



Energieinstitut Vorarlberg

enercity
positive energie

Die Marke der Stadtwerke Hannover

Passiv
Haus
Institut
Dr. Wolfgang Feist

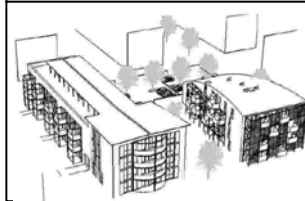


CEPHEUS-Projektinformation Nr. 35

Hannover (D) 32 Reihenhäuser



Kassel (D) 40 Wohnungen



Göteborg (S) 20 Reihenhäuser



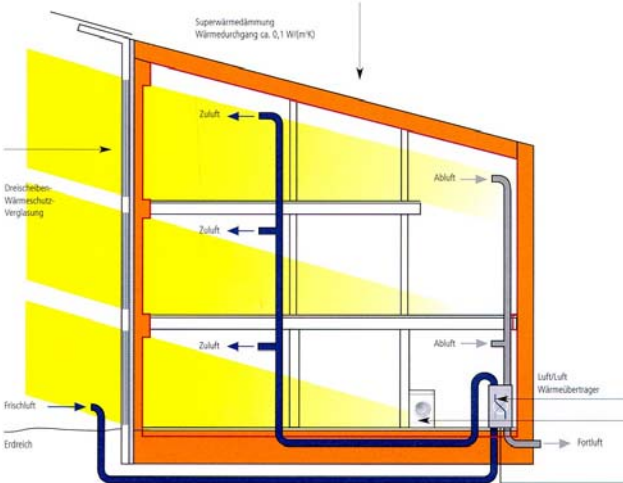
Nebikon(CH) 17 Reihenhäuser



Salzburg (A) 6 Wohnungen



CEPHEUS
cost efficient passive houses as european standards



Rennes(F) 40 Wohnungen



Steyr (A) 3 Reihenhäuser



Hörbranz (A) 3 Reihenhäuser



Horn (A) 1 freistehendes Haus



Wohlfurt (A) 10 Wohnungen



Hallein (A) 31 Wohnungen



Technischer Endbericht Juli 2001

Dornbirn (A) 1 freistehendes Haus



Kuchl (A) 25 Wohnungen



Egg (A) 4 Wohnungen



Aus dem Thermie-Programm der EU gefördertes Projekt (BU/0127/97)



Energieinstitut Vorarlberg

enercity
positive energie

Die Marke der Stadtwerke Hannover

*Passiv
Haus
Institut
Dr. Wolfgang Feist*



CEPHEUS-Projektinformation Nr. 35

Technischer Endbericht Juli 2001

Autoren:

Dr. Wolfgang Feist (PHI)
Dipl.-Ing. Søren Peper (PHI)
Dipl.-Ing. Manfred Görg (StWH)

Auftragnehmer:

PASSIVHAUS INSTITUT
Rheinstr. 44-46
D-64283 Darmstadt
E-Mail: passivhaus@t-online.de
www.passiv.de

Hannover 2001

Dieser Bericht entstand im Auftrag der Stadtwerke Hannover AG. Dieser Auftrag war Teil des im Thermie Programm geförderten europäischen Forschungsprojekts CEPHEUS - Cost Efficient Passive Houses as European Standards.

Bezug über Stadtwerke Hannover AG:
www.enercity.de/unternehmen/passivhaeuser

oder

Herr von Oesen
Glockseestraße 33
30169 Hannover
Fax: +49 (0)5 11 43 09 41 33 20
E-Mail: matthias.vonoesen@enercity.de

Zusammenfassung

Passivhäuser sind Gebäude, in denen der Heizwärmebedarf durch passive Maßnahmen so weit verringert wird, dass eine konventionelle Heizung nicht mehr erforderlich ist und das Zuluftsystem für die Restwärmeverteilung im wesentlichen ausreicht. Der Heizwärmebedarf der realisierten Gebäude liegt im Durchschnitt bei etwa 15 kWh/(m²a) und damit um über 80 % unter den gegenwärtig in den beteiligten Ländern gültigen baurechtlichen Regelungen.

CEPHEUS hat die Tragfähigkeit des Passivhauskonzeptes auf europäischer Ebene geprüft und erwiesen. In Deutschland, Schweden, Österreich, der Schweiz und Frankreich wurden insgesamt 221 Wohneinheiten in 14 Bauprojekten als Passivhäuser realisiert und bezogen.

In allen Bauprojekten sind Messkampagnen angelaufen; aus 11 der 14 Projekte werden in diesem Endbericht bereits gemessene Verbrauchswerte aus der ersten Heizperiode präsentiert. Trotz aller Erschwernisse, die für solche Erstjahresmessungen gelten; kann aus den Ergebnissen der wissenschaftlichen Auswertung bereits heute geschlossen werden, dass CEPHEUS ein voller Erfolg war

- bzgl. der Funktionsfähigkeit des Passivhaus-Konzeptes an allen Standorten,
- bzgl. des tatsächlichen Erreichens der Zielsetzung bei der Heizwärmeeinsparung, die schon im ersten Jahr über 80 % betrug,
- bzgl. der praktischen Ausführbarkeit von Passivhäusern in unterschiedlichen Baustilen und Bauweisen,
- bzgl. der betriebswirtschaftlichen Bewertung sowie
- bzgl. der Zufriedenheit der Bewohner.

Die Passivhaustechnik hat einen Innovationsschub in der Bauwirtschaft ausgelöst: Heute werden bereits mehr als 20 Passivhaus-Fensterprodukte (mit U_w -Werten unter 0,8 W/(m²K)) und 10 Passivhaus-Wärmerückgewinnungsgeräte (mit Wärmebereitstellungsgraden über 80 %) und 5 Wärmepumpen-Kompaktaggregate am Markt angeboten; bei Antragsstellung des CEPHEUS-Projektes beim Thermie-Programm der EU gab es entsprechende Qualitäten, die jeweils um mindestens einen Faktor 2 effizienter sind als heutige Standardprodukte, nur in handwerklicher Einzelfertigung. Europa hat auf diesem Gebiet eine klare Führungsrolle erlangt. Dies ist nicht nur ein Erfolg für den Umweltschutz und die Ressourcenschonung, sondern auch eine Chance für Innovation in der Bauwirtschaft. CEPHEUS hat alle Erfahrungen und die zentralen Planungsinstrumente für das Passivhaus-Konzept öffentlich zugänglich gemacht. Heute kann jeder Architekt in Europa sich diese Informationen zugänglich machen und Passivhäuser selbst umsetzen.

Inhaltsverzeichnis

1	Projektangaben	1
2	Ziel und generelle Beschreibung	3
2.1	Ziele des Projekts	3
2.1.1	Warum Passivhäuser bauen?	3
2.1.2	Definition des Passivhausstandards	3
2.1.3	Die strategischen Ziele des CEPHEUS-Projekts	4
2.2	Beschreibung der Standorte	5
2.3	Beschreibung der Installationen	7
2.3.1	Grundbausteine des Passivhauskonzepts	7
2.3.2	Übersicht über die Teilprojekte und ihre innovativen Komponenten	8
2.3.3	Superdämmung der opaken Bauteile	10
2.3.3.1	Sehr guter Wärmeschutz als Grundvoraussetzung für das Passivhaus	10
2.3.4	Reduktion der Wärmebrücken	13
2.3.4.1	Wärmebrücken	13
2.3.4.2	Wärmebrückenfreies Konstruieren	13
2.3.5	Luftdichtheit	15
2.3.6	Passivhaustaugliche Fenster	17
2.3.6.1	Grundanforderungen an das Fenster im Passivhaus	17
2.3.6.2	Passivhaus geeignete Verglasungen	17
2.3.6.3	Verluste am Glasrand und ihre Reduktion	17
2.3.6.4	Passivhaus-Fensterrahmen	18
2.3.6.5	Wärmebrückenfreier Einbau	18
2.3.6.6	Übersicht über die Fenster in den CEPHEUS-Projekten	19
2.3.7	Luftführung	19
2.3.8	Erdreich-Wärmetauscher zur Vorerwärmung der Zuluft	21
2.3.9	Hocheffiziente Lüftungswärmerückgewinnung	22
2.3.10	Aktive Solarnutzung	25
2.3.10.1	Beitrag der aktiven Solarenergienutzung	25
2.3.10.2	Lösungen innerhalb CEPHEUS	25
2.3.11	Verteilung der Heizwärme	26
2.3.11.1	Passivhaus-Besonderheit: Das "wie" der Heizung spielt keine Rolle	26
2.3.11.2	Lösungen innerhalb CEPHEUS	27
2.3.12	Wärmeversorgung bei den CEPHEUS-Projekten	28
2.3.12.1	Möglichkeiten zur Deckung des geringen Rest-Heizwärmebedarfs im Passivhaus	28
2.3.12.2	Lösungen innerhalb CEPHEUS	29
2.3.13	Ausstattung mit Beleuchtung und Haushaltsgroßgeräten	31
2.3.13.1	Elektroeffizienz bei den einzelnen CEPHEUS-Projekten	32
2.3.14	Bilanziell CO ₂ -neutrale Konzepte	35
2.4	Qualitätssicherungs- und Evaluierungskonzept	36
2.4.1	Projektierungen mit dem Passivhaus Projektierungs Paket PHPP	36
2.4.2	Simulationen	39
2.4.3	Baustellen- und Herstellerberatungen	40
2.4.4	Luftdichtheitstests	42
2.4.5	Thermografien	42

2.4.6	Einregulierung der Lüftungsanlagen	43
2.4.7	Messtechnische Evaluierung des Betriebs.....	43
2.4.7.1	Übergreifendes Konzept	43
2.4.7.2	Vertiefende Messungen.....	44
2.4.7.3	Ergänzende Messungen aus nationalen Programmen.....	44
2.4.8	Nutzer-Information	45
2.4.9	Sozialwissenschaftliche Evaluierungen.....	46
3	Errichtung, Installation, Inbetriebnahme.....	47
3.1	Lieferanten der Ausrüstungen und Dienstleistungen.....	47
3.2	Projektmanagement.....	47
3.3	Probleme, Lösungen, Erfolge	48
3.4	Änderungen (gegenüber dem Projektantrag).....	50
3.5	Zeitplan.....	51
3.6	Kosten	51
4	Umsetzung und Ergebnisse.....	53
4.1	Ablauf der Inbetriebnahme.....	53
4.2	Ergebnisse (Performance).....	53
4.2.1	Luftdichtheitstest.....	53
4.2.2	Energiekennwerte.....	55
4.2.2.1	Energiebilanzen der Projekte	55
4.2.2.2	Heizwärmeverbrauch	57
4.2.2.2.1	Messwerte des Heizwärmeverbrauchs	57
4.2.2.2.2	Standardisierte Jahresverbräuche	58
4.2.2.3	Warmwasserenergieverbrauch	59
4.2.2.4	Haushaltsstromverbrauch	60
4.2.2.5	End- und Primärenergieverbrauch	61
4.2.2.6	Heizleistungen	64
4.2.3	Bilanzielle CO ₂ -Neutralität.....	67
4.2.4	Einhalten der Komfortbedingungen.....	68
4.2.4.1	Raumtemperaturen Winter.....	68
4.2.4.2	Raumtemperaturen Sommer	70
4.2.4.3	Raumluftströmungen	71
4.2.4.4	Subjektive Komfortbeurteilungen durch die Bewohner.....	72
4.2.5	Nutzerakzeptanz.....	74
4.3	Erfolg des Projekts.....	75
4.3.1	Demonstration der Eignung des Passivhausansatzes als europäischer Standard für besonders energieeffizientes Bauen	76
4.3.2	Nachweis der Kostengünstigkeit.....	77
4.3.3	Impulsgebung für die breitere und beschleunigte Markteinführung des Passivhausansatzes	78
4.4	Betriebskosten.....	79

4.5	Zukunft der Projekte	82
4.6	Ökonomische Rentabilität	83
4.7	Umweltwirkungen	88
5	Öffentlichkeitsarbeit, Kommerzialisierung u. a.	90
5.1	Öffentlichkeitsarbeit und Veröffentlichungen	90
5.2	Patentaktivitäten	91
5.3	Ausblick	91
5.4	Kommerzialisierung	92
6	Gemachte Erfahrungen/Folgerungen.....	93
7	Literaturhinweise	95
8	Photos und Kurzdokumentationen der Projekte	99
9	Anhänge	113
9.1	Berechnung der Energiebezugsfläche TFA (zu Abschnitt 2.4.7.1)	113
9.2	Übersicht über Architekten, Planer und Hersteller.....	114
10	Liste der Teilberichte (Bezugsmöglichkeiten).....	116
11	Tabellenverzeichnis	116
12	Abbildungsverzeichnis	119

1 Projektangaben

Technischer Endbericht

Projektnummer: BU/127/DE/SE/AT

Projektname: CEPHEUS - Cost Efficient Passiv Houses as European Standards

1. Vertragspartner

2. Vertragspartner *

Name der Firma: Stadtwerke Hannover AG Passivhausinstitut (PHI)

Kontaktperson: Hr. Manfred Görg Hr. Dr. Wolfgang Feist

Adresse: Ihmeplatz 2 Rheinstr. 44/46
30449 Hannover 64283 Darmstadt
Deutschland Deutschland

Telefon Nr.: (+49) (511) (430-2784) (+49) (6151) (82699-0)
(Land) (Ort) (Durchwahl) (Land) (Ort) (Durchwahl)

Telefax Nr.: (+49) (511) (430-1846) (+49) (6151) (82699-11)
(Land) (Ort) (Durchwahl) (Land) (Ort) (Durchwahl)

Bericht vor- *Name der Firma:* Passivhausinstitut + Stadtwerke Hannover AG
bereitet von: *Kontaktperson:* Hr. Dr. Wolfgang Feist + Hr. Manfred Görg
Adresse:
Telefon Nr.: siehe oben

Vertragsunterzeichnung am: 27.03.1998

Berücksichtigter Zeitraum für den Endbericht 01/98 bis 03/01

Berichtsdatum: 30.07.2001 (*nächste Vertragspartner auf extra Blatt)

Projektnummer: BU/127/DE/SE/AT

3. Vertragspartner

Name der Firma: Rasch & Partner
Bauen & Wohnen GmbH
Kontaktperson: Hr. Folkmar Rasch
Adresse: Steubenplatz 12
64293 Darmstadt
Deutschland

4. Vertragspartner

EFEM arkitektkontor
Hr. Hans Eek
Brogatan 2
41301 Göteborg
Schweden

Telefon Nr.: (+49) (6151) (8251-0) (+46) (31) (626-950)
(Land) (Ort) (Durchwahl) (Land) (Ort) (Durchwahl)

Telefax No.: (+49) (6151) (8251-99) (+46) (31) (626-885)
(Land) (Ort) (Durchwahl) (Land) (Ort) (Durchwahl)

5. Vertragspartner

Name der Firma: Energieinstitut Voralberg
Kontaktperson: Hr. Helmut Krapmeier
Adresse: Stadtstr. 33
6850 DORNBIRN
Österreich

6. Vertragspartner

COOP de Construction
Hr. Thierry Wagner
9, Boulevard de la Tour d'Auvergne
35043 Tennes cedex
Frankreich

Telefon Nr.: (+43) (5572) (31202-61) (+49) (6151) (82699-0)
(Land) (Ort) (Durchwahl) (Land) (Ort) (Durchwahl)

Telefax No.: (+43) (5572) (31202-4) (+49) (6151) (82699-11)
(Land) (Ort) (Durchwahl) (Land) (Ort) (Durchwahl)

7. Vertragspartner

Name der Firma: RENGGLI AG
Kontaktperson: Hr. Max Renggli
Adresse: Gleng
6247 Schötz/LU
Schweiz

Telefon Nr.: (+41) (62) (74822-22)
(Land) (Ort) (Durchwahl)

Telefax No.: (+41) (62) (74822-23)
(Land) (Ort) (Durchwahl)

2 Ziel und generelle Beschreibung

2.1 Ziele des Projekts

2.1.1 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.

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.

Theoretische Modellrechnungen und praktische Erfahrungen mit zahlreichen Projekten zeigen, dass eine solche Strategie, die vorrangig auf Verlustminimierung setzt, unter mitteleuropäischen und vergleichbaren Klimabedingungen grundsätzlich effizienter ist als Strategien, die vorrangig auf die passive oder aktive Solarenergienutzung setzen.

2.1.2 Definition des Passivhausstandards

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

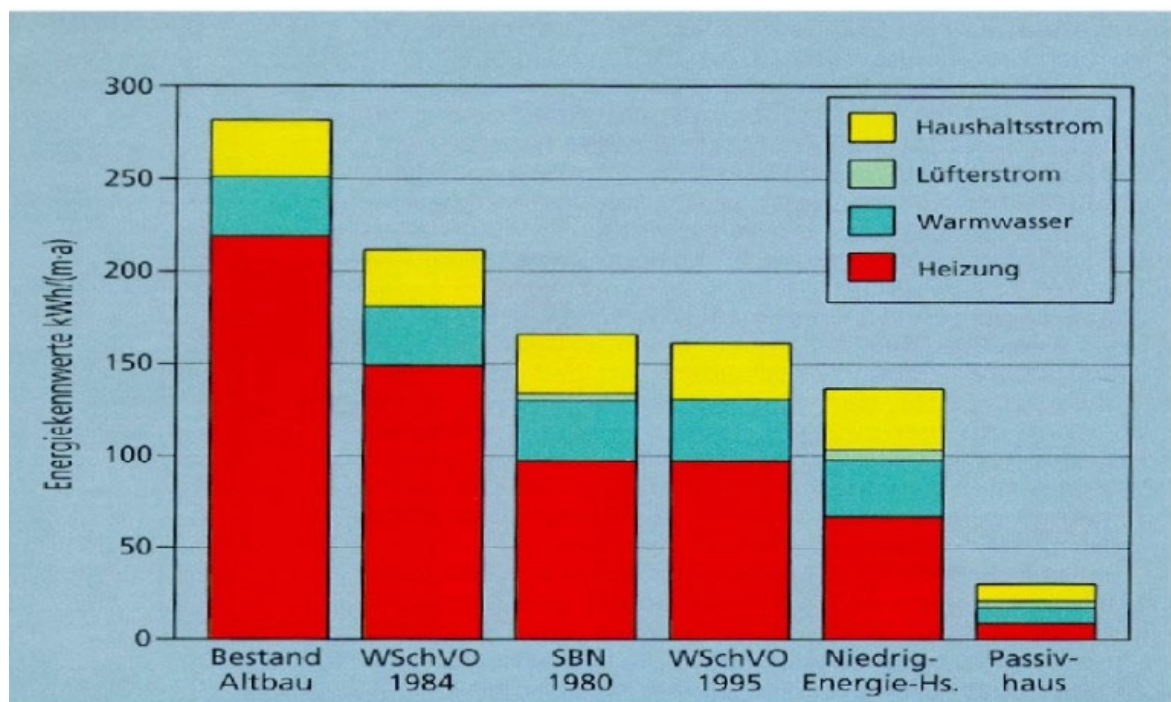


Abbildung 1: Vergleich der spezifischen Energieverbräuche von Wohngebäuden

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 Jahresraumwärmebedarf in Mitteleuropa nicht über 15 kWh/(m²a) liegt. Dieser geringe Raumwärmebedarf kann dann durch eine Erwärmung der Zuluft über das ohnehin vorhandene Lüftungssystem erfolgen. Passivhäuser brauchen etwa 80% weniger Heizwärme als Neubauten nach der deutschen Wärmeschutzverordnung 1995.

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-Projektes ist es, dass der gesamte Primärenergiebedarf für Heizung, Warmwasser und Hausgeräte 120 kWh/(m²a) nicht überschreitet. Dies liegt um den Faktor 2 - 4 niedriger, als die spezifischen Verbrauchswerte von Neubauten nach den jeweils geltenden Vorschriften in Europa.

2.1.3 Die strategischen Ziele des CEPHEUS-Projekts

Mit dem Bau und der wissenschaftlichen Evaluierung des Betriebs von 221 Wohneinheiten im Passivhausstandard in fünf europäischen Ländern wurden entsprechend dem Projektantrag folgende Ziele verfolgt:

- 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;
- Prüfung der Anwendbarkeit des Qualitätsstandards für Passivhäuser in mehreren europäischen Ländern in Bezug auf deren kostengünstige Planung und Erstellung;
- 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.)

2.2 Beschreibung der Standorte



Abbildung 2: Die CEPHEUS-Teilprojekte und ihre Standorte

Projektbezeichnung	Adresse	Bundesland/ Region	Länge	Breite	Höhe ü NN	Gebäude und Nachbarbebauung
CEPHEUS 01 Germany, Hannover	D-30539 Hannover	Niedersachsen	E 9°44'	N 52°22'	90	4 Haustypen: Jangster, Jangster de Lüz (Endhaus), Jangster de Lüz (Mittelhaus), "123"
CEPHEUS 02 Germany, Kassel	D-34131 Kassel	Hessen	E 9°27'	N 51°18'	237	2 Baukörper auf ehemaligem Kasernengelände, Umgebung: Geschloßwohnungsbauten
CEPHEUS 03 Sweden, Göteborg	S-42742 Göteborg	Bildal	E 12°0'	N 57°42'	5	4 Reihenhauseszeilen mit 4 bzw. 6 Wohneinheiten
CEPHEUS 04 Austria, Egg	A-6863 Egg	Vorarlberg	E 9°54'	N 47°26'	545	Mehrfamilienhaus mit aufgelockerter Nachbarbebauung
CEPHEUS 05 Austria, Hörbranz	A-6912 Hörbranz	Vorarlberg	E 9°45'	N 47°33'	426	Reihenhauseszeile mit aufgelockerter Nachbarbebauung
CEPHEUS 06 Austria, Wolfurt	A-6922 Wolfurt	Vorarlberg	E 9°45'	N 47°28'	420	2 baugleiche Gebäude (Mehrfamilienhäuser)
CEPHEUS 07 Austria, Dornbirn	A-6850 Dornbirn	Vorarlberg	E 9°45'	N 47°25'	440	Einfamilienhaus mit aufgelockerter Nachbarbebauung
CEPHEUS 08 Austria, Gnigl	A-5020 Gnigl	Salzburg	E 13°5'	N 47°49'	450	Kompaktes Mehrfamilienhaus Horizontverschattung durch Gebirge
CEPHEUS 09 Austria, Kuchl	A-5431 Kuchl	Salzburg	E 13°9'	N 47°38'	469	2 L-förmig angeordnete Baukörper
CEPHEUS 10 Austria, Hallein	A-5400 Hallein	Salzburg	E 13°6'	N 47°41'	445	4 Baukörper mit 3 bzw. 4 Geschossen, um einen Innenhof angeordnet
CEPHEUS 11 Austria, Horn	A-3580 Horn	Niederösterreich	E 15°40'	N 48°40'	309	Einfamilienhaus mit aufgelockerter Nachbarbebauung
CEPHEUS 12 Austria, Steyr	A-4407 Steyr	Oberösterreich	E 14°25'	N 48°5'	300	Reihenhäuser mit unverschatteter Südfassade
CEPHEUS 13 Switzerland, Nebikon	CH-6244 Nebikon	Luzern	E 7°59'	N 47°11'	492	Reihenhauseszeilen, gestaffelt
CEPHEUS 14 France, Rennes	F-3500 Rennes	Bretagne	W 1°43'	N 48°4'	37	Mehrfamilienhaus im Städtisches Wohnumfeld

Tabelle 1: Standortdaten der CEPHEUS-Projekte

2.3 Beschreibung der Installationen

2.3.1 Grundbausteine des Passivhauskonzepts

Wodurch wird ein Gebäude zum Passivhaus? Die unter Abschnitt 2.3 detaillierter beschriebenen einzelnen Komponenten des Passivhauskonzepts lassen sich unter folgende Grundbausteine subsummieren:

1. Superdämmung

Passivhäuser haben eine besonders gute Wärmedämmung, vermeiden Wärmebrücken und haben eine hohe Luftdichtheit. Die Beachtung bestimmter Mindestanforderungen an die Dämmqualität ist wichtig, um ohne Komfortverluste auf Heizkörper verzichten zu können.

2. Kombination von effizienter Nachheizung mit Wärmerückgewinnung

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 nacherwärmt. Eine zusätzliche Vorerwärmung der Frischluft über einen Erdreich-Wärmetauscher ist möglich und senkt den Nachheizbedarf noch weiter.

3. Passive Solarnutzung

Südorientierte 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 ein Drittel 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.

4. 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 sehr stark gegenüber dem Durchschnitt im Bestand reduziert. Die gesamte Haustechnik ist höchst effizient. So läuft z. B. die Lüftungsanlage mit besonders effizienten Gleichstrommotoren. Effiziente Geräte sind oft nicht teurer als durchschnittliche, bzw. sie rechnen sich durch die Stromkosteneinsparungen.

5. Restenergiebedarfsdeckung durch erneuerbare Energieträger

Eine kostenoptimierte 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. Passivhäuser ermöglichen so zu marktgängigen Preisen klimaneutrale Wohnungsneubauten.

Die drei erstgenannten Grundbausteine sind für das Passivhauskonzept konstitutiv. Für das Ziel einer größtmöglichen Umweltentlastung sind die beiden anderen Bausteine jedoch notwendige (Stromeffizienz), bzw. sinnvolle (regenerative Restenergiebedarfsdeckung) Ergänzungen.

2.3.2 Übersicht über die Teilprojekte und ihre innovativen Komponenten

Projekt	Gebäudeart	Konstruktion	Wohneinheiten	Energiebezugsflächen	Wohnnutzfläche	Q _H (berechnet) [kWh/(m ² a)]	Q _H (gemessen*) [kWh/(m ² a)]
CEPHEUS 01 Germany, Hannover	Reihenhaus	Mischbauweise; Tragende Struktur aus Betonfertigteilen; Außenwand und Dach als vorgefertigte Holzleichtbauelemente	32	3576	3805	11,8	15,3
CEPHEUS 02 Germany, Kassel	Geschoss-Wohnungsbau	Massivbau (Kalksandstein mit Wärmedämmverbundsystem)	40	3055	3164	13,4	15,1
CEPHEUS 03 Sweden, Göteborg	Reihenhaus	Holzbau	20	2635	ca. 2704	12,4	n.n.
CEPHEUS 04 Austria, Egg	Mehrfamilienhaus	Massivbau (Ziegelmauerwerk mit Wärmedämmverbundsystem)	4	310	321	15,7	24,5
CEPHEUS 05 Austria, Höbranz	Reihenhaus	Massivbau (Ziegelmauerwerk mit Wärmedämmverbundsystem)	3	381	370	13,8	7,5
CEPHEUS 06 Austria, Wolfurt	Mehrfamilienhaus	Mischbauweise: Stahlskelettkonstruktion mit Stahlbetondecken und aus-streifenden Betonscheiben, Außenwände aus vorgefertigten Holzelementen	10	1296	1200	13,5	15,7
CEPHEUS 07 Austria, Dornbirn	Einfamilienhaus	Mischbauweise: Stahlskelett und Stahlbetondecken, vorgefertigte Holzleichtbau-Wandelemente	1	125	133	19,7**)	33,2
CEPHEUS 08 Austria, Gnigl	Mehrfamilienhaus	Stahlbetonschottenbauweise, Außenwände als selbsttragende Leichtbaukonstruktion	6	329	337	18,0**)	25,7
CEPHEUS 09 Austria, Kuchl	Mehrfamilienhaus	Mischbauweise: Stahlbetondecken auf Stahlstützen, vorgestellte Außenwände in Holzleichtbaukonstruktion	25	1798	1400	15,1	14,3
CEPHEUS 10 Austria, Hallein	Geschoss-Wohnungsbau	Mischbauweise: Stahlbetonskelettbauweise kombiniert mit Holzrahmenbauweise	31	2318	2340	13,9	n.n.
CEPHEUS 11 Austria, Horn	Einfamilienhaus	Fertigteilhaus in Mischbauweise, Teile der Außenwände (O, W, N) als Mauerwerk, sonst vorgefertigte Holzbauelemente	1	173	170	16,2	29,0
CEPHEUS 12 Austria, Steyr	Einfamilienhaus	Massivbau (Kalksandstein mit Wärmedämmverbundsystem)	3	467	468	12,3	18,1
CEPHEUS 13 Switzerland, Nebikon	Reihenhaus	Holzbau	5	613	641	15,0	21,0
CEPHEUS 14 France, Rennes	Mehrfamilienhaus	Tragende Konstruktion als Stahlbetonskelettbau; südliche Außenwand als Strohlehmwand (EG bis 3.OG); sonst. Außenwände in Holzbauweise	40	2601	2744	27,2**)	n.n.

*₁) aus Messungen in der ersten Heizperiode hochgerechnet und standardisiert, vgl. Abschnitt 4.2.2.2 / n.n.: noch keine Messergebnisse über ausreichend lange Zeiträume
***) zu den Überschreitungen des Zielwertes von 15 kWh/(m²a) siehe Abschnitt 2.4.1

Tabelle 2: Übersicht über die CEPHEUS-Projekte
(Gebäudeart, Konstruktion Wohneinheiten, Flächen, Wärmebedarf)

CEPHEUS project		building type		construction		TFA	detailed breakdown of the innovative technologies													
Projekt No.	CEPHEUS - projekt titel	detached houses	terraced houses	multy-family houses	massive + exterior insulation	mixed construction	light weight construction	Treated floor area per DU (min-max) [m ²]	1. Superinsulation	2. Thermal bridge reduction	3. Airtightness	4. Subsoil air preheater	5. Hygienic ventilation	6. Heat recovery	7. Passive solar energy utilization	8. Superwindows	9. Active solar energy utilization (x = thermal; PV)	10. Innovative compact building services	11. Efficient household appliances	12. Zero-energy-balance settlements
01	Germany, Hannover	32			x			75-120	x	x	x		x	x	x	x	x		x	x
02	Germany, Kassel			40	x			67-83	x	x	x		x	x	x	x	PV			
03	Sweden, Gothenburg	20					x	138	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	
04	Austria, Egg			4		x		75-81	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	
05	Austria, Hörbranz	3			x			126-129	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
06	Austria, Wolfurt			10	x			71-168	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	
07	Austria, Dornbirn	1			x			125	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
08	Austria, Gnigl			6	x			48-68	x	x	x		x	x	x	x	x		x	
09	Austria, Kuchl			25	x			60-136	x	x	x		x	x	x	x	x	PV		x
10	Austria, Hallein			31	x			53-87	x	x	x		x	x	x	x	x		x	
11	Austria, Horn	1			x			173	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	
12	Austria, Steyr			3	x			154-158	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	
13	Switzerland, Luzern			5			x	123	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	
14	France, Rennes			40	x			46-118	x	(x)	x		x	x	x	(x)	x		x	

Tabelle 3: Übersicht über die innovativen Komponenten der CEPHEUS-Projekte

2.3.3 Superdämmung der opaken Bauteile

2.3.3.1 Sehr guter Wärmeschutz als Grundvoraussetzung für das Passivhaus

Die Grundidee des Passivhauses – die Wärmeverluste so weit zu verringern, dass die internen und solaren Gewinne ein separates Heizsystem überflüssig machen – erfordert als ersten Schritt einen ausgezeichneten Wärmeschutz der Außenbauteile. Während beim Niedrigenergiehaus von einem bestimmten Dämmstandard an die Lüftungswärmeverluste überwiegen, ist dies beim Passivhaus nicht der Fall: Die gute Luftdichtheit und die hocheffiziente Wärmerückgewinnung sorgen für sehr geringe Lüftungsverluste, so dass der überwiegende Teil der Wärmeverluste wieder auf Transmission beruht.

Abbildung 3 zeigt die Wärmebilanz eines CEPHEUS-Reihenendhauses über die Heizperiode (Berechnungsergebnisse). Die Dämmstoffstärken von Wand, Dach und Boden liegen zwischen 30 und 42,5 cm, Wärmebrücken wurden konsequent vermieden. Trotzdem machen die Wärmeverluste durch die opaken Außenbauteile 50% der gesamten Wärmeverluste aus. Diese Verluste möglichst gering zu halten, ist also für das Funktionieren von Passivhäusern unabdingbar.

01 - Germany, Hannover: Wärmebilanz Heizperiode nach PHPP für ein Reihenendhaus

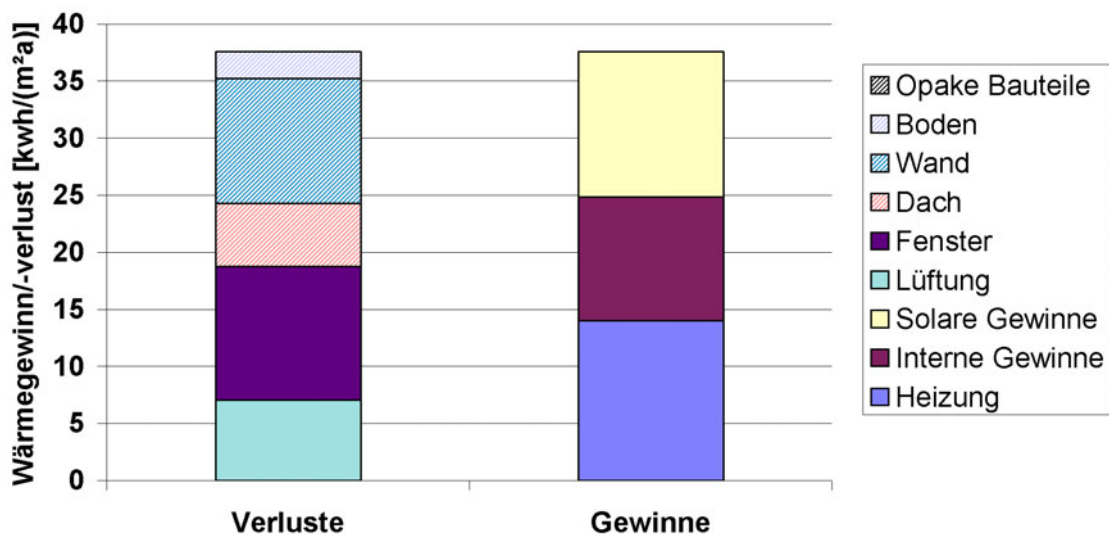


Abbildung 3: Wärmegewinne und -verluste für ein Reihenendhaus der Passivhaussiedlung in Hannover-Kronsberg.

Die U-Werte der Außenbauteile in den CEPHEUS-Projekten liegen in der Regel zwischen 0,1 und 0,15 W/(m²K), vgl. hierzu auch Tabelle 4. Im Dach werden meist höhere Dämmstoffstärken gewählt, da dies kaum konstruktive Schwierigkeiten aufwirft. Die Bodenplatte bzw. Kellerdecke wird dagegen zumeist schwächer gedämmt: Das ist sinnvoll, da die Temperaturdifferenz zum Erdreich bzw. Keller nur etwa halb so groß ist wie zur Außenluft.

Die konstruktiven Lösungen sind sehr vielfältig: In den CEPHEUS-Projekten wurden Flachdächer aus Stahlbeton ebenso realisiert wie klassische Sparrendächer oder Leichtbaukonstruktionen mit Stegträgern.

Nr.	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14
Projekt	Germany, Hannover	Germany, Kassel	Sweden, Gothenburg	Austria, Egg	Austria, HÖbranz	Austria, Wolfurt	Austria, Dornbirn	Austria, Gnigl	Austria, Kuchl	Austria, Hallein	Austria, Horn	Austria, Steyr	Switzerland, Luzern	France, Rennes
Aufbau Außenwand 1	Holztafelelemente, MW	KS mit PS-WDVS	Holzständer mit MW, innen und außen PS	Hochlochziegel mit PS-WDVS	Ziegelmauer, Kork-WDVS	vorgefertigte LB-Elemente	Holztafelelemente	Stegträger mit MW-Dämmung	LB, MW, verputzt	Holzständer mit MW, PS-WDVS	Leichtbetonmauer, vorgesezte LB-Elem.	KS mit PS-WDVS	LB-Wand, MW	LB-Wand mit Handdämmung
U-Wert Außenwand 1	0,13	0,13	0,09	0,12	0,10	0,12	0,12	0,12	0,13	0,11	0,10	0,13	0,11	0,19
Aufbau Außenwand 2	SB mit PS-WDVS	-	-	SB mit PS-WDVS	-	kuperverkleidete LB-Elemente	Holztafelelemente	-	LB, MW, Holzschalung	SB, innen PU, außen PS-WDVS	Stegträger mit Zellulosedämmung	-	-	Massive Lehmwand
U-Wert Außenwand 2	0,10	-	-	0,13	-	0,16	0,09	-	0,13	0,16	0,10	-	-	0,77
Aufbau Dach/Decke 1	MW zwischen Stegträgern	SB-Decke, oberseitig gedämmt	Masoniteträger, MW	SB-Decke, oberseitig PS	Pultdach, vorgefertigte LB-Elemente	SB-Flachdach mit PS-Dämmung	SB-Decke mit MW-Dämmung	Flachdach, SB mit PS	Schrägdach, MW-Dämmung	SB-Decke, PS aufgelegt	Schrägdach mit Stegträgern, Zellulose	Dachsparren mit Aufsparrendämmung	Holzrahmendecke, MW	SB-Decke, oberseitig gedämmt
U-Wert Dach/Decke 1	0,10	0,11	0,08	0,10	0,09	0,10	0,10	0,10	0,10	0,11	0,09	0,09	0,11	0,36
Aufbau Dach/Decke 2	-	-	-	SB-Decke, oben PS	-	Terrasse mit VIPs	-	-	-	-	-	-	-	SB-Decke, gedämmt
U-Wert Dach/Decke 2	-	-	-	0,15	-	0,11	-	-	-	-	-	-	-	0,27
Aufbau Boden/Kellerdecke	SB, unterseitig PS	SB, oberseitig PS	SB, unterseitig PS	SB-Boden, PS oben und unten	SB-Decke, oberseitig gedämmt	SB-Decke, oberseitig MW	SB-Bodenplatte, oberseitig PS	SB-Decke, oben PS, unten MW	SB-Decke, oberseitig PS	SB-Decke, oben oberseitig PS	SB-Decke, oben Stegträger	SB-Decke, oberseitig PS	Holzrahmen-Decke, MW	SB-Decke, gedämmt
U-Wert Boden/Kellerdecke	0,09	0,11	0,09	0,14	0,11	0,10	0,14	0,13	0,16	0,11	0,13	0,12	0,11	0,18

Tabelle 4: Projektübersicht zur Dämmung der opaken Außenbauteile.

KS: Kalksandstein-Mauerwerk, LB-Leichtbau, MW: Mineralwolle, PS: Polystyrol, SB: Stahlbeton, WDVS: Wärmedämmverbundsystem. U-Werte in W/(m²K).

Bei den Außenwandsystemen kommen Kalksandstein- oder Betonwände mit Wärmedämmverbundsystem vor, aber auch Holzständerwände und vorgefertigte Elemente mit Boxträgern. Die Bodenplatte ist in vielen Fällen aus Stahlbeton, wobei die Dämmung sowohl über als auch unter der Bodenplatte liegen kann. Auch hier sind alternativ Holzleichtbau-Konstruktionen möglich.

In [Schnieders 2001] werden typische Lösungen für hochwärmegeämmte Außenbauteile in Passivhäusern dargestellt, von denen einige nachfolgend knapp zusammengefasst werden:

- Dach mit Stegträgern (11 - Austria, Horn): Beim CEPHEUS-Projekt in Horn handelt es sich um ein Einfamilienhaus. Das relativ ungünstige Verhältnis von Außenoberfläche zu Volumen macht eine besonders gute Dämmung der Außenoberflächen erforderlich. Für das Dach wurde ein Aufbau mit 406 mm TJI-Trägern gewählt, die mit Zellulose gedämmt wurden. Raumseitig befindet sich eine Installationsebene, von außen ist eine konventionelle Ziegel-Eindeckung zu sehen. Der U-Wert der Konstruktion wird mit ca. $0,09 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ angegeben.
- Stahlbeton-Giebelwandelement mit WDVS (01 - Germany, Hannover): Die Reihenhäuser in Hannover-Kronsberg sind in elementierter Mischbauweise erstellt: Die Giebelwände, die Haustrennwände, die Bodenplatte und die Zwischendecken bestehen aus vorgefertigten Stahlbetonplatten und bilden die tragende Struktur, die Fassaden und das Dach sind Leichtbauelemente mit Boxträgern. In den Reihenhäusern wurde die fensterlose Giebelwand mit 40 cm Wärmedämmverbundsystem aus Polystyrol versehen. Der U-Wert der fertigen Wand beträgt $0,10 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.
- Holzständerwand mit beidseitiger PS-Dämmung (03 - Sweden, Gothenburg): Die Außenwand der Göteborger Reihenhäuser hat einen tragenden Kern in Holzständerbauweise (170 mm), auf der Innen- und Außenseite der Holzständer befindet sich jeweils eine 100 mm starke Polystyrol-Dämmlage. Der U-Wert dieser Konstruktion ergibt sich unter Berücksichtigung der Holzständer zu $0,09 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Die Wände wurden vor Ort auf der fertigen Bodenplatte montiert und mit dem Kran aufgerichtet.
- „Holzputz“ auf Polystyrol-Dämmung (04 - Austria, Egg): Für das Mehrfamilienhaus in Egg Wieshalde wurde ein Wandsystem eingesetzt, das eine massive Ziegelwand mit einer Holzfassade kombiniert. Auf dem Mauerwerk aus Hochlochziegeln ist wie bei einem konventionellen Wärmedämmverbundsystem eine 30 cm starke Polystyrol-Dämmung aufgeklebt. Die Holzfassade, bestehend aus einer horizontalen Lattung und einer vertikalen Schalung, wurde ohne Durchdringung der Wärmedämmung aufgeklebt. Mit dem Prinzip der aufgeklebten Lattung ist auch jede andere Wandverkleidung möglich. Mit dem Wandaufbau wird ein U-Wert von $0,12 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ erreicht. Für die Wandkonstruktion wurde ein Gebrauchsmuster beim österreichischen Patentamt angemeldet.
- Leichtbauelemente auf Stahlskelett (06 - Austria, Wolfurt): Für die Außenwände der dreigeschossigen Mehrfamilien-Passivhäuser in Wolfurt wurden vorgefertigte Holzelemente in zwei verschiedenen Bauweisen verwendet. Die tragenden Stahlstützen der Außenwände sind ins Innere der Außenwände integriert. Die gesamte Dämmstärke liegt bei 240 bis 340 mm.
- In Rennes wurde versucht die hohen Dämmstandards durch den Einsatz ökologischer und in der Region vorhandener Dämmstoffe zu erreichen. Begünstigt wurde das Vorhaben durch die etwas milderen klimatischen Bedingungen. (Zur nicht ganz reichenden Dämmqualität für den Passivhausstandard siehe 2.4.1). Die Südfassade des Gebäudes wurde als 52 cm starke Lehmwand ausgebildet (angeliefert als Blöcke mit 400 kg bzw. 700 kg Gewicht) und relativ hohem u-Wert von $0,77 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Die anderen Außenwänden wurden als Leichtbauwände mit Holzverschalung, 20 Hanfwohle und Natur-Gipsplatte ausgeführt ($u=0,19 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$). Es wurden ebenfalls nur Naturfarben verwendet. Diese Herangehensweise geht auf den in Frankreich in Fachkreisen viel diskutierte Projektansatz "HQE – Haute Qualité Environnemental", (hoher Umweltstandard) zurück und war ein wichtiges Marketingelement beim Verkauf der Apartments.

2.3.4 Reduktion der Wärmebrücken

2.3.4.1 Wärmebrücken

Den weit überwiegenden Anteil an den Wärmeverlusten von Passivhäusern machen die Transmissionswärmeverluste aus. Hierzu zählen zunächst die Wärmeströme durch die Regelbauteile, Transmissionswärmeverluste treten aber auch an Ecken, Kanten, Anschlüssen und Durchdringungen auf. Solche Bereiche, in denen der Regelaufbau der Außenbauteile gestört ist, stellen Wärmebrücken dar.

Manche Wärmebrücken sind kaum zu vermeiden. Ein Beispiel ist der erhöhte Wärmeverlust entlang der Außenkante eines Gebäudes. Der Wärmeverlust derartiger, sogenannter „geometrischer“ Wärmebrücken lässt sich sehr einfach dadurch auf der sicheren Seite abschätzen, dass der Wärmeverlust mit der Außenoberfläche der jeweiligen Bauteile berechnet wird. In diesem Fall ist der über die Regelbauteile berechnete Wärmeverlust höher als der exakte mehrdimensionale Wärmestrom.

Anders sieht es z. B. bei einer auskragenden Balkonplatte aus: Die Konstruktion wirkt wie eine Kühlrippe. Die zusätzlichen Wärmeverluste dieser „konstruktiven Wärmebrücke“ sind beträchtlich, sie werden auch bei der Berechnung mit Außenmaßen drastisch unterschätzt.

Die tatsächlichen Wärmeverluste aufgrund von Wärmebrücken lassen sich mit Hilfe mehrdimensionaler Wärmestromprogramme auf dem Computer berechnen. Eine solche Berechnung ist allerdings aufwendig und teuer. Außerdem ist dem Planer eines Passivhauses in der Regel nicht damit gedient, nur den Wärmeverlust der Bauteile zu kennen: Es gilt vielmehr, Konstruktionen mit möglichst geringen Wärmebrückenverlusten zu finden. Hier greift der Ansatz des Wärmebrückenfreien Konstruierens.

2.3.4.2 Wärmebrückenfreies Konstruieren

Glücklicherweise ist es nicht erforderlich, bei der Planung eines Passivhauses sämtliche Wärmebrücken mittels mehrdimensionaler Wärmestromberechnung zu analysieren. Ob ein Detail eine gravierende Wärmebrücke darstellt, kann man nämlich auch ohne Berechnung, allein durch sorgfältige geometrische Analyse, herausfinden. Bei der Verringerung der Wärmeverluste helfen die folgenden vier Regeln:

- Vermeidungsregel: Wo möglich, die dämmende Hülle nicht durchbrechen.
- Durchstoßungsregel: Wenn eine unterbrochene Dämmschicht unvermeidbar ist, sollte der Wärmedurchgangswiderstand in der Dämmebene möglichst hoch sein; also z. B. Porenbeton oder noch besser Holz statt Normalbeton oder Kalksandstein verwenden.
- Anschlussregel: Dämmlagen an Bauteilanschlüssen lückenlos ineinander überführen. Die Dämmlagen in der vollen Fläche anschließen.
- Geometrieregeln: Kanten mit möglichst stumpfen Winkeln wählen.

Werden sämtliche Details den genannten Grundregeln entsprechend ausgeführt, so treten i. a. nur noch sehr kleine Wärmebrückenverluste auf. Dann kann man die thermische Hülle als „wärmebrückenfrei“ bezeichnen. In diesem Fall werden nämlich die etwas erhöhten Wärmeverluste an einigen Stellen durch die verringerten Wärmeströme an den geometrischen Wärmebrücken wieder kompensiert. Im Rahmen von CEPHEUS wurde für einige Gebäude eine komplette Berechnung sämtlicher Wärmebrücken durchgeführt. Dabei konnte die praktische Realisierbarkeit des wärmebrückenfreien Konstruierens gezeigt werden: Die Berechnung der Transmissionswärmeverluste einschließlich aller Wärmebrücken liefert ein kleineres Ergebnis als die Berechnung mit Außenmaßen ohne Berücksichtigung der Wärmebrücken.

Können die Regeln an einzelnen Stellen aus konstruktiven Gründen nicht eingehalten werden, reicht es aus, nur die betreffenden Details nachrechnen zu lassen. Eine genaue

Definition und Begründung zum Wärmebrückenfreien Konstruieren findet sich im technischen Bericht des CEPHEUS-Projekts zum Thema Wärmebrücken [Feist 1999a], dort werden die Grundregeln auch weiter konkretisiert. Beispiele und eine Übersicht über die Maßnahmen zur Wärmebrückenreduktion sind in [Schnieders 2001] enthalten.

Das Prinzip des wärmebrückenfreien Konstruierens stellt ein wesentliches Ergebnis der Arbeit in CEPHEUS dar. Teilweise wird in der Fachwelt die These vertreten, dass bessere Wärmedämmung der Außenbauteile von einem gewissen Punkt an keinen Sinn mehr macht, weil verringerte Wärmeverluste der Regelbauteile gegenüber den Wärmeverlusten durch die Wärmebrücken irgendwann nicht mehr ins Gewicht fallen. Dieser Auffassung muss nachdrücklich widersprochen werden: Zwar nimmt in der Tat der relative Anteil der Wärmebrückenverluste mit besserem Dämmstandard der Regelbauteile zu, wenn dieselben Details ausgeführt werden wie früher. Wie durch CEPHEUS gezeigt wurde, sind aber auch bei den Bauteilanschlüssen gravierende Effizienzverbesserungen möglich. Eine aufwendige Berechnung aller Details ist dabei nicht unbedingt erforderlich. Dadurch wird die Planung von Passivhäusern erheblich vereinfacht.

Nr.	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14
Projekt	Germany, Hannover	Germany, Kassel	Sweden, Gothenburg	Austria, Egg	Austria, Hörbranz	Austria, Wolfurt	Austria, Dornbirn	Austria, Gnigl	Austria, Kuchl	Austria, Hallein	Austria, Horn	Austria, Steyr	Switzerland, Luzern	France, Rennes
Fenstereinbau in der Dämmebene ¹⁾	M	I	A	I	I	I	I	M	M	M	I	I	M	N
Blendrahmen überdämmt ²⁾	J	J	N	J	J	J	J	J	J	J	J	J	J	N
Dämmebenen vollflächig angeschlossen ²⁾	J	J	J	J	J	J	J	J	J	J	J	J	J	N
Anschluss Bodenplatte / Kellerdecke an Außenwand ³⁾	örtl. Betonhöcker	Kimmschicht aus Purenit	Unterseitige Dämmung der Bodenplatte herumgezogen	Flachgründung ringsum	Gasbetonstein am Fußpunkt des Mauerwerks	KD-Dämmung an AW angeschlossen, Aussteifungen kammartig	Leichtbau-Wandelemente, wärmebrückenreduziert	KD-Dämmung an AW angeschlossen, Lastabtragung mit Brettschichtholz	KD-Dämmung an AW angeschlossen, Stahlbetonsäulen auf Foamglasstreifen	KD-Dämmung oberhalb der Bodenplatte geht vollflächig in LB-Außenwand über	Ytongschicht zur thermischen Trennung	Foamglasstreifen zur thermischen Entkopplung	KD-Dämmung vollflächig an AW angeschlossen, etwas erhöhter Holzanteil	Tiefgarage, durchgehende Stahlbetonstützen
Befestigung Balkone	vorgestellt, falls vorhanden	vorgestellt	vorgestellt	kein Balkon	kein Balkon	kein Balkon	kein Balkon	Isokorb	vorgehängt an Sparren und Stahlschwerern	vorgestellte Stahlkonstruktion	vorgestellt	kein Balkon	kein Balkon	auskragende Stahlbetondecken

Tabelle 5: Projektübersicht zum wärmebrückenfreien Konstruieren.

1) M: Mitte, A: äußerer Rand, I: innerer Rand der Dämmebene, N: Nicht in der Dämmebene 2) J: Ja, N: Nein 3) KD: Kellerdecke, AW: Außenwand

2.3.5 Luftdichtheit

Die Luftdichtheit der Außenhülle von Gebäuden ist von zunehmend höherer Bedeutung. Undichte Hüllen führen zu einer Vielzahl von Problemen, die es insbesondere in Passivhäusern zu vermeiden gilt:

- Tauwasserschäden: Tritt durch eine Undichtheit in der Außenhülle ein Luftstrom von innen nach außen, so ist die Gefahr von Tauwasserbildung in der Konstruktion besonders hoch.
- Zegerscheinungen: Bei Durchströmung von außen nach innen resultiert eine kalte Luftströmung in der Nähe der Leckage.
- Kaltluftsee: Einstömende Kaltluft wird insbesondere in den unteren Geschossen eine Kaltluftschicht am Boden bilden. Dies wird von den Bewohnern als besonders unbehaglich empfunden und kann in Passivhäusern keinesfalls geduldet werden.
- Erhöhter Energieverbrauch: Luft, die durch Undichtheiten ein- oder ausströmt, passiert den Wärmeübertrager nicht.
- Fugenlüftung leistet keinen gesicherten Beitrag zur Luftqualität, da sie extrem starken Schwankungen ausgesetzt ist.

Da Fugenlüftung keinen Nutzen bringt, aber bedeutende Nachteile haben kann, müssen Passivhäuser eine sehr gute Luftdichtheit aufweisen. Die Prinzipien hierfür wurden in einer eigenen CEPHEUS-Bauphysik-Richtlinie [Peper 1999a] ausgearbeitet:

- **Das Prinzip der „einen Hülle“**

Um eine gute Luftdichtheit zu erreichen, muss vor allem ein konsequentes Konzept der luftdichtenden Hülle vorliegen. Dabei ist die Vorstellung einer einzig luftdichtenden Hüllfläche zielführend, die den gesamten Innenraum umgibt.

- **Luftdichtheit in der Fläche**

Als in der Fläche ausreichend luftdicht haben sich **Innenputze** (Kalk-, Kalk-Zement-, Gips-, auch Lehmputze); Sperrholz-, Hartfaser-, Span- und OSB-Platten; PE-Folien und andere dauerhaft stabilisierte Kunststofffolien; Bitumenpappen (faserverstärkt) sowie reißfeste (faserverstärkte) Baupappen bewährt.

- **Luftdichtheit von Anschlüssen**

Hier muss der Schwerpunkt der Planungsarbeit geleistet werden. In [Peper 1999a] haben wir eine systematische Übersicht zu den für Passivhäuser verfügbaren Dichtungskonzepten gegeben.

- **Luftdichtheit von Durchdringungen**

Bestes Prinzip ist nach wie vor die Vermeidung (Unterdachentlüfter; Installationen in Fußleisten); häufig kann die Vorabdichtung empfohlen werden (z. B. Vorverputzen von Installationswänden). Durchbrüche in Betonplatten werden durch Quellmörtel oder Gips (genügend flüssig eingebracht) dicht.

Tabelle 6 zeigt die Lösungen für **luftdichte Gebäudehüllen** bei den 14 CEPHEUS-Bauprojekten. Alle Konstruktionsarten sind vertreten:

- *Massivbau: 02-Kassel-Marbachshöhe, 04-Egg, 05-Hörbranz und 12-Horn*

In allen Fällen wurde Mauerwerk mit durchgehendem Innenputz als luftdichtende Ebene verwendet. Der Putz wurde jeweils von Oberkante Rohfußboden bis Unterkante Rohdecke geführt. Die Dichtheit des Anschlusses wird hier durch Anputzen erreicht ("apu"). Die Anschlüsse an die Dachkonstruktion erfolgte in 02-Kassel durch Anputzen der Betondecke, in den anderen Projekten durch Einputzen ("einpu") von Folien. I.d.R. wurden Kalk-Zement-Putze verwendet; in 12-Horn jedoch ein Lehmputz. Die Fenstereinbindungen sind jeweils unterschiedlich gelöst.

Nr.	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14
Projekt	Germany, Hannover	Germany, Kassel	Sweden, Gothenburg	Austria, Egg	Austria, Hörbranz	Austria, Wolfurt	Austria, Dornbirn	Austria, Gnigl	Austria, Kuchl	Austria, Hallein	Austria, Horn	Austria, Steyr	Switzerland, Luzern	France, Rennes
Dichtheit der Basiskonstruktionen in der Fläche														
Bauart	misc	mass	Holz	mass	mass	misc	misc	misc	misc	misc	misc	mass	Holz	misc
Grundplatte / Kellerdecke	Beton	Beton	Beton	Beton	Beton	Beton	Beton	Beton	Beton	Folie	Beton	Beton	Folie	Beton
Außenwand 1	Folie G	Putz	Folie I	Putz	Putz	Folie I	OSB	Folie	Folie	Folie G	Lehm- Putz	Putz	Folie I	Süd: Putz
Außenwand 2	-	-	-	-	-	Folie I	-	-	-	-	Folie G	-	-	Nord: Folie
oberste Geschossdecke	-	Beton	-	Putz	-	Bet + DS	Beton	Beton	-	Beton	-	-	Folie G	Beton
Dach	Folie G	-	Folie G	OSB	Folie I	-	-	-	Folie	-	Folie I	Alu- Folie aPI ?	-	-
Dichtheit der Anschlussdetails														
EG-Boden / AW1	F-vkl	apu	Dprof	apu	apu	üF;k	Dprof	Mon	F-vkl	üF;k	apu	apu	üF;k	apu
EG-Boden / AW2	-	-	-	-	-	üF;k	-	-	-	-	F-vkl	-	-	?
AW1 / AW2	-	-	-	-	-	üF;k	-	-	-	-	einpu	-	-	?
AW1 / Fenster	F;Klb	Man	F-vkl	Fuab	Fuab	F-vkl	?	Kom	F-vkl	Fol-a	ÜpFI	Fuab	F-vkl	apu
AW2 / Fenster	-	-	-	-	-	F-vkl	-	-	-	-	ÜpFI	-	-	?
AW1 / Zwischend.	FStr	apu	FStr	apu	apu	FStr	Dprof	Mon	F-du	F-du	apu	apu	F-du	apu
AW2 / Zwischend.	-	-	-	-	-	FStr	-	-	-	-	einpu	-	-	?
AW1 / ob.G (Dach)	F;Klb	apu	üF;k	einpu	einpu	üF;k	Dprof	Mon	üF;k	F-vkl	einpu	?	üF;k	apu
AW2 / ob.G (Dach)	-	-	-	-	-	üF;k	-	-	-	-	üF;k	-	-	?

Tabelle 6: Projektübersicht zu Lösungen für die Luftdichtheit der Gebäudehülle

LEGENDE zu Basiskonstruktionen in der Fläche:

Beton = Betondecke, luftdicht; Bet + DS = Betondecke + aufliegende Dampfsperffolie
Folie = Polyäthylenfolie als Luftdichtung; G=unter Gipsplatte; I= hinter Installationsebene
Putz = Gips-, Kalk- oder Kalkzementputz als Innenputz, vollflächig ausgeführt
OSB = OSB-Platten

Alufolie aPI = Dämmplatten, innen Alu-kaschiert, mit Alufolie verklebt (Anmerkung: nicht empfehlenswert, auch im Projekt nicht ausreichend luftdicht)

LEGENDE zu Dichtheit der Anschlussdetails:

apu = angeputzt
einpu = Folie eingeputzt
ÜpFI = überputztes Fliesklebeband
Man = Dichtmanschette, eingeputzt
Dprof = Dichtprofil
F;Klb = Folie; mit Klebeband angeklebt
FStr = Folien-Streifen, über die Verbindung gelegt, mit jeweiliger Dichtebene verklebt
üF;k = überlappende Folien; verklebt
F-vkl = Folie-verklebmt; Fol-a = Folie, Fuge mit Silikon abgespritzt
F-du = Folie-durchgehend
Mon = Folie - mit Montagewinkel am Beton befestigt
Kom = Kompriband
Fuab = Fugenabspritzung mit Silikon oder Acryl - verfugt zum Fensterrahmen
? = kein geplanter Anschluss: Problemanschluss

- **Holz-Leichtbau: 03-Gothenburg und 13-Luzern**

Bei diesen beiden Projekten wurde auf Foliensysteme gesetzt; Anschlussdetails sind hier jeweils mit überlappenden und verklebten Folien gelöst. Zu den Leichtbaukonstruktionen in der Hülle zählen auch die Projekte 01-Hannover, 06-Wolfurt, 07-Dornbirn, 08-Gnigl, 09-Kuchl und 10-Hallein.

- **Gemischte Hüllflächen: z.B. 11-Horn**

Eine Besonderheit stellen die Lösungen mit *gemischten Hüllflächen* dar. So wurde z. B. das Einfamilienhaus 11-Horn mit einer Leichtbauwand im Süden (Folienlösung) und massiven Wänden in Ost/West- und Nordrichtung gebaut. Der luftdichtende Anschluss erfolgt hier durch einputzen der Folien in den Innenputz.

2.3.6 Passivhaustaugliche Fenster

2.3.6.1 Grundanforderungen an das Fenster im Passivhaus

Die Fenster sollen im Passivhaus über ihre übliche Funktion der Belichtung hinaus solare Netto-Gewinne erlauben. Voraussetzung hierfür sind geringe Wärmeverluste durch das Fenster, eine geeignete Verglasung und nach Möglichkeit Südorientierung und geringe Verschattung. Da das Passivhaus kein separates Heizsystem mehr benötigt, muss ferner die Behaglichkeit vor dem Fenster auch ohne Heizkörper gewährleistet werden.

Aus den Anforderungen an die Behaglichkeit lässt sich die Forderung nach einem Fenster-U-Wert von unter $0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ableiten (vgl. hierzu z. B. [Schnieders 1999a]). Bei kleinen Fenstern darf dieser Wert auch geringfügig überschritten werden.

2.3.6.2 Passivhaus geeignete Verglasungen

Auch der U-Wert der Verglasung darf $0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ nicht überschreiten. Dieser Wert kann nur mit Dreifach-Wärmeschutzverglasungen erreicht werden. Der Scheibenzwischenraum dieser Verglasungen ist mit schweren Edelgasen gefüllt, um den konvektiven Wärmetransport zu verringern. Um auch den zweiten wichtigen Wärmetransportmechanismus in der Verglasung, den Strahlungswärmetransport, zu beeinflussen, werden die Oberflächen zum Scheibenzwischenraum hin infrarotreflektierend beschichtet. Mit solchen Verglasungen werden je nach Füllgas und Beschichtung U-Werte bis herab zu $0,6 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ erreicht (einschließlich der Zuschläge für die über die Lebensdauer auftretenden Füllgasverluste).

Neben der Begrenzung der Transmissionswärmeverluste sollen die hochwertigen Verglasungen auch der passiven Solarenergienutzung dienen. Folglich ist ein möglichst hoher Gesamtenergiedurchlassgrad (g-Wert) anzustreben. Bei Dreifach-Verglasungen werden mit eisenfreiem Glas (sog. Weißglas) g-Werte bis zu 60% erreicht, kaum schlechter als bei den gängigen Zweifach-Wärmeschutzgläsern. Aus Kostengründen werden allerdings in der Regel Verglasungen mit g-Werten um 50% eingesetzt.

In [Schnieders 1999a] wird die Energiebilanz eines südgerichteten Fensters mit Dreifach-Verglasung, aufgegliedert nach Monaten, dargestellt. Es zeigt sich, dass auch in der kurzen Heizperiode des Passivhauses von November bis März eine positive Energiebilanz zustandekommt. Zweifach-Wärmeschutzverglasungen führen dagegen im Kernwinter zu Netto-Verlusten.

Der Gesamtenergiedurchlassgrad einer Passivhaus-Verglasung muss also in Abhängigkeit vom Wärmedurchgangskoeffizienten einen bestimmtem Mindestwert erreichen. Diese Anforderung an die Verglasung lässt sich folgendermaßen formulieren: $U < 1,6 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}) \cdot g$. Damit wird im mitteleuropäischen Klima gewährleistet, dass die Energiebilanz eines südorientierten Fensters mit dieser Verglasung über die Heizperiode des Passivhauses positiv ist – vorausgesetzt, es wird ein geeigneter Rahmen verwendet und die Verschattung hält sich in Grenzen.

Passivhaus geeignete Verglasungen werden von verschiedenen Herstellern serienmäßig produziert. Beim Passivhaus Institut sind Verglasungen von sechs Herstellern zertifiziert, weitere Hersteller haben hochwertige Dreischeiben-Wärmeschutzverglasungen im Programm.

2.3.6.3 Verluste am Glasrand und ihre Reduktion

Wärmeschutzverglasungen besitzen einen Randverbund, der die Einzelscheiben miteinander verbindet und das Füllgas einschließt. Die durch den Randverbund entstehende Wärmebrücke am Scheibenrand gewinnt beim hohen Dämmstandard der Passivhaus-Außenhülle an Bedeutung: Ein Randverbundsystem mit Aluminium-Abstandhalter kann für 20 bis 30% der Wärmeverluste eines Passivhausfensters verantwortlich sein. Im Passivhaus wird diese Wärmebrücke durch einen erhöhten

Glaseinstand und durch Abstandhalter aus Edelstahl oder Kunststoff minimiert. Näheres zu den Wärmeverlusten am Fenster findet sich in [Schnieders 1999a].

2.3.6.4 Passivhaus-Fensterrahmen

Fensterrahmen in für das Passivhaus geeigneter Qualität stehen in einer wachsenden Zahl zur Verfügung (vgl. Abbildung 4).

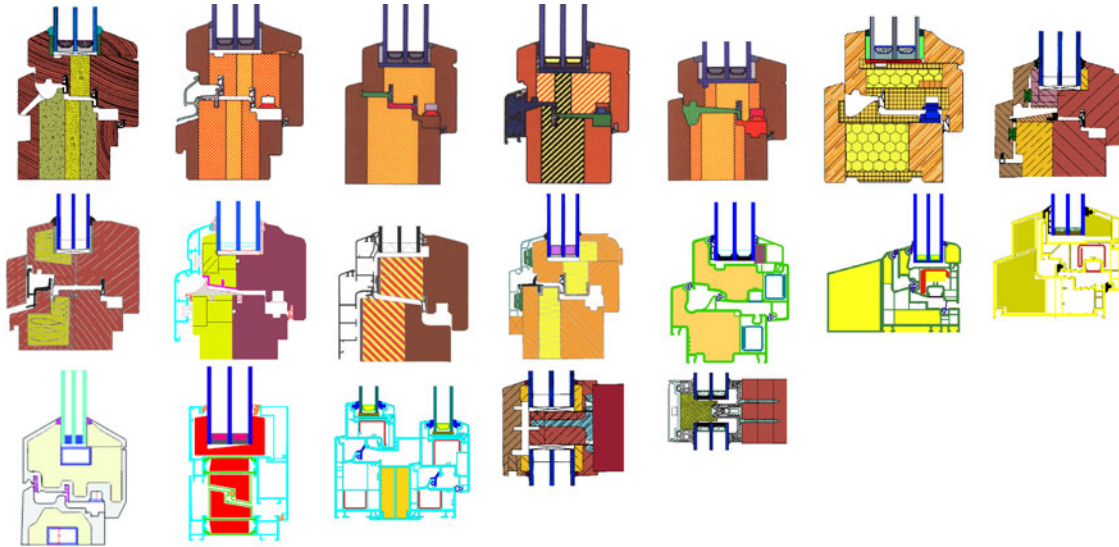


Abbildung 4: Übersicht über die vom Passivhaus Institut als "passivhausgeeignete Komponente" zertifizierten Fensterrahmen (Stand Februar 2001)

Fensterrahmen für das Passivhaus benötigen eine gute Wärmedämmung, die auf verschiedene Arten realisiert werden kann. Von mehreren Herstellern gibt es Holzrahmen mit einem Kern aus PU-Schaum oder dem relativ gut wärmedämmenden, aber trotzdem statisch belastbaren Purenit (ein PU-Recycling-Werkstoff). Auch Konstruktionen, die nur aus Holz und Holzwerkstoffen bestehen, sind verfügbar. Von mehreren Herstellern werden wärmedämmte Kunststoffrahmen geliefert, die in Zukunft eine deutliche Preisreduktion dieser Komponente ermöglichen sollten. Alle passivhaustauglichen Fensterrahmen weisen einen erhöhten Glaseinstand auf, um die Wärmebrückeneffekte am Glasrand zu verringern.

2.3.6.5 Wärmebrückenfreier Einbau

Die ausgezeichneten thermischen Qualitäten der Passivhaus-Fenster machen sich nur dann bemerkbar, wenn das Fenster korrekt eingebaut wird. Besonders anfällig sind in dieser Hinsicht Massivbauten aus Beton oder Kalksandstein, weil diese Materialien eine besonders hohe Wärmeleitfähigkeit besitzen. Bei ungünstigem Einbau kann sich der U-Wert des Fensters um $0,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ verschlechtern. Korrekt eingebaut kann der Einbau-Wärmebrückenverlustkoeffizient dagegen sogar 0 werden.

Wichtig für den korrekten Festereinbau sind eine Positionierung in der Dämmebene und eine möglichst weitgehende Überdämmung des Blendrahmens. Gut wärmeleitende Laibungselemente, z. B. auch Spanplatten, sind möglichst weitgehend zu vermeiden. Einzelne, punktförmige Wärmebrücken zur Fensterbefestigung sind dagegen zulässig. Diese Regeln und ihre Hintergründe werden in [Schnieders 1999a] näher beleuchtet.

2.3.6.6 Übersicht über die Fenster in den CEPHEUS-Projekten

Nr.	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14
Projekt	Germany, Hannover	Germany, Kassel	Sweden, Gothenburg	Austria, Egg	Austria, Hörbranz	Austria, Wolfurt	Austria, Dornbirn	Austria, Gnigl	Austria, Kuchl	Austria, Hallein	Austria, Horn	Austria, Steyr	Switzerland, Luzern	France, Rennes
U-Wert Verglasung ¹⁾	0,8	0,6	0,7	0,7	0,6	0,7	0,7	0,6	0,7	0,7	0,8	0,6	0,6	1,3
g-Wert Verglasung ²⁾	0,6	0,42	0,4	0,53	0,47	0,53	0,53	0,47	0,5	0,53	0,51	0,53	0,42	0,64
Fensterrahmen	eurotec serie 0.5 Holz-Alu	VEKA Artline Passivhaus PVC	SSC Snidex Holz	Sigg Standard-Holzrahmen	Fenster Bischof Holz	Sigg „Passivhaus“ Holz mit Purenit	Fussenegger und Rümmele, Holz	Kogseder Holz-Alu mit Kork	Freisinger Drei3Holz Holz mit Dämmung	eurotec eCO ₂ PVC, PU-ausgeschäumt	verbessertes Holzfenster, sehr weit überdämmbar	eurotec eCO ₂ PVC, PU-ausgeschäumt	Bachmann AG Holz-Alu	Standard-Holzrahmen
U-Wert Rahmen	0,57	0,80	k.A.	1,25	1,12	1,0	1,5	0,8	0,73	0,75	1,1	0,75	1,2	1,5
Randverbund	Swisspacer	Edelstahl	Edelstahl	Thermix	Edelstahl	Thermix	Thermix	Thermix	Swisspacer	Thermix	Edelstahl	Thermix	Edelstahl	Aluminium
Orientierung der Hauptfensterflächen	S	O/W	S	S	S	S/W/N/O	S/O	SW	S/W/N/O	S	S	SW	S	S

Tabelle 7: Projektübersicht zu den Fenstern

1) Bundesanzeiger-Werte bzw. entsprechend korrigierte Werte, soweit die notwendigen Informationen zur Verfügung standen.

2) g-Wert nach DIN 67507.

2.3.7 Luftführung

Will man den Passivhaus-Standard in Mitteleuropa erreichen, so ist eine hocheffiziente Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung unverzichtbar. Es handelt sich dabei um Anlagen mit kontrollierter Be- und Entlüftung über ein getrenntes Kanalnetz für die Zu- und Abluftführung. In [Pfluger 1999] wurden die Planungsrichtlinien erarbeitet und Erfahrungen bei der Ausführungsplanung und dem Betrieb der Anlagen erläutert. Die Luftführung hängt stark von der Art der Lüftungsanlage und der Gebäudegeometrie ab. Bei den CEPHEUS-Projekten hat sich gezeigt, dass dezentrale Anlagen heute noch am häufigsten realisiert wurden (siehe Tabelle 8), bevorzugt für Einfamilien- und Reihenhäuser. Jede Wohnung wird dabei jeweils über einen Wärmeübertrager versorgt.

Das Lüftungszentralgerät (also Wärmetauscher, Ventilatoren, Filter, Steuerung und evtl. auch Schalldämpfer) kann sowohl innerhalb als auch außerhalb der wärmegeprägten Hülle aufgestellt werden, jedoch möglichst nahe an deren Durchtrittspunkt. Wird ein Erdreichwärmetauscher eingesetzt, bietet sich die Aufstellung im Keller bzw. im Erdgeschoss an. Wird dagegen mit einem Frostschutzheizregister gearbeitet, so kann das Zentralgerät auch im Dachgeschoss oder einem Abstell- bzw. Technikraum untergebracht werden. Für das Zuluftkanalnetz sind Schalldämpfer sowohl für die Hauptleitung als auch Telephonieschalldämpfer in den Einzelsträngen notwendig.

Dezentrale Anlagen können aber auch im Mehrfamilienhaus und im Geschosswohnungsbau eingesetzt werden. Als problematisch erweist sich dann allerdings die Fortluftführung der einzelnen Wohneinheiten. Es muss verhindert werden, dass die belastete Fortluft in die Ansaugöffnung der gleichen oder einer benachbarten

Wohneinheit gelangen kann. Um jegliche Geruchsbelästigung vermeiden zu können, kann die Fortluft in einem gemeinsamen Kanal über Dach abgeführt werden. Nachteilig wirkt sich die Vielzahl der notwendigen Wanddurchbrüche mit den damit verbundenen Wärmebrücken aus.

Bei zentralen Anlagen werden mehrere Wohneinheiten mit einem Wärmeübertrager versorgt. Im Volumenstrombereich über 1000 m³/h sind hochwertige Gegenstromwärmeübertrager aus der Klimatechnik in verschiedensten Baugrößen verfügbar. Diese können entweder im Keller oder im Dachbereich bzw. einem separaten Technikraum angeordnet werden.

Als semizentrale Anlagen werden Anlagen mit gemeinsamem Wärmetauscher, aber dezentralen Ventilatoren bezeichnet [Otte 2000]. Diese Variante der zentralen Anlage nutzt den Vorteil des geringeren Aufwandes gemeinsam genützter Bauteile wie Wärmetauscher, Filter und evtl. Schalldämpfer, führt aber die Volumenstromregelung über die Einzelventilatoren aus. Damit kann jede Wohneinheit den Volumenstrom individuell einstellen, ohne den Druckverlust durch Drosselklappen in Kauf nehmen zu müssen. Die Zuluftnachheizung erfolgt ebenfalls dezentral über wohnungsweise Heizregister, die Raumlufttemperatur kann also für jede Wohneinheit individuell eingestellt werden.

Nr.	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14
Projekt	Germany, Hannover	Germany, Kassel	Sweden, Gothenburg	Austria, Egg	Austria, Hörbranz	Austria, Wolfurt	Austria, Dornbirn	Austria, Gnigl	Austria, Kuchl	Austria, Hallein	Austria, Horn	Austria, Steyr	Switzerland, Luzern	France, Rennes
Gebäudetyp ¹⁾	R	G	R	G	R	G	E	G	G	G	E	R	R	G
Anordnung des Wärmeübertragers ²⁾	D	4xD, 1xK, W	W	2xD, 2xK	W	T	W	W	W	W	K	K	K	D
WRG zentral, semizentral oder dezentral ³⁾	d	s	d	d	d	d	d	d	d	d	z	d	d	z
Erdwärmetauscher vorhanden	nein	nein	nein	ja	ja	ja	ja	nein	nein	nein	ja	ja	ja	nein
Zuluftnachheizung Vorhanden ⁴⁾	ja	ja	ja	nein	ja	ja	ja	ja (teil)	ja (teil)	nein	ja	ja	ja	ja
Art der Zuluftventile ⁵⁾	W	W	W,Q	I	W	W	I	W	W	Q	W	T,W	W	T
Kanaltyp ⁶⁾	Wi	Wi	Wi	Wi	Wi	Wi	Wi	Wi	Wi	K F	Wi	Wi	Wi	Wi

Tabelle 8: Projektübersicht zur Luftführung

1) E: Einfamilienhaus R: Reihenhaushaus, G: Geschosswohnungsbau 2) D: Dach, K: Keller, T: Technikraum, W: Wohnung 3) d: dezentral, z: zentral, s: semizentral 4) (teil): Teilerwärmung über Zuluft 5) W: Weitwurfdüse, T: Tellerventil I: Induktions-Drallventil Q: Quellluftauslaß 6) Wi: Wickelfalzrohr, K: Kunststoff, F: Flachkanal

Die Außenluft soll möglichst vollständig in die Aufenthaltszone gelangen und Schadstoffe möglichst rasch ohne Belästigung der Bewohner in die Abluft transportieren. Damit sind bereits die beiden wichtigsten Grundsätze der Luftführung beschrieben, d.h. Kurzschlussströmungen müssen vermieden werden und eine gerichtete Durchströmung von den Zuluftträumen (Wohn- und Schlafräume) hin zu den Abluftträumen (Funktionsräume: Bäder, WC etc.) erreicht werden. Als Überströmzone wird der Bereich bezeichnet, welcher weder Zu- noch Abluftöffnungen aufweist. Sogenannte Überströmöffnungen ermöglichen die Belüftung aus den Frischluftträumen bzw. die Entlüftung in die Abluftträume.

Für den Haustechniker ist zwar die wichtigste Auslegungsgröße die Luftwechselrate, also das Verhältnis aus dem pro Stunde zugeführten Außenluftvolumen und dem Raumvolumen (Einheit 1/h). Gelangt die Außenluft jedoch unmittelbar in die Abluft, liegt

also eine Kurzschlussströmung vor, so wird der Zweck der Lüftung auch bei hoher Luftwechselrate nicht erfüllt. Von Bedeutung ist also nicht nur der Luftwechsel, sondern auch der Luftaustauschwirkungsgrad (Definition siehe [Pfluger 1999]). Um Kurzschlussströmung zu vermeiden, gibt es zwei Möglichkeiten: Setzt man Tellerventile als Zuluftöffnung ein, so sind diese an der Wand gegenüber der Überströmöffnung anzuordnen. Auf diese Weise erreicht man eine gute Raumdurchströmung, benötigt jedoch ein relativ langes Zuluftkanalnetz. Mit Hilfe von sogenannten Weitwurfdüsen unter der Zimmerdecke kann die Zuluft auch in der Nähe der Überströmöffnung eingebracht werden. Die Strömung legt sich dann an der Decke an und durchmischt sich fast vollständig mit der Raumluft. Auf diese Weise kann mit relativ kurzem Zuluftkanalnetz gearbeitet werden, wenn die Anbindung an das Lüftungszentralgerät über Steigschächte im Gebäudekern geführt wird.

Bei der Anordnung der Zu- und Abluftöffnungen ist darüber hinaus noch auf Zugfreiheit zu achten, d. h. dass die zulässigen Luftgeschwindigkeiten im Aufenthaltsbereich nicht überschritten werden. Die "Zugempfindlichkeit" des Menschen hängt jedoch nicht nur von der Luftgeschwindigkeit, sondern auch von der Lufttemperatur ab. Dieses Problem ist bei Passivhaus-Lüftungsanlagen relativ unkritisch, weil die Zuluft bereits vorerwärmt in den Raum gelangt. Auch wenn keine Zuluftnacherwärmung vorgesehen ist, beträgt die Temperatur nach dem Wärmetauscher über 16,5 °C.

Ein wichtiges Komfortkriterium für die Lüftungsanlage ist der Schallschutz, dieser wird nicht nur vom Zentralgerät, sondern maßgeblich auch von der Luftführung beeinflusst. Das Kanalnetz und die darin integrierten Schalldämpfer sowie die Ausbildung und Anordnung der Zu- und Abluftöffnungen haben daran den größten Anteil. Zur Vermeidung von Körperschall ist die Anbindung des Zuluft-Kanalnetzes an das Zentralgerät z.B. mit Hilfe von Segeltuchstutzen zu realisieren. Das Prinzip der Körperschallentkoppelung muss selbstverständlich auch bei dezentralen Anlagen mit Einzelventilatoren in den Wohneinheiten angewendet werden. Hier können, wie z. B. im Projekt 02 Gummi-Manschetten zur Ventilatorankoppelung eingesetzt werden.

2.3.8 Erdreich-Wärmetauscher zur Vorerwärmung der Zuluft

Erdreich-Wärmetauscher (EWT) bilden eine gute Möglichkeit, den Wärmeübertrager der Lüftungsanlage frostfrei zu halten. Bei ausreichender Verlegetiefe (ca. 1,5 m) kann auf ein separates Frostschutzheizregister oder andere Abtauvorrichtungen vollständig verzichtet werden. Darüber hinaus können größer dimensionierte EWTs zur zusätzlichen Außenluftvorerwärmung beitragen. Speziell bei weniger effizienten Wärmeübertragern führt dies zu einer Verbesserung des Wärmebereitstellungsgrades der gesamten Anlage. Allerdings ist die Wirtschaftlichkeit von EWTs nur dann zu erreichen, wenn die Kosten für den Aushub und die Verlegung gering gehalten werden können. Die Verlegung im Arbeitsraum verursacht keinen zusätzlichen Aushub und kann daher sehr kostengünstig durchgeführt werden. Höhere Effizienz kann allerdings erreicht werden, wenn die Kanäle unter der Bodenplatte des Gebäudes verlegt werden. Weitere Hinweise für Anordnung, Auslegung und Dimensionierung werden in [Pfluger 1999] beschrieben.

Beim Einsatz von Passivhaus-Kompaktaggregate mit Wärmepumpen ist der Einsatz eines EWT in den meisten Fällen Voraussetzung für den Winterbetrieb. Aus diesem Grund sind auch im CEPHEUS-Projekt eine relativ hohe Anzahl von Anlagen mit EWT vertreten.

Theoretisch können EWTs auch zur sommerlichen Kühlung der Außenluft eingesetzt werden. Die Dimensionierung der Rohrregister wird jedoch im allgemeinen für den Winterfall (Außenluftvorerwärmung) durchgeführt, die sommerliche Kühlleistung beschränkt sich demnach auf Werte unter einem Kilowatt (Einfamilienhaus mit ca. 120 m³/h). Damit kann lediglich eine leichte Reduzierung der Raumlufttemperatur erreicht werden, wesentlich effizienter wirkt sich dagegen ausreichende Verschattung und Nachtlüftung aus. In Bürogebäuden hingegen kann der EWT so groß dimensioniert

werden, dass ein signifikanter Beitrag zur Vermeidung sommerlicher Überhitzung geleistet werden kann. Zu beachten ist jedoch, dass besonders beim Sommerbetrieb des EWT Kondensat auftritt. Zwar sind auch bei dieser Betriebsart bislang noch keine hygienischen Probleme bekannt geworden, die Auswirkungen dieser Betriebsart auf mikrobiologische Wachstumsprozesse sind bislang jedoch noch nicht vollständig wissenschaftlich geklärt. Unabhängig von der Betriebsart müssen die Rohrregister immer mit ausreichend Gefälle verlegt werden, um das Kondensat über einen Siphon in das Abwasser einleiten zu können. Tabelle 9 gibt eine Übersicht über die in den CEPHEUS-Teilprojekten eingesetzten Erdreich-Wärmetauschern und ihre Merkmale.

Nr.	04	05	05	06	07	11	12	13
Projekt	Austria, Egg	Austria, Hörbranz Haus I	Austria, Hörbranz Haus II+III	Austria, Wolfurt (Block A+B)	Austria, Dornbirn	Austria, Horn	Austria, Steyr	Switzerland, Luzern
Anordnung des EWT, Abstand von der Gebäudeaußenkante ¹⁾	a	a, 1 m	a, 1 m	a, 1 m	a, 1 m	v	t	a
Art der Durchströmung ²⁾	T			T		T		parallel
Material der Rohre	PE	PE	PE	PE	PE	PE	PE	PE
Verlegetiefe [m]	1,2-2	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,7-2,5	1,5 –1,7
Anzahl und Länge der Rohre [m]	4x40	1x28	1x45	4x35	1x25	ca. 2x 25	ca. 25	1x30
Durchmesser der Rohre	DN 160	DN 200	DN 250	DN 250	DN 200	DN 160	DN 200	DN 200
Minimale Austrittstemperatur (projektiert)		5 °C	5 °C	4 °C	5 °C	3 °C		
Minimale Austrittstemperatur (gemessen)	4,1 °C		I: 5,6 °C II: 6,0 °C	A: 3,2 °C B: 4,1 °C				+ 2 °C
Wärmebereitstellungsgrad (gemessen)	20 %		I: 32 % II: 33 %	A: 18 % B: 23 %				17 %
Betriebszeit ³⁾	S/W	S/W	S/W	S/W	S/W	S/W	W	S/W
Filter ⁴⁾	f	f (F6)	f (F6)	f (F6)	f (F6)	f	f	f

Tabelle 9: Projektübersicht zu den eingesetzten Erdreich-Wärmetauschern.

1) u: unter der Bodenplatte, a: im Arbeitsraum, v: vor dem Gebäude t: teilweise vor, teilweise unter der Bodenplatte

2) T: Tichelmann, M: Mäander, S: Sonderbauform

3) S: Sommer, W: Winter, S/W: Sommer und Winter

4) f: frontständig (vor dem EWT), n: nach dem EWT

2.3.9 Hocheffiziente Lüftungswärmerückgewinnung

Will man den Heizwärmebedarf unter 15 kWh/(m²a) senken, so reichen allein bauliche Maßnahmen in Mitteleuropa nicht aus. Setzt man reine Abluftanlagen bzw. Fensterlüftung ein, so sind 30 kWh/(m²a) kaum zu unterschreiten. Auch mit mittelmäßigen Wärmerückgewinnungsanlagen (z. B. Kreuzstromwärmetauscher mit Wärmebereitstellungsgrad von ca. 50%) sind diese Werte in der Regel nicht zu erreichen.

Erst mit Hilfe von hocheffizienten Passivhaus-Wärmerückgewinnungsanlagen kann der Grenzwert mit vertretbarem baulichem Aufwand bei derzeitigem Stand der Technik unterschritten werden. Wärmebereitstellungsgrade von mindestens 75 % sind notwendig und können, wie sich im CEPHEUS-Projekt auch im Rahmen der Feldmessungen gezeigt hat, mit Hilfe von Gegenstrom-Wärmeübertragern ohne weiteres erreicht und sogar überschritten werden. Tabelle 10 gibt eine Übersicht über die in CEPHEUS eingesetzten Wärmerückgewinnungsanlagen.

Nr.	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14
Projekt	Germany, Hannover	Germany, Kassel	Sweden, Gothenburg	Austria, Egg	Austria, Hörbranz	Austria, Wolfurt	Austria, Dornbirn	Austria, Gnigl	Austria, Kuchl	Austria, Hallein	Austria, Horn	Austria, Steyr	Switzerland, Luzern	France, Rennes
Anordnung des Wärmeübertragers ¹⁾	d	z	d	d	d	d	d	d	d	d	z	d	d	z
Gebäudetyp ²⁾	R	G	R	G	R	E	G	G	G	G	E	R	R	G
Hersteller	Paul (D)	Lüfta (D)	Themovex (S)	AEREX nur Lüftung (A)	2xAEREX WP + 1x AEREX nur Lüftung	AEREX nur Lüftung (A)	AEREX WP (A)	Mag. Schöpf (A)	REWA (A)	Wernig (A)	REWA (A)	Westaflex (D)	AEREX WP (A)	Themovex (S)
Typ des Wärmeübertragers ³⁾	Ka	G	G	KG	KG	KG	KG	G	G	Ka	G	G	KG	G
Wärmebereitstellungsgrad gem. Herstellerangabe bzw. Prüfergebnis	99	85	90	79	79	79	79		80		80	89	79	82
Wärmebereitstellungsgrad im CEPHEUS-Projekt gemessen	78	83						79						
Fortluftwärmepumpe	nein	nein	nein	nein	ja	nein	ja	nein	nein	nein	nein	nein	ja	nein
Steuerung ⁴⁾	z,m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m

Tabelle 10: Projektübersicht zu den Wärmerückgewinnungsanlagen

1) d: dezentral, z: zentral 2) E: Einfamilienhaus, R: Reihenhaushaus, G: Geschosswohnungsbau 3) G: Gegenstrom, K: Kreuzstrom, KG: Kreuzgegenstrom, Ka: Kanalgegenstrom 4) m: manuell, z: zeitgesteuert

Hohe Effizienz wird aber nur dann erreicht, wenn die Reduktion der Lüftungswärmeverluste nicht mit einem hohen Einsatz an Strom erkauft wird. Voraussetzung hierfür sind sowohl stromsparende Ventilatoren als auch geringe Druckverluste in der Anlage. Unter diesen Voraussetzungen erreichen effiziente Anlagen Jahresarbeitszahlen von 10 bis 15 (Verhältnis von eingesparter Heizwärme zu eingesetztem Strom).

Bis in die 80er Jahre wurden hauptsächlich Kreuzstromwärmetauscher aus Metall eingesetzt. Dieses Bauprinzip ist zwar relativ einfach in der Fertigung, weist aber bezüglich der Wärmeübertragung gravierende Nachteile auf. Zum einen ist der Wärmerückgewinnungsgrad bauartbedingt auf 55 % begrenzt, zum anderen reduziert die Längswärmeleitung in den Metallplatten den Wärmerückgewinnungsgrad noch weiter.

Hocheffiziente Wärmerückgewinnungsanlagen setzen heute fast ausschließlich Gegenstromwärmeübertrager aus Kunststoff ein. Die Kunststofflamellen werden meist profiliert ausgeführt und können dadurch rechteckige bzw. dreieckige Kanäle ausbilden und so für eine Vergrößerung der wärmeübertragenden Fläche sorgen. Mit Hilfe derartiger Wärmeübertrager können in heutigen Anlagen Wärmebereitstellungsgrade über 75% auch in der Praxis erreicht werden. Für diese Entwicklung war das Passivhauskonzept ein bedeutender Schrittmacher.

Neben den Verbesserungen der Wärmeübertrager tragen die Einführung von elektronisch kommutierten Gleichstrommotoren (ECM) als Ventilatorantrieb sowie eine verbesserte Laufradgeometrie wesentlich zur Effizienzverbesserung bei. Gegenüber herkömmlichen Asynchronmotoren konnte eine erhebliche Reduzierung der Leistungsaufnahme erreicht werden. Erstmals eingesetzt wurden diese Motoren für die Wohnlüftung im Forschungsprojekt „Passivhaus Darmstadt Kranichstein“ ([Feist

1992], [Feist 1994a]). Der Vergleich zwischen einem Asynchronmotor mit elektronischem Regler und einem elektronisch kommutierten Gleichstrommotor zeigt erstaunliche Ergebnisse: Selbst ein qualitativ hochwertiger Asynchronmotor im Leistungsbereich 30 - 100 W kann bestenfalls einen Wirkungsgrad von 50% erreichen; er wird aber bei Einsatz eines Reglers oder Frequenzumformers auf Werte unter 5% fallen. Der ECM-Motor liegt je nach Betriebspunkt des Ventilators fast immer bei 80%, fällt aber niemals unter 60%. Für die Leistungsaufnahme der Ventilatoren verantwortlich sind aber nicht nur Motor und Schaufelrad, sondern vor allem der Druckverlust im Gerät sowie die externe Pressung, also der Druckverlust im Kanalnetz. Die Luftführung im Gerät ist naturgemäß mit zahlreichen Strömungsumlenkungen verbunden. Auch diese Einlaufstrecken konnten in den letzten Jahren mit Hilfe der numerischen Strömungssimulation (CFD) auf möglichst geringe Druckverluste hin optimiert werden. Auch die externe Pressung kann durch sorgfältige Planung des Kanalnetzes weiter reduziert werden.

Als Grenzwert für passivhaustaugliche Lüftungsanlagen gilt 0,45 Wh pro m³ geförderter Luft). Hinzu kommt noch der zusätzliche Energieaufwand für den Frostschutz, falls kein Erdwärmetauscher vorgesehen ist. Die Messdaten von sieben CEPHEUS-Projekten, bei denen der Stromverbrauch der Lüftungsanlage separat ausgewiesen wurde, zeigen, dass dieser Wert deutlich unterschritten wurde (Mittelwert: 0,26 Wh pro m³ geförderter Luft).

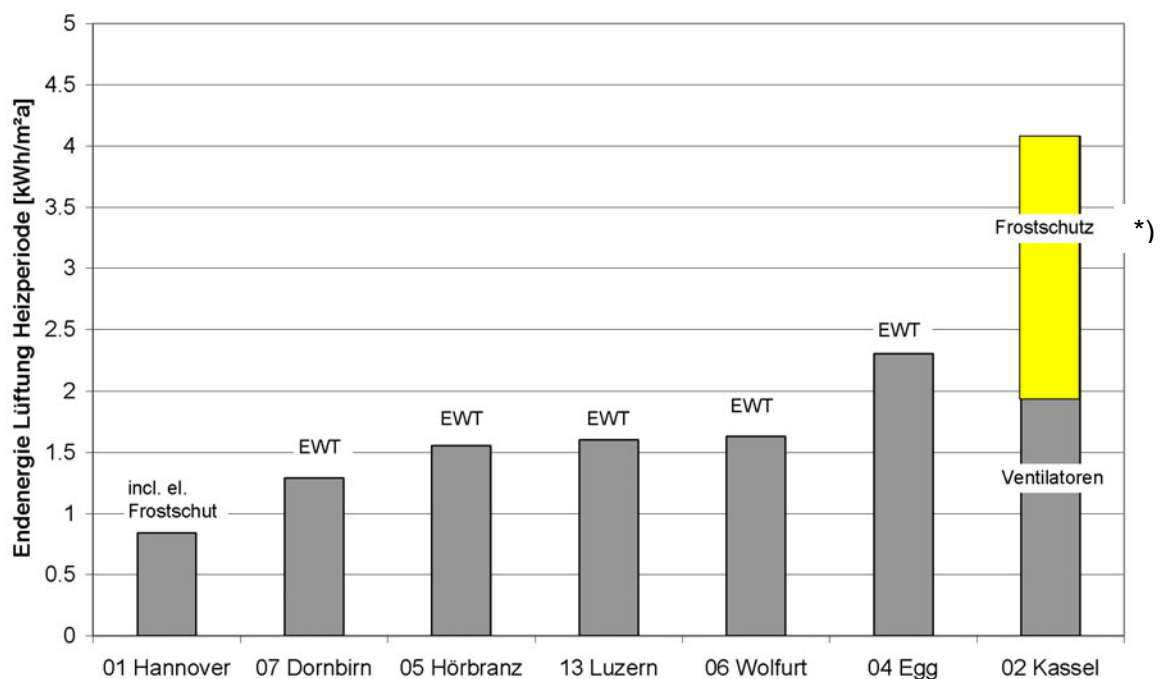


Abbildung 5: Gemessener Stromverbrauch der Lüftungsanlagen

*) falsche Einstellung der Regelung des Frostschutzes in der 1. Heizperiode

In Abbildung 5 sind die gemessenen Endenergieverbräuche flächenspezifisch aufgetragen. Bei den CEPHEUS-Projekten 04, 05, 06, 07 und 13 sorgt ein EWT für den Frostschutz, bei den Projekten 01 und 02 wird dieser über ein elektrisches Vorheizregister gewährleistet. Die Regelung hierfür war im CEPHEUS Projekt 02 (Kassel) falsch eingestellt, sodass die Vorheizung schon ab einer Außentemperatur von ca. 5 °C zuschaltete. Dieser Fehler wird in der nächsten Heizperiode korrigiert. Es ist daher zu erwarten, dass der Verbrauch für den Frostschutz in diesem Projekt um ca.

1,5 kWh/(m²a) zurückgehen wird. Der Mittelwert für die übrigen Projekte beträgt 1,54 kWh/(m²a).

2.3.10 Aktive Solarnutzung

2.3.10.1 Beitrag der aktiven Solarenergienutzung

Im Passivhaus gelten für die aktiv-thermische Nutzung der Sonnenenergie besondere Randbedingungen. Der überwiegende Teil des jährlichen Wärmebedarfs (teilweise mehr als 70 %) wird zur Warmwasserbereitung benötigt. Da dieser Bedarf im Unterschied zum Heizwärmebedarf jahreszeitlich weitgehend gleichmäßig anfällt, sind die Bedingungen für Anlagen mit hohem solaren Gesamtwärme-Deckungsanteil günstig. In Übereinstimmung mit Angaben in der Literatur ergeben sich auch für das Passivhaus sinnvolle solare Deckungsanteile der Warmwasserbereitung zwischen 55 % und 65 % [Rockendorf 1997b].

Die systemeigenen thermischen Verluste sind unabhängig vom solaren Deckungsanteil bedeutend (bei Einfamilienhausanlagen 35 % bis 40 %, [Rockendorf 1997b]). Daher ist es wichtig, die Leitungslängen sowie die Speichergrößen zu optimieren. Die Anlagenteile sollten sich weitgehend innerhalb der thermischen Hülle befinden, so dass deren Verluste in der Heizzeit zur Deckung des Heizwärmebedarfs beitragen.

Die Kosten von solar produzierter Wärme liegen bei Einfamilien-Passivhausanlagen derzeit über den Preisen von konventioneller Wärmeerzeugung (z.B. Gastherme). Mehrnutzeranlagen mit zentralem Pufferspeicher weisen einen deutlich geringeren Wärmepreis auf und sind vergleichbar mit konventioneller Wärmeerzeugung [Rockendorf 1997a].

2.3.10.2 Lösungen innerhalb CEPHEUS

Im Folgenden werden einige Lösungen der CEPHEUS-Projekte dargestellt. Im Projekt 05 Hörbranz werden fassadenintegrierte Kollektoren eingesetzt; Kollektor und Außenwandelement sind nicht thermisch getrennt. Das vorgefertigte in Holz ausgeführte Kollektorelement wird auf einer Holzunterkonstruktion befestigt. Eine OSB-Platte trennt den Absorberraum von der Zellulosedämmung der Außenwandkonstruktion. Die einfache Konstruktion kommt ohne eine weitere Dampfsperre zum Kollektorraum hin aus. Die Glasabdeckung wird seitlich durch Profile gehalten. Vorteilhaft sind die verbesserte Wärmedämmung des Kollektors, die Kostenreduzierung und die Schneefreiheit im Winter. Neben einer gemeinsamen Nutzung der ausgezeichneten Außenteil-dämmung verringert der integrierte Kollektor durch seine überwiegend erhöhte Temperatur gegenüber der Außenluft auch die Transmissionsverluste des Außenbauteils.

Aufgrund der 90°-Neigung reduziert sich der Jahresertrag der Solaranlage gegenüber der optimalen Neigung, während der saisonale Ertrag im Winter zunimmt und über das Jahr gesehen ausgeglichener ist.

Eine dezentrale Lösung der Solaranlagen ermöglicht im Projekt 01 Hannover ein kompaktes System. Es reduziert die Leitungslängen des Solarkreises, die Wärmeverluste und die Temperaturabnahme bis zur Warmwasser-Zapfstelle. Der Brauchwarmwasserspeicher befindet sich innerhalb der thermischen Hülle im Dachgeschoss jeden Reihenhauses. Zur Nachheizung wird auf ein Fernwärmenetz zurückgegriffen.

Die zentralen Mehrnutzeranlagen liefern zum Teil zusätzlich Heizwärme. Eine 75 m²-Kollektoranlage und ein Holzpelletskessel heizen im Projekt 09 Kuchl (25 Wohneinheiten) einen zentralen Pufferspeicher von 3 m³ auf. Heizwärme und Wärme zur Warmwasserbereitung werden wohnungsweise übergeben. Diese Anlagenkombination führt zu hervorragenden Primärenergie-Kennwerten (in Kuchl beträgt der

Primärenergiebedarf für Warmwasser und Raumwärme von Oktober 2000 bis März 2001 ca. 11 kWh/m². Die Berechnung basiert auf einem Primärenergiefaktor für Holzpellets von 0,1).

Nr.	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14
Projekt	Germany, Hannover	Germany, Kassel	Sweden, Gothenburg	Austria, Egg	Austria, Hörbranz	Austria, Wolfurt	Austria, Dornbirn	Austria, Gnigl	Austria, Kuchl	Austria, Hallein	Austria, Horn	Austria, Steyr	Switzerland, Luzern	France, Rennes
Gebäudetyp ¹⁾	R	G	R	G	R	G	E	G	G	G	E	R	R	G
Thermische Solaranlage														
Hersteller	Wagner Solartechnik		k. A.	Doma	Roskopf	Doma	k. A.	Roskopf	Doma	Sonnenkraft	Hagluge (Bausatz)	Sonnenkraft		Clipsol
Bauart 2)	F	-	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	-	F
Anordnung 3)	d	-	d	z	d	z	z	z	z	z	z	d	-	z
Kollektorfläche AK [m ²]	126	-	100	26	54	43	6	20	75	108	10	16,2	-	81
Kollektor-neigung	23,5°	-	27°	30°	90°	45°	45°	50°	25°	45°	18°	45°	-	55°
Orientierung S (0°), W (90°)..	15°	-	340°...20°	38°	350°	0°	~ 0°	~ 20°	5°	45°	0°	0°	-	0°
Einbausituation 4)	d	-	d	d	f	a	d	a	d	a	d	d	-	a
Spezif. Kollektorfläche (AK/TFA)	3,5 %	-	3,6 %	8,4 %	14 %	3,3 %	4,8 %	6,1 %	4,2 %	5,2 %	5,8 %	3,5 %	-	3,1 %
Photovoltaik-Anlagen	Nein	Ja	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	Ja	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein

Tabelle 11: Projektübersicht Solaranlagen in CEPHEUS

1) R: Reihenhhaus, G: Geschosswohnungsbau, E: Einfamilienhaus, 2) F: Flachkollektor, 3) d: dezentral, z: zentral, 4) d: dachmontiert, f: fassadenintegriert, a: aufgeständert.

2.3.11 Verteilung der Heizwärme

2.3.11.1 Passivhaus-Besonderheit: Das "wie" der Heizung spielt keine Rolle

Die Kernidee beim Passivhaus ist, den Wärmeschutz derart zu verbessern, dass die immer noch notwendige „Restheizwärme“ durch das Lüftungssystem zugeführt werden kann. Die auftretenden Heizlasten in Passivhäusern werden hierzu auf 10 W/m² begrenzt. Gleichzeitig sind die thermischen Hüllflächen von Passivhäusern derart gedämmt, dass bei der Zuführung der Wärme keine störende Strahlungstemperatur-Asymmetrie im Raum auftreten kann: der Ort der Wärmequelle kann frei gewählt werden; es sind keine beheizten Ausgleichsflächen mehr erforderlich. Auch die Art der Wärmeübergabe, von rein konvektiv bis zur Strahlungsheizung, ist in weiten Bereichen wählbar.

Eine konventionelle Heizkörperheizung (die „klassische Radiatorheizung“) kann nach wie vor auch im Passivhaus sinnvoll sein. Dabei kann, aufgrund der ausgeglichen Strahlungstemperaturen im Raum, die platzsparende Anordnung und die Optimierung von Versorgungsleitungslängen in den Vordergrund treten.

Auch Bauteilheizungen (Fußboden- oder Wandheizung) mit sehr niedrigen Vorlauf-temperaturen lassen sich im Passivhaus einsetzen. Die geringen Vorlauf-temperaturen führen bei der Nutzung von Wärmepumpen zu hohen Wärmepumpen-Arbeitszahlen.

Besonders interessant ist für Passivhäuser die Wärmezuführung über das Zuluftsystem. Aus den Anforderungen an Passivhäuser ergibt sich, dass eine Zuluftführung ohnehin erforderlich ist, um die aus lufthygienischen Gründen zu verteilende Außenluft in die

Aufenthaltsräume zu bringen. Eine Erwärmung der Zuluft ist hierbei mit einem der Wärmerückgewinnung nachgeschalteten Heizregister auf ca. 50°C zulässig (höhere Temperaturen könnten zur Staubverschmelzung in der Zuluft und gegebenenfalls auf Zuluftkanälen führen). Die so erreichte maximale Heizleistung deckt bequem die auftretenden Heizlasten in Passivhäusern. Ein Teil der Wärmeabgabe erfolgt bereits über das Zuluft-Kanalnetz, daher müssen die Zuluft-Kanäle möglichst vollständig innerhalb des gedämmten und beheizten Volumens liegen. Diese Wärmeabgabe ist sogar vorteilhaft, da hierdurch die Zulufttemperatur am Zuluftauslass abnimmt. Zusätzlich kann die Wärmeabgabe gezielt genutzt werden, um auch in Ablufträume (z. B. Badezimmer) Wärme zu transportieren. Mit Zuluftheizungen kann die Wärmeübergabe und Verteilung in Passivhäusern stark vereinfacht werden.

Die Heizwärmeverteilung ist unproblematisch, solange sie innerhalb der thermischen Hülle verläuft. Da auftretende Wärmeverteilungsverluste während der Heizzeit anfallen, kommen sie nahezu vollständig der Heizwärme zu gute. Dies gilt nicht für Warmwasserversorgungs- und Zirkulationsleitungen, weil diese während des ganzen Jahres, auch außerhalb der Heizzeit, Wärme abgeben. Versorgungsleitungen außerhalb der thermischen Hülle müssen sehr gut gedämmt werden. Daraus resultierende Verteilverluste gewinnen aufgrund des geringen Wärmebedarfs von Passivhäusern stark an Bedeutung.

2.3.11.2 Lösungen innerhalb CEPHEUS

Nr.	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14
Projekt	Germany, Hannover	Germany, Kassel	Sweden, Gothenburg	Austria, Egg	Austria, Hörbranz	Austria, Wolfurt	Austria, Dornbirn	Austria, Gnigl	Austria, Kuchl	Austria, Hallein	Austria, Horn	Austria, Steyr	Switzerland, Luzern	France, Rennes
Gebäudetyp ¹⁾	R	G	R	G	R	G	E	G	G	G	E	R	R	G
Zuluftnachheizung	Ja	Ja	Ja	Nein	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Nein	Ja	Ja	Ja	Ja
Heizkörper ²⁾	Bad	Bad	-	-	Bad, EH	Bad	Bad, EH	-	Mehrere	Mehrere	-	Bad, EH	-	-
Bauteilheizung ³⁾	-	-	-	FB	-	-	-	W	-	-	W	-	-	-
Max. Heizlast [W/m ²] ⁴⁾	7,1	7,5	5,3	10,6	11,0	10,9	14,9	11,8	9,4	9,0	12,3	8,2	10,0	15,3
Thermische Zonen	Bad, Rest	Bad, Rest	Eine	Mehrere	Bad, Rest	Bad, Rest	Bad, Rest	Mehrere	Mehrere	Mehrere	Mehrere	Bad, Rest	Eine	Eine

Tabelle 12: Projektübersicht Wärmeverteilssysteme in CEPHEUS

1) R: Reihenhaushaus, G: Geschosswohnungsbau, E: Einfamilienhaus, 2) EH: Elektroheizung 3) FB: Fußbodenheizung, W: Wandflächenheizung, 4) Berechnung nach PHPP.

In diesem Abschnitt stellen wir einige Beispiele zur Wärmeverteilung aus den Projekten dar. Im Projekt 01 Hannover wird die Heizwärme über die Zuluft bereitgestellt. Das Luftnachheizregister folgt auf die Wärmerückgewinnung im Zuluftstrang und befindet sich neben dem Warmwasserspeicher im Technikgeschoss. Außer einem zusätzlichen Badheizkörper sind keine weiteren Wärmeübergabesysteme installiert. Die Wärmeversorgungsleitung und Wärmeübergabe an die Raumluft wird hierdurch entscheidend vereinfacht und sehr kompakt. Während einer zweiwöchigen Intensivmessung (27.11.99 bis 10.12.99) in einem der Häuser zeigten die durchschnittlichen Lufttemperaturen verschiedener Zonen nur sehr geringe Unterschiede [Kaufmann 2001]. Die Abweichungen der Mittelwerte sind kleiner als 0,3 K. Die Zuluftheizung wird in Hannover nach einem zentralen Raumthermostat geregelt. Die geringen Differenzen weisen auf eine ausgewogene thermische Behaglichkeit der Wohnräume hin. Werden alle Häuser während der Heizzeit betrachtet, so zeigt sich,

dass die Nachluftheizung eine individuelle Temperaturwahl zulässt und die Heizleistungen immer ausreichend waren. Die durchschnittliche Raumlufttemperatur über die gesamte Heizzeit liegt im Spektrum der bewohnten Häuser zwischen 19,4°C und 23,4°C.

Die Wärmeabgabe der ungedämmten Zuluftkanäle kann auch genutzt werden, um Abluftzonen zusätzlich Wärme zuzuführen. Im Projekt 02 Kassel und im Projekt 13 Luzern werden jeweils die ungedämmten Zuluftkanäle durch das Bad geführt. Im Projekt 13 Luzern wird hierdurch auf ein zusätzliches Heizsystem im Bad verzichtet. Im Projekt 01 Hannover hingegen sind die Kanäle gedämmt, um einer verfrühten Wärmeabgabe durch das längere Kanalsystems entgegenzuwirken.

Auch Bauteilheizungen werden eingesetzt: eine Fußbodenheizung im Projekt 04 Egg und eine Wandflächenheizung im Projekt 08 Gnigl. Die Fußbodenheizung wird mit einer maximalen Vorlauftemperatur von etwa 35°C betrieben. Das Heizungsrohrnetz im Fußboden deckt nahezu die gesamte Wohnfläche ab. Zur Einbringung der im Passivhaus üblichen Heizlasten (10 W/m²) sind Übertemperaturen der Heizflächen von etwa 1 K ausreichend [DIN 4725]; die Vorlauftemperatur von 35°C ist für ein Passivhaus großzügig ausgelegt. Ein verringerter Heizflächenanteil wäre ausreichend und würde die Kosten reduzieren. Generell zählt die Fußbodenheizung zu den teureren Lösungen, die allerdings beim Betrieb mit geringen Vorlauftemperaturen eine gute Ergänzung zur Wärmeerzeugung mit Wärmepumpen darstellt.

Bei den durchgeführten Dämmmaßnahmen bleiben leider häufig die Armaturen ausgespart; hier besteht noch Optimierungspotential.

Zum Teil wurden redundante Systeme eingesetzt, welche die Heizwärme durch eine Zuluftnachheizung und zusätzliche Systeme den Räumen übergeben. Diese Lösungen erfüllen ihre Aufgabe, doch erhöhen sie die Investitionskosten des Heizungssystems. Ob diese „doppelte“ Heizungsausstattung tatsächlich benötigt wird, werden die nächsten Heizperioden zeigen.

2.3.12 Wärmeversorgung bei den CEPHEUS-Projekten

2.3.12.1 Möglichkeiten zur Deckung des geringen Rest-Heizwärmebedarfs im Passivhaus

Die Wärmeversorgung von Passivhäusern unterscheidet sich von der gewöhnlicher Wohngebäude an entscheidenden Stellen: Wie bereits zuvor ausgeführt, ist der Jahresheizwärmebedarf mit 15 kWh/m² extrem niedrig. Durch die Energieeffizienz des Passivhauses gewinnt der Warmwasserwärmebedarf an Bedeutung und wird sogar zum dominierenden Wärmebedarf. Unter diesen veränderten Randbedingungen werden kleine, einfache Versorgungssysteme möglich, die Vielfalt der Lösungen nimmt zu. Durch die Dominanz der Warmwasser- gegenüber der Heizwärmeversorgung werden primär effiziente und kostengünstige Systeme der Warmwasserversorgung gesucht; die Heizwärmeversorgung wird nebenbei miterledigt. Hierzu eignen sich alle heutigen Versorgungsvarianten von konventionellen Häusern.

Die Wärmeversorgungsanlagen lassen sich im Fall von Mehrfamilienhäusern nach zentralen und dezentralen Anlagen unterscheiden. Durch die zentrale Wärmebereitstellung in Mehrfamilienhäusern wird die geringe Wärmeabnahme der einzelnen Wohneinheiten gebündelt. Damit werden auch aufwendigere und kostenintensivere, konventionelle Heizungssysteme in Passivhäusern einsetzbar.

Dezentrale Anlagen benötigen lediglich Kleinstwärmeerzeuger oder werden mit Fernwärme betrieben. Die dezentralen Anlagen können vollständig in den Wohneinheiten untergebracht werden. Die Versorgungsleitungen werden reduziert und die Wärmeverluste kommen während der Heizzeit großenteils der Wohneinheit zugute.

Bei der Versorgung mit Erdgas oder Fernwärme muss die entsprechende Infrastruktur vorhanden sein. Zudem wird zur Bereitstellung eines Erdgas- oder Fernwärmeanschlusses ein Grundpreis erhoben, der bei den geringen Abnahmemengen von Passivhäusern die Energiekosten eines Hauses übersteigt. Die Abnahme von Wärme und das Einrichten einer Wärmeübergabestation erscheint erst bei größeren Projekten mit mehr als 5 Wohneinheiten sinnvoll.

Neben konventionellen Versorgungsvarianten bieten sich für das Passivhaus zusätzliche neue Konzepte. Eine Innovation in der Gebäudetechnik stellen Passivhaus-Kompaktaggregate dar. Die Baueinheit umfasst dabei die gesamte Lüftungstechnik, den Warmwasserspeicher und den Kleinstwärmeerzeuger. Um die Gesamtkosten gering zu halten, werden die Investitionskosten der Wärmeversorgung im Passivhaus bedeutender. Insbesondere bei Einfamilienhäusern und bei dezentraler Wärmeversorgung sind daher Kompaktaggregate interessant, die in industrieller Vorfertigung bereits alle Systemkomponenten der Haustechnik beinhalten.

2.3.12.2 Lösungen innerhalb CEPHEUS

Die Wärmeversorgungssysteme der Projekte reichen von konventionellen, zentralen Heizungsanlagen bis zu dezentralen Kompaktaggregaten. In den Projekten 05 Hörbranz, 07 Dornbirn als auch im Projekt 13 Luzern werden Wärmepumpen-Kompaktaggregate eingesetzt. Als Wärmequelle der kompakten, effizienten Wärmepumpe dient die Fortluft nach dem Luft/Luft-Wärmetauscher. Durch die Kombination mit einem Erdreichwärmetauscher im Frischluftstrang liegt die Fortlufttemperatur auch an kalten Tagen immer noch zwischen 6°C und 10°C. Zusätzlich enthält die Fortluft die gesamte latente Wärme des im Haus freigesetzten Wasserdampfes. Zur Brauchwassererwärmung durchläuft ein zweiter Verflüssiger-Kreislauf den Wasserspeicher (nur in Dornbirn und Luzern). Die gesamte Haustechnik samt Brauchwasserspeicher ist in zwei Einheiten mit jeweils einer Grundfläche von 0,6 m x 0,6 m untergebracht. Eine vorläufige Auswertung der ersten Messergebnisse aus dem Projekt 07 Dornbirn ergibt in den Monaten Februar und März 2001 Arbeitszahlen von 3,2 für den reinen Luftnachheizbetrieb.

Wärmepumpen-Kompaktaggregate führen zu Systemvereinfachungen und zu Platzeinsparungen, da die Brennstoffbevorratung sowie ein Schornstein entfällt.

Nr.	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14
Projekt	Germany, Hannover	Germany, Kassel	Sweden, Gothenburg	Austria, Egg	Austria, Hörbranz	Austria, Wolfurt	Austria, Dornbirn	Austria, Gnigl	Austria, Kuchl	Austria, Hallein	Austria, Horn	Austria, Steyr	Switzerland, Luzern	France, Rennes
Gebäudetyp ¹⁾	R	G	R	G	R	G	E	G	G	G	E	R	R	G
Einzel-/Mehrnutzer-Anlage	E	M	E	M	E	M	E	M	M	M	E	E	E	M
Kompaktaggregat	Nein	Nein	Nein	Nein	Ja/Nein	Nein	Ja	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	Ja	Nein
Kombination von WW & RW ²⁾	Nein	Nein	Nein	Ja	Nein/Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Nein
Warmwasser ³⁾	S, F	F	S, e	S, P, e, EW	S, P, e/ S, P, G	S, P, H, e	S, P, LW, e	S, H	S, P, H	S, P, H	S, P, H	S, P, G	LW, e	S, P, F
Heizwärme ³⁾	F	F	e	EW, S	LLW/ G, S	H, S, P, e	LW	H, S	H, P, S	H, P, S	H, P, S	G	LW	F
Haupt-Wärmeerzeuger ³⁾	F	F	e, e	EW	LLW, e/ G	H, e	LW, e	H	H	H	H	G	LW, e	F
Hersteller Wärmeerzeuger			Themovex	Viesmann	Maico AEREX, Viesmann	Sommerauer & Lindner	Maico AEREX	KEB	Sommerauer & Lindner	Sommerauer & Lindner	Ökofen	Junckers	Maico AEREX	
Heizleistung (WW & RW) [W/m ²] ^{2), 3)}	22,4	44,4	21,0	26,8	26,8 (LLW)	20,8	27,3	106,7	27,8	34,5	57,9	32,1	27,7	15,4 (RW)

Tabelle 1: Projektübersicht Wärmeversorgung in CEPHEUS

1) R: Reihenhaushaus, G: Geschosswohnungsbau, E: Einfamilienhaus, 2) WW & RW: Warmwasser & Raumwärme, 3) e: direkt-elektrisch, EW: Erdreich-Wasser-Wärmepumpe, F: Fernwärme, G: Brennwert-Gastherme, H: Holzpelletsheizung, LW: Luft/(Luft/Wasser)-Wärmepumpe (aus der Fortluft, mit Brauchwassererwärmung), LLW: Luft/Luft-Wärmepumpe (aus der Fortluft), P: Pufferspeicher, S: therm. Solaranlage.

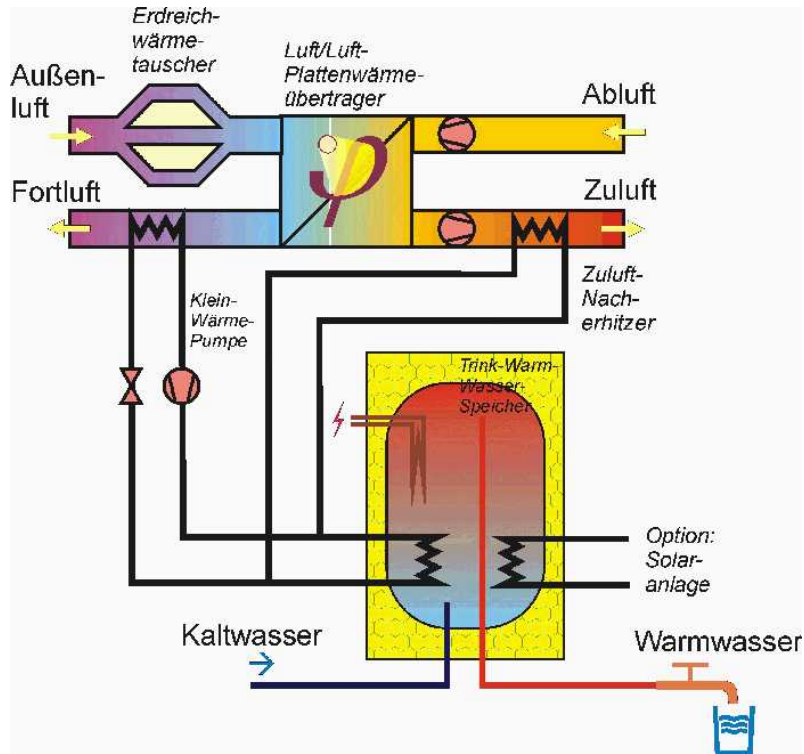


Abbildung 6: Schema des Wärmepumpen-Kompaktaggregats.

Die Wärmeversorgung im Projekt 04 Egg sichert eine Erdreich-Wärmepumpe. Passivhäuser bieten hierfür sehr gute Randbedingungen. Der niedrige Wärmebedarf führt zu einer geringen Belastung des Erdregisters. Das Register kann entsprechend kleiner dimensioniert werden; das Rohrnetz von ca. 1300 m Länge (entspricht ca. 370 €/kW Verdampferleistung) müsste bei konventionellem Heizwärmebedarf-Standard 3 bis 4 mal länger sein. Die Temperatur des Erdkreises wird soweit möglich durch die Solaranlage weiter angehoben. Die aus Messwerten des Zeitraum 1/2001 bis 3/2001 ermittelte Arbeitszahl von 2,7 ist moderat, übertrifft aber den Primärenergiefaktor von 2,5.

Die Projekte 01 Hannover, 02 Kassel und 14 Rennes werden über ein Fernwärmenetz mit Wärme versorgt. Im Projekt 01 Hannover teilen sich jeweils 16 Reihenhäuser eine Wärmeübergabestation. Diese befindet sich am Kopf einer Reihenhausezeile und versorgt von dort zwei Zeilen. Während bei der Hauszeile mit angeschlossener Übergabestation die weiteren Wärmeverteilungen innerhalb der thermischen Hüllen der Häuser verlaufen, erfolgt die Zuführung zur zweiten Zeile teilweise außerhalb der Gebäude. Werden die nutzbaren Wärmeverteilverluste berücksichtigt, d. h. die Verteilverluste während der Heizzeit und innerhalb der thermischen Hülle, so ergibt sich im Messzeitraum 10/1999 bis 9/2000 ein Jahresnutzungsgrad der Wärmeübergabe inklusive aller Verteilverluste im Projekt 01 Hannover von 84%.

Holzpelletsheizungen werden in fünf österreichischen Projekten eingesetzt. Im Projekt 08 Gnigl belädt ein Holzpelletskessel neben einer thermischen Solaranlage einen Pufferspeicher. Die zentrale Wärmeversorgung des Mehrfamilienhauses deckt den Bedarf an Raumwärme und zur Warmwasserbereitung. Holzpellets sind als nachwachsende Rohstoffe nahezu CO₂-neutral. Die Kombination mit einer Solaranlage führt zu hervorragenden Primärenergie-Kennwerten der Wärmeversorgung (vgl. Kap. 2.3.10.2).

2.3.13 Ausstattung mit Beleuchtung und Haushaltsgroßgeräten

Der Heizwärmebedarf in Passivhäusern ist extrem stark reduziert und auch der Warmwasser-Wärmebedarf wird durch effiziente Techniken verringert. Unter diesen Umständen wird der Bedarf an Haushaltsstrom zum größten Endenergiebedarf für die Wohnung; wenn er in der heute üblichen Größenordnung verbleibt, ist er etwa doppelt so hoch wie der Heizenergieverbrauch. Speziell im Passivhaus gibt es neben der Energie- und CO₂-Einsparung einen weiteren Grund für eine hohe elektrische Energieeffizienz: Die Wärmeabgabe aus inneren Wärmequellen ist auch im Sommer vorhanden, wenn sie nicht gebraucht wird oder sogar stört. Für CEPHEUS bestand die Aufgabe daher darin, Instrumente zu erproben, mit denen eine Ausstattung der Haushalte mit hocheffizienten Elektrogeräten erreicht werden kann.

Hierzu hat das PHI zu Beginn des Projektes zwei Hilfestellungen gegeben:

Es wurde eine aktuelle Liste von besonders effizienten Hausgeräten erstellt. Nur die besten Geräte des jeweiligen Typs auch innerhalb Effizienzklasse A erlauben es, den hohen Anforderungen der CEPHEUS-Zielsetzung gerecht zu werden.

Im Passivhaus Projektierungspaket gibt es eine Kalkulationsgrundlage PHPP-EL ("Elektro"), mit welcher der Haushaltsstromverbrauch bei bekannter Effizienz der verwendeten Geräte vorprojektiert werden kann. Die Anwendung dieses Verfahrens auf die CEPHEUS-Projekte wurde exemplarisch demonstriert.

Diese Publikationen standen allen Projektpartnern frühzeitig zur Verfügung.

2.3.13.1 Elektroeffizienz bei den einzelnen CEPHEUS-Projekten

In den CEPHEUS-Einzelprojekten wurden je nach nationaler Besonderheit verschiedene Wege gewählt.

Nr.	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14
Projekt	Germany, Hannover	Germany, Kassel	Sweden, Gothenburg	Austria, Egg	Austria, Hörbranz	Austria, Wolfurt	Austria, Dornbirn	Austria, Grögl	Austria, Kuchl	Austria, Hallein	Austria, Horn	Austria, Steyr	Switzerland, Luzern	France, Rennes
elektrische Energieeffizienz														
Zielsetzung	Verwendung effizienter elektrischer Hausgeräte													
Instrument zur Umsetzung der Effizienz-Verbesserung	Anreiz +Komp	Info +Komp	Ausstattung	Beratung, effi. Geräte	Beratung	Beratung, Vertrag	?	Info	Info	Info +Komp	Beratung, Vertrag	Beratung	Ausstattung	Anreiz
Erfolgs-Bewertung	sehr gut	mäßig	n.n.	mäßig	mäßig	gut	n.n.	mäßig	mäßig	n.n.	befried.	befried.	gut	n.n.
Besondere Komponenten	Trockenschrank, WW-Anschlüsse	WW-Anschlüsse, Energiesparlampen in den				teilw. Gasherde Trockenraum			Trockenraum	beflüfter Trockenraum, Zentralgefriergeräte mit	WW-Anschlüsse für Wasch- und Spülmaschine	WW-Anschlüsse für Wasch- und Spülmaschine	Ausstattung; ein Haus auch mit Energiesparlampen	

Tabelle 14: Übersicht über die Maßnahmen zur elektrischen Energieeffizienz in CEPHEUS

LEGENDE:

- Anreiz = qualifizierte Beratung der Erwerber verbunden mit einem finanziellen Anreiz zur Anschaffung neuer, effizienter Geräte.
- Ausstattung = Erstausrüstung der Wohnungen durch den Bauträger mit besonders effizienten Geräten.
- Beratung = Beratung der Erwerber/Mieter zur Stromeffizienz.
- Info = Information der Erwerber/Mieter über das Nutzerhandbuch zum Passivhaus.
- Komp = Verwendung spezieller Komponenten zur effizienten Stromnutzung, die der Bauträger im Passivhaus realisiert hat; die Komponenten sind in der Folgezeile genannt.
- n.n. = Bewertung noch nicht möglich, weil noch keine gemessenen Werte vorliegen

- **Ausstattung aller Haushalte mit einem vollständigen Satz möglichst effizienter Geräte ("Ausstattung" top down)**

In den CEPHEUS-Ländern, in denen eine Erstausrüstung der Wohnungen mit Küchen inkl. Elektrogeräten und der Wasch- und Trockengeräte landesüblich ist, wurde dieser Ansatz gewählt: Dies betrifft 03-Göteborg (Schweden) und 13-Luzern (Schweiz). Die Bauträger der Passivhäuser haben in diesen Fällen jeweils Auswahllisten von Geräten der Effizienzklassen A und B aufgestellt, aus denen die Erwerber ihre jeweils mit der Wohnung mitgekauften Geräte aussuchen konnten.

- **Qualifizierte Stromeffizienzberatung und finanzieller Anreiz ("Anreiz" bottom up)**

Wenn der Erwerb der Geräte nach wie vor in den Händen der Bewohner (Eigentümer oder Mieter) liegt, wie dies in Deutschland, Österreich und Frankreich üblich ist, so

kommt der "Top-Down"-Ansatz nicht in Frage. In diesem Fall wurde für das *Projekt 01-Hannover* vom Bauträger Rasch & Partner folgendes Instrument verwendet:

- Jedem Erwerber wurde eine kostenlose *Stromeffizienz-Beratung* angeboten. Diese Beratung wurde von einem Mitarbeiter von Rasch&Partner in Hannover durchgeführt.
- Die Beratung wurde mit dem vom Passivhaus Institut erstellten Programm "Stromberatung" der Stadtwerke Hannover durchgeführt [INFO-4 1998]. Dieses Programm erlaubt sowohl die Vorprojektierung des Haushaltsstrombedarfs, als auch die Bestimmung der Wirtschaftlichkeit für die Neuanschaffung effizienterer Geräte.
- Wenn bei Normnutzung ein Jahres-Haushaltsstromverbrauch gemäß dem Kalkül "Stromberatung" von weniger als 18 kWh/(m²a) mit der jeweiligen Ausstattung nachgewiesen werden konnte, wurde den Erwerbern als Anreiz eine Rückzahlung von DM 2000,- des Kaufpreises ihres Passivhauses in Aussicht gestellt.

Insbesondere durch den letzten Punkt lag eine ausreichende Motivation der Erwerber vor, sowohl die angebotene Beratung wahrzunehmen als auch tatsächlich in Neugeräte mit höherer Effizienz zu investieren.

Für die Erwerber der Passivhaussiedlung wurden 18 Beratungen durchgeführt. Dabei wurde der zu erwartende Strombedarf unter der Annahme eine Normnutzung (u.a. mit einheitlich 3,2 Personen in Haushalt) ermittelt; für jede Gerätereanschaffung wurde eine Wirtschaftlichkeitsrechnung durchgeführt. Im Durchschnitt führte dies bei Normalbelegung zu einem Bedarf von 17,0 kWh/(m²a). Nach Erfassung der tatsächlichen Randbedingungen, insbesondere der Haushaltsgrößen, hat das PHI die Berechnung noch einmal durchgeführt (ex posteriori Berechnung). Hierbei ergab sich für die 18 beratenen Haushalte ein rechnerischer Durchschnittswert von 17,5 kWh/(m²a). Die Messung des Haushaltsstromverbrauches im ersten bewohnten Jahr der Häuser ergab für die 18 hier betrachteten Haushalte schließlich 20,2 kWh/(m²a) (±1,3) [Peper 2001]. Damit ergab sich für die nach dem Modell "bottom up" beratenen Haushalte eine gemessene Stromeinsparung von 38% gegenüber dem Referenzwert durchschnittlicher deutscher Haushalte (32,8 kWh/(m²a), vgl. Abbildung 6)

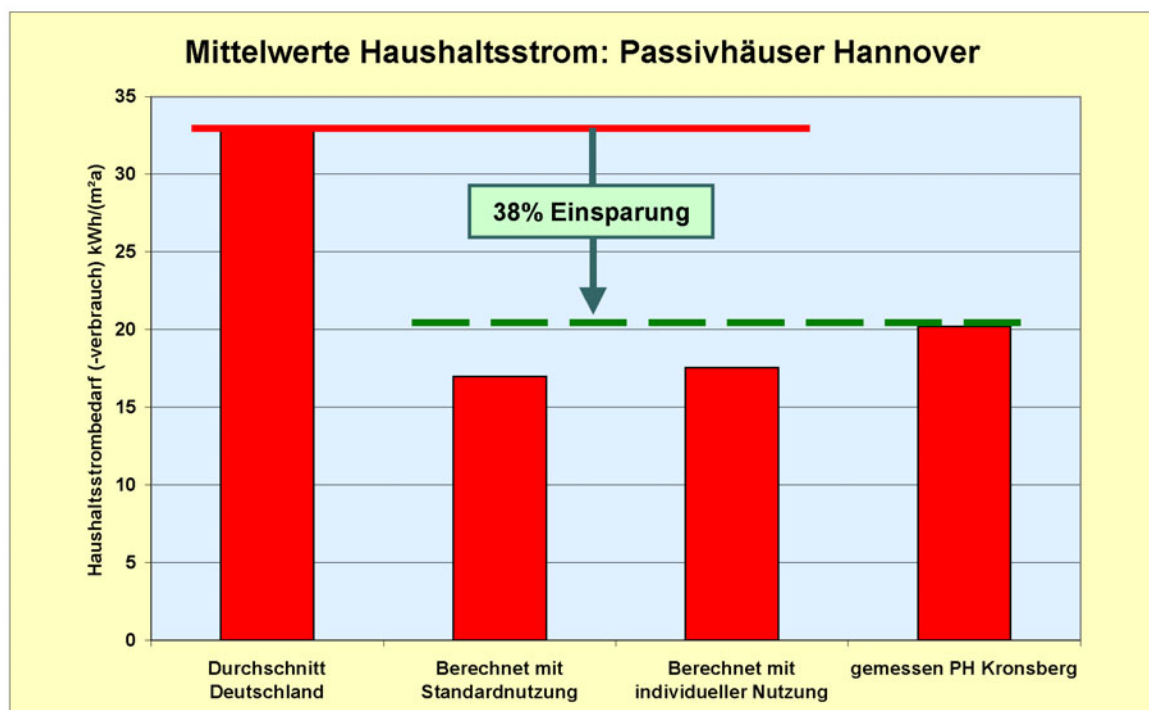


Abbildung 7: Stromeinsparung durch effiziente Hausgeräte in 18 beratenen Haushalten der Passivhaussiedlung Hannover Kronsberg

Wie die gemessenen Verbrauchswerte im Hannover-Projekt zeigen, kann der Ansatz "Beratung und Anreiz" als sehr erfolgreich angesehen werden. Andererseits ist offensichtlich, dass der Aufwand für dieses Modell relativ hoch ist.

Eine Besonderheit stellt das *Projekt 14-Rennes* da, wo sich die Hauskäufer als Kooperative formiert haben. Auf den regelmäßig durchgeführten Versammlungen der Kooperative musste der Bauträger u.a. die Passivhaustechnologie und die verwendeten ökologischen Baustoffe ausgiebigst vorstellen sowie eine detaillierte Einweisung in deren Nutzung geben. Auf einer dieser Versammlung erfolgte eine ausführliche Beratung durch die Rennes Energie Agentur zu stromsparender Beleuchtung und Haushaltsgeräten, die Gründung einer Einkaufsgemeinschaft für Großgeräte wurde forciert. ADEME und EDF stellten Zuschüsse für den Kauf der Geräte der Effizienzklasse A bereit, und zwar 152,45 Euro (1000 FRF) beim Kauf von 2 Geräten bzw. 340,90 Euro (2000 FRF) beim Kauf von 3 Geräten. Wäschetrockner waren von der Förderung ausgeschlossen, insgesamt beteiligten sich 16 von 40 Wohnungseigentümern an der Aktion.

- **Stromsparberatung ohne weiteren Anreiz ("Beratung")**

In einer Reihe der CEPHEUS-Projekte war weder die komplette Ausstattung mit effizienten Neugeräten, noch das Angebot eines finanziellen Anreizes zur Anschaffung neuer Geräte möglich. In diesen Fällen wurde eine Beratung der künftigen Bewohner (Erwerber oder Mieter oder Miteigentümer) angeboten. Der Ansatz war von Projekt zu Projekt unterschiedlich erfolgreich (vgl. Tabelle 14).

- **Stromsparberatung über die schriftliche Nutzerinformation ("Info")**

Auch die individuelle Beratung nach dem zuletzt beschriebenen Modell war nicht in allen Projekten möglich. In einigen Fällen wurde den Haushalten im Nutzerhandbuch für das Passivhaus Informationen über die Effizienz neuer elektrischer Hausgeräte an die Hand gegeben (Projekt 02-Kassel).

- **Ausstattung mit spezifischen Stromeffizienz-Komponenten ("Komp")**

In den CEPHEUS-Projekten sind noch weitere innovative Ansätze zur Stromeffizienz verfolgt worden:

In der Untersuchung "Sparsames Wäschetrocknen" [Ebel 1998] wurden Möglichkeiten, die sehr hohen Stromverbräuche für das Wäschetrocknen zu verringern diskutiert. Einige dieser Möglichkeiten wurden in den CEPHEUS-Projekten tatsächlich experimentell erprobt.

a) Trocknen in einem Wäschetrocknenraum außerhalb der thermischen Hülle

Diese Trockenstrategie erweist sich als die energetisch bei weitem effizienteste: Als Trockenräume bieten sich Keller- oder Dachbodenräume an. In den CEPHEUS-Projekten 06-Wolfurt, 09-Kuchl und 10-Hallein wurden gemeinschaftliche Trockenräume für die Haushalte eingerichtet.

b) Trocknen in einem Trockenschrank vor Abluftabsaugung der Lüftungsanlage

Die sehr guten Ergebnisse einer Voruntersuchung führten zu der Entscheidung, die 32 Reihenhäuser der Passivhaussiedlung Hannover-Kronsberg vollständig mit Trockenschränken auszustatten. Die Schränke vom Typ "Nimo" wurden vom Bauträger gekauft und für den Einsatz in den Passivhäusern gemäß der Vorschläge aus [Feist 2000] umgebaut.

c) Warmwasseranschlüsse für Wasch- und Spülmaschinen

Durch den Anschluss von Spülmaschinen und Waschmaschinen an das vorhandene Warmwassernetz sind Primärenergieeinsparungen von 39 bzw. 37% möglich, vorausgesetzt, die Warmwasserbereitung basiert auf Kraft-Wärme-Kopplung oder/und thermischen Solaranlagen bzw. anderen erneuerbaren Energiequellen. Diese Voraussetzung ist für die meisten CEPHEUS-Projekte erfüllt, so dass die Bereitstellung

von Warmwasseranschlüssen zu den entscheidenden baulichen Maßnahmen zur Ermöglichung einer höheren Effizienz bei den Hausgeräten gehört. Tabelle 14 zeigt in der Zeile "besondere Komponenten", in welchen CEPHEUS-Projekten Warmwasseranschlüsse bereitgestellt wurden.

d) Wärme/Kälte-Kopplung bei Gefriergeräten

Ein innovatives Konzept wurde im CEPHEUS-Projekt 10-Hallein realisiert: Im Keller wurde ein Raum mit Gefrierboxen für jeden der 31 Haushalte eingerichtet; die für alle Kühlboxen verwendeten Kompressoren befinden sich zentral in einem Nebenraum und der Kondensator arbeitet auf den Kaltwasserzulauf der Warmwasserbereitung. Dadurch wird einerseits eine niedrige Kondensationstemperatur und damit hohe Kältezahl der Kompressoren erreicht, andererseits die Kondensationsenergie ganzjährig für die Warmwasserbereitung genutzt (daher: Wärme/Kälte-Kopplung). Zum Zeitpunkt des CEPHEUS-Projektabschlusses lagen leider noch keine Messergebnisse für dieses interessante Konzept vor.

2.3.14 Bilanziell CO₂-neutrale Konzepte

Passivhäuser bieten auf der Grundlage des mittels „passiver“ Effizienzstrategien stark reduzierten Energiebedarfs hervorragende Möglichkeiten, die verbleibende Energienachfrage weitgehend direkt durch erneuerbare Energien zu decken.

Durch den hohen Anteil des Jahreswärmebedarfs für die Warmwasserbereitung am gesamten Wärmebedarf (teilweise mehr als 70 %) führt eine übliche, kostenoptimierte Auslegung thermischer Solaranlagen zu einem im Vergleich zu konventionellen Gebäuden hohen solaren Deckungsanteil am Gesamtwärmebedarf von 40 – 60 %. Zum Einsatz thermischer Solaranlagen in den CEPHEUS-Projekten siehe Abschnitt 2.3.9.

Aus dem gleichen Grund bieten Passivhäuser ebenso günstige Voraussetzungen, den gesamten Wärmebedarf - vorzugsweise in Kombination mit der thermischen Solarnutzung – komplett durch Biomasseeinsatz zu decken. Dazu bieten sich insbesondere Holzpellets an. Bei 5 österreichischen CEPHEUS-Projekten erfolgt die Wärmeversorgung in dieser Kombination von Solarenergie mit Holzpellets (siehe Abschnitt 2.3.11). Diese Lösungen sind wirtschaftlich konkurrenzfähig zur konventionellen Versorgung mit Heizöl, Erdgas oder Fernwärme.

Für die (bilanzielle) Deckung des Strombedarfs durch erneuerbare Energien bietet sich am Passivhaus selbst der Einsatz von Photovoltaik an. Für den durchschnittlichen gemessenen Stromverbrauch der Reihenhäuser im CEPHEUS-Projekt von 2.400 kWh/a wären dafür ca. 3 kW_p bzw. 30 m² Modulfläche erforderlich. Diese dürfte im allgemeinen in südorientierter Exposition im Dach- oder Fassadenbereich eines Passivhauses unterzubringen sein. Bei zwei CEPHEUS-Projekten (02-Kassel und 09-Kuchl/A) wurde eine PV-Nutzung realisiert. PV-Anlagen sind allerdings zur Zeit noch mit relativ hohen Investitionskosten (5 – 8 Tausend Euro/kW_p) verbunden und verteuern dadurch die Anschaffungskosten eines Passivhauses erheblich.

Erheblich kostengünstiger ist die (bilanzielle) Deckung des Strombedarfs durch eine Beteiligung an einer Windkraftanlage. Dieser Weg ist beim Projekt 01 - Hannover besprochen worden. In den Kaufpreis der Passivhäuser wurde ein Betrag von 2.500 DM (= 1.278 Euro) integriert, mit dem der Erwerb einer Beteiligung von rund 2 kW an einer in der Nähe geplante Windkraftanlage vorgesehen war. Damit sollte bilanziell nicht nur der prognostizierte Stromverbrauch der Passivhäuser, sondern der gesamte Primärenergieverbrauch aus Heizung, Warmwasser und Haushaltsstromverbrauch, bzw. die daraus resultierende CO₂-Emission in der Jahresbilanz substituiert werden (zum Ergebnis siehe Abschnitt 4.2.3).

Das übergeordnete Ziel des globalen Klimaschutzes, die Substitution der verbleibenden CO₂-Emission in der Jahresbilanz durch erneuerbare Energie wird somit erreicht. Anstatt energieautarker Lösungen, die aufwändige Speichertechnologien erfordern, kann unter

den Bedingungen von Industrieländern mit einem ubiquitären Stromverteilungsnetz dieses Netz gewissermaßen als „virtueller“ Speicher genutzt werden.

Auch erneuerbare Energien stehen nicht unbegrenzt zur Verfügung, bzw. kann deren Nutzung ebenfalls die Umwelt belasten. Z. B. ließen sich bei einer Realisierung des gesamten neuen Stadtteils Kronsberg mit im Endausbau 6.000 Wohnungen für die zur Substitution der CO₂-Emission erforderlichen ca. 4-5 große Windenergieanlagen Standorte in der Nachbarschaft auf dem Kronsberg finden. Für die notwendige dreifache Anzahl von Windenergieanlagen bei üblichem Verbrauchsstandard wäre dies völlig undenkbar.

Die Erschließung aller wirtschaftlich sinnvollen Effizienzpotentiale ist daher eine entscheidende Voraussetzung, dass klimaneutrale Lösungen in der Breite realisiert werden können. Nur so wird es den erneuerbaren Energie damit ermöglicht, einen nennenswerten Beitrag zur Energiebedarfsdeckung zu leisten, wie es auch im Weißbuch „Erneuerbare Energien“ der Europäischen Kommission als Ziel festgeschrieben ist. Das Passivhauskonzept bietet dafür eine hervorragend geeignete Grundlage.

2.4 Qualitätssicherungs- und Evaluierungskonzept

2.4.1 Projektierungen mit dem Passivhaus Projektierungs Paket PHPP

Das PHPP erlaubt die Dimensionierung von Passivhäusern und ihrer Komponenten. Das PHPP besteht aus Arbeitsblättern einer Tabellenkalkulation, mit denen die Jahresbilanzen und die Dimensionierung von Bauteilen und Komponenten vorgenommen werden können [PHPP 1999]:

- Blatt Heizwärme (Jahresheizwärmebilanz nach EN 832)
- Blatt Wärmebrücken (übersichtliche Einbeziehung von Wärmebrückenwirkungen)
- Blatt Fenster (Fenster-U-Werte nach EN 10077 und Verschattungsberechnung)
- Blatt Drucktest (Auswertung von Gebäudeluftdichtheitsprüfungen)
- Blatt Lüftung (Projektierung von Zu- und Abluftmassenströmen)
- Blatt Warmwasser- und Leitungsverlust (Projektierung der WW-Versorgung)
- Blatt Wärmeenerzeugung
- Blatt Haushaltsstrom (vgl. auch 2.3.12)
- Blatt Primärenergiebedarf.

Mit dem PHPP ist es ermöglicht worden, die Planung von Passivhäusern in vielen Fällen ohne aufwendige, teure und schwer zugängliche Simulationsverfahren durchzuführen. Alle CEPHEUS-Projekte wurden von den jeweiligen nationalen Projektpartnern mit dem vom PHI zur Verfügung gestellten Passivhaus Projektierungs Paket projektiert und dokumentiert. Die zugehörigen umfangreichen Unterlagen finden sich in den Einzeldokumentationen der Bauprojekte. Für die Projekte sind jeweils mindestens zwei baulich/technische Standards berechnet worden:

A) Der bauliche/technische Referenzstandard

Dieser Referenzstandard definiert sich aus den in den jeweiligen Regionen zum Zeitpunkt der Baugenehmigung gültigen Baunormen und Bauvorschriften. Für die Berechnung des Referenzstandards wurden der architektonische Entwurf und alle weiteren Daten so weit wie möglich beibehalten: Es wurden allein

- die Wohnungslüftung so eingesetzt, wie nach den regionalen Bestimmungen üblich: D.h. für Deutschland/Österreich/Schweiz keine Lüftungsanlagen, für Frankreich und Schweden reine Abluftanlagen ohne Wärmerückgewinnung;
- die Fenster durch nach den Bestimmungen zulässige, übliche Fenster ersetzt: D.h. für Deutschland/Österreich/Schweiz Wärmeschutzverglasungen in Standardrahmen,

für Schweden Dreischiebenverglasungen mit einer Beschichtung und Standardrahmen.

- die Dicken der Dämmschichten von Dach-, Wand- und Bodenflächen so reduziert, dass die jeweiligen Normen und Verordnungen gerade eingehalten werden.

Damit sind die Referenzstandards Wohngebäude gleicher Bauart und Geometrie, wie sie 1998-2000 in den Partnerländern typischerweise errichtet worden wären.

B) Der tatsächlich realisierte Baustandard (in der Regel als Passivhaus)

Wir dokumentieren hier den *maßgeblichen Planungsstand* bei den Einzelprojekten; wie sich bei der Überprüfung der Berechnungen und der Bauaufnahme später herausstellte, entspricht der maßgebliche Planungsstand nicht immer exakt dem tatsächlichen baulichen Zustand der Gebäude; das PHI hat in einzelnen Fällen zusätzlich Datensätze für den "aktuellen baulichen Zustand nach Bauaufnahme" erstellt. Abbildung 8 zeigt den jeweils bei regionalem Klima berechneten Jahresheizwärmebedarf nach PHPP für die 14 CEPHEUS-Projekte im Vergleich. Bedeutend überschritten wird die 15 kWh/(m²a)-Zielsetzung nur von den Projekten 07-Dornbirn (ein hoch gelegenes kleines Einfamilienhaus), 08-Gnigl (eine Südorientierung der großen Hauptverglasungsfläche war am Standort nicht möglich) und 14-Rennes (hier war ursprünglich vom nationalen Berater mit Simulationsansätzen ein weit niedrigerer Wert ausgerechnet worden).

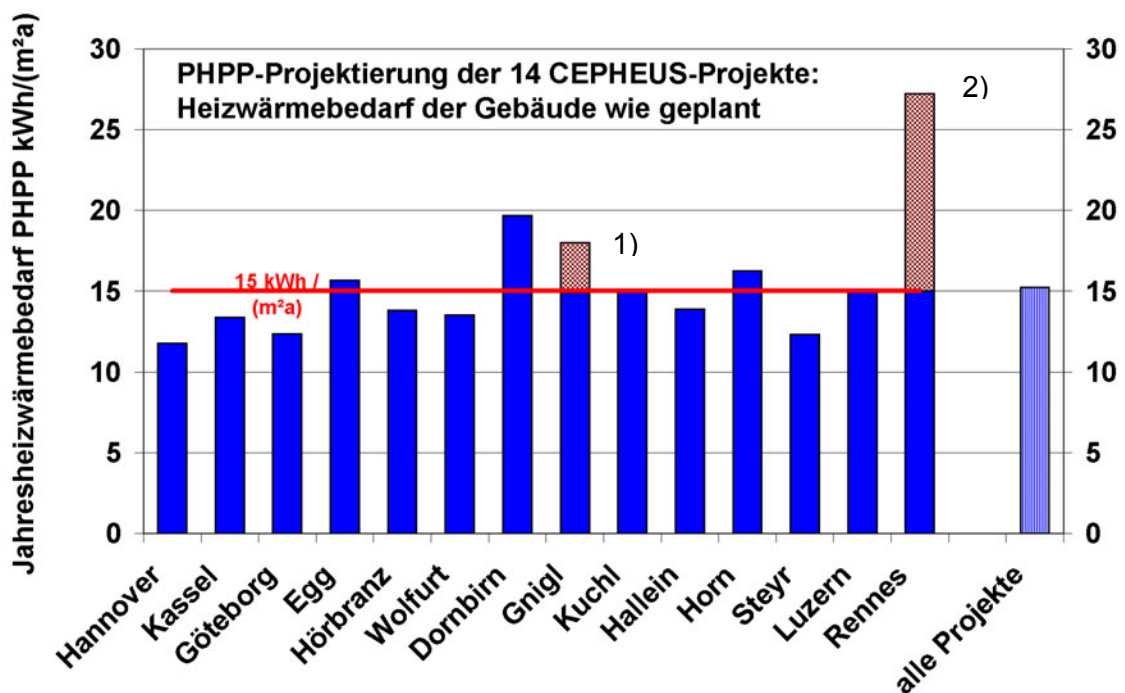


Abbildung 8: Mit PHPP berechnete Jahresheizwärmebedarfswerte für die 14 CEPHEUS-Bauprojekte im maßgeblichen Planungsstand

1) Gnigl - mögliche Einsparung mit südorientierter Variante

2) Rennes - mögliche Einsparung mit Variantenvorschlag des PHI

Für den Standort Rennes wurde am PHI die PHPP-Berechnung inklusive einer Aufnahme aus den Plänen neu durchgeführt, weil ursprünglich mit Innenmaßen gerechnet worden war. Beim Projekt in Rennes liegen hohe Wärmebrückenwirkungen vor, die sich im Energiekennwert für den maßgeblichen Planungsstand bedeutend auswirken: Trotz des sehr milden Klimas wird ein Heizwärmebedarf über 27 kWh/(m²a) erreicht. Das liegt vor allem an den trotz des milden Klimas hohen Wärmeverlusten, insbesondere durch die schlecht wärmegeämmte Südwand und den Wärmebrücken, die 51 kWh/(m²a) betragen. Dabei ist ein passiv solarer Eintrag durch die Strah-

lungsabsorption hier gesondert berücksichtigt worden. Aber auch die schlechtere Fensterqualität bei diesem Projekt führt zu höheren Wärmeverlusten durch die Fenster als passiv solaren Wärme gewinnen. Beim für Passivhäuser eigentlich sehr günstigen Klima in Rennes würde es ausreichen, die Qualität von Fensterrahmen und Randverbund zu verbessern, um diesbezüglich zu einer günstigeren Bilanz zu kommen.

Das PHI hat eine Variante für ein Gebäude mit gleicher Geometrie aufgestellt. Siehe dazu auch die ausführliche Darstellung in [Schnieders 2001]. Es stellt sich heraus, dass für Passivhäuser beim milden Klima in Rennes vergleichsweise moderate Maßnahmen ausreichen, um den Standard zu erreichen: Die Luftdichtheit sollte einen Restleckagewert unter $0,55 \text{ h}^{-1}$ erreichen, die Lehmwand auf der Südfassade wäre mit etwa 120 mm Dämmstoff ($\lambda=0,035 \text{ W/(mK)}$) zu dämmen, in den Verglasungen ein thermisch getrennter Randverbund einzusetzen, die Fenster-Einbau-Wärmebrücke zu reduzieren und verbesserte Fensterrahmen mit $U_f = 1,1 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ zu verwenden. Die Zweischeiben-Wärmeschutzverglasung ist hier jedoch ausreichend, die Dachdämmung sollte überall 250 mm stark sein und die massiven Wärmebrücken der auskragende Balkone sollten mit einer thermischen Trennung versehen werden. Damit lassen sich die Wärmeverluste auf $38 \text{ kWh/(m}^2\text{a)}$ reduzieren; die passiv solaren Einträge können davon 39 % decken, die inneren Wärmequellen 23 %. Dadurch kann der Passivhaus-Grenzwert von $15 \text{ kWh/(m}^2\text{a)}$ erreicht werden.

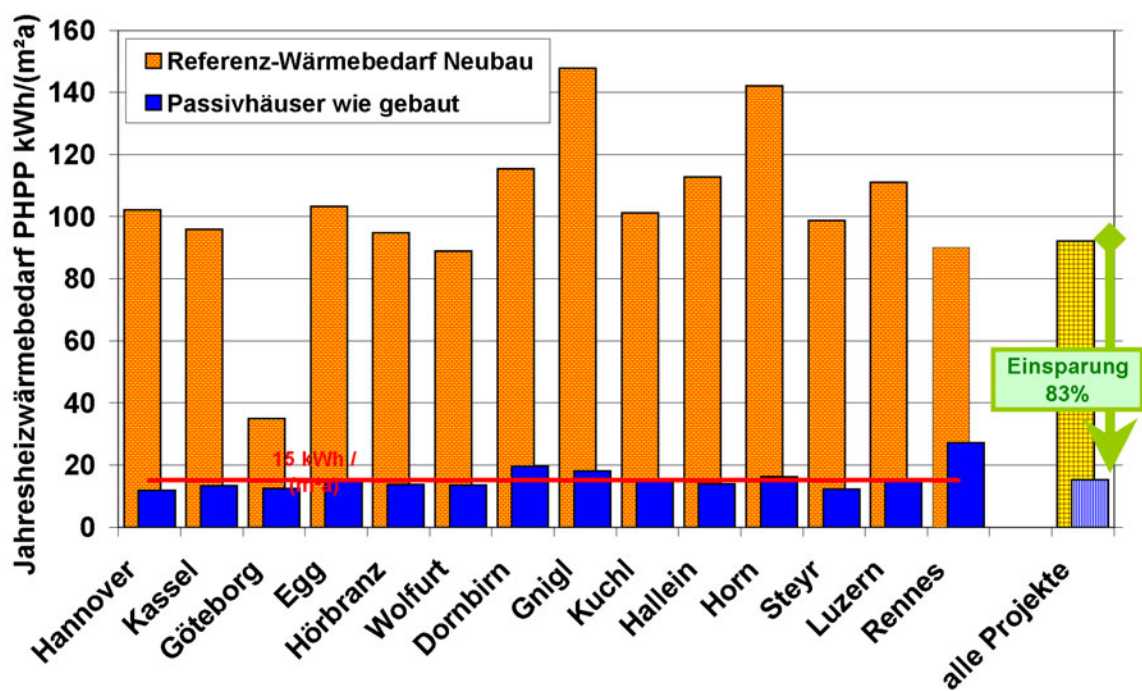


Abbildung 9: Berechneter Jahresheizwärmebedarf der Referenzgebäude nach derzeit gültigem Baurecht im Vergleich zu den geplanten Passivhaus-Standards

Aufgrund des bereits weit fortgeschrittenen Realisierungsstandes des Projektes in Rennes konnten die Vorschläge des PHI hinsichtlich einer besseren Wärmeschutzes nicht mehr berücksichtigt werden. Trotz der dargestellten Mängel erreicht das Projekt in Rennes eine Reduktion des Jahresheizwärmebedarfs gegenüber dem Referenzstandard von mehr als zwei Drittel (Abbildung 9).

Abbildung 9 zeigt die Heizwärmebedarfswerte für die Passivhäuser im Vergleich mit dem Heizwärmebedarf der Referenzfälle. Es ist gut erkennbar, dass alle Objekte im maßgeblichen Planungszustand einen erheblich geringeren Heizwärmebedarf aufweisen, als nach den jeweils gebräuchlichen Neubaustandards an den Standorten. Im

Durchschnitt wurde durch die CEPHEUS-Maßnahmen der Jahresheizwärmebedarf der Gebäude um 83 % reduziert.

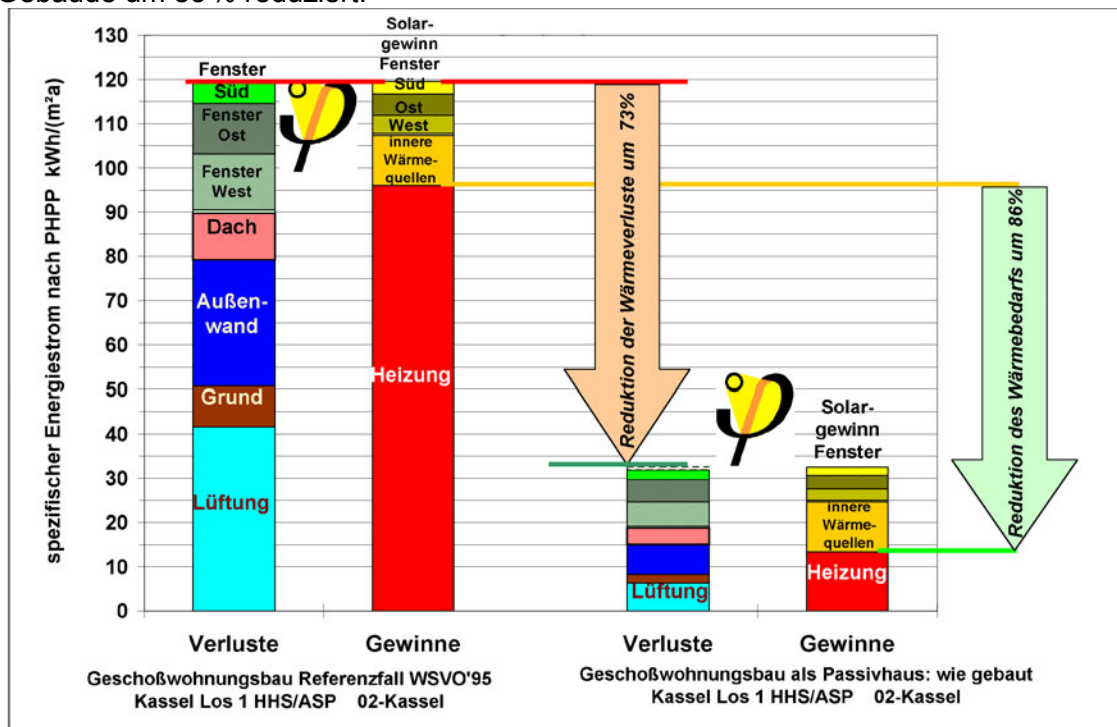


Abbildung 10: Heizwärmebilanz nach PHPP am Beispiel des Passivhaus-Geschosswohnungsbaus 02-Kassel-Marbachshöhe

In Abbildung 10 wird am Beispiel des Passivhaus-Geschosswohnungsbaus in Kassel erkennbar, auf welchem Weg derart hohe Verbesserungen der Energieeffizienz erreicht wurden: Im Referenzfall summieren sich die Wärmeverluste durch Transmission und Lüftung auf insgesamt fast 120 kWh/(m²a). Von diesen Verlusten gehen allerdings in der Energiebilanz etwa 12 kWh/(m²a) solare Wärmegewinne und noch einmal 11 kWh/(m²a) innere Wärmequellen ab. Beide Beiträge zur freien Wärme sind nahezu 100%ig nutzbar; sie machen aber nur weniger als 20% des Wärmeverlustes aus, so dass die Heizung doch 80% davon, nämlich 96 kWh/(m²a) decken muss. Ganz anders stellt sich die Bilanz im tatsächlich gebauten Passivhaus dar: Durch sehr gute Dämmung der opaken Bauteile und der Fenster sowie die Wärmerückgewinnung nehmen die Wärmeverluste um 73% gegenüber dem Referenzfall ab. Wegen des geringeren Energiedurchlassgrades der Dreischiebenverglasung nehmen die solare Wärmegewinne ebenfalls geringfügig ab, die inneren Wärmequellen bleiben aber in gleicher Höhe. Von den verbliebenen Wärmeverlusten von etwa 32 kWh/(m²a) decken die freien Wärmebeiträge nunmehr 60% – und dies, obwohl es sich beim Geschosswohnungsbaus in Kassel nicht um ein ausgeprägtes Solargebäude handelt. Der verbliebende Heizwärmebedarf liegt mit 13,4 kWh/(m²a) um 86% unter dem des Referenzstandards. Der hohe Energieeinsparerfolg der Passivhäuser beruht daher auch auf dem Effekt, dass durch niedrige Wärmeverluste die relative Bedeutung der freien Wärmequellen zunimmt. Entscheidend ist die Tatsache, dass der daraus resultierende restliche Heizwärmebedarf so gering ist, dass eine Beheizung allein durch Wärmezufuhr in die ohnehin erforderliche Zuluft ausreichend ist. Diese Bedingung ist im Projekt 02-Kassel erfüllt.

2.4.2 Simulationen

Eine realistische Modellierung des thermischen Verhaltens von Gebäuden auf Zeitskalen unter einem Monat ist realitätsnah nur mittels dynamischer Gebäudesimulation möglich. Mit ihrer Hilfe lassen sich die tatsächlich ablaufenden physikalischen Vorgänge gut

beschreiben, so dass – im Gegensatz zu stationären Rechenverfahren – auch Aussagen über beispielsweise die Auswirkungen unterschiedlicher Wärmeverteilungssysteme oder von sommerlicher Nachtauskühlung möglich werden.

Als Teil von CEPHEUS wurden dynamische Gebäudesimulationen für die Reihenhäuser in Hannover und die (wegen Verzögerungen im Bauablauf später nicht mehr an CEPHEUS beteiligte) Altenwohnanlage in Dietzenbach durchgeführt. Das hierzu eingesetzte Simulationsprogramm DYNBIL wurde bereits früher ausführlich validiert (vgl. hierzu [Feist 1997] und [Feist 1993]).

Die dynamische Simulation der Passivhaus-Reihenhäuser in Hannover-Kronsberg (detaillierter Bericht in [Schnieders 1998]) verfolgte zwei Ziele: Zunächst sollte die Sensitivität derartiger Gebäude auf Änderungen in einer Anzahl von Parametern und Randbedingungen untersucht werden. Zweitens war die Frage zu klären, ob die Häuser durch eine reine Zuluftnachheizung gleichmäßig warm gehalten werden können und damit die Kostensenkungspotentiale durch den Wegfall des Heizsystems realisiert werden können.

Die Simulation ergab in den Grundvarianten Jahresheizwärmebedarfswerte zwischen 11,9 und 14,8 kWh/(m²a), wobei eine Anhebung der Raumtemperatur um 1 K einen um ca. 20% höheren Heizwärmebedarf zur Folge hat. Eine Nachtabenkung bringt keine nennenswerte Einsparung. Der sommerliche Wärmeschutz erwies sich als unproblematisch, eine außenliegende Verschattung würde jedoch das Sommerklima noch signifikant verbessern. Die maximal erforderliche Heizleistung bleibt bei allen untersuchten Typen sicher unter 10 W/m². Die Südausrichtung der Hauszeilen ist bei der hier gegebenen Qualität der Gebäudehülle für die Funktion von Passivhäusern *nicht* entscheidend, wichtig ist dagegen eine auch gegenüber üblichen Neubauten deutlich verbesserte Luftdichtheit.

Eine Beheizung der Häuser über die Lüftungsanlage ist problemlos möglich. Auch mittlere Temperaturen von 25 °C können so noch erreicht werden. Die Temperaturdifferenzen zwischen den Zonen bleiben vertretbar gering, im angenommenen Worst-Case-Szenario liegt der Unterschied zwischen der wärmsten und der kältesten Zone in der Regel zwischen 1,5 und 3 K.

Bei der Simulation der Altenwohnanlage in Dietzenbach [Schnieders 1999] wurde die Übertragbarkeit des Passivhausstandards auf Geschosswohnungsbauten näher geprüft, außerdem wurde die Eignung des Konzepts für die besonderen Anforderungen in einer Altenwohnanlage (hohe Belegungsdichte, hohe geforderte Raumtemperaturen) untersucht.

Die Realisierbarkeit von Altenwohnungen im Passivhausstandard konnte auf diesem Weg nachgewiesen werden: Bei einer Raumtemperatur von 23 °C ergab sich zwar ein Heizwärmebedarf von 24 kWh/(m²a), bei 20 °C lag der Heizwärmebedarf des Gebäudes aber unter 15 kWh/(m²a). Gegenüber der geltenden deutschen Wärmeschutzverordnung von 1995 würde der Passivhausstandard ca. 80% Heizwärme einsparen. Basierend auf den Simulationsergebnissen konnten weitere Verbesserungsvorschläge erarbeitet werden. Im vorliegenden Entwurf war eine Beheizung auf 23 °C ausschließlich über die ohnehin zugeführte Zuluft allerdings nicht möglich, hierzu wären noch Verbesserungen an der Gebäudehülle erforderlich.

2.4.3 Baustellen- und Herstellerberatungen

Die Aufgabe des Passivhaus Institut war es, in der Planungs-, Projektierungs- und Bauphase auftretende bautechnische, bauphysikalische und haustechnische Probleme aufzugreifen und zu einer zügigen Problemlösung beizutragen, die den Bau der Projekte

in der angestrebten Qualität ermöglichte. Einige der aufgetretenen Problemstellungen waren:

- **Problemstellung: Tauwasser im Rahmen; Projekte: CEPHEUS-D**

Der für CEPHEUS-Bauprojekte vorgesehene Fensterrahmen der Firma Pazen besteht aus einem PU-Schaum-Kern, der raumseitig mit Holz und auf der Außenseite mit einer Aluminiumschale bekleidet ist. Um die dabei auftretende Tauwasserproblematik zu untersuchen, musste ein neu entwickeltes Verfahren auf den Rahmen angewandt werden, bis eine tauwasserfreie Konstruktion gefunden war [Schnieders 1999a].

- **Problemstellung: Wärmebrücke beim Fenstereinbau**

In Zusammenarbeit mit dem Bauträger Rasch&Partner und dem Fassadenhersteller wurde der Fenstereinbau optimiert. Hierzu wurde ein Spezial-Boxträger entwickelt, der das vorher eingesetzte Laibungsholz ersetzt; an diesem wird das Fenster in der Wand befestigt. Die Wärmeverluste der Fenster reduzieren sich durch diesen Einbau um über 10 % oder 8 kWh pro Quadratmeter Fensterfläche und Jahr.

- **Problemstellung: Wärmebrücken der Details bei Projekt CEPHEUS-D**

Wärmebrückenberechnung und Beratung des Bauträgers der deutschen Projekte bzgl. der Detailausbildung: Es wurden sämtliche Anschlussdetails mit Hilfe von detaillierten Wärmebrückenberechnungen auf ihre Wärmeverluste hin untersucht und optimiert. Bei einem Großteil der österreichischen Projekte und beim Schweizer Projekt wurden Wärmebrückenberechnungen seitens der nationalen Projektpartner durchgeführt.

- **Problemstellung: Füllgas Krypton durch Argon ersetzbar?**

Während der Planungsphase stieg der Preis des Fenster-Füllgases Krypton innerhalb kurzer Zeit stark an. In Zusammenarbeit mit Herstellern gelang es, für Passivhäuser geeignete 3-fach-Wärmeschutzverglasungen zu entwickeln, die mit dem kostengünstigeren Füllgas Argon auskommen. Durch diese Entwicklung konnte eine Kostensteigerung beim Bau von Passivhäusern vermieden werden.

- **Problemstellung: Anschlussdetails luftdicht und wärmebrückenfrei**

Beim deutschen Projekt wurde die Firma Rasch&Partner und der ausführende Betrieb (Fa. Lehner) beraten bzgl. der Vorfertigung von Fassadenelementen in Bezug auf Luftdichtheit, Wärmedämmung und Wärmebrückenfreiheit.

- **Problemstellung: Passivhaus geeignete Fenster**

Durch die zunehmende Zahl realisierter Passivhäuser kommt es zu einem verstärkten Interesse von Fensterherstellern an der Passivhaus-Qualität. Mehrere Fensterhersteller wurden bezüglich der Anforderungen an Passivhaus-Fenster beraten und stiegen in die Entwicklung entsprechender Komponenten ein.

- **Problemstellung: Wärmeverluste der Verteilungen**

Die detaillierte Wärmebilanz für die geplanten deutschen CEPHEUS-Projekte ergab sehr hohe Verluste der Wärmeverteilungen. Daraufhin wurde ein Vorschlag erarbeitet, der eine im Sommer nur zeitweise Freigabe der Wärmeverteilung vorsieht.

- **Problemstellung: Wärmeverluste der Warmwasserspeicher**

Bei Vorort-Terminen wurde festgestellt, dass die Wärmeabgabe der Warmwasserspeicher beim Projekt Hannover-Kronsberg sehr viel höher ist, als erwünscht. Es wurde ein verbessertes Konzept für die zukünftigen Projekte mit dem Hersteller Wagner&Co. entwickelt.

- **Problemstellung: Undichtheit der Lüftungsanlagen**

Ebenfalls durch PHI-Mitarbeiter wurde festgestellt, dass die Lüftungsanlagen im ausgeführten deutschen Projekt vermeidbare Leckagen haben. Auch hierfür wurde ein Verbesserungs-Konzept entwickelt und mit dem Hersteller (Fa. Paul) abgestimmt.

2.4.4 Luftdichtheits tests

Eine sehr gute Luftdichtheit der Gebäudehülle ist eine entscheidende Voraussetzung für die Funktionsfähigkeit des Passivhaus-Standards. Die Prüfung der tatsächlich erreichten Luftdichtheit bei den CEPHEUS-Bauprojekten war daher eine der wichtigsten Qualitätssicherungsmaßnahmen.

Laut CEPHEUS-Vertrag waren Luftdichtheitsprüfungen in allen realisierten Teilprojekten erforderlich. Die Vorgehensweise bei den Prüfungen sind in EN 13829 festgelegt. Für die Prüfung wird eine Luftfördereinrichtung ("Blower Door") in eine der Fenster- oder Türöffnungen des zu untersuchenden Gebäudes eingebaut. Nach Überprüfen der Randbedingungen werden eine Anzahl von Messpaaren (Gebäudedifferenzdruck, geförderter Luftvolumenstrom) bei Unter- und bei Überdruck aufgenommen. Aus den Messwerten wird mittels linearer Regression im logarithmischen Maßstab die Gebäudeleckagekurve ermittelt. Insbesondere ergibt sich als Kennwert der sog. n_{50} -Wert, das ist der Mittelwert des Leckagevolumenstroms bei 50 Pa Unterdruck und Überdruck bezogen auf das eingeschlossene Gebäudeluftvolumen. Der Wert n_{50} wird für die CEPHEUS-Projekte als Kennwert herangezogen.

Die Zielsetzung des CEPHEUS-Projektes war in Bezug auf die Luftdichtheit sehr ehrgeizig: Die n_{50} -Werte sollten in allen Projekten kleiner oder gleich $0,6 \text{ h}^{-1}$ sein. Dieser Wert liegt um jeweils mindestens einen Faktor 2 unter den bestehenden oder diskutierten künftigen Anforderungen in den beteiligten Ländern.

Luftdichtheits tests wurden in allen CEPHEUS-Projekten durchgeführt. In einigen Projekten wurden über die Ermittlung des n_{50} -Wertes und der Leckagenverteilung hinaus weitergehende Untersuchungen dokumentiert:

So wurde für alle Häuser der Passivhaussiedlung Hannover-Kronsberg Messungen mit einem dem Messdruck gleichen Schutzdruck in den jeweiligen Nachbarhäusern durchgeführt, um den internen Anteil der Gebäudeleckage zu eliminieren. Im Anschluss wurde eine sorgfältige Fehlerbetrachtung durchgeführt, die zeigte, dass die n_{50} -Werte bei den durchgeführten Messungen relative Standardabweichungen von etwa $\pm 10\%$ aufweisen. Das ist für die hier erforderliche Genauigkeit ausreichend.

Im messtechnisch begleiteten Mehrfamilienhaus des Geschosswohnungsbauprojektes in Kassel wurden alle Wohnungen einmal mit einer wohnungsweisen Einzelmessung unter Einbeziehung aller internen Leckagen und dann ein zweites Mal unter Anlegung eines Schutzdruckes im Treppenhaus und allen anderen Wohnungen gemessen. Auch hier ließ sich auf diesem Weg der interne Anteil der Gebäudeleckage ermitteln.

Die Ergebnisse der Luftdichtheitsprüfungen werden in Kapitel 4.2.1 dokumentiert.

2.4.5 Thermografien

Mit Hilfe der Infrarotthermographie ist eine berührungslose Oberflächentemperaturmessung möglich, sie wird daher in der Bauphysik häufig zur Kontrolle des baulichen Wärmeschutzes eingesetzt. Schwachstellen und Wärmebrücken können auf diese Weise rasch erkannt werden. Für eine korrekte Deutung von IR-Aufnahmen ist jedoch ein genaues Kenntnis der strahlungsphysikalischen Vorgänge notwendig. Effekte der Reflexion von langwelliger Strahlung an bestimmten Oberflächen sowie unterschiedliche Emissivitäten können leicht zu Fehlinterpretation von IR-Aufnahmen führen. Die im Rahmen der CEPHEUS-Qualitätssicherung dokumentierten Aufnahmen wurden von erfahrenen Thermographen mit wissenschaftlicher Begleitung und Auswertung durchgeführt. Die Ergebnisse stellen eine wertvolle Datenbasis für die wissenschaftliche

Auswertung der CEPHEUS-Projekte dar, in einigen Fällen konnten sie auch zur nachträglichen Beseitigung von Schwachstellen, wie z.B. Undichtheiten im Fensterbereich oder bestimmter Anschlussdetails herangezogen werden. In einigen Projekten wurde die Innenthermographie bei Unterdruck (Blowerdoor) auch zur Leckageortung eingesetzt. Idealerweise werden solche Untersuchungen in den frühen Morgenstunden vor Sonnenaufgang bei möglichst niedrigen Außentemperaturen und bedecktem Himmel durchgeführt. Auf diese Weise können die Einflüsse der Oberflächenerwärmung durch absorbierte Solarstrahlung sowie durch Abstrahlung an den Himmel gering gehalten werden. Die geringe Außentemperatur wirkt sich günstig auf die Kontraste der Aufnahmen aus.

Die Ergebnisse zu den einzelnen CEPHEUS-Projekten sind den jeweiligen Projektdokumentationen zu entnehmen.

2.4.6 Einregulierung der Lüftungsanlagen

Erst mit der Einregulierung der Anlage nach dem ersten Probelauf erreicht man die gewünschte Effizienz. Dieser Arbeitsschritt sollte also unbedingt Teil der Angebotserstellung bzw. des Ingenieurvertrags sein, weil der Zeitaufwand, insbesondere für die Einstellung der Luftauslässe und Abluftventile in den einzelnen Wohnungen nicht unerheblich ist [Otte 2000]. Die Einstellung der Luftmengen der Luftventile erfolgt über Differenzdruckmessung.

Neben der Einstellung der Luftvolumenströme einzelner Räume ist der Balanceabgleich der gesamten Anlage von zentraler Bedeutung. In einigen CEPHEUS-Projekten wurden bereits volumenstromgeregelte Ventilatoren eingesetzt. Diese sind in der Lage, aus dem momentanen Drehmoment und der Drehzahl den Volumenstrom zu bestimmen und auf einen vorgewählten Wert konstant zu halten. Eine manuelle Balanceeinstellung entfällt bei diesen Anlagen, dennoch sollte eine messtechnische Überprüfung vorgenommen werden.

Mit Hilfe von Staukreuzen, welche im Außen- und Fortluftkanal (bei Aufstellung des Zentralgerätes innerhalb der wärmegeprägten Hülle) bzw. im Zu- und Abluftkanal (bei Aufstellung des Zentralgerätes außerhalb der wärmegeprägten Hülle) eingebaut werden, kann die Volumenstrombalance messtechnisch überprüft und dann am Gerät eingestellt werden. Wird auf diesen Abgleich verzichtet und nimmt die Disbalance Werte über 10% an, so steigen die In- bzw. Exfiltrationsverluste signifikant an. Liegt dauerhafter Zuluftüberschuss vor, so können im Extremfall sogar Bauschäden in Folge von Kondensatausfall z.B. in der Wärmedämmung verursacht werden. Es hat sich gezeigt, dass die Staukreuze dauerhaft im Kanalnetz verbleiben sollten, damit auch nach mehreren Betriebsjahren bzw. Änderungen am Kanalnetz die Anlage wieder auf Balance überprüft werden kann.

2.4.7 Messtechnische Evaluierung des Betriebs

2.4.7.1 Übergreifendes Konzept

Dieses Messprojekt sollte keine Detailuntersuchung einzelner Technologien darstellen und auch nicht alle Erklärungen über unerwartete bzw. mögliche unerklärliche Ergebnisse liefern. Es sollte im wesentlichen festgestellt werden, ob diese Technologien im breiten Praxiseinsatz unter unterschiedlichsten aber alltäglichen Randbedingungen ein positives Gesamtergebnis liefern. Das primäre Ziel der Messungen wurde daher auf folgende Ergebnisse gelegt:

Gesamtheizenergiebedarf für das Gebäude:	Soll: <15 kWh/m ² a
Gesamtendenergiebedarf für das Gebäude:	Soll: < 42 kWh/m ² a
Gesamtprimärenergiebedarf für das Gebäude:	Soll: < 120 kWh/m ² a

bei Einhaltung des Komfortparameters Raumtemperatur:	Soll: = 20°C
unter Berücksichtigung des lokalen Klimas der Messperiode:	Heizgradtagzahl

Um diese Kenndaten ermitteln zu können, wurden als Standard folgende Energieflüsse bzw. Temperaturen gemessen:

Energieflüsse über die Gebäudegrenzen:	Strom, Holzpellets, Gas, Fernwärme, etc.
Klimadaten:	Horizontale solare Einstrahlung, Außentemperatur
Komfortparameter:	Raumtemperatur
Heizenergieverbrauch gedeckt durch:	Wasser/Luft-Nachheizregister bzw. Luft/Luft Wärmepumpe im Zuluftstrom, Radiatoren, Wandflächen- bzw. Fußbodenheizung

Die erfassten Messwerte wurden durch eine automatische Messwerverfassung mindestens stündlich abgespeichert. Für die einzelnen Messgrößen gelten folgende Mindeststandards für die gesamte Messkette:

Messgröße	Auflösung	Genauigkeit
Strommessung:	mind. 100 Imp/kWh	± 3%
Wärmemengen:	mind. 1 Imp/kWh	± 8%
Gasmenge	mind. 10 Imp./m ³	± 5%
Temperaturen:	mind. 0,1 °C	± 0,5 °C
Sonneneinstrahlung:	mind. 10W/m ²	± 8%

Um vergleichbare Größen zu erhalten, wurden die diversen Energiekennzahlen auf eine Energiebezugsfläche, die TFA – Treated-Floor-Area, bezogen. Die Berechnung der TFA entspricht der „II. deutschen Berechnungsverordnung für die Berechnung von Wohnflächen“. Nachfolgende Anpassungen wurden vereinbart, um die Verwendung im europäischen Kontext zu ermöglichen (Details siehe 9.1):

Es wurde eine thermische Hülle definiert und nur jene Wohnräume innerhalb dieser thermischen Hülle wurden bei der TFA-Berechnung berücksichtigt. Nebenräume wie Technikräume, etc. innerhalb der thermischen Hülle wurden nur zu 50% bei der TFA-Berechnung berücksichtigt. Die Flächen der Räume wurden aus den Wandabständen gemäß den Rohbauplänen berechnet, d.h. die Stärken eventueller Innenputze wurden als Nutzfläche miteingerechnet. Flächenanteile mit einer Raumhöhe unter 1m wurden nicht berücksichtigt, Flächenanteile mit einer Raumhöhe zwischen 1m und 2m wurden mit 50% ihrer Fläche in die TFA-Berechnung aufgenommen.

2.4.7.2 Vertiefende Messungen

In einigen ausgewählten Projekten bzw. Wohneinheiten wurden in allen Ländern zusätzlich zu den oben Beschriebenen folgende weitere Messgrößen erfasst:

Wasserverbrauch	Warmwasserverbrauch (teilw. in kWh und/oder ltr.) Kaltwasserverbrauch (in ltr.)
Energiemenge	Solarertrag (in kWh)
Stromverbrauch	Lüftungsanlage gesamt

2.4.7.3 Ergänzende Messungen aus nationalen Programmen

Basierend auf erweiterten nationalen Messprogrammen mittels nationaler Finanzierung wurden in einzelnen Ländern folgende weitere zusätzliche Messgrößen in ausgewählten Projekten bzw. Wohneinheiten erfasst. Die genaue Messgrößenaufzählung und Zuordnung zu den Projekten ist in den detaillierten Messprojektbeschreibungen ersichtlich.

Österreich:

Stromverbrauch	Haushaltsstrom, Luft/Luft-Wärmepumpe, Sole-Wärmepumpe, Hilfsenergie für Heiztechnik, Elektroheizregister für Heizung und Warmwasser
Komfortparameter	Raumluftfeuchte in allen Wohneinheiten
Thermische Energie	Verluste der Warmwasserzirkulation
Lüftungsanlage	Luftgeschwindigkeit im zentralen Zuluftkanal; Verlauf der Lufttemperaturen in der Lüftungsanlage: Außentemperatur, Erd-WT-Eintritt, Erd-WT-Austritt, Zuluft nach WRG, Zuluft nach Nachheizregister, Raumluft, Abluft nach WRG, Fortluft

Deutschland:

Klima	Wind, Windrichtung, Luftfeuchte, globale und diffuse solare Einstrahlung
Luftfeuchte	Außenluft, Zuluft nach Lüftungsgerät, Raumluft, Abluft, Fortluft
Lüftungsanlage	Luftvolumenstrom in Zuluft und Abluft Verlauf der Lufttemperaturen in der Lüftungsanlage: Außentemperatur, Zuluft vor Lüftungsgerät, Zuluft nach Lüftungsgerät, Zuluft nach Nachheizregister, Raumluft, Fortluft
Temperaturen	Warmwasser, Kaltwasser,
Thermische Energie	Verluste der Warmwasserzirkulation

Schweiz:

Stromverbrauch	Haushaltsstrom im beheizten/unbeheizten Bereich; Luft/Luft-Wärmepumpe im Heizbetrieb bzw. Warmwasserbetrieb; Elektroheizregister für Warmwasser
Komfortparameter	CO ₂ -Gehalt
Temperaturen	Raumtemperaturen, Zulufttemperaturen und
Luftfeuchte	Außenluft, Außenluft nach Erd-WT, Raumluft, Abluft, Fortluft
Lüftungsanlage	Ventilatorstufe, Luftwechsel mittels Tracergasmessung Verlauf der Lufttemperaturen in der Lüftungsanlage: Außentemperatur, Erd-WT-Austritt, Zuluft nach Lüftungsgerät, Raumluft, Abluft vor Lüftungsgerät, Fortluft nach Lüftungsgerät, Fortluft bei Gebäudeaustritt

2.4.8 Nutzer-Information

In zahlreichen Standorten haben ausführliche Einweisungen für die Nutzer für den besonderen Umgang mit den passivhauspezifischen Komponenten stattgefunden. Der sparsame Umgang mit elektrischer Energie, sowie eine ausführliche Beratungen zum Kauf von energiesparenden Haushaltsgeräten war dabei ebenfalls ein Schwerpunkt (siehe dazu auch 2.3.13.1).

Für das Projekt Hannover hat das PHI im Auftrag der Stadtwerke Hannover AG ein „Nutzerhandbuch“ entwickelt [Peper 2000a]. Auf mehreren Informationsveranstaltungen z. B. in Hannover, wurden Fragen der Nutzer zum Passivhausansatz und den damit verbundenen Nutzerverhalten beantwortet.

In Hannover wurde bei 16 von 32 Haushalten ein Nutzerinformationssystem eingebaut, dass die Energie- und Wasserverbräuche des entsprechenden Haushalts in Bezug auf alle Häuser dargestellt. Die Nutzer haben dadurch die Möglichkeit ihre eigenen Verbräuche mit den der anderen Bewohner abzugleichen, um dann ggf. das eigene Verhalten entsprechend anzupassen bzw. einstufen zukönnen.

2.4.9 Sozialwissenschaftliche Evaluierungen

In Hannover und in Kassel wurden bzw. werden jeweils sozialwissenschaftliche Evaluierungen durchgeführt, um die Akzeptanz der Bewohner zu überprüfen.

In Hannover wurden durch Bewohnerbefragungen in den Jahren 2000 und 2001 umfangreiche Daten zu den verschiedensten Fragestellungen für den gesamten Kronsberg erhoben. Diese Befragungen wurden von der Kronsberg Umwelt Kommunikation Agentur (KUKA) in Auftrag gegeben. Es wurden insgesamt mehr als 2500 Fragebögen verteilt, von denen fast 900 ausgewertet werden konnten. Die Befragungen der KUKA sind gleichzeitig der erste Baustein einer sozialwissenschaftlichen Evaluierung, die im Auftrag der Stadtwerke Hannover AG im Rahmen von CEPHEUS für das Teilprojekt Passivhaussiedlung Hannover Kronsberg durchgeführt wurde [Danner 2001]. Die vergleichende Auswertung dient vor allem dem Ziel, wohnformspezifische Gemeinsamkeiten bzw. Unterschiede zu identifizieren. Der zweite Baustein wurde im Rahmen einer 1,5stündigen persönlichen Befragung aller Passivhaushalte im November 2000 realisiert. Die Einschätzung der Bewohner hinsichtlich verschiedener Parameter des Wohnkomforts, der Wohnqualität sowie zum Nutzerverhalten waren dabei von besonderer Bedeutung. Im März 2001 fand der dritte Baustein parallel zur Bewohnerbefragung aller „Kronsberger“ im Rahmen einer schriftlichen Nachbefragung statt. In dieser Untersuchung wurden die Erfahrungen und das Nutzerverhalten der Bewohner abgefragt.

In Kassel findet außerhalb des CEPHEUS-Projekts ebenfalls eine sozialwissenschaftliche Evaluierung mit Förderung der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) statt [Hübner 2001].

3 Errichtung, Installation, Inbetriebnahme

3.1 Lieferanten der Ausrüstungen und Dienstleistungen

Siehe dazu das ausführliche Verzeichnis unter 9.2.

3.2 Projektmanagement

Für die Gesamtkoordination des Projektes und den regelmäßigen Austausch zwischen den CEPHEUS-Partnern wurde eine Steuerungsgruppe eingerichtet. Diese traf sich halbjährlich zu ein- bis zweitägige Arbeitstreffen im Wechsel bei den verschiedenen Partnern. Die Steuerungsgruppe bestand aus:

- dem Gesamt-Koordinator CEPHEUS (Manfred Görg, Stadtwerke Hannover AG)
- dem Koordinator der wissenschaftlichen Gesamtbetreuung (Dr. Wolfgang Feist, Passivhaus Institut, Darmstadt); zugleich zuständig für die wissenschaftliche Betreuung des 02 - Kassel und im Auftrag der Stadtwerke Hannover AG für das Projekt 01 - Hannover
- mindestens je einem Vertreter der CEPHEUS-Partner.
- Nach Bedarf wurden auch die Vertreter der mit den Messungen an den Projekten beauftragten Institutionen dazu geladen.

Zu den beiden Treffen in Österreich wurden jeweils die Planer und Bauträger der österreichischen Teilprojekte zeitweise mit dazu geladen sowie anschließende Arbeitssitzungen mit dem Energieinstitut Vorarlberg (EIV) durchgeführt. Sowohl ei Treffen in Österreich als auch das Treffen in Rennes wurden dazu genutzt, das Konzept und die Teilprojekte einer größeren Fachöffentlichkeit vorzustellen.

Die Treffen der Steuerungsgruppe dienten

- der Vermittlung von Grundlagen durch das PHI,
- der Abstimmung von Methoden und Parametern z. B. hinsichtlich des Messprogramms und der Flächen- und Kostenermittlung sowie
- dem gegenseitigen Austausch über den Fortgang der Teilprojekte und die gemachten Erfahrungen.

Ein ursprünglich geplanter internationaler Arbeitskreis mit allen an den Teilprojekten beteiligten Architekten, Planern und wissenschaftlichen Betreuer, in dem vorgesehen war, die wichtigsten Themen des innovativen Passivhausansatzes wie z. B. wärmebrückenfreies Konstruieren, Luftdichtheitskonzepte, Lüftungskonzepte usw. in jeweils eintägigen Arbeitssitzungen durch das PHI zu vermitteln und mit den Beteiligten intensiv zu erörtern, konnte aufgrund von Kürzungsvorgaben der Kommission leider nicht realisiert werden. Stattdessen konnten vom PHI nur schriftliche Informationen bereitgestellt werden. Angesichts der für viele Architekten und Planer noch ungewohnten Qualitätsanforderungen wäre im Rückblick dieser Arbeitskreis jedoch sehr nützlich gewesen. Einige Probleme bei der Umsetzung des Passivhauskonzepts wären bei einzelnen Standorten damit eher vermeidbar gewesen (siehe auch Abschnitt 3.3 und 2.4.3).

Im Rahmen der zentralen wissenschaftlichen Projektbetreuung durch das PHI war ebenfalls aufgrund der begrenzten Projektmittel für jedes internationale Projekt jeweils nur ein Ortstermin zur Projektabschluss möglich. Sinnvoll wäre mindestens ein weiterer Termin zu einem früheren Zeitpunkt gewesen (siehe auch Abschnitt 3.3).

Die 9 österreichischen CEPHEUS-Projekte wurden vom Energieinstitut Vorarlberg (EIV) zusätzlich betreut. Dazu wurden spezielle Sommerseminare angeboten, die die vom PHI erarbeiteten Informationen verbreiteten und Unterstützung bei der Konzeptentwicklung

anboten. Die Wärmebrückenberechnungen, die n_{50} -Messungen und Infrarotaufnahmen wurden vom EIV organisiert.

3.3 Probleme, Lösungen, Erfolge

Der Passivhaus-Standard verfolgt mit einem Zielwert von unter 15 kWh/(m²a) ein sehr ehrgeiziges Ziel für die Energieeffizienz bei Wohnungsneubauten. Um dieses Ziel zu erreichen, waren besondere Anstrengungen bei der Planung, der Auswahl der Komponenten und bei der Qualitätssicherung während der Bauausführung erforderlich. Einige der verwendeten Komponenten sind erst seit wenigen Jahren überhaupt verfügbar und das Know-How zu ihrer Anwendung konnte zum Zeitpunkt des CEPHEUS-Projektes weder bei den Planern noch beim ausführenden Handwerk vorausgesetzt werden. Aus diesem Grund hatten wir für das bei der EU eingereichte Projekt einen *internationalen Arbeitskreis* der an CEPHEUS beteiligten Projekte vorgeschlagen. Vorgesehen waren jeweils eintägige Arbeitssitzungen zu den Themen Wärmeschutz, wärmebrückenfreies Konstruieren, Luftdichtheitskonzepte, Passivhaus-Fenster, Lüftungsanlagen und Bereitstellung der Restwärme. Im Zuge der Reduktion der Kosten für das CEPHEUS-Projekt ist dieser Arbeitskreis gestrichen worden. Der Know-How-Transfer wurde daraufhin seitens des Passivhaus Instituts auf anderem Weg versucht, indem möglichst frühzeitig schriftliche Informationen zu den genannten Themen erstellt und zur Verfügung gestellt wurden. So standen die CEPHEUS-Projektinformationen (Nr. 1 bis 10) allen Beteiligten der Einzelprojekte zur Verfügung. Meist wurden diese Unterlagen auch bei der Planung eingesetzt; in einigen Projekten und zu einigen Komponenten wäre aber eine intensivere Beschäftigung mit den innovativen Details wünschenswert gewesen. Im Rückblick muss festgestellt werden, dass der begleitende Arbeitskreis der Planer und wesentlichen Baubeteiligten einen weit optimaleren Projektverlauf ermöglicht hätte.

Für die zentrale Projektbegleitung stand für jedes internationale Bauprojekt nur jeweils ein Arbeitstag zur Verfügung. Dieser wurde für die *wissenschaftlich-technische Projektabnahme* verwendet. Diese Abnahme hat sich als unbedingt erforderlich erwiesen, weil auf diesem Weg zum richtigen Zeitpunkt (der Fertigstellung der Objekte) eine Kontrolle und Aufnahme der Projektdetails erfolgen konnte. Allerdings wäre es sinnvoll gewesen, für jedes Bauprojekt auch noch einen *früheren Termin* seitens der zentralen Projektleitung wahrzunehmen: Bei diesem hätten die *Planungsgrundsätze*, die Ansätze zur Erfüllung der Kriterien, Planungshinweise zu Luftdichtheit, Wärmebrückenreduktion und Fensterqualität sowie zur Lüftungstechnik und das Qualitätssicherungskonzept auf der Tagesordnung stehen sollen. Generell standen für solche Termine keine Mittel zur Verfügung; dennoch sind bei den Projekten Kassel, Hannover, Hörbranz, Wolfurt und Luzern bei gegebenem anderen Anlass (z. B. Sitzung der Steering-Group) solche frühen Termine seitens der wissenschaftlichen Begleitung wahrgenommen worden. Dies hat sich für den Projektfortschritt und für die Qualität dieser Projekte gut bewährt.

Alle Projekte wurden mit dem Passivhaus Projektierungspaket (PHPP; vgl. 2.4.1) geplant und vorausberechnet. Auch für dieses sehr hilfreiche Werkzeug wäre ein Einführungskurs für die Projektplaner und eine frühzeitige Kontrolle der Berechnung sinnvoll gewesen. Das Passivhaus Institut bietet inzwischen eine Zertifizierung von qualitätsgeprüften Passivhäusern auf der Basis einer PHPP-Berechnung an; für die Projekte in Hannover, Kassel und Luzern wurde eine solche Zertifizierung durchgeführt und kam zu jeweils positiven Ergebnissen. Die PHPP-Tabellenmappen der anderen Projekte standen erst zu einem relativ späten Zeitpunkt zur Verfügung. Für einige Projekte hat das PHI die Berechnungen noch einmal selbst auf dokumentierter Datengrundlage ausgeführt. Dabei ergab sich, dass die strengen Maßstäbe des Passivhaus-Zertifikates nicht von allen Projekten erfüllt würden. Insbesondere sind vereinzelt die Grundsätze des wärmebrückenfreien Konstruierens nicht beachtet und in

einigen Fällen auch keine optimalen Luftdichtheitskonzepte erstellt worden. Die Ergebnisse sind trotzdem ausgesprochen günstig gegenüber herkömmlichen Neubauten. Mit einem erweiterten Mittelansatz für die zentrale wissenschaftliche Projektbegleitung wären die sehr guten Ergebnisse aus den Leitprojekten in Hannover, Kassel, Hörbranz, Wolfurt und Luzern auch auf die weiteren Bauprojekte übertragbar gewesen.

Bezüglich der Wohnungslüftung stellte sich heraus, dass die herkömmlichen und von den meisten Planern verwendeten Projektierungsansätze tendenziell zu hohe Luftmengen liefern. Die vom Passivhaus Institut bereitgestellten Projektierungsunterlagen (PHPP und das Programm "PH-Luft") liefert realistischere Werte. Die Luftqualität erwies sich in allen Projekten, die so projiziert wurden, als sehr gut.

Bauprojekt CEPHEUS-01 Hannover Kronsberg

Beim Projekt Hannover-Kronsberg hat sich gezeigt, dass die intensive Begleitung des Projektes es ermöglichte, einige Schwachpunkte der Haustechnik zu erkennen und zu beseitigen. So wurden Verbesserungsarbeiten an der Wärmedämmung im Technikgeschoss der Häuser erfolgreich durchgeführt, welche über den üblichen Standard hinausgingen. Dies hat zu spürbaren Temperaturabsenkungen in diesen Räumen geführt. Die Balanceeinstellungen der Lüftungsanlagen in den Häusern nach etwa 1,5 Jahren Betrieb konnten durch Nachstellen der Anlagen deutlich verbessert werden.

Der Kontakt zu den Bewohnern, insbesondere auch durch mehrere Informationsveranstaltungen zu den Ergebnissen der Verbrauchsdatenanalysen und die Erstellung eines projektspezifischen „Nutzerhandbuchs“ hat sich sehr positiv auf das Verständnis für das jeweilige eigene Passivhaus ausgewirkt. Dadurch konnten auch Missverständnisse ausgeräumt und ungewolltes Fehlverhalten vermieden werden.

Die Messdaten aus der zweiten vollständigen Heizperiode des Projektes (1.10.2000 bis 30.4.2001) belegen mit niedrigeren Heizwärmeverbräuchen die bekannte Notwendigkeit, nicht allein das erste Jahr als Messperiode zu verwenden.

Bauprojekt CEPHEUS-02 Kassel Marbachshöhe

Vom Bauträger wurde ein Planungsteam eingesetzt, bestehend aus Bauherrenvertreter, Architekten, Fachingenieuren und externen Beratern. Dieses Team wurde in der Bauphase durch die Bauausführenden zum Bauteam erweitert. Im Rahmen der projektbegleitenden CEPHEUS-Qualitätssicherung wurden jeweils vor entscheidenden Bauabschnitten Besprechungen mit den unmittelbar betroffenen Gewerken und der Bauleitung durchgeführt. Auf diese Weise konnte die richtige Umsetzung der wichtigsten Passivhaus-spezifischen Detaillösungen sichergestellt werden.

Einige Probleme der Installationsphase wurden erst in der Betriebsphase offenkundig. Bei der Auswertung der Messdaten im Rahmen des CEPHEUS-Projektes zeigte sich, dass eine falsche Einstellung der Regelung für das Frostschutzheizregister zu unnötig hohen Stromverbräuchen geführt hat. Eine falsche Montage des Kondensatablaufs führte zu Feuchteschäden in den Lüftungszentralen.

Eine mangelnde Luftdichtheit der Kanaldurchführungen im Erdgeschoss wurde erst nachträglich mit erheblichem Mehraufwand behoben. Mit diesen Maßnahmen konnte aber schließlich ein sehr guter n_{50} -Wert von $0,35 \text{ h}^{-1}$ erreicht werden.

Ein erhöhter Aufwand ergab sich aus der Umsetzung einiger wärmebrückenarmer Detailausführungen, wie z. B. der Kimmschicht aus PU-Recyclingmaterial oder der GFK-Zuganker. Hier musste eine Zulassung im Einzelfall beantragt und erwirkt werden.

Bauprojekt CEPHEUS-13 Luzern-Wegere (CH)

In der Wegere, ein ausgesprochener Leichtbau mit sehr hohem Vorfabrikationsgrad, wurden bereits in der Entwurfsphase die Ingenieurspezialisten beigezogen. Dies machte sich bezahlt, denn damit konnten die Erschließungsräume für die Haustechnik (Lüftung, Sanitär, Elektro) konzentriert und vereinfacht werden. Mit dieser Konzentration sind die Kosten und Wärmeverluste gesenkt und die Konzepte verbessert worden. Vielmals hörte

man den Spruch: Das spielt doch keine Rolle oder jetzt plane ich schon seit x-Jahren und nie hat dies eine Rolle gespielt. Auch das Montagepersonal benötigte viel Überzeugungsarbeit um die Details zu pflegen. Ein Rohr, das durch die Luftdichtigkeitsschicht geführt wird muss abgedichtet sein! "- warum? - wieso ?, spielt doch keine Rolle". Allgemein kann festgehalten werden, dass das Passivhaus höhere Anforderungen an das ganze Planungs- und Realisierungsteam stellt (Prof. W. Betschart, Dozent für Heizungs- und Energietechnik an der Hochschule Technik+Architektur Luzern).

3.4 Änderungen (gegenüber dem Projektantrag)

Zu den in Abschnitt 2 referierten *Zielen* des CEPHEUS-Projekts hat es keinerlei Änderungen gegenüber dem Projektantrag gegeben. Bei den eingesetzten *innovativen Technologien* gab es marginale Änderungen, die im Hinblick auf die Projektziele jedoch irrelevant sind.

Größere Änderungen gab es jedoch hinsichtlich der *Standorte* und des Umfangs diverser Teilprojekte:

- Aufgrund von Verzögerungen bei der Vermarktung, die anderen Gründen als dem vorgesehenen Passivhausstandard geschuldet waren, mussten ein 2. Bauabschnitt in Hannover mit 12 Reihenhäusern, ein zweites schwedisches Projekt in Malmö mit 20 Reihenhäusern (weitgehend baugleich mit Göteborg) sowie das Mehrfamilienhausprojekt in Dietzenbach/D mit 18 Wohneinheiten aus CEPHEUS herausgenommen werden. Für das Dietzenbach-Projekt wurde in Abstimmung mit der EU-Kommission ein gleichwertiges Mehrfamilienhausprojekt in Kassel mit 40 Wohneinheiten aufgenommen.
- Aus diversen Gründen (Verzögerungen bei der Bewilligung des CEPHEUS-Projekts, Rückzug von Baupartnern, Probleme beim Grundstückserwerb usw.) mussten sämtlichen österreichischen Projekte ausgetauscht werden (siehe Übersicht). In der Vielfalt der Gebäudetypen und Bauweisen sowie der eingesetzten innovativen Technologien sind die realisierten den ersetzten Teilprojekten voll vergleichbar.

Projekte nach Vertrag (27.3.1998)					Realisierte Projekte				
	Lage	Wohn- einheiten	Haustyp	Kon- struktion		Lage	Wohn- einheiten	Haustyp	Kon- struktion
1	Klaus/Vorarlbg.	6	RH	Leicht.	04	Egg/Vorarlbg.	4	MFH	Massiv
2	Hard/ „	18	MFH	Leicht.	05	Hörbranz/ „	3	RH	Massiv
3	Feldkirch/ „	7	RH	Misch.	06	Wolfurt/ „	10	MFH	Misch.
4	Lochau/ „	12	RH	Misch.	07	Dornbirn 1/ „	1	EFH	Misch.
5	Schwarzach/ „	39	MFH	Misch.	08	Gnigl/Salzburg	6	MFH	Misch.
6	Lustenau/ „	26	MFH	Misch.	09	Kuchl/Salzburg	25	MFH	Misch.
					10	Hallein/Salzburg	31	MFH	Misch.
					11	Horn/Unter -A.	1	EFH	Misch.
					12	Steyr/Ober -A.	3	RH	Massiv
	Summe	108				Summe	84		

Tabelle 15: Veränderungen der österreichischen Projekte

Abkürzungen: RH – Reihenhäuser; MFH – Mehrfamilienhäuser; EFH - freisteh. Einfamilienhaus

- In der Schweiz wurden durch den Projektpartner Renggli anstelle der ursprünglich einmal geplanten 10 Wohneinheiten an 3 Standorten zunächst nur 5 Reihenhäuser am Standort Wegere/Nebikon im Kanton Luzern realisiert.

Die genannten Änderungen waren für das Erreichen der Projektziele nicht von substantieller Bedeutung.

3.5 Zeitplan

Gegenüber den Zeitplänen des Annex I zum Vertrag hat es bei fast allen Teilprojekten größere oder kleinere zeitliche Verschiebungen gegeben. Diese Verzögerungen sind für Bauprojekte üblich. Im Überblick:

- Das Projekt 01 – Hannover/D konnte wie geplant in 09/1998 begonnen und bereits Ende 12/1998 – früher als ursprünglich geplant – von den ersten Erwerbern bezogen werden. Die messtechnische Evaluierung begann im Okt. 1999 mit belastbaren Daten, es konnten zwei volle Heizperioden ausgewertet werden.
- Aufgrund des Ersatzes des Projekts Dietzenbach durch das Projekt 02 – Kassel/D ergab sich ein neuer Bauzeitenplan. Trotzdem konnte auch dieses Projekt eine volle Heizperiode messtechnisch evaluiert werden.
- Beim Projekt 03 – Göteborg/S ergab sich aus planungsrechtlichen Gründen eine sehr starke Verzögerung beim Baubeginn um 15 Monate (von 10/98 auf 12/99). Da sich auch die endgültige Fertigstellung und der Bezug durch die Erwerber bis in den Mai 2001 verzögerten, konnten für dieses Projekt keine messtechnische Evaluierung der Nutzung im Rahmen von CEPHEUS erfolgen. Es ist jedoch im Anschluss an CEPHEUS vorgesehen, mit Finanzierung aus nationalen Mitteln die Nutzung der Häuser über mindestens 2 Jahre zu evaluieren.
- Aufgrund des Austausches der österreichischen Projekte ergab sich ein völlig neuer Zeitplan. Wie für CEPHEUS vorgesehen konnten jedoch die Projekte meist noch eine volle bzw. mindestens eine halbe Heizperiode messtechnisch evaluiert werden.
- Die Realisierung des Projekts 13 – Nebikon/CH hat sich um ca. ein Jahr verschoben. Auch hier konnte trotzdem eine volle Heizperiode messtechnisch evaluiert werden.
- Das Projekt 14 – Rennes/F konnte aufgrund von Verzögerungen bei der Vermarktung erst mit über einem halben Jahr Verzögerung im Okt. 1999 begonnen werden. Die ohnehin geplante lange Bauzeit hat sich dann aufgrund äußerst widriger Witterungsbedingungen im Herbst und Winter 2000 bis März 2001 verlängert, so dass für dieses Projekt keine messtechnische Evaluierung im Zeitrahmen von CEPHEUS mehr möglich war. Es wurden jedoch alle erforderlichen messtechnischen Einrichtungen installiert und ein zweijähriges Messprogramm wird im Oktober 2001 gestartet.

Zum zeitlichen Ablauf des CEPHEUS-Projekts siehe Abbildung 11.

3.6 Kosten

Trotz der in Abschnitt 3.4 erläuterten Veränderungen konnte der Gesamtkostenrahmen des CEPHEUS-Projekts grundsätzlich eingehalten werden. Durch die Veränderungen bei den Projekten kam es zu einigen Kostenverschiebungen innerhalb der Kostensätze der CEPHEUS-Partner sowie auch zwischen ihnen.

4 Umsetzung und Ergebnisse

4.1 Ablauf der Inbetriebnahme

Bei allen CEPHEUS-Projekten bis auf 07 – Dornbirn/A fand eine Projektabnahme durch das PHI statt. In allen Projekten war die Durchführung von Blowerdoortests zur Prüfung der Luftdichtheit der Gebäude obligatorisch (siehe dazu Abschnitt 2.4.4 und 4.2.1). Im Falle größerer Leckagen fanden im Anschluss daran Nachbesserungen statt.

Für alle Lüftungsanlagen fand eine Einstellung der Luftvolumenströme für die einzelnen Räume sowie ein Balanceabgleich zwischen Zu- und Abluft statt (siehe Abschnitt 2.4.6). Diese Einregulierung ist für den bestimmungsgemäßen Betrieb von Zu- und Abluftanlagen unerlässlich.

Bei einigen Projekten mussten im ersten Betriebsjahr noch einige Mängel nachträglich behoben werden, so z. B. bei der Regelungs- bzw. Messtechnik oder der Wärmedämmung von Heizungsarmaturen und -leitungen bzw. Warmwasserspeichern.

Generell ist aus dem Bauwesen bekannt, dass aufgrund der Bauaustrocknung, noch ablaufenden baulichen Nacharbeiten und noch nicht optimaler Einregulierung der technischen Systeme sowie aufgrund der Eingewöhnungsphase der Bewohner in der ersten Heizperiode noch höhere Energieverbräuche möglich sind, als sie sich später dauerhaft einstellen. Dies hat sich z. B. auch bei dem Projekt 01 – Hannover gezeigt, bei dem innerhalb der Laufzeit des CEPHEUS-Projekts zwei Heizperioden gemessen werden konnte [Peper 2001].

Im allgemeinen fand eine Einweisung der Nutzer über die Besonderheiten einer Wohnung im Passivhausstandard (Lüftungsempfehlungen, erforderliche Filterwechsel u.ä.) bei Bezug statt. Für das Projekt 01 - Hannover wurde dazu ein ausführliches Nutzerhandbuch zur Verfügung gestellt. Es hat sich außerdem als sinnvoller erwiesen, nach einer gewissen Nutzungszeit mit den Bewohnern eine Informationsveranstaltung durchzuführen, auf der sowohl noch offene Fragen geklärt als auch Rückmeldungen über die erzielten Energiekennwerte gegeben werden können.

Eine Besonderheit stellt das Projekt in Rennes da, wo sich die Hauskäufer als Kooperative formiert haben. Auf den regelmäßig durchgeführten Versammlungen der Kooperative musste der Bauträger u.a. die Passivhaustechnologie und die verwendeten ökologischen Baustoffe ausgiebigst vorstellen sowie eine detaillierte Einweisung in deren Nutzung geben.

Im Allgemeinen ist die „Inbetriebnahme“ der Passivhäuser nicht viel anders verlaufen als die eines jeden Hauses.

4.2 Ergebnisse (Performance)

4.2.1 Luftdichtheitstest

Bei allen CEPHEUS-Bauprojekten wurde die Restleckage durch Gebäude-Dichtheitsprüfungen gemäß EN 13829 gemessen. Tabelle 16 zeigt eine Übersicht der erzielten Ergebnisse.

Nr.	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14
Projekt	Germany, Hannover	Germany, Kassel	Sweden, Göteborg	Austria, Egg	Austria, Hörbranz	Austria, Wolfurt	Austria, Dornbirn	Austria, Gnigl	Austria, Kuchl	Austria, Hallein	Austria, Horn	Austria, Steyr	Switzerland, Luzern	France, Rennes
n_{50} -Wert h^{-1}														
Bauart	Mi	mass	Holz	mass	mass	Mi	Holz	Holz	Mi	Mi	Mi	mass	Holz	Mi
Mittelwert n_{50} / h^{-1}	0,30	0,35	0,31	0,51	0,47	0,33	1,1	0,97	2,23*	0,58	0,61	1,6**	0,57	11**

Tabelle 16: Gemessene volumenbezogene Gebäudeleckagekennwerte n_{50} für die realisierten CEPHEUS-Projekte

(Mi = Mischbauweise; mass = Massivbauweise)

* Bei Projekt 09-Kuchl ist der Grund für den hohen n_{50} -Wert vermutlich eine hohe interne Leckage; hier konnte nicht mit Schutzdruck gemessen werden.

** Bei diesen Projekten lagen zum Zeitpunkt der Bearbeitung nur Werte aus vorläufigen Luftdichtheitsmessungen vor; diese erfüllten wegen bedeutender Probleme bei Planung und Ausführung der luftdichtenden Hülle die CEPHEUS-Kriterien nicht. Inzwischen ist bei den betroffenen Projekten nachgebessert worden; neue Messergebnisse liegen aber derzeit noch nicht vor.

Nach den hier dokumentierten Ergebnissen liegen die verbliebenen Restleckagen bei 9 CEPHEUS-Projekten zwischen 0,30 und 0,61 h^{-1} . Sie sind damit um mindestens 40% niedriger als nach den schärfsten derzeit in Europa gültigen nationalen Vorgaben gefordert. Die CEPHEUS-eigenen Zielsetzungen ($n_{50} \leq 0,6 h^{-1}$) wurden in 8 (sowie bei 11-Horn mit 0,61 fast) der 14 Einzelprojekte erreicht. Bei zwei der übrigen Objekte (07-Dornbirn-Knie und 08-Salzburg-Gnigl) wurden mit um 1 h^{-1} immer noch gute Werte erreicht; hier wäre ein besseres Ergebnis durch Nachbesserungen an den jeweils konkret festgestellten Anschlüssen mit Luftinfiltration möglich (Dornbirn-Knie: Glasleisten der Festverglasungen). Bei den bedeutenderen Ausnahmen handelt es jeweils um systematische Fehler bei der Konzeption der Luftdichtheit. Z.B. war in Rennes zunächst auf eine planmäßige luftdichtende Ebene der Leichtbau-Außenwände im Norden des Gebäudes verzichtet worden (der Hersteller des Naturfaser-Dämmstoffes hatte die Ansicht geäußert, dass eine Luftdichtheitsbahn für eine solche Konstruktion nicht notwendig wäre); daraufhin ergaben sich zunächst katastrophal schlechte Drucktestergebnisse ($n_{50} \approx 11 h^{-1}$). Daraufhin wurden Luftdichtungsfolien nachgerüstet, ein planmäßig dichter Anschluss in den Randbereichen konnte aber nicht hergestellt werden.

Die Luftdichtheitsuntersuchungen bei den 32 Reihenhäusern in Hannover-Kronsberg wurden mit und ohne Gegendruck in den jeweiligen Nachbarhäusern durchgeführt. Relevant für den Energieverlust sind nur die Ergebnisse unter Abzug der internen Leckage. Diese liegen zwischen 0,17 und 0,4 h^{-1} ($\pm 10\%$) mit einem Mittelwert von 0,29 h^{-1} . Eine Fehleranalyse zeigt, dass die Messung mit dem Unter- und Überdruckverfahren sehr genau durchgeführt werden kann: Die wesentlichen Fehlerursachen liegen bei der vorausgehenden Präparation des Gebäudes und im Einfluss windbedingter Druckschwankungen [Peper 2001].

Auch die Messungen beim Geschosswohnungsbau in Kassel wurden mit und ohne Gegendruck durchgeführt. Hier lagen die Ergebnisse bei 23 untersuchten Wohnungen ohne Nachbesserungen zwischen 0,14 h^{-1} und 0,86 h^{-1} . In vier Wohnungen wurden gefundene Leckagen nachgebessert. Auch schon ohne die dadurch erzielten Verbesserungen lag der Mittelwert des Gebäudes (Los 1) bei 0,35 h^{-1} .

Die Prinzipien aus der Publikation [Peper 1999a] als auch die darauf beruhenden Einzellösungen haben sich in den Projekten bewährt, soweit sie konsequent angewendet wurden. Ebenso interessant ist, dass überall dort, wo eine konsequente Luftdichtheits-

Konzeption nicht vorgelegt wurde, deutlich schlechtere Ergebnisse erzielt wurden. CEPHEUS beweist somit in der Praxis,

- dass die für das Passivhaus erforderlichen hohen Luftdichtheiten in der Praxis bei allen Bauweisen reproduzierbar erreicht werden können,
- dass für die Luftdichtheit die Empfehlungen gemäß [Peper 1999a] eine sehr gute Grundlage bilden,
- und dass eine konsequente Planung der Luftdichtungsdetails das entscheidende Mittel für den Erfolg ist.

In den meisten Fällen sind die in CEPHEUS gewählten zuverlässigen Luftdichtheitslösungen noch relativ aufwendig. Die Lernprozesse in den Projekten haben jedoch in der Folge bereits dazu geführt, dass noch einfachere Lösungen einsetzbar wurden.

4.2.2 Energiekennwerte

Erfahrungen aus früheren Bauprojekten zeigen, dass die Energiekennwerte, insbesondere für Raumwärme, in der ersten Heizperiode höher liegen als in den darauf folgenden. Aus diesem Grund war im ursprünglichen CEPHEUS-Antrag für alle Häuser eine Messphase von zwei Jahren Dauer vorgesehen, die von der EU-Kommission aber nicht bewilligt wurde. Verzögerungen im Bauablauf, wie sie in Bauprojekten regelmäßig vorkommen und im ursprünglichen CEPHEUS-Zeitplan noch eingerechnet waren, führten dazu, dass die Messungen in vielen CEPHEUS-Projekten nur einen Teil der ersten Heizperiode abdecken. Die für diese Projekte verfügbaren Messergebnisse wurden in den meisten Fällen auf ein komplettes Jahr hochgerechnet. Insbesondere für den Bereich Raumwärme sind für die folgenden Heizperioden deutlich günstigere Ergebnisse zu erwarten als hier dokumentiert. Die Projekte 03 - Göteborg und 14 - Rennes waren während der Messphase noch nicht bezogen, das Projekt 10-Hallein war erst ab Januar teilweise bewohnt. Messergebnisse über einen ausreichend langen Zeitraum liegen folglich nicht vor.

Um die Energiekennwerte der Projekte vergleichbar zu machen, wurde ein einheitliches Berechnungsverfahren für die Energiebezugsfläche (Treated Floor Area, TFA) festgelegt. Im Kern stellt die TFA die Summe der Nutzflächen aller Wohnräume innerhalb der thermischen Hülle dar, Nebenräume innerhalb der thermischen Hülle werden zur Hälfte angerechnet. Die TFA ist etwa halb so groß wie die häufig als Bezugsfläche verwendete Bruttogeschossfläche. Daher ergeben sich etwa doppelt so große Energiekennwerte wie bei Bezug auf die Bruttogeschossfläche. Eine genaue Definition der TFA-Berechnung findet sich in [Schnieders 2001]. Dort werden auch die Messergebnisse ausführlicher dargestellt und diskutiert, als dies an dieser Stelle möglich ist.

4.2.2.1 Energiebilanzen der Projekte

In Abbildung 12 sind die Wärmebilanzen von vier verschiedenartigen CEPHEUS-Projekten dargestellt. Die Grafik illustriert den Ansatz der Verlustminimierung, wie er im Passivhaus verfolgt wird: Die Wärmeverluste sind so weit verringert, dass sie zu je etwa einem Drittel durch solare Gewinne und durch innere Wärmequellen gedeckt werden können. Das Heizsystem muss nur das verbleibende Drittel aufbringen.

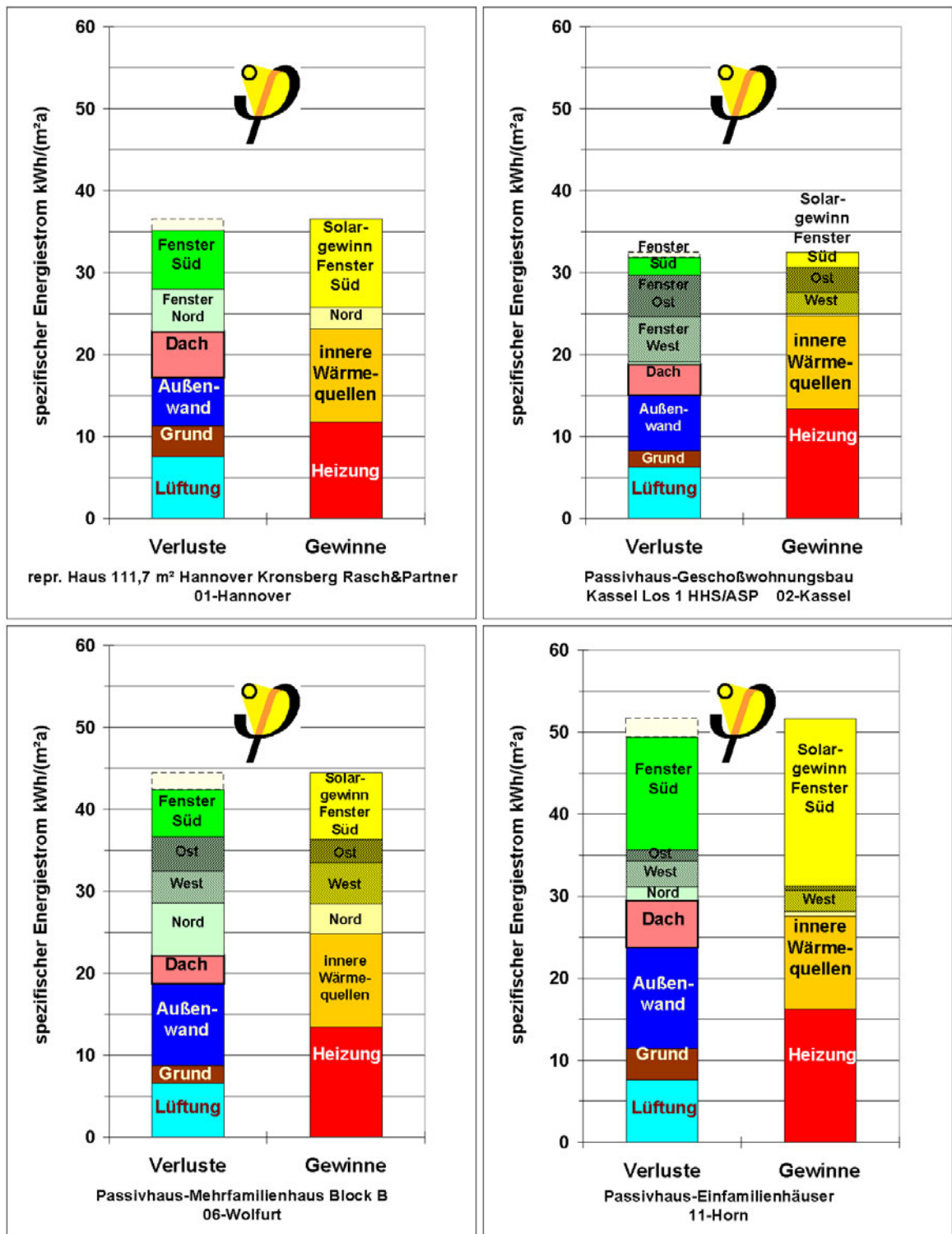


Abbildung 12: Energiebilanzen ausgewählter CEPHEUS-Projekte

Je nach Gebäudetyp tragen die solaren Gewinne mehr oder weniger stark zur Deckung der Verluste bei. Das Mehrfamilienhaus 02 - Kassel ist beispielsweise aufgrund des Bebauungsplans in Ost-West-Richtung orientiert; entsprechend klein fallen die Fensterflächen in Richtung Süden aus. Da die Fenster in Ost- und Westrichtung keine Netto-Gewinne erzielen, wurden sie den Belichtungsanforderungen entsprechend dimensioniert. Wie man am Beispiel Kassel sieht, kann auch ohne eine offensiv solare Architektur ein gut funktionierendes Passivhaus realisiert werden.

Große Solargewinne stehen dagegen beim Einfamilienhaus 11 - Horn zur Verfügung. Aufgrund des ungünstigeren Oberflächen-Volumen-Verhältnisses sind hier die Verluste pro Quadratmeter Wohnfläche bedeutend größer als in Kassel. Da die Fenster überwiegend nach Süden orientiert wurden, können in Horn jedoch bedeutende Netto-Solargewinne erzielt werden.

Die Verlustseite zeigt bei allen Projekten Gemeinsamkeiten: Bedingt durch die hocheffiziente Lüftungswärmerückgewinnung und die ausgezeichnete Luftdichtheit der Gebäudehülle spielen Lüftungswärmeverluste keine große Rolle mehr. Der weit überwiegende Teil der Wärmeverluste wird durch Transmission verursacht. Die Wärmeverluste durch die Fenster machen dabei bereits rund die Hälfte der Transmissionsverluste aus, der Rest geht durch die großen Flächen von Außenwand, Boden und Dach verloren. Größere Fensterflächen sorgen insgesamt für größere Wärmeverluste, die bei günstiger Orientierung und Verschattung jedoch durch die solaren Gewinne wieder gedeckt werden.

Die Energiebilanzen machen deutlich, dass minimierte Verluste die Vorbedingung für relevante solare Gewinne darstellen. Die Wärmeverluste durch die Fenster können durch die solaren Gewinne nur geringfügig übertroffen werden. Ein nennenswerter Solarbeitrag zur Deckung der übrigen Transmissions- und der Lüftungsverluste ist daher nur möglich, wenn diese Verluste bereits ein geringes Ausmaß haben.

4.2.2.2 Heizwärmeverbrauch

4.2.2.2.1 Messwerte des Heizwärmeverbrauchs

Das wichtigste Kriterium für die Beurteilung der CEPHEUS-Passivhäuser stellt der Heizwärmeverbrauch dar. Er hängt in erster Linie von der thermischen Qualität der Gebäudehülle ab, die über die gesamte Lebensdauer des Gebäudes (50-100 Jahre) den Energieverbrauch entscheidend bestimmt. Haustechnische Komponenten und Haushaltsgeräte werden demgegenüber in der Regel nach ca. 20 Jahren ausgetauscht; ihr Einfluss auf die Gesamtenergiebilanz während der Lebensdauer ist daher kleiner.

Abbildung 13 zeigt die Messwerte des Heizwärmeverbrauchs für die CEPHEUS-Projekte. Dargestellt ist der Heizwärmeverbrauch pro Quadratmeter (TFA) jeder Wohneinheit von Oktober bis März, soweit dieser Zeitraum verfügbar war. Einige Projekte wurden erst während des hier untersuchten Zeitraums bezogen, so dass Verbräuche aus Anheizphasen und Baubetrieb in den Daten enthalten sind, bei einigen kam es zu Beginn des Messzeitraums noch zu Datenausfällen. Die Daten aus den Projekten 04 - Egg, 05 - Hörbranz und 07 - Dornbirn beziehen sich daher auf den Zeitraum ab 1. November bzw. 1. Dezember. Innerhalb eines Projekts sind die Verbräuche der Größe nach geordnet. Zu jedem Projekt ist als horizontaler Balken der TFA-gewichtete Mittelwert eingetragen.

Die Grafik zeigt große Unterschiede in den Heizwärmeverbräuchen sowohl bei den Projekten untereinander als auch zwischen einzelnen Wohneinheiten. Einige Projekte erreichen ungefähr die projektierten Heizwärmeverbrauchswerte von ca. 15 kWh/(m²a), andere liegen eindeutig darüber. Die Daten beziehen sich jedoch auf unterschiedliche Zeiträume und sind von daher nicht unmittelbar miteinander zu vergleichen. Ein Vergleich unter den Projekten wird weiter unten nach rechnerischer Korrektur der Messwerte bezüglich Messperiode und Raumtemperaturen durchgeführt.

Die Unterschiede innerhalb eines einzelnen Projekts sind noch größer als diejenigen zwischen den Projekten. Derartige Streuungen im Heizwärmeverbrauch sind auch aus Altbauten bekannt. Sie beruhen neben baulichen Unterschieden zwischen den Wohneinheiten vor allem auf unterschiedlichen Raumtemperaturen, die sich in

Geschosswohnungsbauten (02 - Kassel, 09 - Kuchl und 06 - Wolfurt) besonders stark auswirken.

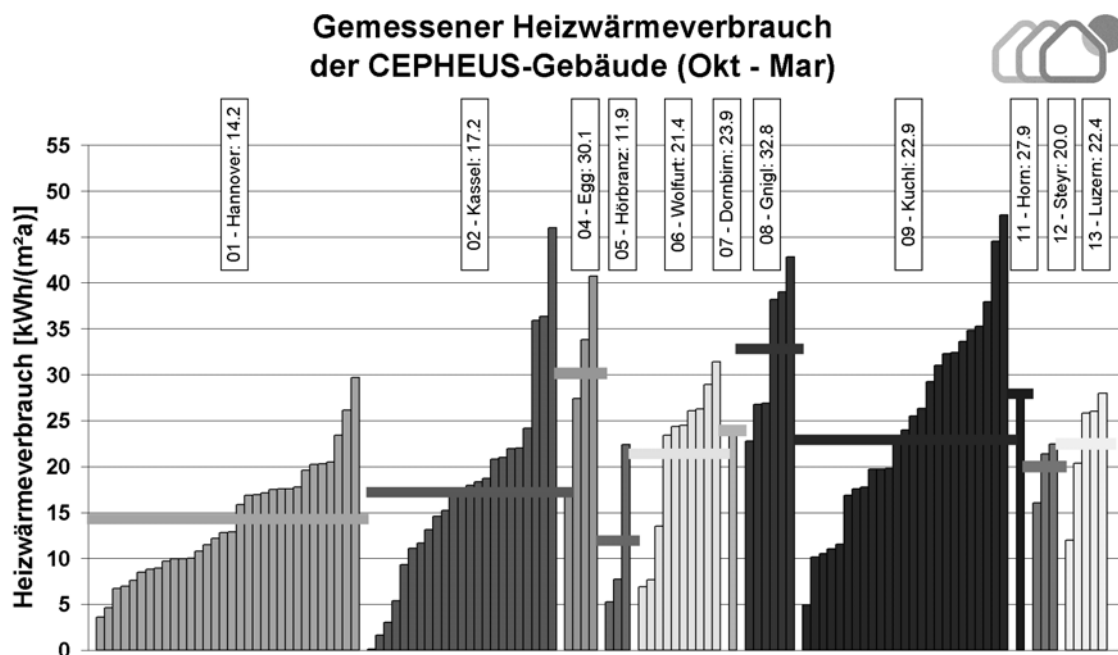


Abbildung 13: Gemessener Heizwärmeverbrauch der Gebäude in der Winter-Messperiode.

In [Pfluger 2011a] werden die Verbrauchsstreuungen zwischen den Wohnungen für das Mehrfamilienhaus 02 - Kassel detailliert untersucht. Es stellt sich heraus, dass eine einfache Korrelationsanalyse zwischen den gemessenen Raumtemperaturen und den individuellen Verbräuchen zur Erklärung der Verbrauchsschwankungen nicht ausreicht. Verwendet man allerdings ein stationäres Mehrzonenmodell zur Berechnung der individuellen Wärmebedarfswerte der Wohnungen auf der Basis der gemessenen Temperaturen, so ergibt sich ein Korrelationskoeffizient von 0,65. Die Verbrauchsunterschiede sind durch die unterschiedlichen äußeren Wärmeverluste (12 %) und vor allem durch die Querwärmeströme zwischen den Wohnungen (33 %) erklärbar. Diese Erklärung gelingt allerdings nur, wenn die physikalischen Zusammenhänge im Mehrzonenmodell adäquat abgebildet sind.

4.2.2.2 Standardisierte Jahresverbräuche

Aus Simulationsrechnungen und Messungen ist bekannt, dass die Raumtemperaturen in Passivhäusern einen gravierenden Einfluss auf den Heizwärmeverbrauch besitzen. Ein unmittelbarer Vergleich mit den zuvor berechneten Werten auf Basis der in Abbildung 13 dargestellten Messergebnisse ist daher nicht sinnvoll, zumal nicht für alle Projekte Messdaten über ein ganzes Jahr zur Verfügung stehen. Um dennoch einen Vergleich zu ermöglichen, wurden die Messwerte mit Hilfe des Monatsverfahrens nach EN 832 auf ein volles Jahr hochgerechnet und auf eine Raumtemperatur von 20 °C normiert. Diese Art der Hochrechnung ist im vorliegenden Fall als konservativ zu betrachten (zur Begründung vgl. [Schnieders 2001]).

In Abbildung 14 sind die standardisierten Heizwärmeverbräuche im Vergleich mit Referenzverbräuchen von üblichen Neubauten gleicher Geometrie entsprechend der lokal gültigen Baugesetzgebung (vgl. Abschnitt 2.4.1) sowie mit den a priori berechneten Heizwärmebedarfswerten (PHPP-Berechnungen aus der Projektierung) dargestellt.

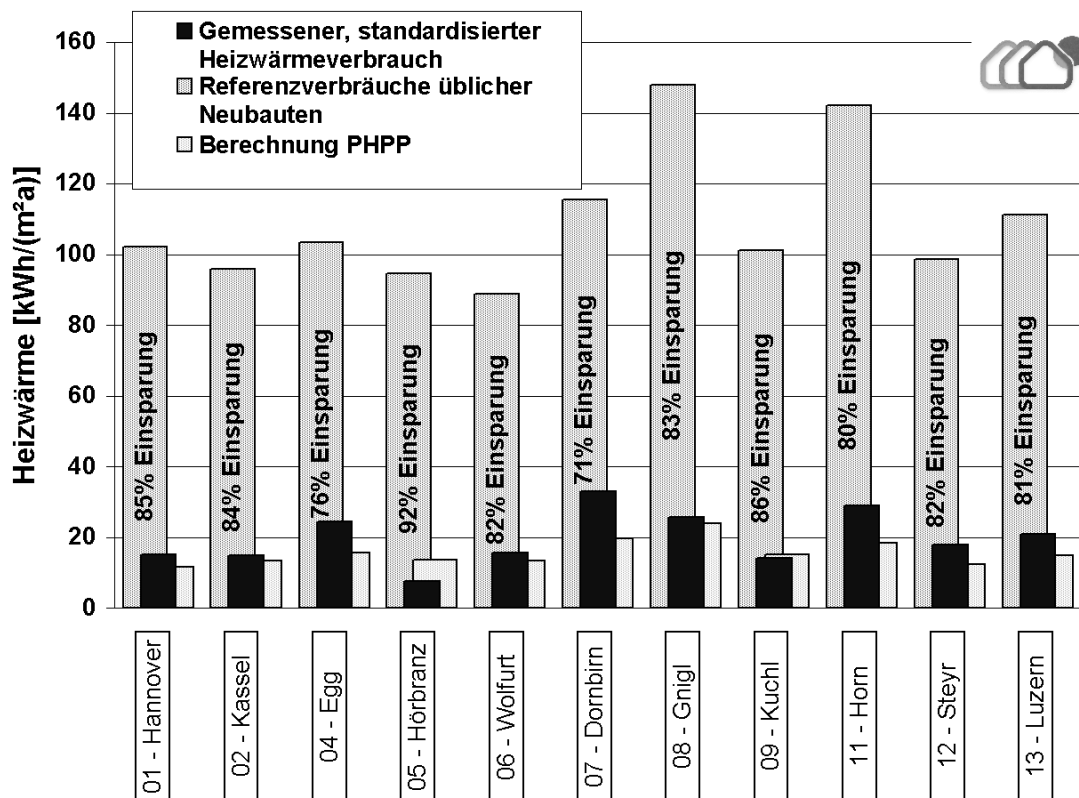


Abbildung 14: Gemessene, standardisierte auf 20 °C Innentemperatur und ein ganzes Jahr umgerechnete Heizwärmeverbrauchswerte im Vergleich zum Verbrauch üblicher Neubauten und zu den Rechenwerten des Heizwärmebedarfs aus der Projektierung

Im Vergleich der standardisierten Heizwärmeverbräuche mit dem Referenzverbrauch üblicher Neubauten wurden bei den CEPHEUS-Gebäuden im flächengewichteten Mittel 84 % Heizwärme eingespart. Am geringsten waren die Einsparungen in denjenigen Projekten, die erst während der Messperiode oder kurz vorher bezogen wurden und teilweise noch nicht vollständig fertiggestellt waren. In allen bereits länger bezogenen Häusern liegt die Einsparung über 80 %.

Weiter fällt auf, dass die Messwerte in den meisten Fällen etwas über den Rechenwerten liegen. In gewissem Maße war dies auch zu erwarten: Fast alle Messwerte stammen aus dem ersten Jahr der Nutzung. Teilweise wurden die Gebäude im Winter bezogen, das einmalige Aufheizen der ausgekühlten Bauteile kann allein bis ca. 3 kWh/m² erfordern. Auch die Austrocknung der Baufeuchte findet im ersten Winter statt und kann den Heizwärmeverbrauch um 3 bis 8 kWh/(m²a) erhöhen (vgl. hierzu [Pfluger 2001]). Die Gewöhnung der Bewohner an das Verhalten von Haustechnik und Gebäude erfordert einige Zeit, so dass zu Beginn der Nutzung zusätzliche Verbräuche auftreten können, die später entfallen. Grundsätzlich ist zu erwarten, dass die Projekte in den Folgejahren weniger Wärme verbrauchen werden.

4.2.2.3 Warmwasserenergieverbrauch

Abbildung 15 zeigt die gemessenen Nutzwärmeverbräuche für die Warmwasserbereitung. Bei der Mehrzahl der Projekte lagen nur Winterverbräuche vor; diese wurden unter Vernachlässigung der im Sommer etwas geringeren Warmwasserverbräuche auf das ganze Jahr hochgerechnet.

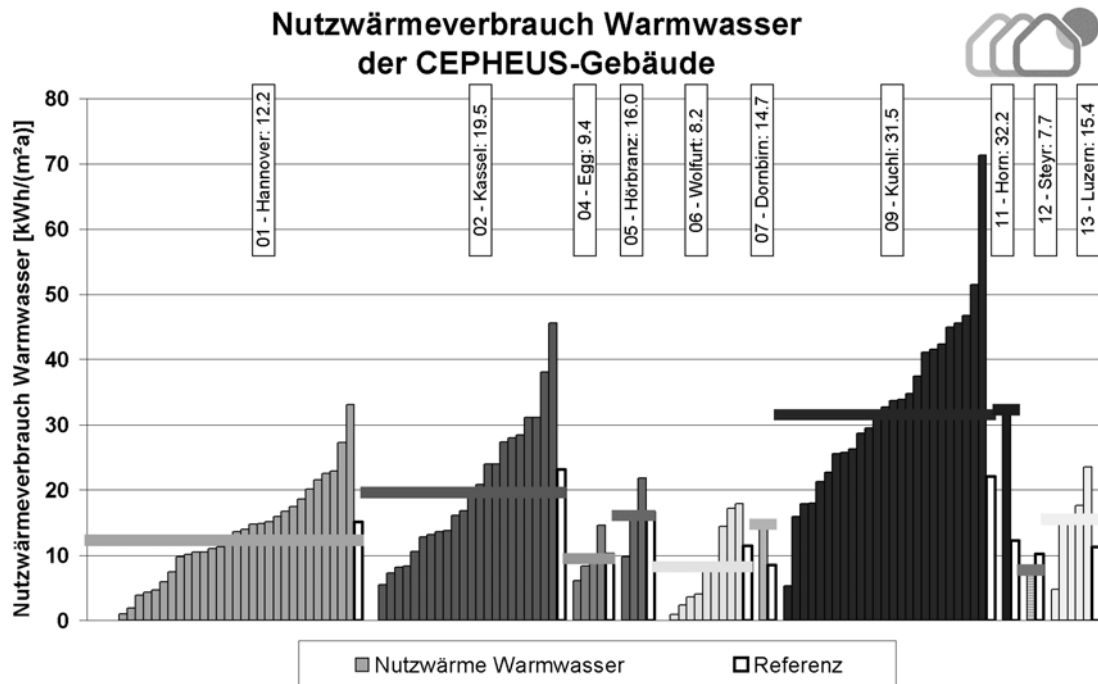


Abbildung 15: Gemessener Nutzwärmeverbrauch für Warmwasser nach Wohneinheiten (Daten bis auf 01 - Hannover hochgerechnet).

Ähnlich wie beim Heizwärmeverbrauch weisen die Verteilungen der Verbräuche innerhalb der Projekte eine erhebliche Streuung auf. Im Mittel entsprechen die Verbräuche ungefähr den Referenzwerten, d.h. dem typischen Verbrauch (25 Liter pro Person und Tag bei 60 °C) von vergleichbar dicht belegten Wohnungen, in den Projekten 09 - Kuchl und 11 - Horn liegen sie sogar deutlich darüber.

Der Warmwasserverbrauch ist auch ein Kriterium für die Komfortansprüche der Bewohner. Die Untersuchung zeigt, dass die Ansprüche der Bewohner in den CEPHEUS-Projekten nicht signifikant vom allgemeinen Durchschnitt abweichen.

4.2.2.4 Haushaltsstromverbrauch

Beim extrem reduzierten Heizwärmeverbrauch des Passivhauses wird der Anteil des Stromverbrauchs am Gesamtenergieverbrauch höher. Insbesondere gilt dies primärenergieseitig (siehe hierzu auch die Auswertungen zur Primärenergiebilanz in Abschnitt 4.2.2.5). Daher wurden in den CEPHEUS-Projekten auch Einsparungen beim Haushaltsstromverbrauch angestrebt. Näheres zum Stromsparkonzept findet sich in Abschnitt 2.3.12.

In Abbildung 16 sind die gemessenen Haushaltsstromverbräuche dargestellt. Wo keine Daten für ein komplettes Jahr verfügbar waren, wurden die vorhandenen Messdaten hochgerechnet. Hierzu wurde ein im Jahresverlauf konstanter Stromverbrauch angenommen. Zu jedem Projekt wurde zum Vergleich der Haushaltsstrom ermittelt, den ein typisches Haus gleicher Belegungsdichte am jeweiligen Standort verbrauchen würde. Diese Referenzwerte basieren auf gesamtstatistischen Durchschnittswerten für Haushaltsstrom ohne Heizung und Warmwasserbereitung. Die unterschiedlichen Wohnungsgrößen wurden über eine Regressionsanalyse berücksichtigt (zu Details vgl. [Schnieders 2001]).

Einsparungen in größerem Umfang sind bei den Projekten 01 - Hannover, 02 - Kassel und 06 - Wolfurt festzustellen. Bei den übrigen Projekten liegen die Verbräuche dagegen

nur wenig unter den Referenzwerten, in 07 - Dornbirn, 08 - Gnigl und 12 - Steyr sogar darüber.

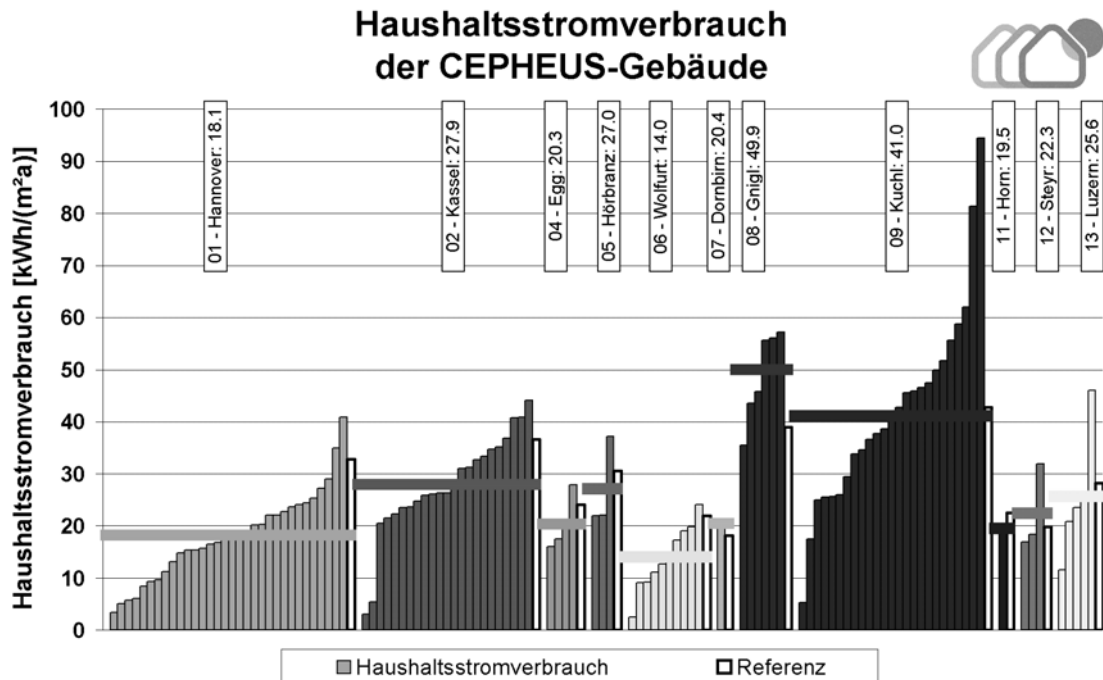


Abbildung 16: Gemessener Haushaltsstromverbrauch der Gebäude.

In 01 - Hannover waren im Messzeitraum nur 24 der 32 Wohneinheiten dauerhaft bewohnt. Betrachtet man nur diejenigen dauerbewohnten Häuser, in denen eine Stromsparberatung stattfand, ergibt sich eine Einsparung von 38 % gegenüber dem Referenzwert (vgl. [Peper 2001]). Dabei ist der Stromverbrauch der Haustechnik einschließlich des Lüftungsgeräts im Messwert bereits enthalten.

Die in Relation zu den Einsparungen bei der Heizwärme bei einem Teil der Projekte mäßige Haushaltsstromeinsparung erklärt sich daraus, dass bei einem Teil der Projekte dem Bereich Strom in der Umsetzung nicht die gleiche Priorität eingeräumt wurde wie dem Bereich Raumwärme. In den Projekten 01 - Hannover und 06 - Wolfurt konnte die Umsetzung des Stromsparkonzepts jedoch überzeugend demonstriert werden.

4.2.2.5 End- und Primärenergieverbrauch

Dargestellt werden in diesem Abschnitt jeweils die nicht-erneuerbaren Anteile der End- und Primärenergieverbräuche. So sind beispielsweise Energieverbräuche für die Warmwasserbereitung, die unmittelbar von einer thermischen Solaranlage gedeckt werden, im Endenergieverbrauch nicht aufgeführt (bei der Hochrechnung der Winterverbräuche für Endenergie Warmwasser wurde für thermische Solaranlagen einheitlich ein Jahresdeckungsgrad von 40 % angenommen). Die Verbräuche für Haushalts-, Lüfter-, Technik- und Gemeinschaftsstrom sind dagegen vollständig in den angegebenen Verbräuchen enthalten, ggf. wurden Allgemeinstromverbräuche anteilig auf die Wohneinheiten umgelegt. Die Endenergieverbräuche enthalten bereits etwaige Verteilverluste und Verluste der Wärmeerzeuger.

In der Regel liegt der Endenergieverbrauch für Raumwärme und Warmwasser über dem Nutzenergieverbrauch. Eine Ausnahme stellen alle Systeme mit Wärmepumpen dar, da diese mehr Wärme abgeben als sie Strom verbrauchen. Für sonstige Stromwendungen (Haushaltsstrom, Lüftungsgerät usw.) sind Nutz- und Endenergie identisch.

Der gesamte jährliche Endenergieverbrauch der Gebäude konnte bei vielen Projekten nur durch Hochrechnung ermittelt werden. Der Heizwärmeverbrauch wurde dabei ähnlich wie in Abschnitt 4.2.2.2 beschrieben mit Hilfe des Monatsverfahrens nach EN 832 hochgerechnet. Allerdings wurde auf eine Korrektur der Raumtemperaturen verzichtet. Für die nicht verfügbaren Monate wurde die Raumtemperatur als Mittelwert der gemessenen Raumtemperaturen angesetzt. Warmwasser- und Stromverbrauch wurden wie in Abschnitt 4.2.2.3 und 4.2.2.4 dargestellt hochgerechnet.

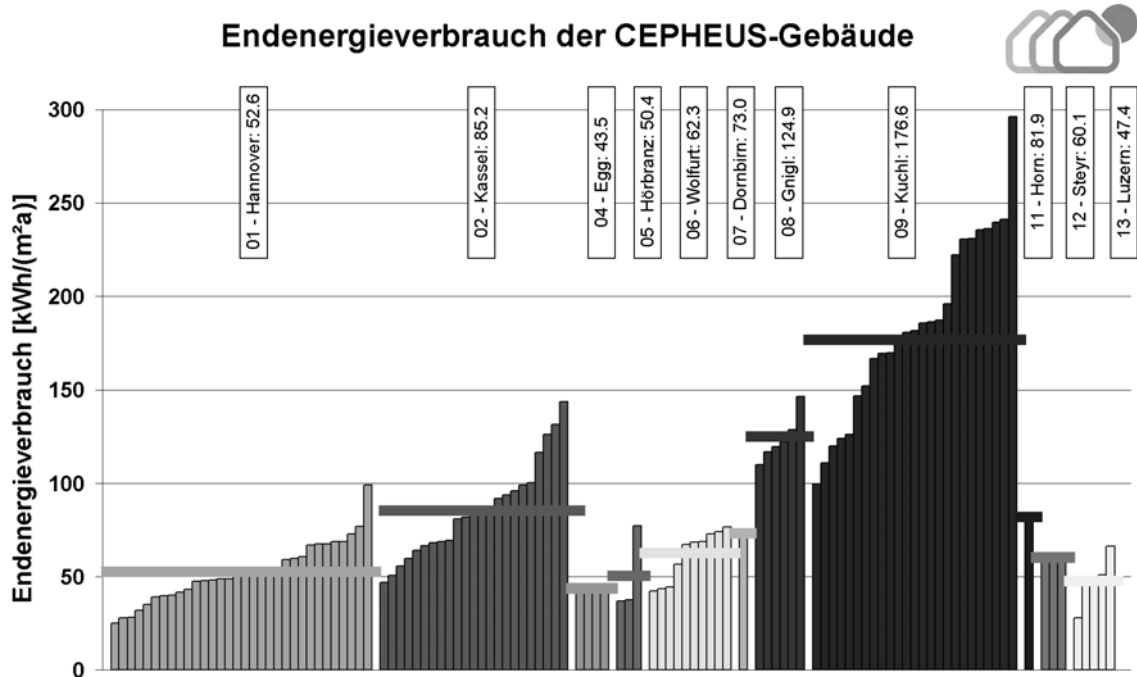


Abbildung 17: Gemessener Endenergieverbrauch der Gebäude

Die Werte enthalten alle nicht erneuerbaren Energielieferungen in die Gebäude inkl. Haushaltsstrom und aller Hilfsstromverbräuche. Sie sind z.T. aufgrund von Messungen in den ersten Betriebsmonaten hochgerechnet.

Auf der Grundlage von Ergebnissen aus GEMIS 4.0 [GEMIS] wurden die folgenden Primärenergiefaktoren ermittelt:

- Gas: 1,15
- Strom: 2,5
- Fernwärme: 0,7
- Holzpellets: 0,1

Es handelt sich dabei jeweils um mittlere Werte des nicht-erneuerbaren, kumulierten Energieaufwands für die Bereitstellung des jeweiligen Energieträgers an der Gebäudehülle. Im Einzelfall können diese Werte von den tatsächlichen Gegebenheiten stark abweichen. So ist beispielsweise bei Fernwärme die Art der Wärmeerzeugung von entscheidender Bedeutung für den Primärenergiefaktor. Um die hier untersuchten Bauprojekte vergleichbar zu machen, wurden Primärenergiefaktoren als repräsentativ für den europäischen Durchschnitt ausgewählt, auf die oben angegebene Genauigkeit gerundet und einheitlich bei allen Projekten verwendet.

Abbildung 17 und Abbildung 18 zeigen die Messergebnisse im Überblick über alle Wohneinheiten. Wo keine Daten für ein komplettes Jahr verfügbar waren, wurden die vorhandenen Messdaten hochgerechnet. Eine Übersichtsdarstellung der Nutz-, End- und Primärenergieverbräuche nach Projekten (Standorten) liefert Abbildung 19.

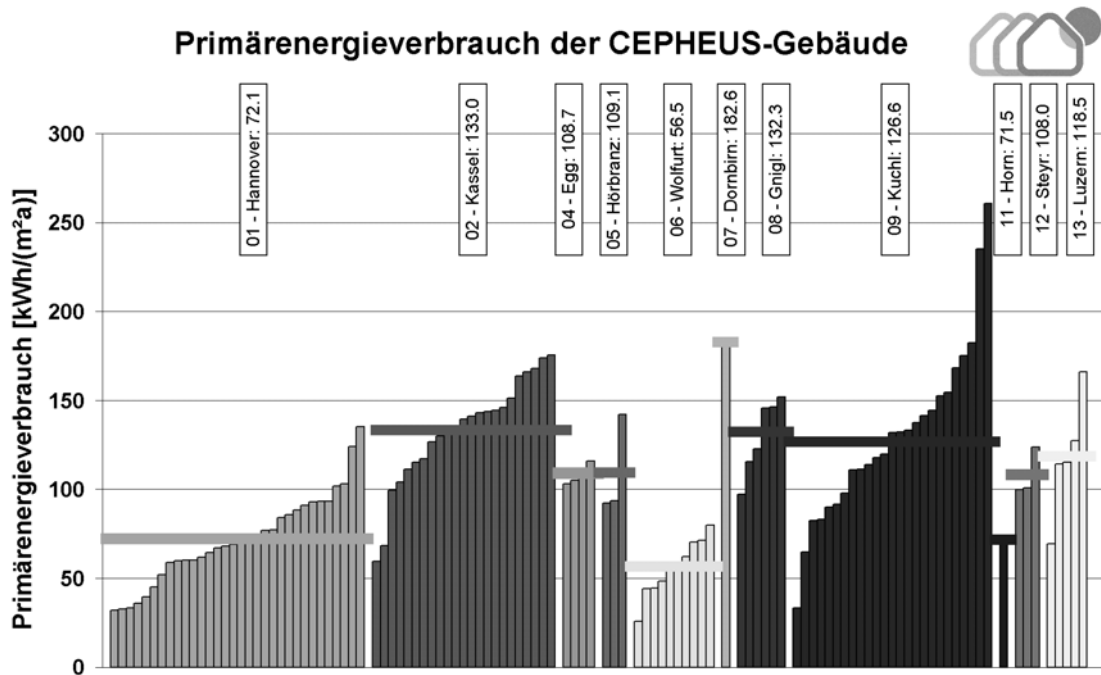


Abbildung 18: Gemessener Primärenergieverbrauch der Gebäude inkl. aller Stromverbräuche

Die Datenbasis ist dieselbe wie bei den Endenergieverbräuchen in Abbildung 17.

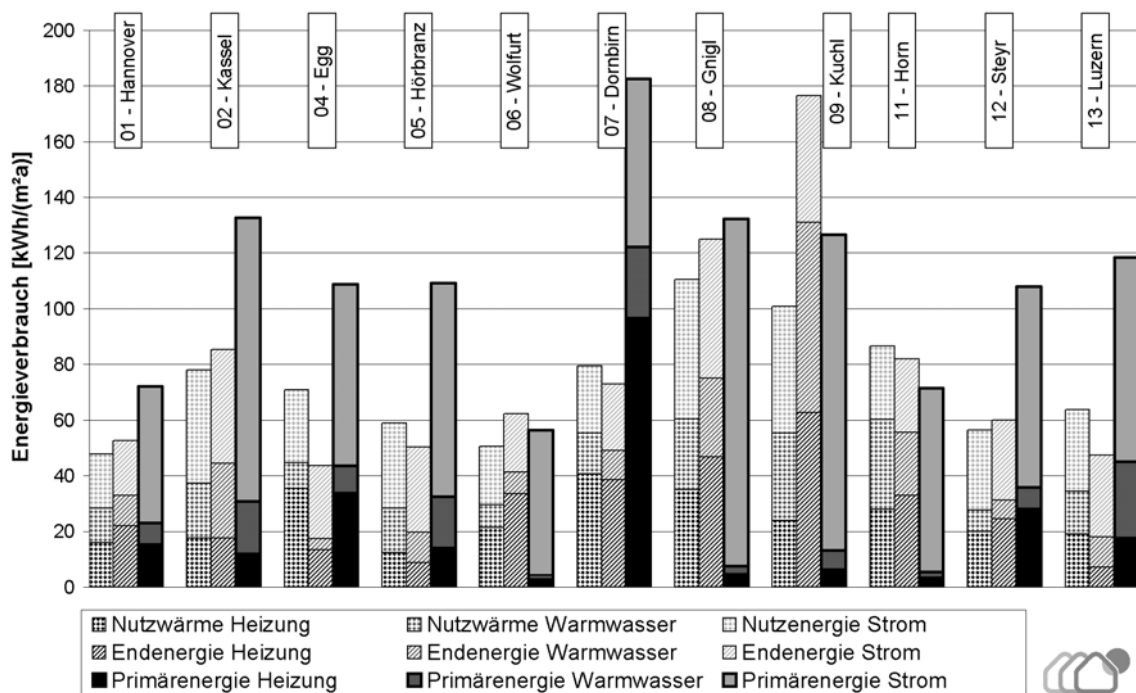


Abbildung 19: Vergleich der Nutz-, End- und Primärenergieverbräuche für Raumwärme, Warmwasser und sämtliche Stromanwendungen im Haus.

Für jedes Projekt stellt der linke Stapelbalken die Nutzenergieverbräuche dar, der mittlere die Endenergieverbräuche, der rechte die Primärenergieverbräuche.

Die Grafiken machen deutlich, dass die angestrebten geringen Heizwärmeverbräuche in den meisten Projekten bereits in der ersten Messperiode nahezu erreicht werden

konnten. In allen Projekten wurden ferner ausgesprochen geringe Primärenergieverbräuche erzielt. Gegenüber üblichen Neubauten wurden bei Nutz-, End- und Primärenergie jeweils über 50 % Einsparung erzielt, der Heizwärmeverbrauch wurde sogar um 80 % reduziert (siehe hierzu auch Abbildung 32).

Bei den Projekten mit Fernwärmeversorgung werden die Verteilverluste durch den relativ günstigen Primärenergiefaktor der Fernwärme ungefähr wieder ausgeglichen. Hohe Stromverbräuche und damit hohe Primärenergiekennwerte treten vor allem in Projekten mit hoher Belegungsdichte auf. Der vergleichsweise hohe Primärenergieverbrauch des Projekts 07 - Dornbirn ist darauf zurückzuführen, dass ein Teil der Messwerte noch vom Ende der Bauphase stammt. Bis Mitte Februar war die Wärmerückgewinnung außer Betrieb, in dieser Zeit wurde direktelektrisch geheizt. Die Ergebnisse sind daher nicht repräsentativ für die künftig zu erwartenden Verbrauchswerte.

Die vergleichsweise hohen Endenergieverbräuche in 08 - Gnigl und 09 - Kuchl haben verschiedene Gründe: In Gnigl liegt ein relativ hoher Heizwärmeverbrauch vor, der sich aus einem ebenfalls relativ hohen rechnerischen Heizwärmebedarf und hohen Raumtemperaturen ergibt. Die dichte Belegung führt gleichzeitig zu hohen wohnflächenbezogenen Strom- und Warmwasserwärmeverbräuchen. Auch das Projekt in Kuchl ist dicht belegt. Hier wurden zudem extrem hohe Verteilverluste für Heizung und Warmwasser gemessen. Den Ursachen hierfür wird vor dem 2. Betriebsjahr nachgegangen werden.

Als besonders bedeutsam für das Verhältnis von End- und Nutzenergieverbrauch stellten sich zwei Faktoren heraus:

- Mit Wärmepumpensystemen, wie beispielsweise Kompaktgeräten oder Solewärmepumpen, lassen sich sehr niedrige Endenergieverbräuche erzielen. Allerdings entspricht die Heizzahl der Wärmepumpen etwa dem Primärenergiefaktor des Haushaltsstroms, so dass man die Entscheidung zwischen Wärmepumpen und konventionellen Wärmeerzeugern weniger unter Energie- als unter Wirtschaftlichkeitsgesichtspunkten treffen wird.
- Angesichts der im Passivhaus erreichten niedrigen Verbräuche gewinnen die Wärmeverteilverluste an Bedeutung, insbesondere bei zentraler Wärmeerzeugung in größeren Gebäuden. Weitere Endenergieeinsparungen von 20 bis 30 % erscheinen allein durch verringerte Verteilverluste realisierbar. Das Projekt 01 - Hannover zeigt, dass hier bei guter Qualität entsprechend bessere Ergebnisse erzielt werden können.

Für den unter Umweltgesichtspunkten entscheidenden Primärenergieeinsatz ist der Haushaltsstromverbrauch von besonderer Bedeutung. Hier sind noch große Einsparpotentiale vorhanden. Entwicklung, Herstellung und Einsatz energieeffizienter Haushaltsgeräte können sich bei Ersatzzyklen von 7 bis 10 Jahren weit rascher auch in bestehenden Gebäuden auswirken als bauliche Verbesserungen, die in erster Linie den Heizwärmeverbrauch betreffen und deren Komponenten eine Lebensdauer von 40 bis 100 Jahren haben.

Besonders positiv beeinflusst die Wärmeerzeugung aus Holzpellets den Primärenergieverbrauch: Bei allen Projekten mit Pelletskessel lag der Anteil von Raumwärme und Warmwasser am Gesamtprimärenergieverbrauch unter 15%. Der Haushaltsstromverbrauch dominiert in diesen Fällen klar die gesamte Primärenergiebilanz des Gebäudes.

4.2.2.6 Heizleistungen

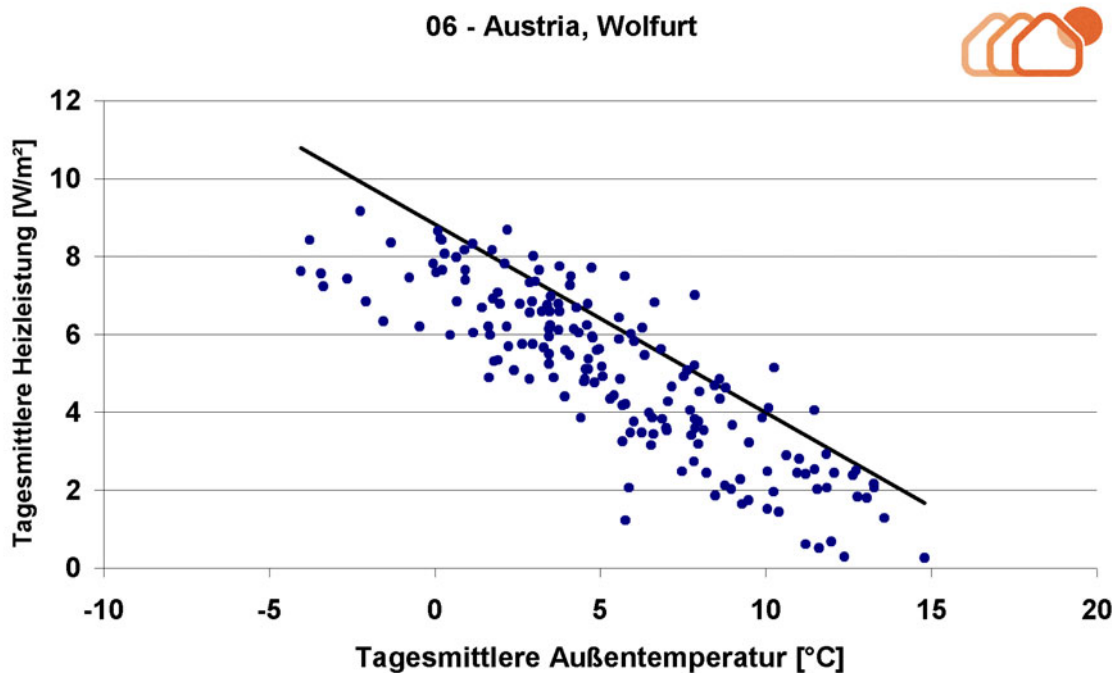
Der Kostensprung bei Erreichen des Passivhausstandards entsteht dadurch, dass auf das separate Heizsystem verzichtet werden kann: Die mit der ohnehin benötigten Zuluft zuführbare Heizleistung reicht aus, das Haus warm zu halten. Die gemessenen tagesmittleren Heizleistungen sind daher von besonderem Interesse. Trägt man sie über

der Außentemperatur auf, kann man sie mit den theoretisch aus den spezifischen Wärmeverlusten und den internen Gewinnen berechneten Heizleistungen am jeweiligen Tag vergleichen. Diese Darstellung erlaubt Rückschlüsse auf die Energiebilanz des Gebäudes und die Qualität der Bauausführung.

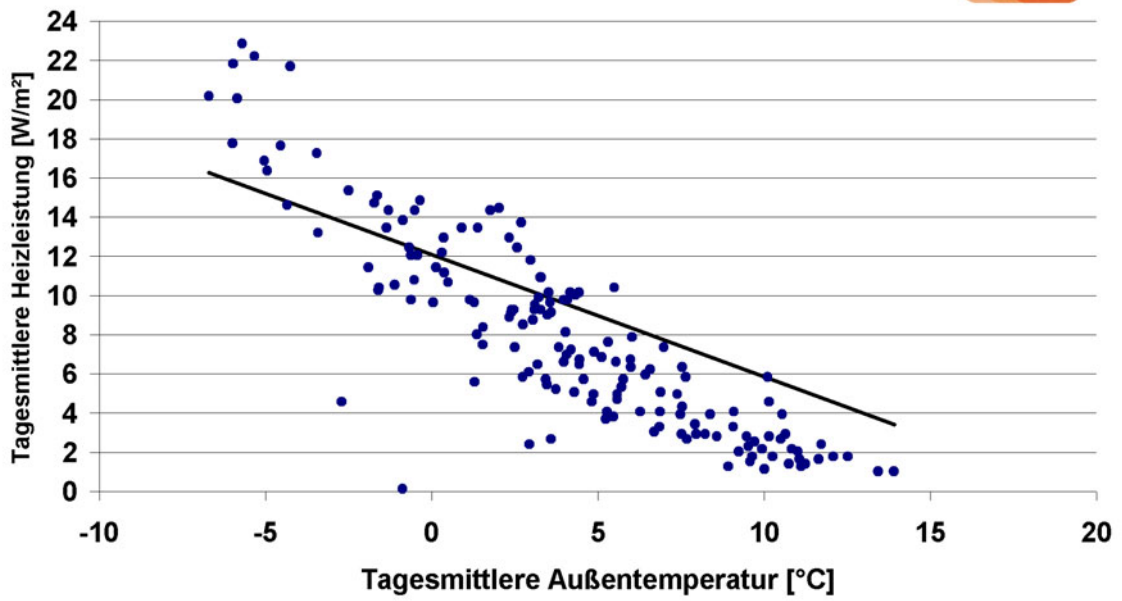
Abbildung 20 zeigt vier derartige Diagramme für ausgewählte Projekte. Für die Projekte 06 - Wolfurt und 13 - Luzern liegen die gemessenen Heizleistungen im Mittel etwas unter der theoretischen Geraden. Dies ist durch die solaren Gewinne begründet, welche einen Teil der Wärmeverluste decken können. Abweichungen von der theoretischen Heizgeraden nach unten sieht man insbesondere bei höheren Temperaturen (im Frühjahr und Herbst mit entsprechend längerer Sonneneinstrahlung) und bei großer Kälte (die stets bei klarem Himmel auftritt).

Im Projekt 11 - Horn schwanken die gemessenen Heizleistungen stark um die theoretische Heizgerade. Dies ist dadurch zu erklären, dass es sich hier um ein Einfamilienhaus handelt. Aufgrund der großen thermischen Trägheit des Passivhauses können zufällige Schwankungen der Heizleistung von einem Tag zum anderen auftreten, die sich erst bei mehreren Wohneinheiten herausmitteln.

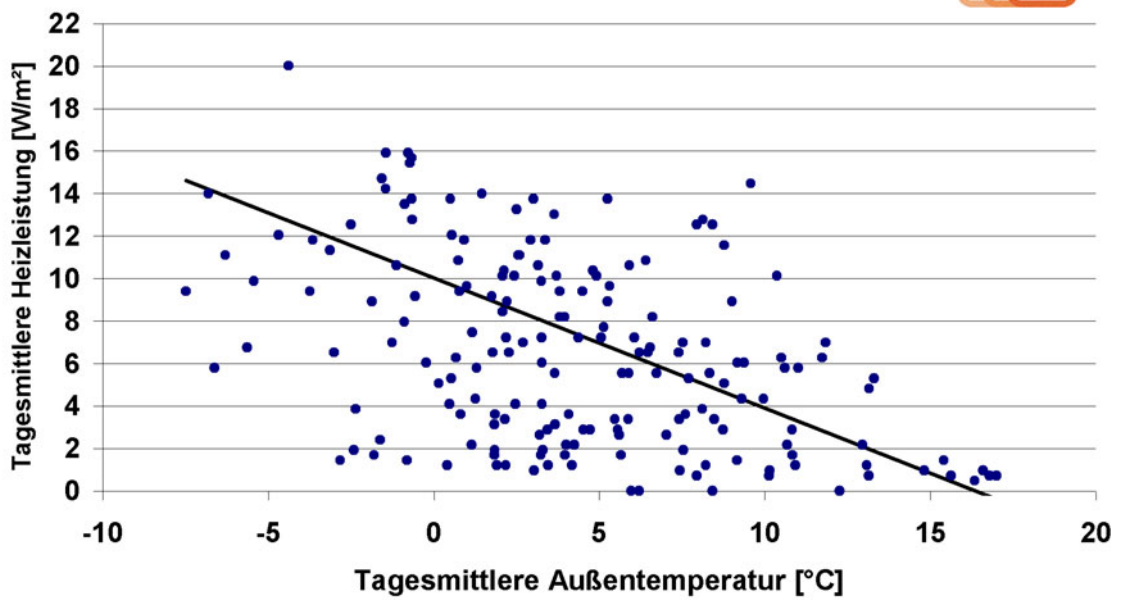
Das Projekt 08 - Gnigl befindet sich in einer stark verschatteten Lage: Im Kernwinter wird das Haus nicht von direkter Sonneneinstrahlung erreicht, im Herbst und Frühjahr gibt es dagegen solare Gewinne, die im Diagramm mit höheren Außentemperaturen korreliert sind. Dieses Modell erklärt den gegenüber der Theorie steileren Verlauf der gemessenen Heizleistungen über der Außentemperatur.



08 - Austria, Gnigl



11 - Austria, Horn



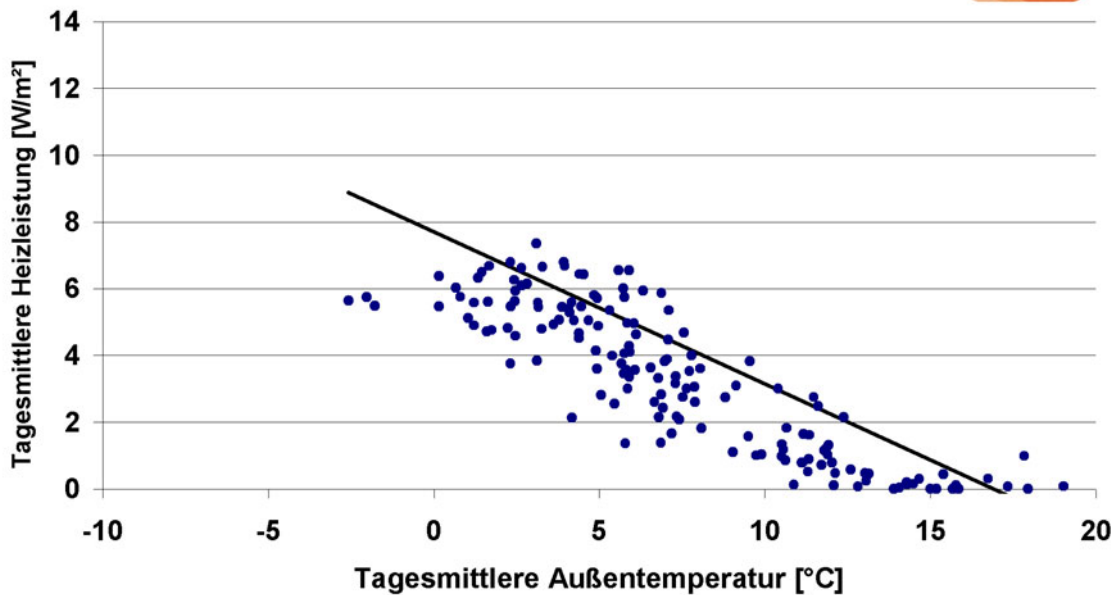


Abbildung 20: Tagesmittlere Heizleistung, aufgetragen über der Außentemperatur.

Die durchgezogene Linie stellt die theoretische Heizleistung dar, die aufgrund der Wärmeverluste, der internen Gewinne und der gemessenen mittleren Raumtemperaturen berechnet wurde.

4.2.3 Bilanzielle CO₂-Neutralität

Die Realisierbarkeit dieses Ziel sollte exemplarisch nur für das Projekt 01 - Hannover demonstriert werden. Vorgesehen war, durch eine Beteiligung an einer in der Nähe geplanten Windenergieanlage den gesamten verbleibenden Primärenergieverbrauch, bzw. die damit verbundenen CO₂-Emissionen in der Jahresbilanz zu substituieren. Teilziele waren zum einen, die Akzeptanz eines entsprechenden Aufschlags auf den Kaufpreis des Hauses zu testen, zum anderen, die genaue Höhe der erforderlichen Beteiligung zu ermitteln.

Der Aufpreis von 2.500 DM (= 1.278 Euro) stellte überhaupt kein Vermarktungshindernis dar. Lediglich eine Erwerberrin weigerte sich aus der (unbegründeten) Sorge einer evtl. Nachschusspflicht bei Schäden an der Windenergieanlage, diesen Anteil zu übernehmen.

Mit der genannten Eigenkapitaleinlage konnten aufgrund des speziellen Verhältnisses von Eigen- und Fremdkapital des von der Windwärts Kunst und Windenergie GmbH & Co. Betreiber KG aufgelegten Windparkfonds je Reihenhaus 2,63 kW oder 0,175 % an der Nennleistung von insgesamt 7 MW der aufgestellten Windenergieanlagen erworben werden. Die gemessene Windstromproduktion dieser Anlagen im Zeitraum 1. Juli 2000 bis 30. Juni 2001 betrug 2 219 629 kWh/a (Juni hochgerechnet; [windwaerts]); der Anteil eines Passivhauses beträgt davon 3.894 kWh/a oder 35 kWh/(m²a). Das entspricht einer CO₂-Einsparung von 26 kg/(m²a).

Für den Standort Hannover-Kronsberg wurden von den Stadtwerken Hannover die spezifischen CO₂-Emissionen für Heizenergie und Warmwasser aus einem mit Erdgasbetriebenen Block-Heizkraftwerk zu 145,3 g/kWh_{th} bestimmt. Für die Stromsubstitution wurden dabei 754 g/kWh_{el} angesetzt. Aus dem Fernwärmeverbrauch von rund 35 kWh/(m²a) und dem gemessenen Stromverbrauch der bewohnten Häuser

von 23 kWh/(m²a) ergibt sich für die Passivhaus-Siedlung auf dem Kronsberg eine CO₂-Gesamtemission im ersten Jahr von 23 kg CO₂/(m²a).

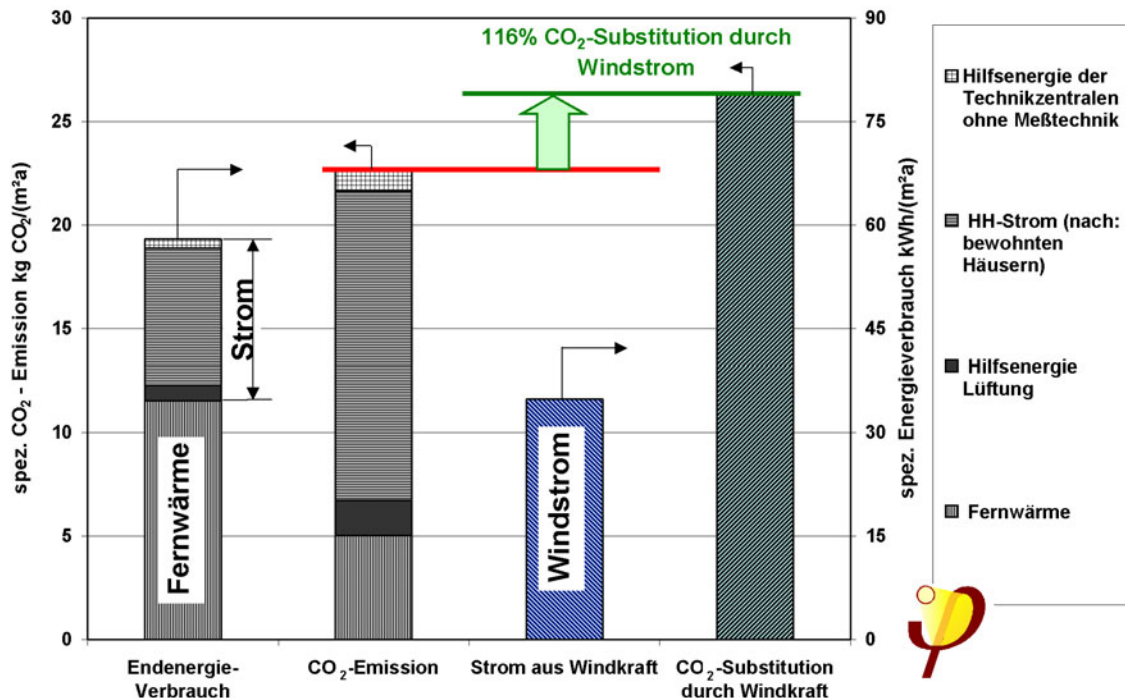


Abbildung 21: Substitution der CO₂-Emission der Passivhaus-Siedlung 01 - Hannover durch anteilige Stromproduktion aus der Windkraftanlage.

Durch den von den Erwerbern der Passivhäuser mit dem Kaufpreis miterworbenen Anteil an der Windenergieanlage wurde somit die noch verbleibende CO₂-Emission zu 116 % substituiert. Bei einer Wärmeerzeugung aus Erdgas hätte der zu erwerbende Anteil an der Windenergieanlage für das Ziel der Substitution geringfügig größer sein müssen, bei Einsatz von Holzpellets wie in einigen österreichischen Projekten hätte er noch kleiner ausfallen können.

4.2.4 Einhalten der Komfortbedingungen

4.2.4.1 Raumtemperaturen Winter

In Abbildung 22 sind die Mittelwerte der gemessenen Raumtemperaturen im Winter dargestellt. In der Regel beziehen sich die Werte auf die Monate November bis Februar. Das Projekt 07 - Dornbirn wurde erst Ende Dezember 2000 bezogen, hier stammen die Temperaturen vom Januar und Februar.

Die Grafik zeigt, dass in allen CEPHEUS-Gebäuden die über die Wohnfläche und den Messzeitraum gemittelte Raumtemperatur über 20 °C lag. Typischerweise wurden von den Bewohnern Temperaturen zwischen 21 und 22 °C eingestellt, die Spannweite der bewohnten Häuser reicht aber von 17 bis 25 °C (die in 01 - Hannover gemessenen Mitteltemperaturen unter 17 °C gehören zu unbewohnten Häusern). Generell ist ein Trend zu höheren Raumtemperaturen bei verbessertem Dämmstandard der Gebäude zu beobachten: Wenn der höhere Komfort zu geringen Kosten technisch realisierbar ist, wird er augenscheinlich auch gewünscht.

Mittlere Raumtemperaturen in den CEPHEUS-Gebäuden (Nov-Feb)

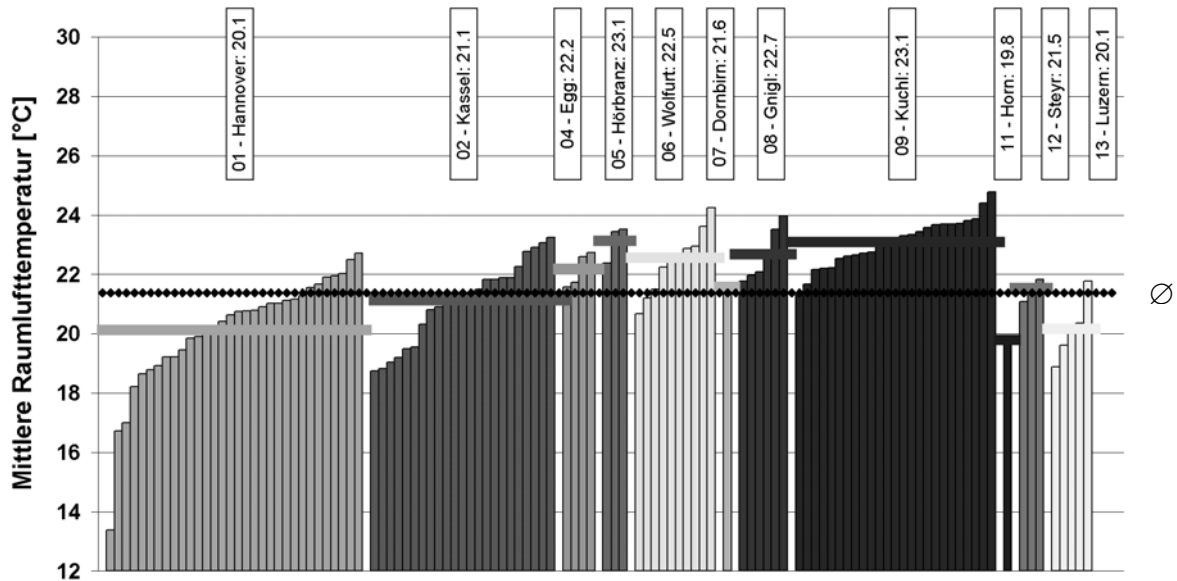
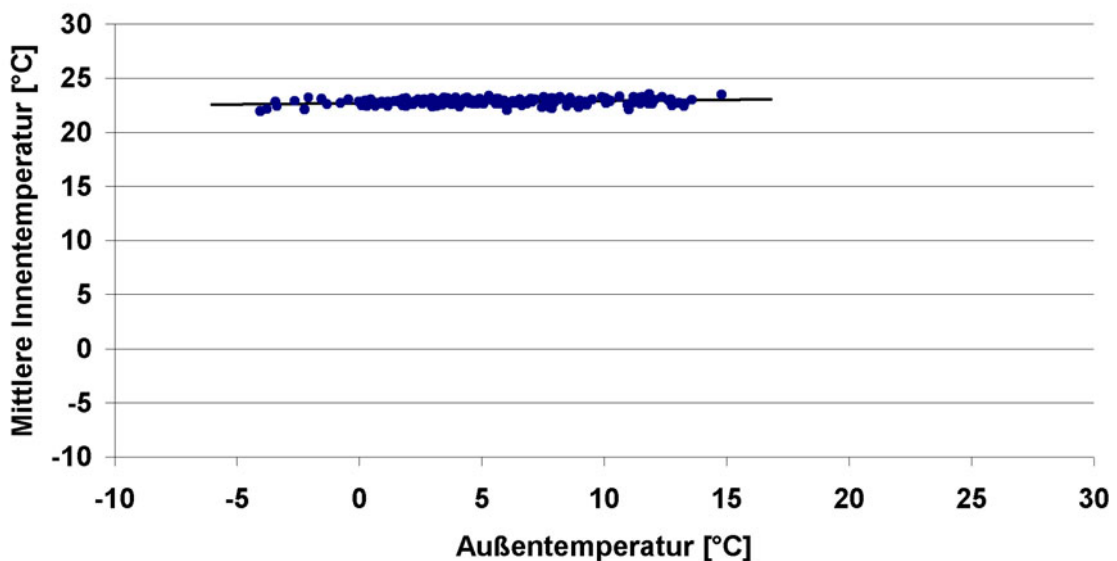


Abbildung 22: Mittlere Raumtemperaturen im Winter (in der Regel vom 1. November bis zum 28. Februar).

In Abbildung 23 sind die Raumtemperaturen als Funktion der Außentemperatur exemplarisch für zwei der Objekte aus Abbildung 20 dargestellt. Die Innentemperatur ist nahezu unabhängig von der Außentemperatur. Die verfügbare Heizleistung in den Projekten reichte offenbar aus, um die von den Nutzern gewünschten Innentemperaturen das ganze Jahr über zu gewährleisten.

06 - Austria, Wolfurt: Korrelation zwischen tagesmittlerer Innen- und Außentemperatur



11 - Austria, Horn: Korrelation zwischen tagesmittlerer Innen- und Außentemperatur

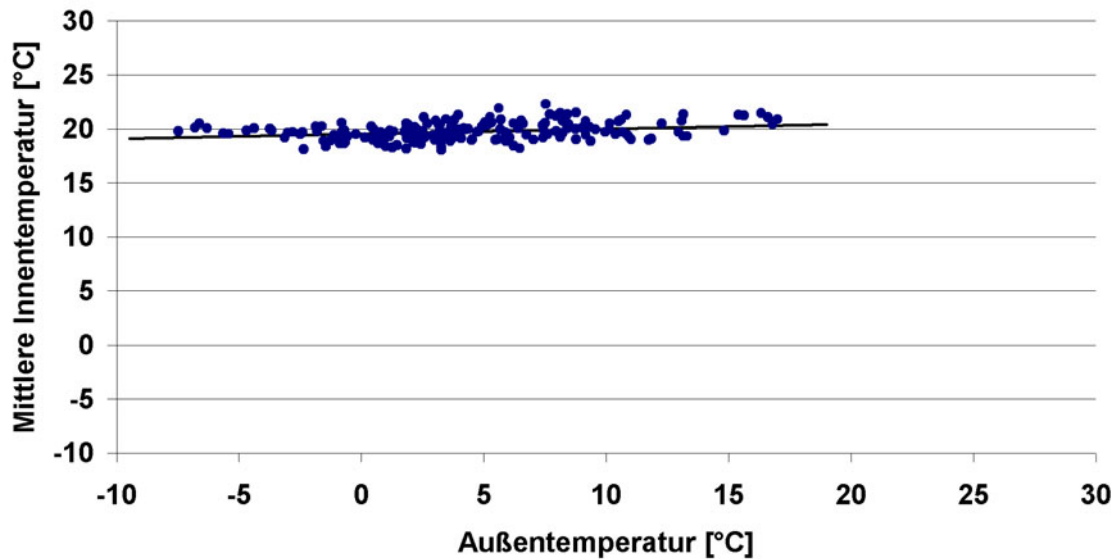


Abbildung 23: Korrelation zwischen Innen- und Außentemperatur für die Projekte 06 - Wolfurt und 11 - Horn, jeweils von 1. Oktober 2000 bis 31. März 2001.

4.2.4.2 Raumtemperaturen Sommer

Aufgrund des verkürzten Messzeitraums standen nur für zwei Projekte Daten zum Sommerfall zur Verfügung, nämlich für die Reihenhäuser in Hannover-Kronsberg und in Luzern. Von den Häusern in Luzern war allerdings nur eines ab April bewohnt, die übrigen vier wurden erst im August bezogen. In Hannover waren 8 der 32 Häuser während des Messzeitraums unbewohnt oder wurden nicht zu Wohnzwecken genutzt.

Von Interesse sind im Sommerfall insbesondere die Raumtemperaturen: Sollte es etwa durch die gute Wärmedämmung und die optimierte passive Solarenergienutzung im Sommer zu Überhitzung kommen? In Abbildung 24 sind hierzu die mittleren Raumtemperaturen zwischen dem 1. Mai und dem 31. August dargestellt. Die Grafik zeigt ferner für jedes Haus die Temperatur, die in 95% der Zeit in den genannten Monaten nicht überschritten wurde. Letzterer Wert ist ein besseres Maß für den sommerlichen Komfort als die Maximaltemperatur, da vereinzelte Temperaturspitzen bei Abwesenheit der Bewohner oder in Ausnahmesituationen auftreten können und somit nicht repräsentativ sind.

Das sommerliche Raumklima erscheint aufgrund dieser Ergebnisse in allen Häusern akzeptabel. Die mittleren Temperaturen liegen bei 21,9 bis 23,6 °C, eine Temperatur von 27 °C wird nur in Ausnahmefällen in einigen der Häuser überschritten. Bei den Spitzenreitern in Hannover liegen jeweils Bedingungen vor, die die überhöhten Temperaturen erklären: Im Haus mit dem höchsten 95%-Quantil wurde im untersuchten Sommerzeitraum versehentlich geheizt, in den vier Monaten wurden 9,2 kWh/m² an Heizwärme verbraucht. Das folgende Haus weist den höchsten Stromverbrauch der ganzen Siedlung auf, dadurch entstehen höhere Wärmegewinne. Platz 3 wird von einem unbewohnten Haus eingenommen, in dem folglich keine Fenster geöffnet wurden, um überschüssige Wärme abzulüften. Bei den Häusern in Luzern besitzt das über die ganze Messperiode bewohnte Haus die zweithöchste Temperatur, das (teilweise unbewohnte) Haus mit der höchsten Temperatur grenzt daran an.

Mittlere Raumtemperaturen und 95 %-Quantil der CEPHEUS-Gebäude (Mai-Aug)

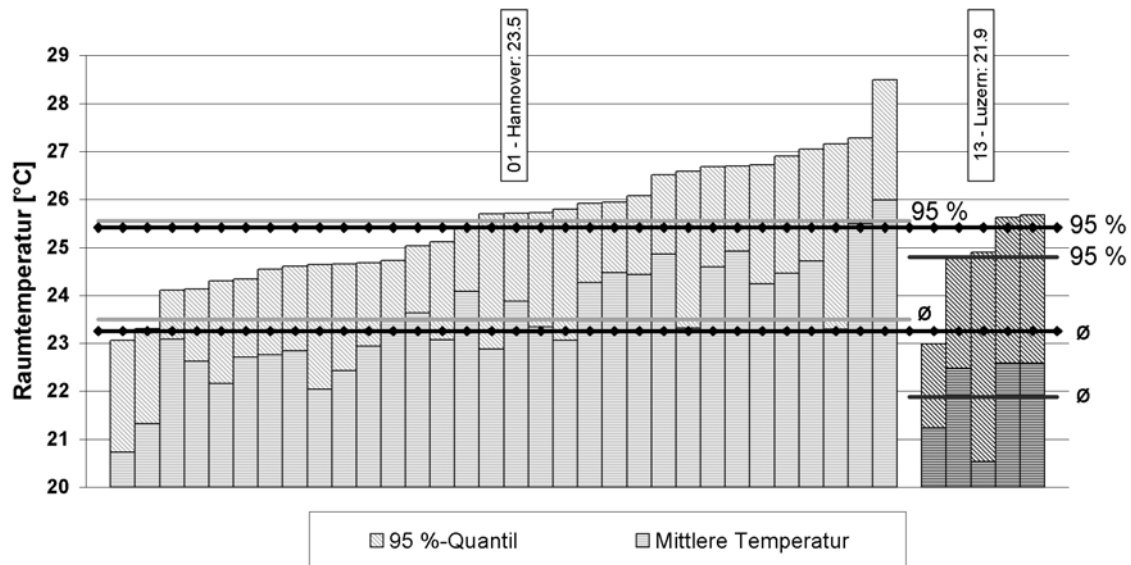


Abbildung 24: Mittlere Raumtemperaturen von Mai bis August und 95%-Quantil von Stundenmittelwerten der wohnungsmittleren Raumtemperaturen für die Projekte 01 - Hannover und 13 - Luzern.

Die schwarzen, durchgezogenen Linien stellen den Mittelwert beider Projekte dar.

Eine nähere Betrachtung der Temperaturverläufe zeigt, dass die Nutzer durch geeignetes Lüftungsverhalten sehr komfortable Sommertemperaturen erreichen können. Belegungsdichte und Verschattungseinrichtungen sind an zweiter Stelle von Bedeutung. Näheres hierzu findet sich in [Peper 2001].

4.2.4.3 Raumlufströmungen

Zur Überprüfung der Behaglichkeit im Raum konnten im Projekt 13 - Switzerland, Luzern detaillierte Feldmessungen durchgeführt werden. Untersucht wurde insbesondere das Wohnzimmer, das eine raumhohe Verglasung besitzt und nur durch die an der Innenwand in Deckennähe eingeblasene Zuluft beheizt wird. Die Ergebnisse der Messungen wurden durch die HTA Luzern und das Passivhaus Institut ausgewertet und mit Berechnungen mit dem CFD-Programm Fluent verglichen.

Im Rahmen der Messgenauigkeit ergab sich eine gute Übereinstimmung zwischen der Simulation der Raumlufströmung und der Messung, sowohl bezüglich der Strömungsmuster als auch bezüglich des Temperatur- und Geschwindigkeitsfeldes. Auch die Luftaustauschwirkungsgrade wurden mit ausreichender Genauigkeit getroffen.

Mit Hilfe der CFD-Simulation ließ sich der Verlauf der Luftströmung im Raum genauer ermitteln und visualisieren: Wie auch in den Messungen festgestellt, steigt der Zuluftstrahl von der Einblasöffnung zur Decke auf und legt sich dort an. Der Strahl bleibt wie erwünscht zunächst an der Decke haften und weitet sich langsam auf. Die Zuluft gelangt bis in Fensternähe, bevor der Zuluftstrahl sich aufgelöst hat. Am relativ kalten Fenster kühlt sich die Luft ab, fällt nach unten und bewegt sich zurück in den Raum. Hier löst sich die gerichtete Luftströmung aufgrund der fehlenden Antriebskräfte auf, die Luft bewegt sich weitgehend regellos im Raum, bevor sie ihn durch die Abluftöffnungen verlässt.

Sowohl nach der Messung als auch nach den CFD-Berechnungen liegt die Luftgeschwindigkeit im Aufenthaltsbereich unter 0,025 m/s und damit nach allen Erkenntnissen im nicht mehr wahrnehmbaren Bereich. Zugerscheinungen können daher in Gebäuden mit Passivhaus-Standard ausgeschlossen werden. Die Temperaturschichtung im Aufenthaltsbereich beträgt bei Auslegungstemperatur maximal 1,1 K/m; auch hier wird ein außerordentlich hohes Komfortniveau erreicht. Die Strahlungstemperaturasymmetrien sind bei Einhaltung des Passivhausstandards so gering, dass alle Bedingungen der gängigen Komfortnormen eingehalten werden. Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die Messungen zur Behaglichkeit ausgesprochen günstige Ergebnisse nach allen Kriterien ergeben haben.

In einer Parameterstudie wurden die Modellparameter schließlich noch zu ungünstigeren Werten hin variiert. Dabei stellte sich heraus, dass insbesondere der Fenster-U-Wert einen entscheidenden Einfluss auf das Einhalten der Behaglichkeitskriterien hat. Mit dem Passivhaus-Niveau bei $U_w = 0,85 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ konnte unter allen wohnraumtypischen Randbedingungen im Aufenthaltsbereich Behaglichkeit erreicht werden. Mit „normalen“ Niedrigenergiehausfenstern mit $U_w = 1,6 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ sind diese Bedingungen nicht gesichert einzuhalten – hier werden Heizflächen in Fensternähe zum Ausgleich benötigt.

Die hier dokumentierten messtechnischen und numerischen Untersuchungen zeigen damit zweierlei:

- Unter den Bedingungen des Passivhaus-Standards lässt sich mit der Zuluftheizung eine hohe Behaglichkeit im Raum unter mitteleuropäischen Klimabedingungen sicherstellen.
- Bei schlechterer baulicher Qualität, insbesondere bei den Fenstern, können sich höhere Temperaturschichtungseffekte und bedeutende Strahlungstemperaturasymmetrien einstellen.

4.2.4.4 Subjektive Komfortbeurteilungen durch die Bewohner

Die folgenden Ausführungen basieren auf einer Bewohnerbefragungen die in den Jahren 2000 und 2001 zum Einen für den gesamten Kronsberg und zum Anderen durch eine persönliche und eine schriftliche Befragung speziell der Passivhausbewohner durchgeführt wurden. Diese sozialwissenschaftlichen Evaluierungen wurde von der Universität Lüneburg, Institut für Umweltkommunikation im Auftrag der Stadtwerke Hannover AG ausgeführt. Die ausführlichen Ergebnisse sind in [Danner 2001] und [von Oesen 2001] nachzulesen.

Im Folgenden werden einige wesentliche Ergebnisse in Prozentwerten angegeben. Die Zahlen der gesamten Kronsbergbewohner (Passivhäuser, NEH–Reihenhäuser und Mieter) werden zum Vergleich in Klammern jeweils dahinter genannt.

Die *Zufriedenheit mit dem Innenklima im Winter* wird von einer deutlichen Mehrheit der Bewohner als gut bis sehr gut eingeschätzt. Es gab keinen Bewohner, der sich negativ geäußert hat. Die höheren Oberflächentemperaturen und die gleichmäßige Temperaturverteilung im gesamten Raum (keine Temperaturschichtung) gegenüber „normalen Häusern“, werden zudem als sehr angenehm empfunden. Die Äußerung einer Bewohnerin während einer Pressekonferenz beschreibt dieses Phänomen recht treffend: „Ich habe endlich keine kalten Füße mehr“. Die Zufriedenheit mit der Schlafzimmertemperatur während der Heizperiode hat sich nach einer Eingewöhnungsphase ebenfalls deutlich erhöht. Mehr als die Hälfte der Bewohner fanden die Temperatur im Schlafzimmer genau richtig.

Auch *für den Sommer* können die Messergebnisse durch die Bewohner bestätigt werden, da sich 88% der Befragten zufrieden bzw. sehr zufrieden über das Innenklima im Sommer äußerten. Besonders die kühle Luft bei geschlossenen Fenstern wurde von vielen Bewohnern positiv erwähnt. Die Nachtlüftung wird von den meisten Haushalten

angewandt, da diese sich als sehr effektiv herausgestellt hat und zudem die Durchführung im Nutzerhandbuch leicht verständlich beschrieben ist.

Die *Luftqualität* wird von 95% der Bewohner als gut bis sehr gut eingeschätzt und kein Befragter gab eine negative Einschätzung ab. Es wird dadurch deutlich, dass einer der wesentlichen Faktoren für die Wohnqualität sehr gut bewertet wird.

Die *Lüftungsgewohnheiten* während der Heizperiode macht die Zufriedenheit der Passivhausbewohner deutlich, da 82 % (40%) der Passivhausbewohner ausschließlich die Lüftungsanlage zum Austausch der verbrauchten Luft nutzen. Auf Fensterlüftung wird dennoch nicht gänzlich verzichtet. 7% (30%) öffnen für wenige Minuten, 4% (23%) für ca. 15 Minuten und weitere 7% (7%) kippen sogar für mehrere Stunden ihre Fenster. Es wird deutlich, dass die Notwendigkeit zum Fensterlüften bei den Passivhäusern quasi nicht besteht, wenn die Fensterlüftung vereinzelt dennoch in Anspruch genommen wird funktioniert das System trotzdem.

Auf die Frage nach der *Zufriedenheit mit ihrer Lüftungsanlage*, erklären sich 96% (54%) der Passivhausbewohner sehr zufrieden bis zufrieden. Nur 4% (28%) waren nur teils teils mit der Anlage zufrieden. Es gab unter den Passivhausbewohnern keine negative Einschätzung 0% (18%) über die Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung. Im Vergleich zu den anderen Kronsbergbewohnern wird deutlich, dass die Akzeptanz der Lüftungsanlage bei den Passivhausbewohnern deutlich größer ist. Die Zufriedenheit der Passivhausbewohner kann an dem im Vergleich zu den anderen Häusern unterschiedlichen Lüftungssystem liegen. Es kommen zum großen Teil reine Abluftanlagen zum Einsatz. Inwieweit sich die Einschätzung der Lüftungsanlagen in Abhängigkeit von verschiedenen Anlagensystemen unterscheidet, konnte durch die Erhebung nicht festgestellt werden.

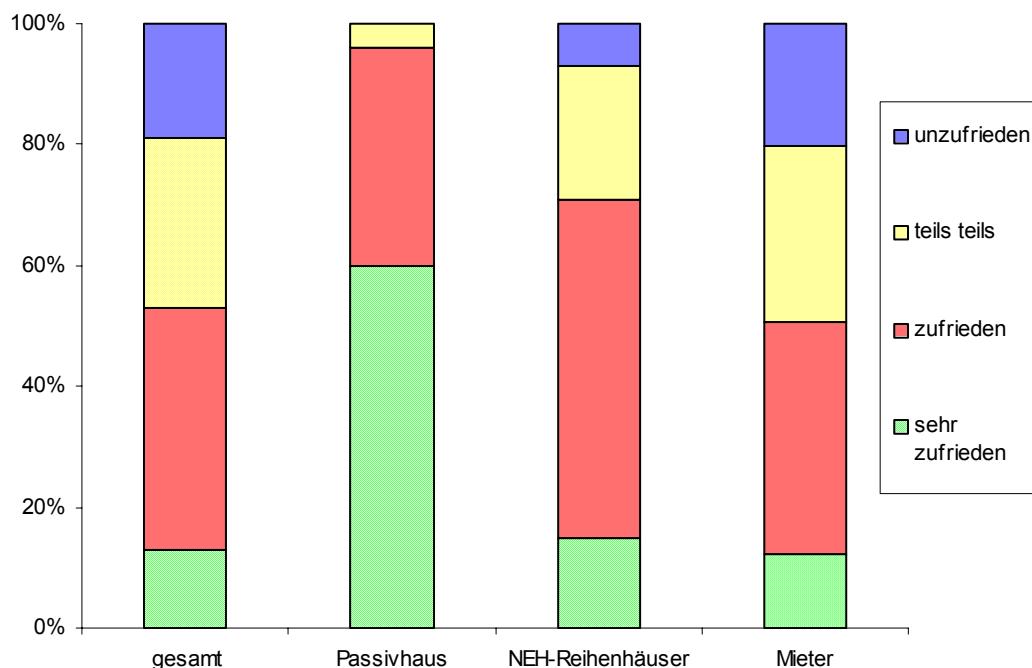


Abbildung 25: Akzeptanz der Lüftungsanlagen

Fast 90% der Passivhausbewohner fiel die Umgewöhnung an die Lüftungsanlage leicht und die Handhabbarkeit der Anlagen wird ebenfalls als unkompliziert beschrieben. Die gesamten Messergebnisse werden durch die subjektive Wahrnehmungen der Bewohner bestätigt.

4.2.5 Nutzerakzeptanz

Die hohe Nutzerakzeptanz der Passivhausbewohner wird durch die Ergebnisse der sozialwissenschaftlichen Evaluierungen aus Hannover-01 und Kassel-02 mehr als deutlich.

So wurde in Hannover - 01 den Bewohnern die folgende Frage gestellt: „Haben sich ihre anfänglichen Erwartungen bisher erfüllt?“

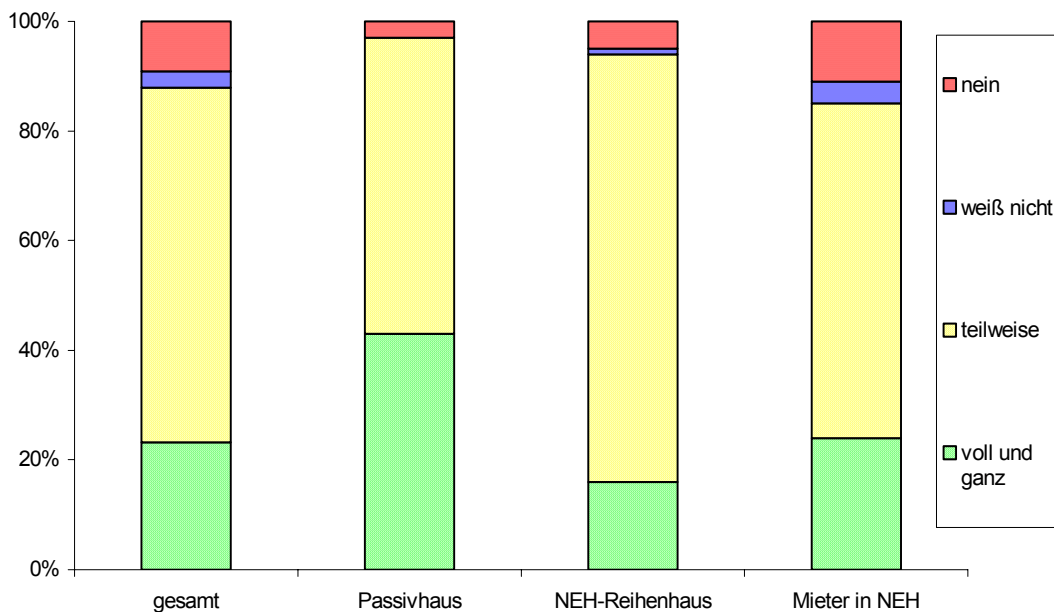


Abbildung 26: Erfüllung der Erwartungen der Kronsbergbewohner

Die Grafik zeigt sehr schön die überdurchschnittliche Zufriedenheit der Passivhausbewohner im Vergleich zu den Bewohnern von Niedrigenergiehäusern und -wohnungen. Nur 3% (12%) sind nicht zufrieden oder wissen nicht ob Sie zufrieden sind. Für 43% (23%) sind die Erwartungen voll und ganz eingetreten. 54% (64%) sehen ihre Erwartungen zumindest teilweise erfüllt.

In Kassel - 02 wurde vor und nach der ersten Heizperiode die Frage gestellt, ob die Nutzer Passivhäuser weiterempfehlen würden.

Auch die nächste Graphik zeigt sehr schön die sehr hohe Akzeptanz durch die Nutzer auch im Mietwohnungsbau, wie schon im Kapitel 4.2.4.4 beschrieben. Besonders die deutlich positivere Bewertung nach der ersten Heizperiode zeigt, dass eine anfänglich Skepsis durch die Erfahrungen mit dem angenehmen und komfortablen Raumklima im ersten Winter zerstreut werden konnte.

Ich würde Passivhäuser weiterempfehlen

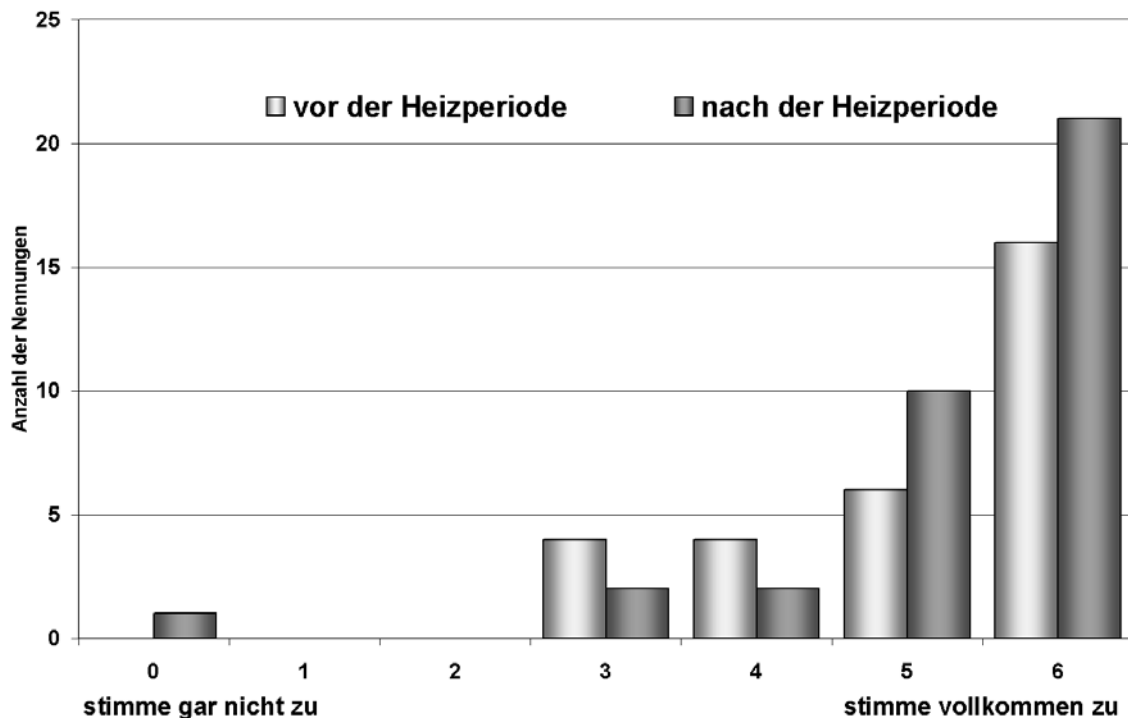


Abbildung 27: Ergebnis einer sozialwissenschaftlichen Untersuchung im sozialen Mietwohnungsbauprojekt 02 - Germany, Kassel. Grafik aus [Hübner 2001]

4.3 Erfolg des Projekts

Das Projekt "Cost Efficient Passive Houses as EUropean Standards" hat die unter Abschnitt 2.1.4 formulierten strategischen Ziele im Kern erreicht:

- An 14 Standorten in 5 europäischen Ländern wurden insgesamt 221 Wohnungen im Passivhausstandard gebaut. Dabei wurde eine große Vielfalt von Bautypen und architektonisch unterschiedlichsten Bauweisen realisiert. Auch bei den eingesetzten Baumaterialien ist eine große Vielfalt zum Einsatz gekommen.
- Für die überwiegende Anzahl der Wohnungen konnte mindestens ihre Funktion im ersten Betriebsjahr ausgewertet werden. Der angestrebte Heizenergiebedarf von 15 kWh/(m²a) wurde im Mittel über alle gemessenen Gebäude bereits im ersten Betriebsjahr eingehalten.
- Die Mehrkosten für die Bauvorhaben liegen im Mittel unter 10 % verglichen mit anderen Gebäuden, die von den Bauträgern nach den gültigen Bauvorschriften erreicht werden. In Projekten bei welchen der Kostenrahmen noch nicht erreicht wurde, ist erkennbar, dass er erreichbar ist.
- Die noch bestehenden baulichen Mehrkosten lassen sich in absehbarer Zeit noch weiter reduzieren so dass sich der Passivhausstandard auch ökonomisch sehr interessant darstellen wird.
- Die Behaglichkeit in den gebauten Wohnungen ist im Winter wie im Sommer ausgezeichnet; das bestätigen die Messergebnisse und die subjektiven Einschätzungen durch die Nutzer.
- Es hat sich gezeigt, dass die Nutzerakzeptanz des Passivhausstandards außerordentlich hoch ist. Dies ist eine geeignete Basis, um außerhalb des CEPHEUS-Projekts noch anzutreffende Vorbehalte bei Bauträgern und

Wohnungsgesellschaften (z.B. -hinsichtlich vermeintlicher Kompliziertheit des Ansatzes oder in Deutschland hinsichtlich Lüftungssystemen) abbauen zu helfen.

- Die Qualitätsstandards für Passivhäuser können grundsätzlich eingehalten werden. Dies belegen sowohl die Erfahrungen innerhalb von CEPHEUS als auch der begleitenden Entwicklung im deutschsprachigen Raum.
- Die Erfahrungen insbesondere mit dem Projekt in Rennes/F weisen jedoch darauf hin, dass der Bewusstseinsstand bei Architekten und Planern zu Teilaspekten (z. B. Wärmebrücken, Luftdichtheit) noch unzureichend ist. Als Handicap hat sich im CEPHEUS Projekt erwiesen, dass fast alle Veröffentlichungen zum Passivhaus bislang nur in Deutsch vorliegen. Es ist daher davon auszugehen, dass die Einführung des Passivhausstandards in manchen europäischen Ländern einer verstärkten Aufklärung und Schulung bedarf.
- Mit dem CEPHEUS-Projekt konnten insbesondere in den Ländern Deutschland, Österreich und Schweiz bedeutende Innovationsimpulse für die (Weiter-) Entwicklung hocheffizienter Bauteile und Technik-Komponenten von Passivhäusern (z.B. Dämmsysteme, Fenster, Lüftungsanlagen, Kompaktheizgeräte) sowie für eine breite Markteinführung von Passivhäusern gegeben werden.
- Das Projekt in Rennes hat in Frankreich für großes publizistisches Aufsehen gesorgt. Dies richtete sich sowohl auf den hohen Wärmedämmstandard als auch auf die verwendeten ökologischen Baustoffe. Der in Frankreich in Fachkreisen viel diskutierte Projektansatz "HQE – Haute Qualité Environnemental", (hoher Umweltstandard) wird in seinem Teilaspekt Energie um die in CEPHEUS gewonnenen Erkenntnisse überarbeitet werden. Federführung hat dabei die nationale französische Energieagentur ADEME übernommen.
- Durch die im Rahmen von CEPHEUS entwickelten und publizierten Planungsinstrumente für Architekten und Haustechniker zur Projektierung und zum Bau von Passivhäusern sind wegweisende fachliche Grundlagen für eine Ausbreitung des Qualitätsstandards geschaffen worden. Über die regelmäßigen Beiträge zu den jährlichen nationalen und mehreren regionalen Passivhaustagungen sowie zahlreiche Publikationen in Fachzeitschriften fand bereits während der Projektlaufzeit eine große Verbreitung statt.
- An allen 14 Standorten bestand und besteht überwiegend noch die Möglichkeit, Passivhäuser in der Nutzung besichtigen zu können. Durch die damit verbundenen Berichte in den Medien konnte dieser neue Baustandard bereits einem breiten Publikum nahe gebracht werden.
- Die hervorragende Eignung des Passivhausstandards als Basis für ökonomisch und ökologisch tragfähige vollständig klimaneutrale Konzepte für den Neubau von Siedlungen konnte am Standort Hannover überzeugend demonstriert werden.
- Das Projekt lieferte wichtige Erfahrungen und Instrumente, die in die jetzt diskutierte Richtlinie des europäischen Parlaments und des Rates über das Energieprofil von Gebäuden einfließen können.

4.3.1 Demonstration der Eignung des Passivhausansatzes als europäischer Standard für besonders energieeffizientes Bauen

An 14 Standorten in Europa wurden entsprechend der Zielsetzung Passivhäuser errichtet. An allen Standorten erwies sich die Realisation des Passivhaus-Konzeptes als mit gegenwärtiger Technik möglich: Es müssen allerdings qualitativ besonders hochwertige Bauteile und Haustechnikkomponenten eingesetzt werden und es muss auf eine besonders sorgfältige Bauausführung geachtet werden.

Das Passivhauskonzept erwies sich in allen bezogenen Wohnungen als tragfähig: In den Projekten 01-Hannover, 03-Göteborg, 05-Hörbranz, 13-Luzern (Reihenhäuser), 02-Kassel und 06-Wolfurt (Mehrfamilienhäuser) erfolgt die Heizwärmezufuhr in den Aufenthaltsräumen allein durch die Frischluft und ist daher in der Leistung auf ca. 10 W/m² begrenzt. Dies hat im Winter 2000/2001 in allen Wohnungen dieser Projekte immer zu einer ausreichenden Wärmezufuhr geführt. Auch in den Projekten, in denen

eine Nachrüstung konventioneller Heizflächen für den Reservefall vorbereitet war, ist dies in keiner Wohnung erforderlich gewesen. Damit steht durch die begleitenden Messungen fest, dass das Passivhauskonzept einwandfrei funktioniert. Im Projekt 13-Luzern wurden differenzierte Messungen zur Temperaturschichtung und Raumluftströmung in einem ausschließlich durch Zulufterwärmung beheizten Raum durchgeführt ([Schniers 2001a], siehe hierzu auch Abschnitt 4.2.4.3). Es stellte sich heraus, dass sowohl bzgl. der Strömungsgeschwindigkeiten der Luft ($\leq 0,025$ m/s) als auch bzgl. Temperaturschichtung (unter 1,1 K/m) und Strahlungstemperaturasymmetrie (maximal 3 K in 1 m Höhe und 35 cm vor dem Fenster) überall im Aufenthaltsbereich ausgezeichnete Behaglichkeitsparameter vorliegen. Dies wurde auch durch Strömungsmessungen im Projekt 02-Kassel bestätigt [Pfluger 2001b]. Schließlich bestätigen die Messungen des Jahresheizwärmebedarfs in den gebauten Projekten sowohl die Funktionstüchtigkeit des Konzeptes als auch die erwartete außerordentlich hohe Energieeffizienz (vgl. Abbildung 28). Obwohl in 10 von 11 Projekten mit begleitender messtechnischer Erfassung nur Messwerte für den ersten Winter vorliegen, bei denen bekanntlich wegen Austrocknungsvorgängen und anderen Besonderheiten des ersten Jahres Mehrverbräuche zu erwarten sind, liegt der standardisierte Durchschnittsverbrauch an Heizwärme in den 11 Projekten (mit zusammen 130 Wohneinheiten) bei rund 16 kWh/(m²a) und damit nur wenig über dem Projektierungswert dieser Projekte. Die erzielte Heizwärmeeinsparung gegenüber konventionellen Neubauten (Heizwärmebedarf um 101 kWh/(m²a)) beträgt 84%; projektiert waren 87%, der Zielerfüllungsgrad bzgl. der Heizwärmeeinsparung ist daher schon im ersten Jahr sehr hoch.

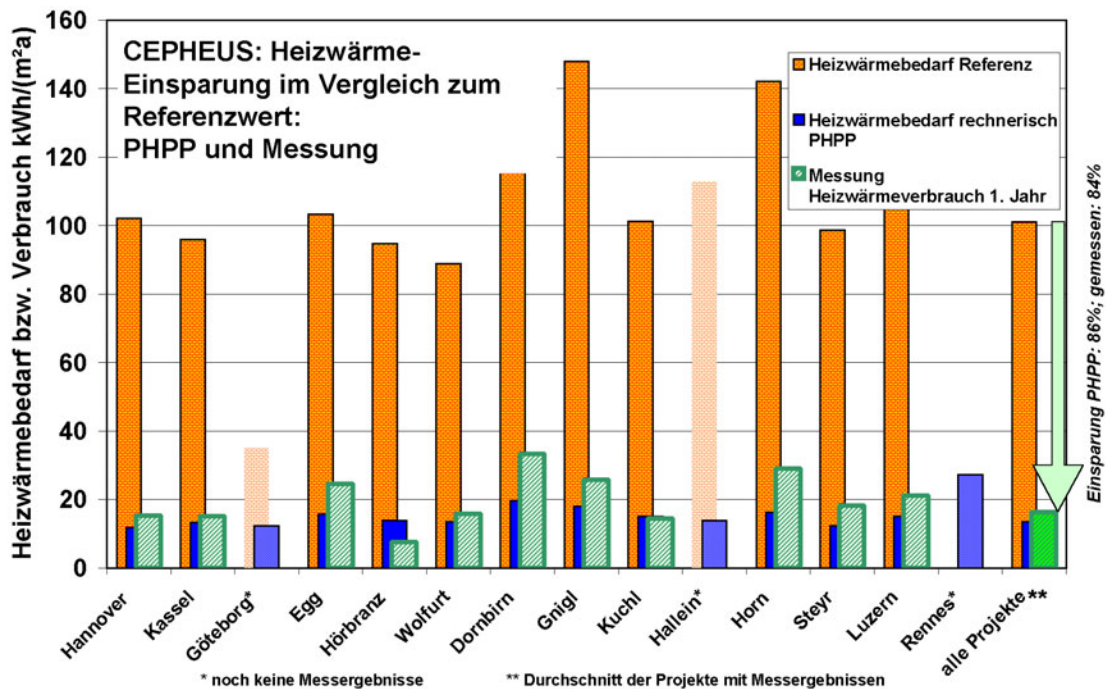


Abbildung 28: Funktionstüchtigkeit des Passivhauskonzeptes

Vergleich des projektierten Heizwärmebedarfs mit den Messwerten aus dem ersten Betriebsjahr und dem Referenzbedarf konventioneller Neubauten.

4.3.2 Nachweis der Kostengünstigkeit

Die verbesserte bauliche Qualität der Gebäudehülle und die hocheffiziente Lüftungstechnik bei den Passivhäusern erfordern Mehrinvestitionen. Dem stehen bei konsequenter Verfolgung des Konzeptes Investitionskosteneinsparungen bei der konventionellen Heiztechnik gegenüber. Allerdings gelingt es gegenwärtig noch nicht, die Kosten der Haustechnik insgesamt zu reduzieren: Bis auf 03-Göteborg und 08-Gnigl war

bei den CEPHEUS-Gebäuden die Passivhaus-Haustechnik letztendlich etwas teurer als eine konventionelle Heiztechnik; dazu kommen die Mehrinvestitionen für Dämmung und verbesserte Fenster. Insgesamt lagen die zusätzlichen baulich/technischen Investitionen zwischen 0 und 17% der reinen Baukosten (vgl. Tabelle 19). Dies sind auch heute schon vertretbare Werte; der Trend bei den Mehrinvestitionen zeigt weiterhin nach unten. In dem Maß, in dem Komponenten wie Passivhaus-Fenster und hocheffiziente Lüftungstechnik in höheren Stückzahlen nachgefragt werden, wird es zu weiteren Kostendegressionen kommen. Das schwedische Projekt (03-Göteborg) zeigt, dass auch das Ziel einer Netto-0-Mehrinvestition bzgl. des Passivhausstandards erreichbar ist.

Legt man die Mehrinvestition annuitätisch sowie die zusätzlichen Betriebskosten auf die eingesparte Heizenergie um, so ergibt sich bei einigen der CEPHEUS-Projekte schon heute ein vergleichbarer "Preis für die eingesparte Kilowattstunde" zum Einkaufspreis der für die Heizung verwendeten Energieträger (01-Hannover; 03-Göteborg; 06-Wolfurt; 08-Gnigl; 10-Hallein). Bei den anderen Projekten sind die "Energiegestehungskosten" der "Einsparenergie" heute noch etwas höher als der Energiepreis der verwendeten Energieträger. Allerdings sind die Kosten grundsätzlich für alle Projekte günstiger als bei konventionellen Warmwasser-Solaranlagen. Letztere werden allgemein als vertretbare Investitionen in nachhaltige Energieerzeugung angesehen; die Effizienzmaßnahmen des Passivhauskonzeptes müssen vor diesem Hintergrund ebenfalls als schon heute ökonomisch vertretbar bewertet werden.

Die Analyse der Perspektive bei der Entwicklung der Investitionskosten zeigt, dass bereits in wenigen Jahren eine einzelwirtschaftliche Rentabilität auch im Vergleich zu den heutigen Energiepreisen erreicht werden kann. Dies setzt voraus, dass die heutige Steigerung bei der Zahl der realisierten Projekte beibehalten werden kann.

4.3.3 Impulsgebung für die breitere und beschleunigte Markteinführung des Passivhausansatzes

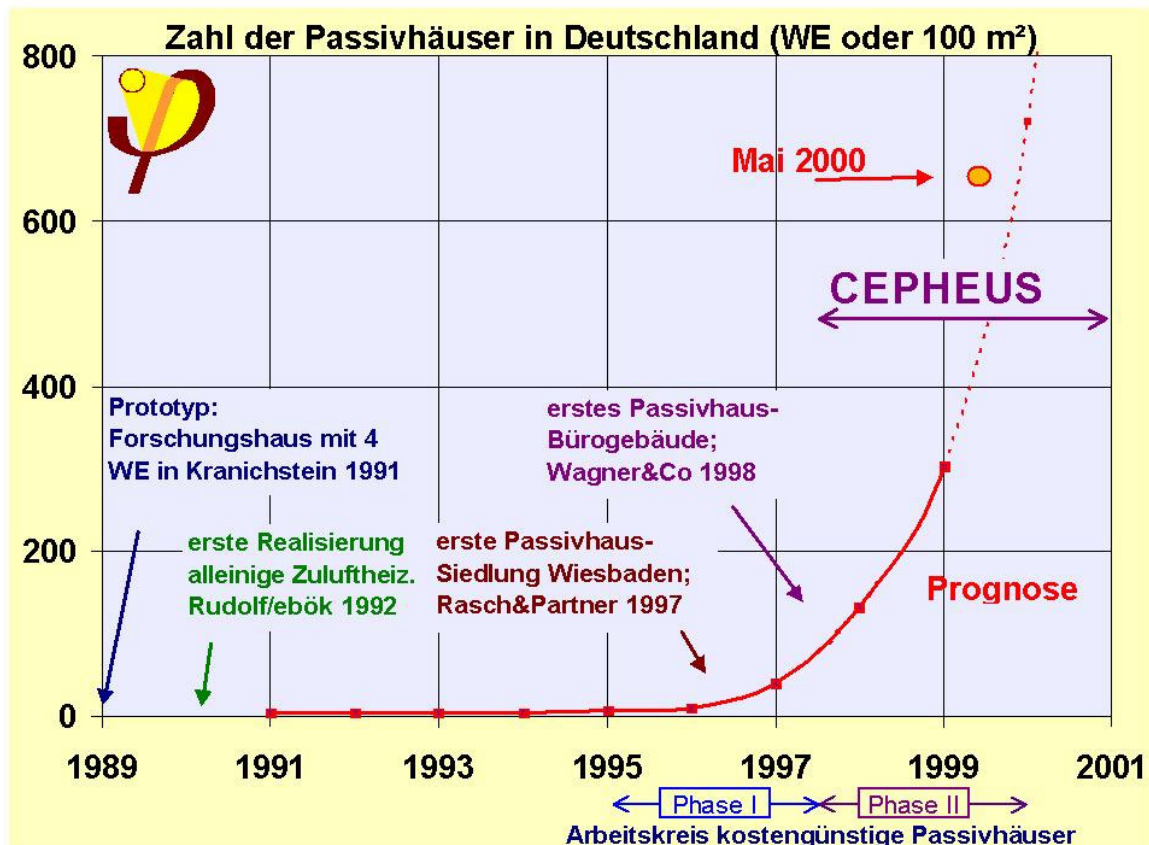


Abbildung 29: Wachstumskurve der Passivhäuser in Deutschland

Das angestrebte Impulsgebung für die breitere Markteinführung des Passivhausstandards hat schon während der Laufzeit des Projekts im wesentlichen aufgrund der Aktivitäten der CEPHEUS-Partner –auch außerhalb des CEPHEUS-Projektzusammenhangs - eine ungeheure Dynamik erreicht (bereits über 1.000 realisierte Wohneinheiten im Passivhausstandard 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).

4.4 Betriebskosten

Wir unterscheiden hier zwischen den zusätzlichen Betriebskosten der Passivhaus-Projekte (z.B. Filter für die Lüftungsanlagen und Lüfterbetriebsstrom) und den jährlichen Endenergiekosten für die Wärmebereitstellung für Heizung und Warmwasserbereitung (Heiz+WW).

a) Zusätzliche Betriebskosten für passivhauspezifische Technik

An zusätzlichen jährlichen Betriebskosten bei den CEPHEUS-Projekten fallen an:

- Kosten für den Filterwechsel in den Lüftungsanlagen; obwohl diese Kosten strenggenommen der Raumluftqualität und nicht der Energieeinsparung zuzuordnen sind, nehmen wir sie vollständig in die ökonomische Bilanz auf, weil derzeit Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung in den beteiligten Ländern nicht zur Standardausstattung gehören.
- Jährliche Betriebskosten für den Stromverbrauch der Lüftungsgeräte (Lüfterstrom, Regelung, evtl. Frostschutz). Auch diese Kosten werden vollständig übernommen.
- Wartungs- und evtl. Reparaturkosten der Lüftungsanlagen: Diesen Wartungskosten stehen allerdings entsprechende Wartungskosten der entfallenen oder geringer dimensionierten konventionellen Heiztechnik gegenüber. Beide Kosten sind nur innerhalb grober Fehlerschranken zu bestimmen. In guter Näherung kann man davon ausgehen, dass die Kosten etwa gleich hoch sind; wir haben daher hierfür keine Mehr- oder Minderkosten angesetzt.
- Besondere Betriebskosten (Wartung, Reparatur etc.) für die passiven Komponenten der Gebäudehülle (Dämmung von Wänden und Dach, Fenster) wurden nicht angenommen. Die hier eingesetzten Produkte erfordern nicht mehr Wartung als heute allgemein übliche Bauteile; evtl. zu erwartende Minderkosten (wegen reduzierter Gefahr von Bauschäden) wurden gleichfalls nicht angesetzt, weil es dazu noch keine gesicherten Daten gibt.
- Weitere Mehr- oder Minderkosten; solche wurden für das Projekt 01-Hannover (reduzierter Leistungspreis der Fernwärmeversorgung) und für 13-Luzern (Schornsteinfeger entfällt) quantifiziert.

In Tabelle 17 sind die genannten Kosten für 12 Projekte quantifiziert. Die Werte für alle Projekte ergeben sich als gewichteter Mittelwert mit den Wohneinheiten als Gewichten. Im Durchschnitt betragen die spezifischen Betriebskosten der Passivhaus-Technik in den CEPHEUS-Projekten 36 Euro/a/Wohneinheit oder 37 Eurocent/(m²a) (Bezugsfläche TFA). Damit zeigt sich, dass die Betriebskosten insbesondere der Lüftungssysteme sehr gering sind; dies ist der neuen Generation der für Passivhäuser geeigneten Lüftungsanlagen mit hoher Stromeffizienz zu verdanken.

Nr.	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	
Betriebskosten	Germany, Hannover	Germany, Kassel	Sweden; Göteborg	Austria, Egg	Austria, Hörbranz	Austria, Wolfurt	Austria, Dornbirn	Austria, Gnigl	Austria, Kuchl	Austria, Hallein	Austria, Horn	Austria, Steyr	Switzerland, Luzern	France; Rennes	12 Projekte ***)
3 Bauart	Mi	mass	Holz	mass	mass	Mi	Holz	Holz	Mi	Mi	Mi	mass	Holz	Mi	
4 Anzahl Wohnungen	32	40	20	4	3	10	1	6	25	31	1	3	5	40	156
5 gesamte Nutzfläche (TFA) m ²	3576	3055	2635	310	381	1296	125	328	1798	2318	173	467	613	2601	15275
6 Filterwechsel Euro/WE/a	35	38	25	28	33	20	69	15		7	15	15	31		27
7 Hilfsstromverbrauch Lüftung Euro/WE/a	29	35	33	38	38	38	38	29		23	45	42	76		33
8 weitere jährliche Mehrkosten Euro/WE/a	-101	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	-68		-23
9 Art der weiteren jährl. Mehrkosten	reduzierter Leistungspr												Schornstein feger		
10 Summe Betriebskosten (ohne Wärmekosten) Euro/WE	-37	73	58	66	71	58	107	43	0*)	30	59	56	39	0**)	36
11 Kosten der Endenergie für Heiz+WW Euro/WE/a	217	162	286	165	208	111	224	74	*)	77	163	228	401		162
12 Kosten der Endenergie für Heiz+WW im Referenzfall Euro/WE/a	953	485	506	410	789	622	744	429		498	1281	1017	1508		616
13 Reduktion der Betriebskosten um %	81%	51%	32%	44%	65%	73%	56%	73%	*)	78%	83%	72%	71%		68%

Tabelle 17: Betriebskosten der CEPHEUS-Projekte im Vergleich zu den Referenzfällen

(Mi = Mischbauweise; mass = Massivbauweise)

*) 09-Kuchl: Zur Zeit keine belastbaren Angaben möglich

***) 14-Rennes: Genaue Angaben zur Zeit nicht möglich. In der Tendenz niedriger als im Referenzfall.

****) ohne 09-Kuchl und Rennes

Nr.	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	
Projekt															
Energiepreise	Germany, Hannover	Germany, Kassel	Sweden, Göteborg	Austria, Egg	Austria, Hörbranz	Austria, Wolfurt	Austria, Dornbirn	Austria, Gnigl	Austria, Kuchl	Austria, Hallein	Austria, Horn	Austria, Steyr	Switzerland, Luzern	France; Rennes	13 Projekte (ohne Rennes)
Endenergiepreis Referenz Eurocent/kWh	6,1	4,8	4,7	4,1	5,0	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	5,1	7,6	3,4	5,1
Endenergieträger	Fernwärme	Fernwärme	Heizöl	Heizöl	Erdgas	Heizöl	Heizöl	Heizöl	Heizöl	Heizöl	Heizöl	Erdgas	Heizöl	Fernwärme	
Endenergiepreis Passiv. Eurocent/kWh	6,1	4,8	6,5	11,7	11,7	3,0	11,7	3,0	2,8	2,6	2,7	5,1	16,9	3,4	
Endenergieträger	Fernwärme	Fernwärme	Strom	Strom	Strom	Holzpellets	Strom	Holzpellets	Holzpellets	Holzpellets	Holzpellets	Erdgas	Strom	Fernwärme	
Strompreis Eurocent/kWh	11,5	11,2	6,5	11,7	11,7	11,7	11,7	8,8	8,8	8,8	13,7	12,9	16,9	10,2	9,9

Tabelle 18: Endenergiepreise 2000/2001 an den Standorten der CEPHEUS-Projekte;

reine Arbeitspreise, ohne Leistungs-, Bereitstellungs- oder Verrechnungspreise; ohne Mehrwertsteuer

b) Jährliche Energiekosten für die Wärmebereitstellung

Die dominanten Betriebskosten bei den Referenzgebäuden sind die Energiekosten für Brennstoff (bzw. Fernwärme oder Strom) zur Erzeugung des Heizwärme- und Warmwasserwärmeverbrauchs (vgl. Zeile 11 in Tabelle 17). Durch die Passivhaustechnik werden diese Energiekosten ganz erheblich gesenkt. Da (bis auf 01-Hannover) in noch keinem Projekt zum Zeitpunkt der Erstellung des Endberichtes ein volles Betriebsjahr abgeschlossen war, müssen die Endenergiekosten aus den zu erwartenden Verbräuchen an Brennstoff, Fernwärme oder Heizstrom ermittelt werden. Abbildung 30 zeigt dazu den Vergleich von

- Endenergiebedarf Heizung **und** Warmwasser im Referenzfall (ganz links)
- projektierter Endenergiebedarf Heizung und Warmwasser der Passivhaus-Objekte
- aus den bisherigen Messungen hochgerechneter Endenergieverbrauch für Heizung und Warmwasser der CEPHEUS-Projekte.

Im Durchschnitt beträgt die aus den Messungen ermittelte Endenergieeinsparung für Heizung und Warmwasserbereitung bei den hier einbezogenen 10 Projekten 73% gegenüber dem Referenzfall; im Vergleich zu rechnerisch 76% ist dies für die Messung im ersten Betriebsjahr bereits ein sehr gutes Ergebnis. Wir gehen aber auf der Grundlage der Erfahrungen bei Messkampagnen davon aus, dass schon in der zweiten Heizperiode die projektieren Werte erreicht bzw. übertroffen werden. Für die Wirtschaftlichkeit ausschlaggebend sind die in Zukunft dauerhaft eintretenden Verbrauchswerte; diese werden besser durch die Projektierung als durch die Hochrechnungen auf der Basis der Messwerte des ersten Jahres repräsentiert - wobei die Abweichungen zwischen beiden ohnehin gering sind.

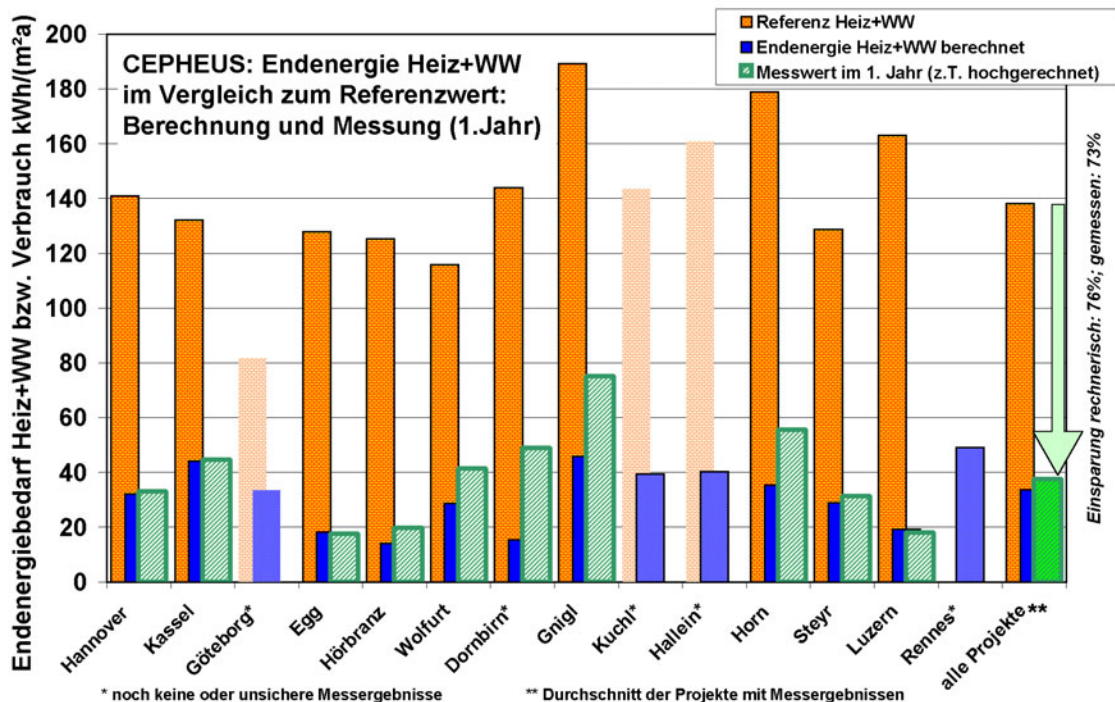


Abbildung 30: Vergleich des Endenergieverbrauchs für Heizung und Warmwasserbereitung im Referenzfall mit den projektierten und den gemessenen Werten (1. Jahr) der CEPHEUS-Projekten

Mit den Endenergiebedarfswerten aus Abbildung 30 ergeben sich die Brennstoff- (bzw. Fernwärme-) Kosten der Referenzgebäude in Höhe der Zeile 12 von Tabelle 17. Diese Heizkosten bewegen sich im Bereich von 3,8 (Schweden) bis 12,3 (Schweiz) Euro/(m²a) mit einem Durchschnitt bei 6,3 Euro/(m²a). Für die Passivhäuser sind die Kosten für den Endenergiebezug deutlich geringer: Dokumentiert sind in Zeile 11 die Kosten für den beim jeweiligen Projekt tatsächlich eingesetzten Energieträger; das sind Fernwärme für 01 und 02, Strom für 03, 04, 05, 07 und 13, Erdgas für 12 und Holzpellets für die übrigen Projekte. Die dazu gehörigen jeweiligen Endenergiepreise finden sich in Tabelle 18: Die Brennstoffpreise liegen im Mittel um 5 Eurocent/kWh, die Strompreise bei um 10 Eurocent/kWh. Die Reduktion der Heizenergiekosten inkl. Warmwasserenergiekosten beläuft sich nach Zeile 13 von Tabelle 17 auf durchschnittlich 68%. Die jährlichen Nebenkosten für Heizung und Warmwassererzeugung liegen in den Passivhäusern inkl. Hilfsstrom bei nur noch durchschnittlich 2,0 Euro/m².

4.5 Zukunft der Projekte

Alle Passivhäuser des Projekts sind für eine normale Wohnnutzung gebaut worden. Lediglich einige Häuser, bzw. Wohnungen werden befristet für Ausstellungen und Besichtigungen sowie teilweise zum Probewohnen benutzt.

Da eine Grundphilosophie des Passivhausansatzes darauf beruht, ohnehin erforderliche Komponenten eines Hauses im Hinblick auf energetische Effizienz zu optimieren, ist davon auszugehen, dass alle technischen Komponenten der Häuser die übliche Lebensdauer solcher Komponenten haben. Der bauliche Standard wird mit Sicherheit auch zukünftigen Wärmeschutz-Anforderungen standhalten, die Wertbeständigkeit der Bausubstanz ist hoch, die Gefahr von Bauschäden reduziert.

An mehreren Standorten finden auch über das Ende des CEPHEUS-Projektes hinaus messtechnische und sozialwissenschaftliche Evaluierungen statt. Auch die

Demonstrationswirkung der bewohnten Passivhäuser reicht über das Ende der Projektlaufzeit hinaus.

4.6 Ökonomische Rentabilität

Passivhäuser unterscheiden sich von konventionellen Gebäuden durch eine erheblich verbesserte Gebäudehülle und hocheffiziente Lüftungswärmerückgewinnung. Beide Qualitätsverbesserungen erfordern gegenüber dem Referenzfall normaler Neubauten Mehrinvestitionen. Für die CEPHEUS-Projekte in 01-Hannover, 03-Göteborg und 14-Rennes sind diese baulich/technischen Mehrinvestitionen als anrechenbare Kosten innerhalb des Thermie-Projektes gefördert worden. Bei allen anderen Projekten wurden die baulich/technischen Investitionen unabhängig vom CEPHEUS-Programm finanziert. Insbesondere das Bauprojekt 02-Kassel und alle österreichischen Projekte haben keine Förderung aus CEPHEUS für bauliche Mehrkosten erhalten. Das CEPHEUS-Programm beschränkte sich bei diesen Projekten auf Beratung, wissenschaftliche Begleitung, Qualitätssicherung (insbesondere Drucktests und Thermographien), Messtechnik und wissenschaftliche Auswertung.

Insbesondere bei den Projekten innerhalb des sozialen Wohnungsbaus war es nicht einfach, die Mehrkosten für den Passivhausstandard differenziert zu ermitteln: Für die Errichtung von Sozialwohnungen gibt es Gesamt-Kostenobergrenzen, die in jedem Fall eingehalten werden müssen und auch bei den CEPHEUS-Projekten eingehalten wurden. Bei konventionellen Bauten werden entsprechende Kosten in der Regel ebenfalls erreicht; das bedeutet aber nicht, dass die verbesserte Qualität des Passivhaus-Standards zu "Nullkosten" realisiert wurde - Kosten entsprechender Höhe wurden jedoch durch besondere Konditionen der Bauausführenden und durch Sparmaßnahmen an anderer Stelle ausgeglichen; hier ist auch mit viel Mühe eine ganz eindeutige Zuordnung als Mehrkosten zum Passivhaus-Standard nicht zu erreichen. Auch wenn eine solche Zuordnung bei einigen Projekten nur begrenzt möglich ist, zeigt die Tatsache, dass die Realisierung ohne bedeutende Kostenüberschreitung gegenüber üblichen Bauwerkskosten möglich war, dass sich die Mehrinvestitionen in einem vertretbaren Bereich abspielen. Dokumentiert werden die Kostenanalysen hier nur für die Projekte, bei denen entsprechende Angaben seitens der Projektpartner vorlagen: das sind 01-Hannover, 02-Kassel, 03-Göteborg, 04-Egg, 05-Hörbranz, 06-Wolfurt, 07-Dornbirn, 08-Gnigl, 10-Hallein, 11-Horn, 12-Steyr und 13-Luzern. Eine Besonderheit liegt bei 08-Gnigl vor: Bauträger und Planer geben an, dass bei der extremen Lage dieses Wohngebäudes an einer verkehrsreichen Straße die konventionellen Aufwendungen für verbesserten Schallschutz höher gewesen wären als die Kosten des Passivhaus-Standards. In den folgenden Wirtschaftlichkeitsanalysen setzen wir die Mehrkosten für dieses Projekt bei 0 an.

Referenzgebäude

Die Mehrinvestitionen wurden gegenüber einem Gebäude gleicher Bauart und Architektur, jedoch ohne Wärmerückgewinnung, ohne Passivhaus-Fenster und mit reduzierter Wärmedämmung ermittelt. Die Referenzgebäude sind so definiert, dass bei ihnen die jeweiligen nationalen oder regionalen Anforderungen zum Zeitpunkt der Genehmigung eingehalten werden. Die zugehörigen Jahresheizwärmebedarfswerte der Referenzgebäude sind bereits in Kapitel 2.4.1 dokumentiert worden.

Mehrinvestitionen

Der Passivhausstandard wird aus den Referenzgebäuden dadurch entwickelt, dass erhebliche Qualitätsverbesserungen

- bei der Wärmedämmung (additive Dämmstoffstärken),
- bei der Wärmebrückenreduktion,
- zum Erreichen und Überprüfen der Luftdichtheit (u.a. Drucktest),
- durch Einbau von Dreischeibenwärmeschutzverglasungen und von Passivhausfenstern und

- durch den Einbau hocheffizienter Wärmerückgewinnungsanlagen erfolgen. Jede dieser Maßnahmen erfordert eine Mehrinvestition gegenüber dem Referenzfall. In Tabelle 19 sind die Mehrinvestitionen aufgeführt. In den einzelnen Projektdokumentationen werden diese Angaben noch näher aufgeschlüsselt.

Durch die Vereinfachung des konventionellen Heizsystems gibt es andererseits in einigen Projekten auch Investitionskosten-Einsparungen. Für das Projekt in 03-Göteborg liegt bereits die Situation vor, dass die Einsparungen bei der konventionellen Haustechnik die Mehrinvestitionen bei Dämmung, Fenstern und Lüftung kompensieren. Dies ist für das schwedische Projekt vor allem daraus zu erklären, dass in Schweden heute bereits ein sehr guter Baustandard gesetzlich gefordert und realisiert wird: Lüftungsanlagen (wenn auch ohne Wärmerückgewinnung) sind in Schweden Standard, Dreischeibenverglasungen ebenfalls und auch die Dämmschichten müssen für das Passivhaus nicht wesentlich erhöht werden. Der bereits erreichte Stand in Schweden wird in der Tendenz schrittweise auch im übrigen Europa eingeführt (vgl. die in Deutschland für 2002 geplante Gültigkeit der neuen Energieeinsparverordnung). Die Mehraufwendungen für den Passivhaus-Standard werden sich dann auch in den anderen Ländern der heutigen Situation in Schweden angleichen: Mit vergleichsweise geringen Mehrinvestitionen in nur marginal teurere, aber qualitativ sehr viel bessere Komponenten lässt sich der Schritt zum Passivhaus, d.h. zu einer konzeptionell erheblich vereinfachten Heiztechnik, durchführen. Auch beim schwedischen Projekt verbleiben die Mehrinvestitionen für die thermische Solarkollektoranlage.

Nr.	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	
Investitionen	Germany, Hannover	Germany, Kassel	Sweden, Göteborg	Austria, Egg	Austria, Hörbranz	Austria, Wolfurt	Austria, Dornbirn	Austria, Gnigl	Austria, Kuchl	Austria, Hallein	Austria, Horn	Austria, Steyr	Switzerland, Luzern	France; Rennes	alle Projekte
Bauart	Mi	mass	Holz	mass	mass	Mi	Holz	Holz	Mi	Mi	Mi	mass	Holz	Mi	
Anzahl Wohnungen	32	40	20	4	3	10	1	6	25	31	1	3	5	40	212
gesamte Nutzfläche (TFA) m ²	3576	3055	2635	310	381	1296	125	328	1798	2318	173	467	613	2601	19674
Bauwerkskosten gesamt TEur	3333	3041	2400	376	527	1310	242	645	2600	3067	225	476	1277	2697	22215
spezifische Bauwerkskosten Euro/m ²	932	996	911	1215	1381	1011	1939	1965	1446	1323	1304	1019	2084	965	1129
Mehrinvestitionen für Energieeffizienz und erneuerbare Energie TEur	397	255	40	40	66	102	42	(-20) Ansatz: 0	n.n.	229	28	72	122	265	1659
Mehrinvestition in %	12%	8%	2%	11%	13%	8%	17%	0%	n.n.	7%	13%	15%	10%	10%	8%
spezifische Mehrinvestitionen Euro/m ²	111	84	15	130	174	79	337	0	n.n.	99	164	153	199	102	93

Tabelle 19: Mehrinvestitionen für den Passivhausstandard in 13 CEPHEUS-Projekten;

inkl. Kosten für Solaranlagen; (Mi = Mischbau; mass = massiv)
n.n. – keine Angaben möglich

In den dokumentierten Projekten lagen die durch Passivhaus-Standard und Solaranlagen ausgelösten Mehrinvestitionen durchschnittlich bei 93 Euro/m² Bezugsfläche, das sind 8% der Bauwerkskosten.

Betriebskosten

Bereits in Abschnitt 4.4 waren die Betriebskosten für die Passivhaus-Installationen aufgeführt worden: Diese setzen sich aus den Wärmekosten, evtl. Wartungskosten, Stromkosten der Lüftungsgeräte und den Kosten für den Filterwechsel zusammen. Entsprechende Betriebskosten lassen sich auch für die Referenzfälle ermitteln.

Einfache Kapitalrückflusszeit

Werden die Mehrinvestitionen nach Tabelle 19 durch die Betriebskosteneinsparungen nach Tabelle 17 dividiert, so ergeben sich die (statischen) Kapitalrückflusszeiten. Diese Angabe wird wegen der fehlenden Berücksichtigung von Zins und Teuerung kritisiert; die EU-Kommission verlangt jedoch diese Angabe im Endbericht.

Nr.	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	
statische Kapital-Rückfluss-Zeiten	Germany, Hannover	Germany, Kassel	Sweden, Göteborg	Austria, Egg	Austria, Hörbranz	Austria, Wolfurt	Austria, Dornbirn	Austria, Gnigl	Austria, Kuchl	Austria, Hallein	Austria, Horn	Austria, Steyr	Switzerland, Luzern	France, Rennes	alle Projekte mit Angaben
Anzahl Wohnungen	32	40	20	4	3	10	1	6		31	1	3	5		156
gesamte Nutzfläche (TFA) m ²	3576	3055	2635	310	381	1296	125	328		2318	173	467	613		15275
statische Amortisationszeit a	16	26	12	56	43	23	102	sofort		19	27	33	23		21

Tabelle 20: Statische Kapitalrückflusszeiten bei den CEPHEUS-Projekten

(inkl. Solaranlagen)

Energiegestehungskosten der Einsparenergie

Einen zur ökonomischen Bewertung besser geeigneten Maßstab erhält man durch die Ermittlung der "Energiegestehungskosten" der "Einsparenergie". Diese sind definiert als die Kosten des eingesetzten Endenergieträgers, bei denen die durchgeführten Maßnahmen gerade eben einzelwirtschaftlich rentabel werden. Ist der tatsächliche Energiepreis höher als die Energiegestehungskosten der Einsparenergie, so erbringen die betrachteten Maßnahmen einen Gewinn.

Die Energiegestehungskosten der Einsparenergie werden als reale Kosten (d.h. inflationsbereinigt zum Gegenwartswert des Jahres 2000) wie folgt ermittelt:

- Die Mehrinvestitionen werden annuitätisch auf jährlich gleiche Kapitalkosten (Zins und Tilgung) umgelegt. Dabei wird einheitlich von einem Realzins von 4%/a und von Nutzungsdauern von 25 a für die baulichen Investitionen ausgegangen. Daraus ergibt sich eine Annuität von 6,4%/a (real).
- Dazu kommen die zusätzlichen Betriebskosten der Passivhaus-Komponenten (also Lüfterstrom und Filterwechsel) sowie evtl. quantifizierbare zusätzliche Betriebskosteneinsparungen (z.B. eingesparte Leistungspreise beim Anschluß an leitungsgebundene Energieträger), jedoch nicht die Betriebskosteneinsparungen durch den verringerten Brennstoffverbrauch.

Die in der Summe entstehenden zusätzlichen jährlichen Kosten werden durch die erreichte Brennstoffeinsparung gegenüber dem Referenzfall dividiert. Das Ergebnis sind die in Tabelle 21 aufgeführten Energiegestehungskosten der Einsparenergie (Brennstoff). Diese Ergebnisse werden in Abbildung 31 den gegenwärtigen Endenergiekosten an den Standorten gegenübergestellt.

Energiegestehungskosten von um und unter 6 Eurocent/kWh wurden demnach bereits in den Projekten 01-Hannover, 03-Kassel, 03-Göteborg, 06-Wolfurt, 08-Gnigl, 10-Hallein und 11-Horn erreicht; der Durchschnitt liegt bei 6,2 Eurocent/kWh und damit etwas über

dem durchschnittlichen Referenzwert von 5,1 Eurocent/kWh für die zugekaufte Endenergie. Die Kosten enthalten generell auch die Mehrkosten der solarthermischen Anlagen, deren anteilige Energiegestehungskosten mit 10 bis 15 Eurocent/kWh bekanntermaßen deutlich höher sind als heutige konventionelle Brennstoffkosten.

01-Hannover

Die angegebenen Kosten enthalten auch die Wärmegestehungskosten der solarthermischen Anlagen. Allein für die Energieeffizienz-Maßnahmen des Passivhaus-Standards liegen die Kosten der eingesparten kWh hier bei 4,6 Eurocent/kWh. Für dieses Projekt liegt eine Aufschlüsselung der Mehrkosten und des zugehörigen Mehrnutzens in der Projektdokumentation vor [Feist 2001].

02-Kassel

Relativ hohe Kosten entstanden hier bei der Wärmebrückenreduktion sowie für Pfosten/Riegel-Konstruktionen bei den Eingangsbereichen. In diesem Projekt des sozialen Wohnungsbaus wurden jedoch die Kostenobergrenzen des deutschen Bundeslandes Hessen eingehalten. Auch für dieses Projekt liegt eine Aufschlüsselung der Mehrkosten in der Projektdokumentation vor [Pfluger 2001a].

03-Göteborg

Der Passivhausstandard hat hier keine Mehrinvestitionen verursacht, jedoch die thermische Solaranlage; dazu kommen die Betriebskosten der Lüftungsanlage.

04-Egg

Hier wirken sich große Fensterflächen (auch nach Norden) und eine vergleichsweise aufwendige Haustechnik investitionskostensteigernd aus. Trotzdem bleibt das Ergebnis in einem vertretbaren Rahmen.

05-Hörbranz

Bei diesem Bauprojekt wurden konsequent Dämmstoffe aus nachhaltiger Produktion eingesetzt: Kork für die Außenwand, Zellulose für Boden- und Dachdämmung. Jedes Haus hat eine eigene, groß dimensionierte Solaranlage.

06-Wolfurt

Die realisierte kompakte Bauform und zweckmäßige Bauart lässt dieses Projekt zu einem Musterbeispiel für kostengünstige Passivhäuser werden. Auch die Verwendung von Holzpellets als Endenergieträger wirkt hier kostensenkend; die zentrale Anordnung der Solaranlage reduziert die spezifischen Investitionskosten.

07-Dornbirn

Bei diesem kleinen Einfamilienhaus handelt es sich um einen Prototyp, der für eine zukünftige Serienbauweise geplant wurde. Laut Bauträger werden bedeutende Kostenreduktionen erwartet.

08-Gnigl

Seitens Planer und Bauträger wurden sogar Kosteneinsparungen durch den Passivhaus-Standard angegeben, hier jedoch mit Mehr/Minderkosten 0 gerechnet. Die Energiegestehungskosten von 1,1 Eurocent/kWh resultieren aus den Betriebskosten der Lüftungsanlagen (Strom und Filtererneuerung).

09-Kuchl

Für dieses Projekt im sozialen Wohnungsbau konnte eine Zuordnung der Kosten auf einzelne Maßnahmen nicht zufriedenstellend geleistet werden. Auch die Messergebnisse aus dem ersten Winter erlauben hier noch keine zuverlässige Analyse und es traten bedeutende Abweichungen von der Projektierung auf. Wir haben daher die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für dieses Projekt zurückgestellt.

10-Hallein

Hier liegen noch keine Messergebnisse vor; es wurde daher mit den projizierten Werten gerechnet.

11-Horn

Für ein Prototyp-Einfamilienhaus konnten die Mehrkosten hier gut begrenzt werden; Nachfolgeprojekte des gleichen Bauträgers weisen noch bessere ökonomische Ergebnisse aus.

12-Steyr

Die in Steyr realisierten Reihenhäuser sind insgesamt vergleichsweise kostengünstig. Da jede der drei Wohneinheiten ihr eigenes komplettes Heizsystem mit Gastherme und Schornstein besitzt, konnten die Kosteneinsparpotentiale des Passivhaus-Konzeptes hier nicht vollständig erschlossen werden.

13-Luzern

Auch hier handelt es sich um einen Prototyp einer neuentwickelten Baukonzeption mit zahlreichen innovativen Elementen. Die Häuser sind vollständig unterkellert und haben eine aufwendige Dachkonstruktion. Der Entwickler (Fa. Renggli AG) hat das Baukonzept inzwischen vereinfacht und bereits Folgeprojekte mit geringeren Mehrkosten realisiert.

Nr.	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	
Kosten der eingesp. kWh	Germany, Hannover	Germany, Kassel	Sweden, Göteborg	Austria, Egg	Austria, Hörbranz	Austria, Wolfurt	Austria, Dornbirn	Austria, Gnigl	Austria, Kuchl	Austria, Hallein	Austria, Horn	Austria, Steyr	Switzerland, Luzern	France, Rennes	alle Projekte
Anzahl Wohnungen	32	40	20	4	3	10	1	6		31	1	3	5		156
gesamte Nutzfläche (TFA) m ²	3576	3055	2635	310	381	1296	125	328		2318	173	467	613		15275
Kosten der eingesparten kWh Eurocent/kWh	6,2	7,2	4,4	8,8	11	5,5	17	1,1		4,8	6,6	9,0	10		6,2
Referenzkosten Endenergie 2001 Eurocent/kWh	6,0	4,8	4,7	4,1	5,0	4,1	4,1	4,1		4,1	4,1	5,1	7,6		5,1

Tabelle 21: Energiegestehungskosten der Einsparenergie (Brennstoff) bei CEPHEUS (inkl. Solaranlagen)

09-Kuchl: Keine belastbaren Angaben möglich

14-Rennes: Wegen später Lieferung der Daten noch nicht berechnet

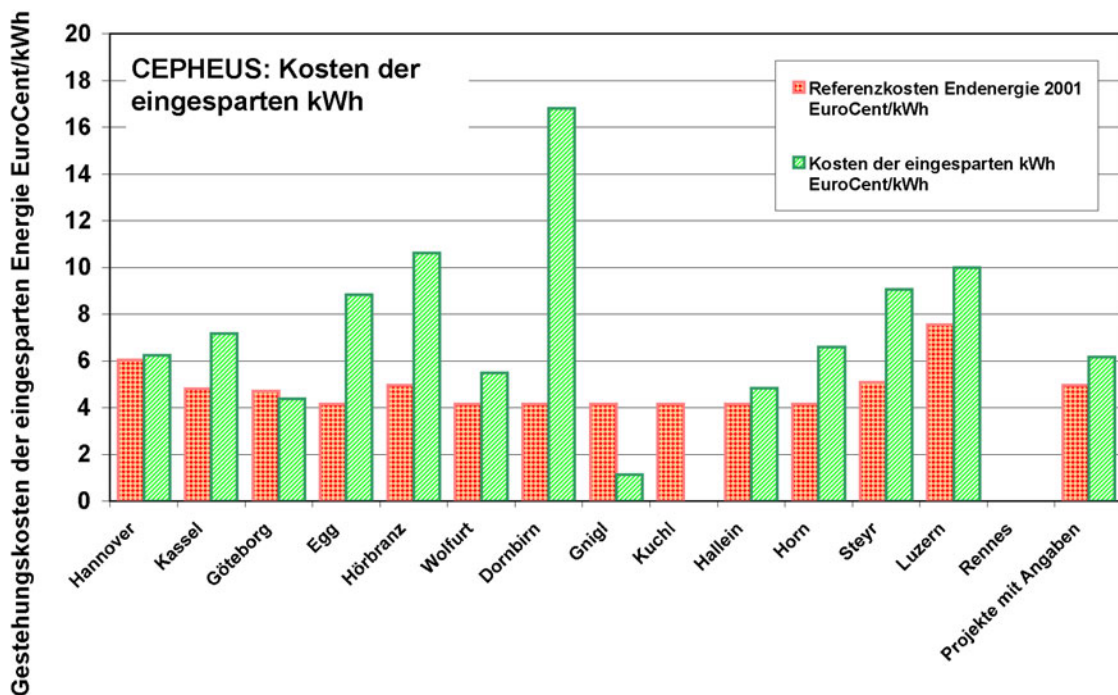


Abbildung 31: Energiegestehungskosten der Einsparenergie (inkl. Solaranlagen)

Im Vergleich zu den aktuellen Endenergiepreisen (Brennstoff bzw. Fernwärme) an den jeweiligen Standorten.

4.7 Umweltwirkungen

Um den Energieverbrauch der Haushalte zu verringern, muss in erster Linie der Energieverbrauch für Raumwärme gesenkt werden, denn dieser hat in Mitteleuropa einen Anteil von etwa 75 % am gesamten Endenergieverbrauch der privaten Haushalte. Obwohl in den an CEPHEUS beteiligten Ländern in den letzten Jahren die Anforderungen an den Wärmeschutz von Gebäuden erheblich verschärft wurden, sind weitere Heizenergieeinsparungen von 80 bis 90 % realisierbar.

CEPHEUS hat gezeigt, dass diese Potentiale praktisch umgesetzt werden können, und zwar

- in der Praxis, in bewohnten Häusern mit unterschiedlichen Nutzerstrukturen,
- an verschiedenen mitteleuropäischen Standorten,
- von verschiedenen Planern und Bauherren,
- bei unterschiedlichen Gebäudetypen: Einfamilienhäusern, Reihenhäusern und Geschosswohnungsbauten,
- zu Investitionskosten, die durch die eingesparten Heizkosten nahezu wieder amortisiert werden können.

Die vorliegenden Messergebnisse zeigen deutlich, dass in allen Projekten der Heizwärmeverbrauch gegenüber konventionellen Neubauten tatsächlich drastisch gesenkt wurde (vgl. auch Abbildung 14). Die CEPHEUS-Gebäude verbrauchen im flächengewichteten Mittel über 80 % weniger Heizwärme als übliche Neubauten nach den lokalen Baugesetzen. Die drei Komponenten Raumwärme, Warmwasser und Haushaltsstrom des Nutzenergieverbrauchs sind bei den untersuchten Passivhäusern nun etwa gleich bedeutsam, während bei konventionellen Neubauten die Raumwärme den Nutzenergieverbrauch eindeutig dominiert. Nicht nur beim Heizwärmeverbrauch, auch bei der gesamten Nutz-, End- und Primärenergie konnten erhebliche Einsparungen realisiert werden (Abbildung 32).

Die CEPHEUS-Projekte haben schon in der ersten Heizperiode über 80 % Raumwärme eingespart, für die folgenden Jahre ist mit noch deutlicheren Einsparungen zu rechnen. Legt man die bereits jetzt nachgewiesenen gesamten Primärenergieeinsparungen zugrunde, ergibt sich für eine Wohnung mit 100 m² eine Einsparung von 13 MWh pro Jahr. Mit den Ansätzen aus [EU 1993] erhält man die folgenden jährlichen Einsparungen an umweltrelevanten Schadstoffen:

	CO ₂	SO ₂	NO _x	V _{olatile} O _{rganic} C _{ompounds}
Festbrennstoff	5200	23,4	2,6	21,71
Flüssiger Brennstoff	3900	7,67	2,6	8,71
Gas	2860	0	2,6	0,52

Tabelle 22: Schadstoffreduktion durch die CEPHEUS-Projekte pro 100 m² Wohnfläche auf Basis der Messwerte im ersten Jahr

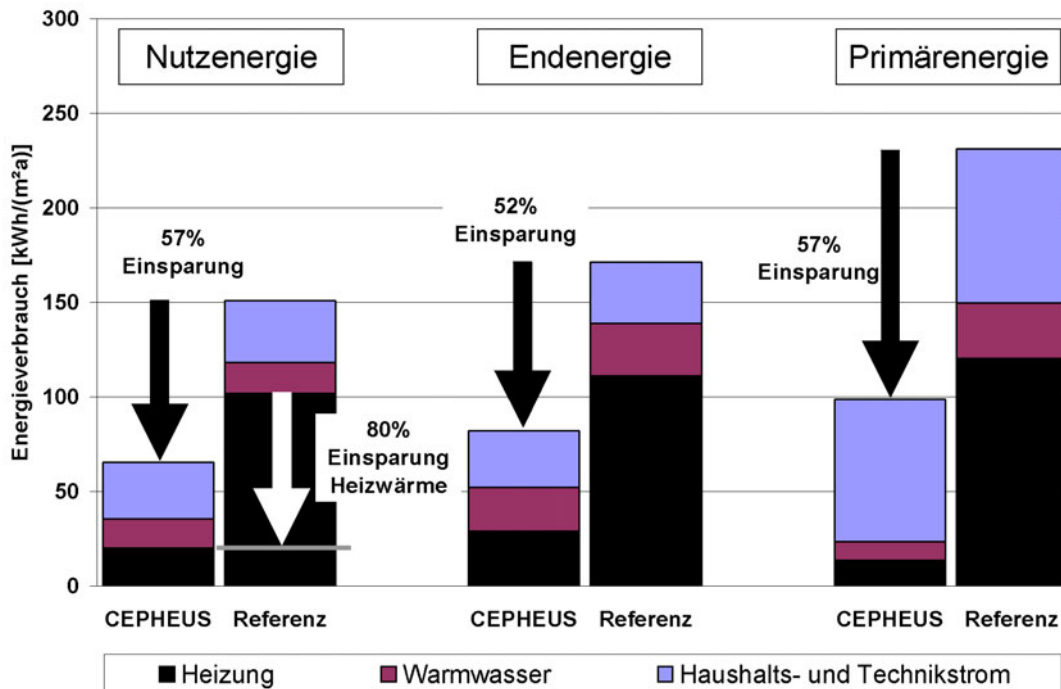


Abbildung 32: Vergleich der gemessenen Verbrauchswerte aller CEPHEUS-Projekte (flächengewichtetes Mittel) mit den entsprechenden Referenzverbräuchen

Die CEPHEUS-Gebäude bieten außer der Energieeinsparung einige weitere positive Effekte für die Umwelt und die Gesundheit der Bewohner:

- Um den geringen Wärmeverlust zu realisieren, müssen Wärmebrücken weitestgehend vermieden werden, und die Gebäudehülle muss eine ausgezeichnete Luftdichtheit aufweisen. Beides trägt dazu bei, das Auftreten von Tauwasser auf der Innenoberfläche und im Innern der Bauteile zu vermeiden. Dadurch treten weniger Bauschäden auf. Die entsprechend längere Lebensdauer der Bauteile verbessert nicht nur die Wirtschaftlichkeit des Gebäudes, sondern verringert auch Umweltbelastungen für Ersatz und Sanierung.
- Als Nebeneffekt der guten Luftdichtheit ergibt sich ein verbesserter Schallschutz, da keine offenen Fugen mehr als Schallbrücken wirken können.
- Die Luftqualität in den Gebäuden ist aufgrund der Zu- und Abluftanlage mit hochwertigen, frontständigen Filtern ausgezeichnet. Schadstoffausdünstungen aus Baumaterialien und Einrichtungsgegenständen werden kontinuierlich abgeführt,

Staub aus der Außenluft wird im Filter zurückgehalten. Die Luftwechselraten sind so bemessen, dass ausreichend Feuchtigkeit abgeführt wird, die Luft aber nicht zu trocken wird.

Darüber hinaus sind weitere positive Umweltwirkungen der gebauten CEPHEUS-Projekte zu verzeichnen. Die Vermeidung von FCKW auf der Baustelle, die Verwendung umweltfreundlicher bzw. schadstoffarmer Materialien sowie Mülltrennung auf der Baustelle wurden in einigen der Projekte umgesetzt. Details hierzu finden sich in den projektbezogenen Format Sheets [EU 1993].

Entscheidend für die Umsetzung ist die Kosteneffizienz der CEPHEUS-Projekte: Energiesparendes Bauen kann nur dann einen Beitrag zum Klimaschutz und zur Luftreinhaltung leisten, wenn es sich über Demonstrationsprojekte hinaus in der Breite durchsetzt. Dazu müssen die Energiesparmaßnahmen zumindest finanzierbar sein. Besonders vorteilhaft ist die ökonomische Rentabilität der Maßnahmen, da in diesem Fall auch solche Entscheidungsträger für die Umsetzung gewonnen werden können, die ausschließlich wirtschaftlich kalkulieren.

Von Bedeutung ist auch der erhöhte Wohnkomfort in den Passivhäusern. Sozialwissenschaftliche Untersuchungen belegen eine hohe Zufriedenheit der Nutzer mit dem Passivhausstandard, und zwar sowohl bei selbstnutzenden Eigentümern als auch bei Mietern (s. Kapitel 4.2.4.4 und 4.2.5). Die Bewohner beurteilen das Wohnen im Passivhaus ausgesprochen positiv, die Zufriedenheit ist nach der ersten Heizperiode weiter angewachsen. Neben den geringen Betriebskosten werden im allgemeinen insbesondere die warmen Oberflächen und die Lüftungsanlagen positiv beurteilt. Erst die Akzeptanz der Nutzer wird eine breite Umsetzung des Passivhausstandards ermöglichen und damit auch zu einer globalen Wirksamkeit der Umweltschutzaspekte führen.

Entscheidend für die Umsetzung ist die Kosteneffizienz der CEPHEUS-Projekte. Energiesparendes Bauen kann nur dann einen Beitrag zum Klimaschutz und zur Luftreinhaltung leisten, wenn es sich über Demonstrationsprojekte hinaus in der Breite durchsetzt. Dazu müssen die Energiesparmaßnahmen zumindest finanzierbar sein. Besonders vorteilhaft ist die ökonomische Rentabilität der Maßnahmen, da in diesem Fall auch solche Entscheidungsträger für die Umsetzung gewonnen werden können, die ausschließlich wirtschaftlich kalkulieren.

5 Öffentlichkeitsarbeit, Kommerzialisierung u. a.

5.1 Öffentlichkeitsarbeit und Veröffentlichungen

- **Schaffung von Möglichkeiten, Passivhäuser vor Ort kennen zu lernen**

Dies war eines der strategischen Ziele von CEPHEUS. Die Möglichkeit, Passivhäuser zu besichtigen und mit Bewohnern über ihre Erfahrungen und Zufriedenheit zu sprechen, ist von entscheidender Bedeutung, um die Qualität und den Komfort dieses neuen Standards erlebbar zu machen und etwaige Vorbehalte, z. B. gegen Lüftungssysteme, abzubauen. Wie geplant wurden daher in allen nationalen Teilprojekten Besichtigungsmöglichkeiten der CEPHEUS-Projekte geschaffen. An den Standorten Hannover/D, Kassel/D, Wegere/CH, Rennes/F und Göteborg/S wurden, bzw. werden dafür mindestens je eine Wohnung für ein bis zwei Jahre für Besichtigungszwecke vorgesehen. Für die österreichischen Teilprojekte sind jeweils Vereinbarungen mit den Erwerberr/Bewohnern getroffen worden, dass diese über einen Zeitraum von 2 Jahren nach Bezug mindestens 2 x jährlich Besichtigungsmöglichkeiten gewähren müssen. An allen Standorten ist von diesen Besichtigungsmöglichkeiten bisher sehr reger Gebrauch gemacht worden.

- **Präsentation des CEPHEUS-Projekts zur EXPO 2000 in Hannover**

Zentrale Aktivität des CEPHEUS-Projekts zur Verbreitung des Projektansatzes und der bis dahin vorliegenden Ergebnisse war die Präsentation zur EXPO 2000 in Hannover vom 1. Juni bis 31. Oktober. Während dieser Zeit wurde das CEPHEUS-Projekt als Ganzes mit allen Teilprojekten in einem von den Stadtwerken Hannover im Rahmen des CEPHEUS-Projekts angemieteten Ausstellungshaus in der Passivhaussiedlung auf dem Kronsberg durch Poster und Powerpoint-Präsentationen präsentiert. Das Ausstellungshaus war zusätzlich mit technischen Exponaten von Herstellern ausgestattet. Ergänzt wurde die Präsentation durch eine eigens für diesen Zweck durch das PHI in Kooperation mit den Stadtwerken entwickelte Ausstellung „Passivhaus zum Anfassen“ mit Exponaten und Postern, die die Grundbausteine des Passivhausansatzes (Superdämmung, Superfenster und hocheffiziente Wärmerückgewinnung) in einer anschaulichen und fühlbaren Weise vermitteln. Im Oktober 2000 fand zum Abschluss der Expo eine Pressekonferenz mit der Staatssekretärin im hessischen Umweltministerium im Ausstellungshaus in Hannover statt.

Während der EXPO war das Ausstellungshaus täglich durchschnittlich 7 Stunden geöffnet und mit einem Fachberater besetzt. In der Zeit wurden ca. 1.650 Besucher im Ausstellungshaus eingehend über den Ansatz und das Projekt informiert. Der überwiegende Teil (ca. 60 %) der Besucher waren der Kategorie „fachlich interessiert“ zuzuordnen. Die Einzelpersonen und Gruppen kamen aus der gesamten Bundesrepublik Deutschland, Österreich, Schweiz, Italien, Spanien, Belgien, Niederlande, Schweden, Tschechische Republik, USA, Kanada Korea, China und Japan. Das Ausstellungshaus wurde darüber hinaus von Firmen für Arbeitstreffen und Gespräche sowie für Seminarveranstaltungen genutzt.

- **Vorträge, Veröffentlichungen und Pressekonferenzen**

Über das CEPHEUS-Projekt als ganzes sowie über einzelne Teilprojekte wurden auf diversen Fachtagungen, Pressekonferenzen und Veranstaltungen in den beteiligten Ländern berichtet.

Ebenso gab es zahlreiche Veröffentlichungen in Fachzeitschriften und Tagungsbänden. Siehe dazu die Literaturhinweise unter Abschnitt 7.

Alle wesentliche Details über die Teilprojekte, über die durchgeführten Untersuchungen sowie die Ergebnisse der Evaluierungen sind in ca. 40 Projektberichten dokumentiert, die bei den Projektpartnern angefordert werden können (siehe Abschnitt 10).

5.2 Patentaktivitäten

Von den CEPHEUS-Partnern wurden keine diesbezüglichen Aktivitäten unternommen.

5.3 Ausblick

CEPHEUS konnte die Tragfähigkeit des Passivhaus-Konzeptes für Wohngebäude in Mittel-, Nord- und Westeuropa in der Praxis nachweisen. Auch für andere Gebäudenutzungen ist die Anwendung des Passivhauskonzeptes interessant; z. B. für Bürogebäude, für welche die Tragfähigkeit mit dem Projekt von Wagner & Co. in Cölbe bei Marburg gezeigt wurde. Sowohl weitere Gebäudenutzungen als auch die Anpassung des Konzeptes auf andere klimatische Standorte (Süd- und Osteuropa) sollten künftig noch untersucht werden. CEPHEUS kam schon aus den Messungen in den jeweils ersten Heizperioden zu dem Ergebnis, dass die mit einem Luftwechsel von etwa $0,4h^{-1}$

projektierten Zuluftmengen in den Wohnräumen in jedem Fall ausreichen, in manchen Fällen sogar eher hoch erscheinen (erkennbar an winterrockener Raumluft). Die Frage der Optimierung der Wohnungslüftung bezüglich Projektierungsvolumenstrom, Effizienz und Nutzerfreundlichkeit sollte in den folgenden Heizperioden genauer untersucht werden.

Die Demonstrationsbauvorhaben der Passivhäuser in CEPHEUS waren insgesamt in den Investitionskosten ca. 8 % teurer als herkömmliche Neubauten; dabei handelt es sich bei den verwendeten Bauteilen und Komponenten noch um Kleinserien. Künftig können diese Mehrinvestitionskosten weiter gesenkt werden, wie Folgeprojekte von Bauträgern und Architekten zeigen, die bereits die 3. Generation von Passivhäusern realisieren. Die Zahl der gebauten Passivhäuser wächst derzeit um jährlich mehr als 100 %. Das Wiederholungspotential ist sehr groß, weil prinzipiell jedes Wohngebäude als Passivhaus gebaut werden kann.

Eine erste Marktstudie wurde 1999 vom Büro für Solarmarketing erstellt. Sie ergab für das Jahr 2005 einen prognostizierten Marktanteil des Passivhaus-Standards bei Neubauten zwischen 5 und 10 % [Solar 1999] [Witt 1999].

Während der Laufzeit des CEPHEUS-Projektes haben sich die Angebote an Passivhaus-Komponenten am Markt vervielfacht: Während es 1998 nur zwei Hersteller der Passivhausfenster mit $U_{w} \leq 0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ gab, sind es heute (2001) über 20. Ähnlich sieht es bei Außenwanddämmsystemen, Dachkonstruktionen und bei der Lüftungstechnik aus.

5.4 Kommerzialisierung

Alle CEPHEUS-Projekte konnten mit erfreulich großem Erfolg kommerziell vermarktet werden. Bei Abschluss des CEPHEUS-Projektes ist erkennbar, dass die Mehrkosten der jetzt zur Vermarktung anstehenden Passivhäuser sinken. Damit dürfte der Passivhausstandard kurzfristig ökonomisch sehr interessant werden

Die Firma Rasch & Partner ist eine der ersten Firmen gewesen, die Passivhäuser kommerziell vertrieben haben. Bereits vor CEPHEUS wurden die ersten Passivhäuser realisiert, zahlreiche sind inzwischen dazu gekommen. Durch den hohen Vorfertigungsgrad der Bauteilelemente können die Häuser sehr preiswert angeboten werden. Sie unterscheiden sich im Verkaufspreis nur unwesentlich von „energetisch normalen Häusern“ .

Das Architekturbüro Hegger/Hegger/Schleif hat ebenfalls vor CEPHEUS bereits passivhausähnliche Gebäude kommerziell vertrieben. Durch das Projekt in Kassel wurde nun auch der Durchbruch im sozialen Mietwohnungsbau geschaffen.

In Schweden wird schon seit längerer Zeit energetisch bewusst gebaut. Der Schritt zum Passivhaus war daher nicht so groß, wie bei den anderen Projekten. Allein aus wirtschaftlichen Gründen wird sich dort der Passivhausstandard durchsetzen.

In Österreich zeichnet sich eine ähnliche Entwicklung wie in Deutschland ab. Für zahlreiche Bauträger ist der Bau von Passivhäusern inzwischen zur Routine geworden. Der Fertighaushersteller aus der Schweiz, die Renggli AG, bietet mittlerweile Passivhäuser im Katalog an. Weitere Schweizer Hersteller haben die Dynamik in diesem Marktsegment erkannt und bieten gleichfalls unterschiedliche Passivhaustypen an.

Für französische Verhältnisse ist das Projekt in Rennes außergewöhnlich, die Vermarktung war zunächst schleppend, nach Baubeginn konnte zur freudigen

Überraschung der COOP de Construction die Nachfrage dann gar nicht mehr befriedigt werden.

Keine andere Aussage, als die, dass die meisten der an CEPHEUS beteiligten Bauträger bereits Folgeprojekte in der Umsetzung haben, macht deutlicher, dass es europaweit einen Markt für Passivhäuser gibt. Weitere Impulse für die Vermarktung kommen durch die positiven Ergebnisse der (sozial)wissenschaftlichen Untersuchungen. Wie bereits im Kapitel 5.3 erwähnt, haben mittlerweile viele Hersteller den Wachstumsmarkt im Passivhausbereich erkannt und entsprechende Produkte entwickelt, um sie in den kommenden Jahren zu vermarkten. Diese positive Entwicklung deutet auf einen Markt mit beträchtlichen Zuwachsraten hin, der auch auf die Altbausanierung übergreift.

6 Gemachte Erfahrungen/Folgerungen

Das CEPHEUS-Projekt hat seine Ziele erreicht (siehe 4.3). Für eine große Anzahl von Wohneinheiten in sehr unterschiedlichen Bautypen und Bauweisen in mehreren europäischen Ländern wurde die kostengünstige Realisierbarkeit des Passivhausstandards demonstriert. Im Schnitt über alle Projekte wurden dabei die Ziele hinsichtlich Heiz- und Gesamt-Primärenergieeinsparung schon in der ersten Heizperiode erreicht. Zugleich wurden wichtige Impulse für eine weitere Technologieentwicklung sowie zur Marktentwicklung gegeben.

Die Bandbreiten der gemessenen (und gewünschten) Raumtemperaturen sowie der spezifischen Heizenergieverbräuche zeigen, dass das Passivhauskonzept auch bei höheren Komfortansprüchen funktioniert. Wegen der sehr großen thermischen Trägheit des Passivhauses kommt man mit weit kleineren Heizleistungen aus, als nach bislang üblichen Auslegungsverfahren zu erwarten wäre. Selbst ein Totalausfall der Heizenergieversorgung über mehrere Tage fällt nicht auf.

Das Konzept ist aus sich heraus effizient und erfordert nicht den „normierten“ und jederzeit energiebewussten Nutzer. Auch bei hohen Komfortansprüchen wächst der Heizwärmeverbrauch nur um geringe Beträge. Die gemessenen Verbräuche der Passivhäuser liegen in fast allen Wohneinheiten unter $40 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$, d. h. noch weit unter den mittleren Verbrauchswerten von Standardhäusern. Bedeutsam ist der gelungene Nachweis über größere Kollektive gleichartiger Häuser (Hannover) oder Wohnungen (Kassel, Kuchl), dass im Mittel der auf 20°C normierte Heizwärmeverbrauch schon in der ersten Heizperiode sehr nahe beim Zielwert von $15 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ liegt. Selbst die Beanspruchung eines deutlich höheren thermischen Komforts (= Raumtemperaturen), wie in den Mietwohnungsobjekten Kassel und Kuchl gemessen, im Mittel führt nur zu geringfügig höheren Verbrauchswerten. Die festgestellte Tendenz, dass sich insbesondere Mieter in Passivhäusern höhere Raumtemperaturen „gönnen“, ist für das Ziel des Ressourcen- und Klimaschutzes unbedenklich. Im Sinne des sog. Faktor 4-Konzepts ist es sogar als äußerst positiv zu bewerten, wenn Nutzer von Wohnungen im Passivhausstandard Energieeffizienz und Klimaschutz mit mehr Komfort und niedrigeren Betriebskosten assoziieren können.

Die Ergebnisse der sozialwissenschaftlichen Evaluierungen zeigen eine sehr hohe Akzeptanz und Zufriedenheit der Nutzer sowie nur geringe Eingewöhnungsprobleme. Auch aus Nutzersicht hat sich das Konzept aufgrund der Ergebnisse des CEPHEUS-Projekts daher als absolut praxistauglich erwiesen.

Die Projekterfahrungen haben allerdings zum Teil noch große Kenntnisdefizite bei Architekten und Planern sowie auch bei ausführenden Firmen im Hinblick auf Qualitätsanforderungen des energieeffizienten Bauens gezeigt. Dies betrifft nicht nur den sehr ambitionierten Passivhaus-Standard selbst, sondern auch die bestehenden gesetzlichen Anforderungen und die aktuellen Initiativen in Richtung

Niedrigenergiehausstandard. Für eine stärkere Verbreitung von Standards zur Gebäudeenergieeffizienz wäre eine intensivere Aufklärung und Weiterbildung von Architekten und Planern sowie Handwerkern erforderlich. Innerhalb und außerhalb des CEPHEUS- Rahmens sind dazu insbesondere durch das PHI in den letzten Jahren eine Fülle von Fachinformationen entwickelt worden. Diese liegen überwiegend aber nur deutschsprachig, nur zum Teil auch englischsprachig vor. Für eine größere Verbreitung dieser Materialien in der EU wäre eine Übersetzung in weitere Sprachen erforderlich. Eine Zusammenfassung und Aktualisierung der veröffentlichten Erkenntnisse in einer Buchpublikation wäre der weiteren Verbreitung energieeffizienten Bauens sehr förderlich.

Die Projekterfahrungen haben auf dem gleichen Hintergrund gezeigt, dass eine Begleitung möglicher weiterer EU-weiter Projekte zur Gebäudeenergieeffizienz durch internationale Arbeitskreise der Architekten und Planer, in denen ein intensiver Transfer und Austausch von Erfahrungen ermöglicht wird, für eine wirksame Verbreitung von Kenntnissen unerlässlich ist.

7 Literaturhinweise

- [Baffia 1999]** Baffia, E., Wärmebrückenfreie Reihenhäuser der Passivhaus-Siedlung Hannover Kronsberg in Mischbauweise; in Protokollband Nr. 16 des Arbeitskreises kostengünstige Passivhäuser "Wärmebrückenfreies Konstruieren", Passivhaus Institut, Darmstadt 1999.
- [Carlsson/ Elmroth 1980]** Carlsson, B., Elmroth, A.; Engvall, P.-Å., Airtightness and thermal insulation; Swedish Council for Building Research, Stockholm, D37:1980.
- [Danner 2001]** Danner, Michael M.A., Abschlußbericht zur sozialwissenschaftlichen Evaluation, Wohnen in der Passivhaussiedlung Lummerlund im Neubaugebiet Hannover-Kronsberg, U Konzept Agentur für Umweltkommunikation e.V., Lüneburg 2001
- [DIN 4725]** DIN 4725 Teil 2: Warmwasser-Fußbodenheizung. Beuth-Verlag, Berlin (1992).
- [PHI 1998]** Sparsames Wäschetrocknen, CEPHEUS-Projektinformation Nr. 4, Passivhaus Institut, Darmstadt 1998.
- [Eschenfelder 1999]** Eschenfelder, D., Das Niedrigenergiehaus in NRW – Test; Bauphysik 21/1999, Heft 6, S. 260-267.
- [EU 1993]** Colombo, R., Conti, F., Gilliaert, D., Helcké, G., Landabaso, A., Format Sheets for Presentation of the Results of Buildings Projects, Commission of the European Communities, Document SP-I 93.01, Joint Research Centre, Ispra 1993
- [Feist 1992]** Feist, W. (Hrsg) Bauvorbereitendes Forschungsprojekt Passive Häuser – Endbericht, Passivhaus-Bericht Nr. 2, Darmstadt, IWU, 1992
- [Feist 1993]** Feist, W., Passivhäuser in Mitteleuropa, Dissertation, Gesamthochschule Kassel 1993.
- [Feist 1994]** Feist, W., Thermische Gebäudesimulation, S.274ff, Heidelberg 1994.
- [Feist 1994a]** Feist, W. (Hrsg), Lüftung im Passivhaus, Passivhaus-Bericht Nr. 8, IWU, Darmstadt 1994.
- [Feist 1997]** Feist, W. und Loga, T.: Vergleich von Messung und Simulation. In: Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser, Protokollband Nr. 5, Energiebilanz und Temperaturverhalten, Passivhaus Institut, Darmstadt 1997.
- [Feist 1998]** Feist, W., Wirtschaftlichkeitsuntersuchung ausgewählter Energiesparmaßnahmen im Gebäudebestand, Darmstadt 1998.
- [Feist 1999]** Feist, W., Anforderungen an die Wohnungslüftung im Passivhaus, Protokollband Nr. 17 des Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser, Passivhaus Institut, Darmstadt 1999.
- [Feist 1999a]** Feist, W. und Schnieders, J., Wärmebrückenfreies Konstruieren.

CEPHEUS-Projektinformation Nr. 6, Passivhaus Institut, Darmstadt 1999.

- [Feist 2000]** Feist, W., Ebel, W.; Stärz, N., Wäschetrocknen im Trockenschrank: Messergebnisse und Nutzererfahrungen in einem Passivhaus; Passivhaus Institut, Darmstadt 2000.
- [Feist 2001]** Feist, W., Peper, S., Görg, M., von Oesen, M., Klimaneutrale Passivhaussiedlung Hannover-Kronsberg, CEPHEUS Projektinformation Nr. 18, PHI 2001/5, Passivhaus Institut, Darmstadt 2001.
- [Geißler 1999]** Geißler, A.: Genauigkeit von Luftdichtheitsmessungen; im Tagungsband 4. Blower Door-Symposium, EUZ 1999.
- [GEMIS]** Gesamt-Emissions-Modell Integrierter Systeme (GEMIS), Version 4.0, Öko-Institut, Darmstadt 2000.
- [Hübner 2001]** Hübner, H., Pressemitteilung anlässlich der Vorstellung der Passivhäuser in Kassel-Marbachshöhe am 16.5.2001, Forschungsprojekt „Nutzungsorientierte Gestaltung von Passivhäusern“, Kassel 2001
- [Hübner 2001]** Hübner, H., Hermelink, A.: Passivhäuser für Mieter – Bedürfnisse, Erfahrungen, Potentiale; in: erneuerbare energien Kommunikations- und Informationsservice GmbH (Hrsg.): Passiv-Haus 2001 – Tagungsband, Reutlingen, Februar 2001
- [INFO-4 1998]** Feist, W., Ebel, W., Begrenzung des Stromverbrauchs in Passivhäusern, INFO-Papier Nr. 4A im Auftrag von Stadtwerke Hannover AG, vom 9.1.98.
- [Kronvall 1980]** Kronvall, J., Air Flows in Building Components; Lund Institute of Technology, report TVBH-1002, Lund 1980.
- [Kaufmann 2001]** Kaufmann, B., Feist, W., Vergleich von Messung und Simulation am Beispiel eines Passivhauses in Hannover Kronsberg, CEPHEUS Projektinformation Nr. 21, PHI 2001/8, Passivhaus Institut, Darmstadt 2001.
- [Otte 2000]** Blume, D., Ludwig, S., Otte, J. "Anforderungen an kostengünstige passivhausgeeignete MFH-Lüftungsanlagen und Überprüfung am Pilotprojekt", Teil 3 des Abschlußberichtes "Das kostengünstige mehrgeschossige Passivhaus in verdichteter Bauweise", gefördert durch das Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung, Bonn 2000.
- [Peper 1999]** Peper, S., Untersuchung der Luftdichtheit in der Passivhaussiedlung Hannover-Kronsberg, Passivhaus Institut Darmstadt, Fachinformation PHI-1999/4.
- [Peper 1999a]** Peper, S., Luftdichte Projektierung von Passivhäusern, CEPHEUS-Projektinformation Nr. 7, Passivhaus Institut, Darmstadt 1999.
- [Peper 2000]** Peper, S., Luftdichtheit bei Passivhäusern - Erfahrungen aus über 200 realisierten Objekten; Tagungsband der 4. Passivhaus-Tagung, Passivhaus Dienstleistung GmbH, Kassel und Darmstadt 2000.
- [Peper 2000a]** Peper, S., Pfluger, Rainer; Feist, Wolfgang: Nutzerhandbuch für die

- Passivhaussiedlung in Hannover-Kronsberg, Darmstadt, Passivhaus Institut, Darmstadt 2000.
- [Peper 2001]** Peper, S., Feist, W., Kah, O., Messtechnische Untersuchung und Auswertung; Klimaneutrale Passivhaussiedlung in Hannover-Kronsberg, Fachinformation. PHI-2001/6, Passivhaus Institut, Darmstadt 2001.
- [Peper 2001a]** Peper, S., Feist, W., Thermographische Untersuchung der Passivhaussiedlung in Hannover Kronsberg, Wissenschaftliche Auswertung, Fachinformation PHI-2001/7, CEPHEUS-Projektinformation Nr. 20, Darmstadt, Passivhaus Institut, Darmstadt 2001.
- [Pfluger 1999]** Pfluger, R., Feist, W., Schnieders, J., Luftführung in Passivhäusern, Planungsrichtlinien und Erfahrungen bei Ausführungsplanung und Betrieb, CEPHEUS-Projektinformation Nr. 8, Fachinformation PHI 1999/7, Passivhaus Institut, Darmstadt 1997.
- [Pfluger 2001]** Pfluger, R., Feist, W., Messtechnische Untersuchung und Auswertung; Kostengünstiger Passivhaus-Geschoßwohnungsbau in Kassel Marbachshöhe, Fachinformation PHI-2001/2, CEPHEUS-Projektinformation Nr. 15, Passivhaus Institut, Darmstadt 2001.
- [Pfluger 2001a]** Pfluger, R., Feist, W., Kostengünstiger Passivhaus-Geschosswohnungsbau in Kassel Marbachshöhe: Projektdokumentation, Qualitätssicherung und Wirtschaftlichkeitsbetrachtung; Endbericht Juni 2001, Fachinformation PHI-2001/3, CEPHEUS-Projektinformation Nr. 16, Passivhaus Institut, Darmstadt 2001.
- [Pfluger 2001b]** Pfluger, R., Feist, W., Thermographische und strömungstechnische Untersuchung des Passivhaus-Geschosswohnungsbaus Kassel Marbachshöhe; Endbericht Juni 2001, Fachinformation PHI-2001/4, CEPHEUS-Projektinformation Nr. 17, Passivhaus Institut, Darmstadt 2001.
- [PHPP 1999]** Feist, W., Baffia, E.; Schnieders, J., Pfluger, R., Passivhaus Projektierungs Paket '99, Passivhaus Institut, 3. Überarbeitete Auflage, Darmstadt 2000.
- [Rockendorf 1997a]** Rockendorf, G., Solaranlagen für Passivhäuser. In: Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser, Protokollband Nr. 6, Haustechnik im Passivhaus, Passivhaus Institut, Darmstadt 1997.
- [Rockendorf 1997b]** Rockendorf, G., Bartelsen, B., Solare Warmwasserbereitung in Passivhäusern, Fachinformation PHI-1997/6, Passivhaus Institut, Darmstadt 1997.
- [Schnieders 1998]** Schnieders, J., Feist, W., Passivhaus-Reihenhäuser: Über die Zuluft beheizbar? Simulation des thermischen Gebäudeverhaltens bei Variation ausgewählter Parameter und bei Zuluftnachheizung. CEPHEUS-Projektinformation Nr. 5, Fachinformation PHI-1998/12, Passivhaus Institut, Darmstadt 1998.
- [Schnieders 1998a]** Schnieders, J., Such, M., Untersuchung der Luftdichtheit in der Niedrigenergie- und Passivhaussiedlung Lummerlund in Wiesbaden-Dotzheim"; Fachinformation PHI-1998/9, Passivhaus Institut, Darmstadt 1998.

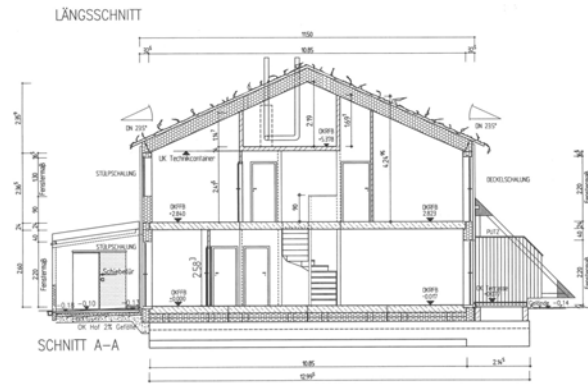
- [Schnieders 1999]** Schnieders, J.; Baumann, J. und Feist, W., Wärmebedarf und Komfort in einer Passivhaus-Altenwohnanlage, Ergebnisse einer dynamischen Gebäudesimulation am Beispiel des Bauprojekts Dietzenbach. CEPHEUS-Projektinformation Nr. 10, Passivhaus Institut, Darmstadt 1999.
- [Schnieders 1999a]** Schnieders, J., Feist, W., Für das Passivhaus geeignete Fenster; CEPHEUS-Projektinformation Nr. 9, Passivhaus Institut, Darmstadt 1999.
- [Schnieders 2001]** Schnieders, J., Feist, W., Pfluger, R., Kah, O., CEPHEUS – Wissenschaftliche Begleitung und Auswertung, Endbericht. CEPHEUS-Projektinformation Nr. 22, Passivhaus Institut, Darmstadt 2001.
- [Schnieders 2001a]** Schnieders, J., Betschart, W., Feist, W., Messung und Simulation von Raumluftrömungen in einem Passivhaus, HLH Heizung Lüftung/Klima Haustechnik 7/2001, Springer-VDI-Verlag 2001.
- [Solar 1999]** Büro für Solarmarketing: Studie zu Passivhäusern, unter www.solarmarketing.de
- [Stärz 1998]** Stärz, N., Kreuz, W., Vorbereitende Untersuchung zur Haustechnik in den Passivhäusern Hannover Kronsberg, Büro inPlan, Pfungstadt 1998.
- [Stärz 1999]** Stärz, N., Lüftungstechnik bei Reihenhaussiedlungen mit Passivhäusern, Protokollband Nr. 17 des Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser, Passivhaus Institut, Darmstadt 1999.
- [von Oesen 2001]** von Oesen, Matthias, Zwei Jahre Passivhaussiedlung Hannover-Kronsberg in Herausgeber erneuerbare Energien Kommunikations- und Informations GmbH Passiv Haus: 2001, Tagungsband, Reutlingen 2001
- [windwärts]** Windwärts Energie GmbH, Kunst und Windenergie, www.windwaerts.de.
- [Witt 1999]** Johannes Witt: "Passivhäuser: Nischenprodukt oder Zukunftsmarkt?-eine Marktpotentialstudie", in: Tagungsband 3. Passivhaustagung, Bregenz 1999.

8 Photos und Kurzdokumentationen der Projekte

CEPHEUS 01 Germany, Hannover-Kronsberg



Ansicht Süd



Längsschnitt

Projektbeschreibung

Adresse	D-30539 Hannover, Niedersachsen
Bauträger/Bauherr	Rasch & Partner GmbH, Dipl.-Ing. F. Rasch, Darmstadt
Architekt	Dipl.-Ing. Arch. P. Grenz, Dipl.-Ing. F. Rasch
Fachingenieure	Haustechnik: inPlan GmbH, Dipl.-Ing. N. Stärz, Pfungstadt
Bauzeit	Baubeginn: 01.09.1998, Fertigstellung: Dez. 1998
Gebäudetyp	Reihenhaus
Nutzung	Eigentumswohnungen
Zahl der Wohneinheiten	32 (4 Reihenhauszeilen mit jeweils 8 Häusern)
Wohnnutzfläche	3805 m ²
Konstruktion	
Konstruktionsart	Tragende Struktur und Giebelwände aus Betonfertigteilen, Außenwand und Dach als vorgefertigte Holzleichtbauelemente
Fenster u. Verglasung	3-Scheiben-Wärmeschutzverglasung, g-Wert: 60%, gedämmter Holz-Aluminium-Fensterrahmen
U-Werte (W/(m ² K))	Holzleichtbauwand: 0,13; massive Giebelwand: 0,10; Kellerdecke/Endhaus: 0,10; Kellerdecke/Mittelhaus: 0,13; Dach: 0,10; Verglasung: 0,75; Fensterrahmen: 0,57; Fenster gesamt: 0,83
Haustechnik	
Heizung	Zuluftnachheizung und Badheizkörper, Versorgung durch Fernwärme
Lüftung	Dezentrale kontrollierte Lüftung mit Wärmerückgewinnung aus der Abluft
Warmwasser	Solarkollektor (4 m ²) mit einem 300 l Speicher; solarer Deckungsgrad ca. 50%
Elektrogeräte	Beratung zu elektrischen Haushaltsgeräten und Förderung von hocheffizienten Energiespargeräten, Ausstattung jeder Wohnung mit einem an den Abluftstrang gekoppelten energiesparenden Trockenschrank
Energetische Kenngrößen	
Energiebezugsfläche (TFA)	Haustyp Jangster de Lüs (Mittelhaus und Endhaus): 119,5 m ² , Haustyp Jangster: 97 m ² , Haustyp "123": 75 m ²
Jahresheizwärme-verbrauch (gemessen)	15,3* kWh/(m ² a) *Der gemessene Wert wurde auf 20 °C Innentemperatur und ein Jahr umgerechnet.
Heizwärmebedarf (berechnet nach PHPP)	11,8 kWh/(m ² a)

CEPHEUS 02 Germany, Kassel



Baulos 1: Projekt HHS/ASP



Baulos 2: Projekt Schneider

Projektbeschreibung

Adresse	D-34131 Kassel, Hessen
Generalunternehmer	HOCHTIEF AG, Fuldaabrück
Bauherr	Gemeinnützige Wohnungsbaugesellschaft der Stadt Kassel (GWG)
Architekt	Baulos 1: Hegger/Hegger/Schleif (HHS), Kassel und ASP Planungs- und Bauleitungs-GmbH, Kassel Baulos 2: Prof. Dr. Schneider, Detmold
Fachingenieure	Statik: Klute & Klute, Kassel Haustechnik: Fa. InnovaTec Energiesysteme GmbH, Kassel
Bauzeit	Baubeginn: 28.4.99, Bezug im Mai/Juni 2000
Gebäudetyp	Geschosswohnungsbau
Nutzung	Sozialwohnungen
Zahl der Wohneinheiten	40 (Baulos 1: 23, Baulos 2: 17)
Wohnnutzfläche	3164 m ²
Konstruktion	
Konstruktionsart	Massivbau (Kalksandstein mit Wärmedämmverbundsystem)
Fenster u. Verglasung	Drei-Scheiben-Wärmeschutzverglasung, g-Wert: 42%, Fensterrahmen: PVC-Profil mit zusätzlicher Dämmschale innen und außen
U-Werte (W/(m ² K))	Außenwand: 0,13; Boden/Kellerdecke: 0,11; Dach: 0,11; Verglasung: 0,6; Fensterrahmen: 0,8; Fenster gesamt: 0,82
Haustechnik	
Heizung	Dezentrale Zuluftnacherwärmung über Heizregister, Badheizkörper, Wärmeversorgung durch Fernwärme
Lüftung	Semizentrale Lüftung mit Wärmerückgewinnung aus der Abluft (Zentrale Wärmeübertrager, dezentrale Ventilatoren)
Warmwasser	Zentrale Warmwasserbereitung, 800 l TWW-Speicher im Technikraum, Wärmeversorgung Fernwärme
Elektrogeräte	Energiesparberatung für die Bewohner
Energetische Kenngrößen	
Energiebezugsfläche (TFA)	Baulos 1: 1802 m ² Baulos 2: 1253 m ²
Jahresheizwärmeverbrauch (gemessen)	Baulos 1: 15,1* kWh/(m ² a), Baulos 2: nicht im Messprojekt *Der gemessene Wert wurde auf 20 °C Innentemperatur und ein Jahr umgerechnet.
Heizwärmebedarf (berechnet nach PHPP)	Baulos 1: 13,4 kWh/(m ² a) Baulos 2: 15,0 kWh/(m ² a)

CEPHEUS 03 Sweden, Göteborg



Ansicht: Süd

Projektbeschreibung

Adresse	S-427 42 Bildal
Bauträger/Bauherr	Egnahemsbolaget, Göteborg
Architekt	EFEM arkitektkontor, Arch. Hans Eek, Göteborg
Fachingenieure	Haustechnik: Bengt Dahlgren AB, Göteborg
Bauzeit	Erster Spatenstich: 31.12.1999, Fertigstellung: 01.05.2001
Gebäudetyp	Reihenhaus
Nutzung	Eigentumswohnungen
Zahl der Wohneinheiten	20 (zwei Reihenhauszeilen mit 4 bzw. 6 Häusern)
Wohnnutzfläche	ca. 2704 m ²
Konstruktion	
Konstruktionsart	Holzbauweise
Fenster u. Verglasung	Zweifach-Wärmeschutzverglasung mit vorgesetztem beschichtetem Glas, g-Wert: 40%, Holz-Fensterrahmen
U-Werte (W/(m ² K))	Außenwand: 0,08; Boden: 0,09; Dach: 0,07; Verglasung: 0,7; Fensterrahmen: keine Angaben; Fenster gesamt. 0,88
Haustechnik	
Heizung	Direkt elektrische Nachheizung der Zuluft
Lüftung	Balancierte Zu- und Abluft mit Wärmerückgewinnung aus der Abluft
Warmwasser	Solarkollektoren (5 m ²) und 500 l Speicher je Wohneinheit
Elektrogeräte	Normaler schwedischer Standard, jedoch mit energiesparenden Haushaltsgeräten
Energetische Kenngrößen	
Energiebezugsfläche (TFA)	2635 m ²
Jahresheizwärmeverbrauch (gemessen)	Für dieses Projekt liegen noch keine vollständigen Messdaten vor.
Heizwärmebedarf (berechnet nach PHPP)	12,4 kWh/(m ² a)

CEPHEUS 04 Austria, Egg



Ansicht: Südost



Ansicht: Nord

Projektbeschreibung

Adresse	A-6863 Egg, Vorarlberg
Bauträger/Bauherr	Kohler Wohnbau GmbH, Andelsbuch
Architekt	Fink & Thurnher, Bregenz
Fachingenieure	Haustechnik: Michael Gutbrunner, Dornbirn
Bauzeit	Baubeginn: Dez. 1999, Fertigstellung: Sept. 2000
Gebäudetyp	Mehrfamilienhaus
Nutzung	Eigentumswohnungen
Zahl der Wohneinheiten	4
Wohnnutzfläche	400 m ²

Konstruktion

Konstruktionsart	Massivbau (Ziegelmauerwerk mit Wärmedämmverbundsystem)
Fenster u. Verglasung	3-Scheiben-Wärmeschutzverglasung, g-Wert: 53%, Standard-Holz-Fensterrahmen
U-Werte (W/(m ² K))	Außenwand: 0,12; Boden: 0,14; oberste Decke: 0,10; Verglasung: 0,7; Fensterrahmen: 1,25; Fenster gesamt: 0,85

Haustechnik

Heizung	Vorwärmung der Frischluft durch Erdreichwärmetauscher, Fußbodenheizung mittels Wärmepumpe (Erdreichabsorber)
Lüftung	Dezentrale kontrollierte Be- und Entlüftung mit Wärmerückgewinnung aus der Abluft
Warmwasser	Solarkollektor (35 m ²), zwei 1000 l Speicher
Elektrogeräte	Beratung der Bewohner, energiesparende Haushaltsgeräte kamen nur teilweise zum Einsatz

Energetische Kenngrößen

Energiebezugsfläche (TFA)	310 m ²
Jahresheizwärmeverbrauch (gemessen)	24,5* kWh/(m ² a) *Der gemessene Wert wurde auf 20 °C Innentemperatur und ein Jahr umgerechnet.
Heizwärmebedarf (berechnet nach PHPP)	15,7 kWh/(m ² a)

CEPHEUS 05 Austria, Hörbranz



Ansicht: Süd



Ansicht: Ost

Projektbeschreibung

Adresse	A- 6912 Hörbranz, Vorarlberg
Bauherrngemeinschaft	Hofer/Österle/Amann
Architekt	Ing. Richard Caldonazzi, Frastanz
Fachingenieure	Haustechnik: Ing. Christof Drexel, Bregenz
Bauzeit	Baubeginn: Okt. 1998, Fertigstellung: Juni 1999
Gebäudetyp	Reihenhaus
Nutzung	Eigentumswohnungen
Zahl der Wohneinheiten	3
Wohnnutzfläche	394 m ²

Konstruktion

Konstruktionsart	Massivbau (Ziegelmauerwerk mit Wärmedämmverbundsystem aus Kork)
Fenster u. Verglasung	3-Scheiben-Wärmeschutzverglasung, g-Wert: 47%, Holz-Fensterrahmen
U-Werte (W/(m ² K))	Außenwand: 0,10; Kellerdecke: 0,11; Dach: 0,09; Verglasung: 0,6; Fensterrahmen: 1,12; Fenster gesamt: 0,83

Haustechnik

Heizung	Vorwärmung der Frischluft durch Erdreichwärmetauscher, Nachheizung der Zuluft über einen Wasser/Luft-Wärmetauscher, Wärmepumpe bzw. Gastherme als Notheizung
Lüftung	Kontrollierte Be- und Entlüftung mit Wärmerückgewinnung aus der Abluft
Warmwasser	Fassadenintegrierter Solarkollektor (18 m ² pro Haus) mit ca. 3000 l Pufferspeicher
Elektrogeräte	Es werden überwiegend Stromspargeräte eingesetzt

Energetische Kenngrößen

Energiebezugsfläche (TFA)	381 m ²
Jahresheizwärmeverbrauch (gemessen)	7,5* kWh/(m ² a) *Der gemessene Wert wurde auf 20 °C Innentemperatur und ein Jahr umgerechnet.
Heizwärmebedarf (berechnet nach PHPP)	13,8 kWh/(m ² a)

CEPHEUS 06 Austria, Wolfurt



Ansicht: Süd



Ansicht: Ost

Projektbeschreibung

Adresse	A-6922 Wolfurt, Vorarlberg
Bauträger/Bauherr	Errichtergemeinschaft Passivhaus Wolfurt-Oberfeld
Architekt	Dipl.-Ing. Gerhard Zweier, Wolfurt
Fachingenieure	Haustechnik: GMI Gasser&Messner-Ingenieure, Dornbirn und Christof Drexel, Bregenz Bauphysik: Architekturbüro Dr. Lothar Künz, Hard
Bauzeit	Baubeginn: Feb. 1999, Fertigstellung: Dez. 1999
Gebäudetyp	Mehrfamilienhaus (2 baugleiche Gebäude)
Nutzung	Eigentumswohnungen: 8 Wohnungen, ein Büro, ein Atelier
Zahl der Wohneinheiten	10
Wohnnutzfläche	1300 m ²

Konstruktion

Konstruktionsart	Mischbauweise: Stahlskelettkonstruktion mit Stahlbetondecken und aussteifenden Betonscheiben, Außenwände aus vorgefert. Holzelementen
Fenster u. Verglasung	3-Scheiben-Wärmeschutzverglasung, g-Wert: 53%, Holz-Fensterrahmen mit innerer PU-Recyclingwerkstoff-Dämmschicht
U-Werte (W/(m ² K))	Außenwand 1: 0,12; Außenwand 2: 0,16; Kellerdecke: 0,10; Dach: 0,09; Verglasung: 0,70; Fensterrahmen: 1,0; Fenster gesamt: 0,82

Haustechnik

Heizung	Nachheizung über WW-Register aus dem zentralen Pufferspeicher, der von einem Pelletsheizkessel und einer Solaranlage beheizt wird.
Lüftung	Dezentrale kontrollierte Be- und Entlüftung mit Erdreichwärmetauscher und Wärmerückgewinnung aus der Abluft
Warmwasser	Solarkollektor (gesamt: 62 m ²), 2500 l Kombispeicher je Gebäude
Elektrogeräte	Stromspargeräte sind vorgesehen

Energetische Kenngrößen

Energiebezugsfläche (TFA)	1296 m ²
Jahresheizwärmeverbrauch (gemessen)	15,7* kWh/(m ² a) *Der gemessene Wert wurde auf 20 °C Innentemperatur und ein Jahr umgerechnet.
Heizwärmebedarf (berechnet nach PHPP)	13,5 kWh/(m ² a)

CEPHEUS 07 Austria, Dornbirn



Ansicht: Süd



Ansicht: Südost

Projektbeschreibung

Adresse	A-6850 Dornbirn, Vorarlberg
Bauherr	Fussenegger & Rümmele GmbH, Dornbirn
Architekt	www.fuerrot.at, Götzis
Fachingenieure	Haustechnik: Drexel Solarlufttechnik und Lüftungsbau GmbH, Bregenz Bauphysik: Architekturbüro Dr. Lothar Künz, Hard
Bauzeit	Baubeginn: April 1999, Fertigstellung: Okt. 1999
Gebäudetyp	Einfamilienhaus
Nutzung	Musterhaus
Zahl der Wohneinheiten	1
Wohnnutzfläche	124,6 m ²

Konstruktion

Konstruktionsart	Mischbauweise: Stahlskelett und Stahlbetondecken, vorgefertigte Holzleichtbau-Wandelemente
Fenster u. Verglasung	3-Scheiben- Wärmeschutzverglasung, g-Wert: 53%, Holz-Fensterrahmen
U-Werte (W/(m ² K))	Außenwand 1: 0,12 Außenwand 2: 0,09; Boden: 0,14; Dach: 0,10; Verglasung: 0,70; Fensterrahmen: 1,5; Fenster gesamt: 0,89

Haustechnik

Heizung	Vorwärmung der Frischluft durch Erdreichwärmetauscher, Zuluft-nachheizung durch die Luft-Luft/Wasser-Wärmepumpe des Lüftungs-Kompaktgerätes
Lüftung	Kontrollierte Be- und Entlüftung mit Wärmerückgewinnung aus der Abluft
Warmwasser	Solarkollektor (6 m ²), 190 l Brauchwasserspeicher (integriert in das Lüftungs-Kompaktgerät) gespeist von der Luft-Luft/Wasser-Wärmepumpe bzw. direkt elektrisch (falls erforderlich)
Elektrogeräte	Keine Angaben

Energetische Kenngrößen

Energiebezugsfläche (TFA)	125 m ²
Jahresheizwärme-verbrauch (gemessen)	33,2* kWh/(m ² a) *Der gemessene Wert wurde auf 20 °C Innentemperatur und ein Jahr umgerechnet.
Heizwärmebedarf (berechnet nach PHPP)	19,7 kWh/(m ² a)
Heizwärmebedarf (berechnet nach PHPP)	19,7 kWh/(m ² a)

CEPHEUS 08 Austria, Gnigl



Ansicht: Nordwest



Ansicht: Südost

Projektbeschreibung

Adresse	A-5020 Salzburg-Gnigl, Salzburg
Bauherr	Heimat Österreich, Salzburg
Architekt	Atelier 14, Mag. Erich Wagner, Mag. Walter Scheicher, Salzburg
Fachingenieure	Haustechnik: Eco Energie-Systeme, Dornbirn Bauphysik: Energie und Bau Institut, Dr. Georg Stahl, Salzburg
Bauzeit	Baubeginn: Nov. 99, Fertigstellung: Sept. 2000
Gebäudetyp	Mehrfamilienhaus
Nutzung	Sozialwohnungen
Zahl der Wohneinheiten	6
Wohnnutzfläche	332 m ²

Konstruktion

Konstruktionsart	Stahlbetonschottenbauweise, Außenwände als selbsttragende Leichtbaukonstruktion
Fenster u. Verglasung	Spezialverbundglas mit Kryptonfüllung, Glasfassade ist schall- und wärmetechnisch optimiert, g-Wert: 47%, mit Kork gedämmter Holz-Aluminium-Fensterrahmen
U-Werte (W/(m ² K))	Außenwand: 0,11; Kellerdecke: 0,13; Dach: 0,10; Verglasung: 0,6; Fensterrahmen: 0,8; Fenster gesamt: 0,77

Haustechnik

Heizung	Kombiniertes Luft- und Flächenheizsystem, zentraler 3200 l Pufferspeicher gespeist von Pelletskessel und Solarkollektor (20 m ²)
Lüftung	Dezentrale kontrollierte Lüftung mit Wärmerückgewinnung aus der Abluft
Warmwasser	Solarkollektor und Pelletskessel speisen den zentralen Pufferspeicher
Elektrogeräte	Keine Angaben vorhanden

Energetische Kenngrößen

Energiebezugsfläche (TFA)	328 m ²
Jahresheizwärmeverbrauch (gemessen)	25,7* kWh/(m ² a) *Der gemessene Wert wurde auf 20 °C Innentemperatur und ein Jahr umgerechnet.
Heizwärmebedarf (berechnet nach PHPP)	18,0 kWh/(m ² a) (unverschattet) 24,0 kWh/(m ² a) (reale Verschattung)

CEPHEUS 09 Austria, Kuchl



Ansicht Hofseite



Ansicht Block A

Projektbeschreibung

Adresse	A-5431 Kuchl, Salzburg
Generalunternehmer	Spiluttini Bau GmbH, Schwarzach
Bauträger/Bauherr	Bau Sparer Heim Siedlungsgemeinschaft, Salzburg
Architekt	Eigenplanung Bau Sparer Heim, Salzburg
Fachingenieure	Haustechnik: Team Pongau 3: Spiluttini-Kraner-Burgschwaiger Bauphysik: Dipl.-Ing. Erich Six, Salzburg
Bauzeit	Baubeginn: Juli 1999, Fertigstellung: Juni 2000
Gebäudetyp	Mehrfamilienhaus
Nutzung	Sozialer Wohnungsbau
Zahl der Wohneinheiten	25
Wohnnutzfläche	1818 m ²
Konstruktion	
Konstruktionsart	Mischbau: Stahlbetondecken auf Stahlstützen, vorgestellte Außenwände in Holzleichtbaukonstruktion, Gebäude teilweise unterkellert
Fenster u. Verglasung	3-Scheiben-Wärmeschutzverglasung, g-Wert: 50%, Holz-Fensterrahmen mit Holzwerkstoffdämmung
U-Werte (W/(m ² K))	Außenwand: 0,13; Boden: 0,15; Dach: 0,10; Verglasung: 0,70; Fensterrahmen: 0,73; Fenster gesamt: 0,8
Haustechnik	
Heizung	Holzpellets-Heizung und Solarkollektor (75 m ²) speisen einen zentralen 3000 l Pufferspeicher für Raumwärme und Warmwasser, Wärmeabgabe in den Wohnungen über Niedertemperaturradiatoren
Lüftung	Kontrollierte Be- und Entlüftung mit Wärmerückgewinnung aus der Abluft
Warmwasser	150 l Brauchwasserspeicher je Wohnung, versorgt vom zentralen Pufferspeicher
Elektrogeräte	Energiesparende Haushaltsgeräte, PV-Anlage (300 Wp) für den Pumpstern der thermischen Solaranlage
Energetische Kenngrößen	
Energiebezugsfläche (TFA)	1798 m ²
Jahresheizwärmeverbrauch (gemessen)	14,3* kWh/(m ² a) *Der gemessene Wert wurde auf 20 °C Innentemperatur und ein Jahr umgerechnet.
Heizwärmebedarf (berechnet nach PHPP)	15,1 kWh/(m ² a)

CEPHEUS 10 Austria, Hallein



Perspektive

Projektbeschreibung

Adresse	A-5400 Hallein, Salzburg
Bauträger/Bauherr	Experta Wohnbau-GmbH, Hallein
Architekt	Otmar Essl, Hallein
Fachingenieure	Haustechnik: Erich Pusterhofer, Fürstenbrunn Bauphysik: Dipl.-Ing. Lukas & Dipl.-Ing. Fischer, Salzburg-Wals
Bauzeit	Baubeginn: Okt. 1999, Fertigstellung: Dez. 2000
Gebäudetyp	Mehrfamilienhaus (4 Gebäude, angeordnet um einen Innenhof)
Nutzung	Eigentumswohnungen
Zahl der Wohneinheiten	31
Wohnnutzfläche	2335 m ²
Konstruktion	
Konstruktionsart	Mischbauweise: Stahlbetonskelettbauweise kombiniert mit Holzrahmenbauweise (3-schalige Wandkonstruktion), insgesamt 38 cm Dämmung (EPS und Mineralwolle)
Fenster u. Verglasung	3-fach Wärmeschutzverglasung, g-Wert: 53%, mit PU ausgeschäumter PVC-Fensterrahmen
U-Werte (W/(m ² K))	Außenwand 1: 0,11; Außenwand 2: 0,16; Boden: 0,11; obere Decke: 0,11; Verglasung: 0,70; Fensterrahmen: 0,75; Fenster gesamt: 0,79
Haustechnik	
Heizung	Restheizung: Holzpellets-Kessel und Solarkollektor (120 m ²), 5000 l Pufferspeicher, Verteilung durch Niedertemperatur-Zentralheizung
Lüftung	Kontrollierte Be- und Entlüftung mit Wärmerückgewinnung aus der Abluft
Warmwasser	Holzpellets-Kessel und Solarkollektor speisen zentralen 5000 l Pufferspeicher
Elektrogeräte	Einbau energiesparender Geräte ist vorgesehen
Energetische Kenngrößen	
Energiebezugsfläche (TFA)	2318 m ²
Jahresheizwärmeverbrauch (gemessen)	Für dieses Projekt sind noch keine Messdaten verfügbar.
Heizwärmebedarf (berechnet nach PHPP)	13,9 kWh/(m ² a)

CEPHEUS 11 Austria, Horn



Ansicht Süd



Ansicht Nordost

Projektbeschreibung

Adresse	A-3580 Horn, Niederösterreich
Bauherr	Buhl Bauunternehmens GmbH
Architekt	Dr. Dipl.-Ing. Martin Treberspurg, Wien
Fachingenieure	Bauphysik: Dipl.-Ing. Wilhelm Hofbauer, Wien
Bauzeit	Baubeginn: April 1999, Fertigstellung: Frühjahr 2000
Gebäudetyp	Einfamilienhaus
Nutzung	Eigentum
Zahl der Wohneinheiten	1
Wohnnutzfläche	179 m ²
Konstruktion	
Konstruktionsart	Fertigteilhaus in Mischbauweise, Teile der Außenwände (O,W,N) als Mauerwerk ausgeführt, sonst vorgefertigte Holzelemente mit Zellulosedämmung
Fenster u. Verglasung	3-Scheiben-Wärmeschutzverglasung, g-Wert: 53%, Holz-Fensterrahmen (weit überdämmt)
U-Werte (W/(m ² K))	Außenwand: 0,10; Kellerdecke: 0,13; Dach: 0,09; Fenster gesamt: 0,80
Haustechnik	
Heizung	Vorwärmung der Frischluft durch Erdreichwärmetauscher, Holzpelletsofen und Solarkollektor (10 m ²) speisen einen 800 l Pufferspeicher (mit innenliegendem 200 l Brauchwasserspeicher), Zuluftnachheizung und Wandheizflächen (EG, OG, Bad) werden vom Pufferspeicher versorgt
Lüftung	Kontrollierte Be- und Entlüftung mit Wärmerückgewinnung aus der Abluft
Warmwasser	200 l Speicher (in den Pufferspeicher integriert)
Elektrogeräte	Stromspargeräte sind vorgesehen
Energetische Kenngrößen	
Energiebezugsfläche (TFA)	173 m ²
Jahresheizwärmeverbrauch (gemessen)	29,0* kWh/(m ² a), (erster Winter, vor endgültiger Fertigstellung) *Der gemessene Wert wurde auf 20 °C Innentemperatur und ein Jahr umgerechnet.
Heizwärmebedarf (berechnet nach PHPP)	16,2 kWh/(m ² a)

CEPHEUS 12 Austria, Steyr



Ansicht Südost



Ansicht Nord

Projektbeschreibung

Adresse	A-4407 Steyr-Dietach, Oberösterreich
Bauträger/Bauherr	Procon Gesellschaft für Dorf- und Regionalentwicklung, Dietach
Architekt	Procon, Ing. Ganglberger, Dietach
Fachingenieure	Haustechnik: Energie-Institut, G. Baumgartner, P. Hausdörfer, Linz
Bauzeit	Baubeginn: Sept. 1999, Fertigstellung: Feb. 2000
Gebäudetyp	Reihenhaus
Nutzung	Eigentum/Miete
Zahl der Wohneinheiten	3
Wohnnutzfläche	512 m ²
Konstruktion	
Konstruktionsart	Massivbau (Kalksandstein mit Wärmedämmverbundsystem)
Fenster u. Verglasung	3-Scheiben-Wärmeschutzverglasung, g-Wert: 53%, mit PU ausgeschäumter PVC-Fensterrahmen
U-Werte (W/(m ² K))	Außenwand: 0,13; Kellerdecke: 0,12; Dach: 0,09; Verglasung: 0,70; Fensterrahmen: 0,75; Fenster gesamt: 0,77
Haustechnik	
Heizung	Vorwärmung der Frischluft durch Erdreichwärmetauscher, Gastherme und Solarkollektor (5,4 m ²) speisen den 390 l Pufferspeicher, der die Zuluftnachheizung versorgt
Lüftung	Kontrollierte Be- und Entlüftung mit Wärmerückgewinnung aus der Abluft
Warmwasser	Versorgung durch den 390 l Pufferspeicher
Elektrogeräte	Energiespargeräte sind vorgesehen
Energetische Kenngrößen	
Energiebezugsfläche (TFA)	467 m ²
Jahresheizwärmeverbrauch (gemessen)	18,1* kWh/(m ² a) *Der gemessene Wert wurde auf 20 °C Innentemperatur und ein Jahr umgerechnet.
Heizwärmebedarf (berechnet nach PHPP)	12,3 kWh/(m ² a)

CEPHEUS 13 Switzerland, Nebikon



Ansicht Südseite



Vogelperspektive

Projektbeschreibung

Adresse	CH-6244 Nebikon, Luzern
Bauherr	Renggli AG, Schötz
Architekt	Susan Amrhein, Renggli AG, Schötz ASP Architektur und Bauleitungs GmbH, Kassel Baulos 2: Prof. Dr. Schneider, Detmold
Fachingenieure	Haustechnik: bw Haustechnik AG, Prof. W. Betschart, Hünenberg
Baubeginn, Bauzeit Fertigstellung	Baubeginn: Mai 1999; Fertigstellung: Nov. 1999
Gebäudetyp	Reihenhaus
Nutzung	Eigentum
Zahl der Wohneinheiten	5
Wohnnutzfläche	641 m ²
Konstruktion	
Konstruktionsart	Holzbau
Fenster u. Verglasung	3-Scheiben-Wärmeschutzverglasung, g-Wert: 42%, Holz-Aluminium-Fensterrahmen
U-Werte (W/(m ² K))	Außenwand: 0,11; Boden: 0,11; Dach: 0,11; Verglasung: 0,6; Fensterrahmen: 1,2; Fenster gesamt: 0,88
Haustechnik	
Heizung	Vorwärmung der Frischluft durch Erdreichwärmetauscher, Lüftungs-Kompaktgerät mit Luft-Luft/Wasser-Wärmepumpe für die Zuluft-nachheizung und die Warmwasserbereitung
Lüftung	Kontrollierte Be- und Entlüftung mit Wärmerückgewinnung aus der Abluft
Warmwasser	Brauchwasser-Speicher wird von der Wärmepumpe des Lüftungs-Kompaktgerätes bzw. direkt-elektrisch beheizt
Elektrogeräte	Einsatz von Geräten mit sehr niedrigem Energiebedarf
Energetische Kenngrößen	
Energiebezugsfläche (TFA)	613 m ²
Jahresheizwärme-verbrauch (gemessen)	21,0* kWh/(m ² a) *Der gemessene Wert wurde auf 20 °C Innentemperatur und ein Jahr umgerechnet.
Heizwärmebedarf (berechnet nach PHPP)	15,0 kWh/(m ² a)

CEPHEUS 14 France, Rennes



Ansicht: Südost



Ansicht Süd

Projektbeschreibung

Adresse	F-35000 Rennes
Bauherr	COOP de Construction, 35043 Rennes Cedex
Architekt	Jean-Yves Barrier, F-37000 Tours
Fachingenieure	Haustechnik: O.A.S.I.I.S, F-13685 Aubagne Cedex
Bauzeit	Baubeginn: Oktober 1999, Fertigstellung: März 2001
Gebäudetyp	Geschosswohnungsbau
Nutzung	Eigentumswohnungen
Zahl der Wohneinheiten	40

Konstruktion

Konstruktionsart	Tragende Konstruktion als Stahlbetonskelettbau; südliche Außenwand als Lehmwand (EG bis 3.OG); sonstige Außenwände in Holzbauweise
Fenster u. Verglasung	2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung, g-Wert: 64%, Standard-Holz-Fensterrahmen
U-Werte (W/(m ² K))	Lehm-Außenwand: 0,77; Außenwand in Holzbauweise: 0,19; Boden: 0,18; Dach: 0,27; Verglasung: 1,3; Fensterrahmen: 1,5; Fenster gesamt: 1,9

Haustechnik

Heizung	Zuluftnachheizung versorgt durch Fernwärme, direkt-elektrische Heizung (Strahler) in jedem Raum für die Regelung der Raumtemperatur
Lüftung	Lüftungsgerät mit zentralem Wärmetauscher zur Rückgewinnung der Wärme aus der Abluft
Warmwasser	Der 1500 l Brauchwasserspeicher wird beheizt durch Fernwärme und den vom Solarkollektor (81 m ²) gespeisten 4000 l Pufferspeicher.
Elektrogeräte	Beratung, Förderung von max. 3 Geräten, 3 Energiesparlampen kostenlos

Energetische Kenngrößen

Energiebezugsfläche (TFA)	2601 m ²
Jahresheizwärmeverbrauch (gemessen)	Für dieses Projekt liegen noch keine Messergebnisse vor.
Heizwärmebedarf (berechnet nach PHPP)	27,2 kWh/(m ² a)

9 Anhänge

9.1 Berechnung der Energiebezugsfläche TFA (zu Abschnitt 2.4.7.1)

In den verschiedenen europäischen Ländern gibt es die unterschiedlichsten Berechnungsverfahren zur Bezugsflächenermittlung. Daher wurde am Passivhaus Institut ein vereinheitlichtes Verfahren zur Ermittlung der Energiebezugsfläche (Treated Floor Area, TFA) erarbeitet. Die in anderen Projekten und Anforderungen häufig als Bezugsfläche verwendete Bruttogeschossfläche ist etwa doppelt so groß, daraus ergeben sich dann entsprechend kleinere Energiekennwerte. Dies ist bei der Interpretation der angegebenen Daten zu beachten.

Die Berechnungsvorschrift für die TFA orientiert sich an der deutschen II. Berechnungsverordnung zur Ermittlung der Wohnfläche. Sie wurde in einigen Punkten vereinfacht und an die Erfordernisse der Energiebilanzierung angepasst. Beheizte Nebenräume werden in diesem Verfahren berücksichtigt.

1. Zur Berechnung der TFA ist zunächst die thermische Hülle festzulegen. Sie wird durch die Außenoberflächen der wärmedämmten Außenbauteile gebildet. Die thermische Hülle enthält alle beheizten Räume. Sie bildet zugleich die Bilanzgrenze für die Energiebilanz. In die TFA gehen nur Flächen innerhalb der thermischen Hülle ein.
- 2.1 Die TFA einer Wohnung oder eines Hauses ist die Summe der TFA's der zur Wohnung gehörenden Wohnräume. Als Wohnraum gelten alle Räume innerhalb einer Wohneinheit, die entweder oberirdisch gelegen sind oder deren Fensterfläche mindestens 10 % der Grundfläche ausmacht. Treppen mit mehr als 3 Stufen, Treppenabsätze und Aufzüge zählen nicht zum Wohnraum.
- 2.2 Keller, Technikräume u.ä. innerhalb der thermischen Hülle, die keine Wohnräume sind, werden zur Hälfte berechnet.
3. Berechnung der Grundfläche:
 - 3.1 Die Grundfläche eines Raumes wird aus den Rohbaumaßen ermittelt. Ein Abzug für Putz usw. ist nicht vorzunehmen.
 - 3.2 Als Rohbaumaße sind die lichten Maße zwischen den Wänden anzusetzen ohne Berücksichtigung von Wandgliederungen, Wandbekleidungen, Fuß- und Scheuerleisten, Öfen, Heinkörpern usw.
4. Schornsteine, Pfeiler, Säulen usw. mit weniger als 0,1 m² Grundfläche werden nicht von der EBF abgezogen.
5. Tür- und Fensternischen werden nicht berücksichtigt.
6. Schrägen:
 - 6.1 Raumteile mit einer lichten Höhe von mindestens 2 Metern werden voll angerechnet.
 - 6.2 Raumteile mit einer lichten Höhe von mindestens 1 und weniger als 2 Metern werden zur Hälfte angerechnet.
 - 6.3 Raumteile mit einer lichten Höhe unter 1 Meter werden nicht angerechnet.

Die hier vorgelegten Ergebnisse mussten für alle Projekte außer 01-Hannover und 02-Kassel vor Vorliegen der Projekt-Einzelberichte erarbeitet werden. Nicht in allen Fällen werden die nachfolgend angegebenen Ergebnisse mit denen aus den Projekt-Einzelberichten exakt übereinstimmen. Gründe für mögliche Abweichungen sind beispielsweise andere ausgewertete Zeiträume, andere Bezugsflächen (Wohnnutzfläche, Bruttogeschossfläche) oder die ausschließliche Berücksichtigung der tatsächlich bewohnten Wohnungen.

9.2 Übersicht über Architekten, Planer, Hersteller

Projekt	Aufgabe	Name	Institution	Stable	Ort	Land	Telefon	Fax	Email
T-Hannover	Gesamtkoordination	Götg, Manfred	Stadtwerke Hannover	Inneplatz 2	30439 Hannover	D	0049/511/430-2784	0049/511/430-1846	manfred.goesg@enercity.de
		von Oesen, Matthias	Stadtwerke Hannover				0049/511/430-2170		matthias.vonoesen@enercity.de
3-Götting	CEPHEUS-Partner	Eek, Hans	Göttinger Energi AB	Box 53	401 20 Götting	S	0046/3/22/63766	0046/3/1626-885	hans.eek@gotborgenergi.se
	Verantwortlich für Messungen	Eek, Hans (privat)	Arkitekt Hans Eek	Finnska gatan 25 D	441 56 Alingsås	S	0046/3/22/63766	0046/3/22/639077	hans.eek@telia.com
	Simulationen, Berechnungen, Fe/Maria Wall Tekn Dr.	Rud, Svein, Lundin, Leif	SP, Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut	Box 857	501 15 Borås	S	0046/3/33/165-000	0046/3/33/19179	svein.rud@sp.se
	Berechnungen, Fundament, Kält	Carl Eric Hagentoft Prof.	EBD, Energy and Building Design, LTH	Box 118	221 00 Lund	S	0046/46/22/29662	0046/46/22/24719	maria.wall@ebd.lth.se
	Bauherr:	Bertil Rignäs	Building Physics, Chalmers		412 96 Götting	S			
		Mats Ojersjö	Egnahemsbolaget	Garniestadvägen 18 A	413 02 Götting	S	0046/3/17077000	0046/3/17077029	bertil.rignas@egnahemsbolaget.gotborg.se
		Birger Lindgren	Egnahemsbolaget	Garniestadvägen 18 A	413 02 Götting	S	0046/3/17077000	0046/3/17077029	mats.ojersjo@egnahemsbolaget.gotborg.se
		Gunnar Tejlerdahl	PEAB	401 80 Götting	401 80 Götting	S	0046/3/17008420	0046/3/17008420	birger.lindgren@peab.se
		EFEM arkitektkontor	EFEM, Architect	Heurlins Plats 1	413 01 Götting	S	0046/3/1743 80 30	0046/3/1743 80 39	efem@efem.nu
	Architekt, Projektierungsleiter:	Henrik Karlsson	KM, Stats konsultant	Box 331	401 25 Götting	S	0046/3/17272677	0046/3/17272501	henrik.karlsson@km.se
	Statik:	Göran Andersson	Bergt Dattigren AB, VVS-konsultant	Regnbågsgatan 8B	417 55 Götting	S	0046/3/17202501	0046/3/17202501	goran.andersson@bergdattigren.se
	Fachplaner Haus Technik	Slig, Johansson	Probleko, Electric consultant	Box 6224	400 60 Götting	S	0046/3/184 47 20	0046/3/184 73 41	slig.johansson@probleko.se
	Fachplaner/Elektro	Bo Wiklund	Landskapsgruppen AB, Garden consultant	Vesatgatan 2B	416 64 Götting	S			
	Landchaftsplanung	Boeije, Tempier	Temovex	Kanonhallen 55	6881 Mellau	A	0043/551/161 73 52		
	Lüftungsanlage	Morscher	Morscher Hausbau	Klaus 303a	6881 Mellau	A	0043/551/1826654		morscher.hausbau@aon.at
4-Egg VA	Hauptansprechpartner (VK)	Morscher Günther	Köhler Wohnbau GmbH	Hof 512	6860 Andelsbuch	A	0043/551/2336-15	0043/551/2336-71	
	Bauträger/Bauherr	Fink, Josef	DI Jofel Fink & DI Markus Thunher	Bahnstr. 7	6860 Andelsbuch	A	0043/5574/52250-4		
	Architekt	Gutbrunner, Michael	Technisches Büro Gutbrunner	Robert-Schumann-Str. 9b	6850 Dornbirn	A	0043/5572/35191-0		fbgutbrunner@telemax.at
	Fachplaner/Haus Technik	Ritter, Gerhard	Technisches Büro Ritter	Bühel 440	6866 Andelsbuch	A	0043/551/24884	0043/551/24884	
	Fachplaner/PHPP	Meusburger, Willi	Technisches Büro Ritter	Auf der Scheibe 552	6870 Bezaun	A	0043/551/43220	0043/551/42480	
	Fachplaner/Elektroplanung								
5-Horbraz VA	Hauptansprechpartner	Caldonazzi & Hopp (Mitarbeiter)	Bauherrengemeinschaft						
	Bauträger/Bauherr	Hofer/Osterer/Amann	Caldo Bau GmbH	Alter Burgweg 446	6712 Thuringen	A	0043/5550/3600	DW -4	richard.caldonazzi@vol.at
	Architekt	Caldonazzi, Richard	Drexel Solarluftechnik + Lüftungsbau GmbH	Alter Burgweg 446	6712 Thuringen	A	0043/5550/3600	DW -4	richard.caldonazzi@vol.at
	Fachplaner/Haus Technik	Drexel, Christof	Drexel Solarluftechnik + Lüftungsbau GmbH	St.-Ana-Str. 444	6712 Thuringen	A	0043/5550/3464		
	Fachplaner/Elektroplanung	Rützler, Harald	Drexel, Christof						
	Hauptansprechpartner	Drexel, Christof	Milerrichtergemeinschaft PH Wolfurt	Kemmelbacherstraße 34	6900 Bregenz	A	0043/5574/1856-8	0043/5574/1856-7	solarluftechnik@drexel.vol.at
	Bauträger/Bauherr	Zweier, Gerhard	im Dorf 8	6900 Bregenz	6900 Bregenz	A	0043/5574/704021	0043/5574/704024	gz@zweier.vol.at
	Architekt	Gasser, Bernhard	Schulgasse 22	6850 Dornbirn	6850 Dornbirn	A	0043/5572/337777	0043/5572/337777	
	Fachplaner/Haus Technik	Weithas, Bernhard	GMI - Gasser & Messner Ingenieure	Markstraße 3	6971 Hard	A	0043/5574/77851	0043/5574/61689	
	Fachplaner/Bauphysik	Weusburger, Willi	Architekturbüro Dr. Lothar Künz	Auf der Scheibe 552	6870 Bezaun	A	0043/551/43220	0043/551/42480	
	Fachplaner/Elektroplanung	Gehner, Ingo	Eichenweg 11	6973 Höchst	6973 Höchst	A	0043/5578/72093-0	0043/5578/72093-0	
7-Dornbirn VA	Hauptansprechpartner	Rümmele, Simon	Fussenegger & Rümmele GmbH	Güterstraße 5	6850 Dornbirn	A	0043/5572/24381	0043/5572/24381-20	
	Bauträger/Bauherr	Rümmele, Simon	Fussenegger & Rümmele GmbH	Güterstraße 5	6850 Dornbirn	A	0043/5572/24381	0043/5572/24381-20	
	Architekt	Drexel, Christof	Drexel Solarluftechnik + Lüftungsbau GmbH	Kemmelbacherstraße 36	6900 Bregenz	A	0043/5574/1856-8	0043/5574/1856-7	solarluftechnik@drexel.vol.at
	Fachplaner/Haus Technik	Weithas, Bernhard	Architekturbüro Dr. Lothar Künz	Markstraße 3	6971 Hard	A	0043/5574/77851	0043/5574/61689	lothar.kuenz@vol.at
	Fachplaner/Bauphysik	Hiebeler, Helmut	Hochsteigstr. 10				0043/5573/82228-0	0043/5573/82228-10	
	Fachplaner/Elektroplanung	Heiberger & Scheicher	Heiberger & Scheicher						
8-Gnigl SB	Bauträger/Bauherr (VK)	Heiberger, Alfred	Heimat Österreich	L.V.Keuschach Str. 4	5020 Salzburg	A	0043/662/43752-1-0	0043/662/43752-1-39	
	Architekt	Scheicher, Walter	Alteiler 14	Franz-Haltinger-Str. 14	5020 Salzburg	A	0043/662/640395-0	0043/662/643420	
	Fachplaner/Bauphysik	Stahl, Georg Dr.	Energie und Bau Institut	Bergstraße 22	5020 Salzburg	A	0043/662/875837	0043/662/875837	
	Fachplaner/IGA	Burggraf	Technisches Büro Burggraf	5020 Salzburg	5020 Salzburg	A	0043/662/6208470		
	Fachplaner/Haus Technik	Schöpf, Walter	Eco Energie systems gmbh & co	Am Müllerbach 4a	6850 Dornbirn	A	0043/5572/1378	0043/5572/1378-4	contract.ecoenergie@vol.at
	Fachplaner/Elektroplanung	Morokutti, Bernhard	ETS Planungsbüro für Elektrotechnik	Hauptstr. 35	6974 Geissau	A	0043/6582/73410	DW -14	systeme.ecoenergie@vol.at
	Fachplaner/Elektroplanung	Salzmair, Klaus	ETS Planungsbüro für Elektrotechnik	Lofenerstr. 9	5760 Salzfelden	A	0043/6582/73410	DW -14	
9-Kuchl SB	Hauptansprechpartner	Halgemoser & Kramer	Bau Spater Heim reg. Gen.m.b.H.	Bayerhamenstr. 57	5021 Salzburg	A	0043/662/876528-37	0043/662/876528-50	
	Bauträger/Bauherr	Halgemoser, Ernst	Bau Spater Heim reg. Gen.m.b.H.	Bayerhamenstr. 57	5021 Salzburg	A	0043/662/876528-37	0043/662/876528-50	
	Architekt	Six, Erich	Energie-Optimierung	Josef Messner-Str. 32/13	5020 Salzburg	A	0043/662/642850	0043/662/642850-11	erich.six@netway.at
	Fachplaner/Bauphysik	Kramer, Franz	IM Huboldt 54	5602 Wagrain	5602 Wagrain	A	0043/6413/8247 54137???	DW -76	
	Fachplaner/Haus Technik (VK)	Steuern, Hans	TB Instaplan	5423 Faissttau 6/1/4	5620 Schwarzach	A	0043/6228/2728	0043/6228/27288	
	Fachplaner/Elektroplanung	Hinterleitner, Georg	Spillutti Bau GmbH	Dr. Franz Hainstr. 8	5620 Schwarzach	A	0043/6415/7795	DW -20	office@spillutti.at
10-Hallein SB	Zimmerbetrieb (VK)	Burgschweiger, Rupert	Zimmerlei Burgschweiger Schwarzach	Salzburger Str. 48a	5620 Schwarzach	A	004/6415/4226		
	Hauptansprechpartner	Essi, Othmar	Experta Wohnbau Ges.m.b.H	Salzstadelstr. 2	5400 Hallein	A	0043/6245/88449	0043/6245/88449-15	essi@experta.at
	Bauträger/Bauherr	Essi, Othmar	Bauträger/Bauherr	Salzstadelstr. 2	5400 Hallein	A	0043/6245/88449	0043/6245/88449-15	essi@experta.at
	Architekt	Pustenhofer, Erich	Architekten 22	Lärchenweg 22	5082 Fürstenbrunn	A	0043/6245/88449	0043/6245/88449-15	
	Fachplaner/Haus Technik	Tafelner, Robert	Drosselstraße 13	5082 Salzburg	5082 Salzburg	A	0043/6245/88449	0043/6245/88449-15	
	Fachplaner/Elektrotechnik	Lukas, Horst	Bayerstr. 402	5071 Salzburg-Wals	5071 Salzburg-Wals	A			
	Fachplaner/Bauphysik	Fischer, Ekkehard	Zwillingenieur-Arge	Glockenstr. 19	5671 Bruck	A			
	Fachplaner/Bauphysik	Dorner, Fritz	Zwillingenieur-Arge	Bayerstr. 402	5071 Salzburg-Wals	A			
	Fachplaner/Statik	Zwittinger, Rainer	Zwillingenieur-Arge	Bayerstr. 402	5071 Salzburg-Wals	A	0043/6662/584291-0	0043/6662/584291-4	zi-arge@eumet.at

9.2 Übersicht über Architekten, Planer, Hersteller

11-Horn NO	Hauptansprechpartner Bauräger/Bauherr Architekt Fachplaner/Bauphysik Fachplaner/Haus technik Fachplaner/Simulation Fachplaner/Elektroninstallation	Seidl & Treberspurg Seidl, Josef Treberspurg, Martin Dr. Hobauer, Wilhelm Schütz, Peter Dr. Pokorny, Walter Herr Grob	Bühl Bauunternehmens Ges.m.b.H. Architektbüro Treberspurg Technisches Büro Mauerbachstraße 42/12 Braun gasse 12 Apoigerstr. 87	3571 Gars/Kamp 1140 Wien 1140 Wien 1140 Wien 1170 Wien 3571 Gars	A A A A A A	0043/2985/2113-295 0043/18943191-15 0043/18943191-15 0043/19795716 0043/114811000 Tel: 0043/6644413826	0043/2985/2113-295 0043/18943191-15 0043/18943191-15 0043/19795710 0043/114853962 0043/2985/2300					Josef.seidl@gmx.net treberspurg@netway.at technisches.buero.noibauer@netway.at
12-Steyr OO	Hauptansprechpartner Bauräger/Bauherr Architekt Fachplaner/Haus technik Fachplaner/Haus technik Hauptansprechpartner Salzburg	Baumgartner, Günter Procon Gesellschaft für Dorf- und Regionalentwicklung Procon Gesellschaft für Dorf- und Regionalentwicklung Energie-Institut Energie-Institut Land Salzburg, Abteilung 15: Wirtschaft, Tourismus, Energie	Schillerstr. 163 Penzingerstr. 58 Penzingerstr. 58 Mauerbachstraße 42/12 Braun gasse 12 Apoigerstr. 87	3571 Gars/Kamp 1140 Wien 1140 Wien 1140 Wien 1170 Wien 3571 Gars	A A A A A A	0043/2985/2113-295 0043/18943191-15 0043/18943191-15 0043/19795710 0043/114853962 0043/2985/2300	0043/2985/2113-295 0043/18943191-15 0043/18943191-15 0043/19795710 0043/114853962 0043/2985/2300					
A-allgemein	Hauptansprechpartner Salzburg	Kräppler, Helmut Müller, Eva Schr. J. Terminvereinbarung Bildbearbeitung, Grafiken, Pläne Messprogramm A	Postfach 527 Stadtsstraße 33/CCD Stadtsstraße 33/CCD Stadtsstraße 33/CCD Stadtsstraße 33/CCD Feldgasse 19 Stadtsstraße 33/CCD	5010 Salzburg 6650 Dornbirn 6650 Dornbirn 6650 Dornbirn 8200 Dornbirn 8600 Gleisdorf 6650 Dornbirn	A A A A A A A	0043/6628042-763788 0043/5572/31202-4 0043/5572/31202-61 0043/5572/31202-62 0043/5572/31202-80 0043/5572/31202-81 0043/3112/5886-0 0043/5572/31202-4	0043/6628042-763788 0043/5572/31202-4 0043/5572/31202-61 0043/5572/31202-62 0043/5572/31202-80 0043/5572/31202-81 0043/3112/5886-0 0043/5572/31202-4				franz.mair@land-sbg.gv.at krappler.energieinstitut@ccd.vol.at mueller.energieinstitut@ccd.vol.at lenz.energieinstitut@ccd.vol.at mueller.energieinstitut@ccd.vol.at a.thuer@aee.at o.k@vol.at	
13-Luzern	CEPHEUS-Partner CEPHEUS-Partner CEPHEUS-Partner Bauphysik Leitung Messprogramm Baubeteiligung Cham	Brander, Konstantin Germeroth, Uwe Renggli, Max Ragonesi, Marco Betschart, Werner Prof. Amrhein, Susan	Solothurnstraße 102 Solothurnstraße 102 Glerg Reussgasse 9 Technikumstrasse 21	2504 Biel 2504 Biel 6247 Scholtz 6020 Emmenbrücke 6048 Horw	CH CH CH CH CH	0041/32/34403-50 o.-87 0041/32/34403-50 o.-87 0041/62/756-2109 0041/41/42060-68 0041/41/3493307 0041/41/78447-34	0041/32/34403-50 o.-87 0041/32/34403-50 o.-87 0041/62/756-2109 0041/41/42060-68 0041/41/3493307 0041/41/78447-34					bk@si.sh.ch bk@si.sh.ch mail@renggli-haus.ch wbeitschart@hia.fhz.ch susan.amrhein@cham.zg.ch
14-Rennes	prakt. Durchführung Messung Architekt Haustechnik Lieferant Kompaktgeräte Ökologisches Gutachten Raumlüftungsmessung Leiter der Coop de Construction Messraum-Verantwortlicher Simulationen	Huber, Heinrich Kramel Prof. Kneubühler, Markus Weiss, Reinhard Amstein + Walthert AG (ehemals INTEP) Eimäche Gesellschaft „Wohnen im Wechsel“ c/o Barbos Bauteam GmbH Coop de Construction Laboratoire de thermique des Bâtiments Direction O.A.S.I.I.S Schliken, Peter Serres Barrier, Jean-Yves	Technikumstrasse 21 HIL Höngerberg Alter Hühelweg 1 Belpustr. 5 Leutschenbachstr. Engelbergstr. 41 9. Bd de la Tour d'Auvergne INSA de Rennes 672. Av de la Fleuride, Z.I. Les Paluds Jägerstr. 22 20. Rue Albert Thomas	6048 Horw 8093 Zürich 6331 Hünenberg Bregenz 8050 Zürich 6370 Slans 35000 Rennes 35000 Rennes 13685 Aubagne 79252 Stegen 37000 Tours	CH CH CH CH CH CH F F F D F F	0041/41/34933224 0041/01/6332817 0041/01/6332817 0043/442186-187 07681982614 0041/41/3493307 0033/2/9935-0135 0033/2/998440-51 0033/442186-187 07681982614 0041/41/3493307 0033/2/9935-1200 0033/2/998440-51 0033/442186-187 07681982615 am PC 0033/2/99844051 0033/2/476-8994	0041/41/34933224 0041/01/6332817 0041/01/6332817 0043/442186-187 07681982614 0041/41/3493307 0033/2/9935-0135 0033/2/998440-51 0033/442186-187 07681982614 0041/41/3493307 0033/2/9935-1200 0033/2/998440-51 0033/442186-187 07681982615 am PC 0033/2/99844051 0033/2/476-8994				h.jhuber@hia.fhz.ch 0011/41/3493307 0041/01/6331063 jacques.miriel@univ-rennes1.fr Oasis@users.ies.fr p.schliken@ro3.com	

10 Liste der Teilberichte (Bezugsmöglichkeiten)

Erscheinungsjahr und Nummer	Titel	Bezugsmöglichkeit
1998		
1	Vertragsunterlagen	EU
2	Kriterien an CEPHEUS-Projekte	EU
3	Elektrische Geräte für PH und Projektierung des Stromverbrauchs	PHI
4	Sparsames Wäschetrocknen	PHI
5	Passivhaus-Reihenhäuser: Über die Zuluft beheizbar?	PHI
1999		
6	Wärmebrückenfreies Konstruieren	PHI
7	Luftdichtheit im Passivhaus	PHI
8	Luftführung in Passivhäusern	PHI
9	Für das Passivhaus geeignete Fenster	PHI
10	Wärmebedarf und Komfort in einer PH-Altenwohnanlage	PHI
2000		
11	Qualitätssicherung Kassel-Marbachshöhe (aufgegangen in CEPHEUS-Projektinformation Nr. 16)	-
12	Messdatenauswertung Kronsberg; Zwischenbericht 2	SWH
13	Common Measurement and Evaluation Scheme	EU
2001		
14	Messdatenauswertung Kronsberg; Zwischenbericht 3	SWH
15	Messtechnische Untersuchung und Auswertung; Kostengünstiger Passivhaus-Geschosswohnungsbau in Kassel Marbachshöhe	PHI
16	Kostengünstiger Passivhaus-Geschosswohnungsbau in Kassel Marbachshöhe: Projektdokumentation, Qualitätssicherung und Wirtschaftlichkeitsbetrachtung; Endbericht Juni 2001	PHI
17	Thermographische und strömungstechnische Untersuchung des Passivhaus-Geschosswohnungsbaus Kassel-Marbachshöhe	PHI
18	Klimaneutrale Passivhaussiedlung Hannover-Kronsberg	PHI
19	Messtechnische Untersuchung und Auswertung; Klimaneutrale Passivhaussiedlung Hannover Kronsberg	PHI
20	Thermographie Untersuchung der Passivhaussiedlung Hannover-Kronsberg; Wissenschaftliche Auswertung	PHI
21	Vergleich von Messung und Simulation am Beispiel eines Passivhauses in Hannover-Kronsberg	PHI
22	CEPHEUS – Wissenschaftliche Begleitung und Auswertung, Endbericht	PHI
23	Projektbericht: Egg	EIV
24	Projektbericht: Hörbranz	EIV
25	Projektbericht: Wolfurt	EIV
26	Projektbericht: Dornbirn	EIV
27	Projektbericht: Gnigl	EIV
28	Projektbericht: Kuchl	EIV

29	Projektbericht: Hallein	EIV
30	Projektbericht: Horn	EIV
31	Projektbericht: Steyr	EIV
32	Österreich gesamt (Zusammenfassung)	EIV
33	Hannover: Sozialwissenschaftliche Evaluation	SWH
34	Nutzerhandbuch Hannover	SWH
35	Full Report (D)	EU
36	Full Report (Engl.)	EU
37	Publishable Report (D)	EU
38	Publishable Report (Engl.)	EU
39	Projektbericht	Rengli AG
40	Résidence Savaterra, Rennes: Rapport Final	Coop de Construction, Rennes
41	Stellungnahme zur Vornorm 4108-Teil 6	PHI

11 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Standortdaten der CEPHEUS-Projekte.....	6
Tabelle 2: Übersicht über die CEPHEUS-Projekte	8
Tabelle 3: Übersicht über die innovativen Komponenten der CEPHEUS-Projekte	9
Tabelle 4: Projektübersicht zur Dämmung der opaken Außenbauteile.	11
Tabelle 5: Projektübersicht zum wärmebrückenfreien Konstruieren.	14
Tabelle 6: Projektübersicht zu Lösungen für die Luftdichtheit der Gebäudehülle.....	16
Tabelle 7: Projektübersicht zu den Fenstern	19
Tabelle 8: Projektübersicht zur Luftführung	20
Tabelle 9: Projektübersicht zu den eingesetzten Erdreich-Wärmetauschern.	22
Tabelle 10: Projektübersicht zu den Wärmerückgewinnungsanlagen.....	23
Tabelle 11: Projektübersicht Solaranlagen in CEPHEUS	26
Tabelle 12: Projektübersicht Wärmeverteilsysteme in CEPHEUS	27
Tabelle 13: Projektübersicht Wärmeversorgung in CEPHEUS	30
Tabelle 14: Übersicht über die Maßnahmen zur elektrischen Energieeffizienz in CEPHEUS.....	32
Tabelle 15: Veränderungen der österreichischen Projekte	50
Tabelle 16: Gemessene volumenbezogene Gebäudeleckagekennwerte n_{50} für die realisierten CEPHEUS-Projekte	54
Tabelle 17: Betriebskosten der CEPHEUS-Projekte im Vergleich zu den Referenzfällen	80
Tabelle 18: Endenergiepreise 2000/2001 an den Standorten der CEPHEUS-Projekte;..	81
Tabelle 19: Mehrinvestitionen für den Passivhausstandard in 13 CEPHEUS-Projekten;..	84
Tabelle 20: Statische Kapitalrückflusszeiten bei den CEPHEUS-Projekten.....	85
Tabelle 21: Energiegestehungskosten der Einsparenergie (Brennstoff) bei CEPHEUS (inkl. Solaranlagen)	87
Tabelle 22: Schadstoffreduktion durch die CEPHEUS-Projekte pro 100 m ² Wohnfläche auf Basis der Messwerte im ersten Jahr.....	89

12 **Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 1: Vergleich der spezifischen Energieverbräuche von Wohngebäuden	3
Abbildung 2: Die CEPHEUS-Teilprojekte und ihre Standorte	5
Abbildung 3: Wärmegewinne und -verluste für ein Reihenendhaus der Passivhaussiedlung in Hannover-Kronsberg.....	10
Abbildung 4: Übersicht über die vom Passivhaus Institut als "passivhaus-geeignete Komponente" zertifizierten Fensterrahmen (Stand Februar 2001).....	18
Abbildung 5: Gemessener Stromverbrauch der Lüftungsanlagen	24
Abbildung 6: Schema des Wärmepumpen-Kompaktaggregats.	30
Abbildung 7: Stromeinsparung durch effiziente Hausgeräte in 18 beratenen Haushalten der Passivhaussiedlung Hannover Kronsberg.....	33
Abbildung 8: Mit PHPP berechnete Jahresheizwärmebedarfswerte für die 14 CEPHEUS- Bauprojekte im maßgeblichen Planungszustand.....	37
Abbildung 9: Berechneter Jahresheizwärmebedarf der Referenzgebäude nach derzeit gültigem Baurecht im Vergleich zu den geplanten Passivhaus-Standards	38
Abbildung 10: Heizwärmebilanz nach PHPP am Beispiel des Passivhaus- Geschosswohnungsbaus 02-Kassel-Marbachshöhe	39
Abbildung 11: Zeitlicher Ablauf des CEPHEUS-Projekts	52
Abbildung 12: Energiebilanzen ausgewählter CEPHEUS-Projekte.....	56
Abbildung 13: Gemessener Heizwärmeverbrauch der Gebäude in der Winter- Messperiode.	58
Abbildung 14: Gemessene, standardisierte auf 20 °C Innentemperatur und ein ganzes Jahr umgerechnete Heizwärmeverbrauchswerte im Vergleich zum Verbrauch üblicher Neubauten und zu den Rechenwerten des Heizwärmebedarfs aus der Projektierung.....	59
Abbildung 15: Gemessener Nutzwärmeverbrauch für Warmwasser nach Wohneinheiten (Daten bis auf 01 - Hannover hochgerechnet).....	60
Abbildung 16: Gemessener Haushaltsstromverbrauch der Gebäude.....	61
Abbildung 17: Gemessener Endenergieverbrauch der Gebäude	62
Abbildung 18: Gemessener Primärenergieverbrauch der Gebäude inkl. aller Stromverbräuche.....	63
Abbildung 19: Vergleich der Nutz-, End- und Primärenergieverbräuche für Raumwärme, Warmwasser und sämtliche Stromanwendungen im Haus.....	63
Abbildung 20: Tagesmittlere Heizleistung, aufgetragen über der Außentemperatur.	67
Abbildung 21: Substitution der CO ₂ - Emission der Passivhaus-Siedlung 01 - Hannover durch anteilige Stromproduktion aus der Windkraftanlage.....	68
Abbildung 22: Mittlere Raumtemperaturen im Winter (in der Regel vom 1. November bis zum 28. Februar).....	69
Abbildung 23: Korrelation zwischen Innen- und Außentemperatur für die Projekte 06 - Wolfurt und 11 - Horn, jeweils von 1. Oktober 2000 bis 31. März 2001.	70
Abbildung 24: Mittlere Raumtemperaturen von Mai bis August und 95%-Quantil von Stundenmittelwerten der wohnungsmittleren Raumtemperaturen für die Projekte 01 - Hannover und 13 - Luzern.....	71
Abbildung 25: Akzeptanz der Lüftungsanlagen	73
Abbildung 26: Erfüllung der Erwartungen der Kronsbergbewohner	76
Abbildung 27: Ergebnis einer sozialwissenschaftlichen Untersuchung im sozialen Mietwohnungsbauprojekt 02 - Germany, Kassel. Grafik aus [Hübner 2001]	75
Abbildung 28: Funktionstüchtigkeit des Passivhauskonzeptes	77
Abbildung 29: Wachstumskurve der Passivhäuser in Deutschland	78
Abbildung 30: Vergleich des Endenergieverbrauchs für Heizung und Warmwasserbereitung im Referenzfall mit den projektierten und den gemessenen Werten (1. Jahr) der CEPHEUS-Projekteh.....	82

Abbildung 31: Energiegestehungskosten der Einsparenergie (inkl. Solaranlagen)	88
Abbildung 32: Vergleich der gemessenen Verbrauchswerte aller CEPHEUS-Projekte (flächengewichtetes Mittel) mit den entsprechenden Referenzverbräuchen	89