Nachhaltige Bauerneuerung: Modulare Sanierung

Sustainable building rehabilitation – a modular approach

Rinnovamento persistente: risanamento modulare

Rénovation durable de bâtiments : assainissement modulaire

Dr. Peter Richner
Empa
Departement Bau- und Ingenieurwesen
Dübendorf, Schweiz

Nachhaltige Bauerneuerung: Modulare Sanierung

1. Ausgangslage

Die Publikation der neuesten Erkenntnisse des IPCC 2007 zur Thematik der Klimaveränderung und die turbulente Entwicklung der Preise für Öl und Gas in den letzten 18 Monaten haben dem Thema Energieeffizienz in der öffentlichen Wahrnehmung grosse Beachtung verschafft. Dazu beigetragen hat auch die Prognose der Internationalen Energieagentur (IEA) zur Entwicklung des globalen Energiebedarfs bis 2030 für ein Referenzszenario, bei dem im wesentlichen die laufende Entwicklung fortgeschrieben wurde. Diese würde zu einer Zunahme des Energieverbrauchs im Vergleich zu 2005 um nicht weniger als 55% führen und den Hauptbeitrag zur Steigerung würden fossile Energieträger liefern (vgl. Abbildung 1) [1]. Nebst dem Energiebedarf industrieller Prozesse und der Mobilität ist dabei insbesondere der Gebäudesektor ins Zentrum der Aufmerksamkeit gerückt worden.

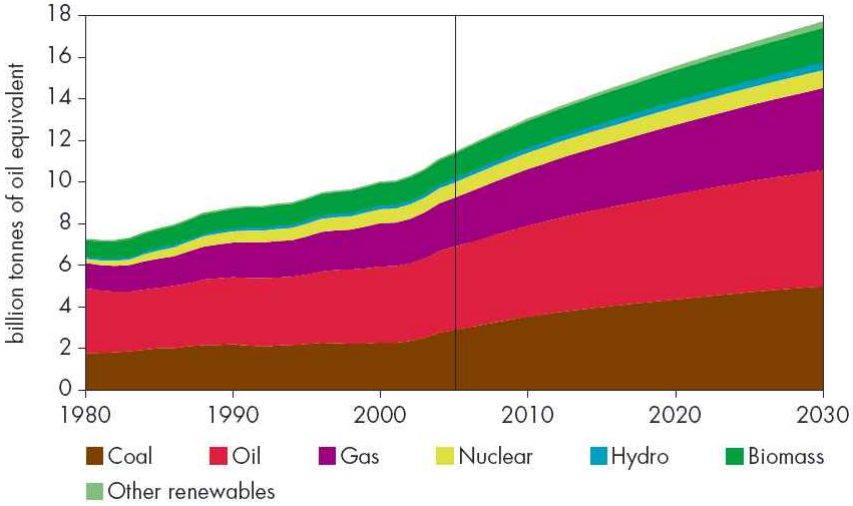

Abbildung 1: Entwicklung des globalen Energiebedarfs gemäss Referenzszenario der IEA [1]

Einen Überblick über den Anteil am Endenergiebedarf des Gebäudesektors in unterschiedlichen Ländern ist in der Tabelle 1 zusammengestellt. Trotz Unterschieden in den klimatischen Bedingungen und der wirtschaftlichen Struktur ist in allen Ländern der Endenergieverbrauch von Wohnbauten grösser, als derjenige von Industrie- und Gewerbebauten. Sowohl in der EU, den USA als auch in der Schweiz ist der Anteil der Geäude am Gesamtenergieverbrauch grösser, als derjenige für die Mobilität oder die Industrie. Zudem wächst der Verbrauch im Gebäudesektor insbesondere in wirtschaftlich sich stark entwickelnden Ländern und Regionen überdurchschnittlich stark. So nahm der Energiebedarf für Gebäude zwischen 1994 und 2004 in Spanien jährlich um 4.2% zu, während die Wachstumsrate in der EU bloss 1.5% betrug [2]. Gründe für das Wachstum sind eine Zunahme der Wohnfläche pro Person und ein höherer Installationsgrad der Gebäude (Heizung, Lüftung, Klimatisierung etc.). Überträgt man diese Entwicklung auf die rasch wachsenden Volkswirtschaften in Asien kann man sich unschwer ausmalen, welcher Effekt sich daraus für den globalen Energiekonsum ergibt, wenn nicht rasch auf grosser Breite Effizienzstrategien zum Durchbruch verholfen werden kann.

Bei der Entwicklung dieser Effizienzstrategien ist zwischen Neubau und Erneuerung zu unterscheiden. Je nach wirtschaftlicher und gesellschaftlicher Ausgangslage wird der zukünftige Energieverbrauch in Gebäuden durch neu zu erstellende Bauten oder durch den heute bestehenden Gebäudepark bestimmt. In wirtschaftlich prosperierenden Schwellenländern werden Neubauten in grosser Zahl entstehen und grosse Teile des Bestandes werden abgerissen. In den hochentwickelten Ländern Mitteleuropas ist eher das Gegenteil zu beobachten: Es werden zwar Neubauten erstellt, diese ersetzen aber nur zu einem geringen Prozentsatz bereits bestehende Gebäude. So beträgt die durchschnittliche jährliche Abbruchrate im Wohnungsbereich in acht europäischen Ländern (Deutschland, Österreich, Schweiz, Frankreich, Grossbritannien, Niederlande, Finnland, Schweden) nur 0.1% [3]. Dies entspricht einer theoretischen mittleren Lebenserwartung der Gebäude von 1000 Jahren!

Tabelle 1: Anteil des Endenergiebedarfs für Gebäude in % des Gesamtbedarfes [2, 4]

	Industrie und Gewerbe	Wohnbauten	Total
EU	11	26	37
Grossbritannien	11	28	39
Spanien	8	15	23
Schweiz	19	29	48
USA	18	22	40
Welt	7	16	24

Für den Neubau stehen heute vielfach erprobte Konzepte zur Verfügung, mit denen der Energieverbrauch für Heizen, Kühlen und Warmwasser auf minimale Werte beschränkt werden kann. Stichworte dazu sind der Passivhausstandard in Deutschland oder das Minergie-Label in der Schweiz. Durch eine geschickte Integration von Solartechnologie in die Gebäudehülle ist es im Extremfall sogar möglich, über das Jahr gerechnet mehr Energie zu erzeugen als im Gebäude verwendet wird [5]. Die Herausforderung im Neubau besteht also primär darin, sicherzustellen, dass diese Technologien flächendeckend zum Einsatz kommen und dass sie für andere klimatische und soziokulturelle Gegebenheiten adaptiert werden, eine nicht zu unterschätzende Chance für unsere Baubranche, die hier global gesehen einen grossen Wissens- und Technologievorsprung hat.

Aus verschiedenen Gründen sehen wir uns in der Erneuerung des Bestandes einer viel grösseren Herausforderung gegenüber als im Neubau. Eine signifikante Reduktion des Energiebedarfs des Gebäudesektors ist in Ländern wie Deutschland oder der Schweiz nur dann möglich, wenn der spezifische Energieverbrauch der heute schon bestehenden Gebäude drastisch reduziert werden kann. Zur Illustration ist in Abbildung 2 der durchschnittliche Energieverbrauch pro Jahr und Quadratmeter in Funktion des Baujahres für die Gebäude des Kantons Zürich aufgetragen. Die Breite der einzelnen Zeitabschnitte ist proportional zu der in diesem Zeitraum erstellten Energiebezugsfläche. Ähnlich präsentiert sich die Situation in der ganzen Schweiz.

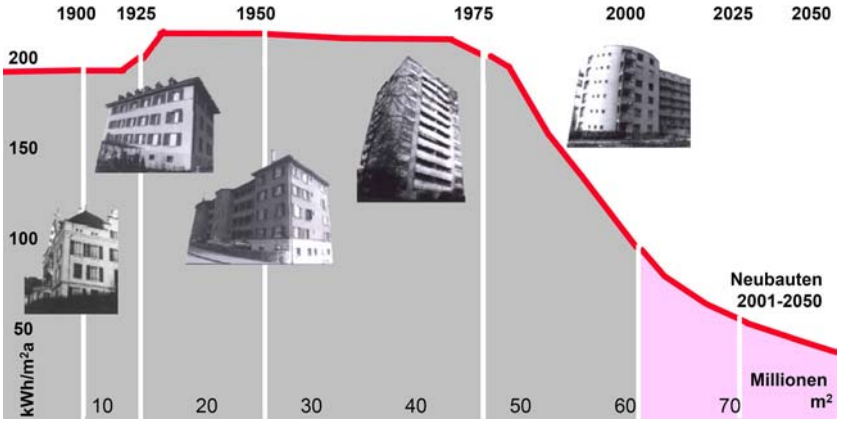

Abbildung 2: Energieverbrauch in kWh/m^2 und Jahr in Funktion des Baujahres im Kanton Zürich.

Klar ersichtlich ist der Einfluss der sich seit der ersten Ölkrise laufen verschärfenden Vorschriften auf den Energieverbrauch der neuen Gebäude. Ebenso klar wird aber aus dieser Darstellung auch, dass der Gesamtverbrauch durch die vor dem Jahr 2000 erstellten Gebäude dominiert wird. Berücksichtigt man zudem noch, dass die jährliche Erneuerungsrate aktuell bei ca. 1% liegt, wird sofort klar, dass der Energieverbrauch des Gebäudesektors noch auf Jahrzehnte hinaus durch den Bestand bestimmt wird.

Gefragt sind daher politische Rahmendbedingungen, die zu einer schnelleren Erneuerungsrate beitragen und technologische Konzepte, die eine effiziente und nachhaltige Erneuerung in hoher Qualität ermöglichen. Letzteres ist Gegenstand des vorliegenden Artikels.

2. Standardisierte und modularisierte Erneuerung von Mehrfamilienhäusern

Eingebettet in den IEA Annex 50 “Prefabricated systems for low energy renovation of residential buildings” wurde in der Schweiz das Projekt “RETROFIT – Nachhaltige Wohnbauerneuerung mit vorfabrizierten Hüllsystemen“ durch Forschungsinstitute und Industrieunternehmungen unter der Leitung der Empa lanciert. Im Fokus des Projektes stehen die Erneuerungen von Mehrfamilienhäusern aus den Jahren 1940 – 1970. Bei diesen Gebäuden steht oftmals eine generelle Erneuerung an, welche mit grossen Investitionen verbunden ist. Es geht dabei nicht nur um die Verbesserung der energetischen Kenngrössen und des Komforts sondern oftmals lassen auch die Grundrisse und der Ausbau zu wünschen übrig. Werden diese Gebäude nicht umfassend saniert, werden sie bereits in naher Zukunft nur noch schwer vermietbar sein. Erneuerungen nach dem RETROFIT-Konzept sollen dazu führen, dass

- die Gebäude nach der Erneuerung für Heizen, Kühlen und Warmwasser noch 30-50 kWh/m^{2}a benötigen,
- Sonnenenergie genutzt wird,
- ein guter thermischer Komfort resultiert,
- der Lärmschutz gewährleistet ist,
- gute Luftqualität garantiert wird,
- eine optimale Tageslichtnutzung erfolgt,
- der Bauprozess schnell abläuft und
- vor der Realisierung eine zuverlässige Kostenprognose vorliegt.

Um diese ambitiösen Ziele zu erreichen, ist eine enge und interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen den verschiedenen Partnern unerlässlich. Das Projekt wurde in drei Bereiche gegliedert (vgl. Abbildung 3): A Technologieentwicklung, B Systemintegration und C Sozio-ökonomische Untersuchungen.

Im Folgenden soll auf einzelne Teilprojekte etwas detaillierter eingegangen werden: Aus dem Teil C auf das Entscheidungstool Retrofit-Advisor (C3), das dem Eigentümer eine schnelle und trotzdem ganzheitliche Einschätzung seiner Handlungsmöglichkeiten erlaubt, aus der Systemintegration auf die Typologisierung der Gebäude (B1) und aus der Technologieentwicklung auf die 3D-Messtechnik (A1), welche zum Ziel verlässliche und exakte Planungsgrundlagen für alle Partner zur Verfügung zu stellen, sowie Wand- und Fassadensystemen (A4).

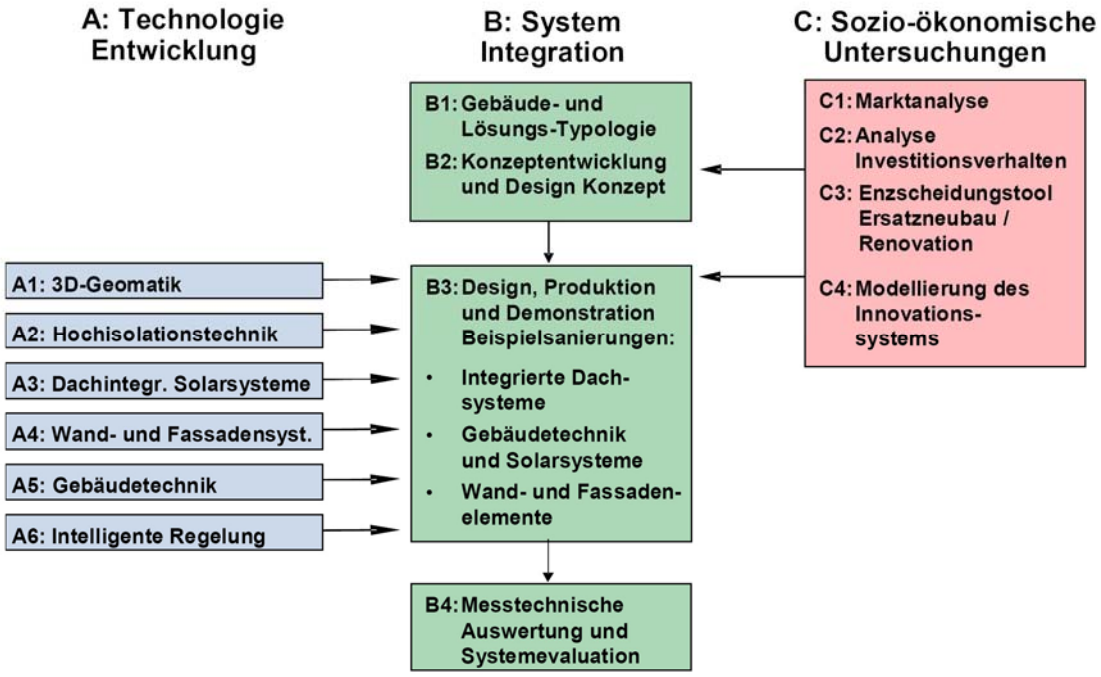

Abbildung 3: Projektstruktur RETROFIT

2.1. Entscheidungstool Retrofit Advisor

Prinzipiell stellt sich bei einer Liegenschaft irgendeinmal die Frage, ob das Gebäude repariert, gesamtheitlich erneuert oder gar abgerissen werden soll. Eine Beurteilung der Vor- und Nachteile dieser grundsätzlich unterschiedlichen Optionen nur aus dem Bauch heraus birgt das Risiko eines Fehlentscheides in sich. Mit dem Retrofit Advisor soll dem Eigentümer ein relativ einfaches Tool zur Verfügung gestellt werden, das ihn objektiv unterstützt und es ihm erlaubt verschieden Optionen miteinander zu vergleichen. Er erhält damit auch Basisinformationen, die anschliessend mit Planern und Architekten vertieft werden können [6].

Gebäude tangieren alle Aspekte der Nachhaltigkeit: Es handelt sich um kapitalintensive Investitionen, die im Falle der Mehrfamilienhäuser auch eine bestimmte Rendite abwerfen sollen, sie sind ein wesentliches Element unseres Lebensraumes und durch ihren Energieverbrauch beeinflussen sie auch massgeblich die Umwelt. Der Retrofit Advisor hat deshalb auch den Anspruch alle drei Dimensionen adäquat zu berücksichtigen:

- die Wirtschaftlichkeit einer Liegenschaft (Marktwert und Rendite)
- Gesellschaftliche Aspekte durch Kriterien für die Wohnungsqualität
- die Umweltverträglichkeit (Eco-Indicator 99)

Um die unterschiedlichen Erneuerungsstrategien beurteilen und miteinander vergleichen zu können, werden vier Gebäudezustände analysiert: aktueller Zustand, Instandstellung, Gesamterneuerung und Abbruch und Ersatz durch Neubau. Eine grafische Darstellung des Zusammenspiels der einzelnen Module zeigt Abbildung 4.

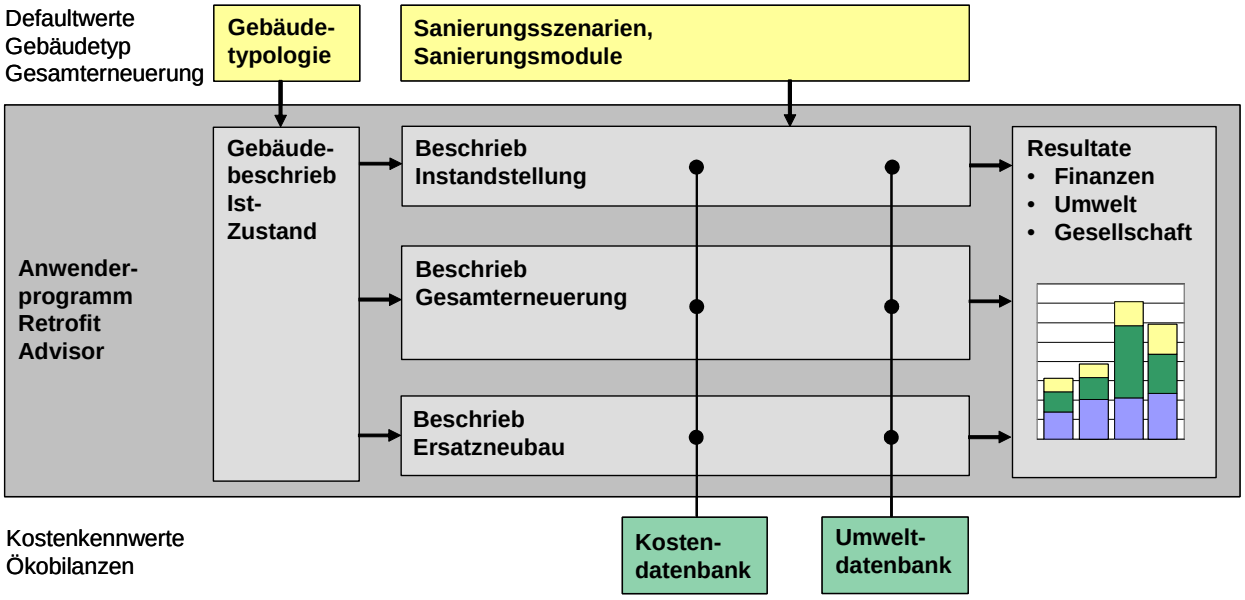

Abbildung 4: Zusammenwirkung der Berechnungsmodule im Retrofit Advisor. Für die Eingabe kann auf Datenbanken zurückgegriffen werden

Das Tool ist ausgesprochen anpassungsfähig. Während der unerfahrene Benutzer sich bei der Dateneingabe im wesentlichen auf Defaultwerte beschränken kann, ist es dem Fachmann möglich, sehr objektspezifische Angaben einzuspeisen, was naturgemäss auch zu einem qualitativ besseren Resultat führen wird. Bei der Variantenbewertung hat der Benutzer die Freiheit, die Aspekte Wirtschaftlichkeit, Umwelt und Gesellschaft gemäss seinen persönlichen Prioritäten zu gewichten. In allen drei Dimensionen werden detaillierte Einzelvergleiche geliefert, es steht aber auch eine zusammenfassende Überblicksdarstellung zur Verfügung (vgl. Abbildung 5). In diesem Beispiel ist die Gesamtsanierung finanziell etwa gleich interessant wir der Ersatzneubau, umweltbezogen hat die Gesamtsanierung grosse Vorteile, da weniger Graue Energie benötigt wird. Dafür schneidet die Gesamtsanierung gesellschaftlich etwas schlechter ab, da der Schallschutz und die Zugänglichkeit für Behinderte kaum verbessert werden (kein Lift).

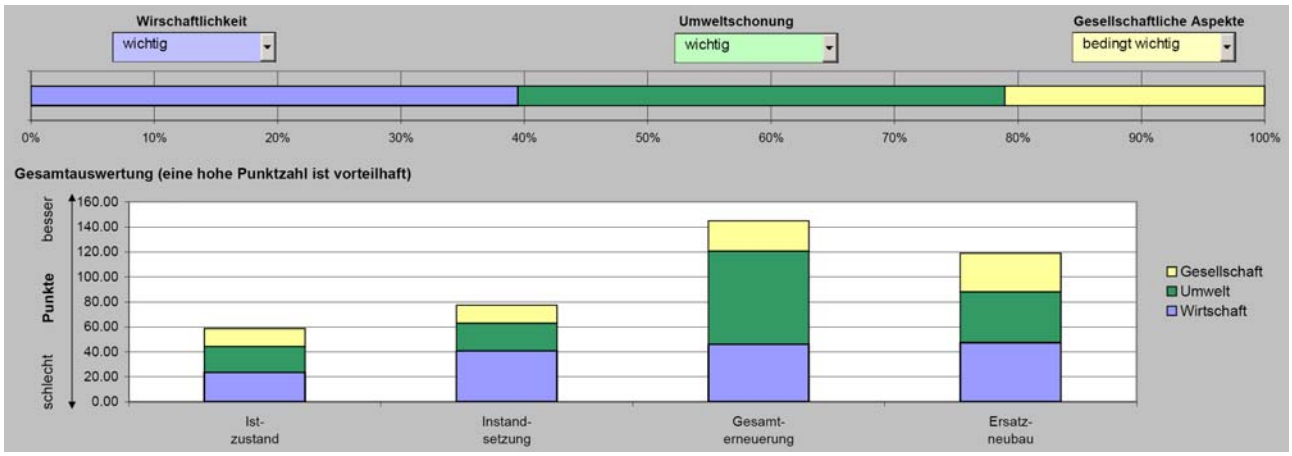

Abbildung 5: Gesamtauswertung Retrofit Advisor

Der Retrofit Advisor bindet die Resultate aus den anderen Teilprojekten ein, so dass über die Gebäudetypologie bereits konkrete Vorschläge für Erneuerungsstrategien und einzusetzende Komponenten und Systeme gemacht werden.

2.2. Typologisierung der Gebäude

Mit dem Teilprojekt Typologisierung werden zwei verschiedene Zielsetzungen anvisiert: eine Reduktion der Komplexität in der Beschreibung der Gebäude in ihren für die Erneuerung relevanten Merkmalen und die Erfassung des Marktpotentials unterschiedlicher Komponenten und Systeme für die Erneuerung [7].

Mit der Erneuerung eines Gebäudes soll eine Wertsteigerung verbunden sein, die sich aus der Kombination der Nutzbarkeit, der technischen Qualität und der gestalteten Atmosphäre ergibt. Am Anfang des Entscheidungsprozesses muss das diesbezügliche Potential unterschiedlicher Lösungsvarianten ermittelt werden. Um sich nicht in Details zu verlieren, werden in der Typologisierung die für die Erneuerung relevanten Merkmale erfasst und basierend auf diesen Merkmalen eine Klassierung vorgenommen.

Gegenstand der Typologisierung sind Mehrfamilienhäuser in der Deutschschweiz mit Baujahr 1919 bis 1990. Von diesen rund 106'000 Gebäuden wird ein statistisch relevantes Sample von 240 Gebäuden im Detail analysiert und auf den so gewonnenen Daten die Typologisierung entwickelt.

Der Merkmalkatalog ist in 13 Fokusbereiche unterteilt (Lage, Freiraum, Konstruktion, Gebäudetechnik, …), wobei es Merkmale gibt, die typenrelevant sind und solche die spezifisch für ein Gebäude sind (z.B. Energiebezugsfläche). Typenrelevante Merkmale können wiederum hierarchisch gegliedert sein. Beispielsweise werden die Merkmale eines Balkons (Position zur Aussenwandebene, Konstruktionsart und Befestigungsart) wieder zu einer Balkonart kombiniert. Mit diesem Verfahren ist es gelungen, die erfassten Gebäude in 10 Typen zu unterteilen (vgl. Abbildung 6).

Abbildung 6: Merkbilder der 10 Gebäudetypen

Basierend auf den in der Typologisierung erfassten Merkmalen werden unterschiedliche Erneuerungsstrategien entwickelt. Diese sind abgestimmt auf die typenspezifischen Merkmale und setzen sich aus Massnahmen im Dachbereich, der Fassade, der Gebäudetechnik usw. zusammen, wobei gewisse Massnahmen für unterschiedliche Gebäudetypen identisch sein können. Aufgrund der statistischen Untermauerung der Typologisierung kann auch das Marktpotential für die teilweise neu zu entwickelnden Komponenten und Systeme der Erneuerung abgeleitet werden. Durch die Typologisierung kann auf einfache Art das Potential eines einzelnen Gebäudes oder eines ganzen Immobilienportfolios abgeschätzt werden.

2.3. 3D-Messtechnik [8]

Nachdem mit Hilfe des Retrofit Advisors ein Grundsatzentscheid zur Erneuerung eines Gebäudes gefällt worden ist, müssen unter anderem die geometrischen Daten des Gebäudes erhoben werden. Aufgrund fehlender Pläne und der Abweichungen zwischen Planangaben und effektiver Realisierung ist eine Neuerfassung dieser Daten unvermeidlich. Da das Retrofit-Konzept sich ganz stark auf die industrielle Vorfertigung von Komponenten stützt, müssen hohe Ansprüche an die Qualität der Daten gestellt werden. Um den Aufwand für diese Arbeiten zu minimieren, macht es Sinn, diese zusammen zu fassen und eine zentrale Datenbewirtschaftung und –nutzung einzurichten.

Durch den Einsatz geeigneter 3D-Messtechnik und eine entsprechende Aufbereitung der Daten können die Planungssicherheit signifikant verbessert werden, Zeit und Kosten eingespart werden. Der zu erhebende Datensatz umfasst im Wesentlichen folgende Informationen: Fassadenstruktur, Fenster, Türen, Balkone, Dach, Treppenhaus, Wohnungen, Umgebung. Diese Daten werden in geeigneter Form über eine web-basierte Lösung den beteiligten Unternehmungen zur Verfügung gestellt. Die anzustrebende Genauigkeit liegt für Fenster bei ca. ± 4 mm und im Bereich Dach/Fassade bei ± 7 mm.

Für die Datenerfassung kommen unterschiedliche Messsysteme zum Einsatz: terrestrisches Laserscanning (TLS), Nahbereichsphotogrammetrie (bodengestützt oder mit einer Mikrodrohne) und die elektronische Tachymetrie für einzelpunktorientierte Aufnahmen. Durch eine geschickte Kombination dieser Technologien ist es möglich, mit vernünftigem Aufwand die geforderten Informationen effizient zu beschaffen. Mit der TLS wird der Hauptharst der Messungen durchgeführt und es können dabei sowohl die Gebäudehülle als auch Innenräume vermessen werden. Im Aussenbereich werden durch photogrammetrische Aufnahmen Ergänzungsmessungen gemacht, unter anderem mit einer Mikrodrohne, die Bereiche erfassen kann, die der terrestrischen Messung nicht zugänglich sind. Erste Erfahrungen bestätigen die Notwendigkeit und den Nutzen der 3D-Messtechnik auf eindrückliche Art. In Abbildung 7 ist eine Ebenheitsanalyse einer bestehenden Fassade dargestellt. Es zeigt sich, dass die Abweichungen von einer perfekten Ebene im Bereich einiger Zentimeter liegt. Eine industrielle Vorfertigung neuer Fassadenelement und deren rasche Montage vor Ort ist nur möglich, wenn derartige Informationen frühzeitig bekannt sind und in den Fertigungsprozess einfliessen.

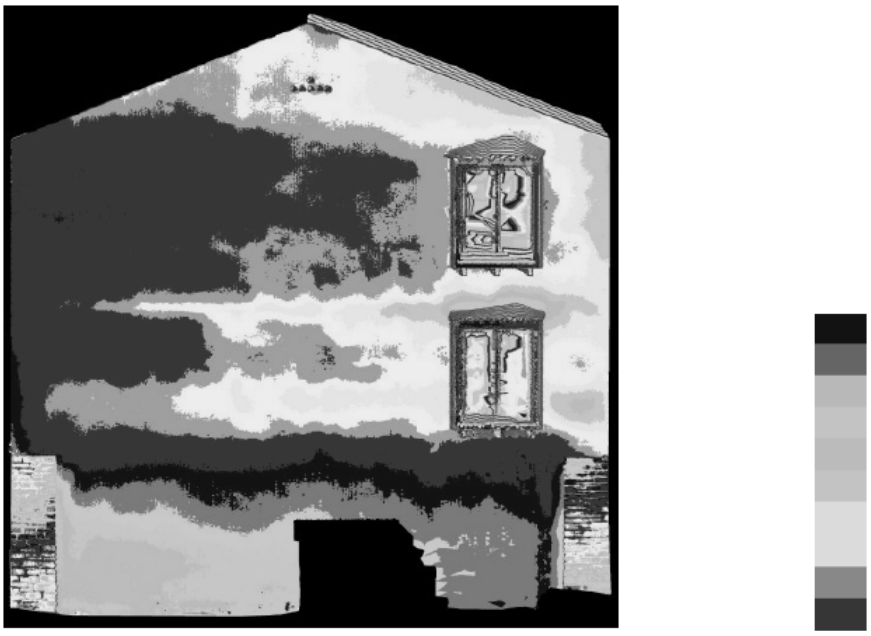

Abbildung 7: Ebenheitsanalyse einer Fassade. Jeder Farbwechsel entspricht einer Differenz von 5 mm gegenüber einer virtuellen vertikalen Ebene.

Erste Erfahrungen haben das grosse Potential der Methode bestätigt, es bleiben aber noch eine Reihe von Herausforderungen zu meistern. Die Auflösung im Bereich der Fenster entspricht noch nicht der gewünschten Genauigkeit. Weitere Anstrengungen müssen auch im Bereich der Datenaufbereitung gemacht werden, ist diese heute doch noch sehr zeitintensiv. Immerhin hat sich gezeigt, dass die Akzeptanz für eine zentrale Datenbereitstellung bei den beteiligten Industriepartnern hoch ist. Wichtig ist dabei ein benutzerfreundlicher Zugriff. Schliesslich ist es auch wichtig, frühzeitig festzulegen, welche geometrischen Daten in welcher Qualität erfasst werden müssen, um ein optimales Kosten-Nutzen Verhältnis erzielen zu können.

2.4. Wand- und Fassadensysteme

Die standardisierte und modularisierte Erneuerung soll nebst einfacheren und günstigeren Bauabläufen vor allem auch hervorragende Qualität garantieren. Dazu müssen insbesondere alle kritischen Details optimal gelöst werden. Aus energetischer Sicht ist die Ausbildung der Fensterpartie ausschlaggebend. Es wurde daher entschieden, das Fenster inklusive seiner näheren Umgebung vollständig in der Vorfabrikation zu erstellen. Diese Entwicklungen werden von der Fachhochschule Nordwestschweiz in enger Kooperation mit einer grossen Zahl von industriellen Partnern geleitet [9].

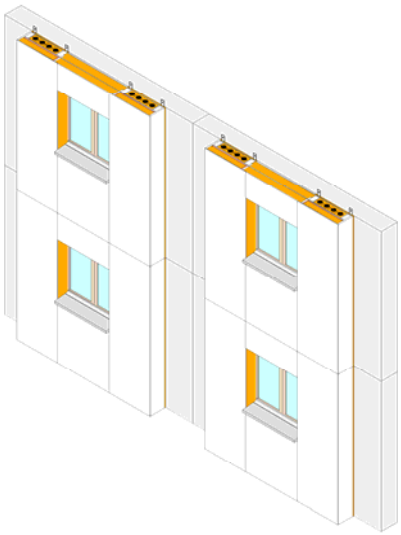

Abbildung 8: Vorfabrizierte Fenstermodule

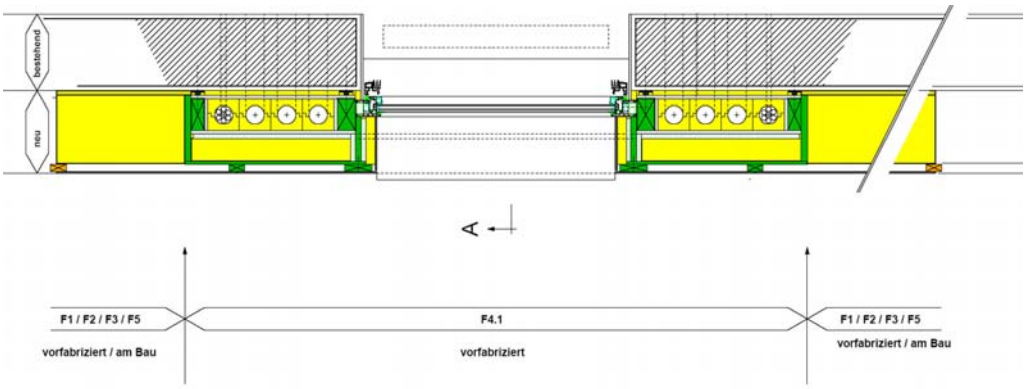

Abbildung 9: Querschnitt Fenstermodul und seitlicher Anschluss

Die Fenstermodule sind hochintegriert und lassen sich in der Vertikalen wie in einem Baukastensystem zusammenstellen (vgl. Abbildung 8 und Abbildung 9). Um eine optimale Tageslichtnutzung zu ermöglichen, wird das Fenster nach aussen verlegt. Im Fenstermodul sind die Erschliessungsleitungen für Zu- und Abluft sowie für allfällige zusätzliche Medien bereits integriert. Im Bereich dieser Leitungen kommt es zu einer Schwächung der thermischen Isolation aufgrund der reduzierten Wandstärke des Isolationsmaterials. Um diese zu kompensieren, ist es möglich, hier selektiv mit Hochleistungsisolationsmaterialien wie beispielsweise Vakuumisolationspanelen zu arbeiten.

Die seitlichen Anschlüsse an das Fenstermodul können entweder vor Ort gefertigt werden oder es können ebenfalls vorfabrizierte Elemente verwendet werden. Abschliessend kommt eine Deckverkleidung über die Fenstermodule und die Module im Zwischenbereich. Dabei können unterschiedlichste Materialien und Systeme zum Einsatz kommen (hinterlüftete Konstruktionen, Verputze, ...).

3. Ausblick

Die dringend notwendige Steigerung der Erneuerungsrate der bestehenden Bauten kann nur gelingen, wenn die Planungs- und Ausführungsprozesse massiv vereinfacht und gleichzeitig die Qualität des Ergebnisses gesteigert werden. Am Beispiel von Mehrfamilienhäusern wurde gezeigt, wie durch die Standardisierung und die Modularisierung Effizienz- und Qualitätsgewinne erzielt werden können. Durch die enge Zusammenarbeit zwischen Forschungsstellen und Industriepartnern wird sichergestellt, dass innovative und praxistaugliche Lösungen erarbeitet werden, die zudem in einer ganzen Reihe von Demonstrationsprojekten aktuell oder in der nächsten Zukunft umgesetzt werden.

Ein Beispiel einer möglichen Erneuerung ist in Abbildung 10 dargestellt, wobei nicht zwingend alle Schritte implementiert werden müssen. Im ersten Schritt wird das alte Dach entfernt. Es wird ein neues, vorfabriziertes Dach mit integrierter Haustechnik und Solarenergiegewinnung aufgesetzt (2). Die Erschliessung der Wohnungen mit Zu- und Abluft erfolgt über die Fassade (3), diese wird mit vorgefertigen Modulen zusätzlich gedämmt (4). Die Balkone werden zu Wintergärten umfunktioniert (5), was zusätzliche solare Gewinne im Winter ermöglicht und den Wohnraum vergrössert. Die Kellerdecke wird ebenfalls zusätzlich isoliert (6).

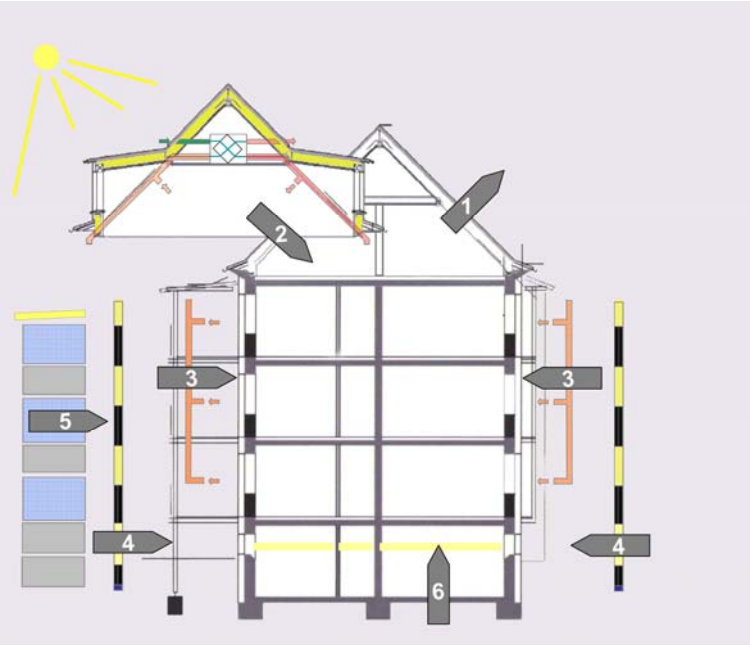

Abbildung 10: Gesamterneuerung eines Mehrfamilienhauses nach dem RETROFIT-Konzept

In einem nächsten Schritt muss das Anwendungsfeld erweitert werden. Zu nennen sind Gebäude mit architektonisch wertvollen Fassaden, bei denen eine zusätzliche Aussenverkleidung kaum oder gar nicht realisierbar ist, sowie Einfamilienhäuser.

4. Literatur

[1] "World Energy Outlook 2007", 2007

[2] Perez-Lombard, L., Ortiz, J. and Pout, C. 2008. "A review on buildings energy consumption information", *Energy and Buildings* **40** (3): 394-398

[3] Itard, L.: "Demolition rate of dwellings in Europe", 2008, Delft University of Technology (personal communication)

[4] Kirchner, A., Hofer, P., Kemmler, A., Keller, M., Aebischer, B., Jakob, M., Catenazzi, B. and Baumgartner, W., "Analyse des schweizerischen Energieverbrauchs 2000 - 2006 nach Verwendungszwecken", Bundesamt für Energie, 2008

[5] "Wattwerk Bubendorf", http://www.wattwerk.ch/Energiedarstellung/energie.php, 2008

[6] Zimmermann, M., Ott, W. and Kaufmann, Y., "Retrofit Advisor: Entscheidungshilfe für die nachhaltige Bauerneuerung", *15. Schweizerisches Statusseminar "Energie- und Umweltforschung im Bauwesen", Zürich,* 2008, pp

[7] Fischer, R. and Schwehr, P., "Typenbasierte Evaluation - Chancen für die ganzheitliche Wohnbauerneuerung", *15. Schweizerisches Statusseminar "Energie- und Umweltforschung im Bauwesen", Zürich,* 2008, pp

[8] Gottwald, R. and Knabl, T., "3D-Messtechnik bei der energieeffizienten Sanierung von Altbauten unter besonderer Berücksichtigung des Laserscannings", *15. Schweizerisches Statusseminar "Energie- und Umweltforschung im Bauwesen", Zürich,* 2008, pp

[9] Binz, A. and Kobler, R.: "Nachhaltige Wohnbauerneuerung - Fassaden- und Dachelemente", 2008, Fachhochschule Nordwestschweiz (personal communication)