

# Ergebnisse zum 3-Liter-Haus-Projekt der GBG Mannheim\*

Dipl.-Ing. Jörg Arold

## Projektbeschreibung

Beim 3-Liter-Haus-Projekt hat die Mannheimer Wohnungsbaugesellschaft GBG ein Wohngebäude aus den 30er Jahren durch umfangreiche Modernisierungsmaßnahmen auf das energetische Niveau eines 3-Liter-Hauses gebracht. Das Projekt wurde vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie im Rahmen eines Forschungsprojektes für energieoptimiertes Bauen (EnOB) gefördert<sup>1</sup>. Projektträger war das Forschungszentrum Jülich.



Bild 1: 3-Liter-Haus nach der Sanierung

Bauherr war die GBG Mannheimer Wohnungsbaugesellschaft mbH, Projektpartner waren u.a. die MW Energie AG, die Fa. Siemens Building Technologies GmbH, das Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP) und das Institut für Gebäudeenergetik (IGE) der Universität Stuttgart.

Aufgaben des Instituts waren die Konzeptentwicklung der Anlagentechnik für Lüftung und Heizung der Wohnungen, Fragen zur Energiebereitstellung sowie die messtechnische Begleitforschung und Auswertung des Vorhabens.

Voraussetzungen für das Erreichen eines 3-Liter-Standards (Verbrauch von 3 Litern Heizöl

pro m<sup>2</sup> Wohnfläche und Jahr für Heizung der Wohnungen), sind sowohl eine gute Wärmedämmung der Gebäudehülle als auch eine energieeffiziente Anlagentechnik. Im Vergleich zum durchschnittlichen Wärmedämmstandard des Gebäudebestands in Deutschland stellt der Bedarf von drei Litern Heizöl, bzw. ein Primärenergiebedarf von 34 kWh/m<sup>2</sup>a, eine Reduzierung um ca. 75% dar. Um das energetische Ziel zu erreichen, ist am GBG-Gebäude eine außenseitige Wärmedämmung aus Neopor mit einer Dicke von 20 bzw. 25 cm (Längswand/ Giebelwand) aufgebracht worden. Die Fenster der modernisierten Wohnungen wurden als 3-fach Wärmeschutzverglasungen mit Edelgasfüllung und hochgedämmten Rahmen ausgeführt. Zusätzlich wurde die Dachkonstruktion komplett

erneuert, um einen Wärmedurchgangskoeffizienten von 0,11 W/m<sup>2</sup>K zu erreichen. Die ausgeführte Wärmedämmung des 3-Liter-Hauses ist in der nachfolgenden Tabelle den Anforderungen der Energieeinsparverordnung gegenübergestellt.

Bei der Sanierung wurde auf die wärmebrückenfreie Ausführung sämtlicher Bauteilanschlüsse geachtet, um erhöhte Wärmeverluste an kritischen Punkten wie beispielsweise Fensterstürzen und Hauseingängen zu vermeiden. Neben der energetischen Sanierung des Gebäudes sind Umbaumaßnahmen zur Vergrößerung der Grundrisse der Wohnungen durchgeführt worden.

Tabelle 1: Wärmedämmung des 3-Liter-Hauses im Vergleich zur Anforderung der Energieeinsparverordnung

	Anforderungen nach Energieeinsparverordnung	Anforderungen für 3-Liter-Haus
Dach	U-Wert = 0,20 W/m <sup>2</sup> K z.B. 18 cm Dämmung aus Polystyrolhartschaum Neopor	U-Wert = 0,11 W/m <sup>2</sup> K 36 cm Dämmung aus Polystyrolhartschaum Neopor
Außenwand	U-Wert = 0,23 W/m <sup>2</sup> K z.B. 12 cm Dämmung aus Polystyrolhartschaum Neopor	Fassadenlängsseite: U-Wert = 0,15 W/(m <sup>2</sup> K) 20 cm Dämmung aus Polystyrolhartschaum Neopor Giebelwände: U-Wert = 0,12 W/(m <sup>2</sup> K) 25 cm Dämmung aus Polystyrolhartschaum Neopor
Kellerdecke	U-Wert = 0,30 W/m <sup>2</sup> K z.B. 6 cm Dämmung aus Polystyrolhartschaum Neopor	U-Wert = 0,11 W/m <sup>2</sup> K 25 cm Dämmung aus Polystyrolhartschaum Neopor
Fenster	U-Wert = 1,4 W/m <sup>2</sup> K z.B. Zweifach wärmeschutzverglaste Fenster	U-Wert = 0,80 W/m <sup>2</sup> K Dreifach wärmeschutzverglaste Fenster mit Edelgasfüllung

<sup>1</sup> Förderkennzeichen 0329750Q

Diese waren notwendig, um die Wohnungen an die heute üblichen Marktverhältnisse anzupassen. Aus den ehemals 24 Wohnungen sind inzwischen 12 zeitgemäße Maisonettwohnungen mit Wohnflächen zwischen 70 und 105 m<sup>2</sup> entstanden.

### Anlagenvarianten

Der Forschungsschwerpunkt lag im 3-Liter-Haus auf der Untersuchung verschiedener Anlagenvarianten für die Lüftung und Heizung der Wohnungen.

Aufgrund der hohen Dichtheit des Gebäudes ist eine maschinelle Be- und Entlüftung der Wohnungen notwendig, um den hygienisch notwendigen Mindestluftwechsel in den Wohnungen zu gewährleisten. Deshalb ist jede der fünf realisierten Systemvarianten mit einem Wohnungslüftungsgerät ausgestattet. Um die Lüftungsverluste zu minimieren, haben die Anlagen außerdem eine hocheffiziente Wärmerückgewinnung (WRG) in Form eines Plattenwärmeübertragers. Die einzelnen Varianten werden im Folgenden detaillierter beschrieben.

#### Variante 1: Luftheizung Standard

Der Übergabe von Heizwärme und Außenluft dient eine Luftheizung, die nach der Kernzone des Gebäudes geregelt wird. Wenn die Leistung des Wärmerückgewinners nicht ausreicht oder die Anlage in den Frostschutz umschaltet, gewährleistet ein Nacherwärmer die nötige Zulufttemperatur. Im Bad ist ein zusätzlicher Heizkörper angebracht, der bei Bedarf eine höhere Raumtemperatur ermöglicht. Bei dieser Systemvariante handelt es sich um die einfachste und kostengünstigste Anlagenvariante für eine Luftheizung. Solche und ähnliche

Systemvarianten werden häufig in hochgedämmten Gebäuden mit Lüftungsanlagen oder Passivhäusern eingesetzt.

#### Vor- und Nachteile:

- Aufgrund der geringen Luftströme, die in Wohnungen aus hygienischen und bauphysikalischen Gründen benötigt werden, ist die Aufheizreserve der Lüftungsanlage stark limitiert. Ein wohnungsweiser Absenkbetrieb über eine längere Zeitdauer (z. B. Urlaub) ist demnach nicht sinnvoll.
- Durch die einheitliche Zulufttemperatur ist eine individuelle Anpassung der Raumtemperatur, wie sie beispielsweise in Schlafzimmern gewünscht wird, nicht möglich. Raumweise Unterschiede in den Lüftungs- oder Transmissionsverlusten, bzw. der Nutzung können nur kompensiert werden, indem die Temperatur der Gesamtwohnung angehoben wird.
- Die hohen Zulufttemperaturen im Aufheizbetrieb (bis zu 45 °C), können zu thermischer Unbehaglichkeit führen.

#### Variante 2: Luftheizung getrennt regelbar für Erdgeschoss und Obergeschoss

Analog zur Variante 1 werden die Wohnräume über eine Luftheizung geheizt und belüftet. Im Unterschied zur Variante 1 sind separate Nacherwärmer für Erd- und Obergeschoss eingebaut, wodurch unterschiedliche Zulufttemperaturen ermöglicht werden.

#### Vor- und Nachteile:

- Durch die getrennten Regelkreise kann Temperaturunterschieden zwischen EG und OG, wie sie bei Variante 1 auftreten, entgegengewirkt

werden. Ebenso ist ein geschossweiser Absenkbetrieb möglich.

- Analog zur Variante 1 sollte wegen der geringen Aufheizreserve auf einen längeren Absenkbetrieb verzichtet werden.

#### Variante 3: Luftheizung Komfort

Im Fall der Luftheizung Komfort ist für jeden Raum mit Zuluft ein eigener Nacherwärmer vorhanden. Zusätzlich kann über eine so genannte „Party-Schaltung“ raumweise ein größerer Außenluftvolumenstrom angefordert werden. Dies wird durch motorgetriebene Luftklappen und verstellbarer Ventilatorleistung ermöglicht.

#### Vor- und Nachteile:

- Der Nutzer kann für die unterschiedlichen Wohnräume im Obergeschoss und das Wohnzimmer im Erdgeschoss den gewünschten Sollwert einstellen. Damit nähert sich diese Variante der raumweisen Regelfähigkeit an.
- Im Gegensatz zu den anderen Varianten ist eine raumweise Stoßlüftung möglich.
- Diese Systemvariante ist die aufwendigste Lösung in der Gruppe der Luftheizungen.

#### Variante 4: Lüftungsanlage und Heizkörper

Zusätzlich zur Lüftungsanlage werden in dieser Variante in allen Räumen Heizkörper installiert.

Damit wird die Funktion Lüften unabhängig von der Wärmeversorgung, weshalb die Zulufttemperatur nur zwischen 18 und 20 °C liegt und nur die Lüftungsverluste deckt. In diesem Fall wird die Zulufttemperatur nicht nach der Kernzone, sondern nach der Ablufttemperatur geregelt.

**Vor- und Nachteile:**

- Durch die zusätzliche Leistung der Heizkörper ist ein längerer Absenkbetrieb möglich. Außerdem ist durch die Trennung der Funktionen für den Aufheizbetrieb kein erhöhter Außenluftstrom notwendig.
- Die bessere Regelfähigkeit des Gesamtsystems lässt einen Vorteil beim Energieverbrauch erwarten.

**Variante 5: Lüftungsanlage und Kapillarrohrmatten**

Analog zur Variante 4 ist auch hier eine individuelle Beheizung der Wohnräume realisiert. Die Kapillarrohrmatten sind oberflächennah in den Zimmerdecken angebracht und mit selbstwirkenden Regelventilen ausgestattet. Neben der Zufuhr von Wärme im Heizfall werden die Kapillarrohrmatten im Sommer zur Kühlung der Räume eingesetzt. Die Kälte wird ressourcenschonend einem Erdkollektor entnommen. Dieser befindet sich im Garten des Gebäudes und wird im Winter zusätzlich für die Lufterwärmung genutzt.

**Vor- und Nachteile:**

- Vorteile wie bei Variante 4
- Diese Variante bietet bei ähnlicher Funktionalität wie die Heizkörpervariante die größtmögliche Flexibilität bei der Möblierung. Lediglich in den Zimmerdecken ist darauf zu achten, dass bei Bohrungen nicht die Kapillarrohrmatten beschädigt werden.
- Neben der Funktion Heizen werden die Kapillarrohrmatten im Sommer zum Kühlen genutzt.
- Der finanzielle Aufwand für die Kapillarrohrmatten mit Erdkollektor liegt deutlich über dem der Systemlösung mit Heizkörpern.

**Erzeugung**

Zur Wärmeerzeugung für das 3-Liter-Haus befindet sich in einer Nahwärmezentrale im Nachbargebäude ein Stirlingmotor mit 6 kW thermischer Leistung, der die Grundlast von Heizung und Trinkwassererwärmung deckt. Zur Deckung der Spitzenlasten steht ein Brennwertkessel zur Verfügung. Die Erwärmung von Trinkwasser erfolgt dezentral über Wohnungswärmestationen. Dabei handelt es sich um Wärmeübertrager, die an das Heizungsrohrnetz angeschlossen sind. Hierdurch entfällt der Trinkwasserspeicher und die Bereitstellungsverluste verringern sich. Bezüglich der Trinkwasserhygiene hat dieses System außerdem den Vorteil, dass das Trinkwasser direkt genutzt wird.

schung ist inzwischen abgeschlossen und die Messdaten aus dem Zeitraum Januar 2005 bis Juni 2006 sind ausgewertet.

**Raumtemperatur**

Die drei Systemvarianten mit Luftheizung unterscheiden sich im Wesentlichen bzgl. des eingesetzten Regelkonzepts. Bei der Variante 1 wird die Zulufttemperatur nach der Raumtemperatur in der Kernzone des EG geregelt. Dadurch kann das System nicht auf Lastschwankungen in den einzelnen Räumen reagieren, was zu Sollwertabweichungen führen kann. Die Messwerte haben dies bestätigt. So lag bei Wohnungen der Variante 1 die Temperatur im OG teilweise um 2 bis 4 K höher als im EG. Diese Abweichung

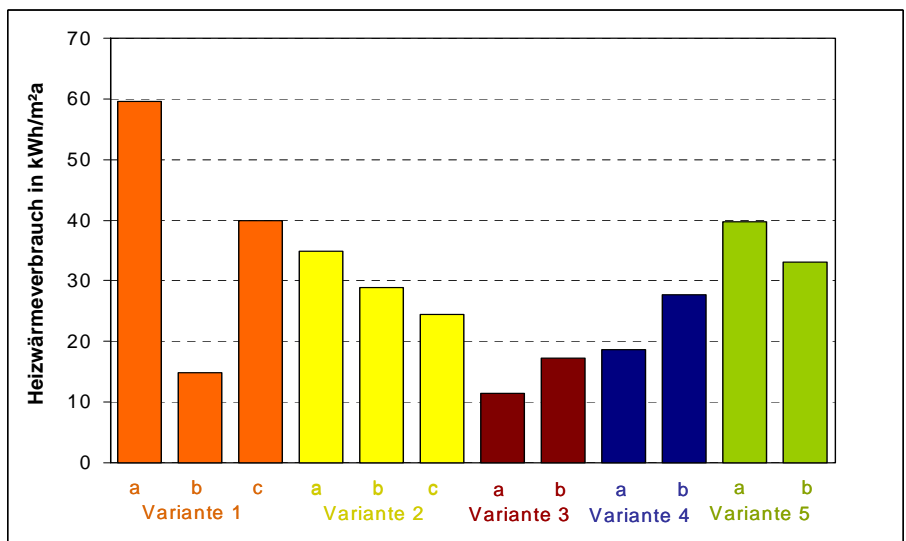


Bild 2: Heizwärmeverbrauch der Systemvarianten im Winter 05/06

**Begleitforschung**

Im Rahmen der Begleitforschung wurden rund 2000 Messdatenpunkte in Gebäude, Wohnungen, Anlagensystemen, Nahwärmezentrale und Wetterstation aufgezeichnet. Dies ermöglichte detaillierte Überprüfungen des Anlagenverhaltens, z.B. der Funktion der Anlagen und der Regelstrategien oder Analysen des Nutzerverhaltens im Hinblick auf den Energieverbrauch.

Die wissenschaftliche Begleitfor-

schung konnte durch Änderungen in der Betriebsführung etwas verringert werden und trat im Winter 05/06 weniger stark auf. Bei der Variante 2 mit der geschossweisen Zulufttemperaturregelung waren die Sollwertabweichungen geringer. Die Varianten 3 – 5, welche alle mit Einzelraumregelung ausgestattet sind, zeigten kaum Sollwertabweichungen.

**Heizwärmeverbrauch**

Das Ziel, ein Primärenergiebedarf von 34 kWh/m²a wurde im ersten

Betriebsjahr 2005 bereits erreicht. Der Primärenergiebedarf für Heizung inklusive Ventilatorstrom etc. betrug 32 kWh/m<sup>2</sup>a. Für das Jahr 2006 wurde eine sog. Zielprognose erstellt. Zu diesem Zweck wurde dem monatlichen Zielwert der tatsächliche Primärenergieverbrauch gegenübergestellt, in den ersten Monaten des Jahres 2006 lag der Primärenergiebedarf unter dem des gleichen Zeitraums im Vorjahr.

In den Monaten des Bezugs der Wohnungen war der Einfluss der Nutzung auf den Heizwärmeverbrauch gut ersichtlich. Der Einfluss der aus der Nutzung resultierenden inneren Lasten ist bei hochgedämmten Gebäuden wie diesen besonders groß, da der Anteil an der zu deckenden Heizlast hoch ist. Der Heizwärmeverbrauch der Wohnung V2-b war im Februar '05, dem Monat des Bezugs, um ca. 40 % geringer als im Vormonat. Bei der Wohnung V5-a sank der Heizwärmeverbrauch im selben Zeitraum um ca. 30 %.

Die Außentemperatur betrug im Januar '05 3,6 °C und 1,2 °C im Februar. Bei bereits bezogenen Wohnungen war im Februar sogar ein erhöhter Heizwärmeverbrauch festzustellen. Der gesunkene Wärmeverbrauch hat seine Ursache also nicht in den Außentemperaturen. Den nach Wohnungen aufgeteilten Heizwärmeverbrauch im Winter 05/06 zeigt Bild 2. Teilweise sind die Unterschiede zwischen Wohnungen mit gleichen Systemvarianten größer als zwischen Wohnungen verschiedener Systemvarianten. Die Ursache hierfür ist in der unterschiedlichen Nutzung und im Nutzerverhalten zu sehen. Das Nutzerverhalten unterscheidet sich z.B. im Lüftungsverhalten, im gewählten Sollwert oder der Belegung. Ein energetischer Vergleich der Varianten anhand von Messwerten ist also schwierig, da ange-

sichts der geringen Anzahl von Wohnungen pro Variante der Einfluss einzelner Nutzer zu groß ist.

### Raumluftqualität

Pro Systemvariante wurde eine Wohnung mit zusätzlichen Sensoren für die Luftqualität ausgestattet, welche die CO<sub>2</sub>- und eine Mischgaskonzentration der Abluft erfassten. Die Mittelwerte der CO<sub>2</sub>-Konzentration liegen in einem Bereich zwischen 650 ppm und 810 ppm. Nimmt man die DIN EN 13779 (eigentlich gültig für Nicht-Wohngebäude) als Maßstab, entspricht dies einer hohen Raumluftqualität RAL 2. Die Mischgaskonzentration liegt im Durchschnitt zwischen 64% und 90%. Die Auswertung der Stundenwerte ergibt keine direkte Korrelation zwischen der CO<sub>2</sub>- und der Mischgaskonzentration. Die relative Luftfeuchte in den Wohnungen liegt während der Heizperiode im Mittel zwischen 26 und 33%.

### Nutzerakzeptanz

Die Nutzerakzeptanz hat im Fall von heiz- und raumlufttechnischen Anlagen durch die richtige Bedienung und das richtige Verhalten der Nutzer direkten Einfluss auf den Heizwärmeverbrauch. Außerdem können sich neue technische Lösungen nur durchsetzen, wenn sie die Ansprüche der Nutzer erfüllen. Deshalb wurden unter den Mietern Umfragen durchgeführt, um die Akzeptanz der Systemlösungen und die Zufriedenheit mit dem Raumklima zu ermitteln. Dazu wurden nach der Sommerperiode 05 und der Heizperiode 05/06 Fragebögen unter den Mietern verteilt und ausgewertet. Die Umfrage für den Winter hat gezeigt, dass die Mieter sich schnell an die Lüftungsanlage gewöhnt hatten. Die Luftqualität hinsichtlich Geruchbelästigung wurde im Vergleich mit früheren Wohnungen sehr positiv bewertet. Allerdings

wurde die meist zu trockene Luft bemängelt. Die Fenster wurden im Winter nur kurz geöffnet, wobei als häufigster Grund für das Lüften angegeben wurde, dass die Wohnung zu warm war. In den Wohnungen mit der Systemvariante 1 wurden die fehlende Einzeltemperaturregelung und die damit verbundenen Sollwertabweichungen bemängelt. Im Allgemeinen waren die Mieter mit den Wohnungen und der Anlagentechnik jedoch sehr zufrieden. Die Umfrage für den Sommer hat ein teilweise schlecht angepasstes Nutzerverhalten gezeigt, was eine Ursache für die häufig bemängelten hohen Raumtemperaturen ist. So haben die Mieter z.B. auch zu den warmen Tageszeiten die Fenster geöffnet und die Wohnungen so zusätzlich erwärmt. Außerdem wurde die Kühlfunktion der Lüftungsanlage kaum benutzt. Diese sieht den Betrieb des Abluftventilators vor, wobei durch den hierbei in der Wohnung entstehenden Unterdruck kühle Außenluft durch die geöffneten Fenster nachströmen kann. Dadurch ist auch bei geringen Druck- und Temperaturunterschieden zwischen innen und außen ein hoher Außenluftstrom möglich. Die Tatsache dass allein durch den Abluftventilator ein Außenluftstrom erzeugt werden kann, hat teilweise für Verwirrung gesorgt.

### Zusammenfassung

In dem Projekt konnten wertvolle Erfahrungen auf dem Gebiet der Altbausanierung und der Wohnungslüftung gesammelt werden. Außerdem wurde ein großer Einfluss der Nutzer auf den Heizwärmeverbrauch festgestellt. Deshalb ist eine gute Aufklärung der Nutzer notwendig. Die Erkenntnisse aus diesem Projekt können bei weiteren Sanierungsprojekten verwendet werden.

\*In den Blättern des HLKBRIEFes wird über die Aktivitäten des Lehrstuhls für Heiz- und Raumlufttechnik der Universität Stuttgart, der Forschungsgesellschaft HLK Stuttgart mbH, der HLK Stuttgart GmbH und des Vereins der Förderer der Forschung im Bereich HLK Stuttgart e.V (Herausgeber) berichtet. Pfaffenwaldring 6A, 70569 Stuttgart. E-Mail: [info@vdf.info](mailto:info@vdf.info)