

Die Energieeffizienz des Passivhaus-Standards: Messungen bestätigen die Erwartungen in der Praxis



Herausgeber: Passivhaus-Institut Dr. Wolfgang Feist
Rheinstraße 44/46
64283 Darmstadt

Autoren:
Søren Peper; Passivhaus Institut
Wolfgang Feist, Institut für Konstruktion und Materialwissenschaften, Universität
Innsbruck;

Darmstadt - September 2015

Inhaltsverzeichnis

1. Messergebnisse zum Passivhaus-Standard	3
1.1. Passivhaus-Siedlung Wiesbaden/Dotzheim	5
1.2. Passivhaus-Siedlung Hannover/Kronsberg	6
1.3. Passivhaus-Siedlung Stuttgart/Feuerbach	7
1.4. Fazit Passivhaus-Siedlungen	8
2. Unabhängige Bestätigung in weiteren Projekten	9
2.1. Passivhaus Frankfurt a.M. Gremppstraße.....	9
2.2. Passivhaus-Wohnanlagen in Wien	10
2.3. Passivhaus-Siedlung „Lodeanareal“ Innsbruck	11
2.4. Niedrigenergiehaus-Projekte in Großbritannien	13
2.5. Passivhaus-Siedlung „Bahnstadt“ Heidelberg	13
2.6. Passivhaus-Doppelhäuser Nürnberg-Wetzendorf	15
3. Sanierung mit Passivhaus-Komponenten.....	16
3.1. Sanierungsprojekt Tevesstraße Frankfurt a.M.	16
3.2. Sanierungsprojekt Hoheloogstr Ludwigshafen a.R.....	17
3.3. Sanierungsprojekte Nürnberg.....	19
4. Luftdichtheit.....	20
5. Zusammenfassung.....	21
6. Anmerkungen zu den verwendeten Einheiten	22
7. Quellen	23

1. Messergebnisse zum Passivhaus-Standard

Für Passivhäuser liegen **langjährige Erfahrungen und statistisch gesicherte Messergebnisse** von tatsächlichen Verbrauchswerten vor. Mit diesen Ergebnissen kann die Zuverlässigkeit des Passivhaus-Konzeptes beurteilt werden.

Auch bei baugleichen Häusern gibt es bei allen Baustandards deutliche Verbrauchsunterschiede durch das Nutzerverhalten. Daher muss der Verbrauch immer für eine ausreichende Anzahl von baugleichen Häusern gemessen werden, damit sich die nutzungsbedingten Einflüsse herausmitteln und ein Vergleich der Gebäudequalität möglich wird. Der Messwert nur eines Gebäudes ist diesbezüglich nicht aussagekräftig. Abbildung 1 zeigt eine Übersicht von Messwerten aus 41 Niedrigenergie- und insgesamt 106 Passiv-Häusern in Deutschland. Aus diesen Messergebnissen lassen sich eine Reihe von Erkenntnissen gewinnen.

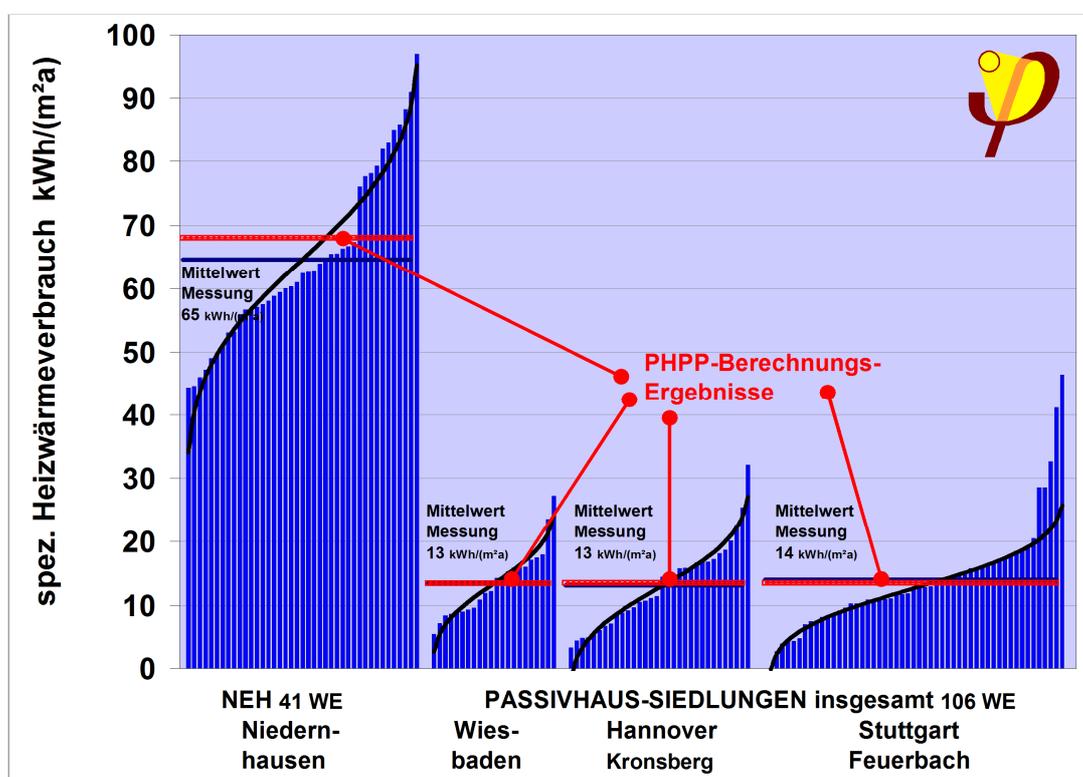


Abbildung 1: Übersicht von Verbrauchsmessungen: In diesem Diagramm sind Heizwärme-Verbrauchsmessungen aus vier Siedlungen zusammengestellt: Einer Niedrigenergiesiedlung (links) und drei Passivhaus-Siedlungen.



Zum Vergleich wird die Niedrigenergiesiedlung in Niedernhausen mit 41 Reihenhäusern herangezogen. Die Einzelwerte der Wärmezählerablesungen für das Jahr 1994 sind in Abbildung 2 dargestellt (Messung: [Loga 1997]). Deren Mittelwert beträgt **65,6 kWh/(m²a)**. (Bezugswert für den Verbrauch ist hier und im Folgenden immer die Wohnfläche, wie in der Heizkostenabrechnung üblich).

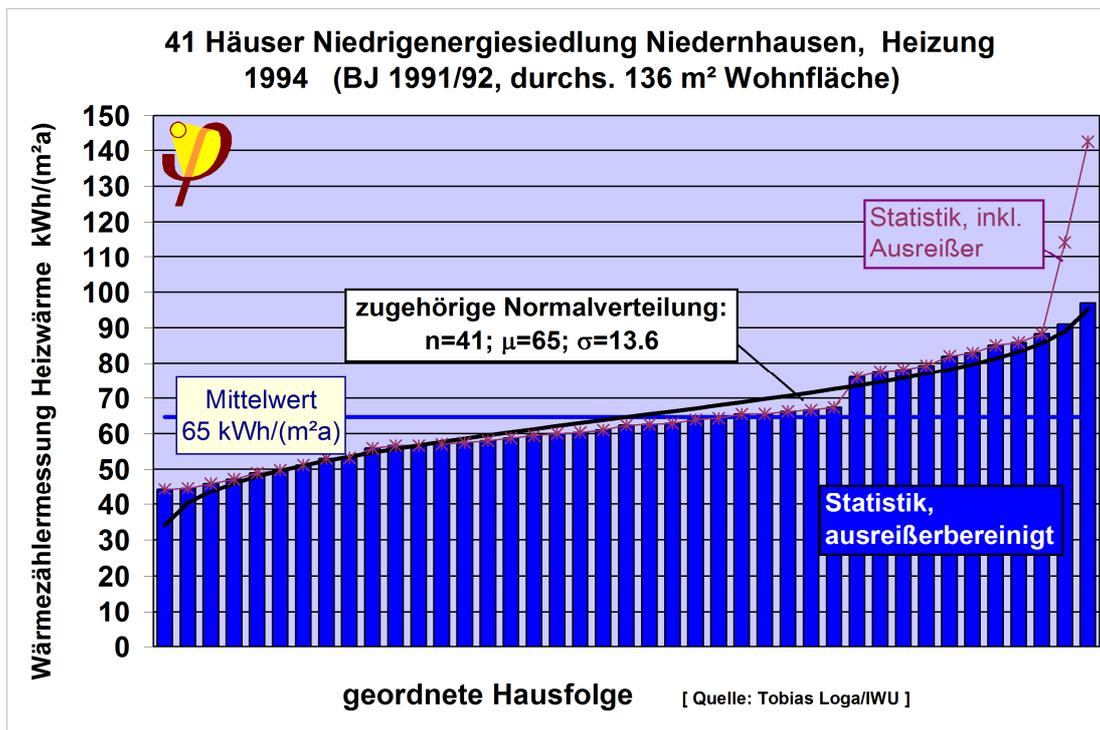


Abbildung 2: Verbrauchsstatistik bei einer Niedrigenergie-Siedlung: Die Siedlung mit 41 Niedrigenergiehäusern in Niedernhausen wurde 1992 bezogen. Der mittlere Verbrauch von 65,6 kWh/(m²a) stimmt mit dem berechneten Bedarf von 68 kWh/(m²a) [PHPP] im Rahmen der erreichbaren Genauigkeit überein. (Die eingefügte Kurve ist die zugehörige Normalverteilung - Die Verbrauchsmessungen wurden von T. Loga und M. Großklos durchgeführt [Loga 1997]).

Dieser Mittelwert ist deutlich geringer als der durchschnittliche Heizwärmeverbrauch im Wohnungsbestand in Deutschland. Verwenden wir als derzeitigen (2013) Vergleichswert für Deutschland einen Wert von 112 kWh/(m²a) für Heizwärme, der dem durchschnittlichen Wärmeverbrauch bei verbrauchsabgerechneten Mehrfamilienhäusern [techem 2014]¹ entspricht, so liegt der Verbrauch in der Niedrigenergiesiedlung von 1997 um mindestens **41,5% unter dem heutigen Durchschnittsverbrauch**. Übrigens: Der Baustandard dieser Siedlung, obwohl schon 1991 gebaut, ist immer noch etwas besser als das Anforderungsniveau der heute gültigen Energieeinsparverordnung (EnEV).

¹ Der hier angegebene Vergleichswert für Heizwärme entspricht dem Durchschnittswert für fernwärmebeheizte Wohnungen, für die eine verbrauchsabhängige Heizkostenabrechnung durchgeführt wurde. Zur Methode muss angemerkt werden, dass die Heizenergieverbrauchswerte in den meisten Fällen nicht vorlagen, sondern die Verbräuche für Heizung und Warmwasser zusammen; wird das Warmwasser nicht separat erhoben, so wird nach den gängigen Abrechnungsvorschriften der Warmwasserverbrauch eher überschätzt (und damit der verbleibende Heizwärmeverbrauch unterschätzt). Zudem beschränkt sich die Studie auf Gebäude, für die eine verbrauchsabhängige Heizkostenabrechnung vorliegt, also durchschnittlich größere Gebäude im Vergleich zum Gesamtbestand. Aus den genannten Gründen ist der Vergleichswert als eine Untergrenze für den statischen Durchschnittsverbrauch anzusehen; alle genannten Heizwärmeeinsparungen, die sich auf diesen Vergleichswert beziehen, sind daher konservativ, „auf der sicheren Seite“.

Abbildung 2 zeigt auch, dass die Einzelwerte nutzungsbedingt um den Mittelwert herum streuen. Der Einfluss der Nutzer auf den Verbrauch ist sogar ziemlich hoch. Das ist aber nicht nur bei energiesparenden Häusern so, sondern auch bei schlecht gedämmten Gebäuden. Die Standardabweichung (ein Maß für die mittlere Abweichung der Einzelwerte zum Mittelwert) beträgt für diese Siedlung 13,6 kWh/(m²a) bzw. 21% des mittleren Verbrauchswertes.

Bildet man den Mittelwert, so mitteln sich die Abweichungen durch die unterschiedlichen Nutzer weitgehend heraus - umso besser, je größer die Zahl der baugleichen Einheiten ist. Der mittlere Verbrauchswert ist bei dieser Siedlung statistisch auf ± 2 kWh/(m²a) genau bestimmt. Es ist daher statistisch gesichert, dass der Niedrigenergiestandard zu einer **bedeutenden Energieeinsparung (41,5% \pm 1,8%)** gegenüber dem derzeitigen Bestand führt.

1.1. Passivhaus-Siedlung Wiesbaden/Dotzheim



Es handelt sich um die erste deutsche Passivhaus-Siedlung (Baujahr 1997, Bauträger Rasch&Partner) mit 22 Häusern. In Abbildung 3 sind die Wärmezählermesswerte der Heizperiode 1998/99 dokumentiert. Der Mittelwert ergibt **13,4 kWh/(m²a)**. Damit liegt der Verbrauch in der Passivhaus-Siedlung um 80% unter dem der Niedrigenergie-Siedlung Niedernhausen.

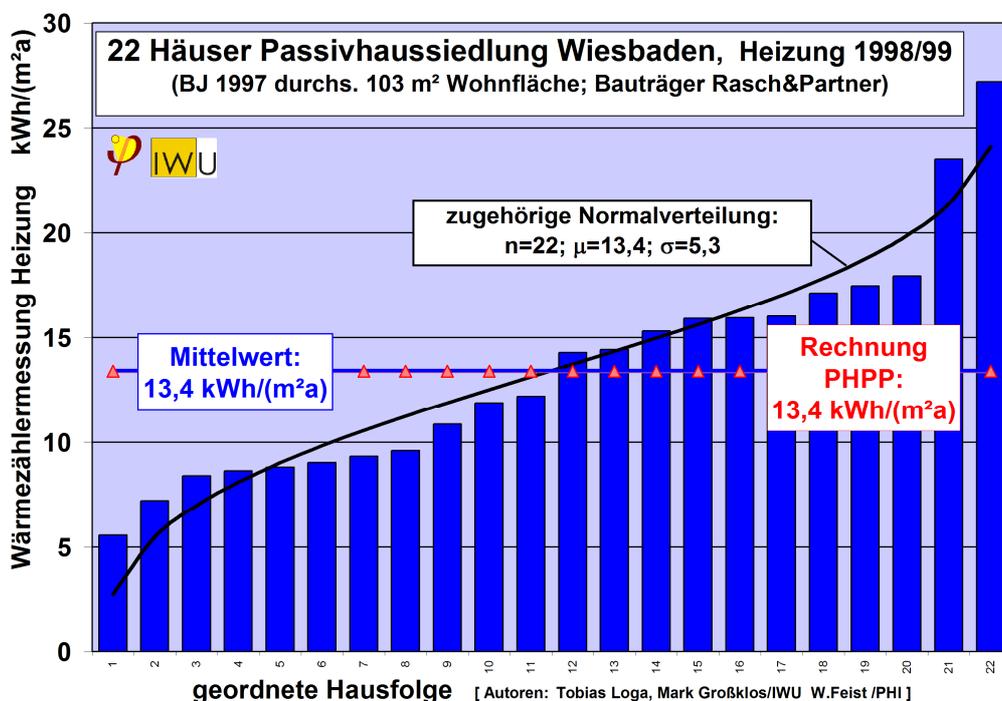


Abbildung 3: Verbrauchsstatistik für die Passivhaus-Siedlung Wiesbaden: Die Siedlung mit 22 Passivhäusern wurde 1997 gebaut. Der mittlere Verbrauch von 13,4 kWh/(m²a) stimmt mit dem vorab berechneten Bedarf von 13 kWh/(m²a) [PHPP] sehr gut überein. (Messung Wiesbaden-Dotzheim: [Ebel 2003]; [Feist/Loga/Großklos 2000]).

Die Standardabweichung der Einzelwerte beträgt bei der Wiesbaden-Siedlung 5,3 kWh/(m²a). Sie ist absolut geringer als in der NEH-Siedlung, jedoch ist das Nutzerverhalten relativ zum sehr viel geringeren mittleren Verbrauchswert auffälliger. Der Mittelwert ist statistisch auf $\pm 1,1$ kWh/(m²a) genau bestimmt. Die Energieeinsparung durch den Passivhausstandard ist daher statistisch gesichert: Sie beträgt

(80% \pm 2%) Einsparung gegenüber Niedrigenergiestandard, und mindestens

(88% \pm 1%) Einsparung gegenüber Durchschnittsverbrauch²⁰¹³ in Deutschland.

1.2. Passivhaus-Siedlung Hannover/Kronsberg



Die Passivhaus-Siedlung Hannover-Kronsberg besteht aus 32 im Wesentlichen baugleichen Passiv-Reihenhäusern in Mischbauweise. Die Siedlung wurde 1998/99 errichtet; alle Einzelhäuser wurden einzeln projektiert. Es handelt sich um ein Teilprojekt des gesamteuropäischen CEPHEUS-Projektes. In Abbildung 4 sind die Wärmezählermesswerte der Heizperiode 2001/2002 dokumentiert. Der Mittelwert ergibt sich zu **12,8 kWh/(m²a)**. Damit liegt der Verbrauch in dieser

Passivhaus-Siedlung um 81% unter dem der Niedrigenergiesiedlung Niedernhausen [Peper/Feist 2002].

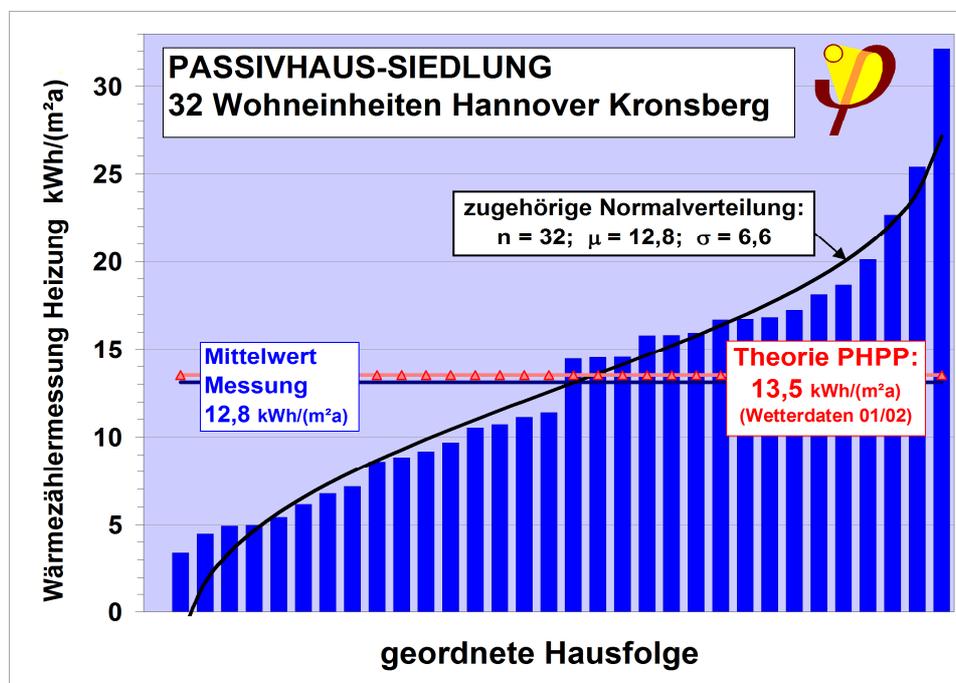


Abbildung 4: Verbrauchsstatistik für die Passivhaus-Siedlung Hannover-Kronsberg: Die Siedlung mit 32 Passivhäusern wurde 1999 bezogen. Der mittlere Verbrauch im dritten Betriebsjahr (2001/2002) lag bei 12,8 kWh/(m²a). Der berechnete Bedarf nach [PHPP] beträgt 13,5 kWh/(m²a).

Die mit Wärmehählern gemessenen Verbrauchsmittelwerte aller bewohnten Passivhäuser der Siedlung betragen in allen untersuchten Zeiträumen:

1. Heizperiode 1999/2000: **14,9 kWh/(m²a)**
2. Heizperiode 2000/2001: **13,3 kWh/(m²a)**
3. Heizperiode 2001/2002: **12,8 kWh/(m²a)**

Auch für die Passivhaus-Siedlung Hannover Kronsberg ist der extrem niedrige Heizwärmeverbrauch damit statistisch gesichert - die Standardabweichung der Einzelwerte beträgt 6,6 kWh/(m²a), der Mittelwert ist auf $\pm 1,2$ kWh/(m²a) genau bestimmt.

1.3. Passivhaus-Siedlung Stuttgart/Feuerbach



Die Passivhaus-Siedlung Stuttgart Feuerbach („Schellenäcker Weg“) mit insgesamt 52 Reihen- und Doppelhäusern wurde im Jahr 2000 vom Architekturbüro Rudolf fertiggestellt. In Abbildung 5 sind die Verbrauchswerte der Heizperiode 2001/2002 dokumentiert. Der Mittelwert beträgt **12,8 kWh/(m²a)** [Reiß/Erhorn 2003]. Bei dieser Siedlung gibt es wenige Ausreißer, die klar als solche zu erkennen sind.

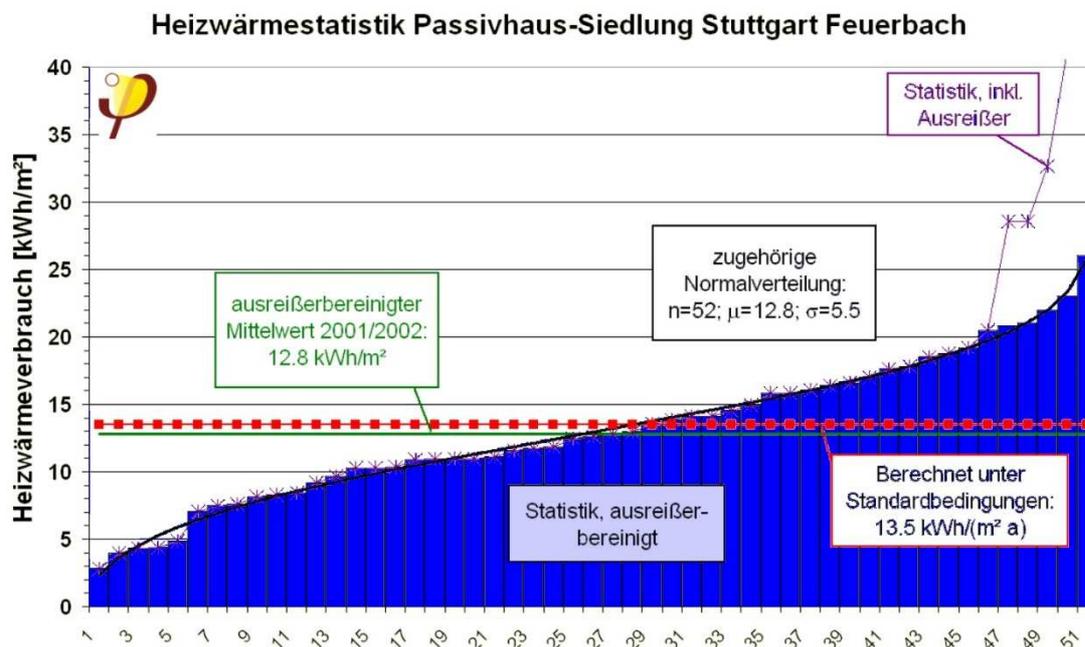


Abbildung 5: Verbrauchsstatistik für die Passivhaus-Siedlung Stuttgart/Feuerbach: Die Siedlung mit 52 Passivhäusern wurde im Jahr 2000 fertiggestellt (Architekturbüro Rudolf). Der mittlere Verbrauch lag bei 12,8 kWh/(m²a). Der berechnete Bedarf nach [PHPP] beträgt 13,5 kWh/(m²a).

Auch in dieser Passivhaus-Siedlung Stuttgart Feuerbach ist der extrem niedrige Heizwärmeverbrauch in der Vollerhebung statistisch gesichert - die Standardabweichung der Einzelwerte beträgt 5,5 kWh/(m²a), der Mittelwert ist auf $\pm 0,8$ kWh/(m²a) genau bestimmt.

1.4. Fazit Passivhaus-Siedlungen

Der Vergleich der Messergebnisse der vier Siedlungen in der Übersicht (Abbildung 6) zeigt deutlich den realisierten massiven Unterschied der Heizwärmeverbrauchswerte zwischen den Niedrigenergie- und den Passivhäusern. Auch die sehr gute Übereinstimmung mit den PHPP Berechnungen zum Mittelwert der Verbräuche wird hier deutlich.

Zu den berechneten Werten nach dem PHPP ist hier noch anzumerken: Die Berechnungen wurden jeweils während der Planung *vor dem Bau* der betreffenden Gebäude durchgeführt und publiziert. Es handelt sich nicht um nachträglich „einkorrigierte“ Rechengänge. Nach den in der Praxis von den Autoren begleiteten Bauprojekten liegen Ursachen dafür, dass bei vielen Bauprojekten ohne Qualitätssicherung oft größere Abweichungen zwischen Rechnung (Erwartung) und Messung (Realität) vorliegen, vor allem in weit zu optimistischen Ansätzen für die Kennwerte von Komponenten und technischen Systemen, in unvollständigen Rechnungsansätzen (z.B. nicht adäquate Ansätze für die Verschattung oder viel zu hoch angesetzte innere Wärmequellen) sowie in Abweichungen der Bau-Beauftragungen von der ursprünglichen Planung (in dem z.B. die fehlende thermische Trennung der Fenster dennoch als „gleichwertig“ akzeptiert wurde).

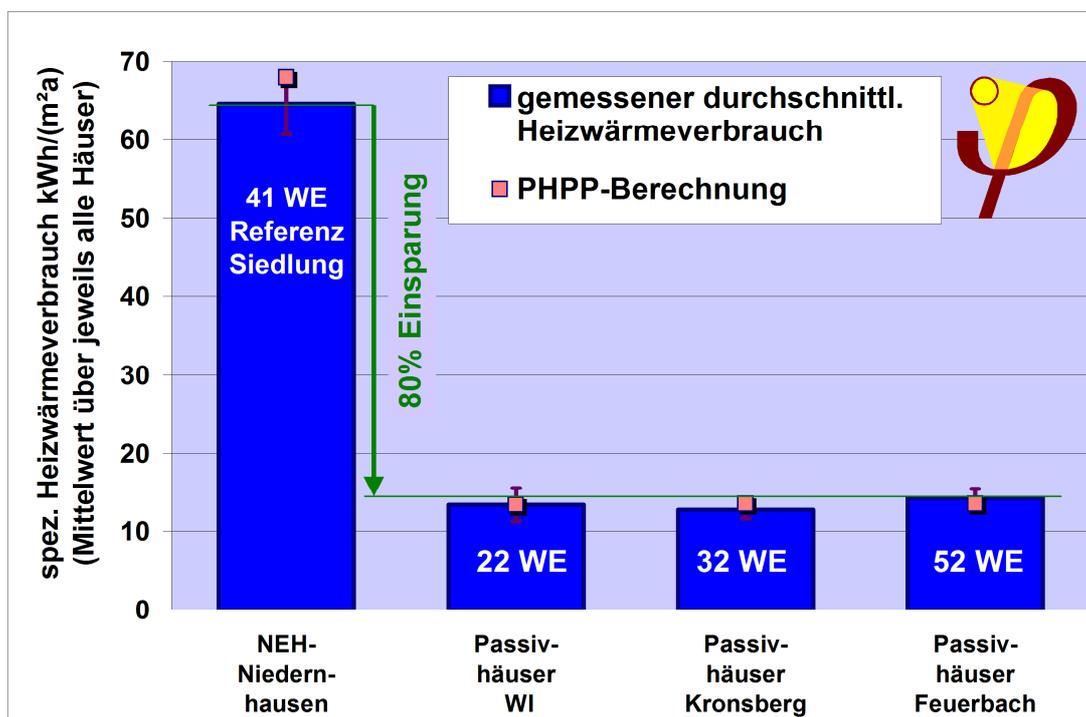


Abbildung 6: Diese Grafik zeigt zusammenfassend den Vergleich der Verbrauchsmessungen in der Referenzsiedlung (links, 65,6 kWh/(m²a)) und in den drei Passivhaus-Siedlungen (jeweils etwa 13 kWh/(m²a)). Der Verbrauch in den Passivhäusern ist nach diesen Messwerten um 80% geringer als in bereits guten Niedrigenergiehäusern. Alle Durchschnittswerte stimmen mit den *vorab* berechneten Werten nach dem Passivhaus Projektierungs Paket (PHPP) ziemlich gut überein.

2. Unabhängige Bestätigung in weiteren Projekten

Weitere empirische Untersuchungen haben die hier dokumentierten Ergebnisse an anderen Standorten unabhängig bestätigt.

2.1. Passivhaus Frankfurt a.M. Gremppstraße



In Frankfurter a.M. entstand 2002 das Mehrfamilien-Passivhaus "Wohnen bei St. Jakob" der gleichnamigen Eigentümergemeinschaft. Bau-träger war die Frankfurter Aufbau AG, den Entwurf erstellt das Architekturbüro "faktor 10". Die Besonderheit der insgesamt 19 Wohnungen auf 1.842 m² liegt in der untypischen Nordorientierung von acht Wohnungen. Bei diesen ist die Wohnfassade mit den großen Fenstern

nach Norden ausgerichtet, da hier eine frei Aussicht in den Taunus vorhanden ist. Die Heizperiode 2003/2004 zeigt einen Mittelwert des Heizwärmeverbrauchs von **12,2 kWh/(m²a)** [Peper/Feist/Pfluger 2004]. Der nordorientierte Teil verbraucht nur marginale 4 kWh/(m²a) mehr als der andere. Damit wird deutlich, dass auch diese Herausforderung der Ausrichtung unproblematisch gelöst werden kann. Das Messergebnis stimmt in diesem Projekt ebenfalls mit dem zuvor berechneten Bedarfswert (PHPP) überein.

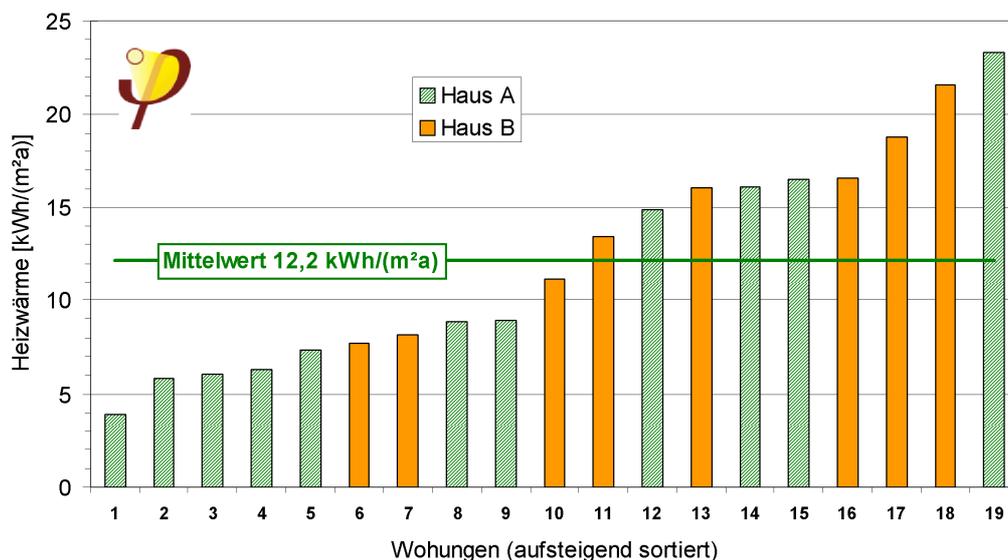


Abbildung 7: Jahresheizwärmeverbräuche zuzüglich der nutzbaren Rohrleitungswärme je Quadratmeter Energiebezugsfläche in allen 19 Wohnungen im Zeitraum von Juni 2003 bis Mai 2004 (aufsteigend sortiert) [Peper/Feist/Pfluger 2004]. Der Unterschied zwischen den nord- und den südorientierten Wohnungen ist nur gering. Der vorher berechnete PHPP Bedarfswert als Mittelwert beider Häuser (12,2 kWh/(m²a)) entspricht bei diesem Projekt dem Mittelwert der Verbrauchsmessung.

2.2. Passivhaus-Wohnanlagen in Wien

Eine Studie von Treberspurg et al. im Tagungsband der 14. Passivhaustagung analysiert den gemessenen Energieverbrauch von sechs Passivhaus-Wohnanlagen in Wien; der durchschnittliche Heizwärmeverbrauch lag hier unter 10 kWh/(m²a).

		
Dreherstraße	Utendorfsgasse	Rohegasse
27 Wohnungen	39 Wohnungen	114 Wohnungen
2.405 m ² TFA	2.987 m ² TFA	9.900 m ² TFA
Architekt DI. Günter Lautner	Schöberl Pöll OEG with architect DI Franz Kuzmich	Treberspurg und Partner, architect ZT Gesmbh

Abbildung 8: Einige der Mehrfamilien- Passivhaus Wohnanlagen in Wien, welche in der Studie [Treberspurg 2010] untersucht wurden.

Die Vergleichsgebäude (Niedrigenergiehäuser, NEH) zeigen deutlich höhere Verbrauchswerte: Es konnten über 72% Einsparung bei der Heizwärme nachgewiesen werden. Gleichzeitig zeigt diese Untersuchung der abgerechneten Gebäudekosten, dass die Passivhäuser in Wien im Durchschnitt nicht teurer errichtet wurden als die NEH. Einen signifikanten Einfluss auf die Baukosten hat die Kompaktheit der Gebäude.

SOLL-IST-VERGLEICH HEIZWÄRME NUTZENERGIE UND ENDENERGIE PRO BRUTTOGRUNDFLÄCHE (BGF)

MITTLERE PLANWERTE UND MESSWERTE

von Passivhäusern (PH) und Niedrigenergiehäusern (NEH)

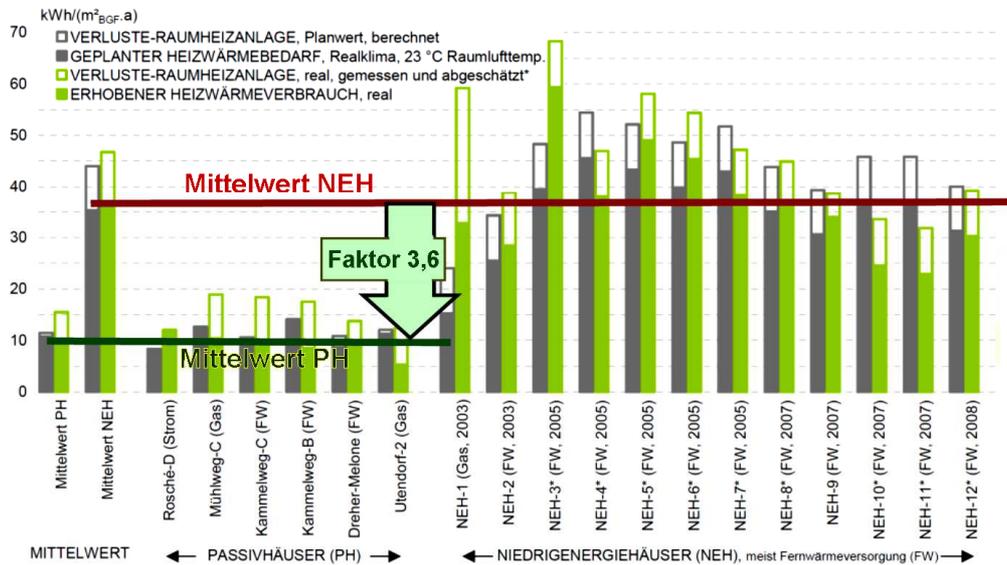


Abbildung 9: Ergebnisse der Auswertungen von über 450 Neubauwohneinheiten in Wien, davon Passivhaus-Standard in sechs Mehrfamilienhäusern. Die Passivhaus-Projekte sparen über 72% der Heizwärme im Vergleich zur Vergleichsgruppe der geförderten Niedrigenergiehäuser. Quelle: [Treberspurg 2010]; Achtung: Flächenbezug ist in diesem Fall die Bruttogeschossfläche.

2.3. Passivhaus-Siedlung „Lodeanareal“ Innsbruck



Die Wohnhausanlage Lodeanareal besteht aus vier L-förmigen Bauteilen mit insgesamt 354 Mietwohnungen und einer Wohnnutzfläche von 26.000 m². Die Wohnanlage wurde 2007/2010 vom Bauträger „Neue Heimat Tirol“ (Planer din a4 ZT GmbH und teamk2 [architects] ZT GmbH) errichtet (Gesamtbaukosten 46 Mio. € exkl. Ust). Im Rahmen des Messprojektes mit Unterstützung des Landes Tirol und der IKB (Forschungspartner Energie Tirol, Universität Innsbruck, AEE-INTEC, IFZ) wurde sowohl der Energieverbrauch als auch die Nutzerzufriedenheit und die Raumluftqualität des Passivhauses im Vergleich mit einer ähnlichen Wohnanlage gleichen Baualters im Niedrigenergiestandard ohne Komfortlüftung in Kufstein untersucht.

Der Mittelwert des Heizwärmeverbrauchs aller Wohnungen betrug **17,6 kWh/m²a** (im ersten Messjahr) **sowie 16,3 kWh/m²a im zweiten Messjahr**. Temperatur- und klimabereinigt ergibt sich daraus 13,6 kWh/m²a im ersten bzw. 14,6 kWh/m²a im zweiten Messjahr.

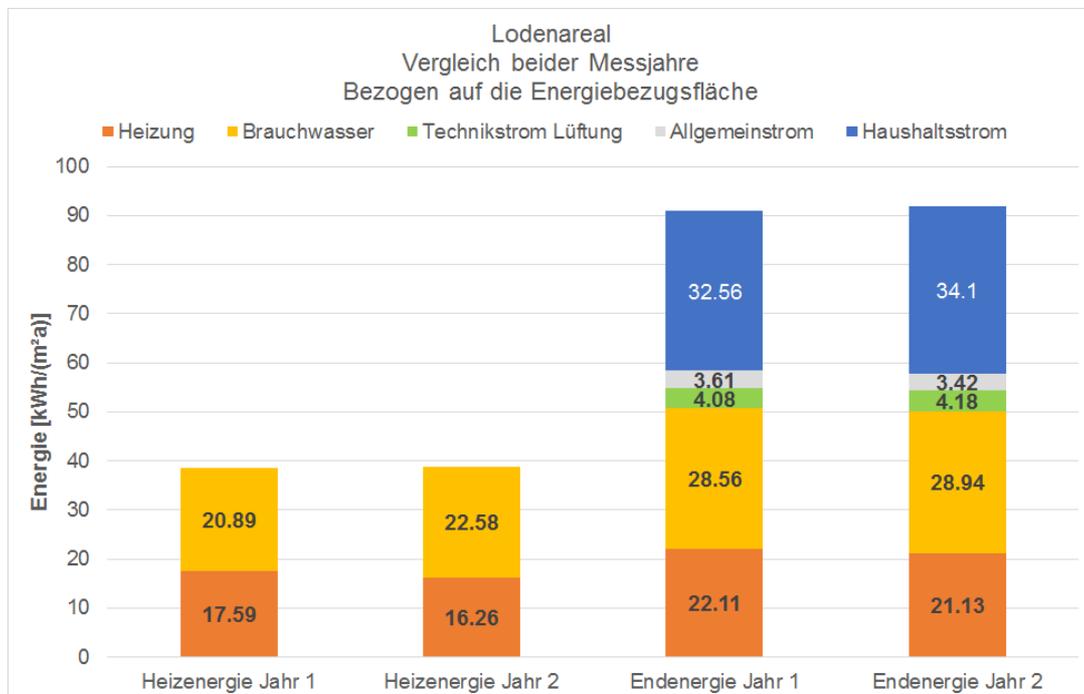


Abbildung 10: Gemessene Endenergieverbräuche der Passivhaus-Wohnanlage Innsbruck Lodenareal: Der Heizwärmeverbrauch im ersten Messjahr lag bei 17,6 kWh/m²a bzw. 16,3 kWh/m²a im zweiten Messjahr. Temperatur- und klimabereinigt ergibt sich daraus 13,6 kWh/m²a im ersten bzw. 14,6 kWh/m²a im zweiten Messjahr. Der berechnete Bedarf nach [PHPP] beträgt 15,0 kWh/(m²a).

2.4. Niedrigenergiehaus-Projekte in Großbritannien

In Großbritannien wurden Performance-Tests der Gebäudehülle an 25 verschiedenen Gebäuden durchgeführt. Dabei wird der Wärmeverlust des Gesamtgebäudes je Kelvin Temperaturdifferenz festgestellt („Co-Heating Test“). Die Untersuchung von Johnston et al. beinhaltete 22 Niedrigenergiehaus-Projekte und drei Passivhäuser [Johnston 2014]. Letztere zeigten dabei mit Abstand die besten Ergebnisse und wiesen so gut wie keine Differenz zu den Vorhersagewerten auf.

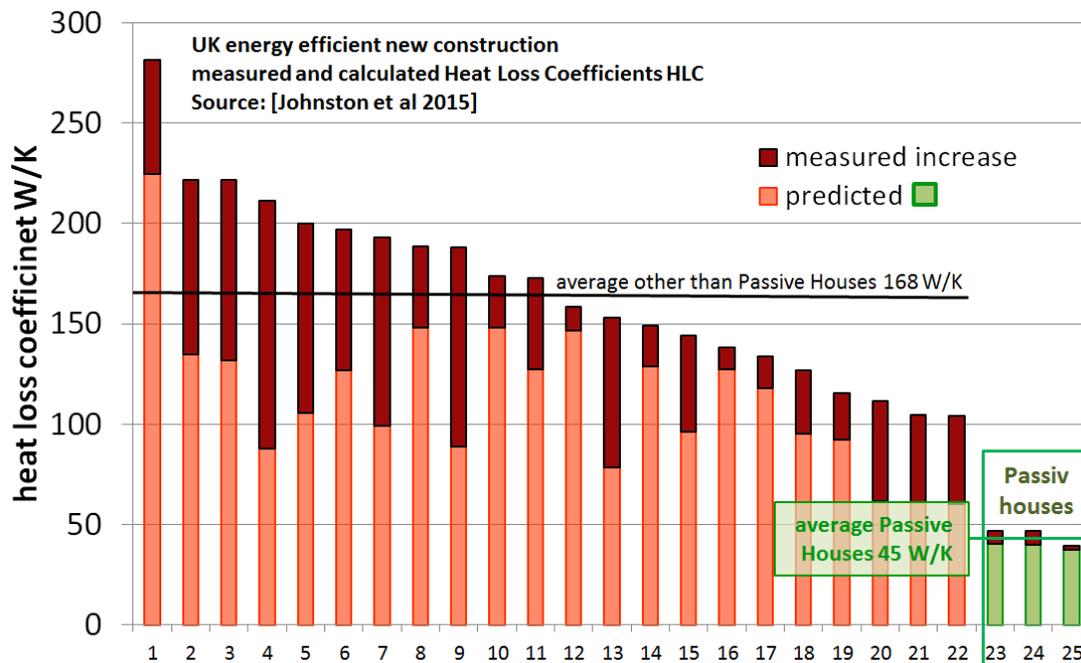


Abbildung 11: Die Ergebnisse der Performance-Tests, die an insgesamt 25 Neubauten mit „hoher Energieeffizienz“ in England durchgeführt wurden [Johnston 2014]. Die drei Passivhaus-Projekte schneiden mit Abstand und in jeder Beziehung am besten ab: Sie wiesen so gut wie keine Differenz zwischen dem vorhergesagten und dem gemessenen spezifischen Wärmeverlust auf, sie haben einen mehr als einen Faktor zwei geringeren Verlustbeiwert als die nächstbesten Projekte und sie sparen im Vergleich zum Durchschnitt fast 75% der Heizwärmeverluste ein.

2.5. Passivhaus-Siedlung „Bahnstadt“ Heidelberg

Monitoring von Wohngebäuden in der weltweit größten Passivhaus-Siedlung in Heidelberg „Bahnstadt“. Mit einem vereinfachten Messverfahren für die Heizwärmeverbrauchswerte („Minimalmonitoring“) wurden die Wohngebäude in der Siedlung untersucht. Der mittlere Verbrauch von 1.260 Wohnungen mit insgesamt über 75.000 m² Wohnfläche im Jahr 2014 ergab sich zu 14,9 kWh/(m²a). Die Einsparung gegenüber der Referenzsiedlung beträgt 77%. Diese statistisch hohe Zahl von Wohngebäuden unterschiedlicher Bauträger und Architekten zeigt überzeugend, dass die Breitenumsetzung erfolgreich geglückt ist [Peper 2015]. (Anmerkung: es

handelt sich dabei z.T. um Messungen im ersten Betriebsjahr, bei dem erfahrungsgemäß oft noch Störungen (Umzug, Einregulierung) vorliegen. Dennoch funktionieren die Passivhäuser bereits einwandfrei).

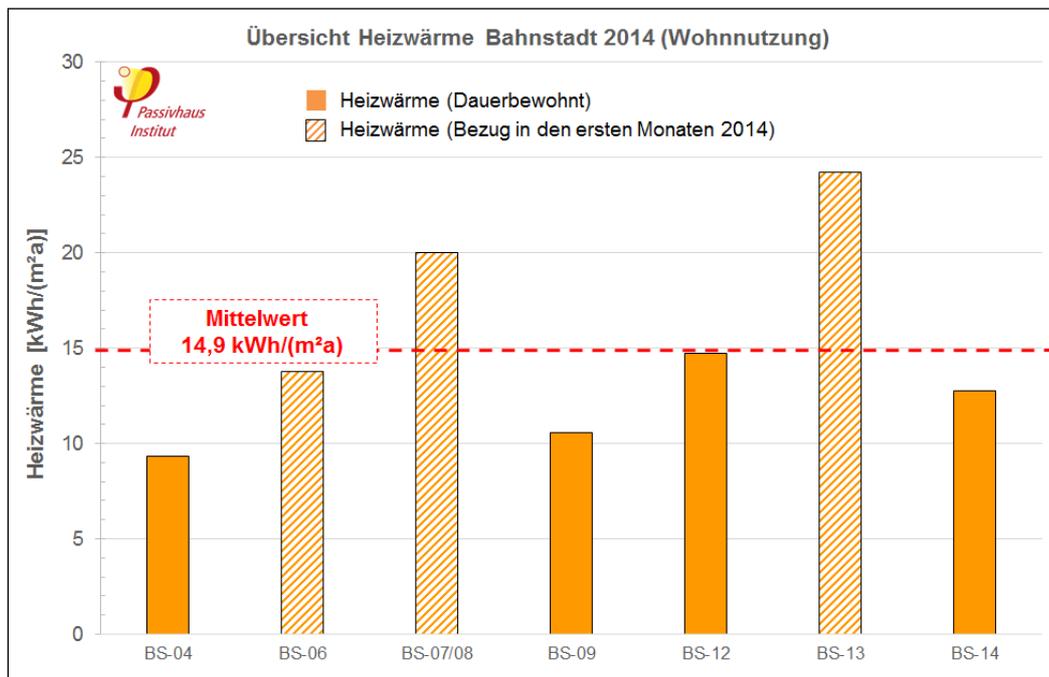


Abbildung 12: Jährliche Heizwärmeverbrauchswerte in der Bahnstadt für wohngenutzte Gebäude in Passivhaus-Qualität nach Baufeldern getrennt. Die dargestellten Baufelder umfassen insgesamt 1260 Wohnungen mit über 75.000 m² Wohnfläche [Peper 2015]. Luftansicht Bahnstadt-Heidelberg: Foto: Kay Sommer, Bildrechte: Stadt Heidelberg

2.6. Passivhaus-Doppelhäuser Nürnberg-Wetzendorf



Bereits im Jahre 2000 wurden vier Doppelhaushälften in Nürnberg-Wetzendorf bezogen. Als Architekt zeichnet Burkhard Schulze Darup. Die Auswertung der Wohngebäude über die letzten 13 Heizperioden [Krellner 2015] ergibt dauerhaft niedrige Heizwärmeverbrauchswerte mit einem Mittelwert von nur **11,4 kWh/(m²a)**. Nach dem Projektbericht [Schulze Darup 2002] betragen die Kennwerte für den Heizwärmebedarf nach

PHPP zwischen 13,8 und 14,9 kWh/(m²a). Im Bericht wurde außerdem nachgewiesen, dass die monatliche Belastung der Baufamilien schon im Jahre 2000 geringer war als bei einem Standardhaus. Der Bericht zeigt auch, dass die Schadstoffkonzentration in der Raumluft in einem Passivhaus mit zentraler Lüftungsanlage deutlich geringer ist als in einem Vergleichsgebäude ohne Lüftungsanlage. (Foto: M. Krellner)

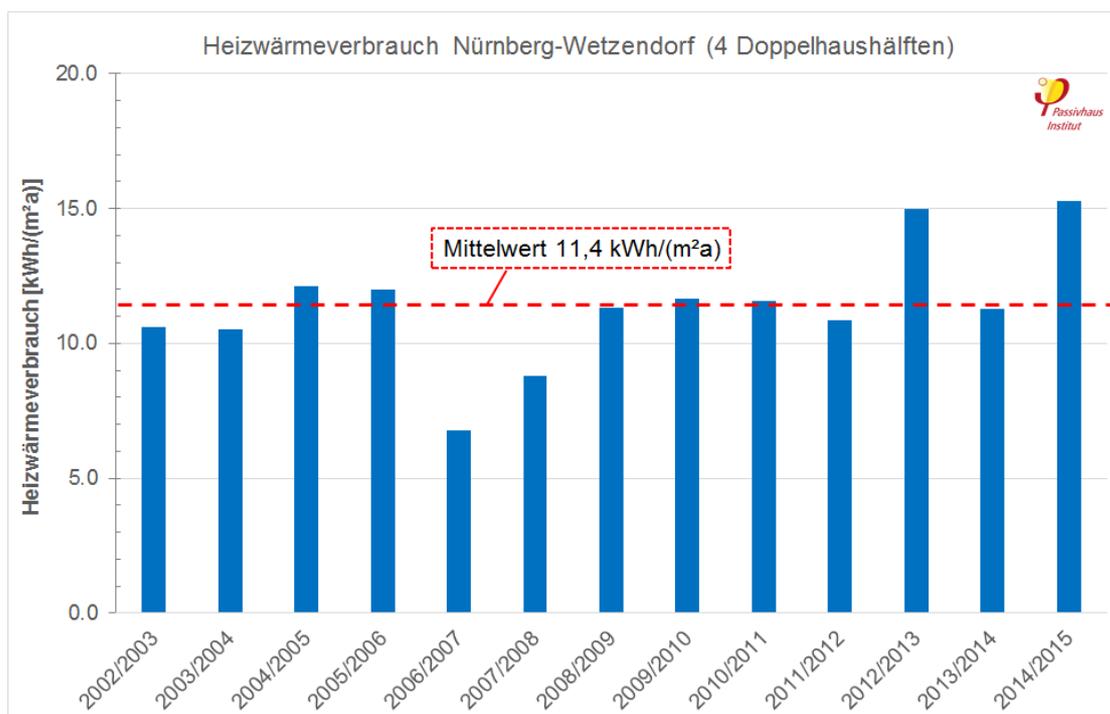


Abbildung 13: Mittelwerte der jährlichen Heizwärmeverbrauchswerte der vier Doppelhaushälften in Nürnberg-Wetzendorf von 2002 bis 2015 [Krellner 2015]. Als gesamter Mittelwert ergeben sich über die 13 Heizperioden nur 11,4 kWh/(m²a). Damit wird die vor Baubeginn durchgeführte PHPP Berechnung sogar regelmäßig unterschritten.

3. Sanierung mit Passivhaus-Komponenten

Die Entwicklung der Baukomponenten für den Neubau von Passivhäusern hat es ermöglicht, dass die qualitativ hochwertigen Produkte am Markt zahlreich verfügbar sind und laufend neue dazu kommen. Damit stehen diese genauso für die Altbau-sanierung zur Verfügung und werden hier selbstverständlich auch eingesetzt. Dabei sind z.B. Dreischeibenverglasungen in gedämmten Fensterrahmen, ausreichende Dämmstärken für die Außenwand sowie Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung zu nennen. Wichtig ist dabei, dass bei der Gelegenheit eines Bauteiltauschs auch bei der schrittweisen Sanierung, die thermisch beste Qualität verwendet wird. Wird hier nur ein mittlerer Standard realisiert, ist dieses Bauteil unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten viele Jahre lang nicht zu verbessern.

Da auch bei einer energetisch optimierten Sanierung insbesondere Wärmebrücken im Sockelbereich eines Gebäudes verbleiben und auch andere Details nicht immer optimal gelöst werden können, wurde der Sanierungs-Standard „**EnerPHit**“ definiert, der auch etwas höhere Heizwärmebedarfswerte zulässt.

3.1. Sanierungsprojekt Tevesstraße Frankfurt a.M.

Die Sanierung mit Passivhauskomponenten zweier typischer Zweispänner-Nachkriegs-Wohnbaublöcke in Frankfurt a.M. wurde 2006 abgeschlossen. Die AGB Frankfurt Holding hatte das Büro „faktor 10“ aus Darmstadt mit einer kostengünstigen Umsetzung beauftragt. Die Wärmeversorgung erfolgt mittels Luftnachheizung ausschließlich über die Zuluft; nur in den Badezimmern befinden sich kleine Heizkörper. Das Ergebnis sind 53 moderne Wohnungen fast in Passivhaus-Neubauqualität. Im mehrjährigen Monitoring wurden die Gebäude sehr genau untersucht [Peper/Grove-Smith/Feist 2009]. Es wurde eine Heizwärmeeinsparung von rund 95 % gegenüber dem rechnerischen Heizwärmebedarf vor der Sanierung realisiert. Mit dem gemessenen Verbrauchswert von nur 15,7 kWh/(m²a) bzw. auf die Innentemperatur von 20°C normierten Ergebnis von nur 11,2 kWh/(m²a) wird sogar Passivhaus-Neubauniveau erreicht.

Wird die vorher erstellte PHPP-Energiebilanz (17,3 kWh/(m²a)) mit den Außen-(Messklima) und Innenbedingungen (Raumtemperatur) des Messzeitraumes neu bestimmt, ergibt sich ein Heizwärmebedarf von 15,1 kWh/(m²a). Diese sehr gute Übereinstimmung zeigt erneut die hohe Validität des PHPP als Energiebilanzierungswerkzeug ebenso wie als Planungstool für die hochenergieeffiziente Sanierung. Der oft beklagte ‚Performance Gap‘, also eine Differenz zwischen Anspruch und Wirklichkeit, existiert beim Passivhaus-Standard nicht.

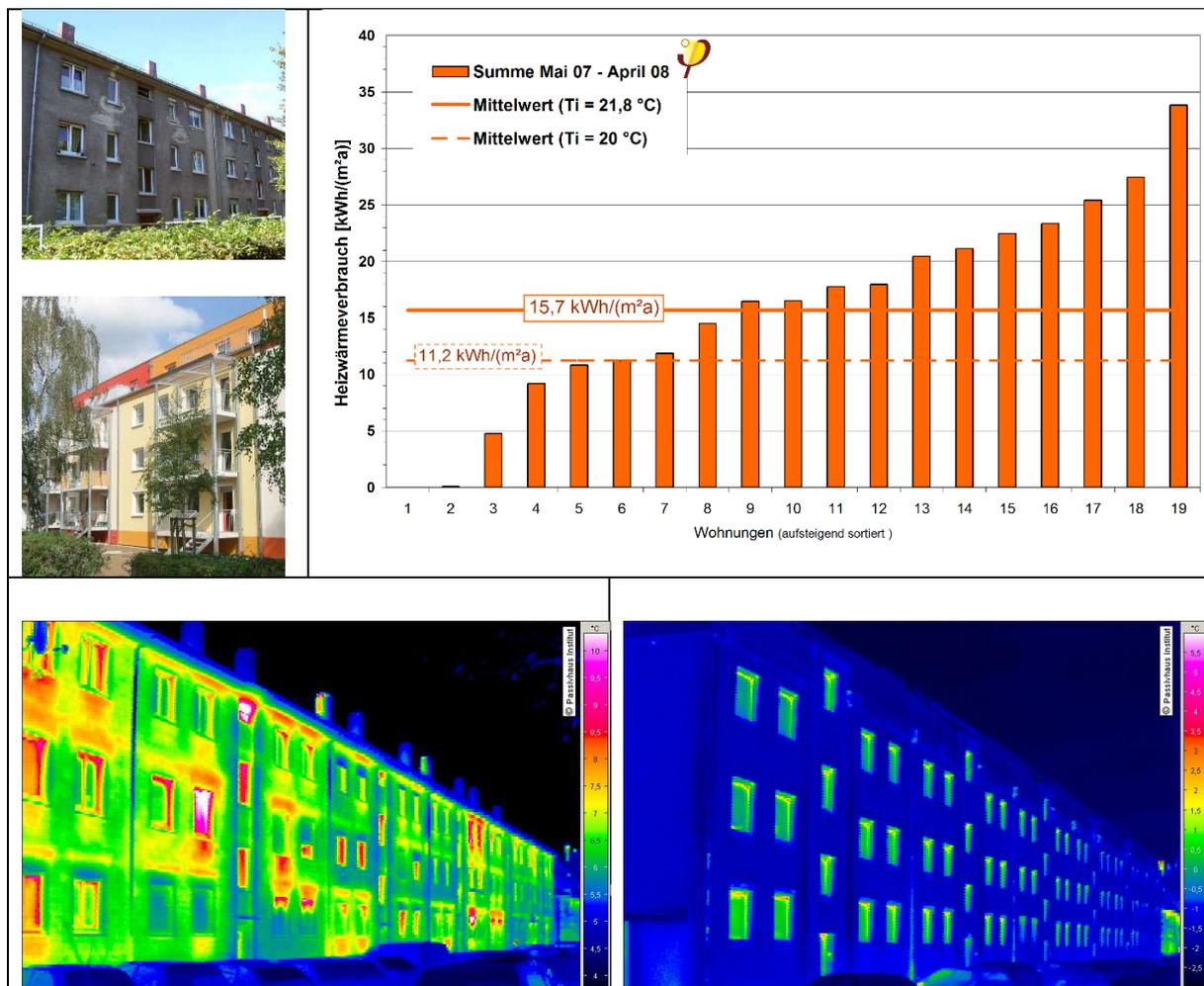


Abbildung 14: Oben: Heizwärmeverbrauchswerte Sanierungsprojekt Tevesstraße. Der Mittelwert der Messungen im ersten Jahr von 19 Whg. des eine Mehrfamilienhauses ergibt einen Wert von durchschnittlich 15,7 kWh/(m²a) bei der mittleren Innentemperatur von 21,8 °C. Umgerechnet auf 20 °C entspricht dies nur 11,2 kWh/(m²a).

Unten: Thermographie des Projektes vor (links) und nach (rechts) der Sanierung. Die Verbesserung der thermischen Qualität ist an der einheitlichen niedrigen Oberflächentemperatur deutlich ablesbar.

3.2. Sanierungsprojekt Hoheloostr Ludwigshafen a.R.

Etwa zeitgleich mit dem Projekt in Frankfurt wurde auch in Ludwigshafen a.R. eine Komplettsanierung mit Passivhaus-Komponenten durchgeführt: Die GAG Ludwigshafen hat ein Mehrfamilienhaus (Baujahr 1965) mit 12 Wohnungen und insgesamt 750 m² Wohnfläche modernisiert. Dabei wurde durch die Bauherrin die Bezeichnung „PHiB“, „Passivhaus im Bestand“ gewählt. Beim Monitoring des Gebäudes wurden in der Messperiode 2007/2008 ein Heizwärmeverbrauch von 16,4 kWh/(m²a) gemessen [Peper/Feist 2008]. Die in der Planungszeit erstellte PHPP Berechnung ergab einen Heizwärmebedarf von 16,2 kWh/(m²a) bei Normnutzung (20°C; Standardklima Mann-

heim). Damit hat sich auch bei diesem Gebäude keine nennenswerte Abweichung ergeben.

Die zeitgleiche Verbrauchsauswertung eines unsanierten etwa baugleichen Gebäudes in 300 m Entfernung ergab einen mittleren Heizwärmeverbrauch von 141 kWh/(m²a). Damit wurde durch die energetische Sanierung eine Reduktion von 87 % realisiert. Der Wert zeigt, dass das enorme Potential, welches bei der Sanierung von typischen Bestandsgebäuden vorhanden ist, in diesem Fall auch tatsächlich erschlossen wurde. Die in dem Projekt untersuchte Luftqualität in den Wohnungen zeigt die Vorteile der mechanischen Lüftung mit einer dauerhaft hohen Luftqualität gegenüber der Fensterlüftung.



Abbildung 15: Gebäude in Ludwigshafen a.R. in der Hoheloostraße vor und nach der Komplettanierung. Die Balkonnischen wurden zur Wohnraumvergrößerung genutzt und eine Balkonanlage vorgestellt.

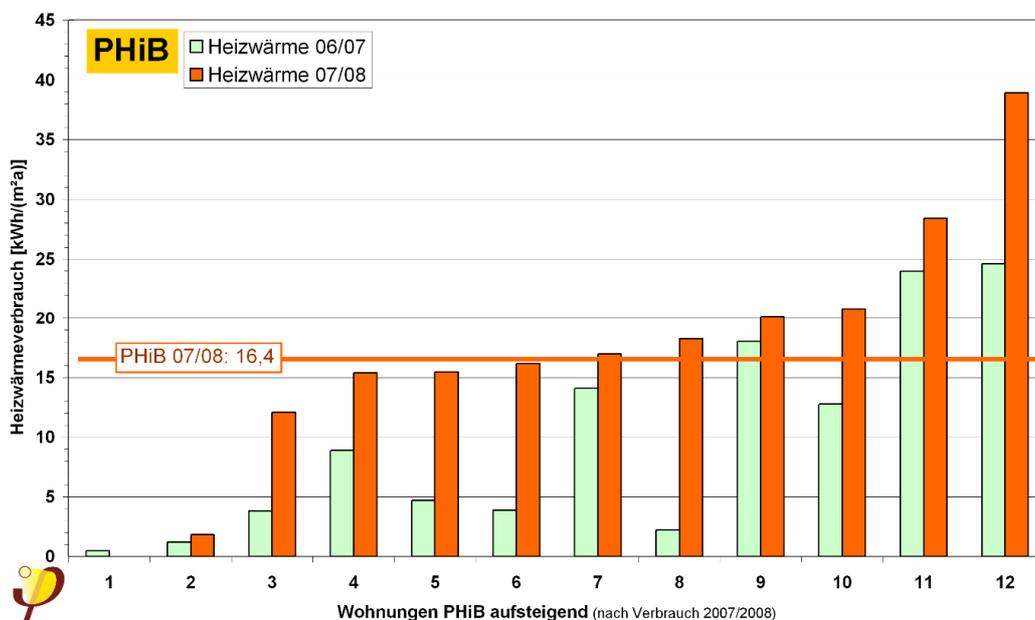


Abbildung 16: Heizwärmeverbrauchswerte der 12 Wohnungen in zwei Messjahren. Der mittlere Heizwärmeverbrauch von 16,4 kWh/(m²a) ergibt sich für den Untersuchungszeitraum 2007/2008. Im Vorjahr (2006/2007) lagen die Werte aufgrund der weitaus milderen Witterung mit nur 9,1 kWh/(m²a) nochmals niedriger.

3.3. Sanierungsprojekte Nürnberg

In Nürnberg wurden etwa ab dem Jahre 2000 vom Architekten Burkhard Schulze Darup im Auftrag der wbg Nürnberg GmbH Immobilienunternehmen in vier unterschiedlichen Projekten Sanierungen mit Passivhaus-Komponenten durchgeführt. Die vier Projekte (Jean-Paul-Platz, Ingolstädter Str., Bernadottestr., Kollwitzstr.) umfassen im Bereich der Sanierungen zwischen 6 und 48, insgesamt 102 Wohnungen. Zum Teil erfolgten bei den Gebäuden zusätzlich Aufstockungen in Passivhaus-Neubauqualität.



Abbildung 17: Mehrfamilienhaus-Projekte in Nürnberg nach den durchgeführten Sanierungen (Fotos: B Schulze Darup).

Bei allen vier Projekten wurden nach der erfolgreichen Sanierung auch die Verbrauchswerte erfasst und dokumentiert [Darup 2011]. Die Verbrauchsauswertungen aus den Jahren 2001 bis 2010 der sanierten Bereiche zeigen den Erfolg mit Verbrauchswerten der Heizwärme zwischen 17,8 bis 26,0 kWh/(m²a). Die zugehörigen PHPP Berechnungen die jeweils vor der Sanierung erstellt wurden zeigen erneut nur minimale Abweichungen (siehe Abbildung 18). Bei zwei der Gebäuden sind auch die Heizwärmebedarfswerte vor der Sanierungsmaßnahme angegeben: Diese liegen bei rund 200 kWh/(m²a). Damit wurde bei diesen beiden Projekten Einsparungen von 88 bzw. 91 % erreicht. Die Gebäude können mit nur 9 bzw. 12 % der vorher notwendigen Energie beheizt werden, was den großen Erfolg der realisierten Projekte verdeutlicht.

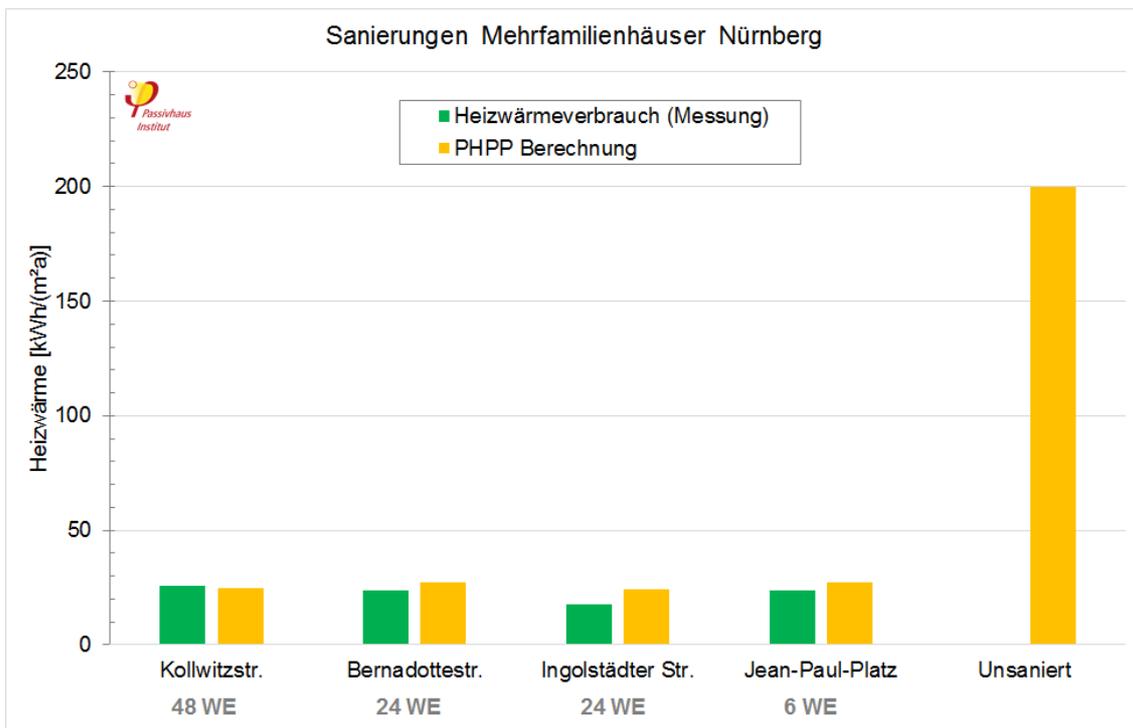


Abbildung 18: Heizwärmeverbrauchswerte und PHPP-Bedarfswerte der Mehrfamilienhaus-Projekte in Nürnberg nach den Sanierungen. Die Verbrauchswerte liegen zwischen 17,8 und 26,0 kWh/(m²a). Zum Vergleich ist der mittlere Bedarf von zwei der Projekte vor der Sanierung mit 200 kWh/(m²a) dargestellt. Die Daten für die Darstellung sind [Darup 2011] entnommen.

4. Luftdichtheit

Eine wichtige Säule von energieeffizienten Gebäuden ist die luftdichte Gebäudehülle. Der Luftdichtheitstest bietet für jedes Gebäude eine einfache Möglichkeit, diese Anforderung zu überprüfen und ggf. Verbesserungen durchzuführen. Für Passivhäuser wird mit einem Anforderungswert von $n_{50} = 0,6 \text{ h}^{-1}$ ein höhere Qualität gefordert. Dass diese Anforderung regelmäßig unterschritten wird, zeigt die Auswertung von insgesamt 3.014 Gebäuden unterschiedlicher Bauarten, Nutzungen sowie Gebäudegrößen aus der Passivhaus Projektdatenbank (Abbildung 19). Es ergibt sich bei der statistisch relevanten Anzahl ein Mittelwert von $n_{50} = 0,4 \text{ h}^{-1}$, ein extrem geringer Wert. Damit wird klar, dass es planerisch und bautechnisch sehr gut möglich ist, diese erheblich verbesserte Qualität zu realisieren. Dass diese gute Qualität auch dauerhaft sichergestellt ist, konnte in [Peper/Feist/Kah 2005] nachgewiesen werden.

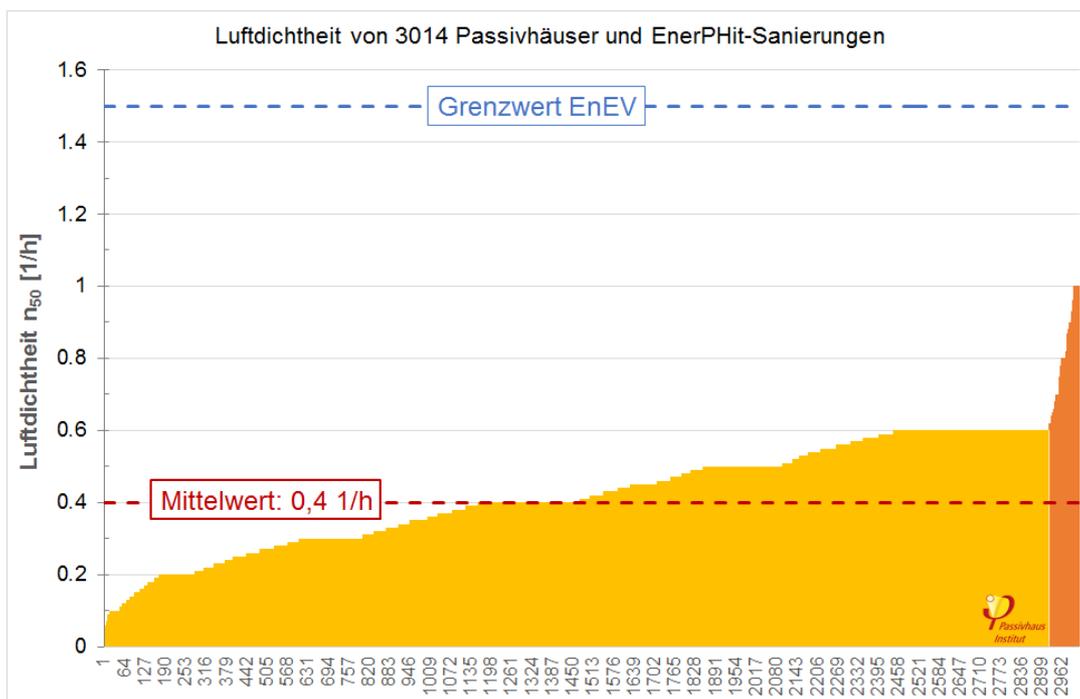


Abbildung 19: Ergebnisse von Luftdichtheitsmessungen von 3.014 Passivhäusern und EnerPHit Sanierungen. Die Daten sind der Datenbank www.passivhausprojekte.de entnommen. Der Anforderungswert für Passivhäuser (Neubau: $0,6 \text{ h}^{-1}$) wird regelmäßig unterschritten; sogar Sanierungen zeigen gute Werte unter $n_{50} = 1,0 \text{ h}^{-1}$.

5. Zusammenfassung

Die hier dargestellten Messwerte von über 1.800 Wohnungen im Passivhaus-Neubau und ca. 170 Wohnungen in Sanierungen mit Passivhaus-Komponenten belegen: Das Passivhaus-Konzept führt in der Praxis nachweislich und reproduzierbar zu einer sehr hohen Heizenergieeinsparung, die gegenüber dem alten Gebäudebestand etwa 90 % und gegenüber den gesetzlichen Anforderungen an Neubauten immer noch durchschnittlich etwa 80 % beträgt. Diese Einsparungen sind durch statistisch signifikante empirische Untersuchungen erwiesen und in einer großen Zahl von Projekten bestätigt. Auch die höchsten nutzungsbedingten Einzelverbrauchswerte in Passivhäusern liegen noch deutlich niedriger als die geringsten in gewöhnlichen Neubauten.

Verschiedene Nutzer haben, auch wenn sie in baugleichen Häusern wohnen, häufig deutlich unterschiedliche Verbrauchswerte: Abweichungen von $\pm 50\%$ vom Mittelwert sind keine Ausnahme, sondern stellen die zu erwartende Normalverteilung dar. Das gilt für alle Energiestandards (Altbau, Niedrigenergiehaus, Passivhaus,...). Die bedeutendste Ursache für diese Verteilung besteht bei zeitgleichen Messungen in unterschiedlichen Soll-Temperatureinstellungen in der Heizperiode. Zur Beurteilung eines energetischen Baustandards ist aus diesen Gründen immer der Mittelwert einer ausreichend großen Auswahl von baugleichen Gebäuden notwendig.

Die Messergebnisse stimmen in den Passivhaus-Projekten regelmäßig sehr gut mit den zuvor berechneten Bedarfswerten (PHPP) überein. Das Bilanztool eignet sich hervorragend, um verlässlich den mittleren Heizwärmebedarf schon in der Planungsphase zu prognostizieren. Dies gilt für Neubauten wie auch für Sanierungen. Eine Differenz zwischen Anspruch und Wirklichkeit (sog. „Performance Gap“) ist beim Passivhaus-Standard nicht festzustellen.

Auch bei Sanierungen können erfolgreich energetisch hochwertige Passivhaus-Komponenten eingesetzt werden. Die Auswertung der Heizwärmeverbrauchswerte zeigt, dass mit Sanierungen nach dem EnerPHit-Standard verlässlich hohe Einsparungen realisiert werden. Die Heizwärmeverbrauchswerte liegen im Bereich vom Passivhaus-Neubau bis rund 26 kWh/(m²a), womit Einsparungen bis tatsächlich 95 % realisiert werden.

Als Schlussfolgerung kann weiter resümiert werden, was die Messungen in den Passivhaus-Projekten belegen:

- Die einzelnen Maßnahmen, nämlich Wärmedämmung, Dreischeiben-Wärmeschutz-Verglasung, Luftdichtheit und Wärmerückgewinnung sind wirksam. Abweichungen von mehr als etwa 1 kWh/(m²a) wären in den Mittelwerten bereits erkennbar, sie treten aber nicht auf.
- Das Berechnungsverfahren nach PHPP und die verwendeten Randbedingungen bewähren sich in der Praxis. Die Abweichungen zwischen der rechnerischen Bilanz und den Messwerten sind sehr gering. Der oft beklagte ‚Performance Gap‘, also eine Differenz zwischen Anspruch und Wirklichkeit, existiert beim Passivhaus-Standard nicht.
- Zusätzliche Wärmeverluste, wie Wärmeübergabeverluste oder hohe Fensterlüftungsverluste können nach den vorliegenden Verbrauchsstatistiken keinen entscheidenden Einfluss haben; sie müssen innerhalb der mit ± 1 kWh/(m²a) bestimmten Grenzen liegen und sind daher vernachlässigbar.

6. Anmerkungen zu den verwendeten Einheiten

Bei der Größe **Kilowattstunde** (kWh) handelt es sich um eine Energieeinheit. Ein Liter Heizöl EL oder 1 m³ Erdgas haben ziemlich genau einen Heizwert von 10 kWh.

In diesem Bericht wird durchgängig der **Heizwärmekennwert** q_H für den Vergleich herangezogen: $q_H = Q_H / A_{EBF}$.



Q_H ist der gemessene **Heiz(nutz)wärmeverbrauch**. Gemessen wurde bei fast allen Messprojekten direkt an der Wärmeübergabestelle der Heizwärmeverteilung (in der Regel mit Wärmehäufigkeitszählern; genaueres dazu ist in den jeweils zitierten wissenschaftlichen Berichten beschrieben). Diese Messung erfasst

Verteilverluste und mögliche Wärmeübergabeverluste. Die Messung enthält jedoch keine Verluste des Wärmeeerzeugers.

A_{EBF} ist die **Energiebezugsfläche**. Bei allen hier aufgeführten Ergebnissen ist dies die beheizte Wohnfläche; es wurde somit der Flächenbezug gewählt, der auch der Heizkostenabrechnung und allen veröffentlichten Statistiken zu Grunde liegt. Zu beachten ist, dass die Fläche A_N nach dem Rechengang der EnEV ca. 20 bis 30% größer ist als die Wohnfläche. Auf A_N bezogene Energiekennwerte sehen daher deutlich niedriger aus als sie es in Wahrheit sind. Deshalb wird in diesem Artikel konsequent die wirkliche Wohnfläche als Bezug verwendet.

7. Quellen

[Darup 2011] Schulze Darup, Burkhard: Energetische Modernisierung, Projektberichte. Im Auftrag der wbg Nürnberg GmbH Immobilienunternehmen. Nürnberg, Dezember 2011

[Ebel 2003] Ebel, W.; Großklos, M.; Knissel, J.; Loga, T. und Müller, K.: Wohnen in Passiv- und Niedrigenergiehäusern – Eine vergleichende Analyse der Nutzungsfaktoren am Beispiel der „Gartenhofsiedlung Lummerlund“ in Wiesbaden-Dotzheim, Endbericht / Energie; Institut Wohnen und Umwelt; Darmstadt 2003.

[Feist/Loga/Großklos 2000] Feist, W.; Loga, T. und Großklos, M.: Durch Messungen bestätigt – Jahresheizenergieverbrauch bei 22 Passivhäusern in Wiesbaden unter 15 kWh/m² Wohnfläche, in BundesBauBlatt, 3/2000, S. 23-27.

[Johnston 2014] D. Johnston, D. Farmer, M. Brooke-Peat & D. Miles-Shenton (2014): “Bridging the domestic building fabric performance gap”, Building Research & Information, DOI: 10.1080/09613218.2014.979093; link: <http://dx.doi.org/10.1080/09613218.2014.979093>

[Krellner 2015] Krellner, Marcus: Jährliche Ablesewerte der Wärmezähler der vier Doppelhaushälften in Nürnberg-Wetzendorf. Persönliche Datenlieferung, Juli 2015

[Loga 1997] Loga, Tobias; Müller, Kornelia; Menje, Horst: Die Niedrigenergiesiedlung Distelweg in Niedernhausen, Ergebnisse des Messprogramms, 1. Auflage, Institut Wohnen und Umwelt, 1997.

[Peper 2015] Peper, Søren: Bahnstadt Heidelberg, Minimalmonitoring für ausgewählte Gebäudekomplexe. Zwischenbericht 2014. Im Auftrag der Stadt Heidelberg. Passivhaus Institut Juli 2015. Dieser Bericht kann kostenlos beim Passivhaus Institut bezogen werden.

[Peper/Feist 2001] Peper, Søren; Feist, Wolfgang: Messtechnische Untersuchung und Auswertung - Klimaneutrale Passivhaus-Siedlung Hannover-Kronsberg; 1. Auflage, Proklima, Hannover 2001. Dieser Bericht kann kostenlos beim Passivhaus Institut bezogen werden.

[Peper/Feist 2002] Peper, Søren; Feist, Wolfgang: Klimaneutrale Passivhaus-Siedlung Hannover-Kronsberg Analyse im dritten Betriebsjahr; 1. Auflage, Proklima, Hannover 2002. Dieser Bericht kann kostenlos beim Passivhaus Institut bezogen werden.

[Peper/Feist 2008] Peper, Søren; Feist, Wolfgang: Gebäudesanierung „Passivhaus im Bestand“ in Ludwigshafen / Mundenheim, Messung und Beurteilung der energetischen Sanierungserfolge, Hg. von Passivhaus Institut Dr. Wolfgang Feist, Darmstadt, 2008.

[Peper/Feist/Pfluger 2004] Peper, S.; Feist, W.; Pfluger, R.: Ein nordorientiertes Passivhaus, Messtechnische Untersuchung und Auswertung von 19 Wohnungen im Passivhaus-Standard in Frankfurt-Bockenheim, Gremppstraße, Forschungsbericht im Auftrag der Frankfurter Aufbau AG, Passivhaus Institut, Darmstadt 2004. Dieser Bericht kann kostenlos beim Passivhaus Institut bezogen werden.

[Peper/Grove-Smith/Feist 2009] Peper, Søren; Grove-Smith, Jessica; Feist, Wolfgang: Sanierung mit Passivhauskomponenten. Messtechnische Untersuchung und Auswertung Tevesstraße Frankfurt a.M. Passivhaus Institut, Darmstadt, Februar 2009. Dieser Bericht kann kostenlos beim Passivhaus Institut bezogen werden.

[Peper/Kah/Feist 2005] Peper, Søren; Kah, Oliver; Feist, Wolfgang: Zur Dauerhaftigkeit von Luftdichtheitskonzepten bei Passivhäusern, Feldmessungen. Forschungsbericht im Rahmen vom IEA SHC TASK 28 / ECBCS ANNEX 38. Passivhaus Institut, Darmstadt, Juni, 2005. **[PHPP]** Passivhaus Projektierungspaket. Passivhaus Institut, 1998 - 2015

[Reiß/Erhorn 2003] Reiß, Johann und Erhorn, Hans: Messtechnische Validierung des Energiekonzeptes einer großtechnisch umgesetzten Passivhausentwicklung in Stuttgart-F Feuerbach, IBP-Bericht WB 117/2003, Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Stuttgart 2003.

[Schnieders/Feist 2001] Schnieders, Jürgen; Feist, Wolfgang; Pfluger, Rainer; Kah, Oliver: CEPHEUS - wissenschaftliche Begleitung und Auswertung, Endbericht, Projektinformation Nr. 22, 1. Auflage, Passivhaus Institut, 2001

[Schulze Darup 2002] Schulze Darup, Burkhard (Hrsg.): Passivhaus-Projektbericht Energie & Raumluftqualität. Messtechnische Evaluierung und Verifizierung der energetischen Einsparpotentiale und Raumluftqualitäten an Passivhäusern in Nürnberg. AnBus e.V. Nürnberg 2002

[techem 2014] Techem Energy Services: Energiekennwerte 2014. Hilfen für den Wohnungswert. Eschborn, 2014

[Treberspurg 2010] Martin Treberspurg; Roman Smutny; Alexander Keul; Roman Grüner: „Energy monitoring in existing Passive House housing estates in Austria“, in: Proceedings of the 14th International Passive House Conference, Passive House Institute, Dresden/Darmstadt 2010 ISBN 978-3-00-031154

[Wagner 2008] Wagner, Waldemar: Große Wohnanlagen in Passivhausqualität. In: Zeitschrift EE, Arbeitsgemeinschaft Erneuerbare Energien, Nr. 2, 2008 Gleisdorf