

# e80<sup>3</sup> Subprojekt 3: Technologie- und Komponentenentwicklung

Leitprojekt: e80<sup>3</sup>-Gebäude - K. Höfler, et al.  
Sanierungskonzepte zum  
Plus-Energiehaus mit  
vorgefertigten aktiven Dach-  
und Fassadenelementen,  
integrierter Haustechnik und  
Netzintegration

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

## 45/2013

**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>

# e80<sup>3</sup> Subprojekt 3: Technologie- und Komponentenentwicklung

Leitprojekt: e80<sup>3</sup>-Gebäude - Sanierungskonzepte zum Plus-Energiehaus mit vorgefertigten aktiven Dach- und Fassadenelementen, integrierter Haustechnik und Netzintegration

DI Dr. Karl Höfler, DI Sonja Geier, DI Armin Knotzer, DI David Venus  
AEE – Institut für Nachhaltige Technologien

DI Helmuth Kreiner, DI Alexander Passer  
TU Graz

Arch. DI Werner Nussmüller, DI Tobias Weiss  
Architekten Nussmüller ZT GmbH

DI Volker Taschil  
GAP-Solution

Johann Saurer, DI Christian Liebming  
Kulmer Holz-Leimbau GesmbH

Christian Künz, Anton Brunnader  
Geberit Huter GmbH

Klaus Lutschounig  
GREENoneTEC

Wien, Oktober 2012

Ein Projektbericht im Rahmen des Programms





## Vorwort

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Forschungs- und Technologieprogramm *Haus der Zukunft* des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie.

Die Intention des Programms ist, die technologischen Voraussetzungen für zukünftige Gebäude zu schaffen. Zukünftige Gebäude sollen höchste Energieeffizienz aufweisen und kostengünstig zu einem Mehr an Lebensqualität beitragen. Manche werden es schaffen, in Summe mehr Energie zu erzeugen als sie verbrauchen („Haus der Zukunft Plus“). Innovationen im Bereich der zukunftsorientierten Bauweise werden eingeleitet und ihre Markteinführung und -verbreitung forciert. Die Ergebnisse werden in Form von Pilot- oder Demonstrationsprojekten umgesetzt, um die Sichtbarkeit von neuen Technologien und Konzepten zu gewährleisten.

Das Programm *Haus der Zukunft Plus* verfolgt nicht nur den Anspruch, besonders innovative und richtungsweisende Projekte zu initiieren und zu finanzieren, sondern auch die Ergebnisse offensiv zu verbreiten. Daher werden sie in der Schriftenreihe publiziert und elektronisch über das Internet unter der Webadresse [www.HAUSderZukunft.at](http://www.HAUSderZukunft.at) Interessierten öffentlich zugänglich gemacht.

DI Michael Paula  
Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien  
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

---



## INHALTSVERZEICHNIS

1.	Aktualisierte Kurzfassung .....	5
1.1	Ausgangssituation/Motivation: .....	5
1.2	Inhalte und Zielsetzungen: .....	5
1.3	Methodische Vorgangsweise: .....	5
1.4	Ergebnisse: .....	6
2.	Abstract: .....	8
2.1	Starting point / motivation.....	8
2.2	Objectives and contents.....	8
2.3	Methods of treatment .....	8
2.4	Results .....	9
3.	Einleitung.....	10
3.1	Allgemeine Einführung in die Thematik.....	10
3.2	Ausgangssituation / Motivation des Projektes.....	10
3.3	Zielsetzung des Projekts .....	11
4.	Hintergrundinformationen zum Projektinhalt .....	14
4.1	Beschreibung des Stand der Technik .....	14
4.2	Beschreibung der Vorarbeiten zum Thema .....	14
4.3	Innovationsgehalt des Projektes .....	15
4.4	Verwendete Methoden .....	15
4.5	Beschreibung der Vorgangsweise .....	18
5.	Ergebnisse des Projektes.....	20
5.1	Beschreibung der Projektergebnisse .....	20
5.1.1	AP „Basis-Modulentwicklung“ .....	20
5.1.2	AP „Prototyperstellung Fassadengrundmodul“.....	60
5.1.3	AP „Prototyperstellung Haustechnikgrundmodul“.....	75
5.1.4	AP „Wirtschaftliche und ökologische Betrachtungen“.....	78
5.1.5	AP „Koordination und Veröffentlichung“ .....	100
6.	Detailangaben in Bezug auf die Programmlinien .....	101
6.1	Einpassung in das Programm .....	101
6.2	Beitrag zum Gesamtziel des Programms.....	101
6.3	Einbeziehung der Zielgruppen .....	101
6.4	Beschreibung der Umsetzungs-Potentiale für die Projektergebnisse .....	101
7.	Schlussfolgerungen zu den Projektergebnissen .....	103
7.1	Erkenntnisse für das Projektteam .....	103
7.2	Weitere Vorgangsweise .....	103
7.3	Weitere Zielgruppen.....	103
8.	Ausblick und Empfehlungen.....	104
9.	Literatur-/Abbildungs-/Tabellenverzeichnis .....	105

9.1	Literaturverzeichnis .....	105
9.2	Abbildungsverzeichnis .....	107
9.3	Tabellenverzeichnis .....	109

## 1. Aktualisierte Kurzfassung

### 1.1 Ausgangssituation/Motivation:

Aufbauend auf bereits realisierte innovative Haus der Zukunft-Projekte (wie Linz, Makartstraße und Graz, Dieselweg) sollten diese Leit- bzw. Leuchtturmprojekte weiterentwickelt, optimiert, perfektioniert werden und somit von der Einzelfertigung zur Serienfertigung gelangen. Durch die Weiterentwicklung von vorgefertigten großflächigen Fassaden- und außenliegenden, neuartigen Haustechnikmodulen für bis zu 4-geschossige Gebäude wird es zukünftig möglich sein, sämtliche Gebäude dieser Epochen hochwertig und gleichzeitig wirtschaftlich zu sanieren.

Die Fassadenmodule beinhalten einerseits traditionelle hinterlüftete Konstruktionen, sowie Solarwaben und andererseits energieerzeugende Aktivelemente („Plus“ Energieerzeuger) wie thermische Solarkollektoren und PV-Module. Deren Anzahl und Anordnung kann dabei jeweils auf die gegebene Situation (Null-Energie oder Plus-Energie) abgestimmt und optimiert werden. Neuartige Haustechnikmodule wurden in unterschiedlichen Ausführungsstandards von einem erfahrenen Haustechnikhersteller mitentwickelt und von außen ohne Gerüst montiert. Somit ist eine geordnete Leitungsführung möglich, welche jederzeit gewartet und ergänzt werden kann.

### 1.2 Inhalte und Zielsetzungen:

Die **Inhalte und Ziele** des Subprojektes 3 „Technologie- und Komponentenentwicklung“ für den betrachteten Berichtszeitraum waren:

- Erarbeitung und Festlegung von Basisgrundmodulen für die Fassade und die Haustechnik
- Bauphysikalische und ökologische Beurteilung der Basis-Module
- Erstellung von relevanten Werkzeichnungen
- Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der Basis-Module
- Prototypherstellung für Fassade und Haustechnik
- Prüfung der Schlagregendichtheit des Prototyps

### 1.3 Methodische Vorgangsweise:

In den einzelnen Arbeitspaketen wurden unterschiedliche methodische Vorgangsweisen angewendet:

Das Subprojekt 3 wurde in fünf Arbeitspakete gegliedert:

#### **Basis-Modulentwicklung**

- Workshops
- Interviews
- Gespräche mit Fachfirmen
- Erstellung von Werkzeichnungen

Die in diesem Arbeitspaket konzipierten Basis-Module wurden in den nachfolgenden Arbeitspaketen als Prototypen gefertigt und getestet.

### **Prototyperstellung Fassadengrundmodul**

- Prototyperstellung
- Qualitätssicherung

Der Fokus im AP „Prototyperstellung Fassadengrundmodul“ lag auf der Fertigung eines Prototyps für vorgefertigte Fassadenelemente und der Durchführung von bauphysikalischen Prüfungen. Außerdem wurden Entwicklung, Transport und Montage der vorgefertigten Fassadenelemente umfangreich dokumentiert und aufbereitet.

### **Prototyperstellung Haustechnikgrundmodul**

- Prototyperstellung
- Qualitätssicherung

Ähnlich wie im vorherigen AP lag auch im AP „Prototyperstellung Haustechnikgrundmodul“ der Fokus auf der Fertigung eines Prototyps eines vorgefertigten Haustechnikgrundmoduls und der Durchführung der notwendigen bauphysikalischen Prüfungen. Ebenso wurden Entwicklung, Transport und Montage dessen umfangreich dokumentiert und aufbereitet.

### **Ökologische Betrachtung**

- Ökobilanzierung nach ÖNORM EN 14040 bzw. ÖNORM EN 14044

Das Ziel dieses Arbeitspaketes war die vergleichende Gegenüberstellung der ökologischen und ökonomischen Qualität der betrachteten Module in Abhängigkeit von zuvor getroffenen Annahmen.

### **Koordination und Veröffentlichung**

- Interne Kommunikation und Koordination zwischen den ProjektpartnerInnen
- Erstellen des Zwischenberichtes
- Erstellen des Endberichtes
- Verbreitung der erzielten Ergebnisse

Das Ziel des AP „Koordination und Veröffentlichung“ war die Koordination sämtlicher interner Aktivitäten im SP3 sowie die schlussendliche Verbreitung der erzielten Ergebnisse an nationales wie internationales Fachpublikum.

## **1.4 Ergebnisse:**

Durch die Bearbeitung und die gewonnenen Erkenntnisse des Subprojektes SP3 durch das Projektteam wurden neue innovative und wirtschaftliche vorgefertigte Fassaden-, und Haustechnikmodule entwickelt, welche wesentliche Vorteile zu bestehenden traditionellen Sanierungslösungen bieten.

Die entwickelten passiven und aktiven Fassaden- und Haustechnikmodule stellen eine wirtschaftliche Lösung und große Einsatzmöglichkeit für die Sanierung der 60er und 70er Gebäude dar. Somit ist eine witterungsunabhängige und zügige hochwertige thermische Sanierung mit unterschiedlichen Oberflächengestaltungen gegeben.

Die Umsetzung einer hoch wertigen thermischen Sanierung und Erneuerung der Haustechnik mit geringen Belästigungen der BewohnerInnen ist so möglich.

Durch den Einsatz von größtenteils ökologischen Materialien, speziell die Tragstruktur aus Holz ist eine Nachhaltigkeit der Sanierungsmethode gegeben.

Durch die Möglichkeit des Einsatzes von außenliegenden Leitungsführungen und -verteilungen ist die Zugänglichkeit der Leitungen für Wartung und Modernisierung jederzeit möglich.

Ziel des Subprojektes war es, neue innovative und wirtschaftliche vorgefertigte Fassaden- und Haustechnikmodule zu entwickeln, welche wesentliche Vorteile zu bestehenden Sanierungslösungen bieten. Die Möglichkeit einerseits die Oberflächengestaltung der neuen Fassade trotz Vorfertigung zu wählen und andererseits die Haustechnik von außen zugänglich zu machen stellt somit einen wesentlichen Schritt in der Zukunft dar.

Durch die optimierte Modulentwicklung ist eine wirtschaftliche Umsetzung von Demonstrationsprojekten in der Sanierung zukünftig möglich.

## **2. Abstract:**

### **2.1 Starting point / motivation**

Based on already realized innovative building of tomorrow projects (Linz, Makartstraße and Graz, Dieselweg) these key- and lighthouse-projects should be further developed, optimized, perfected and go into production. By the advancement of building technology for pre-fabricated façade modules and external innovative modules for up to four-storey buildings, it will be possible in the future to retrofit a great number of buildings to a high standard and also economically.

The façade modules on the one hand contain traditional rear-ventilations and on the other hand energy producing active elements ("plus" energy producer) like solar thermal collectors and photovoltaic power modules. In this way the quantity and the position can be adjusted and optimized according to the given situation (Zero-Energy or Plus-Energy). Innovative modules will be developed to different standards with the help of a skilled producer of building technologies and externally mounted without any framework.

### **2.2 Objectives and contents**

**The objectives and aims** of the sub-project 3 „development of the technology and the components" in the relevant report period are:

- Development and definition of the basic modules for the façade and the building technology.
- Assessment of the building physics and the ecology of the modules
- Preparation of relevant work drawings
- Calculation of profitability of the modules
- Production of the prototypes for the façade and the building services
- Validation of the watertightness of the prototypes

### **2.3 Methods of treatment**

Sub-project 3 was divided into five work packages. In each work package different methodical approaches were used:

#### **Development of the basic module**

The work in WP 2 included workshops, interviews, discussions with specialist companies and the preparation of work drawings. The basic modules which are developed in WP 2 will be produced und tested as prototypes in WP 3 and 4.

#### **Production of the basic module prototype for the façade**

The main focus in WP 3 was on the production of a prototype for pre-fabricated façade elements and the assessment of the building physics. Besides the development, the transport and the assembly of the pre-fabricated façade elements were documented in detail.

#### **Production of the basic module prototype for the building services**

Similar to WP "Production of the basic module prototype for the façade", the main focus in this WP was on the production of a prototype for a pre-fabricated basic module for the building services and

again the assessment of the building physics. Also development, transport and assembly of the prototype were documented.

### **Ecological assessment**

The objective of WP 5 was the comparison of the ecological quality of the regarded modules depending on assumptions made in the project before.

### **Co-ordination and dissemination**

The aim of WP 6 was the co-ordination of all activities in the sub-project 3 and the dissemination of the results to national and international experts.

## **2.4 Results**

The main results of the sub-project 3 were the new developed pre-fabricated modules for the façade and the building services which are innovative, economical as well as they have advantages over the existing and traditional retrofit solutions.

The passive and active facade and home automation modules are an economic and environmental solution and represent an opportunity for the renovation of buildings from the 60's and 70's. The implementation of high-quality thermal renovation and the replacement of the building technology are now possible with a minimum burden on residents.

The use of ecological materials (e.g. the wooden bearing structure) guarantees a sustainable renovation solution.

These new façade modules also provide the opportunity to have a variety of different surfaces (despite pre-fabrication) and to have the building services accessible from the outside. This is an essential step for the future.

By the optimised development of the modules an economical implementation of demonstrations projects will be possible in the future.

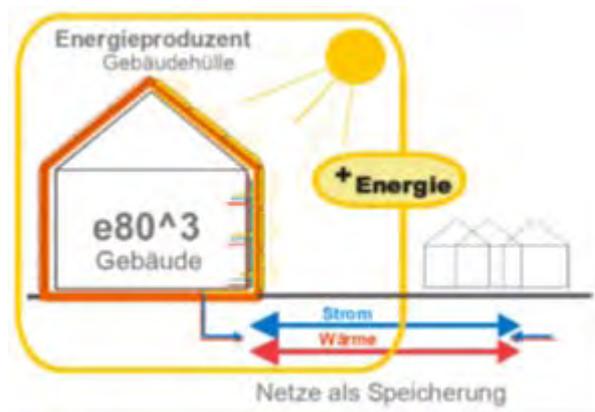
### 3. Einleitung

#### 3.1 Allgemeine Einführung in die Thematik

Ziel des übergeordneten Leitprojektes ist die Entwicklung hochwertiger Sanierungskonzepte für Plus-Energiehäuser und die Umsetzung in einem Demoprojekt. Durch die hochwertige thermische Sanierung der Außenhülle mit Passivhauskomponenten und einer gleichzeitigen Integration von energieerzeugenden Aktivelementen (Thermische Kollektoren, PV) und einer Netzintegration für Strom und Wärme als Speicherfunktion ist ein Plus-Energiegebäude in der Sanierung möglich.

Dies bedeutet die Auswahl von Demonstrations- und Umsetzungsprojekten mit optimalem Sanierungspotenzial.

Dazu ist es erforderlich, einen wirtschaftlich optimierten Prototypen für Fassaden- und Haustechnikmodule zu entwickeln.



Somit kann eine Alternative für das Wärmedämmverbundsystem geschaffen werden.

#### 3.2 Ausgangssituation / Motivation des Projektes

Derzeit werden Wohn- und Nichtwohngebäude meist konventionell mit Wärmedämmverbundsystemen standardmäßig thermisch saniert. Selten kommen vorgehängte Fassadensysteme aus Kostengründen zur Anwendung.

Vorgefertigte Fassadensysteme mit integrierter Haustechnik wurden bis dato nur an wenigen Demoprojekten angewendet. Diese Projekte wurden jedoch noch nicht ausreichend evaluiert. Eine Zugänglichkeit der von außen montierten und integrierten Haustechnik ist kaum bzw. nur mit großem Aufwand möglich.

Die durchgeführte Entwicklungsarbeit und Erstellung von Prototypen soll eine wirtschaftliche Lösung für vorgefertigte Fassaden- und Haustechnikmodule aufzeigen.

Somit können Gesamtsystemlösungen für sämtliche Gebäude der 60er und 70er Jahre angeboten werden. Aufgrund wirtschaftlicher und ökologischer Basismodule können unterschiedliche passive und aktive Elemente eingepasst werden. Somit wird jedem Wunsch des Bauherrn und/oder Eigentümers bezüglich Fassadenoberfläche (Holz, Eternit, Glas, Putz etc.) Rechnung getragen.

Die Haustechnikmodule sind von außen zugänglich, können jederzeit erweitert und gewartet werden. Ein Entfernen der Fassade bei dahinterliegenden Schäden an Verrohrungen und Leitungen jeglicher Art ist nicht mehr erforderlich. Eine Modernisierung der dahinterliegenden Wohnung kann zu jedem Zeitpunkt erfolgen, da eine Installation von außen ohne Belästigung der Bewohner erfolgen kann.

Die Trennung von Fassaden- und Haustechnikmodulen kann als Neuheitsgrad und Technologiesprung bezeichnet werden. Somit sind die Haustechnikanlagen jederzeit von außen zugänglich, können gewartet und ausgetauscht werden. Durch die Schaffung von fixen Basismodulen, deren Anschlüssen und Verbindungen ist eine kostengünstige wirtschaftliche Lösung möglich.

Zusammen mit IndustriepartnerInnen wurden innovative, vorgefertigte Fassadengrundmodule, sowie aktive Module (PV und Solar) und Systemlösungen für Haustechnikmodule entwickelt, die einen größtmöglichen Vorfertigungsgrad aufweisen. Die Elemente wurden für die wirtschaftliche Umsetzung im Hinblick auf die bauphysikalische Eignung, der Herstellung, des Transportes, der Montage und Fügetechnik, der Möglichkeiten der Integration von jederzeit zugänglichen Installationsschächten im Außenbereich entwickelt.

Zusätzlich wurden LCA-Analysen für den Grundmodul-Prototyp und ökologische Bewertung der eingesetzten Materialien erstellt. Nach der Herstellung von Prototypen wurden diese analysiert, bei Bedarf verbessert und in Pilotprojekten eingesetzt.

Ergebnis: Prototypen bzw. fertig entwickelte Produkte für serienreife multifunktionale, vorgefertigte Fassaden- und Dachsysteme mit integrierten aktiven Komponenten und Haustechnikmodule.

### **3.3 Zielsetzung des Projekts**

In Subprojekt 3 sollte die Basis für die Umsetzung eines Demonstrationsprojektes geschaffen werden.

Bei der Technologie und Komponentenentwicklung von Prototypen für vorgefertigte Fassadenelemente und Ver- und Entsorgungssysteme wurden besonders die hochbautechnischen und bauphysikalischen Aspekte betrachtet und in die Überlegungen miteinbezogen.

Aufbauend auf bereits realisierte innovative Haus der Zukunft-Projekte (wie Linz, Markatstraße und Graz, Dieselweg) sollten diese Leit- bzw. Leuchtturmprojekte weiterentwickelt, optimiert, perfektioniert und somit von der Einzelfertigung zur Serienfertigung werden.

Durch die Weiterentwicklung von vorgefertigten Fassadengrundmodulen, sowie außen liegenden, neuartigen Haustechnikmodulen für bis zu 4-geschossige Gebäude wird es zukünftig möglich sein, sämtliche Gebäude dieser Epochen hochwertig und gleichzeitig wirtschaftlich zu sanieren.

Die Fassadengrundmodule beinhalten einerseits traditionelle hinterlüftete Konstruktionen und andererseits energieerzeugende Aktivelemente („Plus“ Energieerzeuger) wie Solarkollektoren und PV-Anlagen. Somit kann die Anzahl und Anordnung jeweils auf die gegebene Situation (Null-Energie oder Plus-Energie) abgestimmt und optimiert werden.

Neuartige Haustechnikmodule wurden in unterschiedlichen Ausführungsstandards von einem erfahrenen Haustechnikhersteller mitentwickelt und von außen ohne Gerüst montiert. Somit ist eine geordnete Leitungsführung möglich, welche jederzeit gewartet und ergänzt werden kann.

Ziele des Subprojektes 3 „Technologie- und Komponentenentwicklung“:

- Erarbeitung und Festlegung von Basisgrundmodulen für die Fassade, Dach und Haustechnik
- Bauphysikalische und ökologische Beurteilung der Module
- Erstellung von relevanten Werkzeichnungen
- Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der Module
- Prototypherstellung für Fassade und Haustechnik
- Prüfung der Schlagregendichtheit des Prototyps

#### **Ziel des AP „Basis-Modulentwicklung“:**

Im Arbeitspaket 2 erfolgte die Basismodulentwicklung für innovative, hochdämmende Fassaden- und Haustechnikelemente. Dazu galt es, unter anderem Systemlösungen für Verbindungs- und

Befestigungsvarianten der Module sowie für die Integration passiver und aktiver Komponenten (PV, Solarthermie) in die Gebäudehülle zu finden.

Die Erarbeitung der Basismodule für Fassade und Haustechnik für die wirtschaftliche Umsetzung erfolgte im Hinblick auf:

- die bauphysikalische und hochbautechnische Anforderungen
- der wirtschaftlichen und ökologischen Eignung,
- der Herstellung und des Transportes,
- der Montage- und Fügetechnik,
- Integration der passiven und aktiven Elemente in das Basismodul
- der Möglichkeiten der Integration von außenliegender Installationsschächten

Zusätzlich erfolgten vergleichende Betrachtungen der Module hinsichtlich Praxistauglichkeit und Serienfertigung.

#### **Ziel des AP „Prototypenherstellung Fassadengrundmodul“:**

Aufbauend auf das im AP „Basis-Modulentwicklung“ konzipierte Basis-Modul erfolgte die Fertigung eines Prototyps für ein Fassadengrundmodul im Werk der Fa. Kulmer. Dabei wurden verschiedene passive und aktive Elemente in das Modul eingepasst. Die notwendigen Verbindungselemente und Montagestöße wurden dabei entwickelt bzw. adaptiert und wirtschaftlich optimiert.

Die Überprüfung der bauphysikalischen Eignung und Praxistauglichkeit erfolgte anschließend anhand von erforderlichen Laboruntersuchungen (Schlagregendichtheit etc.) an der TU-Graz.

Gleichzeitig wurde im Zuge der Planung und Montage der Elemente am Demonstrationsgebäude eine bauphysikalische und hochbautechnische Begleitung inkl. Qualitätssicherung durchgeführt.

Die wesentlichen Ziele des Arbeitspaketes 3 konnten folgendermaßen zusammengefasst werden:

- Erstellung von mind. 2 Prototypen für vorgefertigte Fassadenelemente im Maßstab 1:1 inkl. Anschlüsse auf Basis des in vorherigen AP erarbeiteten Grundmoduls
- Erforderliche bauphysikalische Prüfungen
- Bauphysikalische und hochbautechnische Begleitung während des Einsatzes der Prototypen am Demonstrationsgebäude
- Qualitätssicherung und Dokumentation Vorort

#### **Ziel des AP „Prototypenherstellung Haustechnikgrundmodul“:**

Aufbauend auf das im AP „Basis-Modulentwicklung“ entwickelte Basis-Modul erfolgte die Fertigung eines Prototyps für ein Haustechnikgrundmodul im Werk der Fa. Geberit-Huter. Dabei wurden verschiedene Ausbaustufen geplant und in das Basismodul in Abstimmung mit dem Fassadenmodul eingepasst. Die notwendigen Verbindungselemente und Montagestöße wurden dabei wiederum entwickelt bzw. adaptiert und wirtschaftlich optimiert.

Die Überprüfung der Praxistauglichkeit anhand von erforderlichen Laboruntersuchungen (Schlagregendichtheit etc.) erfolgte an der TU-Graz.

Im Zuge der Planung und Montage der Elemente am Demonstrationsgebäude erfolgte ebenso eine bauphysikalische und hochbautechnische Begleitung inkl. Qualitätssicherung.

Zusammengefasst ergaben sich für das Arbeitspaket folgende Ziele:

- Erstellung von mind. 2 Prototypen für vorgefertigte Haustechnikelemente im Maßstab 1:1 inkl. Anschlüsse auf Basis des in AP „Basis-Modulentwicklung“ konzipierten Grundmoduls
- Erforderliche Prüfungen für die Praxistauglichkeit und Serienfertigung
- Bauphysikalische und hochbautechnische Begleitung während des Einsatzes der Prototypen am Demonstrationsgebäude
- Qualitätssicherung und Dokumentation Vorort

**Ziel des AP „Ökologische Betrachtung“:**

Auf Grundlage der von den ProjektpartnerInnen bereitgestellten Unterlagen wurden ökologische sowie ökonomische Vergleichsrechnungen durchgeführt. Die ökonomische Betrachtung erfolgte als Lebenszykluskostenrechnung (Herstellkosten und Folgekosten) auf Basis der Kapitalwertmethode (dynamische Berechnungsmethode). Die Betrachtung der ökologischen Qualität des Gebäudes sollte mit Hilfe der Methode der Ökobilanzierung nach ÖNORM EN 14040 bzw. ÖNORM EN 14044 erfolgen.

Das schlussendliche Ziel des Arbeitspakets „Ökologische Betrachtung“ war die vergleichende Betrachtung der Modulentwicklung (aus vorangegangenen Arbeitspaketen) hinsichtlich Lebenszykluskosten und der umweltbezogenen Qualität.

**Ziel des AP „Koordination und Veröffentlichung“:**

Sämtliche ProjektpartnerInnen und deren Aktivitäten wurden seitens der AEE INTEC koordiniert. Die Projektergebnisse wurden einerseits an internationalen und nationalen Tagungen und Workshops präsentiert und andererseits in einschlägigen Fachzeitschriften, im Zwischenbericht und im abschließenden Endbericht dokumentiert und veröffentlicht.

## 4. Hintergrundinformationen zum Projektinhalt

### 4.1 Beschreibung des Stand der Technik

Zurzeit werden Wohngebäude meist konventionell mit Wärmedämmverbundsystemen standardmäßig thermisch saniert. Selten kommen vorgehängte Fassadensysteme aus Kostengründen zur Anwendung.

Vorgefertigte Fassadensysteme mit integrierter Haustechnik (Subprojekt SP3) wurden bis dato nur an wenigen Demoprojekten angewendet. Diese Projekte wurden jedoch noch nicht ausreichend evaluiert. Eine Zugänglichkeit der von außen montierten und integrierten Haustechnik ist kaum bzw. nur mit großem Aufwand möglich.

Die Trennung von Fassaden- und Haustechnikmodulen kann als Neuheitsgrad und Technologiesprung bezeichnet werden. Somit sind die Haustechnikanlagen jederzeit von außen zugänglich, können gewartet und ausgetauscht werden. Durch die Schaffung von fixen Basismodulen, deren Anschlüssen und Verbindungen ist eine kostengünstige wirtschaftliche Lösung möglich.

### 4.2 Beschreibung der Vorarbeiten zum Thema

Im Rahmen von nationalen und internationalen Vorprojekten wurde dieser Themenbereich ansatzweise behandelt. Die Ergebnisse dieser Projekte fließen in dieses Arbeitspaket SP3 ein.

Vorprojekte und deren Abgrenzung zum Projekt:

- **IEA – ECBCS Annex 50 – Vorfabrizierte Systeme für ganzheitliche Sanierungskonzepte für Geschosswohnbauten**  
Projektlaufzeit: 2007- 2010

Abgrenzung:

- Es fehlen die IndustriepartnerInnen zur Entwicklung neuer Technologiekomponenten (vor allem im Bereich der „aktiven“ solarthermischen Komponenten und der Haustechnikmodule).
- Projektfokus liegt auf der Entwicklung und Optimierung der einzelnen Komponenten für das Gebäude. Die Betrachtung des Gebäudes im Netzverbund und der Ausgleich über Netze
- Keine ökologische Evaluierung der entwickelten Module, keine Lebenszyklusbetrachtung.

- **Passivhausstandard und -komfort in der Altbauanierung Mehrgeschossiger Wohnbau in Graz/Liebenau – Dieselweg**  
Projektlaufzeit: 2007- 2009

Abgrenzung:

- Im Projekt Dieselweg wurde eine Konzeptentwicklung für ein konkretes Projekt vorgenommen.
- Es findet keine Betrachtung des Netzverbundes und der Möglichkeiten des Ausgleiches über Netze statt.
- Keine ökologische Evaluierung der entwickelten Module, keine Lebenszyklusbetrachtung.

- **IEA - SHC Task 40/ ECBCS - Annex 52 NZEB – „Entwicklung von netzintegrierten Null-Energiegebäuden“**

Projektlaufzeit: 2008 – 2013

Abgrenzung:

- Im Projekt NZEB liegt der Schwerpunkt auf der international harmonisierten Definition von Nullenergiegebäuden. Die innovativen Lösungsmöglichkeiten sollen für zwar für den Neubaubereich, als auch für die Sanierung ausgearbeitet werden – allerdings mit dem Schwerpunkt der Betrachtung des Ausgleiches über Netze. Es wird aber nicht im Detail auf die Problematik und Herausforderungen bei Sanierungen eingegangen, bzw. wird auch nicht auf die Vorfertigung oder Sanierung im bewohnten Zustand fokussiert.

- **Coloured Collector Facades for Solar Heating Systems and Building Insulation“**

Projektlaufzeit: 2003-2005

Abgrenzung:

- Das Projekt konzentrierte sich auf die technologische Optimierung von Kollektoren, die auch formale Gestaltungsspielräume bieten.

Ziel dieses Leitprojektes „e80^3“ ist es, wesentliche Verbesserungen aufzuzeigen und diese auf Basis der vorliegenden Projektergebnisse aus Vorprojekten weiterzuführen.

### 4.3 Innovationsgehalt des Projektes

Die großflächige Integration von vorgefertigten Aktivkomponenten in die Fassadenkonstruktion wurde derzeit an keinem Projekt in dieser Gesamtbetrachtung realisiert.

Das Plus-Energiegebäude kann nicht mehr, wie in der gängigen Praxis üblich, getrennt in den Bereichen Hochbau und Gebäudetechnik entwickelt werden. Die Integration neuer (aktiver) Funktionen im Gebäude, vor allem in der Gebäudehülle bedeutet eine neue Formensprache. Konkurrierende Maßnahmen müssen in einem kooperativen Prozess zwischen Gestaltfindung und Energieversorgung abgewogen werden, um in einer optimierten Lösung zusammengefasst werden zu können.

Die Gebäudehülle ist nicht nur hinsichtlich der thermischen Qualität maximiert worden. Aus Sicht der Integration großflächiger Kollektoren oder Photovoltaikmodulen werden nun Anforderungen hinsichtlich Orientierung, Neigung und Positionierung relevant.

Die im Subprojekt 3 durchgeführte Entwicklungsarbeit hat innovative Konzepte für hochwertige Sanierungen zu netzintegrierten Plus-Energiegebäuden hervorgebracht. Die Entwicklung der Fassaden- und Haustechnikmodule ermöglicht eine völlig neuartige Sanierungsmethode, welche vorrangig für die Gebäude der 60er und 70er Jahre angewendet werden kann.

### 4.4 Verwendete Methoden

Das Subprojekt 3 (SP3) „Technologie- und Komponentenentwicklung“ bildet die Basis für die weiteren Schritte und Subprojekte innerhalb des Leitprojektes „e80^3“. Prinzipiell fand im Zuge des gesamten Leitprojektes ein intensiver Know-how-Transfer mit bereits laufenden oder beginnenden HdZ-Projekten statt. Die Abstimmung erfolgte im Rahmen des Leitprojekt-Managements. Die Ergebnisse wurden durch den Projektleiter in das gegenständliche Subprojekt eingebracht.

Die Entwicklung der vorgefertigten Fassaden- und Haustechnikmodule erfolgte in 3 Schritten:

**Schritt 1:** Erarbeiten von relevanten Basismodulen für Fassade, Dach und Haustechnik

Anhand des gewählten Demoprojektes, als typisches Gebäude der 60er und 70er Jahre wurden mögliche unterschiedliche Basismodulvarianten erarbeitet und aufgezeichnet. Daran anknüpfend wurden folgende Bereiche vertiefend betrachtet und für die Erstellung bzw. Vorgabe der Prototypen untersucht:

a. Fassadenmodul:

- Modulgrößen und Lage (vertikal/horizontal)
- Möglichkeiten der Befestigung am Bauwerk
- Möglichkeiten der Verbindungen zwischen den Modulen
- Möglichkeiten des Toleranzausgleiches zwischen Modul und Mauerwerk
- Modulaufbau, Material und Dicke in Bezug auf Ökologie, Wirtschaftlichkeit und Recyclebarkeit
- Möglichkeiten der Oberflächenbeschaffenheit
- Adaptierung von passiven Fassadenelementen (z.B. Gap-Solar-Paneel) und aktiven Fassadenelementen (Kollektoren und PV)
- Bauphysikalische Betrachtungen (Brandschutz, Wärmebrückenberechnungen, Feuchtigkeitsbetrachtungen, Schallschutzberechnungen etc.)

b. Haustechnikmodul:

- Modulgrößen und Lage (vertikal/horizontal)
- Möglichkeiten der Befestigung am Bauwerk
- Möglichkeiten der Verbindung zum Fassaden- und Dachmodul
- Möglichkeiten des Toleranzausgleiches zwischen Modul und Mauerwerk
- Modulaufbau, Material und Dicke in Bezug auf Ökologie, Wirtschaftlichkeit und Recyclebarkeit
- Möglichkeiten der Oberflächenbeschaffenheit
- Bauphysikalische Betrachtungen (Brandschutz, Wärmebrückenberechnungen, Feuchtigkeitsbetrachtungen, Schallschutzberechnungen etc.)

Dabei wurden die unterschiedlichen Varianten miteinander verglichen und die optimale und wirtschaftlichste Lösung weiterverfolgt. Relevante Details wurden im entsprechenden Maßstab gezeichnet, in bauphysikalischer Hinsicht bezüglich Wärme- und Feuchteschutz, Wärmebrückenfreiheit, Schallschutz und wirtschaftlicher Hinsicht untersucht.

Ein besonderes Augenmerk galt dabei den Verbindungstechniken und -materialien der einzelnen Module. Dabei wurden in Absprache mit diversen Fachfirmen Materialien und Verbindungselemente gesucht und eingeplant.

Hauptziel war es, Basismodule für die Fassade und Haustechnik zu schaffen, bei welchen der Transport, die Montage, die Verbindungen untereinander, sowie die einfache Adaptierung von passiven und aktiven Elementen möglich sind. Somit ist zukünftig eine Vielfalt an gestalterischen Möglichkeiten für den BauherrInnen und EigentümerInnen vorhanden. Das Grundmodul ist immer dasselbe, jedoch das äußere Erscheinungsbild ist vielfältig.

## **Schritt 2:** Erstellung von Prototypen für Fassade und Haustechnik in den Werken

Aufgrund der im Schritt 1 festgelegten Basismodule, Befestigungen und Anschlüsse wurden im Werk der Fa. Kulmer Holzleimbau GmbH und Fa. Geberit-Huter GmbH mind. jeweils 2 Prototypen für das Fassadenmodul und das Haustechnikmodul im Maßstab 1:1 gefertigt.

Diese Prototypen wurden zuerst in Detailzeichnungen seitens der Fa. Kulmer bzw. Geberit-Huter (Ausführungsdetails u. Werkzeichnungen) aufgezeichnet, mit den ProjektpartnerInnen diskutiert, berechnet und abgestimmt. Dabei flossen sämtliche Betrachtungsweisen, wie architektonische Aspekte, LCA-Analysen, Ökologie und Ökonomie, Fügetechnik, bauphysikalische Berechnungen, Einbindung der passiven und aktiven Elemente in die Konstruktion ein.

Aufgrund der Analysen und Abstimmungen mit den ProjektpartnerInnen erfolgte erst dann die Fertigung der Prototypen, als eine optimierte und wirtschaftliche Lösung gefunden wurde.

In die gefertigten Fassadenbasisprototypen (Größe ca. 3,0m x 12,0m) wurden einerseits die von den Projektpartnern beigestellten aktiven Elemente (Solarkollektoren, PV-Elemente, Gap-Solution Element) zeitweise und probeweise eingebaut und andererseits die Anschlüsse für die Haustechnikmodule und entsprechende Fassadenbekleidungen (z.B. Holz, Metall, Glas, Putz etc.) diskutiert.

Der Haustechnikmodulprototyp wurde geschosshoch und in entsprechender Breite (z.B. Modularweiterung „M“ (medium) (Größe ca. 3,0m x 0,75m) gefertigt. Besonderes Augenmerk lag dabei auf einer möglichst wärmebrückenfreien Konstruktion. Die thermische Qualität nach der Sanierung der Außenwand darf dabei nur gering reduziert werden. Die einfachen Verbindungsmöglichkeiten der Wasserleitungsrohre, Elektroleitungen und Lüftungsleitungen Vorort, stellten dabei ein Kriterium für das vorgefertigte Modul und dessen serienmäßigen Einsatz dar. Dabei wurde besonders auf die Erfahrung der Fa. Huter-Geberit in diesem Bereich zurückgegriffen.

In den vorgefertigten Haustechnikmodulen mussten ebenso die möglichen Verschaltungen und Leitungsführungen für aktive Solarkollektoren untergebracht werden. Entsprechende seitliche Auslässe und Kopplungsmöglichkeiten an den Modulen wurden dabei diskutiert und eingeplant.

Die äußere Bekleidung des Fertigteilmoduls wurde so gewählt, dass eine Zugänglichkeit (Revisionsöffnungen etc.) für Wartung und Reparaturen jederzeit möglich ist.

Nach Fertigstellung der Prototypen wurden die abgestimmten und die geplanten und eingebauten Verbindungs- und Montagemöglichkeiten Vorort getestet. Dabei wurden das Fassaden- und Haustechnikmodul zusammengeführt und unter realen Bedingungen an eine Versuchswand an einem Naturversuch nebeneinander montiert.

## **Schritt 3:** Bauphysikalische und wirtschaftliche Prüfung der Prototypen

Die Aufbauten und relevanten Konstruktionsdetails der Prototypen wurden in wärme-, feuchte- und schalltechnischer, sowie energetischer Hinsicht mittels geeigneter Berechnungssoftwareprogramme untersucht und dargestellt.

Da die Schlagregendichtheit der Fassadenmodule im Labor für Bauphysik an der TU-Graz nur bis zu einer Größe 3,0 x 4,0m geprüft werden können, entschloss sich das Projektteam stattdessen die Prüfung an einem Naturversuch (Größe 3,0 x 12,0m) Vorort durchzuführen und die möglichen Veränderungen am Modul zu beobachten.

Zusätzlich wurde eine Kontrolle zur wirtschaftlichen Produktion zur Serienreife durch die Fa. Holzbau Kulmer GmbH in folgenden Bereichen durchgeführt:

- Fertigungsprozess und Technik
- Wirtschaftlicher Materialeinsatz
- Transport und Montagemöglichkeiten

## **4.5 Beschreibung der Vorgangsweise**

### **Basis-Modulentwicklung:**

Im ersten Schritt wurden aufbauend auf den Arbeiten der Subprojekte SP1 und SP2 in Workshops und Besprechungen durch die ProjektpartnerInnen, die Erfordernisse und Anforderungen für eine Neuentwicklung eines Fassaden- und Haustechnikmoduls diskutiert und zusammengefasst.

Im Besonderen wurde bei diesen Analysen auf folgende Punkte speziell eingegangen:

- Erarbeitung einer möglichen Typologie für die Lage und wirtschaftlichen Abmessungen der Module
- Erarbeitung der bauphysikalischen und hochbautechnischen Anforderungen
- Verbindungstechnik und Befestigungsmöglichkeiten
- Einbindung und Integration aktiver Komponenten in die Module
- Ökologie und Wirtschaftlichkeit der Module
- Anschluss- und Detailausbildungen

Dabei flossen die Erfahrungen der ProjektpartnerInnen wesentlich in den Entwicklungsprozess ein. Zusätzlich wurden Informationen und Machbarkeitsstudien von einschlägigen Firmen miteinbezogen.

### **Prototyperstellung Fassadengrundmodul:**

Aufbauend auf die Basismodulentwicklung in Arbeitspaket „Basis-Modulentwicklung“ wurden anschließend Prototypen für ein vorgefertigtes Fassadenelement gefertigt. Die Fabrikation des Fassadenmoduls erfolgte in der Werkshalle der Firma Kulmer Holz-Leimbau GesmbH in Pischelsdorf in der Steiermark.

Die erforderlichen Werkzeichnungen wurden von der Firma Kulmer Holz-Leimbau GesmbH und vom Architekturbüro Nussmüller ZT GmbH angefertigt.

Für sämtliche relevante Details und Aufbauten wurden bauphysikalische Berechnungen durchgeführt.

Die Prüfung der Schlagregendichtheit erfolgte Vorort in Kapfenberg. Nach einer Probemontage des großflächigen Moduls mit passiven und aktiven Elementen wurde der Prototyp ca. 2 Monate der Witterung ausgesetzt und die Veränderungen beobachtet.

### **Prototyperstellung Haustechnikgrundmodul:**

Ebenso wurde aufbauend auf die Basismodulentwicklung in Arbeitspaket „Basis-Modulentwicklung“ ein erster Prototyp für ein vorgefertigtes Haustechnikmodul in der Werkshalle der Firma Geberit Huter GmbH gefertigt.

Die dafür erforderlichen Werkzeichnungen wurden ebenfalls von der Firma Geberit Huter GmbH und vom Architekturbüro Nussmüller ZT GmbH erstellt.

Für sämtliche relevante Details und Aufbauten wurden bauphysikalische Berechnungen durchgeführt.

Die Prüfung der Schlagregendichtheit erfolgte Vorort in Kapfenberg. Nach einer Probemontage des großflächigen Moduls mit passiven und aktiven Elementen wurde der Prototyp ca. 2 Monate der Witterung ausgesetzt und die Veränderungen beobachtet.

#### **Wirtschaftliche und ökologische Betrachtungen:**

Für die untersuchten Sanierungsvarianten (Sanierung auf Passivhausstandard und Sanierung auf Plusenergiestandard) erfolgte die detaillierte Auswertung der ökologischen Qualität sowie der Lebenszykluskosten im gegenständlichen Subprojekt 3 (SP3).

Die Ergebnisse der LCA und LCC werden in Form von „ökologischen und ökonomischen Amortisationszeiten“ auf Bauteilebene gegenübergestellt und unter Verwendung der Sensitivitätsanalyse werden die Einflüsse und Auswirkungen von Energiepreissteigerung, Änderung des Kalkulationszinssatzes usw. auf die LCC untersucht.

#### **Koordination und Veröffentlichung:**

Die entsprechenden Ergebnisse wurden begleitend in Vorträgen und Veröffentlichungen präsentiert und vorgestellt. Ebenso wurde seitens der AEE INTEC die interne Koordination und Projektleitung durchgeführt.

## 5. Ergebnisse des Projektes

### 5.1 Beschreibung der Projektergebnisse

#### 5.1.1 AP „Basis-Modulentwicklung“

#### A Typologie und Gliederung der Fassaden und Dächer

##### A.1 Bauepochen des österreichischen Gebäudebestandes

Gebäude in Österreich können auf Grund ihres Baualters grundsätzlich den vier Bauepochen „Gründerzeit“ (vor 1919), „Zwischenkriegszeit“ (1920 – 1944), „Nachkriegszeit“ (1945 – 1960) und „Wirtschaftlicher Aufbruch“ (1961-1980) zugeordnet werden.

Nachfolgende Tabelle 1 zeigt dazu beispielhafte Gebäude der jeweiligen Bauepoche.

Tabelle 1: Beispiele von Gebäuden unterschiedlicher Bauepoche (Quelle: Höfler et al., 2006 / AEE INTEC)

Bauepoche	Bildbeispiele		
Gründerzeit (vor 1919)	 <p>Mozartgasse 12, Graz</p>	 <p>Villa Heidenbauer, Bruck</p>	 <p>Wastiangasse, Graz</p>
Zwischenkriegszeit (1920 – 1944)	 <p>Laimburggasse, Graz</p>	 <p>Kapellenstraße, Graz</p>	 <p>Reihensadlgasse, Graz</p>

Bauepoche	Bildbeispiele		
Nachkriegszeit (1945 – 1960)	 <p data-bbox="491 640 711 674">Albertgasse, Graz</p>	 <p data-bbox="807 640 1059 674">Elisabethstraße, Graz</p>	 <p data-bbox="1155 640 1375 674">Merangasse, Graz</p>
Wirtschaftlicher Aufbruch (1961 – 1980)	 <p data-bbox="480 969 722 1025">Rudolf-Hans Bartschstraße, Graz</p>	 <p data-bbox="807 969 1059 1025">Johann-Böhmstraße, Kapfenberg</p>	 <p data-bbox="1147 969 1383 1025">Radegunderstraße, Graz</p>

Den größten Anteil am österreichischen Gebäudebestand nehmen Gebäude des wirtschaftlichen Aufbruchs (1961-1980) ein, gefolgt von Bauwerken aus der Gründerzeit (vor 1919). Der Anteil der Gebäude Zwischen- und Nachkriegszeit am Gesamtbestand ist eher klein.

Abbildung 1 zeigt dazu die prozentuelle Aufteilung der Anzahl der Bauwerke des österreichischen Gebäudebestands nach deren Bauepoche.

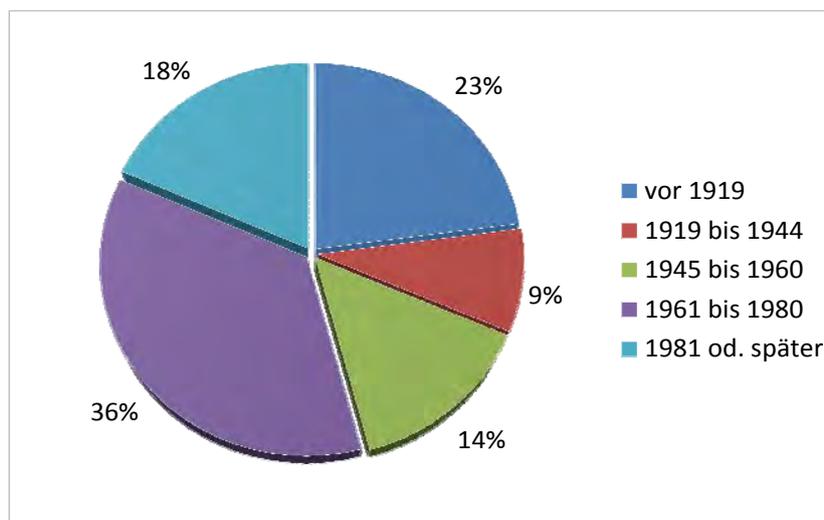


Abbildung 1: Aufteilung des österreichischen Gebäudebestands nach Bauepochen (Quelle: nach Höfler et al., 2006)

In jeder dieser Bauepochen finden sich für das Baualter übliche Konstruktionsweisen und typische Bauteilflächen, wie z.B. Fenstergrößen. Diese Merkmale haben wiederum einen wesentlichen Einfluss auf den Heizwärmebedarf des Gebäudes. Abbildung 2 zeigt eine Abschätzung des Energieverbrauchs der einzelnen Bauepochen.

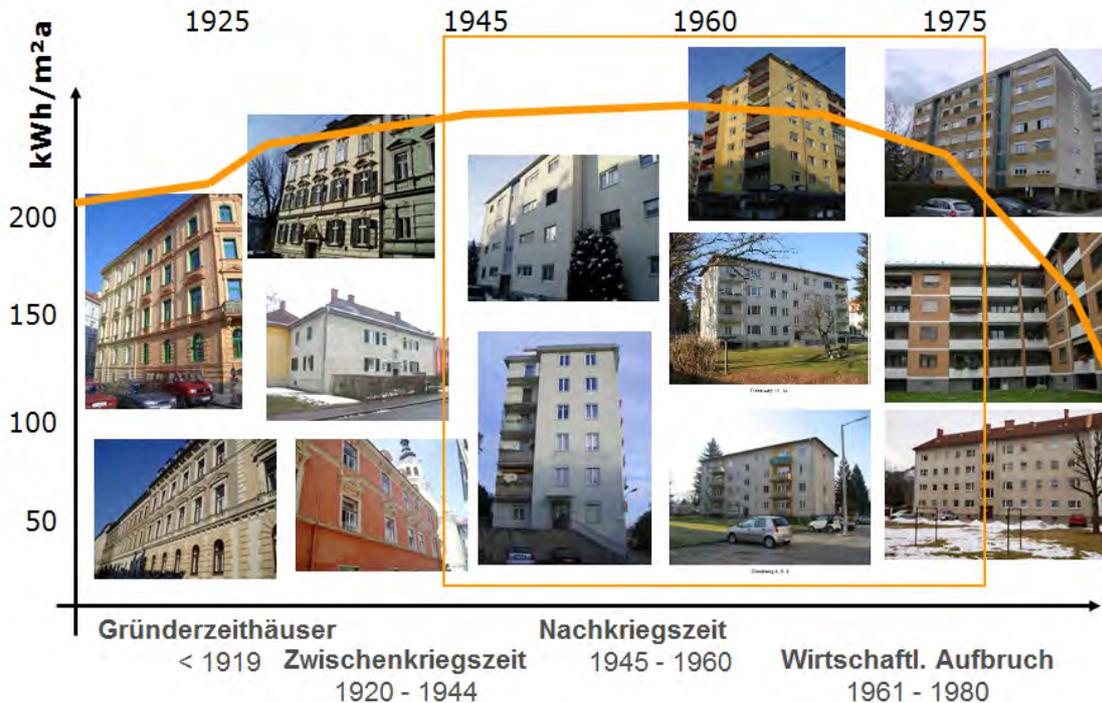


Abbildung 2: Energieverbrauch des österreichischen Gebäudebestands – abgeschätzt (Quelle: AEE INTEC)

Das vorliegende Demonstrationsprojekt „Johann-Böhmstraße, Kapfenberg“ wurde im Jahr 1961 errichtet und kann somit zur Bauepoche des wirtschaftlichen Aufschwungs gezählt werden.

Diese Bauepoche ist dadurch gekennzeichnet, dass in kurzer Zeit eine große Anzahl an Wohnungen, speziell mehrgeschossige Bauten, entstanden sind. Das wesentliche Merkmal dieser Gebäude ist eine billige Bauweise mit resultierenden geringen Wärme- und Schallschutzanforderungen.

Die Außenwände der Bauten des wirtschaftlichen Aufschwungs bestehen in der Regel aus Mantelbeton und das Dach wurde als Flachdach oder als unausgebautes Satteldach konzipiert.

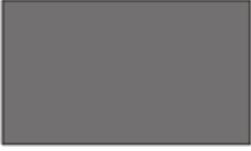
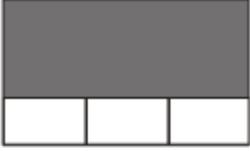
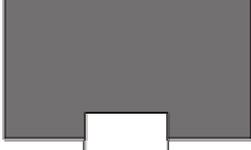
Wie die vorhergehenden Analysen gezeigt haben, ist das Energieeinsparungspotenzial bei Gebäuden des wirtschaftlichen Aufschwungs sehr hoch. Zum einen durch die große Anzahl an Gebäuden und zum anderen durch den sehr hohen Energieverbrauch der Gebäude dieser Bauepoche.

## A.2 Gebäudetypologien

### Allgemeine Fassadenstrukturen

Entsprechend der vorhandenen Balkone bzw. deren Anordnung können Fassaden in unterschiedliche Strukturen eingeteilt werden. Diese reichen dabei von Fassadenflächen ohne Balkone über Einzelbalkone bis hin zu durchlaufenden Balkonen. Tabelle 2 zeigt beispielhaft einen Auszug unterschiedlicher Fassadenstrukturen.

Tabelle 2: Unterschiedliche Fassadenstrukturen (Quelle: Geier und Knotzer, 2011)

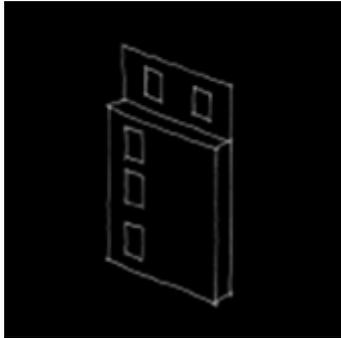
 <p>Fassadenflächen ohne Balkone</p>	 <p>Scheibenbauweise, vollständig mit vorgelagerten Balkonen</p>
 <p>Fassadenflächen mit Balkonen nach innen, die nicht über die Hauptfassade hinausragen</p>	 <p>Scheibenbauweise - teilweise geschlossene Felder, teilweise mit vorgelagerten Balkonen</p>
 <p>Fassadenflächen mit teilweise auskragenden Balkonen</p>	 <p>Balkonkonstruktionen über Fassadenecke – keine Auskragung über die beiden Hauptfassaden</p>
 <p>Fassadenflächen mit auskragenden Balkonen</p>	 <p>Balkonkonstruktionen über Fassadenecke – mit Auskragung über eine oder beide Hauptfassaden</p>
 <p>Ebene Fassadenfläche mit durchlaufenden Balkonen</p>	

Neben der Strukturierung der Fassadenflächen durch vorhandene Balkone, kann die Bewertung der Fassade auch durch zusätzliche Kubaturänderungen erfolgen. Solche wären z.B. eine mäanderförmige Veränderung, Vor- aber auch Rücksprünge in der Fassade.

Eine Analyse dieser Kubaturänderungen ist unerlässlich, da jede Abweichung von der vollständig ebenen Fläche eine Erhöhung des Schwierigkeitsgrades für die Vorfertigung von Fassadenmodulen bedeutet.

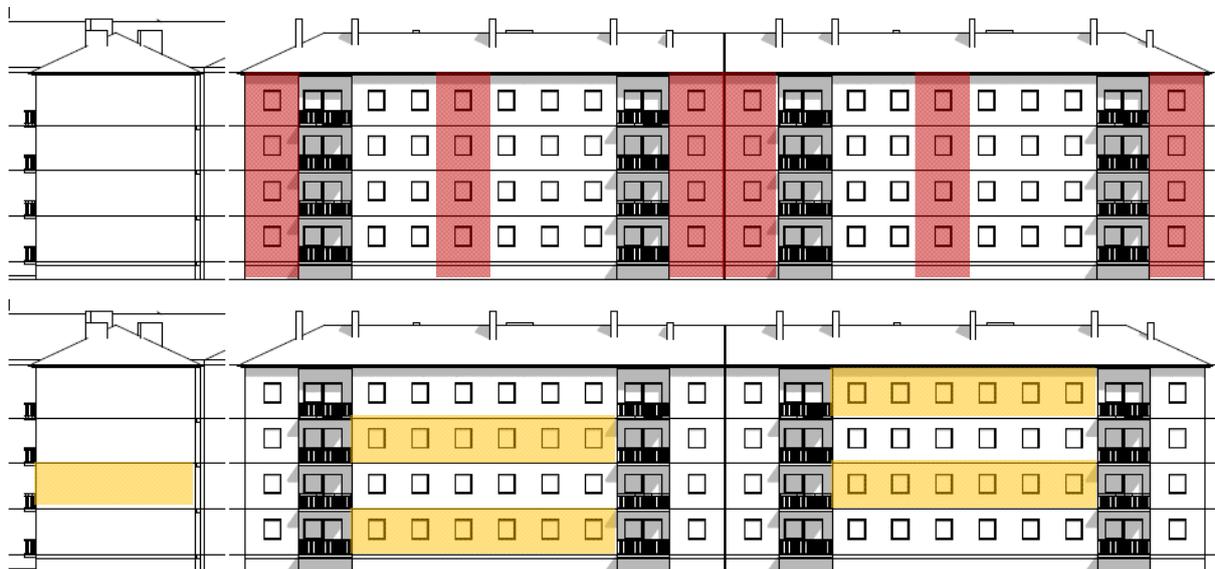
Folgende Tabelle 3 zeigt eine schematische Darstellung der beschriebenen Kubaturänderungen sowie deren charakteristische Merkmale.

Tabelle 3: Möglichkeiten der Kubaturänderungen der Fassade (Quelle: Geier und Knotzer, 2011)

Mäander	Vorsprünge	Rücksprünge
		
<p>Mäanderförmige Abwicklung der Fassade, die Vor- und Rücksprünge sind über die volle Höhe der Fassade ausgebildet</p>	<p>Vorsprünge in der Fassade, die nicht über die volle Höhe des Gebäudes ausgebildet sind</p>	<p>Rücksprünge in der Fassade, die nicht über die volle Höhe des Gebäudes ausgebildet sind</p>

### Demonstrationsprojekt „Johann-Böhmstraße, Kapfenberg“

Das vorliegende Demonstrationsprojekt ist durch seine eindeutige Gliederung der Fassade gekennzeichnet. Abbildung 3 zeigt die Westfassade (lange Seite) und die Südfassade (kurze Seite) des Bestandsgebäudes.



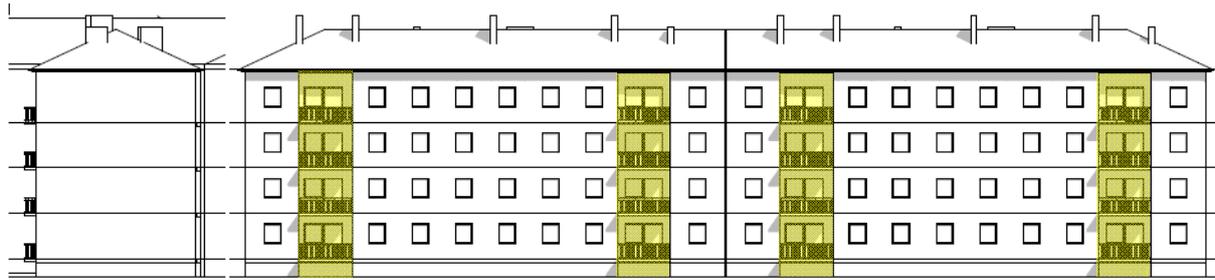


Abbildung 3: Gliederung der Fassade – Demonstrationsprojekt „Johann-Böhmstraße, Kapfenberg“ (Quelle: Nussmüller Architekten ZT GmbH)

Bei der Analyse von Abbildung 3 zeigte sich, dass das Demonstrationsprojekt eine vertikale Gliederung (rote Markierung) und eine horizontale Gliederung (orange Markierung) ermöglicht. Die Balkone (gelbe Markierung) sind senkrecht untereinander angeordnet und stellen somit eine Ergänzung zur vertikalen Gliederung dar.

Diese vertikale Gliederung ist dadurch gekennzeichnet, dass durchgängig über alle vier Geschosse die gleiche Fenstergröße vorherrschend ist und die Gliederung nicht unterbrochen wird (z.B. durch die Balkone). Dadurch wäre es möglich sämtliche vorgefertigte Fassadenmodule in gleicher Baulänge auszuführen. Die horizontale Gliederung wird hingegen durch die Balkone unterbrochen, wodurch sich unterschiedliche Modulängen ergeben würden (z.T. auch sehr kurze und unwirtschaftliche Module!).

Die Fassadenstruktur des Demonstrationsprojektes „Johann-Böhmstraße“ weist auf der Westseite teilweise auskragende Balkone auf (vgl. Tabelle 2), die wie schon erwähnt senkrecht untereinander angeordnet sind. Die Ostfassade besitzt keine Balkone, sondern nur Fensteröffnungen. Die Nord- und Südseite des Gebäudes weisen hingegen überhaupt keinen Fassadenöffnungen auf.

Eine Kubaturänderung liegt am betrachteten Demonstrationsprojekt nicht vor. Das bedeutet, dass das Gebäude durch seine vollständig ebenen Fassadenflächen den Einsatz vorgefertigter Fassadenmodule erleichtert.

## B Bauphysikalische und hochbautechnische Anforderungen

### B.1. Fassadenmodul

In einem zweiten Schritt wurden die wesentlichen Anforderungen an die zukünftigen Fassadenmodule erarbeitet und fixiert. Diese Anforderungsdefinition musste dabei in laufender Abstimmung mit den gesetzlichen Vorgaben, wie technischen Regelwerken, Baugesetzen, ÖNORMEN usw. durchgeführt werden.

#### **Moduldicke**

Die resultierende Dicke des vorgefertigten Fassadenmoduls ergab sich in weiterer Folge aus der Erfüllung der drei Anforderungen: max. Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert), Statik und Toleranzausgleich. Diese drei Kriterien werden nachfolgend kurz erläutert.

##### 1.) max. Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert)

Der U-Wert der Außenwand ist neben dem inneren und äußeren Wärmeübergangskoeffizienten  $\alpha_i$  und  $\alpha_a$  hauptsächlich von der Dicke  $d$  und der Wärmeleitfähigkeit  $\lambda$  des Mauerwerks und der Wärmedämmung abhängig.

Tabelle 4 zeigt, welche Wärmedämmung etwa notwendig ist, um bestimmte U-Werte der Außenwand zu erreichen.

[Anmerkung: Die U-Werte für das Niedrigenergiehaus sowie das Passivhaus sind nicht explizit als Grenzwert festgelegt, sondern werden in der Literatur als Anhaltswerte verstanden.]

Untersucht wurden dabei zwei unterschiedliche Varianten eines Außenwandaufbaus nach der Sanierung. Diese beiden Aufbauten sind in der nachfolgenden Abbildung 4 ersichtlich.

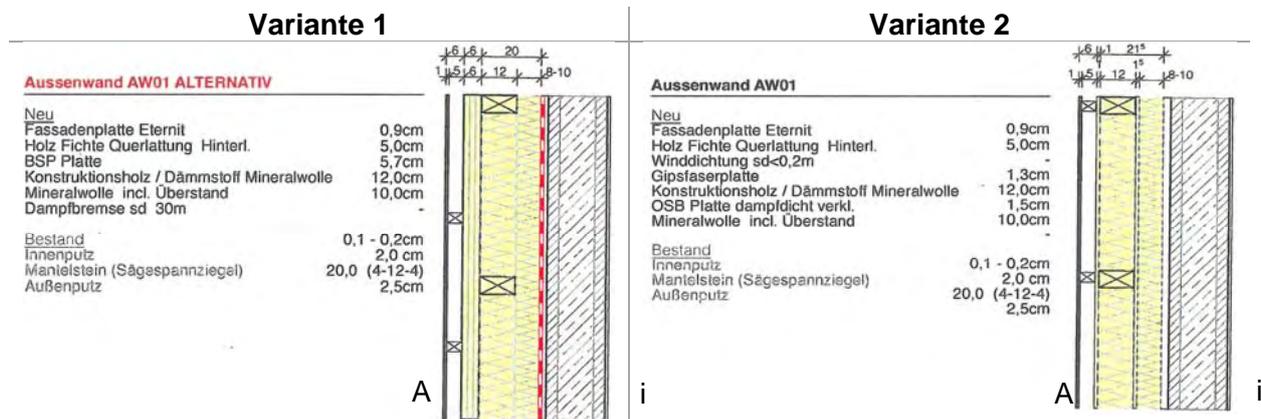


Abbildung 4: Betrachtete Außenwandaufbauten (Quelle: Nussmüller Architekten ZT GmbH)

Diese beiden Varianten wurden anschließend hinsichtlich der erforderlichen Wärmedämmdicken untersucht:

Tabelle 4: Anhaltswerte der erforderlichen Wärmedämmdicke (Toleranzdämmung 4cm und Zusatzdämmung xx cm) zur Erreichung bestimmter Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Werte)

	Anforderung U-Wert [W/m <sup>2</sup> K]	Zusatz-Wärmedämmung [cm]	
		Variante 1	Variante 2
<b>OIB-Richtlinie 6 (2011)</b>	0,35	~ 2 cm	~ 4 cm
<b>Niedrigenergiehaus</b>	≤ 0,20	~ 12 cm	~ 14 cm
<b>Passivhaus</b>	≤ 0,15	~ 20 cm	~ 22 cm

## 2.) Statik

Auf Grund der unterschiedlichen statischen Anforderungen, welche sich aus den möglichen Montagearten (stehend oder hängend) des vorgefertigten Fassadenmoduls ergeben (siehe Kapitel – *Möglichkeiten der Befestigung der Module*), muss die Dicke der Wärmedämmung in weiterer Folge an die erforderliche Moduldicke angepasst werden.

## 3.) Toleranzausgleich

Vorhandene Unebenheiten der bestehenden Außenfassade machen es notwendig eine zusätzliche Wärmedämmschicht (ca. 4cm) zum Toleranzausgleich anzubringen. Die Dicke dieser Ausgleichsschicht hat sich dabei an den tatsächlichen Abweichungen am Demonstrationsprojekt zu orientieren. Eine Laservermessung früh im Planungsstadium trägt zur Feststellung der gegebenen Unebenheiten bei. Gleichzeitig können damit auch die exakten Fensterachsen und -größen ermittelt werden.

## Feuchteschutz

Hinsichtlich des Feuchteschutzes galt es die Anforderungen der ÖNORM B 8110-2 zu erfüllen.

Diese schreibt vor, dass Außenbauteil und Bauteile, die Räume mit unterschiedlichen Luftzuständen (Temperatur und relative Feuchtigkeit) trennen, nachzuweisen haben, dass:

- der Wärmeschutz so bemessen ist, dass die Bedingungen zur Vermeidung von Kondensatbildung und im Hinblick auf das Risiko von Schimmelbildung an der inneren Oberfläche erfüllt sind,
- der Aufbau des Bauteils so bemessen ist, dass im Inneren des Bauteils keine schädliche Wasserdampfkondensation infolge Wasserdampfdiffusion auftritt.

Die Bauteile und Bauteilstöße (z.B. bei Fertigteil- und Leichtbauweise) müssen dabei warmseitig dicht abgeschlossen sein, um zu verhindern, dass Raumluft in die Baukonstruktion eindringt und Wasserdampfkondensation auftritt.

Zur Vermeidung von Kondenswasserbildung an der inneren Oberfläche von Außenbauteilen war der Wärmeschutz lt. ÖN B8110-2 so zu bemessen, dass unter den zutreffenden Innen- und Außenluftbedingungen die Temperatur der inneren Oberfläche nicht unter die Taupunkttemperatur der Innenluft fällt.

Zur Vermeidung von schädlicher Kondensation im Inneren von Außenbauteilen war der Aufbau der Bauteile entsprechend ÖN B8110-2 zu bemessen. Schädlich ist eine Wasserdampfkondensation, wenn

- das Kondenswasser nicht gespeichert werden kann (die kondensierte Wasserdampfmenge an Berührungsflächen von kapillar nicht oder wenig wasseraufnahmefähigen Schichten (z.B. Berührungsfläche zwischen Luftschicht und Schwerbeton) darf  $0,5 \text{ kg/m}^2$  nicht überschreiten);
- das Kondenswasser eine solche Erhöhung des Feuchtigkeitsgehalts einer Bauteilschicht verursacht, dass der Wärmedurchlasswiderstand des Bauteils um 10% oder mehr verringert wird;
- die Baustoffe durch Kondensat geschädigt werden (Korrosion, Pilzbefall, Frostzerstörung oder Ähnliches) (für Holz und Holzwerkstoffe ist eine Erhöhung des massebezogenen Feuchtigkeitsgehalts um mehr als 3 % unzulässig!);
- das angesammelte Kondenswasser in der Austrocknungsperiode nicht vollständig austrocknen kann, sodass eine fortschreitende Feuchtigkeitsanreicherung auftritt.

Den Nachweis der Erfüllung dieser Anforderungen gilt es mittels Berechnungsverfahren lt. ÖNORM B 8110-2 oder einer instationären Berechnung (z.B. mit Software „WUFI“) zu erbringen.

## Luftdichtheit $n_{50}$

Anforderungen an die Luftdichtheit des sanierten Gebäudes werden in diversen Richtlinien festgelegt. Nachfolgende Tabelle 5 zeigt dazu einen Auszug einiger Grenzwerte.

[Anmerkung: Die Anforderungen aus der OIB Richtlinie 6 (2011) gelten nur für Neubauten. Für die Sanierung von Wohngebäuden werden keine gesonderten Anforderungen gestellt.]

Auch wenn für die Sanierung z.T. keine expliziten Anforderungen gestellt werden, sollten jedoch ähnliche Werte wie im Neubau angestrebt werden.

Tabelle 5: Anforderungen an die Luftdichtheit des sanierten Gebäudes

Richtlinie	Luftdichtheit $n_{50}$
OIB Richtlinie 6 (2011)	$3,0 \text{ h}^{-1}$ bzw. $1,5 \text{ h}^{-1}$ bei einer mech. Lüftungsanlage
klima:aktiv Kriterienkatalog für Wohngebäude in der Sanierung <sup>1</sup>	$2,0 \text{ h}^{-1}$ (Grenzwert) $1,0 \text{ h}^{-1}$ (für max. Punkteanzahl)
Passivhaus Institut Darmstadt <sup>2</sup>	$\leq 0,6 \text{ h}^{-1}$ (Zielwert) $\leq 1,0 \text{ h}^{-1}$ (Grenzwert)

## Brandschutz

Eine Beanspruchung der vorgefertigten Fassadenelemente kann grundsätzlich durch folgende Brandquellen erfolgen:

- Brand eines benachbarten Gebäudes
- Brand unmittelbar an- bzw. vor der Außenwand des Gebäudes
- Brand innerhalb des Gebäudes in einem an die Außenwand grenzenden Raum mit Öffnung

Die Brandausbreitung bei vorgehängten Fassaden kann auf drei Arten erfolgen. Durch Ausbreitung von einer Wohnung auf die darüber liegende Wohnung über eine Öffnung, wie z.B. ein Fenster (Abbildung 5 – links), durch Brandausbreitung entlang des Fassadenmoduls (Abbildung 5 – Mitte) und durch Ausbreitung innerhalb eines Installationsschachtes oder im Raum zwischen alter und neuer Fassade (Abbildung 5 – rechts).

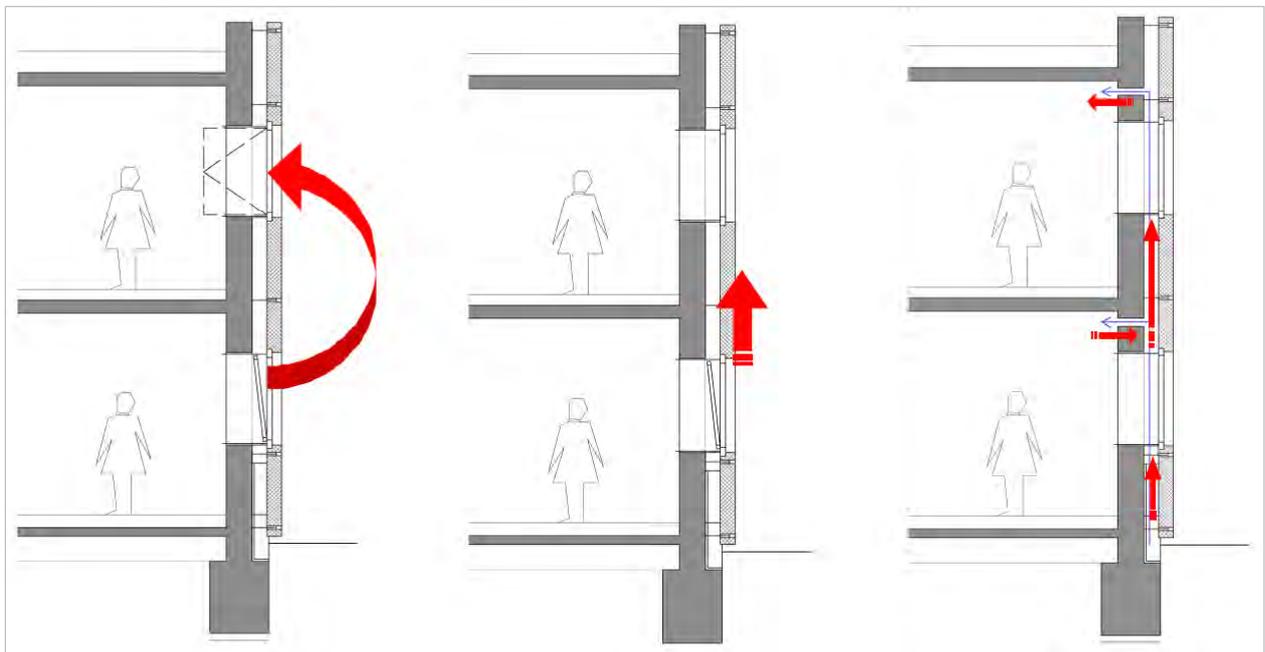


Abbildung 5: Unterschiedliche Möglichkeiten der Brandausbreitung (Quelle: Geier, 2011)

Das konzipierte vorgefertigte Fassadenmodul musste daher in weiterer Folge durch gezielte Brandschutzmaßnahmen die Brandausbreitung verhindern. Diese sind dabei gekennzeichnet durch das Brandverhalten des eingesetzten Materials, durch den Feuerwiderstand der Bauteile sowie die Art der Konstruktion des neuen Fassadensystems.

<sup>1</sup> Version 3.0 vom 01.01.2012

<sup>2</sup> Für die Zertifizierung des Gebäudes als Qualitätsgeprüfte Modernisierung mit Passivhaus-Komponenten

Anforderungen an das Brandverhalten der eingesetzten Materialien werden dazu in der OIB Richtlinie 2 (2011) sowie der darauf verweisenden ÖNORM B 3806 festgelegt.

Diese ÖNORM B 3806 legt Anforderungen an das Brandverhalten von Bauprodukten (Baustoffen) im Bauwesen im Sinne der europäischen Klassen gemäß ÖNORM EN 13501-1 fest. Die Einteilung des Gebäudes in eine der fünf europäischen Klassen (GK 1-5) erfolgt in Abhängigkeit der Gebäudegrundfläche, der Anzahl der Geschoße und des Aufenthaltsniveaus.

Bei vorgefertigten und vorgehängten Fassaden müssen alle Komponenten betrachtet werden. Dies betrifft dahingehend die Unterkonstruktion, Verankerungs- und Befestigungselemente, die Wärmedämmschicht, die Hinterlüftung und die Fassadenverkleidung. Sämtliche Komponenten müssen dabei die Anforderungen an das Brandverhalten der jeweiligen Gebäudeklasse erfüllen.

Für die Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten hinsichtlich ihres Feuerwiderstandes wird die ÖNORM EN 13501-2 tragend.

### **Schallschutz**

Der bauliche Schallschutz hat die Aufgabe Menschen vor störendem oder gesundheitsschädigendem Lärm zu schützen. Schallquellen können sich dabei sowohl im als auch außerhalb des Gebäudes befinden.

Abbildung 6 zeigt dazu schemenhaft die unterschiedlichen Möglichkeiten der Schallausbreitung bzw. Schallbelastung im Gebäude.

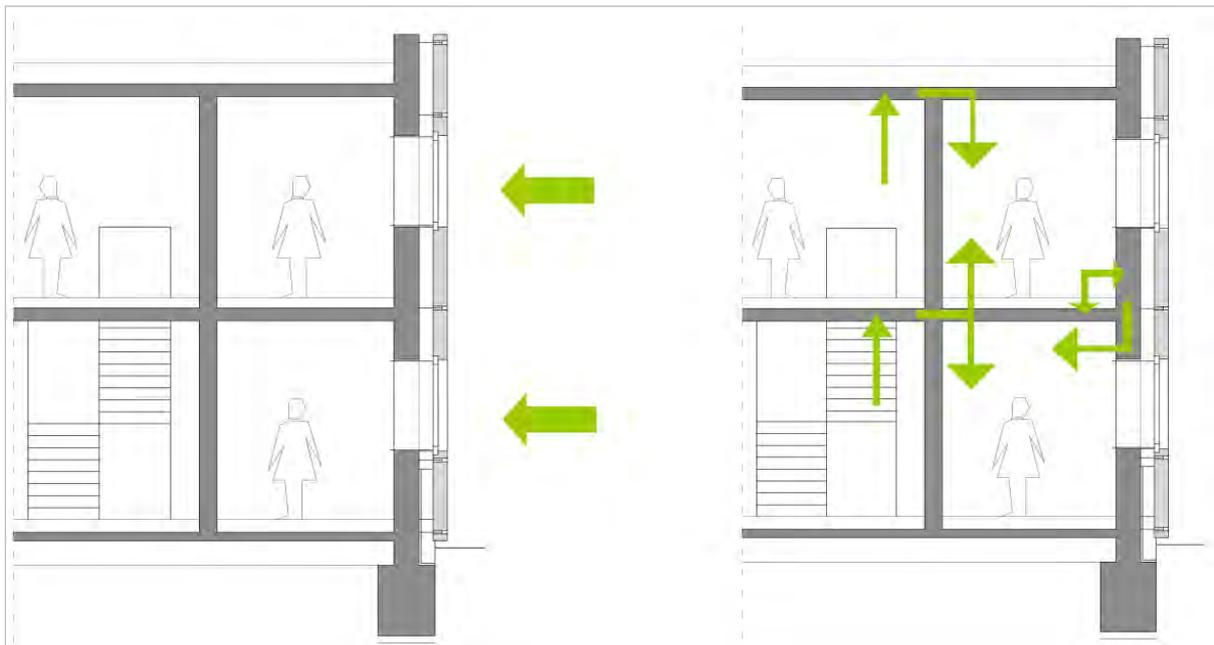


Abbildung 6: Unterschiedliche Möglichkeiten der Schallübertragung (Quelle: Geier, 2011)

Daher gilt es im Zuge der Sanierung folgende Bereiche genauer zu betrachten und dazu Schallschutzmaßnahmen zu erarbeiten:

- Luftschallschutz gegen außen (z.B. Umgebungslärm wie Verkehr)
- Luftschallschutz gegen benachbarte Wohnungen und öffentliche Bereiche (Gänge, Stiegenhaus)
- Körperschallschutz gegen benachbarte Wohnungen und öffentliche Bereiche (Gänge, Stiegenhaus)

Diesen Schallschutz betreffende Definitionen und Anforderungen werden in ÖNORMEN B 8115 Teil 1, 2 und 4 sowie in ÖNORM EN 12354 Teil 3 festgelegt.

Nachfolgende Abbildung 7 zeigt dazu einen Auszug aus den Anforderungen der ÖNORM B 8115-2 für die mindesterforderliche Schalldämmung von Außenbauteilen in Abhängigkeit der gebietsbezogenen Schallimmissionen.

Mindesterforderliche Schalldämmung von Außenbauteilen									
Bauteile von zu schützenden Räumen (Aufenthaltsräumen)	Mindestschallschutz in dB ( $R'_{res,w}$ , $R'_w$ , $R_w$ bzw. $R_w + C_{tr}$ ) für maßgebliche Außenlärmpegel-Stufen								
	Spalte	1	2	3	4	5	6	7	Zeile
	Stufe	A, B, C	D	E	F	G	H	I	1
	Tag	≤ 50	51 bis 55	56 bis 60	61 bis 65	66 bis 70	71 bis 75	76 bis 80	2
	Nacht	≤ 40	41 bis 45	46 bis 50	51 bis 55	56 bis 60	61 bis 65	66 bis 70	3
Entspricht den Richtwerten der Tabelle 1, Zeile(n)		1, 2	3	4	5	–	–		4
Wohngebäude, -heime, Hotels, Schulen, Kindergärten, Krankenhäuser, Kurgebäude u. dgl.									5
– Außenbauteile gesamt	$R'_{res,w}$	33	38	38	43	43	48	53	6
– Opake Außenbauteile <sup>1)</sup>	$R_w$	43	43	43	48	48	53	58	7
– Fenster und Außentüren <sup>1) 2)</sup>	$R_w$	28	33	33	38	38	43	48	8
	$R_w + C_{tr}$	23	28	28	33	33	38	43	
– Gebäudetrennwände <sup>3)</sup> je Wand	$R'_w$	52	52	52	52	52	52	52	9
– Decken und Wände gegen Dachböden	$R'_w$	42	42	42	47	47	47	47	10
– Decken und Wände gegen Durchfahrten und Garagen	$R'_w$	60	60	60	60	60	60	60	11

Abbildung 7: Mindesterforderliche Schalldämmung von Außenbauteilen – Auszug (Quelle: ÖNORM B 8115-2)

Abbildung 8 zeigt die Anforderung an die Luftschalldämmung in Gebäuden lt. ÖNORM B 8115-2, Abbildung 9 die Anforderung an die Trittschalldämmung.

<b>Mindest erforderliche bewertete Standard-Schallpegeldifferenz <math>D_{nT,w}</math> in Gebäuden</b>			
Luftschalldämmung zwischen	$D_{nT,w}$ ohne Verbindung durch eine Türe, ein Fenster u. dgl.	$D_{nT,w}$ mit Verbindung durch eine Türe, ein Fenster u. dgl.	Zeile
	dB	dB	
<b>(a) Aufenthaltsräumen und</b>			
– angrenzenden Gebäuden – Räumen angrenzender Nutzungseinheiten in Reihenhäusern	60	–	1
– Räumen anderer Nutzungseinheiten	55	50	2
– Treppenhäusern, Aufzügen, Kellerräumen, Gemeinschaftsräumen	55	50	3
<b>(b) Nebenräumen und</b>			
– angrenzenden Gebäuden – Räumen angrenzender Nutzungseinheiten in Reihenhäusern	60	–	4
– Nebenräumen anderer Nutzungseinheiten	50	35	5
– Treppenhäusern, Aufzügen, Kellerräumen, Gemeinschaftsräumen	50	35	6

Abbildung 8: Anforderung an Luftschalldämmung in Gebäuden – Auszug (Quelle: ÖNORM B 8115-2)

<b>Höchstzulässiger bewerteter Standard-Trittschallpegel <math>L'_{nT,w}</math> in Gebäuden ohne Betriebsstätten</b>		
	$L'_{nT,w}$	Zeile
	dB	
Trittschalldämmung zu Aufenthaltsräumen aus		
– angrenzenden Gebäuden und angrenzenden Nutzungseinheiten in Reihenhäusern	43	1
– Räumen angrenzender Nutzungseinheiten (Wohnungen, Schulen, Kindergärten, Krankenhäusern, Heimen, Verwaltungs- und Bürogebäuden und vergleichbare Nutzungen)	48	2
– Treppenhäusern, Laubengängen	50	3
– nutzbaren Dachböden, Terrassen, Dachgärten, Balkonen und Loggien	53	4
– für die Hausbewohner allgemein zugänglichen Dachböden, Terrassen, Dachgärten, Balkonen und Loggien	48	5

Abbildung 9: Anforderung an Trittschalldämmung in Gebäuden – Auszug (Quelle: ÖNORM B 8115-2)

## **Statik**

Im Zuge der Entwicklungsarbeiten galt es unterschiedliche Beanspruchungen zu berücksichtigen, die in weiterer Folge Auswirkungen auf die statische Belastbarkeit der vorgehängten Fassade haben:

- Windlasten – Sog, Druck
- Eigenlasten
- Thermische Belastungen / Zwängungen – aus behinderten Formänderungen
- Sonderlasten
  - Stoßlasten zufolge mutwilliger Zerstörung
  - Horizontalstöße von Fahrzeugen
  - Lasten bei Montage oder Demontage
  - ...

Durch die Vorfertigung der vorgehängten Fassadenelemente im Werk kam der Montage bzw. Demontage der Module eine besondere Bedeutung zu.

Es mussten Nachweise für die Bekleidung, die Unterkonstruktion und alle Verbindungsmittel geführt werden. Außerdem war ein örtliches Versagen einer Platte zu berücksichtigen, welches nicht zu einem „Dominoprinzip“ des Versagens führen durfte.

## **B.2 Haustechnikmodul**

### **Brandschutz**

Die Anordnung von Installationsschächten (vertikal) und -kanälen (horizontal) bzw. die in ihnen geführten Leitungen im Bereich zwischen alter (bestehender) und neuer vorgesetzter Fassade dient der Erneuerung der Ver- und Entsorgungsleitungen von Gebäuden. Da sie dabei Wände von Wohnungen durchstoßen und der Zwischenraum der Fassade einen Verbindungsbauteil darstellt, stellen sie eine Gefahr hinsichtlich Brand- und Rauchweiterleitung in die angrenzenden Wohnungen dar.

Dabei sind zwei Arten der potentiellen Gefährdung zu unterscheiden: Die Gefahr der Brandentstehung innerhalb eines Schachtes und die Gefahr der Brandweiterleitung und/ oder Verrauchung bei Brandentstehung außerhalb des Schachtes (Wohnung oder Zwischenraum Fassade).

Die Entstehung im Schacht ergibt sich im Wesentlichen durch energieführende Leitungen bzw. durch Feuer- und Heißenarbeiten im Zuge von Reparatur- und Nachinstallationsarbeiten innerhalb des Schachtes sowie im Bereich der Schachtwände. Erfahrungsgemäß ist dann mit einer raschen Ausbreitung von Feuer und Rauch im Schacht zu rechnen.

Bei der Entstehung außerhalb des Schachtes muss die Gefahr des Brandüberschlages zwischen zwei getrennten Brandabschnitten (Wohnungen), sowie der Brandausbreitung z.B. über Leitungen in den Schacht und in weiterer Folge vor allem eine Verrauchung angrenzender Bereiche und auch die Gefahr der Verrauchung angrenzender Bereiche über Lüftungsanlagen bzw. Luftleitungen beachtet werden.

Grundsätzlich sind bei allen Durchführungen von Leitungen durch Bauteile mit brandschutztechnischen Anforderungen Abschottungsmaßnahmen zu treffen; dies gilt unabhängig vom Querschnitt bzw. Durchmesser der Leitungen sowie des eventuell verbleibenden Restquerschnittes.

Für diese Abschottungsmaßnahmen dürfen nur solche Systeme verwendet und eingebaut werden, für die ein positiver Klassifizierungsbericht einer hierfür akkreditierten Prüfstelle vorliegt.

Bei der Durchführung von Leitungen durch Abschottungen oder Schachtwände sind temperaturbedingte Längenänderungen der Leitungen und Rohre zu berücksichtigen.

Brennbare Dämmschichten, die Leitungen und Rohre ummanteln/isolieren dürfen nicht durch Abschottungen oder Bauteile mit brandschutztechnischen Anforderungen geführt werden. (Außer es liegt ein positiver Klassifizierungsbericht einer hierfür akkreditierten Prüfstelle vor)

Die Abstände der Leitungen untereinander sowie die Belegungsdichte sind vom Durchmesser der Leitungen abhängig. Bei Durchführung durch einen Bauteil, sind die Abmessungen der verwendeten Brandschutzabschlüsse (BSK, BRM, FLI, FLI-VE, Streckenisolierung,...) maßgeblich. Diese Abstände sind vom Hersteller der Abschottungen zu erfragen bzw. einer ETZ (Europäische technische Zulassung) oder den positiven Klassifizierungsberichten einer hierfür akkreditierten Prüfstelle zu entnehmen.

### **Schallschutz**

Hinsichtlich des Schallschutzes beim Haustechnikmodul galt es z.T. die gleichen Anforderungen zu erfüllen, wie schon zuvor beim Fassadenmodul beschrieben. Dies bedeutet, dass folgende Kriterien besonders beachtet werden mussten:

Luftschallschutz gegen außen (z.B. Umgebungslärm wie Verkehr)

Luftschallschutz gegen benachbarte übereinanderliegende Wohnungen und öffentliche Bereiche (Gänge, Stiegenhaus)

Körperschallschutz gegen benachbarte übereinanderliegende Wohnungen und öffentliche Bereiche (Gänge, Stiegenhaus)

Diese Anforderungen gilt es bei der Planung und Entwicklung des vorgefertigten Haustechnikmoduls unbedingt zu beachten und einzukalkulieren.

### **Luftdichtheit**

Die Luftdichtheit des Gebäudes, welche durch die Sanierungsmaßnahmen erhöht werden sollte, durfte durch die Montage des Haustechnikschachts nicht verschlechtert werden. Dies bedeutet, dass die Haustechnikmodule in die Überlegungen zum Luftdichtheitskonzept eingeschlossen werden mussten.

Undichtheiten des Haustechnikschachtes hätte zur Folge gehabt, dass die darin befindlichen haustechnischen Leitungen stärker durch die äußeren Witterungsbedingungen beeinflusst werden. Dies betrifft die kalten Außentemperaturen im Winter (Frostsicherheit der Leitungen, Reduktion der Wärmeverluste) als auch die hohen Temperaturen im Sommer (unerwünschte Erwärmung der Leitungen).

### **Wärmedämmung**

Um eine Frostsicherheit und eine gleichzeitige Reduktion der Wärmeverluste der haustechnischen Leitungen zu gewährleisten, mussten diese ebenso mit einer entsprechenden Wärmedämmung versehen werden. Dazu kann entweder der gesamte Schacht von außen mit Dämmmaterial eingepackt werden und/oder die einzelnen Leitungen innerhalb des Haustechnikmoduls gedämmt werden.

Die Mindestanforderungen an die Wärmedämmung der Rohrleitungen werden unter anderem in der ÖNORM M 7580 und der OIB Richtlinie 6 festgelegt. So schreibt die OIB Richtlinie 6 (2011) für Leitungen in nicht konditionierten Räumen eine Minstdämmdicke von  $\frac{2}{3}$  des Rohrdurchmessers vor (bei einer Wärmeleitfähigkeit von  $0,035 \text{ W/mK}$ ).

Ein Bericht des Passivhaus Institutes Darmstadt sieht für Rohrleitungen bis DN 100 eine Dämmstärke vor die der gleichen Nennweite des Rohres entspricht.

Die verwendete(n) Wärmedämmung(en) muss/müssen jedenfalls auch den Anforderungen des Brandschutzes erfüllen!

Da die Haustechnikmodule an der Außenfassade montiert werden, musste ebenso die Mindestanforderung an den U-Wert der Außenwand in diesem Bereich eingehalten werden. Lt. Baugesetz liegt dieser bei  $0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Die Dicke der Wärmedämmung musste daher auch an diese Anforderung angepasst werden.

### **Anforderungen an die Zugänglichkeit der Haustechnikmodule**

Befinden sich die Leitungsinstallationen innerhalb des Gebäudes, so ist es oft schwierig im Fall eines Schadens (z.B. Leitungsbruch) an diesen heranzukommen bzw. bleibt er für eine (sehr) lange Zeit unerkannt. Leitungstausch oder sonstige Wartungs- und Reparaturarbeiten sind oft nur sehr mühsam möglich.

Eine Möglichkeit diesen Problemen zu begegnen ist durch eine gezielte Leitungsführung außerhalb des Gebäudes. Revisionstüren/-öffnungen ermöglichen dabei einen einfachen Zugang zu den Leitungen, wodurch es nicht mehr notwendig ist die einzelnen Wohnungen zu betreten, um Reparatur- und Wartungsarbeiten oder auch Zählerstandskontrollen durchzuführen.

Hinsichtlich der Position der Revisionsöffnungen galt es folgendes zu beachten:

- Absperrmöglichkeit – wer hat Zugang?
- Dies ist dann von Bedeutung, wenn sich Hauptabsperreinrichtungen oder Absperrhähne einzelner Wohnungen bzw. Energiezähler der einzelnen Wohnungen in den Installationsschächten befinden.
- Lage und Größe der Revisionsöffnungen
- Einfache Zugänglichkeit

### **Anforderungen an den Anschluss der Wohnungen an die Haustechnikversorgung**

Werden die einzelnen Wohnungen nicht im Zuge der Sanierungsarbeiten an die neue Haustechnikversorgung angeschlossen (z.B. im Fall von Eigentumswohnungen denkbar), muss ein nachträglicher Anschluss dieser an die haustechnischen Leitungen jederzeit und mit geringem Aufwand möglich sein. Die installierten Haustechnikmodule und -leitungen mussten auf diesen Umstand reagieren können.

## C Modulentwicklung

### C.1. Fassadenmodul

#### Modulgröße

Bei den Überlegungen zur Modulgröße des vorgefertigten Fassadenelements galt es einige Faktoren mit zu berücksichtigen. So waren z.B. die vorhandenen Abmessungen der Oberflächenbekleidung ein wesentlicher Punkt. Da es im Zuge der Entwicklung galt eine möglichst wirtschaftliche Lösung zu erarbeiten, war es von Bedeutung, dass bei der Fassadenbekleidung möglichst auf die bereits vorhandenen Abmessungen, sozusagen auf „Standardabmessungen“, zurückgegriffen wird. Würden hingegen Sonderanfertigungen zum Einsatz kommen, hätte dies sicherlich negative Auswirkungen auf die Kosten des Fassadenmoduls. Auch müssten dann die ständige Verfügbarkeit und etwaige (längere) Lieferzeiten beachtet werden.

Aus wirtschaftlicher sowie auch aus ökologischer Sicht war es ebenso wichtig den Produktionsabfall während der Konstruktionsarbeiten so gering wie möglich zu halten. Daher galt es im Zuge der Planung die größtmögliche Reduktion des Verschnitts und somit auch des Abfalls zu bedenken.

Da der Einsatz von (großformatigen) Fassadenmodulen eine Anlieferung der Teile mit Lastwagen, Sattelschlepper, Tieflader oder dgl. voraussetzt und die anschließende Montage Hebehilfsmittel in unterschiedlicher Form benötigt, müssen die vorhandenen Platzressourcen betrachtet und Potenziale für die Montage vorgefertigter Elemente aufweisen. Daraus können sich in weiterer Folge eventuell Einschränkungen an die Modulgröße ergeben.

Um die Zufahrtsmöglichkeiten für die LKW grob abzuschätzen, können folgende Maße herangezogen werden: Der sogenannte "Euro-Lastzug" ist in seiner Größe und dem Gewicht von der EU definiert und in den meisten Mitgliedsländern erlaubt. Die maximale Breite beträgt (ohne Außenspiegel) 2,55 m, und kann bis max. 4 m hoch sein. Die Länge ist grundsätzlich mit 18,75 m beschränkt (Sattelzug 16,50 m).

Abbildung 10 zeigt den resultierenden Platzbedarf und auch den Kurvenradius für die Anlieferung der Module.

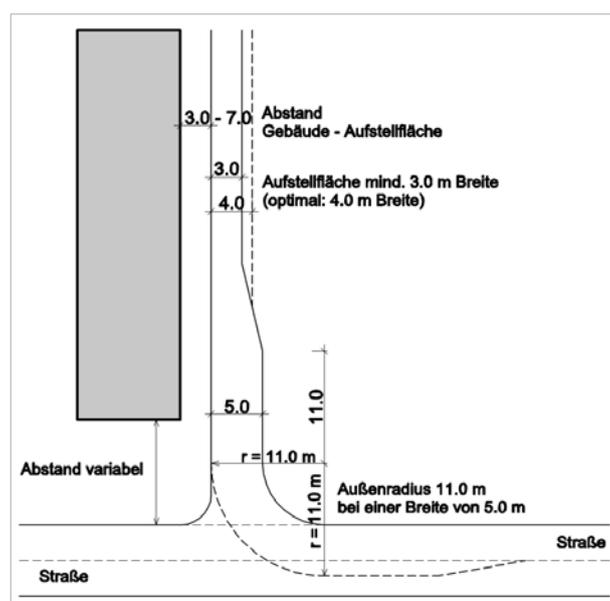


Abbildung 10: Darstellung Platzbedarf und Kurvenradius für die Anlieferung (Quelle: Geier und Knotzer, 2011)

### Lage der Module (vertikal/horizontal)

Die Lage des Fassadenmoduls (vertikal oder horizontal) wird unter anderem von der statischen Tragfähigkeit und der Fassadenstruktur des Bestandsgebäudes bestimmt. Dabei gilt es im Vorhinein die Möglichkeiten der Befestigung am Gebäude zu untersuchen. Beim vorliegenden Demonstrationsprojekt „Johann-Böhmstraße, Kapfenberg“ sind die Außenwände nur bedingt zur Lastaufnahme geeignet. Aus diesem Grund wird die Verankerung der Module in den Geschoßdecken (Zwischen- und oberste Geschoßdecke) bevorzugt.

Erfolgt die Befestigung der Fassadenelemente in den Geschoßdecken, so können aus dieser Sicht sowohl horizontale, als auch vertikale Fassadenmodule eingesetzt werden. Abbildung 11 zeigt dazu ein Schema der Westfassade des Demonstrationsprojekts mit vertikalen und horizontalen Modulen. Die roten Punkte stellen mögliche Befestigungspunkte der Module dar.

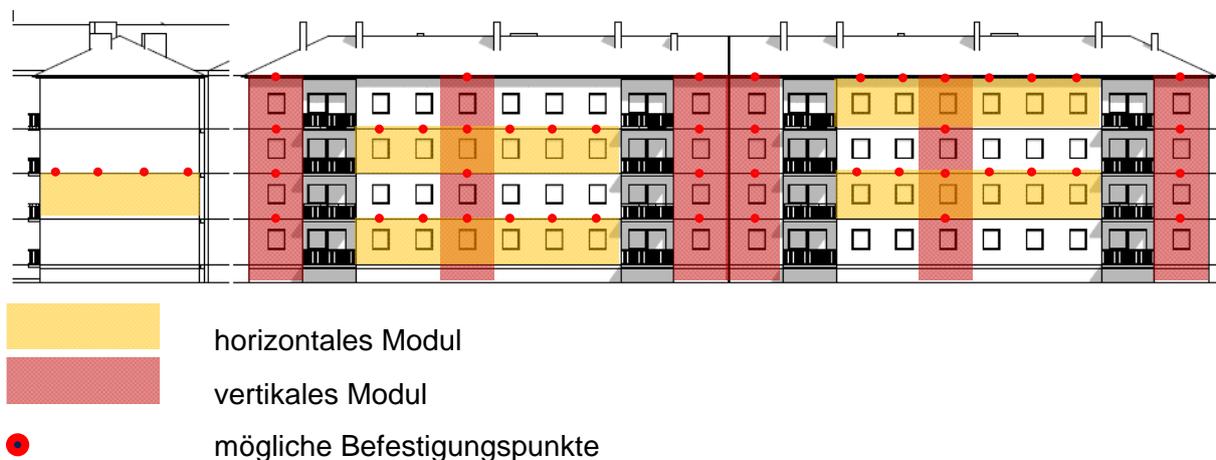


Abbildung 11: Befestigungspunkte von horizontalen und vertikalen Fassadenmodulen (Quelle: AEE INTEC)

Da sowohl eine horizontale als auch eine vertikale Montage der Fassadenmodule grundsätzlich möglich wäre, wurden beispielhaft zur Entscheidungsfindung weitere Kriterien herangezogen. Bei der genaueren Betrachtung der Fassadenstruktur wurde deutlich, dass eine Fertigung und Anbringung von horizontalen Modulen nur bedingt vorteilhaft ist. Auf Grund der Balkone müssten Fassadenmodule in unterschiedlichen Längen angefertigt werden. Zusätzlich würde sich auch die Anzahl der Module im Vergleich zu einer vertikalen Anordnung erhöhen, was einen größeren Aufwand bei der Herstellung und auch beim Transport und der Montage der Module bedeuten würde. Dies hätte dann wiederum negative Auswirkungen auf die Gesamtkosten des Fassadenmoduls.

Ein weiterer Vorteil eines vertikalen Fassadenmoduls ergibt sich in Kombination mit der Montage der Installationsschächte für die komplette Haustechnik an der Außenfassade. Die Installationsschächte stellen somit ein eigenes vertikales (und durchgezogenes) Modul dar. Dies bedeutet, dass die haustechnischen Leitungen nicht vor Ort bei der Montage verbunden werden müssen, sondern als komplette Module angeliefert werden, die im Werk montiert und verbunden werden.

Unter Berücksichtigung sämtlicher Kriterien und Abwägung der Vor- und Nachteile ist die Entscheidung zur Konzeption und Konstruktion eines vertikalen Fassadenmoduls gefallen. Dies stellt in dieser Sicht eine Neuerung dar, da bisherige vorgefertigte Fassadenelemente großteils in horizontaler Lage produziert und montiert worden sind. Z.B.: Sanierung Dieselweg Graz, Sanierung Makartstraße Linz,...

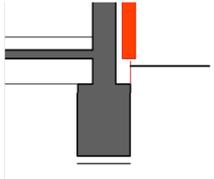
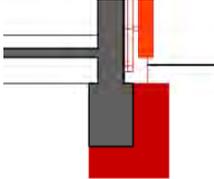
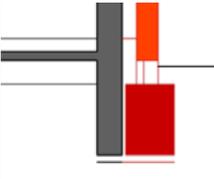
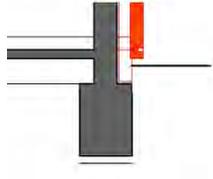
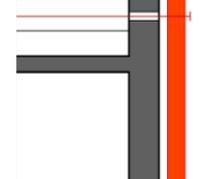
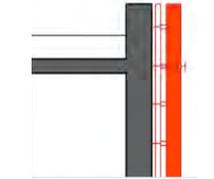
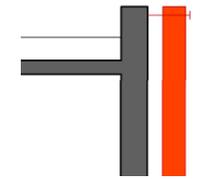
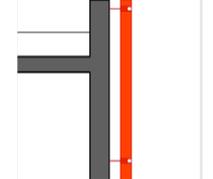
## Möglichkeiten der Befestigung am Bauwerk

### Stehende / hängende Konstruktion

Die Befestigung der vorgefertigten Fassadenelemente kann generell mittels stehender oder hängender Konstruktion erfolgen. Im Allgemeinen ist eine hängende Montage der Fassadenmodule zu bevorzugen, da eine hängende Konstruktion nicht „ausknicken“ kann und daher diese schlanker ausgeführt werden kann. Dies spielt vor allem bei der architektonischen Gestaltung des zu sanierenden Gebäudes eine Rolle. Werden die Fassadenelemente hingegen stehend montiert, muss die Befestigungskonstruktion stärker ausgeführt werden, um ein Ausknicken dieser zu verhindern.

Nachfolgende Tabelle 6 zeigt einen Vergleich unterschiedlicher Möglichkeiten von hängenden und stehenden Befestigungskonstruktionen.

Tabelle 6: Möglichkeiten hängender und stehender Befestigungskonstruktionen (Quelle: Geier, 2011)

	Hängende Konstruktion		Stehende Konstruktion	
Fundamentierung	Lastabtragung über bestehende Konstruktion → bestehende Fundamentierung ausreichend 	Lastabtragung über bestehende Konstruktion → bestehende Fundamentierung verstärken 	eigene Fundamentierung 	Lasteinleitung im Sockelbereich über bestehende Fundamentierung 
Unterkonstruktion	Lastabtragung / „Abhängung“ vom Dach- oder Traufenbereich 	Lastverteilende Unterkonstruktion im Fassadenbereich 	Flächentragwerk (Modul als Scheibe), zusätzliche Fixierung im oberen Bereich notwendig 	Flächentragwerk (Modul als Scheibe), Fixierung über mehrere Punkte im Fassadenbereich 
Dimensionierung	Schlankere Modulquerschnitte	Schlankere Modulquerschnitte	Stärkere Modulquerschnitte (Knicksteifigkeit)	Geringere Dicke der Module (kürzerer Abstand der Knickpunkte)

Wird die (Unter-)Konstruktion aber aus Holz ausgeführt, so ist eine hängende Montage der Fassadenelemente nicht möglich, da Holz auf Zug schlecht belastbar ist (ca. nur 1/10 der max. Druckbelastung). Aus diesem Grund müssen „vorgehängte“ Fassaden aus Holz stehend montiert werden.

## Möglichkeiten der Verbindungen und Fugen zwischen den Modulen

Die kraftschlüssigen Verbindungen zwischen den Modulen können mittels Schraubverbindungen hergestellt werden. Diese werden kreuzweise Vorort miteinander verschraubt.

Bei der Fugenausbildung zwischen den Modulen unterscheidet man zwischen vertikalen und horizontalen Fugen.

### Vertikale Fugen:

Aufgrund der Holzkonstruktion war es nicht gewollt, dass Feuchtigkeit durch Schlagregen hinter die Holzkonstruktion gelangt, somit waren geschlossene Fugenausbildungen anzustreben.

Die Ausbildung konnte somit durch Dichtstoffe, wie Schäume, Fugenmassen, Gummidichtungen oder durch Blechabdeckungen erfolgen.

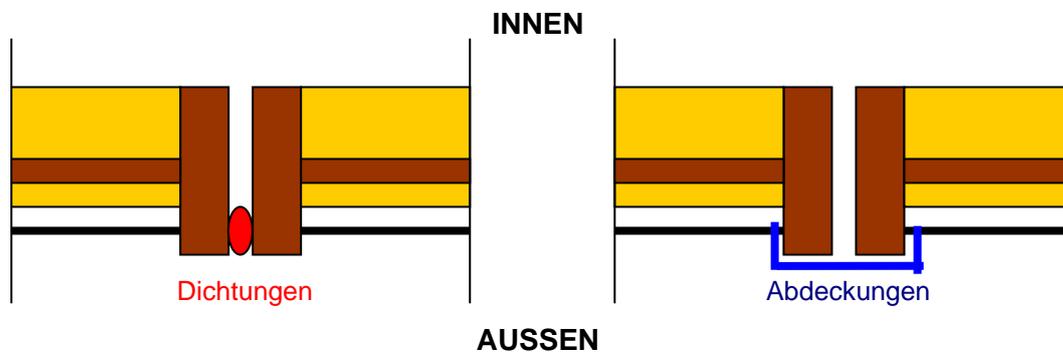


Abbildung 12: Möglichkeiten von vertikalen Fugenausbildungen

Prinzipiell wurde versucht, durch die Ausführung von großflächigen Modulelementen die horizontalen Fugen und Stöße zu minimieren. War dies nicht vermeidbar – speziell beim Übergang von passiven zu aktiven Elementen – wurden „überlappende“ Lösungen angestrebt.

Dabei durften keinerlei Abdeckelemente aufgrund des „platzschonenden“ Transportes vor der Vorderkante Holzträger hervorstehen

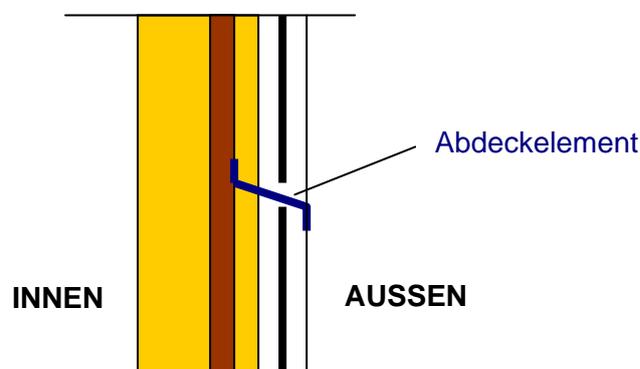


Abbildung 13: Möglichkeit einer horizontalen Fugenausbildung

### **Möglichkeiten des Toleranzausgleiches zwischen Modul und Mauerwerk**

Prinzipiell kann der Toleranzausgleich vor Ort mit einer geeigneten Konstruktion bzw. mit Aufputzmöglichkeiten hergestellt werden. In dieser Forschungsarbeit wird versucht auch den erforderlichen Toleranzausgleich in das Basismodul zu integrieren.

Der Toleranzausgleich zwischen Mauerwerk und den vorgefertigten Fassadenmodulen wurde dabei durch eine zusätzliche Wärmedämmschicht hergestellt. Dazu wurde Mineralwolle mit einigen Zentimetern Überstand über das Fertigteil an der Innenseite des Fassadenmoduls angebracht. Die Gesamtdicke dieser Wärmedämmschicht lag bei rund 10 cm.

Durch Zusammenpressen der Mineralwolle wurden anschließend die Unebenheiten ausgeglichen (siehe Abbildung 14 – rote Markierung).

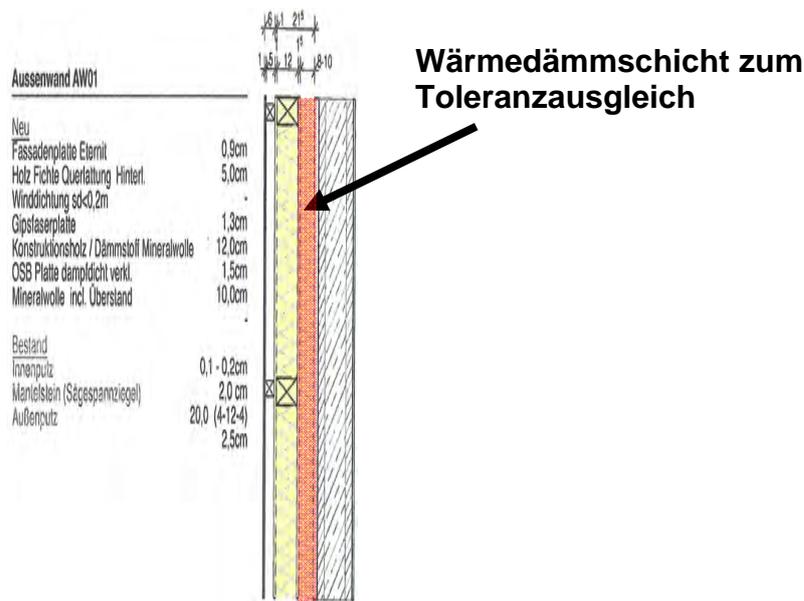


Abbildung 14: Wärmedämmschicht beim Fassadenmodul zum Toleranzausgleich (rote Markierung) (Quelle: Nussmüller Architekten ZT GmbH)

### Möglichkeiten der Oberflächenbeschaffenheit

Eine entsprechende optische Gestaltung der Fassaden konnte durch den individuellen Einsatz verschiedener Materialien bei der Fassadenbekleidung erreicht werden. Grundsätzlich stand dazu ein Spektrum unterschiedlicher Werkstoffe zur Verfügung. Jeder dieser Werkstoffe musste dabei Grundanforderungen erfüllen. Diese waren unter anderem:

- Lichtechtheit
- Frostbeständigkeit
- Dauerhaftigkeit

Mit Hinblick auf diese Anforderungen können u.a. folgende Werkstoffe zur Fassadenbekleidung eingesetzt werden:

- Aluminium-Verbundplatten
- Faserzement
- Glas
- Holz
- Naturwerksteine
- Trägerplattensysteme für Putz-, Keramik- und Glasapplikationen
- Kunststoffplatten
- ....

Als wesentlicher Vor- bzw. Nachteil der einzelnen Werkstoffe zur Fassadenbekleidung ist der Wartungsaufwand zu nennen.

Die passiven Elemente der vorgefertigten Fassadengrundmodule wurden aus diesem Grund im vorliegenden Fall mit Eternit Faserzementplatten verkleidet.

## Integration aktiver und passiver Elemente

### Integration von Photovoltaikmodulen in die Fassade

Um die Photovoltaikmodule im vorgefertigten Fassadenelement zu installieren, musste der Aufbau des Basismoduls geändert und angepasst werden. Eine erste Überlegung eines möglichen Elementaufbaus mit integriertem PV-Modul ist in Abbildung 15 ersichtlich.

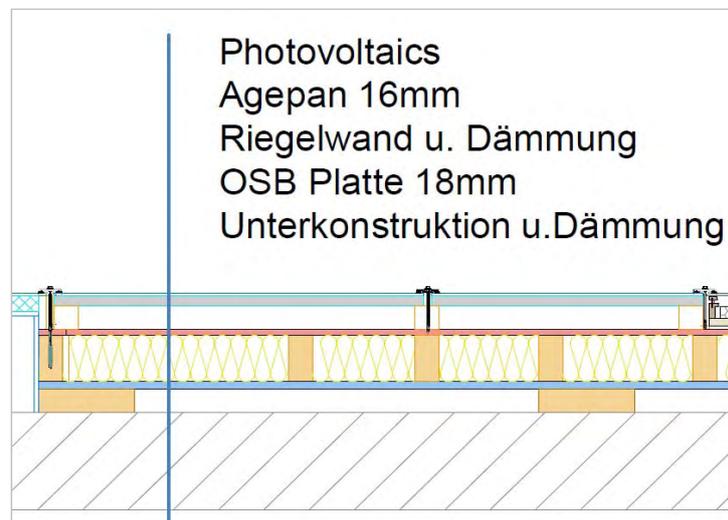


Abbildung 15: Integration des PV-Moduls in das vorgefertigte Sanierungselement – ENTWURF (Quelle: Kulmer Holz-Leimbau GesmbH)

Zur Integration der PV-Module konnten im Wesentlichen Serienprodukte herangezogen werden. Prinzipiell wurde angedacht die Glasstärke der Module von 3,2 mm der Serienprodukte auf 6,0 mm zu erhöhen. Ebenso wurde überlegt den Modulrahmen wegzulassen.

Nachfolgende Abbildung 16 zeigt bspw. dazu einen Auszug aus dem Datenblatt des monokristallinen Solarmoduls der Firma KIOTO Photovoltaics GmbH, Abbildung 17 das multikristalline PV-Modul.

### Monokristalline Solarmodule

TECHNISCHE DATEN	Netzgekoppelte Systeme:
Modulleistung	210-220 Wp monokristallin
Leistungstoleranz	+ 3 % / - 0 %
Zellanzahl/Größe	54 (156x156 mm)
Modulabmessungen	1507x992x33 mm
Modulgewicht	16.5 kg

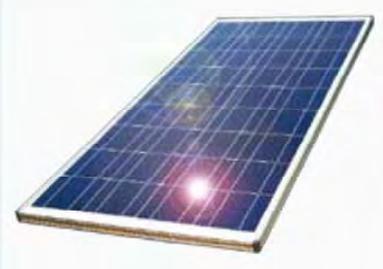
  

KOMPONENTEN	Netzgekoppelte Systeme:
Zellen	Q-Cells, Ersol, NSP, E-TON, MVC
Rahmen	Aluminium mit Kunststoffeckverbindern
Glasspezifikationen	Solarglas ESG 3.2 mm
Verkapselungsmaterial	Etimex
Rückseitenmaterial	Isovolta, Krempel
Anschlussbox	Tyco

Die monokristallinen Solarmodule überzeugen durch ihren hohen Wirkungsgrad von 210 bis 220 Wp.

Abbildung 16: Auszug Datenblatt – Monokristallines PV-Modul (Quelle: KIOTO)

## Multikristalline Solarmodule



Die multikristallinen PV-Module werden in zwei Ausführungen angeboten: als netzgekoppelte Systeme und als Inselanlagen.

TECHNISCHE DATEN	Netzgekoppelte Systeme:	Inselanlagen:
Modulleistung	190-210 Wp multikristallin	90-130 Wp multikristallin
Leistungstoleranz	+ 3 % / - 0 %	+/- 3 %
Zellenanzahl/Größe	54 (156x156 mm)	36 (156x156 mm)
Modulabmessungen	1507x992x33 mm	1507x674x33mm
Modulgewicht	16.5 kg	12.19 kg

KOMPONENTEN	Netzgekoppelte Systeme:	Inselanlagen:
Zellen	Q-Cells, Ersol, NSP, E-TON	
Rahmen	Aluminium mit Kunststoffeckverbindern	
Glasspezifikation	Solarglas ESG	Solatex 3.2 mm
Verkapselungsmaterial	Etimex	
Rückseitenmaterial	Isovolta, Krempel	Isovolta
Anschlussbox	Tyco	

Abbildung 17: Auszug Datenblatt – Multikristallines PV-Modul (Quelle: KIOTO)

### Integration von solarthermischen Kollektoren in die Fassade

Die Integration der solarthermischen Kollektoren in das vorgefertigte Fassadenmodul machte wiederum eine Änderung bzw. Anpassung des Basismoduls an die gegebenen Anforderungen notwendig. Abbildung 18 zeigt dazu eine erste Überlegung des geänderten Modulaufbaus zur Integration der solarthermischen Kollektoren.

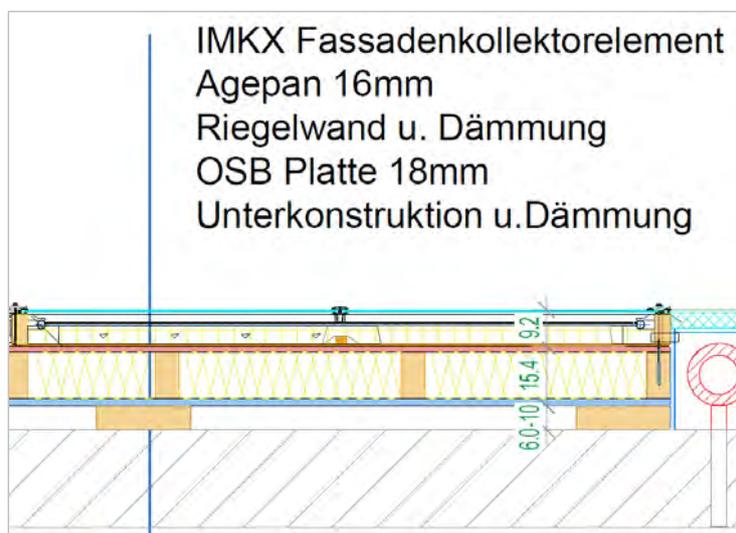


Abbildung 18: Integration des solarthermischen Kollektors in das vorgefertigte Sanierungselement – ENTWURF (Quelle: Kulmer Holz-Leimbau GesmbH)

Die Verwendung von „Serienkollektoren“ hätte dabei den Vorteil, dass diese Kollektoren durch die „Roboterlinie“ gefertigt werden könnten und daher kostengünstiger als speziell gefertigte Module wären. Durch die Roboterfertigung sind diese Kollektoren aber auch in ihren Abmessungen beschränkt. Die Höhe kann 1,80 m bis maximal 2,30 m, die Breite 1,00 m bis maximal 1,20 m betragen. Als Gehäusematerial kann nur Aluminium verwendet werden, was wiederum einen ökologischen Nachteil darstellen würde.

Als Alternative zu diesen Serienkollektoren könnten ebenso speziell gefertigte Module in die Fassade integriert werden. Diese könnten dann in nahezu jeder Größe fabriziert werden, wobei dabei auf die vorhandenen Glasgrößen bzw. Glaspreise Rücksicht genommen werden muss (Preissprung beim Glas ab einer bestimmten Größe!!). Als Gehäusematerial könnte bei diesen Kollektoren auch Holz zum Einsatz kommen, was aus ökologischer Sicht sicherlich zu bevorzugen wäre. Nachteilig ergeben sich jedoch auf Grund der individuellen Fertigung der Kollektoren die z.T. deutlich höheren Investitionskosten im Vergleich zu den Serienkollektoren.

Nachfolgende Abbildung 19 zeigt eine Maßzeichnung des Holzrahmenkollektors IMK der Firma GREENoneTEC. Dieser Kollektor könnte beim betrachteten Objekt zum Einsatz kommen.

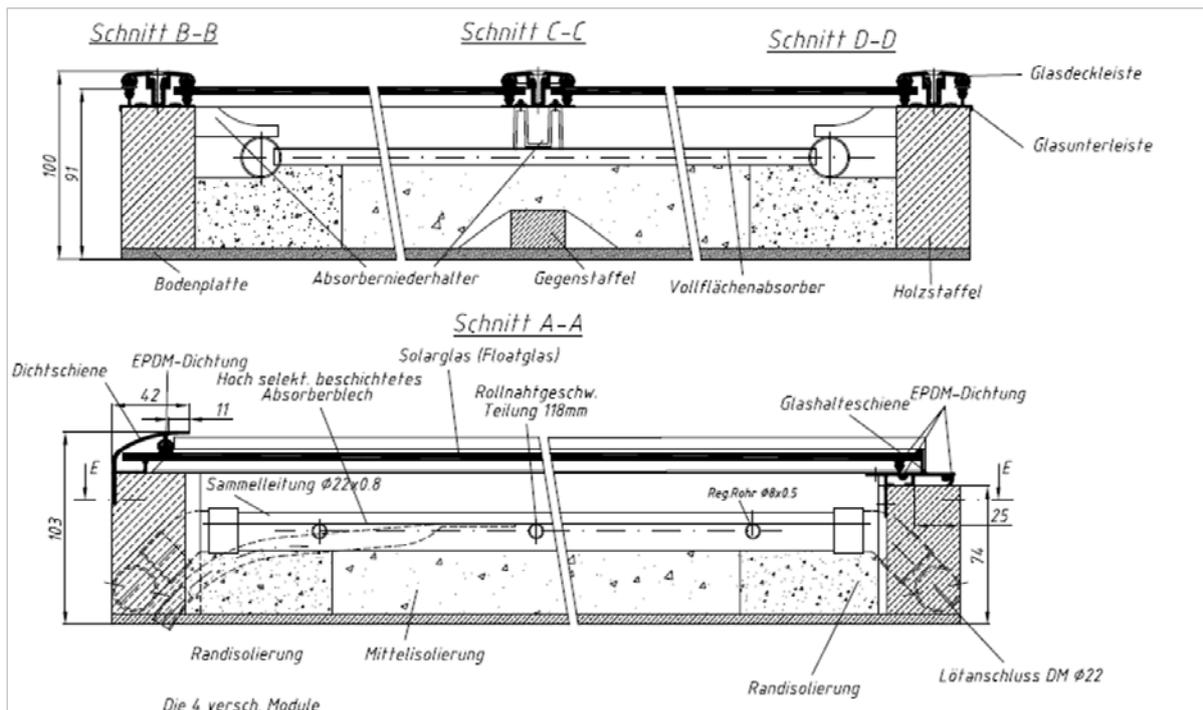


Abbildung 19: Masszeichnung Holzrahmenkollektor IMK (Quelle: GREENoneTEC)

Mögliche Änderungen bei der Kollektorherstellung zur Anpassung des Serienkollektors an den tatsächlichen Bedarf könnten sein (siehe Tabelle 7):

Tabelle 7: Mögliche Änderungen bei der Kollektorherstellung

	<b>Serienkollektor</b>	<b>Demonstrationsprojekt</b>
<b>Glasstärke</b>	4 mm	6 mm
<b>Glasart</b>	float	matmat
<b>Absorbermaterial</b>	Kupfer	Aluminium
<b>Verbindung</b>	Lötverbindung	Schraubverbindung
<b>Sonstiges</b>	Gekröpfte Sammelleitung	
	Absorberniederhaltung	

Bei der Verschaltung der einzelnen Kollektorfelder musste auf einen möglichst guten Wärmeübergang zwischen Absorber und Wärmeträger geachtet werden. Das Ziel war des Weiteren eine möglichst gleichmäßige Durchströmung paralleler Absorberrohre sowie ein möglichst geringer Druckverlust

durch die Kollektorströmung. Wichtig war aber auch ein geringer Verrohrungsanteil um Materialkosten, Montagekosten und Wärmeverluste zu reduzieren.

Im konkreten Fall wurden diese Ziele am besten durch eine Serienschaltung der Kollektorfelder erreicht. Eine Parallelschaltung hätte einen zu hohen Installationsaufwand zur Folge haben.

Nachfolgende Abbildung 20 zeigt eine Prinzipskizze der horizontalen Kollektorverschaltung als Serienschaltung, wobei die hintereinander geschalteten solarthermischen Kollektoren unterschiedliche Baulängen aufweisen.

Abbildung 21 zeigt die prinzipielle Verschaltung der Kollektoren im Fensterbereich des Gebäudes. Einerseits mit zwei Kollektoren in vertikaler Anordnung zwischen den beiden Fenstern und andererseits mit vier Kollektoren in horizontaler Anordnung unterhalb der zwei Fenster (Parapetband).

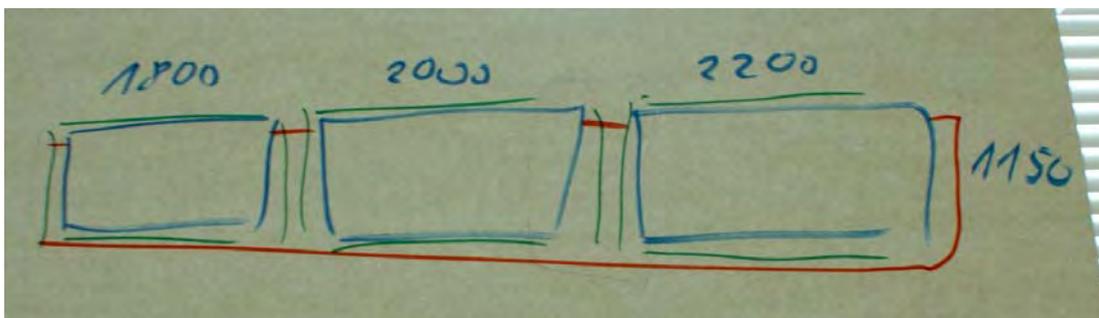


Abbildung 20: Prinzipskizze der horizontalen Kollektorverschaltung (Quelle: AEE INTEC)

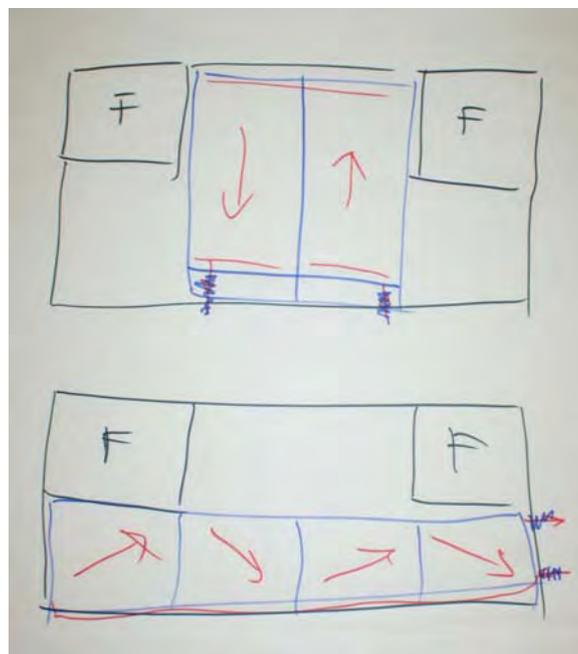


Abbildung 21: Prinzipskizze der Kollektorverschaltung bei einem Fenster (Quellen: AEE INTEC u. GreenOneTec)

### Integration von Solarwaben (gap-Paneelen) in die Fassade

Neben den solarthermischen Kollektoren und den PV-Modulen sollte ebenso die Einplanung von Elementen (Solarwaben) der Fa. gap-solution gmbh möglich sein.

Das Kernelement dieses patentierten Fassadensystems ist eine Solarwabe aus Zellulose, die das Sonnenlicht aufnimmt. An der Außenseite wird die Zellulosewabe von einer hinterlüfteten Verglasung vor der Witterung geschützt.

Das Prinzip dieses Fassadensystems ist dabei, dass die flach einfallende Solarstrahlung im Winter in die Solarwabe eindringt und diese erwärmt. An der Außenseite der Wand bildet sich eine warme Zone. Der Temperaturunterschied zwischen Wohnraum und Außenklima wird geringer.

Im Sommer kommt es auf Grund der Struktur der Solarwaben zu einer Selbstverschattung dieser, wodurch verhindert wird, dass es zu einer unerwünschten Aufheizung des Mauerwerks kommt.

Eine Möglichkeit der Integration des gap-Paneels in das Basismodul ist in Abbildung 22 ersichtlich.

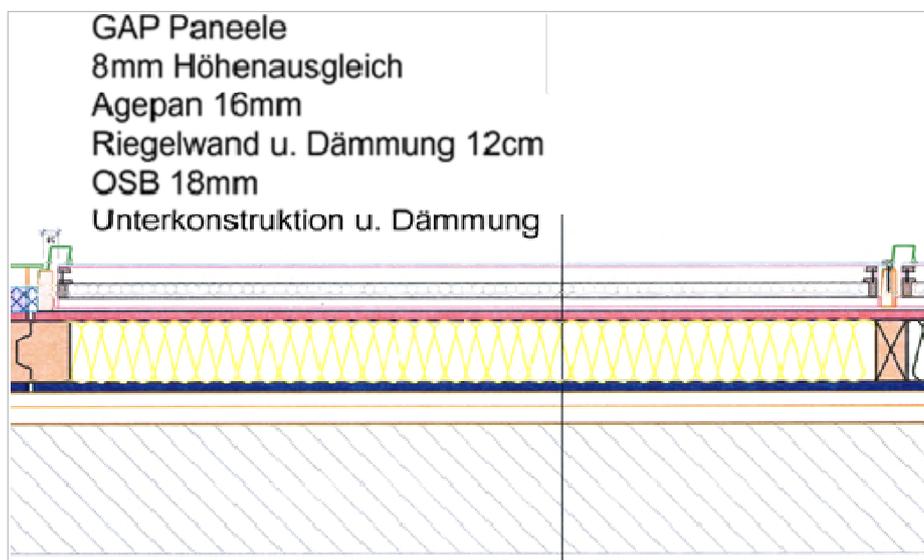


Abbildung 22: Integration des gap-Paneels in das vorgefertigte Sanierungselement – ENTWURF (Quelle: Kulmer Holz-Leimbau GesmbH)

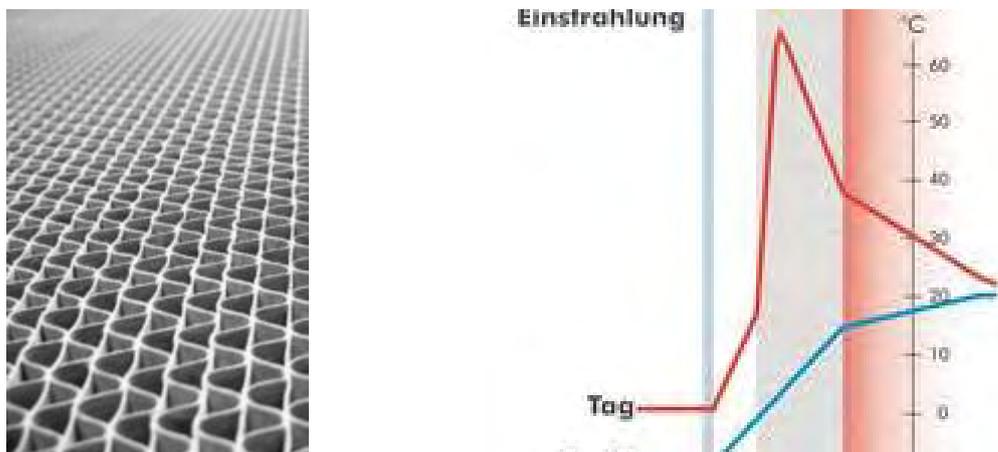


Abbildung 23: Solarwaben (Quelle: gap-solution GesmbH)

## Modulaufbau, Material und Dicke (auch in Bezug auf Ökologie, Wirtschaftlichkeit und Recyclebarkeit)

Die Entwicklung dieses Basis-Fassadenmoduls stellte sich als kontinuierlicher Prozess dar, der durch laufende Diskussionen, Workshops und Besprechungen innerhalb des Projektteams gekennzeichnet war.

### 1. Schritt – Ideen sammeln innerhalb des Projektteams

Innerhalb des Projektteams wurde ein 1. Vorschlag für den Modulaufbau des vorgefertigten Fassadenelementes entworfen. Dieser sieht primär Doppel-T-Träger (sogenannte TJI-Träger) als Unterbau der Konstruktion vor. Der Vorteil dieses TJI-Trägers liegt eindeutig im geringeren Gewicht gegenüber anderen Baumaterialien. Dazwischenliegend soll eine Dämmung eingebracht werden. Außenseitig sollen die Träger mit einer Beplankung von mindestens 27 mm versehen werden. Diese sollten dabei „tragfähig“ sein, um etwaige Kollektoren unabhängig von der vorhandenen Unterkonstruktion montieren zu können.

Abbildung 24 zeigt die Handzeichnung des beschriebenen Modulaufbaus, die im Zuge des gemeinsamen Projekttreffens erarbeitet wurde.

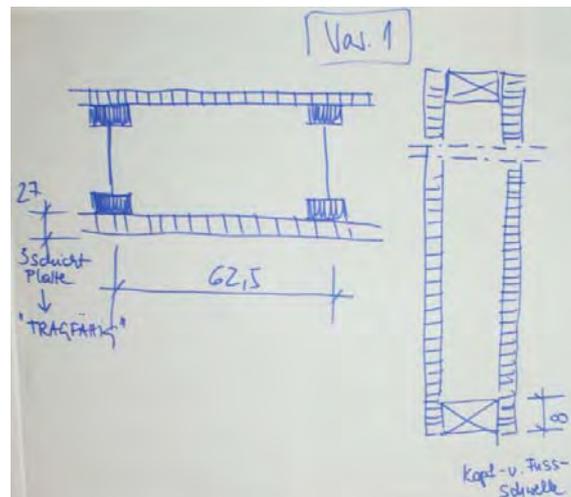


Abbildung 24: Variante 1 eines möglichen Modulaufbaus (Quelle: AEE INTEC)

In der zweiten Variante wurde der Wandaufbau des Fassadenelements „zweigeteilt“. Durch diese Vereinfachung sollen die unterschiedlichen Aufgaben der Module besser erfüllt werden. Das Basiselement wies dabei eine Wärmedämmung von ca. 12 cm auf. Diese wurde anschließend noch mit 8-9 cm überdämmt, wodurch die Gesamtwärmedämmdicke auf 20-21 cm anstieg. Im Bereich der solarthermischen Kollektoren sollte auf die vollständige Dämmstärke verzichtet werden. Das Basismodul wurde in diesem Fall mit ca. 4-5 cm Wärmedämmung an der Kollektorrückwand versehen.

Abbildung 25 zeigt die zuvor beschriebene Variante 2 des Fassadenmoduls.

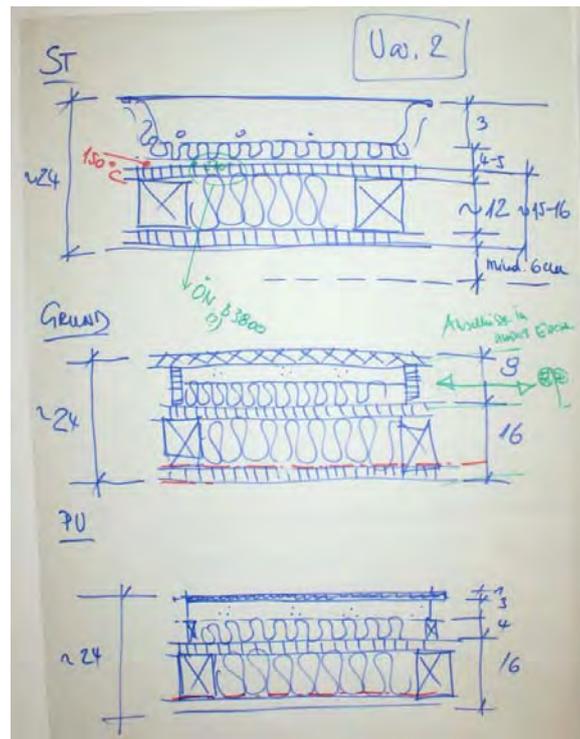
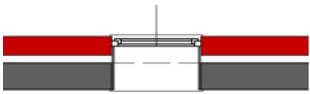
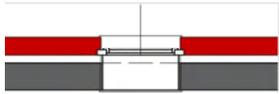
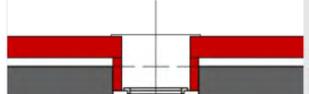


Abbildung 25: Variante 2 eines möglichen Modulaufbaus (Quelle: AEE INTEC)

### Möglichkeiten der Integration des Fensters

Im Zuge der Sanierung des Gebäudes und der Anbringung der neuen vorgefertigten Sanierungselemente konnte die Position der Fenster im Fassadenmodul variiert werden. Es bestand dabei die Möglichkeit das Fenster außenbündig, mittig oder innenbündig zu positionieren. All diese Fensterposition haben Vor- aber auch Nachteile sowie Risiken. Einen Vergleich der wesentlichen Eigenschaften der drei Fensterpositionen zeigt Tabelle 8.

Tabelle 8: Vergleich Fensterpositionen im vorgefertigten Fassadenmodule (Quelle: Geier, 2011)

	Fenster außenbündig	Fenster mittig	Fenster innenbündig
			
<b>Vorteile</b>	Einfache und risikoarme Herstellung und Montage	Fenster in Dämmebene – keine Wärmebrücke	Beheizung kann direkt unter Fenster positioniert werden – Witterungsgeschützte Montage des außenliegenden Sonnenschutzes im Fenstersturz möglich
<b>Risiken</b>	Schwachstelle: Fensterrahmen als Wärmebrücke – potenzielle Kondensat-/ Schimmelbildung Schwachstelle Regendichtheit	Luftdichter Anschluss zwischen Fassadenmodul und bestehender Fassade schwer herzustellen	Wärmebrücke – Wärmeverluste über schwächer überdämmte Fensterleibung
<b>Vorbeugende Maßnahme</b>	Dämmebene im Modul möglichst mit Fensterebene abstimmen. Fenster um ausreichendes Maß in die Leibung verschieben – Überdämmung Rahmen	Höhere Sorgfalt und Kontrolle während Ausführung	Ausreichende Leibungsdämmung
<b>Nachteil</b>	Außenliegender Sonnenschutz schwer integrierbar	Höherer Aufwand in der Ausführung	Bei ausreichender Leibungsdämmung stark verkleinerte Fensterflächen.

Im Zuge des Entwicklungsprozesses wurden die drei Möglichkeiten innerhalb des Projektteams besprochen und die Vor- und Nachteile der einzelnen Varianten abgewogen. Dabei wurde festgelegt, dass die Lage des Fensters im Fassadenmodul etwa bündig mit dessen hinteren Kante abschließen soll. Das Fenster durfte nicht über das Fassadenmodul hinausreichen. Dies stellte Erfordernisse an den Fertigungsprozess sowie der Lieferung und Montage dar.

Abbildung 26 zeigt eine erarbeitete Handskizze zur Position des Fensters im vorgefertigten Fassadenmodul.

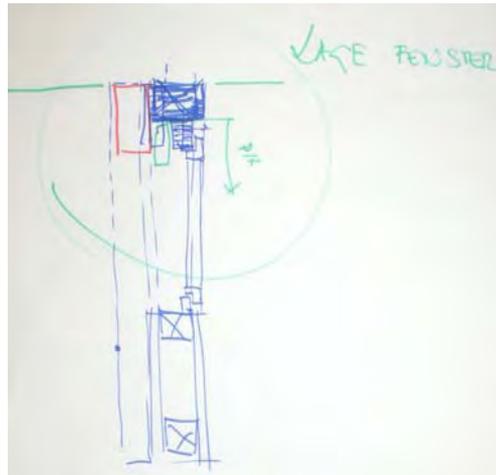


Abbildung 26: Skizze zur Lage des Fensters im Fassadenmodul (Quelle: AEE INTEC)

Die Qualität der Fenster hat dabei nicht nur Einfluss auf den Wärmeschutz, sondern auch auf den Schallschutz des Gebäudes. Zur Verbesserung des Luftschallschutzes gegen außen ist nicht die Außenwand entscheidend, sondern vielmehr das Fenster. Daher wurde bereits früh im Planungsstadium eine 3-Scheiben-Verglasung festgelegt. Ebenso sollte ein wärmegeämmter Fensterrahmen eingeplant werden. Dadurch wird zum einen der Schallschutz nach Außen verbessert und zum anderen auch die Wärmeverluste des Gebäudes über die Fenster nach Außen deutlich reduziert.

Um eine (sommerliche) Überwärmung des Gebäudes zu verhindern, galt es im Zuge der Sanierung effektive passive Maßnahmen einzuplanen und zu installieren. Neben der möglichen Erhöhung der speicherwirksamen Masse, durch z.B. Verwendung von massiven statt Trockenestrich oder Verputzen, war die wesentliche Komponente die Auswahl der Verglasung und die Integration von Sonnenschutzmaßnahmen.

Die Wahl der geeigneten Strategie gegen sommerliche Überwärmung bei Sanierungen war nur in Abstimmung mit dem Gesamtkonzept sinnvoll. Die Integration von außenliegenden Sonnenschutzvorrichtungen ist allerdings eine einfache und nachhaltig wirksame Maßnahme und unbedingt zu empfehlen.

Bei der Planung und Ausführung des außenliegenden Sonnenschutzes galt es jedoch auch auf die Details zu achten, da sich in diesem Punkt potenzielle Schwachstellen verbergen können. Einen solchen Schwachpunkt stellte bspw. der manuelle Kurbelantrieb eines außenliegenden beweglichen Sonnenschutzes dar. Die vorhandene Durchdringung bildete einerseits eine Wärmebrücke und andererseits eine weitere Durchdringung der luftdichten Gebäudehülle. Ein Antrieb über einen integrierten Elektromotor würde dazu Abhilfe schaffen.

Auch hat die Größe des außenliegenden Sonnenschutzes einen Einfluss auf die Moduldicke, wenn der Sonnenschutz in das Modul integriert wird. Dies gilt es ebenso zu bedenken und zu berücksichtigen.

Abbildung 27 zeigt das Fensterdetail des vorgefertigten Fassadenmoduls mit geplanter Position des außenliegenden Sonnenschutzes (rote Markierung).

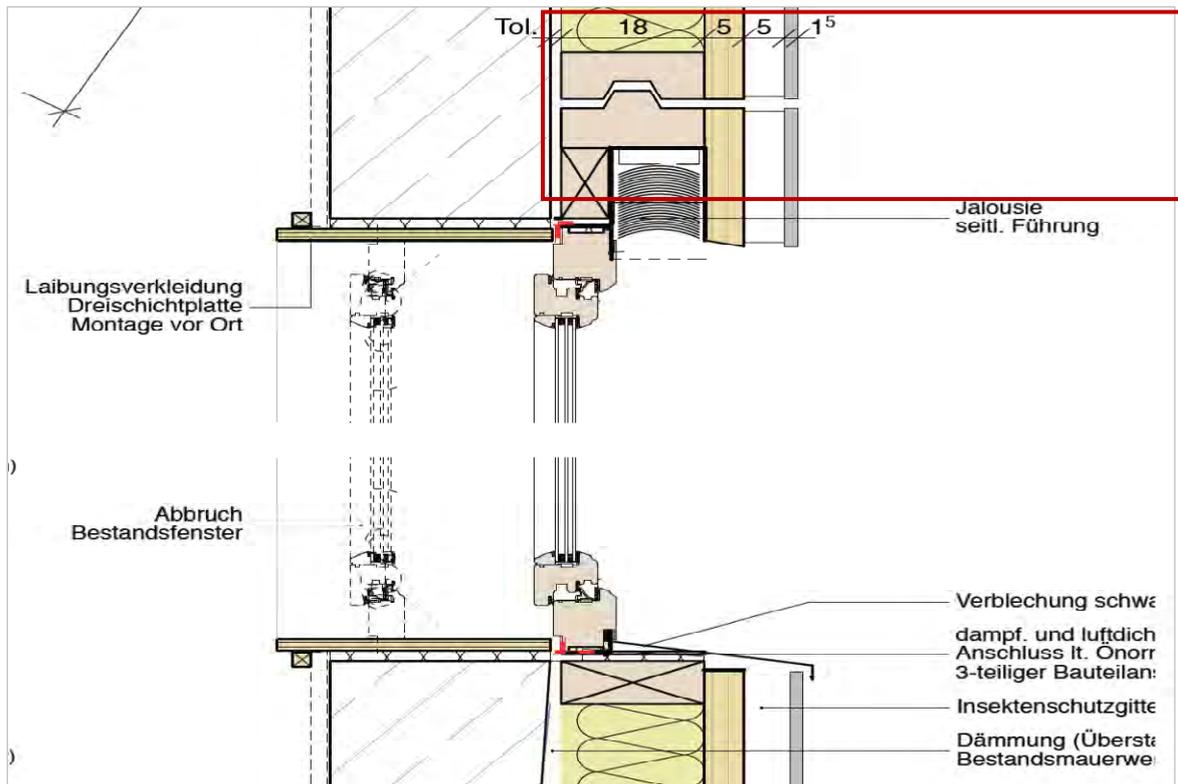


Abbildung 27: Fensterdetail mit integriertem außenliegendem Sonnenschutz (Quelle: Nussmüller Architekten ZT GmbH)

## **2. Schritt – Optimierung des Systemaufbaus und Fixierung des (endgültigen) Modulaufbaus des Basiselements**

Der Systemaufbau sowie die Dicke der Basismodule wurden im nächsten Schritt durch Kalkulationen und Erfahrungen der Fa. Kulmer optimiert. Dazu wurden erforderliche Gespräche mit relevanten Fachfirmen und Systemherstellern geführt. In diesen Besprechungen wurde über die gegenwärtigen Möglichkeiten der Ausführung der Verbindungselemente, Oberflächenausbildungen, Materialien, usw. informiert und diskutiert.

Die Optimierung des Systemaufbaus sowie der Dicke der Basismodule wird seitens der TU Graz durch eine Abstimmung der Varianten begleitet (siehe dazu AP5 in Kapitel 5.1.4).

Da die Anordnung und Ausführung von passiven und aktiven Systemelementen und Oberflächen, speziell an der Fassade eine wesentliche Rolle in der Akzeptanz seitens der Bauherren/Baufrauen sowie der Bevölkerung spielen, wurden die laufenden Entwicklungen ständig mit dem Architekten abgestimmt und besprochen.

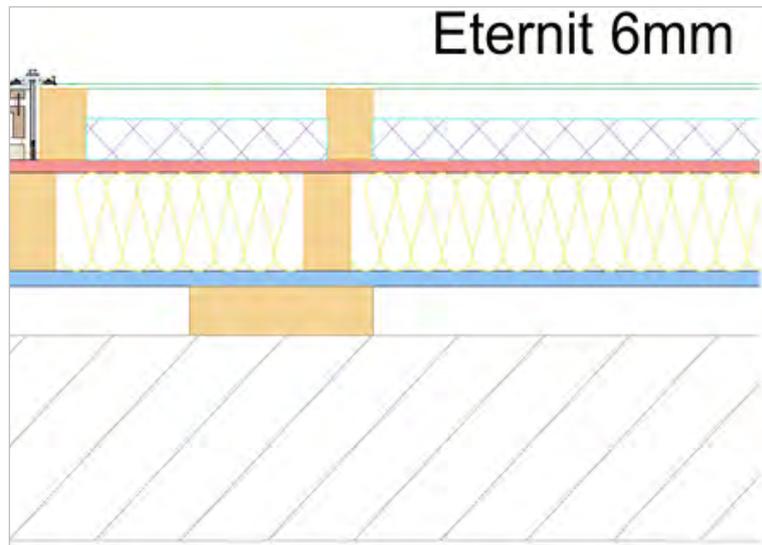


Abbildung 28: Modulaufbau eines passiven Elements – ENTWURF (Quelle: Kulmer Holz-Leimbau GesmbH)

## C.2. Entwicklung Haustechnikmodul

### **Modulgrößen und Lage (vertikal/horizontal)**

Durch die Entwicklung neuartiger außenliegender Haustechnikmodule soll ein wesentlicher Beitrag geleistet werden, Gebäude der Bauepoche des wirtschaftlichen Aufschwungs hochwertig und gleichzeitig wirtschaftlich zu sanieren.

Prinzipiell könnten die Haustechnikmodule sowohl vertikal als auch horizontal gefertigt und montiert werden. Auf Grund der gegebenen Typologie des vorliegenden Gebäudes (gleichzeitig repräsentativ für eine große Zahl der Mehrfamilienwohngebäude des wirtschaftlichen Aufschwungs) wird jedoch wie beim Fassadenmodul eine vertikale Anordnung der Haustechnikschächte als sinnvoll angesehen. Dies bedeutet, dass jeweils vier übereinander liegende Wohnungen über einen gemeinsamen Schacht versorgt werden. Dadurch können die Rohrleitungslängen möglichst kurz gehalten werden, was geringere Investitionskosten sowie geringere Wärmeverluste bewirkt.

Die Lage der vertikalen Haustechnikschächte sollte soweit optimiert werden, dass die Verteilleitungen sowohl außerhalb des Gebäudes als auch in den einzelnen Wohnungen so kurz wie möglich gehalten werden. Dies kann einerseits dadurch erreicht werden, dass die Badezimmer im Zuge der Sanierungs- und Umstrukturierungsarbeiten direkt an der jeweiligen Außenwand platziert werden, um so zum einen eine direkte Belichtung und Belüftung zu gewährleisten und um einen direkten Anschluss an die Haustechnikschächte zu ermöglichen. [Anmerkung: Überall ist eine direkte Platzierung an der Außenwand zwecks der erforderlichen Grundrissgestaltung allerdings nicht möglich!]

Anschließend werden im zweiten Schritt die vorgefertigten Haustechnikmodule so nah wie möglich an den Badezimmern platziert. Da die Badezimmer jedoch über Außenfenster verfügen muss die Lage der Haustechnikschächte an diese angepasst werden, wodurch ein leicht horizontales Versetzen notwendig ist.

Zur Verdeutlichung der gegebenen und oben beschriebenen Situation wird in Abbildung 29 ein Grundriss des Demoprojektes dargestellt. Die grünen Bereiche markieren die Platzierung der Badezimmer in den Wohnungen nach der Sanierung. Die blauen Bereiche kennzeichnen die geplante Lage der Haustechnikmodule.

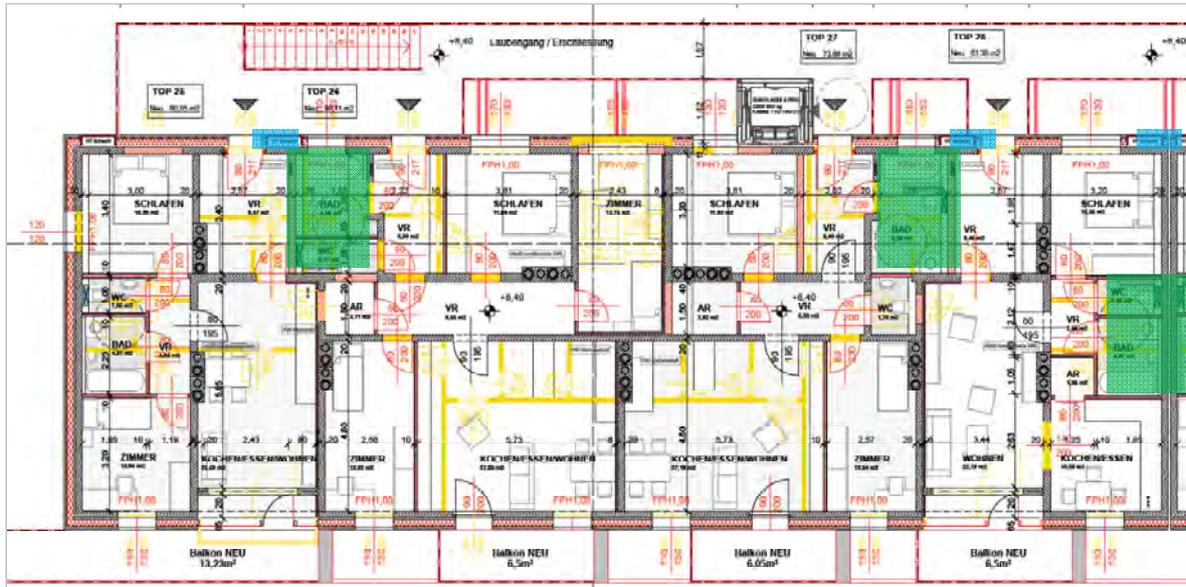


Abbildung 29: Grundriss Demoprojekt – Lage der Haustechnikschächte und der Nasszellen (Quelle: Nussmüller Architekten ZT GmbH)

Die Modulgröße der Haustechnikschächte hat sich an deren jeweiligen Anforderungen zu orientieren. Je nachdem wie viele bzw. welche haustechnischen Leitungen im Haustechnikmodul geführt werden sollen, muss die Breite und auch die Tiefe der Schächte angepasst werden. (Die Länge der einzelnen Haustechnikschächte sollte jeweils der Geschoßhöhe des Gebäudes entsprechen.)

Zur Erfüllung der gestellten Anforderungen und der Möglichkeit eine unterschiedliche Anzahl von haustechnischen Leitungen im Schacht zu führen, erfolgten die ersten Schritte der Entwicklung hinsichtlich der Konzeption dreier Grundvarianten von vorgefertigten Haustechnikmodulen.

So wurde ein Grundmodul „S“ (small) konzipiert, in welchem neben dem Abfluss auch die Vor- und Rücklaufleitung der Heizung sowie die Kaltwasserleitung Platz finden. Abbildung 30 zeigt das Schema dieses Grundmoduls „S“.

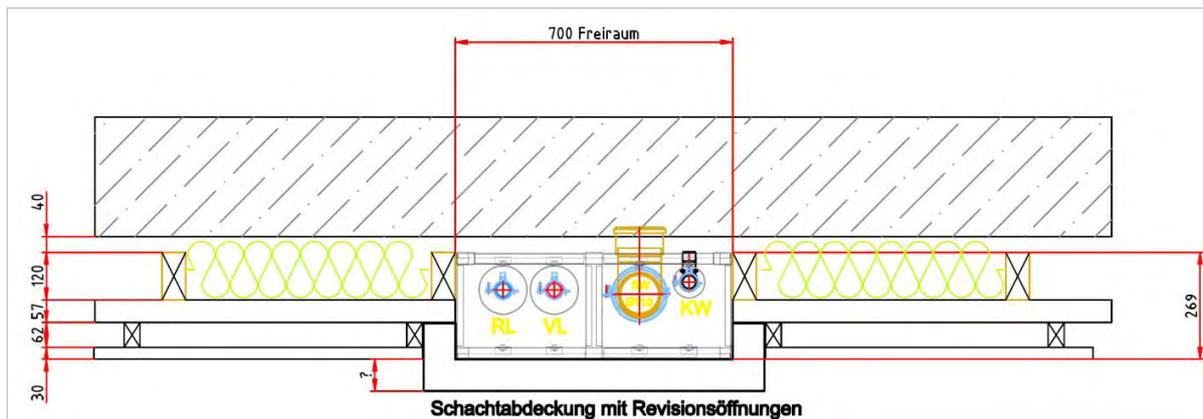


Abbildung 30: Schema Haustechnik-Grundmodul „S“ (Quelle: Geberit Huter GmbH)

Die entwickelte Modulerweiterung „M“ (medium) enthält neben Abfluss-, Heizungsvorlauf-, Heizungsrücklauf- und Kaltwasserleitung auch die Vor- und Rücklaufleitungen der thermischen Solaranlage sowie wurde ein zusätzlicher Platz für die Elektroleitungen eingeplant. Abbildung 31 zeigt das Grundschema der Modulerweiterung „M“.

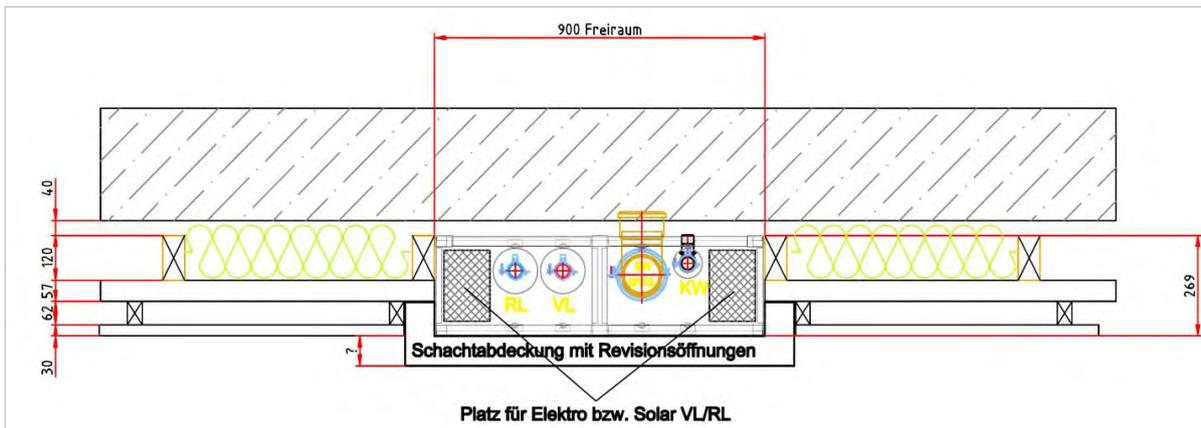


Abbildung 31: Schema Haustechnik-Modulerweiterung „M“ (Quelle: Geberit Huter GmbH)

Als zusätzliche Ausbaustufe wurde die Modulerweiterung „L“ (large) entworfen. Diese enthält neben den gleichen Leitungen der Modulerweiterung „M“ auch die Zu- und Abluftkanäle der mechanischen Lüftungsanlage. In dieser Entwicklungsstufe werden sämtliche Ver- und Entsorgungsleitungen des Gebäudes in der Fassade geführt. Durch Revisionsöffnungen ist die Zugänglichkeit für Wartung und Reparaturen jederzeit gegeben. Abbildung 32 zeigt das Schema der Modulerweiterung „L“ mit sämtlichen beschriebenen Leitungen und Kanälen.

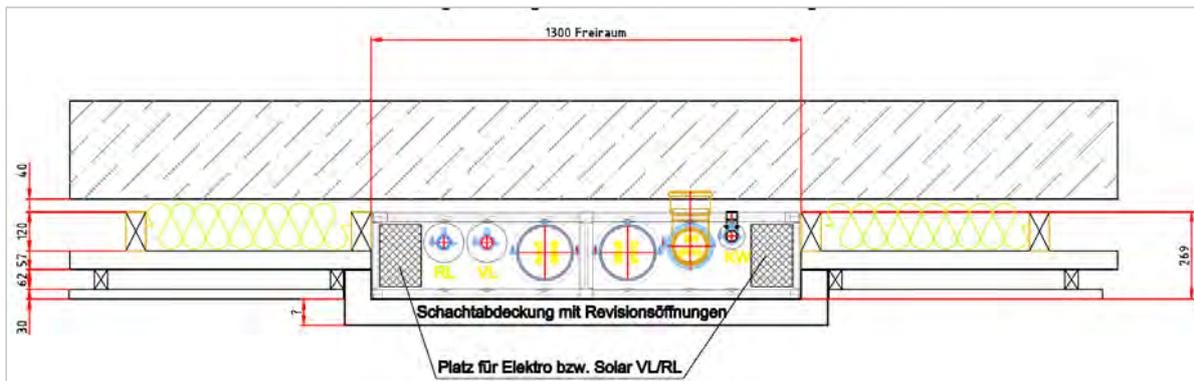


Abbildung 32: Schema Haustechnik-Modulerweiterung „L“ (Quelle: Geberit Huter GmbH)

Da die Haustechnikschächte nicht unmittelbar vor der Nasszelle der einzelnen Wohnungen situiert werden konnten (siehe Abbildung 29) war eine horizontale Versetzung der haustechnischen Leitungen und Rohre notwendig. Um aufwendiges Verlegen der Rohre im Mauerwerk zu verhindern, erfolgte die horizontale Versetzung im Haustechnikschacht. Dieser wird dazu tiefer ausgeführt, als es eigentlich auf Grund der Rohrdimensionen notwendig wäre.

Abbildung 33 zeigt dazu ein Schema dieser horizontalen Versetzung der diversen haustechnischen Leitungen im Haustechnikmodul.

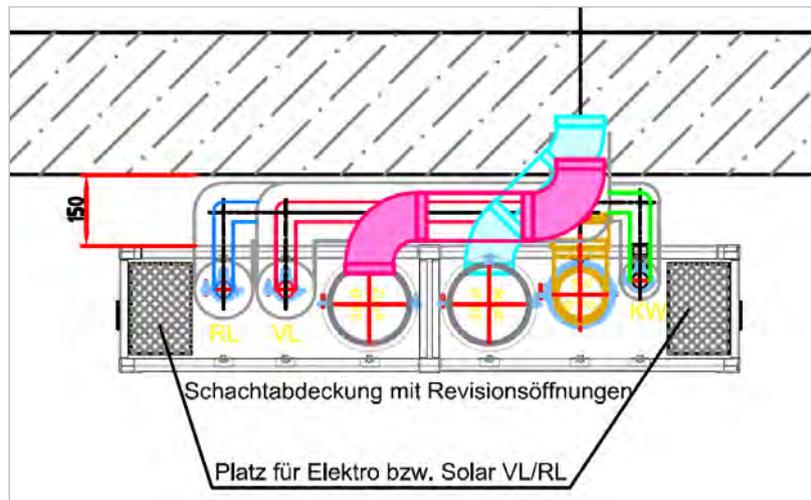


Abbildung 33: Schema „horizontale Versetzung“ der haustechnischen Leitungen im Schacht (Quelle: TECHNISCHES BÜRO ING. BERNHARD HAMMER GMBH)

### **Möglichkeit der Befestigung am Bauwerk**

Die Befestigung der Haustechnikmodule am bestehenden Gebäude erfolgte über eine vertikale und horizontale Holzkonstruktion, die im Zuge der Sanierungsarbeiten vor der Montage der Haustechnikschächte angebracht wird.

Die vertikale Holzkonstruktion wurde seitlich zum Schacht angebracht. Daran wurden die Haustechnikmodule befestigt. Die vertikale Holzkonstruktion wiederum wurde an der horizontalen Konstruktion montiert. Diese ist am Gebäude festgeschraubt und dient einerseits zur Montage der vorgefertigten Haustechnikmodule und andererseits zur Befestigung der Fassadenmodule am Gebäude.

Abbildung 34 zeigt schemenhaft den Haustechnikschacht und die vertikale Holzkonstruktion.

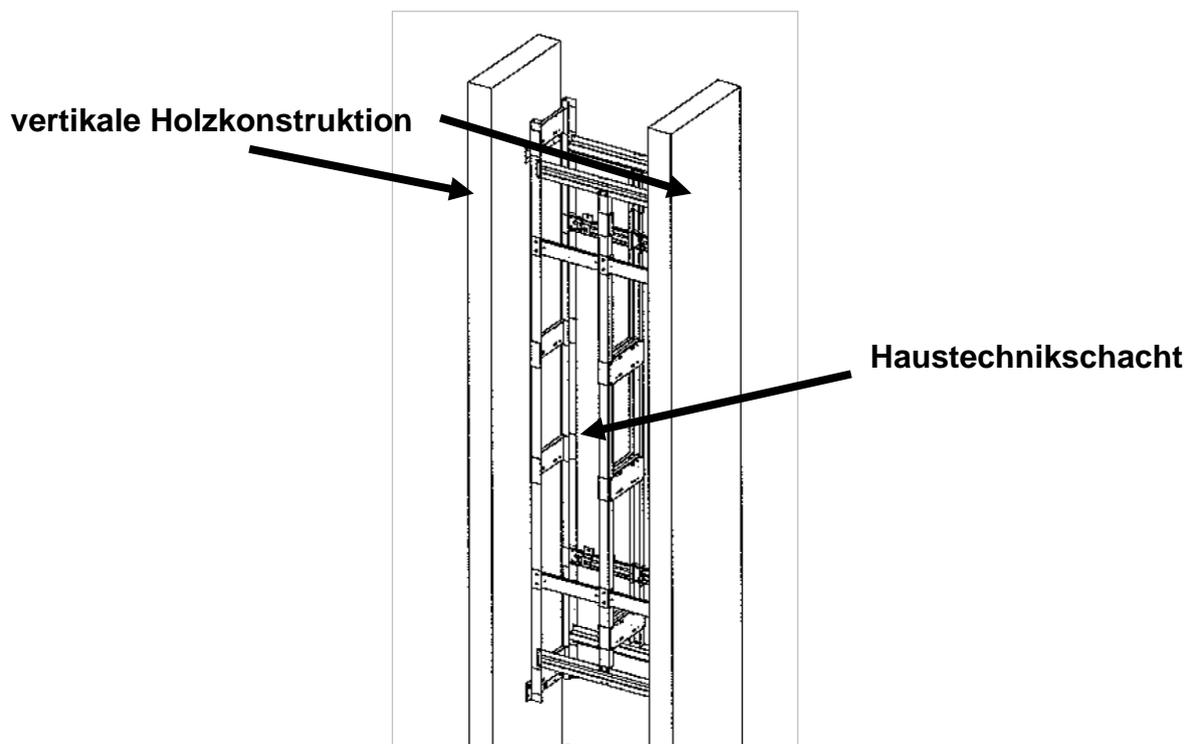


Abbildung 34: Befestigung des Haustechnikschachtes mittels Holzkonstruktion (Quelle: Geberit Huter GmbH)

Die Befestigung der Aluminiumkonstruktion des Haustechnikschachtes an der vertikalen Holzkonstruktion erfolgte mittels eines speziellen Schienensystems (siehe Abbildung 35). Dieses konnte dabei individuell in alle Richtungen verstellt werden, wodurch gleichzeitig auch der notwendige Toleranzausgleich zwischen Haustechnikschacht und vertikaler Holzkonstruktion hergestellt werden kann.

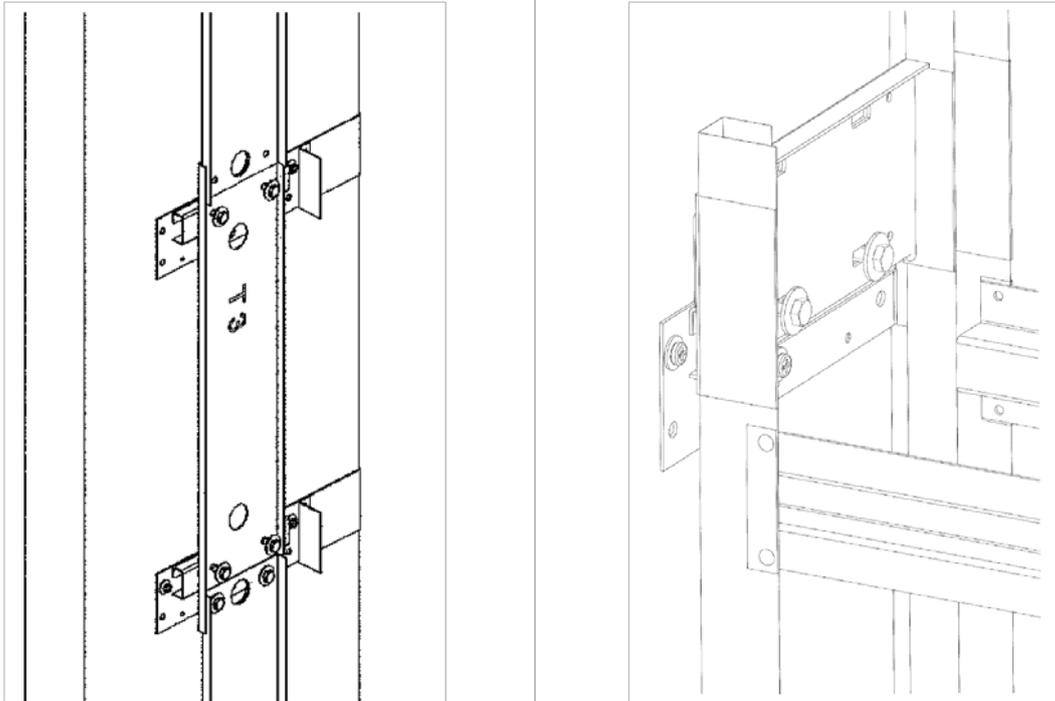


Abbildung 35: Schienensystems zur Befestigung des Haustechnikschachtes an der vertikalen Holzkonstruktion  
(Quelle: Geberit Huter GmbH)

### **Möglichkeit der Verbindung zum Fassadenmodul**

Die Verbindung des vorgefertigten Haustechnikmoduls mit den ebenso vorgefertigten Fassadenmodulen erfolgte über die vorhin beschriebene vertikale Holzkonstruktion, in welcher der Haustechnikschacht befestigt wurde. Das vorgefertigte Fassadenmodul wurde dazu bei der Montage direkt an die vertikale Holzkonstruktion versetzt und mittels Schrauben verbunden und fixiert.

### **Möglichkeiten des Toleranzausgleichs zwischen Modul und Mauerwerk**

Durch die Anbringung der vertikalen Holzkonstruktion musste der Toleranzausgleich zwischen Haustechnikschacht und Mauerwerk in zwei Schritte geteilt werden. Einerseits der Toleranzausgleich zwischen Schacht und vertikaler Holzkonstruktion und andererseits jener zwischen vertikaler Holzkonstruktion und dem Mauerwerk.

Der Toleranzausgleich zwischen dem vorgefertigten Haustechnikschacht und der angebrachten vertikalen Holzkonstruktion erfolgte über das vorhin beschriebene Schienensystem der Fa. Geberit Huter GmbH (siehe Abbildung 35). Dieses Schienensystem ist wiederum in drei Richtungen verstellbar, wodurch sämtliche Toleranzen aufgenommen und ausgeglichen werden können.

Der Ausgleich der vorhandenen Toleranzen zwischen der vertikalen Holzkonstruktion und der Bestandsaußenwand erfolgte durch die horizontale Holzkonstruktion und eine zusätzliche Wärmedämmschicht. Ähnlich wie beim vorgefertigten Fassadenmodul wurde dazu auch beim Haustechnikmodul an der Hinterseite eine Wärmedämmschicht mit etwas Überstand angebracht,

welche anschließend bei der Montage zusammengepresst wurde und so die gegebenen Ungleichmäßigkeiten im Mauerwerk ausglich.

Abbildung 36 zeigt dazu einen Schnitt durch das Haustechnikmodul samt der integrierten Wärmedämmung zum Toleranzausgleich.

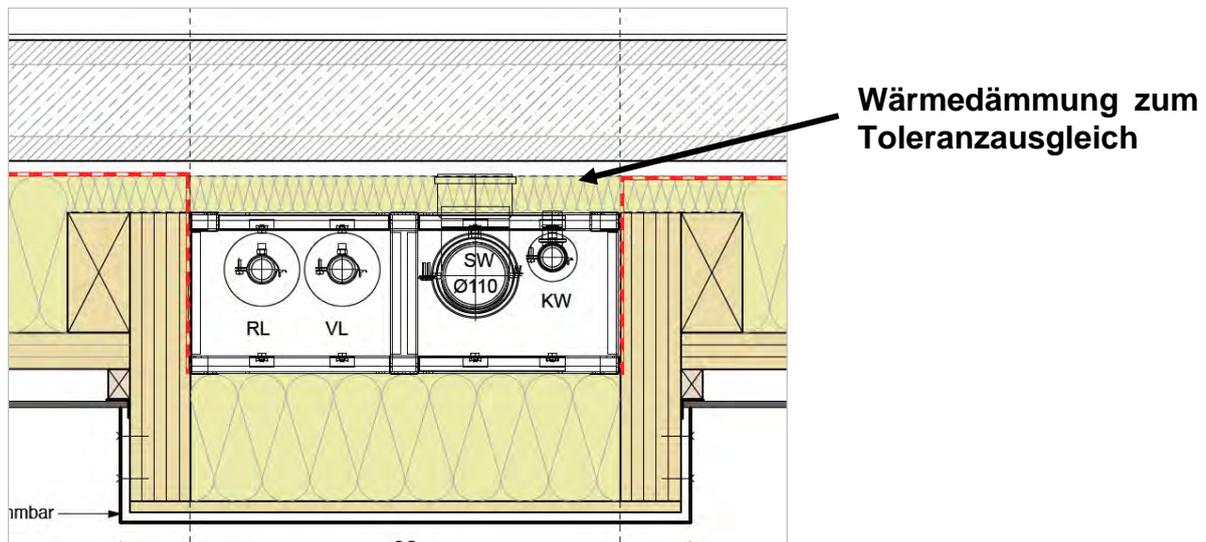


Abbildung 36: Wärmedämmschicht beim Haustechnikmodul zum Toleranzausgleich (Quelle: Nussmüller Architekten ZT GmbH)

### **Modulaufbau, Material und Dicke (auch in Bezug auf Ökologie, Wirtschaftlichkeit und Recyclebarkeit)**

#### Material

Die Haustechnikschächte wurden aus Aluminium gefertigt. Durch dessen geringe Dichte konnte das Gewicht der Schächte im Vergleich zu einer entsprechenden Konstruktion aus Eisen oder Stahl deutlich reduziert werden. Ebenso zeichnete sich der Werkstoff Aluminium durch seine lange Lebensdauer sowie die gute Recyclebarkeit aus. Nachteilig ergab sich jedoch, dass zur Aluminiumherstellung ein hoher Energieaufwand notwendig ist. Des Weiteren ist es ein guter Wärmeleiter und auch die Längenänderungen bei Temperaturschwankungen müssen beachtet werden.

Aus diesem Grund wurde dazu für die vorgefertigten Haustechnikmodule nicht nur Aluminium eingesetzt, sondern auch Holz (siehe auch Kapitel „Möglichkeit der Befestigung am Bauwerk“ auf Seite 53). Nicht nur handelt es sich beim Holz um einen sehr nachhaltigen Rohstoff, auch ist dieses durch die Eigenschaften der schlechten Wärmeleitung sowie der zu vernachlässigenden Wärmedehnung hervorragend zur thermischen Trennung des Mauerwerks vom Haustechnikschacht geeignet.

#### Brandschutz

Auf Grund der brandschutztechnischen Anforderungen an das Haustechnikmodul bzw. an die darin befindlichen Leitungen und Rohre mussten konkrete Brandschutzmaßnahmen getroffen werden. Diese mussten dabei einen Brandüberschlag von einem auf das nächste angrenzende Geschoß verhindern.

Um dies zu erreichen konnten prinzipiell zwei unterschiedliche Lösungen angewendet werden. Einerseits bestand die Möglichkeit den Haustechnikschacht vom Gebäude zu „trennen“. Der Schacht stellte dabei einen eigenen Brandabschnitt dar. Dies bedeutete, dass in diesem Fall der Brandüberschlag vom Schacht auf das Gebäude und umgekehrt durch brandschutztechnische Einrichtungen/ Maßnahmen verhindert werden musste.

In der zweiten Variante wurde der Haustechnikschacht zum Gebäude dazugehörig ausgeführt. Dabei musste der Brandüberschlag bzw. die Brandausbreitung von einem auf das nächste Geschoß über den Schacht verhindert werden. Aus diesem Grund wurden dazu die Leitungen brandschutztechnisch unterbrochen (z.B. mittels Brandschutzmanschetten).

Auf Grund der bisherigen Erfahrungen des Projektteams wurde die vorhin beschriebene zweite Variante bevorzugt und näher untersucht. Diese sieht eine geschoßweise Abschottung des Haustechnikschachtes vor. Abbildung 37 zeigt dazu ein Schema der haustechnischen Leitungen samt deren Brandschutzeinrichtungen.

Gleichzeitig wurden ebenso Überlegungen angestellt eine Konstruktion zu entwerfen, die auch den Zwischenraum zwischen Haustechnikschacht und Bestandswand abschottet.

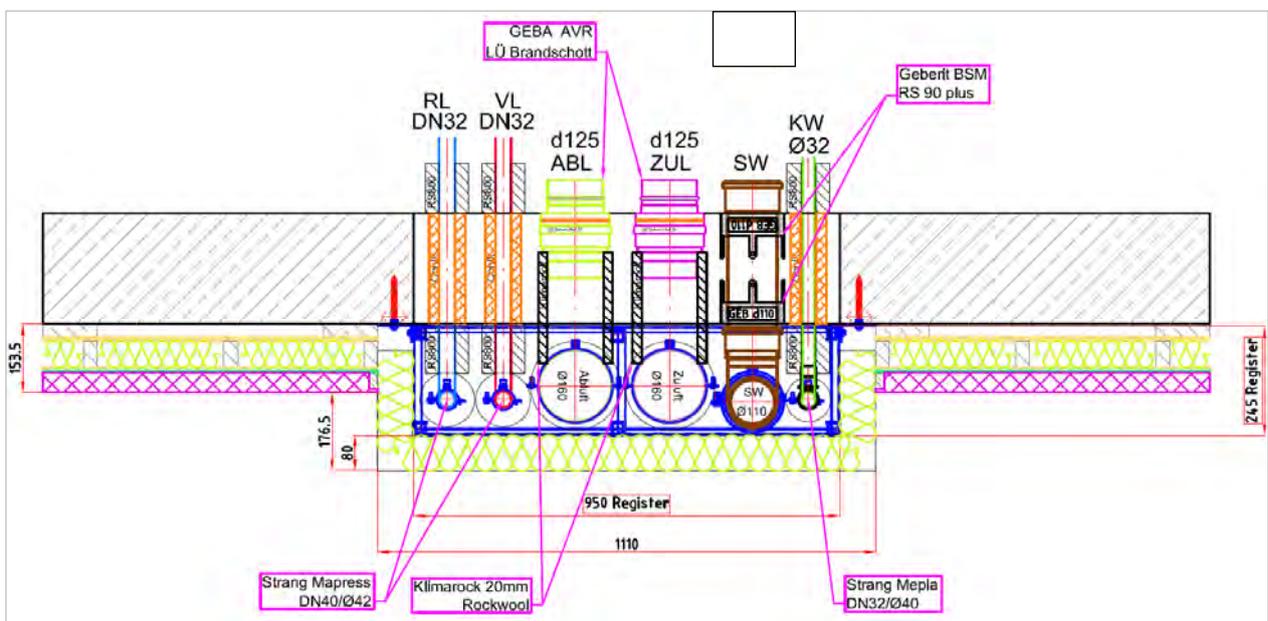


Abbildung 37: Brandschutzeinrichtungen im Haustechnikschacht (Quelle: Geberit Huter GmbH)

An dieser Stelle werden nachfolgend kurz die geplanten und vorgesehenen brandschutztechnischen Einrichtungen beschrieben.

#### Weichschott

Brandabschottung F90/S90 nach ÖNORM B3836 bzw. ÖNORM B3800 Teil 2 für Wand und Deckendurchführungen von Kabeln, Kabeltrassen, brennbaren- (in Kombination mit Brandschutzmanschette) und nicht brennbaren Rohren sowie Kombiabschottungen mittels zwei 60 mm dicken Steinwollplatten mit einem Raumgewicht von mind. 150 kg/m<sup>3</sup> und einem Flammpunkt von mind. 1000°C.

#### Brandschutzmanschetten

Brandabschottung F90 nach ÖNORM B3800 Teil 2 zur Abschottung von brennbaren Rohren. Manschettenkörper aus nichtrostendem Stahl mit Schnappverschluss mit innenliegenden, intumeszierenden Blägraphithalbschalen und variablen Befestigungspunkten.

### *Brandschutzband*

Brandabschottung F90 nach ÖNORM B3800 Teil 2 zur Abschottung von brennbaren Kunststoffrohren (PVC, PP, ABS, PE - Rohre). Es handelt sich dabei um einintumeszierendes Hochleistungs-Brandschutzband, das im Brandfall aufschäumt und einen Blähdruck erzeugt.

### *Brandschutzklappen*

Feuerschutzabschluss zum vorschriftsmäßigen Abschotten von Spiro-Rohranschlüssen und -durchführungen, Ausführung nach OIB-Verwendungsgrundsatz für Feuerschutzabschlüsse in Lüftungsleitungen auf Basis intumeszierender Materialien mit mechanischem Verschlusselement. Der Feuerschutzabschluss besteht dabei im Wesentlichen aus einem zylindrischen Stahlblechgehäuse mit zwei mittig angebrachten federbelasteten Klappenflügeln, beidseits mit Brandschutzlaminat beschichtet. Schmelzlotauslösung bei +72°C. Der an der Außenseite des Klappengehäuses angebrachte, bei Temperatureinwirkung expandierende Dichtstreifen gewährleistet eine rasche und sichere Dichtwirkung im Rohr.

### Schallschutz

Neben den brandschutztechnischen Anforderungen galt es ebenso die Anforderungen an den Schallschutz zu erfüllen. Diese betreffen dabei sämtliche im Schacht geführten haustechnischen Leitungen.

Lüftungsleitungen wurden daher mit Schalldämpfer versehen. Diese befinden sich jedoch nicht direkt im Haustechnikschacht, sondern wurden in jeder Wohnung in die abgehängten Decken eingeplant.

Neben den Lüftungsleitungen mussten auch die wasserführenden Leitungen im Schacht schallschutztechnisch betrachtet werden. Dies sind je nach Modulgröße/ -variante die Vor- und Rücklaufleitung der Heizung, Kaltwasser- und Abflussleitung sowie Vor- und Rücklaufleitung der thermischen Solaranlage. Um bei diesen Leitungen den erforderlichen Schallschutz zu gewährleisten, werden diese mit einer entsprechend ausreichenden Wärmedämmung versehen bzw. sind bereits werksseitig als Schallschutzrohr ausgeführt. Die Dicke der Wärmedämmung orientierte sich dabei an der jeweiligen Rohrdimension. Neben den schallschutztechnischen Eigenschaften hat diese Wärmedämmung auch energetische und bauphysikalische Vorteile.

Eine vollständige Schallentkoppelung des Haustechnikschachtes vom Bestandsmauerwerk konnte dabei durch die in Kapitel „*Möglichkeit der Befestigung am Bauwerk*“ (Seite 53) beschriebene Holzkonstruktion erreicht werden.

### Luftdichtheit

Auch die Entwicklung der Ausführung der Luftdichtheitsschicht in Kombination mit der Montage des Haustechnikmoduls war geprägt durch einen kontinuierlichen Prozess. So wurde im ersten Schritt innerhalb des Projektteams angedacht, den Haustechnikschacht nicht in das Luftdichtheitskonzept des Gebäudes einzuschließen. Dies hätte bedeutet, dass luftdichte Ebene im Bereich des Haustechnikmoduls entlang des Gebäudes verlaufen wäre und den Schacht nicht eingeschlossen hätte. Abbildung 38 zeigt die im Zuge eines Workshops entwickelte erste Prinzipskizze zur Ausführung der luftdichten Ebene beim Haustechnikmodul.

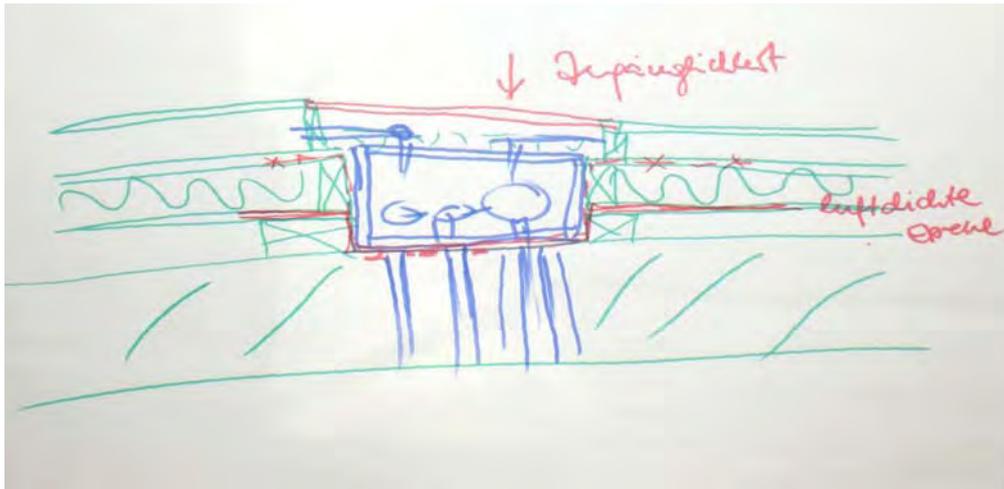


Abbildung 38: Prinzipskizze der Lage der luftdichten Ebene beim Haustechnikmodul (Quelle: AEE INTEC)

Im weiteren Verlauf der Entwicklungsarbeiten wurde jedoch festgestellt, dass aus bauphysikalischen Gründen sowohl die Wärmedämmebene als auch die luftdichte Schicht um den Haustechnikschacht herumgezogen werden muss (sogenanntes „Polygon“). Durch diese Maßnahmen sind die haustechnischen Leitungen im Schacht von den äußeren Witterungseinflüssen besser geschützt, was zur Folge hat, dass die wasserführenden Leitungen im Winter nicht einfrieren können und sämtliche Leitungen gegen eine sommerliche Erwärmung geschützt sind.

Abbildung 39 zeigt ein Schema des Haustechnikschachtes, der bereits in das Luftdichtheits- und Wärmeschutzkonzept des Gebäudes eingeschlossen ist.

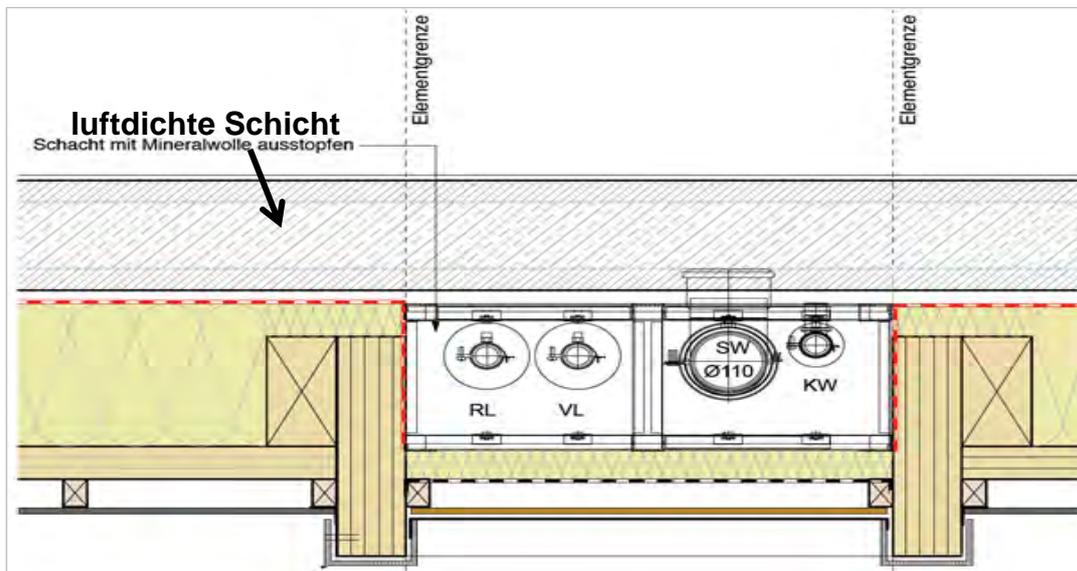


Abbildung 39: Schema Haustechnikschacht – wärmedämmt und in luftdichter Ausführung (Quelle: Nussmüller Architekten ZT GmbH)

### Wärmedämmung

Primär galt es durch die Anbringung einer Wärmedämmung die Wärmeverluste der Rohrleitungen im Haustechnikschacht soweit wie möglich zu reduzieren und sicherzustellen, dass es in der kalten Jahreszeit zu keiner Frostgefahr für die wasserführenden Leitungen kommt.

Die Wärmedämmung des Haustechnikschachtes und der beinhalteten Rohrleitungen folgte einem 3-stufigen Prinzip:

### *1. Dämmung der Rohrleitungen*

Im ersten Schritt wurden sämtliche Rohrleitungen im Haustechnikschacht mit einer ausreichenden Wärmedämmung versehen. Dabei wurde zwischen wasserführende und luftführende Leitungen unterschieden.

#### Wasserführende Leitungen

Die eingebauten Rohrleitungen wurden mit einer konzentrisch gewickelten Schale aus Steinfasern isoliert. Die Oberflächenbeschichtung bestand aus einer gitternetzverstärkten reiß- und druckfesten Aluminiumfolie. Der Schmelzpunkt des Dämmmaterials liegt bei über 1000°C, wodurch auch gleichzeitig die Anforderungen des Brandschutzes erfüllt werden.

#### Lüftungsleitungen

Die Wärmedämmung der Lüftungsrohre erfolgte im Bereich der Haustechnikschächte mit Lamellenmatte aus Steinwolle, die mit gitternetzverstärkter Reinaluminiumfolie kaschiert ist und mit verzinktem Draht gebunden wird.

### *2. Dämmung des Zwischenraums im Haustechnikschacht*

Im zweiten Schritt wurde der entstandene Hohlraum im Haustechnikschacht mit Mineralwolle ausgefüllt. Dies erfolgte jedoch nicht über die ganze Höhe des Schachtes, sondern nur im Bereich der einzelnen Geschoßdecken. Die Wärmedämmung in diesem Bereich sollte zur Verbesserung des Brandschutzes beitragen, da dadurch eine Brandausbreitung von einem Geschoß auf das nächste über den Luftraum im Haustechnikmodul verhindert werden konnte.

### *3. Dämmung des Haustechnikschachtes von außen*

Im dritten und letzten Schritt wurden an der Außenseite des Haustechnikschachtes 5 cm Wärmedämmplatten angebracht. Durch diese Dämmmaßnahme an der Außenseite des Haustechnikmoduls sollten die festgelegten Anforderungen erfüllt werden. Dabei wurde darauf geachtet, dass die verwendeten Wärmedämmplatten bessere Dämmeigenschaften aufweisen ( $\lambda \leq 0,03 \text{ W/mK}$ ). Dadurch konnte bei gleicher Dämmwirkung die Dämmdicke geringer gehalten werden.

#### Zugänglichkeit der Haustechnikmodule

Bei der Konstruktion der Haustechnikmodule wurde ein besonderes Augenmerk auf den Zugang zu den außenliegenden Schächten gelegt. Die Haustechnikmodule wurden daher so konzipiert, dass eine Zugänglichkeit der Leitungen und Armaturen sowie die Erweiterung der Haustechnikinstallationen im Schacht jederzeit von außen möglich sind. Bereits bei der Planung wurden daher Revisionsöffnungen einkalkuliert, welche die Möglichkeit der Zugänglichkeit für Wartungs- und Reparaturarbeiten ermöglichen sollen (siehe z.B. Abbildung 30).

Der Zugang zu den Revisionsöffnungen kann dabei grundsätzlich über Leitern erfolgen. Auf Grund der gegebenen Gebäudehöhen empfiehlt sich jedoch der Einsatz von Arbeitsbühnen oder ähnliches. Das vorliegende Demonstrationsprojekt stellt dahin gehend eine Ausnahme dar, da der geplante Laubengang direkt vor den Haustechnikschächten montiert wird und daher ein Zugang zu diesen über den Laubengang möglich sein wird.

Die Zugangsberechtigung zu diesen Revisionsöffnungen wird nur fachkundigen Personen und Unternehmen erteilt, die Wartungs- und Reparaturarbeiten an den haustechnischen Leitungen durchzuführen haben. Die BewohnerInnen der Wohnhausanlage benötigen keine Berechtigung, da z.B. sämtliche Absperrrichtungen in den Wohnungen platziert werden.

Die Revisionsöffnungen werden durch Schrauben verschlossen, um ein einfaches Öffnen der Revisionsabdeckung zu verhindern.

### **Anschluss der Wohnungen an das Haustechnikmodul**

Werden die einzelnen Wohnungen nicht im Zuge der Sanierungsarbeiten an die neue Haustechnikversorgung angeschlossen, so kann dies auch zu einem späteren Zeitpunkt erfolgen. Dieses nachträgliche Anschließen der Wohnungen erfolgt größtenteils von außen. Die vorhandenen Revisionsöffnungen erleichtern den Zugang zu den Wohnungsanschlüssen. Ein Referenzpunkt während der Sanierung im Inneren kann dazu hilfreich sein (Bohrung ist innen fixiert).

### **5.1.2 AP „Prototyperstellung Fassadengrundmodul“**

#### **A Fertigung eines Prototyps für vorgefertigte Fassadenelemente**

Aufbauend auf die Basismodulentwicklung in Arbeitspaket „Basis-Modulentwicklung“ wurde anschließend ein erster Prototyp für ein vorgefertigtes Fassadenelement gefertigt. Die Fabrikation des Fassadenmoduls erfolgte in der Werkshalle der Firma Kulmer Holz-Leimbau GesmbH in Pischelsdorf in der Steiermark.

Die erforderlichen Werkzeichnungen wurden von der Firma Kulmer Holz-Leimbau GesmbH und vom Architekturbüro Nussmüller ZT GmbH angefertigt.

Abbildung 40 zeigt einen Auszug der stellten Detailzeichnungen des Fassadengrundmoduls.

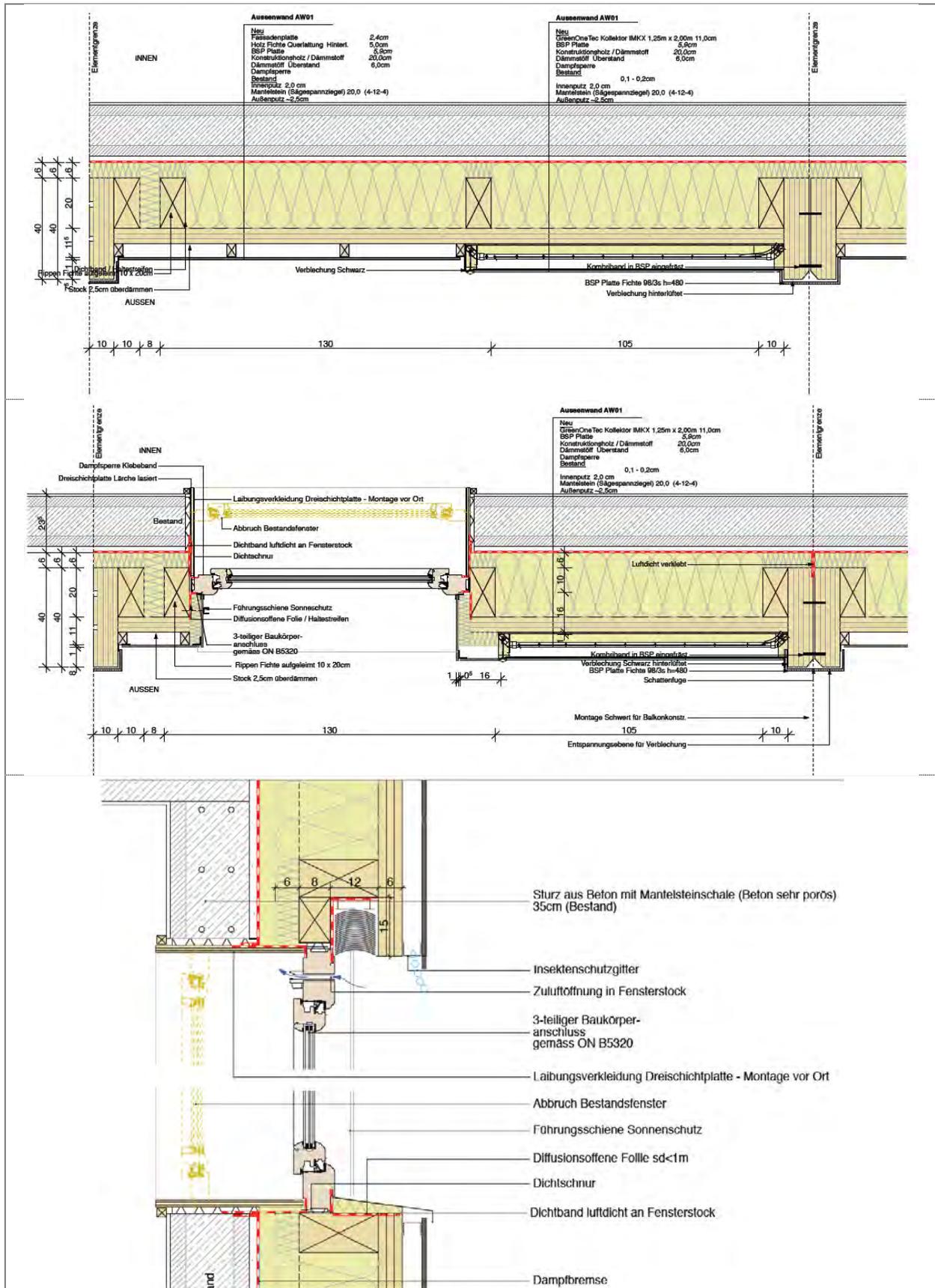


Abbildung 40: Details des Fassadengrundmoduls – Auszüge(Quelle: Nussmüller Architekten ZT GmbH)

Nachfolgende Abbildung 41 zeigt eine kurze Sequenz der Prototypherstellung 1 in der Werkshalle.



Abbildung 41: Ausschnitte der Fertigung des Prototyps 1 (Massivholzplatte) eines vorgefertigten Fassadenelementes (Quelle: AEE INTEC)

## B Hebetestversuch Modul 1 (Prototyp1)

Nach Fertigung des Prototypen 1 (Massivholzplatte) wurde dieser am Firmengelände der Fa. Kulmer Holzbau GmbH bezüglich statischer Anforderungen geprüft. Diesbezüglich wurde ein Spezialmobilkran mit 2 Seilwinden beauftragt. Damit wurde der Versuch gestartet, mit einem Hebevorgang das Probemodul von der horizontalen Lage in die vertikale Lage - ohne ein Absetzen und neuerliches Anhaben - zu bringen. Anhand eines Videos kann dieser Versuch nachvollzogen werden.

Kurze Sequenz des Hebeversuches.

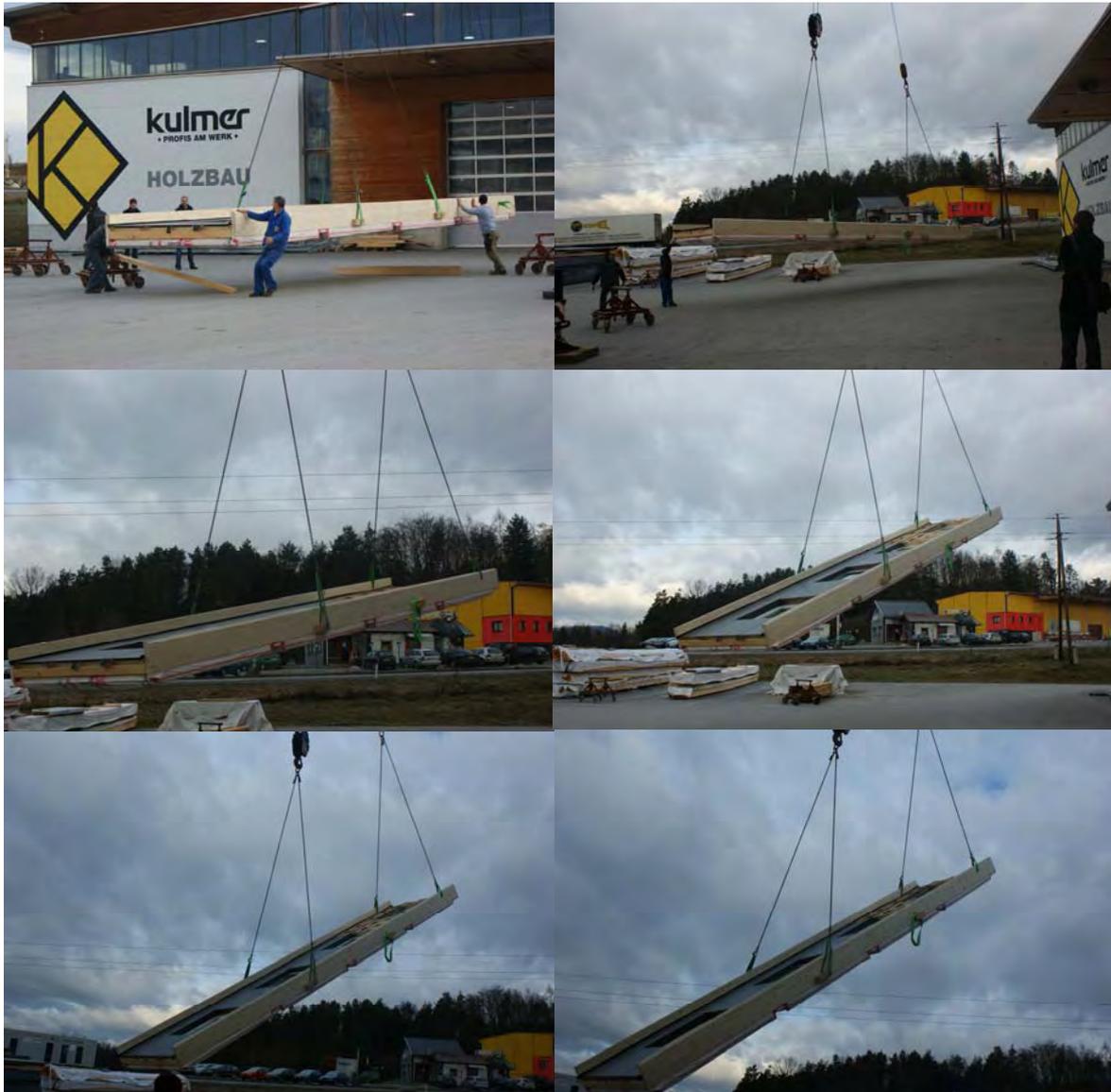


Abbildung 42: Ausschnitte des Hebeversuches des Prototyps eines vorgefertigten Fassadenelementes (Quelle: AEE INTEC)

### Fazit:

Der Versuch verlief durchaus positiv. Aus statischer Sicht waren keine Mängel oder Verwindungen erkennbar. Fensterscheiben hielten den Anforderungen stand. Die „neue“ Hebemethode hat sich

bewährt und kann weiter verfolgt werden, d.h. der Einsatz von vertikalen Modulen ist wirtschaftlich möglich. Dieser Hebeversuch wurde auch per Video festgehalten und steht bei Bedarf zur Verfügung.

### C Probemontage Vorort Kapfenberg

Im Rahmen eines offiziellen Projektstarts für das Demoprojekt in Kapfenberg (Stmk.) wurde am 28.03.12 ein großformatiges optimiertes Probemodul (Prototyp 2) mit Aktivelementen montiert. Diese wurde an der Westseite angebracht und zur weiteren optischen Beobachtung 4 Monate belassen.



Anordnung des Prototyps 2 an der Westfassade:



Fazit:

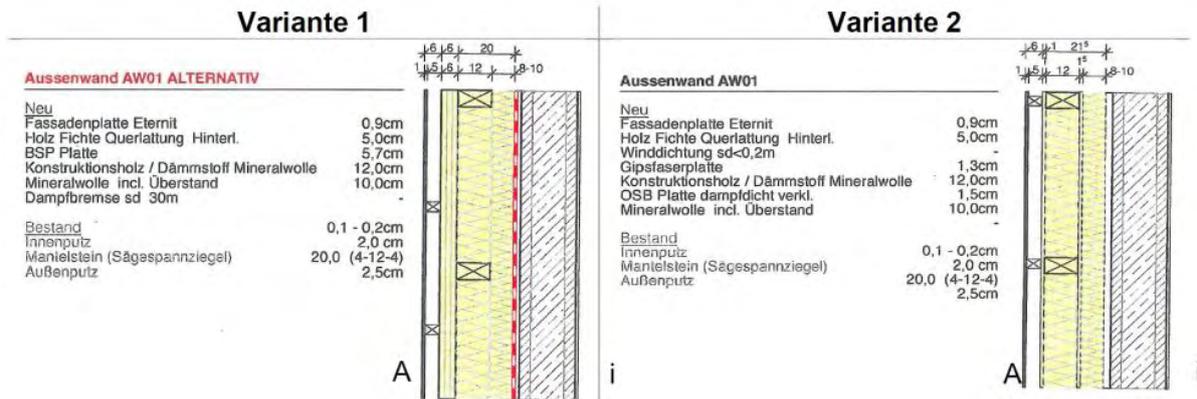
Durch regelmäßige Visiten konnte bezüglich bauphysikalische und optische Veränderungen am Prototyp im Laufe des Zeitraumes von 3 Monaten Folgendes festgestellt werden:

Im Beobachtungszeitraum waren kaum Veränderungen des Moduls erkennbar. Ins Innere ist keine Feuchtigkeit durch Schlagregen gedungen, d.h. die geplanten Anschlüsse zu Fenster und aktiven Komponenten können in der geplanten Form für die Umsetzung als Demoprojekt ausgeführt werden.

## D Durchführung von bauphysikalischen Berechnungen

Die relevanten Aufbauten, Details und Anschlüsse wurden in bauphysikalischer Sicht bewertet und optimiert. Dazu sind wärme-, feuchte- und schalltechnische Berechnungen (u.a. Wärmebrückenberechnungen) durchgeführt worden. Die begleitende ökologische Betrachtung (LCA) wurde seitens der TU-Graz ausgearbeitet.

Wärme- und feuchtetechnische Berechnungen lt. ÖN B8110-2:



<b>Nachweis des Wärmeschutzes</b>			
U-Wert von zusammengesetzten Bauteilen			
Objekt		Verfasser der Unterlagen	
Forschungsprojekt e80*3 (Außenwand)		 Technisches Büro f. Physik - Bauphysik Rosenfelder & Hofer Tel. +43(0)316 84 40 0 Fax 40 e-mail: rhh@rosenhofers.com web: www.rosenhofers.com	
Auftraggeber			
Firma/Nachname			
Bauteilbezeichnung		Bauteil Nr.	
Fassadenmodul (Massivholz Variante 1)		AW01	
Bauteiltyp		Awh	
Außenwand hinterlüftet			
Wärmedurchgangskoeffizient	U-Wert	0,14 W/(m²K)	
Wärmedurchgangswiderstand			
Oberer Grenzwert $R_{T1}$	7,213 [m²K/W]		
Unterer Grenzwert $R_{T2}$	7,014 [m²K/W]	erforderlich 0,35 W/(m²K)	
Bauteilbezeichnung		Bauteil Nr.	
Fassadenmodul (Massivholz Variante 1)		AW01	
Bauteiltyp		Awh	
Außenwand hinterlüftet			
Wärmedurchgangskoeffizient	0,135 W/(m²K)		
Anteil	0,94000 [-]		
Prozent	94,00 [%]		
Bauteilbezeichnung		Bauteil Nr.	
Fassadenmodul (Massivholz Variante 1)		AW01	
Bauteiltyp		Awh	
Außenwand hinterlüftet			
Wärmedurchgangskoeffizient	0,191 W/(m²K)		
Anteil	0,06000 [-]		
Prozent	6,00 [%]		
Bauteilbezeichnung		Bauteil Nr.	
Fassadenmodul (Massivholz Variante 1)		AW01	
Bauteiltyp		Awh	
Außenwand hinterlüftet			
Wärmedurchgangskoeffizient			
Anteil	[-]		
Prozent	[%]		
Bauteilbezeichnung		Bauteil Nr.	
Fassadenmodul (Massivholz Variante 1)		AW01	
Bauteiltyp		Awh	
Außenwand hinterlüftet			
Wärmedurchgangskoeffizient			
Anteil	[-]		
Prozent	[%]		

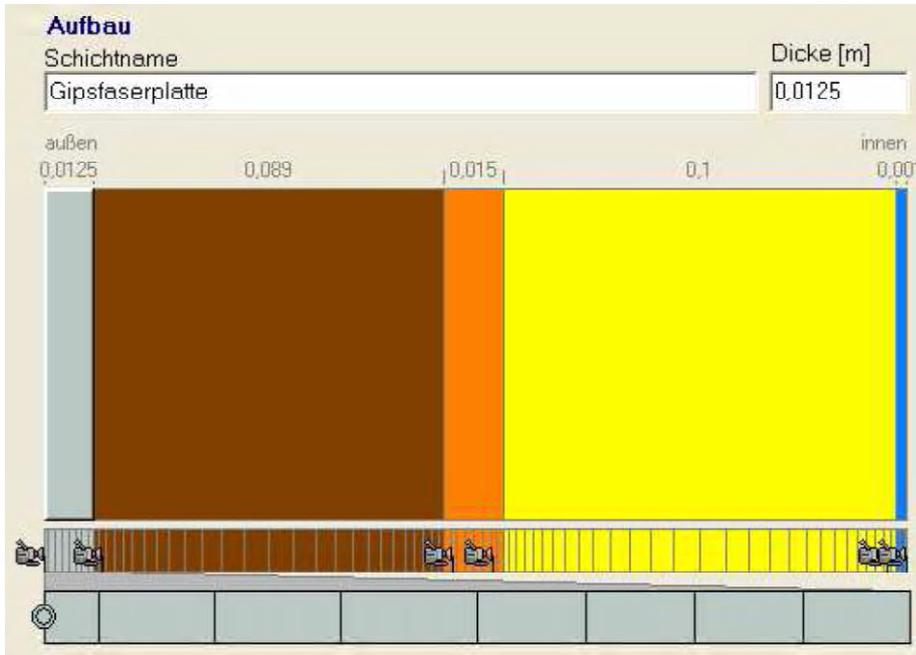
ArchPHYSIK 9.1.0.035 - lizenziert für Rosenfelder & Hofer Consulting H9 06.02.2013

<b>Nachweis des Wärmeschutzes</b>			
U-Wert von zusammengesetzten Bauteilen			
Objekt		Verfasser der Unterlagen	
Forschungsprojekt e80*3 (Außenwand)		 Technisches Büro f. Physik - Bauphysik Rosenfelder & Hofer Tel. +43(0)316 84 40 0 Fax 40 e-mail: rhh@rosenhofers.com web: www.rosenhofers.com	
Auftraggeber			
Firma/Nachname			
Bauteilbezeichnung		Bauteil Nr.	
Fassadenmodul (Holzriegel Variante 2)		AW01	
Bauteiltyp		Awh	
Außenwand hinterlüftet			
Wärmedurchgangskoeffizient	U-Wert	0,15 W/(m²K)	
Wärmedurchgangswiderstand			
Oberer Grenzwert $R_{T1}$	6,972 [m²K/W]		
Unterer Grenzwert $R_{T2}$	6,775 [m²K/W]	erforderlich 0,35 W/(m²K)	
Bauteilbezeichnung		Bauteil Nr.	
Fassadenmodul (Holzriegel Variante 2)		AW01	
Bauteiltyp		Awh	
Außenwand hinterlüftet			
Wärmedurchgangskoeffizient	0,140 W/(m²K)		
Anteil	0,94000 [-]		
Prozent	94,00 [%]		
Bauteilbezeichnung		Bauteil Nr.	
Fassadenmodul (Holzriegel Variante 2)		AW01	
Bauteiltyp		Awh	
Außenwand hinterlüftet			
Wärmedurchgangskoeffizient	0,200 W/(m²K)		
Anteil	0,06000 [-]		
Prozent	6,00 [%]		
Bauteilbezeichnung		Bauteil Nr.	
Fassadenmodul (Holzriegel Variante 2)		AW01	
Bauteiltyp		Awh	
Außenwand hinterlüftet			
Wärmedurchgangskoeffizient			
Anteil	[-]		
Prozent	[%]		
Bauteilbezeichnung		Bauteil Nr.	
Fassadenmodul (Holzriegel Variante 2)		AW01	
Bauteiltyp		Awh	
Außenwand hinterlüftet			
Wärmedurchgangskoeffizient			
Anteil	[-]		
Prozent	[%]		

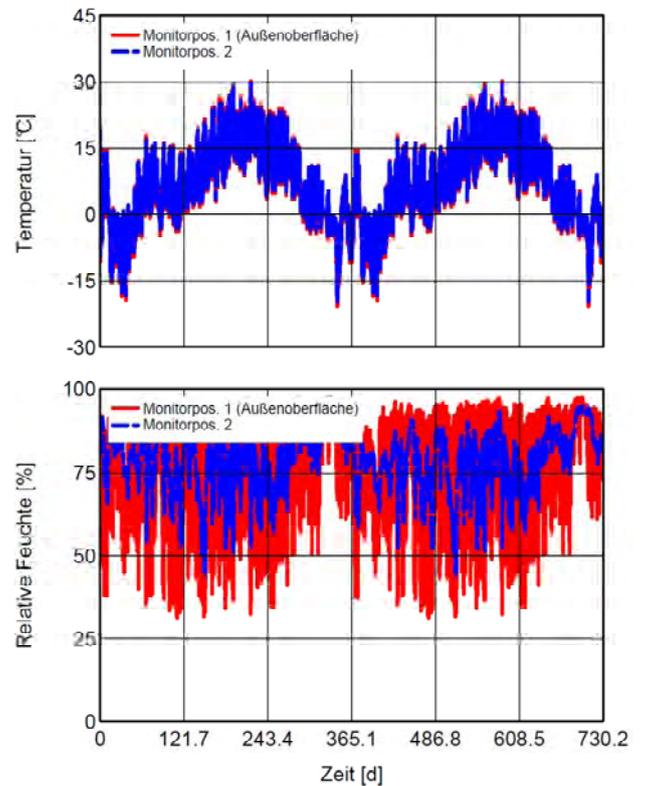
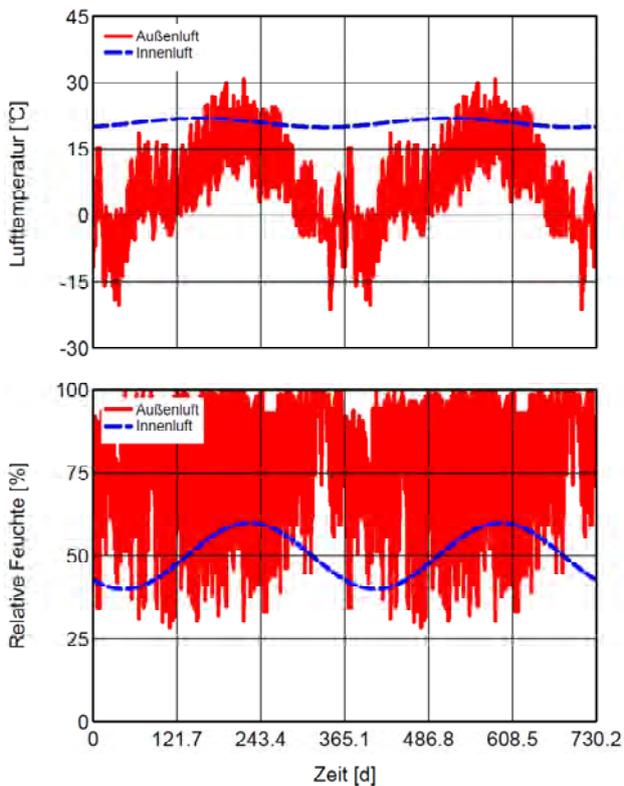
ArchPHYSIK 9.1.0.035 - lizenziert für Rosenfelder & Hofer Consulting H9 06.02.2013

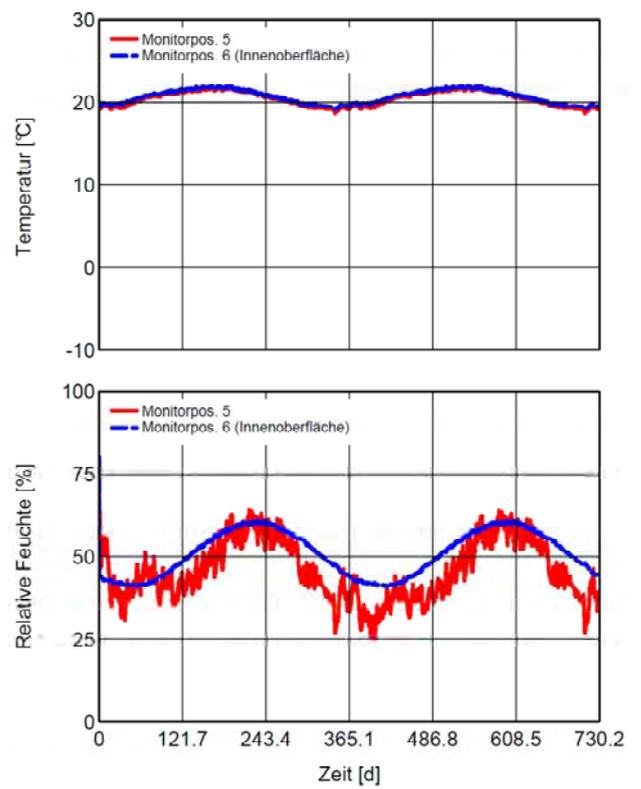
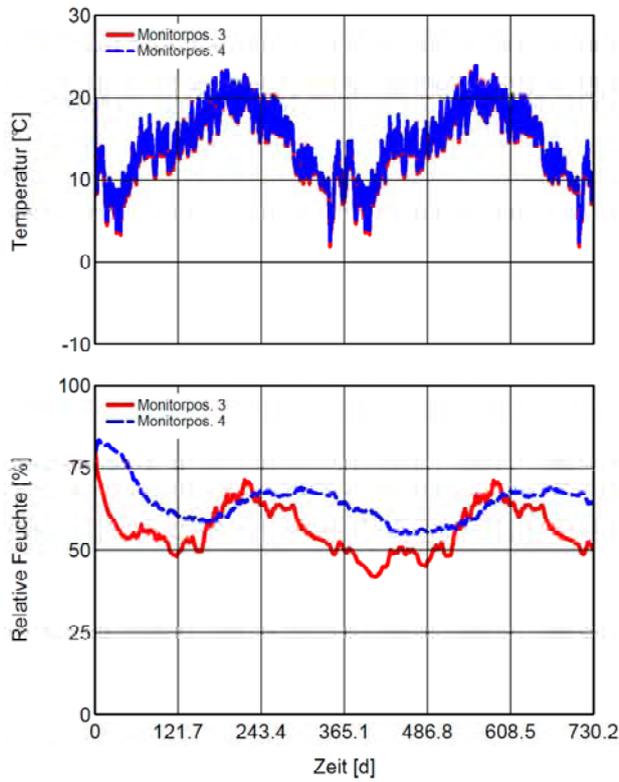
# Instationäre Wärme- und Feuchteberechnungen (WUFI):

z.B.: Variante 2: Holzriegelkonstruktion

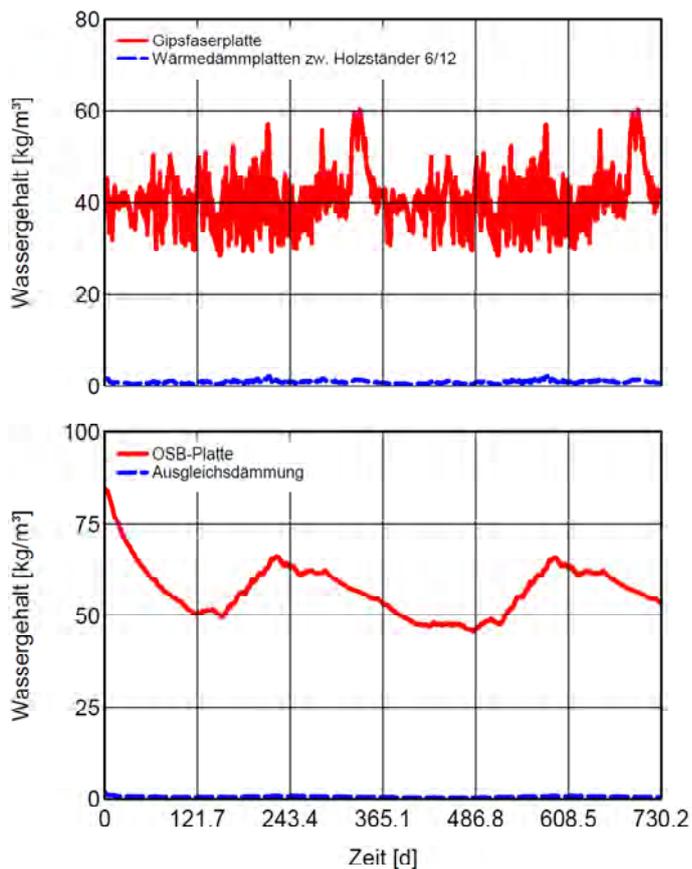


Ergebnisse Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit:





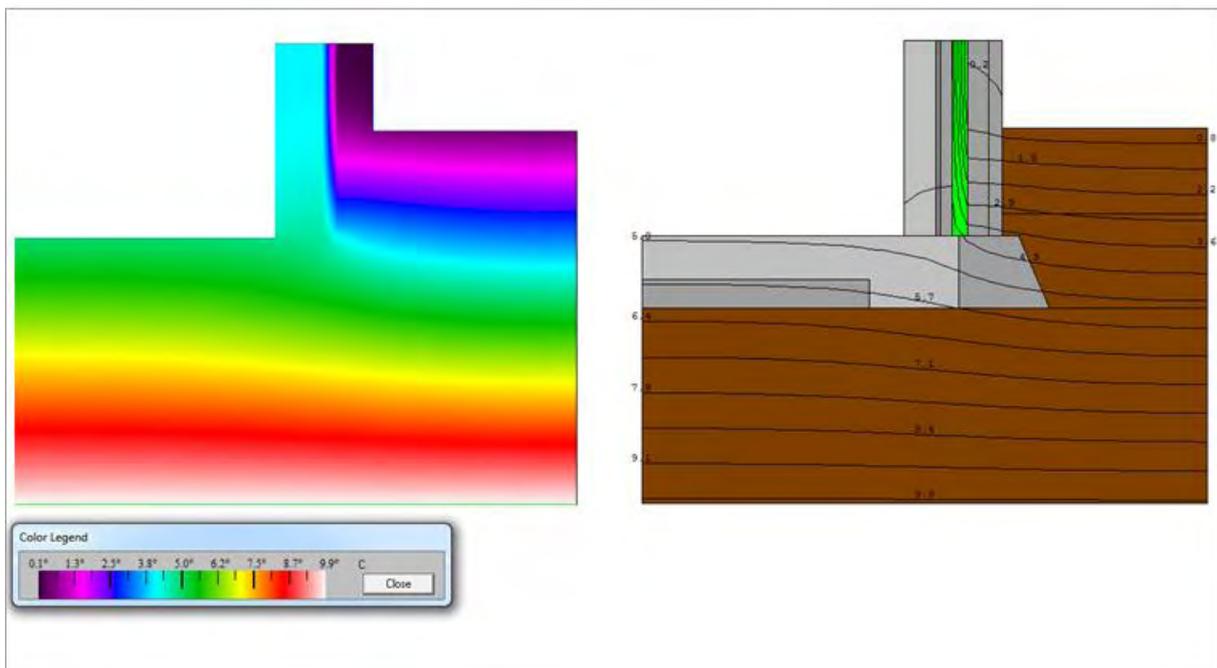
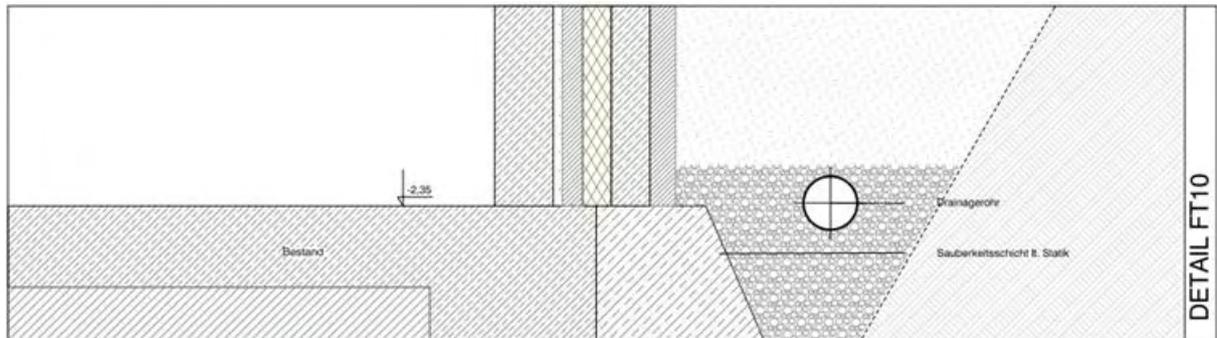
Ergebnisse Wassergehalt in den einzelnen Bauteilschichten:



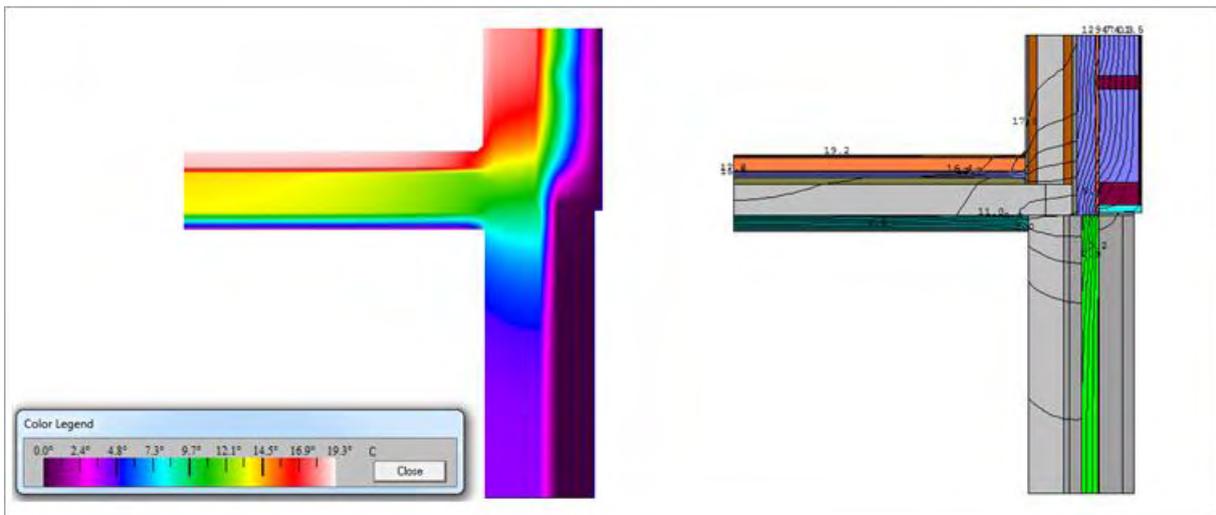
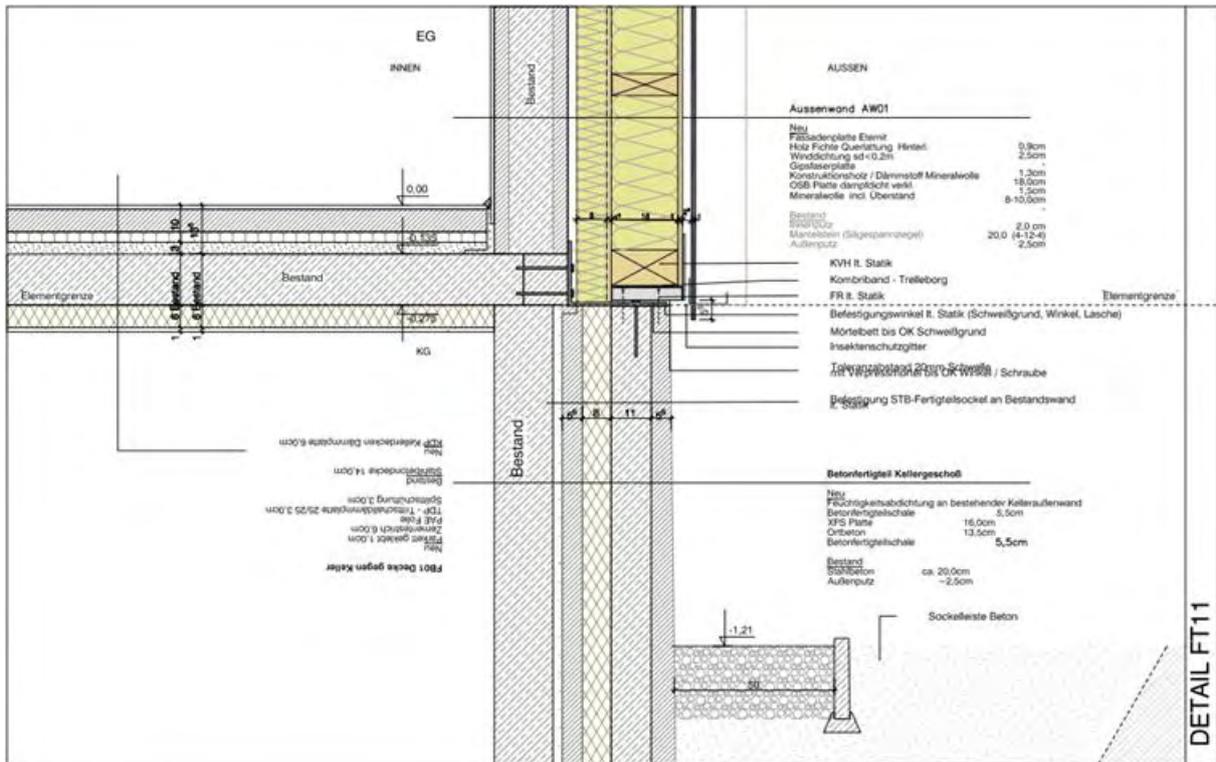
Fazit:

Mit den gewählten Materialien ist aus bauphysikalischer Sicht mit keiner Schädigung der Konstruktion zu rechnen.

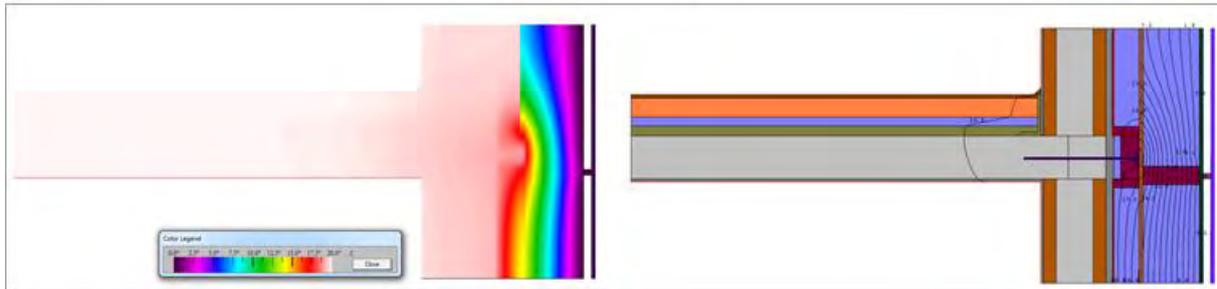
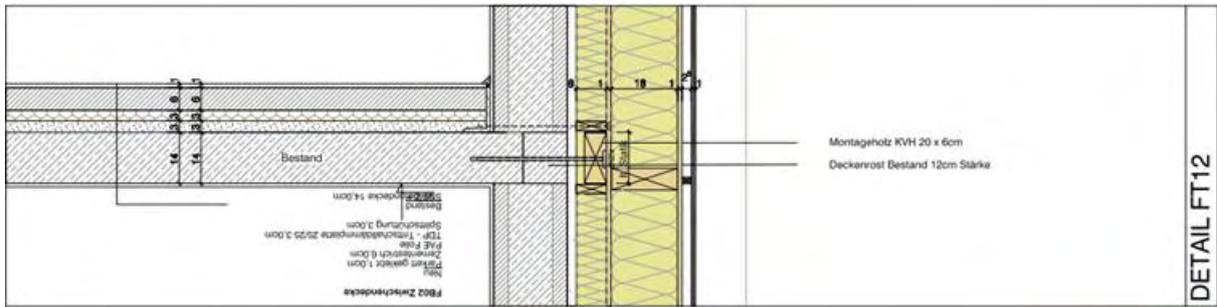
Wärmebrückenberechnungen:



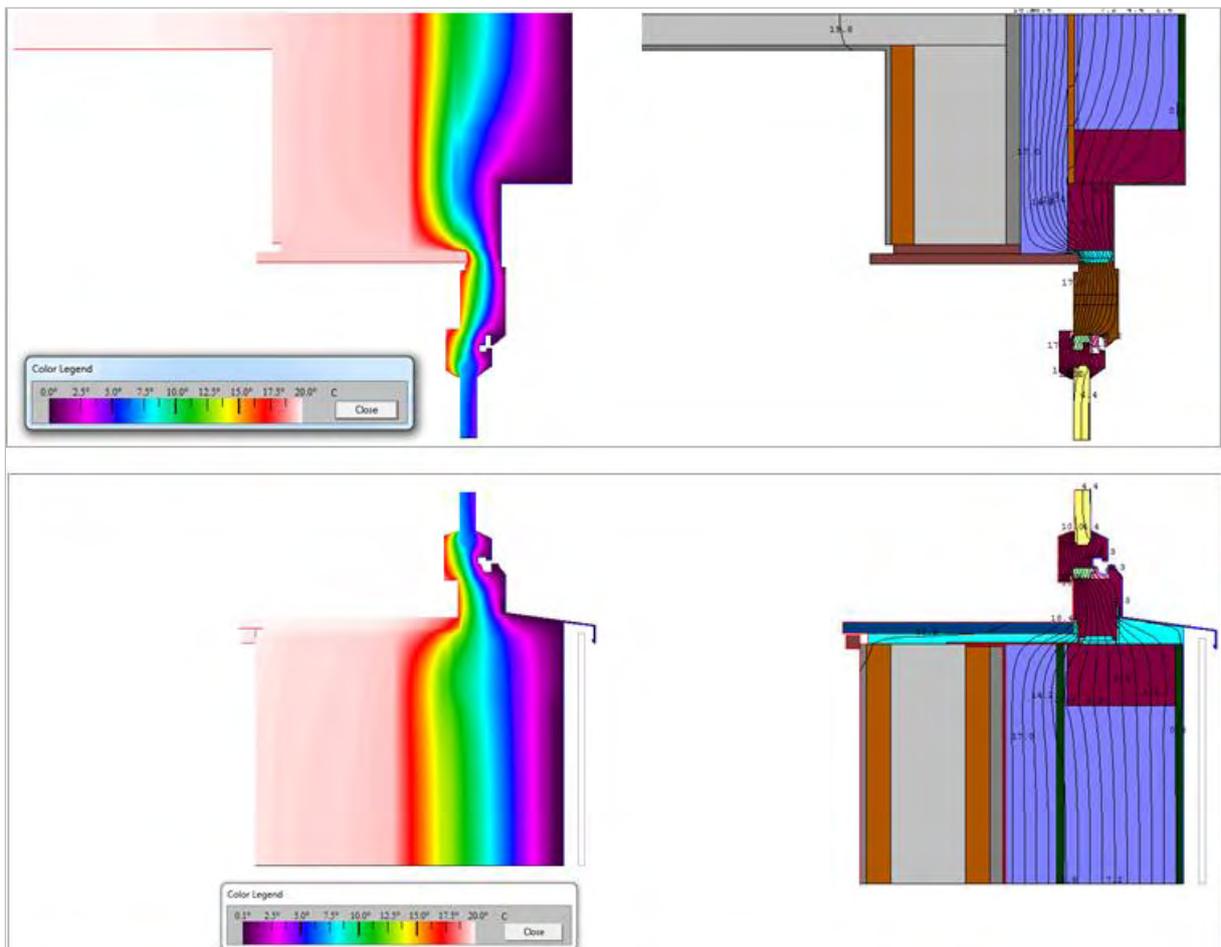
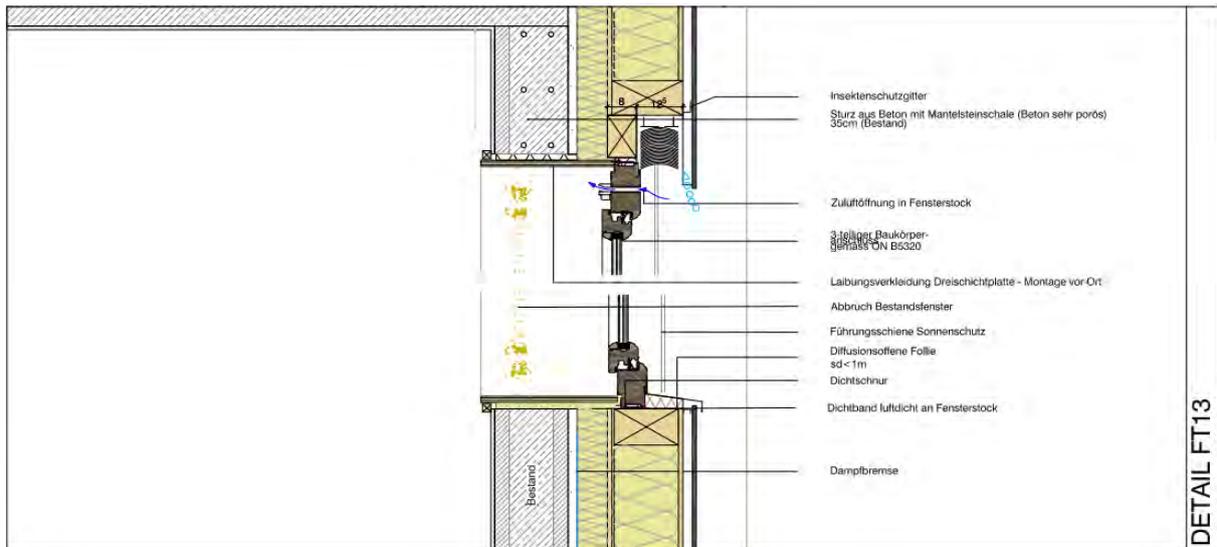
	innen	außen
max. Temperatur	4,0	0,6
min. Temperatur	4,7	0,1
frei von Kondensatbildung	✓	



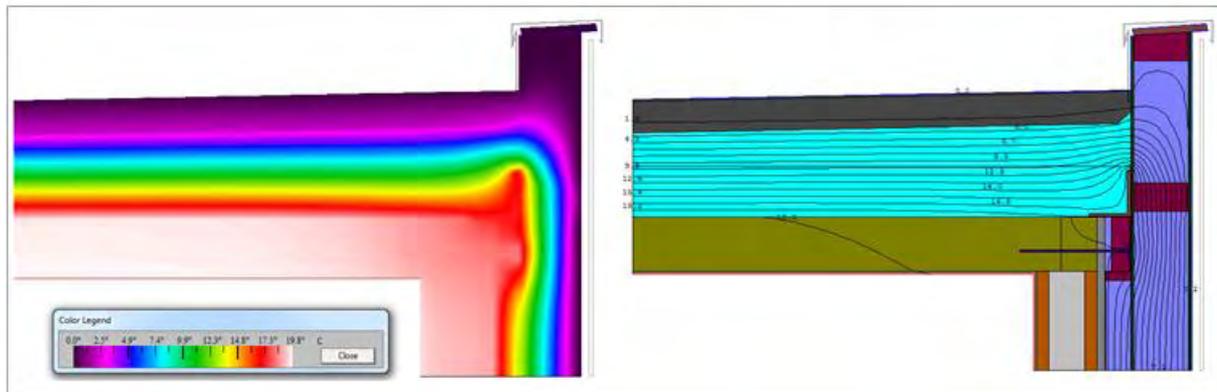
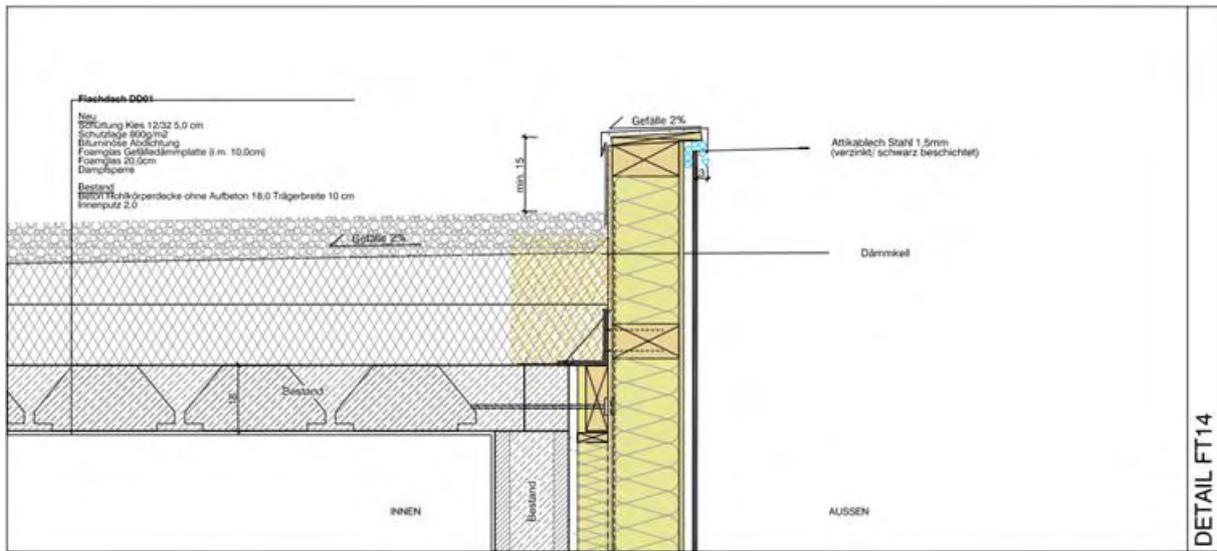
	innen	außen
max. Temperatur	18,5	0,4
min. Temperatur	17,0	0,1
frei von Kondensatbildung	✓	



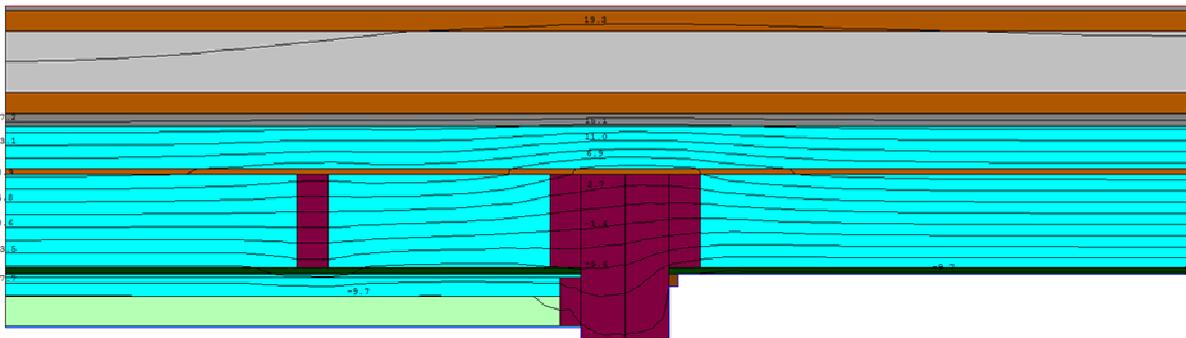
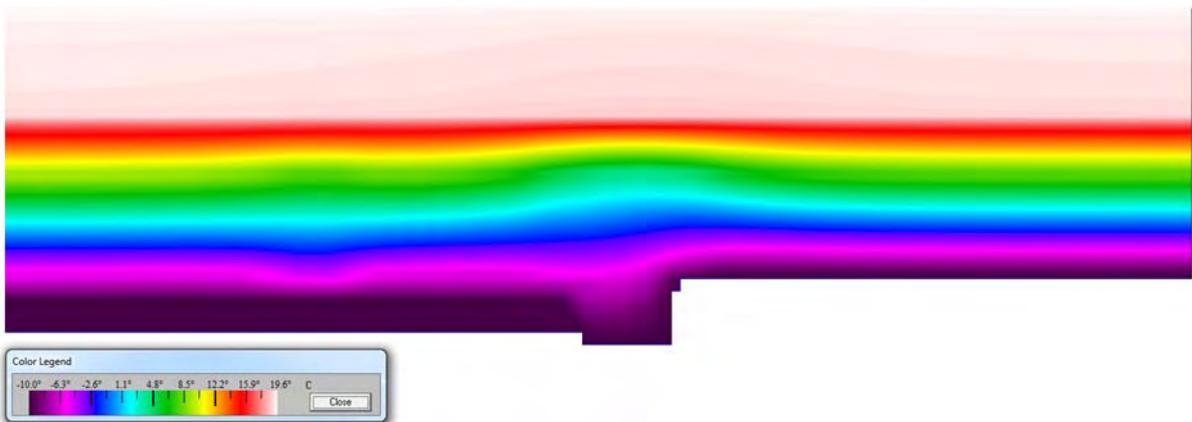
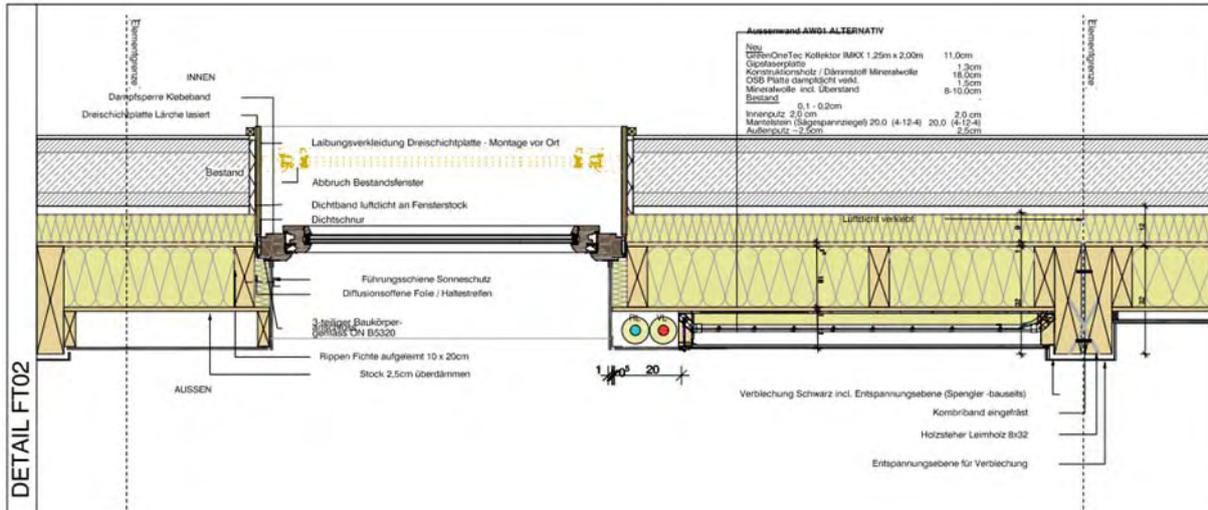
	innen	außen
max. Temperatur	19,8	0,2
min. Temperatur	19,5	0,1
frei von Kondensatbildung	✓	



	innen	außen
max. Temperatur	19,6	1,0
min. Temperatur	10,8	0,1
frei von Kondensatbildung	✓	



	innen	außen
max. Temperatur	19,4	0,7
min. Temperatur	19,0	0,1
frei von Kondensatbildung	✓	



	innen	außen
max. Temperatur	19,6	-9,1
min. Temperatur	19,3	-9,7
frei von Kondensatbildung	✓	

**Fazit:**

Mit den gewählten Materialien und Detailausbildungen war aus bauphysikalischer Sicht mit keiner Schädigung der Konstruktion zu rechnen.

### 5.1.3 AP „Prototyperstellung Haustechnikgrundmodul“

#### A Fertigung eines Prototyps für vorgefertigte Haustechnikgrundmodule

Ebenso wurde aufbauend auf die Basismodulentwicklung in Arbeitspaket „Basis-Modulentwicklung“ ein erster Prototyp für ein vorgefertigtes Haustechnikmodul in der Werkshalle der Firma Geberit Huter GmbH gefertigt. Die dafür erforderlichen Werkzeichnungen wurden ebenfalls von der Firma Geberit Huter GmbH erstellt. Abbildung 43 zeigt Auszüge dieser Werkzeichnungen.

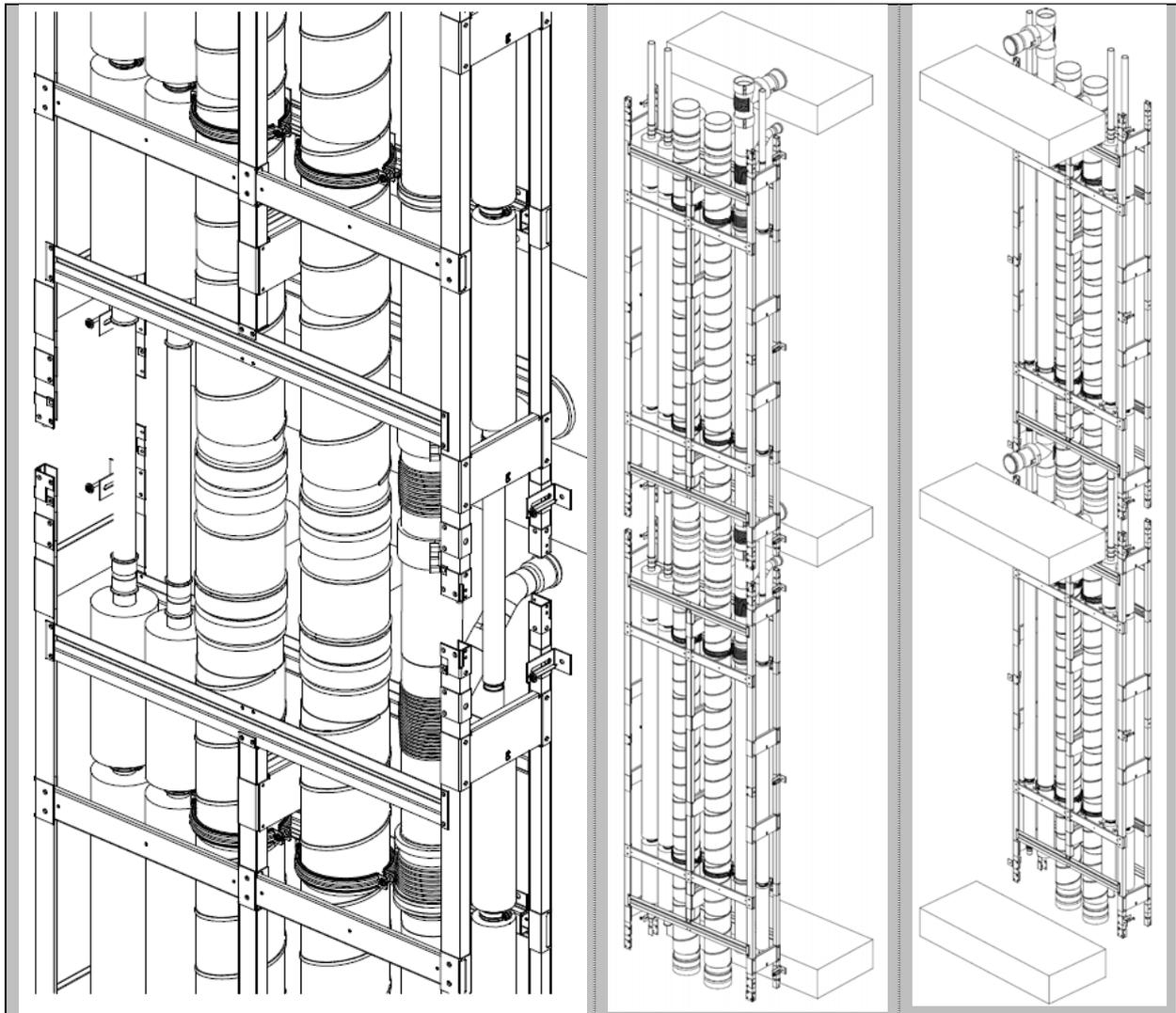


Abbildung 43: Details des Haustechnikgrundmoduls – Auszüge (Quelle: Huter Geberit GmbH)

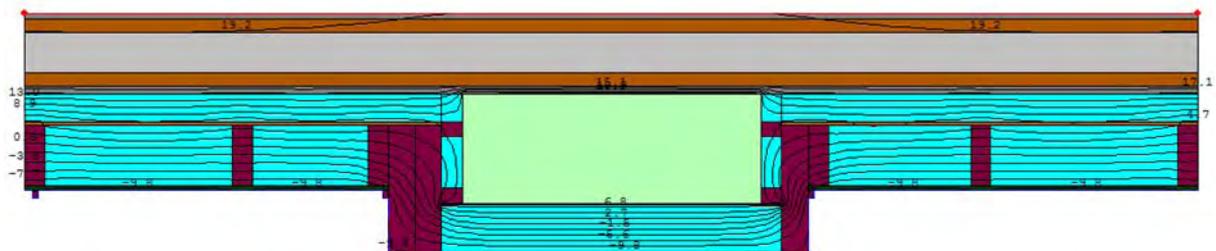
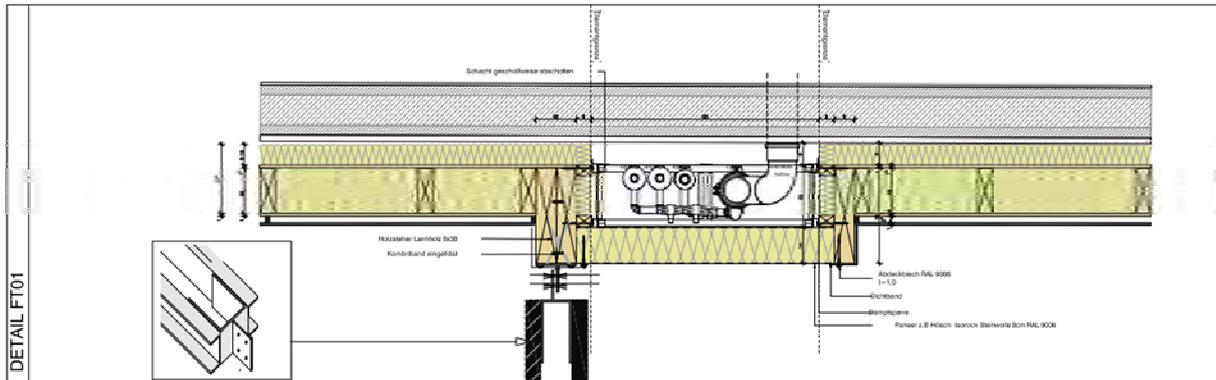
Die Fertigung des Prototyps erfolgte wie schon erwähnt in der Werkshalle der Firma Geberit Huter GmbH. Abbildung 44 zeigt das Ergebnis des Fertigungsprozesses.



Abbildung 44: Ausschnitte der Fertigung des Prototyps eines vorgefertigten Haustechnikelements (Quelle: AEE INTEC)

## B Durchführung von bauphysikalischen Prüfungen

Die relevanten Aufbauten, Details und Anschlüsse wurden in bauphysikalischer Sicht bewertet und optimiert. Dazu sind wärme-, feuchte- und schalltechnische Berechnungen (u.a. Wärmebrückenberechnungen) durchgeführt worden. Die begleitende ökologische Betrachtung (LCA) wurde seitens der TU-Graz ausgearbeitet.



	innen	außen
max. Temperatur	19,5	-9,8
min. Temperatur	19,1	-8,7
frei von Kondensatbildung	✓	

### Fazit:

Mit den gewählten Materialien ist aus bauphysikalischer Sicht mit keiner Schädigung der Konstruktion zu rechnen.

## 5.1.4 AP „Wirtschaftliche und ökologische Betrachtungen“

### A Ausgangslage

#### A.1 Einleitung

Eine hochwertige thermische Sanierung der Außenhülle bei gleichzeitiger Integration von energieerzeugenden Aktivelementen (solarthermische Kollektoren und Photovoltaikmodulen) sowie eine Netzintegration für Strom und Wärme war Voraussetzung für das Erreichen eines Plusenergie-Standards von Gebäuden.

Die mit einer solchen Sanierung zusammenhängenden baulichen Maßnahmen sind, je nach Sanierungstechnologie, mit unterschiedlich hohen Errichtungs- und Folgekosten sowie spezifischen Umweltwirkungen während der gesamten Gebäudenutzungsdauer verbunden. Heute werden die für eine Sanierung in Frage kommenden Baukonstruktions- und Haustechnikkomponenten meist nur auf Basis deren Errichtungskosten ausgewählt. Demgegenüber stehen die Förderprogramme der Länder („ökologische Wohnbauförderung“) sowie Gebäudezertifizierungssysteme („ÖGNI“<sup>3</sup>, „LEED“<sup>4</sup>, „BREEAM“<sup>5</sup>, „DGNB“<sup>6</sup>, „TQB“<sup>7</sup>), welche neben den Errichtungskosten auch zusätzliche Berücksichtigung der Umweltwirkungen der Sanierungskonzepte fordern.

Für das Demonstrationsprojekt „Johann-Böhm-Straße, Kapfenberg“ sollten daher ökonomische und ökologische Vergleichsrechnungen auf Basis verschiedener funktionaler und technisch gleichwertiger Systemlösungsvarianten (aktiv und/oder passiv) für die Sanierung auf Plus-Energie-Standard durchgeführt werden. Die Ermittlung der umweltbezogenen (ökologischen) Qualität des Gebäudes erfolgte in Anlehnung an die ÖNORM EN 15643-2<sup>8</sup> / ÖNORM EN 15978<sup>9</sup> unter Verwendung der Methode der Ökobilanzierung (ÖNORM EN ISO 14040<sup>10</sup> bzw. ÖNORM EN ISO 14044<sup>11</sup>) in Form von quantifizierbaren, outputorientierten Wirkungsindikatoren. Die ökonomische Bewertung der Lebenszykluskosten wurde auf Basis der ÖNORM B 1801ff<sup>12</sup> durchgeführt. Mit Hilfe des GEFMA<sup>13</sup> Berechnungstools wurden die Life Cycle Costs (LCC) unter Verwendung einer dynamischen Berechnungsmethode (Kapitalwertmethode) ermittelt.

Für die untersuchten Sanierungsvarianten (Sanierung auf Passivhausstandard und Sanierung auf Plusenergiestandard) erfolgte die detaillierte Auswertung der ökologischen Qualität sowie der Lebenszykluskosten im gegenständlichen Subprojekt 3 (SP3). Die Ergebnisse der LCA und LCC wurden in Form von „ökologischen und ökonomischen Amortisationszeiten“ auf Bauteilebene gegenübergestellt und unter Verwendung der Sensitivitätsanalyse wurden die Einflüsse und Auswirkungen von Energiepreissteigerung, Änderung des Kalkulationszinssatzes usw. auf die LCC untersucht.

---

<sup>3</sup> Österreichische Gesellschaft für nachhaltige Immobilienwirtschaft – siehe <http://www.ogni.at/>

<sup>4</sup> Leadership in Energy and Environmental Design – siehe <http://www.usgbc.org/>

<sup>5</sup> Building Research Establishment's Environmental Assessment Method – siehe <http://www.breeam.org/>

<sup>6</sup> Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen e.V. – siehe <http://www.dgnb.de/>

<sup>7</sup> Österreichische Gesellschaft für nachhaltiges Bauen – siehe <https://www.oegnb.net/tqb.htm>

<sup>8</sup> ÖNORM EN 15643-2: Nachhaltigkeit von Bauwerken - Bewertung der Nachhaltigkeit von Gebäuden - Teil 2: Rahmenbedingungen für die Bewertung der umweltbezogenen Qualität (2009)

<sup>9</sup> ÖNORM EN 15978: Nachhaltigkeit von Bauwerken - Bestimmung der Umweltleistung von Gebäuden – Berechnungsmethode (2010)

<sup>10</sup> ÖNORM IEN ISO 14040: Umweltmanagement — Ökobilanz — Grundsätze und Rahmenbedingungen (2006)

<sup>11</sup> ÖNORM EN ISO 14044: Umweltmanagement – Ökobilanz Anforderungen und Anleitungen (2006)

<sup>12</sup> ÖNORM B 1801 (2009)

<sup>13</sup> GEFMA 220 - German Facility Management Association

## A.2 Ausgangslage und Zieldefinition im SP3

Das Ziel des SP3 war die vergleichende Betrachtung der Modulentwicklung hinsichtlich der Lebenszykluskosten und umweltbezogenen Qualität über den Lebenszyklus. Die dazu benötigten Daten wie Materialaufstellung, Massenauszug, Bauteilliste, Angaben zu Instandhaltungsszenarien, etc. wurden von den Projektpartnern (Nussmüller Architekten ZT GmbH, Kulmerbau, AEE INTEC etc.) bereitgestellt.

Da die einzelnen Aufbauten der e80<sup>3</sup> Fassadenmodule und deren Qualitäten zum Zeitpunkt der Bearbeitung des SP2 nicht im Detail bekannt waren, wurden in einer Erstabtschätzung die LCC auf Gebäudeebene berechnet. Die Ergebnisse dieser Berechnung wurden in einer Gegenüberstellung mit einem Wärmedämmverbundsystem (WDVS) verglichen. Unter den getroffenen Annahmen hat sich gezeigt, dass die LCC der e80<sup>3</sup> Fassade gegenüber dem WDVS nach 30 Jahren amortisiert werden können.

Im SP3-Zwischenbericht wurde der Fokus auf die Optimierung des Basismoduls bezüglich der umweltbezogenen Qualität der einzelnen Schichten gelegt. Die Ergebnisse dieser Bewertungen wurden als Basis für die ökologische Optimierung der Materialien in der e80<sup>3</sup> Fassadenmodulentwicklung herangezogen.

Für die weiteren LCC-Berechnungen im SP3 wurden die im SP2 ermittelten Rahmenbedingungen (Kalkulationszinssatz, Energiepreissteigerung, Energiepreise für Strom und Wärme usw.) angesetzt. Die Ergebnisse wurden im Endbericht des SP3 anhand detaillierter Vergleichsrechnungen für ein WDVS als Standardsanierung und für die neuen vorgefertigten e80<sup>3</sup> Fassadenmodule auf Bauteilebene präsentiert.

## A.3 Ergebnisse der Erstabtschätzung im SP2

Die Variantenvergleiche der Erstabtschätzung im SP2 basierten auf dem LCC-Berechnungstool der GEFMA, welches für die Anwendung in Österreich entsprechend nach den Vorgaben der ÖNORM B1801-2 adaptiert wurde.

In Abbildung 45 sind die Ergebnisse der LCC-Berechnung für die Sanierungsvariante auf Plusenergiestandard (Var.0) und für die WDVS Standardsanierung (Var.1) dargestellt.

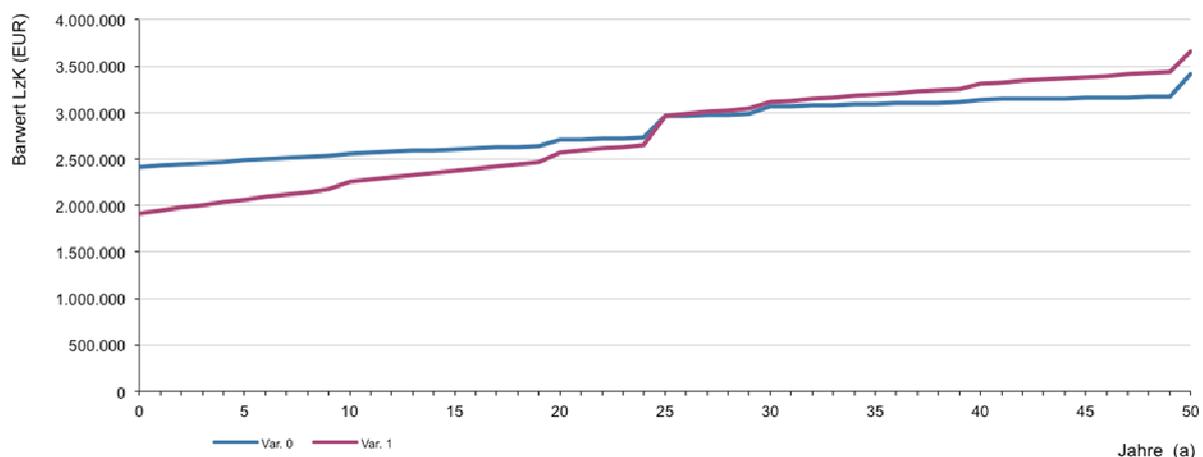


Abbildung 45: Erstabtschätzung des Verlaufs der Lebenszykluskosten der beiden Sanierungsvarianten (Quelle: IMBT TU Graz)

Die Berechnung der Sanierung auf Plusenergiestandard hatte zufolge des neuen innovativen Fassadensystems höhere Investitionskosten gegenüber der WDVS Standardsanierung ergeben. Betrachtet man beide Sanierungsvarianten über einen Lebenszyklus von 50 Jahren, ergeben sich unter den getroffenen Annahmen nach ca. 25 Jahren auf Gebäudeebene für die Plusenergiefassade geringere LCC. Dies ist für den Plusenergiestandard der e80<sup>3</sup> Fassade zum einen durch die Energiegewinne (Strom und Wärme) aus den eingesetzten PV- und Solarelementen und zum anderen durch die kostengünstigere Erhaltung (Instandhaltungs- und Instandsetzungsarbeiten) welche aus der guten Zugänglichkeit der Haustechnikanlage sowie einem modulweisen Austausch der aktiven und passiven Elemente resultiert. Für die monetäre Abschätzung der solaren Gewinne aus PV und Solarthermie wurde die Photovoltaic Austria Federal Association (PV-Austria)<sup>14</sup> und der lokale Wärmeversorger der Stadt Kapfenberg (Stadtwerke Kapfenberg GmbH) als Grundlage herangezogen. Dabei hat sich gezeigt das die Amortisationszeit der in der e80<sup>3</sup> Fassade integrierten PV-Elemente wesentlich von den zu erwartenden Einspeisetarifen der aus PV-Anlagen gewonnenen Energie abhängig ist. Für die Erstabschätzung der LCC wurde daher in den ersten 13 Jahren der Vertragslaufzeit (lt. Vertrag des e80<sup>3</sup> Projektes) ein Einspeisetarif von 33 Cent/kWh<sup>15</sup> angesetzt. Ab dem 14. Jahr wurde für die Vergütung der Überschussenergie ein Erlöse von 18 Cent/kWh<sup>16</sup> in die LCC-Berechnung aufgenommen. Je nach Sanierungsvariante haben die zu erwartenden Förderungszuschüsse für alternative Energiegewinne einen signifikanten Einfluss auf die Amortisationszeit der untersuchten Sanierungsvarianten. So wurden in der weiteren LCC-Berechnung des SP3 die Förderungszuschüsse für alternative Energiegewinne nicht berücksichtigt.

#### A.4 Darstellung der Umweltwirkungen des Basismoduls mit „Faserzementplatte“

Die Umweltwirkungen des Basismoduls mit "Faserzementplatte" sind im Folgenden jeweils für die Errichtung, Nutzung und Beseitigung abgebildet (siehe Abbildung 46). In der Darstellung sind auf der Abszisse die bewerteten Umweltindikatoren (PEne, PEe, GWP usw.) und auf der Ordinate die Menge der Umweltwirkungen in (%) je Schichten aufgetragen.

Es galt zu beachten, dass in der Lebensphase „Nutzung“ keine Umweltindikatoren bilanziert wurden, da die im Basismodul eingesetzten Baumaterialien eine Nutzungsdauer von > 50 Jahre aufweisen.

---

<sup>14</sup> PHOTOVOLTAIC AUSTRIA Federal Association - siehe: <http://www.pvaustria.at>

<sup>15</sup> Gem. BGBl II Nr. 25/11

<sup>16</sup> siehe: <http://www.pvaustria.at>

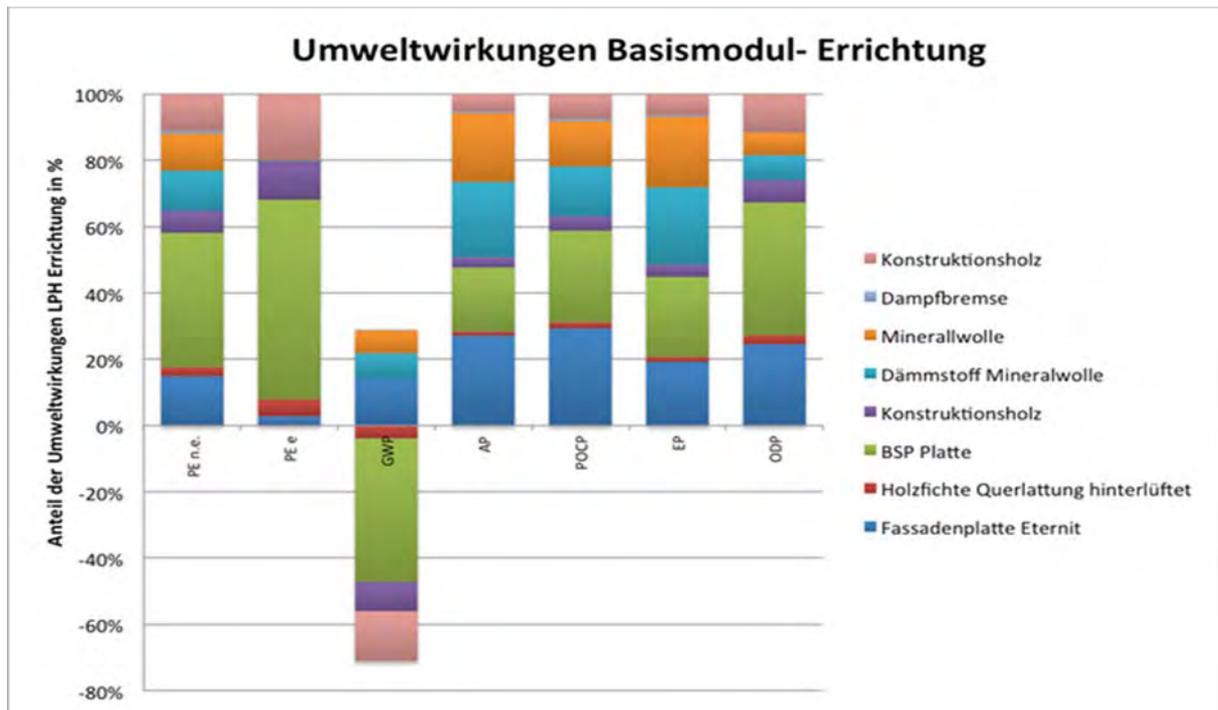


Abbildung 46: Umweltwirkungen Aufbau Basismodul mit "Faserzementplatte" Errichtung (Quelle: IMBT TU Graz)

Die größten Umweltwirkungen des Basismoduls der e80<sup>3</sup> Fassade resultieren in der Phase der Errichtung aus dem Einsatz von BSP-Platten<sup>17</sup> und Faserzement-Fassadenplatten (vgl. Abbildung 46).

In Folge der im Basismodul verwendeten Holzprodukte war jedoch eine CO<sub>2</sub>-Gutschrift für den Umweltindikator GWP bzw. eine Reduktion der errichtungsbedingten Umweltwirkungen möglich. Die Ergebnisse der LCA wurden unter Verwendung der Ökobau.dat<sup>18</sup> ermittelt.

Auch in der Beseitigungsphase (Abbildung 47) des Basismoduls ergaben sich große Umweltwirkungen im Bereich der BSP-Platte (z.T. bis zu ca. 65 % der Umweltwirkungen bei den Umweltindikatoren GWP, AP und EP). Die überwiegend negativen Ausprägungen der positiv zu bewertenden Umweltwirkungen PEne, PEe sowie ODP resultieren aus den Gutschriften der in Folge von thermischer Verwertung erzeugten Strom und Wärme am Ende des Lebenszyklus.

<sup>17</sup> Brettsperholz - Platten

<sup>18</sup> Ökobau.dat (2009) - siehe <http://www.nachhaltigesbauen.de>

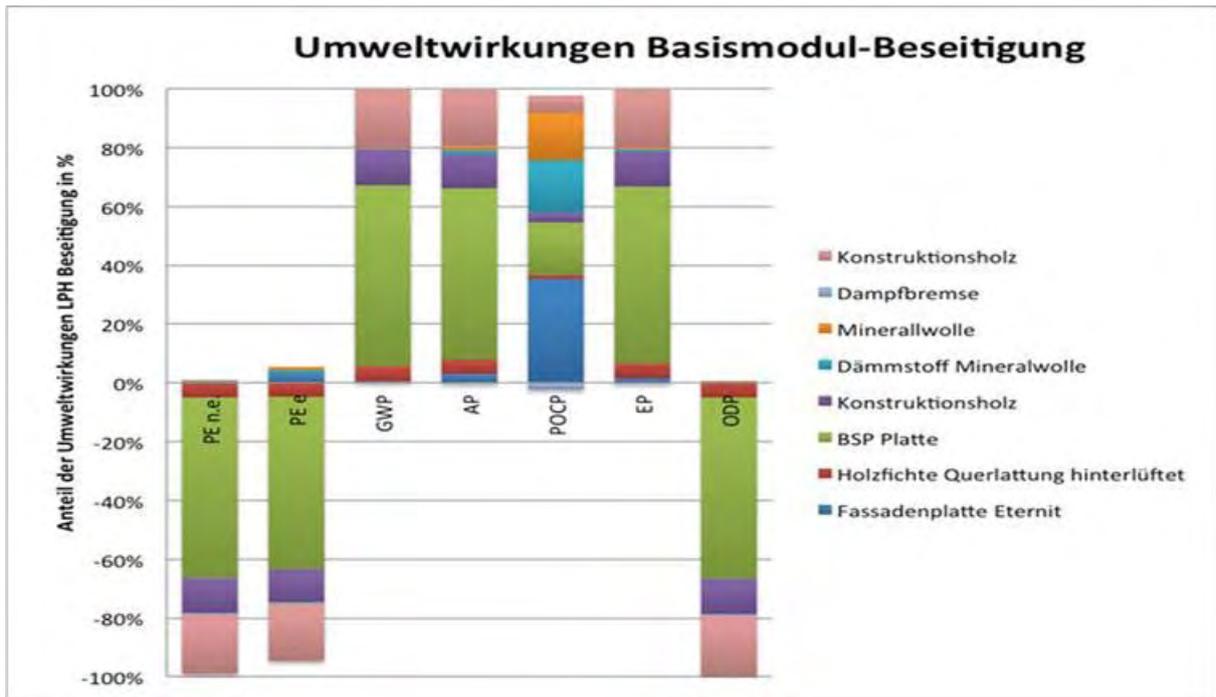


Abbildung 47: Umweltwirkungen Aufbau Basismodul mit "Faserzementplatte" Beseitigung (Quelle: IMBT TU Graz)

Auf den gesamten Lebenszyklus betrachtet war der signifikante Einfluss der BSP- und Faserzementplatte unverändert (siehe Abbildung 48) und beinhaltete im Hinblick auf die Weiterentwicklung des Basismoduls ein Optimierungspotential.

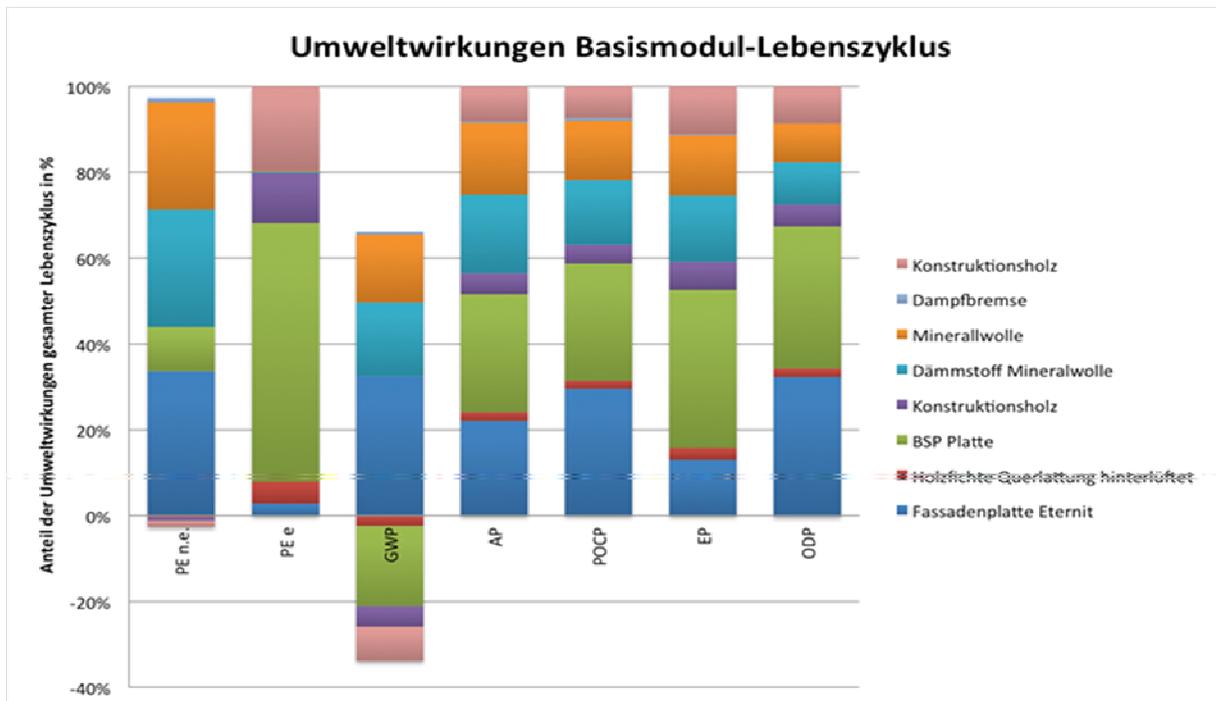


Abbildung 48: Umweltwirkungen Aufbau Basismodul Prototyp gesamter Lebenszyklus (Quelle: IMBT TU Graz)

Im Einsatz von alternativen Produkten ist nach EN 15643-2 jeweils darauf geachtet, dass die funktionale und technische Gleichwertigkeit sowie die Wirtschaftlichkeit der alternativ eingesetzten Produkte von entscheidender Bedeutung sind und dementsprechend die Produkte ausgewählt werden müssen.

Die Gleichwertigkeit der Produkte wurde in den weiteren Untersuchungen der LCA und LCC sowie in der Sensitivitätsanalyse angestrebt.

## B Modulaufbauten

### B.1 Gestaltung

Die Gestaltung der Sanierung auf Plusenergiestandard und die erforderlichen Aufbauten der vorgefertigten Fassadenmodule wurden von Nussmüller Architekten ZT GmbH vorgegeben und in Zusammenarbeit mit ausführenden Projektpartnern weiterentwickelt. Im Folgenden werden die wesentlichen Fassadenaufbauten, welche in der LCC- und LCA-Bewertung untersucht wurden, beschrieben:

### B.2 Basismodul mit „Faserzementplatte“

Das Basismodul mit "Faserzementplatte" wird, wie in Kapitel C des Endberichtes, hier noch einmal in aktueller Form (siehe Abbildung 49) dargestellt:

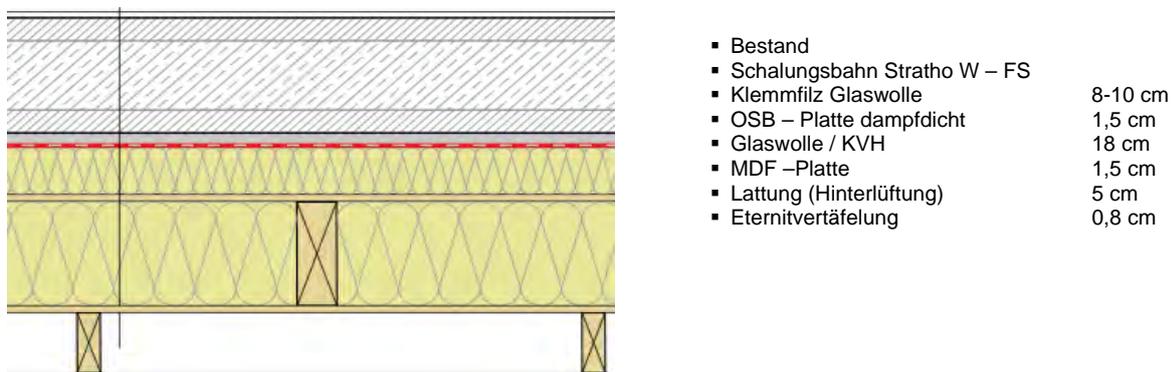


Abbildung 49: Basisfassadenmodul – Eternit (Quelle: Nussmüller Architekten ZT GmbH)

In der ökologischen und ökonomischen Untersuchung des Basismoduls werden im SP3 neben dem Oberflächenmaterial "Faserzementplatte" auch die unterschiedlichen Plattenmaterialien Schiefer-, Nadelholz-, Metall- und Holzplatte gestrichen bewertet und in den folgenden Ergebnissen dargestellt.

### B.3 Haustechnikmodul

Ein einfacher Anschluss der Wohneinheiten an das zentrale Haustechniksystem sowie gute Zugänglichkeit der einzelnen Leitungen und Haustechnikkomponenten waren in der Entwicklung der e80<sup>3</sup> Fassadenmodule wichtige Planungsziele. Diese wurden so konzipiert, dass zukünftige Instandhaltungsmaßnahmen rasch und mit geringem technischen Aufwand ausgeführt werden können. In Abbildung 50 ist ein Schnitt durch ein Haustechnikmodul dargestellt.



In Abbildung 52 ist die Integration eines vorgefertigten PV-Moduls der Firma Eternit in der Fassade dargestellt:



Abbildung 52: Fassadenmodul PV der Firma Eternit (Quelle: [www.eternit.at](http://www.eternit.at))

Die weitere Ausführung der aktiven Elemente Solarthermie und GAP-Modul wurden in ähnlicher Form wie das PV-Fassadenmodul eingesetzt.

#### B.4 WDVS Standardvariante

Die wesentlichen Kriterien für den Aufbau und die Dimensionierung der neuen Fassadenmodule wurden über statische- und bauphysikalische Anforderungen (wie Dimension der Brettschichtholzsteher (BSH) bzw. Stärke der Wärmedämmung (Glaswolle)) vorgegeben. Zufolge der gegebenen Randbedingungen wurde die WDVS Standardsanierungsvariante durch gleichsetzen des U-Wertes dimensioniert und dem Basismodul der e80<sup>3</sup> Fassade gegenübergestellt. Der Aufbau der WDVS Variante ist in Tabelle 9 beschrieben.

Tabelle 9: Aufbau der WDVS Standardsanierung

--	Bestand
0,5 cm	Kleber
28,0 cm	EPS (Expandiertes Polystyrol)
0,5 cm	Armierung und Verspachtelung
0,5 cm	Putzgrund und Silikatputz

Die weiteren für die LCC- und LCA-Bewertung erforderlichen Randbedingungen (wie z.B. die wirtschaftliche Nutzungsdauer (ND) des WDVS usw.) werden aus den Richtlinien der VDI 2067<sup>20</sup> bzw. aus dem Nutzungsdauerkatalog der Steirischen Sachverständigen<sup>21</sup> entnommen und mit 30 Jahren angenommen.

<sup>20</sup> VDI 2067- Verein Deutscher Ingenieure (2010)

<sup>21</sup> Hauptverband der Allgemeinen beedenten und gerichtlich zertifizierten Sachverständigen Österreichs - Nutzungsdauerkatalog baulicher Anlagen und Anlageteile (2006)

## C LCA – Ökobilanzierung

Wie einleitend erwähnt, wurde die Erstellung der Ökobilanz (en: Life Cycle Assessment, LCA) auf Basis bestehender Regelwerke (ÖNORM EN ISO 14040 bzw. ÖNORM EN ISO 14044) aufgebaut. In Verwendung dieser Regelwerke kann die umweltbezogene Qualität von neuen, bereits bestehenden sowie modernisierten Gebäuden mit der auf quantifizierbaren Umweltdaten basierenden Berechnungsmethode bewertet werden.

### C.1 Betrachtungszeitraum des LCA

Für die Ökobilanzierung wurde, wie auch für die Lebenszykluskostenberechnung, ein Betrachtungszeitraum von 50 Jahren festgelegt.

### C.2 Systemgrenzen – funktionale Einheit

Neben dem e80<sup>3</sup> Basismodul mit Faserzementplatte wurden in der Ökobilanz des SP3 auch die Oberflächenmaterialien Schiefer-, Nadelholz-, Holz- gestrichen und Metallplatten sowie die aktiven Elemente Solarthermie, PV und GAP-Modul in den Fassadenelementen über den Lebenszyklus bewertet. Für die Bilanzierung wurde 1 m<sup>2</sup> Fassadenfläche als funktionale Einheit festgelegt und die damit verbundenen ökologischen Auswirkungen und Energiegewinne aus den Datenbanken „Ökobau.dat 2009“ und „Ecoinvent“<sup>22</sup> entnommen.

### C.2 Systemgrenzen – funktionale Einheit

Die umweltbezogene Qualität der im SP3 untersuchten Fassadenmodule wurde mit folgenden Datensätzen aus der Ökobau.dat bzw. Ecoinvent bewertet:

Basismodul:

- Faserzement Dach- und Fassadenplatten - Eternit
- Schnittholz Fichte (12% Feuchte 10,7% H<sub>2</sub>O)
- MDF-Platte (Agepan DWD protect)
- Konstruktionsvollholz
- Mineralwolle (Fassadendämmung-Glaswolle)
- OSB Platte dampfdicht
- Klemmfilz Glaswolle
- Dampfbremse PE
- Konstruktionsvollholz

Basismodul mit verschiedenen Oberflächenmaterialien:

- Natursteinplatten, geschnitten, ab Regionallager
- Schnittholz Fichte (12Prozent Feuchte 10,7Prozent H<sub>2</sub>O)
- Lacksystem (Holz gestrichen)
- Metall (Wellblech)

---

<sup>22</sup> Swiss Centre for Life Cycle Inventories - Ecoinvent Database v2.2 (2010)

Aktivmodule:

- Solaranlage Flachkollektor
- PV-Wafer, single-Si, Photovoltaik, ab Werk
- Fensterglas einfach
- Zellulosefaserplatten
- Holzfaserplatte DHF - Egger

Standardausführung WDVS

- WDVS Verklebung und Beschichtung Silikonharzputz
- EPS PS 25
- WDVS Verklebung und Beschichtung Leichtputz mineralisch
- WDVS-Dübelsystem Kunststoff/Metall RondellEJOT 280mm(1Stk)

Für die umweltbezogene Qualität wurden folgende Umweltindikatoren<sup>23</sup> (siehe Tabelle 10 und Tabelle 11) herangezogen:

Tabelle 10: Übersicht Umweltindikatoren der Wirkungskategorien (Quelle: Passer, 2010)

Wirkungskategorie	Kurzbezeichnung	Indikatoreinheit
Versauerungspotential	AP	[kg SO <sub>2</sub> äquiv.]
Eutrophierungspotential	EP	[kg PO <sub>4</sub> äquiv.]
Treibhauspotential	GWP	[kg CO <sub>2</sub> äquiv.]
Stratosphärisches Ozonabbaupotential	ODP	[kg CFC-11 äquiv.]
Ozonbildungspotential	POCP	[kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> äquiv.]

Tabelle 11: Übersicht Umweltindikatoren der Umweltaspekte (Quelle: Passer, 2010)

Umweltaspekt	Kurzbezeichnung	Indikatoreinheit
Verwendung nicht-erneuerbarer Primärenergie	PEne	[MJ]
Verwendung erneuerbarer Primärenergie	PEe	[MJ]

Wie für die Berechnung der Lebenszykluskosten wurden auch für die Erstellung der Ökobilanz die erforderlichen Nutzungsdauern der zu untersuchenden Bauteile aus dem Nutzungsdauerkatalog des Steirischen Sachverständigenverbandes entnommen.

## D LCC – Ermittlung der Lebenszykluskosten

Aufbauend auf den von Projektpartnern, Energieanbietern und ausführenden Firmen zur Verfügung gestellten Unterlagen konnten die Lebenszykluskosten für das SP3 unter Anwendung des eingangs erwähnten Berechnungstools GEFMA 220 berechnet werden. Dieses Berechnungstool wurde unter Verwendung der ÖNORM B 1801ff auf Österreichischen Standard adaptiert und erlaubt die

<sup>23</sup>Anmerkung: Bei den Umweltindikatoren ist gem. ÖNORM EN 15978 (2010) zwischen Umweltaspekten und Umweltwirkung zu unterscheiden.

Berechnung der LCC mit Hilfe der Kapitalwertmethode. Die zur LCC Bewertung erforderlichen Randbedingungen wurden aus den Richtlinien der VDI 2067 und dem Nutzungsdauerkatalog des Steirischen Sachverständigenverbandes entnommen.

#### **D.1 Betrachtungszeitraum LCC**

Der Betrachtungszeitraum für die Vergleichsberechnungen der Lebenszyklusberechnung (LCC) und der Ökobilanz (LCA) wurde mit 50 Jahren festgelegt.

#### **D.2 Systemgrenzen – funktionale Einheit**

Die Grundlagen für die LCC-Berechnung bildeten die Kostenangaben der Projektpartner, Energieanbieter und ausführenden Firmen. Als funktionale Einheit wurde auch hier 1 m<sup>2</sup> Fassadenfläche für die unterschiedlichen Ausführungen der Sanierung herangezogen. Die über den Lebenszyklus mit dieser Einheit verbundenen Kosten wurden in der LCC-Berechnung berücksichtigt. Da unter Verwendung der Kapitalwertmethode die Beseitigungskosten über den Betrachtungszeitraum von 50 Jahren vernachlässigbar gering ausfallen, wurden keine End-of-Life-Kosten in der LCC-Berechnung angesetzt. Anfallende Gewinne aus PV und Solarthermie wurden über den Betrachtungszeitraum als monetäre Gewinne in Form aktueller Energiepreise lokaler Energieanbieter (Stadtwerke Kapfenberg) in die LCC-Bewertung aufgenommen.

#### **D.3 Berechnungsparameter der LCC**

Alle für die LCC-Berechnung erforderlichen Informationen wurden in einem für dieses Projekt nach den Prinzipien der CML 2001<sup>24</sup> entwickelten Exceltool erfasst und ausgewertet. Im Folgenden sind die für die Bewertung der LCC erforderlichen Randbedingungen angeführt:

- Kalkulationszinssatz 5,5 %
- Inflation für Dienstleistung 1,5 %
- Energiepreissteigerung 4,0 %
- Wartungs- und Instandhaltungskosten – Annahme 0,1 % der Herstellkosten
- Instandsetzungskosten - Austausch nach Erreichen der Nutzungsdauer unter Berücksichtigung der Abhängigkeit der Bauteilschichten (Rückbau und Wiederherstellung des Moduls)
- Ansatz der Reinigungskosten – nur Oberflächenreinigung der Aktivmodule (PV, Solar und GAP-Modul) lt. Hersteller (Stadtwerke Kapfenberg)
- Berücksichtigung der Erträge aus Energiegewinne von Aktivmodulen (PV und Solarthermie)

### **E Ergebnisse LCA und LCC**

Die Ergebnisse der LCA und LCC der einzelnen Modulvarianten werden exemplarisch für die Umweltindikatoren PEne und GWP sowie für die LCC in den folgenden Grafiken auf Bauteilebene über die Errichtungsphase, gesamte Nutzungsphase und Beseitigungsphase dargestellt.

---

<sup>24</sup> CML 2001 „Centrum voor Milieukunde“ in Leiden - ökologieorientiertes Informations- und Entscheidungsinstrument (auswirkungsorientierte Klassifizierung) zur Erstellung einer Ökobilanz gemäß DIN EN ISO 14040. Diese Methode gehört zu den mehrdimensionalen Ansätzen der Ökobilanzierung und nimmt eine medienübergreifende Zusammenfassung von Emissionen gleicher Wirkung vor.

## E.1 Gegenüberstellung der Ergebnisse für LCA-PE<sub>NE</sub> und LCC

Einmalige Instandsetzungsmaßnahmen wurden für die LCA jährlich linear umgerechnet und über den Lebenszyklus kumuliert abgebildet. Energiegewinne aus PV und Solarthermie wurden als linear kontinuierliche Gewinne angesetzt und ebenso jährlich kumuliert in den Berechnungsergebnissen dargestellt (siehe Abbildung 53). Entlang der Abszisse ist der Betrachtungszeitraum von 50 Jahren festgelegt. In Richtung der Ordinate wurden die prozentuellen Unterschiede der Fassadenmodule, auf das WDVS bezogen, angegeben.

Im Bereich der LCC wurden die Instandsetzungsmaßnahmen nach Erreichen der aus den genannten Richtlinien und Nutzungsdauerkatalogen entnommenen Nutzungsdauern, resultierend aus Beseitigung und Wiedererrichtung, in den Ergebnissen abgebildet. Die monetären Erlöse aus den Energiegewinnen für Wärme und Strom wurden ebenso als kontinuierliche Gewinne angesetzt und jährlich kumuliert in den Ergebnissen dargestellt.

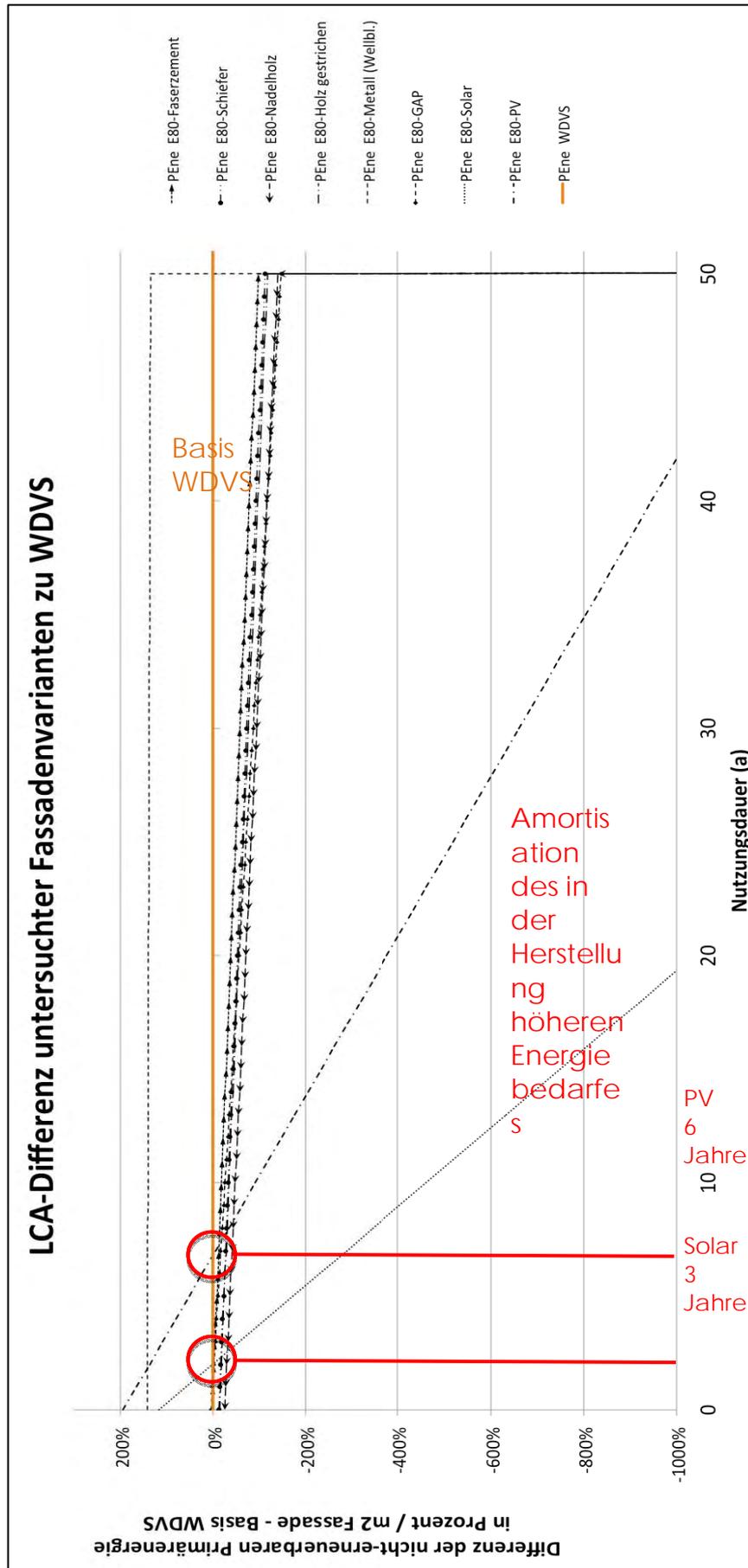


Abbildung 53: Berechnungsergebnisse für LCA-PEne (Quelle: IMBT TU Graz)

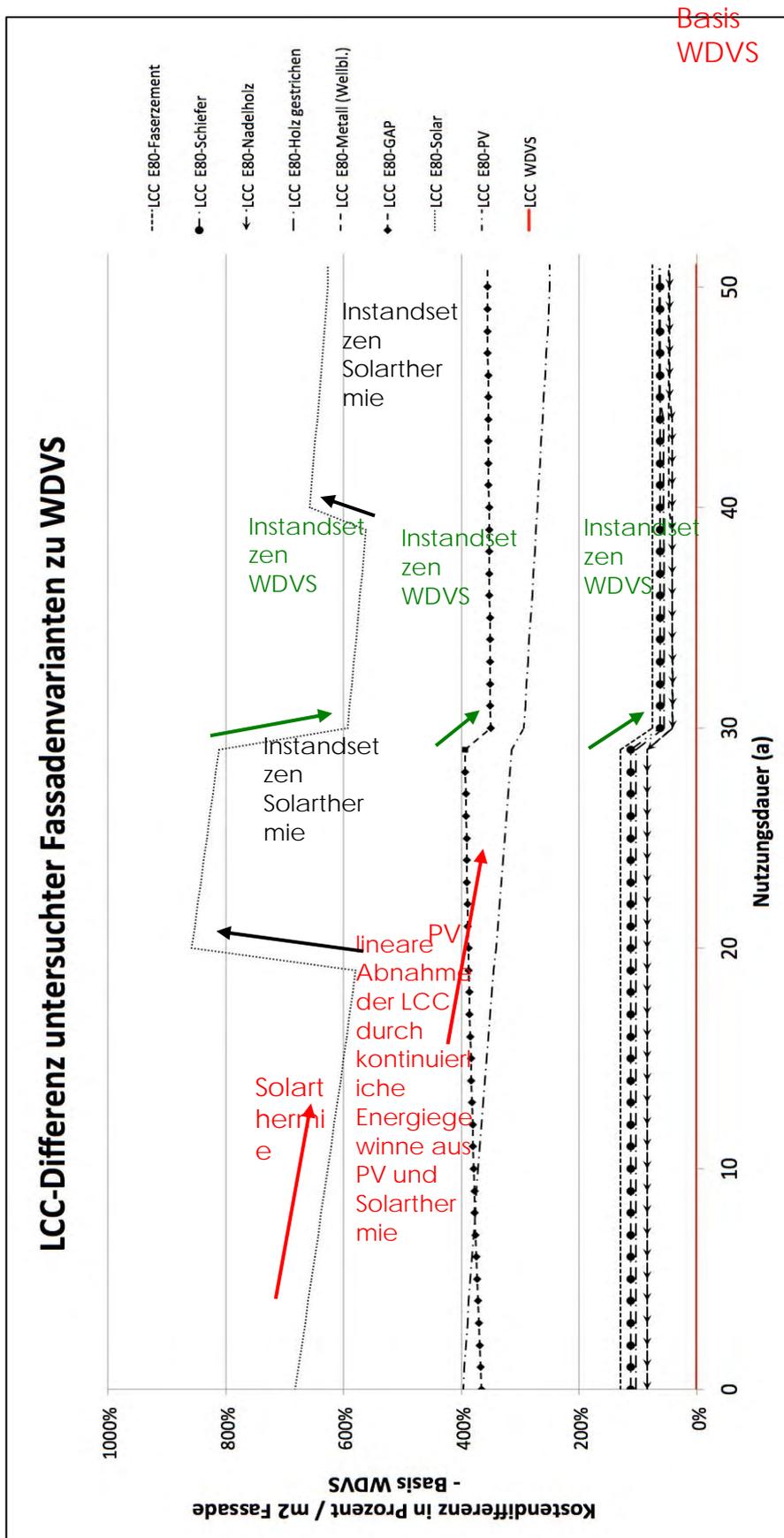


Abbildung 54: Berechnungsergebnisse der LCC (Quelle: IMBT TU Graz)

Basierend auf den in Abbildung 53 und Abbildung 54 dargestellten Grafiken wurden die Berechnungsergebnisse der LCA-PEne und LCC für die e80^3 Module in Tabelle 12 und Tabelle 13 qualitativ bewertet:

- ++) > -100% Umweltwirkung PEne gegenüber dem WDVS
- +) ≤ -100% Umweltwirkung PEne gegenüber dem WDVS
- ) ≤ 100% Umweltwirkung PEne gegenüber dem WDVS
- ) > 100% Umweltwirkung PEne gegenüber dem WDVS

Tabelle 12: Gewichtung der LCA-PEne Bewertung für das E80^3 Modul

LCA-PEne	Herstellung	Nutzung	Beseitigung
E80^3 Basismodul-Faserzement	+	+	++
E80^3 Basismodul-Schiefer	+	+	++
E80^3 Basismodul-Nadelholz	+	++	++
E80^3 Basismodul-Holz gestrichen	+	+	++
E80^3 Basismodul-Metall	--	--	++
E80^3 PV-Modul	--	++	++
E80^3 Solarthermie-Modul	--	++	++
E80^3 GAP-Modul	+	++	++

Es hat sich gezeigt, dass infolge der verwendeten, gut recycelfähigen Materialien der Energiebedarf je m2 Fassade der E80^3 Module im Bereich der Herstellung höher ist wie für die WDVS Standardsanierung. Durch den Einsatz von energieerzeugenden Elementen wie PV- und Solathermie-Modulen kann im Bereich der Energiegewinne (Wärme) bereits nach 3 Jahren und im Bereich der Energiegewinne (Strom) nach 6 Jahren eine Amortisation der für die Herstellung benötigten Energie erreicht werden.

In der Beseitigungsphase (End-of-Life) haben die e80^3 Module durch den hohen Anteil an recycelfähigen Materialien und einer guten Demontierbarkeit generell wesentlich geringere Umweltwirkungen als die herkömmliche WDVS Standardsanierung.

Die LCC-Ergebnisse wurden wie für die LCA in vergleichbarer Form mit folgenden Rahmenbedingungen gewichtet und zusammenfassend dargestellt:

- ++) > -100% LCC gegenüber dem WDVS
- +) ≤ -100% LCC gegenüber dem WDVS
- ) ≤ 100% LCC gegenüber dem WDVS
- ) > 100% LCC gegenüber dem WDVS

Tabelle 13: Gewichtung der LCC Bewertung für das E80^3 Modul

LCC	Herstellung	Nutzung	Beseitigung
e80^3 Basismodul-Eternit	--	-	In LCC nicht berücksichtigt.
e80^3 Basismodul-Schiefer	--	-	
e80^3 Basismodul-Nadelholz	-	-	
e80^3 Basismodul-Holz gestrichen	-	-	
e80^3 Basismodul-Metall	-	-	
e80^3 PV-Modul	--	--	
e80^3 Solarthermie-Modul	--	--	
e80^3 GAP-Modul	--	--	

Aus den Ergebnissen der LCC-Berechnung geht hervor das durch den Einsatz von hochwertigen, recycelfähigen Materialien die Kosten für die Herstellung der e80^3 Module gegenüber der WDVS Standardausführung wesentlich höher sind. Diese können auch unter Berücksichtigung der Erlöse und

Einsparungen infolge Energiegewinne aus Wärme und Strom sowie der Annahme einer Energiepreissteigerungsrate von 4% nicht über einen Betrachtungszeitraum von 50 Jahren amortisiert werden.

In der Sensitivitätsanalyse hat sich ergeben, dass bei einer Energiepreissteigerungsrate von 7% eine Amortisation der höheren Herstellkosten gegenüber dem WDVS innerhalb des Betrachtungszeitraumes möglich wäre. Weitere Auswirkungen der angenommenen Randbedingungen auf die LCC werden im nächsten Punkt in einer Sensitivitätsanalyse untersucht.

## **E.2 Ergebnisse für LCA-GWP**

Die Ergebnisse der Umweltwirkung LCA-GWP sind wie in Punkt E.1 beschrieben in ähnlicher Form erläutert und in Abbildung 55 dargestellt.

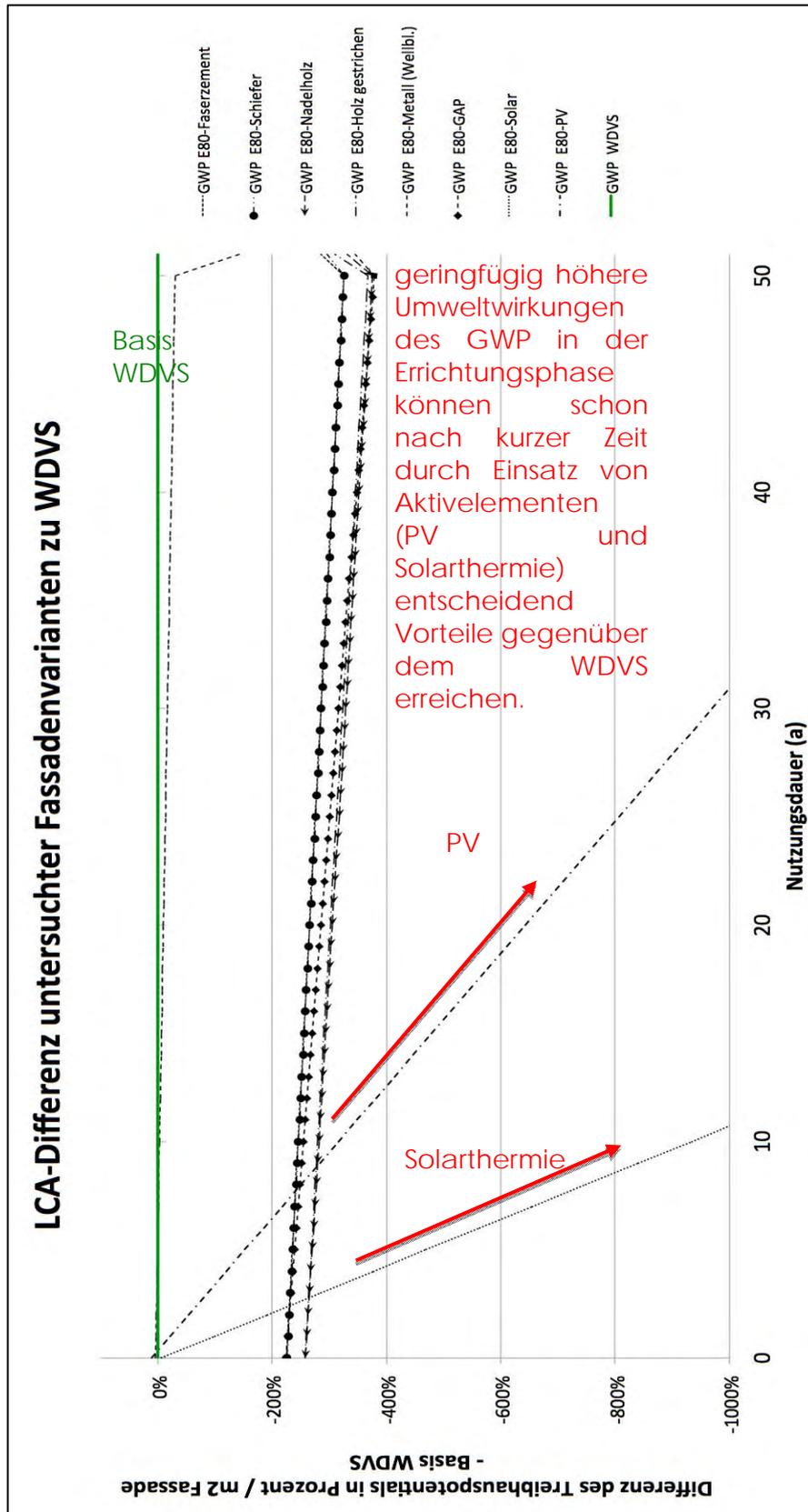


Abbildung 55: Berechnungsergebnisse für LCA-GWP (Quelle: IMBT TU Graz)

Die Berechnungsergebnisse der LCA-GWP der e80^3 Module mit den in Tabelle 14 angeführten Rahmenbedingungen qualitativ bewertet und zusammenfassend gegenübergestellt:

- ++) > -100% Umweltwirkung GWP gegenüber dem WDVS
- +) ≤ -100% Umweltwirkung GWP gegenüber dem WDVS
- ) ≤ 100% Umweltwirkung GWP gegenüber dem WDVS
- ) > 100% Umweltwirkung GWP gegenüber dem WDVS

Tabelle 14: Gewichtung der LCA-GWP Bewertung für das e80^3 Module

LCA-GWP	Herstellung	Nutzung	Beseitigung
e80^3 Basismodul-Eternit	++	++	++
e80^3 Basismodul-Schiefer	++	++	++
e80^3 Basismodul-Nadelholz	++	++	++
e80^3 Basismodul-Holz gestrichen	++	++	++
e80^3 Basismodul-Metall	-	+	++
e80^3 PV-Modul	-	++	++
e80^3 Solarthermie-Modul	+	++	++
e80^3 GAP-Modul	++	++	++

Die Berechnungsergebnisse der LCA-GWP haben gezeigt, dass sich in der Herstellung der e80^3 Basismodule für die Ausführungsvarianten „Metall“ und „PV-Aktivelement“ größere Umweltwirkungen infolge der hohen Energieaufwendungen ergeben haben als bei der WDVS Standardvariante. Für das Aktivelement "Solarthermie" konnten annähernd gleiche Werte wie für das WDVS erreicht werden. Alle anderen in der LCA untersuchten Varianten (Nadelholz, Holz gestrichen, Schiefer, Faserzementplatte und GAP-Modul) konnten bessere Ergebnisse für den Umweltindikator GWP als das WDVS erzielen. Durch Energieeinsparungen und Energierückgewinne (Strom und Wärme) konnten über die Aktiven Module "PV" und "Solarthermie" der e80^3 Fassade nach einem Jahr für den Umweltindikator "GWP" bereits bessere Werte wie für das WDVS erreicht werden. Der hohe Anteil an recycelfähigen Materialien und die einfache Demontierbarkeit der e80^3 Fassadenmodule weisen in der Beseitigung eindeutige Vorteile in den Ergebnissen für die neuen Module aus.

Generell zeigen sich ökologische Vorteile für die neuen Fassadenmodule gegenüber dem WDVS. Es wäre daher zweckmäßig verschiedene Oberflächenmaterialien im Rahmen der LCA und LCC auf Gebäudeebene zu untersuchen, da auf Bauteilebene nicht alle funktionellen Vorteile der vorgefertigten Fassadenmodule abgebildet werden können.

Es werden mit Hilfe der Sensitivitätsanalysen die Auswirkungen von Energiepreissteigerung, Inflation, Kalkulationszinssatz usw. auf die LCC untersucht und grafisch dargestellt.

## F Analyse

In einer ersten Abschätzung der LCC hat sich ergeben, dass die Kosten der e80^3 Fassadenmodule über den Lebenszyklus gegenüber der WDVS Standardausführung um bis zu 600% (Aktivmodul "Solarthermie") bzw. um bis zu 300% (Aktivmodul "PV") höher sein können. Mit Hilfe der Sensitivitätsanalyse wurde versucht, die Wirkungen und Wechselwirkungen der angenommenen Systemvariablen auf die LCC über den Betrachtungszeitraum zu analysieren und wurden im Anschluss in den folgenden Grafiken dargestellt.

In der Sensitivitätsanalyse wurde das WDVS und exemplarisch das e80^3 PV-Modul untersucht und auf Basis folgender Rahmenbedingungen dem Bericht zugrunde gelegt:

**Ausgangsszenario:**

**WDVS (Aufbau siehe Tabelle 9)**

ND	30 Jahre
Betrachtungszeitraum	50 Jahre
Kalkulationszinssatz	5,5 %
Energiepreissteigerung	4,0 %
Inflation (allgemein und Dienstleistung)	1,5 %
Energiegewinnung	0 kWh/m <sup>2</sup> *a

**Ausgangsszenario:**

**e80<sup>3</sup>-PV Modul (Aufbau siehe Abbildung 51)**

ND	30 Jahre
Betrachtungszeitraum	50 Jahre
Kalkulationszinssatz	5,5 %
Energiepreissteigerung	4,0 %
Inflation (allgemein und Dienstleistung)	1,5 %
Energiegewinne (Strom)	55 kWh/m <sup>2</sup> *a

Welche Szenarien in der Sensitivitätsanalyse untersucht werden, sind in Abbildung 19 in einem kurzen Überblick dargestellt.

Tabelle 15: Übersicht – Szenarien der Sensitivitätsanalyse

Szenario 1	Energiepreissteigerung	auf 7,5%
Szenario 2	Leistungserhöhung PV	auf 130 kWh/m <sup>2</sup> *a
Szenario 3	Reduktion der Herstellkosten	um 55%
Szenario 4	Reduktion der Herstellkosten bei gleichzeitiger Leistungserhöhung PV	um 20% auf 100 kWh/m <sup>2</sup> *a
Szenario 5	Reduktion der Herstellkosten bei gleichzeitiger Leistungserhöhung PV und Energiepreissteigerung	um 20% auf 100 kWh/m <sup>2</sup> *a auf 6%

**Szenario 1:**

In der ersten Simulation wurde eine Energiepreissteigerung von 7,5% angesetzt. Dabei hat sich gezeigt, dass unter den angenommenen Rahmenbedingungen eine Amortisationszeit der Lebenszykluskosten von 49 Jahren möglich ist.



Abbildung 56: Gegenüberstellung der LCC für e80<sup>3</sup> PV und WDVS Standardausführung – Szenario: Energiepreissteigerung (Quelle: IMBT TU Graz)

### Szenario 2:

In einer zweiten Untersuchung wurde die Leistung der PV-Module von 55 kWh/m<sup>2</sup>\*a (Leistungsabschätzung aus Simulationen von AEE INTEC erhoben) auf 130 kWh/m<sup>2</sup>\*a erhöht. Alle weiteren Berechnungsparameter können dem Ausgangsszenario entnommen werden. Dabei hat sich gezeigt, dass unter den angenommenen Rahmenbedingungen, eine Amortisationszeit der Lebenszykluskosten von 47 Jahren erreichbar scheint.



Abbildung 57: Gegenüberstellung der LCC für e80<sup>3</sup> PV und WDVS Standardausführung – Szenario: Erhöhung der Leistung des PV-Moduls (Quelle: IMBT TU Graz)

### Szenario 3:

In der nächsten Darstellung wurde versucht die Herstellkosten der neuen e80<sup>3</sup> PV-Fassadenmodule so weit zu senken, dass sich unter den beschriebenen Ausgangssituationen eine Amortisation der LCC des e80<sup>3</sup> PV-Moduls von 50 Jahren gegenüber dem WDVS einstellt. Unter den angenommenen Rahmenbedingungen ist eine Amortisation der LCC über den Betrachtungszeitraum nur durch eine Kostenreduktion von ca. 55 % in der Herstellung des neuen PV-Fassadenmoduls möglich.

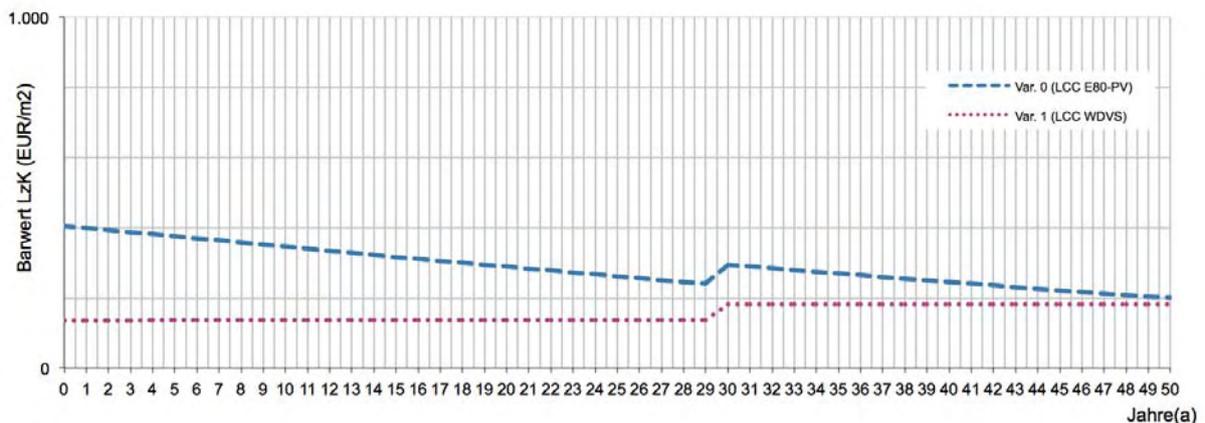


Abbildung 58: Gegenüberstellung der LCC für e80<sup>3</sup> PV und WDVS Standardausführung – Szenario: Kostenreduktion des PV-Moduls (Quelle: IMBT TU Graz)

#### Szenario 4:

Abschließend wurde untersucht, wie hoch die Reduktion der Herstellkosten für das e80<sup>3</sup> PV-Fassadenmodul sein müsste, um unter einer realistischen Verbesserung der PV-Leistung eine Amortisation von 50 Jahren der höheren Herstellkosten gegenüber dem WDVS zu erreichen. Bei einer Verbesserung der Leistung auf 100 kWh/m<sup>2</sup>\*a hat sich, unter den angenommenen Rahmenbedingungen, eine geschätzte Gesamtkostenreduktion in der Herstellung von ca. 20% ergeben.

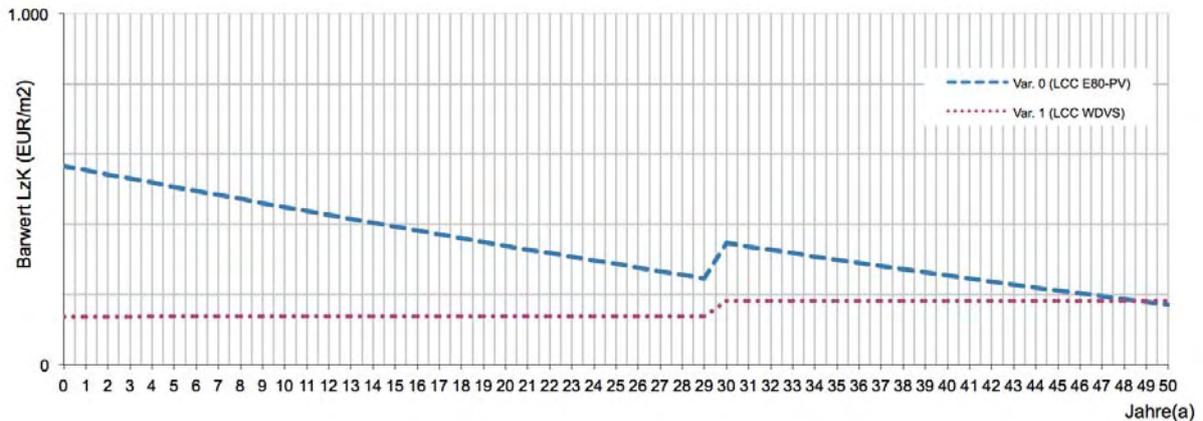


Abbildung 59: Gegenüberstellung der LCC für e80<sup>3</sup> PV und WDVS Standardausführung – Szenario: Erhöhung der Leistung des PV-Moduls bei gleichzeitiger Reduktion der Herstellkosten (Quelle: IMBT TU Graz)

#### Szenario 5:

Wie sich aus den Energiepreisen<sup>25</sup> der letzten Jahre und der zunehmenden Energieknappheit gezeigt hat, ist eine Energiepreissteigerung von 6% durchaus denkbar. Unter Annahme derselben Systemvariablen wie in Szenario 4 Abbildung 59 konnte nach Abbildung 60 eine Amortisation von bereits 30 Jahren abgeschätzt werden.

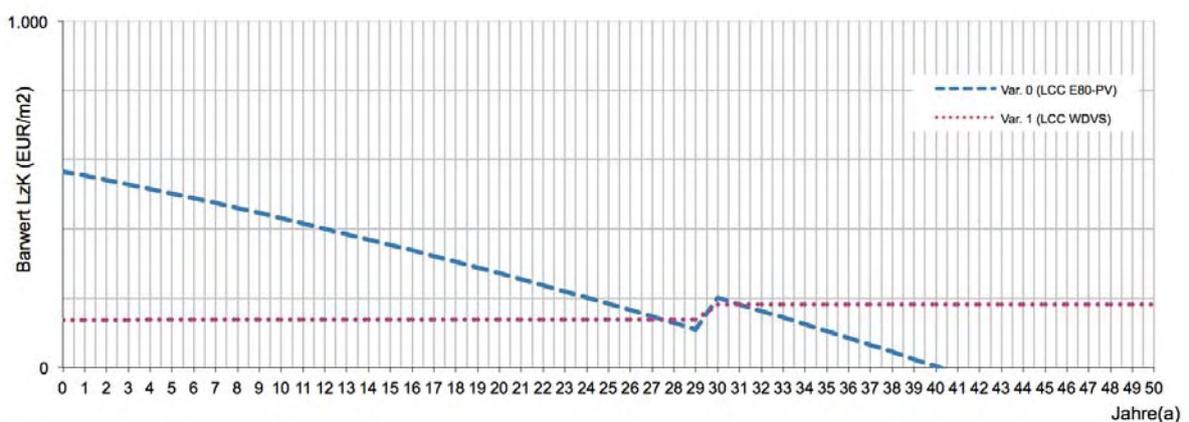


Abbildung 60: Gegenüberstellung der LCC für e80<sup>3</sup> PV und WDVS Standardausführung – Szenario: Erhöhung der Leistung des PV-Moduls bei gleichzeitiger Reduktion der Herstellkosten und Erhöhung der Energiepreise (Quelle: IMBT TU Graz)

<sup>25</sup> Statistik Austria 2012; siehe: [www.statistik.at](http://www.statistik.at)

Resümierend hat sich in der Sensitivitätsanalyse, zufolge einer Energiepreissteigerung von 7,5 %, eine Amortisation der LCC für das e80^3 Fassadenmodul gegenüber dem WDVS innerhalb von 50 Jahren eingestellt. In der weiteren Analyse hat sich, unter den getroffenen Annahmen, ein ähnliches Ergebnis für die Erhöhung der PV-Leistung von 55 kWh/m<sup>2</sup>\*a auf 130 kWh/m<sup>2</sup>\*a und einer Gesamtkostensenkung in der Herstellung von 55% gezeigt. In der abschließenden Analyse wurde eine PV-Leistung von 100 kWh/m<sup>2</sup>\*a bei gleichzeitiger Senkung der Herstellgesamtkosten um 20% untersucht. Bei Kombination dieser beiden Systemvariablen (Leistungserhöhung der PV-Module bei gleichzeitiger Senkung der Herstellgesamtkosten) konnte eine Amortisation der LCC von 49 Jahren abgeschätzt werden. In der abschließenden Untersuchung wurden alle ermittelten Systemvariablen (6% Energiepreissteigerung, Leistungserhöhung der PV-Module auf 100 kWh/m<sup>2</sup>\*a bei gleichzeitiger Senkung der Herstellgesamtkosten um 20%) in eine Simulation aufgenommen und dabei konnte eine Amortisation der LCC von 30 Jahren gegenüber dem WDVS abgeleitet werden.

## **G Zusammenfassung und Ausblick**

In diesem Bericht wurden einleitend die Ergebnisse der im Rahmen des e80^3 SP2 ermittelten Umweltwirkungen der einzelnen Schichten für das Basismodul mit "Faserzementplatte" dargestellt. Aufbauend auf den Ergebnissen des SP2 (Ersteinschätzung des Basismoduls) wurden im SP3 eine Ökobilanz (LCA) und eine Lebenszykluskostenberechnung (LCC) durchgeführt. Dabei wurde die e80^3 Fassade mit verschiedenen Oberflächenmaterialien (Faserzement-, Schiefer-, Nadelholz-, Metallplatten und Holzplatten-gestrichen) sowie integrierten Aktivmodulen (PV, Solarthermie und GAP-Modul) mit einer derzeit zum Einsatz kommenden WDVS Standardsanierungsvariante gegenübergestellt. Für die Vergleichbarkeit der verschiedenen Fassadensysteme wurde der U-Wert der Bauteile gleichgesetzt und als funktionale Einheit 1m<sup>2</sup> Fassadenfläche definiert. Für die Berechnung wurden die von den Projektpartnern zur Verfügung gestellten Unterlagen verwendet und mittels einschlägiger Richtlinien (wie z.B. VDI 2067) sowie zur Verfügung stehenden Datenbanken ausgewertet. Dabei erfolgt die Ermittlung der LCC auf Basis der ÖNORM B 1801ff und ISO 15686 dynamisch über einen Betrachtungszeitraum von 50 Jahren. In einer Dominanz- bzw. Sensitivitätsanalyse wurden die Einflüsse der in den Berechnungen zugrunde gelegten Rahmenbedingungen bzw. Systemvariablen auf die LCC untersucht und bewertet.

Die ökologische Auswertung des im SP2 untersuchten Basismoduls hat unter den getroffenen Annahmen und Rahmenbedingungen ein Optimierungspotential im Bereich der Bauprodukte BSP-Platte und der Faserzementfassadenplatte ergeben. In den weiteren Untersuchungen des SP3 wurde im Sinne der EN 15643-2 darauf geachtet, dass die alternativ untersuchten Oberflächenmaterialien (Schiefer, Nadelholz, Holz gestrichen, usw.) stets der funktionalen und technischen Gleichwertigkeit sowie der Wirtschaftlichkeit entsprechen.

Die Berechnung der Ökobilanz erfolgt auf Basis der ÖNORM EN ISO 14040 bzw. ÖNORM EN ISO 14044 und wurde unter Verwendung der Datenbanken "Ökobau.dat" und "Ecoinvent" durchgeführt.

Die im SP3 ausgewerteten ökologischen und ökonomischen Ergebnisse der untersuchten Fassadensanierungsvarianten haben gezeigt, dass die im e80^3 Modul verwendeten Materialien infolge der besseren Demontierbarkeit und höheren Recyclingfähigkeit in der LCA wesentlich bessere Ergebnisse erreichen als eine WDVS Standardsanierung.

Auf Grund der verwendeten Materialien und infolge der hohen Entwicklungskosten (Prototypentwicklung) haben sich für die neue e80^3 Fassade höhere LCC gegenüber dem WDVS ergeben, welche sich nicht über den gewählten Betrachtungszeitraum und den angesetzten Rahmenbedingungen amortisieren.

Demgegenüber wurde ein möglicher Vorteil der e80^3 Fassade im Rahmen der Sensitivitätsanalyse unter Simulation verschiedener Szenarien untersucht. Dabei konnte in Szenario 5 (Erhöhung der PV-Leistung, Reduktion der Herstellkosten und Energiepreiserhöhung), in welchem ein Basismodul mit integriertem PV-Element untersucht wird, eine Amortisation der LCC von 30 Jahren gegenüber dem WDVS nachgewiesen werden.

Durch laufende Monitoringprozesse, welche in diesem Projekt nach Fertigstellung der Sanierung vorgesehen sind, wird eine genaue Datenauswertung der energetischen und raumklimatischen Bedingungen möglich. Mit Hilfe der aus der gesamten Projektbegleitung und den Monitoringprozessen gewonnenen Daten soll eine weitere Optimierung der künftigen Planung sowie der vorgefertigten Fassadenelemente einschließlich dem Einsatz von energiegewinnenden Systemen erreicht werden. Das Konzept eines 4 geschossigen vertikalen Sanierungssystems erscheint besonders für Gebäude aus den 60iger und 70iger Jahren anwendbar.

Weitere Synergien der Vorfertigung und die damit verbundenen kurzen Montagezeiten sowie eine Kombination mit energiegewinnenden Systemen werden im Projektverlauf des Leitprojektes noch weiter untersucht.

#### **5.1.5 AP „Koordination und Veröffentlichung“**

Der Schwerpunkt der Tätigkeiten im AP „Koordination und Veröffentlichung“ lag auf den internen Koordinationsarbeiten sowie der Kommunikation innerhalb des Projektteams. Sämtliche interne Termine, Workshops und Meetings im AP „Prototyperstellung Fassadengrundmodul“ u. AP „Prototyperstellung Haustechnikgrundmodul“ für die ProjektpartnerInnen und deren Aktivitäten wurden seitens der AEE INTEC koordiniert.

#### **Nationale und internationale Veranstaltungen, Vorträge**

- Höfler, K.: „e80^3-Gebäude – Sanierungskonzepte zum Plus-Energiehaus mit vorgefertigten aktiven Dach- und Fassadenelementen, integrierter Haustechnik und Netzintegration“; Vortrag im Rahmen des Workshops „Fassade der Zukunft“ am 31. März 2011 in Graz
- Höfler, K.: „Hochwertige Sanierung zum Plusenergiegebäude“; Ökosan´11 - Internationale Konferenz für hochwertige energetische Sanierung von großvolumigen Gebäuden zum Plus-Energiegebäude
- Höfler, K.: „e80^3-Gebäude - "Sanierungskonzepte zum Plus-Energiehaus mit vorgefertigten aktiven Dach- und Fassadenelementen, integrierter Haustechnik und Netzintegration"; Pressegespräch im Rahmen des Symposiums „Plus-Energie-Gebäude“ am 28. November 2011 in Wien
- Höfler, K.: „Sanierungskonzepte zum Plus-Energiehaus im Rahmen des energy talk am 01.02.2012 in Graz
- Staller, H.: “e80^3-Buildings: Renovation Concepts for Residential Buildings to Plus-Energy” Standard im Rahmen von Building Sustainability Sweden am 18.10.2012 in Stockholm
- Höfler, K.: „Sanierungskonzepte zum Plus-Energiehaus im Rahmen vom internationalen Symposium Gleisdorf Solar am 14.09.2012 in Gleisdorf

## **6. Detailangaben in Bezug auf die Programmlinien**

### **6.1 Einpassung in das Programm**

Die Einpassung in die Programmlinie „Haus der Zukunft plus“ erfolgt durch die Umsetzung der Ergebnisse aus SP3 in einem richtungsweisenden Demonstrationsprojekt.

„Leitprojekte: auf dem Weg zum Demonstrationsvorhaben“

- „Gebäude im Verbund – Siedlung“
- „Plus-Energie-Siedlungen“ – Entwicklung und Umsetzung von Gebäudeverbänden bzw. Siedlungen auf höchstem Effizienzstandard und unter Einbeziehung von Technologien zur Nutzung erneuerbarer Energie (insbesondere Solarenergie)

Somit konnte mit diesem Subprojekt (SP3) ein wichtiger Beitrag zum Erreichen der Ziele der Programmlinie „Haus der Zukunft plus“ geschaffen werden.

### **6.2 Beitrag zum Gesamtziel des Programms**

Im Subprojekt 3 – Technologie- und Komponentenentwicklung wurde die Basis für die Umsetzung des Demoprojektes geschaffen, um die Erreichung der Programmziele des gesamten Leitprojektes einzuhalten.

Durch den Wandel des Gebäudes vom Energiekonsumenten zum Produzenten müssen die Funktionen und Aufgaben der einzelnen passiven und aktiven Komponenten als vorgefertigte großflächige Fertigteile neu orientiert werden.

Plus-Energie in der Sanierung kann nur erreicht werden, wenn die Konzeption der thermischen Gebäudehülle und das Energieversorgungssystem optimiert und aufeinander abgestimmt sind.

Ziel des Subprojektes war es, Prototypen für Fassaden- und Haustechnikmodule zu entwickeln, welche serienreif für zukünftige hochwertige Sanierungen zum Plus-Energiegebäude wirtschaftlich eingesetzt werden können.

### **6.3 Einbeziehung der Zielgruppen**

Die frühzeitige und vollständige Einbindung aller ExpertInnen bildete die Voraussetzung für einen erfolgreichen Projektablauf und Zielerreichung. Die Einbindung dieser erfolgte durch Abhaltung von Workshops und Treffen mit allen im Projekt beteiligten.

Eine enge Zusammenarbeit erfolgte dabei nicht nur mit sämtlichen ProjektpartnerInnen sondern auch mit jenen Beteiligten, welche im Zuge des Projektes ebenso wichtige Tätigkeiten übernommen haben (Bsp. Technische Büros → Statiker, etc.).

Präsentationen bzw. Diskussionen der (Zwischen-)Ergebnisse erfolgten laufend im Rahmen der Leitprojektmanagement-Sitzungen in Wien sowie im Zuge von Vorträgen und Verbreitungsmaßnahmen.

### **6.4 Beschreibung der Umsetzungs-Potentiale für die Projektergebnisse**

Der Begriff Plus-Energiegebäude wird im Neubaubereich schon in vereinzelt Projekten verwendet, bislang gibt es aber noch keine publizierten Ergebnisse über die Erreichung dieses ambitionierten Zieles. In der Sanierung ist die Herausforderung eine noch größere. Technologien aus dem

Passivhausbereich in der Sanierung umzusetzen, aber dabei auch die Neuorientierung des Gebäudes hin zum Energieproduzenten zu berücksichtigen, ist möglich, benötigt aber neue Konzepte.

Die Entwicklung neuer, innovativer Fassaden- und Haustechnikmodule und die im weiteren Projektverlauf unmittelbare Umsetzung bietet die Chance, die Umsetzbarkeit in der Praxis zu beweisen und die Vorteile aufzuzeigen. Einen wesentlichen Beitrag dazu kann das vorliegende Subprojekt 3 liefern.

Die im Subprojekt 3 erarbeiteten Grundlagen bilden die Voraussetzung für die, Ausführungs- und Haustechnikplanung des Demonstrationsbauvorhabens (in SP4) und somit die Umsetzung eines Plus-Energie-Gebäudes im Netzverbund.

## **7. Schlussfolgerungen zu den Projektergebnissen**

### **7.1 Erkenntnisse für das Projektteam**

Durch die Bearbeitung und die gewonnenen Erkenntnisse des Subprojektes SP3 durch das Projektteam wurden neue innovative und wirtschaftliche vorgefertigte Fassaden-, und Haustechnikmodule entwickelt, welche wesentliche Vorteile zu bestehenden traditionellen Sanierungslösungen bieten.

Die entwickelten passiven und aktiven Fassaden- und Haustechnikmodule stellen eine wirtschaftliche Lösung und große Einsatzmöglichkeit für die Sanierung der 60er und 70er Gebäude dar. Somit ist eine witterungsunabhängige und zügige hochwertige thermische Sanierung mit unterschiedlichen Oberflächengestaltungen gegeben.

Die Umsetzung einer hoch wertigen thermischen Sanierung und Erneuerung der Haustechnik mit geringen Belästigungen der BewohnerInnen ist so möglich.

Durch den Einsatz von großteils ökologischen Materialien, speziell die Tragstruktur aus Holz ist eine Nachhaltigkeit der Sanierungsmethode gegeben.

Durch die Möglichkeit des Einsatzes von außenliegenden Leitungsführungen und -verteilungen ist die Zugänglichkeit der Leitungen für Wartung und Modernisierung jederzeit möglich.

Ziel des Subprojektes war es, neue innovative und wirtschaftliche vorgefertigte Fassaden- und Haustechnikmodule zu entwickeln, welche wesentliche Vorteile zu bestehenden Sanierungslösungen bieten. Die Möglichkeit einerseits die Oberflächengestaltung der neuen Fassade trotz Vorfertigung zu wählen und andererseits die Haustechnik von außen zugänglich zu machen stellt somit einen wesentlichen Schritt in der Zukunft dar.

Durch die optimierte Modulentwicklung ist eine wirtschaftliche Umsetzung von Demonstrationsprojekten in der Sanierung zukünftig möglich.

Allerdings wird angemerkt, dass diesbezüglich noch zusätzlicher Forschungsbedarf besteht, welcher eine Optimierung der Module in ihrer Größe, Art und Funktion noch weiter vorantreibt.

### **7.2 Weitere Vorgangsweise**

Die Erkenntnisse und Entwicklungen aus dem Subprojekt SP3 werden in dem Subprojekt SP4- Umsetzung in einem Demoprojekt verwendet. Der Bau von Fassaden- und Haustechnik-Prototypen diene zur Erprobung für eine ordnungsgemäße Umsetzung im Demoprojekt Kapfenberg.

Zusätzlich wurden die Erkenntnisse in zahlreichen Veranstaltungen und nationalen und internationalen Vorträgen vorgestellt und diskutiert.

### **7.3 Weitere Zielgruppen**

Die erarbeiteten Projektergebnisse sind für sämtliche Wohnbauträger, Eigentümer, Bauherren, Architekten und Behörden interessant. Es wird mit dieser Entwicklung eine nachhaltige Sanierungsmethode mit großflächigen vorgefertigten Modulen aufgezeigt.

## 8. Ausblick und Empfehlungen

Die entwickelten Fassaden- und Haustechnikmodule stellen eine wirtschaftliche/ökologische Lösung und große Einsatzmöglichkeit für die Sanierung der 60er und 70er Gebäude dar. Die Umsetzung einer hochwertigen thermischen Sanierung und Erneuerung der Haustechnik mit geringen Belästigungen der Bewohner ist möglich.

Technologien aus dem Passivhausbereich in der Sanierung umzusetzen, aber dabei auch die Neuorientierung des Gebäudes hin zum Energieproduzenten zu berücksichtigen, ist durch diese neuen Fassadenkonzepte ermöglicht worden.

Durch die Erarbeitung und Entwicklung eines nachhaltigen, optimierten Prototyps für ein Fassaden- und Haustechnikmoduls ist eine wirtschaftliche Umsetzung zukünftiger hochwertiger umfassender Gebäudesanierungen möglich. Ein volkswirtschaftlicher Nutzen ist somit gegeben.

Die Entwicklung neuer, innovativer Sanierungskonzepte mit teilweise bereits bewährten Technologien aus dem Neubaubereich und die im weiteren Projektverlauf unmittelbare Umsetzung bietet die Chance, die Umsetzbarkeit in der Praxis zu beweisen und die Vorteile und Nutzen aufzuzeigen.

Wesentlich dabei ist der Vorbildcharakter für weitere Umsetzungen und die Möglichkeit für österreichische Firmen und Organisationen führend in Pilotprojekten Erfahrungen zu sammeln und damit an der Technologieentwicklung in Österreich mitzuarbeiten und einen Technologievorsprung am europäischen und internationalen Markt zu haben – wie es sich im Bereich der Sanierung ja schon derzeit abzeichnet.

Zur Zielgruppe für dieses Projekt gehören alle an der Planung und an der Sanierung eines hocheffizienten und intelligenten Gebäudes Beteiligten. Das sind konkret die Bauherrn, Planer, Architekten, Bauausführende, Haus- und Energietechniker.

Durch die Entwicklung eines vorgefertigten Fassaden- und Haustechnikmoduls ist eine zukünftige wirtschaftliche und ökologische Umsetzung von hochwertigen thermischen Sanierungen zu erwarten für einen Großteil der Gebäude der 60er und 70er Jahre zu erwarten.

Durch weitere ständig Veröffentlichungen der Ergebnisse auf nationaler und internationaler Ebene durch entsprechende Vorträge und Einbindungen in internationale Projekte (IEA, IEE etc.) lässt ein für die Projektbeteiligten verstärktes Auftragsvolumen und Werbeeffekt erwarten.

## 9. Literatur-/Abbildungs-/Tabellenverzeichnis

### 9.1 Literaturverzeichnis

- Höfler et al. (2006): Vorschläge für künftige Sanierungskonzepte unter Berücksichtigung energetischer Einsparpotentiale; Forschungsprojekt GZ: RA 15-14 Fo2/125-2004; Förderer Land Steiermark A15
- Geier, S. und Knotzer, A. (2011): Erläuterungstext – Kriterienkatalog Plus-Energiesanierung; Eine Publikation erstellt im Subprojekt 1 „Grundlagenarbeiten“ des HdZ-Leitprojektes „e80<sup>3</sup> – Sanierung zum Plus-Energiegebäude“ im Rahmen des Programms „Haus der Zukunft“; Gleisdorf
- Geier, S. (2011): Retrofit Strategies - Design Guide; Advanced Retrofit Strategies & 10 Steps to a Prefab Module; Part B - Design Guide - 10 Steps to a Prefab Module; Publikation im Zuge des Projektes IEA ECBCS Annex 50 Prefabricated Systems for Low Energy Renovation of Residential Buildings, Gleisdorf
- ÖNORM B 8115-2, (2006): Schallschutz und Raumakustik im Hochbau – Teil 2: Anforderungen an den Schallschutz; Österreichisches Normungsinstitut
- ÖNORM EN 15643-2, (2011): Nachhaltigkeit von Bauwerken; Bewertung der Nachhaltigkeit von Gebäuden - Teil 2: Rahmenbedingungen für die Bewertung der umweltbezogenen Qualität, Österreichisches Normungsinstitut
- ÖNORM EN 15978, (2010): Nachhaltigkeit von Bauwerken; Bestimmung der Umweltleistung von Gebäuden – Berechnungsmethode; Entwurf; Österreichisches Normungsinstitut
- ÖNORM IEN ISO 14040, (2006): Umweltmanagement - Ökobilanz - Grundsätze und Rahmenbedingungen; Österreichisches Normungsinstitut
- ÖNORM EN ISO 14044, (2006): Umweltmanagement – Ökobilanz Anforderungen und Anleitungen; Österreichisches Normungsinstitut
- Passer, A. (2010): Zur Bewertung der umweltbezogenen Qualität von Gebäuden; Dissertation TU Graz
- Österreichische Gesellschaft für nachhaltige Immobilienwirtschaft – siehe <http://www.ogni.at/>
- Leadership in Energy and Environmental Design - siehe <http://www.usgbc.org/>
- Building Research Establishment's Environmental Assessment Method - siehe <http://www.breeam.org/>
- Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen e.V. – siehe <http://www.dgnb.de/>
- Österreichische Gesellschaft für nachhaltige Immobilienwirtschaft – siehe <http://www.ogni.at/>
- FprEN 15643-3: Nachhaltigkeit von Bauwerken – Integrierte Bewertung der Qualität von Gebäuden (2. Entwurf); Wien (2010)
- FprEN 15978 Nachhaltigkeit von Bauwerken — Bestimmung der Umweltleistung von Gebäuden — Berechnungsmethode. (2010)
- ISO 15686: Buildings and constructed assets - Service life planning; Beuth Verlag; Berlin(2008)
- ÖNORM IEN ISO 14040: Umweltmanagement — Ökobilanz — Grundsätze und Rahmenbedingungen; Wien (2006)
- ÖNORM EN ISO 14044: Umweltmanagement – Ökobilanz Anforderungen und Anleitungen; Wien (2006)
- VDI 2067 – Verein Deutscher Ingenieure; Düsseldorf (2010)
- Ökobau.dat (2009) – siehe <http://www.nachhaltigesbauen.de>
- Swiss Centre for Life Cycle Inventories – Ecoinvent Database v2.2 (2010)
- ÖNORM B 1801: Kosten im Hoch- und Tiefbau; Wien (2009)
- GEFMA 220 - German Facility Management Association; Bonn (2010)

Hauptverband der Allgemeinen beeideten und gerichtlich zertifizierten Sachverständigen Österreichs  
- Nutzungsdauerkatalog baulicher Anlagen und Anlagenteile, Landesverband Steiermark und  
Kärnten; Graz (2006)

## 9.2 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Aufteilung des österreichischen Gebäudebestands nach Bauepochen (Quelle: nach Höfler et al., 2006) .....	21
Abbildung 2: Energieverbrauch des österreichischen Gebäudebestands – abgeschätzt (Quelle: AEE INTEC).....	22
Abbildung 3: Gliederung der Fassade – Demonstrationsprojekt „Johann-Böhmstraße, Kapfenberg“ (Quelle: Nussmüller Architekten ZT GmbH) .....	25
Abbildung 4: Betrachtete Außenwandaufbauten (Quelle: Nussmüller Architekten ZT GmbH) .....	26
Abbildung 5: Unterschiedliche Möglichkeiten der Brandausbreitung (Quelle: Geier, 2011)...	28
Abbildung 6: Unterschiedliche Möglichkeiten der Schallübertragung (Quelle: Geier, 2011) ..	29
Abbildung 7: Mindest erforderliche Schalldämmung von Außenbauteilen – Auszug (Quelle: ÖNORM B 8115-2).....	30
Abbildung 8: Anforderung an Luftschalldämmung in Gebäuden – Auszug (Quelle: ÖNORM B 8115-2).....	31
Abbildung 9: Anforderung an Trittschalldämmung in Gebäuden – Auszug (Quelle: ÖNORM B 8115-2).....	31
Abbildung 10: Darstellung Platzbedarf und Kurvenradius für die Anlieferung (Quelle: Geier und Knotzer, 2011) .....	35
Abbildung 11: Befestigungspunkte von horizontalen und vertikalen Fassadenmodulen (Quelle: AEE INTEC).....	36
Abbildung 12: Möglichkeiten von vertikalen Fugenausbildungen.....	38
Abbildung 13: Möglichkeit einer horizontalen Fugenausbildung .....	38
Abbildung 14: Wärmedämmschicht beim Fassadenmodul zum Toleranzausgleich (rote Markierung) (Quelle: Nussmüller Architekten ZT GmbH).....	39
Abbildung 15: Integration des PV-Moduls in das vorgefertigte Sanierungselement – ENTWURF (Quelle: Kulmer Holz-Leimbau GesmbH).....	40
Abbildung 16: Auszug Datenblatt – Monokristallines PV-Modul (Quelle: KIOTO).....	40
Abbildung 17: Auszug Datenblatt – Multikristallines PV-Modul (Quelle: KIOTO).....	41
Abbildung 18: Integration des solarthermischen Kollektors in das vorgefertigte Sanierungselement – ENTWURF (Quelle: Kulmer Holz-Leimbau GesmbH).....	41
Abbildung 19: Masszeichnung Holzrahmenkollektor IMK (Quelle: GREENoneTEC) .....	42
Abbildung 20: Prinzipskizze der horizontalen Kollektorverschaltung (Quelle: AEE INTEC) ..	43
Abbildung 21: Prinzipskizze der Kollektorverschaltung bei einem Fenster (Quellen: AEE INTEC u. GreenOneTec).....	43
Abbildung 22: Integration des gap-Panels in das vorgefertigte Sanierungselement – ENTWURF (Quelle: Kulmer Holz-Leimbau GesmbH).....	44
Abbildung 23: Solarwaben (Quelle: gap-solution GesmbH).....	44
Abbildung 24: Variante 1 eines möglichen Modulaufbaus (Quelle: AEE INTEC).....	45
Abbildung 25: Variante 2 eines möglichen Modulaufbaus(Quelle: AEE INTEC).....	46
Abbildung 26: Skizze zur Lage des Fensters im Fassadenmodul (Quelle: AEE INTEC).....	48
Abbildung 27: Fensterdetail mit integriertem außenliegendem Sonnenschutz (Quelle: Nussmüller Architekten ZT GmbH).....	49
Abbildung 28: Modulaufbau eines passiven Elements – ENTWURF (Quelle: Kulmer Holz-Leimbau GesmbH) .....	50
Abbildung 29: Grundriss Demoprojekt – Lage der Haustechnikschächte und der Nasszellen (Quelle: Nussmüller Architekten ZT GmbH) .....	51
Abbildung 30: Schema Haustechnik-Grundmodul „S“ (Quelle: Geberit Huter GmbH).....	51
Abbildung 31: Schema Haustechnik-Modulerweiterung „M“(Quelle: Geberit Huter GmbH)...	52
Abbildung 32: Schema Haustechnik-Modulerweiterung „L“ (Quelle: Geberit Huter GmbH)...	52
Abbildung 33: Schema „horizontale Versetzung“ der haustechnischen Leitungen im Schacht (Quelle: TECHNISCHES BÜRO ING. BERNHARD HAMMER GMBH) .....	53
Abbildung 34: Befestigung des Haustechnikschachtes mittels Holzkonstruktion (Quelle: Geberit Huter GmbH) .....	53

Abbildung 35: Schienensystems zur Befestigung des Haustechnikschachtes an der vertikalen Holzkonstruktion (Quelle: Geberit Huter GmbH).....	54
Abbildung 36: Wärmedämmschicht beim Haustechnikmodul zum Toleranzausgleich (Quelle: Nussmüller Architekten ZT GmbH).....	55
Abbildung 37: Brandschutzeinrichtungen im Haustechnikschacht (Quelle: Geberit Huter GmbH).....	56
Abbildung 38: Prinzipskizze der Lage der luftdichten Ebene beim Haustechnikmodul (Quelle: AEE INTEC).....	58
Abbildung 39: Schema Haustechnikschacht – wärmegeklämt und in luftdichter Ausführung (Quelle: Nussmüller Architekten ZT GmbH) .....	58
Abbildung 40: Details des Fassadengrundmoduls – Auszüge(Quelle: Nussmüller Architekten ZT GmbH) .....	61
Abbildung 41: Ausschnitte der Fertigung des Prototyps 1 (Massivholzplatte) eines vorgefertigten Fassadenelementes (Quelle: AEE INTEC) .....	62
Abbildung 42: Ausschnitte des Hebeversuches des Prototyps eines vorgefertigten Fassadenelementes (Quelle: AEE INTEC) .....	63
Abbildung 43: Details des Haustechnikgrundmoduls – Auszüge (Quelle: Huter Geberit GmbH).....	75
Abbildung 44: Ausschnitte der Fertigung des Prototyps eines vorgefertigten Haustechnikelements (Quelle: AEE INTEC) .....	76
Abbildung 45: Erstabschätzung des Verlaufs der Lebenszykluskosten der beiden Sanierungsvarianten (Quelle: IMBT TU Graz) .....	79
Abbildung 46: Umweltwirkungen Aufbau Basismodul mit "Faserzementplatte" Errichtung (Quelle: IMBT TU Graz) .....	81
Abbildung 47: Umweltwirkungen Aufbau Basismodul mit "Faserzementplatte" Beseitigung (Quelle: IMBT TU Graz) .....	82
Abbildung 48: Umweltwirkungen Aufbau Basismodul Prototyp gesamter Lebenszyklus (Quelle: IMBT TU Graz) .....	82
Abbildung 49: Basisfassadenmodul – Eternit (Quelle: Nussmüller Architekten ZT GmbH) ...	83
Abbildung 50: Fassadenmodul – Haustechnikschacht (Quelle: Nussmüller Architekten ZT GmbH).....	84
Abbildung 51: Aktivfassadenmodul - Integration von PV-, Solarthermie- und GAP-Modul (Quelle: Nussmüller Architekten ZT GmbH).....	84
Abbildung 52: Fassadenmodul PV der Firma Eternit (Quelle: www.eternit.at).....	85
Abbildung 53: Berechnungsergebnisse für LCA-PEne (Quelle: IMBT TU Graz) .....	90
Abbildung 54: Berechnungsergebnisse der LCC (Quelle: IMBT TU Graz) .....	91
Abbildung 55: Berechnungsergebnisse für LCA-GWP (Quelle: IMBT TU Graz).....	94
Abbildung 56: Gegenüberstellung der LCC für e80^3 PV und WDVS Standardausführung – Szenario: Energiepreissteigerung (Quelle: IMBT TU Graz) .....	96
Abbildung 57: Gegenüberstellung der LCC für e80^3 PV und WDVS Standardausführung – Szenario: Erhöhung der Leistung des PV-Moduls (Quelle: IMBT TU Graz) .....	97
Abbildung 58: Gegenüberstellung der LCC für e80^3 PV und WDVS Standardausführung – Szenario: Kostenreduktion des PV-Moduls (Quelle: IMBT TU Graz).....	97
Abbildung 59: Gegenüberstellung der LCC für e80^3 PV und WDVS Standardausführung – Szenario: Erhöhung der Leistung des PV-Moduls bei gleichzeitiger Reduktion der Herstellkosten (Quelle: IMBT TU Graz).....	98
Abbildung 60: Gegenüberstellung der LCC für e80^3 PV und WDVS Standardausführung – Szenario: Erhöhung der Leistung des PV-Moduls bei gleichzeitiger Reduktion der Herstellkosten und Erhöhung der Energiepreise (Quelle: IMBT TU Graz).....	98

### 9.3 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Beispiele von Gebäuden unterschiedlicher Bauepoche (Quelle: Höfler et al., 2006 / AEE INTEC) .....	20
Tabelle 2: Unterschiedliche Fassadenstrukturen (Quelle: Geier und Knotzer, 2011) .....	23
Tabelle 3: Möglichkeiten der Kubaturänderungen der Fassade (Quelle: Geier und Knotzer, 2011) .....	24
Tabelle 4: Anhaltswerte der erforderlichen Wärmedämmdicke (Toleranzdämmung 4cm und Zusatzdämmung xx cm) zur Erreichung bestimmter Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Werte).....	26
Tabelle 5: Anforderungen an die Luftdichtheit des sanierten Gebäudes .....	28
Tabelle 6: Möglichkeiten hängender und stehender Befestigungsstrukturen (Quelle: Geier, 2011) .....	37
Tabelle 7: Mögliche Änderungen bei der Kollektorherstellung .....	42
Tabelle 8: Vergleich Fensterpositionen im vorgefertigten Fassadenmodule (Quelle: Geier, 2011) .....	47
Tabelle 9: Aufbau der WDVS Standardsanierung .....	85
Tabelle 10: Übersicht Umweltindikatoren der Wirkungskategorien (Quelle: Passer, 2010) ...	87
Tabelle 11: Übersicht Umweltindikatoren der Umweltaspekte (Quelle: Passer, 2010) .....	87
Tabelle 12: Gewichtung der LCA-PEne Bewertung für das E80 <sup>3</sup> Modul .....	92
Tabelle 13: Gewichtung der LCC Bewertung für das E80 <sup>3</sup> Modul .....	92
Tabelle 14: Gewichtung der LCA-GWP Bewertung für das e80 <sup>3</sup> Module .....	95
Tabelle 15: Übersicht – Szenarien der Sensitivitätsanalyse .....	96