



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Energie BFE

Schlussbericht 27. September 2011

Prefabricated systems for low energy renovation of residential buildings

Leitung und Durchführung
IEA ECBCS Annex 50



ccem.ch



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Kommission für Technologie und Innovation KTI

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie BFE
Forschungsprogramm Energie in Gebäuden
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Kofinanzierung:

Competence Centre for Energy and Mobility CCEM, Villigen PSI
Förderagentur für Innovation KTI, Bundesamt für Bildung und Technologie

Auftragnehmer:

Eidg. Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (Empa)
Überlandstrasse 129
CH-8600 Dübendorf
www.empa.ch

Hochschule Luzern, Technik & Architektur (HSLU T&A)
Technikumstrasse 21
CH-6048 Horw
www.hslu.ch

Fachhochschule Nordwestschweiz (FHNW)
Gründenstrasse 40
CH-4132 Muttenz
www.fhnw.ch

Autoren:

Mark Zimmermann, Empa, mark.zimmermann@empa.ch
Peter Schwehr, HSLU-T&A, peter.schwehr@hslu.ch

mit Beiträgen von:

René Kobler, FHNW Muttenz
Reinhard Gottwald, FHNW Muttenz
Robert Fischer, HSLU-T&A, Horw
Sonja Geier, AEE-Intec, Gleisdorf, Österreich
Bertrand Ruot, CSTB, Grenoble, France

BFE-Bereichsleiter: Andreas Eckmanns

BFE-Programmleiter: Charles Filleux

BFE-Vertrags- und Projektnummer: 152876 / 101902

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren dieses Berichts verantwortlich.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	4
Abstract.....	5
1. Einleitung	6
2. Renovationskonzept	9
2.1 Ausgangslage.....	9
2.2 Herkömmliche Gebäuderenovation.....	9
2.3 Modernisierung mit vorgefertigten Renovationsmodulen.....	10
2.4 Renovationsprozess.....	11
3. Gebäudetypologie.....	12
3.1 Typologie der schweizerischen Mehrfamilienhäuser	13
3.2 Morphologie der französischen Mehrfamilienhäuser	18
4. Simulation Energiesparpotentiale	19
5. Strategien zur Bauerneuerung.....	20
5.1 Retrofit Strategies Design Guide.....	21
5.2 10 Schritte zu vorgefertigten Renovationsmodulen	24
5.3 Beispiel Schritt 8: Fügetechnik und Befestigungen.....	25
6. Retrofit Advisor – Entscheidungshilfe für die nachhaltige Bauerneuerung	30
6.1 Arbeitsweise	32
6.2 Resultate	32
7. Renovationsmodule	35
7.1 Grossformatige Renovationsmodule.....	36
7.2 Kleinformatige Renovationsmodule	38
8. Geomatik.....	42
8.1 Der messtechnische Werkzeugkoffer	43
8.2 Erste Erfahrungen	43
8.3 Fazit und Ausblick	44
9. Demonstrationsprojekte	46
9.1 Mehrfamilienhauserneuerung Zug	46
9.2 Mehrfamilienhauserneuerung Zürich Höngg.....	48
9.3 Siedlungserneuerung in Graz, Österreich.....	51
10. Referenzen	53

Zusammenfassung

Die nachhaltige Bauerneuerung ist eine grosse Herausforderung unserer Zeit. Kurz vor und vor allem nach dem zweiten Weltkrieg wurden in ganz Europa eine grosse Anzahl Gebäude erstellt, ohne dabei besonders auf die Energieeffizienz zu achten. Diese Gebäude – die einen wesentlichen Anteil des umbauten Raums repräsentieren - weisen nach 30 bis 60 Jahren intensiver Nutzung einen generellen Erneuerungsbedarf auf. Gleichzeitig steckt in ihnen auch das weitaus grösste energetische Sparpotential, das sich im Rahmen einer Gesamterneuerung am besten ausschöpfen liesse.

Die Gebäuderenovation ist jedoch oft eine schwierige und kostspielige Aufgabe. Nicht selten werden durch ungeeignete Massnahmen Bauschäden verursacht und vorhandene Energiesparpotentiale nicht ausgeschöpft.

Mit einem neuartigen Renovationskonzept wurde im Rahmen des Projekts versucht, die Bauerneuerung technisch und bezüglich Bauablauf zu vereinfachen, die Kostensicherheit zu verbessern und die Massnahmen energetisch und bauphysikalisch zu optimieren. Dazu wurden standardisierte und vorfabrizierbare Renovationsmodule entwickelt, welche es erlauben, Altbauten auf einfache Weise mit einer neuen, wärmetechnisch optimierten Gebäudehülle zu versehen.

Das Projekt, welches sich vor allem auf Mehrfamilienhäuser mit umfassendem Renovationsbedarf konzentriert, ist eine Entwicklungszusammenarbeit von Hochschulen und der Bauwirtschaft, in der Schweiz unterstützt durch das Kompetenzzentrum „Energie und Mobilität“ des ETH-Bereichs (CCEM-CH), dem Bundesamt für Energie (BFE) und der Kommission für Innovation und Technologie (KTI). Die internationale Zusammenarbeit erfolgt im Rahmen des Gebädeforschungsprogramms der Internationalen Energieagentur (IEA). Es hat das Ziel, der Bauerneuerung nachhaltige Impulse zu verleihen. Dabei werden insbesondere:

- der Primärenergieverbrauch auf das Niveau Minergie bis Minergie-P ($30\text{--}50 \text{ kWh}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$ für Heizung und Warmwasser) reduziert,
- der Komfort und die Wohnqualität durch eine optimale Ausnutzung des Raumes erhöht,
- der thermische Komfort, die Luftqualität, der Lärmschutz und die Tageslichtnutzung verbessert,
- der Bauprozess vereinfacht und verkürzt und dies bei hoher Qualität und verlässlichen Kosten.

Abstract

Sustainable renewal of the existing building stock is presently an important challenge. A large number of buildings have been constructed before and after the Second World War without special attention to energy efficiency. These buildings – which represent a large share of the existing building stock – have been intensively used for 30 to 60 years and often require a general modernisation. At the same time, they also offer a huge energy saving potential that is most feasible in the framework of a general modernisation.

However, building renovation is a complex and costly task. Construction damage and poor energy efficiency are often the result of inadequate measures.

This project has aimed to develop a new renovation strategy that simplifies the building renovation process and the technical details, improves the cost estimation, and optimizes energy efficiency and building physics. Standardized renovation modules have been developed that allow a high degree of pre-fabrication in the factory. They allow, in a simple way, addition of a new, thermally optimised building envelope to the existing building.

The project focuses on apartment buildings with general renovation need. It is a collaboration between universities and the building industry that was supported by the Competence Centre for Energy and Mobility (CCEM-CH) of the ETH-domain, the Swiss Federal Office of Energy (SFOE) and the Commission for Technology and Innovation (CTI). The international collaboration was established with the building related research programme of the International Energy Agency (IEA). It aims to push the sustainable renewal of buildings by:

- reducing the primary energy consumption to a level between Minergie and Minergie-P standard (30-50 kWh/(m²·a) for heating and domestic hot water),
- improving comfort and housing quality by optimal space use,
- improving thermal comfort, indoor air quality, noise protection and daylighting,
- simple and short renovation processes that guarantee better construction quality at reliable costs.

1. Einleitung

Unsere Gesellschaft wird wesentlich durch den umbauten Raum geprägt. Das wichtigste gesellschaftliche Kapital steckt in unseren Siedlungen, welche über viele Generationen entwickelt und gepflegt wurden. Deshalb ist die Bauerneuerung sowohl volks- wie auch energiewirtschaftlich von grosser Bedeutung. Zwar trägt vielerorts der Neubaubereich immer noch mehr zum Bruttosozialprodukt bei als die Gebäudesanierung. Mittelfristig muss sich dies jedoch grundlegend ändern, da der erneuerungsbedürftige Gebäudebestand laufend wächst und durch die hohen Energiepreise ineffiziente Altbauten zunehmend an Attraktivität verlieren. Sobald die Nachfrage nach Wohnraum sinkt, werden Altbauten zunehmend schwieriger vermietbar sein und es droht die Verslummung der wenig attraktiven Quartiere. Dieses Risiko besteht vor allem für einfache Mehrfamilienhäuser aus den Jahren 1940 – 1970 zu. Bei diesen Gebäuden steht vielfach eine generelle Erneuerung an, welche mit grösseren Investitionen verbunden ist. Nicht allein die Energieeffizienz und der Komfort lassen zu wünschen übrig, häufig entsprechen auch die Grundrisse und der Ausbau nicht mehr dem heutigen Lebensstil.

Die Energiegesetze und auch viele technische Neuerungen zielen vor allem auf die energetische Optimierung von Neubauten. Neubauten für deren Betrieb praktisch keine Energie mehr aufgewendet werden muss, sind wichtig. Entscheidend ist jedoch der energetische Zustand der bestehenden Gebäude, da er den Energiekonsum auf Jahrzehnte hinaus bestimmen wird.

Die Bedeutung der bestehenden Gebäudesubstanz für eine nachhaltige Entwicklung ist unbestritten. Bis ins Jahr 2050 wird in der Schweiz über 90% des Gebäudeenergiebedarfs durch Bauten verursacht, die vor dem Jahr 2000 erstellt wurden. Gleichzeitig weisen Altbauten gegenüber modernen Neubauten häufig ein grosses Defizit bezüglich Komfort und Zweckmässigkeit auf. Die langfristige Vermietbarkeit ist unsicher, die Verslummung der Altbauquartiere vielfach eine Frage der Zeit. Reparaturen und Pinselrenovationen lösen das Problem auf die Dauer nicht, und ständige Teilerneuerungen sind kostspielig und ineffizient.

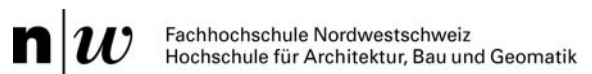
Im Rahmen des Projekts wurde diese Aufgabe grundsätzlich und unkonventionell angegangen. Im Zentrum stehen Mehrfamilienhäuser und Wohnsiedlungen, die einen erheblichen Renovationsbedarf aufweisen. Mehrfamilienhäuser sind die wichtigste urbane Wohnform. Sie stellen in Mitteleuropa fast 50% des umbauten Raums oder rund $\frac{2}{3}$ des Wohnraums dar. Im Gegensatz zu Einfamilienhäusern sind Mehrfamilienhäuser in der Regel Investitionen, die eine bestimmte Rendite erwirtschaften sollen. Sie sind aber auch das Zuhause der Bewohner und mit ihnen durch den bedeutenden Energieverbrauch massgeblich verantwortlich für die Klimaerwärmung. Dies bedeutet deshalb auch eine grosse Verantwortung gegenüber den zukünftigen Generationen und der Umwelt.

Das Ziel ist eine umfassende Erneuerung und Aufwertung der Gebäude. Diese basiert auf einem durchdachten System von weitgehend vorgefertigten, hochisolierenden Wand- und Dachmodulen. Dabei steht nicht allein die energetische Optimierung sondern auch die Aufwertung und Modernisierung der Liegenschaft im Vordergrund. Zusammen mit den energetischen Massnahmen sollen auch Mehrwerte in Form von Grundrissanpassungen und –erweiterungen, Dachausbauten etc. realisiert werden können.

Das Projekt "Nachhaltige Bauerneuerung" wurde im Rahmen des Kompetenzzentrums „Energie und Mobilität“ des ETH-Bereichs (CCEM-CH) in der Schweiz gestartet und durch das Gebäudeforschungsprogramm „Energy Conservation in Buildings and Community Systems (ECBCS)“ der IEA international breit abgestützt. Im Rahmen des IEA-Projekts

„Prefabricated Systems for Low Energy Renovation of Residential Buildings“ haben folgende Länder und Projektpartner mitgearbeitet:

- Österreich
AEE - Institute for Sustainable Technologies (AEE INTEC), Austria
- Tschechische Republik
Enviros s.r.o., Czech Republic
Brno University of Technology, Institute of Building Services, Czech Republic
- Frankreich
Centre scientifique et technique du bâtiment CSTB, France
Saint-Gobain Insulation, E3 Performances / Arcelor-Mittal, France
- Niederlande
Energy Research Centre of the Netherlands ECN, Netherlands
- Portugal
Porto University, Faculty of Engineering, Portugal
University of Minho, Civil Engineering Department, Construction and Technology Group, Portugal
- Schweden
CNA Arkitektkontor AB, Sweden
Energy and Building Design, Lund Institute of Technology, Sweden
- Schweiz
Lucerne University of Applied Sciences and Arts, Switzerland
University of Applied Sciences Northwestern Switzerland, School of Architecture, Civil Engineering and Geomatics, Switzerland
Swiss Federal Laboratories for Materials Testing and Research Empa, Building Science and Technology Laboratory, Switzerland



Die Arbeiten im Rahmen des vorliegenden BFE-Projekts umfassten die internationale Leitung und inhaltliche Zusammenarbeit im Rahmen des IEA Projekts. Diese Arbeiten sind eng verknüpft mit den schweizerischen Arbeiten, welche im Rahmen des CCEM-Programms durch den ETH-Bereich, die Empa und die beteiligten Fachhochschulen unterstützt wurden, sowie der der Entwicklung von Renovationsmodulen mit schweizerischen Industriepartnern und der Unterstützung durch die KTI. Einen Überblick zum Projekt wird in [01] gegeben.

Die beteiligten Schweizer Wirtschaftspartner waren:

- 4B-Bachmann, An der Ron 7, 6281 Hochdorf
- Bächli Holzbau AG, Rietweg 7, 8424 Embrach
- EgoKiefer, Schöntalstrasse 2, 9450 Altstätten
- Ernst Schweizer AG, Bahnhofplatz 11, 8908 Hedingen
- Eternit, Eternitstrasse 3, 8867 Niederurnen

- Flumroc AG, Industriestrasse 8, 8890 Flums
- Jermann Ingenieure + Geometer AG, Hauptstrasse 90, 4102 Binningen
- Leica Geosystems AG, Leica Glattbrugg, Europastrasse 21, 8152 Glattbrugg
- Leica Geosystems AG, BU Scanning, Heinrich-Wild-Strasse, 9435 Heerbrugg
- Musegg Immobilien AG, Obergrundstrasse 70, 6003 Luzern
- Neofas AG, Falkenstrasse 7, Postfach 242, 8317 Tagelswangen
- Nilan AG, Schützenstrasse 33, 8902 Urdorf
- Saint-Gobain ISOVER, Route de Payerne, 1522 Lucens
- Swisspor Management AG, Bahnhofstrasse 50, 6312 Steinhausen
- Swisswindows/Dörig Fenster Service AG, Neben A1, Postfach, 9016 Mörschwil
- Velux Schweiz AG, Industriestrasse 7, 4632 Trimbach
- ZZ Wancor, Althardstrasse 5, 8105 Regensdorf



Architekten

- Bauart Architekten und Planer AG, Hardturmstrasse 173, 8005 Zürich
- Beat Kämpfen, Kämpfen for Architecture, Badenerstrasse 571, 8048 Zürich
- Reto Miloni, Miloni & Partner, 5430 Wettingen

2. Renovationskonzept

2.1 Ausgangslage

Das Projekt „Nachhaltige Wohnbaurerneuerung“ geht die Aufgabe nicht allein aus der Sicht der energetischen Optimierung sondern auch im Hinblick auf eine Modernisierung der Liegenschaft an. Energetische Massnahmen allein sind selten wirtschaftlich. Mit einer Renovation sollten gleichzeitig auch Mehrwerte geschaffen werden.

Im Zentrum stehen Mehrfamilienhäuser und Wohnsiedlungen, die einen umfassenden Erneuerungsbedarf haben. Das Ziel ist eine Erneuerung der Gebäudehülle und eine Aufwertung des gesamten Gebäudes. Der umfassende Erneuerungsbedarf ermöglicht weitergehende Massnahmen, welche das Gebäude nicht nur instand stellen, sondern für kommende Generationen modernisieren. Er ermöglicht auch - falls erwünscht - die Architektur des Gebäudes grundlegend zu ändern und zu verbessern.

Dabei werden insbesondere:

- der Primärenergieverbrauch auf das Niveau Minergie bis Minergie-P (30-50 kWh/(m²·a) für Heizung und Warmwasser) reduziert,
- der Komfort und die Wohnqualität durch eine optimale Ausnutzung des Raumes erhöht,
- der thermische Komfort, die Luftqualität, der Lärmschutz und Tageslichtnutzung verbessert,
- der Bauprozess vereinfacht und verkürzt und dies bei hoher Qualität und verlässlichen Kosten.

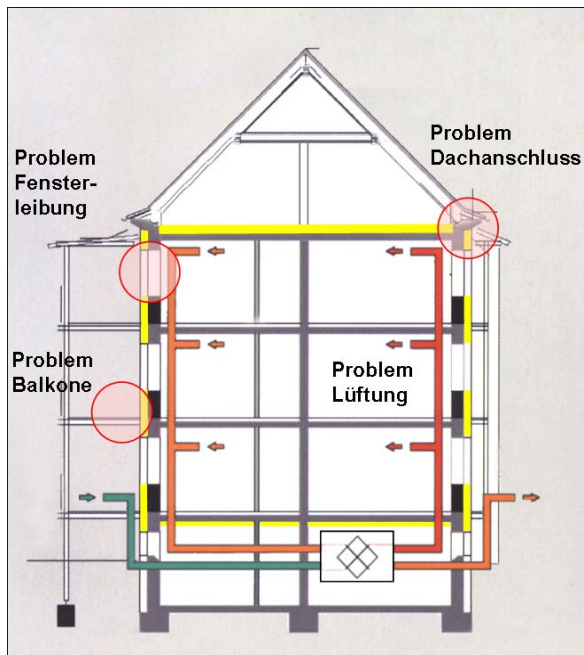
2.2 Herkömmliche Gebäuderenovation

Die herkömmliche Gebäuderenovation entspricht häufig eher einer Instandstellung als einer Modernisierung. Es werden dringende Massnahmen realisiert, die das Gebäude erfordert. Man setzt auf Bewährtes und versucht dies möglichst zu realisieren, um die Rendite der Liegenschaft nicht unnötig zu schmälern. Dabei fehlt meist der Blick in die Zukunft, wie das bei Neubauten eigentlich üblich ist. Damit wird die Liegenschaft eigentlich nur instand gesetzt und nicht für die kommenden 30-50 Jahre fit gemacht.

Üblicherweise werden dazu einzelne Massnahmen oder Massnahmenpakete realisiert, ohne jedoch ein langfristiges Ziel zu verfolgen. Dies mag aus der Finanzplanung sinnvoll und steuerlich vorteilhaft sein. Es ist jedoch so kaum möglich, wirkliche Mehrwerte zu schaffen und Visionen zu realisieren. Dabei vergisst der Besitzer leicht, dass das Gebäude eigentlich längst abgeschrieben ist und der Wert der Liegenschaft primär durch das Grundstück bestimmt ist. Nach 50 Jahren Nutzung und bescheidenen Unterhaltskosten muss in ein Gebäude massiv investiert werden, damit es weitere 50 Jahre angemessen genutzt werden kann. Diese Erneuerungskosten betragen oft 50-80% der Neubaukosten.

Bestehende Gebäude bieten oft schwierige Voraussetzungen für bauliche Massnahmen. Bauliche und betriebliche Voraussetzungen schränken die Wahl der Möglichkeiten ein. Es müssen oft Kompromisse eingegangen werden. Vielfach werden keine Planer beigezogen, da die Arbeiten direkt von spezialisierten Firmen ausgeführt werden. Die Koordination dieser

Arbeiten ist in der Folge technisch und organisatorisch oft ungenügend. Dadurch leiden die Qualität der Arbeit und die Effizienz des Bauprozesses. Letztlich sind die Kosten einer schrittweisen Instandsetzung verhältnismässig hoch im Verhältnis zu dem Erreichten.



Figur 1: Schwierige Problemstellen der herkömmlichen Gebäuderenovation

2.3 Modernisierung mit vorgefertigten Renovationsmodulen

Das Konzept ist einfach und klar: Über das bestehende Gebäude wird eine weitgehend vorfabrizierte, neue Gebäudehülle gelegt. Diese neue Hülle lässt nicht nur viel Spielraum zur architektonischen Gestaltung zu, sie bietet auch die Möglichkeit für wertvermehrende An- und Aufbauten; und sie bietet Gewähr, dass das Gebäude nach der Renovation den höchsten Ansprüchen an Energieeffizienz und Komfort entspricht. So ist beispielsweise eine Komfortlüftung bereits in die Fassadenmodule integriert. Das Gebäude wird so mindestens dem Minergie- evtl. sogar dem Minergie-P-Standard genügen.

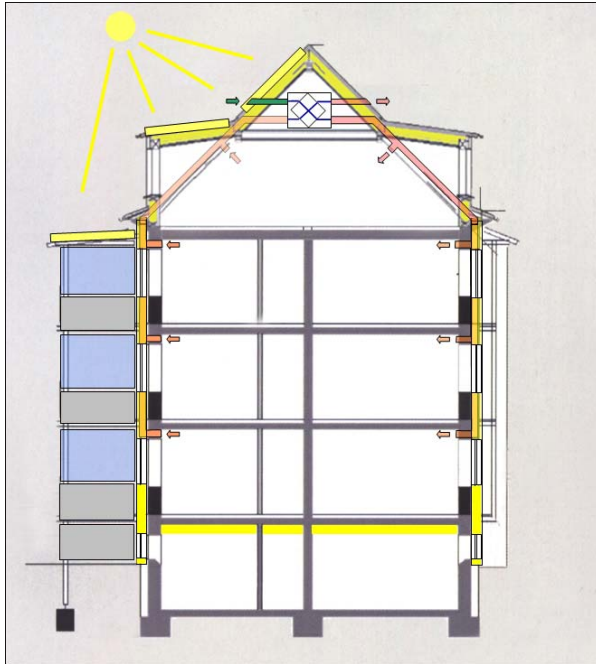
Rationalisierung, Optimierung, Qualitätssicherung und Kostensicherheit sind die entscheidenden Merkmale des Konzepts.

Grundsätzlich wird die meist massiv gebaute Aussenhülle eines Altbaus als tragende Unterkonstruktion für eine neue, hoch isolierende Fassadenbekleidung verwendet. Dadurch kann das bestehende Gebäude von aussen mit einer neuen, wärmebrückenfreien und bauphysikalisch korrekt ausgeführten Aussenhaut versehen werden. Die Dämmschicht wird gleich dazu verwendet, um ein Lüftungssystem zu integrieren. Damit erspart man sich aufwändige Umbauarbeiten im Innern.

Da die neue Gebäudehülle auf die bestehende Fassade passen muss, ist Massgenauigkeit und eine saubere Planung unabdingbar. Dazu wird das bestehende Gebäude mit Lasertechnik exakt vermessen und die neuen Fassadenelemente wie beim Neubau weitgehend vorfabriziert, mit allen technischen und qualitativen Vorteilen, die eine Fertigung in der Fabrik ermöglicht. Je nachdem können Fenster, Rollläden, elektrische Installationen und sogar die Fassadenbekleidung bereits fabrikseitig montiert werden. Das Resultat ist ein wesentlich einfacherer Bauablauf auf der Baustelle. Kompromisse müssen selten eingegangen werden.

Die Renovation eines Gebäudes von aussen und mit vorgefertigten Modulen erlaubt nicht nur einen schnellen, effizienten Bauprozess, sondern auch eine bessere Bauqualität und eine gute Koordination der Arbeiten. Auf der Baustelle sind wesentlich weniger verschiedene Handwerker tätig.

Grundsätzlich können die Wohnungen während der Bauarbeiten durchgehend bewohnt bleiben. In der Praxis wird jedoch meist mit der Modernisierung der Aussenhülle auch gleich eine Innenrenovation vollzogen. Die Verwendung von Renovationsmodulen erlaubt es auch relativ einfach, Räume zu erweitern – zum Beispiel durch die Verkleidung bestehender Balkone –, Dachwohnungen auszubauen oder Fenstergrössen anzupassen. Will man dieses Potential nutzen, so wird die bewohnte Baustelle weniger möglich sein.



Figur 2: Gebäuderenovation mit neuer Gebäudehülle aus vorgefertigten Renovationsmodulen mit integrierter Lüftungsverteilung

2.4 Renovationsprozess

Bestehende Dächer werden soweit sinnvoll entfernt und durch neue, optimierte Dachmodule ersetzt, welche sowohl eine optimale Raumnutzung gewährleisten, wie auch die Integration neuer Gebäudetechnik (Solarnutzung, Komfortlüftung etc.) ermöglichen. Oft wird diese Möglichkeit genutzt, um eine neue, attraktive Dachwohnung einzurichten. Sowohl Flach- wie auch Steildachaufbauten sind möglich.

Gleichzeitig wird die Fassade zur Aufnahme der Fassadenmodule vorbereitet. Bei Bedarf werden alte Balkone entfernt und Fensteröffnungen an die neuen Bedürfnisse angepasst. Es steht der Bauherrschaft frei, wie weit sie die bestehende Bausubstanz verändern und renovieren will. Oft wird die Gelegenheit genutzt, um gleichzeitig Grundrissoptimierungen vorzunehmen. So werden beispielsweise bestehende Balkone verwendet, um den Wohnraum oder die Küche zu vergrössern. Da ohnehin eine neue Hülle über das Gebäude gelegt wird, kann dies sehr einfach realisiert werden. Die neuen Fassadenmodule werden einfach um die Balkone herumgeführt.

Auf die bestehende Fassade werden die vorgefertigten Fassadenelemente montiert. Die Fenster und der Sonnenschutz sind meist bereits integriert, ebenso die Leitungsrohre für die Komfortlüftung. Auch neue elektrische Leitungen können eingezogen werden.

Sofern nicht bereits erfolgt, können nun die alten Fenster entfernt und die Lüftungsein- und -auslässe gebohrt werden. Anschliessend müssen von innen nur die Fensterleibungen neu verputzt und die Lüftungsein- und -auslässe montiert werden. Falls keine weiteren Innenrenovierungen vorgesehen sind, sind damit die Arbeiten im Wohnungsinnen bereits abgeschlossen.

Je nach Bedarf werden aber gleichzeitig auch Wohnraumerweiterungen, Dachaufstockungen oder Liftanbauten realisiert. Bei Dachaufstockungen können Fassadenelemente leicht mit Dachelementen kombiniert werden. Meist wird die Dachaufstockung wie bei Neubauten in Leichbauweise erstellt und mit einem neuen Flachdach versehen. Selbstverständlich sind auch neue Steildachaufbauten möglich. Auskragende Balkone werden entweder abgesägt und durch neue, thermisch getrennte und meist grössere Balkone ersetzt, oder die neue Gebäudehülle wird um die bestehenden Balkone geführt und der neu gewonnene Raum zur Vergrösserung der Wohnräume genutzt. Diese Lösungen wurden beispielsweise am renovierten Mehrfamilienhaus in Zürich Höngg (vgl. Kap. 9.2) umgesetzt.



Figur 3: Beispiel einer Mehrfamilienhausrenovierung mit neuer Gebäudehülle, Wohnraumerweiterung anstelle der alten Balkone, neuem Attikageschoss und neuen Balkonen aus vorgefertigten Renovationsmodulen in Zürich Höngg (vgl. Kap. 9.2)]

Am Schluss werden noch die Fassade und das Dach vervollständigt. Je nach gewählter Fassadenlösung werden die Module schon fabrikseitig komplett fertig gestellt oder es werden die Abschlussarbeiten vor Ort ausgeführt. Beispielsweise kann die Fassadenbekleidung nach den Wünschen der Bauherrschaft individuell gestaltet und auf der Baustelle angebracht werden. Sowohl hinterlüftete Fassaden wie verputzte Fassaden sind möglich.

3. Gebäudetypologie

Um möglichst repräsentative Renovationslösungen und standardisierbare Fassaden- und Dachmodule mit breitem Anwendungsspektrum entwickeln zu können, wurden die bestehenden Mehrfamilienhäuser in der Schweiz [02] und in Frankreich [03], [04] analysiert.

Unter Gebäudetypen versteht man vergleichbare Gebäude, die für eine Region typisch sind. Eine konstruktionsbezogene Typologie soll Gebäude mit vergleichbaren Konstruktionsmerkmalen beschreiben. Dabei sind auch die geographische Verteilung, das Baujahr und alle für die Gebäuderenovation wichtigen Eigenschaften von Interesse. Diese sollen es erlauben, generelle Erneuerungsstrategien zu entwickeln, da die einzelnen Gebäudetypen sehr ähnliche Eigenschaften aufweisen. Dabei soll die Gebäudetypologie auf statistischen Grundlagen basieren, um die Häufigkeit der Gebäudetypen und deren Wichtigkeit beschreiben zu können.

Die Gebäudetypologie beschreibt:

- Kategorien vergleichbarer Gebäude (Mehrfamilienhäuser)
- Geographische Verteilung
- Statistisch relevante Konstruktionsmerkmale
- Eigenschaften von besonderer Bedeutung für die Gebäudeerneuerung mit vorgefertigten Renovationsmodulen

Sie erlaubt:

- einen Vergleich der Gebäudetypen auf der Basis vergleichbarer Parameter,
- die Definition der häufigsten Gebäudetypen und deren Konstruktionsmerkmale,
- die Entwicklung von generellen Lösungsansätzen für vorgefertigte Renovationsmodule.

Die erarbeiteten Gebäudetypologien wurden für die Entwicklung der Renovationsmodule verwendet. Die Typologien konzentrieren sich auf schweizerische und französische Mehrfamilienhäuser. Die benötigten Daten standen jedoch nicht in allen am Projekt beteiligten Ländern zur Verfügung. Eine gesamteuropäische Gebäudetypologie konnte deshalb nicht erstellt werden.

3.1 Typologie der schweizerischen Mehrfamilienhäuser

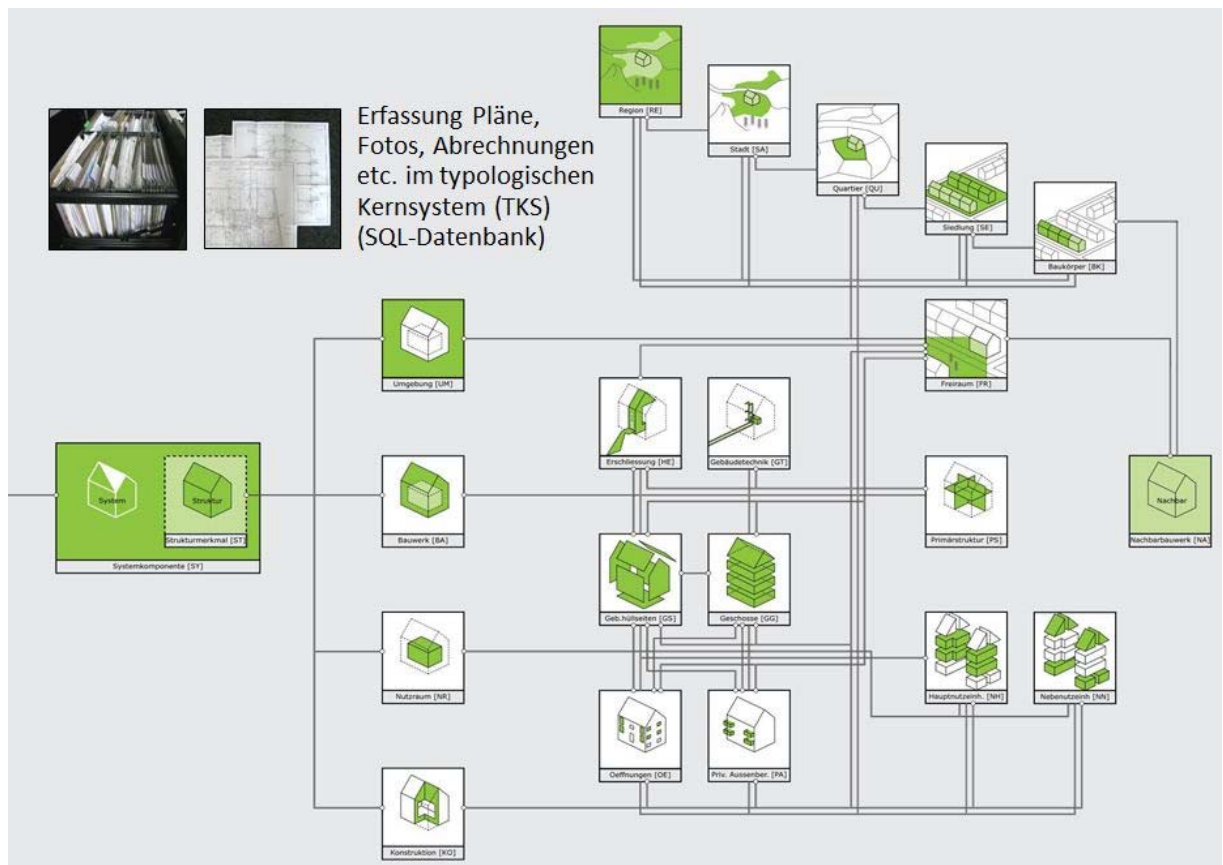
Die Typologie [02] erlaubt es die Komplexität der Bauweise auf wenige Parameter zu reduzieren. Nur die für das Projekt wichtigen Parameter wurden erfasst.

- Generelle Gebäudetypen, welche der raschen Zuordnung der Gebäude zu wesentlichen Renovationsmerkmalen dienen (diese erlauben die rasche Zuordnung eines Gebäudes im *Retrofit Advisor Tool* [07])
- Konstruktionsmerkmale (Focus Types), welche es erlauben, das Anwendungspotential für Renovationsmodule abzuschätzen und zu optimieren. Berücksichtigt sind beispielsweise Art des Fenstereinbaus, Balkone, haustechnische Installationen, Fassaden und Dachgeschosse, inkl. deren Orientierung)

Für die Erarbeitung der Typologie musste die Gruppe der zu untersuchenden Gebäude definiert werden. Die Gebäudeauswahl bezieht sich in der Schweiz auf das verfügbare statistische Material des Bundesamtes für Statistik und umfasst folgende Gebäude:

- Mehrfamilienhäuser in der Deutschschweiz
- Gebäude, die ausschliesslich als Wohngebäude dienen
- Gebäude mit mindestens 3 Wohnungen (Definition gemäss Bundesamt für Statistik)
- Gebäude mit 3-8 Geschossen
- Baujahr zwischen 1919 und 1990

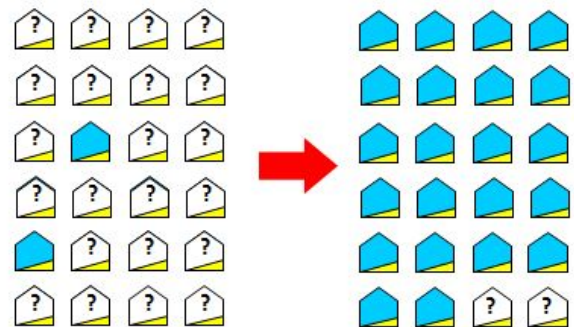
Diese Gebäude repräsentieren 62% (106'200 Gebäude) aller bestehenden Mehrfamilienhäuser der Deutschschweiz (BAS 2004). Alle Prozentangaben der Gebäudetypologie beziehen sich sofern nicht anders erwähnt auf die statistische Menge von 106'000 Gebäuden.



Figur 4: Analyse der Gebäudedossiers und Erfassung der relevanten Merkmale in einer SQL-Datenbank. Von über 1200 angeschriebenen Eigentümern konnten total 127 Gebäudedossiers dokumentiert werden.

SAMPLING			
OET stich	Number of	Percentage	Percentage+
3121	2117.00	47.15	
0324	286.00	6.37	53.52
3224	261.00	5.81	59.33
3124	235.00	5.23	64.56
0321	229.00	5.10	69.66
0326	124.00	2.76	72.42
0324;6	95.00	2.12	74.54
3221	82.00	1.83	76.37
3126	75.00	1.67	78.04
0326;8	73.00	1.63	79.67
1121	72.00	1.60	81.27

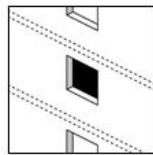
Figur 5: Aus den erfassten Daten sind Fokustypen und Gebäudetypen identifiziert worden (Methode: Datamining, Prof. T. Olnhoff, HSLU).



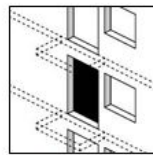
Figur 6: Hochrechnung der identifizierten Typen anhand vom Bundesamtes für Statistik erfassten Merkmalen (Methode: SPSS, C. Hanisch, HSLU)

Fenster

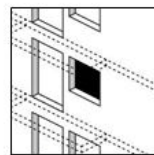
Total:
~3980000



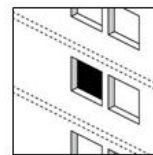
OET 3121
~47% ~1870000



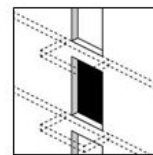
OET 0324
~6% ~250000



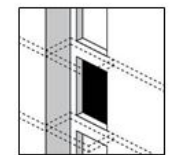
OET 3224
~6% ~230000



OET 3124
~5% ~210000



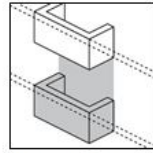
OET 0321
~5% ~200000



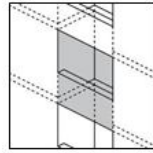
OET 0326
~3% ~110000

Balkone

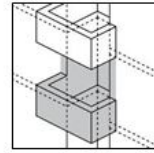
Total:
~670000



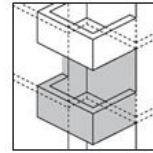
PAT 111121
~16% ~110000



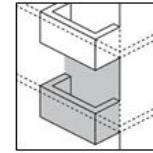
PAT 311127;8
~9% ~60000



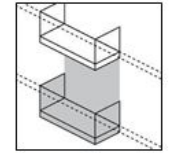
PAT 211127;9
~8% ~50000



PAT 211126;9
~7% ~50000



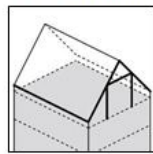
PAT 111128
~7% ~50000



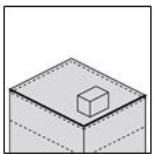
PAT 121121
~6% ~50000

Dächer

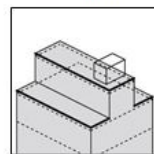
Total:
106000



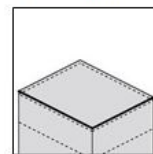
GOT 710
~26% ~30000



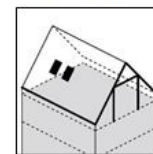
GOT 105
~11% ~13000



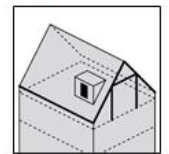
GOT 605
~11% ~13000



GOT 100
~7% ~8000

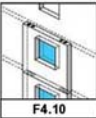
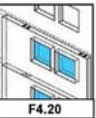
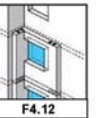
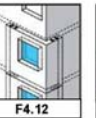
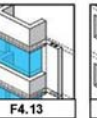
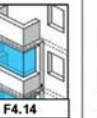
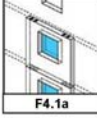
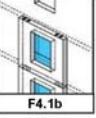
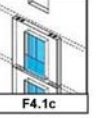
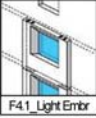
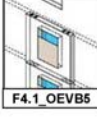
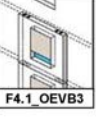
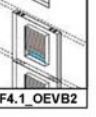
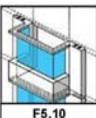
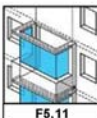
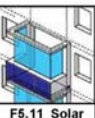
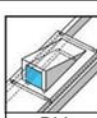
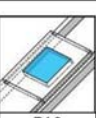
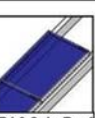
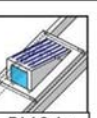
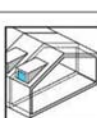
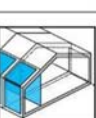
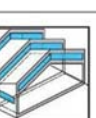
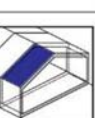
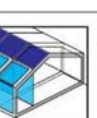
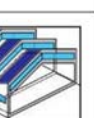


GOT 714
~6% ~7000

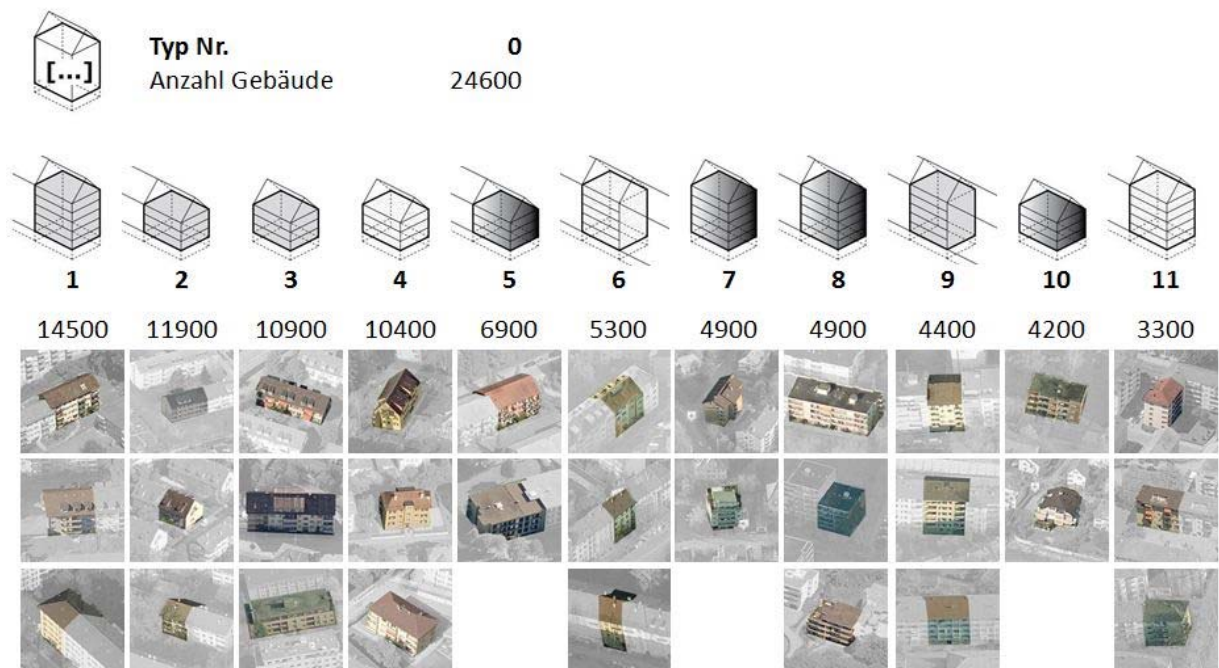


GOT 512
~6% ~7000

Figur 7: Die häufigsten Fenster, Balkon und Dachtypen im Untersuchungsgegenstand (MFH der Deutschschweiz) dienen als Grundlage für die Entwicklung der kleinformatigen Hüllmodule

	Basic	Mutants	Solar
F4	 F4.10	 F4.1_BoxWindow  F4.20  F4.12  F4.12  F4.13  F4.14  F4.1a  F4.1b  F4.1c  F4.1_Light_Emb  F4.1_OEVB5  F4.1_OEVB3  F4.1_OEVB2  F4.1_OEVB4  F4.1_OEVB1  F4.1_Light_OEVB5	 F4.1_Solar  F4.14_Solar
F5	 F5.10	 F5.11	 F5.11_Solar
R1	 R1.0	 R1.1  R1.2	 R1.0_SolarRoof  R1.1_Solar
R3	 R3.0	 R3.1  R3.2  R3.3	 R3.0_SolarRoof  R3.2_SolarRoof  R3.3_SolarRoof

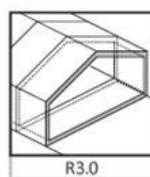
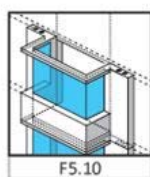
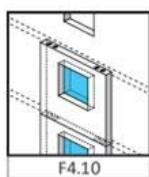
Figur 8: Die kleinformatigen Hüllmodule können in vielfältigen Variationen auf die individuellen Anforderungen angepasst werden.



Figur 9: Die häufigsten Gebäudetypen dienen als Grundlage für die Entwicklung von Erneuerungsszenarien mit vorfabrizierten Hüllmodulen

Modulset Variante 2

- Neue Fassade mit vorfabriziertem Hüllsystem
- Neues Dach mit vorfabrizierten Raummodulen



Variante 1



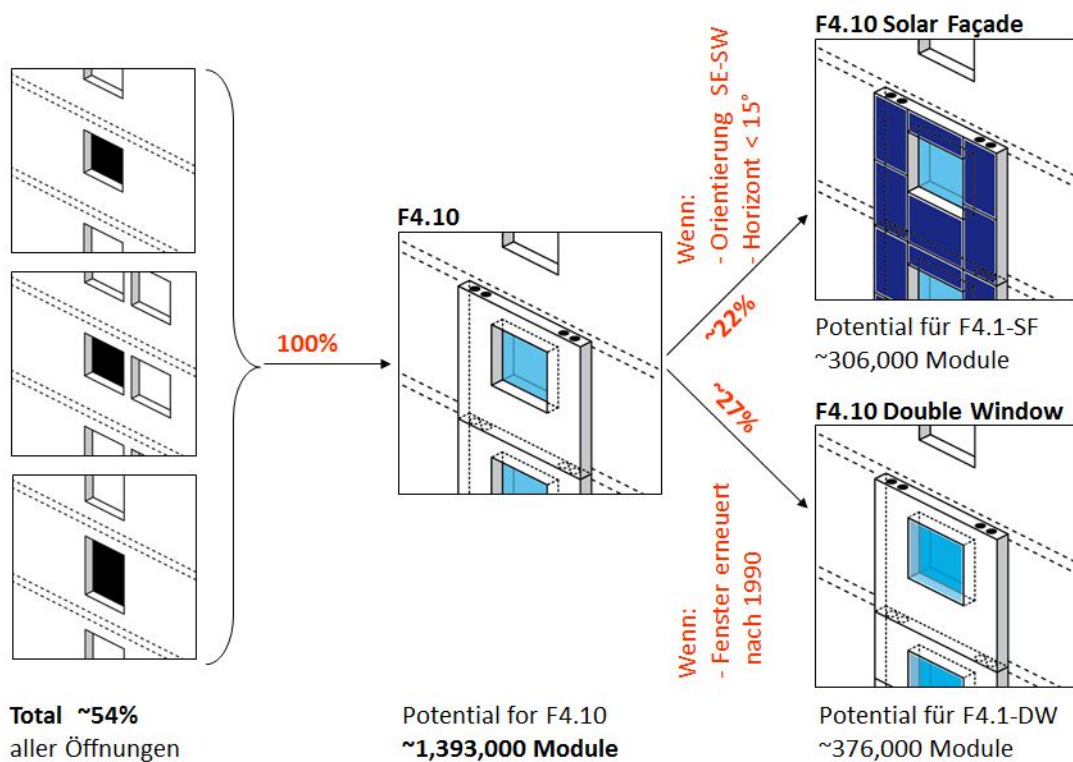
Variante 2



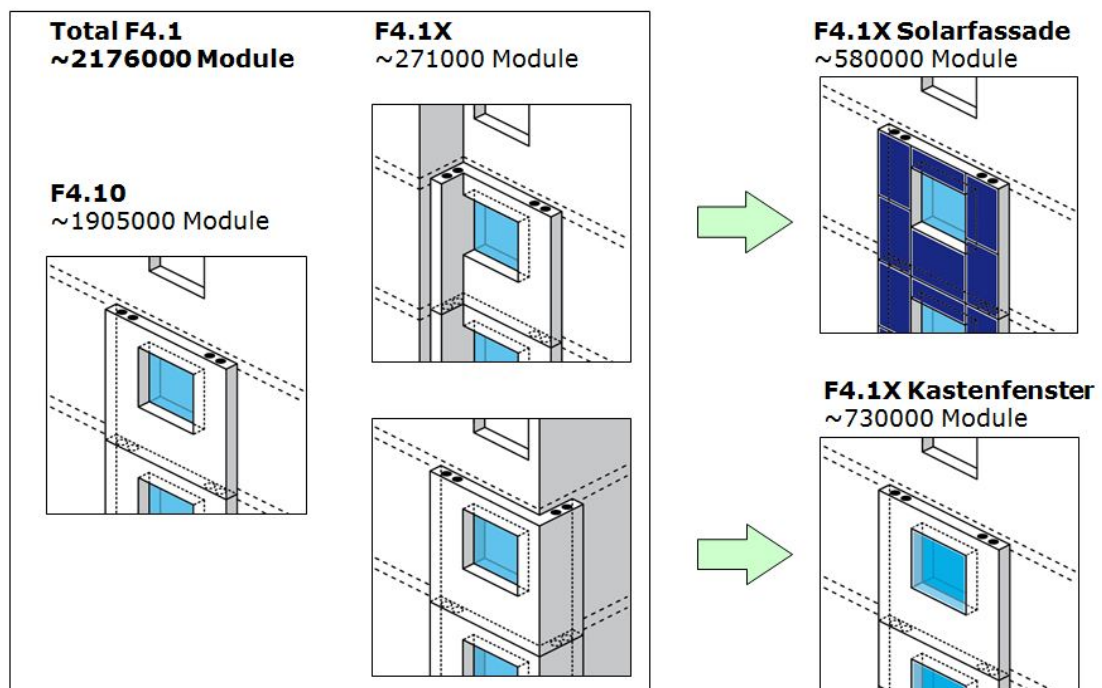
Variante 3



Figur 10: Jedes der Erneuerungsszenarien besteht aus einem bestimmten Set von vorfabrizierten Hüllmodulen. Daraus kann ein Marktpotenzial abgeleitet werden.



Figur 11: Das Marktpotenzial von kleinformatischen Fassadenmodule für Lochfenster mit genügend seitlichem Platz für die Leitungsführung. Lesebeispiel: 100% dieser Lochfenster können mit dem F4.1 Fassadenmodul erneuert werden. 22% dieser Lochfenster befinden sich an gut besonnten Südfassaden und eignen sich darum zusätzlich für Solarenergienutzung; bei 27% dieser Lochfenster wurden nach 1990 bereits die Fenster ersetzt, weshalb die Variante Kastenfenster ohne Fensterersatz vorgeschlagen wird.



Figur 12: Aus allen Fokustypen und Erneuerungsstrategien ergibt sich ein Marktpotenzial von über 2 Millionen kleinformatischen Hüllmodulen.

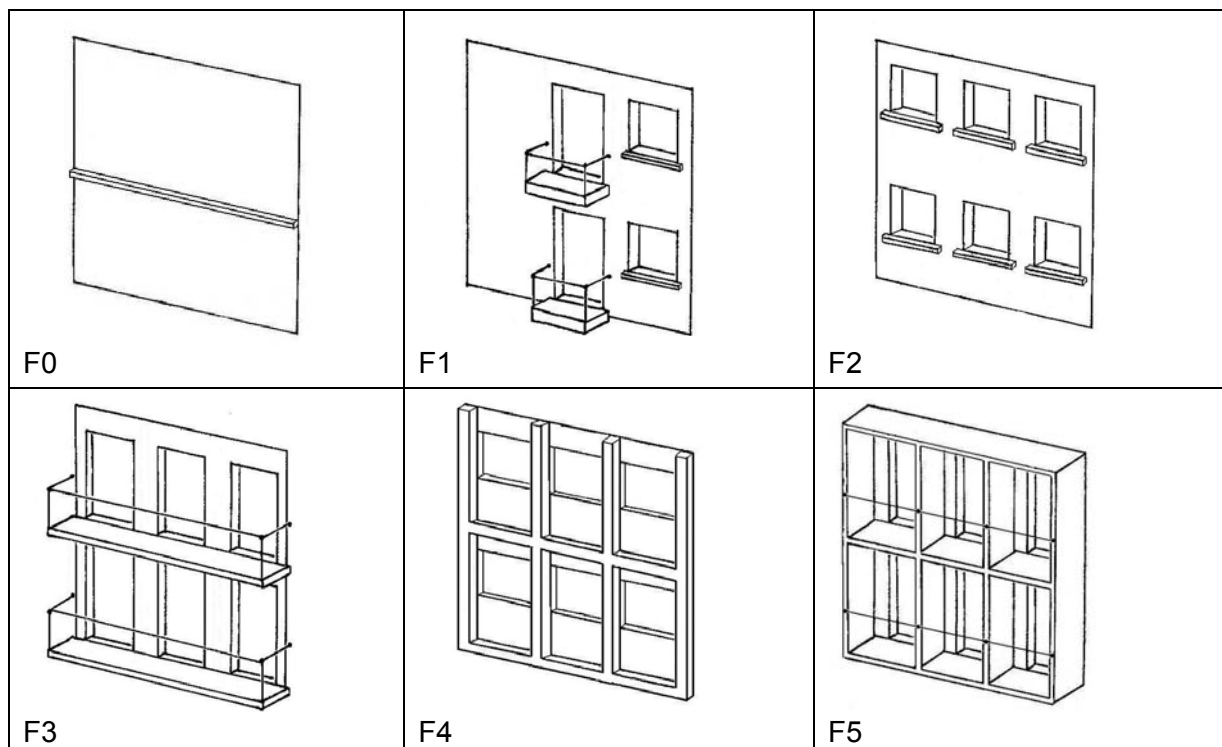
3.2 Morphologie der französischen Mehrfamilienhäuser

Diese Untersuchung, welche sich auf eine grossen Anzahl französischer Gebäude aus den Jahren 1949 – 1974 bezieht, konzentriert sich primär auf qualitative Aspekte [03], [04]. Statistische Daten, welche eine zahlenmässige Zuordnung der Merkmale ermöglichen, standen in Frankreich nicht zur Verfügung.

Obwohl die Gliederung einer Fassade vor allem durch transparente und opake Bauteile bestimmt wird, gibt es eine praktisch unbegrenzte Anzahl Möglichkeiten, diese anzuordnen. Trotzdem können wenige für die Gebäuderenovation typische Anordnungen definiert werden (Figur 13), die allerdings auch in vermischter Form anzutreffen sind:

- Der Fassadentyp F0 ist nicht befenstert und ist häufig an den Stirnseiten von Gebäuden anzutreffen. Möglicherweise sind die Geschosse durch horizontale Simse angedeutet
- Der Fassadentyp F1 ist eine Lochfassade ohne Balkone. Mögliche Varianten sind hohe Fenster oder Türen mit Gitter, horizontale Simse zum zeigen der Geschosse
- Der Fassadentyp F2 ist ebenfalls eine Lochfassade. Sie weisst jedoch vermehrt die Kombination von Fenstern und Türen auf, denen ein Balkon vorgelagert ist. Varianten sind Balkone, die mehrere Türen verbinden (Typ F3), oder wie bei Typ 1 Balkongitter direkt vor einer Tür.
- Der Fassadentyp F4 zeigt die Projektion der Geschossdecken und eine vertikale Struktur. Möglich sind auch Fassaden die nur horizontale oder nur vertikale Bänder aufweisen, oder solche.
- Fassadentyp F5 ist aus Typ 4 abgeleitet, wobei die horizontalen und vertikalen Gliederungen direkt als Loggias ausgebildet sind. Grössere Unterschiede gibt es hier bei der Wahl der Balkonbrüstungen.

Diese französischen Gebäudetypen sind damit auch für die urbanen Gebiete der Schweiz repräsentativ. Die Bauten sind jedoch häufig grösser und höher als Schweizer Bauten, weshalb in Frankreich auch mehrgeschossige Fassadenmodule interessant sind.



Figur 13: Typische französische Mehrfamilienhaus-Fassaden, 1949-1974



Figur 14: Typische französische Mehrfamilienhaus-Fassaden, 1949-1974: a, b, c: Typ F1; d, e, f: Typ F2; g, h, i: Typ F3; j, k, l: Typ F4; m, n, o: Typ F5

4. Simulation Energiesparpotentiale

Mit einer gesamtheitlichen Bauerneuerung sollten zwingend auch immer gute Energiekennwerte erreicht werden. Die Umsetzung einer nachhaltigen Entwicklung erfordert, dass der Primärenergiebedarf für Beheizung und Warmwasser von Altbauten unter $50 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ ($3.85 \text{ Liter Heizöl-Äquivalent}/\text{m}^2$) zu liegen kommt. Als sinnvolle untere Grenze könne $30 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ betrachtet werden, was in etwa dem Passivhaus- oder Minergie-P-Standard entspricht.

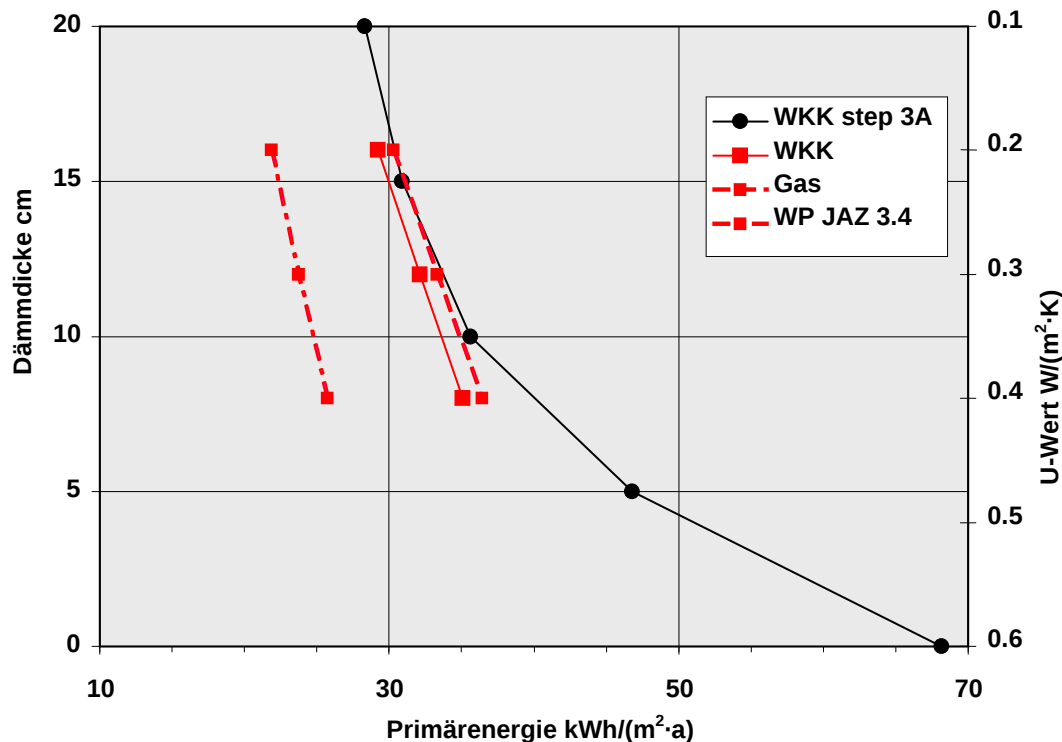
In diesen Bereich von $30\text{-}50 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ sollten renovierte Mehrfamilienhäuser kommen, auch ohne dass aufwendige Energieoptimierungen notwendig sind. Allein durch die Erneuerung mit den im Rahmen dieses Projektes entwickelten Renovationsmodulen sollte die Erreichung dieses Zielbereichs möglich sein, unabhängig vom jeweiligen Gebäude und Standort.

Um nachzuweisen, dass die genannten Ziele erreicht werden können, wurden international verschiedene Gebäudesituationen durchgerechnet und ausgewertet [05].

- In einem ersten Schritt wurde der Energieverbrauch eines Mehrfamilienhauses in Luzern von Teams in Belgien, der Tschechischen Republik, in Portugal und in der Schweiz mit verschiedenen Rechenprogrammen unabhängig berechnet. Ziel war es, sicherzustellen, dass mit unterschiedlichen Rechenprogrammen vergleichbare Resultate errechnet werden.

- In einem zweiten Schritt wurden die Rechnungen für verschiedene Gebäudestandorte – von Porto bis Stockholm – wiederholt.
- Im dritten Schritt wurden die Energieeinsparungen mit verschiedenen Massnahmenpaketen für die verschiedenen Standorte berechnet.

Die Simulationen haben gezeigt, dass einfache Rechenprogramme, die Wärmeverluste tendenziell überschätzen. Werden die Vereinfachungen bei den detaillierten Simulationen entsprechend berücksichtigt, werden vergleichbare Resultate berechnet. Daraus konnte abgeleitet werden, dass die detaillierten, dynamischen Simulationen als grundsätzlich zuverlässig betrachtet werden können.



Figur 15: Berechneter Primärenergieverbrauch für Heizung, Lüftung und Warmwasser für verschiedene Dämmdicken und Arten der Wärmeerzeugung in Luzern [05]

Die Simulationen haben gezeigt, dass ein U-Wert der renovierten Aussenwand von 0.2 W/(m²·K) bei weitem genügt, um innerhalb des Zielbands zu liegen. Selbst in Stockholm wird der obere Grenzwert nicht überschritten. Es wurde aber auch klar, dass in warmen Regionen wie Portugal eine wesentlich geringere Dämmdicke genügen würde. Allerdings besitzen portugiesische Wohnhäuser häufig keine Heizung, weshalb eine dickere Dämmung durchaus aus Komfortgründen sinnvoll sein könnte.

5. Strategien zur Bauerneuerung

Für Gebäudebesitzer und Mieter stellt sich irgendwann einmal die Frage nach der Zukunft der Liegenschaft: reparieren, gesamtheitlich erneuern oder gar abbrechen und neu bauen. Diese drei Strategien erfordern ganz unterschiedliche Investitionen, führen aber auch ganz zu anderen Ergebnissen. Weder Gebäudebesitzer noch Mieter sind in der Regel in der Lage, die Vor- und Nachteile der verschiedenen Strategien objektiv gegen einander abzuwägen. Falls keine professionelle Beratung eingeholt wird, wird er oft „aus den Bauch heraus“ ent-

schieden, je nach persönlicher Situation oder Offenheit für Neues. Meistens wird man sich jedoch für die im Moment kostengünstigsten Reparaturen entscheiden und dabei attraktive und zukunftsorientierte Lösungen ignorieren. Häufig werden dadurch sogar zukünftige optimierte Massnahmenpakete erschwert.

Die Erneuerung von Wohnbauten kann eine sehr interessante Möglichkeit darstellen und der Bauwirtschaft neue Impulse verleihen. Sie stellt jedoch nicht für jedes Gebäude und jede Situation die geeignete Strategie dar. Es ist unabdingbar, dass die Erneuerungsmöglichkeiten analysiert und objektiv beurteilt werden. Es ist durchaus möglich, dass die vorhandene Bausubstanz, die Lage des Gebäudes oder die Besitzesverhältnisse sowohl technisch wie finanziell spezielle Lösungen erfordern.

Die Wahl der richtigen Erneuerungsstrategie ist von entscheidender Bedeutung. Im Rahmen des Projekts wurden deshalb verschiedene Entscheidungshilfen erarbeitet, die sicher stellen sollen, dass vor einem Bauentscheid die relevanten Aspekte berücksichtigt wurden.

5.1 Retrofit Strategies Design Guide

Der *Retrofit Strategies Design Guide* behandelt die relevanten Aspekte einer Erneuerungsstrategie. Er enthält in einem ersten Teil eine Checkliste [06], welche auf die grundsätzlichen Möglichkeiten der Bauerneuerung eingeht. Der zweite Teil ist speziell der Renovierung mit vorgefertigten Elementen gewidmet. In 10 Schritten wird aufgezeigt, welche Planungs-, Logistik und Ausführungsfragen speziell zu beachten sind.

Eine Erneuerungsstrategie soll vor allem aufzeigen, zu welchem Zeitpunkt welche Investitionen sinnvoll sind. Meistens fehlt heute eine entsprechende Strategie. Renovierungen werden meist angegangen, wenn sie aufgrund eines Schadens (z. Bsp. ein undichtes Dach oder eine defekte Heizung) unvermeidbar sind. Dieses Vorgehen führt oft zu unkoordinierten Teilrenovierungen und zu höheren Kosten.

Ein nachhaltiges Erneuerungskonzept versucht jedoch, eine gesamtheitliche, die gesamte Restnutzungsdauer umfassende Renovationsstrategie zu entwickeln. Die am weitreichendste Option beinhaltet auch den Abbruch einer Liegenschaft und die Erstellung eines Ersatzneubaus. Die Strategie soll festlegen, wann dies für ein Gebäude der Fall sein könnte, in 5 Jahren, 50 Jahren oder 100 und mehr Jahren. Zwischenziele dieser Strategie sind Instandsetzungen, Teilrenovierungen oder umfassende Erneuerungen.

Die Erneuerungsstrategie vergleicht die technischen Möglichkeiten mit dem möglichen Nutzen über die verbleibende Nutzungsdauer. Die nachfolgend beschriebenen 7 Schritte sind wichtige Teile einer nachhaltigen Erneuerungsstrategie:

- 1 Vorstudie und Evaluation des Marktwerts
 Das Potential von Instandhaltungsmassnahmen, Teilrenovierungen, Modernisierungen oder einem Ersatzneubau muss abgeschätzt und dem zukünftigen Marktwert der Liegenschaft gegenübergestellt werden. (Instrument: Vorstudie des Erneuerungspotentials)
- 2 Bedürfnisanalyse
 Die Bedürfnisse des Vermieters, der Mieter und der öffentlichen Hand sind zu ermitteln (Instrument: Stakeholder Checkliste [06])
- 3 Gebäudeanalyse
 Detaillierte Analyse der Bausubstanz und der wichtigen Gebäudeteile. Erneuerungsmöglichkeiten werden identifiziert (Instrument: Gebäudetypologie [02])

- 4 Zieldefinition
Optimierung des Zusatznutzens über Restnutzungsdauer durch Kombination möglicher Erneuerungsmassnahmen, Wahl einer geeigneten Etappierung (Instrument: Checkliste Zusatznutzen [06])
- 5 Planungsphase
(Instrument: Retrofit Module Design Guide und 10 Steps to a Prefab Module [06])
- 6 Ausführungsphase
- 7 Massnahmenüberprüfung
Die ausgeführten Massnahmen sollten mindestens während einem Jahr überprüft werden. Allenfalls ist eine Anpassung der Zieldefinition oder der Renovationsstrategie erforderlich.

Ganz zu Beginn einer Gebäudeerneuerung kann die Beantwortung wichtiger Grundsatzfragen die Planung vereinfachen.

	<u>Wie lange sollte das Gebäude in der bisherigen Form weiter bewirtschaftet werden können?</u> Wieviele kosteten die laufenden und periodischen Unterhaltsmassnahmen? Wann sollte eine Erneuerungsstrategie (Schritte 1-4) vorliegen und wann müsste mit der Projektplanung begonnen werden können (Schritt 5)?
	<u>Haben alle Beteiligten die gebäudebezogenen, die finanziellen und die mieterbezogenen Informationen?</u> Welche Informationen sind erforderlich, um die Vor- und Nachteile einer Teilrenovation gegen eine Gesamterneuerung oder einen Ersatzneubau abzuwägen? Falls Daten nicht verfügbar sind, können diese bei der Gemeinde angefordert, in Bauarchiven gefunden werden oder müssen sie speziell erhoben werden (Ausmasse, Mieterzufriedenheit, Mieterwünsche)
	<u>Welche behördlichen oder nachbarrechtlichen Vorgaben gibt es?</u> Welchen Einfluss haben diese auf den Entscheidungsprozess? Wie werden diese den Beteiligten kommuniziert?

Tabelle 1: Grundsatzfragen bei einer Bauerneuerung

Die Entwicklung einer nachhaltigen Erneuerungsstrategie ist für alle Beteiligten eine grosse Herausforderung. Die Chancen und Risiken der möglichen Eingriffe sind vielfältig. Kreative Lösungen sind vielfach erstaunlich attraktiv. Eine Kombination von Massnahmen mit unterschiedlicher Eingriffstiefe (z. Bsp. Instandstellung, Modernisierung und Erneuerung der Gebäudetechnik) können neue Möglichkeiten eröffnen.

Eine Erneuerungsstrategie kann schon mit einer einfachen Beurteilung der Bausubstanz und der Marktsituation bestimmt werden. Die persönlichen Interessen des Gebäudebesitzers sind jedoch oft schwieriger zu berücksichtigen. Vor allem sind dazu auch schon statische Betrachtungen (Erdbebensicherheit, Tragfähigkeit) mit zu berücksichtigen. Es ist deshalb wichtig, schon früh einen Spezialisten (z. Bsp. einen Architekten mit Umbauerfahrung) einzubeziehen.

Frage	Ja	Nein
Energieverbrauch: Ist der Energieverbrauch schon tief genug um sicher zu stellen, dass die Immobilie auch bei steigenden Energiepreisen gut vermietbar bleibt? Eine erste Beurteilung kann mit den GEAK Tool – Gebäudeenergieausweis der Kantone erfolgen.		
Zustand des Gebäudes: Sind Dach, Fassaden und Fenster noch in gutem Zustand? Hat die Haustechnik (Heizung, Warmwasseranlage) das Ende der Nutzungsdauer schon erreicht? Ist die Erdbebensicherheit gewährleistet oder sind Verbesserungen notwendig? In Gebieten mit erhöhter Erdbebentätigkeit ist es möglicherweise vorteilhaft eine professionelle Beurteilung vornehmen zu lassen.		
Nassräume: Wie gut sind Badezimmer, Toiletten und Küchen eingerichtet? Erfüllen diese Räume noch die heutigen (und zukünftigen) Anforderungen? Entsprechen die Installationen noch heutigen Standards (z. Bsp. bezüglich Raumhöhe, Beleuchtung, Schallschutz)?		
Raumanordnung und Raumgrössen: Entsprechen diese heutigen Anforderungen? Sind einfache Grundrissänderungen möglich?		
Gesamtbeurteilung: Ist der Zustand der Bausubstanz noch gut?		

Tabelle 2: Vereinfachte Beurteilung der Bausubstanz

Bei der Beurteilung des Marktpotentials sollte speziell auf die zukünftige Entwicklung des Quartiers im Hinblick auf Wohn- und kommerzielle Nutzung geachtet werden. Wie kann der verfügbare Raum (Grösse der Wohnungen, Anzahl Zimmer, Nebenräume und verfügbare Infrastruktur) auf zukünftige Veränderungen des Marktes angepasst werden? Zwei Strategien können die diesbezüglichen Risiken mindern:

Flexibilisierung

Ausrichtung auf die Hauptbedürfnisse des Mietmarkts: Schaffen von nutzungsneutralen Räumen, welche auf die Bedürfnisse unterschiedlicher Zielgruppen ausgerichtet sind.

Diversifikation

Ausrichtung auf spezifische Nutzer (z. Bsp. Senioren, Wohngemeinschaften, Musiker etc.) Die Diversifikation kann interessante Perspektiven eröffnen, speziell für Objekte welche nicht mehr den Hauptbedürfnissen des Mietmarkts entsprechen.

Frage	Ja	Nein
Umfeld: Ist die Situation des Gebäudes aussergewöhnlich bezüglich Erreichbarkeit, Infrastruktur, öffentlichem Verkehr, Lärm, Sicht, Integration im Quartier, Identität des Gebäudes? Ist die Diversifikationsstrategie anwendbar?		
Mieter: Zufriedene Langzeitmieter garantieren eine sichere Vermietung. Sind die Mieter bereit mehr zu bezahlen für Verbesserungen am Gebäude? Ist die Diversifikationsstrategie anwendbar?		
Nutzung: Ist es möglich, die Liegenschaft resp. das Grundstück besser auszunutzen und dadurch die Erträge zu erhöhen? Erlauben die Baugesetze eine zusätzliche Ausnutzung?		
Gesamtbeurteilung: Ist der Marktwert hoch?		

Tabelle 3: Vereinfachte Evaluation des Marktwerts

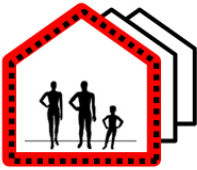
	Schlechte Bausubstanz	Gute Bausubstanz
Schlechtes Marktpotential	 Werterhaltung: Ziel ist der Erhalt der Vermietbarkeit ohne den Wohnkomfort und den Mietertrag zu strapazieren.	 Teilrenovation: Ziel ist es die Vermietbarkeit langfristig sicherzustellen und die Mieten der Marktsituation anpassen zu können.
Gutes Marktpotential	 Ersatzneubau: Investitionen sind aufgrund der vorhandenen Bausubstanz und des Mietmarks nicht nachhaltig. Es besteht jedoch das Potential das Grundstück besser zu nutzen.	 Nachhaltige Erneuerung: Bausubstanz und Mietmarkt erlauben eine umfassende Erneuerung des Gebäudes und die Schaffung von Mehrwert.
Fazit	Falls diese Grobbeurteilung zeigt, dass bloss eine Werterhaltung in Frage kommt, kann diese sehr gut direkt mit Handwerkern erfolgen, kommt ein Neubau in Frage, kann diese Aufgabe ein Architekt übernehmen.	Falls die Grobanalyse zeigt, dass eine Teil- oder sogar eine Gesamterneuerung ansteht, sollten diese Möglichkeiten noch vertieft untersucht werden. Oft werden dazu kombinierte Strategien gewählt. Es macht daher Sinn, die Chancen und Risiken genauer zu analysieren.

Tabelle 4: Grobbeurteilung der Erneuerungsstrategie auf der Basis von Bauqualität und Marktpotential (gemäss Energie Schweiz)

5.2 10 Schritte zu vorgefertigten Renovationsmodulen

Die Vorfertigung von Renovationsmodulen kann eine interessante Lösung darstellen, allerdings sind dazu einige Punkte besonders zu beachten. Die nachfolgenden Empfehlungen wurden erarbeitet [06], um die am besten geeigneten Renovationslösungen entwickeln zu können. Diese Empfehlungen richten sich an Planer, Bauunternehmungen und Hersteller, welche in den Planungsprozess involviert sind. Bei Beachtung der 10 Planungsempfehlungen ist es möglich, die wichtigen Planungsentscheide richtig zu fallen.

Die ersten 6 Empfehlungen befassen sich mit der Wahl der geeigneten Renovationslösung, mit der Entscheidung, ob eine Kompaktwärmedämmung, eine hinterlüftete Fassade, eine teilweise oder eine vollständig vorgefertigte Lösung die Richtige ist. Nicht oder nur teilweise vorgefertigte Lösungen können unter Umständen durchaus auch zweckmässig sein.

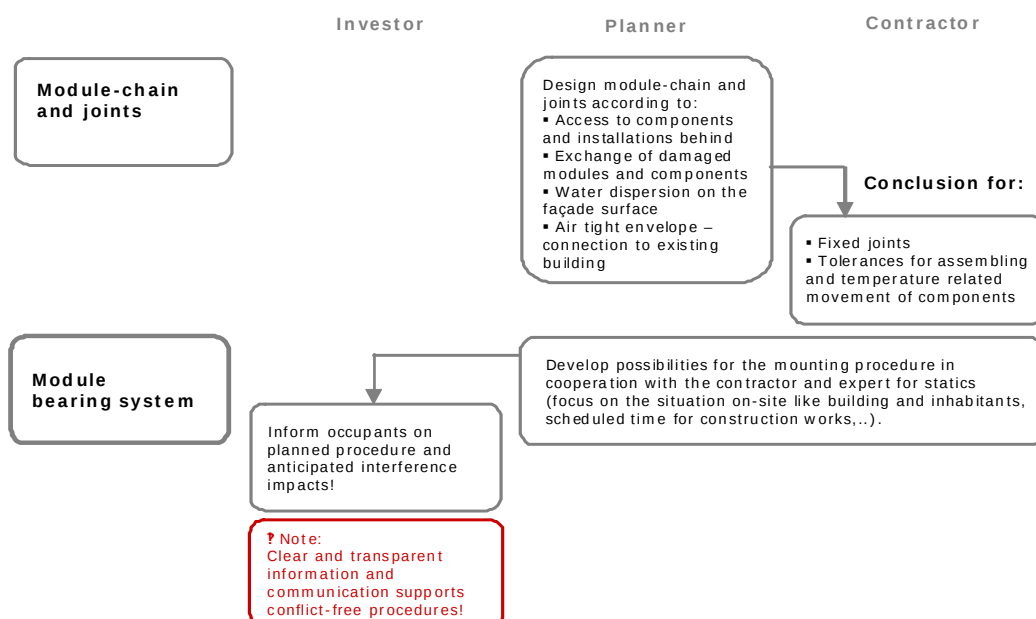
Am Schluss jeder Empfehlung folgt ein Machbarkeitscheck, der helfen soll, die Vor- und Nachteile einer Lösung zu evaluieren.

Der Planung von vorgefertigten Renovationslösungen dienen die Empfehlungen 7-10. Verschiedene der gezeigten Lösungen wurden im Rahmen des IEA-Projekts entwickelt.

Die 10 Empfehlungen im Überblick:

- 1 Ausgangssituation: Vorhandene Infrastruktur und Qualität des Quartiers; Erweiterung der äusseren Gebäudeabmessungen; Zugang und Zufahrt, Anliefer- und Montagemöglichkeiten; Bauzeit, Jahreszeit und Wetter
- 2 Bestehende Bausubstanz: Vorabklärungen; detaillierte Zustandserfassung und Massaufnahme, Luftdichtheit der Gebäudehülle, Tragkraft, insbesondere des Dachgeschosses, der Aussenwände und der Foundation, Ebenheit der Fassaden.
- 3 Neue Gebäudehülle: Anforderungen; Möglichkeiten für Veränderungen und Optimierungen; Veränderung der Fenstergrössen und -anordnung; Möglichkeiten für neue Balkone und Wohnraumerweiterungen; Hindernisfreier Zugang/Fluchtweg; Dachausbau und Dacherweiterung; Bewohnbarkeit während Umbau; Reinigung und Unterhalt
- 4 Brandschutz: Risikoanalyse und allgemeines Brandschutzkonzept; Sicherheit der neuen Gebäudehülle; Brandverhalten der verwendeten Materialien und Feuerwiderstand der Bauteile; Ausbreitung von Feuer und Rauch zwischen bestehendem Unterbau und neuer Gebäudehülle; Leitungsführung und Gebäudetechnik
- 5 Schallschutz: Schutz gegen Aussenlärm; Schallschutz im Gebäudeinnern; Schallschutz bei der Gebäudetechnik
- 6 Bauphysik und Ökologie: Thermisches Verhalten; Vermeidung von Feuchteschäden; Luftdichtheit; Umweltbelastung
- 7 Vorgefertigte Renovationsmodule: Modulares Grundkonzept; Bestimmung der Abmessungen der Module; Bestimmung der Lage der Module und der Abhängigkeiten; Integration von Komponenten; Fenster und Verglasungen; Sonnenschutz, technische Überprüfung
- 8 Fügetechnik und Befestigungen: Montagevorgang, Befestigungen; Tragkonstruktion
- 9 Haustechnik: Integration in Renovationsmodul; Montagekonzept; Zugänglichkeit
- 10 Solare Komponenten: Aktive Energiegewinnung in der Fassade; Einfluss passive Sonnenenergienutzung; Netzverbund und gebäudeübergreifende Lösungen

5.3 Beispiel Schritt 8: Fügetechnik und Befestigungen



Figur 17: Prinzipielle Aufgabenteilung bezüglich Fügetechnik und Befestigung

Modulanordnung und Befestigung

Die Modulanordnung beeinflusst in erster Linie die Montage, die Befestigung und die Verbindungstechnik. Sie hat aber auch grosse Auswirkungen auf Unterhalt und Möglichkeiten zur Reparatur. Diese Zusammenhänge sind in Tabelle 5 zusammengestellt.

Die Gestaltung der Verbindungselemente ist entscheidend für die Detailplanung. Die neue Fassade muss einerseits schlagregendicht und luftdicht sein, andererseits muss sie aber auch die Zugänglichkeit für Unterhalt und Reparatur gewährleisten. Geeignete Fugen und Toleranzen zwischen den Modulen sollen die Austauschbarkeit und die thermische Ausdehnung erlauben. Wichtig ist bei der Planung erkennen, welche Auswirkungen eine Detaillösung auf den späteren Unterhalt hat.

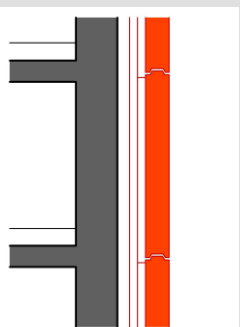
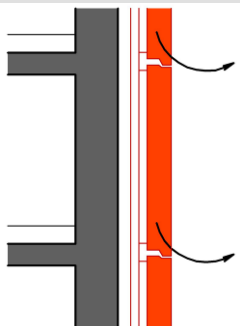
		Vorteile	Nachteile	Auswirkungen auf Tragstruktur und Fügetechnik
Fest montierte Module		Einfache und schnelle Montage	Zwischenraum zwischen alter und neuer Fassade nicht zugänglich	Stehende oder hängende Konstruktion
		Gute Dichtheit (Schlagregen und Luftdichtheit)	Beschränkte Möglichkeiten zum Auswechseln defekter Module	Falz oder Nute-Feder Verbindung
Einzeln montierbare Module		Auswechselbarkeit beschädigter Module	Anspruchsvoller Planungs- und Montageprozess	Offene Fugen mit Abdeckleiste oder Falz zum seitlich einschieben
		Zugang zum Zwischenraum zwischen alter und neuer Fassade	Abdichtung erfordert sorgfältige Planung und Montage	Nur hängende Konstruktion

Tabelle 5: Übersicht zu Fügetechniken für (teilweise) vorgefertigte Fassadenmodule

Tragstruktur

Zwei Möglichkeiten bieten sich an:

- Die bestehende Fassade ist in der Lage, die Lasten der neuen Fassade aufzunehmen.
- Die bestehende Fassade ist nicht in der Lage, die Lasten der neuen Fassade aufzunehmen.

Falls der Untergrund nicht genügend tragfähig ist, müssen die Lasten über eine Unterkonstruktion genügend verteilt werden oder die neue Fassade muss so konzipiert sein, dass sie das Eigengewicht zu tragen vermag. Sehr oft wird dabei das entsprechende Fundament vergessen. Um nachträgliche Setzungen zu vermeiden, sollte die Tragfähigkeit der Unterkonstruktion überprüft werden. Falls diese zu gering ist, muss allenfalls die Foundation verstärkt oder ein separates Fundament vorgesehen werden.

Je nach dem, ob die Fassadenmodule gestellt oder aufgehängt werden, ist es möglich, diese direkt an die bestehende Fassade zu montieren oder es ist eine separate Unterkonstruktion notwendig.

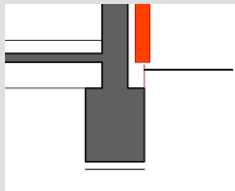
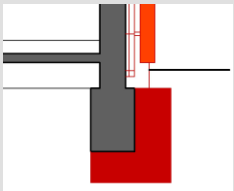
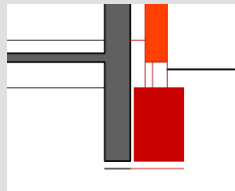
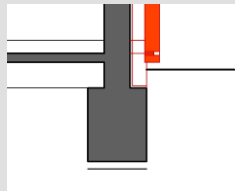
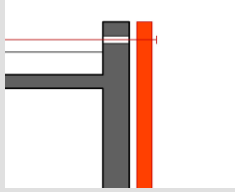
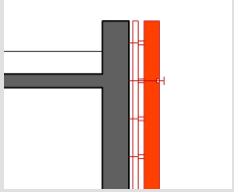
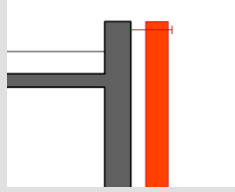
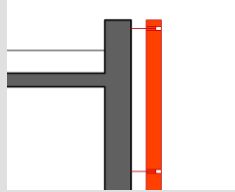
	Hängende Module		Stehende Module	
Fundament	Lastübertragung über bestehende Fassade → bestehendes Fundament genügt	Lastübertragung über bestehende Fassade → bestehendes Fundament muss verstärkt werden	Neues Fundament	Kraftübertragung über Sockel auf bestehendes Fundament
				
Unterkonstruktion	Lastübertragung im Bereich des Dachrands	Lastübertragung Unterkonstruktion auf Fassade	Gestapeltes Fassadenmodul, im Bereich des Dachrands befestigt	Flächiges Fassadenmodul an mehreren Stellen mit bestehender Fassade verbunden
				
Dimensio- nierung	Schlanke Module	Schlanke Module	Dicke Module um Ausbuchtung zu vermeiden	Geringere Moduldicke, da geringere Knicklänge

Tabelle 6: Übersicht über Konstruktionssysteme für Fassadenmodule

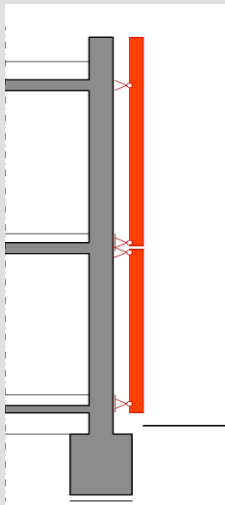
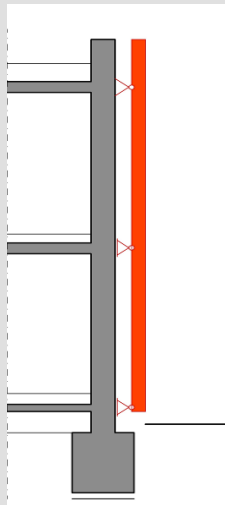
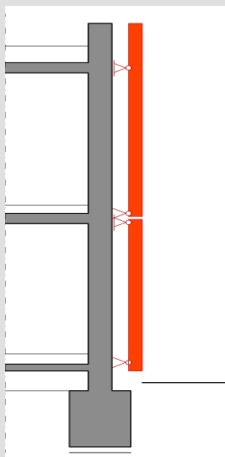
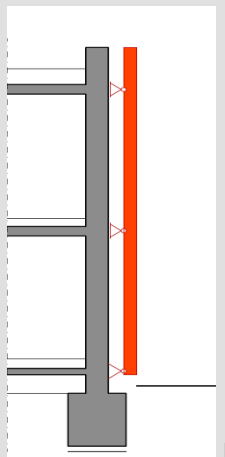
Der Massivbau erlaubt es, die Fassadenmodule direkt oder mittel Unterkonstruktion zu montieren. Eine Unterkonstruktion kann sich auch dazu eignen Masstoleranzen des bestehenden Gebäudes auszugleichen. Dadurch wird die Montage der Fassadenmodule möglicherweise wesentlich erleichtert. Aber auch eine Unterkonstruktion benötigt Vorarbeiten vor Ort, welche entweder ein Gerüst oder einen mobilen Kran erfordern.

Kleinere Module mit mehreren Befestigungen haben den Vorteil, dass die Lastübertragung geringer ist – auch bei Windlast – und dass sie generell schlanker gebaut werden können.

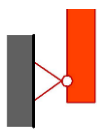
Die Anordnung der Befestigungen auf der Höhe der Geschossdecken hat den Vorteil, dass an dieser Stelle dank der in der Regel betonierten Decken die Lastübertragung optimal ist, auch wenn die Tragfähigkeit der Aussenwand reduziert ist (z. Bsp. Bei Porenbeton).

Eine Direktmontage ist schwieriger bei Betonskelett- oder Plattenbauten. Hier muss in der Regel die Unterkonstruktion auf das vorhandene Rastermass abgestimmt werden.

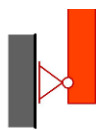
Module, die über mehrere Geschosse gehen sind schwierig zu realisieren (Transport und Montage). Grundsätzlich möglich wären stehende Module die über alle Geschosse gehen. Dabei ist jedoch die Breite auf ca. 3 m begrenzt.

	Einzelaufhängung Die Module werden direkt auf den Untergrund oder eine Unterkonstruktion montiert	Durchlaufträger Durchlaufende Träger dienen als Unterkonstruktion
Hängende Module	 Fixpunkt oben	 Fixpunkt oben
Stehende Module	 Fixpunkt unten	 Fixpunkt unten
Beurteilung	- Module müssen selbsttragend sein. - Zusätzliche Unterkonstruktion nicht zwingend. - Ohne Unterkonstruktion muss jedes Modul bei der Montage exakt ausgerichtet werden. - Einzelne Module können ausgetauscht werden.	- Schlanke Module möglich. - Ausgleich von Masstoleranzen durch Unterkonstruktion - Die Montage mit einer Unterkonstruktion ist schneller. - Einzelne Module können ausgetauscht werden.
Toleranzen	Dilatationsfugen müssen ein Ausdehnen der Module erlauben.	Dilatationsfugen müssen ein Ausdehnen der Module erlauben.

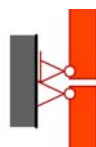
Legende:



• Fixpunkt



• Gleitlager



• Fixpunkt oben,
Gleitlager unten



• Fixpunkt unten,
Gleitlager oben

Tabelle 7: Übersicht über Befestigungsmöglichkeiten

Die besondere Herausforderung bei bestehenden Gebäuden ist einerseits die Unsicherheit der Tragfähigkeit sowie andererseits der Umgang mit den Masstoleranzen der bestehenden Fassade.

Es besteht eine grosse Auswahl von Montagesystemen. Grundsätzlich ist zwischen punktuellen und linearen Montagesystemen zu unterscheiden. Jede punktuelle Befestigung konzentriert die Lastabtragung, was nachteilig sein kann falls die Unterkonstruktion örtliche Schwachstellen aufweist. Lineare Befestigungssysteme sind diesbezüglich weniger kritisch.



Figur 18: Stahlkonsolen als Auflager der Holzunterkonstruktion. Bsp. Dieselweg, Graz [17]



Figur 19: Holzunterkonstruktion als Ausgleichsschicht zur Aufnahme von Masstoleranzen. Bsp. Dieselweg, Graz [17]

Zudem muss jedes Montagesystem geeignet sein Spannungen oder Bewegungen infolge Temperatúrausdehnung der Module aufzunehmen. In der Regel erfolgt dazu die Verbindung zwischen Unterkonstruktion und Module mittels Langlochverbindungen.

Es ist oft vorteilhaft, in Zusammenhang mit Modulen aus Holzwerkstoffen auch die Unterkonstruktion in Holz auszuführen. Die Bearbeitung – auch auf der Baustelle – ist einfacher, Wärmebrücken sind geringer als bei metallischen Lösungen; ebenso in der Regel auch das Gewicht, und es sind praktisch alle notwendigen Dimensionen leicht verfügbar. Nachteilig sind die geringere Tragfähigkeit, die geringere Massgenauigkeit und die Brennbarkeit. Bei Verwendung einer Holzunterkonstruktion muss immer auch nachgewiesen werden, dass der Brandschutzanforderungen erfüllt sind.

6. Retrofit Advisor – Entscheidungshilfe für die nachhaltige Bauerneuerung

Speziell für Bauherren wurde ein Computerprogramm entwickelt, welches es erlaubt auf einfache Weise, verschiedene Erneuerungsszenarien zu vergleichen.

Mit dem *Retrofit Advisor* [07], wurde ein Werkzeug geschaffen, mit dem auf einfache Weise Erneuerungsszenarien für Mehrfamilienhäuser erstellt werden können. Dabei werden nicht nur wirtschaftliche Überlegungen, sondern auch ökologische und gesellschaftliche Aspekte berücksichtigt. Die Berechnungsgrundlagen sind in [08] dokumentiert.

Aufgrund weniger Eingaben lassen sich damit eine bestehende Liegenschaft, deren potentielle Erneuerung resp. ein Ersatzneubau bezüglich Kosten, Umweltbelastung und gesellschaftlicher Ansprüche analysieren lassen. Dadurch eignet sich der *Retrofit Advisor* primär für eine frühe Planungsphase, in welcher noch keine präzisen Planungsdaten erforderlich sind, sondern eine systematische Evaluation der prinzipiellen Möglichkeiten.

Mit dem *Retrofit Advisor* wurde versucht ein Werkzeug schaffen, welches den Entscheidungsprozess in einer ganz frühen Phase objektiv unterstützt. Im Gegensatz zu den üblichen Planungsinstrumenten, welche in der Regel von einem konkreten Projekt ausgehen, erlaubt es der *Retrofit Advisor* Ideen auf der Basis des bestehenden Gebäudes zu entwickeln. Gleichzeitig dient er jedoch auch dazu, um gemeinsam mit den Planern und Architekten verschiedene Optionen zu prüfen und zu optimieren.

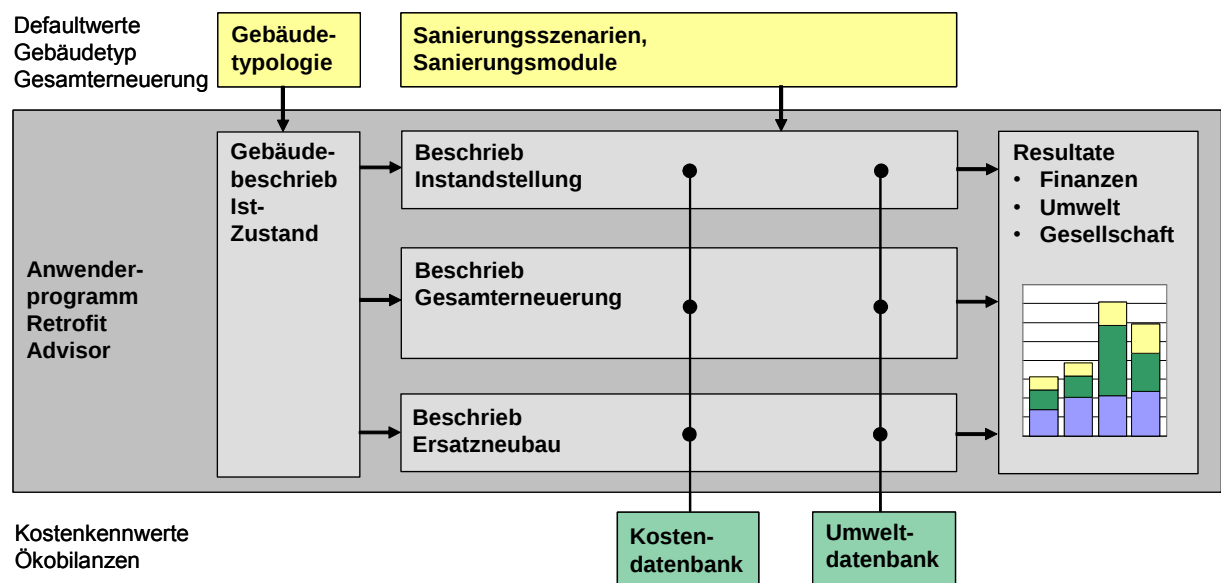
Mit dem *Retrofit Advisor* sollen alle drei Bereiche einer nachhaltigen Entwicklung – Wirtschaft, Umwelt und Gesellschaft – gleichermassen beurteilt und einander gegenüber gestellt werden können. Deshalb beurteilt der *Retrofit Advisor*:

- die Wirtschaftlichkeit einer Liegenschaft, ausgedrückt in Marktwert und Rendite,
- die Umweltverträglichkeit, ausgedrückt als Eco-Indicator 99 Bewertung,
- die gesellschaftlichen Aspekte gemessen an den (beeinflussbaren) Kriterien für Wohnungsqualität des Bundesamtes für Wohnungswesen.

Die Schlussfolgerungen obliegen dem Anwender, welcher die drei Bewertungen persönlich gewichten und verknüpfen kann. Je nach Situation der Anwender – z.B. Mieter, Vermieter – oder rechtlicher Situation sind unterschiedliche Bewertungen möglich. Trotzdem ist in aller Regel eine klare Tendenz erkennbar.

Um verschiedene Erneuerungsstrategien beurteilen und vergleichen zu können, werden jeweils vier Gebäudezustände analysiert:

- Aktueller Zustand des Gebäudes
- Instandstellung des Gebäudes (nur Reparatur)
- Gesamterneuerung des Gebäudes
- Abbruch des Gebäudes und Erstellung eines Ersatzneubaus



Figur 20: Zusammenwirken der verschiedenen Berechnungsmodule. Als Eingabehilfe existieren Datenbanken für typisierte Gebäude und deren Sanierungspotentiale sowie für die Auswertung Kostenkennwerte.

Der aktuelle Gebäudezustand gilt als Ausgangslage. Für diesen werden auf der Basis der Barwertmethode (Discounted Cash Flow) der aktuelle Marktwert und die Rendite als wirtschaftliche Leitgrößen bestimmt (Bruttorendite, Nettorendite, sowie Eigenkapital-Rendite als Mass für die selbst investierten Mittel). Damit erhält der Gebäudebesitzer praktisch als Nebenprodukt der Analyse eine Schätzung des realen Werts der Liegenschaft. Parallel dazu werden die Umweltbelastungen aufgrund des Energieverbrauchs berechnet und die soziale Situation, soweit sie im Rahmen einer Bauerneuerung verändert werden kann, erfasst.

Die Instandsetzung wird als minimale Erneuerungsvariante der Vollständigkeit halber mit erfasst. Sie basiert im Wesentlichen auf einer Grobdiagnose. Dazu wird der Zustand der wichtigen Bauteile beurteilt. Für die notwendigen Erneuerungsmassnahmen sind die spezifischen Kosten und die entsprechenden Ökobilanzen (basierend auf *Ecoinvent*) in einer Datenbank hinterlegt. Die sozialen Aspekte entsprechen unverändert dem Ist-Zustand.

Für **die Gesamterneuerung** – die im Fokus der Berechnungen steht – können verschiedene Erneuerungsszenarien ausgewählt werden. Im Moment erfolgt die Berechnung ebenfalls auf der Basis der Grobdiagnose und der selektierten Massnahmen, wobei An-, Um- und Aufbauten mit berücksichtigt werden. Berechnet werden nebst dem zukünftigen Marktwert und der zukünftigen Rendite auch die notwendigen Investitionskosten. Die Umweltbelastung des Umbaus wird den Energieeinsparungen gegenübergestellt und die sozialen Verbesserungen werden (aus der Sicht des Anwenders) gewichtet.

Zur Komplettierung der Analyse wird auch **der Ersatzneubau** untersucht. Die wirtschaftlichen Faktoren werden primär auf der Basis der neuen Kubatur, des Ausbaustandards und der erwarteten Mieteinnahmen bestimmt. Für die Ermittlung der Umweltbelastung werden Kennwerte von Vergleichsbauten sowie die Verbrauchswerte des anvisierten Energiestandards verwendet. Die Beurteilung der sozialen Auswirkungen erfolgt wiederum auf der Basis der erwarteten gesellschaftsrelevanten Veränderungen.

Insgesamt kann davon ausgegangen werden, dass sowohl die ökonomische wie auch ökologische Analyse sehr gute Ergebnisse ermöglicht, da im Hintergrund eine breit abgestützte Berechnungsweise und eine umfangreiche Datenbank zur Verfügung steht (Bild 1). Dagegen ist die gesellschaftliche Analyse teilweise davon abhängig, wie der Anwender die geplanten Veränderungen beurteilt. Es liegt in der Natur der Sache, dass sowohl eine Gesamterneue-

rung wie auch ein Ersatzneubau aus der Sicht des Bauherrn tendenziell positiv bewerten, während Mieter sicher eine kritischere Einstellung hätten.

6.1 Arbeitsweise

Das Erfassen und Bewerten von Renovationsszenarien erfordert eine Fülle von Daten, die mühsam zusammen getragen oder sogar ermittelt werden müssen. Das Zusammentragen und Bestimmen dieser Daten ist jedoch in dieser frühen Planungsphase in welcher der *Retrofit Advisor* eingesetzt werden sollte, kaum zumutbar. Gerade in einer frühen Planungsphase müssen erste Ergebnisse rasch und bequem ermittelt werden können. Mit dem *Retrofit Advisor* soll deshalb der Laienanwender innert 30 Minuten erste Ergebnisse erhalten, welche der Fachmann innerhalb eines halben Arbeitstags verfeinern und im Detail verifizieren kann.

Um diese Ziel erreichen zu können, kann mit dem *Retrofit Advisor* auf drei Ebenen gearbeitet werden:

- **Bauherren / Investoren / Mieter:** Durch die Selektion eines geeigneten Gebäudetyps wird ein entsprechender Default-Datensatz geladen, welcher mit wenigen Angaben (Grösse, Lage des Gebäudes, Mieten, etc) dem realen Gebäude angepasst werden kann. In einem weiteren Schritt kann aus verschiedenen Erneuerungsszenarien das geeignete ausgewählt werden. Auf diese Weise kann der Anwender in wenigen Minuten eine Grobanalyse erhalten. Er sieht zudem, wie sich die Resultate aufgrund seiner Angaben verändern.



Figur 21: Über die Selektion eines Gebäudetyps können Laien einen geeigneten Default-Datensatz auswählen.

- **Fachmann / Planer:** In einem 2. Schritt kann der Fachmann (oder versierte Laie) alle verwendeten Annahmen überprüfen und gegebenenfalls korrigieren. Je präziser diese Korrekturen sind, desto aussagekräftiger und verbindlicher wird die Auswertung.
- **Facility Manager:** Betriebliche Fachleute haben zudem die Möglichkeit die Kostenplanung während der Nutzungsphase detailliert zu definieren (Teuerung, Unterhalts- und Betriebskosten etc.). Das Resultat ist eine dynamische Kostenplanung, welche den Barwert der Liegenschaft über die verbleibende Nutzungsdauer ermittelt.

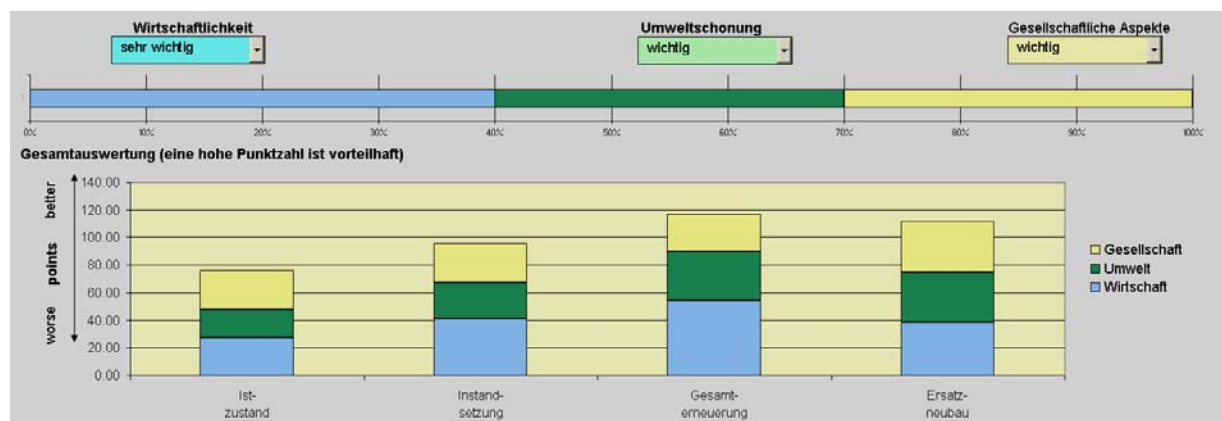
6.2 Resultate

Das Ziel des *Retrofit Advisors* ist es, dem Anwender eine möglichst objektive Situationsanalyse zu unterbreiten. Nebst den immer vielfältig vorhandenen weichen Faktoren will der *Retrofit Advisor* vor allem die harten Fakten bezüglich Wirtschaftlichkeit und Umweltbelas-

tung als Entscheidungshilfe bereit stellen. Das Werkzeug erfüllt seinen Zweck, wenn der Bauherrenentscheid für oder gegen eine Gesamterneuerung, für oder gegen einen Ersatzneubau bewusster gefällt wird.

Die Ergebnisse sind umso präziser, je genauer die Eingaben sind. Währenddem der Laie vor allem mit Default-Werten arbeitet, kann der Fachplaner genauere Angaben berücksichtigen. Das Werkzeug bietet damit eine breit abgestützte Entscheidungshilfe, die eine Vielzahl wichtiger Faktoren berücksichtigt, ohne jedoch abschliessend zu sein. Letztlich bleibt das Werkzeug ein Hilfsmittel um geeignete Strategien zu entwickeln. Die konkrete Planung der Bauerneuerung obliegt immer noch einer differenzierten, objektbezogenen Optimierung.

Zur Beurteilung stehen wirtschaftliche, ökologische und gesellschaftliche Analysen zur Verfügung. Für eine Gesamtbeurteilung muss die Bauherrschaft die drei Bereiche bezüglich ihrer Bedeutung gewichten. Will sie allein wirtschaftlich entscheiden, dann muss sie sich dazu bekennen, dass Umwelt und Soziales nicht interessieren.

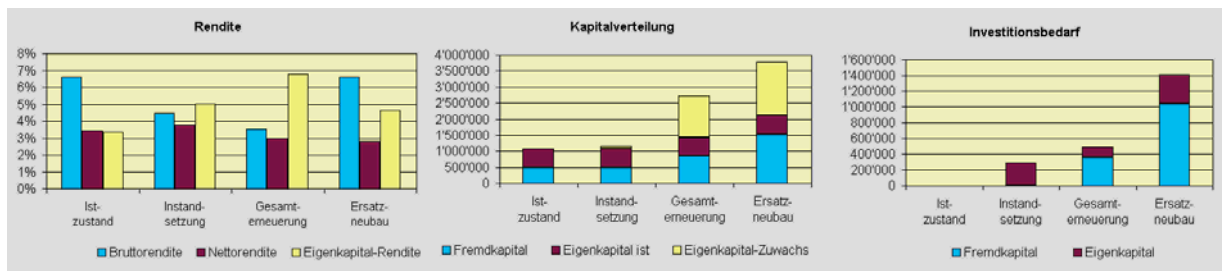


Figur 22: Gesamtauswertung für den Ist-Zustand und drei Erneuerungsvarianten. Die Gesamterneuerung schneidet in diesem Beispiel knapp besser ab als der Ersatzneubau, vor allem aufgrund der geringeren Erneuerungskosten.

Für Interessierte stehen nebst der Gesamtauswertung auch noch detaillierte andere Auswertungen und Kennzahlen zur Verfügung. Alle Werte werden während der Bearbeitung laufend angepasst, sodass die Auswirkung einer Eingabe stets überprüft werden kann und immer eine aktuelle Daten zur Verfügung stehen.

Ökonomische Auswertungen

- Bruttorendite als Verhältnis von Marktwert des Gebäudes / Bruttoertrag
- Nettorendite als Verhältnis von Marktwert des Gebäudes / Nettoertrag (Bruttoertrag - Unkosten ohne Zinsen)
- Eigenrendite als Verhältnis von Eigenkapital (Marktwert - Hypotheken)/Nettoertrag inkl. Zinsen
- Marktwert des Gebäudes auf der Basis der Barwertmethode, angewendet über die angenommene, verbleibende Nutzungsdauer
- Investitionsbedarf und resultierende Kapitalverteilung an Fremdkapital, investiertem Eigenkapital und Eigenkapital-Zuwachs infolge Wertsteigerung durch Renovation. Steuerliche Vergünstigungen und Zuschüsse können berücksichtigt werden, sind aber individuell zu beziffern.



Figur 23: Auswertung von Rendite, Kapitalverteilung und Investitionsbedarf

Ökologische Auswertungen

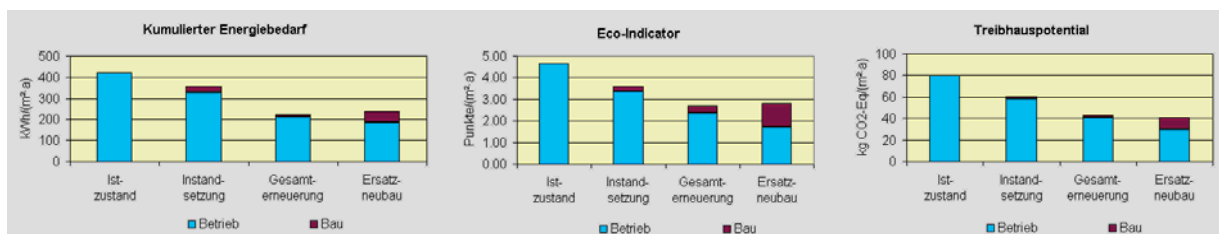
Bezugnehmend auf den europäischen Gebäudeenergieausweis wird für das bestehende Gebäude sowie für die Erneuerungsvarianten das zu erwartende Energielabel bestimmt. Dieses erlaubt eine erste Beurteilung der zu erwartenden Energieeffizienz.

	Primärenergie Istzustand	Primärenergie Instandsetzung	Primärenergie Gesamterneuerung	Primärenergie Ersatzneubau
Sehr energieeffizient				
A				
B				B 56%
C			C 129%	
D		D 177%		
E	E 231%			
F				
G				
Wenig energieeffizient				
Treibhauseffekt	E	E	E	E
Heizwärmebedarf	G	F	D	A
Erneuerbare Energien	0%	0%	0%	28%

Figur 24: Berechnete Energielabels für den Ist-Zustand und die Erneuerungsszenarien

Den verschiedenen geplanten Massnahmen und den Energieträgern sind Ökobilanzen hinterlegt, die auf der *Ecoinvent*-Datenbank des *ETH*-Bereichs basieren. Das bestehende Gebäude wird nicht bilanziert, nur die geplanten Massnahmen. Es stehen drei Auswertungen zur Verfügung, welche die Umweltbelastungen durch Betrieb und bauliche Massnahmen darstellen:

- Kumulierter Energiebedarf (Graue Energie für Erstellung/Unterhalt und Betrieb)
- *Eco-Indicator 99* (Schadenspotential für Mensch und Umwelt)
- Treibhauspotential (CO₂ und andere Treibhausgasemissionen)

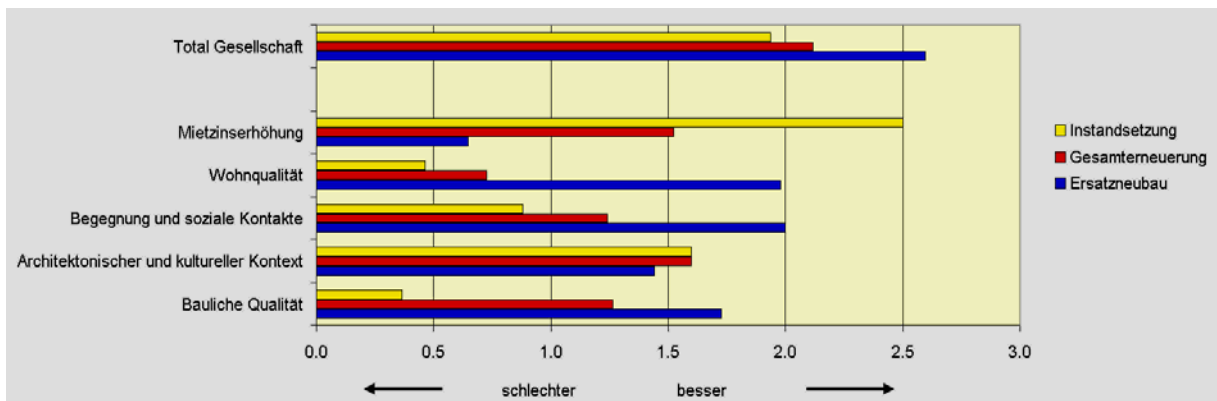


Figur 25: Es stehen drei verschiedene Umweltauswertungen zur Verfügung. Für die Gesamtauswertung wird der *Eco-Indicator* verwendet

Gesellschaftliche Auswertung

Die Auswertung der gesellschaftlichen Aspekte basiert auf einer Punktbewertung, welche eine Gewichtung durch den Anwender zulässt. Sie umfasst:

- Veränderung der Mietzinse
- Wohnqualität (Ausbaustandard, Flexibilität, Zugang für Behinderte)
- Soziale Kontaktmöglichkeiten (Wohnungsmix, Mehrzweckräume, Waschküche, Aussenräume, Kinderspielplatz)
- Architektur (Qualität, Integration in Quartier, Wiedererkennung, Erhalt bestehender Bausubstanz, Umgebungsgestaltung)
- Bauliche Qualität (Baustoffe, Verarbeitung, Tageslicht, Schallschutz, Erdbebenicherheit)



Figur 26: Bewertung der gesellschaftlichen Aspekte einer Bauerneuerung

Die Bewertung folgt weitgehend den Kriterien des schweizerischen *Bundesamts für Wohnungswesen* für die Beurteilung der Wohnqualität. Sie ist jedoch nicht ganz so detailliert. Faktoren, die mit der Gebäudeerneuerung nicht zu beeinflussen sind (z.B. Nähe zu öffentlichem Verkehrsmittel) werden nicht berücksichtigt. Dafür werden Mietzinsveränderungen sowie Erhalt/Veränderung der Bausubstanz in die Bewertung einbezogen.

7. Renovationsmodule

In Zusammenarbeit mit namhaften schweizerischen und europäischen Firmen der Baubranche wurden sorgfältig aufeinander abgestimmte Sanierungsmodule für Fassade, Dach und die Gebäudetechnik entwickelt.

Die Fassaden- und Dachmodule in Leichtbauweise werden von führenden Holzbauunternehmen auf Mass erstellt und je nach Situation zusammen mit lokalen Renovationspartnern montiert.

Diese Renovationsmodule ermöglichen trotz Standardisierung der konstruktiven Details eine hohe Flexibilität in der Anwendung. Sie gewährleisten eine bauphysikalisch, energetisch und brandschutztechnisch einwandfreie Grundkonstruktion, welche eine praktisch beliebige Fassadenbekleidung aufnehmen kann. Dadurch kann sich der Architekt auf die Fassadengestaltung konzentrieren und braucht sich nicht um technische Details zu kümmern.

Grundsätzlich können vorgefertigte Fassaden- und Dachelemente in unterschiedlicher Ausführung zur Anwendung gelangen. Jede Lösung hat seine eigenen Vor- und Nachteile:

- grossflächige oder kleinflächige Elemente
- vollständig vofabrizierte oder teilweise vofabrizierte Elemente
- Flächen- oder Raummodule
- Leichbaumodule mit Holzunterkonstruktion oder mit Metallunterkonstruktion

Aufgrund der Gebäudetypologie wurde ein Katalog von Renovationsmodulen definiert.

Eigentliche Raummodule wurden im Rahmen des Projekts nicht entwickelt. Sie unterscheiden sich nicht wesentlich von Anwendungen im Neubau. Flächige Renovationsmodule wurden in Österreich, in der Schweiz, in Frankreich und Portugal entwickelt.

- Die **schweizerische Entwicklung** [09] war fokussiert auf kleinformatige Wand- und Dachmodule mit etwa 80% Vorfertigung und hohem Standardisierungsgrad, ebenfalls in Holbauweise.
- Das **österreichische Projektteam** hat grossflächige, vollständig vorfabrizierte Fassadenelemente entwickelt [10]. Die Unterkonstruktion wurde in Holzbauweise ausgeführt.
- Grossfläche Elemente mit metallischer Unterkonstruktion wurden in **Frankreich** entwickelt [11]. Die Elemente eignen sich speziell zur Anwendung über mehrere Geschosse.
- Das in **Portugal** entwickelte, kleinflächige Modul basiert auf einer Metallkassette, die vollständig vorfabriziert wird [12].

7.1 Grossformatige Renovationsmodule

Vorfabrikation wird oft mit vollständiger Vorfabrikation in Verbindung gebracht. Total-Vorfabrikation im Sinne von grossflächigen Renovationsmodulen sind schon mit Erfolg durchgeführt worden. In solchen Fällen bestimmen Randbedingungen an der Fassade als auch die Logistik die Elementgrössen. In der Schweiz können Elemente von rund 3.5 m Breite und 10 m Länge ohne weiteres transportiert werden. Grössere Elemente sind möglich, benötigen aber eventuell schon Polizeibegleitung oder/und die Transporte müssen nachts durchgeführt werden. Für eine horizontale Elementierung bieten sich die Geschosshöhe und eine maximale Breite bis 10 m an. Mit diesem Ausgangsraster ergeben sich je nach Aufteilung in der Fassade z.B. folgende mögliche Unterteilungen.



Figur 27: Mögliche Einteilung einer Fassade mit Grosselementen, kleiner als 10 m x 3.5 m

Die Verwendung von grossflächigen Elementen ist eine mögliche Variante, bestehende Mehrfamilienhäuser zu sanieren resp. zu erneuern. Die komplexe Aufgabenstellung, ein älteres Mehrfamilienhaus auf den Stand zwischen Minergie und Minergie-P zu bringen bedingt allerdings, dass der Planer bereits über sehr viel Wissen und Erfahrung auf diesem Gebiet verfügt und ein entsprechendes, eingespieltes Unternehmerumfeld um sich hat. Besonders folgenden Aufgaben ist hohe Aufmerksamkeit zu schenken:

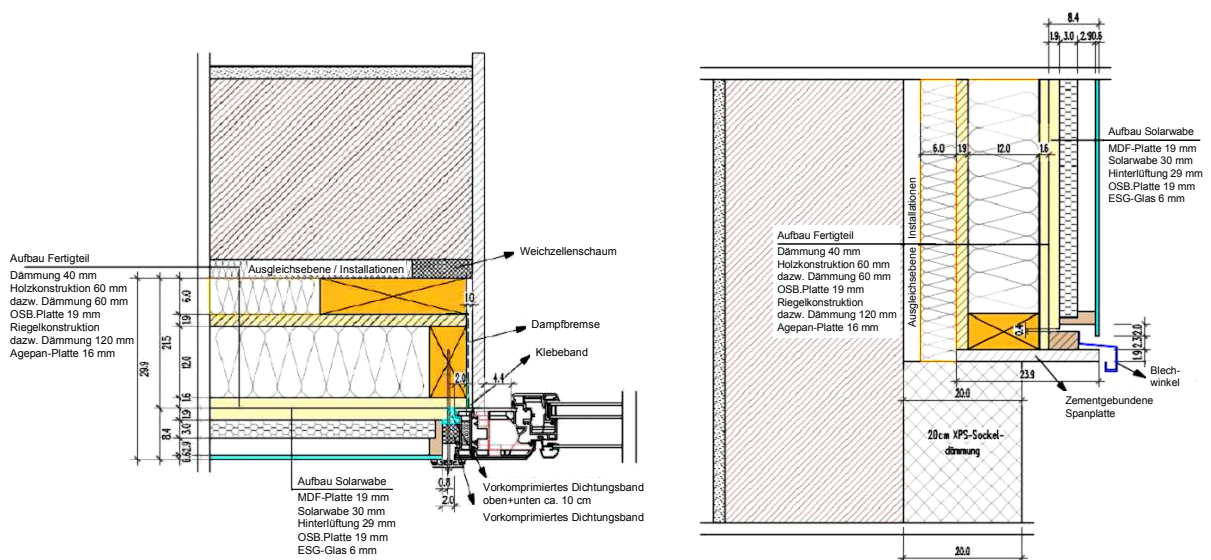
- grosser Aufwand Massaufnahmen
- Verarbeitung der Masse im Werk
- Toleranzen, auch bei Schnittstelle Grosselement zu Grosselement
- Gewichte der Grosselemente
- Stabilität der Module, Ausrichtungen, Aufhängungen
- Detaillösung bei Anschlüssen, Multiplikatoreneffekt bezüglich Details

In Österreich wurde ein grossformatiges, fabrikseitig vollständig vorfabriziertes Fassadenmodul entwickelt und an verschiedenen Demonstrationsprojekten bereits angewendet.



Figur 28: Herstellung und Montage der grossformatigen Fassadenmodule: von oben links: Unterkonstruktion aus Holz und Mineralwolle, Einbau der Einzelraumlüfter, Verkleidung mit Glaselement, Transport, Montage mit Hebekran und 2 Montagebühnen, fertig gestellte Fassade [10]

Die Herstellung und Montage von grossflächigen Fassadenmodulen ist anspruchsvoll, jedoch sehr effizient bezüglich Arbeitsablauf. Die Detaillösungen wiederholen sich, trotzdem muss jedes Element massgenau hergestellt werden.



Figur 29: Horizontalschnitt durch Fensteranschluss, Vertikalschnitt Sockel [10]

Grossformatige Module wurden ebenfalls in Frankreich entwickelt [11]. Sie basieren auf einer Metallunterkonstruktion und können mehrgeschossig ausgeführt werden.

7.2 Kleinformative Renovationsmodule

Ein anderer Ansatz ergibt sich aus der Analyse des benötigten Detaillierungsgrads. Die baulichen Probleme verdichten sich im Bereich Fenster, Leibungen, Anschlüsse, Befestigungen, Lüftungsleitungen, Durchdringungen, Storen, Positionen von Bauteilen und dergleichen, die rein örtlich betrachtet, zufälligerweise alle um das Fenster herum sind.

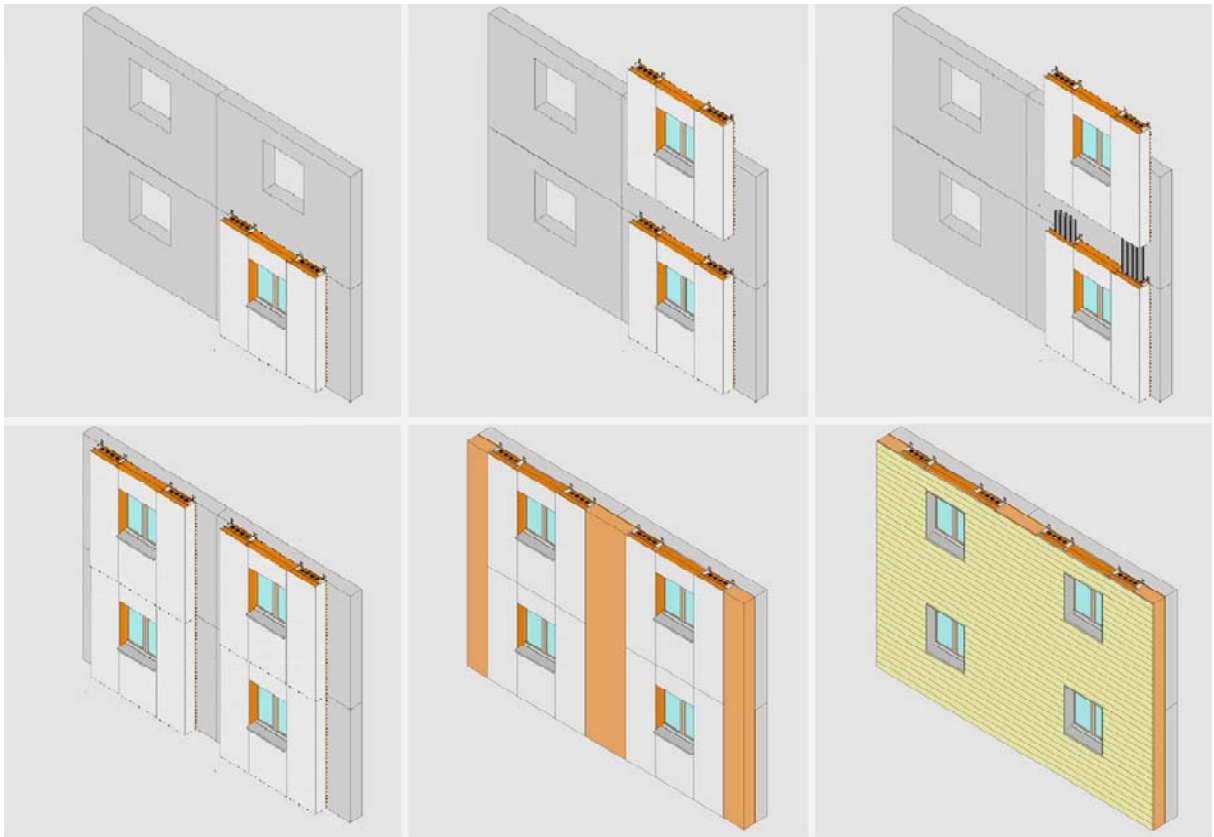
Signifikant weniger wird über die opaken Wandbereiche diskutiert. Berechnungen, Befestigungen, Materialentscheidungen und weitere Größen scheinen hier klar zu sein.

Das in der Schweiz entwickelte Fassadenmodul [09] konzentriert sich deshalb auf den Fensterbereich, da hier eine hohe Detaildichte besteht. Es müssen nicht nur die neuen Fenster und der Sonnenschutz richtig integriert werden, auch die Lüftungskanäle der neuen Komfortlüftung und zusätzliche elektrische Installationen werden am besten hier untergebracht. Das Modul hat deshalb eine Vielzahl von Rahmenbedingungen zu erfüllen:

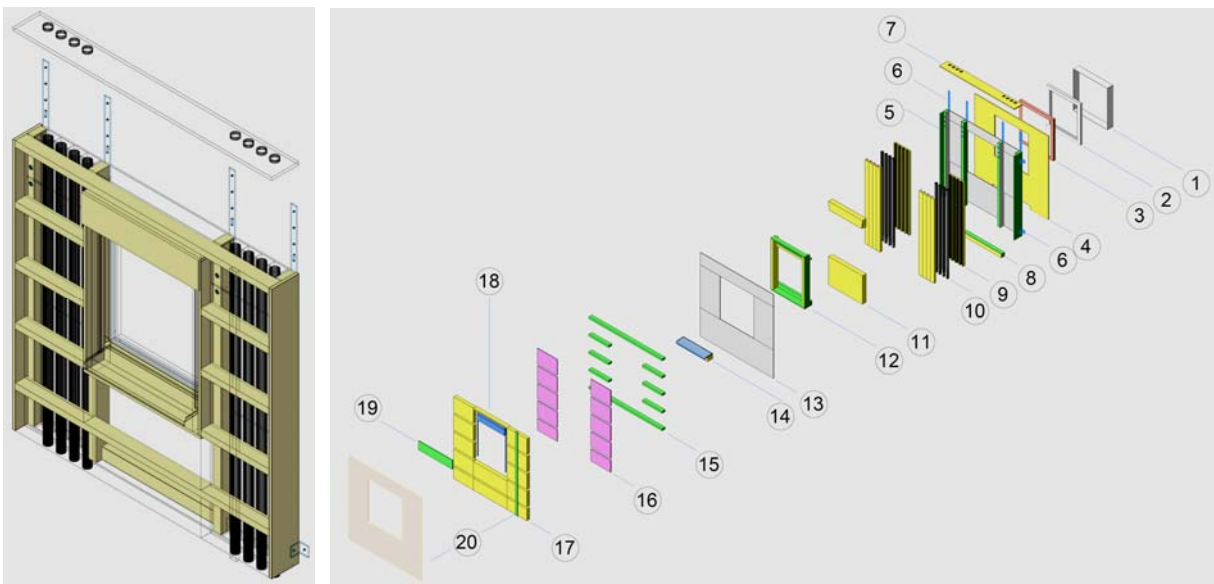
- gute Wärmedämmwerte und wärmebrückenarme Konstruktion unter Verwendung von hochqualitativen Fenstern
- Umgang mit Leitungsführungen in neuen Elementen
- Führung von Lüftungsleitungen und eventuell von Elektrik und sichere Verbindung der Lüftungsleitungen zwischen Elementen
- elektrisch betriebene Storen mit Möglichkeit von Automatisierungen, Möglichkeiten für Kabel für Sensoren bei Fenster
- Montage an bestehenden Aussenmauern, Luftdichtigkeit zwischen Element und bestehendem Mauerwerk, Ausgleichmöglichkeit gegenüber Unebenheit des bestehenden Mauerwerks
- Verwendung normal verfügbarer Baumaterialien, einfache Geometrien der verwendeten Baumaterialien und möglichst klare Schichten (Schichten der Gebäudehülle ums Gebäude)
- Brandschutz und Schallschutz an der Fassade und in der Luftführung
- weitest gehende Gestaltungsfreiheit bei Aussenhaut, es soll "nicht wie vorfabriziert aussehen"
- Multiplikatoreffekt, das Prinzip der Details soll möglichst viel anwendbar sein
- Reaktionsmöglichkeit auf klimatische Verhältnisse, Feuchtigkeit von innen und bezüglich Wärmeverluste der Luftleitung nach aussen
- hoher Multiplikationseffekt für Planung und Vorfabrikation
- Berücksichtigung der Logistikmasse auf Schweizer Strassen, Eigensteifigkeit für Transport und Montage
- Prinzip anwendbar für die ganze Gebäudehülle, also auch für vorfabrizierte Dachelemente

Die Fassadenbereiche zwischen den Fenstern sind meist sehr einfach zu dämmen. Sie erfordern keine aufwändige Planung und können von lokalen Unternehmern mit Mineralfaserplatten, Schaumstoffen oder Zelluloseflocken konventionell ausgeführt werden.

Schliesslich wird die Fassade gemäss den Wünschen der Bauherrschaft verkleidet, sei es verputzt oder hinterlüftet.



Figur 30: Montagevorgang für kleinflächige Fassadenmodule: 1-4 Setzen und Verbinden der Module, 5 Dämmen der Zwischenbereiche, 6 Anbringen der Fassadenbekleidung



Figur 31: Konstruktionsaufbau des Fassadenmoduls, Isometrie der Unterkonstruktion (links), Explosionszeichnung der Komponenten (rechts) [09]



Figur 32: Demonstrationsmodell des Fassadenmodul mit Teleskopverbindungen der Lüftungsleitungen [09]

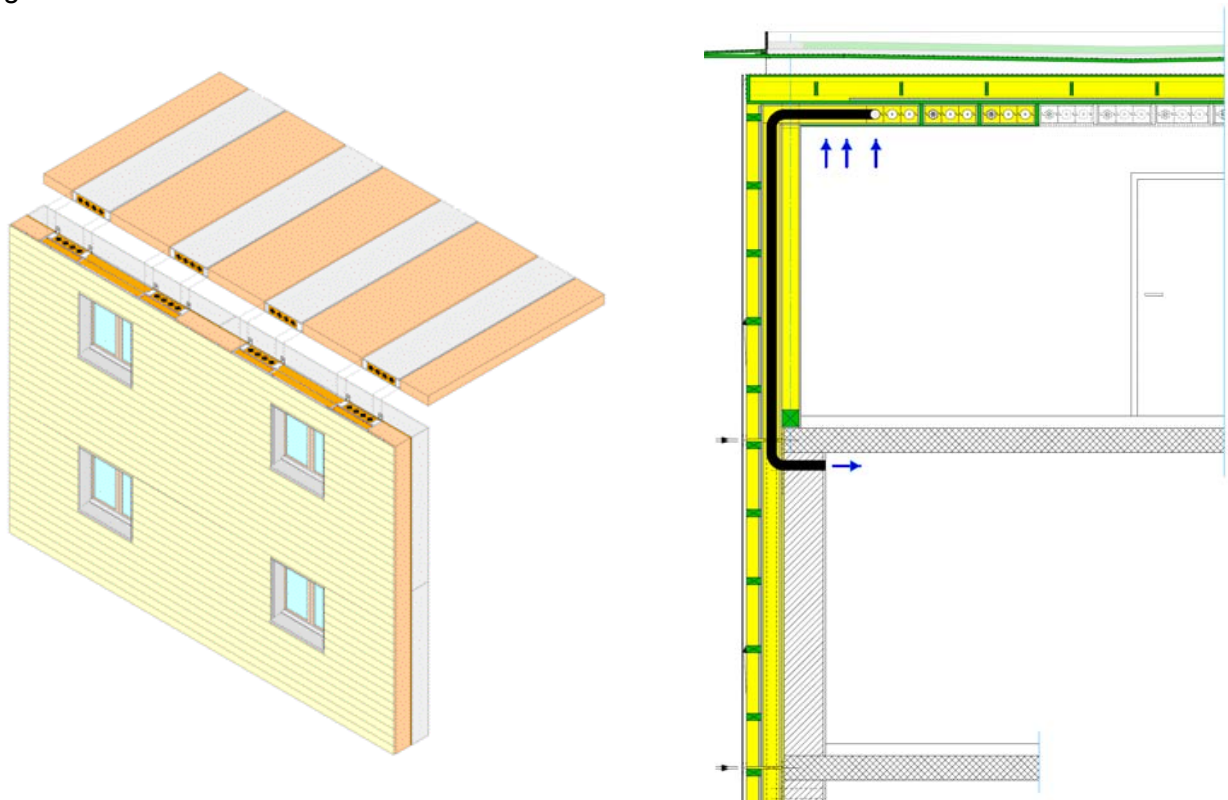
Durch diese Dreiteilung der Fassadenkonstruktion:

- Fassadenmodul mit integrierten Fenstern und technischen Installationen,
- einfachen Dämmungen zwischen den Fassadenmodulen,
- Fassadenbekleidung,

wird einerseits eine hohe Standardisierung und andererseits eine sehr hohe Flexibilität erreicht, die praktisch allen Ansprüchen gerecht wird.

Die Dachmodule übernehmen das Konzept der Fassadenmodule, indem sie direkt an die Schichten der Fassadenmodule anschliessen.

Auf diese Weise ist der Übergang von der Fassade zum Dach für sämtliche Installationen gewährleistet.



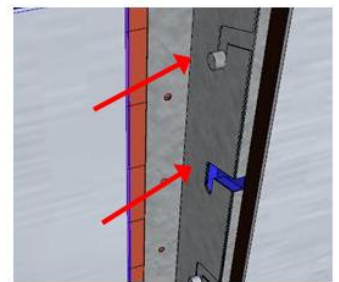
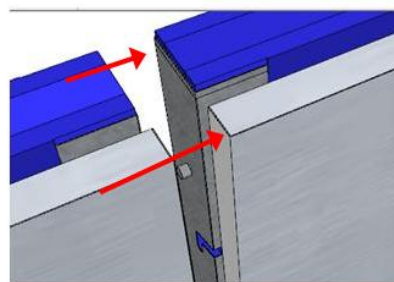
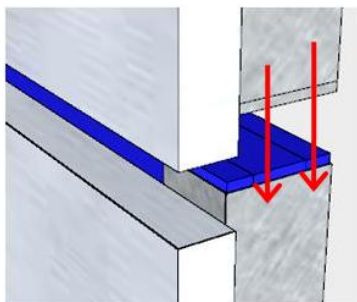
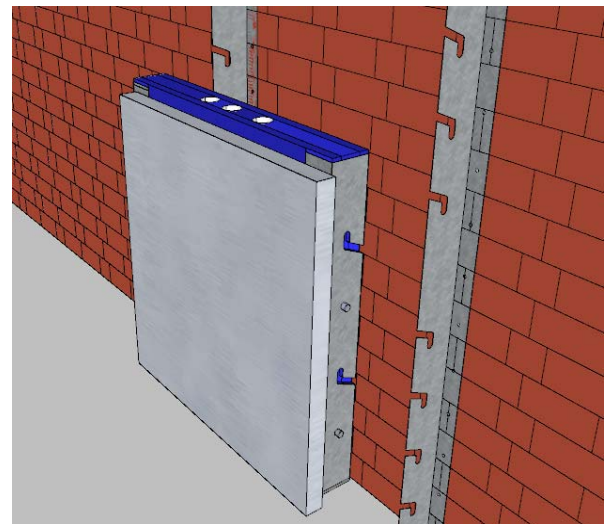
Figur 33: Anschlusslösung für Dachmodul (Flachdach oder Steildach) [09]

Ein vollständig anderes Fassadenmodul wurde in Portugal entwickelt. Es basiert auf einem Kassettensystem mit metallischer Unterkonstruktion und verschiedenen Wärmedämmschichten. Die Kassetten werden auf Mass hergestellt und können in ein vormontiertes Montagesystem eingehängt werden.

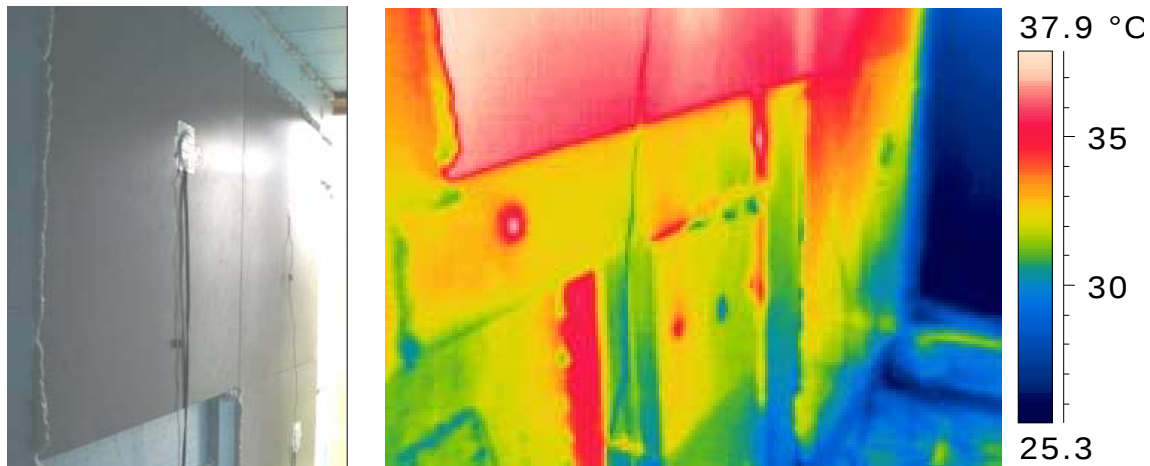
Das Standardformat der Module beträgt 100 cm x 100 cm und wiegt 12 kg. Die Masse erlauben eine einfache Herstellung und Montage. Die verwendeten Materialien sind auf den portugiesischen Baumarkt angepasst:

- 120 mm extrudierter Polystyrol, als leicht form- und bearbeitbarer Dämmstoff. Er dient auch zur Aufnahme der benötigten Lüftungskanäle.
- 60 mm Kork-Isolation aus 100% rezyklierbarem einheimischem Naturprodukt
- Aluminium-Finish, verfügbar in vielen Farben, leicht verarbeitbar und ebenfalls rezyklierbar
- Metallunterkonstruktion aus verzinktem Stahlblech

Figur 34: Portugiesisches Kassettenmodul (rechts) mit Aufhänge-Mechanismus (unten) [12]



Die durch die metallische Konstruktion verursachten Wärmebrücken konnten durch das Versetzen der beiden Dämmebenen aus Polystyrol und Kork etwas reduziert werden. Der U-Wert über das gesamte Element wird mit $0.23 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ angegeben. Für warme Klimata wie in Portugal dürften die vorhandenen Wärmebrücken vertretbar sein.



Figur 35: Das Kassettenmodul wurde als Prototyp gebaut und im Labor ausgemessen [12].

8. Geomatik

Damit sämtliche Renovationsmodule auf das Gebäude passen, wird das Gebäude dreidimensional vermessen und/oder photogrammetrisch erfasst. Diese Techniken wurden speziell für Gebäudeerneuerungen untersucht und weiter entwickelt [13].

Analysiert man heute die Prozessabläufe der Messtechnik bei grossen Bau- und Sanierungsprojekten, stellt man in der Regel fest, dass alle Projektbeteiligten die für die Bearbeitung ihres spezifischen Projektteils notwendigen Massangaben selbst erheben bzw. erheben lassen. Dies ist vor allem darin begründet, dass die Planungsinstitutionen keinerlei Gewähr für die Vermessung der Plangrundlagen übernehmen und die Verantwortung für diese auf die Ausführenden abwälzen. Zum Anderen besteht nach wie vor eine fundamentale Unkenntnis über die heutigen Möglichkeiten einer präzisen messtechnischen dreidimensionalen Erfassung solcher Objekte und einer zentralen Datenbewirtschaftung und -nutzung.

Durch den konsequenten Einsatz geeigneter 3D-Messtechnik, die entsprechende Aufbereitung der Daten und ein zentrales Geometrie-Datenmanagement könnten jedoch Zeit, Montagerisiko und Kosten deutlich reduziert und die Planungssicherheit signifikant erhöht werden. Daher wurde diese Technik im Projekt auch für die energieeffiziente Renovierung von Altbauten und deren Vermessung vorgeschlagen und umgesetzt.

Für das Teilprojekt „3D-Messtechnik“ wurden unter anderem folgende Ziele definiert:

- Erarbeitung eines Konzepts, das sicherstellt, dass geometrische Daten eines Sanierungsobjektes in genügender Genauigkeit dreidimensional zur Verfügung stehen und als zuverlässige Basis von der Planung bis hin zur Produktion und Montage dienen.
- Definition der geforderten Datenqualität, des Datenumfangs und der Schnittstellen für einen Datentransfer in weiterverarbeitende Systeme.
- Erstellung eines Werkzeugkoffers für die Kosten/Nutzen-optimierte Datenerfassung und -aufbereitung sowie das Datenmanagement (Geometriedatenfluss).

Bei einer Objektsanierung mit vorfabrizierten Renovationsmodulen (z.B. Fassaden- oder Dachmodule inklusive Lüftungs- und Elektroinstallationen) ist die zuverlässige Erfassung der Gebäudegeometrie bzw. des Ist-Bestands eine unverzichtbare Grundlage für eine reibungslose Projektabwicklung. Eventuell noch vorhandene Bau- und Architektenpläne reichen in der Regel nicht aus. Erfasst werden müssen vor allem die Fassadenstruktur, Fenster, Türen, Balkone und Dach. Die benötigte Genauigkeit liegt im Bereich der Fenster bei ± 4 mm, bei Dach/Fassade bei ± 7 mm.

8.1 Der messtechnische Werkzeugkoffer

Um die relativ komplexen und unterschiedlichen Anforderungen an die 3D-Geometrisierung eines Sanierungsobjektes möglichst wirtschaftlich erfüllen zu können, muss auf eine Palette verschiedener Sensoren zugegriffen werden. Eine gesamthafte Kosten/Nutzen-optimierte Objektaufnahme wird sich nur durch eine sinnvolle Kombination und Ergänzung dieser Technologien (messtechnischer Werkzeugkoffer) bewerkstelligen lassen.

- **Terrestrisches Laserscanning (TLS):** Das TLS mit seiner Eigenschaft der flächenhaften und objektweisen Erfassung erlaubt eine schnelle Aufnahme der Objektgeometrie. Für eine detaillierte geometrische Erfassung wird das Gebäude von allen Seiten gescannt. Die erfassten Punkte ergeben zusammen ein 3-dimensionales Abbild des Gebäudes, aus welchem die genauen Masse, Unregelmässigkeiten und Verkrümmungen herausgelesen werden können. Diese hochwertigen Datensätze dienen dem Planer und dem Hersteller für die massgenaue Herstellung der Sanierungselemente. Die Nachteile des TLS liegen bei den relativ hohen Gerätekosten und in der aufwendigen Weiterverarbeitung der sehr grossen Datenmengen.
- **Nahbereichsphotogrammetrie:** Die Nahbereichsphotogrammetrie ist eine gute Ergänzung zum terrestrischen Laserscanning und bietet vor allem bei regelmässigen Gebäuden mit ebenen Fassaden durch die schnelle photographische Erfassung eine gute Alternative für die Außenaufnahmen von Gebäuden. Dazu wird das Gebäude mit einer Digitalkamera und einzelnen Referenzmassen erfasst und auf dem Computer mit einer speziellen Software entzerrt. Danach können die einzelnen Fassaden direkt auf dem Bildschirm vermessen werden. Für weitere Aufnahmeperspektiven können auch luftgestützte Aufnahmen mit Hilfe von Mikrodrohnen erstellt werden.
- **Tachymetrie, Einzeldistanzen:** Für die einzelpunktorientierte Erfassung hat die klassische elektronische Tachymetrie durchaus ihre Einsatzberechtigung. Dabei kann die Aufnahme zusätzlich mit hilfreichen Software-Tools für den Feldeinsatz ergänzt, vereinfacht und beschleunigt werden. Zur Ergänzung von Aufnahmen mit den o.a. Technologien oder für die Generierung von Kontrollmassen, für einzelne Ergänzungen oder Messungen von teilweise verdeckten Objektteilen könnte auch ein Handheld-Distanzmesser zum Einsatz kommen.

8.2 Erste Erfahrungen

Als erstes Objekt für Grundlagenstudien und Tests wurde ein typisches, sanierungsbedürftiges Mehrfamilienhaus herangezogen. An diesem konnten die verschiedenen Methoden, Verfahren und Instrumente und deren Kombination praxisnah und grundlegend erprobt werden. Die ersten Resultate bzw. Produkte wurden anschließend für die Detaildiskussion und -spezifikation sowie die Erprobung von Prozessabläufen mit den beteiligten Projektpartnern verwendet. Mittels TLS wurden Fassade, Treppenhaus, Dachboden sowie ausgewählte Innenräume erfasst (zum Einsatz kam ein Leica HDS3000). Ergänzt wurden diese Scans durch photogrammetrische Aufnahmen (terrestrisch, Mikrodrohne) und Einzelpunktmessungen (Tachymeter). Im Folgenden werden einige Möglichkeiten und Anwendungen, welche mit dem beschriebenen Werkzeugkoffer möglich sind, diskutiert.

Bildplanerstellung: Die Entzerrung von Bildern durch Vorgabe einer ebenen Fläche im Bild kann als ein einfaches und zeitsparendes Verfahren zur Generierung von Grundlageplänen angesehen werden. Die damit erreichbaren Genauigkeiten hängen dabei sehr stark ab von der Kamera, deren Kalibrierung, sowie der Abweichung der Fassadenoberfläche von der definierten Fläche.

Photogrammetrische Auswertung: Die drohnengestützte Nahbereichsphotogrammetrie bietet eine Ergänzung bei der Schließung von Löchern (z.B. Dachflächen, Fensterbänke und Balkontüren), welche durch Abschattungen bzw. Unzugänglichkeit beim Laserscanning entstanden sind. Erste Resultate haben gezeigt, dass eine solche Kombination durchaus möglich ist. Aufgrund der beschränkten Nutzlast der Mikrodrohne musste eine handelsübliche Kompaktdigitalkamera verwendet werden, wodurch die Auflösung für Detailauswertungen (z.B. bei Fenstern) zur Zeit noch nicht ausreicht. Bei der Bildmessgenauigkeit lassen sich durch eine Selbstkalibrierung durchaus Werte unter einem Pixel erreichen. Auch die kombinierte Auswertung mit Laserscanning-Daten ist nicht zu vernachlässigen.

Laserscanning Auswertung: Die Auswertungen haben gezeigt, dass das terrestrische Laserscanning für Ebenheitsanalysen von Fassaden (evtl. Dächern) sehr gut eingesetzt werden kann. Auch die «Orthophoto-Generierung» ermöglicht es, einfach und schnell erste Planungsgrundlagen zu erzeugen. Der Aufwand zur kompletten Extraktion aller nötigen Geometrieelemente eines Modells ist jedoch sehr hoch und erreicht je nach Produkt ein Vielfaches der für die Feldaufnahme benötigten Zeit.

Laserscanning – Reverse Engineering: Das Reverse Engineering wird im Bereich des Maschinenbaus, der Medizin oder auch der Kunst schon seit längerem eingesetzt. Dabei werden bestehende oder von Hand erstellte Objekte digitalisiert (z.B. Freiformflächen), um sie digital bearbeiten, anpassen und fertigen zu können. Der Aufwand ist bedeutend kleiner als bei der interaktiven 3D-Geometrisierung, und die Informationsdichte der Punktwolke kann weitgehend erhalten bleiben. Die erreichbare Genauigkeit liegt in der Größenordnung der 3D-Punktbestimmungsgenauigkeit und wäre somit ausreichend.

8.3 Fazit und Ausblick

Bereits in der Planungsphase müssen möglichst detailliert und präzise die Bedürfnisse aller Projektbeteiligten in Bezug auf die Erfassung der 3D-Geometrie des Sanierungsobjekts definiert werden, um eine Kosten-Nutzen optimierte Erfassung und Datenaufbereitung durchführen zu können. Erste Erfahrungen haben gezeigt, dass sich das objektbasierte Aufnahmeverfahren des TLS für die Geometrisierung von Sanierungsobjekten eignet. Interessant ist dabei vor allem die Informationsdichte, die es ermöglicht, ein nicht «regelkonformes» Objekt, wie es ein Gebäude meist darstellt, detailliert und mit der benötigten Genauigkeit zu beschreiben. Schlussendlich wird jedoch kaum ein Weg daran vorbeiführen, eine Kombination von Instrumenten aus dem Werkzeugkoffer zu verwenden. Dabei ist nicht allein massgebend, welche Informationen die Geomatik zu bereitstellen vermag, vielmehr muss sichergestellt werden, dass die beteiligten Planer und Unternehmungen mit den bereitgestellten Daten auch umgehen können.

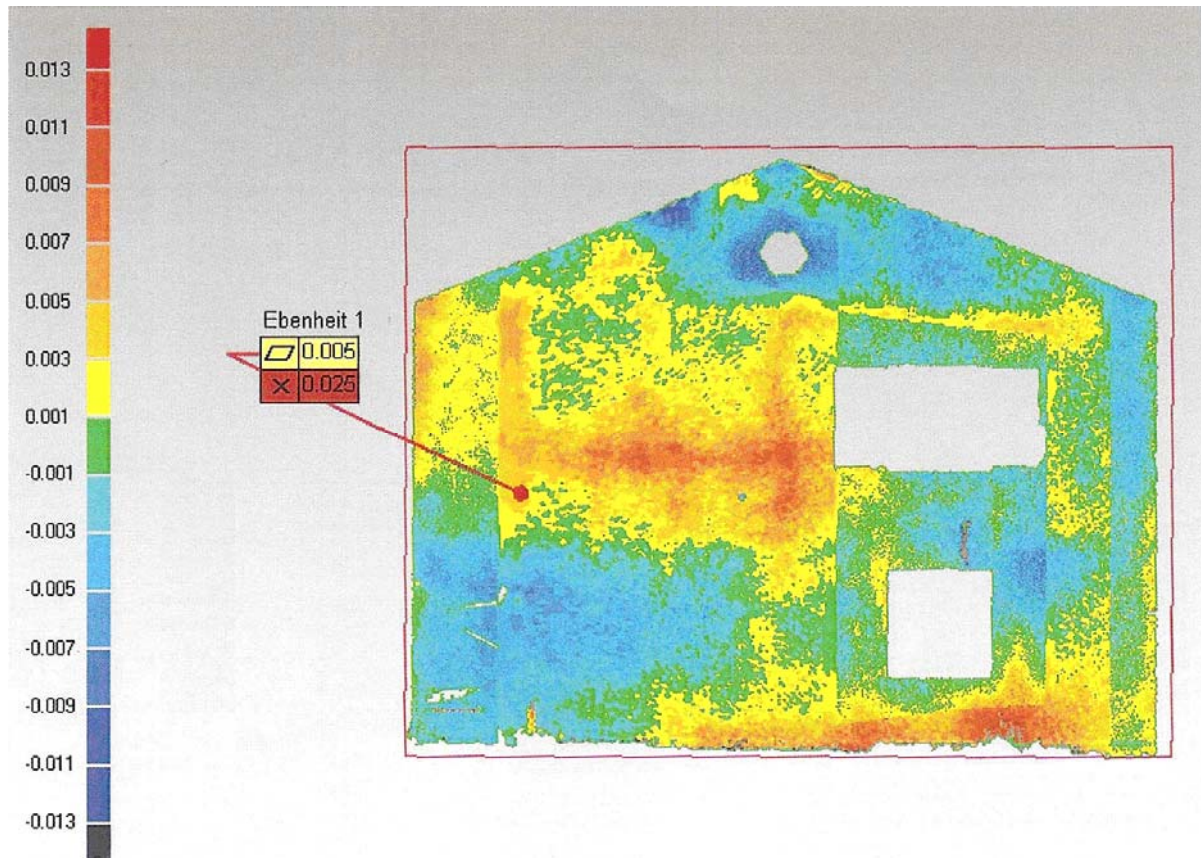
Sowohl Planer wie auch die Baubranche im Allgemeinen arbeiten nicht mit realen geometrischen Daten. Vielmehr wird mit vektorisierten Geometriemodellen gearbeitet. Dies schlägt sich nicht nur in der Arbeitsweise, sondern vor allem auch in den verwendeten Planungs- und Konstruktionsprogrammen nieder. Die Übersetzung realer geometrischer Daten in ein abstraktes Vektormodell muss auf die jeweilige Anwendung der Daten angepasst sein. Unnötiger Aufwand kann nur vermieden werden, wenn der Anwender in der Lage ist, die von ihm benötigten Daten zu extrahieren.

Für den Architekten scheinen dazu zwei Anwendungen besonders interessant zu sein, da er mit den zur Verfügung gestellten Daten direkt umgehen kann:

- Nachweis der Planarität bestehender Gebäudefassaden
- Horizontalschnitte durch die Aussenhülle

Nachweis der Planarität bestehender Gebäudefassaden

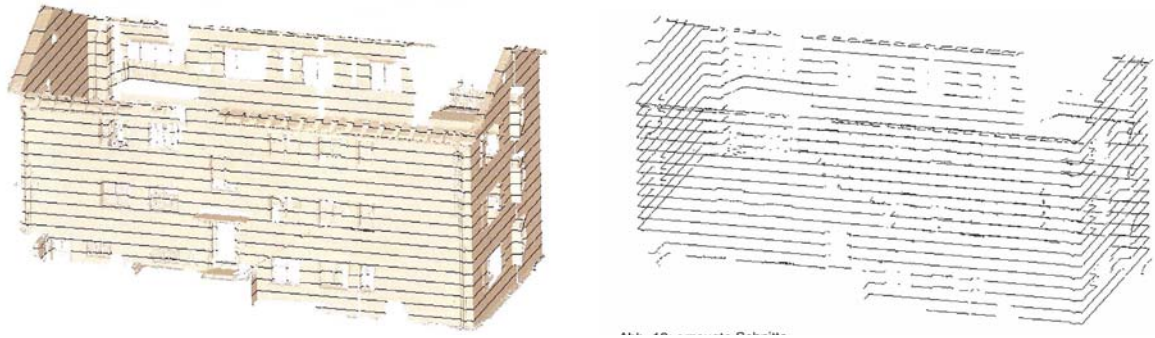
Der Planaritätsnachweis zeigt dem Planer die Topographie einer bestehenden Fassade (Figur 36). Obwohl Gebäudefassaden auf den ersten Blick meist plan erscheinen, weisen sie oft Buckel und Vertiefungen von mehreren Zentimetern auf. Der Architekt ist bei der Planung der neuen Gebäudehülle darauf angewiesen, die Verformungen der Fassade zu kennen, damit er die Lage und die notwendigen Toleranzen der neuen Fassade richtig einschätzen kann. Mit Laserscanning ist dieser Planaritätsnachweis rasch und flächendeckend möglich und kann in einem Falschfarbenbild sehr gut dargestellt werden. Aus diesem Bild kann der Planer die Lage und das Ausmass von Vertiefungen und vor allem von Erhöhungen des Putzes ein Bild machen. Ohne Laserscanning ist eine ähnliche Auswertung praktisch unmöglich.



Figur 36: Darstellung der Planarität einer Fassade. Rote Farben kennzeichnen Erhöhungen, blaue Farben Vertiefungen um jeweils 2 mm/Farbwechsel [13]

Horizontalschnitte durch die Aussenhülle

Der Planaritätsnachweis dient in erster Linie dazu, mögliche Problemstellen zu lokalisieren. Für das direkte Umsetzen der Geodaten in die Planunterlagen eignen sich Horizontalschnitte durch die äussere Gebäudehülle wesentlich besser. Dazu werden aus der riesigen, vom Laserscanner erfassten Anzahl Punkte, diejenigen extrahiert, welche auf den gewünschten horizontalen Ebenen liegen. Der Planer erhält so reale Horizontalschnitte der Gebäudehülle, um welche er nun die neue Gebäudehülle planen kann. Die Reduktion der erfassten Geodaten auf wenige Horizontalschnitte reduziert die Datenmenge auf ein PC-kompatibles Mass und erlaubt es dem Planer seine Konstruktionen relativ zum bestehenden Gebäude korrekt zu positionieren.



Figur 37: Horizontalschnitte durch die Gebäudehülle, z. Bsp. im Abstand von 50cm [13]

9. Demonstrationsprojekte

9.1 Mehrfamilienhauserneuerung Zug

(Architekt Reto Miloni, Miloni & Partner, Hausen [14].)

Beim ersten ausgeführten Demonstrationsprojekt lag der Schwerpunkt der Vorfabrikation in der Aufstockung des Attikageschosses und den vorgehängten Balkonen. Die Arbeiten wurden durch das Schweizer Fernsehen begleitet und im Rahmen einer Einstein-Sendung dokumentiert.



Figur 38: Nord-Ost-Fassade des typischen Mehrfamilienhauses aus der Nachkriegszeit

Die Probleme des 1946 erbauten Gebäudes an der Bohlstrasse in Zug waren:

- ungenügende Wärmedämmung,
- grosse Anzahl unkontrollierter Wärmebrücken,
- reduzierter thermischer Komfort.

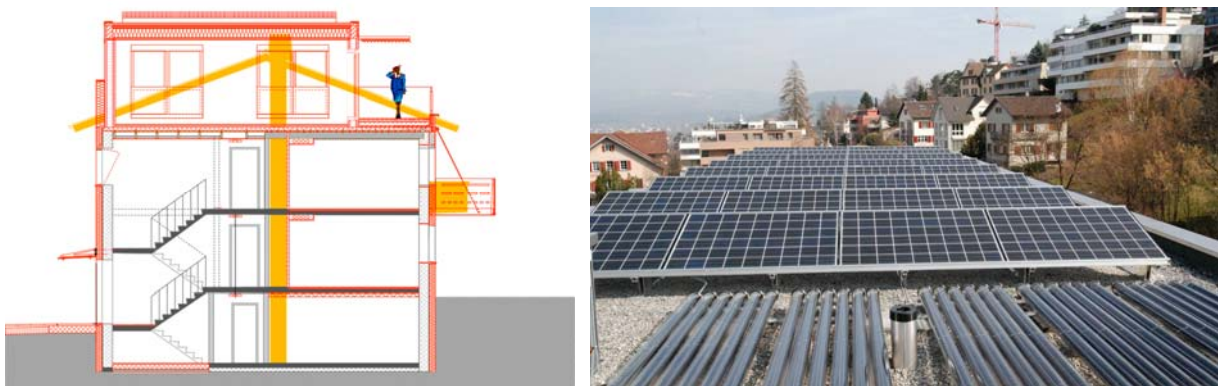
In der Folge nahmen die Energiekosten laufend zu und bauliche Mängel verursachten Kondensatschäden. Da sich das Gebäude in guter Wohnlage über dem Zugersee befindet, konnte eine Gesamterneuerung mit Anbau und Aufstockung geplant werden.

Ziele der Gesamterneuerung waren:

- gesellschaftlich, finanziell und umweltmässig nachhaltige Modernisierung,
- kurze Bauzeit zur Reduzierung der Beeinträchtigung der Mieterschaft,
- Passivhaus-Standard für renoviertes Gebäude und Anbauten.

Renovationskonzept

Das bestehende Gebäude wurde mit einer Hi-Compact Aussendämmung isoliert (Polystyrol mit PU-Kern, λ 0.023 W/(m·K)). Das neue Attikageschoss wurde als Holzbaukonstruktion vorfabriziert und mit Glaswolle gedämmt (λ 0.032 W/(m·K)). Sämtliche Türen und Fenster wurden ersetzt.



Figur 39: Aufstockung, Anbau und vorgehängte neue Balkone sind zentrale Elemente dieser Modernisierung. Auf dem neuen Flachdach wurden thermische Kollektoren und Photovoltaik installiert [14].

Die bestehende Ölheizung wurde eine Wärmepumpe mit Erdsonden (COP 4.15) ersetzt. Eine kontrollierte Lüftung wurde eingebaut. Mittels Heizregister in der Zuluft jeder Wohnung kann die Temperatur in jeder Wohnung individuell geregelt werden. Nebst der üblichen Wärmerückgewinnung erfolgt auch eine Rückgewinnung der Luftfeuchtigkeit aus der Abluft.

10 Vakuum-Kollektoren erwärmen das Warmwasser im 2'850 Liter grossen Speichertank. Regenwasser wird gesammelt und für Toilettenspülung und Garten verwendet.

Eine Solaranlage auf dem Dach liefert mit 44 PV Modulen à 230 Watt insgesamt 10 kWp.

Bauprozess

Währenddem der Anbau konventionell in Massivbauweise ausgeführt wurde, wurde das Attikageschoss in Leichtbauweise mehrheitlich vorfabriziert. Ausschlaggebend dafür waren das reduzierte Gewicht des Dachaufbaus sowie die Möglichkeit neue Wände unabhängig vom darunter liegenden Grundriss anzuordnen.

Für die neue Attikawohnung wurde das Satteldach entfernt und es wurden die bestehende Balkenlage mit Verbindungsschrauben und Leichtbeton verstärkt.

Das vorfabrizierte Attikageschoss wurde schliesslich vor Ort mit einer Aluminium-Fassade verkleidet.



Figur 40: Der bestehende Dachboden wurde mit Verbundschrauben und Leichtbeton verstärkt (links), um anschliessend die vorgefertigten Leichtbau-Module aufnehmen zu können (rechts) [14].

Resultate

Dank der zusätzlich erstellten 3 Wohnungen konnte die Mietzinserhöhung trotz Investitionen von rund 2.5 Mio CHF unter 30% gehalten werden. Gleichzeitig konnte der Energieverbrauch trotz Erhöhung der beheizten Bruttogeschossfläche von 442 m² auf 803 m² um 75% gesenkt werden (von 226.2 auf 32.2 kWh/(m²-a)).



Figur 41: Renoviertes Mehrfamilienhaus mit Anbau (rechts) und neuen Attikageschoss [14]

9.2 Mehrfamilienhauserneuerung Zürich Höngg

(Architekt Beat Kämpfen, Kämpfen für Architektur, Zürich [15])

Beim zweiten schweizerischen Demonstrationsprojekt wurde ein typisches 5-Familienhaus mit Baujahr 1954 praktisch vorständig mit vorgefertigten Fassaden und Dachelementen erneuert.

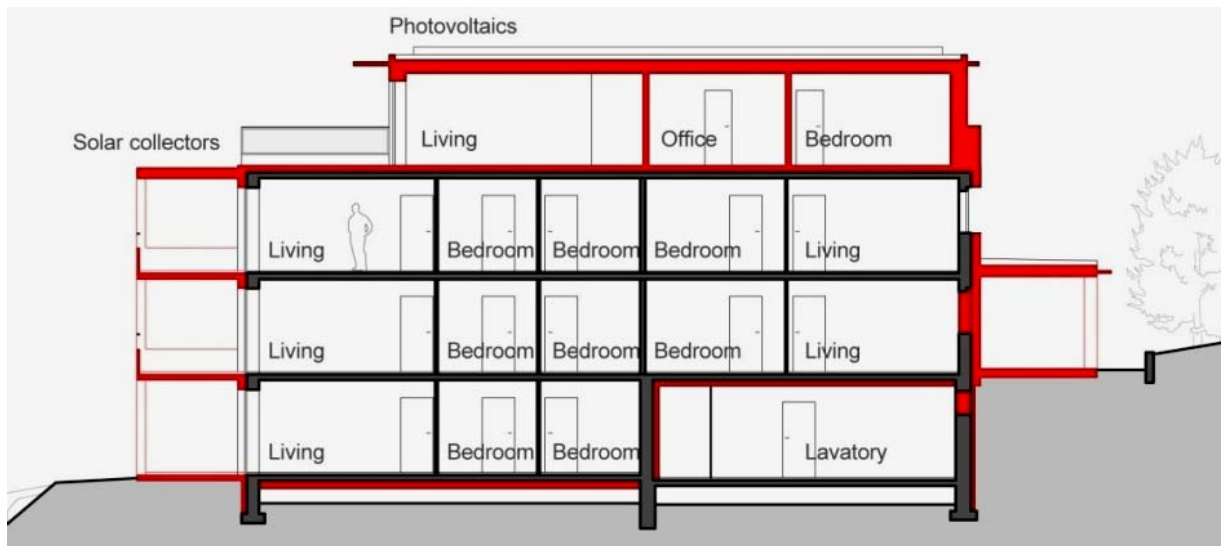
Das Gebäude befand sich noch weitgehend im ursprünglichen Zustand. Tragstruktur und Fassade waren eigentlich noch in gutem Zustand, jedoch ungedämmt und mit vielen Wärmebrücken. Die Grundrisse der Wohnungen entsprachen jedoch weder den heutigen Anforderungen noch der guten Lage des Gebäudes.



Figur 42: 5-Familienhaus in Zürich Höngg vor der Renovation [15]

Renovationskonzept

Ziel war die Realisierung des Minergie-P-Standards. Auch hier bestand die Möglichkeit, die Grundrisse zu optimieren und leicht zu vergrössern. Dazu wurden die bestehenden Balkone als Wohnraumerweiterung genutzt und durch grössere, vorgesetzte Balkone ersetzt. Vor allem aber machte der Ausbau des Dachgeschosses eine Gesamtrenovation attraktiv. Anstelle des Steildachs konnte eine grosszügige Attikawohnung mit Dachterrasse erstellt werden.



Figur 43: Auch hier sind die Wohnraumerweiterung (anstelle der alten auskragenden Balkone), ein neues Attikageschoss und grosse, vorgesetzte neue Balkone wesentliche Elemente der Modernisierung. Die neue Gebäudetechnik ist im kleinen Anbau (rechts) untergebracht [15].

Die alte Ölheizung wurde auch hier durch eine Wärmepumpe mit Erdsonden ersetzt. Die bestehenden Radiatoren werden weiterhin als Niedertemperaturheizkörper genutzt. Aus Platzgründen wurde die Wärmepumpe zusammen mit der Lüftungsanlage in einem kleinen

Anbau untergebracht. Die Luftverteilung und -rückführung erfolgt über die Fassade und ist in die vorgefertigten Fassadenmodule integriert.

12.5 m² Sonnenkollektoren unterstützen die Wassererwärmung (75%) und eine dachintegrierte 115 m² Solaranlage liefert 15 kWp.

Bauprozess

Für die Fassadenbekleidung wurden grossformatige, ca. 3 m x 10 m grosse Fassadenmodule verwendet. Die Lüftungsrohre und Elektroleitungen wurden direkt in die Fassadenmodule integriert. In ähnlicher Bauweise wurde das Attikageschoss ausgeführt. Vor Ort wurden die Elemente mit Zelluloseflocken gedämmt und anschliessend verputzt. Damit konnte das Konzept der Vorfertigung von hochisolierenden Renovationsmodulen umgesetzt und erprobt werden. Im Dachbereich wird ein U-Wert von 0.11 W/(m²·K) und im Fassadenbereich von 0.18 W/(m²·K) erreicht.



Figur 44: Vorfabrikation der Fassadenmodule mit Brandschutz für Lüftungsleitungen (links), Montage der Elemente (Mitte), Verbinden der integrierten Lüftungsrohre (rechts)



Figur 45: Das Gebäude ist nach der Renovation kaum mehr wiederzuerkennen. Die Modernisierung sichert die weitere Nutzung über Jahrzehnte [15].

Resultate

Bei Baukosten von insgesamt 1.8 Mio CHF wurde hier eine Mietzinserhöhung von 39% verursacht. Dabei wurde die Bruttogeschossfläche von 477 m² auf 655 m² erhöht und gleichzeitig der Energieverbrauch von 228 kWh/(m²·a) auf 38 kWh/(m²·a) gesenkt. Dies entspricht trotz dem Flächenzuwachs um 37% einer Energieeinsparung von 77%.

9.3 Siedlungserneuerung in Graz, Österreich

(Architekturbüro Hohensinn ZH GmbH, AEE Intec und Gap-Solution [16], [17])

Eine Siedlung am Stadtrand von Graz wurde in drei Etappen erneuert. Die Erneuerung umfasste:

- 3 Wohnblocks aus dem Jahre 1959,
- 2 Wohnblocks erbaut 1970,
- Reihenhaussiedlung erbaut 1952.



Figur 46: Erneuerte Wohnbauten am Stadtrand von Graz, Österreich

Insgesamt wurden 212 Wohnungen energetisch erneuert. Im Gegensatz zu den schweizerischen Beispielen wurden hier keine neuen Wohnungen erstellt. Trotzdem wurde mit der Verglasung der Balkone und dem Anbau von Lifts Mehrwerte geschaffen.

Die Gebäude waren vor der Erneuerung praktisch noch im ursprünglichen Zustand mit entsprechend schlechter Energieeffizienz und schlechtem Komfort. Die Beheizung erfolgte mit Einzelöfen und festen resp. flüssigen Brennstoffen.

Renovationskonzept

Das Renovationskonzept hatte folgende Schwerpunkte:

- Beibehaltung der Mietverhältnisse,
- Kompensation der Investitionen durch verringerte Energiekosten,
- 90% Energieeinsparung durch hochisolierende neue Gebäudehülle, Komfortlüftung und Sonnenkollektoranlage.

Für die Erneuerung der Gebäudehülle wurden grossformatige vorgefabrizierte Fassademodule verwendet. Nebst einer konventionellen Dämmung verfügen die verglasten Module über Kartonwaben als Solarabsorber.

Die Lüftung wurde als Einzelraumlüftung ausgeführt, wobei Aussenluft und Fortluft über hinterlüftete Paneele geführt wird. Als Besonderheit wurde die Heizunterstützung an der Aussenseite der bestehenden Fassade montiert (Kapillarrohre). Dadurch entfällt die Installation im Innern und die dicke Aussendämmung verhindert Verluste nach aussen. Die Wärmeerzeugung erfolgt über eine Grundwasserwärmepumpe und wird durch eine thermische Solaranlage (3 m² pro Wohnung) unterstützt.



Figur 47: Renoviertes Mehrfamilienhaus (links) [16] und Reihenhauses (rechts) [17]

Bauprozess

Die Fassadenelemente wurden vollständig vorgefertigt und auf einen vorgängig installierten Lattenrost montiert. Die Fertigung und Montage der grossen Module (ca. 12 m x 3 m) war durch die einfache Gebäudeform möglich und sehr effizient. Trotzdem zeigte sich, dass die Montage von übergrossen Elementen auch sehr anspruchsvoll bezüglich Toleranzen, Logistik und Montage ist.



Figur 48: Vorfabrikation der Grosselemente in der Fabrik (links) und deren Montage vor Ort (rechts) [17]

Resultate

Die Verbrauchsergebnisse liegen noch nicht vor. Es wird jedoch eine Einsparung von über 90% erwartet (von 184 auf 12 kWh/(m²·a) für die Mehrfamilienhäuser resp. 142 auf 14 kWh/(m²·a) für die Reihenhäuser).



Figur 49: Renovierte Wohnsiedlung in Graz, mit verglasten Fassadenelementen, verglasten Balkonen und thermischen Kollektoren auf dem Dach [17]

10. Referenzen

- [01] Zimmermann, Mark: ECBCS Project Summary report “Annex 50 Prefabricated Systems for Low Energy Renovation of Residential Buildings, Empa, Swiss Federal Laboratories for Materials Science and Technology, Switzerland, October 2011
- [02] Schwehr Peter; Fischer, Robert: Building Typology and Morphology of Swiss Multi-Family Homes 1919 – 1990, Competence Centre Typology & Planning in Architecture, Lucerne University of Applied Sciences and Arts, Switzerland, January 2010
- [03] Ruot, Bertrand: RECOLCI / Task 1.1 - French housing stock built between 1949 and 1974, CSTB, Department Envelope and Coatings, Division Physical Characterization of Materials, France, October 2010
- [04] Ruot, Bertrand: RECOLCI /Task 1.2 - Elements of morphology of collective housing buildings constructed in France between 1949 and 1974, CSTB, Department Envelope and Coatings, Division Physical Characterization of Materials, France, October 2010
- [05] Zweifel, Gerhard et al: Retrofit Simulation Report, Lucerne University of Applied Sciences and Arts, Switzerland, March 2011
- [06] Schwehr, Peter; Fischer, Robert; Geier Sonja: Retrofit Strategies Design Guide - ISBN 978-3-905594-59-1, Competence Centre Typology & Planning in Architecture, Lucerne University of Applied Sciences and Arts, Switzerland; AEE - Institute for Sustainable Technologies (AEE INTEC), Austria, March 2011
- [07] Zimmermann, Mark et al: Retrofit Advisor, Computer Tool Beta-Version, Empa, Swiss Federal Laboratories for Materials Science and Technology, Switzerland, March 2011
- [08] Zimmermann, Mark: IEA Retrofit Advisor Reference Guide, Empa, Swiss Federal Laboratories for Materials Science and Technology, Switzerland, March 2011

- [09] Kobler, René; Binz, Armin; Steinke, Gregor: Retrofit Module Design Guide – Part A: Semi-Prefabricated Standardised Retrofit Modules, University of Applied Sciences Northwestern Switzerland, School of Architecture, Civil Engineering and Geomatics, Switzerland, March 2011
- [10] Höfler Karl; Geier, Sonja; Johann Aschauer: Retrofit Module Design Guide - Part B: Large Size Prefabricated Façade Modules, AEE - Institute for Sustainable Technologies (AEE INTEC), Austria, March 2011
- [11] Cousin, Stéphane et al: Retrofit Module Design Guide - Part C: Large Size Prefabricated Steel Frame Retrofit Modules, Saint-Gobain Insulation, France, March 2011
- [12] Silva, Pedro; Almeida, Manuela: Retrofit Module Design Guide - Part D: Prefabricated Metal Panel Retrofit Modules, University of Minho, Civil Engineering Department, Construction and Technology Group, Portugal, March 2011
- [13] Gottwald, Reinhard; Tiefenbach, Priska: CCEM-Retrofit: Teilprojekt A1 '3D-Messtechnik' - Technischer Schlussbericht, University of Applied Sciences Northwestern Switzerland (FHNW); School of Architecture, Civil Engineering and Geomatics, IVGI, 28.01.2010
- [14] Miloni, Reto: Passive house rehabilitation of post war residential building in Zug, Miloni&Partner, Switzerland, 2011
- [15] Grischott, Nadja: From the 50's to zero energy balance - Residential building in Zürich, Kämpfen for Architecture, Switzerland, 2011
- [16] Geier, Sonja; Höfler, Karl: Renovation of residential area Dieselweg 3-19, Graz, AEE - Institute for Sustainable Technologies (AEE INTEC), Austria, 2011
- [17] Geier, Sonja; Höfler, Karl: Renovation of residential area Dieselweg 4, Graz, AEE - Institute for Sustainable Technologies (AEE INTEC), Austria, 2011

Alle ECBCS Annex 50 Publikationen können ab Ende 2011 von der Annex-Homepage www.empa-ren.ch/A50.htm heruntergeladen werden.