



GANZHEITLICHE STRATEGIEN FÜR GEBÄUDEHÜLLEN

ENERGETISCHE SANIERUNG

IMPRESSUM

HERAUSGEBER

Institut TRANSFORM
Hochschule für Technik und Architektur Freiburg
HES-SO Fachhochschule Westschweiz
Halle Bleue, Passage du Cardinal 13B – CH-1700 Freiburg
Stefanie Schwab, stefanie.schwab@hefr.ch

Institut du Paysage, d'Architecture, de la Construction et du Territoire, inPACT
Haute école du paysage, d'ingénierie et d'architecture de Genève
Rue de la Prairie 4 – CH-1202 Genève
Lionel Riquet, lionel.riquet@hesge.ch

in Zusammenarbeit mit

Laboratoire d'énergie solaire et physique du bâtiment, IGT-LesBAT
Haute école d'ingénierie et de gestion du canton de Vaud
Avenue des Sports 20 – CH-1401 Yverdon-les-Bains
igt@heig-vd.ch

Institut Systèmes industriels – Efficience énergétique
Haute école d'ingénierie – HES-SO Valais-Wallis
Route du Rawyl 47 – CH-1950 Sion
info.isi@hevs.ch

PROJEKTTEAM

Stefanie Schwab, Projektleitung (Institut TRANSFORM)
Jean Luc Rime, Grégory Jaquerod (Institut TRANSFORM)
Lionel Riquet, Guillaume Rey, Reto Camponovo, Peter Gallinelli, (Institut inPACT)
Stéphane Citherlet, Didier Favre, Blaise Périsset (Institut IGT-LesBAT)
Gilbert-André Morand, Sébastien Dervey (Institut Systèmes industriels – Efficience énergétique)

Diese Veröffentlichung besteht aus einem Heft und 10 Fallstudienblättern.
Übersetzung der französischen Veröffentlichung *Rénovation énergétique - Approche globale pour l'enveloppe du bâtiment, 2017.*

INHALTSVERZEICHNIS

Impressum	02
Inhaltsverzeichnis	03
Zusammenfassung	05
01 Ein ganzheitlicher Ansatz	07
02 Gebäudebestand	09
03 Gebäudemodelle	15
04 Architektonische Charakteristiken	23
05 Wärmebilanz	25
06 Bauphysik und Wärmebrücken	31
07 Wirtschaftliche Aspekte	35
08 Nutzen und Verluste	41
09 Eine Alternative zum «Einpacken»	43
10 Checkliste	45
Glossar	47
Bibliographie	49
Kurzfassung französisch – englisch	51
10 Fallstudien – Datenblätter	
Fallstudie 01 – 1901	57
Fallstudie 02 – 1911	61
Fallstudie 03 – 1939	65
Fallstudie 04 – 1960	69
Fallstudie 05 – 1970	73
Fallstudie 06 – 1972	77
Fallstudie 07 – 1975	81
Fallstudie 08 – 1971	85
Fallstudie 09 – 1980	89
Fallstudie 10 – 1988	93

ZUSAMMENFASSUNG

METHODEN UND HILFSMITTEL FÜR DIE ENERGETISCHE SANIERUNG DER GEBÄUDEHÜLLE

Die energetische Sanierung des Wohnungsbestands ist ein wesentliches Ziel der Energiestrategie 2050 des Bundes. Trotz der politischen Absichten bleibt die Zahl der energetischen Sanierungen relativ gering und daran scheint sich auch in Zukunft nichts zu ändern. Wesentliche Hindernisse sind die Baukosten, der niedrige Energiepreis, technische Schwierigkeiten, denkmalpflegerische Aspekte, die Verfügbarkeit qualifizierter Fachleute oder die aktuelle Wohnungsnot.

Einzelsanierungsmassnahmen ohne ein Gesamtkonzept sind die Regel. Realisierte Gesamtsanierungen beschränken sich oft auf die Erneuerung der Haustechnik, den Austausch der Fenster und ein Wärmedämmverbundsystem. Diese energetisch vielleicht sinnvollen Massnahmen sind oft in baukonstruktiver, denkmalpflegerischer, bauphysikalischer und nachhaltiger Hinsicht fraglich. Die typologische Vielfalt im Gebäudebestand verlangt Lösungen, die die architektonischen und konstruktiven Eigenarten des Gebäudes berücksichtigen.

eRen basiert auf einem globalen und interdisziplinären Ansatz für die energetische Sanierung der Gebäudehülle und sucht ein Gleichgewicht zwischen Energieeffizienz, konstruktiven und bauphysikalischen Aspekten, Wirtschaftlichkeit, Nutzen und Verlusten und baukulturellem Wert.

Anhand von Fallstudien typischer Mehrfamilienhäuser der Westschweiz werden die Möglichkeiten und Grenzen einer energetischen Sanierung der Gebäudehülle aufgezeigt und ein Hilfsmittel für zukünftige Gebäudesanierungen erstellt. Die Studie richtet sich an Eigentümer und Gebäudeverwalter, Baufachleute und die betroffenen Behörden.

Es wurden baukonstruktive Merkmale von Mehrfamilienhäusern der Westschweiz zwischen 1900 und 1990 erfasst und fünf charakteristische Bauperioden definiert: Vorkriegszeit (1900–1920), Zwischenkriegszeit (1921–1945), Nachkriegszeit (1946–1960), Hochkonjunktur (1961–1975) und nach der Ölkrise (1975–1990). In dieser Bauperiode wurde das Bewusstsein um die Endlichkeit der Energieressourcen geweckt und erste Empfehlungen und gesetzliche Regelungen zur Energieeinsparung formuliert.

Jede dieser Bauperioden verfügt über charakteristische architektonische und konstruktive Merkmale. Fünfzehn für den Westschweizer Wohnungsbau des 20. Jahrhunderts repräsentative Typologien (Modelle) wurden definiert. Jede Typologie hat ihre Eigenart und verdient einen respektvollen Umgang mit dem Bestand. Jeder selbst banale Eingriff in den Gebäudebestand muss auch unter baukulturellen Aspekten betrachtet werden. Jedes noch so gewöhnliche Gebäude trägt seinen Teil zur Identität und Stadtgeschichte bei und nicht ausreichend durchdachte Lösungen können Ursache vieler Probleme sein. Zehn repräsentative Gebäude der häufigsten Typologien wurden für eine Fallstudie ausgewählt und eine umfassende Bestandsanalyse und eine globale Sanierungsstrategie für jeden Fall entwickelt:

- Charakteristiken wahren
- Charakteristiken rekonstruieren
- Neue Elemente oder ein neues Erscheinungsbild

Um der gewählten Strategie zu folgen und gleichzeitig den energetischen Zielsetzungen der SIA-Norm 380/1:2009 zu genügen, wurden mehrere Szenarien pro Fall untersucht. Jedes Szenario wurde in thermischer und hygrometrischer Hinsicht geprüft. Durch ein kontinuierliches Wechselspiel zwischen Architekten und Bauphysikern konnte für jedes der zehn Fallbeispiele eine den definierten Kriterien entsprechende Lösung aufgezeigt werden (siehe oben). Die Berechnung der Baukosten für jedes Szenario erlaubte es, die wirtschaftlichen Aspekte ebenfalls miteinzubeziehen.

In allen Fallstudien konnten, bei mit herkömmlichen Lösungen vergleichbaren Baukosten, die normativen Anforderungen erfüllt und der architektonische Charakter, soweit erforderlich, gewahrt werden. Ein respektvoller Umgang mit dem Gebäudebestand und eine energetische Gebäudesanierung im Kostenrahmen sind also kein Ding der Unmöglichkeit. Dieses Ergebnis konnte nur dank einer intensiven Zusammenarbeit verschiedener Fachleute und einem Planungsaufwand, in den Gebäudeeigentümer oft nicht investieren, erreicht werden. Dabei macht der Planungsaufwand nur einen relativ geringen Teil der Gesamtbaukosten aus.

Die Studie zeigt allerdings auch, dass die Kosten einer energetischen Sanierung der Gebäudehülle, im Vergleich zu den zu erwartenden Einsparungen durch den gesenkten Energieverbrauch, bei den aktuellen Energiekosten sehr hoch sind.

Auch wenn die energetische Sanierung häufig Teil einer Gesamtaufwertung des Gebäudes ist (Reparatur von Bauschäden, Erneuerung veralteter Bauteile, Aufwertung ungenutzter Potenziale), fehlen in vielen Fällen, in denen ein Gebäude regelmäßig unterhalten wurde oder die Möglichkeiten einer Mieterhöhung beschränkt sind, ökonomische Anreize für eine energetische Sanierung.

Die Verpflichtung die strengen Auflagen der SIA-Norm 380/1:2009 bei einer Gebäudesanierung einzuhalten, kann sogar den gegensätzlichen Effekt haben und Eigentümer entmutigen energetische Maßnahmen zu ergreifen, die bei geringen Kosten die Situation verbessern würden, ohne jedoch den gesetzlichen Anforderungen gerecht zu werden.

Die Verschärfung der Zielwerte für die Gebäudesanierung, die mit der Revision der Norm in 2009 begonnen hat und wie es aussieht weiterverfolgt wird, könnte die Diskrepanz zwischen lobenswerten Absichten und realer Sanierungsrate noch verstärken.

Eine gesetzliche Regelung, die die energetische Sanierung der Gebäudehülle kurz- oder langfristig verpflichtend vorschreibt, würde sehr hohe Kosten bedeuten, die sehr viele Eigentümer aufgrund unzureichender Sanierungsfonds nicht aufbringen könnten. Diese Herausforderung betrifft im übrigen auch öffentliche Bauherren. Man kommt nicht umhin festzustellen, dass es bei einer derart großen Aufgabe selbst an Auftragnehmern und qualifizierten Fachfirmen mangeln wird.

Diese Schlussfolgerungen scheinen sehr negativ. Allerdings nur, wenn man tatenlos zusieht. Wir sind überzeugt, dass durchaus Möglichkeiten bestehen, um dem Ziel ein Stück näher zu kommen:

- Die Gesetzgebung und Gebäudelabels, die bisher im Wesentlichen auf Neubauten ausgerichtet waren, müssen verstärkt die Besonderheiten der Sanierung des Gebäudebestands und deren Grenzen berücksichtigen. (Die im Projekt eRen erarbeiteten Hilfsmittel sind hier ein erster Schritt).
- Informationen, Anreize und Auflagen müssen auf einer langfristigen Sichtweise basieren, um der Lebensdauer der Gebäude gerecht zu werden. Der Einbezug von Spezialisten verschiedener Fachbereiche und die Berücksichtigung der Besonderheiten des politischen Systems der Schweiz sind notwendig, um Fehlschläge zu vermeiden.
- Aus- und Weiterbildungsmöglichkeiten für Fachleute, Unternehmen, Lehrlinge und Studenten in diesem Bereich müssen verstärkt werden, um in Zukunft über ausreichend qualifizierte Fachleute für anspruchsvolle Sanierungen zu verfügen.

Der Einsatz lohnt sich. Und wie dem auch sein, haben wir eine Wahl?

METHODS AND TOOLS FOR ENERGY-EFFICIENT RETROFITTING OF BUILDING ENVELOPE

The energy refurbishment of housing is a key issue of the Swiss government's « 2050 Energetic strategy ». eREN is focusing on the envelope of existing housing in Western Switzerland and is based on a global approach aiming at achieving well-balanced solutions between energy efficiency, constructive feasibility, building physics, cost and preservation of the architectural heritage. Ten multi-dwelling buildings characteristic of the most common constructive typologies have been selected and used as case studies. Their current state has been analysed and refurbishment scenarios have been developed for each of them. In every case a scenario could be elaborated that complies with the legal requirements of SIA 380/1 (2009) at a cost comparable to more standard solutions, like rendered perimeter insulation. This result was obtained thanks to an intense collaboration between the various specialists working on the project. A complete translation of the abstract is available at the end of the brochure.

EIN GANZHEITLICHER ANSATZ

Die Gebäudeheizung der 1,64 Millionen Wohngebäude trägt wesentlich zum Schweizer Energieverbrauch bei. Die energetische Sanierung des nationalen Gebäudebestands ist ein wesentliches Ziel der Energiestrategie 2050 des Bundes, die vorsieht Förderprogramme im Bereich der Gebäudesanierung zu stärken. Trotz der politischen Absichten bleibt die Zahl der energetischen Sanierungen jedoch gering. Wesentliche Hindernisse sind die Baukosten, der niedrige Energiepreis, technische und administrative Schwierigkeiten, denkmalpflegerische Aspekte, die Verfügbarkeit qualifizierter Fachleute, aber auch die aktuelle Wohnungsnot, welche umfassende Sanierungen und den Umzug der Bewohner erschwert.

Die energetische Gebäudesanierung betrifft hauptsächlich die Gebäudetechnik (Wärmeerzeugung und -verteilung, Lüftung, Strom) und die Gebäudehülle (Fassaden, Dächer). Die Studie eREN konzentriert sich auf Fragen zur Gebäudehülle.

Die energetische Sanierung der Gebäudehüllen erfordert historische, architektonische, energetische, technische und wirtschaftliche Fachkenntnisse. Kenntnisse, die nur selten von einer einzigen Person abgedeckt werden. Handelt es sich um herausragende Bauobjekte (Grösse, Denkmalschutz, Repräsentativität) ist der Einsatz von Fachleuten mit entsprechenden Fachkenntnissen oft garantiert und trägt im Allgemeinen zu architektonisch durchdachten und ausgewogenen Sanierungslösungen bei. Bei gewöhnlichen Wohngebäuden werden energetische Sanierungsarbeiten jedoch oft ohne Fachplaner und Fachfirmen durchgeführt. Die Mehrheit der Eigentümer und Immobilienverwalter saniert und ertüchtigt Bauteile am Ende ihrer physischen oder funktionalen Lebensdauer. Durch Unkenntnis der komplexen Aufgabe, möglicher Varianten und um Investitionskosten gering zu halten, werden globale und seriöse Sanierungsstudien, die allerdings nur einen sehr angemessenen Teil der Gesamtkosten darstellen, eingespart. Realisierte Sanierungen beschränken sich oft auf punktuelle Eingriffe (z.B. Fenstertausch oder Dachdämmung) und allgemein bekannte Sanierungslösungen (vor allem Wärmedämmverbundsysteme).

Punktuelle, unüberlegte Eingriffe in Baudetails können das architektonische Gesamtbild beeinträchtigen und den baukulturellen Wert sowie städtebauliche Qualitäten des Gebäudeparks mindern.

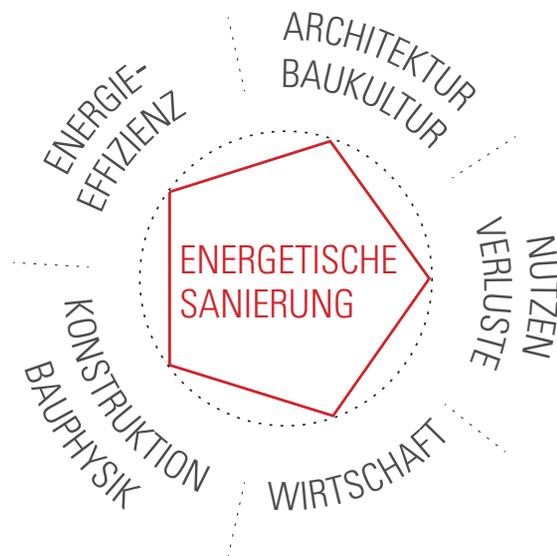


Abb. 01 Zu berücksichtigende Aspekte einer energetischen Sanierung der Gebäudehülle.

Die Risiken dieser Vorgehensweise sind sowohl architektonischer als auch technischer Natur. Jedes Gebäude trägt als Zeuge seiner Bauzeit zum Stadtbild und dessen gewachsener Identität bei. Punktuelle, unüberlegte Eingriffe in Baudetails oder das systematische Einpacken mit Wärmedämmverbundsystemen verändern das Erscheinungsbild des Gebäudes mit dem Risiko dessen kulturellen Wert und die Qualität des gebauten Raums zu mindern. Städte und Quartiere haben nicht nur morphologische Eigenschaften, sondern bestehen auch aus den Bildern und Geschichten, die die Gebäude erzählen.

Das Projekt eREN schlägt einen ganzheitlichen und interdisziplinären Ansatz für die Sanierung der Gebäudehüllen vor und sucht ein Gleichgewicht zwischen Energieeffizienz, architektonischen Werten, dem Nutzerkomfort, der Bauphysik und den Baukosten.

Die vorhandenen Sanierungsratgeber vernachlässigen die Besonderheiten des Bestands und dessen architektonische Details. Durch Unterschätzung bauphysikalischer Risiken (Wärmebrücken, Anschlussdetails, unzureichende Lüftung, Tauwasserausfall) können punktuelle Sanierungen die Bausubstanz gefährden, ohne das gewünschte Ziel, die Verbesserung der Energieeffizienz, zu erreichen. Zudem stellen einige Sanierungslösungen, angesichts der Bauteile, die sie ersetzen oder überdecken, echte Fragen der Nachhaltigkeit.

Punktuelle Sanierungslösungen wurden zunächst von öffentlicher Seite gefördert, dann jedoch aufgrund negativer Auswirkungen im Gebäudepark wieder aufgegeben.

Die Vielfalt der städtebaulichen, architektonischen und baukonstruktiven Typologien erfordert durchdachte spezifische Lösungen, die alle Aspekte berücksichtigen und einen bewussten Kompromiss ausloten.

Das Projekt eREN schlägt einen ganzheitlichen und interdisziplinären Ansatz für die Sanierung der Gebäudehüllen vor und sucht ein Gleichgewicht zwischen dem Schutz städtebaulicher, architektonischer und denkmalpflegerischer Qualitäten, dem Nutzerkomfort und den Baukosten, bei gleichzeitiger Vermeidung schwerwiegender, durch Unkenntnis bauphysikalischer Zusammenhänge verursachter, Baufehler. Das von einem Team aus Architekten, Ingenieuren und Ökonomen geleitete Projekt hat zum Hauptziel herkömmliche Sanierungslösungen, die von vielen als einzige technisch und wirtschaftlich realistische Lösungen dargestellt werden, ohne Vorurteile mit anderen spezifischeren Sanierungslösungen zu vergleichen, die manchmal besser an Herausforderungen und Charakteristiken des Bestands angepasst sind. Mit anderen Worten: Gibt es eine architektonisch respektvolle Alternative zum systematischen Einpacken mit Wärmedämmverbundsystemen, um den vorgegebenen Energieverbrauch zu erreichen? Sind diese Alternativen wirtschaftlich vertretbar? Welcher methodische Ansatz führt zum Ziel?

Ziel des Projekts eREN ist es, Charakteristiken und Problematiken der wesentlichen zwischen 1900 und 1990 erbauten baukonstruktiven Typologien Westschweizer Mehrfamilienhäuser zu identifizieren und auf Basis von realen Fallstudien angepasste energetische Sanierungsszenarien zu entwickeln. Die Szenarien werden in einem permanenten, iterativen Wechselspiel zwischen den an der Studie beteiligten Spezialisten erarbeitet. Dieses Wechselspiel ermöglicht Lösungen zu entwickeln, die energetischen, bauphysikalischen, baukonstruktiven, architektonischen und wirtschaftlichen Anforderungen gerecht werden. Die untersuchten realen Fallstudien zeigen die Zwänge und Grenzen einer globalen energetischen Sanierung und mögliche Nebennutzen und Nebenverluste.

Mit Fallstudien typischer Mehrfamilienhäuser der Westschweiz werden die Möglichkeiten und Grenzen einer energetischen Sanierung der Gebäudehülle aufgezeigt und ein Hilfsmittel für zukünftige Gebäudesanierungen zur Verfügung gestellt.

Zielpublikum: Eigentümer und Immobilienverwalter, Fachleute, kantonale und kommunale Planungs- und Energieämter, Studenten.

GEBÄUBEBESTAND

WOHNGEBÄUDE

Die Studie berücksichtigt Westschweizer Wohngebäude der Kantone Waadt, Freiburg, Genf und Wallis mit mehr als drei Wohnungen mit und ohne Nebennutzung¹. Mehrfamilienhäuser stellen je nach Kanton 17 bis 35 % der Gebäude im Vergleich zu Einfamilienhäusern dar. Schaut man jedoch die Wohnungsanzahl an, so betrifft dies 72% bis 89% aller Wohnungen [siehe Abbildung 02].

In den vier berücksichtigten Kantonen gibt es ungefähr 47'000² Mehrfamilienhäuser mit mehr als drei Wohnungen und mehr als drei Geschossen. Ihre Verteilung nach Erbauungszeit zeigt, dass in den Kantonen Waadt, Freiburg und Genf ein grosser Teil dieser Gebäude (24 bis 34% je nach Kanton) vor 1919 errichtet wurde. Gefolgt von Gebäuden zwischen 1961 und 1970. Im Kanton Wallis wurden Mehrfamilienhäuser verstärkt nach 1960 erbaut [siehe Abbildung 03].

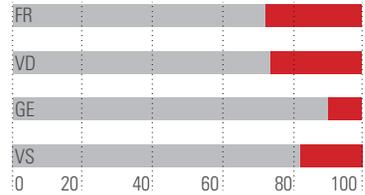


Abb. 02 Wohnungsanteil in Einfamilienhäusern (rot) und Mehrfamilienhäusern mit mehr als drei Wohnungen (grau) pro Kanton.

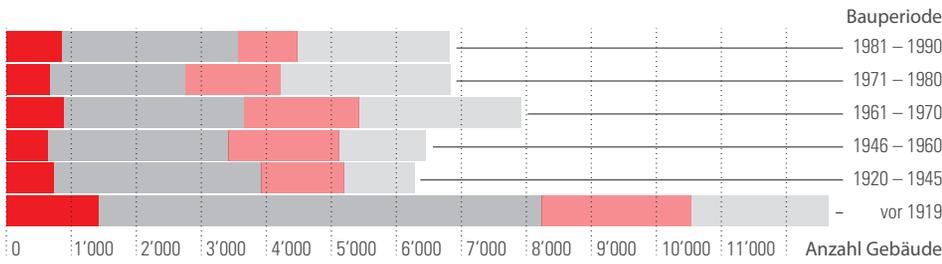
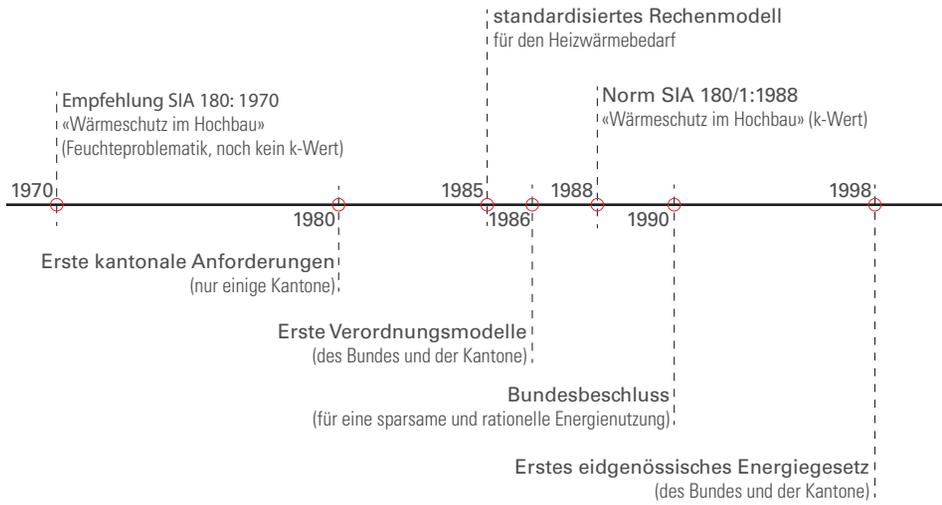


Abb. 03 Gebäude mit mehr als drei Wohnungen und mehr als drei Geschossen pro Bauperiode in den Kantonen:
● FR ● VD ● GE ● VS

BAUPERIODEN

Fünf wesentliche Bauperioden des Westschweizer Wohnungsbaus wurden definiert. Die drei ersten Bauperioden basieren auf der Einteilung der Gebäude- und Wohnungsbau-statistik (StatBL) des BFS, der ersten Periode « Vorkriegszeit » für Bauten vor 1920, der zweiten Periode « Zwischenkriegszeit » von 1921 bis 1945 und der dritten Periode « Nachkriegszeit » von 1946 bis 1960. Die Ölkrise (1971-1973) und die Einführung erster energetischer Reglementierungen definieren das Ende der vierten Periode der « Hochkonjunktur » von 1961 bis 1975 und die fünfte Periode « nach der Ölkrise » von 1976 bis 1990. Vor 1980 und den ersten kantonalen Energiegesetzen gab es nur die Empfehlungen der SIA-Norm 180 von 1970 [siehe Abbildung 04].



- 1 Gebäude- und Wohnungsstatistik (GWS) von 2013 des BFS [siehe Glossar].
- 2 GWS, BFS [siehe 1].
- 3 SIGRIST, Donald, KESSLER, Stefan, Wirkung kantonalen Energiegesetze: Analyse der Auswirkungen gemäss Art. 20 EnG, Aktualisierung für das Jahr 2012, Bundesamt für Energie, Ittigen, 2013.

Abb. 04 Auftreten erster energetischer Reglementierungen in der Schweiz².

- 4 SCHWEHR Peter, FISCHER Robert, *Building Typology and Morphology of Swiss Multi-Family Homes*, Hochschule Luzern, 2010.
- 5 BUSSET Thomas, GARNIER Alain, JOYE Dominique, SCHULER Martin, *Une typologie exploratoire des bâtiments*, EPFL, 1994.
- 6 Quellen der Gebäude: Zeitschrift «Habitation», «Bulletin technique de la construction», Wohnungsinventar des Kantons Genf, Zugang zu Daten verschiedener Immobilienparkbesitzer.

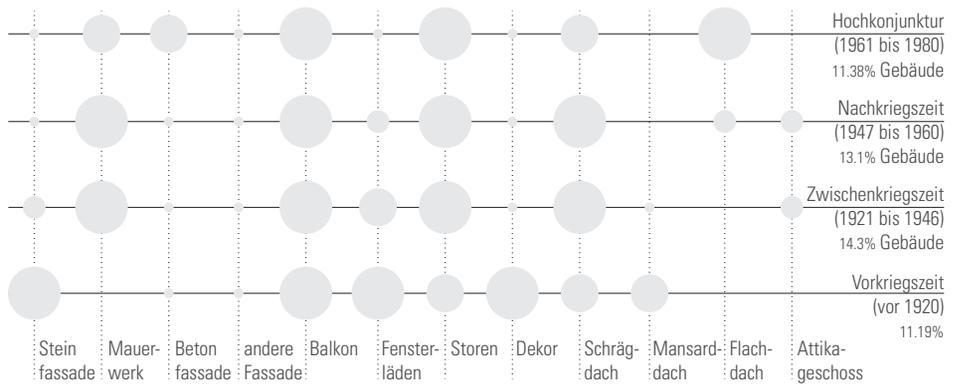
Abb. 05 Zusammenfassung der Ergebnisse für Gebäude der Stadt Lausanne basierend auf der Studie ⁵ «Une typologie exploratoire des bâtiments».



MORPHOLOGISCHE EIGENSCHAFTEN

Wenige Studien behandeln die baukonstruktiven Eigenschaften von Westschweizer Mehrfamilienhäusern. Eine Studie der Hochschule Luzern, «Building Typology and Morphology of Swiss Multi-Family Homes, 1919-1990»⁴, erfasst Mehrfamilienhäuser in der Deutschschweiz nach ihrer Lage im gebauten Kontext. Die Studie enthält wenig Auskünfte zu architektonischen und baukonstruktiven Charakteristiken der Gebäude. Lage, Ausrichtung und Bauvolumen der Gebäude stehen im Vordergrund.

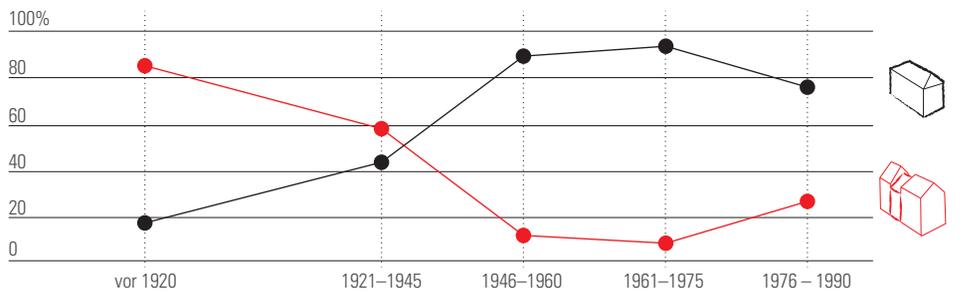
Eine Studie des Institut de recherche sur l'environnement construit des Fachbereichs Architektur der EPFL⁵ analysiert die Zusammensetzung des Schweizer Gebäudeparks nach Wohntypologien am Beispiel der Städte Lausanne [siehe Abbildung 05], Bern und Genf. Die Ergebnisse für die Stadt Lausanne, wenn auch weniger detailliert, bestätigen die Ergebnisse der vorliegenden Studie.



Die Eigenschaftsanalyse basiert auf der Studie von 193 Wohngebäuden.

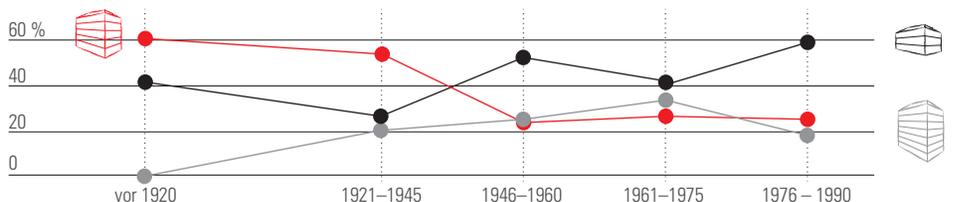
Um Gebäudemodelle definieren und repräsentative Fallstudien auswählen zu können, wurden 193 Mehrfamilienhäuser (Freiburg 54, Waadt 90 und Genf 49) aus verschiedenen Quellenangaben⁶ nach architektonischen und konstruktiven Eigenschaften eingestuft. Morphologische Eigenschaften wie die Lage im gebauten Kontext, die Geschossanzahl und die Wohnungsanzahl wurden berücksichtigt. Diese Einstufung erlaubt die Auswahl repräsentativer Fallstudien für die verschiedenen Bauperioden.

Abb. 06 Anteil nicht-freistehender (rot) und freistehender Gebäude (schwarz) je Bauperiode.



Die Klassifizierung zeigt, dass Gebäude vor allem vor 1920 und noch bis 1945 in Reihe oder am Blockende erbaut wurden. Zwischen 1946 und 1975 verschwindet diese Bauweise fast vollständig. Ab 1975 erscheinen lange Gebäudezeilen, die sich oft aus mehreren Gebäudeteilen zusammensetzen und die ebenfalls als Reihenbebauung gesehen werden können [siehe Abbildung 06]. Vor 1920 sind Gebäude mit 7 Geschossen und mehr sehr selten, während Gebäude mit 5 und 6 Geschossen in dieser Zeit die Mehrheit stellen (60%) [siehe Abbildung 07].

Abb. 07 Gebäudeanteil nach Geschossanzahl und Bauperiode.

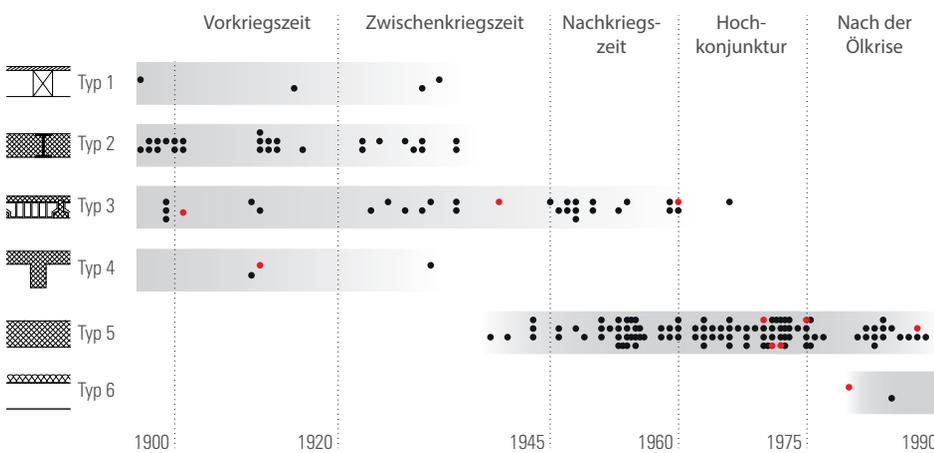


ARCHITEKTONISCHE UND KONSTRUKTIVE EIGENSCHAFTEN

Die im Rahmen des Forschungsprojekts berücksichtigten architektonischen Eigenschaften sind die Dachform, Besonderheiten der Fassaden- und Dachanschlüsse (Attika, Vordach, usw.), Leibungsmaterialien, die Sonnenschutzart, die Lage privater Aussenbereiche und architektonische Dekorelemente (Gesimse, Zierleisten, usw.).

Als baukonstruktive Elemente wurden der Aussenwandaufbau, der Aufbau der Kellerdecke, der Geschossdecken und der Decke zum Dachraum, Fenster und ihre Verglasung, die Konstruktion der Aussenbereiche und die Lage des Sonnenschutzes analysiert. Durch zeittypische und in der Westschweiz weitverbreitete Bauweisen bedingen sich die unterschiedlichen Baudetails gegenseitig.

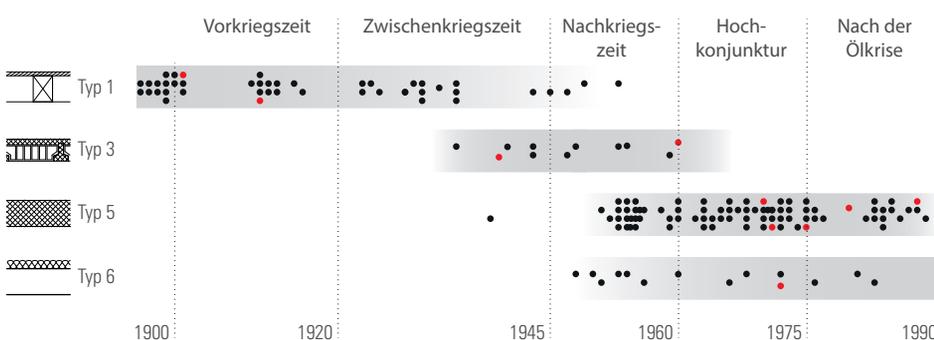
Decken über unbeheiztem Untergeschoss bestehen bis in die 30er Jahre häufig aus Zementdecken mit Metallträgern. In einigen Fällen kamen vor dem Ersten Weltkrieg Zementrippendecken oder Holzbalkendecken zum Einsatz. Hohlsteindecken (Hourdis) aus Zement oder Backstein wurden bis zum Ende der 60er Jahre verwendet. Seit den 50er Jahren werden meistens Betondecken über dem Untergeschoss eingesetzt. Bis zu den 90er Jahren ist eine Dämmung der Untergeschossdecke selten.



- T01: Holzbalkendecke
- T02: Zementdecke mit Metallträgern
- T03: Hohlsteindecke aus Backstein oder Zement mit Metallträgern
- T04: Zementrippendecke
- T05: Betondecke
- T06: Decke mit Wärmedämmung
- Gebäude der Fallstudien
- 193 analysierte Gebäude

Abb. 08 Gebäudeverteilung nach Bauperiode und Deckenaufbau gegen unbeheizte Räume im Untergeschoss.

Geschossdecken bestehen bis in die 40er Jahre, Dachgeschossdecken bis in die 50er Jahre, meist aus Holzbalkendecken. Hohlsteindecken wurden seit den 30er Jahren eingesetzt und verschwinden in den 60er Jahren. Sie werden von Stahlbetondecken abgelöst, die seit den 50er Jahren hauptsächlich verwendet werden. Eine erste geringe Wärmedämmung der Dachgeschossdecke erscheint Mitte der 40er Jahre. Diese wird jedoch bis ans Ende der 80er Jahre nur selten ausgeführt.



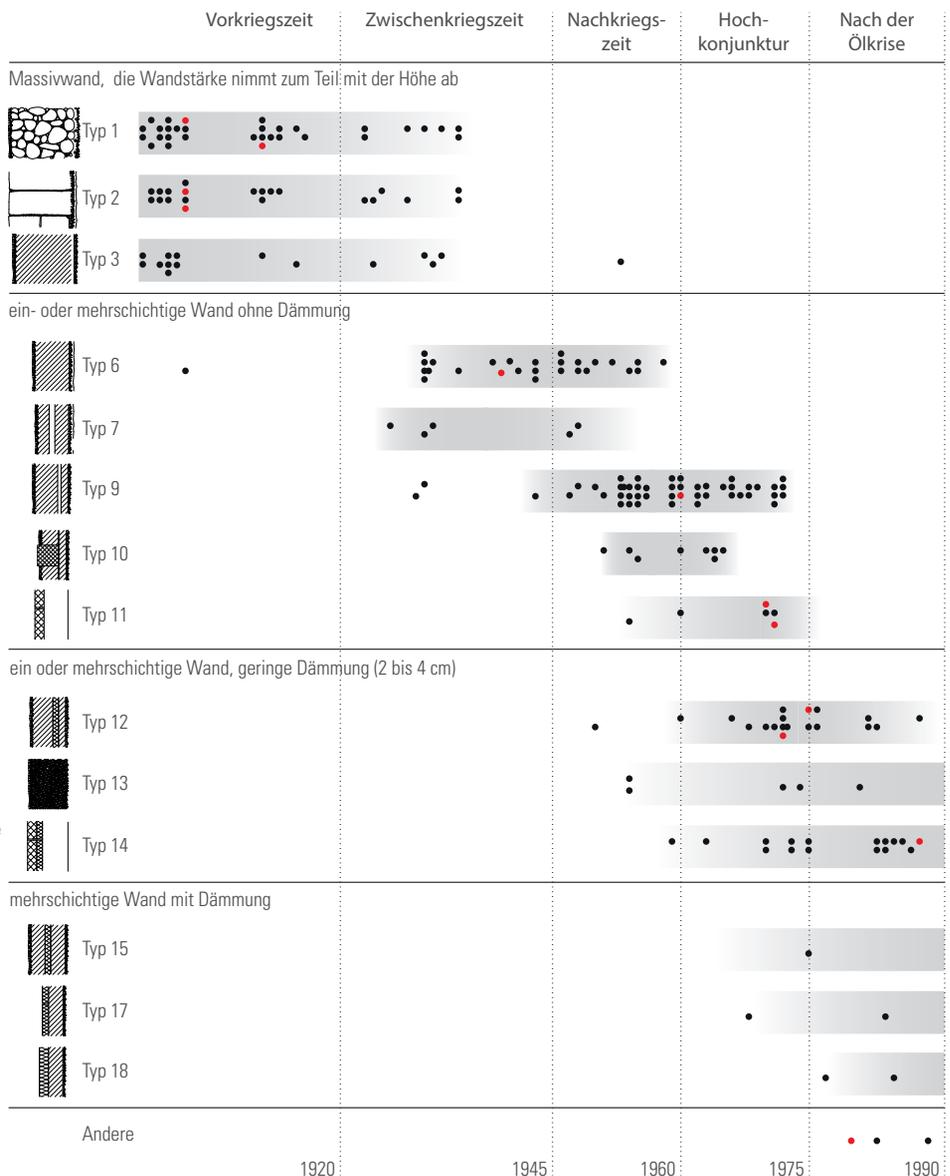
- T01: Holzbalkendecke
- T03: Hohlsteindecke aus Backstein oder Zement mit Metallträgern
- T05: Betondecke
- T06: Decke mit Wärmedämmung
- Gebäude der Fallstudien
- 193 analysierte Gebäude

Abb. 09 Gebäudeverteilung nach Bauperiode und Aufbau der obersten Geschossdecke.

Der Aussenwandaufbau hat sich mit der Zeit stark verändert. Bis in die 30er Jahre bestehen Aussenwände aus massiven Natur- oder Backsteinwänden. Die Wanddicke variiert zwischen 45 und 70 cm in den Geschossen. «Durch Einführung der Massivdecken gewann das statische Bild des Hochbaues ein neues Gesicht. Die bei Holzbalken oder Eisenbalkendecken nicht belasteten Trennwände waren nicht mehr tote Last. Sie wurden in die Tragfunktion einbezogen.»⁷ Die Aussenwände wurden kontinuierlich dünner. «Zunächst ging man

- 7 VERBAND SCHWEIZERISCHER ZIEGEL- UND STEINFABRIKANTEN, *Element 3, Mauerwerk*, Zürich, 1960.
- 8 1947 baut eine Baugenossenschaft in St. Gallen 28 Wohnungen mit Zweischalen-Mauerwerk, das in Westschweizer Gebäuden jedoch nur sehr selten zum Einsatz kommt. Die Dämmschichtdicke wird nach vorrangig wirtschaftlichen Aspekten ermittelt. 8 cm starke Wärmedämmung erscheint übertrieben.⁶
- 9 L'HÔTE Paul, BOGET Emile, *La façade en béton préfabriqué*, Association Suisse des Professionnels du Béton Préfabriqué, Zürich, 1985.
- 10 Ein Teil der Fassadentypen basiert auf dem «U-Wert-Berechnung und Bauteilkatalog - Sanierungen», MARTI Kurt, Bundesamt für Energie (BFE), Bern, 2001.
- 11 [siehe Definition im Lexikon]
- 12 [siehe Definition im Lexikon]
- 13 [siehe Definition im Lexikon]
- 14 [siehe Definition im Lexikon]
- 15 [siehe Definition im Lexikon]

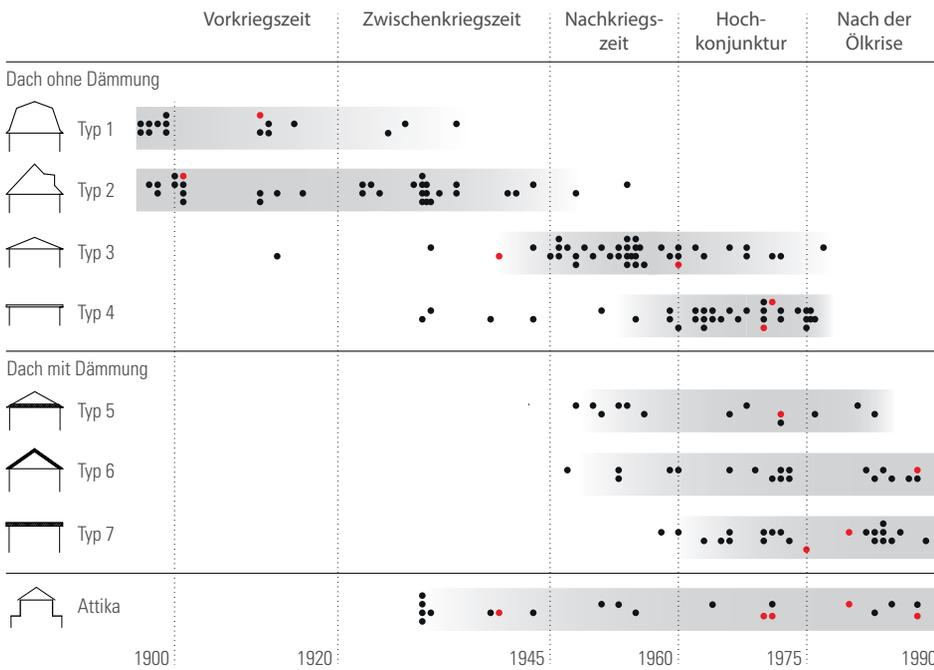
vorsichtig auf eine Mauerstärke von 25 cm zurück. Die ungenügende Wärmeisolation wurde durch eine Vormauerung auf der Raumseite, unter Einhaltung eines Luftzwischenraums, ergänzt. Als Vormauerung dienten Gipsdielen, Bimsplatten, Schlackenplatten, usw.»⁷ Seit dem Ende der 40er Jahre sind tragende Aussenwände mit Luftschicht und innerer Vorsatzschale in den analysierten Kantonen weit verbreitet. «Besonders bei grossen Raumhöhen unterteilte man den Lufthohlraum in horizontaler Richtung mit gerollten Papierstreifen aus alten Zementsäcken, um richtigerweise die Konvektionsströmung im Hohlraum zu verkleinern. Der Gewinn dieser neuen Konstruktion war gegenüber der bewährten massiven Backsteinmauer kaum spürbar»⁷ (etwa gleiches Wandgewicht, totale Wandstärke eher grösser, Wärmeisolation kaum besser und höhere Kosten). Mineralfasern ersetzen zunehmend die bis dahin verwendete, teurere Korkeisolation. «Die Möglichkeit, den Luftraum mit einer solchen Matte auszufüllen lag auf der Hand. Die Mattenstärke wurde rein empirisch mit 1 bis max. 3 cm gewählt.»⁷ Gegen Ende der 50er Jahre werden Aussenwände in der Westschweiz geringfügig innen gedämmt, während man sich in der Deutschschweiz gegen 1945 die Frage des Zweischalen-Mauerwerks⁸ mit tragender raumseitiger Mauer- schale stellt. «Deckenplatten, Balkonplatten, Zwischenwände und Fensterstürze durften die Isolation nicht unterbrechen»⁷. In den 60er Jahren erscheinen Betonfertigteilefassaden⁹. Tragende Ortbetonfassaden verbreiten sich Anfang der 70er Jahre. Sie finden vor allem bei hohen Gebäuden Anwendung und werden oft mit einer inneren Vorsatzschale kombiniert. In den 70er Jahren setzt sich die Wärmedämmung der Wände durch. Die Dämmschicht wird kontinuierlich stärker und erste Aussenwärmedämmungen erscheinen gegen Ende der 70er Jahre.



- T01: Bruchsteinmauerwerk, verputzt
 - T02: Natursteinmauerwerk, unverputzt
 - T03: Massive Mauerwerkswand
 - T06: Hohlblockmauerwerk
 - T07: Doppelschaliges Mauerwerk mit Luftschicht
 - T09: Wand mit Luftschicht und innerer Vorsatzschale
 - T10: Betonskelett mit Füllmauerwerk
 - T11: Nichttragende Fertigteilelemente
 - T12: Wand mit Dämmung und innerer Vorsatzschale
 - T13: Dämmsteine, verputzt
 - T14: Nichttragende gedämmte Fertigteilelemente
 - T15: Doppeldes Mauerwerk mit Zwischendämmung
 - T17: Gedämmtes Leichtbaufassadenelement
 - T18: Tragende Wand mit Aussendämmung
- Gebäude der Fallstudien
 - 193 analysierte Gebäude

Abb. 10 Gebäudeverteilung nach Aussenwandaufbau.

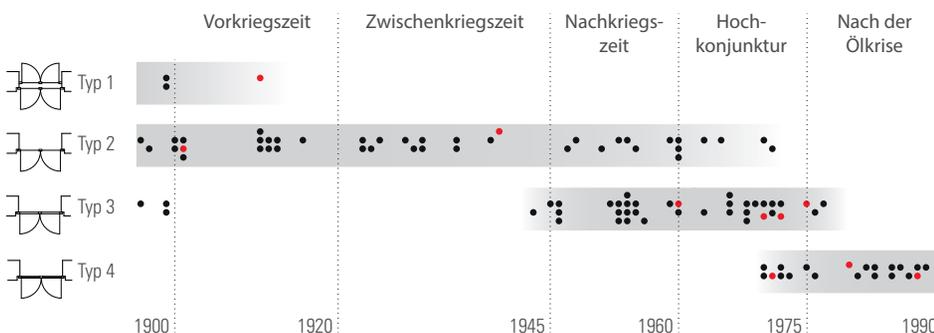
Dächer. Mansarddächer sind bis in die 20er Jahre sehr verbreitet. Stark geneigte, meist bewohnte Dächer herrschen bis Mitte der 40er Jahre vor. Dann werden die Steildächer zunehmend flacher und die Dachgeschosse sind nicht mehr bewohnt. Ob die Dächer gedämmt waren, ist nicht mit Sicherheit festzustellen, da diese oft bereits saniert und umgebaut wurden. Sicher ist, dass schon in den 50er Jahren einige Dächer geringfügig gedämmt waren. Gegen Mitte der 60er Jahre ist ein Grossteil der Gebäude entweder auf der obersten Geschossdecke oder zwischen den Sparren des Dachstuhls gedämmt. Flachdächer erscheinen ab den 30er Jahren. Flachdachdämmungen beginnen in den 60er Jahren und setzen sich nach der Ölkrise durch. Zwei Attikageschosstypen werden unterschieden. Attikageschosse vor 1920 kennzeichnen sich durch grosse längliche Lukarnen in ausgebauten Steildächern. Seit den 30er Jahren sind Attikageschosse mit zur Hauptfassade zurückversetzten Terrassen häufig.



- T01: Komplexer Dachstuhl (Mansarddach)
 - T02: Steildach, ungedämmt, bewohntes Dachgeschoss
 - T03: Schwach geneigtes Dach, ungedämmt, unbewohntes Dachgeschoss
 - T04: Flachdach, ungedämmt
 - T05: Schrägdach, Dämmung der obersten Geschossdecke
 - T06: Schrägdach, gedämmt
 - T07: Flachdach, gedämmt
 - T08: Flach- oder Schrägdach mit Attikageschoss
- Gebäude der Fallstudien
● 193 analysierte Gebäude

Abb. 11 Gebäudeverteilung nach Bauperioden und Dachform.

Fenster. Kastenfenster¹¹ und Fenster mit Vorfenster¹² mit einem Uw-Wert von 2.5 W/m²K finden sich bis zum Ende der 20er Jahre. Fenster mit Einfachverglasung¹³ und einem Uw-Wert von 5 W/m²K werden bis Mitte der 60er Jahre verwendet. Um dem mangelnden Komfort der Einfachverglasung entgegenzuwirken (Kondensation, kalte Luftströme in Wohnräumen), wurden Mitte der 40er Jahre Doppelfenster, bestehend aus zwei Einfachverglasungen¹⁴ und Verbundfenster¹⁵ entwickelt. Diese lösen die vorher genannten Phänomene jedoch nicht vollständig und werden ab den 70er Jahren allmählich durch Doppel-Isolierverglasungen ersetzt. Ihr Uw-Wert bleibt allerdings bei ca. 2.9 W/m²K. Gläser mit selektiven Schichten und der Einsatz von Edelgasen, die einen Ug-Wert von weniger als 1.0 W/m²K ermöglichen, erscheinen erst in den 90er Jahren. Ihr Einsatz ermöglicht Fenster mit einem Uw-Wert von ca. 1.3 W/m²K.



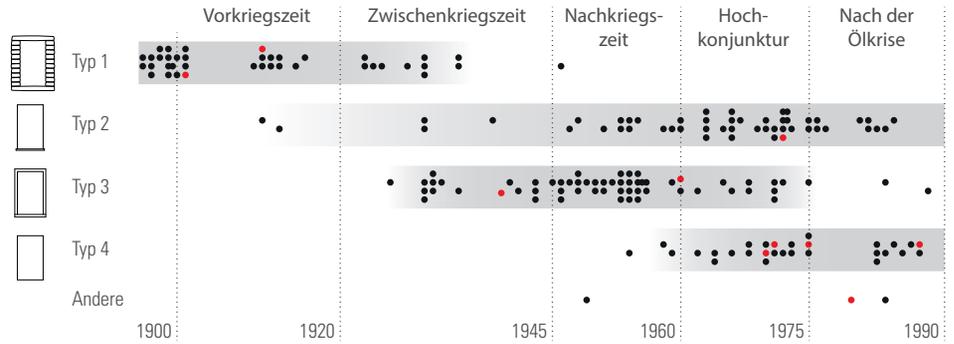
- T01: Kastenfenster, Fenster mit Vorfenster
 - T02: Fenster mit Einfachverglasung
 - T03: Fenster mit zwei Einfachverglasungen ohne Isolierung, Verbundfenster
 - T04: Fenster mit Doppelisolierverglasung
- Gebäude der Fallstudien
● 193 analysierte Gebäude

Abb. 12 Gebäudeverteilung nach Bauepoche und Fenstertyp.

- T01: Naturstein
- T02: Putz
- T03: Kunststein / gegossener Zement
- T04: Betonfertigteil
- Andere: Metall, Eternit, Holz
- Gebäude der Fallstudien
- 193 analysierte Gebäude

Abb. 13 Gebäudeverteilung nach Bauperiode und Leibungstyp.

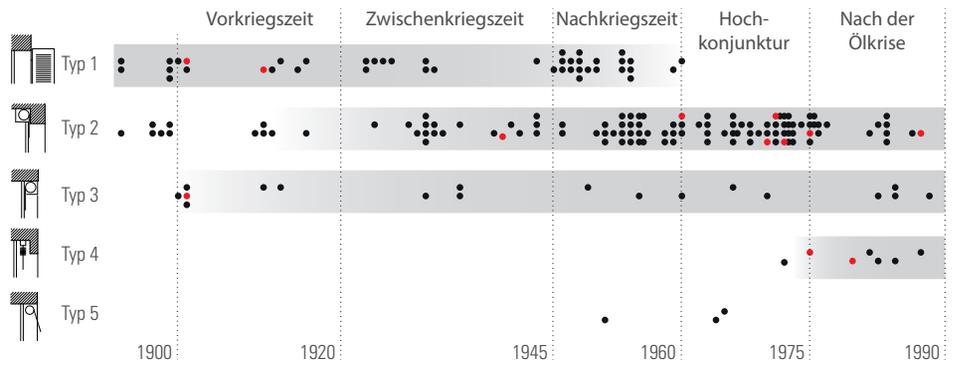
Leibungen. Natursteineinfassungen charakterisieren Gebäude bis Anfang der 30er Jahre. Sie werden durch Kunststeineinfassungen oder gegossene Zementelemente ersetzt und dominieren den Gebäudebestand bis Ende der 50er Jahre. In den 60er Jahren setzen sich verputzte Leibungen und Betonleibungen durch.



Sonnenschutz. Klappfensterläden werden bis Mitte der 50er Jahre häufig verwendet. Danach setzen sich Rollstoren mit innenliegendem Storenkasten durch. Aussenliegende Rollstoren finden sich bei alten Gebäuden, aber auch bei Wohngebäuden der 80er Jahre. Sie sind mit einem sichtbaren Metallstorenkasten verkleidet. Aussenliegende Lamellenraffstoren treten Mitte der 70er Jahre auf. Stoffstoren sind bei den analysierten Gebäuden nur selten vertreten.

- T01: Klappfensterläden
- T02: Rollstoren mit Storenkasten innen
- T03: Rollstoren, aussen
- T04: Lamellenraffstoren
- T05: Stoffstoren, aussen
- Gebäude der Fallstudien
- 193 analysierte Gebäude

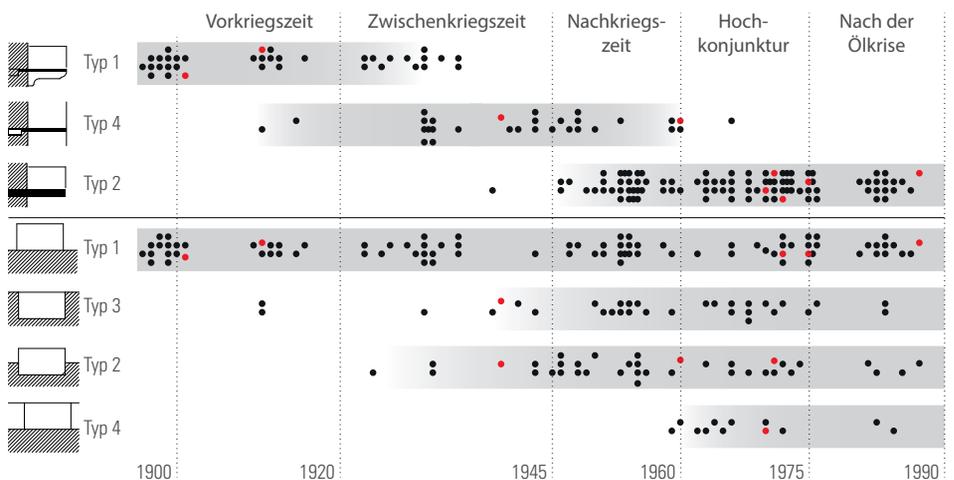
Abb. 14 Gebäudeverteilung nach Bauepochen und Sonnenschutztyp.



Balkone. Anfang des 20. Jahrhunderts wurden Balkonplatten auf Konsolen aufgelagert. Diese Bauweise verbunden mit massiven Wänden und Holzbalkendecken verschwindet in den 30er Jahren und wird von Gebäuden mit Hohlkörperdecken und Loggien mit feinen Betonplatten abgelöst. Bei dieser typischen Bauweise zwischen 1945 und 1975 liegen die Betonplatten auf den die Loggia umfassenden Aussenwänden auf. Seit den 50er Jahren werden Aussenbereiche mit einer durchgehenden Betondeckenplatte realisiert und sind wieder auskragend. Die thermische Trennung der Balkonplatte erscheint erst nach den analysierten Bauperioden.

- Nach Konstruktionsweise des Aussenbereichs:
- T01: Bodenplatte auf Konsole
- T02: durchgehende auskragende Decke
- T04: Bodenplatte unterbrochen
- Nach Lage des Aussenbereichs:
- T01: auskragender Balkon
- T02: zum Teil auskragende Loggia
- T03: Loggia
- T04: vorgestellte Balkone
- Gebäude der Fallstudien
- 193 analysierte Gebäude

Abb. 15 Gebäudeverteilung nach Bauperioden und Aussenbereichstyp.



GEBÄUDEMDELLE

Die Studie der architektonischen und baukonstruktiven Eigenschaften ergab 15 Gebäudemodelle, die die unterschiedlichen Bauweisen der gewählten Bauperioden abbilden. Zehn Modelle wurden für eine vertiefende Fallstudie ausgewählt und einer umfassenden Bestandsanalyse unterzogen. Für jedes Modell wurden Sanierungsstrategien für die Gebäudehülle entwickelt, mit dem Ziel ein Gleichgewicht zwischen Energieeffizienz (Grenzwerte der Norm SIA 380/1: 2009), architektonischen Aspekten, dem Nutzerkomfort, bauphysikalischen und finanziellen Aspekten zu finden. Da der Schwerpunkt auf der energetischen Sanierung der Gebäudehülle liegt, behandelt das Projekt nur Teil- oder Komplettsanierungen. Strategien zum Gebäudeersatz (Abbruch und Neubau) oder Unterhaltsarbeiten (zum Erhalt des Gebäudewerts) werden ausgeschlossen. Die vorgestellten Fallstudien stellen generelle Eingriffsprinzipien dar. Jedes Gebäude ist jedoch einzigartig und die Vorschläge können nicht unmittelbar auf andere Wohngebäude übertragen werden.

Die Modelle 04, 06 und 13 sind in der Westschweiz eher selten und wurden nicht als Fallstudie bearbeitet. Das Modell 05 wurde ebenfalls nicht berücksichtigt, weil dieser am Stadtrand erbaute, mit geringen Mitteln errichtete, Gebäudetyp heute im Zuge von Nachverdichtungsstrategien eher abgerissen als saniert wird. Das Modell 15 wurde nicht behandelt, da eine neue Aussenwärmedämmung kaum baukonstruktive Schwierigkeiten aufweist und den architektonischen Charakter des Gebäudes nur wenig verändert.



Abb. 16 Darstellung der 15 definierten Gebäudemodelle. In rot, die für vertiefende Fallstudien gewählten Modelle.

MODELL 01

1920

1945

1960

1975 | 1980

Lage: 4 bis 6 Geschosse, Blockbebauung, zum Teil am Blockende, im Stadtzentrum.

Aussenwand: monolithisches Bruchsteinmauerwerk mit sichtbarer Natursteinverkleidung, grosse Mauerstärken (45 bis 65 cm). Zum Teil befindet sich die Natursteinverkleidung nur in den unteren Geschossen. Das Erdgeschoss ist öffentlich. Die Mauerstärke nimmt häufig in den oberen Geschossen ab. Die Hoffassade ist meistens einfacher gestaltet und häufig nur verputzt.

Dach: bewohntes Dachgeschoss mit komplexem Dachstuhl (Mansarddach) oder Steildach mit Lukarnen.

Decken: Holz- oder Hourdisdecken über Untergeschoss. Holzbalkengeschossdecken.

Leibungen: Naturstein.

Aussenräume: auskragende Balkone auf Konsolen. Metallgeländer.

Dekor: viele Zierelemente, Eckgestaltung und Gesimse aus Naturstein, gestaltete Natursteineinfassung der Fenster. Die Fassadengestaltung ist durch die Hervorhebung der Geschosse und Natursteingesimse horizontal gegliedert.



Abb. 17 bis 19 von links nach rechts. Gebäude in Genf, 1901 (Fallstudie 01), Gebäude in Genf, 1912, Gebäude in Freiburg, 1899.

MODELL 02

1920

1945

1960

1975 | 1980

Lage: 4 bis 6 Geschosse, Blockbebauung, zum Teil am Blockende, im Stadtzentrum.

Aussenwand: monolithisches Bruchstein- manchmal Ziegelmauerwerk mit grossen Wandstärken (45 bis 65 cm), verputzt. Die Mauerstärke nimmt häufig in den oberen Geschossen ab. Die Hoffassade ist häufig wesentlich einfacher gestaltet als die Strassenfassade.

Dach: bewohntes Dachgeschoss mit komplexem Dachstuhl (Mansarddach) oder Steildach mit Lukarnen.

Decken: Holz- oder Hourdisdecken über Untergeschoss. Holzbalkengeschossdecken.

Leibungen: Naturstein.

Aussenräume: auskragende Balkone auf Konsolen. Metallgeländer.

Dekor: viele Zierelemente, Eckgestaltung und Gesimse aus Naturstein, gestaltete Natursteineinfassung der Fenster. Die Fassadengestaltung ist durch die Hervorhebung der Geschosse und Natursteingesimse horizontal strukturiert.



Abb. 20 und 21 von links nach rechts. Gebäude in Lausanne, 1911 (Fallstudie 02), Gebäude in Freiburg, 1915.

MODELL 03 | 1920 | 1945 | 1960 | 1975 | 1980 |

Lage: 5 bis 7 Geschosse, Blockbebauung, zum Teil am Blockende, im Stadtzentrum.
Aussenwand: verputztes monolithisches Mauerwerk, 35 bis 45 cm stark. Die Mauerstärke nimmt im Laufe der Zeit ab. Im Sockelbereich manchmal mit Natur- oder Kunststein verkleidet.
Dach: meistens geneigt, ausgebautes Dachgeschoss. Auftreten der ersten Attikageschosse und Flachdächer.
Decken: Hourdisdecken oder manchmal Betondecken über dem Untergeschoss. Geschossdecken im allgemeinen als Holzbalken- oder Hourdisdecken, manchmal Beton- oder Betonrippendecken.
Leibungen: mehrheitlich in Kunststein.
Aussenräume: Loggien, im allgemeinen leicht oder nicht auskragend. Die Balkonplatten sind aus Beton und liegen nur auf den Aussenwänden auf. Geschlossene Brüstungen aus verputztem Mauerwerk. Dachterrassen im Bereich der Attikageschosse.
Dekor: schlicht, wenig Dekorelemente. Der Sockelbereich wird im allgemeinen durch ein umlaufendes Sockelgesims von den oberen Geschossen abgegrenzt. Umlaufende Gesimse markieren den Gebäudeabschluss.



Abb. 22 und 23 von links nach rechts. Gebäude in Lausanne, 1939 (Fallstudie 03), Gebäude in Freiburg, 1943.

MODELL 04 | 1920 | 1945 | 1960 | 1975 | 1980 |

Lage: 4 bis 6 Geschosse, meist freistehend, in Zentrumsnähe.
Aussenwand: verputzt, doppelschaliges Ziegelmauerwerk mit Luftschicht (12 cm / 6 cm / 12 cm). Die innere Wand ist im Allgemeinen tragend.
Dach: mehrheitlich geneigt, erste Attikageschosse und Flachdächer, einige Mansarddächer am Anfang der Bauperiode. Gedämmte Geschossdecken oder Dächer sind selten.
Decken: Hourdisdecken oder manchmal Betondecken über dem Untergeschoss. Geschossdecken im allgemeinen als Holzbalken- oder Hourdisdecken, manchmal Beton.
Leibungen: mehrheitlich in Kunststein.
Aussenräume: unabhängige Balkonbetonplatte. Die Brüstungen sind meist aus verputztem Mauerwerk, manchmal noch Metallgeländer am Anfang der Bauperiode oder Metallkonstruktion gegen Ende der Bauperiode.



Abb. 24 und 25 von links nach rechts. Gebäude in Vevey, 1931, Gebäude in Freiburg, 1947.

MODELL 05

1920

1945

1960

1975 | 1980

Lage: 4 bis 6 Geschosse, meist freistehend, in Zentrumsnähe.

Aussenwand: monolithisches Mauerwerk, 25 bis 30 cm stark, verputzt.

Dach: flachgeneigt, unbeheizt, oberste Geschossdecke manchmal gedämmt.

Decken: oft aus Beton, manchmal Hourdisdecken oder Mischkonstruktion. Oberste Geschossdecke häufig aus Holz.

Leibungen: oft aus Kunststein.

Aussenräume: meist (leicht) auskragende Loggien mit unabhängiger oder durchgehender Betonplattform. Die Materialität der Brüstungen variiert (Metallgeländer, Zementfaserplatten, usw.).

Dekor: sehr schlicht, auf ein funktionales Minimum beschränkt; Dachüberstand und markierter Sockelbereich (im allgemeinen freiliegendes Untergeschoss).

Abb. 25 und 26 von links nach rechts.
Gebäude in Renens, 1954, Gebäude in
Genf, 1947.



MODELL 06

1920

1945

1960

1975 | 1980

Lage: 4 bis 6 Geschosse, freistehend, in Randquartieren von Städten oder Dörfern und in Entwicklungsgebieten.

Aussenwand: monolithisches Dämmsteinmauerwerk, Typ DURISOL, YTONG, usw., verputzt.

Dach: flachgeneigt, meist unbeheizter Dachraum. Die oberste Geschossdecke ist manchmal schwach gedämmt.

Decken: meist aus Beton, manchmal Hourdisdecken oder Mischkonstruktionen.

Leibungen: Kunststein.

Aussenräume: meist leicht auskragende Loggien mit unabhängiger oder durchgehender Betonplattform. Die Materialität der Brüstungen variiert (Metallgeländer, Faserzementplatten oder verputztes Mauerwerk).

Dekor: schlicht, Dachüberstand und markierter Sockelbereich. Oft mit Vordach über dem Eingang.

Abb. 27 und 28 von links nach rechts.
Gebäude in Renens, 1954, Gebäude in
Lausanne, 1954.



MODELL 07

1920

1945

1960

1975 | 1980

Lage: 5 bis 8 Geschosse, meist freistehend, in Zentrumsnähe.

Aussenwand: verputztes Mauerwerk mit tragender Aussenwand, Luftschicht und innerer Vorsatzschale (20 / 6 / 6 cm).

Dach: flachgeneigt, unbeheizter Dachraum. Die oberste Geschossdecke ist manchmal schwach gedämmt.

Decken: meist aus Beton, manchmal Hourdisdecken oder Mischkonstruktionen.

Leibungen: Kunststein.

Aussenräume: meist leicht auskragende Loggien mit unabhängiger oder durchgehender Betonplattform. Die Materialität der Brüstungen variiert (Metallgeländer, Faserzementplatten oder verputztes Mauerwerk).

Dekor: schlicht, Dachüberstand und markierter Sockelbereich. Oft mit Vordach über dem Eingang.



Abb. 29 und 30 von links nach rechts.
Gebäude in Freiburg, 1955, Gebäude in
Lausanne, 1960 (Fallstudie 04).

MODELL 08

1920

1945

1960

1975 | 1980

Lage: mehr als 6 Geschosse, Teil eines grösseren Ensembles, in Stadtrandgebieten.

Aussenwand: Ortbetonwände, manchmal auch Betonfertigteile mit Luftschicht und innerer Vorsatzschale, manchmal leicht gedämmt. Tragende Schottenwände in Querrichtung. Nichttragende Längsfassaden mit Verglasungen und Sandwichelementen.

Dach: meist flach und sehr gering gedämmt (2–3 Zentimeter Korkdämmung).

Decken: Stahlbeton.

Leibungen: häufig Beton.

Aussenräume: durchgehende Schicht aus vorgelagerten Loggien mit horizontalen Betonelementen. Durchgehende Stahlbetondecken. Die Brüstungen sind meist aus Betonfertigteilelementen.

Dekor: im allgemeinen kein Dachüberstand. Zum Teil freies Erdgeschoss auf Stützen.



Abb. 31 und 32 von links nach rechts.
Gebäude in Chêne-Bougeries, 1970,
Gebäude in Onex, 1971.

MODELL 09

1920

1945

1960

1975 | 1980

Lage: mehr als 6 Geschosse, freistehend, in Stadtrandgebieten.

Aussenwand: Aussenwände aus tragendem Sichtbeton, Ortbeton oder Fertigteile mit Luftschicht und innerer Vorsatzschale, manchmal leicht gedämmt.

Decken: Stahlbeton.

Dach: meist flach und sehr gering gedämmt (2–3 Zentimeter Korkdämmung).

Leibungen: häufig Beton.

Aussenräume: Loggien mit durchgehender Betondecke oder Balkone mit auskragender Betondecke.

Dekor: im allgemeinen kein Dachüberstand. Zum Teil freies Erdgeschoss auf Stützen.



Abb. 33 und 34 von links nach rechts.
Gebäude in Yverdon, 1972, Gebäude in
Freiburg, 1975 (Fallstudie 07).

MODELL 10

1920

1945

1960

1975 | 1980

Lage: 4 bis 5 Geschosse, freistehend, im Umland der Städte.

Aussenwand: verputzt, tragende Aussenwand mit 3 bis 5 cm Dämmung und innerer Vorsatzschale.

Dach: geneigt oder flach, selten genutztes Dachgeschoss. Dächer mit flacher Neigung sind meistens auf der obersten Geschossdecke oder zwischen den Sparren gedämmt. Flachdächer sind zum Teil gedämmt.

Decken: fast immer Betondecken.

Leibungen: meist verputzt, manchmal Kunststein.

Aussenräume: meist auskragende Balkone mit durchgehender Betondecke. Häufig langgestreckte Balkone. Die Brüstungen bestehen meist aus verschiedenen Materialien (Beton/Glas).



Abb. 35 und 36 von links nach rechts.
Gebäude in Denges, 1972, Gebäude in
Cossonay, 1972 (Fallstudie 06).

MODELL 11 | 1920 | 1945 | 1960 | **1975 | 1980** |

Lage: mehr als 6 Geschosse, freistehend, in Stadtrandgebieten.
Aussenwand: nicht tragende Betonfertigteilelemente, meist gedämmt.
Decken: Stahlbeton.
Dach: meist flach und zum Teil leicht gedämmt.
Leibungen: oft aus Betonfertigteilelementen.
Aussenräume: Loggien und Balkone im allgemeinen mit durchgehender Betondecke. Brüstungen häufig mit integrierten Pflanzkästen.
Dekor: Betonfertigteilelemente häufig aus strukturiertem Beton (Waschbeton, komplexe Formen, usw.). Dachgesimse sind selten.



Abb. 37 und 38 von links nach rechts.
 Gebäude in Morges, 1973, Gebäude in Onex, 1971 (Fallstudie 08).

MODELL 12 | 1920 | 1945 | 1960 | **1975 | 1980** |

Lage: In Reihe, manchmal am Blockende, im städtischen Umland oder Ersatzbau im Stadtzentrum.
Aussenwand: nicht tragende Vorhangfassade aus grossflächigen Verglasungen und Aluminiumprofilen, zum Teil mit opaken Elementen aus Metall oder emailliertem Glas.
Dach: meist flach.
Decken: hauptsächlich in Stahlbeton.
Aussenräume: keine Aussenräume oder manchmal integrierte Loggien.



Abb. 38 und 39 von links nach rechts.
 Gebäude in Genf, 1960, Gebäude in Genf, 1980 (Fallstudie 09).

MODELL 13 | 1920 | 1945 | 1960 | **1975 | 1980** |

Lage: 4 bis 6 Geschosse, freistehend, im Umland von Städten und Dörfern und in Entwicklungsgebieten.
Aussenwand: verputzt, monolithische Dämmsteine Typ LECA, YTONG, usw.
Dach: meist Schrägdach mit oder ohne ausgebautem Dachgeschoss. Zwischensparrendämmung oder Dämmung der obersten Geschossdecke üblich.
Decken: meist in Stahlbeton.
Leibungen: meist verputzt.
Aussenräume: meist auskragende Balkone mit durchgehender Betondecke. Brüstungen häufig aus Metall, Glas und Kompositelementen. Manchmal ins Dach integrierte Aussenräume.
Dekor: häufig formt eine leichte Dachauskragung ein Vordach.



Abb. 40 Gebäude in Orbe, 1981.

MODELL 14

1920

1945

1960

1975 | 1980

Lage: 4 bis 8 Geschosse, freistehend, in Randgebieten der Städte und Dörfer oder Neubaugebieten.

Aussenwand: zweischalige Aussenwand mit tragender, raumseitiger Stahlbetonwand, Wärmedämmung und Sichtbetonfertigteilfeassaden. Komplexe Gebäudeform.

Decken: Stahlbeton.

Dach: geneigt, meist ausgebautes Dachgeschoss, gedämmt.

Aussenräume: meist auskragende Balkone mit komplexen Formen und durchgehender Betondecke. Die Brüstung besteht meist aus verschiedenen Materialien (Beton/Metall oder Glas).

Abb. 41 und 42 von links nach rechts.
Gebäude in Freiburg, 1987, Gebäude in Genf, 1988 (Fallstudie 10).**MODELL 15**

1920

1945

1960

1975 | 1980

Lage: 4 bis 6 Geschosse, freistehend, in Randgebieten der Städte und Dörfer oder Neubaugebieten.

Aussenwand: verputzt, meist in Hohlblockmauerwerk mit Wärmedämmverbundsystem der « ersten Generation » und geringer Dicke (6 bis 8 cm).

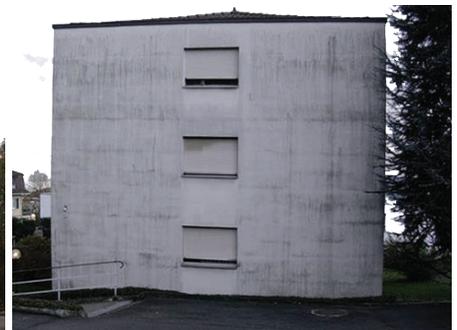
Dach: sowohl Flach-, als auch Schrägdächer, gedämmt.

Decken: Stahlbeton.

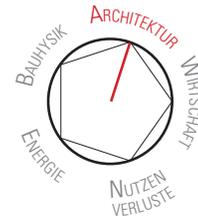
Leibungen: meist verputzt.

Aussenräume: Loggien und Balkone mit durchgehender Betondecke. Brüstungen meist aus Beton oder Metallkonstruktion.

Dekor: ungedämmter Storenkasten häufig mit sichtbarer Metallverkleidung.

Abb. 43 und 44 von links nach rechts.
Gebäude in Renens, 1985, Gebäude in Pully, 1977.

ARCHITEKTONISCHE CHARAKTERISTIKEN



Jede Bauperiode weist aufgrund ihrer Bauweise, der zur Verfügung stehenden Baumaterialien (z.B. lokale Materialien oder Materialmangel nach dem Zweiten Weltkrieg), stylistischer zeittypischer Baudetails und der Lage im gebauten Kontext (Reihenbebauung in Stadtzentren, freistehende Gebäude im Umland) besondere Merkmale auf.

Eine gleichförmige energetische Sanierung des veralteten und energieintensiven Immobilienparks, gefördert durch die Energiestrategie 2050 des Bundes, birgt das Risiko einer Homogenisierung der Gebäudegestaltung und eines Verlusts von Identität und Bausubstanz. Ohne grössere Überlegungen werden Fenster durch weisse PVC-Fenster ersetzt und Fassaden mit verputzten Wärmedämmverbundsystemen eingepackt, die alle architektonischen Details überdecken. *[siehe untenstehende Abbildung].*



Abb. 45 und 46. Rechts, die Auswirkungen einer unüberlegten Aussenwärmendämmung auf die architektonischen Charakteristiken des Gebäudes. Links, ein vergleichbares unsaniertes Gebäude mit den architektonischen Merkmalen der Bauperiode.

Unüberlegte Eingriffe in baukonstruktive Details können das architektonische Gesamtbild schädigen und den kulturellen Wert und städtebauliche Qualitäten des Gebäudeparks mindern. Die Herausforderung einer respektvollen und nachhaltigen energetischen Sanierung liegt darin, die Energieeffizienz der Gebäudehülle signifikant zu verbessern und gleichzeitig die Vielfalt und Geschichte der gebauten Umwelt zu wahren. Auch nicht denkmalgeschützte Gebäude tragen zum Stadtbild bei und sind ein Stück Baukultur. Heute als nicht schützenswert angesehene Bauten können häufig für zukünftige Generationen einen ganz anderen affektiven und kulturellen Wert haben.

Für jede Fallstudie wurden architektonische und baukonstruktive Charakteristiken analysiert und erhaltenswerte sowie einfach und wirtschaftlich zu verbessernde Bauteile identifiziert. In den meisten Fällen reichen diese Massnahmen nicht aus, um den aktuellen energetischen Anforderungen zu entsprechen und eine Fassadendämmung ist in der Regel notwendig. Um den energetischen Anforderungen zu genügen, wurden verschiedene Sanierungsstrategien gemäss den bestehenden Charakteristiken erarbeitet.

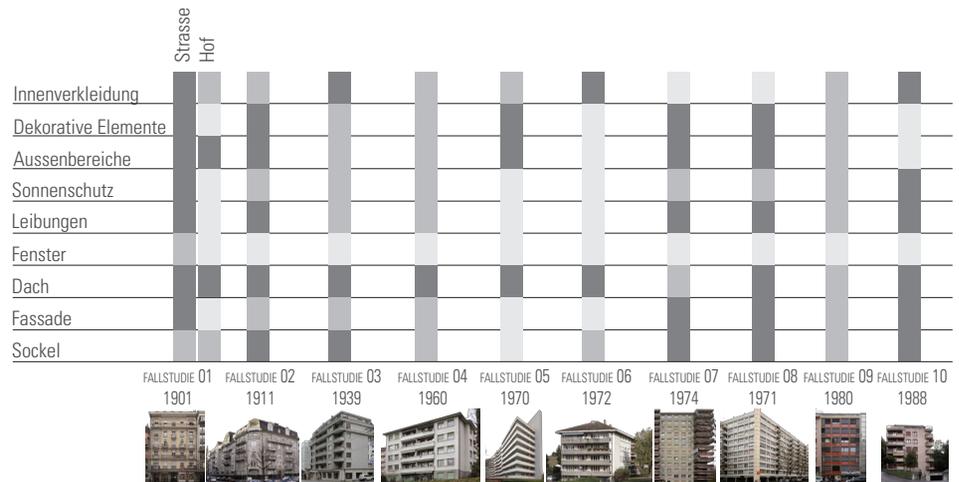
- Fallstudie 01 : Kompensation Strassenfassade – Hoffassade
- Fallstudie 02: Bruchsteinaussenwände mit Innendämmung
- Fallstudie 03: Dämmputz und gezielte Massnahmen
- Fallstudie 04: Aussendämmung und Nachbildung charakteristischer Details
- Fallstudie 05: Dämmung der rückversetzten Fassade und gezielte Massnahmen
- Fallstudie 06: Neues Erscheinungsbild
- Fallstudie 07: Sichtbetonfassade – Ersatz der Vorsatzschale durch Innendämmung
- Fallstudie 08: Betonfertigteile mit Innendämmung
- Fallstudie 09: Vorhangfassade – neue Fassade mit gleichem Erscheinungsbild
- Fallstudie 10: Schliessen der Balkone und gezielte Massnahmen

Die Ergebnisse der Fallstudien zeigen, dass es möglich ist, die globalen energetischen Anforderungen zu erfüllen und gleichzeitig den Charakter und die konstruktiven Eigenheiten der Gebäude zu berücksichtigen *[siehe Abbildung 47]*, sogar mit akzeptablen Baukosten. Die Tabelle in Abb. 47 zeigt den Einfluss der Sanierungsszenarien auf die architektonischen Charakteristiken. Renovierte Elemente mit verändertem Erscheinungsbild stellen dabei nicht zwingend einen Verlust des architektonischen Charakters dar *[siehe Fallstudie 05]*.

Die Herausforderung einer respektvollen und nachhaltigen energetischen Sanierung liegt darin, die Energieeffizienz der Gebäudehülle signifikant zu verbessern und gleichzeitig die Vielfalt und Geschichte der gebauten Umwelt zu wahren.

Abb. 47 Erhalt der architektonischen Eigenschaften pro Bauteil.

- nicht saniert
- saniert, Erscheinungsbild beibehalten
- saniert, Erscheinungsbild verändert



Je nach Fallstudie wurden verschiedene Sanierungsstrategien verfolgt:

CHARAKTERISTIKEN WAHREN

Manchmal ist es möglich eine reich gestaltete Fassade weitgehend zu erhalten, indem andere Bauteile, zum Beispiel die weniger hochwertige Hoffassade, hocheffizient gedämmt werden [siehe Fallstudie 01].

In anderen Fällen ermöglicht eine Innendämmung die Charakteristiken einer komplexen oder robusten und nachhaltigen Fassadengestaltung zu erhalten [siehe Fallstudien 02, 07, 08]. In der Fallstudie 02 kommt eine mineralische Innendämmung bei gleichzeitigem Erhalt der charakteristischen Holzverkleidung der Leibungen zum Einsatz. In den Fallstudien 07 und 08 werden die komplexen Betonfassaden von innen mit Leichtbauelementen gedämmt. Bei den aus bauphysikalischer Sicht sehr kritischen Innendämmungen muss ein besonderes Augenmerk auf Wärmebrücken und den Feuchtschutz der Baudetails gelegt werden.

Wenn das Aufbringen einer Aussenwärmedämmung schwierig ist, kann ein mineralischer Dämmputz den Bestandputz ersetzen, die Energiebilanz verbessern und das Erscheinungsbild wahren [siehe Fallstudien 02 und 03]. Risiken durch Wärmebrücken werden dadurch minimiert werden.

CHARAKTERISTIKEN REKONSTRUIEREN

Freistehende Gebäude mit wenig komplexen Fassaden erlauben das einfache Aufbringen einer Aussenwärmedämmung. Die Wahl der richtigen Dämmstärke und Sorgfalt bei den Anschlussdetails ermöglichen es, die wesentlichen Charakteristiken zu erhalten [siehe Fallstudie 04]. Zu grosse Dämmstoffdicken hätten in diesem Fall die charakteristische leichte Auskragung der Balkone komplett verschwinden lassen. Die Kunststeinleibungen wurden mit gedämmten Zementelementen rekonstruiert.

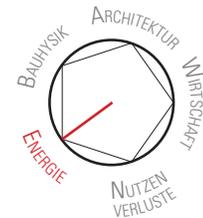
Die Vorhangfassade [siehe Fallstudie 09] wurde ersetzt und Proportionen, Farben und Aufteilung in verglaste und opake Elemente gemäss der Bestandsfassade beibehalten.

NEUE ELEMENTE ODER EIN NEUES ERSCHEINUNGSBILD

In einigen Fällen rechtfertigt die Bauqualität ein vollständig neues Erscheinungsbild und ermöglicht es höhere energetische Anforderungen zu erreichen [siehe Fallstudie 06]. Durch das Schliessen der Balkone kann auf einfache, wirtschaftliche und reversible Weise Wohnfläche gewonnen und die Wärmebrückenproblematik gelöst werden [siehe Fallstudie 10]. In einigen Fällen führen ergänzende Massnahmen zum Erreichen des SIA 380/1-Grenzwerts jedoch zum Verlust architektonischer Eigenschaften [siehe Fallstudien 03, 05].

Um Möglichkeiten und Grenzen einer Sanierung der Gebäudehülle einzuschätzen und die richtige Sanierungsstrategie zu finden, ist eine detaillierte Studie von Fachleuten notwendig. Sie zeigt Stärken und Schwächen des Gebäudes auf und findet den besten Kompromiss zwischen Energieeffizienz und Substanzerhalt. Sie dient dazu, baukonstruktive und finanzielle Bedingungen genau einschätzen zu können. Eine detaillierte Studie ist unerlässlich, um das Risiko eines abenteuerlichen Unternehmens mit wenig überzeugendem Ergebnis zu reduzieren.

Um Möglichkeiten und Grenzen einer Sanierung der Gebäudehülle einzuschätzen und die richtige Sanierungsstrategie zu finden, ist eine detaillierte Studie von Fachleuten notwendig.



WÄRMEBILANZ

Die thermische Gebäudeanalyse wurde in mehreren Schritten durchgeführt. Zunächst wurde die Energiebilanz des Bestands errechnet und mit dem ermittelten realen Energieverbrauch verglichen. Um die Hypothesen der Bauteilaufbauten zu bestätigen, wurden U-Wert-Messungen und zum Teil Bauteil Sondierungen vor Ort durchgeführt. Im zweiten Schritt wurde ein energetisches Sanierungsszenario, mit dem Ziel den SIA 380/1: 2009 Grenzwert zu erreichen und die architektonischen Charakteristiken zu wahren, erarbeitet und die Wärmebilanz berechnet. Konnte bei der Berechnung der Wärmebilanz dieser Grenzwert nicht erreicht werden, wurde im dritten Schritt ein neues Szenario mit zusätzlichen Dämmmassnahmen entwickelt, um das energetische Ziel zu erreichen.

DIE ENERGIEBILANZ DES BESTANDS

Der Energieverbrauch der zehn zur Weiterbearbeitung ausgewählten Gebäude wurde mit zwei Ansätzen analysiert:

- Mittelwert der von den Eigentümern zu Verfügung gestellten realen Verbrauchszahlen der letzten 3 bis 4 Jahre (2009-2013)¹⁶ (Endenergie) oder IDC¹⁷ (Indiz des Wärmeverbrauchs; eine Information, die den staatlichen Behörden im Kanton Genf verpflichtend zur Verfügung gestellt werden muss): die Nutzenergie wurde unter Berücksichtigung des Wirkungsgrads der Heizungsanlage (80 % für eine Einzelheizung und 90 % für Fernwärmeheizungen) und dem Energieanteil zur Warmwasserbereitung (75 MJ/m²a für die Wohnungen, bzw. 25 MJ/m² a für kommerzielle Flächen gemäss Norm SIA 380/1: 2009) ermittelt.
- Wärmebilanz (Nutzenergie, anschliessend umgerechnet in Endenergie) berechnet gemäss Norm SIA 380/1: 2009.

Aus Gründen der Vergleichbarkeit und zur Vereinheitlichung der Methode dienen die errechneten Bilanzen des Bestands und nicht der reale Energieverbrauch zum Vergleich mit den Wärmebilanzen der Sanierungsszenarien. Diese Vorgehensweise birgt das Risiko, die Eingriffe manchmal über- oder unterzubewerten.

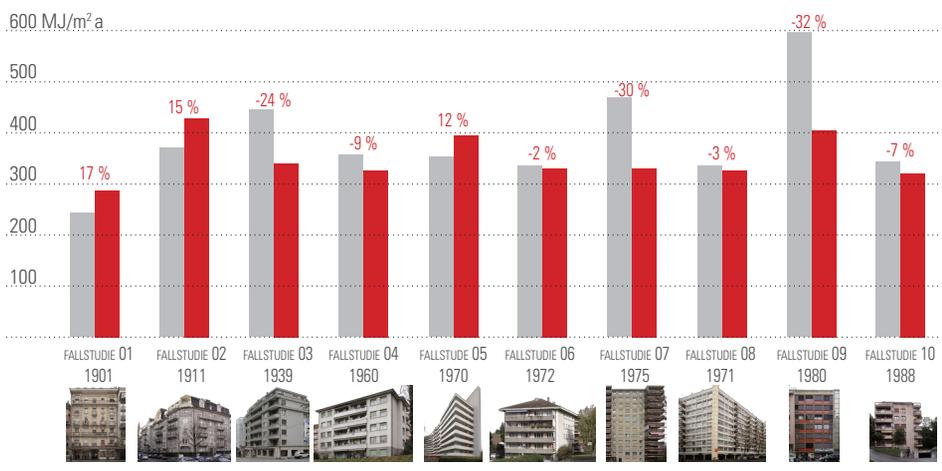


Abb. 48 Heizwärmebedarf «realer Verbrauch» (grau) und Heizwärmebedarf Q_h «errechnet» (rot) in MJ/m²a.

● Heizwärmebedarf Q_h «erhoben»
 ● Heizwärmebedarf Q_h «errechnet»
 % Abweichung in %

Der Vergleich von erhobenen und errechneten Werten dient dazu, die Plausibilität der Berechnung zu prüfen und der Realität gegenüberzustellen. Bei grossen Abweichungen (mehr als 20%) sollten Berechnungsparameter überprüft und Abweichungsursachen ermittelt werden. Die bearbeitete Stichprobe ist zu klein, um eine Abweichung statistisch zu definieren. Die 20% Grenze wurde beliebig gewählt, erscheint aber angemessen, um die vielen Parameter zu berücksichtigen, die eine Abweichung dieser Grössenordnung erklären können.

16 Gebäude der Fallstudien 02, 03, 04, 06, 07.
 17 Gebäude der Fallstudien 01, 05, 08, 09, 10.

Bei grossen Abweichungen zwischen errechneter Bilanz und realem Verbrauch sollten Berechnungsparameter überprüft und Abweichungsursachen ermittelt werden.

Zu den variablen Parametern gehören:

- mögliche Variationen zwischen den meteorologischen Bedingungen des Berechnungsmodells und den realen Bedingungen während des erhobenen Energieverbrauchs.
- die reale Innenraumtemperatur der Wohnungen, die in den Berechnungen mit 20 °C gemäss der Norm SIA 380/1: 2009 angenommen wurde, aber je nach Nutzer und Nutzungsrate wesentlich abweichen kann.
- die Luftwechselrate wurde mit 0,7 m³/h (gemäss Norm SIA 380/1: 2009) in den errechneten Bilanzen festgelegt. Die reale, je nach Nutzer und Qualität der Bestandskonstruktion sehr stark abweichende, Luftwechselrate konnte nicht gemessen werden.
- die U-Werte der Bauteile, die nicht durch Vor-Ort-Messungen bestätigt werden konnten, sowie die λ -Werte der Materialien die zwischen theoretischen und realen Werten variieren können.
- der Wirkungsgrad der Heizung (vereinheitlicht auf 80 % in den errechneten Bilanzen) und die Regelung der Heizkurven.
- der Anteil des Energiebedarfs für die Brauchwassererwärmung, der je nach Nutzungsrate und Nutzergewohnheiten variieren kann.

Von zehn analysierten Gebäuden weisen drei eine Abweichung über 20 % auf. Dies betrifft die Gebäude der Fallstudien 03 (24 % Abweichung), 07 (30 % Abweichung) und 09 (32 % Abweichung). In den drei Fällen ist der errechnete Wärmebedarf niedriger als der reale Energieverbrauch. Diese Abweichungen haben je nach Gebäude mehrere Ursachen.

Fallstudie 03 – 24 % Abweichung. In diesem Fall bietet die Innentemperatur einen Erklärungsansatz. Während der Wohnungsbesichtigungen wurden erhöhte Innentemperaturen festgestellt. Dieser subjektive Eindruck konnte durch Messungen im Zuge der U-Wert Ermittlungen der Gebäudehülle in zwei Räumen bestätigt werden. Die gemessenen Temperaturen variierten zwischen 20 und 22 °C und könnten den höheren Wärmebedarf erklären.



Die «Überbelegung» der Räume stellt einen zweiten Erklärungsansatz dar. Während der Wohnungsbesichtigungen wurde festgestellt, dass einige Wohnungen durch mehr Bewohner, als für die Wohnungsgrösse üblich, belegt werden, indem zum Beispiel Verteilerräume als vollwertige Wohnräume genutzt werden. Die zusätzlichen Nutzer führen zu einem vermutlich höheren, als in den Berechnungen berücksichtigten, Warmwasserverbrauch.

Fallstudie 07 – 30 % Abweichung. Das Gebäude ist Teil eines Wohnblocks mit drei Eigentümern, die sich eine Heizanlage ohne individuelle Zähler teilen. Eine Verbrauchsverteilung wurde auf Basis der Energiebezugsfläche der verschiedenen Gebäude ermittelt. Es ist möglich, dass das Gebäude 07 einen höheren Energieverbrauch als die anderen Teile aufweist, da es sich am Kopfende befindet und deshalb mehr Fassadenfläche hat.



Die zeitlich gestaffelte Fertigstellung der drei Gebäudeteile führte vermutlich zu unterschiedlichen Bauteilaufbauten. Die Baugesuchspläne sehen 2 cm Fassadendämmung vor, während in der vorliegenden Fallstudie 6 cm Innendämmung zum Einsatz kamen.

Die Heizkörper des Gebäudes sind nur teilweise mit Thermostatventilen ausgestattet. Gemäss der Norm SIA 380/1: 2009 müssen fehlende Thermostatventile in den Berechnungen durch eine um 2 °C erhöhte Innentemperatur ausgeglichen werden (22 °C anstatt 20 °C). Die Berücksichtigung einer um 1 °C erhöhten Innentemperatur (um nur einen Teil der Heizkörper zu berücksichtigen) stellt einen zusätzlichen Heizwärmebedarf von 40,7 MJ/m² dar. Dieser zusätzliche Heizwärmebedarf wurde in der errechneten Heizwärmebilanz des Bestands nicht berücksichtigt. Bei einer Berücksichtigung würde der Heizwärmebedarf auf 371,1 MJ/m² ansteigen und ergäbe damit eine Abweichung von 21 %.

Fallstudie 09 – 32 % Abweichung. Auch in diesem Fall bietet die Innentemperatur einen Erklärungsansatz. Während der Wohnungsbesichtigungen im Winter 2014–15 wurden sehr hohe Innentemperaturen festgestellt. Dieser Eindruck konnte durch Messungen im Zuge der U-Wert Ermittlungen der Gebäudehülle in drei Räumen bestätigt werden. Die Innenraumtemperaturen variierten zwischen 18 und 27 °C. Eine um 2 °C erhöhte Innentemperatur bedeutet im vorliegenden Fall eine Steigerung des Heizwärmebedarfs um ca. 183 MJ/m² a und reduziert die Abweichungen zwischen Berechnung und Realität damit auf 2 %.



Der erhebliche Mehrverbrauch des Gebäudes könnte auch auf die fehlende Wärmespeicherfähigkeit der Gebäudehülle zurückgeführt werden (leichte, stark verglaste Fassade).

Die fehlende Wärmespeicherfähigkeit der Fassade kann zu mangelndem Komfort führen und die Nutzer zum verstärkten Heizen anregen.

Im Allgemeinen befindet sich der ermittelte Heizwärmebedarf der Fallstudien (erhoben oder errechnet) im Rahmen der, für nicht oder gering sanierte Gebäude des 20. Jahrhunderts, üblichen Werte. Die festgestellten Abweichungen zwischen realem Verbrauch und theoretischen Berechnungen können weitgehend erklärt werden. Die aus zehn analysierten Gebäuden bestehende Stichprobe ist nicht ausreichend um einen Zusammenhang zwischen Heizwärmebedarf (erhoben oder errechnet) und baukonstruktiven Typologien oder Bauepochen herzustellen. Dies ist nicht Ziel der vorliegenden Studie.

GEMESSENE UND ERRECHNETE U-WERTE

Da genaue Informationen (Ausführungspläne und Details der originalen Bauteilaufbauten) oft nicht vorhanden und zerstörende Bauteiluntersuchungen zum Teil nicht möglich waren, wurden für alle zehn Fallstudien U-Wert Messungen an Bauteilen der Gebäudehülle durchgeführt. Dadurch konnten Fehlerquellen so gut wie möglich ausgeschlossen und die theoretischen Werte in der Wärmebilanzberechnung verfeinert werden.

Für die Mehrheit der wesentlichen Bauteile der Gebäudehülle, deren genauer Bauteilaufbau nicht mit Sicherheit festgelegt werden konnte, wurde der U-Wert gemäss der Norm ISO 9869 (2014) ermittelt. Alle Messungen wurden zwischen November 2014 und März 2015 durchgeführt.

Der theoretische U-Wert wurde nach der klassischen Methode, die ein Bauteil als eine Anordnung von Schichten mit unterschiedlichem Wärmedurchgangswiderstand betrachtet, berechnet. Die untenstehende Tabelle [siehe Abbildung 49] zeigt den Vergleich der Messungen und Berechnungen für die verschiedenen analysierten Bauteile und Referenzgebäude.

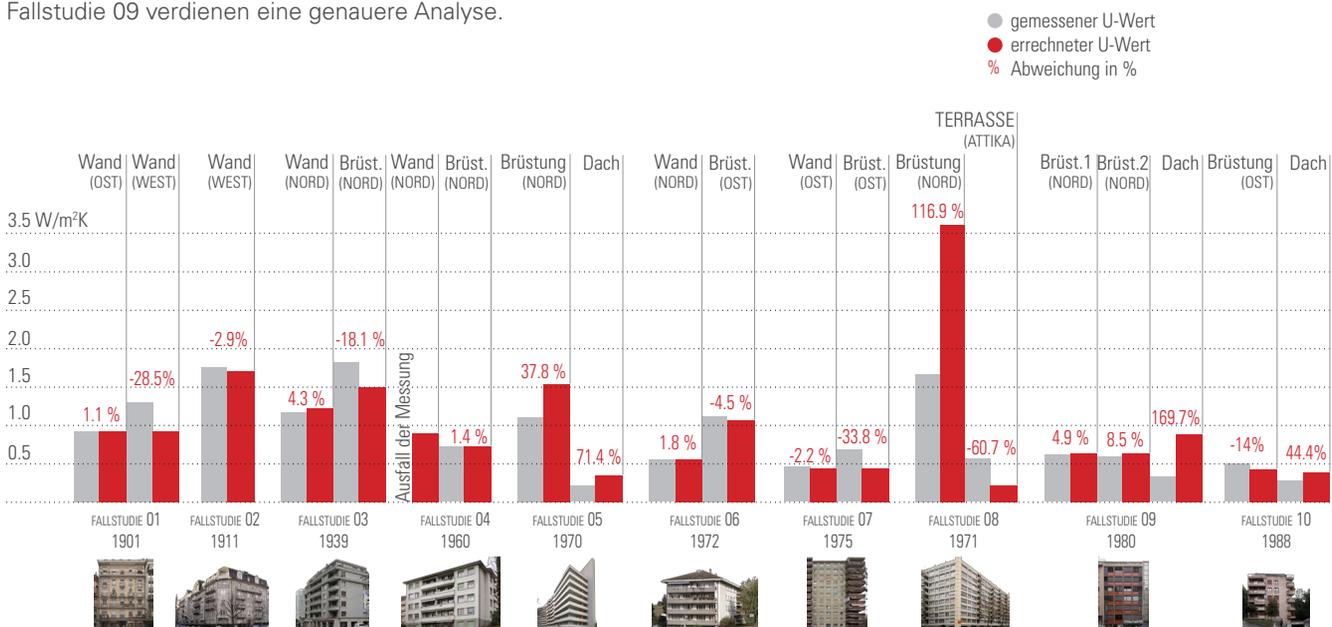
In einigen Fällen wurden Bohrungen durchgeführt, um den Aussenwandaufbau mit Hilfe eines Endoskops zu bestimmen und Luftschichten oder Zwischendämmungen zwischen massiven Bauteilen zu erkennen.

Da gemessene U-Werte eine Fehlerquelle von bis zu 15 % enthalten können, werden Abweichungen unter 15% als unbedeutend angesehen. Dies betrifft zehn von 19 Messungen. Abweichungen über 15 % können wie folgt erklärt werden:

- Ungewissheit über den realen Bauteilaufbau
- Ungewissheit bei Schichtdicken
- reale Wärmeleitfähigkeit der Bestandsmaterialien (λ -Wert)
- Ungewissheit bei Ausführungsdetails (punktuelle Wärmebrücken)

Die sehr grossen Abweichungen der Aussenwand der Fallstudie 08 und des Dach der Fallstudie 09 verdienen eine genauere Analyse.

Abb. 49 Vergleich von gemessenen U-Werten (grau) und errechneten U-Werten (rot) in W/m^2K .





Fallstudie 08. Die Brüstung besteht aus einem monolithischen Betonfertigteilelement ohne weitere Bauteilschichten bis auf einen Innenanstrich. Die Messung wurde in einem Brüstungsbereich mit ausgeschaltetem Heizkörper durchgeführt. Mögliche Hypothesen zur Erklärung der Abweichungen sind:

- die Wärmespeicherfähigkeit (Masseneffekt - Phasenverschiebung) des Bauteils ist in der theoretischen statischen Berechnung nicht berücksichtigt. Dafür wäre eine dynamische Berechnung notwendig.
- die direkt an die Fertigteilfassadenelemente anschliessenden Querwände stellen eine Wärmebrücke dar, die dazu beiträgt, den Brüstungsbereich zu «erwärmen».
- während der Ortsbesichtigungen wurde festgestellt, dass die nichttragenden Betonfertigteilefassadenelemente eine Oberfläche voller Mikronester aus Kies und Luftblasen aufweisen. Es ist sehr wahrscheinlich, dass der Beton stark porös und der λ -Wert günstiger, als im theoretischen Modell angenommen, ist.

Ähnliche Abweichungen an mehreren Gebäuden mit monolithischen Betonaufbauten der gleichen Bauepoche wurden bei einer von der Hepia durchgeführten Messreihe im Winter 2014-15 festgestellt. Diese Beobachtungen könnten ebenfalls die grossen Abweichungen an den Brüstungen der Fallstudien 03, 05 und 07 erklären.

Die Attikaterasse weist eine grosse Abweichung auf. Das theoretische Modell basiert auf den Aussagen der Immobilienverwaltung zum kürzlich gedämmten Bodenaufbau der Terrasse. Da keine Bauteilsondierung durchgeführt werden konnte, ist es unmöglich den geplanten Aufbau mit der realen Bauausführung abzugleichen und zu prüfen, ob die gesamte Fläche gedämmt wurde. Die Messungen geben Anlass zum Zweifeln.



Fallstudie 09. Die gemessenen U-Werte des Dachs sind wesentlich besser als die theoretischen Berechnungen. Nach den Bestandsplänen ist die Stahlbetondecke des Dachs lediglich mit 5 cm Dämmung isoliert. Es ist durchaus möglich, dass die Dämmschichtdicke von Anfang an stärker war oder dass Sanierungsarbeiten durchgeführt wurden, über die wir nicht in Kenntniss gesetzt wurden. Ohne Bauteilsondierungen können keine wirklich zufriedenstellenden Erklärungen gefunden werden.

Diese Synthese und die zum Teil sehr grossen Abweichungen zwischen theoretischen und gemessenen Werten erlauben die Schlussfolgerung, dass Eingriffe in Bestandskonstruktionen und Vorprojekte zur energetischen Sanierung auf Basis theoretischer Hypothesen (Pläne, Aussagen, λ - Referenzwerte) heikel sind.

Nur Bauteilsondierungen, die Aufschluss über genaue Bauteilaufbauten und Bauteildicken geben, Materialanalysen anhand derer die Wärmeleitfähigkeit überprüft werden kann, sowie die Berücksichtigung dynamischer Parameter in den Berechnungsmodellen erlauben die U-Werte der bestehenden Bauteile wirklich zuverlässig zu bestimmen.

Anderenfalls können die Grundlagen zur Erarbeitung der Vorprojekte falsch sein und zu fragwürdigen Entscheidungen (geringere Effizienz als vorgesehen) und zu überflüssigen Ausgaben führen. Die Glaubwürdigkeit der Sanierungsmassnahmen, zu denen ermuntert werden soll, wird dadurch ernsthaft in Frage gestellt. Leider ist es sehr selten, dass Vor-Ort-Messungen und seriöse Bauteilsondierungen im Rahmen energetischer Sanierungsprojekte durchgeführt werden. Dies ist bedauerlich, da die Kosten dieser Vorarbeiten in den allermeisten Fällen in keinem Vergleich zu den Baukosten der Sanierungsarbeiten stehen.

Eingriffe in Bestandskonstruktionen und Vorprojekte zur energetischen Sanierung auf Basis theoretischer Hypothesen sind heikel.

WÄRMEBILANZEN DER SZENARIEN

Für jedes Gebäude konnte ein Sanierungsszenario entwickelt werden, das den SIA 380/1 Grenzwert für den Heizwärmebedarf erfüllt. Allerdings haben nur drei Gebäude diesen Grenzwert im ersten Szenario erreicht. Im Fall der sieben anderen Gebäude waren zusätzliche Dämmmassnahmen notwendig, die zum Teil grosse Auswirkungen auf die architektonischen Qualitäten des Gebäudes haben [siehe Fallstudien 03, 10] oder wesentlich höhere Baukosten verursachen [siehe Fallstudien 02, 04, 05, 07].

Allerdings ist auch bei den ursprünglichen Szenarien, die den Grenzwert nicht erreichen, der Energiegewinn aus energetischer Sicht nicht zu vernachlässigen. In allen Fällen werden mindestens 68 % bis 88 % der von der SIA-Norm 380/1: 2009 geforderten Gewinne erreicht, oft mit geringeren architektonischen und finanziellen Auswirkungen.

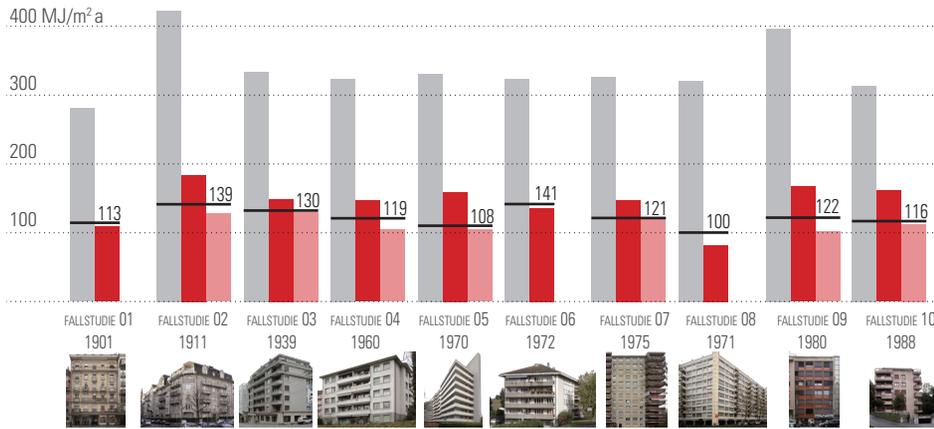


Abb. 49 Darstellung des «errechneten» Heizwärmebedarfs Q_h des Bestands (grau) und des «errechneten» Heizwärmebedarfs Q_h der Sanierungsszenarien (rot) in MJ/m²a.

- Heizwärmebedarf Q_h (Bestand)
- Heizwärmebedarf Q_h (● Szenario 1 – ● Szenario 2)
- Grenzwert $Q_{h,li}$ für Umbauten gemäss Norm SIA 380/1:2009

Zum Teil sind die Mehrkosten für einige Prozent Energiegewinn unverhältnismässig, wie die Fallstudie 07 belegt. Um 17 % der im Szenario 1 fehlenden Energiegewinne auszugleichen, steigen die Baukosten um ca. 135 %. In der Fallstudie 10 ermöglicht ein Massnahmenwechsel im zweiten Szenario (Vergrösserung der SRE) den Grenzwert bei geringeren Kosten zu erreichen.

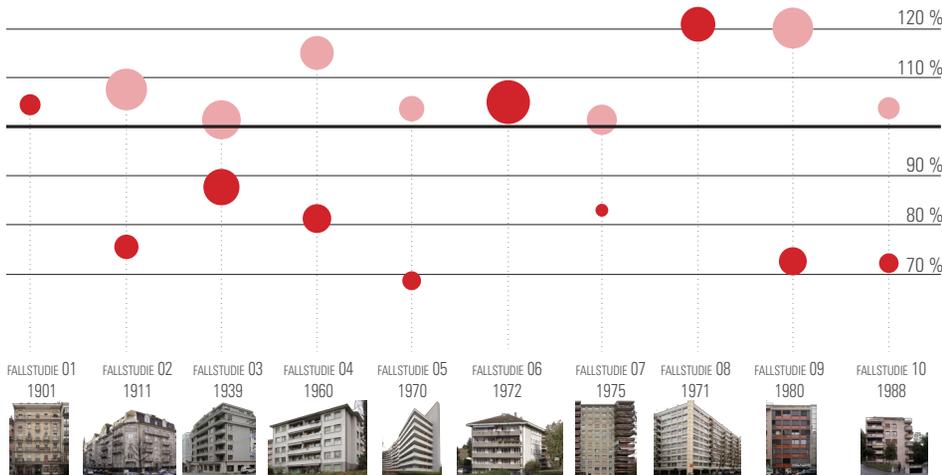
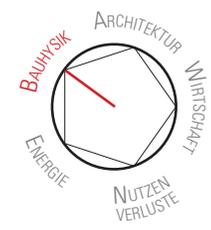


Abb. 50 Die Grafik zeigt die Abweichung des «errechneten» Heizwärmebedarfs der Szenarien im Vergleich zum Grenzwert SIA 380/1:2009. Die Kreisdurchmesser bilden die Baukosten in CHF/m² EBF ab.

- Szenario 1
- Szenario 2
- SIA 380/1:2009 Grenzwert des Heizwärmebedarfs
- Kosten in CHF m²/EBF



BAUPHYSIK UND WÄRMEBRÜCKEN

Bei einer energetischen Gebäudesanierung ist die Behandlung von Wärmebrücken unerlässlich, da diese für einen grossen Teil der Gesamtverluste durch Transmission verantwortlich sein können.

VERLUSTE DURCH WÄRMEBRÜCKEN

Lineare Wärmebrücken sind Bereiche der thermischen Gebäudehülle mit höheren thermischen Verlusten als die berücksichtigten Verluste durch die verschiedenen Bauteile. Die Verluste sind gemäss der U-Werte dieser Bauteile berechnet, unter Annahme, dass diese von einander unabhängig sind. Dies ist allerdings nicht der Fall. Die verschiedenen Bauteile sind miteinander verbunden (Anschluss Dach-Fassade oder Decke-Fassade) und diese Anschlüsse machen die Berücksichtigung eines Korrekturfaktors PSI in der Wärmebilanz notwendig. Dies ist vor allem wichtig, wenn die Wärmedämmung unterbrochen wird. Die Verluste durch einen Meter lineare Wärmebrücke können höher sein als Verluste durch eine grosse Fassaden- oder Dachfläche.

Der Wärmebrückenkatalog¹⁸ kann dazu genutzt werden, die Wärmebrücken eines Gebäudes zu bestimmen. Er umfasst eine grosse Anzahl von standardisierten Baudetails mit vorkalkulierten PSI-Faktoren entsprechend der U-Werte der verschiedenen Bauteile. Allerdings ist es mitunter schwierig dort das Detail zu finden, das der vorgefundenen Situation entspricht. Um die zusätzlichen Verluste durch Wärmebrücken so genau wie möglich zu modellieren, wird die Verwendung eines geeigneten Berechnungsprogramms (mit finiten Elementen) empfohlen. Dies erlaubt es, Geometrie und Baumaterialien entsprechend der realen Baudetails zu berücksichtigen.

Die analysierten Sanierungsszenarien zeigen, wie wichtig es ist, Wärmebrücken zu berücksichtigen. Dies ist vor allem der Fall bei Gebäuden der 70er Jahre [siehe Fallstudien 07 und 08], bei denen die Innendämmung der Fassaden ersetzt oder ergänzt wird. Unterbrechungen der Wärmedämmung aufgrund der zahlreichen Geschossdecken und Zwischenwände stellen 38 % der Verluste durch die Gebäudehülle dar [siehe Abbildung 51]. Hingegen hat ein Gebäude mit Baujahr 1910, bei dem eine Innendämmung zum Einsatz kommt, weniger Verluste durch Wärmebrücken [siehe Fallstudie 02]. Besondere Massnahmen wie die Flankendämmung der Zwischenwände, Böden und Decken verbessern die Situation etwas, sind aber oft schwierig umzusetzen (Ästhetik, Platz, Kosten). Die Sanierungsszenarien mit Aussenwärmedämmung [siehe Fallstudien 04 und 06] verringern diese Art von Verlusten, vor allem wenn diese pro m² Gebäudehülle ermittelt werden [siehe Abbildung 51]. Dennoch bleiben die Verluste hoch. Tatsächlich beschränken die zahlreichen Zwänge bei der Bauausführung die perfekte Kontinuität der Dämmschicht. In diesem Fall können Lösungen gefunden werden, um verhängnisvolle Auswirkungen der verbleibenden Wärmebrücken, wie Balkone, zu reduzieren. Häuser in Reihen- und Blockbebauung haben mit 9 % bis 10 % wesentlich geringere Wärmebrückenverluste [siehe Fallstudien 01 und 09].

18 INFOMIND SÄRL, *Wärmebrückenkatalog*, Bundesamt für Energie BFE, Bern, 2002.

Zahlreiche Zwänge bei der Bauausführung beschränken die perfekte Kontinuität der Dämmschicht und sind je nach Fallstudie für ca. 15% der Verluste durch Wärmebrücken verantwortlich.

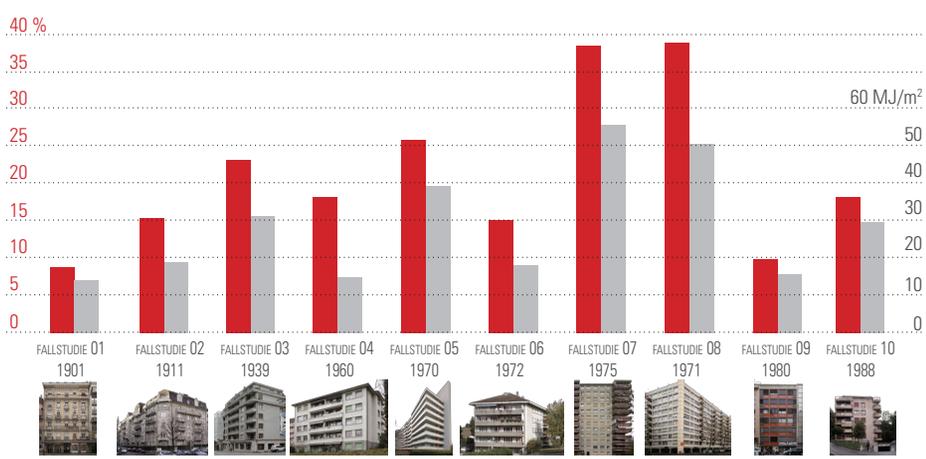


Abb. 51 Darstellung der Wärmebrücken für jedes Szenario, das den SIA 380/1:2009 Grenzwert erreicht (ohne Berücksichtigung der Lüftungsverluste).

- Anteil der Verluste durch Wärmebrücken in % (ohne Lüftungsverluste)
- Verluste durch Wärmebrücken der Gebäudehülle (ohne Lüftungsverluste) in MJ/m²

Mehrere Fälle wurden erarbeitet und analysiert. Der Ersatz der Balkone durch selbsttragende, von der Fassade unabhängige Elemente reduziert beachtlich die Verluste und beseitigt die Wärmebrücke der Balkone [siehe Fallstudie 06]. In anderen Fällen wurden Flankendämmungen ober- und unterhalb der Balkonplatten gewählt [siehe Fallstudien 04, 05]. Diese Massnahme reduziert die Wärmebrücken der Balkone, um den Anforderungen der Norm SIA 380/1: 2009 zu genügen und hat einen grossen Einfluss auf die Wärmeverluste (ca. 20 % in der Fallstudie 05). Mitunter wurden Balkone in Loggien umgebaut und in die beheizte Fläche integriert [siehe Fallstudie 10]. Dies hat den doppelten Effekt, die Energiebezugsfläche zu vergrössern und die Wärmebrücken der Balkone mit Hilfe einer Aussenwärmedämmung zu entfernen.

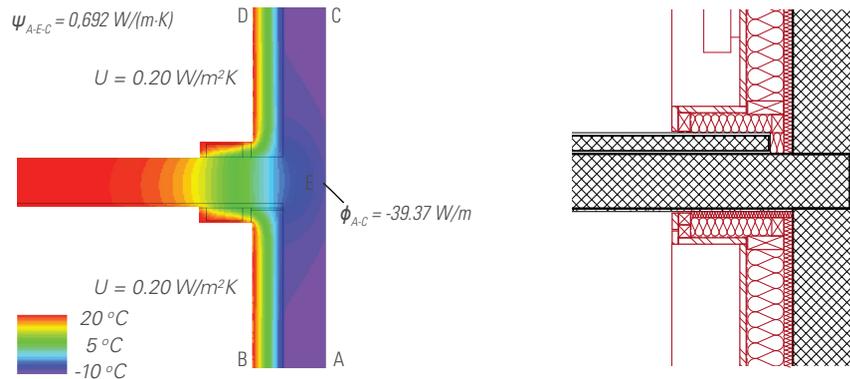


Abb. 52 Temperaturverteilung im Anschluss der Geschossdecke an die Aussenwand im Fallbeispiel 07, Szenario 2.

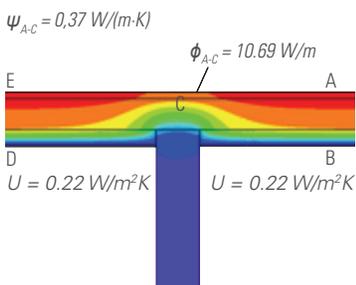


Abb. 53 Temperaturverteilung im Anschluss der Zwischenwände im Untergeschoss an die Untergeschossdecke in Fallstudie 03.

Innendämmungen der Fassaden sind in der Regel im Bereich der Geschossdecken unterbrochen [siehe Fallstudie 07, Abbildung 52]. Flankendämmungen an Boden und Decke reduzieren die Wärmebrücken. Im Vergleich zu den errechneten Verlusten einer Aussenwand mit einem U-Wert von 0,2 W/(m²K) über die gesamte Fläche liegen die zusätzlichen Verluste bei 0,69 W/(mK).

Die unterseitige Dämmung der Decke zu unbeheizten Räumen wird meistens durch Zwischenwände unterbrochen [siehe Fallstudie 03, Abbildung 53]. In dieser Fallstudie verursachen die zahlreichen Zwischenwände des Untergeschosses zusätzliche Wärmeverluste von 0,37 W/(mK). Diese Unterbrechungen der Wärmedämmung sind für ca. 45 % der Gesamtverluste durch die Decke verantwortlich.

Abgesehen von den Balkondeckenplatten, haben sich auch Storenkästen, sowie der Anschluss zwischen neuen Fensterrahmen und Bestandsfassaden als problematisch herausgestellt. Mit einer besonderen Sorgfalt bei der Anschlussdämmung an Fensterrahmen und zwischen Rahmen und Wand konnten diese heiklen Details, die in der Realität leider meistens vernachlässigt werden, gelöst werden [siehe Kapitel über Oberflächenfeuchtigkeit]. Storenkästen wurden im besten Fall entfernt und durch an den Balkonplatten aussen angebrachte Stoffstoren ersetzt [siehe Fallstudie 05]. Manchmal wurden neue, orientierbare Lamellenraffstoren in der Aussenwärmedämmung [siehe Fallstudie 01,06] oder der neuen Fassade integriert [siehe Fallstudie 09]. Diese Massnahmen garantieren eine optimale Saniierung dieser Bauteile. In anderen Fällen wurde die Einbringung einer Dämmung in die bestehenden Storenkästen [siehe Fallstudie 03], die Überdämmung der innenliegenden Storenkästen [siehe Fallstudie 10] oder der Ersatz durch neue gedämmte Storenkästen [siehe Fallstudien 04,07,08] im Detail untersucht, um die Wärmeverluste dieser Bauteile zu reduzieren und vor allem um eventuelle Kondensationsrisiken weitgehend zu vermeiden.

OBERFLÄCHENFEUCHTE

Schwachstellen der Wärmedämmung und geometrische Wärmebrücken können relativ niedrige Oberflächentemperaturen der Innenflächen verursachen. Dies kann zum Auftreten von Kondensation und Schimmelbildung führen. Je nach geographischer Lage des Gebäudes definiert die Norm SIA180: 2014 einen Wert für den minimalen Oberflächentemperaturfaktor (fRsi), über dem das Kondensationsrisiko ausgeschlossen ist, sofern der tägliche Mittelwert der relativen Innenraumluftfeuchte eine vorgegebene Grenze nicht überschreitet. Schwierigkeiten bei der Ausführung (nicht konforme Bauausführung) oder eine unangemessene Nutzung der Bewohner (übermässige Feuchtigkeitsproduktion) sind in dieser Berechnung nicht berücksichtigt. Ein fRsi Wert höher oder gleich 0,72 ist erforderlich, um die Konformität des Baudetails auf dem Westschweizer Plateau zu garantieren. Ein niedrigeres Ergebnis bedeutet nicht automatisch Kondensation oder Schim-

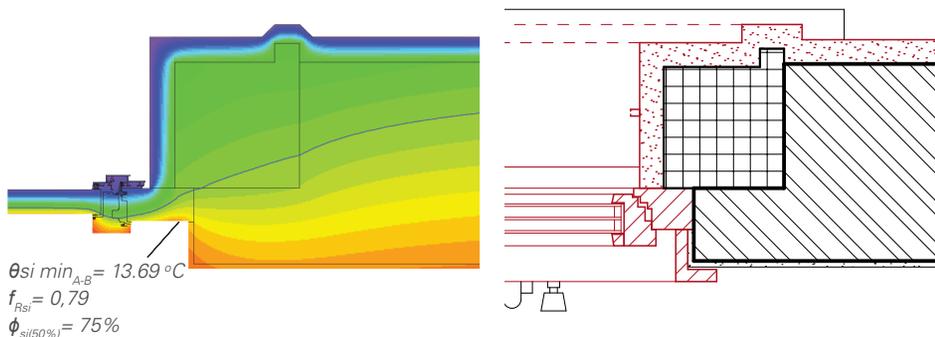
Schwachstellen der Wärmedämmung können relativ niedrige Oberflächentemperaturen verursachen und zum Auftreten von Kondensation und Schimmelbildung führen.

melbildung, allerdings können in diesem Fall Ingenieure und Architekten verantwortlich gemacht werden. Eine Sanierungsmassnahme zur energetischen Verbesserung der Gebäudehülle löst nicht immer das Problem zu niedriger Oberflächentemperaturen. Zum Teil können sogar neue Probleme auftreten. Es ist deshalb wichtig, Wärmebrücken sowohl unter thermischen als auch hygrometrischen Gesichtspunkten zu analysieren.

Das verwendete Programm (Flixo Energy) berechnet die Temperaturverteilung im Modell und kann daraus einen fRsi Wert in Abhängigkeit von der Oberflächentemperatur und den Innen- und Aussentemperaturen ableiten. Aussenecken (Typ Decke – Fassade oder Fassade – Dach) sind im Allgemeinen besonders zu beobachten. Die im Vergleich zur Innenfläche grössere Oberfläche der Aussenseite benötigt eine besondere Sorgfalt im Anschluss der Dämmung.

Unterbrechungen der Wärmedämmung durch Geschossdecken, Balkone oder Innenwände müssen ebenfalls untersucht werden. Flankendämmungen [siehe Fallstudien 07, Abbildung 52] bieten oft eine Lösung. Die Länge der Flankendämmung hat üblicherweise einen grösseren Einfluss auf den fRsi Wert als die Dicke.

Die Unterbrechung der Wärmedämmung bei einer Fassade mit aussenliegendem Dämmputz und einer oberseitig gedämmten letzten Geschossdecke zum unbeheizten Dachraum verursacht relativ niedrige Oberflächeninnentemperaturen im Anschlussbereich [siehe Fallstudie 03, Abbildung 54]. Die ursprünglich definierten Sanierungsmassnahmen sind nicht konform mit den Empfehlungen der Norm SIA 180: 2014, da der fRsi Wert unter 0,72 liegt. Die Situation konnte mit einer innenseitigen, ausreichend langen Flankendämmung im Bereich von Wand und Decke korrigiert werden.



Bei innenliegenden Storenkästen hängt der fRsi-Wert stark von der Befestigung des Fensterrahmens und der Lage der Dämmung ab. Durch eine auf der gesamten Länge angebrachte Dämmung im unteren Bereich des Storenkastens konnte die Oberflächentemperatur im Anschlussbereich von Rahmen und Kasten auf einen akzeptablen fRsi Wert angehoben werden.

Bei zahlreichen analysierten Sanierungsszenarien ist der Anschluss der Fenster an die Aussenwand kritisch. Die Oberflächentemperaturen der Innenecke zwischen Rahmen und Wand sind verhältnismässig niedrig. Im Fall einer Aussendämmung kann eine Leibungsdämmung bis zum Fensterrahmen dieses Problem in der Regel lösen [siehe Fallstudie 03, Abbildung 56]. Soll jedoch das ursprüngliche Erscheinungsbild der Leibungen erhalten bleiben, müssen alternative Lösungen gefunden werden. Verschiedene Versuche haben gezeigt, dass eine gegen einen Teil des Fensterrahmens von innen angebrachte Dämmung niedrigere Oberflächentemperaturen erzeugt als dies beim nicht gedämmten Teil der Fall ist. Eine Dämmung zwischen Fensterrahmen und Aussenwand verbessert die Situation [siehe Fallstudie 02, Abbildung 57].

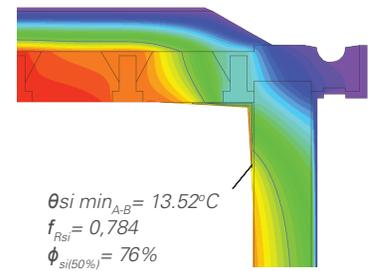
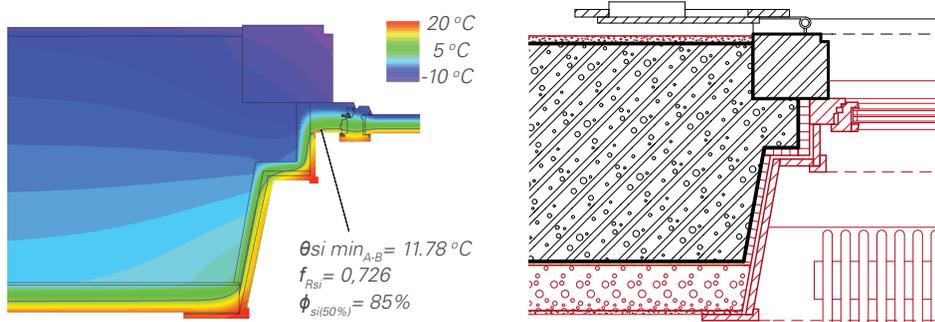


Abb. 54 Temperaturverteilung im Anschluss der obersten Geschossdecke an die Fassade in Fallstudie 03.

Abb. 56 Temperaturverteilung im Leibungsbereich der Fallstudie 03. Die Leibungen aus Naturstein wurden wie die Fassaden mit Dämmputz verkleidet.

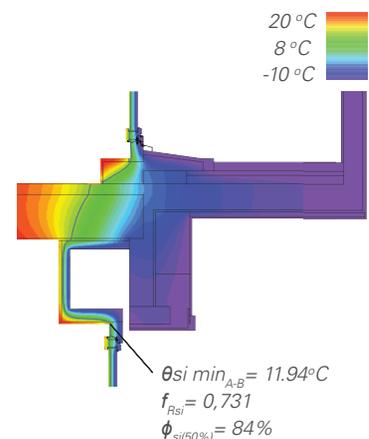


Abb. 55 Temperaturverteilung im Storenkasten der Fallstudie 04.

Abb. 57 Temperaturverteilung im Leibungsbereich der Fallstudie 02. Die Natursteinleibungen bleiben erhalten. Eine 3 bis 5 cm starke Dämmung zwischen Fassade und Rahmen garantiert akzeptable Oberflächentemperaturen im Anschlussbereich.

Bei jedem Sanierungsszenario muss überprüft werden, ob die verschiedenen Bauteile keine Dampfdiffusionsprobleme aufweisen.

Es ist illusorisch zu glauben, dass der fachgerechte Einbau einer luftdichten Dampfbremse unter schwierigen Baustellenbedingungen, insbesondere bei Umbauten, den Anforderungen dauerhaft genügen kann.

RISIKEN DURCH FEUCHTE IM BAUTEIL

Einige Konstruktionsdetails können, wenn der Wasserdampfdruck höher als der Dampfsättigungsdruck ist, ein Kondensatrisiko im Inneren des Bauteils zwischen den verschiedenen Bauteilschichten aufweisen. Mit der Glaser-Methode (ISO13788) kann überprüft werden, ob die verschiedenen Bauteile eines Gebäudes Dampfdiffusionsprobleme aufweisen. Bei den im Rahmen dieses Projekts analysierten Sanierungsszenarien wurde ein besonderes Augenmerk auf Gebäude mit Innendämmungen gelegt [siehe Fallstudien 07, 08, 02]. Zwei unterschiedliche Eingriffsstrategien kamen zum Einsatz. Während im ersten Fall eine innenliegende Mineralwolldämmung mit Dampfbremse zum Einsatz kommt [siehe Fallstudien 07, 08], werden beim zweiten, ohne Dampfbremse gelösten Fall mineralische Innendämmplatten mit einem aussenliegenden Dämmputz kombiniert [siehe Fallstudie 02]. Im ersten Fall ist die Ausführung einer kontinuierlichen Dampfbremse nach den anerkannten Regeln der Technik nur schwer zu erreichen [siehe Kapitel Grenzen einer Innendämmung]. Eine solche ist allerdings beim Einbau grösserer Dämmschichtdicken unerlässlich. Beim Einsatz von spezifischen dampfdiffusionsoffenen mineralischen Dämmplatten kann im zweiten Fall auf eine Dampfbremse verzichtet werden, wobei die Dämmstärke manchmal auf um die 10cm beschränkt ist, bevor ein mögliches Kondensatrisiko auftritt.

Die in diesem Forschungsprojekt zur Verfügung stehenden Mittel erlauben es nicht, die Problematik vollständig zu analysieren. Lesosai beschränkt sich in der Tat auf Bauteile. Komplexere Bereiche wie Bauteilanschlüsse benötigen spezifische Programme (zum Beispiel WUFI) um Probleme sicher ausschliessen zu können. Konstruktionsdetails wie der Auflagerbereich von Holzbalkendecken [siehe Fallstudie 02] bergen ein Schädigungsrisiko durch Feuchtigkeit im Bereich der Balkenköpfe^{19–20}. Da die Ausführung einer kontinuierlichen Dampfbremse in diesem Fall sehr schwierig ist, wäre eine dynamische Berechnung, basierend auf einem dreidimensionalen Modell, notwendig.

GRENZEN EINER INNENDÄMMUNG

Die Ausführung einer Innendämmung ist heikel. Je stärker und effizienter eine Innendämmung ist, umso stärker wird die dahinterliegende Wandtemperatur abgesenkt, da diese nicht mehr von der Wärme des Innenraums profitieren kann. Der Wasserdampf, der die Wärmedämmung durchquert und auf diese kalte Oberfläche trifft, kondensiert und verwandelt sich in Wasser. Kann dieses Wasser nicht abtrocknen, können sensible Materialien, zum Beispiel Holzbalkenköpfe [siehe Fallstudien 01, 02] Schaden nehmen. Bei diesen Bedingungen ist auch Schimmelbildung möglich.

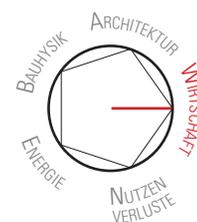
Der Dampfdurchgang kann mit dem Einbau einer Dampfbremse vermindert werden. Allerdings benötigt der Einbau der Folien (Polyamid und Polypropylen) das nötige Fachwissen und eine grosse Sorgfalt. Die Folien müssen untereinander und auf verschiedenen Untergründen (Decken, Balken...) mit speziellen Hochleistungsklebebandern luftdicht verklebt werden. Ausserdem darf diese Schicht während der Baustelle und danach nie durchbohrt werden. Es ist schwierig und unrealistisch zu glauben, dass diese Anforderungen unter Baustellenbedingungen und besonders bei Umbauten vollständig eingehalten werden. Die Lebensdauer der Klebebander, für die die Hersteller im Allgemeinen keine Langzeitgarantien geben, ist beschränkt und langfristig besteht eine hohe Wahrscheinlichkeit, dass der Dampfdurchgang mit den bekannten Kondensatrisiken erleichtert wird.

Schlagregen und in Bauteile kapillar eindringende Feuchtigkeit müssen ebenfalls berücksichtigt werden. Der Einsatz dynamischer Berechnungsprogramme ist unerlässlich, um diese Situationen zu überprüfen.

Eine vom Büro Gartenmann Engineering SA in der Nr. 19 der SIA Zeitschrift Tracés vom 5. Oktober 2011 veröffentlichte Studie gibt der Verwendung von 6 bis 8 cm starken dampfdiffusionsoffenen mineralischen Innendämmplatten oder Kalziumsilikatplatten wegen der grossen Trocknungskapazität und dem dampfbremsenfreien Einbau den Vorzug.

19 MAUGARD, Alain, «Pathologie des risques liés à l'humidité au niveau des poutres encastrées dans un mur extérieur isolé par l'intérieur», Programme d'accompagnement des professionnels «Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012», septembre 2013.

20 GAUTHIER, Frank, «Poutres encastrées et isolation intérieure», *Qualité construction*, 142 (37 à 39), janvier 2014.



WIRTSCHAFTLICHE ASPEKTE

Angesichts der Höhe der Investitionskosten ist die Kostenfrage bei jedem energetischen Sanierungsprojekt massgebend, besonders im Mietwohnungsbau. In den meisten Fällen werden die Heizkosten direkt von den Mietern gezahlt und Energieeinsparungen bringen dem Besitzer, der die Baukosten aufbringen muss, keinen direkten Gewinn. Sanierungskosten auf die Miete umzulegen ist oft problematisch. Daher zeigen verständlicherweise viele Immobilienbesitzer nur wenig Interesse an energetischen Sanierungsprojekten.

Die vorliegende Studie sucht die richtige Balance zwischen energetischen Anforderungen, dem Erhalt des architektonischen Charakters, dem Nutzwert und wirtschaftlichen Einschränkungen. Um eine globale Sicht auf die Problematik zu erhalten und die Szenarien zu vervollständigen, ist die Ermittlung der Baukosten unerlässlich.

Die für alle analysierten Szenarien ermittelten Baukosten (Finanzierungskosten ausgeschlossen) ermöglichen es, die erwarteten energetischen Einsparungen den notwendigen Investitionen gegenüberzustellen, finanzielle Aspekte der verschiedenen Szenarien zu vergleichen und die wirtschaftliche Machbarkeit der im Hinblick auf die Wahrung des architektonischen Charakters gewählten Lösungen, im Vergleich zu heute allgemein verwendeten Wärmedämmverbundsystemen zu sehen.

Ziel ist es, die wirtschaftliche Machbarkeit der gewählten, den architektonischen Charakter wahren den Lösungen den heute üblichen Wärmedämmverbundsystemen gegenüberzustellen.

METHODE

Die Baukosten der Szenarien wurden in Form eines Kostenvoranschlags mit der Methode Baukostenplan Hochbau (eBKP-H) der schweizerischen Zentralstelle für Baurationalisierung (CRB) gemäss der Norm SN 506 511 ermittelt. Die Hauptgruppen (A. Grundstück, B. Vorbereitung, C. Konstruktion Gebäude, D. Technik Gebäude, usw.) unterteilen sich in Elementgruppen (C1. Bodenplatte, Fundament, C2. Wandkonstruktion, C3. Stützenkonstruktion, usw.) und diese in Elemente (C1.1 Kanalisation Gebäude, C1.2 Abdichtung, Dämmung Bodenplatte, C1.3 Einzelfundament, Streifenfundament, usw.). Die Liste der vorgeschlagenen Elemente der eBKP-H Methode ist nicht vollständig und kann für jedes Bauprojekt angepasst und ergänzt werden.

Für jedes Element wurden Mengenangaben ermittelt. Übliche Einheiten sind Quadratmeter (m²) für Dach-, Decken-, Fassadenflächen, usw., laufende Meter (m¹) für die Länge der Geländer, Spenglerarbeiten, Flankendämmungen oder Stückzahlen (Stck) für fertig auf die Baustelle gelieferte Elemente wie Fenster, Türen, Heizkörper, usw.

Ein Einheitspreis in CHF (inklusive MWST) wird jedem Element zugeordnet. Im Rahmen der vorliegenden Studie wurden die Einheitspreise auf drei Arten festgelegt:

- Erfahrungswerte von in der Sanierung tätigen Architekturbüros der Westschweiz.
- Kataloge und Serienpreise (zum Beispiel, «Série de prix indicatifs pour travaux du bâtiment et génie civil», die alle zwei Jahre von der «Fédération vaudoise des entrepreneurs – FVE» herausgegeben werden).
- Firmenangebote, vor allem für spezifische Elemente (Metallfassade, vorgefertigte Kasten-elemente, Fenstersatz gemäss Bestandsfenster, usw.).

Die Elementkosten wurden ohne Rücksicht auf die geographische Lage des Modells vereinheitlicht. Ein auf jedes Element angewendeter Faktor ermöglicht die Einheitskosten je nach Ausführungskomplexität zu gewichten. Der Faktor 1 wird bei Standardausführungen verwendet. Faktoren grösser als 1 kommen zum Einsatz, wenn die Ausführungskomplexität hoch ist und umgekehrt.

Einige Arbeiten, die aufgrund des Eingriffs nicht vermieden werden können, jedoch als periodische Unterhaltsarbeiten angesehen werden, wurden bei der Kostenermittlung mit einem Faktor kleiner als 1 integriert. Zum Beispiel bedingt ein Fensterersatz in aller Regel Malerarbeiten und meist nutzt der Besitzer die Gelegenheit, um den ganzen Raum oder sogar die ganze Wohnung neu zu streichen. Diese Arbeiten gehören jedoch zu den gewöhnlichen Unterhaltskosten. In diesem Fall wurde das Streichen der gesamten Wohnung in die Kosten integriert, jedoch je nach Ausgangslage mit einem Faktor von 0,6 bis 0,8 versehen. Das gleiche gilt für Küchen und Sanitärbereiche, die aufgrund von Innendämmmassnahmen ersetzt werden müssen.

Die Elemente wurden zu Analysezielen zu Familien zusammengefasst (Fassade, Dach, Decke gegen Erdreich oder Untergeschoss, Attika, usw.). Die Bauteilelementkosten jedes Szenarios wurden durch indirekte Kosten ergänzt (Planungskosten, Kostenreserve, administrative Kosten), um die Gesamtsumme zu definieren. Die Gesamtsumme auf den Datenblättern der Fallbeispiele entspricht den dort abgebildeten Baudetails.

ENERGETISCHE SANIERUNGSKOSTEN

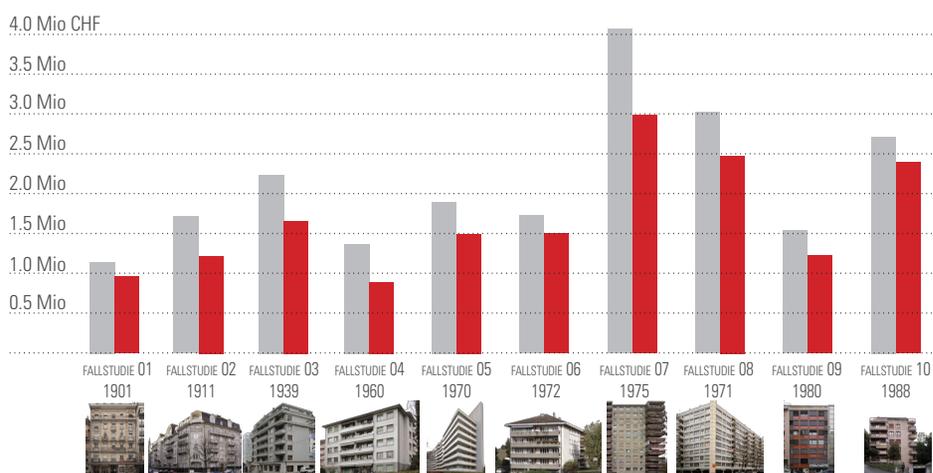
Bei der wirtschaftlichen Analyse einer energetischen Sanierung müssen nur die zu Energieeinsparungszwecken verwendeten Baukosten berücksichtigt werden. Unterhaltskosten und gewöhnliche Auffrischungsarbeiten, die über kurz oder lang im Rahmen des Gebäudeunterhalts und zur Werterhaltung der Immobilie notwendig sind, gilt es auszuschliessen. Mangels einer klaren und anerkannten Methode zur Kostenverteilung zwischen Sanierung, Unterhalt und nicht energetischen Modernisierungsmassnahmen wurden in der vorliegenden Studie einige Elemente bei der Analyse des finanziellen Aufwands der vorgeschlagenen Massnahmen nach eigenem Ermessen weggelassen.

Diese kollateralen Kosten wurden bei der Kostenberechnung der Szenarien getrennt behandelt und von den rein energetischen Sanierungskosten ausgeschlossen. Dies betrifft vor allem folgende Elemente:

- restliche Malerarbeiten in den Wohnungen und Ersatz von Küchen und Sanitärräumen.
- Ersatz der Stoffstoren.
- Unterhalt der Fenster und Fensterläden (Ersatz von Dichtungen und Beschlägen, Einstellungen, Anstrich, usw.).
- Reinigung der Putzfassaden.
- Abdichtungen auf Flachdächern.

Abb. 58 Die Grafik zeigt die Gesamtsanierungskosten (in grau) im Vergleich mit den ausschliesslich energetischen Sanierungskosten (in rot).

- Gesamtsanierungskosten in CHF
- ausschliesslich mit der energetischen Sanierung verbundener Kostenanteil



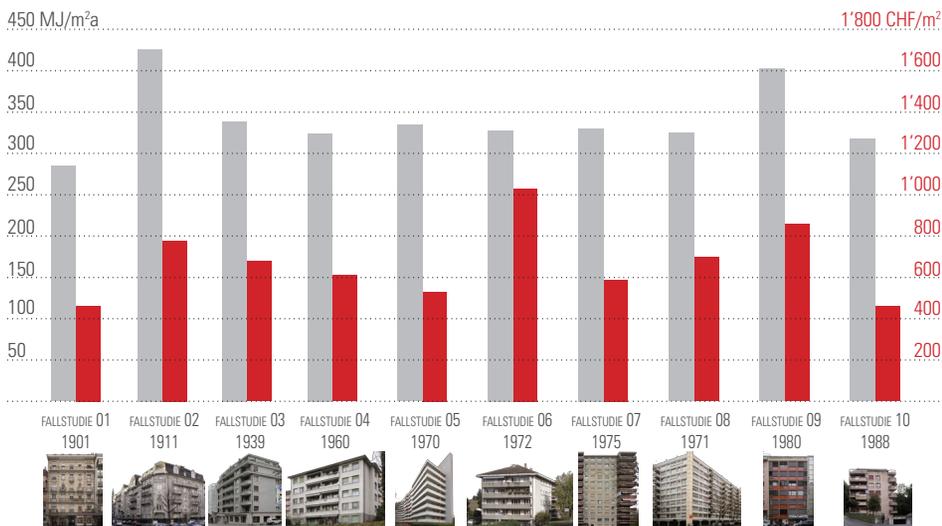
Im Durchschnitt stellen die ausschliesslich energetischen Sanierungskosten der gewählten Szenarien 75 % der Gesamtkosten dar. Ohne andere Angaben basieren die Kosten und vorab gezeigten Analyseverhältnisse auf den unter Ausschluss gewöhnlicher Sanierungsarbeiten berechneten Sanierungskosten. Dies kann Abweichungen zwischen den vorliegenden Analyseverhältnissen und den Datenblättern der Fallstudien erklären.

Normalerweise werden Kosten pro Quadratmeter Energiebezugsfläche (EBF) betrachtet. Im Allgemeinen sind die notwendigen Investitionskosten zum Erreichen der energetischen Grenzwerte der Norm SIA 380/1:2009 hoch, da nur umfassende und meist kostenintensive Massnahmen (Fensterersatz, Dämmung geschlossener Flächen, usw.) die aktuellen Anforderungen erfüllen.

KOSTEN IM BEZUG AUF DEN ENERGIEVERBRAUCH DES BESTANDS

Die analysierte Gebäudeauswahl zeigt keinen Zusammenhang zwischen Erbauungsperiode und Kosten der energetischen Sanierung. Hingegen besteht eine gewisse Verbindung zwischen dem Heizenergieverbrauch vor der Sanierung und den Sanierungskosten. Weist

ein Gebäude einen hohen Energieverbrauch vor der Sanierung auf, so sind die Sanierungskosten pro m² EBF proportional höher. Die Korrelation der beiden Werte ist allerdings nicht besonders hoch (Korrelationskoeffizient ca. 0,4 – perfekte Korrelation bei 0 und totale Dekorrelation bei 1), da die Kosten nicht ausschliesslich mit energetischen Sanierungsmassnahmen verbunden sind, sondern von den architektonischen, geometrischen und baukonstruktiven Eigenschaften des Gebäudes abhängen.



Die Kosten sind nicht ausschliesslich mit energetischen Massnahmen verbunden, sondern hängen von den architektonischen, geometrischen und baukonstruktiven Eigenschaften des Gebäudes ab.

Abb. 59 Die Grafik stellt den errechneten energetischen Energieverbrauch vor der Sanierung (in grau) den finanziellen Investitionen (in rot) gegenüber.

- berechneter Heizwärmebedarf vor der Sanierung in MJ/m²a
- Verhältnis Baukosten/EBF in CHF/m²

Mit Hilfe dieses Verhältnisses können Baukosten und Mietpreise (berücksichtigt in CHF pro m² Mietfläche, die annäherungsweise mit den m² EBF gleichgesetzt werden kann) in Verbindung gesetzt und eine eventuelle Mietanpassung aufgrund der Sanierungsarbeiten berechnet werden. Allerdings werden nicht die Ausgaben dem energetischen Gewinn gegenübergestellt und damit die Energieeffizienz der Ausgaben ermittelt. Ein Szenario kann zwar geringe Kosten pro m² EBF aufweisen, sich allerdings mittelmässig in Bezug auf die Energieeffizienz pro investiertem Schweizer Franken erweisen. Dies trifft vor allem zu, wenn der Verbrauch vor der Sanierung schon relativ nah am Grenzwert liegt.

EFFIZIENZ DER SANIERUNGSMASSNAHMEN

Um die Effizienz jedes Szenarios darstellen zu können, wurden die notwendigen Investitionen zur Einsparung eines MJ in CHF ermittelt. Diese Analyse zeigt, dass die Fallstudie 01, die im Bezug auf CHF/m² EBF am günstigsten abschneidet (31 % unter dem Durchschnitt), sich nur 10% unter dem Durchschnitt bezüglich der Kosten pro gespartem MJ befindet. Dieser Durchschnitt wurde durch die Fallstudie 06 stark erhöht. Zudem muss berücksichtigt werden, dass das Gebäude im aktuellen Zustand bereits relativ effizient ist.

Die Fallstudie 06 ist in Bezug auf CHF/m² EBF geringfügig teurer. Allerdings weist sie bezüglich der Energieeffizienz bei weitem das schlechteste Ergebnis auf.

Bei gleichen Investitionskosten pro m² EBF kann jeder ausgegebene Schweizer Franken einen sehr unterschiedlichen energetischen Effekt aufweisen. Die Effizienzanalyse erlaubt dies festzustellen und Investitionen dort zu tätigen, wo sie am lohnenswertesten sind. Aus rein energieeffizienter Sicht müsste man zuerst in die Fallstudien 05 oder 10 investieren, bevor sich um die Fallstudie 01 zu kümmern. Hätte man nur auf das Kriterium CHF/m² EBF geschaut, wäre die Entscheidung umgekehrt ausgefallen.

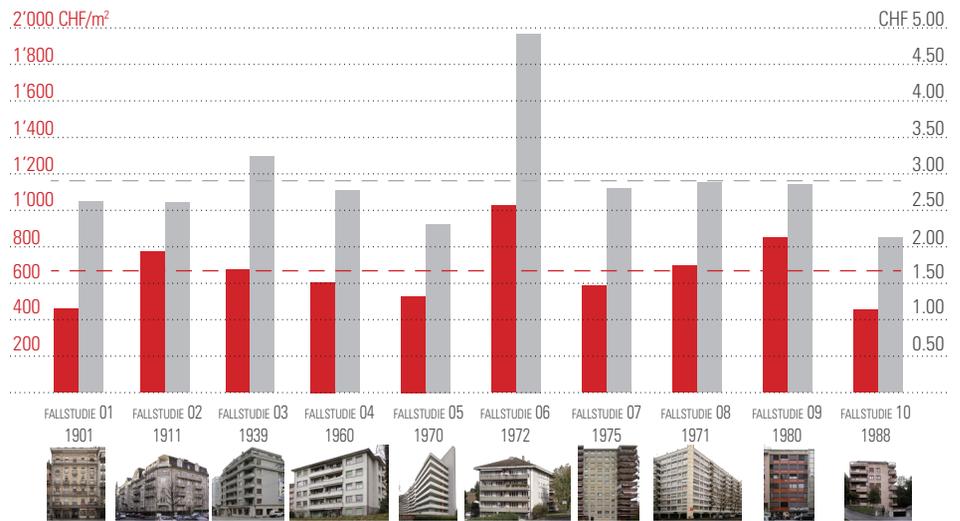
Allgemein können der Investitionsaufwand und der finanzielle Gewinn durch Energieeinsparung in Verbindung gebracht werden. Nimmt man die durchschnittlichen Kosten der zehn Fallstudien um 1 MJ/a zu sparen mit 2.91 CHF an, ergibt sich bei einem Energiepreis²¹ von 3.2ct/MJ ein Verhältnis von 90 zu 1. Das heisst eine mittlere Renditedauer von 90 Jahren. Im besten Fall (Fallstudie 10) reduziert sich die Dauer auf ca. 70 Jahre.

Gemäss der Norm SIA 480: 2004 «Wirtschaftlichkeitsrechnung für Investitionen im Hochbau» wird die ungefähre technische Lebensdauer für Heizung, Lüftung, Sonnenschutz und Dächer bei mittlerer Nutzung auf 40 Jahre geschätzt, 50 Jahre für Fenster und 70 Jahre für Fassaden. Die Rendite der vorgeschlagenen Szenarien übersteigt systema-

21 Durchschnittspreis für einen Liter Heizöl zwischen 2010 und 2015 für ein Volumen von 9'001 bis 14'000 Liter = CHF 0.91 (Quelle BFS). Ein Liter Öl entspricht ungefähr 10kWh, d.h. 36MJ. Kosten von 1 MJ = 2.5ct für den Heizbedarf, d.h. 3.2ct/MJ nach Korrektur aufgrund des Wirkungsgrads der Heizung, angenommen mit 80% (gemäss Norm SIA 380/1:2009).

Abb. 60 Gegenüberstellung der Kosten pro eingespartem MJ Heizwärmebedarf (in grau) und den finanziellen Investitionen (in rot).

- Verhältnis Kosten/EBF in CHF/m²
- Kosten in CHF pro MJ eingesparter Heizbedarf
- Mittelwert, Median



Solange der Energiepreis auf dem aktuellen Niveau bleibt, sind energetische Sanierungsprojekte weit von der Wirtschaftlichkeit entfernt und können nicht mit dem alleinigen Kriterium der Energieeinsparung finanziell begründet werden.

tisch die Lebensdauer der Bauteile. Eine detaillierte Berechnung mit Aktualisierung der zukünftigen Cashflows würde das Ergebnis nicht grundlegend ändern.

Solange der Energiepreis auf dem aktuellen Niveau bleibt, können energetische Sanierungsprojekte nicht mit dem alleinigen Kriterium einer künftigen Energieeinsparung begründet werden. Diese Schlussfolgerung muss jedoch in einem grösseren Zusammenhang gesehen werden und kann alleine kein ausreichender Grund sein, um energetische Sanierungsprojekte zu verschieben oder sogar aufzugeben.

- Die Gebäude altern. Der Altersdurchschnitt, für die zum Teil aus unterschiedlichen Bauperioden stammenden Fallstudien, beträgt 55 Jahre. In Bezug auf den Wohnkomfort und die technischen Normen entsprechen die Gebäude nicht mehr den aktuellen Standards. Möchte ein Eigentümer den Wert seines Gebäudes erhalten, bleibt ihm keine andere Wahl, als zu sanieren. Übersteigen die Eingriffe rein kosmetische Arbeiten, fordert die Gesetzgebung die Einhaltung der energetischen Grenzwerte der Norm SIA 380/1: 2009. Insofern ist die energetische Sanierung bei umfassenden Renovierungsarbeiten Pflicht.
- Der politische Druck ist gross und die Reglementierung kann von Anreizen zu Verpflichtungen übergehen oder zu immer stärkerer Besteuerung fossiler Energien führen.
- Das persönliche Bewusstsein und die Verantwortung der Eigentümer können wirtschaftliche Betrachtungen in den Hintergrund rücken und Auslöser für energetische Sanierungsprojekte sein.

ENERGIEGEWINN UND SZENARIENANALYSE

Die Analyse der verschiedenen vorgeschlagenen Szenarien der Fallstudien und deren Energieeffizienz im Vergleich zu den Investitionskosten (hier Gesamtkosten mit gewöhnlichen Unterhaltsarbeiten) ist ebenfalls interessant.

Das Diagramm [siehe Abb. 61] zeigt, zeigt, dass in einigen Fällen, verglichen mit dem den Grenzwert erreichenden Szenario, mit wesentlich geringeren Kosten bereits eine substantielle, wenn auch mit Blick auf die Norm unzureichende, Energieeinsparung erzielt werden kann. Dies ist nicht systematisch, trifft aber in Fallstudie 07 und in geringerem Ausmass in Fallstudie 02 und 03 zu.

Bei Szenarien, die sich der geforderten Energieeinsparung sehr stark annähern (90% und mehr), ist es vermutlich möglich, die Vorschriften ohne einen finanziellen Schwelleneffekt einzuhalten, indem zum Beispiel technische Installationen verbessert oder ersetzt werden.

In der Fallstudie 07 existiert dieser Schwelleneffekt. Der Unterschied zwischen Szenario 1 und 2 entsteht durch die Dämmung der Fassade, die sehr hohe Kosten verursacht. Es ist denkbar, dass die notwendige restliche Energieeinsparung (11%) durch eine Teildämmung der Fassaden erreicht werden könnte.

Im Rahmen eines realen Vorprojekts kommen noch weitere Faktoren, die in dieser Studie nicht betrachtet werden konnten, hinzu: Luftwechselrate, Effizienz der Haustechnik, usw.

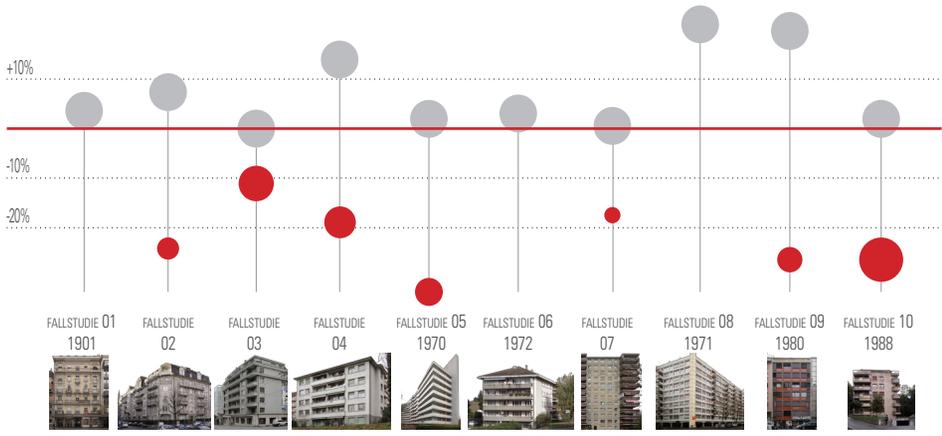


Abb. 61 Gegenüberstellung der Energieeffizienz der Szenarien und der Sanierungskosten in %. Die Grafik zeigt die Abweichung in % der realisierten Energieeinsparung im Verhältnis zum Grenzwert der SIA-Norm 380/1 (rote Linie) für jedes Szenario. Die Kreisfläche stellt den Kostenanteil im Verhältnis zum Szenario, das die Norm erfüllt, dar (grauer Kreis = 100%).

- Szenario 1
- Szenario 2
- SIA 380/1 Grenzwert für den Heizwärmebedarf
- % der Kosten im Verhältnis zum Szenario, das die Norm erfüllt

Die obenstehende Grafik illustriert wesentliche Unterschiede zwischen technischen, wirtschaftlichen und normativen energetischen Anforderungen, die sich bezüglich der Bausubstanz als unverhältnismässig herausstellen können.

Eine allgemeine Schlussfolgerung unserer Studie findet auch hier Anwendung: Jeder Fall ist besonders und verdient eine umfassende Studie bevor Standardlösungen zum Einsatz kommen, die nicht unbedingt angemessen sind.

ERHALT DES ARCHITEKTONISCHEN CHARAKTERS BEDEUTET NICHT ZWANGSLÄUFIG MEHRKOSTEN

Die Kostenermittlung der Sanierungsszenarien lässt mehrere Schlüsse zu.

Der Ansatz der Studie, architektonische Charakteristiken der Gebäudehülle bei der Sanierung zu erhalten, verursacht im Gegensatz zu bestehenden Vorurteilen keine besonderen Mehrkosten. Die bei einigen Fallstudien durchgeführte, parallele Ermittlung der Sanierungskosten einer Aussenwärmendämmung (verputztes Wärmedämmverbundsystem und Aussendämmung mit hinterlüfteter Fassade) ergab eine maximale Abweichung von 15 % und dies nicht immer im Sinn von Mehrkosten aufgrund der architektonisch respektvolleren Sanierungslösung. Die Unterschiede befinden sich im akzeptierten Abweichungsbereich für dieses Projektstadium.

Eine energetische Sanierung, mit dem Ziel die geforderten Grenzwerte der Norm 380/1: 2009 zu erreichen, bedeutet bei allen Fallstudien beachtliche Sanierungsarbeiten (Fenstertausch, Fassadendämmung, usw.) und grosse Ausgaben, die den finanziellen Aufwand gewöhnlicher minimaler Sanierungen ohne energetischen Mehrwert bei weitem übersteigen. Die Frage der Lebensdauer, der Modernisierung des Wohnungsstandards, des Mietflächengewinns bei Nachverdichtungen usw. können jedoch mit einer energetischen Sanierung verbunden werden, die in diesem globalen Sanierungsansatz völlig gerechtfertigt ist.

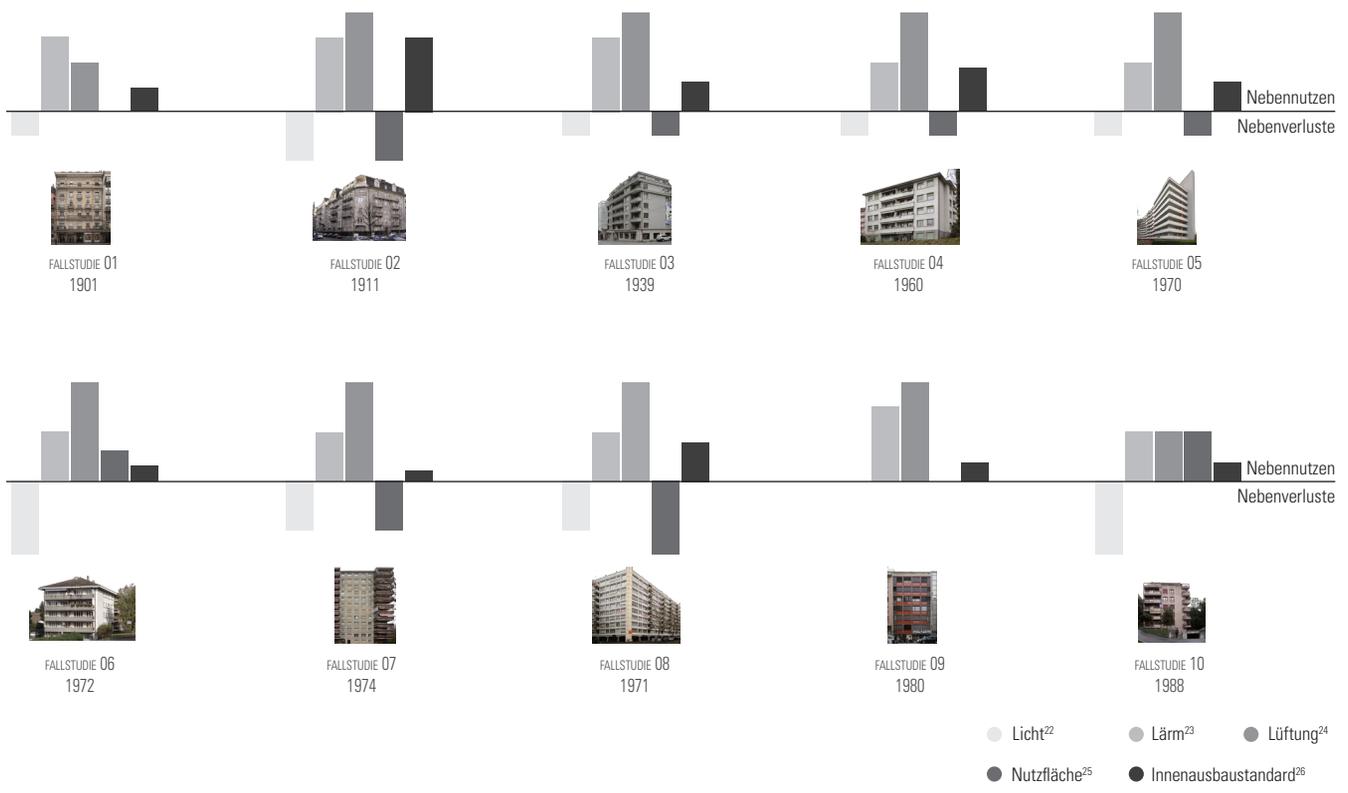
Einige Szenarien erreichen nicht die Anforderungen der Norm, nähern sich diesen jedoch, bei vergleichbar geringeren Kosten, stark an. Der finanzielle Aufwand, um die letzten Megajoules Energieeinsparung zu erreichen, erscheint sehr gross. Es wäre jedoch falsch, daraus allgemeine Schlussfolgerungen zu ziehen. In diesen Fällen ist es sinnvoll ein alternatives Szenario zu erarbeiten und auch technische Installationen oder Energiequellen zu berücksichtigen, um zu versuchen die normativen Anforderungen bei akzeptablen Kosten zu erreichen.

Der Ansatz der Studie, architektonische Charakteristiken der Gebäudehüllen zu erhalten, verursacht im Gegensatz zu bestehenden Vorurteilen keine besonderen Mehrkosten.



NUTZEN UND VERLUSTE

Eine Verbesserung der thermischen Dämmung der Gebäudehülle hat unausweichlich Konsequenzen auf die Nutzung der Räume und ihre Qualitäten. Dies können «Nebennutzen», aber oft auch unterschätzte «Nebenverluste» sein. Auch wenn diese nicht finanziell berücksichtigt werden, so wäre es doch falsch, diese im Rahmen einer Gesamtbewertung des Eingriffs zu vernachlässigen. Für jedes Sanierungsszenario wurde eine Gesamtbewertung mit den Stärken und Schwächen des Eingriffs erstellt.



Licht²²: Eine Fassadendämmung vergrössert die Leibungstiefe [siehe Fallstudien 01, 06, 07, 08], reduziert häufig die Öffnungsgrösse [siehe Fallstudien 03, 04, 06] und vermindert somit den Tageslichteintrag. Die Lage der neuen Fenster ist wichtig und kann den Lichtverlust minimieren [siehe Fallstudie 06].

Lüftung²³: Die sanierte dichtere Hülle weist durch verminderten Luftwechsel und höhere Oberflächentemperaturen einen höheren Komfort auf. Allerdings muss ein ausreichender Luftwechsel garantiert werden, um Feuchteschäden vorzubeugen, entweder durch eine kontrollierte Wohnungslüftung oder durch Fensterlüfter in der Fassade [siehe Datenblätter der Fallstudien]. Dies ist ein ganz wesentlicher Aspekt einer energetischen Sanierung der Gebäudehülle. In der Tat erweist sich eine Wohnungslüftung durch das Öffnen der Fenster oft als unzureichend, da die Nutzer häufig einen Grossteil des Tages abwesend sind und die Fenster in dieser Zeit geschlossen bleiben.

Veränderungen der Nutzfläche²⁴: Massnahmen zur energetischen Sanierung der Gebäudehülle sind manchmal mit einer Vergrösserung der Nutzfläche, mit zusätzlichen Räumen im Dachraum oder grösseren Aussenbereichen verbunden [siehe Fallstudien 06, 10]. Zum Teil können Raumaufteilungen an heutige Bedürfnisse angepasst werden. Eine Innendämmung kann aber auch die Nutzfläche der Wohnräume verkleinern [siehe Fallstudie 08]. Der Flächenverlust in der Wohnung kann aus legalen Gesichtspunkten (minimale Flächen) und im Bezug auf die Wohnungsmiete (Wertminderung) kritisch sein. In einigen Fällen kann durch den Abbruch der vorhandenen Vorsatzschale vor dem Einbau einer Innendämmung der Verlust an Nutzfläche beschränkt werden [siehe Fallstudie 07].

Abb. 62 Bewertungsgrafik der Nebennutzen und Nebenverluste gemäss fünf Kriterien für die zehn Gebäude der Fallstudien.

Auch wenn «Nebennutzen» und «Nebenverluste» nicht finanziell berücksichtigt werden, wäre es falsch, diese im Rahmen einer Gesamtbewertung des Sanierungseingriffs der Gebäudehülle zu vernachlässigen.

- 22 Kriterien Licht: keine Verringerung der Öffnungsgrösse, Erhöhung der Leibungstiefe, Verkleinerung der Öffnungsgrösse, neue Verschattungselemente (Balkone).
- 23 Kriterien Lüftung: Aufhebung / Reduzierung von Undichtigkeiten, Verbesserung der Oberflächentemperatur, keine Verbesserung.
- 24 Kriterien Nutzfläche: Vergrösserung von Innen- oder Aussenflächen, gleiche Fläche, Verkleinerung der Fläche, Reduzierung der Zimmeranzahl.
- 25 Kriterien Ausstattungsstandard: neue Bäder, neue Küchen, neue Bodenbeläge, neue Storen.
- 26 Kriterien Lärm: schalltechnische Verbesserung gegen Aussenlärm an Strassen oder im Umland, schalltechnische Verbesserung zwischen den Wohnungen.

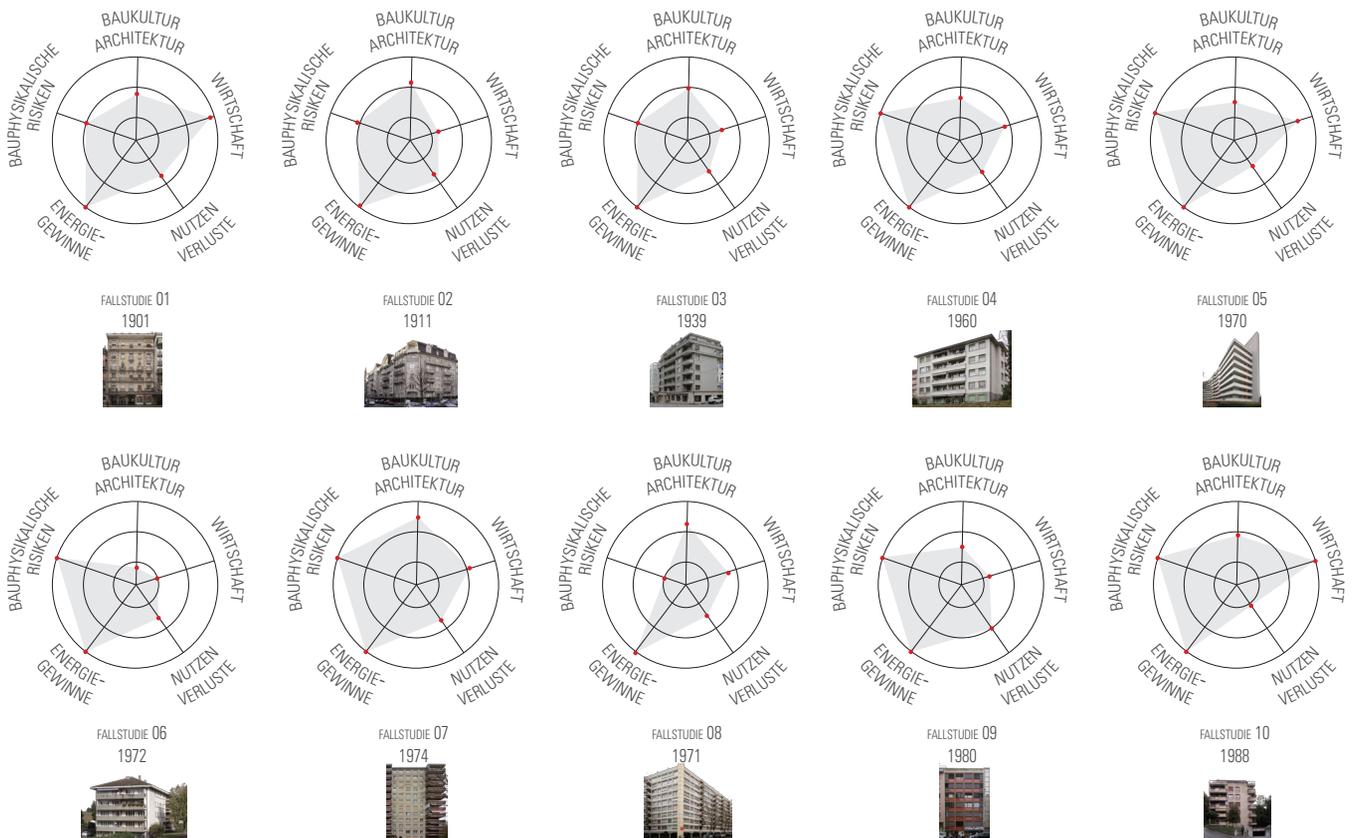
Innenausbaustandard²⁵: Der Innenausbaustandard verbessert sich durch indirekt mit der energetischen Sanierung verbundene Renovierungsarbeiten. Der Einbau einer Innendämmung bedingt manchmal neue Küchen [siehe Fallstudien 07, 08], neue Sanitärräume [siehe Fallstudie 02] oder neue Innenanstriche. Zum Teil müssen im Rahmen eines Sanierungseingriffs Storen getauscht [siehe Fallstudien 04, 07, 08, 09], eine Abdichtung oder Bodenbeläge im Aussenbereich erneuert werden. Eine gute Planung der energetischen Sanierung ermöglicht die gleichzeitige Durchführung gewöhnlicher Unterhaltsarbeiten. Die Bauarbeiten bieten auch die Möglichkeit Sicherheitsaspekte wie Geländer und Brüstungen [siehe Fallstudien 03, 04], Wohnungseingangstüren usw. an heutige Normen anzupassen.

Lärm²⁶: Der Fensterersatz, die Dämmung der Fassaden oder das Schliessen von Aussenbereichen [siehe Fallstudie 10] verbessert den Schallschutz des Gebäudes im Bezug auf den Aussenlärm. Diese schalltechnische Verbesserung nach aussen erhöht die Wahrnehmung von Installationsgeräuschen, Luftschall und Trittschall im Haus. Eine Wärmedämmung der Decke zum Dachraum, des Dachs oder der Decke über dem Untergeschoss kann manchmal den Schallschutz zwischen Wohnungen und Gemeinschaftsräumen verbessern.

EINE ALTERNATIVE ZUM «EINPACKEN»

Gibt es eine architektonisch respektvolle Alternative zum systematischen Einpacken mit Wärmedämmverbundsystemen, um den vorgegebenen Energieverbrauch zu erreichen? Sind diese Alternativen wirtschaftlich vertretbar? Welcher methodische Ansatz führt zum Ziel?

Das Forschungsprojekt eRen liefert umfassende Antworten auf die eingangs gestellten Fragen. In den zehn Fallstudien wurde in einem Fall eine Aussendämmung mit Holzverschalung vorgeschlagen, in allen anderen Fällen kamen Mischlösungen oder Innendämmungen zum Einsatz.



Für jedes Modell konnte mindestens ein Szenario erarbeitet werden, das der Norm 380/1:2009 entspricht und die erhaltenswerten architektonischen Charakteristiken der Gebäudehülle wahrt.

Aus thermischer Sicht funktioniert ein Wärmedämmverbundsystem zweifelsohne. Das Projekt eREN zeigt jedoch, dass dies nicht die einzige Lösung ist.

Dieses Ergebnis konnte nur dank einer intensiven Zusammenarbeit verschiedener Fachleute und einem Planungsaufwand, in den Gebäudeeigentümer oft nicht investieren, erreicht werden; auch wenn dieser nur einen relativ geringen Teil der Gesamtbaukosten ausmacht.

Die Kostenermittlung hat gezeigt, dass die Kosten einer energetischen Sanierung der Gebäudehülle zwar hoch sind, aber auch, dass alternative Lösungen, bei gleichzeitig grösserer Dauerhaftigkeit der Materialien und Bauteile, mit den herkömmlichen, systematisch angebrachten Wärmedämmverbundsystemen konkurrenzfähig sind.

Die Studie zeigt allerdings auch, dass die Kosten einer energetischen Sanierung der Gebäudehülle, im Vergleich zu den zu erwartenden Einsparungen durch den gesenkten Energieverbrauch, bei den aktuellen Energiepreisen sehr hoch sind.

Abb. 63 Bewertung der fünf Kriterien für jedes Sanierungsszenario, das die Norm SIA 380/1:2009 erreicht [siehe Bewertung Szenario 2 auf dem Datenblatt der Fallstudie].

BAUKULTUR – ARCHITEKTUR: [siehe Bewertungskriterien S.24].

ENERGIEGEWINNE: Grenzwert der Norm SIA 380/1 erreicht oder nicht.

BAUPHYSIKALISCHE RISIKEN: kein Risiko, heikle Details (ohne Dampfbremse), heikle Details, die eine besondere Sorgfalt bei der Ausführung benötigen (Dampfbremse), nicht gelöste Details.

WIRTSCHAFTLICHKEIT: nach Kosten/m² EBF, im Rahmen von 500 CHF/m² bis 1'400 CHF/m².

NEBENNUTZEN – NEBENVERLUSTE: Mittelwert der Nebennutzen und -verluste [siehe Bewertungskriterien S.41].

Auch wenn die energetische Sanierung häufig Teil einer Gesamtaufwertung des Gebäudes ist (Reparatur von Bauschäden, Erneuerung veralteter Bauteile, Aufwertung ungenutzter Potenziale), fehlen in vielen Fällen, in denen ein Gebäude regelmäßig unterhalten wurde oder die Möglichkeiten einer Mieterhöhung beschränkt sind, ökonomische Anreize für eine energetische Sanierung.

Die Verpflichtung, die strengen Auflagen der SIA-Norm 380/1:2009 bei einer Gebäudesanierung einzuhalten, kann sogar den gegensätzlichen Effekt haben und Eigentümer entmutigen energetische Maßnahmen zu ergreifen, die bei geringen Kosten die Situation verbessern würden, ohne jedoch den gesetzlichen Anforderungen gerecht zu werden. Die Verschärfung der Zielwerte für die Gebäudesanierung, die mit der Revision der Norm in 2009 begonnen hat und wie es aussieht weiterverfolgt wird, könnte die Diskrepanz zwischen lobenswerten Absichten und realer Sanierungsrate noch verstärken.

Eine gesetzliche Regelung, die die energetische Sanierung der Gebäudehülle kurz- oder langfristig verpflichtend vorschreibt, würde sehr hohe Kosten bedeuten, die sehr viele Eigentümer aufgrund unzureichender Sanierungsfonds nicht aufbringen könnten. Diese Herausforderung betrifft im übrigen auch öffentliche Bauherren. Man kommt nicht umhin festzustellen, dass es bei einer derart großen Aufgabe selbst an Auftragnehmern und qualifizierten Fachfirmen mangeln wird.

Diese Schlussfolgerungen scheinen sehr negativ. Allerdings nur, wenn man tatenlos zusieht. Wir sind überzeugt, dass durchaus Möglichkeiten bestehen, um dem Ziel ein Stück näher zu kommen:

- Die Gesetzgebung und Gebäudelabels, die bisher im Wesentlichen auf Neubauten ausgerichtet waren, müssen verstärkt die Besonderheiten der Sanierung des Gebäudebestands und deren Grenzen berücksichtigen. (Die im Projekt eRen erarbeiteten Hilfsmittel sind hier ein erster Schritt).
- Informationen, Anreize und Auflagen müssen auf einer langfristigen Sichtweise basieren, um der Lebensdauer der Gebäude gerecht zu werden. Der Einbezug von Spezialisten verschiedener Fachbereiche und die Berücksichtigung der Besonderheiten des politischen Systems der Schweiz sind notwendig, um Fehlschläge zu vermeiden.
- Aus- und Weiterbildungsmöglichkeiten für Fachleute, Unternehmen, Lehrlinge und Studenten in diesem Bereich müssen verstärkt werden, um in Zukunft über ausreichend qualifizierte Fachleute für anspruchsvolle Sanierungen zu verfügen.

Der Einsatz lohnt sich. Und wie dem auch sein, haben wir eine Wahl?

CHECKLISTE

Die Fallstudien zeigen Abhängigkeiten und Grenzen einer energetischen Sanierung unter Berücksichtigung von Wirtschaftlichkeit, baukonstruktiven Zwängen und dem Erhalt des baukulturellen Werts der Gebäudehüllen. Die Realisierung einer nachträglichen Wärmedämmung des Gebäudes ist nicht immer einfach. Die Konsequenzen werden allzu oft unterschätzt und angrenzende Bauteile vernachlässigt. Zahlreiche baukonstruktive Details müssen studiert und berücksichtigt werden. Trennwände auf dem Speicher erschweren zum Beispiel die einfache Auslegung einer Dämmung auf der obersten Geschossdecke. An der Kellerdecke befinden sich oft zahlreiche Haustechnikleitungen. Dies kann die Dämmschichtdicke beschränken oder die Umlegung der Haustechnikverteilung mit sich bringen. Für Unterhaltsarbeiten ist es zudem sinnvoll, dass Installationen zugänglich bleiben. Eine Aussendämmung der Fensterleibungen verringert die Öffnungsgrösse und bedingt manchmal einen Fenstersatz. Auch bestehende Sonnenschutz- und Verdunklungselemente müssen häufig angepasst oder ersetzt werden.



Diese oft indirekt mit den energetischen Sanierungsarbeiten verbundenen Massnahmen müssen frühzeitig geplant werden. Die Kosten dieser Eingriffe werden häufig bei energetischen Studien vernachlässigt. Die folgende Checkliste basiert auf den Fallstudien und zeigt, welche Bauelemente von Dämmmassnahmen betroffen sein können.

Abb. 64 und 65 von links nach rechts. Zwischenwände auf dem Estrich erschweren die Verlegung der Dämmung auf der obersten Geschossdecke, ebenso wie Installationen an der Kellerdecke.

DÄMMUNG DES DACHS ODER DER OBERSTEN GESCHOSSDECKE

zu berücksichtigen:

- Bauteilaufbauten und Dampfdurchlässigkeit (Art der bestehenden Dampfbremsen oder Unterdächer).
- vorhandene Trennwände und Abstellräume im Dachstuhl.
- vorhandene Leitungs- und Installationsführung.
- vorhandene dekorative Deckenelemente (Stuck, usw.).
- vorhandene Dachfenster, Dachgauben, Schornsteine, Lüftungsrohre oder andere Installationen, die bei einer Dachdämmung angepasst werden müssen (Seilsicherung, Antennen, Kuppeln, etc.).
- Trennwände in der Wohnung im Fall einer unterseitigen Dämmung der Geschossdecke (mögliche Schwierigkeiten beim Anschluss der Dampfbremse).
- vorhandene Deckenleuchten im Fall einer unterseitigen Dämmung der Geschossdecke.
- lichte Raumhöhe im Fall einer unterseitigen Dämmung der Geschossdecke.
- Schwierigkeiten beim Anschluss der Dampfbremse an Sparren und Mauerlatten.
- Dämmung des Dachstuhlzugangs bei einer Dämmung der obersten Geschossdecke.
- Stufenhöhe der letzten Stufe bei einer Dämmung der obersten Geschossdecke.
- Öffnung und Dämmung der Ausziehtreppe.
- bestehende Attikahöhe bei einer Flachdachdämmung.
- ausreichende Neigung von Flachdächern und Dachentwässerung.
- Dämmung von Dachaufbauten (Treppenhaus, Aufzugsüberfahrt).

DÄMMUNG DER BALKONE ODER DACHTERRASSEN

Bei einer ober- oder unterseitigen Dämmung der Balkonplatten oder Terrassen zu berücksichtigen:

- Tiefe der Loggien und Balkone und Gebrauchsfähigkeit der Aussenbereiche beim Anbringen einer Aussenwärmedämmung auf die Fassaden.
- ausreichende lichte Höhe der Aussenbereiche.
- lichte Öffnungshöhe der Fenstertüren bei Dämmungen im Sturzbereich oder Ersatz der Schwellen.
- Anpassung oder Ersatz des aussenliegenden Sonnenschutzes, zum Beispiel Stoffmarkisen.
- Brüstungs- und Geländerhöhen (minimum 100 cm oder 90 cm wenn $b > 20$ cm).
- Neigung und Entwässerung der Aussenbereiche.
- Dämmung der Türschwellen und Anschlusshöhen der Flachdachabdichtung.

DÄMMUNG DER UNTERSTEN GESCHOSSDECKE ODER GEGEN DAS ERDREICH

Bei einer ober- oder unterseitigen Dämmung der untersten Geschossdecke gegen unbeheizte Räume zu berücksichtigen:

- lichte Raumhöhe bei einer unterseitigen Deckendämmung, vor allem im Treppenbereich, um Zugänge nicht zu beeinträchtigen.
- Leitungsführungen an der Untergeschossdecke.
- Zugang zu haustechnischen Installationen.
- vorhandene Trennwände im Untergeschoss.
- vorhandene Deckenleuchten und deren eventuelle Umverlegung.
- Dämmung des Untergeschosszugangs.
- barrierefreier Zugang bei einer oberseitigen Dämmung (zusätzliche Stufen).
- Höhe der ersten Treppenstufe bei einer oberseitigen Dämmung der Decke.
- Höhe der Fensterbrüstungen bei einer oberseitigen Dämmung der Decke.
- Schwellen und Türhöhen bei einer oberseitigen Dämmung der Decke.
- notwendige Dämmmassnahmen an Zwischenwänden zu unbeheizten Bereichen des Untergeschosses.
- demontierbare Dämmung bei Dämmmassnahmen in Zivilschutzkellern.

DÄMMUNG DER FASSADEN

Beim Fenstertausch zu berücksichtigen:

- Möglichkeit nur die Bestandsgläser durch Isoliergläser zu ersetzen.
- g-Wert der neuen Fenster.

Bei einer Innendämmung zu berücksichtigen :

- Auswirkungen auf Raumflächen.
- Auswirkungen auf Flur- und Treppenbreiten.
- Auswirkungen auf Küchen und Sanitärräume an Aussenfassaden.
- Dämmung innenliegender Storenkästen.
- Lage von Heizkörpern, Steckdosen und Schaltern.
- bestehende Bauteilschichten (Art des Putzes), deren Dampfdiffusionsfähigkeit und adequate Sanierungsmassnahmen.
- Anschlüsse einer eventuellen Dampfbremse.
- Anschlüsse im Auflagerbereich der Holzbalkendecken in Aussenwänden.
- Dämmmassnahmen im Anschluss der Fensterrahmen und in Fensterleibungen.
- ausreichende Raumlüftung.

Bei einer Aussendämmung zu berücksichtigen :

- Anschlüsse zu Nachbargebäuden bei Reihenbebauung.
- Einhaltung von Grenzabständen.
- die Abmessungen des Blendrahmens bei Verbleib der Bestandsfenster.
- ausreichende lichte Öffnungsgrössen im Falle einer Leibungsdämmung.
- Verdunklungselemente bei Dämmmassnahmen der Fensterleibungen und Änderung der Öffnungsgrösse.
- Dämmung innenliegender Storenkästen.
- Lage der Scharniere von Klappfensterläden.
- Vermeidung von Wärmebrücken im Anschluss an Dachüberstände und Vordächer.
- ausreichende Raumlüftung.

GLOSSAR

Energiebezugsfläche (EBF): «*Summe aller ober- und unterirdischen Geschossflächen, die innerhalb der thermischen Gebäudehülle liegen und für deren Nutzung ein Beheizen oder Klimatisieren notwendig ist.*»²⁷

Gebäudehüllfläche: Gebäudehüllfläche A gemäss Norm SIA 380/1:2009 aber ohne Reduktionsfaktoren. «*Die Gebäudehüllfläche ist die Fläche der thermischen Gebäudehülle (Aussenabmessungen). Sie setzt sich zusammen aus den Flächen gegen aussen, gegen unbeheizte Räume und gegen Erdreich sowie gegen allfällige benachbarte beheizte Räume.*»²⁸

Mittlerer Energieverbrauch (Endenergie): Mittelwert des erhobenen Energieverbrauchs über drei oder vier Jahre je nach Gebäude zwischen 2009 und 2013.

Indiz des Wärmeverbrauchs (IDC): Energieverbrauch für die Heizung und Warmwasserbereitung bezogen auf die EBF und gewichtet entsprechend der Wetterbedingungen.

Heizwärmebedarf «erhoben»: erhobene Endenergie (mittlerer Energieverbrauch) abzüglich der Wärmeverluste des Heizsystems und abzüglich des Wärmebedarfs für Warmwasser Q_{ww} (errechnet gemäss SIA 380/1:2009), pro Einheit Energiebezugsfläche und Jahr.

Heizwärmebedarf «errechnet» (Q_h): «*Wärme, die dem beheizten Raum während eines Jahres bzw. während der Berechnungsperiode (Monat) zugeführt werden muss, um den Sollwert der Raumtemperatur einzuhalten, bezogen auf die Energiebezugsfläche.*»²⁹

Baukosten: Die Baukosten sind nach Bauteilen aufgesplittet. Die Honorare der Auftragnehmer (20 %) wurden anteilig entsprechend der Gesamtsumme jedes Bauteils verteilt. Das gleiche gilt für die Nebenkosten (5 %) und die Reserve (5 %). Die allgemeinen Kosten beinhalten Aufmass, Baustelleneinrichtung und Gerüstbau, notwendige Malerarbeiten für die energetische Sanierung, Schutzmassnahmen und Endreinigung.

Kosten / m² Bauteil:

- Fassaden: Baukosten aller Fassadenelemente (Abbruch von Wandelementen, Dämmung der Wände, Storenkästen, Storen, Balkone, Sanitärelemente und Küchen, die geändert werden müssen, usw.) bezogen auf die abgewinkelte Fassadenfläche. Fassadenflächen im Erdreich, die zum beheizten Volumen gehören, wurden erfasst.
- Dach: Baukosten aller Dachelemente (Dämmung, Abbruch bestehender Elemente, Eindeckung, Spenglerie, Dämmung von Dachaufbauten) bezogen auf die Dachfläche oder oberste Geschossdeckenfläche.
- Decke: Kosten aller Deckenelemente gegen unheizte Räume oder Erdreich (Dämmung, Verlegung von Leitungen, Abbruch der Innenwände, Neubau der Innenwände, notwendige Änderungen beim Innenausbau) bezogen auf die Deckenfläche gegen unbeheizte Räume oder Erdreich.

U gemessen: vor Ort gemessener U-Wert des Bauteils gemäss ISO 9869 (1994, 2014).

U Bestand: theoretischer U-Wert des Bauteils, errechnet auf Basis des mit Hilfe von Plänen und Sondierungen ermittelten Bauteilaufbaus.

U Sanierung: theoretischer U-Wert des Bauteils, errechnet gemäss der Sanierungslösungen.

minimaler Oberflächentemperaturfaktor (f_{Rsi}): minimaler Oberflächentemperaturfaktor über dem das Kondensationsrisiko ausgeschlossen ist, sofern der tägliche Mittelwert der relativen Innenraumluftfeuchte eine gegebene Grenze nicht überschreitet.

Wärmebrücke: «*Wärmebrücken sind thermische Schwachstellen der Gebäudehülle, bei denen örtlich mehr Wärme als bei den benachbarten Bauteilen abfließt.*»³⁰. Der durch diese Wärmebrücke verursachte Wärmeverlust wird mit dem längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten (ψ) in W/mK ausgedrückt.

27 Norm SIA 380/1:2009, *Thermische Energie im Hochbau.*

28 Norm SIA 380/1:2009, *Thermische Energie im Hochbau.*

29 Norm SIA 380/1:2009, *Thermische Energie im Hochbau.*

30 INFOMIND SÄRL, *Wärmebrückenkatalog*, Bundesamt für Energie BFE, Bern, 2003.

- 31 ORTELLI Luca, ZURBRÜGG Pierre, WALL CAGO Catarina, ROCHE Georgine, *ReHAB – Rénovation et réhabilitation des bâtiments d’habitation du XIX^e et XX^e siècle – Assainissement de fenêtres dans les immeubles d’habitation 1850–1920*, Laboratoire de construction et conservation (EPFL), 2012, 41.
- 32 ORTELLI [siehe 31], 49.
- 33 ORTELLI [siehe 31], 25.
- 34 GLAS TRÖSCH SA, *Glas und Praxis*, Glas Trösch SA, Bützberg, 2012.
- 35 OFFICE FÉDÉRAL DE L’ÉNERGIE, *Fiche technique fenêtres*, Office fédéral des constructions et de la logistique, 2009.
- 36 GLAS TRÖSCH SA, [siehe 34].
- 37 BUNDESAMT FÜR STATISTIK, *Eidgenössisches Gebäude- und Wohnungsregister - Merkmalskatalog*, Eidgenössisches Departement des Innern, Neuchâtel, 2015.
- 38 BUNDESAMT FÜR STATISTIK, [siehe 38].

Einfachfenster: das Fenster wird als « Einfachfenster » bezeichnet, wenn es nur einen Rahmen mit einer Einscheibenverglasung aufweist.

Fenster mit Vorfenster: eine einfache Lösung das Fenster zu verdoppeln, besteht in der Ergänzung eines zweiten in der Aussenleibung angeschlagenen Fensters, genannt Vorfenster. Der Rahmen ist meist abnehmbar und bietet die Möglichkeit das ganze Fenster während der Sommermonate abzubauen.³¹

Kastenfenster: das Kastenfenster ist ein zweiter Typ Doppelfenster, der durch Zusatz einer umlaufenden Holzleibung auf der Innenseite des Fensters das Anbringen eines zweiten Fensters erlaubt. Die Fenster sind dauerhaft verbunden und bilden ein Element. Dieser Fenstertyp wurde vor allem in Deutschland, Österreich und der Deutschschweiz verwendet. In der Westschweiz sind Kastenfenster weniger verbreitet, aber man findet trotzdem noch einige gut erhaltene Exemplare.³²

Verbundfenster: eine Variante des Doppelfensters bei denen die Rahmen der beiden Fenster mit einem Hakensystem verbunden sind, damit sie sich gleichzeitig öffnen.³³

Fenster mit Doppelverglasung: Fenster mit einem einzigen Rahmen, der zwei mit geringem Abstand montierte Einscheibengläser hält.

Fenster mit Zweifachisolierverglasung: Fenster mit einem Rahmen und Zweifachisolierverglasung. « Ein modernes Isolierglas ist eine Verglasungseinheit, hergestellt aus zwei oder mehreren Glasscheiben, die am Rand ringsum durch einen Abstandhalter voneinander getrennt sind. Der Scheibenzwischenraum wird durch verschiedene Dichtstoffe nach aussen gasdicht abgeschlossen und verbindet die Glasscheiben dauerhaft miteinander. Die rings umlaufende Doppeldichtung verhindert das Eindringen von Staub und Wasserdampf (Randverbund). »³⁴

Fenster mit Dreifachisolierverglasung: Fenster mit einem Rahmen und Dreifachisolierverglasung [siehe Definition Zweifachisolierverglasung].

Wärmedurchgangskoeffizient des Fensterrahmens (U_f): entspricht dem U-Wert für Fensterrahmen. « Der mittlere Wärmedurchgangskoeffizient von Fensterrahmen wird mit U_f bezeichnet. Der Wert ist vom Material des Rahmens und der Profilgestaltung abhängig. Die Bestimmung des mittleren U_f-Wertes des Fensterrahmens erfolgt gemäss SIA 331, Anhang B. »³⁵

Wärmedurchgangskoeffizient der Verglasung (U_g): entspricht dem U-Wert für Verglasungen (EN 673). « Es ist zu beachten, dass der U_g-Wert für den so genannten ungestörten Bereich, das heisst ohne Einfluss des Randbereiches (in dem der Wärmefluss wesentlich grösser ist) gilt. »³⁶.

Gesamtenergiedurchlassgrad (g): er gibt den Anteil der Sonnenenergie an, der durch ein Glas durchgelassen wird (in % oder von 0 bis 1). Je höher der g-Wert ist, umso grösser sind die passiven solaren Gewinne (vom Hersteller angegeben gemäss EN 410).

Mehrfamilienhäuser: « Mehrfamilienhäuser bestehen ausschliesslich aus Wohnungen (reine Wohngebäude, keine Nebennutzung). Ein Mehrfamilienhaus zählt zwei oder mehr Wohnungen. »³⁷

Wohngebäude mit Nebennutzung « Wohngebäude mit Wohnungen und z.B. einem Geschäft, einer Werkstatt oder einer Bank im Erdgeschoss. Wohngebäude mit Wohnungen und Arztpraxen oder Büroräumlichkeiten im Gebäude. »³⁸

BIBLIOGRAPHIE

- ACHILLES Andreas, NAVRATIL Diane, *Construire en verre*, Birkhäuser, Bâle, 2009.
- AHNERT R., KRAUSE K.H., *Typische Baukonstruktionen von 1860 bis 1960 Brand I*, Verlag für Bauwesen, Berlin, 2000.
- AHNERT R., KRAUSE K.H., *Typische Baukonstruktionen von 1860 bis 1960 Brand II*, Verlag für Bauwesen, Berlin, 2001.
- AHNERT R., KRAUSE K.H., *Typische Baukonstruktionen von 1860 bis 1960 Brand III*, Verlag für Bauwesen, Berlin, 2002.
- ASSOCIATION SUISSE DES FABRICANTS DE BRIQUES ET TUILES, « La maçonnerie », *Element*, Association suisse des fabricants de briques et de tuiles, Faktor Verlag, Zürich, 3 (1960).
- ASSOCIATION SUISSE DES FABRICANTS DE BRIQUES ET TUILES, « Murs et ouvertures », *Element*, Association suisse des fabricants de briques et de tuiles, Faktor Verlag, Zürich, 5 (1962).
- ASSOCIATION SUISSE DES PROFESSIONNELS DU BÉTON PRÉFABRIQUÉ, *La façade préfabriquée en béton*, Association Suisse des Professionnels du Béton Préfabriqué, Pfäffikon, 1985.
- BERNSTEIN, Daniel, CHAMPETIER, Jean-Pierre, VIDAL, Thierry, *Anatomie de l'enveloppe des bâtiments*, Le Moniteur, Paris, 1997.
- BINZ Armin, ERB Markus, LEHMANN Gerold, *Ökologische Nachhaltigkeit im Wohnungsbau*, Office fédéral de l'énergie, 2000.
- BUSSET, Thomas, GARNIER, Alain, JOYE, Dominique, SCHULER, Martin, *Une typologie exploratoire des bâtiments*, Institut de recherche sur l'environnement construit (école polytechnique de Lausanne), 1990.
- BUSSET Thomas, ROULET Barbara, SCHULER Martin, *La constitution du parc immobilier suisse - approche typologique de l'habitat*, institut de recherche sur l'environnement construit (école polytechnique de Lausanne), 1994.
- CLEMENS Richarz, SCHULZ Christina, ZEITLER Friedemann, «Energetische Sanierung», *Détail*, Institut für internationale Architektur-Dokumentation GMBH, München, 2006.
- DÉPARTEMENT DES CONSTRUCTIONS ET DES TECHNOLOGIES DE L'INFORMATION DU CANTON DE GENÈVE, *Logements économiques à Genève construits entre 1920–1960*, DAEL, Genève, 2007.
- DÉPARTEMENT FÉDÉRAL DE L'INTÉRIEUR, *Registre fédéral des bâtiments et des logements : catalogue des caractères*, office fédéral de la statistique, Neuchâtel 2012.
- GAUTHIER Franck, «Poutres encadrées et isolation par l'intérieur», *Qualité construction*, N° 142 (2014).
- GIEBLER Georg, FISCH Rainer, KRAUSE Harald, MUSSO Florian, PETZINKA Karl-Heinz, RUDOLPHI Alexander, *Rénover le bâti*, Les Presses polytechniques et universitaires romandes, 2012.
- GLAS TRÖSCH SA, *Le verre et ses applications*, Glas Trösch SA, Bützberg, 2002.
- HINDEN Reto, *De la construction en brique massive - Le cas du logement urbain*, EPFL, ENAC, 2007.
- INFOMIND SÀRL, *Catalogue des ponts thermiques*, Office fédéral de l'énergie, Berne, 2003.
- KHOURY Jad, *Rénovation énergétique des bâtiments résidentiels collectifs : état des lieux, retours d'expérience et potentiels du parc genevois*, In : Soutenance de thèse de doctorat, Genève, 2014.

MARCHAND Bruno, SAVOYAT Marielle, CHENU Laurent, *Architecture du canton de Vaud 1920–1975*, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne, 2012.

MARTI Kurt, *Catalogue d'éléments de construction avec calcul de la valeur U: assainissement*, Office fédéral de l'énergie, 2002.

ORTELLI Luca, ZURBRÜGG Pierre, WALL GAGO Catarina, ROCH Georgine, *ReHAB: Rénovation et réhabilitation des bâtiments d'habitation du XIX^e et XX^e siècles*, Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, 2012.

OFFICE FÉDÉRAL DE L'ÉNERGIE, *Fiche technique fenêtres*, Office fédéral des constructions et de la logistique, 2009.

PROGRAMME D'ACCOMPAGNEMENT DES PROFESSIONNELS, « Evaluation des risques de pathologies liées à l'humidité », *Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012*, AQC, 2013.

RICHTLINIE ENERGIEEFFIZIENZ AM BAUDENKMAL, *The 3Encult Project*, Bundesdenkmalamt, Austria, 2011.

SCHEFFLER Gregor A., « Diffusionsoffene Innendämmung macht Schule », *Forschung & Innovation*, Bauplaner, 12 (2010), 2–6.

SCHWEHR Peter, FISCHER Robert, *Building Typology and Morphology of Swiss Multi-Family Homes*, Hochschule Luzern, January 2010.

SIGRIST Donald, KESSLER Stefan, *Effets des lois cantonales sur l'énergie: analyse de l'efficacité conformément à l'art. 20 LEne, actualisation pour l'année 2012*, Office fédéral de l'énergie, Ittigen, juillet 2013.

SOCIÉTÉ DE COMMUNICATION DE L'HABITAT SOCIAL, *Habitation: revue trimestrielle romande de l'Association Suisse pour l'habitat*, Société de communication de l'habitat social, 1 (1928) à 63 (1990).

SOCIÉTÉ SUISSE DES INGÉNIEURS ET DES ARCHITECTES, *L'énergie thermique dans le bâtiment – Guide d'utilisation de la norme SIA 380/1*, Société suisse des ingénieurs et des architectes, Zürich, 2002.

SUISSE ÉNERGIE, *Mieux isoler les sous-sol*, Services de l'énergie des cantons de Suisse et de la principauté du Liechtenstein, Energie Suisse, Office fédéral de l'énergie, 2002.

KURZFASSUNG

MÉTHODES ET OUTILS POUR LA RÉNOVATION ÉNERGÉTIQUE DE L'ENVELOPPE DES IMMEUBLES D'HABITATION

L'assainissement énergétique des immeubles d'habitation est un enjeu majeur de la stratégie énergétique 2050 de la Confédération suisse. Malgré la volonté politique, le taux de rénovation énergétique reste relativement limité et le rythme ne semble pas s'accélérer. Parmi les obstacles le coût des travaux, le faible prix de l'énergie, les difficultés techniques, les questions patrimoniales, la disponibilité de spécialistes qualifiés, ou la pénurie de logements.

Les interventions ponctuelles sans vision d'ensemble sont la norme. Lorsqu'un projet complet est mené à bien, il se résume souvent à une mise à jour des installations techniques, un remplacement des fenêtres et une isolation périphérique. Ces solutions peut-être valables sur le plan énergétique posent souvent des questions constructives, patrimoniales, de physique du bâtiment ou encore de durabilité.

eREN a mené un travail sur l'enveloppe des bâtiments basé sur une approche globale et interdisciplinaire cherchant le meilleur équilibre entre efficacité énergétique, aspects constructifs et de physique du bâtiment, économie, co-bénéfices et co-pertes et valeur patrimoniale.

Les typologies constructives des bâtiments d'habitation collective en Suisse romande entre 1900 à 1990 ont été recensées. Cinq époques caractéristiques ont été retenues : avant-guerre (1900 – 1920), entre-deux-guerres (1921 – 1945), après-guerre (1946 – 1960), haute conjoncture (1961 – 1975) et après crise pétrolière (1975 – 1990), époque à partir de laquelle une prise de conscience au sujet de la consommation d'énergie a vu le jour, débouchant sur les premières normes en matière d'énergétique du bâtiment.

Chacune de ces époques présente des caractéristiques architecturales et constructives propres. Quinze typologies (modèles) ont été identifiées, représentatives de la production de logements collectifs du 20^e siècle en Suisse romande. Chacune est différente et mérite d'être considérée avec respect. Intervenir sur un bâtiment existant (même banal) présente des enjeux patrimoniaux : le bâti ordinaire a toute son importance dans la définition de l'identité de la ville. Et l'application de solutions insuffisamment réfléchies peut être à l'origine de nombreux problèmes.

Dix bâtiments représentatifs des typologies les plus courantes ont été sélectionnés pour faire l'objet d'une étude de cas. L'état existant a été analysé, puis une stratégie générale d'intervention a été choisie pour chaque cas :

- préserver les caractéristiques
- reconstruire les caractéristiques
- ajouter de nouveaux éléments ou modifier l'image

Plusieurs scénarios ont été développés pour chaque cas visant à répondre à la stratégie adoptée tout en satisfaisant aux exigences énergétiques fixées par la norme SIA 380/1 éd. 2009.

Chaque scénario a été testé en matière thermique dans une série d'allers et retours entre architectes et ingénieurs qui ont débouché pour chacun des dix bâtiments sur une solution satisfaisant les cinq critères définis. Les scénarios ont été chiffrés afin de compléter l'étude sur le plan économique. Tous atteignent les exigences normatives en préservant le caractère architectural quand cela s'imposait pour un coût comparable aux solutions plus communément mises en œuvre, telles un crépi sur une isolation périphérique. Rénovation énergétique respectueuse de la substance architecturale du bâtiment à un coût abordable ne rime donc pas avec mission impossible. Ce résultat a pu être atteint grâce à une collaboration intense entre les différents spécialistes qui implique un investissement que souvent les propriétaires hésitent à consentir, bien qu'il ne représente qu'une fraction relativement faible du coût total.

L'étude montre aussi que les coûts d'une rénovation énergétique demeurent très élevés en regard des gains que l'on peut espérer réaliser sur l'économie d'énergie, au tarif actuel de cette dernière.

Il est vrai que le volet énergétique de la rénovation est souvent inclus dans un projet visant à revaloriser un immeuble qui nécessite de toute façon des travaux pour des questions de salubrité, de vétusté ou pour la mise en valeur d'un potentiel inexploité. Il n'en demeure pas moins que dans de nombreux cas où le bâtiment a été entretenu et où les perspectives d'augmentation des loyers sont faibles, une rénovation énergétique a peu

de chances d'être entreprise, faute d'incitation économique suffisante.

L'obligation d'atteindre les valeurs sévères prescrites par la norme SIA 380/1 éd. 2009 dans le cadre de la rénovation peut même avoir l'effet pervers de décourager le propriétaire d'entreprendre certains travaux qui amélioreraient notablement la situation à moindre coût sans pour autant atteindre les limites légales. Le durcissement des valeurs cibles pour la rénovation qui a commencé avec la révision de 2009 de la norme et qui va selon toute vraisemblance se poursuivre pourrait encore amplifier le décalage entre des intentions en soi louables et le taux de rénovation.

Finalement, inscrire dans la loi l'obligation d'assainir l'enveloppe des bâtiments à court ou moyen terme pourrait impliquer des coûts très élevés que de très nombreux propriétaires ne seraient pas à même d'assumer, faute de fonds de rénovation suffisant. Les collectivités publiques sont d'ailleurs confrontées au même défi. Force est aussi de constater que tant les mandataires que les entreprises spécialisées de qualité feraient défaut devant l'immensité de la tâche.

Ces conclusions peuvent sembler négatives. Elles ne le sont que si l'on s'arrête à ce constat en baissant les bras. Nous pensons que les pistes existent pour infléchir le cours des choses :

- la réglementation et également les labels qui ont été jusque-là axés principalement sur les constructions neuves doivent beaucoup mieux prendre en compte les spécificités de la rénovation du bâti existant et de ses limites.
- l'information, l'incitation et l'obligation doivent être menées de front intelligemment et avec une vision à long terme, à l'échelle de la durée de vie des bâtiments. L'implication des spécialistes des différents domaines et la prise en compte des particularités du système politique suisse sont de mise afin d'éviter les écueils.
- l'effort de formation dans le domaine auprès des professionnels, des entreprises, des apprentis et étudiants doit être renforcé pour que la rénovation énergétique bénéficie de professionnels qualifiés.

Le jeu en vaut la chandelle. Et quoi qu'il en soit, avons-nous le choix ?

METHODS AND TOOLS FOR ENERGY-EFFICIENT RETROFITTING OF BUILDING ENVELOPE

The energy refurbishment of housing is a key issue of the Swiss government's « 2050 Energetic strategy ». However, despite the pressure imposed by politicians, the energy refurbishment rate remains low today and does not seem to improve. High labour costs, low energy prices, technical complexities, heritage issues, lack of qualified professionals and contractors together with the current housing shortage can be identified as the main reasons for this problem.

Partial interventions without a global overview are usually carried out and when a project is aiming at an overall refurbishment, it is often limited to the replacement of the M&E equipment, to the windows and to a perimeter insulation of the walls. Maybe these solutions provide answers on the energy issue, but as far as the architecture, heritage preservation, construction and the buildings' physical appearance goes, they tend to lack pertinence. The diversity of existing building typologies requires specific solutions that take into account their architectural and constructive characteristics.

eREN is focusing on the envelope of existing housing in Western Switzerland and is based on a global and interdisciplinary approach aiming at achieving well-balanced solutions between energy efficiency, constructive feasibility, building physics, cost and preservation of the architectural heritage.

The eREN project proposes tools and a framework available to all stakeholders to help them developing refurbishment projects efficiently, taking into account all the above aspects. It is intended for owners, real estate agents, professional teams, contractors and public services in charge of the related issues.

Housing production between 1900 and 1990 has been divided in five different periods: pre World War I period (1900 – 1920), Interwar period (1921 – 1945), post World War II period (1946 – 1960), the boom period (1961 – 1975) and post oil shock period (1975 – 1990), marked by the growing awareness of the energy consumption issue and the first energy standards in the construction industry.

Each of these periods has its own architectural and construction specifications. Fifteen models have been retained covering the different ways of building collective housing during these periods. All of them deserve respect, because applying changes to an existing building (even an ordinary one) implies cultural and heritage issues. The ordinary housing stock plays its part in forming the city's identity and insufficiently developed solutions can be the root of numerous problems.

Ten multi-dwelling buildings characteristic of the most common constructive typologies have been selected and used as case studies. Their current state has been analysed and in a second stage, a general strategy has been decided for each of them:

- Maintaining the envelope typical features
- Rebuilding the envelope typical features
- Adding new features or changing the image of the envelope

Refurbishment scenarios have been developed for the ten study cases responding to the chosen strategy and checked against the legal requirement based on the Swiss energy standard SIA 380/1 (2009).

The scenarios have been through an iterative process by the team's architects and engineers which eventually resulted in solutions satisfying both the energy requirements and the other criteria set above: architectural identity, construction feasibility, building physics and cost.

In every case a scenario could be elaborated that complies with the legal requirements of SIA 380/1 (2009) at a cost comparable to more standard solutions, like rendered perimeter insulation. Energetic refurbishment that respects the architecture of the building envelope is possible and at reasonable cost. This result was obtained thanks to an intense collaboration between the various specialists working on the project, which implies an investment that many owners do not want to consider, although it only amounts to a low fraction of the total cost.

Not surprisingly, the project also demonstrates that the price one pays for an energetic refurbishment is high, against those savings that one could expect on their energy bill, going by today's rates.

It's true that the energy refurbishments are often included in wider projects directed at upgrading a building that requires work anyway, to solve hygiene or obsolescence issues, or that increases opportunities to gain surfaces to rent. Nevertheless, in many other cases where the building has been well maintained and the perspective of reviewing the rents are distant for various reasons, an energy refurbishment is not on the agenda due

to a lack of economic incentive to undertake such projects.

Worse still, the requirement to achieve the SIA 380/1 (2009) standard strict values in the field of refurbishment, could have a perverse outcome, discourage or even prevent owners from undertaking projects that could enable them to achieve a high percentage of the targeted energy savings and at a reasonable cost, for fear that their work may not meet 100% of the stated legal requirements. Since the last revision of the standards in 2009, it appears that the requirements will get harder and harder to achieve which could further broaden the gap.

Finally, making energy refurbishment compulsory in the short to medium term, would imply a financial burden that many owners could not afford. The public authorities face the same challenge. On top of that, the professionals and the specialised contractors available on the market to date, would be totally overwhelmed by the magnitude of the task.

At first sight, these conclusions look like a bleak prospect. They are, if we give up and make no effort to take a step further. Solutions do exist to change the direction of things:

- Regulation and private energy standards have been primarily focused on new constructions. They must consider existing buildings as a real field in its own with its specific rules and limits (the tools developed within eREN are a first step in this direction).
- Information, incentives, legal obligations have to be coordinated in the long term, at the scale of a building's life expectancy which is counted in decades, employing specialists from different fields and taking into account the Swiss political system's specificities will also help avoiding many pitfalls.
- An effort is to be made in training the professionals, contractors, students and apprentices, in order to put on the market qualified people, able to take the challenge of the energy refurbishment.

The challenge is worth it, and anyway do we have the choice?

DANK AN:

Wir bedanken uns bei den untenstehenden Eigentümern und Verwaltern für die zur Verfügung gestellten Gebäude der Fallstudien.

Fondations Immobilières de Droit Public, CH-1205 Genf.

Gérances foncières SA, CH-1705 Freiburg.

Fondation de placement immobilier Lithos, CH-1211 Genf.

Retraites populaires, CH-1001 Lausanne.



ETAT DE FRIBOURG
STAAT FREIBURG

Service de l'énergie SdE
Amt für Energie AfE
WWW.FR.CH/SDE



Direction générale
de l'environnement (DGE)
Direction de l'énergie



REPUBLIQUE ET CANTON DE GENEVE
Département de l'aménagement, du logement et de l'énergie
Office cantonal de l'énergie

Hes·SO

Haute Ecole Spécialisée
de Suisse occidentale

Fachhochschule Westschweiz

Die energetische Sanierung des Wohnungsbestands ist ein wesentliches Ziel der Energiestrategie 2050 des Bundes. Trotz der politischen Absichten bleibt die Zahl der energetischen Sanierungen relativ gering und daran scheint sich auch in Zukunft nichts zu ändern. Wesentliche Hindernisse sind die Baukosten, der niedrige Energiepreis, technische Schwierigkeiten, denkmalpflegerische Aspekte, die Verfügbarkeit qualifizierter Fachleute oder die aktuelle Wohnungsnot.

Einzelsanierungsmassnahmen ohne ein Gesamtkonzept sind die Regel. Realisierte Gesamtsanierungen beschränken sich häufig auf die Erneuerung der Haustechnik, den Austausch der Fenster und das Anbringen eines Wärmedämmverbundsystems. Diese energetisch vielleicht sinnvollen Massnahmen sind oft in baukonstruktiver, denkmalpflegerischer, bauphysikalischer und nachhaltiger Hinsicht fraglich.

eRen basiert auf einem globalen und interdisziplinären Ansatz für die energetische Sanierung der Gebäudehülle und sucht ein Gleichgewicht zwischen Energieeffizienz, konstruktiven und bauphysikalischen Aspekten, Wirtschaftlichkeit, Nutzen und Verlusten sowie baukulturellem Wert.



Haute école d'ingénierie et d'architecture Fribourg
Hochschule für Technik und Architektur Freiburg

h e p i a

Haute école du paysage, d'ingénierie
et d'architecture de Genève

heig-vd

Haute Ecole d'Ingénierie et de Gestion
du Canton de Vaud

Hes·SO VALAIS
WALLIS

Haute Ecole d'ingénierie
Hochschule für Ingenieurwissenschaften



energie schweiz
Unser Engagement: unsere Zukunft.