

Burkhard Schulze Darup

Energieeffiziente Wohngebäude

3., vollständig überarbeitete Auflage



LESEPROBE

BINE-Fachbuch

Energieeffiziente Wohngebäude

3., vollständig überarbeitete Auflage

Burkhard Schulze Darup

LESEPROBE

Herausgeber

 **FIZ Karlsruhe**

Leibniz-Institut für
Informationsinfrastruktur

Fraunhofer IRB  **Verlag**

 **BINE**
Informationsdienst

Der BINE Informationsdienst bietet Kompetenz in neuen Energietechniken. Der intelligente Umgang mit knappen, wertvollen Energieressourcen, insbesondere in Gebäuden und der Gebäudetechnik, sowie die Nutzung erneuerbarer Energien sind die BINE-Kernthemen. Zu diesen Inhalten vereinen wir vielfältiges Know-how aus Forschung, Technik und Anwendung. Eine Übersicht über unser komplettes Produkt- und Dienstleistungsangebot finden Sie unter www.bine.info. Gerne senden wir Ihnen die Informationen auch zu.

BINE Informationsdienst ist ein Service von FIZ Karlsruhe und wird vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie gefördert.

Für weitere Fragen stehen Ihnen zur Verfügung:

Dorothee Gintars, Micaela Münter

BINE Informationsdienst, FIZ Karlsruhe, Büro Bonn

Kaiserstr. 185-197, 53113 Bonn

Tel. 02 28/9 23 79-0, bine@fiz-karlsruhe.de, www.bine.info

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.
ISBN: 978-3-8167-8322-0

ISBN Printausgabe: 978-3-8167-8322-0 | ISBN-A: 10.978.38167/83220

Herstellung: Dietmar Zimmermann | Umschlaggestaltung: Martin Kjer

Druck: DZA Druckerei zu Altenburg GmbH, Altenburg

Für den Druck des Buches wurde chlor- und säurefreies Papier verwendet.

Alle Rechte vorbehalten

Dieses Werk ist einschließlich aller seiner Teile urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die über die engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes hinausgeht, ist ohne schriftliche Zustimmung des Fraunhofer IRB Verlages unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen sowie die Speicherung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen und Handelsnamen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, dass solche Bezeichnungen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und deshalb von jedermann benutzt werden dürften. Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien (z.B. DIN, VDI, VDE) Bezug genommen oder aus ihnen zitiert werden, kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, -vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.

© by FIZ Karlsruhe, 2009 (Unveränderter Nachdruck 2012)

Verlag und Vertrieb: Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB

Nobelstraße 12 | 70569 Stuttgart | Telefon (0711) 970-2500

Telefax (0711) 970-2508 | E-Mail: irb@irb.fraunhofer.de

<http://www.baufachinformation.de>

Hinweis zu den Abbildungen: Soweit nachfolgend keine anderen Quellen genannt werden, stammen die Abbildungen von den Autoren.



1	Einleitung	7
2	Gebäudekonzept	10
2.1	Energieeffizienz – ein neues Architekturkonzept?	10
2.2	Entwurfsprinzipien für passives solares Bauen	12
2.3	Energetische Standards und Berechnungsverfahren	17
3	Raumklima und Raumluftqualität	26
3.1	Bauphysik	26
3.2	Raumluftqualität	31
3.3	Raumlufthygienische Anforderungen an die Lüftung	35
4	Konstruktion	37
4.1	Opake Außenbauteile	37
4.2	Transparente Bauteile	41
4.3	Wärmebrücken	48
4.4	Luftdichtheit und Winddichtheit	54
5	Gebäudetechnik – Lüftung	62
5.1	Lüftungssysteme.....	63
5.2	Hygienische Anforderungen und Luftwechsel	68
5.3	Komponenten von Lüftungsanlagen	70
5.4	Auslegung und Planungseckdaten	80
5.5	Nutzererfahrungen mit der Lüftungstechnik im Wohnungsbau	84
6	Gebäudetechnik – Restwärmeversorgung und Trinkwassererwärmung	85
6.1	Heizungssysteme	88
6.2	Heizwärmeverteilung	96
6.3	Heizflächen	97
6.4	Regelung	99
6.5	Trinkwassererwärmung	100
6.6	Solarthermie	101
6.7	Kühlung	107
7	Strom	108
7.1	Stromsparen	108
7.2	Dezentrale und regenerative Stromerzeugung	110
8	Nachhaltigkeit	113
8.1	Primärenergie	114
8.2	Investitionskosten und Wirtschaftlichkeit	119
8.3	Wirtschaftlichkeit – Vereinigung von Ökologie und Ökonomie?	124



9	Beispiele	125
9.1	Standard EnEV 2009: Reihenhäuser im Wohnhof Erlangen-Büchenbach	126
9.2	KfW-40-Standard: Reihenhäuser Veitsbronn	128
9.3	Plusenergiehaus: EFH Erlangen, Dorfmeisterweg 14	130
9.4	Reihenhäuser in Passivbauweise: Stuttgart-Feuerbach	132
9.5	Passivhaus: EFH in Herzogenaurach	134
9.6	Passivhaus: EFH mit Vakuumdämmung in Voggenthal	136
9.7	Passivhäuser: Vier Reihenhäuser in Immenhofen	138
9.8	Passivhaus: EFH in Nürnberg-Fischbach	140
10	Ausblicke	142
11	Zitierte Literatur und Abbildungsnachweis	145
11.1	Zitierte Literatur	145
11.2	Abbildungsnachweis	147
12	Laufende und abgeschlossene Forschungsvorhaben aus der Energieforschung der Bundesregierung	149
13	Weiterführende Literatur	154
13.1	Literatur	154
13.2	CD-ROMs	157
13.3	BINE Informationsdienst	157
14	Autorenangaben	158

LESEPROBE



Vorwort

Im Wohnungsbau hat sich in den letzten beiden Jahrzehnten ein Wandel vollzogen. Wurden noch vor zwanzig Jahren Wohngebäude gebaut, die über $150 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ an Heizwärme verbrauchten, ist dieser Wert mit der Energieeinsparverordnung (EnEV) mehr als halbiert worden. Mit der Novellierung der EnEV, die am 01. Oktober 2007 in Kraft getreten ist, hat sich das Anforderungsniveau an die energetische Qualität generell nicht verändert. Dies soll sich jedoch in 2009 ändern. Die EnEV 2009 strebt eine Reduktion des Primärenergiebedarfs in Gebäuden für Heizung und Warmwasser von ca. 30 % an.

Grundprinzip des energiesparenden Bauens ist es, die Wärmeverluste durch eine sehr gute Wärmedämmung, den reduzierten Einfluss von Wärmebrücken sowie durch eine weitgehend luftdichte Gebäudehülle zu verringern. Diese Maßnahmen können durch die passive Nutzung der Sonnenenergie und eine energieeffiziente Haustechnik ergänzt werden. Energiesparende Gebäude lassen sich in Massiv- und Leichtbauweise realisieren und ermöglichen dem Planer zahlreiche Gestaltungsvarianten beim Entwurf.

Energiesparendes Bauen kann weit über das Niedrigenergiehaus hinausgehen. Neben dem Niedrigenergiehaus wurden verschiedene Konzepte entwickelt und umgesetzt, wie z. B. Passivhäuser, Nullheizenergiehäuser und Plusenergiehäuser. Die Passivhausbauweise hat zu Gebäuden geführt, die einer Heizung im konventionellen Sinne nicht mehr bedürfen. Es ist ausreichend, die über eine Lüftungsanlage zugeführte Frischluft über die abzuführende Raumluft nachzuheizen, so dass die passiven internen Gewinne zur Raumheizung genutzt werden.

Das vorliegende Buch, das sich an Planer, Investoren, Bauherren und Studierende wendet, stellt viele bauliche und konzeptionelle Möglichkeiten vor, die für energieeffiziente Wohngebäude geeignet sind. Erfahrungen aus Beispielhäusern und die anschauliche Darstellung mit zahlreichen Bildern, Grafiken und Tabellen ermöglichen eine interessante Beschäftigung mit dem Thema des energiesparenden Bauens.

FIZ Karlsruhe
BINE Informationsdienst

LESEPROBE



LESEPROBE

1 Einleitung

Fossile Energieträger werden in nennenswertem Ausmaß seit etwa 150 Jahren genutzt. In dieser menschheitsgeschichtlich verschwindend kleinen Epoche entstanden exponentielle Wachstumskurven hinsichtlich unserer Wirtschaftskraft, unseres Wohlstands und des weltweiten Bevölkerungswachstums – aber auch hinsichtlich zahlreicher Umweltbelastungen.

Klimaschutz ist in den letzten Jahren zu einem dominierenden Aspekt der globalen Politik geworden. Gleichzeitig ist in absehbarer Zeit der Oil-peak zu erwarten, die maximal jährlich förderbaren Ölmengen werden zumindest hinsichtlich der kostengünstig bereitzustellenden Ölvorräte bald erreicht sein.

Rohölpreise sind Börsenpreise und unterliegen stark spekulativen Optionskäufen. Die Preise haben sich seit dem letzten Tiefstand 1998 von etwa 12,50 Dollar pro Barrel innerhalb von 10 Jahren auf deutlich mehr als das Zehnfache erhöht. Es ist davon auszugehen, dass wieder preisberuhigte Phasen eintreten. Genauso sicher ist allerdings, dass deutliche weitere Preissteigerungen zu verzeichnen sein werden, und es ist als wahrscheinlich anzunehmen, dass im Jahr 2020 Öl als Brennstoff eine geringere Bedeutung haben wird.

Die Entwicklung zur Energieeffizienz im Wohnungsbau ist eine der Voraussetzungen, um den politischen Herausforderungen dieses Jahrhunderts ohne Komforteinbuße begegnen zu können. Je eher bei der Errichtung von Gebäuden diese Herausforderungen offensiv angenommen werden, desto verträglicher wird die Entwicklung aus volkswirtschaftlicher Sicht sein. Für den individuellen Bauherrn bedeutet ein energetisch schlechter Baustandard einen hohen Wertverlust innerhalb weniger Jahre und die Notwendigkeit zur energetischen Sanierung lange vor Ablauf der Gebrauchstauglichkeit der Gebäudehülle.

Bei Betrachtung der letzten fünfzig Jahre zeigt sich, dass sich bis zur ersten Ölpreiskrise in den siebziger Jahren die Energiestandards an den bauphysikalischen Mindeststandards orientierten. Während mit einer zeitlichen Verzögerung danach die drei Stufen der Wärmeschutzverordnung in Abständen von fünf bis acht Jahren auf den Weg gebracht wurden, beherrschten bis tief in die achtziger Jahre solare Bauten mit großen südgerichteten Glasfassaden die Hochglanztitel der Bauzeitschriften. Komplementär dazu entstand ein Bewusstsein für bessere Wärmedämmung und eine umfassende bauphysikalische Betrachtung der Gebäude: die daraus entstehende Niedrigenergiebauweise stellte bald das Optimum der Energieeffizienz dar.

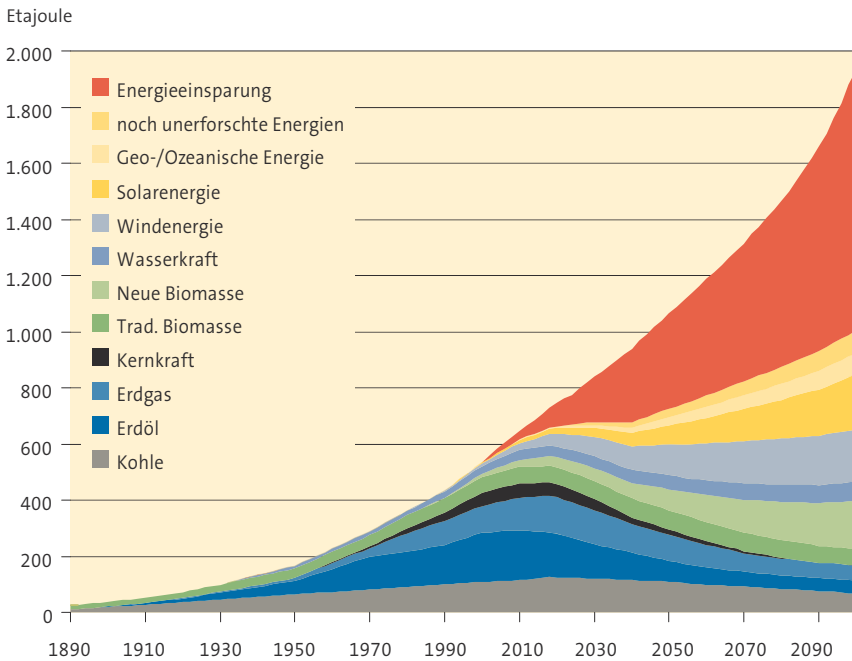


Abb. 1: Entwicklung des Weltenergieverbrauchs bei verstärktem Einsatz von regenerativen Energien und hohen Anstrengungen zur Energieeinsparung (Angaben in Exajoule)

Die konsequente Weiterentwicklung dieser Ansätze führte neben zahlreichen weiteren Ideen Anfang der neunziger Jahre zum Bau des ersten Passivhauses in Darmstadt-Kranichstein und des ersten energieautarken Gebäudes in Freiburg. Vor allem durch das Passivhaus-Konzept wurden sehr viele Innovationen für Energiesparkomponenten angestoßen und ein Markt für die daraus entstehende Industrie geschaffen.

Das energieeffiziente Bauen führt zu sehr hohem Wohnkomfort und insbesondere durch die ventilatorgestützten Lüftungsanlagen zu deutlich verbesserter Raumluftqualität. Der Einfachheit halber wird im Folgenden von der Passivbauweise gesprochen, die jedoch als Oberbegriff für besonders energiesparend realisierte Wohngebäude stehen soll.

Die Niedrigenergiebauweise benötigte etwa zwanzig Jahre von den ersten Modellgebäuden bis zur Erfassung des Standards durch die EnEV 2002. Ähnlich wird es sich mit der Passivhaus-Technik verhalten. Etwa 2015 wird das gesetzliche Anforderungsniveau bei diesem Standard angekommen sein.

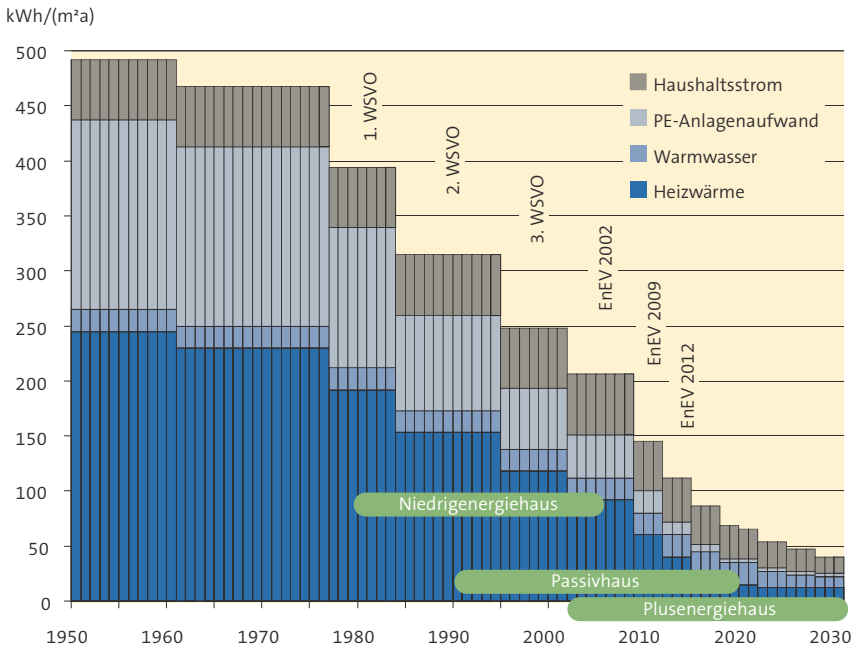


Abb. 2: Entwicklung der Anforderungen zur Energieeffizienz: in den Jahren 2009 und 2012 wird es jeweils eine Novellierung der EnEV geben, etwa ab 2015 wird das energetische Niveau des Passivhauses der allgemein übliche Gebäudestandard.

LESEPROBE

2 Gebäudekonzept

Die Einbeziehung von kulturellen, sozialen und technischen Neuerungen in den Entwurf ist seit jeher eine wichtige Aufgabe für Baumeister und Architekten. Dabei prägten für Jahrhunderte landschaftstypische handwerkliche Traditionen die Bauformen. In den letzten Jahrzehnten erwuchs daraus eine Vielschichtigkeit von Gestaltungsmöglichkeiten und technischen Baukonzepten, die zunehmend die regionalen Bezüge überlagern.

2.1 Energieeffizienz – ein neues Architekturkonzept?

Die Anforderungen der Energieeffizienz stellen einen ökologisch-ökonomisch bedingten Teilaspekt der zahlreichen Parameter dar, die das Entwerfen zunehmend komplexer und anspruchsvoller werden lassen. Es ist selbstverständlich, dass innovative Ansätze zu neuen Formen führen können.

10



Abb. 3: Bilder von verschiedenen energetisch optimierten Gebäuden

Zunächst bei der Niedrigenergie- und dann bei der Passivhaus-Bauweise konnte in den letzten fünfundsiebenzig Jahren die Vielfältigkeit der Gestaltungsmöglichkeiten nachgewiesen werden. Energieeffiziente Konzepte wurden in der Anfangsphase oft als klare Baukörper mit Pultdach ausgeführt. Diese Bauform ist besonders kostengünstig, ermöglicht durch die optimale Gebäudegeometrie ein Höchstmaß an passiven Solargewinnen und unterstützt einfache Konstruktionsdetails hinsichtlich Luftdichtheit und der Vermeidung von Wärmebrückeneffekten. Durch ein wenig zusätzliches energetisches Handwerkszeug und die Anwendung von energiesparenden Komponenten erschließen sich dem Planer neue Möglichkeiten der Gestaltung – die Einschränkungen sind eher gering (Abb. 3).

Ökologie und Ökonomie beim Planen

Der Mythos von der Unvereinbarkeit zwischen Wirtschaftlichkeit und Umweltverträglichkeit ist in den letzten Jahren zunehmend durch eine fundierte wissenschaftliche Betrachtungsweise ersetzt worden. Selbstverständlich verursachen umweltschonende Maßnahmen im Allgemeinen zunächst Investitionskosten, die mit bisher üblichen Amortisationsrechnungen zeitnah noch nicht rentabel sind. Bei der Planung von Wohngebäuden sollte allerdings eine zukunftsfähige Entscheidung für die nächsten dreißig bis fünfzig Jahre getroffen werden. Eine langfristige Wirtschaftlichkeitsbetrachtung führt immer zu dem Ergebnis, dass hoch effiziente Techniken in der Bilanz die wirtschaftlichere Lösung darstellen. Gebäude nach EnEV 2007 werden bei dem zu erwartenden Energiepreisniveau in fünfzehn bis zwanzig Jahren bereits wieder einen energetischen Sanierungsfall darstellen. Wird darüber hinaus eine volkswirtschaftliche Vollkostenbetrachtung durchgeführt, sind energetisch-ökologische Maßnahmen in noch höherem Maß wirtschaftlich sinnvolle Maßnahmen.

11

Partner bei der Planung und Bauausführung

Bauen ist eines der letzten Abenteuer unserer Zeit – das weiß jeder bauerfahrene Hausbesitzer. Insofern ist es äußerst hilfreich, erfahrene und zuverlässige Partner für Planung und Bauausführung heranzuziehen, die möglichst engagiert für die Bauherrenwünsche eintreten.

Architekten haben den Vorteil, in hohem Maß individuelle Bedürfnisse des Bauherrn umsetzen zu können. Sie führen die Planung vom Entwurf über die Bauantragstellung, Werkplanung, Ausschreibung und Vergabe bis zur Bauüberwachung aus. Der Architektenvertrag wird nach der Honorarordnung für Architekten und Ingenieure (HOAI) geschlossen. Sinnvoll ist ein Vertrag, der Kostenbewusstsein unterstützt, z. B. ein Pauschalvertrag mit Bonus-Regelung für Kostenunterschreitung.

Bei der Bauträger-Variante erwirbt der Bauherr das Gebäude zu einem Festpreis, der an den einen Vertragspartner zu zahlen ist. Bei diesem Vertragsverhältnis ist es besonders wichtig, vor Unterschrift alle Festlegungen, Bemusterungen und Standards im Vertrag genau niedergelegt zu haben. Änderungswünsche und Unwägbarkeiten, die kein Bauherr vorhersehen kann, können zu hohen Mehrkosten führen.

Erfahrung und Engagement in der Anwendung hoher Energieeffizienz ist ein wichtiges Entscheidungskriterium. Hilfreich ist in jedem Fall die Angabe von Referenzobjekten, um sich zu vergewissern, dass eigene Anliegen vom zukünftigen Projektpartner gewissenhaft umgesetzt werden. Wichtig sind zudem Vertrauen und die Fähigkeit, während der Bauphase auch Probleme lösungsorientiert gemeinsam zu bewältigen.

Energieeffiziente Gebäude erfordern eine interdisziplinäre Planung unter Einbeziehung der Aspekte der Gebäudetechnik und thermischen Bauphysik sowie der klassischen Belange der Statik und der Überprüfung des Baugrundes. Darüber hinaus ergeben sich Anforderungen an die Raumlufthygiene und die Qualitätssicherung. Bei komplexen Gebäuden ist es sinnvoll, bereits ab der Vorentwurfsphase mit einem Planungsteam interdisziplinär zusammenzuarbeiten. Beim Einfamilienhaus wird das zu teuer. Es bleibt dem Geschick von Architekt und Bauherrn überlassen, die genannten Aspekte bei verträglichem Kostenaufwand einzubeziehen.

Partnerschaften beim Bauen in Form von Bauherrengemeinschaften können zu kreativen und kostengünstigen Lösungen führen. Ein wichtiger Rat: vorher sehr gut informieren, vertragliche Dinge umfangreich und professionell regeln und keine überhöhten Erwartungen an eine später sich einstellende Nachbarschaft haben [1].

2.2 Entwurfsprinzipien für passives solares Bauen

Die Behaglichkeit in einem Gebäude ist besonders groß, wenn die Hülle thermisch hochwertig ausgeführt wird (vgl. Kap. 3.1). Ideal ist ein Gebäude, das kein aktives Heizsystem mehr erfordert, um hohen Wohnkomfort für die Bewohner sicher zu stellen. Transmissions- und Lüftungswärmeverluste werden nahezu vollständig durch kostenlose „passive“ Energiebeiträge ausgeglichen. Das sind:

- solare Gewinne durch Fenster und sonstige transparente Flächen,
- Wärmeabgabe von Beleuchtung, Geräten und Prozessen und
- Körperwärme der Personen im Gebäude.

In Abb. 4 wird die energetische Wirksamkeit verschiedener Entwurfsaspekte vergleichend dargestellt. Dabei ist zu beachten, dass jeder individuelle Entwurf Besonderheiten unterworfen ist, die im Einzelfall untersucht werden müssen. In den folgenden Abschnitten werden die wesentlichen Aspekte passiver Solararchitektur genauer

beschrieben. Darüber hinaus gehende Einflüsse wie Kleinklima, Wärmespeicherung und Absorption haben auf die Energieeinsparung nur sehr geringe Auswirkungen.

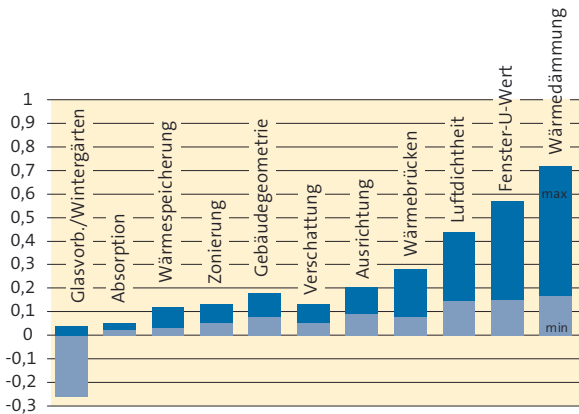


Abb. 4: Energetische Wirksamkeit verschiedener Entwurfsaspekte

13

Gebäudegeometrie

Eine Kostenermittlung nach der Bauteilmethode zeigt, dass die Außenfläche eines Gebäudes einen hohen Kostenanteil ausmacht. Pro Quadratmeter Hüllfläche sind 150 bis 250 € (brutto) zu veranschlagen, was in etwa den doppelten Kosten sonstiger Bauteile entspricht. Kostenoptimierte Planung sollte also Wohnfläche bzw. Wohnvolumen mit einem möglichst geringen Anteil Außenhüllfläche bereit stellen.

Die energetischen Anforderungen sind deckungsgleich: ein möglichst günstiges Verhältnis von Außenfläche (A) zu Gebäudevolumen (V) reduziert die Transmissionswärmeverluste pro Quadratmeter Nutzfläche. Dieses A/V-Verhältnis ist eine wesentliche Kenngröße bei der Heizwärmebedarfsberechnung für die Energieeinsparverordnung (EnEV). Abb. 5 zeigt das A/V-Verhältnis verschiedener Haustypen.

Hohe Kompaktheit hat mehrere Aspekte:

- Wahl einer sinnvollen geometrischen Form: im Vergleich zu einem in der Höhe halbierten Würfel (100 %) weist ein länglicher Quader mit gleichem Volumen eine Umfassungsfläche von 115 % auf, eine Zeltform (Satteldach) 111 %, eine Pyramide 109 %, ein flacher Zylinder 94 % und eine Halbkugel 90 %. Dennoch ist es aus wirtschaftlicher Sicht wenig sinnvoll, exotische Formen zu bauen, weil die Kostenrelation nicht stimmen würde.
- Wahl einer möglichst großen Gebäudetiefe: diese Entscheidung muss in Zusammenhang mit Belichtung und Ausrichtung getroffen werden.

- Anzahl der Geschosse: Dreigeschossige Wohngebäude liegen aus wirtschaftlicher und energetischer Sicht günstig. Sie weisen eine hohe Kompaktheit auf, ohne Sonderkosten bei höheren Gebäuden für Brandschutz, Erschließung (Fahrstuhl) etc. zu verursachen.
- Der Verzicht auf Vor- und Rücksprünge in der Fassade ist sehr vernünftig. Allerdings besteht das Leben – und schon gar nicht der Gebäudeentwurf – nur aus Vernunftgründen. Entwürfe sollten nicht unter energetischen Anforderungen leiden. Auf der anderen Seite gibt es zahlreiche Möglichkeiten hochwertiger, klarer Gestaltung, ohne die thermische Hülle zu zerklüften.

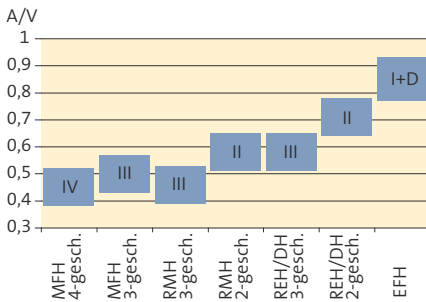


Abb. 5: A/V-Verhältnis von Gebäudetypen (die römischen Ziffern geben die Anzahl der Geschosse an)

Es wäre konsequent, dass bei ungünstigem A/V-Verhältnis die Energiekennwerte keinen Bonus erhalten, wie dies bei der EnEV geschieht: sinnvoll ist der Ansatz der Passivhaus-Kriterien, wo ein fester Wert gefordert wird. Wer sich den Vorteil eines freistehenden Hauses gönnt, muss 1–2% Baukosten für eine erhöhte Dämmung mehr investieren. Auch aus städtebaulichen Gründen bietet sich eine kompakte Bauweise an, um einen möglichst geringen Flächenverbrauch durch neue Gebäude zu erhalten.

Ausrichtung

Weitgehende Südausrichtung der Fensterflächen ist ideal für die Nutzung solarer Gewinne. Dabei sind Abweichungen bis zu 30° vom Südazimut nur mit geringen Verschlechterungen des solaren Eintrags verbunden. Die täglichen Mittelwerte der Gesamtstrahlung betragen von November bis Januar ca. 1 kWh/m² bei Südausrichtung. Ost-West ausgerichtete Flächen haben etwa halb so hohe Werte aufzuweisen. Im Sommer verhält es sich genau umgekehrt: durch den hohen Sonnenstand von 63° (Höhe 50. Breitengrad, Frankfurt) beträgt der Wert auf der Südseite bei senkrechter Verglasung 1,5 kWh/m² und im Osten/Westen 2,0 kWh/m². Südausrichtung ist also auch für den sommerlichen Wärmeschutz von Vorteil. Abb. 6 stellt die Mittelwerte (Deutschland) der Haupthimmelsrichtungen während der Heizzeit für die Globalstrahlung gegenüber. Sie beinhaltet die Summe aus direkter Sonneneinstrahlung und diffuser Himmelsstrahlung.

Ausrichtung der Fensterfläche	Passivhaus Projektierungs Paket* [kWh/(m ² a)]	EnEV (vereinfachtes Verfahren)** [kWh/(m ² a)]
Ost	220	155
Süd	370	270
West	230	155
Nord	140	100
Horizontal	360	

* Heiztage mit einer Außentemperatur ≤ 12 °C; ** verkürzte Heizzeit

Abb. 6: Mittelwerte (Deutschland) für die Globalstrahlung der Haupthimmelsrichtungen

Verschattung

Der Solareintrag wird durch verschiedene Faktoren gemindert. Dabei ist zunächst die Verschattung des äußeren Horizonts durch Topografie, Gebäude und Pflanzen zu berücksichtigen. Weiterhin entstehen Verschattungen durch Vorsprünge, auskragende Bauteile, Geländer und Fensterleibungen. Nicht zu vergessen ist der Verschmutzungseffekt von Fensterflächen.

Für eine einfache rechnerische Abschätzung ist für freie Lagen der Solareintrag mit einem Verschattungsfaktor von etwa 85 % zu multiplizieren. Bei gängigen städtischen Situationen mit mäßiger Besonnung der Südfassade, auskragenden Bauteilen und teiltransparenten Brüstungen liegt ein realistischer Ansatz bei einem Faktor von 63 % [2]. Sinnvoll ist eine realitätsnahe Berechnung im Rahmen der Heizwärmebedarfsermittlung [3] [4].

Passive solare Gewinne

Der Ansatz der Solararchitektur in den achtziger Jahren ging davon aus, dass durch die Maximierung von Glasflächen ein Optimum an nutzbarer Solarwärme zur Verfügung steht. Fensterflächen zeichnen sich jedoch zunächst vor allem durch hohe Transmissionswärmeverluste aus. Das gilt für die Nächte und die zahlreichen strahlungsarmen Tage.

Die Solareinträge dürfen auf der anderen Seite nicht so hoch sein, dass die Räume überhitzt werden. Der solare Ausnutzungsgrad hängt unter anderem davon ab, wie hoch die Temperatur bei Einstrahlung sein darf und wie die wirksame Speichermasse des Gebäudes beschaffen ist. Die Tagesamplitude ergibt sich dabei aus der Beschaffenheit der raumseitigen fünf bis zehn Zentimeter der Bauteile und Einrichtungsgegenstände. Die Heizenergieeinsparung aufgrund der Wärmespeicherung ist allerdings eher gering und bewegt sich im Rahmen von wenigen Prozentpunkten. Die Bedeutung der Speichermasse für ausgeglichen kühle Räume im Sommerfall ist wichtiger.

Durch die umfassenden Entwicklungen bei der Glas- und Fenstertechnik sind Ansätze aus den achtziger Jahren mit Wintergärten und großflächigen Verglasungen gegenstandslos geworden. In der energetisch-wirtschaftlichen Bilanzierung sind gut dimensionierte und ausgerichtete Fenstersysteme aufwendigen Systemen wie Glasvorbauten und Wintergärten, transparenter Wärmedämmung und Trombé-Wänden mittlerweile deutlich überlegen (vgl. Kap. 4.2.2).

Transparente Wärmedämmung ist nur bei sehr guter Planung sinnvoll und wirtschaftlich einsetzbar. Ein besonderes Augenmerk ist dabei auf die Investitionskosten, die resultierenden U-Werte, Wartungsfreiheit und vor allem auf den sommerlichen Wärmeschutz zu legen.

Zonierung und Raumzuordnung

Es ist sinnvoll, die Aufenthaltsräume mit höherem Temperaturniveau, wie den Wohn-/Essbereich, Kinderzimmer und Arbeitszimmer, auf der Südseite eines Gebäudes zu positionieren und Räume mit geringeren Temperaturanforderungen, wie Küche, Elternschlafzimmer, WC, Treppenbereich und Nebenräume, auf der nördlichen Seite des Gebäudes. Je besser ein Gebäude gedämmt ist, desto geringer wiegt allerdings der Einfluss dieser Zonierung. Die Temperatur innerhalb der thermischen Gebäudehülle gleicht sich zwischen den Räumen an.

Deutlich wichtiger ist die klare Trennung zwischen unbeheizten und warmen Bereichen: kalte Räume sollten möglichst nicht wie eine Kühlrippe in die thermische Hülle hineinragen. Das betrifft sowohl die horizontale Betrachtung als auch übereinander liegende Räume: beim Kellerabgang muss klar definiert sein, wo die lückenlose Dämmung verläuft. Am besten wird der Abgang in einem kalten Windfang außerhalb des beheizten Bereiches untergebracht – auf keinen Fall offen vom Wohnzimmer aus. Einzelne beheizte Räume im Keller verschlechtern bei einer exakten energetischen Berechnung die Transmissionswärmeverluste eines Gebäudes gravierend. Sinnvoll ist es, den Keller vollständig als kalten Bereich auszubilden oder auf den Keller zu verzichten und einen beheizten Kellerersatzraum in den Wohnbereich zu integrieren in Verbindung mit außen liegenden kalten Lagerräumen.

Der zunächst verständliche Wunsch vieler Bauherrn nach einem unterschiedlichen Temperaturniveau verschiedener Räume stellt sich bei genauerer Betrachtung meist als unnötig heraus: z. B. wird die Schlafzimmertemperatur auch im Winter bei 19 °C als äußerst angenehm empfunden, sobald die Zufuhr frischer Außenluft durch die Lüftungsanlage kontinuierlich sicher gestellt ist.

2.3 Energetische Standards und Berechnungsverfahren

2.3.1 Entwicklung der energetischen Standards

Unsanierete Gebäude aus dem Bestand bis zu den sechziger Jahren weisen im Durchschnitt einen Heizwärmebedarf von 200 bis 300 kWh/(m²a) auf. Das entspricht einem jährlichen Bedarf von 20 bis 30 Litern Heizöl bzw. Kubikmeter Gas pro Quadratmeter. Kompakte mehrgeschossige Gebäude liegen günstiger, freistehende Einfamilienhäuser können bis über 400 kWh/(m²a) erfordern. In den letzten Jahrzehnten wurde der Bedarf von Neubauten durch die Wärmeschutzverordnungen und die Energieeinsparverordnungen deutlich gesenkt. Die Techniken für sehr grundlegende weitere Einsparungen sind seit mehreren Jahren in zahlreichen Forschungsvorhaben, durch viele erfolgreiche Modellprojekte und inzwischen in großer Marktbreite erprobt und weitgehend eingeführt. Abb. 7 zeigt die Entwicklung der Energiestandards und ihre charakteristischen Primärenergiekennwerte.

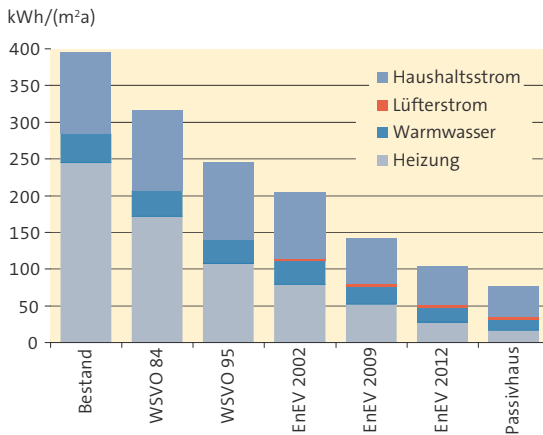


Abb. 7: Entwicklung der Energiestandards

Nach der Ölpreiskrise 1973 wurden Anforderungen aufgestellt, die in der ersten Wärmeschutzverordnung (WSVO) Ende der siebziger Jahre ihren Niederschlag fanden. In der Novellierung der WSVO 1984 erfolgte eine Festlegung des Heizwärmebedarfs auf etwa 140 bis 170 kWh/(m²a) und durch die WSVO 1995 eine weitere Absenkung um ein knappes Drittel. Niedrigenergiehäuser (NEH) entstanden seit Mitte der achtziger Jahre. Der Begriff war weder durch den Gesetzgeber noch durch Normung definiert, wurde aber aufgrund von Förderungsrichtlinien für einen Heizwärmebedarf, der 25 bis 30 % unterhalb der WSVO 95 lag, angesetzt.

1991 wurde das erste Passivhaus in Darmstadt-Kranichstein mit einem Heizwärmebedarf von 15 kWh/(m²a) gebaut. Knapp zeitversetzt entstand im Rahmen eines Forschungsvorhabens des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi)

das erste energieautarke Haus in Freiburg. Durch die damit verbundene fundierte wissenschaftliche Begleitforschung wurde in den darauf folgenden Jahren eine sehr dynamische Entwicklung energieeffizienter Gebäude eingeleitet, wobei sich das Profil des Passivhauses aufgrund seiner hohen Wirtschaftlichkeit zunehmend durchsetzt und erkennbar wird, dass sich in den nächsten Jahren die Entwicklung in großer Breite auf Grundlage der dort entwickelten Komponenten fortentwickeln wird. Parallel dazu entwickelte sich durch die KfW-Förderung „Ökologisch Bauen“ der KfW-60- und KfW-40-Standard, bei dem sechzig bzw. vierzig Kilowattstunden Primärenergiebedarf pro Quadratmeter unterschritten werden müssen. Die Berechnung bei diesen Standards erfolgt nach EnEV.

	WSVO [kWh/(m ² a)]	EnEV 2002 [kWh/(m ² a)]	EnEV 2009* [kWh/(m ² a)]	EnEV 2012** [kWh/(m ² a)]	Passivhaus [kWh/(m ² a)]
Wände	0,4–0,6	0,25–0,5	0,24	0,15–0,22	< 0,16
Dach	0,3–0,5	0,20–0,4	0,20	0,10–0,20	< 0,16
Grund	0,4–0,5	0,25–0,4	0,30	0,15–0,25	< 0,16
Fenster	1,3–1,8	1,3–1,6	1,0	0,8–1,0	< 0,80
Lüftung	1	1, (2/3)	2, (3)	3	3

Lüftung: freie Lüftung (1), ventilatorgestützte Abluftanlage (2), Zu-/Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung (3)
 * Kennwerte des Referenzgebäudes gemäß EnEV 2009
 ** hochgerechnete Werte auf Basis der Annahme von 30 % Reduktion

Abb. 8: Spektrum der U-Werte verschiedener energetischer Gebäudestandards und Entwicklung der Lüftungsstandards

Abb. 8 stellt das Spektrum sinnvoll anwendbarer U-Werte verschiedener energetischer Gebäudestandards gegenüber. Die energetischen Standards der EnEV 2002 hatten über alle EnEV-Novellierungen bis 2007 Bestand. Die EnEV 2009 und EnEV 2012 senken das Anforderungsprofil gemäß der Meseberger Beschlüsse vom August 2008 um jeweils 30%. Laut Empfehlung der EU-Kommission soll bis zum Jahr 2015 beim Neubau der Passivhausstandard erreicht sein. Dies entspricht einer weiteren EnEV-Anpassungsstufe wie in der Tabelle dargestellt.

2.3.2 Energieeinsparverordnung

Durch die Energieeinsparverordnung wurde im Jahr 2002 (EnEV 2002) als Anforderungsgröße der Primärenergie-Kennwert eingeführt. Er erfasst den Wärmebedarf für Heizen und Trinkwassererwärmung. Die Anlagenverluste des Heizsystems und Primärenergie-Faktoren des Energieträgers gehen über Aufwandszahlen in die Berechnung mit ein (vgl. Kap. 2.3.5). Dieser Ansatz hat sich grundsätzlich bewährt, allerdings mit der Einschränkung, dass in der Praxis oftmals vor allem die Gebäudetechnik zu Lasten der Gebäudehülle optimiert wurde.

Mit der EnEV 2009 wird ein Referenzgebäudeverfahren gemäß DIN 18599 eingeführt, das für den Wohnungsbau in einem vereinfachten Verfahren gerechnet wird. Das kann zunächst parallel zum bisherigen EnEV-Rechenverfahren erfolgen. Es ist zu wünschen, dass durch dieses Verfahren die Planer dazu angehalten werden, die Gebäudehülle hochwertig auszuführen, weil die Gebäudetechnik bereits nach 15 bis 20 Jahren erneuert wird, die Hülle aber 30 bis 50 Jahre nicht mehr angetastet werden sollte – nicht nur aus ökologischer, sondern vor allem aus ökonomischer Sichtweise.

Nach der EnEV 2009 sind zu errichtende Wohngebäude so auszuführen, dass der „Jahres-Primärenergiebedarf für Heizung, Warmwasser, Lüftung und Kühlung“ den Vergleichswert eines „Referenzgebäudes gleicher Geometrie, Gebäudenutzfläche und Ausrichtung“ mit den Kennwerten der EnEV-Anlage 1 Tabelle 1 nicht überschreitet. In Abb. 8 sind die wichtigsten Anforderungsgrößen dieses Referenzgebäudes unter der Spalte „EnEV 2009“ zusammengefasst. Parallel zu den EnEV-Anforderungen werden durch das KfW-Programm „Ökologisch Bauen“ Neubauten gefördert, welche die EnEV-Anforderungen unterschreiten (www.kfw-foerderbank.de).

19

www.energiefoerderung.info

Zusätzlich gibt es weitere Förderprogramme des Bundes und der Bundesländer sowie von Kommunen und Energieversorgern, die den Einsatz von erneuerbaren Energien und energieeffizienten Gebäudekomponenten unterstützen. Sie können zinsgünstige Darlehen oder direkte, nicht rückzahlbare Zuschüsse erhalten. Wichtig ist, dass bei den meisten Programmen vor Beginn der Maßnahme ein Antrag gestellt werden muss. Aktuelle und kostenfreie Informationen zu Förderprogrammen in Deutschland für private Investoren bietet Ihnen der BINE Informationsdienst online unter www.energiefoerderung.info. Umfassende Informationen für alle Zielgruppen hält der „Förderkompass Energie – eine BINE Datenbank“ für Sie bereit. Alle relevanten Förderprogramme von EU, Bund, Bundesländern und Kommunen sowie Energieversorgern sind in einer zentralen Datenbank mit Internet-Update rund um die Uhr verfügbar. Weitere Informationen erhalten Sie unter www.bine.info.

2.3.3 Passivhaus-Standard

Passivhäuser zeichnen sich durch einen sehr niedrigen Energiebedarf bei hoher Behaglichkeit und bestem Komfort aus. Die Transmissions- und Lüftungswärmeverluste sind so gering, dass sie fast vollständig durch kostenlose „passive“ Energiebeiträge (Energiegewinne) ausgeglichen werden, also durch die solaren Gewinne durch Fenster und sonstige transparente Flächen, durch Wärmeabgabe von Beleuchtung, Geräten und Prozessen sowie durch die Körperwärme der Personen im Gebäude. Verbleibt nur ein minimaler Heizwärmebedarf von weniger als $15 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$, so sind die Kriterien für ein Passivhaus erfüllt.

Grundvoraussetzung für die Errichtung eines Passivhauses ist eine hervorragende thermische Gebäudehülle. Die Konstruktionen von Wand, Dach und Grund sollten einen Wärmedurchgangskoeffizienten von $U < 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ aufweisen. Der Wärmedurchgang für die Fenster in der Gesamtbetrachtung von Verglasung, Rahmen und Wärmebrücken sollte $U_w \leq 0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ betragen. Ein möglichst hoher Energiedurchlassgrad wirkt sich vorteilhaft aus, vor allem für die Südfenster ist ein Wert von $g \geq 50$ bis 60% anzustreben. Wärmebrückenfreiheit bei Außenmaßbezug der Transmissionsfläche muss Ziel der Detaillösungen sein. Die Luftdichtheit der Gebäudehülle und schadensfreie Konstruktion ist Voraussetzung für die Funktion der erforderlichen Komfortlüftung als Zu-/Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung. Die wichtigsten Kriterien werden in Abb. 9 ausgewiesen [5].

20

Das Passivhaus-Konzept ist hoch wirtschaftlich, wenn ein optimierter Entwurf in Verbindung mit einer ökonomisch optimierten Ausführung gegeben ist. Die monatliche Belastung liegt in diesem Fall von Anfang an günstiger als bei einem Standardgebäude (vgl. Kap. 8). Es ist allerdings richtig, dass die Akteure in der Bauwirtschaft sich erst das Wissen um die wirtschaftliche Ausführung aneignen müssen, bevor sie in kostenoptimaler Form hoch energieeffiziente Gebäude errichten können.

Jahresheizwärmebedarf	$\leq 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$
Maximale Heizwärmelast	$\leq 10 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$
Gebäudehülle	$U \leq 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$
Fenster	$U_w \leq 0,8 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a}), g = 50 \dots 60 \%$
Weitestgehende Wärmebrückenfreiheit	
Luft- und Winddichtheit	$n_{50} \leq 0,6 \text{ h}^{-1}$
Lüftungsanlage als Zu-/Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung	$\eta_{\text{WBG,t,eff}} \geq 75 \%$
Elektroeffizienz	$p_{\text{el}} \leq 0,40 \text{ Wh}/\text{m}^3$
Jahresprimärenergiebedarf für Heizung, Warmwasserbereitung, Lüftung und Haushaltsstrom	$\leq 120 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$

Abb. 9: Passivhaus-Kriterien

2.3.4 Entwicklungen Richtung Nullenergiehaus

Auf Grundlage des Passivhaus-Konzepts und seiner Komponenten gibt es weitere Entwicklungen: bei Null-Energie-Häusern wird versucht, ganz auf zusätzliche Wärmezuführung zu verzichten bzw. diese ausschließlich regenerativ zu erbringen. Plus-Energie-Häuser liefern unter dem Strich mehr Energie als zu ihrem Betrieb erforderlich ist – meist durch den Einsatz großer Photovoltaik-Flächen oder auch durch die Ankopplung von Windenergieparks. Dies stellt inzwischen durch die flächendeckende Lieferung grünen Stroms überhaupt kein Problem mehr dar. Bei all solchen Ultra-Häusern reduziert sich das Grundkonzept jedoch zunächst darauf, eine sehr gute Gebäudehülle

zu schaffen in Verbindung mit einer Zu-/Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung. Die darüber hinausgehende Gebäudetechnik kann ganz einfach und kostengünstig sein wie beim Passivhaus – aber auch beliebig kreativ und kostenintensiv.

2.3.5 Berechnung des Energiebedarfs

Heizwärmebedarf – Wärmegewinne und Verluste der Gebäudehülle

Der Heizwärmebedarf bezeichnet die Wärme, die den beheizten Räumen zugeführt werden muss, um die gewünschte Raumlufttemperatur einzuhalten. Bei allen Rechenverfahren wird als Grundlage der weiteren Berechnung zunächst dieser Wert ermittelt. Er lässt sich, besonders mit Hilfe von Rechenprogrammen, mit nur geringem Eingabeaufwand errechnen. Als Grundlage der Berechnung dient die EN 832/DIN 4108-6. Dabei werden Wärmeverluste und Gewinne des Gebäudes bilanziert. Transmissions- und Lüftungswärmeverlusten stehen solare und interne Gewinne gegenüber. Um die Bilanz auszugleichen, muss die verbleibende Differenz durch die Zuführung von Heizwärme ausgeglichen werden. Abb. 10 zeigt am Beispiel eines Passivhauses die Bilanzierung der Transmissionswärmeverluste durch die Gebäudehülle sowie die Lüftungswärmeverluste und auf der Gegenseite solare und interne Gewinne sowie den verbleibenden Heizwärmebedarf.

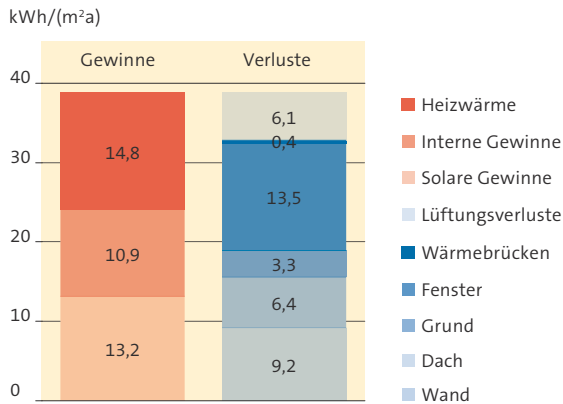


Abb. 10: Bilanzierung der Wärmegewinne und Verluste am Beispiel eines Passivhauses pro m² beheizter Fläche (Doppelhaushälfte mit 126 m² Wohnfläche)

In Abb. 11 wird die energetische Bilanzierung nach EN 832/DIN 4108-6 schematisch dargestellt. Ergänzend zur grundlegenden Ermittlung des Heizwärmebedarfs werden End- und Primärenergiebedarf sowie Warmwasserbereitung, Lüftung und Kühlung in die Betrachtung einbezogen.

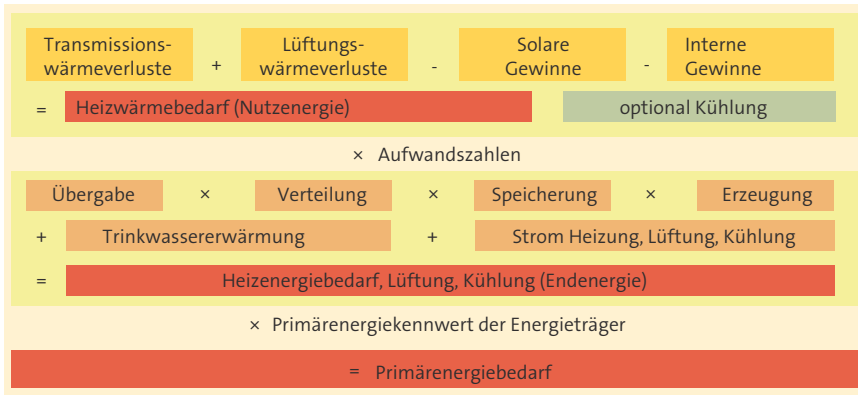


Abb. 11: Vereinfachtes Schema der energetischen Bilanzierung nach EnEV

Im Folgenden wird eine kurze Beschreibung der Berechnung von Gewinnen und Verlusten zusammengestellt. Grundlage ist der Rechengang nach EnEV, wobei die Besonderheiten von sehr energieeffizienten Gebäuden, insbesondere Passivhäusern sowie die Berechnungsansätze nach dem Passivhaus Projektierungs Paket (PHPP) dargestellt werden:

Die Transmissionswärmeverluste (Q_T) über die wärmeübertragende Umfassungsfläche ergeben sich als Produkt aus Fläche, U-Wert, Reduktionsfaktor (f_T) und einem Faktor, der die Heizgradstunden (G_T) abbildet. Die Fläche muss ermittelt werden bezogen auf die Außenabmessung, d. h. die zu ermittelnden Flächen ergeben sich durch die äußere Begrenzung der beheizten Zone inkl. der Konstruktionsdicken. Die Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Werte) können für Außenwand, Dach, Bodenplatte etc. berechnet oder für die fertigen Bauteile von Herstellern abgefragt werden.

In die U-Wert-Berechnung der Fenster gehen die verglasten Flächen, die Rahmenanteile, die Wärmebrückenverlustkoeffizienten des Glasrandverbunds und des Fenstereinbaus ein (vgl. Kap. 4.2).

Der EnEV-Rechengang verwendet einen niedrigeren Faktor für die Gradtagstunden von 66 kWh/a gegenüber dem PHPP-Wert von 84 kWh/a. Ein gegenläufiger Effekt ist bei den solaren Einträgen gegeben.

Wärmebrückenverluste können pauschal mit einem Aufschlag zum U-Wert von 0,1 W/(m²K) gerechnet werden oder bei Verwendung von vorgegebenen Standarddetails nach DIN 4108 (Beiblatt 2) mit 0,05 W/(m²K). Bei energieeffizienten Gebäuden ist es sinnvoll, die Wärmebrücken einzeln zu berechnen (vgl. Kap. 4.3). Bei Passivhäusern ist das auf jeden Fall erforderlich.

Die Lüftungswärmeverluste (Q_L) ergeben sich durch die Multiplikation des Luftwechsels (n) mit Volumen, spezifischer Wärmespeicherfähigkeit der Luft und Heizgradstunden (G_t). Der Ansatz für den Luftwechsel beträgt bei freier manueller Lüftung $n=0,7\text{ h}^{-1}$, für luftdichtheitsgeprüfte Gebäude ($n_{50} \leq 3\text{ h}^{-1}$) kann $n=0,6\text{ h}^{-1}$ angesetzt werden. Bei der EnEV-Berechnung werden die Einflüsse bzw. Einsparungen von Lüftungsanlagen bei der Gebäudetechnik über den Anlagenaufwand berechnet. Da Effekte durch Wärmerückgewinnung direkte Einsparungen beim Heizwärmebedarf bedingen, ist der Rechenweg des Passivhaus Projektierungs Pakets (PHPP) einfacher nachzuvollziehen. Dort wird der Wärmebereitstellungsgrad η_V mit einem Wert von 0,8 bis 0,9 für gute Anlagen direkt in die Berechnung einbezogen. Sind pro Person etwa 30 m^2 Wohnfläche gegeben, kann für den Luftwechsel n_L ein Wert von 0,3 bis $0,4\text{ h}^{-1}$ eingesetzt werden bzw. mittels einer Nebenrechnung die Anlage mit mehreren Parametern auf das Gebäude hin optimiert werden. Einbezogen werden muss darüber hinaus der Infiltrationsluftwechsel infolge Undichtheiten und Fensteröffnen mit einem Rechenwert von $0,042\text{ h}^{-1}$ nach PHPP. Dieser Ansatz hat sich bewährt. Nach EnEV (DIN 4108-6) werden für den Infiltrationsluftwechsel $0,15\text{ h}^{-1}$ für Abluft- und $0,2\text{ h}^{-1}$ für Zu-/Abluftanlagen mit Wärmerückgewinnung angesetzt. Dies weicht von der tatsächlichen Situation bei gut luftdichten Gebäuden deutlich ab. Gemessene Werte bei Passivhäusern betragen zwischen $0,015$ bis $0,04\text{ h}^{-1}$ [6]. Der EnEV-Ansatz führt gegenüber der PHPP-Rechnung zu erhöhten rechnerischen Lüftungswärmeverlusten von etwa $10\text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$.

Die solaren Wärmegewinne errechnen sich aus dem Produkt von Fensterfläche (Rohbaumaß), Gesamtenergiedurchlassgrad (g-Wert, vgl. Abb. 26), solarer Einstrahlung und Reduktionsfaktor r . In Letzteren gehen ein: der Rahmenanteil der Fensterfläche, die Verschattung, Verschmutzung und der nicht senkrechte Strahlendurchgang. Als Standardwert kann $r=0,45$ angesetzt werden. Der EnEV-Rechengang legt geringere Werte für die Mittelwerte der eintreffenden Globalstrahlung an als die PHPP-Variante. Es ist sinnvoll im Monatsverfahren zu rechnen, um die tatsächliche Heizzeit und damit auch die tatsächlich relevanten solaren Gewinne richtig abzuschätzen.

Die internen Wärmegewinne umfassen die im Gebäude erzeugte Wärme von Personen, Elektrogeräten, Kochen, Waschen etc. Die Ansätze nach EN 832 und PHPP weichen deutlich voneinander ab. Es kann sinnvoll sein, die tatsächlich zu erwartenden Wärmegewinne exakt zu ermitteln, wozu jeweils Rechentools zur Verfügung stehen. Rechen- und Projektbeispiele der letzten Jahre zeigen, dass die PHPP-Werte der Realität sehr nahe kommen.

Werden die Zwischenergebnisse für solare und interne Wärmegewinne mit dem Faktor für den Nutzungsgrad multipliziert, ergibt sich das Ergebnis für die Gewinne. Die Gesamtbilanzierung der Gewinne und Verluste ergibt den Heizwärmebedarf pro Jahr für das Gebäude. Wird dieser Wert durch die Fläche dividiert, ergibt sich der Kennwert für den Heizwärmebedarf in kWh/(m²a). Dabei muss berücksichtigt werden, dass nach EnEV die Fläche aus dem Gebäudevolumen ermittelt wird ($A_N = 0,32 \times V$). Dieser Wert liegt bei kleinen Wohngebäuden ca. 20 bis 30% über der tatsächlich beheizten Wohnfläche. Im Umkehrschluss liegt der Kennwert um diesen Prozentsatz günstiger als bei Bezugsflächen, die identisch mit der beheizten Wohnfläche (AEB) sind.

Der Rechengang nach EnEV (DIN 4108-6) führt bei Gebäuden mit sehr geringem Heizwärmebedarf im Allgemeinen zu deutlich niedrigeren Werten als die Berechnung nach PHPP. Die zahlreichen PHPP-Berechnungen wurden bei vielen hundert Gebäuden mit den späteren Verbrauchswerten abgeglichen. Dabei wurde eine hohe Übereinstimmung festgestellt.

Jahresprimärenergiebedarf – Gebäude und Haustechnik als System

Das Gebäude muss als Gesamtsystem gesehen werden. Deshalb ist eine primärenergetische Betrachtung für Erstellung (vgl. Kap. 8.1) und Betrieb zu erstellen. Sowohl nach dem Rechenverfahren der EnEV (DIN 4108-6) als auch nach dem PHPP wird der Jahresprimärenergiebedarf ermittelt.

Nach dem EnEV-Verfahren wird zunächst zu dem oben ermittelten Heizwärmebedarf für den Warmwasserwärmebedarf pauschal ein flächenbezogener Wert von 12,5 kWh/(m²a) bei Wohngebäuden addiert. Außerdem werden die Hilfsenergien einbezogen sowie der Aufwand für Kühlung und Lüftung. Diese Summe wird mit einer primärenergiebezogenen Anlagenaufwandszahl multipliziert, um die Anforderungsgröße der EnEV, den Jahresprimärenergiebedarf, zu erhalten.

Die Anlagenaufwandszahl lässt sich entweder in einfacher Form aus Tabellen entnehmen, die für gängige Anlagenkonzepte in der DIN 4107-10 vorliegen. Bei Rechenprogrammen lassen sich diese Werte sehr schnell auf einfache Art aktivieren. Dabei wird allerdings von eher mäßigen Anlagenkomponenten ausgegangen. Sinnvoller ist eine detaillierte Ermittlung aller anlagenspezifischen Kennwerte, durch die eine gute Optimierung von Anlagen ermöglicht wird. Einzelne Aspekte der sehr umfangreichen DIN 4107-10 (Energetische Bewertung heiz- und raumluftechnischer Anlagen; Teil 10 Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung) werden in Kapitel 6 bei den Anlagenkomponenten beschrieben.

Die Anforderungsgröße für den Jahresprimärenergiebedarf bei Wohngebäuden ist entweder nach dem Rechenverfahren der EnEV 2002 zu bestimmen oder mittels des Referenzverfahrens der DIN 18599, bei dem – wie bereits beschrieben – Wohngebäude so auszuführen sind, dass der Jahres-Primärenergiebedarf für Heizung, Warmwasser, Lüftung und Kühlung den Vergleichswert eines Referenzgebäudes gleicher Geometrie, Gebäudenutzfläche und Ausrichtung mit den vorgegebenen Kennwerten nicht überschreitet.

LESEPROBE

14 Autorenangaben

Dr. Burkhard Schulze Darup



Studium der Architektur an der TU Berlin von 1973 bis 1979; 1980 bis 1982 quartiersbezogene Stadtentwicklungsplanung und objektplanerische Begleitung von Häusern in Berlin-Kreuzberg;

Promotion an der Universität Hannover

Als freischaffender Architekt beschäftigt er sich mit der Durchführung von Sanierungs- und Neubauprojekten im Sinne der Ressourceneffizienz und passiver Solararchitektur unter Anwendung von Niedrigenergie- und Passivhaus-Komponenten.

Neubauten von Wohnhöfen mit Bauherrengemeinschaften sowie zahlreiche Einfamilienhäuser, Doppelhäuser und Reihenhousanlagen sowie Geschosswohnungsbau und Gewerbebauten wurden von ihm begleitet. Weitere Arbeitsfelder sind die Entwicklung von Konzepten zum energieeffizienten Bauen, vor allem zur energetischen Sanierung, städtebauliche Planungen und Gutachten sowie Forschungsarbeiten, Vorträge und Veröffentlichungen zum umweltverträglichen und energiesparenden Bauen.

Kontakt:

Dr. Burkhard Schulze Darup
Augraben 96
90475 Nürnberg
schulze-darup@schulze-darup.de
www.schulze-darup.de