

Vom Plattenbau zum Passivhaus

- Das europäische Demonstrationsprojekt SOLANOVA -

Hermelink, A., Wissenschaftliches Zentrum für Umweltsystemforschung, Universität Kassel, hermelink@usf.uni-kassel.de

Csoknyai, T., Lehrstuhl für Gebäudeenergetik, Technische und Wirtschaftswissenschaftliche Universität Budapest, csoknyait@egt.bme.hu

1 Einführung

Am 1. Januar 2003 startete das von der EU im Rahmen des 5. Forschungsrahmenprogramms geförderte Forschungs- und Demonstrationsprojekt SOLANOVA - Solar-supported, integrated eco-efficient renovation of large residential buildings and heat-supply-systems (Vertrag Nr. NNE 2001-923).

Der große Bestand an alten Mehrgeschoßwohnbauten in ganz Ost-Europa muss nachhaltig renoviert werden, um für die nächsten 30-50 Jahre eine "lost-opportunity" und einsetzende Ghettoisierungen zu vermeiden. In einem laufenden ungarischen Renovierungsprogramm werden jedoch nur relativ unattraktive Ergebnisse mit bescheidenen Energieeinsparungen erzielt.

SOLANOVA möchte dazu beitragen, den beginnenden Renovierungsprozess nachhaltiger zu gestalten. Als Beispiel für nachfolgende Renovierungen wird in der ungarischen Industriestadt Dunaújváros ein 7-stöckiger 70er-Jahre Plattenbau mit 42 Wohnungen als erstes Gebäude in Osteuropa gemäß Passivhaus- oder Niedrigstenergiehaus-Standard renoviert. Eine besondere Herausforderung besteht darin, dass es sich um eine Sanierung im bewohnten Zustand handelt. Alle Wohnungen befinden sich im Eigentum der Bewohner, ein vorübergehender Auszug ist unmöglich. Durch die Installation einer großen Solaranlage wird das bisher kaum genutzte besonders hohe Potential der Solarenergie für Heizen und Warmwasser gezeigt.

In einem internationalen Team erfolgen das Design, die Umsetzung und die Evaluierung. Alle Phasen berücksichtigen explizit ökologische, soziale und ökonomische Komponenten. Neben der Universität Kassel sind u.a. folgende Partner beteiligt: Technische und Wirtschaftswissenschaftliche Universität Budapest, Internorm International Fenster AG, Versorgungsbetriebe Dunaújváros, innovaTec Energiesysteme GmbH, Passivhaus Institut Dr. Wolfgang Feist.

2 Die aktuelle Situation – Zu lösende Probleme und Renovierungshindernisse

2.2 Übersicht über den ungarischen Plattenbaubestand

2.2.1 Geschichte

Das erste ungarische Gebäude, das auf industrieller Technologie basierte, wurde 1954 in Budapest gebaut. Weite Verbreitung fand diese Technologie darauf hin unter anderem in Dunaújváros, wo ein kleines Fischerdorf zu einer Industriestadt ausgebaut wurde. Während zunächst noch verschiedene Technologien eingesetzt wurden, setzte sich gegen Ende der sechziger Jahre im ganzen Land eine Einheitstechnologie durch, nach der in 11 "Gebäudefabriken" gefertigt wurde.

Die "Produkte" der Plattenbauindustrie dominierten die 70er und 80er Jahre. Am meisten wurde zwischen 1975 und 1985 produziert, danach sank die Produktion, und der letzte Einheitsplattenbau wurde 1992 errichtet.

Mit industrieller Technologie wurden in Ungarn insgesamt 726.000 Wohnungen gebaut, davon 508.000 aus vorgefertigten Sandwichplatten. Das bedeutet, dass gegenwärtig 13,8% der ungarischen Bevölkerung in diesen Gebäuden wohnen.

2.2.2 Soziale und rechtliche Aspekte

Zwischen 1960 und 1980 wurde eine große Zahl der neuen Gebäude vom Staat finanziert. Später reichten die finanziellen Ressourcen nicht, um den Bauprozess in dieser Größenordnung aufrechtzuerhalten. So entstand die Idee, die Bewohner an der Finanzierung zu beteiligen, indem ihnen die Möglichkeit geboten wurde, ihre Wohnungen zu kaufen.

Nach den politischen Veränderungen zu Beginn der 90er Jahre, bot die Regierung die im Staatseigentum befindlichen Wohnungen den Städten und Gemeinden zum Kauf an. Da auch die wirtschaftliche Stärke von Städten und Gemeinden sehr begrenzt war, wurde es ihnen gesetzlich ermöglicht, diese Wohnungen an die Mieter zu verkaufen. Binnen weniger Jahre wurden 90 Prozent der Wohnungen in den mehrstöckigen Plattengebäuden zu sehr niedrigen Preisen verkauft. Der von den Mietern zu bezahlende Preis lag 70 bis 90 Prozent unter dem Marktpreis. Zunächst schien dieses Angebot sehr verlockend zu sein, später jedoch ergaben sich beträchtliche unerwartete Nachteile:

- In fast jedem Gebäude herrscht eine gemischte Struktur aus Wohnungen in Privatbesitz und städtischem Besitz. Hierdurch werden ein ganzes Gebäude umfassende Renovierungen fast unmöglich.

- Der von den Mietern gezahlte Kaufpreis änderte nichts an der finanziellen Schwäche von Städten und Gemeinden, während die Mieter für den Kauf fast ihre gesamten Finanzmittel eingesetzt hatten und gleichzeitig die Nebenkosten um den Faktor 10 anstiegen.

Die politischen und wirtschaftlichen Veränderungen haben negative Auswirkungen auf die soziale Situation der Besitzer von Wohnungen in Plattenbauten gehabt. Hohe Arbeitslosigkeit, eine Konzentration von Schichten mit niedrigem Einkommen, ein hoher Prozentsatz von Rentnern, die sich einen Wohnungswechsel nicht leisten können und Familien mit mehr als drei Kindern kennzeichnen und erklären die Lage in den Plattenbaubezirken, die überdies durch die im Vergleich zu anderen Gebäuden zwei bis dreimal so hohen Instandhaltungskosten weiter verschärft wird. Für die meisten Bewohner ist es unmöglich, Geld für große Renovierungen anzusparen. Bisher kam von der ungarischen Regierung kein wirksamer Vorschlag zur Lösung dieses Problems.

2.2.3 Technische und energetische Aspekte

Inzwischen sind die Gebäude 15 bis 40 Jahre alt. Die damaligen Baustandards waren sehr niedrig und seit der Erbauung wurden keinerlei Renovierungen vorgenommen. Folglich sind die Gebäude moralisch und physikalisch überholt.

Die geschätzte Lebensdauer der tragenden Bauteile liegt zwischen 100 und 150 Jahren. Aus diesem Grund wäre ein Abriss nicht die beste Lösung. Der Plattenbaubestand hat nach wie vor einen hohen volkswirtschaftlichen Wert und auch die Entsorgung von Millionen von Tonnen Stahlbeton wäre keine leichte Aufgabe. Obwohl die Gebäude unter dem Gesichtspunkt Statik noch "jung" sind, so trifft dies nicht auf die Gebäudetechnik und die Gebäudehülle zu, die das Ende ihrer Lebensdauer erreicht haben und eines erheblichen Instandhaltungsaufwandes bedürfen.

Auf Grund völlig unzureichender bauphysikalischer Parameter der Gebäudehülle ist der Energieverbrauch sehr hoch. Obwohl seit Ende der 60er Jahre Sandwichplatten mit zwischenliegender Dämmung von 7-8 cm verwendet wurden, ist der wirkliche U-Wert deutlich höher als im Labor gemessene Werte des ungestörten Bauteils. Die Dämmung ist an den Verbindungen der Platten unterbrochen oder zumindest viel dünner, woraus extrem hohe Wärmebrückenverluste resultieren. Die Wärmebrückenberechnungen, die im Rahmen des SOLANOVA-Projektes an der Technischen und Wirtschaftswissenschaftlichen Universität Budapest und am Passivhausinstitut gemacht wurden zeigten zusätzliche Verluste von 80% - 280% der eindimensionalen Transmissionswärmeverluste der Platten. Der tatsächliche U-Wert der Platten liegt bei 1,3 bis 2,6 W/m²K.

Die Fenster sind üblicherweise 2-fach-verglast mit Holzrahmen. Wie aus Ostdeutschland bekannt, weisen sie einen schlechten Dämmstandard und hohe Infiltration auf. Dies ist zwar aus energetischer Sicht nachteilig, erweist sich aber als "ideal" in Verbindung mit den schlecht gedämmten Platten: auch in Ungarn führten Teilrenovierungen von Fenstern und Heizung aufgrund stark gesunkenen Luftwechsels zu den bekannten Schimmelproblemen, insbesondere im Bereich der Plattenfugen.

99 Prozent der Dächer sind schlecht gedämmte Flachdachkonstruktionen mit vielen Dichtigkeits- und Entwässerungsproblemen. Aufgrund dieser schlechten Erfahrungen hegen die meisten Ungarn einen regelrechten Groll gegen Flachdächer auf öffentlichen Gebäuden und Wohngebäuden. Selbst in einem neuen Gebäude ist es noch heute fast unmöglich, die oberste Wohnung unter dem (Flach-)Dach zu verkaufen.

Die Ursache für den hohen Heizwärmebedarf der Gebäude ist nicht nur in der schlechten Dämmung der Gebäudehülle sondern auch in den verschwenderischen Heizungssystemen zu suchen. Um Kosten zu sparen, wurden in den 70er Jahren alle Heizungen als 1-Rohr-Heizungen ohne jede Regelungsmöglichkeit gebaut, was drastisch überheizte Wohnungen nach sich zog. Daher waren ab Mitte der 80er Jahre auch 2-Rohr-Systeme zulässig, die jedoch in den seltensten Fällen mit Thermostatventilen ausgerüstet wurden. Stattdessen gab es manuell zu betätigende Ventile, die häufig defekt waren. Ähnlich wie die Warmwasserrohre wurden auch die Heizwasserrohre in ungeheizten Räumen nicht oder nur vollkommen unzureichend gedämmt.

Ursprünglich wurden alle ungarischen Plattenbauten mit Fernwärme versorgt. Wegen unzeitgemäßer Kraftwerke und Verteilungen und erheblicher Subventionierung der Gaspreise ist dies heute die teuerste Art der Wärmeversorgung in Ungarn. Die Fernwärmeerzeugung hat niedrige Wirkungsgrade, hohe Verluste und hohe Instandhaltungskosten.

Die Lüftungssysteme sind reine Abluftsysteme für Bäder, Toiletten und Küchen mit Dachventilatoren über den Sanitärschächten der Wohnungen. Nach heutigen Maßstäben sind diese Systeme unter den Aspekten Schall und Geruchsübertragung inakzeptabel.

Allein der Zustand der beschriebenen Gebäudeelemente rechtfertigt die energetische Renovierung der Plattenbauten. Ein Hauptziel des SOLANOVA Projektes besteht darin, nicht nur die technischen, sondern auch die organisatorischen, sozialen, ökonomischen und rechtlichen Rahmenbedingungen einer solchen Renovierung und Lösungsmöglichkeiten zur Überwindung der jeweils bestehenden Hindernisse aufzuzeigen.

Grundsätzlich handelt es sich bei der Renovierung um einen komplexen Prozess, in dem die Interaktionen zwischen Gebäudehülle, technischer Gebäudeausrüstung und Versorgungssystemen zu berücksichtigen sind, um sub-optimale Ergebnisse auszuschließen. Zahllose Beispiele aus den 90er Jahren belegen, dass Schritt-für-Schritt-Renovierungen zu höheren Lebenszykluskosten führen und dabei nicht dasselbe Effizienzniveau erreichen wie komplexe Renovierungen.

2.3 Das Demo-Gebäude – Ist-Zustand

Abbildung 1 zeigt das Demo-Gebäude.



Abbildung 1 - Südansicht des Demonstrations-Gebäudes

2.3.1 Die Gebäudehülle

Das Demo-Gebäude liegt in der ungarischen Stadt Dunaújváros, ca. 70 km südlich von Budapest. Obwohl die erste Siedlung in der Römerzeit gegründet wurde, entwickelte sich die Stadt zu einer der wichtigsten "Industrieproduktionen" der kommunistischen Ära. In jener Zeit wurde die Stadt "Stalinstadt" genannt. Neben mehreren Schwerindustriebetrieben und Kraftwerken wurde eine große Plattenbausiedlung errichtet. Heute bestimmt die schlichte Monotonie der Häuserblocks den Charakter der Stadt.

Die Auswahl des Gebäudes erfolgte unter mehreren Gesichtspunkten: die Wohnungsgrundrisse und ebenso die Struktur und Verbindungstechnik der Platten

sind typisch. Die Längsseiten des Gebäudes sind nach Süden und Norden orientiert. Andererseits gibt es keine Balkone oder Loggien, was untypisch ist, jedoch die Kosten und Komplexität einer erstmals auf dem geplanten Niveau stattfindenden Renovierung in Grenzen hält. Das Gebäude hat 8 Stockwerke, ein Ladengeschöß und darüber liegend 7 Wohngeschosse. Auch dies ist untypisch, die technischen Charakteristika entsprechen jedoch dem weit verbreiteten 11-geschossigen Typ. Das Baujahr ist 1978. Die endgültige Festlegung erfolgte in Kooperation mit der Stadtverwaltung nach Durchführung eines "Gebäudewettbewerbs", der in der lokalen Tageszeitung ausgeschrieben wurde.

2.3.1.1 Sandwichplatten

Im Originalzustand bestehen die Außenwände aus drei Schichten, zwei Betonschichten mit dazwischen liegender Dämmschicht. Der theoretische U-Wert des ungestörten Bauteils beträgt 0,435 W/(m²K), vgl. Tabelle 1.

Tabelle 1 - Aufbau und theoretischer U-Wert der Sandwichplatten

| Schichten (von innen nach außen) | Wärmeleitfähigkeit λ [W/mK] | Dicke [mm] |
|----------------------------------|---------------------------------|----------------|
| Beton | 2,1 | 150 |
| Dämmung | 0,04 | 80 |
| Beton | 2,1 | 70 |
| | U-Wert: 0,44 W/m ² K | Gesamt: 300 mm |

Es ist keineswegs trivial, den wahren U-Wert dieser Platten zu bestimmen. Aufgrund der Vorfertigung wird die Polystyrol-Dämmschicht verschiedenen ungünstigen Einflüssen ausgesetzt, wie z.B. Wasser, dem Gewicht der Betonplatten, Vibrationen und Wärme, wodurch eine im Vergleich zum Nennwert 50% größere Wärmeleitfähigkeit anzunehmen ist – eine Tatsache, die in den 80er Jahren durch Messungen im bauphysikalischen Labor der Technischen Universität Budapest nachgewiesen wurde.

Die Verbindungen der Betonplatten erfolgen mit Stahlelementen, die die Dämmschicht durchstoßen. Obwohl die Projektionsfläche dieser Stahlverbindungen nur ca. 0,5% -1% beträgt, trägt der Stahl aufgrund eines Faktors 1600 zwischen den Wärmeleitfähigkeiten von Stahl und Polystyrol ebenfalls zu einer deutlichen Erhöhung des U-Wertes bei. Zu guter letzt darf auch die dünnere Dämmstärke am Plattenrand nicht vergessen werden. All diese Faktoren führen – ohne dass die Wärmebrückenwirkungen der Plattenverbindungen schon berücksichtigt sind – zu einem wahren U-Wert der einzelnen Platten von 0,8 bis 1,1 W/m²K.

Die Stöße der Sandwichplatten wurden mit Ortbeton verfüllt und die sich überlappende Stahlbewehrung ist an einigen Stellen zusammengeschweißt. Die

Verbindungen der Platten ist nur minimal gedämmt (Dämmstärke 15 mm), was zu einer starken Wärmebrücke führt, die durch die Bewehrung noch verstärkt wird.

In einigen Fällen wurden die relativ dünnen Kanten der Platten beim Transport oder beim Bau beschädigt. Kritisch ist daher auch die Wetterfestigkeit der Stöße. Sowohl die so genannten "offenen" Stöße (C-Gummiprofil) als auch die "geschlossenen" Stöße (mit Mastix versiegelt) sind unzuverlässige Lösungen.

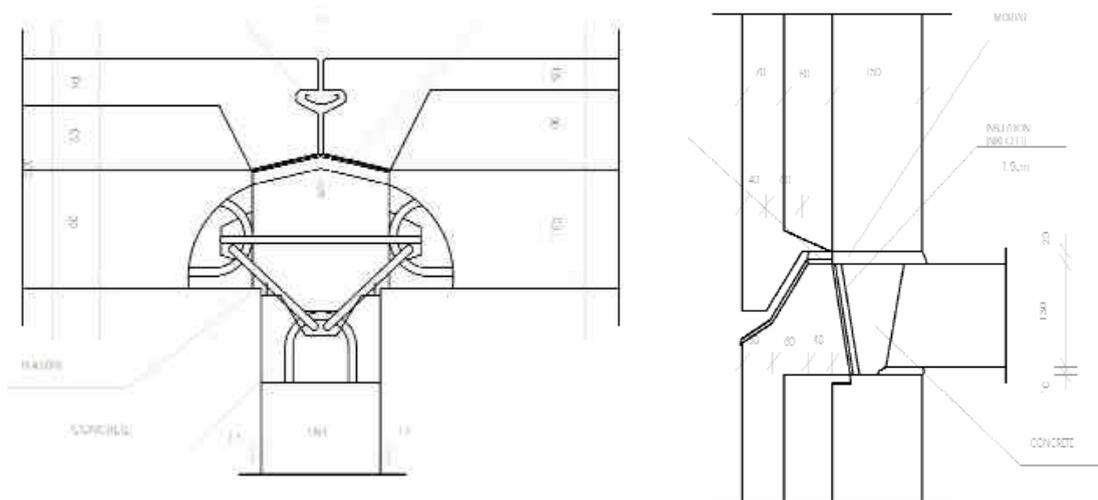


Abbildung 2 - Horizontalschnitt (links) und Vertikalschnitt durch die Plattenstöße

Dasselbe Problem stellt sich bei der Fensterleibung, die ebenfalls eine Wärmebrücke zwischen der inneren und äußeren Betonplatte darstellt. Abbildung 2 zeigt die linearen Wärmebrückenverlustkoeffizienten für Innen- und Außenmaßbezug. Die Berechnungen wurden mit dem Simulationstool DYNBIL erstellt.

Tabelle 2 - Lineare Wärmebrückenverlustkoeffizienten

| Beschreibung | Y _a [W/mK] | Y _i [W/mK] |
|--------------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| | (Außenmaßbezug) | (Innenmaßbezug) |
| Dachbrüstung / Außenwand | 0,665 | 0,944 |
| Vertikale Verbindung der Außenwände | 0,786 | 0,848 |
| Bodenplatte / Außenwand | 0,854 | 0,924 |
| Gebäudeecke, vertikal | 0,88 | 1,162 |
| Fenster/Außenwand /Brüstung/Leibung) | 0,375/0,266 | 0,375/0,266 |

Beachtet man die Gesamtlänge der linearen Wärmebrücken, wird ohne weiteres verständlich, dass die Wärmebrückenverluste sogar über den eindimensional

gerechneten Wärmeverlusten der Platten liegen können. Deshalb führt eine zusätzliche außenseitige Wärmedämmung insbesondere an den Stößen und nicht in den ungestörten Plattenbereichen zu den größten Einsparungen.

2.3.1.2 Fenster

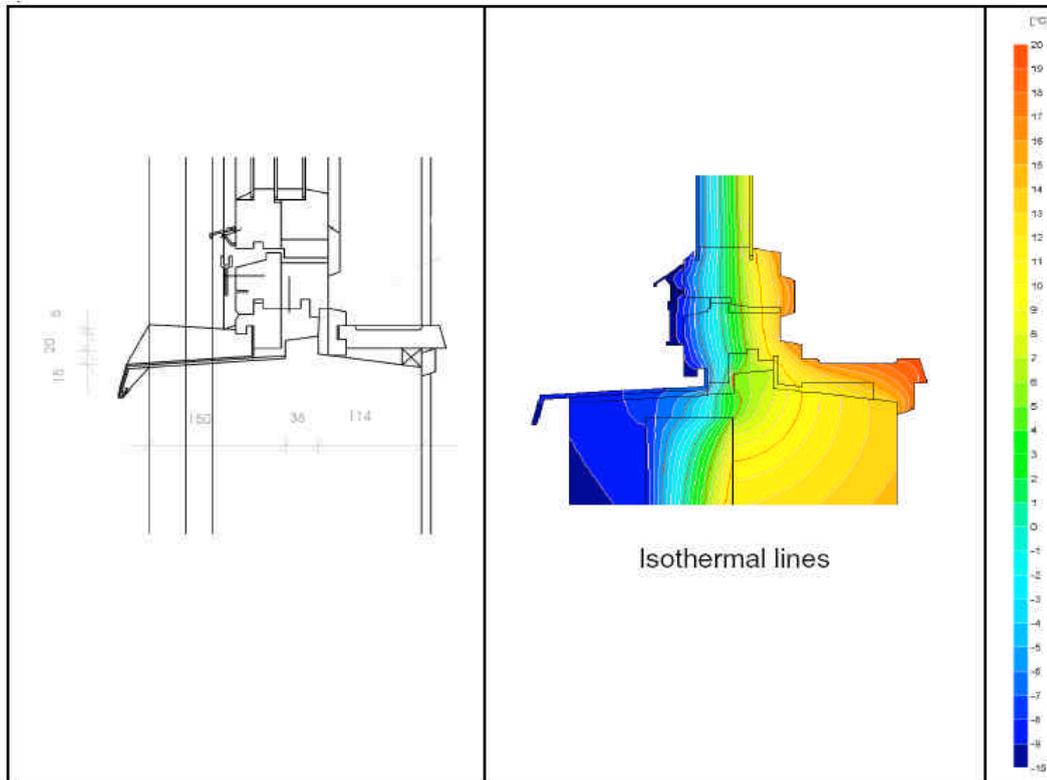


Abbildung 3 - Einbausituation und Isothermen der Fenster im Ist-Zustand, Vertikalschnitt

Die Originalfenster bestehen aus einem Holzrahmen mit luftgefüllter Zwei-Scheiben-Verglasung (Floatglas 4/45/4, ohne low-e-Beschichtung). Der U_F -Wert des Rahmens wurde zu $1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ und derjenige der Verglasung mit $U_G = 2,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ berechnet. Der resultierende U_W -Wert ist $2,3 \text{ W/m}^2\text{K}$. Betrachtet man die Einbausituation der Fenster mit den Wärmebrücken rings um das Fenster, ergibt sich als wahrer Wert für das in der Platte eingebaute Fenster ein U_W -Wert von $3,2 \text{ W/m}^2\text{K}$. Abbildung 3 zeigt die Einbausituation und den Isothermenverlauf.

Die Fenster in den südlich gelegenen Wohnräumen haben die selbe Größe wie die Fenster in den nördlich gelegenen Küchen und Schlafräumen. Der Grund hierfür war Kostenminimierung durch maximale Uniformität der Plattengeometrie. Fest steht, dass die nördlich gelegenen Räume prinzipiell nicht derart großer Fenster bedürfen, da dasselbe Fenster/Raumgrundfläche-Verhältnis wie im Süden auch mit kleineren Fenstern realisierbar ist. Dies bietet einen Ansatz für Kostenersparnisse bei der Renovierung unter gleichzeitiger Erhöhung der knapp bemessenen Stellfläche in den Wohnungen.

2.3.1.3 Dach

Das Originaldach besteht aus einer 130 mm starken Betonplatte, auf der sich eine 50 mm starke Leichtbetonschicht und 80 mm Dämmung befinden. Als Deckschicht und wasserführende Ebene findet sich hierauf eine weitere keilförmige Leichtbetonschicht.

Gemäß DIN EN 6946 Annex C errechnet sich der U-Wert dieses Dachaufbaus zu 0,46 W/m²K. In Wirklichkeit liegt auch dieser U-Wert deutlich höher, was unter anderem auf Feuchtigkeit und mangelhafte Bauausführung zurückzuführen ist.

Auf dem Dach befinden sich zwei Aufbauten mit je 2 Räumen. Ein größerer Raum ist der Fahrstuhlmaschinenraum, während der andere Raum früher für das Ausdehnungsgefäß des offenen Heizungssystems diente, inzwischen aber gänzlich leer ist. Weitere leere Räume befinden sich auf den Etagen hinter den Fahrstühlen. Sie beherbergen immer noch das große Müllschluckerrohr, das jedoch seit diesem Jahr nicht mehr benutzt werden darf.

2.3.2 Heizungssystem

Das Heizungssystem ist ein nicht-regelbares Einrohrsystem, sieben Heizkörper sind in Reihe an das Steigrohr angeschlossen, sieben weitere Heizkörper an dasselbe Rohr auf dem Weg nach unten. Sowohl unter hydraulischem als auch unter thermischem Gesichtspunkt ist dies als vollkommen ungenügend einzustufen. Selbstverständlich ist selbst eine manuelle Regelung ausgeschlossen. Das System ist genauso alt wie das Gebäude.

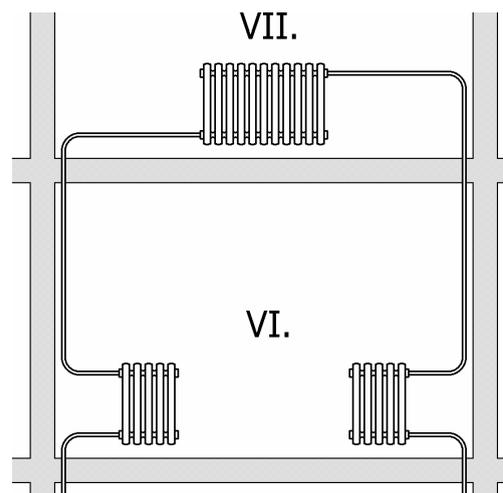


Abbildung 4 - Schema des Original-Heizungssystems für die beiden obersten Geschosse

3 Herausforderungen bei der Planung und Lösungsansätze

3.2 Mess- und Simulationsergebnisse

Gewöhnlich steht bei Sanierungen das Verhalten des Gebäudes im Winter im Blickpunkt. Um einen Vorher-Nachher-Vergleich zu ermöglichen, wurden verschiedene Datenerhebungsmethoden eingesetzt. Historische Meßdatenzeitreihen ergaben für den Heizwärmeverbrauch einen Durchschnittswert von 220 kWh/m²a. Das bedeutet, dass zwischen dem aktuellen und dem angestrebten Wert ein Faktor 10 liegt. Der Stromverbrauch liegt zwischen 1700 und 1800 kWh pro Jahr und Wohnung. Dieser Wert ist recht niedrig, wenn man bedenkt, dass sich im Schnitt 2,8 Bewohner eine Wohnung teilen. Somit entfallen durchschnittlich 19 m² Wohnfläche auf jeden Einwohner. Zum Vergleich: in Deutschland teilen sich durchschnittlich 2,2 Personen eine Wohnung, wobei die Pro-Kopf-Wohnfläche inzwischen allerdings 40 m² beträgt.

Der tägliche Pro-Kopf-Wasserverbrauch liegt bei ca. 111 l, was nach deutschen Maßstäben, wo der entsprechende Wert in etwa bei 130 l liegt, ebenfalls wenig ist.

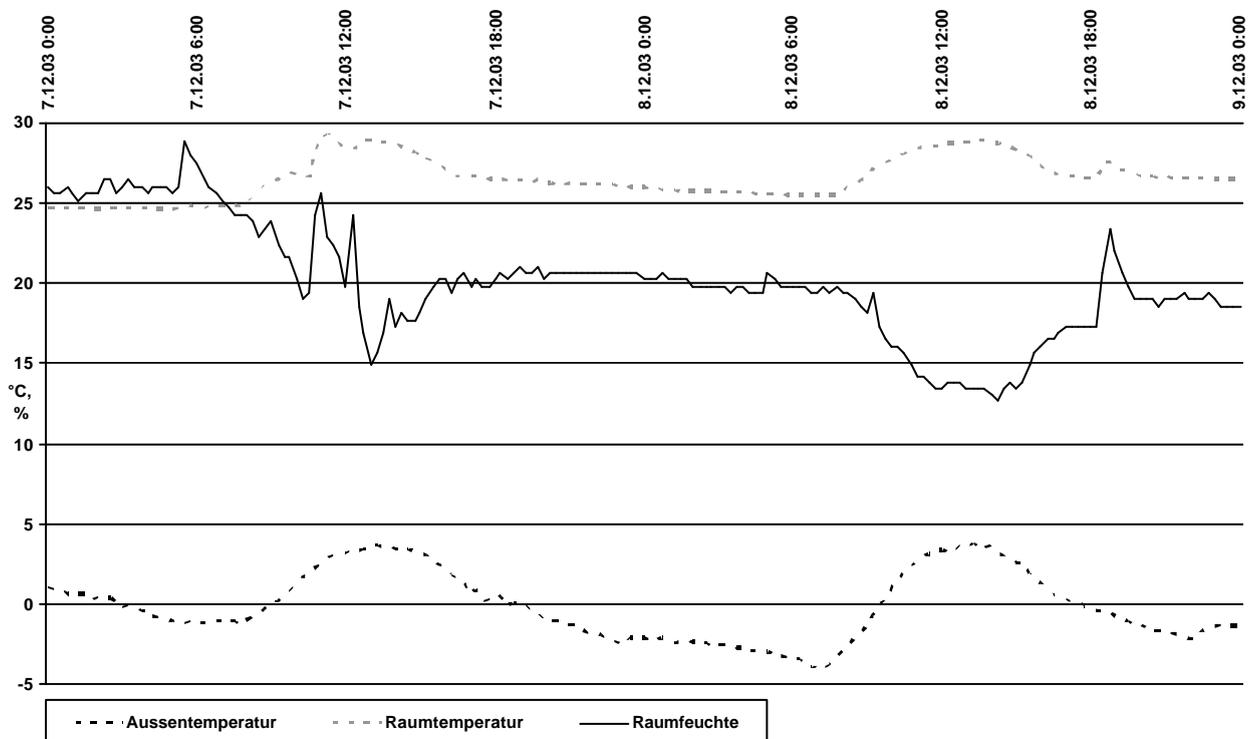


Abbildung 5 - Innenraumklima im Winter, Meßwerte

Jenseits jeglichen Komforts ist das Innenraum-Klima im Winter. Abbildung 5 zeigt einen zweitägigen Ausschnitt aus dem Dezember 2003. Deutlich zu sehen sind die Abhängigkeit der Innenraumtemperatur von der Außentemperatur, das sehr hohe Niveau der Innenraumtemperatur und das extrem niedrige Niveau der relativen Luftfeuchte, wo Werte unter 15% erreicht werden.

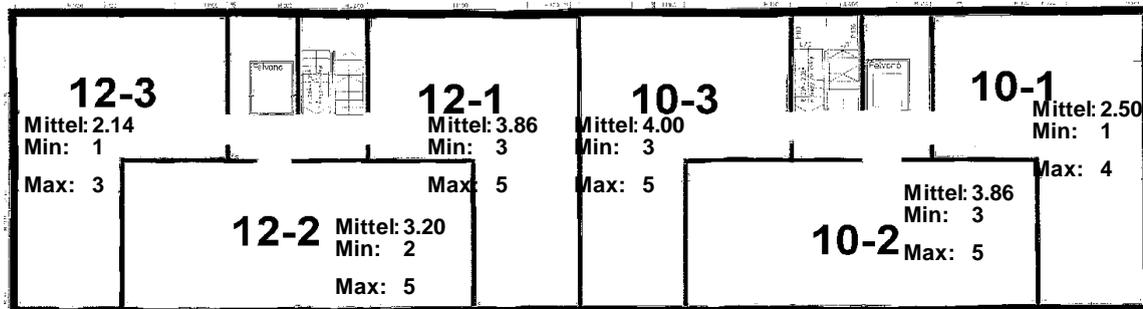


Abbildung 6 - Zufriedenheit mit Temperatur im Winter

Sehr aufschlussreich für die Planung waren die Ergebnisse der ersten Befragung im März 2003. Zum einen wurde deutlich, dass die thermische Benachteiligung der Eckwohnungen nicht nur auf dem Papier existiert, sondern auch von den Bewohnern als solche wahrgenommen wird. Abbildung 6 zeigt die durchschnittliche Zufriedenheit der Bewohner mit der Innenraumtemperatur in den Wohnungen. Die Skala für die Frage „Wie zufrieden sind Sie mit der Wohnungstemperatur im Winter“ reichte von „1 – gar nicht zufrieden“ bis „5 – sehr zufrieden“. Signifikant unzufriedener sind die Bewohner der Eckwohnungen.

Zum anderen ergab sich aus der Befragung, dass die Bewohner den Komfort im Sommer noch weitaus schlechter beurteilen als im Winter. Sehr große Fensterflächen, unzureichende Verschattungsmöglichkeiten, unangemessenes Lüftungsverhalten und fehlende Möglichkeiten für Querlüftung insbesondere bei den Südwohnungen führen zu Temperaturen weit über 30°C.

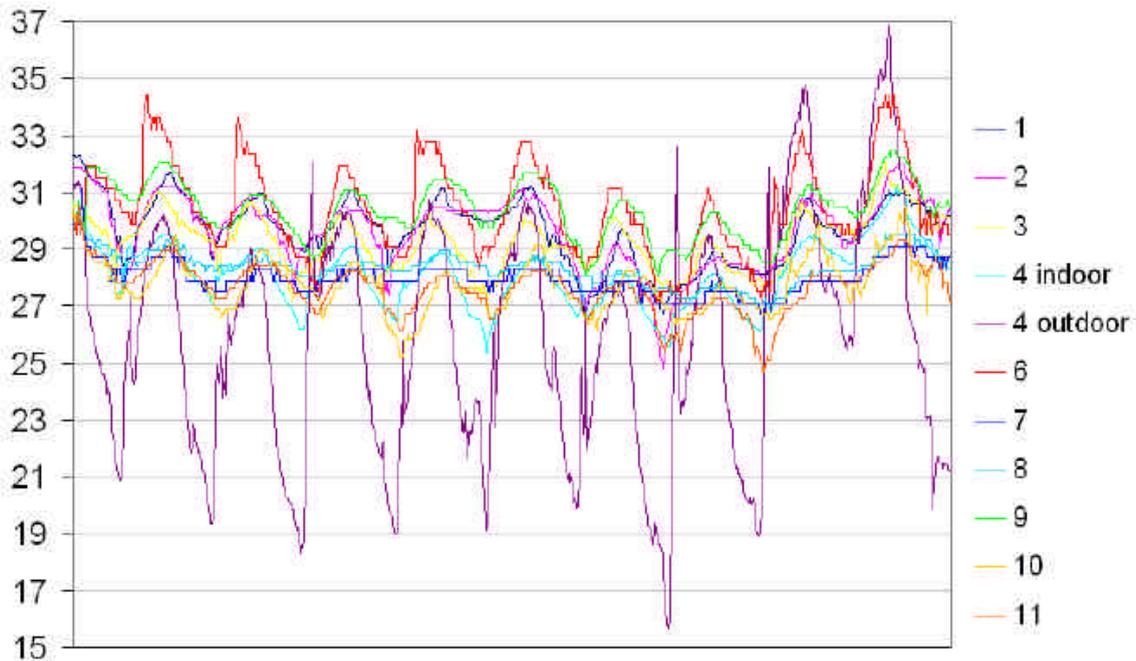


Abbildung 7 - Gemessene Temperaturen zwischen 5. und 15. August 2003

Abbildung 7 verdeutlicht die Lage der Bewohner in verschiedenen Wohnungen. Der ebenfalls dargestellte Verlauf der Außentemperatur zeigt, dass das Potential nächtlicher Lüftung nicht vollständig genutzt wird. Die Verbesserung des sommerlichen Wärmeschutzes ist somit eine der Kernherausforderungen des SOLANOVA Projekts. Zur Lösung dieser Aufgabe wurden dynamische Simulationsrechnungen angestellt. Es zeigt sich, dass geeignete Verschattungselemente im Süden, die Verbesserung der Fassaden- und Dachwärmedämmung sowie ein verändertes Lüftungsverhalten der Bewohner zu deutlich niedrigeren Temperaturen führen können.

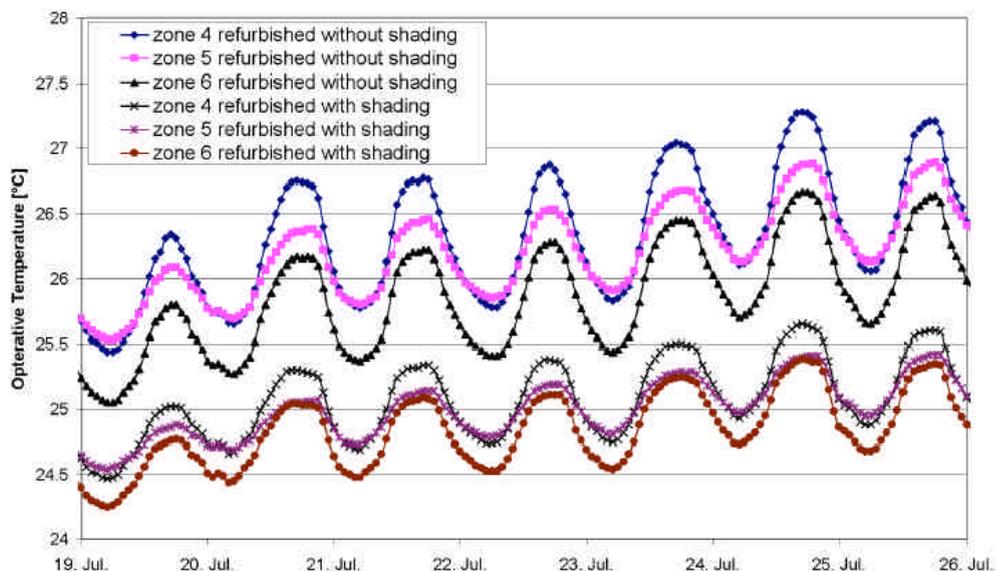


Abbildung 8 - Wirkung der Verschattung auf den sommerlichen Wärmeschutz

Die mit DYNBIL simulierten Spitzentemperaturen für den Ist-Zustand im Sommer lagen noch weit unter den gemessenen Temperaturen. Erklären lässt sich dies wahrscheinlich dadurch, dass einige Randbedingungen noch schlechter sind, als dies in der Simulation unterstellt wurde: noch schlechtere Dämmung des Daches, nahezu unwirksame Dämmung der Warmwasserrohre, wodurch höhere interne Lasten entstehen und sub-optimales Lüftungsverhalten der Bewohner, was im Nachhinein auch durch eine einwöchige Beobachtung bestätigt wurde.

3.3 Lösungsansätze für einige ausgewählte Probleme

3.3.1 Fenster

An die Fenster sind verschiedene Anforderungen zu stellen. Wie die vorangegangenen Untersuchungen zeigten, ist eine wirksame Verschattung im Sommer das herausragende Kriterium, neben dem die uneingeschränkte Möglichkeit zur Nachtlüftung und ein passivhausnaher Wärmeschutz gegeben sein müssen. Aufgrund der bei Hochhäusern auftretenden Windgeschwindigkeiten, ist die Verwendung außen liegender Verschattungen sehr problematisch. Ein hoher Verschattungseffekt ist in der Regel mit akzeptablem Ausblick ins Freie unvereinbar. Es wäre natürlich möglich, die Bewohner darauf hinzuweisen, dass sie für Schäden ab Windgeschwindigkeit x selbst verantwortlich sind – im Falle eines Schadens wird dieser Hinweis für das Image eines Demo-Projektes dennoch wenig hilfreich sein. Zusätzliche Schwierigkeiten bereitet die Minimierung des Wärmebrückeneffektes und der Anschluss des Wärmedämmverbundsystems an die Rollladenschienen. All diese Punkte werden durch ein Fenster-System eliminiert, das vom Projektpartner Internorm entwickelt wurde. Es handelt sich um eine 2+1 Verglasung, mit zwischenliegender Jalousie in einem offenen Zwischenraum, der aus 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung und einer außen liegenden weiteren Einfachverglasung gebildet wird. Der Rahmen ist hoch gedämmt, so dass insgesamt eine in allen technischen Punkten überzeugende Lösung verfügbar ist, die einzig durch ihren hohen Preis Minuspunkte sammelt. Der U_g -Wert der gesamten Verglasung liegt bei Einsatz von Standard-2-Scheiben-Verglasung mit $U_g = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ bei $0,95 \text{ W/m}^2\text{K}$. Durch Variation des Lamellenwinkels lässt sich der z -Wert bis auf $0,18$ senken, so dass der ursprüngliche g -Wert von $0,55$ auf $0,10$ sinkt.

Abbildung 9 zeigt eine Skizze des Scheibenaufbaus mit zwischenliegender Jalousie.

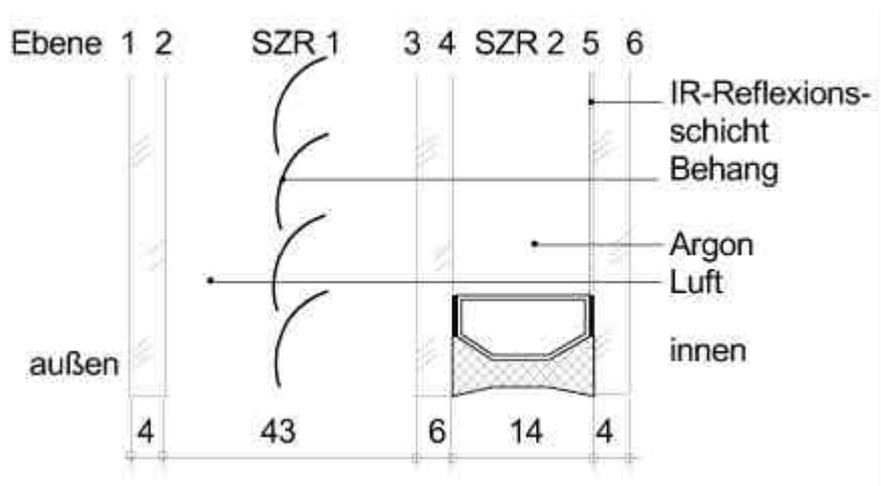


Abbildung 9 - 3-Scheiben-Verglasung mit zwischenliegender Verschattung

3.3.2 Heizung

10 verschiedene Varianten wurden für das Heizungssystem untersucht. Nachdem die Entscheidung gefallen war, an raumweiser Heizung festzuhalten, sollte die dadurch gegebene Möglichkeit raumweiser Temperaturregelung auch so wenig wie möglich geschmälert werden. Dies ist dann der Fall, wenn ein möglichst großer Anteil der notwendigen Wärmeleistung durch die Heizkörper gedeckt wird. Im Laufe der Untersuchungen kristallisierten sich deshalb die mit der jeweiligen Variante verbundenen unkontrollierten Wärmeverluste durch die Heizungsverteilleitungen als entscheidendes Kriterium heraus. Berechnungen des Passivhaus Instituts ergaben, dass die durch das Heizungssystem zusätzlich entstehenden unkontrollierten Wärmeverluste max. 2 W/m^2 , im Idealfall aber unter 1 W/m^2 betragen sollten. Hohe unkontrollierte Wärmeverluste vermindern nicht nur die Regelbarkeit der Temperatur durch das Heizungssystem, sie können insbesondere in der Übergangszeit bereits zu Temperaturen führen, die von einigen Bewohnern als so hoch eingeschätzt werden, dass sie zum gewohnten Mittel des „Fenster-Auf“-Reglers greifen dürften, was den spezifischen Wärmebedarf z.B. bei permanenten unkontrollierten Verlusten des Heizungssystems von 3 W/m^2 bereits auf ca. $14 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ anwachen lassen kann.

Lösen lässt sich dieses Problem durch ausreichende Wärmedämmung der Leitungen in Kombination mit möglichst kurzen Leitungswegen in der Wohnung. Die spezifische Wärmelast in den Küchen ist so gering, dass entschieden wurde, dort auf einen Heizkörper zu verzichten. Für das Heizungssystem wurde folgende Lösung entwickelt:

Abbildung 10 (Skizze Fa. innovaTec, Ahnatal) zeigt, dass der „Trick“ darin besteht, an einem Paar aus Vorlauf und Rücklauf zwei Heizkörper anzuschließen, die jedoch in verschiedenen Räumen angeordnet werden. Ein Heizkörper wird „durch die Wand“

angeschlossen, die vertikalen Leitungen werden gedämmt in einem Eckschacht untergebracht, der z.B. kostengünstig aus Gipskarton-Platten hergestellt werden kann. Mittels dieser Lösung sind für das gesamte Gebäude (6 Wohnungen pro Etage) 8 bzw. 14 vertikale Leitungspaare ausreichend, je nachdem ob das Bad hydraulisch oder elektrisch beheizt werden soll.

Jeder Heizkörper erhält Thermostatventile. Aufgrund der stark unterschiedlichen Solargewinne im Norden und Süden des Gebäudes, werden die Vorlauftemperaturen im Norden und Süden getrennt voneinander geregelt.

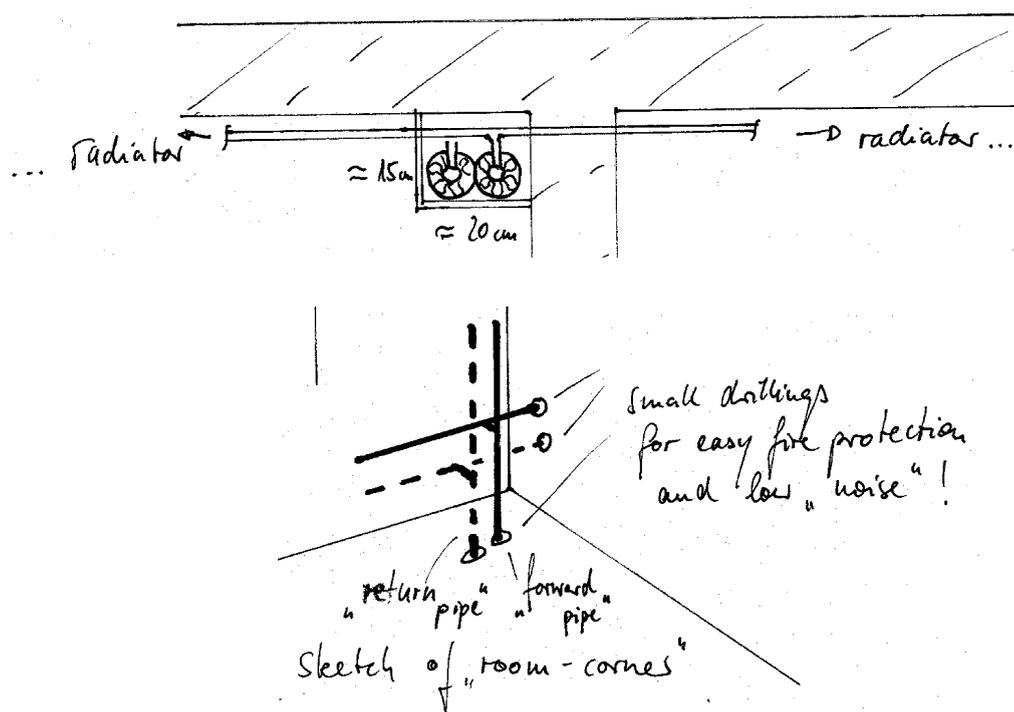


Abbildung 10 - Lösung für das Heizungssystem

Eine weitere Alternative wird derzeit untersucht, Ergebnisse liegen noch nicht vor.

Immer wieder wurde eine Luftheizung in Erwägung gezogen. Letztlich fiel die Entscheidung knapp dagegen, weil insbesondere das oberste Stockwerk mit seinen erhöhten Wärmeverlusten an der Grenze des mit einer reinen Luftheizung noch zu bewältigenden Leistungsspektrums lag. Technisch wäre dies durch einfache Installation eines zusätzlichen Heizkörpers in diesem Stockwerk möglich. Rein psychologisch wäre diese Lösung jedoch problematisch, weil die Eigentümer, die finanziell alle mit dem gleichen Betrag an der Sanierung beteiligt sind, sich sehr wahrscheinlich ungleich behandelt vorkommen würden.

3.3.3 Lüftung

Verschiedene Alternativen wurden auch für das Lüftungssystem untersucht. Folgende Kriterien spielten bei der Auswahl eine Rolle:

- Investitionskosten, Betriebskosten
- Wartung (Zugänglichkeit, Verfügbarkeit von Ersatzteilen, Ausfallrisiko)
- Störung der Bewohner durch Installation (Lärm, Schmutz)
- Störung durch Betriebsgeräusche
- Platzbedarf
- Brandschutzprobleme
- Fehlbedienungsrisiko
- Komfort (Thermisch, Olfaktorisch)
- Übertragbarkeit des Konzeptes
- Komplexität
- Einfache Bedienung
- Marktverfügbarkeit

Nach Bewertung der zunächst vorgelegten fünf Varianten blieben schließlich zwei Konzepte übrig:

- Dezentrales System mit einem Lüftungsgerät pro Wohnung
- Zentrales System mit einem oder zwei Lüftungsgeräten auf dem Dach

Das dezentrale System ist insbesondere unter den Gesichtspunkten Übertragbarkeit, Marktverfügbarkeit der Komponenten und Brandschutz positiv zu bewerten. Dem entgegen stehen der erhöhte Installationsaufwand und Platzbedarf, die voraussichtlich etwas höheren Kosten, aufwendigere Wartung und höherer Geräuschpegel. Ein beim Neubau nicht vorhandenes Problem ist der Frostschutz für den Wärmetauscher, der üblicherweise direktelektrisch sichergestellt wird und pro Gerät Leistungen von ca. 500 W erfordert. Zu bedenken ist, dass an kalten Wintertagen diese Leistung in jeder einzelnen Wohnung benötigt wird. Das Hausstromnetz ist jedoch bereits an der Kapazitätsgrenze, so dass weitere Maßnahmen wie Zulufrückführung und Reduzierung der Luftwechselrate an den kältesten Wintertagen notwendig würden, um den Frostschutz ohne Gefahr eines Zusammenbruchs des Hausstromnetzes zu bewältigen. Eine Lösung mit Wasser-Luft-Wärmetauscher vor jedem Einzelgerät ist aus Kostengründen unrealistisch.

Ohne weiteres einsetzbar ist ein Wasser-Luft-Wärmetauscher hingegen für die zentralen Varianten, die daneben mit geringerem Installationsaufwand in den

Wohnungen und zentraler Wartbarkeit weitere Pluspunkte sammeln. Mehr Schwierigkeiten als bei der dezentralen Lösung bereiten der Brandschutz und der erforderliche Raumbedarf. Lange Zeit sah es so aus, als wäre der Bau eines Extra-Gebäudes auf dem Dach unumgänglich, inzwischen konnte jedoch eine Lösung gefunden werden, die den noch verfügbaren Raum in den Fahrstuhlgebäuden vollständig nutzt. Für die vertikale Luftverteilung können die vorhandenen Schächte genutzt werden.

3.3.4 Solaranlage

Wenn der Wärmebedarf des Gebäudes bis auf Passivhausniveau reduziert wird, können hohe solare Deckungsraten für den gesamten Wärmebedarf des Gebäudes erzielt werden. Mit 100 m² Kollektorfläche können bereits 80% des jährlichen Warmwasserbedarfes gedeckt werden. Im Sommer entstehende Überschüsse können an das Nachbargebäude abgegeben werden.

Nur schwer vereinbar waren die Anforderungen einer großen Kollektorfläche einerseits und der Umwandlung des Daches in einen Wellness-Bereich andererseits. Die übliche Aufstellung der Kollektoren hätte den verfügbaren Platz fast vollständig eingenommen. Inzwischen wurde eine Lösung gefunden, in der der ohnehin erforderliche Windschutz und die Fahrstuhlgebäude als Widerlager für die aus den Kollektoren abzutragenden Lasten dienen. Auf diese Weise werden die Kollektoren ca. 3 m angehoben, wodurch die Nutzung der Dachfläche ohne Einschränkung möglich bleibt. Weiterhin können bei dieser Lösung Standard-Tragstrukturen verwendet und Wärmebrücken minimiert werden.

4 Ausblick

Die Baugenehmigung liegt bereits vor. Berechnungen des Passivhaus Instituts ergaben, dass tatsächlich ein Heizenergiebedarf von ca. 20 kWh/m²a erreicht werden kann. Mehr Aufschluss hierüber werden die durch die Ausschreibung ermittelten Preise ergeben. Im Vorfeld konnten zwar Schätzungen auf Basis deutscher Kosten gemacht werden. Da in Ungarn jedoch selbst Neubauten weit vom angestrebten Niveau entfernt sind, muss für die endgültige Entscheidung über die mit dem Budget von ca. 250 €/m² zu vereinbarende Maßnahmenkombination das Ergebnis der Ausschreibung abgewartet werden. Momentan werden Texte und Pläne für die Ausschreibung vorbereitet. Der Beginn der Ausschreibungen ist für Frühjahr 2004, der Baubeginn für Sommer 2004 geplant. Nach Abschluss der Gebäudesanierung werden die erzielten Energieeinsparungen und Komfortverbesserungen durch ein wissenschaftliches Messprogramm bis zum Projektende im Dezember 2006 erfasst, während die Zufriedenheit der Eigentümer mit ihrer renovierten Wohnung durch eine Reihe von Befragungen erhoben wird. Wesentliches Augenmerk wird in der 2. Phase des Projektes die Dokumentation und die Erstellung von Lehr- und

Informationsmaterialien haben, deren wesentlicher Bestandteil u.a. ein für die Renovierung angepasstes PHPP (Passivhausprojektierungspaket) und ein Leitfaden für die Sanierung sein werden.

Literatur

Novák, A.: The rehabilitation process of prefabricated reinforced concrete dwelling buildings in Hungary, Beitrag im Rahmen des EC Cost Action C 16 Workshops „State of the art of multi-storey family houses in relation to the Action C16“ am 29. August 2003, Delft, Niederlande; Online Veröffentlichung unter www.costc16.org

Pfluger, R.: Calculation of linear thermal transmittance according to E DIN EN ISO 10211 - Thermal bridge details, (original state) (Deliverable No. 2 report, part 3), August 2003

Pfluger, R.: Simulation of the Thermal Behaviour of a Multistorey Building in Dunaújváros Before and After Renovation (Deliverable No. 8 report), Februar 2004

Technische und Wirtschaftswissenschaftliche Universität Budapest, Lehrstuhl für Gebäudeenergetik, Endbericht über das ERB1C15CT98 0508 Projekt “Development of New Building Systems and Strategies for Energy Conservation and Environment Protection” (BECEP), Budapest, Juni 2002

Zsebik, A.; Csoknyai, T.; Falucskai, N.; Gerda, Z.: Description of Heating System (Deliverable No. 2 report, part 1), August 2003