sowie die Speicher befinden. Gespeichert wird die Sonnenenergie in einem Pufferspeicher mit 2.000 Liter und zwei Warmwasserspeichern zu je 1.000 Liter. Berechnungen des solaren Deckungsgrades der Anlage brachten ein Ergebnis von 6,6 %. Es gibt zwei Heizkreise, wobei einer eine Fußbodenheizung versorgt, der andere Kreislauf führt zu Radiatoren. Die Vorlauftemperaturen der Fußbodenheizung betragen 38°C, der Rücklauf liegt bei 32°C. Für die Radiatoren beträgt die Vorlauftemperatur 70°, der Rücklauf liegt bei 55°C. Die Kosten für die Errichtung der Solarthermieanlage beliefen sich auf rund 42.000,- Euro. Die Anlage wurde von der Stadt Wien mit 30 % gefördert. Zum besseren Verständnis der Anlage ist in Abb. (261) ein Funktionsschema dieser abgebildet (Gassner & Partner Baumanagment GmbH, 2012).

Entwicklung: Ulreich Bauträger GmbH und Gassner & Partner BM GmbH

Die Erfahrungen

Gemäß Herrn Gassner funktioniert die Anlage derzeit einwandfrei. Es gibt ein Monitoringssystem zur Dokumentation der Erträge in Abhängigkeit der Jahreszeiten. Die Daten werden im Technikraum zentral gespeichert und von der Firma Manschein GmbH über einen Zeitraum von zwei Jahren analysiert. Zudem dienen diese Ergebnisse dem Vergleich mit Daten anderer Messreihen. Die größte Herausforderung stellte die fassadenbündige Integration in die Dämmebene der Feuermauer dar, welche aufgrund der Forderung eines Nachbarn umgesetzt werden musste. Dadurch kam es bei der Planung und der Ausführung der Unterkonstruktion sowie der Dämmung zu Mehraufwendungen. Die Anbringung des wartungsintensiven Fühlers erforderte eine weitere individuelle Lösung. Dieser wurde in einer speziell installierten Verrohrung versetzt, um den Austausch vom angrenzenden Fenster durch die Dämmebene zu ermöglichen. Abschließend ist anzumerken, dass das System Solarthermieanlage und Pellets-Heizanlage gut miteinander kompatibel ist und somit beide Systemkomponenten für einen optimalen Energieertrag sorgen (Gassner & Partner Baumanagment GmbH, 2012).

4.1.6 Großflächige Solarthermieanlage auf Gründerzeit Hotelleriebetrieb

Das Hotel Wilhelmshof im 2. Wiener Gemeindebezirk Leopoldstadt, Kleine Stadtgutgasse 4, 1020 Wien, wurde gegen Ende des 19. Jahrhunderts gebaut (Hotel Wilhelmshof GmbH (a), o.A.) und fällt demnach in die Gründerzeit. Es ist im Besitz der Hotel Wilhelmshof GmbH (Sonnenkraft Österreich, 2012). Im Zuge der Dachgeschosssanierung im Jahr 2008 wurde am Dach des Nebengebäudes (Mayrhofer, 2012) die größte Solaranlage der Wiener Hotellerie für die Warmwasserbereitung installiert (Hotel Wilhelmshof GmbH (b), o.A.). Das Objekt ist nicht denkmalgeschützt (Sonnenkraft Österreich, 2012).



Abb. (263) *Hotel Wilhelmshof in Wien, Gründerzeitgebäude (Sonnenkraft Österreich, 2012).*

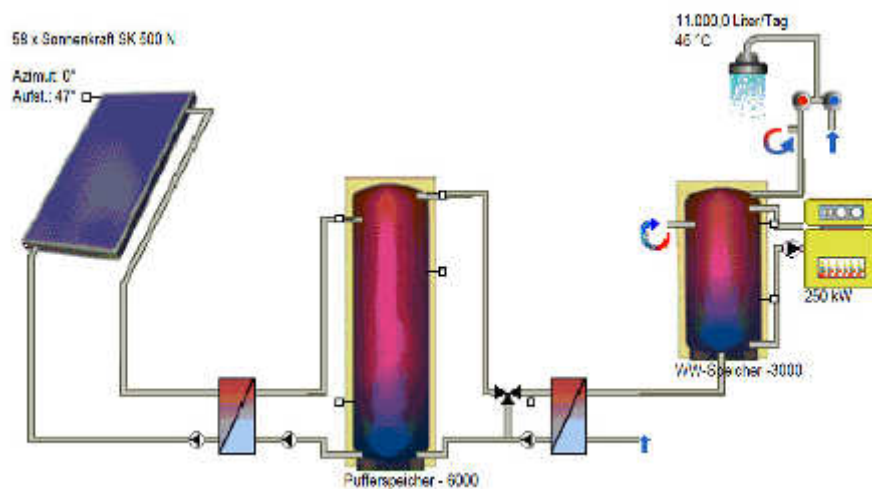
Der Hintergrund und die technischen Daten

Gemäß der Webseite des Betriebes ist Umwelt- und Klimaschutz ein bedeutendes Thema für das Hotel. Daher wurde im Rahmen aller Renovierungen auf Energie- und Schadstoffeinsparungen geachtet (Hotel Wilhelmshof GmbH (b), o.A.). Im Jahr 2008 wurde das Dachgeschoss saniert und das bestehende Öl-Heizsystem ausgetauscht. Zusätzlich waren die damals angebotenen Förderprogramme vielversprechend. Aus diesen Gründen hat man sich für eine 150 m² große Solarthermieranlage am Dach des Nachbargebäudes für die Warmwasserbereitung des 6.500 m² (Bruttogeschoßfläche) großen Hotels entschlossen.



Abb. (264) *Heiztechnikraum mit Speicher und Steuerung (Mayrhofer, 2012).*

Die installierten Flachkollektoren sind nach Süden ausgerichtet und haben eine Neigung von rund 45 Grad. Die Anlage wurde mithilfe einer Unterkonstruktion auf dem Dach montiert. Der berechnete solare Deckungsgrad beträgt rund 44 % (Mayrhofer, 2012). Reicht die Sonnenenergie nicht aus, hilft eine Gas Brennwerttherme den restlichen Warmwasserbedarf zu decken (Austria Solar, o.A.). Zum besseren Verständnis der Anlage ist in Abb. (265) ein vereinfachtes Schema der Anlage abgebildet. Daraus ist ersichtlich, dass die Energie der Solarthermie in drei Pufferspeichern mit einem Fassungsvermögen von je 2.000 Liter gesammelt wird. Anschließend wird das Wasser über die ebenfalls drei Warmwasserspeicher mit einem Gesamtvolumen von 3.000 Liter bei Bedarf an die Verbraucher abgegeben (Sonnenkraft Österreich, 2012). Die Investitionskosten für die Anlage beliefen sich auf 115.000 Euro, wobei eine 35 %ige Förderung von der Kommunalkredit gewährt wurde (Mayrhofer, 2012).



Anlagentyp	Warmwasserbereitung
Kollektorfläche in m²	150 m ²
In Kombination mit	Gas Brennwerttherme
Solarer Deckungsgrad	44 %
Speichervolumen in Liter	3 x 2.000 Liter Pufferspeicher, 3 x 1.000 Liter Warmwasserspeicher
Standort der Speicher	Keller konditioniert

Abb. (265) Informationen zur Solarthermieanlage des Hotels Wilhelmshof in Wien (Sonnenkraft Österreich, 2012)

Die Erfahrungen

Gemäß dem Hotelbesitzer funktioniert die Anlage einwandfrei. Es mussten seit der Inbetriebnahme lediglich kleine Reparaturarbeiten durchgeführt werden. Dabei wurden eine Dichtung sowie ein Thermosensor ausgetauscht. Um die Funktionsfähigkeit der Anlage zu prüfen, werden vom hauseigenen Techniker Aufzeichnungen gemacht. Die Rohrverlegung stellte laut Hotelbesitzer die größte Herausforderung dar. Die Rohre mussten vom ausgebauten Dach durch den Bestand des 140 Jahre alten Gebäudes hindurch bis in den Keller, in dem die Speicher stehen, verlegt werden. Außerdem mussten für die Positionierung der Speicher Türen im Keller ausgestemmt werden (Mayrhofer, 2012).

Sonnenkollektoren: Firma Sonnenkraft Österreich
Ingenieurbüro: Wintersperger GmbH, Kematen

4.1.7 Analyse der Sanierungsbeispiele

Zu Beginn der Recherche wurde der Suchbereich auf solarthermische Anlagen auf denkmalgeschützten Gebäuden eingeschränkt. Bald schon stand aber fest, dass es in dieser Kategorie nur sehr wenige Beispiele gibt, daher wurde das Suchkriterium um die Kategorien solarthermische Anlagen – „auf Nebengebäuden denkmalgeschützter Objekte“ sowie – „auf historischen Gebäuden (insbesondere Gebäude aus der Gründerzeit)“ erweitert. Die recherchierten Objekte wurden anschließend in einem interdisziplinären Prozess aussortiert, wobei die Auswahl von der Vergleichbarkeit mit den Referenzobjekten des Projektes, der Ästhetik der Ausführung sowie von den vorhandenen Daten abhängig war. Nach erfolgter Kontaktaufnahme mit den zuständigen Planern, Architekten und Bauherren und daraus resultierender Datenbeschaffung blieben die in Abb. (266) zusammengefassten Objekte übrig.

	Objekttyp	Anlage	Baujahr	Standort der Kollektoren	Herausforderungen
Solarthermie auf Gaupen eines ehemaligen Klosterhofes, Meißen	denkmalgeschützt	WW	2000	Dachhaut der Gaupen	Konstruktion und Verständnis für individuelle Lösung
Großflächige Solarthermieanlage einer ehemaligen Kabelfabrik, Berlin	denkmalgeschützt	WW, BT, HU	2000	Dachhaut des aufgestockten Tonnendaches	Bauteiltemperierung führte zu Bauschäden daher stillgelegt
Bauteiltemperierung Pfarrkirche, Bayern	Kirche denkmalgeschützt	BT, HU	2001	Indachkonstruktion auf nicht geschütztem Nebengebäude	Wirkungsgrade und Regelungstechnik
Solarthermie als Dachhaut und Ensembleschutz, Darmstadt	Altbau und Neubau im Kontrast - Ensembleschutz	WW, HU	2007	Indachkonstruktion auf aufgestocktem Altbau	Suche nach passenden Kollektoren
Fassadenintegrierte Solarthermieanlage auf Gründerzeitgebäude, Wien	Gründerzeitgebäude, Fassade geschützt	WW, HU	2010	fassadenintegriert	Planung und Konstruktion
Großflächige Solarthermieanlage auf Gründerzeit Hotelleriebetrieb, Wien	Gründerzeitgebäude, nicht denkmalgeschützt	WW	2008	Aufdachmontage auf Dach des Nachbargebäudes	Verlegung der Rohre und Installationen

Abb. (266) Die aufbereiteten Sanierungsbeispiele; Anmerkung: WW - Warmwasserbereitung, HU – Heizungsunterstützung, BT - Bauteiltemperierung

Die Sanierungsbeispiele zeigen, einmal mehr, dass Klimaschutz im denkmalgeschützten Bereich **individuelle Lösungen** verlangt. Dies bedeutet wiederum einen größeren Planungsaufwand und ebenso höhere finanzielle Mittel.

In den beschriebenen Beispielen wurden entweder spezielle Konstruktionen für die Kollektoren angefertigt, die Kollektoren wurden am Nachbar-/Nebengebäude angebracht oder sie wurden auf einem neu aufgestockten Teil des Gebäudes installiert. Dass bei diesen nicht standardisierten Ausführungen der größere Planungsaufwand tatsächlich ein bedeutender Aspekt ist, zeigen die oftmals auftretenden und vor allem die unterschiedlichen Probleme. Daher bedarf es hier wirklich Lösungen von Fachexperten, die die Schwierigkeiten gut einschätzen können und die für das jeweilige Objekt die am besten passende Lösung ausarbeiten.

Bei jedem der beschriebenen Objekte, mussten mehr oder weniger schwerwiegende Herausforderungen in Angriff genommen werden. Die Anlage des Objektes in Meißen musste aufgrund von Leitungsundichtigkeiten kurzzeitig außer Betrieb genommen werden.

Die Bauteitemperierung der ehemaligen Kabelfabrik in Berlin wurde wegen entstandener Bauschäden sogar stillgelegt. Bei der Pfarrkirche in Bayern hatten die Eigentümer anfängliche Probleme mit dem Wirkungsgrad der Anlage. Außerdem ist aufgrund der Verschiedenartigkeit der zu versorgenden Systeme der regelungstechnische Aufwand sehr hoch, was sich wiederum negativ auf den Wirkungsgrad auswirkt. Die Architekten des aufgestockten Gründerzeitgebäudes sowie Neubaus in Darmstadt hatten Schwierigkeiten bei der Suche nach den geeigneten, durch Farbgebung, Modulgröße und Detailausbildung gekennzeichneten Solar- und Photovoltaikmodulen. Bei der Solarthermieranlage des Gründerzeit Wohngebäudes in Wien, stellte die fassadenbündige Integration in die Dämmebene und die daraus erforderliche individuelle Unterkonstruktion die größten Herausforderungen dar. Für den Hotelbetreiber in Wien war die größte Herausforderung die Verlegung der Rohre sowie die Positionierung der Speicher.

Soweit es aus den erhaltenen Daten bekannt ist, erhielten beinahe alle Bauherren eine **Teilförderung der jeweiligen Anlage**. In einem Fall wurden die attraktiven Fördermöglichkeiten sogar als Grund für die Installation der Anlage angegeben.

4.2 Bestandsanalyse der Referenzgebäude

Allgemeine Aspekte: Sophie Grünewald, Thomas Mach

Bauphysik: Michael Grobbauer, Friedrich Mooshammer

Gebäudetechnik: Gerald Peischl, Katharina Kreuter

4.2.1 Durchführung und Ergebnisse der Bestandaufnahme

Die Bestandaufnahme zeichnet ein Bild über den aktuellen Zustand der fünf Referenzgebäude und dient als Ausgangsbasis für die zu entwickelnden Sanierungskonzepte. Das Bild umfasst die drei Bereiche „allgemeine Aspekte“, „Bauphysik“ und „Gebäudetechnik“. Der Bereich allgemeine Aspekte beschreibt die städtebauliche Situation, vorhandene Nutzungsformen, geometrische Auswertungen, denkmalpflegerische Situation sowie, individuell je Gebäude, weitere Aspekte die einen Einfluss auf Sanierungskonzepte nehmen könnten. Der Bereich Bauphysik erfasst die Bauteile der Referenzgebäude mit ihrem Zustand und den vermuteten Aufbauten, soweit diese durch Augenschein, vorhandenes Planmaterial und Recherche zu bestimmen sind mit erforderlichenfalls den Hinweis auf besondere Gefahren. Das Ergebnis der bauphysikalischen Bestandaufnahme ist textlich beschrieben sowie durch Skizzen und Fotos sowie gegebenenfalls – wenn in der Literatur nichts Entsprechendes zu finden war – durch U-Wertberechnungen ergänzt. Der Bereich Gebäudetechnik beschreibt die Bereiche Heizen und Kühlen auf Grundlage der Gliederung in Energiequelle, Energieverteilung, bzw. Speicherung und Energieabgabe sowie die Lüftungstechnischen Einrichtungen. Eine vollständige Beschreibung der Bestandaufnahme findet sich in:

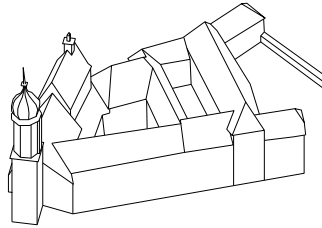
- Annexbericht 1.1, Bauphysikalisch – konstruktive Bestandaufnahme
siehe Kapitel 6.3



Abb. (267) Überblick über die fünf Referenzgebäude im Stadtgebiet Graz (bing_maps)

4.2.2 Bestandsanalyse Franziskanerkloster Graz „Klostertrakt“

Der südlich der Franziskanerkirche großflächig um zwei Höfe gruppierte Klosterkomplex hat sich von seiner mittelalterlichen Kernsubstanz aus über acht Jahrhunderte hinweg zum jetzigen Bauzustand hin entwickelt. Aufgrund der Größe des Klosters und der bereits durchgeführten Sanierung einiger Gebäudeteile wurde der Südtrakt des Klosters als projektrelevanter Teil ausgewählt.



<i>Nutzung:</i>	Kirche mit angeschlossenem Kloster
<i>Lage:</i>	Stadtzentrum von Graz
<i>Stadtstruktur:</i>	mittelalterlich dicht
<i>Baubeginn:</i>	erster Abschnitt im Jahr 1239
<i>Eigentümer:</i>	Convent der P.P. Franziskaner in Graz
<i>BGF_{kond.*}:</i>	3.119 m ²
<i>A/V-Verhältnis:</i>	0,27 1/m

*gesamter Südtrakt ohne Keller und Dachgeschoss

Städtebauliche Lage



Das mittelalterliche Kloster befindet sich im 1. Bezirk – Innere Stadt in Graz (siehe Abb. (268)). Die Kirche lag bei der Errichtung hinter den Stadtmauern und wurde 1250 in die Stadt miteinbezogen – die nördliche Westmauer des Klosters ist mit der mittelalterlichen Stadtmauer verbunden (BDA (i)). Das Kloster wird im Nord-Osten vom Franziskanerplatz, im Osten von der Stainzergasse, im Süden von der Albrechtgasse und Westen von einer Häuserzeile, die an der Neutorgasse liegt, eingerahmt. Erschlossen wird das Kloster entweder über die im Norden liegende Franziskanerkirche oder über den Franziskanerplatz. Rund um das Kloster befindet sich seit 1990 eine Fußgängerzone (Kubinzky & Wentner, 1996, S. 116).



Abb. (268) Lage des Klosters im Grazer Stadtraum (oben) und Stadtstruktur (unten) (bing_maps)

Architektur

Südlich der gotischen Franziskanerkirche liegt der zweihöfige Klosterkomplex (siehe Abb. (269)). Das Kloster ist ein zweigeschossiger bis dreigeschossiger Gebäudekomplex, der teilweise unterkellert worden ist. Der 1. Hof (Kreuzhof) stammt im Kern aus dem 13./14. Jahrhundert und wurde 1515-1519 umgebaut. Der Westflügel des 2. Hofes (Binnen-hof) besteht im Kern aus dem 13./14. Jahrhundert und wurde 1515-1519 Um- und Zugebaut. Er befindet sich direkt am Stadtgraben Süd. Gleichzeitig wurde der Südtrakt (siehe Abb. (270)) errichtet – dieser umklammert im Süden den Klostergarten, der wiederum mit einer Mauer zur Albrechtgasse getrennt ist (BDA (f)). Der Hof zwischen der Häuserzeile im Westen und dem Kloster zeigt die Lage des Zwingers zwischen äußerer und innerer Ringmauer. Hier ist noch ein mittelalterlicher Wehrturm erhalten (BDA (I), 1997, S. LVIII). Der Kirchturm war ursprünglich auch ein Wehrturm und wurde im 17. Jahrhundert den Franziskanern übergeben (Franziskaner (a)).

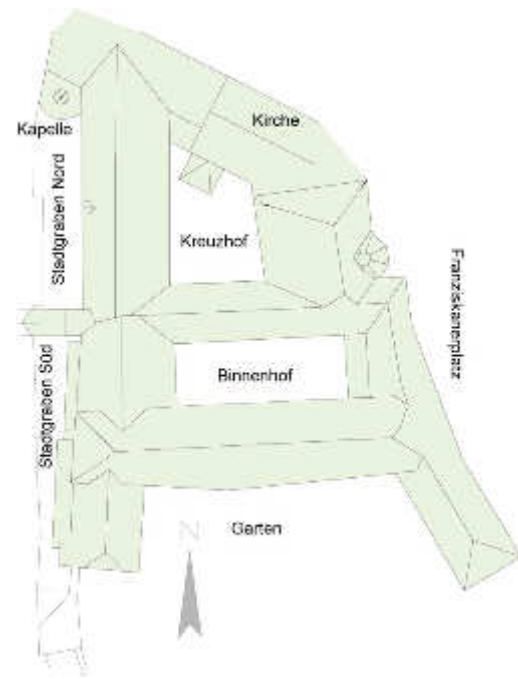


Abb. (269) Dachdraufsicht
Franziskanerkloster (Franziskaner)

Erschlossen wird das Kloster im Norden über die Kirche, im Osten über einen Eingang vom Franziskanerplatz und einen Eingang von der Stainzergasse aus sowie im Süden über den Klostergarten. Im Inneren befinden sich mehrere Stiegenhäuser, die über Gänge, die um die Innenhöfe liegen, erschlossen werden. Im Erdgeschoss befinden sich: mehrere Küchen, ein Saal, Weinkeller, Waschraum, Turnsaal, Essraum, Bad/WCs, Speis/Kühlraum, Waschküche, Abstellräume, Büros, mehrere Zimmer sowie Pforte mit anliegenden Räumen, die Jakominikapelle mit zugehörige Depots und Beichtkapelle und Sakristei mit angeschlossenen Räumen. Im 1. Obergeschoß befindet sich das Oratorium, der Pfarrsaal, ein Refektorium, mehrere Wohneinheiten sowie Krankenzimmer, ein Lesesaal und Büros. Im 2. Obergeschoss befinden sich die Bibliothek mit zugehörigen Räumen (Schatzkammer, Lagerräume, Werkstätte, Arbeitsräume, Depots) sowie Wohnungen, einem Jugendraum, der Franziskussaal und Büros. Nur im südlichen Trakt des Binnenhofes befindet sich ein drittes Obergeschoss. Hier gibt es mehrere Räume, WC- und Duschanlagen sowie Büros, Schulungsräume und Archive. Im Trakt parallel zur Stainzergasse befinden sich Büros, ein Aufenthaltsraum, WC Anlagen, Waschraum sowie eine Küche.

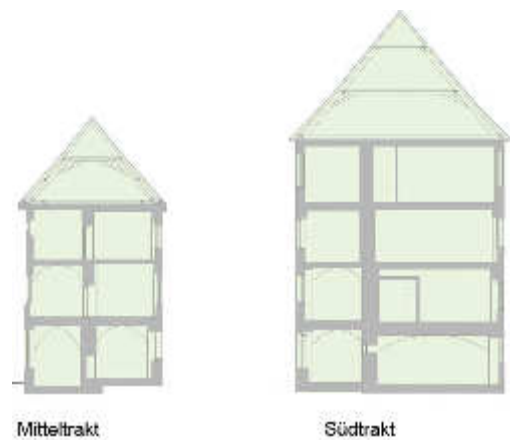


Abb. (270) Schnitt Franziskanerkloster
(Franziskaner)



Abb. (271) Franziskanerkloster Außenansichten

Nutzung

1239 wurde das Kloster von den Minoriten gegründet und lag ursprünglich außerhalb der Stadtmauern (Kubinzky & Wentner, 1996). Nachdem eine Fusion zweier Ordenszweige scheiterte, mussten die Minoriten das Kloster 1515 (Kubinzky & Wentner, 1996) den Franziskaner-Observanten überlassen und zogen auf die gegenüberliegende Murseite (Franziskaner (a)). Neben mehreren Wohnräumen, Gemeinschaftsräumen und Büros gibt es die Jakobikapelle, das Oratorium und eine Klosterbibliothek. Die Bibliothek ist eine der wertvollsten der Steiermark. Es befinden sich dort ca. 13.000 Titel bis 1700 und ca. 20.000 Titel ab dem 18. Jahrhundert. Zu den Schwerpunkten des Klosters zählen die Seelsorge sowie die Ausbildung von jungen Franziskanern. Derzeit gibt es im Kloster neuen Franziskaner und drei Franziskaner im Juniorat (Franziskaner (b)).



Abb. (272) *Franziskanerkloster
Innenansichten*

Denkmalschutz



Abb. (273) *historische Ansicht des Klosters
(Franz Voelker)*

Denkmalschutz gemäß Verordnung nach §2a DMSG entnommen (BDA (o), 2013, S. 32)

Für das Denkmalamt besonders erwähnenswert sind im Erdgeschoss des 1. Hofes der gotische, stichkappengewölbte Kreuzgang mit zahlreichen Grabdenkmälern. Im Süd und Westtrakt gibt es Fresken aus dem 16. Jahrhundert, im Osttrakt die frühgotische Jakobi-Kapelle und am Nordtrakt ein freistehendes Stiegenhaus von 1828. Der zweite Hof weist kreuzgratgewölbte Gänge und zwei stichkappentonnengewölbte Refektoriumsräume auf. Außerdem ist in der Westlichen Außenwand die ehemalige Stadtmauer erhalten (BDA (f)).

Bauphysik

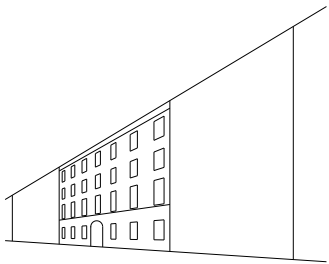
Die teils sehr mächtigen Grundmauern bestehen sowohl aus Stein-, Ziegel- als auch Mischmauerwerk. Dem Zweck und der Bauzeit entsprechend finden sich unterschiedliche Gewölbe- und Holzdeckenkonstruktionen, die mit Ziegel gedeckten Dächer zeigen vielfältige Holztragwerke. Die Gebäudesubstanz wurde kürzlich bereits bis auf den südlichsten Quertrakt einer Sanierung unterzogen. Aus bauphysikalischer Sicht ist besonders auf die massiv vorhandenen Speichermassen des ungedämmten Bauwerkes, die großen meist unbeheizten Volumen (Kapelle, Gangbereiche u.dgl.), die unregelmäßigen Nutzungsintervalle und in Summe die daraus resultierenden unklaren Verhältnisse bezüglich der Abgrenzung des zu beheizenden Raumvolumens hinzuweisen.

Gebäudetechnik

In diesem Trakt wurden bisher noch keine Sanierungsmaßnahmen durchgeführt. Der Heizwärmebedarf des Gebäude liegt laut Energieausweis bei 183 kWh/(m²a) (TB Köstenbauer&Sixl GmbH). Die Wärmeverteilung erfolgt bedingt durch die Fernwärmeversorgung und der Radiatoren mittels wasserführendem Leitungsnetz. Die Wärmeabgabe im nicht sanierten Abschnitt erfolgt überwiegend durch Gussgliederradiatoren. Bedingt durch die Wärmebereitstellung durch Fernwärme sowie die eingebauten Heizkörper und das Baualter liegen die Systemtemperaturen wahrscheinlich bei 90°C/70°C. Die Warmwasserversorgung erfolgt gebäudeabschnittsweise mit zentralen Gaswarmwasserspeichern.

4.2.3 Bestandsanalyse „Gründerzeitgebäude“ in der Blockrandbebauung

Das typische Gründerzeitgebäude wurde 1840 als Teil einer Wohnblockbebauung an der Grenze zur Inneren Stadt errichtet. 1900 erfolgte eine Erneuerung der straßenseitigen Schau-
fassade.



Nutzung: Wohnungen

Lage: Stadtzentrum

Stadtstruktur: Blockrandbebauung

Baubeginn: 1840 (Fassadengestaltung 1900)

Eigentümer: MA Graz - Amt für Wohnungsangelegenheiten

*BGF_{kond.} *:* 1.306 m²

A/V-Verhältnis: 0,37 1/m

*ohne Keller, ohne Dachgeschoss, ohne Stiegenhaus

Städtebauliche Lage



Das Grundstück befindet sich in am Rand des Grazer Altstadtzentrums (siehe Abb. (274)). Die südliche Straßenfront begrenzt den I. Stadtbezirk (Innere Stadt) und im Norden befindet sich ein geschlossener Innenhof. Das Gebäude wurde 1840 zusammen mit dem gesamten Block errichtet. Im Innenhof befindet sich ein weiteres Gebäude, das zu Beginn als Stall und nach einem späteren Umbau als Werkstatt diente. Erschlossen wird das Haupt- und Nebengebäude von der stark befahrenen Radetzkystraße aus. Von hier gelangt man durch den zentralen Torbogen zur Stiege und zum Hof. Der gemeinschaftlich genützte Innenhof dient zum Abstellen von Mopeds und Fahrrädern, Trockenplatz für Wäsche bzw. Müllplatz. Es sind kleinere Grünflächen vorhanden.



Abb. (274) Lage des Gründerzeitgebäudes im Stadtraum (bing_maps)



Abb. (275) Gründerzeitblock Außenansichten

Architektur

Das Gebäude wurde im Jahr 1840 von Baumeister Franz Xaver Aichinger als Teil einer frühgründerzeitlichen Wohnblockbebauung geplant und umgesetzt. Ursprünglich wurde die Fassade als siebenachsige Rieselputzfassade, mit gerader Verdachung in den ersten beiden Obergeschossen gebaut (diese ist beim Nebengebäude Nr.14 noch erhalten). Um 1900 wurde die Fassade mit unterschiedlichen Wandstrukturierungen im Übergangsstil vom Späthistorismus zum Jugendstil neu gestaltet (BDA (I), 1997, S. 441).

Die Grundrisse des Gebäudes sind im Wesentlichen aus der Errichtungszeit erhalten geblieben und beinhalten sechs Wohnungen mit jeweils fünf Zimmern (ca. 90 m² - 130 m²). Die gesamte Wohnfläche des Gebäudes beträgt ca. 670 m². Alle Räume liegen an Außenwänden und sind natürlich belichtet und belüftet. Über die Jahre wurden die Wohnungen teilweise dem heutigen Standard angepasst und mit neuen Sanitäranlagen versehen. Trotzdem sind noch Wohnungen mit Gangtoiletten vorhanden. Die nordorientierten Balkone der Hoffassade sind über den zentralen Erschießungsgang erschlossen.

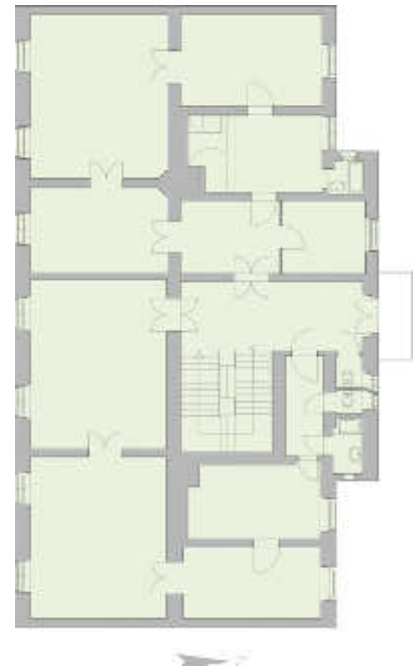
Abb. (276) Regelgeschoß
Blockrandbebauung (Stadtarchiv der Stadt
Graz)

Abb. (277) Gründerzeitblock Außenansichten

Nutzung

Typische frühgründerzeitliche Blockrandbebauung mit vorwiegend Wohnnutzung. Im Erdgeschoß befinden sich Büroräumlichkeiten, direkt erschlossen über den zentralen Durchgang. Weiters wird das ehemalige Stallgebäude im Innenhof genutzt. Der Umbau von zwei Wohnungen und ein Ausbau des Dachstuhles bedindet sich zurzeit in der Planungsphase. Diese Wohnungen werden geteilt und zu kleineren Wohnungen adaptiert. Zusätzlich wird eine Liftanlage im Innenhof errichtet und über die Balkone erschlossen.



Abb. (278) Gründerzeitblock Innenräume



Abb. (279) historische Aufnahme der Südseite Gründerzeitblocks (BDA (I), 1997, S. 441)

Denkmalschutz §2a-Verordnung,
entnommen (BDA (o), 2013, S. 37)

Vom Bundesdenkmalamt erwähnenswert ist die symmetrische siebenachsige Fassade mit einem zentralen Korbogenportal, die um 1900 in späthistoristisch-secessionistischen Formen erneuert worden ist sowie das zweipfeiler Stiegenhaus mit Eisengeländer. (BDA (e)).

Bauphysik

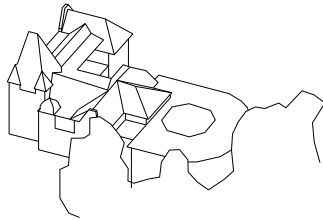
Mauermassensbau aus Ziegelmauerwerk, im Kellergeschoß Flachgewölbedecken, Zwischendecken als Holzbalkendecken, Dachstuhlkonstruktion aus Holz; Gebäudehülle ohne zusätzliche Dämmmaßnahmen. Die für seine Entstehungszeit charakteristische, nutzungsflexible Gebäudestruktur weist aus bauphysikalischer Sicht neben fehlender Wärmedämmung die Gebäudedurchfahrt im Raumverbund mit dem Stiegenhaus als typische Schwachstelle auf.

Gebäudetechnik

Das im Jahre 1840 erbaute Wohnhaus wurde um das Jahr 1900 erneuert. Für dieses Gebäude liegt derzeit kein Energieausweis vor. Die Wärmebereitstellung erfolgt zur Gänze dezentral. Da es für das Gebäude einen Gasanschluss gibt, sind im Keller des Gebäudes Gaszähler vorhanden. Die Wohnungen werden mittels Einzelöfen beheizt, wobei verschiedene Brennstoffe zum Einsatz kommen. Durch die dezentrale Wärmeversorgung sind im Gebäude keine Wärmeverteilungen vorhanden. Die Wärmeabgabe erfolgt aufgrund der dezentralen Wärmeversorgung direkt durch die Einzelöfen. Die Warmwasserbereitung erfolgt ebenfalls dezentral mittels elektrischen Warmwasserspeichern.

4.2.4 Bestandsanalyse „Kindergarten“ im Stadtrandgebiet

Das 1885/86 unter Gründer Richard Freiherr von Kraft-Ebing im Stil der Neorenaissance errichtete und 1902/03 erweiterte Sanatorium (Zubau mit Jugendstiltendenzen) wird heute als Kindergarten der Stadt Graz genutzt.



<i>Nutzung:</i>	Kindergarten
<i>Lage:</i>	Stadtrandgebiet Mariagrün
<i>Stadtstruktur:</i>	aufgelockert, vorstädtisch
<i>Baubeginn:</i>	1885 – 1886, Zubau 1903
<i>Eigentümer:</i>	Grazer Bau-und Grünlandsicherung Ges.m.b.H
<i>BGF_{kond.} *:</i>	3.545 m ²
<i>A/V-Verhältnis:</i>	0,32 1/m

*mit Keller und ohne Dachgeschoss

Städtebauliche Lage



Das bestehende Gebäude befindet sich am Rand des XI. Grazer Stadtbezirkes Mariatrost, im Bereich des Rosenberges (siehe Abb. (280)). Die Schönbrunngrasse begrenzt den westlichen Teil zum III. Bezirk Geidorf. Das Gebäude liegt nord-östlich, ca. 2,4 km (Luftlinie) vom Stadtzentrum entfernt. In unmittelbarer Umgebung befinden sich hauptsächlich Wohnhäuser aus unterschiedlichen Bauperioden. Auf dem Grundstück wurde vor ca. drei Jahren eine Kindergrube errichtet weiters ist der Bau eine Volksschule in Planung. Erschlossen wird das Grundstück über die im Nord-Westen liegende Schönbrunngrasse und den östlichen Dr.-Stichl Weg.



Abb. (280) Lage des Kindergartens im Grazer Stadtraum (oben) und Stadtstruktur (unten) (bing_maps)

Architektur

Das Sanatorium wurde als repräsentatives zweigeschossiges Gebäude gebaut und lässt heute noch den damaligen Charakter erkennen. Entsprechend der beiden unterschiedlichen Bauphasen gliedert sich der ältere Bauteil im Stil des Historismus und der Zubau lässt Ansätze des beginnenden Jugendstils erkennen. Architektonisch gliedert sich das Gebäude mit den mächtigen südlichen Eckturm an Schlossbauten. Weitere Gestaltungselemente des Gebäudes sind ein Erker mit glockenförmigem Blechdach, eine zweibölgige Arkade mit toskanischer Säule und mehrfach abgetreppter Giebel. In den 70iger Jahren wurde die historische Kuppel des Zubaus durch eine Stahlbetonkuppel mit Platonluxoberlichten ersetzt. Weiters wurde im Jahr 2000 an der Nordseite eine Fluchtstiege angebaut. Ein historisches Foto zeigt, dass der Schopfwalmgiebel an der Hofseite nachträglich gebaut worden ist (siehe Abb. (285)). Ursprünglich waren hier nur Walmdächer. Erschlossen wird das Gebäude über einen nachträglich vorgebauten Windfang hofseitig (BDA (j), 2009).

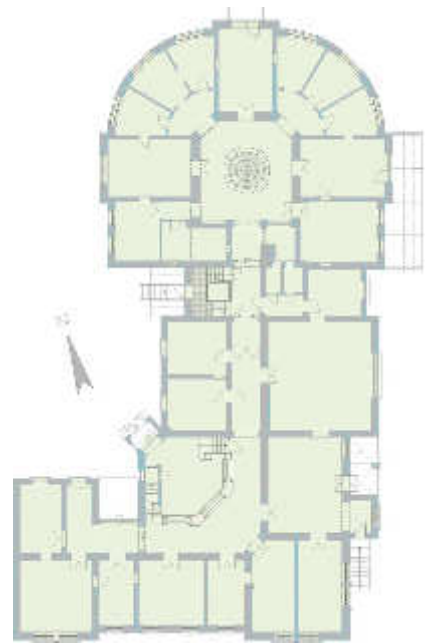


Abb. (281) Erdgeschoss Kindergarten (GBG_Graz)



Abb. (282) Kindergarten Außenansichten

Nutzung

Das Sanatorium wurde 1885 unter der Führung von Prof. Dr. Richard Freiherr von Krafft-Ebing gegründet. Die Privatklinik Mariagrün hatte sich auf die Behandlung von Nervenleiden spezialisiert, und war weit bekannt. 1902-1903 wurde unter der Leitung Dr. Anton Stichls der nördliche Teil angebaut. Bis ungefähr 1930 wurde es als Sanatorium weitergeführt und nach dem Zweiten Weltkrieg teilweise als Säuglingsheim genutzt. Heute dient es als Kindergarten der Stadt Graz (BDA (j), 2009).



Abb. (283) Kindergarten Innenansichten



Abb. (284) *Innenansicht Öffnung Rundbau*

Denkmalschutz



Abb. (285) *historische Aufnahme der Südfassade des damaligen Säuglingsheims um 1960 (Stadtarchiv der Stadt Graz)*

Denkmalschutz durch Bescheid gemäß § 2 DMSG, entnommen (BDA (o), 2013, S. 62)

Die Außenbauteile sind größtenteils im Originalzustand. Einzig die Stahlbetonkonstruktion über den Erweiterungsbau wurde 1960 erneuert. Die Fenster sind durchwegs im Originalzustand und werden vom Bundesdenkmalamt als schützenswert angesehen. Historische Bedeutung erlangt das Sanatorium durch den Psychiater Univ.-Prof. Dr. Richard Freiherr von Krafft-Ebing (1840-1902). In kulturgeschichtlicher Hinsicht ist das Gebäude durch die prominenten Patienten wie Komponist Emmerich Kalman sowie Herzogin Adelheid von Schleswig-Holstein (Schwiegermutter des deutschen Kaisers Wilhelm II.). Weiters ist eine Gedenktafel in der Nähe des Einganges vom Bundesdenkmalamt erwähnt: „Der größte Ungarische Dichter des Zwanzigsten Jahrhunderts „Endre Ady (1877-1919) sucht im Frühjahr 1913 in diesem ehemaligen Sanatorium seine Heilung. Die Ungarische Volksrepublik hat diese Gedenktafel zu Ehren des Dichters errichtet“ (BDA (j), 2009).

Bauphysik

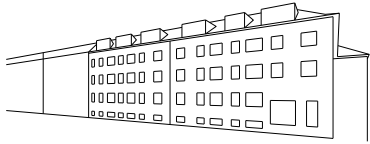
Das Bauwerk wurde in beiden Bauphasen als Mauermassenbau aus Vollziegelmauerwerk errichtet. Zwischendecken und Dächer bestehen aus Holzkonstruktionen, die Kellerdecken in der ersten Bauphase aus Flachgewölbedecken, die Kastenfenster sind sowohl mit Wiener-, als auch mit Grazer Stock ausgeführt. Der ursprüngliche Glaskuppelaufbau des Zubaus wurde 1960 durch eine Stahlbeton-Glaskonstruktion ersetzt. Das sehr komplexe Gebäudes ist vor allem im Bereich der Gebäudehülle sanierungsbedürftig, weist keine wärmedämmenden Maßnahmen auf und zeigt kritische Konstruktionen im Bereich der Flachdächer, des Lichthofes und des Kuppelbauwerkes.

Gebäudetechnik

Das Gebäude in der Schönbrunnngasse wurde 1885/86 errichtet und wird als Kindergarten genutzt. Der Heizwärmebedarf wurde mittels Energieausweisberechnung (Grazer Energie Agentur) mit 172 kWh/(m²a) ermittelt. Die Wärmebereitstellung erfolgt mit Hilfe von zwei Brennwert-Gasheizkesseln (Remeha Gas 210 Eco – Baujahr 2003) mit einer Nennleistung von jeweils 171 kW. Aufgrund des Zustandes der vorhandenen Anlage könnte diese ohne Probleme auch nach einer Sanierung verwendet werden. Der Nebenraum der Energiezentrale steht leer, wodurch die Unterbringung von Pufferspeichern bei Verwendung von regenerativen Energiequellen denkbar wäre. Die Wärmeverteilung erfolgt über ein Leitungssystem, welches von der Heizungszentrale aus durch das gesamte Gebäude geführt wird. Die Leitungen sind größtenteils gedämmt und müssen nicht zwangsläufig saniert bzw. ausgetauscht werden. Da es sich um ein zentrales Heizungssystem handelt, werden alle Radiatoren des Gebäudes von der Energiezentrale aus versorgt. Dabei verlaufen die Versorgungsleitungen an der Decke des Kellergeschoßes 1 und werden an einigen Stellen in die oberen Geschoße geführt. Im Gebäude befindet sich ein Lichtschacht, welcher im Moment unbenutzt ist. Da er durch alle Geschoße führt, wäre er ideal zur Verteilung möglicher haustechnischer Medien im Falle einer Sanierung. Die Wärmeabgabe erfolgt größtenteils über Gussgliederradiatoren (teilweise auch Flächenradiatoren), allerdings überwiegend mit Holzvorsätzen aufgrund der hohen Oberflächentemperaturen (Berührungsschutz für die Kinder). Dadurch werden aber wiederum noch höhere Systemtemperaturen benötigt um die Heizlast abzudecken, was zusätzlich zu Behaglichkeitsdefiziten führt. Die Auslegung der Radiatoren erfolgte aufgrund des Baualters wahrscheinlich mit Temperaturen von 90°C/70°C. Aufgrund der Brennwertheizanlage und der üblichen Überdimensionierung in der Auslegung werden die tatsächlichen Systemtemperaturen auf 60°C/50°C geschätzt. Das Warmwasser wird trotz erheblicher Distanzen zentral bereitgestellt. Ein kleiner Warmwasserspeicher wird von den Gasheizkesseln versorgt, außerhalb der Heizperiode wird dies durch eine E-Heizpatrone bewerkstelligt.

4.2.5 Bestandsaufnahme „Siedlungshaus“ aus der Zwischenkriegszeit

Vinzenz Muchitsch Strasse - Reihenhäuser – Arbeiterquartier aus der Zwischenkriegszeit, fertiggestellt im Jahr 1931. Vom Stadtplanungsamt Graz geplante 3-4 geschoßige um einen nach Norden hin offenen Hof gruppierte Wohnanlage.



<i>Nutzung:</i>	65 Mietwohnungen
<i>Lage:</i>	Stadtgebiet
<i>Stadtstruktur:</i>	offene Blockrandbebauung
<i>Baubeginn:</i>	1930
<i>Eigentümer:</i>	MA Graz - Amt für Wohnungsangelegenheiten
<i>BGF_{kond.} *:</i>	1.138 m ²
<i>A/V-Verhältnis:</i>	0,36 1/m

*mit Dachgeschoss und ohne Keller

Städtebauliche Lage



Die beiden betrachteten Gebäude liegen im V. Stadtbezirk Gries, südlich des Griesplatzes und ca. 2,5 km von der Inneren Stadt entfernt (siehe Abb. (286)). In der direkten Umgebung befindet sich die Strafanstalt Karlau und die Triestersiedlung I. Der gesamte Gebäudekomplex Triestersiedlung II wird von der Weissenhofgasse, der Vinzenz-Muchitsch-Straße, Auf der Tändelwiese und der Triesterstraße umgrenzt. Erschlossen wird die Siedlung im Norden über zwei Zufahrten für Autos und im Süden durch zwei Unterführungen für Fußgänger. Im gemeinschaftlichen Innenhof befindet sich ein Kinderspielfeld, Abstellflächen für PKW und Wäschehängen.



Abb. (286) Lage der Arbeitersiedlung im Grazer Stadtraum (oben) Stadtstruktur (mitte) (bing_maps) und Hoffassade

Architektur

Die Anlage wurde von 1925-1930 vom Stadtbauamt Graz geplant und 1930-1931 erbaut. „Ähnlich der rund 10 Jahre älteren, doch weniger bedeutenden Siedlung „I“ wurde der hof förmige Gesamtgrundriss gewählt, bei dem die Erschließung der Häuser geschützt vor der Umgebung vom nach Norden offenen Hof aus erfolgt. Dieser wird südseitig durch Hofeinfahrten, welche in der Vinzenz Mutschisch-Straße in schmalen rückversetzten Verbindungsbauten zwischen den Armen des Hofgevierts sitzen, aufgeschlossen. Die einzelnen Grundrisse sind als Vierspänner ausgebildet, verfügen über drei oder vier Geschosse und tragen sich verschneidende Walmdächer mit Tonziegeldeckung. Trotz des zur Entstehungszeit vorherrschenden Sparzwanges bekam die Triestersiedlung II einen baukünstlerisch ambitionierte Fassadierung, die straßen- und hofseitig einem gleichartigen Konzept unterliegt.“ Hofseitig sind die beiden Häuser viergeschossig, wobei der Keller als Wohnraum ausgebaut ist (BDA (d)). Erschlossen werden die Gebäude über den Innenhof, von dem man in das Stiegenhaus gelangt, welches zu den um ein halbes Geschoss versetzten die Wohneinheiten bzw. den Kellerräumen führt.



Abb. (287) *Regelgeschoß Arbeitersiedlung*
(Stadtarchiv der Stadt Graz)



Abb. (288) *Arbeitersiedlung Außenansichten*

Nutzung

Im Jahr 1921 beschloss die Gemeinde den Bau einer Wohnanlage, bestehend aus 26 Wohnhäusern mit 234 Kleinwohnungen. Dieses Projekt wurde zwischen 1921 und 1928 in vier Ausbauphasen realisiert. Die Gemeinde legte damit den Grundstein für eine der größten geschlossenen Gemeindebausiedlungen im Grazer Raum. Die erste Anlage wurde 1930 durch einen Komplex von neuen Wohnungen südöstlich des ersten an der Tändelwiese erweitert. 1938 bis 1945 kam es zu einer planmäßigen Erweiterung der Triester Siedlung gegen Osten bis zur Hergottwiesgasse. Der Charakter der Häuser änderte sich. Vom Wohnblock, der einen größeren Hofraum umschließt, ging man zu zwei- bis dreigeschossigen Mehrfamilienhäusern in Reihenbebauung über.“ (BDA (m), 1984, S. 421)



Abb. (289) *Arbeitersiedlung Innenansichten*

Denkmalschutz



Abb. (290) historische Aufnahmen der
Arbeitersiedlung am 09.06. 1955 (Stadtarchiv der
Stadt Graz)

Denkmalschutz durch Bescheid gem § 2 DMSG, entnommen (BDA (o), 2013, S. 53)

Auszug aus dem Bescheid des Bundesdenkmalamtes: „Die geschichtliche, künstlerische und kulturelle Bedeutung der „Triestersiedlung II“ liegt darin, dass es sich bei ihr um ein charakteristisches Beispiel des sozialen Wohnbaues in der Stadt Graz um 1930 handelt, welcher eingebunden ist in einen der größten zusammenhängenden entstandenen Siedlungsräume der Stadt. In ihrer über den übrigen Bauten stehenden architektonischen Qualität dokumentiert sie eine durch wirtschaftliche Gegebenheiten bedingte sparsame, dabei doch lebendige, von Gestaltungswillen und – können geprägte Architekturauffassung der Zwischenkriegszeit, welche auf die Bedürfnisse der Bewohner durch eine großzügige und den sozialen Erfordernissen entsprechende Hofgestaltung ausgerichtet ist und dabei auch in den subjektiv unsicheren Zeiten eine spezifische Verteidigungsstellung indiziert. Trotz ihrer relativ geringen Größe lässt sich die Triestersiedlung II in eine Reihe stellen mit den bekannteren kommunalen Wohnbauten Wiens in der Zwischenkriegszeit und ist damit für den Raum Graz ein bauhistorisches und soziokulturelles Dokument.“ (BDA (d))

Bauphysik

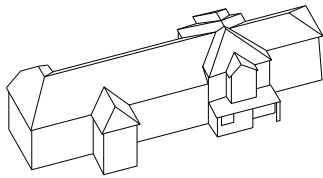
Mauermassenbau aus Ziegelmauerwerk, im Kellergeschoß Flachgewölbedecken, Zwischendecken als Holzbalkendecken, Dachstuhlkonstruktion aus Holz; Die ursprüngliche Gebäudehülle ist ohne zusätzliche Dämmmaßnahmen ausgeführt. Die Dachgeschoßausbauten sind der Bauzeit entsprechend wärmedämmtechnisch ausgestattet. Neben dem unbeheizten Stiegenhaus sind die Bereiche der zum Teil provisorisch geschlossenen und als Teil des Wohnraums genutzten Loggien als besonders kritisch zu beurteilen. Diese stellten ursprünglich den Lüftungsbereich der dahinter liegenden Nebenräume dar, bestehen aus feingliedrigen Betonbauteilen und sind durch massive Schimmelbildung extrem in Mitleidenenschaft gezogen. Besonders zu beachten sind die Übergangsbereiche zwischen gedämmten Dachgeschoß und ungedämmter Außenmauer.

Gebäudetechnik

Das Gebäude in der Vinzenz-Muchitsch-Straße wurde 1930/1931 erbaut und als Wohngebäude genutzt. Der Heizwärmebedarf liegt laut Energieausweis (ARGE Prüftechnik) bei 133 kWh/(m²a). Um diesen Bedarf zu decken erfolgt die Wärmeversorgung zum Teil über Fernwärme, teilweise sind allerdings Einzelöfen in den jeweiligen Wohnungen angebracht. Diese Einzelöfen werden mit unterschiedlichen Brennstoffen betrieben, sowohl Heizöl und Gas als auch Festbrennstoffe wie Holz und Kohle. Eine Wärmeverteilung ist nur im Falle der Versorgung mit Fernwärme vorhanden. Diese wird durch die Stiegenhäuser der Gebäude geführt und dann in die einzelnen Wohnungen geführt. Die Verteilungen die durch das unkonditionierte Stiegenhaus bzw. im Keller geführt werden sind durchgehend gedämmt. Die Wärmeabgabe erfolgt im Falle der Fernwärme über Flächenradiatoren. In den anderen Wohnungen erfolgt die Abgabe direkt von den Einzelöfen in den Raum. Aufgrund der nachträglichen Ausstattung einiger Wohnungen mit Radiatoren (durch Anschluss an die Fernwärme) liegen die Systemtemperaturen laut Energieausweis bei 70°C/50°C. Die Warmwasserbereitung erfolgt ebenfalls dezentral, die Wohnungen sind mit elektrischen Warmwasserbereitern ausgestattet.

4.2.6 Bestandsanalyse „Schulgebäude“

1885 erbauter und 1930 Gestalt prägend erweiterter Schulbau (frühe Moderne). Ein aktuell vorgesehener Zu- und Umbau befindet sich in der Planungsphase.



<i>Nutzung:</i>	Schule
<i>Lage:</i>	Stadttrandgebiet St. Peter
<i>Stadtstruktur:</i>	aufgelockert, vorstädtisch
<i>Baubeginn:</i>	1885, 1930 Umbau
<i>Eigentümer:</i>	Grazer Bau- und Grünlandsicherung Ges.m.b.H
<i>BGF_{kond.} *:</i>	2.114 m ²
<i>A/V-Verhältnis:</i>	0,40 1/m

*mit Keller und ohne Dachgeschoss

Städtebauliche Lage



Das Gebäude liegt im 8. Grazer Stadtbezirk und ist ungefähr 3,5 km (Luftlinie) vom Zentrum entfernt (siehe Abb. (291)). In der direkten Umgebung befinden sich eine Kirche mit Pfarrhof, der Friedhof sowie typische Einfamilienhausbebauungen. Außerdem weist die Umgebung einen ländlichen Charakter auf, östlich der Thomas-Arbeiter-Gasse gibt es noch landwirtschaftlich genutzte Flächen. Erschlossen wird die Volksschule über die Thomas-Arbeiter-Gasse am nord-westlichen Teil des Grundstückes.



Abb. (291) Lage des Schulgebäudes im Grazer Stadtraum (oben) Stadtstruktur (unten) (bing_maps) und Fassade

Architektur

Das Volksschulgebäude wurde 1885 gebaut und 1930 durch einen Sanitärzubau erweitert. Hinsichtlich der Kubatur und der formalen Gestaltung ist das Gebäude bis heute weitgehend erhalten. Das zweigeschossige Bauwerk hat eine horizontal gegliederte Fassade, die Gestaltprägende Elemente der frühen Moderne zeigt. Erschlossen wird das Gebäude über den im Osten liegenden Haupteingang aus 1930 und im Inneren über einen, im Osten an der Außenwand liegenden Gang. Die vertikale Erschließung erfolgt über jeweils ein Stiegenhaus im Norden und im Süden (BDA (e)).



Abb. (292) Außenansicht Schulgebäude

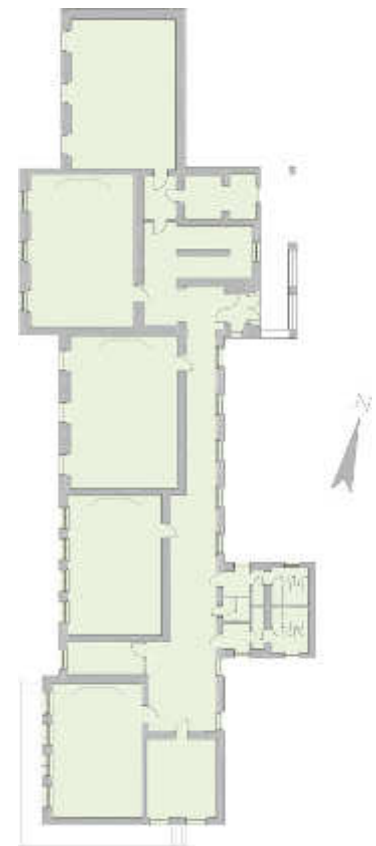


Abb. (293) Erdgeschoß Schulgebäude (GBG_Graz)



Abb. (294) Schulgebäude Innenansichten

Nutzung

Das erste Schulgebäude in St. Peter bei Graz gab es bereits 1685 im Eigentum der Kirche. 1885 wurde das heutige Schulgebäude errichtet und seit damals als Schule genutzt. 1930 wurde aufgrund von Platzmangel an das Schulgebäude erweitert bzw. weiter ausgebaut (Volksschule Graz - St. Peter). Der aktuelle Zu- und Umbau befindet sich zurzeit in der Planungsphase.

Denkmalschutz § 2a – Verordnung, entnommen (BDA (o), 2013, S. 59)

Vom Denkmalamt besonders erwähnt wird die zweiläufig, gegensinnige Treppe mit Eisengeländer von 1930, eine zweiläufig gegensinnige Treppe mit Mauerkern und die originale Eingangstüre von 1930 (BDA (e)).

Bauphysik

Mauermassenbau aus Ziegelmauerwerk, im Kellergeschoß Flachgewölbedecken, Zwischendecken als Holzbalkendecke, oberste Geschoßdecke als Dippelbaumdecke, Dachstuhlkonstruktion aus Holz; Gebäudehülle ohne zusätzliche Dämmmaßnahmen. Besonders zu beachten sind die sowohl durch aufsteigende Feuchtigkeit bzw. auch durch drückendes Wasser teilweise stark durchnässten Bereiche des Untergeschosses, vor allem im Hinblick auf aktuelle und künftige Verwendung dieser Bereiche als Nutzräume.

Gebäudetechnik

Die Volksschule St. Peter in der Thomas-Arbeiter-Gasse 12 wurde 1885 erbaut und 1930 unter anderem durch sanitäre Einrichtungen erweitert. Für dieses Gebäude liegt derzeit kein Energieausweis vor, aus bisherigen Abrechnungen konnte allerdings ein Mittelwert der tatsächlich eingesetzten Heizenergie von 216 MWh/a (Abrechnungen 2004-2008 heizgradtagbereinigt) entnommen werden. Die Wärmeversorgung wird mittels Fernwärmeanschluss bewerkstelligt. Die Heizzentrale liegt im Keller des Schulgebäudes. Die Verteilungen im Kellergeschoß verlaufen entlang des Ganges und sind im unkonditionierten Bereich größtenteils gedämmt. Der Hauptstrang der Wärmeverteilung verläuft im Kellergeschoß. Die Wärmeabgabe erfolgt überwiegend durch Gussgliederradiatoren. Die Heizkörper sind allerdings im Gegensatz zum Objekt Schönbrunnsgasse 30 nur in einzelnen Räumen verbaut, wodurch die Wärmeabgabe nicht negativ beeinflusst wird. Bedingt durch die Wärmebereitstellung durch Fernwärme sowie die eingebauten Heizkörper und das Baualter liegen die Systemtemperaturen wahrscheinlich bei 90°C/70°C. Die Warmwasserbereitung erfolgt zentral, wodurch hohe Leitungsverluste entstehen.

4.2.7 Lessons Learned aus der bauphysikalischen Bestandsaufnahme

Michael Grobbauer, Friedrich Mooshammer

Die Bestandsaufnahme der fünf Grazer Referenzgebäude sollte einerseits Informationen über die Gebäude selbst und somit über die Ausgangslage der Sanierungsplanung liefern. Die Ergebnisse dazu zeigen die vorgegangenen Kapitel 4.2.1 bis Kapitel 4.2.6. Andererseits sollte aber auch die Bestandsaufnahme selbst einen prototypischen Charakter aufweisen und generalisierbare Aussagen über erfolgsversprechende Vorgangsweisen und besondere Schwierigkeiten bei der Bestandsaufnahme historischer denkmalgeschützter Gebäude zulassen. Dieser Zielsetzung folgend wird zunächst die im Rahmen der bauphysikalischen Bestandsaufnahme angewandte Vorgangsweise dargestellt um in der Folge daraus in der Form der „lessons learned“ Erkenntnisse ziehen zu können.

1) Studium der Planunterlagen

Als Basis der Bestandsaufnahme wurden im Rahmen des Projektes recherchierte Pläne aus unterschiedlichen Quellen verwendet. Aufgrund des ersten Planstudiums konnten unterschiedliche Bauphasen mit den zugehörigen typischen Bauweisen sowie die Raumnutzung und die thermische Gebäudehülle identifiziert werden.

2) Studium ergänzender Unterlagen

Ergänzend zum Planmaterial wurden alle weiteren vorliegenden Dokumente gesichtet und ausgewertet. Für die Mehrzahl der Referenzgebäude standen die folgenden Unterlagen zur Verfügung:

- Befund des Bundesdenkmalamtes
- Energieausweis
- Beschreibung der Gebäudetechnik insbesondere des Heizsystems
- Thermografieberichte

3) Erstbegehung

Im Zuge einer ersten Begehung wurden Abweichungen des Bestandes zum Planmaterial hinsichtlich Gebäudegeometrie, Konstruktion und Nutzung recherchiert und erforderlichenfalls in das Planmaterial eingearbeitet.

4) Festlegung des Arbeitsplans

Auf Basis der vorhergehenden Recherche und in Abstimmung mit den Projektpartnern hinsichtlich der Arbeitspakete im Rahmen des Projektes wurden der Arbeitsumfang und die Schwerpunkte der Aufnahme und Analyse festgelegt und mithilfe des Formulars Arbeitsplan festgehalten. Aufgrund der Projektschwerpunkte lag das vordringliche Augenmerk auf der Befundung der thermischen Gebäudehülle inkl. Fenster im Hinblick auf Wärmeschutz und Feuchteschutz (Bauweise und Bauteilaufbauten, sichtbare Feuchteschäden, Schimmel, Luftdichtheit). Die Schwerpunktsetzung war erforderlich, da eine vollständige Befundung weder den Projektzielen dienlich noch in der zur Verfügung stehenden Arbeitszeit bewältigbar war. Abb. (295) zeigt ein Beispiel unter zuhulfenahme folgender Gliederung:

- Projekt
- Grundlagen
- Begehung/Befundung
- Thermographie
- Anforderung Projektpartner
- Ausarbeitung
- sonstiges

Arbeitsplan Bauphysikalische Bestandsaufnahme			Schönbrunnngasse 30			
Projekt	Objektkategorie	Öffentliches Gebäude, derzeit als Kindergarten/Kinderkrippe genutzt				
	Themenschwerpunkte	Kastenfenster, Innendämmung; hygrothermische Simulationsberechnungen				
	Projektspezifische Besonderheiten	Im selben Objekt Projekt "OEKO-ID Innendämmung zur thermischen Gebäudeertüchtigung"				
	allgemeines	Erstbesichtigung mit M.Grobbaier und H.Hengsberger ist am 18.02.2011 erfolgt. Versuchsaufbau OEKO-ID von H.Hengsberger erläutert. Ist umfangreichstes Projekt; Wird als erstes Referenzprojekt beispielhaft bearbeitet werden (erhöhter Zeitaufwand).				
	Gegenstand der Bestandsaufnahme	Erhebung von Bauteilaufbauten: thermischen Gebäudehülle-Wände, Fenster und Türen, Dächer, Oberste Geschosßdecke gegen unbeheizten Dachraum, erdberührter Boden. Fensterkonstruktionen im Hinblick auf Themenschwerpunkt. Aufbau Zwischendecke (Einbindung Decke).Feststellen und Zuordnen sichtbarer Schäden am Bauwerk: Durchfeuchtung , Befall mit Schimmelpilz nach Augenschein; vor allem in den genutzten Bereichen des UG; Sockelbereiche. Untersuchung vermuteter kritischer Konstruktionspunkte am Gebäude: Loggien, Balkone, Dachterrasse mit Wandanschlüssen, Lichthof, Kuppelaufbau im Zubaubereich,Durchdringungen mit Stahlbauteilen. Untersuchung vermuteter kritischer Gebäudeteile: Mehrgeschossiger Halle im Eingangsbereich, Mehrgeschossige Halle im Bereich des Kuppelaufsatzes mit abschließendem verglasten Dachterrassenraum. Untersuchung von Nutzungsspezifika: Nutzungsintervalle (Ferien) Nutzräume im UG. Bautechnische Aspekte der Gebäudetechnik: Unterbindung Wärmeabgabe durch Verbauten				
Grundlagen	Aufgabe	Beschreibung	Zeitaufw.	h ges	Bilder, Skizzen	
	Planunterlagen	Sichtung und Analyse		0		
	Dokumente	Sichtung und Analyse				
	Erstbesichtigung	Überprüfung im Hinblick auf Aufgabenstellung				
	Besprechungen	zu Aufgabenstellung und Durchführung der Bestandsanalyse				
Begehung/Befundung	1. Begehung	Bestandsanalyse thermische und funktionelle Gebäudehülle und Sachverhalte zum Projektschwerpunkt, Festlegen notwendiger Befundungen, Bilddokumentation		0		
	2.Begehung	Ergänzen fehlender Informationen				
	1. Befundung	Detailbetrachtungen von Bauteilen zur Feststellung von Aufbauten und Sachverhalten auf Basis der Erkenntnisse aus den Begehungen				
	2.Befundung	Vorbereitungen der Erhebungen; Dokumentation und Einarbeitung in Bestandsaufnahme				
	Vorbereitung Auswertung	Vorbereitungen der Erhebungen; Dokumentation und Einarbeitung in Bestandsaufnahme				
Thermografie	Standarderhebung	Fassaden thermische Außenhülle	extern	0		
	zum Themenschwerpunkt	2 Fenster, innen/außen, im Bereich des Versuchsraumes (vorraussichtlich Raum D14), Wiener Stock	extern			
	zum Themenschwerpunkt	2 Fenster Großformat , innen/außen, im Bereich der Gruppenräume UG, teilweise erdberührt (vorraussichtl. Raum 108 und 110) Wiener Stock	extern			
	zum Themenschwerpunkt	(2 Fenster, innen/außen, im Bereich Hoffassade 1xGrazer Stock, 1x Wiener Stock; wenn vorhanden)	extern			
	zum Themenschwerpunkt	Wand innen., außen im Bereich der Versuchsanordnung Innendämmung	extern			
	projektspezifisch	Kuppelaufsatz im Bereich des Zubaus von Dachterrasse aus	extern			
	Auswertung	Vorbereitung,Dokumentation und Einarbeitung in Bestandsaufnahme				
Anforderungen Projektpartner				0		
Ausarbeitung	Aufgabenstellung	kurze Beschreibung		0		
	Grundlagen	Auflistung vorhandener Dokumente, Bilddokumentation				
	Bauteilübersichten	Erstellen von schematischen Planübersichten und einer Bauteilliste				
	Bauteilformulare	pro Bauteil anhand Bauteilformular				
	Schwachstellenanalyse	Darstellung anhand Gebäudeformular				
	Bes. Raumkonfigurationen	Darstellung anhand Gebäudeformular				
	Nutzungsspez. Betrachtungen	Darstellung anhand Gebäudeformular				
	Baukonstr. Aspekte GT	Darstellung anhand Gebäudeformular				
sonstiges	Nachbearbeitungen	im Projektverlauf		0		
Zeitaufwand				0		

Abb. (295) Arbeitsplan bauphysikalische Bestandsaufnahme
Anmerkung: der Analyseaspekt des Brandschutzes wurde nicht berücksichtigt

5) Aufnahme und Analyse der Bauteile mit Schwerpunkt Gebäudehülle

Durch ev. auch mehrmalige Begehung wurden die Bauteile augenscheinlich befundet, durch Fotos dokumentiert und planlich verortet sowie darauf aufbauend analysiert. Als Hilfsmittel diente ein Formular zur Beschreibung der Bauteile, das folgende Struktur aufweist.

- ◆ Allgemeine Bauteilbeschreibung
- ◆ Bezeichnung
- ◆ Lage im Objekt
- ◆ Funktion als Trennbauteile (angrenzende Klimate)
- ◆ Zusammenfassende Bewertung des Bauteilzustandes
- ◆ Konstruktionstypologie (z.B. Kompaktkonstruktion, hinterlüftete Konstruktion)
- ◆ Bauteilaufbau
- ◆ Schichtenfolge
- ◆ Bauteilskizze
- ◆ Kennwerte des Wärme- und Schallschutzes
 - Im Rahmen der Analyse wurde lediglich der U-Wert ermittelt, da die Kennwerte des Schallschutzes nicht projektrelevant sind. Die U-Wertermittlung erfolgte anhand der Zuordnung des Bauteils zu typischen Konstruktionen aus der Literatur⁹ und im Ausnahmefall durch Berechnung. Materialkennwerte wurden der Literatur entnommen, Probenentnahme und Feststellung von Materialkennwerten wurden nicht durchgeführt.
- ◆ Bauteilbewertung nach Anforderungsgruppen – Zustand des Bauteils hinsichtlich:
 - Wärmeschutz (Winterlicher WS, Sommerlicher WS, Luftdichtheit, Wärmebrücken)
 - Feuchteschutz (Schlagregen, Feuchte im Baugrund, Frostgefährdung)
 - Kondensationsschutz (Strömen und Diffundieren von Wasserdampf, Bauteil- und Oberflächenkondensat, Schimmel, Art und Zustand von Dampfbremsen/sperren und Konvektionsbarrieren)
 - Tragwerk (Tragsicherheit, Gebrauchstauglichkeit, sichtbare Schäden, Verformungen, Fugen)
 - Bauakustik (Körper- und Trittschall, Luftschall)
 - Mechanische und chemische Beanspruchung (Zustand der Oberfläche und ev. Einbauten wie Dichtungen u.dgl., mechanische Schäden bzw. Einwirkungen, Kondensat oder Leckwasser aus der Gebäudetechnik, Korrosion, UV-bedingte Schäden)
 - Haustechnik (am Bauteil befestigte Anlagenteile, Rohrdurchführungen u.dgl.)
 - Allgemeine Anforderungen (Bauteilanschlüsse, Durchdringungen, einbindende Bauteile wie Balkenköpfe, Ökologie, Nutzungssicherheit, thermische Beanspruchungen z.B. durch Besonnung und Farbgebung)

9

„U-Werte alter Bauteile – Arbeitsunterlagen zur Rationalisierung wärmetechnischer Berechnungen bei der Modernisierung“

Institut für Bauforschung e.V. Hannover, Fraunhofer IRB Verlag, 2005

„Handbuch für Energieberater“

Forschungsgesellschaft *Joanneum*, Graz-Institut für Energieforschung, Konrad Frey, Johannes Haas; Gefördert vom Bundesministerium für wirtschaftliche Angelegenheiten- Wohnbauforschung, April 1989

ON V 31, „Katalog für wärmeschutztechnische Rechenwerte von Baustoffen und Bauteilen“ Ausgabe 1. Dezember 2001

OIB- Richtlinie 6 „Energieeinsparung und Wärmeschutz“, Ausgabe April 2007 (gesetzliche Grundlage lt. Steiermärkischen Baugesetz)

„Energetische Gebäudemodernisierung, 2., erweiterte Auflage“, Institut für Bauforschung e.V., Fraunhofer IRB Verlag, 2010

„Typische Baukonstruktionen von 1860 bis 1960“, Band II, 6. Auflage, R. Ahnert, K.H. Krause, Huss-Medien GmbH Verlag Bauwesen, 2001

„Typische Baukonstruktionen von 1860 bis 1960“, Band 3, 7. Auflage, R. Ahnert, K.H. Krause, Huss-Medien GmbH Verlag Bauwesen, 2009

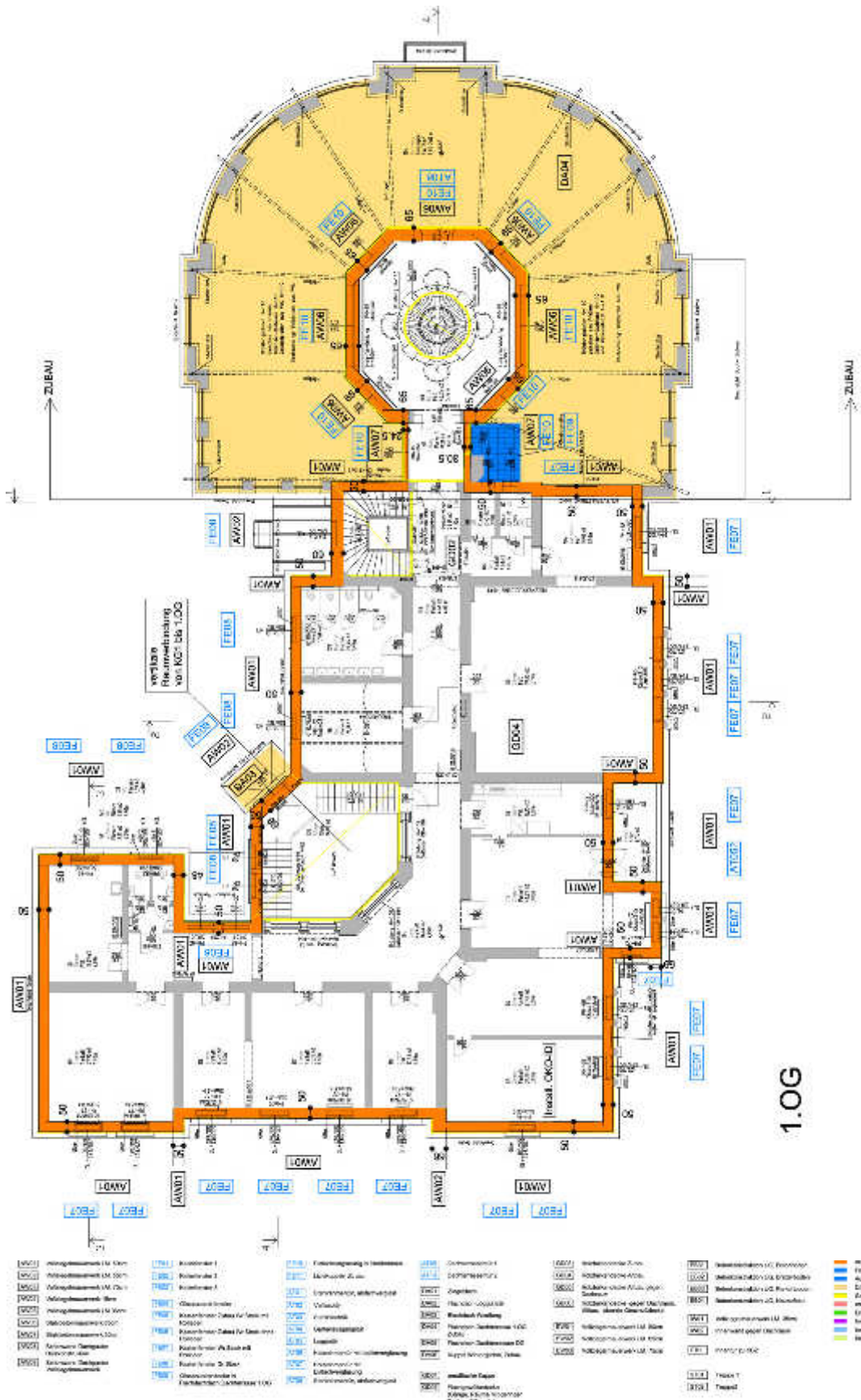


Abb. (296) *Plandarstellung bauphysikalische Bestandsaufnahme, Bauteile und thermische Gebäudehülle, Beispiel Grundriss 1. OG (Referenzgebäude Kindergarten Schönbrunngrasse). Darstellung ohne Maßstab. Eine maßstabsgerechte Darstellung findet sich im Annexbericht „Bauphysikalische Bestandsaufnahme“.*

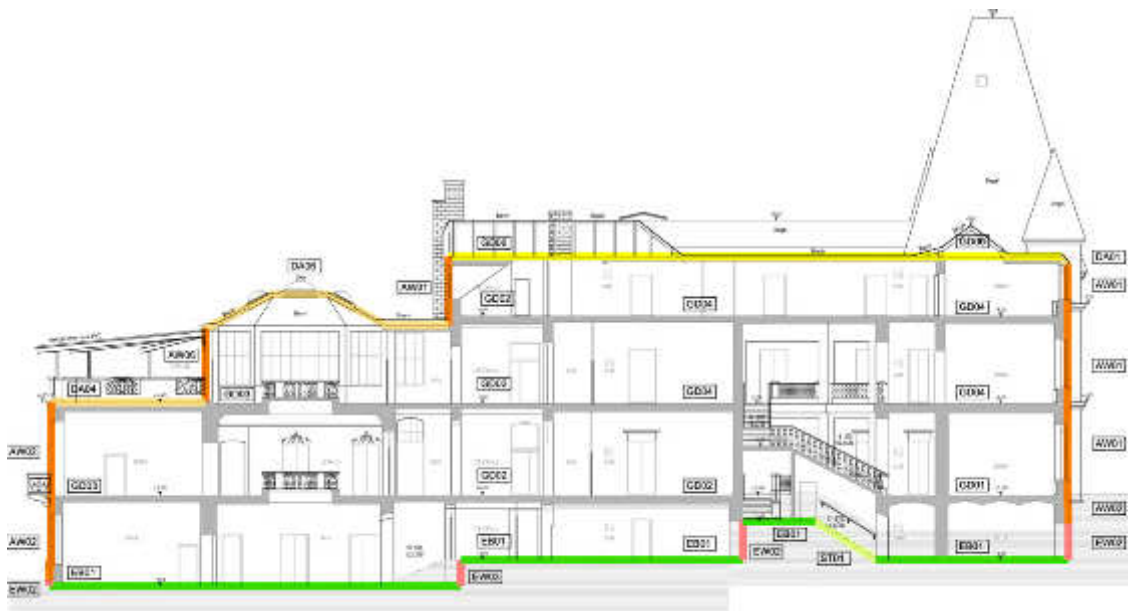


Abb. (297) Plandarstellung bauphysikalische Bestandsaufnahme, Bauteile und thermische Gebäudehülle. Schnitt 4-4 (Referenzgebäude Kindergarten Schönbrunnngasse) Darstellung ohne Maßstab.

AW01	Vollziegelmauerwerk i.M. 50cm	PE01	Kellerfenster 1	PE10	Einfachverglasung in Stahlrahmen	AT09	Dachtraumwärde 1
AW02	Vollziegelmauerwerk i.M. 45cm	PE02	Kellerfenster 2	PE11	Leitkuppeln Zubau	AT10	Dachtraumwärde 2
AW03	Vollziegelmauerwerk i.M. 75cm	PE03	Kellerfenster 3	AT01	Stahlrahmen, einfachvergl.	DA01	Ziegeldach
AW04	Vollziegelmauerwerk i.M. 15cm	PE04	Glasbauteilfenster	AT02	Vollbau	DA02	Flachdach Lugga EG
AW05	Vollziegelmauerwerk i.M. 35cm	PE05	Kellerfenster Zubau W/Stock mit Rolläden	AT03	Stahlbau	DA03	Brechdach Windfang
AW06	Stahlbetonmauerwerk 65cm	PE06	Kellerfenster Zubau W/Stock ohne Rolläden	AT04	Gartenhausgalerie	DA04	Flachdach Dachterrasse 1.OG
AW07	Stahlbetonmauerwerk 30cm	PE07	Kellerfenster W/Stock mit Rolläden	AT05	Loggia	DA05	Flachdach Dachterrasse DG
AW08	Stahlbetonmauerwerk 30cm	PE08	Kellerfenster Gr Stock	AT06	Holzrahmen mit Isolierverglasung	DA06	Kuppel Wintergarten, Zubau
AW09	Stahlbetonmauerwerk 30cm	PE09	Glasbauteilfenster in Flachdach Dachterrasse 1.OG	AT07	Holzrahmen mit Einfachverglasung	DA07	peru. Kuppel
AW10	Stahlbetonmauerwerk 30cm	PE10	Glasbauteilfenster in Flachdach Dachterrasse 1.OG	AT08	Stahlrahmen, einfachvergl.	DA08	Hochgewölbte Decke (Dünge, Räume mit geringer Deckenstützweite)



Abb. (298) Plandarstellung bauphysikalische Bestandsaufnahme, Bauteile und thermische Gebäudehülle. Ansicht Ost (Referenzgebäude Kindergarten Schönbrunnngasse) Darstellung ohne Maßstab.

6) Schwachstellenanalyse und kritische Detailpunkte

Unter diesem Abschnitt wurden insbesondere unzureichend gelöste Detailpunkte der Bauteilanschlüsse analysiert und beschrieben sowie die Einwirkung von nicht geeigneten Bauteilen dokumentiert (z.B. ablaufendes Kondensat an Wärmebrücken u.dgl.). Detailanschlüsse, die im Zuge einer nachfolgenden thermischen Sanierung oder Nutzungsänderung Probleme bereiten werden (z.B. Wärmebrückenbildung, Durchdringungen der thermischen Gebäudehülle) wurden eher allgemein erfasst, da konkrete Nutzungsänderungen oder Sanierungsmaßnahmen zu diesem Projektzeitpunkt nicht bekannt waren.

7) Besondere Raumkonfigurationen

Erfasst wurden bauphysikalisch kritische Nutzungen, Umbauten und/oder Raumabfolgen mit Schwerpunkt klimabedingter Feuchteschutz und Behaglichkeit. Dabei wurden folgende typische Problembereiche und Folgen festgestellt:

- Hinsichtlich Wärmeschutz unzureichend abgeschlossene Räume werden als Aufenthaltsräume genutzt (z.B. Treppenhäuser, ehemalige Pufferräume), Folgen: erhöhte Wärmeverluste, unbehagliche Oberflächentemperaturen und Zugerscheinungen, Schimmel bei unzureichender Heizleistung.
- Räume mit feuchten Bauteilen werden als Aufenthaltsräume genutzt, Folgen: Erhöhte Lüftungswärmeverluste, ev. Schimmel, unbehaglich hohe Raumlufffeuchte.
- Ehemalige Außenräume wurden zu unbeheizten Pufferräumen (z.B. Lichthöfe überdacht), Folgen: Schimmel und Oberflächenkondensat durch einströmende warmfeuchte Raumluff.

8) Nutzungsspezifische Aspekte

Intermittierende oder wechselnde Nutzung von Räumen zeigte sich in drei wiederkehrenden Aspekten:

- Durch das Drosseln oder Deaktivieren von Heizungsanlagen in temporär nicht genutzten Räumen (leer stehend, Klassenräume in den Ferien, Kirchen, Andachtsräume und .dgl.) entstehen erhöhte Wärmeverluste an unzureichend gedämmten Trennbauanteilen zu permanent genutzten Räumen und durch das Einströmen feuchtwarmer Luft aus beheizten Gebäudebereichen erhöhte Raumlufffeuchte mit Schimmel- und ev. Kondensatgefahr.
- Drosseln oder Deaktivieren von Lüftungsanlagen in permanent feuchten Räumen (z.B. in Folge unzureichendem Schlagregenschutzes oder unzureichender Abdichtung) führt zu hoher Raumlufffeuchte mit Schimmel- und ev. Kondensatgefahr.
- Die Umwidmung von Räumen entgegen ihrer ursprünglich gedachten Nutzung (z.B. Stiegenhäuser als Kindergartenräume) verschmiert die Trennung zwischen beheizten und unbeheizten Räumen und Pufferräumen, die in der Wärmeversorgungsanlage weder durch Auslegung noch Regelung Berücksichtigung findet (hohe Transmissions- und Lüftungswärmeverluste, mangelnde Behaglichkeit).

9) Baukonstruktive Aspekte der Gebäudetechnik

Im Zuge von Umbau- und Sanierungsmaßnahmen sowie Nutzungsanpassungen kommt es in dreierlei Hinsicht zu Änderungen für die Gebäudetechnik:

- In der Regel undokumentierte Änderungen der Leitungsführung teilweise unter Umnutzung von Anlagenteilen (z.B. Kamine werden zu Steigschächten), was Einschränkungen in der weiteren Nutzung nach sich zieht.
- Bauteile, die der Ver- und Entsorgung dienen könnten, werden anderweitig genutzt, zB. Lichtschächte überdacht und zu Aufenthaltsräumen
- Anlagen und insbesondere Wärmeabgabeflächen werden ungünstig verbaut oder durch Möbel verdeckt und damit Wirkungsgrad und ursprüngliche Auslegung konterkariert.

Zusammenfassend konnte festgestellt werden, dass vom Ziel eine bauphysikalische Bestandsaufnahme im engeren Sinn sehr rasch zugunsten einer kompletten baukonstruktiven Aufnahme abgegangen werden musste. Eine Beschränkung auf die primären Aspekte der Bauphysik (Wärme, Feuchte, Schall, Brand) hätte wesentliche Mängel bzw. Zustände der Bauteile wie statisch bedingte Risse, unzureichende Abdichtung u.dgl. sowie eine allgemeine Beschreibung von besonderen Raumfolgen oder Nutzungen nicht erfasst, die aber unabdingbar sind, um ein verständliches Gesamtbild des Bauwerks abzugeben.

Schwierigkeiten traten unter zwei Aspekten auf:

Schwierigkeiten in der Bestandsaufnahme

- Abstimmung von Art und Umfang der Aufnahme und Analyse ohne Kenntnis geplanter tatsächlicher Sanierungsmaßnahmen
- Nutzungsänderungen im Bezug auf ursprüngliche Nutzung ohne adäquate Anpassung der baulichen Anlage
- Unklare Nutzungsgrenzen (Nutzung von Nebenräumen als Aufenthaltsräume und damit unklare Begrenzung des konditionierten Raumvolumens)
- Nutzung inadäquater Räume als Aufenthaltsräume (z.B. feuchter Keller als Klassenraum)
- In permanenten Umbau und Änderung befindliche Gebäudeteile

Erwartete Schwierigkeiten für die Sanierung

- Einsatz unzureichend beherrschter Techniken in Errichtung und Sanierung (z.B. historische Flachdachkonstruktionen)
- Unsachgemäße, teilweise auch dem damaligen Stand der Technik widersprechende Um- und Zubauten (Wärmebrücken, Durchdringungen mit unzureichendem Feuchte- und Kondensationsschutz)
- Umbauten und Sanierungen ohne übergeordnetes planerisches Konzept stellen ein Stückwerk dar, das einer adäquaten Sanierung entgegen steht oder Rückbaumaßnahmen erforderlich macht

„Lessons learned“ aus der Bestandsanalyse

Eine rein bauphysikalische Bestandsaufnahme greift angesichts der Komplexität von Konstruktionen, Nutzung und ursprünglicher, gewachsener Struktur der Objekte zu kurz und muss durch eine vollständige bauliche Aufnahme ersetzt werden, die auch die Besonderheiten von Bauphasen, Sanierungen und nutzungsbedingten Schwierigkeiten erfasst. Während durch gute Struktur und Arbeitsvorbereitung die örtliche Befundung und Dokumentation gut abgeschätzt und geplant werden kann, ist der Aufwand für die nachfolgende Analyse und Recherche typischer Konstruktionen und Kennwerte nur schwer abzuschätzen und jedenfalls sehr viel höher als der der Begehungen. Arbeitsaufwand und Tiefe der Analyse müssen den nachfolgenden Schritten angemessen sein.

Folgende Voraussetzungen sind im Vorfeld einer baulichen Bestandsaufnahme und Bewertung erforderlich:

- Umfangreiche Pläne, möglichst am Letztstand
- Historisches Planmaterial zur Beurteilung von Um- und Zubauten
- Vorrecherche über die Bauphasen und vermutlich eingesetzte Techniken
- Befund des Bundesdenkmalamtes zur Schwerpunktsetzung in den Arbeitsphasen
- Voruntersuchungen wie Thermografie, Gebäudetechnische Anlage, Materialkennwerte wenn erforderlich – diese müssen unter Umständen langfristig geplant werden
- Kenndaten über den Raumwärmebedarf und Auffälligkeiten in diesen Daten
- Ergänzende Fotodokumentation

Die gewählte und an den Ergebnissen dokumentierte Vorgangsweise hat sich als sinnvoll und zielführend erwiesen, ebenso die erstellten Hilfsmittel (Arbeitsplan, Bauteil- und Gebäudebeschreibung), die bei Bedarf einfach ergänzt werden können (z.B. Brandschutz). Der Gliederung und Struktur der Checklisten als Basis der Beschreibungen kommt große Bedeutung zu, da sie maßgeblich sind für die Tiefe und Vollständigkeit der Beschreibung. Folgende Arbeitsschritte haben sich als sinnvoller Ablauf ergeben:

-
1. Studium des Planmaterials und der unter Voraussetzungen (s.o.) geschilderten Unterlagen und Recherche von typischen Bauweisen
 2. Festlegung weiterer erforderlichen Voruntersuchungen
 3. Vorbegehung mit Plankontrolle, Ergänzung von Plänen und Fotodokumentation und als Basis der Arbeitsplanung
 4. Festlegung der Schwerpunkte der Aufnahme als Arbeitsplan mit ungefähre Aufwandsabschätzung, um Ungleichgewichtungen des zeitlichen Aufwandes über das Gesamtprojekt zu vermeiden
 5. Erstellen der Bauteillisten und Verortung in den Plänen (vorläufige Bauteilliste)
 6. Begehung(en)
 7. Ergänzen der Bauteilliste
 8. Befundung der Bauteile nach Augenschein und Fotodokumentation aller Bauteile, wobei die Bauteile von allen angrenzenden Seiten zu dokumentieren sind (innen, außen, angrenzende Räume, ev. obere und untere Abschlüsse)
 9. Erforderlichenfalls Öffnung von Bauteilen, Materialuntersuchungen und sonstiger ergänzender Gutachten (z.B. Tragfähigkeit, Standsicherheit) und Anordnen von Sofortmaßnahmen bei expliziter Gefährdung von Menschen oder Bauteilen/Bauwerken
 10. Befundung und Dokumentation der übergeordneten bauwerksbezogenen Aspekte (z.B. Raumkonfiguration, Nutzung)
 11. Aufarbeitung und ev. ergänzende Begehungen
 12. Ergänzen der planlichen Verortung
 13. Beschreibung/Analyse der Bauteile
 14. Recherche von Kennwerten und Konstruktionen
 15. ev. Berechnung von Bauteilkennwerten
 16. Analyse der übergeordneten bauwerksbezogenen Aspekte
-

4.3 Energetische Potentialabschätzung der Sanierungsmaßnahmen

Katharina Kreuter

Aufbauend auf die Bestandsaufnahme der Referenzgebäude stellt sich nun die Frage nach der Wirksamkeit verschiedener Sanierungsmaßnahmen in Bezug auf die Zielsetzungen des Klimaschutzes. Das vorliegende Kapitel definiert einzelne Sanierungsmaßnahmen, implementiert diese an den Referenzgebäuden und unterzieht die derart entstandenen Modelle einer quantitativen Bewertung. Das Ziel liegt in der Quantifizierbarkeit einzelner Sanierungsmaßnahmen oder verschiedenster Kombinationen von einzelnen Sanierungsmaßnahmen, d.h. von Sanierungskonzepten, auf die Energiebilanz bzw. auf den Ausstoß klimarelevanter Treibhausgase. **Die Auswahl der Sanierungsmaßnahmen nimmt a priori keine Rücksicht auf Einschränkungen des Denkmalschutzes und ist als kombinatorische Zusammenstellung technisch möglicher Maßnahmen zu sehen.** Einerseits erlaubt die Beschreibung der Auswirkung einer jeden Einzelmaßnahme bzw. deren Kombinationen die energietechnische Konsequenz einer aufgrund des Denkmalschutzes nicht durchgeführten Sanierungsmaßnahme. Andererseits gibt es eine Vielzahl ähnlicher Gebäude, die nicht unter Denkmalschutz stehen, und für deren Bewertung die dargestellten Ergebnisse Verwendung finden können.

4.3.1 Vorgangsweise bei der Szenarienbewertung

Die Berechnung wird mit Hilfe eines Wettbewerbstools für Architekten durchgeführt, welches die Gebäudegeometrie sowie Heizungstechnik inkl. Solarenergie (sowohl Solarthermie und Photovoltaik) mit einbezieht. Die Berechnungsalgorithmen, die verwendeten Bewertungstool (IEAA - Integration energierelevanter Aspekte in Architekturwettbewerben) zugrunde liegen, sind jene, die auch zur Berechnung des Energieausweises in Österreich verwendet werden und entsprechen somit den entsprechenden Ö-Normen. Als Ergebnis stehen der Heizenergiebedarf und auch der Primärenergiebedarf sowie die CO₂-Emissionen zur Verfügung. Die Sanierungsmaßnahmen betreffen die Komponenten Fenster, Lüftung, Wärmeschutz (der opaken Gebäudehülle), Energieträger, Solarthermie und Photovoltaik (Abb. (299)).

Komponente	Fenster	Lüftung	Wärmeschutz	Energieträger	Solarthermie	Photovoltaik
Ausprägung	Bestand (unsanierte Kastenfenster) FB	Bestand (Lüftung über Fenster) LB	Bestand (keine Dämmung) DB	Bestand (Referenzgebäude unterschiedlich) EB	Bestand (keine Implementiert) SB	Bestand (keine Implementiert) PVB
	Sanierung Kastenfenster FS	mechanische Lüftung mit WRG LA	Innen-dämmung ID	Fernwärme EF	klein SK	klein PVK
	Fenstertausch FT		Außen-dämmung AD	Strom (Wärmepumpe) ES	groß SG	groß PVG

Abb. (299) Komponenten der Untersuchung und deren Ausprägungen mit Akronym

4.3.2 Ausprägung der Komponenten in den Szenarien

Die betrachteten Komponenten können unterschiedliche Ausprägungen annehmen. Die erste Ausprägung ist in allen Fällen der derzeitige Bestand. Die Bewertung des derzeitigen Bestandes eines Referenzgebäudes bietet die Vergleichsbasis zu allen in der Folge angenommenen Sanierungsszenarien. In der Folge werden die angesetzten Ausprägungen der einzelnen Komponenten kurz erklärt.

Fenster

Die Komponente „Fenster“ setzt sich aus den Ausprägungen Bestand (FB), Sanierung Kastenfenster (FS) und Fenstertausch (FT) zusammen. In der Ausprägung Bestand handelt es sich größtenteils um unsanierte Kastenfenster, welche mit einem U-Wert von $2,9 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ in die Berechnung eingehen. Die Sanierung der bestehenden Kastenfenster wird als weiterer Schritt durch einen Erfahrungswert mit einem U-Wert von $1,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ beschrieben. Die Ausprägung Fenstertausch referenziert auf derzeit marktübliche passivhaustaugliche Fenster. Dieser Ausprägung wird ein U-Wert von $0,85 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ hinterlegt. Die Annahme dieses Wertes berücksichtigt bereits einen Wärmebrückenzuschlag für den Fensteranschluss.

Lüftung

Die gebäudetechnische Bestandsaufnahme ergab, dass in den Referenzgebäuden keine Lüftungsanlagen implementiert sind. Daher beschreibt die Ausprägung Bestand (LB) den Zustand reiner Fensterlüftung. Die Ausprägung Lüftungsanlage (LA) mit „Wärmerückgewinnung“ wurde so definiert, dass ein zentrales Lüftungsgerät nach dem neuesten Stand der Technik im Gebäude vorgesehen wird und dieses die Räume mit frischer Luft versorgt.

Wärmeschutz

Die Komponente „Wärmeschutz“ wird im Falle der Ausprägung Bestand (DB) je nach Art des Gebäudes durch einen anderen U-Wert beschrieben, jedoch handelt es sich bei allen Objekten um unsanierte Gebäude, an welchen bisher keine Dämmschicht angebracht wurde. Die zweite Ausprägung „Innendämmung“ (ID) beschreibt eine eingeschränkte Variante des Wärmeschutzes, da die Dämmstärke einer Innendämmung begrenzt ist. Im Falle der Potentialabschätzung wird eine Dämmstärke von 8 cm angenommen. Die dritte Ausprägung „Außendämmung“ (AD) beschreibt die Anbringung einer Außendämmung mit einer Dämmstärke von 20 cm. Dies ist ebenfalls bei vielen Neubauten Stand der Technik. Um in der Berechnung Wärmebrücken zu berücksichtigen, wurde ein Wärmebrückenzuschlag gemäß ÖNORM H 7500 miteingerechnet.

Energieträger

Die derzeit in den Referenzgebäuden eingesetzten Energieträger variieren. Insbesondere die Wohngebäude werden in vielen Fällen durch Einzelöfen beheizt, wodurch sich die Energieträger Holz, Kohle, Strom, Öl und Gas in den Wohnbauten wiederfinden. Teilweise wurde die Versorgung bereits auf Fernwärme umgestellt und auch Gasbrennwertkessel finden in den Gebäuden ihre Anwendung (EB). Da es im innerstädtischen Bereich teilweise Vorschriften bzw. Empfehlungen bzgl. des einzusetzenden Energieträgers gibt, wurde als zweite Ausprägung (EF) die gänzliche Versorgung durch Fernwärme gewählt. Die dritte Ausprägung (ES) soll wiederum eine Lösung zeigen, welche vermehrt im Falle geringen Wärmebedarfs eingesetzt wird – eine Wärmepumpe.

Solarthermie und Photovoltaik

Die Komponenten Solarthermie und Photovoltaik werden in diesem Punkt zusammengefasst, da die Ausprägungen generell aus den gleichen Gesichtspunkten festgelegt wurden. Der Bestand der Referenzgebäude (SB und PVB) weißt bisher keine Implementierung von Solarthermie- oder Photovoltaikflächen auf. Grundsätzlich sind die Ausprägungen „klein“ (SK und PVK) und „groß“ (SG und PVG) nicht als architektonischer Integrationsvorschlag zu werten, sondern beschreiben lediglich stellvertretend zwei Größenordnungen der Implementierung von Kollektorflächen.

4.3.3 Szenariendefinition

In der Erarbeitung von Sanierungslösungen werden im Regelfall individuell nach den jeweiligen Randbedingungen einzelne Sanierungsmaßnahmen in Betracht gezogen. In der Folge werden dann einzelne Maßnahmen verworfen, oder aber auch weiterentwickelt. Die Auswahl der bearbeiteten Sanierungsmaßnahmen hängt dabei in einem hohen Maß vom agierenden Personenkreis und dessen grundlegenden Einstellungen und einschlägigen Erfahrungen ab. Die folgende Untersuchung geht einen anderen Weg. Im ersten Schritt wurden wie oben beschrieben die einzelnen Komponenten und deren mögliche Ausprägung definiert. Im vorliegenden zweiten Schritt wird durch Aufstellen aller möglichen Sanierungskombinationen eine Maximalstruktur an optionalen Sanierungsszenarien aufgestellt. Im Falle der oben gewählten Komponenten und Ausprägungen ergeben sich dadurch je Referenzgebäude 378 zu bewertende Szenarien. zeigt die Struktur des derart entstandenen Szenarienbaums (Abb. (300)).

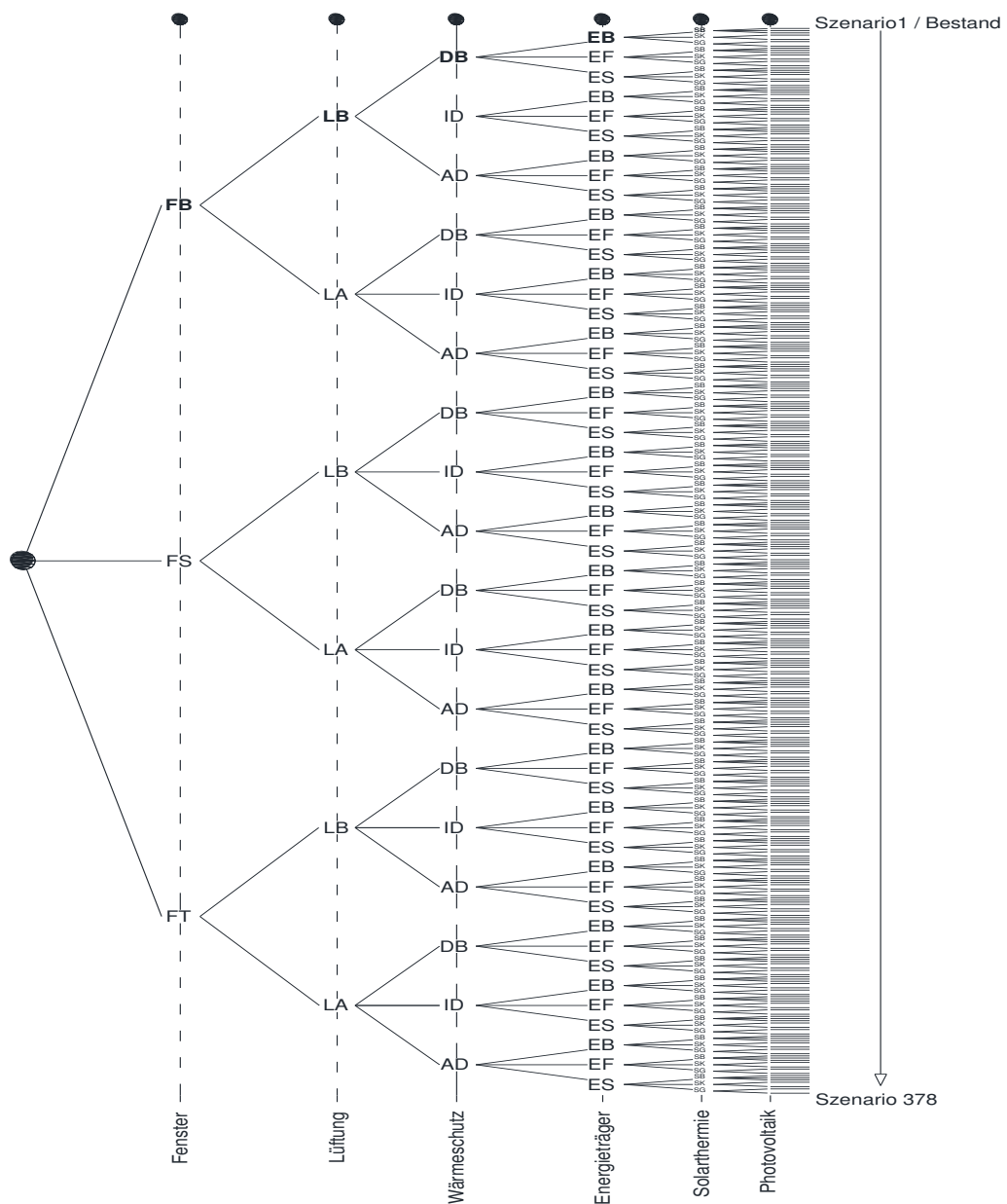


Abb. (300) Szenarienbaum der 378 Szenarien je Referenzgebäude
Akronymbezeichnungen werden in Abb. (299) erklärt

Um eine Verdeutlichung der gewählten Vorgangsweise zu erreichen zeigt Abb. (301) einen kleinen Ausschnitt des Szenarienbaumes, beginnend bei der Auswahl der Fenster, über die Lüftung, die Wärmeschutzanforderung, der Energieträger bis hin zur Solar-/PV-Nutzung. Ein jeder Weg vom Startpunkt (ganz links) zum Endpunkt (ganz rechts) definiert ein Sanierungsszenario.

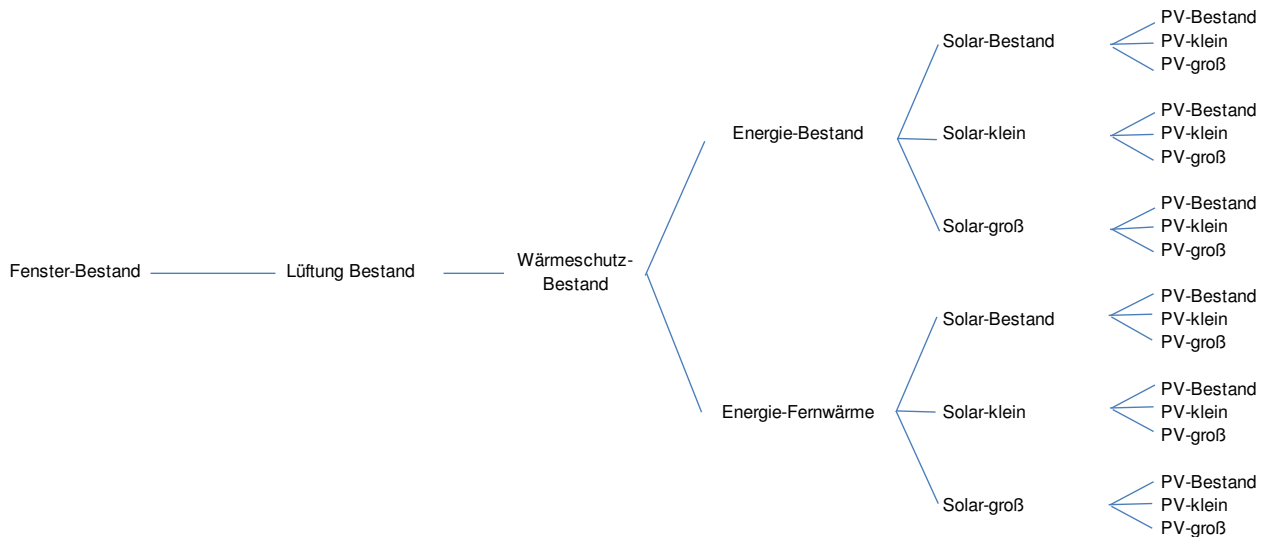


Abb. (301) Ausschnitt aus dem Szenarienbaum

4.3.4 Angenommene Ausprägungen der Referenzgebäude

In der Folge werden jene Ausprägungen näher beschrieben, die in den einzelnen Referenzgebäuden unterschiedlich angenommen werden.

Annahmen Klostertrakt

Fenster

Das Fensterszenario wurde derart angenommen, dass die Bestandsvariante einen gemittelten U-Wert der gesamten Fensterflächen angibt. Die erste Sanierungsvariante beschreibt die Sanierung der Fenster unter Verwendung von Dichtungen bzw. Austausch eines Fensterglases gegen Isoliergläser bzw. das Aufbringen einer Low-E-Beschichtung. Die zweite Sanierungsvariante beschreibt den Austausch des kompletten Fensters gegen ein passivhaustaugliches Fenster mit Dreischeibenverglasung. Dabei sind die nachfolgenden U-Werte in die Berechnung eingegangen:

$$U_{FB} = 2,20 \text{ [W/m}^2\text{K]} / U_{FS} = 1,80 \text{ [W/m}^2\text{K]} / U_{FA} = 0,85 \text{ [W/m}^2\text{K]}$$

Wärmeschutz

Die Annahmen zum Wärmeschutz beinhalten, wie bereits beschrieben die Anbringung einer Innen- und einer Außendämmung. In beiden Fällen wird die oberste Geschoßdecke mitgedämmt. Dadurch ergaben sich folgende U-Wert-Verbesserungen:

$$U_{AWB} = 1,45 \text{ [W/m}^2\text{K]} / U_{AWID} = 0,70 \text{ [W/m}^2\text{K]} / U_{AWAD} = 0,22 \text{ [W/m}^2\text{K]} \\ U_{DB} = 0,90 \text{ [W/m}^2\text{K]} / U_{DD} = 0,12 \text{ [W/m}^2\text{K]}$$

Solarthermie und Photovoltaik

Nachfolgend werden die Daten zu Solarthermie und Photovoltaik aufgelistet, welche eigens für das Gebäude erhoben wurden. Das Szenario klein beschreibt einen kleinen Eingriff in die (denkmalgeschützte) Gebäudesubstanz, das Szenario groß beschreibt einen großen Eingriff in die Gebäudesubstanz (Abb. (302) und Abb. (303)).

Klostertrakt		Südtrakt - Ausprägung groß		SW Trakt - Ausprägung klein	
		tecSol UP-V	Photovoltaikmodul	tecSol UP-V	Photovoltaikmodul
Länge	m	2100	798	2100	798
Breite	m	1070	1580	1070	1580
Bruttofläche	m ²	2.25	1.26	2.25	1.26
Aperturfläche	m ²	2.02	1.26	2.02	1.26
Kollektoren/Module		202	421	103	191
Gesamtfläche	m ²	408.04	530.81	208.06	240.82

Abb. (302) Flächenangaben zu den angenommenen Solarnutzungsflächen

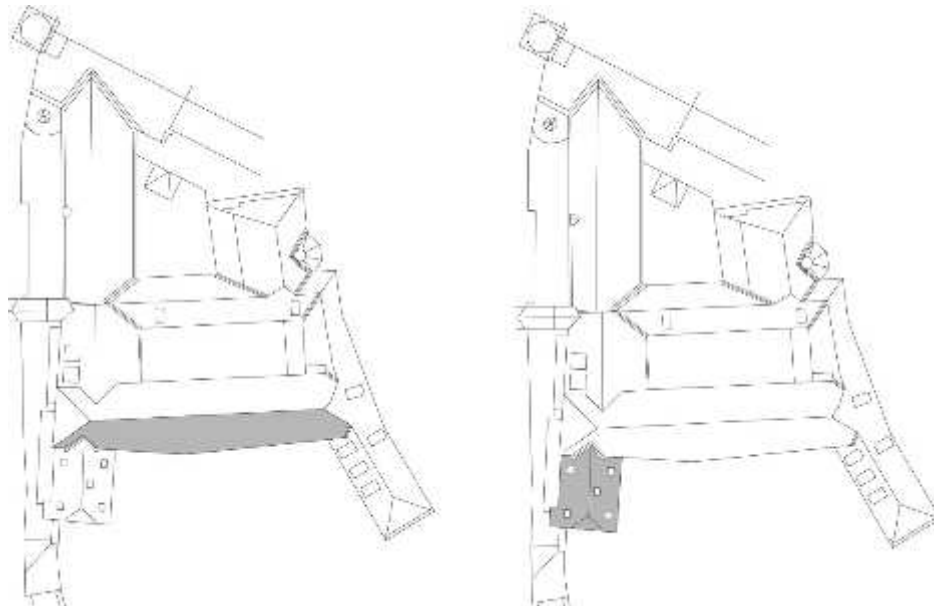


Abb. (303) Solarnutzungsflächen am Referenzgebäude „Klostertrakt“
linkes Bild: Ausprägung „groß“ am Hauptdach dargestellt als Draufsicht
rechtes Bild: Ausprägung „klein“ an einem Nebendach, dargestellt als Draufsicht

Annahmen Blockrandgebäude

Fenster

Das Fensterszenario wurde derart angenommen, dass die Bestandsvariante einen gemittelten U-Wert der gesamten Fensterflächen angibt. Die erste Sanierungsvariante beschreibt die Sanierung der Fenster unter Verwendung von Dichtungen bzw. Austausch eines Fensterglases gegen Isoliergläser bzw. das Aufbringen einer Low-E-Beschichtung. Die zweite Sanierungsvariante beschreibt den Austausch des kompletten Fensters gegen ein passivhaustaugliches Fenster mit Dreischeibenverglasung. Dabei sind die nachfolgenden U-Werte in die Berechnung eingegangen:

$$U_{FB} = 2,24 \text{ [W/m}^2\text{K]} / U_{FS} = 1,80 \text{ [W/m}^2\text{K]} / U_{FA} = 0,85 \text{ [W/m}^2\text{K]}$$

Wärmeschutz

Die Annahmen zum Wärmeschutz beinhalten, wie bereits beschrieben die Anbringung einer Innen- und einer Außendämmung. In beiden Fällen wird die oberste Geschoßdecke mitgedämmt. Dadurch ergaben sich folgende U-Wert-Verbesserungen:

$$U_{AWB} = 1,15 \text{ [W/m}^2\text{K]} / U_{AWID} = 0,45 \text{ [W/m}^2\text{K]} / U_{AWAD} = 0,22 \text{ [W/m}^2\text{K]}$$

$$U_{DB} = 0,90 \text{ [W/m}^2\text{K]} / U_{DD} = 0,12 \text{ [W/m}^2\text{K]}$$

Solarthermie und Photovoltaik

Nachfolgend werden die Daten zu Solarthermie und Photovoltaik aufgelistet, welche eigens für das Gebäude erhoben wurden. Das Szenario klein beschreibt einen kleinen Eingriff in die (denkmalgeschützte) Gebäudesubstanz, das Szenario groß beschreibt einen großen Eingriff in die Gebäudesubstanz. Bei dem Gebäude in der Radetzkystraße konnte das Szenario klein leicht ermittelt werden, da sich auf dem Grundstück ein Hofgebäude befindet, welches nicht unter Denkmalschutz steht. Aufgrund der kleinen Entfernung zum Hauptgebäude würde sich die Nutzung von Solarenergie in diesem Fall anbieten. Das Szenario groß hingegen sieht die Anbringung der Solarkollektoren/ PV-Module auf der nach Süden gerichteten Dachfläche vor. Dies wäre aufgrund des denkmalgeschützten Erscheinungsbildes höchstwahrscheinlich nicht möglich (Abb. (304) und Abb. (305)).

Blockrandgebäude		Hauptdach - Ausprägung groß		Hofgebäude - Ausprägung klein	
		tecSol UP-V	Photovoltaikmodul	tecSol UP-V	Photovoltaikmodul
Länge	m	2100	798	2100	798
Breite	m	1070	1580	1070	1580
Bruttofläche	m ²	2.25	1.26	2.25	1.26
Aperturfläche	m ²	2.02	1.26	2.02	1.26
Kollektoren/Module		72	120	92	155
Gesamtfläche	m ²	145.44	151.30	185.84	195.43

Abb. (304) Flächenangaben zu den angenommenen Solarnutzungsflächen

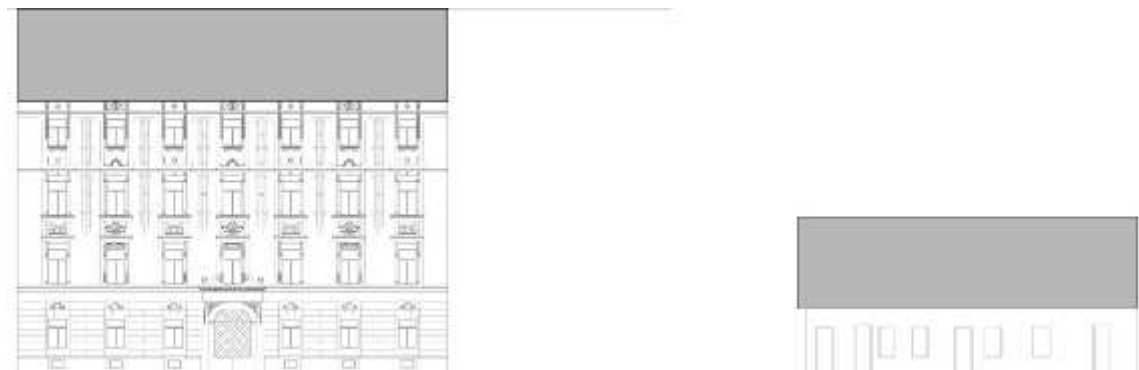


Abb. (305) Solarnutzungsflächen am Referenzgebäude „Blockrandgebäude“
 linkes Bild: Ausprägung „groß“ am Dach des Gründerzeitgebäudes dargestellt als Südansicht
 rechtes Bild: Ausprägung „klein“ am Dach des Hofgebäudes, dargestellt als Südansicht

Annahmen Kindergarten

Fenster

Das Fensterszenario wurde derart angenommen, dass die Bestandsvariante einen gemittelten U-Wert der gesamten Fensterflächen angibt. Die erste Sanierungsvariante beschreibt die Sanierung der Fenster unter Verwendung von Dichtungen bzw. Austausch eines Fensterglases gegen Isoliergläser bzw. das Aufbringen einer Low-E-Beschichtung. Die zweite Sanierungsvariante beschreibt den Austausch des kompletten Fensters gegen ein passivhaustaugliches Fenster mit Dreischeibenverglasung. Dabei sind die nachfolgenden U-Werte in die Berechnung eingegangen:

$$U_{FB} = 2,92 \text{ [W/m}^2\text{K]} / U_{FS} = 1,80 \text{ [W/m}^2\text{K]} / U_{FA} = 0,85 \text{ [W/m}^2\text{K]}$$

Wärmeschutz

Die Annahmen zum Wärmeschutz beinhalten, wie bereits beschrieben die Anbringung einer Innen- und einer Außendämmung. In beiden Fällen wird die oberste Geschoßdecke mitgedämmt. Dadurch ergaben sich folgende U-Wert-Verbesserungen:

$$U_{AWB} = 1,35 \text{ [W/m}^2\text{K]} / U_{AWID} = 0,45 \text{ [W/m}^2\text{K]} / U_{AWAD} = 0,22 \text{ [W/m}^2\text{K]}$$

$$U_{EWB} = 1,29 \text{ [W/m}^2\text{K]} / U_{EWID} = 0,45 \text{ [W/m}^2\text{K]} / U_{EWAD} = 0,22 \text{ [W/m}^2\text{K]}$$

$$U_{DB} = 0,90 \text{ [W/m}^2\text{K]} / U_{DD} = 0,22 \text{ [W/m}^2\text{K]}$$

Solarthermie und Photovoltaik

Nachfolgend werden die Daten zu Solarthermie und Photovoltaik aufgelistet, welche eigens für das Gebäude erhoben wurden. Das Szenario klein beschreibt einen kleinen Eingriff in die (denkmalgeschützte) Gebäudesubstanz, das Szenario groß beschreibt einen großen Eingriff in die Gebäudesubstanz. Das Szenario groß beschreibt in diesem Fall die Anbringung der Kollektoren bzw. Module auf dem nach Süden ausgerichteten Dach und ist dadurch ein großer Eingriff in die denkmalgeschützte Gebäudesubstanz. Das Szenario klein inkludiert die Dachfläche nordseitig, allerdings handelt es sich bei der angenommenen Fläche um die Überdachung der Terasse/des Wintergartens welche mit Kunststoffwellplatten hergestellt wurde. Bei der Besichtigung des Objekts konnte mit dem Denkmalamt die Möglichkeit von Solarnutzung besprochen werden, worauf diese Fläche sich als eventuelle Möglichkeit zur solaren Energienutzung ergab (Abb. (306) und Abb. (307)).

Kindergarten		Hauptdach - Ausprägung groß		Nebengebäude - Ausprägung klein	
		tecSol UP-V	Photovoltaikmodul	tecSol UP-V	Photovoltaikmodul
Länge	m	2100	798	2100	798
Breite	m	1070	1580	1070	1580
Bruttofläche	m ²	2.25	1.26	2.25	1.26
Aperturfläche	m ²	2.02	1.26	2.02	1.26
Kollektoren/Module		15	38	127	232
Gesamtfläche	m ²	30.30	47.91	256.54	292.51

Abb. (306) Flächenangaben zu den angenommenen Solarnutzungsflächen

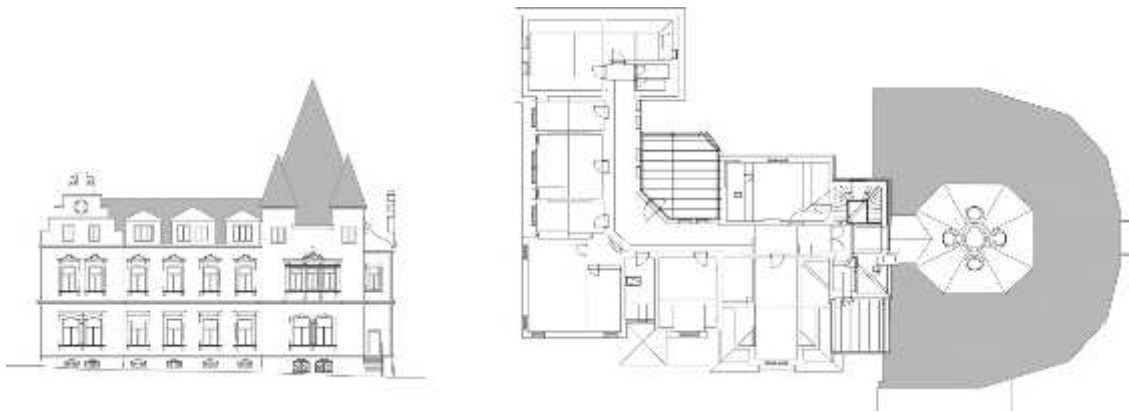


Abb. (307) Solarnutzungsflächen am Referenzgebäude „Kindergarten“
 linkes Bild: Ausprägung „groß“ am Dach des Kindergartens dargestellt als Südansicht
 rechtes Bild: Ausprägung „klein“ am Dach des Zubaus, dargestellt als Draufsicht

Annahmen Siedlungshaus

Fenster

Das Fensterszenario wurde derart angenommen, dass die Bestandsvariante einen gemittelten U-Wert der gesamten Fensterflächen angibt. Die erste Sanierungsvariante beschreibt die Sanierung der Fenster unter Verwendung von Dichtungen bzw. Austausch eines Fensterglases gegen Isoliergläser bzw. das Aufbringen einer Low-E-Beschichtung. Die zweite Sanierungsvariante beschreibt den Austausch des kompletten Fensters gegen ein passivhaustaugliches Fenster mit Dreischeibenverglasung. Dabei sind die nachfolgenden U-Werte in die Berechnung eingegangen:

$$U_{FB} = 2,26 \text{ [W/m}^2\text{K]} / U_{FS} = 1,80 \text{ [W/m}^2\text{K]} / U_{FA} = 0,85 \text{ [W/m}^2\text{K]}$$

Wärmeschutz

Die Annahmen zum Wärmeschutz beinhalten, wie bereits beschrieben die Anbringung einer Innen- und einer Außendämmung. In beiden Fällen wird die oberste Geschoßdecke mitgedämmt. Dadurch ergaben sich folgende U-Wert-Verbesserungen:

$$U_{AWB} = 1,51 \text{ [W/m}^2\text{K]} / U_{AWID} = 0,51 \text{ [W/m}^2\text{K]} / U_{AWAD} = 0,22 \text{ [W/m}^2\text{K]} \\ U_{DB} = 0,59 \text{ [W/m}^2\text{K]} / U_{DD} = 0,11 \text{ [W/m}^2\text{K]}$$

Solarthermie und Photovoltaik

Nachfolgend werden die Daten zu Solarthermie und Photovoltaik aufgelistet, welche eigens für das Gebäude erhoben wurden. Das Szenario klein beschreibt einen kleinen Eingriff in die (denkmalgeschützte) Gebäudesubstanz, das Szenario groß beschreibt einen großen Eingriff in die Gebäudesubstanz. In der Vinzenz Muchitsch Straße wurde angenommen, dass beim kleinen Szenario nur die Dachflächen der Gauben mit Kollektoren/PV Module ausgestattet werden. Bei dem Szenario groß wurde die gesamte Dachfläche hof- und straßenseitig für solare Energienutzung festgelegt (Abb. (308) und Abb. (309)).

Siedlungshaus		Dach - Ausprägung groß		Gaupe - Ausprägung klein	
		tecSol UP-V	Photovoltaikmodul	tecSol UP-V	Photovoltaikmodul
Länge	m	2100	798	2100	798
Breite	m	1070	1580	1070	1580
Bruttofläche	m ²	2.25	1.26	2.25	1.26
Aperturfläche	m ²	2.02	1.26	2.02	1.26
Kollektoren/Module		81	176	17	38
Gesamtfläche	m ²	163.62	221.91	34.34	47.91

Abb. (308) Flächenangaben zu den angenommenen Solarnutzungsflächen

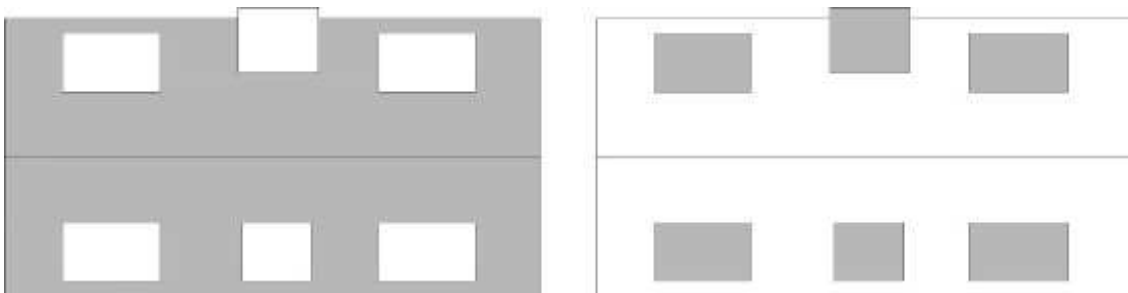


Abb. (309) Solarnutzungsflächen am Referenzgebäude „Siedlungshaus“
 linkes Bild: Ausprägung „groß“ auf der Dachfläche dargestellt als Draufsicht
 rechtes Bild: Ausprägung „klein“ auf den Dachflächen der Gauben, dargestellt als Draufsicht

Annahmen Schulgebäude

Fenster

Das Fensterszenario wurde derart angenommen, dass die Bestandsvariante einen gemittelten U-Wert der gesamten Fensterflächen angibt. Die erste Sanierungsvariante beschreibt die Sanierung der Fenster unter Verwendung von Dichtungen bzw. Austausch eines Fensterglases gegen Isoliergläser bzw. das Aufbringen einer Low-E-Beschichtung. Die zweite Sanierungsvariante beschreibt den Austausch des kompletten Fensters gegen ein passivhaustaugliches Fenster mit Dreischeibenverglasung. Dabei sind die nachfolgenden U-Werte in die Berechnung eingegangen.

$$U_{FB} = 2,47 \text{ [W/m}^2\text{K]} / U_{FS} = 1,80 \text{ [W/m}^2\text{K]} / U_{FA} = 0,85 \text{ [W/m}^2\text{K]}$$

Wärmeschutz

Die Annahmen zum Wärmeschutz beinhalten, wie bereits beschrieben die Anbringung einer Innen- und einer Außendämmung. In beiden Fällen wird die oberste Geschoßdecke mitgedämmt. Dadurch ergaben sich folgende U-Wert-Verbesserungen:

$$\begin{aligned} U_{AWB} &= 1,34 \text{ [W/m}^2\text{K]} / U_{AWID} = 0,40 \text{ [W/m}^2\text{K]} / U_{AWAD} = 0,20 \text{ [W/m}^2\text{K]} \\ U_{EWB} &= 2,06 \text{ [W/m}^2\text{K]} / U_{EWID} = 0,50 \text{ [W/m}^2\text{K]} / U_{EWAD} = 0,23 \text{ [W/m}^2\text{K]} \\ U_{DB} &= 0,75 \text{ [W/m}^2\text{K]} / U_{DD} = 0,11 \text{ [W/m}^2\text{K]} \end{aligned}$$

Solarthermie und Photovoltaik

Nachfolgend werden die Daten zu Solarthermie und Photovoltaik aufgelistet, welche eigens für das Gebäude erhoben wurden. Das Szenario klein beschreibt einen kleinen Eingriff in die (denkmalgeschützte) Gebäudesubstanz, das Szenario groß beschreibt einen großen Eingriff in die Gebäudesubstanz. In diesem Fall wurde für das Szenario groß die gesamte Dachfläche mit Süd- und Westausrichtung als solar nutzbare Fläche herangezogen. Das Szenario klein beschreibt die Anbringung der Solarkollektoren/PV Module auf dem Dach des nicht denkmalgeschützten Turnsaales (Abb. (310) und Abb. (311)).

Schulgebäude		Hauptdach - Ausprägung groß		Turnhalle - Ausprägung klein	
		tecSol UP-V	Photovoltaikmodul	tecSol UP-V	Photovoltaikmodul
Länge	m	2100	798	2100	798
Breite	m	1070	1580	1070	1580
Bruttofläche	m ²	2.25	1.26	2.25	1.26
Aperturfläche	m ²	2.02	1.26	2.02	1.26
Kollektoren/Module		31	60	60	112
Gesamtfläche	m ²	62.62	75.65	121.20	141.21

Abb. (310) Flächenangaben zu den angenommenen Solarnutzungsflächen



Abb. (311) Solarnutzungsflächen am Referenzgebäude „Schulgebäude“
 linkes Bild: Ausprägung „groß“ auf der Dachfläche dargestellt als Südansicht
 rechtes Bild: Ausprägung „klein“ auf den Dachflächen des Nebengebäudes, dargestellt als Südansicht

4.3.5 Auswertung der Ergebnisse von Einzelmaßnahmen

Für die Auswertung der Ergebnisse wurde zuerst ein Makro erstellt, welches die jeweiligen Ergebnisse der 378 Szenarien pro Gebäude erfaßt und in einem Dokument zusammenfasst. Danach wurden die Ergebnisse gegenübergestellt und die Gebäude nach Sanierungsmaßnahmen gestaffelt verglichen. Zuerst wurden die Sanierungsmaßnahmen einzeln anhand der fünf Referenzgebäude gegenübergestellt. Daraus ergaben sich die in der Folge dargestellten Vergleiche.

Vergleich der Bestandsgebäude

Der Ist-Zustand der Gebäude ist in nachfolgender Abbildung dargestellt. Der blaue Balken zeigt den Energiebedarf in kWh/(m²a), der rote den Primärenergiebedarf ebenfalls in kWh/(m²a), die CO₂-Emissionen in kg/(m²a) sowie den Heizwärmeenergiebedarf in kWh/(m²a). Deutlich zu erkennen ist, dass die beiden Referenzgebäude Schulgebäude und Siedlungshaus einen sehr hohen End- und Primärenergiebedarf im Vergleich zu den anderen Gebäuden aufweisen. Diese Tatsache läßt sich einerseits auf die Gebäudehülle andererseits auf die Kubatur der Gebäude zurückführen. Der Kindergarten in der Schönbrunngrasse weist aufgrund der großen

Anzahl an Außenflächen einen erhöhten Transmissionswärmeverlust auf, welcher sich in der Energiebilanz natürlich abzeichnet. Da im Falle Klostertrakt des Franziskanerklosters nur ein Teil – der Südtrakt – der Berechnung unterzogen wurde, grenzen die nordseitigen Mauern des Traktes an Innenräume an, weshalb in diesem Fall keine Wärmeverluste an die Außenluft abgegeben werden. Deutlich zu erkennen ist der verhältnismäßig niedrige CO₂-Ausstoß des Schulgebäudes trotz des hohen Energiebedarfs. Grund dafür ist der eingesetzte Energieträger Fernwärme (Abb. (312)).

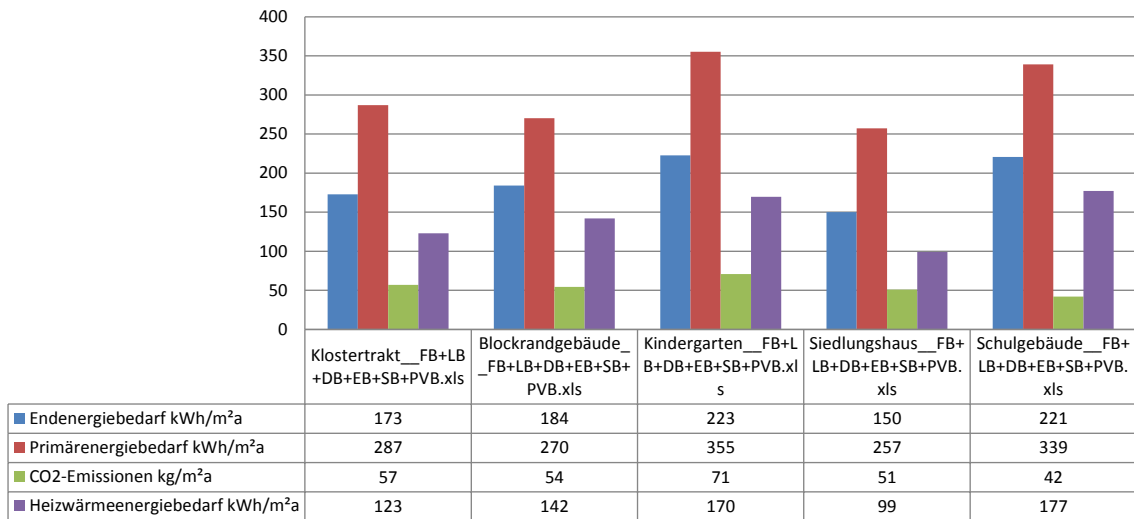


Abb. (312) *Bewertungsvergleich der Bestandsvarianten*

Fenstersanierung

Durch die Sanierung der Fenster kann bei den Gebäuden eine Reduktion des Energiebedarfs erzielt werden. Am geringsten ist die Reduktion im Falle des Klostertrakts im Franziskanerklosters, hierbei wurde eine Einsparung des Endenergiebedarfs von 1,7% errechnet. Die Referenzgebäude Blockrandgebäude sowie Kindergarten weisen eine Einsparung von 5,3% bzw. 5,8% auf. Die Gebäude Siedlungshaus bzw. Schulgebäude erreichen eine berechnete Einsparung von 3,3% bzw. 3,6% (Abb. (313)).

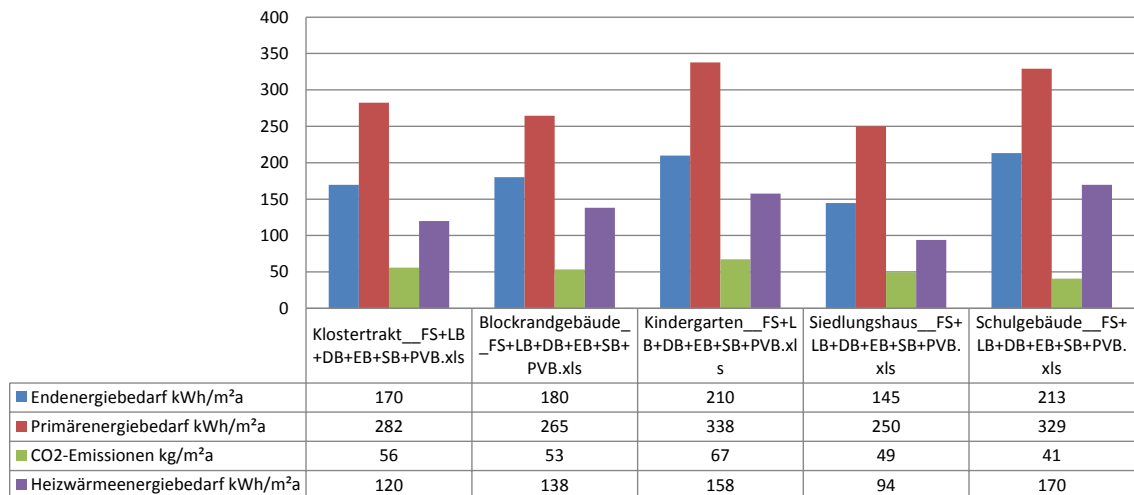


Abb. (313) *Bewertung der Varianten mit Fenstersanierung*

Im Falle des Klostertraktes beruht die niedrige Einsparung auf der Tatsache, dass im Südtrakt einige Fenster in der Vergangenheit bereits ausgetauscht wurden und deshalb die Einsparungen durch die Fenstersanierung im Vergleich zu den bestehenden Fenstern nicht ähnlich hoch sind.

Fenstertausch

Die entscheidende Größe in der Betrachtung der Maßnahme Fenstertausch ist ebenfalls die Reduktion des Endenergiebedarfs bzw. der Heizenergiebedarf. Die Einsparungen hängen natürlich je nach Gebäudeart von der vorhandenen Fensterfläche, sowie der U-Werte der Fenster ab. Im Falle des Klostertraktes des Franziskanerklosters sind im betrachteten Südtrakt in der Vergangenheit bereits einige Fenster ausgetauscht worden, weshalb die Verbesserung sich nur auf den verbleibenden Altbestand an sanierungsbedürftigen Fenstern bezieht (Abb. (314)). Die Einsparungen des Endenergiebedarfs liegen bei.

	Klostertrakt	Gründerzeit- gebäude	Kindergarten	Siedlungs- haus	Schulgebäude
Endenergie [kWh/m²a]	6,4 %	10,0 %	10,8 %	12,0 %	8,6 %

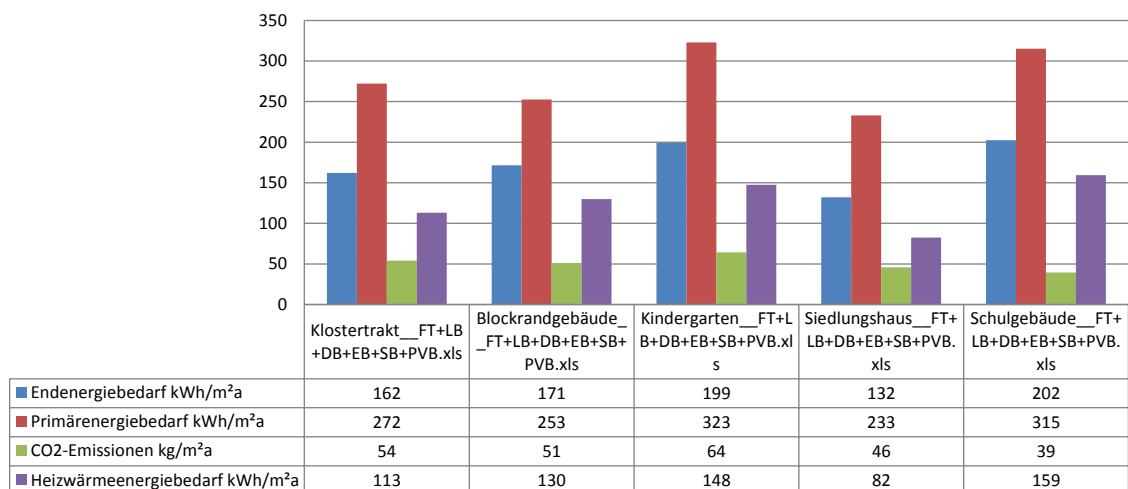


Abb. (314) Bewertung der Varianten mit Fenstertausch

Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung

Die Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung wirkt sich ebenfalls am stärksten auf den Endenergiebedarf aus. Hierbei liegen die Reduktionen bei:

	Klostertrakt	Gründerzeit- gebäude	Kindergarten	Siedlungs- haus	Schulgebäude
Endenergie [kWh/m²a]	10,4 %	11,6 %	8,5 %	12,7 %	7,7 %

Allerdings muss man beachten, dass obwohl die Einsparungen in Schulgebäude am geringsten sind, die Lüftungsanlage gerade in einem Schulgebäude von hoher Relevanz ist, da besonders in Schulen häufig eine mindere Luftqualität durch nicht ausreichende Fensterlüftung vorherrscht (Abb. (315)).

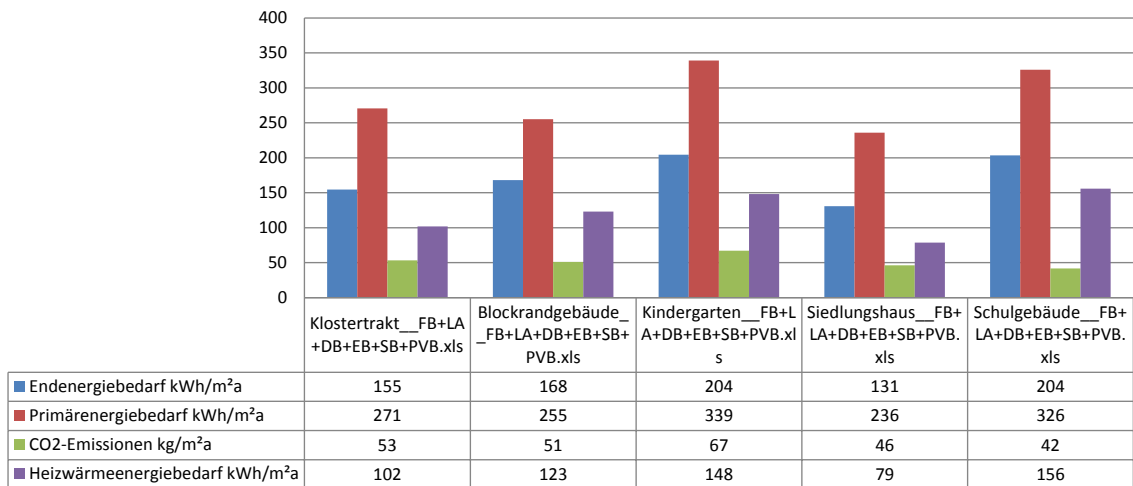


Abb. (315) Bewertung der Varianten mit Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung

Außendämmung

Die Dämmung der Außenhülle bringt von allen Maßnahmen die größte Reduktion in allen Bereichen, sowohl End- und Primärenergiebedarf als auch CO₂-Emission und Heizwärmebedarf. Wie aus der Tabelle zu entnehmen ist, sind bei einer Außendämmung der Gebäudehülle bis zu 41% Einsparung des Endenergiebedarfs möglich (Abb. (316)). Aus diesem Grund sollen die gesamten Einsparungen mit folgender Tabelle verdeutlicht werden:

	Klostertrakt	Gründerzeitgebäude	Kindergarten	Siedlungshaus	Schulgebäude
Endenergie [kWh/m²a]	41,6 %	33,2 %	32,3 %	30,7 %	37,1 %
Primärenergiebedarf [kWh/m²a]	34,1 %	28,9 %	27,3 %	24,1 %	31,3 %
CO2- Emissionen [kg/m²a]	35,1 %	31,6 %	28,2 %	25,5 %	26,2 %
Heizwärmebedarf [kWh/m²a]	54,5 %	38,0 %	39,4 %	43,4 %	45,2 %

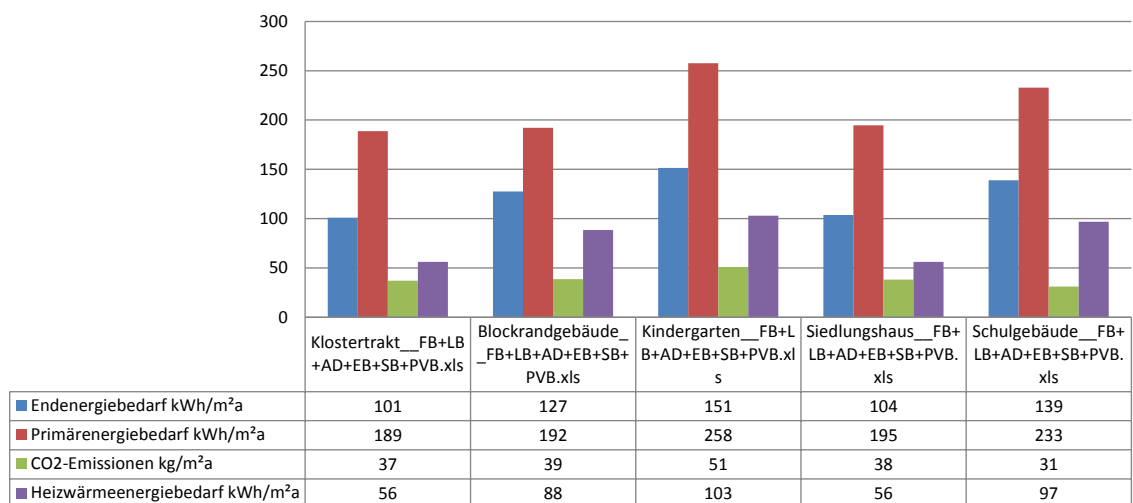


Abb. (316) Bewertung der Varianten mit Außendämmung

Innendämmung

Durch die Innendämmung der Gebäudehülle können nicht derart hohe Einsparungen erzielt werden, wie bei der Außendämmung, da hierbei nur eine Dämmstärke von 8 cm angenommen wurde. Aus dieser Auswertung und dem Vergleich zwischen Innen- und Außendämmung geht hervor, dass durch eine Innendämmung ca. zwischen 1/4 bis 1/3 weniger eingespart werden kann als durch die Außendämmung. (Abb. (317)).

	Klostertrakt	Gründerzeit- gebäude	Kindergarten	Siedlungs- haus	Schulgebäude
Endenergie [kWh/m²a]	27,7 %	24,7 %	25,1 %	22,0 %	29,4 %

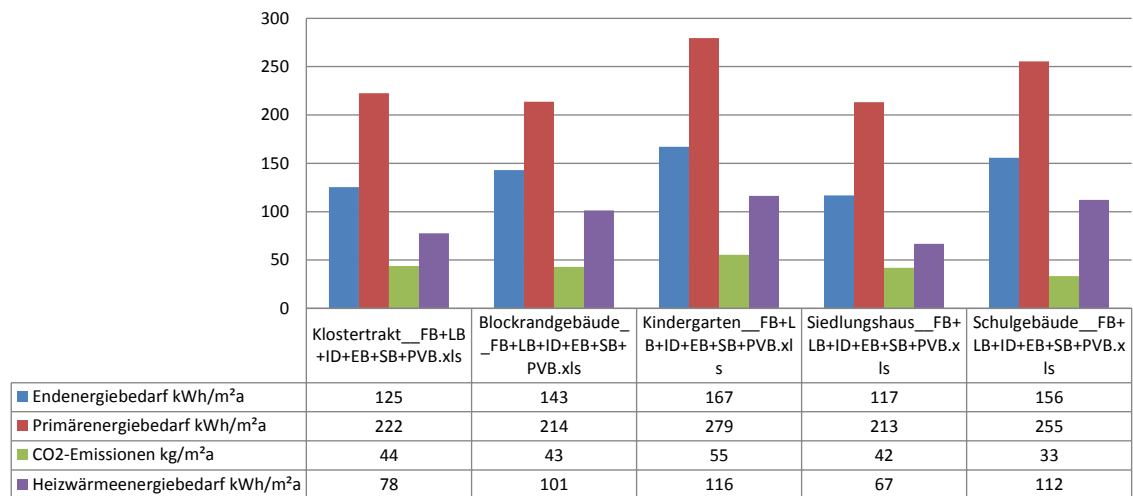


Abb. (317) Bewertung der Varianten mit Innendämmung

Fernwärme

Durch die Umstellung des Energieträgers kann auch bedingt durch Effizienzsteigerungen des Wärmeerzeugers der End- und Primärenergiebedarf gesenkt werden. Auf den Heizwärmeenergiebedarf wirkt sich die Umstellung des Wärmeträgers/-erzeugers nicht aus. Die CO2-Emissionen werden je nach vorhergehenden Energieträger und -erzeuger positiv oder auch negativ verändert. Hinzu kommt, dass bei dieser Variante auch das Wärmeabgabesystem auf Flächenheizung umgestellt wurde (Abb. (318)).

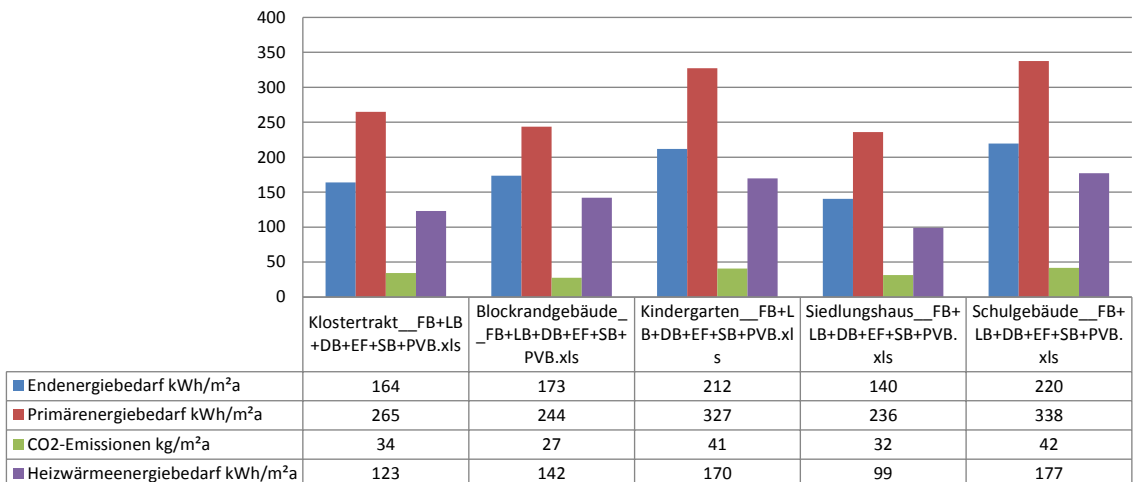


Abb. (318) Bewertung der Varianten mit Wärmebereitstellung durch Fernwärme

Wärmepumpe

Im Fall der Umstellung auf eine Wärmepumpe ist zu beachten, dass auch die CO₂-Bilanz zur Herstellung bzw. des Energieträgers Strom miteinbezogen wird in die Berechnung der CO₂-Emissionen. Aus diesem Grund sind hierbei je nach zuvor eingesetzten Energieträger die CO₂-Einsparungen nur sehr gering (Abb. (319)).

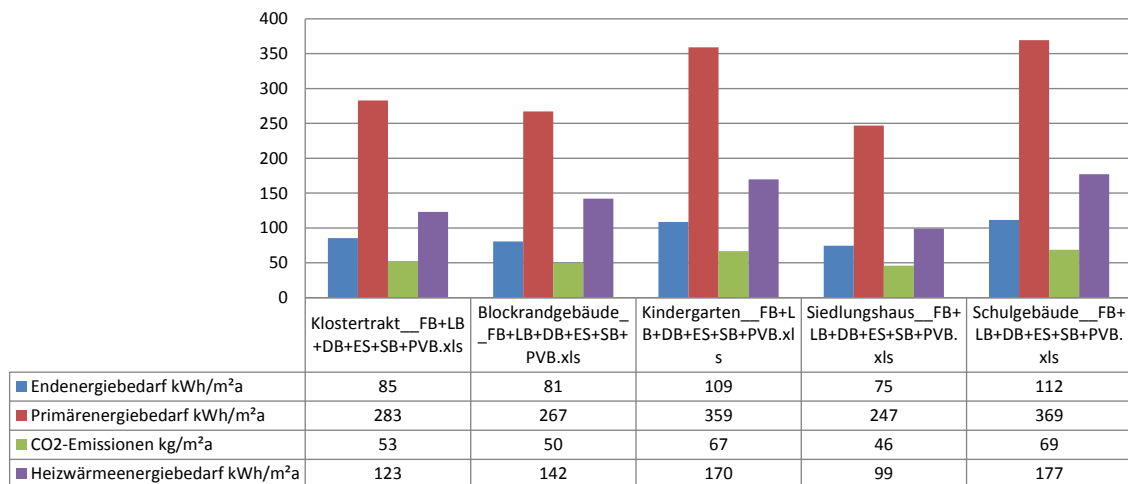


Abb. (319) Bewertung der Varianten Wärmebereitstellung durch Strom/Wärmepumpe

Solarthermie klein

Die Maßnahme Solarthermie nimmt keinen Einfluss auf den Heizenergiebedarf des Gebäudes jedoch können dadurch die CO₂-Emissionen je nach Fläche und Größe der Anlage stark gesenkt werden. Beispielsweise ist beim Gründerzeitgebäude möglich, ohne in die denkmalgeschützte Substanz einzugreifen, die CO₂-Emissionen um 32 % zu senken. Hierbei spielt natürlich auch der zuvor eingesetzte Energieträger eine Rolle, da durch die Solaranlage der fossile und dadurch stark CO₂-belastete Energieträger Gas ersetzt werden kann. Bei den anderen Gebäuden sind die Einsparungen geringer, diese liegen bei 4,2% im Kindergarten, 4,8% im Schulgebäude, bei 5,9% im Siedlungshaus und bei 7% im Klostertrakt (Abb. (320)).

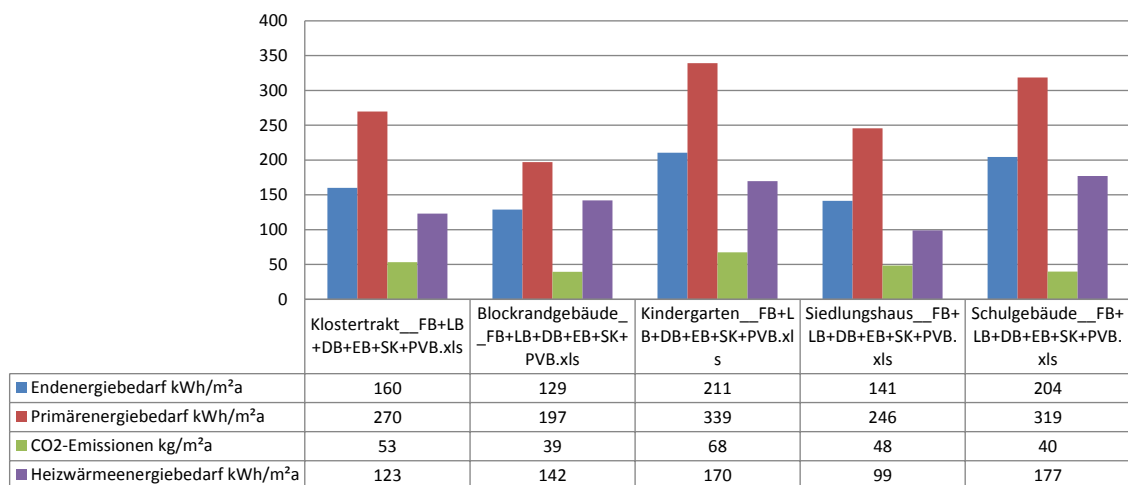


Abb. (320) Bewertung der Varianten mit Solarthermie klein

Solarthermie groß

Hier ist zu beachten, dass die Einsparungen teilweise geringer sind, als bei Szenario „Solarthermie klein“. Dies ist darauf zurückzuführen, dass ein großer Eingriff in die Gebäudesubstanz nicht zwangsläufig eine größere Einsparung bewirkt, da die Größe der Solaranlage sowie die Ausrichtung eine entscheidende Rolle spielen (Abb. (321)). Die Einsparungen betragen:

	Klostertrakt	Gründerzeit- gebäude	Kindergarten	Siedlungs- haus	Schulgebäude
Endenergie [kWh/m²a]	19,3 %	22,8 %	1,4 %	11,8 %	7,1 %

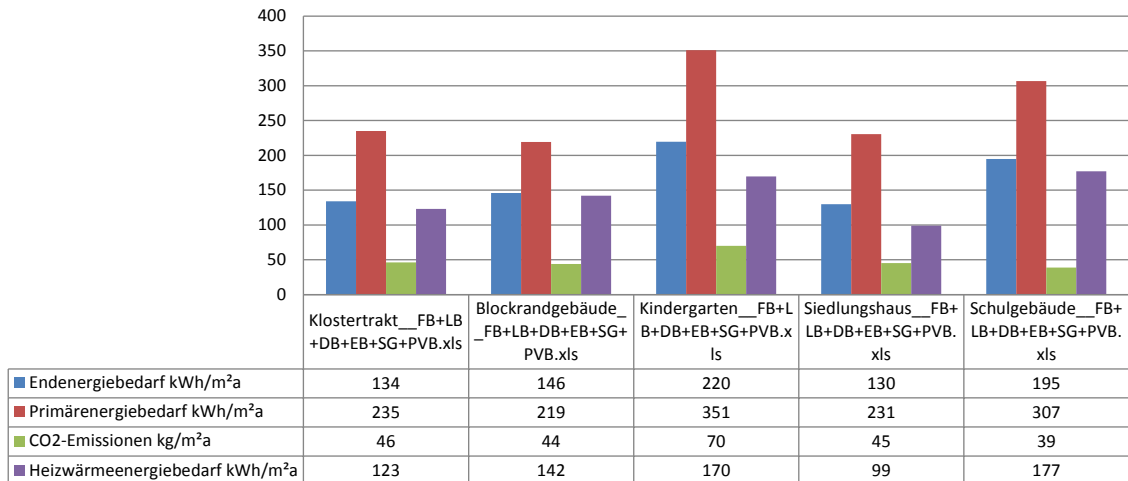


Abb. (321) Bewertung der Varianten mit Solarthermie groß

Photovoltaik klein

Stellt man die Szenarien „Solarthermie klein“ und „Photovoltaik klein“ gegenüber, erkennt man im Falle der Radetzkystraße, dass die CO₂-Einsparungen nur ca. die Hälfte betragen. Grund dafür ist, dass durch die Solaranlage der fossile Energieträger Gas eingespart werden kann, sich die PV-Anlage „nur“ auf den Strombedarf bezieht und dieser durch den Strommix in Österreich eine geringere CO₂-Bilanz aufweist (Abb. (322)). Die Einsparungen an CO₂ – Emissionen betragen im Klostertrakt 5,3 %, im Gründerzeitgebäude 15,8 %, im Kindergarten 4,2 %, im Siedlungshaus 3,9 % und im Schulgebäude 9,5%.

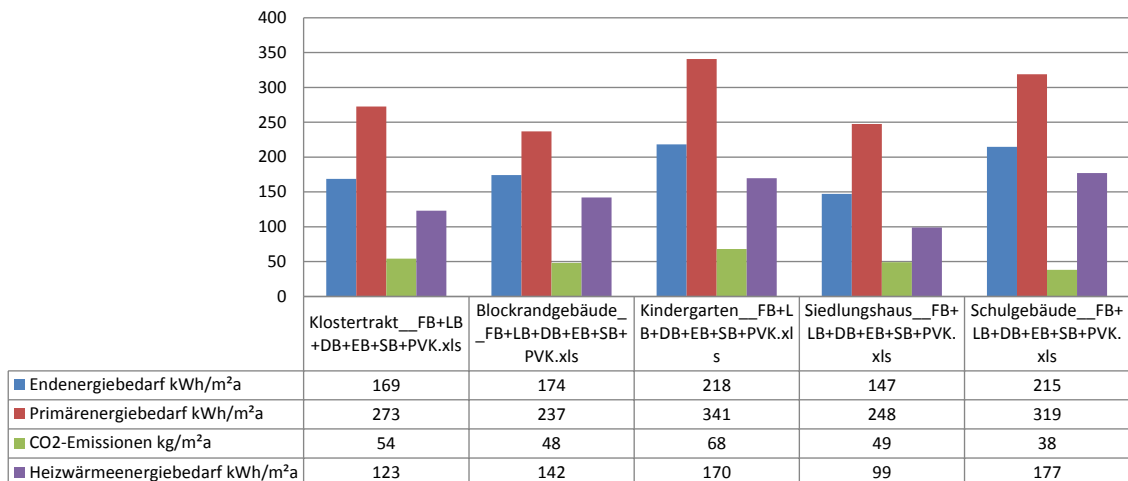


Abb. (322) Bewertung der Varianten mit Photovoltaik klein

Photovoltaik groß

Die Ergebnisse des Szenarios „Photovoltaik groß“ zeigen vor allem bei den Referenzgebäuden Siedlungshaus mit 15,7% und Schulgebäude mit 14,3% deutlich höhere Einsparungen als bei den vorhergehenden Solarthermie- und PV-Szenarien. Da bei der Berechnung auch die Hinterlüftung bzw. Neigung der Module (und Kollektoren) mit berücksichtigt werden, wirkt sich dies auch auf die Ergebnisse aus. Im Falle der zwei genannten Gebäude kann deshalb daraus geschlossen werden, dass eine PV Anlage in der gewählten Neigung und Fläche von allen Szenarien den größtmöglichen Ertrag bringen würde (Abb. (323)).

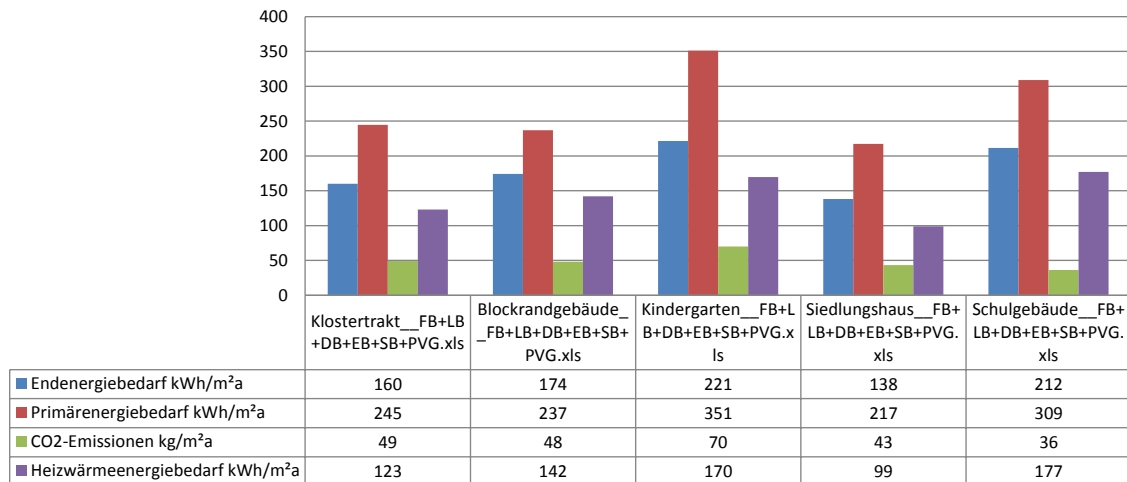


Abb. (323) Bewertung der Varianten mit Photovoltaik groß

4.3.6 Auswertung der Ergebnisse von Kombinationsmaßnahmen

Die folgenden Grafiken zeigen jeweils den Bestand unter Änderung einzelner Maßnahmen bis hin zur maximalen Einsparung. Dabei wurde der Verlauf auf einen Strang des Szenarienbaumes beschränkt. Die Maßnahmen zur maximalen Einsparung wurden wie folgt gewählt: Fenstertausch, Lüftungsanlage, Außen-dämmung, Energieträger Strom (Wärmepumpe) inkl. Wärmeabgabe über ein Flächenheizsystem, thermische Solaranlage und Einsatz von PV-Modulen. Der rot markierte Verlauf des Szenarienbaumes zeigt die nachfolgend dargestellten Maßnahmen (Abb. (324)).

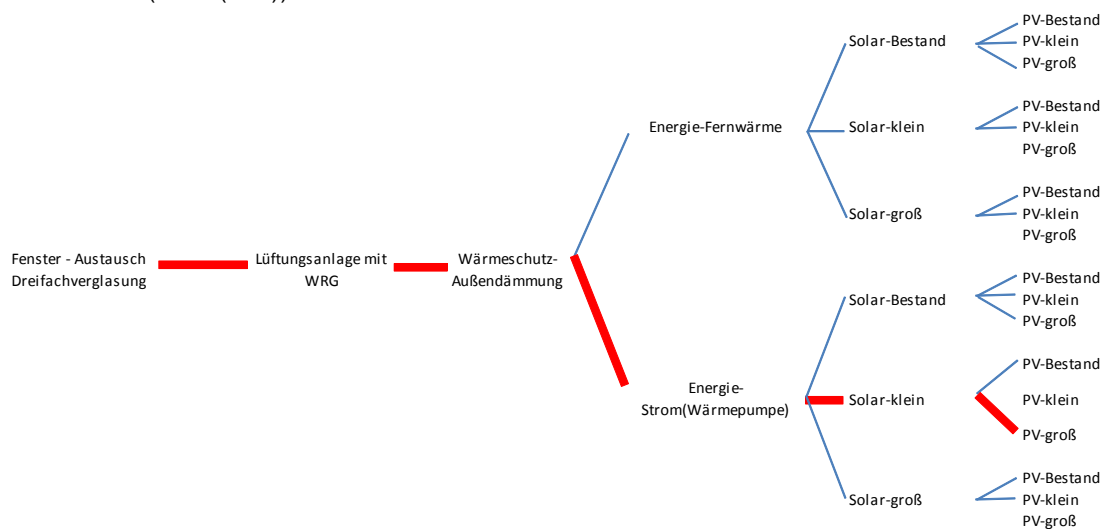


Abb. (324) Betrachteter Strang des Szenarienbaums

Klostertrakt

Im Falle des Klostertraktes des Franziskanerklosters konnte eine theoretische Gesamteinsparung des Endenergiebedarfs von 145 kWh/m²a erreicht werden, die CO₂-Emissionen konnten von 56,9 kg/m²a auf 15,35 kg/m²a gesenkt werden. Die Maßnahmen wurden, wie oben beschrieben, geändert. Die Kürzel unterhalb der Balken zeigt die Maßnahmen welche in den Berechnungen berücksichtigt wurden (Abb. (325)).

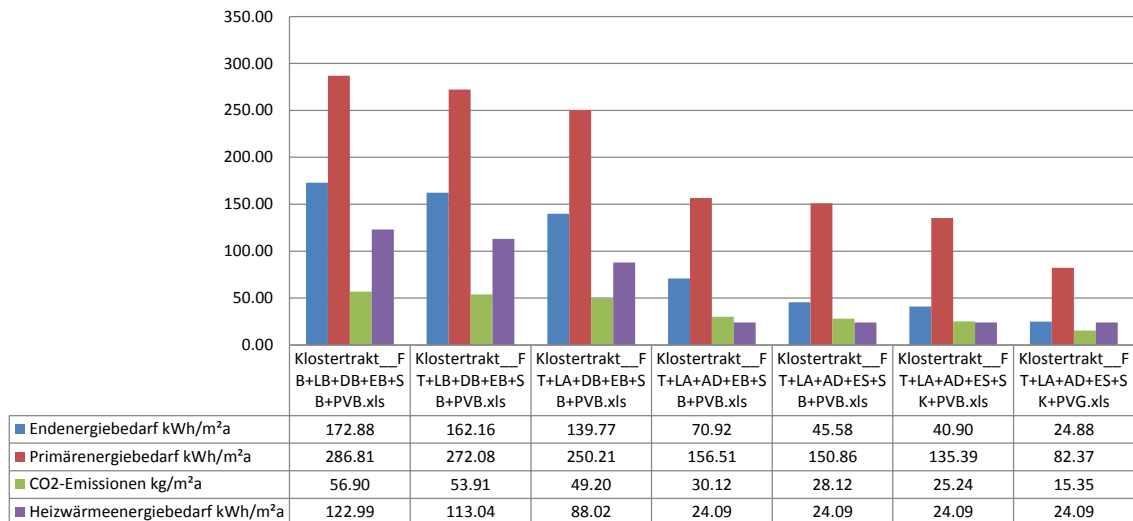


Abb. (325) Bewertung eines Sanierungspfad im Referenzgebäude Klostertrakt

Blockrandgebäude

Im Falle des Blockrandgebäudes konnte ebenfalls eine starke Verminderung des Endenergiebedarfs von 184,17 kWh/m²a auf 14,20 kWh/m²a errechnet werden. Die Einsparung an CO₂-Emissionen beträgt 45,68 kg/m²a. Die größte Einsparung des Energiebedarfs konnte durch die Außendämmung in Kombination mit Änderung des Energieträger und Wärmeabgabesystems erreicht werden. Da das Gebäude hauptsächlich mit Gas beheizt wird, konnte durch die Annahme, das Gebäude mit einer Wärmepumpe und einem Flächenheizsystem zu beheizen und eine Außendämmung aufzubringen, eine massive CO₂-Einsparung erzielt werden. Durch weitere Maßnahmen könnten die CO₂-Emissionen weiter gesenkt werden (Abb. (326)).

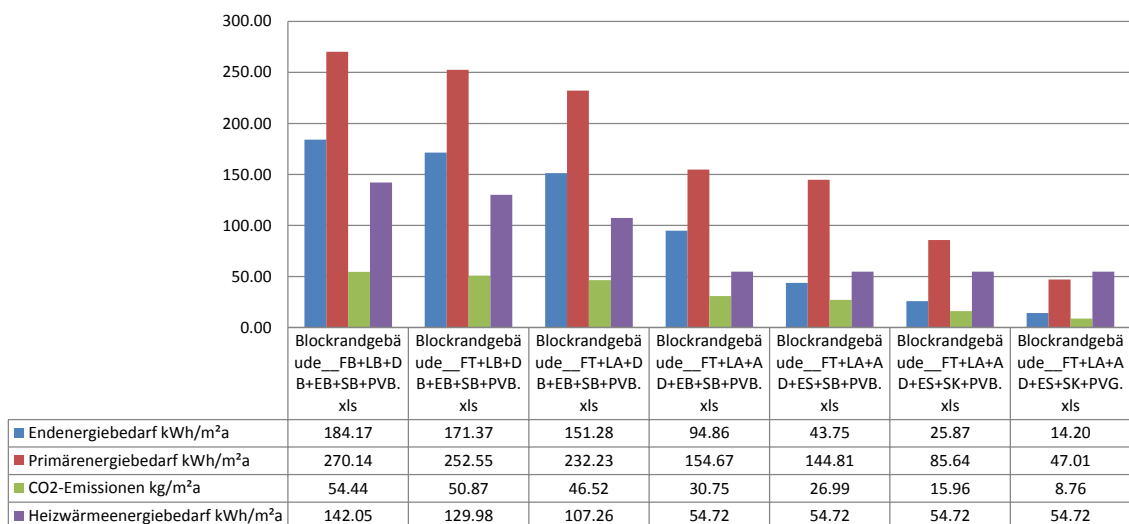


Abb. (326) Bewertung eines Sanierungspfad im Referenzgebäude Siedlungshaus

Kindergarten

Das Referenzgebäude Kindergarten konnte ebenfalls durch Berechnungen auf einen Endenergiebedarf von 54,36 kWh/m²a gebracht werden, dies ist eine Differenz von 168,42 kWh/m²a zum Ausgangswert. Die CO₂-Emissionen konnten um 37,3 kg/m²a gesenkt werden (Abb. (327)).

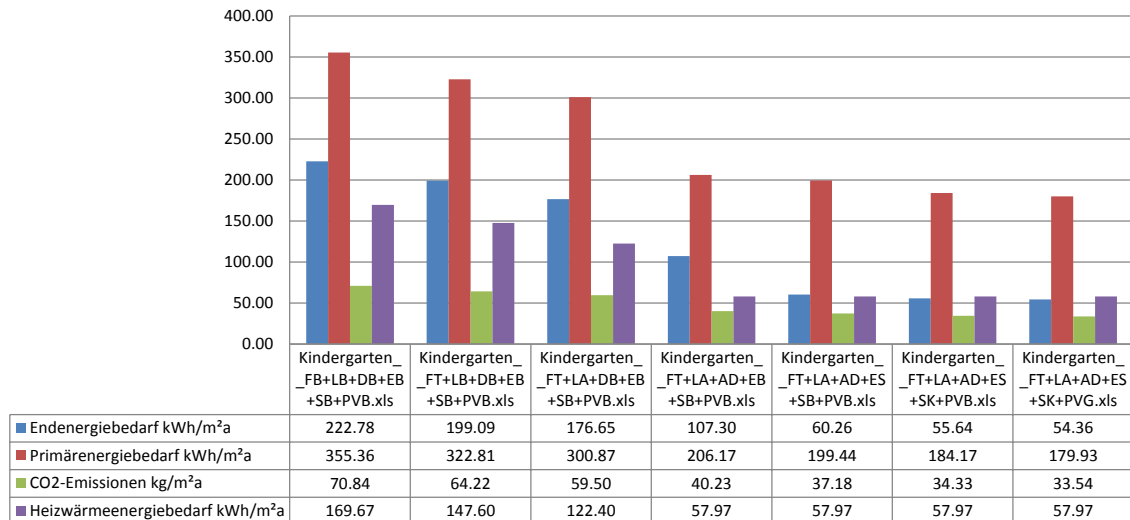


Abb. (327) Bewertung eines Sanierungspfades im Referenzgebäude Kindergarten

Siedlungshaus

Im Referenzgebäude Siedlungshaus ist ebenfalls deutlich zu erkennen, wie stark durch die Ergänzung der Maßnahmen der Energiebedarf sowie die CO₂-Emissionen gesenkt wurden. Auch der Primärenergiebedarf konnte, vor allem durch die Außendämmung und die Änderung des Energieträgers gesenkt werden, dabei ist vor allem auch die Effizienz des eingesetzten Wärmeerzeugers entscheidend. Insgesamt konnte eine Einsparung des Endenergiebedarfs von 122,7 kWh/m²a und der CO₂-Emission von 33,92 kg/m²a errechnet werden (Abb. (328)).

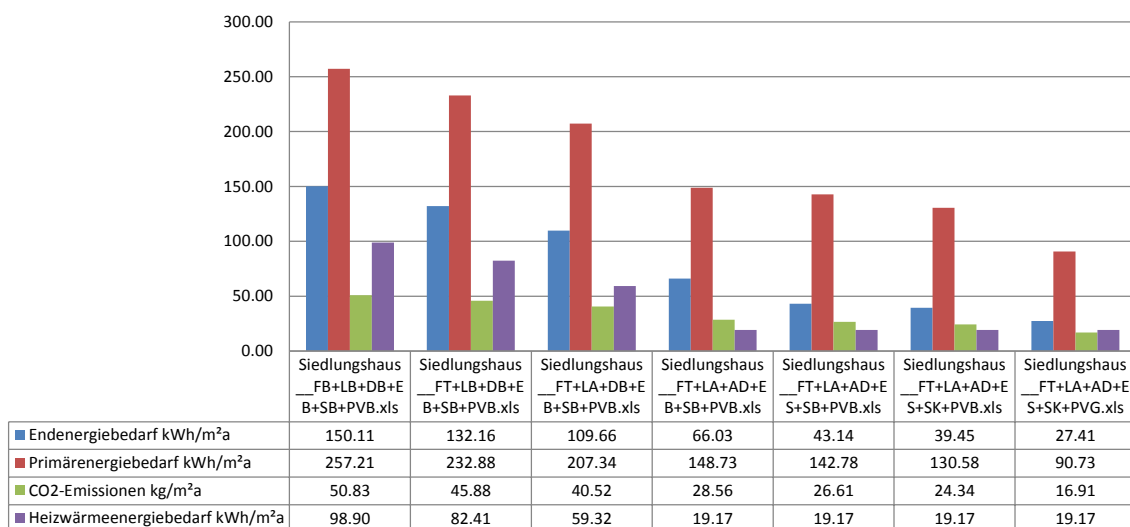


Abb. (328) Bewertung eines Sanierungspfades im Referenzgebäude Klostertrakt

Schulgebäude

Im Fall des Schulgebäudes ist durch die Änderung des Energieträgers keine Verminderung des Primärenergiebedarfs oder der CO₂-Emissionen erkennbar, da das Gebäude mit Fernwärme beheizt wird und dadurch das Gebäude durch Umstieg auf eine Wärmepumpe bilanziell stärker belastet würde. Allerdings in Kombination mit einer PV-Anlage ergibt sich ein völlig anderes Bild. Insgesamt konnte durch die Berechnungen eine Einsparung von 176,99 kWh/m²a an Endenergiebedarf erzielt werden (Abb. (329)).

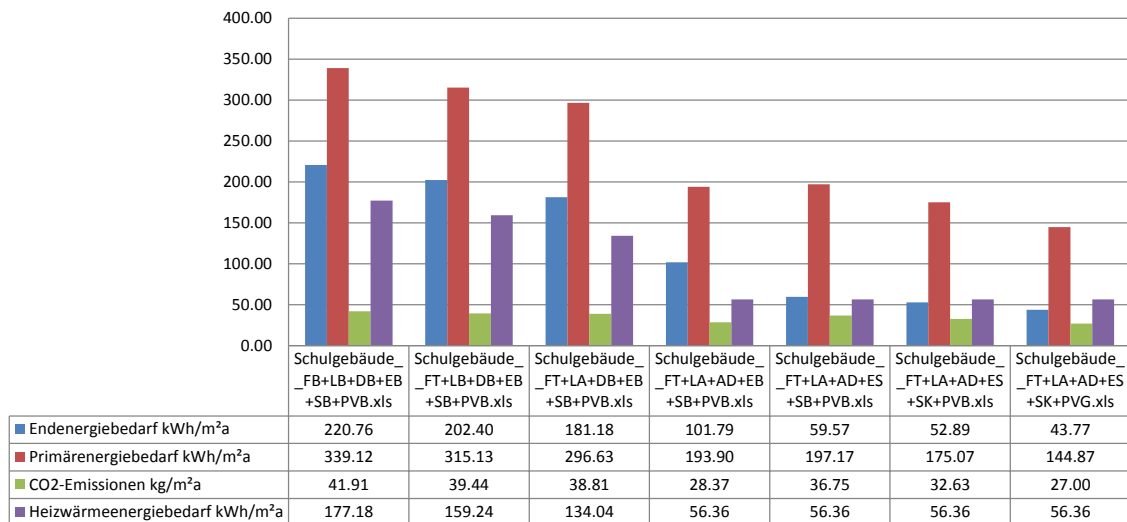


Abb. (329) Bewertung eines Sanierungspfades im Referenzgebäude Schulgebäude

4.4 Architektonische Konsequenzen von Sanierungsmaßnahmen

Sophie Grünewald, Thomas Mach

Jede bauliche Umsetzung von Maßnahmen zur Sanierung oder Modernisierung eines Gebäudes verursacht eine Änderung des energietechnischen Gebäudeverhaltens ebenso, wie eine Änderung des architektonischen Ausdrucks. Die Beschreibung der energietechnischen Auswirkungen einer Sanierungsmaßnahme basiert im Wesentlichen auf dem Verständnis und der vereinfachten Abbildung physikalischer Vorgänge. Die dazugehörigen Rechenmodelle sind in der technischen Expertenschaft allgemein anerkannt in der Regel meßtechnisch abgesichert. Vereinfachte Formen der Bewertungen sind zudem in das Normenwerk übernommen worden und stellen somit eine rechtlich abgesicherte Form der quantitativen Bewertung dar. In der Betrachtung der architektonischen Auswirkungen von Sanierungsmaßnahmen ist diese Eindeutigkeit der Bewertungsinstrumente in dieser Form nicht gegeben. Im Gegensatz zu den energietechnischen Auswirkungen, bei denen die quantitative Beschreibung einer Auswirkung direkt zu deren Beurteilung führt (je kleiner umso besser), kann die qualitative Beschreibung der architektonischen Auswirkungen nicht direkt in eine Beurteilung übergeführt werden. Das Ziel der folgenden Ausführungen liegt im Bestreben die architektonischen Auswirkungen von Sanierungsmaßnahmen zu erkennen, zu benennen und einer wertfreien Beschreibung zuzuführen. Die Auswahl der beschriebenen Sanierungsmaßnahmen ist **rein bautechnisch und energietechnisch motiviert** und nimmt daher in ihrer Zusammensetzung und in ihren Darstellungen **keine Rücksicht auf denkmalpflegerische Gesichtspunkte**.

Das Betrachtungsfeld ergibt sich indem die Sanierungsmaßnahmen aus dem Handlungsfeld BAUSTEINE auf die fünf Referenzgebäude (siehe Kapitel 4.2) bezogen werden. Im ersten Schritt wird ein Set an Betrachtungskriterien zu einem Kriterienkatalog zusammengefasst, welcher dann in der Folge auf die Sanierungsmaßnahmen angewendet wird. Eine Rückkopplung der Beschreibungen auf die Sichtweise des Bundesdenkmalamtes wird erreicht, indem die **wertfreie Beschreibung der Auswirkungen in jeder Maßnahme den Aussagen der „Richtlinie Energieeffizienz am Baudenkmal“** (Kapitel 2.1.3) **gegenübergestellt wird**.

4.4.1 Auswahl der Betrachtungskriterien

Architektur wird über die menschlichen Sinne wahrgenommen. *Sehen, Hören, Riechen, Schmecken und Tasten* erlauben dem Menschen Architektur wahrzunehmen könnten somit als „Meßeinrichtung“ bezeichnet werden. Daraus kann abgeleitet werden, daß eine über mehrere Individuen übereinstimmende Messung, eine sozusagen durch geeichte Messinstrumente durchgeführte Messung von Architektur, nicht möglich ist, da sich ja mit unterschiedlichen Messeinrichtungen durchgeführt werden und die erhaltenen „Messignale“ bestensfalls ähnlich aber in keinem Fall komplett gleichartig sein können. Die Interpretation der Messignale läuft noch individueller ab, da die Deutung der Messignale im menschlichen Gehirn von einer Reihe weiterer individueller Faktoren abhängt.

Nichtdestotrotz kann dieser Zugang verwendet werden um darüber nachzudenken, welche (physikalischen) Eigenschaften eines Gebäudes über die Sinne des Menschen detektiert werden können um diese in der Folge als „Betrachtungskriterium“ heranzuziehen. Abb. (330) zeigt die, auf Grundlage der beschriebenen Vorgangsweise, diesbezüglich angesetzten Betrachtungskriterien. Dabei ist festzuhalten, dass kein Anspruch auf Vollständigkeit erhoben wird. Die Definition eines einheitlichen Sets an Betrachtungskriterien stützt sich auf den Ansatz die Betrachtung der einzelnen Sanierungsmaßnahmen nicht beliebig, sondern anhand eines für alle Maßnahmen einheitlichen Schemas durchführen zu können.

Die Oberflächen der Innenbauteile mit dem dazwischenliegenden Innenraum und die Oberflächen der Außenbauteile mit dem umschließenden Außenraum sind primäre Themen des architektonischen Diskurses. Jede Veränderung im Zuge einer Sanierung nimmt Einfluß auf die architektonische Wirkung der Oberflächen und des Raumes. Nicht alle Wirkungen lassen sich eindeutig entweder der Oberfläche oder dem Raum zuordnen, sondern sind als Kombination der beiden zu sehen, oder aber auch sprachlich, auf Grundlage der fachspezifischen Begriffswelt, untrennbar ineinander verwoben. Um der Beliebigkeit zu entgehen, muss dennoch im vorliegenden Fall eine Zuordnung getroffen werden.

Die Auswirkung auf die **begrenzenden Bauteile** können mit den geometrischen Bedingungen, Oberflächeninformation, Farbe, Strahlungsreflexion, Unebenheit der Oberfläche und Temperatur an der Oberfläche beschrieben werden. Jede Maßnahme an einem Gebäude wirkt sich immer auf den Baukörper sowie den Innenraum aus. Die Auswirkung auf die **Wirkung des Innenraumes** wird durch die Raumgeometrie, Belichtung, Lufttemperatur, Luftfeuchte, Luftströmung, Raumakustik und Raumfaktorkritik definiert. Zusätzlich wirkt sich jede Sanierungsmaßnahme mehr oder weniger auf die **Wirkung des Außenraumes** aus und wird durch die Gebäudegeometrie und die Belichtung definiert.

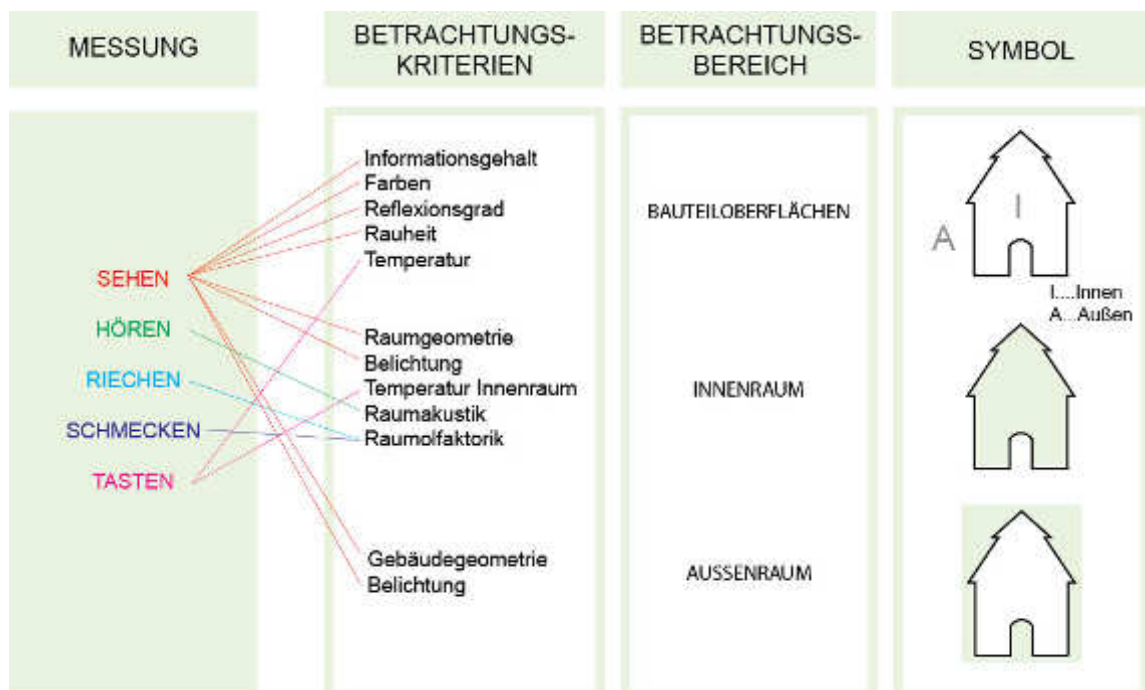


Abb. (330) Aufbau und System

Die vorliegenden Betrachtungskriterien beschränken sich auf die durch den Menschen direkt wahrnehmbaren architektonischen Konsequenzen. Die im Segment historischer, denkmalgeschützter Gebäude gehäuft anzutreffenden übergeordneten Qualitäten, wie die Bedeutung in Bezug auf die kulturelle Identität, die Geschichtsträchtigkeit eines Gebäudes oder aber Bewahrung bedeutender Handwerkskunst, werden in dieser Aufstellung nicht erfasst. Dadurch soll die Bedeutung dieser Kriterien nicht geschmälert werden, sondern es wird dadurch zum Ausdruck gebracht, dass diese Aspekte der Gebäudebewertung nicht als Zusatzkomponenten der bestehenden Betrachtung gesehen werden sollen, sondern als eigenständige Bewertungskategorie gesehen wird.

4.4.2 Architektonische Auswirkungen der Innendämmung

Außendämmungen sind im Sinne des Denkmalschutzes kaum möglich, da die Fassade einerseits in ihrer Erscheinung und andererseits in ihrer Substanz zerstört wird (BDA (s), 2011, S. 13). Falls nur das Erscheinungsbild erhalten werden soll, könnte die Fassade rekonstruiert werden, dass ist aber aufgrund der Exaktheit von neuen Systemen nicht erstrebenswert. Zu prüfen wäre die Anwendung von alten Techniken, wobei sich hier die Sinnhaftigkeit der Wirtschaftlichkeit in Frage gestellt wird. Da kaum eine Außendämmung bei denkmalgeschützten Gebäuden möglich ist, werden immer häufiger Innendämmungen eingesetzt (BDA (s), 2011, S. 11f).

Innendämmungen sind ein komplexes Thema, es müssen hier sehr viele Dinge beachtet und berücksichtigt werden. Dieser Bericht greift nur bestimmte Aspekte heraus und diese werden detaillierter betrachtet. Es gibt bei Innendämmung noch viele wichtige Punkte die berücksichtigt werden müssen, aufgrund des Umfangs haben wir keinen Anspruch auf Vollständigkeit. So werden zum Beispiel die Verlegungen von Elektroleitungen sowie Steckdosen und Lichtschalter oder wasserführende Leitungen vernachlässigt. Ebenso muss bei Innendämmungen Rücksicht auf Hängeschränke genommen bzw. gebietet die Montage von Bildern besondere Vorsicht. In Bezug auf unser Gebiet werden die Oberflächengestaltung und der Anschluss zu den angrenzenden Bauteilen genauer betrachtet.

Als Sanierungsmaßnahmen werden hier die Beplankung der inneren Oberfläche mit einem Plattenmaterial, das Verputzen einer Plattendämmung sowie das Verputzen einer aufgespritzten Dämmung herangezogen. Unter welchen Voraussetzungen Innendämmungen in der Richtlinie Energieeffizienz am Baudenkmal möglich findet man in Abb. (331).

- Durch die Anbringung der Dämmung darf es weder zu einer Beeinträchtigung des historisch-ästhetischen Erscheinungsbildes des Raumes noch zu einer Zerstörung von historisch wertvollen Putzschichten und Wandoberflächen kommen.
- Vor Anbringung der Dämmung ist seitens des Bundesdenkmalamts zu klären, ob der bestehende Putz entfernt, überputzt, beklebt oder gedübelt werden darf.
- Als Entscheidungsgrundlage sind im Einzelfall Voruntersuchungen an Mauerwerk, Putz und Anstrichen erforderlich.
- Die langfristige Schadensfreiheit ist nachzuweisen. Bei Innendämmungen hinter Ausstattungselementen (historischen Tafelungen etc.) und bei Fassungen auf der Wandaußenseite (Sgraffiti, Fresken etc.) ist diese besonders zu beachten.
- Diffusionsoffene und kapillaraktive Materialien sind diffusionsdichten Dämmungen vorzuziehen.
- Zur Verhinderung der Luftströmung durch die Innendämmung und dem damit verbundenen Risiko der Wasserdampfkondensation ist auf die Luftdichtheit und deren praktische Realisierbarkeit zu achten.
- Die Anschlussbereiche der Decken/Böden an die Außenwand bedürfen einer detaillierten Planung (Wärmebrücken). Eine Durchtrennung historischer Decken- und Bodenkonstruktionen (Balkenköpfe) ist auszuschließen.
- Für Dämmputze sind materialkonforme Zuschlagstoffe zu verwenden (z.B. mineralische Zuschläge für Kalkputze) und die Putzstärke dem ursprünglichen Putzauftrag möglichst anzulehnen.
- Im Falle der Entfernung historischer raumprägender Putzoberflächen ist die neue Putzoberfläche entweder dem ursprünglichen Charakter möglichst anzugleichen, oder gegebenenfalls eine neue Oberflächengestaltung im Einklang mit dem Bundesdenkmalamt zu konzipieren.

Abb. (331) Auszug aus Richtlinie Energieeffizienz am Baudenkmal zu 1.1.2 Innendämmung Mauerwerk (BDA (s), 2011, S. 11f)

Bei einer **Innendämmung** wird im Innenraum Fläche eingebüßt, da historische Gebäude meist große Räume haben fällt diese Veränderung wie zum Beispiel bei der Schönbrunnsgasse Abb. (332) (rechts) oftmals nicht zu sehr ins Gewicht. Bei kleiner strukturierten Räumen Abb. (332) (links) kann die Innendämmung die Größe des Raumes empfindlich verringern.

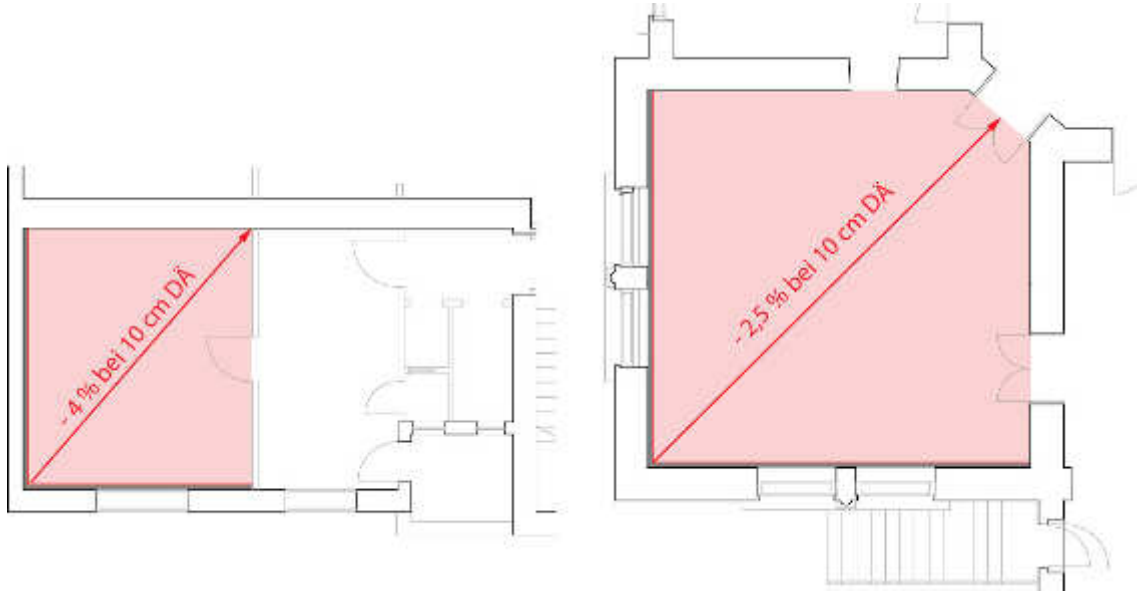


Abb. (332) Eckräume mit Innendämmung, links: Referenzgebäude „Siedlungshaus“ und rechts: Referenzgebäude „Kindergarten“

Unterschiedliche Sanierungsmaßnahmen bedingen ebenso unterschiedliche Oberflächen, wobei bei einem Plattensystem die finale Oberfläche immer ebener ist als bei einem aufgespritzten System (siehe Abb. (333) (1) und (2). Die Vielfältigste Möglichkeit stellt hier die aufgespritzte Dämmung da, die einerseits sich dem Untergrund anpasst (Abb. (333) (4)) und andererseits alle Oberflächenstrukturen (Abb. (333) (3)) ermöglicht.

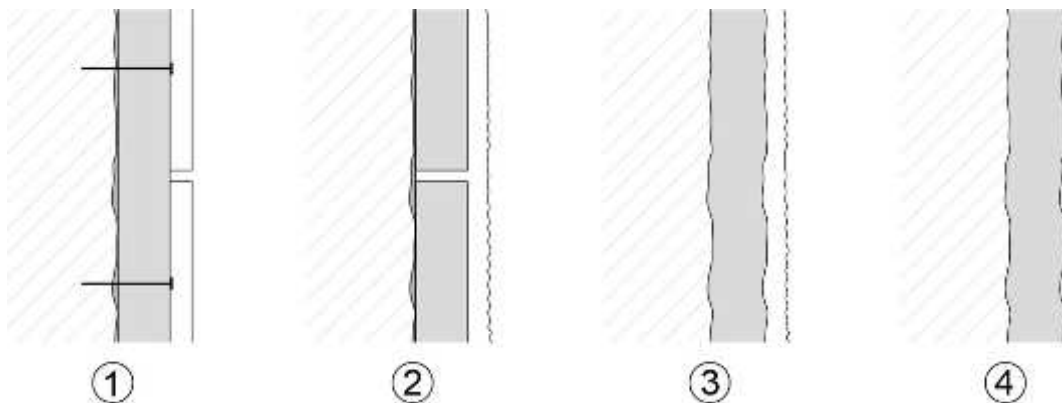


Abb. (333) Mögliche Sanierungsmaßnahmen bei Innendämmungen (1) Beplankung der inneren Oberfläche (2) Verputzen einer Plattendämmung (3) und (4) Verputzen einer aufgespritzten Dämmung

Beplankung der inneren Oberfläche

Das gängige Sanierungssystem ist die Anbringung einer auf der Außenwandinnenseite liegenden Innendämmung mit der Verwendung von verspachtelten und gemalten Platten als innerer Oberfläche. Entweder ist die Platte mit der Wärmedämmung (Verbundsystem) verbunden, oder wird auf eine Unterkonstruktion angebracht. Die Stöße, Fugen und eventuelle Montagemaßnahmen werden verspachtelt und anschließend die gesamte Wand gemalt.



Informationsgehalt: Oberfläche ist glatt und eben, Kanten und Abschlüsse sind exakt und scharfkantig.

Farben: gleichmäßige Farbwiedergabe durch homogenen Untergrund

Reflexionsgrad: durch ebene und glatte Oberfläche höhere Reflexion als bei bestehender Wand

Rauheit: das gemalte Plattensystem bedingt eine glatte Oberfläche, dadurch geringe Rauheit

Temperatur: eine höhere Oberflächentemperatur als bei Ziegel



Abb. (334) Links: Innendämmsystem Platte roh Quelle (baulinks, 2010) und rechts: Innendämmsystem Platte mit finaler, getrichener Oberfläche (Rockwool GmbH, 2010)

Verputzen einer Plattendämmung

Ein verputztes Dämmsystem besteht aus mehreren Schichten. Die Dämmung wird auf die bestehende Wand aufgebracht, dann kommt ein Unterputz mit ein Armierungsgewebe, eine Grundierung und eine Schlussbeschichtung. (sto (a), o.A). Die Schlusschicht ermöglicht eine hohe Gestaltungsvielfalt, abhängig vom verwendeten System. Es können entweder unterschiedliche Putzsysteme (Feinputz, Grobputz, Strukturputz,...) oder Fliesen, Tapeten etc. verwendet werden. Siehe Abb. (335)



Informationsgehalt: Die Oberfläche ist durch das verwendete Plattensystem eben und wird durch die Schlusschicht strukturiert. Die Kanten und Abschlüsse sind exakt, sie können aber scharfkantig oder weich ausgeführt werden.

Farben: gleichmäßige Farbwiedergabe durch homogenen Untergrund, die Farbe hängt von der verwendeten Schlusschicht ab

Reflexionsgrad: hängt von der verwendeten Schlusschicht ab, glattere und glänzendere Oberflächen reflektieren mehr als raue und matte Oberflächen

Rauheit: hängt von der verwendeten Schlusschicht ab (Feinputz, Grobputz, Strukturputz,...)

Temperatur: eine höhere Oberflächentemperatur als bei Ziegel und Gipskartonplatten



Abb. (335) Innendämmsystem verputzt, Teststand Schönbrunngrasse

Verputzen einer aufgespritzten Dämmung

Die Dämmung wird maschinell auf die bestehende Wand aufgespritzt und passt sich den Unebenheiten an. Siehe Abb. (336) (links und mitte)



Informationsgehalt: Eine unterschiedliche Oberflächengestaltung ist durch das frei formbare System möglich, ebenso kann jede Form bei Öffnungen modelliert werden. Kanten und Abschlüsse müssen nicht exakt sein. Siehe Abb. (336) (rechts)

Farben: hängt von der Form der Wand und von der Oberflächengestaltung ab

Reflexionsgrad: hängt von der Form der Wand und von der Oberflächengestaltung ab

Rauheit: hängt von der Form der Wand und von der Oberflächengestaltung ab

Temperatur: eine höhere Oberflächentemperatur als bei Ziegel und Gipskartonplatten



Abb. (336) Zellulosedämmung vor der Sanierung und nach der Sanierung (S.O.L.I.D. Gesellschaft für Solarinstallation und Design mbH, 2011, S. 3-49) (links und mitte) Rauhe Oberfläche von einer Zellulosedämmung mit Putz (S.O.L.I.D. Gesellschaft für Solarinstallation und Design mbH, 2011, S. 3-46) (rechts)

Innendämmung zu anschließendem Boden



Informationsgehalt: Eine Innendämmung sollte bis zur Geschoßdecke geführt werden. Dafür muss der Fußboden geöffnet werden. Darf der Boden nicht verändert werden muss die Dämmung wie im Beispiel der Schönbrunngrasse in Abb. (337) (rechts) über dem Boden abgesetzt werden. Am Beispiel des Franziskanerklosters Abb. (337) (links) wird sichtbar, dass durch eine Innendämmung die Fußbodenfläche des bestehenden Raumes immer geringer wird.

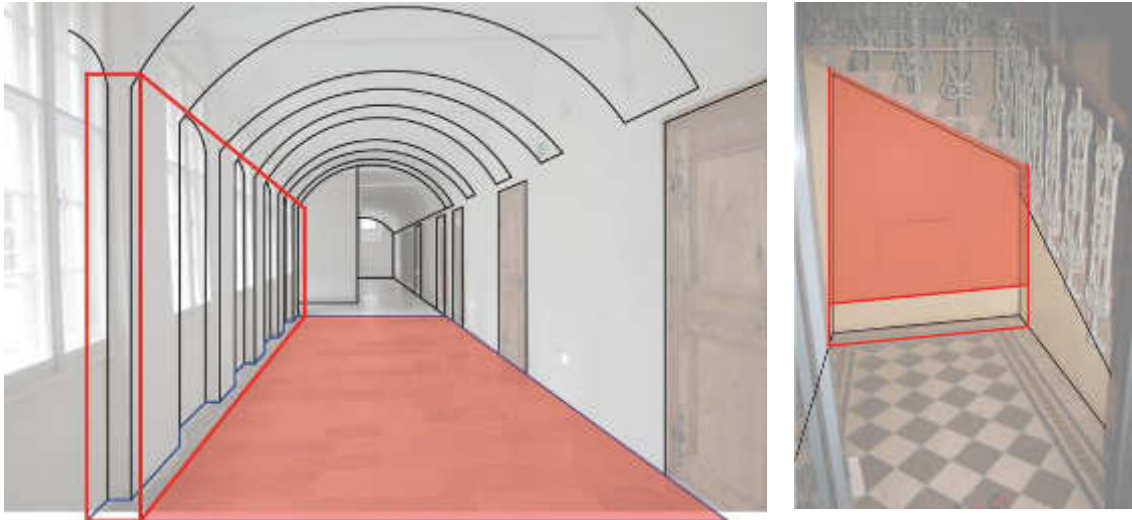


Abb. (337) Skizze links Gangbereich Kloster mit Dämmung, Skizze rechts gestalteter Boden der Schönbrunngrasse

Innendämmung zu anschließender Decke



Informationsgehalt: Bei einem Anschluss der Innendämmung an die Decke werden die bestehenden Hohlkehlen überdeckt. Ohne eine entsprechende Maßnahme wird bei diesem Abschluss wie im Beispiel Radetzkystraße auf die Hohlkehle verzichtet Abb. (338) (rechts). Durch eine neue Innendämmung wird der Übergang von der Wand zur Decke verändert. Die bestehende Hohlkehle wird abgedeckt und der Anschluss erfolgt über eine Gerade.

Damit die Innendämmung am Bestand nicht als neues Element hervorsticht kann man die Hohlkehle rekonstruieren Abb. (339) (1). Häufig werden gezogene Gipselemente aufgeklebt und gemalt. Bei einigen denkmalgeschützten Objekten sind die Decken verziert und die Wände mit Gesimsen bestückt. Hier wird es kaum möglich sein bis zur Geschoßdecke zu dämmen. Da diese Elemente nur durch einen erhöhten Aufwand abgetragen werden können, und durch die Innendämmung sich auch die Proportionen der Decke ändern, können sie nicht geändert werden. Sollte dennoch eine Innendämmung aufgebracht werden, muss unter einem umlaufenden Gesims die Dämmung abgesetzt werden Abb. (339) (2). Bei gemalten Decken oder Stuckdecken Abb. (339) (3), bei denen keine Gesimse an den Wänden vorhanden sind, muss die Innendämmung so weit von der Decke abgesetzt sein, dass die Sicht zur Bemalung von allen Positionen im Raum nicht beeinträchtigt wird. Bei Holzbalkendecken kann die Dämmung entweder zwischen den Balken bis zur Decke gezogen werden oder man setzt auf der Unterkante der Balken die Dämmung ab Abb. (340).

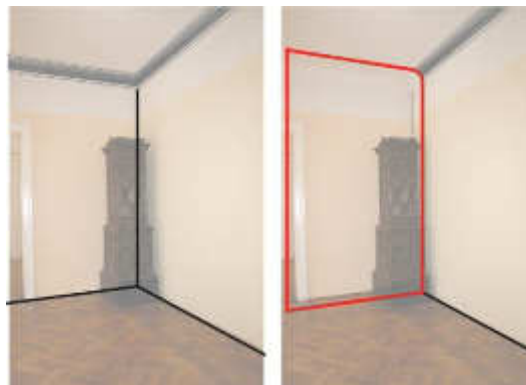


Abb. (338) Skizze der Ecksituation im Originalzustand (links) und mit überdeckter Hohlkehle durch Innendämmung in der Radetzkystrasse

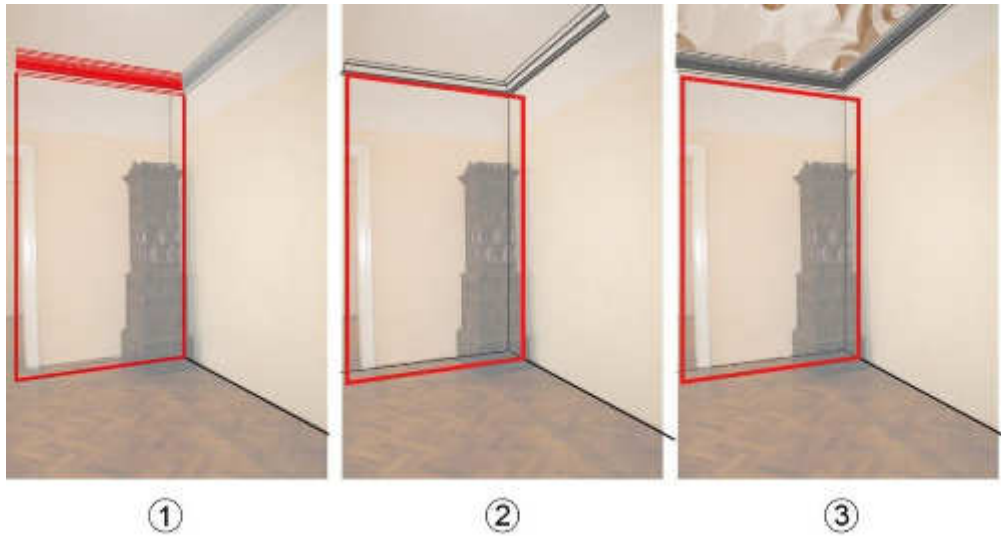


Abb. (339) (1) rekonstruierte Hohlkehle, (2) Stuckdecke mit Dämmung, (3) abgesetzte Dämmung bei Deckenfresco



Abb. (340) Absetzen der Dämmung unter einer Holzbalkendecke (Rigips, o.A.)

Innendämmung zu anschließendem Fenster



Informationsgehalt: Durch eine Innendämmung sitzt das Fenster tiefer in der Leibung. Die Dämmung kann bis zur Fensteröffnung gezogen werden Abb. (341) (links) oder wird in die Leibung bis zum Fenster gezogen Abb. (341) (rechts). Wenn keine Leibungsdämmung umgesetzt wird, wird die Innendämmung bis zur Fensterkante gezogen und dann an der Stirnseite verputzt. Zum bestehenden Putz in der Leibung werden ein Putzanschlussprofil und eine dauerelastische Fuge eingebaut.

Um die Wärmebrücken im Bereich des Rahmens zu reduzieren, sollte die Fensterleibung ebenfalls gedämmt werden. Leibungsdämmungen sind konstruktiv sehr aufwendig. Der vorhandene Putz und Teile der Mauer müssen vorsichtig abgeschlagen werden, ohne das Fenster zu zerstören. Dann kann eine Leibungsdämmung mit neuem Putz aufgebracht werden.

Falls bei einer Leibungsverkleidung Abb. (342) (1) die Dämmung bis zum Fenster gezogen wird, muss die Verkleidung abgenommen werden. Entweder wird diese um die Dämmstärke vergrößert oder nicht mehr aufgebracht Abb. (342) (2). Eine weitere Möglichkeit wäre, die Dämmung nur bis zur Verkleidung zu ziehen Abb. (342) (3) oder die Fensterverkleidung großzügig auszusparen Abb. (342) (4). Probleme können wie beim Testraum in der Schönbrunngrasse mit den Drückergarnituren entstehen Abb. (343) (links). Durch die Dämmung der Leibung ist es nicht mehr möglich die Drücker des Oberlichtes zu Öffnen. Hier muss das Schließsystem ausgetauscht werden. Diese Abzuschneiden oder einzuputzen kann keine Lösung sein.

Zusätzlich kommt durch die tieferen Leibungen weniger Licht in den Raum bzw. entsteht eine veränderte Lichtstimmung Abb. (343) (rechts). Außerdem reflektiert die neue Oberfläche in den Leibungen die Sonnenstrahlen differenzierter als vorher.

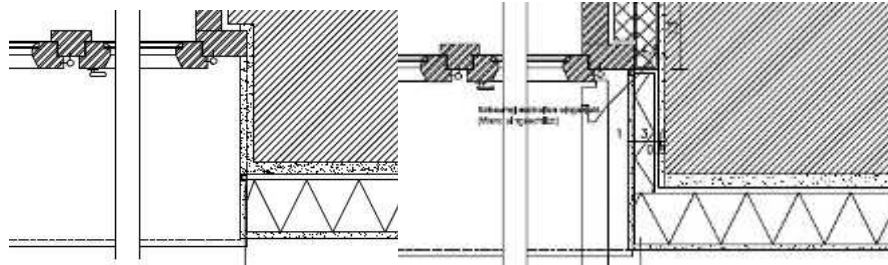


Abb. (341) Links: Fenster ohne Leibungsdämmung Rechts: Fenster mit Leibungsdämmung (IHB, 2012)

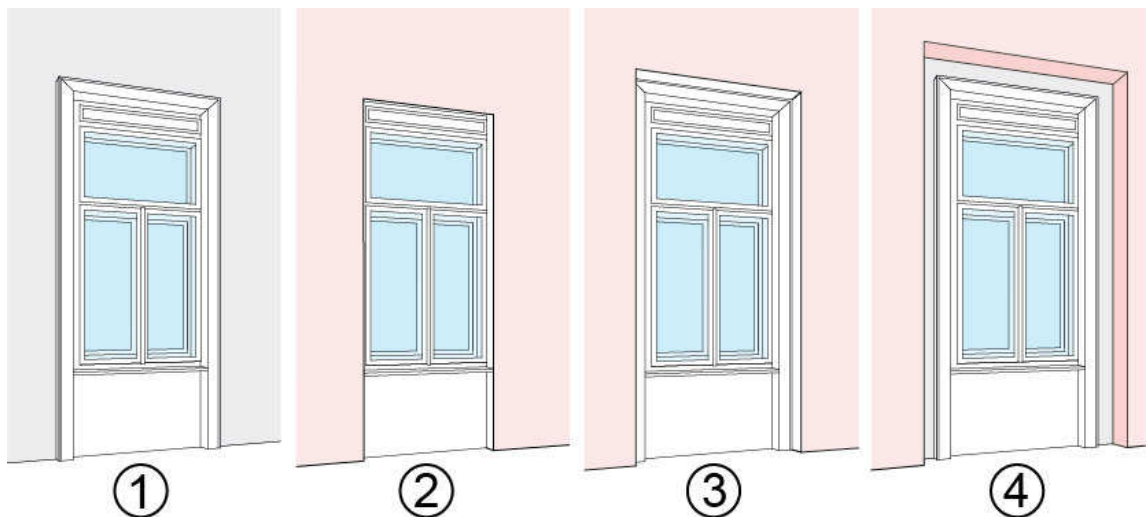


Abb. (342) (1) Fenster mit Leibungsverkleidung (2) Fenster mit Dämmung und demontierter Verkleidung (3) Dämmung bis zur Verkleidung (4) Ausgesparte Verkleidung

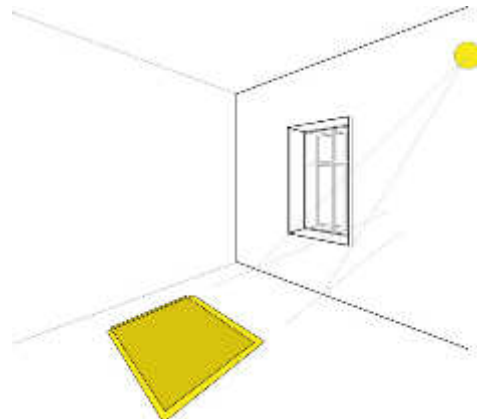


Abb. (343) Links: Leibungsdämmung über Oberlichte, Schönbrunngrasse Rechts: Veränderung der Fensteröffnung

Wirkung des Innenraumes



Raumgeometrie: Durch die Innendämmung verändert sich Proportion des Innenraums Abb. (344). Die finale Innenoberfläche der Außenwand wird um die Stärke der Innendämmung verschoben und dadurch ändert sich auch die Größe aller anschließenden Bauteile wie Decke, Wände und Fußboden. Das Volumen des Raumes wird kleiner und das Volumen der Fensteröffnung vergrößert sich um die Dämmstärke. Wie beim Beispiel Franziskanerkloster Abb. (345) ersichtlich, wird durch die Innendämmung der bereits schmale Gang noch beengter. Durch die Verschiebung der Endoberfläche der Außenwand wird die Fußbodenfläche im Bereich der Außenwand geringer. Die Proportion des Fußbodens ändert sich.

Belichtung: Durch tiefere Leibungen kommt weniger Licht in den Innenraum und der Raum erscheint dunkler. Es entsteht eine neue, ebene Oberflächengestaltung und die Schatten werden nicht mehr wie bei der bestehenden Wand geworfen. Durch gerade Kanten werden die Schatten scharf und exakt.

Temperatur im Innenraum: Durch die unterschiedlichen Dämmmaßnahmen verändert sich die Innenraumtemperatur bei gleichbleibender Energiezufuhr.

Raumakustik: Änderungen in der Schallabsorption und Schallreflexion der Innenoberflächen

Raumolfaktorik: Einerseits verändert sich das Sorptionsverhalten der innenliegenden Schicht in Bezug auf Feuchtigkeit und Gerüche und andererseits können neu errichtete Schichten Gerüche und Schadstoffe an die Innenraumluft absondern.

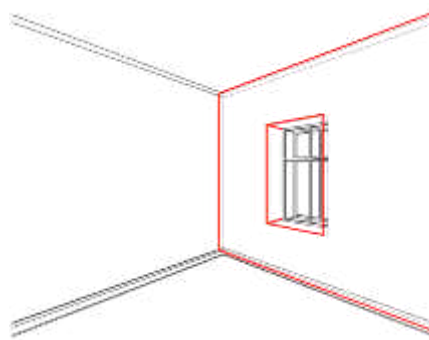


Abb. (344) Rot - Veränderung Raumdimension durch eine Innendämmung

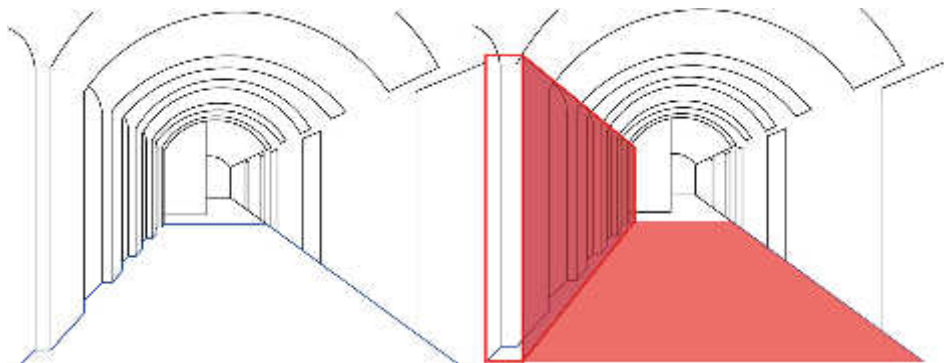


Abb. (345) Skizze Gang Franziskanerkloster

Wirkung des Außenraumes



Gebäudegeometrie: Die Innendämmsysteme wirken sich nicht auf die Gestaltung des Außenraums aus. Nur durch die tieferen Fensterleibungen ist die Veränderung von außen sichtbar.

Belichtung: Bei Dunkelheit des Außenraums und gleichzeitiger Belichtung der Innenräume ist die Lichttransmission vom Innenraum zum Außenraum verändert und ergibt dadurch ein geändertes Fassadenbild

4.4.3 Architektonische Auswirkungen der Sanierung von Kastenfenstern

Um ein Fenster denkmalpflegerisch zu sanieren muss es vorrangig erhalten und gangbar gemacht werden (BDA (s), 2011, S. 25). Was die Richtlinie Energieeffizienz am Baudenkmal darüber schreibt findet man in Grafik Abb. (346).

► Fenster- und Türkonstruktionen sind untrennbarer Bestandteil der Architektur und prägen maßgeblich das Erscheinungsbild des Baudenkmals. Sie sind Zeugnis des Gestaltungswillens und der Handwerkstechnik verschiedener Epochen und besitzen insofern neben der ästhetischen Bedeutung einen historischen Quellenwert, der durch die typischen Konstruktionsregeln und Materialien bestimmt ist. Historische Fenster und Türen sowie ihre Bestandteile (Glas, Beschläge, Fensterläden, Jalousien etc.) sind keine Verschleißteile und grundsätzlich zu erhalten.

Abb. (346) Auszug aus Richtlinie Energieeffizienz am Baudenkmal zu 4. Fenster und Türen S.25 (BDA (s), 2011, S. 25)

Als Sanierungsmaßnahmen werden hier die Kastenfenster mit neuen Dichtungen, Low-E Beschichtungen am Innenflügel im Scheibenzwischenraum, neue Isolierverglasungen am Innenflügel sowie der Austausch von Kastenfenstern behandelt.

Kastenfenster mit neuen Dichtungen

Als einfachste Sanierungsmaßnahme bei Kastenfenstern werden Dichtungen auf den Innenflügel, zwischen Rahmen und Stock aufgebracht Abb. (348). Als reversible Variante können Dichtungsbänder eingeklebt werden. Eine irreversible Maßnahme ist das Einfräsen von Hohlprofilabdichtungen. Abdichtungen bei Kastenfenstern sind in der Richtlinie Energieeffizienz am Baudenkmal unter den Voraussetzungen in Grafik Abb. (347) möglich.

► Seitens des Bundesdenkmalamts ist zu klären, ob bzw. wie die Fensterkonstruktion (mittels Kiebung oder Fräsung) nachträglich abgedichtet werden darf. Verschraubungen sind auszuschließen.

► Die Auswirkungen der Verringerung des Luftwechsels durch eine Fensterabdichtung sind vor der Durchführung der Maßnahme zu beurteilen. Hierfür ist es hilfreich, die raumklimatischen Bedingungen über einen längeren Zeitraum zu beobachten.

► Eine Fensterkonstruktion muss von innen nach außen undichter werden. Bei zwei Fensterebenen wird die Dichtung nur am Innenfenster eingebracht.

► Die Positionierung und Montage der Dichtung hängt von den vorgegebenen Profilstärken (Mindesttragquerschnitt) und der Einbausituation (Handhabung von Werkzeug) ab.

Abb. (347) Auszug aus Richtlinie Energieeffizienz am Baudenkmal zu 4.1.2 Abdichtung Fenster (BDA (s), 2011, S. 26)



Informationsgehalt: keine Änderung

Farben: ob sich eine Änderung in der Farbwirkung ergibt hängt von der Farbe der Oberflächenbeschichtung der Fenster und der Farbe der Dichtung ab. Oftmals sind diese nicht gleichfarbig wodurch sich ein farblich abgesetzter Rahmen ergibt

Reflexionsgrad: keine Änderung

Rauheit: keine Änderung

Temperatur: der konvektive Austausch zwischen Außenraum und Fensterspalt und zwischen Innenraum und Fensterspalt wird verkleinert, wodurch sich eine Veränderung der Lufttemperatur und der Luftfeuchte im Fensterzwischenraum ergibt



Abb. (348) Dichtungseinbau in Altbaufenster (ZP-System (a), o.A., S. 27)

Kastenfenster mit Low-E Beschichtung auf dem Innenflügel im Scheibenzwischenraum

Bei einem Low-E Glas wird ein normales Floatglas einseitig beschichtet (Halbleitende Beschichtungen aus Zinnoxid, versetzt mit Fluoratomen, 0,3 bis 0,4 Mikrometer dick). Dieses Glas wird in den Innenflügel eingesetzt, mit der beschichteten Oberfläche zum Scheibenzwischenraum. Es wird fast das gesamte Tageslicht durchgelassen und nur die Infrarotstrahlen reflektiert. (Pilkington, o.A.). Durch neue Gläser werden die Fugen neu verkittet.

Optimierungen beim Fensterglas sind in der Richtlinie Energieeffizienz am Baudenkmal unter den Voraussetzungen in Grafik Abb. (349) möglich.

Nachträgliche Folien:
Eine Verringerung des Wärmeverlustes durch eine nachträgliche Beschichtung des Bestandsglases mittels Folien ist unter folgenden Voraussetzungen möglich:

- Durch das Aufbringen von Folien darf es nicht zu einer nachteiligen Beeinträchtigung des historisch-ästhetischen Erscheinungsbildes des Fensters kommen (Färbung, Transparenz des Glases etc.).
- Folien können nur bei industriell hergestellten Gläsern (Floatglas) zum Einsatz kommen, da diese Maßnahme nicht als reversibel zu bezeichnen ist.

Beschichtete Gläser:
Eine Verringerung des Wärmeverlustes durch den Wechsel auf hart beschichtete Einfachgläser kann eine gute und denkmalverträgliche Alternative zu Isolierglas sein. Der Einsatz von beschichteten Gläsern ist unter folgenden Voraussetzungen möglich:

- Durch den Wechsel des Glases darf es weder zu einer nachteiligen Beeinträchtigung des historisch-ästhetischen Erscheinungsbildes des Fensters (Färbung, Transparenz des Glases etc.) noch zu einem Verlust von historischen mundgeblasenen Verglasungen kommen.
- Seitens des Bundesdenkmalamts ist zu klären, ob das Glas ausgetauscht werden darf.
- Ein ausreichender Querschnitt der Flügelhölzer und die notwendige Stabilität der Rahmenkonstruktion für das neue beschichtete Glas müssen gegeben sein.

Abb. (349) Auszug aus Richtlinie Energieeffizienz am Baudenkmal zu 4.1.3 Optimierung Fensterglas (BDA (s), 2011, S. 26)



Informationsgehalt: Änderung der Glasoberfläche

Farben: in der Ansicht und in der Durchsicht neutral (energie-m, o.A.), ein altes Gussglas erscheint weiß

Reflexionsgrad: Gussglas spiegelt in Wellen und teilweise sind Einschlüsse möglich, ein Floatglas ist glatt und hat keine Einschlüsse

Rauheit: keine Änderung da der Flügel erhalten bleibt

Temperatur: Verringerung des Ug-Wert der Verglasung von 2,8 W/(m²K) auf 1,5 W/(m²K) (energie-m, o.A.) durch Reflexion der Wärmeenergie geringerer Wärmeverlust

Kastenfenster mit neuer Isolierverglasung im Innenflügel

Das Glas des Innenflügels wird durch eine neue Isolierverglasung ausgetauscht. Der Fensterflügel muss die neue Dimension und das Gewicht des Glases aufnehmen können. Durch neue Gläser werden die Fugen neu verkittet.

Optimierungen beim Fensterglas sind in der Richtlinie Energieeffizienz am Baudenkmal unter den Voraussetzungen in Grafik Abb. (350) möglich.

Der Einsatz von Isolierverglasungen entspricht in der Regel nicht der denkmalpflegerischen Zielsetzung der historischen bzw. handwerkstechnischen Authentizität. Die Materialität der Isoliergläser und deren erforderliche Rahmenprofile führen zu gravierenden Veränderungen des Erscheinungsbildes von Fensterelementen. Darüber hinaus ist das Verbesserungspotential für die Gesamtenergiebilanz eines Gebäudes in den meisten Fällen gering.

Der Einsatz ist nur in Ausnahmefällen unter folgenden Voraussetzungen möglich:

► Der Wechsel des Glases führt weder zu einer nachteiligen Beeinträchtigung des historisch-ästhetischen Erscheinungsbildes des Fensters und der Fassade noch zu einer Zerstörung von historisch wertvollen Fensterkonstruktionen.

► Seitens des Bundesdenkmalamts ist zu klären, ob das Glas ausgetauscht werden darf.

► Alle alternativen Maßnahmen (Reparatur, Abdichtung, Optimierung Fensterglas, zusätzliche Fensterebene durch Vorfenster oder Doppelfenster) können nicht zur Anwendung gelangen.

► Die Verbesserung im Bereich des Bauteils Fenster besitzt für die spezifische Nutzung des Objektes eine unverzichtbare und ausschlaggebende Relevanz. Hierfür ist im Einzelfall ein entsprechender Nachweis zu führen (Gesamtenergiebilanz).

► In der Konstruktionsweise, in der Dimensionierung (z.B. Querschnitt der Flügelhölzer) und in der Detaillausbildung muss eine dem historischen Bestand vergleichbare Lösung umsetzbar sein. Die notwendige Stabilität der Rahmenkonstruktion für ein Isolierglas muss hierbei gewährleistet sein. Für die erforderliche Annäherung an die historischen Fensterkonstruktionen müssen Isoliergläsertypen mit minimalen Dimensionen (Glasabstände) verwendet werden.

► Bei bestehenden Kasten-, Doppel- oder Verbundfenstern sind Isolierverglasungen im Ausnahmefall nur in der inneren Fensterebene ausführbar, sofern in der Konstruktionsweise, in der Dimensionierung (z.B. Querschnitt der Flügelhölzer) und in der Detaillausbildung eine dem historischen Bestand vergleichbare Lösung umsetzbar ist.

► Zur Beurteilung des Erscheinungsbildes sind detailgenaue Werkzeichnungen (Ansichten 1:10, Detailschnitte 1:1) anzufertigen und bei Bedarf durch Musterfenster nachzuweisen.

► Einen Spezialfall bilden Bauten des 20. Jahrhunderts, für welche die Verwendung von Isolierglas charakteristisch ist.

Abb. (350) Auszug aus Richtlinie Energieeffizienz am Baudenkmal zu 4.1.3 Optimierung Fensterglas (BDA (s), 2011, S. 27)



Informationsgehalt: Änderung in der Innenscheibe von einem Einschichtsystem zu einem Zweischichtsystem mit dazwischenliegendem Metallband

Farben: Isoliergläser haben durch die Zweischichtigkeit und durch etwaige Oberflächenbeschichtungen oftmals eine gewisse Farbwirkung, demgegenüber erscheint ein altes Gussglas eher weiß

Reflexionsgrad: Gussglas spiegelt in Wellen und teilweise sind Einschlüsse möglich, ein Floatglas ist glatt und hat keine Einschlüsse. Oberflächenbeschichtungen ändern das Reflexionsverhalten der Gläser

Rauheit: altes Gussglas kann Einschlüsse und Schlieren aufweisen wodurch sich Bildverzerrungen ergeben können, Floatglas ist eben/glatt ohne Einschlüsse

Temperatur: durch den gasgefüllten Spalt und etwaige Oberflächenbeschichtungen ändern sich die Systemtemperaturen, die innere Oberflächentemperatur wird im Winterfall höher



Abb. (351) Isolierverglasung bei Kastenfenster (ZP-System (a), o.A., S. 7)

Neues Kastenfenster

Bei einem Fenstertausch muss das bestehende Fenster rekonstruiert werden. Es sollte die Dimension und die Einteilung der Fenster übernommen werden. Wichtig sind hier die schmalen, profilierten Flügelrahmenausführungen. Es sind je nach Bedarf unterschiedliche Ausführungen möglich (Isolierverglasung, Einscheibenverglasung, Low-E Verglasung, neue Beschläge mit Dreh- Kippflügeln,...). Siehe Abb. (353)

Ein Austausch von historischen Fenstern ist in der Richtlinie Energieeffizienz am Baudenkmal unter den Voraussetzungen in Grafik Abb. (352) möglich.

Da Fenster untrennbarer Bestandteil der Architektur und maßgeblich für das Erscheinungsbild und die Authentizität des Baudenkmals verantwortlich sind, entspricht der Abbruch eines historischen Fensters grundsätzlich nicht den denkmalpflegerischen Zielsetzungen. Ein Austausch erfolgt nur bei extremem Verschleiß, nicht reparierbaren Schäden oder bereits zuvor nachteilig veränderten Fenstern.

Der Ersatz des überlieferten Fensters durch einen adäquaten Nachbau ist unter folgenden Voraussetzungen möglich:

- Seitens des Bundesdenkmalamts ist zu klären, ob eine Reparatur des Fensters auszuschließen ist. Als Entscheidungsgrundlage sind im Einzelfall Voruntersuchungen am Bauteil erforderlich.
- Die Gestaltung des neuen Elements ist dem historischen Bestand in Konstruktionsweise, Dimensionierung und Detailausbildung so weit wie möglich anzunähern (Material, Beschläge, Profile, Sprossenteilung, Anstrich etc.) und in detaillierten Werkzeichnungen (Ansichten 1:10, Detailschnitte 1:1) vorzulegen.
- Findet sich am Objekt kein Vorbild mehr, ist die Fensterkonstruktion nach jenem Typus zu planen, der für das historische Erscheinungsbild der Fassade maßgebend ist.
- Bei erstmaliger Verglasungen von Öffnungen, für die es keine typologischen Vorbilder gibt (z.B. Arkaden, Biforien, etc.), ist eine kontextuelle Neuinterpretation zu entwickeln.

Abb. (352) Auszug aus Richtlinie Energieeffizienz am Baudenkmal zu 4.1.5 Austausch historischer Fenster (BDA (s), 2011, S. 28)



Informationsgehalt: neue Oberflächengestaltung der Rahmen und der Gläser Kanten und Profile sind scharfkantig und geometrisch exakt

Farben: die gesamte Farbpalette möglich, unterscheidet sich trotzdem von bestehenden Fenstern, da durch mehreren Lackschichten die Farbe differenziert wiedergegeben wird

Reflexionsgrad: durch neue Scheiben ändert sich die Reflexion

Rauheit: Floatglas ist glatter als ein Gussglas, bei neuen Fensterprofilen ist der Untergrund glatt und eben, bei bestehenden Fenstern sind mehrere unterschiedliche Lackschichten möglich

Temperatur: höhere Temperaturen als beim Bestand



Abb. (353) *Nachbau von Kastenfenster mit Isolierverglasung und „Drehkipp Funktion“ (ZP-System (a), o.A., S. 34f)*

Raumwirkung des Innenraums



Raumgeometrie: Wenn sich die Lage des Fensters ändert, ändert sich die Raumgeometrie. Bei neuen Dichtungen könnten sich durch die Einbauten die Lage der Flügel durch die Stärke der Dichtungsbänder gering verändern. Durch die starken Profile der Isolierverglasung und Low-E Verglasungen ändert sich die Lage der Scheiben im Zwischenraum. Das führt zu einem geringeren Abstand zwischen den Scheiben und einem geringeren Raumvolumen im Scheibenzwischenraum. Bei einem neuen Fenster kann durch den Einbau die Position verändert werden.

Belichtung: Die Einstrahlungsintensität ändert sich je nach Sanierungsart. Bei der Low-E Beschichtung wird fast das gesamte Tageslicht durchgelassen. Durch die Isolierverglasung ändert sich ebenfalls die Einstrahlung. Außerdem erscheint die Belichtung von einem Gussglas zu einem Floatglas unterschiedlich. Bei einem neuen Fenster verändert sich zusätzlich der Schattenwurf durch die exakten und geraden Kanten der neuen Profile.

Temperatur im Innenraum: Lufttemperatur, Luftfeuchte, Luftströmung ändern sich bei jeder Sanierungsvariante.

Raumakustik: neue Gläser führen zu einer Verbesserung des Schallschutzes nach außen, was zu einer verstärkten Wahrnehmung der gebäudeinternen Geräusche führen kann

Raumolfaktorik: Der Transport von Geruchsstoffen aus dem Außenraum wird durch dichtere Fenster reduziert, jedoch können durch interne Geruchsquellen anfallende Geruchsstoffe weniger gut in den Außenraum ablüften

Wirkung des Außenraumes



Gebäudegeometrie: Bis auf den Austausch der Kastenfenster sind die Sanierungsmaßnahmen nur auf die Inneren Elemente der Kastenfenster beschränkt. Ein neues Kastenfenster ist exakter und scharfkantig. Eventuell nachträglich eingebaute Rollokästen zeichnen sich stark in der Fassade ab.

Belichtung: Durch stärkere Profile bei neuen Fenstern wird der Innenraum mehr verschatten. Zusätzlich tragen nachträglich angebrachte Rollokästen zu einer größeren Verschattung des Innenraums bei.

4.4.4 Architektonische Auswirkungen der Implementierung von Lüftungsanlagen

Ein unsaniertes denkmalgeschütztes Gebäude weist durch die Durchlässigkeit bei den Fenstern eine hohe Lüftungsrate auf. Im Zuge einer Sanierung werden die Fenster dichter und das unkontrollierte Lüften über die Fensterfugen ist nicht mehr gegeben. Damit durch die Dichtigkeit keine Schäden am Bauwerk entstehen wäre eine nutzerunabhängige Frischluftzufuhr wichtig. Zusätzlich kann wie bei Schulen ein erhöhter Bedarf an Frischluft bestehen und energetisch eine Lüftungsanlage wirksam sein, da die warme Luft nicht über die Fenster entweichen kann. Für ein benutzerfreundliches und energetisch optimiertes Gebäude ist eine Lüftungsanlage heutzutage unumgänglich.

Es gibt bei Gebäuden zwei Möglichkeiten von Lüftungsanlagen, die sich durch die Lage bzw. den Aufstellungsort unterscheiden. Die dezentrale Lüftungsanlage wird auf der Fassade montiert und liefert den dahinter liegenden Raum Frischluft. Ab- und angesaugt wird über die Fassade. Zentralen Lüftungsanlagen werden in den Keller, auf dem Dachgeschoß oder in einem Nebengebäude positioniert. Die An- und Absaugelemente werden entweder in ein Fenster eingebaut oder über das Dach gezogen.

Lüftungsanlagen sind in der Richtlinie Energieeffizienz am Baudenkmal unter folgenden Voraussetzungen möglich siehe Abb. (354):

- Das Bauwerk muss sich prinzipiell für eine Lüftungs-/Klimaanlage eignen. Das heißt, es muss eine gewisse Dichtigkeit bereits gegeben sein, so dass zusätzliche Abdichtungen nur in verhältnismäßig geringem Maße erforderlich sind.
- Die bauphysikalischen Gegebenheiten sind für die Bedingungen vor und nach dem Einbau der Anlagen darzustellen, sowie der Einfluss des Nutzerverhaltens aufzuzeigen.
- Die historische Substanz und Charakteristik des Innenraums muss eine Installation ermöglichen.
- Es muss eine zerstörungsarme Kanalführung entwickelt werden. Das heißt, dass sich die Dimensionierung möglichst nach bestehenden Kanälen oder Durchbrüchen richtet. Zusätzliche Abbrüche bedürfen einer Klärung seitens des Bundesdenkmalamts.
- Im Falle einer Wohnraumlüftung mit Wärmerückgewinnung sind der Platzbedarf und der Aufstellungsort der Tauscher-Module zu beachten. Das gilt in noch stärkerem Ausmaß für den Platzbedarf der Verteil-Kanäle solcher Systeme.
- Insbesondere im Falle von Umnutzungen klimatisch spezifischer Räumlichkeiten in Erd- und Untergeschoßen (z.B. historische Keller) wird die Installation von Lüftungssystemen zur Stabilisierung des Raumklimas im Fußbodenaufbau empfohlen. Dies bedingt Auskofferungen, die zu Störungen von archäologischen Schichten führen können (Abklärung seitens des Bundesdenkmalamts und eventuelle Voruntersuchungen erforderlich).

Abb. (354) Auszug aus Richtlinie Energieeffizienz am Baudenkmal zu 7.1 Lüftungs- und Klimaanlage (BDA (s), 2011, S. 42)

Dezentrale Lüftungsanlage

Den geringsten baulichen und räumlichen Aufwand für eine Lüftungsanlage stellt die dezentrale Lüftungsanlage dar. Der Raum hinter der Fassade wird direkt mit Frischluft beliefert.



Informationsgehalt: Es gibt unterschiedliche Gestaltungsvarianten die immer von der Fassade und im Innenraum ablesbar sind. siehe Abb. (355)

Farben: hängt vom verwendeten System ab

Reflexionsgrad: hängt von der Oberflächengestaltung ab

Rauheit: hängt von der Oberflächengestaltung ab



Abb. (355) *Unterschiedliche dezentrale Lüftungssysteme bei historischen Gebäuden (IWT (a), 2012)*

Zentrale Lüftungsanlage

Bei einer zentralen Lüftungsanlage werden von einem Ort (Dach, Keller,...) die benützten Räume mit Frischluft beliefert. Die Verteilung erfolgt über runde oder quadratische Kanäle die entweder gefalzt oder geschweißt sind siehe Abb. (356). Befestigt werden die Kanäle mit Konsolen oder Abhängungen. Die Luft wird mit Ansaug- und Ausblaselemente mit dem Außenraum getauscht.



Informationsgehalt: Es werden sehr große Querschnitte benötigt die in dem bestehenden Gebäude eingebaut werden müssen. Die Lüftungskanäle können frei sichtbar sein oder verkleidet werden.

Farben: gesamte RAL- Farbpalette möglich siehe Abb. (357) (erste und zweite Bild von links)

Reflexionsgrad: Kanäle sind immer aus Metall und haben dadurch eine hohe Reflexion. Sollte die Oberfläche mit Lacken behandelt werden ändert sich die Reflexion. Siehe Abb. (357) (erste und zweite Bild von rechts)

Rauheit: Kanäle sind immer aus Metall und dementsprechend glatt. Sollte die Oberfläche mit Lacken behandelt werden, ändert sich die Struktur je nach verwendeter Oberfläche.



Abb. (356) *Wickelfalzrohr, Glattrohr, eckige Ausführung (von links) (Pichler, 2010, S. 4)*



Abb. (357) *v.l.n.r. Weißer Lüftungskanal und roter Lüftungskanal (Pichler, 2010, S. 3f) Metallische Oberfläche eines Lüftungskanals im Detail und Ansicht (Pichler, 2010, S. 1)*

Raumwirkung des Innenraumes



Raumgeometrie: Durch den Einbau von Lüftungsleitungen ändert sich die Raumgeometrie. Nicht verbaute Kanäle wirken dominanter als verkleidete, wobei die Verkleidungen mehr Platz benötigen.

Belichtung: durch den Einbau, abhängig von der Lage (Fenster, oder gegenüber liegende Wand etc.) ändert sich die Belichtung im Raum. Lüftungssystem wirft scharfe Schatten, zwischen den Kanälen und auf der Rückseite sind immer Schatten

Temperatur im Innenraum: Durch den stetigen Luftstrom verändert sich die Temperatur und Feuchte

Raumakustik: durch den Luftstrom in der Lüftungsanlage gibt es eine Geräuscentwicklung, außerdem kann durch den Kanal Geräusche von Nebenräumen übertragen werden

Raumolfaktorik: Luft in der Lüftungsanlage kann wahrgenommen werden



Abb. (358) links freier Lüftungskanal und rechts ein verkleideter Lüftungskanal (Isoflex ag, o.A.)

Wirkung des Außenraumes



Gebäudegeometrie: Bei einer Lüftungsanlage sind meistens die Ansaug- und Ausblaselemente am Gebäude sichtbar. In denkmalgeschützten Bereichen können die Elemente in (neue) Dachgaupen oder Kellerfenster eingesetzt werden. Dadurch sind die Lüftungselemente kaum sichtbar und werden nicht als störende Aufbauten wahrgenommen. Eine Beispielesammlung historischen Gebäude Abb. (359)

Belichtung: Wenn Systeme von der Lüftungsanlage vor Öffnungen wie Fenster und Türen positioniert sind, können diese die Belichtung in den Innenraum reduzieren und verschatten.

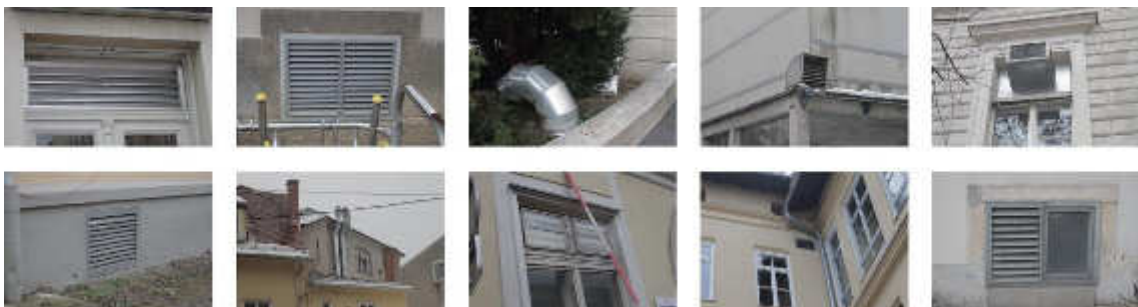


Abb. (359) Unterschiedliche zentrale Lüftungssysteme bei historischen Gebäuden (IWT (a), 2012)

4.4.5 Architektonische Auswirkungen des Einsatzes einer Bauteilkonditionierung

Bauteilkonditionierungen sind in der Richtlinie Energieeffizienz am Baudenkmal unter den folgenden Voraussetzungen möglich, siehe Abb. (360):

Bauteilheizungen können im Grunde in alle Flächen integriert werden. So gibt es neben der Fußbodenheizung mittlerweile häufig die Wand- oder Sockelheizung und seltener die Deckenheizung. Je nach denkmalpflegerischem Befund sind diese jeweils mehr oder weniger geeignet. Zu unterscheiden ist die Auslegung als Temperierung z.B. zur Schadensprävention (siehe 6.4 Temperierung) und die vollwertige Heizung mit höherer Temperatur bzw. größerer erforderlicher Abgabefläche. Anzustreben sind Kombinationen beider Systeme, insbesondere um Synergieeffekte in den Jahresübergangszeiten ausnutzen zu können. Prinzipiell gibt es Wasserrohrsysteme und elektrische Systeme (z.B. Infrarotmatten, Heizgitter etc.).

Abb. (360) Auszug aus Richtlinie Energieeffizienz am Baudenkmal zu 6.3 Bauteilheizung (BDA (s), 2011, S. 38)

Fußbodenheizung

Bei einer neuen wassergeführten Fußbodenheizung in einem bestehenden Gebäude gibt es momentan zwei bewährte Systeme. Einerseits das **Trockensystem**, hier werden Rohre unter dem Bodenbelag bzw. unter dem Trockenestrich verlegt. Die Heizrohre befinden sich innerhalb einer Dämmschicht und die Wärme wird durch Wärmeleitbleche aus Metall an die Last- und Wärmeverteilschicht geleitet. Andererseits gibt es das **Nasssystem**, hier werden die Rohre in den Estrich eingebaut. Die Heizrohre werden auf Noppenplatten verlegt und mit Estrich überdeckt siehe Abb. (361) (IKZ-Haustechnik, 1999). Bei beiden Systemen muss der bestehende Boden bis zur Rohdecke abgetragen werden. Eine Ausgleichsschicht aus Estrich oder Split ermöglicht einen ebenen Untergrund für die Fußbodenheizung. Eine nicht sehr verbreitete Variante ist das **Einfräsen von Kanälen** in den bestehenden Estrich Abb. (362). Die Heizrohre werden in die Kanäle eingelegt und verspachtelt. Darauf kann der Boden verlegt werden.



Informationsgehalt: Ein neuer Fußbodenaufbau verändert die Aufbauhöhe sowie das Gewicht der Decke. Türen und eventuelle Faschen bei Fenstern müssen gekürzt werden. Bei dem Einfräsen von Heizungsrohren entsteht keine zusätzliche Aufbauhöhe. Der Bodenbelag muss bei allen Varianten neu verlegt werden. Wobei hier historische Baumaterialien genauso verwendet werden können wie neue Bodenbeläge – es muss nur geprüft werden, ob sich diese Materialien für eine Fußbodenheizung eignen. Der Eingriff mit einer Fußbodenheizung führt immer zu einer Veränderung des Bestandes und ist meistens als solche ersichtlich.

Farben: hängt vom verwendeten Bodenmaterial ab

Reflexionsgrad: hängt vom verwendeten Bodenmaterial ab

Rauheit: hängt vom verwendeten Bodenmaterial ab

Temperatur: Oberflächentemperatur wird durch die darunterliegende Fußbodenheizung wärmer, auch abhängig vom verwendeten Bodenmaterial – Holzfußboden, Keramikboden,...

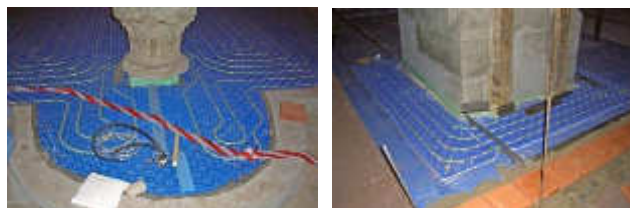


Abb. (361) Nasssystem bei Fußbodenheizung (Dr. Scheffler & Partner GmbH (b), o.A.)



Abb. (362) Die Fußbodenheizungsrohre werden direkt in den gefrästen Estrich eingelegt (IKZ, 2012)

Wand- und Sockelheizung

Es gibt bei Wand- und Sockelheizungen ebenfalls drei Verfahren: das **Trocken-, Nassbau-system** oder **eingefräste Heizrohre**. Der Verlegeplan sollte bei allen Varianten geplante Wandaufbauten berücksichtigen. Für spätere Wandmontagen sollte die Leistungsführungen dokumentiert werden. Wandheizungen sind in der Richtlinie Energieeffizienz am Baudenkmal unter folgenden Voraussetzungen möglich siehe Abb. (363):

- Durch die Installation einer Wandheizung darf es weder zu einer nachteiligen Beeinträchtigung des historisch-ästhetischen Erscheinungsbildes des Raumes noch zu einer Zerstörung von historisch wertvollen Putzschichten und Wandoberflächen kommen.
- Seitens des Bundesdenkmalamts ist zu klären, ob der bestehende Putz entfernt werden darf.
- Als Entscheidungsgrundlage sind im Einzelfall Voruntersuchungen an Mauerwerk, Putz und Anstrichen erforderlich.
- Bei Anlagen im Bereich von anstehendem Gelände, Erdfeuchte und Mauerseizen, aber auch besonderen Nutzungsansprüchen, ist der Einfluss der Temperierung auf den Feuchte- und Salztransport zu beachten.
- Es muss eine zerstörungsarme Leitungsführung entwickelt werden.
- Bei Wandkonstruktionen aus Holz ist ein besonderes Gefährdungspotential durch Betriebsfeuchtigkeit oder Schäden gegeben (Rohrbruch/Rohrleck). Wasserführende Wandheizungen sind hier zu vermeiden.

Abb. (363) Auszug aus Richtlinie Energieeffizienz am Baudenkmal zu 6.3.2 Wandheizung eingefräst/eingeputz (BDA (s), 2011, S. 39)

Trockenbausystem:

Die Heizrohre sind auf Platten befestigt und diese werden auf der Wand mittels Schienen montiert. Die Stöße, Fugen und eventuelle Montagemaßnahmen werden verspachtelt und anschließend die gesamte Wand gemalt.



Informationsgehalt: Die Oberfläche wird glatt und eben. Kanten und Abschlüsse exakt und scharfkantig. Die Struktur der bestehenden Wand ist nicht mehr sichtbar. Hohlkehlen und Stuckarbeiten werden überdeckt.

Farben: gleichmäßige Farbwiedergabe durch homogenen Untergrund

Reflexionsgrad: durch ebene und glatte Oberfläche höhere Reflexion als bei bestehender Wand

Rauheit: das gemalte Plattensystem bedingt eine glatte Oberfläche, dadurch geringe Rauheit

Temperatur: durch die integrierte Wandheizung eine höhere Oberflächentemperatur als bei Bestandwand

Nassbausystem:

Die Heizrohre werden mittels Klemmschienen oder Klemmhalterungen an der bestehenden Wand befestigt und mit einer Überdeckung von min. 10 mm verputzt. Siehe Abb. (364)



Informationsgehalt: Die Schlusschicht ermöglicht eine hohe Gestaltungsvielfalt, abhängig vom verwendeten System. Es können entweder unterschiedliche Putzsysteme (Feinputz, Grobputz, Strukturputz,...) oder Fliesen, Tapeten etc. verwendet werden. Die Oberfläche wird durch die Putzschicht gegliedert und geformt. Kanten und Anschlüsse können exakt oder weich modelliert werden. Die Struktur der bestehenden Wand ist nicht mehr sichtbar.

Farben: gleichmäßige Farbwiedergabe durch homogenen Untergrund, die Farbe hängt von der verwendeten Schlusschicht ab

Reflexionsgrad: hängt von der verwendeten Schlusschicht ab, glattere und glänzendere Oberflächen reflektieren mehr als raue und matte Oberflächen

Rauheit: hängt von der verwendeten Schlusschicht ab (Feinputz, Grobputz, Strukturputz,...)

Temperatur: durch die integrierte Wandheizung eine höhere Oberflächentemperatur als bei der bestehenden Wand



Abb. (364) Stützentemperierung unverputzt und verputzt (Dr. Scheffler & Partner GmbH (c), o.A.)

Eingefräste Heizrohre:

In die bestehende Wand werden Schlitz für Rohrleitungen eingestemmt. Die Leitungen werden eingelegt und verspachtelt. Als Schlusschicht wird die gesamte Wand neu gestrichen. Siehe Abb. (365)



Informationsgehalt: Die Oberflächenstruktur der Wand bleibt bis auf die verspachtelten Schlitzte bestehend. Die Verspachtelungen können sichtbar sein.

Farben: Farbwiedergabe vom Bestand mit Ausnahme der verspachtelten Stellen, hier unterscheidet sich die Farbwiedergabe durch einen differenzierten Untergrund

Reflexionsgrad: Reflexionsgrad vom Bestand, verspachtelte Schlitzte haben eine unterschiedlichere Reflexion wie der Bestand

Rauheit: Rauheit vom Bestand, verspachtelte Schlitzte können glatt sein

Temperatur: durch die integrierte Wandheizung eine höhere Oberflächentemperatur als bei der bestehenden Wand



Abb. (365) *Wandheizung Franziskanerkloster - eingestämmt (Knüppel, Broidler, & Knotzer, Franziskanerkloster Graz - erfolgreich auf dem Weg zum Nullemissionskloster, 2012)*

Raumwirkung des Innenraums



Raumgeometrie: Bei eingefrästen Systemen ändert sich die Raumproportion nicht. Im Gegensatz dazu ändert sich beim Trocken- und Nassverfahren die Raumproportion wie bei der Innendämmung (Abschnitt 4.4.2 Unterabschnitt Raumwirkung des Innenraums). Am Beispiel Franziskanerkloster sieht man, dass die Fußbodenfläche geringer wird. Ebenso werden die Proportion von Decke/Boden bzw. Innenwänden zur Außenwand verändert.

Belichtung: Durch tiefere Leibungen beim Trocken- und Nassverfahren kommt weniger Licht in den Innenraum. Auf Grund einer neuen, ebenen Oberflächengestaltung werden Schatten nicht mehr wie bei der alten Wand geworfen, durch exakte Kanten scharfe Schatten.

Temperatur im Innenraum: Temperatur ändert sich, dadurch auch Strömung, die Wandfeuchte wird reduziert

Raumakustik: verändert sich bei dem Trocken- und Nassverfahren

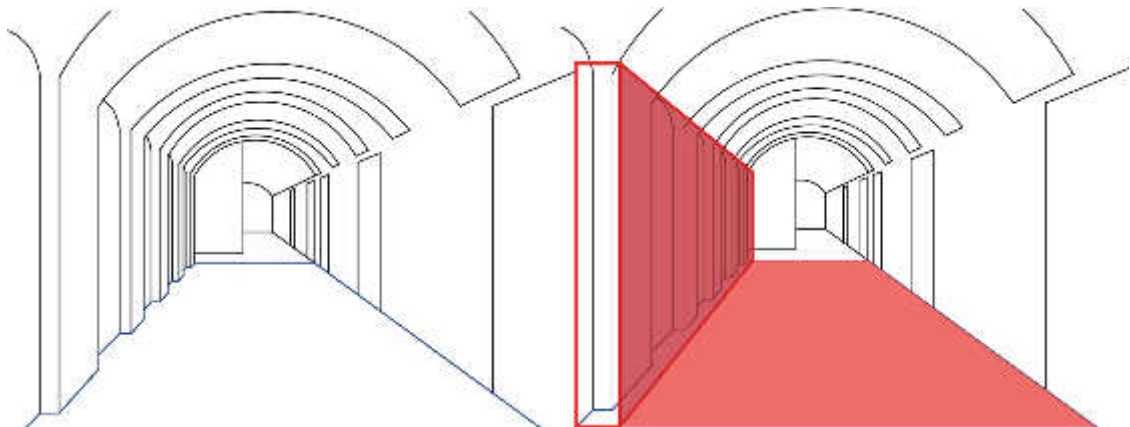


Abb. (366) *Skizze Gang Franziskanerkloster*

Wirkung des Außenraumes



Gebäudegeometrie: Die Innendämmsysteme wirken sich nicht auf den Außenraum aus. Nur durch die tieferen Fensterleibungen ist die Veränderung von außen sichtbar

4.4.6 Architektonische Auswirkungen der Ergänzung von Solartechnologien

Die Integration von Solartechnologien in die Außenhülle von Gebäuden ist ein zurzeit intensiv diskutierter Themenbereich. Sowohl die bautechnische Umsetzung in Relation zu der energietechnischen Relevanz als auch gestalterische Aspekte und deren Bezug zum Denkmalschutz werden kontroversiell diskutiert.

ANSATZ

Das folgende Kapitel bringt Beispiele und Überlegungen zum Einsatz aktiver solartechnischer Elemente in Gebäudehüllen. Im Bereich der gestalterischen Aussenwirkung steht dabei die Frage nach der Integration der Kollektorflächen bzw. Modulflächen im Zentrum der Betrachtungen. Die in der Folge angeführten Darstellungen sind **aus dem Blickwinkel einer energietechnischen Verbesserung motiviert** und orientieren sich **ausschließlich an bautechnischen und energietechnischen Möglichkeiten**. Einige der gezeigten Beispiele befinden sich nicht in Österreich und sind demzufolge unter den jeweiligen örtlichen Bestimmungen entstanden. Eine Umlegung auf die Genehmigungsfähigkeit in Österreich kann daraus nicht abgeleitet werden.

Die Integration von Kollektorflächen bzw. Modulflächen in die Außenhülle eines Gebäudes hat in der Regel einen großen Einfluss auf die Außengestaltung. Die Richtlinie „Energieeffizienz am Baudenkmal“ schreibt dazu folgendes (siehe Abb. (367)):

Sonnenenergie kann einen gewissen Anteil an der Gebäudeversorgung leisten, wobei Solarthermie- und Photovoltaiksysteme bzw. Kombinationen aus beiden (Kombimodule) zu unterscheiden sind. Die Kollektoren werden nach dem Sonnenstand ausgerichtet, weshalb geneigte Flächen prädestiniert für die Montage und damit die Dachflächen ein bevorzugter Anbringungsort sind. Das Dach eines Baudenkmals ist ein wichtiges, oft großflächiges, weithin sichtbares Element, das durch seine Form und die Oberflächenqualitäten des Deckungsmaterials einen integrierenden Bestandteil der Substanz und überlieferten Erscheinung des Baudenkmals bildet. In der Gesamtwirkung hat es die Größe und Wertigkeit einer Fassade. Die Erhaltung des überlieferten historischen Erscheinungsbildes ist daher eine zentrale denkmalpflegerische Zielsetzung. Im Ensemble können die einzelnen Dächer zu einer charakteristischen und gestaltprägenden Dachlandschaft zusammentreten. Am Baudenkmal sind daher Sonnenkollektoren nur mit sehr großen Einschränkungen vertretbar und dürfen jedenfalls nicht einsehbar sein. Grundsätzlich kann über Solarmodule nicht als Einzelmaßnahme entschieden werden. Sie müssen Bestandteil eines Gebäudetechnikkonzeptes sein.

Abb. (367) Auszug aus Richtlinie Energieeffizienz am Baudenkmal zu 5.3 Solarenergie (BDA (s), 2011, S. 33)

Eine Variante der Behandlung dieses Themenbereiches liegt in der Klassifizierung des Einsatzortes der Kollektorflächen. Am Gebäude selbst ist einerseits die Integration in Dach- oder Wandflächen (1) möglich, andererseits können durch neue additive Bauteile Solarelemente eingesetzt werden (2). Weiters können bei ungeschützten Gebäuden und Gebäudeteilen oder auf neuen Bauwerken wie Carports oder Pavillons Solartechnologien verbaut werden (3). Die vierte Variante ist die Nutzung von räumlich getrennten Solaranlagen (4) Abb. (368).

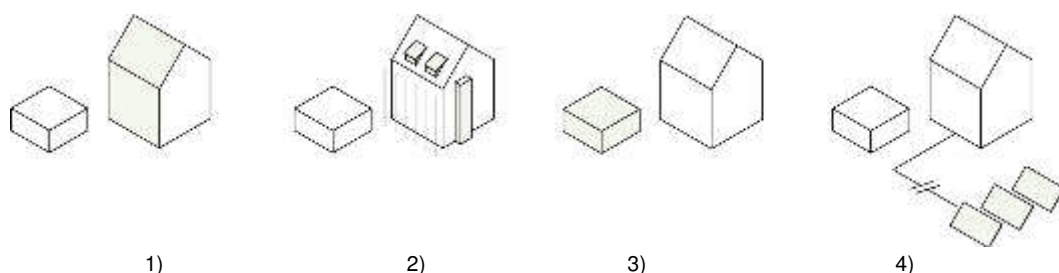
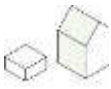


Abb. (368) Vorschlag einer Integrationsklassifizierung der Kollektorflächen



Dach- und Wandintegration

Solarpaneele können in bestehende Gebäude unterschiedlich integriert werden. Die einfachste Variante ist eine Indachmontage mit sichtbaren Eindeckblechen und Befestigungspunkten. Die Solarelemente werden durch die Rahmen horizontal und vertikal gegliedert und sind sofort als neues Element ersichtlich. Architektonisch ansprechender ist hier die Verwendung von rahmenlosen Elementen mit unsichtbaren Befestigungen. Gestalterisch sind unterschiedliche Ansätze möglich. So kann entweder die gesamte Fläche mit Solartechnologien bestückt werden oder durch bewusste gestalterische Entscheidungen nur Teilflächen oder bestimmte Bereiche ausgewiesen werden. Diese Flächen können wie bei der Kirche in Mühlen (D) Abb. (371) auch künstlerisch gestaltet werden. Die Solaranlage verliert dadurch die rein zweckgebundene Aufgabe zur Nutzung von Sonnenenergien und wird zum Kunstwerk.

Neben den Solarkollektoren stehen auch Solarziegel mit Photovoltaik oder Solarthermie als gestaltendes Element zur Verfügung. Die Ziegel ermöglichen bei historischen Gebäuden eine kleinteilige Dachteilung und sind weniger sichtbar als Kollektorflächen.

Bei historischen Wänden ist die Integration von Solartechnologien meist schwierig, da eventuell Stuckelemente oder historische Putze vorhanden sind und diese nicht zerstört werden dürfen. Falls Wände frei von erhaltenswürdigen Oberflächen sind, können hier dieselben Kollektorsysteme wie beim Dach verwendet werden. Beim *Franziskanerkloster in Graz* wurden die obersten Geschoße der Fassade mit Kollektoren verbaut.

Die Wahrnehmung des Gebäudes ändert sich bei jedem solartechnischen Eingriff in die Oberfläche, da die Oberflächen der Kollektoren und Solarziegel eine andere Gestaltung aufweisen als historische Baumaßnahmen.

In der Richtlinie Energieeffizienz am Baudenkmal sind Integration von Solarthermieelementen unter folgenden Voraussetzungen möglich siehe Abb. (369):

Anbringung am Baudenkmal nicht einsehbar:

Am Denkmal selbst ist die Installation von Sonnenkollektoren nur im begründeten Einzelfall unter folgenden Voraussetzungen möglich:

- Es stehen nicht einsehbare Flächen zur Verfügung, an denen Sonnenkollektoren angebracht werden können. Die Wirkung des Baudenkmals etwa vom öffentlichen wie halböffentlichen Raum sowie von Räumen und Standorten, die wesentlich zur historischen Struktur des Baudenkmals gehören, darf nicht nachteilig beeinflusst werden.
- Die Flächenanteile der Sonnenkollektoren stehen in einem untergeordneten Verhältnis zum Objekt und zur Dachfläche (Anlagen eignen sich daher eher für die Warmwasserbereitung weniger für teilsolares Heizen).
- Die Module sind architektonisch und in der Materialwahl möglichst unauffällig auszuführen und werden dachgleich eingepasst. (Neigungswinkel = bestehende Dachneigung).

Anbringung am Baudenkmal einsehbar

Auf Flächen am Baudenkmal, die vom öffentlichen wie halböffentlichen Raum sowie von wesentlich zur historischen Struktur des Baudenkmals gehörenden Räumen und Standorten einsehbar sind, ist eine Installation von Sonnenkollektoren grundsätzlich nicht möglich.

Abb. (369) *Auszug aus Richtlinie Energieeffizienz am Baudenkmal zu 5.3 Solarenergie*
(BDA (s), 2011, S. 34)



Informationsgehalt: Die Integration von derzeit am Markt erhältlichen solartechnischen Kollektorsystemen (Solarthermie und Photovoltaik) in die Außenfassade eines historischen Gebäudes bedeutet in der Regel den Wechsel von einer meist handwerklich vorort hergestellten Konstruktion (z.B. Außenputz) zu einer industriell gefertigten Konstruktion mit anschließender Montage vorort. Die Stoßstellen der vorgefertigten Einzelelemente bleiben zumeist als visuell wahrzunehmende Gliederung (bzw. Rasterung) der Bauteiloberfläche bestehen. Bei Dächern können entweder Solarpaneele oder Solarziegel (vgl. Abb. (371)) eingesetzt werden.

Farben: Leistungsstarke Photovoltaikmodule können Farben von rotbraun oder kristallblau bis schwarz aufweisen Abb. (370) (links). Es können auch andere Farbtöne durch die Dicke der Antireflexschicht erzeugt werden. Je heller der Farbtön wird, desto geringer wird der Wirkungsgrad. (HEI Eco Technology GmbH (a), 2011). Auch Solardachziegel können in unterschiedlichen Farben eingebaut werden Abb. (370) (mitte). Im EU geförderten Forschungsprojekt Colourface (AEE INTEC, o.A.) wurden außerdem färbige Absorberbeschichtungen für Solarthermiekollektoren untersucht Abb. (370) (rechts).

Reflexionsgrad: metallisch-glänzende oder Glasoberfläche, wegen der Eigenschaften der Oberflächenmaterialien eine hohe Reflexion, die Stärke der Reflexion ist Hersteller- und Modulabhängig

Rauheit: glatte Oberfläche durch Schutzschicht (Glas, Kunststoff)

Temperatur: die Oberflächentemperatur wird in der Regel höher

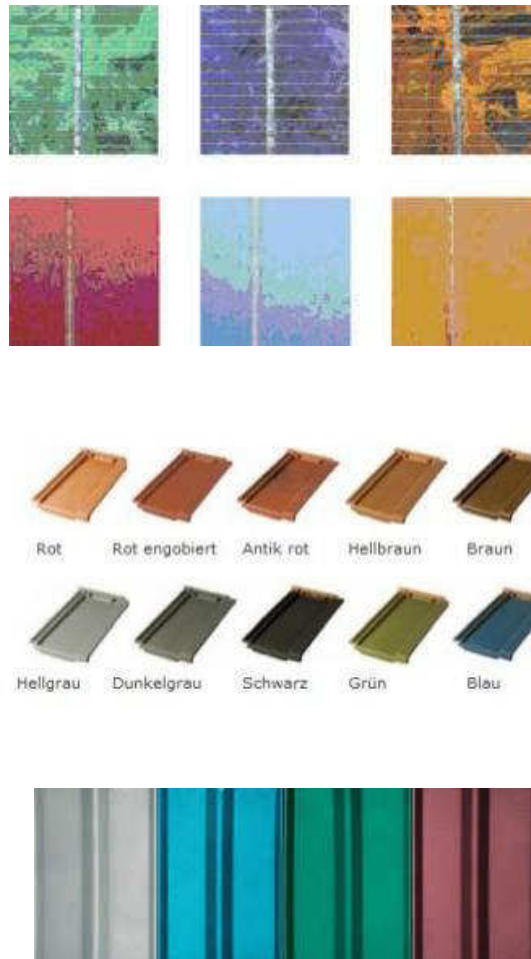


Abb. (370) oben: Farbbeispiele kristalliner Solarzellen (HEI Eco Technology GmbH (a), 2011)
 Mitte: Farbpalette der Tonziegel von Panotron (Panotron (a), o.A.)
 unten: Farbige Beschichtungen aus dem Projekt Colourface
 (Müller, Bergmann, Hausner, Höfler, & Nussmüller, 2004, S. 4)

Raumwirkung des Innenraums



Raumgeometrie: keine Veränderung im Innenraum

Belichtung: Kommt es durch die Integration von Fassadenkollektoren zu einer tieferen Fensterleibung ist eine Reduktion des Strahlungseintrages in den Innenraum die Folge, was zu einer Verkleinerung des Tageslichteintrages durch die Fenster führt und in der Folge die Belichtungsverhältnisse im Innenraum verändert. Sofern die Solartechnologie in die Verglasung oder in Fensterflächen integriert ist (z.B. einlamierte PV-Module oder Dünnschicht-PV) dann wird ein Teil der auftreffenden Strahlung durch das integrierte Modul absorbiert und in elektrischen Strom und in Wärme umgewandelt. Dies führt wiederum zu einer Verkleinerung des Tageslichteintrages in den Innenraum und somit zu einer Änderung in der Belichtungssituation. Zudem können durch Änderungen im Absorptionsspektrum der Verglasungen auch Änderungen in der durch das Fenster hindurchtretenden Lichtfarbe bewirkt werden.

Temperatur im Innenraum: Die Temperatur im Innenraum kann durch eine Veränderung der in den Innenraum eingebrachten Strahlungsenergie verändert werden. Eine Reduktion der durch das Fenstersystem hindurchtretenden Solarstrahlung infolge integrierter Solartechnologie, führt zu einem verringerten Energieinput in den Innenraum und somit zu einem Einfluß auf das thermische Verhalten des Innenraums. Zusätzlich wird ein Teil der im Solarsystem absorbierten Strahlung in Wärme umgewandelt, welche durch den sogenannten sekundären Wärmefluss teilweise in den Innenraum abgegeben wird. Die Größe des sekundären Wärmeflusses hängt vom eingesetzten System ab. Eine weitere mögliche Einflussnahme kann sich bei fassadenintegrierten Kollektoren ergeben. Die hohen Temperaturen im Kollektorsystem können sich über die Wärmeleitung in der Außenwand bis an die Innenoberfläche der Außenwand auswirken und somit die Innenraumtemperaturen beeinflussen.

Raumakustik: keine Veränderung im Innenraum

Raumolfaktorik: keine Veränderung im Innenraum

Wirkung des Außenraumes



Gebäudegeometrie: Die Proportion des Baukörpers wird bei der Dach- und Wandintegration von Solartechnologien verändert, wenn sich durch die Integration geänderte Konstruktionsaufbauten ergeben. In den meisten Fällen wird sich die Konstruktionsstärke erhöhen und somit verschiebt sich die Bauteilaußenoberfläche meistens um die Einbaustärke des verwendeten Systems. Die Kantenausbildung bei den Dachflächen ändert sich durch das verwendete System – entweder geradlinig bei großformatigen Kollektoren oder geschuppt bei Solardachziegeln. Die Gestaltungswirkung von Fenstern und anderen Bauwerksöffnungen wird durch hervorstehende Solarelemente verändert. Fensteraußenoberflächen werden, bezogen auf die äußerste Fassadenfläche tiefergelegt, wodurch eine geometrische Veränderung der äußeren Fensterlaibungen bzw. eine Verbreiterung des Sturz- und Solabankbereiches bewirkt werden.

Belichtung: die Verbreiterung des äußeren Sturz- und Solabankbereiches von Fenstern und Türen verstärkt die Eigenverschattung dieser Bereiche und verändert dadurch die Belichtung und somit den Farbeindruck. Hohe Reflexionsgrade der Kollektorflächen verursachen bei den entsprechenden Einfallswinkeln der Solarstrahlung starke Reflexionen. In diesen Blendsituationen wird die Wahrnehmung eines Gebäudes empfindlich gestört.



Nikolauskirche in Nersingen bei Ulm (D)

Integration als Gestaltungselement Photovoltaikanlage
als gestaltender Streifen in das bestehende Dach
integriert.

(Hug, 2003)



Kirche in Mühlen (D)

Integration als Kunstwerk von Glaskünstler Raphael
Seitz gestaltete Photovoltaikelemente
Modul: 75 m²

(Seitz, o.A.)



Katholische Kirche in Rohrberg Burgwalde (D)
Solardachziegeln mit Photovoltaik

Hersteller: Laumanns
Modul: 1024 Solarmodule auf Solarziegel, 35°
Dachneigung
Leistung: 5,139 kWp

(Wikimedia Commons, o.A.)



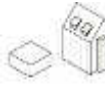
Bauernhaus in Alterswil (CH)

Solardachziegeln mit Photovoltaik
Hersteller: Panotron
Modul: Tonziegel rot, 30° Dachneigung
Leistung: 13,6 kWp (PV) 11,5 kW (ST)

(Panotron (b), o.A.) und (Panotron (c), o.A.)

Abb. (371) *Beispiele zur Dach- oder Wandintegrationen aus Deutschland und der Schweiz*

Additive Solartechnologien



Von einer additiven Integration bei Solartechnologien spricht man, wenn neue Elemente oder Bauteile am Baukörper hinzugefügt werden. Die einfachste und häufigsten verwendete Variante ist die Aufdachmontage Abb. (372). Architektonisch ist diese Variante kaum ansprechend, da auf das Gebäude keine Rücksicht genommen wird und die Integration nur dem Effizienzanspruch genüge tut. Eine gestalterisch ansprechende Gestaltung von Solartechnik ist hier über die Integration in neue Bauteile wie zum Beispiel in eine Treppen/Lifтанlagen, Treppenturm, Dachausbauten, siehe Abb. (375) vorgestellte Fassade oder ähnliches möglich.



Abb. (372) Aufdachmontage von Solartechnologien (IGL, 2011)



Informationsgehalt: abhängig vom verwendeten System, siehe Dach- und Wandintegration.

Farben: hängt vom verwendeten System ab. Siehe Dach- und Wandintegration. Wobei bei der additiven Solarintegration auch durchsichtige Solartechnologien wie semitransparente Photovoltaikmodule eingesetzt werden können.

Reflexionsgrad: hängt vom verwendeten System ab. Siehe Dach- und Wandintegration.

Rauheit: hängt vom verwendeten System ab. Siehe Dach- und Wandintegration.

Temperatur: hängt vom verwendeten System ab. Siehe Dach- und Wandintegration.

Varianten einer additiven Integration

In das verglaste Dach eines Innenhofes könnten Photovoltaikmodule integriert werden. Abb. (373) – links zeigt ein eintreffendes Beispiel des Gemeindezentrums in Ludesch. Einerseits würde das Dach Strom liefern und andererseits durch die Photovoltaikzellen auch eine Verkleinerung des solaren Eintrags bewirken und somit die Überhitzungsgefahr verringern. Aus dem Forschungsprojekt „Solarenergie Urban“ stammt die Idee einer historischen Fassade einen Röhrenschirm aus Solarthermiekollektoren vorzusetzen Abb. (373). Durch den Abstand der Stäbe kann die Fassade gestaltet und gegliedert werden. Trotzdem ist der Blick auf die Gründerzeitfassade weiterhin möglich Abb. (373) – rechts. Abb. (374) zeigt entsprechende Produktbeispiele.



Abb. (373) links: PV- Überdachung im Gemeindezentrum Ludesch (Ertex-Solar (c), o.A.),
rechts: Ansicht der Radetzkystraße mit vorgesetzter Fassade aus dem Forschungsprojekt:
Solarenergie Urban (IGL, 2011)



Abb. (374) Balkonverglasung mit Solarthermie (Robin Sun, 2007)

Raumwirkung des Innenraums



Raumgeometrie: keine direkte Auswirkung auf die Raumgeometrie des Innenraumes

Belichtung: Verschattung durch vorgesetzte Elemente ist möglich

Temperatur im Innenraum: Durch dem Gebäude vorgesetzte oder eine Reduktion der durch die Fassade hindurchtretenden Solarstrahlung können sich auf das Innenraumklima auswirken.

Wirkung des Außenraumes



Gebäudegeometrie: Durch jede additive Integration verändern sich die Form und die Kubatur eines denkmalgeschützten Gebäudes. Abhängig von der Ausführung (Form, Größe, Material) des neuen Elementes ändert sich das Bauwerk.

Belichtung: erhebliche Verschattungen durch vorgesetzte Elemente möglich



Evangelische Akademie Meißen (D)

Transparente Photovoltaikelemente auf neuer Treppenanlage und Solarthermiemodule in vier SchlepPGAußen beim Kreuzganghaus integriert, von Pfauarchitekten

Hersteller: Solarwatt (PV)

Modul: 24 Solarmodule (M120-72 GEG LK)

Leistung: 2,76 kWp (PV), 15 m² (ST)

Dachgauben mit Solarthermie
(Pfau Architekten (b), o.A.)



*Neuer Treppenturm mit PV
(Volker Kreidler)*



Lärmschutzwand Theodor-Körner-Hof Wien (A)

Integration von transparenten Photovoltaikelementen in Lärmschutzwänden, die zwischen den bestehenden Gebäuden eingebaut werden, von Treusch architecture

Hersteller: Ertex Solar

Modul: 54 Stk VSG 10/10 188 m²

Leistung: 15,4 kWp

(Ertex-Solar (b), o.A.)



Schlossturm Waidhofen/Ypps (A)

Aufgesetzter Glaskubus mit transparenten Photovoltaikelementen, Arch. Hans Hollein

Hersteller: Ertex Solar

Modul: 4 VSG-ISO 12/12 und 10/10

Leistung: 2,5 kWp

Wehrturm (Ertex-Solar (a), o.A.)

Abb. (375) Beispiele von externer Integration aus Deutschland und Österreich

Externe Solartechnologien



Die Integration von Solartechnologien erfolgt nicht am denkmalgeschützten Gebäude sondern im nahen Umfeld des denkmalgeschützten Gebäudes. Dies kann auf einem nicht denkmalgeschützten Nebengebäude oder in einem angrenzenden Neubau integriert oder auch durch eine freie Aufstellung von Kollektorfeldern umgesetzt werden. In der „Richtlinie Energieeffizienz am Baudenkmal“ wird in Bezug auf die Wirkung von im Umfeld denkmalgeschützter Gebäude implementierten Solartechnologien wie folgt eingegangen, siehe Abb. (376):

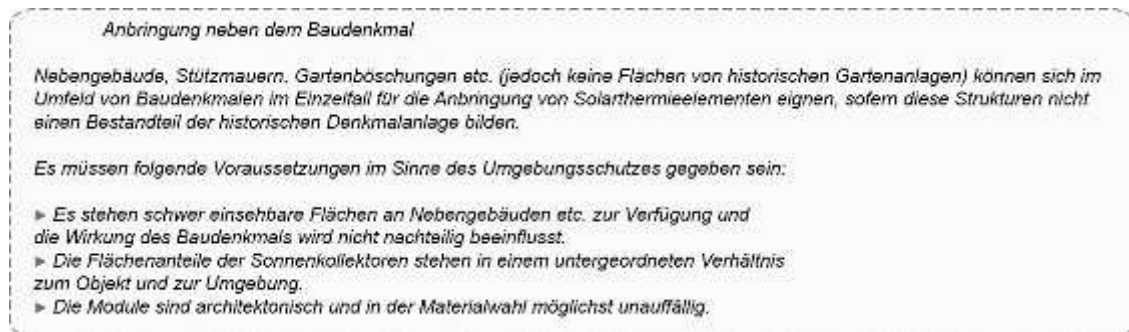


Abb. (376) Auszug aus Richtlinie Energieeffizienz am Baudenkmal zu 5.3 Solarenergie (BDA (s), 2011, S. 34)

Mögliche Einflüsse auf Innenraum, Außenraum und Bauteiloberflächen

Obwohl die solartechnischen Anlagen nicht die Fassade und die Bausubstanz des geschützten Bauwerkes selbst verändern, kann sich die Errichtung einer aktiven Solarnutzung im näheren Umfeld eines denkmalgeschützten Gebäudes auf das denkmalgeschützte Gebäude auswirken, denn die äußere Gestalt eines Gebäudes steht immer in gestalterischer Wechselwirkung mit seiner Umgebung und somit auch in Wechselwirkung mit etwaigen solartechnischen Anlagen. Sofern sich der Charakter des gesamten Gebäudeensembles, so ändert sich auch der Charakter des denkmalgeschützten Gebäudes selbst.

Direkte physikalisch nachvollziehbare Wechselwirkungen sind durch Veränderungen der solaren Einstrahlung auf die Hülle des denkmalgeschützten Gebäudes denkbar. Dies kann sich als Verminderung der Einstrahlung in der Form einer Fremdverschattung des denkmalgeschützten Gebäudes durch solartechnische Einrichtungen auswirken. Dies ist jedoch kein Spezifikum solartechnischer Einrichtungen. In diesem Fall ist die Verschattung durch eine solartechnische Einrichtung mit der Verschattung durch ein beliebiges anderes Objekt gleichzusetzen.

Der gegenteilige Effekt, also eine mögliche Vergrößerung der solaren Einstrahlung, könnte durch die Reflexion von Solarstrahlung an den oftmals verglasten Kollektorflächen entstehen. Diese im Tagesablauf meist zeitlich nur sehr begrenzten Reflexionserscheinungen können durchaus zu Blenderscheinungen am denkmalgeschützten Gebäude führen. Die Konsequenz können einerseits Blenderscheinungen der Nutzer des denkmalgeschützten Gebäudes sein, andererseits können Reflexionserscheinungen an der Fassadenfläche des denkmalgeschützten Gebäudes eine Änderung in der Farbwahrnehmung bewirken.



Bischof-Benno-Haus Schmochtitz (D)

Solarthermie und Photovoltaik Anlage auf einem Nebengebäude des Ensembles.
In das Dach der neu adaptierten Scheune werden Solartechnologien integriert.

Leistung: Dachintegrierte solarthermische Anlage (78,8 m²) und Photovoltaikanlage 5,0 kWp



Abb. (377) Dachintegrierte Solarthermie und Photovoltaik (oben) Straßenansicht Ensemble (unten) (Dr. Scheffler & Partner GmbH (d), o.A.)



Ausgelagerte Solartechnologien

Eine mögliche Vorgangsweise liegt in der kompletten räumlichen Trennung von denkmalgeschützten Gebäude und solartechnischer Anlage. Eine Verbindung zwischen dem Gebäude und der solartechnischen Anlage ist hier rein virtuell gegeben und hat keinerlei gestalterische Beeinflussung zur Folge. Auch wird in dieser Form der ausgelagerten Solartechnologien keine direkte physikalische Verbindung zwischen dem Gebäude und der solartechnischen Anlage bestehen, sondern eine rein bilanzielle. Der große Vorteil dieser Vorgangsweise liegt darin, dass die Wahl des Standortes der solartechnischen Anlage keinen denkmalpflegerischen Einschränkungen unterworfen ist und frei nach wirtschaftlichen und ökologischen Gesichtspunkten gewählt werden kann. Für diese in der Form einer Beteiligung an Solarparks oder Photovoltaik-Großanlagen umsetzbare Vorgangsweise können einerseits die drei im Stadtgebiet der Stadt Graz errichteten solarthermischen Großanlagen (siehe Abb. (378)) angeführt werden. Andererseits, als aktuelles Beispiel, gibt es von der Energie-Graz ein Modell zur Investition in eine Photovoltaik Anlage. Private Anleger können in bis zu 10 Module investieren und der Strom wird direkt in das Grazer Stadtnetz eingespeist. Die „Energie Graz“ garantiert einen 3,3% Bonus des eingesetzten Kapitals auf die Stromkosten des Anlegers (Energie-Graz, o.A.)



Abb. (378) Großanlagen in Graz (S.O.L.I.D. Gesellschaft für Solarinstallation und Design mbH, 2011)

4.5 Umsetzung im Franziskanerkloster Graz

Sophie Grünewald, Thomas Mach, Ina Wetz

Das Franziskanerkloster Graz, vertreten durch den damaligen Guardian Pater Matthias Maier, gab den Anstoß zur Behandlung des Spannungsfeldes, das sich zwischen den Anliegen des Denkmalschutzes und den Erfordernissen des Klimaschutzes aufspannt. Im Zuge der Überlegungen zur Sanierung des Franziskanerklosters Graz kam es zur Vernetzung des Franziskanerklosters mit Proponenten der Stadt Graz und in der weiteren Folge mit weiteren wissenschaftlichen Institutionen. Dies führte schlussendlich im Jahr 2008 zu der Einreichung des Forschungsprojektes „denkmalaktiv“. Das Konzept des Forschungsprojektes beinhaltete eine Reihe grundsätzlicher Fragestellungen zur Konsensfähigkeit von Denkmalschutz und Klimaschutz, fokusierte sich jedoch im ersten Schritt der Bearbeitung, d.h. im Teilprojekt „denkmalaktiv I“ auf technische Fragestellungen zu Sanierungsmethoden und auf deren prototypische Anwendung auf fünf Referenzgebäude im Grazer Stadtgebiet. Das Franziskanerkloster als Ausgangspunkt der Überlegungen in diesem Themenbereich war eines dieser fünf Referenzgebäude. Aufgrund der Komplexität der Beantragung und Durchführung wissenschaftlicher Untersuchungen und den damit verbundenen langen Bearbeitungszeiten, die im Gegensatz zum Umsetzungsdruck der baulichen Sanierung stand, war eine Synchronisation der wissenschaftlichen Bearbeitung und der baulichen Umsetzung im zweiten Sanierungsabschnitt nicht mehr gegeben. Aus diesem Grund waren im Franziskanerkloster zurzeit der Fertigstellung des Forschungsprojektes im Frühjahr 2013, bereits zahlreiche Sanierungsmaßnahmen umgesetzt. Um neben der Bearbeitung der allgemeinen technischen Fragestellungen auch diese praktische Umsetzung im Franziskanerkloster aufzuzeigen, widmet sich das vorliegende Kapitel diesem Umsetzungsprozess. Der in der Folge beschriebene Entwicklungsprozess ist als Kurzzusammenstellung der wichtigsten, zum Verständnis beitragenden, Eckpunkte zu verstehen.

4.5.1 Ansatz und Vision

Die Entscheidung zur Sanierung des Franziskanerklosters ist auf mehrere Beweggründe zurückzuführen. Übereinstimmend mit dem Auftrag des Ordensgründers zur Schonung und Bewahrung der Schöpfung werden Konzepte zur einer ganzheitlichen thermischen Sanierung über mehrere Jahre erarbeitet und geplant (HoG Architektur (a), 2011, S. 158). Ein Fachgutachten zur Sanierung beschreibt folgende Vision:

„Mit der thermischen Sanierung soll ein auf die Zukunft ausgerichtetes „Netto-Null-Emissions-Kloster“ mit optimaler Sanierung der denkmalgeschützten Gebäude nach neuesten Energiestandards entstehen, das einen wesentlichen Beitrag zur Senkung der Feinstaubbelastung in Graz und der generellen CO₂-Belastung leistet.“ (HoG Architektur (a), 2011, S. 156).

Zusätzlich werden folgende Ansprüche gestellt: *„Eine optimale Synergie von zukunftsweisender Technik mit der unter Denkmalschutz stehenden Substanz und dem Nutzerverhalten sollen den Erhalt des Gebäudes für die nächste Generationen sicherstellen.“* (HoG Architektur (a), 2011, S. 161)

Außerdem sind die Franziskaner der Armut verpflichtet, verfügen somit über kein Geldvermögen und sind daher von Spenden abhängig. Aufgrund dieser Sachverhalte wollte man auch die Heizkosten senken und somit ständig anfallende Betriebskosten einsparen (Pater Maier (a), 2012). Bruder Matthias äußerte sich dazu in einem Zeitungsbericht wie folgt: *„Unsere Vision ist die Versöhnung mit der Schöpfung. Das 21. Jahrhundert muss ein ökologisches werden.“* (Kleine Zeitung (b), 2011)

Neben den eben genannten Ansätzen sollten durch die Sanierung auch diverse urbane Funktionen, die das Kloster innehat, gestärkt und erweitert werden. Das Kloster dient als spirituelles Zentrum der Seelsorge, als Ausbildungszentrum der Franziskaner, als interdisziplinäres Kultur- und Forschungszentrum, als Ziel von Touristikführungen, als Zone der Stille und insbesondere als Ort der offenen Begegnung durch Seminare, Tagungen und Veranstaltungen (HoG Architektur (a), 2011, S. 162).

Die Ordensbrüder erarbeiteten mit Architekt DI Michael Lingenhölle von 2001 bis 2007 einen Masterplan zur Sanierung des Klosters mit dem Titel „Ort der Begegnung“ aus. In diesem wird erklärt, was das Kloster in Zukunft für die Gemeinschaft leisten soll und was alles möglich wäre. Das Kloster wurde in 11 Themenschwerpunkte der klösterlichen Arbeit geteilt. Damit konnte mit der konkreten Planung und Umsetzung begonnen werden (siehe Abb. (379)).

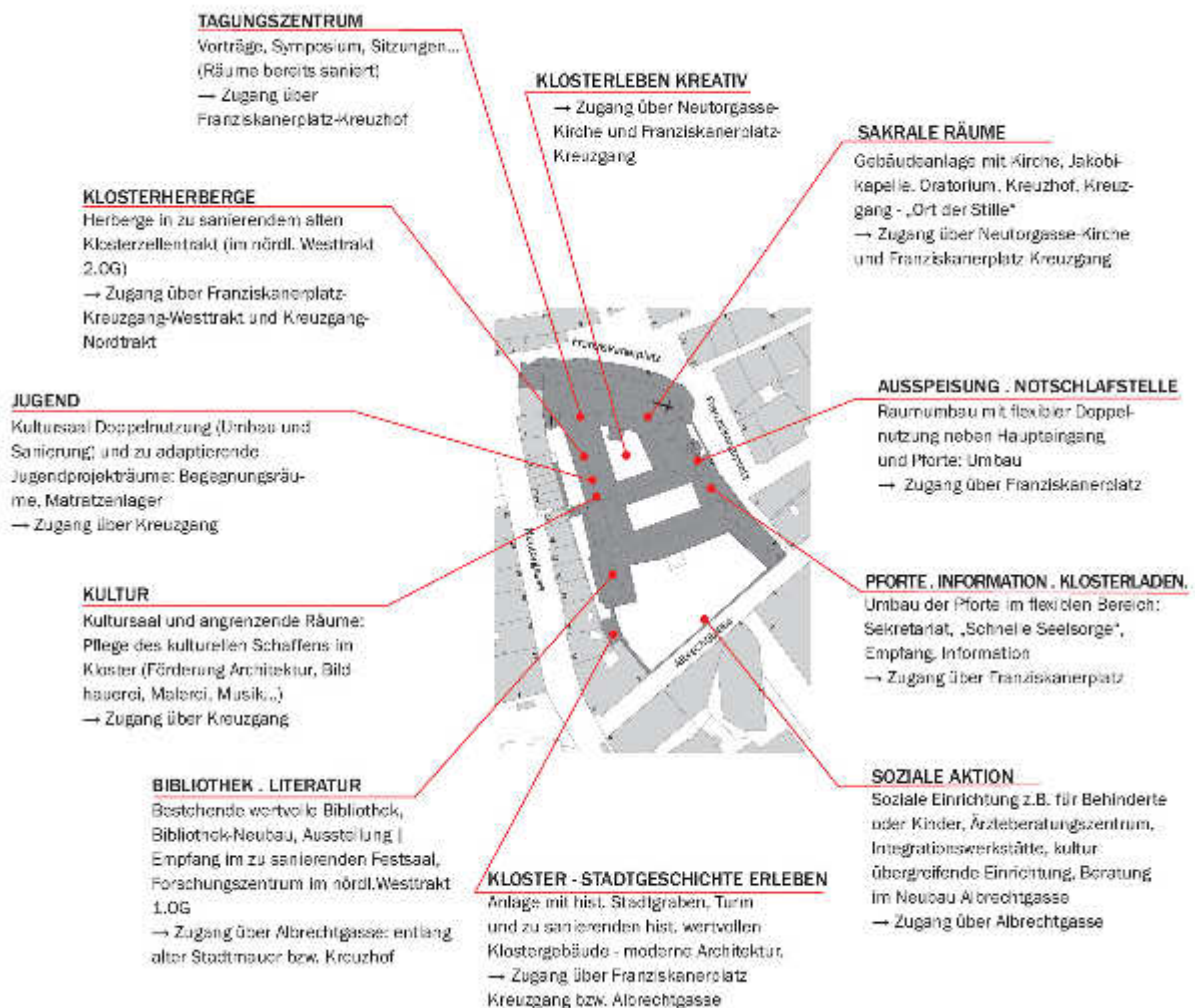


Abb. (379) Masterplan „Ort der Begegnung“ (Lingenhölle M. (a))

Da wie erwähnt der „Bettelorden“ der Franziskaner (Pater Maier (a), 2012) über kein Geldvermögen verfügt, waren sie bei der gesamten Sanierung auf private und öffentliche Unterstützung angewiesen (Josel, F. (b), 2011, S. 21). Zur genaueren Erklärung der einzelnen Förderprogramme siehe Kapitel 2.1.6.

Auf der Grundlage des Masterplans wurde eine vierstufige „Energievision“ entwickelt:

1. Schritt: **Energie effizient nutzen**

- einbringen einer Dämmungen in die obersten Geschoßdecken, Dachschrägen, Gaupen, Böden und Außenwände, wo möglich mit ökologischen Dämmstoffen (z.B. Glasschaumschotter für die Böden)
- unbeheizte Pufferräume wie Dachausbauten oder Gänge ermöglichen
- Erhalten von Kastenfenster und mit neuer Wärmeschutzverglasung innen

2. Schritt: **Solarthermie und Bauteilheizung**

- Am Südtrakt sollen die Dachfläche und der obere Teil der Fassade mit Solarkollektoren bestückt werden. Falls möglich auch Montage am Dach des Mitteltraktes. Daraus würde sich ein Deckungsgrad von 50% des Warmwasserverbrauchs und ca. 40% des Heizenergiebedarfs ergeben.
- Im Sommer soll die überschüssige Wärme der Solaranlage vorrangig in die Mauern des Erdgeschosses mittels einer Bauteilheizung zur Trockenlegung eingeleitet werden. Die Wärme soll über eine kombinierte Fußboden-Bauteil-Wandheizung mit Niedertemperatur (max. 40°C Vorlauftemperatur) verteilt werden und zusätzlich werden Heizkörper installiert.

3. Schritt: **Effizient Heizen und Wärmepumpe intelligent nutzen**

- die benötigte Rest Heizenergie soll über eine Wärmepumpe (Jahresarbeitszahl >5) erzielt werden. Die Wärmepumpe wird unterdimensioniert ausgelegt und speist sich aus dem eigenen Brunnenwasser. Wenn die Solaranlage zwischen 12°C und 40°C Temperatur liefert soll sie über einen Wärmetauscher als Energiequelle für die Wärmepumpe dienen. Liegt die Temperatur darüber wird die Energie entweder direkt eingeleitet oder in einen der drei Pufferspeicher (Schichtspeicher) geführt. Drunter wird das Brunnenwasser als Energielieferant genutzt.
- Durch die zentrale Positionierung des Heizraumes und der Pufferspeicher wird das Warmwasser über eine Zirkulationsleitung und die Heizenergie über ein Zweirohrsystem mit Verteilern pro Regelzone verteilt.
- Weiterhin soll die Fernwärmeenergie als Backup genutzt werden können

4. Schritt: **Den Restenergieverbrauch zur 100 %- igen Deckung ökologisch aufbringen**

- der benötigte Strombedarf für die Wärmepumpen und für die Hilfsenergien soll aus Photovoltaikanlagen bereitgestellt werden. Eventuell kann diese Energie auch extern durch Ökostromzukäufe oder Windenergiebeteiligungen aufgebracht werden.

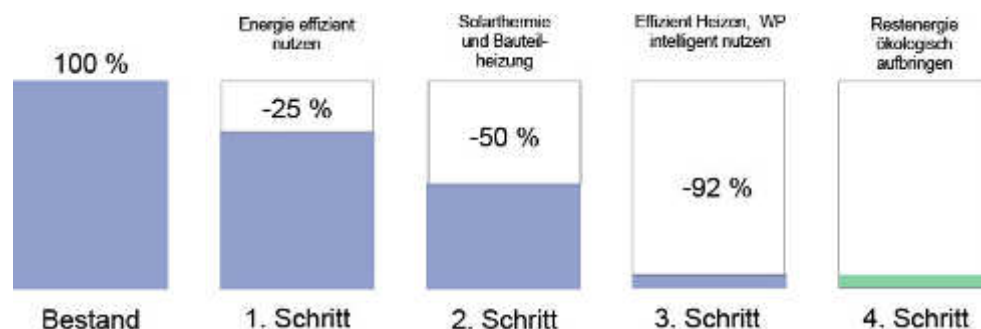


Abb. (380) Vision des Energiekonzeptes (Knotzer, 23/2011, S. 36)

4.5.2 Der Umsetzungsprozess

Zur Bewilligung des Sanierungsvorhabens und insbesondere zur Bewilligung einer Solaranlage am Dach bzw. an der Südfassade des südlichen Klostertraktes, musste eine Abstimmung mit vier verschiedenen Gremien durchlaufen werden. Für die allgemeine Baubewilligung musste die Bau- und Anlagenbehörde eingeschalten werden. Aufgrund des Denkmalschutzes und der Altstadterhaltung waren das Bundesdenkmalamt respektive das Landeskonservatorat für Steiermark, die Altstadtsachverständigenkommission und der Altstadthanwalt am Prozess beteiligt. Weil die Grazer Altstadt als Weltkulturerbe ausgezeichnet ist, wurde außerdem die Weltkulturerbe-Organisation UNESCO, vertreten durch ICOMOS, dem internationalen Rat für Denkmalpflege, eingebunden (Josel, F. (a), 2011, S. 6).

Die erste Planungsversion der Solaranlage (Abb. (381)) wurde im Mai 2010 zur Bewilligung an die Baubehörde und ans Bundesdenkmalamt übermittelt (Franziskaner (c), 2011, S. 47; Franziskaner (d), 2011, S. 95). Abb. (381) zeigt die geplanten Kollektorflächen am Dach des Mitteltraktes und am Dach des Südtraktes und ein eingeschnittenes Fensterband.



Abb. (381) Ansichten und Skizzen des ersten Einreichplans (HoG Architektur (d))

Da die erste Planungsversion bei den befaßten Gremien weitgehend auf Ablehnung stieß, wurden, um weitere Lösungsvorschläge zu diskutieren und die einzelnen Stellungnahmen zu hören, zwischen Juni und September 2010 drei so genannten **Runde Tische** abgehalten. (Josel, F. (c), 2011, S. 122-150). Beim **dritten Runden Tisch** wurde ein weiterer Entwurf des Bauvorhabens vorgestellt. In diesem wurde die Solaranlage auf den Südtrakt reduziert. Außerdem sollten die Kollektoren nicht mehr am gesamten Dach angebracht werden, stattdessen sollte ein Teil der Kollektoren auch auf der Fassade installiert werden. Nach Präsentation dieses Vorschlags kam von der Baubehörde, dem Denkmalamt sowie von ICOMOS eine grundsätzliche Zustimmung für die Anlage (Josel, F. (c), 2011, S. 142-150). Im September 2010 wurde der neue Entwurf (siehe Abb. (385)) veröffentlicht (HoG Architektur (a), 2011, S. 151-187). Dieser wurde an die Baubehörde sowie an das Bundesdenkmalamt zur Bewilligung übermittelt (Franziskaner (e), 2011, S. 54f; Franziskaner (f), 2011, S. 98). Im April 2011 wurde nochmals eine geringfügige Änderung (siehe Abb. (386)) des Bauvorhabens vorgenommen, bei welchem die Oberkante der Solaranlage unter die Gaupen gelegt wurde und dafür seitlich die Solaranlage auf der Dachfläche bis zum Rand gezogen werden konnte (HoG Architektur (c), 2011, S. 297), welche unter der Angabe zweier Auflagen bewilligt wurde. Während der Bauausführung musste von der letzten Einreichung einige Abweichung vorgenommen werden. So verlangte das Bundesdenkmalamt den Schutz des vorhandenen Gesparres und daraufhin wurden die Gaupen verschoben und befanden sich nicht mehr in der Flucht der darunter liegenden Fenster (siehe Abb. (387)) (HoG Architektur (e), 2012). Im Mai 2012 erfolgte eine Austauschereinreichung bei der Baubehörde. Bis zum Zeitpunkt der Fertigstellung dieses Berichtes (März 2013) erfolgte noch keine endgültige Entscheidung zur Austauschereinreichung vom Mai 2012. Wobei Gegenstand dieser Einreichung – die Solaranlage seit längerem fertig gestellt worden war (siehe Abb. (388) bis Abb. (392)).



Abb. (382) *Entwurf Zweiter Runder Tisch: Solarfahnen (HoG Architektur (d))*



Abb. (383) *Entwurf Zweiter Runder Tisch: Solarschilder (HoG Architektur (d))*



Abb. (384) *Entwurf Zweiter Runder Tisch: Solarraster (HoG Architektur (d))*



Abb. (385) *Entwurf Dritter Runder Tisch – Grundlage der 2. Einreichung (HoG Architektur (d))*



Abb. (386) Vergleich 2. Einreichung vom 29.09.2010 (unten) zur Änderung 12.4.2011 (oben)

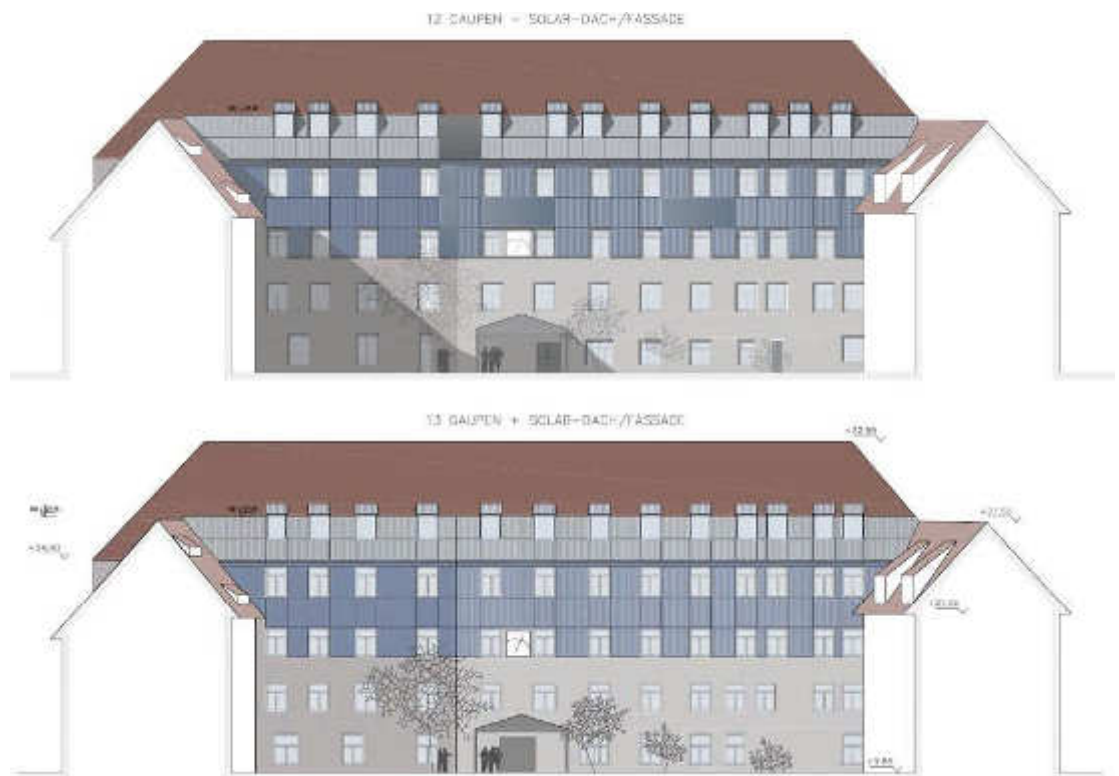


Abb. (387) Vergleich Einreichung vom 12.04.2011 (unten) zur Austauschereinreichung vom 22. 05. 2012 (oben)



Abb. (388) *fertiggestellte Solaranlage (Alexander Gebetsroither)*

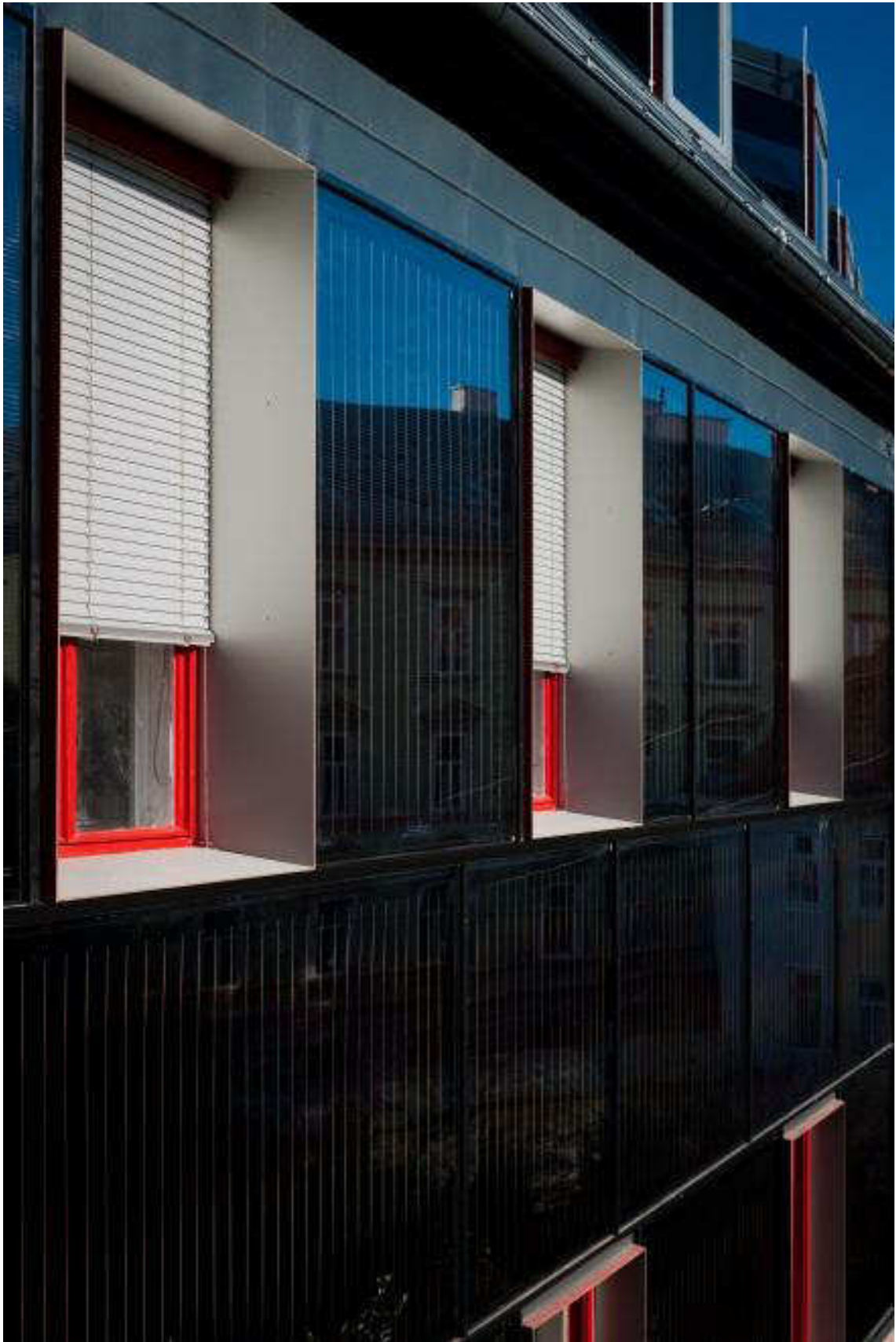
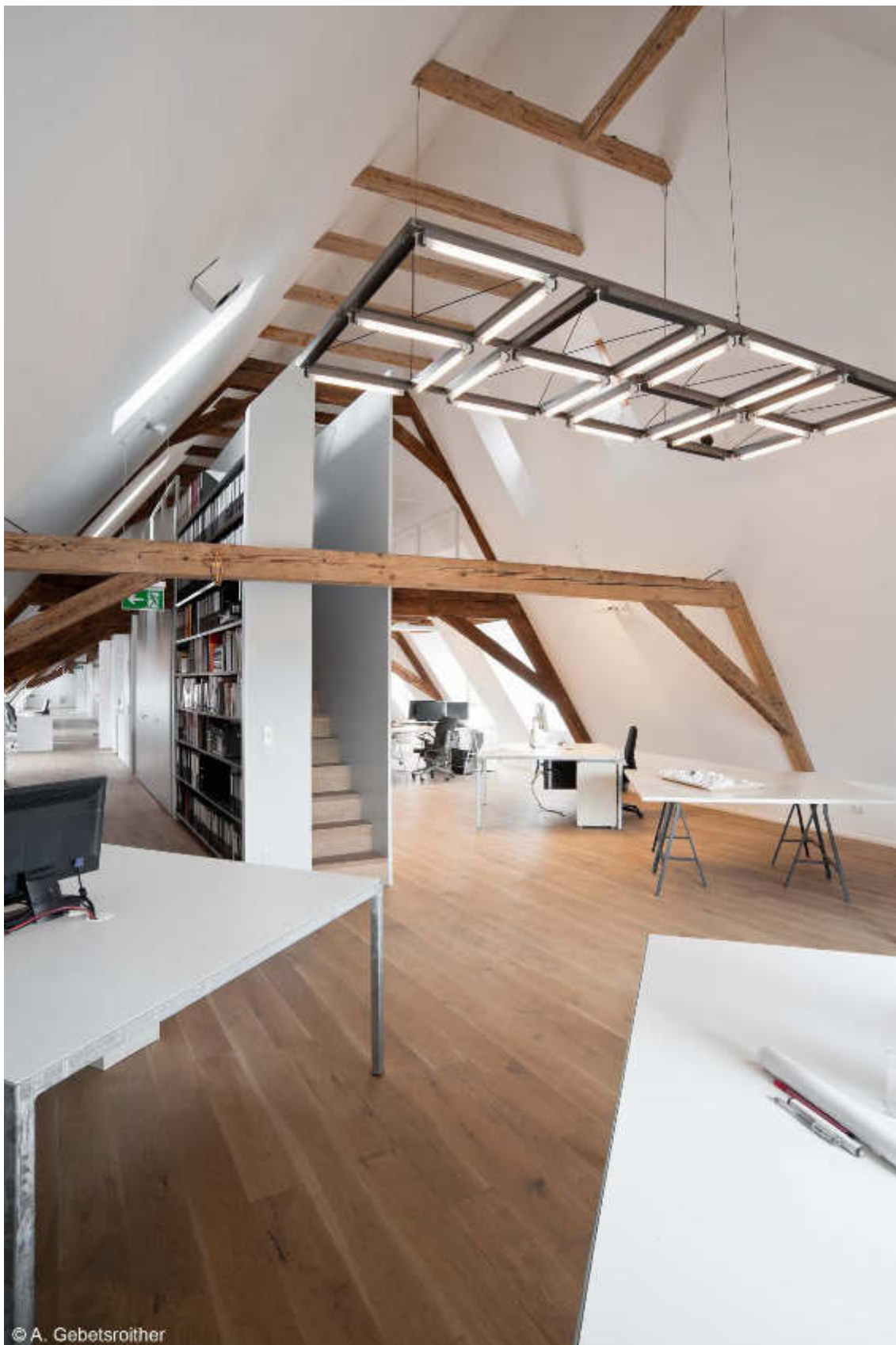


Abb. (389) *fertiggestellte Solaranlage (Alexander Gebetsroither)*



© A. Gebetsroither

Abb. (390) Das Dachgeschoss „hinter“ den Solar Kollektoren wird als Architekturbüro genutzt
(Alexander Gebetsroither)



© A. Gebetsroither

Abb. (391) *Das Dachgeschoss „hinter“ den Solarkollektoren wird als Architekturbüro genutzt
(Alexander Gebetsroither)*



© A. Gebetsroither

Abb. (392) Das Dachgeschoss „hinter“ den Solar Kollektoren wird als Architekturbüro genutzt
(Alexander Gebetsroither)

4.5.3 Bautechnische Sanierungsmaßnahmen

Analog zu den vier Schritten des Energiekonzeptes wurde wie in Schritt 1 „**Energie effizient nutzen**“ unter anderem die Dachschrägen gedämmt. Dadurch werden die unbeheizten Dachgeschoss-Lagerräume zu thermischen Pufferräumen im Wärmefluss nach oben und zum Außenraum. Zudem sind die obersten Geschoßdecken mit Schaumglasschotter isoliert. In erdanliegenden Böden und in Gang-Gewölbedecken sowie auf den obersten Geschossdecken wurde die Schüttung bzw. Erde entfernt und mit Schaumglasschotter in Schichten von 5-40 cm (Gewölbeform) aufgebracht und mit der Hand verdichtet. Schaumglasschotter ist eine der wenigen Schüttungen, die ungebunden und somit trocken eingebracht werden können. Es ermöglicht einen zügigen Arbeitsvorgang und es werden bei Gewölben die darunter liegenden Putz- und Freskenschichten vor Durchfeuchtung geschont. In der nicht brennbaren Schüttung erfolgte auch die Leitungslegung HLS und E.



Abb. (393) Schnitt mit Sanierungsmaßnahmen (rot) Franziskanerkloster (Lingenhölle M. (a))



Abb. (394) Schaumglasschotter im Gangbereich (Knotzer A.)

Die einfachverglasten Gangfenster des Klosters wurden zu Kastenstockfenster aufgerüstet, entweder durch die Montage eines Kastens auf der Innenseite mit Innerem Isolierglasflügel, oder im Erdgeschoss durch Neuanbringung eines Kastenfensters mit rahmenloser zum Teil öffentlicher Verglasung (Außen 1-fach-Verglasung, Innen Isolierverglasung). Die bestehenden Kastenstockfenster in den Gängen wurden saniert. Die Kastenstockfenster in den Aufenthaltsräumen wurden durch Austausch des inneren einfachverglasten Fensters mit Isolierglasfenstern und zuvor Anbringung eines thermisch optimierten Stockaufsatzes mit dichtem Maueranschluss saniert.

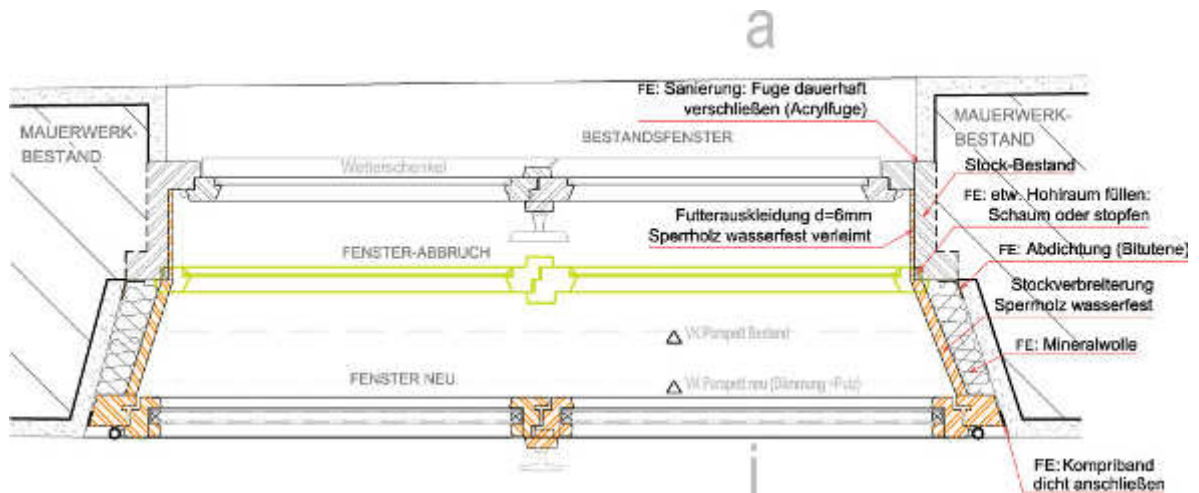


Abb. (395) Detailzeichnung Kastenfenster 1. und 2. Obergeschoß Zellen (Lingenhöle M. (a))



Abb. (396) Gangfenster im Erdgeschoß zu Binnenhof Foto links (Lingenhöle M. (a))

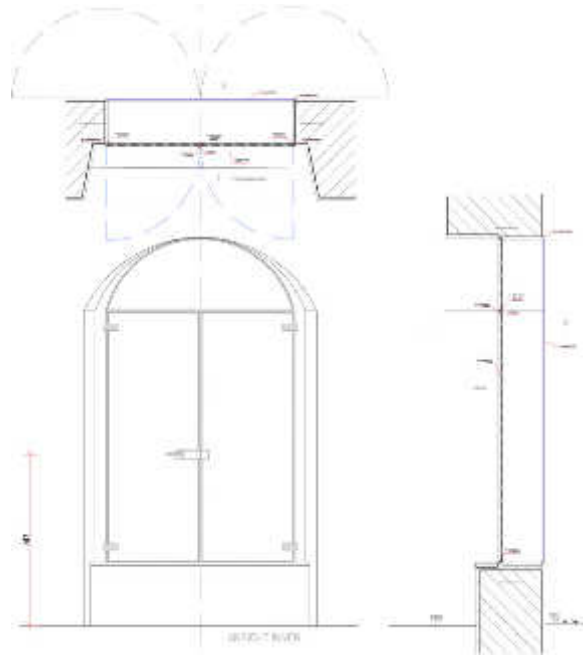


Abb. (397) *Detailzeichnung Gangfenster im Erdgeschoß (Lingenhöle M. (a))*

Die einfachen Zimmer-Türen zu den voluminösen kalten Gängen wurden durch Doppeltüren in Form von „Kastenstocktüren“ ersetzt (Abb. (398)).



Abb. (398) *Innentüren (Lingenhöle M. (a))*

4.5.4 Gebäudetechnische Sanierungsmaßnahmen

Durch die Anbringung einer Bauteilheizung vor allem in der Sockelzone des Erdgeschosses wurde einerseits eine Trocknung des Mauerwerkes und andererseits eine Steigerung der thermischen Behaglichkeit in den Innenräumen angestrebt. Der somit vollzogene Wechsel von einem Hochtemperatursystem zu einem Niedertemperatursystem wurde durch die Ausstattung der Heizkörper mit Einzelraumthermostatregelung ergänzt.



Abb. (399) eingestemmte Bauteilheizung im Franziskanerkloster (Knotzer A.)

Im 2. Schritt „**Solarthermie und Bauteilheizung**“ wurden am Südtrakt des Klosters 193 m² dachintegrierte Flachkollektoren und 180 m² fassadenintegrierte Fassadenkollektoren installiert. Diese dienen der Warmwasserbereitung, der Bauteilheizung sowie der Vorwärmung des Brunnenwassers für die Wärmepumpen. Ein Teil der angegebenen Kollektorfläche wurde jedoch aufgrund architektonischer Gegebenheiten als Blindkollektoren, also Kollektoren ohne Absorber, ausgeführt (Knüppel, Breidler, & Knotzer, Franziskanerkloster Graz - erfolgreich auf dem Weg zum Nullemissionskloster, 2012).

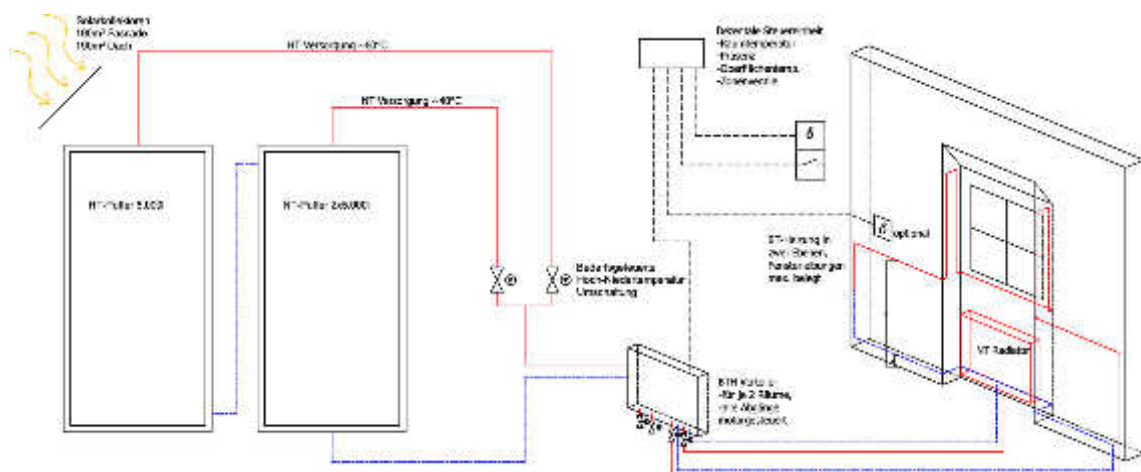


Abb. (400) Vereinfachtes Heizungsschema (Knüppel R. TB Köstbauer & Sixl GmbH)

Wegen der erst kurzen Betriebsdauer, können keine genauen Angaben über die von der Solaranlage gelieferten Energiemengen gemacht werden. Durch Hochrechnung (Knüppel R. TB Köstbauer & Sixl GmbH) des Verbrauchs der letzten acht Monate nimmt der Bauherr Pater Matthias Maier aber an, dass die Solaranlage zirka 100-120 MW thermische Energie pro Jahr für die Pufferspeicher liefern wird (Pater Maier (a), 2012). Der solare Deckungsgrad für Warmwasser und Heizung wird mit 20 % angenommen.

Analog zum 3. Schritt „Effizient Heizen und Wärmepumpe intelligent nutzen“ wird die restliche Energie über zwei Wasser-Wärmepumpen mit je 200 kW zur Verfügung gestellt, welche über den Brunnen des Klosters gespeist werden. Sollte das Heiztechniksystem einmal ausfallen, ist das Kloster an die Fernwärme angeschlossen. Das erhitzte Wasser wird in drei Pufferspeichern mit bis zu 15.000 Liter Fassungsvermögen im Keller gespeichert. Die Vorlauftemperatur beträgt lediglich 32-33 °C, da die Klosterwände eine große Speichermasse aufweisen. Für die Bauteilheizung wurden Kupferrohre unter dem Wandverputz verlegt. In manchen Räumen läuft das System über eine Fußbodenheizung. Die technischen Daten werden in Abb. (402) zusammengefasst.

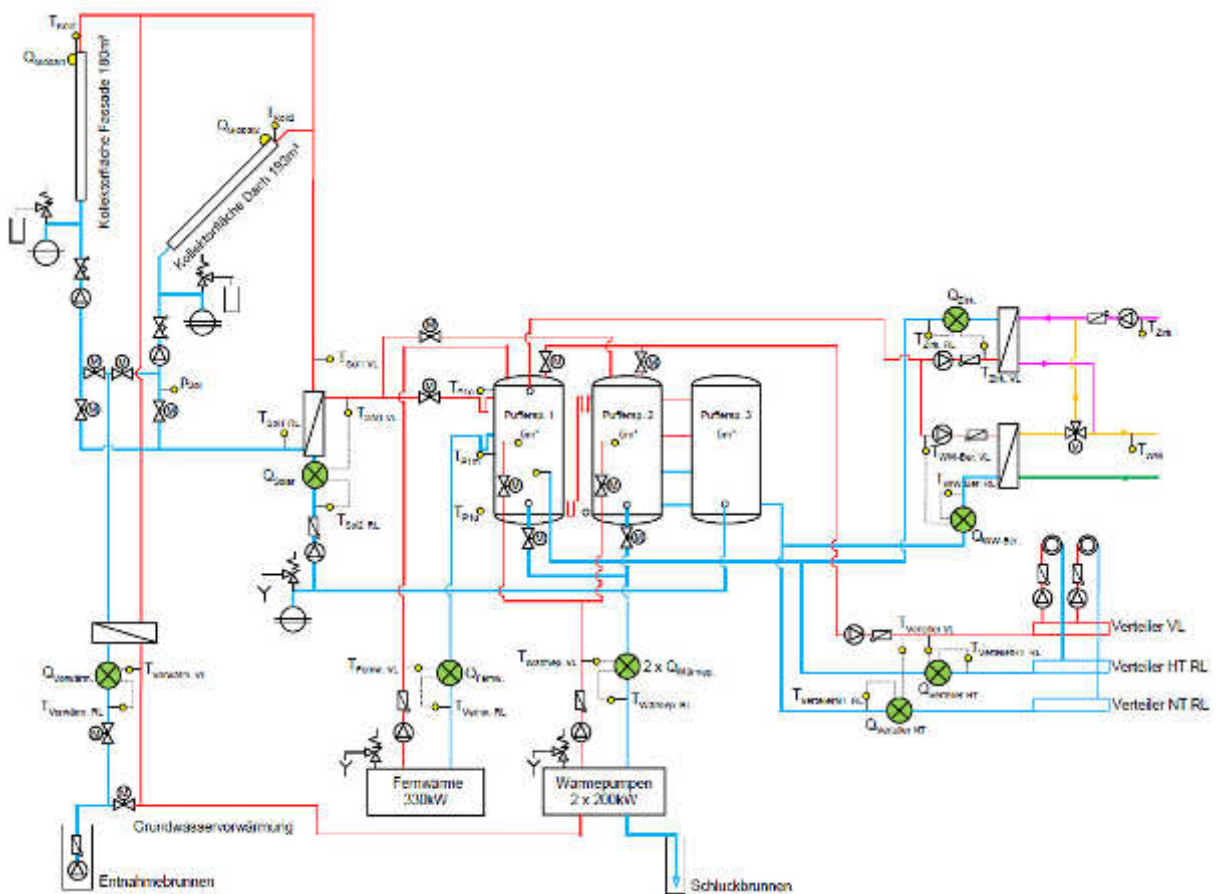


Abb. (401) Hydraulikschema Franziskanerkloster (Knüppel R. TB Köstbauer & Sixl GmbH)

Anlagentyp	Warmwasserbereitung, Bauteilheizung, Vorwärmung des Brunnenwassers für die Wärmepumpen
Kollektorfläche in m²	193 m² dachintegrierte Flachkollektoren 180 m² fassadenintegrierte Fassadenkollektoren
In Kombination mit	2 Wasser-Wärmepumpen, je 200 kW Zusätzlich Fernwärme
Vorlauftemperatur	32-33 °C
Solarer Deckungsgrad	20 % (HWB + WWWB)
Speichervolumen in Liter	15.000 (3 x 5 m³)
Standort des Speichers	Keller

Abb. (402) Solarthermieranlage des Franziskanerklosters.

4.5.5 Thermographische Analyse nach der Sanierung

Ernst Meissner

Im Zuge des Projektes „denkmalaktiv I“ wurde nach Abschluss der Sanierungstätigkeiten im Jahr 2011 eine Bildserie thermografischer Aufnahmen angefertigt (Flir-ThermaCAM T360). Um die Aussagekraft zu erhöhen wurde im Jahr 2012 eine weitere Bildserie aufgenommen. In der Folge werden auszugsweise einige Beispiele der Bildserie aus dem Jahr 2012 dargestellt. Die vollständige thermografische Analyse befindet sich in den entsprechenden Annexberichten (siehe Kapitel 6.3). Für die gezeigten Aufnahmen gab es folgende Voraussetzungen:

Aufnahmen:	08.03.2012	05:30 - 07:30
Lufttemperatur:	Innen ca.: 16 bis 21 °C	Außen ca.: -1,0 °C
Relative Luftfeuchte:	Innen ca.: 35 bis 45 %	Außen ca.: 70 %
Wetter:	leicht bewölkt	Windgeschw.: 0 m/s

Die Aufnahme in Abb. (403) zeigt die Außenansicht des entsprechenden Wandbereiches mit der Bauteiltemperierung (Innenansicht siehe Abb. (404)). Hier ist im Bereich, in dem an der Innenseite die Bauteiltemperierung installiert ist, eine vergleichsweise höhere Oberflächentemperatur (Temperaturdifferenz ca. 2 Kelvin) zu erkennen.

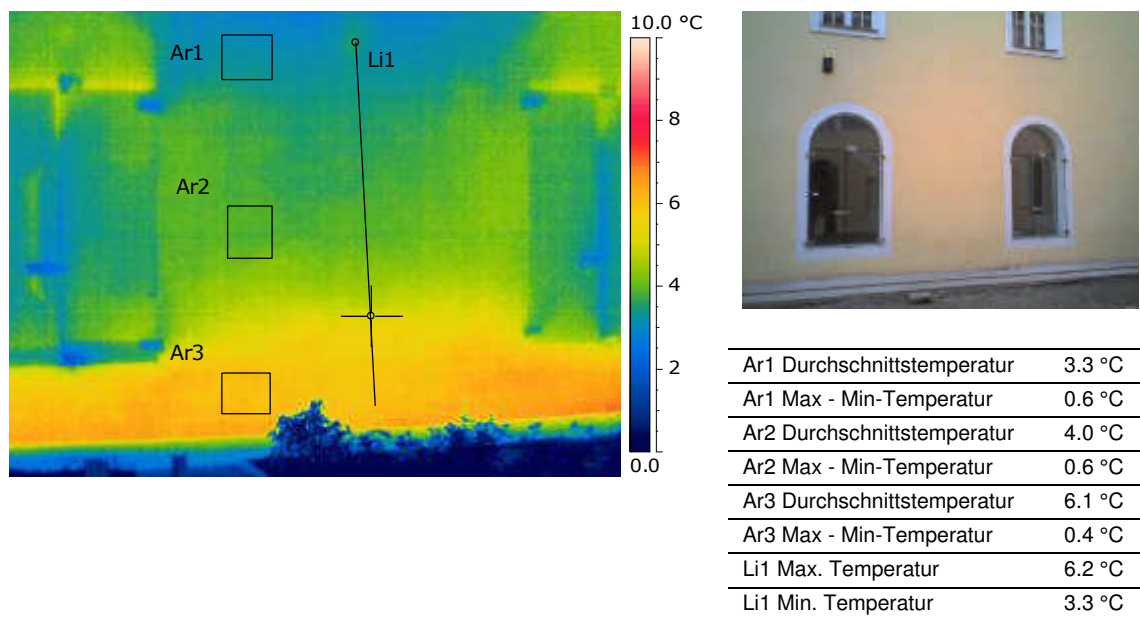


Abb. (403) Wand Nordseite - vom Binnenhof aus thermografiert (Außenthermografie)

Die Raumtemperatur im Gang S 0.01 lag bei etwa 16,5°C bei einer relativen Luftfeuchtigkeit von ca. 35%. In dieser Übersichtsansicht ist sehr gut der Verlauf der Rohre der Bauteiltemperierung/-heizung zu erkennen. Die Vorlauftemperatur für die Bauteiltemperierung lag am Verteiler im Heizraum bei 34°C, die Maximaltemperaturen an der Wand liegen bei etwa 28°C (Maximalwert Ar2). An den Wandflächen sind keine entsprechend niedrigen Oberflächentemperaturen zu erkennen bei denen die Gefahr einer Kondensation auftreten könnte.

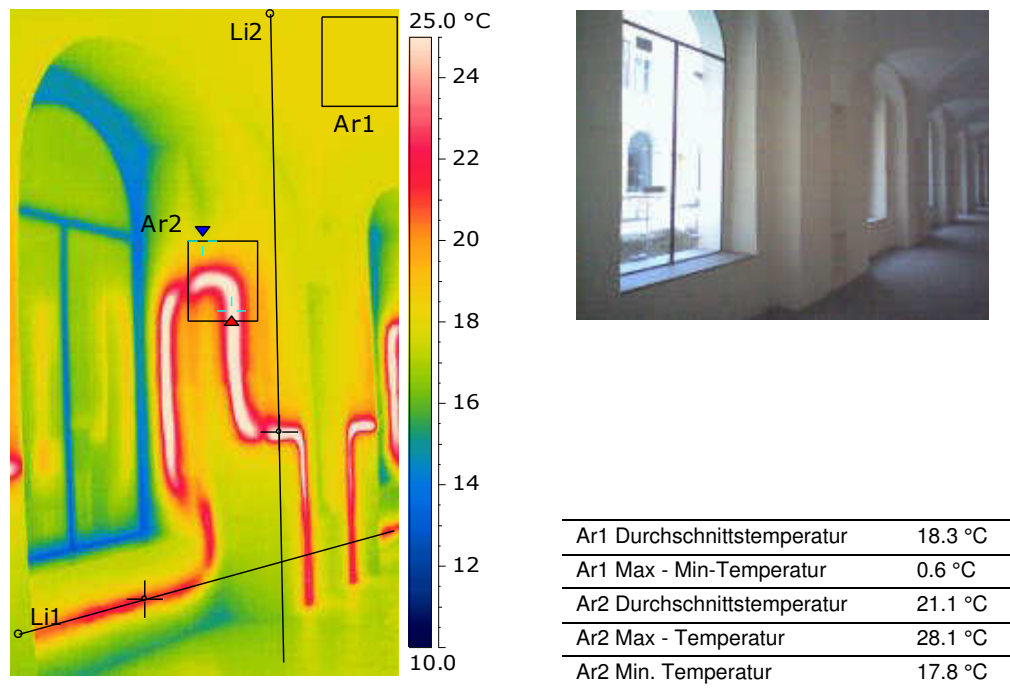


Abb. (404) Gang Wand Nordseite zu Binnenhof (Innenthmografie)

Die Raumtemperatur im Aufenthaltsraum WM 0.03 betrug 21°C bei einer relativen Luftfeuchtigkeit von ca. 35%. An der Außenwand ist ein Bereich mit einer markant niedrigeren Oberflächentemperatur zu erkennen (siehe Linie 2). Hier befindet sich ein Be-/Entlüftungsrohr in der Wand. Die niedrigste Oberflächentemperatur liegt zwar bei 13 bis 14°C, bei der gegebenen Raumluftfeuchtigkeit ist dies noch außerhalb des kritischen Bereiches für Kondensation. Bei deutlich höherer Raumluftfeuchtigkeit könnte diese Grenze aber überschritten werden.

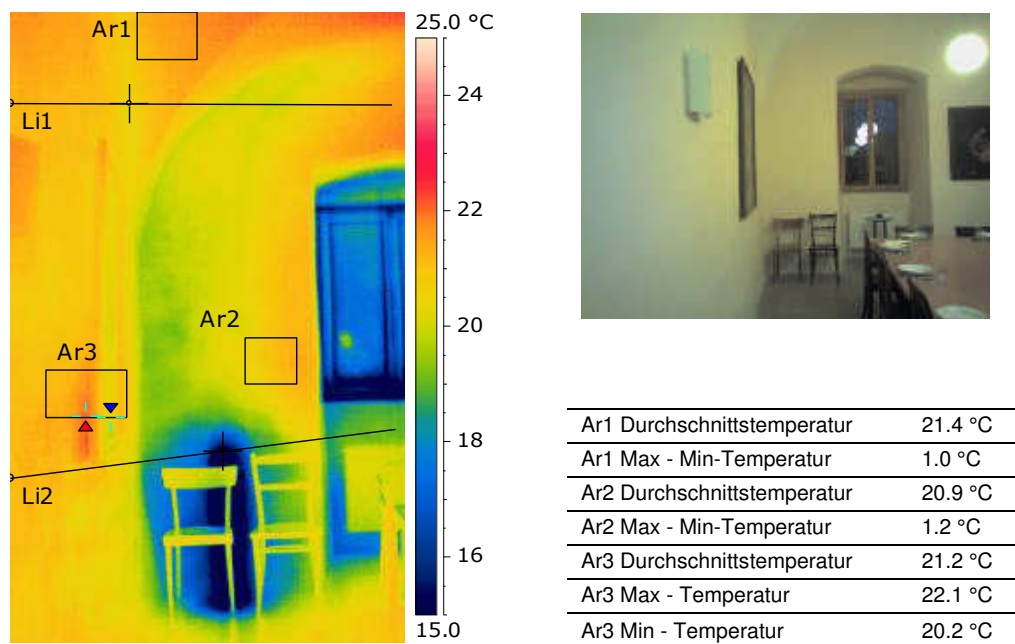


Abb. (405) Aufenthaltsraum – Außenwand zu Stadtgraben Süd (Innenthmografie)

Die Raumtemperatur in diesem Raum lag bei etwa 20,1°C, die Raumluftfeuchte bei ca. 30%. Die Bauteiltemperierung und die Fußbodenheizung waren aktiv. Die Oberflächentemperaturen am Fußboden liegen zwischen 21,5 und 23°C. An der Wand sind die niedrigsten Oberflächentemperaturen bei ca. 17,5°C. Sowohl an den Wandflächen als auch am Übergangsbereich zum Boden sind keine entsprechend niedrigen Oberflächentemperaturen zu erkennen bei denen die Gefahr einer Kondensation auftreten könnte.

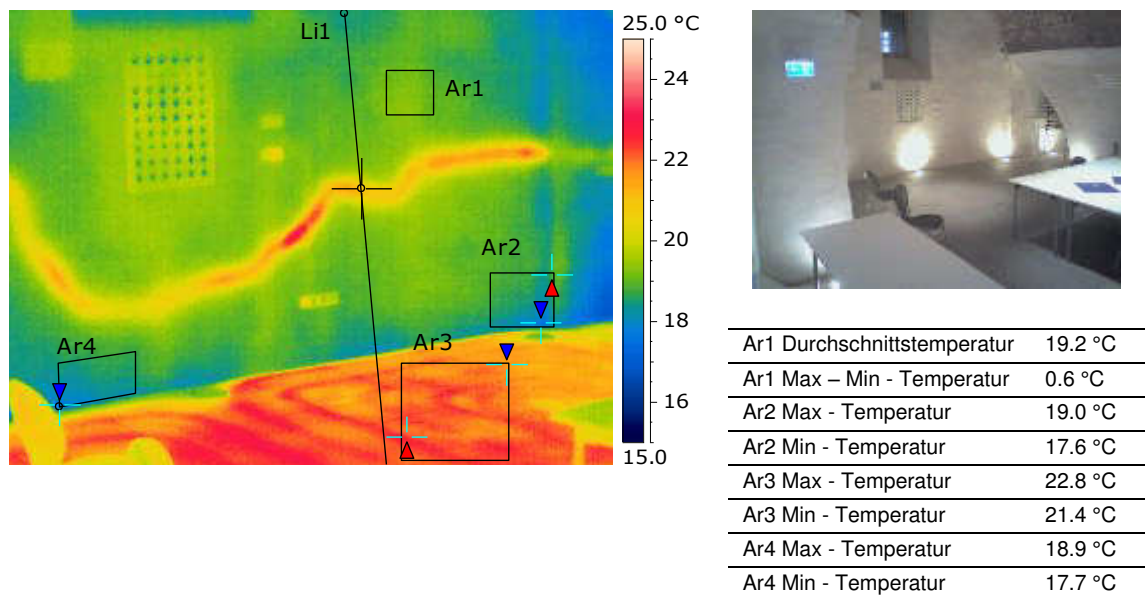


Abb. (406) Kultursaal – Außenwand zu Stadtgraben Süd (Innenthermografie)

Abb. (404) bis Abb. (406) zeigen Innenaufnahmen von Wand- und Bodenbereichen mit aktiver Bauteiltemperierung bzw. Fußbodenheizung. Es ist dabei deutlich erkennbar, dass an den Wand- und Bodenflächen an keinem Bereich Oberflächentemperaturen auftreten bei denen bei den gegebenen Raumluftbedingungen die Gefahr einer Kondensation besteht. Die Verlegung der Bauteiltemperierung in der Wand scheint teilweise sehr „individuell“ erfolgt zu sein.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Thomas Mach, Michael Grobbauer

Das Forschungsprojekt „denkmalaktiv I - Sanierung alter, denkmalgeschützter Gebäude auf Aktivhausstandard?“ mit dem Schwerpunkt auf Objekten in der Stadt Graz wurde als erster Schritt des Leitprojektes „denkmalaktiv“ konzipiert. Das Projekt hatte die Aufgabe grundlegende Erkenntnisse über den Umgang mit alter, denkmalgeschützter Bausubstanz zu erarbeiten und damit in der Folge auch den Boden für die bauliche Umsetzung eines Sanierungsvorhabens aufzubereiten. Dieses wird oder sollte (dies war zum Zeitpunkt der Berichtslegung noch nicht entschieden) in den konzipierten Folgeprojekten „denkmalaktiv II“ und „denkmalaktiv III“ wissenschaftlich begleitet werden.

Das Arbeitsgebiet

Der Ausgangspunkt aller Projektaktivitäten war das Spannungsfeld, das sich in Hinblick auf eine Verbesserung der Energieeffizienz zwischen den Anliegen des Denkmalschutzes und den Anliegen des Klimaschutzes aufspannt. Der Denkmalschutz hat die Aufgabe kulturelle Werte zu bewahren und für die Nachwelt zu sichern. Der Klimaschutz hat hingegen die Aufgabe zu verändern um den derzeitig unverantwortbar hohen Ausstoß anthropogener treibhausrelevanter Emissionen zu verringern und eine lebenswerte Nachwelt möglich zu machen. Zwei ernstzunehmende gesellschaftlich relevante Zielsetzungen stehen sich gegenüber.

Teamstruktur

Die Betrachtung der Themenstellung zeigt deutlich, dass die Bearbeitung dieses Spannungsfeldes einen weitgreifenden interdisziplinären Ansatz verlangt. Dementsprechend heterogen und breit aufgestellt formierte sich das Projektteam. Durch die Projektleitung des Umweltamtes der Stadt Graz wurde sichergestellt, dass die Sichtweise „öffentlicher Institutionen“ eingebracht wird. Mit dem Franziskanerkloster Graz kam die Sichtweise eines auf lange Nutzungszeiten ausgerichteten Immobilienbesitzers zu Wort. Ziviltechniker und Planer aus der Privatwirtschaft brachten ihre praxiserprobten Konzepte ein und Universitätsinstitute, ihrerseits multidisziplinär aufgestellt, ergänzten und hinterfragten diese. Eine lokale Energieagentur, als organisatorische Drehscheibe, rundete das Bild ab. Ergänzt wurde dieses Kernteam durch die assoziierte Partnerschaft mit dem Bundesdenkmalamt (weitgehend das Landeskonservatorat für Steiermark), wodurch die bundesbehördlichen Vorgaben des Denkmalschutzes von Anfang an in die Überlegungen des Projektteams einfließen konnten. Abgerundet wurde das Bild durch eine begleitende und hinterfragende von der Forschungsförderungsgesellschaft (FFG) nominierten Expertengruppe (Beirat der FFG).

Inhaltliche Projektstruktur

Die Aktivitäten im Forschungsprojekt „denkmalaktiv I“ wurden in den drei Handlungsfeldern mit den Bezeichnungen DISKURS, BAUSTEINE und KONZEPTE gebündelt. Das Handlungsfeld DISKURS initiierte einen intensiven Diskussionsprozess. Das Handlungsfeld BAUSTEINE arbeitete hingegen auf der rein technischen Ebene und beschäftigte sich mit der Aufarbeitung bau- und gebäudetechnischer Fragestellungen. Das Handlungsfeld KONZEPTE wiederum zeigte die architektonischen und energietechnischen Konsequenzen verschiedenster Sanierungskonzepte anhand von fünf prototypischen Gebäuden. Die zeitgleiche Begleitung der Umsetzung von Sanierungsmaßnahmen im Franziskanerkloster Graz bot ein facettenreiches Anwendungsbeispiel. Die Vernetzung dieser Aktivitäten machten „denkmalaktiv I“ zu einem integrativen Projekt, in dem ein multidisziplinäres Team verschiedenste Ebenen der Problembehandlung in Theorie und Praxis analysieren und gestalten konnte.

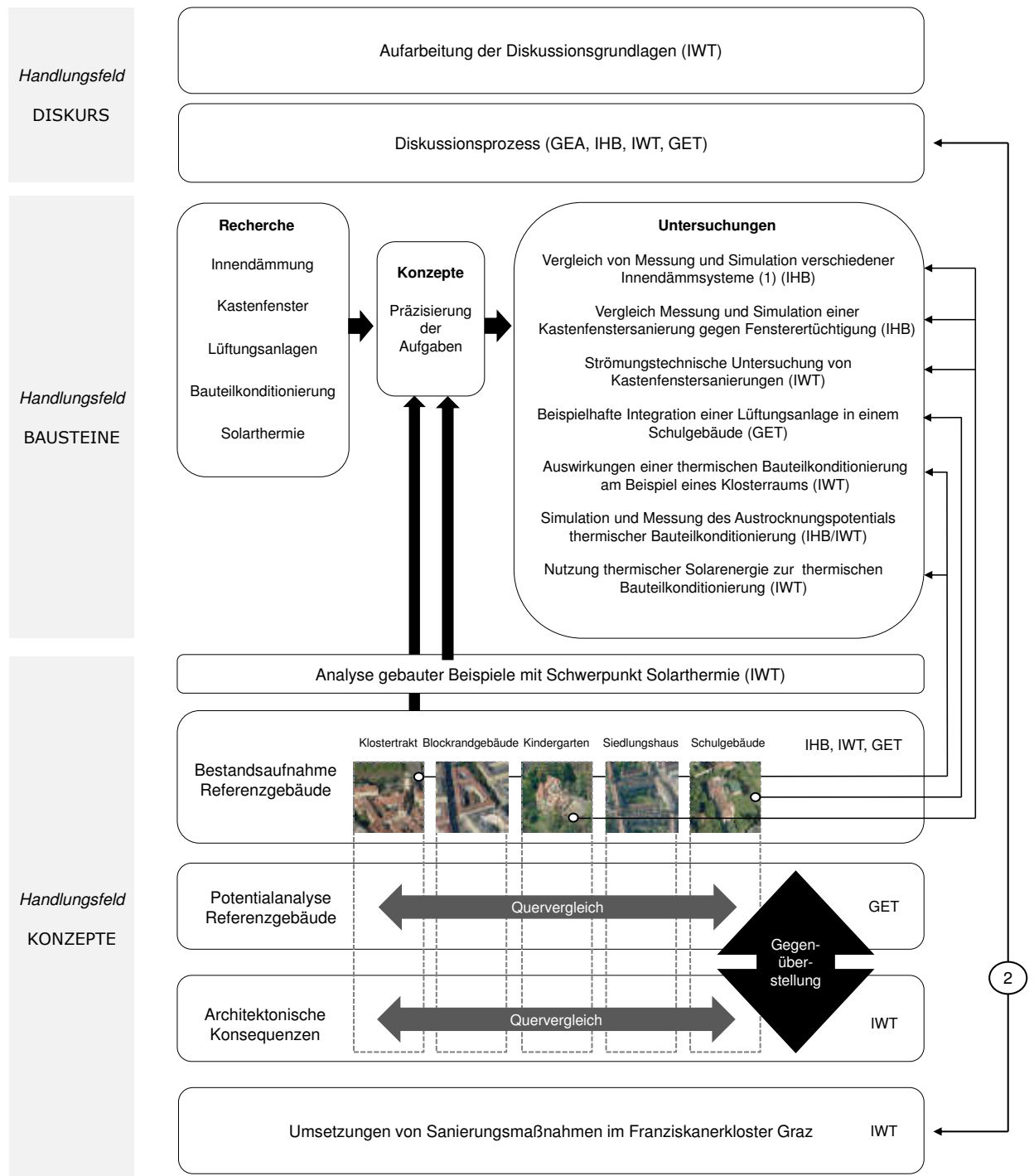


Abb. (407) Projektstruktur denkmalaktiv I

(1) in Zusammenarbeit mit dem Projekt ÖKO-ID
 (2) Wechselwirkung zwischen den Aktivitäten im Franziskanerkloster und dem „denkmalaktiv I“-Diskurs

GEA – Grazer Energie Agentur
 GET – Güssing Energy Technologies
 IHB – Institut für Hochbau / TU Graz
 IWT – Institut für Wärmetechnik / TU Graz

Handlungsfeld DISKURS

Das Handlungsfeld DISKURS hatte die Aufgabe einen Diskussionsprozess in Gang zu setzen. Der Themenbereich „Denkmalschutz-Klimaschutz“ wurde unter Zuhilfenahme verschiedener Methoden (Abb. (408)) bekanntgemacht und provozierte den Dialog mit dem „denkmalaktiv I“-Team. Das grundlegende Ziel war die unterschiedlichen Sichtweisen und Standpunkte herauszuarbeiten, das gegenseitige Verständnis der beteiligten Stakeholder zu stärken und in der Diskussion nach Lösungsansätzen zu suchen.

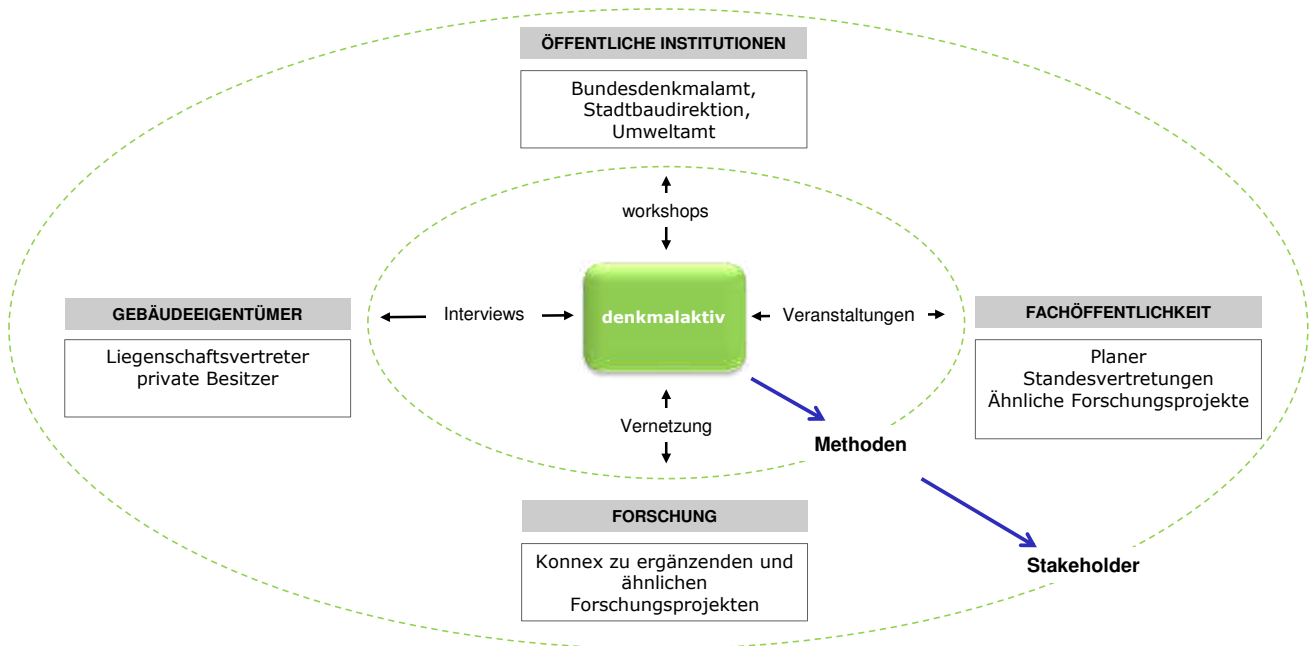


Abb. (408) Die denkmalaktiv DISKURS-Struktur

Die Grundlage dieses Prozesses bildete eine zusammenfassende Sichtung der Entwicklungsgeschichte des Denkmalschutzes und Klimaschutzes, sowie eine Beschreibung der aktuellen diesbezüglichen österreichischen Richtlinien, Gesetze und Förderungen. Die Einbeziehungen von Vertretern des Denkmalamtes bei der Begehung der fünf Grazer Referenzgebäude startete die inhaltliche Auseinandersetzung zwischen dem Projektteam und dem Bundesdenkmalamt anhand konkreter Fragestellungen in Bezug auf die Genehmigungsfähigkeit verschiedener Sanierungsmaßnahmen. Dies gab einen ersten Eindruck in Bezug auf die verschiedenen Standpunkte und Sichtweisen. Am Beispiel des Referenzgebäudes „Schulgebäude“ wurde diese Auseinandersetzung vertieft und auf die Implementierung einer kontrollierten Lüftungsanlage bezogen, welche sowohl seitens des Denkmalschutzes sowie seitens der technischen Bearbeitung prototypisch durchgearbeitet wurde.

In drei Workshops wurde der Dialog mit dem Bundesdenkmalamt weitergeführt und zu einem intensiven Austausch genutzt. Dabei bekam das „denkmalaktiv I“-Team einen Einblick in die Wertvorstellungen und Entscheidungsprozesse des Denkmalschutzes. Vice versa konnte das Projektteam seinen Zugang zu natur- bzw. ingenieurwissenschaftlichen Arbeits- und Denkweisen (Messung, Simulationen, iterative Entwicklung von Lösungen) vermitteln. Die Organisation eines Symposiums in dem technisch orientierte Vorträge zu Sanierungsthemen Präsentationen mit kulturgeschichtlichen Anliegen und Fragestellungen gegenübergestellt wurden, ergänzte das Bild um weitere Facetten.

Vorträge, Präsentationen und schriftliche Beiträge des „denkmalaktiv I“-Teams in verschiedensten Gremien und Konferenzen im Inland und im Ausland verbreiteten den „denkmalaktiv“-Diskursansatz sowie die Ergebnisse der Untersuchungen technischer Fragestellungen. Der Gedankenaustausch mit Vertretern ähnlich gelagerter Forschungsprojekte auf nationaler und europäischer Ebene brachte eine Vernetzung der Projektansätze und einen lehrreichen Erfahrungsaustausch. Die intensivste Auseinandersetzung brachte naturgemäß die reale Umsetzung energietechnisch relevanter Sanierungsmaßnahmen am Franziskanerkloster Graz. Die dort am Dach und an Teilen der Fassade des Südtrakts implementierte thermische Solaranlage entfachte einen langen und teilweise emotionsgeladenen Diskurs.

Die Auswertung des Diskurses brachte folgende Erkenntnisse:

.... genereller Zielkonflikt

Ein Gebäude ist in seiner ursprünglichen Ausprägung ein Zeugnis seiner Zeit. Aus denkmalpflegerischer Sicht ist die Erhaltung des originalen Ausgangszustandes das unbestrittene Ideal. Demgegenüber steht die Zielsetzung des Klimaschutzes, welcher nach energieeffizienten Gebäudestrukturen und emissionsarmen Gebäudetechniken verlangt. Da davon auszugehen ist, dass die Mehrzahl der unter Denkmalschutz stehenden Gebäude diese Bedingungen nicht erfüllen kann, verlangt der Klimaschutz einen Veränderungsprozess der ursprünglichen Gebäudestruktur und steht damit in den meisten Fällen für Veränderung.

... unterschiedliche Denkschulen

Im DISKURS trafen, vereinfacht gesprochen, Naturwissenschaftler und Techniker auf Kunsthistoriker und Architekten und vertraten dabei ihre jeweiligen Anliegen. Wobei die dazugehörige Rollenverteilung unter den Protagonisten nicht eindeutig zuteilbar war, denn das Projektteam selbst war in seiner Zusammensetzung heterogen aufgestellt. Die im Projektteam arbeitenden ArchitektInnen reflektierten und diskutieren laufend die Auswirkungen auf die Baukultur. Die unterschiedlichen Denkansätze der Beteiligten erschwerten 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 verwiesen. Andererseits argumentierten die leidenschaftlichen Vertreter des Denkmalschutzes oftmals mit der Besonderheit des Einzelfalls und der damit verbundenen unverzichtbaren individuellen Betrachtungsweise. Die naturwissenschaftlich-technische Prägung demgegenüber verlangt das Suchen nach Gemeinsamkeiten der Einzelfälle, um verborgene Gesetzmäßigkeiten im Quervergleich zu erkennen und daraus bestenfalls allgemeingültige Regeln abzuleiten. Allgemeingültige Regeln wiederum führen zur Multiplizierbarkeit und somit in vielen Fällen zu einer vielfachen Verstärkung der Wirkung.

... Planungsunsicherheiten behindern Sanierungstätigkeiten

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.

.... Mangel an Diskurs

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. Fehlendes Wissen über die Zielsetzungen, Methoden und Denkweisen der jeweils anderen Interessensgruppe bewirkt einen Mangel an Verständnis für die Standpunkte der jeweils anderen Interessengruppe, hemmt die Suche nach integralen Maßnahmen. Zu diesem Schluss kommt auch MinR Bruno Maldoner in der von „denkmalaktiv“ veranstalteten „Fachtagung zu Energieeffizienz & Denkmalschutz“:

„Die Scientific Communities, welche sich für Klimaschutz und für Denkmalschutz einsetzen, haben über lange Zeit kaum oder wenig miteinander kommuniziert. (Bruno Maldoner, 2012)“

... der Wunsch nach Orientierung

Der aus der Sicht des Denkmalschutzes nachvollziehbare Ansatz, dass ein jedes Gebäude als einzigartig zu betrachten ist, hat auf den Genehmigungsprozess von Sanierungstätigkeiten an denkmalgeschützten Gebäuden einen entscheidenden Einfluss. Die Standardisierung von Bewertungsprozessen, so wie in den Naturwissenschaften und der Technik üblich, ist dadurch im Bereich des Denkmalschutzes nicht möglich. Da somit die Einschätzung der Genehmigungsfähigkeit einer Maßnahme damit signifikant erschwert wird, entsteht bei Planern und Bauherren der Wunsch nach Orientierung in der Projektierungsphase. Die Gestaltung der Richtlinie „Energieeffizienz am Baudenkmal“ (1. Fassung vom 17. März 2011) durch das Bundesdenkmalamt (BDA) stellt diesbezüglich einen Ansatz dar. Die Richtlinie als allgemeines Regelwerk kann eben nicht auf die individuelle Einzigartigkeit Bezug nehmen, bietet aber jedoch/trotzdem eine gewisse Orientierung.

... der Wunsch nach rechtzeitiger Einbindung

Der aus der Sicht der Vertreter des Bundesdenkmalamtes passiert die Einbeziehung des Bundesdenkmalamtes in Sanierungsverfahren oftmals zu spät. Denn eine „rechtzeitige“ Einbindung birgt die Möglichkeit in sich gemeinsam mit dem Bundesdenkmalamt genehmigungsfähige Lösungen zu entwickeln. Ist der Entwicklungsprozess zu weit fortgeschritten und damit wesentliche Entscheidungen bereits getroffen, kann oftmals nur mehr ein negativer Bescheid ausgestellt werden.

... 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 Absolutwertes 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 Motivationsbereich 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 hohen Ausgangssituation vor der Sanierung eine bedeutende Menge an Energie eingespart und somit Umweltwirkung vermieden werden. Eine Intensivierung der bereits vorhandenen Ansätze für denkmalgeschützte Gebäude auch thermische Ertüchtigungen mit einer kleineren Einsparungsquote als förderungswürdig anzusehen (vgl. Sanierungsscheck des Bundes im Jahr 2013), würde im denkmalgeschützten Bereich ein zusätzliches Sanierungspotential erschließen.

... unklares Einsparungspotential an Treibhausgasen

Aussagen über den denkmalgeschützten Gebäudebestand in Österreich sind auf der Grundlage der publizierten Informationen nur als grobe Abschätzung möglich. Als Datenquellen stehen die „Statistik Austria“ und das Bundesdenkmalamt zur Verfügung. Die veröffentlichten Daten beziehen sich jeweils auf unterschiedliche Gliederungen und Bilanzierungszeiträume und sind somit nicht zu einem Gesamtbild über den Status Quo denkmalgeschützter Gebäude in Österreich kombinierbar. Zudem wurden nach 2001 einige denkmalgeschützte Objekte durch die Novellierung wieder vom Denkmalschutz befreit bzw. kommen jährlich neue dazu. Nach einer diesbezüglichen Abschätzung (Sima, 2012) durch den Leiter der Abteilung für Architektur und Bautechnik im Bundesdenkmalamt Hofrat Dr. Johannes Sima sind ca. 80.000 Objekte in Österreich als denkmalwürdig einzustufen und ca. die Hälfte davon, also ca. 40.000 Objekte tatsächlich denkmalgeschützt, wobei ca. die Hälfte davon, also ca. 20.000 Objekte thermisch konditioniert sind. Da zur Abschätzung der dazugehörigen Emissionsäquivalente die thermisch konditionierte Geschoßfläche, spezifische Verbrauchswerte und die jeweilig eingesetzten Energieformen- bzw. Umwandlungstechnologien erforderlich sind, können die Auswirkungen des Denkmalschutzes auf die Zielerreichung im Klimaschutz für Österreich nicht eindeutig quantifiziert werden. Die daraus resultierende Unsicherheit einer quantitativen Einordnung in das österreichische Zahlenwerk erschwert die Abwägung zwischen den gesellschaftlichen Zielsetzungen Denkmalschutz - Klimaschutz.

Handlungsfeld BAUSTEINE

Die Aktivitäten im Handlungsfeld BAUSTEINE widmeten sich der Untersuchung konkreter Sanierungsmaßnahmen. Ausgehend von der Abschätzung, welche Sanierungsmaßnahmen in einem denkmalgeschützten Gebäude eine Aussicht auf Genehmigungsfähigkeit haben, wurde eine Reihe von Themenbereichen definiert. Beginnend mit dem Wunsch nach Reduktion der Transmissionswärmeverluste der Gebäudehülle wurde die Themenbereiche Innendämmung und Ertüchtigung von Kastenfenstern in die Bearbeitung aufgenommen. Der logische nächste Schritt zur Verbesserung der Wärmebilanz war den in der Regel nach den Transmissionswärmeverlusten zweitgrößten Verlustposten, die Lüftungswärmeverluste zu betrachten. Dies führte zur Frage nach der Implementierung von Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung in denkmalgeschützten Gebäuden. Das thermodynamisch begründete Anliegen die Systemtemperaturen der Wärmebereitstellung zu senken führte in der Folge zur Frage nach thermischer Massenkonditionierung und deren Auswirkungen auf die Innenraumbehaglichkeit und die hygrischen Zustände in der Wandkonstruktion selbst. Der letzte Schritt ergab sich aus der Ambition regenerative Energieformen in die Energieversorgung denkmalgeschützter Gebäude einzubringen, wodurch die Themenbereiche Integration solarthermischer Anlagen und Photovoltaik schlagend wurden. Die Rahmenbedingung für diese Untersuchungen stellten die fünf Grazer Referenzgebäude prototypisch zur Verfügung. Das Projekt „denkmalaktiv I“ widmete sich diesen Themenbereichen in einer dreistufigen Herangehensweise.

Die erste Stufe der Bearbeitung bestand aus Recherchetätigkeiten in Bezug auf den Stand der Wissenschaft bzw. den Stand der Technik in den ausgewählten Sanierungsmaßnahmen. In der zweiten Stufe wurde auf Grundlage des gewonnenen Bildes aus den Fachrecherchen und unter Berücksichtigung der Ergebnisse der Bestandsanalyse der Referenzgebäude (siehe Handlungsfeld KONZEPTE) eine Präzisierung der wissenschaftlichen Aufgabenstellungen vorgenommen und entsprechende untersuchungswürdige Konzepte definiert, deren Untersuchung mit den entsprechenden Arbeitsplänen hinterlegt wurde. Die dritte Stufe der Bearbeitung beinhaltete die entsprechenden Simulationsarbeiten bzw. den Aufbau und Durchführung messtechnischer Versuche.

Recherche des Staus Quo verschiedener Sanierungsmaßnahmen

Die durchgeführten Recherchen zeigten deutlich, dass das publizierte technische Fachwissen im Bereich der Innendämmung und der Kastenfenster noch zahlreiche Fragen unbeantwortet lässt. Dies ist unter anderem darauf zurückzuführen, dass sich die traditionell im Hochbau eingesetzten ingenieurtechnischen Methoden zahlreicher Vereinfachungen in der Modellierung der Fragestellungen bedienen.

Als Konsequenz sind die in der Regel angewandten Modellierungsmöglichkeiten oftmals nicht in der Lage das tatsächliche thermisch-hygrische Verhalten der Bauteile so detailliert abzubilden, dass ein tiefes Verständnis über das Systemverhalten generiert werden kann. Die publizierten Informationen sind größtenteils von klassischen Lehrmeinungen geprägt, welche wiederum aus einer langen ursprünglich im Handwerk wurzelnden Tradition erwachsen sind. Die Anwendung hochwertiger Simulationsmethoden scheint hier ein hohes Potential an Erkenntnisgewinn zu versprechen. Die Recherche in den Bereichen thermische Bauteilkonditionierung und Solarthermie brachte zutage, dass insbesondere die Koppelung zwischen Solarthermie und thermischer Bauteilkonditionierung ein eher wenig bearbeitetes Forschungsfeld darzustellen scheint. Für den Teilaspekt der thermischen Bauteilkonditionierung sind zumindest einige Informationen zu finden. Die Konzentration liegt dabei auf der Darstellung von Ausführungsbeispielen im Bereich historischer, oftmals sakraler Gebäude. Der Fokus dieser Veröffentlichungen liegt auf der Baupraxis und der Beschreibung bauphysikalischer und handwerkstechnischer Themen. Demgegenüber steht der Einsatz thermischer Bauteilkonditionierung im Neubau. In diesem Forschungsfeld findet schon seit mehreren Jahren ein reger wissenschaftlicher Diskurs, insbesondere im Bereich der Aktivierung von Geschossdecken, statt. Dies hat dazu geführt, dass umfangreiche Literatur über die Wirkungsweise und entsprechende Berechnungs- bzw. Simulationsmodelle publiziert wurden und zur Verfügung stehen.

Anwendung kapillaraktiver Innendämmsysteme (Kapitel 3.1)

Der erste Sanierungsbaustein widmete sich der Anwendung von Innendämmsystemen, als wahrscheinlichste Form der Umsetzung von Außenwanddämmmaßnahmen in denkmalgeschützten Gebäuden. Diese können entweder als dampfsperrende Systeme (z.B. mit Dämmungen aus Schaumglas), als dampfbremsende Systeme (mit dampfbremsenden Schichten oder Folien) oder als kapillaraktive Systeme ausgeführt werden. Kapillaraktive, diffusionsoffene Systeme begegnen dem Problem einer durch die Innendämmung auf die Innenseite der tragenden Außenkonstruktion wandernden Kondensationsebene oder -zone dadurch, dass die Feuchtezunahme und ev. Kondensation zugelassen wird und die Systeme durch sorptive und kapillare Transportvorgänge nach innen und außen rücktrocknen, wobei vom System nur der Rücktrocknungsvorgang nach innen kontrolliert werden kann. Für den praktischen Einsatz unabdingbaren Bauteilanschlüsse sind noch wenig untersucht, Konstruktionsregeln oder -kataloge mit hygrothermischer Beurteilung fehlen völlig, weshalb zur Zeit jedes System im konkreten Einsatzfall durch Simulationen nachzuweisen ist. Eine einfache Beurteilung anhand von Wärmebrückenkatalogen ist aufgrund der Komplexität nicht möglich. Das Institut für Hochbau verglich fünf verschiedene Dämmsysteme in Hinblick auf ihre thermo-hygrische Performance.

Die untersuchten Dämmsysteme wurden in der Folge als Grundlage für die Gestaltung entsprechender Baudetaillierungen der Außenecken, Innenwandanschlüsse, Geschossdeckenanschlüsse und Sockelanschlüsse, herangezogen, wobei der wichtige Anschluss von Holzbalkendecken an die Außenwand ausgeklammert blieb, da dieser im parallel laufendem Projekt OEKO-ID bearbeitet wird .

Neben den einzelnen Aussagen über die Einsetzbarkeit der untersuchten Dämmsysteme in den untersuchten Einsatzgebieten wurde nach einer Möglichkeit gesucht generalisierbare Erkenntnisse für den Einsatz von Innendämmsystemen zu generieren um die sehr umfangreiche simulationstechnische Bewertung jedes Einzelfalls durch vereinfachte praxistaugliche Bewertungsverfahren ersetzen zu können. Abschließend wurde von den Autoren in Bezug auf dieses Anliegen festgestellt, dass zwar weiterhin Simulationen zur Absicherung von Innendämmungsmaßnahmen nötig sind, aber mit

„... weiterer Anstrengung Konstruktionsregeln entwickelt werden können ..., auf deren Grundlage, ... zwar für den konkreten Anlassfall nicht sicher gesagt werden könnte, wie gut ein System performt, aber bestätigt werden kann, dass es nicht versagt“.

Es wurde von den Autoren somit in Aussicht gestellt, dass der im DISKURS festgestellten, den Einsatz von Innendämmsystemen bremsende, „Planungsunsicherheit“ durch weitere Untersuchungen entgegengewirkt werden könnte um in der Folge einen breiteren Einsatz von Innendämmsystemen zu ermöglichen.

Thermisch-hygrische Ertüchtigung von Kastenfenstern (Kapitel 3.2)

Das Kastenfenster ist ein Fenstertypus, in dem zwei hintereinander angeordnete Fenster-ebenen einen stehenden Luftraum einschließt. Der riesige Bestand an historischen Kastenfenstern insbesondere in den Städten Mitteleuropas – man spricht von 100 Mio. zu sanierender Kastenfenster alleine in Deutschland, bzw. umgerechnet auf Österreich rund 10 Mio.- stellt ein hervorragendes Potenzial zur energetischen Ertüchtigung bei gleichzeitiger Steigerung der Behaglichkeit von „Häusern mit Geschichte“ dar. Das Kastenfenster ist, im Gegensatz zu einem industriell erzeugten Isolierglasfenster, ein zum Großteil traditionell handwerklich hergestelltes Produkt, das meist ein hohes Potenzial für Wiederinstandsetzungen bietet. Ausgehend von einem sehr geringen publizierten technischen Wissenstand über die thermisch-hygrischen Vorgänge in historischen Kastenfenstern definierte das Projektteam, auf der Grundlage der Recherche des Status Quo, drei verschiedene Untersuchungsansätze. Das Ziel aller Ansätze lag im Ergründen der inneren thermischen, hygrischen und strömungstechnischen Vorgänge in Kastenfenstern, als Basis zur Entwicklung verschiedener Sanierungsansätze.

Im Baustein Kastenfenster wurden durch das Institut für Hochbau in einem ersten Schritt zwei baugleiche Kastenfenster „in situ“ hinsichtlich Temperaturen, Feuchte und Luftströmung vermessen, wobei eines der Fenster gangbar gemacht und das andere durch Abdichtung des Innenflügels sowie eine low-e-beschichtete Innenverglasung thermisch verbessert wurde. Die gewonnenen Messdaten zeigten deutlich weiteren Untersuchungsbedarf auf. Sie konnten leider nicht zur Validierung der Simulationen genutzt werden aber durchaus Basis gezielter weiterer Simulationsberechnungen sein. Die Kombination von Kastenfenstern und Innendämmungen mit den Auswirkungen auf die Bauanschlussfuge und den Scheibenzwischenraum wurde in Varianten durch kombinierte thermohygrische Simulationen untersucht. Dabei konnte die gute Eignung dieser Kombination insbesondere bei fachgerechter Sanierung der Bauanschlussfuge und des Innenflügels gezeigt werden. Die Simulationen zeigen außerdem deutlich die heutigen Grenzen dieser Werkzeuge auf und weisen das Kastenfenster als System aus, dass eine Untersuchung durch Programmkombinationen oder Multiphysikprogramme erfordert – derart komplex sind die Zusammenhänge, die keineswegs alle vollständig verstanden werden – das zeigen Simulationen wie Messungen im thermohygrischen Bereich.

Im Zuge der Kombination verschiedener Sanierungsbausteine zu einem Sanierungskonzept stellte sich die Frage nach dem Anschluss von Innendämmsystemen an sanierte Kastenfenster, weil in diesem Schnittfeld hygrische Problemstellungen vermutet wurden.

Aus dieser Motivation heraus beschäftigte sich der zweite Untersuchungsansatz im Bereich Kastenfenster mit der Eignung der im Bereich Innendämmung untersuchten Dämmsysteme im Anschlussbereich an ein Kastenfenster. Das Institut für Hochbau wählte hierzu den Weg einer hygrothermischen Simulation mit dem Simulationsprogramm Delphin, in das Aufbringen einer Innendämmung ohne Leibungsdämmung, einer Innendämmung mit Leibungsdämmung und einer Innendämmung mit Leibungsdämmung und gedämmter Bauanschlussfuge abgebildet wurde. Die Bewertung zeigten eine Abkühlung des Mauerwerks und das Entstehen überhygroskopischer Feuchte in einzelnen Konstruktionspunkten, die von den Autoren jedoch durchwegs aufgrund von Rücktrocknungseffekten als „unkritisch“ bezeichnet werden.

Strömungstechnisches Verhalten von Kastenfenstern bei Sanierung (Kapitel 3.3)

Als Reaktion auf die Probleme der „in situ“-Vermessung mit der Dedektierung der Strömungsvorgänge im Kastenfenster wurde vom Institut für Wärmetechnik eine strömungstechnische Untersuchung eines Kastenfensters mit den Mitteln der Computational Fluid Dynamics (CFD) durchgeführt. Das Ziel dieser Modellierung lag im Generieren eines verbesserten Verständnisses über die inneren wärmetechnischen Vorgänge in historischen Kastenfenstern, als Grundlage zur Konzeption verschiedener Maßnahmen zur thermischen Ertüchtigung. Es zeigte sich eine zufriedenstellende Modellierbarkeit der Problemstellung und eine gute Darstellbarkeit der internen Strömungscharakteristik. Das interne Strömungsbild zeigte sich in weiten Teilen räumlich sehr fein aufgelöst und mit sehr geringen Strömungsgeschwindigkeiten, wodurch eine meßtechnische Evaluierung der Strömungen durch die installierte Vorortmessung nur eingeschränkt möglich war. Der Vergleich der Temperaturen brachte eine zufriedenstellende Übereinstimmung. Die aufgestellten Modelle zeigten eine Strömungscharakteristik, die sich in einem hohen Ausmaß von der eintreffenden Solarstrahlung abhängig erwies, was sich auch mit den Erkenntnissen der Messung deckte. Aufbauend auf das Modell des unsanierten Kastenfensters zeigten die Modellierungen verschiedenster Sanierungsmaßnahmen nachvollziehbare und schlüssige Strömungscharakteristiken.

Implementierung einer Lüftungsanlage in einem Schulgebäude (Kapitel 3.4)

Der Baustein „Lüftungsanlage“, durchgeführt von der „Güssing Energy Technologies“ thematisiert den Einsatz von Lüftungsanlagen mit integrierter Wärmerückgewinnung in denkmalgeschützte Gebäude. Das Projektteam vereinbarte in diesem Zusammenhang eine prototypenhafte Planung und Untersuchung durchzuführen. Die Wahl fiel auf das Gebäude der Volksschule St. Peter in Graz (Referenzobjekt: Schulgebäude), einerseits, weil die Luftqualität in Schulgebäuden ein wichtiges Untersuchungsgebiet an sich darstellt und andererseits die Sanierung der Volksschule St. Peter in den nächsten Jahren am Sanierungsplan steht und somit eine mögliche Umsetzung gefundener Erkenntnisse im realen Sanierungsprozess ermöglicht werden konnte. Die Ergebnisse zeigten, dass der Einsatz dezentraler Lüftungsanlagen aus denkmalpflegerischer Sicht wenig Zustimmung finden würde, da hierfür für jede zentrale Einheit eine Zuluft- und eine Abluftöffnung in die Außenhülle implementiert werden müsste und dies auf das geschützte Fassadenbild (verputztes Ziegelmauerwerk) denkmalpflegerisch unerwünschte Auswirkungen haben würde. Der Implementierung einer zentralen Lüftungsanlage wurden hohe Chancen auf Genehmigungsfähigkeit eingeräumt, sofern einzelne Vorgaben des Denkmalschutzes eingehalten werden würden. Die Summe der Einschränkungen erschien jedoch in einem vertretbaren Ausmaß bewältigbar. Grundlegend zeigte sich die Tendenz, dass in die historische Bausubstanz zu integrierende gebäudetechnischen Einrichtungen nicht verdeckt werden sollen, sondern vielmehr als neues eigenständiges Element der historischen Substanz gestalterisch entgegengesetzt werden können. In diesem Zusammenhang wichtig scheint die klare Erkennbarkeit von „alt“ und „neu“ zu sein.

Der technische Teil der Studie beschäftigt sich mit den energetischen, ökonomischen und lufttechnischen Auswirkungen einer solchen Implementierung und stößt damit in eine sehr kontrovers diskutierte Fachdiskussion vor. Dass eine Lüftungsanlage mit einem hohen Wärmerückgewinnungsgrad die thermischen Verluste eines Gebäudes deutlich reduzieren kann, ist weitgehend unumstritten. Die Bilanzierung der elektrischen Antriebsenergie des Luftstroms, d.h. wieviel der in Wärme umgewandelten Ventilatorleistung dem Zuluftstrom angerechnet werden kann und auf welche Art und Weise die elektrische Antriebsenergie auf die primärenergetische Bilanzierung Einfluss nimmt (Stichwort: Primärenergiefaktor Strom) bleibt offensichtlich noch in Diskussion.

In der ökonomischen Analyse kommen die AutorInnen der Studie zu dem Schluss, dass die Kosten des elektrischen Stroms für das Betreiben der Lüftungsanlage die verringerten Heizkosten durch die thermische Einsparung aus der Wärmerückgewinnung weitgehend egalisieren, und somit sicherlich Diskussionsbedarf aufzeigen. Hier stellt sich zudem das Problem der Vergleichsbasis, da mit einer Lüftungsanlage, und auch das zeigt die Studie, eine hygienisch ausreichende Frischluftmenge in die Klassenräume gebracht werden kann. Dies ist unter Berücksichtigung des Ablaufplans in einer Schulklasse durch reine Fensterlüftung, nach Meinung der AutorInnen, nicht zu bewerkstelligen. Die Implementierung einer Lüftungsanlage in die untersuchten Klassenräume würde die, zurzeit durch Fensterlüftung insuffizient bereitgestellte Luftqualität, deutlich und auf ein ausreichendes Niveau zu heben im Stande sein.

Auswirkungen thermischer Bauteilkonditionierung auf das thermische Raumverhalten (Kapitel 3.5)

Die großflächige bauliche Umsetzung einer thermischen Bauteilkonditionierung in einem Referenzgebäude von „denkmalaktiv I“, dem Franziskanerkloster Graz, gab dem Projektteam den Anstoß die Wirkungsweise derartiger Systeme näher betrachten zu wollen. In der Begründung für den Einbau des Systems im Franziskanerkloster wurden im Wesentlichen zwei Aspekte genannt. Einerseits erhofften sich die Entscheidungsträger eine Verbesserung der thermischen Behaglichkeit in den betroffenen Innenräumen im Winter und andererseits einen Austrocknungseffekt im aktivierten Mauerwerk. Zu diesen beiden „Annahmen“ entwickelte das Projektteam zwei Untersuchungsansätze.

Zur Beurteilung des Einflusses auf die thermische Behaglichkeit wurde durch das Institut für Wärmetechnik von einem betrachteten Innenraum des Klosters mittels Computational Fluid Dynamics (CFD) vier dreidimensionale Modelle erstellt, wobei ein jedes Modell eine Verlegeart der Heizleitungen bzw. eine hydraulische Verschaltung repräsentierte. Die Untersuchungen variierten zudem Vor- und Rücklauftemperaturen sowie den Massenstrom des Heizmediums, klimatische Randbedingungen und das Wandmaterial in einer Sensitivitätsanalyse. Die Simulationsergebnisse zeigen die Wärmeausbreitung innerhalb des Mauerwerks, den Einfluss auf das thermische Verhalten des Innenraums, die daraus beeinflusste thermische Behaglichkeit im Innenraum. Die Ergebnisse zeigen damit grundlegende Zusammenhänge für die Gestaltung und Wirkungsweise derartiger Konditionierungssysteme.

Trocknungspotential thermischer Bauteilkonditionierung (Kapitel 3.6)

Neben den Auswirkungen der thermischen Bauteilkonditionierung auf die thermische Behaglichkeit im Innenraum stand das Trocknungspotential zur Diskussion. Nach der Durchführung entsprechender Recherchen zeigte sich, dass in diesem Punkt auf keinen eindeutigen und sichergestellten Wissenstand aus der publizierten Literatur aufgebaut werden konnte.

Sämtliche Ansätze „insitu“-Vermessungen am Referenzgebäude „Klostertrakt“ durchzuführen, wurden letztendlich vom Projektteam als wenig zielführend eingeschätzt, da entscheidende Randbedingungen, wie laobortechnisch ermittelte Eigenschaften des Mauermaterials, die Einbringung entsprechender Messsensoren und insbesondere der Feuchteanfall aus dem Boden, der weder exakt bestimmt noch geregelt werden hätte können. Von einer simulationstechnischen Studie wiederum wäre eine grobe qualitative Bewertung, jedoch ohne messtechnisches Korrektiv, zu erwarten gewesen. Der schlussendlich gewählte Ansatz führte zu einer Messung unter Laborbedingungen mit parallel zur Messung durchgeführter thermisch-hygrischer Simulation. Das Institut für Bauklimatik der Technischen Universität Dresden adaptierte zu diesem Zweck einen Prüfstand, in dem zwei gleichartige Ziegelmauern in einer Wasserwanne standen und somit von unten definiert befeuchtet wurden.

Umfangreiche Meßtechnik dedektierte die Austrocknungswirkung einer thermischen Konditionierung (in Äquivalenz zur Umsetzung im Franziskanerkloster Graz), die einer der beiden Ziegelmauern eingesetzt wurde. Die Besonderheit dieser Konstellation lag im direkten Vergleich der konditionierten Mauer mit der unkonditionierten Mauer unter exakt gleichen Randbedingungen. Die Versuche ergaben, dass eine Temperierung mit 30°C (angelegt an eine Rücklauftemperatur eines Niedrigtemperaturheizungssystems) nur eine lokal begrenzte Austrocknungswirkung beigemessen wurde. Die Übereinstimmung mit den dazu durchgeführten thermisch hygrischen Simulationen des Institutes für Hochbau der TU Graz war ausreichend gegeben und bestätigte somit die eher geringe diesbezügliche Wirkung.

Zudem konnten zur Durchführung derartiger Bewertungen zahlreiche Erkenntnisse gewonnen werden. Selbst bei den verhältnismäßig kontrollierten Verhältnissen an den beiden überschaubar großen Testwänden hatten offenbar schon sehr kleine Unregelmäßigkeiten große Auswirkungen auf die Messergebnisse. Dies lässt vermuten, dass vergleichbare Messungen in Bestandswänden realer Gebäude, weitaus größeren Ungenauigkeiten unterworfen sein könnten.

Nutzung aktiver thermischer Solarenergie (Kapitel 3.7)

Nach Untersuchung des Einflusses thermischer Bauteilkonditionierung auf die Behaglichkeit und das Austrocknungsverhalten stellte sich die Frage, in wie weit solarthermisch gewonnene Wärme zu einer derartigen Konditionierung des Mauerwerks herangezogen werden könnte. Die zur Beantwortung dieser Frage vom Institut für Wärmetechnik durchgeführte Simulationsstudie definierte dazu drei solarthermisch betriebene Heizungssysteme, die ein Geschoss des Klostertraktes des Franziskanerklosters mit Bauteilheizung versorgten: Solarthermie direkt, Solarthermie mit Zwischenspeicher und Solarthermie mit Zwischenspeicher und Nachheizung. In einer umfangreichen Sensitivitätsanalyse sollte herausgefunden werden, in welcher Weise die Systemwahl, die Verlegeart der Heizungsrohre und die Vorlauftemperatur Auswirken auf die Temperierung der Innenräume und den solaren Deckungsgrad zeigen.

Es zeigte sich, dass bei hohen solaren Deckungsgraden der Nachheizenergiebedarf deutlich reduziert wird, eine vollständige Vermeidung des Nachheizenergiebedarfes jedoch nicht erreicht werden kann. Die bedeutet, dass unter den gewählten Randbedingungen, eine solarthermisch monovalente Beheizung über die Außenwandflächen nicht realisiert werden kann. Eine Ursache dafür liegt in der Tatsache, dass eine Aktivierung der Außenwandflächen deutliche Wärmeverluste nach Außen verursachen. Diese steigen zudem mit dem solaren Deckungsgrad und der gewählten Vorlauftemperatur. Eine Verschiebung aktivierter Flächen von den Außenwänden zu den weniger verlustbehafteten Innenwänden würde den Wärmebedarf senken und bei gleichbleibender Anlagenkonfiguration zu höheren solaren Deckungsgraden führen.

Zudem zeigt sich in Räumlichkeiten, die über aktive Wandflächen geheizt werden, eine verbesserte Behaglichkeit. So ergab sich bereits bei einer Vorlauftemperatur von 30 °C eine Behaglichkeit, die in nahezu allen Punkten die Kategorie A (EN ISO 7730:2006) erreicht. Eine weitere Anhebung der Vorlauftemperatur und eine Erweiterung der aktivierten Wandflächen auf die Innenwände würde eine zusätzliche Verbesserung der Behaglichkeit mit sich bringen, jedoch den Energiebedarf steigen lassen. Durch eine geänderte Regelung, welche die operative Raumlufttemperatur anstelle der Vorlauftemperatur nutzt, könnte aufgrund der verbesserten Behaglichkeit eine tiefere Raumluftsoltemperatur und somit eine Einsparung beim Nutzenergiebedarf erreicht werden.

Bei der Erstellung von Dimensionierungsrichtlinien zeigte sich, dass die Integration der Gebäudemasse in das Heizungssystem zu Auslegungsschwierigkeiten führt. Zumeist bezieht man sich bei den Nomogrammen zur Auslegung von solarthermischen Anlagen auf spezifische Kennwerte des betrachteten Gebäudes. Dies kann die Heizlast oder auch der Heizwärmebedarf des Gebäudes sein. Im Falle der Beheizung eines Gebäudes über eine aktivierte, ungedämmte Außenwandfläche ändert sich jedoch, je nach solarem Deckungsgrad und gewählter Vorlauftemperatur, die Heizlast und ebenso der Heizwärmebedarf. Dieser dynamische Zusammenhang zwischen Wärmebedarf und Auslegungssystemgrößen verhindert eine Erstellung von allgemeingültigen Auslegungsnomogrammen. Daher ist zur korrekten Dimensionierung des Gesamtsystems, bestehend aus Gebäude samt aktivierter Wandflächen und der teilsolaren Raumheizung, eine Gebäude- und Anlagensimulation unumgänglich.

Handlungsfeld KONZEPTE

Das Ziel des Handlungsfeldes KONZEPTE war, aufbauend auf den Erkenntnissen aus dem Handlungsfeld DISKURS (Entstehung, Zielgrößen und Umsetzung des Denkmalschutzes und des Klimaschutzes), für die fünf Referenzgebäude Sanierungskonzepte zu erstellen und zu bewerten. Der erste Schritt lag im Blick nach außen, in der Suche nach erfolgreich durchgeführten Beispielen, um davon zu lernen. Im zweiten Schritt stand die Aufnahme der Sanierungsgrundlagen der fünf Referenzgebäude am Arbeitsplan des Projektteams. Im Zuge dieser Arbeit wurde der Ausgangszustand der Referenzgebäude erhoben und dokumentiert. Ausgestattet mit dem Wissen aus der Recherche und dem Status Quo der Referenzgebäude war die Aufgabe der Definition der Sanierungskonzepte zu bewältigen. Unter Bedachtnahme der Widmung des Projektes „denkmalaktiv I“ als Grundlagenforschungsprojekt war das Projektteam bestrebt einen Ansatz zu wählen, der möglichst allgemeine und multiplizierbare Ergebnisse liefern kann. Dies steht im direkten Gegensatz zu Forschungsprojekten, die auf die Umsetzung eines einzelnen Demonstrationsbauvorhabens abzielen und demnach eine möglichst auf das jeweilige Objekt fokussierte Betrachtungsweise verlangen, um die für den jeweiligen Einzelfall möglichst beste Sanierungslösung zu entwickeln.

„Denkmalaktiv I“ demgegenüber definierte ein „Sanierungskonzept“ als theoretische Kombination einzelner Sanierungsmaßnahmen. Die Auswahl der Sanierungsmaßnahmen orientiert sich an den, im Handlungsfeld BAUSTEINE untersuchten Sanierungsansätzen. Die angesetzten Referenzgebäude repräsentieren dabei jeweils einen im Grazer Stadtgebiet oftmals vorkommenden Gebäudetyp. Die Gesamtheit aller unter den gegebenen Einschränkungen möglichen Sanierungsmaßnahmen wird als „Sanierungsmatrix“ bezeichnet. Die Sanierungsmatrix hat den Charakter einer rein aus Kombination gebildeter Möglichkeitsform und ist somit per se wertfrei.

Die darauf folgende Bewertung bezieht sich auf den grundlegenden Ansatz des Projektes „denkmalaktiv I“, nämlich in der Gegenüberstellung der Anliegen des Klimaschutzes mit den Anliegen des Denkmalschutzes. Der Klimaschutz verlangt geringe Emissionen durch Klimatisierung und der Denkmalschutz verlangt nach Erhaltung der historischen Dokumente und damit nach einer möglichst geringen Änderung in der architektonischen Wirkung. Auf der Grundlage dieses Ansatzes wurden eine rechnerische Bewertung der Energieeinsparung und gleichlaufend eine Beschreibung der architektonischen Konsequenzen durchgeführt.

Sanierungsbeispiele denkmalgeschützter/historischer Gebäude (Kapitel 4.1)

Eine Grundlage zur Definition der Sanierungsszenarien war die Suche nach umgesetzten und publizierten Beispielen. Der Empfehlung des Beirates folgend konzentrierte sich das Institut für Wärmetechnik dabei auf Sanierungen, die eine aktive solare Nutzung, also eine thermische Solaranlage oder eine photovoltaisches System, beinhalteten. Neben einer Beschreibung der wichtigsten bautechnischen und energietechnischen Maßnahmen wurden von Planern, Ausführenden und Bauherren Erfahrungsberichte eingeholt. Es zeigte sich, dass für den Einsatz aktiver Solarsysteme im Bereich denkmalgeschützter Gebäude wenige Beispiele zu finden sind. Die Erfahrungsberichte zeigten die Gemeinsamkeit, dass die Implementierung solarer Anlagen im denkmalgeschützten Bereich auf individuelle, auf das jeweilige Bauwerk maßgeschneiderte Lösungen, angewiesen ist. Es zeigte sich durchgehend im Vergleich zum Neubau eine höherer Planungs- sowie Umsetzungsaufwand, der sich in der Regel nur durch diesbezügliche Fördermittel aufbringen lässt.

Bestandsanalyse der Referenzgebäude (Kapitel 4.2)

Die zweite Grundlage zur Definition der Sanierungsszenarien war das Feststellen des Status Quo der fünf Grazer Referenzgebäude. Umfangreiche Bestandsaufnahmen des Institutes für Hochbau dokumentierten den bauphysikalischen Zustand der Gebäude in einem hohen Detaillierungsgrad. Ergänzt wurden diese Analysen durch einen Blick auf die Metaebene derartiger Bestandsaufnahmen, in dem eine prototypische Vorgangsweise mittels Checklisten erdacht und durchgeführt wurde. Güssing Energy Technologies (GET) recherchierte den Zustand der gebäudetechnischen Komponenten und das Institut für Wärmetechnik bearbeitete den Status Quo der denkmalpflegerischen Ausgangslage. Auffallend und für die Durchführung prägend war die Vielfalt der gefundenen Konstruktionen und Materialien sowie die allgemein als bruchstückhaft zu bezeichnende Datenlage.

Energetische Potentialabschätzung der Sanierungsmaßnahmen (Kapitel 4.3)

Die von der Güssing Energy Technologies durchgeführte Arbeit definierte in Zusammenarbeit mit dem Projektteam die möglichen Ausprägungen einzelner Sanierungsmaßnahmen, implementierte diese an den Referenzgebäuden und unterzog die derart entstandenen Modelle einer quantitativen Bewertung. Die Bewertung wurde anhand eines, an die Algorithmen des Energieausweises angelehnten, Monatsbilanzverfahrens durchgeführt. Die aufgestellten Bilanzen enthielten die gesamte Energiebereitstellungskette von Nutzenergie-Endenergie-Primärenergie bis zu den Emissionen der entsprechenden Äquivalente der CO₂-Emissionen. Das Ziel lag im Quantifizieren aller Kombinationen der einzelnen Sanierungsmaßnahmen, wodurch je Referenzgebäude 378 Szenarien zu bewerten waren. Die Ergebnisse zeigen somit die gesamte Bandbreite an möglichen Sanierungskonzepten und deren Auswirkung auf die Energiebereitstellungskette.

Die Grazer Referenzgebäude selbst stehen unter striktem Denkmalschutz, jedoch existiert im mitteleuropäischen Gebäudebestand eine große Anzahl von Gebäuden gleicher oder sehr ähnlicher typologischer Ausprägung, welche deutlich weniger oder auch gar nicht dem Denkmalschutz unterliegen. Dies ermöglicht für die erarbeiteten Ergebnisse ein weit über den Bereich der denkmalgeschützten Gebäude hinausgehendes Einsatzgebiet.

Architektonische Konsequenzen von Sanierungsmaßnahmen (Kapitel 4.4)

Die Umsetzungen baulicher Maßnahmen, so auch die Umsetzung von Maßnahmen zur energietechnischen Ertüchtigung eines Gebäudes, greifen in das architektonische Erscheinungsbild eines Gebäudes ein und verändern den ursprünglichen gestalterischen Ausdruck. Das Projekt „denkmalaktiv I“ hatte sich zur Aufgabe gemacht diese Veränderung zu beschreiben um den energietechnischen Konsequenzen (Anliegen des Klimaschutzes) einzelner Sanierungsmaßnahmen die architektonischen Konsequenzen (Anliegen des Denkmalschutzes) zumindest in einer qualitativen Form gegenüberstellen zu können. Die Bewertung dieser Veränderung im Sinne von „positiv“ und „negativ“ ist in den Bereich eines architektur- bzw. kunst-historischen Disputes anzusiedeln und war nicht Aufgabenstellung des Projektes.

Vielmehr wurde vom Institut für Wärmetechnik ein an die Naturwissenschaften angelehntes Vorgehen umgesetzt, in dem eine Auswirkung in Einzelteile zerlegt wird (Analyse) und die Frage nach der Messung gestellt wird. Der gewählte Ansatz geht davon aus, dass ein Gebäude vom Menschen über die menschlichen Messinstrumente, den Sinnen „Sehen“, „Hören“, „Riechen“, „Schmecken“ und „Tasten“ wahrgenommen wird. Verändert sich sanierungsbedingt die physikalische Präsenz eines Gebäudes, beispielsweise durch eine Änderung der Raumgeometrie, dann verändern sich auch die entsprechenden Messwerte des Menschen und eine Veränderung des gestalterischen Ausdrucks wird wahrgenommen. Die physikalische Präsenz wurde dabei über einzelne Betrachtungskriterien (Farbe, Rauheit, Reflexionsgrad, Temperatur, etc.) beschrieben. Auf diese Weise wurde ein Katalog angelegt, in dem die Auswirkungen der betrachteten Sanierungsmaßnahmen auf die Betrachtungskriterien beschrieben wurden.

Mit der gewählten Vorgangsweise ist es gelungen die Vielfalt der durch Sanierungsmaßnahmen bedingten Veränderungen des architektonischen Ausdrucks eines Gebäudes aufzuzeigen und zu benennen. Das Ziel der „Bewusstmachung“ der vielfältigen gestalterischen Konsequenzen konnte somit auch einem naturwissenschaftlich-technisch orientierten Kreis nähergebracht werden, um das im Handlungsfeld DISKURS angestrebte gegenseitige Verständnis der verschiedenen Denkschulen verbessern zu können.

Umsetzung im Franziskanerkloster Graz (Kapitel 4.5)

Die im Projektzeitraum des Forschungsprojektes „denkmalaktiv I“ durchgeführten Sanierungstätigkeiten im Franziskanerkloster Graz bildeten ein ausgezeichnetes Beispiel zum Studium der Umsetzung eines Sanierungskonzeptes unter schwierigsten Bedingungen. Neben allen technischen und wirtschaftlichen Herausforderungen eines derartigen Projektes waren zudem die Auseinandersetzungen mit den Vorgaben des Bundesdenkmalamtes, des Ortsbildschutzes und die Auflagen in Bezug auf den Schutz des UNESCO Welterbes zu bewältigen. Zudem ist das Franziskanerkloster als integraler, identitätsstiftender Bestandteil des historischen Stadtkerns von Graz naturgemäß auch Gegenstand öffentlich geführter Diskussion und genießt die entsprechende mediale Aufmerksamkeit. Für das Projekt „denkmalaktiv I“ ergab sich aufgrund dieser kontrovers und intensiv geführten Debatte eine treibende Kraft um entsprechende Protagonisten, die im Spannungsfeld zwischen Denkmalschutz und Klimaschutz agieren, zum DISKURS einzuladen und diesen dementsprechend voranzutreiben.

Ausblick

Denkmalschutz und Klimaschutz haben eine historische Entwicklung hinter sich gebracht. Beide Begriffe beschreiben wichtige Anliegen unserer Gesellschaft und sind auch dementsprechend gesetzlich hinterlegt. Das Projekt „denkmalaktiv I“ hat gezeigt, dass mit dem Denkmalschutz und dem Klimaschutz zwei unterschiedliche Denk-, Bewertungs- und Handlungsansätze in der konkreten Bauaufgabe aufeinandertreffen. Dieses Aufeinandertreffen verursacht in den Entscheidungen über konkrete Sanierungsmaßnahmen Zielkonflikte. Da es naturgemäß zur Lösung dieser Zielkonflikte keine naturwissenschaftliche Lösungsmethode geben kann, bleibt zur Entscheidungsfindung der gesellschaftliche Diskurs auf Augenhöhe.

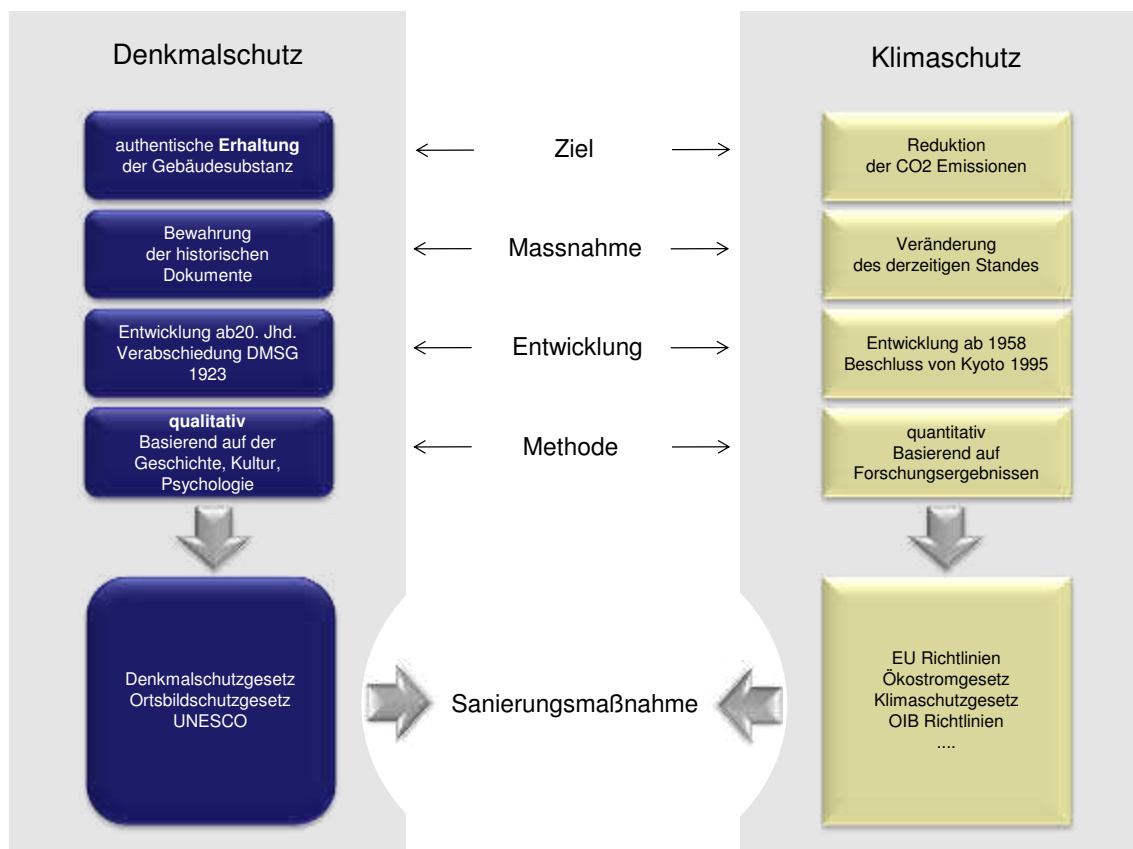


Abb. (409) Gegenüberstellung Denkmalschutz - Klimaschutz

Die Arbeit in den drei unterschiedlichen Handlungsebenen DISKURS, BAUSTEINE und KONZEPTE hat eine beachtenswerte Resonanz in unterschiedlichen Expertengruppen erzeugt und klargestellt, dass das Spannungsfeld Denkmalschutz-Klimaschutz hohe gesellschaftliche Relevanz besitzt. Es hat sich aber auch herausgestellt, dass noch ein großer Bedarf an der Aufarbeitung entsprechender Entscheidungsgrundlagen besteht.

Der begonnene Diskurs zwischen den Protagonisten des Denkmalschutzes und des Klimaschutzes sollte weitergeführt werden. Das Verständnis für die gegenseitigen Anliegen ist nach Ansicht der Autoren immer noch schwach ausgeprägt, aber essentiell für das Finden gemeinsamer Lösungen.

Sollten diese Lösungen im Einklang mit Denkmalschutz und Klimaschutz nicht gefunden werden, dann steht ein entsprechender Attraktivitätsverlust 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.

Die Frage nach dem Einsparungspotential in Bezug auf Energie und Emissionen bleibt im gesamtösterreichischen Überblick aufgrund der Datenlage unbeantwortet. Eine quantitative Einordnung dieses Potentials in die gesamtösterreichische Klimapolitik wäre wünschenswert und würde allen am Diskurs beteiligten Protagonisten als Diskussionsgrundlage hilfreich sein. Obwohl derzeit eine Quantifizierung des, im Vergleich zum gesamtösterreichischen Gebäudebestand erhöhten, Energiebedarfs denkmalgeschützter Gebäude nicht möglich ist, so ist dieser jedoch eindeutig vorhanden. Zudem ist anzunehmen, dass die allgemein anerkannten Klimaschutzziele zu einem immer energieeffizienteren Gebäudebestand führen werden und somit die Differenz im Energieverbrauch zwischen dem denkmalgeschützten Gebäudebestand und dem gesamtösterreichischen Gebäudebestand wachsen wird. Es stellt sich somit die gesellschaftspolitische Frage wie mit dieser Entwicklungstendenz umgegangen wird.

Das Projekt „denkmalaktiv I“ hat gezeigt, dass in allen untersuchten Referenzgebäuden im Einklang mit dem Denkmalschutz definierte bauliche und gebäudetechnische Maßnahmen, zu energietechnischen Verbesserungen führen können. Es hat sich aber auch gezeigt, dass eine Intensivierung der Einsparung in Richtung der Schlagworte „Plusenergie“ bzw. „Aktivhaus“, auf der Grundlage der zurzeit zur Verfügung stehenden Sanierungsmethoden, zwar technisch annähernd realisierbar wäre, jedoch tiefgreifende Änderungen im architektonischen Ausdruck der Gebäude zur Folge hätte. Im Falle der Integration von Solartechnologien zur Bereitstellung erneuerbarer Energie könnte eine räumliche Entkoppelung der denkmalgeschützten Bausubstanz von den solartechnischen Anlagen einen möglichen Lösungsansatz darstellen.

Die Mannigfaltigkeit an geometrischen und materialbedingten Konstellationen verlangt nach sorgfältiger Bestandsaufnahme und oftmals maßgeschneiderter Ausführung bautechnischer und gebäudetechnischer Sanierungstechniken. Im Bereich der Sanierungstechniken bestehen noch große Fragestellungen und Unsicherheiten in Bezug auf Ausführung, den Nutzen und die Schadensfreiheit. Das fehlende Wissen führt oftmals zu einer Unterlassung energietechnisch relevanter Maßnahmen. Entsprechende Forschungstätigkeit und die Umsetzung von Best-practice Beispielen könnte hier eine deutliche Verbesserung bewirken. Die Entwicklung entsprechender Sanierungstechniken würde, so wie auch in „denkmalaktiv I“ verfolgt, eine hohe Multiplizierbarkeit aufweisen, da nicht nur die relativ kleine Gruppe der denkmalgeschützten Gebäude, sondern der gesamte Sanierungsmarkt profitieren würde.

Einen Schritt in diese Richtung stellt das in Vorbereitung stehende Teil/Folgeprojekt „denkmalaktiv II“ dar. In „denkmalaktiv II“ wird die Betreuung der letzten Sanierungsstufe des Franziskanerklosters Graz, d.h. der dritte Sanierungsabschnitt, angestrebt, wobei einige der im Teilprojekt „denkmalaktiv I“ begonnenen Forschungsaktivitäten weitergeführt werden können. Erste Ergebnisse sind im Sommer 2014 zu erwarten.

6 Nachweise

6.1 Quellennachweise

AEE INTEC. (o.A.). *Selektive, farbige Fassadenkollektoren - Projekt Colourface*. Abgerufen am 30. November 2012 von <http://www.aee-intec.at/index.php?seitenName=projekteDetail&projektId=43>

Alexander Gebetsroither. (kein Datum). eigene Aufnahme. Graz.

Altstadtanwalt. (2011). Berufung gegen Bescheid der Bau- und Anlagenbehörde vom 25. Februar 2011. *Die gebremste Vision - Altstadtschutz kontra Sonnenenergie* - Josel F., 372. Eigenverlag.

ANSYS, Inc. (a). (2011). ANSYS FLUENT Theory Guide. (*Release 14.0*). Canonsburg.

ANSYS, Inc. (b). (2011). ANSYS FLUENT User's Guide. (*Release 14.0*). Canonsburg.

ARGE Thomas Müller, Ivan Reimann Architekten und inros Lackner AG. (2006/2007). Schriftverkehr Außerbetriebnahme der Solarthermieanlage.

ASVK (a). (2011). Stellungnahme zur Voranfrage vom 28. Juli 2010 von der Altstadt-Sachverständigenkommission. *Die gebremste Vision - Altstadtschutz kontra Sonnenenergie* - Josel F., 372. Eigenverlag.

ASVK (b). (2011). Gutachten vom 06. Dezember 2010 von der Altstadt-Sachverständigenkommission. *Die gebremste Vision - Altstadtschutz kontra Sonnenenergie* - Josel F., 372. Eigenverlag.

ASVK (c). (2012). Gutachten vom 3. August 2012 von der Altstadt-Sachverständigenkommission.

Augustin, F. (a). (01. Oktober 2012). Informationen über die Solarthermieanlage am Wilhelminenhof. *Telefonat mit Herrn Augustin*.

Augustin, F. (b). (2003). Sicherung, Instandsetzung, Modernisierung und Umbau des ehemaligen Hauptlagers der AEG in Berlin-Oberschöneweide.

Augustin, F. (c). (o.A.). *Stockwerksfabrik Berlin*. Abgerufen am 05. November 2012 von <http://www.frank-augustin-architekt.de/stockwerk.html>

Austria Solar. (o.A.). *Hotel "Der Wilhelmschhof", 1020 Wien*. Abgerufen am 08. November 2012 von <http://www.solarwaerme.at/Hotels-Pensionen/Fotos-und-Bilder/Bild966/?typ=0>

AZ/Architekturzeitung. (o.A.). *Lüftungskonzept für die HTW Berlin*. Abgerufen am 06. Februar 2012 von <http://www.architekturzeitung.com/innovation/klima-lueftung/449-fensterluefter-aeromat-vt-seminar-siegenia-aubi.html>

Bau- und Anlagenbehörde (a). (2011). Antrag Baubewilligung - abgelehnt 02. Juni 2010. *Die gebremste Vision - Altstadtschutz kontra Sonnenenergie* - Josel F., 372. Eigenverlag.

Bau- und Anlagenbehörde (b). (2011). positiver Bescheid vom 8. Februar 2011. *Die gebremste Vision - Altstadtschutz kontra Sonnenenergie* - Josel F., 372. Eigenverlag.

baulinks. (06. Juli 2010). *Rigitherm Doublissimo 032: neue Innendämmung von Rigips*. Abgerufen am 22. Oktober 2012 von <http://www.baulinks.de/webplugin/2010/1142.php4>

Bayerische Baubehörde. (2009). Energetische Modernisierung und Denkmalpflege. *Oberste Baubehörde im Bayerischen Staatsministerium des Innern und Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege*. München.

BDA (a). (letzte Aktualisierung am 22. Oktober 2012). *17 Ein dunkles Kapitel im Arenbergpark*. Abgerufen am 22. Oktober 2012 von Bundesdenkmalamt: <http://www.bda.at/text/136/1481/8940>

BDA (b). (letzte Aktualisierung am 22. Oktober 2012). *50. Mauthausen, KZ-Gedenkstätte*. Abgerufen am 22. Oktober 2012 von Bundesdenkmalamt: <http://www.bda.at/text/136/1596/10771>

BDA (c). (letzte Aktualisierung 15. Oktober 2012). *Allgemeine Fragen*. Abgerufen am 15. Oktober 2012 von Bundesdenkmalamt - Fragen: 1,4: http://www.bda.at/faq/0/1118/13/Warum-ueberhaupt-Denkmalenschutz#id_13

BDA (d). (kein Datum). Bescheid GZ: 23.429/2/94. *Bundesdenkmalamt*.

BDA (e). (kein Datum). Datenbank. *Bundesdenkmalamt*.

BDA (f). (kein Datum). Denkmalamt Datenblatt. *Bundesdenkmalamt*.

BDA (g). (letzte Aktualisierung am 22. Oktober 2012). *Denkmalliste*. Abgerufen am 22. Oktober 2012 von Bundesdenkmalamt - Denkmalliste Oberösterreich, Wien: <http://www.bda.at/downloads/1928/Denkmalliste>

BDA (h). (letzte Aktualisierung 08. Oktober 2012). *Geschichte der Denkmalpflege in Österreich*. Abgerufen am 27. August 2012 von Bundesdenkmalamt: <http://www.bda.at/bda/126/0/5780/texte/Geschichte-der-Denkmalpflege-in-Oesterreich>

BDA (i). (kein Datum). *Graz, Franziskanerkloster*. Abgerufen am 20. Jänner 2011 von Bundesdenkmalamt: <http://www.bda.at/text/136/1085/7390/>

BDA (j). (30. Oktober 2009). Gutachten. *Bundesdenkmalamt*.

BDA (k). (letzte Aktualisierung 08. Oktober 2012). *Unterschutzstellungsverfahren*. Abgerufen am 13. August 2012 von Bundesdenkmalamt - Fragen: 8,12: <http://www.bda.at/faq/0/1119/11/>

- BDA (l) (Hrsg.). (1997). *Österreichische Kunsttopographie, Kunstdenkmäler der Stadt Graz - Die Profanbauten des I. Bezirkes Altstadt* (Bundesdenkmalamt Ausg., Bd. XLVI). Wien: Anton Schroll & CO.
- BDA (m) (Hrsg.). (1984). *Österreichische Kunsttopographie, Kunstdenkmäler der Stadt Graz - Die Profanbauten des IV. und V. Bezirkes (Lend und Gries)* (Bundesdenkmalamt Ausg.). Wien: Anton Schroll & CO.
- BDA (n). (30. Mai 2011). Unbewegliche und archäologische Denkmale unter Denkmalschutz - Steiermark. *Liste 118236098 der Denkmale in der Steiermark - Bundesdenkmalamt*.
- BDA (o). (24. 04 2013). Denkmalliste Steiermark. <http://www.bda.at/documents/703620422.pdf>: <http://www.bda.at/documents/703620422.pdf>.
- BDA (o). (o.A.). *Denkmalbonus im Sanierungsscheck 2012 – Finanzielle Begünstigung für privaten Wohnbau*. Abgerufen am 14. November 2012 von Bundesdenkmalamt: <http://www.bda.at/text/136/Aktuell/17655/Denkmalbonus-im-Sanierungsscheck-2012-Finanzielle-Beguenstigung-fuer-privaten-Wohnbau-Antraege-noch-bis-31122012-moeglich>
- BDA (p). (2012). Emailverkehr und Telefonauskunft zu Informationen über Bundesförderung für denkmalgeschützte Gebäude. *Bundesdenkmalamt*.
- BDA (q). (2011). Antrag Baubewilligung Stellungnahme - BDA 22. Juli 2010. *Die gebremste Vision - Altstadtsschutz kontra Sonnenenergie - Josef F., 372. Eigenverlag*.
- BDA (r). (2011). Antrag Baubewilligung Bescheid - BDA 28. Dezember 2010. *Die gebremste Vision - Altstadtsschutz kontra Sonnenenergie - Josef F., 372. Eigenverlag*.
- BDA (s). (2011). Richtlinie - Energieeffizienz am Baudenkmal.
- Berufungskommission. (2011). Bescheid vom 13. April 2011. *Die gebremste Vision - Altstadtsschutz kontra Sonnenenergie - Josef F., 372. Eigenverlag*.
- Bienfait, D., Fitzner, K., Lindvall, T., Seppänen, O., Woolliscroft, M., Fanger, P., et al. (1992). Guidelines for Ventilation Requirements in Buildings. *Indoor air quality & its impact on man(Report No. 11)*. (C. o. Communities, Hrsg.) Luxembourg.
- bing_maps. (kein Datum). Abgerufen am 2012 von <http://www.bing.com/maps/>
- BLEG. (2003). Funktionsschema der Anlage am Wilhelminenhof aus "Sicherung, Instandsetzung, Modernisierung und Umbau des Ehemaligen Hauptlagers der AEG in Berlin-Oberschöneweide von Architekt Frank Augustin S. 8. *Berliner Landesentwicklungsgesellschaft*.
- BMLFUW. (März 2007). Anpassung der Klimastrategie Österreichs zur Erreichung des Kyoto-Ziels 2008-2012. *Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft*.
- BMU. (2012). *UN-Klimakonferenzen*. Abgerufen am 20. September 2012 von Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: http://www.bmu.de/klimaschutz/internationale_klimapolitik/un-klimakonferenzen/doc/47319.php
- BMUKK (a). (20. September 2012). *Denkmalschutz*. Abgerufen am 24. April 2012 von Bundesministerium für Unterricht, Kunst und Kultur: <http://www.bmukk.gv.at/kultur/denkmalschutz/index.xml>
- BMUKK (b). (2011). Franziskanerkloster Graz, Dachlandschaft und passive Sonnenenergienutzung, Schreiben von Univ.-Prof. Dr. Wilfried Lipp, ICOMOS Österreich vom 16. Juni 2010 - Bundesministerium für Unterricht, Kunst und Kultur. *Die gebremste Vision - Altstadtsschutz kontra Sonnenenergie - Josef F., 372. Eigenverlag*.
- BMWFJ. (o.A.). *Neuer Sanierungsscheck für Private und Betriebe*. Abgerufen am 14. November 2012 von Bundesministerium für Wirtschaft, Familie und Jugend: <http://www.bmwfj.gv.at/ENERGIEUNDBERGBAU/ENERGIEEFFIZIENZ/Seiten/NeuerSanierungsscheck.aspx>
- BMWFJ und BMLFUW. (März 2010). EnergieStrategie Österreich - Maßnahmenvorschläge. *Bundesministerium für Wirtschaft, Familie und Jugend sowie Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft*.
- Boos, R., Damberger, B., Hutter, H.-P., Kundi, M., Moshhammer, H., Tappler, P., et al. (o.A.). Bewertung der Innenraumluft - Physikalische Faktoren: Kohlenstoffdioxid als Lüftungsparameter.
- Brugger, C. (18. Juli 2012). *Interview mit Landeskonservator Christian Brugger - Was unter Schutz steht, steht unter Schutz*. Abgerufen am 09. Oktober 2012 von GAT - Verein zur Förderung steirischer Architektur im Internet - Martin Brischnik: <http://www.gat.st/news/was-unter-schutz-steht-steht-unter-schutz>
- Bundesamt für Energie. (2009). Energie und Baudenkmal - Empfehlungen für die energetische Verbesserung von Baudenkmalern. *Bundesamt für Energie und Eidgenössische Kommission für Denkmalpflege*.
- Charta von Venedig. (1964). Internationale Charta über die Konservierung und Restaurierung von Denkmälern und Ensembles (Denkmalbereiche).
- Christian Brugger. (2013). Email vom 28.05.2013. *Bundesdenkmalamt Landeskonservatorat für Steiermark*.
- Christoffer, J., Deutschländer, T., & Webs, M. (2004). Testreferenzjahre für mittlere und extreme Witterungsverhältnisse TRY. Offenbach a. Main: Selbstverlag Deutscher Wetterdienst.
- Corona Solartechnik GmbH. (2007). *Dachintegrierte Kollektoranlage*. Abgerufen am 06. November 2012 von <http://www.corona-berlin.de/beispiel/thbeisp2.html>
- DBU (a). (o.A.). Projektkennblatt der DBU - Photovoltaik-Demonstrationsanlage Kath. Kirchengemeinde St.Georg, Burgwalde. *Deutsche Bundesstiftung Umwelt*.
- DBU (b). (o.A.). Projektkennblatt der DBU - Solartechnische Demonstrationsanlagen Ev. Akademie Meißen. *Deutsche Bundesstiftung Umwelt*.

Dehio-Vereinigung. (1905). *Georg Dehio - Zitate*. Abgerufen am 22. Oktober 2012 von Wissenschaftliche Vereinigung zur Fortführung des kunstopographischen Werkes von Georg Dehio e.V.: <http://www.dehio.org/zitate/index.html>

Delphin. (kein Datum).

dena (a). (o.A.). *Denkmalschutz-Ausnahmen - Besondere Regelungen für besondere Gebäude*. Abgerufen am 04. Dezember 2012 von Deutsche Energie-Agentur - Zukunft Haus: <http://www.zukunft-haus.info/de/verbraucher/energieeffizient-sanieren/beispielgebaeude/dena-modellsanierung-zum-effizienzhaus/denkmalschutz-ausnahmen.html?up=1&cHash=9c4269a35f>

dena (b). (September 2010). Leitfaden "Energieeinsparung und Denkmalschutz". *Deutsche Energie-Agentur*(Version 1.4). Berlin.

Denkmalliste. (kein Datum). Abgerufen am 07. Mai 2013 von Liste Steiermark: unbewegliche und archäologische Denkmale unter Denkmalschutz (6.6.2012): <http://www.bda.at>

Derluyn, H., Janssen, H., & Carmeliet, J. (2011). Influence of the nature of interfaces on the capillary transport in layered materials. *Construction and Building Materials*, 3685-3693.

Deutsche UNESCO-Kommission e.V. (a). (2009). Welterbe-Manual - Handbuch zur Umsetzung der Welterbekonvention in Deutschland, Luxemburg, Österreich und der Schweiz. 354. (L. Ö.-K. Deutsche, Hrsg.) Bonn: Gebrüder Kopp GmbH & Co KG Köln.

Deutsche UNESCO-Kommission e.V. (b). (02. Juli 2012). *Welterbeliste*. Abgerufen am 22. August 2012 von <http://www.unesco.de/welterbeliste.html>

Deutsches Kupfer-Institut. (2000). Bericht der Jury - Architektur-Preis.

Deutsches Nationalkomitee für Denkmalschutz (a). (o.A.). *Denkmalschutz als Kulturaufgabe*. Abgerufen am 15. Oktober 2012 von http://www.dnk.de/Wir_ber_uns/n2220

Deutsches Nationalkomitee für Denkmalschutz (b). (o.A.). *Komitee*. Abgerufen am 18. Oktober 2012 von <http://www.dnk.de/Komitee/n2268>

Dr. Scheffler & Partner GmbH (a). (o.A.). *Evangelische Akademie Meissen*. Abgerufen am 06. November 2012 von [http://www.ib-scheffler.de/referenzen/kirche-soziales/detailansicht/?tx_ttnews\[tt_news\]=15&cHash=ff60944cadfb2f7cf460e07ca0014b48](http://www.ib-scheffler.de/referenzen/kirche-soziales/detailansicht/?tx_ttnews[tt_news]=15&cHash=ff60944cadfb2f7cf460e07ca0014b48)

Dr. Scheffler & Partner GmbH (b). (o.A.). *Johanniskirche Bad Salzellen*. Abgerufen am 21. Juni 2012 von downloadbare Fotos: [http://www.ib-scheffler.de/referenzen/bauteiltemperierung/detailansicht/?no_cache=1&tx_ttnews\[tt_news\]=29&cHash=3191d664d0ba78160446c59e4129cce4](http://www.ib-scheffler.de/referenzen/bauteiltemperierung/detailansicht/?no_cache=1&tx_ttnews[tt_news]=29&cHash=3191d664d0ba78160446c59e4129cce4)

Dr. Scheffler & Partner GmbH (c). (o.A.). *Marienkirche Salzwedel*. Abgerufen am 21. Juni 2012 von downloadbare Fotos: <http://www.ib-scheffler.de/referenzen/bauteiltemperierung/>

Dr. Scheffler & Partner GmbH (d). (o.A.). *Bischof-Benno-Haus Schmochtitz*. Abgerufen am 13. Dezember 2012 von downloadbare Fotos: [http://www.ib-scheffler.de/referenzen/kirche-soziales/detailansicht/?tx_ttnews\[tt_news\]=14&cHash=c74feafc9aaa66d3a234cebed7492b56](http://www.ib-scheffler.de/referenzen/kirche-soziales/detailansicht/?tx_ttnews[tt_news]=14&cHash=c74feafc9aaa66d3a234cebed7492b56)

drexel und weiss. (o.A.). *Download Kapitel 6: Zubehör*. Abgerufen am 28. November 2012 von Dokument zum downloaden: Ansaug- und Ausblaselemente im Freien: <http://www.drexel-weiss.at/?p=f1isi56-384jli1745-1744jj-f0is11133j-f3is399j-f5is3j-f6is413j-l1744>

Duffie, J. A., & Beckman, W. A. (1991). *Solar Engineering of thermal Processes* (Second Edition Ausg.). (I. John Wiley & Sons, Hrsg.) Ney York, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore: Wiley-Interscience Publication.

Dvorak, M. (1918). *Katechismus der Denkmalpflege*. Wien: Verlag von Julius Bard.

E-Control. (24. Jänner 2013). *E-Control Tarifikalkulator*. Von Annahmen Tarifikalkulator 51.000kWh Stromverbrauch und 190Mwh Gasverbrauch: http://www.e-control.at/de/konsumenten/service-und-beratung/toolbox/tarifikalkulator/tarifikalkulator-application?sav_ref=http://www.e-control.at/de/home&js=1&sw=1680 abgerufen

Energie-Graz. (o.A.). *Solar-Anleger*. Abgerufen am 19. Dezember 2012 von http://www.energie-graz.at/home/strom/solar_anleger_modell/solar_anleger-privatkunden.de.php

energie-m. (o.A.). *Energetische Modernisierung von Kastenfenstern*. Abgerufen am 13. November 2012 von Energieberatung Müller: <http://www.energie-m.de/info/kastenfenster.html>

Entscheidungsgutachten PFG. (kein Datum).

Ertex-Solar (a). (o.A.). *Schloss Waidhofen*. Abgerufen am 26. 28. November 2012 von Downloadbares Dokument: VSG-Iso Verbundsicherheits-Isolierglas-Module: <http://www.ertex-solar.at/cms/component/djcatalog2/items/11?pid=4%3Awintergarten&search=waidhofen&limitstart=0&order=i.ordering&dir=asc#tlb>

Ertex-Solar (b). (o.A.). *Wienstrom - Lärmschutzwand*. Abgerufen am 19. Dezember 2012 von Downloadbares Dokument: VSG Verbundsicherheitsglas-Module: <http://www.ertex-solar.at/cms/neu?pid=&search=l%C3%A4rmschutzwand&limitstart=0&order=i.ordering&dir=asc#tlb>

Ertex-Solar (c). (o.A.). *Ludesch - Ortsplatz Überdachung*. Abgerufen am 19. Dezember 2012 von Downloadbares Dokument: VSG Verbundsicherheitsglas-Module: <http://www.ertex-solar.at/cms/neu?pid=&search=ludesch&limitstart=0&order=i.ordering&dir=asc#tlb>

EU-Ministerrat. (21. Dezember 1988). *Richtlinie 89/106/EWG des Rates vom 21. Dezember 1988 zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften der Mitgliedstaaten über Bauprodukte*. Abgerufen am 24. September 2012 von <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31989L0106:de:HTML>

Europäisches Parlament und EU-Ministerrat (a). (16. Dezember 2002). *Richtlinie 2002/91/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 2002 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden*. Abgerufen am 24. September 2012 von <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32002L0091:de:HTML>

Europäisches Parlament und EU-Ministerrat (b). (23. April 2009). EU Richtlinie 2009/28/EG zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen.

Europäisches Parlament und EU-Ministerrat (c). (19. Mai 2010). EU Richtlinie 2010/31/EU über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (Neufassung).

Europäisches Parlament und EU-Ministerrat (d). (5. April 2006). Richtlinie 2006/32/EG über Endenergieeffizienz und Energiedienstleistungen.

Falser, M. (2006). *kunsttexte.de*. Abgerufen am 16. Oktober 2012 von Zum 100. Todesjahr von Alois Riegl 2005.: <http://www.kunsttexte.de/index.php?id=721&ausgabe=12139&zu=121&L=0>

First Solar GmbH. (o.A.). *Solarpark Liebrose Bildergalerie und Downloads*. Abgerufen am 13. Dezember 2012 von downloadbare Fotos: <http://www.solarpark-lieberose.de/bilder/default.html>

Franz Voelker. (kein Datum). Franz Voelker: Hauptbrücke von Norden um 1885. <http://kultur.wkstmk.at/comart/Franz-Voelker/Franz-Voelker-Graz-1870-1900.htm>. GM Moschik Linger.

Franziskaner. (kein Datum).

Franziskaner (a). (kein Datum). Abgerufen am 02. Mai 2012 von <http://www.franziskaner.at/neuhaeuser/index.php?haus=9>

Franziskaner (b). (kein Datum). Abgerufen am 06. Juni 2012 von <http://www.franziskaner.at/neuhaeuser/index.php?haus=9>

Franziskaner (c). (2011). Antrag Baubewilligung - Bau- und Anlagenbehörde 12. Mai 2010. *Die gebremste Vision - Altstadtsschutz kontra Sonnenenergie* - Josef F., 372. Eigenverlag.

Franziskaner (d). (2011). Antrag Baubewilligung - Bundesdenkmalamt 12. Mai 2010. *Die gebremste Vision - Altstadtsschutz kontra Sonnenenergie* - Josef F., 372. Eigenverlag.

Franziskaner (e). (2011). Antrag Baubewilligung Neu - Bau- und Anlagenbehörde 29. September 2010. *Die gebremste Vision - Altstadtsschutz kontra Sonnenenergie* - Josef F., 372. Eigenverlag.

Franziskaner (f). (2011). Antrag Baubewilligung Neu - Bundesdenkmalamt 29. September 2010. *Die gebremste Vision - Altstadtsschutz kontra Sonnenenergie* - Josef F., 372. Eigenverlag.

Franziskaner (g). (2011). Stellungnahme zum Gutachten. *Die gebremste Vision - Altstadtsschutz kontra Sonnenenergie* - Josef F. Eigenverlag.

Freistaat Sachsen. (2011). Energetische Sanierung von Baudenkmalen. *Sächsisches Staatsministerium des Innern*. Dresden.

Funk, M., & Grunewald, J. (2001). Das Simulationsprogramm DELPHIN 4.2 für den gekoppelten Massen- und Energietransport in porösen Stoffen. *Gesundheitsingenieur* 122.

Gassner & Partner Baumanagment GmbH. (23. Oktober 2012). Daten über die Solarthermianlage des Objektes Wißgrillgasse in Wien.

GBG_Graz. (kein Datum). Gebäude- und Baumanagement Graz GmbH. *Bestandsaufnahme*.

GEA - Grazer Energieagentur Ges.m.b.H. (09. Juni 2011). Thermographie. *DMA_Franziskanerkloster_Vorabzug*.

Genvex AS. (September 2005). *Lüftungssysteme - Wohnklima zum Wohlfühlen*. Abgerufen am 28. Juni 2012 von http://www.klimadop.com/pdf/genvex/LLueftung_Genvex_Freigabe09.06.06.pdf

Gestaltungsbeirat. (o.A.). *Beiräte und Kommissionen*. Abgerufen am 13. August 2012 von http://www.gestaltungsbeirat.at/allgemeines.php?page=allg2_0

Glas Wagner. (o.A.). *Schloss Montabaur überzeugt beim Wettbewerb "Gebäudeintegrierte Solartechnik 2011"*. Abgerufen am 13. Dezember 2012 von [http://www.glaswagner.de/index.php?article_id=73&clang=0&FORM\[aid\]=167](http://www.glaswagner.de/index.php?article_id=73&clang=0&FORM[aid]=167)

Glück, B. (2001). *Thermische Bauteilaktivierung, Nutzen von Umweltenergie und Kapillarrohren*. Heidelberg: C.F. Müller Verlag.

google_maps. (kein Datum). Abgerufen am 24. 067 2012

Greml, A., Kapferer, R., Leitzinger, W., & Gössler, A. (Februar 2010). 61 Qualitätskriterien für Klassenzimmerlüftungen. (2. Ausgabe mit Erläuterungen).

Großschmidt, H. (2004, Band 9). Das temperierte Haus: Sanierter Architektur - behagliche Räume - Großvitrine. *Wissenschaftliche Reihe Schönbrunn*.

HEAT2. (kein Datum). http://www.buildingphysics.de/heat2_overview.html, 7.1. Abgerufen am 18. Jänner 2013 von http://www.buildingphysics.de/heat2_overview.html

HEI Eco Technology GmbH (a). (25. Jänner 2011). *Format und Farbe*. Abgerufen am 28. November 2012 von Portal für gebäudeintegrierte Photovoltaik: http://www.solarfassade.info/de/grundlagen/komponenten/format_farbe.php

- HEI Eco Technology GmbH (b). (16. März 2010). *Herz-Jesu Kirche (Plauen, Deutschland, 2002)*. Abgerufen am 24. Oktober 2012 von Portal für gebäudeintegrierte Photovoltaik: http://www.solarfassade.info/de/projektbeispiele/de/herz-jesu_kirche.php
- HEI Eco Technology GmbH (c). (18. Februar 2011). *Lärmschutzwand Wien (Wien, Österreich, 2007)*. Abgerufen am 26. November 2012 von Portal für gebäudeintegrierte Photovoltaik: http://www.solarfassade.info/de/projektbeispiele/at/laermschutzwand_wien.php
- Hein, H. (August, Oktober 2012). Informationen zur Solarthermieanlage in Knetzgau. *Emailverkehr*.
- Hofbauer, W., Mach, T., Dreyer, J., Weih, P., & Brandl, M. (2009). Ökologische Sanierung eines denkmalgeschützten Gebäudes mit Passivhaustechnologien. (I. u. Bundesministerium für Verkehr, Hrsg.) Wien.
- HoG Architektur (a). (2011). Fachgutachten über die Errichtung einer Solaranlage mit einer Belichtung für einen Dachausbau im Franziskanerkloster vom 29. September 2010. *Die gebremste Vision - Altstadtsschutz kontra Sonnenenergie - Josef F., 372*. Eigenverlag.
- HoG Architektur (b). (2011). Voranfrage bei der ASVK vom 30. Mai 2010. *Die gebremste Vision - Altstadtsschutz kontra Sonnenenergie - Josef F., 372*. Eigenverlag.
- HoG Architektur (c). (2011). Franziskanerkloster Graz Solaranlage am Südtrakt - Modifikation. *Die gebremste Vision - Altstadtsschutz kontra Sonnenenergie - Josef F., 372*. Eigenverlag.
- HoG Architektur (d). (kein Datum). eigene Aufnahme. *HOG architektur ZT GmbH*. Graz.
- HoG Architektur (e). (11. September 2012). Fachgutachten betreffend Franziskanerkloster Graz. *HoG Architektur ZT GmbH*. Graz.
- HoG Architektur (e). (7. Februar 2012). Interview. *HOG Architektur ZT GmbH*. Graz.
- Hollein, H. (o.A.). *Schloss Rothschild*. Abgerufen am 26. November 2012 von <http://www.hollein.com/ger/Architektur/Nach-Laendern/Oesterreich/Schloss-Rothschild>
- Holzer, P. (2007). Passivhaus Schulungsunterlagen. *Anhang: Passivhaus Schulungsunterlagen Lehrzielkatalog: 6.1 Wärmeerzeugung*. (I. u. Bundesministerium für Verkehr, Hrsg.) Krems.
- Hotel Wilhelmshof GmbH (a). (o.A.). *Geschichte des Wiener Hotels Der Wilhelmshof - von der einfachen Herberge zum Leitbetrieb in Sachen Design und Kunst*. Abgerufen am 08. November 2012 von <http://www.derwilhelmshof.com/das-hotel/geschichte/>
- Hotel Wilhelmshof GmbH (b). (o.A.). *Umwelt*. Abgerufen am 08. November 2012 von <http://www.derwilhelmshof.com/nachhaltigkeit/umwelt/>
- Hubel, A. (2011). Denkmalpflege zwischen Restaurieren und Rekonstruieren. Ein Blick zurück in ihre Geschichte. In A. von Buttlar, G. Dölff-Bonekämper, A. Hubel, & G. Mörsch, *Denkmalpflege statt Attrappenkult; Gegen die Rekonstruktion von Baudenkmalern - eine Anthologie* (S. 218). Basel, Berlin: Birkhäuser sowie Bauverlag.
- Hug, R. (17. Juni 2003). *Denkmalintegrierte Solaranlagen: Kompromisse statt Kontroversen*. (SolarServer) Abgerufen am 21. Juni 2012 von <http://www.solarserver.de/solarmagazin/artikeljuni2003.html>
- ICOMOS Austria (a). (o.A.). *ICOMOS Austria*. Abgerufen am 22. August 2012 von <http://icomos.at/index.php/en/7-basic-information/1-icomos-austria-home-page>
- ICOMOS Austria (b). (08. April 2011). *UNESCO Welterbe*. Abgerufen am 22. August 2012 von <http://icomos.at/index.php/en/world-heritage>
- IEAA. (2011). Integration energierelevanter Aspekte in Architekturwettbewerben. *Kurzbeschreibung des IEAA-Bewertungstools*. Österreich: Programmlinie Haus der Zukunft.
- IGL. (2011). eigene Aufnahme. *Institut für Gebäudelehre im Rahmen des Forschungsprojektes Solarenergie Urban*. Graz.
- IHB. (15. Mai 2012). Unterlagen zum 2. Diskussionsworkshop denkmal.aktiv. *Institut für Hochbau*. Graz.
- IKZ. (20. September 2012). *Onlineportal der Zeitschriften IKZ HAUSTECHNIK, IKZ-FACHPLANER, IKZ-ENERGY und IKZ-PRAXIS*. Abgerufen am 16. November 2012 von Heizkörper raus, Flächenheizung rein - In bestehenden Gebäuden lässt sich eine Fußbodenheizung nachrüsten, indem Rillen für die Heizungsrohre in den Estrich geätzt werden: <http://www.ikz.de/nc/ikz-haustechnik/artikel/article/heizkoerper-raus-flaechenheizung-rein-in-besteh.html>
- IKZ-Haustechnik. (1999). *Warmwasser-Fußbodenheizung im Altbau*. Abgerufen am 19. Oktober 2012 von Peter Wegwerth - IKZ-Haustechnik, Ausgabe 8/1999, Seite 48ff.: <http://www.ikz.de/1996-2005/1999/08/9908048.php>
- Ing. Haas GmbH. (2002). Anlagenbeschreibung Marienkirche. Rohrbach.
- IPCC (a). (1990). *First Assessment Report*. Genf: Cambridge University Press.
- IPCC (b). (2007). Fourth Assessment Report. *Working Group I Report "The Physical Science Basis"*. Cambridge, New York: Cambridge University Press.
- IPCC (c). (2012). *Organization*. Abgerufen am 19. September 2012 von Intergovernmental Panel on Climate Change: http://www.ipcc.ch/organization/organization.shtml#UFr8ga7_lk4
- ISO7730. (2006).
- Isiflex ag. (o.A.). *Brandschutzverkleidungen*. Abgerufen am 09. Mai 2012 von Fotos 4 und 5 unter Anwendungsmuster: <http://www.isiflexag.ch/brandschutz/brandschutzverkleidungen/brandschutzverkleidungen>
- IWT (a). (2012). eigene Aufnahme. *Institut für Wärmetechnik*. Graz.

- IWT (b). (2012). eigene Darstellung. *Institut für Wärmetechnik*. Graz.
- IWT (c). (2012). eigene Simulation. *Institut für Wärmetechnik*. Graz.
- Josel, F. (a). (2011). Die gebremste Vision - Altstadtsschutz kontra Sonnenenergie. 372. Eigenverlag.
- Josel, F. (b). (2011). Die gebremste Vision - Altstadtsschutz kontra Sonnenenergie. *Grazer Franziskaner am Weg zum "Netto-Null-Emissions-Kloster" - Presseinformation von Mag. (FH) Gerald Spiter*, 372. Eigenverlag.
- Josel, F. (c). (2011). Die gebremste Vision - Altstadtsschutz kontra Sonnenenergie. *Runder Tisch 1,2,3 - Juni, August, September 2010*, 372. Eigenverlag.
- Katholische Kirche Schweiz. (11. Oktober 2011). *Das Licht der Welt auf dem Kirchendach*. Abgerufen am 24. Oktober 2012 von <http://www.kath.ch/index.php?na=11,11,0,0,d,70894>
- Kautsch et.al. (2006). *Zellulose-Innendämmung ohne Dampfsperre, Untersuchungen zur grundsätzlichen Eignung aufgespritzter und verputzter Zelluloseschichten*, 2006].
- KfW. (o.A.). *KfW-Effizienzhaus Denkmal*. Abgerufen am 04. Dezember 2012 von KfW Privatkundenbank: <http://www.kfw.de/kfw/de/Inlandsfoerderung/Tipps/Denkmal/index.jsp>
- Kleine Zeitung (a). (31. Dezember 2011). *Grazer Franziskaner heizen mit Solarenergie - Andrej, H.* Abgerufen am 05. November 2012 von <http://www.kleinezeitung.at/steiermark/graz/graz/2912385/franziskaner-heizen-solarenergie.story>
- Kleine Zeitung (b). (03. März 2011). *Die Vision der ökologischen Versöhnung - Pilch, G.; Andrej, H.* Abgerufen am 27. November 2012 von <http://www.kleinezeitung.at/steiermark/graz/graz/2690398/vision-oekologischen-versoehnung.story>
- Klima- und Energiefonds (a). (2011). *Aufgaben und Ziele des Klimafonds*. Abgerufen am Jänner 2011 von www.klimafonds.gv.at
- Klima- und Energiefonds (b). (o.A.). *Förderungen*. Abgerufen am 30. August 2012 von <http://www.klimafonds.gv.at/foerderungen/aktuelle-foerderungen/>
- Knotzer A. (kein Datum). eigene Aufnahme. *AEE - Institut für Nachhaltige Technologien*. Gleisdorf.
- Knotzer, A. (23/2011). *New4Old Neue Energie für alte Häuser*. 1030 Wien: BMVIT Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie.
- Knüppel R. TB Köstbauer & Sixl GmbH. (kein Datum). TB Köstbauer & Sixl GmbH.
- Knüppel, R., Bredler, J., & Knotzer, A. (. (Jänner 2012). *Franziskanerkloster Graz – erfolgreich auf dem Weg zum Nullemissionskloster*. Abgerufen am 13. August 2012 von Arbeitsgemeinschaft Erneuerbare Energie (AEE): http://www.aee.at/aee/index.php?option=com_content&view=article&id=151&Itemid=113#autor_1
- Knüppel, R., Bredler, J., & Knotzer, A. (Jänner 2012). *Franziskanerkloster Graz – erfolgreich auf dem Weg zum Nullemissionskloster*. Abgerufen am 13. August 2012 von Arbeitsgemeinschaft Erneuerbare Energie (AEE): http://www.aee.at/aee/index.php?option=com_content&view=article&id=151&Itemid=113#autor_1
- Kommunalkredit (a). (Jänner 2013). *Infoblatt zur Antragsstellung - Sanierungsscheck für Private 2012*. Abgerufen am 30. August 2013 von Kommunalkredit Public Consulting GesmbH: http://www.umweltfoerderung.at/kpc/de/home/umweltfoerderung/fr_private/energiesparen/sanierungsscheck_2012/
- Kommunalkredit (b). (o.A.). *Umweltförderung Betriebe*. Abgerufen am 13. November 2012 von Kommunalkredit Public Consulting GesmbH: http://www.umweltfoerderung.at/kpc/de/home/umweltfoerderung/fr_betriebe/
- Kommunalkredit (c). (o.A.). *Umweltförderung für Kommunen*. Abgerufen am 20. November 2012 von Kommunalkredit Public Consulting GesmbH: http://www.umweltfoerderung.at/kpc/de/home/umweltfoerderung/fr_kommunen/
- Kommunalkredit Public Consulting*. (kein Datum). Abgerufen am 18.. April 2013 von <http://www.publicconsulting.at/>
- Koschenz, M., & Lehmann, B. (2000). *Thermoaktive Bauteilsysteme*. Dübendorf: EMPA - Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt.
- Kubinzky, K., & Wentner, A. (1996). *Grazer Straßennamen*. Graz: Lykam Buchverlagsgesellschaft m.b.H.
- Künzel, H., Künzel, H., & Großkinsky, T. (2007). WTA - Almanach. *Gelungene Sanierung durch Bauteiltemperierung am Beispiel der Salinenkapelle St Rupert in Bad Reichenhall*.
- Land Steiermark (a). (o.A.). *Altstadterhaltung Graz*. Abgerufen am 01. August 2012 von <http://www.umwelt.steiermark.at/cms/ziel/686617/DE>
- Land Steiermark (b). (2008). *Erläuterungen zum Grazer Altstadterhaltungsgesetz 2008*. Abgerufen am 15. Oktober 2012 von <http://www.umwelt.steiermark.at/cms/beitrag/11075591/2321771/>
- Land Steiermark (c). (2001). Gesetz über das Inverkehrbringen, die Errichtung und den Betrieb von Feuerungsanlagen (Steiermärkisches Feuerungsanlagengesetz) in der Fassung LGBl. Nr. 13/2011.
- Land Steiermark (d). (2008). Grazer Altstadterhaltungsgesetz 2008 (GAEG) in der Fassung LGBl. Nr. 5/2010.
- Land Steiermark (e). (Juni 2012). Klimaschutzbericht 2011.
- Land Steiermark (f). (Juli 2010). Klimaschutzplan Steiermark - Perspektive 2020/2030 - 26 Maßnahmenbündel für eine zukunftssichernde Klimapolitik in der Steiermark.
- Land Steiermark (g). (1977). Ortsbildgesetz in der Fassung LGBl. Nr. 71/2001.
- Land Steiermark (h). (o.A.). *Ortsbildschutz - gewachsene Ensembles bewahren*. Abgerufen am 01. August 2012 von <http://www.raumplanung.steiermark.at/cms/beitrag/10895193/28497252>

- Land Steiermark (i). (o.A.). *Ortsbilschutzgebiete Steiermark*. Abgerufen am 09. Oktober 2012 von <http://www.umwelt.steiermark.at/cms/ziel/686638/DE/>
- Land Steiermark (j). (1995). Steiermärkisches Akkreditierungsgesetz in der Fassung LGBl. Nr. 13/2010.
- Land Steiermark (k). (1995). Steiermärkisches Baugesetz in der Fassung LGBl. Nr. 13/2011.
- Land Steiermark (l). (2001). Steiermärkisches Bauproduktegesetz in der Fassung LGBl. Nr. 13/2010.
- Land Steiermark (m). (o.A.). *Übersicht Luftbild*. Abgerufen am 09. Oktober 2012 von <http://www.umwelt.steiermark.at/cms/beitrag/10081035/686617/>
- Land Steiermark (n). (2006). Verordnung, mit der Vorschriften für den Betrieb und die Überprüfung von Feuerungsanlagen sowie Anforderungen an Brennstoffe erlassen werden - in der Fassung LGBl. Nr. 96/2011.
- Land Steiermark (o). (2012). *Energie-Förderungen im Land Steiermark*. Abgerufen am 29. August 2012 von <http://www.technik.steiermark.at/cms/beitrag/11483580/59689784/>
- Land Steiermark (p). (August 2012). *Energie und Wohnbau - Formulare - für die Revitalisierung*. Abgerufen am 30. August 2012 von <http://www.verwaltung.steiermark.at/cms/ziel/74835379/DE/>
- Land Steiermark (q). (2012). *Wohnhaussanierung*. Abgerufen am 30. August 2012 von <http://www.verwaltung.steiermark.at/cms/beitrag/11679862/74837517/>
- Land Steiermark (r). (o.A.). *Ökoförderungen Land Steiermark*. Abgerufen am 13. November 2012 von <http://www.technik.steiermark.at/cms/ziel/59689784/DE/>
- Land Steiermark (s). (August 2012). *Wohnbauförderung - Formulare*. Abgerufen am 30. August 2012 von <http://www.verwaltung.steiermark.at/cms/ziel/74835379/DE/>
- Lebensministerium (a). (Mai 2012). Die österreichische Strategie zur Anpassung an den Klimawandel Teil 1 und 2.
- Lebensministerium (b). (07. November 2011). *Klima- und Energiepaket der Europäischen Union*. Abgerufen am 24. Oktober 2012 von <http://www.lebensministerium.at/umwelt/klimaschutz/kyoto-prozess/eu/Klima-Energiepaket.html>
- Lingenhöle M. (a). (kein Datum). *Architekt Dipl.-Ing. Michael Lingenhöle*.
- MA 19 - Wien. (18. Oktober 2012). Auskunft über die zuständige Stelle zur Abwicklung der Altstadterhaltung. *Abteilung für Architektur und Stadtgestaltung - Telefonat am 18.10.2012*.
- Mayrhofer, R. (15. November 2012). Informationen über die Solarthermieranlage des Hotels Wilhelmshof in Wien. *Informationen des Hotelbetreibers*.
- Menerga GmbH. (Juli 2011). Regenerative Energierückgewinnung, Luft- und Klimatechnik Resolair Typ 62, 64, 65, 66 & 68.
- Meteonorm - Version 7.0. (kein Datum).
- Meteonorm- Klimadatengenerator (Version 7.0)*. (kein Datum).
- Müller, T., Bergmann, I., Hausner, R., Höfler, K., & Nussmüller, W. (2004). Colourface - Planungsrichtlinien für farbige Fassadenkollektoren. 42. (A. Intec, Hrsg.) Gleisdorf.
- Nachtigall, D. (November 2007). *Luftqualität im Klassenraum - "verbrauchte Luft"*. Abgerufen am 17. Mai 2011 von <http://luftqualitaet-schule.blogspot.co.at/2007/11/luftqualitt-im-klassenraum-schlechte.html>
- Normungsinstitut, Ö. (2006). ÖNORM EN ISO 7730:2006. *Ergonomie der thermischen Umgebung*.
- Oberkleiner, W. (2009). Analyse der Lüftungsanlage und der Nutzerzufriedenheit in Passivhäusern am Beispiel des Studentenheims Molkereistraße in Wien. In W. Oberkleiner, *Diplomarbeit* (S. 159). Wien: Universität für Bodenkultur Wien.
- OIB (b). (2007, 2011). *OIB-Richtlinien 2007, 2011*. Abgerufen am 1. Oktober 2012 von <http://www.oib.or.at/>
- OIB (c). (2007). Erläuternde Bemerkungen zu OIB-Richtlinie 6 "Energieeinsparung und Wärmeschutz" und zum OIB-Leitfaden "Energietechnisches Verhalten von Gebäuden. *Österreichisches Institut für Bautechnik*.
- Opus Architekten. (09. Oktober 2012). Daten der Solarthermieranlage OpusHouse in Darmstadt.
- Panotron (a). (o.A.). *Der Solarziegel*. Abgerufen am 29. November 2012 von http://www.panotron.com/de/solarenergie_ziegel.html
- Panotron (b). (o.A.). *Die Referenzen - Bauernhaus in Alterswil*. Abgerufen am 28. November 2012 von <http://www.panotron.com/de/referenzen.html>
- Panotron (c). (o.A.). *Die Photovoltaik*. Abgerufen am 28. November 2012 von http://www.panotron.com/de/solarenergie_photovoltaik.html
- Pater Maier (a), M. (13. August 2012). Solarthermieranlage am Franziskanerkloster. (T. Mach, I. Wetz, & S. Grünwald, Interviewer)
- Pater Maier (b), M. (21. November 2012). Förderungen der Sanierungsmaßnahmen.
- Pfau Architekten (a). (24. September 2012). Daten über die Solarthermieranlage auf der evangelischen Akademie Meißen.
- Pfau Architekten (b). (o.A.). *Evangelische Akademie Meissen (2)*. Abgerufen am 27. November 2012 von <http://www.pfauarchitekten.de/templates/pfau-project-detail.php?vars=39|projekt|11>

- Pichler. (2010). *Verteilsysteme: Uno Duct Zuluftdüsensystem*. Abgerufen am 09. Mai 2012 von Dokument zum Downloaden - System Pichler Uno-Duct: <http://www.pichlerluft.at/technische-datenblaetter.html>
- Pilkington. (o.A.). *Energiesparen durch beschichtetes Wärmedämmglas*. Abgerufen am 13. November 2012 von <http://www.pilkington.com/europe/germany/german/about+pilkington/education/glass+in+buildings/energiesparen+durch+beschichtetes+w%C3%83%C2%A4rmed%C3%83%C2%A4mmglas.htm>
- Planungsgesellschaft, B. S. (2009). Pfarrkirche St.Jacobus. *Kirchenheizung über Bauteiltemperierung nach Großes Schmidt*. Rosenheim.
- Pötschner, P. (1970). Denkmalpflege in Österreich 1945-1970 - Informationsschau des Bundesdenkmalamtes, Secession, 16. Oktober bis 15. November 1970. *Bundesdenkmalamt Österreich*. Wien: Selbstverlag des Bundesdenkmalamtes.
- Recknagel, H., Sprenger, E., & Schramek, E.-R. (07/08). Taschenbuch für Heizung + Klimatechnik. Oldenburg: Industrieverlag.
- Reithofer. (2012). Planmaterial Franziskanerkloster Graz.
- Republik Österreich (a). (Mai 1997). Bauproduktengesetz.
- Republik Österreich (b). (05. Oktober 1923). Bundesgesetz betreffend den Schutz von Denkmalen wegen ihrer geschichtlichen, künstlerischen oder sonstigen kulturellen Bedeutung (Denkmalschutzgesetz - DMSG) - in der Fassung BGBl. I Nr. 2/2008.
- Republik Österreich (c). (2012). Bundesgesetz über die Förderung der Elektrizitätserzeugung aus erneuerbaren (Ökostromgesetz).
- Republik Österreich (d). (2012). Energieausweis-Vorlage-Gesetz 2012.
- Republik Österreich (e). (1997). Immissionsschutzgesetz - Luft, IG-L in der Fassung BGBl. I Nr. 77/2010.
- Republik Österreich (f). (November 2011). Klimaschutzgesetz.
- Republik Österreich (g). (Juli 2009). Vereinbarung gemäß Art. 15a. B-VG zwischen dem Bund und den Ländern über Maßnahmen im Gebäudesektor zum Zweck der Reduktion des Ausstoßes an Treibhausgasen.
- Republik Österreich (h). (15. Februar 2011). Vereinbarung zwischen Bund und Ländern gemäß Art. 15a B-VG zur Umsetzung der Richtlinie 2006/32/EG über Endenergieeffizienz.
- Rigips. (o.A.). *Innendämmung - Wanddämmung von innen mit Rigitherm 032 - Planungsgrundlagen für die Innendämmung*. Abgerufen am 23. Oktober 2012 von <http://www.rigips.de/Innendaemmung>
- Robin Sun. (16. Juli 2007). *Vitrage Solaire Thermiue Robin Sun*. Abgerufen am 30. November 2012 von Downloadbare Fotos: <https://plus.google.com/photos/108923981763565626252/albums/5269642082505752961?banner=pwa>
- Rockwool GmbH. (06. Juli 2010). *Nur 50 mm Aerorock® ID erfüllen die EnEV*. Abgerufen am 22. Oktober 2012 von <http://www.rockwool.de/unternehmen/presse/presstext?Presstexte=1871>
- Rosenauer, A. (Hrsg.). (1996). Riegl, Alois: Gesammelte Aufsätze. *Klassische Texte der Wiener Schule der Kunstgeschichte*, 5. Wien: WUV-Universitätsverlag.
- Rotex Heating Systems. (o.A.). *Rotex Heating Systems GmbH*. Abgerufen am 16. November 2012 von Fotos zum downloaden: Fotos von Posts: <https://plus.google.com/111438863814133794627/photos>
- Ruisinger, U., Steinwender, H., Ettenauer, J., & Kautsch, P. (2012). OEKO-ID - Innendämmungen zur thermischen Gebäudeertüchtigung Untersuchung der Möglichkeiten und Grenzen ökologischer, diffusionsoffener Dämmsysteme. TU Graz, Institut für Hochbau.
- S.O.L.I.D. Gesellschaft für Solarinstallation und Design mbH. (2011). (S. Herkel, & F. Kagerer, Hrsg.) A-8020 Graz, Puchstraße 85.
- Schöberl, H., Bednar, T., Steininger, C., & Kuzmich, F. (2004). Anwendung der Passivtechnologie im sozialen Wohnbau. (I. u. Bundesministerium für Verkehr, Hrsg.) Wien.
- Scripps Institution of Oceanography. (August 2012). Monthly Average Carbon Dioxide Concentration. Mauna Loa Observatory, Hawaii.
- Seitz, R. (o.A.). *Solarglaskunst aus Photovoltaik*. Abgerufen am 24. Oktober 2012 von Raphael Seitz - freier Maler und Glaskünstler: <http://www.rafael-seitz.de/glasplastik/solarglaskunst-horb-muehlen.html>
- Sima, J. (Oktober 2012). Präsentation im Rahmen der Tagung GovernEE Energy Day Fachtagung zu Energieeffizienz und Denkmalschutz. *Richtlinie Energieeffizienz am Baudenkmal*. Franziskanerkloster Graz.
- SketchUp. (2012).
- Solarenergieförderverein Bayern e.V. (2011). *Architektur Preis - Gebäudeintegrierte Solartechnik 2011*. Abgerufen am 13. Dezember 2012 von <http://www.sev-bayern.de/index.php?entryid=48>
- Sonnenkraft Deutschland GmbH. (30. Mai 2007). *Pressebox - Sonnenkraft Deutschland*. Abgerufen am 06. September 2012 von <http://www.pressebox.de/presseboxen/sonnenkraft-deutschland-gmbh/boxid/108370>
- Sonnenkraft Österreich. (15. Oktober 2012). Daten über die Solarthermieranlage des Hotels Wilhelmshof in Wien.
- Stadt Frankfurt. (2009). Energetische Sanierung von Gründerzeitgebäuden in Frankfurt. (2. Auflage). Frankfurt am Main.
- Stadt Fürth. (2007). Leitfaden zur energetischen Sanierung für die Westliche Innenstadt in Fürth - Kurzinformation für Eigentümer denkmalgeschützter Häuser. *Baureferat der Stadt Fürth*.

- Stadt Graz (a). (o.A.). *Förderungen*. Abgerufen am 13. November 2012 von <http://www.oekostadt.graz.at/cms/ziel/1598275/DE/>
- Stadt Graz (b). (o.A.). *Grazer Altstadterhaltungsfonds*. Abgerufen am 14. November 2012 von <http://www.graz.at/cms/beitrag/10026713/422088>
- Stadt Graz (c). (2008). Grazer Altstadterhaltungsgesetz in der Fassung LGBl. Nr. 5/2010.
- Stadt Graz Stadtbauverwaltung (a). (2011). Ergebnisprotokoll 21. Juni 2010. *Die gebremste Vision - Altstadtsschutz kontra Sonnenenergie* - Josef F. Eigenverlag.
- Stadt Graz Stadtbauverwaltung (b). (2011). Ergebnisprotokoll 12. August 2013. *Die gebremste Vision - Altstadtsschutz kontra Sonnenenergie* - Josef F. Eigenverlag.
- Stadtarchiv. (kein Datum).
- Stadtbauverwaltung Graz. (28. August 2012). Altstadterhaltungsfonds. *Telefonische Auskunft*.
- sto (a). (o.A.). *Innendämmsystem*. Abgerufen am 12. Dezember 2012 von http://www.sto.at/evo/web/sto/120265_DE-StoTherm_In_Aevero-StoTherm_In_Aevero.htm
- sto (b). (2011). *StoTherm In Aevero - Gestaltung*. Abgerufen am 22. Oktober 2012 von <http://www.sto-aevero.de/gestaltung.html>
- Streicher, W. (o.A.). Skriptum für Sonnenenergienutzung, Grundlagen der Sonnenenergiestrahlung. *Institut für Wärmetechnik - Technische Universität Graz*. Graz.
- Sunnyways. (o.A.). *Energiewürfel Konstanz - Transparenz und Energie in der Fassade*. Abgerufen am 13. Dezember 2012 von Sunnyways Photovoltaic Technology: <http://www.sunways.eu/de/referenzen/gebaeudeintegration/Energiewuerfel-Konstanz/>
- TB Köstenbauer&Sixl GmbH. (kein Datum). Energieausweis.
- Team A Graz. (o.A.). *Schloss Gleinstätten*. Abgerufen am 30. November 2012 von http://www.team-a-graz.at/proj_092_bild_aa.shtml
- TRNbuild. (2012). Version 2.0. USA.
- TRNSYS. (2012). Solar Energy Laboratory (SEL), Wisconsin. USA.
- Trox GmbH. (29. Oktober 2008). *Dezentrale Lüftungstechnik - Kreative Lösungen für die Bestandssanierung*. Abgerufen am 09. Mai 2012 von http://www.trox.de/de/company/press/pressarchive/0810_feldbergstr_frankfurt/index.html
- Twrdik, F. (2002). Simulationsprogramm zur Berechnung von CO₂ Konzentrationen in Innenräumen und Schulen - Testversion 2.1. (I. M.-u. Beratungsservice, Hrsg.) Wien.
- Ulreich, H., & Gassner, R. (2012). *ROOFJET Wißgrillgasse - Sanierung Gründerzeithaus Wißgrillgasse mit innovativem Haustechnikkonzept*. Wien: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie.
- Umweltbundesamt. (2012). *Klimaschutzbericht 2012*. Wien: Umweltbundesamt.
- UNFCCC (a). (o.A.). *Background on the UNFCCC: The international response to climate change*. Abgerufen am 19. September 2012 von United Nations Framework Convention on Climate Change: http://unfccc.int/essential_background/items/6031.php
- UNFCCC (b). (o.A.). *Convention Bodies*. Abgerufen am 09. Oktober 2012 von United Nations Framework Convention on Climate Change: http://unfccc.int/essential_background/convention/convention_bodies/items/2629.php
- UNFCCC (c). (o.A.). *Making those first steps count: An Introduction to the Kyoto Protocol*. Abgerufen am 20. September 2012 von United Nations Framework Convention on Climate Change: http://unfccc.int/essential_background/kyoto_protocol/items/6034.php
- Variotherm (a). (o.A.). *Wandheizung Trockenbau - Die Modul-Wandheizung/Kühlung*. Abgerufen am 16. November 2012 von <http://www.variotherm.at/home/produkte/wandheizung-trockenbau/technik.html>
- Variotherm (b). (o.A.). *Wandheizung für den verputzten Ausbau*. Abgerufen am 16. November 2012 von <http://www.variotherm.at/home/produkte/wandheizung-verputzt/technik.html>
- Volker Kreidler. (kein Datum).
- Volksschule Graz - St. Peter. (kein Datum). Abgerufen am 3. Mai 2012 von <http://www.vs-st-peter.at/>
- Wikimedia Commons. (o.A.). *Category: Churches in Landkreis Eichsfeld*. Abgerufen am 24. Oktober 2012 von Solarkirche Burgwalde: http://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Churches_in_Landkreis_Eichsfeld
- Włodarczak, A. (2012). Informationen zur Solarthermieranlage am Wilhelminenhof.
- WMO. (2012). *World Meteorological Organization*. Abgerufen am 19. September 2012 von http://www.wmo.int/pages/themes/climate/international_wcc.php
- ZP-System (a). (o.A.). *Fensterrenovierung mit ZP-System*. (Z. P. KG, Hrsg.) Abgerufen am 13. Dezember 2012 von Dokument zum downloaden: Fensterrenovierung mit System - Thermische Sanierung von Altbaufenstern im Denkmalschutz: <http://www.zp-system.at/zpsystem/home.html?C=1>
- ZP-System (b). (o.A.). *Glaskittreparaturen - Neuverglasungen*. (Z. P. KG, Herausgeber) Abgerufen am 13. November 2012 von Zoller Prantl GesmbH & CO. KG: <http://www.zp-system.at/zpsystem/sanierungsschritte/glasarbeiten.html?C=0>

6.2 Vorträge, schriftliche Beiträge und Führungen

Im Rahmen des Projektes wurden vom Projektteam eine Reihe von Vorträgen, Präsentationen und schriftlichen Beiträgen durchgeführt. Das Ziel dieser Öffentlichkeitsarbeit war einerseits den Diskurs im Spannungsfeld von Klimaschutz und Kulturschutz voranzutreiben und andererseits die wissenschaftlich-technischen Projektergebnisse der Fachöffentlichkeit vorzustellen. Die Umsetzungen im Franziskanerkloster Graz weckten das Interesse einer Vielzahl von Experten aus den Bereichen Denkmalschutz und Klimaschutz. Daraus ergab sich, dass die in der Folge angeführten Beiträge durch zahlreiche Führungen durch das Franziskanerkloster Graz ergänzt wurden, wodurch auf anschauliche Weise der Diskurs zwischen Denkmalschutz und Klimaschutz provoziert wurde.

MACH, T., Structure and objectives of the Austrian research project "denkMALaktiv", Vortrag im Rahmen des IEA TASK 47 Workshops, Oslo, 8.-9. März 2010

GÖTZHABER, W., MACH, T., Historical Buildings Active - protection of climate and cultural heritage, dialogue and technical solutions, oral presentation and abstract, symposium of the International Council on Monuments and Sites (ICOMOS), Paris, October 4th, 2010

GÖTZHABER, W., MACH, T., denkMALaktiv - im Spannungsfeld zwischen Kulturschutz und Klimaschutz, Vortrag, Internationales Symposium: Denkmalpflege-Architektur-Energieoptimierung, Internationales Städteforum, Graz, 18. Juni 2010

RUISINGER, U., MACH, T., KAUTSCH, P., GROBBAUER, M., denkmalaktiv I – Sanierung alter, historischer Gebäude auf Aktivhaus-Standard? Baustein: Sanierung historischer Kastenfenster, Vortrag und Abstract, Internationale Konferenz für hochwertige energetische Sanierung, Graz 2011

BRANDL, D., MACH, T., GROBBAUER, M., RUISINGER, U., Investigational Approach of Refurbishment Concepts for Historical Box Type Windows. Presentation in: Expert meeting of "IEA SHC Task47 Solar Renovation of Non-Residential Buildings", Rom, 12.04.2012

PEISCHL, G., Forschungsprojekt „denkMALaktiv“ der Stadt Graz (Sanierung alter, denkmalgeschützter Gebäude auf Aktivhaus), Präsentation im Rahmen des Symposiums „Das Buch der Schöpfung lesen: Die Natur zwischen Mystik und Missbrauch, 12.-13. Oktober 2012, Franziskanerkloster Graz

KAUTSCH, P., Thermische und akustische Performanceverbesserung im Bestand, OEKO-ID - Innendämmungen zur thermischen Gebäudeertüchtigung und denkMALaktiv - Sanierung alter denkmalgeschützter Gebäude auf Aktivhaus-Standard?, Österreichischer Städtebund, Wels, 19.04.2012

MAIER, M.: „DenkMALaktiv“, Franziskanerkloster, Präsentation im Rahmen der Veranstaltung „Smart City Day Graz“, 11. April 2012

BRANDL, D., MACH, T., HEIMRATH, R., SWATEK, A., WETZ, I., Component Heating System in a Mediaeval Monastery, presentation in: Expert meeting of "IEA SHC Task47 Solar Renovation of Non-Residential Buildings", Rom, 12.04.2012

BRANDL, D., MACH, T., GROBBAUER, M., RUISINGER, U., Thermische und strömungstechnische Untersuchung zur Ertüchtigung historischer Kastenfenster im Rahmen des Projekts denkmalaktiv, Vortrag im Rahmen des GovernEE Energy Day, Fachtagung zu Energieeffizienz und Denkmalschutz, Franziskanerkloster Graz, 25.10.2012

GROBBAUER, M., RUISINGER, U., Innendämmung, Holzbalkenköpfe und Kastenfenster in der Sanierung, bauphysiktagung 2012, an der Technischen Universität Graz, 15. November 2012

BRANDL, T., HEIMRATH, R., MACH, T., Simulationstechnische Untersuchung eines solarthermisch betriebenen Bauteilheizungssystems am Beispiel eines Klostergebäudes, Poster, Paper und Kurzvortrag, 23. Symposium Thermische Solarenergie, Kloster Banz, Bad Staffelstein, 24. bis 26. April 2013

BRANDL, D., MACH, T., GROBBAUER, M., RUISINGER, U., SB13 Graz - Sustainable Building Conference 2013, 25–28 September 2013, Graz, Austria
RUISINGER, U., GROBBAUER, M., KAUTSCH, P., Kastenfensterlaibung und Holzbalkenkopf mit Innendämmung. zwei Detailpunkte im Fokus, 2. Innendämmkongress, Dresden, 12.-13. April 2013

6.3 Annexberichte

Die Bearbeitung der einzelnen im Projekt „denkmalaktiv I“ enthaltenen Arbeitspunkte wurde in einer Reihe Annexberichten festgehalten. Die Annexberichte enthalten zahlreiche für die Bearbeitung relevante Informationen wie z.B. Randbedingungen von Simulationen oder Kontrollvarianten der Modellbildung auf deren Darstellung im Hauptbericht aufgrund ihres Umfangs verzichtet wurde.

Annexbericht 1.1 / **Bauphysikalische-konstruktive Bestandsaufnahme**
Friedrich Moßhammer, Michael Grobbauer, Peter Kautsch

Annexbericht 1.2 / **Gebäudetechnische Bestandsaufnahme**
Katharina Kreuter, Gerald Peischl

Annexbericht 1.3 / **Recherche / Analyse / Gesamtkonzepte**
Katharina Kreuter, Gerald Peischl

Annexbericht 1.3a / **Thermographische Berichte 2011– Franziskanerkloster**
Ernst Meissner

Annexbericht 1.3b / **Thermographische Berichte 2012– Franziskanerkloster**
Ernst Meissner

Annexbericht 1.3c / **Thermographische Berichte 2011– Schönbrunngrasse**
Ernst Meissner

Annexbericht 1.3d / **Thermographische Berichte 2012– Schönbrunngrasse**
Ernst Meissner

Annexbericht 1.4 / **Recherche - Analyse zur thermischen Sanierung von Außenwänden**
Michael Grobbauer, Christian Johansson, Peter Kautsch

Annexbericht 1.5 / **Recherche/Analyse - Lüftungsanlagen in der Sanierung von Altbauten**
Katharina Kreuter, Gerald Peischl

Annexbericht 1.6 / **Recherche / Analyse / Solarthermie in der Sanierung von Altbauten**
Katharina Kreuter, Gerald Peischl

Annexbericht 1.7 / **Recherche und Analyse, Bauteilheizung**
Katharina Kreuter, Gerald Peischl

Annexbericht 1.8 / **Recherche und Analyse zur Sanierung von Kastenfenstern**
Michael Grobbauer, Vedran Stojanovic, Peter Kautsch

Annexbericht 1.9 - 2.7 - 3.7 / **Architektonische Elemente**
Sophie Grünwald, Thomas Mach

Annexbericht 2.1 - 2.8 / **Sanierungskonzepte der Referenzgebäude**
Katharina Kreuter

Annexbericht 2.2 - 3.2 / **Innendämmung Konzepte und Simulation**
Michael Grobbauer, Severin Zimmer, Ulrich Ruisinger, Stefan Holper, Peter Kautsch

Annexbericht 2.3 - 3.3 / **Lüftungssysteme Konzepte und Simulation**
Katharina Kreuter, Klaus Paar, Richard Zweiler

Annexbericht 2.4 – 3.1 - 3.4 / **Solarthermie Konzepte und Simulation**
Richard Heimrath, Angelika Swatek, Thomas Mach

Annexbericht 2.5 - 3.5 / **Bauteiltemperierung, Konzepte und Simulation**
Daniel Brandl, Thomas Mach, Richard Heimrath

Annexbericht 2.5b - 3.5b / **Messungen und Simulationen zur Bauteiltemperierung**
Ulrich Ruisinger, Daniel Brandl

Annexbericht 2.6 - 3.6 / **Kastenfenster Konzepte, Simulation, Messung**
Michael Grobbauer, Stefan Holper, Ulrich Ruisinger, Peter Kautsch, Severin Zimmer

Annexbericht 3.6b / **Thermische Simulation der Konzepte zur Sanierung von Kastenfenstern – CFD-Simulation**
Daniel Brandl, Thomas Mach

Annexbericht 4.1 bis 4.10 – 5.1 bis 5.3 / **Verbreitung, Projektmanagement**
Anita Magnes, Gerhard Lang

6.4 Angewandte Simulationssoftware und Messeinrichtungen

Im Zuge der Projektbearbeitung kamen unterschiedlichste Werkzeuge zum Einsatz. Im Bereich der Software waren dies größtenteils Programme zur Simulation von thermischen, hygrischen oder/und strömungstechnischen Modellierung. Zudem kamen bei der Bestandsaufnahme thermografische Messmethoden zum Einsatz. Die In Situ-Vermessung des Kastenfensters bedingte den Einsatz thermischer und strömungstechnischer Messeinrichtungen und bei der Labormessung zur Bestimmung des Austrocknungspotentials der thermischen Bauteilkonditionierung kamen umfangreiche Messinstrumente zur thermischen und feuchtetechnischen Zustandsbestimmung zum Einsatz.

TRNSYS, TRNbuild und SketchUp

Die Simulationsumgebung TRNSYS (Transient System Simulation) ist ein Programmpaket zur Modellierung der aktiven und passiven Komponenten der Energieversorgung (Wärmeerzeuger, Kollektorsysteme, Wärmeverteilsystem, etc.) von Gebäuden und der damit einhergehenden Bilanzierung der auftretenden zeitabhängigen Energieströme. TRNSYS wurde am Solar Energy Laboratory (SEL) der Universität von Wisconsin entwickelt. Es dient zur dynamischen Simulation von thermischen Solarenergie-Nutzungssystemen (TRNSYS, 2012). Durch die regelmäßige Weiterentwicklung und Aktualisierung wird TRNSYS international für wissenschaftliche und kommerzielle Zwecke verwendet. Heutzutage sind die klassischen Anwendungsgebiete von TRNSYS die dynamische, d.h. zeitbezogene, Simulation von Gebäuden, welche in der Regel durch das Programmmodul TRNbuild (TRNbuild, 2012) modelliert werden, wobei die semiautomatische Geometrieingabe durch das Programm SketchUp (SketchUp, 2012) unterstützt wird.

THERMOGRAPHIE

Für die Erstellung der Termografieaufnahmen wurde eine Wärmebildkamera der Marke Flir eingesetzt. Im verwendeten Modell ThermaCAM T360 kommt ein ungekühlter Mikrobolometer mit einer Auflösung von 320 x 240 Pixel zum Einsatz. Die thermische Empfindlichkeit der Kamera liegt unter 60 mK (bei 30°C). Der Spektralbereich liegt bei 7,5 bis 13 µm. Bei den Aufnahmen wurde ausschließlich die Standardoptik 25° x 19° eingesetzt.

DELPHIN

Für die zweidimensionalen, hygrothermischen Simulationen der konstruktiven Details wurde das numerische Simulationsprogramm Delphin5 (Version 5.7.5) eingesetzt. Delphin5 wird am Lehrstuhl für Bauklimatik der TU Dresden entwickelt und simuliert die gekoppelten Wärme-, Feuchte-, Luft- und Salztransportprozesse in ein- und mehrdimensionalen Konstruktionen unter stationären oder instationären Randbedingungen. Delphin5 wird weltweit an wissenschaftlichen Instituten eingesetzt und permanent weiterentwickelt. Im Gegensatz zu Rechenvorschriften, die nur Wärmetransport und Dampfdiffusion berücksichtigen (z.B. das Glaser-Verfahren oder das darauf aufbauende Monatsbilanzverfahren der ÖN EN ISO 13788) werden in Delphin wichtige physikalische Effekte mit erfasst, beispielsweise: Feuchtespeicherung, Transport von Kapillarwasser und Phasenumwandlungsenthalpien (vergl. (Funk & Grunewald, 2001)).

FLUENT ANSYS und GAMBIT

... ist eine Software zur numerischen Beschreibung einer Vielzahl von physikalischen oder auch chemischen Phänomenen wie zum Beispiel der Strömung von Fluiden oder der Wärmeverteilung- bzw. Strahlung. Die als Computational Fluid Dynamics (CFD) bezeichnete Methode bedient sich dabei der Methodik „Finiten Volumen“ welche ein spezielles Berechnungsverfahren zum Lösen numerischer Problemstellungen darstellt. Die Geometrie, die es zu untersuchen gilt, wird vor der Simulation in eine Vielzahl vernetzter Zellen (< Kontrollvolumen) zerlegt. Für jede dieser Zellen werden anschließend die gewählten Gleichungen miteinander zusammenhängend gelöst. Die Erzeugung dieser vernetzten Zellstrukturen wird im Projekt denkmalaktiv mit einer sogenannten „Mesh-Software“ namens GAMBIT bewerkstelligt. Gambit ist eine Software zur Erstellung sowohl von zwei- als auch dreidimensionaler Modelle, die für CFD-Simulationen benötigt werden. Der große Vorteil dieser Software liegt in der Möglichkeit des Aufbaus gut strukturierter Netzgitter mittels „Bottom Up“ Mesh-Verfahren (manuelle Vernetzung).

IEAA

In den Phasen der Projektentwicklung und des Vorentwurfs wird eine Vielzahl von Entscheidungen getroffen, die die Energieeffizienz zu errichtender Gebäude maßgeblich beeinflussen. Im Zuge des Forschungsprojektes „Integration energierelevanter Aspekte in Architekturwettbewerben (IEAA)“ wurde ein Tool zur Beurteilung der Energieeffizienz von Gebäuden in frühen Planungsstadien entwickelt. Das IEAA-Bewertungstool besteht aus vier Modulen. Im Modul 1 sind die grundsätzlichen Angaben zu den „entwurfssimantischen“ Parametern – also Entwurfselemente wie Kompaktheit, Orientierung und Fensterflächenanteil, die im weiteren Planungsprozess nur mehr sehr eingeschränkt geändert werden können – vorzunehmen. Das zweite Modul ermöglicht das gesamte bautechnische Konzept detaillierter abzubilden. Modul 3 dient in erster Linie zur grundsätzlichen Beurteilung der geplanten haustechnischen Systeme (Heizung, Lüftung, Kühlung, Beleuchtung). Das Modul 4 – Aktive Solarenergienutzung - berechnet Erträge von thermischen Solaranlagen und von Fotovoltaikanlagen. Das IEAA-Bewertungstool beruht zur Gänze auf Berechnungsalgorithmen des österreichischen Energieausweises (IEAA, 2011).

6.5 interviewte Personen

Im Rahmen des Handlungsfeldes DISKURS wurden GebäudeeigentümerInnen und Fachexperten zu einem Interview eingeladen. Die Auswertung dieser Interviews zeigt Kapitel 2.2.2.

Gebäudeeigentümerversprecher

Ing. **Martin Eisenberger**, GBG – Gebäude- und Baumanagement Graz GmbH

DI **Marcus Deopito**, ENW – gemeinnützige Wohnbaugesellschaft

DI **Heimo Berghold**, Stadt Leoben

Ing. **Carl Skela**, LIG – Landesimmobiliengesellschaft Steiermark

Bruder **Matthias Maier**, Franziskanerkloster Graz

Planer:

Arch. DI **Hansjörg Luser**, Architekturbüro Hope of Glory (Planer)

Arch. DI **Dietmar Koch**, Baumeister Leitner, Planung & Bauaufsicht Gesellschaft mbH (Planer)

Arch. DI **Markus Zechner**, Zechner Denkmal Consulting GmbH (Planer)

6.6 Expertenbeirat des FFG

Seitens der Forschungsförderungsgesellschaft (FFG) wurde dem Projekt ein Beirat aus Experten zur Seite gestellt um eine unabhängige Begleitung des Projektes zu ermöglichen.

Dr. **Susanne Geissler**, Ingenieurbüro Dr. Susanne Geissler

Dr. **Robert Korab**, Technisches Büro für Städtebau und Raumplanung

Dr. **Rainer Pfluger**, Universität Innsbruck

Arch. DI **Herwig Ronacher**, architekten ronacher ZT GmbH

6.7 VertreterInnen des Bundesdenkmalamtes

Das Bundesdenkmalamt war als assoziierter Projektpartner in verschiedene Projektaktivitäten eingebunden. Dies geschah einerseits im Rahmen der Workshops und der Begehungen der Grazer Referenzobjekte und andererseits im Rahmen der von denkmalaktiv (mit)veranstalteten „Fachtagung zu Energieeffizienz & Denkmalschutz“ im Franziskanerkloster Graz.

HR Dr. **Christian Brugger**, Landeskonservatorat für Steiermark

Dipl.-Ing. Dr. **Robert Walle**, Landeskonservatorat für Steiermark

Dipl.-Ing. **Hanna Antje Liebich**, Abteilung für Architektur und Bautechnik

HR Arch. Dipl.-Ing. Dr. **Johannes Sima**, Abteilung für Architektur und Bautechnik

Dipl.-Ing. Mag. Dr. MinR **Bruno Maldoner**, Bundesministeriums für Unterricht, Kunst und Kultur

6.8 Liegenschaftseigentümer

Beteiligte Personen:

Ing. **Martin Eisenberger**, GBG Gebäude- und Baumanagement Graz GmbH

Dipl.-Ing. **Karin Sattlegger**, GBG Gebäude- und Baumanagement Graz GmbH

Ing. **Peter Wiesauer**, Technische Abteilung der Wohnhausverwaltung

Pater Mag. **Matthias Maier**, Franziskanerkloster Graz

6.9 AutorInnen

- **Daniel Brandl**
Dipl.-Ing.
Institut für Wärmetechnik (IWT), Technische Universität Graz
Kapitel: 3.3, 3.5
- **Wolfgang Götzhaber** (*Projektleitung*)
Dipl.-Ing.
Referat für Luftreinhaltung & Chemie, Energie & Klima, Umweltamt der Stadt Graz
Kapitel: 1
- **Michael Grobbauer**
Architekt, Dipl.-Ing. Dr. techn.
Institut für Hochbau (IHB), Technische Universität Graz; mfgarchitekten, Graz
Kapitel: 3.1, 3.2, 4.2, 5
- **Sophie Grünewald**
Dipl.-Ing.
Institut für Wärmetechnik (IWT), Technische Universität Graz
Kapitel: 2.1, 4.2, 4.4, 4.5
- **Richard Heimrath**
Dipl.-Ing. Dr. techn.
Institut für Wärmetechnik (IWT), Technische Universität Graz,
Kapitel: 3.7
- **Barbara Horst**
Referat für Energie & Klimaschutz, Umweltamt der Stadt Graz
Kapitel: 2.1
- **Stefan Holper**
BSc.
Institut für Hochbau (IHB), Technische Universität Graz,
Kapitel: 3.2
- **Peter Kautsch**
Univ. Prof. DDr.
Institut für Hochbau (IHB), Technische Universität Graz,
Kapitel: 3.1, 3.2
- **Katharina Kreuter**
MSc.
Güssing Energy Technologies GmbH (GET),
Kapitel: 3.4, 4.2, 4.3
- **Gerhard Lang**
Dipl.-Ing.
Grazer Energieagentur GmbH (GEA)
Kapitel: 1, 2.2

- **Thomas Mach** (*wissenschaftliche Koordination*)
Dipl.-Ing. Dr. techn.
Institut für Wärmetechnik (IWT), Technische Universität Graz
Kapitel: 1, 2, 2.1, 3.3, 3.5, 3.7, 4.1, 4.2, 4.4, 4.5 , 5
- **Anita Magnes** (*organisatorische Koordination*)
Mag. Dr. rer. nat
Grazer Energieagentur GmbH (GEA)
Kapitel: 2.2
- **Ernst Meissner**
Dipl.-Ing.
Grazer Energieagentur GmbH (GEA)
Kapitel: 5.5
- **Friedrich Moßhammer**
Architekt, Dipl.-Ing.
Institut für Hochbau (IHB), Technische Universität Graz; mfg-architekten, Graz
Kapitel: 4.2
- **Klaus Paar**
Dipl.-Ing.(FH)
Güssing Energy Technologies GmbH (GET)
Kapitel: 3.4
- **Gerald Peischl**
Dipl.-Ing.(FH)
Güssing Energy Technologies GmbH (GET)
Kapitel: 4.2
- **Ulrich Ruisinger**
Dipl.-Ing.
Institut für Hochbau (IHB), TU Graz und Institut für Bauklimatik, TU Dresden
Kapitel: 3.1, 3.2, 3.6
- **Angelika Swatek**
Studienassistentin
Institut für Wärmetechnik (IWT), Technische Universität Graz
Kapitel: 3.7
- **Ina Wetz**
Mag.
Institut für Wärmetechnik (IWT), Technische Universität Graz
Kapitel: 2.1, 4.1, 4.5
- **Severin Zimmer**
BSc.
Institut für Hochbau (IHB), Technische Universität Graz
Kapitel: 3.2
- **Richard Zweiler**
Dipl.-Ing. Dr. techn.
Güssing Energy Technologies GmbH (GET)
Kapitel: 3.4

IMPRESSUM

Projektkonsortium

- Stadt Graz Umweltamt A23 - unter Einbeziehung weiterer Ämter (Projektleitung)
- Franziskanerkloster Graz
- Institut für Wärmetechnik, TU Graz (wissenschaftliche Koordination)
- Arch. DI Michael Lingenhöle
- Güssing Energy Technologies
- Grazer Energieagentur (organisatorische Koordination)
- Institut für Hochbau, TU Graz

Verfasser

Thomas Mach
Michael Grobbauer
Wolfgang Götzhaber

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber

Klima- und Energiefonds
Gumpendorfer Straße 5/22
1060 Wien
E-Mail: office@klimafonds.gv.at
Web: www.klimafonds.gv.at

Disclaimer

Die Autoren tragen die alleinige Verantwortung für den Inhalt dieses Berichts. Er spiegelt nicht notwendigerweise die Meinung des Klima- und Energiefonds wider.

Weder der Klima- und Energiefonds noch die Forschungsförderungsgesellschaft (FFG) sind für die Weiternutzung der hier enthaltenen Informationen verantwortlich.

Gestaltung des Deckblattes

ZS communication + art GmbH