



*Dipl.-Ing. Manfred Görg
Stadtwerke Hannover AG,
Hannover (D)*

Passivhäuser in Europa – das internationale Forschungsprojekt CEPHEUS

Passivhäuser in Europa – das internationale Forschungsprojekt CEPHEUS

1 Was ist ein Passivhaus?

Der Begriff „Passivhaus“ bezeichnet einen Baustandard. Dieser ist mit verschiedenen Bauweisen, -formen und -materialien zu erreichen. Er ist eine Weiterentwicklung des Niedrigenergiehaus-(NEH-)Standards.

Der Begriff „Passivhaus“ kennzeichnet ein Gebäude, in dem ein behagliches Innenklima im Sommer wie im Winter ohne ein separates Heizsystem gewährleistet werden kann. Dies setzt vor allem voraus, dass der Jahreswärmebedarf nicht über 15 kWh/(m²a) liegt. Der noch erforderliche Restwärmebedarf kann dann durch eine Erwärmung der Zuluft über das ohnehin vorhandene Lüftungssystem erfolgen. Passivhäuser brauchen etwa **80 % weniger Heizenergie** als Neubauten nach der deutschen Wärmeschutzverordnung 1995.

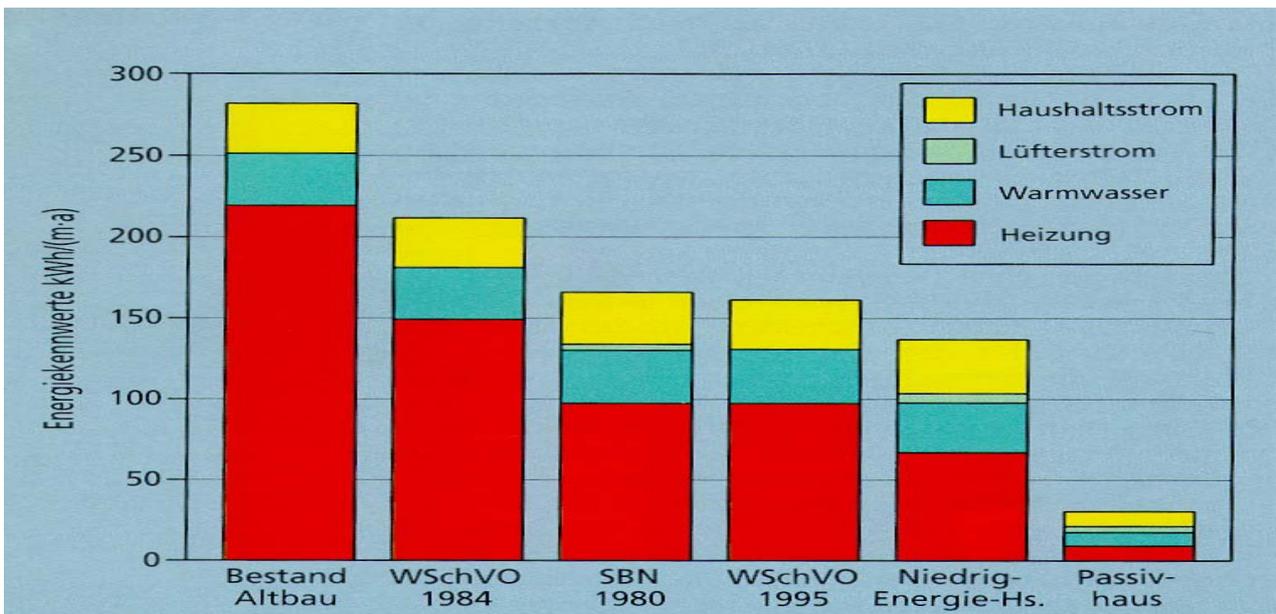


Abb. 1: Energiekennwerte unterschiedlicher Baustandards im Vergleich

Der Name „Passivhaus“ leitet sich daher ab, dass im wesentlichen die „passive“ Nutzung der vorhandenen Wärme aus der Sonneneinstrahlung durch die Fenster sowie der Wärmeabgabe von Geräten und Bewohnern ausreicht, um das Gebäude während der Heizzeit auf angenehmen Innentemperaturen zu halten.

In einem Passivhaus soll gleichzeitig auch der sonstige Energiebedarf, insbesondere der Strombedarf für Hausgeräte u. ä., durch Einsatz effizienter Technik minimiert werden. Ziel des CEPHEUS-Projekts ist es, dass **der gesamte Endenergiebedarf** für Heizung, Warmwasser und Hausgeräte 42 kWh/(m²a) nicht überschreitet. Dies liegt mindestens **um den Faktor 4 niedriger**, als die spezifischen Verbrauchswerte von Neubauten nach den jeweils geltenden Vorschriften in Europa.

2 Warum Passivhäuser bauen?

Der Passivhausstandard ist ein kostengünstiger Ansatz, den Energiebedarf von Neubauten entsprechend den globalen Erfordernissen der Nachhaltigkeit auf ein Minimum zu reduzieren und dabei gleichzeitig den Wohnkomfort zu verbessern. Er bietet damit eine Grundlage, den verbleibenden Energiebedarf von Neubauten komplett durch erneuerbare Energien zu decken, und zwar sowohl unter Berücksichtigung der begrenzten Verfügbarkeit auch der erneuerbaren Energieträger als auch unter Berücksichtigung bezahlbarer Mehrkosten

Grundphilosophie 1: Optimierung des ohnehin Erforderlichen

Kostengünstig ist der Ansatz deshalb, weil er nach dem Prinzip der Einfachheit auf eine Optimierung der ohnehin erforderlichen Komponenten eines Gebäudes setzt: Der Gebäudehülle, der Fenster und der aus hygienischen Gründen sinnvollen automatischen Lüftung. Indem er die Effizienzverbesserung dieser Komponenten soweit treibt, dass auf ein separates Heizsystem verzichtet werden kann, ergeben sich Einsparungen, die den Mehraufwand für die Effizienzverbesserung mitfinanzieren.

Grundphilosophie 2: Verlustminimierung vor Gewinnmaximierung

Grundprinzip von Passivhäusern ist es, vorhandene Wärme möglichst konsequent am entweichen zu hindern (Vorrang der Verlustminimierung). Theoretische Modellrechnungen und praktische Erfahrungen mit zahlreichen Projekten zeigen, dass eine solche Strategie unter mitteleuropäischen und vergleichbaren Klimabedingungen grundsätzlich effizienter ist als Strategien, die *vorrangig* auf die passive oder aktive Solarenergienutzung setzen.

3 Wodurch wird ein Gebäude zum Passivhaus?

Grundbausteine zur Realisierung des Passivhausstandards sind:

1. Superdämmung

Passivhäuser haben eine besonders gute Wärmedämmung unter Vermeidung von Wärmebrücken und Luftundichtheiten. Die Beachtung bestimmter Mindestanforderungen an die Dämmqualität ist wichtig, um ohne Komfortverluste auf Heizkörper verzichten zu können.

2. Kombination von effizienter Wärmerückgewinnung mit Nachheizung

Passivhäuser werden über eine Komfortlüftung ständig mit frischer Luft versorgt. Dies geschieht genau in der Menge, die für eine gute Raumluftqualität erforderlich ist. Mittels eines sehr effizienten Wärmetauschers wird die Wärme aus der Abluft auf die einströmende Frischluft übertragen. Dabei werden die Luftströme nicht vermischt. Bei Bedarf wird die Zuluft nach erwärmt. Bei Bedarf wird die Zuluft über einen Erdreich-Wärmetauscher vorerwärmt.

3. Passive Solarnutzung

Passivhäuser sind zugleich Solarhäuser. Nach Ausschöpfung der Effizienzpotentiale deckt die passive Nutzung der Sonneneinstrahlung, die durch die für eine ausreichende Belichtung ausgelegten Fenster hereinkommt, etwa 40 % des verbleibenden Heizenergiebedarfs. Dafür werden in der Regel neuentwickelte Fenster mit Dreifach-Wärmeschutzverglasung und supergedämmten Rahmen eingesetzt. Diese lassen mehr Sonnenwärme durch die Fenster herein, als durch sie verloren geht. Vorteilhaft ist eine Südorientierung der Hauptbelichtungsflächen und Verschattungsfreiheit.

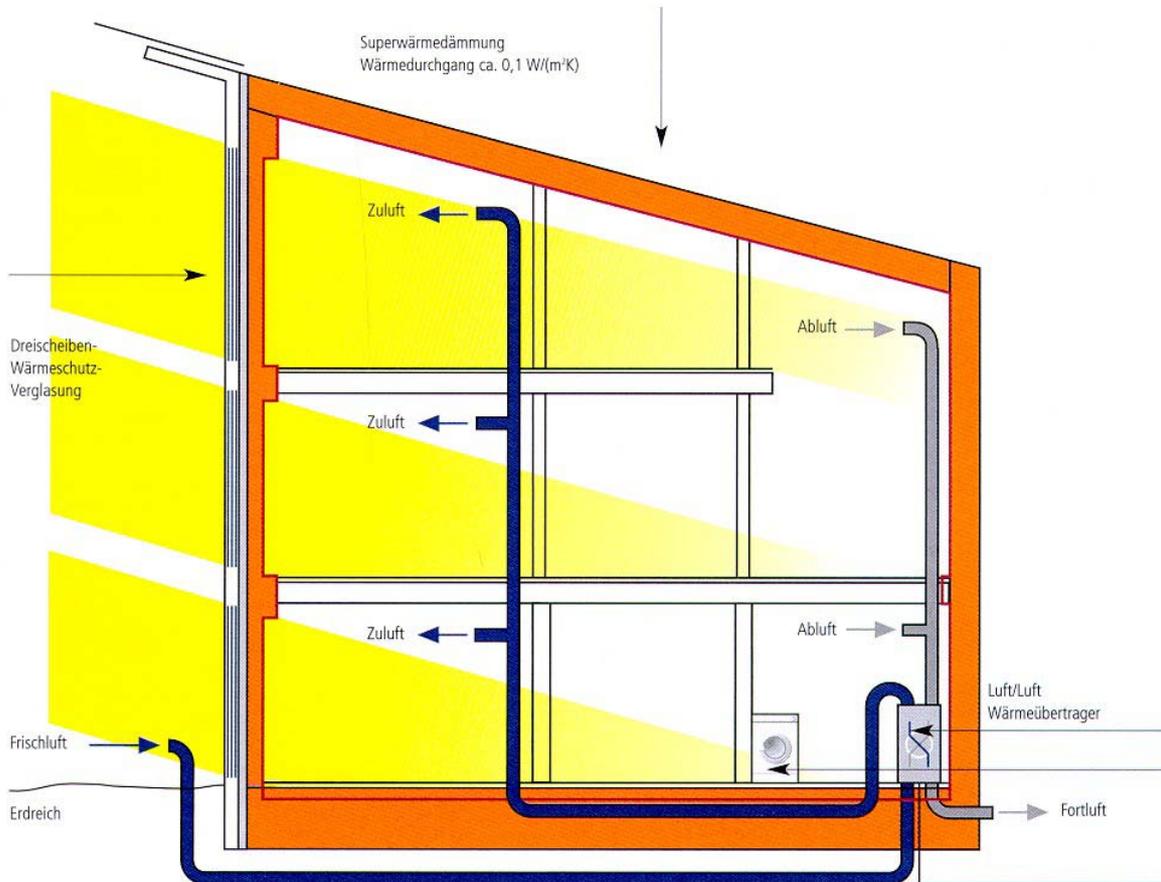


Abb. 2: Prinzipdarstellung eines Passivhauses

3. Stromeffizienz, d. h. Ausstattung mit effizienten Geräten

Durch Ausstattung mit effizienten Haushaltsgeräten, Warmwasseranschlüssen für Wasch- und Spülmaschinen, Trockenschränken sowie Stromsparlampen wird auch der Haushaltsstromverbrauch der Passivhäuser ohne Komforteinschränkungen um mehr als 50 % gegenüber dem Durchschnitt im Bestand reduziert. Die Lüftungsanlage läuft z. B. mit besonders effizienten Gleichstrommotoren. Effiziente Geräte sind oft nicht teurer als ineffiziente, bzw. rechnen sich durch die Stromkosteneinsparungen.

4. Restenergiebedarfsdeckung durch erneuerbare Energieträger

Eine thermische Solaranlage kann etwa 40-60 % des gesamten Niedertemperaturwärmebedarfs eines Passivhauses decken. Aufgrund des geringen Restenergiebedarfs eines Passivhauses wird darüber hinaus etwas möglich, was sonst nicht bezahlbar wäre und wofür das Energieangebot sonst nicht ausreichen würde: Der vollständige Ausgleich des verbleibenden Energieverbrauchs (für Heizung, Warmwasser und Haushaltsstrom) durch erneuerbare Energieträger in der Jahres-Primärenergie- bzw. CO₂-Bilanz. In Hannover kaufen die Erwerber dazu mit dem Kaufvertrag der Passivhäuser für einen Aufpreis von nur 1.250 Euro je Haus einen Anteil an einer Windkraftanlage in der Nachbarschaft. Passivhäuser ermöglichen so zu markt gängigen Preisen klimaneutrale Siedlungen!

4 Das internationale Projekt CEPHEUS (Cost Efficient Passive Houses as European Standards)

Das Projekt umfasst den Bau von rund 265 Wohneinheiten im Passivhausstandard in 15 Teilprojekten in 5 europäischen Ländern (Deutschland, Schweden, Österreich, Frankreich und Schweiz) mit wissenschaftlicher Begleitung insbesondere durch das Passivhaus-Institut (PHI), Darmstadt, und das Energieinstitut Vorarlberg, Dornbirn/A, sowie messtechnischer Evaluation des Betriebs über mindestens ein Jahr. An der wissenschaftlichen Begleitung und Evaluierung der jeweiligen nationalen Projekte sind weitere Einrichtungen in Schweden, Frankreich und der Schweiz beteiligt. Die Standorte und der Umfang der einzelnen Teilprojekte ist aus der Tabelle 1 ersichtlich.

Das Projekt wird aus dem THERMIE-Programm der EU gefördert ((BU/127/97). Weitere Co-finanzierung erfolgt durch nationale Institutionen (in der Schweiz ausschließlich national). Das Projekt wurde Anfang 1998 begonnen und wird voraussichtlich Ende 2001 abgeschlossen. Die bis Mitte 2000 vorliegenden Ergebnisse wurden zur EXPO 2000 in Hannover präsentiert. In der Passivhaussiedlung Hannover-Kronsberg, in unmittelbarer Nähe zum EXPO-Gelände, wurde dazu ein Ausstellungshaus eingerichtet, das voraussichtlich auch noch über das Ende der EXPO hinaus bis Ende 2001 genutzt werden wird.

Auch an weiteren Standorten sind Präsentationen und Besichtigungsmöglichkeiten vorgesehen. In Hannover wurden zudem durch die Stadtwerke Hannover AG (Produktpartner der EXPO 2000) einige Häuser als Gästehäuser während der EXPO 2000 genutzt, bzw. zum Probewohnen für Interessierte.

Das EU-Projekt CEPHEUS wird von 7 Partnern getragen (siehe „Kontakte“ bei den Darstellungen der Teilprojekte). In allen Ländern sind für Planung, Bau, Finanzierung oder wissenschaftliche Begleitung zahlreiche weitere Partner beteiligt.

Standort/Land	Gebäudetyp	Konstruktion	Anzahl Wohnungen
Hannover (D)	Reihenhäuser	Massivkern, Außenhülle Holztafel-Leichtbau	32
Kassel (D)	2 Mehrfamilienhäuser	Massiv mit Außendämmung	40
Göteborg (S)	Reihenhäuser	Holzleichtbau	20
Österreich (A): 10 Projekte, in Vorarlberg (5), Salzburg (3), Nieder-/ Oberösterreich (je 1)	2 x 3 Reihenhäuser, 2 freistehende Einfamilien- und 6 Mehrfamilienhäuser	teils massiv, zum größten Teil Mischbauweisen	2x1; 2x3; 4, 6, 10, 25, 31, 32 = 116 gesamt
Nebikon/Luzern(CH)	Reihenhäuser	Mischbauweise	17
Rennes (F)	Mehrfamilienhaus	Massivbauweise, teilweise mit Leichtlehmbausteinen und Flachsdämmung	40

Tabelle 1: Übersicht über die Standorte und Teilprojekte des CEPHEUS-Projekt

(eine differenzierte Übersicht über die österreichischen Teilprojekte findet sich in Tabelle 2)

4.1 Stand der Teilprojekte (Mitte Sept. 2000):

- Am Standort Hannover sind die 32 Reihenhäuser bereits Ende 98 realisiert worden und zum größten Teil seit Anfang 1999 bewohnt. Das Messprogramm läuft seit Oktober 99. Ein Haus wurde als Ausstellungshaus mit technischen Exponaten passivhausgeeigneter Komponenten sowie Informationstafeln über CEPHEUS und seine Teilprojekte ausgestattet und steht während der EXPO täglich für Besichtigungen zur Verfügung.
- Mit dem Bau der beiden Häuser in Kassel wurde Ende April 99 begonnen. Ab März 2000 wurden die Häuser bezogen.
- Baubeginn des Projekts in Göteborg/S war im Dezember 99. Mitte September 2000 sind die Häuser weitestgehend im Rohbau fertiggestellt. Bezugsbeginn soll im Dezember 2000 sein.
- In Österreich sind fast alle Teilprojekte realisiert und bewohnt. Die letzten Teilprojekte werden im Herbst d. J. abgeschlossen.
- In der Schweiz sind 5 Reihenhäuser fertiggestellt. Ein Messprogramm mit einer simulierten Nutzung ist angelaufen.
- Baubeginn für das Projekt in Rennes/F war Oktober 99. Die Bezugstauglichkeit ist für Ende 2000 vorgesehen.
- Der Baubeginn weiterer für CEPHEUS geplanter Teilprojekte in Dietzenbach/D und Malmö/S wird voraussichtlich erst im ersten Halbjahr 2000 erfolgen. Die Projekte wurden daher aus CEPHEUS herausgenommen, da bis Ende der Projektlaufzeit keine ausreichende Evaluierung sicherzustellen ist. Als Ersatz für Dietzenbach wurde das gleichwertige Projekt in Kassel aufgenommen.

4.2 Zielsetzungen

Mit dem CEPHEUS-Projekt werden folgende Ziele verfolgt:

- Prüfung der Anwendbarkeit des Qualitätsstandards für Passivhäuser in ganz Europa in Bezug auf deren kostengünstige Planung und Erstellung durch Aufzeigen der technischen Durchführbarkeit (= Erreichen der vorgegebenen Energiekennwerte) und der Realisierbarkeit geringer Mehrkosten (Ziel: Kompensation der investiven Mehrkosten durch Kosteneinsparungen im Betrieb) für eine Reihe unterschiedlicher Gebäude und Bautypen mit Architekten und Bauherren in verschiedenen europäischen Ländern;
- Untersuchung der Investor-Käufer-Akzeptanz und des Nutzerverhaltens unter realen Bedingungen für eine repräsentative Breite von Fallbeispielen;
- Schaffung von Gelegenheiten zum Kennenlernen des Passivhausstandards für interessierte Baufachleute und Laien an mehreren Standorten in Europa;
- Setzen von Entwicklungsimpulsen für die weitere Planung energie- und kosteneffizienter Gebäude sowie für die Weiterentwicklung und verstärkte Markteinführung einzelner innovativer passivhaustauglicher Techniken;
- Schaffung der Voraussetzungen für eine breite Markteinführung kostengünstiger Passivhäuser;
- Darstellung der Eignung des Passivhausstandards als Basis für eine kostengünstige, in der Jahresbilanz vollkommen CO₂-freie (klimaneutrale) Deckung des Energiebedarfs von Neubausiedlungen am Beispiel des Teilprojekts Hannover-Kronsberg;
- Präsentation dieses Konzepts nachhaltiger, da vollkommen primärenergie- und klimaneutraler Energieversorgung von Neubausiedlungen in Verbindung mit allen Teilprojekten von CEPHEUS auf der Weltausstellung EXPO 2000 in Hannover.
(Das hannoversche Teilprojekt ist ein registriertes dezentrales EXPO 2000-Projekt.)

4.3 Übersicht über die Teilprojekte

Hannover-Kronsberg „Lummerlund“/Niedersachsen (D):

Die Passivhaussiedlung „Lummerlund“ liegt im Südosten Hannovers im neuen Stadtteil „Kronsberg“ mit 2000 Wohnungen in der ersten Ausbaustufe. Der Stadtteil ist insgesamt als ökologisches Modellvorhaben zur EXPO 2000 konzipiert, u. a. mit verbindlichen Vorgaben hinsichtlich eines sehr guten NEH-Standards (50/55 kWh/(m²a), berechnet nach dem modifizierten hessischen Leitfaden) und Anschlusszwang an eine Nahwärmeversorgung aus Kraft-Wärme-Kopplung. Die Siedlung besteht im ersten Bauabschnitt aus 32 Reihenhäusern in 4 Zeilen mit Süd-Südwest-Ausrichtung der Hauptbelichtungsflächen. Weitere 14 Häuser sollen in einem zweiten Bauabschnitt folgen. 3 Gebäudegrößen werden angeboten: 81 m², 108 m² und 130 m² Wohn- und Nutzfläche. Die Gebäude sind nicht unterkellert. Stattdessen werden Kellerersatzräume im und am Haus angeboten.

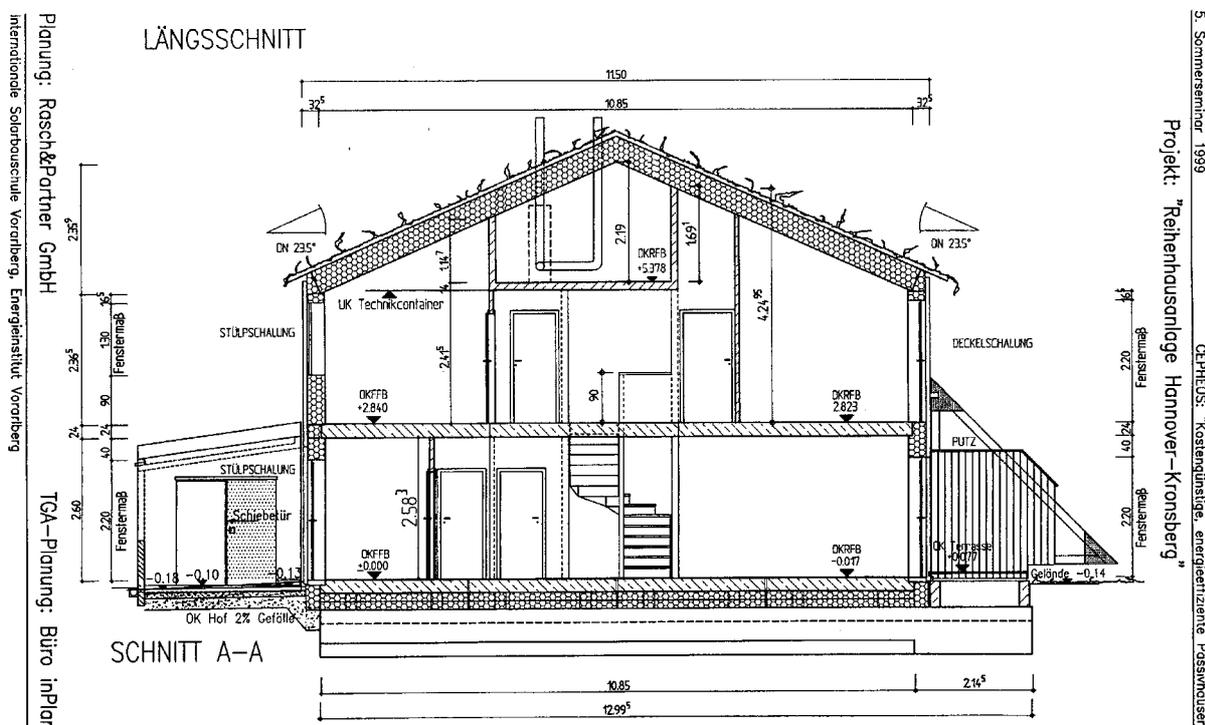


Abb. 3: Schnitt durch ein Rasch-Haus in der Siedlung „Lummerlund“ in Hannover

Die Gebäude sind in Mischbauweise konzipiert: Haustrennwände, Bodenplatte, Decken sowie Installations- und Treppenhaukern bestehen aus Betonfertigteilen, die dämmenden Außenbauteile aus vorgefertigten Holztafel-Leichtbauelementen. Die Giebelwände der Endhäuser sind mit einem Thermohautsystem gedämmt.

Die Häuser sind vom Bauträger mit Trockenschränken (Ersatz für Trockenboden/-keller, bzw. elektrischen Wäschetrockner) ausgestattet. Für die Anschaffung effizienter Haushaltsgroßgeräte wurden Beratungen und finanzielle Anreize (Rückerstattung eines Aufschlags von ca. 1.000,- Euro auf den Kaufpreis) angeboten.

Die Zuführung der noch erforderlichen Raumwärme erfolgt über ein Warmwasser-Heizregister in der Zuluft, das über einen zentralen Raumthermostat geregelt wird. Zusätzlich ist ein kleiner Heizkörper im Bad installiert (siehe dazu auch Punkt 4). Die Warmwasserbereitung wird aus Demonstrationsgründen durch thermische Solarkollektoren mit je 4 m² Kollektorfläche unterstützt. Die Restwärmeversorgung erfolgt über ein Zweileiternetz aus einer gemeinsamen Nahwärme-Übergabestation für je zwei Reihenhausezeilen.

Eine Besonderheit des hannoverschen Teilprojekts ist die Demonstration der besonderen Eignung des Passivhausstandards für das Ziel der Klimaneutralität des Wohnens. Erreicht wird dies hier durch eine in den Kaufpreis integrierte Beteiligung von nur 1.250 Euro an einer Windkraftanlage in der Nähe. Für einen Aufpreis von nur 1.250 Euro je Haus kompensiert so die anteilige Erzeugung von Windstrom den gesamten verbleibenden Primärenergiebedarf, bzw. die daraus resultierenden CO₂-Emissionen in der Jahresbilanz.

Zwei Häuser werden durch die Stadtwerke Hannover AG und das PHI für Seminar-, Besichtigungs- und Ausstellungszwecke genutzt; 3 weitere Häuser durch die Stadtwerke als Gästehäuser zur EXPO 2000. Das Projekt ist als EXPO-2000 Projekt anerkannt.

Realisiert wird die Siedlung durch die Rasch & Partner Bauen und Wohnen GmbH, Darmstadt, in Kooperation mit der Stadtwerke Hannover AG. Die wissenschaftliche Begleitung und Evaluierung erfolgt durch das PHI.

Das Teilprojekt wird zusätzlich durch den Klimaschutzfonds „proKlima“ gefördert, der hauptsächlich von der Stadtwerke Hannover AG und der Stadt Hannover getragen wird.

Kontakt: Manfred Görg, Matthias von Oesen, Stadtwerke Hannover AG, Postfach 5747, D-30057 Hannover; Fon: +49-(0)511-430-2784/2241, Fax: -430-1846/2170;

E-Mail: manfred.goerg@energcity.de bzw. matthias.vonoesen@energcity.de

Folkmer Rasch, Rasch & Partner Bauen und Wohnen GmbH, Steubenplatz 12, D-64293 Darmstadt; Fon: +49-(0)6151-8251-0, Fax: -8251-99;

E-Mail: Rasch_und_Partner@t-online.de

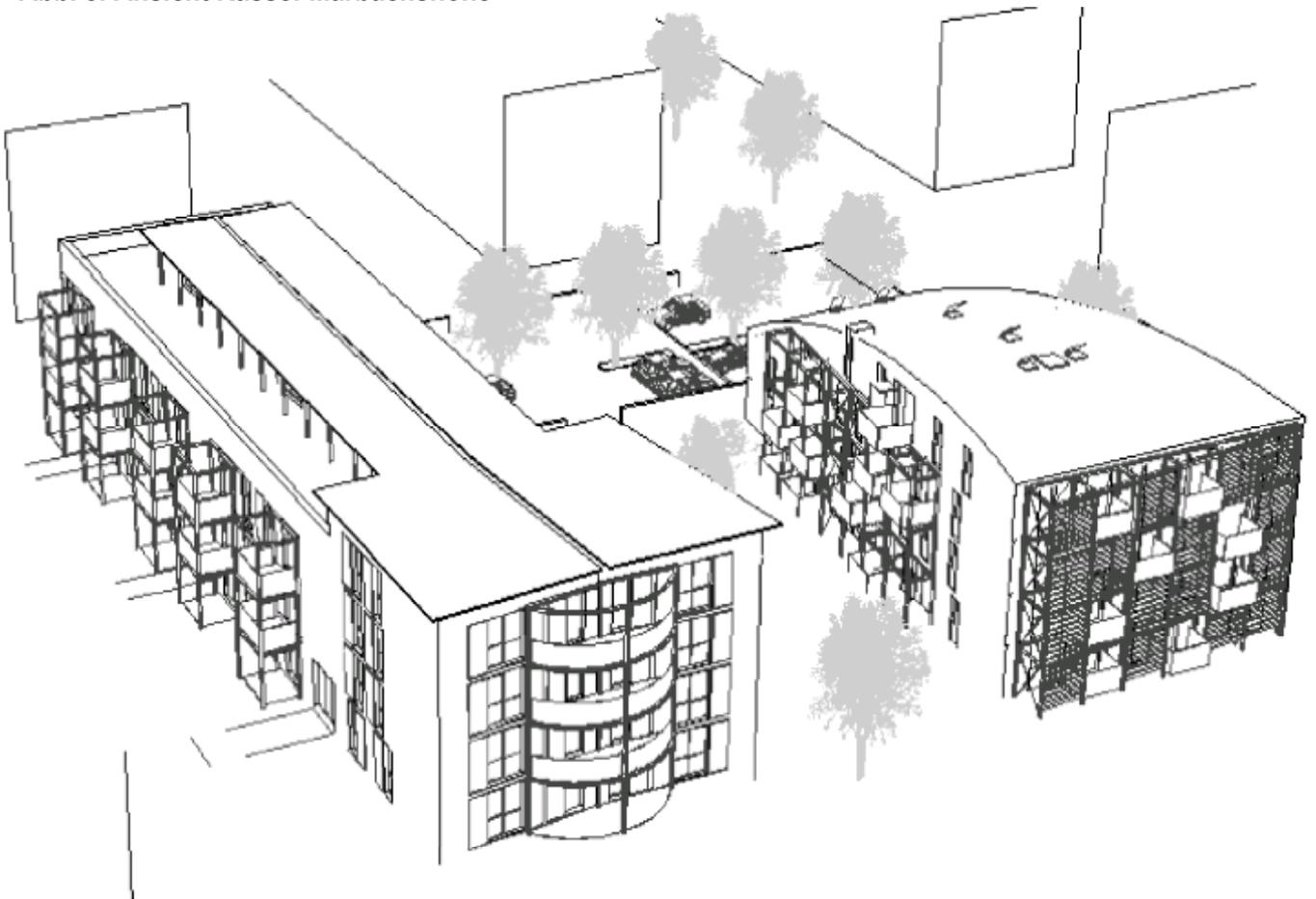


Abb. 4: Blick von einem Aussichtshügel auf die beiden Randzeilen der Siedlung „Lummerlund“ im Stadtteil Kronsberg am östlichen Rand von Hannover

Kassel-Marbachshöhe/Hessen (D):

2 Geschosswohnungsbauten mit insgesamt 40 Wohneinheiten (23 + 17), Wohnfläche 2.915 m² (1.662 + 1.253 m²), Nutzfläche 887 m² (723 + 164 m²); drei Vollgeschosse, über Fernwärme, Lüftungsanlage: gemeinsame Wärmetauscher für jeweils 3-6 Wohneinheiten, dezentrale Ventilatoren in jeder Wohnung mit automatischer Volumenstromregelung. Das Projekt wird von der Gemeinnützigen Wohnungsbaugesellschaft der Stadt Kassel mbH im sozialen Wohnungsbau realisiert. Architekten: HHS Hegger/Hegger/Schleif, Kassel; ASP Arch. u. Bauleitungs- GmbH, Kassel; Prof. Dr. Schneider, Detmold. Die wissenschaftliche Begleitung wird durch das Land Hessen gefördert.

Abb. 5: Ansicht Kassel-Marbachshöhe



Kontakt: Dr. Wolfgang Feist, Passivhaus Institut, Rheinstraße 44/46, D-64283 Darmstadt;
Fon: +49-(0)6151-82699-0, Fax: 82699-11; E-Mail: passivhaus@t-online.de

Göteborg (S):

Das Teilprojekt umfasst 20 Reihenhäuser in 4 Zeilen mit je 120 m² Wohn- und Nutzfläche pro Einheit. Die Häuser werden komplett in Holzbauweise errichtet: Außenwände, Trennwände, Decken in leichter, hochisolierter Konstruktion. Außenfassade ist aus Holz.

Fenster mit U-Wert 0,85. Solaranlage für Warmwasser (50 % vom Jahresbedarf). Hocheffizienter Wärmetauscher für Lüftung (90 % Temperaturwirkungsgrad).

Vollständiger Verzicht auf Nachheizung für die Mithäuser. Energieeffiziente Haushaltsgeräte (Klasse A) werden installiert. Stromanschluss an Windkraftwerk in Göteborg. Besichtigungs- und Ausstellungshaus. Baukostenneutral gegen übliche schwedische Bauweise.

Architekt: Hans Eek, efem arkitektkontor, Göteborg; Bauherr: Kommunale Wohnungsbau-gesellschaft Egnahemsbolaget, Göteborg. Forschung und Messungen werden teilweise vom Schwedischen Forschungsrat für Baufragen und das Staatliche Energieamt finanziert.

Kontakt: Architekt Hans Eek, Göteborg Energi AB, Box 53, S-401 20 Göteborg;
Fon: +46-(0)31-626950; E-Mail: hans.eek@gotborgenergi.se



Abb. 6: Südansicht der Passivhäuser in Göteborg

Österreich (A):

Es werden an 10 Standorten in 4 Bundesländern verschiedene Typen von Passivhäusern mit insgesamt 116 Wohneinheiten (WE) und ca. 9.200 m² WNF errichtet. Die Standorte sowie Haustypen und Wohneinheiten sind aus der Tabelle 2 ersichtlich.¹ Die Konstruktionsarten der Gebäude sind sehr unterschiedlich: 3 Projekte werden als Massivbau mit Wärmedämmverbundsystem errichtet, alle anderen Projekte sind verschiedenartige Mischkonstruktionen mit massiven Tragsystemen und vorgefertigten Holzelement-Konstruktionen als Wand- und Dachelemente.

Technik: Bei den meisten Projekten werden Erdreichwärmetauscher für die Vorerwärmung der Zuluft eingesetzt. Alle Projekte nutzen aktiv die thermische Solarenergie zur Warmwasserbereitung und meist auch zur Heizungsunterstützung. Bei einigen Projekten kommen für die Restheizung Wärmepumpen bzw. sog. Kompaktaggregate (siehe weiter unten) zum Einsatz. Der Einsatz von Holzpellets für die Restheizung verbessert bei einigen Projekten zusätzlich die Klimabilanz. Die Wärmeabgabe bei drei Mehrfamilienhäusern (Kuchl, Gnigl und Hallein), eines davon im sozialen Wohnungsbau, erfolgt auf Wunsch der Bauherren mit Radiatoren. – Zu jedem österreichischen Teilprojekt ist eine Kurzdokumentation erhältlich.

Kontakt: Helmut Krapmeier, Energieinstitut Vorarlberg, Stadtstr. 33/CCD, A-6850 Dornbirn; Fon: +43-(0)5572-31202-80, Fax: -31202-4; E-Mail: office@cepheus.at

Egg/Vorarlberg	MFH	4	massiv	dez. WR; Erdreich-WT	Solar (35 m ²)	Zuluft, WP	13,0
Hörbranz/ Vorarlberg	RH	3	massiv	dez. WR; Erdreich-WT	Solar (18 m ²)	Zuluft, Mini-WP+Gasth.	10,8/14,9
Wolfurt/ Vorarlberg	2 MFH	10	Misch.	dez. WR; Erdreich-WT	Solar (43 m ²)	Zuluft, Pellets	13,5
Dornbirn-Knie/ Vorarlberg.	EFH-Muster	1	Misch.	dez. WR; Erdreich-WT	Solar (6 m ²)	Zuluft, Mini-WP	14,9
Dornbirn-Heinzenbeer/ Vorarlberg	5 MFH	32	Misch.	dez. WR; Erdreich-WT	Solar	Zuluft, Mini-WP	liegt noch nicht vor
Gnigl/Salzburg	MFH	6	Misch.	dez. WR;	Solar (20 m ²)	Zuluft + Heizkörper; Gas	13,9
Kuchl/Salzburg	2 MFH	25	Misch.	dez. WR;	Solar (100 m ²)	Heizkörper; Pellets	14,9
Hallein/Salzb.	4 MFH	31	Misch.	komb. dez. + zentr. WR	Solar (120 m ²)	Zuluft + Heizkörper; Pellets	10,3 - 12,4
Horn/ Niederösterreich	EFH	1	Misch.	WR; Erdreich-WT	Solar (10 m ²)	Zuluft, Fußboden im Bad; Pellets	14,8
Steyr/ Oberösterreich	RH	3	massiv	dez. WR; Erdreich-WT	Solar (5,5 m ²)	Zuluft; Gas-therme	11,6

Tabelle 2: Übersicht über die österreichischen Projekte

MFH - Mehrfamilienhaus; RH - Reihenhaus; EFH - Einfamilienhaus; WR - Wärmerückgewinnung; WT - Wärmetauscher; WP - Wärmepumpe

Nebikon/Luzern (CH):

17 Reihenhäuser in 3 Etappen. (Für das Projekt CEPHEUS ist die erste Bauetappe mit 5 Häusern maßgebend). Jedes der Häuser hat 4 1/2 Zimmer, verteilt auf 2 Geschosse, mit total 128 m² Nettogrundfläche.

Holzbauweise, vorgefertigte Elemente mit Steinwolle ausgedämmt. Die eingesetzten Fenster sind eine Neuentwicklung, mit kleineren Rahmenanteilen.

Haustechnik: Erdregister, kontrollierte Lüftung mit Wärmerückgewinnung, Wärmepumpe (Kompaktgerät). Jedes Haus hat seine eigene Lüftung/-Wärmebereitstellung.

Ein Haus dient als Mess- und Musterhaus, ein weiteres als reines Messobjekt. Finanzielle Anreize für die Käufer durch eine vergünstigte Hypothek.

Das Projekt wurde in Zusammenarbeit mit der Schweizerischen Hochschule für die Holzwirtschaft, SH-Holz, realisiert. In der Schweiz übernimmt das Bundesamt für Bildung und Wissenschaft (BBW) die finanzielle Unterstützung.

Kontakt: Max Renggli/Susan Amrhein, Renggli AG; Gleng, CH-6247 Schötz; Fon: +41-(0)62-748-2222/2241, Fax: -748-2223; E-Mail: mail@Renggli-haus.ch

Uwe Germerott, SH-Holz; Postfach 6071, CH-2500 Biel 6; Fon: +41-(0)32-344-0350, Fax: -344-9133; E-Mail: uwe.germerott@swood.bfh.ch



Abb. 7: Ansicht der Passivhaussiedlung der Renggli AG in Nebikon/Luzern (CH)

Rennes Beauregard (F):

Mehrfamilienhaus "Résidence Salvatierra" mit 40 Eigentumsappartements (46/64/77 m² sowie 6-Zimmer-Maisonettewohnungen à 117 m²), 6 Geschosse mit 2.738 m² Nutzfläche. Mischbauweise: Beton- und Holzskelettbau, Verwendung heimischer ökologischer Baustoffe wie Leichtlehmsteine (50 cm in der Südfassade) und Flachsdämmplatten auf den anderen Fassaden; Holzverschalung, Naturfarben im Innenbereich. Solare Warmwasserbereitung, Wärmerückgewinnung mit Restwärme aus Fernwärmenetz. Nutzung eines Apartments über 1 Jahr für Besichtigungen, Ausstellungen u. ä. Organisation der Eigentümer in einer Genossenschaft.

Kontakt: Thierry Wagner, Coop de Construction 9, Boulevard de la Tour d' Auvergne, F-35043 Rennes Cedex; Fon: +33-(0)2-9935-0135, Fax: -9935-1300 E-Mail: coop.de.construction@wanadoo.fr



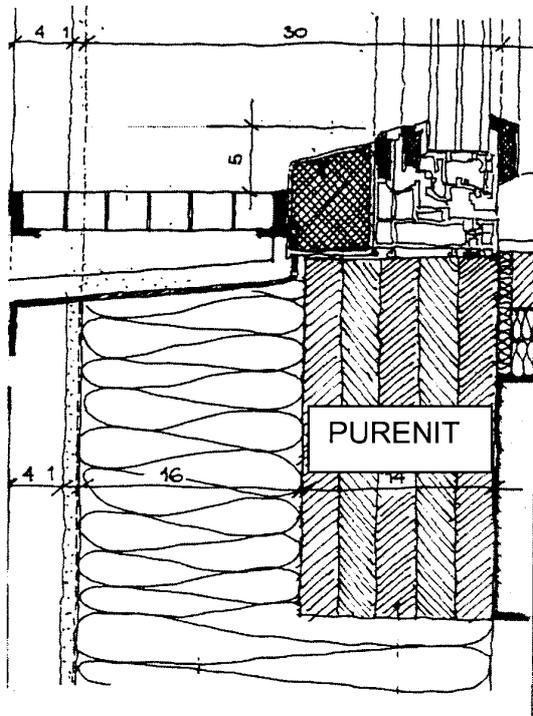
Abb. 8: Ansicht des Projekts Salvatierra in Rennes (F)

4.4 Übersicht über Detaillösungen

Der Passivhausstandard wurde bei den einzelnen Projekten mit einer großen Bandbreite unterschiedlicher Bauweisen und Detaillösungen erreicht.

Bauweise: Die Mehrzahl der Häuser sind in Mischbauweise mit massivem Kern und einer Leichtbauhülle konzipiert (Trennung von statischen und dämmenden/wetterschützenden Funktionen). Die Leichtbauteile werden in der Regel elementiert und komplett vorgefertigt auf die Baustelle geliefert. Dieses Vorgehen garantiert werkgeprüfte gleichbleibende Qualität und verkürzt zugleich die Bauzeiten. Aber auch komplette Holzleichtbaukonstruktionen (in Schweden) und reine Massivbauten (in Rennes/F und bei einigen österreichischen Projekten) sind vertreten. Die Häuser sind teilweise unterkellert, teilweise auch ohne Keller flachgegründet.

Als Außenwandaufbau kommen alle gängigen Konstruktionen von diversen Leichtbauweisen (Holzständer, Holztafel) über zweischalige Bauweisen mit einer tragenden Schale aus Beton oder Mauerwerk und einem außenliegenden Wärmedämmverbundsystem bis hin zu monolithischen Außenwänden mit 50 cm starken Leichtlehmsteinen auf der Südfassade des Projekts in Rennes/F zum Einsatz.

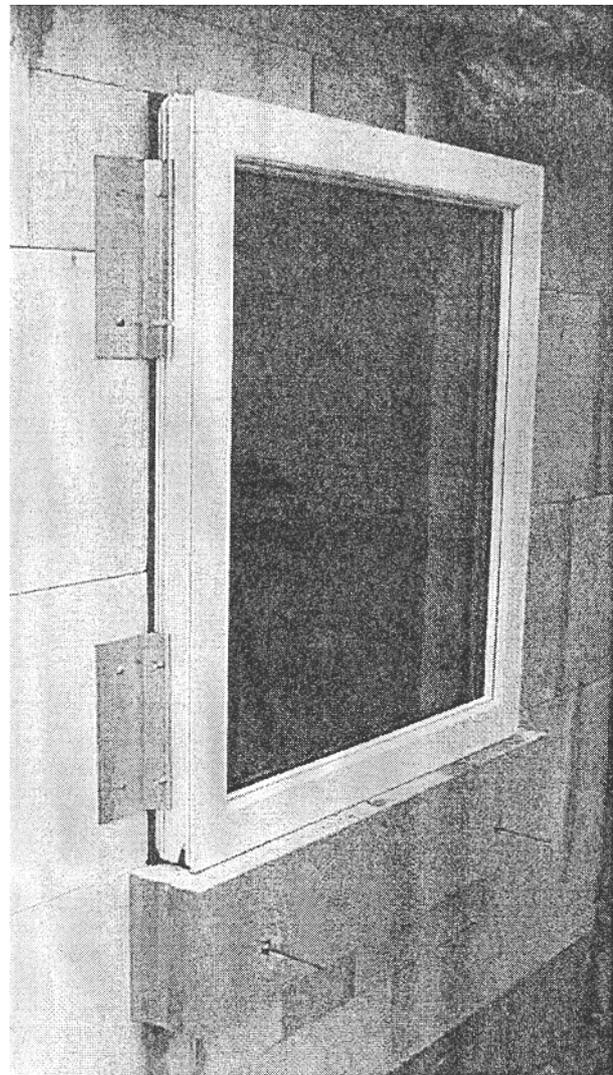


A

bb. 11 +12 :Anschluss Terrassentür - Balkon, Projekt Kassel-Marbachshöhe

Sehr vielfältig sind die Lösungen zur Vermeidung von Wärmebrücken an den diversen Anschlusspunkten. So stehen z. B. beim Projekt Kassel die Fenster und die Terrassentüren auf einer Konsole aus „PURENIT“ (hochdruckfestes PU-Recyclat mit einem λ -Wert von 0,07 W/(mK)) außen vor der tragenden Wand aus Kalksandstein. Dadurch sind optimal an die Dämmebene des Wärmedämmverbundsystems angeschlossen.

Lösungen zur Gewährleistung der Luftdichtheit: Bei den Leichtbauteilen wird dies grundsätzlich durch Folien gewährleistet, die an Anschlusspunkten überlappt und verklebt bzw eingeputzt werden. Durchdringungen müssen in Handarbeit meist recht arbeitsaufwendig abgeklebt werden. Hier ist die Entwicklung vorfabrizierter Systemlösungen gefragt.



Das Fenster steht auf einer Konsole aus "PURENIT $\lambda=0,07$ W/(mK)" außen vor der Fassade und ist dadurch optimal an die Dämmebene des WdVS angeschlossen.

Verglasung: Bei fast allen Projekten ist der Einsatz von 3-Scheiben-Wärmeschutzverglasung mit Argon- oder Kryptonfüllung ($U\text{-Wert} \leq 0,75$, $g\text{-Wert} \geq 50 \%$) eine Voraussetzung, um die $W/(m^2a)$ aus. – Exkurs: Das gibt einen Hinweis darauf, dass den mittleren und südlichen maritimen Klimazonen Europas der Verzicht auf ein konventionelles Heizsystem mit deutlich geringerem Aufwand erreichbar sein dürfte. Bei den im Mittelmeerraum oft anzutreffenden völlig unzulänglichen Heizsystemen, die zu erheblichen Beeinträchtigungen des Wohnkomforts im Winter führen, gegen die dann vielfach mit elektrischen Direktheizsystemen notdürftig angekämpft wird, könnte der Passivhausansatz so nicht nur dem Klimaschutz, sondern auch der Verbesserung des Wohnkomforts dienen. Wer jemals in einem nicht vernünftig heizbaren Haus in der Toskana eine verregnete Woche im April verbracht hat, weiß wovon die Rede ist! Dies ist jedoch ein Thema, das noch näher zu untersuchen wäre.

Fensterrahmen: Bei den Rahmen kommen überwiegend Verbundlösungen von PU mit Holz und/oder Aluminium zum Einsatz, aber auch reine Holzrahmen. Die wärmetechnische Schwachstelle „Fensterrahmen“ wird oft durch weitgehende Überdeckung des Rahmens durch die Wärmedämmung der Außenwand in der Wirkung reduziert.

Lösungen für Lüftung und Wärmerückgewinnung: In allen Projekten kommen balancierte Zu- und Abluftsysteme mit hocheffizienter Wärmerückgewinnung ($0_{WRG} \geq 75 \%$) aus der Abluft zum Einsatz. Bei den meisten Projekten wird die Zuluft in einem Erdreichwärmetauscher vorerwärmt.

Wärmeverteilung: Bei den meisten Projekten erfolgt die Wärmeverteilung entsprechend der Grundphilosophie des Passivhausansatzes ausschließlich über die Zuluft im Rahmen der hygienisch erforderlichen Luftmengen. Nur bei den drei Mehrfamilienhausprojekten in Salzburg (Kuchl mit 25 Sozialwohnungen, Hallein mit 31 und Gnigl mit 6 Miet- und Eigentumswohnungen) sind zusätzlich Niedertemperaturradiatoren vorgesehen. Dies war aus Akzeptanzgründen angesichts mangelnder praktischer Erfahrungen über die Vermietbarkeit und die Nutzung durch (Sozial-) Mieter erforderlich. - Beim Projekt in Hannover wurde jeweils im Bad ein Mini-Heizkörper als Handtuchtrockner und für die Möglichkeit eines gezielt höheren Temperaturniveaus im Bad eingebaut. Da dieser jedoch regelungstechnisch dem Haus thermostat mit unterliegt, ist er außer in Anheizphasen, in denen er eine zusätzliche Wärmeleistung einbringt, praktisch funktionslos. Wenn die Raumtemperatur im Haus nämlich den Sollwert erreicht hat, drosselt die Regelung auch die Wärmeversorgung dieses Heizkörpers ab.

Nachheizlösungen: Praktisch die gesamte Bandbreite denkbarer Lösungen kommt zum Einsatz: Anschluss an vorhandene Fern- oder Nahwärmesysteme (Hannover, Kassel, Rennes); zentrale und dezentrale Heizkessel oder -thermen mit verschiedenen Energieträgern, u. a. auch Holzpellets (Wolfurt/A, Kuchl/A, Hallein/A, Horn/A); klassische Wärmepumpen (Egg/A); sog. Kompaktaggregate, d. h. eine Kombination von Lüftungswärmetauscher mit Nachheizregister in der Zuluft und Wärmepumpe in der Abluft (Hörbranz/A, Dornbirn-Knie/A, Dornbirn-Heinzenbeer/A, jeweils Aerex-Aggregate). Bei dem Projekt von Eek in Göteborg wird bei den Reihenmittelhäusern vollständig auf die Installation einer Nach- oder Notheizung verzichtet. Im (unerwarteten) Falle eines Falles sollen sich die Bewohner mit einem billigen elektrischen Heizgerät behelfen. – Bei der Nahwärmeversorgung in Hannover wurden im ersten Betriebsjahr sehr hohe Bereitschaftsverluste im Sommer (80 % der aus dem Nahwärmenetz übergebenen Wärme) bei Dauerbetrieb der Zirkulation festgestellt. Durch zeitgesteuerte Ladeintervalle der hausinternen Speicher zweimal am Tag sollen diese Verluste zukünftig reduziert werden.

Ausstattung mit effizienten elektrischen Geräten: Bei allen Projekten wurde durch Beratung und z. T. durch finanzielle Anreize auf eine Ausstattung mit effizienten Haushaltsgeräten und Beleuchtungen hingewirkt. Inwieweit die angestrebten niedrigen Stromverbräuche damit erreicht werden konnten, muss die noch anstehende Evaluierung zeigen.

Klimaneutrale regenerative Restenergiebedarfsdeckung: Die Idee einer in den Kaufpreis der Häuser/Wohnungen integrierten Beteiligung an einer Windkraftanlage, die zuerst nur in Hannover vorgesehen war, wurde auch vom Projekt in Rennes aufgegriffen. Neben der aktiven thermischen Solarnutzung kommt bei einigen Projekten auch Biomassenutzung (Holz) für die Restwärmeversorgung sowie fotovoltaische Stromerzeugung zum tragen.

4.5 Ergebnisse, bisher erreichte Ziele

Etlche der Zielsetzungen des Projekts können bereits vor Abschluss als weitgehend erreicht angesehen werden.

Die grundsätzliche Realisierbarkeit des Passivhausstandards in unterschiedlichen Bauformen und Bauweisen in ganz Europa kann aufgrund der bereits realisierten und z. T. bereits bewohnten Teilprojekte und der dafür durchgeführten Berechnungen und Tests als gesichert angesehen werden: Die bisher durchgeführten Qualitätstests zeigen, dass die hohen Qualitätsanforderungen hinsichtlich Wärmebrückenfreiheit und Luftdichtheit durchgehend eingehalten werden konnten. Ebenso konnten die hohen Effizienzanforderungen an die technischen Systeme zur Lüftung, Wärmerückgewinnung und Nachheizung realisiert werden.

Die Ergebnisse der Blowerdoor-Tests halten alle den selbst gesetzten Grenzwert von max. $0,6 \text{ h}^{-1}$ (Luftwechsell pro Stunde) bei 50 Pascal Über- bzw. Unterdruck ein. Überwiegend liegen sie sogar deutlich darunter. Bei den Reihenhäusern in Hannover z. B. liegen die Werte zwischen $0,17$ und $0,40 \text{ h}^{-1}$, der Mittelwert für alle 32 Häuser bei $0,29$. Solche guten Werte lassen sich zuverlässig nur durch eine Kombination von sorgfältiger Konzeptionierung und Planung, guter Bauausführung und Qualitätssicherung erreichen. Für viele Architekten und Planer stellt diese Anforderung zur Luftdichtheit noch eine große Herausforderung dar, insbesondere wenn diese noch keine Erfahrungen mit dem Niedrigenergiehaus (NEH)-Standard haben.

Die Ergebnisse der Berechnungen mit dem Passivhaus-Projektierungspaket (PHPP) zeigen, dass alle Projekte den Grenzwert für den Heizwärmebedarf von $15 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ einhalten (Abb. 13 + 14). Die meisten Projekte erreichen dies mit U-Werten für die opaken Außenbauteile um $0,1$ und für die Fenster um $0,8$ bis $0,9 \text{ W}/(\text{m}^2\text{a})$, womit die Transmissionsverluste auf rund $30 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ begrenzt werden können. Ausnahmen sind zum einen Göteborg, wo für das gleiche Ergebnis eine noch besser gedämmte opake Hülle erforderlich ist (U-Wert bei $0,7$), zum anderen Rennes, wo U-Werte um $0,2$ für die opaken und von $1,3$ für die transparenten Außenbauteile ausreichen. Höhere Verluste in Einzelfällen (Göteborg, Salzburg, Rennes) werden durch höhere Gewinne ausgeglichen.

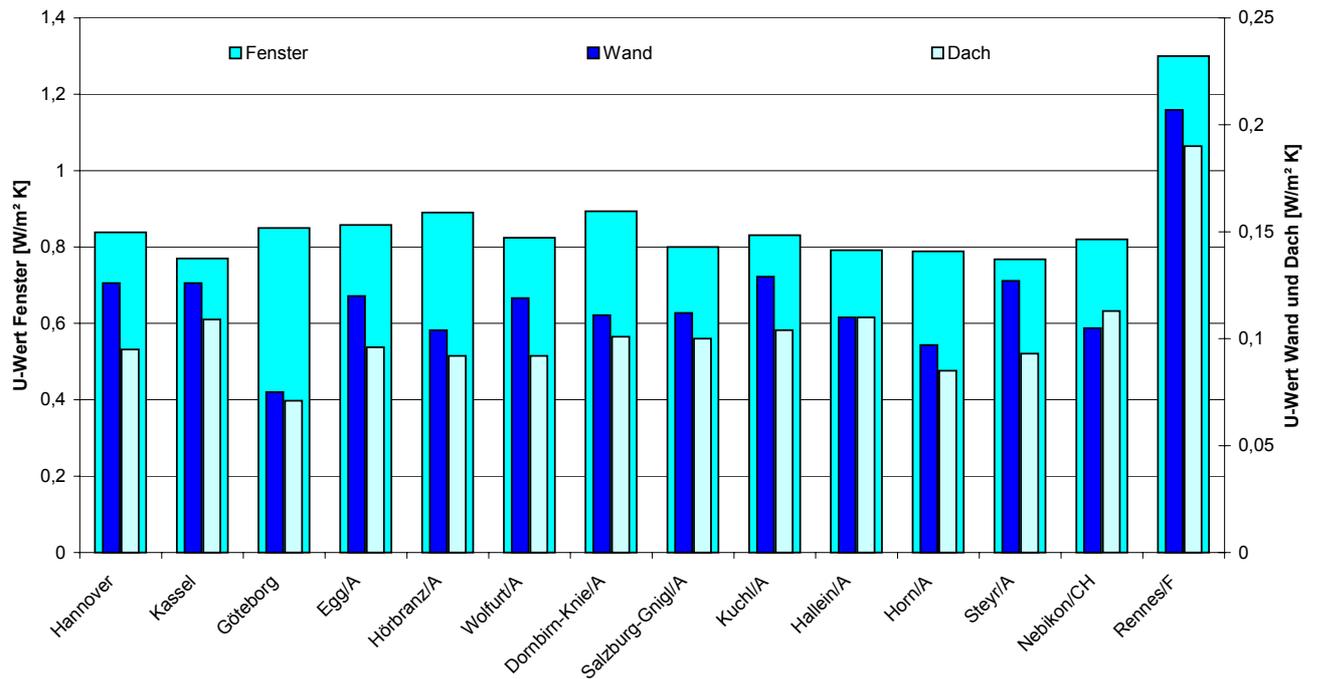


Abb. 13: U-Werte der CEPHEUS-Teilprojekte

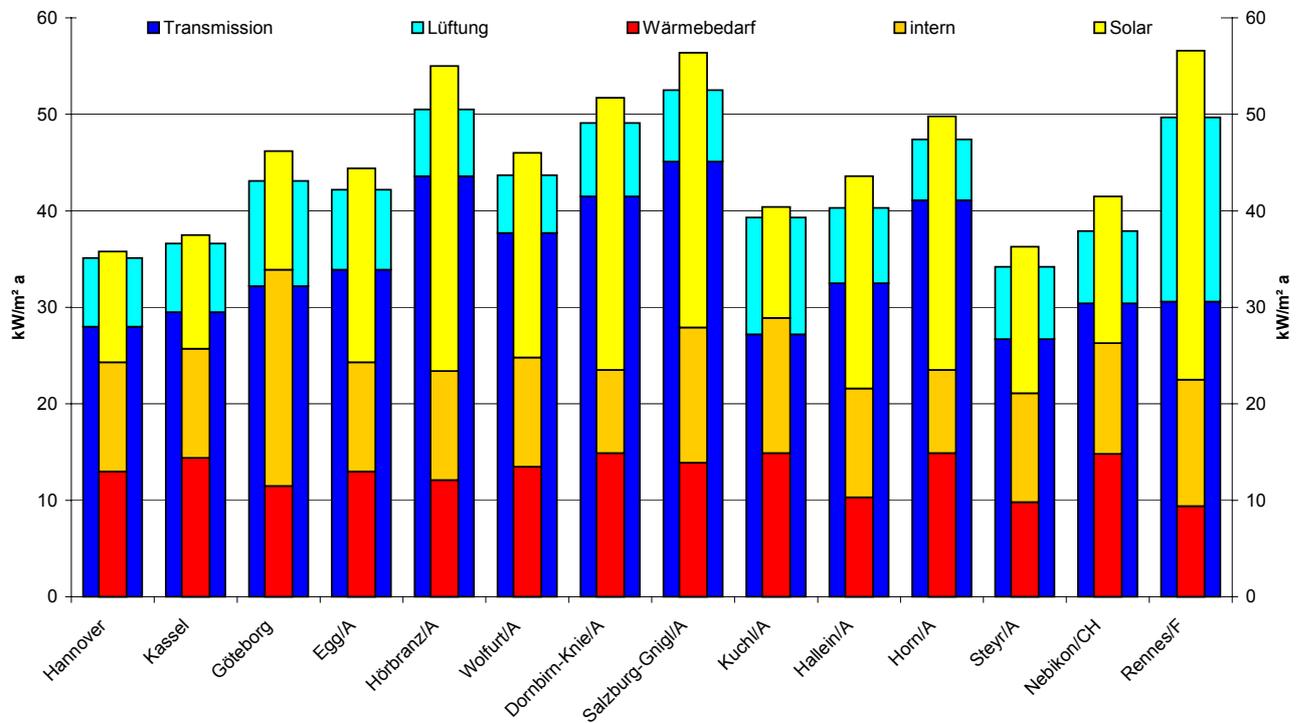


Abb. 14 Wärmeverluste und Wärmeangebote der CEPHEUS-Teilprojekte

Die Messergebnisse aus der ersten Heizperiode vom 01.10.1999 bis zum 30.04.2000 (Abb. 15) halten mit einem Mittelwert von **14,9 kWh/(m²a)** den Zielwert für den **Heizwärmeverbrauch** von 15 kWh/(m²a) zwar ein, liegen jedoch etwas über dem zuvor mit dem PHPP berechneten Wert von 12,2 kWh/(m²a). Im Vergleich mit dem ebenfalls mittels des PHPP berechneten mittleren Heizwärmeverbrauchs von 107,5 kWh/(m²a) bei einem Dämmstandard gemäß den Anforderungen der geltenden Wärmeschutzverordnung von 1995 ergibt sich jedoch immer noch eine **Einsparung von 86 %**.

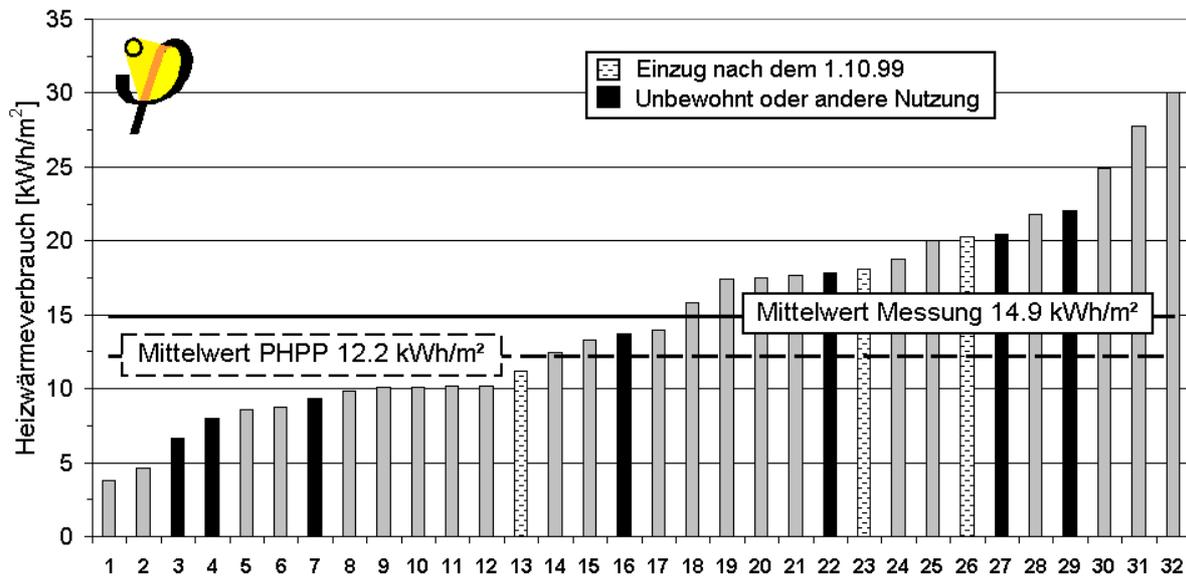


Abb. 15: Spezifische Heizwärmeverbräuche der 32 Passivhäuser am Kronsberg in der ersten Heizperiode (ohne Verteilverluste) vom 1.10.1999 bis 30.04.2000

Quelle: Peper/Feist/Wenzel: Messdatenauswertung der klimaneutralen Passivhaussiedlung Hannover-/Kronsberg, Erste Heizperiode 1999/2000, Juli 2000

Diese Abweichung des gemessenen mittleren Heizwärmeverbrauchs vom zuvor berechneten lässt sich durch eine Reihe von Umständen erklären, die z. T. aus typischen Anlaufproblemen resultieren. So ließen sich z. B. die Nachheizregister aufgrund eines inzwischen beseitigten hydraulischen Planungsfehlers über einen längeren Zeitraum der betrachteten Heizperiode nicht zielgerecht steuern und liefen vielfach lange Zeit mit zu hoher Leistung. Dies zeigt auch die Analyse der gemessenen Heizleistungen. Diese liegen teilweise höher, als sie nach der berechneten Heizkurve hätten sein müssen, bzw. jenseits der Heizgrenztemperatur (Abb. 16).

Bei der Auswertung der Messdaten hat sich als **größter Tagesmittelwert der Heizleistungen** über alle Häuser **9,0 W/m²** ergeben. Für den Kernwinter (1.11.99 bis 29.02.2000) ergibt sich ein **Mittelwert der Heizleistung von 4,3 W/m²**. Im Tagesmittel aller Häuser ist damit die projektierte maximale Heizleistung von 10 W/m² auf jeden Fall eingehalten worden. Dies bedeutet nicht, dass bei den einzelnen Häusern nicht auch deutlich höhere Tagesmittelleistungen gemessen wurden. Als **maximaler Wert** wurden **18,3 W/m²** am 20.12.1999 registriert. Dies dürfte vermutlich auf einen Aufheizvorgang zurückzuführen sein. Ermöglicht wurden diese höheren Leistungen durch den zusätzlichen Badheizkörper.

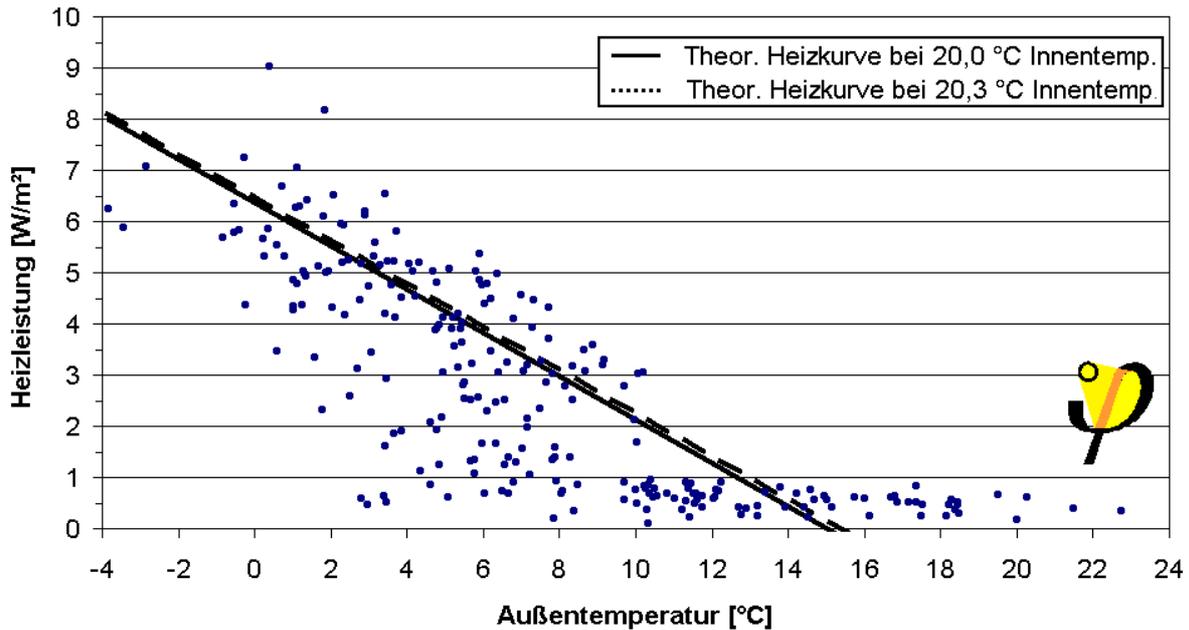


Abb. 16: Heizkurven der Passivhaussiedlung Lummerlund und gemessene tagesmittlere Heizleistungen im Vergleich zu tagesmittleren Außentemperaturen vom 1. Oktober 1999 bis 31. Mai 2000

Quelle: Peper/Feist/Wenzel: Messdatenauswertung der klimaneutralen Passivhaussiedlung Hannover-Kronsberg, Erste Heizperiode 1999/2000, Juli 2000

Die angestrebte Kostengünstigkeit konnte für einige Projekte bereits jetzt voll erreicht werden, insbesondere für die Projekte Kassel-Marbachshöhe (gebaut mit den normalen öffentlichen Mitteln des sozialen Wohnungsbaus) und Göteborg (ca. 2.500,- DM investive Mehrkosten je Haus). Bei anderen Projekten lagen die investiven Mehrkosten aufgrund der noch geringen Stückzahlen der nachgefragten passivhaustauglichen Komponenten noch so hoch, dass eine Kompensation durch eingesparte Betriebskosten nicht immer möglich sein dürfte. Allerdings liegen die Baukosten, bzw. die Verkaufspreise durchaus im Schwankungsbereich der Baukosten/Preise vergleichbarer Gebäude. Soweit es sich um Eigentumsobjekte handelt, ließen sich die Passivhäuser an eine ganz normale Mischung von Bauwilligen verkaufen. Aufgetretene Realisierungs- und Vermarktungsprobleme sind überwiegend Umständen anzulasten, die nicht speziell etwas mit dem Passivhausstandard zu tun haben (z. B. Überangebot von günstigen Reihenhäusern im Raum Hannover, Rückzug von Investoren in Dietzenbach, zu hohe Bodenpreise in Malmö, nicht zustande gekommenes Baurecht bei einigen österreichischen Projekten).

Die Vermarktungsergebnisse und die bisherigen Nutzererfahrungen belegen eine hohe Akzeptanz des Konzepts und einen hohen Wohnkomfort. Anfängliche Unsicherheiten, z. B. hinsichtlich des richtigen Lüftungsverhaltens, konnten durch entsprechende Einweisungen schnell beseitigt werden. Durch eine sozialwissenschaftliche Evaluierung des hannoverschen Teilprojekts sollen die sozialstrukturelle Zusammensetzung und die Motive der Erwerber, die Zufriedenheit mit der Technik und dem Wohnkomfort sowie das Nutzerverhalten noch eingehender analysiert werden.

Das angestrebte Setzen von Entwicklungsimpulsen für die Weiterentwicklung der Technologie und für die breitere Markteinführung des Passivhausstandards hat schon während der ersten Hälfte der Laufzeit des Projekts im wesentlichen aufgrund der Aktivitäten der

CEPHEUS-Partner –auch außerhalb des CEPHEUS-Projektzusammenhangs - eine ungeheure Dynamik erreicht (bereits über 600 realisierte Passivhäuser allein in Deutschland, stürmisch wachsende Resonanz auf PH-Tagungen und Weiterbildungsangebote, Vergrößerung der Zahl der Anbieter passivhaustauglicher Komponenten, Folgeprojekte der CEPHEUS-Partner, Umstellung der KfW-Förderung in Deutschland von NEH- auf Passivhausstandard, Einrichtung eines Impuls- und Förderprogramms für Passivhäuser durch die Stadtwerke Hannover AG im Rahmen des Klimaschutzfonds proKlima).

Die Präsentation des Konzepts ist schließlich an allen Standorten und durch alle Partner bereits im vollem Gange. Alle Projektpartner werden Wohnungen/Häuser für Besichtigungen, Ausstellungen und z. T. auch Probewohnen vorhalten. Eine zentrale Präsentation wird in Hannover in zwei Häusern der Siedlung „Lummerlund“ zur EXPO 2000 erfolgen. Siehe dazu die Info- und Kontakthinweise zu den Einzelprojekten. Über das CEPHEUS-Projekt als Ganzes und den Passivhausansatz informiert ein achtseitiger Projektfelder, der auch in englisch, französisch und schwedisch erhältlich ist. Mitte des Jahres wird voraussichtlich auch ein Video über das Gesamtprojekt erhältlich sein.

4.6 Erwartungen an die verbleibende Projektlaufzeit

Die noch im Bau befindlichen Häuser werden größtenteils bis Herbst, spätestens bis Ende d. J. fertiggestellt und bezogen sein. Soweit noch nicht vorhanden, werden zu allen Projekten Dokumentationen erstellt werden. Von Oktober 2000 bis September 2001 werden alle Häuser messtechnisch parallel nach einem gemeinsamen Standardprogramm evaluiert. Für einige Häuser sind intensivere Messprogramme vorgesehen. Für den Standort Hannover wird zusätzlich eine sozialwissenschaftliche Evaluierung erfolgen. Der zusammenfassende Abschlussbericht des Projekts wird etwa Ende des Jahres 2001 vorliegen.