

Das Passivhaus – die Zukunft im Eigenheimbau?

Studienarbeit

vorgelegt am: 10/06/2002

Bereich: Technik

Studienrichtung: Bauingenieurwesen

Studienjahrgang: 99

von: Holger Schunk
Zollstraße 53
08248 Klingenthal

Matrikelnummer: 4991059

Bildungsstätte: SCHUBAK GmbH
Bauträger, Baukonzepte
Zollstraße 53
08248 Klingenthal

Gutachter: Herr Dipl.- Ing. André Lindl
Herr Dipl.- Ing. Norman Tiedtke

Gliederung der Studienarbeit

1.	<u>Einleitung und Zielsetzung</u>	1
2.	<u>Grundlagen und Definition</u>	2
2.1	Allgemeines	2
2.2	Geschichte	2
2.3	Was versteht man unter einem Passivhaus?.....	4
2.4	Weiterentwicklungen des Passivhauses.....	5
2.4.1	Solar-Passivhaus.....	6
2.4.2	Null-Heizenergie-Häuser.....	6
2.4.3	Energieautarke Häuser / vollständige Null-Energie-Häuser	6
2.4.4	Nullemissionshaus	7
3.	<u>Grundsätze für den Bau von Passivhäusern</u>	8
3.1	Gesetzliche Vorschriften	8
3.2	Wärmeschutz der gesamten Gebäudehülle	10
3.3	Kompakte Bauweise	10
3.4	Südorientierung der Fensterflächen.....	11
3.5	Ansprüche an die Hausinstallationen	12
4.	<u>Konstruktive Maßnahmen</u>	14
4.1	Wärmeschutz der gesamten Gebäudehülle	14
4.1.1	Dämmstoffe	14
4.1.2	Außenwandkonstruktionen	15
4.1.3	Bodenplatten-/Kellerdeckenkonstruktion.....	16
4.1.4	Dachaufbau	17
4.1.5	Fenster und Türen.....	18
4.1.6	Verglasung.....	18
4.1.7	Fensterrahmen	18
4.1.8	Außentüren	19
4.2	Wärmebrückenfreiheit	19
4.3	Luftdichte Gebäudehülle	21
4.4	Zusammenfassung	23
5.	<u>Anforderungen an die Gebäudetechnik</u>	24
5.1	Wohnungslüftung mit Wärmerückgewinnung	24
5.2	Restheizung.....	25
5.3	Warmwasserbereitung	26
5.4	Strom26	26
5.5	Zusammenfassung	27
6.	<u>Marktchancen für Passivhäuser</u>	28
6.1	Der Einfluss der EnEV.....	28
6.2	Kostengünstige Passivhäuser	28
6.3	Vorteile von Passivhäusern	30
6.4	Marktanalyse	31
6.5	Von der Theorie in die Praxis.....	32
7.	<u>Resümee</u>	34

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Der Weg vom konventionell beheizten Wohnhaus über das Niedrigenergiehaus zum Passivhaus (Quelle: Dr. Wolfgang Feist, Passivhaus Institut Darmstadt)	3
Abbildung 2:	Vergleich von Energiekennwerten für Wohngebäude (Quelle: FEIST GL Passivhaus, S. 9)	5
Abbildung 3:	Prinzip des Passivhauses (Quelle: Lehrstuhl Technische Gebäudeausrüstung Universität Dortmund, Vorlesungsunterlagen Passivhaus)	8
Abbildung 4:	Ausrichtung eines Passivhauses (Quelle: Lehrstuhl Technische Gebäudeausrüstung Universität Dortmund, Vorlesungsunterlagen Passivhaus)	11
Abbildung 5:	Schnitte durch Passivhaus geeignete Fensterrahmen (Quelle: Passivhaus Institut, Passivhaus Vorprojektierung '99, S. 21)	19
Abbildung 6:	Konventionelle Haustechnik im Passiv-Einfamilienhaus mit Abluft-Wärmerückgewinnung (WRG), Erdwärmetauscher (EWT), Gastherme (TH), Speicher (SP) und Luftheizregister (LH), (Quelle: Niedrig Energie Institut Detmold)	25
Abbildung 7:	Haustechnik im Passivhaus mit Abluft-Wärmerückgewinnung (WRG), Wärmepumpe (WP), Luftheizregister (LH), Brauchwasserspeicher (SP). (Quelle: Niedrig Energie Institut Detmold)	26
Abbildung 8:	Marktpotential für Passivhäuser in Deutschland – Anzahl Gebäude im jeweiligen Zeitraum (Quelle: Büro für Solarmarketing, Freiburg 1999)	31

Abkürzungsverzeichnis

EnEV	Energiesparverordnung
NEH	Niedrigenergiehaus
WSVO 95	Wärmeschutzverordnung von 1995
PH	Passivhaus

1. Einleitung und Zielsetzung

Seit dem der Mensch den Schritt in die Zivilisation unternahm, hat er das Bedürfnis nach einer trockenen, warmen und sicheren Behausung. In der heutigen Zeit ist der Wunsch nach den „Eigenen 4 Wänden“ größer und anspruchsvoller denn je.

Aufgrund der immer knapper werdenden Ressourcen und den damit verbundenen steigenden Preisen für Strom, Wasser, Öl und Gas, haben sich die Anforderungen an den modernen Wohnungsbau in den letzten Jahren geändert. Die Einsparung von Energie ist bei vielen Bauherren deshalb zu einer bedeutenden finanziellen Frage für die dauerhaft wirkenden Betriebskosten geworden und steht mittlerweile im Vordergrund ihres Bauinteresses. Diese Bedingungen haben die Entwicklung von Niedrigenergiehäusern (im folgenden Text NEH) – sowohl in massiver als auch in Holzrahmenbauweise gefördert und gefordert.

Mit immer besser werdenden Dämmstoffen und Erkenntnissen aus der Bauphysik entwickelte man weitere Steigerungsformen wie das Niedrigstenergiehaus (3-Liter-Haus), das Passivhaus (im folgenden Text PH), das 0-Heizenergiehaus als auch das Plus-Energiehaus. Die letzteren Formen sind aber zurzeit noch zu teuer und nicht zweckmäßig (siehe Kapitel 2.4).¹

Aus diesem Grund ist das PH der Betrachtungsschwerpunkt in dieser Studienarbeit. Ziel ist es herauszufinden, ob das PH tatsächlich der Standard für den Wohnungsbau (in dieser Niederschrift steht der Eigenheimbau im Vordergrund) zukünftig darstellen wird.

Dazu werden die genaue Funktionsweise und der dafür notwendigen Aufbau des PH untersucht.

¹ Quelle: Lehrstuhl Technische Gebäudeausrüstung Universität Dortmund, Vorlesungsunterlagen Passivhaus

2. Grundlagen und Definition

2.1 Allgemeines

In der Nachkriegszeit, hauptsächlich in den 60iger und 70iger Jahren, war Wärmedämmung ein Fremdwort und Energieverschwendung kein Thema. Wirtschaftswunder-Deutschland hatte den Plattenbau entdeckt.

Noch heute wird zumeist die Straße mitgeheizt. Heutige Niedrigenergiehäuser sind um das vier- bis zehnfache energie günstiger. Ökologisches Bauen ist aufgrund abnehmender Ressourcen keine Modeerscheinung, sondern eine Herausforderung an unseren Überlebenswillen.

Es gibt heute bereits in ganz Europa eine Vielzahl von Gebäuden, die zeigen: Ökologisches Bauen ist möglich, ästhetisch und bezahlbar. Architekten und Ingenieure, Bauherren und Unternehmer wirken diesbezüglich zielstrebig zusammen. Architektur und Baupraxis beginnen, sich zu wandeln, energiebewusstes Denken und Handeln steht immer mehr im Mittelpunkt der gesamten Bautätigkeit.

Wer vor 15 Jahren einen Architekten fragte, was ein Niedrigenergiehaus ist, bekam die Antwort: „Ein Haus, in dem etwa 20% der Energie eingespart wird.“ Vor zehn Jahren waren schon 50% und vor fünf Jahren 80% weniger Energie nötig. Inzwischen sind wir beim „Nullenergiehaus“ angekommen.²

Ökologisches Bauen ist aber mehr als eine Solaranlage auf dem Dach. Ökologisches Bauen heißt auch, baubiologische, soziale und raumplanerische Kriterien zu beachten und umzusetzen.

2.2 Geschichte

Die Idee des NEH stammt nicht aus Deutschland. Die ersten Anstöße kamen aus Dänemark, Schweden und den USA. Erst 1974 hielt Deutschland mit dem Bau des „Phillips-Experimentierhaus“ den internationalen Anschluss.³ 1975 wurde in Schweden die SBN 75 in Kraft gesetzt⁴ und galt vorerst als Grundlage der Niedrigenergie-Technologie.

² Quelle: Dr. Franz Alt, Architekten lernen, wo Süden ist!

³ Vgl. Feist, Niedrigenergiehaus, S. IX

⁴ Vgl. Humm, Niedrigenergiehaus, S. 10

Bis Mitte der 80er Jahre wurden in Deutschland weitere Entwicklungen für die klassische Niedrigenergie-Bauweise nicht verfolgt. Während in Schweden und in den USA die NEH weiterentwickelt wurden, sind in Deutschland Modethemen wie Solarhäuser, Glashäuser, Wärmepumpen, Baubiologie diskutiert worden.⁵

In Schweden wurden bereits Anfang der achtziger Jahre zahlreiche Niedrigenergiehäuser in Forschungs- und Demonstrationsprojekten gebaut. Dieser Standard hat sich dort so bewährt, dass schon Mitte der achtziger Jahre, überwiegend in Übererfüllung der gültigen Baunorm, NEH errichtet wurden. Daraufhin entstanden auch in der BRD die ersten NEH-Projekte. Mit dem „Nybyggnadsregler“ wurde 1991 der NEH-Standard in Schweden obligatorisch.⁶ Auch in Deutschland sollte das NEH laut Forderung des Bundesrates und Erklärung der Bundesregierung bis Ende der neunziger Jahre zum allgemein verbindlichen Baustandard werden.

Das PH ist die konsequente Weiterentwicklung des NEH. Es verkörpert einen sehr hohen energieeffizienten und ökologischen Baustandard und nicht eine bestimmte Bauweise. Die ersten Passivhäuser wurden 1988 vom Institut für Wohnen und Umwelt in Darmstadt in Zusammenarbeit mit der Universität Lund (Schweden) entwickelt. Realisiert wurde das Projekt 1993 in Darmstadt.⁷ Der Weg vom konventionell beheizten Wohnhaus über das NEH zum PH soll die folgende Darstellung verdeutlichen:

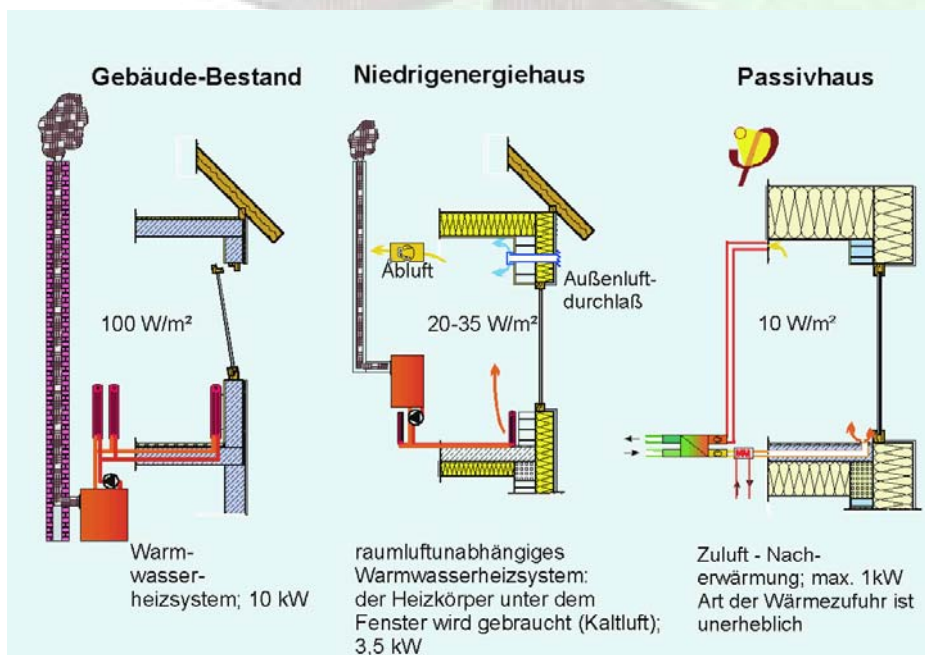


Abbildung 1: Der Weg vom konventionell beheizten Wohnhaus über das Niedrigenergiehaus zum Passivhaus (Quelle: Dr. Wolfgang Feist, Passivhaus Institut Darmstadt)

⁵ Vgl. Feist, Niedrigenergiehaus, S. IX

⁶ Quelle: FEIST, Vom Niedrigenergiehaus zum Passivhaus, S. 1

⁷ Vgl. Feist, AK Passivhaus, S. 11

Mit zunehmender Bedeutung des Umweltschutzes und der Ökologie wurden die Forschungen immer weiter vorangetrieben und weitere NEH-Varianten entwickelt. So entstand das Null-Heizenergiehaus, das Energieautarke Haus und das Plus-Energiehaus (siehe Kapitel 2.4).

2.3 Was versteht man unter einem Passivhaus?

In einem PH werden die Wärmeverluste soweit reduziert, dass ein komfortables Innenklima auch ohne aktives Heizungs- und Klimatisierungssystem erreicht wird – das Haus „heizt“ und kühlt sich eben rein passiv.

Voraussetzung hierfür ist ein spezifischer Jahresheizwärmebedarf von weniger als 15 kWh/m²a (Kilowattstunden je Quadratmeter Wohn- bzw. Nutzfläche und Jahr).⁸ Bei einem höheren Bedarf als 15 kWh/m²a kann ohne Komforteinbußen auf eine herkömmliche Heizanlage nicht verzichtet werden.

Dies soll nicht etwa auf Kosten eines hohen zusätzlichen Verbrauchs an anderen Energieträgern (z.B. Strom) erreicht werden, sondern der gesamte spezifische Primärenergiebedarf pro m² Wohnfläche in einem PH darf 120 kWh/m²a nicht überschreiten.⁹ Des Weiteren gilt, dass der maximale Luftwechsel (Undichtigkeit) bei $n_{50} < 0,6 \text{ h}^{-1}$ liegt (bei einer Druckdifferenz von 50 Pa darf innerhalb einer Stunde der sich dann noch einstellende Luftwechsel nicht größer als 0,6 sein).¹⁰

Der Heizbedarf wird nahezu vollständig durch die Wärmeabgabe der Haushaltsgeräte und der Bewohner (ca. 80 Watt pro Person), durch passive solare Gewinne und durch eine Wärmerückgewinnungsanlage abgedeckt. Die Restwärmezufuhr ist allein über die ohnehin erforderliche Komfortlüftung möglich. Wenn die Zuluftnachheizung als alleinige Wärmequelle ausreicht, nennt man dieses Gebäude ein PH.¹¹

In einem PH wird insgesamt weniger Energie verbraucht, als in durchschnittlichen europäischen Neubauten allein an Haushaltsstrom und für die Warmwasserbereitung benötigt wird. Der gesamte Endenergieverbrauch ist mindestens 75% geringer als der durchschnittliche Verbrauch in Neubauten, die nach den gegenwärtig geltenden nationalen Vorschriften (siehe Abbildung 2) errichtet werden:

⁸ Vgl. Oberländer, Niedrigenergiehaus: S. 14

⁹ Vgl. Graf, Passivhaus, S. 10

¹⁰ Vgl. Graf, Passivhaus, S. 10

¹¹ Vgl. Feist, AK Passivhaus, S. 10

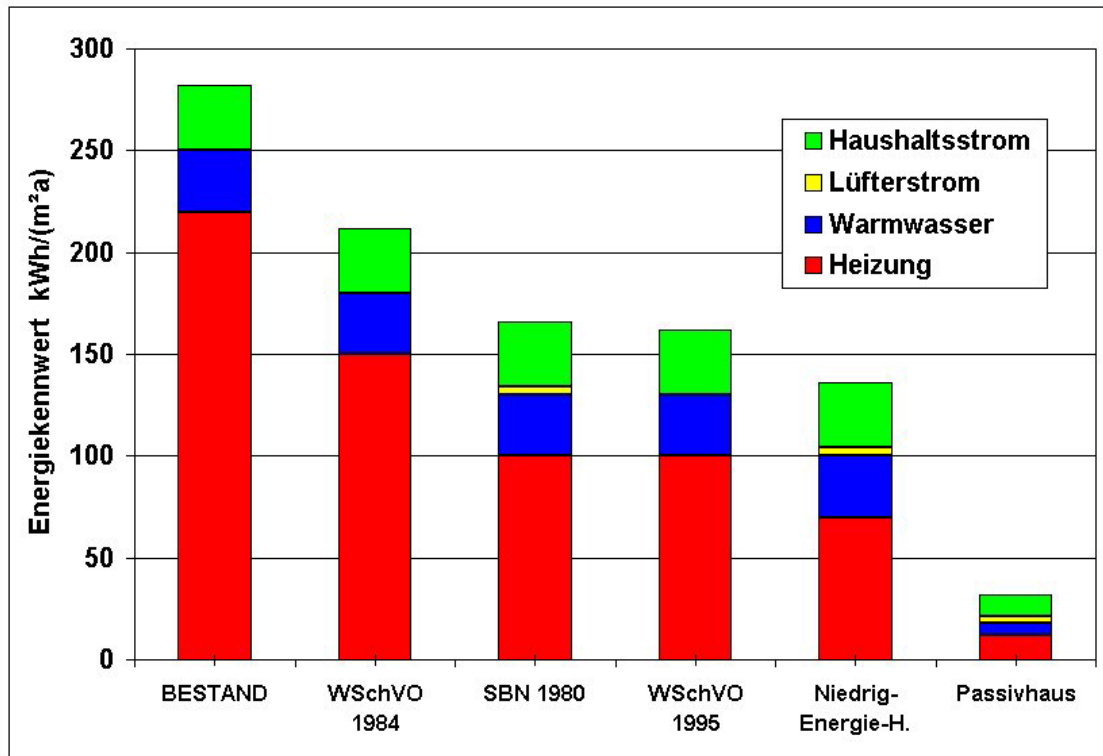


Abbildung 2: Vergleich von Energiekennwerten für Wohngebäude
(Quelle: FEIST GL Passivhaus, S. 9)

Leider fehlt in diesem Diagramm der maximal zulässige Energiekennwert nach der neuen Energiesparverordnung (im folgenden Text EnEV), da entsprechende statistische Werte noch fehlen.

Der Gesamtenergiekennwert pro m^2 Wohnfläche in einem PH muss kleiner gleich $30 \text{ kWh}/m^2a$ sein.¹² Dabei fallen ca. $15 \text{ kWh}/m^2a$ für Heizung, $10 \text{ kWh}/m^2a$ für Haushaltsstromverbrauch und $7 \text{ kWh}/m^2a$ für die Warmwasserbereitung an.¹³

Mehr als das oben Genannte, wird von einem PH nicht verlangt. Insbesondere wird nicht vorgeschrieben, mit welchen Maßnahmen und Techniken die aufgeführten extrem geringen Energieverbräuche erreicht werden sollen. Dies bleibt bewusst dem Gestaltungsraum des Entwurfverfassers überlassen.

2.4 Weiterentwicklungen des Passivhauses

In der Einleitung wurden bereits weitere Steigerungsformen des PH-Standards erwähnt, die in diesem Kapitel kurz angesprochen werden.

¹² Vgl. Oberländer, Niedrigenergiehaus: S. 14

¹³ Vgl. Oberländer, Niedrigenergiehaus: S. 14

2.4.1 Solar-Passivhaus

In Solar-Passivhäusern wird die Solarenergie für die Heizungsunterstützung und Warmwasserbereitung mit Kollektoren und/oder für die photovoltaische Stromerzeugung genutzt.

Die ersten Solar-Passivhäuser entstanden Anfang der 90er Jahre mit den Reihenhäusern in Darmstadt-Kranichstein.

2.4.2 Null-Heizenergie-Häuser

Das PH kann durch zusätzliche bautechnische und bauphysikalische Maßnahmen zu einem Nullheizenergiehaus weiterentwickelt werden.

Ein Nullheizenergiehaus ist ein Gebäude, dessen Jahresheizwärmebedarf in einem durchschnittlichen Jahr definitionsgemäß 0 ist. In einem solchen Haus darf daher auch am kältesten Tag kein Bedarf an Notheizung anfallen. Die Einsparung der letzten 15 kWh/m²a erfordert einen sehr hohen zusätzlichen Investitionsaufwand, der zurzeit wirtschaftlich noch nicht zu vertreten ist.¹⁴ Das Nullheizenergiehaus gewinnt Energiebeiträge aus aktiver Sonnenenergienutzung mittels Sonnenkollektoren und speichert diese in Wasserbehältern. Das PH ist auf diese Einrichtung zur Wärmespeicherung nicht angewiesen.

Aber mit fortschreitender Weiterentwicklung der PH-Bauweise wird es in Zukunft auch wirtschaftlich vertretbar sein, Nullheizenergiehäuser zu bauen. Allerdings kann und muss man sich fragen, ob die weitere Reduzierung von 15 kWh/m²a auf „exakt“ Null eine sinnvolle ökonomische und ökologische Bedeutung hat.

2.4.3 Energieautarke Häuser / vollständige Null-Energie-Häuser

Noch schärfer stellt sich die ökonomische Frage für den strengsten aller hier behandelten Standards – für das Energieautarke Haus. Ein Energieautarkes Haus bedarf keinerlei Endenergielieferungen von außerhalb des Grundstücks – bis auf die ohnehin einfallenden natürlicher Energieströme Sonnenstrahlung und Wind.

Die Energieautarkie bezieht sich hier nicht nur auf die Heizwärme, sondern auf alle Energieanwendungen im Gebäude. Auch die Warmwasserversorgung, die Ventila-

¹⁴ Quelle: Feist, Vom Niedrigenergiehaus zum Passivhaus, S. 7

tion und der Haushaltsstromverbrauch müssen daher autark sichergestellt werden.¹⁵ Es gibt keine Netzanschlüsse und keine Brennstofflieferungen. Dass ein solches Gebäude technisch realisierbar ist, wurde mit dem „Energieautarken Solarhaus“ des Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme in Freiburg bewiesen.

Es muss jedoch bezweifelt werden, ob Energieautarke Häuser in absehbarer Zeit für die Praxis überhaupt relevant werden können. Wie auch immer die vollständig regenerative Versorgung des gesamten Energiebedarfs vom eigenen Grundstück aus technisch gestaltet werden soll, ist sicher, dass eine Überdimensionierung der Energiegewinnung und eine saisonale Solarspeicherung erforderlich werden. Beides ist nicht nur im ökonomischen Sinn unwirtschaftlich, sondern auch ökologisch zweifelhaft, da für alle diese Zusatzsysteme erhebliche Investitionen erforderlich sind, die wiederum selbst einen hohen Energieaufwand erfordern.¹⁶

Es bleibt allerdings festzustellen, dass schon mit dem Standard des PH sehr geringe Gesamtenergieverbrauchswerte erreicht werden.

2.4.4 Nullemissionshaus

Das Konzept Nullemissionshaus geht einen anderen Weg: Aufbauend auf der Analyse des Gesamtenergiebedarfs für Heizung und Warmwasser wird eine Lösung gesucht, die bei Betrachtung der Jahresprimärenergie eine ausgeglichene Bilanz zwischen Verbrauch und solarer Energiebereitstellung anstrebt.¹⁷ Dabei kann auch der Haushaltsstromverbrauch einbezogen werden. Der winterliche Mehrbedarf wird durch die sommerliche Mehrerzeugung ausgeglichen. Dabei übernimmt das öffentliche Stromnetz bei der photovoltaischen Stromerzeugung gewissermaßen die saisonale Energiespeicherung. Auf die saisonale Speicherung solarer Wärme wird verzichtet. Wegen der Auslegung auf die ausgeglichene Primärenergiebilanz ist damit auch bezogen auf CO₂ ein Nullemissionshaus erreicht.

¹⁵ Quelle: Feist, Vom Niedrigenergiehaus zum Passivhaus, S. 9

¹⁶ Quelle: Feist, Vom Niedrigenergiehaus zum Passivhaus, S. 9

¹⁷ Quelle: Dr. Karsten Voss, Demonstrationsprojekte und Technologieentwicklung für den Wohnungsbau, Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme Freiburg

3. Grundsätze für den Bau von Passivhäusern

Die folgende Abbildung stellt die wesentlichen Grundsätze eines PH grafisch dar:

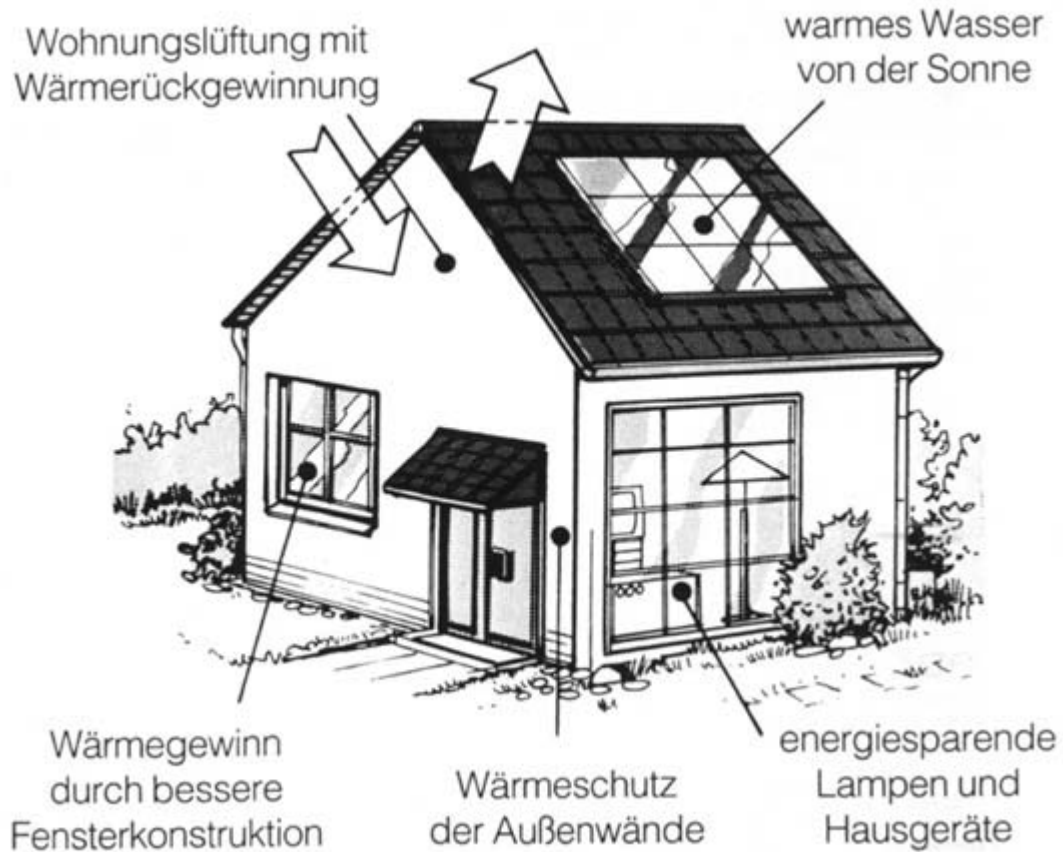


Abbildung 3: Prinzip des Passivhauses (Quelle: Lehrstuhl Technische Gebäudeausrüstung Universität Dortmund, Vorlesungsunterlagen Passivhaus)

3.1 Gesetzliche Vorschriften

Der Bau eines PH unterliegt denselben Vorschriften und Normen wie alle anderen Baumaßnahmen auch. Es gibt keine eindeutigen Vorschriften oder DIN-Normen, die diesen Standard und die dazu notwendigen Maßnahmen beschreiben und regeln. Die Vorgaben kommen vom Passivhaus Institut aus Darmstadt. Es wurde 1996 durch Dr. Wolfgang Feist gegründet und befasst sich mit der Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der hocheffizienten Energienutzung.

Das Passivhaus Institut Darmstadt bietet mit der „Passivhaus Vorprojektierung ‘99“ (PHVP ‘99) ein Rechenverfahren zur Bestimmung des Heizwärmebedarfs von Gebäuden auf Basis einer Tabellenkalkulation an. Sie ermöglicht bereits in der Vor-

entwurfsplanung eine Einschätzung, ob ein Entwurf zum PH werden kann oder nicht. Die Nachweismethode beruht auf der WSV0 95 und noch nicht auf der neuen EnEV. Jedoch werden Gewinne durch Personen, Elektrogeräte und Solarstrahlung bereits mit berücksichtigt.

Die EnEV basiert auf der DIN EN 832 und ist heute die wichtigste Gesetzesgrundlage für die Realisierung von Passivhäusern. Sie dient der Ermittlung der Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Werte) und des Jahres-Primärenergiebedarfs.

Mit dieser Verordnung soll vor allem der Energiebedarf für die Beheizung von Gebäuden und die Warmwasserbereitung nachhaltig begrenzt werden. Zu diesem Zweck wurden die Wärmeschutzverordnung und die Heizungsanlagen-Verordnung zur EnEV zusammengefasst und ihre Anforderungen an den Neubau mit den folgenden Schwerpunkten weiterentwickelt:¹⁸

- ⇒ Senkung des Energiebedarfs auf einen NEH-Standard, also um durchschnittlich 30 % gegenüber dem Niveau des geltenden Rechts,
- ⇒ Übergang zu einer ganzheitlichen Betrachtung von Neubauten unter Einbeziehung der Anlagentechnik, auch um das Einsparziel flexibel und kostengünstig zu erreichen,
- ⇒ Weiterentwicklung des vereinfachten Nachweisverfahrens für bestimmte Wohngebäude,
- ⇒ Erleichterung des Einsatzes erneuerbarer Energien zur Heizung, Lüftung und Warmwasserbereitung,
- ⇒ Erhöhung der Transparenz für Bauherren und Nutzer durch aussagefähige Energieausweise.

Die Schwerpunkte für den Gebäudebestand werden nicht erwähnt jedoch gelten folgende übergreifende Kernideen:¹⁹

- ⇒ Rechtsvereinfachung durch Zusammenfassung von Wärmeschutz- und Heizungsanlagen-Verordnung zu einer einheitlichen Vorschrift,
- ⇒ Entlastung des Verordnungstextes durch Verweise auf Regeln der Technik,
- ⇒ Umsetzung europarechtlicher Vorgaben,
- ⇒ Anpassung der energiesparrechtlichen Vorschriften an die Weiterentwicklung der technischen Regeln, insbesondere die neuen europäischen Normen.

¹⁸ Vgl. EnEV, S. 33 f. (Begründung zur EnEV)

¹⁹ Vgl. EnEV, S. 34 (Begründung zur EnEV)

Die EnEV ist am 01.02.2002 in Kraft getreten. Die WsVO 95 hat somit zum 30.04.2002 ihre Geltung verloren.

3.2 Wärmeschutz der gesamten Gebäudehülle

Die wichtigste Voraussetzung für die Realisierung des PH-Standards ist ein sehr guter Wärmeschutz der Gebäudehülle. Auf der Basis der Anforderung an den Transmissionswärmebedarf von 10 W/m^2 lässt sich überschlägig bestimmen, dass die äquivalenten U-Werte, von opaken PH-Außenbauteilen in einem Bereich zwischen $0,10$ und $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$ (Watt pro Quadratmeter bei einer Temperaturdifferenz von 1 Kelvin zwischen innen und außen) liegen müssen.²⁰ Besonders entscheidend für die gesamte Gebäudehülle von Passivhäusern sind zwei Qualitätsmerkmale:

- Wärmebrückenfreiheit und
- ausgezeichnete Luftdichtheit ($n_{50} \leq 0,6 \text{ h}^{-1}$).

Jedoch reicht die sehr hohe Dämmung der Wände, des Dachs und der Bodenplatte/Kellerdecke alleine nicht aus. Auch die Fenster (Verglasung einschließlich der Fensterrahmen) dürfen einen U-Wert von $0,80 \text{ W/m}^2\text{K}$ nicht überschreiten. Der Gesamtenergiedurchlassgrad des Fensterglases (g-Wert) soll $\geq 50 \%$ sein. Erreicht wird das durch den Einsatz von Dreifachverglasungen und hoch gedämmte 4- bzw. 5-Kammer-Fensterrahmen.

Die konkreten konstruktiven Maßnahmen werden im Kapitel 4 dieser Studienarbeit behandelt.

3.3 Kompakte Bauweise

Die Transmissionswärmeverluste über die Außenhülle sind direkt proportional zur Gebäudehüllfläche.²¹ Ein günstiges Verhältnis der Umhüllungsfläche zum Volumen der Innenräume (A/V-Verhältnis) trägt somit zur Verringerung der Wärmeverluste bei. Komplizierte und vielgliedrige Baukörper vergrößern das A/V-Verhältnis und damit wiederum die Transmissionswärmeverluste. Je ungünstiger das A/V-Verhältnis ist, umso höhere Anforderungen müssen an die U-Werte der Außenbauteile gestellt werden.

²⁰ Vgl. Feist, GL Passivhaus, S. 14

²¹ Vgl. Oberländer, Niedrigenergiehaus, S. 44

3.4 Südorientierung der Fensterflächen

Das Haus soll so platziert werden, dass die Sonneneinstrahlung über das gesamte Jahr – insbesondere in den kalten Wintermonaten – höchstmögliche Solargewinne ermöglichen.²² Die Ausnutzung solarer Gewinne zur Senkung des Heizbedarfs ohne zusätzliche Bauaufwendungen kann praktisch nur durch Fensterflächen erreicht werden. Deshalb ist eine möglichst optimale Südorientierung des Gebäudes notwendig.

Passive solare Gewinne sind besonders im Winter von großer Bedeutung. Untersuchungen haben gezeigt, dass die Südrichtung im Winter die besten Werte erzielt.²³ Die Südorientierung der Fenster bietet aber auch im Sommer optimale Bedingungen: Die Sonne steht im Sommer in unseren Breiten sehr hoch über der Südfassade (siehe Abbildung 4). Daraus resultiert ein geringer Energieeintrag und die solaren Lasten bleiben gering. Das Innenklima bleibt damit beherrschbar.

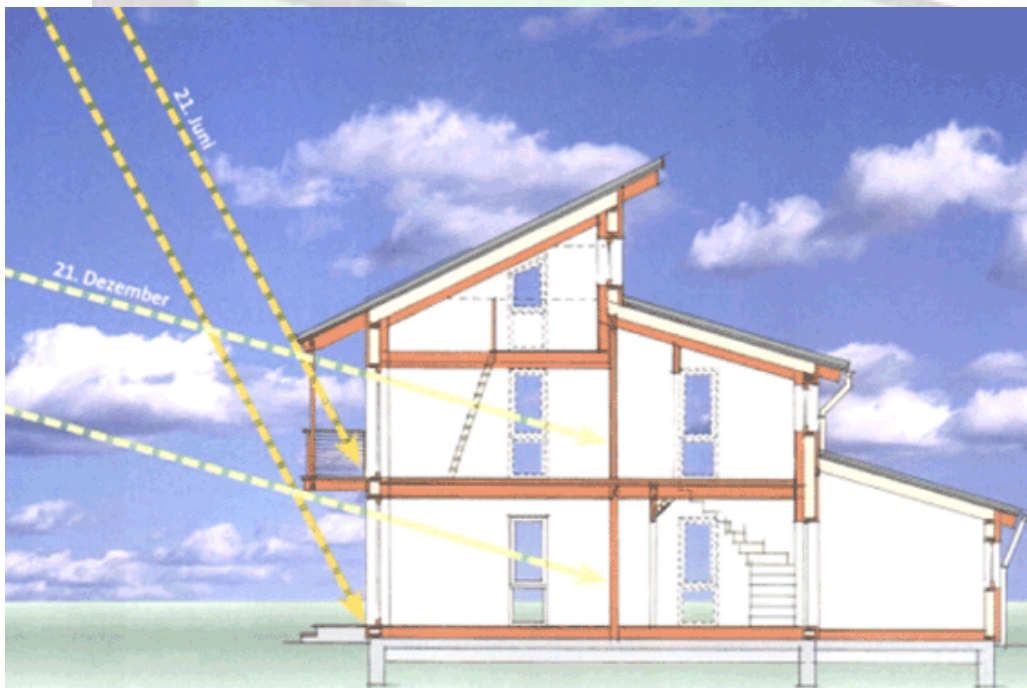


Abbildung 4: Ausrichtung eines Passivhauses (Quelle: Lehrstuhl Technische Gebäudeausrüstung Universität Dortmund, Vorlesungsunterlagen Passivhaus)

²² Vgl. Oberländer, Niedrigenergiehaus, S. 45

²³ Vgl. Feist GL Passivhaus, S. 32

Der Südfensteranteil sollte bei 40 - 50 % liegen.²⁴ Neben der Reduzierung des Heizbedarfs bietet die Südorientierung noch einen weiteren Vorteil: Durch die großen Fensterflächen ist der Tageslichtanteil größer und bei guter Planung kann der Kunstlichtanteil, und somit auch elektrische Energie gespart werden.²⁵ Der Autor dieser Studienarbeit stellt jedoch diesen Einsparungseffekt in Frage, weil beim PH ohnehin Energiesparlampen eingebaut werden müssen.

Große ost- und westorientierte Glasflächen sind jedoch ungünstig, da das Strahlungsangebot im Winter gering ist und im Sommer mit hohen solaren Lasten zu rechnen ist. Verglasungen im Norden bringen keine Gewinne und sollten nur im nötigen Umfang eingebaut werden.²⁶

Für alle Fensterflächen eines PH ist der Einsatz von hochwertigen Wärmeschutzisolierverglasungen ($U\text{-Wert} \leq 0,8 \text{ W/m}^2\text{a}$) zwingend erforderlich. Weitere Details zu den Fensterkonstruktionen findet man im Kapitel 4.2.

Diese Südorientierung ist nicht zu verwechseln mit der so genannten „Solararchitektur“. Die in die Solararchitektur gesetzten Hoffnungen haben sich nicht bestätigt.²⁷ Der Anteil der Solarenergie am Heizenergieverbrauch wächst erst dann, wenn die Energieverluste im Haus deutlich reduziert werden.

Wenn die Sonnenstrahlung in nutzbare Wärmeenergie umgesetzt werden soll, müssen die folgenden Faktoren berücksichtigt werden:²⁸

- ⇒ Südorientierung der Fensterflächen,
- ⇒ keine Verschattung (Balkone, Bepflanzungen),
- ⇒ geringe Scheibenverschmutzung,
- ⇒ keine zugezogene Gardinen;

3.5 Ansprüche an die Hausinstallationen

Eine unumgängliche Maßnahme für den PH-Standard ist die kontrollierte Lüftung mit höchsteffizienter Lüftungswärmerückgewinnung bei niedrigem Stromverbrauch. Hier wird der Frischluft der größte Teil der in der Abluft vorhandenen Restwärme

²⁴ Quelle: Dipl.-Ing. Meinhard Hansen, Architekt, Das Passivhaus: Komfort und Wohnqualität (fast) ohne Energieverbrauch, S 4

²⁵ Vgl. Oberländer, Niedrigenergiehaus, S. 46

²⁶ Vgl. Feist GL Passivhaus, S. 33

²⁷ Quelle: siehe Fußnote 24

²⁸ Quelle: siehe Fußnote 24

wieder zugeführt. Die notwendige Restheizung im PH wird mittels Zufuhr von Wärme in das Lüftungssystem über ein Nachheizregister realisiert.

Die passive Vorerwärmung der Frischluft kann über einen Erdreich-Wärmetauscher in das Haus geführt werden.

Die Erwärmung des Brauchwassers erfolgt vorwiegend mit regenerativen Energien: Mit Solarkollektoren oder auch mit Wärmepumpen wird die Energie für die Warmwasserversorgung gewonnen.²⁹

Der Einsatz von Kühlschrank, Herd, Tiefkühltruhe, Lampen, Waschmaschine, usw. als hocheffiziente Stromspargeräte ist ein weiterer unverzichtbarer Bestandteil für ein PH.³⁰

Es sei zu erwähnen, dass eine detaillierte Untersuchung der Gebäudetechnik im Kapitel 5 erfolgt.

Es reicht nicht aus, alle für den PH-Standard geeigneten und notwendigen Einzelkomponenten nur zu addieren, um ein Gebäude zum PH zu machen. Das Ganze ist mehr als die Summe seiner Teile. Die Wechselwirkungen zwischen den Komponenten machen eine integrale Planung notwendig, mit welcher der PH-Standard erst erreicht werden kann.

²⁹ Vgl. Oberländer, Niedrigenergiehaus, S. 53

³⁰ Vgl. Feist, GL Passivhaus, S. 50 f.

4. Konstruktive Maßnahmen

4.1 Wärmeschutz der gesamten Gebäudehülle

Wie im vorigen Kapitel schon erwähnt wurde, ist im PH der Wärmeschutz der Gebäudehülle, von immenser Bedeutung. Der Wärmeschutz der Gebäudehülle muss

- ⇒ höchste Qualität haben,
- ⇒ rundum das gesamte Gebäude einpacken und
- ⇒ geschlossen und ohne Unterbrechung, dass heißt, ohne Wärmebrücken sein.³¹

Die Art des Wand- und Deckenaufbaus, die verwendete Konstruktion, die Materialien und Dämmstoffe können frei gewählt werden. Ausschlaggebend ist dabei die bauphysikalische Wirkung bezüglich Dämmung, Taupunkt und Diffusionsverhalten. Diese Faktoren bestimmen maßgeblich Größe und Schichtfolge ihres Einbaus.

4.1.1 Dämmstoffe

In Deutschland dürfen nur bauaufsichtlich zugelassene und genormte Dämmstoffe eingesetzt werden.

Grundsätzlich kann zwischen natürlichen und künstlichen Dämmungen unterschieden werden (siehe Anhang 1, Übersicht Dämmstoffe):

Natürliche Dämmstoffe:

Zellulosefasern, Flachs, Kork, Kokosfaser, Holz-Weichfaserplatten, Schilf, Bläherlite und Schafwolle. Diese Dämmstoffe zeichnen sich durch gute Wärmedämmeigenschaften, guten Feuchtigkeitsaustausch, geringen Energieeinsatz bei der Herstellung sowie durch gute Wiederaufbereitung aus. Besonders hervorzuheben sind ihr geringer Primärenergieeinsatz bei der Herstellung sowie die gute Recyclefähigkeit..

Das Brandverhalten ist bei einigen dieser Dämmstoffe ungünstig.

Künstliche Dämmstoffe:

Mineralfasern, Polystyrol, Polyurethan-Schaumstoffe, Phenolharzschaum, Schaumglas. Sie besitzen vor allem noch besserer Dämmeigenschaften als die natürlichen Dämmstoffe. Der Energieeinsatz bei der Herstellung ist erheblich größer. Auch be-

³¹ Vgl. Feist, GL Passivhaus, S. 13

züglich der Wiederverwendbarkeit ergeben sich bei einigen dieser Dämmstoffe erhebliche Probleme.

Die Ökologie am Bau hat sich auch bei Dämmstoffen zu einem wichtigen Thema entwickelt. Nicht nur die technischen Eigenschaften von Baustoffen, sondern mehr und mehr auch deren Umweltverträglichkeit und der Einfluss auf das Raumklima fließen in die Entscheidungsfindung für die Wahl des Baustoffes mit ein. Ein sehr wichtiges Kriterium hierbei ist auch der Energieverbrauch bei der Herstellung der Materialien, die „graue“ Energie also, die in den Baustoffen steckt.

4.1.2 Außenwandkonstruktionen

Außenwände stellen bei Passivhäusern zwischen 25 und 43 % der thermischen Hüllfläche dar. Über sie fließen 20 bis 50 % der Transmissionswärme ab.³²

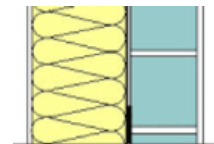
- ⇒ Die Wärmedämmung muss in jedem Fall durchgehend sein, das heißt, ohne Wärmebrücken sein. Das stellt hohe Anforderungen an die gesamte Konstruktion. Dabei sind folgende Schwerpunkte besonders sorgfältig auszubilden:
- ⇒ Die thermische Trennung von beheizten und nicht beheizten Zonen, z.B. im Bereich des Kellerabgangs;
- ⇒ Im Traufbereich dürfen Sparren und Pfetten die Dämmschicht keinesfalls durchstoßen;
- ⇒ Im Holzrahmenbau muss der Rippenanteil des Holzes deutlich reduziert werden;³³
- ⇒ Das Quell- und Schwindverhalten des gewählten Dämmsystems ist zu berücksichtigen.

Um die im PH-Standard erforderlichen U-Werte von $\leq 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$ zu erreichen, haben sich in der Praxis mehrere Außenwandssysteme bewährt:

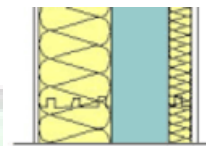
³² Quelle: Niedrig Energie Institut Detmold

³³ Vgl. Feist, GL Passivhaus, S. 14

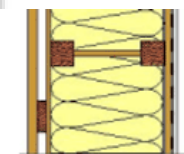
- ⇒ Gemauerte Wand mit einem Wärmedämmverbundsystem mit großformatigen, passgenauen Dämmblöcken.
Wandstärke ca. 50 cm, U-Wert $\approx 0,14 \text{ W/m}^2\text{K}$



- ⇒ Verlorene Schalungen aus EPS-Hartschaum, die auf der Baustelle mit Beton verfüllt werden.
Wandstärke = 53,5 cm, U-Wert $0,11 \text{ W/m}^2\text{K}$



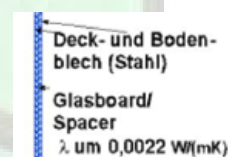
- ⇒ Holztafelbau-Elemente und mehr als 30 cm Wärmedämmung.
Wandstärke = ca. 45 cm, U-Wert $\approx 0,14 \text{ W/m}^2\text{K}$



- ⇒ Vorgefertigte Mehrschicht-Wandelemente aus Polyurethan-Sandwich-Elementen (WLG 025).
Wandstärke $\geq 20 \text{ cm}$ → U-Wert $\leq 0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$



- ⇒ High-Tech-Version: Vakuum-Superisolierung, die die erforderlichen niedrigen Wärmedurchgangskoeffizienten schon bei Dicken von 2,5 bis 4 cm erreichen. Es ist jedoch noch eine tragende Wandkonstruktion notwendig, auf der die Platten montiert werden.



4.1.3 Bodenplatten-/Kellerdeckenkonstruktion

Sohlplatten und Kellerdecken machen 10 bis 25 % der thermischen Hüllfläche aus. Über sie fließen 5 bis 17 % der Transmissionswärme ab.³⁴ Die bei Passivhäusern üblichen U-Werte von Sohlplatten oder Kellerdecken liegen bei $0,08$ bis $0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$. Die Dämmstoffstärken betragen 20 bis 45 cm.

Bei konventionell aus Beton gefertigten Bodenplatten oder Kellerdecken kann die Dämmschicht oberseitig, unterseitig oder auch von beiden Seiten der Betondecke verlegt werden. Im Einzelnen ist dabei folgendes zu beachten:³⁵

- ⇒ Die oberseitige Dämmung erlaubt eine einfache konventionelle Konstruktion der Fundamente, sie verlangt aber auch einen höheren Aufwand bei der ther-

³⁴ Quelle: Niedrig Energie Institut Detmold

³⁵ Quelle: Niedrig Energie Institut Detmold

mischen Entkoppelung des aufstehender Mauerwerks (mehr dazu im Kapitel 4.2) und die Speichermasse der Betondecke ist nicht mehr innenraumklimatisch nutzbar.

- ⇒ Die unterseitige Dämmung erfordert druckfeste, extrudierte und damit teure Dämmstoffe, nach unten auskragende Fundamentstreifen, Unterzüge oder Frostschürzen müssen ebenfalls ausreichend gedämmt werden, um Wärmebrücken zu vermeiden. Die thermischen Anschlussprobleme des aufstehenden Mauerwerks sind hier nicht relevant.
- ⇒ Die unterseitige Dämmung erhält die thermische Speichermasse schwerer Decken für das Innenraumklima, solange oberseitig keine Trittschall-Zusatzdämmung erfolgt.
- ⇒ Die Dämmung von in Holzleichtbau errichteten Kellerdecken oder über Streifenfundamente gespannte, unterlüftete unterste Geschossdecken als Holzbalkendecken-Konstruktionen sind mit den passivhaustauglichen Dämmstärken technisch einfach zu realisieren und sichern kostengünstig sehr gute Dämmwerte.

Werden unterste Geschossdecken hingegen mit Außenluft unterlüftet, so sind sie stärkeren Temperaturdifferenzen ausgesetzt als erdberührte oder Kellerdecken und müssen stärker gedämmt werden.

Bei den bisher gebauten Passivhäusern sind überwiegend Betonsohlplatten oder Kellerdecken mit oberseitiger Dämmung aus Polystyrol-Hartschaum eingesetzt worden. Jedoch kommen zunehmend filigranere Konstruktionen wie z.B. Hohlkörperdecken zum Einsatz.³⁶

4.1.4 Dachaufbau

Dächer und oberste Decken stellen bei Wohngebäuden zwischen 20 und 40 % der thermischen Hüllfläche. Über sie fließen 15 bis 35 % der Transmissionswärme ab. Dächer enthalten bei Passivhäusern meist die dickste Dämmung.³⁷

Die meisten PH-Dächer sind Holzleichtbau-Konstruktionen mit mehrlagigem Aufbau als Aufsparren- und/oder Untersparrendämmung.

Immer häufiger werden bei Passivhäusern vorgefertigte Dachelemente verwendet. Sie haben den Vorteil, dass der Rohbau nach oben sehr schnell wasserdicht ge-

³⁶ Quelle: Niedrig Energie Institut Detmold

³⁷ Quelle: Niedrig Energie Institut Detmold

geschlossen werden kann und die auf dem Bau sonst nur nacheinander möglichen Arbeitsschritte Aufrichten, Aussteifen, Abdecken, Dämmen, Luftdichten und die innere Verkleidung von Dächern reduzieren sich bei voller Vorfertigung auf das Auflegen und Verbinden der Elemente, das in wenigen Stunden erfolgen kann.³⁸

4.1.5 Fenster und Türen

Fenster und Türen machen bei Wohngebäuden zwischen 5 und 20 % der Gebäudehülle aus und verursachen einen erheblichen Teil der Transmissionswärmeverluste.³⁹ Andererseits ermöglichen Fenster aber solare Wärmegewinne, die in der Gesamtenergiebilanz des PH einen wesentlichen Anteil einbringen können. Die tatsächlich wirksame Höhe der solaren Wärmegewinne hängt von der Größe, Ausrichtung und Verschattung der Fenster sowie von der Glasqualität ab.

Für den PH-Standard reicht es nicht aus, nur die Verglasung zu verbessern oder allein besser dämmende Fensterrahmen einzusetzen. Es ist vielmehr erforderlich, beides zu kombinieren und auch die Wärmebrücke am Glasrandverbund zu reduzieren: Dreischeiben-Wärmeschutzverglasung + gedämmter Fensterrahmen + reduzierter Verlust am Glasrand führen zusammen zu einem für das PH geeigneten Fenster.⁴⁰

4.1.6 Verglasung

Dreifach-Wärmeschutzverglasungen mit U-Werten von 0,7 bis 0,8 W/m²K weisen einen sehr hohen Durchlass für Sonnenenergie auf mit g-Werten von bis zu 60%. Erst mit diesen Glasqualitäten liegen die inneren Oberflächentemperaturen der Scheibe in der Nähe der Raumlufttemperatur und der Heizkörper unter dem Fenster wird überflüssig.

4.1.7 Fensterrahmen

Neben der Glasqualität spielen beim PH die Rahmen der Fenster und Außentüren eine große Rolle. Die bisher im Wohnungsbau üblichen Holz oder Kunststoffrahmen der Rahmengruppe 1 ohne besondere Wärmedämmung sind im PH nicht einsetzbar. Für das PH wurden daher besonders gut wärmedämmende Fensterrahmen

³⁸ Quelle: Niedrig Energie Institut Detmold

³⁹ Quelle: Niedrig Energie Institut Detmold

⁴⁰ Quelle: Feist, Passivhäuser – Stand der Entwicklung, S. 6

entwickelt, die auch die Glasrandverluste durch einen tieferen Randeinstand verringern. Durch thermisch getrennte Abstandhalter (sog. Warm-Edge-Systeme) werden die Verluste am Glasrand weiter verringert. Die Rahmen haben zweilagige Holz oder Holz-Aluminium-Aufbauten oder bestehen aus PVC-Hohlprofilen und haben innenliegende Polyurethan oder Kork-Dämmschichten (siehe Abbildung 5).

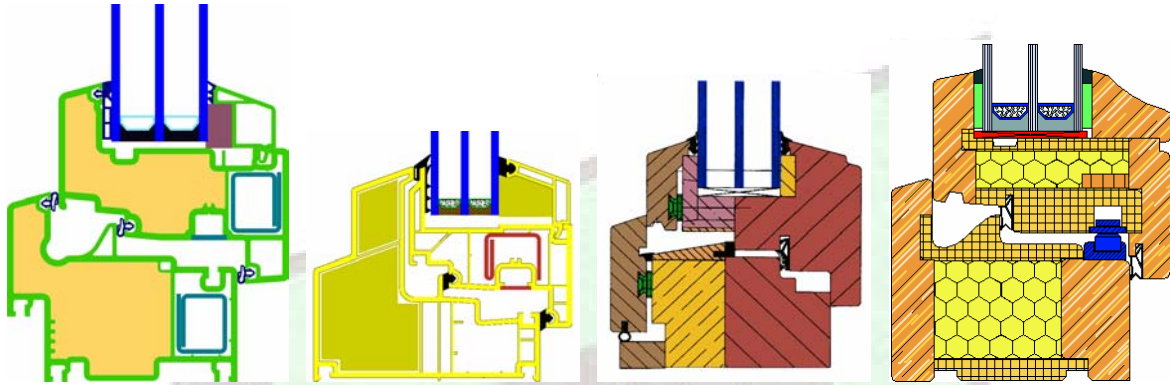


Abbildung 5: Schnitte durch Passivhaus geeignete Fensterrahmen (Quelle: Passivhaus Institut, Passivhaus Vorprojektierung '99, S. 21)

4.1.8 Außentüren

Für Außentüren von Passivhäusern, die keinen thermischen Vorpuffer durch einen Windfang haben, sollten Türen verwendet werden, deren Wärmedämmung passivhaustauglichen Fenstern entspricht. Einige Hersteller passivhaustauglicher Fenstersysteme haben in ihren Sortimenten auch gleichartige Haustüren; andernfalls kann zumindest auf gut gedämmte Türblätter zurückgegriffen werden. Bei Häusern mit Windfang sind die Anforderungen an die Außentüren nicht ganz so hoch. Allerdings sollten dann im Winter auch stets beide Türen geschlossen werden.

4.2 Wärmebrückenfreiheit

Wärmeabflüsse aus Gebäuden erfolgen nicht nur über die großen Flächen, sondern auch über viele kleine Wärmewege. Bei den Transmissionswärmeverlusten sind dies die so genannten Wärmebrücken, bei den Lüftungswärmeverlusten die heimlichen Luftströme durch Ritzen und Spalten eines Gebäudes, deren Umfang anhand der Luftdichtheit gemessen wird (siehe Kapitel 4.3)

Diese zusätzlichen Wärmeabflüsse hatten früher bei nahezu ungedämmten Gebäuden keine große Bedeutung. Bei sehr gut gedämmten Gebäuden wie den Passivhäusern und bei integrierter Abluftwärmerückgewinnung macht es sich dagegen

nachhaltig bemerkbar, wenn mehrere Quadratmeter der Gebäudehülle nicht oder nur wenig gedämmt sind und ein erheblicher Luftaustausch im Winter unter Umgehung der Wärmerückgewinnung erfolgt. Vernachlässigt man diese Effekte, kann der Energieverbrauch leicht mehrfach höher sein als zunächst berechnet.

Gemäß § 6, Abs. 1 EnEV sind „zu errichtende Gebäude ... so auszuführen, dass der Einfluss konstruktiver Wärmebrücken auf den Jahres-Heizwärmebedarf nach den Regeln der Technik und den im jeweiligen Einzelfall wirtschaftlich vertretbaren Maßnahmen so gering wie möglich gehalten wird.“

Idealtypisch hat ein PH eine Gebäudehülle, die von einer ausreichend dicken und nicht unterbrochenen Dämmschicht umgeben ist. Oft lässt es sich konstruktiv oder statisch nicht vermeiden, dass Materialien mit hoher Druck oder Zugfestigkeit die Dämmschichten durchstoßen.

Um Passivhäuser möglichst wärmebrückenfrei zu bauen, sind folgende Grundsätze zu beachten:⁴¹

- ⇒ **Vermeidungsregel:** Wenn möglich, die dämmende Hülle nicht durchbrechen.
- ⇒ **Durchstoßungsregel:** Wenn eine unterbrochene Dämmschicht unvermeidbar ist, so sollte der Wärmedurchgangswiderstand in der Dämmebene möglichst hoch sein.
- ⇒ **Anschlussregel:** Dämmlagen an Bauteilanschlüssen lückenlos ineinander überführen – Anschluss in der vollen Fläche.
- ⇒ **Geometrienregel:** Kanten mit möglichst stumpfen Winkeln wählen.

Wenn der Wärmebrückenverlustkoeffizient für alle Anschlussdetails die Bedingung $\Psi_o < 0,01 \text{ W/(mK)}$ erfüllt, gilt die thermische Hülle als wärmebrückenfrei. Ist er höher, so muss der von der Wärmebrücke verursachte zusätzliche Wärmeabfluss in der Energiebilanz berücksichtigt werden.⁴²

Häufige Wärmebrücken im Massivbau sind die Aufstandsflächen außenseitig gedämmter (warmer) Außen- und Innenwände auf oberseitig gedämmten (kalten) Sohlplatten bzw. Kellerdecken. Der zusätzliche Wärmeabfluss über solche Mauerfußpunkte kann das Mehrfache des Wärmeabflusses der gesamten Geschossdecke

⁴¹ Vgl. Feist GL Passivhaus, S. 18 f.

⁴² Quelle: Passivhaus Institut, Passivhaus Vorprojektierung '99, S. 22

betragen.⁴³ Im PH kann als unterste Steinreihe ein leichter Porenbeton oder ein Spezial-Dämmelement (z.B. Schöck Novomur oder FOAMGLAS®-Perinsul) mit ausreichender Druckfestigkeit eingebaut werden.

Weitere Wärmebrücken sind häufig rund um Fenster und Türausschnitte zu finden, an Durchgängen massiver Decken oder an Wänden von beheizten in unbeheizte Räume, weiterhin an Balkonen, Terrassen, Podesten, an Garagenanbauten und auch bei Holzbauteilen. Obwohl Holz gegenüber Massivbauteilen wenig Wärme leitet, müssen Massivholz-Durchgänge durch Dämmschichten beim PH vermieden werden.⁴⁴

Die Wärmebrückenfreiheit ist nicht nur wegen des Wärmeverlustes notwendig, sondern auch zur Vermeidung von Tauwasser und Schimmelbildung.

Bis vor wenigen Jahren wurde hartnäckig behauptet, dass es unmöglich sei, ein wärmebrückenfreies Haus zu bauen. Diese Aussage darf getrost in die Baugeschichte verwiesen werden. Zahlreiche Passivhäuser haben längst das Gegenteil bewiesen. Es erfordert lediglich ein Umdenken des Planers.⁴⁵

4.3 Luftdichte Gebäudehülle

Ein weiterer zu beachtender Punkt beim Bau von Passivhäusern betrifft die Dichtheit der Gebäudehülle gegen Luftströmungen.

Der extrem niedrige Energieverbrauch von Passivhäusern gegenüber NEH ist vor allem der Verringerung der Lüftungswärmeverluste zu verdanken. Durch die genau dosierbare Luftzufuhr zu den einzelnen Aufenthaltsräumen wird die hygienisch erforderliche Luftwechselrate gesenkt. Durch die hocheffiziente Wärmerückgewinnung kann der mit dem Lüften verbundene Wärmeverlust bis auf 85% verringert werden.⁴⁶

Dies funktioniert allerdings nur, wenn der Luftaustausch tatsächlich über die Wärmerückgewinnungsanlage erfolgt und nicht durch Fenster, Ritzen oder Fugen. Ein Luftaustausch über solche Undichtigkeiten (Nebenluftwege) umgeht nicht nur die Wärmerückgewinnung, er ist auch nicht dosierbar, da er nur von der Windstärke

⁴³ Quelle: Niedrig Energie Institut Detmold

⁴⁴ Quelle: Niedrig Energie Institut Detmold

⁴⁵ Vgl. Graf, Passivhaus, S. 13

⁴⁶ Quelle: Niedrig Energie Institut Detmold

und thermischen Antriebskräften beeinflusst wird. Durch Undichtigkeiten in der Konstruktion dringt kalte Außenluft ins Gebäude ein, was zu schädlichen Wärmeverlusten führt. Außerdem strömt feucht-warme Innenluft aus dem Gebäude heraus und verursacht auf lange Sicht Tauwasserschäden in der Konstruktion. Fugen und Ritzen sind für wesentlich mehr Tauwasserschäden verantwortlich als die Wasserdampfdiffusion.⁴⁷ Voraussetzung für passivhaustauglich niedrige Nebenluftströme ist deshalb eine hohe Luftdichtheit der Gebäudehülle. Eine luftdichte Ausführung verringert aber nicht nur Schimmelbildung sondern verbessert den Schallschutz und erhöht die innere Luftqualität. Jedoch ist die Effizienz der Wärmerückgewinnungsanlage für das gesamte Energiekonzept eines PH besonders wichtig.

Die Luftdichtheit eines Gebäudes kann durch eine Differenzdruckmessung (Blower-Door-Test) ermittelt werden.

Die neue EnEV fordert erstmals in § 5, Abs. 1, dass neu „zu errichtende Gebäude so auszuführen sind, dass die wärmeübertragende Umfassungsfläche einschließlich der Fugen dauerhaft luftundurchlässig entsprechend dem Stand der Technik abgedichtet ist.“ Nach DIN-EN 13 829, 2001-02 gilt bei Gebäuden ohne raumlufttechnische Anlagen $n_{50} < 3 \text{ h}^{-1}$ und mit raumlufttechnischen Anlagen $n_{50} < 1,5 \text{ h}^{-1}$. Für Passivhäuser ist eine noch höhere Luftdichtheit von $n_{50} < 0,6 \text{ h}^{-1}$ empfehlenswert.⁴⁸ Gute Werte liegen im Bereich zwischen $0,4 \text{ h}^{-1}$ und $0,5 \text{ h}^{-1}$, Ausnahmen erreichen Werte zwischen $0,18 \text{ h}^{-1}$ und $0,3 \text{ h}^{-1}$. Der notwendige Luftaustausch wird hier mit einer Lüftungsanlage sichergestellt.

Gebäude ausreichend dicht zu bauen, ist nicht schwierig. Eine gewissenhafte Planung ist die entscheidende Voraussetzung: Eine so hohe Luftdichtheit kann durch folgende Maßnahmen erreicht werden:⁴⁹

- ⇒ alle Details einfach ausführbar planen
- ⇒ Fugen zwischen Betonbauteilen elastisch verfüllen.
- ⇒ Innere Mauerwerksoberflächen vollflächig verputzen, auch im Estrichbereich, im Tür-Schwelbereich, hinter Treppen, im Bereich abgehängter Decken, hinter Vorwandinstallationen, Dusch und Badewannen, an Fenster und Türanschlüssen, in oder vor Schächten und Einbaukästen etc.

⁴⁷ Quelle: Dipl.-Ing. Meinhard Hansen, Architekt, Das Passivhaus: Komfort und Wohnqualität (fast) ohne Energieverbrauch, S 3

⁴⁸ Vgl. Graf Passivhaus, S. 14

- ⇒ Leichtbauflächen vollflächig mit durchgehender luftdichter Folie oder Pappenschicht bekleiden, deren Stöße abkleben und Randanschlüsse an andere Bauteile vorbereiten. Wenn die Luftdichtung mit Plattenwerkstoffen erreicht werden soll, deren Fugen und Anschlüsse dauerhaft luftdicht herstellen.
- ⇒ Fenster und Türen in massiven oder Leichtbauteilen mit dauerhaft elastischen und dichten Verbindungsmitteln einbauen. Ortschaum, Putz und Silikon sind allein keine geeigneten Luftdichtungsmittel.
- ⇒ Durchdringungen von Holzbalken, Rohren, Leitungen und anderen Installationen möglichst vermeiden, ansonsten sauber abdichten.
- ⇒ Luftdichtende Schichten solange nicht verkleiden, bis eine Luftdichte-Messung durchgeführt ist. Nur dann ist eine eventuell erforderliche Nachbesserung relativ leicht möglich.

Zur Sicherstellung der Luftdichtigkeit muss diese in der Planung bereits berücksichtigt sein und die Ausführung auf der Baustelle gut kontrolliert werden. Um nicht bei fertig gestelltem Bau größere Undichtigkeiten festzustellen, empfiehlt es sich, mehrmals, insbesondere während der Bauzeit, zu messen. So können Undichtigkeiten noch problemlos erkannt und nachgearbeitet werden.

4.4 Zusammenfassung

An dieser Stelle lässt sich deutlich erkennen, dass das PH keine grundlegend neuen Konstruktionsprinzipien gegenüber NEH aufweist. Jedoch steigen die Anforderungen an die Qualität der Baukonstruktion und die Verarbeitung der verwendeten Materialien. Eine industrielle Vorfertigung der gesamten Außenhülle erscheint dabei sehr praktikabel. Dies erleichtert die Überwachung der Produktion mittels regelmäßiger Qualitätskontrollen auf Wärmebrückenfreiheit und Luftdichtheit.

⁴⁹ Quelle: Niedrig Energie Institut Detmold

5. Anforderungen an die Gebäudetechnik

Die Haustechnik im PH muss grundsätzlich vier Anforderungen gerecht werden:⁵⁰

1. Sie muss einen vergleichsweise stark verringerten Heizwärmebedarf decken.
2. Sie muss denselben Brauchwasserbedarf wie in Häusern herkömmlicher Bauweise abdecken.
3. Sie muss eine hochwirksame Abluft-Wärmerückgewinnung enthalten.
4. Sie soll technisch und ökologisch effizient und zudem kostengünstig sein.

5.1 Wohnungslüftung mit Wärmerückgewinnung

Lüftungsanlagen in Wohngebäuden ermöglichen eine besser dosierbare Luftzufuhr zu allen Aufenthaltsräumen und eine komfortablere Geruchs- und Feuchteabfuhr aus Küche, Bad und WC als bei Fensterlüftung. Grundvoraussetzung ist ein Abluft-Wärmetauscher, der einen ganz erheblichen Beitrag zu Energieeinsparung leistet. Es wird die Frischluft durch Restwärme der Abluft erwärmt. So ist es möglich 0° C kalte Frischluft mit 20° C warmer Abluft auf 18° C zu erwärmen ohne zusätzliche Heizenergie aufwenden zu müssen.⁵¹

Durch intensive Entwicklungsarbeit der Hersteller sind heute eine Reihe von Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnungsgraden von über 80% bei zugleich niedrigem Stromverbrauch verfügbar.

Werden Erdwärmetauscher zur Vorwärmung der Außenluft zwingend notwendig, dann sind Abluftwärmepumpen zur Wärmezeugung erforderlich. Die marktgängigen Lüftungsgeräte haben oftmals sehr beschränkte Regelalgorithmen, das heißt, einige Geräte schalten bereits ab +4° C Außenlufttemperatur die Zuluft ab. Die Folge ist dann, dass gerade bei kalten Außentemperaturen keine Luft mehr ins Gebäude befördert wird. Bei Verwendung eines Erdreichwärmetauschers wird die Außenluft in der Regel über +4° C erwärmt, so dass das Gerät nur noch selten in Frostschutzbetrieb geht.⁵²

⁵⁰ Quelle: Niedrig Energie Institut Detmold

⁵¹ Vgl. Graf Passivhaus S. 19

⁵² Vgl. Feist GL Passivhaus, S. 41

Die Lüftungsanlage soll in der Regel die zur Raumlufthygiene in der Heizperiode notwendigen Volumenströme von 25 – 30 m³ pro Person und Stunde⁵³ fördern können. Eine Auslegung auf Spitzenbedarfsfälle führt zu einer überdimensionierten Anlage mit unnötig hohen Betriebs- und Investitionskosten.

5.2 Restheizung

Die geringe Heizlast von Passivhäusern von etwa 10 Watt/m² führt dazu, dass z.B. Einfamilienhäuser mit 150 m² Wohnfläche selbst am kältesten Tag nur eine gesamte Heizleistung um 1,5 kW benötigen, während des größten Teils der Heizperiode sogar noch weniger.⁵⁴ Konventionelle Heizanlagen mit so geringer Leistung für Gas, Öl, Holz oder Kohle sind bisher nicht am Markt erhältlich.

Für Einfamilien-Passivhäuser eignen sich Wärmepumpen und Gas-Warmluftheizer (siehe Abbildung 6).

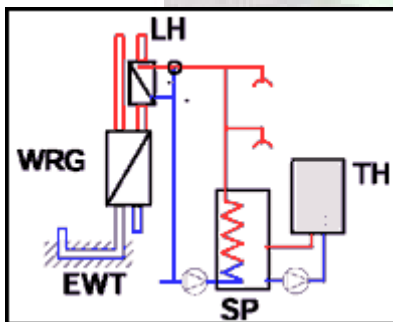


Abbildung 6: Konventionelle Haustechnik im Passiv-Einfamilienhaus mit Abluft-Wärmerückgewinnung (WRG), Erdwärmetauscher (EWT), Gastherme (TH), Speicher (SP) und Luftheizregister (LH), das von der Brauchwasserzirkulation mitversorgt wird. (Quelle: Niedrig Energie Institut Detmold)

Die im PH gegebene Möglichkeit, die wenige nötige Heizwärme ausschließlich über die Zuluft in die einzelnen Räume einzubringen, ermöglicht den Wegfall des gesamten konventionellen Heizwärmeverteilsystems (Heizkörper und Rohrleitungen). Im Zuluftkanal wird lediglich ein Luftheizregister eingebaut, das aus Heißwasser oder Heißluft gespeist wird. Dies vereinfacht die Haustechnik wesentlich.

Die geringe Heizwärmemenge kann grundsätzlich dem Brauchwasserkreislauf als Rücklaufabsenkung entnommen werden. Die Verhältnisse werden hier gewissermaßen umgedreht: Bisher hat man mit der Heizanlage die Warmwasserbereitung noch „nebenbei“ mit erledigt. Künftig wird man im PH die geringfügige Restheizung einfach mit der Warmwasserbereitung „nebenbei“ decken.⁵⁵

⁵³ Vgl. Graf, Passivhaus, S. 19

⁵⁴ Quelle: Niedrig Energie Institut Detmold

⁵⁵ Quelle: FEIST, Was ist ein Passivhaus, S. 3

5.3 Warmwasserbereitung

Durch dem Einbau von Lüftungs-Kombinationsgeräten mit Wärmepumpe ist es möglich und sinnvoll, die von der Wärmepumpe erzeugte Überschussenergie – außer in der kältesten und wärmetechnisch ungünstigsten Stunde des Jahres – zur Warmwasserbereitung zu nutzen (siehe Abbildung 7).

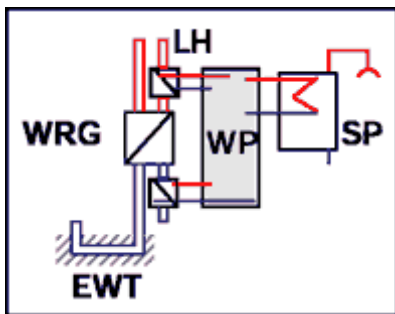


Abbildung 7: Haustechnik im Passivhaus mit Abluft-Wärmerückgewinnung (WRG) und Wärmepumpe (WP). Diese entzieht der Fortluft Wärme und beheizt über ein Luftheizregister (LH) die Zuluft; zugleich beheizt sie den Brauchwasserspeicher (SP). (Quelle: Niedrig Energie Institut Detmold)

Eine Kombination mit Solarkollektoren, die 60 % des Energiebedarfs von 25 kWh/m²a decken können,⁵⁶ ist sehr sinnvoll. Ebenso die Aufrüstung mit Elektro-Zusatzheizpatrone, um Versorgungsengpässe von der Wärmepumpe oder der Solarenergie auszugleichen.

Für die Bereitstellung von Restenergie im PH gibt es noch weitere Möglichkeiten, die aber meist noch nicht ausgereift oder nur für den Einsatz in größeren Gebäuden geeignet sind:

- ⇒ Kompaktgerät (Kombination Lüftung, Wassererwärmung, Wärmepumpe)
- ⇒ Gas- oder Öl-Brennwertgerät,
- ⇒ Fernwärme
- ⇒ Blockheizkraftwerk
- ⇒ Wasserstoff-Brennstoffzellen

5.4 Strom

Wie oben bereits erwähnt, ist der Gesamtenergiebedarf im PH auf 120 kWh/m²a beschränkt. Das verlangt den Einsatz von energiesparender Beleuchtung und Haushaltsgeräten (dazu zählen auch die Lüftungsventilatoren) sowie einen optimierten Allgemiestromverbrauch. Bei einem vorhandenen Gasanschluss sollte mit Gas gekocht werden. Um den elektrischen Energiebedarf weiter zu reduzieren ist es sehr

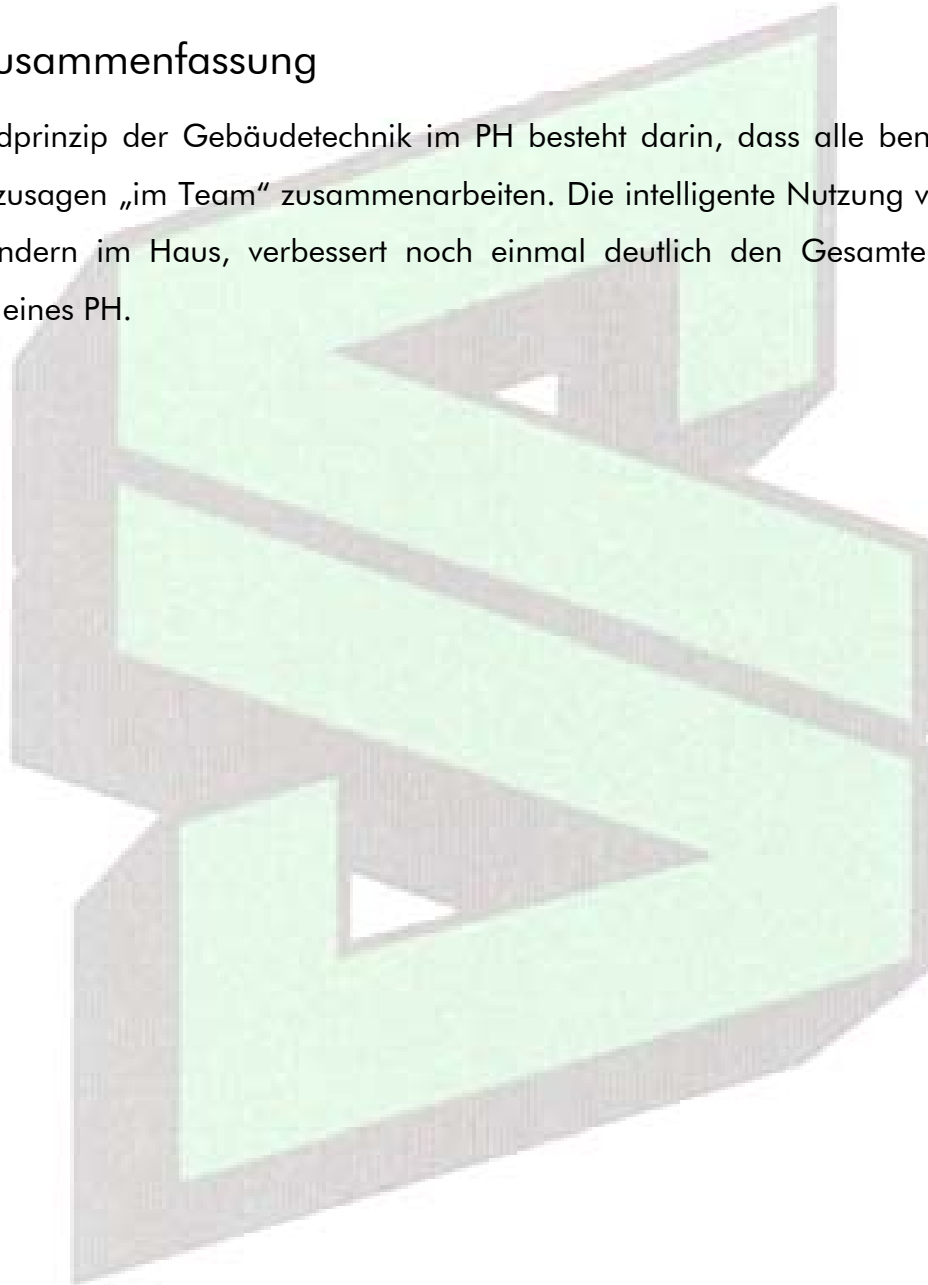
⁵⁶ M. Ufheil, solares bauen GmbH, Vom Passivhaus zum Nullemissionshaus, S. 6

nützlich, Wasch- und Spülmaschine an das Warmwassersystem des Hauses anzuschließen.

Der Einsatz von Fotovoltaikanlagen ist derzeit ohne Fördermittel nicht wirtschaftlich.⁵⁷ In absehbarer Zeit wird es aber auch in dem Bereich wirtschaftliche und effiziente Weiterentwicklungen geben.

5.5 Zusammenfassung

Das Grundprinzip der Gebäudetechnik im PH besteht darin, dass alle benötigten Geräte sozusagen „im Team“ zusammenarbeiten. Die intelligente Nutzung von Abwärmespendern im Haus, verbessert noch einmal deutlich den Gesamtenergieverbrauch eines PH.



⁵⁷ Vgl. Graf, Passivhaus, S. 25

6. Marktchancen für Passivhäuser

Ein Vergleich mit anderen Bauweisen fällt sehr schwer, da ein PH keine eigene Bauweise sondern einen Standard darstellt. Die Realisierung ist vielseitig möglich – als Neubau aber auch als Sanierungsmaßnahme – in Massiv-, Holz- und Mischbauweise.

6.1 Der Einfluss der EnEV

Der Niedrigenergiestandard war vor 10 Jahren in Stadtplanung und Bauwirtschaft noch weitgehend unbekannt und stieß bei seiner Einführung zunächst auf erhebliche Akzeptanzprobleme. Heute liegen bereits umfangreiche Erfahrungen bei Bauträgern und im Handwerk vor. Es zeigte sich, dass die Standards mit moderaten Kosten realisiert werden können und bei Bauinteressierten eine zunehmende Bereitschaft für die diesbezüglichen Mehrkosten besteht. Viele Bauträger und Fertighaushersteller werben heute aktiv mit den verbesserten Standards. Ab dem Jahr 2002 ist mit der EnEV 2002 ein Baustandard festgelegt, der dem NEH-Standard bereits weitgehend entspricht. Dies zeigt, dass sich eine neue Bauweise in einem Zeitraum von 10 Jahren von einer vereinzelt Prototypanwendung (NEH) zu einem akzeptierten Standard entwickeln kann. Eine ähnliche Entwicklung könnte auch der PH-Standard durchmachen.⁵⁸

Die neue EnEV trägt wesentlich zur Verringerung des Gesamtenergieverbrauchs von Neubauten bei. Sie erfasst auch Einflüsse der Wärmebrücken und der Anlagentechnik. Da das PH dahingehend optimiert wurde, kommt die EnEV dem PH-Standard sehr entgegen.

6.2 Kostengünstige Passivhäuser

Alle in dieser Studienarbeit genannten Fakten klingen zweifelsohne für viele Bauherren interessant. Für sie stellt sich jedoch immer die Frage, wie viel Mehrkosten der PH-Standard gegenüber dem NEH-Standard verursachen wird.

Die zusätzlich erforderliche Dämmung erzeugt nur unwesentliche Zusatzkosten. Erhebliche Mehrkosten entstehen durch die notwendige, wesentlich verbesserte Fens-

terqualität. Für die entscheidenden Komponenten Verglasung und Rahmen gibt es inzwischen hochwertige industriell gefertigte Produkte, die die Fenster-Mehrkosten auf ein vertretbares Maß begrenzen.

Unverzichtbar ist die hocheffiziente Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung und Erdreichwärmetauscher.⁵⁹ Beide verursachen umfangreiche Mehrkosten. Dem gegenüber kann auf das konventionelle Heizsystem verzichtet werden und mindert die diesbezüglichen Mehraufwendungen. Das Lüftungszusatzgerät verursacht kaum zusätzliche Kosten.

Insgesamt kann ein PH in absehbarer Zukunft praktisch baukostengleich zum gegenwärtigen Standard eines NEH errichtet werden. Bauliche und Lüftungstechnische Mehrkosten können durch die Kostenersparnis beim Heizsystem in etwa ausgeglichen werden.⁶⁰

Darüber hinaus sind die Betriebskosten eines PH extrem niedrig (51,13 bis 102,26 € Heizkosten im Jahr).⁶¹ Bezieht man die kapitalisierten Energiekosten mit ein, so können schon heute Passivhäuser gebaut werden, deren Lebenszykluskosten die eines konventionellen Neubaus nicht übersteigen.

Die Mehrkosten aller Komponenten eines PH werden in Kürze mit zunehmender Stückzahl und einer wachsenden Zahl von Anbietern weiter sinken.

Die über die Lebensdauer eines Hauses gemittelten Energiepreise sind schwer vorherzusagen. Mit einiger Sicherheit kann man jedoch annehmen, dass Energie auf lange Sicht nicht billiger werden wird. In einigen Jahren wird somit der PH-Standard die Bauart mit den eindeutig niedrigsten Gesamtkosten werden.

⁵⁸ Quelle: R. Schüle, Energieagentur Regio Freiburg GmbH, Passivhaustechnik – Zukunftsmarkt für das Bauhandwerk, S. 5

⁵⁹ Quelle: FEIST, Vom Niedrigenergiehaus zum Passivhaus - Erfahrungen mit Gebäuden ohne Heizung, S. 9

⁶⁰ Quelle: siehe Fußnote 68

⁶¹ Quelle: FEIST, Was ist ein Passivhaus, S. 4 f.

6.3 Vorteile von Passivhäusern

Dr. Wolfgang Feist nennt in seiner Publikation „Was ist ein Passivhaus“ folgende Vorteile:

- ⇒ Passivhäuser führen nicht nur zu einer nachhaltigen Entlastung der Umwelt bei den atmosphärischen CO₂-Emissionen und den übrigen Emissionen aus der Energieumwandlung. Die Umsetzung des PH-Konzepts stellt eine „Win-Win-Strategie“ für alle Beteiligten dar:
- ⇒ Für den Hausbesitzer als Investor: Die Qualität des Gebäudes ist nachhaltig besser, durch das Fehlen von Wärmebrücken und Leckagen sinkt die Wahrscheinlichkeit von Bauschäden, der Wert steigt, die Vermietbarkeit verbessert sich.
- ⇒ Für den Bewohner: Die Betriebskosten sind geringer, die Behaglichkeit wird verbessert, die Wohnqualität nimmt zu. Geringere Energieverbräuche werden dabei nicht durch Einschränkungen, sondern im Gegenteil in Verbindung mit Komfortverbesserungen erreicht.
- ⇒ Für das ausführende Handwerk: Hohe Qualität ist gefragt, das Auftragsvolumen nimmt insgesamt zu.
- ⇒ Für die Industrie: Es entsteht eine dauerhaft stabile Nachfrage nach hochwertigen Produkten und eine Motivation zur Innovation.
- ⇒ Für die Volkswirtschaft: Die erhöhte Nachfrage nach langlebigen Konsumgütern (um solche handelt es sich bei allen Maßnahmen an Gebäuden) führt zu einer stabilen zusätzlichen Beschäftigung im Inland. Bei positiver Gesamtstimmung gegenüber der hier gestellten Aufgabe kann die Motivation spürbar verbessert werden. Die gestellten Aufgaben führen zu einer Nachfrage nach Arbeitskräften in allen Sektoren und auf allen Qualifikationsstufen. Die Qualifikation aller Beteiligten wird gefordert und allein dadurch spürbar erhöht.

6.4 Marktanalyse

Nach langjährigen und sorgfältigen wissenschaftlichen Voruntersuchungen beginnt der PH Baumarkt derzeit bereits rapide zu wachsen. Mitte 2000 waren in Deutschland, Österreich und der Schweiz bereits etwa 600 Passivhäuser realisiert und über 300 in Bau.⁶²

Das Ergebnis einer Marktpotentialstudie führt zu der Einschätzung, dass im Jahr 2005 die Passivbauweise einen Anteil von 5 % (16.000 bis 30.000 Wohneinheiten) an der gesamten Neubautätigkeit im Bereich der Ein- und Zweifamilien- sowie Reihenhäuser erreichen kann. In den darauf folgenden fünf Jahren könnten 40.000 bis 80.000 weitere Passivhäuser dazu kommen (siehe Abbildung 8).⁶³ Eine tiefgründigere Marktanalyse wird in der Diplomarbeit erfolgen.

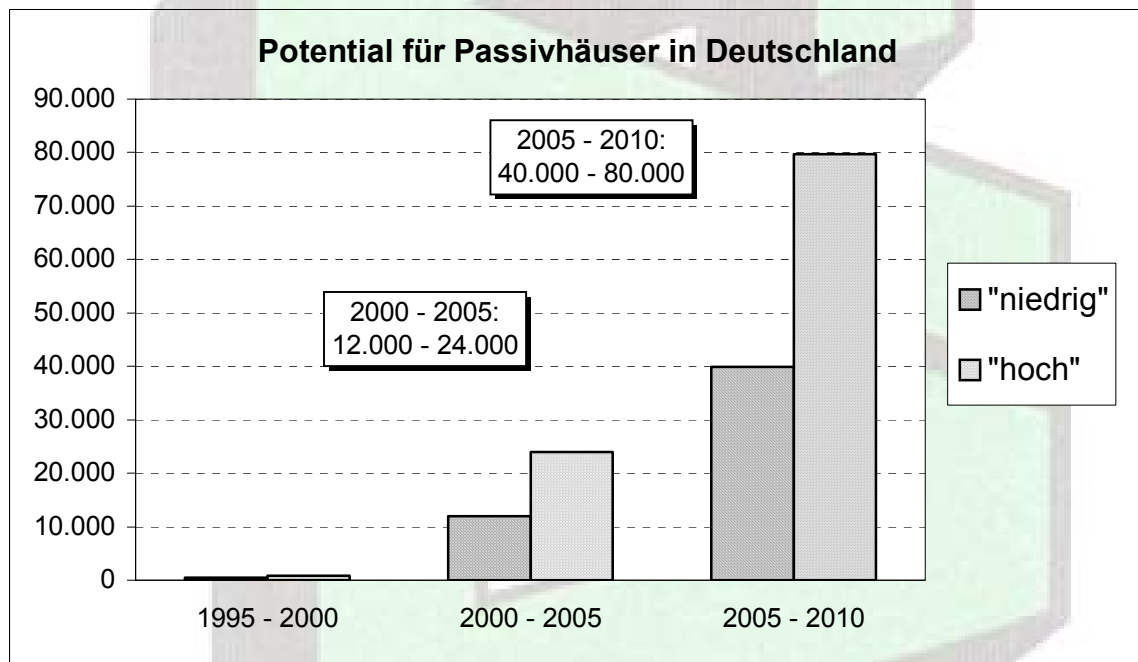


Abbildung 8: Marktpotential für Passivhäuser in Deutschland – Anzahl Gebäude im jeweiligen Zeitraum (Quelle: Büro für Solarmarketing, Freiburg 1999)

Diese Ergebnisse zeigen, dass es sich bei der Passivbauweise zukünftig nicht mehr um ein Nischenprodukt handeln wird, sondern um einen großen Markt mit einer dynamischen Entwicklung.

Anders als in den ersten Jahren sind es heute kaum noch experimentelle Pionierbauten einzelner risikobereiter Bauleute oder Architekten. Es sind mit steigendem Anteil bereits kommerzielle Bauträgerprojekte im Reihenhauses-, Eigentumswoh-

⁶² Quelle: Niedrig Energie Institut Detmold

nungs- und Mietwohnungsbau, die sich hart am Wettbewerb orientieren. Dies ist ein positives Indiz dafür, dass sich Passivhäuser nicht nur aus idealistischen oder politischen, sondern auch aus ökonomischen Gründen auf dem Markt durchsetzen. Die rationelle Anwendung der PH-Bauweise in großem Stil wird noch vielfältige Produktentwicklungen und Lernprozesse anregen und ein relevantes Potential für die entsprechenden Entwicklungen und Technologien schaffen. Dafür sind hohe Qualität in der Detailplanung, genügend Fehlertoleranz bei neuen technischen Lösungen und vor allem Motivation und „Know-How-Transfer“ bei allen betroffenen Akteuren erforderlich.⁶⁴

Nullheizenergiehäuser führen gegenüber dem PH zu spürbar höherem baulichen Aufwand, ohne die Umwelt bedeutend mehr zu entlasten. In Zukunft könnte sich der Aufwand jedoch durch Fortschritte vor allem bei den Fenstern reduzieren. Energieautarke Häuser werden jedoch auch in absehbarer Zukunft keinen erkennbaren Umweltvorteil gegenüber Konzepten aufweisen, die einen geringen Restverbrauch noch aus dem bestehenden Netz beziehen und etwa erzeugte regenerative Energie in das Netz einspeisen. Die Chancen für regenerative Energieträger steigen im Übrigen, je besser die Energieeffizienz der Nutzungssysteme und Gebäude ist.⁶⁵

6.5 Von der Theorie in die Praxis

Den theoretischen Beweis für die Realisierbarkeit von Passivhäusern erbrachte Wolfgang Feist in seiner Dissertation „Passivhäuser in Mitteleuropa.“

1991 wurde mit der Fertigstellung des ersten PH in Darmstadt-Kranichstein, einer Reihenhauseszeile mit vier Wohnungen auch der praktische Beweis erbracht. Die genauen Messungen, die seither in Darmstadt-Kranichstein, aber auch in zahlreichen anderen PH-Projekten und -siedlungen laufen, beweisen, dass der Verbrauch an Heizenergie in diesen Häusern tatsächlich verschwindend gering ist.

Deutschland ist mit über 1.000 bewohnten Passivhäusern Spitzenreiter in Europa, gefolgt von Österreich und der Schweiz. Einzelne Demonstrationsprojekte und -siedlungen stehen in ganz Europa von Italien bis nach Schweden.

⁶³ Quelle: Dipl.-Ing. Meinhard Hansen, Architekt, Das Passivhaus: Komfort und Wohnqualität (fast) ohne Energieverbrauch, S 5

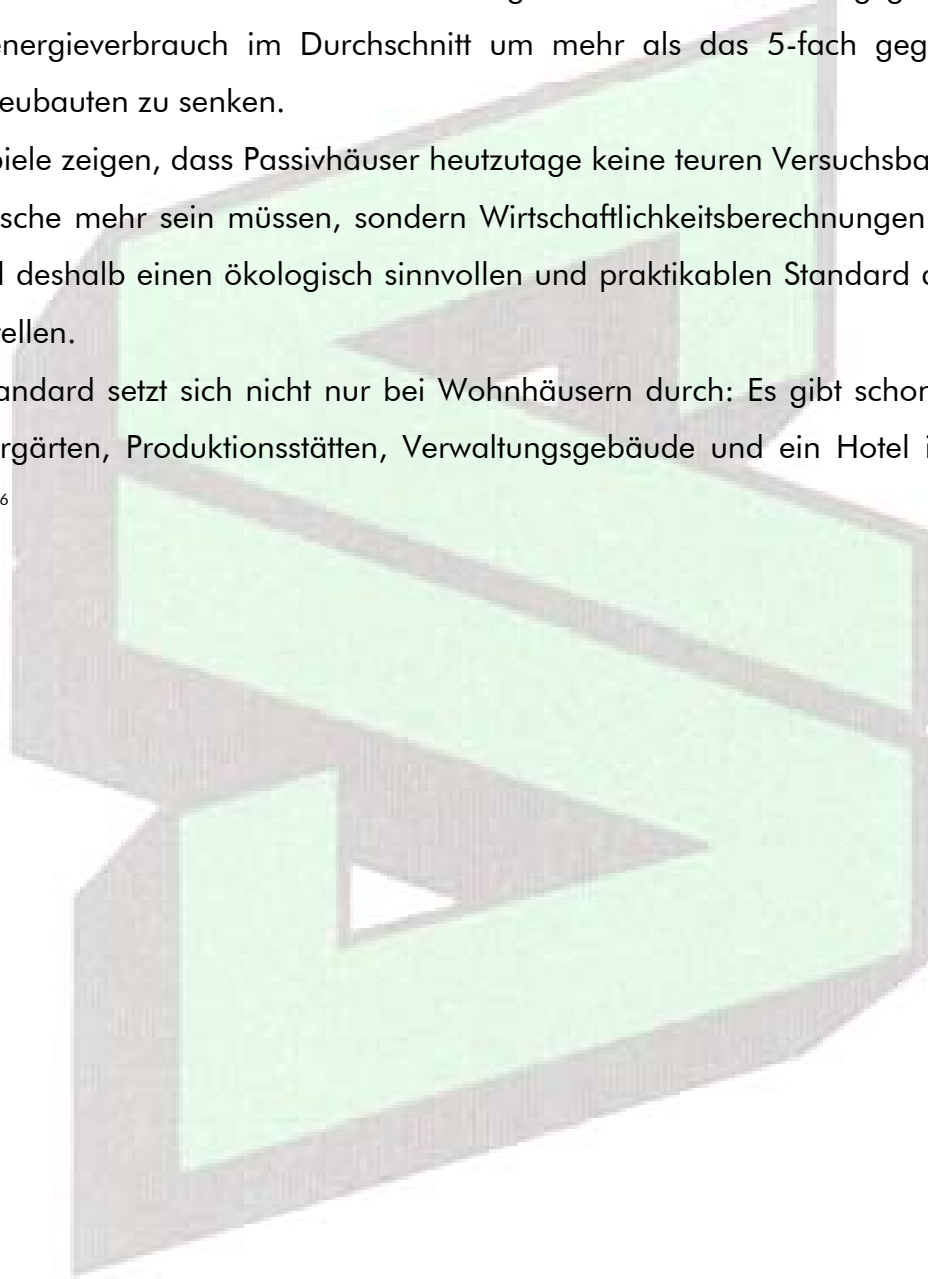
⁶⁴ Quelle: Niedrig Energie Institut Detmold

⁶⁵ Quelle: FEIST, Was ist ein Passivhaus, S. 12

Sozialwissenschaftliche Studien haben ergeben, dass die sensationelle Energieeinsparung des PH im Sinne der Bewohner funktioniert und niemand auf seinen gewohnten Komfort verzichten musste. So konnte auch belegt werden, dass nicht die Nutzung durch die Bewohner, sondern der baulich/technische Standard den dominanten Einfluss auf den Energieverbrauch hat: Allein durch Verbesserung der technischen Effizienz ist es z.B. in der PH-Siedlung in Hannover-Kronsberg gelungen, den Heizenergieverbrauch im Durchschnitt um mehr als das 5-fach gegenüber Standardneubauten zu senken.

Viele Beispiele zeigen, dass Passivhäuser heutzutage keine teuren Versuchsbauten in der Ökonomie mehr sein müssen, sondern Wirtschaftlichkeitsberechnungen standhalten und deshalb einen ökologisch sinnvollen und praktikablen Standard der Zukunft darstellen.

Der PH-Standard setzt sich nicht nur bei Wohnhäusern durch: Es gibt schon Schulen, Kindergärten, Produktionsstätten, Verwaltungsgebäude und ein Hotel im PH-Standard.⁶⁶



⁶⁶ Quelle: Deutscher Umweltpreis 2001, Pressemitteilung vom 19.10.2001

7. Resümee

Die Erkenntnisse aus der Studienarbeit lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Grundsätzlich ist festzustellen, dass ein PH nur im Zusammenspiel aller bautechnischen und energierelevanten Faktoren möglich ist. Das heißt, durch sehr gute Wärmedämmung, Winddichtheit und Wärmebrückenfreiheit der gesamten Außenhülle in Verbindung mit einer energiesparenden und komplex wirkenden Gebäudetechnik wird ein zukunftsorientierter Baustandard entsteht.

Das stellt neue und höhere Anforderungen an die Arbeit der Architekten und Planer aber auch an die Qualität der bauausführenden Betriebe.

Die Fachleute für winddichte Konstruktionen, wärmebrückenfreie Ausführungen und effiziente Haustechniksysteme sind noch in der Minderzahl. Das PH wird sich nicht über eine einzelne, revolutionäre Entwicklung durchsetzen. Begeisterte Bewohner, das schnelle Lernen aus Erfahrungen, immer ausgereifere Produktentwicklungen und vor allem gewerkeübergreifende Kompetenz bei den Fachleuten werden die entscheidenden Faktoren darstellen.

Nach dem Stand der Technik können schon heute alltagstaugliche Passivhäuser errichtet werden. Der Nachweis, dass der PH-Standard realisierbar ist und dass Passivhäuser aktiven Umweltschutz und höchsten Komfort verbinden, ist schon vielfach erbracht worden.

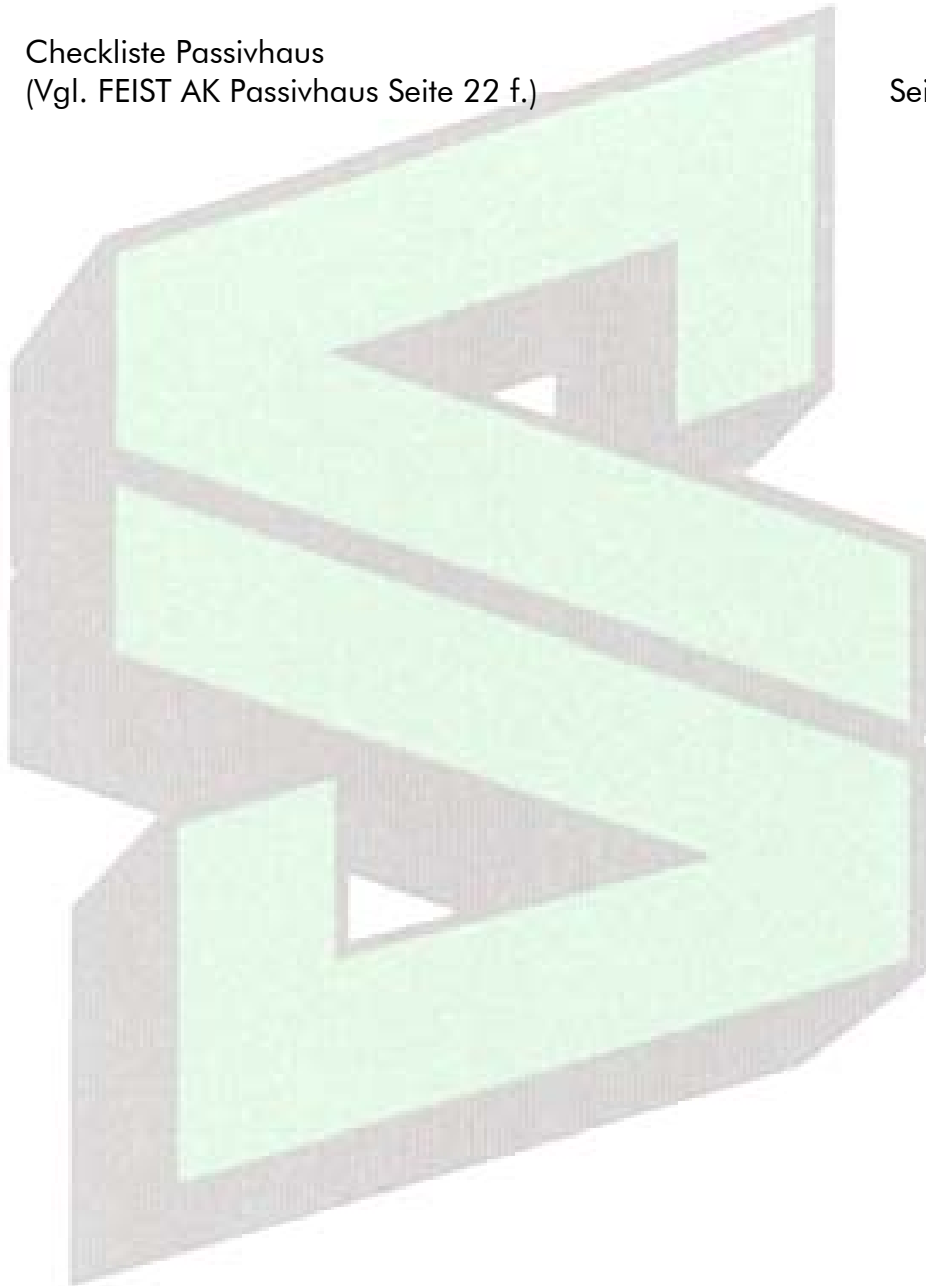
Forschung und ständige Weiterentwicklung, der zwangsläufige Anstieg der Energiepreise und die wachsende Einsicht in die Notwendigkeit der Energieeinsparung lassen den PH-Standard zukünftig zu einer Selbstverständlichkeit werden.

Die Techniken sind vorhanden, die Erfahrungen sind gemacht.

Jetzt bauen wir Passivhäuser!

Anhangsverzeichnis

- Anhang 1: Übersicht Dämmstoffe
(Vgl. OBERLÄNDER, Niedrigenergiehaus,
Seite 69 f.) Seite 2 – 3
- Anhang 2: Checkliste Passivhaus
(Vgl. FEIST AK Passivhaus Seite 22 f.) Seite 4 – 5



Übersicht Dämmstoffe

Dämmstoff	Wärmeleitfähigkeit λ_R (W/mK)	Anwendungsfähigkeit	Baustofftyp	Notklasse DIN 4102	Kostenwendige Dicke	(DM/m ²)
Mineralfaser-Dämmstoffe (20-140 kg/m ³)	0,030 bis 0,045		W+WD +WL+WV	A1/A2/B1	13,50 bis 20,25 cm	40,- 25,-
Glaswolle (35 kg/m ³)	0,040		Einblas- und Aufblastechnik	B2	18,00 cm	35,-
Mineralfaser-Granulat (ca. 40 kg/m ³)	0,045		Einblas- und Aufblastechnik	A1	20,25 cm	22,-
Polystyrol-Partikelschaum						
EPS (Rohdichte > 15 kg/m ³)	0,040		W	B1	18,00 cm	20,-
EPS (Rohdichte > 20 kg/m ³)	0,040		WD	B1	18,00 cm	28,-
EPS (Rohdichte > 30 kg/m ³)	0,035		WS+WD	B1	15,75 cm	45,-
Loses Schüttgut (15 kg/m ³)	0,045		Schüttung		20,25 cm	12,-
Polystyrol-Extruderschaum						
XPS (Rohdichte > 25 kg/m ³)	0,030 bis		W, WD	B1	13,50 cm	60,-
XPS (Rohdichte > 35 kg/m ³)	0,035		WWD,WS	B1	15,75 cm	50,-
Polyurethan-Hartschaum						
PUR (Rohdichte > 30 kg/m ³)	0,025 bis		W,WD,WS	B1/B2	11,25 cm	45,-
PUR (Rohdichte > 35 kg/m ³)	0,035		WWD,WS	B1/B2	15,75 cm	40,-
Schaumglas (Foamglas)						
(Rohdichte 120 kg/m ³)	0,045		WDS+WDH	A1	20,25 cm	140,-
(Rohdichte 125 kg/m ³)	0,050		WDS+WDH	A1	22,50 cm	140,-
Holzfaser-Dämmplatte						
(Rohdichte < 160 kg/m ³)	0,045			B2	20,25 cm	80,-
(Rohdichte 270 kg/m ³)	0,060			B2	27,00 cm	110,-
Zellulosefaser-Dämmstoff						
Aufblasen (35-45 kg/m ³)	0,045		Aufblas-	B2	20,25 cm	28,-
Einblasen (40-70 kg/m ³)	0,045		Einblas- oder	B2	20,25 cm	38,-
Sprühen (ca. 50 kg/m ³)	0,045		Sprühtechnik	B2	20,25 cm	35,-
Dämmplatte (70-100 kg/m ³)	0,040		W+WV	B2	18,00 cm	
Schilfrohr-Matten	0,060			B2	27,00 cm	70,-
Flachs-Dämmvlies	0,040			B2	18,00 cm	80,-
Hanf (< 140 kg/M3)	0,065		Schüttgut		29,25 cm	85,-
B1ähkork						
Platten (90 - 110 kg/m ³)	0,045		W+WD	B2	20,25 cm	70,-
Naturschrot (65 - 85 kg/m ³)	0,045		Schüttgut	B2	20,25 cm	35,-
B1ähperlit						
(Schüttung 70 kg/m ³)	0,050		Schüttung	A1	22,50 cm	35,-
(Schüttung 100 kg/m ³)	0,060		Schüttung	A1	27,00 cm	42,-
Kokosfaser (ca. 50 kg/m ³)	0,050			B2	22,50 cm	105,-
Schafwolle (20 - 120 kg/m ³)	0,040		WL	B2	18,00 cm	70,-
Baumwolle (20 - 60 kg/m ³)	0,040		W	B2	18,00 cm	55,-

Anmerkung zu Tabelle:

Wärmeleitfähigkeit λ in W/mK

Wärmeenergie wird in Stoffen unterschiedlich gut weitergeleitet. Diese Eigenschaft wird als Wärmeleitfähigkeit bezeichnet und sollte bei einem Wärmedämmstoff naturgemäß möglichst gering sein (0,020-0,060 W/mK). Sie ist abhängig von der Wärmeleitfähigkeit des Basismaterials, der Anzahl, Art, Größe und Anordnung der umschlossenen Poren oder Zellen, der Struktur der festen Bestandteile (kristallig, glasig, faserig) und der Rohdichte.

Anwendungstyp

Typenkurzzeichen	Beanspruchbarkeit und Anwendungszweck
W	nicht druckbelastbar, z.B. für Wände, Decken und belüftete Dächer
WL	nicht druckbelastbar, z.B. für Dämmungen zwischen Sparren- und Balkenlagen
WD	druckbelastbar, z.B. unter druckverteilenden Böden (ohne Trittschallanforderung) und in unbelüfteten Dächern direkt unter der Dachhaut
WS	druckbeanspruchbar mit erhöhter Belastbarkeit für Sondereinsatzgebiete, z.B. Parkdecks, Industrieböden
WDS	druckbeanspruchbar mit erhöhter Belastbarkeit für Sondereinsatzgebiete, z.B. Parkdecks nach DIN 18 174 (Schaumglas)
WDH	druckbeanspruchbar mit erhöhter Belastbarkeit für Sondereinsatzgebiete, z.B. Parkdecks für LKW, Feuerwehrfahrzeuge nach DIN 18174 (Schaumglas)
WV	nicht druckbeanspruchbar, begrenzt beanspruchbar auf Abreißen und Scheren, z.B. für Fassaden mit mineralischem Putz und für angesetzte Vorsatzschalen ohne Unterkonstruktion
WB	beanspruchbar auf Biegung, z.B. für Bekleidung von windbelasteten Fachwerk- und Ständerkonstruktionen
T	druckbeanspruchbar mit definierter dynamischer Streifigkeit für Trittschalldämmstoffe, z.B. unter schwimmenden Estrichen
TK	druckbeanspruchbar mit geringer Zusammendrückbarkeit und definierter dynamischer Steifigkeit für Trittschalldämmstoffe, z.B. unter Fertigteilestrichen.

Brandverhalten und Baustoffklassen nach DIN 4102, Teil 1

A1	nicht brennbar
A2	nicht brennbar
B1	schwer entflammbar
B2	normal entflammbar
B3	leicht entflammbar (dürfen im Bauwesen nicht verwendet werden)

Notwendige Dämmstoffdicke

Materialdicke, die zur Erzielung der Wärmedämmwirkung von 18 cm Dämmstoff der Wärmeleitfähigkeitsgruppe 040 notwendig ist.

Kosten pro m² für notwendige Dicke

Aufgrund der Vergleichbarkeit werden die Kosten pro Quadratmeter Dämmstoff bezogen auf die Dicke, die der Wärmedämmwirkung von 18 cm Dämmstoff der Wärmeleitfähigkeitsgruppe 040 entspricht.

Mit 18 cm Dämmung der Wärmeleitfähigkeitsgruppe 040 im Einsatz als Wärmedämmverbundsystem wird mit einem k-Wert von 0,2 W/m²K für eine Außenwand der Niedrigenergiehaus-Standard erreicht. Angegeben werden Netto-Materialpreise des Baustoffhandels (Preisstand: Frühjahr '95)

CHECKLISTE PASSIVHAUS

[⇔] bedeutet: Abstimmungstermin mit der wissenschaftlichen Begleitung erforderlich

1 Bebauungsplan

- Anschluss ÖPNV
- Südorientierung der Hauptfassaden und großen Fensterflächen ($\pm 15^\circ$) - Verschattungsfreiheit für passive Solarenergienutzung. (Sonnentiefststand 23. Dezember, mittags verschattungsfrei ?)
- kompakte Bauformen möglich? Gereichte Gebäude?
- beschattungsfreie Bepflanzung

2 Vorplanung

- kompakte Baukörper; Anbaumöglichkeiten nutzen
- Verglasungsflächen nach Süden (30 bis 60%). Ost/West/Nordfenster klein halten
- Verschattungsfreiheit (keine bzw. sehr wenig Schatten durch Brüstungen, Vorbauten, Balkone, Dachüberstände, Trennwände,...)
- einfache Hüllflächenstruktur (möglichst ohne Gauben, Versatz,...).
- Grundriss: Installationszone konzentrieren (Bäder über oder neben Küche) -Notwendige Zulufkanäle berücksichtigen.
- Abtrennung evtl. vorhandenes Kellergeschoß: luftdicht, wärmebrückenfrei.

3 Genehmigungplanung

- Dämmdicken der Hülle einplanen.
- Wärmebrücken vermeiden.
- Raumbedarf für Haustechnik einplanen.
- Grundriss: kurze Leitungsführungen (Warmwasser, Kaltwasser, Abwasser) und kurze Lüftungskanäle. Kaltluftkanäle außerhalb der Hülle; warme Leitungen innerhalb der Hülle.

4 Ausführungsplanung Baukörper

- Hochgedämmte Regelkonstruktionen. (Regel: $k \leq 0,16 \text{ W/m}^2\text{K}$; 0,1 anstreben!)
- ⇔ **Wärmebrückenreduzierte Anschlussdetails: Berechnung, Abstimmung.**
- ⇔ **luftdichte Anschlussdetails: Abstimmung.**
- Fensteroptimierung (Verglasungsart, Superrahmen, Glasanteil, Sonnenschutz)
- ⇔ **erste Projekte: Dynamische Gebäudesimulation**

5 Ausführungsplanung Lüftung

- Kanalnetz: kalte Luftkanäle nicht innerhalb der Hülle, wenn, dann nur sehr kurz und hoch wärmegeämmt. Warme Luftkanäle nicht außerhalb der Hülle; wenn dann nur sehr kurz und extrem gut wärmegeämmt.
Kurze Kanäle; glattwandig; Strömungsgeschwindigkeiten $\leq 3\text{m/s}$;
Mess- und Abgleichvorrichtungen einplanen: Schallschutz; Brandschutz.
- Luftauslässe: Kurzschlussluftströme vermeiden; Wurfweite; Abgleichmöglichkeit. Abluftdurchlässe: nicht über Heizkörpern.
- Überströmöffnungen auf $\Delta p \leq 1 \text{ Pa}$ dimensionieren.
- Lüftung, Zentralgerät: Wärmetauscher nahe der thermischen Hülle aufstellen; entweder im warmen oder im Untergeschoß, nicht im kalten. Nachheizregister im warmen.
Evtl. Zusatzdämmung von Zentralgerät und Nachheizregister.
Rückwärmzahl $\geq 80 \%$; luftdicht (Umluft $< 1 \%$); Stromeffizienz ($< 0,4 \text{ Wh/m}^3$) Regelbarkeit; Schalldämmung; gute Wärmedämmung Gehäuse.

- Lüftung, Regelung: Nutzer steuert „schwach“, „normal“, „stark“; Bedarfsschalter in der Küche und in Bädern und Toiletten
- Dunstabzugshauben: hoher Auffanggrad bei kleinem Volumenstrom; Fettfilter. Erdreich-Wärmetauscher
- Luftdichtheit; Abstände kalter Leitungsteile vom Haus; Bypass (Sommer).

⇔ **Erste Projekte: Abstimmungstermin Haustechnik.**

6 Ausführungsplanung übrige Haustechnik

- Sanitär, Warmwasser: kurze Leitungen, gut gedämmt innerhalb der Hülle. Sanitär, Kaltwasser: kurze Leitungen, gut gedämmt.
- Wasserspararmaturen; Warmwasseranschlüsse Wasch- und Spülmaschinen.
- Abwasser: kurze Leitungen (nur ein Fallrohr), Unterdachbelüfter oder gedämmtes Entlüftungrohr .
- Sanitär und Elektro: möglichst keine Durchdringungen der luftdichten Gebäudehülle
- wo erforderlich: Dichtheit!
- Energiesparende Haushaltsgeräte

⇔ **Abstimmungstermin mit wissenschaftlicher Begleitung: Notwendige Installationen für Messungen**

7 Ausführung, Bauleitung Baukörper

- Wärmebrückenvermeidung: Abnahme an der Baustelle.
- Luftdichtheit: Anschlussdetails beaufsichtigen.

⇔ **Luftdichtheit: Drucktest während der Bauphase beauftragen!**

wann? sobald luftdichte Hülle vollständig hergestellt, aber noch zugänglich: d.h. nach dem Innenputz, vor dem Innenausbau (Abstimmung Gewerke!).

wie? n_{50} -Test mit Blowerdoor; einschließlich Leckageaufnahme.

- Dämmarbeiten: Ununterbrochene Dämmschichten; Lufträume vermeiden.

8 Ausführung, Bauleitung Lüftung

- Durchführungen: luftdicht
- Kanäle: sauber einbauen, sorgfältig abdichten
- Zentralgerät: Zugänglichkeit Filter zum Wechseln, Schalldämmung, Dämmung Kanäle (wo notwendig) kontrollieren

⇔ **Einregulierung Luftströme im Normalbetrieb: Termin mit wissenschaftlicher Begleitung: Messung Zu- und Abluftströme; Balance-Abgleich; Abgleich Zu- und Abluftverteilung; Messung der elektrischen Leistungsaufnahme.**

9 Ausführung, Bauleitung übrige Haustechnik,

- Kontrolle: Luftdichte Durchführungen
- Kontrolle: Wärmedämmung der Leitungen

10 Messprogramm

- Installation Sensoren
- Installation Datenlogger

⇔ **Thermographie- Termin**

11 Zertifikat

- Beantragung des Zertifikates „Geprüftes Passivhaus“ beim PHI

Literaturverzeichnis

FEIST, Wolfgang (Hrsg.) (Niedrigenergiehaus): Das Niedrigenergiehaus – Neuer Standard für energiebewusstes Bauen, 1998, 5. Auflage, C.F. Müller Verlag Heidelberg

FEIST, Wolfgang (Hrsg.), ZINK, Johannes, (AK Passivhaus): Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser, Fachdokumentation Nr. 1, „Kostengünstiges Bauen“, 1996, Institut Wohnen und Umwelt GmbH

FEIST, Wolfgang, (GL Passivhaus): Grundlagen der Gestaltung von Passivhäusern, 1996, Verlag Das Beispiel GmbH Darmstadt

GRAF, Anton (Passivhaus): Das Passivhaus – Wohnen ohne Heizung, 2000, Verlag Georg D. W. Callwey München

HUMM, Othmar (Niedrigenergiehaus): Niedrigenergiehäuser – Theorie und Praxis, 2. Auflage, 1991, ökobuch Verlag Staufen

OBERLÄNDER, Stephan (Niedrigenergiehaus): Das Niedrigenergiehaus – Ein Handbuch mit Planungsregeln zum Passivhaus, 2. Auflage, Verlag W. Kohlhammer,

Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung – EnEV)

Internetadressen:

www.aee.at

www.passivhaus-institut.de

www.eebev.de

www.passivhaus-sued.de

www.nei-dt.de