



SCHWEIZER ENERGIEFACHBUCH | 2005

Energieeffizienz versus Entwurfsvfreiheit?

Je nach Gebäudetyp, Konstruktion und Lage eines Hauses können verschiedene Wege zu einem extrem tiefen Energieverbrauch und Passivhäusern führen. Die dafür entscheidenden Energiekennzahlen sind klar definiert – allerdings nicht immer einfach zu erreichen. Gleichwohl ist in der Planung solcher Gebäude eine gewisse Entwurfsvfreiheit erlaubt. Eine Analyse von 20 Schweizer Wohnhäusern mit sehr niedrigem Energiebedarf macht das deutlich.

Verfahren mit unseren Nachbarländern ist die Anzahl höchst energieeffizienter Gebäude in der Schweiz relativ bescheiden. Eine Analyse über 20 Schweizer Gebäude hat versucht, die häufig auftretenden Planungswerte zu erfassen und miteinander zu vergleichen. Festzustellen ist, dass sich die einzelnen Entwurfsparameter stark voneinander unterscheiden und vom «allgemeinen» Mittelwert abweichen, aber dank Kompensation durch andere Parameter sich trotzdem exzellente Energiekennzahlen erreichen lassen. Das beweist, dass die Entwurfsvfreiheit bei der Planung von Häusern mit extrem geringem Energieverbrauch gleichwohl gegeben ist.

Als Teil des IEA SHC Task 28 für nachhaltige Solarwohnbauten hat das Fraunhofer Institut für solare Energiesysteme ISE in Freiburg im Breisgau ein Auswertungssystem für eine internationale Datenbank von Gebäudebeispielen definiert. Dieses Gerüst

wurde von ETH-Studenten angewendet, um Schweizer Niedrigenergiegebäude systematisch zu dokumentieren. Die Häuser, die nach verschiedensten Standards gebaut worden sind, wurden alle basierend auf die Euronorm EN 832 neu berechnet. Zielwerte für Energiekennzahlen waren:

- Heizwärmebedarf:
 $\leq 20 \text{ kWh/m}^2\text{a}$
- Maximale berechnete Heizleistung:
 $\leq 25 \text{ W/m}^2$

Ausgewählt wurden Objekte mit ähnlichen Randbedingungen, d.h.: Alle 20 Wohngebäude befinden sich im Schweizer Mittelland und haben eine ähnliche Anzahl Heizgradtage (durchschnittlich 3485 Kd/a) und Auslegetemperaturen (-8 bis -10°C). Analysiert wurden verschiedene Gebäudetypen wie Einfamilienhäuser, Doppel- und Mehrfamilienhäuser, da wo nötig wurden Einfamilienhäuser und

Mehrfamilien-Gebäude getrennt voneinander betrachtet.

Form ist wichtiger als Orientierung

Bei vielen der betrachteten Gebäude ist die Hauptfassade direkt nach Süden ausgerichtet, einige weichen aber bis 45° von der Südorientierung ab. Die exakte Ausrichtung nach Süden ist offensichtlich kein kritischer Entwurfsparameter. Hochgedämmte Häuser können eine Abweichung der optimalen Orientierung von bis auf etwa 45° durch andere Entwurfsmerkmale kompensieren.

Entscheidend ist jedoch die Form des Objektes. Ein kompaktes Gebäudevolumen vermindert Wärmeverluste durch die Gebäudehülle massiv. Ein Indikator für die Kompaktheit ist das Verhältnis zwischen Oberfläche und Volumen (A/V). Einfamilienhäuser müssen wegen ihrem schlechten A/V-Verhältnis besonders sorgfältig geplant werden.

Solarwandsysteme bringen gute Werte

Das durchschnittliche A/V-Verhältnis bei den untersuchten Einfamilienhäusern beträgt 0,73, die Mehrfamilienhäuser errei-



11 Naheaufnahme einer PCM-Wand (Foto: Compesse, Zürich).

12 Mit einer transluzenten Solarspeicherwand (PCM) wird bei diesem Projekt in Ebnat-Kappel das schlechte A/V-Verhältnis kompensiert

Architekt: Dietrich Schwarz, Foto: Compesse, Zürich.

(3) Querschnitt durch eine Lucido-Wand (Foto: G. Fentl).

(4) Doppel Einfamilienhaus mit Lucido-Fassade in Hünenberg ZG (Architekt & Foto: G. Fentl).



(3)

(4)



(5)

(6)

(5) «Solarfassade» mit einer 6 cm dicken Kartonwabenstruktur zwischen der äusseren Wandbeplankung und einer Glasscheibe (Foto: D. Enz).

(6) Mehrfamilienhaus-Siedlung Balance in Wallisellen ZH (Architekten: Haerle Hubacher Architekten, Foto: D. Enz).

chen einen Mittelwert von 0,49. Zwei der untersuchten Gebäude weichen mit einem A/V-Verhältnis von 0,91 und 0,99 stark von den üblichen Werten ab. Diese beiden Wohnhäuser kompensieren ihre schlechte Kompaktheit mit Wärmegewinnen durch Solarwandsysteme.

Beim ersten Gebäude handelt es sich um ein Doppelfamilienhaus in Hünenberg ZG, dessen Aussenwände mit dem Lucido-System gebaut sind. Eine Lucido-Wand besteht von aussen her aus einem Solarglas, einem Luftspalt, einer hölzernen Lamellenstruktur als Absorber, einer Schicht Massivholz als Speicher und einer tragenden Dämmschicht. Durch die absorbierte Sonnenenergie bildet die Lucido-Wand eine Pufferzone, die während einer Zeitspanne von vier bis zwölf Stunden wirksam ist und die Wärmeverluste des Hauses stark vermindert.

Das zweite Projekt ist ein Einfamilienhaus in Ebnat-Kappel SG. Die Südfassade ist mit einer transluzenten Solarspeicherwand mit Paraffin als PCM (Phase-Change-Material) hinter einer Glasfassade gestaltet. Paraffin kann durch den Wechsel seines Aggregatzustands Energie speichern und zeitlich verschieben

wieder freigeben. Ein schöner Nebeneffekt dabei ist, dass beim Wechsel vom festen in einen flüssigen Zustand die optische Veränderung des Materials direkt und sinnlich erlebbar ist.

Hoher Dämmstandard

Die meisten der 20 Gebäude sind überdurchschnittlich gut gedämmt und mit hochwertigen Qualitätsfenstern ausgestattet. Der gewichtete U-Wert der Aussenwände beträgt durchschnittlich 0,12 W/m²K. Solarwandsysteme weisen dagegen etwas höhere statische U-Werte auf, erreichen aber dank ihrem dynamischen Verhalten über den Tag-Nacht-Zyklus einen besseren effektiven U-Wert. Bei einem untersuchten Sanierungsprojekt eines historischen Gebäudes war aus denkmalpflegerischen Gründen nur eine limitierte Dämmstärke möglich. Trotz einem gewichteten U-Wert der Aussenwände von 0,25 W/m²K erreicht aber auch dieses Objekt den festgelegten Grenzwert für den Heizwärmebedarf und die maximale Heizleistung.

Ein anderes Extrem stellt das Spacehouse in Liedertswil BL dar. Bei der vom Architekten David Muspach eigens entwickelten Space-

frame-Konstruktion handelt es sich um ein räumliches Fachwerk, das mit Holzstäben und Metallknotenverbindungen die gesamte Gebäudehülle inklusive Decke und Boden bildet. Die 60 cm dicke Wandkonstruktion mit eingeblasenen Zelluloseflocken erreicht einen ausserordentlich tiefen U-Wert von 0,06 W/m²K.

Bei dieser grossen Wandstärke war eine Ausbildung der Fenster als Kastenfenster sinnvoll. Dank einer Fensterwahl mit sehr gutem Glas und Rahmen erreicht das Spacehouse den niedrigen Wert von 0,31 W/m²K für den gewichteten U-Wert der Fenster. Bei den meisten anderen Projekten bewegten sich die Fenster U-Werte (Glas + Rahmen) in einem Bereich von 0,81 W/m²K.

Auch das Verhältnis von Fensterfläche zur Fassadenfläche ist bei den 20 Gebäuden unterschiedlich gross, es schwankt zwischen Werten von 12% bis 50%. Der Mittelwert für den Fensterflächenanteil beträgt rund 19%. Ein überdurchschnittlich hoher Anteil des Fensterflächenanteils ist bei drei Häusern mit Solarwandsystemen festzustellen. Diese Objekte wurden für die Berechnung des Mittelwerts ausgeschlossen. Die Häuser mit Solarwandsystemen haben markant grosse



[7] Kastenfenster Spaceframe-System (Foto: D. Enz).

[8] Dank der umlaufend 60 cm dicken Gebäudehülle erreicht das «Spacehouse» in Liedertswil BL beachtlich tiefe U-Werte (Architekt: David Muspach, Foto: D. Enz).

Fensterflächen. Sie erreichen jedoch dank passiven Solargewinnen und dem dynamischen Pufferverhalten der Wände ebenfalls eine gute Jahresenergiekennzahl.

Dichte Hülle

Ein weiterer wichtiger Faktor bei der Planung eines Niedrigenergiehauses betrifft die Luftdichtigkeit der Gebäudehülle. Während beim Fensteranteil eines Gebäudes, wie die oben stehenden Zahlen zeigen, eine gewisse Entwurfsfreiheit herrscht, stellt eine luftdichte Konstruktion ein Muss für das Gelingen eines Minergie-P- oder Passivhauses dar. Die Projekte weisen beim Blowerdoor-Test mit 50 Pa Unter- und Überdruck eine gemessene Dichtigkeit von durchschnittlich 0,6 h-1 auf, wobei lediglich vier von 16 Häusern mit Messdaten diesen Wert überschreiten. Eines dieser vier Häuser ist verständlicherweise das Sanierungsprojekt.

Solarthermie ist Trend

Von den 20 analysierten Projekten haben 14 ein aktives solarthermisches System integriert. Zehn davon erwärmen das Brauchwarmwasser mit Solarenergie, vier sind kombinierte Systeme, die zusätzlich auch einen

Beitrag für die Raumheizung leisten. Bei den Gebäuden mit solarem Brauchwarmwasser sind durchschnittlich 4,6 m² Kollektorfläche mit einem 500-Liter-Speichertank gekoppelt. Die vier Objekte mit einem kombinierten solarthermischen System weisen Kollektorflächen zwischen 10 und 17,5 m² und ein Speichertankvolumen von 1500 bis 3500 Litern auf. Bei zwei dieser vier Gebäude wurden hoch effiziente Vakuumkollektoren verwendet, was eine kleinere Kollektorfläche pro Speichertankvolumen ermöglicht.

Aus dieser Analyse von 20 Schweizer Wohnhäusern mit extrem niedrigem Energieverbrauch sind erste Trends bezüglich Planungswerte erkennbar. Als Schlüsselparameter stellen sich bei der Projektierung eines Niedrigenergiehauses ein möglichst kompaktes Volumen kombiniert mit einer sehr gut gedämmten, luftdichten Gebäudehülle sowie einer kontrollierten Lüftung mit Wärmerückgewinnung heraus. Der sich daraus ergebende, sehr niedrige zusätzliche Heizenergiebedarf macht den Energieverbrauch für die Brauchwarmwassererwärmung ebenfalls zu einem wichtigen Faktor. Rund ¼ der hier betrachteten Gebäude sind mit einem solarthermischen System ausge-

stattet, um den Verbrauch an nicht erneuerbarer Energie weiter zu senken.

Die gestalterische und konzeptionelle Fülle der ausgewerteten Gebäudebeispiele zeigt, dass es eine Vielfalt von Lösungsansätzen gibt, um das Ziel einer zukunftsweisenden Energiebilanz zu erreichen. Daniela Enz

10 Schritte zu Gebäuden mit tiefstem Energieverbrauch:

- 1. Kompakte Gebäudeform.**
- 2. Grosse Fensterfläche nach Süden:**
 - bis 50% der Südassadenfläche
- 3. Extrem hohe Dämmstärke:**
 - U-Dach = 0,11 W/m²K
 - U-Wände = 0,15 W/m²K
 - U-Fenster = 0,80 W/m²K
- 4. Vermeidung von Wärmebrücken:**
 - Verluste bei Wärmebrücken von $\Psi > 0,01$ W/m²K müssen in der Wärmebilanz berücksichtigt werden.
- 5. Luftdichte Hülle:**
 - sorgfältige Qualitätssicherung während dem Bau
 - Luftwechsel bei 50 Pascal $\leq 0,6$
- 6. Effiziente Wärmerückgewinnung:**
 - Mechanische Lüftung mit Wirkungsgrad $> 80\%$
 - Stromverbrauch für befördertes Luftvolumen $\leq 0,4$ W/m³
- 7. Solares Brauchwarmwasser:**
 - Deckungsgrad = 50%
 - ca. 1 ½ bis 2 m² Flachkollektoren pro Bewohner.
- 8. Optimierte passiver Solargewinn:**
 - Grundriss möglichst offen (v.a. Südräume)
 - Innenausbau massiv (v.a. in besonnten Bereichen)
 - g-Wert Glas $\geq 50\%$.
- 9. Effiziente Bereitstellung der Restwärme:**
 - Primärenergie berücksichtigt
- 10. Geringe Graue Energie:**
 - Optimierte Material- und Konstruktionswahl.



[9] Massivbauweise mit Aussendämmung und Holzverkleidung bzw. Verputz [Foto: Anliker AG Generalunternehmung].

[10] Mehrfamilienhaus-Siedlung Konstanz in Rothenburg LU [Planung & Foto: Anliker AG Generalunternehmung].

Unterstützung der Analyse:

Karsten Voss und Christel Russ, Lore de Baere und Edward Weysen, Christian Hanus, ETH Diplomwahlfachstudenten, Architekten und Planer, Bundesamt für Energie.

Links

www.lucido.ch
www.schwarz-architektur.ch
www.spacehouse.com