

Lucerne University of  
Applied Sciences and Arts

**HOCHSCHULE  
LUZERN**

Technik & Architektur

FH Zentralschweiz

Management Summary

# **KTI-Projekt Gebäudehülle**

KTI Projekt-Nr. 13903.1 PFES-ES

Gebäudehülle – Ein Entscheidungs- und Beurteilungsinstrument  
zur Erstellung nachhaltiger Fassaden mehrgeschossiger Gebäude

**Kommission für Technologie und Innovation KTI**  
KTI Projekt-Nr. 13903.1 PFES-ES

**Hochschule Luzern – Technik & Architektur**  
Technikumstrasse 21  
CH-6048 Horw

**Forschungsteam Hochschule Luzern**  
- Institut für Architektur IAR  
- Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE  
- Institut für Bauingenieurwesen IBI  
- Institut für Finanzdienstleistungen Zug IFZ

Andreas Binkert, Nüesch Development AG  
Dieter Geissbühler, IAR  
Reto Gloor, GKP Fassadentechnik AG  
Diego Hangartner, IGE  
Marvin King, IGE  
Andreas Luible, IBI  
Urs-Peter Menti, IGE  
Alexandra Saur, IAR  
Markus Schmidiger, IFZ  
Gianrico Settembrini, IGE  
Stefan von Arb, IAR  
Thomas Wüest, IBI

**Projektleitung**  
Marvin King, dipl. Ing. Architekt SIA,  
Bauökonom AEC, Wiss. Mitarbeiter IGE

Grafik: Manuel Gächter, 9413 Obereg  
Titelbild: Fassade Europaallee 21, Zürich  
Fotografie von Paolo Gamba. [https://c1.staticflickr.com/1/314/19472530699\\_509f4b7205\\_o.jpg](https://c1.staticflickr.com/1/314/19472530699_509f4b7205_o.jpg)

© Hochschule Luzern – Technik & Architektur,  
11-2017, 2'500 Ex.

---

# Management Summary

## KTI-Projekt Gebäudehülle

### 1. EINLEITUNG

Hochhäuser erfahren aktuell in der Schweiz eine Art Renaissance. Das flächenmässig ausgedehnteste Bauteil dieses markanten Gebäudetyps ist die Gebäudehülle, welche durchschnittlich 20–25 % der gesamten Bauwerkskosten ausmacht. An dieser komplexen Schnittstelle zwischen innen und aussen treffen nahezu sämtliche Planungsparameter mit stets wachsenden Anforderungen zusammen. Anhand von 14 aktuellen Hochhausfassaden wurden im Forschungsteam der Hochschule Luzern – Technik & Architektur die inhaltlichen Grundlagen für ein Entscheidungsinstrument interdisziplinär entwickelt. Das KTI-Projekt Gebäudehülle fokussiert dabei auf die folgende Frage: Welche Entscheide fallen in frühen Konzept- und Planungsphasen für einen Investor an, wenn er eine nachhaltige Gebäudehülle eines höheren Gebäudes bestellt und welche Auswirkungen haben diese Entscheide auf Ökonomie, Ökologie und Gesellschaft bzw. werden dadurch beeinflusst?

Mit dem Projekt wird Wissen über die hochkomplexen Zusammenhänge und Wechselwirkungen bei der Erstellung von Gebäudehüllen mehrgeschossiger Gebäude generiert und vermittelt. Die Bereitstellung dieser Analysedaten in der Systematik des Schweizer Elementarten- bzw. Objektartenkatalogs OAK ermöglicht die unmittelbare Implementierung in die durch die Schweizerische Zentralstelle für Baurationalisierung CRB bereitgestellten Arbeitsmittel für die Baubranche.

Das Forschungsprojekt zeigt die Hebelwirkungen der wichtigsten Entscheide und deren Auswirkungen auf die Nachhaltigkeit von Hochhausfassaden auf, wobei die Erkenntnisse auch für Gebäudehüllen aller Art adaptiert werden können. Die entwickelte Matrix (Grafik 1) stellt Zusammenhänge der Fassadentypologie, Anzahl Schichten der transparenten Bauteile und der Gebäudenutzung dar – die jeweiligen Systeme werden anhand der Instrumente bewertet und in Abhängigkeit zueinander gestellt.

Einerseits wird im Projekt der gravierende Einfluss von frühen Planungsentscheidungen wie der Geometrie bzw. der Konstruktion anhand des erstellten Ökonomiemodells deutlich. Andererseits wird über den Vergleich der gewählten Referenzanschnitte aufgezeigt, dass das konstruktive Detail des Bauteils und deren kybernetische Wirkweise ausschlaggebend sind für den Lebenszyklus der Gebäudehülle.

**Grafik 1:** Typologien der Gebäudehülle

		Ränder in der Fassadenebene (A2)		
		Allseitig Lochfassade, (A2.a)	Sturz und Brüstungen Bandfassade, (A2.b)	Dach und Sockel Vorhangfassade (A2.c)
Schichten der transparenten Bauteile (A1)	zweischichtig geschlossen(A1.c)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Neubau Biologiezentrum, Uni Basel</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Roche Bau 5, Rotkreuz</li> <li>Bürohochhaus Allianz, Richti Areal Bf7, Wallisellen</li> </ul>
	zweischichtig offen (A1.b)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Europaallee, Bf A21/A22, Zürich</li> <li>Fachhochschulzentrum, Bhf Nord SG, St. Gallen</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Europaallee Bf A23, Zürich</li> <li>Hochhaus Hagenholzstrasse, Zürich (Abluftfassade)</li> </ul>
	einschichtig (A1.a)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hochhaus am Rietpark, Schlieren</li> <li>Wohnhochhaus Markthalle, Basel</li> <li>Limmat Tower, Dietikon</li> <li>Mobimo Tower, Zürich (zwei Referenzausschnitte)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hochhaus im Stadtwald 1, Rorschach</li> <li>Hochhaus HardTurmPark, Zürich, (zwei Referenzausschnitte)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Prime Tower, Zürich</li> <li>Neuer Campus FHNW, Muttenz</li> </ul>

- Wohnen und Hotel
- Schule und Forschung
- Büro und Verwaltung

## 2. METHODIK UND INSTRUMENTE

### 2.1 Mengenkennwerte der Objekte

Die analysierten Objekte sind in der Grösse der Mengenbetrachtung sehr unterschiedlich. Die Volumen betragen im kleinsten Objekt 40'000 m<sup>3</sup>, im grössten Objekt 420'000 m<sup>3</sup>. Insgesamt sind anhand eines erweiterten Mengengerüsts nach SIA 416 über 380 Geschosse analysiert. Die Geschossflächen betragen von 13'000 m<sup>2</sup> bis 81'000 m<sup>2</sup>, der Faktor liegt bei über sechs. Betrachtet man das Verhältnis der äusseren Wandbekleidung des Gebäudes zur Geschossfläche, beträgt der Anteil 18 % bis 60 % (Faktor 3).

### 2.2 Objektkatalog der Hochhäuser

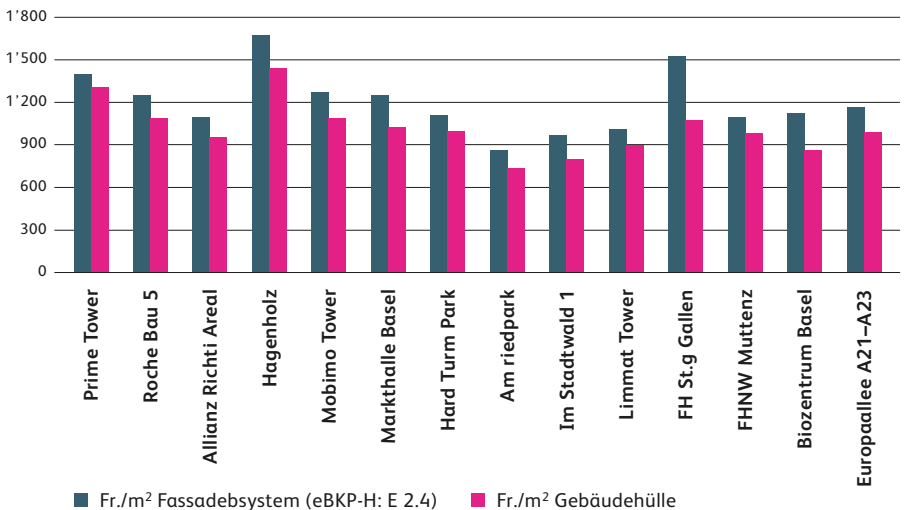
Im Rahmen des Projektes wurde ein Objektkatalog der Hochhäuser erstellt. Jeweilige relevante Kennzahlen der Gebäude wurden zusammengetragen und grafisch unterstützt durch Grundriss und Schnitt. Sämtliche Teilflächen des Gebäudes werden mit dem objekttypischen Referenzgeschoss

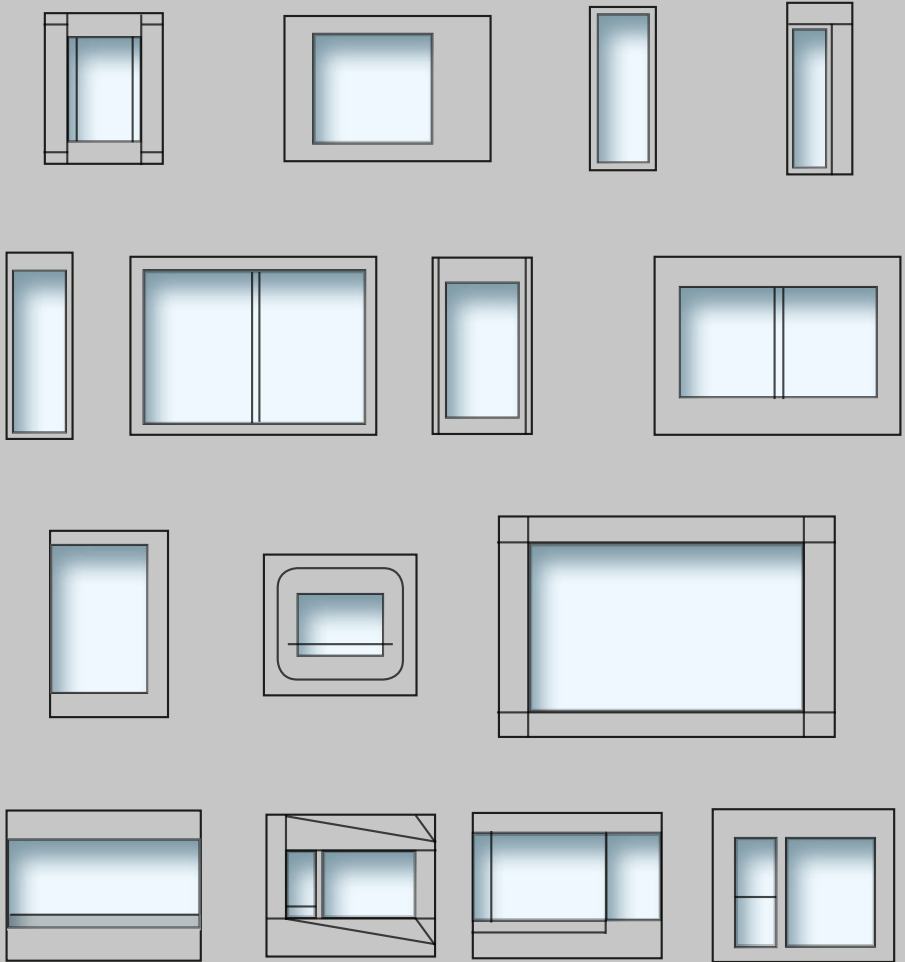
verglichen. Die Grafiken verdeutlichen sehr anschaulich die Eigenheiten der Objekte, oft bedingt über den Standort oder deren Nutzung. Der gewählte Referenzausschnitt der Fassade ist jeweils in Ansicht, Grundriss und Schnitt im Mst. 1:33 einheitlich dargestellt.

### 2.3 Ökonomiemodell nach eBKP-H (SN 506 511)

Als Grundlage dienen die Schweizer Normen für die Baukostenplanung (Baukostenplan Hochbau eBKP-H 2012, SN 506 511). Diese Gliederung beschreibt die Kosten für die Erstellung eines Objektes. Die Mengen und Einheitspreise sind für alle Fassaden nach der Bottom-up-Methode auf Elementebene erstellt. Bei den ergänzenden Anlage-/ bzw Bauwerkskosten wurden sämtliche Mengen des Objekts anhand einer Modellrechnung den Einheitspreisen zugeordnet. So entsteht eine Kombination aus Modellrechnung (eBKP-H Hauptgruppen A/B/I/V/Z) und individueller Rechnung der Gebäudehülle (Hauptgruppen C/D/E/F/G). Nur

**Grafik 2:** Fr./m<sup>2</sup> Fassadensystem und Gebäudehülle





**Grafik 3:** Zusammenstellung der Referenzausschnitte als «Fassadenzoo» ohne Hierarchisierung

durch die intensive Aufbereitung der Grundlagen und Entwicklung eines neuen Kostenschlüssels war die Vergleichbarkeit der Objekte gegeben. Deutlich wird dies beim Vergleich von Lochfassaden und Vorhangfassaden, welcher ohne Berücksichtigung des statischen Systems nicht möglich wäre. Die Primärkonstruktion (flächig integriert oder Stützen dahinterliegend) ist in beiden Fällen zwingend für die Betrachtung einzubeziehen. Ebenfalls kostenrelevant sind der Bauablauf oder die Notwendigkeit eines Fassadengerüsts, welches z.B. für vofabrizierte Elemente durch die Montage von innen nicht nötig wäre.

In Grafik 2 gehen die Kosten Fr./m<sup>2</sup> des Fassadensystems bzw. der Gebäudehülle hervor. Werden die Kosten der Gebäudehülle jedoch mit der Geometrie (GV/HNF) kombiniert, stellt man jedoch einen enormen Einfluss des Mengengerüsts auf die Materialisierung bzw. deren Kosten fest. Der Einfluss der Geometrie beträgt knapp 50 % der Gebäudehülle und definiert bis zu 23 % der Anlagekosten.

**2.4 Referenzausschnitt und Modulgrösse**

In Grafik 3 wird die Vielfalt der gewählten Referenzausschnitte deutlich. Die Ausschnitte der

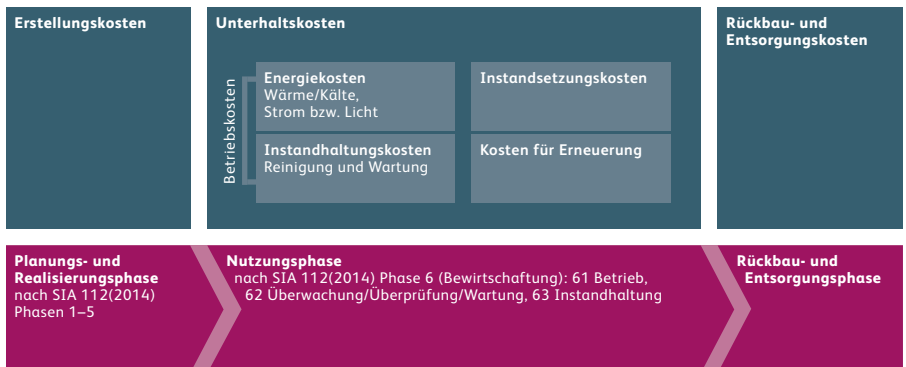
Fassaden unterscheiden sich zum Teil erheblich in ihrer Modulgrösse von 4.52 m<sup>2</sup> bis 31.51 m<sup>2</sup>. Sämtliche Ausschnitte bleiben jedoch geschosshoch und variieren von 2.86 m bis 4.52 m in ihrer Höhe. In ihrer Breite variieren die Module von 1.35 m bis 7.05 m.

**2.5 Lebensdauerbetrachtung des Bauteils im Detail**

Für sämtliche Referenzausschnitte wurde die Lebensdauer der jeweiligen Bauteile anhand von Plangrundlagen Mst.: 1:2 bis 1:5 bestimmt. Nicht die materialbedingte Lebensdauer, sondern die konstruktive Betrachtung im Detail war ausschlaggebend für die Bewertung von Instandhaltung und Instandsetzung inkl. Rückbau. Diese massgeblichen Kennwerte der Lebenszyklusbetrachtung über 60 Jahre dienten als Grundlage für die gesamtheitliche Betrachtung der Nachhaltigkeit der Hochhausfassaden.

Die Unterhaltskosten der untersuchten Fassaden betragen in 60 Jahren durchschnittlich das Doppelte der Erstellungskosten, wobei die Rückbaukosten inkl. Entsorgung 6 % betragen (Definierte Kostenphasen s. Grafik 4). Die Kosten des Betriebs betragen durchschnittlich 150 % der Erstellung, hierbei die Energiekosten lediglich

**Grafik 4:** Sechs definierte Lebenszyklus-Kostenarten in Bezug zu den Lebenszyklusphasen



5–10 % ausmachen. Die gesamten Lebenszykluskosten betragen ca. 320 % der Erstellung. Es kann festgehalten werden, dass die Gebäudehülle wesentlich tiefer in das Gebäude einwirkt als es deren äussere umhüllende Schicht auf den ersten Blick vermuten liesse.

### 2.6 Qualitative Faktoren

Im Projekt wurde untersucht, wieweit sich qualitative Faktoren auf den kommerziellen Erfolg eines Objektes auswirken. Im Rahmen dieses Projektes wurden dazu zwei Instrumente zur Verfügung gestellt:

- Ein Typologieraster zur Gebäudehülle; als Kommunikationsinstrument unter Fachleuten, welches mit Begriffspaaren arbeitet.
- Das entwickelte «QualiTool»; zur Ermittlung und Quantifizierung der Qualität im Sinne der Wirksamkeit zur Erreichung der angestrebten Ziele in Anlehnung der Systematik des SNBS.

Einzelne wenige qualitative Hinweise verschiedener Stakeholder liefern Ansatzpunkte für die Optimierung. Die guten Werte verwundern nicht, zumal es sich um realisierte Fassaden handelt, die aufgrund ausführlicher Diskussionen und Variantenstudien zustande gekommen sind. Die Gestaltung des Erdgeschosses und der Umgebung haben einen entscheidenden Einfluss auf die Qualität der Interaktion mit dem Umfeld – diese beiden Elemente sind wiederum nur zu einem geringen Teil von der ausgewählten Fassade abhängig bzw. können im Sinne eines Sockelgeschosses bewusst davon differieren.

### 2.7 Life-Cycle-Costing (LCC)

In einer zunehmend ökologieorientierten Immobilienökonomie stösst das Verfahren der Lebenszykluskosten aufgrund seiner ganzheitlichen Betrachtung auf eine hohe Akzeptanz. Durch den Einbezug der Betriebs- und Entsorgungskosten findet das Prinzip der Nachhaltigkeit Anwendung, denn Nachhaltigkeitsüberlegungen führen oft zu tieferen Betriebs- und Unterhaltskosten.

Auch wenn über die Barwertbetrachtung von 60 Jahren die Auswertungen mit gewissen Un-

sicherheiten verbunden sind, lässt sich festhalten, dass nicht nur die reinen Erstellungskosten, sondern darüber hinaus auch die jährlich anfallenden Unterhaltskosten von grosser Bedeutung sind. Bei einigen Objekten machen diese jährlich anfallenden Kosten auf diskontierter Basis (3 % realer Zinssatz) beinahe die Hälfte der Gesamtkosten aus. Gewisse Fassaden, welche in Bezug auf die Erstellungskosten je Quadratmeter teurer sind, weisen tiefere Betriebs- oder Erneuerungskosten auf, was bei einer Gesamtbetrachtung wieder zu ihren Gunsten ausgelegt werden kann.

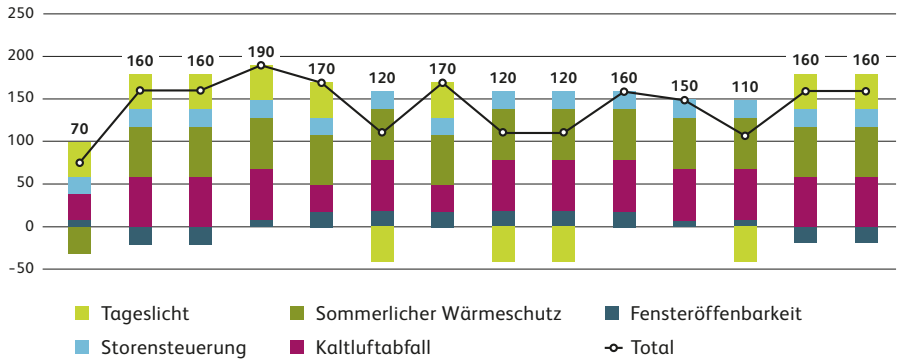
### 2.8 Behaglichkeit

Die Bewertung der thermischen und visuellen Behaglichkeit wurde in fünf verschiedenen Kategorien (Grafik 5: Tageslicht, Sonnenschutzsteuerung, sommerlicher Wärmeschutz, Kaltluftabfall, Fensteröffnbarkeit) und anhand klar definierter Kriterien durchgeführt. Die Kategorien sind untereinander nicht direkt vergleichbar. Aus diesem Grund wird das Endergebnis in einer qualitativen Bewertung mit Punktezahldargestellt.

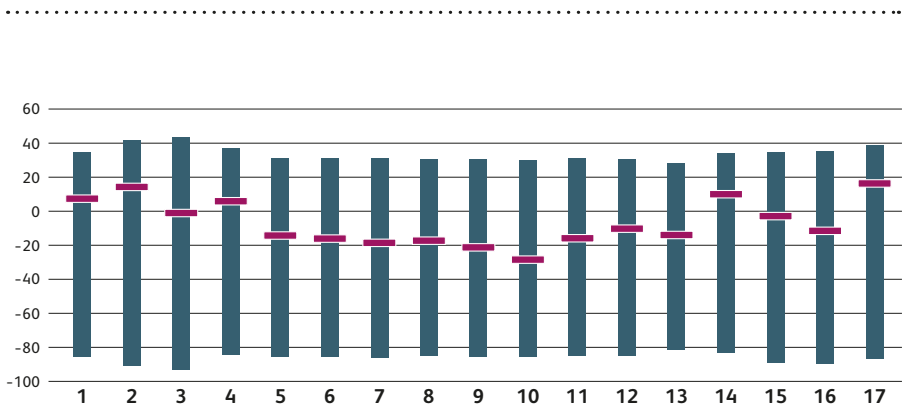
### 2.9 Ökobilanzierung

Die Ökobilanz einer Hochhausfassade wurde definiert durch das Mengengerüst der Gebäudehülle multipliziert mit dem Umweltfaktor der einzelnen Bauteile (UBP, Graue Energie, CO<sub>2</sub>-Emissionen). Bei der Bewertung der Fassaden wurden grundsätzlich zwei Vergleichsgrössen herbeigezogen: Die Ökobilanz der zum Zeitpunkt des Hochhausbaus zugeführten Baustoffe ohne Berücksichtigung deren vorgesehenen Nutzungsdauer, also der Ökobilanz im Jahr 0 (ohne Amortisation), und die Ökobilanz pro Jahr (mit Amortisation). Die Gegenüberstellung dieser beiden Werte erlaubt Rückschlüsse zur nachhaltigen Instandsetzung und Erneuerung im Lebenszyklus. Die Nutzungsdauer der Bauteile ist nicht lediglich abhängig vom verwendeten Material, sondern oftmals vom Fassadensystem, respektive konstruktiv bestimmt. Die systematische Trennung der einzelnen Bauelemente der Fassade, somit deren Zugänglichkeit bei der Instandsetzung, sind mitunter entscheidende Faktoren der Ökobilanzierung.





**Grafik 5:** Behaglichkeitsbewertung der Fassaden. Die Hebelwirkungen können je nach Beurteilungskriterium positiv oder negativ sein, die Fassadengestaltung ist stark von der jeweiligen Typologie und Nutzung abhängig.



**Grafik 6:** Das Resultat des Kriteriums "Rückbaubarkeit" ist in Form eines Candle-Stick-Diagramms dargestellt und zeigt das Optimierungspotenzial der Referenzausschnitte (1–17) auf. Der rote Strich gibt die erreichte Punktzahl innerhalb der qualitativen Bewertung an.

### **2.10 Energiebedarf**

Mit Hilfe von thermischen Simulationen wurde der Energiebedarf für Heizung, Kühlung und Beleuchtung von sechs Referenzobjekten ermittelt und mit den Energienachweisen sämtlicher Objekte nach SIA 380/1 verglichen. Der tatsächliche Energiebedarf der Gebäude ist stark nutzerabhängig, hierbei besteht ein grosses Einsparpotenzial durch entsprechende Betriebsoptimierungen. In Gesprächen mit Immobilienbetreibern stellten sich hohe Differenzen zwischen geplantem Energiebedarf und dem tatsächlich gemessenen Verbrauch heraus (Performance Gap).

### **2.11 Qualitative Wegweiser für die Planung von Hochhausfassaden**

Das Forschungsteam entwickelte eine qualitative Bewertungsmethodik zur Bestimmung der Nachhaltigkeitskriterien Rohstoffherkunft, Rückbaubarkeit, Auswirkungen am Mikrostandort, Qualität der Bausubstanz und des Fassadengewichts. Mit einem Systemkatalog aus 22 Baugruppen mit 134 Unterkriterien wurden sämtliche Referenzausschnitte umfassend bewertet. In Grafik 6 wird das Optimierungspotenzial für den Rückbau von Fassaden deutlich, wobei bei diesem Vergleich tendenziell Vorhangfassaden (Objekt 1/2/3/4/ 14/17) besser abschneiden als Lochfassaden.

### 3. RESULTATE

#### 3.1 Evaluation der Schlussberichte

Sämtliche Berichte wurden sowohl intern durch das Forschungsteam als auch extern durch Experten und Wirtschaftspartner validiert. Die Forschungsberichte stellen anhand der entwickelten Instrumente die Auswirkungen von Fassadenentscheiden in den drei Bereichen Ökologie, Ökonomie und Gesellschaft dar (vgl. Grafik 7).

Nach der umfassenden Auswertung und Analyse wurden die Erkenntnisse zu einem Leitfaden der «entscheidenden Hebelwirkungen zur Erstellung einer nachhaltigen Gebäudehülle» zusammengetragen.

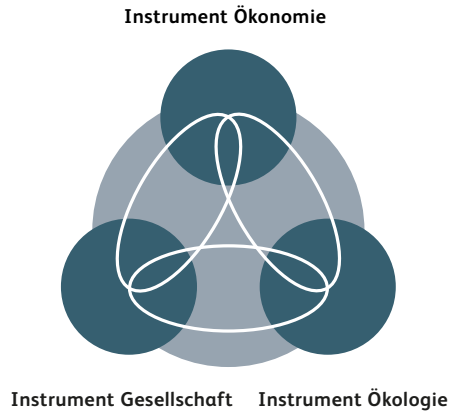
#### 3.2 Entscheidende Hebelwirkungen zur Erstellung einer nachhaltigen Gebäudehülle

Die Ergebnisse des KTI-Projektes Gebäudehülle zeigen auf, dass die Lage und die spezifische Situation die grösste Wirkung auf das Gebäude haben, vgl. Grafik 8. Die örtlichen Voraussetzungen sind entscheidend für das Ausnutzungspotential, das Gebäude wird über den Kontext und über die Gesetzeslage geprägt. Dieser grösste Hebel ist als Standort definiert.

Die Architektur fungiert als Schnittstelle von *Standort* und *Objekt* mit seiner spezifischen Situation im geschichtlichen, kulturellen, klimatischen wie auch materialbedingten Zusammenhang. Auf dieser Ebene wird auch der Standard (Qualität) mit direktem Einfluss auf die Kosten festgelegt. Um die Nachhaltigkeit der Gebäudehülle zu bewerten, war es nötig, das gesamte Objekt zu betrachten. Das Volumen des Gebäudes wird durch die Funktion und deren Nutzung formuliert, dessen Ausdruck im engen Zusammenhang mit der Fassadentypologie steht. Die Hebelwirkungen der Gebäudehülle greifen somit wesentlich tiefer in das Gebäude ein als die Betrachtung einer 30–50 cm umhüllenden Schicht.

Aus dieser grundlegenden Erkenntnis wird die *Gebäudenutzung* als entscheidend beurteilt. Auf gleicher Ebene wird die *Identität und Atmosphäre*

als wesentlich betrachtet. Sei es über den Ausdruck des Gebäudes und dessen Identifikation in der Fernwirkung als auch über die Komponente der Ästhetik von Bauten oder Bauteilen in der Nahwirkung. Neben Komponenten der technisch funktionalen Lebensdauer spielen Akzeptanz und Behaglichkeit für die wirtschaftliche Nutzungsdauer des Gebäudes eine entscheidende Rolle.



**Grafik 7:** Instrumente Ökonomie, Ökologie und Gesellschaft

# Standort



Grafik 8: Entscheidende Hebelwirkungen zur Erstellung einer nachhaltigen Gebäudehülle

### 3.3 Zehn weitere Hebelwirkungen mit abnehmenden Einfluss auf die Nachhaltigkeit

#### 1 Volumetrie

- Die Kompaktheit des Gebäudes ist für die Volumetrie entscheidend; das Volumen ist der grösste Hebel für die Erstellungskosten, die Gebäudehülle macht durchschnittlich 20–25 % der gesamten Bauwerkskosten aus (nach eBKP-H, Hauptgruppe C–G), die äussere Wandbekleidung (E) ist deutlich die relevante Hauptgruppe der Gebäudehülle, explizit das Fassadensystem E2.4.

#### 2 Grundflächen

- Je nach Flächeneffizienz liegt der Anteil der Hauptnutzfläche HNF an der Geschossfläche GF zwischen 35–60 %. Die Effizienz der Grundflächen ist von grosser Bedeutung, bei Büro- und Verwaltungsbauten sind 60 % anzustreben.

#### 3 Geschossigkeit

- Das Verhältnis Geschosshöhe (OK/OK) zu lichter Raumhöhe steht in Abhängigkeit mit anderen Hebeln wie z.B. der Hüllfläche. Nicht zu unterschätzen ist der Mehrflächenanteil der Fassade, der sich aus abgehängten Decken und aufgedoppelten Böden ergibt und es zu minimieren gilt.

#### 4 Elementierung, Schichtung, Fügung

- Die Fassadentypologie steht mit diversen Wechselwirkungen im Zusammenhang, es geht deutlich die Relevanz der transparenten Bauteile (Verglasungen) hervor. Die mögliche Einordnung sowohl in einschichtige und zweischichtige Bauteile als auch in Lochfassaden und Vorhangfassaden widerspiegelt sich in sämtlichen Schlussberichten der Projektbeteiligten.
- Über das Prinzip der Primärstruktur ist ebenfalls die Flexibilität über die gesamte Lebensdauer für die Nachhaltigkeit des Gebäudes bzw. der Gebäudehülle von Bedeutung.

#### 5 Öffnungsanteil

- Der Öffnungsanteil ist von grosser Relevanz für die Behaglichkeit; u.a. mit Einfluss auf die Öffenbarkeit der Fenster, den Kaltluftabfall, sommerl. Wärmeschutz, Anteil Tageslicht, aber auch die Ökobilanzierung.
- In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage der Komplexität der Gebäudehülle und des Grads der Technisierung in Verbindung mit der Haustechnik. Über den gesamten Lebenszyklus betrachtet ist die Vereinfachung des Gebäudesystems zielführend.

#### 6 Materialentscheid

- Der Materialentscheid betrifft das Gewicht der Fassade und die Ökobilanz und ist stark mit der Identifikation des Objektes verknüpft.
- Durch die Materialwahl sollen Rohstoffe aus nachhaltiger und regionaler Produktion verwendet werden, wobei spezifisch im Fassadenbau die Optionen betreffend der Rohstoffherkunft (lokal, national oder international) oft schwer zu nutzen sind. Die meisten Fassadenbauteile wie Glas, Aluprofile, Natursteine, etc. werden nicht in der Schweiz produziert sondern im nahen Ausland.
- Von überaus hoher Bedeutung für die «Graue Energie» ist hauptsächlich der Rahmenanteil. Vorhangfassaden haben im Vergleich der Objekte deutlich höhere Werte als Lochfassaden, aber auch hierbei sind das Detail und dessen Lebensdauer relevant.

#### 7 Planung und Baustellenlogistik

- Die Terminplanung ist projektspezifisch zu definieren und für den gesamten Bauprozess von hoher Bedeutung, der Grad der Vorfertigung variiert entsprechend stark. Für den Bauablauf ist die Konstruktionsmethode der Fassade bzw. das Fassadensystem relevant.

**8** Montage, Demontage, Recycling

- Aufwendige Konstruktionen wie SSG-Verklebungen (Structural-Sealant-Glazing) oder schwere Bekleidungen und deren Befestigungen haben einen negativen Einfluss auf die Nachhaltigkeit der Fassade in Bezug auf die Rückbaubarkeit.
- Metallbaufassaden sind i. d. Regel einfacher rückzubauen. Vorhangfassaden schneiden im Vergleich zu Lochfassaden positiver ab.
- Das spezifische Detail und deren Komponenten sind für eine einfache Montage, Demontage und Recycling relevant.

**9** Verarbeitung und Ausführungsqualität

- Die Qualität der Verarbeitung und Ausführung sind entscheidend für die funktionale Nutzungsdauer der Fassade und des Bauteils. Entscheidende Komponenten für die Lebensdauer sind die Akzeptanz von Bauten und Bauteilen über einen längeren Nutzungszyklus und über die architektonische Qualität die Identifikation in der Nahwirkung.

**10** Unterhalt (Reinigung, Betrieb)

- Die Kosten für Instandhaltung und Instandsetzung inklusive Rückbau spielen bei der Barwertbetrachtung von 60 Jahren für die Fassade eine untergeordnete Rolle. Dies resultiert jedoch aus dem Zinssatz (Diskontierung) respektive dem definierten langen Betrachtungszeitraum für den Unterhalt bei Anwendung einer dynamischen Berechnungsmethode des DCF-Verfahrens.

## 4. GESAMTFAZIT

- Die Erkenntnisse aus dem Forschungsprojekt können nicht nur für Hochhausfassaden sondern grundsätzlich auf Gebäudehüllen aller Art adaptiert werden.
- Die Gebäudehülle wirkt viel weiter in das Gebäude ein und nicht nur auf die äussere Schicht von 30–50 cm.
- Die Nutzungsdauer hat einen entscheidenden Einfluss auf die gesamtheitliche Nachhaltigkeit der Gebäudehülle.
- Über den gesamten Lebenszyklus betrachtet ist das konstruktive Detail des Bauteils ausschlaggebend, entsprechende Entscheide fallen in den frühen Entwurfs- und Planungsphasen.
- Die wechselseitigen Abhängigkeiten des Gesamtsystems spielen für die Nachhaltigkeit eine wesentliche Rolle.

## 5. AUSBLICK

Aus den Erkenntnissen dieses KTI-Projektes Gebäudehülle soll im Rahmen eines Folgeprojektes mit der Schweizerischen Zentralstelle für Baurationalisierung CRB und beteiligten Wirtschaftspartnern das Gliederungssystem des Baukostenplan Hochbau eBKP-H (SN 506 511) durch unterschiedliche Hierarchien der Elementstruktur weiterentwickelt werden. Das Ziel ist eine Aussage zu den gesamten Kosten der Gebäudehülle (Fassade & Dach) inkl. des Fassadengerüsts, der anteilmässigen Konstruktion und der Technik. Neu ist die Vollkostenrechnung der Gebäudehülle unter Berücksichtigung der Lebenszykluskosten. Innerhalb der gesamten Gliederung wird der Anteil der Gebäudehülle bestimmt. Somit können die Verhältnisse und Kennwerte aller Themen und aller Stufen abgelesen werden. Der Vergleich von verschiedenen Varianten der Gebäudehülle und deren Konsequenzen wird hierdurch stimmig. Ebenfalls neu ist die dreieggliederte Betrachtung der *Nutzungsfinanzierung/m<sup>2</sup>* Hauptnutzfläche HNF: Gesamtkosten (Anlagekosten), anteilig Gebäudehülle und anteilig Fassadensystem – hierdurch lassen sich z.B. die Mieterträge direkt auf die Elemente der Gebäudehülle übertragen. Die Auswirkungen auf die Hauptnutzfläche berücksichtigt die Nutzungsphase des Lebenszyklus entscheidend. Diese Weiterentwicklung des Baukostenplan Hochbau eBKP-H würde eine Implementierung der Ökonomie in die gewonnenen Erkenntnisse der Forschungsarbeit zulassen und die Erstellung eines digitalen Anwendungswerkzeuges im angestrebten Folgeprojekt ermöglichen. Mit diesem Werkzeug wird den verschiedenen Nutzern trotz der hohen Komplexität der Zusammenhänge, eine aussagekräftige und effiziente Entscheidungsgrundlage bei der Entwicklung von nachhaltigen Gebäudehüllen zur Verfügung gestellt und eine vergleichende Nachhaltigkeitsbeurteilung von Gebäudehüllenkonzepten in frühen Konzept-/Planungsphasen ermöglicht. Die standardisierte Datenbankstruktur der Analyseergebnisse ermöglicht die laufende Ergänzung mit weiteren Best-Practice-Beispielen und durch die parametrisierte Modellierung sind Simulationen

zu verschiedenen ergänzenden Fragestellungen möglich. Inhaltlich ist die Ausweitung von der Gebäudehülle auf das Gesamtgebäude und von der Neubaufassade auf Sanierungsstrategien und Instandsetzungen denkbar. Innerhalb der Nachhaltigkeitsdiskussion gewinnt die Lebenszyklusbetrachtung an grosser Bedeutung. Mit dem Folgeprojekt könnte massgebend dazu beigetragen werden, der Immobilie als langfristig wirksame Komponente unserer Gesellschaft eine umfassende Bewertung zukommen zu lassen.

Zürich, November 2017

*Dipl. Ing. Marvin King*

Hochschule Luzern – Technik & Architektur

## Kontakt

Hochschule Luzern  
Technik & Architektur  
Technikumstrasse 21  
CH-6048 Horw/Luzern

### Kommission für Technologie und Innovation KTI

T +41 41 349 33 11  
[www.hslu.ch/technik-architektur](http://www.hslu.ch/technik-architektur)

### Hauptumsetzungspartner

- Schweizerische Zentralstelle  
für Baurationalisierung CRB

### Umsetzungspartner:

- Baudepartement des Kantons St. Gallen
- Bau- und Umweltschutzdirektion Kanton  
Basel Landschaft
- Bau- und Verkehrsdepartement Basel Stadt
- Halter AG
- Implenia Schweiz AG
- Losinger Marrazzi AG
- Mobimo Management AG
- Priora Generalunternehmung AG
- Turintra AG c/o UBS Fund Management AG

### Best-Practice-Partner

- Aepli Metallbau AG
- Allreal Generalunternehmung AG
- Burckhardt+Partner AG
- Diener&Diener Architekten
- SBB Immobilien