

Modernisierung mit Passivhaus-Komponenten

Burkhard Schulze Darup, Architekt, Augraben 96, 90475 Nürnberg schulze-darup@t-online.de

1 Grundlagen

Die energetische Gebäudesanierung ist ein zentrales Aufgabengebiet der Bauwirtschaft in den kommenden Jahren und bietet hervorragende Potenziale für die Wirtschafts-, Umwelt- und Arbeitsmarktpolitik. Primärenergieeinsparung und CO₂-Reduktion lassen sich in kaum einem Sektor mit solch einem günstigen Kosten-Nutzen-Verhältnis erzielen - im Raumwärmebereich sind Einsparungen mit dem Faktor 10 möglich. Die hervorragenden Erfahrungen mit der Passivhaus-Technologie bei Neubauten führen zwingend zu deren Anwendung bei der Modernisierung von Gebäuden.

Die wbg Nürnberg ist traditionell ein Partner für die Anwendung innovativer und nachhaltiger Konzepte [WBG 2002]. Im Rahmen der EU-Ziel 2-Förderung wählte sie ein Gebäude in der Nürnberger Südstadt aus, um erstmals eine Modernisierung mit Passivhaus-Komponenten durchzuführen. Das MFH Jean-Paul-Platz 4 mit sechs Wohnungen á 149 m² Wohnfläche wurde 1930 erbaut. Die Sanierung wurde im bewohnten Zustand durchgeführt.



Abb. 1: Vor der Sanierung



Abb. 2: Kurz vor Fertigstellung

2 Konstruktion

Die wesentlichen Konstruktionsmerkmale des Gebäudes sind Außenwände aus Vollziegeln, Geschossdecken als Holzbalkendecken mit Fehlböden und die Kellerdecke aus Betonhourdis. Der Dachboden ist nicht ausgebaut. Die Sanierung wurde umfassend ausgeführt, wobei die energetisch relevanten Bauteile besondere Beachtung erführen. Zugleich wurde ein möglichst sparsames Sanierungskonzept angewandt: es wurden keine eingreifenden Grundrissänderungen durchgeführt, keine Baderneuerung und keine Schönheitsreparaturen in den Wohnungen.

2.1 Wand

Die aus Vollziegeln gemauerten Außenwände in einer Gesamtdicke von 41 cm weisen im Zustand vor der Sanierung einen U-Wert von 1,4 W/(m²K) auf. Sie wurden mit einem Wärmedämmverbundsystem (WDVS) mit einer Dämmdicke von 20 cm versehen. Dabei

wurde Polystyrol mit Wärmeleitfähigkeitsgruppe 035 verwendet, die bei einer sehr niedrigen Rohdichte von 15 kg/m^3 durch Zusatz von Graphit bei der Herstellung erreicht wird. Der resultierende U-Wert beträgt $0,15 \text{ W/(m}^2\text{K)}$. Die erhöhte Dammstärke war ohne Probleme durchführbar. Mehraufwand ergab sich allerdings aus dem sehr unebenen Untergrund.

2.2 Decke über 2. Obergeschoss

Da der Dachboden nicht ausgebaut ist, bildet die Fehlbodendecke über dem 2. Obergeschoss den thermischen Abschluss nach oben. Ausgehend von $U = 0,87 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ im unsanierten Zustand wurde folgender Aufbau durchgeführt: PE-Folie als luftdichtende Bahn, PS-Dämmung WLG 035 mit 25 cm Dicke, Ölpapier als Trennlage und Zementestrich mit 6 cm Aufbauhöhe. Der resultierende U-Wert beträgt $0,12 \text{ W/(m}^2\text{K)}$.

2.3 Kellerdecke

Die Kellerdecke besteht aus Stahlbetonträgerdecken mit eingehängten Betonhourdis. Die Kellerhöhe betrug etwa 2,15 m, sodass eine maximale Dämmhöhe von 14 cm möglich war, die in Form von PS-Dämmung WLG 035 aufgebracht wurde. In den Flurbereichen wurde aus brandschutztechnischen Gründen Mineralwolle verwendet. Die Oberflächen wurden verspachtelt mit eingelegtem Glasfasergewebe. Der U-Wert wurde von $0,88 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ auf $0,19 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ verbessert.

2.4 Fenster

Das Bestandsgebäude war mit den Original-Kastenfenstern von 1930 sowie in Nebenräumen mit Einfachfenstern versehen. Die Montage erfolgte seinerzeit mit einem Anschlag hinter der äußeren Steinschicht, was bei einer Fenstertiefe von ca. 18 cm zu einer kleinen inneren Leibungstiefe von ca. 8 cm führte. Bei der Fensterdemontage musste der Putz auf Grund der soliden Einbauweise bis über die Innenkante hinaus entfernt werden, was zu relativ hohen Aufwendungen für die späteren Einputzarbeiten führte. Der Einbau der passivhaus-geeigneten Kunststofffenster erfolgte mit ca. 5 cm Einstand von der Außenputzkante, sodass innen eine Leibungstiefe von ca. 37 cm entstand, während außen das ursprüngliche Bild mit etwa 15 cm erhalten blieb. Die Dämmung umgreift außen das Fenster um ca. 7 cm. Der Einbau erfolgte mit Montagewinkeln.




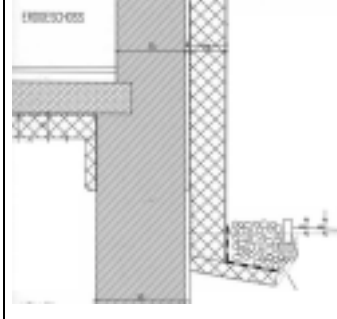
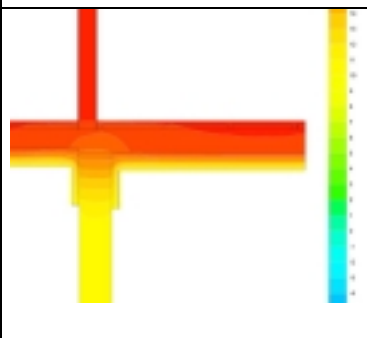
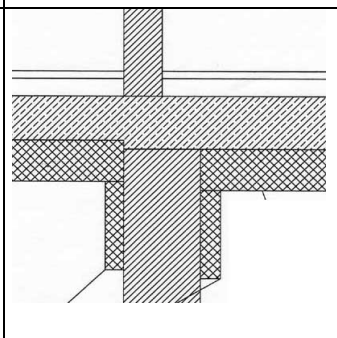
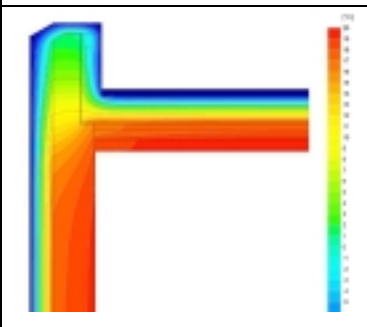
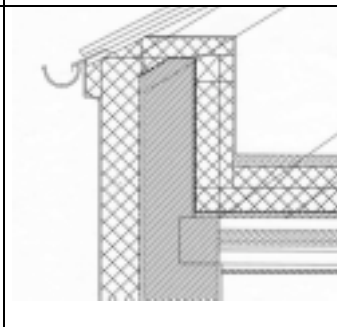
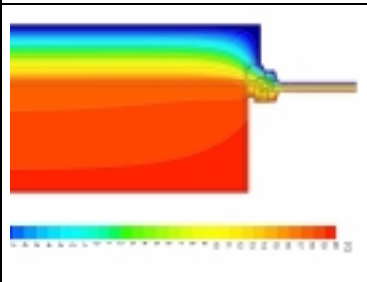
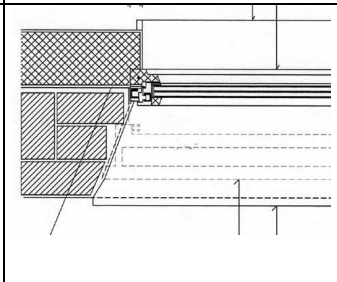
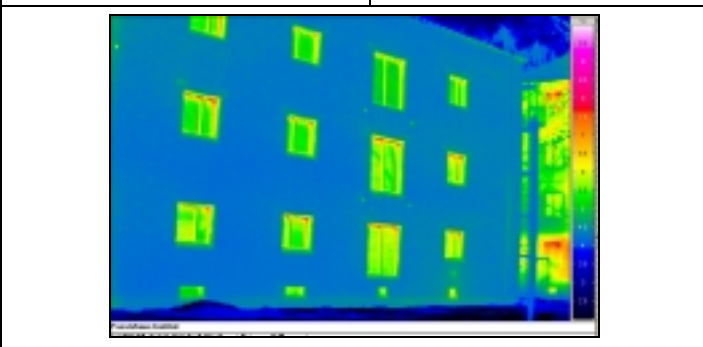
**Abb. 3: WDVS 20 cm dick –
luftdichter Anschluss an das Fenster**



**Abb. 4: Dämmung der KG-Decke und
Wärmebrückenreduktion an den Wänden**

3 Wärmebrücken

Zu den Wärmebrücken wurde auf Grundlage der Architektendetails mit dem PHI ein Abstimmungsgespräch durchgeführt und danach durch das PHI Berechnungen zur Optimierung erstellt [PHI 2003]. Eine Auswahl der Lösungen wird tabellarisch dargestellt:

		<p>Sockelbereich Keller-Außenwand: die Dämmung wird aus Kostengründen nur 25 cm tief ins Erdreich eingebunden, ergänzend wird eine nach außen verlaufenden Frostschürze verlegt; der Wärmebrückendurchgangskoeffizient beträgt $\Psi_a = 0.134 \text{ W/(mK)}$</p>
		<p>Kellerinnenwände zu aufgehendem Mauerwerk im EG: durch die senkrechte Fortsetzung der Dämmung an den Kellerwänden nach unten (30 cm) wurde $\Psi_a = 0.30 \text{ W/(mK)}$ erreicht, bei den 38 cm dicken KG-Wänden $\Psi_a = 0.46 \text{ W/(mK)}$</p>
		<p>Kniestock: durch vollständiges Umdämmen des Kniestocks mit einer Dicke von seitlich 20 cm und oberhalb 10 cm ergibt sich ein äußerst günstiger Wärmebrückendurchgangskoeffizient: $\Psi_a = 0.056 \text{ W/(mK)}$</p>
		<p>Fenster: Wärmebrücke vergleichbar einer Neubau-Situation $\Psi_a = 0.017 \text{ W/(mK)}$ beim seitlichen Anschluss; der untere Bereich zum Fensterblech weist $\Psi_a = 0.030 \text{ W/(mK)}$ auf</p>
	<p>Thermografie der Südfassade kurz vor Fertigstellung und vor der Balkonmontage (4 Aussteifungsbolzen sind als Wärmebrücke erkennbar); zum Vergleich rechts ein baugleiches Bestandsgebäude [PHI 2003]</p>	

4 Luftdichtheit

Auf Grund nicht ausreichender Erfahrungswerte war es nicht möglich, im Planungsstadium einen fundierten n_{50} -Zielwert festzulegen. Im Vorfeld wurde ein Blower-Door-Test durchgeführt, der für das Gesamtgebäude zu $n_{50} = 4,9 \text{ h}^{-1}$ führte. Die drei übereinanderliegenden Wohnungen auf der Ostseite wurden einzeln gemessen und erbrachten folgende Werte: Wohnung EG: $n_{50} = 4,2 \text{ h}^{-1}$; Wohnung 1. OG: $n_{50} = 6,2 \text{ h}^{-1}$; Wohnung 2. OG: $n_{50} = 9,9 \text{ h}^{-1}$ [AnBUS 2002]. Daraus lässt sich ableiten, dass einerseits der Übergang zum Dachboden eine besondere Leckagequelle darstellt und zudem zwischen den Wohnungen relativ hohe Undichtigkeiten bestehen.

Die **Außenwand** kann nicht als luftdicht angesehen werden, weil die dichtende Innenputzschicht an zahlreichen Stellen unterbrochen wird. Das betrifft sowohl die Durchdringungen von Elektroinstallationen als auch Risse im Innenputz. Vor allem ist jedoch der gesamte Bereich des Deckenaufagers der Holzbalkendecken unverputzt, sodass in diesem obendrein geschwächten Bereich die Gefahr von Undichtheiten sehr hoch ist. Da im Innenbereich keine Maßnahmen durchgeführt werden konnten, blieb als einzige Lösung die Ausführung der luftdichtenden Ebene an der Außenseite der Wand. Dazu wurde das Wärmedämmverbundsystem vollflächig verklebt bzw. vor dem Kleben eine vollflächige Spachtelung aufgetragen.

Fensteranschlüsse konnten sehr einfach in diese Luftdichtungsebene eingearbeitet werden durch Einspachteln der Fensterverklebung, die mit vlieskaschiertem Butylklebeband auf den bestehenden Außenputz ausgeführt wurde. Unebenheiten im Mauerwerk und poröse Putzoberflächen wurden mit einem feuchte- und temperaturbeständigen Zusatzkleber ausgeglichen. Mit dem Mörtel des Wärmedämmverbundsystems wurde das Klebeband zudem eingeputzt.

Die **Fehlbodendecke über dem 2. Obergeschoss** zum Dachboden stellte die wesentliche Herausforderung hinsichtlich der Abdichtung dar. Als Abdichtungsebene wurde eine PE-Folie auf der Dielung unter der aufzubringenden Estrichdämmung gewählt. Problempunkte stellten das aufgehende Mauerwerk des Kniestocks und der Kamine sowie die zahlreichen Durchdringungen des Dachstuhls dar. Am Mauerwerk wurde die PE-Folie bis auf 30 cm hoch gezogen, zweifach mit dauerelastischem Kleber angedichtet sowie überspachtelt mit dem Mörtel des darauf angebrachten WDVS an der Innenseite des Kniestocks. An die Balkendurchdringungen wurde die Folie auf etwa 3 – 5 cm herangezogen und luftdicht eingebunden mit Gipsschlämme, die ihrerseits in die Unebenheiten und Risse des Holzes luftdicht einbindet.

Treppenabgang und Treppenhauskopf mit angrenzendem Heizraum beinhalteten zahlreiche Anschlüsse mit hohen Anforderungen an die Handwerker und mussten detailliert in den zahlreichen Anschlusspunkten luftdicht ausgeführt werden.

Der Zeitpunkt des zweiten **Blower-Door-Tests** wurde so gewählt, dass die Montage der Fenster sowie die frisch verlegte PE-Folie auf dem Dachboden überprüft und nachgearbeitet werden konnten. Während bei den Fenstern nahezu keine Undichtheit festgestellt werden konnte, war im Dachbodenbereich Nacharbeit erforderlich. Es wurde Überdruck in der jeweils darunter liegenden Wohnung mit geringen 15 Pascal erzeugt, um die Folie nicht gar zu weit abheben zu lassen. Mittels IR-Thermografie konnten dann zielgerichtet die Leckagen geortet und weitestgehend geschlossen werden. Die abschließende Messung des Gesamtgebäudes ergab einen hervorragenden n_{50} -Wert von $0,55 \text{ h}^{-1}$ und einige Hinweise zur weiteren Abdichtung der Hülle [PHI 2003]. Bei der Schlussabnahme wurde ein n_{50} -Wert von $0,35 \text{ h}^{-1}$ erzielt [AnBUS 2003].



Abb. 5: Thermografie der Dachboden-Luftdichtung

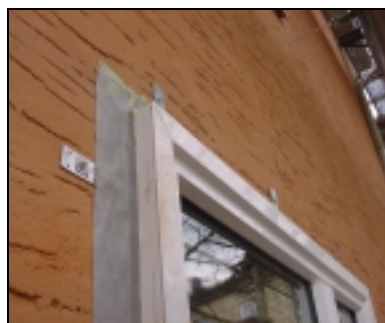


Abb. 6: Luftdichtung der Fenster außenwand-bündig



Abb. 7: Blower-Door-Messung – n_{50} vorher $4,9 \text{ h}^{-1}$ nachher $0,35 \text{ h}^{-1}$

5 Heizwärmebedarf

Der Heizwärmebedarf (Berechnung nach PHPP / EN 832) betrug vor der Sanierung $204 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ und wird durch die Maßnahmen auf $27 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ gesenkt. Aus primärenergetischer Sicht und hinsichtlich der CO_2 -Reduktion wird der Faktor 10 überschritten. Die Maßnahmen amortisieren sich energetisch nach weniger als zwei Jahren.

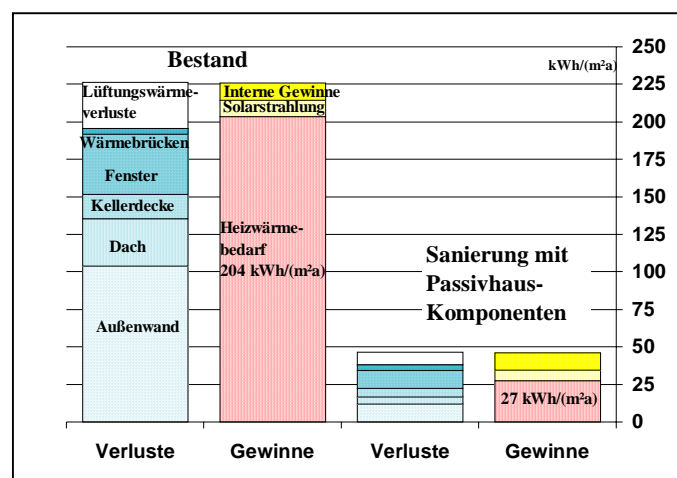


Abb. 8: Energiebilanz und Heizwärmebedarf – vor und nach der Sanierung

6 Haustechnik - Lüftung

Lüftungsanlagen haben nicht nur energetische Auswirkungen, sondern garantieren vor allem hygienisch hochwertige Raumlufte, Vermeidung von Schimmelpilzproblematik und hohen Komfort. Am Jean-Paul-Platz wurden passivhausgeeignete Abluftwärmerückgewinnungsanlagen dezentral für jede einzelne Wohnung installiert. Der Aufstellort ist ein Abstellraum an der Außenwand, Frischluftansaugung und Fortluft erfolgen direkt nach außen. Ein Vorheizregister vor dem Gerät sorgt für Frostsicherheit mittels Vorheizung ab $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Die Verteilung erfolgt über den Wohnungsflur, die Einbringung der Luft in die Aufenthaltsräume wird durch Weitwurfdüsen sichergestellt. Die gesamte Luftmenge pro Wohnung beträgt 140 bis 150 m^3 (ca. 30 m^3 pro Person) bei Normalstellung. Abgesaugt wird in Bad (40 m^3), WC (20 m^3), Küche (60 m^3), Neben- und Abstellraum (20-30 m^3).

Durchführungen vom Flur zu den Wohnungen wurden mittels Kernbohrung erstellt, was mit den vorhandenen Absaug-Kernbohrgeräten prinzipiell einfach und staubfrei durchführbar war. Probleme ergaben sich aber auf Grund der sehr umfangreichen und unstrukturiert verlegten Elektroleitungen im oberen Wandbereich der Flure und Materialwechseln zwischen Holzstützen und losem Mauerwerk.

Die Inbetriebnahme der Lüftungsanlagen wurde von Werksvertretern durchgeführt und zusätzlich im Rahmen der Begleitforschung vom Passivhaus Institut überprüft. Die richtige Einregulierung der Anlagen ist von hoher Bedeutung für die einwandfreie Funktion.

Seitens der Bewohner bestand zunächst eine gewisse Neugier bis Abneigung gegenüber den Lüftungsanlagen. Von einigen Seiten wurde sehr begrüßt, dass wie bisher die Fenster nicht zum Lüften geöffnet werden müssen – vorher waren die Fenster so undicht, dass dies nicht nötig war. Andere Parteien nutzten jedoch heftig die neu gewonnene Option der Kipplüftung. Nicht zu unterschätzen sind bei der Lüftungssituation die olfaktorischen Faktoren wie hohe Beladung der Wohnungen mit Möblierung, Interieur und Teppichböden sowie intensive Haushaltsführung. Im Rahmen der Begleitforschung wird während der ersten beiden Heizperioden eine Mieterbetreuung durchgeführt, die möglicherweise zu aufschlussreichen Ergebnissen führen wird.

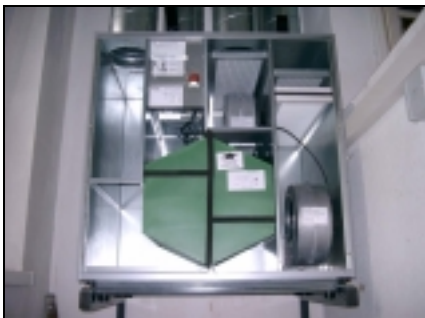


Abb. 9: Lüftungsgerät - Innenansicht

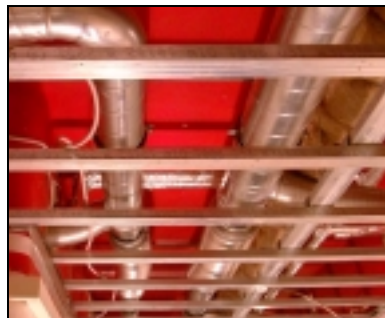


Abb. 10: Lüftungs- und Heizleitungen unter Flurdecke



Abb. 11: Kunst am Bau: Dämmung der Leitungen im Heizraum

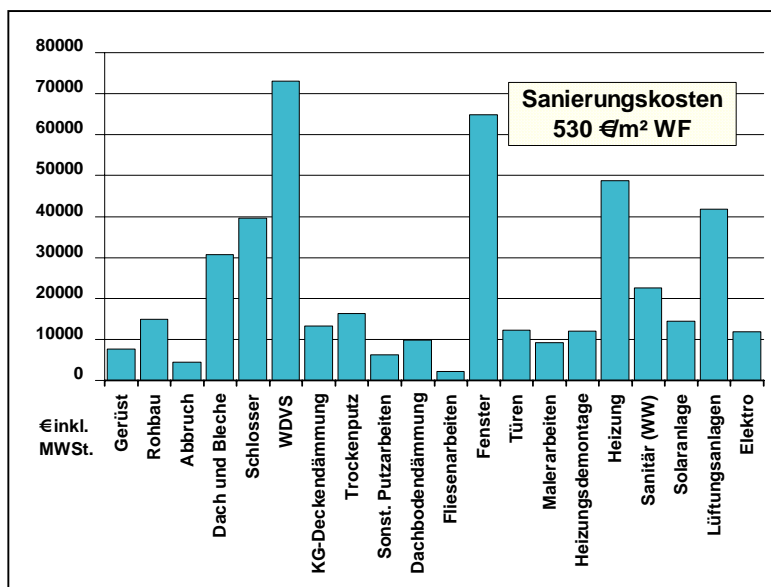
7 Haustechnik - Heizung und Trinkwassererwärmung

Die vorhandenen dezentralen Etagenheizungen (System-Baujahr 1930) wurden durch eine neue zentrale Heizungsanlage ersetzt. Der Heizraum mit einer minimierten Grundfläche von 6 m² befindet sich im Dachbodenbereich neben dem Treppenhauskopf. Eine Gasbrennwerttherme wurde ausgelegt nach den Anforderungen der Trinkwassererwärmung mit 30 kW Leistung. Ergänzend wurde eine solarthermische Anlage mit 17 m² Flachkollektor und 1000 Liter-Schichtenspeicher installiert, die auf den sommerlichen Wärmeertrag ausgelegt ist. Die systembedingte Heizungseinbindung wird zu keiner großen Heizungsunterstützung führen. Die Verteilung der Heizleitungen erfolgte parallel zu den Lüftungsleitungen im Deckenbereich der Flure. Die Leitungen werden auf Putz an den Innenwänden der Räume nach unten zum Heizkörper geleitet.

Die Bäder befinden sich an den diametral entgegengesetzten Enden des Gebäudes. Zur Minimierung der Zirkulationsverluste wurden die Verteil- und Zirkulationsleitungen im Mittel mit 10 cm Wärmedämmung versehen und zudem vollständig im beheizten Bereich geführt. Alle Bäder wurden neu an die zentrale Warmwasserversorgung angeschlossen. Eine Badsanierung erfolgte nur im Rahmen der individuellen Mietersanierung mit gesonderter Kostenumlage.

8 Baukosten und resultierende Miete

8.1 Baukosten



Die Baukosten betragen 530 € pro m² Wohnfläche (nach DIN 276 Kostengruppe 300/400 inkl. MWSt.) und unterschreiten damit zahlreiche Vergleichsobjekte ohne Passivhaus-Komponenten [Schulze Darup 2003].

Mehrkosten für die Passivhaus-Komponenten gegenüber einer standardmäßigen energetischen Sanierung betragen etwa 100 € pro Quadratmeter Wohnfläche [Schulze Darup 2000].

Abb. 12: Baukosten nach DIN 276 Kostengruppe 300/400

8.2 Miete

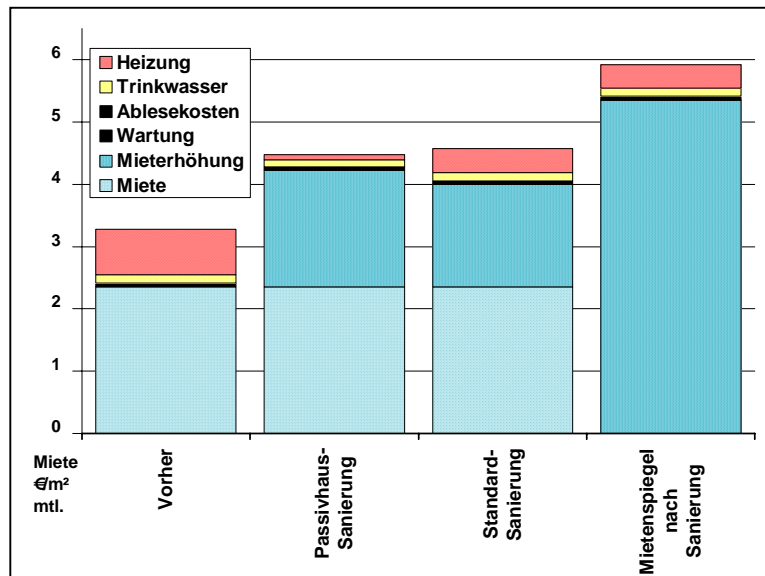


Abb. 13: Monatliche Mietkosten und Betriebskosten pro m² Wohnfläche im Vergleich

Die Kaltmiete der Bestandswohnungen am Jean-Paul-Platz lag bei ca. 2,35 € und damit deutlich unterhalb des Mietenspiegels. Ähnlich günstige Wohnungen mit fast 150 m² Wohnfläche sind in ganz Nürnberg nicht zu erhalten. Die Mieterhöhung beträgt 1,87 €/m² im Monat, wobei die umlagefähigen Kosten nicht voll ausgeschöpft wurden. Unter Einbeziehung der Betriebskosteneinsparungen ergibt sich eine resultierende Erhöhung von etwa 1,20 €/m² (vgl. Abbildung links).

9 Schlussfolgerungen - Strategien zur Umsetzung

Während sich die Passivhaustechnik beim Neubau schon fast zum Stand der Technik entwickelt hat, besteht bei der energetischen Sanierung heftiger Nachholbedarf. Es geht darum, in den nächsten Jahren energieeffiziente Modernisierung an zahlreichen Beispielen darzustellen und auf dieser Grundlage eine breitenwirksame Umsetzung auf den Weg zu bringen. Im Rahmen eines DBU-Förderprojektes werden 6 – 8 Modernisierungsprojekte unter Anwendung von Passivhaus-Komponenten unterstützt. Engagierte Wohnungsbau-gesellschaften mit geeigneten Sanierungsobjekten werden dafür noch gesucht [DBU 2003].

Für die Industrie ist es höchst attraktiv, Produktentwicklungen für die Sanierung mit hohem Marktpotenzial auf den Weg zu bringen. Es ist davon auszugehen, dass sowohl bei Dämm-systemen als auch vor allem bei den Fenstern, Lüftungs- und Haustechnikanlagen ein hoher Synergieeffekt für Fortentwicklungen gegeben ist. Die Umsatzerwartungen bei energetisch optimierten Modernisierungsprodukten sind ungleich höher als im Neubaubereich.

Die politisch-wirtschaftlichen Rahmenbedingungen müssen so gefasst werden, dass während einer etwa vier- bis achtjährigen Markteinführungsphase solch energieeffiziente Maßnahmen besonders gefördert werden. Jeder in diesem Bereich sinnvoll eingesetzte Euro wird durch Einsparungen bei der Arbeitslosenförderung und sonstige volkswirtschaftliche Aspekte zurückfließen. Nebenbei wird die Umwelt entlastet und – zumindest in diesem Sektor – eine Art Versicherung gegen Ressourcenverknappung und steigende Energiekosten initiiert.

Quellen

- [AnBUS 2002] AnBUS: **Qualitätssicherung Jean-Paul-Platz 4**, Interdisziplinäre Begleitforschung, AnBUS Fürth 2003
- [DBU 2003] Arbeitsgemeinschaft: **Energetische Gebäudesanierung mit Faktor 10**, gefördert von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU), Projektkoordination und Information: Schulze Darup, Nürnberg 2003
- [PHI 2003] Passivhaus Institut Darmstadt: **Passivhaustechniken im Bestand – Qualitätssicherung Jean-Paul-Platz 4**, Passivhaus Institut Darmstadt 2003
- [Schulze Darup 2000] Burkhard Schulze Darup: **Energiekonzept und Kosten - Energetische Sanierung mit Passivhaus-Komponenten, Jean-Paul-Platz 4**, Konzept, Nürnberg 2000
- [Schulze Darup 2002] Burkhard Schulze Darup: **Energieeffiziente Wohngebäude**, BINE Informationsdienst, www.bine.info, TÜV-Verlag Köln 2002
- [Schulze Darup 2003] Burkhard Schulze Darup: **Sanierung mit Passivhauskomponenten**, Interdisziplinäre Begleitforschung, Nürnberg 2003
- [WBG 2002] Wohnungsbaugesellschaft der Stadt Nürnberg, WBG Nürnberg, Glogauer Straße 70, 90473 Nürnberg, Ansprechpartner: Herr Höger