



ILS – Forschung 2 / 10

Leben im Passivhaus

Baukonstruktion, Baukosten, Energieverbrauch,
Bewohnererfahrungen.

ILS – Institut für Landes- und
Stadtentwicklungsforschung



Inhalt

1	Grundlagen und Vorgehensweise	3
2	Auswertung der Bauweise, Baukonstruktion und Baumaterialien	4
2.1	Haustypen	4
2.2	Exkurs: Haustypen in den Solarsiedlungen	5
2.3	Holzbauweisen/Massivbauweisen	5
2.4	Dämmstoffe	7
2.5	Fenster	8
3	Auswertung der Baukosten	9
3.1	Bauwerkskosten (Kostengruppe 300 + 400)	9
3.2	Bauwerkskosten und Förderung	11
3.3	Bauwerkskosten Massivbau/Holzbau im Vergleich	11
3.4	Bauteilkosten	12
3.4.1	Kosten der Fenster	13
3.4.2	Kosten der Dämmmaßnahmen	14
3.4.3	Kosten der Lüftungsanlagen und Luftdichtigkeitsmessungen	15
3.4.4	Exkurs: Vergleich externer Kostendaten mit eigenen Auswertungen	15
3.4.5	Planungskosten	16

4	Auswertung der Energieverbräuche und Bewohnerzufriedenheit	17
4.1	Zielsetzung und Vorgehensweise	17
4.2	Datengrundlage	18
4.3	Grundlagen der Auswertung	20
4.3.1	Bewertungsschema Energieverbrauch	20
4.3.2	Energieklassen	22
4.3.3	Statistische Grundlagen	22
4.4	Ergebnisse	23
4.4.1	Bestandsaufnahme	23
4.4.1.1	Motivation	23
4.4.1.2	Ausstattung	24
4.4.1.3	Technik	25
4.4.1.4	Luftqualität und Lüftungsverhalten in der „Heizperiode“	28
4.4.1.5	Luftqualität im Sommer	29
4.4.1.6	Behaglichkeit	31
4.4.1.7	Bauphysik	31
4.4.1.8	Zufriedenheit	32
4.4.2	Energetische Qualität	34
4.4.2.1	Passivhäuser	34
4.4.2.2	Passiv-Solar/3-Liter-Häuser	37
4.4.3	Begutachtung der ausgewählten Objekte	38
4.4.3.1	Projekt 1	39
4.4.3.2	Projekt 2	39
4.4.3.3	Projekt 3	40
4.4.3.4	Projekt 4	40
4.4.3.5	Projekt 5	41
4.4.3.6	Projekt 6	42
4.4.3.7	Projekt 7	42
4.4.3.8	Projekt 8	43
5	Zusammenfassung der Erfahrungen aus der Nutzung geförderter Passivhäuser in NRW	44
5.1	Auswertung der Bauweise, Baukonstruktion und Baumaterialien	44
5.2	Auswertung der Energiedaten und der Bewohnerzufriedenheit	46
6	Auswertungsgrundlagen	48
6.1	Energiefragebogen	48
6.2	Fragebogen zu Bau- und Wohnerfahrungen	49
6.3	Auswertung Bewohnerfragebogen	50
	Tabellenverzeichnis	61
	Abbildungsverzeichnis	61
	Literaturverzeichnis	62
	Quellenangabe	62
	Fotonachweis	63

Vorwort



Prof. Dr. Rainer Danielzyk,
Direktor des ILS NRW

Das Ziel einer Reduzierung des Energieverbrauchs ist aktueller denn je. Aus Gründen des Klimaschutzes und des allgemeinen Ressourcenschutzes muss der Energieeinsatz reduziert werden. Durch intelligente Nutzungsformen ist das vielfach möglich, ohne auf gewohnten Komfort verzichten zu müssen. Angesichts langfristig steigender Energiepreise spricht auch die ökonomische Vernunft für neue Ansätze in dieser Hinsicht. Gerade beim Energieverbrauch für Wohngebäude werden große Einsparpotenziale gesehen.

Auf diesem Handlungsfeld hat sich das Land Nordrhein-Westfalen schon frühzeitig mit vielfältigen Handlungsansätzen engagiert. Durch eine entsprechende Förderpolitik hat das Land innovative Ansätze zur Reduzierung des Energieeinsatzes in Wohnhäusern unterstützt. Ein Element dieser Förderpolitik ist die seit nunmehr acht Jahren bestehende Unterstützung des Baus von Passivhäusern. Das Land NRW nimmt in diesem Bereich zweifellos eine Vorreiterrolle in der Bundesrepublik ein. So wurden bis einschließlich 2005 1.070 Wohneinheiten in 480 Projekten gefördert (insgesamt gibt es im deutschsprachigen Raum mittlerweile über 6.000 bewohnte Passivhäuser).

Bis 2005 hat das ILS NRW die Förderung des Baus von Passivhäusern im Auftrage des Bauministeriums durchgeführt. (Seit 2006 ist durch einen Wechsel der Zuständigkeit zum Wirtschaftsministerium die Bezirksregierung Arnsberg für die Förderung von Passivhäusern zuständig.) Aufgrund dieser langjährigen Tätigkeit liegen dem ILS NRW umfangreiche Daten zu bewilligten und gebauten Passivhäusern vor, die einen wohl einmaligen Datenbestand darstellen dürften. Darüber hinaus führte das ILS NRW im Jahre 2005 eine umfangreiche Befragung von Bewohnern und Bewohnerinnen von über 200 fertig gestellten Passivhäusern durch, in der die Erfahrungen mit dem Wohnen in diesem Haustyp im Mittelpunkt standen. Des Weiteren konnten Energieverbräuche für die genutzten Wohnungen ermittelt und anhand der Angaben der Bauherren Kostendaten für fertig gestellte Passivhäuser ausgewertet werden.

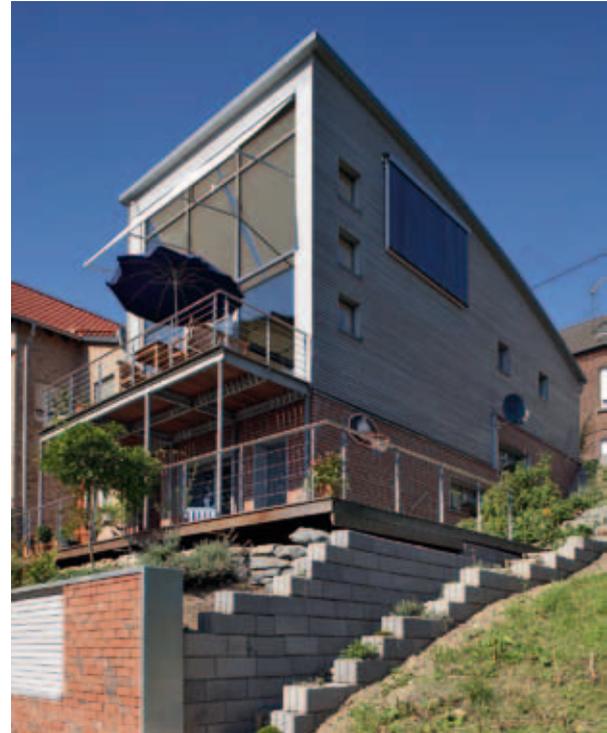
Im vorliegenden Band werden die Ergebnisse der Bewohnerbefragung, der Erhebung der Energieverbräuche und der Auswertung der Kostendaten dargelegt. Bei dieser Untersuchung hat das Aachener Ingenieurbüro Perpendo maßgeblich mitgewirkt, wofür ich an dieser Stelle danken möchte.

Durch die Auswertung des ausgesprochen umfangreichen Datenbestandes kann hiermit die bisher wohl umfassendste Qualitäts- und Kostenbeurteilung von Passivhäusern vorgelegt werden.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Rainer Danielzyk'.

Prof. Dr. Rainer Danielzyk
Direktor des Instituts für Landes- und
Stadtentwicklungsforschung und Bauwesen
des Landes Nordrhein-Westfalen

**Passivhaus Hendelkens,
Hückelhoven**



1 Grundlagen und Vorgehensweise

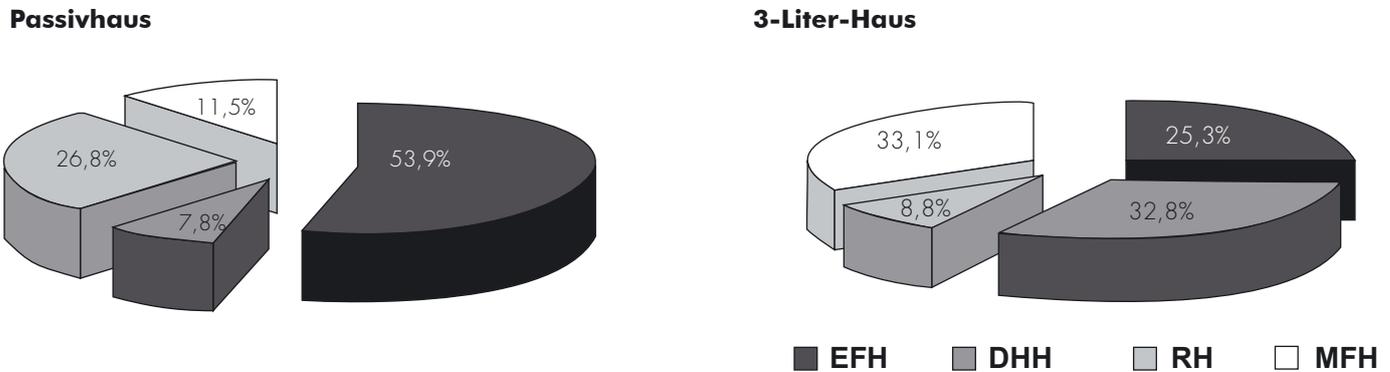
Seit Beginn der Passivhausförderung in 1999 bis Mitte 2005 wurden in Nordrhein-Westfalen insgesamt 480 Projekte mit 1.070 Wohneinheiten gefördert. Nichtwohngebäude oder spezielle Wohnnutzungen (Wohnheim, Hotel...) sind in dieser Gesamtzahl enthalten, wobei 100 m² Nutzfläche als eine Wohneinheit gerechnet wurden.

Zum Zeitpunkt der Untersuchung waren insgesamt ca. 220 Projekte fertig gestellt, d.h. von diesen Projekten lagen belastbare Daten in Form von Verwendungsnachweisen vor. Die Auswertung der baulichen Rahmendaten wie Gesamtkosten, Bauteilkosten, Planungskosten, eingesetzte Materialien sowie Förderhöhe erfolgte auf der Basis der vorliegenden Daten aus den Verwendungsnachweisen.

Darüber hinaus wurde eine Energiedatenabfrage und ein Fragebogen zur Bewohnerzufriedenheit an 210 Projekte gesendet. Der Rücklauf dieser Befragung betrug 176 (84%) Projekte. Die Auswertung der Energiedaten und der Bewohnerzufriedenheit erfolgte auf Grundlage dieser Befragungsergebnisse.

Auf der Grundlage dieser nicht homogenen Datenlage liegen den folgenden Einzelauswertungen unterschiedliche Datenmengen zugrunde, die entweder unter den Auswertungen mit $n = x$ oder in den Tabellen mit der Anzahl der Projekte angegeben sind.

Abb. 1
Prozentuale Anteile der
Haustypen beim Passiv-
haus und 3-Liter-Haus,
n = 872 WE



2 Auswertung der Bauweise, Baukonstruktion und Baumaterialien



Solarsiedlung mit Passivhäusern, Leverkusen

Von den 1.070 Wohneinheiten wurden 700 WE in Passivhausbauweise und 370 WE als passive Solarhäuser bzw. in 3-Liter-Haus-Standard gefördert. In der folgenden Gesamtauswertung werden zur Vereinfachung die passiven Solarhäuser (60 % unter WSchV '95) und die 3-Liter-Häuser (Heizwärmebedarf 35 kWh/m²a) unter dem Gesamtbegriff 3-Liter-Häuser zusammengefasst.

Als Nicht-Wohngebäude wurden bisher gefördert:

- eine Studentenherberge in Hagen
- ein Ärztehaus in Waldbröl
- zwei Altenpflegezentren in Mönchengladbach
- ein Anbau an eine Schule in Dinslaken
- eine Grundschule in Köln
- eine Sporthalle in Coesfeld
- Bürohäuser in Erfstadt, Paderborn und Recke
- ein Seniorenwohnheim in Grefrath

Nicht-Wohngebäude sind aus Gründen der Vereinfachung in den folgenden Auswertungen nicht enthalten.

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Untersuchung zur Bauweise, zur gewählten Baukonstruktion und zu den verwendeten Baumaterialien zentraler Konstruktionsgruppen vorgestellt

2.1 Haustypen

Abbildung 1 zeigt die Verteilung nach Haustypen: freistehende Einfamilienhäuser (EFH), Doppelhaushälften (DHH), Reihenhäuser (RH), Mehrfamilienhäuser (MFH). Die Auswertung erfolgte nach Wohneinheiten. Die folgende Tabelle weist noch einmal detailliert die jeweilige Anzahl der Wohneinheiten pro Haustyp aus.

Diagramm und Tabelle zeigen, dass im Passivhausstandard weit überwiegend freistehende Einfamilienhäuser realisiert worden sind.

Dies ist erstaunlich, weil die ersten Modellvorhaben zur Optimierung des Prinzips der Oberflächenminimierung ausschließlich in Reihenhausform realisiert wurden. Ein Grund für die Dominanz der freistehenden Wohnform ist vermutlich darin zu sehen, dass es sich bei den Baufamilien von Passivhäusern in der Regel um besonders engagierte, aber auch finanziell besser situierte Personen handelt, die ihr besonderes Engagement für die Umwelt auch durch eine individuelle bauliche Lösung zum Ausdruck bringen wollen. An zweiter Stelle folgen beim Passivhausstandard die Reihenhäuser. Diese wurden vor allem auf Siedlungsebene realisiert, z.B. in sieben Solarsiedlungen (Aachen, Arnsberg, Beckum, Bielefeld, Dorsten, Leverkusen und Rheda-Wiedenbrück).

Bei der Verteilung der verschiedenen Bautypen bei den 3-Liter-Häusern gibt eine große Solarsiedlung in Düsseldorf mit 103 Wohneinheiten als Geschosswohnungsbau den Ausschlag, dass die Wohnungen in Mehrfamilienhäusern mit 33,1 % den größten Anteil einnehmen. Fast gleich viele Wohneinheiten wurden in Doppelhaushälften gefördert. Dies ist wiederum als eine Folge der Realisierung in Form von Bauträgermaßnahmen zu sehen, die in den Solarsiedlungen typisch ist. Bauträger sehen offensichtlich eine besonders gute Vermarktbarkeit bei Doppelhäusern.

2.2 Exkurs: Haustypen in den Solarsiedlungen

Der Passivhausstandard bzw. der 3-Liter-Haus-Standard stellt neben der Realisierung einer eigenständigen solaren Stromerzeugung und der solaren Warmwasserbereitung eine von drei zentralen energetischen Anforderungen an Solarsiedlungen ab 2002 dar, wobei mindestens ein aktivsolares System eingesetzt werden muss. Obwohl demnach der 3-Liter-Haus-Standard den Anforderungen genügen würde, wurden in 10 von insgesamt 39 Solarsiedlungen Passivhausprojekte gefördert. Allerdings überwiegen zahlenmäßig die Projekte im 3-Liter-Haus-Standard deutlich. (114 WE im Passivhausstandard, 317 WE im 3-Liter-Haus-Standard).

2.3 Holzbauweisen/Massivbauweisen

In der Baufachwelt gibt es seit längerem einen Diskurs über die optimale Bauweise von hoch energieeffizienten Gebäuden. Verfechter der Holzbauweise führen unter anderem an, dass die großen Dämmschichtstärken optimal innerhalb der Konstruktion unterzubringen seien, für Massivkonstruktionen spricht dagegen die einfachere Herstellung der unabdingbar erforderlichen Dichtigkeit der Konstruktion. Die Untersuchung ist daher der Frage nachgegangen, welche Verbreitung die beschriebenen Bauweisen in den geförderten Projekten gefunden haben.

Bei den untersuchten 296 Passivhausprojekten überwiegen die Holzbauten (mit 59 %) gegenüber den Massivbauten (41 %) deutlich, während die 99 passiv-solaren bzw. 3-Liter-Haus-Projekte überwiegend (65 %) als Massivbauten ausgeführt werden (Abb. 2). Dies ist weniger darauf zurückzuführen, dass es konstruktive Gründe für den Vorzug der Massivbauweise in 3-Liter-Häusern gibt, sondern vermutlich eher der Tatsache geschuldet, dass in den Solarsiedlungen überwiegend Bauträgermaßnahmen ausgeführt werden. Erfahrungsgemäß setzen Bauträger auf Grund der vorausgesetzten leichteren Vermarktbarkeit mehr auf die Massivbauweise.

Tab. 1
Haustypen
Passivhäuser und
3-Liter-Häuser

Haustyp	Passivhäuser		3-Liter-Häuser	
EFH	299 WE	53,9 %	80 WE	25,3 %
DHH	43 WE	7,8 %	104 WE	32,8 %
RH	149 WE	26,8 %	28 WE	8,8 %
MFH	64 WE	11,5 %	105 WE	33,1 %
gesamt	555 WE	100 %	317 WE	100 %

Tab. 2
Haustypen
Passivhäuser und
3-Liter-Häuser
in den Solarsied-
lungen

Haustyp	Passivhäuser		3-Liter-Häuser	
EFH	9 WE	7,9 %	63 WE	19,9 %
DHH	12 WE	10,5 %	104 WE	32,8 %
RH	91 WE	79,8 %	28 WE	8,8 %
MFH	2 WE	1,5 %	122 WE	38,5 %
gesamt	114 WE	100 %	317 WE	100 %

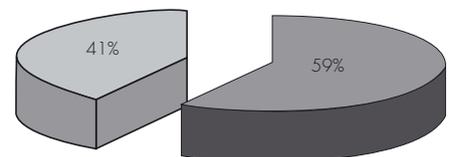
Bei der Gesamtbetrachtung (Passivhäuser und 3-Liter-Häuser) überwiegen 210 Projekte in Holzbauweise leicht die 185 Projekte in Massivbauweise. (11 Projekte in Mischbauweise sind in den Massivbauten enthalten). Festzuhalten ist als Trend, dass insgesamt die Zahl der Holzbauten verglichen mit Massivbauten drastisch höher ist als im normalen Baugeschehen. Bundesweit lag der Anteil von Holz- und Fertighäusern bei den Baugenehmigungen (Zeitraum von 1994 – 2001) von Einfamilien- und Zweifamilienhäusern bei 13,2 %, in NRW nur bei 7 %. Offenbar ist es vielen Verarbeitern von Holz, Herstellern von Fertigteilen in Holzbauweise oder von kompletten Holzhäusern gelungen, sich in diesem neuen Marktsegment des energieeffizienten Bauens zu etablieren.



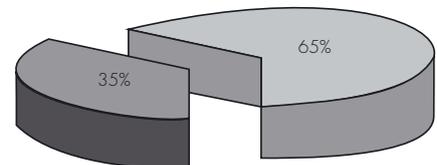
Gymnasium in Massivbauweise, Dinslaken

Abb. 2
Anteile an Holzbau- und Massivbauprojekten bei
Passivhäusern und 3-Liter-Häusern, n = 395 Projekte

Passivhaus



3-Liter-Haus



■ Holzbau ■ Massivbau



Passivhaus Lüker in Holzrahmenbauweise, Aachen

2.4 Dämmstoffe

Die unten stehenden Diagramme (Abb. 3 und 4) zeigen die Verwendung von Dämmstoffen. Bei den Passivhäusern ist der meistverwendete Dämmstoff in Wand und Dach Zellulose, gefolgt von Mineralfasern. Bei den 3-Liter-Häusern wird überwiegend Mineralfaserdämmung eingesetzt.

Der hohe Anteil des Einsatzes von Zellulosedämmung bei den Passivhäusern ist zum einen durch die Bauweise zu erklären. Da bei den Passivhäusern in 59 % der Fälle eine Holzbauweise realisiert wurde, ist Zellulose auf Grund des möglichen Einblasverfahrens ein idealer Baustoff. Hinzu kommt bei den Passivhausbewohnern, dass sie sich meist (in 58 % der Fälle) aus eigener Überzeugung für ein Passivhaus entschieden haben (vergl. 4.4.1.1 Motivation), ausschlaggebend waren hierfür zum großen Teil ökologische Überlegungen, die sich auch in der Wahl der Baustoffe niederschlagen. Das gleiche gilt sicher auch bei der Wahl der Fenstermaterialien, wie die Auswertung „2.5 Fenster“ zeigt.

Der typische Vermarktungsweg zahlreicher 3-Liter-Häuser über Bauträger prägt nicht nur die Bauweise, sondern auch die weitere Stoffauswahl. Wie schon festgestellt, werden 3-Liter-Häuser überwiegend in Massivbauweise (65 %) realisiert. Die Massivbauten werden zumeist mit Wärmedämmverbundsystem oder mit Kerndämmung und Vormauerschale ausgeführt, wozu Mineralfasern und Polystyrol geeignete Dämmstoffe sind. Diese werden im übrigen auch aus Kostengründen bevorzugt.

Abb. 3
Prozentuale Anteile
der Verwendung von
Dämmstoffen in Wand
und Dach in
Passivhäusern

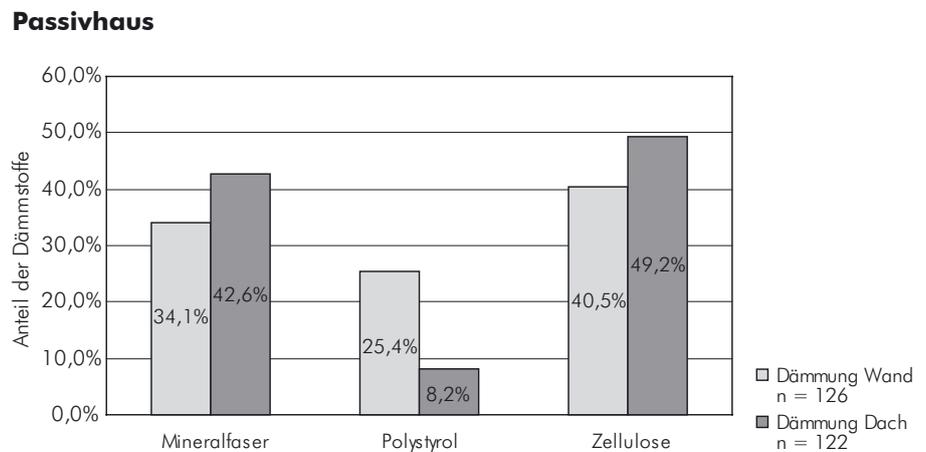
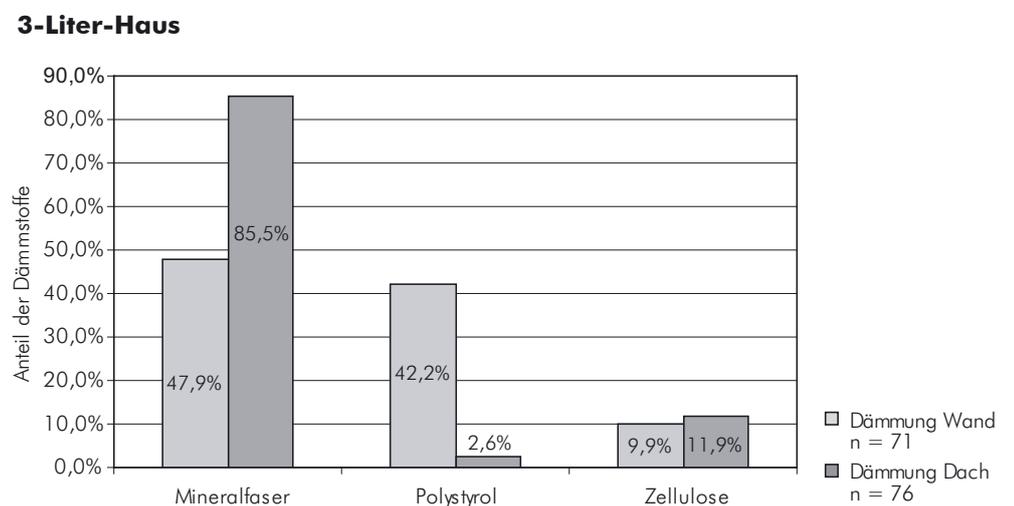


Abb. 4
Prozentuale Anteile
der Verwendung von
Dämmstoffen in Wand
und Dach in
3-Liter-Häusern



2.5 Fenster

Fenster sind zentrale Bauteile des hoch energieeffizienten Bauens. Ihnen kommt einerseits die Rolle zu, durch moderne Techniken die Energieverluste von Glas, Rahmen und Randverbund zu minimieren, andererseits sollen sie durch ihre Ausrichtung und geeignete Glasmaterialien maximale passive Wärmegewinne ermöglichen. Für passivhaustaugliche Fenster sind gedämmte Rahmen und eine Drei-Scheiben-Isolierverglasung unverzichtbar, für den 3-Liter-Haus-Standard reichen ungedämmte Rahmen mit einer hochwertigen Zwei-Scheiben-Isolierverglasung.

Zum Einsatz kommen bei den Passivhäusern überwiegend gedämmte Holzfenster (52 %) oder auch Holz-Alu-Fensterkonstruktionen (15 %), gefolgt von Kunststofffenstern (33 %). Bei den 3-Liter-Häusern werden meist ungedämmte Fenster eingebaut, es überwiegt der Einsatz von Kunststofffenstern (51 %) vor den Holzfenstern (48 %). Auch hier prägt einerseits die ökologisch hoch motivierte Bauherrenschaft die Baustoffauswahl bei den Passivhäusern, während andererseits die Vermutungen von Bauträgern zu Kosten und Akzeptanz von Holzfenstern den Ausschlag für vermeintlich günstigere Materialien geben (zu den festgestellten Kosten s. Kap. 3.4.1).

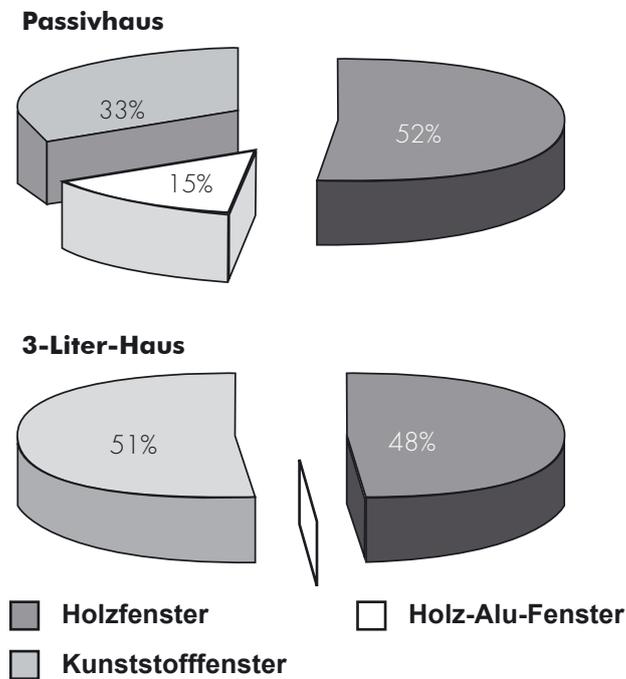


Abb. 5
 Prozentuale Anteile der
 verwendeten
 Fenstermaterialien
 beim Passivhaus und
 3-Liter-Haus,
 n = 230 Projekte

Passivhaus Lücker, Aachen

3 Auswertung der Baukosten

Bei den folgenden Daten zu den Baukosten handelt es sich um Angaben aus den Verwendungsnachweisen fertig gestellter und abgerechneter Projekte. Die Angaben stammen von den Baufamilien oder den Architekten und wurden nicht durch das ILS NRW durch eigene Berechnungen aus den Bauunterlagen überprüft. Durch eine Plausibilitätsprüfung, das Nicht-Einbeziehen von „Ausreißerdaten“ sowie durch die vergleichsweise hohe Anzahl von Nennungen sind aber dennoch nach Einschätzung des ILS NRW belastbare Aussagen zu den Kosten der Passivhausbauweise bzw. des 3-Liter-Haus-Standards entstanden. Da in die Auswertung nur die Projekte einbezogen werden konnten, die zu den entsprechenden Fragestellungen überhaupt Angaben gemacht hatten, ist die Zahl der zu Grunde liegenden Daten zu jeder Auswertung verschieden.

3.1 Bauwerkskosten (Kostengruppe 300 + 400)

Bei der Betrachtung der Bauwerkskosten über alle Haustypen summiert ist festzustellen, dass die 3-Liter-Häuser durchschnittlich 11,2 % preiswerter als die Passivhäuser sind (Tab. 3).

Auffallend sind die hohen Bauwerkskosten der Doppelhaushälften in Passivhausstandard, die die Bauwerkskosten der freistehenden Einfamilienhäuser sogar überschreiten. Möglicherweise liegt der Grund hierfür in der Datengrundlage, denn der Auswertung konnten 94 Einfamilienhausprojekte, aber lediglich 11 Doppelhaushälften

Tab. 3
Durchschnittliche
abgerechnete
Bauwerkskosten/m²
Wohnfläche von
Passivhäusern und
3-Liter-Häusern,
n = 146 Projekte

Haustyp	Passivhäuser		3-Liter-Häuser	
	Anzahl Projekte	Bauwerkskosten/m ² Wohnfläche	Anzahl Projekte	Bauwerkskosten/m ² Wohnfläche
EFH	94	1.375,- €	14	1.300,- €
DHH	11	1.390,- €	11	1.240,- €
RH	7	1.280,- €	2	1.060,- €
MFH	7	1.250,- €	/	/

zugrunde gelegt werden. Einige der Doppelhausprojekte sind sehr groß und aufwändig, so dass sich die überdurchschnittlichen Bauwerkskosten in der Gesamtauswertung niedergeschlagen haben dürften.

Betrachtet man die durchschnittlichen Bauwerkskosten/m² Wohnfläche differenziert nach Bauweisen (Tab. 4), ergibt sich ein interessantes Bild: Während Reihenhäuser im Passivhausstandard sogar um 20,7 % teurer sind als im 3-Liter-Haus-Standard, verringert sich die Differenz bei Doppelhaushälften auf 12,1 % und bei Einfamilienhäusern sogar auf 5,8 %.

Bei der Betrachtung von verdichteten Bauweisen wie Reihenhäusern über weniger verdichtete Bauweisen wie Doppelhaushälften bis zu freistehenden Einfamilienhäusern steigen die Baukosten pro m² Wohnfläche entsprechend obiger Tabelle 5 an: Bei einer Betrachtung über den Preis/m² Wohnfläche ist die Doppelhaushälfte im 3-Liter-Haus-Standard um 16,9 % teurer als das Reihenhaus, das freistehende Einfamilienhaus sogar um 22,6 % teurer als ein Reihenhaus im gleichen Standard.

Bei den Passivhäusern fällt diese Differenz dagegen wesentlich kleiner aus: Die Doppelhaushälfte ist um 8,5 % und das Einfamilienhaus sogar nur um 7,4 % teurer als ein Reihenhaus im Passivhausstandard. Dies ist um so erstaunlicher, als eine kompakte Bauweise mit einer minimierten Außenoberfläche als ein grundlegendes Prinzip des kostengünstigen energiesparenden Bauens gilt. Gegenüber Reihenhäusern haben Einfamilienhäuser und Doppelhaushälften einen erheblich größeren Anteil an opaken Außenoberflächen und auch an transluzenten und besonders teuren Bauteilen, was sich auch in den Kosten/m² Wohnfläche auswirken müsste. Während dieses Prinzip bei den 3-Liter-Häusern nachvollzogen werden kann, greift es bei den Passivhausprojekten nur bedingt. Hier ist offenbar schon innerhalb des Reihenhauses bereits ein Großteil der Passivhaustechnik erforderlich, so dass der Aufpreis für DHH und EFH moderater ausfällt. Es bedürfte allerdings einer vertieften Untersuchung, um Gründe für die unterschiedlichen Preisgefüge zu erhalten.

Tab. 4
Durchschnittlicher
Mehrpreis der
Bauwerkskosten von
Passivhäusern zu
3-Liter-Häusern,
n = 146 Projekte

Mehrpreis PH-Standard zu 3-Liter-Haus	Prozent
RH	+ 20,7%
DHH	+12,1%
EFH	+5,8%

Tab. 5
Durchschnittlicher
Mehrpreis der
Bauwerkskosten/m²
Wohnfläche von DHH
und EFH im Vergleich
zum RH im Passiv-
hausstandard und
im 3-Liter-Haus-
Standard, n = 146
Projekte

Referenz Reihenhaus im Passivhausstandard	100%	Referenz Reihenhaus im 3-Liter-Haus-Standard	100%
Mehrkosten DHH	+ 8,5%	Mehrkosten DHH	+ 16,9%
Mehrkosten EFH	+7,4%	Mehrkosten EFH	+ 22,6%

3.2 Bauwerkskosten und Förderung

Die Tabelle 6 zeigt die Bauwerkskosten der Passivhäuser und 3-Liter-Häuser (Kostengruppen 300 + 400 nach DIN 276), die Gesamtförderung und die prozentuale Gesamtförderung an den Bauwerkskosten. In den Fördermodalitäten war die Förderung der 3-Liter-Häuser mit 80 % der Förderung von Passivhäusern definiert zuzüglich der pauschalen Förderung der Lüftungsanlagen (in gleicher Höhe wie die der Passivhäuser). Wenn wir die nachfolgende Tabelle betrachten, fällt auf, dass die 3-Liter-Häuser prozentual eine etwas geringere Förderung erhielten als die Passivhäuser. Bei den Passivhäusern bewegte sich der Förderanteil zwischen 3,15 und 5,64 %, im Mittel bei 4,26 %.

Bei den 3-Liter-Häusern lag sie im Mittel bei 3,44 %. Nach einer Literatur- und Internetrecherche des ILS NRW werden die Mehrkosten der Passivhausbauweise aktuell mit 8 % beziffert (Quelle: www.ig-passivhaus.de). Bei einer mittleren Förderung von 4,26 % werden demnach ca. die Hälfte der Mehrkosten in NRW „weggefördert“.

Haustyp	Passivhäuser				3-Liter-Häuser			
	Anzahl Projekte	Bauwerkskosten (300+400)	Gesamtförderung	Förderung in % zu BWK	Anzahl Projekte	Bauwerkskosten (300+400)	Gesamtförderung	Förderung in % zu BWK
EFH	99	237.000 €	9.990 €	4,22%	25	207.500 €	7.260 €	3,50%
DHH	21	177.400 €	8.110 €	4,57%	13	198.000 €	6.680 €	3,37%
REH	9	199.350 €	7.380 €	3,70%	1	/	/	/
RMH	13	196.930 €	6.200 €	3,15%	1	/	/	/
MFH	7	310.390 €	17.520 €	5,64%	0	/	/	/

Tab. 6
Durchschnittliche
Bauwerkskosten und
Förderung von
Passivhäusern und
3-Liter-Häusern,
n= 189 Projekte

3.3 Bauwerkskosten Massivbau/Holzbau im Vergleich

Die ursprünglichen Kostenvorteile von Holzkonstruktionen durch Vorfertigung und kurze Montagezeiten sind in den letzten Jahren durch den Entwicklungsprozess im Massivbau hin zum rationelleren und industriellen Bauen unter Verwendung von vorgefertigten Elementen weitgehend verloren gegangen. Dies bestätigen die folgenden Diagramme, die die Bauwerkskosten, die Kosten pro m² Wohnfläche und pro m³ Volumen von Massivbauten im Vergleich zu Holzbauten darstellen (Abb. 6 – 8). Die Betrachtung der absoluten Bauwerkskosten zeigt zunächst, dass die Massivbauprojekte im Passivhausstandard deutlich teurer als die Holzbauprojekte waren, während im 3-Liter-Haus-Standard nur ein geringfügiger Unterschied bestand.

Auf die Wohnfläche bezogen sind jedoch die Bauwerkskosten der Holzbauweise für die Passivhäuser sogar geringfügig höher als die der Massivbauweise, im 3-Liter-Haus-Standard gibt es keinen Unterschied in den Bauwerkskosten beider Bauweisen.

Bei einer Betrachtung der Bauwerkskosten über das beheizte Luftvolumen sind die Werte noch deutlicher: sowohl im Passivhausstandard als auch im 3-Liter-Haus-Standard sind die Kosten pro m³ Volumen beim Holzbau höher und zwar um 9,2 bzw. 6,1 %. Die höheren Absolutwerte von Passivhäusern in Massivbauweise können damit erklärt werden, dass ihre Wohnfläche in der Regel deutlich größer ist als bei Passivhäusern in Holzbauweise. Der Vergleich der Flächen- und Volumen Kennwerte zeigt jedoch einen Kostenvorteil für die Massivbauweisen.

Bauwerkskosten (Kostengruppe 300+400)

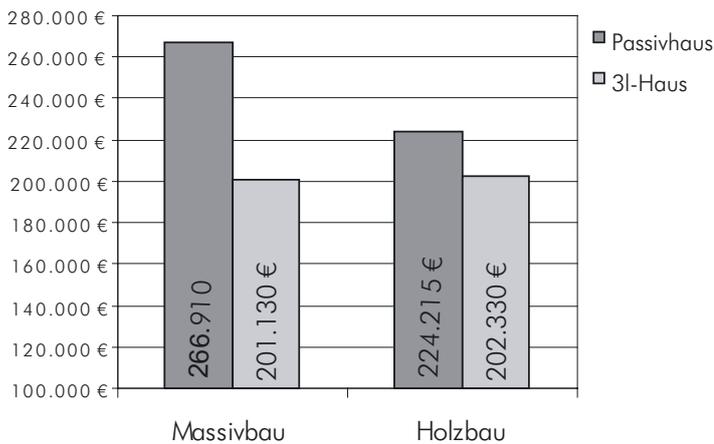


Abb. 6
Bauwerkskosten Massivbau/Holzbau für Passivhäuser und 3-Liter-Häuser im Vergleich, n = 197 Projekte

Bauwerkskosten/m² Wohnfläche

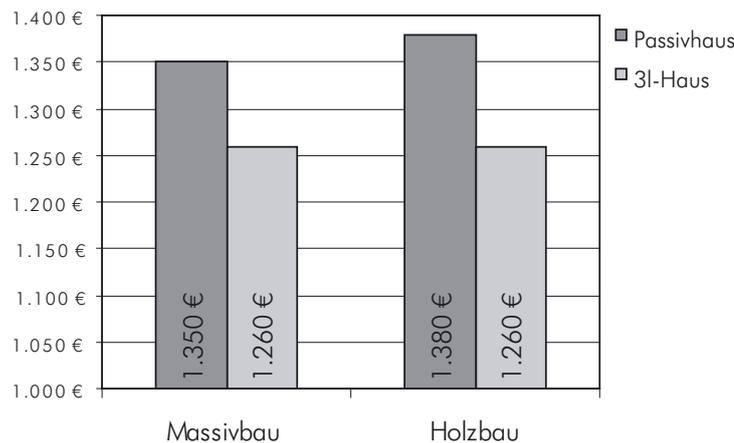


Abb. 7
Bauwerkskosten/m² Wohnfläche Massivbau/Holzbau für Passivhäuser und 3-Liter-Häuser im Vergleich, n = 161 Projekte

Bauwerkskosten/m³ Volumen

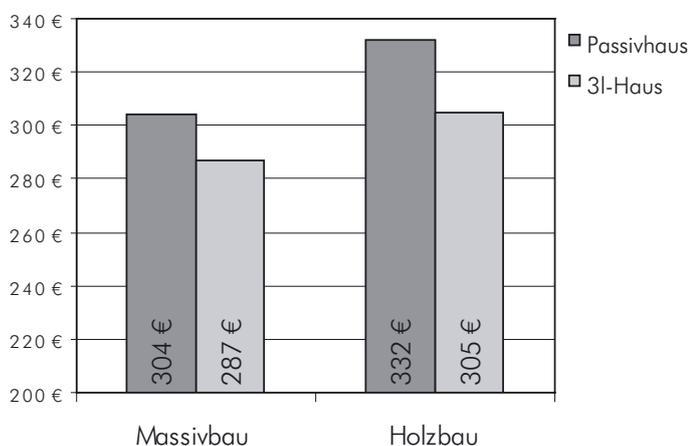


Abb. 8
Bauwerkskosten/m³ beheiztes Luftvolumen Massivbau/Holzbau für Passivhäuser und 3-Liter-Häuser im Vergleich, n = 185 Projekte

3.4 Bauteilkosten

Um die Kosten des energieeffizienten Bauens vertieft bewerten zu können, ist es interessant, die Kosten bestimmter Bauteilgruppen gesondert zu ermitteln. Sind es die gedämmten Fenster, die die Passivhausbauweise bis heute verteuern oder schlagen die enormen Dämmschichtstärken oder die Lüftungsanlage besonders zu Buche? Im folgenden wurden daher die Kosten der Fenster, der Dämmmaßnahmen sowie die der Lüftungsanlagen gesondert ermittelt. Schließlich wurden noch die Planungskosten ermittelt. Grundlage dieser Daten sind die Angaben aus den im Rahmen der Landesförderung erforderlichen Verwendungsnachweisen.

Eine Plausibilitätsprüfung der Angaben führte zum Ausschluss einiger Datensätze, so dass für die folgenden Auswertungen die freistehenden Einfamilienhäuser, Reihenhäuser und Doppelhaushälften jeweils zu einer Gruppe mit der Bezeichnung „EFH“ zusammengefasst wurden. Bezogen wurden die folgenden 3 Auswertungen der Bauteilkosten (Fenster, Dämmung, Lüftungsanlage) auf die durchschnittliche Wohnfläche und die durchschnittlichen Bauwerkskosten aller Projekte, für die hierzu Angaben vorlagen.

3.4.1 Kosten der Fenster

Die Fenster im Passivhaus sind in der Regel dreifachverglast mit gedämmten Rahmen und damit ein sehr teures Bauteil. Es zeigt sich, dass bei den Passivhäusern die Fensterkosten 9,6 % der Bauwerkskosten ausmachen, bei den Mehrfamilienhäusern liegen sie mit 8,6 % etwas darunter (Tab. 7). Die durchschnittliche m²-Zahl zeigt, dass die Mehrfamilienhäuser in der Regel recht klein sind. Es sind 17 Mehrfamilienhäuser mit insgesamt 55 WE, das bedeutet durchschnittlich 3,2 Wohneinheiten pro Mehrfamilienhaus mit einer Wohnungsgröße von 120 m².

Bei den 3-Liter-Häusern sind in der Regel normale zweifachverglaste Fenster mit ungedämmten Rahmen eingebaut. Die anteiligen Fensterkosten sind daher mit durchschnittlich 6,5 % der Bauwerkskosten deutlich geringer.

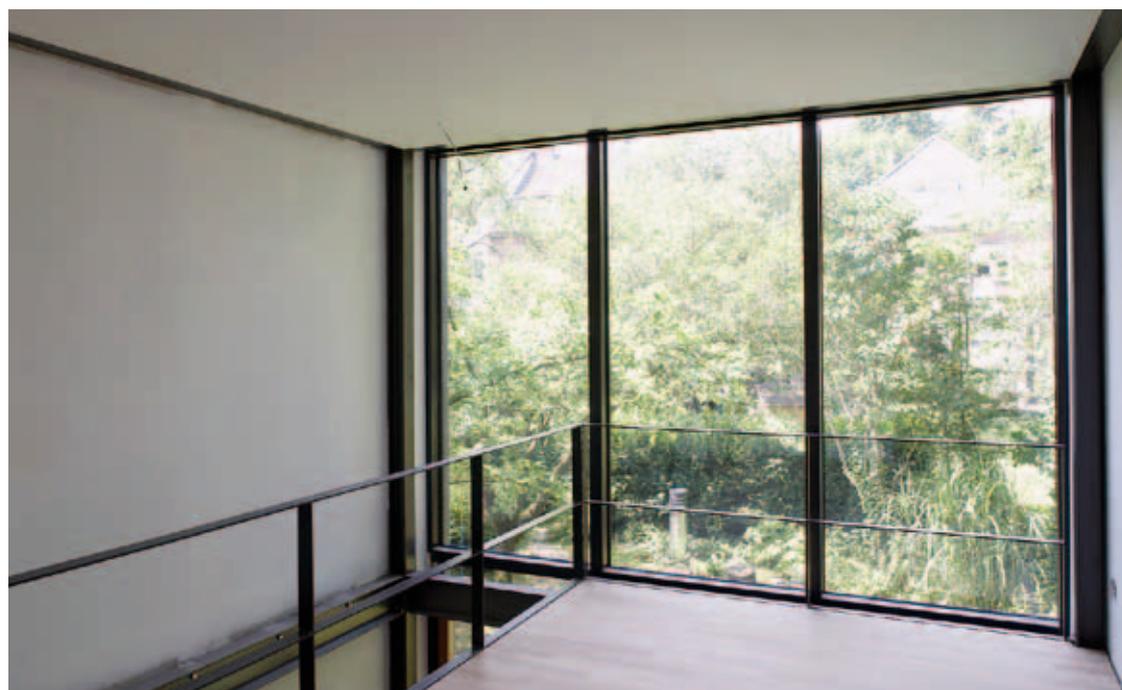
Tab. 7
Durchschnittliche Bauwerkskosten und anteilige Kosten der Fenster PH und 3-Liter-Haus-Standard, n= 136 Projekte

Haustyp	Durchschnittl. m ² Wohnfläche	Bauwerkskosten	Kosten Fenster	Kosten Fenster/m ² Wohnfläche	Prozentuale Kosten Fenster/BWK
EFH Passivhäuser ¹	171 m ²	216.770 €	20.880 €	122 €	9,6%
MFH Passivhäuser	326 m ²	310.390 €	26.680 €	82 €	8,6%
EFH 3-Liter-Häuser ²	151 m ²	201.460 €	13.140 €	87 €	6,5%

¹ Wegen der geringen Datengrundlage wurden für diese Auswertung Einfamilienhäuser, Reihenhäuser und Doppelhaushälften zu „EFH“ zusammengefasst.
² Auf die Auswertung mit Mehrfamilienhäusern im 3-Liter-Haus-Standard wurde wegen der unzureichenden Datengrundlage verzichtet.

Tab. 8
Prozentuale Kosten von Holz- und Kunststofffenstern im Verhältnis zu den Bauwerkskosten bei PH und 3-Liter-Häusern

	Passivhaus		3-Liter-Haus	
	Anzahl Projekte	Prozentuale Kosten Fenster/BWK	Anzahl Projekte	Prozentuale Kosten Fenster/BWK
Holzfenster	67	10,4%	15	7,1%
Kunststofffenster	31	12,1%	10	6,1%



Fenster Passivhaus Lüker, Aachen



**Bürogebäude W. Ernst,
„Biohaus Paderborn“**

Detailuntersuchung Fenstermaterialien

Interessant ist der Vergleich der Fensterkosten von passivhausgeeigneten Holzfenstern (Holz-Alu-Fenster wurden hier mit eingerechnet) mit Kunststofffenstern. Kunststofffenster gelten in der Regel als preiswerter und werden auf Grund der geringeren Pflegeanforderungen vor allem in Bauträgermaßnahmen und Mietwohnungen bevorzugt eingesetzt.

Eine detaillierte Untersuchung der Kosten im Verhältnis zu den abgerechneten Bauwerkskosten dieser Projekte (Tab. 8) zeigt allerdings, dass die Kosten von 67 untersuchten Projekten mit Holzfenstern im Mittel 10,4 % der Bauwerkskosten ausmachten. Die Kosten der Kunststofffenster von 31 untersuchten Projekten lagen deutlich höher, nämlich bei 12,1 %.

In den 3-Liter-Häusern werden überwiegend ungedämmte Fenster eingesetzt. Hier liegen die Fensterkosten im Verhältnis zu den Bauwerkskosten von 15 untersuchten Projekten mit Holzfenstern bei 7,1 % der abgerechneten Bauwerkskosten und damit geringfügig höher als bei den Kunststofffenstern mit 6,1 % der Bauwerkskosten (10 untersuchte Projekte).

3.4.2 Kosten der Dämmmaßnahmen

Die Kosten der Dämmmaßnahmen verursachen bei den Passivhäusern 6,8 % (EFH) und 5,7 % (MFH) der Bauwerkskosten, bei den 3-Liter-Häusern 5,7 %. Sie liegen bei beiden Dämmstandards deutlich unter den Fensterkosten (Tab. 9).

Haustyp	Wohnfläche	Bauwerkskosten	Kosten Dämmung	Kosten Dämmung/m ² Wohnfläche	Kosten Dämmung/BWK
EFH Passivhäuser ¹	171 m ²	216.770 €	14.840 €	87 €	6,8%
MFH Passivhäuser	326 m ²	310.390 €	17.660 €	54 €	5,7%
EFH 3-Liter-Häuser ²	151 m ²	201.460 €	11.465 €	76 €	5,7%

¹ Wegen der geringen Datengrundlage wurden für diese Auswertung Einfamilienhäuser, Reihenhäuser und Doppelhaushälften zu „EFH“ zusammengefasst.

² Auf die Auswertung mit Mehrfamilienhäusern im 3-Liter-Haus-Standard wurde wegen der unzureichenden Datengrundlage verzichtet.

Tab. 9
Durchschnittliche Bauwerkskosten und anteilige Kosten der Dämmmaßnahmen PH und 3-Liter-Haus-Standard, n = 42 Projekte

3.4.3 Kosten der Lüftungsanlagen und Luftdichtigkeitsmessungen

Die Kosten der Lüftungsanlagen zeigt Tabelle 10. Überraschend ist, dass die zentralen Lüftungsanlagen in Mehrfamilienhäusern geringfügig höhere Kosten im Verhältnis zu den Bauwerkskosten (5,5 %) verursachen als die Lüftungsanlagen in Einfamilienhäusern (5,1 %). Deutlich preiswerter sind die Lüftungsanlagen in den 3-Liter-Häusern (3,1 % der BWK). Leider gibt es bei den 3-Liter-Häusern noch keine ausreichenden Daten über abgerechnete Mehrfamilienhäuser, so dass hier keine Aussage getroffen werden kann.

Bei einer Betrachtung der Kosten der Lüftungsanlage über die Wohnfläche relativieren sich diese Mehrkosten wieder. Erwartungsgemäß ist hier die Lüftungsanlage für Einfamilienhäuser im PH-Standard mit 65 €/m² am teuersten.

Kosten der Luftdichtigkeitsmessungen

Die Kosten der Blower-Door-Messungen liegen bei den Einfamilienhäusern (PH) bei im Durchschnitt bei 437,- €, bei den Mehrfamilienhäusern (PH) bei 324,- € je Wohneinheit. Bei den Einfamilienhäusern im 3-Liter-Haus-Standard liegen sie bei 409,- €.

Haustyp	Wohnfläche	Bauwerkskosten	Kosten Lüftungsanlage	Kosten Lüft.anl./m ² Wohnfläche	Kosten Lüft.anl./BWK
EFH Passivhäuser ⁸	171 m ²	216.770 €	11.035 €	65 €	5,1%
MFH Passivhäuser	326 m ²	310.390 €	17.213 €	53 €	5,5%
EFH 3-Liter-Häuser ⁹	151 m ²	201.460 €	6.183 €	41 €	3,1%

⁸ Wegen der geringen Datengrundlage wurden für diese Auswertung Einfamilienhäuser, Reihenhäuser und Doppelhaushälften zu „EFH“ zusammengefasst.
⁹ Auf die Auswertung mit Mehrfamilienhäusern im 3-Liter-Haus-Standard wurde wegen der unzureichenden Datengrundlage verzichtet

Tab. 10

Bauwerkskosten und anteilige Kosten der Lüftungsanlagen PH und 3-L-Haus-Standard, n= 144 Projekte.

3.4.4 Exkurs: Vergleich externer Kostendaten mit eigenen Auswertungen

Die passivhausbedingten Mehrkosten können immer nur versuchsweise betrachtet werden, denn um belastbare Daten vorlegen zu können, müsste am gleichen Standort ein Gebäude im Passivhausstandard und eines im gesetzlich vorgeschriebenen EnEV-Standard realisiert werden, wobei die Ausstattungswünsche der Bewohner genau gleich sein müssten, um keine dadurch bedingten Verschiebungen in den Bauwerkskosten vorliegen zu haben.

Versuchsweise wird eine Aussage zu Mehrkosten des Passivhausstandards aus einer aktuellen Quelle herangezogen. Anlässlich der 10. Passivhaustagung 2006 hat die Informationsgemeinschaft Passivhaus folgende Rechnung zu Mehrinvestitionen veröffentlicht.

„Die bessere Wärmedämmung erfordert mehr Dämmstoff und seine Anbringung, die besseren Fenster eine beschichtete Scheibe mehr und einen gedämmten Fensterrahmen, die Wärmerückgewinnung ein Luftkanalnetz:

• Mehrinvestition Wärmedämmung Wand, Dach, Bodenplatte	4.800 €
• Mehrinvestition Passivhausfenster	5.400 €
• Mehrinvestition Lüftung mit Wärmerückgewinnung	5.200 €
• Minderinvestition Kamin, Öltank, Kessel, Heizkörper, Ersatz durch Kompaktgerät (den zusätzlichen nutzbaren Raum rechnen wir nicht)	-2.300 €
• Summe aller zusätzlichen Investitionskosten	13.100 €

Um auf der sicheren Seite zu bleiben, werden für die weitere Rechnung 15.000 € zusätzliche Investitionen angenommen. Dafür ist der Passivhaus-Standard auf jeden Fall zu schaffen. Das sind etwa 8 % der durchschnittlichen gesamten Baukosten für ein solches Haus in Deutschland.“
 [IG Passivhaus, 2006]

Zur Betrachtung der passivhausbedingten Mehrkosten innerhalb dieser Untersuchung können hilfsweise die ermittelten durchschnittlichen Kosten für die in 3.4.1, 3.4.2 und 3.4.3 betrachteten Bauteile Fenster, Dämmmaßnahmen und Lüftung herangezogen werden und in den beiden Standards miteinander verglichen werden. Wegen der fehlenden Datengrundlage ist hier allerdings nur ein Vergleich zwischen EFH in Passivhausbauweise und im 3-Liter-Haus-Standard möglich.

Der 3-Liter-Haus-Standard überschreitet grundsätzlich die Anforderungen nach EnEV deutlich, das bedeutet, dass die passivhausbedingten Mehrkosten verglichen mit dem gesetzlichen EnEV-Standard mindestens in der ermittelten Größenordnung liegen dürften. Im Vergleich zur Untersuchung der IG Passivhaus zeigt sich, dass die Mehrkosten für die Fenster der untersuchten Passivhausprojekte deutlich höher sind, während die Kosten für die Dämmmaßnahmen deutlich niedriger und die Mehrkosten für die Lüftungsanlagen geringfügig niedriger liegen. Berücksichtigt man den gleichen Abschlag für den Wegfall des konventionellen Heizsystems (minus 2.300 €), summieren sich die passivhausbedingten Mehrkosten gegenüber dem 3-Liter-Haus-Standard auf 13.667 € und liegen damit nur um 567 € höher als in der Aufstellung der IG Passivhaus. Die Datengrundlage dieser Untersuchung enthält vorwiegend Projekte aus den Anfangsjahren der Passivhausförderung in NRW, die überwiegend im Zeitraum von ca. 2000 bis 2003 realisiert wurden, während die Angaben der IG Passivhaus sich auf das aktuelle Kalenderjahr 2006 beziehen. Somit erklärt sich einerseits die Kostendifferenz, andererseits ist dieser Vergleich aber auch ein Beleg für die Plausibilität der Daten.

3.4.5 Planungskosten

Ein Vergleich der Planungskosten zeigt, dass der Aufwand für die Planung eines Passivhauses verglichen mit der Planung eines 3-Liter-Hauses noch einmal deutlich ansteigt.

Im Verhältnis zu den Bauwerkskosten steigt der Aufwand um 23 % an (von 6,9 auf 8,5 %), setzt man die Planungskosten zu den durchschnittlichen Wohnflächen ins Verhältnis, entsteht ein Mehraufwand von 17,4 % (von 92 € auf 108 €/m² Wfl). In den abgerechneten PH-Mehrfamilienhäusern ist der Aufwand noch einmal höher. Gegenüber EFH im Passivhausstandard ist er bei einer Betrachtung über die Wohnfläche gleich hoch, bei einer Betrachtung über die Bauwerkskosten ist er jedoch mit 11,4 zu 8,5 % deutlich höher. Das ist vermutlich dadurch verursacht, dass der Passivhausstandard im Bereich der Mehrfamilienhäuser bislang weniger verbreitet ist als im EFH-Bereich. Für die beteiligten Architekten und Ingenieure bedeutete dieses z. Zt. noch einen höheren Planungsaufwand.

	Fenster	Dämmung	Lüftung	Summen
EFH Passivhäuser	20.880 €	14.840 €	11.035 €	46.755 €
EFH 3-Liter-Häuser	13.140 €	11.465 €	6.183 €	30.788 €
Differenz (dieser Untersuchung)	7.740 €	3.375 €	4.852 €	15.967 €
Differenz laut [IG Passivhaus 2006]	5.400 €	4.800 €	5.200 €	15.400 €
Unterschied der Mehrkosten	+ 2.340 €	- 1.425 €	- 348 €	+ 567 €

Tab. 11
Mittlere Kosten relevanter Bauteile von Einfamilienhäusern im Passivhaus- und 3-Liter-Haus-Standard im Vergleich und im Vergleich zu einer Untersuchung zu Mehrkosten der IG Passivhaus

Haustyp	Wohnfläche	Bauwerkskosten	Planungskosten	Planungskosten m ² /Wfl.	Planungskosten/Bauwerkskosten
EFH Passivhäuser	171 m ²	216.770 €	18.510 €	108 €	8,5%
MFH Passivhäuser	326 m ²	310.390 €	35.275 €	108 €	11,4%
EFH 3-Liter-Häuser	151 m ²	201.460 €	13.855 €	92 €	6,9%

Tab. 12
Planungskosten PH und 3-Liter-Haus-Standard, n = 98 Projekte



4 Auswertung der Energieverbräuche und Bewohnerzufriedenheit

4.1 Zielsetzung und Vorgehensweise

Die folgende Untersuchung beschäftigt sich mit der Frage, wie gut die energetische Qualität der geförderten Projekte tatsächlich ist. Es wird diskutiert, in wie weit die durch die Förderrichtlinien definierten Grenzwerte eingehalten werden. Auf Grund der höheren Bedeutung für die zukünftige Förderung und auf Grund der höheren Anzahl bisher geförderter Projekte zielt die Studie in der Hauptsache auf die Passivhäuser.

Für die Passivhäuser ist im Antragsverfahren eine Berechnung mit dem Passivhaus-Projektierungs-Paket [1] durchzuführen, um die Einhaltung des Grenzwertes für den spezifischen Jahresheizwärmebedarf von 15 kWh/(m² a) nachzuweisen. Darüber hinaus ist für diesen Gebäudetyp ein Grenzwert für den spezifischen Primärenergiebedarf von 120 kWh/(m² a) definiert. Dieser Grenzwert beinhaltet Annahmen sowohl für den Warmwasserbedarf, den Strombedarf der Pumpen und Ventilatoren als auch für den Energiebedarf der Haushaltsgeräte und umfasst damit den Gesamtenergiebedarf des Gebäudes.

Die Anforderungen an 3-Liter-Häuser bzw. an die passiv-solare Bauweise sind etwas anders definiert. Hier ist lediglich ein Grenzwert für den Heizwärmebedarf einzuhalten. Dieser beträgt bei den 3-Liter-Häusern 35 kWh/(m² a) und bei der passiv-sola-ren Bauweise 40 % des jeweiligen Grenzwertes der WSchV 1995. Diese Häuser werden zudem nur im Rahmen von Solarsiedlungen gefördert.

Neben der Bewertung der energetischen Qualität wurde die Zufriedenheit mit dem Leben im Passivhaus untersucht.

Zu diesem Zweck wurden in einem ersten Schritt die tatsächlichen Verbrauchsdaten der geförderten Gebäude ermittelt und ausgewertet. Die ermittelten Energieverbräuche wurden anschließend in Kennwerten zusammenfasst und mit den Förderrichtlinien verglichen. Einige abweichende Gebäude wurden exemplarisch begutachtet, um vorhandene Einsparpotenziale aufzudecken und ggf. typische Mängel zu ermitteln. Zudem wurde in einem zweiten Schritt eine Befragung zur Nutzerzufriedenheit als weiterer zentraler Bewertungspunkt für die Qualität der Gebäude durchgeführt. Die Nutzerzufriedenheit ist natürlich stark durch subjektives Empfinden geprägt. Durch die Vielzahl der geförderten Projekte ist es jedoch möglich, auf einen umfangreichen Datenbestand zurückzugreifen. Es erscheint daher zulässig, generelle Tendenzen über die Gebäude aus dieser Befragung abzuleiten.

Passivhaus Paschen, Hamm



Die Basis der Untersuchung bilden zwei Fragebögen, die separat an die Bewohner der geförderten Projekte verschickt wurden. Nach der Rücksendung der Fragebögen wurden diese manuell in ein EDV-System eingepflegt und in mehreren Schritten verifiziert. Die Qualitätssicherung beinhaltet dabei auch das gezielte Nachfragen bei einer nicht eindeutigen Datelage. Gerade im Bereich der Verbrauchsdatenerfassung wurde die gelieferte Qualität der Daten sehr detailliert analysiert und bewertet. Unzureichende Informationen wurden von der weiteren Betrachtung ausgeschlossen.

Auf der Grundlage der festgeschriebenen Datenbasis wurden anschließend weiterführende Analysen durchgeführt. Die beiden Fragebögen wurden dabei mit Hilfe unterschiedlicher Verfahren statistisch ausgewertet. Dabei konnten vorhandene Korrelationen zwischen einzelnen Antworten herausgearbeitet werden.

Zusätzlich zu den Passivhäusern wurden, wie erwähnt, auch Passiv-Solar- und 3-Liter-Häuser im Rahmen von Solarsiedlungen durch das Land NRW gefördert. Diese Projekte wurden mit den gleichen Befragungen untersucht und bewertet. Die unterschiedlichen energetischen Standards werden in den vorliegenden Ergebnissen jedoch weitestgehend separat betrachtet.

Um die unterschiedlichen Projekte miteinander vergleichen zu können, musste auf der energetischen Seite ein einheitliches Bewertungsschema entwickelt werden. Dieses Bewertungsschema wird ausführlich in Kap. 4.3.2, Energieklassen, beschrieben. Durch die eingeführte Klassifizierung wurde es möglich, eine direkte Kopplung der Energieverbräuche mit der vorhandenen Nutzerbefragung herzustellen.

4.2 Datengrundlage

Im folgenden Kapitel wird die Datengrundlage erläutert, auf der die nachfolgenden Ergebnisse aufbauen. Neben der Beschreibung der Fragebögen wird auch auf die Qualität der Antworten eingegangen.

Mit dem vom ILS NRW speziell entwickelten Fragebogen (s. Anhang Kap. 7.1) wurden alle jährlichen Verbräuche für die einzelnen Energieträger seit dem Erstbezug der Gebäude erfasst. Neben der Abfrage der Zählerstände beinhaltet die Abfrage auch Liefermengen und -datum von zusätzlichen Energieträgern wie Holz, Flüssiggas und Biomasse. Zudem wurde die technische Ausstattung der Gebäude – bestehend aus der Raumluftechnik, den Heizungssystemen und der Warmwassererzeugung – erfragt.

Den erfassten Energieverbräuchen stehen bei vielen Gebäuden zusätzliche Gewinne durch solarthermische bzw. fotovoltaische Anlagen gegenüber, sodass auch diese Anlagen und ggf. vorhandene Zwischenzähler ebenfalls in die Auswertung mit eingeflossen sind.

Die Auswertung der Fragebögen hat jedoch gezeigt, dass in den wenigsten Fällen genügend Unterzähler zur Aufsplittung der einzelnen Energieströme vorhanden sind. So ist es auf Grund der Versorgungsstruktur nur selten möglich, den Heizwärmeverbrauch von der Warmwassererzeugung zu entkoppeln.

Im Rahmen der durchgeführten Befragungsaktion zum Energiebedarf wurden 210 Erfassungsbögen verschickt. Der Rücklauf betrug 176 Fragebögen. Von diesen 176 Projekten wurden 51 Fragebögen als für diese Untersuchung unbrauchbar eingestuft. Der Hauptgrund für diese Ausgrenzung ist in den zu kurzen Erfassungszeiträumen seit dem

Erstbezug zu finden. Die Nutzung dieser Projekte umfasste z. B. keine aussagekräftige Verbrauchsperiode. Des Weiteren gibt es Projekte, bei denen sich unschlüssige Daten auch durch Hinterfragung nicht plausibel erklären ließen.

Die Bewertung der energetischen Qualität basiert somit auf 125 Projekten, von denen vollständige Energieverbräuche aus mindestens einem Abrechnungsjahr vorliegen. Die Projekte verteilen sich über das gesamte Fördergebiet Nordrhein-Westfalen. Bei der Qualität der Daten ist immer zu beachten, dass die Verbräuche von den jeweiligen Bewohnern erfasst wurden und keiner direkten Kontrolle unterlagen. Ungenauigkeiten können durch veränderte Ablesesyklen oder Fehlinterpretation der Zählerstände entstehen. Insbesondere trifft dies für Energieträger wie z. B. Holzpellets oder Heizöl zu, die unregelmäßig in größeren Mengen geliefert werden.



Als zweite Säule der Untersuchung wurde die Bewohnerzufriedenheit in einem separaten Erfassungsbogen abgefragt, der im Folgenden als Nutzerfragebogen bezeichnet wird. Dieser Nutzerfragebogen wurde ebenfalls an alle geförderten Projekte geschickt, von denen ein Verwendungsnachweis vorliegt. Von den 210 verschickten Exemplaren wurden 161 beantwortet. Der Nutzerfragebogen umfasst insgesamt 39 Fragen und ist im Anhang (Kap. 7.2) dargestellt.

Innerhalb einzelner Fragebögen sind dabei unzureichende Angaben aufgetreten. Diese beziehen sich allerdings in der Regel auf wenige Antworten, sodass in diesen Fällen der restliche Fragebogen als gültig deklariert wurde. Mögliche Fehlerquellen sind nicht beantwortete Fragen oder Mehrfachantworten in nicht zulässigen Bereichen. Durch diese Tatsache schwankt die Anzahl der gültigen Antworten je Frage.

Der Nutzerfragebogen behandelt folgende Themenkomplexe:

- Motivation zur Erstellung eines Passivhauses/3-Liter-Hauses
- Behaglichkeit im Sommer und im Winter
- Technische Ausstattung
- Bauabwicklung
- Bauphysik
- Bedienung des Passivhauses/3-Liter-Hauses
- Nutzerverhalten

Auf Grund der zweigeteilten Datenerfassung weichen die Datenbestände der Energieverbräuche und der Nutzerzufriedenheit voneinander ab. Es gibt somit Nutzerfragebögen, denen keine Verbrauchsdaten zugeordnet werden können und umgekehrt. Eine Kopplung der Fragebögen zur Bestimmung von Korrelationen zwischen der Nutzerzufriedenheit und der energetischen Qualität war daher nur für insgesamt 101 Fragebögen möglich. Bei den untersuchten Objekten dieser Studie handelt es sich zum größten Teil um Passivhäuser. Bei der Bewohnerbefragung haben beispielsweise insgesamt 115 Passivhäuser teilgenommen. Die restlichen 46 Objekte wurden im Passiv-Solar- bzw. im 3-Liter-Haus-Standard gebaut.

Bei der Auswertung eines Fragebogens stellt sich generell die Frage, in wie weit die Befragten einer Institution, die finanzielle Fördermittel zur Verfügung gestellt hat, eine ehrliche und umfassende Antwort über die Nutzung bzw. die Qualität des jeweiligen Gebäudes geben. Diese Befürchtung wurde durch die zahlreichen persönlichen Gespräche mit den Nutzern in der vorliegenden Studie nicht bestätigt. In vielen Fällen wurde gar der Eindruck vermittelt, dass den Bewohnern ein reger Erfahrungsaustausch zum Leben im Passivhaus sehr wichtig ist.

4.3 Grundlagen der Auswertung

4.3.1 Bewertungsschema Energieverbrauch

Für die Bewertung der Energieverbräuche war es auf Grund der unterschiedlichen Gebäude erforderlich, diese zu normieren. Die nachfolgenden Kennzahlen beziehen sich daher auf die Energiebezugsfläche (beheizte Nettogrundfläche) des jeweiligen Objektes. Eine alternative Betrachtung, wie der Bezug der Verbräuche auf die Anzahl der Bewohner, war auf Grund der vorhandenen Datenlage nicht durchgängig möglich. Die verwendeten Kennzahlen spiegeln somit den Nutzereinfluss im Passivhaus nur bedingt wieder.

Eine weitere Schwierigkeit bei der Bewertung der Energieverbrauchszahlen liegt in der unterschiedlichen Ausstattung der einzelnen Projekte begründet. So werden einzelne Wohngebäude parallel als Büro genutzt (Homeoffice), sodass sich auch die Nutzungen vermischen. Auch dieser Aspekt musste bei der Auswertung vernachlässigt werden. Die nachfolgend beschriebenen Kennwerte sind Mittelwerte über den eingereichten Zeitraum der Energiedaten.

Die Zeiträume schwanken entsprechend des Fertigstellungsdatums zwischen einem und fünf Jahren. Die Kennzahlen, denen kurze Zeiträume zu Grunde liegen, sind in der Regel mit einigen Unsicherheiten behaftet. Dieser Tatsache wurde durch eine ausführliche Qualitätskontrolle bei der Dateneingabe Rechnung getragen. Die Fälle, in denen sich die Daten als unsicher dargestellt haben, wurden von der weiteren Auswertung ausgeschlossen. Als Ausschlusskriterien wurden hierbei auch unerklärliche Ausreißer bei den Kennzahlen nach oben und nach unten definiert.

Des Weiteren wurden ausschließlich Projekte ausgewertet, bei denen die Datenlage ausreichend war, um die nachfolgenden Kennzahlen zu bilden. Durch diese Ausschlusskriterien ist der hohe Anteil der unbrauchbaren Energiedaten (vgl. Kap. 4.1) zu erklären.

K_{Strom}

Die Kennzahl K_{Strom} bezieht den jährlichen Stromverbrauch eines Objektes auf die Energiebezugsfläche. Wie bereits beschrieben, handelt es sich um einen über den gesamten Verbrauchszeitraum gemittelten Wert. Die Kennzahl hat die Einheit kWh/(m² a).

Die Kennzahl bezieht sich auf die Systemgrenze des gesamten Objektes. Sie beinhaltet somit neben dem Haushaltsstrom den Stromverbrauch für die Restheizung und den Hilfsstrom. Hinter dem Begriff Hilfsstrom verbergen sich die Verbräuche für Pumpen, Ventilatoren und sonstige technische Einrichtungen.

Eine Differenzierung dieser Verbrauchergruppen ist in der Regel nicht möglich. In vielen Fällen reichen die installierten Zähler nicht aus, um einzelne Bereiche getrennt von einander zu betrachten.

K_{Ver}

Neben dem Medium Strom, das teilweise zur Beheizung und Warmwasserbereitung verwendet wird, werden zur Wärmeerzeugung weitere Energieträger eingesetzt wie Erdgas, Heizöl, Holz, Holzpellets, Biomasse und Flüssiggas. Des Weiteren werden einzelne Objekte mit Fern- bzw. Nahwärme versorgt.

Da in den meisten Objekten keine Wärmemengenzähler eingebaut sind, kann der Nutzwärmeverbrauch für Heizung und Warmwasser nicht getrennt abgelesen werden. Zudem kann in den wenigsten Fällen eine Unterscheidung zwischen Restheizung und Warmwassererzeugung getroffen werden.

Zur Generierung einer Kennzahl für den Heizwärmeverbrauch (K_{Heiz}) werden daher zunächst die Energieströme für die Beheizung und Warmwasserbereitung in einer gemeinsamen Kennzahl K_{Ver} zusammengefasst. Die Kennzahl K_{Ver} hat die Einheit kWh/(m²a) und repräsentiert den Endenergieverbrauch für die Beheizung und die Warmwasserbereitung. Für die Berechnung der Kennzahl werden die verschiedenen Heizwerte der unterschiedlichen Energieträger gemäß Tab. 13 berücksichtigt.

Die Ermittlung dieser Kennzahl stößt an ihre Grenze, wenn der Nutzer auf der Stromseite keine separaten Daten zur Verfügung stellen konnte. In diesem Fall verbergen sich die Verbräuche der elektrisch betriebenen Systeme der Wärmeversorgung im Gesamtstromverbrauch und können nicht einzeln ausgewiesen werden.

Energieträger	Messeinheit	Heizwert
Erdgas	m ³	9,3 kWh/m ³
Heizöl EL	Liter	10 kWh/l
Hozpellets	kg	4,51 kWh/kg
Holz	rm	1906 kWh/rm
Holz	kg	3,89 kWh/kg
Flüssiggas	kg	12,8 kWh/kg
Flüssiggas	Liter	6,52 kWh/l
Strom (Verbrauch)	KWh	1 kWh/kWh

Tab. 13
Heizwerte

K_{Heiz}

Wie bereits beschrieben wurde, ist es in den meisten Fällen nicht möglich, direkt den Heizwärmeverbrauch zu bestimmen. Neben der Tatsache, dass die Warmwassererzeugung in der Regel über den gleichen Zähler wie die Nachheizung abgerechnet wird, erschweren die thermischen Gewinne der vorhandenen Solarkollektoren die Erstellung von Kennwerten für die Warmwasserversorgung.

Um die vorliegenden Daten dennoch bewerten zu können, wurden Annahmen für den Warmwasserverbrauch getroffen. So wurde ein durchschnittlicher Verbrauch von 12,5 kWh/(m² a) angenommen [2]. Im Fall einer vorhandenen Solaranlage wurde ein mittlerer solarer Deckungsgrad von 60 % veranschlagt.

Einen Sonderfall stellen zudem sogenannte Wärmepumpenkompaktaggregate dar. Diese Geräte dienen neben der kontrollierten Wohnungslüftung der Wärme- bzw. Warmwasserversorgung in Passivhäusern. Sie nutzen neben der integrierten Wärmerückgewinnung einen Wärmepumpenprozess zur Deckung des Wärmebedarfs. Der Wärmepumpenprozess bedient sich der Restwärme aus der Abluft. Die Nachheizung der Zuluft erfolgt über ein eingebautes Nachheizregister, welches mit warmem Wasser durchströmt wird.

Diese Kompaktaggregate verfügen in der Regel nur über einen Stromzähler. Somit muss zur Bestimmung des Heizwärmeverbrauchs die Leistungszahl der Wärmepumpe berücksichtigt werden. Es wurde eine Jahresarbeitszahl für das Gesamttaggregat von 3 angenommen.

Mit Hilfe dieser Angaben kann aus dem Kennwert K_{Ver} und dem Umrechnungsfaktor von 3 bei Wärmepumpen-kompaktaggregaten ein weiterer Kennwert K_{Heiz} bestimmt werden.

Dieser Heizenergiekennwert repräsentiert näherungsweise den Heizwärmeverbrauch des untersuchten Objektes. In diesem Kennwert sind jedoch die Verteilungs- und Umwandlungsverluste enthalten.

Der Kennwert K_{Heiz} kann nun wie folgt ermittelt werden:

$$K_{\text{Heiz}} = K_{\text{Ver}} - (12,5 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a}) \cdot f^{\text{solar}})$$

mit
 $f^{\text{solar}} = 0,4$
falls Kollektor vorhanden

$f^{\text{solar}} = 1$
falls kein Kollektor vorhanden

Im Falle eines Wärmepumpenkompaktaggregates wurde der Kennwert K_{Ver} mit 3 multipliziert.

$K_{\text{Primär}}$

Eine weitere Kennzahl zur Bewertung der energetischen Qualität liefert der Primärenergiekennwert. Bei dieser Kennzahl werden sämtliche Energieströme, die in das Gebäude führen, primärenergetisch bewertet.

Der Primärenergiekennwert wurde mit dem Globalen Emissions-Modell Integrierter Systeme (GEMIS) [3] berechnet und wird ebenfalls in kWh/(m² a) angegeben. Die verwendeten Primärenergiefaktoren sind in Tabelle 14 dargestellt.

4.3.2 Energieklassen

Nach der Erstellung der vergleichbaren Kennzahlen folgte nun die Einordnung der erzielten Ergebnisse. Zu diesem Zweck mussten Grenzwerte für die beschriebenen Kennzahlen ermittelt werden. Durch diese Grenzwerte war es möglich, die einzelnen Projekte in Energieklassen zusammen zu fassen.

Somit konnte eine direkte Bewertung der energetischen Qualität auch über die Grenzen der verschiedenen energetischen Standards hinaus erfolgen. Die Kennwerte waren dabei so zu wählen, dass sie einen direkten Bezug zu den Förderrichtlinien herstellen.

Da sich der Heizenergiekennwert nur näherungsweise bestimmen ließ, wurde für die Bewertung der Passivhäuser der Primärenergiekennwert $K_{\text{Primär}}$ verwendet. Diese Kennzahl stellt die verlässlichste Vergleichsmöglichkeit dar. Laut Passivhausprojektierungspakt (PHPP 2004) ist ein Primärenergiekennwert von 120 kWh/(m² a) maßgeblich. Dieser Kennwert beinhaltet sämtliche Energien inklusive des Haushaltstroms und wird im Folgenden als Bemessungswert für die energetische Qualität der untersuchten Passivhäuser verwendet.

Da es im Bereich der 3-Liter-Häuser bzw. bei den Häusern in passiv-solarer Bauweise keine Festlegung eines Primärenergiegrenzwertes gibt, wurden für diese Projekte separate Grenzwerte definiert.

Diese Grenzwerte beziehen sich auf den ermittelten Heizwärmeverbrauch. Für das 3-Liter-Haus ist dabei ein Grenzwert von 35 kWh/(m² a) definiert.

Häuser in der passiv-solaren Bauweise dürfen laut ihrer Definition nur 40 % des zulässigen Wertes der WSchV' 1995 verbrauchen. Da die zulässigen Werte nach WSchV' 1995 für die einzelnen Projekte in der Regel nicht vorlagen, wurde ein durchschnittlicher Verbrauch von 100 kWh/(m² a) zu Grunde gelegt. Hieraus ergibt sich für den Gebäudetyp mit passiv-solarer Bauweise ein Grenzwert von 40 kWh/(m² a) für den Heizwärmeverbrauch.

Unter der Zuhilfenahme dieser Grenzwerte wurde ein Energieklassenschema entwickelt. Dieses Schema ist in Tab. 15 dargestellt. Die Energieklasse richtet sich nach der Abweichung von dem oben definierten Grenzwert. Die Einhaltung des Grenzwertes ergibt somit eine Energieklasse von 3 oder besser.

Bei der Betrachtung der Ergebnisse werden die Passiv-Solaren- und die 3-Liter-Häuser in einer Klasse zusammengefasst. Diese Gruppierung ist sinnvoll, da die betrachteten Objekte in ihrer Ausstattung und Gesamtkonzeption sehr ähnlich sind.

4.3.3 Statistische Grundlagen

Die nachfolgenden Ergebnisse wurden mittels statistischer Verfahren ermittelt, die im Folgenden kurz beschreiben werden.

Die einzelnen Fragen der Erhebungsbögen wurden über den gesamten Datenbestand ausgewertet und in der Form einer Häufigkeitsverteilung dargestellt. Eine Häufigkeitsverteilung ist eine Funktion, die angibt, wie oft der Wert in dem gewählten Datenbestand vorkommt. Im vorliegenden Fall wurden auf diese Weise die möglichen Antworten auf einzelne Fragen untersucht.

Energieträger	Primärenergiefaktor [kWh _{Primär} /kWh _{End}]
Erdgas H	1,14
Flüssiggas	1,13
Heizöl EL	1,13
Holzpellets	1,16
Brennholz	1,01
Strom-Mix	2,98

Tab. 14
Primärenergiefaktoren

Abweichung vom Grenzwert	Energieklasse
< 50%	1
50% – 80%	2
81% – 100%	3
101% – 120%	4
121% – 150%	5
> 150%	6

Tab. 15
Energieklassen

Des Weiteren wurde eine Korrelationsmatrix aller Antworten berechnet. Eine Korrelation ist eine Beziehung zwischen zwei oder mehreren quantitativen statistischen Variablen. Es gibt positive und negative Korrelationen. Häufig wird die Korrelation benutzt, um einen Hinweis darauf zu bekommen, ob zwei statistische Größen ursächlich miteinander zusammen hängen. Die Korrelationsmatrix gibt die jeweiligen Korrelationskoeffizienten nach Pearson aus. Sie messen die Stärke und Richtung des linearen Zusammenhangs zwischen den betrachteten Variablen.

Mögliche Zusammenhänge wurden dann mittels einzelner Kreuztabellenauswertungen vertiefend analysiert. Eine Kreuztabelle gibt die zweidimensionale Häufigkeitsverteilung der betrachteten Variablen aus. Ein Beispiel einer möglichen Kreuztabelle ist der Zusammenhang zwischen der Zufriedenheit des Bewohners (Variable 1) und der Funktionalität der Lüftungsanlage (Variable 2).

4.4 Ergebnisse

4.4.1 Bestandsaufnahme

Im Folgenden soll ein Gesamteindruck zum Thema „Leben im Passivhaus“ beschrieben werden, wie er durch die Nutzer in der Befragung wiedergegeben wurde. Zu diesem Zweck werden ausgewählte Ergebnisse stellvertretend erläutert. Die gesamte Auswertung des Nutzerfragebogens steht zusätzlich im Anhang (Kap. 7.3) dieser Studie in Form von Häufigkeitstabellen je Frage zur Verfügung. Innerhalb der Bestandsaufnahme werden die beiden Gruppen der Passivhäuser und die der Passiv-Solaren- und 3-Liter-Häuser gesondert betrachtet. Wenn im Folgenden von Passivhäusern gesprochen wird, so bezieht sich dies immer auf reine Passivhausprojekte.

4.4.1.1 Motivation

Ein wichtiger Ansatz für die weitere Betrachtung ist die Frage, warum sich ein Bauherr für ein Passivhaus entschieden hat.

In Tab. 16 sind die einzelnen Antworten der Bewohner hierzu dargestellt. Die erste Spalte der Ergebnisse gibt die Anzahl der Personen zu der jeweiligen Motivation an. Da die Entscheidung zur Erstellung eines Passivhauses oft durch mehrere Faktoren beeinflusst wurde, haben die Befragten an dieser Stelle zum Teil mehrere Antworten gegeben. Die Anzahl beinhaltet alle abgegebenen Antworten.

In der letzten Spalte ist die prozentuale Verteilung der Antworten auf die ausgewerteten Projekte dargestellt. Es zeigt sich somit, dass immerhin 62,6 % aus eigener Überzeugung ein Passivhaus erstellt haben. Es fällt auf, dass 17 Passivhausprojekte durch die Festlegung über das Baugebiet realisiert wurden. Von diesen 17 Projekten haben 4 beteiligte Bauherren ebenfalls aus eigener Überzeugung gehandelt. Ein ähnliches Bild entsteht bei den Projekten aus Bauträgermaßnahmen. Durch diese Maßnahme entstanden 12 Objekte, unter denen 3 Parteien aus eigener Überzeugung gehandelt haben.

Es stellt sich die Frage, in wie weit die Motivation zur Erstellung eines Passivhauses einen Einfluss auf den tatsächlichen Energiebedarf hat. Diese Frage wird in Kap. 4.4.2 diskutiert.

Tab. 16
Motivation zur Erstellung eines
Passivhauses

Wie kamen Sie auf die Idee, ein Passivhaus zu bauen?	Antworten	Projekte
	Anzahl	Prozentuale Verteilung
aus eigener Überzeugung	72	62,6 %
PH in Bekanntschaft und Nachbarschaft	4	3,5 %
Architekt hatte die Idee	22	19,1 %
Bauträgermaßnahme	12	10,4 %
Festlegung für Baugebiet	17	14,8 %
Sonstiges	14	12,2 %

Wie kamen Sie auf die Idee ein Passivhaus/3-Liter-Haus zu bauen?	Antworten	Projekte
	Anzahl	Prozentuale Verteilung
aus eigener Überzeugung	21	46,7 %
PH in Bekanntschaft und Nachbarschaft	3	6,7 %
Architekt hatte die Idee	1	2,2 %
Bauträgermaßnahme	2	4,4 %
Festlegung für Baugebiet	26	57,8 %
Sonstiges	5	11,1 %

Tab. 17
Motivation zur Erstellung eines Passiv-Solar- / 3-Liter-Hauses

Im Bereich der Passiv-Solar-Häuser stellt sich die Situation etwas anders dar (vgl. Tab. 17). Hier überwiegt die Festlegung für das Baugebiet. Dies ist auf die Tatsache zurückzuführen, dass diese Projekte nur im Rahmen einer Solarsiedlung gefördert wurden. Die Ergebnisse zeigen, dass sich etwa 47 % der Bauherren aus eigener Überzeugung für diesen Schritt entschieden haben.

4.4.1.2 Ausstattung

Die Untersuchung der Ausstattung bezieht sich auf alle Gebäude. An dieser Stelle wird nicht zwischen den unterschiedlichen Standards unterschieden.

Die mittlere Energiebezugsfläche der untersuchten Gebäude beträgt 172 m². In Abb. 9 ist die Verteilung der Energiebezugsfläche auf die einzelnen Projekte dargestellt. Die Objekte wurden in 10er Klassen zusammengefasst. Es zeigt sich, dass es Projekte mit einer deutlich nach oben abweichenden Fläche gibt. Diese resultiert zum Teil aus gewerblichen Nutzungen der Objekte.

In Tab. 18 ist die Verteilung der Bewohner dargestellt. In der Regel wohnen vier Personen (zwei Erwachsene und zwei Kinder) in den untersuchten Gebäuden. Sie belegen eine durchschnittliche Fläche von 50,4 m²/Person.

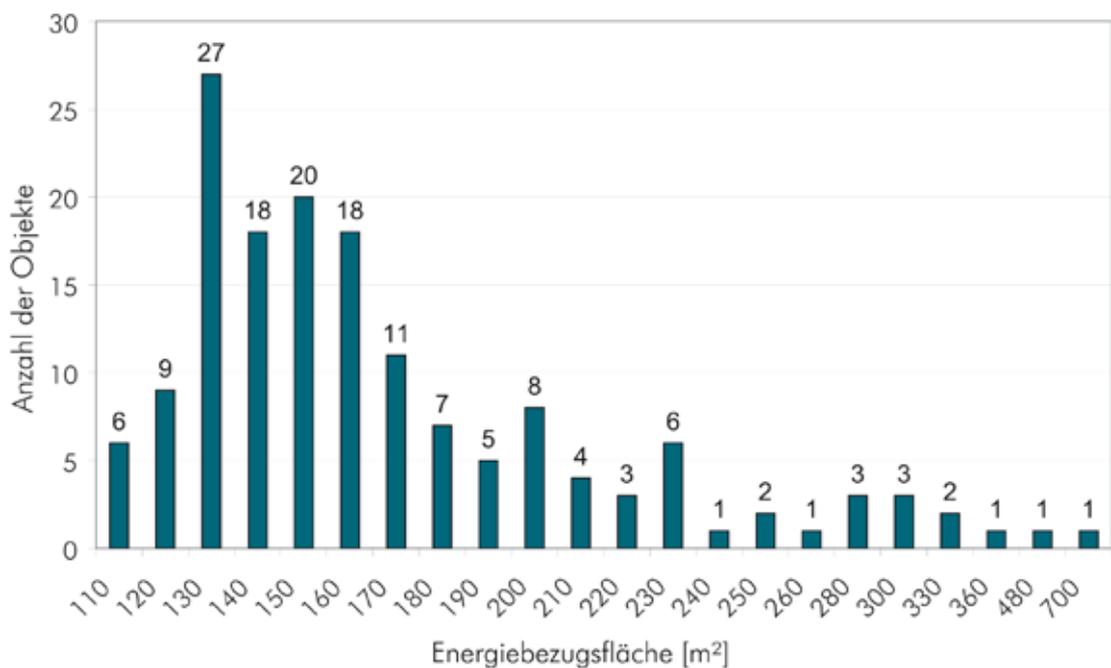


Abb. 9
Verteilung der Energiebezugsfläche der untersuchten Objekte

Anzahl der Bewohner	Antwort	Projekte
	Anzahl	Prozentuale Verteilung
1 Personen Haushalt	9	5,6 %
2 Personen Haushalt	27	16,8 %
3 Personen Haushalt	26	16,1 %
4 Personen Haushalt	70	43,5 %
5 Personen Haushalt	20	12,4 %
6 Personen Haushalt	7	4,3 %
7 Personen Haushalt	2	1,2 %

Tab. 18
Anzahl der Bewohner

Die Verteilung der spezifischen Energiebezugsfläche ist in Abb. 10 dargestellt. Es ist auffällig, dass es eine ganze Reihe von gering belegten Objekten gibt. Die Untersuchung hat gezeigt, dass es mehrere Singles gibt, die ein Passivhaus allein bewohnen. In diesen Fällen stellt sich die Frage, wie gut das Passivhaus mit verminderten internen Lasten funktioniert. Dieses Thema wird in Kap. 4.4.1.2 behandelt.

4.4.1.3 Technik

Im Bereich der Technik ist es zunächst sinnvoll, die Wärmeversorgungssysteme der untersuchten Projekte zu betrachten. Eine detaillierte Aufstellung der verwendeten Systeme ist in Tab. 19 zu finden. Diese Einrichtungen dienen der Warmwasser- und Raumwärmeversorgung. In 133 Fällen ist zusätzlich zu den Wärmeversorgungseinheiten eine thermische Solaranlage vorhanden. Die Einbindung einer fotovoltaischen Anlage ist selten anzutreffen. Lediglich 12 Objekte nutzen die Umwandlung der Sonnenenergie in elektrischen Strom.

Bei den Passiv-Solar- bzw. 3-Liter-Häusern konzentriert sich die Versorgung auf die Gasbrennwerttechnik.

Die Passivhäuser kommen auf Grund ihres geringen Heizwärmeverbrauchs mit geringeren Heizleistungen aus. Die Verteilung auf die einzelnen Erzeugungseinrichtungen ist hierbei relativ homogen. Die elektrischen Nachheizregister stellen den größten Anteil an den Versorgungseinheiten dar.

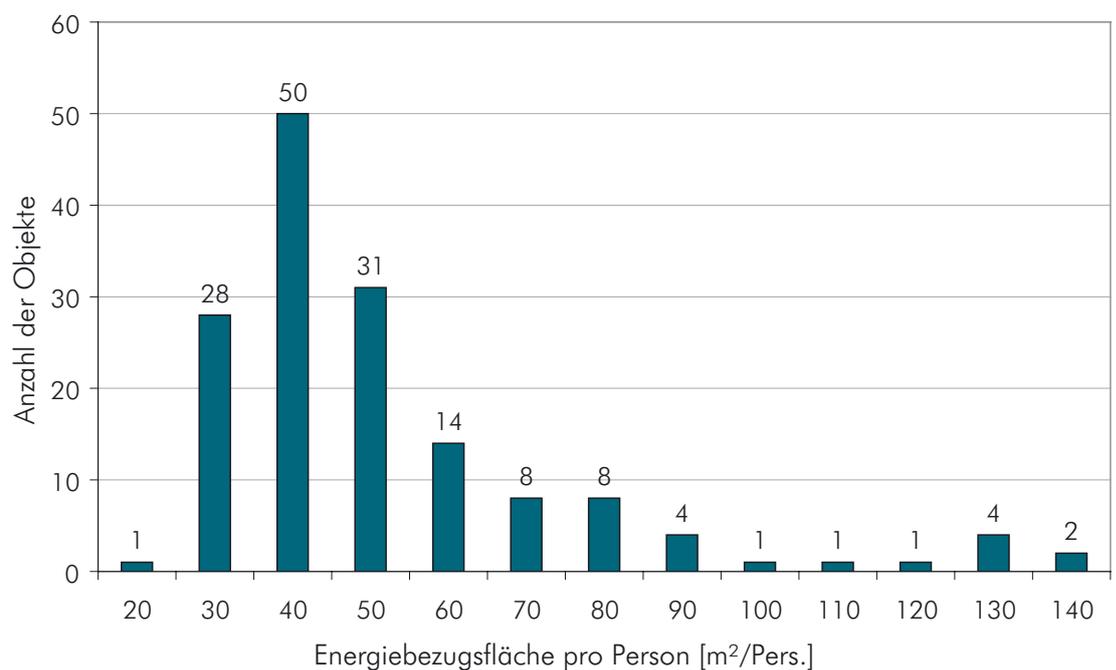


Abb. 10
Verteilung der
spezifischen
Energiebezugsfläche
der untersuchten
Objekte

Tab. 19
Wärmeversorgungs-
einrichtungen in
den untersuchten
Projekten

Wärmeversorgungs- einrichtung	Energetischer Standard							
	Passivhaus		3-Liter-Haus		passiv-solar		gesamt	
Wärmepumpen- kompaktaggregat	12	10,5 %	0	0 %	0	0 %	12	7,5 %
Pelletofen	24	21,1 %	3	10,3 %	1	6,3 %	28	17,6 %
Holzofen	10	8,8 %	1	3,4 %	1	6,3 %	12	7,5 %
Wärmepumpe	12	10,5 %	1	3,4 %	3	18,8 %	16	10,1 %
Fernwärme	2	1,8 %	1	3,4 %	0	0 %	3	1,9 %
elektrisches Nachheizregister	36	31,6 %	1	3,4 %	2	12,5 %	39	24,5 %
elektrische Direktheizung	5	4,4 %	0	0 %	1	6,3 %	6	3,8 %
Gasbrennwertkessel	16	14,0 %	17	58,6 %	7	43,8 %	40	25,2 %
Gasheizung	9	7,9 %	4	13,8 %	2	12,5 %	15	9,4 %
Sonstige	13	8,2 %	1	3,4 %	1	6,3 %	15	9,4 %

Die Pelletöfen und die Systeme mit Wärmepumpen bilden die nächst größeren Gruppen. Die Bewertung der Versorgungseinheit kann nur im Gesamtzusammenhang des Projektes erfolgen. Hier spielen die Nutzerstruktur und die weitere Einbindung von Energieumwandlungssystemen wie solarthermische und fotovoltaisch Anlagen eine entscheidende Rolle.

Ein wesentlicher Punkt bei der Bewertung der Qualität von Passivhäusern ist die kontrollierte Wohnungslüftung mit Wärmerückgewinnung. Im Bereich der Technik stellt sie den größten Unterschied zum konventionellen Wohnungsbau dar. Die Raumlüftung entscheidet zudem in einem großen Maße über die Funktionalität des Passivhauses. Sie bestimmt neben der Bauphysik den energetischen Haushalt des Gebäudes. Die Nutzer machen die Qualität der Lüftungsanlage an den Themen Geräusche, Bedienbarkeit und Behaglichkeit fest. Die mögliche Korrelation dieser subjektiven Bewertungen zu den Energieverbräuchen wird in Kap. 4.4.2 behandelt.

In Tab. 20 wird die Frage behandelt, wie gut die Lüftungsanlagen in den untersuchten Passivhäusern funktionieren. Es zeigt sich, dass es in weniger als der Hälfte der Projekte zu einer reibungslosen Inbetriebnahme der Lüftungsanlage gekommen ist.



Wie funktioniert die Lüftungsanlage?	Häufigkeit
von Anfang an reibungslos	50
nach einer Nachjustierung gut	41
immer noch nicht einwandfrei	16
schlecht	3
keine Angabe	5

Tab. 20
Funktionsweise der
Lüftungsanlagen in
Passivhäusern

Lüftungsanlage im
Passivhaus
Berenbrink, Rietberg

In 41 Fällen ist es zwar noch gelungen, durch die Nachjustierung ein gutes Ergebnis zu erzielen, dies mindert das überraschend schlechte Ergebnis jedoch nur geringfügig.

Im Rahmen der Begutachtung der ausgewählten Projekte (vgl. Kap. 4.4.3) wurde die unsachgemäße Installation der Lüftungsanlage durch die jeweiligen Handwerksunternehmen als Hauptfehlerquelle ausgemacht. In vielen Fällen fehlte den ausführenden Unternehmen die Erfahrung bei der Installation der Lüftungsanlage. Des Weiteren wurden bei der Besichtigung zum Teil massive Mängel bei der Planung der Lüftungsanlagen festgestellt.

Ein weiterer Kritikpunkt im Zusammenhang mit der Inbetriebnahme der Lüftungsanlagen ist die nicht ausreichend erfolgte Einweisung. In 50 % aller untersuchten Projekte hat keine Einweisung stattgefunden. Bei den besichtigten Passivhäusern lag die Quote mit 87 % noch deutlich höher.

Ein Beleg für die teilweise schlechte Ausführung der Raumluftechnik ist in Tab. 21 zu erkennen. Nur in 34 der Passivhäuser (30 %) empfinden die Nutzer die Geräuschentwicklung nicht als störend. Die restlichen Parteien nehmen die Lüftungsanlage als Geräuschquelle wahr. Die Befragung hat jedoch gezeigt, dass die Toleranzschwelle bei den Bewohnern eines Passivhauses recht hoch ist.

Damit ist zu erklären, warum die Geräuschentwicklung der Anlage in den meisten Fällen akzeptiert wird. Dies hängt vermutlich auch mit der Unerfahrenheit im Bereich der kontrollierten Wohnungslüftung zusammen.

Im Bereich des Bedienkomforts schneiden die einzelnen Systeme sehr gut ab (vgl. Tab. 22). Dies ist ein Indikator dafür, dass die am Markt befindlichen Systeme ausgereift sind und ihre Aufgabe grundsätzlich in angemessener Form erfüllen. Der hohe Anteil der Objekte, die erst nach einer Eingewöhnungsphase gut abschneiden, ist auf die mangelnde Einführung in das System zurückzuführen. Ein Zusammenhang zwischen der Funktionalität der Raumluftechnik und dem Behaglichkeitsempfinden ist in Tab. 23 und Tab. 24 dargestellt. Die beiden Auswertungen unterscheiden den Heiz- und den Sommerfall.

Macht die Lüftungsanlage störende Geräusche	Häufigkeit
Ja	15
die leisen Geräusche stören nicht	64
Nein	34
keine Angabe	2

Tab. 21
Geräuschentwicklung der Lüftungsanlagen in Passivhäusern

Bedienung der Lüftungsanlage	Häufigkeit
kompliziert	7
nach Eingewöhnung ok	45
einfach	61
keine Angabe	2

Tab. 22
Bedienungskomfort der Lüftungsanlagen in Passivhäusern

Raumtemperaturen während der Heizperiode überwiegend	Wie funktioniert die Lüftungsanlage			
	von Anfang an reibungslos	nach einer Nachjustierung gut	immer noch nicht einwandfrei	schlecht
zu kalt	0	4	5	0
angenehm	47	35	8	1
zu warm	1	0	0	1

Tab. 23
Abhängigkeit der Behaglichkeit im Winter von der Funktionsweise der Lüftungsanlage in Passivhäusern

Treten zu hohe Raumluftemperaturen im Sommer auf	Wie funktioniert die Lüftungsanlage			
	von Anfang an reibungslos	nach einer Nachjustierung gut	immer noch nicht einwandfrei	schlecht
selten	15	26	5	0
häufig	35	15	11	3

Tab. 24
Abhängigkeit der Behaglichkeit im Sommer von der Funktionsweise der Lüftungsanlage in Passivhäusern



Holzpelletofen, Passivhaus Hendelkens, Hückelhoven

Es zeigt sich, dass die vom gewünschten Zustand abweichenden Temperaturen mit Auffälligkeiten in der Lüftungstechnik korrespondieren. Der in Tab. 23 dargestellte Heizfall zeigt Tendenzen eines Zusammenhangs auf. So gibt es im Falle von zu kalten Raumlufttemperaturen im Winter parallel die Einschätzung der Bewohner, dass die Lüftungsanlage nicht ordnungsgemäß funktioniert.

4.4.1.4 Luftqualität und Lüftungsverhalten in der „Heizperiode“

Die Aussagen der Bewohner zur Raumtemperatur in der Heizperiode lassen den Schluss zu, dass fast alle befragten Bewohner mit den Temperaturen in ihrem Haus zufrieden waren. Knapp 93 % der Befragten bezeichneten die Raumtemperaturen während der „Heizperiode“ als angenehm. In den Fällen, in denen die Raumlufttemperaturen gemessen wurde, wurden zu 83 % Raumlufttemperaturen von 20 °C und darüber festgestellt.

Über die Raumlufttemperaturen hinaus bildet die Raumluftfeuchte einen Beitrag zur empfundenen Behaglichkeit in Innenräumen. Im Vorfeld der Befragung wurde von Passivhausbewohnern mehrfach zu trockene Raumluft beklagt. Hierzu lagen allerdings keine Messungen vor. Für Passivhäuser wird im Winter eine relative Luftfeuchtigkeit von 40 % bei einem durchschnittlichen Luftvolumenstrom, der sich an dem 0,3/h-fachen Austausch des Gesamtvolumens orientiert, empfohlen. Dieser Bereich wurde in den Befragungsergebnissen überwiegend eingehalten. Die Raumluftfeuchtigkeit wurde von über ¾ der Befragten als angenehm bezeichnet, 21 % der Befragten empfand die Raumluft als zu trocken. Etwas mehr als ein Drittel der Befragten konnte auch Angaben zu gemessenen Werten machen. Diese lagen zu knapp 34 % bei 30 % Luftfeuchtigkeit und darunter, also im Bereich zu trockener Raumluft. Die restlichen 66 % lagen innerhalb des empfohlenen Bereiches von 40 % und darüber.

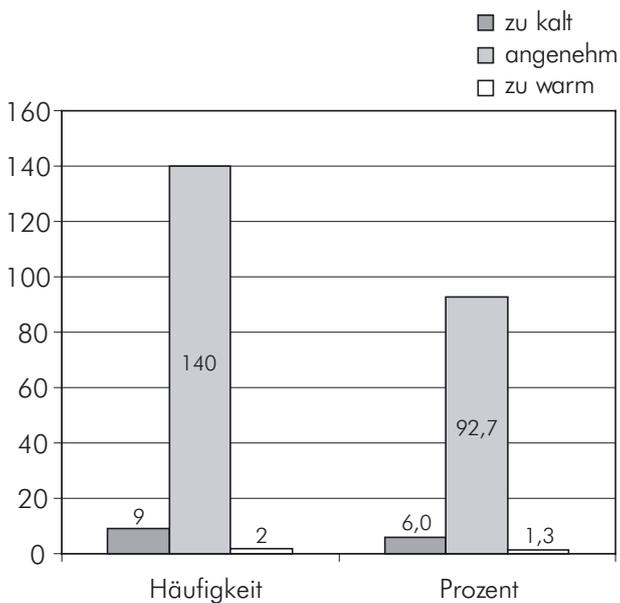


Abb. 11 Überwiegend empfundene Raumtemperatur während der „Heizperiode“, n = 151 Projekte

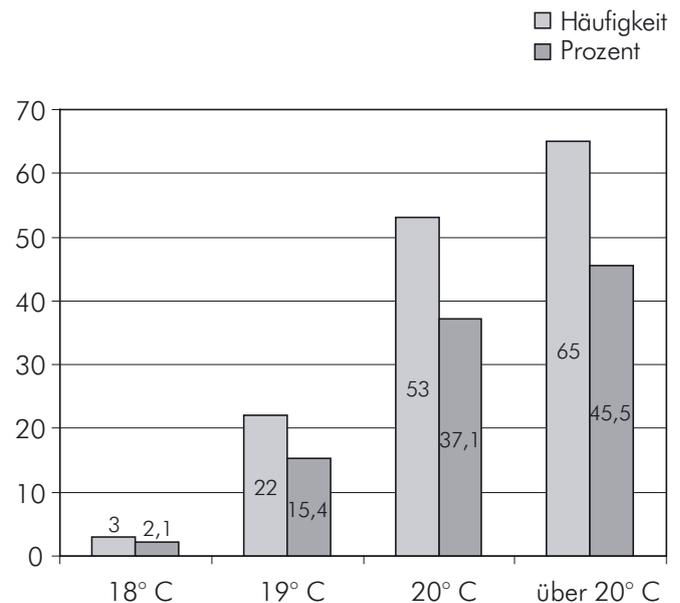


Abb. 12 Überwiegend gemessene Raumtemperatur in der „Heizperiode“, n = 143 Projekte

Eine der Hauptursachen für zu niedrige Raumlufffeuchtigkeit liegt in einem zu hoch eingestellten Volumenstrom der Lüftungsanlage.

Dieser sollte reduziert werden, sofern dies im lufthygienischen Rahmen möglich ist (0,3/h-facher Austausch des Gesamtluftvolumens). Darüber hinaus gibt es die Möglichkeit der Feuchterückgewinnung über den Wärmetauscher. „Durch den Wärmetauscher geht normalerweise ein großer Teil der Feuchtigkeit der Abluft verloren und wird als Kondenswasser abgeführt. Genau hier setzen einige Lösungen der Feuchterückgewinnung ein, sie führen der Zuluft die Feuchtigkeit der Abluft wieder zu. Mittels einer Sorbtionschicht wird der Abluft in einem Rotationswärmetauscher die Feuchtigkeit entzogen und wieder an den Zuluftstrom abgegeben. Das Prinzip gibt es mittlerweile auch bei Plattenwärmetauschern, wobei hier eine Diffusion der Feuchtigkeit durch die Trennwände möglich ist.“ (ZEWE, Olaf: Hilfe, trockene Luft im Winter. In: Passivhaus Kompendium, Allensbach, 2006, S. 48-49)

Die Ergebnisse der Befragung zum Lüftungsverhalten zeigten, dass die meisten Befragten ihr Wohnverhalten an die Eigenschaften eines Passivhauses angepasst haben. Fast die Hälfte der Befragten gab an, nie zusätzlich zur Lüftungsanlage zu lüften, 43 % tat das nur selten. Auch eine zusätzliche Fensterlüftung zur Lüftungsanlage im Schlafzimmer wurde nur in wenigen Fällen durchgeführt. Diese Angaben korrelieren mit der weit überwiegenden Zufriedenheit der Befragten mit den Raumtemperaturen und dem Raumklima.

4.4.1.5 Luftqualität im Sommer

Im Bereich der sommerlichen Temperaturen stellt sich die Situation bei den Passivhäusern etwas anders da. In diesem Fall klagen immerhin 38 % der Befragten über zu hohe Temperaturen.

Ein Teil dieser Beschwerden ist auf fehlende Sonnenschutzeinrichtungen zurückzuführen. Von 45 Projekten, in denen Überhitzungen festgestellt wurden, verfügten 17 über keine zusätzliche Verschattungseinrichtung.

Auch die Einschätzung von 71 % der Befragten, dass Sonnenschutzeinrichtungen unverzichtbar sind, deutet auf die Wichtigkeit der Installation von Sonnenschutzeinrichtungen hin (s. Abb. 19).

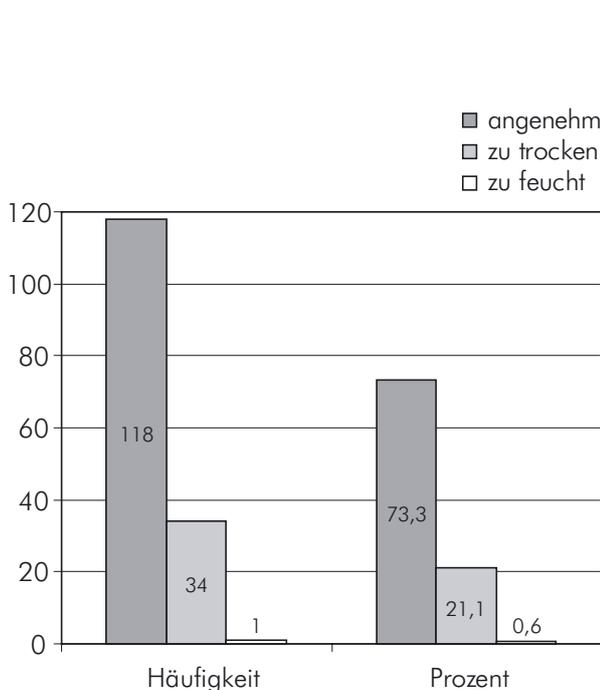


Abb. 13
Empfundene Raumlufffeuchtigkeit,
n = 153 Projekte

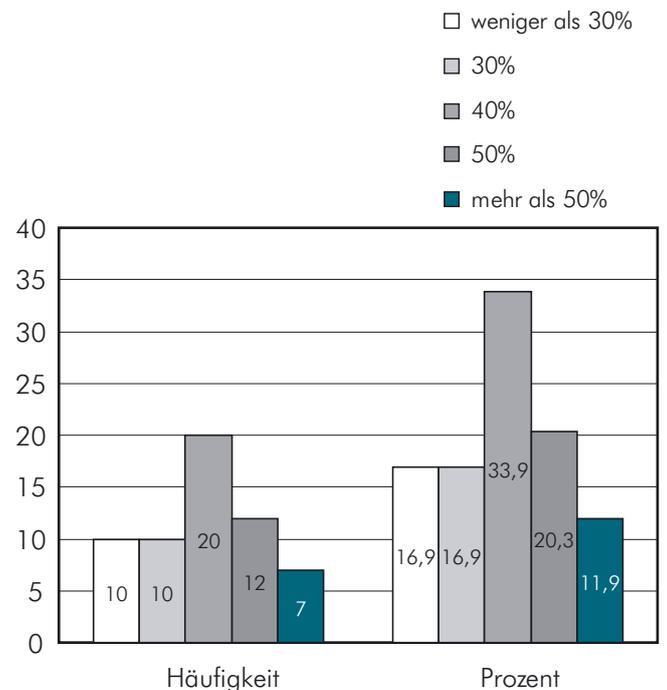


Abb. 14
Gemessene Raumlufffeuchtigkeit,
n = 59 Projekte

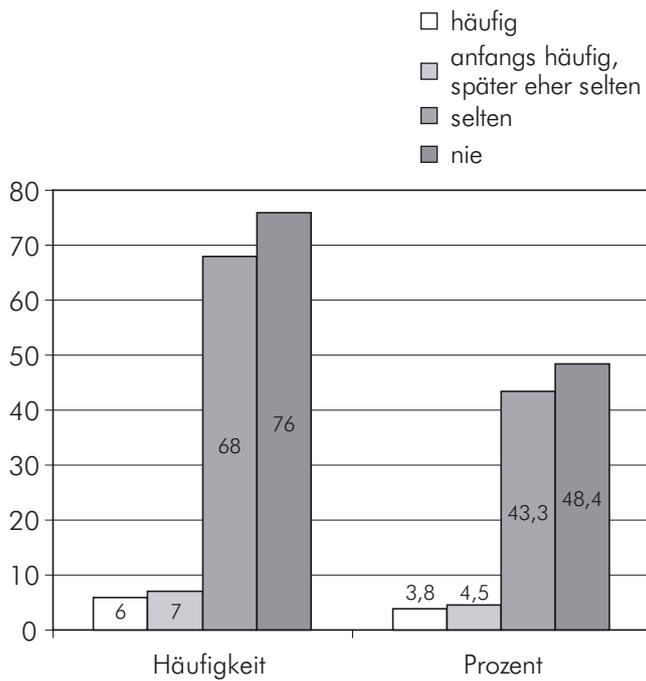


Abb. 15
Fensterlüftung zusätzlich zur Lüftungsanlage,
n = 157 Projekte

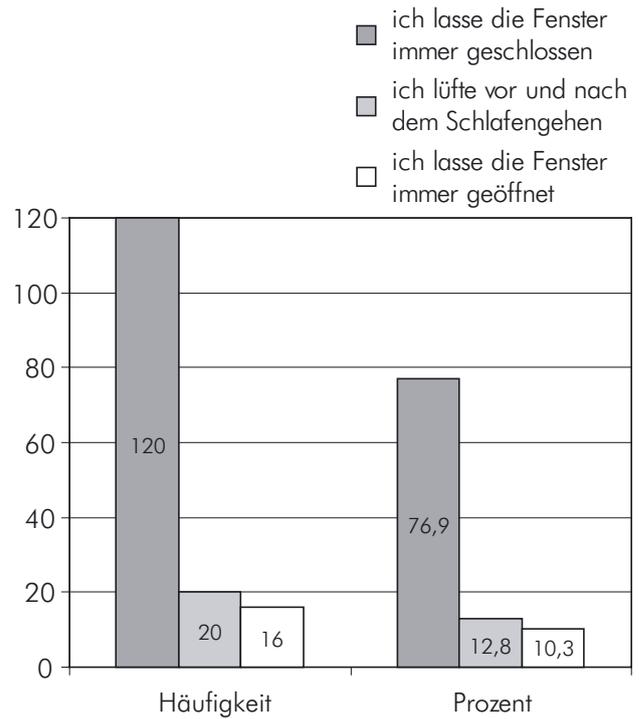


Abb. 16
Fensterlüftung der Schlafräume zusätzlich zur Lüftungs-
anlage, n= 156 Projekte

Diese müssen von Anfang an in der Planungsphase mitberücksichtigt werden und sollten auch als integraler Bestandteil des Hauses vor Bezug des Hauses installiert sein. Bei der Planung sollte berücksichtigt werden, dass vertikale Sonnenschutzeinrichtungen zu einer Verdunklung der Innenbereiche führen. Es ist zu prüfen, ob nicht zusätzliche horizontale Verschattungseinrichtungen, die die Wohnbereiche beschatten, aber nicht verdunkeln, eingebaut werden sollten. Hierfür sind festinstallierte Bauteile wie Dachvorsprünge, Vordächer, Balkone oder demontable Einrichtungen wie Markisen, Sonnensegel oder ähnliches geeignet.

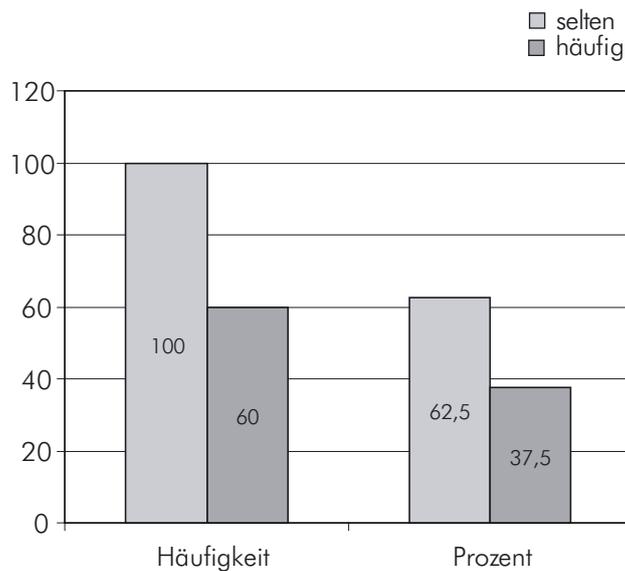


Abb. 17
Zu hohe Raumlufttemperatur im Sommer,
n = 160 Projekte

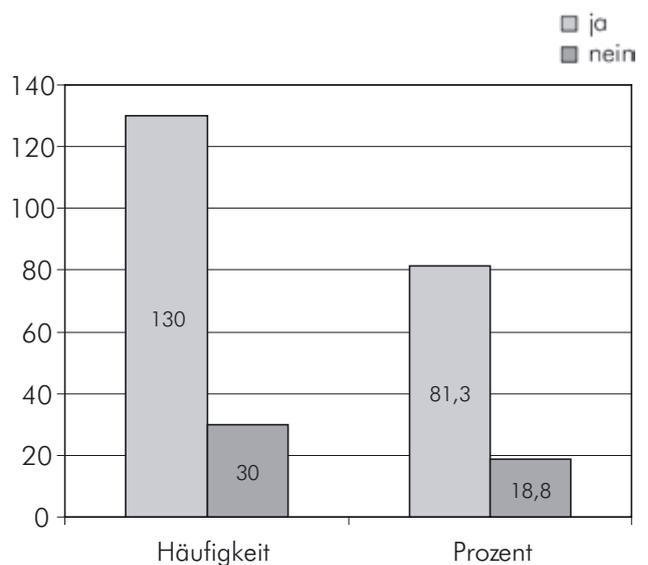


Abb. 18
Vorhandene Sonnenschutzeinrichtungen,
n = 160 Projekte

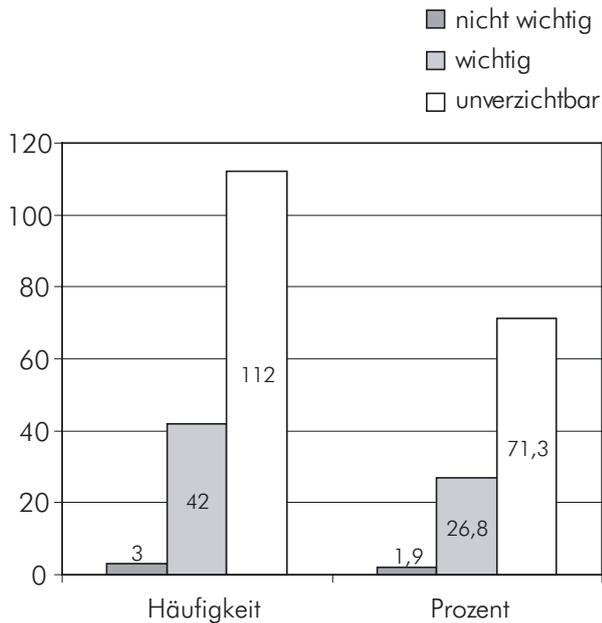


Abb. 19
Wichtigkeit von Sonnenschutzeinrichtungen,
n = 160 Projekte



Verschattung durch Sonnensegel, Passivhaus Paschen, Hamm

4.4.1.6 Behaglichkeit

Die Ergebnisse aus Tab. 23 haben gezeigt, dass das Raumklima in der Heizperiode in den Passivhäusern meist als angenehm empfunden wird. Nur in Einzelfällen treten zu geringe Raumlufttemperaturen auf.

Ein Einfluss der Belegungsichte auf die erzielten Raumlufttemperaturen im Winter konnte nicht nachgewiesen werden. So wurden Objekte mit einer geringen Belegungsichte und den damit verbundenen geringeren internen Wärmegewinnen nicht überdurchschnittlich als zu kalt empfunden. Entgegen der ursprünglichen Vermutung traten die meisten Probleme bei vergleichsweise höheren Belegungsichten (40 m²/Person) auf. Diese Fälle sind daher eher auf technische Probleme zurück zu zuführen.

In den folgenden Abbildungen (Abb. 20 und 21) sind die Bewertungen des Gesamtklimas aller untersuchten Projekte dargestellt. Es zeigt sich, dass die Bewohner sowohl im Sommer als auch im Winter das Gesamtklima in den jeweiligen Häusern insgesamt gut bewerten. Es ist auffällig, dass keine großen Unterschiede im Verlauf des Jahres zu erkennen sind. Dies spricht für ein ausgeglichenes Raumklima im Jahresmittel. Wie sich zeigt, schneidet das Raumklima im Winter dabei besser ab. Durch diese Tatsache können etwaige Befürchtungen über Temperaturprobleme im Winter eindeutig widerlegt werden.

4.4.1.7 Bauphysik

Neben den Behaglichkeitskriterien wurden mögliche bauphysikalische Probleme der Passivhäuser untersucht. Hierbei handelt es sich in erster Linie um Feuchtigkeitsprobleme.



Passivhaus-Reihenhäuser Lövenich in Inden-Lamersdorf

Von 115 untersuchten Passivhäusern wurde in 10 Fällen die Bildung von Schimmel beobachtet. In 13 Häusern trat zudem Kondenswasser an Bauteilen auf. Die nähere Betrachtung der Stellen, an denen Schimmel aufgetreten ist (vgl. Kap. 7.3), unterstreicht das schlechte Ergebnis. Es treten sieben kritische Fälle auf, die eine direkte Beeinträchtigung der Bewohner durch Schimmel zur Folge haben.

Die Untersuchung hat weiterhin gezeigt, dass es in vielen Fällen durch Bautrocknungsprozesse zu den beobachteten Feuchtigkeitsproblemen kommt. Teilweise dauern diese Prozesse zwei Jahre an. In der Kombination mit Mängeln in der Lüftungsanlage kann es dann schnell zu einer Schimmelbildung im Wohnbereich kommen. Die auftretende Häufigkeit der Schimmelbildung in den einzelnen Projekten stellt einen völlig unakzeptablen Rahmen dar. Dies gilt ebenfalls für die Bildung von Kondenswasser an den Bauteilen.

Die Ursachen für diese Probleme sind im Einzelfall zu prüfen. Neben der bereits beschriebenen Bautrocknung sind die Ursachen meist im Bereich der Lüftungsanlage (inkl. Erdreichwärmetauscher) oder der Gebäudehülle zu suchen.

In der Gruppe der 3-Liter-Häuser (inkl. passiv-solar) treten diese Probleme in abgeschwächter Form auf. Von 45 untersuchten Projekten wurde nur in einem Fall die Bildung von Schimmel beobachtet. Bei immerhin fünf Objekten traten Kondenswasserprobleme auf.

4.4.1.8 Zufriedenheit

Der sicherlich wichtigste Punkt bei der Qualitätsanalyse eines Passivhauses ist neben dem Energieverbrauch (vgl. Kap. 4.4.2) die Zufriedenheit der Bewohner. Dieser subjektive Eindruck ist ein entscheidender Faktor bei der Bewertung der Projekte und wesentlich für die Marktchancen dieser Gebäudestandards.

Auf die Frage, ob der Bauherr nach den gesammelten Erfahrungen nochmal ein Passivhaus bauen würde, haben 88 % mit ja geantwortet. Lediglich zwei Parteien würden dieses Vorhaben nicht noch einmal umsetzen. Etwa 10 % der Befragten sind zum Zeitpunkt der Untersuchung noch unentschieden.

Diese Tendenz ist analog aus Abb. 22 abzulesen, die die Benotung der Passivhäuser durch die Nutzer wiedergibt. Der größte Teil der Befragten ist mit dem Leben im Passivhaus sehr zufrieden. Der Notendurchschnitt liegt bei 1,85. Es gibt lediglich Einzelprojekte, die deutlich schlechter bewertet werden.

Eine mögliche Ursache für diese Unzufriedenheit ist in den nicht erfüllten Erwartungen an ein Passivhaus zu suchen. Dies bezieht sich neben den Energieverbräuchen auf die zu hohen Temperaturen im Sommer.

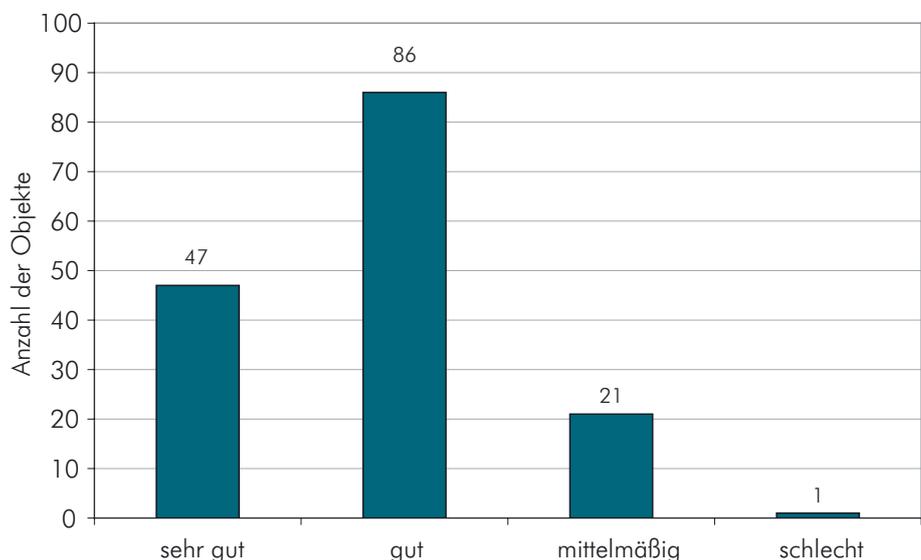


Abb. 20
Bewertung des Gesamtklimas im Sommer aller untersuchten Projekte

Abb. 21
Bewertung des Gesamtklimas im Winter aller untersuchten Projekte

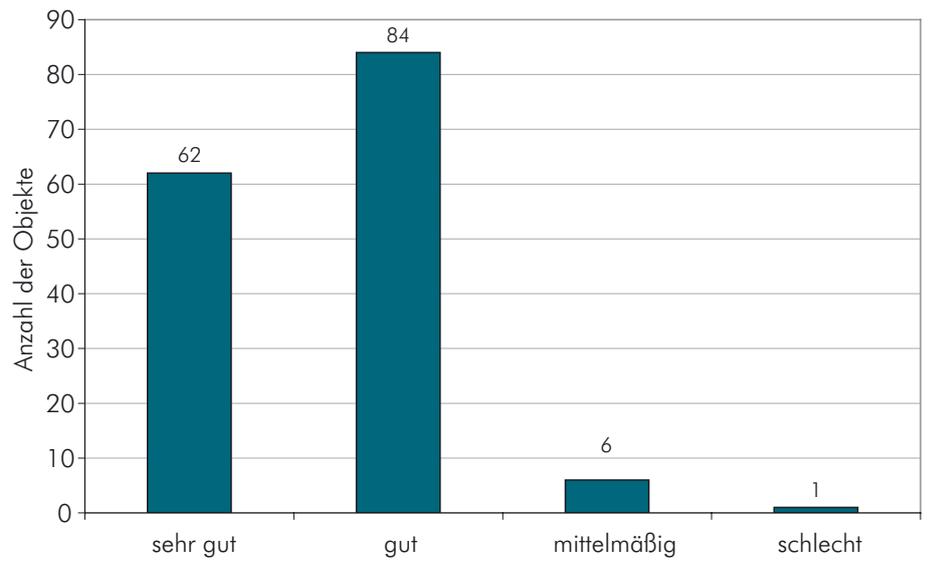


Abb. 22
Zufriedenheit der Bewohner mit dem Leben im Passivhaus

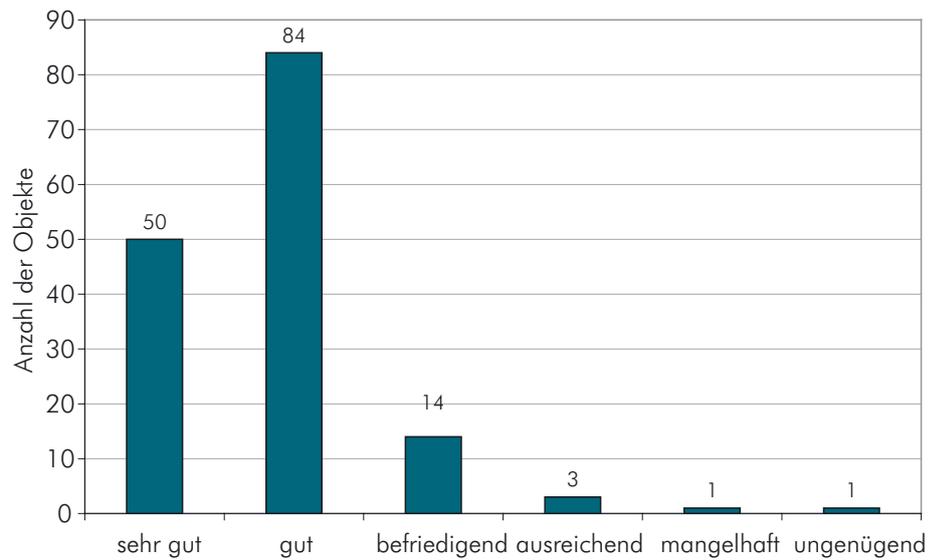
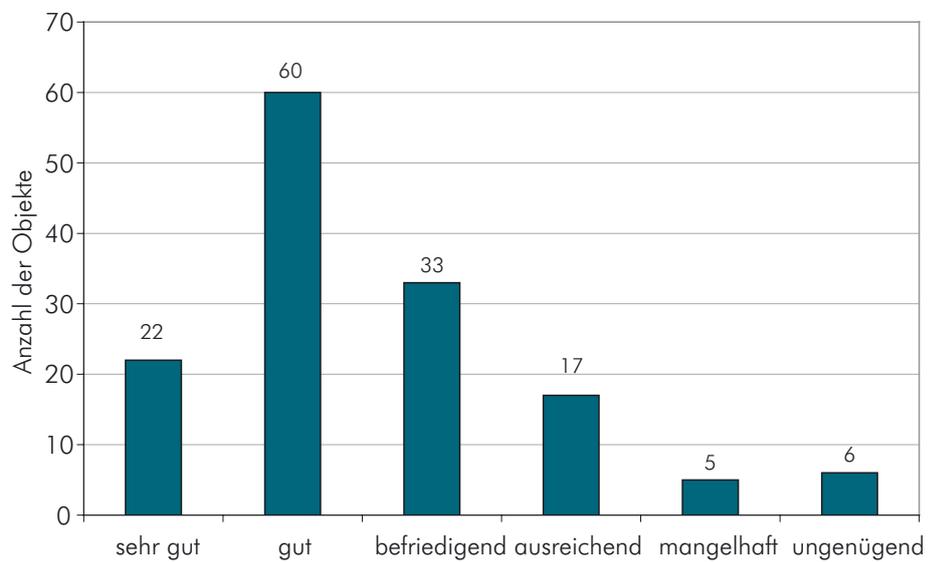


Abb. 23
Zufriedenheit der Bewohner mit der Baubewertung



Ein weiteres Bewertungskriterium ist die Zufriedenheit bei der Bauabwicklung. Diese wird, wie in Abb. 23 dargestellt, deutlich schlechter bewertet. Die Durchschnittsnote fällt auf lediglich 2,6. Der Anteil der unzufriedenen Bauherren ist dabei relativ groß.

Ein großer Teil der Unzufriedenheit ist auf die unsachgemäße Ausführung der einzelnen Gewerke zurückzuführen. Insbesondere gilt dies für das gesamte Thema Lüftungstechnik. Die fehlende Einweisung in die technischen Systeme hat ebenfalls zu negativeren Bewertungen beigetragen.

Es fällt an dieser Stelle schwer, eine passivhauspezifische Bewertung der Probleme bei der Bauabwicklung auszuweisen. Es ist zu vermuten, dass hoch energieeffiziente Gebäude mit viel Sorgfalt und fachgerecht ausgeführt werden müssen. Ansonsten treten Mängel sehr viel schneller zu Tage und führen zu Funktionsstörungen im Gesamtsystem.

Diese Aussage wird durch die Tatsache unterstrichen, dass die Passiv-Solar- / 3-Liter-Haus-Projekte tendenziell besser bei der Bauabwicklung abgeschnitten haben.

Die direkte Korrelation der Nutzerzufriedenheit und der Energieverbräuche wird im folgenden Kapitel behandelt.

4.4.2 Energetische Qualität

In diesem Kapitel wird die energetische Qualität der untersuchten Projekte dargestellt. Die Ergebnisse basieren auf der in Kap. 4.1 beschriebenen Datengrundlage. Es werden die in Kap. 4.2 erläuterten Kennwerte und Energieklassen ausgewertet. Die Energiekennwerte werden in die beiden Klassen Passivhäuser und Passiv-Solar- / 3-Liter-Häuser unterteilt.

4.4.2.1 Passivhäuser

In Abb. 24 ist eine Verteilung des spezifischen Primärenergieverbrauchs der untersuchten Passivhäuser dargestellt. Es zeigt sich, dass eine hohe Schwankungsbreite in den Verbräuchen vorliegt. Der maximale Wert liegt bei 243 kWh/(m² a) und das Minimum bei 39 kWh/(m² a). Von den insgesamt 90 Passivhäusern, für die auswertbare

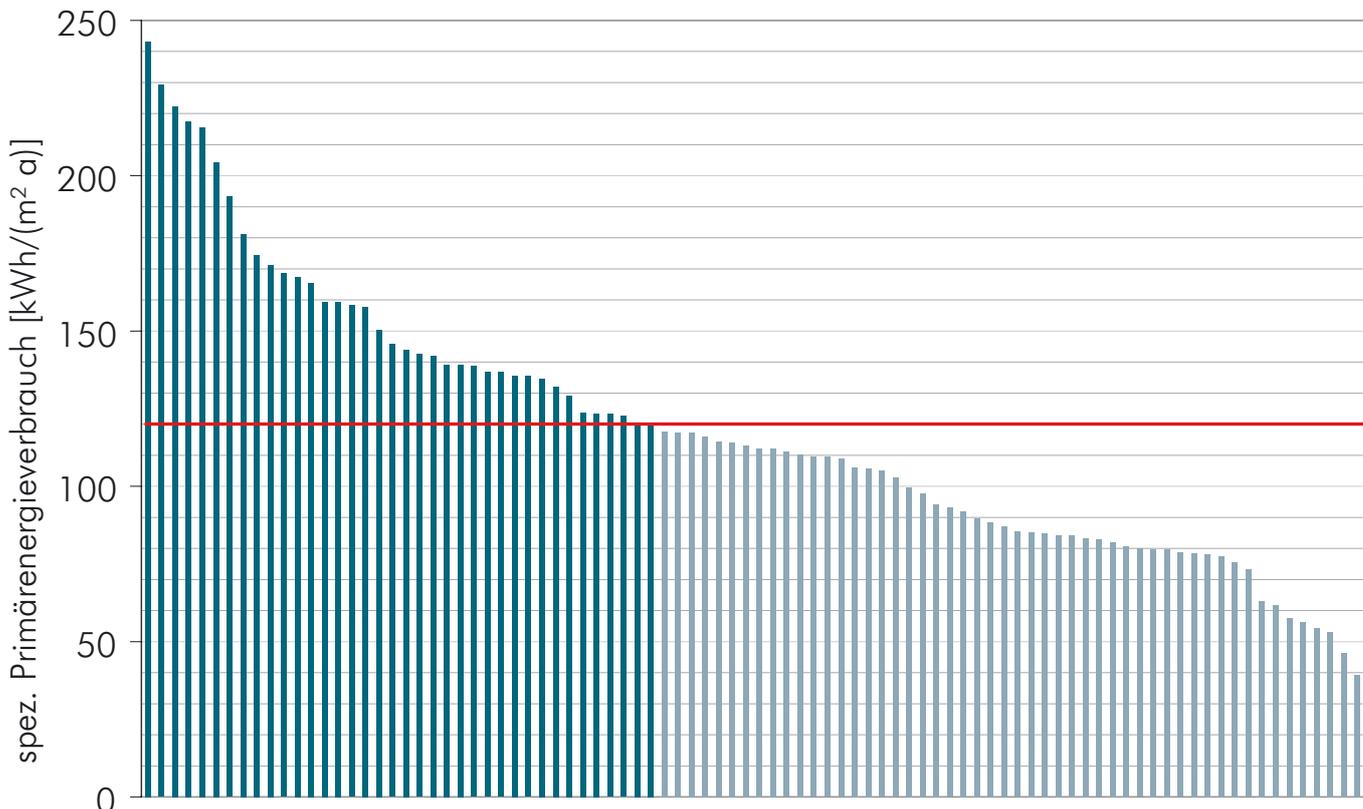


Abb. 24
Dauerlinie des Primärenergieverbrauchs der untersuchten Passivhäuser

Energieverbrauchskennwerte vorliegen, halten lediglich 53 Projekte den geforderten Grenzwert ein. Das entspricht einem Anteil von 41 % der untersuchten Projekte, die einen spezifischen Primärenergieverbrauch von mehr als 120 kWh/(m² a) aufweisen.

Auffallend sind insbesondere die Projekte, die bis zu doppelt so viel Energie verbrauchen wie gefordert. Des Weiteren zeigt die große Spanne der Verbräuche jedoch auch große Einsparpotenziale auf. Auf die möglichen Ursachen der Mehrverbräuche und mögliche Einsparpotenziale einzelner Projekte wird ausführlich in Kap. 4.4.3 eingegangen.

Eine mögliche Ursache für die hohen Primärenergieverbrauchswerte kann in der Nichtberücksichtigung der Belegungsdichte liegen, wodurch die Nutzerabhängigkeit nicht ausreichend einfließt und die verwendete Kennzahl bzw. der Grenzwert nur bedingt aussagekräftig ist.

Eine eindeutige Antwort kann hierzu im Rahmen dieser Untersuchung nicht gegeben werden. In Tab. 25 werden die Energieklassen der Passivhäuser in Abhängigkeit der Anzahl der Bewohner dargestellt.

Hierin zeigt sich, dass es keinen direkten Zusammenhang zwischen diesen beiden Parametern gibt.

Die Verteilung der oben angesprochenen Energieklassen ist in Abb. 25 dargestellt. Positiv hervorzuheben ist, dass mehr als ein Drittel der untersuchten Objekte den Grenzwert deutlich unterbietet (Energieklasse 1 und 2). Diese Beispiele zeigen, dass das Gesamtkonzept bei einer fehlerfreien Ausführung funktioniert. In Anbetracht der dargestellten Ergebnisse stellt sich die Frage, ob es charakteristische Zusammenhänge in der Verbrauchsstruktur von Passivhäusern gibt.

Tab. 25
Verteilung der Energieklassen in Abhängigkeit der Bewohnerzahl eines Passivhauses

		Energieklasse						Gesamt	
		1	2	3	4	5	6	Σ	Ø
Anzahl der Personen	1	2	0	1	2	1	0	6	3,0
	2	0	4	1	1	3	3	12	4,0
	3	0	3	3	2	3	1	12	3,7
	4	2	9	8	8	4	1	32	3,2
	5	1	3	3	1	0	1	9	2,9
	6	0	2	1	0	0	1	4	3,3
Gesamt		5	21	17	14	17	7	75	3,3

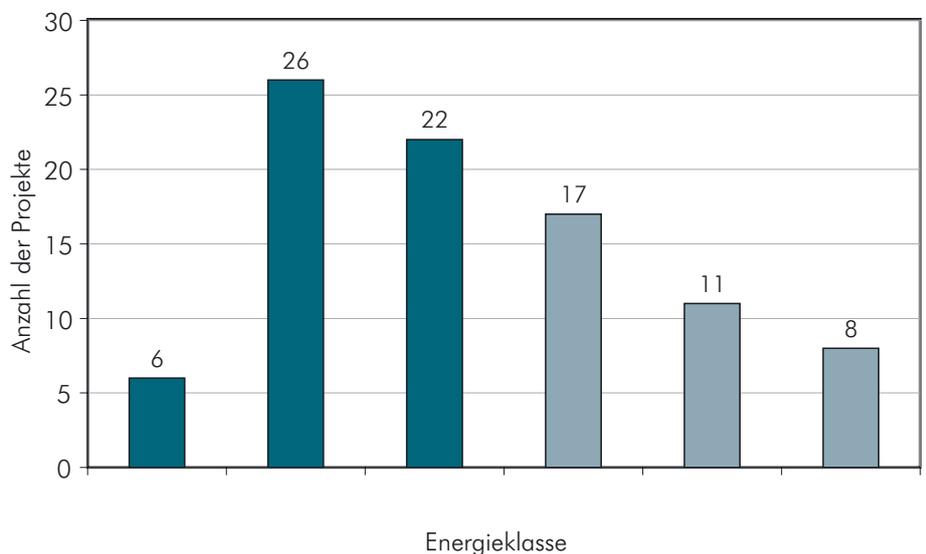


Abb. 25
Verteilung der Energieklassen bei den untersuchten Passivhäusern

Da die Energieklasse, wie oben beschrieben, keinen direkten Zusammenhang zur Anzahl der Bewohner und damit zur Höhe des Haushaltsstroms liefert, liegt es nahe, die Wärmeerzeugung näher zu betrachten.

Die Verteilung der Energieklassen über den unterschiedlichen Arten der Wärmeerzeugung ist in Tab. 26 dargestellt. Das Ergebnis zeigt, dass es vereinzelte Signifikanzen gibt. So stehen die Projekte mit Pelletöfen und Gasbrennwertkesseln sehr gut dar. In beiden Fällen überwiegen die Energieklassen 1 bis 3. Sie machen gemeinsam 40 % der Passivhäuser mit positiver Energieklasse aus.

Negativ fallen vor allem die Projekte mit Gasheizung auf. Hier ist es nur einem Projekt gelungen, den Grenzwert einzuhalten. Bei den Holzöfen und den elektrischen Nachheizregistern treten ebenfalls vermehrt Projekte mit schlechten Energieklassen auf.

In beiden Fällen gibt es jedoch auch positive Beispiele, die eine generelle Aussage zu diesen Systemen neutralisieren. Es liegt die Vermutung nahe, dass einige Versorgungseinheiten zu groß dimensioniert wurden und somit nicht wirtschaftlich arbeiten können.

Ein weiterer interessanter Aspekt bei der Betrachtung der energetischen Qualität der Passivhäuser ist der Einfluss der Motivation der Bewohner. Dieser Zusammenhang wird in Tab. 27 dargestellt. Die Anzahl der untersuchten Fälle weicht von der Menge der Projekte mit vorhandener Energieklasse ab, da bei dieser Fragestellung auch eine Mehrfachantwort möglich war. Es zeigt sich, dass die Projekte, bei denen aus eigener Überzeugung gehandelt wurde, vermehrt gute Ergebnisse im Bereich des Energieverbrauches aufzeigen. Hingegen weisen die Projekte mit einer Festlegung für das Baugebiet erhöhte Energieverbräuche auf.

Tab. 26
Verteilung der Energieklassen über verschiedenen Wärmeerzeugungseinheiten in Passivhäusern

	Energieklasse						Gesamt	
	1	2	3	4	5	6	Σ	Ø
Wärmepumpenkompakttaggregat	1	1	2	3	0	0	7	3,0
Pelletofen	3	5	4	1	1	0	14	2,4
Holzofen	0	2	1	0	1	3	7	4,3
Wärmepumpe	0	2	0	3	1	0	6	3,5
Fernwärme	0	1	0	0	0	0	1	2,0
elektrisches Nachheizregister	1	9	5	3	7	3	28	3,5
elektrische Direktheizung	0	2	1	0	1	0	4	3,0
Gasbrennwertkessel	1	2	5	1	0	1	10	3,0
Gasheizung	0	1	0	5	1	1	8	4,1
Sonstige	0	1	1	2	3	1	8	4,3
Gesamt	7	28	22	22	20	15	93	3,4

Tab. 27
Verteilung der Energieklassen über die Motivation der Bewohner in Passivhäusern

	Energieklasse						Gesamt	
	1	2	3	4	5	6	Σ	Ø
aus eigener Überzeugung	4	14	13	8	3	4	46	3,1
PH in Bekanntschaft und Nachbarschaft	0	0	0	1	0	1	2	5,0
Architekt hatte die Idee	0	3	4	5	3	1	16	3,7
Bauträgermaßnahme	0	2	3	0	4	0	9	3,7
Festlegung für Baugebiet	0	1	1	5	2	3	12	4,4
Sonstiges	2	6	0	3	1	1	13	2,8
Gesamt	6	26	21	22	13	10	98	3,4

Dies lässt den Schluss zu, dass Bewohner, die sich im Vorfeld mit der Thematik beschäftigt haben, in der Regel bessere Ergebnisse im Bereich der energetischen Qualität erreichen. Es gibt jedoch auch eine Reihe von Projekten, die trotz der Motivation einer eigenen Überzeugung schlechte Ergebnisse erzielt haben.

Dies ist zum einen auf die fehlerhafte Ausführungen im Bereich der Technik (vgl. Kap. 4.4.3), aber auch auf ein nicht angepasstes Verhalten im Passivhausbetrieb zurück zu führen. Diese Aussage kann durch die Tatsache unterstrichen werden, dass 6 % der Passivhausbewohner, die sich aus eigener Überzeugung für ein Passivhaus entschieden haben, während der Heizperiode mit geöffnetem Fenster schlafen.

Ein weiterer Punkt bei der Einordnung der Energieverbräuche ist die Frage, ob die Bewertung der Bauabwicklung einen direkten Rückschluss auf die Energieklasse zulässt. Es liegt nahe, dass eine schlechte Ausführung zu überhöhten Energieverbräuchen führt. Diese Annahme lässt sich durch die vorliegenden Ergebnisse nicht bestätigen. Es scheint, dass die Bauherren die Bewertung der Bauabwicklung an Kriterien fest machen, die keinen direkten Einfluss auf die Verbräuche haben. Des Weiteren verwundert die Tatsache, dass die sehr gute Bewertung des Lebens im Passivhaus (vgl. Kap. 4.4.1.8) nicht unbedingt mit den vergleichsweise schlechten Ergebnissen der Energieverbräuche korrespondiert.

Die Untersuchung hat jedoch gezeigt, dass die meisten Bewohner mit hohen Verbräuchen diese nicht als solche identifiziert haben. In der Regel fehlt den Bewohnern ein Bewertungsschema für ihre Energieverbräuche.

4.4.2.2 Passiv-Solar-/3-Liter-Häuser

Bei der Betrachtung der Verteilung der Energieklassen bei den Passiv-Solar- bzw. 3-Liter-Häusern stellt sich, wie in Abb. 26 zu sehen ist, ein ganz anders Bild dar. Die Energieklasse basiert hierbei, wie in Kap. 4.2.2 beschrieben, auf dem Heizwärmeverbrauch. Dieser wurde aus der Kennzahl für die Wärmeversorgung extrahiert (vgl. Kap. 4.2.1).

Es zeigt sich, dass die beiden Ränder der Verteilung deutlich ausgeprägter sind. Zudem wird deutlich, dass die Mehrzahl der untersuchten Projekte (57 %) den jeweiligen Grenzwert nicht einhalten kann.

Deutlicher wird diese Aussage bei der Betrachtung von Abb. 27. Hier ist die Dauerlinie des spezifischen Heizwärmeverbrauchs dargestellt. Die Schwankungsbreite der vorliegenden Kennzahlen ist sehr groß. Sie reicht von 121 kWh/(m² a) bis hin zu 3 kWh/(m² a). Der einzuhaltende Grenzwert wird im Maximum um den Faktor 3 überschritten. Die beiden roten Linien repräsentieren die zu Grunde gelegten Grenzwerte. Die durchgezogene Linie gilt für die 3-Liter-Häuser (35 kWh/(m² a)), die gestrichelte Linie steht für den Grenzwert der passiv-solar Bauten.

Auffällig sind ebenfalls die sehr geringen Verbräuche. Diese werden in der Realität sicherlich nicht erreicht werden. Es ist anzunehmen, dass der solare Deckungsanteil in diesen Projekten größer ist als angenommen und somit einen geringeren Wärmebedarf für die Warmwassererzeugung bzw. einen höheren Heizwärmeverbrauch zur

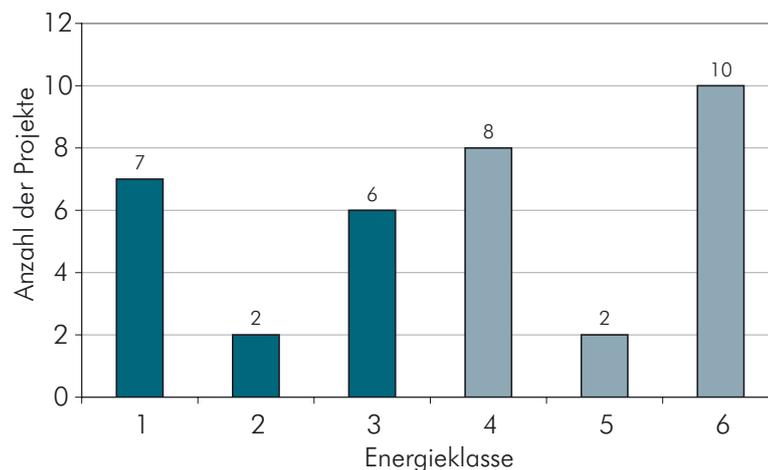


Abb. 26
Verteilung der Energieklassen bei den untersuchten Passiv-Solar- / 3-Liter-Häusern

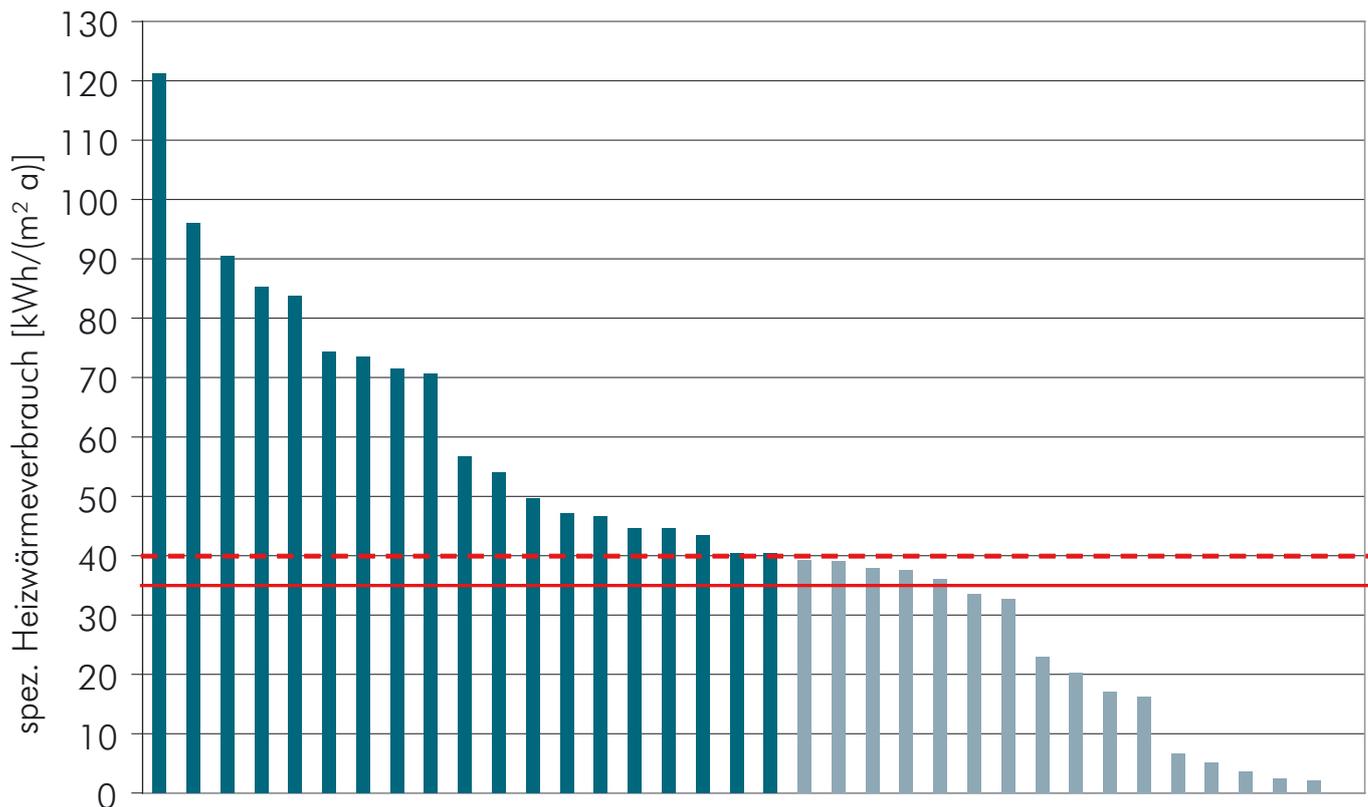


Abb. 27
Dauerlinie des Heizwärmeverbrauchs der untersuchten Passiv-Solar-/3-Liter-Häuser

Folge hat. Eine weitere Ursache könnte ein zu hoch angenommener Warmwasserverbrauch sein. Die hohen Verbräuche der schlechtesten Gebäude stellen einen inakzeptablen Zustand dar. Ein Großteil dieser Projekte erfüllt wahrscheinlich nicht einmal die Kriterien der Energieeinsparverordnung [2].

Grundsätzlich kann festgehalten werden, dass die Häuser im Passiv-Solar- bzw. 3-Liter-Standard im Durchschnitt schlechter abschneiden als die Passivhäuser, d. h. häufiger die geltenden Grenzwerte überschreiten.

Die geringeren Anforderungen führen anscheinend häufig zu minderen Qualitäten in der Ausführung und Schwierigkeiten bei der Nutzung eines solchen Hauses. In diesem Zusammenhang sei auf die Motivation der Bauherren hingewiesen (vgl. Kap. 4.4.1.1). Das schlechtere Abschneiden könnte zum Teil auf die Tatsache zurück geführt werden, dass die Entscheidung für die Erstellung dieser Häuser in vielen Fällen durch die Festlegung des Baugebietes bestimmt wurde.

4.4.3 Begutachtung der ausgewählten Objekte

Wie bereits erwähnt, wurden die aus den Fragebögen ermittelten Ergebnisse an acht Projekten exemplarisch überprüft. Die Begutachtung der Projekte wurde in erster Linie in Hinblick auf die vorliegenden Energieverbräuche durchgeführt. Ziel der Begutachtung war die Analyse der Energieverbräuche vor Ort.

Im Rahmen der Untersuchung konnten nur offensichtliche Mängel analysiert werden. Die Begutachtung ersetzt nicht eine detaillierte Analyse in problembehafteten Projekten. Anhand der aufgezeigten Ergebnisse sollten vielmehr mögliche Schwachstellen aufgezeigt werden.

Die Projekte wurden anhand der folgenden Kriterien ausgewählt:

- Hohe Verbräuche (Energieklassen 5 und 6) fünf Projekte
- Niedrige Verbräuche (Energieklasse 1) ein Projekt
- Besondere Probleme zwei Projekte

Die Projekte werden im Folgenden anonymisiert beschrieben. Hierzu zählt neben einer kurzen Projektbeschreibung die energetische Bewertung vor der Besichtigung. Anschließend wird die vorgefundene Situation beschrieben und bewertet.

4.4.3.1 Projekt 1

Dieses Projekt zeichnet sich durch einen sehr hohen Stromverbrauch aus. Der Heizwärmeverbrauch wurde aus den Zwischenzählerwerten des Wärmepumpenkompaktaggregates ermittelt. Die Begutachtung vor Ort hat eine Reihe von massiven Mängeln zu Tage getragen. Durch die anhaltende Bautrocknungsphase wurden über einen längeren Zeitraum mehrere Luftentfeuchter betrieben. Teilweise wurden insgesamt vier Geräte mit einer Nennleistung von jeweils 390 W betrieben.

Diese Tatsache erklärt einen großen Teil des hohen Stromverbrauchs. Des Weiteren wurde eine hohe technische Ausstattung vorgefunden. Neben einer kompletten Büroeinrichtung (Home-Office) verfügte das Haus über eine hochtechnisierte Kücheneinrichtung. Beide Punkte tragen zu einem erhöhten Stromverbrauch bei. Der sehr hohe Heizwärmeverbrauch lässt sich auf zwei Punkte zurückführen:

- Zum einen mussten die gesamten Fenster des Hauses auf Grund massiver Mängel ausgetauscht werden. Die Gehrung der Fensterrahmen ist durch einen konstruktiven Fehler aufgeplatzt und hat somit zu Undichtigkeiten in der Gebäudehülle geführt.
- Zweitens wurde der Raumtemperaturfühler der Lüftungsanlage in der Nähe der Haustüre angebracht. Die sensible Regelung des Nachheizregisters hat dazu geführt, dass die Anlage bei kurzzeitiger Öffnung der Haustüre in einen länger andauernden Heizbetrieb gefallen ist. Dieses Problem trat insbesondere in den Übergangszeiten auf. Mittels eines zusätzlichen Schalters kann der Heizbetrieb nun manuell außer Funktion gesetzt werden.

Projekt 1

Energetischer Standard	Passivhaus
Bauweise	Massivbau
Typ	Einfamilienhaus
Energiebezugsfläche	173 m ²
Erstbezug	Juli 2004
Anzahl der Bewohner	2
Versorgung	Wärmepumpenkompaktaggregat
Primärenergiekennwert (K_{Primär})	243,19 kWh/(m ² a)
Heizwärmeverbrauch (K_{Heiz})	80,36 kWh/(m ² a)
Stromkennwert (K_{Strom})	81,61 kWh/(m ² a) inkl. Wärmeversorgung
Energieklasse	6

Neben den bereits beschriebenen Problemen wurden im Bereich der kontrollierten Lüftung ebenfalls Mängel festgestellt. Die Wahl der Zuluftöffnungen führt in fast allen Räumen zu Kurzschlussströmungen, sodass eine ausreichende Durchströmung der Räume nicht gewährleistet ist. Diese Tatsache hat in der Verbindung mit der hohen Raumluftfeuchte durch die anhaltende Bautrocknung zu einer Schimmelbildung im Wohnzimmer geführt.

4.4.3.2 Projekt 2

Das Projekt 2 wurde ausgewählt, da es sich durch einen besonders niedrigen Primärenergieverbrauch auszeichnet. Es handelt sich um ein Reihemittelhaus eines 3-teiligen Gebäudekomplexes. Diese Anlage wurde sehr detailliert geplant und ausgeführt. Der gesamte Komplex zeichnet sich durch eine große Flexibilität bei der Raumaufteilung aus. Die sehr kompakte Bauweise spiegelt sich in den niedrigen Energieverbräuchen wieder.

Im Bereich des Heizwärmeverbrauchs gibt es weitere Einsparpotenziale, da derzeit die Dämmung an der Unterseite der Kellerdecke fehlt.

Positiv fällt weiter die gemeinsame Nutzung eines Pelletofens in Gewicht. Die Wärme wird zentral erzeugt und dann innerhalb des Gebäudekomplexes verteilt. Der tatsächliche Heizwärme-

Projekt 2

Energetischer Standard	Passivhaus
Bauweise	Holzbau
Typ	Reihemittelhaus
Energiebezugsfläche	160 m ²
Erstbezug	September 2004
Anzahl der Bewohner	1
Versorgung	gemeins. Pelletofen für eine Reihenhauszeile
Primärenergiekennwert (K_{Primär})	46,45 kWh/(m ² a)
Heizwärmeverbrauch (K_{Heiz})	19,49 kWh/(m ² a)
Stromkennwert (K_{Strom})	5,23 kWh/(m ² a)
Energieklasse	1



Projekt 2
Passivreihenhäuser Lövenich in Inden Lamersdorf

verbrauch dieses Objektes lässt sich nur sehr ungenau bestimmen, da dieser aus dem Pelletverbrauch des gesamten Gebäudekomplexes resultiert. Der Pelletverbrauch wird über Umlagefaktoren aufgeteilt.

Das Projekt zeichnet sich durch einen sehr geringen Stromverbrauch aus. Dieser Wert ist unter anderem durch die geringe Belegungs-dichte des Objektes zu erklären, obwohl es sich um eine vollständig eingerichtete Wohnung handelt.

Innerhalb des Gesamtkonzeptes wurden so genannte Energieinseln installiert. Es handelt sich hierbei um ausgewählte Stellen, an denen auf elektrische Energie zurückgegriffen werden kann. Durch dieses Konzept wurde explizit auf eine geringe Installationsdichte Wert gelegt. Die Maßnahme wird mit der Tatsache begründet, dass bei einem fehlenden Angebot von elektrischer Energie diese nicht unnötig abgenommen wird. Die niedrigen Verbräuche und die Zufriedenheit des Bewohners bestätigen den positiven Ansatz dieses Konzeptes.

4.4.3.3 Projekt 3

Der Primärenergieverbrauch dieses Projektes überschreitet den Grenzwert um gut 12 %. Dies führt zu der Energieklasse 4. Dieses Projekt wurde ausgewählt, da sich der Bauherr über massive Probleme im Bereich der Lüftungstechnik beschwert hat. Das Projekt weist einen sehr hohen Heizwärmeverbrauch auf. Dieser Wert kann auf Grund der Verteilung des Stromverbrauchs innerhalb des Wärmepumpenkompaktaggregates etwas abweichen, zumal diese Anlage einen 320 l Warmwasserspeicher ohne solare Unterstützung mit warmen Wasser versorgt.

Projekt 3

Energetischer Standard	Passivhaus
Bauweise	Massivbau
Typ	Einfamilienhaus
Energiebezugsfläche	123 m ²
Erstbezug	April 2004
Anzahl der Bewohner	1
Versorgung	Wärmepumpenkompaktaggregat
Primärenergiekennwert (K_{Primär})	135,69 kWh/(m ² a)
Heizwärmeverbrauch (K_{Heiz})	101,97 kWh/(m ² a)
Stromkennwert (K_{Strom})	45,53 kWh/(m ² a) inkl. Wärmeversorgung
Energieklasse	4

Bei der Besichtigung des Objektes konnten keine groben Mängel in der Lüftungsanlage festgestellt werden. Die auftretenden Probleme resultieren vermutlich aus der Kombination mehrerer Teilprobleme. So befindet sich der Raumlufttemperaturfühler für die Regelung der Zulufttemperatur in einem ungenutzten kalten Raum. Dies hat zur Folge, dass die anderen Räume eher zu lange mit warmer Luft versorgt werden. Des Weiteren wurde die Weitwurfdüse im Schlafzimmer so ungünstig angebracht, dass es zu Behaglichkeitsproblemen in der Nacht kam. Die niedrigen internen Wärmelasten und die geringen solaren Einträge, die durch den häufigen Gebrauch der Verschattungseinheiten (außenliegender Rollläden) hervorgerufen werden, tragen zu einem

weiteren Teil der Probleme bei. Dies gilt sowohl für den Heizwärmeverbrauch als auch für die Abweichungen der Raumlufttemperatur vom Sollzustand.

Da der Bauherr bereits einige Änderungen an der Lüftungsanlage in eigener Regie durchgeführt hat, konnten die geschilderten Probleme nicht im Detail nachvollzogen werden. So wurden Änderungen in der Kanalführung und an den Luftauslässen durchgeführt. Dies hat zur Folge, dass die Luftverteilung im Gebäude nicht dem Auslegungszustand der Anlage entspricht.

4.4.3.4 Projekt 4

Der Heizwärmeverbrauch dieses Projektes kann auf Grund der Versorgungsstruktur relativ genau bestimmt werden. Es zeigt sich, dass sowohl der Heizwärmeverbrauch als auch der Primärenergiekennwert die Grenzwerte deutlich überschreiten. Im Bereich der Wärmeversorgung (Warmwasser und Restheizung) wird eine Gasbrenn-

werttherme eingesetzt. Diese ist mit 11 kW zu groß dimensioniert. Die Heizwärmeversorgung erfolgt über ein wasserdurchströmtes Nachheizregister. Bei der Begutachtung wurde festgestellt, dass ein nicht ordnungsgemäß installierter Stellmotor des Dreiwegemischers eine permanente Durchströmung des Registers zur Folge hatte. Der unnötige Heizbetrieb führte zu erhöhten Temperaturen im Wohnbereich. Der fehlerhafte Stellmotor wurde im Vorfeld der Besichtigung durch einen Installateur repariert. Neben der Beseitigung dieses Mangels hat der Bauherr nach der Offenlegung der tatsächlichen Verbräuche das Heizregister mittels Absperrhahn komplett von der Warmwasserversorgung getrennt. Das Heizregister wird nun manuell zum Heizbetrieb freigegeben. Somit wird ein unnötiger Betrieb der Restheizung vermieden.

Projekt 4

Der Lüftungsanlage wurde nachträglich eine Bypass-Schaltung hinzugefügt. Die Bypass-Schaltung umgeht im geöffneten Zustand mit einem Teilvolumenstrom der Zuluft das Nachheizregister der Lüftungsanlage. Mittels dieser Schaltung sollen hohe Zulufttemperaturen in den Obergeschossen (Schlafräume) vermieden werden. Die Stellung der Zu- und Abluftöffnungen (Ventile wurden bis zum Anschlag heraus gedreht) lassen den Schluss zu, dass es sich um ein nicht ordnungsgemäß abgeglichenes Kanalnetz handelt.

Die Bewohner klagen zudem über massive Geräuschbeeinträchtigungen, die von der zentralen Lüftungsanlage ausgehen. Dieser Eindruck konnte bei der Begutachtung bestätigt werden. Zur Behebung der angesprochenen Probleme sollte die ausführende Firma im Rahmen der Gewährleistung kontaktiert werden. Im Falle der Geräuschbelästigung des zentralen Lüftungsgerätes sollte ebenfalls der Hersteller des Gerätes in die Pflicht genommen werden.

Die hohe technische Ausstattung des Hauses kann einen Teil der hohen Stromverbräuche erklären. Dennoch liegen die Werte deutlich über einem vertretbaren Rahmen.

4.4.3.5 Projekt 5

Sehr hohe Verbräuche bei der Wärmebereitstellung haben zu der Auswahl dieses Projektes geführt. Es handelt sich bei dem Wärmepumpenkompakttaggregat um ein schwedisches Fabrikat.

Die Bedienung der Anlage lässt sehr zu wünschen übrig. Es fehlt eine zentrale Bedieneinheit im Wohnraum. Des Weiteren wurde kein Raumtemperaturfühler vorgefunden. Es liegt die Vermutung nahe, dass die Raumtemperatur über einen zentralen Fühler in der Abluft geregelt wird. Seitens der Bewohner wird auf eine Umschaltung auf unterschiedliche Lüfterstufen verzichtet. Die Anlage wird somit lastunabhängig mit einem konstanten Volumenstrom gefahren.

Die Anlage lässt sich nur über ein Bedienteil im Technikraum steuern. Die Beschreibung der gesamten Bedieneinheit ist in schwedischer Sprache gehalten. Den Bewohnern wurde lediglich erklärt, wie sie auf den Winterbetrieb umstellen können. Die Vorgabe einer bestimmten Raumlufttemperatur ist nicht möglich. Die Einstellung des gewünschten Zustands erfolgt nach dem Gefühl des Bedieners. Zu diesem Zweck wird die Außentemperaturgeführte Wärmekurve nach Gutdünken verschoben.

Projekt 5

Energetischer Standard	Passivhaus
Bauweise	Holzbau
Typ	Doppelhaushälfte
Energiebezugsfläche	140 m ²
Erstbezug	Juli 2003
Anzahl der Bewohner	2
Versorgung	Gasheizung
Primärenergiekennwert (K_{Primär})	229,25 kWh/(m ² a)
Heizwärmeverbrauch (K_{Heiz})	68,83 kWh/(m ² a)
Stromkennwert (K_{Strom})	45,81 kWh/(m ² a)
Energieklasse	6

Energetischer Standard	Passivhaus
Bauweise	Massivbau
Typ	Einfamilienhaus
Energiebezugsfläche	173 m ²
Erstbezug	Juli 2004
Anzahl der Bewohner	2
Versorgung	Wärmepumpenkompakttaggregat
Primärenergiekennwert (K_{Primär})	243,19 kWh/(m ² a)
Heizwärmeverbrauch (K_{Heiz})	80,36 kWh/(m ² a)
Stromkennwert (K_{Strom})	81,61 kWh/(m ² a) inkl. Wärmeversorgung
Energieklasse	6

Auf Grund der durchgeführten Untersuchung konnte abschließend kein direkter Mangel festgestellt werden, der den hohen Verbrauch erklärt. Die mangelhafte Regelung der Anlage führt zwar zu Problemen im Bereich der Restwärmeversorgung, deren endgültige Bewertung jedoch erst nach einer detaillierten Untersuchung möglich ist.

4.4.3.6 Projekt 6

Dieses Projekt wurde auf Grund seines hohen spezifischen Primärenergiekennwertes ausgewählt. Wie sich bei der Befragung herausgestellt hat, fehlte bei der Angabe der Energiebezugsfläche der beheizte Keller. Somit erhöht sich die Energiebezugsfläche auf 223 m². Dies führt zu einem korrigierten Primärenergiekennwert von 107 kWh/(m² a).

Da der Grenzwert nun eingehalten wird, wurde das Projekt nun in die Energieklasse 3 eingestuft.

Projekt 6

Energetischer Standard	Passivhaus
Bauweise	Massivbau
Typ	Einfamilienhaus
Energiebezugsfläche	173 m ²
Erstbezug	Juli 2004
Anzahl der Bewohner	2
Versorgung	Wärmepumpenkompaktaggregat
Primärenergiekennwert (K_{Primär})	243,19 kWh/(m ² a)
Heizwärmeverbrauch (K_{Heiz})	80,36 kWh/(m ² a)
Stromkennwert (K_{Strom})	81,61 kWh/(m ² a) inkl. Wärmeversorgung
Energieklasse	6

Die Befragung der Bewohner hat zusätzlich ergeben, dass sie in den ersten Jahren mit größeren Bautrocknungsproblemen zu kämpfen hatten. Im Verlauf der letzten Jahre ist es gelungen, den Stromverbrauch um 1.000 kWh pro Jahr zu senken. Im Bereich des abgeschlossenen Dachbodens wurden durch die Begutachtung weitere Einsparpotenziale aufgedeckt. Der Dachboden liegt zwar innerhalb der Wärmedämmschicht, er wird aber nicht beheizt.

Da eine zusätzliche Dämmung des Dachbodens zur Wohnung vorhanden ist, treten in dieser Zone geringere Raumlufttemperaturen auf. Die auf dem Dachboden verlegten Lüftungskanäle sind ungedämmt und führen somit zu unnötigen Wärmeverlusten.

Die vorgefundene Situation lässt eine nachträgliche Dämmung der Zuluftkanäle problemlos zu.

Weiterhin fiel negativ auf, dass im gesamten Haus die Überströmöffnungen in den Türen fehlten. Da die Türen innerhalb der Wohnung ständig offen stehen, fällt dieses Problem nicht direkt auf.

Um einen reibungslosen Betrieb der Anlage zu garantieren, sollten die Überströmöffnungen nachgerüstet werden. Ansonsten kann es gerade im Wohnzimmer zu einer Überdrucksituation kommen, mit welcher erhebliche Wärmeverluste verbunden wären.

4.4.3.7 Projekt 7

Das Projekt Nummer 7 wurde auf Grund der hohen Pelletverbräuche ausgewählt. Diese führen zu einem sehr hohen Heizwärmeverbrauch. Der Pelletofen ist in dem vorliegenden Projekt im Wohnzimmer platziert. Er ist mit 10 kW sicherlich zu groß dimensioniert.

Das Haus zeichnet sich durch eine sehr offene Struktur aus. Die einzelnen Bereiche befinden sich in einem gemeinsamen Luftraum. Lediglich das Schlaf- und das Kinderzimmer bilden abgeschlossenen Lufträume. Mittels separater Nachheizregister wurde eine Einzelraumregelung realisiert. Diese Regelung basiert allerdings auf dem Raumlufttemperaturfühler, welcher im Wohnzimmer direkt neben dem Pelletofen angebracht ist. Dies hat zur Folge, dass die Räume im Untergeschoss bis zu 5 K kälter sind, da der Raumtemperaturfühler durch die Wärmeabgabe des Ofens keinen Wärmebedarf meldet. Diese Tatsache führt zu Temperaturproblemen in den angesprochenen Bereichen.

Die Bewohner klagen über zu niedrige Raumlufttemperaturen im Winter. Neben der Regelung der Restheizung spielt die ebenfalls vorhandene Verschattung durch Balkone der unteren Räume eine entscheidende Rolle.

Projekt 7

Die Ausführung der Zuluftöffnungen im Wohnbereich ist als nicht optimal zu bezeichnen. Sie befinden sich in der Wand direkt über dem Fußboden. Leider liegt zur Bewertung der kontrollierten Wohnungslüftung kein Einmessprotokoll der Lüftungsanlage vor.

Der hohe Pelletverbrauch ist auf die nicht bedarfsgerichtete Nutzung des Ofens zurück zu führen. Die Betriebszeit des Ofens überschreitet die eigentlichen Bedarfsanforderungen deutlich. Hinzu kommt die zu große Dimensionierung des Ofens, was zur Folge hat, dass der Pelletofen im Teillastbereich unwirtschaftlich arbeitet. Ein weiterer Anhaltspunkt für den zu hohen Verbrauch könnte der Kamin des Ofens sein.

Energetischer Standard	Passivhaus
Bauweise	Massivbau/Holzbau
Typ	Einfamilienhaus
Energiebezugsfläche	140 m ²
Erstbezug	Dezember 2003
Anzahl der Bewohner	3
Versorgung	Pelletofen / Kollektor
Primärenergiekennwert (K_{Primär})	144,1 kWh/(m ² a)
Heizwärmeverbrauch (K_{Heiz})	52,34 kWh/(m ² a)
Stromkennwert (K_{Strom})	28,87 kWh/(m ² a)
Energieklasse	5

Hier ist zu prüfen, ob die Kaminöffnung im Falle des Nichtgebrauchs des Ofens luftdicht gegen den Wohnraum verschlossen werden kann. Dies gilt im gleichen Maße für die Zuluftöffnung des Pelletofens.

4.4.3.8 Projekt 8

Wie sich bei der Befragung herausgestellt hat, fehlte bei der Angabe der Energiebezugsfläche der beheizte Keller. Somit erhöht sich die Energiebezugsfläche auf 194 m². Daraus ergibt sich ein neuer Primärenergiekennwert von 100,64 kWh/(m² a). Das Projekt 8 fällt nun in die Energieklasse 3. Da das Gebäude nur von einer berufstätigen Person genutzt wird, sticht der hohe Heizwärmeverbrauch hervor.

Die Analyse des Gebäudes hat einige Ansatzpunkte für den zu hohen Verbrauch aufgedeckt. Die Wärmeversorgung des Gebäudes erfolgt über eine Gasbrennwerttherme, die als Nahwärmeversorgungssystem in einem der Nachbarhäuser platziert ist. Die Abrechnung der Wärmeenergie erfolgt mittels eines Zwischenzählers direkt hinter der Erzeugung. Eventuelle Verluste, die beim Transport der Wärme auftreten, zahlt somit der Endverbraucher. Des Weiteren wurde festgestellt, dass der Stellantrieb des Dreiwegemischers nicht fest geschraubt war und somit nicht ordnungsgemäß arbeiten konnte. Der Dreiwegemischer versorgt das wasserdurchströmte Heizregister mit warmem Wasser.

Projekt 8

Energetischer Standard	Passivhaus
Bauweise	Massivbau
Typ	Reihenmittelhaus
Energiebezugsfläche	134 m ²
Erstbezug	November 2003
Anzahl der Bewohner	1
Versorgung	Gasbrennwert (Nahwärme) / Kollektor
Primärenergiekennwert (K_{Primär})	145,71 kWh/(m ² a)
Heizwärmeverbrauch (K_{Heiz})	35,75 kWh/(m ² a)
Stromkennwert (K_{Strom})	35,22 kWh/(m ² a)
Energieklasse	5

Die vorhandene Kollektoranlage funktioniert seit dem Einzug nicht richtig und wurde vom Besitzer manuell außer Betrieb gesetzt. Diese Anlage versorgt im Normalfall einen Warmwasserspeicher mit Wärme. Diesem Speicher wird ebenfalls die Nahwärmeversorgung zwecks Nacherhitzung zugeführt. Die Warmwasserabnahme des Nachheizregisters der Lüftungsanlage erfolgt jedoch direkt aus der Nahwärmeversorgung und nicht aus dem befüllten Speicher. Somit trägt die Solaranlage nicht zur Beheizung der Wohnung bei.

Der sehr sparsam dimensionierte Erdreichwärmetauscher erfüllt lediglich eine Alibi-Funktion, zumal die Ansaugöffnung des Erdrohres direkt an der Südfassade angebracht ist. Durch die windgeschützte Lage wird im Sommer sehr warme Luft angesaugt, was zu hohen Raumlufttemperaturen führen kann.



Passivhaus Reihenhäuser
Sommer, Erkelenz

5 Zusammenfassung der Erfahrungen aus der Nutzung geförderter Passivhäuser in NRW

5.1 Auswertung der Bauweise, Baukonstruktion und Baumaterialien

Das Land Nordrhein-Westfalen hat von 1999 bis Mitte 2005 den Bau von Passivhäusern gefördert. Das ILS NRW hat die Förderung durchgeführt und legt mit der jetzt vorliegenden Studie eine umfangreiche Evaluierung der Ergebnisse vor.

Den ersten Teil der Untersuchung bildet eine Auswertung von Haustypen, Baukonstruktion, Baustoffen und Bauwerkskosten von über 220 Projekten, deren Daten nach Baufertigstellung und Erstellung der Verwendungsnachweise (zum Erhalt der Fördermittel) in einer Access-Datenbank erfasst worden sind. Insgesamt wurden 1070 Wohneinheiten mit 700 WE im Passivhausstandard gefördert und 370 WE im passiv-solaren oder 3-Liter-Haus-Standard in Solarsiedlungen. (Die passiv-solaren und 3-Liter-Häuser werden im Folgenden zur Vereinfachung unter dem Begriff 3-Liter-Häuser zusammengefasst.)

Bei den Passivhäusern wurden mehr als die Hälfte der Wohneinheiten als Einfamilienhäuser errichtet, während bei den 3-Liter-Häusern, bedingt durch eine große Solarsiedlung in Düsseldorf, die Wohnungen im Geschosswohnungsbau mit einem Drittel den größten Teil einnehmen.

Insgesamt wurden im Passivhausstandard eher Maßnahmen von Einzelbaufamilien realisiert, während die 3-Liter-Häuser in den Solarsiedlungen überwiegend als Bauträgermaßnahmen durchgeführt wurden. Dies dokumentiert sich in fast allen Ergebnissen der Auswahl von Baustoffen und Bauteilen. Da Einzelbaufamilien, die ein Passivhaus errichten, dies meist aus ökologischer Überzeugung tun, fallen ihre Entscheidungen eher zugunsten ökologischer Alternativen aus, während bei den 3-Liter-Häusern auf Grund des Vermarktungsweges über Bauträger ökonomische Entscheidungen Bauweise und Baustoffauswahl prägen. So wurden Passivhäuser überwiegend in Holzbauweisen errichtet, während 3-Liter-Häuser überwiegend als Massivbauten ausgeführt wurden. Der Anteil



Passivhaus Lüker, Aachen

der in Holzbauweise errichteten Projekte liegt mit 59 % bei den Passivhäusern, bzw. 35 % bei den 3-Liter-Häusern weit über dem Bundesdurchschnitt von 13,2 % (Baugenehmigungen 1994 – 2001). Mit geringeren Bauwerkskosten lässt sich dieses Phänomen nicht erklären. Holzbauweisen stellten sich in der Untersuchung sowohl in Bezug zur Wohnfläche als auch in Bezug zum Volumen als die teureren Bauweisen im Vergleich zu Massivbauweisen heraus.

In Passivhäusern wurde als meist verwendeter Dämmstoff Zellulose eingesetzt, während in 3-Liter-Häusern überwiegend Mineralfaserdämmung verwendet wurde. In Passivhäusern wurden überwiegend gedämmte Holzfenster eingebaut, hingegen kamen in den 3-Liter-Häusern überwiegend Kunststofffenster zum Einsatz. Letztere wurden durch Bauträger sicher aus Vermutungen zu Kosten und Akzeptanz gewählt. Der Kostenvergleich von Holz- und Kunststofffenstern zeigte jedoch überraschend einen Kostenvorteil für Holzfenster.

Die Betrachtung der Förderhöhe zeigt eine prozentuale Förderung der Passivhäuser von im Mittel 4,26 % der Bauwerkskosten und eine etwas geringere Förderung der 3-Liter-Häuser von im Mittel 3,44 %. Die passivhausbedingten Mehrkosten im Verhältnis zum EnEV-Standard konnten leider nicht ermittelt werden, weil keine vergleichbaren Daten von Gebäuden im EnEV-Standard vorlagen. Hilfsweise wurde eine Untersuchung der IG Passivhaus herangezogen, die Mehrkosten von etwa 8 % der durchschnittlichen gesamten Baukosten ausweist. Diese Angabe wurde anhand von Mehrkosten für passivhausrelevante Bauteile wie Fenster, Dämmung, Lüftung gegenüber 3-Liter-Häusern aus unserer Auswertung verglichen. Danach beträgt die Differenz der passivhausbedingten Mehrkosten zum 3-Liter-Haus-Standard unter Berücksichtigung eines Abschlags für den Wegfall des Heizsystems ca. 13.600 €. Die geringe Differenz von 567 € gegenüber der Untersuchung der IG Passivhaus zeigt, dass die Angaben plausibel sind. Ein Vergleich mit Kostendaten realisierter Gebäude mit EnEV-Standard wäre interessant, kann aber nur Gegenstand einer weiteren Untersuchung sein.

Die Kosten der passivhausrelevanten Bauteile wie Fenster, Dämmung, Lüftungsanlage wurden prozentual zu den Bauwerkskosten betrachtet. Dabei zeigte sich, dass für ein Einfamilienhaus im Passivhausstandard die Fenster das teuerste Bauteil sind mit durchschnittlich 9,6 % der Baukosten, die Dämmmaßnahmen 6,8 % und die Lüftungsanlagen 5,1 % der Baukosten ausmachten; Planungskosten lagen im Mittel bei 8,5 %.

5.2 Auswertung der Energiedaten und der Bewohnerzufriedenheit

Den zweiten Teil der Untersuchung bildet die Auswertung einer Bewohnerbefragung.

Das ILS NRW hat eine Befragung zur energetischen Qualität bzw. zur Nutzerzufriedenheit von etwa 220 bisher geförderten Projekten durchgeführt, wobei ein Rücklauf von 150 Projekten erfolgte. Hierbei handelt es sich zum überwiegenden Teil um Passivhäuser. Lediglich etwa 28 % der vorliegenden Daten beziehen sich auf 3-Liter-Häuser. Die Befragung wurde mittels zweier separat verschickter Fragebögen durchgeführt und kann entsprechend in zwei Teile unterteilt werden.

Die Ergebnisse der Befragung zur energetischen Qualität der Gebäude zeigen dabei folgende Auffälligkeiten:

- Bei den Passivhäusern halten nur etwa 59 % der geförderten Projekte den Primärenergiegrenzwert von $120 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$ ein.
- Bei den 3-Liter-Häusern halten lediglich 43 % den jeweils gültigen Grenzwert für den Heizwärmebedarf ein.

Verschiedene mögliche Begründungen für diese Ergebnisse und weitere Erkenntnisse ergeben sich aus einer Kopplung der energetischen Qualität mit der Befragung zur Nutzerzufriedenheit. So zeigt sich beispielsweise, dass bei den Passivhäusern die Einhaltung des Primärenergiekennwertes weitestgehend unabhängig von der Anzahl der Bewohner ist. Die Tatsache, dass bei diesem Grenzwert der Haushaltsstrom mit eingezogen wird, scheint die Aussagekraft des Grenzwertes nicht wesentlich zu beeinflussen.

Einen deutlich größeren Einfluss auf die energetische Qualität der Passivhäuser hat hingegen die Motivation, mit der die Entscheidung für diesen Baustandard gefallen ist. Die durchschnittliche energetische Qualität ist bei den Passivhäusern, die aus eigener Überzeugung erstellt wurden, deutlich höher, als bei Gebäuden, bei denen der Anstoß von außen gekommen ist (Architekt, Festlegung für das Baugebiet etc.). Dieses Ergebnis verdeutlicht sehr anschaulich, wie wichtig auch bei diesem Baustandard der Nutzereinfluss auf das erzielte Ergebnis ist.

Eines der auffälligsten Ergebnisse der Kopplung aus den beiden Fragebögen ist die sehr hohe Nutzerzufriedenheit der Bewohner unabhängig vom tatsächlichen Energieverbrauch der Gebäude. Hierfür lassen sich eine Reihe von Gründen finden:

- Es zeigt sich, dass das Raumklima und die Behaglichkeit gerade im Winter sehr positiv bewertet werden. Probleme treten eher in den Sommermonaten durch Überhitzungen auf. Dies ist häufig auf fehlende Sonnenschutz-einrichtungen zurückzuführen. Eine hohe Behaglichkeit im Winter liefert jedoch wenig Anlässe, sich mit dem Energieverbrauch bzw. den technischen Einrichtungen zu beschäftigen.
- Nur ein geringer Teil der Befragten ist in der Lage, die eigenen Verbräuche zu bewerten. In vielen Fällen findet keine nachträgliche Kontrolle der tatsächlichen Verbräuche statt. Es scheint so, dass die Bewohner in der Regel schlicht davon ausgehen, ein sparsames Gebäude zu bewohnen und entsprechend unkritischer werden.



**Passivhaus Minnebusch
in Steinfurt**

Anlässe zur kritischen Hinterfragung der Gebäudequalität sind jedoch auch zusätzlich zur häufigen Überschreitung der Grenzwerte vorhanden. So wurde bei den Passivhäusern festgestellt, dass in 7 % der Gebäude ein Schimmelbefall in Innenräumen und bei 11 % der Gebäude Kondensation an Bauteilen aufgetreten ist.

Hier deutet einiges darauf hin, dass dem Thema Lüftungstechnik eine zentrale Bedeutung für vorhandene Mängel und Unzufriedenheiten zukommt. Als Indikator für eine eingeschränkte Funktionstüchtigkeit der Lüftungstechnik kann dabei die Geräuschentwicklung angesehen werden. So ergeben sich recht deutliche Korrelationen zwischen störender Geräuschbildung und auftretenden Mängeln bzw. erhöhtem Energieverbrauch.

Dieses Ergebnis deutet darauf hin, dass bei der Planung bzw. Installation der Lüftungstechnik die Unternehmen nicht über ausreichende Qualifizierungen verfügten und die Bauabnahme z. T. mit mangelhafter Qualität erfolgte. Neben der unsachgemäßen Installation fehlte in sehr vielen Fällen zudem die Einweisung der Bewohner in die vorhandene Technik. Bei den begutachteten Objekten fehlte auch in allen Fällen ein Einmessprotokoll der Lüftungsanlage, anhand dessen eine nachträgliche Kontrolle möglich wäre.

Aus diesen Ergebnissen lassen sich folgende Ziele für die weitere Verbesserung des Passivhausstandards ableiten:

- Die Motivation zur Erstellung eines Passivhauses hat einen wesentlichen Einfluss auf die Gebäudequalität, so dass diese Motivation der Bewohner angeregt bzw. unterstützt werden sollte.
- Es hat sich gezeigt, wie wichtig es ist, eine permanente Kontrolle der Verbrauchskennzahlen durchzuführen. Daher ist es ratsam, im Rahmen der Planung Unterzähler zu berücksichtigen, die eine Aufteilung bzw. Kontrolle der Energieströme zulassen. Neben der Betriebskostenreduzierung kann dies besonders im Rahmen von Gewährleistungsansprüchen eine entscheidende Rolle spielen.
- Die Bewohner sollten auf eine ausführliche Einführung zur Benutzung ihres Passivhauses bestehen.
- Insbesondere in der Lüftungstechnik sind eine weitere Qualifizierung der Unternehmen und eine Qualitätskontrolle der Bauprojekte notwendig.

Die ausgewerteten Projekte haben insgesamt jedoch gezeigt, dass die Zufriedenheit mit dem Passivhaus sehr hoch ist und bestehende Mängel – im Bewusstsein etwas Gutes für die Umwelt zu tun – sogar in Kauf genommen werden. So würde lediglich 1 % der befragten Bewohner nicht wieder in ein Passivhaus ziehen.



**Passivhaus Minnebusch
in Steinfurt**



Passivhaus Berenbrink
in Rietberg

6 Auswertungsgrundlagen

6.1 Energiefragebogen

Jährlicher Nachweis des Energieverbrauchs

Institut für Landes- und Stadtentwicklungsforschung und Bauwesen NRW
Außenstelle Aachen
Theaterplatz 14
52062 Aachen

Name:
Strasse:
Ort:
Az.:

Objektangaben:

Objektstandort (Ort, Strasse, Nr.) :

Ist das Objekt Teil einer Solarsiedlung? ja nein

Ansprechpartner:
Telefon/Fax:
e-mail:

Gebäudestandard: Passivhaus Passive Solarbauweise
 Niedrigenergiehaus 3-I-Haus in einer Solarsiedlung
 Siedlung im Bestand Sonstiges:

Wohnfläche: m² Datum der Fertigstellung:
Anzahl der Bewohner: Datum des Bezuges:

Erfahrungen:

Eine Nachheizung war erforderlich: von: bis:
(Früheste Nutzung der (Nach-)heizung im Herbst und späteste im Frühjahr)
bei Unterschreiten der Außentemperatur von °C

Temperaturen in den Aufenthaltsräumen während
der Heizperiode: max.: °C, am ; min.: °C, am ; im Mittel: °C
der Sommermonate: max.: °C, am ; min.: °C, am ; im Mittel: °C

Wurde im Sommer durch die Lüftungsanlage gekühlt? ja nein
Falls ja, welche Erfahrungen haben Sie gemacht?
.....
.....

Zählerstände zum Jahresende:

	Medium	Zählernummer	Datum der Ablesung	Zählerstand	Einheit
Heizung (Nachheizung)	Erdgas Nati-/Fernwärme	*			
Warmwasserbereitung	Erdgas Strom Wärmemenge	*			
Strom gesamt	Strom				kWh
Lüftungsanlage	Strom				kWh
Wasser kalt	Wasser				m ³
Wasser warm	Wasser				m ³

Thermische Solaranlage	Wärmemenge				
Fotovoltaikanlage	Strom				kWh

* nicht zutreffendes bitte streichen

Liefermengen für die Beheizung:

	Medium	Datum der Lieferung	gelieferte Menge	Restbestand zum Jahresende	Einheit
Heizöl EL	Heizöl				
Holzpellets	Holz				
Flüssiggas	Gas				
Biomasse					

Bemerkungen: (Wechsel oder Ausfall von Zählern, Änderungen von Personenzahlen, Erfahrungen oder Anmerkungen)

.....
.....
.....

Datum: Unterschrift:

6.2 Fragebogen zu Bau- und Wohnerfahrungen

Institut für Landes- und
Stadtentwicklungsforschung und Bauwesen
des Landes Nordrhein-Westfalen (ILS NRW)



Fragebogen zu Bau- und Wohnerfahrungen im Passivhaus

Fragen an Bewohner und Bewohnerinnen

Datum:

Projekt:

Befragte Person:

1.	Wie kamen Sie auf die Idee, ein Passivhaus zu bauen?	<input type="checkbox"/> aus eigener Überzeugung <input type="checkbox"/> Passivhäuser in Bekanntheit und Nachbarschaft <input type="checkbox"/> Architekt hatte die Idee <input type="checkbox"/> Bauträgermaßnahme <input type="checkbox"/> Festlegung für Baugebiet <input type="checkbox"/> sonstiges:.....
2.	Fertigstellung	<input type="checkbox"/> 2000 <input type="checkbox"/> 2001 <input type="checkbox"/> 2002 <input type="checkbox"/> 2003 <input type="checkbox"/> 2004 <input type="checkbox"/> 2005
3.	Anzahl der Bewohner/innen	Anzahl der Erwachsenen Anzahl der Kinder:.....
4.	Energetischer Standard	<input type="checkbox"/> Passivhaus-Standard <input type="checkbox"/> 3-Liter-Haus-Standard <input type="checkbox"/> passiv-solarer Standard
5.	Sind Sie in die Nutzung Ihres Hauses vom Architekten oder anderen besonders eingewiesen worden?	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein
6.	Lüftungsanlage	<input type="checkbox"/> mit Erdreichwärmetauscher <input type="checkbox"/> ohne Erdreichwärmetauscher <input type="checkbox"/> zentrale Anlage (z.B. im Mehrfamilienhaus) <input type="checkbox"/> wohnungsweise Anlage
7.	Wie funktioniert Ihre Lüftungsanlage?	<input type="checkbox"/> von Anfang an reibungslos <input type="checkbox"/> nach einer Nachjustierung gut <input type="checkbox"/> immer noch nicht einwandfrei <input type="checkbox"/> schlecht

- 1 -

8.	Wie beurteilen Sie den Bedienungskomfort Ihrer Lüftungsanlage	<input type="checkbox"/> kompliziert <input type="checkbox"/> nach einer Eingewöhnungsphase o.k. <input type="checkbox"/> einfach
9.	Macht die Lüftungsanlage störende Geräusche?	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> die leisen Geräusche stören nicht <input type="checkbox"/> nein
10.	Gibt es Schallschutzprobleme mit der Lüftungsanlage (Geräuschübertragung aus anderen Räumen/Wohnungen)?	<input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> ja, wenig störend <input type="checkbox"/> ja, sehr störend
11.	Haben Sie bereits Wartungsarbeiten an Ihrer Lüftungsanlage durchgeführt?	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein
12.	Wie beurteilen Sie die notwendigen Wartungsarbeiten an der Lüftungsanlage?	<input type="checkbox"/> einfach auszuführen <input type="checkbox"/> normal <input type="checkbox"/> aufwändig auszuführen
13.	Raumtemperatur während der „Heizperiode“ überwiegend	<input type="checkbox"/> zu kalt <input type="checkbox"/> angenehm <input type="checkbox"/> zu warm
14.	Überwiegend gemessene Raumlufttemperatur in der „Heizperiode“	<input type="checkbox"/> unter 18°C <input type="checkbox"/> 18°C <input type="checkbox"/> 19°C <input type="checkbox"/> 20°C <input type="checkbox"/> über 20°C
15.	Ist es in Ihrer Wohnung in der oberen Etage deutlich wärmer als in der unteren?	<input type="checkbox"/> in der oberen deutlich wärmer <input type="checkbox"/> kein Temperaturunterschied zwischen oben und unten <input type="checkbox"/> in der unteren deutlich wärmer <input type="checkbox"/> nicht zutreffend, da eingeschossig
16.	Raumluftfeuchtigkeit	<input type="checkbox"/> angenehm <input type="checkbox"/> zu trocken <input type="checkbox"/> zu feucht
17.	Falls Raumluftfeuchtigkeit gemessen wurde:	<input type="checkbox"/> weniger als 30 % <input type="checkbox"/> 30 % <input type="checkbox"/> 40 % <input type="checkbox"/> 50 % <input type="checkbox"/> mehr als 50 %
18.	Haben Sie Kondenswasser an Bauteilen beobachtet?	<input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> ja, wenn ja, wo:.....
19.	Haben Sie Schimmel an Bauteilen beobachtet?	<input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> ja, wenn ja, wo:.....
20.	Wie oft lüften Sie während der Heizperiode (zusätzlich zur Lüftungsanlage) durch die Fenster?	<input type="checkbox"/> häufig <input type="checkbox"/> anfangs häufig, nach Eingewöhnungsphase eher selten <input type="checkbox"/> selten

- 2 -

		<input type="checkbox"/> nie
21.	Schlafen Sie während der Heizperiode im Schlafraum nachts bei geöffneten Fenstern?	<input type="checkbox"/> ich lasse die Fenster immer geschlossen <input type="checkbox"/> ich lüfte vor und nach dem Schlafengehen <input type="checkbox"/> ich lasse die Fenster immer geöffnet
22.	Gesamtbeurteilung des Raumklimas / der Raumluftqualität während der Heizperiode	<input type="checkbox"/> sehr gut <input type="checkbox"/> gut <input type="checkbox"/> mittelmäßig <input type="checkbox"/> schlecht
23.	Zu hohe Raumlufttemperatur im Sommer	<input type="checkbox"/> selten <input type="checkbox"/> häufig
24.	Haben Sie Sonnenschutzeinrichtungen	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein
25.	Halten Sie Sonnenschutzeinrichtungen aus Ihrer Erfahrung für wichtig?	<input type="checkbox"/> nicht wichtig <input type="checkbox"/> wichtig <input type="checkbox"/> unverzichtbar
26.	Wenn ja, welche Sonnenschutzeinrichtungen haben Sie?	<input type="checkbox"/> Jalousien/Rolläden, außenliegend <input type="checkbox"/> Jalousien, innenliegend <input type="checkbox"/> Vordach, darüberliegender Balkon <input type="checkbox"/> Sonnenschutzsegel <input type="checkbox"/> Schiebeläden, Klapppläden, außenliegend <input type="checkbox"/> horizontale Lamellen/Gitter <input type="checkbox"/> sonstiges:.....
27.	Gesamtbeurteilung des Raumklimas / der Raumluftqualität im Sommer	<input type="checkbox"/> sehr gut <input type="checkbox"/> gut <input type="checkbox"/> mittelmäßig <input type="checkbox"/> schlecht
28.	Erkältungskrankheiten/Atemwegs-erkrankungen seit dem Wohnen im Passivhaus	<input type="checkbox"/> keine <input type="checkbox"/> eher weniger <input type="checkbox"/> wie vorher <input type="checkbox"/> eher mehr
29.	Allergien seit dem Wohnen im Passivhaus	<input type="checkbox"/> keine <input type="checkbox"/> Allergien vorhanden, Anzahl erkrankter Pers.: <input type="checkbox"/> Krankheitsbild verbessert <input type="checkbox"/> Krankheitsbild wie vorher <input type="checkbox"/> Krankheitsbild verschlechtert
30.	Wie sind Sie mit dem Leben im Passivhaus zufrieden?	Noten von 1 – 6, bitte eintragen:
31.	Welche Restheizung haben Sie	<input type="checkbox"/> Wärmepumpenkompaktaggregat <input type="checkbox"/> Pelletofen <input type="checkbox"/> Holzofen <input type="checkbox"/> Wärmepumpe <input type="checkbox"/> BHKW <input type="checkbox"/> Fernwärme <input type="checkbox"/> Elektrisches Nachheizregister <input type="checkbox"/> elektrische Direktheizung <input type="checkbox"/> Gasbrennwertkessel <input type="checkbox"/> Gasheizung

- 3 -

		<input type="checkbox"/> sonstiges:.....
32.	Haben Sie eine Solaranlage?	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein
33.	Falls ja, Art der Solaranlage	<input type="checkbox"/> zur Brauchwasserunterstützung <input type="checkbox"/> zur Brauchwasser- und Heizungsunterstützung <input type="checkbox"/> Flachkollektoren <input type="checkbox"/> Vakuumröhrenkollektoren
34.	Wie beurteilen Sie die Erträge der Solaranlage	<input type="checkbox"/> eher unbefriedigend <input type="checkbox"/> befriedigend <input type="checkbox"/> gut <input type="checkbox"/> sehr gut
35.	Welche Speichergröße haben Sie ausgeführt?	<input type="checkbox"/> 200 l <input type="checkbox"/> 300 l <input type="checkbox"/> 400 l <input type="checkbox"/> 500 l <input type="checkbox"/> größer als 500 l
36.	Haben Sie eine Fotovoltaikanlage?	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein
37.	Wie beurteilen Sie die Erträge der Fotovoltaikanlage?	<input type="checkbox"/> eher unbefriedigend <input type="checkbox"/> befriedigend <input type="checkbox"/> gut <input type="checkbox"/> sehr gut
38.	Wie waren Sie mit der Bauabwicklung zufrieden?	Noten von 1 – 6, bitte eintragen:
39.	Würden Sie wieder ein Passivhaus bauen oder bewohnen?	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> vielleicht

- 4 -

6.3 Auswertung Bewohnerfragebogen

Im Folgenden werden die einzelnen Ergebnisse der Nutzerbefragung tabellarisch dargestellt. In den Tabellen wird zwischen gültigen und fehlenden Daten unterschieden. Im Bereich der fehlenden Daten tauchen neben den ungültigen Antworten Daten auf, die vom System als fehlend deklariert wurden. Diese haben den gleichen Status wie die ungültigen Antworten.

In der ersten Spalte der Ergebnisse wird die Häufigkeit der jeweiligen Antwort ausgegeben. Diese schließen die ungültigen Antworten ein. Somit bezieht sich die prozentuale Verteilung der zweiten Spalte auf alle möglichen Antworten. In der letzten Spalte werden ausschließlich die gültigen Antworten ausgewertet. Eine weitere Besonderheit stellen Fragen dar, bei denen Mehrfachantworten zulässig sind. Diese werden in der Auswertung mit einem * gekennzeichnet. In diesen Fällen wird in der ersten Spalte ebenfalls die Häufigkeit der jeweiligen Antwort dargestellt. Da einzelne Antworten mehrfach je Frage ausgewählt werden können, unterscheidet sich die Anzahl der Antworten von der Anzahl der ausgewerteten Fälle.

In der zweiten Spalte wird die prozentuale Verteilung aller abgegebenen Antworten ausgegeben.

In der letzten Spalte werden die einzelnen Antworten prozentual auf die untersuchten Fälle verteilt. Auf Grund der Mehrfachantworten kommt es hierbei zu Werten, die in der Summe 100 % übersteigen.

1 Wie kamen Sie auf die Idee, ein Passivhaus zu bauen?*

	Antworten		Prozent der Fälle
	Häufigkeit	Prozent	
aus eigener Überzeugung	93	46,7%	58,1%
PH in Bekanntschaft und Nachbarschaft	7	3,5%	4,4%
Architekt hatte die Idee	23	11,6%	14,4%
Bauträgermaßnahme	14	7,0%	8,8%
Festlegung für Baugebiet	43	21,6%	26,9%
Sonstiges	19	9,5%	11,9%
Gesamt	199	100,0%	124,4%

2 Jahr der Fertigstellung

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente
Gültigkeit	2000	7	4,3%	4,5 %
	2001	21	13,0%	13,5 %
	2002	45	28,0%	28,8 %
	2003	42	26,1%	26,9 %
	2004	39	24,2%	25,0 %
	2005	2	1,2%	1,3 %
	Gesamt	156	96,9%	100,0 %
Fehlend	ungültige Antwort	2	1,2%	
	System	3	1,9%	
	Gesamt	5	3,1%	
Gesamt		161	100,0%	

3 a Anzahl Erwachsener

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente
Gültigkeit	1	9	5,6 %	5,7 %
	2	132	82,0 %	84,1 %
	3	7	4,3 %	4,5 %
	4	7	4,3 %	4,5 %
	5	2	1,2 %	1,3 %
	Gesamt	157	97,5 %	100,0 %
Fehlend	k. A.	4	2,5 %	
Gesamt		161	100,0 %	

3 b Anzahl Kinder

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente
Gültigkeit	0	37	23,0 %	23,3 %
	1	29	18,0 %	18,2 %
	2	69	42,9 %	43,4 %
	3	22	13,7 %	13,8 %
	4	2	1,2 %	1,3 %
	Gesamt	159	98,8 %	100,0 %
Fehlend	k. A.	2	1,2 %	
Gesamt		161	100,0 %	

4 Energetischer Standard

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente
Gültigkeit	Passivhaus	115	71,4 %	71,4 %
	3-Liter-Haus	30	18,6 %	18,6 %
	passiv-solar	16	9,9 %	9,9 %
Gesamt		161	100,0 %	100,0 %

5 Sind Sie in die Nutzung Ihres Hauses vom Architekten oder anderen besonders eingewiesen worden?

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente
Gültigkeit	ja	81	50,3 %	50,9 %
	nein	78	48,4 %	49,1 %
	Gesamt	159	98,8 %	100,0 %
Fehlend	System	2	1,2 %	
Gesamt		161	100,0 %	

6 a Lüftungsanlage – Haben Sie einen Erdreichwärmetauscher?

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente
Gültigkeit	ja	117	72,7 %	76,5 %
	nein	36	22,4 %	23,5 %
	Gesamt	153	95,0 %	100,0 %
Fehlend	System	8	5,0 %	
Gesamt		161	100,0 %	

6 b Lüftungsanlage – Haben Sie eine zentrale Lüftungsanlage?

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente
Gültigkeit	ja	4	2,5 %	11,8 %
	wohnungsweise	30	18,6 %	88,2 %
	Gesamt	34	21,1 %	100,0 %
Fehlend	System	127	78,9 %	
Gesamt		161	100,0 %	

7 Wie funktioniert Ihre Lüftungsanlage?

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente
Gültigkeit	von Anfang an reibungslos	76	47,2 %	49,4 %
	nach einer Nachjustierung gut	56	34,8 %	36,4 %
	immer noch nicht einwandfrei	19	11,8 %	12,3 %
	schlecht	3	1,9 %	1,9 %
	Gesamt	154	95,7 %	100,0 %
Fehlend	k. A.	2	1,2 %	
	System	5	3,1 %	
	Gesamt	7	4,3 %	
Gesamt		161	100,0 %	

8 Wie beurteilen Sie den Bedienungskomfort der Lüftungsanlage?

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente
Gültigkeit	kompliziert	8	5,0 %	5,1 %
	nach Eingewöhnung ok.	58	36,0 %	36,9 %
	einfach	91	56,5 %	58,0 %
	Gesamt	157	97,5 %	100,0 %
Fehlend	System	4	2,5 %	
Gesamt		161	100,0 %	

9 Macht die Lüftungsanlage störende Geräusche?

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente
Gültigkeit	ja	21	13,0 %	13,2 %
	die leisen Geräusche stören nicht	91	56,5 %	57,2 %
	nein	47	29,2 %	29,6 %
	Gesamt	159	98,8 %	100,0 %
Fehlend	System	2	1,2 %	
Gesamt		161	100,0 %	

10 Gibt es Schallschutzprobleme mit der Lüftungsanlage (Geräuschübertragung aus anderen Räumen/Wohnungen)?

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente
Gültigkeit	kompliziert	135	83,9 %	84,4 %
	ja, wenig störend	21	13,0 %	13,1 %
	ja, sehr störend	4	2,5 %	2,5 %
	Gesamt	160	99,4 %	100,0 %
Fehlend	System	1	0,6 %	
Gesamt		161	100,0 %	

11 Haben Sie bereits Wartungsarbeiten an Ihrer Lüftungsanlage durchgeführt?

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente
Gültigkeit	ja	116	72,0 %	72,5 %
	nein	44	27,3 %	27,5 %
	Gesamt	160	99,4 %	100,0 %
Fehlend	k. A.	1	0,6 %	
Gesamt		161	100,0 %	

12 Wie beurteilen Sie die notwendigen Wartungsarbeiten an der Lüftungsanlage?

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente
Gültigkeit	einfach auszuführen	101	62,7 %	69,2 %
	normal	42	26,1 %	28,8 %
	aufwendig auszuführen	3	1,9 %	2,1 %
	Gesamt	146	90,7 %	100,0 %
Fehlend	k. A.	1	0,6 %	
	System	14	8,7 %	
	Gesamt	15	9,3 %	
Gesamt		161	100,0 %	

13 Raumtemperatur während der „Heizperiode“ überwiegend

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente
Gültigkeit	zu kalt	9	5,6 %	6,0 %
	angenehm	140	87,0 %	92,7 %
	zu warm	2	1,2 %	1,3 %
	Gesamt	151	93,8 %	100,0 %
Fehlend	k. A.	6	3,7 %	
	System	4	2,5 %	
	Gesamt	10	6,2 %	
Gesamt		161	100,0 %	

14 Überwiegend gemessene Raumlufttemperatur in der „Heizperiode“

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente
Gültigkeit	18 °C	3	1,9 %	2,1 %
	19 °C	22	13,7 %	15,4 %
	20 °C	53	32,9 %	37,1 %
	über 20 °C	65	40,4 %	45,5 %
	Gesamt	143	88,8 %	100,0 %
Fehlend	k. A.	15	9,3 %	
	System	3	1,9 %	
	Gesamt	18	11,2 %	
Gesamt		161	100,0 %	

15 Ist es in Ihrer Wohnung in der oberen Etage deutlich wärmer als in der unteren?

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente
Gültigkeit	oben deutlich wärmer	63	39,1 %	40,9 %
	kein Temperaturunterschied	70	43,5 %	45,5 %
	unten deutlich wärmer	18	11,2 %	11,7 %
	nicht zutreffend, da eingeschossig	3	1,9 %	1,9 %
	Gesamt	154	95,7 %	100,0 %
Fehlend	k. A.	5	3,1 %	
	System	2	1,2 %	
	Gesamt	7	4,3 %	
Gesamt		161	100,0 %	

16 Raumlufffeuchtigkeit

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente
Gültigkeit	angenehm	118	73,3 %	77,1 %
	zu trocken	34	21,1 %	22,2 %
	zu feucht	1	0,6 %	0,7 %
	Gesamt	153	95,0 %	100,0 %
Fehlend	k. A.	6	3,7 %	
	System	2	1,2 %	
	Gesamt	8	5,0 %	
Gesamt		161	100,0 %	

17 Falls Raumlufffeuchtigkeit gemessen wurde:

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente
Gültigkeit	weniger als 30 %	10	6,2 %	16,9 %
	30 %	10	6,2 %	16,9 %
	40 %	20	12,4 %	33,9 %
	50 %	12	7,5 %	20,3 %
	mehr als 50 %	7	4,3 %	11,9 %
	Gesamt	59	36,6 %	100,0 %
Fehlend	k. A.	20	12,4 %	
	System	82	50,9 %	
	Gesamt	102	63,4 %	
Gesamt		161	100,0 %	

18 a Haben Sie Kondenswasser an Bauteilen beobachtet?

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente
Gültigkeit	nein	142	88,2 %	88,8 %
	ja	18	11,2 %	11,3 %
	Gesamt	160	99,4 %	100,0 %
Fehlend	System	1	0,6 %	
Gesamt		161	100,0 %	

18 b wenn ja, wo:

Nennungen der Befragten
Außenluft und Fortluftkanal
Erdwärmetauscher im Sommer, da er dann zur Kühlung eingesetzt wird
Dachflächenfenster der Schlafräume
Kellerwände – Sie liegen außerhalb der energetischen Hülle
Fenster
Ins Haus eintretende Trink- und Regenwasserleitungen
Fenster außen
Frühjahr und Herbst bei hoher Luftfeuchtigkeit direkt in der Lüftungsanlage
An den kalten Bereichen des Lüftungsanlagegehäuses / Leitung Regenwasseranlage
an Zuleitungen zur Lüftungsanlage, da nicht isoliert
im Eingangsfur an der Decke, im ersten Jahr
Luftestrom
Stützen der Lüftungsanlage
Außenscheiben
an Fenster von außen
Fenster im ersten Halbjahr nach Einzug

19 Haben Sie Schimmel an Bauteilen beobachtet?

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente
Gültigkeit	nein	150	93,2 %	93,2 %
	ja	11	6,8 %	6,8 %
Gesamt		161	100,0 %	

19 b wenn ja, wo:

Nennungen der Befragten
Treppenhaus Innenwand unten
Kellerwand zum Fußboden hin
in dem Außenluftfilter und dem Zuluftfilter
im Keller, wegen Wäschetrocknung
Fenster
Eingang Erdwärmetauscher in das Haus
ein Abflussrohr falsch zusammengesetzt, ist aber alles behoben worden
Dachsparren außen
an schlecht belüfteten Stellen, z. B. hinter Bildern
an der undichten Stelle der Fassade

20 Wie oft lüften Sie während der Heizperiode (zusätzlich zur Lüftungsanlage) durch die Fenster?

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente
Gültigkeit	Häufig	6	3,7 %	3,8 %
	anfangs häufig, später eher selten	7	4,3 %	4,5 %
	selten	68	42,2 %	43,3 %
	nie	76	47,2 %	48,4 %
	Gesamt	157	97,5 %	100,0 %
Fehlend	k. A.	3	1,9 %	
	System	1	0,6 %	
	Gesamt	4	2,5 %	
Gesamt		161	100,0 %	

21 Schlafen Sie während der Heizperiode im Schlafraum nachts bei geöffneten Fenstern?

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente
Gültigkeit	ich lasse die Fenster immer geschlossen	120	74,5 %	76,9 %
	ich lüfte vor und nach dem Schlafengehen	20	12,4 %	12,8 %
	ich lasse die Fenster immer geöffnet	16	9,9 %	10,3 %
	Gesamt	156	96,9 %	100,0 %
Fehlend	k. A.	2	1,2 %	
	System	3	1,9 %	
	Gesamt	5	3,1 %	
Gesamt		161	100,0 %	

22 Gesamtbeurteilung des Raumklimas / der Raumluftqualität während der Heizperiode

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente
Gültigkeit	sehr gut	62	38,5 %	40,5 %
	gut	84	52,2 %	54,9 %
	mittelmäßig	6	3,7 %	3,9 %
	schlecht	1	0,6 %	0,7 %
	Gesamt	153	95,0 %	100,0 %
Fehlend	k. A.	6	3,7 %	
	System	2	1,2 %	
	Gesamt	8	5,0 %	
Gesamt		161	100,0 %	

23 Zu hohe Raumlufttemperatur im Sommer

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente
Gültigkeit	selten	100	62,1 %	62,5 %
	häufig	60	37,3 %	37,5 %
	Gesamt	160	99,4 %	100,0 %
Fehlend	System	1	0,6 %	
Gesamt		161	100,0 %	

24 Haben Sie Sonnenschutzeinrichtungen?

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente
Gültigkeit	ja	130	80,7 %	81,3 %
	nein	30	18,6 %	18,8 %
	Gesamt	160	99,4 %	100,0 %
Fehlend	k. A.	1	0,6 %	
Gesamt		161	100,0 %	

25 Halten Sie Sonnenschutzeinrichtungen aus Ihrer Erfahrung für wichtig?

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente
Gültigkeit	nicht wichtig	3	1,9 %	1,9 %
	wichtig	42	26,1 %	26,8 %
	unverzichtbar	112	69,6 %	71,3 %
	Gesamt	157	97,5 %	100,0 %
Fehlend	k. A.	4	2,5 %	
Gesamt		161	100,0 %	

26 Wenn ja, welche Sonnenschutz-einrichtungen haben Sie?*

	Antworten		Gültige Prozente
	Häufigkeit	Prozent	
Jalousien / Rollläden, außenliegend	98	48,8 %	70,5 %
Jalousien, innenliegend	26	12,9 %	18,7 %
Vordach, darüber liegender Balkon	18	9,0 %	12,9 %
Sonnenschutzsegel	18	9,0 %	12,9 %
Schiebeläden, Klappläden, außenliegend	2	1,0 %	1,4 %
horizontale Lamellen / Gitter	10	5,0 %	7,2 %
Sonstige	29	14,4 %	20,9 %
Gesamt	201	100,0 %	144,6 %

**27 Gesamtbeurteilung des Raumklimas/
der Raumluftqualität im Sommer**

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente
Gültigkeit	sehr gut	47	29,2 %	30,3 %
	gut	86	53,4 %	55,5 %
	mittelmäßig	21	13,0 %	13,5 %
	schlecht	1	0,6 %	0,6 %
	Gesamt	155	96,3 %	100,0 %
Fehlend	k. A.	3	1,9 %	
	System	3	1,9 %	
	Gesamt	6	3,7 %	
Gesamt		161	100,0 %	

**28 Erkältungskrankheiten / Atemwegs-
erkrankungen seit dem Wohnen im
Passivhaus**

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente
Gültigkeit	keine	45	28,0 %	28,5 %
	eher weniger	51	31,7 %	32,3 %
	wie vorher	57	35,4 %	36,1 %
	eher mehr	5	3,1 %	3,2 %
	Gesamt	158	98,1 %	100,0 %
Fehlend	System	3	1,9 %	
Gesamt		161	100,0 %	

**29 a Allergien seit dem Wohnen im
Passivhaus**

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente
Gültigkeit	keine	111	68,9 %	82,2 %
	Allergien vorhanden	24	14,9 %	17,8 %
	Gesamt	135	83,9 %	100,0 %
Fehlend	System	26	16,1 %	
Gesamt		161	100,0 %	

**29 b wenn Allergien vorhanden,
Anzahl erkrankter Pers.:**

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente
Gültigkeit	0	138	85,7 %	85,7 %
	1	12	7,5 %	7,5 %
	2	8	5,0 %	5,0 %
	3	3	1,9 %	1,9 %
Gesamt		161	100,0 %	

29 c Veränderungen der Allergien

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente
Gültigkeit	Krankheitsbild verbessert	21	13,0 %	45,7 %
	Krankheitsbild wie vorher	25	15,5 %	54,3 %
	Gesamt	46	28,6 %	100,0 %
Fehlend	System	115	71,4 %	
Gesamt		161	100,0 %	

30 Wie sind Sie mit dem Leben im Passivhaus zufrieden?

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente
Gültigkeit	sehr gut	50	31,1 %	32,7 %
	gut	84	52,2 %	54,9 %
	befriedigend	14	8,7 %	9,2 %
	ausreichend	3	1,9 %	2,0 %
	mangelhaft	1	0,6 %	0,7 %
	ungenügend	1	0,6 %	0,7 %
	Gesamt	153	95,0 %	100,0 %
Fehlend	k. A.	8	5,0 %	
Gesamt		161	100,0 %	

31 Welche Restheizung haben Sie*

	Antworten		Prozent der Fälle
	Häufigkeit	Prozent	
Wärmepumpen-kompakttaggregat	12	6,5 %	7,5 %
Pelletofen	28	15,1 %	17,6 %
Holzofen	12	6,5 %	7,5 %
Wärmepumpe	16	8,6 %	10,1 %
Fernwärme	3	1,6 %	1,9 %
elektrisches Nachheizregister	39	21,0 %	24,5 %
elektrische Direktheizung	6	3,2 %	3,8 %
Gasbrennwertkessel	40	21,5 %	25,2 %
Gasheizung	15	8,1 %	9,4 %
Sonstige	15	8,1 %	9,4 %
Gesamt	161	100,0 %	117,0 %

32 Haben Sie eine Solaranlage

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente
Gültigkeit	ja	133	82,65 %	82,65 %
	nein	28	17,35 %	17,35 %
Gesamt		161	100,0 %	100,0 %

33 a Falls ja, Einsatz der Solaranlage

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente
Gültigkeit	nur Brauchwasser-erwärmung	62	38,5 %	49,2 %
	Brauchwasser-und Heizungs-unterstützung	64	39,8 %	50,8 %
	Gesamt	126	78,3 %	100,0 %
Fehlend	k. A.	1	0,6 %	
	System	34	21,1 %	
	Gesamt	35	21,7 %	
Gesamt		161	100,0 %	

33 b Falls ja, Art der Solaranlage

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente
Gültigkeit	Flachkollektoren	66	41,0 %	71,7 %
	Vakuumröhrenkollektoren	26	16,1 %	28,3 %
	Gesamt	92	57,1 %	100,0 %
Fehlend	k. A.	1	0,6 %	
	System	68	42,2 %	
	Gesamt	69	42,9 %	
Gesamt		161	100,0 %	

34 Wie beurteilen Sie die Erträge der Solaranlage?

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente
Gültigkeit	eher unbefriedigend	4	2,5 %	3,2 %
	befriedigend	23	14,3 %	18,4 %
	gut	67	41,6 %	53,6 %
	sehr gut	31	19,3 %	24,8 %
	Gesamt	125	77,6 %	100,0 %
Fehlend	k. A.	1	0,6 %	
	System	35	21,7 %	
	Gesamt	36	22,4 %	
Gesamt		161	100,0 %	

35 welche Speichergröße haben Sie ausgeführt?

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente
Gültigkeit	200 l	7	4,3 %	5,5 %
	300 l	34	21,1 %	26,8 %
	400 l	19	11,8 %	15,0 %
	500 l	18	11,2 %	14,2 %
	größer als 500 l	49	30,4 %	38,6 %
	Gesamt	127	78,9 %	100,0 %
Fehlend	System	34	21,1 %	
Gesamt		161	100,0 %	

36 Haben Sie eine Fotovoltaikanlage?

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente
Gültigkeit	ja	20	12,4 %	12,7 %
	nein	138	85,7 %	87,3 %
	Gesamt	158	98,1 %	100,0 %
Fehlend	System	3	1,9 %	
Gesamt		161	100,0 %	

37 Wie beurteilen Sie die Erträge der Fotovoltaikanlage?

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente
Gültigkeit	eher unbefriedigend	1	0,6 %	5,3 %
	befriedigend	2	1,2 %	10,5 %
	gut	10	6,2 %	52,6 %
	sehr gut	6	3,7 %	31,6 %
	Gesamt	19	11,8 %	100,0 %
Fehlend	System	142	88,2 %	
Gesamt		161	100,0 %	

38 Wie waren Sie mit der Bauabwicklung zufrieden?

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente
Gültigkeit	sehr gut	22	13,7 %	15,4 %
	gut	60	37,3 %	42,0 %
	befriedigend	33	20,5 %	23,1 %
	ausreichend	17	10,6 %	11,9 %
	mangelhaft	5	3,1 %	3,5 %
	ungenügend	6	3,7 %	4,2 %
	Gesamt	143	88,8 %	100,0 %
Fehlend	k. A.	18	11,2 %	
Gesamt		161	100,0 %	

39 Würden Sie wieder ein Passivhaus bauen oder bewohnen?

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente
Gültigkeit	ja	142	88,2 %	89,3 %
	nein	2	1,2 %	1,3 %
	vielleicht	15	9,3 %	9,4 %
	Gesamt	159	98,8 %	100,0 %
Fehlend	k. A.	2	1,2 %	
Gesamt		161	100,0 %	

Tabellenverzeichnis

Tab. 1	Haustypen Passivhäuser und 3-Liter-Häuser
Tab. 2	Haustypen Passivhäuser und 3-Liter-Häuser in den Solarsiedlungen
Tab. 3	Durchschnittliche abgerechnete Bauwerkskosten/m ² Wohnfläche von Passivhäusern und 3-Liter-Häuser
Tab. 4	Durchschnittlicher Mehrpreis der Bauwerkskosten von Passivhäuser und 3-Liter-Häuser
Tab. 5	Durchschnittlicher Mehrpreis der Bauwerkskosten/m ² Wohnfläche von DHH und EFH im Vergleich zum RH im Passivhausstandard und im 3-Liter-Haus-Standard
Tab. 6	Abgerechnete Bauwerkskosten und Förderung von Passivhäusern und 3-Liter-Häusern
Tab. 7	Durchschnittliche Bauwerkskosten und anteilige Kosten der Fenster Passivhaus- und 3-Liter-Haus-Standard
Tab. 8	Prozentuale Kosten von Holz- und Kunststofffenstern im Verhältnis zu den Bauwerkskosten bei Passivhäusern und 3-Liter-Häusern
Tab. 9	Durchschnittliche Bauwerkskosten und anteilige Kosten der Dämmmaßnahmen Passivhaus- und 3-Liter-Haus-Standard
Tab. 10	Bauwerkskosten und anteilige Kosten der Lüftungsanlagen Passivhaus- und 3-Liter-Haus-Standard
Tab. 11	Mittlere Kosten relevanter Bauteile von Einfamilienhäusern im Passivhaus- und 3-Liter-Haus-Standard im Vergleich und im Vergleich zu einer Untersuchung zu Mehrkosten der IG Passivhaus
Tab. 12	Planungskosten Passivhaus- und 3-Liter-Haus-Standard
Tab. 13	Heizwerte
Tab. 14	Primärenergiefaktoren
Tab. 15	Energieklassen
Tab. 16	Motivation zur Erstellung eines Passivhauses
Tab. 17	Motivation zur Erstellung eines Passiv-Solar- / 3 Liter-Hauses
Tab. 18	Anzahl der Bewohner
Tab. 19	Wärmeversorgungseinrichtungen in den untersuchten Projekten
Tab. 20	Funktionsweise der Lüftungsanlagen in Passivhäusern
Tab. 21	Geräuschentwicklung der Lüftungsanlagen in Passivhäusern
Tab. 22	Bedienkomfort der Lüftungsanlagen in Passivhäusern
Tab. 23	Abhängigkeit der Behaglichkeit im Winter von der Funktionsweise der Lüftungsanlage in Passivhäusern
Tab. 24	Abhängigkeit der Behaglichkeit im Sommer von der Funktionsweise der Lüftungsanlage in Passivhäusern
Tab. 25	Verteilung der Energieklassen in Abhängigkeit der Bewohnerzahl eines Passivhauses
Tab. 26	Verteilung der Energieklassen über verschiedene Wärmezeugungseinheiten in Passivhäusern
Tab. 27	Verteilung der Energieklassen über die Motivation der Bewohner in Passivhäusern

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1	Prozentuale Anteile der Haustypen beim Passivhaus- und 3-Liter-Haus
Abb. 2	Anteile an Holzbau- und Massivbauprojekten bei Passivhäusern und 3-Liter-Häusern
Abb. 3	Prozentuale Anteile der Verwendung von Dämmstoffen in Wand und Dach in Passivhäusern
Abb. 4	Prozentuale Anteile der Verwendung von Dämmstoffen in Wand und Dach in 3-Liter-Häuser
Abb. 5	Prozentuale Anteile der verwendeten Fenstermaterialien beim Passivhaus und 3-Liter-Haus
Abb. 6	Bauwerkskosten Massivbau/Holzbau für Passivhäuser und 3-Liter-Häuser im Vergleich
Abb. 7	Bauwerkskosten/m ² Wohnfläche Massivbau/Holzbau für Passivhäuser und 3-Liter-Häuser im Vergleich

- Abb. 8** Bauwerkskosten/m³ beheiztes Luftvolumen Massivbau/Holzbau für Passivhäuser und 3-Liter-Häuser im Vergleich
- Abb. 9** Verteilung der Energiebezugsfläche der untersuchten Objekte
- Abb. 10** Verteilung der spezifischen Energiebezugsfläche der untersuchten Objekte
- Abb. 11** Überwiegend empfundene Raumtemperatur während der „Heizperiode“
- Abb. 12** Überwiegend gemessene Raumtemperatur während der „Heizperiode“
- Abb. 13** Empfundene Raumlufffeuchtigkeit
- Abb. 14** Gemessene Raumlufffeuchtigkeit
- Abb. 15** Fensterlüftung zusätzlich zur Lüftungsanlage
- Abb. 16** Fensterlüftung der Schlafräume zusätzlich zur Lüftungsanlage
- Abb. 17** Zu hohe Raumlufftemperatur im Sommer
- Abb. 18** Vorhandene Sonnenschutzeinrichtungen
- Abb. 19** Wichtigkeit von Sonnenschutzeinrichtungen
- Abb. 20** Bewertung des Gesamtklimas im Sommer aller untersuchten Projekte
- Abb. 21** Bewertung des Gesamtklimas im Winter aller untersuchten Projekte
- Abb. 22** Zufriedenheit der Bewohner mit dem Leben im Passivhaus
- Abb. 23** Zufriedenheit der Bewohner mit der Bauabwicklung
- Abb. 24** Dauerlinie des Primärenergieverbrauchs der untersuchten Passivhäuser
- Abb. 25** Verteilung der Energieklassen bei den untersuchten Passivhäusern
- Abb. 26** Verteilung der Energieklassen bei den untersuchten Passiv-Solar- / -3-Liter-Häusern
- Abb. 27** Dauerlinie des Heizwärmeverbrauchs der untersuchten Passiv-Solar- / -3-Liter-Häuser

Literaturverzeichnis

Michael, Klaus; Heitmann, Gudrun: Wohnen im Passivhaus – Beispiele realisierter Passivhäuser in NRW, Band 2.35; Hrsg: Landesinstitut für Bauwesen des Landes Nordrhein-Westfalen, Aachen 2000

Berndgen-Kaiser; Andrea, Fox-Kämper, Runrid; Reul, Janette; Helmerking, Diana: Passivhäuser in NRW – Auswertung, Projektschau, Wohnerfahrungen, S3; Hrsg: Institut für Landes- und Stadtentwicklungsforschung und Bauwesen des Landes Nordrhein-Westfalen, Aachen 2004

Kaufmann, Berthold; Feist, Wolfgang: Passivhäuser erfolgreich planen und bauen – Ein Leitfaden zur Qualitätssicherung, F 12; Hrsg: Institut für Landes- und Stadtentwicklungsforschung und Bauwesen des Landes Nordrhein-Westfalen, Aachen 2004

Quellenverzeichnis

- [1] Passivhaus Institut; PHPP 2004 – Passivhaus Projektierungs Paket 2004 (Nachweis für die Passivhaus-Förderung); Darmstadt 2004
- [2] EnEV – Energieeinsparungsverordnung. Bundesgesetzblatt Nr. 64/2004, 02.12.2004; Bundesanzeiger-Verlag, Köln
- [3] Öko-Institut (Institut für angewandte Ökologie e. V.); Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme (GEMIS). Version 4.2

Fotonachweis

Seite	Projektschrift	Architekt/in	Fotograf/in
Titel	Hückelhoven, Garsbeck 41	Rongen Architekten, Wassenberg	Max Hampel, Düsseldorf
3	Hückelhoven, Garsbeck 41	Rongen Architekten, Wassenberg	Max Hampel, Düsseldorf
4	Leverkusen, Paul-Klee-Str	Rössing und Tilicke, Bielefeld, Köln	Max Hampel, Düsseldorf
6 oben	Dinslaken, Otto-Hahn-Gymnasium	Hülsdonk und Partner, Voerde	Max Hampel, Düsseldorf
6 unten	Aachen, Roermonder Str. 268	Elisabeth Lüker, Aachen	Max Hampel, Düsseldorf
9	Aachen, Roermonder Str. 268	Elisabeth Lüker, Aachen	Max Hampel, Düsseldorf
13	Aachen, Roermonder Str. 268	Elisabeth Lüker, Aachen	Max Hampel, Düsseldorf
14	Paderborn, Otto-Stadler-Str. 23c	Franz-Josef Huxol (†), Paderborn	Max Hampel, Düsseldorf
17/18	Hamm, August-Macke-Weg 29	Martina Penkert, Hamm	Max Hampel, Düsseldorf
19	Erfstadt, Siemensstr. 29	Manfred Brausem, Köln	Max Hampel, Düsseldorf
26	Rietberg, Maximilian-Ulrich-Str. 12	Klaus Mathoy, Ried (A)	Max Hampel, Düsseldorf
28	Hückelhoven, Garsbeck 41	Rongen Architekten, Wassenberg	Max Hampel, Düsseldorf
31 oben	Hamm, August-Macke-Weg 29	Martina Penkert, Hamm	Max Hampel, Düsseldorf
31 unten	Inden-Lamersdorf, Corneliusstr. 55b	Holzhüter Architekten, Aachen	Carl Brunn, Aachen
40	Inden-Lamersdorf, Corneliusstr. 55b	Holzhüter Architekten, Aachen	Carl Brunn, Aachen
44/45	Erkelenz, Chlodwigstraße	Sommer-Baustatik GmbH, Erkelenz	Max Hampel, Düsseldorf
46	Rietberg, Maximilian-Ulrich-Str. 12	Klaus Mathoy, Ried (A)	Max Hampel, Düsseldorf
47	Steinfurt, Altenberger Str. 20	Alfons Ehling, Wettringen	Max Hampel, Düsseldorf
48	Rietberg, Maximilian-Ulrich-Str. 12	Klaus Mathoy, Ried (A)	Max Hampel, Düsseldorf

Impressum

Bearbeitung

ILS - Institut für Landes- und
Stadtentwicklungsforschung
Andrea Berndgen-Kaiser (Projektleiterin)
Runrid Fox-Kämper
Sofie Holtmann

Kapitel 4 unter Verwendung der Forschungsarbeit

„Qualitätsuntersuchung zu Erfahrungen aus der Nutzung des Passivhauses“
Perpendo Energie- und Verfahrenstechnik GmbH Aachen, Tobias Frey

Auftraggeber/Forschungsauftrag

Ministerium für Bauen und Verkehr
des Landes Nordrhein-Westfalen (MBV)
Passivhausförderung jetzt in der
Zuständigkeit des MWME (Ministerium für
Wirtschaft, Mittelstand und Energie des
Landes NRW)

Herausgeber:

ILS - Institut für Landes- und Stadtentwicklungsforschung gGmbH
Brüderweg 22 - 24
D - 44135 Dortmund
Telefon: +49 (0)231 / 90 51-0
Telefax: +49 (0)231 / 90 51-155
ils@ils-forschung.de
www.ils-forschung.de

ISBN 978-3-86934-042-5

© ILS NRW 2007.

© ILS 2010 als E-Book. Alle Rechte vorbehalten.

Diese Veröffentlichung darf – auch auszugsweise und in welcher Form auch immer – nur mit schriftlicher Genehmigung des ILS vervielfältigt werden.

Es ist ausdrücklich untersagt, ohne schriftliche Zustimmung des ILS, Kopien dieser Veröffentlichung oder von Teilen daraus an anderer Stelle öffentlich zu präsentieren (z. B. durch „Spiegeln“ dieser Datei auf anderen WWW-Servern) oder diese inhaltlich zu verändern.

Die Anfertigung einer beschränkten Anzahl gedruckter Kopien für den persönlichen Gebrauch ist unter der Bedingung der korrekten Nennung der Urheberschaft ohne ausdrückliche Genehmigung des ILS gestattet. Dies gilt auch für die Anfertigung einer beschränkten Anzahl gedruckter Kopien, um diese in den Bestand einer öffentlich zugänglich und/oder überwiegend aus öffentlichen Mitteln finanzierten Bibliothek zu integrieren.

Dortmund 2010