



Wohnen in Passivhäusern

Abb 1



- ▶ **gemessene Heizenergieverbräuche erfüllen Planungsziele**
- ▶ **unterschiedliches Nutzerverhalten und niedriger Heizenergieverbrauch vereinbar**
- ▶ **angepasste Fensterlüftung ist auch im Passivhaus Praxis**
- ▶ **Nutzerzufriedenheit ist hoch**

Man sieht den Reihenhäusern ihre Sparsamkeit nicht an

Grundprinzip des energiesparenden Bauens ist es, Wärmeverluste durch eine kompakte Bauweise, eine sehr gute Wärmedämmung, eine optimierte Haustechnik sowie durch eine weitgehend luftdichte Gebäudehülle zu reduzieren. Das hat auch Einfluss auf das Wohlbefinden der Bewohner: der bessere Wärmeschutz erhöht die Behaglichkeit; neben Transmissionswärmeverlusten werden auch Lüftungsverluste durch die dichtere Gebäudehülle vermindert. Das Verhalten der Bewohner beeinflusst in hohem Maße den Energieverbrauch.

Seit Anfang der neunziger Jahre wird dieses Grundprinzip in Deutschland in sogenannten Passivhäusern umgesetzt; seit 1996 – initiiert und unterstützt durch den Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser – in größerem Rahmen. Weil Passivhäuser einen Heizwärmebedarf von unter 15 kWh/m²a haben, wird oft auf eine konventionelle Heizung verzichtet. Das ohnehin notwendige Wohnungslüftungssystem kann die Deckung des Heizwärmebedarfs gleichzeitig mit der Frischluftzufuhr übernehmen. Zur Deckung des Frischluftbedarfs ist das Öffnen der Fenster dadurch nicht mehr notwendig; es kann im Gegen-

teil den Energieverbrauch unnötig erhöhen. Müssen die Bewohner bei den neuen energiesparenden Baukonzepten ihr gewohntes Verhalten ändern, um mit einem angenehmen Raumklima auch den angestrebten, geringen Energieverbrauch zu erzielen?

Um dieser Frage nachzugehen, hat das Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit (BMWA) in zwei Passivhaussiedlungen Forschungsvorhaben gefördert, die den Einfluss des Nutzerverhaltens auf den Energieverbrauch prüfen sollten. In der Siedlung Lummerlund in Wiesbaden-Dotzheim wurden zu diesem Zweck die Verbrauchsdaten von 22 Reihenhäusern erfasst und ausgewertet, in Stuttgart-Feuerbach wurden 52 Gebäude evaluiert, neun davon detailliert. In Wiesbaden wurden die Verbrauchsmessungen durch eine sozialwissenschaftliche Studie mit einer Bewohnerbefragung ergänzt. Nachdem die Siedlungen inzwischen einige Jahre bewohnt sind, lassen die Forschungsergebnisse Schlussfolgerungen zu, inwieweit das Passivhauskonzept mit der aktiven Mitwirkung der Bewohner in Einklang gebracht werden kann bzw. wie groß der Einfluss des Nutzerverhaltens auf den tatsächlichen Energieverbrauch ist.

► Siedlung Wiesbaden-Dotzheim

Im Jahr 1997 wurde in Wiesbaden die erste Reihenhaussiedlung mit insgesamt 22 Passivhäusern errichtet. Die weitestgehende Vorfertigung ermöglichte eine Bauzeit von nur 10 Wochen.

Seit Oktober 1998 werden Verbrauchsdaten (Heizwärme, Warmwasser, Strom) sowie Raumtemperaturen in den Gebäuden erfasst, seit dem Sommer 2000 zusätzlich die Öffnungszeiten der Fenster. Die Beheizung der Räume erfolgt nicht über die Zuluft, sondern über regelbare Heizkörper.



Messergebnisse

Der Heizwärmeverbrauch der Passivhäuser liegt deutlich unter 15 kWh/m²a. Die Einsparung gegenüber einem vergleichbaren Gebäude, das entsprechend der 1997 gültigen Wärmeschutzverordnung erbaut worden wäre, beträgt 87%. Dabei sind große Unterschiede zwischen den einzelnen Gebäuden zu verzeichnen (Heizperiode 99/00: nutzerbedingte Streuung von 5 bis 21 kWh/m²a). Die Heizperiode reicht wegen des sehr guten Wärmedämm-Standards nur von November bis März. Erst bei Außentemperaturen unter 10°C ist Heizen überhaupt erforderlich. Die mittlere Raumlufttemperatur sank im Winterhalbjahr nie unter 20°C, im Sommer liegt sie unter 24,5°C.

In den Passivhäusern wird zusätzlich zur Lüftungsanlage auch über die Fenster gelüftet. Das Lüftungsverhalten der Bewohner passt sich jedoch der Witterung an. Die Fensteröffnungsdauer erreicht im Verlauf des Winters ein Minimum von weniger als einer Stunde pro Tag und liegt im Mittel niedriger als in konventionellen Gebäuden, auch in solchen mit Lüftungsanlage. Am Ende der Kernheizperiode werden die Fenster wieder länger geöffnet. In den Sommermonaten sind die Fenster bis zu durchschnittlich elf Stunden pro Tag offen, die Innenraumtemperaturen übersteigen aber nie 27°C.

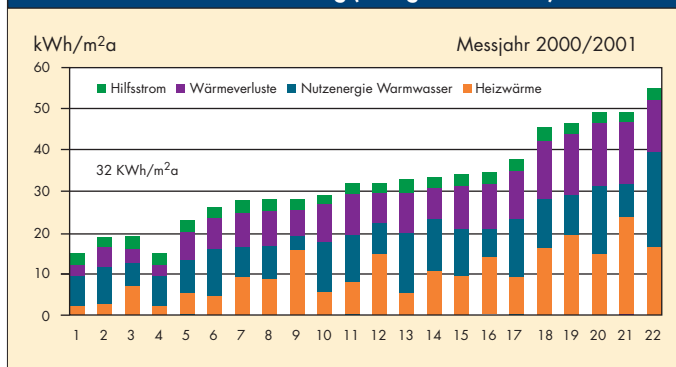
Der gemessene Heizenergieverbrauch 2000/2001 und 2001/2002 lag mit 10,4 kWh/m² weniger als 0,5 kWh/m² über dem für das jeweilige Klima errechneten Bedarfswert. Den größten Einfluss auf den individuellen Heizwärmeverbrauch hat – wenn man auch die Niedrigenergiehäuser der Siedlung ein-

Bauliches Konzept	
Baujahr	1997
Anzahl	22 baugleiche Reihenhäuser zu Gruppen von je 7 bzw. 8 Gebäuden
Wohnfläche	88 - 108 m ² (zugleich Energiebezugsfläche)
Luftwechsel Blower-door (n50-Wert)	0,44 h ⁻¹ (im Mittel)
A/V-Verhältnis	0,49 m ³
Orientierung	Süd
Außenwände	vorgefertigte Holztafelelemente mit 30 cm Dämmung; U-Wert: 0,14 W/m ² K
Dach	vorgefertigte Holztafelelemente mit 40 cm Dämmung; U-Wert: 0,10 W/m ² K
Boden	30 cm Dämmung gegen das Erdreich; U-Wert: 0,11 W/m ² K
Fenster	3-fach Wärmeschutzverglasung in hochwärmedämmten Rahmen; U-Wert gesamt: 0,8 W/m ² K (ohne Einbau)
Heizung / Lüftung	Zu- und Abluftanlage mit Gegenstromwärmetauscher, Ventilatoren mit besonders geringem Stromverbrauch, kleine Heizkörper; Nahwärme aus Kraft-Wärme-Kopplung; Erdreichwärmetauscher bei Reihenhäusern
Warmwasserbereitung	konventionell (Nahwärme)
gemessener durchschnittlicher Heizwärmeverbrauch	13,4 kWh/m ² a (1998/1999) 12,2 kWh/m ² a (1999/2000) 10,4 kWh/m ² a (2000/2001) 10,4 kWh/m ² a (2001/2002)

Abb 3: Durchschnittliche gemessene Energieverbräuche im Jahr 2000/2001 (Bezug: Wohnfläche)

Wärme	Heizung Warmwasser Rohrleitungsverluste	10,4 kWh/m ² a 10,1 kWh/m ² a 9,2 kWh/m ² a
Strom	Hilfsstrom Haushaltsstrom	2,7 kWh/m ² a 29,4 kWh/m ² a
Primärenergie	für Heizung, WW, Lüftung (Bewertung: GEMIS)	38,1 kWh/m ² a
Primärenergie (EnEV)	Bewertung gemäß EnEV (spez. Primärenergiefaktoren, bezogen auf Gebäudenutzfläche A _N nach EnEV)	20,3 kWh/m ² a (bezogen auf Gebäudenutzfläche A _N nach EnEV)

Abb 4: Endenergieverbrauch der Passivhäuser für Heizung, Warmwasser und Lüftung (Bezug: Wohnfläche)



bezieht – der bauliche Standard (NEH oder Passivhaus). Danach spielen die Raumlufttemperatur gefolgt von spezifischem Strom- und Warmwasserverbrauch eine wesentliche Rolle. Desweiteren wirken sich Fensteröffnungszeiten, Haushaltsgröße und Anwesenheitsquote aus.

Bewohnerbefragung

In vier ausführlichen mündlichen Befragungen der Bewohner wurden die Akzeptanz, der Wohnkomfort sowie die Frage, ob in den Passivhäusern besondere Energiesparer wohnen, überprüft. Mit dem Wohnklima im Winter sind fast alle Bewohner zufrieden. Die Nutzer der Passivhäuser beurteilten die Luftqualität im Sommer weniger gut als im

Winter, jedoch nicht anders als Bewohner konventioneller Häuser. Das Nichtöffnen der Fenster empfand die Mehrheit der Befragten als eine Erweiterung des Komforts: sie hätten ein angenehmes Raumklima, ohne an Fensterlüftung denken zu müssen. Ein Fünftel fühlte

sich eingeschränkt (Wunsch nach Frischluft und Kontakt zur Natur). Insgesamt sind die Bewohner mit ihrem Haus zufrieden, negative Bewertungen betreffen nicht das Konzept, sondern bauliche Details. Durch das Wohnen in einem Passivhaus wurden die Bewohner zum Energiesparen motiviert. In den NEH-Haushalten war diese Veränderung nicht zu beobachten. Die Bewohner der Passivhäuser unterscheiden sich nicht von denen der übrigen untersuchten Gebäude.

► Fenster im Passivhaus

Fenstersysteme waren lange Zeit die Schwachstelle bei hochwärmegeprägten Gebäuden. Inzwischen wurden die Verglasungen durch Hinzunahme einer dritten Glasschicht verbessert und es sind wärmegeprägte Rahmenprofile auf dem Markt. Durch eine optimierte Fenstertechnik können unverschattete Fensterflächen hohe Energiegewinne verbuchen, die sich aus der Bilanz von Transmissionsverlusten und passiver Solarenergienutzung ergeben.

In konventionellen Gebäuden erfüllen Fenster zwei Funktionen: sie dienen der Belüftung der Räume sowie deren Belichtung. In Passivhäusern muss der Luftaustausch nicht über die Fenster erfolgen, da ohnehin eine Lüftungsanlage (mit Wärmerückgewinnung) vorhanden ist. Da eine reine Festverglasung

für Wohngebäude nicht in Frage kommt, ist für Planung und Energiebilanz der tatsächliche Luftwechsel in Gebäuden mit kontrollierter Wohnungslüftung von großer Bedeutung.

In der Wiesbadener Siedlung durchgeführte Tracergasmessungen und der Vergleich von berechneten und gemessenen individuellen Heizwärmeverbräuchen zeigen übereinstimmend, dass der Einfluss des Fensterluftwechsels nicht so gravierend ist wie bisher mit Hilfe dynamischer Simulationsrechnungen prognostiziert.

Die zusätzlichen Außenluftwechsel durch die Fenster sind individuell unterschiedlich, gefährden jedoch nicht das Konzept der hocheffizienten Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung und damit das Ziel eines

Abb 5: Holzfensterrahmen mit hohem Wärmeschutz und Dreischeiben-Wärmeschutzverglasung



niedrigen Heizwärmeverbrauchs. Eine direkte Korrelation zwischen Lüftungsdauer und Heizwärmeverbrauch ist nicht feststellbar – niedrige Verbrauchswerte kommen auch bei langen Öffnungszeiten vor, da andere Einflussparameter überwiegen.

► Siedlung Stuttgart-Feuerbach

Nach einem Bauträgerwettbewerb der Stadt entstanden in Stuttgart-Feuerbach bis zum Jahr 2000 52 Reihenhäuser in Passivhausbauweise. Dort wurden in einem zweijährigen Messprogramm Daten zu Strom- und Wärmeverbrauch, Außenklima sowie zum Nutzerverhalten erfasst und bewertet.

Messergebnisse

Die mittlere Raumlufttemperatur kann in der Heizperiode von den Bewohnern individuell an einem zentralen Regelgerät eingestellt werden. Die zusätzlichen Elektroheizkörper sind so geregelt, dass der Stromkreis nur dann freigegeben wird, wenn die Leistung der Wärmepumpe nicht ausreicht, um die gewünschte Temperatur zu erreichen. Zwischen November und März bewegen sich die Raumlufttemperaturen zwischen 20 und 23°C. Im Frühjahr und Herbst steigen die Maximalwerte bis auf knapp 25°C an. Der Stromverbrauch der Wärmepumpe für

Bauliches Konzept	
Baujahr	1999-2000
Anzahl	52 Reihenhäuser in 14 Zeilen mit 3 bis 7 Gebäuden
Wohnfläche	101 - 131 m ² (zugleich Energiebezugsfläche)
A/V-Verhältnis	0,43 bis 0,65 m ⁻¹
Orientierung	Süd- bzw. Südostorientierung
Außenwände	Kalksandstein mit 30 cm Außendämmung; U-Wert: 0,11 W/m ² K
Dach	Pultdach aus Betonplatte mit 40 cm Dämmung; U-Wert: 0,09 W/m ² K
Boden	25 cm Dämmung unter Estrich; U-Wert: 0,13 W/m ² K
Fenster	3-fach Wärmeschutzverglasung in hochwärmegeprägten Rahmen; U-Wert gesamt: 0,81 W/m ² K
Heizung / Lüftung	elektrische Lüftungsheizung mit Abluftwärmepumpe (elektrische Leistungsaufnahme 450 W), Kreuzstromwärmeübertrager, Erdreichwärmetauscher (2m tief, 30 m lang); Zusatzheizung der Räume über Infrarotstrahler (Bad) bzw. Elektroheizkörper (Kinder, Küche)
Warmwasserbereitung	190 l Brauchwasserspeicher über Wärmepumpe mit zusätzl. elektr. Heizstab (Leistung 2 kW)
berechneter Heizwärmebedarf	unter 15 kWh/m ² a

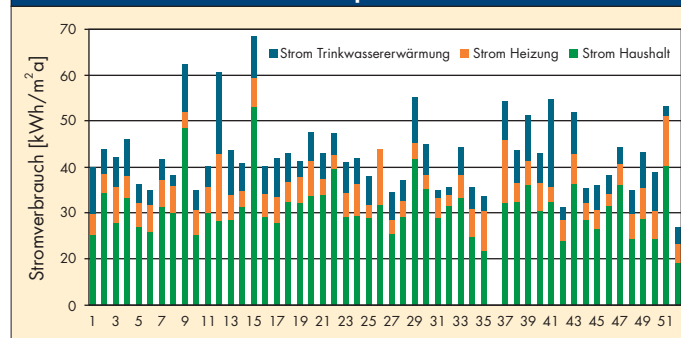
Abb 6: Südansicht eines Passivreihenhauses in Stuttgart-Feuerbach



die Zulufterwärmung lag in der Heizperiode von September 2001 bis Mai 2002 zwischen 2 und 14 kWh/m²a, der Mittelwert betrug 4,9 kWh/m²a. Die elektrische Zusatzheizung verbrauchte im Mittel 0,5 kWh/m²a.

In sieben der neun detailliert betrachteten Gebäude waren die Fenster während der Wintermonate weitgehend geschlossen. An-

Abb 7: Gesamtstromverbrauch September 2001 bis Mai 2002



sonsten beträgt die Öffnungszeit während dieser Periode einmal knapp eine Stunde und einmal über zwei Stunden pro Tag und Fenster. Im Herbst und Frühjahr sind die Fenster bei allen Gebäuden deutlich länger geöffnet. Die Außentemperatur hat hier besonders hohen Einfluss auf das Fensteröffnungsverhalten.

Für die Trinkwassererwärmung in der Heizperiode verbraucht die Wärmepumpe im Schnitt 4,8 kWh/m²a, der Anteil des Heizstabes, der für Zeiten mit hohem Verbrauch

installiert ist, liegt bei 1,5 kWh/m²a. Der mittlere Stromaufwand für die Trinkwassererwärmung ist damit höher als der für die Beheizung. Der gesamte Stromverbrauch während der Heizperiode wurde auf die Wohnfläche bezogen gemessen. Er beträgt

durchschnittlich 32,4 kWh/m²a: davon für Haushaltsstrom 20,6 kWh/m²a (63%); für die Beheizung 5,4 kWh/m²a (17%) und die Trinkwassererwärmung 6,3 kWh/m²a (20%). Zwischen den einzelnen Haushalten zeigen sich dabei deutliche Unterschiede. Gemäß den Anforderungen der EnEV wäre ein Primärenergiebedarf von 105 kWh/m²a zulässig. Gemessen wurden ca. 30 kWh/m²a (Flächenbezug nach EnEV: Gebäudenutzfläche A_N).

Fazit

Die Heizwärmeverbräuche der einzelnen Passivhäuser können nutzerbedingt erheblich voneinander abweichen. Die Streuung beeinflusst aber weder das Gesamtergebnis noch die Funktionsfähigkeit der einzelnen Gebäude. Selbst der Haushalt mit dem höchsten Verbrauch liegt unterhalb der gesetzlichen Vorgaben.

Einfluss auf den Heizenergieverbrauch hat nach dem baulichen Standard vor allem die Raumlufttemperatur. Fensteröffnungen im Winter sind weniger entscheidend als zunächst befürchtet. Ein einzelnes, auch länger anhaltend geöffnetes Fenster – z.B. im Schlafräum – ist unproblematisch. Voraussetzung ist, dass die Bewohner ansonsten über Fenster sorgsam und kontrolliert lüften. Die Ergebnisse in Wiesbaden-Dotzheim und Stuttgart-Feuerbach zeigen, dass in den Passivhäusern deutlich weniger zusätzlich über Fenster gelüftet wird als in anderen Gebäuden mit kontrollierter Lüftung. Die hocheffizienten Lüftungsanlagen werden generell als Komfortgewinn bewertet.

Abb 8: Die wichtigsten Gründe für den Einzug in ein Passivhaus (Wiesbaden)

Einzugsgründe	% der Befragten
Kostengründe (Finanzierbarkeit, Förderung)	71,4
Wohnumgebung (-lage, Anbindung)	66,7
PH-Konzept	28,6
kinderfreundliche Umgebung	23,8
Wohneigentum	14,3
Wohnungsgröße/-fläche	9,5

Die Nutzerbefragung hat ergeben, dass die Bewohner nicht hauptsächlich wegen des geringen Energieverbrauchs in die Passivhäuser (Lummerlund) gezogen sind, überwogen haben Gründe wie Kosten, Kinderfreundlichkeit der Anlage sowie der Wunsch, Wohneigentum zu erwerben. Insgesamt sind die Bewohner zufrieden und loben den hohen Komfort in den Wohnungen. Sie fühlen sich nicht in ihrem Verhalten eingeschränkt und umgekehrt beeinträchtigt ihr Verhalten nicht die Funktionsfähigkeit der Häuser. Damit ist das Passivhauskonzept grundsätzlich für eine Vielzahl von Nutzergruppen interessant.

Die Nutzerbefragung hat ergeben, dass die Bewohner nicht hauptsächlich wegen des geringen Energieverbrauchs in die Passivhäuser (Lummerlund) gezogen sind, überwogen haben Gründe wie Kosten, Kinderfreundlichkeit der Anlage sowie der Wunsch, Wohneigentum zu erwerben. Insgesamt sind die Bewohner zufrieden und loben den hohen Komfort in den Wohnungen. Sie fühlen sich nicht in ihrem Verhalten eingeschränkt und umgekehrt beeinträchtigt ihr Verhalten nicht die Funktionsfähigkeit der Häuser. Damit ist das Passivhauskonzept grundsätzlich für eine Vielzahl von Nutzergruppen interessant.

PROJEKTADRESSEN

- Institut Wohnen und Umwelt (IWU)
Dr. Witta Ebel
Annastraße 15
64285 Darmstadt
- Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP)
Hans Erhorn, Johann Reiß
Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

ERGÄNZENDE INFORMATIONEN

Literatur

- Institut Wohnen und Umwelt (IWU), Darmstadt (Hrsg.): Wohnen in Passiv- und Niedrigenergiehäusern. Teilbericht: Bauprojekt, messtechnische Auswertung, Energiebilanzen und Analyse des Nutzereinflusses. Endbericht. 2003
- Institut Wohnen und Umwelt (IWU), Darmstadt (Hrsg.): Wohnen in Passiv- und Niedrigenergiehäusern aus sozialwissenschaftlicher Sicht. Abschlussbericht. 2003. 220 S.
- Reiß, J.; Erhorn, H.: Messtechnische Validierung des Energiekonzepts einer großtechnisch umgesetzten Passivhausentwicklung in Stuttgart-Feuerbach. Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP), Stuttgart (Hrsg.) 2003. IBP-Bericht WB 117/2003
- Hoffmann, M.; Hastings, R.; Voss, K.: Wohnbauten mit geringem Energieverbrauch. 12 Gebäude: Planung, Umsetzung und Realität. Heidelberg : Müller, 2003. ca. 180 S., ISBN 3-7880-7749-2, 86,00 Euro

Service

- Ergänzende Informationen wie Literatur, Adressen, Ansprechpartner und Internet-Links sind unter www.bine.info, „Service/InfoPlus“ abrufbar.

PROJEKTORGANISATION

Förderung

Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit (BMWA)
11019 Berlin

Projektträger Jülich (PTJ) des BMWA
Markus Kratz
Forschungszentrum Jülich GmbH
52425 Jülich

Förderkennzeichen

0327256A, 0327242A

IMPRESSUM

ISSN

0937 – 8367

Herausgeber

Fachinformationszentrum Karlsruhe,
Gesellschaft für wissenschaftlich-technische
Information mbH
76344 Eggenstein-Leopoldshafen

Nachdruck

Nachdruck des Textes nur zulässig bei vollständiger Quellenangabe und gegen Zusendung eines Belegexemplares; Nachdruck der Abbildungen nur mit Zustimmung der jeweils Berechtigten.

Autoren

Dorothee Gintars, Uwe Friedrich

BINE Informationsdienst Kompetenz in Energie

BINE informiert zu Energieeffizienztechnologien und erneuerbaren Energien:

In kostenfreien Broschüren, unter www.bine.info und per Newsletter zeigt BINE, wie sich gute Forschungsideen in der Praxis bewähren.

BINE ist ein vom Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit geförderter Informationsdienst.

Kontakt:

Fragen zu diesem **projektinfo**?

Wir helfen Ihnen weiter – wählen Sie die BINE Experten-Hotline:

Tel. 0228 / 9 23 79-44

Allgemeine Fragen?

Wünschen Sie allgemeine Informationen zum energie- und umweltgerechten Planen und Bauen? Dann wenden Sie sich bitte an die unten stehende Adresse.



BINE

Informationsdienst

Fachinformationszentrum Karlsruhe
Büro Bonn
Mechenstraße 57, 53129 Bonn

Fon: 0228 / 9 23 79-0

Fax: 0228 / 9 23 79-29

E-Mail: bine@fiz-karlsruhe.de

Internet: www.bine.info