

## DIPLOMARBEIT

**Modulare, ökologisch entwickelte Fassadensysteme für  
"Eigenheimbau und -sanierung"**

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades  
eines Diplom-Ingenieurs

**unter der Leitung**

Senior Lecturer Dipl.-Ing.in Sigrun Swoboda SBA

Senior Scientist Dipl.-Ing. Dr.techn. Ulrich Pont

**Institut**

E 259 Institut für Architekturwissenschaften

Forschungsbereich 259.1 Digitale Architektur und Raumplanung

Forschungsbereich 259.3 Bauphysik und Bauökologie

eingereicht an der Technischen Universität Wien

Fakultät für Architektur und Raumplanung

**Verfasser**

Maurizio Gulisano, B.Sc.

01127120

Wien, am 23.02.2024

## Kurzfassung

Die Instandsetzung historischer Bestandsgebäude stellt heutzutage eine zentrale Aufgabe der Architektur dar. Der Gebäudesektor spielt im Bereich des Energieverbrauchs eine entscheidende Rolle. Die energetische Sanierung von Gebäuden erscheint heutzutage angesichts der gestiegenen Energiekosten und der festgelegten Klimaziele unverzichtbar. Gleichzeitig stellen die steigenden Kosten für Bauleistungen und die erhöhten Zinsen für Finanzierungen große Hürden für Bauherren dar.

In dieser Diplomarbeit wird gezielt auf die Problematik eingegangen, Lösungsansätze ermittelt und Möglichkeiten aufgezeigt, wie Hausbesitzer ihre Eigenheime eigenständig und kostengünstig thermisch sanieren können.

Die erarbeitete Lösung besteht konkret aus einem Fassadensanierungssystem, das Eigenheimbesitzer kostensparend mithilfe herkömmlicher Werkzeuge selbst einbauen können.

Die Auswahl der Materialien, die für das Fassadensystem gewählt wurden, berücksichtigen ökologische Aspekte in den Phasen der Herstellung, Gebrauch, Entsorgung und Wiederverwendung.

Das entwickelte Fassadensystem wurde im abschließenden Teil der Arbeit an einem Bestandsgebäude angewendet, um die bauphysikalische Performance zu prüfen. Am gleichen Gebäude wurde im Sinne der Vergleichbarkeit ebenfalls eine Sanierung durch ein herkömmliches Wärmedämmverbundsystem simuliert. Abschließend wurde ein Vergleich zwischen den beiden angewendeten Systemen vollzogen und eine Auswertung ausgearbeitet.

## Abstract

The refurbishment of older existing buildings is a central task in architecture today. The building sector plays a crucial role in energy consumption. Given the increased energy costs and established climate goals, the energy-efficient renovation of buildings appears indispensable. Simultaneously rising construction costs and increased financing interest rates pose significant obstacles for homeowners.

This thesis specifically addresses these challenges by identifying solutions and presenting ways for homeowners to independently and cost-effectively thermally renovate their homes.

The devised solution specifically involves a facade renovation system that homeowners can install cost-effectively using conventional tools.

The selection of materials for the facade system considers ecological aspects throughout the phases of production, use, disposal and reuse.

The developed facade system was applied to an existing building in the final part of the thesis to evaluate its building physics performance. Additionally, for comparative purposes, a renovation using a conventional External Thermal Insulation Composite System was simulated on the same building. A comparison between the two systems was conducted and an analysis was presented.

## Eidesstattliche Erklärung

Der Inhalt dieser wissenschaftlichen Arbeit wurde von mir, Maurizio Gulisano, unter Angaben aller verwendeten Quellen und Werkzeuge selbstständig verfasst, weiters wurden keine unerlaubten Mitteln hierfür verwendet.

Die verfassten Textabschnitte wurden von einer zweiten Person auf Grammatik und Rechtsschreibung überprüft. In einem weiteren Arbeitsschritt wurde das Onlinetool ChatGPT 3.5 angewendet, um eine ergänzende Grammatik und Rechtsschreibprüfung durchzuführen und weiters die Textabschnitte durch passende Wortwahl formaler und leserlich angenehmer zu gestalten.

Das erwähnte Onlinetool ChatGPT 3.5 wurde nicht für die Herstellung jeglicher Inhalte verwendet.

Wien am 23.02.2024



## Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei denjenigen Menschen bedanken, die mich über den gesamten universitären Werdegang hinbegleitet und unterstützt haben. Ich danke meinen Eltern dafür, dass Sie sich im größten Moment der Schwäche dafür entschieden haben mich weiter zu Unterstützen und an meine Fähigkeiten zu glauben. Mit diesem abschließenden Werk möchte ich das geschenkte Vertrauen würdigen und ehren. Ich habe euch und mich nicht enttäuscht. Ich möchte ebenfalls meiner Schwester für ihre positive Unterstützung und ihre immer vorhandene Hilfsbereitschaft von Herzen danken. Es bedeutet mir sehr viel. Meiner Partnerin möchte ich an dieser Stelle ebenfalls danken, da sie mich in den vergangenen drei Jahren ständig unterstützt hat und mit ihrer hilfreichen Kritik und Korrekturlesen bei der Entstehung dieser mitgeholfen hat.

An diesem Punkt möchte ich Frau Senior Lecturer Dipl.-Ing.in Sigrun Swoboda und Herrn Senior Scientist Dipl.-Ing. Dr.techn. Ulrich Pont von Herzen danken. Ich durfte mit Ihnen beiden wirklich spannende Lehrjahre verbringen, in denen ich die gemeinsam geführten Diskurse und das von Ihnen vermittelte Wissen sehr schätze und respektiere. Ich möchte Ihnen ebenfalls für die Betreuung und die unermüdliche Unterstützung danken, die Sie bei der Entstehung dieser wissenschaftlichen Arbeit geleistet haben. Dank Ihnen werde ich immer rückblickend einen positiven Eindruck auf meine universitäre Studienzeit behalten.

# Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
1.1	Allgemeine Einleitung.....	1
1.2	Problemstellung und Forschungsfragen.....	9
1.3	Lösungsansatz inkl. Präzisierung des Forschungsbereiches.....	10
2	Methode.....	12
3	Theoretische Grundlagen und State of the art.....	14
3.1	Leistungsanforderungen an Fassaden.....	14
3.2	Konstruktive Errichtungsmöglichkeiten von Fassaden.....	15
3.3	Materialmöglichkeiten im Fassadenbau.....	19
3.4	Existierende Lösungsansätze / State of the Art.....	20
3.4.1	Fassadensanierung mit vorgefertigten Holztafelelementen   Stefan Mancher   .....	21
3.4.2	Niederländische Energiesprong.....	24
3.4.3	Lexu_Plus vorgefertigte Sandwich Fassadenelemente von IZES.....	26
4	Konzeptionelle Entwicklung eines seriell vorgefertigten Fassadensystems .....	29
4.1	Gesammelte Erkenntnisse aus der qualitativen Literaturanalyse und den Praxisbeispielen.....	29
4.2	Aufbau- und Schichtprinzip der seriell vorgefertigten Fertigteilelemente.....	31
4.3	Grundmodul Aufbau.....	36
4.4	Lösungsmaßnahmen für verschiedene Gebäudebereiche.....	47
4.4.1	Lösungsansatz Sockelbereich .....	47

4.4.2	Lösungsansatz Gebäudeeckbereich .....	49
4.4.3	Lösungsansatz Fenster- und Türbereich .....	51
4.4.4	Lösungsansatz Abschluss Dachbereich.....	53
5	Vergleichsstudie anhand eines realen Bestandsgebäudes .....	56
5.1	Befundaufnahme des aktuellen Gebäudebestands .....	56
5.2	Sanierungsabfolge des Bestandsgebäudes .....	66
5.3	Ermittlung bauphysikalischer Vergleichswerte .....	87
6	Auswertung / Zukünftige Forschung .....	99
6.1	Abgrenzung dieser Arbeit .....	99
6.2	Auswertung / Schlussfolgerungen .....	100
6.3	Zukünftige Forschung.....	103
7	Abkürzungsverzeichnis.....	106
8	Index.....	107
8.1	Liste Abbildungen .....	107
8.2	Liste Tabellen.....	116
9	Literaturverzeichnis .....	117
10	Anhang .....	120

# 1 Einleitung

## 1.1 Allgemeine Einleitung

Wie in der Abbildung 1 dargestellt, gibt es laut Gebäude- und Wohnungszählung (GWZ), Stand 2021, in Österreich 2.374.777 Gebäude. Von diesen 2,3 Mio. großen Gebäudebestand entsprechen 2.097.996 Wohngebäuden. Bei genauer Betrachtung der Wohngebäude fällt auf, dass 64% der Wohngebäude Einfamilienhäuser darstellen (Thomas und Fuchs 2023).

### 2.374.777 Gebäude in Österreich

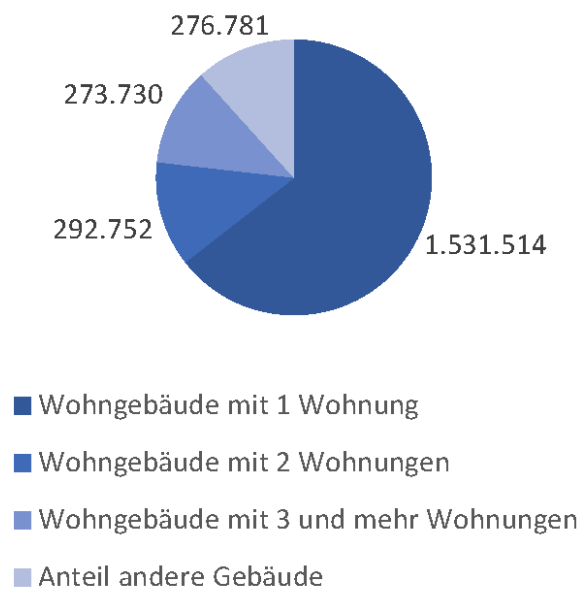


Abbildung 1 Aufteilung Gebäudebestand Österreich 2021

Wie in Abbildung 2 dargestellt, sind 97% des aktuellen Wohnbaubestandes Wohngebäude mit einer Wohnung (Einfamilienhäuser). Der überwiegende Anteil dieser Einfamilienhäuser ist in Besitz von Privatpersonen (Thomas und Fuchs 2023).

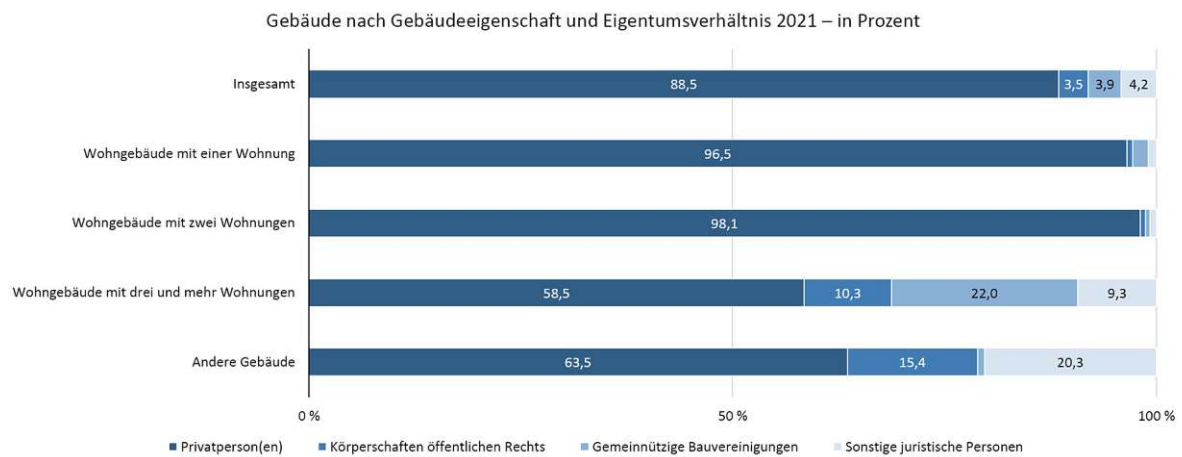


Abbildung 2 Gebäude nach Eigentumsverhältnisse 2021 in Prozent

Bei Betrachtung der Abbildung 3 fällt auf, dass die Hälfte des Gesamtgebäudebestandes in den Jahren vor 1919 bis einschließlich 1980 errichtet wurde. Weiters wird ein deutlicher Bauboom in den Jahren zwischen 1960 und 1980 verzeichnet (Thomas und Fuchs 2023).

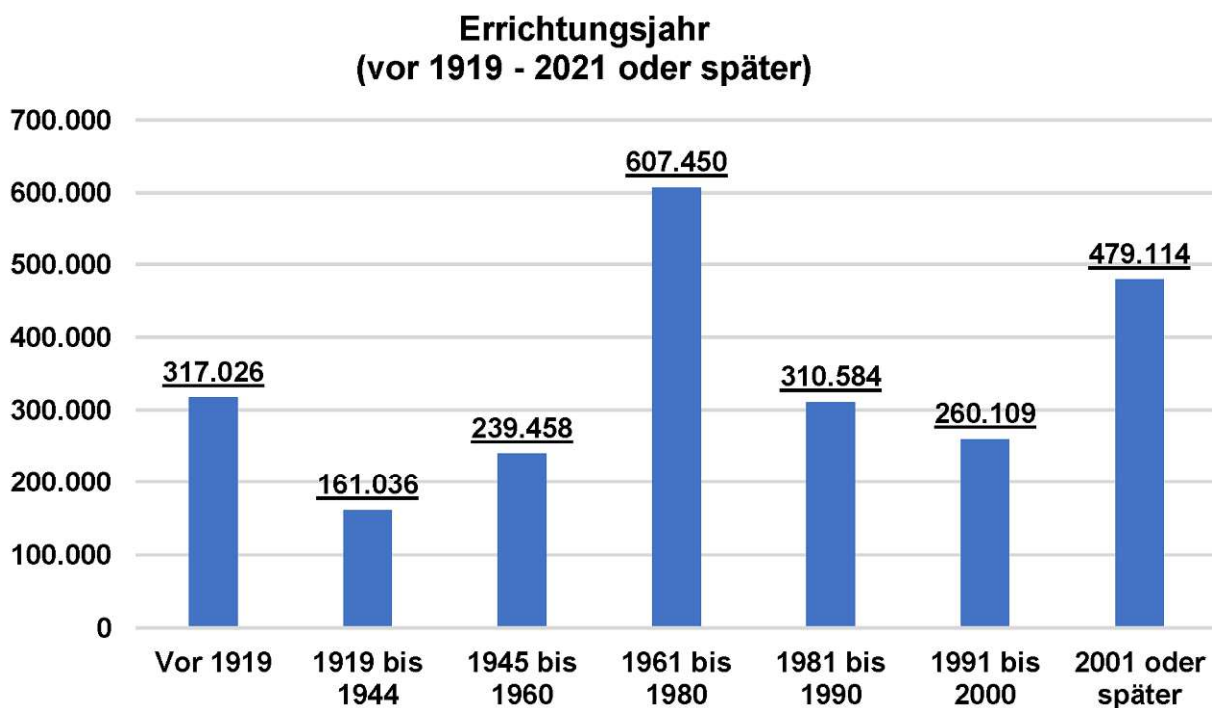


Abbildung 3 Bestandsgebäude nach Errichtungsjahr GWZ 2021 in Zahlen

Die oben erwähnten Gebäude, die vor 1919 bis 1980 errichtet wurden, sind in einem Zeitraum errichtet worden, in welchem Wärmeschutz und Energieeffizienz von Gebäuden nicht den gleichen Stellenwert hatten wie heutzutage. Mit dem Eintreten der Energiekrise 1973 und den damit verbundenen Preissteigerungen entsteht ein allgemeines Interesse die Energieeffizienz von Gebäuden zu steigern, um den Energieverbrauch und somit die Kosten zu minimieren. Während zu Beginn des Diskurses hauptsächlich ökonomisch getriebene Interessen als Motivationsgrundlage dienten, nehmen später ebenfalls ökologische Motive darunter der Klimawandel einen bedeutenden Platz in dem Diskurs ein (Lorbek 2008).

In den vergangenen Jahren ist die Thematik um den Klimawandel und ebenfalls die Verantwortung, die der Mensch dazu beiträgt, in unserer Gesellschaft immer präsenter geworden und nimmt dementsprechend heute eine zentrale Rolle ein. Unsere Gesellschaft verfolgt nun konkrete Klimaziele, die zu einer Minimierung der Belastung durch Treibhausgase bis zum Jahr 2050 führen sollen. Laut dem European Climate Law soll die Europäische Union bis zum Jahr 2050 klimaneutral werden. Bis zum Jahr 2030 sollen Treibhausgasemissionen um 55% gemindert werden, basierend auf dem Vergleichswert von 1990 (Directorate-General for Climate Action kein Datum).

Der Bausektor verursacht im Kontext des Klimawandels ca. 40% des europäischen Endenergieverbrauches und ca. 35% der europäischen Treibhausgasemissionen. Bei Betrachtung eines gesamten Gebäudelebenszyklus wird ersichtlich, dass ca. 40% der Treibhausgasemissionen bei der Errichtung und die restlichen 60% während des Gebäudebetriebs erzeugt werden. Bei einer Aufteilung auf bestimmte Gebäudeabschnitte ist ersichtlich, dass der Rohbau und die Fassade für den größten Anteil der erzeugten Treibhausgasemissionen verantwortlich sind (Müller und Scheibstock 2021).

Gebäudebauteile weisen eine bestimmte Lebensdauer auf und müssen somit zeitbedingt ausgetauscht beziehungsweise instandgesetzt werden. Die Instandsetzung verursacht ebenfalls Treibhausgasemissionen, die berücksichtigt werden müssen. Abschließend muss ebenfalls der Entsorgungsprozess eines Gebäudes berücksichtigt werden, da hier ebenfalls Treibhausgasemissionen erzeugt werden (Zimmermann und Reiser 2021).

In Österreich werden bezüglich Energieverbrauch und dem Ausstoß von Treibhausgasen ähnliche Werte erzeugt wie oben angeführt. Wie in der Abbildung 4 dargestellt, werden private Haushalte hauptsächlich in Form von elektrischer Energie, Fernwärme und Gas betrieben. Für die Erzeugung von elektrischer Energie und Fernwärme wird ebenfalls ein Anteil an Gas benötigt. Gas gilt somit als einer der Hauptprimärenergieträger für den Betrieb von Gebäuden (Bundesministerium Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie 2022).

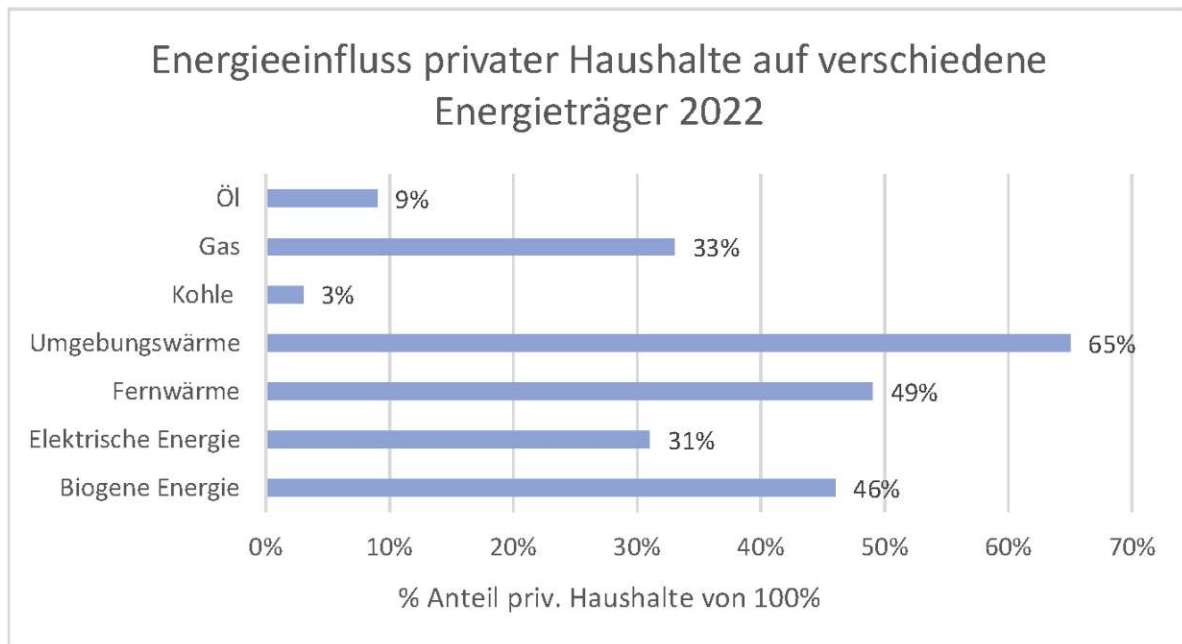


Abbildung 4 Energieeinfluss privater Haushalte 2022

In Österreich verbrauchen, im Jahr 2022, private Haushalte fast 30% des energetischen Endverbrauchs (siehe Abbildung 5).

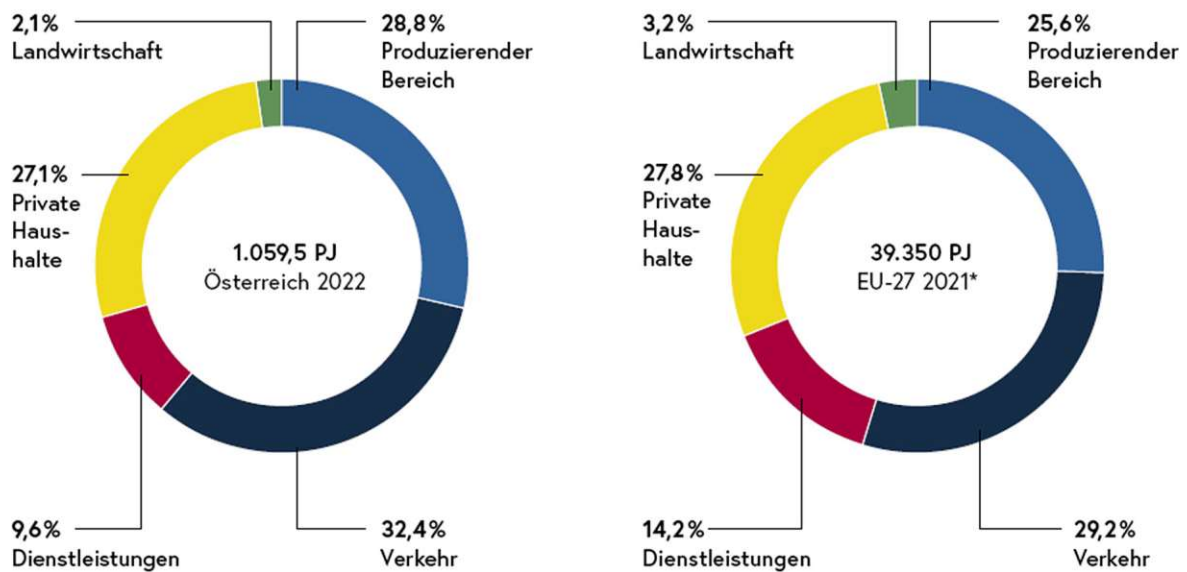


Abbildung 5 energetischer Endverbrauch Österreich 2022

Durch die oben angeführten Daten ist erkenntlich, dass Gebäude über die gesamte Dauer ihres Lebenszyklus beträchtliche Energiemengen verbrauchen und dabei weiters nennenswerte Mengen an Treibhausemissionen erzeugen. Durch konkrete saubere Instandsetzungsmaßnahmen können Gebäude, die in dem vorher besagten Zeitraum vor 1919 bis 1980 und ebenfalls danach errichtet wurden, in Ihrer Performance effizienter gestaltet werden. Die Instandsetzung solch eines großen Gebäudebestandes würde einen geringeren Treibhausgasausstoß zufolge haben, wodurch die Umwelt nachhaltig geschont und dementsprechend zum Erreichen der gesetzten Klimaziele beitragen würde.

Wie zuvor in Abbildung 3 dargestellt, kann ab dem Jahr 2001 ein erneuter Bauboom festgestellt werden. Hintergrund für diesen doch deutlichen Bauboom ergibt sich aus dem niedrigen Leitzins, der für den Zeitraum zwischen 2000 bis 2020 gültig war. Die Möglichkeit günstige Finanzierungen zu erhalten, führte im Bausektor zu einem deutlichen Aufschwung. Ab dem Jahr 2020 änderte sich jedoch die Situation bedingt durch verschiedene Ereignisse, welche zu einer Anhebung des Leitzinses und ebenfalls der Baukosten und dementsprechend der Baupreise führte (siehe Abbildung 6).



## Entwicklung EZB Leitzins in Prozent von 2000 - 2023

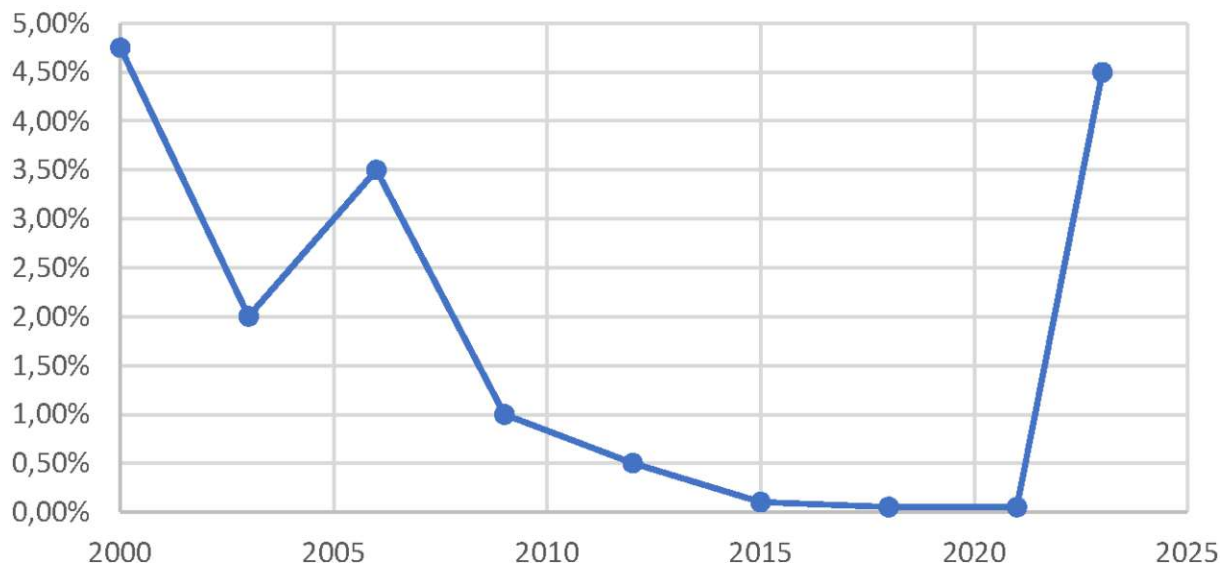


Abbildung 6 Entwicklung EZB-Leitzins ins Prozent

Der Anstieg des Hauptrefinanzierungssatzes führt zu höheren Finanzierungskosten für Kredite. Dieser Effekt entsteht dadurch, dass Geschäftsbanken bei einem Anstieg des Hauptrefinanzierungssatzes, durch die EZB, für geliehenes Geld schlechtere Konditionen erhalten und für diese somit die Beleihung an Privatkunden teurer wird. Schlussendlich muss der Endkunde diese zusätzlichen Kosten tragen, was somit eine Finanzierung teurer werden lässt (N 26 2023).

Baupreise sind, neben den Finanzierungszinsen, der zweite wichtige monetäre Bestandteil bei Gebäudeinstandsetzungen.

Der Baupreisindex stellt die tatsächlichen Preisveränderungen von Bauleistungen für Bauherren dar. (Statistik Austria 2023). Grundsätzlich besteht ein Baupreis aus verschiedenen Preisanteilen, die gemeinsam eine monetäre Summe ergeben, die von den Bauherren für die Verrichtung einer Bauleistung an den Auftragnehmer entrichtet werden müssen. Ein Baupreis beinhaltet grundsätzlich die Preisanteile Material, Lohn, Baumaschinen, Geräte, Transport, Energie, sonstige Kosten und Gewinnspanne für ein Unternehmen (Scherer 2018).

Die Abbildungen 7 und 8 zeigen deutlich, dass die Preise für Bauleistungen im Zeitraum vom 2010 bis 2020 um 29,7% gestiegen sind (Statistik Austria 2023).

### Prozentuale Entwicklung Baupreisindex von 2010 bis 2015 2010 = 100%

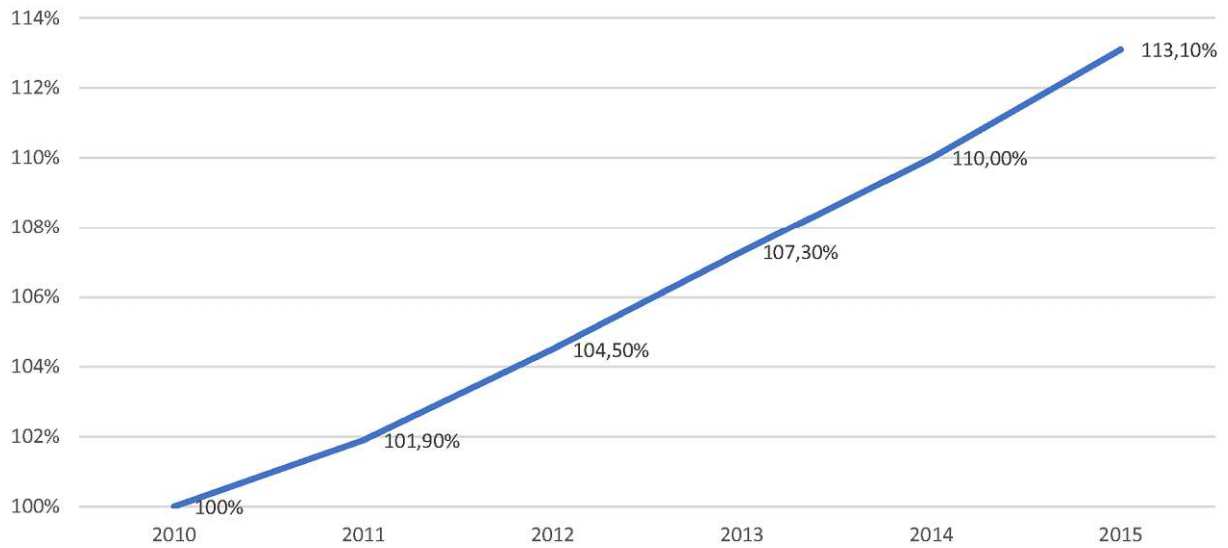


Abbildung 7 Entwicklung Baupreisindex 2010 - 2015

### Prozentuale Entwicklung Baupreisindex von 2015 bis 2020 2015 = 100%

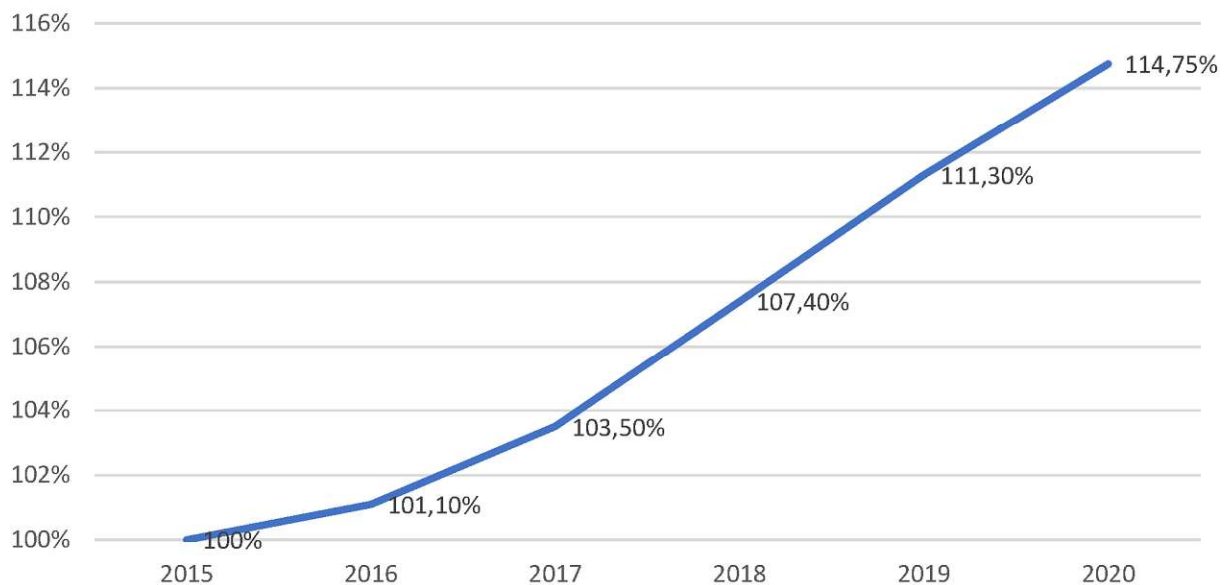


Abbildung 8 Entwicklung Baupreisindex 2015 - 2020

Wie anhand der Abbildung 9 ersichtlich, sind die Baupreise zwischen dem Jahr 2021 bis 2023 um 35,5% gestiegen (siehe Abbildung 9).

## Prozentuale Entwicklung Baupreisindex von 2020 bis 2023 2020 = 100%

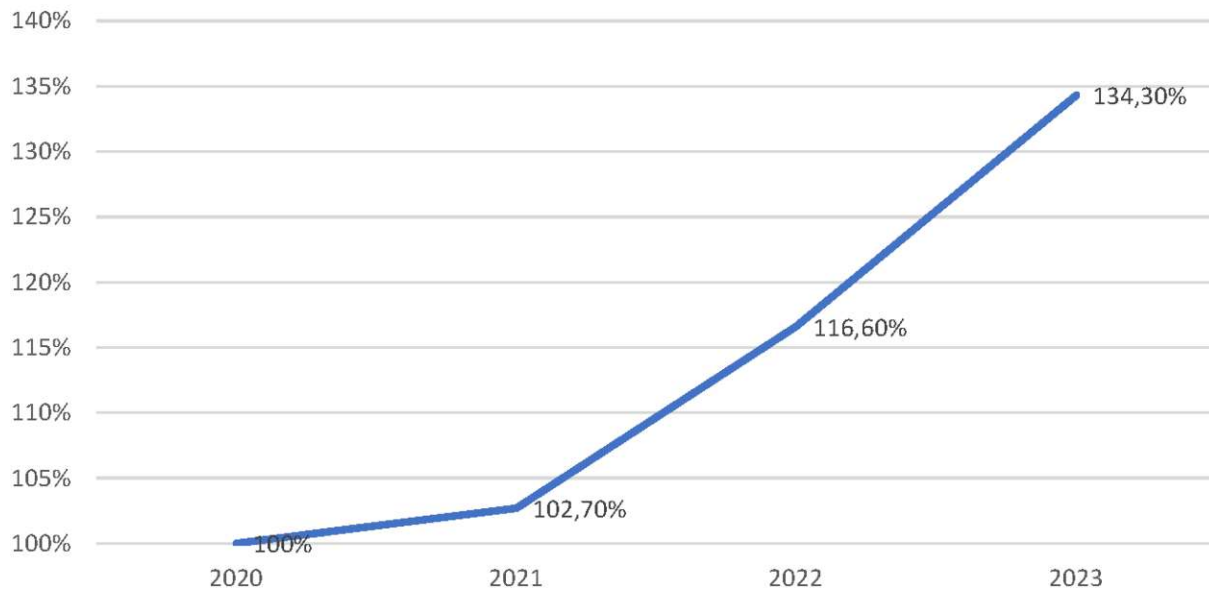


Abbildung 9 Entwicklung Baupreisindex zwischen 2020 - 2023

Der Anstieg, der im Zeitraum zwischen 2021 bis 2023 erfolgte, ist vergleichbar mit dem Anstieg der davor eingehenden zehn Jahren.

Die Preissteigerungen der Baumaterialien und der Energiekosten kann auf die Corona-Pandemie und den Ukraine Konflikt zurückgeführt werden. Beide Ereignisse führten zu einer deutlichen Steigerung der Baukosten. Im Jahr 2023 führte die steigende Inflation und der Fachkräftemangel zu steigenden Lohnkosten, die sich ebenfalls auf die Baukosten niedergeschlagen haben. Durch die oben erwähnten Ereignisse sind dementsprechend ebenfalls die Baupreise für Bauleistungen gestiegen (Luckert 2023).

Zusammenfassend ist der Preis für Bauleistungen in den vergangenen 13 Jahren um 65% gestiegen und der Leitzins, der für Finanzierung ausschlaggebend ist, wurde von ca. 0% auf 4,5% angehoben. Die gestiegenen Kosten stellen für Privatpersonen eine schwere finanzielle Hürde dar, die einer Instandsetzung des historischen Gebäudebestandes erschwert und entgegensteht. Infolge davon werden die gesetzten Klimaziele und somit auch die Minimierung der Treibhausgase und des Gesamtenergieverbrauches behindert und verlangsamt.

## 1.2 Problemstellung und Forschungsfragen

Wie in dem Kapitel 1.1 erläutert, geht hervor, dass in Österreich der größte Anteil an Gebäuden Einfamilienhäuser darstellen, die unter privatem Besitz stehen. In Österreich werden Gebäude hauptsächlich mit Gas betrieben und sind im Jahr 2022 für fast 30% des Energieverbrauchs in Österreich verantwortlich.

Im Zeitraum der vergangen 13 Jahre sind die Baupreise für Bauleistungen um ca. 65% gestiegen und die Finanzierungen, bedingt durch den Anstieg des Hauptrefinanzierungssatzes für Geschäftsbanken, ebenfalls deutlich teurer geworden.

Eine Instandsetzung der Gebäudehülle und der Gebäudetechnik ist somit mit großen finanziellen Hürden verbunden, würde aber die Performance der nicht sanierten historischen Bestandsgebäude erheblich steigern und dadurch den Energieverbrauch und die Treibhausgasemissionen senken.

Es stellt sich somit die Forschungsfrage ob nicht die Möglichkeit besteht, ein seriell vorgefertigtes System zu entwickeln, bei dem vereinfachte konstruktive Prinzipien, serielle Vorfertigung, ökologische Aspekte und der eigenständige Einbau durch den Bauherren die finanzielle Last einer Instandsetzung soweit senken können, dass die oben erwähnten finanziellen Hürden, die aktuell einer großformatigen Instandsetzung des historischen Bestandes entgegenstehen, erfolgreich überwunden werden können.

In der Praxis gibt es bereits einige Gebäudeinstandsetzungen, die anhand serieller Sanierungsmöglichkeiten durchgeführt werden. Die serielle Vorfertigung von Bauteilen ist günstiger und führt ebenfalls zu einer kürzeren Bauzeit was dementsprechend zu günstigeren Instandsetzung führt (Mascheck kein Datum).

Das vorhandene Potential wurde ebenfalls von Staat und öffentlichen Organisationen entdeckt und wird dementsprechend auch subventioniert. Ein Beispiel für öffentliche Organisationen, die in diesem Bereich subventionierte Förderungen betreiben, sind die Innovationsfördernde Öffentliche Beschaffung sowie die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft.

### 1.3 Lösungsansatz inkl. Präzisierung des Forschungsbereiches

Wie im Kapitel 1.2 angesprochen besteht gegebenenfalls die Möglichkeit die Kosten für die Instandsetzung zu minimieren in dem der Anteil an Eigenleistung durch den Bauherren gesteigert und diese mit einem seriell vorgefertigten System gepaart wird, das durch die Massenproduktion günstig hergestellt und dementsprechend auch günstig veräußert werden kann.

Verschiedene Gebäudebereiche scheinen für eine serielle Sanierung sinnvoll und möglich, die schwankenden handwerklichen Fähigkeiten, die Bauherren aufweisen, schränken die Auswahl dieser Entscheidung jedoch ein. In dieser Diplomarbeit gehen wir davon aus, dass Bauherren in der Lage sind mit gängigen Handwerkzeugen wie Säge, Hammer und Akkuschrauber umzugehen, da diese in den meisten Haushalten vorhanden sind.

Die Instandsetzung der Gebäudetechnik erfordert spezifisches Fachwissen und eine entsprechende Ausbildung, weshalb sie idealerweise, nur von Fachfirmen durchgeführt werden soll, die auch für ihre Leistung haften. Aufgrund dieser Anforderungen ist der Bereich der Gebäudetechnik nicht für eine eigenständige Instandsetzung durch einen Bauherren geeignet.

Der Außenbereich jedes Gebäudes ist direkter Witterung ausgesetzt. Falsch ausgeführte Bauleistungen im Sockel-, Fassaden- und Dachbereich können schnell zu schweren Bauschäden führen, die zusätzlichen Kosten und eventuell irreparable Bauschäden verursachen.

Der Sockelbereich stellt einen besonders gefährdeten Bereich dar, da er nicht nur kurzfristiger Wassereinwirkung, sondern auch ständiger Erdfeuchte ausgesetzt ist (Pech, et al. 2014). Im Sockelbereich werden sensible Abdichtungsarbeiten durchgeführt, die nur von Fachfirmen ausgeführt werden sollten, die auch für ihre Leistung haften. Somit ist der Sockelbereich nicht geeignet für eine Lösung, die durch einen Bauherren selbstständig eingebaut werden kann.

Der Dachbereich variiert in seiner Gestaltung zwischen Flach- und Schrägdächern. Bei Flachdächern sollten, wie bereits zuvor im Sockelbereich erwähnt, ausschließlich Fachfirmen die Abdichtungsarbeiten übernehmen. Aus diesem Grund entfällt somit der Flachdachbereich. Im Schrägdachbereich stellt die Unterdachbahn mit ihren Fugen-

und Nageldichtbändern, eine besondere Herausforderung dar, die nur von Fachfirmen übernommen werden sollte. Bei unsachgemäßer Ausführung können weitreichende Bauschäden in der Dachkonstruktion auftreten, die zu massiven Zusatzkosten führen können. Aus diesem Grund sind Schrägdächer ebenfalls nicht geeignet. Ein weiterer Grund, warum Schrägdächer nicht für die Entwicklung von seriellen Fertigprodukten geeignet sind, die von den Bauherren eingebaut werden, sind ihre kleinteiligen Komponenten und die schrägen Flächen, die den Einbau zusätzlich erschweren.

Im Gegensatz zum Sockel- und Dachbereich bietet die Fassade eine geeignete Fläche, die für die Anwendung eines vorgefertigten Systems genutzt werden kann. Die Arbeiten können an einer senkrechten Fläche durchgeführt werden, und einzelne Elemente können auf einfache Weise aufeinandergestapelt werden. Etwaige unpräzise Ausführungen, die zu Feuchtigkeitsproblemen führen könnten, lassen sich durch eine Fassadenhinterlüftung einschränken. Ein weiterer wichtiger Punkt besteht in der Annahme, dass die Fassade im Vergleich zum Sockel- und Dachbereich weniger stark dauerhaften Wassereinflüssen ausgesetzt ist.

Aufgrund der genannten Gründe wurde beschlossen, ein serielles Fassadensystem zu entwickeln, das so konzipiert ist, dass es eigenständig von den Bauherren eingebaut werden kann.

Das System soll mit einem herkömmlichen Transportfahrzeug, das im beladenen Zustand ein Maximalgewicht von bis zu 3,5 Tonnen aufweisen darf, transportiert werden können. Die Bearbeitung soll mithilfe herkömmlicher Haushaltswerkzeuge wie Kreissäge, Hammer und Akkuschrauber durch die Bauherren selbst bewältigt werden. Diese Werkzeuge können jedenfalls wenn nicht vorhanden, in gängigen Baumärkten ausgeliehen oder gekauft werden.

Die für das Fassadensystem ausgewählten Materialien sollen recycelbar sein und bei ihrer Herstellung einen minimalen ökologischen Fußabdruck hinterlassen.

## 2 Methode

Die wissenschaftliche Arbeit gliedert sich in drei grundlegende Arbeitsabschnitte. Im ersten Abschnitt soll die Analyse bestehender Literatur und weiters eine Durchsicht themenbezogener Praxisbeispiele durchgeführt werden. Im Anschluss werden die gesammelten Erkenntnisse für die Entwicklung eines Fertigteilsystems eingesetzt. Im zweiten Abschnitt soll das entwickelte System an einem Bestandsgebäude angewendet werden und anhand dessen die Funktionsweise dargestellt werden. Im abschließenden dritten Schritt soll die sanierte Fassade evaluiert und in direktem Vergleich mit der historischen und weiter einer herkömmlichen WDVS-Fassaden Sanierung verglichen werden. Eine detaillierte Beschreibung der einzelnen Abschnitte ist unten angeführt.

### Abschnitt 1 | Theoretische Grundlagen / State of the art

Im ersten Abschnitt der Arbeit wird hauptsächlich die Literaturanalyse behandelt. Dabei soll ein umfassendes Spektrum zum Thema Fassaden erlangt werden.

Anhand der Literaturanalyse sollen folgende Grundlagen ermittelt werden:

- Welchen Einflüssen sind Fassaden ausgesetzt und welche Leistungsanforderungen ergeben sich dadurch?
- Welche Aufgaben übernehmen Fassaden bei einem Gebäude?
- Welche konstruktiven Errichtungsmöglichkeiten gibt es im Fassadenbau?
- Welche Materialmöglichkeiten existieren bei der Errichtung von Fassaden?
- Einschlägige Praxisbeispiele im Bereich der seriellen Sanierung sollen vorgestellt und analysiert werden.

Aus der oben durchgeführten Literaturanalyse sollen alle wichtigen planerischen und konstruktiven Aspekte gesammelt werden und in die Entwicklung eines seriell vorgefertigten Fassadenfertigteilsystems, das von Bauherren eigenständig eingebaut wird, hineinfließen.

### Abschnitt 2 | Konzeptionelle Entwicklung eines vorgefertigten Fassadensystems

Im zweiten Abschnitt der wissenschaftlichen Arbeit wird das entwickelte Fertigteilsystem an einem sanierungsbedürftigen Bestandsgebäude angewendet. Das

Gebäude, das im Jahr 1960 in Leopoldsdorf im Marchfeld errichtet wurde, dient hierzu als Testobjekt. Grundrisse und Schnitte sind für das Bestandsgebäude bereitgestellt worden, weiters wurde eine umfassende Bestandsaufnahme durchgeführt, damit im Abschnitt drei eine realistische Evaluierung anhand des Programmes Archiphysik vorgenommen werden kann.

### Abschnitt 3 | Vergleichsstudie anhand eines realen Bestandsgebäudes

Im abschließenden Abschnitt sollen die Fähigkeiten des entwickelten Fassadensystems ermittelt werden und in einen direkten Vergleich zu einer herkömmlichen WDVS-Fassade gesetzt werden.

Bei dem Vergleich soll folgendes ermittelt werden:

- Die bauphysikalischen Eigenschaften des im Abschnitt zwei entwickelten Fassadensystems sollen ermittelt und direkt mit der ursprünglichen Bestandsfassade sowie mit einer herkömmlichen WDVS-Fassadensanierung des Bestandsgebäudes verglichen werden.

Durch den Vergleich der Systeme können wir abschließend bewerten, ob das entwickelte Fertigteilsystem als gleichwertig zu einer herkömmlichen WDVS-Fassade betrachtet werden kann und somit dem Stand der Technik entspricht.



### 3 Theoretische Grundlagen und State of the art

#### 3.1 Leistungsanforderungen an Fassaden

Fassaden sind aus historischer Sicht ein Gestaltungselement, das einem Gebäude Ausdruck verleiht. Oftmals spiegelt eine Fassade die zugeordnete Funktion des Gebäudes wider und besitzt somit einen repräsentativen Charakter. Im heutigen Architekturdiskurs nimmt die Fassade als Gestaltungselement eine untergeordnete Rolle ein, vielmehr überwiegt ihre bauphysikalische Funktion als Konditionierungsgrenze zwischen dem Innen- und Außenraum. Fassaden müssen leistungsfähig und flexibel gestaltet werden, konkret bedeutet dies, dass sie sich an klimatische Wechselbedingungen schnell anpassen müssen und jedenfalls trotz der klimatischen Wechselwirkung durchgängig für ein behagliches Innenraumklima sorgen müssen. Die Anpassungs- und Leistungsfähigkeit von Fassaden hat direkten Einfluss auf die benötigte Haustechnik. Mit einer steigenden Flexibilität und Anpassungsfähigkeit der Fassade sinkt der notwendige Bedarf an Haustechnik für die Erhaltung eines behaglichen Innenraumklimas. Fassaden müssen heute für ausreichenden Wärmeschutz, Schallschutz, Sonnenschutz, Brandschutz, Witterungsschutz und Kondensationsschutz sorgen, weiters müssen Fassaden im Falle von vollwertigen Fassaden ebenfalls Eigengewichtbelastung, Windkräften, Erdbebenwirkung, mechanischen Einwirkungen von außen zuverlässig standhalten. Fassaden besitzen nicht nur Schutzfunktionen sondern müssen auch für genügend Lichteinfall, Luftaustausch und Sonne sorgen, damit eine hohe Raumqualität und somit eine konstante thermische, hygienische und akustische Behaglichkeit des Innenraums erreicht werden kann. Bereits bei der Fassadenplanung müssen Themen wie Schutz und Sicherheit, Sonnen- und Blendschutz, Lichtlenksysteme, Öffnungen, Ausblicke, Einblicke, Transparenz, solare Gewinne, Wärmedämmung, Dichtheit, Feuchtigkeitshaushalt und abschließend natürliche Lüftung und Ventilation durch klare Zielsetzung konkretisiert und abgewogen werden. Gesetzliche Fassadenanforderungen sind durch die Richtlinien des Österreichischen Institut für Bautechnik definiert. Für Fassaden spielen die OIB Richtlinie 1-6, länderspezifische Bauordnungen und weiters ÖNORMEN sowie der Eurocode für die statische Berechnung eine grundlegende Rolle in der Planung (Knaack, et al. 2014) (Pech, et al. 2014).

### 3.2 Konstruktive Errichtungsmöglichkeiten von Fassaden

Wie in Abbildung 10 dargestellt, kann eine Wand auf verschiedene Arten errichtet werden, wobei die Anforderungen, die sie erfüllen muss, bei der Auswahl der Bauweise eine entscheidende Rolle ausübt. Grundsätzlich können Wandkonstruktionen in Massivbauweise, Skelettbauweise oder Mischbauweise errichtet werden. In der Massivbauweise übernimmt die Wand statische sowie bauphysikalische Aufgaben zugleich und ist raumbildend, da sie als Raumabgrenzung zum Außenraum dient. Bei einer Skelettbauweise übernimmt ein Skelett die statische Tragfunktion des Gebäudes während zumeist Ausfachungen oder vor- beziehungsweise dazwischen gelagerte Wandelemente, die zum Beispiel in Form von Sandwichpanelen ausgeführt werden, die bauphysikalischen Aufgaben übernehmen und weiters für eine Raumabgrenzung zum Außenraum sorgen. Die Massivbauweise wird überwiegend im Wohnbau eingesetzt, während die Skelettbauweise oft für den Büro- und Industriebau angewendet wird. Die Massivbauweise verbraucht im Vergleich zur Skelettbauweise deutlich mehr Material, bietet aber einen deutlichen Vorteil bezüglich Brandschutzes, Erdbebensicherheit, Bauphysik, Raumklima. Die Skelettbauweise besitzt im Vergleich zur Massivbauweise eine deutlich kürzere Errichtungszeit, ermöglicht eine flexible Grundrissgestaltung und weiters größere Spannweiten. Bei einer Mischbauweise werden verschiedene Baustoffe zu Werkstoffen vereint um die jeweiligen Fähigkeiten des einzelnen Baustoffes ideal zu Nutzen. Momentan wird die Mischbauweise oft im Bereich des mehrgeschossigen Hochbaus angewendet (Pech und Kolbitsch, 2019) (Knaack, et al. 2014) (Mazera, et al. 2017).

Die ausgeführte wissenschaftliche Arbeit besitzt als Kernthema die Instandsetzung von Einfamilienhäusern. Wie bereits im vorherigen Textabschnitt erwähnt, werden Wohnbauten überwiegend in Massivbauweise errichtet (Mazera, et al. 2017). Da die Skelett- und Mischbauweise keine erhöhte Relevanz im Bereich der Einfamilienhäuser einnehmen, werden diese im Verlauf dieser wissenschaftlichen Arbeit nicht vollumfänglich erläutert.

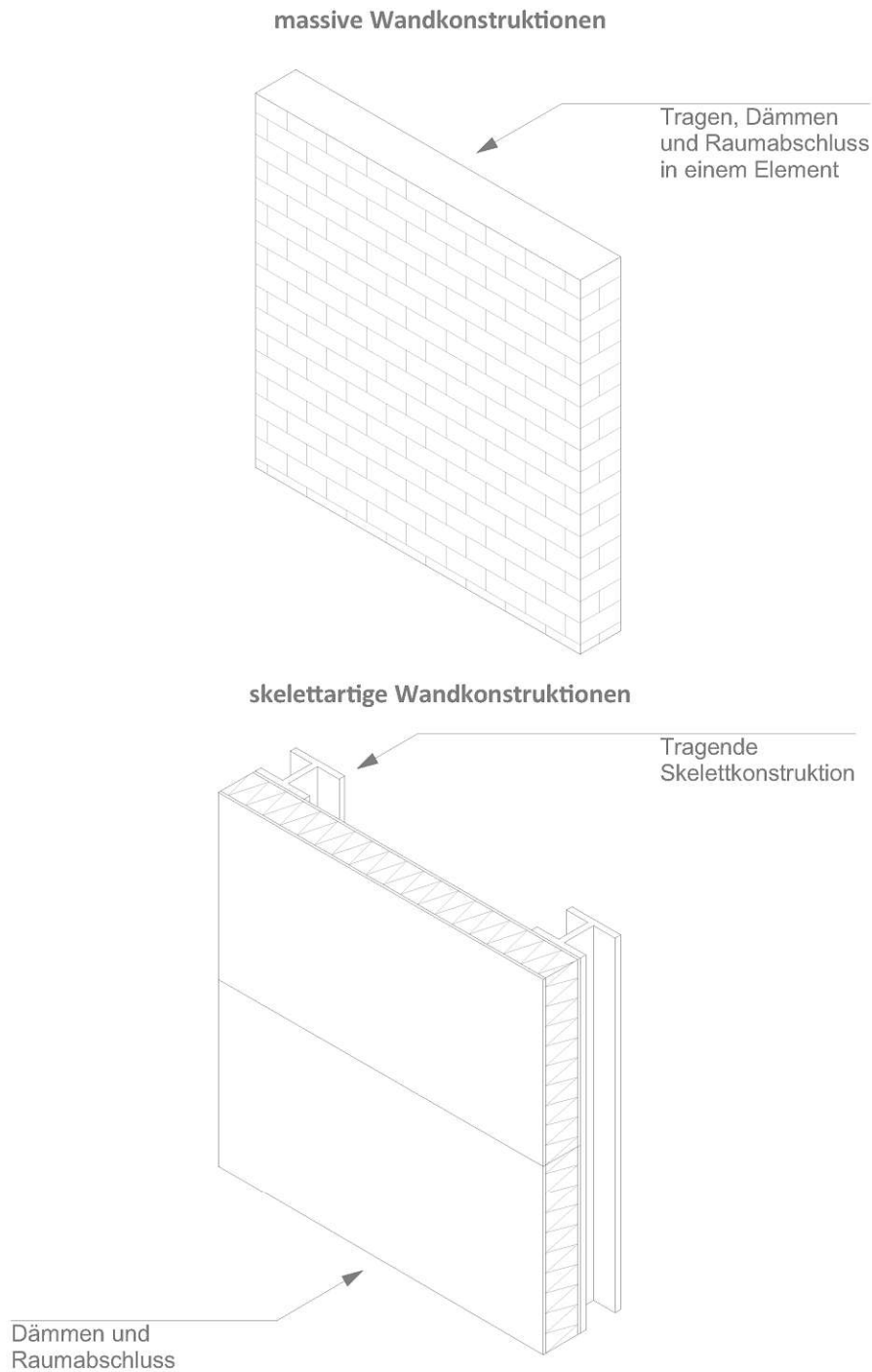
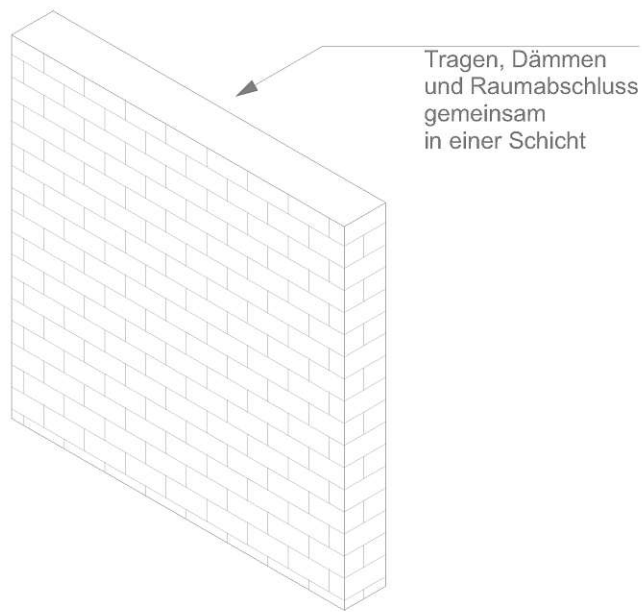


Abbildung 10 Konstruktionsmöglichkeiten bei Wandaufbauten

Wie in der Abbildung 11 dargestellt, können bei einer Massivbauweise Wände als einschalig monolithische oder als mehrschichtige Wand ausgeführt werden. Bei einem mehrschichtigen Wandaufbau kann die Wand als Warm-, oder Kaltfassade ausgeführt werden (Mazera, et al. 2017) (Pech und Kolbitsch, 2019) (Knaack, et al. 2014).

### monolithische Wandkonstruktionen



### mehrschichtige Wandkonstruktionen

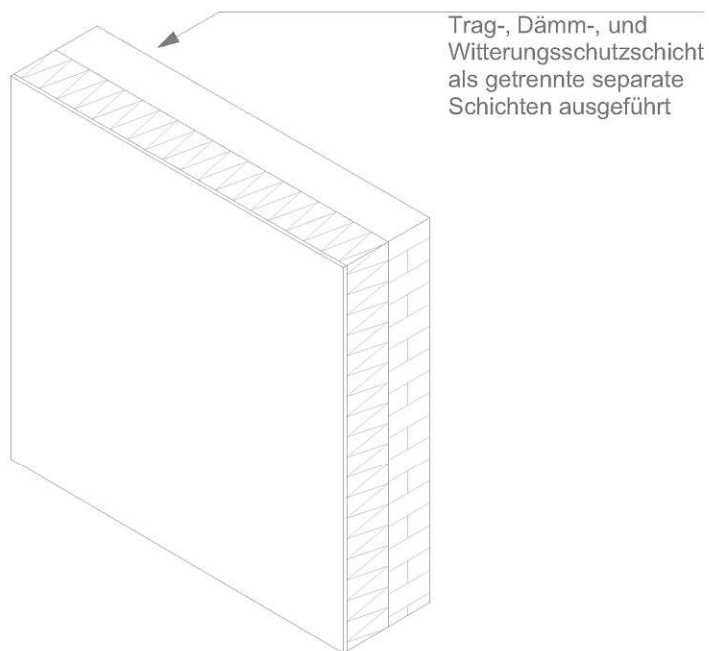


Abbildung 11 Konstruktionsmöglichkeiten bei massiven Wandaufbauten

Einschalig Monolithische Wände werden in der Regel aus einem einzigen Material errichtet, welches statische und bauphysikalische Aufgabe zugleich übernimmt. Es besteht die Möglichkeit das monolithische Wände auf ihrer Innen- und Außenoberfläche verputzt sind um einen geeigneten Witterungsschutz, Ästhetik und Innenraumklima zu erreichen. Im Gegensatz zu monolithischen Wänden sind

Warmfassaden und Kalfassaden aus mehreren Materialien errichtet. Bei einer Warm- und Kalfassade werden Materialien, in Abhängigkeit ihrer materialspezifischen Eigenschaften und den damit verbundenen Fähigkeiten, gezielt für bestimmte Aufgaben ausgewählt. Ein gängiges Beispiel für eine Warmfassade stellt das Wärmedämmverbundsystem (WDVS-Fassade) dar, bei welchem beispielsweise ein Ziegelmauerwerk die tragende Aufgabe übernimmt, expandiertes Polystyrol (EPS) die Dämmaufgabe erfüllt und ein Außenputz für den Witterungsschutz zuständig ist (Mazera, et al. 2017) (Pech und Kolbitsch, 2019) (Knaack, et al. 2014).

Wie in der Abbildung 12 dargestellt, besteht bei mehrschichtigen Wandkonstruktionen ebenfalls die Möglichkeit, diese als mehrschalige Kalfassade auszubilden. Im konstruktiven Aufbaugrundsatz sind Warm- und Kalfassaden ident, der Unterschied liegt darin, dass Kalfassaden zusätzlich eine Hinterlüftung besitzen, durch die das Kondensat aus dem Bauteil entweichen kann. Die Hinterlüftungsebene befindet sich immer direkt im Anschluss zur Dämmschicht und ermöglicht so ein Trocknen der Dämmung und mindert ebenfalls das Risiko für Bauschäden durch Feuchte. Bedingt durch die Hinterlüftung stellen somit die Aufbauschichten beginnend von der Innenraumoberfläche bis hin zur Dämmebene die erste Schale dar, bei der zweiten Schale handelt es sich um die Verkleidung, die als Witterungsschutz dient (Knaack, et al. 2014) (Pech, et al. 2014) (Mazera, et al. 2017).

### mehrschalige Wandkonstruktionen

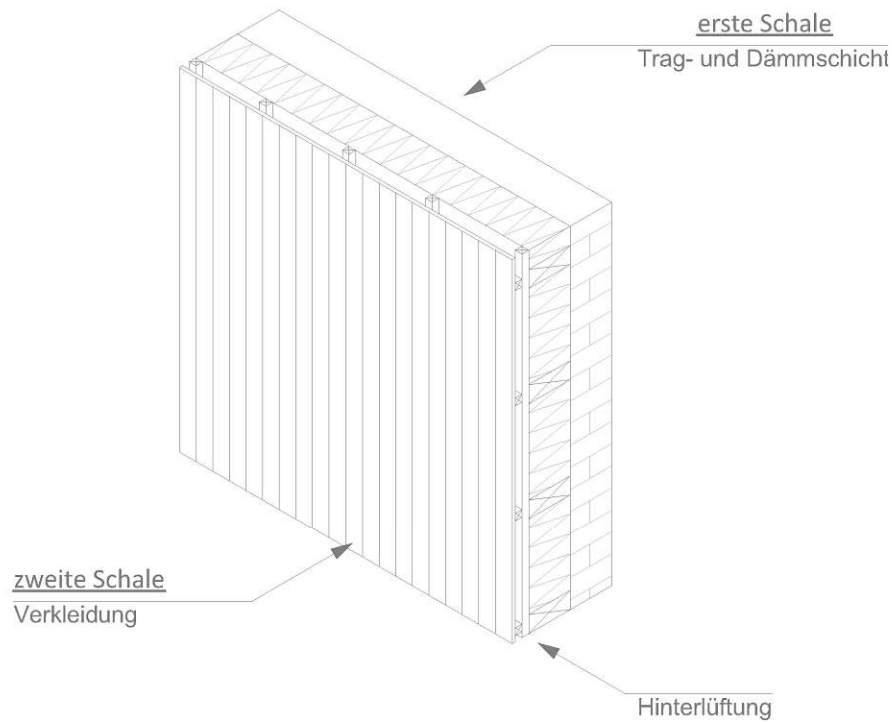


Abbildung 12 mehrschaliger Wandaufbau

### 3.3 Materialmöglichkeiten im Fassadenbau

Die für den Wandaufbau einsetzbaren Materialien sind äußerst vielfältig und können je nach Eigenschaft und den damit verbundenen Fähigkeiten in verschiedenen Nutzkategorien grob unterteilt werden. Grundsätzlich lassen sich Materialien in tragende Materialien, dämmende Materialien und abschließend witterungsschützende Materialien unterteilen. Welche Materialien in einem Wandaufbau zur Anwendung kommen ist, wie bereits erwähnt, stark davon abhängig welche Aufgabe die Fassade erfüllen muss. Bei der Auswahl der Materialien spielen statische Anforderungen, bauphysikalische Anforderungen, ökologische Anforderungen und ästhetische Vorstellungen jedenfalls eine ausschlaggebende Rolle (Mazera, et al. 2017) (Pech, et al. 2014) (Pech und kolbitsch 2019).

Die folgende Auflistung dient als Einblick über verschiedene Materialmöglichkeiten die bei der Herstellung verschiedener Wandkonstruktionen angewendet werden können.

Für die Ausbildung von statisch tragenden Elementen kann als Material Stahlbeton, unbewehrter Beton, Vollmauerziegel, Hochlochziegel, Füllziegel, Langlochziegel, Sichtziegel, Klinker, Planziegel, Sonderziegel, Porenbetonsteine, Leichtbetonsteine, Normalbetonsteine, Vollblocksteine, Kalksandsteine, Mantelbetonsteine, Holz in natürlicher Form und Holzwerkstoffe in verschiedenen Arten verwendet werden (Pech und kolbitsch 2019).

Für die Ausbildung einer Dämmebene kann als Dämmmaterial Hanf, Kork, Holzfaser, Mineralwolle, EPS, XPS, Flachs, Schafswolle, Stroh, Schaumglas oder expandierter Kork verwendet werden (Pech und kolbitsch 2019) (Kaiser, et al. 2020).

Zur Ausbildung von witterungsschützenden Verkleidungen kann Außenputz, vertikale und horizontale Holzverkleidungen, Faserzementplatten, Dachziegel, Dachplatten, Kunststoffplatten, keramische Fliesen, Spaltziegelplatten, Sichtmauerwerk, Natursteinfassaden, keramische Platten, Betonfertigelemente, Glasmosaik oder Glas als Material verwendet werden (Borgmeier und Braunreiter 2011) (Pech, et al. 2014).

Ausgehend von objektiven Betrachtungen wird angenommen, dass aktuell der überwiegende Anteil der Neubauten und Gebäudeinstandsetzungen im Bereich der Einfamilienhäuser als mehrschichtige Fassade in Form einer WDVS-Fassade ausgeführt wird. Der Fassadenaufbau erfolgt zumeist in Form von Langloch- und Hochlochziegel, Kalksandsteine, Porenbetonsteine, Leichtbetonsteine oder Normalbetonsteinen. Die Dämmung wird zumeist mit einer EPS-Dämmung ausgeführt, während der Witterungsschutz in Form eines Kalkzementputzes hergestellt wird. Bei Gebäudeinstandsetzungen besteht die tragende Struktur bereits, diese wird durch Anbringen einer Dämmung und eines Außenputzes bauphysikalisch saniert und dadurch die Performance gesteigert.

### **3.4 Existierende Lösungsansätze / State of the Art**

In der Neuerrichtung von Gebäuden ist die werkseitige Vorfertigung von Gebäudebauteilen bereits weit verbreitet und etabliert. Der Einsatz von vorgefertigten modularen Bauteilen führt zu verkürzten Bauzeiten, reduzierten Baukosten für den Bauherren und weiters zu einer gesicherten Qualität. Im Bereich der Gebäudesanierung hat sich die Anwendung von modularen vorgefertigten Bauteilen



noch nicht vollständig durchgesetzt. Es gibt jedoch erste Ansätze, die unter dem Begriff der seriellen Sanierung verzeichnet werden können. (Leitbold 2023)

### 3.4.1 Fassadensanierung mit vorgefertigten Holztafelelementen | Stefan Mancher |

Die vorgestellten Objekte befinden sich in Stadt Duisburg, konkret handelt es sich um genossenschaftliche Wohnungen, die in dem Jahr 1967 errichtet wurden. Die festgelegten Projektziele umfassen eine Sanierung der äußeren Gebäudehülle, Erzeugung von zusätzlicher Wohnfläche und weiters die energetische Sanierung des Gebäudes. Die Gebäude waren während der gesamten Bauphase bewohnt, somit sollten bauliche Eingriffe minimal invasiv stattfinden und die Bauzeit so kurz wie nötig gestaltet werden. Um den gestellten Anforderungen gerecht zu werden, wurde auf eine Fassadenlösung zurückgegriffen die wetterunabhängig im Werk vorproduziert wurde. (Mäncher 2014)

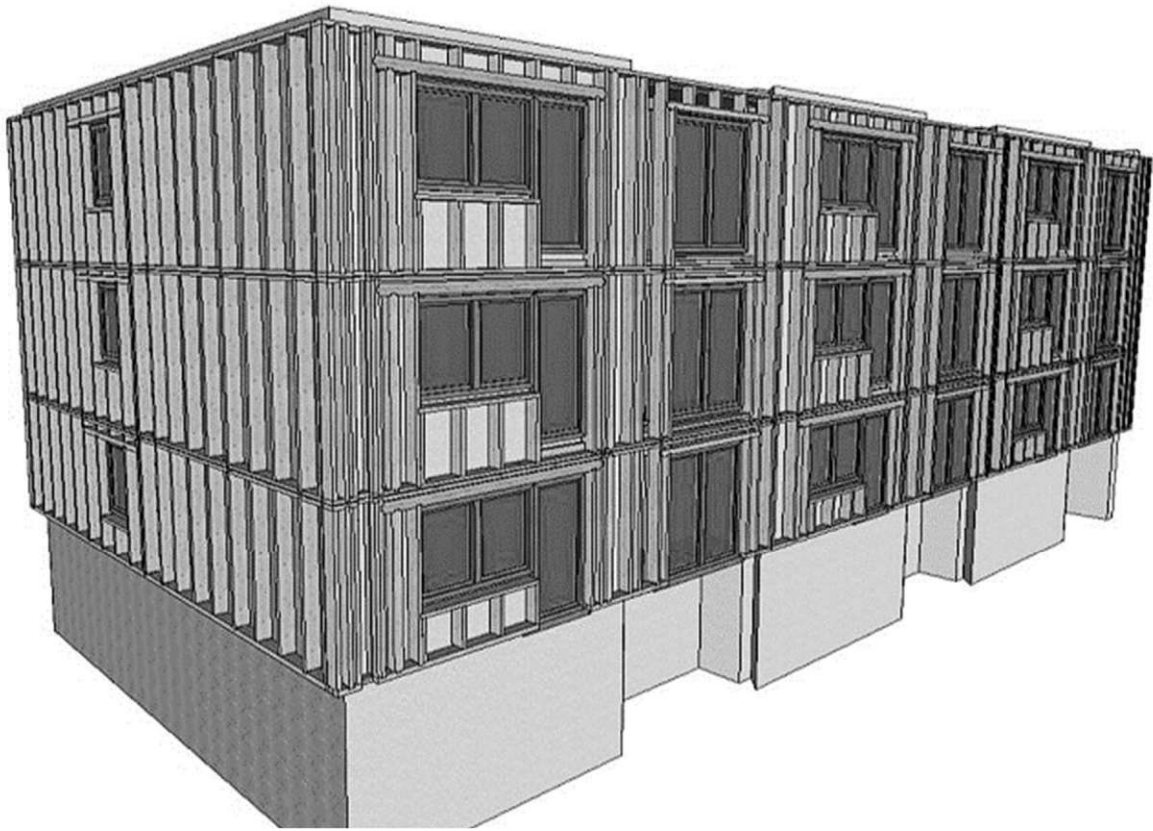


*Abbildung 13 unsaniertes Bestandsgebäude*

Zunächst wurde, wie in Abbildung 13 dargestellt, das Gebäude mithilfe einer Totalstation vermessen. Anschließend wurden die seriell vorgefertigten Fassadenelemente mithilfe eines Computer Aided Designs (CAD) entwickelt und



detaillierte planerische Ausarbeitungen vorgenommen, um die Montage der Fassadenelemente an dem Bestandsgebäude zu ermöglichen (Mäncher 2014).



*Abbildung 14 3D Bestandsgebäudemodell mit vorgehängten Fertigelementen*

Durch die Fertigelemente entstehen neue Lasten die sicher abgeführt werden müssen. Um eine ideale Lastabtragung zu gewährleisten, wurden im Sockelbereich Stahlwinkel angebracht, durch die die entstandenen Lasten sicher abgeführt werden können (Siehe Abbildung 15).

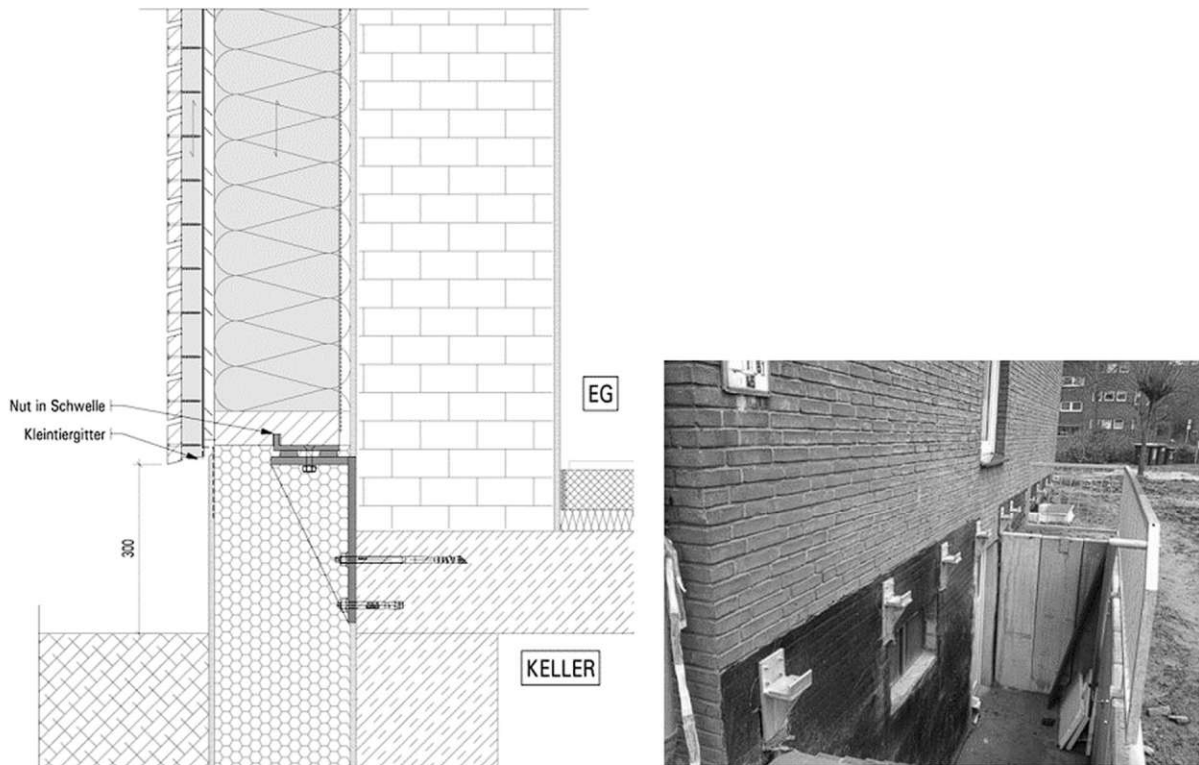


Abbildung 15 Detailanschluss der Fertigelemente an Bestandswand

Die Elemente werden, wie in Abbildung 16 dargestellt, inkl. Fenster im Werk vorproduziert, der Einbau erfolgt auf der Baustelle innerhalb von drei Tagen (Mäncher 2014).



*Abbildung 16 montierte Fertigelemente an Bestandswand*

Die durchgeführte Instandsetzung ergibt, dass die Außenwände nun einen U-Wert von  $0,142\text{W/m}^2\text{K}$  aufweisen, was einer Verbesserung von 80% entspricht. Durch die Sanierung der Außenhülle und ebenfalls der Heizungsanlage ergibt sich eine Senkung des Heizwärmebedarfs von  $201\text{kWh/m}^2\text{a}$  auf  $52\text{kWh/m}^2\text{a}$  (Mäncher 2014).

### **3.4.2 Niederländische Energiesprong**

Der Energiesprong stellt ein niederländisches Projekt dar, bei dem ein kostengünstiges und schnelles Nullenergie-Sanierungspaket für Reihenhäuser der Jahre 1960 bis 1970 entwickelt wurde. Das vorgesetzte Ziel war es den Energieverbrauch von Häusern zu senken und somit den Gesamtenergieverbrauch der Holländischen Haushalte zu minimieren. Um das vorgelegte Ziel zu erreichen, wurden im Werk vorgefertigte Wand- und Dachelemente gefertigt, die an die bestehenden Außenhülle montiert werden (Oehler 2017).





*Abbildung 17 Montage der Fertigelemente auf der Baustelle*

Die Haustechnik mit Lüftung und Wärmeluftpumpe befindet sich in einer Box die außen vor die Fassade montiert wird. Auf dem Dach befindet sich zusätzlich eine vorinstallierte Photovoltaikanlage, die das Haus mit Strom versorgt. Durch die Anwendung von vorgefertigten Teilen die nach der Herstellung ausschließlich geliefert und an die bestehende Fassade montiert werden, verkürzt sich das Zusammenfügen auf den Baustellen auf nur einen Tag und die komplette Sanierung auf zehn Tage. Die Sanierung erfolgt minimal invasiv und in bewohntem Zustand. Auf diese Weise wurden bereits 110.000 Bestandsgebäude saniert und somit der Energieverbrauch des Landes minimiert. (Oehler 2017)

“When your target is net zero energy,  
everything becomes simple.”

Jan-Willem van de Groep  
Energiesprong Founder



*Abbildung 18 Reihenhäuservergleich vor und nach der Sanierung*

### 3.4.3 Lexu\_Plus vorgefertigte Sandwich Fassadenelemente von IZES

Das Lexu-Plus Projekt stellt eine Erweiterung der davor geführten Projekte LEXU und LEXU II dar. Bei den Projekten LEXU und LEXU II wurde ein System entwickelt, das die außen liegende Wandtemperierung von Bestandsgebäuden durch Anwendung von Kapillarrohrmatten ermöglicht (Schmidt, et al. 2018).



Abbildung 19 Montagebauteile für Wandtemperierung LEXU und LEXU II

Im Folgeprojekt Lexu\_Plus sollte nun die davor entwickelte außenliegende Wandtemperierung, bestehend aus Kapillarrohrmatten, in vorgefertigte Sandwich Fassadenelemente integriert werden. Die Integration der Wandtemperierung in die vorgefertigten Fassadenelemente ermöglicht eine verkürzte Bauzeit da die fertigen Elemente auf der Baustelle nur noch montiert werden müssen. Die Entwickelten Sandwich Elemente, in denen sich die Wandtemperierung und weiters eine Kerndämmung befindet, bestehen aus zwei dünnen faserkunststoffbewehrten Betondeckschichten aus Hochleistungsfeinbeton. Die Befestigung der Sandwich Elementen erfolgt über faserverstärkte Kunststoffbefestigungen (FVK), die im Vergleich zu Stahl nicht korrodieren. (Pahn 2021)



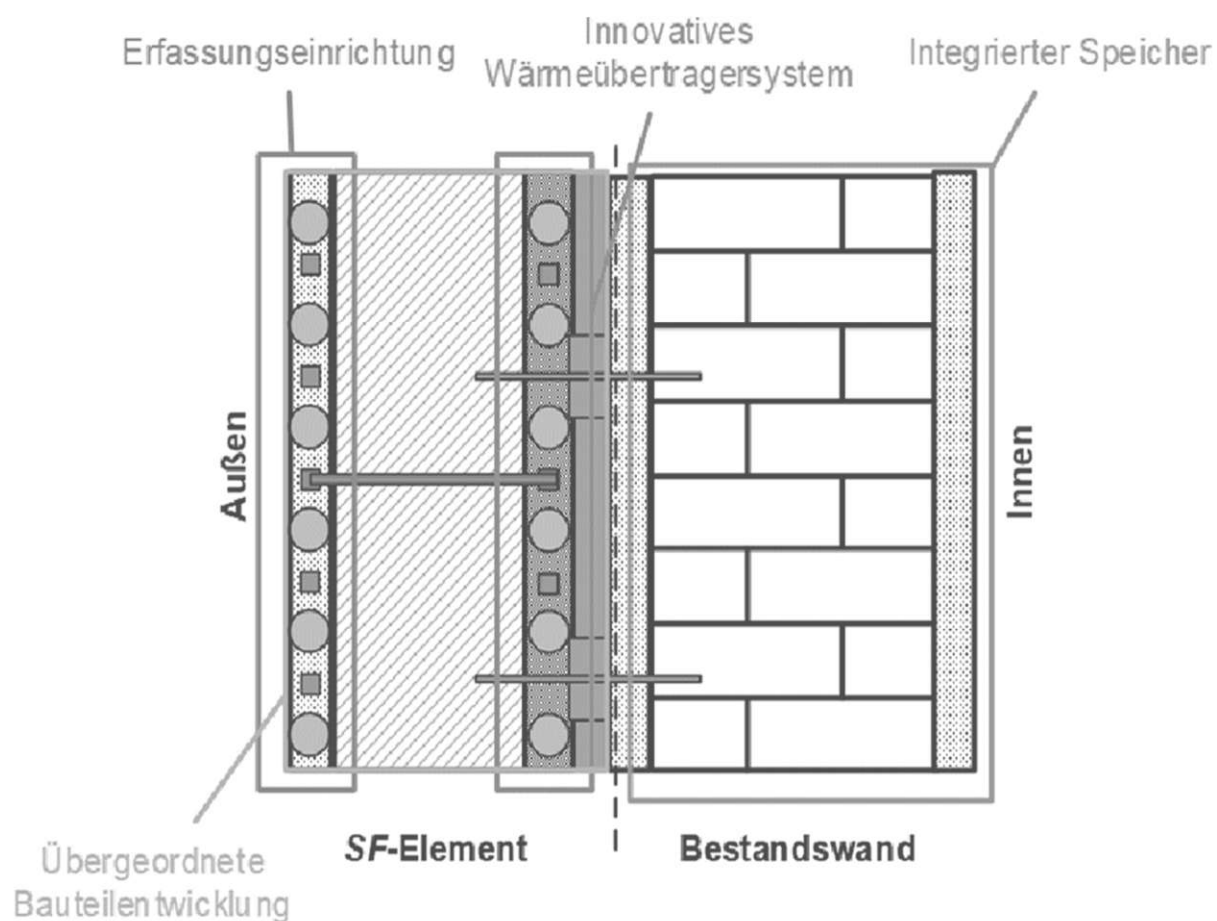


Abbildung 20 Detailschnitt Fassadenfertigelement

## **4 Konzeptionelle Entwicklung eines seriell vorgefertigten Fassadensystems**

### **4.1 Gesammelte Erkenntnisse aus der qualitativen Literaturanalyse und den Praxisbeispielen**

Der erste Schritt zur Entwicklung einer seriell vorgefertigten Fassadenlösung besteht darin, alle relevanten Erkenntnisse aus der Literaturanalyse zu erfassen. Die Literaturanalyse zeigt, dass Fassaden grundsätzlich als Gestaltungselement eines Gebäudes dienen, gleichzeitig müssen sie als Konditionierungsgrenze trotz unterschiedlichster Wetterereignisse für ein behagliches konstantes Innenraumklima (Licht, Luft, Schall, Temperatur) sorgen. Die Umwelteinflüsse können hierbei in natürliche, tierische und mechanische Einflüsse unterschieden werden (Knaack, et al. 2014) (Pech, et al. 2014).

Von allen oben erwähnten Einflüssen spielt Wasser, das in verschiedenen Aggregatzuständen vorzufinden ist, eine zentrale Rolle im Bereich der gesamten Fassade, da es bei unsachgemäßer Ausführung schnell zu Bauschäden kommen kann (Pech, et al. 2014).

Der überwiegende Anteil der historisch zu sanierenden Bestandsgebäude ist mit einer massiv monolithischen Fassade ausgestattet. Das ausgewählte Material übernimmt bei solchen Fassadenaufbauten tragende, dämmende und raumabschließende Funktionen zugleich. Die Verkleidung wird zumeist in Form einer nicht hinterlüfteten Verkleidung oder eines Außenputzes hergestellt (Pech und Kolbitsch, 2019) (Knaack, et al. 2014) (Mazera, et al. 2017).

Bei der Instandsetzung solch historischen Bestandsgebäude ist es gängig die bestehende monolithische Fassade mit einer herkömmlichen Dämmung und einem Außenputz zu ergänzen und diese somit zu einer WDVS-Fassade auszubauen.

Wenn wir nun im Bereich der seriellen Sanierung die existierenden Lösungsansätze betrachten, erkennen wir, dass bei allen vorgestellten Lösungen mithilfe eines angehängten vorproduzierten Fertigelementes die Bestandsgebäude mit einer Dämm- und Witterungsschutzebene ergänzt wurden. Der Unterschied zu einer herkömmlichen Bestandssanierung, bei welcher die Dämmebene und witterungsschützende Ebene



vor Ort hergestellt werden, besteht lediglich darin, dass die Fertigteilelemente in einer Fabrik vorgefertigt werden und ausschließlich auf den Baustellen montiert werden müssen, während bei einer herkömmlichen Sanierung die gesamten Arbeitsschritte auf der Baustelle erfolgen.

Die Vorfertigung im Werk gewährleistet eine sichere Qualität und reduziert die benötigte Bauzeit auf ein Minimum (Mascheck kein Datum).

In den Praxisbeispielen sind die vorgefertigten Elemente in ihrer Dimensionierung so dimensioniert worden, dass sie mit einem Lastwagen transportiert werden können. Die vorhandene Ladefläche wird vollständig genutzt um die Fertigelemente so groß wie möglich zu gestalten. Durch die Maximierung der Fertigelemente benötigt die Montage weniger Bauzeit. Durch den schnelleren Zusammenbau werden Kran und Personal für einen geringeren Zeitraum benötigt, wodurch Kosten eingespart werden können (Kaufmann, Krötsch und Winter 2017).

Jenes in dieser wissenschaftlichen Arbeit entwickelte Fertigteilsystem basiert auf ähnlichen Grundprinzipien wie die bereits existierenden Lösungsansätze. Wie bereits oben erwähnt, wird bei den existierenden Lösungsansätzen versucht die Bauteile so groß wie möglich zu dimensionieren, um durch die geringere Bauzeit Personal und Krankkosten zu sparen. Bei dem entwickelten Fertigteilsystem soll der Einbau der Fertigteile, der normalerweise von Fachpersonal durchgeführt wird, von den Bauherren selbst erfolgen, ebenfalls soll auf den Einsatz eines Krans verzichtet werden um Kosten zu sparen. Um den Eigeneinbau ohne Kran zu ermöglichen, besteht die Notwendigkeit, die Fertigelemente kleiner und in ihrem Gewicht jedenfalls leichter zu gestalten, damit eine einzelne Person diese manipulieren kann. Der Transport soll anhand eines maximal 3,5t schweren Transportfahrzeuges erfolgen, welches die Dimensionierungsmöglichkeiten weiter einschränkt. Die Entscheidung auf Personal, Kran und Lastwagen zu verzichten, beruht auch darauf, dass der Bauherr die Möglichkeit haben soll die Fassadensanierung so weit wie technisch möglich vollständig eigenständig durchzuführen, ohne zusätzliche Hilfsmittel beanspruchen zu müssen. Die Entscheidung den Einbau nahezu eigenständig durchzuführen trägt wesentlich zur Kosteneinsparung bei. Dies macht die Entwicklung einer solchen Fassadenlösung konkurrenzfähig zu den bereits vorgestellten Praxisbeispielen.

Zusammenfassend müssen die Fertigelemente folgende Eigenschaften aufweisen:

- von einer Person gehoben und getragen werden können, da der Einbau ohne zusätzliches Hilfspersonal durch die Bauherren selbst erfolgen soll.
- in einen Transporter hineinpassen und nicht zu schwer sein, damit das beladene Fahrzeug maximal 3,5 Tonnen Gewicht besitzt.
- die Fertigelemente müssen leicht einbaubar und anpassbar sein, da der Bauherr nur begrenzte handwerkliche Fähigkeiten aufweist.

Die Entscheidung die Fertigelemente kleiner zu gestalten und den Einbau durch eine einzige Person ohne Hilfsmittel oder Fachpersonal durchführen zu lassen, führt automatisch zu einer längeren Bauzeit. Die verlängerte Bauzeit ist bei dieser Art von Sanierung, im Vergleich zu den existierenden Lösungen vernachlässigbar, da keine damit verbundenen Personalkosten oder Kranmieten entstehen. Der einzige Kostenfaktor, der von der verlängerten Bauzeit beeinflusst werden könnte, ist die verlängerte Gerüststandzeit.

#### **4.2 Aufbau- und Schichtprinzip der seriell vorgefertigten Fertigteilelemente**

Wie im Kapitel 4.1 „Gesammelte Erkenntnisse aus der Literaturanalyse“ erläutert, wird die serielle Sanierung von Bestandswänden in Form von nachträglich angehängten Fertigteilfassadenelementen durchgeführt. Die angewendete Aufbausystematik soll ebenfalls in dem entwickelten Fertigteilsystem übernommen werden.

Massive Wandkonstruktionen können als einschalig monolithische, einschalig mehrschichtige oder mehrschalig mehrschichtige Fassaden ausgebildet werden. Mehrschalig mehrschichtige Wandkonstruktionen besitzen den Vorteil einer Hinterlüftungsebene, wodurch Kondensat auf eine kontrollierte Weise aus dem Bauteil entweichen kann, was zu einem Trocknen der Wandkonstruktion und somit zu einem aktiven Schutz vor Bauschäden führt (Knaack, et al. 2014) (Pech, et al. 2014) (Mazera, et al. 2017).

Aufgrund der unterschiedlichen handwerklichen Fähigkeiten von Bauherren, die zu Beginn bereits erwähnt wurden und berücksichtigt werden müssen, besteht ein erhöhtes Potenzial für Ausführungsfehler die zu Bauschäden führen könnten. Um solche Schäden vorzubeugen, soll ein Fassadenaufbau mit einer Hinterlüftungsebene

entwickelt werden. In der Abbildung 21 wird nun ein mehrschalig mehrschichtiger Fassadenaufbau, wie er heutzutage ausgeführt wird, abgebildet.

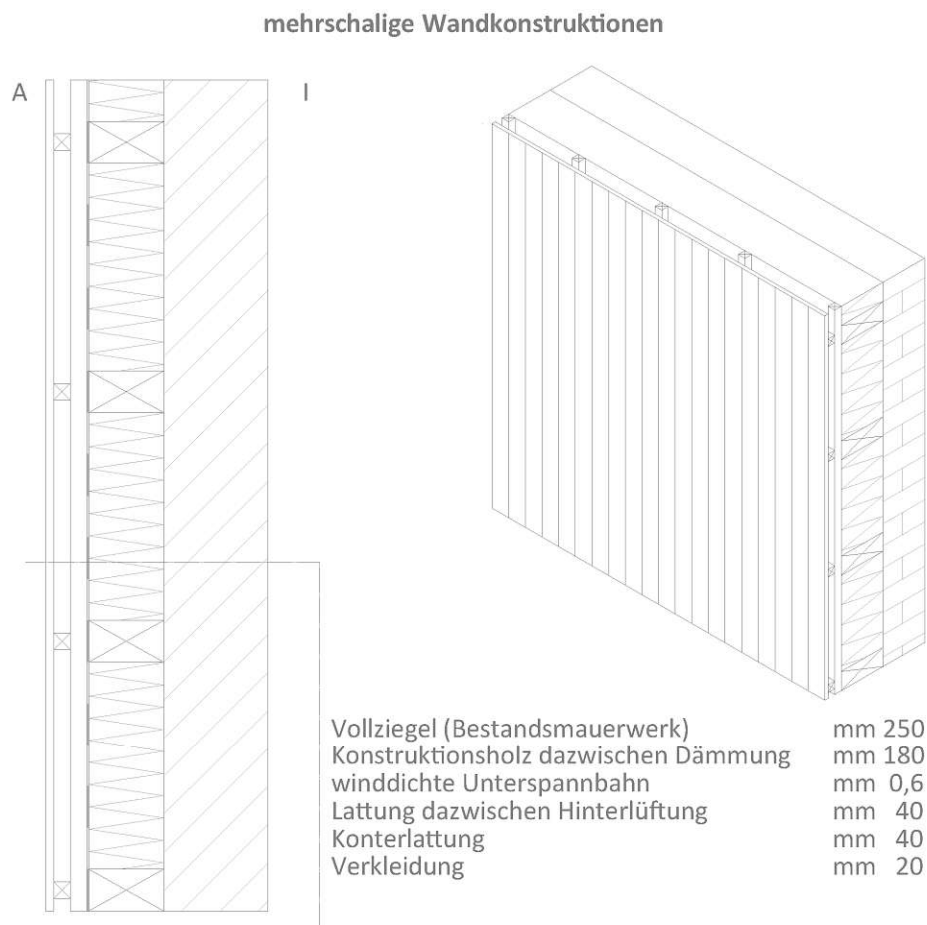


Abbildung 21 Exemplarischer Aufbau einer hinterlüfteten zwei schaligen Fassade

Bei solch einem klassischen Fassadenaufbau wird die Bestandswand grundsätzlich mit tragenden Materialien wie Sie im Kapitel 3.3 Materialmöglichkeiten im Fassadenbau bereits erwähnt wurden, errichtet. Davor befindet sich die Dämm- und Konstruktionsebene, in der sich horizontale Konstruktionshölzer und weiters dazwischen eine Dämmung befindet. Die horizontalen und im Dämmbereich positionierten Konstruktionshölzer tragen die davor liegenden vertikalen Lattungen und die Verkleidung (Knaack, et al. 2014) (Pech, et al. 2014) (Mazera, et al. 2017).

Nach der Dämm- und Konstruktionsebene befindet sich eine winddichte Folie, diese verhindert das Eindringen von Wind und Wasser in die Dämmebene. Nach der winddichten Folie befindet sich die Vertikale Lüftungsebene, hier ist immer ausschlaggebend, dass die in diesem Bereich angebrachte Lattung vertikal ausgeführt

wird, damit die Feuchtigkeit ungehindert zwischen den Hölzern nach oben entweichen kann. Der Fassadenabschluss erfolgt in Form von Verkleidungshölzer. Die Verkleidungshölzer stellen bei dieser Art von Fassadenaufbau die witterungsschützende Schicht dar (Knaack, et al. 2014) (Pech, et al. 2014) (Mazera, et al. 2017).

Damit solch ein Fassadenaufbau seriell vorproduziert und durch einen Laien eingebaut werden kann, besteht die Notwendigkeit einer Bauteiloptimierung. Der Bereich der ursprünglichen Dämmung mit den dazwischen liegenden Konstruktionshölzern und der davor angebrachten winddichten Folie soll in einem einzelnen Fertigelement zusammengeführt werden. Die Montage der Verkleidung orientiert sich für diesen ersten Entwicklungsschritt an dem in Abbildung 21 dargestellten exemplarischen Aufbau, mit einer gewöhnlichen Lattung und Verkleidung. Erst in einer späteren Entwicklung sollen ebenfalls Lattung und Verkleidung kompakter gestaltet und optimiert werden.

Wie im Kapitel 1.3 „Lösungsansatz inkl. Präzisierung des Forschungsbereiches“ bereits erwähnt, stellen Abdichtungsarbeiten und ebenfalls die Ausführung von Unterdachbahnen mit ihren Fugen- und Nageldichtbändern eine besondere Herausforderung dar, die nur von Fachpersonal ausgeführt werden sollte. Die winddichte Folie kann ebenfalls zu solch Arbeiten dazugezählt werden, die nur von Fachpersonal ausgeführt werden sollten. Hintergrund für diese Annahme basiert darauf, dass bei falscher Ausführung von solch wasserschützenden Schichten schnell schwerwiegende Bauschäden entstehen können. Aus diesem Anlass ist es notwendig den Fassadenaufbau so zu adaptieren, dass die Notwendigkeit einer winddichten Folie entfällt. Um diesen Schritt zu ermöglichen, werden im Fertigteilsystem (erste Schale) Geometrie und physikalische Prinzipien angewendet.

Aus dem Kapitel 4.1 „Gesammelte Erkenntnisse aus der Literaturanalyse“ geht hervor, dass die Fertigteile so dimensioniert sein müssen, dass diese ohne zu großen Einsatz von einer Person getragen und mit einem kleinem Transportfahrzeug, mit einem maximal beladenen Gewicht von bis zu 3,5t transportiert werden können. Um die Dimensionierung und das Gewicht festzulegen ist es notwendig, die Anatomie des Menschen genauer zu betrachten.

Ein durchschnittlicher Mensch hat, wenn er beide Arme seitlich ausbreitet, einen Fassungsraum von etwa 175cm. Dies kann je nach Körpergröße leicht abweichen. Die durchschnittliche Körpergröße beträgt ca. ebenfalls 175cm, diese kann natürlich ebenfalls abweichen (Neufert, et al. 2022).

Eines der wohl gängigsten Beispiele das zur Dimensionierung von tragbaren Elementen herangezogen werden kann, sind wohl Umzugskartons. Umzugskartons haben durchschnittlich eine Länge zwischen 40-70cm, eine Stärke zwischen 30-40cm und eine Höhe von 30-40cm (Umzugskartons-Versandkartons kein Datum).

Bei der Dimensionierung eines Fertigelementes werden diese Dimensionen als führender Maßstab herangezogen, müssen aber nicht zwanghaft eins zu eins übernommen werden. Im Jahr 2013 hat das Bundesministerium für Arbeit, Soziales und Konsumentenschutz ein Dokument veröffentlicht in dem genauer erörtert wird, welche Lasten sicher von Menschen unterschiedlichen Alters getragen und bewältigt werden können. In dem vorgestellten Dokument werden zwei Tabellen angeführt. Die Tabelle in der Abbildung 22 umfasst den normalen Arbeitsbereich, während die Tabelle in der Abbildung 23 hingegen den belastenden Arbeitsbereich abdeckt.

LAST-ZEIT-GRENZEN (LZG-TABELLE) – Normal belastender Bereich (grün)					
Personen (> 18 Jahre)		Last-Zeit-Zuordnung	Zeit		
Männer	Frauen		Frequenz	Dauer	Weg
Last [kg]		normale/erschwerende Bedingungen	f [1/d]	t [min]	s [km]
≤ 5	≤ 3		bis 2000	bis 480	bis 32
> 5 bis 10	> 3 bis 5		bis 1000	bis 240	bis 16
> 10 bis 20	> 5 bis 10		bis 500	bis 120	bis 8
> 20 bis 30	> 10 bis 15		bis 200	bis 60	bis 4
> 30 bis 40	> 15 bis 25	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ungünstige Körperhaltung</li> <li>• belastende Klimabedingungen</li> <li>• max. 10° Steigen auf schiefer Ebene</li> <li>• Steigen von Stiegen</li> </ul>	bis 100	bis 30	bis 2
Für Lasthandhabung im gelben Bereich ist die Tabelle: HHT-GELB/V2 anzuwenden.			Achtung: Im Zweifelsfall ist jener Zeitparameter zu nehmen, der die ungünstigere Beurteilung ergibt!		

Abbildung 22 Last-Zeit-Grenzen normal belastender Bereich

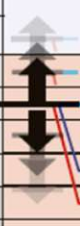
LAST-ZEIT-GRENZEN (LZG-TABELLE) – Belastender Bereich (gelb)					
Personen (Jugendliche und Erwachsene)		Last-Zeit-Zuordnung	Zeit		
Männer	Frauen		Frequenz f [1/d]	Dauer t [min]	Weg s [km]
Last [kg]		normale/erschwerende Bedingungen			
≤ 5	≤ 3		> 2000	> 480	> 32
> 5 bis 10	> 3 bis 5		bis 2000	bis 480	bis 32
> 10 bis 20	> 5 bis 10		bis 1000	bis 240	bis 16
> 20 bis 30	> 10 bis 15		bis 500	bis 120	bis 8
> 30 bis 40	> 15 bis 25		bis 200	bis 60	bis 4
> 40	> 25		bis 10	bis 5	bis 0,3
Lasthandhabung im orangenen Bereich kann mittels LHT nicht beurteilt werden.			Achtung: Im Zweifelsfall ist jener Zeitparameter zu nehmen, der die ungünstigere Beurteilung ergibt!		

Abbildung 23 Last-Zeit-Grenzen belastender Bereich

Da die Fertigteile von einer Person getragen, gehoben und eingebaut werden müssen, wird davon ausgegangen, dass es sich bei dieser Tätigkeit um eine belastende Aktivität handelt. Aus diesem Grund beziehen wir uns in dieser Arbeit auf die Tabelle in Abbildung 22, die auf eine normal belastende Tätigkeit abzielt.

Lt. der Abbildung 22 können:

- Männer unter Normalbedingungen Lasten von 10 bis 20Kg bis zu 500-mal heben. Die Hebearbeit darf eine maximale Dauer von 120 Minuten und eine maximale Distanz von 8km nicht überschreiten.
- Frauen unter normalen Arbeitsbedingungen Lasten von 5 bis 10Kg bis zu 500-mal heben. Die Hebearbeit darf eine maximale Dauer von 120 Minuten und eine maximale Distanz von 8km nicht überschreiten.

In dem oben definierten Bereich sollte ein nicht zu physisch belastender Einbau möglich sein um das Verletzungsrisiko dementsprechend gering zu halten.

Abschließend können aus diesem Kapitel folgende wichtige Eckpunkte für die Gestaltung der Fertigelemente herangezogen werden:

- Die erste Schale, beginnend von Dämmung mit dazwischen liegenden Konstruktionshölzern und weiters die winddichten Folie sollen zu einem Fertigelement zusammengeführt werden, hierbei soll die Notwendigkeit eine winddichten Folie entfallen.
- Der zweite Schale, beginnend von der Hinterlüftungsebene bis hin zur vertikalen Verkleidung, soll in einem späteren Entwicklungsschritt kompakter gestaltet werden, um Gewicht und Material zu sparen und weiters den Einbau zu erleichtern.
- Das Fertigelement(erste Schale) soll ungefähr 10kg wiegen damit es sicher bewegt, transportiert und eingebaut werden kann.
- Das Fertigteilelement sollte eine Länge von etwa 50 bis 70cm sowie eine Höhe und Breite von 40 bis 50cm aufweisen, um von einer Person gegriffen, bewegt und eingebaut werden zu können.

### 4.3 Grundmodul Aufbau

Die Ausgangslage, die für das entwickelte Fassadensystem herangezogen wird, stellt den in Abbildung 21 exemplarisch dargestellten Fassadenaufbau dar.



Der erste Schritt hin zur Erstellung eines Fertigteillements (erste Schale) umfasst die Auswahl der verwendeten Materialien. Die für den Fassadenaufbau ausgewählten Materialien sollen, wie bereits im vorherigen Kapitel erwähnt, entweder recycelte oder umweltfreundliche Materialien darstellen. Zudem sollte die Fassade nach ihrer Nutzung entweder recycelbar oder umweltfreundlich entsorgbar sein. Neben Herkunft und Entsorgung ist auch die Bearbeitbarkeit der Materialien von Bedeutung. Die ausgewählten Materialien sollen durch die Bauherren mit herkömmlichen Werkzeugen leicht bearbeitet oder angepasst werden können.

Wenn wir nun die im Kapitel 3.3 aufgelisteten Materialmöglichkeiten betrachten, erkennen wir schnell, dass Holz als tragendes, dämmendes und ebenfalls witterungsschützendes Material eingesetzt wird. Holz stellt einen nachwachsenden Rohstoff dar, der sehr gut recycelt und wiederverwendet werden kann. Ein weiterer Vorteil von Holz stellt die leichte Bearbeitbarkeit des Materials dar, der durch einfache Werkzeuge wie zum Beispiel einer Kreissäge bearbeitet und durch Verschrauben montiert werden kann. Bedingt durch die oben angeführten Punkte, stellt Holz für die Umsetzung eines seriell vorgefertigten Fassadensystems, das nach der Nutzung recycelt werden soll, ein ideales Trag- und Dämmmaterial dar.

Folgend werden nun einige natürliche Dämmstoffe tabellarisch abgebildet, worunter ebenfalls Holzdämmstoffe vorhanden sind.



Tabelle 1 Übersicht natürliche Dämmstoffe

Dämmstoff	Wärmeleitfähigkeit $\lambda$ /(m x K)	Rohdichte $\rho$ kg/m <sup>3</sup>	Wasserdampf- Diffusions- widerstand $\mu$	Wärmekapazität $c$ J/kg x K	Baustoffklasse	Brandverhalten
Flachmatten	0,039	30-40	1-2	1550-2300	B2	E
Hanf matten	0,043	30-110	1-2	1600-2300	B2	E
Holzfaserplatten	0,04	110-270	2-5	2100	B2	E
Wellpappe	0,04					
Hanf (Stopfwolle)	0,045	50-60	1-2	2200	B2-B1	E
Holzfaser (lose)	0,04	30-45	1-2	2100	B2	E
Holzfaser matten	0,038	40-55	1-3	2100	B2	E
Holzwolleplatten	0,09	330-500	2-5	2100	B1	E
Korkplatten (exp.)	0,04	120	5-10	1800	B2	B
Korklehmplatte	0,08	200-300	10	1254	B2-B1	E
Schafwolle	0,036	20-90	1-2	1300-1730	B2	E
Schilfplatten	0,065	150	3-6,5	1200	B2	E
Seegras	0,045	65-75	1-2	2502	B2	E
Strohballen	0,052	85-115	2	2000	B2	E
Stroheinblasdämmung	0,043	105	2,8	2100	B2	E
Zelluloseflocken	0,039	28-65	1-2	2100-2544	B2	E
Zelluloseplatten	0,042	70-145	2-3	2000	B2	E
Polystyrol (exp.)	0,035	11-30	20-100	1400	B2-B1	E
Steinwollplatten	0,035	15-130	1-2	830-1000	A1	A1

Als mögliche holzbasierte Dämmstoffe können jeweils Holzfaserplatten, Holzfaser (lose), Holzfaser matten, Holzwolleplatten herangezogen werden. Bei der Herstellung von dieser Art von Dämmstoffen werden Schwach- und Restholz zerfasert und anschließend entweder im Nassverfahren oder Trockenverfahren zu Dämmstoffen verarbeitet. Beim Nassverfahren werden Holzfasern mit Wasser zu einem Brei vermengt und anschließend durch Walzen gerollt. Im abschließenden Schritt werden diese entwässern und darauffolgend mit Hitze zum Abbinden gebracht. Beim Trockenverfahren werden hingegen die Holzfasern mit einem PUR-Harz Bindemittel vermengt und anschließend geformt. Durch warme Luft werden die Fasern aktiviert, danach wieder gekühlt und darauffolgend geschnitten und verpackt. Die angewendeten Bindemittel können holzeigene Bindemittel sein oder z.B. auch Holzleim. Holzfaserdämmplatten bieten einen ausgezeichneten Schutz gegen sommerliche Überwärmung, da sie sehr dicht sind, einen niedrigen Lambda-Wert aufweisen und formstabil sind, zudem setzen diese sich nicht. Das Material zeichnet sich im Außenbereich durch eine gute Feuchtigkeitsresistenz aus und kann in der Wand und dem Dachbereich angewendet werden (Kaiser, et al. 2020):

Basierend auf den in der Abbildung 21 dargestellten exemplarischen Fassadenaufbau, folgt im Anschluss zur Dämmebene die winddichte Folie, die vertikale Lattung inkl. Hinterlüftung, die Konterlattung und abschließend die außenliegende Verkleidung. Wie bereits zuvor erwähnt soll die Anwendung einer winddichten Folie entfallen, da der

Einbau vergleichbar schwer ist wie bei Abdichtungen und diese Arbeiten nur von geschultem Fachpersonal ausgeführt werden sollten. Die angewendete Lösungsmethode um die winddichte Folie entfallen zu lassen liegt in der Geometriegestaltung einzelner Aufbauschichten. Die für die Fertigelemente ausgewählte Holzfaserdämmplatte soll zwar druckfest sein, aber die Möglichkeit davor liegende Lattungen inkl. Verkleidung darauf zu montieren besteht nicht, da basierend auf Ihrer Struktur angenommen wird, dass sie hierfür zu wenig Tragfähigkeit aufweist, um solch einen Aufbau selbständig zu stemmen. Um das Anschrauben solcher Aufbauschichten zu ermöglichen und gleichzeitig für den Entfall der winddichten Folie zu sorgen, besteht die Notwendigkeit eines tragfähigen Mediums. Das Medium soll in Form einer holzbasierten Mehrschichtplatte hergestellt werden die viele Durchdringungen aufweist, damit das Kondensat aus dem Bauteil entweichen kann. Damit keine Gefahr besteht, dass Luft oder Wasser in den Dämmbereich hineinkommen, sind die Öffnungen schräg und nicht senkrecht angeordnet worden. Durch die schräge Ausführung der Lüftungslöcher entfällt somit die Notwendigkeit einer winddichten Folie. Die Platte soll aus tragfähigem stabilen Material bestehen und weiters das entwickelte Fassadensystem aussteifen. Nach Durchsicht verschiedener Holzwerkstoffe soll die Platte aus einer gewöhnlichen Dreischichtplatte mit 50mm Stärke ausgeführt werden. Die Auswahl dieser Stärke ist hierbei bedingt durch die Tatsache, dass genügend große Schrauben für die Befestigung der Lattung, Verkleidung und Montagewinkel vorhanden sein müssen.

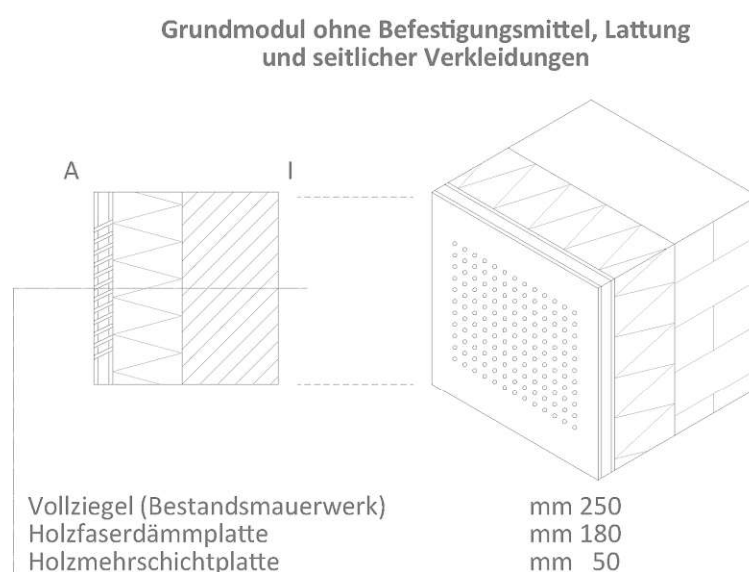
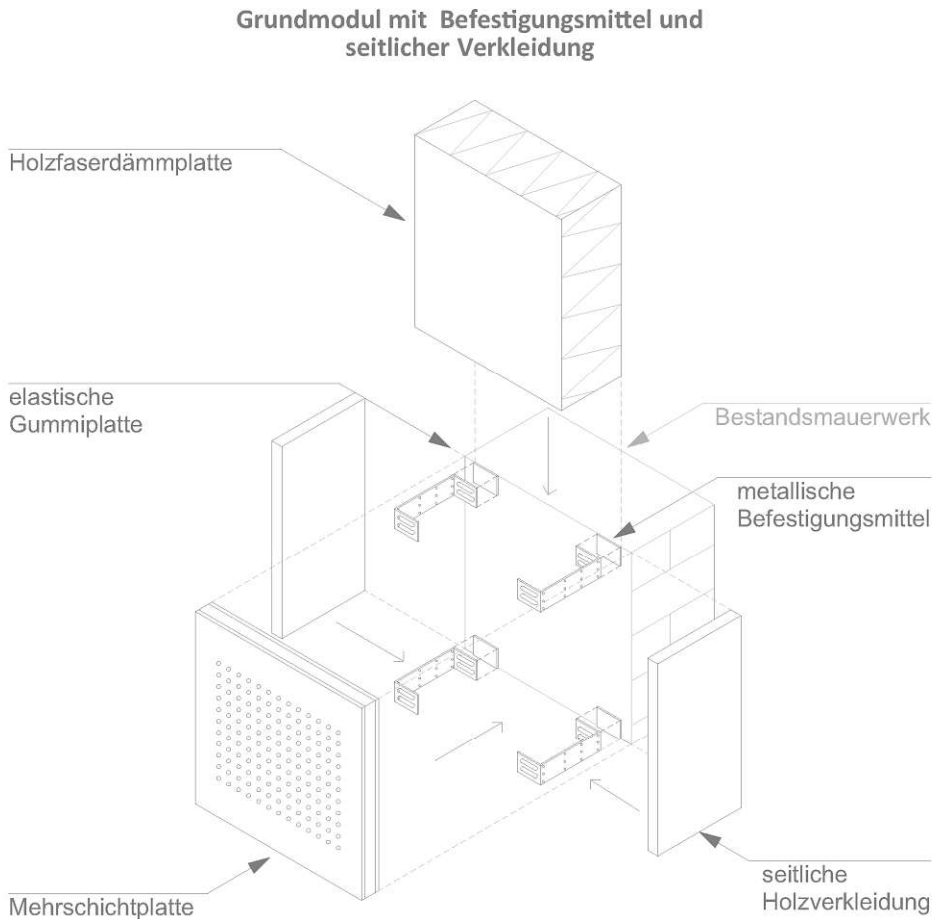


Abbildung 24 Grundmodul (erste Schale) ohne Befestigungsmittel, zweite Schale und seitliche Befestigungshölzer

Ein weiterer wichtiger Grund warum die Platte aus Mehrschichtholz ausgeführt werden soll, besteht darin, dass im Gegensatz zu anderen Holzwerkstoffen die Platte nicht nur senkrecht, sondern ebenfalls horizontal zur Fläche Verschraubungen zulässt. Die Tatsache das Mehrschichtplatten jeweils senkrechte und horizontale Verschraubungen zulassen, wird für die Befestigung der Fertigelemente (erste Schale) an die Bestandsfassade ausgenutzt. Die Befestigung des Fertigelementes (erste Schale) erfolgt anhand von vier massiven u-förmigen Metallwinkeln, mit denen jedes einzelne Fertigelement (erste Schale) an die Bestandswand angeschraubt wird und dabei sich selbst und ein Stück der davor liegenden Verkleidung (zweite Schale) trägt. Zum Ausgleich von Wandunebenheiten soll zwischen dem Winkel und der Wandoberfläche eine kleine Matte aus recyceltem Gummigranulat platziert werden. Um auf allen drei Seiten des Fertigelementes (erste Schale) Befestigungsmöglichkeiten zu bieten, soll im seitlichen Bereich jedes einzelnen Fertigelementes ein Kantholz angebracht werden, das ebenfalls an die u-förmigen Metallwinkel und der davor platzierten frontalen Mehrschichtplatte verschraubt werden soll. Die seitlichen Kanthölzer und die frontale Mehrschichtplatte unterstützen die Tragfähigkeit jedes einzelnen Fertigelementes und leiten einen Teil der Lasten in den Sockelbereich weiter, wo ein massiver Stahlwinkel den ergänzenden Fassadenaufbau Stützen soll. Durch den im Sockelbereich platzierten Stahlwinkel werden die u-förmigen Fassadenbefestigungswinkel aller verwendeten Fertigelemente (erste Schale) entlastet. In der Abbildung 25 ist das vollständige Grundmodul (erste Schale) abgebildet.



*Abbildung 25 Grundmodul (erste Schale) inklusive Befestigungsmittel und seitliche Befestigungshölzer, ohne Lattung und Hinterlüftung*

Jedes Fertigelement kann in seiner Länge und Breite zugeschnitten werden. Wichtig dabei ist, dass es davor in seine Einzelteile zerlegt werden muss, was bedingt durch den mechanischen Zusammenbau mit Schrauben kein Problem darstellt. Die Stärke des Fertigelementes ist hingegen nicht veränderbar, da diese von der minimal bauphysikalisch notwendigen Dämmstärke der Holzfaserdämmplatte definiert wird. In Abbildung 26 ist die beispielhafte Anwendung von Fertigelementen an einer Bestandswand sichtbar, weiters ist in Abbildung 27 die Anwendung an einem Dachbereich ebenfalls sichtbar.

# beispielhafte Anwendung der Fertigelemente ohne seitliche Verkleidung im Tür- und Fensterbereich

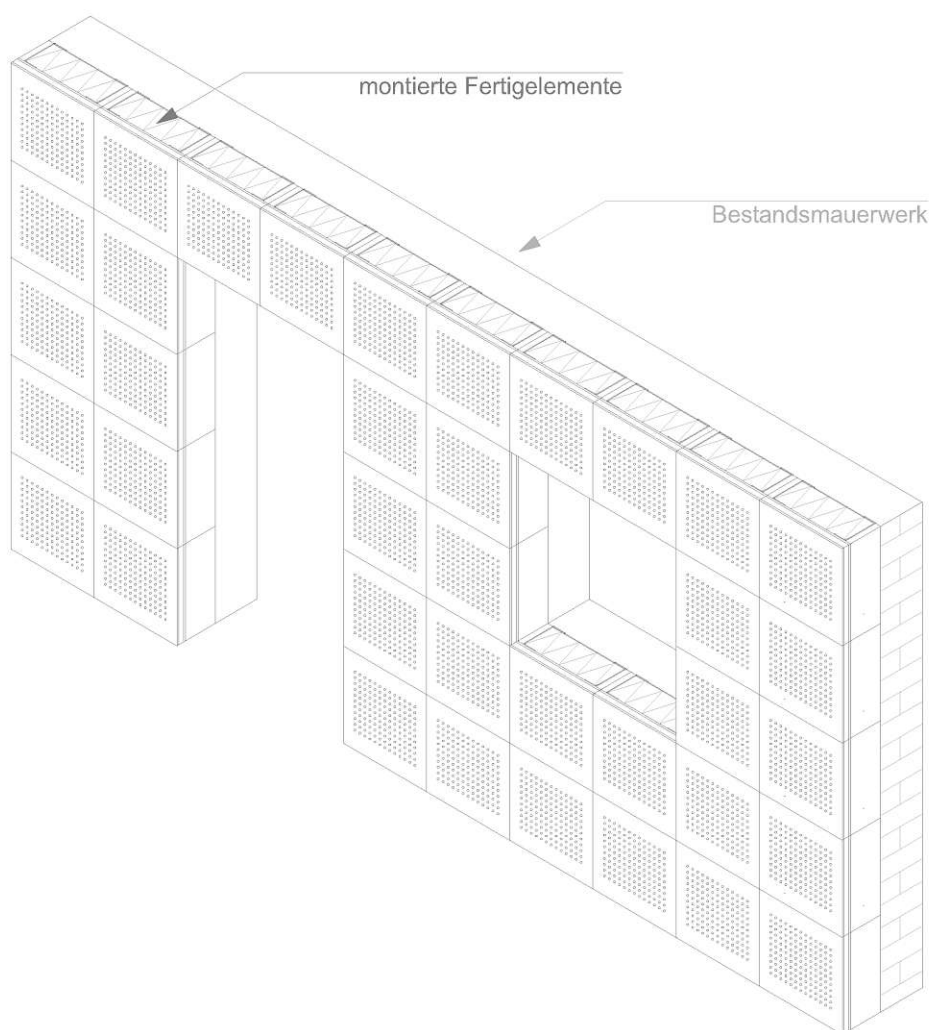


Abbildung 26 Beispielhafte Anwendung des Grundmoduls (erste Schale) an einer Fassade

### beispielhafte Anwendung der Fertigelemente ohne seitliche Verkleidung im Dachbereich

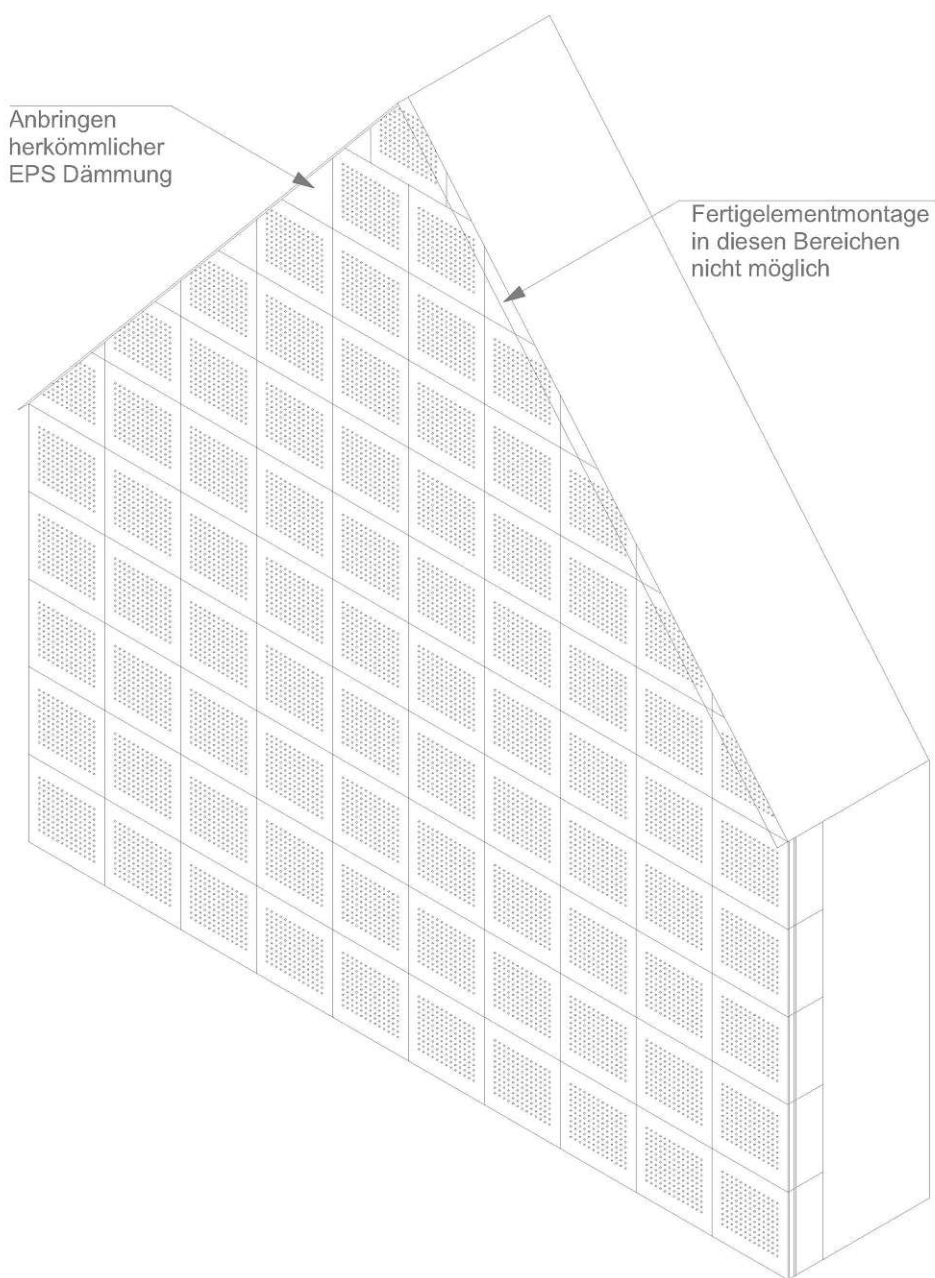


Abbildung 27 Beispielhafte Anwendung des Grundmodul (erste Schale) im Dachbereich ohne Lattung und Verkleidung

Im Dachbereich ist es wichtig zu erwähnen, dass bedingt durch die schrägen Dachflächen, teilweise offene dreiecksförmige Restflächen zwischen den Fertigelementen entstehen können. Diese kleineren Flächen sind in ihrer Dimensionierung zu klein um hier ebenfalls das entwickelte Fertigelement (erste Schale) anzuwenden. In diesen einzelnen Flächen soll durch Fachkräfte eine herkömmliche Dämmung geklebt und verdübelt werden, weiters sollen ebenfalls



Konstruktionshölzer für die Montage der zweiten Schale angebracht werden. Die schrägen Dachflächen erfordern im Dachabschlussbereich einen schrägen Zuschnitt der Fertigelemente (erste Schale). Die Ausführung solch eines schrägen Zuschnitt ist schwer und soll dementsprechend vom Fachgewerk ebenfalls ausgeführt werden.

Im abschließenden Schritt ist es nun notwendig eine Hinterlüftungsebene und darauf eine witterungsbeständige Verkleidung (zweite Schale) zu schaffen. In der Hinterlüftungsebene werden klassisch vertikale Kanthölzer mit einer Dicke und Breite von 4cm an das entwickelte Fertigelement (erste Schale) montiert. Um für einen geeigneten Schutz vor Insekten zu sorgen, wird an den Lüftungszu- und Lüftungsausgängen ein Insektenschutzgitter angebracht, dieses soll durch Vernagelung befestigt werden. Anschließend wird auf dieser Lattung eine Verkleidung in Form einer 1cm starken, 100cm breiten und 200cm langen Furnierplatte angebracht. Die Anwendung einer vollflächigen Verkleidungsplatte hat den Vorteil, dass durch minimierte Fugenbildung das Eindringen von Wind und Regen in die Lüftungsebene zusätzlich erschwert wird. Ein weiterer bedeutender Vorteil besteht darin, dass Zuschnittarbeiten an den dahinter liegenden Fertigelementen verborgen werden können.

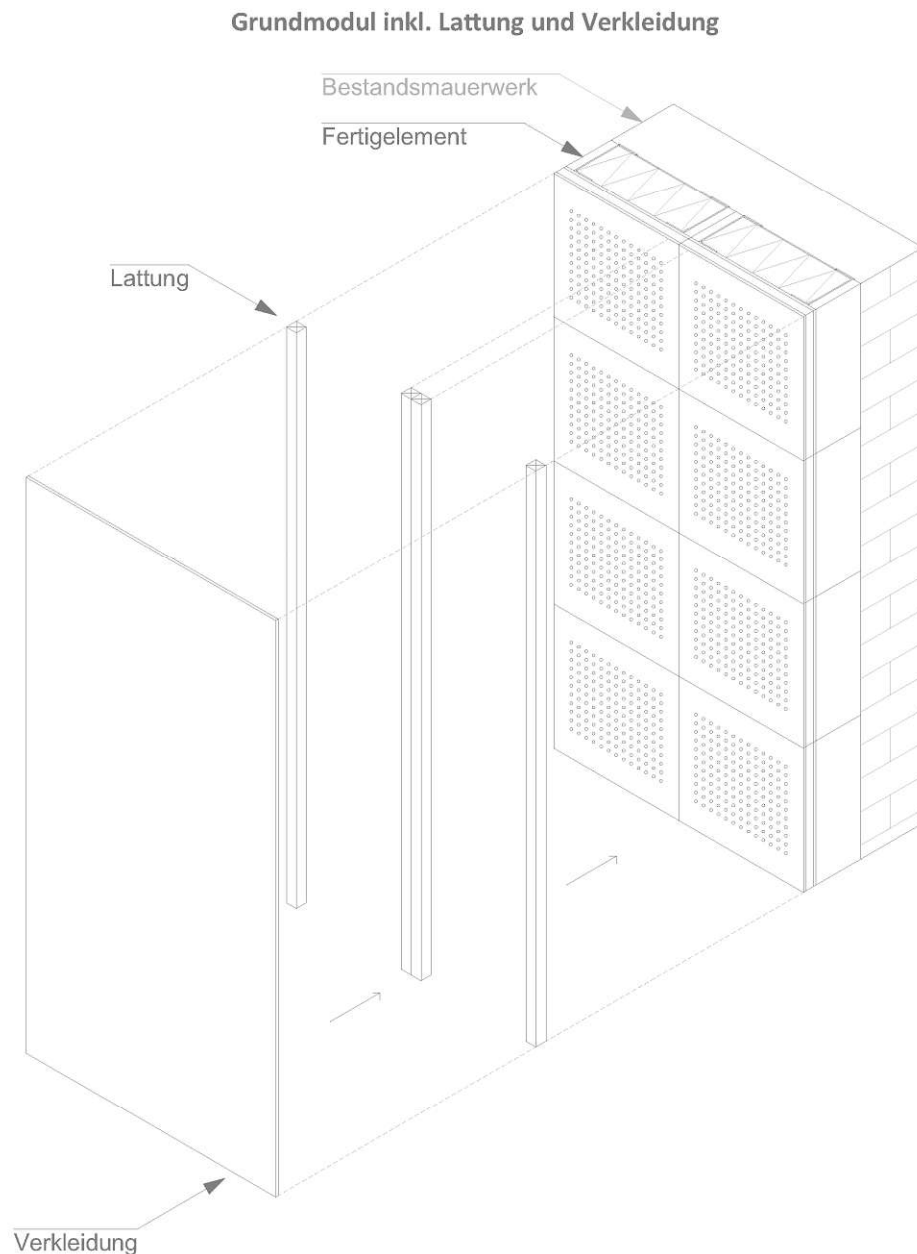


Abbildung 28 Fertigelement inkl. Lattung und Verkleidung (zweiter Schale)

Die Fassadengestaltung, die durch die Verkleidung (zweite Schale) und deren Zuschnitt definiert wird, ist dem Nutzer grundsätzlich selbst überlassen und frei wählbar. Um den Nutzer nicht komplett mit dieser Aufgabe alleine zu lassen werden Gebäudeecken, Fenster- und Türöffnungen als orientierende Leitachsen definiert, an denen der Zuschnitt der Holzverkleidung orientiert werden soll. In der Abbildung 29 wird eine beispielhafte Verkleidungsanwendung dargestellt.



## beispielhafte Verkleidungsaufteilung

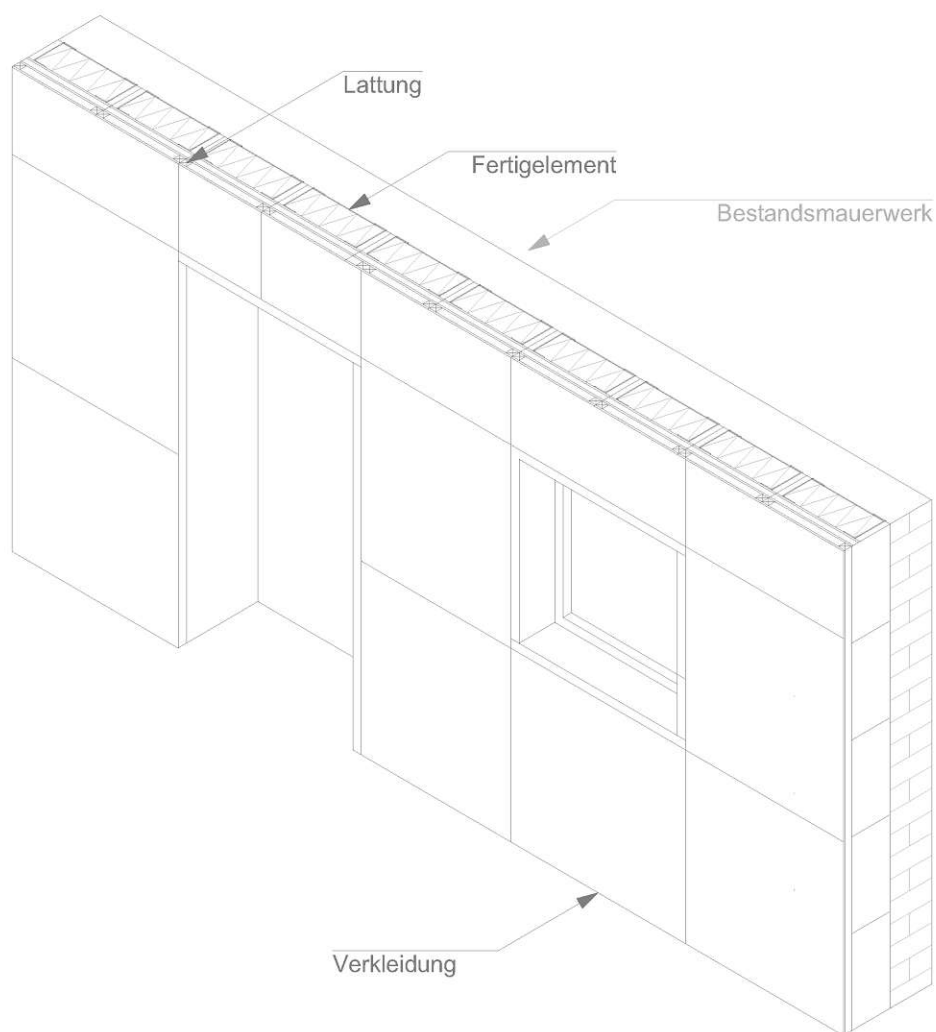


Abbildung 29 beispielhafte Verkleidungsaufteilung

Abschließend werden nun einige Kennwerte des Fertigelements dargestellt.

Tabelle 2 Kennwerte für 1 Fertigelement

Zusammenstellung eines Fertigelements					
Dimensionen Fertigelement in Zentimeter [cm]					
Länge	50 cm				
Breite	23cm				
Höhe	50 cm				
Ermittlung der Kennwerte für ein Fertigelement ohne Bestandsmauerwerk					
	D [LxBxH] in Meter [m]	$\rho$ [Kg/m <sup>3</sup> ]	Kg	d [cm]	$\lambda$ [ W/mk]
Holzfaserdämmplatte	0,5 x 0,18 x 0,5	150	6,75	18	0,045
Dreischichtplatte [Fichte]	0,5 x 0,05 x 0,5	430	4,3	5	0,12
Lattung [Fichte] dazwischen Luftschicht	0,5 x 0,04 x 0,04	430	0,34	4	0,15
Furnierplatte [Fichte]	2 x 1 x 0,01	430	8,6	1	0,12
	U-Wert Ergebnis für 1 Fertigelement		12,07 [Kg]		0,2 [W/m <sup>2</sup> K]
Ermittlung Kennwerte inklusive Bestandsmauerwerk aus Vollziegel					
	D [LxBxH] in Meter [m]	$\rho$ [Kg/m <sup>3</sup> ]	Kg	d [cm]	$\lambda$ [ W/mk]
Vollziegel	0,25 x 0,125 x 0,065			25	0,29
Holzfaserdämmplatte	0,5 x 0,18 x 0,5	150	6,75	18	0,045
Dreischichtplatte [Fichte]	0,5 x 0,05 x 0,4	430	4,3	5	0,12
Konstruktionsholz [Fichte]	(0,5 x 0,02 x 0,02) x 2	430	0,17	4	0,15
Furnierplatte [Fichte]	0,5 x 0,395 x 0,01	430	0,85	1	0,12
	Ergebnisse inkl. Bestandsmauerwerk				0,16 [W/m <sup>2</sup> K]
	Anforderung lt. OIB 6 Jahr 2019				0,35 [W/m <sup>2</sup> K]

#### 4.4 Lösungsmaßnahmen für verschiedene Gebäudebereiche

Nach dem im Kapitel 4.3 „Grundmodul Aufbau“ ein einzelnes Modul inklusive aller notwendigen Einzelteile dargestellt wurde, besteht nun die Notwendigkeit einige Gebäudebereiche genauer zu betrachten und dort spezifisch angepasste Lösungsvorschläge zu präsentieren, bei denen die Anwendung des standardisierten Fertigmoduls nicht möglich ist.

In folgenden Bereichen besteht die Notwendigkeit angepasster Lösungsvorschläge:

- Sockelbereich
- Gebäudeeckbereich
- Türbereich
- Fensterbereich
- Dachbereich

##### 4.4.1 Lösungsansatz Sockelbereich

Wie bereits im Kapitel 1.3 „Lösungsansatz inkl. Präzisierung des Forschungsbereiches“ erwähnt wurde, soll der erdberührte Sockelbereich von

Fachfirmen saniert werden. Im Übergangsbereich zwischen Sockel- und Wandbereich sollen, wie bei den bereits vorgestellten Praxisbeispielen, Metallwinkel angebracht werden. Die Winkel dienen als statische Stützhilfe für die Fertigelemente (erste Schale), obwohl jedes Fertigelement sich selbst und ein Stück der davor angebrachten Lattung und Verkleidung trägt. Das Anschlusselement in Verbindung mit den davor bereits erwähnten u-förmigen Montagewinkeln, die jedes Fertigelement besitzt, ermöglicht somit die Lastableitung in die tragende Wand. Der Winkel entlastet die einzelnen angehängten Fertigelemente und leitet einen Teil der Lasten, die von den entwickelten Fertigelementen und der darauf angehängten Lattungen und Verkleidungen hervorgehen, in die Bestandswand weiter.

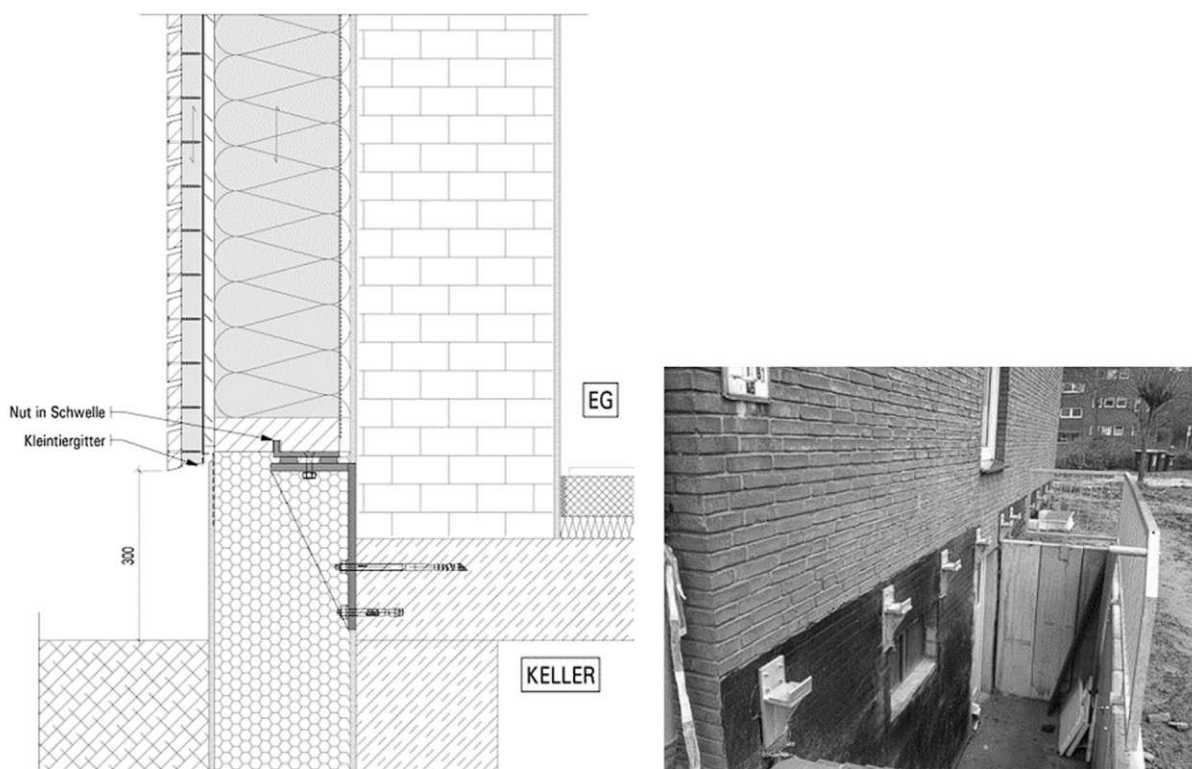


Abbildung 30 Detailanschluss Fertigelemente an Bestandswand

Anhand von Abbildung 30 ist zu erkennen, dass bei den Praxisbeispiele im Sockelbereich einzelne Stahlwinkel verbaut wurden, die zusätzlich eine Einfassung aufweisen, um die Fertigelemente einzulegen. Im vorgestellten Praxisbeispiel sind die Fertigelemente selbst ausgesteift, wodurch nur punktuelle Lagerpunkte im Sockelbereich benötigt werden.

Die in dieser wissenschaftlichen Arbeit entwickelten Fertigelemente sind kleiner dimensioniert und benötigen dementsprechend eine durchgängige Lagerfläche in Form eines Kantholzes, damit jedes einzelne von den aufgestellten Fertigelementen

von den Stahlwinkeln statisch profitieren kann. Durch die Lagerungsfläche wird die Belastung auf die entwickelten Fertigelemente und deren u-förmige Fassadenbefestigungswinkel minimiert. Die Winkel befinden sich auf einer Höhe von ca. 30cm und besitzen jeweils zueinander einen Abstand von 80cm. Auf den Winkeln befindet sich ein 5cm starkes und durchgängiges Kantholz auf dem die Fertigelemente positioniert werden sollen. Diese ebene Fläche soll den Bauherrn gleichzeitig als Hilfestellung dienen, damit gleich zu Beginn die angebrachten Startelemente waagrecht angebracht werden können.

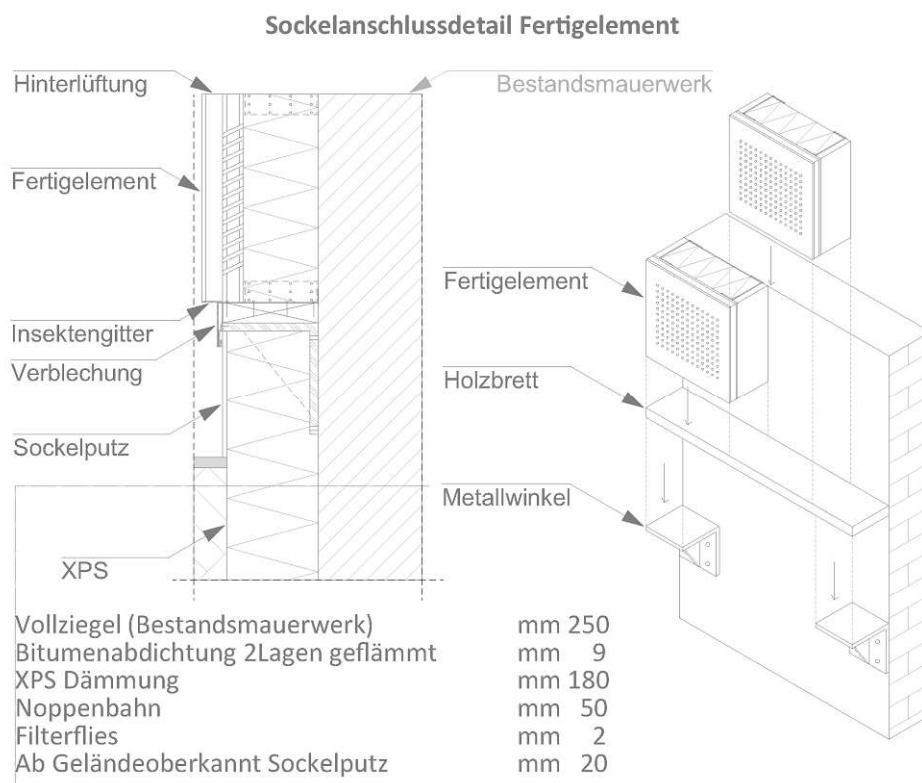


Abbildung 31 Sockelanschlussdetail Grundmodul (erste Schale)

Die Montage des Winkels ist ausschlaggebend für die Funktionalität der gesamten Fassade, dieser Schritt sollte somit ebenfalls von Fachkräften während der Sockelsanierung durchgeführt werden.

#### 4.4.2 Lösungsansatz Gebäudeeckbereich

Die Kubaturen von Einfamilienhäusern können sehr vielfältig sein, hierbei können nicht nur Kubaturen mit rechteckigen Gebäudeecken vorgefunden werden, sondern ebenfalls auch runde Baukörper. Wenn man den überwiegenden Anteil der

Bestandsgebäude betrachtet, bemerkt man schnell, dass der Anteil an Einfamilienhäusern mit runder Kubatur sehr gering ausfällt. In diesem Fall ist die entwickelte Fertigteilösung für Einfamilienhäuser bestimmt, die rechtwinklige Kanten aufweisen. Wenn nun die Fertigteilelemente von zwei Fassaden aufeinandertreffen, muss bestimmt werden wie der Abschluss in der Ecke zu erfolgen hat. In diesem Fall wurde, basierend auf den gleichen Prinzipien des Grundmoduls (erste Schale), ein ECKelement entwickelt, welches für innen- und außenliegende Gebäudeecken angewendet werden kann.

## Gebäudeecklösung Fertigelement

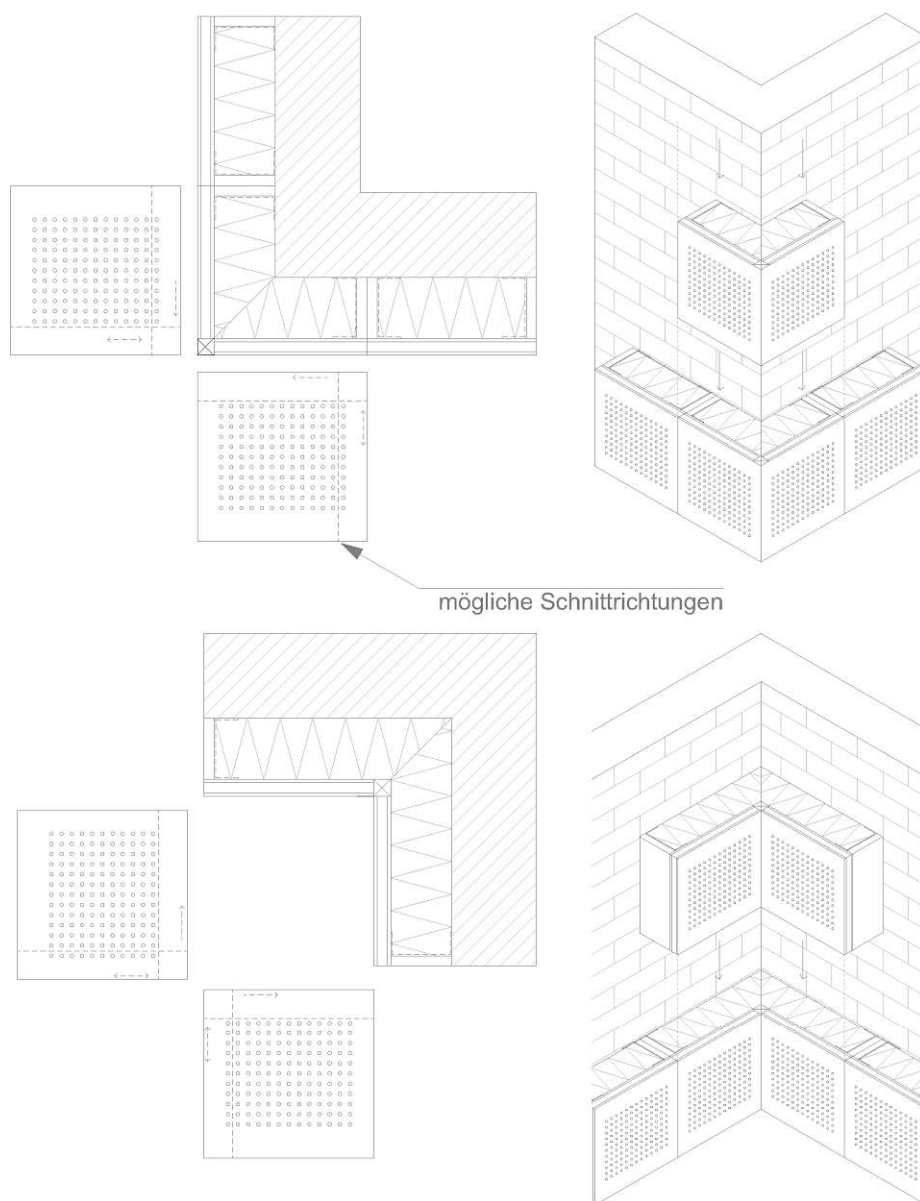


Abbildung 32 Sondermodul für Gebäudeecken

Auch diese Elemente können, nach dem sie in ihre Einzelteile zerlegt wurden, in der vertikalen und horizontalen zugeschnitten und somit angepasst werden.

### 4.4.3 Lösungsansatz Fenster- und Türbereich

Für einen ordnungsgemäßen seitlichen und oberen Fassadenabschluss, im Bereich der Türen und Fenster, ist es wichtig dafür zu sorgen, dass Konstruktionswinkel und



innenliegende Dämmung nicht sichtbar bleiben. Um dies zu erreichen, werden die seitlichen Konstruktionshölzer der einzelnen Fertigelemente (erste Schale), wie in Abbildung 25 dargestellt, zur Befestigung der seitlichen und oberen Verkleidung im Bereich der Türen und Fenster herangezogen. Die seitliche Verkleidung, die ebenfalls aus 1cm starken Furnierplatten besteht, wird im seitlichen Bereich der Fenster und Türen an die Konstruktionshölzer der Fertigelemente (erste Schale) angeschraubt. Im Sturzbereich der Fenster und Türen wird die Verkleidung jeweils von unten an die Konstruktionshölzer und die frontale Mehrschichtplatte des Grundmoduls angeschraubt.

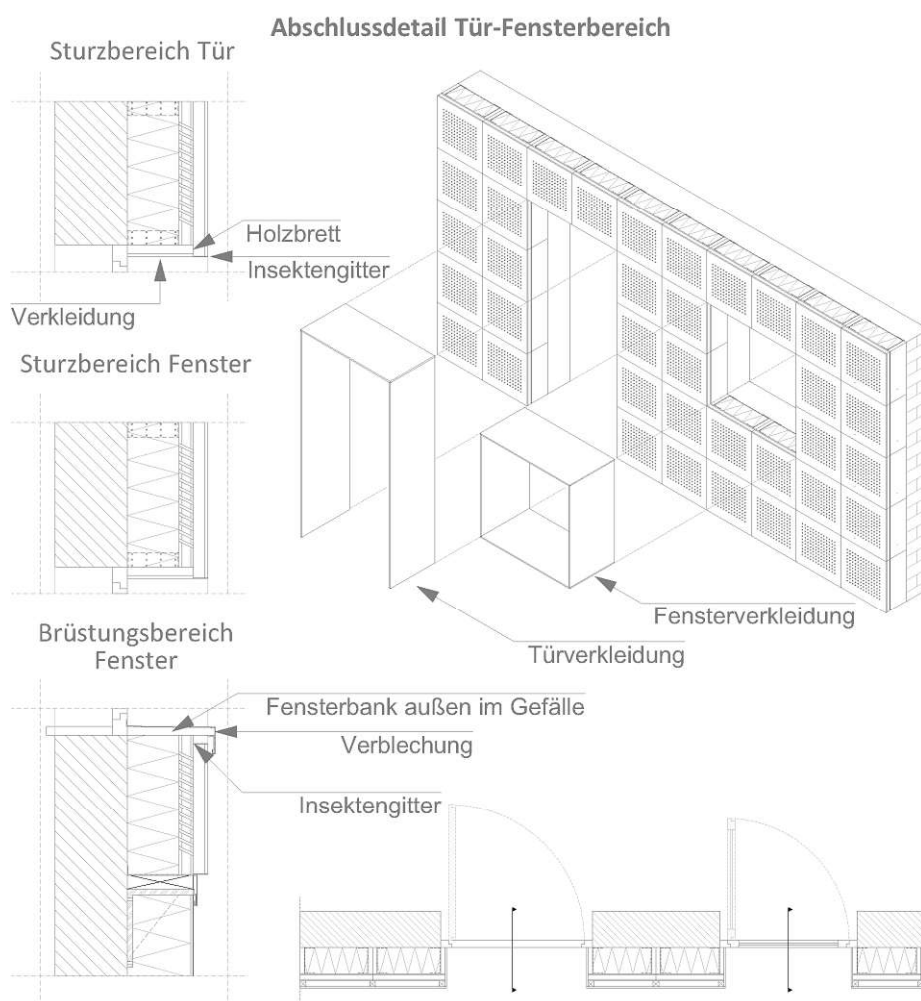


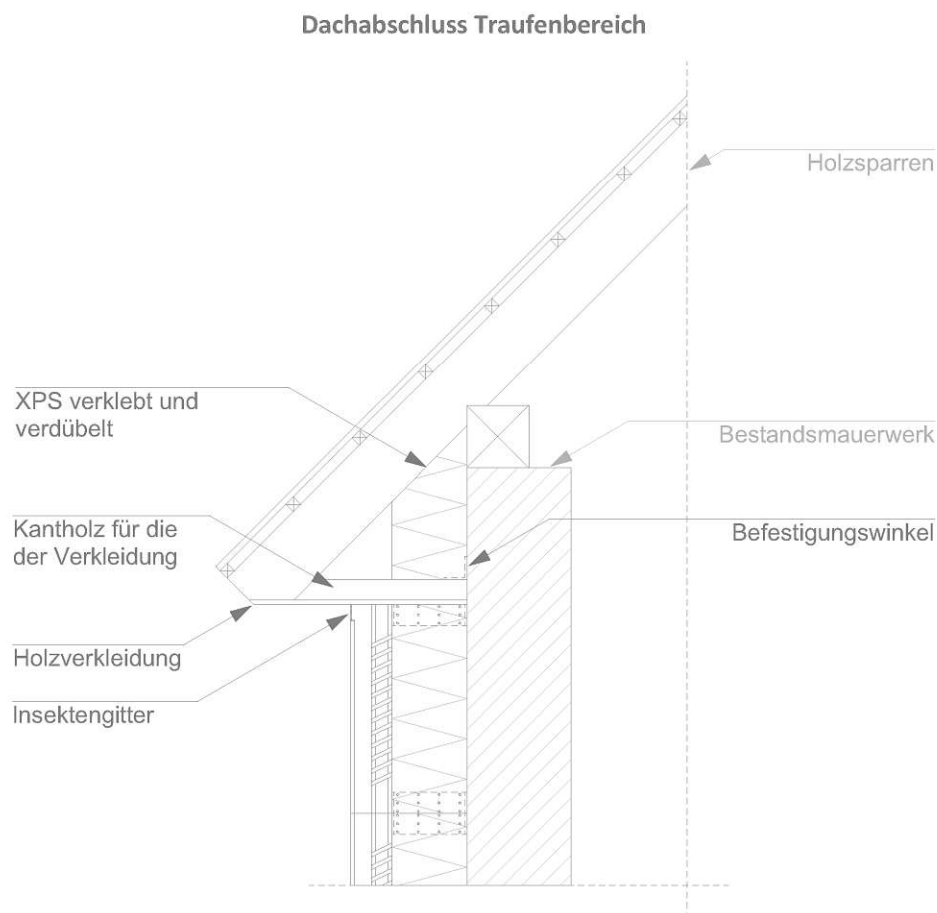
Abbildung 33 Montagedetails für den Tür- und Fensterbereich

Der Fensterbankbereich ist besonders anfällig für Wasseransammlungen, da er eine ideale horizontale Fläche bietet, auf der sich Wasser leicht ansammeln kann. Um diesen Bereich zu schützen ist es notwendig, eine vollflächige Fensterbank im Gefälle

anzubringen. Die Fensterbank und das dazugehörige Fensterblech müssen sowohl am Fenster als auch an das Fassadensystem ordnungsgemäß eingearbeitet werden, um Windkräften standzuhalten. Die fachgerechte Herstellung einer Fensterbank und dem dazugehörigen Fensterblech ist keine Aufgabe für Laien, da eindringendes Wasser die darunterliegende Konstruktion beschädigen könnte. Daher sollte diese Arbeit von einer Fachkraft ausgeführt werden, die auch für ihr Gewerk haftet.

#### 4.4.4 Lösungsansatz Abschluss Dachbereich

Im Dachbereich stellen die Giebelflächen und der Bereich der Traufe einen besonderen Abschluss der Fassade dar. Hier ist ein Insektengitter erforderlich, welches das Eindringen von Insekten in die Hinterlüftungsebene der Fassade verhindern soll. Durch einfache Zuschnittarbeiten an der Verkleidung kann das Grundmodul so angepasst werden, dass das Anbringen des Insektengitters durch einfaches Einbringen von Nägeln möglich ist.



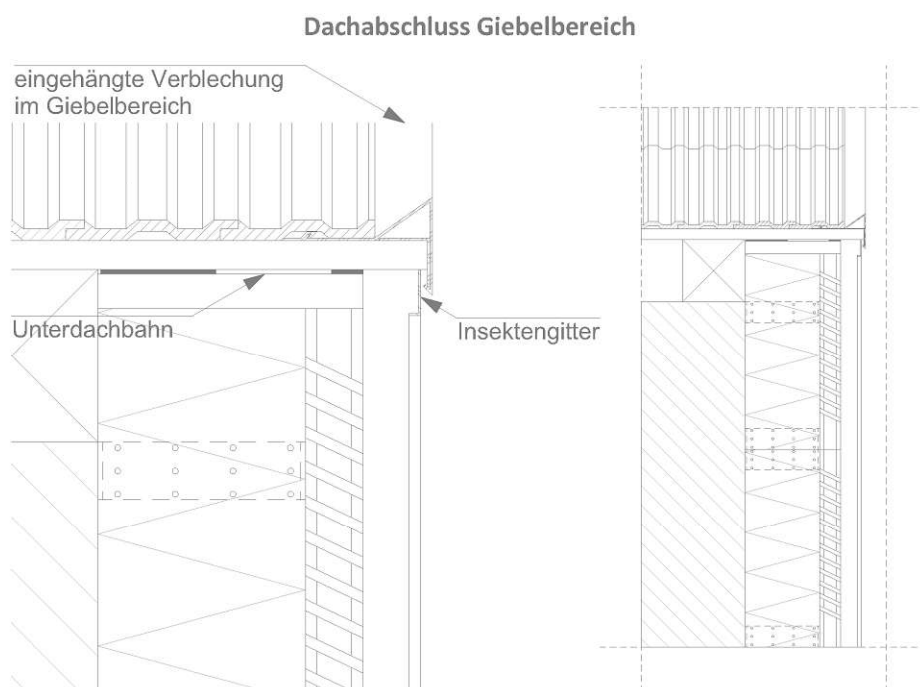


Im Bereich der Traufenunterseite soll das Dach durch einen Spengler so angepasst werden, dass der Bauherr lediglich mit seinen Fertigelementen an den Dachabschluss anschließen muss.

Im Giebelbereich müssen die Fertigelemente, bedingt durch die Schrägen Dachflächen, schräg zugeschnitten werden. Solch ein schräger Schnitt kann einen Bauherrn überfordern, somit sollen die abschließenden schrägen Fertigelemente von einer Fachkraft zugeschnitten und eingebaut werden.

Im Bereich der schrägen Giebeldachflächen können teilweise zwischen den Fertigelementen und der Dachschräge kleinere Restflächen entstehen, die in ihren Dimensionen so klein sind, dass die Fertigelemente dort nicht angewendet werden können. In dieser Öffnung soll wie bereits zuvor erwähnt, durch eine Fachkraft eine handelsübliche Dämmung verklebt und verdübelt werden, weiters werden ebenfalls Konstruktionshölzer zur Befestigung der Lattung und Verkleidung (zweite Schale) montiert.

Wenn das Dach keinen Vorsprung besitzt, besteht ebenfalls die Notwendigkeit einer Dacherweiterung um die mindestdicke der Fertigelemente, die eine Gesamtdicke von 28cm aufweisen. Die eventuell notwendige Dacherweiterung muss von einem Spengler-Zimmerer hergestellt werden. Die Dacherweiterung wird so ausgeführt das Vordach und die darunter liegenden Fertigelemente keine feste Verbindung eingehen, damit Bewegungen ohne Spannungen aufgenommen werden können.



*Abbildung 35 Erweiterung des Vordaches*

## 5 Vergleichsstudie anhand eines realen Bestandsgebäudes

Das entwickelte Fertigteilsystem wird in diesem Kapitel aktiv an einem existierenden historischen Bestandsgebäude eingesetzt. Der erste Schritt umfasst eine Befundaufnahme, bei der die Struktur des Bestands erfasst und bauphysikalische Kennwerte ermittelt werden, die für eine spätere Evaluierung notwendig sind.

### 5.1 Befundaufnahme des aktuellen Gebäudebestands

Das Bestandsgebäude liegt in Niederösterreich, in 2285 Leopoldsdorf im Marchfeld, auf einem Grundstück mit einer Fläche von etwa 800m<sup>2</sup>. Das Einfamilienhaus wurde im Jahr 1965 erbaut und umfasst eine Nutzfläche von ungefähr 115m<sup>2</sup>.

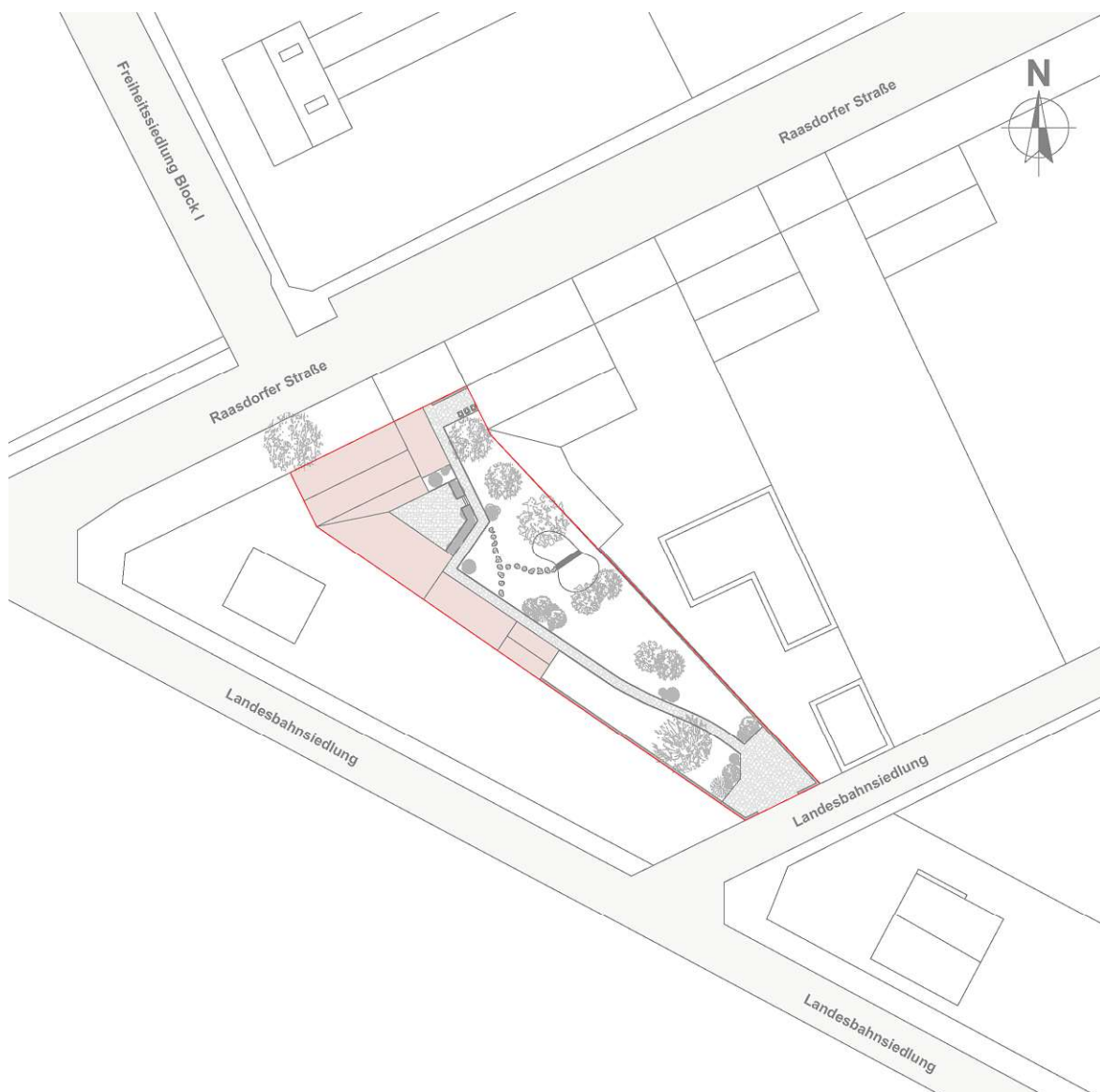


Abbildung 36 Lageplan historisches Bestandsgebäude

Das Bestandsgebäude verfügt über ein einziges Zimmer im Kellergeschoss mit einer Nutzfläche von etwa 15m<sup>2</sup>. Konkret ist im gesamten Wohngebäude ein einzelnes Zimmer unterkellert. Das Erdgeschoß besteht aus drei Zimmern, einer Küche, einem Badezimmer und einem separaten WC. Das Dachgeschoß wurde nicht ausgebaut. Abschließend gibt es im Außenbereich eine kleine Werkstatt und einen Schuppen die errichtet wurden, aber nicht beheizt werden. Die Gesamtnutzfläche der Räumlichkeiten beläuft sich auf etwa 115m<sup>2</sup>.

Im Jahr 1966 wurde der Bestand mit einer Garage, einem zusätzlichen Zimmer und weiters einem weiteren außenliegenden Schuppen erweitert.

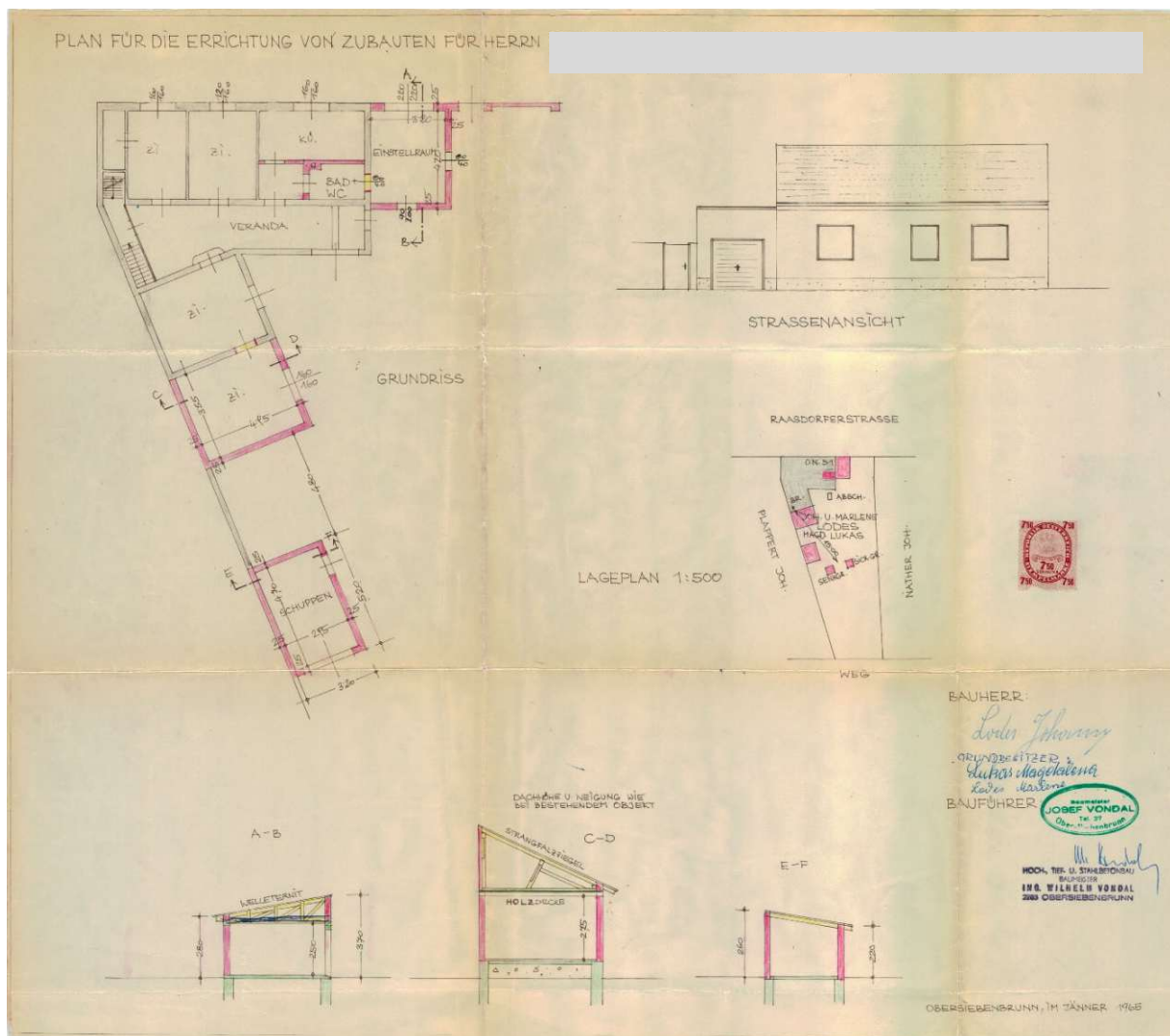


Abbildung 37 historische Plandarstellung Bestandsgebäude





*Abbildung 38 Fotodokumentation Fassade Northwest*



*Abbildung 39 Fotodokumentation Fassade Northwest*





*Abbildung 40 Fotodokumentation Innenhoffassade Nordost*



*Abbildung 41 Fotodokumentation Innenhoffassade Südost*





*Abbildung 42 Fotodokumentation Innenhoffassade Nordost*



*Abbildung 43 Fotodokumentation Innenhoffassade Südost*





Abbildung 44 Fotodokumentation Innenhoffassade Nordost



Abbildung 45 Fotodokumentation der Südwestfassade zum Nachbargrundstück



*Abbildung 46 Fotodokumentation der Südwestfassade zum Nachbargrundstück*

Die tragenden Vollziegelwände, mit einer Stärke von 25cm, ruhen auf Streifenfundamenten. Zur Gewährleistung eines angemessenen Witterungsschutzes wurden die Außenwände im Sockelbereich verputzt. Im oberen Bereich der Außenwände wurde teilweise eine nicht hinterlüftete Verkleidung aus Eternitplatten installiert, die an einer Holzlattung befestigt ist, während andere Teile der Außenwand verputzt wurden. Das Dach besteht aus einer herkömmlichen Holzkonstruktion, auf der gewöhnliche Dachschindel direkt angebracht sind, ohne Anwendung einer Unterdachbahn.

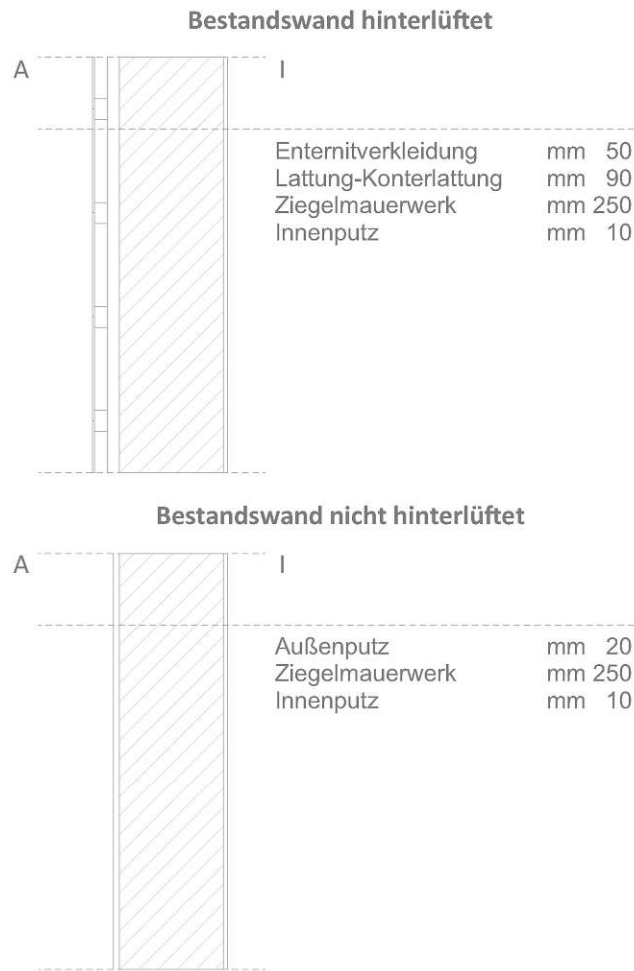


Abbildung 47 aktueller Wandaufbau Bestandswände

Die Haustechnik wurde im Jahr 2023 durch einen Pelletofen und einen elektrisch betriebenen Warmwasserkessel saniert.

Die Gebäudehülle erfüllt derzeit nicht die Richtwerte gemäß Richtlinie 6 aus dem Jahr 2019 des Österreichischen Instituts für Bautechnik (OIB). Dies ist darauf zurückzuführen, dass keine Dämmmaterialien an den Außenwänden und im Dachbereich verwendet wurden. Wie in Abbildung 48 dargestellt, fällt der Energieausweis, bedingt durch die fehlende Dämmung, eher schlecht aus und erfüllt nicht die aus der Richtlinie 6, vom Jahr 2019, geltenden Bestimmungen des OIB.

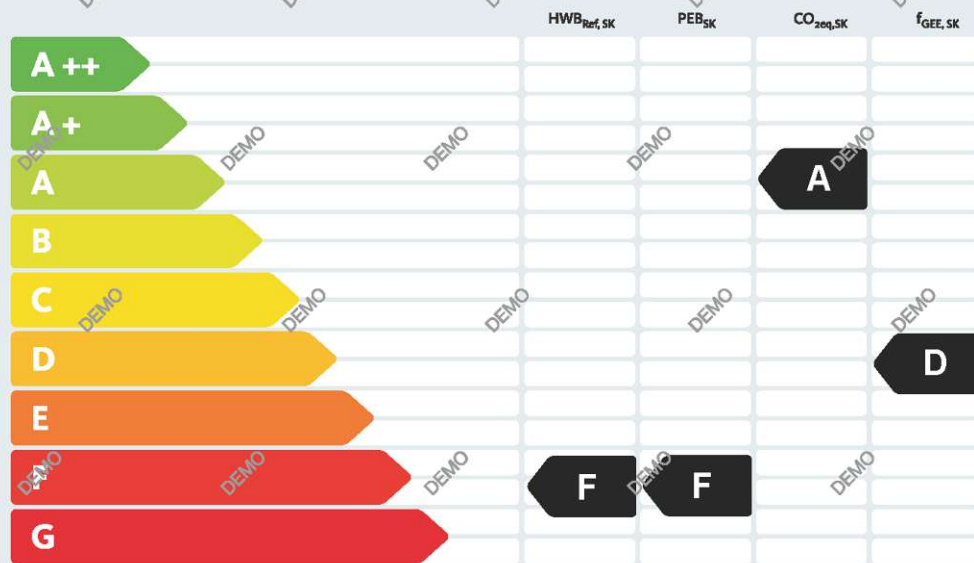
# Energieausweis für Wohngebäude

OiB  
ÖSTERREICHISCHES  
INSTITUT FÜR BAUTECHNIK

OiB-Richtlinie 6  
Ausgabe: April 2019

BEZEICHNUNG		Umsetzungsstand	Bestand
Gebäude(-teil)	Wohnen	Baujahr	1965
Nutzungsprofil	Wohngebäude mit einer oder zwei Nutzungseinheiten	Letzte Veränderung	
Straße	Raasdorferstraße 51	Katastralgemeinde	Leopoldsdorf im Marchfelde
PLZ/Ort	2285 Leopoldsdorf im Marchfelde	KG-Nr.	06211
Grundstücksnr.	562/10-9	Seehöhe	151 m

## SPEZIFISCHER REFERENZ-HEIZWÄRMEBEDARF, PRIMÄRENERGIEBEDARF, KOHLENDIOXIDEMISSIONEN und GESAMTENERGIEEFFIZIENZ-FAKTOR jeweils unter STANDORTKLIMA-(SK)-Bedingungen



**HWB<sub>Ref</sub>:** Der Referenz-Heizwärmebedarf ist jene Wärmemenge, die in den Räumen bereitgestellt werden muss, um diese auf einer normativ geforderten Raumtemperatur, ohne Berücksichtigung allfälliger Erträge aus Wärmerückgewinnung, zu halten.

**WWWB:** Der Warmwasserwärmebedarf ist in Abhängigkeit der Gebäudekategorie als flächenbezogener Defaultwert festgelegt.

**HEB:** Beim Heizenergiebedarf werden zusätzlich zum Heiz- und Warmwasserwärmebedarf die Verluste des gebäudetechnischen Systems berücksichtigt, dazu zählen insbesondere die Verluste der Wärmebereitstellung, der Wärmeverteilung, der Wärmespeicherung und der Wärmeabgabe sowie allfälliger Hilfsenergie.

**HHB:** Der Haushaltsstrombedarf ist als flächenbezogener Defaultwert festgelegt. Er entspricht in etwa dem durchschnittlichen flächenbezogenen Stromverbrauch eines österreichischen Haushalts.

**RK:** Das Referenzklima ist ein virtuelles Klima. Es dient zur Ermittlung von Energiekennzahlen.

**EEB:** Der Endenergiebedarf umfasst zusätzlich zum Heizenergiebedarf den Haushaltsstrombedarf, abzüglich allfälliger Endenergieerträge und zuzüglich eines dafür notwendigen Hilfsenergiebedarfs. Der Endenergiebedarf entspricht jener Energiemenge, die eingekauft werden muss (Lieferenergiebedarf).

**f<sub>GEE</sub>:** Der Gesamtenergieeffizienz-Faktor ist der Quotient aus einerseits dem Endenergiebedarf abzüglich allfälliger Endenergieerträge und zuzüglich des dafür notwendigen Hilfsenergiebedarfs und andererseits einem Referenz-Endenergiebedarf (Anforderung 2007).

**PEB:** Der Primärenergiebedarf ist der Endenergiebedarf einschließlich der Verluste in allen Vorketten. Der Primärenergiebedarf weist einen erneuerbaren (PEB<sub>ren</sub>) und einen nicht erneuerbaren (PEB<sub>nen</sub>) Anteil auf.

**CO<sub>2eq</sub>:** Gesamte dem Endenergiebedarf zuzurechnenden äquivalenten Kohlendioxidemissionen (Treibhausgase), einschließlich jener für Vorketten.

**SK:** Das Standortklima ist das reale Klima am Gebäudestandort. Dieses Klimamodell wurde auf Basis der Primärdaten (1970 bis 1999) der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik für die Jahre 1978 bis 2007 gegenüber der Vorfassung aktualisiert.

Alle Werte gelten unter der Annahme eines normierten BenutzerInnenverhaltens. Sie geben den Jahresbedarf pro Quadratmeter beheizter Brutto-Grundfläche an.

Abbildung 48 Energieausweis Bestand, Seite 1



# Energieausweis für Wohngebäude

OIB  
ÖSTERREICHISCHES  
INSTITUT FÜR BAUTECHNIK

OIB-Richtlinie 6  
Ausgabe: April 2019

## GEBÄUDEKENNDATEN

Brutto-Grundfläche (BGF)	151,6 m²	Heiztage	332 d	Art der Lüftung	Fensterlüftung
Bezugsfläche (BF)	121,3 m²	Heizgradtage	3562 Kd	Solarthermie	- m²
Brutto-Volumen (V <sub>B</sub> )	454,8 m³	Klimaregion	N/SO	Photovoltaik	- kWp
Gebäude-Hüllfläche (A)	478,7 m²	Norm-Außentemperatur	-13,8 °C	Stromspeicher	- kWh
Kompaktheit (A/V)	1,05 1/m	Soll-Innentemperatur	22,0 °C	WW-WB-System (primär)	Strom direkt
charakteristische Länge (L <sub>c</sub> )	0,96 m	mittlerer U-Wert	0,810 W/m²K	WW-WB-System (sekundär, opt.)	-
Teil-BGF	- m²	LEK <sub>r</sub> -Wert	82,01	RH-WB-System (primär)	Kessel, Pellets
Teil-BF	- m²	Bauweise	mittelschwere	RH-WB-System (sekundär, opt.)	-
Teil-V <sub>B</sub>	- m³				

EA-Art:

## WÄRME- UND ENERGIEBEDARF (Referenzklima)

Nachweis über den  
Gesamtenergieeffizienzfaktor

Ergebnisse	Anforderungen
Referenz-Heizwärmebedarf HWB <sub>Ref,RK</sub> = 223,5 kWh/m²a	HWB <sub>Ref,RK,zul</sub> = 90,8 kWh/m²a
Heizwärmebedarf HWB <sub>RK</sub> = 223,5 kWh/m²a	
Endenergiebedarf EEB <sub>RK</sub> = 308,5 kWh/m²a	
Gesamtenergieeffizienzfaktor f <sub>GEE,RK</sub> = 2,22	f <sub>GEE,RK,zul</sub> = 0,95
Erneuerbarer Anteil	entspricht Punkt 5.2.3 b

## WÄRME- UND ENERGIEBEDARF (Standortklima)

Referenz-Heizwärmebedarf	Q <sub>h,Ref,SK</sub> = 35.984 kWh/a	HWB <sub>Ref,SK</sub> = 237,4 kWh/m²a
Heizwärmebedarf	Q <sub>h,SK</sub> = 35.268 kWh/a	HWB <sub>SK</sub> = 232,7 kWh/m²a
Warmwasserwärmebedarf	Q <sub>tw</sub> = 1.162 kWh/a	WWW <sub>SK</sub> = 7,7 kWh/m²a
Heizenergiebedarf	Q <sub>H,Ref,SK</sub> = 47.318 kWh/a	H <sub>Ref,SK</sub> = 312,1 kWh/m²a
Energieaufwandszahl Warmwasser		e <sub>AWZ,WW</sub> = 2,15
Energieaufwandszahl Raumheizung		e <sub>AWZ,RH</sub> = 1,25
Energieaufwandszahl Heizen		e <sub>AWZ,H</sub> = 1,27
Haushaltsstrombedarf	Q <sub>HHSB</sub> = 2.106 kWh/a	HHSB = 13,9 kWh/m²a
Endenergiebedarf	Q <sub>EEB,SK</sub> = 49.424 kWh/a	EEB <sub>SK</sub> = 326,0 kWh/m²a
Primärenergiebedarf	Q <sub>PEB,SK</sub> = 58.259 kWh/a	PEB <sub>SK</sub> = 384,3 kWh/m²a
Primärenergiebedarf nicht erneuerbar	Q <sub>PEB<sub>n,em</sub>,SK</sub> = 9.377 kWh/a	PEB <sub>n,em,SK</sub> = 61,9 kWh/m²a
Primärenergiebedarf erneuerbar	Q <sub>PEB<sub>em</sub>,SK</sub> = 48.882 kWh/a	PEB <sub>em,SK</sub> = 322,5 kWh/m²a
äquivalente Kohlendioxidemissionen	Q <sub>CO2eq,SK</sub> = 1.852 kg/a	CO <sub>2eq,SK</sub> = 12,2 kg/m²a
Gesamtenergieeffizienzfaktor		f <sub>GEE,SK</sub> = 2,23
Photovoltaik-Export	Q <sub>PVE,SK</sub> = 0 kWh/a	PVE <sub>EXPORT,SK</sub> = 0,0 kWh/m²a

## ERSTELLT

GWR-Zahl		Erstellerin	ArchiPHYSIK - Demo-Version - A-NULL
Ausstellungsdatum	25.11.2023	Unterschrift	
Gültigkeitsdatum	24.11.2033		
Geschäftszahl			

Die Energiekennzahlen dieses Energieausweises dienen ausschließlich der Information. Aufgrund der idealisierten Eingangsparameter können bei tatsächlicher Nutzung erhebliche Abweichungen auftreten. Insbesondere Nutzungseinheiten unterschiedlicher Lage können aus Gründen der Geometrie und der Lage hinsichtlich ihrer Energiekennzahlen von den hier angegebenen abweichen.

## 5.2 Sanierungsabfolge des Bestandsgebäudes

Die Bestandssanierung soll idealerweise abschnittsweise durchgeführt werden, hierbei sollen in erster Instanz Sockel- und Dachbereich durch Fachfirmen instandgesetzt werden. Während der Instandsetzung soll das Hauptwohngebäude bewohnbar bleiben. Diese wissenschaftliche Arbeit konzentriert sich ausschließlich auf die Sanierung der Fassadenflächen des Hauptwohngebäudes. Die Nebengebäude, welche unbeheizt sind, sollen nicht instandgesetzt werden. Eine weitere Sanierungsmaßnahme, die in dieser Arbeit erwähnt, aber nicht im Detail behandelt wird, betrifft den Dachbereich, bei welchem nur gezielt der Dachabschluss behandelt wird, da hier der Anschluss zu dem entwickelten Fassadensystem stattfindet. Die Auswirkungen einer Sanierung des gesamten Dachbereichs werden ausschließlich anhand der erstellten Energieausweise berücksichtigt und mitsimuliert.

In folgender Abbildung 50 sind die zu sanierenden Wandflächen rot gekennzeichnet worden.

## Zu sanierende Wandflächen

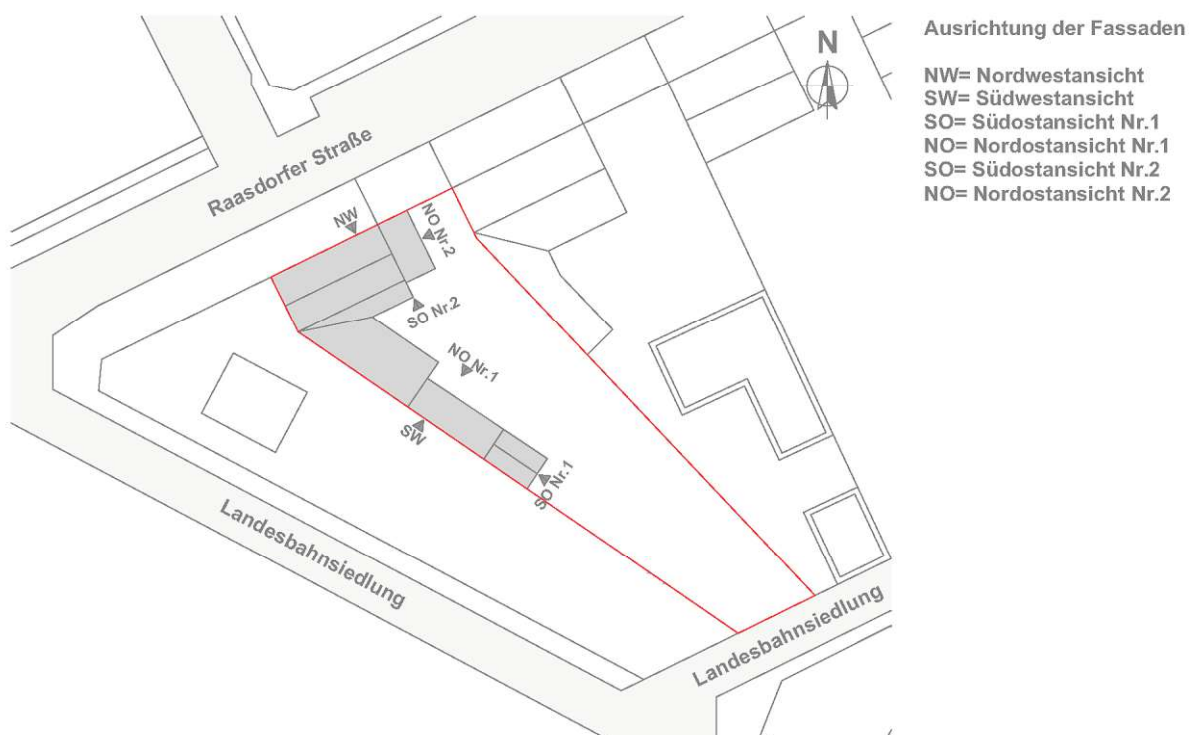


Abbildung 50 Sanierungsumfang



Zunächst sollen der Sockelbereich und der Dachabschluss von Fachkräften saniert werden. Anschließend erfolgt die Sanierung der Bestandsmauer durch die Bauherren selbst. Wie im Kapitel 4.4.3 erwähnt wurde, sollten die Fensterbänke ebenfalls von Fachkräften ausgeführt werden, da hier bei falscher Ausführung Wasser schnell in die Konstruktionsebene gelangen und schwere Schäden verursachen kann.

Zusammenfassend stellen sich die notwendigen Sanierungsabschnitte wie folgt zusammen:

**1. Abbruchmaßen-Erdarbeiten im Sockelbereich (Fachkräfte)**

- a. Ausheben einer Baugrube mit einer Tiefe von 1,20m (Mazera, et al. 2017)
- b. Abbruch aller Fensterbänke inkl. Fenster und Außentüren
- c. Abbruch aller Regenabfallrohre

**2. Instandsetzung des Sockel- und Dachabschlusses (Fachkräfte)**

- a. Erstellung einer 2-lagigen Bitumenabdichtungsbahn bis zu einer Höhe von 30cm über FOK
- b. Anbringen der notwendigen Winkelkonstruktionen inkl. Holzlagerfläche und Verblechung für die Fertigelemente
- c. Hochziehen einer XPS-Dämmung inkl. Anbringen eines Sockelputzes
- d. Schließen der Baugrube
- e. Austausch aller Fenster und Türen
- f. Aufbau des Gerüsts
- g. Erweiterung beziehungsweise Herstellung des technisch notwendigen Vordaches zum Schutz des Fertigteilfassade

**3. Wandsanierung durch Fertigelemente (Bauherren)**

- a. Gesamte Aufstellung der ersten Schale anhand der Fertigelemente, ohne vertikale Lattung und Verkleidung.
- b. Anbringen der zweiten Schale in Form der vertikalen Lattung und Verkleidung.
- c. Anbringen der neuen Fensterbretter und Verblechung (Fachkräfte) inkl. der Regenrinnen entlang der Fassadeaußenseite

**4. Dachsanierung (Fachkräfte/ im Idealfall direkt mitsaniert)**

- a. Abbruch Bestandsdach. Dabei soll die tragende Konstruktion, wenn schadensfrei, erhalten bleiben

## b. Neudeckung des Daches

Die oben angeführte Reifolge stellt die ideale Vorgehensweise dar, in der, wie anfänglich erwähnt, die gesamte Außenhülle saniert werden soll, außer das Dach. Falls bei der Sanierung ebenfalls das Dach mitsaniert wird, soll die Dachsanierung dementsprechend ebenfalls im Schritt zwei erfolgen, wo wie bereits erwähnt ebenfalls das Vordach wenn notwendig hergestellt oder angepasst wird.

Wie im Schritt eins erörtert, sollen anfänglich Fensterbänke, Regenabfallrohre, Fenster und Außentüren abgebrochen werden. In diesem Arbeitsschritt sollen die neuen Fenster und Außentüren direkt nach dem Abbruch der alten und vor dem Erdaushub im Sockelbereich eingebaut werden, damit das Bestandsgebäude bedenkenlos weiter bewohnt werden kann. Die Außenfensterbänke werden erst bei Fertigstellung der zweiten Schale durch den Fensterbauer eingesetzt, damit diese an die fertige Fassade angepasst werden können.

## Abbruchmaßnahmen und Erdarbeiten

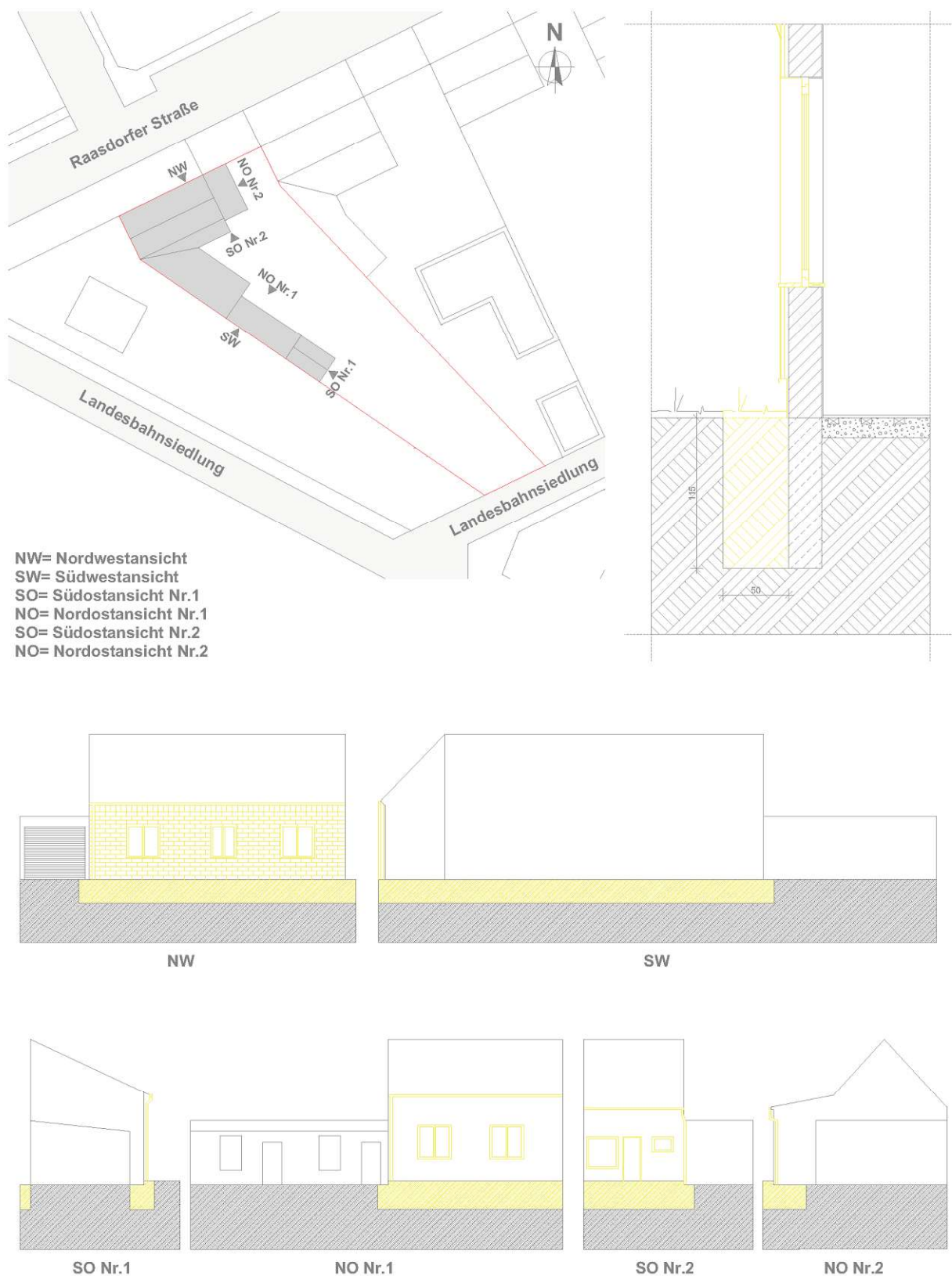
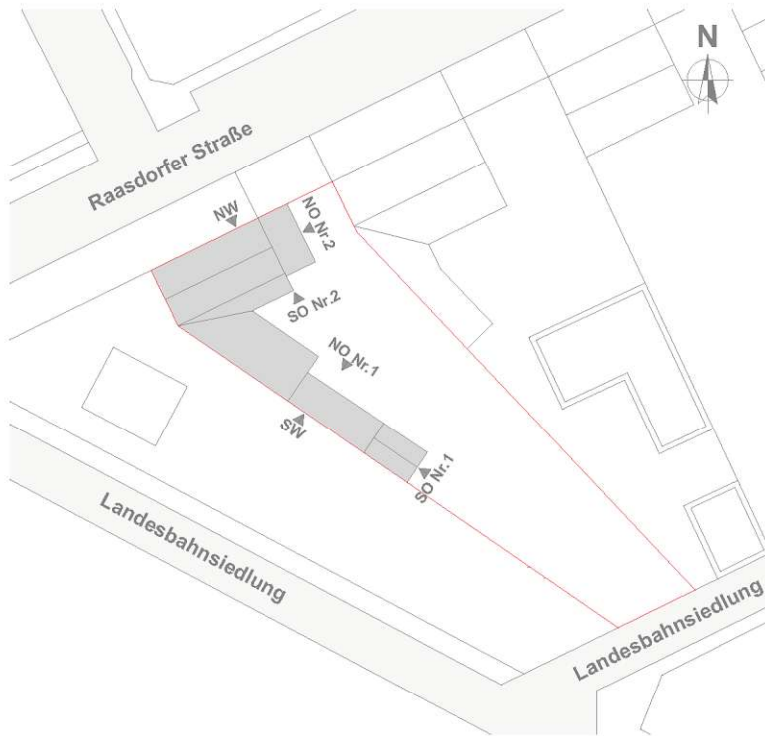


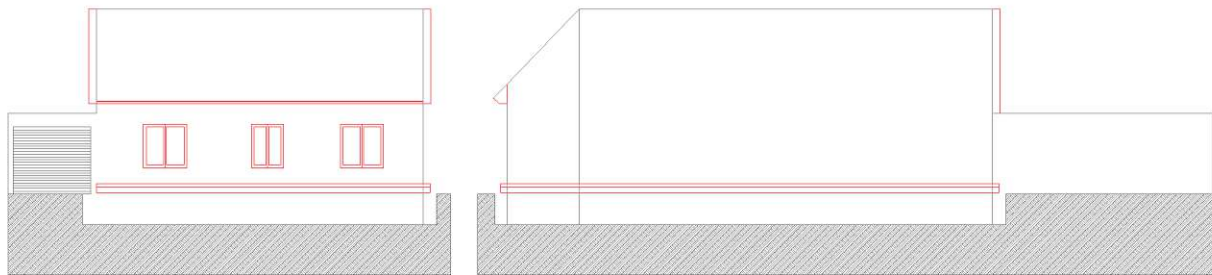
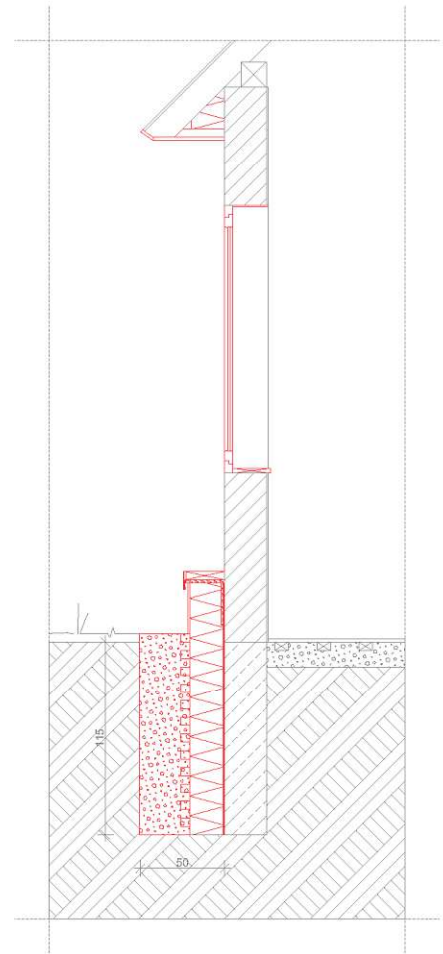
Abbildung 51 Darstellung Abbruchmaßnahmen und notwendige Erarbeiten

Nach dem nun die Baugrube ausgehoben wurde, Regenfallrohre, Fenster inkl. Fensterbänken und Außentüren abgebrochen wurden, folgt die Sanierung des Sockelbereiches. Im ersten Schritt der Sockelsanierung soll eine zweilagige Bitumenabdichtung über die gesamte Fundamentlänge und weiters bis zu einer Höhe von 30cm über Fußbodenoberkante hergestellt werden. Die Abdichtung soll durch Flämmen angebracht werden und anschließend mechanisch durch die später angebrachten Winkel befestigt werden. Nach den Abdichtungsarbeiten sollen die für die Fertigteilfassade erforderlichen Winkel in einer Höhe von 30cm über der Fußbodenoberkante und mit einem horizontalen regelmäßigen Abstand von 80cm angebracht werden. Im nächsten Schritt werden unter den zuvor montierten Winkeln XPS-Dämmplatten angebracht und davor eine Noppenbahn platziert, um das Wasser im Erdreich besser abfließen zu lassen. Im Bereich, der etwa 30cm über der Fußbodenoberkante liegt und von Spritzwasser betroffen ist, wird ein Sockelputz aufgetragen, um die Fassade vor Spritzwasser zu schützen. Anschließend wird die Baugrube mit rundgewaschenem Kies (16/32mm) aufgefüllt, um das Abfließen des Regenwassers zu erleichtern und zu beschleunigen. Zum Abschluss der Sockelsanierung wird auf die bereits installierten Winkel ein 5cm dickes Konstruktionsholz montiert. Zudem werden alle erforderlichen Verblechungen angebracht, die zum Schutz des Konstruktionsholzes vor Spritzwasser dienen.

## Sockelsanierung und Einbau der neuen Türen und Fenster

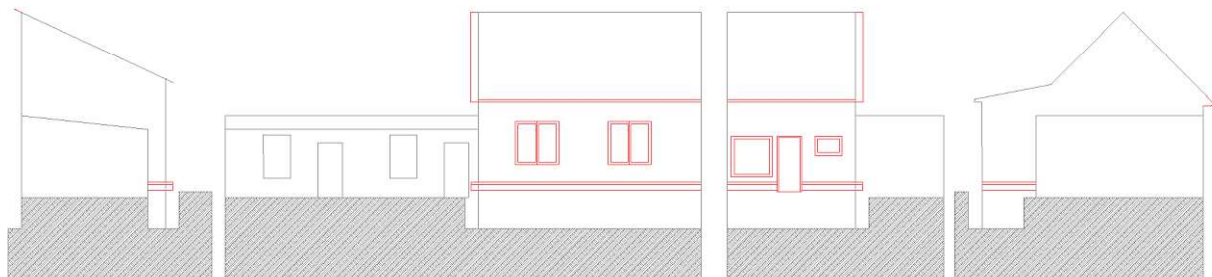


NW= Nordwestansicht  
 SW= Südwestansicht  
 SO= Südostansicht Nr.1  
 NO= Nordostansicht Nr.1  
 SO= Südostansicht Nr.2  
 NO= Nordostansicht Nr.2



NW

SW



SO Nr.1

NO Nr.1

SO Nr.2

NO Nr.2

Abbildung 52 Sockelsanierung, Dacherweiterung und Einbau der neuen Fenster und Türen

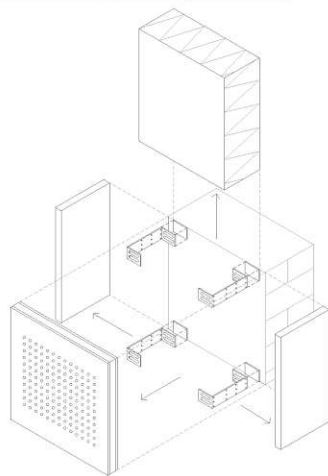
Nach Abschluss der Sockelsanierung erfolgt der Aufbau des Gerüstes um das gesamte Haus. Nach dem das Gerüst aufgebaut wurde soll ein Spengler die Dachabschlüsse adaptieren beziehungsweise wenn notwendig ein Vordach herstellen. Durch den angepassten Dachabschluss muss der Bauherr seine abschließenden Elemente lediglich an einer einfachen horizontalen Dachunterverkleidung ausrichten, was den Einbau des abschließenden Fertigelementes (erste Schale) deutlich vereinfacht. Nach dem der Sockel- und Dachabschluss angepasst worden sind, soll der Bauherr mit der Montage der Fertigelemente (erste Schale) beginnen.

Zunächst werden die Fertigelemente (erste Schale), bestehend aus Mehrschichtplatten, seitlichen Konstruktionshölzer, Winkeln und Holzfaserdämmung, an der gesamten Bestandsfassade angebracht. Anschließend folgt im nächsten Schritt die Montage der zweiten Schale anhand der vertikalen Lattung und der Verkleidung. In der Abbildung 53 wird nun der Aufbauablauf eines einzelnen Fertigelementes (erste Schale) abgebildet.

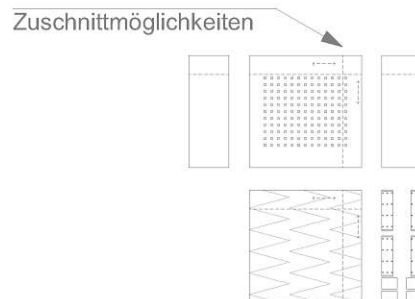


## Anleitung für die Montage eines Fertigelementes

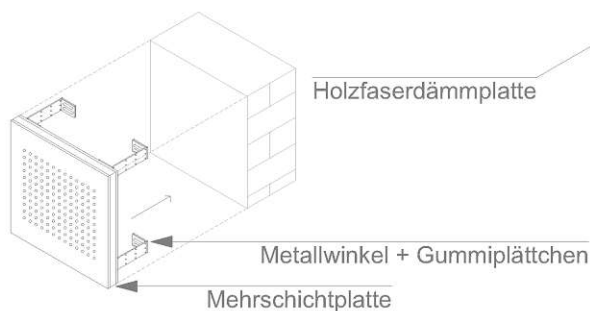
### 1. Demontage Fertigelement



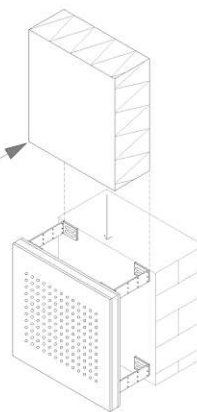
### 2. Zuschnitt Fertigelement



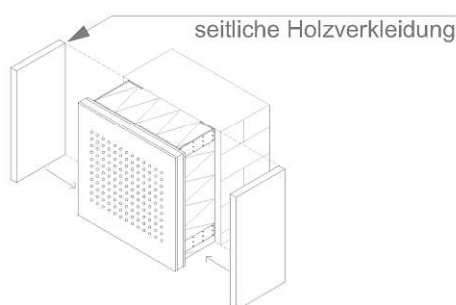
### 3. Montage Mehrschichtplatte, Montagewinkel, Gumminplättchen



### 4. Dämmung einlegen



### 5. Montage seitliche Verkleidung



### 6. montiertes Fertigelement

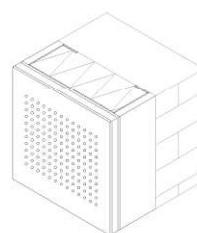


Abbildung 53 Montage eines einzelnen Grundmoduls (erste Schale)

Der dargestellte Aufbauablauf erfolgt auf gleicher Weise für alle Fertigelemente.

Da Bauherren unterschiedliche handwerkliche Fähigkeiten aufweisen, ist es wichtig, sie im Herstellungsprozess durch klar definierte Leitachsen zu führen um einen



erfolgreichen Einbau der Fertigelemente zu gewährleisten. Als Gebäudeleitachsen dienen grundsätzlich Gebäudeecken sowie Fenster und Türen. Der Einbau erfolgt schichtweise, beginnend im unteren Sockelbereich und fortschreitend bis zum abschließenden Dachbereich. In Abbildung 54 sind die genannten Leitachsen für den Einbau der ersten Schale in violett dargestellt und mit Richtungspfeilen versehen. Der Bauherr soll beginnend von den Leitachsen mit ungeschnittenen Fertigelementen (erste Schale) beginnen und ausschließlich bei den Restflächen (siehe Abbildung 54), die sich in der Wandmitte und im Dachabschlussbereich ergeben, die abschließenden Fertigelemente (erste Schale) zuschneiden, dadurch wird beim Einbau Zeit und Material gespart. In der folgenden Abbildungen ist die Differenzierung geschnittener und ungeschnittener Fertigelemente (erste Schale) klar durch eine farbliche Differenzierung ersichtlich.

## Anbringen der ersten Schale durch den Bauherren

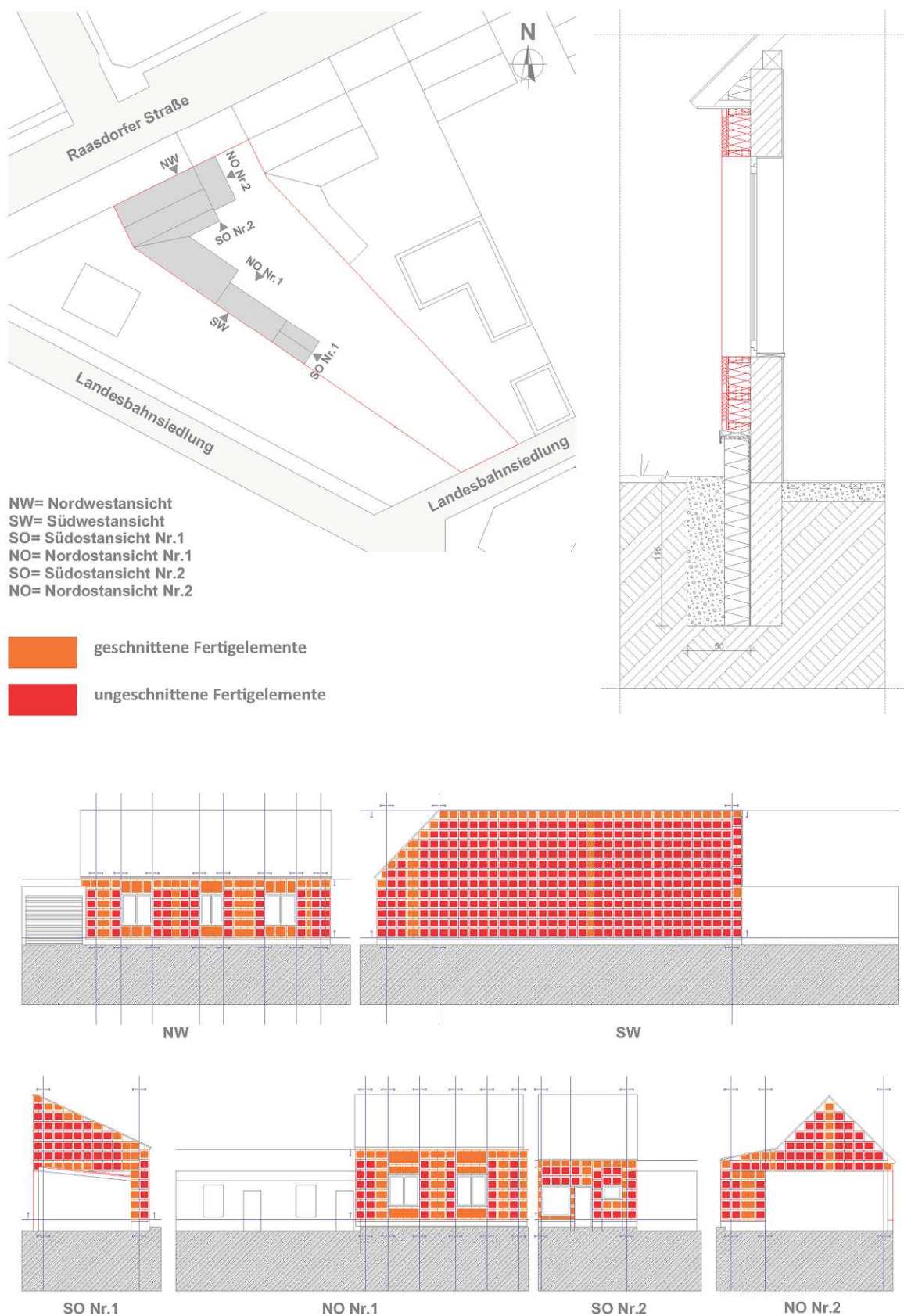


Abbildung 54 Übersichtsdarstellung Montage Grundmodul (erste Schale) ohne tragende Lattung und Verkleidung

## erste Schale Nordwestfassade

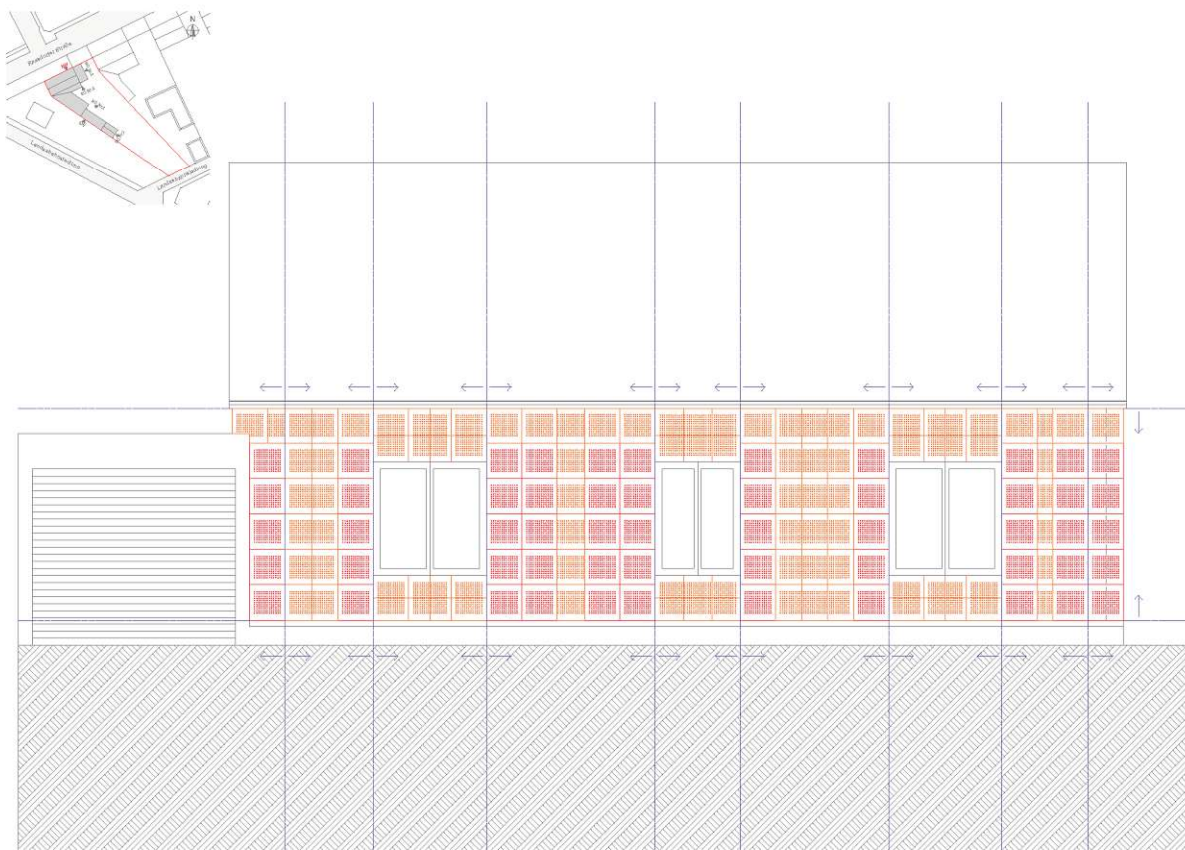


Abbildung 55 Grundmodulanwendung an der Nordwestfassade

## erste Schale Südwestfassade



Abbildung 56 Grundmodulanwendung an der Südwestfassade



## erste Schale Südostfassade Nr. 1

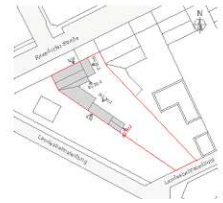
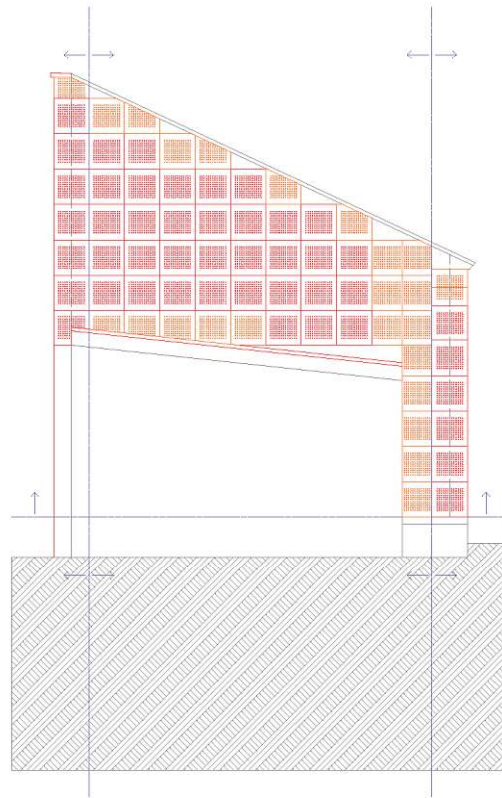


Abbildung 57 Grundmodulanwendung an der Südostfassade Nr. 1

## erste Schale Nordostfassade Nr.1

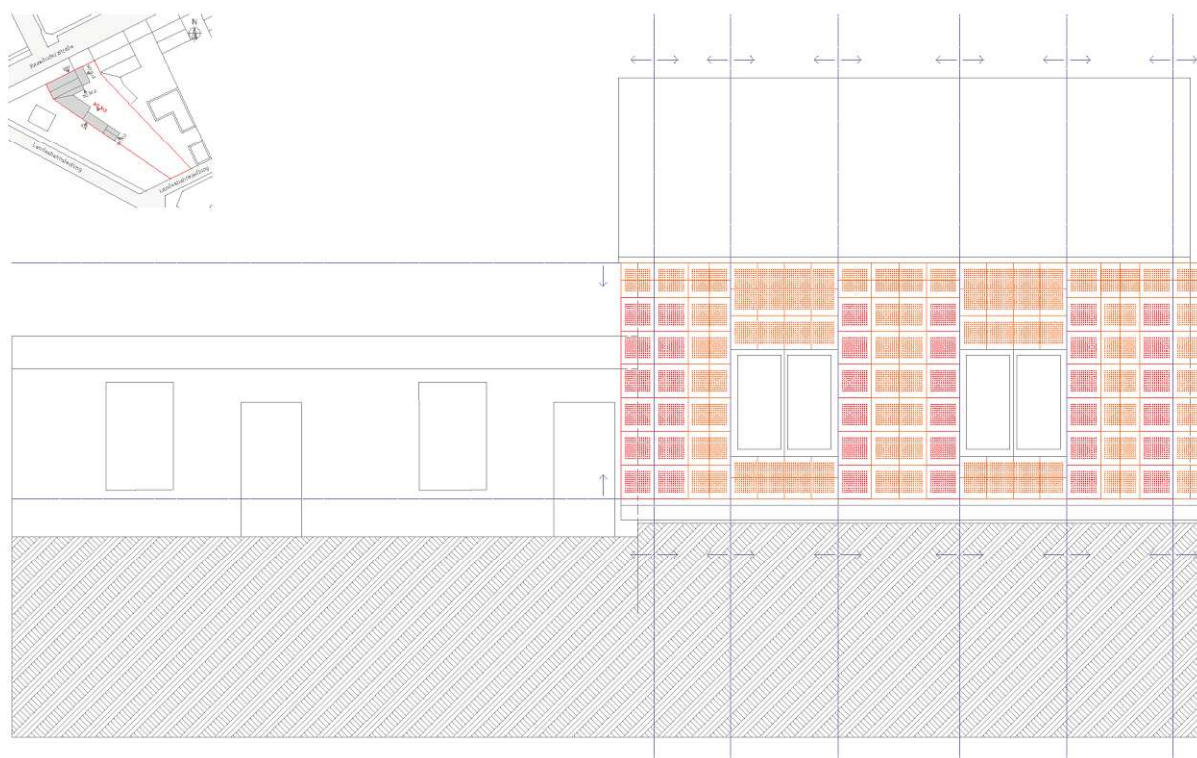


Abbildung 58 Grundmodulanwendung an der Nordostfassade Nr.1

## erste Schale Südostfassade Nr.2

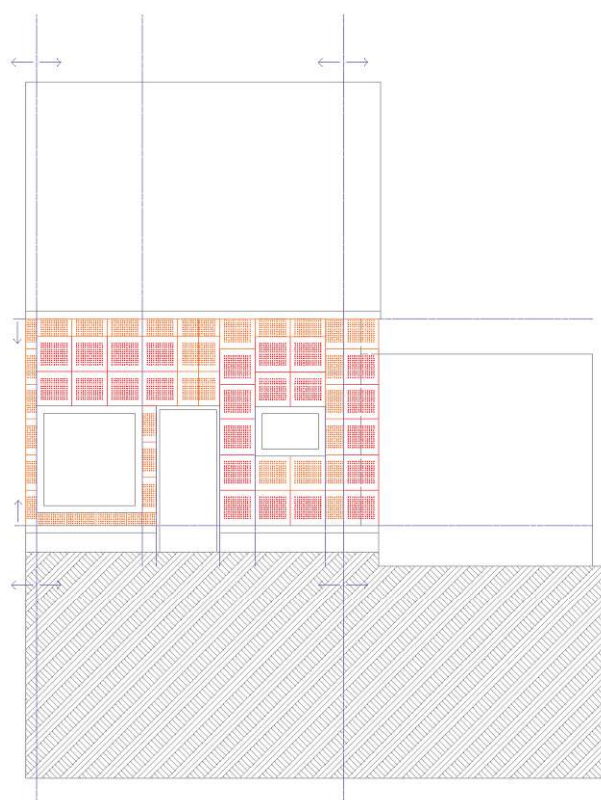


Abbildung 59 Grundmodulanwendung an der Südostfassade Nr.2

### erste Schale Nordostfassade Nr.2

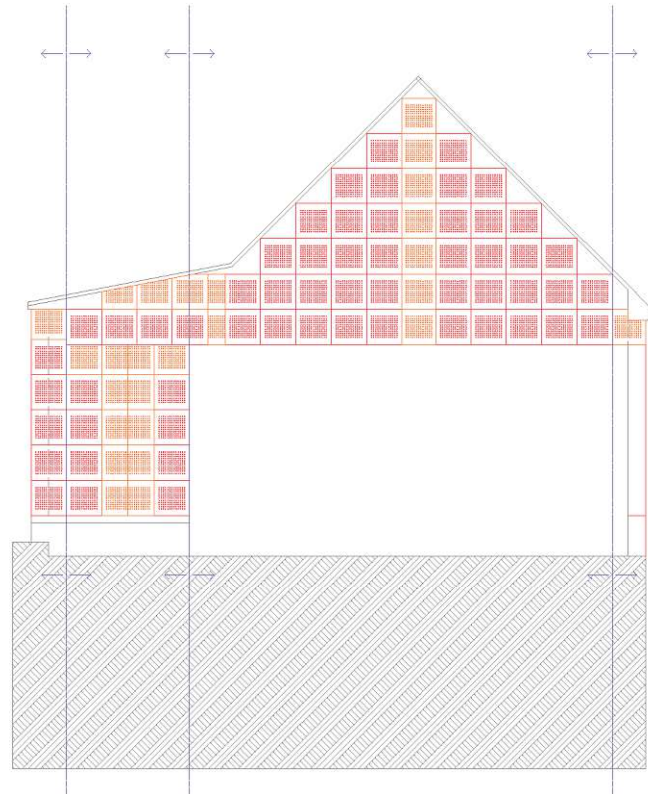


Abbildung 60 Grundmodulanwendung an der Nordostfassade Nr.2

Im Zuge der Dacherweiterung sollen, wie ebenfalls bereits erwähnt, die Fertigmodule der ersten Schale im Bereich der Dachschräge durch Fachkräfte montiert werden.

Im nächsten Arbeitsschritt ist die Montage der zweiten Schale in Form der vertikalen Lattung, der Verkleidung sowie der notwendigen Insektengitter im Bereich der Fassadeneinlässe vorgesehen. Zusätzlich werden in diesem abschließenden Schritt die Fensterbretter und die Verblechung vom Fensterbauer angebracht. Auch bei diesem Einbauschnitt kommen Leitachsen zum Einsatz, die den Bauherren als Orientierung dienen sollen. Diese Leitachsen orientieren sich an den Gebäudeecken, Fenstern und Außentüren und sollen den Bauherren helfen eine passende Verkleidungsaufteilung zu definieren. In den Abbildungen 61 bis 67 wird zuerst das Anbringen der Lattung in Abhängigkeit von der Fassadengestaltung dargestellt. Abschließend wird Abbildung 68 die fertige Außenverkleidung (zweite Schale) abgebildet.



## Anbringen der zweiten Schale durch den Bauherren

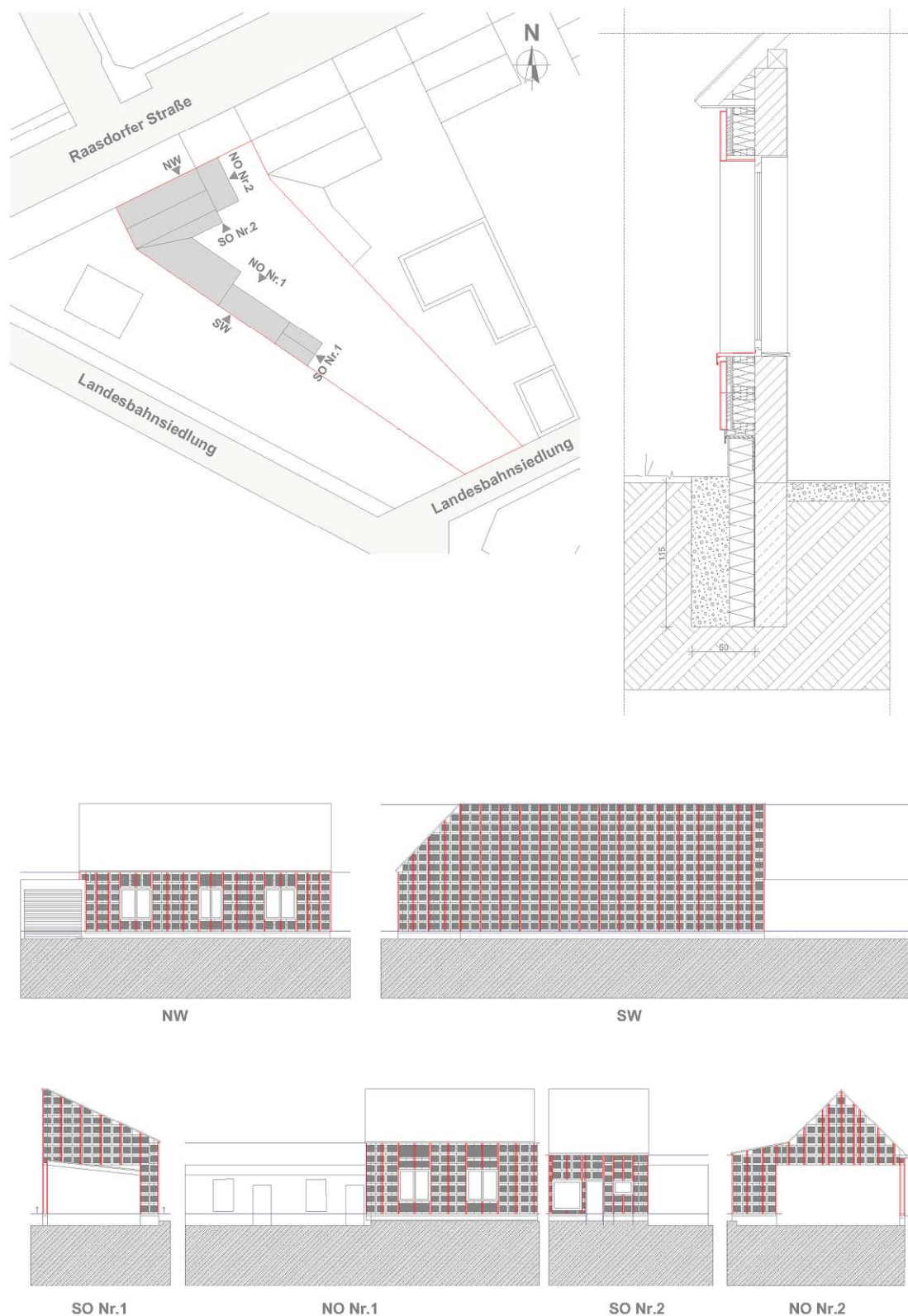


Abbildung 61 Anbringen der Lattung in Abhängig von der Verkleidungsaufteilung



## zweite Schale Nordwestfassade

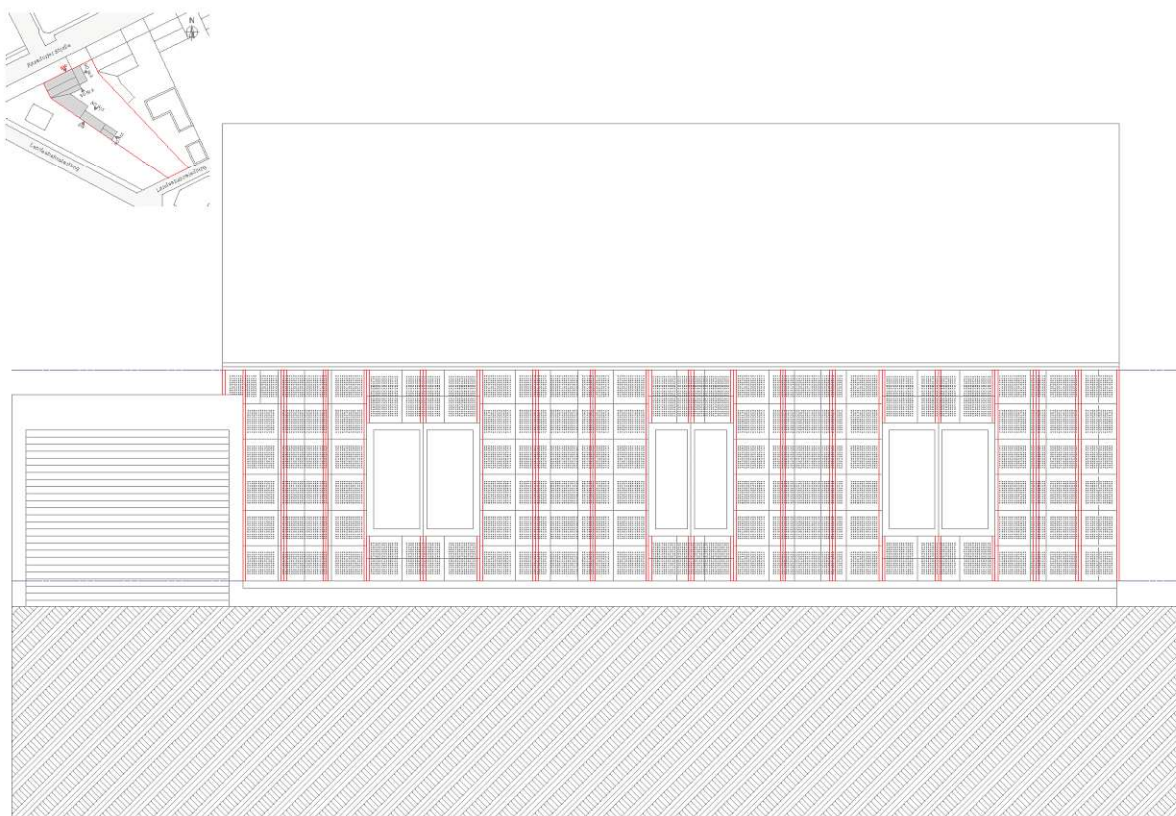


Abbildung 62 Anbringen der Lattung an der Nordwestfassade

## zweite Schale Südwestfassade

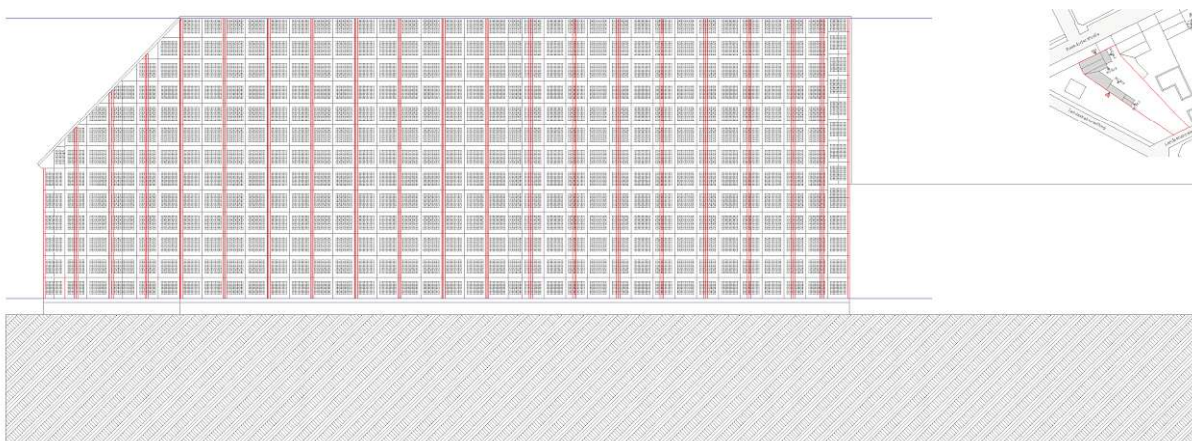


Abbildung 63 Anbringen der Lattung an der Südwestfassade

## zweite Schale Südostfassade Nr.1

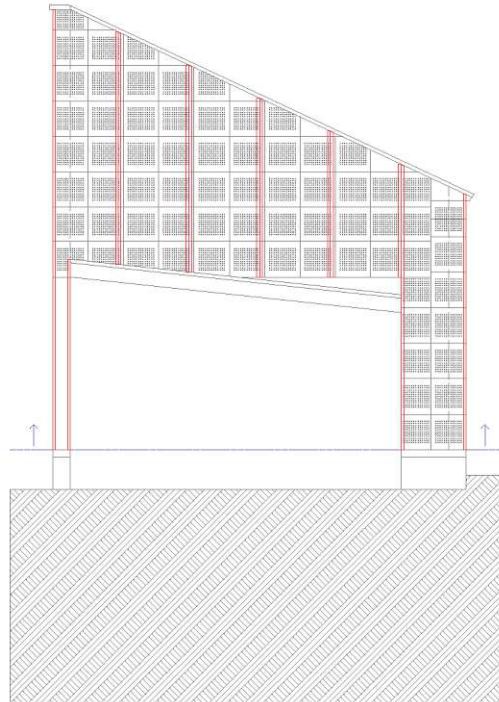
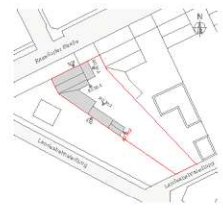


Abbildung 64 Anbringen der Lattung an der Südostfassade Nr.1

## zweite Schale Nordostfassade Nr.1

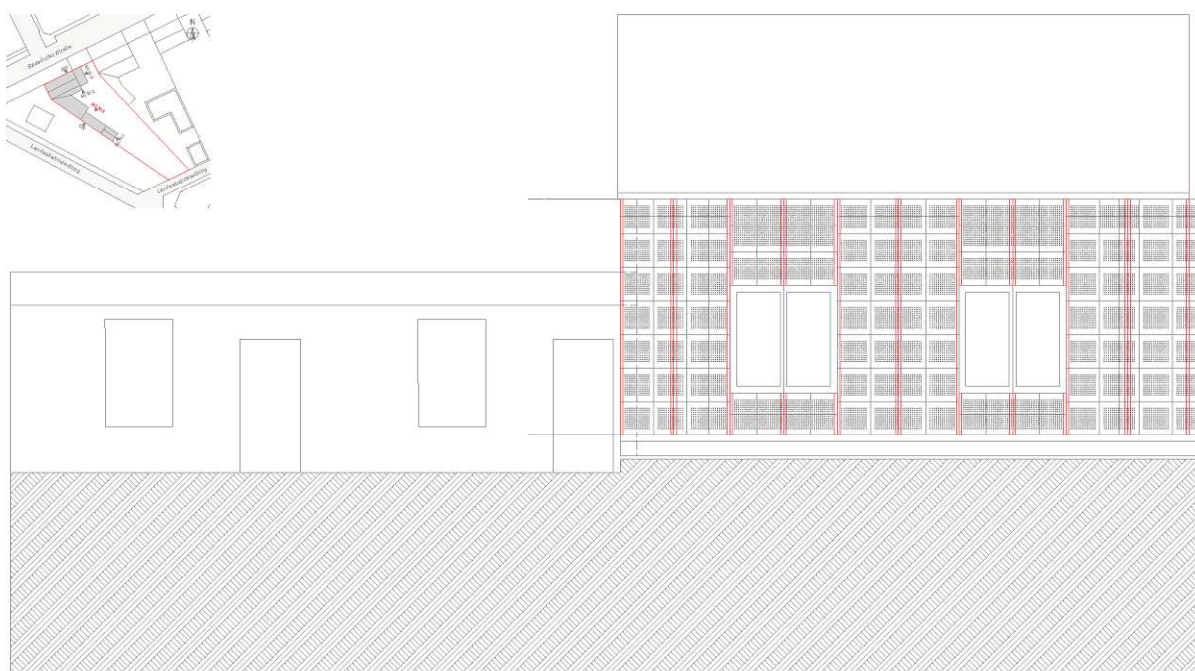


Abbildung 65 Anbringen der Lattung an der Nordostfassade Nr.1

## zweite Schale Südostfassade Nr.2

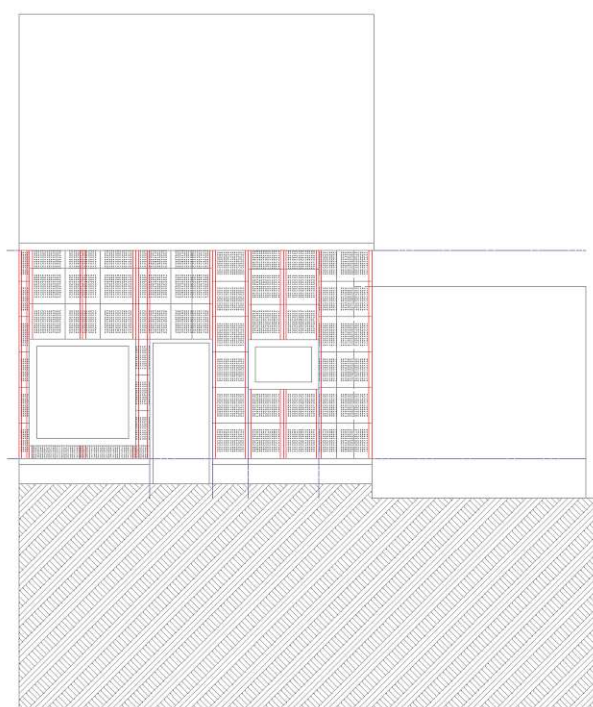


Abbildung 66 Anbringen der Lattung an der Südostfassade Nr.2



## zweite Schale Nordostfassade Nr.2

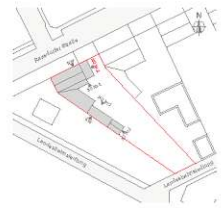
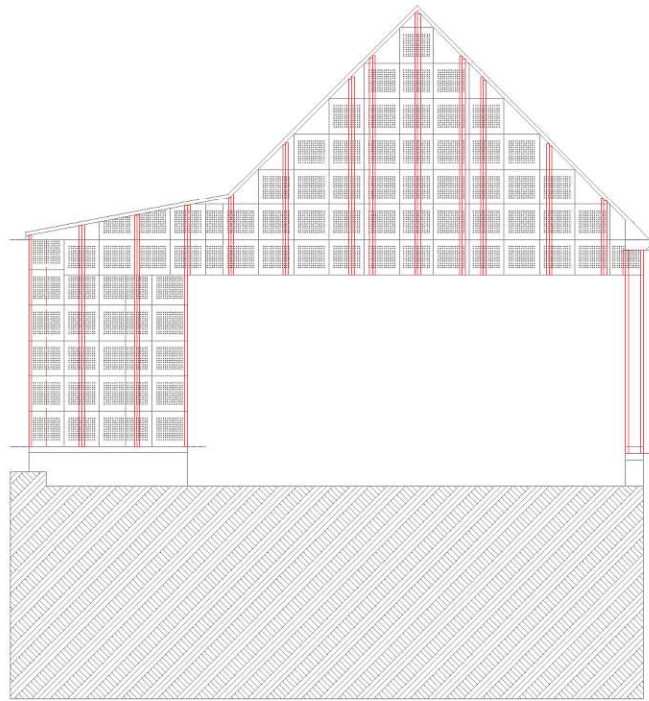


Abbildung 67 Anbringen der Lattung an der Nordostfassade Nr.2

Die fertige Verkleidung wird nun in Abbildung 68 mit und ohne Leitachsen dargestellt.

### zweite Schale witterungsschützende Verkleidung



Abbildung 68 Anbringen der Verkleidung

An dieser Stelle ist es wichtig zu erwähnen, dass die vorgestellte Verkleidungsaufteilung ein Beispiel darstellt. Grundsätzlich können Bauherren die

bereitgestellten Verkleidungsplatten, mit den Dimensionen 100 x 200cm, je nach gewünschter Vorstellung zuschneiden und dementsprechend Ihre eigene Fassadengestaltung herbeiführen.

### **5.3 Ermittlung bauphysikalischer Vergleichswerte**

In diesem Kapitel sollen nun die Auswirkungen und Fähigkeiten der entwickelten Fertigteilfassade ermittelt werden. Aktuell kann das unsanierte Gebäude nicht den nach OIB 6, aus dem Jahr 2019, geforderten Nachweis über den Endenergiebedarf erbringen und alternativ auch nicht den Nachweis über den Gesamtenergieeffizienzfaktor, dies ist auf der Abbildung 69 ersichtlich.



# Energieausweis für Wohngebäude

OIB  
ÖSTERREICHISCHES  
INSTITUT FÜR BAUTECHNIK

OIB-Richtlinie 6  
Ausgabe: April 2019

## GEBÄUDEKENNDATEN

Brutto-Grundfläche (BGF)	151,6 m²	Heiztage	332 d	Art der Lüftung	Fensterlüftung
Bezugsfläche (BF)	121,3 m²	Heizgradtage	3562 Kd	Solarthermie	- m²
Brutto-Volumen (V <sub>B</sub> )	454,8 m³	Klimaregion	N/SO	Photovoltaik	- kWp
Gebäude-Hüllfläche (A)	478,7 m²	Norm-Außentemperatur	-13,8 °C	Stromspeicher	- kWh
Kompaktheit (A/V)	1,05 1/m	Soll-Innentemperatur	22,0 °C	WW-WB-System (primär)	Strom direkt
charakteristische Länge (L <sub>c</sub> )	0,95 m	mittlerer U-Wert	0,810 W/m²K	WW-WB-System (sekundär, opt.)	-
Teil-BGF	- m²	LEK <sub>r</sub> -Wert	82,01	RH-WB-System (primär)	Kessel, Pellets
Teil-BF	- m²	Bauweise	mittelschwere	RH-WB-System (sekundär, opt.)	-
Teil-V <sub>B</sub>	- m³				

EA-Art:

## WÄRME- UND ENERGIEBEDARF (Referenzklima)

Nachweis über den  
Gesamtenergieeffizienzfaktor

	Ergebnisse	Anforderungen
Referenz-Heizwärmebedarf	HWB <sub>Ref,RK</sub> = 223,5 kWh/m²a entspricht nicht	HWB <sub>Ref,RK,zul</sub> = 90,8 kWh/m²a
Heizwärmebedarf	HWB <sub>RK</sub> = 223,5 kWh/m²a	
Endenergiebedarf	EEB <sub>RK</sub> = 308,5 kWh/m²a	
Gesamtenergieeffizienz-Faktor	f <sub>GEE,RK</sub> = 2,22 entspricht nicht	f <sub>GEE,RK,zul</sub> = 0,95
Erneuerbarer Anteil	entspricht	Punkt 5.2.3 b

## WÄRME- UND ENERGIEBEDARF (Standortklima)

Referenz-Heizwärmebedarf	Q <sub>h,Ref,SK</sub> = 35.984 kWh/a	HWB <sub>Ref,SK</sub> = 237,4 kWh/m²a
Heizwärmebedarf	Q <sub>h,SK</sub> = 35.268 kWh/a	HWB <sub>SK</sub> = 232,7 kWh/m²a
Warmwasserwärmebedarf	Q <sub>tw</sub> = 1.162 kWh/a	WWW <sub>SK</sub> = 7,7 kWh/m²a
Heizenergiebedarf	Q <sub>H,Ref,SK</sub> = 47.318 kWh/a	H <sub>HB,SK</sub> = 312,1 kWh/m²a
Energieaufwandszahl Warmwasser		e <sub>AWZ,WW</sub> = 2,15
Energieaufwandszahl Raumheizung		e <sub>AWZ,RH</sub> = 1,25
Energieaufwandszahl Heizen		e <sub>AWZ,H</sub> = 1,27
Haushaltsstrombedarf	Q <sub>HHSB</sub> = 2.106 kWh/a	HHSB = 13,9 kWh/m²a
Endenergiebedarf	Q <sub>EEB,SK</sub> = 49.424 kWh/a	EEB <sub>SK</sub> = 326,0 kWh/m²a
Primärenergiebedarf	Q <sub>PEB,SK</sub> = 58.259 kWh/a	PEB <sub>SK</sub> = 384,3 kWh/m²a
Primärenergiebedarf nicht erneuerbar	Q <sub>PEB<sub>n,em</sub>,SK</sub> = 9.377 kWh/a	PEB <sub>n,em,SK</sub> = 61,9 kWh/m²a
Primärenergiebedarf erneuerbar	Q <sub>PEB<sub>em</sub>,SK</sub> = 48.882 kWh/a	PEB <sub>em,SK</sub> = 322,5 kWh/m²a
äquivalente Kohlendioxidemissionen	Q <sub>CO2eq,SK</sub> = 1.852 kg/a	CO <sub>2eq,SK</sub> = 12,2 kg/m²a
Gesamtenergieeffizienz-Faktor		f <sub>GEE,SK</sub> = 2,23
Photovoltaik-Export	Q <sub>PVE,SK</sub> = 0 kWh/a	PVE <sub>EXPORT,SK</sub> = 0,0 kWh/m²a

## ERSTELLT

GWR-Zahl		ErstellerIn	ArchiPHYSIK - Demo-Version - A-NULL
Ausstellungsdatum	25.11.2023	Unterschrift	
Gültigkeitsdatum	24.11.2033		
Geschäftszahl			

Die Energiekennzahlen dieses Energieausweises dienen ausschließlich der Information. Aufgrund der idealisierten Eingangsparameter können bei tatsächlicher Nutzung erhebliche Abweichungen auftreten. Insbesondere Nutzungseinheiten unterschiedlicher Lage können aus Gründen der Geometrie und der Lage hinsichtlich ihrer Energiekennzahlen von den hier angegebenen abweichen.

ArchiPHYSIK - Demo-Version - A-NULL

Demo

12.12.2023

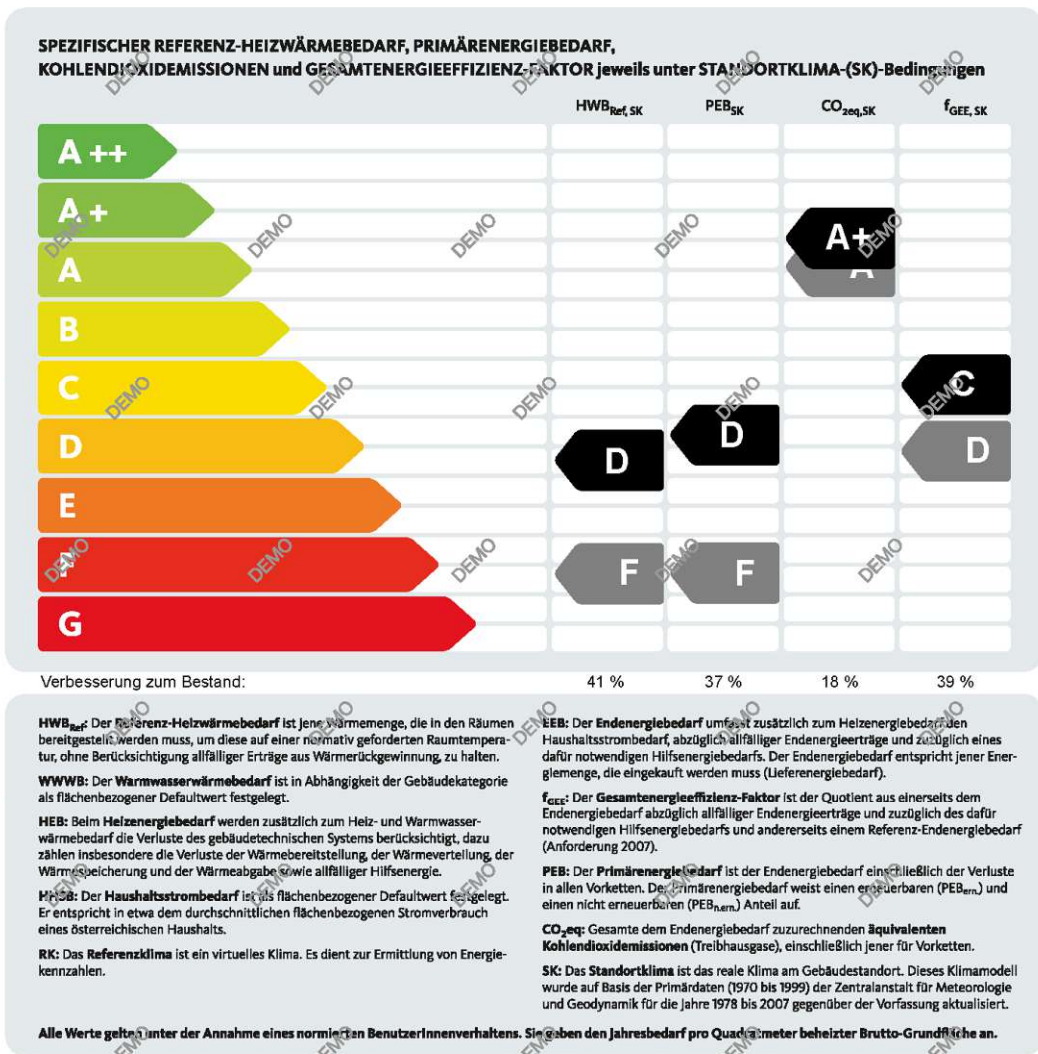
Abbildung 69 Energieausweis Bestand, Seite 2

Um die Leistungsfähigkeit der entwickelten Fertigelemente zu verdeutlichen, wurde im Energieausweis in Abbildung 70 das historisch ungedämmte Bestandsmauerwerk mit den Fertigelementen ergänzt. Alle übrigen vorhandenen Aufbauten wurden unverändert beibehalten. Die ursprünglich ermittelten Werte mit der historischen Bestandsfassade, ohne der ergänzenden Fertigteilfassade, sind in Abbildung 70 farblich in hellem Grau markiert, während die sanierte Fassade in Schwarz dargestellt wird. Dies verdeutlicht die Auswirkungen, die das entwickelte Fassadensystem auf die Kennwerte auswirkt.

# Energieausweis für Wohngebäude

OIB-ÖSTERREICHISCHES INSTITUT FÜR BAUTECHNIK  
OIB-Richtlinie 6  
Ausgabe: April 2019

<b>BEZEICHNUNG</b>		<b>Umsetzungsstand</b>	Bestand
Gebäude(-teil)	Wohnen	Baujahr	1965
Nutzungsprofil	Wohngebäude mit einer oder zwei Nutzungseinheiten	Letzte Veränderung	
Straße	Raasdorferstraße 51	Katastralgemeinde	Leopoldsdorf im Marchfelde
PLZ/Ort	2285 Leopoldsdorf im Marchfelde	KG-Nr.	06211
Grundstücksnr.	562/10-9	Seehöhe	151 m



Dieser Energieausweis entspricht den Vorgaben der OIB-Richtlinie 6 „Energieeinsparung und Wärmeschutz“ des Österreichischen Instituts für Bautechnik in Umsetzung der Richtlinie 2010/31/EU vom 19. Mai 2010 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden bzw. 2018/844/EU vom 30. Mai 2018 und des Energieausweis-Vorlage-Gesetzes (EAVG). Der Ermittlungszeitraum für die Konversionsfaktoren für Primärenergie und Kohlendioxidemissionen ist für Strom: 2013-09 – 2018-08, und es wurden übliche Allokationsregeln unterstellt.

# Energieausweis für Wohngebäude

OiB  
ÖSTERREICHISCHES  
INSTITUT FÜR BAUTECHNIK

OiB-Richtlinie 6  
Ausgabe: April 2019

## GEBÄUDEKENNDATEN

Brutto-Grundfläche (BGF)	151,6 m²	Heiztage	296 d	Art der Lüftung	Fensterlüftung
Bezugsfläche (BF)	121,3 m²	Heizgradtage	3562 Kd	Solarthermie	- m²
Brutto-Volumen (V <sub>B</sub> )	454,8 m³	Klimaregion	N/SO	Photovoltaik	- kWp
Gebäude-Hüllfläche (A)	478,7 m²	Norm-Außentemperatur	-13,8 °C	Stromspeicher	- kWh
Kompaktheit (A/V)	1,05 1/m	Soll-Innentemperatur	22,0 °C	WW-WB-System (primär)	Strom direkt
charakteristische Länge (L <sub>c</sub> )	0,95 m	mittlerer U-Wert	0,490 W/m²K	WW-WB-System (sekundär, opt.)	-
Teil-BGF	- m²	LEK <sub>c</sub> -Wert	49,83	RH-WB-System (primär)	Kessel, Pellets
Teil-BF	- m²	Bauweise	mittelschwere	RH-WB-System (sekundär, opt.)	-
Teil-V <sub>B</sub>	- m³				

EA-Art:

## WÄRME- UND ENERGIEBEDARF (Referenzklima)

Nachweis über den  
Gesamtenergieeffizienzfaktor

	Ergebnisse	Anforderungen
Referenz-Heizwärmebedarf	HWB <sub>Ref,RK</sub> = 132,1 kWh/m²a entspricht nicht	HWB <sub>Ref,RK,zul</sub> = 90,8 kWh/m²a
Heizwärmebedarf	HWB <sub>RK</sub> = 132,1 kWh/m²a	
Endenergiebedarf	EEB <sub>RK</sub> = 188,6 kWh/m²a	
Gesamtenergieeffizienz-Faktor	f <sub>GEE,RK</sub> = 1,36 entspricht nicht	f <sub>GEE,RK,zul</sub> = 0,95
Erneuerbarer Anteil	- entspricht	Punkt 5.2.3 a, b

## WÄRME- UND ENERGIEBEDARF (Standortklima)

Referenz-Heizwärmebedarf	Q <sub>H,Ref,SK</sub> = 21.288 kWh/a	HWB <sub>Ref,SK</sub> = 140,3 kWh/m²a
Heizwärmebedarf	Q <sub>H,SK</sub> = 20.632 kWh/a	HWB <sub>SK</sub> = 138,1 kWh/m²a
Warmwasserwärmebedarf	Q <sub>TW</sub> = 1.102 kWh/a	WWW <sub>SK</sub> = 7,7 kWh/m²a
Heizenergiebedarf	Q <sub>H,Ref,SK</sub> = 28.014 kWh/a	H <sub>Ref,SK</sub> = 184,8 kWh/m²a
Energieaufwandszahl Warmwasser		e <sub>AWZ,WW</sub> = 2,15
Energieaufwandszahl Raumheizung		e <sub>AWZ,RH</sub> = 1,20
Energieaufwandszahl Heizen		e <sub>AWZ,H</sub> = 1,25
Haushaltsstrombedarf	Q <sub>HHSB</sub> = 2.106 kWh/a	HHSB = 13,9 kWh/m²a
Endenergiebedarf	Q <sub>EEB,SK</sub> = 30.120 kWh/a	EEB <sub>SK</sub> = 198,7 kWh/m²a
Primärenergiebedarf	Q <sub>PEB,SK</sub> = 36.431 kWh/a	PEB <sub>SK</sub> = 240,3 kWh/m²a
Primärenergiebedarf nicht erneuerbar	Q <sub>PEBn,SK</sub> = 7.420 kWh/a	PEB <sub>n,SK</sub> = 48,9 kWh/m²a
Primärenergiebedarf erneuerbar	Q <sub>PEBn,SK</sub> = 29.011 kWh/a	PEB <sub>ern,SK</sub> = 191,4 kWh/m²a
äquivalente Kohlendioxidemissionen	Q <sub>CO2eq,SK</sub> = 1.518 kg/a	CO <sub>2eq,SK</sub> = 10,0 kg/m²a
Gesamtenergieeffizienz-Faktor		f <sub>GEE,SK</sub> = 1,36
Photovoltaik-Export	Q <sub>PVE,SK</sub> = 0 kWh/a	PVE <sub>EXP,SK</sub> = 0,0 kWh/m²a

## ERSTELLT

GWR-Zahl		ErstellerIn	ArchiPHYSIK - Demo-Version - A-NULL
Ausstellungsdatum	25.11.2023	Unterschrift	
Gültigkeitsdatum	24.11.2033		
Geschäftszahl			

Die Energiekennzahlen dieses Energieausweises dienen ausschließlich der Information. Aufgrund der idealisierten Eingangsparameter können bei tatsächlicher Nutzung erhebliche Abweichungen auftreten. Insbesondere Nutzungseinheiten unterschiedlicher Lage können aus Gründen der Geometrie und der Lage hinsichtlich ihrer Energiekennzahlen von den hier angegebenen abweichen.

Beim direkten Vergleich der erzeugten Energieausweise wird in Abbildung 71 deutlich, dass der Wert für den Heizwärmebedarf und der Faktor für die Gesamtenergieeffizienz fast um die Hälfte des ursprünglichen Werts gesunken sind. Trotz der Verbesserung der Kennzahlen reicht diese Maßnahme nicht aus um die geforderten Richtwerte gemäß OIB 6, aus dem Jahr 2019, zu erfüllen. Dies liegt daran, dass immer noch große Flächen wie beispielsweise die Decke zum unbeheizten Dachbereich ungedämmt sind. Um eine realistischere Sanierung darzustellen, wird als nächster Schritt ein weiterer Energieausweis erstellt. Hierbei wird das durch die entwickelten Fertigelemente sanierte Bestandsmauerwerk berücksichtigt und zusätzlich eine ca. 20cm starke Dämmung auf der Decke zum unbeheizten Dachbereich angebracht. Alle anderen vorhandenen Konstruktionen bleiben unverändert. In Abbildung 72 werden die ursprünglichen Ergebnisse des Energieausweises, bei denen nur das Bestandsmauerwerk durch den Einsatz der entwickelten Fertigteilfassade verbessert wurde, in hellgrau dargestellt. In schwarz sind die aktuellen Ergebnisse zu sehen, die auch die Sanierung der Decke zum unbeheizten Dachboden berücksichtigen.



# Energieausweis für Wohngebäude

OiB  
ÖSTERREICHISCHES  
INSTITUT FÜR BAUTECHNIK

OiB-Richtlinie 6  
Ausgabe: April 2019

**BEZEICHNUNG** Bestandsobjekt inkl. Sanierung Bestandsmauerwerk und D

**Gebäude(-teil)** Wohnen

**Nutzungsprofil** Wohngebäude mit einer oder zwei Nutzungseinheiten

**Straße** Raasdorferstraße 51

**PLZ/Ort** 2285 Leopoldsdorf im Marchfeld

**Grundstücksnr.** 562/10-9

**Umsetzungsstand** Bestand

**Baujahr** 1965

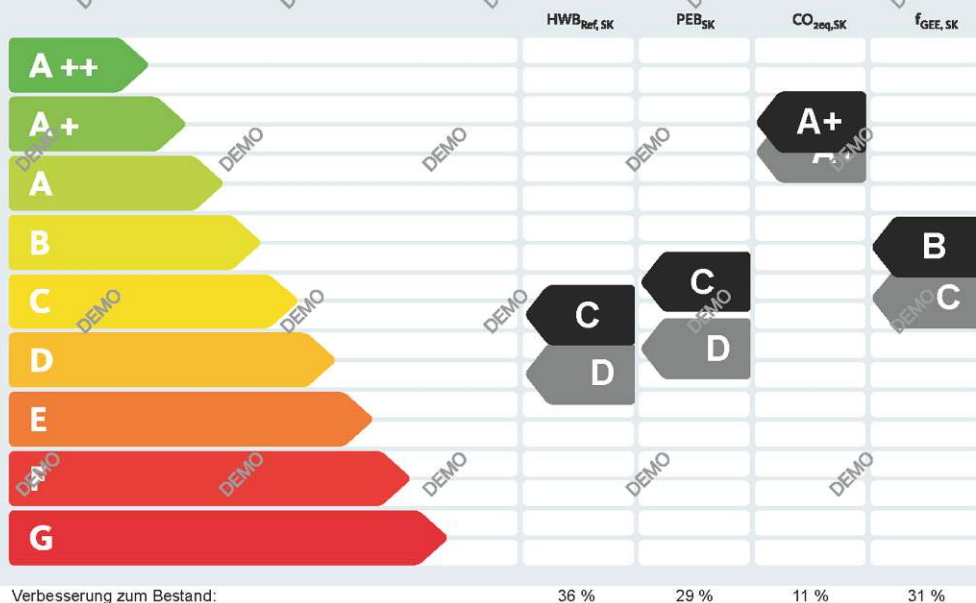
**Letzte Veränderung**

**Katastralgemeinde** Leopoldsdorf im Marchfeld

**KG-Nr.** 06211

**Seehöhe** 151 m

## SPEZIFISCHER REFERENZ-HEIZWÄRMEBEDARF, PRIMÄRENERGIEBEDARF, KOHLEN-DIOXIDEMISSIONEN und GESAMTENERGIEEFFIZIENZ-FAKTOR jeweils unter STANDORTKLIMA-(SK)-Bedingungen



**HWB<sub>ref</sub>:** Der Referenz-Heizwärmebedarf ist jene Wärmemenge, die in den Räumen bereitgestellt werden muss, um diese auf einer normativ geforderten Raumtemperatur, ohne Berücksichtigung allfälliger Erträge aus Wärmerückgewinnung, zu halten.

**WWWB:** Der Warmwasserwärmebedarf ist in Abhängigkeit der Gebäudekategorie als flächenbezogener Defaultwert festgelegt.

**HEB:** Beim Heizenergiebedarf werden zusätzlich zum Heiz- und Warmwasserwärmebedarf die Verluste des gebäudetechnischen Systems berücksichtigt, dazu zählen insbesondere die Verluste der Wärmebereitstellung, der Wärmeverteilung, der Wärmespeicherung und der Wärmeabgabe sowie allfälliger Hilfsenergie.

**HHSB:** Der Haushaltsstrombedarf ist als flächenbezogener Defaultwert festgelegt. Er entspricht in etwa dem durchschnittlichen flächenbezogenen Stromverbrauch eines österreichischen Haushalts.

**RK:** Das Referenzklima ist ein virtuelles Klima. Es dient zur Ermittlung von Energiekennzahlen.

**EEB:** Der Endenergiebedarf umfasst zusätzlich zum Heizenergiebedarf den Haushaltsstrombedarf, abzüglich allfälliger Endenergieerträge und zuzüglich eines dafür notwendigen Hilfsenergiebedarfs. Der Endenergiebedarf entspricht jener Energiemenge, die eingekauft werden muss (Lieferenergiebedarf).

**f<sub>GEE</sub>:** Der Gesamtenergieeffizienz-Faktor ist der Quotient aus einerseits dem Endenergiebedarf abzüglich allfälliger Endenergieerträge und zuzüglich des dafür notwendigen Hilfsenergiebedarfs und andererseits einem Referenz-Endenergiebedarf (Anforderung 2007).

**PEB:** Der Primärenergiebedarf ist der Endenergiebedarf einschließlich der Verluste in allen Vorketten. Der Primärenergiebedarf weist einen erneuerbaren (PEB<sub>ren</sub>) und einen nicht erneuerbaren (PEB<sub>nen</sub>) Anteil auf.

**CO<sub>2eq</sub>:** Gesamte dem Endenergiebedarf zuzurechnenden äquivalenten Kohlendioxidemissionen (Treibhausgase), einschließlich jener für Vorketten.

**SK:** Das Standortklima ist das reale Klima am Gebäudestandort. Dieses Klimamodell wurde auf Basis der Primärdaten (1970 bis 1999) der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik für die Jahre 1978 bis 2007 gegenüber der Vorfassung aktualisiert.

Alle Werte gelten unter der Annahme eines normierten BenutzerInnenverhaltens. Sie geben den Jahresbedarf pro Quadratmeter beheizter Brutto-Grundfläche an.

Dieser Energieausweis entspricht den Vorgaben der OiB-Richtlinie 6 „Energieeinsparung und Wärmeschutz“ des Österreichischen Instituts für Bautechnik in Umsetzung der Richtlinie 2010/31/EU vom 19. Mai 2010 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden bzw. 2018/844/EU vom 30. Mai 2018 und des Energieausweis-Vorlage-Gesetzes (EAVG). Der Ermittlungszeitraum für die Konversionsfaktoren für Primärenergie und Kohlendioxidemissionen ist für Strom: 2013-09 – 2018-08, und es wurden übliche Allokationsregeln unterstellt.



# Energieausweis für Wohngebäude

OIB  
ÖSTERREICHISCHES  
INSTITUT FÜR BAUTECHNIK

OIB-Richtlinie 6  
Ausgabe: April 2019

## GEBÄUDEKENNDATEN

Brutto-Grundfläche (BGF)	151,6 m²	Heiztage	271 d	Art der Lüftung	Fensterlüftung
Bezugsfläche (BF)	121,3 m²	Heizgradtage	3562 Kd	Solarthermie	- m²
Brutto-Volumen (V <sub>B</sub> )	454,8 m³	Klimaregion	N/SO	Photovoltaik	- kWp
Gebäude-Hüllfläche (A)	478,7 m²	Norm-Außentemperatur	-13,8 °C	Stromspeicher	- kWh
Kompaktheit (A/V)	1,05 1/m	Soll-Innentemperatur	22,0 °C	WW-WB-System (primär)	Strom direkt
charakteristische Länge (L <sub>c</sub> )	0,95 m	mittlerer U-Wert	0,320 W/m²K	WW-WB-System (sekundär, opt.)	-
T <sub>g</sub> -BGF	- m²	LEK <sub>c</sub> -Wert	32,65	RH-WB-System (primär)	Kessel, Pellets
Teil-BF	- m²	Bauweise	mittelschwere	RH-WB-System (sekundär, opt.)	-
Teil-V <sub>B</sub>	- m³				

EA-Art:

## WÄRME- UND ENERGIEBEDARF (Referenzklima)

Nachweis über den  
Gesamtenergieeffizienzfaktor

Ergebnisse	Anforderungen
Referenz-Heizwärmebedarf HWB <sub>Ref,RK</sub> = 83,9 kWh/m²a entspricht	HWB <sub>Ref,RK,zul</sub> = 90,8 kWh/m²a
Heizwärmebedarf HWB <sub>RK</sub> = 83,9 kWh/m²a	
Endenergiebedarf EEB <sub>RK</sub> = 130,1 kWh/m²a	
Gesamtenergieeffizienzfaktor f <sub>GEE,RK</sub> = 0,94 entspricht	f <sub>GEE,RK,zul</sub> = 0,95
Erneuerbarer Anteil	Punkt 5.2.3 a, b, c

## WÄRME- UND ENERGIEBEDARF (Standortklima)

Referenz-Heizwärmebedarf	Q <sub>R,Ref,SK</sub> = 13.536 kWh/a	HWB <sub>Ref,SK</sub> = 89,3 kWh/m²a
Heizwärmebedarf	Q <sub>H,SK</sub> = 12.926 kWh/a	HWB <sub>SK</sub> = 85,3 kWh/m²a
Warmwasserwärmebedarf	Q <sub>WW</sub> = 1.162 kWh/a	WWW <sub>SK</sub> = 7,7 kWh/m²a
Heizenergiebedarf	Q <sub>H,Ref,SK</sub> = 18.642 kWh/a	H <sub>Ref,SK</sub> = 123,0 kWh/m²a
Energieaufwandszahl Warmwasser		e <sub>AWZ,WW</sub> = 2,15
Energieaufwandszahl Raumheizung		e <sub>AWZ,RH</sub> = 1,19
Energieaufwandszahl Heizen		e <sub>AWZ,H</sub> = 1,27
Haushaltsstrombedarf	Q <sub>H,HB</sub> = 2.106 kWh/a	HHSB = 13,9 kWh/m²a
Endenergiebedarf	Q <sub>EEB,SK</sub> = 20.748 kWh/a	EEB <sub>SK</sub> = 136,9 kWh/m²a
Primärenergiebedarf	Q <sub>PEB,SK</sub> = 25.823 kWh/a	PEB <sub>SK</sub> = 170,3 kWh/m²a
Primärenergiebedarf nicht erneuerbar	Q <sub>PEB,nern,SK</sub> = 6.450 kWh/a	PEB <sub>nern,SK</sub> = 42,6 kWh/m²a
Primärenergiebedarf erneuerbar	Q <sub>PEB,ern,SK</sub> = 19.372 kWh/a	PEB <sub>ern,SK</sub> = 127,8 kWh/m²a
äquivalente Kohlendioxidemissionen	Q <sub>CO2eq,SK</sub> = 1.352 kg/a	CO <sub>2eq,SK</sub> = 8,9 kg/m²a
Gesamtenergieeffizienzfaktor		f <sub>GEE,SK</sub> = 0,94
Photovoltaik-Export	Q <sub>PVE,SK</sub> = 0 kWh/a	PVE <sub>EXPORT,SK</sub> = 0,0 kWh/m²a

## ERSTELLT

GWR-Zahl		ErstellerIn	ArchiPHYSIK - Demo-Version - A-NULL
Ausstellungsdatum	25.11.2023	Unterschrift	
Gültigkeitsdatum	24.11.2033		
Geschäftszahl			

Die Energiekennzahlen dieses Energieausweises dienen ausschließlich der Information. Aufgrund der idealisierten Eingangsparameter können bei tatsächlicher Nutzung erhebliche Abweichungen auftreten. Insbesondere Nutzungseinheiten unterschiedlicher Lage können aus Gründen der Geometrie und der Lage hinsichtlich ihrer Energiekennzahlen von den hier angegebenen abweichen.

ArchiPHYSIK - Demo-Version - A-NULL

Demo

12.12.2023

Abbildung 73 Energieausweis mit saniertem Bestandsmauerwerk inkl. Deckensanierung zu unbeheiztem Dachbereich, Seite 2

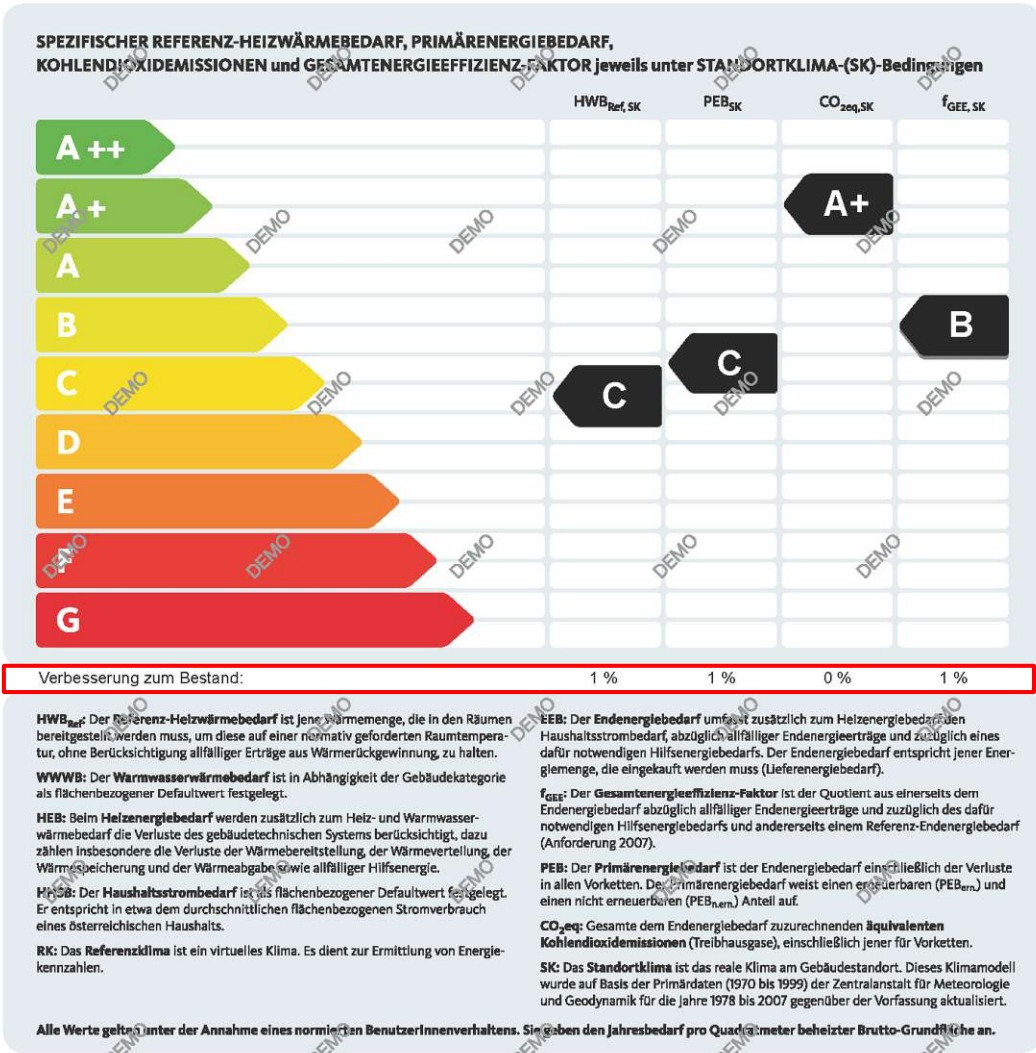
Die Abbildung 73 verdeutlicht, dass durch die zusätzliche Sanierung der Bestandsdecke zum unbeheizten Dach die von der OIB 6 aus dem Jahr 2019 geforderten Mindestwerte erreicht werden können. Es sei angemerkt, dass bei allen Energieausweisen der gesamte Fußboden, der einer Nutzfläche von etwa 115m<sup>2</sup> entspricht, unsaniert geblieben ist und weiterhin direkten Kontakt zum Erdreich aufweist.

Um einen Vergleich mit standardisierten Systemen anzustellen, soll nun eine konventionelle Sanierung in Form einer WDVS-Fassade direkt mit dem entwickelten Fertigteilsystem verglichen werden. Für diesen Vergleich wird der Energieausweis herangezogen, bei dem sowohl die Bestandsfassade als auch die Decke zum unbeheizten Dach saniert wurden.

# Energieausweis für Wohngebäude

**OIB** ÖSTERREICHISCHES INSTITUT FÜR BAUTECHNIK  
OIB-Richtlinie 6  
Ausgabe: April 2019

<b>BEZEICHNUNG</b>	Bestandsobjekt mit WDVS und San. Decke zu Dach	<b>Umsetzungsstand</b>	Bestand
<b>Gebäude(-teil)</b>	Wohnen	<b>Baujahr</b>	1965
<b>Nutzungsprofil</b>	Wohngebäude mit einer oder zwei Nutzungseinheiten	<b>Letzte Veränderung</b>	
<b>Straße</b>	Raasdorferstraße 51	<b>Katastralgemeinde</b>	Leopoldsdorf im Marchfelde
<b>PLZ/Ort</b>	2285 Leopoldsdorf im Marchfelde	<b>KG-Nr.</b>	06211
<b>Grundstücksnr.</b>	562/10-9	<b>Seehöhe</b>	151 m



Dieser Energieausweis entspricht den Vorgaben der OIB-Richtlinie 6 „Energieeinsparung und Wärmeschutz“ des Österreichischen Instituts für Bautechnik in Umsetzung der Richtlinie 2010/31/EU vom 19. Mai 2010 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden bzw. 2018/844/EU vom 30. Mai 2018 und des Energieausweis-Vorlage-Gesetzes (EAVG). Der Ermittlungszeitraum für die Konversionsfaktoren für Primärenergie und Kohlendioxidemissionen ist für Strom: 2013-09 – 2018-08, und es wurden übliche Allokationsregeln unterstellt.

Abbildung 74 Energieausweise mit herkömmlicher WDVS-Fassade inkl. Deckensanierung zu unbeheiztem Dachbereich, Seite 1

# Energieausweis für Wohngebäude

**OIB** ÖSTERREICHISCHES INSTITUT FÜR BAUTECHNIK  
 OIB-Richtlinie 6  
 Ausgabe: April 2019

GEBÄUDEKENNDATEN				EA-Art: <input type="text"/>	
Brutto-Grundfläche (BGF)	151,6 m²	Heiztage	271 d	Art der Lüftung	Fensterlüftung
Bezugsfläche (BF)	121,3 m²	Heizgradtage	3562 Kd	Solarthermie	- m²
Brutto-Volumen (V <sub>B</sub> )	454,8 m³	Klimaregion	N/SO	Photovoltaik	- kWp
Gebäude-Hüllfläche (A)	478,7 m²	Norm-Außentemperatur	-13,8 °C	Stromspeicher	- kWh
Kompaktheit (A/V)	1,05 1/m	Soll-Innentemperatur	22,0 °C	WW-WB-System (primär)	Strom direkt
charakteristische Länge (L <sub>c</sub> )	0,96 m	mittlerer U-Wert	0,320 W/m²K	WW-WB-System (sekundär, opt.)	-
Teil-BGF	- m²	LEK <sub>c</sub> -Wert	32,42	RH-WB-System (primär)	Kessel, Pellets
Teil-BF	- m²	Bauweise	mittelschwere	RH-WB-System (sekundär, opt.)	-
Teil-V <sub>B</sub>	- m³				

WÄRME- UND ENERGIEBEDARF (Referenzklima)				Nachweis über den Gesamtenergieeffizienzfaktor	
Ergebnisse				Anforderungen	
Referenz-Heizwärmebedarf	HWB <sub>Ref,RK</sub> =	83,2 kWh/m²a	entspricht	HWB <sub>Ref,RK,zul</sub> =	90,8 kWh/m²a
Heizwärmebedarf	HWB <sub>RK</sub> =	83,2 kWh/m²a			
Endenergiebedarf	EEB <sub>RK</sub> =	129,4 kWh/m²a			
Gesamtenergieeffizienz-Faktor	f <sub>GEE,RK</sub> =	0,93	entspricht	f <sub>GEE,RK,zul</sub> =	0,95
Erneuerbarer Anteil			entspricht	Punkt 5.2.3 a, b, c	

WÄRME- UND ENERGIEBEDARF (Standortklima)			
Referenz-Heizwärmebedarf	Q <sub>h,Ref,SK</sub> =	13.432 kWh/a	HWB <sub>Ref,SK</sub> = 88,6 kWh/m²a
Heizwärmebedarf	Q <sub>h,SK</sub> =	12.822 kWh/a	HWB <sub>SK</sub> = 84,6 kWh/m²a
Warmwasserwärmebedarf	Q <sub>tw</sub> =	1.162 kWh/a	WWWS <sub>SK</sub> = 7,7 kWh/m²a
Heizenergiebedarf	Q <sub>H,Ref,SK</sub> =	18.515 kWh/a	HWB <sub>SK</sub> = 122,1 kWh/m²a
Energieaufwandszahl Warmwasser			e <sub>AWZ,WW</sub> = 2,15
Energieaufwandszahl Raumheizung			e <sub>AWZ,RH</sub> = 1,19
Energieaufwandszahl Heizen			e <sub>AWZ,H</sub> = 1,27
Haushaltsstrombedarf	Q <sub>HHSB</sub> =	2.106 kWh/a	HHSB = 13,9 kWh/m²a
Endenergiebedarf	Q <sub>EEB,SK</sub> =	20.620 kWh/a	EEB <sub>SK</sub> = 136,0 kWh/m²a
Primärenergiebedarf	Q <sub>PEB,SK</sub> =	25.679 kWh/a	PEB <sub>SK</sub> = 169,4 kWh/m²a
Primärenergiebedarf nicht erneuerbar	Q <sub>PEBn,ern,SK</sub> =	6.437 kWh/a	PEB <sub>n,ern,SK</sub> = 42,5 kWh/m²a
Primärenergiebedarf erneuerbar	Q <sub>PEBn,SK</sub> =	19.242 kWh/a	PEB <sub>ern,SK</sub> = 126,9 kWh/m²a
äquivalente Kohlendioxidemissionen	Q <sub>CO2eq,SK</sub> =	1.349 kg/a	CO <sub>2eq,SK</sub> = 8,9 kg/m²a
Gesamtenergieeffizienz-Faktor			f <sub>GEE,SK</sub> = 0,93
Photovoltaik-Export	Q <sub>PVE,SK</sub> =	0 kWh/a	PVE <sub>EXPORT,SK</sub> = 0,0 kWh/m²a

ERSTELLT			
GWR-Zahl	<input type="text"/>	ErstellerIn	ArchiPHYSIK - Demo-Version - A-NULL
Ausstellungsdatum	25.11.2023	Unterschrift	<input type="text"/>
Gültigkeitsdatum	24.11.2033		
Geschäftszahl	<input type="text"/>		

Die Energiekennzahlen dieses Energieausweises dienen ausschließlich der Information. Aufgrund der idealisierten Eingangsparameter können bei tatsächlicher Nutzung erhebliche Abweichungen auftreten. Insbesondere Nutzungseinheiten unterschiedlicher Lage können aus Gründen der Geometrie und der Lage hinsichtlich ihrer Energiekennzahlen von den hier angegebenen abweichen.

Bei Betrachtung der verschiedenen Energieausweise, fällt auf, dass zwischen dem entwickelten Fertigteilsystem und einer herkömmlichen Sanierung mit einer WDVS-Fassade, kein nennenswerter Unterschied in der Effektivität festgestellt werden kann. Die erzielten Werte, die durch eine Sanierung mit dem entwickelten Fertigelementen erzeugt werden, entsprechen einem Heizwärmebedarf von  $83,9\text{kWh/m}^2\text{a}$ , während eine herkömmliche Sanierung, die anhand einer WDVS-Fassade erfolgt, einen Heizwärmebedarf von  $83,2\text{kWh/m}^2\text{a}$  erzielt. Der Faktor für die Gesamtenergieeffizienz beträgt bei einer Sanierung mit dem entwickelten Fertigteilsystem einen Wert von 0,94. Bei einer Sanierung durch eine WDVS-Fassade beträgt der erzeugte Faktor für die Gesamtenergieeffizienz einen Wert von 0,93.



## 6 Auswertung / Zukünftige Forschung

### 6.1 Abgrenzung dieser Arbeit

Die vorgestellte wissenschaftliche Arbeit stellt eine theoretische Arbeit dar, die basierend auf Analyse, einschlägiger Literatur und weiters Entwicklung von digitalen Prototypen erzeugt wurde. Die getroffenen Annahmen, die zu dem erzielten Fertigmodul geführt haben, basieren ausschließlich auf den Kenntnissen, die anhand der Literaturrecherche gesammelt wurden und den bisher erlangten Architekturkenntnissen des Verfassers dieser wissenschaftlichen Arbeit.

Von dem entwickelten Fertigmodul wurde kein Prototyp errichtet mit dessen Laboruntersuchungen durchgeführt wurden. Um die vorgestellte Funktionsweise zu überprüfen, besteht die Notwendigkeit von intensiven Laboruntersuchungen. Im ersten Schritt muss sichergestellt werden, ob das entwickelte Fertigmodul durch die vorhandenen Montagewinkel tatsächlich das Fertigmodul (erste Schale) und die davor verbaute Lattung und Verkleidung (zweite Schale) statisch trägt. Im Zuge dieser Untersuchung muss auch die erforderliche Minimalstärke der Verbindungsmittel untersucht werden. Generell müssen die Dimensionierung aller verwendeten Materialien überprüft und angepasst werden, um die statische Tragfähigkeit zu gewährleisten. Im folgeschritt muss überprüft werden ob die geplanten schrägen Öffnungen tatsächlich wie angenommen Kondensat überhaupt und wenn ja in ausreichender Menge hindurchlassen, um eine Durchfeuchtung des Fertigmoduls zu verhindern. An dieser Stelle müssen mehrere Prototypen entwickelt werden, da hier ebenfalls die minimal notwendige Anzahl an Öffnungen in der Mehrschichtplatte ermittelt werden muss, um einen idealen Wasserdampfdurchlass zu ermöglichen. Im Folgeschritt muss ebenfalls überprüft werden, ob die Verkleidung mit einer Stärke von 1cm tatsächlich ausreicht, um Windlasten und Niederschlag langfristig standhalten zu können, weiters muss eine ökologische Oberflächenbehandlung der Verkleidung (zweite Schale) ermittelt werden, damit diese dementsprechend lang den Witterungen standhält. Generell sollte hierfür ein Mockup einer Wand erzeugt werden, um eine realitätsnahe Simulation der Fassade zu erzeugen. Das entwickelte Fassadensystem stellt keinesfalls den Anspruch auf Vollständigkeit dar, eher einen ersten Schritt in die Entwicklung eines effizienten Fassadensystems.

## 6.2 Auswertung / Schlussfolgerungen

Die in Abbildung 76 dargestellten Werte zeigen deutlich, dass mit dem entwickelten Fertigmodul, bezüglich der bauphysikalischen Performance, ähnliche Werte erzielt werden können wie bei einer herkömmlichen WDVS-Fassade. Aus bauphysikalischer Sicht kann somit das entwickelte Fertigmodul als gleichwertig gewertet werden.

*Tabelle 3 Erzielte Ergebnisse der Vergleichsanalyse WDVS versus Fertigmodule*

	Referenz-Heizwärmebedarf (kWh/m²a)	Gesamtenergieeffizienz-Faktor
Anforderung lt. OIB 2019	90,8	0,95
Bestandsobjekt unsaniert	223,5	2,22
Bestandsobjekt mit Fertigmodulen saniert, ohne Deckensanierung	132,1	1,36
Bestandsobjekt mit Fertigmodulen saniert, inklusive Deckensanierung	83,9	0,94
Bestandsobjekt mit WDVS saniert, inklusive Deckensanierung	83,2	0,93

Wenn wir nun einen bautechnischen Vergleich zwischen einer WDVS-Fassade und dem entwickelten Fertigmodul erstellen, fallen Unterschiede auf. Die Realisierung einer WDVS-Fassade verläuft in wesentlich kürzerer Zeit als der Einbau der Fertigmodule. Bei einer herkömmlichen WDVS-Fassade kann die Dämmung direkt zugeschnitten und an die Wand verklebt und verdübelt werden. Bei einem Fertigmodul (erste Schale) besteht die Notwendigkeit dieses vor dem Zuschnitt in seine Einzelteile zu zerlegen, nach dem Zuschnitt muss das Fertigmodul wieder zusammengesetzt werden, bevor es eingebaut werden kann. Die notwendigen Arbeitsschritte, die für den Einbau eines Fertigmodul ausgeführt werden müssen, fallen also deutlich höher aus als bei einer WDVS-Fassade. Wenn wir nun die witterungsschützenden Schichten beider Fassadensysteme betrachten, erkennen wir schnell weitere Unterschiede. Bei einem herkömmlichen Außenputz, der bei einer WDVS-Fassade eigensetzt wird, handelt es sich um eine homogene Masse, die über die gesamte Fläche der Fassade aufgetragen wird. Durch die Homogenität der Masse und der Fassadengestaltung, verläuft das Aufbringen eines solchen Außenputzes zügig. Bei dem in dieser wissenschaftlichen Arbeit entwickelten Fassadensystem muss entsprechend der Hinterlüftung eine vertikale Lattung und abschließend eine Verkleidung (zweite Schale) montiert werden. Für die Montage der Lattung und die gestalterische Aufteilung der Verkleidungen wird deutlich mehr Zeit benötigt, weiters sind auch mehrere Arbeitsschritte notwendig. Bei einer WDVS-Fassade ist die Arbeitsteilung der Gewerke deutlich gekennzeichnet und es bestehen klare Schnittstellen, womit die Wahrscheinlichkeit einer Fehlausführung deutlich kleiner ausfällt. Für den Einbau der

Fertigteilfassade, besteht die Notwendigkeit der Abstimmung mehrerer Gewerke mit einem Bauherren. Da der Bauherr keine Fachkraft darstellt, kann dieser Prozess Schwierigkeiten beherbergen, die eventuell zu einer fehlerhaften Ausführung führen können. Diese Annahme kann dadurch weiter verstärkt werden, dass beim Einbau der Fassade teilweise knifflige Stellen wie der Fensterbankbereich oder der Giebelbereich von Fachkräften ausgeführt werden sollen. Das interdisziplinäre Arbeiten verschiedener Gewerke in verschiedenen Arbeitsbereichen erhöht den Arbeitsaufwand deutlich. Jedenfalls wurde hier versucht durch den vorgegebene Baustellenablauf die Leistungen der Gewerke und des Bauherrn so weit voneinander abzugrenzen, dass ein Konfliktpotential minimiert wird. An dieser Stelle kann angenommen werden dass der Einbau einer herkömmlichen WDVS-Fassade deutlich schneller und unkomplizierter verläuft als der Einbau des entwickelten Fassadensystems.

Das entwickelte Fertigmodul kann sich bezüglich Bauzeit und Einbau gegenüber einer WDVS-Fassade nicht behaupten, dafür besitzt es andere Vorteile, denen eine deutlich schwerere Gewichtung zugeordnet werden kann. Der Einbau einer Hinterlüftung ermöglicht einen Kondensataustritt und schützt somit aktiv die Konstruktion und die eingebauten Fertigmodule. Bei einer WDVS-Fassade gibt es keine Hinterlüftung, somit kann bei Wassereintritt das Kondensat nicht entweichen und die Fassade somit nicht austrocknen. Langfristig führt die gestaute Feuchte zu Bauschäden. Ein weiterer deutlicher Vorteil, die das entwickelte Fertigmodul aufweist, stellt die Austauschbarkeit der Fertigmodule dar. Schadhafte Fertigmodule können ganz einfach ersetzt werden, da die davor angebrachte Lattung, Verkleidung und weiters das Fertigmodul selbst mechanisch durch Verschraubungen befestigt sind und somit leicht ausgetauscht werden können. Bei einer WDVS-Fassade kann der Austausch oder Sanierung schadhafter Stellen nicht so leicht erfolgen, bedingt durch den homogenen Fassadenputz, der aufgeschnitten werden muss und weiters die Dämmung die nicht nur verdübelt, sondern ebenfalls verklebt wird. Aus einer bautechnischen Sicht kann das Fertigmodul somit als qualitativ hochwertiger und funktionaler gewertet werden.

Das entwickelte Fertigmodul ist hauptsächlich mit Holz erstellt worden, hinzu kommen noch die Befestigungsschrauben und weiter die U-förmigen Montagewinkel. Die Materialauswahl, wenn wir die Herstellung, Gebrauch und Entsorgung betrachten, ist deutlich nachhaltiger als bei einer WDVS-Fassade. Die Zerlegbarkeit der einzelnen

Fertigmodule ermöglicht eine saubere Trennung und Entsorgung der Materialien, was einen deutlichen Vorteil gegenüber WDVS-Fassaden darstellt, da hier Außenputz und Wärmedämmung eine bündige Verbindung eingehen, die im Nachhinein schwer getrennt werden kann. Holz kann sehr leicht zu recycelten Werkstoffen umgesetzt werden und die Verschraubungen und Montagewinkel können wiederverwendet oder ebenfalls sehr gut recycelt werden. Ökologisch gesehen besitzt das entwickelte Fertigmodul deutliche Vorteile gegenüber einer WDVS-Fassade. Natürlich besteht die Möglichkeit WDVS-Fassaden mit ökologisch nachhaltigen Materialien herzustellen, der tatsächliche Großteil der aktuellen Sanierung und Neubauten wird aber mit XPS- und EPS-Dämmung ausgeführt.

Nach verschiedenen Ansatzpunkten kann die Aussage getroffen werden, dass es sich bei dem entwickelten Fertigmodul um eine bauphysikalisch gleichwertige Alternative zu einer WDVS-Fassade handelt, die aber durch den Einbau des Bauherren kostengünstiger ausfällt, wenn seriell vorproduziert wird. Bautechnisch und ökologisch überwiegen die Vorteile, die sich aus dem Einbau der entwickelten Fertigmodule ergeben. Der Bauzeitfaktor spielt grundsätzlich beim Einbau der entwickelten Fertigmodule keine entscheidende Rolle, da hierfür kein Kran und Personal benötigt werden. Der einzige Punkt durch den gegebenenfalls Zusatzkosten durch die verlängerte Bauzeit entstehen könnten ist die Gerüstmiete, wobei hier angenommen werden kann dass die eingesparten Kran- und Personalkosten hier höher ausfallen würden.

Wenn wir uns nun die Fertigteilfassade abschließend ansehen, ist ersichtlich dass besonders der Dachbereich mit seiner Vielzahl an verschiedenen Dachabschlüssen als problematisch gewertet werden kann. Durch die Vielzahl der verschiedenen Dachabschlüsse kann mit Sicherheit ausgesprochen werden, dass hier keine standardisierte Lösung erarbeitet werden kann. Im Dachbereich wird somit immer eine Sonderlösung notwendig sein, die durch ein qualifiziertes Gewerk ausgeführt werden muss. Nach Betrachtung verschiedener Bestandsgebäude hat sich jedenfalls ergeben, dass oftmals Walmdächer bereits einen Dachabschluss aufweisen, die ebenfalls eine abschließende horizontale Verkleidung besitzen. Somit eignen sich Walmdächer besonders gut für die Anwendung des entwickelten Fassadensystems, da somit die Dachanpassung entfallen würde.

Eine weitere wichtige Erkenntnis besteht darin, dass Rhythmusänderungen bei der Positionierung der Fenster und Türen und weiters deren Dimensionierung, schnell zu kniffligen Situationen bei der Verkleidungsaufteilung führen kann. Durch solche Abweichungen kann die Fassadenaufteilung schnell willkürlich und unharmonisch wirken und somit das ästhetische Wunschbild beeinträchtigen.

### **6.3 Zukünftige Forschung**

Aus der oben angeführten Auswertung zeigen sich deutliche Vor- und Nachteile des entwickelten Fertigmoduls. Grundsätzlich müssen in einem nächsten Schritt weitere Anpassungen vorgenommen werden, um das Fertigmodul tatsächlich konkurrenz- und marktfähig zu gestalten.

Die Möglichkeit, die Fertigelemente (erste Schale) in Einzelteile zu zerlegen, stellt aus Sicht des Recyclings einen positiven Aspekt dar, da somit Materialien für den anschließenden Recyclingprozess sauber getrennt und entsorgt werden können. Beim Einbau selbst führt die Kleinteiligkeit zu einem erhöhten Arbeitsaufwand, der mehr Zeit in Anspruch nimmt und das entwickelte Fertigteilsystem weniger attraktiv werden lässt.

Um das System attraktiver zu gestalten, besteht die Notwendigkeit die Fertigmodule (erste Schale) kompakter und weniger kleinteilig zu gestalten. Ein erster bedeutender Schritt besteht darin, die vorhandene Mehrschichtplatte, die seitlichen Konstruktionshölzer und weiters die Holzfaserdämmung inklusive der davor angebrachten Lattung und Hinterlüftung zu einem einzigen homogenen Material zu vereinen, das sowohl die gleiche Dämmfähigkeit als auch Tragfähigkeit wie das bestehende entwickelte Fertigelement aufweist und zudem ebenso wasserdampfdurchlässig ist. Eine denkbare Herangehensweise wäre beispielsweise die Herstellung von Fertigelementen aus recycelten Holzwerkstoffen wie sie zum Beispiel bei Oriented Strand Board (OSB) Platten angewendet werden, das mit Sägemehl und Restholz, unter Zugabe von Leim als Bindemittel und unter Druck und Hitze zu Fertigelementen verpresst wird. Dieses Fertigelement würde somit sowohl dämmen, tragen und ebenfalls eine Hinterlüftung besitzen. Wichtig ist darauf zu achten, dass nicht zu viel Material verpresst wird, um einen ausreichenden Wasserdampfdurchlass und weiters eine niedrige Wärmeleitfähigkeit beizubehalten. Im gleichen Schritt ist es ebenfalls notwendig, dass genügend Material verpresst wird um die Tragfähigkeit zu gewährleisten. Durch eine erfolgreiche



Herstellung solch eines Fertigelementes können viele Einbauschritte, die ursprünglich notwendig waren, entfallen. Durch die geminderten Arbeitsschritte kann der Einbau erheblich schneller und unkomplizierter erfolgen. Praktisch bedeutet dies, dass die Fertigelemente direkt nach Bedarf zugeschnitten werden können, ohne sie vorher zerlegen zu müssen und nach dem Zuschnitt direkt montiert werden können. Idealerweise soll die Verschraubung direkt ohne Winkel erfolgen, um weitere Materialkosten zu sparen. Im Anschluss muss abschließend nur die Verkleidung an das Fertigelement angeschraubt werden. Der Entfall der Montagewinkel und der Ersatz der Mehrschichtplatten und der seitlichen Konstruktionshölzer sollte demzufolge die Herstellungskosten der Fertigelemente senken. Die geminderten Herstellungskosten lassen die Gewinnspanne steigen, dadurch steigt auch die Wahrscheinlichkeit einer Serienproduktion, um die hohe Nachfrage zu decken.

Nachdem die Anpassung des Fertigmoduls erfolgreich durchgeführt wurde, sollte ebenfalls die Anpassungen der davor angebrachten Verkleidung vorgenommen werden. Idealerweise sollte die Verkleidung ebenfalls mit recycelten Holzwerkstoffen hergestellt werden, was ebenfalls zu geminderten Herstellungskosten führen sollte.

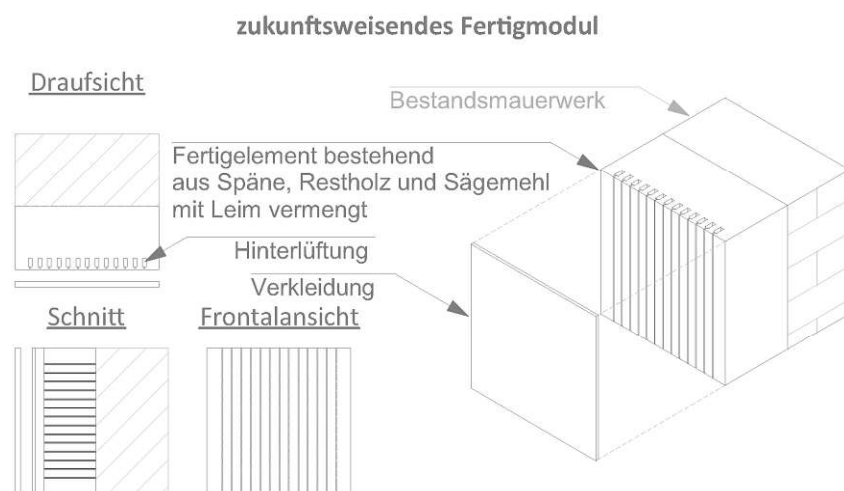


Abbildung 76 zukunftsweisendes Fertigelement

Ein weiterer bedeutender Aspekt, der verbessert werden muss, betrifft die Verantwortung, die den Bauherren beim Aufbau der Fassade übertragen wird. Besonders vor dem Einbau müssen klare Leitachsen festgelegt werden, an denen sich

der Bauherr orientieren kann und auch sollte. Für handwerklich unerfahrene Bauherren kann diese Aufgabe überfordernd sein. Es wäre ideal, diesen Schritt von geschultem Personal begleiten zu lassen, das während des Einbaus beratend zur Seite steht. Wenn das Fassadensystem über handelsübliche Baumärkte vertrieben werden soll, könnte dort das Personal geschult werden, um in der Anfangsphase bei der Planung zu helfen und während der Umsetzungsphase abschnittsweise vorort die Ausführung zu kontrollieren, um etwaige Fehlausführungen zu vermeiden.

Wenn die notwendigen Anpassungsschritte bei den Fertigelementen und der Verkleidung inkl. Lattung erfolgen und gleichzeitig ein weitläufiges Strukturnetz an Zulieferern und Herstellern entsteht, dann besteht tatsächlich ein Potential mit dem entwickelten Fassadensystem den großen Anteil der Einfamilienhäuser ökonomisch, ökologisch und kostengünstig zu sanieren.

Im Verlauf der gesamten wissenschaftlichen Arbeit bestand der Fokus darin ein System zu entwickeln, dass für die nachträgliche Instandsetzung von Gebäuden dienen soll. Grundsätzlich würde auch die Möglichkeit bestehen die Fertigmodule im Bereich des Neubaus anzuwenden, hierfür wären aber wichtige Anpassungen notwendig. Da bei einem Neubau die Länge der Bauzeit tatsächlichen Einfluss auf die Kosten hat, muss der Einbau der Fertigelemente dementsprechend schneller erfolgen als bei einer Instandsetzung. Eine Möglichkeit, um den Einbau zu beschleunigen besteht darin, die Aufteilung der Fertigmodule anhand von CAD-Programmen, unter Mitwirkung einer künstlichen Intelligenz, für alle Fassaden vorzuplanen und die Elemente dementsprechend im Werk passend zugeschnitten vorproduzieren zu lassen. Nach der werkseitigen Herstellung sollen die zugeschnitten Bauteile auf den Baustellen direkt durch die Bauherren montiert werden. Der Einbau würde durch solch eine Vorproduktion schneller erfolgen und wäre somit ebenfalls für einen Neubau grundsätzlich technisch möglich. Da wie bereits mehrmals erwähnt Bauherren keine Fachkräfte darstellen, wäre hier wichtig eine Bauleitung einzusetzen, die alle Arbeiten koordiniert und eintaktet.

## 7 Abkürzungsverzeichnis

Abkürzungen	Bedeutung
GWZ	Gebäude- und Wohnungszählung
WDVS	Wärmedämmverbundsystem
EPS	Expandiertes Polystyrol
XPS	Extrudiertes Polystyrol
OSB	Oriented Strand Board
CAD	Computer Aided Design
OIB	Österreichisches Institut für Bautechnik

## 8 Index

### 8.1 Liste Abbildungen

Abbildung	Bezeichnung	Quelle	Abgerufen
1	Aufteilung Gebäudebestand Österreich 2021	in Anlehnung an (Thomas und Fuchs 2023)	30.09.2023
2	Gebäude nach Eigentumsverhältnisse 2021 in Prozent	(Thomas und Fuchs 2023)	30.09.2023
3	Bestandsgebäude nach Errichtungsjahr GWZ 2021 in Zahlen	in Anlehnung an (Thomas und Fuchs 2023)	12.01.2024
4	Energieeinfluss privater Haushalte 2022	in Anlehnung an (Bundesministerium Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie 2022)	30.09.2023
5	Energetischer Endverbrauch Österreich 2022	(Bundesministerium Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie 2022)	30.09.2023
6	Entwicklung EZB-Leitzins ins Prozent	in Anlehnung an (Stampfl 2023)	16.09.2023

7	Entwicklung Baupreisindex 2010 - 2015	in Anlehnung an (Statistik Austria 2023)	17.09.2023
8	Entwicklung Baupreisindex 2015 - 2020	in Anlehnung an (Statistik Austria 2023)	17.09.2023
9	Entwicklung Baupreisindex zwischen 2020 - 2023	in Anlehnung an (Statistik Austria 2023)	17.09.2023
10	Konstruktionsmöglichkeiten bei Wandaufbauten	in Anlehnung an (Pech und Kolbitsch, 2019) (Knaack, et al. 2014) (Mazera, et al. 2017)	
11	Konstruktionsmöglichkeiten bei massiven Wandaufbauten	in Anlehnung an (Pech und Kolbitsch, 2019) (Knaack, et al. 2014) (Mazera, et al. 2017)	
12	mehrschaliger Wandaufbau	in Anlehnung an (Pech und Kolbitsch, 2019) (Knaack, et al. 2014) (Mazera, et al. 2017)	
13	unsaniertes Bestandsgebäude	(Mäncher 2014)	



14	3D Bestandsgebäudemodell mit vorgehängten Fertigelementen	(Mäncher 2014)	
15	Detailanschluss der Fertigelemente an Bestandswand	(Mäncher 2014)	
16	Montierte Fertigelemente an Bestandswand	(Mäncher 2014)	
17	Montage der Fertigelemente auf der Baustelle	(Mascheck kein Datum)	08.10.2023
18	Reihenhäuservergleich vor und nach der Sanierung	(Oehler 2017)	
19	Montagebauteile für Wandtemperierung LEXU und LEXU II	(Schmidt, et al. 2018)	
20	Detaillschnitt Fassadenfertigelement	(Pahn 2021)	
21	Exemplarischer Aufbau einer hinterlüfteten Fassade	in Anlehnung an (Dataholz 2023)	13.12.2023
22	Last-Zeit-Grenzen normal belastender Bereich	(Bundesministerium für Arbeit, Soziales und Konsumentenschutz 2013)	
23	Last-Zeit-Grenzen belastender Bereich	(Bundesministerium für Arbeit, Soziales und	

		Konsumentenschutz 2013)	
24	Grundmodul (erste Schale) ohne Befestigungsmittel, zweite Schale und seitliche Befestigungshölzer		
25	Grundmodul (erste Schale) inklusive Befestigungsmittel und seitliche Befestigungshölzer, ohne Lattung und Hinterlüftung		
26	Beispielhafte Anwendung des Grundmoduls (erste Schale) an einer Fassade		
27	Beispielhafte Anwendung des Grundmodul (erste Schale) im Dachbereich ohne lattung und Verkleidung		
28	Fertigelement inkl. lattung und Verkleidung (zweiter Schale)		
29	beispielhafte Verkleidungsaufteilung		
30	Detailanschluss Fertigelemente an Bestandswand	(Mäncher 2014)	

31	Sockelanschlussdetail Grundmodul (erste Schale)		
32	Sondermodul für Gebäudeecken		
33	Montagedetails für den Tür- und Fensterbereich		
34	Abschlussdetail Traufe- und Giebelbereich		
35	Erweiterung des Vordaches		
36	Lageplan historisches Bestandsgebäude		
37	Historische Plandarstellung Bestandsgebäude		
38	Fotodokumentation Fassade Nordwest		
39	Fotodokumentation Fassade Nordwest		
40	Fotodokumentation Innenhoffassade Nordost		
41	Fotodokumentation Innenhoffassade Südost		
42	Fotodokumentation Innenhoffassade Nordost		

43	Fotodokumentation Innenhoffassade Südost		
44	Fotodokumentation Innenhoffassade Nordost		
45	Fotodokumentation der Südwestfassade zum Nachbargrundstück		
46	Fotodokumentation der Südwestfassade zum Nachbargrundstück		
47	aktueller Wandaufbau Bestandswände		
48	Energieausweis Bestand, Seite 1		
49	Energieausweis Bestand, Seite 2		
50	Sanierungsumfang		
51	Darstellung Abbruchmaßnahmen und notwendige Erarbeiten		
52	Sockelsanierung, Dacherweiterung und Einbau der neuen Fenster und Türen		
53	Montage eines einzelnen Grundmoduls (erste Schale)		

54	Übersichtsdarstellung Montage Grundmodul (erste Schale) ohne tragende Lattung und Verkleidung		
55	Grundmodulanwendung an der Nordwestfassade		
56	Grundmodulanwendung an der Südwestfassade		
57	Grundmodulanwendung an der Südostfassade Nr.1		
58	Grundmodulanwendung an der Nordostfassade Nr.1		
59	Grundmodulanwendung an der Südostfassade Nr.2		
60	Grundmodulanwendung an der Nordostfassade Nr.2		
61	Anbringen der Lattung in Abhängig von der Verkleidungsaufteilung		
62	Anbringen der Lattung an der Nordwestfassade		
63	Anbringen der Lattung an der Südwestwand		
64	Anbringen der Lattung an der Südostfassade Nr.1		



65	Anbringen der Lattung an der Nordostfassade Nr.1		
66	Anbringen der Lattung an der Südostfassade Nr.2		
67	Anbringen der Lattung an der Nordostfassade Nr.2		
68	Anbringen der Verkleidung		
69	Energieausweis Bestand, Seite 2		
70	Vergleich Energieausweis mit und ohne sanierten Bestandsmauerwerk, Seite 1		
71	Vergleich Energieausweise mit und ohne sanierten Bestandsmauerwerk, Seite 2		
72	Energieausweis mit saniertem Bestandsmauerwerk inkl. Deckensanierung zu unbeheizten Dachbereich, Seite 1		
73	Energieausweis mit saniertem Bestandsmauerwerk inkl. Deckensanierung zu unbeheizten Dachbereich, Seite 2		

74	Energieausweise mit herkömmlicher WDVS- Fassade inkl. Deckensanierung zu unbeheizten Dachbereich, Seite 1		
75	Energieausweise mit herkömmlicher WDVS- Fassade inkl. Deckensanierung zu unbeheizten Dachbereich, Seite 2		
76	zukunftsweisenden Fertigelement		
77	V1 Idee Grundmodul ohne Lattung und Verkleidung		
78	Detailansicht Fertigmodul ohne Lattung und Verkleidung		
79	V1 Detailansicht Fertigmodul mit Lattung und Verkleidung		
80	V1 Montageanleitung für den Aufbau der Fassade		
81	V1 Anpassung der Fertigmodule inklusive Durchsetzung von Materialeinsparung		

82	Entwicklung Verkleidungslösung		
83	V1 Entwicklung einer Verkleidungslösung der Fassade		
84	V1 Entwicklung Sonnenschutz		
85	V2 Idee Grundmodul ohne Lattung und Verkleidung		
86	V2 Grundmodul mit lattung und Verkleidung		
87	V2 Lösung Gebäudeeckbereiche		
88	Lösung Sockelbereich		

## 8.2 Liste Tabellen

Tabelle	Bezeichnung	Quelle	Abgerufen
1	Übersicht natürliche Dämmstoffe	(Kaiser, et al. 2020)	27.12.2023
2	Kennwerte für 1 Fertigelement	(Baubook Deklaration Zentrale kein Datum)	27.12.2023
3	Erzielte Ergebnisse der Vergleichsanalyse WDV versus Fertigmodule		

## 9 Literaturverzeichnis

Baubook Deklaration Zentrale. *Baubook Deklaration Zentrale (Produkte)*. kein Datum. Baubook Deklaration Zentrale (Zugriff am 27. 12 2023).

Baunetz Wissen. *Baunetz\_Wissen\_Fassade*. kein Datum.  
<https://www.baunetzwissen.de/fassade/fachwissen/grundlagen/anforderungen-an-fassaden-1451893> (Zugriff am 21. 09 2023).

Borgmeier, Andrea, und Andreas Braunreiter. *Bautechnik für Fliesen-, Platten- und Mosaikleger 2. Auflage*. Germany: Vieweg Teubner, 2011.

Bundesministerium für Arbeit, Soziales und Konsumentenschutz. *Manuelle Lasthabung, Heben, Halte, Tragen*. Wien, 09 2013.

Bundesministerium Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie. *Zahlen, Daten, Fakten Energie in Österreich*. 2022.  
<https://www.bmk.gv.at/themen/energie/publikationen/zahlen.html> (Zugriff am 30. 09 2023).

Dataholz. *Dataholz.eu (geprüfte/zugelassene Bauteile>Ausssenwand)*. 02. 08 2023.  
<https://www.dataholz.eu/bauteile/bauteil-aussenwand/detail/kz/awmoho05a.htm> (Zugriff am 18. 12 2023).

Directorate-General for Climate Action. *European Commission*. kein Datum.  
[https://climate.ec.europa.eu/eu-action/european-climate-law\\_en](https://climate.ec.europa.eu/eu-action/european-climate-law_en) (Zugriff am 18. 01 2024).

Kaiser, Christian, Werner Niklasch, Hamlet Schöpgens, Josef Spritzendorfer , und Melita Tuschinski. *Marktübersicht Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen*. Broschüre, 18276 Gülzow-Prünzen: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR), 2020.

Kaufmann, Hermann, Stefan Krötsch, und Stefan Winter . *ATLAS Mehrgeschossiger Holzbau*. München, Germany: Detail Buisness Information GmbH, 2017.

Knaack, Ulrich, Klein Tillmann, Marcel Bilow, und Thomas Auer. *Fassaden Prinzipien der Konstruktion*. Germany: Birkhäuser Verlag GmbH, Basel, 2014.

- Leitbold, Jens. *TGA*. 10. 08 2023. <https://tga.at/wohnbau/serielle-sanierung-renowave/> (Zugriff am 05. 10 2023).
- Lorbek, Maja. „Einblicke in die Geschichte der Wärmedämmung.“ *konstruktiv-Zeitschrift der Bundeskammer der Architekten und Ingenieurkonsulenten*, 2008. 265: 20-21.
- Luckert, Hagen. „Infina.“ *Entwicklung der Baukosten in Österreich 2000-2023*. 20. 12 2023. <https://www.infina.at/trends/entwicklung-der-baukosten/> (Zugriff am 18. 01 2024).
- Mäncher, Stefan. „Forum Holzbau.“ *Forum Holzbau*. 2014. <https://www.forum-holzbau.com/> (Zugriff am 05. 10 2023).
- Mascheck, Christian. „CREADLE.“ *Seriell Sanieren. So funktioniert der „Energiesprung“*. kein Datum. <https://cradle-mag.de/artikel/serielles-sanieren-energiesprung.html> (Zugriff am 08. 10 2023).
- Mazera, Karl, Thomas Bednar, und Christof Riccabona. *Baukonstruktion Band 1*. Wien: Manz, 2017.
- Müller, Sabine, und Peter Scheibstock. *CO2-Reduktion in der gebauten Umwelt – Von der Formulierung strategischer Leitlinien bis zur Planung und Umsetzung. Bautechnik (Bautechnik 98,Heft11)*. Berichtsartikel , Berlin: Ernst & Sohn Verlag , 2021.
- N 26. *N26*. 15. 09 2023. <https://n26.com/de-de/blog/ezb-leitzins> (Zugriff am 17. 12 2023).
- Neufert, Ernst, Johannes Kister, Mathias Brockhaus, Matthias Lohmann, und Patrica Merkel. *Neufert Bauentwurfslehre*. Wiesbaden, Germany: Springer Vieweg, 2022.
- Oehler, Stefan. *Emissionsfreie Gebäude*. Jüchen, Deutschland: Springer Vieweg, 2017.
- Pahn, Matthias. *Informationsdienst Wissenschaft (idw)*. 21. 06 2021. <https://idw-online.de/de/news771520#> (Zugriff am 06. 10 2023).



Pech, Anton, Georg Pommer, und Johannes Zeininger. *Baukonstruktionen fassaden Band 13 (1.Auflage)*. Wien: AMBRA | V, 2014.

Pech, Anton, und Andreas Kolbitsch. *Baukonstruktion Wände Band 4 (2.Auflage)*. Basel: Birkhäuser Verlag GmbH, 2019.

Scherer, Peter. „Baukosten und Baupreise.“ *Bauzeitung*, 2018: 6-10.

Schmidt, Christoph, Horst Altgelb, Bodo Groß, Gerhard Luther, Stefan Maas, und Frank Scholzen. *Außenliegende Wandtemperierung, Bauphysik 40 (Heft4)*, DOI 10.1002/bapi.201810021. Wissenschaftlicher Artikel, Berlin, Germany: Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co.KG, 2018.

Stampfl, Elfi. „Infina die Wohnbau Experten.“ *EZB Leitzins: Verlauf, Statistik und Prognose*. 14. 12 2023. <https://www.infina.at/trends/ezb-leitzins/> (Zugriff am 16. 09 2023).

Statistik Austria. *Statistik Austria (Baupreisindex)*. 10. 11 2023. <https://www.statistik.at/statistiken/industrie-bau-handel-und-dienstleistungen/konjunktur/baupreisindex> (Zugriff am 17. 09 2023).

Thomas, Tobias, und Regina Fuchs. *Statistik Austria (Präsentation Gebäude- und Wohnungszählung 2021)*. 19. 09 2023. <https://www.statistik.at/statistiken/bevoelkerung-und-soziales/wohnen/wohnungsbestand> (Zugriff am 30. 09 2023).

Umzugskartons-Versandkartons. *Umzugskartons-Versandkartons*. kein Datum. <https://www.umzugskartons-versandkartons.de/umzugskartons-buecher-abmasse-gewicht-groesse-volumen.html> (Zugriff am 06. 10 2023).

Wirtschaftskammer Österreich (WKO). *WKO (Indexermittlung und Veränderungsraten)*. 11. 03 2023. [https://www.wko.at/service/zahlen-daten-fakten/Baukosten-\\_und\\_Baupreisindex.html](https://www.wko.at/service/zahlen-daten-fakten/Baukosten-_und_Baupreisindex.html) (Zugriff am 17. 09 2023).

Zimmermann, Josef, und Maximilian Reiser. „Prognose des Verbrauchs grauer Energie über die Lebensdauer von Gebäuden.“ *Bautechnik*, 2021: 63-73.

## 10 Anhang

Die oben vorgestellte erste Schale, die das Fertigelement darstellt, ist das resultat verschiedener Entwurfskonzepte die aufeinander aufbauend entwickelt wurden. Die unten angeführten Abbildung stellt die vorangegangenen Entwürfe Version1(V1) und Version2(V2) dar. Um den Anspruch der Vollständigkeit gerecht zu werden, wurden diese Vorgängerversionen hier angeführt.

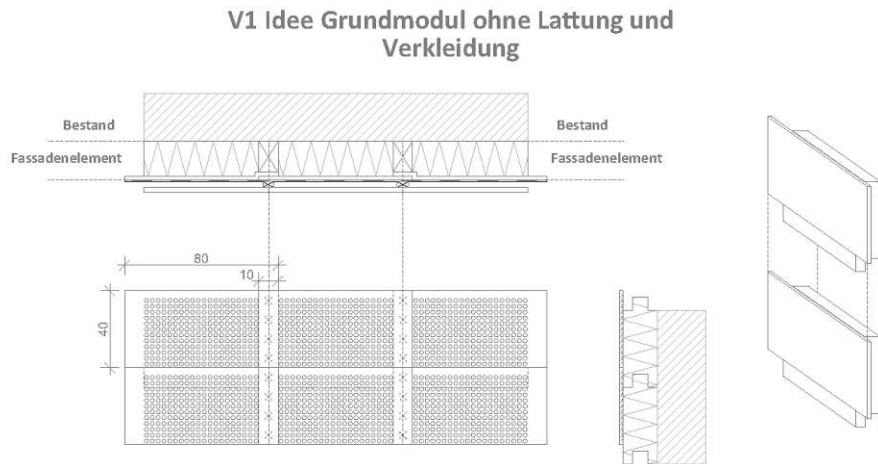


Abbildung 77 V1 Idee Grundmodul ohne Lattung und Verkleidung

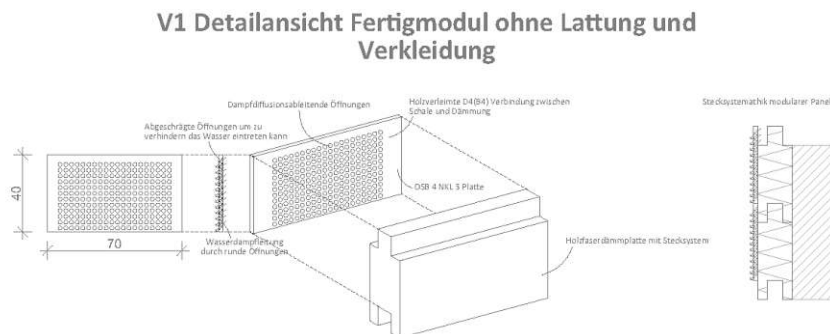


Abbildung 78 Detailansicht Fertigmodul ohne Lattung und Verkleidung

### V1 Detailansicht Fertigmodul mit Lattung und Verkleidung

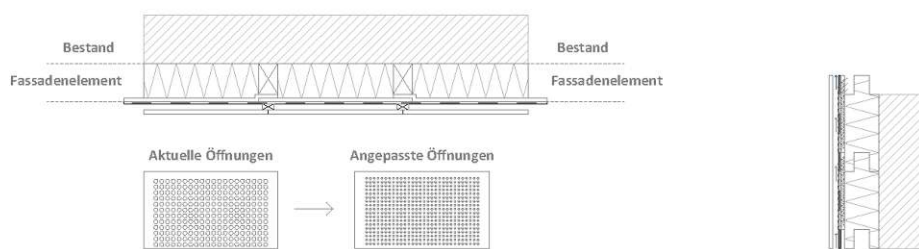


Abbildung 79 V1 Detailansicht Fertigmodul mit Lattung und Verkleidung

### V1 Montageanleitung für den Aufbau der Fassade

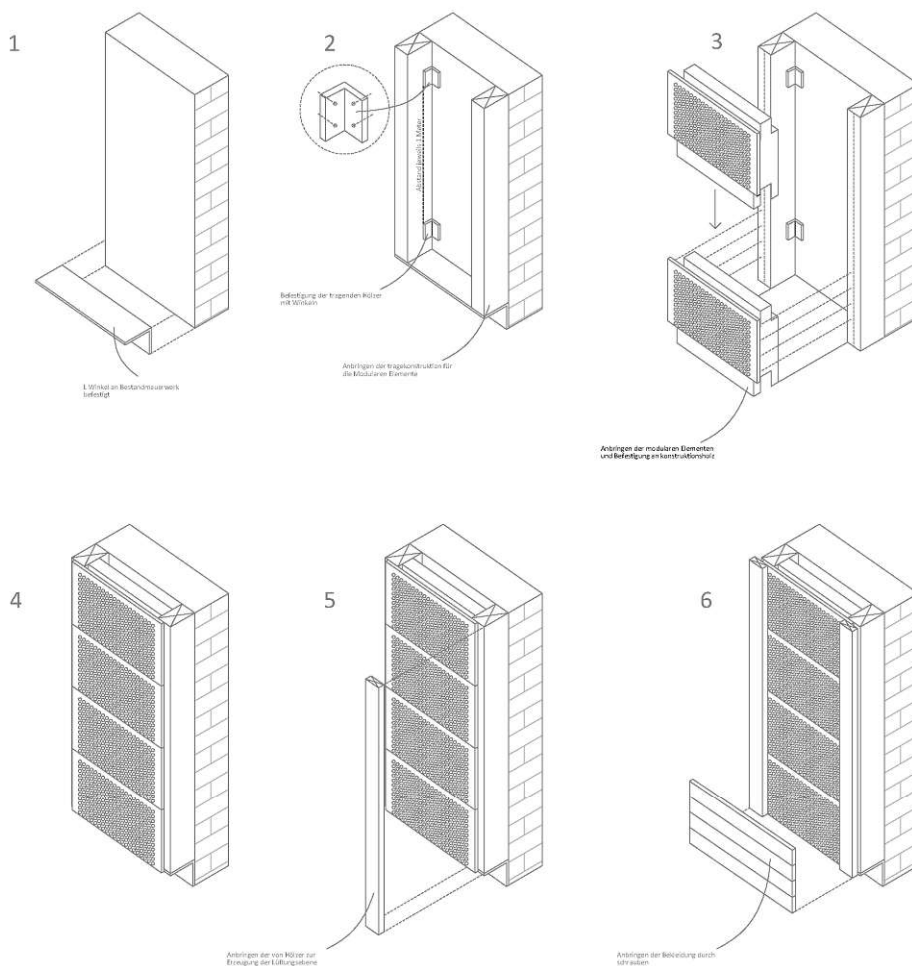


Abbildung 80 V1 Montageanleitung für den Aufbau der Fassade

## V1 Anpassung der Fertigmodule inklusive durchsetzung von Materialeinsparung

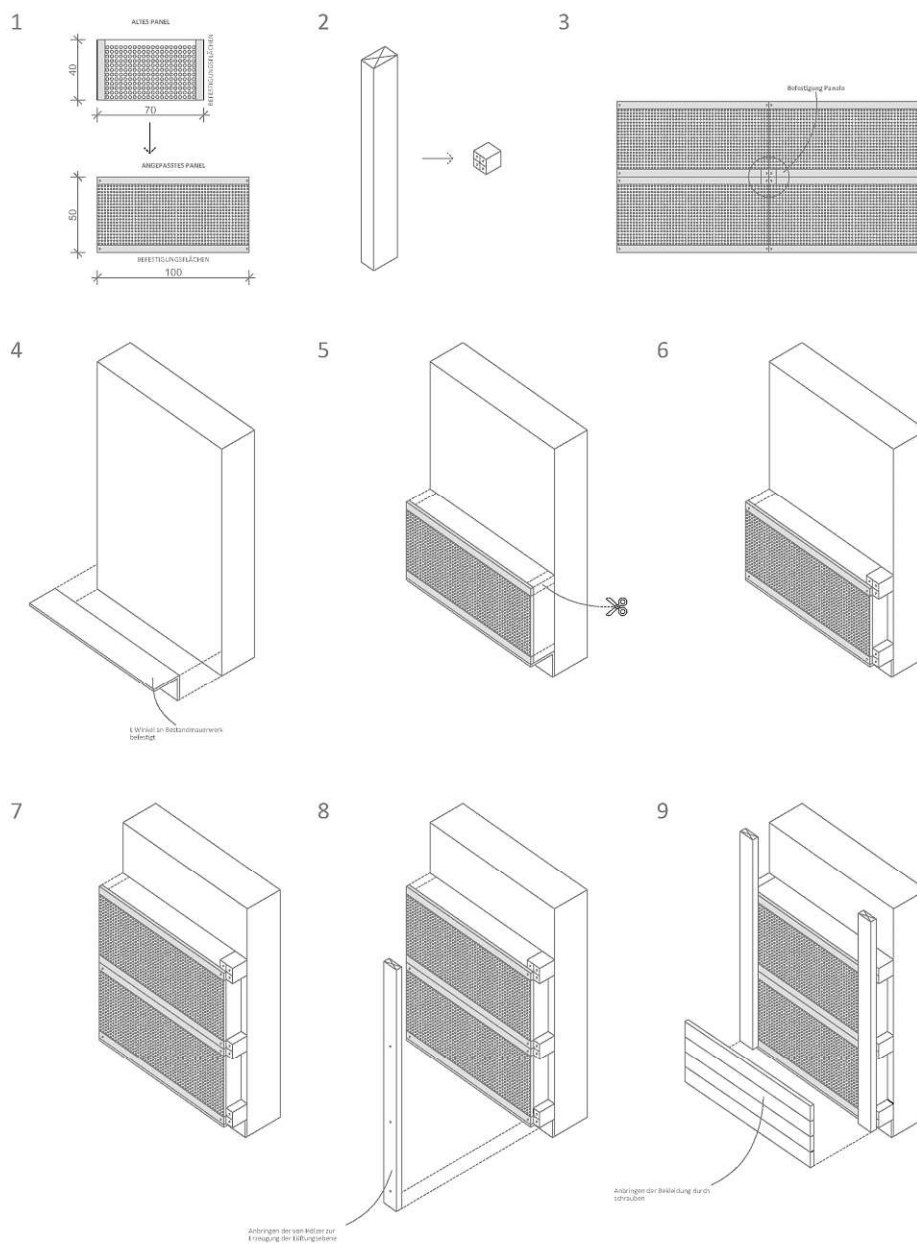


Abbildung 81 V1 Anpassung der Fertigmodule inklusive Durchsetzung von Materialeinsparung

## V1 Entwicklung einer Verkleidungslösung

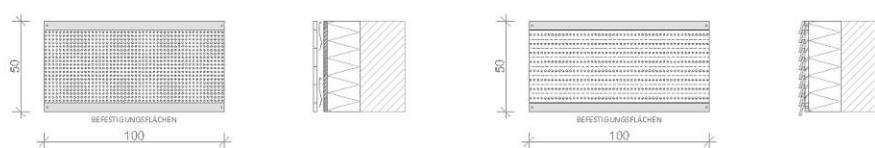


Abbildung 82 Entwicklung Verkleidungslösung

### V1 Entwicklung einer Verkleidungslösung der Fassade

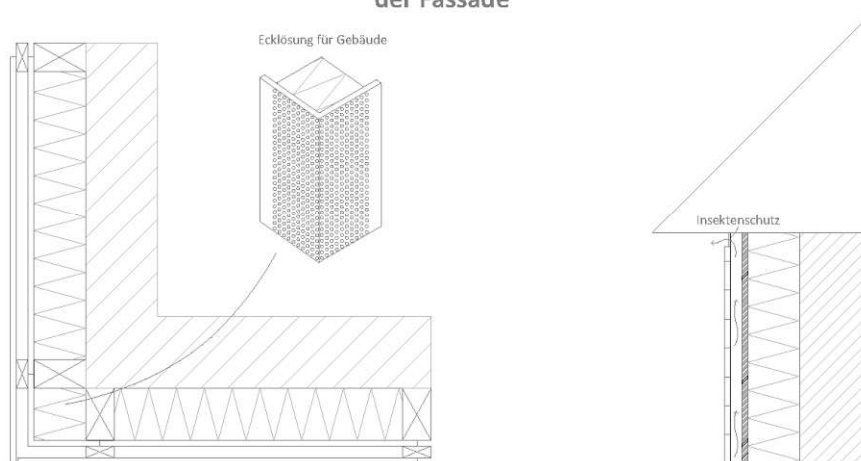


Abbildung 83 V1 Entwicklung einer Verkleidungslösung der Fassade

### V1 Entwicklung Sonnenschutz

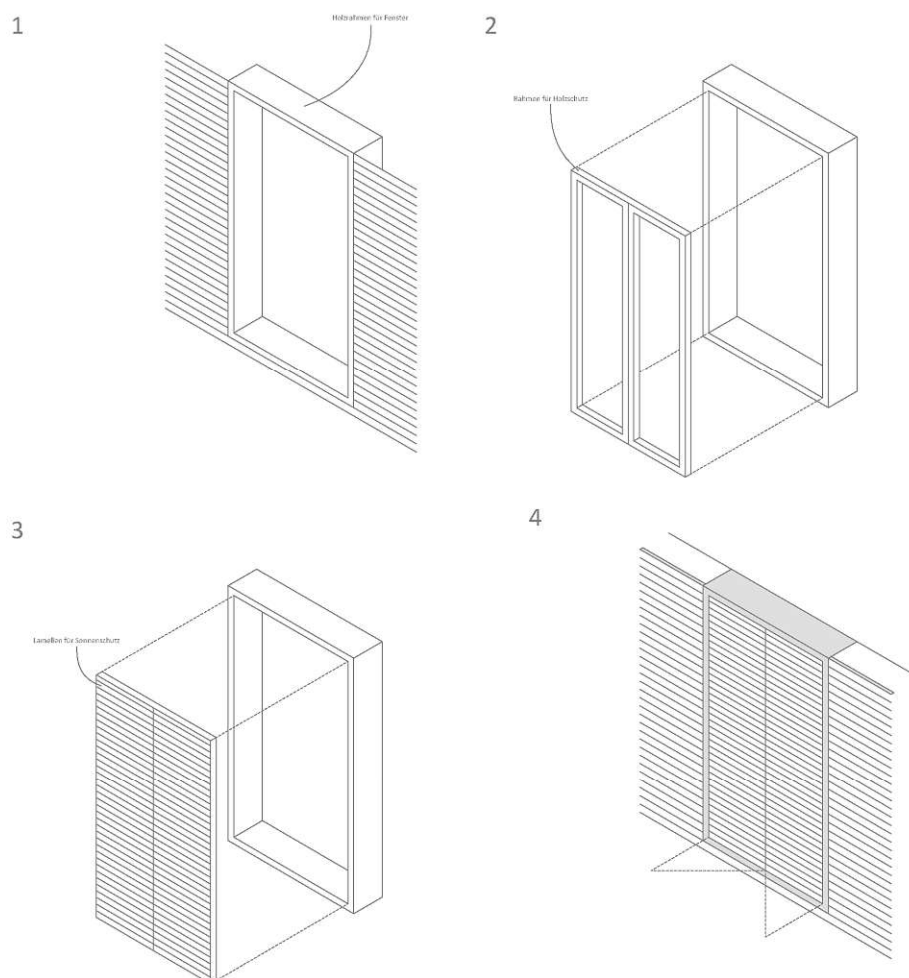


Abbildung 84 V1 Entwicklung Sonnenschutz

### V2 Idee Grundmodul ohne Lattung und Verkleidung

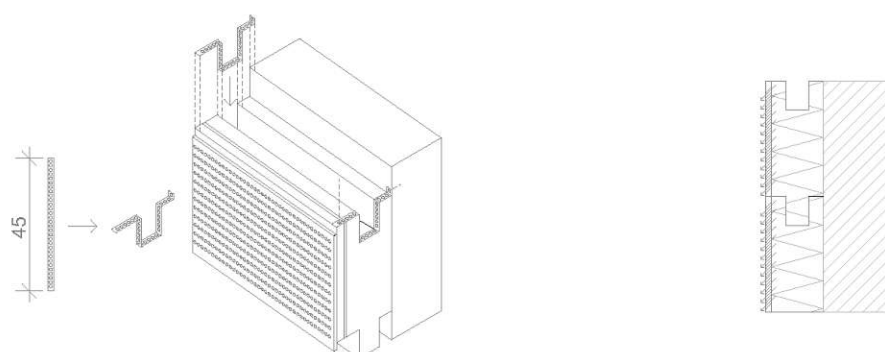


Abbildung 85 V2 Idee Grundmodul ohne Lattung und Verkleidung

### V2 Grundmodul mit Lattung und Verkleidung

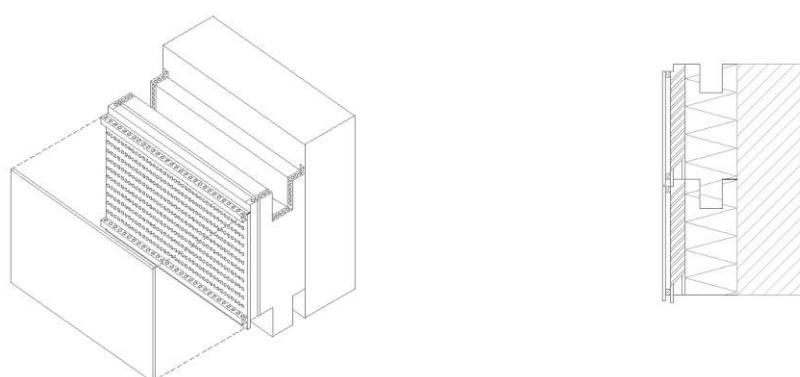


Abbildung 86 V2 Grundmodul mit Lattung und Verkleidung



## V2 Lösung Gebäudeeckbereiche

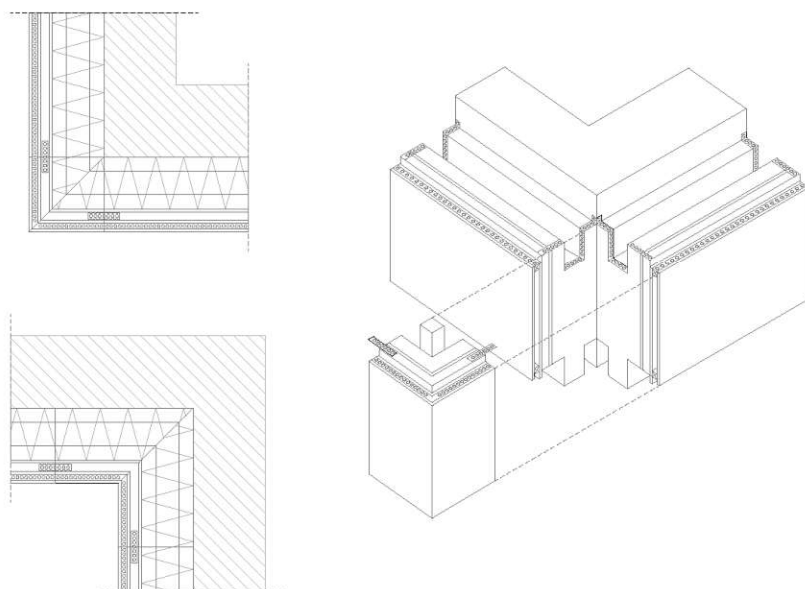


Abbildung 87 V2 Lösung Gebäudeeckbereiche

## V2 Lösung Gebäudeeckbereiche

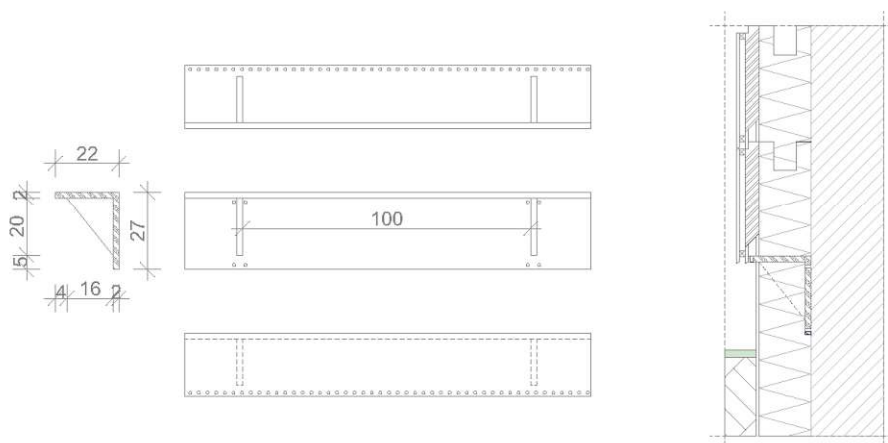


Abbildung 88 Lösung Sockelbereich