

Burkhard Schulze Darup

Energieeffiziente Wohngebäude

3., vollständig überarbeitete Auflage



BINE-Fachbuch

Energieeffiziente Wohngebäude

3., vollständig überarbeitete Auflage

Burkhard Schulze Darup

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 Energiere Ressourcen, 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 Münster
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 (Print): 978-3-8167-8322-0 | ISBN (E-Book): 978-3-8167-8702-0

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) 9 70-25 00
Telefax (0711) 9 70-25 08 | 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 Planungs Eckdaten	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-4 0-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



Vorwort

Im Wohnungsbau hat sich in den letzten beiden Jahrzehnten ein Wandel vollzogen. Wurden noch vor zwanzig Jahren Wohngebäude gebaut, die über 150 kWh/m²a 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



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 Gebrauchsdauer 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.

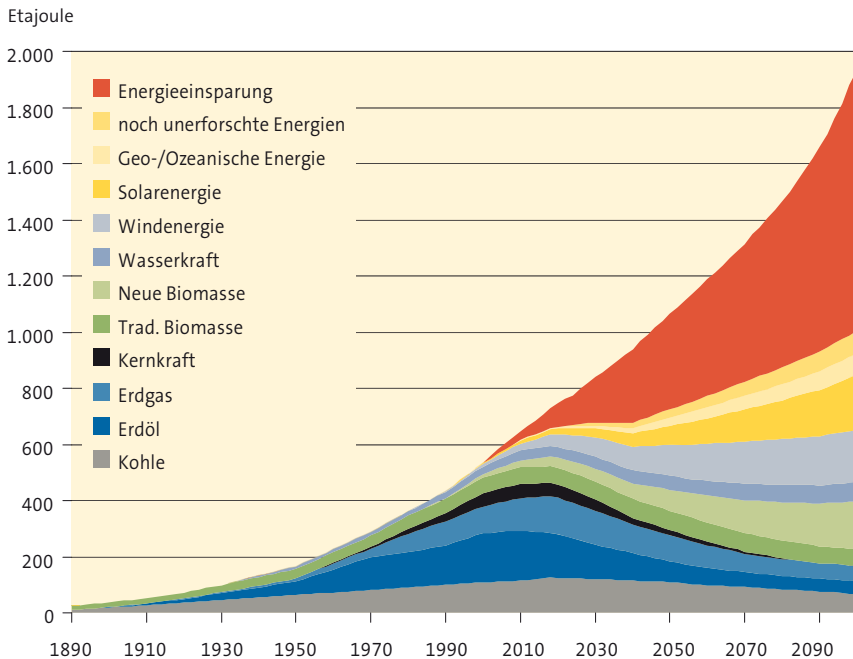


Abb. 1: Entwicklung des Weltenergieverbrauchs bei verstärktem Einsatz von regenerativen Energien und hohen Anstrengungen zur Energieeinsparung (Angaben in Exajoule)

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.

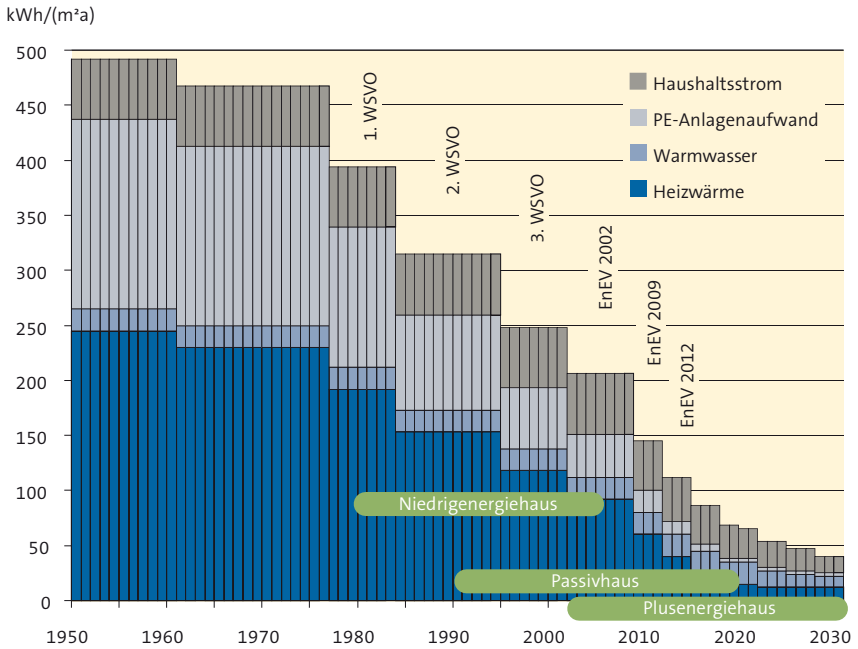


Abb. 2: Entwicklung der Anforderungen zur Energieeffizienz: in den Jahren 2009 und 2012 wird es jeweils eine Novellierung der EnEV geben, etwa ab 2015 wird das energetische Niveau des Passivhauses der allgemein übliche Gebäudestandard.

2 Gebäudekonzept

Die Einbeziehung von kulturellen, sozialen und technischen Neuerungen in den Entwurf ist seit jeher eine wichtige Aufgabe für Baumeister und Architekten. Dabei prägen 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.



Abb. 3: Bilder von verschiedenen energetisch optimierten Gebäuden

Zunächst bei der Niedrigenergie- und dann bei der Passivhaus-Bauweise konnte in den letzten fünfundzwanzig 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 Energiepreinsniveau 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 vertraglichem 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.

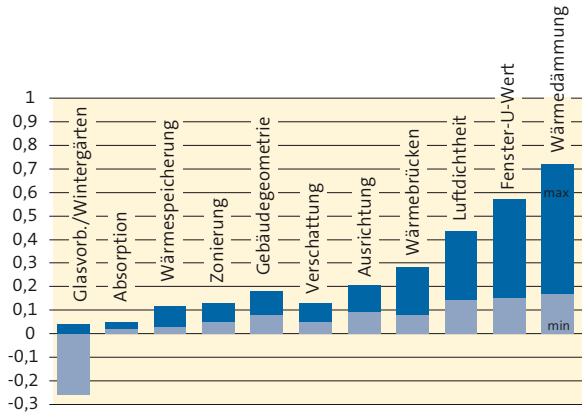


Abb. 4: Energetische Wirksamkeit verschiedener Entwurfsaspekte

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.

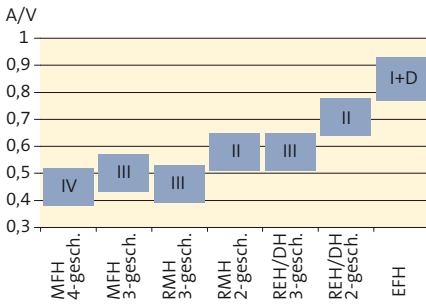


Abb. 5: A/V-Verhältnis von Gebäudetypen (die römischen Ziffern geben die Anzahl der Geschosse an)

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	

* Heizztage 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 Heizwärmebedarfs-ermittlung [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 ausgeglichene kühle Räume im Sommerfall ist wichtiger.