

# IEA Energie in Gebäuden und Kommunen Annex 55: Zuverlässigkeit von energieeffizienten Sanierungen

Probabilistische Bewertung  
der Performance und  
Kosten

T. Bednar  
C. Harreither  
P. Wegerer

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

**17/2016**

## **Impressum:**

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

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

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

# IEA Energie in Gebäuden und Kommunen Annex 55: Zuverlässigkeit von energieeffizienten Sanierungen

Univ.Prof. DI Dr. Thomas Bednar, DI Christoph Harreither,  
DI Paul Wegerer  
Technische Universität Wien - Institut für Hochbau  
und Technologie  
Forschungsbereich für Bauphysik und Schallschutz

Wien, September 2015

**Ein Projektbericht im Rahmen der Programmlinie**

**IEA** FORSCHUNGS  
KOOPERATION

Impulsprogramm Nachhaltig Wirtschaften

Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie



## Vorbemerkung

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

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

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

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

Dipl. Ing. Michael Paula

Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie



## 2 Inhaltsverzeichnis

1	Zweite Seite des Berichts.....	2
2	Inhaltsverzeichnis .....	3
3	Kurzfassungen .....	4
4	Einleitung.....	6
5	Hintergrundinformation zum Projektinhalt .....	8
6	Ergebnisse des Projektes.....	10
6.1	Probabilistische Methoden .....	10
6.2	Anwendung des Rahmenkonzepts für die Risikobewertung.....	13
6.2.1	Aufgabenstellung .....	13
6.2.2	Abgrenzung der Planungsaufgabe.....	13
6.2.3	Ziele und Performance Kriterien.....	13
6.2.4	Stand des Wissens .....	14
6.2.5	Sanierungsvarianten .....	15
6.2.6	Einschränkungen und Annahmen .....	15
6.2.7	Bestimmung von Risiko und Nutzen .....	15
6.2.8	Versuch einer quantitativen probabilistischen Analyse.....	23
6.2.9	Zusammenfassung der Ergebnisse .....	27
6.3	Quellenverzeichnis .....	28
7	Vernetzung und Ergebnistransfer .....	29
8	Schlussfolgerungen, Ausblick und Empfehlungen.....	30
9	Verzeichnisse.....	31
9.1	Publikation zum nationalen Begleitprojekt .....	31
9.2	Endberichte des IEA Annex 55 .....	32
9.3	Abbildungsverzeichnis .....	34
9.4	Tabellenverzeichnis.....	34
9.5	Abkürzungsverzeichnis .....	35
10	Impressionen von begleitende Events.....	36

## 3 Kurzfassungen

### Projektziele

Renovierungen sind ein wesentlicher Bestandteil der Steigerung der Energieeffizienz und der Senkung des Energieverbrauchs im Gebäudebestand. Bei der Planung und Ausführung robuster Renovierungen mit einem niedrigen Energiebedarf und geringen Kosten ist es wichtig das Risiko von Schäden mit zu berücksichtigen. Viele Eigentümer konzentrieren sich aber nur auf die Investitionskosten der Renovierung. Der Blick auf das tatsächliche Risiko des Versagens und den damit verbundenen Folgekosten macht klar, dass bei einer Renovierung nur die Betrachtung des gesamten Lebenszyklus Sinn macht.

### Ansatz

Der Annex liefert Daten und Methoden zur Unterstützung von Entscheidungen bei der Auswahl geeigneter Renovierungsmethoden. Die Methoden basieren auf probabilistischen Berechnungen um den Energieverbrauch, die Lebenszykluskosten und die Funktionstüchtigkeit einzuschätzen. Ein Rahmenkonzept für eine Risikobewertung wurde entwickelt und anhand von Fallbeispielen erprobt. The Prozess der Risikobewertung und die methodische Integration von probabilistischen Methoden in den Planungs- und Bauprozess wurde beschrieben. Eine Anleitung zur Erstellung von Leitfäden für eine nachhaltige Entscheidung wurde dabei ebenso erstellt.

### Deliverables

Um eine nachhaltige Entscheidung zu alternativen Renovierungsmaßnahmen erstellen zu können, ist ein Prozess des Risikomanagements zu implementieren. Dieser Prozess wurde entwickelt, an Fallbeispielen getestet und beschrieben. Der entstandene Leitfaden beschreibt wie das Team an Experten dafür ausgewählt werden soll, die nach einem Rahmenkonzept qualitative und quantitative Methoden einsetzen um robuste Renovierungsmaßnahmen auswählen zu können. Das Rahmenkonzept bricht den Prozess in einzelne Schritte und Fragen die eine nachvollziehbare Entscheidungsfindung ermöglichen. Für die einzusetzenden probabilistischen Methoden sind dabei stochastische Eingangsdaten erforderlich. Die dafür notwendige Datenstruktur wurde formuliert und im Rahmen einer internationalen Erhebung wurden vorhandene Daten aufbereitet und strukturiert dargestellt. Mehrere Fallbeispiele, aus unterschiedlichen Klimaregionen, wurden dokumentiert und zum Testen der Methodik verwendet.

### Erfolge

Im Rahmen des Projektes konnten folgende Ergebnisse erreicht werden:

- Der Prozess der Risikobewertung konnte formuliert werden
- Ein Rahmenkonzept zur Analyse von Renovierungsvarianten konnte erfolgreich getestet werden
- Probabilistische Methoden wurden im Rahmen der Risikobewertung analysiert
- Datenbanken mit stochastischen Inputdaten wurden zusammengestellt und Methoden formuliert wie die Datenbanken erweitert werden können
- Fallbeispiele verschiedener Länder wurden dokumentiert und als Beispiele für die Durchführung von Risikobewertungen verwendet
- Die Herangehensweise und Struktur von Leitfäden die auf den entwickelten Risikobewertungen aufbauen wurde zusammengestellt und an Beispielen dargestellt.
- Eine internationale Erhebung von Beispielrenovierungen, Anforderungen und Herausforderungen wurde durchgeführt und in einem Bericht zusammengestellt.

# SHORT SUMMARY

## IEA Annex 55 RAP-RETRO Reliability of Energy Efficient Building Retrofitting Probability Assessment of Performance & Cost

### **Project Objectives**

Retrofit measures are of the utmost importance for upgrading the existing building stock. We need to design and realize robust retrofitting with low energy demand and life cycle costs, while controlling risk levels for performance failure. But, many building owners are only interested in the initial capital cost. Looking at actual risks in performance and the costs incurred highlights the need for life cycle thinking.

### **Approach**

The annex provides decision support data and tools for energy retrofitting measures. The tools are based on probabilistic methodologies for prediction of energy use, life cycle cost and functional performance. A risk assessment framework has been developed and applied on case studies. The process of risk management and how to include probabilistic assessment tools during the building process has been outlined as well as exemplifications of how to write guidelines.

### **Deliverables**

In order to make a proper analysis of alternative retrofitting measures a proper risk management process has to be followed. This has been outlined. It includes how to select a team of experts who should follow a proposed framework. The framework contains both qualitative and quantitative analyses. It breaks down this complex task into various steps and questions to be answered and probabilistic methods and tools to be used. The tools require stochastic input data for application in hygrothermal analysis. Procedure of how to structure data has been developed as well as a data base. The proposed method has been applied in a number of case studies.

### **Achievements**

The project has achieved its objectives in the following ways:

- A risk management process is proposed
- The framework to be used in the analysis of retrofitting measures is established
- Probabilistic assessment methods and tools are introduced and analyzed
- Stochastic input data are available in a data base and methods for how to extend it
- Case studies from different countries have been documented and used for risk assessment examples
- Structure of probabilistic assessment based guidelines are developed and exemplified
- International survey on retrofitting examples, demands and challenges in different countries is presented

## 4 Einleitung

Energieeinsparung und Energieeffizienz sind in den letzten Jahren zu einem sehr wichtigen Thema geworden, das mittlerweile sämtliche Bereiche der technischen Wissenschaften beschäftigt. Auch das Bauwesen hat sich dieser Problematik angenommen, um einen Beitrag zum nachhaltigen und energieeffizienten Wirtschaften zu leisten. In Zukunft werden die Bauaktivitäten vom Neubau immer mehr auf den Altbau und dessen Modernisierung sowie die thermische Sanierung verlegt werden. Während im Neubau bereits Konstruktionen umgesetzt werden, die sich in verschiedensten Anwendungen bewährt haben, ist in der Altbausanierung noch ein enormes Forschungspotential vorhanden, um funktionstüchtige und langlebige Konstruktionen nach einer Sanierung zu gewährleisten.

Neben Gebäuden, die zur thermischen Verbesserung der Außenhülle saniert und instand gesetzt werden sollen, verfügt Österreich über eine Reihe kulturhistorisch wertvoller Bauwerke, die einerseits in ihrem ursprünglichen Zustand erhalten, deren Energieeffizienz jedoch andererseits gesteigert werden sollte. Neben denkmalgeschützten Bauwerken existiert vor allem in den Großstädten eine Vielzahl von Wohngebäuden aus der Gründerzeit, die aufgrund ihrer gegliederten Fassadengestaltung eine konventionelle thermische Sanierung mit einer Außendämmung ausschließen. Hier sind andere Maßnahmen in Abstimmung mit dem Denkmalschutz bzw. eine genaue Fachplanung zur Steigerung der Energieeffizienz erforderlich.

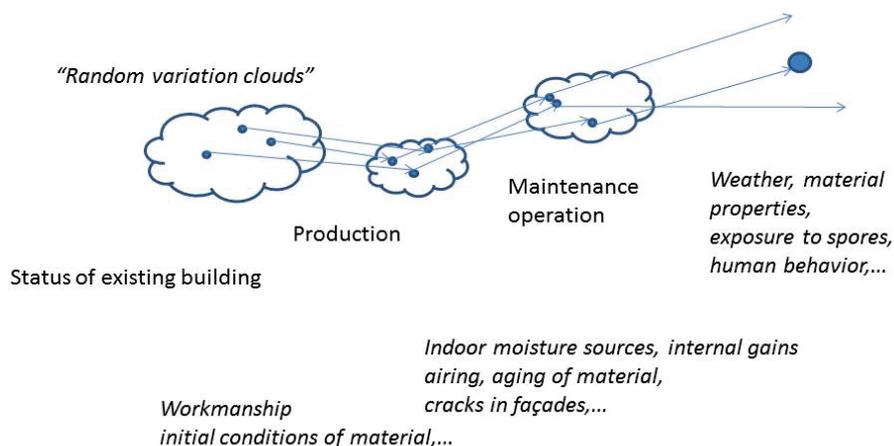
Bei der Sanierung von Bestandsobjekten ist es enorm wichtig, die Bestandskonstruktion im Vorfeld der geplanten Sanierung zu untersuchen und abzuwägen, wie zuverlässig die Konstruktion nach Durchführung der Sanierungsmaßnahmen sein wird. Neben der detaillierten Planung auf Basis der Bestandserhebung sind Nachweise nach den derzeit gültigen Normen für die geplante sanierte Konstruktion zu führen.

Neben dem Nachweis des Wärmeschutzes ist in der Bestandssanierung vor allem der gekoppelte hygrothermische Nachweis von besonderem Interesse. Gemäß den aktuellen ÖNORMEN ist lediglich ein Nachweis mit einem sehr vereinfachten Verfahren zu führen. Wesentliche Einflüsse auf das reale Verhalten werden dabei nicht berücksichtigt. Zum Beispiel werden Flüssigwassertransport und eine Luftströmung durch eine Konstruktion, sowie die Abhängigkeit der einzelnen Materialparameter voneinander vernachlässigt.

Im Neubau ist dies ein geringeres Problem, da z.B. die Regenwasserableitung, die Luft- und Winddichtheit durch moderne Baustoffe bei umsichtiger Planung und sorgfältiger Ausführung üblicherweise erreicht werden können.

Eine wesentlich realitätsnähere Analyse könnte mit dynamischen Simulationen unter Berücksichtigung der realen Klimadaten als Randbedingungen erstellt werden.

Bis dato gibt es aber noch keine abgesicherten Erkenntnisse wie die Unsicherheiten in z.B. der Bestandskonstruktion, der Bauausführung oder dem Klima bei der Analyse von Renovierungsvarianten berücksichtigt werden können. Hier setzt die Zielsetzung des IEA Annex 55 an. Wie in der folgenden Abbildung erkennbar gibt es eine Vielzahl an Unsicherheiten und zufälligen Abweichungen die das Ergebnis einer Renovierung beeinflussen.



Quelle: Thomas Bednar, Carl-Eric Hagertoft, Risk management by probabilistic assessment Development of guidelines for practice, Report Number 2015:7. Department of Civil and Environmental Engineering, Chalmers University of Technology, Sweden. ISSN 1652-9162.

**Abb. 1: Unsicherheiten und zufällige Abweichungen resultieren in einer Unsicherheit des Ergebnisses**

Um Unsicherheiten und zufällige Abweichungen in der Entscheidungsfindung berücksichtigen zu können wurden im Rahmen des IEA Annex 55 probabilistische Methoden zur Berechnung der Unschärfe in der Performance und in der Energieeffizienz von Maßnahmen analysiert und eine Rahmenkonzept entwickelt welche Schritte bei der Analyse notwendig sind.

In den folgenden Kapiteln wird eine kurze Zusammenfassung der wesentlichen Ergebnisse zu den probabilistischen Methoden und ein Fallbeispiel zur Anwendung der Methodik bei der Auswahl eines geeigneten Aufbaus einer nachträglich innengedämmten Vollziegelwand in Wien dargestellt.

## 5 Hintergrundinformation zum Projektinhalt

Der IEA Annex 55 wurde in 4 Subtasks gegliedert.

ST-1 Gathering of stochastic data

ST-2 Probabilistic tools

ST-3 Framework and Case studies

ST-4 Practice and Guidelines

Insgesamt haben 20 Länder teilgenommen. Bei den insgesamt 9 Treffen waren 50-60 Personen anwesend. Ein Großteil davon von Universitäten.

**Tab. 1: Zusammenstellung der beteiligten Partnerländer**

	Partnerland	Institution
1	Austria	TU-Wien
2	Belgium	K.U.Leuven, U.Gent
3	Brazil	Pontifical Catholic U. of Paraná
4	Canada	NRC-IRC, Concordia University, BCIT Vancouver
5	Czech Republic	Technical University Prague
6	Denmark	Technical University of Denmark
7	Estonia	Tallinna Tehnikaülikool
8	Finland	VTT, Technical University of Helsinki, Technical University of Tampere
9	France	Centre de Thermique de Lyon
10	Germany	IBP, Holzkirchen, Technische Universität Dresden
11	Japan	KINKI U Higashi-Osaka, Kyoto U
12	Netherlands	TU/e
13	Norway	Norwegian University of Science and Technology, SINTEF
14	Portugal	Universidade do Porto
15	Slovakia	Slovak Academy of Sciences
16	Spain	Universidade da Coruña
17	Sweden	Chalmers University of Technology, SP, Lund University, IVL
18	Switzerland	ETH/EMPA
19	UK	Glasgow Caledonian U, U. College London
20	USA	Owens Corning, Oak Ridge National Laboratory

Um die gemeinsame Arbeit der Partnerländer im Rahmen des IEA Annex 55 zu koordinieren wurden zweimal jährliche Meetings organisiert in denen der Fortschritte bei allen Subtasks in logischer Abfolge besprochen und die weiteren Schritte vereinbart wurden. Zwischen den halbjährlichen Treffen wurden in jeder Unteraufgabe Studien an konkreten Beispielen durchgeführt, an denen sich alle IEA Annex 55 Teilnehmer/innen beteiligen.

Im ST-1 (Gathering of stochastic data) werden Daten gesammelt und zur Weiterverwendung in den anderen Subtasks aufbereitet. Es werden Energieverbräuche von Räumen und Raumverbänden sowie Heiz-, Strom- und Betriebskosten derselben Räume ermittelt. Auch Innenklima und Behaglichkeitskriterien (Temperatur, relative Feuchte ...) dieser Räume werden erhoben. Randbedingungen (Innen- und Außenklima) werden definiert und nach Raumtyp (Wohnraum, Nebenraum, Büroraum ...) klassifiziert. Materialdaten und gebäudetechnische Daten sowie Daten zur Ausführung bzw. Verarbeitung werden gesammelt und zur Weiterverwendung ausgewertet.

Der ST-2 (Probabilistic tools) soll Werkzeuge für probabilistische Beurteilungen erstellen. Im Rahmen dieses Subtasks werden verschiedene Zugänge untersucht, geeignete probabilistische Tools erarbeitet und validiert.

Im ST-3 (Framework and Case studies) wird das Rahmenkonzept erstellt, in welches die gesammelten und aufbereiteten Daten, die probabilistischen Werkzeuge und die definierten Ziele eingebettet werden, um einen einfachen, genau definierten Ablauf zu erhalten. Es wird ein gemeinsames Rahmenkonzept erstellt, das alle verschiedenen thermischen Sanierungsmaßnahmen, sämtliche Ausgangssituationen, Materialdaten und möglichen Risiken und Versagensarten enthält. Alle Leistungs- und Nachweiskriterien werden vorher aus Normen, Literatur, allgemeinem Wissen und weiteren Inputs im Rahmen des IEA Annex 55 gesammelt und anschließend charakterisiert, klassifiziert und in logische Zusammenhänge gebracht.

Im ST-4 (Practice and Guidelines) werden Vorteile und Nachteile von Sanierungsmaßnahmen erkannt. Zunächst werden häufig angewendete thermische Sanierungstechnologien gesammelt. Anschließend werden diese Technologien mit ihrem möglichen Nutzen oder ihrer Leistungsfähigkeit bzw. mit möglichen Risiken aufgelistet. Zum Subtask 4 gehört auch die Erstellung von Richtlinien, wie die erstellten Konzepte mit allen Unterpunkten von Planern und ausführenden Firmen bei der Risikobeurteilung in der Praxis richtig angewendet werden sollen.

## 6 Ergebnisse des Projektes

### 6.1 Probabilistische Methoden

Im Subtask 2 (ST2) des IEA Annex 55 wurden bereits bekannte probabilistische Methoden in der hygrothermischen Gebäudeplanung angewandt. Ziel war die Abschätzung von „Reliability“ (Zuverlässigkeit) und „Robustness“ (Robustheit) einer Konstruktion. Reliability beschreibt das Funktionieren eines Bauteils ohne zu versagen und entspricht im konstruktiven Bauwesen der Tragfähigkeit (ULS ... ultimate limit state). Robustness kann am besten als Gebrauchstauglichkeit (SLS ... serviceability limit state) im Bauwesen verstanden werden und beschreibt demnach die Fähigkeit eines Bauteils unter unerwarteten Bedingungen die geforderten Eigenschaften zu erfüllen.

Im ST2 des IEA Annex 55 wurden fünf Arten probabilistischer Methoden untersucht.

- Qualitative Überlegungen zur Abschätzung von Zuverlässigkeit und Gebrauchstauglichkeit in der hygrothermischen Planung von Bauprojekten
- Quantitative Methoden zur probabilistischen Prognose
- Sensitivitätsanalysen zur Unterstützung und Vereinfachung der Berechnung
- Metamodelling zur Beschleunigung der Berechnung
- Kostenoptimierung als allumfassendes Tool

Qualitative Untersuchungen sind „factor identification“ und „flowchart formation“.

Im ersten werden Einflussfaktoren für Risiken (Anfangsbedingungen, Randbedingungen, Materialparameter, ...) gesammelt und gereiht. In Vorarbeiten (Richtlinien, Leitfäden, ...) können sämtliche Faktoren gelistet werden, sodass für ein konkretes Projekt nur mehr die zutreffenden ausgewählt werden müssen. In anderen Fachgebieten erprobte Methoden dazu sind „preliminary hazard analysis“ (PHA, vorläufige Sicherheitsanalyse), „failure modes and effects analysis“ (FMEA, Fehlermöglichkeits- und -einflussanalyse) oder „risk screening sessions“.

Zum Erstellen eines Flussdiagramms müssen die Einflussfaktoren in Zusammenhänge gebracht werden. Solche Ablaufdiagramme können als „event trees“ (Ereignisbaum), „cause-consequence charts“ (Ursachen-Wirkungs-Diagramm) oder als „bayesian probabilistic nets“ (Bayes'sches Netz) dargestellt werden. Weil die Einflussgrößen nicht von Beginn an objektiv berechenbar sind, unterscheiden sich die Ergebnisse zweier unabhängiger Planer meist stark. In interdisziplinären Projekten sind Expertisen vieler verschiedener Disziplinen notwendig. Was viele Ressourcen braucht und solche Untersuchungen für hygrothermische Betrachtungen meist zu kompliziert macht.

Im Österreichischer Beitrag wurden alle relevanten Parameter für das hygrothermische Funktionieren einer Außenwand betrachtet (Schlagregen, Parameter die Einfluss auf den Schlagregen haben (Orientierung, ...), Innenklima, Anfangsfeuchtigkeit, Materialparameter, ...). Erst wurden alle Parameter aufgelistet. Anschließend wurde ein Flussdiagramm erstellt. Um jede mögliche Kombination an

Randbedingungen darzustellen, muss das Diagramm sehr groß werden. Der Aufwand kann sich aber lohnen, wenn die Zusammenhangsdarstellung in weiteren Projekten wieder verwendet werden kann. Ohne eine Belegung mit Zahlen, also ohne Quantifizierung ist das Ergebnis aber eher informativ und kann für konkrete Entscheidungen alleine kaum verwendet werden.

Zur quantitativen Beurteilung werden bekannte hygrothermische Berechnungsmethoden verwendet. Die Eingangsgrößen werden aber nicht als Einzahl in die Berechnung aufgenommen sondern als Verteilungen. In einer Vielzahl an Berechnungen werden entsprechend der Verteilungen Zufallszahlen als Eingangswerte für die hygrothermische Berechnung gezogen (Monte Carlo mit „basic random sampling“ oder „simple random sampling“). Bei einer großen Menge an Eingangswerten sind viele Berechnungen notwendig um das Ergebnis mit gewisser Sicherheit vorhersagen zu können. Die Anwendung ausgereifterer Sampling-Techniken („quasi-random-sampling“) ist für zeitabhängige, nichtlineare Prozesse (wie hygrothermisches Bauteilverhalten) sinnvoll. Beim „latin hypercube sampling“ werden nicht zufällig Werte aus den Verteilungen gezogen sondern die Verteilungen vorher in Bereiche geteilt und anschließend aus wird aus jedem Bereich eine gleiche Anzahl an Werten gezogen. So kann man mit wenigen Berechnungen bereits eine gute Ergebnisprognose erzielen. „space filling design“ („maximin method“) optimiert das Verfahren noch weiter, sodass noch weniger Berechnungen notwendig sind.

Im Österreichischer Beitrag wurde eine bewusste Variation der Parameter (Parameterstudie) innerhalb der gegebenen Verteilungen durchgeführt um verschiedene zeitabhängige Ergebnisverläufe (Schimmelindex, Wärmemenge, ...) zu generieren. Ober- und Untergrenzen können so rasch identifiziert werden.

Sensitivitätsanalysen sind zur Identifikation von wesentlichen und unwesentlichen Eingangsgrößen. Werden relativ irrelevante Eingangsgrößen erkannt, kann deren Variation unterlassen werden und es kann Rechenzeit gespart werden. Sensitivitätsanalysen dienen auch der Identifikation von Fehlern, der Evaluierung der Zuverlässigkeit, usw. Im Zuge der Common Exercise 3 zeigte sich die Methode „spearmen's coefficient“ zusammen mit „Scatterplots“ (Streudiagrammen) als für die hygrothermische Bauphysik am brauchbarsten. „linear regression“, „pearsons coefficient“, „elementary effects method“ (EEM oder „morris method“) und „Fourier amplitude sensitivity test“ (FAST) lieferten auch brauchbare Ergebnisse. Die anderen angewandten Methoden stellten sich als eher ungeeignet heraus.

Mit „meta-modelling“ sollen bewehrte aber umfangreiche Rechentechniken für den speziellen Anwendungsfall durch einfachere und dadurch schnellere Rechenmethoden („Metamodelle“) ersetzt werden. Je mehr Eingangsgrößen und je mehr Berechnungen um eine probabilistische Aussage treffen zu können umso sinnvoller kann meta-modelling sein. Der Aufwand zum Erstellen und kontrollieren eines Metamodells kann groß werden, ist aber sinnvoll für wiederkehrende Probleme in denen ein bestehendes Metamodell immer wieder verwendet werden kann.

„Multivariate adaptive regression splines“ (MARS) stellte sich als brauchbarste Technik in der hygrothermischen Bauteilbemessung heraus. Die Methode ist verhältnismäßig einfach und die Rechenzeiten werden erheblich verkürzt. „polynomial regression“ und „neural networks (sigmoidal transfer function networks)“ wurden im Zuge der Common Exercise 4 ebenfalls getestet und als brauchbar bewertet. „Kriging“ wurde ebenfalls angewandt, zeigte aber keine besseren Ergebnisse als einfache polynomiale Regression.

In der „economic optimisation“ wurden verschiedene Kenngrößen und ihre Anwendung in der hygrothermischen Gebäudeplanung untersucht. Mit der Methode „Payback period“ (PB) wird ermittelt nach welcher Zeit eine Investition sich finanziell „rechnet“. Im ST2 wurde die Energiekosteneinsparung auf die Investitionskosten bezogen. Der „net present value“ (NPV, Barwert) ist der Betrag, der jetzt zur Seite gelegt werden muss um eine Sanierung nach der Lebensdauer finanzieren zu können. „Return of investment“ (ROI) bezieht NPV auf Investitions- und Instandhaltungskosten. ROI ist gleich wie PB, berücksichtigt aber zusätzlich Instandhaltungskosten, Inflation und einen veränderlichen Energiepreis. Die „internal rate of return“ (IRR) ist der notwendige Zinssatz um auf einen NPV von 0 zu kommen. Verschiedene Sanierungsmaßnahmen können so absolut und relativ zueinander bewertet oder verglichen werden.

Der finanzielle Aspekt und das Risiko kann nur getrennt betrachtet werden. Mit einem bestimmten Risiko kann die kostenoptimale Lösung gewählt werden. Mit einem anderen Sicherheitsniveau ist die kostenoptimale Lösung vielleicht eine andere.

Im Österreichischer Beitrag wurden Monte Carlo Simulation in Form von „basic random sampling“ durchgeführt um den Barwert (NPV) zu ermitteln. Ziel war es die optimale Sanierung eines Gebäudeensembles zu ermitteln. Obwohl die Rechengenauigkeit vorab auf das absolut notwendige Niveau gesetzt wurde, war der Rechenaufwand enorm. Um ein Optimum für mehrere Gebäude zu finden ist der Aufwand dennoch lohnend.

Die Anwendung probabilistischer Methoden kann in drei Schritte geteilt werden. Vorbereitung, Quantifizierung der Unsicherheiten und Optimierung. In der Vorbereitung wird ein Rechenmodell gewählt und es werden Ein- und Ausgangsgrößen definiert. In der Quantifizierungsphase werden die Eingangsgrößen mit Werten (Verteilungen) belegt und es werden Beurteilungskriterien für die Ausgangsparameter festgelegt. Sensitivitätsanalysen und/oder Metamodelle können hier zur Verringerung des späteren Rechenaufwandes angewendet werden. Am Ende (in der Optimierung) wird die eigentliche Berechnung durchgeführt und die Ergebnisse werden mit den vorher definierten Kriterien verglichen.

## 6.2 Anwendung des Rahmenkonzepts für die Risikobewertung

### 6.2.1 Aufgabenstellung

Der zunehmende Energieverbrauch in Gebäuden führte in den letzten Jahren zu einer Bewusstseins-schärfung für Energieeinsparung und Steigerung der Energieeffizienz. Großes Potential für eine thermische Optimierung liegt in den Bestandsgebäuden. Diese können jedoch in manchen Fällen nicht an der Außenseite der Gebäudehülle gedämmt werden, da historische Fassaden oft erhaltenswert oder denkmalgeschützt sind. Dadurch gewinnt die Innendämmung an Bedeutung und beschäftigt viele Forschungseinrichtungen sowie Planer, Ausführende und Gutachter.

Im Folgenden wird auf die Herangehensweise der Planung einer Innendämmung und die damit verbundenen Fragestellungen eingegangen. Eingangs werden die Zusammenhänge bestimmter Planungsparameter analysiert. Anschließend wird der theoretische Planungsprozess an einem Fallbeispiel abgehandelt. Der Lösungsweg erfolgt anhand der Vorgaben des „Framework for probabilistic assessment“ gemäß der Angabe aus Subtask 3, Common Exercise 1 des IEA Annex 55.

### 6.2.2 Abgrenzung der Planungsaufgabe

- Die Planung einer Sanierungsaufgabe kann unterschiedliche Projektgrößen umfassen: gesamtes Gebäude, Gebäudeteil, Gebäudehülle und/oder Baumaterial. Die Planung und der Nachweis einer Innendämmung kann dabei in verschiedene Komplexitätsstufen unterteilt werden:
  1. Bauteil mit eindimensionalem Schichtenaufbau
  2. Detail mit mehrdimensionalem Wärme- und Feuchtetransport
  3. Detail mit mehrdimensionalem Wärme- und Feuchtetransport inklusive Luftströmungen

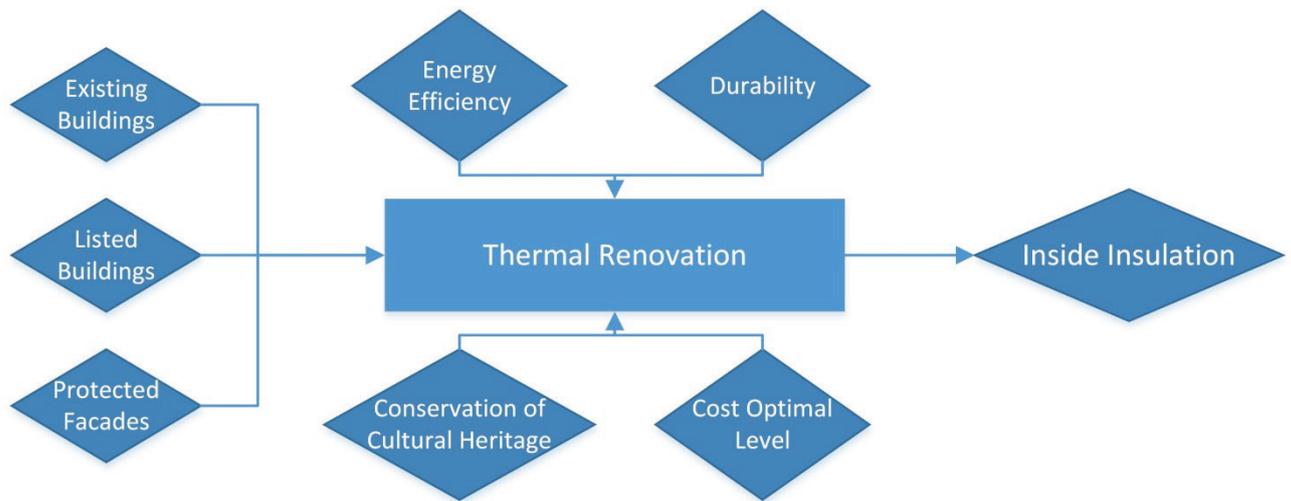
Die folgende Ausarbeitung befasst sich mit dem einfachsten Fall, dem eindimensionalen Schichtenaufbau und dem damit verbundenen Nachweis der Dauerhaftigkeit einer Konstruktion.

### 6.2.3 Ziele und Performance Kriterien

- Ein Sanierungsprojekt kann nach folgenden Zielen geplant werden:
  - Energieperformance
  - Feuchteperformance
  - IAQ Gesamtkosten des Projekts
  - Kosten der einzelnen Handlung
- Neben der Detailplanung ist die Überlegung der Zielkonsequenzen, vor allem im Fall des Nicht Erreichens bestimmter Ziele, von großer Bedeutung.

Die thermische Sanierung eines Bestandsgebäudes mit Innendämmung hat zum Hauptziel, die Energieeffizienz des Objekts zu steigern. Dies wird durch die Minimierung der Wärmeverluste erreicht. Die

Wirksamkeit einer thermischen Sanierung wird durch die Einhaltung eines bestimmten U-Werts einer Außenwandkonstruktion beschrieben. Gleichzeitig muss sichergestellt sein, dass durch die Sanierung keine neuen Schäden an der Konstruktion entstehen.



**Abb. 2: Kriterien für den Planungsprozess einer Innendämmung**

Betrachtet man einen Ausschnitt einer innen gedämmten Wandkonstruktion, werden im Gegensatz zur Gesamtbetrachtung eines Gebäudes spezifischere Performancekriterien relevant. Diese Kriterien sind beispielsweise das Feuchteverhalten der Materialien, die Permeabilität oder die Luftdichtheit einer Konstruktion. Das Ziel ist der Nachweis der Funktionstüchtigkeit des innen gedämmten Wandquerschnitts. Außerdem ist der Nachweis einer dauerhaften Schadensfreiheit der Konstruktion durchzuführen. Die Grundlagen für diese Nachweisführung werden durch die Definition verschiedener Einflussparameter geschaffen.

Die Kombination verschiedener Einflussparameter führt zu unterschiedlichen Szenarien, die über die Funktionstüchtigkeit einer Konstruktion entscheiden. Es müssen daher bereits in der Planung alle wesentlichen Randbedingungen bekannt sein, um die Dauerhaftigkeit der Innendämmung nachweisen zu können. Die Vernachlässigung oder Missachtung bestimmter Randbedingungen kann einen nachhaltigen Schaden am Innendämmsystem und an der bestehenden Konstruktion hervorrufen.

## 6.2.4 Stand des Wissens

Innendämmungen kommen hauptsächlich dann zum Einsatz, wenn eine Außendämmung nicht möglich ist. Bei vielen Gebäuden erscheint es aus architektonischer Sicht nicht sinnvoll, eine thermische Sanierung mit außen liegendem Wärmedämmverbundsystem vorzunehmen. Bei Fachwerkhäusern oder bei Fassaden aus Sichtziegelmauerwerk hat beispielsweise die Erhaltung der sichtbaren Konstruktion mehr Gewicht gegenüber der Energieeinsparung durch eine Dämmmaßnahme. In diesen Fällen wird oftmals an der Innenseite gedämmt, um zumindest eine geringfügige Effizienzsteigerung in puncto Energieverbrauch zu erreichen.

Die speziellen Sanierungsstrategien werden bei der Betrachtung der Detailplanung und der in 6.2.2 beschriebenen Komplexitätsstufen deutlich. Dabei kann sich zeigen, dass aus bauphysikalischer Sicht eine

thermische Sanierung mit Innendämmung keine nennenswerte Energieeinsparung bringt. Dennoch kann mit geringen Dämmstärken die Temperatur der inneren Außenwandoberfläche angehoben werden und somit ein behaglicheres Raumklima schaffen.

### **6.2.5 Sanierungsvarianten**

Sind die Möglichkeiten an thermischen Sanierungsvarianten bereits so weit eingeschränkt, dass eine Innendämmung als einzige Maßnahme in Betracht gezogen wird, ist die Auswahl an Alternativen sehr gering. Es besteht jedoch die Möglichkeit, mit der Hilfe von spezieller Haustechnik eine Anhebung der Behaglichkeit zu erlangen. Fußboden- oder Wandheizungen haben einen geringeren Energieverbrauch und können Bauteile erwärmen. Dies führt zu einer Steigerung der Behaglichkeit vor allem bei Wandheizungen an Außenwänden. Die Energieeffizienz wird in diesen Fällen eher vernachlässigt bzw. nur sekundär betrachtet.

Die Installation einer Lüftungsanlage und der Einbau von dichten Fenstern kann einem Gebäude ebenfalls eine Effizienzsteigerung zuführen ohne eine Dämmmaßnahme an den Außenwänden vorzunehmen. Diese Maßnahmen sollten dennoch mit anderen thermischen Sanierungsarbeiten wie beispielsweise der Dämmung der obersten Geschosdecke oder der Kellerdecke einhergehen.

### **6.2.6 Einschränkungen und Annahmen**

Für eine erste grundlegende Berechnung einer Innendämmung müssen verschiedene Annahmen getroffen werden. Vor allem die Materialparameter müssen teilweise angenommen werden, da vor allem bei historischen Materialien große Unterschiede bei den Kenngrößen auftreten können. Die äußeren Klimarandbedingungen können von Messstationen übernommen werden und liefern so sehr realistische Eingangsgrößen für Berechnungsverfahren. Die inneren Klimarandbedingungen werden je nach Nutzung angenommen. Einen Anhaltspunkt liefern die ÖNORM B 8110-2 bzw. die EN ISO 13788 oder das WTA Merkblatt 6-2-01.

### **6.2.7 Bestimmung von Risiko und Nutzen**

#### **6.2.7.1 Einflussparameter und deren Unsicherheitsfaktoren**

Die Ausführung einer Innendämmung setzt eine intensive und detaillierte Planung voraus. Dabei müssen viele – teils objektspezifische – Parameter untersucht werden. Die folgende Grafik zeigt die wesentlichen Randbedingungen und teilt diese in vier übergeordnete Gruppen mit jeweils zwei Untergruppen ein:

- Außenrandbedingungen
  - Wandaufbau
  - Fassadenbeanspruchung
- Innenrandbedingungen
  - Wandoberfläche
  - Nutzer/innenverhalten

- Nachweisführung
  - Bauphysikalische Anforderungen
  - Wärmebrücken
- Qualitätssicherung
  - Detailplanung
  - Ausführung



**Abb. 3: Einflussfaktoren für die Planung einer Innendämmung**

Die Unsicherheiten der einzelnen Parameter lassen sich auf verschiedene Arten ermitteln:

- Annahme von ungefähren Größen (Klimadaten des Standorts, Feuchtebelastung des Innenklimas, etc.)
- Messung von Parametern im Labor (Materialdaten, Strömungswiderstände, etc.)
- Messung von Parametern an Bestandsobjekten oder Demogebäuden (Feuchtebelastung der Bestandskonstruktion, Klimarandbedingungen, etc.)

Bei den laufenden Projekten werden hauptsächlich Annahmen getroffen und nur einzelne Messungen von Materialparametern für die Berechnung der Konstruktion durchgeführt. Mit der Variation von Parametern kann eine Abschätzung und Eingrenzung der Funktionstüchtigkeit der

### 6.2.7.2 Durchführung einer qualitativen probabilistischen Analyse

Wie in [WEG10] gezeigt, beginnt die Herangehensweise an die Detailplanung mit einer Bauaufnahme und mit der genauen Beurteilung bestimmter Fragestellungen zum Sanierungsobjekt. Die Fragestellungen müssen alle relevanten Einflussparameter beinhalten, um eine objektspezifische Aussage treffen zu können. Die folgenden Tabellen geben einen Überblick über die erforderliche Bauaufnahme.

Tab. 2: Fragenkatalog auf Basis der Einflussgrößen von außen – Teil 1

Einflüsse	Grundlegende Fragestellungen	Prüfmöglichkeit			Grenzwert	Detaillierte Parameter
		J	N	P	G	
<b>Außenrandbedingungen</b>	Gibt es Klimadaten des Projektstandorts?					Mit welcher Minimaltemperatur ist im Winter zu rechnen? In welcher Klimaregion liegt das Sanierungsobjekt?
	Gibt es eine Schlagregenbelastung?					Welche Schlagregengruppe liegt vor? Welche Seite wird am stärksten beansprucht? Ist ein funktionstüchtiger Schlagregenschutz vorhanden?
	Besteht die Gefahr, dass die Fassade nur sehr langsam abtrocknet?					Kann die Fassade nach einem Schlagregenereignis schnell genug abtrocknen? Weist die Fassade Parameter auf, die den Trocknungsvorgang begünstigen: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Farbgebung</li> <li>• Oberflächenrauigkeit etc.</li> </ul>
	Wurde die Fassade hydrophobiert?					Gibt es Fehlstellen in der Hydrophobierung?
	Gibt es aufsteigende Feuchtigkeit?					Handelt es sich um <ul style="list-style-type: none"> <li>• ständige Feuchte oder</li> <li>• temporäre Feuchte?</li> </ul>
	Kann die Fassade bei Schlagregenbelastung Feuchtigkeit aufnehmen?					Wie viel Feuchtigkeit wird aufgenommen? Was passiert damit? Sind die Folgen abschätzbar oder sogar ersichtlich?
	Gibt es solare Einstrahlung auf die Fassade?					Kann es zu Umkehrdiffusion kommen? Ist der Standort des Bauwerks <ul style="list-style-type: none"> <li>• frei und exponiert oder</li> <li>• im verbauten Gebiet?</li> </ul>
	Gibt es bestehende Schäden an der Fassade infolge Feuchteeinwirkung?					Erfolgt die Feuchteeinwirkung: <ul style="list-style-type: none"> <li>• aus dem Boden</li> <li>• durch Schlagregen</li> <li>• durch Wasserschäden</li> </ul>
	Weist die Fassade Stellen auf, an denen vermehrt Regenwasser in die Konstruktion eindringen kann?					Sind <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fugen,</li> <li>• Risse,</li> <li>• Bewuchs erkennbar?</li> </ul>
	Ist eine Hydrophobierung im Zuge der Innendämmmaßnahme geplant?					Wo liegt die Hydrophobierungsmaßnahme im Bauablauf? Ist eine Druckimprägnierung vorgesehen?
<b>Prüfmöglichkeit vorhanden?</b>					<b>Grenzwert vorhanden?</b>	

Der zweite Teil der Checkliste befasst sich mit den Randbedingungen an der Innenseite der zu sanierenden Wandkonstruktion. Dabei wird vor allem auf bereits vorhandene Schäden infolge Feuchtigkeit und auf konstruktive Fehlstellen im Bereich der Wandoberfläche eingegangen.



Tab. 3: Fragenkatalog auf Basis der Einflussgrößen von innen – Teil 2

Einflüsse	Grundlegende Fragestellungen	Prüfmöglichkeit			Grenzwert	Detaillierte Parameter
		J	N	P	G	
<b>Innen- randbedingungen</b>	Sind Schäden an der innen liegenden Wandoberfläche zu erkennen?					Gibt es <ul style="list-style-type: none"> <li>• feuchten Innenputz,</li> <li>• Stockflecken,</li> <li>• Schimmelpilzwachstum,</li> <li>• Ablösung von Anstrich/Tapete?</li> </ul>
	Ist die Wandoberfläche innen nicht verputzt?					Ist der Wandbildner <ul style="list-style-type: none"> <li>• teilweise oder</li> <li>• großflächig sichtbar?</li> </ul>
	Gibt es Hohllagen an der Innenoberfläche?					Ist die Festigkeit des Putzes für eine Beklebung mit Dämmplatten ausreichend? <ul style="list-style-type: none"> <li>• Putzfestigkeit</li> <li>• Haftzugfestigkeit am Untergrund</li> </ul>
	Gibt es Verunreinigungen an der Putzoberfläche?					
Prüfmöglichkeit vorhanden?					Grenzwert vorhanden?	

Die weiteren Abschnitte des Fragenkatalogs beschäftigen sich mit konstruktiven, bauteilabhängigen und nutzerspezifischen Einflüssen auf die Innendämmkonstruktion. Dabei sind großteils keine Prüfmöglichkeiten im Sinne von Messungen möglich. Vielmehr geht es um die richtige Einschätzung des konstruktiven Bestands in Form einer detaillierten Bauaufnahme. Weiters ist eine Grundkenntnis der konstruktiven und bauphysikalischen Zusammenhänge erforderlich. Dies ist vor allem beim Einsatz von Erfahrungswerten wichtig und zeichnet deren Qualität aus.

Tab. 4: Fragenkatalog auf Basis der Einflussgrößen durch das Nutzerverhalten – Teil 5

Einflüsse	Grundlegende Fragestellungen	J	N	Detaillierte Parameter
<b>Nutzerverhalten</b>	Ist eine Nutzung als Wohnung vorgesehen?			Welche Widmungen bekommen die einzelnen Räume? Wo treten hohe Feuchtebelastungen der Raumluft auf?
	Gibt es nutzerspezifische Einrichtungswünsche?			Welche Möblierung schließt an die Dämmkonstruktion an? Sind Einbaukästen an Außenwänden geplant?
	Ist eine Nutzung als Veranstaltungsraum o.ä. vorgesehen?			Wie hoch ist die erwartete maximale Feuchtebelastung? Sind regelmäßig größere Menschenansammlungen zu erwarten?
	Ist eine Nutzung mit hoher Feuchtebelastung vorgesehen?			Ist eine Nutzung als <ul style="list-style-type: none"> <li>• Gewächshaus,</li> <li>• Schwimmbad oder</li> <li>• unbeheizter Keller</li> </ul> vorgesehen?
	Ist eine Heizungsanlage vorhanden oder vorgesehen?			Handelt es sich um einen <ul style="list-style-type: none"> <li>• konditionierten oder</li> <li>• unkonditionierten Bereich?</li> </ul>
	Ist eine Lüftungsanlage geplant?			Welches Innenklima wird durch die Lüftungsanlage erzeugt? Verfügt die Lüftungsanlage über eine Luftbefeuchtung? Wie wird die RLT gesteuert?

Tab. 5: Fragenkatalog auf Basis der Einflussgrößen der Konstruktion – Teil 3

Einflüsse	Grundlegende Fragestellungen	J	N	Detaillierte Parameter	
Konstruktionstypen	Welche der angeführten Konstruktionsarten liegt vor?	Verputztes Ziegelmauerwerk		Gibt es Feuchtigkeit im Mauerwerk und woher stammt diese? Sind Risse in der Putzoberfläche erkennbar? Sind Hohllagen durch Klopfen erkennbar oder tastbar?	
		Sichtziegelmauerwerk		Besteht das Ziegelmaterial aus <ul style="list-style-type: none"> <li>• dichtem Klinker,</li> <li>• mitteldichtem Klinker und VMZ,</li> <li>• saugenden Vormauerziegeln?</li> </ul>	
		Natursteinfassade		Ist eine Vormauerung oder eine durchgehende Natursteinwand gegeben?	
		Sichtfachwerkkonstruktion		Gibt es eine durchgehende Materialfuge? Wie ist die Fuge abgedichtet? Gibt es Schäden im Fugenbereich? Besteht die Ausfachung aus saugendem Material? Hat das Ausfachungsmaterial eine helle oder dunkle Farbe?	
		Massivholzkonstruktion in Blockbauweise?		Gibt es Fugen, die in die Holzwand nach innen und nach unten führen? Gibt es verrottete Holzstellen?	
	Ist die Wandoberfläche innen eben?				Wie können Unebenheiten eingegrenzt werden?
	Ist das Fassadenmaterial saugend?				Wie viel Wasser kann kapillar aufgenommen werden?
	Weist die Fassade einen hohen Fugenanteil auf?				Wie ist der Fugenzustand einzuschätzen? <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sind die Fugen in Ordnung bzw. saniert?</li> <li>• Ist der Fugenmörtel teilweise ausgebrochen oder ist</li> <li>• loser Fugenmörtel bzw. kein Fugenmörtel vorhanden?</li> </ul>
	Ist eine sperrende Schicht im inneren Bestandsputz enthalten?				Liegt die sperrende Schicht <ul style="list-style-type: none"> <li>• an der Oberfläche oder ist sie</li> <li>• im Putz eingearbeitet?</li> </ul>
	Handelt es sich um einen gipshaltigen Putz?				Kann es zu Materialunverträglichkeiten kommen?
Ist eine Innendämmung über 5 cm Dämmstärke geplant?				Bei Dämmstärken über 5 cm ist ein/eine Fachplaner/-planerin zwingend beizuziehen!	

Tab. 6: Fragenkatalog auf Basis der Einflussgrößen durch Bauteilanschlüsse – Teil 4

Einflüsse	Grundlegende Fragestellungen	J	N	Detaillierte Parameter
<b>Bauteilanschlüsse</b>	Sind Schäden am Bestand infolge Wärmebrücken erkennbar?			Welche Wärmebrücken müssen berücksichtigt werden? Welche Wärmebrücken müssen berechnet und nachgewiesen werden?
	Ist ein Innenwandanschluss vorhanden?			Ist die Wärmeleitfähigkeit der Innenwand besser als die der Außenwand? Handelt es sich um eine Wohnungstrennwand?
	Ist ein Massivdeckenanschluss vorhanden?			Welche Deckenkonstruktion liegt vor? <ul style="list-style-type: none"> <li>• gewölbte Massivdecke</li> <li>• Stahlbetonplattendecke</li> <li>• Stahlsteindecke</li> <li>• Stahlbetonrippendecke mit Hohlkasten</li> <li>• Betonbalkendecke</li> </ul> Ist eine Durchströmung bei Hohlkastendecken möglich?
	Ist ein Holzdeckenanschluss vorhanden?			Welche Deckenkonstruktion liegt vor? <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tramdecke</li> <li>• Dippelbaumdecke</li> </ul>
	Gibt es Schäden im Bereich der Deckenbalkenaufleger?			Welches Ergebnis zeigt eine Untersuchung der Trankästen?
	Kann die Dämmung bis an die Deckenbalken herangeführt werden?			Kann die Deckenkonstruktion geöffnet werden? Kann von oben bis an die Deckenbalken heran gedämmt werden?
	Sind Kastenfenster vorhanden?			Werden diese saniert?
	Sind Isolierglasfenster vorhanden oder werden welche eingebaut?			Kann eine Laibungsdämmung angebracht werden? Kann die Tiefe des Fensterbrettes konvektive Probleme bereiten? Wird die Fensternische ausgemauert? Ist ein Heizkörper unter dem Fenster vorhanden oder vorgesehen?
	Ist eine Außenecke zu einer ungedämmten, freistehenden Feuermauer vorhanden?			Wird die Feuermauer außen gedämmt? Wird das Nachbargrundstück verbaut?

Mit Hilfe des Fragebogens kann ein Sanierungsobjekt detailliert analysiert werden. Es werden Problemstellungen erkannt, die möglicherweise in einer groben Planung übersehen werden könnten. Die Checkliste gibt weiters Aufschluss über Ziele und Konstruktionsmöglichkeiten und liefert eindeutige KO-Kriterien für bestimmte Ausführungsvarianten.

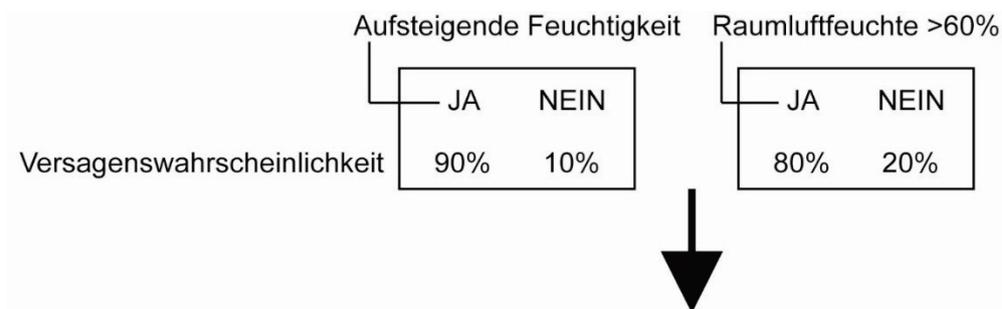
Die einzelnen Rubriken des Fragebogens können zu einem Flussdiagramm zusammengesetzt werden. Verbindet man einzelne Fragestellungen der Checkliste mit Versagenswahrscheinlichkeiten, kann ein Fehlerbaum aufgelistet werden.

### 6.2.7.3 Stochastische Ansätze für die Planung einer Innendämmung

Die beschriebenen Tabellen mit den Fragestellungen zur Bauaufnahme dienen zur Erhebung der Bestandsdaten und zur Schaffung eines Überblicks über die geplanten Maßnahmen. Nach der Bestimmung der wesentlichen Einflussparameter eines bestimmten Projekts ist es zielführend zu überlegen, wie diese mit anderen Größen zusammenhängen und wie diese Abhängigkeiten mit Wahrscheinlichkeitsverteilungen dargestellt werden können.

Ein Flussdiagramm mit der Darstellung der Einflussparameter ist eine Möglichkeit, eine funktionstüchtige Konstruktion zu planen. Anhand von Versagenswahrscheinlichkeiten, die vorab für jeden Parameter ermittelt werden müssen, kann ein kritischer Weg im Flussdiagramm gezeigt werden. Dadurch

lässt sich die Versagenswahrscheinlichkeit der Konstruktion anhand von mehreren Parametern errechnen. Die folgende Abbildung zeigt die Ermittlung der Versagenswahrscheinlichkeit einer Konstruktion am Beispiel zweier Parameter:



Daraus ergeben sich vier mögliche Szenarien mit deutlich unterschiedlichen Versagenswahrscheinlichkeiten:

NEIN – NEIN	2%
NEIN – JA	8%
JA – NEIN	18%
JA – JA	72%

Betrachtet man alle wesentlichen Parameter und bildet nach dem beschriebenen Konzept die Versagenswahrscheinlichkeit des Gesamtsystems, können sehr leicht verschiedene Innendämmsysteme verglichen werden.

#### 6.2.7.4 Beurteilung der Ergebnisse

Die Ergebnisse des Fragebogens liefern eine gute Grundlage für die Planung einer Innendämmung für ein bestimmtes Objekt. Die Antworten aus der Checkliste stellen einen deterministischen Ansatz dar, indem Grenzwerte oder JA-NEIN-Kriterien festgesetzt werden. In einem weiteren Schritt können diese Erkenntnisse durch Variationen der einzelnen Parameter oder durch eine Beaufschlagung mit Verteilungsfunktionen in ein probabilistisches System übergeführt werden.

Ein großer Vorteil des vorgestellten Fragebogens ist eine sehr gute praktische Anwendbarkeit für Planer und Ausführende. Es werden grundlegende KO-Kriterien und wichtige Problemstellungen für die Planung einer Innendämmung angesprochen.

Für die Berechnung und in weiterer Folge für die Nachweisführung eines Innendämmsystems ist diese Art der Darstellung nur bedingt tauglich. Für einen probabilistischen Nachweis müssen alle wesentlichen Randbedingungen mit Verteilungsfunktionen versehen werden. Dies ist im Zuge dieses Projekts noch nicht durchgeführt worden und bleibt ein Ziel für die weitere Arbeit.

## 6.2.8 Versuch einer quantitativen probabilistischen Analyse

### 6.2.8.1 Methodik

Im Folgenden werden zwei Methoden verglichen. Zuerst wird anhand der derzeit gültigen österreichischen Normen ÖNORM B 8110-2 und EN ISO 13788 eine Risikoabschätzung für die Dauerhaftigkeit der Konstruktion durchgeführt. Danach werden die Ergebnisse mit einem probabilistischen Ansatz aus Monte Carlo Rechnungen und den Vorgaben aus 6.2.7.2 verglichen. Ziel ist es, das Versagensrisiko einer innengedämmten Konstruktion mit und ohne Lüftungsanlage zu bestimmen.

Es werden drei innen gedämmte Konstruktionen mit jeweils zwei unterschiedlichen Dämmstärken verglichen. Als Bestandswand dient in allen drei Fällen dieselbe Wand. Mat\_A bezeichnet eine Konstruktion mit einer porösen plattenförmigen Innendämmung, Mat\_B ist eine gedämmte Vorsatzschale mit Dampfbremse und Gipskartonbeplankung, Mat\_C bezeichnet einen homogenen Dämmstoff beispielsweise einen Dämmputz. Die Auswertung erfolgt in Bezug auf Dauerhaftigkeit und Energieeffizienz der jeweiligen Konstruktion. Die Simulation erfolgt mit einem 1D Modell.

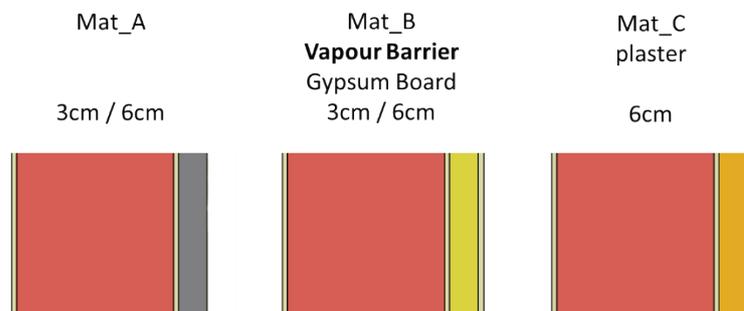


Abb. 4: Konstruktionsvarianten für das Fallbeispiel Innendämmung

### 6.2.8.2 Berechnung der Leistungsfähigkeit

Die qualitative Auswertung der drei Wandaufbauten gemäß ÖNORM B 8110-2 und EN ISO 13788 ergibt folgendes Bild:

Tab. 7: Performancebewertung und Energieeffizienz nach vereinfachten Verfahren

	Durability	Energy
MatA 3cm	-	+
MatA 6cm	-	++
MatB 3cm VB	++	+
<b>MatB 6cm VB</b>	<b>++</b>	<b>++</b>
MatC 6cm	-	+

Die aktuelle Normung bezeichnet dichte Konstruktionen bzw. Wandaufbauten mit einer Dampfbremse als sehr dauerhaft. Diese Annahme basiert auf stationären Berechnungen mittels Glaserverfahren und der Annahme einer dichten Konstruktion ohne jegliche Leckagen. Die höchste Energieeffizienz wird dadurch mit großen Dämmstärken und guten Dämmstoffen erreicht.

Die Analyse der fünf Wandaufbauten mittels hygrothermischen Simulationen und unter Beachtung der Vorgaben aus 6.2.7.2 liefert ähnliche Ergebnisse. Es werden zwei Szenarien unterschieden: Das Innenklima wird für Raumlufffeuchten mit und ohne Lüftungsanlage variiert. Dabei wird mit Lüftungsanlage 40 % als relative Luftfeuchte angenommen, für das Innenklima ohne Lüftungsanlage wird 60 % relative Luftfeuchte angesetzt. Die Simulationen, die mit einem hygrothermischen Simulationsprogramm (HAM4D\_VIE) erstellt wurden, liefern folgendes Ergebnis:

**Tab. 8: Performancebewertung und Energieeffizienz mithilfe von deterministischen Simulationsverfahren**

	Durability		Energy
	40% relhum	60% relhum	
MatA 3cm	++	-	+
MatA 6cm	++	-	++
MatB 3cm VB	++	++	+
<b>MatB 6cm VB</b>	<b>++</b>	<b>++</b>	<b>++</b>
MatC 6cm	++	++	+

Es zeigt sich, dass luftdichte Konstruktionen (mit Dampfbremse VB) eine gute Dauerhaftigkeit aufweisen. Bei den Berechnungen wird angenommen, dass die luftdichte Schicht keine Leckagen aufweist. Die Dauerhaftigkeit ist unter diesen Voraussetzungen unabhängig vom Innenklima. Das Vorhandensein einer Lüftungsanlage hat somit keine Auswirkung auf das Ergebnis.

Diese Annahmen widersprechen jedoch der Realität, da in diesen Simulationen keine Wahrscheinlichkeitsverteilungen angenommen wurden. Eine völlig luftdichte Konstruktion ist bautechnisch nicht realisierbar. Es muss daher die wahre Luftdichtheit in Kombination mit der tatsächlichen relativen Raumlufffeuchte in Form einer Wahrscheinlichkeitsverteilung berücksichtigt werden. Den Zusammenhang von Raumklima und Luftdichtheit hat Harreither in [HAR12] beschrieben. Die folgende Grafik zeigt die kumulative Wahrscheinlichkeitsverteilung der Innenraumlufffeuchte im Jänner für Konstruktionen mit hoher bzw. geringer Luftdichtheit.

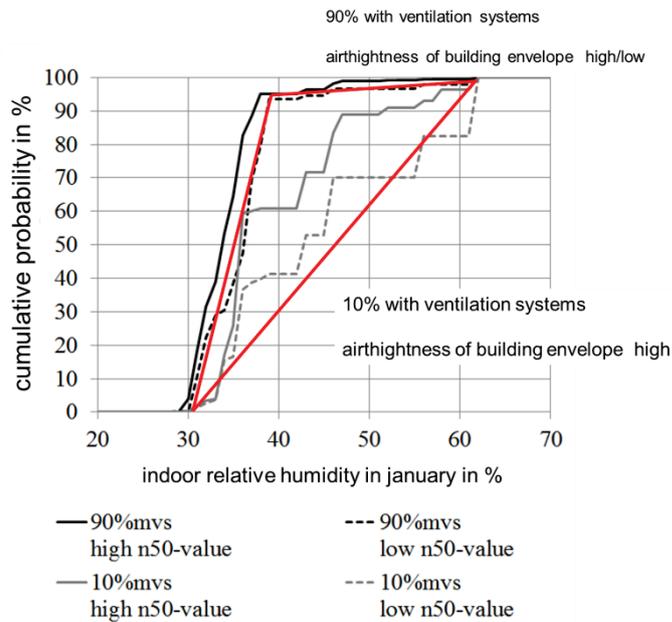


Abb. 5: Häufigkeitsverteilung der relativen Luftfeuchtigkeit mit/ohne Lüftungsanlage

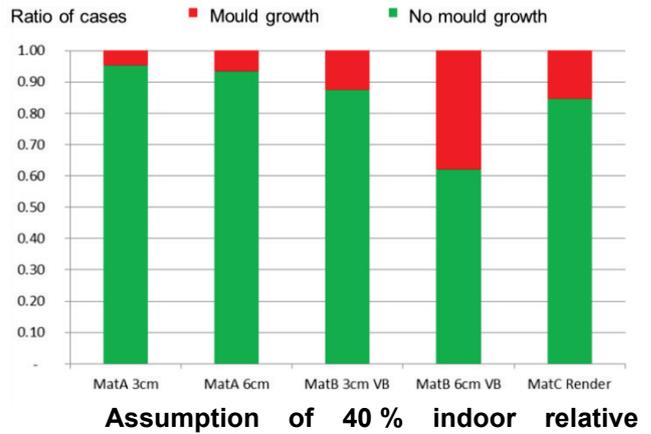
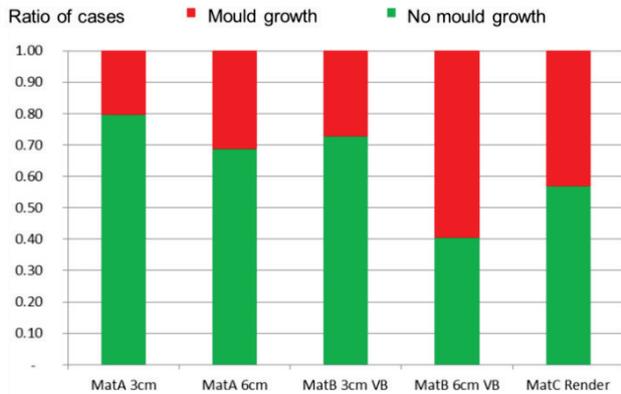
### 6.2.8.3 Beurteilung der Ergebnisse

Am Beispiel der Luftdichtheit der fünf innen gedämmten Konstruktionen kann gezeigt werden, dass herkömmlich berechnete Varianten ein vermeintlich falsches Ergebnis liefern. Die Berücksichtigung von Undichtheiten in der Innendämmung in Kombination mit/ohne Lüftungsanlage stellt ein Beispiel für einen einfachen probabilistischen Nachweis eines Innendämmsystems dar. Die folgenden beiden Diagramme zeigen die Versagenswahrscheinlichkeit der Innendämmung in Kombination mit/ohne Lüftungsanlage. Die Ergebnisse sind anhand des Risikos für Schimmelpilzwachstum dargestellt.

Failure probability without ventilation system

Failure probability with ventilation system

**Assumption of 60 % indoor relative humidity**



**humidity**

Es ist deutlich der Unterschied zum zuvor diskutierten Berechnungsmodell ohne Berücksichtigung des wahrscheinlichkeitsverteilten Innenklimas zu erkennen. Das Risiko für Schimmelpilzwachstum ist somit bei einer kleinen Dämmstärke und bei der Verwendung einer Lüftungsanlage am geringsten. Das Ergebnis des probabilistischen Ansatzes ist in der folgenden Tabelle dargestellt.

**Tab. 9: Performancebewertung und Energieeffizienz mithilfe einer probabilistischen Riskobewertung**

**Abb. 6: Versagenswahrscheinlichkeit der Innendämmung ohne Lüftungsanlage (li), mit Lüftungsanlage (re)**

	Durability	Energy
MatA 3cm	+	+
MatA 6cm	-	++
MatB 3cm VB	++	+
MatB 6cm VB	++	++
MatC 6cm	-	+

## 6.2.9 Zusammenfassung der Ergebnisse

Bei der qualitativen Beurteilung wurden zuerst Risiko und Nutzen von Innendämmsystemen gegenüber gestellt und die wesentlichen Einflussparameter aufgelistet. Dabei wird deutlich, dass vor allem Feuchtequellen – speziell Schlagregen an der Fassade, aufsteigende Feuchtigkeit im Mauerwerk und die Feuchtebelastung des Innenklimas – großen Einfluss auf die Funktionstüchtigkeit des Innendämmsystems haben. Anhand einer Checkliste zur Durchführung einer Bauaufnahme können sämtliche Randbedingungen, die für die Planung einer Innendämmung erforderlich sind, erfasst werden. Die Ergebnisse liefern einen Richtwert, welches Dämmmaterial verwendet werden könnte und welche Probleme bei der rechnerischen Nachweisführung berücksichtigt werden müssen. Außerdem können Grenzwerte Auskunft darüber geben, ob eine bestimmte Konstruktion mit einer Innendämmung versehen werden darf.

Die quantitative probabilistische Beurteilung erfolgte durch einen Vergleich der Berechnung nach aktueller österreichischer Normung mit Monte Carlo Berechnungen. Aufgrund der Ergebnisse aus der qualitativen Betrachtung wonach der Schlagregeneintrag auf eine innengedämmte Fassade maßgeblichen Einfluss auf die Dauerhaftigkeit der Konstruktion hat, wurden sämtliche Berechnungen unter der Annahme einer wasserabweisenden Fassadenoberfläche durchgeführt. Dies kann durch eine Hydrophobierung sichergestellt werden, die allerdings bezogen auf die Dauerhaftigkeit der Fassade negative Auswirkungen haben kann. Wird eine Hydrophobierung für die Berechnung und Nachweisführung der Innendämmung herangezogen, muss die Wasseraufnahmefähigkeit der Fassade regelmäßig kontrolliert werden, um Schadensfälle auch nach längerer Zeit zu vermeiden. Nur so kann sichergestellt werden, dass die Ergebnisse der Simulation auch die Realität nach mehreren Jahren Nutzung darstellen.

Weiters wurde in der Simulation der Einfluss des Innenklimas untersucht. Auf Basis von realen Messdaten aus Einfamilienhäusern wurde der Einfluss der Feuchtebelastung der Luft auf die Versagenswahrscheinlichkeit der innen gedämmten Konstruktion ausgearbeitet. Dabei wird deutlich, dass Innendämmungen in Wohnungen mit Lüftungsanlage und somit einer geringeren durchschnittlichen Feuchtebelastung der Raumluft ein geringeres Schadenspotential aufweisen. Umgekehrt sind Innendämmungen in Wohnungen ohne Lüftungsanlage einem höheren Schadenspotential ausgesetzt. Der Vergleich zeigt außerdem, was bei einem Ausfall der Lüftungsanlage passieren könnte, wenn die Raumluftfeuchte nicht dauerhaft niedrig gehalten werden kann.

Die Auswertung dieser Erkenntnisse erfolgte anhand von fünf Innendämmsystemen mit drei unterschiedlichen Materialien und Dämmstärken. Während die österreichische Norm auf ein dichtes System mit Dampfbremse vertraut, zeigen die Monte Carlo Simulationen ein anderes Versagensszenario. Die Ergebnisse zeigen, dass das Schadensrisiko bei der Verwendung einer Lüftungsanlage geringer ist. Außerdem sind Innendämmungen aus porösem Dämmstoff und geringen Dämmstärken dauerhafter.

## 6.3 Quellenverzeichnis

### Literatur

- BED00 Bednar, Thomas: Beurteilung des feuchte- und wärmetechnischen Verhaltens von Bauteilen und Gebäuden – Weiterentwicklung der Meß- und Rechenverfahren. Dissertation TU Wien, 2000.
- WEG10 Wegerer, Paul: Beurteilung von Innendämmsystemen – Langzeitmessung und hygrothermische Simulation am Beispiel einer Innendämmung aus Schilfdämmplatten. Diplomarbeit am Forschungsbereich für Bauphysik und Schallschutz, Institut für Hochbau und Technologie, TU Wien 2010.
- HAR12 Harreither, Ch., Nusser, B., Bednar, T.: Decision Support Method for Flat Roofs using Probabilistic Tools to calculate Life Cycle Costs and Energy Efficiency, International Building Physics Conference, Kyoto, 2012
- WEG13 Wegerer Paul, Neusser Maximilian, Bednar Thomas: Energy Efficient Refurbishment of 19th Century Townhouses Using Interior Insulation; in Proceedings of Sustainable Building Conference 2013, Graz 2013

### Normen

- DIN EN 15026: 2007-04: Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen – Bewertung der Feuchteübertragung durch numerische Simulation
- DIN 4108-3: 2001-07: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz, Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung
- DIN EN ISO 15927-3: 2009-08: Wärme- und feuchteschutztechnisches Verhalten von Gebäuden – Berechnung und Darstellung von Klimadaten – Teil 3: Berechnung des Schlagregenindex für senkrechte Oberflächen aus stündlichen Wind- und Regendaten
- ÖNORM B 8110-2: 2003-07: Wärmeschutz im Hochbau - Teil 2: Wasserdampfdiffusion und Kondensationsschutz

## **7 Vernetzung und Ergebnistransfer**

Im Rahmen des IEA Annex 55 wurde am 24.2.2012 ein Stakeholder Workshop durchgeführt. Insgesamt 80 Teilnehmerinnen und Teilnehmer haben sich dabei über Renovierungsmethoden, Risiken, Planungsmethoden und den Beitrag des IEA Annex 55 ausgetauscht.

Um die ausführenden Unternehmer über die Vorteile der neuen Denkweise bei der Entscheidungsfindung zu Renovierungsmaßnahmen zu informieren wurden Vorträge bei folgenden Veranstaltungen gehalten:

### **1) Bauphysik-Treffen 2014 / Landesinnung Bau / Oktober 2014**

Innendämmung - hygrothermische Simulation bei hocheffizienten Sanierungen

DI Paul Wegerer, TU-Wien

### **2) 11. IFB Symposium Flachdachbau und Bauwerksabdichtung / Wien / Februar 2015**

Wie nahe bin ich mit einer Konstruktion am Abgrund?  
Bauphysikalische Planungsentscheidungen mit Risikobewusstsein

Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. Thomas Bednar  
Forschungsbereich f. Bauphysik & Schallschutz  
Institut für Hochbau u. Technologie  
Technische Universität

### **3) 6. Int. Holz[Bau]Physik Kongress – Bauphysikforum 2015 / Bad Ischl / April 2015**

PLANEN UND BAUEN FÜR DIE „ÜBLICHE NUTZUNG“  
Nationale und internationale Erkenntnisse zum Innenklima

Univ.-Prof. Thomas Bednar (TU Wien)

## 8 Schlussfolgerungen, Ausblick und Empfehlungen

Durch den IEA Annex 55 ist nun ein internationaler Überblick über den Kenntnisstand zur Beurteilung von Renovierungsmaßnahmen entstanden und die zukünftigen Methoden zur Risikobewertung und –management beschrieben.

### **Ausblick Richtung Weiterbildung**

Eine Verbreitung des Wissens und die Anwendung in planenden und ausführenden Unternehmen ist natürlich eine Frage des Weiter- und Ausbildungsangebotes.

Im Rahmen einer Modulreihe des Fortbildungszentrums der Fakultät für Bauingenieurwesen – bi.f konnten erste sehr positive Erfahrungen mit Mitarbeitern und Mitarbeiterinnen österreichischer Baustoffhersteller, Planungs- und Bauunternehmen gemacht werden. Zahlreiche AHA-Erlebnisse konnte durch die systematische Herangehensweise zur Beurteilung des Versagensrisikos und dessen Berücksichtigung in der Lebenszyklusberechnung von Renovierung erzielt werden.

Siehe: [http://bif.bauwesen.tuwien.ac.at/fileadmin/mediapool-bif/Dokumente/TU\\_Folder\\_Gebaeudehuelle\\_Druckversion\\_2014\\_3.pdf](http://bif.bauwesen.tuwien.ac.at/fileadmin/mediapool-bif/Dokumente/TU_Folder_Gebaeudehuelle_Druckversion_2014_3.pdf)

### **Ausblick Richtung Adaption der allgemein anerkannten Regeln der Technik**

Die Erkenntnisse aus der internationalen Kooperation fließen derzeit in die Überarbeitung der ÖNORM B 8110-2 ein. Die ÖNORM B 8110-2 stellt die ÖNORM dar, in der die Methodik zur Beurteilung der Dauerhaftigkeit von Konstruktionen beschrieben ist.

Bevor aber die probabilistischen Methoden und Riskomanagement „Stand der Technik“ wird, ist eine intensive Weiterbildung der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der Unternehmen im Bauwesen notwendig.

### **Ausblick Richtung „Praxistaugliche Werkzeuge“ für Riskomanagement**

Derzeit gibt es noch kein „praxistaugliches“ Werkzeug zur Durchführung des Riskomanagements in der Planungs- bzw. Angebotserstellungspraxis. Dies Lücke ist zu schliessen.

## 9 Verzeichnisse

### 9.1 Publikation zum nationalen Begleitprojekt

Bednar et al. (2015a): Thomas Bednar, Christoph Harreither, Naomi Morishita: Planen und Bauen für die „übliche Nutzung“. Nationale und internationale Erkenntnisse zum Innenklima. 6. Internationalen Holz[Bau]Physik-Kongress. Bad Ischl, 16.-17.4.2015

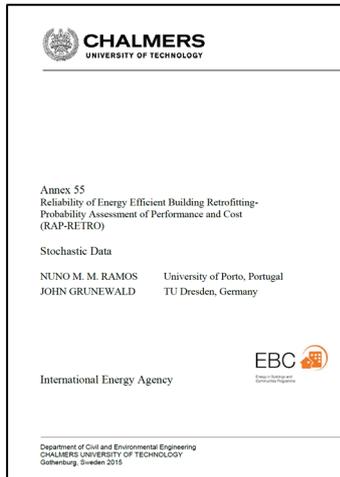
Bednar et al. (2015): Thomas Bednar, Christoph Harreither, Paul Wegerer: Wie nahe bin ich mit meiner Konstruktion am Abgrund? Bauphysikalische Planungsentscheidungen mit Risikobewusstsein. Skriptum zum 11. IFB-Symposium „Flachdachbau & Bauwerksabdichtung“. 26.2.2015. TU Wien.

Harreither et al. (2012a): Christoph Harreither, Bernd Nusser, Thomas Bednar: Decision support method for flat roofs with focus on life-cycle costs using a probabilistic method. In: Strauss, Frangopol & Bergmeister (Eds): Life-Cycle and Sustainability of Civil Infrastructure Systems. Taylor & Francis Group, London: 2013

Harreither et al. (2012): Christoph Harreither, Bernd Nusser, Thomas Bednar: Decision Support Method for Flat Roofs using Probabilistic Tools to calculate Life Cycle Costs and Energy Efficiency. In: Proceedings of the 5<sup>th</sup> International Building Physics Conference (IBPC 2012). Kyoto, Japan: 28.-31.5.2012

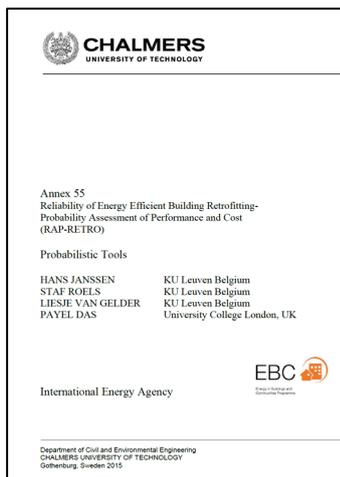
## 9.2 Endberichte des IEA Annex 55

Subtask 1 (ST1): Gathering of stochastic data  
Report: Nuno M.M. Ramos, John Grunewald, Stochastic Input and Validation Data, Report Number 2015:3. Department of Civil and Environmental Engineering, Chalmers University of Technology, Sweden. ISSN 1652-9162.



<http://www.iea-ebc.org/projects/completed-projects/ebc-annex-55/>

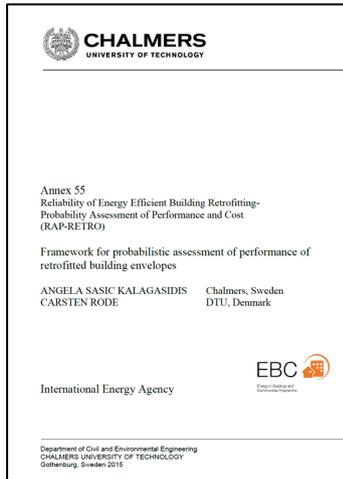
Subtask 2 (ST2): Probabilistic tools  
Report: Hans Janssen, Staf Roels, Liesje van Gelder, Payel Das, Probabilistic tools, Report Number 2015:4. Department of Civil and Environmental Engineering, Chalmers University of Technology, Sweden. ISSN 1652-9162.



<http://www.iea-ebc.org/projects/completed-projects/ebc-annex-55/>

### Subtask 3 (ST3): Framework and case studies

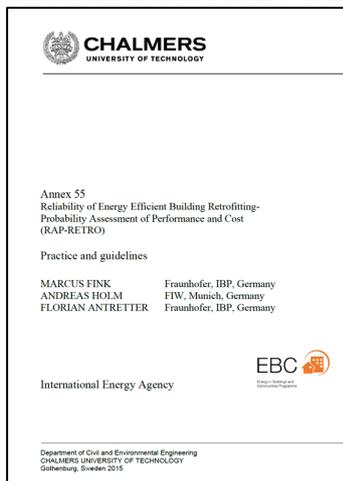
Report: Angela Sasic Kalagasidis, Carsten Rode, Framework for probabilistic assessment of performance of retrofitted building envelopes, Report Number 2015:5. Department of Civil and Environmental Engineering, Chalmers University of Technology, Sweden. ISSN 1652-9162.



<http://www.iea-ebc.org/projects/completed-projects/ebc-annex-55/>

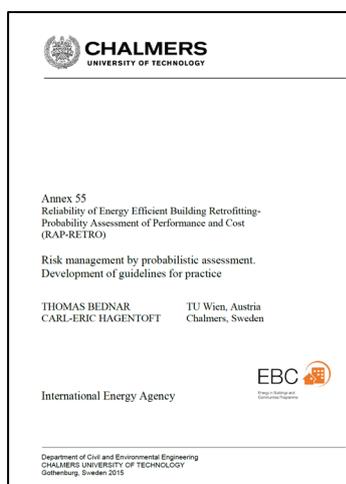
### Subtask 4 (ST4): Practice and Guidelines

Marcus Fink, Andreas Holm, Florian Antretter, Practice and guidelines, Report Number 2015:6. Department of Civil and Environmental Engineering, Chalmers University of Technology, Sweden. ISSN 1652-9162.



<http://www.iea-ebc.org/projects/completed-projects/ebc-annex-55/>

Thomas Bednar, Carl-Eric Hagentoft, Risk management by probabilistic assessment-  
Development of guidelines for practice, Report Number 2015:7. Department of Civil and  
Environmental Engineering, Chalmers University of Technology, Sweden. ISSN 1652-9162.



<http://www.iea-ebc.org/projects/completed-projects/ebc-annex-55/>

### 9.3 Abbildungsverzeichnis

ABB. 1: UNSICHERHEITEN UND ZUFÄLLIGE ABWEICHUNGEN RESULTIEREN IN EINER UNSICHERHEIT DES ERGEBNISSES	7
ABB. 2: KRITERIEN FÜR DEN PLANUNGSPROZESS EINER INNENDÄMMUNG	14
ABB. 3: EINFLUSSFAKTOREN FÜR DIE PLANUNG EINER INNENDÄMMUNG	16
ABB. 4: KONSTRUKTIVSARIANTEN FÜR DAS FALLBEISPIEL INNENDÄMMUNG	23
ABB. 5: HÄUFIGKEITSVERTEILUNG DER RELATIVEN LUFTFEUCHTIGKEIT MIT/OHNE LÜFTUNGSANLAGE	25

### 9.4 Tabellenverzeichnis

TAB. 1: ZUSAMMENSTELLUNG DER BETEILIGTEN PARTNERLÄNDER.....	8
TAB. 2: FRAGENKATALOG AUF BASIS DER EINFLUSSGRÖßEN VON AUßEN – TEIL 1.....	17
TAB. 3: FRAGENKATALOG AUF BASIS DER EINFLUSSGRÖßEN VON INNEN – TEIL 2 .....	19
TAB. 4: FRAGENKATALOG AUF BASIS DER EINFLUSSGRÖßEN DURCH DAS NUTZERVERHALTEN – TEIL 5 .....	19
TAB. 5: FRAGENKATALOG AUF BASIS DER EINFLUSSGRÖßEN DER KONSTRUKTION – TEIL 3 .....	20
TAB. 6: FRAGENKATALOG AUF BASIS DER EINFLUSSGRÖßEN DURCH BAUTEILANSCHLÜSSE – TEIL 4 .....	21
TAB. 7: PERFORMANCEBEWERTUNG UND ENERGIEEFFIZIENZ NACH VEREINFACHTEN VERFAHREN .....	23
TAB. 8: PERFORMANCEBEWERTUNG UND ENERGIEEFFIZIENZ MITHILFE VON DETERMINISTISCHEN SIMULATIONSVERFAHREN.....	24
TAB. 9: PERFORMANCEBEWERTUNG UND ENERGIEEFFIZIENZ MITHILFE EINER PROBABILISTISCHEN RISKOWERTUNG .....	26

## 9.5 Abkürzungsverzeichnis

IEA Internationale Energieagentur

WTA Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V.

RAP-RETRO Reliability of Energy Efficient Building Retrofitting

## 10 Impressionen von begleitenden Events

# IEA Expertentreffen 23.-25.2.2012 in Wien und Österreichischer Stakeholder Workshop 24. April 2012



**Einladung zum Workshop**

*Zuverlässigkeit von energieeffizienten Sanierungen  
Probabilistische Bewertung der Performance und Kosten*

*Der Workshop findet im Rahmen des Arbeitstreffens der  
Forschungsgruppen des IEA Annex 55 statt.*

*Die Teilnahme ist kostenlos. Aufgrund des begrenzten Platzangebotes wird um eine formlose Anmeldung per email an [marianne.rebel@tuwien.ac.at](mailto:marianne.rebel@tuwien.ac.at) gebeten*

**Veranstaltungsort und -zeit:**  
Dienstag 24. April 2012, 14:00  
Technische Universität Wien, Karlsplatz 13, 1040 Wien  
Bocksaal (Hauptgebäude, 1. Stock)




**Tuesday April 24th 2012**

14:00 – Open Session IEA Annex 55 - Welcome

14:20 – Introduction to IEA Annex 55 Prof. Carl-Eric Hagendoft – Operating Agent

14:30 – Prof. Marija Todorović: Renewable Energy Sources Integrated Deep Energy Renovation of Existing Buildings – A Holistic Approach to Reach Sustainable Buildings and “Zero Energy Cities”

14:50 – Dipl.-Ing. Michaela TROJAN: wohnfonds\_wien – Vienna’s past and future in building renovation – Experiences from 10 years of THEWOGAN funding

15:10 – Prof. Branislav Todorović: Improvements of Existing Buildings Energy Performances at the Level of entire Town: Planning of Interventions, Predicting the Benefits-Example of Belgrade

15:30 – Dipl.-Ing. Florian Antretter: Impact of leakages on the hygrothermal performance of walls with ETICS in different climate zones

15:50 – Dr. Martin Teibinger: Reliability driven design process – Focus Wooden Flat Roofs

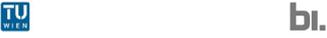
16:10 – Prof. Thomas Bednar: Reliability driven design process – Focus inside insulation

16:30 – Prof. Angela Sassi-Kalagasidis: Reliability driven design process – Swedish Experiences with cool roofs

16:50 – Prof. Jesper Arfvidsson: Education in Moisture Management for Building Industry - FURTCENTRUM – History - Future – Lessons learned

17:10 – Heinz Hackl: Construction connection joint of roof windows - from “leak point” to a high class construction part

17:30 – ENDE



**Prof. Carl-Eric Hagendoft:** Professor for Building Physics at Department for Building Technology, Chalmers University of Technology, Gothenburg Sweden

**Prof. Marija Todorović:** Professor for Mechanical Engineering at University of Belgrade, permanent Guest Professor Southeast University, School of Energy and Environment, University in Nanjing, Research Professor Kyung Hee University Seoul

**Dipl.-Ing. Michaela TROJAN:** Managing Director of wohnfonds\_wien - fund for housing construction and urban renewal

**Prof. Branislav Todorović:** Professor for Mechanical Engineering at University Belgrade, permanent visiting professor at South East University in Nanjing, China, former visiting dozent at TU Wien

**Dipl.-Ing. Florian Antretter:** Fraunhofer-Institute for Building Physics, Group leader for Climate Design

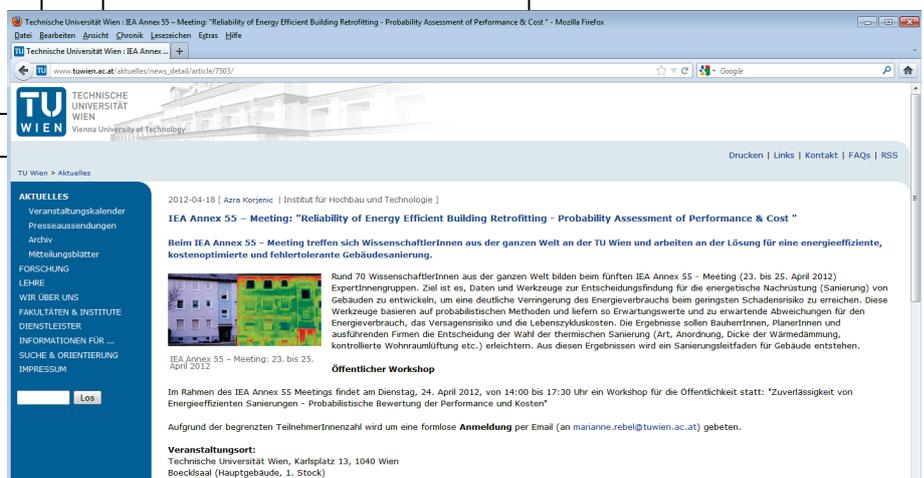
**Dr. Martin Teibinger:** Holzforschung Austria – Group leader Building Physics

**Prof. Thomas Bednar:** Assoc. Professor for Building Physics at Institute for Building Construction and Technology, Vienna University of Technology, Austria

**Prof. Angela Sassi-Kalagasidis:** Ass. Professor at Department for Building Technology, Chalmers University of Technology, Gothenburg Sweden

**Prof. Jesper Arfvidsson:** Professor for Building Physics at Department of Building Physics, Lund University, Sweden

**Heinz Hackl:** VELUX Österreich GmbH

Technische Universität Wien : IEA Annex 55 – Meeting: “Reliability of Energy Efficient Building Retrofitting – Probability Assessment of Performance & Cost” - Mozilla Firefox

www.tuwien.ac.at/aktuelles/news\_detail/article/7307

**2012-04-18 [ Azra Korjenc | Institut für Hochbau und Technologie ]**

**IEA Annex 55 – Meeting: “Reliability of Energy Efficient Building Retrofitting – Probability Assessment of Performance & Cost”**

Beim IEA Annex 55 – Meeting treffen sich WissenschaftlerInnen aus der ganzen Welt an der TU Wien und arbeiten an der Lösung für eine energieeffiziente, kostenoptimierte und fehlertolerante Gebäudesanierung.

Rund 70 WissenschaftlerInnen aus der ganzen Welt bilden beim fünften IEA Annex 55 – Meeting (23. bis 25. April 2012) Expertengruppen. Ziel ist es, Daten und Werkzeuge zur Entscheidungsfindung für die energetische Nachrüstung (Sanierung) von Gebäuden zu entwickeln, um eine deutliche Verringerung des Energieverbrauchs beim geringsten Schadensrisiko zu erreichen. Diese Werkzeuge basieren auf probabilistischen Methoden und liefern so Erwartungswerte und zu erwartende Abweichungen für den Energieverbrauch, das Versagensrisiko und die Lebenszykluskosten. Die Ergebnisse sollen BauherrInnen, PlanerInnen und ausführenden Firmen die Entscheidung der Wahl der thermischen Sanierung (Art, Anordnung, Dicke der Wärmedämmung, kontrollierte Wohnraumlüftung etc.) erleichtern. Aus diesen Ergebnissen wird ein Sanierungsleitfaden für Gebäude entstehen.

**Öffentlicher Workshop**

Im Rahmen des IEA Annex 55 Meetings findet am Dienstag, 24. April 2012, von 14:00 bis 17:30 Uhr ein Workshop für die Öffentlichkeit statt: “Zuverlässigkeit von Energieeffizienten Sanierungen – Probabilistische Bewertung der Performance und Kosten”

Aufgrund der begrenzten TeilnehmerInnenzahl wird um eine formlose **Anmeldung** per Email ([an marianne.rebel@tuwien.ac.at](mailto:marianne.rebel@tuwien.ac.at)) gebeten.

**Veranstaltungsort:**  
Technische Universität Wien, Karlsplatz 13, 1040 Wien  
Bocksaal (Hauptgebäude, 1. Stock)



Eröffnung der Veranstaltung durch Dekan Univ. Prof. Josef Eberhardsteiner



Diskussion der Expert\_innen über den Fortschritt der Arbeiten

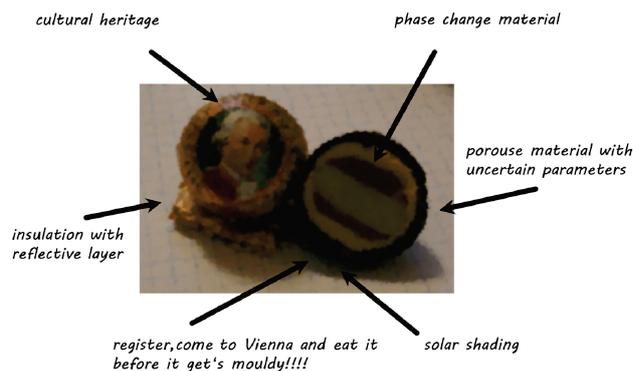
# PhD SummerSchool für Dissertant\_innen in Verbindung mit IEA Annex 55 und IEA Annex 53

Juli 2012 in Wien

## International Association of Building Physics SUMMER SCHOOL

Probability Assessment of  
Building- and Construction Performance  
for Nearly Zero Energy Buildings and the Building Stock

2.7.-13. July 2012  
Vienna University of Technology – AUSTRIA



### Lecturer:

Prof. Carsten Rode  
DTU Civil Engineering - Department of Civil Engineering  
President of the IABP

Prof. Bert Blocken, Prof. Jos van Schijndel  
Technische Universiteit Eindhoven (TU/e) – Building Physics and Systems

Prof. John Grunewald  
TU Dresden - Institut für Bauklimatik

Prof. Carl-Eric Hagendoft, Ass.Prof. Angela Sassic-Kalagasidis  
Chalmers - Byggnadsteknologi

Prof. Stefano Corgnati  
Politecnico di Torino - Department of energy

TO BE NOMINATED  
Fraunhofer Institut für Bauphysik, Universität Stuttgart – Bauphysik

Prof. Thomas Bednar, Ass.Prof. Azra Korjenic  
Vienna University of Technology – Institute for Building Constructions and Technology



Gruppenfoto der Dissertant\_innen der PhD SummerSchool



Besichtigung des Demonstrationsobjektes AspernIQ