

# Energieversorgung in Niedrigstenergie-Wohngebäuden

## Einleitung

Mit der Entwicklung neuer Technologien und Gebäudekonzepte stehen heute solare Passivhäuser als Einfamilienhäuser und mehrgeschossige Wohnbauten mit einem Heizwärmebedarf von  $< 15 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  zur Verfügung. Die auf dem Markt verfügbaren neu entwickelten Baukomponenten (Fenster, Vakuumdämmung) und Versorgungssysteme (Lüftungskompaktgeräte) ermöglichen es, den für Gebäude notwendigen Primärenergiebedarf für Heizung, Warmwasserbereitung und Lüftung drastisch zu reduzieren. Auch gut geplante Niedrigstenergiehäuser haben nur geringe Mehrkosten gegenüber den Gebäuden, die den gesetzlichen Anforderungen der Energieeinsparverordnung (EnEV) genügen. Durch die aktive Nutzung erneuerbarer Energien, insbesondere der Solarenergie, kann man vom Niedrigstenergie- und Passivhaus zum Nullemissionshaus gelangen.

In zahlreichen Demonstrationsgebäuden wurden in Abhängigkeit vom Baustandard (Niedrigstenergie- und Passivhaus) unterschiedliche Versorgungskonzepte untersucht und hinsichtlich ihrer Effizienz bewertet. Dabei wird deutlich, dass der Energiebedarf für die Warmwasserbereitung in vergleichbarer Größenordnung wie der relativ geringe Heizwärmebedarf liegt. Deshalb sind die Haustechnikkonzepte bei Beibehaltung und Verbesserung des Nutzerkomforts diesen veränderten Anforderungen anzupassen. Weitere Entwicklungen zu intelligent geregelten Versorgungssystemen, z. B. auf der Basis von Kraft-Wärme-Kopplung oder Wärmepumpen in Verbindung mit erneuerbaren Energien, können dazu beitragen, die Effizienz der Versorgungssysteme in diesem Leistungsbereich zu steigern.

## Wärmeversorgung von hocheffizienten Gebäuden

Hocheffiziente Gebäude vom Typ KfW Energiesparhaus 60<sup>1</sup> bis zu Passivhäusern benötigen schnell reagierende Heizungssysteme mit niedrigeren Anschlussleistungen als in Bestandsgebäuden. Geeignet sind solche Versorgungssysteme, die energetisch, ökologisch und ökonomisch die günstigsten Voraussetzungen bieten, eine bedarfsgerechte Wärmeversorgung bei geringem Primärenergieverbrauch zu sichern. Hierzu sind in *Tab. 1* einige Beispiele für Versorgungstechniken in effizienten Gebäuden mit unterschiedlichem Wärmebedarf dargestellt.

Hocheffiziente Gebäude mit Heizlasten  $< 10 \text{ W/m}^2$  können direkt über die Zuluft der Lüftungsanlage beheizt werden, ohne dass dafür der Luftwechsel über das hygienisch notwendige Maß angehoben werden muss. Das führt zur Reduzierung der investiven Kosten für das Haustechniksystem. Dieses Wärmeübergabesystem wird bereits in vielen Passivhäusern [1, 2, 4, 9] genutzt, wobei die Zuluft entweder über ein Warmwasserheizregister oder durch eine Direktbeheizung mit einer Abluft-Wärmepumpe erwärmt wird. Damit erhalten Abluft-Wärmepumpen zur Beheizung von Niedrigstenergie- und Passivhäusern ein großes Marktpotenzial.

Werden Wohngebäude mit Nahwärme beheizt, treten neben den Wärmeverteilverlusten im Gebäude noch bis zu 16 % Übertragungsverluste auf [1, 6, 10]. Der Anschluss von Niedrigenergie- und Passivhäusern an eine zentrale Nahwärmeversorgung erscheint deshalb nur dann sinnvoll, wenn die Gebäude in ein bereits erschlossenes Fernwärmegebiet integriert werden.

Dr. Christel Russ  
Fraunhofer ISE  
christel.russ@ise.fraunhofer.de

Dr. Joachim Götsche  
Solar-Institut Jülich -  
FH Aachen  
goettsche@sj.fh-aachen.de

<sup>1</sup> Nach den Förderrichtlinien der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) ist der Standard eines KfW-Energiesparhauses 60 erreicht, wenn der Primärenergiebedarf nachweislich nicht mehr als  $60 \text{ kWh pro m}^2$  Nutzfläche und Jahr beträgt.

*Tabelle 1  
Wärmeversor-  
gungssysteme von  
hocheffizienten  
Wohngebäuden*

Demonstrationsprojekt	Versorgungssystem	Wärmeübergabe/ Verteilung
Mehrfamilien-Passivhaus Kassel [11]	Fernwärme	Luftheizung Zentrale Warmwasserversorgung
Mehrfamilien-Passivhaus Freiburg-ISIS [2]	Nahwärme aus Holzhackschnitzel BHKW, thermische Solaranlage Lüftungs-Kompaktgerät	Luftheizung dezentrale Warmwasserbereitung mit Logotherm
Mehrfamilien-Passivhaus „Arbeiten & Wohnen“ Freiburg [7]	Gas-BHKW thermischen Solaranlage und PV	Plattenheizkörper, zentrale Warmwasserbereitung
Mehrfamilien-Solarhaus Gundelfingen [5]	Nahwärme aus KWK, Abluftwärmepumpe (Pufferspeicher), thermische Solaranlage	Plattenheizkörper, zentrale Wärmeversorgung
Passiv-Reihenhäuser Neuenburg [4]	Dezentrale Lüftungs-Kompaktgeräte, thermische Solaranlage	Luftheizung Warmwasserspeicher
Passiv-Doppelhäuser Königsbach-Stein [6]	Zentrale Wärmepumpe, thermische Solaranlage	Wandheizung aus zentraler Versorgung Zentrale Warmwasserbereitung
Solar-Campus Jülich [10] Studentenwohnungen: Reihenhauszeilen mit Bau- standard KfW 40 und Passivhaus	Nahwärmenetz	Plattenheizkörper Fußbodenheizung Zuluft; Warmwasserversorgung jeweils hausweise mit Speicher, Plattenheizkörper mit lokalem Netz
Gebäude Baustandard WschVO 95 <sup>2</sup>	Gas- Brennwerttechnik	

<sup>2</sup> Wärmeschutzverordnung 1995

Andererseits wird aus ökonomischen Gründen meist auf die Neuinstallation eines Nahwärmenetzes für Niedrigstenergie- und Passivhäuser verzichtet [1].

Die Nutzung der passiven Solarenergie trägt wesentlich zur Senkung des Heizwärmeverbrauchs bei, was mit so genannten Heizwärmekennfeldern nachgewiesen wurde [1, 2, 3]. In einem Diagramm wird das Tagesmittel der flächenspezifischen Heizleistung ( $W/m^2$ ) des Gebäudes über der Außentemperatur in Abhängigkeit von der solaren Einstrahlung aufgetragen (Abb. 1b und 2b). Die solare Einstrahlung wird in drei typische Strahlungsklassen zwischen  $< 25 W/m^2$  und  $> 90 W/m^2$  eingeteilt. Je 25 % der Messwerte innerhalb der Heizzeit unter  $12^\circ C$  fallen in die niedrigste bzw. höchste Strahlungsklasse.

Am Beispiel des Solarhauses „Gundelfingen“ (Abb. 1b) und des Passivhauses „Kassel“ (Abb. 2b) ist sehr gut der Anteil der passiven solaren Gewinne an der Reduzierung des Heizwärmebedarfes des Gebäudes zu sehen. Im Solarhaus Gundelfingen können sie an den Tagen mit intensiver Einstrahlung über die großen Fenster der Südseite und über die transparente Wärmedämmung den Heizwärmebedarf wesentlich reduzieren.

Die Heizlasten liegen besonders bei Tagen mit guter Einstrahlung auch bei niedrigen Umgebungstemperaturen weit unter dem maximal möglichen Wert.

Das in Ost-West Richtung orientierte Passivhaus „Kassel“ kann die passiven solaren Gewinne aufgrund der geringen Fensteranteile nach Süden nur wenig nutzen und die verbrauchte Heizwärme entspricht auch unter guten Einstrahlungsbedingungen nahezu dem berechneten Bedarf.



Abbildung 1a Solarhaus Gundelfingen [1, 2, 3]



Abbildung 2a Passivhaus Kassel [1,2,3]

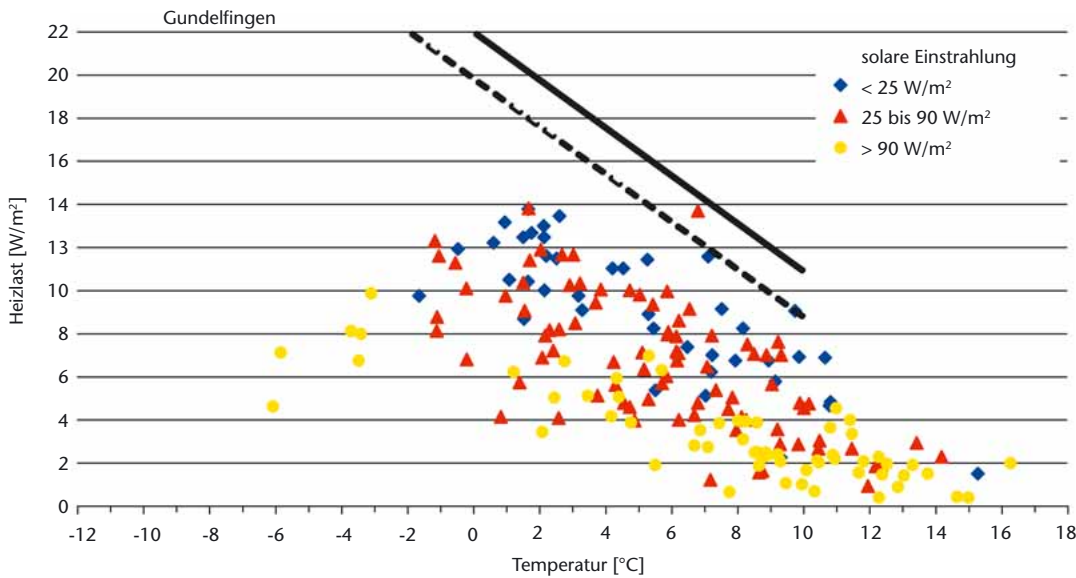


Abbildung 1b Heizkennfeld Solarhaus „Gundelfingen“: Durch gute passive Solarenergienutzung über die Fenster und transparente Wärmedämmung auf der Südseite des Gebäudes liegt der Heizwärmebedarf unter dem berechneten Wert.

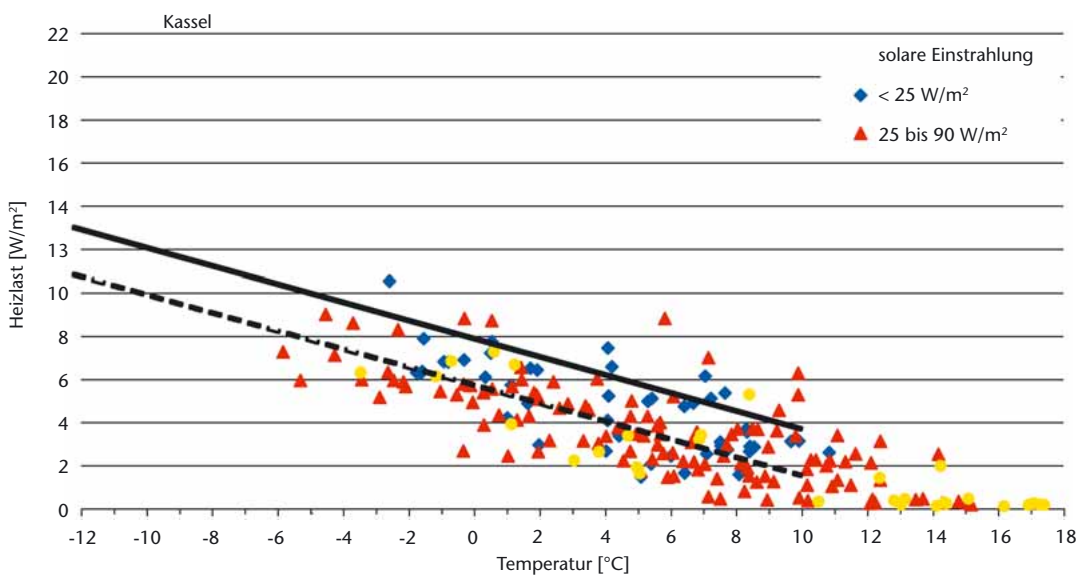


Abbildung 2b Heizkennfeld Passivhaus „Kassel“: Da die Hauptorientierung des Gebäudes in Ost-West liegt, tragen nur relativ wenige solare Gewinne zur Reduzierung des Heizwärmebedarfes bei.

Die Geraden stellen die Verlustkoeffizienten entsprechend der Transmission- und Lüftungsverluste ohne Berücksichtigung der inneren und solaren Gewinne (durchgezogene Gerade) bzw. nur ohne solare Gewinne (gestrichelte Gerade) dar.

Tabelle 2  
Lüftungsanlagen  
in hocheffizienten  
Wohngebäuden

Demonstrationsprojekt	Lüftungssystem
Mehrfamilien-Passivhaus Kassel	semizentrale Lüftungsanlage: zentrale Zu- und Abluft mit WRG <sup>1</sup> , wohnungswise Nachheizregister (Warmwasser für Zuluftheizung)
Mehrfamilien-Passivhaus Freiburg-ISIS	wohnungswise mechanische Lüftung mit WRG, Nachheizregister (Wasser) für Zuluftheizung
Mehrfamilien-Passivhaus „Arbeiten & Wohnen“ Freiburg	zentrale Lüftungsanlage mit WRG für alle Wohneinheiten
Solarhaus Gundelfingen	dezentrale Zuluft (feuchtegeregelt), zentrale Abluft mit Wärmepumpe zur Speicherbeheizung
Passiv-Reihenhäuser Neuenburg	Erdwärmetauscher, Lüftungs-Kompaktgerät – Lüftungsanlage mit WRG, Nachheizen der Zuluft
Passiv-Doppelhäuser Königsbach-Stein	hausweise Lüftung mit Heizregister zur Luftvorwärmung
Solar-Campus Jülich - Studentenwohnungen Reihenhauszeilen mit Baustandard KfW 40 und Passivhaus	zentrale Lüftungsanlage mit WRG (z. T. geregelt mit Wettervorhersage) Erdwärmetauscher, zentrale Lüftungsanlage mit WRG dezentrale Lüftungsanlage mit WRG dezentrale Zuluft, zentrale Abluft (z. T. feuchtegeregelt)
Gebäude Baustandard WschVO 95	keine Lüftungsanlage

<sup>1</sup> WRG = Wärmerückgewinnung

## Lüftung

In Niedrigenergie- und Passivhäusern sind die Anforderungen an die Wohnraumlüftung erhöht zur Sicherung des Wohnkomforts und zur Erreichung des niedrigen Heizwärmebedarfs. Die natürliche Fensterlüftung reicht nicht mehr aus, den bauphysikalisch und hygienisch notwendigen Luftwechsel zu sichern. Aus einer Studie [8] zur Entwicklung der Passivhäuser bis 2010 geht hervor, dass auch künftig 95–100 % der Passivhäuser mit Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung (WRG) ausgestattet sind, bei 3-Liter-Häusern werden es etwa 70% sein. In den übrigen energieeffizienten Neubauten wird bis 2010 von jährlich 120.000 Lüftungsanlagen mit WRG ausgegangen. Diese Anlagen arbeiten nur dann effektiv, wenn der Stromverbrauch für Ventilatoren, Steuerung und Regelung gering ist.

Lüftungsanlagen mit WRG unterstützen durch die rückgewonnene Wärme die Heizung im

Gebäude. Durch den Einsatz eines vorgeschalteten Erdwärmetauschers wird neben dem Vermeiden des Vereisens des Wärmetauschers noch ein zusätzlicher Wärmegegewinn erreicht. Im Projekt Neuenburg [4] wurden mehr als 30 kWh/m<sup>2</sup> a Wärmegegewinne aus der WRG und dem Erdwärmetauscher erhalten.

Dezentrale Zuluft in Verbindung mit zentraler Abluftanlage sorgt für einen definierten Frischluftvolumenstrom<sup>3</sup>. Es fehlen jedoch die Wärmegegewinne aus der WRG im Gebäude, was zu höherem Heizwärmebedarf führt. Vorteilhaft ist dann z. B. der Einsatz einer Wärmepumpe in der Abluft wie im Solarhaus „Gundelfingen“ [5], wo die gewonnene Wärme dem Heizungssystem zugeführt wurde.

Untersucht und bewertet wurden unterschiedliche Lüftungskonzepte in folgenden Demonstrationsvorhaben: (Tab. 2)

<sup>3</sup> Ein Frischluftvolumenstrom von 30 m<sup>3</sup>/h je Person wird durchschnittlich zur Entfeuchtung der Raumluft benötigt.

Projekt	Primärenergie Haustechnik <sup>4</sup> [kWh/m <sup>2</sup> a]	Anlagenaufwandszahl	Heizwärme [kWh/m <sup>2</sup> a]	Warmwasser [kWh/m <sup>2</sup> a]	Verluste [kWh/m <sup>2</sup> a]
Mehrfamilien-Passivhaus Kassel	43,9	0,59	17,1	28,0	nicht bestimmt
Mehrfamilien-Passivhaus Freiburg-ISIS	36,7 (ohne Verluste Fernwärmenetz)	0,81	14,9	13,2	8,7 Verteilung/ Speicher 3,5 Fernwärme
Mehrfamilien Passivhaus „Arbeiten & Wohnen“ Freiburg	30,3/ 3,5 mit Strom aus BHKW + PV	0,76	12,6	8,7	10,7 Verteilung/ Speicher 5,4 Umwandlung
Solarhaus Gundelfingen	40,7	1,12	21,0	15,3	7,9 Zirkulation, Speicher, Verteilung
Passiv-Reihenhäuser Neuenburg	19,7	0,41	2,9	10,8	9,5 Speicher
Passiv-Doppelhäuser Königsbach-Stein	38,3	0,94	24,2	10,6	13,5 Zirkulation, Speicher, Verteilung
Studentenwohnungen Solar-Campus Jülich <sup>5</sup>	56 (ohne Netzverluste)	0,90	23,6	12,6	3,0 Speicher, 5,8 (16%) Netz

*Tabelle 3  
Energetische Kennwerte von Demonstrationsgebäuden (alle Werte bezogen auf die beheizte Nutzfläche)*

<sup>4</sup> Umrechnungsfaktor 2,35 nach GEMIS 4.0 (Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme) mit einem kumulierten Energieaufwand nach EU17 ohne erneuerbare Energien

<sup>5</sup> Beispiel Passivhaus mit Luftheizung der Reihenhauseinheit 2

In Mehrfamilienhäusern eingesetzte zentrale Lüftungsanlagen mit WRG erfordern eine sorgfältige, meist aufwändige Planung, besonders hinsichtlich der Steuerung- und Regelung, um den individuellen Bedürfnissen der Nutzer nach wohnungsweise regulierbaren Volumenströmen und Zulufttemperaturen gerecht zu werden. Auch der Material- und Installationsaufwand (Stellklappen zum hydraulischen Abgleich, dichte Gehäuse der Wärmetauscher, Dämmung der Kanäle) ist relativ hoch [1, 7]. Erhalten die Nutzer dezentrale (wohnungsweise) Lüftungsanlagen, ist eine individuelle Nutzung leichter zu gewährleisten. Ein wesentliches Entwicklungsfeld ist dabei die Verbesserung des Schallschutzes, ohne Abstriche bei der energetischen Effizienz der Anlagen machen zu müssen.

Abluftanlagen mit dezentraler Zuluft sind zwar einfach und kostengünstig zu installieren, bieten aber nicht den gleichen Wohnkomfort wie Anlagen mit Wärmerückgewinnung (WRG) [10].

## Ergebnisse und Schlussfolgerung

Zur Bewertung der Effizienz der Wärmeversorgungssysteme dient der Primärenergieverbrauch für die gesamte Haustechnik (Heizen, Warmwasserbereitung, Lüftung, Hilfsenergie und Verluste) und die Anlagenaufwandszahl<sup>6</sup>. Tab. 3 enthält die Zusammenstellung dieser Kennwerte für ausgewählte Gebäude. Mit einem Primärenergieverbrauch unter 50 kWh/m<sup>2</sup>a, bezogen auf die beheizte Wohnfläche, sind alle untersuchten Wärmeversorgungskonzepte in den Gebäuden als effizient einzustufen und die Nutzeranforderungen werden erfüllt. Das Verhältnis der eingesetzten Primärenergie zur genutzten Energie (Anlagenaufwandszahl) ist < 1 und zeigt das effiziente Arbeiten der Versorgungstechniken.

<sup>6</sup> primärenergetische Effizienzkennzahl

Besonders günstig erscheinen die Versorgungssysteme mit Lüftungs-Kompaktgeräten mit einer Anlagenaufwandszahl  $< 0,5$ . Diese Geräte haben eine abgeglichene Steuerung und Regelung. Probleme bei der Steuerung und Regelung führen zu einem erhöhten Primärenergieverbrauch und ihre Optimierung zur Verbesserung der Energiebilanzen ist nötig.

Befindet sich die Heizzentrale der zentralen Versorgungssysteme im thermisch vom Gebäude getrennten Keller, erreichen Leitungs-, Speicher- und Zirkulationsverluste mit 20 bis 40% der Wärmebereitstellung die Größe des Heizwärme- oder Warmwasserverbrauchs. Dezentrale Versorgungssysteme innerhalb der beheizten Hülle bieten hier den Vorteil geringerer und zum Teil „nutzbarer Verluste“ in der Heizzeit, die zur Deckung des Wärmebedarfs beitragen. Damit bleiben nur die Verluste außerhalb der Heizsaison relevant, die durch die Warmwasserbereitstellung (Zirkulation, Leitungs- und Speicherverluste) entstehen. Durch eine thermische Solaranlage kann ein Großteil davon gedeckt werden.

Strom aus erneuerbaren Energien kann genutzt werden, um den Energieverbrauch zu kompensieren und den Primärenergieverbrauch zu senken, vgl. Passivhaus „Arbeiten & Wohnen“ [7]. Damit wird ein weiterer Schritt zum Null-Primärenergie-Haus möglich.

## Literatur

- [1] Hoffmann, C., Hastings, R., Voss, K., Wohnbauten mit geringem Energieverbrauch, 2005, C. F. Müller Verlag, Hüttig GmbH & Co. KG Heidelberg
- [2] Russ, C., Reiß, J. Design Insights for the Analysis of 50 Sustainable Solar Houses; 2005, Technical Report zur IEA Task 28/38 „Sustainable Solar Housing“
- [3] Evaluierung energieeffizienter Wohngebäude, Projektinfo 04/05 BINE Informationsdienst, FIZ Karlsruhe
- [4] Russ, C., u.a., Demonstrationsprojekt für ein innovatives Wärmeversorgungskonzept für Passivhäuser auf der Basis von passiver und aktiver Solarenergienutzung in Kombination mit Wärmepumpen, Abschlussbericht 2002, Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme Freiburg
- [5] Voss, K., Solarhaus Gundelfingen, Endbericht, 2003, Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme Freiburg
- [6] Russ, C., u.a., Monitoring der Passivhaus-siedlung Königsbach-Stein, Abschlussbericht 2002, Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme Freiburg
- [7] Voss, K., Solar-Passivhaus „Wohnen & Arbeiten“ Freiburg, Vauban, Schlussbericht, 2001, Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme Freiburg
- [8] Bühring, A.; Innovative Lüftung in Gebäuden – Zukunft der Wohnungslüftung, Otti Energiekolleg 2004
- [9] Bühring, A., u. a., Aktueller Stand der Weiterentwicklung von Lüftungs-Kompaktgeräten, 9. Europäische Passivhaustagung 2005, Ludwigshafen
- [10] Göttsche, J., u.a. 2004 Abschlussbericht Solar Campus Jülich
- [11] Pfluger, R., Feist, W., Kostengünstiger Passivhaus-Geschosswohnungsbau in Kassel-Marbachhöhe, Endbericht, CEPHEUS-Projektinformation Nr. 15 und 16, 2001, Passivhaus-Institut Darmstadt