

DAS KLIMA ALS ENTWURFSFAKTOR: SIMULATIONEN IM ARCHITEKTONISCHEN ENTWURF

Urs-Peter Menti, Iwan Plüss, Serge Mattli, Christian Hönger
Hochschule Luzern - Technik & Architektur
Technikumstrasse 21, CH-6048 Horw, Switzerland
Kontakt: urs-peter.menti@hslu.ch

KURZFASSUNG

Bereits im architektonischen Entwurf werden energiebedarfsrelevante Entscheide gefällt. Heute wird die energetische Qualität eines Entwurfs meist aufgrund des zu erwartenden Heizwärmebedarfs beurteilt. Entsprechend werden kompakte Gebäude mit sehr guter Dämmung der Gebäudehülle bevorzugt. Im Dienstleistungsbau, aber immer mehr auch im Wohnbau wird der Anteil des Heizwärmebedarfs am Gesamtenergiebedarf (für Heizen, Kühlen und Beleuchtung) immer geringer. Deshalb sollte der Entwurf aufgrund einer gesamtheitlicheren Energiebetrachtung beurteilt werden.

Anhand von typisierten Wohnbauten werden verschiedene Entwurfsstrategien mit Hilfe von Simulationen auf ihre Gesamtenergieeffizienz (Heizen, Kühlen, Beleuchtung) untersucht. Vor allem bei der Primärenergiebetrachtung wird der Beleuchtungsenergiebedarf dominant, was z.T. zu neuen Erkenntnissen betreffend Entwurfsstrategien führt. Kompaktes Bauen ist plötzlich nicht mehr der einzige Schlüssel zur Energieeffizienz.

ABSTRACT

Important decisions regarding energy conservation are already made during the early concept phase of an architectural design. Today, energy performance of a design is mainly based on energy demand for heating. Therefore, compact buildings with high thermal insulation are preferred. But the heating energy as portion of the total energy consumption (heating, cooling, lighting) in commercial buildings, and recently also in residential buildings, gets smaller. For this reason, the energy performance must be assessed for the entire system.

Typical case-study residential buildings with different design strategies are investigated by computer simulation regarding their overall energy efficiency (heating, cooling, lighting). It is found that the primary energy demand for lighting becomes dominant. This leads to important new insight for energy design strategies. It appears that compact design and insulation are no longer the sole key to energy efficiency.

EINLEITUNG

Immer mehr Gebäude werden den Anforderungen der 2000 Watt-Gesellschaft [1] entsprechend gebaut. Bei der 2000 Watt-Gesellschaft soll der Primärenergiebedarf pro Erdenbewohner auf einen Wert von 17'520 kWh/a reduziert werden, was einer durchschnittlichen Leistung von 2000 Watt entspricht. 500 Watt dürfen dabei aus nicht erneuerbaren Energiequellen stammen (dies entspricht einer Tonne CO₂-Emission pro Person und Jahr), die restlichen 1500 Watt müssen aus erneuerbaren Energiequellen stammen.

Bei der 2000 Watt-Gesellschaft geht es um eine Gesamtbetrachtung welche sämtliche Energieverbräuche auf Stufe Primärenergie umfasst. Neben dem Betriebsenergieverbrauch im Gebäudebereich werden auch die Graue Energie (Erstellungsenergie), die Mobilität und der ganze Industriebereich (Konsum) berücksichtigt.

Aufs Gebäude bezogen, bedingt die konsequente Umsetzung der 2000 Watt-Gesellschaft eine Gesamtenergiebetrachtung, wie sie z.B. im Effizienzpfad Energie des SIA [2] gemacht wird. Konzepte wie Minergie, Minergie-P [3] oder das Passivhaus greifen da zu wenig, auch wenn davon ausgegangen werden kann, dass nach Minergie-P oder Passivhaus gebaute Gebäude im Wesentlichen den Anforderungen der 2000 Watt-Gesellschaft entsprechen (was den Betriebsenergiebedarf der Gebäude betrifft).

FRAGESTELLUNG

In der hier vorgestellten Studie wird ausgehend von dieser Forderung nach einer gesamtheitlichen Betrachtung untersucht, welche Entwurfsstrategien sich bei Wohnbauten aufdrängen. Berücksichtigt wird dabei der Energiebedarf für die Raumwärme, die Klimakälte und die Beleuchtung. Vereinzelt wird auch die Graue Energie bilanziert (dies ist jedoch nicht Bestandteil dieses Papers). Ein Klimakältebedarf entsteht, weil die Wohnungen als gekühlt angenommen werden, um in den verschiedenen Varianten vergleichbare Zustände betreffend thermischer Behaglichkeit zu gewährleisten. Ein tiefer Kühlenergiebedarf ist somit primär ein Indikator für eine hohe Behaglichkeit ohne Kühlung.

Untersucht werden insgesamt 116 Varianten, thematisch gegliedert in Rubriken wie Höhenlage, Orientierung, Volumetrie, Typologie, Materialisierung etc.

GRUNDLAGEN

Die Untersuchungen werden anhand eines synthetischen Mehrfamilienhauses mit 8 Wohneinheiten, verteilt auf 4 Etagen (Zweispänner) und jeweils 100 m² Wohnfläche durchgeführt. Dieser Gebäudetyp ist in der Schweiz sehr häufig anzutreffen. Die Gebäudeabmessungen betragen 20m x 10m x 12m (L x B x H). Die Nutzung entspricht der im Merkblatt SIA 2024 [4] definierten Standardnutzung für Wohnbauten. Der gleichen Quelle entnommen werden auch die erforderlichen Beleuchtungsstärken und Raumlufttemperaturen. Die Räume werden so beheizt und gekühlt, dass die Raumlufttemperaturen immer innerhalb von 20.0°C und 26.5°C liegen.

Die Umrechnung vom mit Simulationen bestimmten Nutzenergiebedarf in Endenergie sowie von der Endenergie in Primärenergie erfolgt mit folgenden Nutzungsgraden, Jahresarbeitszahlen und Primärenergiefaktoren:

- Kälteerzeugung mit Jahresarbeitszahl 2.5 (konventionelle Kältemaschine mit Luftkondensator)
- Wärmeerzeugung mit Jahresarbeitszahl 2.8 (Wärmepumpe Luft/Wasser)
- Primärenergiefaktoren:
 Heizenergie: 1.71
 elektrische Energie: 2.97

Diese Faktoren stammen aus dem Merkblatt SIA SIA 2031 „Energieausweis für Gebäude“ [5]. Die Berechnungen der Grauen Energie basieren auf Angaben aus dem SIA Merkblatt 2032 „Graue Energie“ [6].

Die ausführlichen Grundlagen (und Ergebnisse) der Studie sind im Buch „Das Klima als Entwurfsmittel“ veröffentlicht [7].

SIMULATIONEN

Die Simulationen werden mit dem Programm IDA Klima und Energie von Equa SA durchgeführt [8]. Berechnet wird jeweils der Jahresenergiebedarf in Stundenschritten.

Für die Simulationen müssen Vereinfachungen getroffen werden, welche bei der Interpretation der Ergebnisse unbedingt berücksichtigt werden müssen. Weil zum Beispiel die ganze Wohneinheit als eine Zone modelliert wurde (und nicht die einzelnen Zimmer), hat die Veränderung der Orientierung (Süd- bzw. Nordausrichtung der Wohnung) kaum einen Einfluss auf den Gesamtenergiebedarf, weil jede Wohneinheit immer Aussenfassaden in drei Himmelsrichtungen hat, ergo auch die tendenziell

nach Norden ausgerichtete Wohnung eine Ost- und eine Westfassade aufweist, was die solaren Gewinne und die Tageslichtnutzung auch in diesem Fall relativ hoch werden lässt.

Ausgehend von der oben beschriebenen Basisvariante werden nach ceteris paribus einzelne Parameter (Volumen, Gebäudeform, Öffnungsverhalten etc.) jeweils variiert und die Auswirkungen auf Stufe Nutzenergie sowie auf Stufe Primärenergie ermittelt.

Gesucht sind Strategien, die zu einem gesamtheitlich optimierten Energiebedarf führen. Nicht berücksichtigt wird der Energiebedarf für die Lüftung und für die (Haushalt-)Geräte, da davon ausgegangen werden kann, dass diese Verbraucher in allen untersuchten Varianten identisch sind. Die konsequenterweise nötige Betrachtung der Grauen Energie wird aus Komplexitätsgründen nur für einzelne, aber nicht alle Varianten durchgeführt.

Die Komplexität der Fragestellung sei anhand der Beurteilung des Nutzens eines Balkons dokumentiert: Ein Balkon verbessert die Beschattung der Fassade im Sommer und reduziert so den Kühlbedarf – gleichzeitig reduziert er aber die solaren Gewinne im Winter woraus ein höherer Heizbedarf resultiert. Weiter reduziert ein Balkon die Tageslichtnutzung, was einen höheren Kunstlichtbedarf zur Folge hat und er verursacht einen Mehraufwand bei der Grauen Energie. Ist nun ein Balkon gesamtenergetisch von Vorteil oder nicht? Das Gebäude wird für die Beantwortung dieser Frage zum komplexen System voller Wechselwirkungen, die nur noch mit Hilfe von Simulationen genügend genau erfasst und abgebildet werden können. Heutige Simulationsinstrumente sind in der Lage, alle Formen der Betriebsenergie zu erfassen und die entsprechenden Randbedingungen auf eine definierte Grösse – z.B. wie hier den Gesamtenergiebedarf – zu optimieren. Eine integrale Optimierung inklusive Grauer Energie ist heute aber noch nicht möglich.

ERGEBNISSE



Abb. 1: Einfluss Höhenlage auf den Gesamtenergiebedarf

Mit der Höhenlage des Objektes in m.ü.M. verändern sich die klimatischen Aussenbedingungen. Gerechnete Standorte sind: Basel (300 m.ü.M.), Zürich SMA

(600 m.ü.M.), Davos (1000 m.ü.M.), Engelberg (1500 m.ü.M.).

Der Energiebedarf Beleuchtung verändert sich den Erwartungen entsprechend nur unwesentlich. Der Bedarf für die Raumkühlung nimmt mit höherer Lage massiv ab, der Heizenergiebedarf nimmt entsprechend zu und dominiert. Aufgrund der Dominanz der Zunahme beim Heizwärmebedarf mit zunehmender Höhe über Meer, sind Objekte in tiefer Höhenlage energieeffizienter als Objekte in der Höhe – auch bei einer Primärenergiebetrachtung. Dieser Parameter ist jedoch – im Gegensatz zu den nachfolgend untersuchten Parametern – nie beeinflussbar.

Ein meist beeinflussbarer Parameter ist die Gebäudekompaktheit. Untersucht werden ein Einfamilienhaus, ein 8-Familienhaus (Basisvariante), sowie ein 24-, ein 40- und ein 80-Familienhaus. Diese Gebäude weisen alle eine zunehmende Kompaktheit auf, was sich durch einen tieferen Wert beim Verhältnis zwischen Gebäudehüllfläche und Gebäudevolumen ausdrückt.

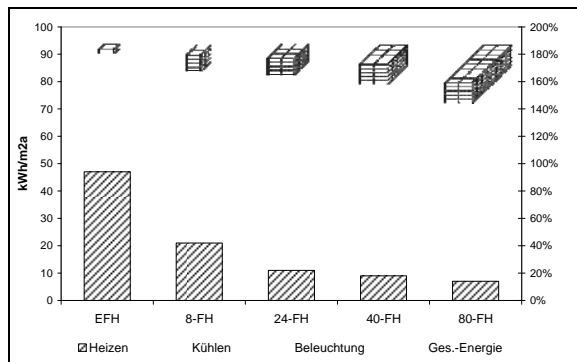


Abb. 2: Heizwärmebedarf (Stufe Nutzenergie) für verschieden kompakte Gebäude

Abbildung 2 zeigt den Heizwärmebedarf auf Stufe Nutzenergie für die verschiedenen Gebäude. Erwartungsgemäss reduziert sich dieser mit zunehmender Kompaktheit. Das Einfamilienhaus weist einen vergleichsweise hohen spezifischen Heizwärmebedarf auf.

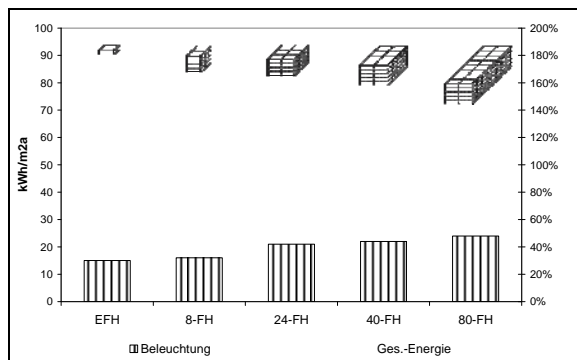


Abb. 3: Beleuchtungsenergiebedarf (Stufe Nutzenergie) für verschieden kompakte Gebäude

Der Beleuchtungsenergiebedarf (Abbildung 3) nimmt mit zunehmender Kompaktheit leicht zu. Die Kompaktheit reduziert die durchschnittliche Anzahl Aussenflächen pro Wohneinheit und vermindert somit die Tageslichtnutzung. Oft führt eine höhere Kompaktheit auch zu höheren Raumtiefen, was die Tageslichtnutzung ebenfalls reduziert. Dies wurde hier aber nicht explizit untersucht.

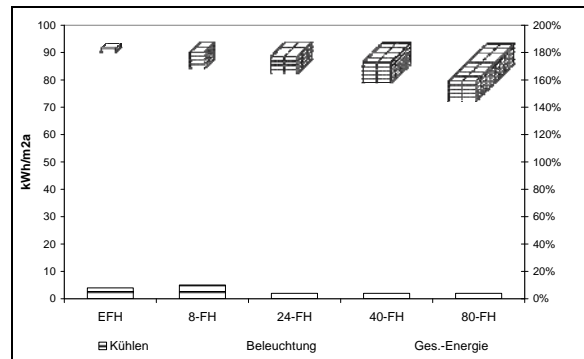


Abb. 4: Klimakältebedarf (Stufe Nutzenergie) für verschieden kompakte Gebäude

Der Kühlenergiebedarf ist für alle Varianten vergleichsweise gering. Vor allem die sehr kompakten Gebäude weisen hier (aufgrund der geringeren Aussenfläche pro Raumvolumeneinheit) etwas tiefere Werte auf.

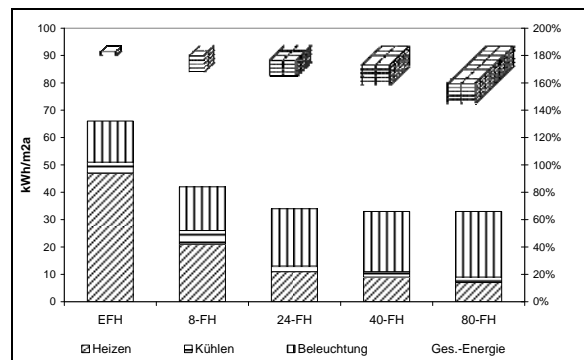


Abb. 5: Gesamtenergiebedarf für Raumwärme, Klimakälte und Beleuchtung (Stufe Nutzenergie) für verschieden kompakte Gebäude

Addiert man den Nutzenergiebedarf für Raumwärme, Klimakälte und Beleuchtung sieht man, dass nicht kompakte Gebäude (Einfamilienhaus, 8-Familienhaus) einen relativ hohen Energiebedarf aufweisen, während kompakte Gebäude einen konstant tiefen Energiebedarf haben (Abbildung 5). Zwischen dem Energiebedarf des Einfamilienhauses und dem Energiebedarf es 24- bis 80-Familienhauses liegt der Faktor 2.

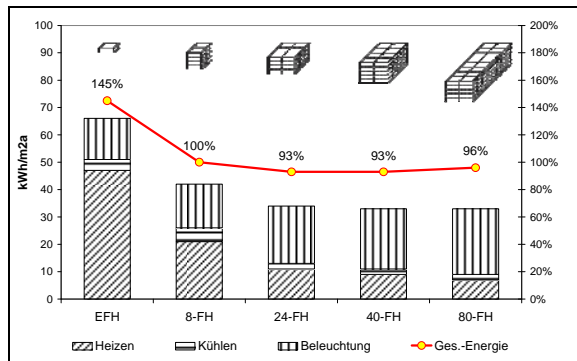


Abb. 6: Gesamtenergiebedarf für Raumwärme, Klimakälte und Beleuchtung (Stufe Nutzenergie, Darstellung in Balken; Stufe Primärenergie, Darstellung in % als Kurve) für verschieden kompakte Gebäude

Rechnet man den Nutzenergiebedarf in den Primärenergiebedarf um, verschieben sich die Anteile. Das Einfamilienhaus ist nach wie vor das am wenigsten energieeffiziente Gebäude. Neu schneidet das sehr kompakte 80-Familienhaus gegenüber dem 24- oder 40-Familienhaus aber leicht schlechter ab, weil beim 80-Familienhaus ein vergleichsweise hoher Beleuchtungsenergiebedarf resultiert, der durch den leicht geringeren Heizwärmebedarf nicht kompensiert werden kann. Ab einer gewissen Größe ist also die Zunahme des Beleuchtungsenergiebedarfs gegenüber der Abnahme des Heizenergiebedarfs mindestens auf Stufe Primärenergie überproportional.

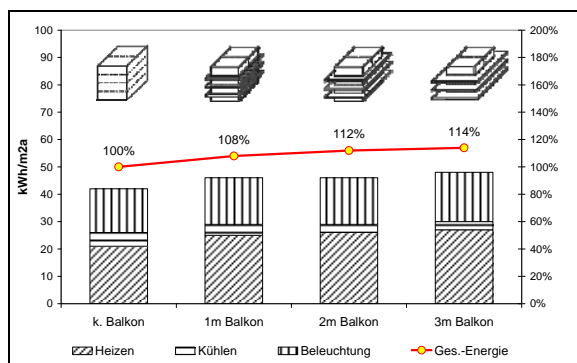


Abb. 7: Gesamtenergiebedarf für Raumwärme, Klimakälte und Beleuchtung (Stufe Nutzenergie, Darstellung in Balken; Stufe Primärenergie, Darstellung in % als Kurve) für Gebäude mit verschieden tiefen Balkonen

Untersucht wurde auch der Einfluss eines umlaufenden Balkons von 1m, 2m bzw. 3m Tiefe (siehe Abbildung 7).

Die Beschattung durch den Balkon reduziert den Kühlenergiebedarf und erhöht den Heizenergie- sowie den Beleuchtungsenergiebedarf. Der Gesamtenergiebedarf auf Stufe Primärenergie nimmt mit zunehmender Balkontiefe zu. Die Reduktion beim

Kühlenergiebedarf dank der Beschattung wird durch den zunehmenden Heizenergiebedarf und den zunehmenden Beleuchtungsenergiebedarf mehr als kompensiert, die Energieeffizienz nimmt mit zunehmendem Balkon ab. Dies bestätigt die bekannte Erkenntnis, dass für eine hohe Energieeffizienz Beschattungssysteme variabel sein sollen bzw. Balkone allenfalls versetzt zu den transparenten Wandbereichen angeordnet werden sollen.

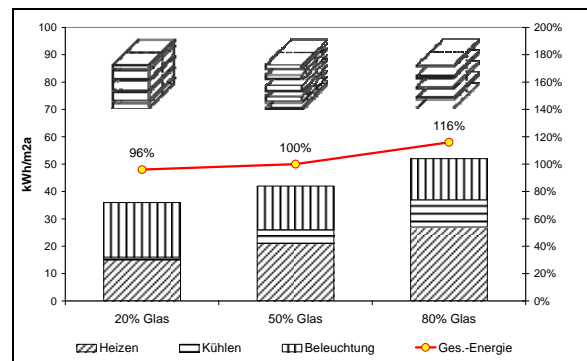


Abb. 8: Gesamtenergiebedarf für Raumwärme, Klimakälte und Beleuchtung (Stufe Nutzenergie, Darstellung in Balken; Stufe Primärenergie, Darstellung in % als Kurve) für Gebäude mit verschieden hohen Glasanteilen in der Fassade

Der Glasanteil in der Fassade wird zwischen 20% und 80% variiert. Die Basisvariante ist mit umlaufendem Öffnungsanteil von 50% simuliert.

Die Vergrößerung des Glasanteils von 20% auf 50% und auf 80% erhöht sowohl den Heiz- als auch den Kühlenergiebedarf kontinuierlich. Gleichzeitig nimmt der Beleuchtungsenergiebedarf ab, von 20% auf 50% Öffnungsanteil deutlich stärker als von 50% auf 80%. Gesamthaft ist die Veränderung beim Heiz- und vor allem beim Kühlenergiebedarf dominierend. Der hohe Primärenergiefaktor für Elektrizität verstärkt in der Gesamtbetrachtung vor allem den Anteil der Beleuchtungsenergie. Schlussendlich dominiert der erhöhte Heiz- und Kühlenergiebedarf bei hohem Glasanteil. Für eine gute Tageslichtnutzung ist ein Glasanteil von 50% wichtig, durch eine zusätzliche Erhöhung des Glasanteils kann die Tageslichtnutzung kaum mehr verbessert werden. Die Zunahme der Grauen Energie mit wachsendem Glasanteil verstärkt die energetische Ineffizienz solcher Fassaden zusätzlich.

Während die Basisvariante gleich große Fassadenflächen nach Nord und Süd hat, wird in der nächsten Variation der Gebäudegrundriss so verändert, dass einmal die Fassadenfläche nach Norden und einmal die Fassadenfläche nach Süden überproportional gross wird. Damit wird versucht, eine Gebäudeform mit verbesserter passiv-solarer Energienutzung sowie

mit besserer Tageslichtnutzung zu generieren. Die Ergebnisse sind in Abbildung 9 dargestellt.

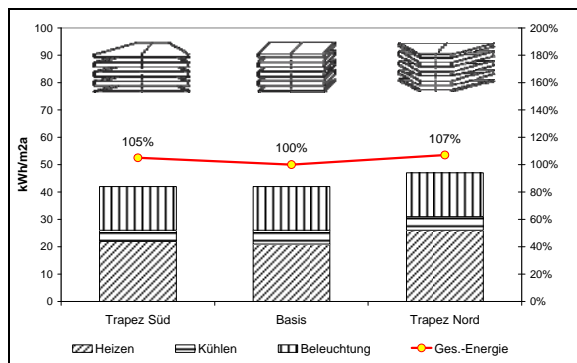


Abb. 9: Gesamtenergiebedarf für Raumwärme, Klimakälte und Beleuchtung (Stufe Nutzenergie, Darstellung in Balken; Stufe Primärenergie, Darstellung in % als Kurve) für Gebäude mit unterschiedlichen Grundrissen

Der Energieverbrauch für die Beleuchtung bleibt unverändert, beim Kühlenergieverbrauch sind nur marginale Veränderungen zu erkennen. Mit der Verformung nimmt der Heizenergiebedarf merklich zu, vor allem bei schrumpfender Süd- und wachsender Nordfassade – entsprechend verhält sich der Primärenergiebedarf. Die Verformung verbessert bei dieser Typologie die Situation betreffend passiv-solarer Gewinne nicht merklich. Mehr Südfassade hat zur Folge, dass die Ost- und Westfassaden zu Nordost- und Nordwestfassaden werden. Eine Vergrößerung der gewinnarmen Nordfassade wird kompensiert, indem die Ost- und Westfassaden zu gewinnträgigeren Südost- und Südwestfassaden werden. Die grössere Abwicklung erhöht jedoch den Heizenergiebedarf. Die Stabilität beim Beleuchtungsenergiebedarf bestätigt, dass im Wohnbau die Tageslichtnutzung unabhängig von der Hauptausrichtung meist genügend gross ist.

DISKUSSION DER ERGEBNISSE

Bei der Beurteilung und Umsetzung der Ergebnisse ist zu beachten, dass diese kaum Allgemeingültigkeit haben können. Vielmehr zeigt diese Studie aber, dass eine gesamtheitliche Betrachtung unumgänglich ist und teilweise zu neuen Lösungsansätzen führen kann. Gesamtheitliche Betrachtungen und die Betrachtung des Gebäudes als System sind jedoch komplex, was den Einsatz von Simulationen als Hilfsmittel sehr empfiehlt.

Während die Studie einige Erfahrungen bestätigen konnte, zeigen sich aber auch überraschende Ergebnisse, so z.B. dass eine hohe Kompaktheit nicht immer Ziel führend ist oder dass Verformungen mit einem nach Süden ausgerichteten Grundriss aus gesamtenergetischer Sicht nicht unbedingt optimal sein müssen. Grundsätzlich zeigt sich, dass für unse-

re Breitengrade tendenziell Strategien zur Verlustminimierung eher zum Ziel führen als Strategien zur Gewinnmaximierung, auch wenn hier eine Ausgewogenheit zwischen beiden Ansätzen wohl immer am erfolgsversprechendsten ist.

Offensichtlich wird aber auch, dass für eine wirklich gesamtheitliche Beurteilung zwingend auch die Graue Energie als wesentliche Komponente des Gesamtenergiebedarfs mitberücksichtigt werden muss.

Offen bleibt auch die Frage, welche Aussagen beim gleichen Untersuchungsdesign aber für Dienstleistungs- oder Schulbauten resultieren würden. Aufgrund der deutlich höheren internen Lasten ist davon auszugehen, dass der Heizwärmebedarf noch mehr an Bedeutung verliert, gleichzeitig aber der Kühlenergie- und Beleuchtungsenergiebedarf weiter an Bedeutung gewinnt. In diesem Fall wirkt sich eine hohe Kompaktheit noch negativer aus als im Wohnbau. Entsprechende Untersuchungen werden zurzeit von der Hochschule Luzern durchgeführt.

Interessant ist auch eine grundsätzliche Diskussion über den Einsatz von Simulationen im architektonischen Entwurf. Die Autoren der Studie sind überzeugt, dass mit Hilfe der Simulation archaische Lösungen mit architektonischem Anspruch und kultureller Relevanz schon in einer frühen Phase in ihrer Energieeffizienz beurteilt werden können. Der entwerferische Weg dazu entspricht damit weniger dem Mythos einer rein empirisch-genialen Formsuche des Architekten, sondern einer interdisziplinären, wissenschaftlich unterstützten Methodik. Verschiedene alternative Entwurfsstudien können in der frühesten Entwicklungsstufe beurteilt, verglichen und im Sinne einer beschleunigten evolutionären Selektion nach dem Ausscheidprinzip optimiert werden. Technologie wird damit nicht nachträglich eingebaut, um die Architektur funktionsfähig zu machen, sondern wird früh ins Erbgut des Entwurfes und der Architektur integriert.

BETEILIGTE

Zentrum für Integrale Gebäudetechnik; Kompetenzzentrum Material, Struktur, Energie (beide Hochschule Luzern – Technik & Architektur)

LITERATUR

- [1] Novatlantis: www.novatlantis.ch
- [2] Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein; SIA Effizienzpfad Energie; 2006 (zurzeit in Überarbeitung)
- [3] Minergie: www.minergie.ch
- [4] Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein; SIA Merkblatt 2024: Standard-Nutzungs-

bedingungen für die Energie- und Gebäudetechnik; 2006

- [5] Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein; SIA Merkblatt 2031: Energieauweis für Gebäude; 2009
- [6] Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein; SIA Merkblatt 2032: Graue Energie – Merkblatt für Planer; 2010
- [7] Christian Hönger, Christoph Wieser, Roman Brunner, Urs-Peter Menti; Das Klima als Entwurfaktor; Quart-Verlag, Luzern; 2009