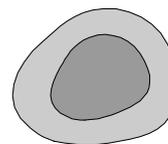




CEPHEUS - gefördertes Projekt:
EUROPÄISCHE KOMMISSION
DIRECTORATE-GENERAL XVII, ENERGY
THERMIE
Projekt-Nummer: **BU / 0127 / 97**



Energieinstitut Vorarlberg

CEPHEUS-Projektinformation Nr. 23

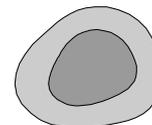


Mehrfamilienhaus Egg





CEPHEUS - gefördertes Projekt:
EUROPÄISCHE KOMMISSION
DIRECTORATE-GENERAL XVII, ENERGY
THERMIE
Projekt-Nummer: **BU / 0127 / 97**



Energieinstitut Vorarlberg

CEPHEUS-Projektinformation Nr. 23

CEPHEUS



cost efficient passive houses as european standards

Mehrfamilienhaus Egg

Autoren:

Helmut Krapmeier, Eva Müller

unter Mitwirkung von:

**Günther Morscher, Michael Gutbrunner,
Otto Köck**

Herausgeber:

**Energieinstitut Vorarlberg
Stadtstraße 33/CCD, A-6850 Dornbirn**

EUROPEAN COMISSION

**DIRECTORATE-GENERAL XVII, ENERGY
THERMIE**

Projekt Nr.:

BU/00127/97/DE/SE/A

Stand: Dezember 2001

Inhaltsverzeichnis

1	PROJEKTBE SCHREIBUNG	3
1.1	Das Passivhauskonzept	4
1.2	Zentrale Ergebnisse von CEPHEUS	4
2	STANDORTINFORMATIONEN	9
2.1	Übersichtskarten und Pläne	9
2.2	Geografische und klimatische Daten	11
3	BAUBESCHREIBUNG	11
3.1	Grundrisse, Gebäudeschnitte und Ansichten	12
3.2	Angaben zur Energiebezugsfläche	15
3.3	Beschreibung der Bauweise	15
3.4	Regelquerschnitte der Außenbauteile	16
3.5	Darstellung von Anschlussdetails	19
3.6	Besonderheiten	26
4	LÜFTUNGSKONZEPT	27
4.1	Zu-, Abluft, Überströmzonen	27
4.2	Angaben zu den technischen Parametern	28
4.2.1	Regelquerschnitt des Zu- und Abluftkanals	28
4.2.2	Auslegungsluftvolumenströme	29
4.2.3	Druckverluste	29
4.2.4	Filter	29
4.2.5	Zuluftventile	30
4.2.6	Abluftventile	31
4.3	Beschreibung des Wärmetauschers	31
4.4	Regelmöglichkeiten	32
4.5	Beschreibung des Erdreichwärmetauschers	32
4.6	Besonderheiten	32
5	KONZEPT DER RAUMWÄRMEVERSORGUNG	32
5.1	Heizwärmeverteilung	32
5.2	Wärmeversorgung für Warmwasser und Heizung	33
5.2.1	Technische Daten des Künetten-Erdkollektors	34
5.3	Besonderheiten	34
6	KONZEPT DER WARMWASSERVERSORGUNG	34
6.1	Angaben zur Erzeugung, Speicherung, Verteilung	34
6.2	Auslegungsdaten	35

6.2.1	Warmwassertemperaturen	35
6.2.2	Rohr-Dämmungen	35
6.3	Beschreibung der Solaranlage	35
6.4	Besonderheiten	35
7	AUSSTATTUNG MIT ELEKTRISCHEN HAUSHALTSGERÄTEN UND BELEUCHTUNG	36
8	KOSTEN UND MEHRKOSTEN	36
9	BESCHREIBUNG DES BAUABLAUFS	38
9.1	Zeitliche Daten	38
9.2	Beteiligte und Organisation des Bauablaufs	38
9.3	Baudurchführung im Detail	38
9.3.1	Wärmedämmung	38
9.3.2	Fenster	39
9.3.3	Luftdichtheit	39
9.3.4	Besonderheiten	40
9.3.5	Allgemein	40
9.4	Erfahrungen mit Beteiligten bzw. den geplanten technischen Lösungen hinsichtlich der Realisierung der Qualitätsanforderungen	40
9.5	Besonderheiten	40
10	ERGEBNISSE QUALITÄTSSICHERNDER MAßNAHMEN	41
10.1	PHPP-Berechnung	41
10.2	Berechnungen der Wärmebrücken	44
10.3	Ergebnisse der Luftdichtheitstests	44
10.4	Ergebnisse der Thermografien	45
11	ANGABEN ZU ERWERBERN/BAUHERREN BZW. MIETERN	47
11.1	Durchgeführte Einweisungen	47
12	MESSERGEBNISSE	47
12.1	Energieverbrauch	48
12.2	Thermischer Komfort	50
12.3	Heizlasten	54
13	AKTIVITÄTEN ZUR INFORMATIONSVERBREITUNG	55
14	FOTODOKUMENTATION	56
15	CEPHEUS-PUBLIKATIONEN	57
16	QUELLEN	59

1 Projektbeschreibung

Im Rahmen des EU-Forschungs- und Demonstrationsprojekts CEPHEUS (Cost Efficient Passive Houses as EUropean Standards) wurden im Laufe der Jahre 1999 bis 2001 an 14 Standorten in Europa Passivhäuser unterschiedlicher Bauart mit insgesamt 221 Wohneinheiten fertiggestellt.



Abbildung 1: Übersicht aller CEPHEUS-Projekte

1.1 Das Passivhauskonzept

Die Grundbausteine von Passivhäusern sind:

- **Superdämmung:**
Passivhäuser haben eine besonders gute Wärmedämmung, vermeiden Wärmebrücken und haben eine hohe Luftdichtheit. Dies ist wichtig, um ohne Komfortverluste auf Heizkörper verzichten zu können.
- **Kombination von effizienter Nachheizung mit Wärmerückgewinnung:**
Passivhäuser werden über eine Komfortlüftung ständig mit frischer Luft versorgt. Mittels eines sehr effizienten Wärmetauschers wird die Wärme aus der Abluft auf die einströmende Frischluft übertragen. Dabei werden die Luftströme nicht vermischt. Eine Vorerwärmung der Frischluft über einen Erdreich-Wärmetauscher ist möglich und senkt den Nachheizbedarf. Die Heizwärme wird über die frische Zuluft in die Räume gebracht. Sie kann auch über zusätzliche Heizflächen verteilt werden, was jedoch mit höheren Investitionskosten verbunden ist.
- **Passive Solarnutzung:**
Südorientierte Passivhäuser sind zugleich Solarhäuser. Nach Ausschöpfung der Effizienzpotentiale deckt die passive Nutzung der Sonneneinstrahlung etwa ein Drittel des verbleibenden Heizenergiebedarfs. Dafür werden in der Regel neuentwickelte Fenster mit Dreifach-Wärmeschutzverglasung und supergedämmten Rahmen eingesetzt. Vorteilhaft ist eine Südorientierung der Hauptbelichtungsflächen und Verschattungsfreiheit.
- **Stromeffizienz (Ausstattung mit effizienten Geräten):**
Durch Ausstattung mit effizienten Haushaltsgeräten sowie Stromsparlampen wird auch der Haushaltsstromverbrauch der Passivhäuser ohne Komforteinschränkungen sehr stark reduziert. Die gesamte Haustechnik ist ebenfalls höchst effizient.
- **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 es darüber hinaus möglich, den verbleibenden Energieverbrauch (für Heizung, Warmwasser und Haushaltsstrom) vollständig durch erneuerbare Energieträger (Solarthermie, Photovoltaik, Windenergie, Biomasse) in der Jahres-Primärenergie- bzw. CO₂-Bilanz zu decken. Passivhäuser ermöglichen so zu marktgängigen Preisen klimaneutrale Wohnungsneubauten.

1.2 Zentrale Ergebnisse von CEPHEUS

Der Passivhausstandard ist universell:

Alle Gebäudetypen (Einfamilienhaus, Reihenhaus, Geschosswohnbau,...) sind in unterschiedlichsten Bauweisen (Massivbau, Mischbau, Holzbau,...) für unterschiedlich finanzkräftige Käufer und Mieter als Passivhaus realisierbar.

Projekt	Gebäudetyp	WE [m ²]	WNF	Konstruktion	Rechtsform
D – Hannover	Reihenhaus	32	3805	Mischbau	Eigentum
D - Kassel	Geschoss-Wohnbau	40	3164	Massivbau	Sozialbau
S – Göteborg	Reihenhaus	20	2704	Holzbau	Eigentum
A – Egg	Mehrfamilienhaus	4	321	Massivbau	Eigentum
A – Hörbranz	Reihenhaus	3	370	Massivbau	Eigentum
A – Wolfurt	Mehrfamilienhaus	10	1200	Mischbau	Eigentum
A – Dornbirn	Einfamilienhaus	1	133	Mischbau	Eigentum
A – Salzburg	Mehrfamilienhaus	6	337	Mischbau	Sozialbau
A – Kuchl	Geschoss-Wohnbau	25	1400	Mischbau	Sozialbau
A – Hallein	Geschoss-Wohnbau	31	2340	Mischbau	Eigentum
A – Horn	Einfamilienhaus	1	170	Mischbau	Eigentum
A – Steyr	Reihenhaus	3	468	Massivbau	Eigentum/Miete
CH – Nebikon	Reihenhaus	5	641	Holzbau	Eigentum
F - Rennes	Geschoss-Wohnbau	40	2744	Mischbau	Eigentum

Tabelle 1: Übersicht aller CEPHEUS-Projekte

Die Energieeinsparung wurde erreicht:

Der angestrebte Heizwärmebedarf von 15 kWh/(m²a) und damit eine Reduktion des Heizwärmeverbrauchs um 80% gegenüber üblichen Neubauten wurde im Mittel über alle gemessenen Gebäude bereits im ersten Betriebsjahr eingehalten.

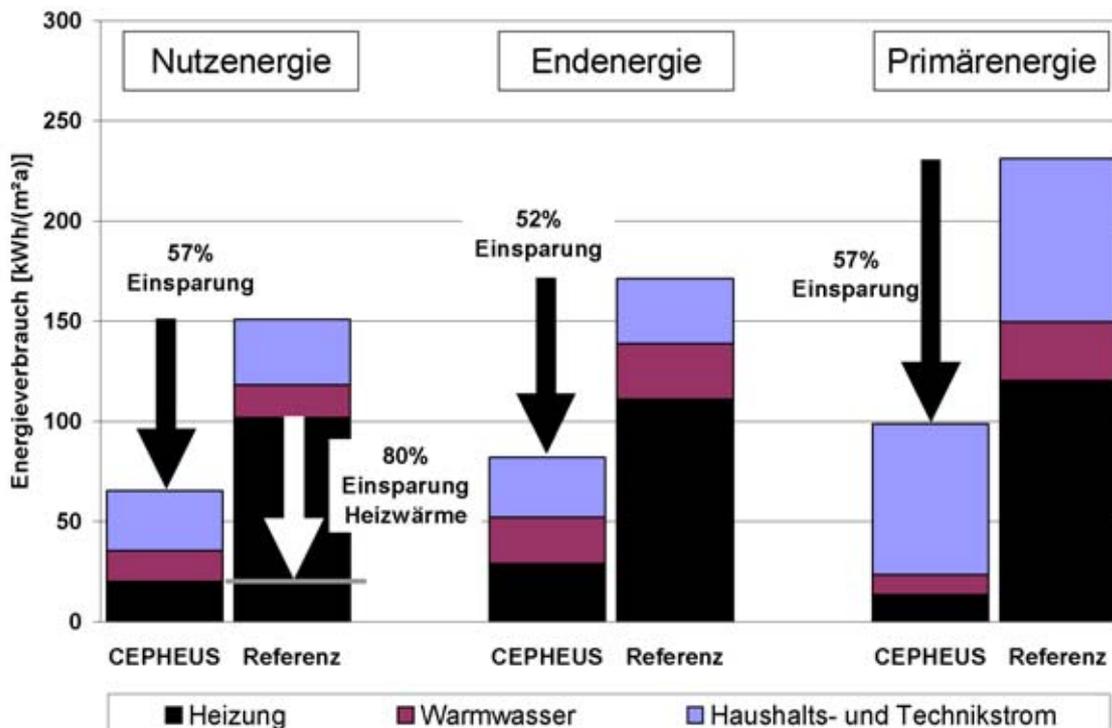


Abbildung 2: Erreichte Energieeinsparungen im Vergleich zu Referenzgebäuden

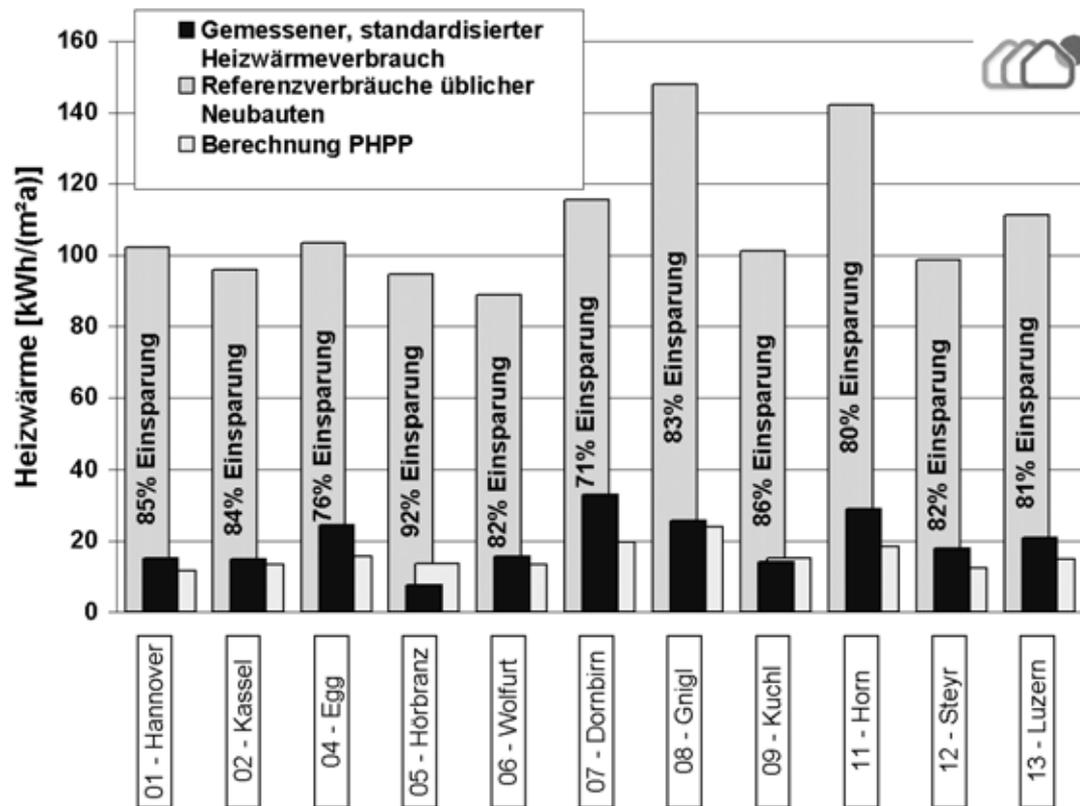


Abbildung 3: Berechneter und gemessener Heizwärmeverbrauch aller Projekte im Vergleich zu Referenzgebäuden

Die Mehrkosten sind gering:

Die Mehrkosten für die Bauvorhaben liegen, verglichen mit anderen Gebäuden, die von den Bauträgern nach den gültigen Bauvorschriften errichtet wurden, im Mittel unter 10%.

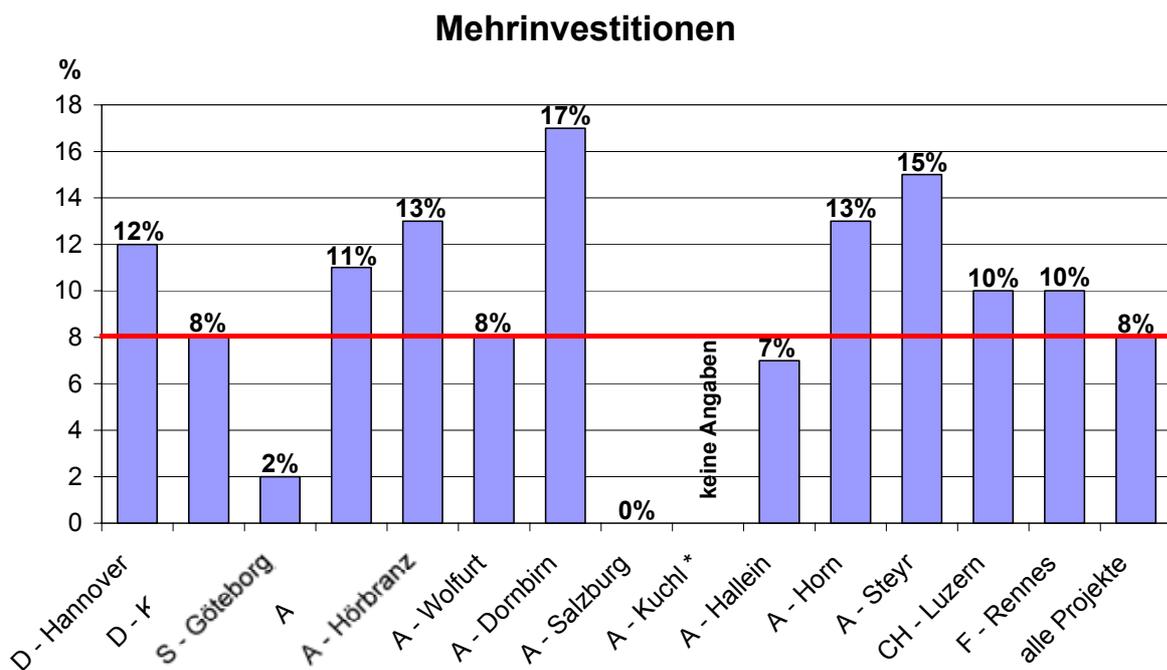


Abbildung 4: Mehrkosten in % aller Projekte im Vergleich zu Referenzgebäuden

Passivhäuser sind behaglich:

Die **Behaglichkeit** in den gebauten Wohnungen ist im Winter wie im Sommer ausgezeichnet.

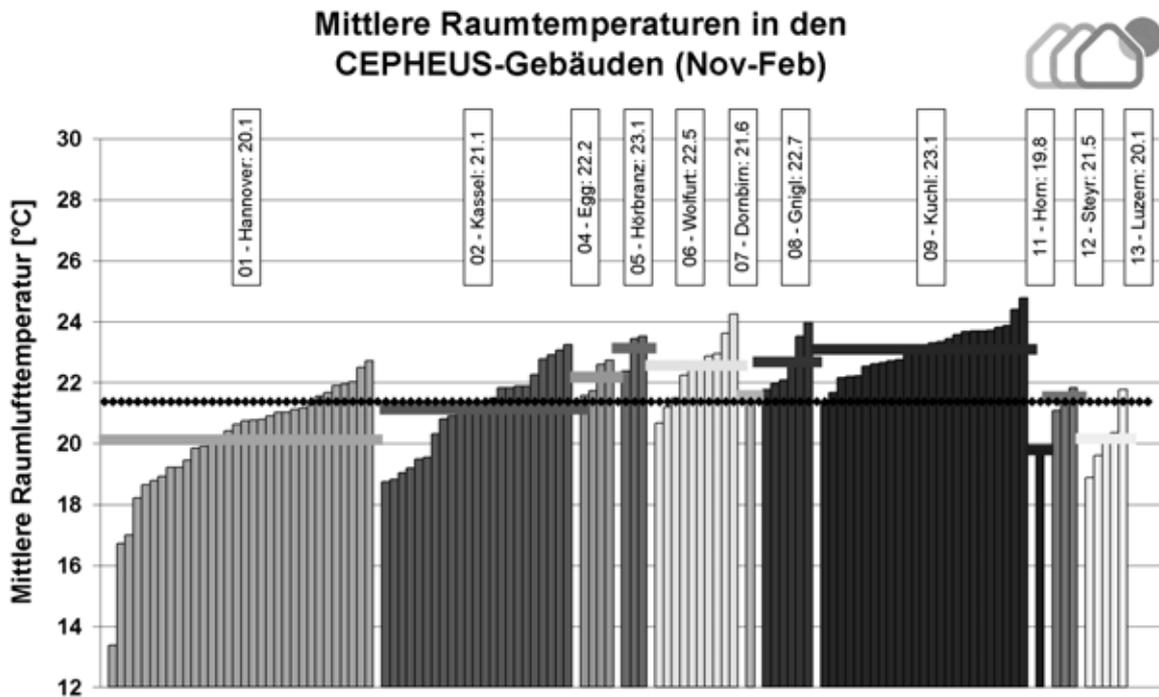


Abbildung 5: Gemessene Innenraum-Temperaturen aller Projekte

Die Bewohner sind zufrieden:

Die außerordentlich **hohe Nutzerakzeptanz** des Passivhausstandards ist eine geeignete Basis, um noch bestehende Vorbehalte bei Bauträgern und Wohnungsgesellschaften abbauen zu helfen.

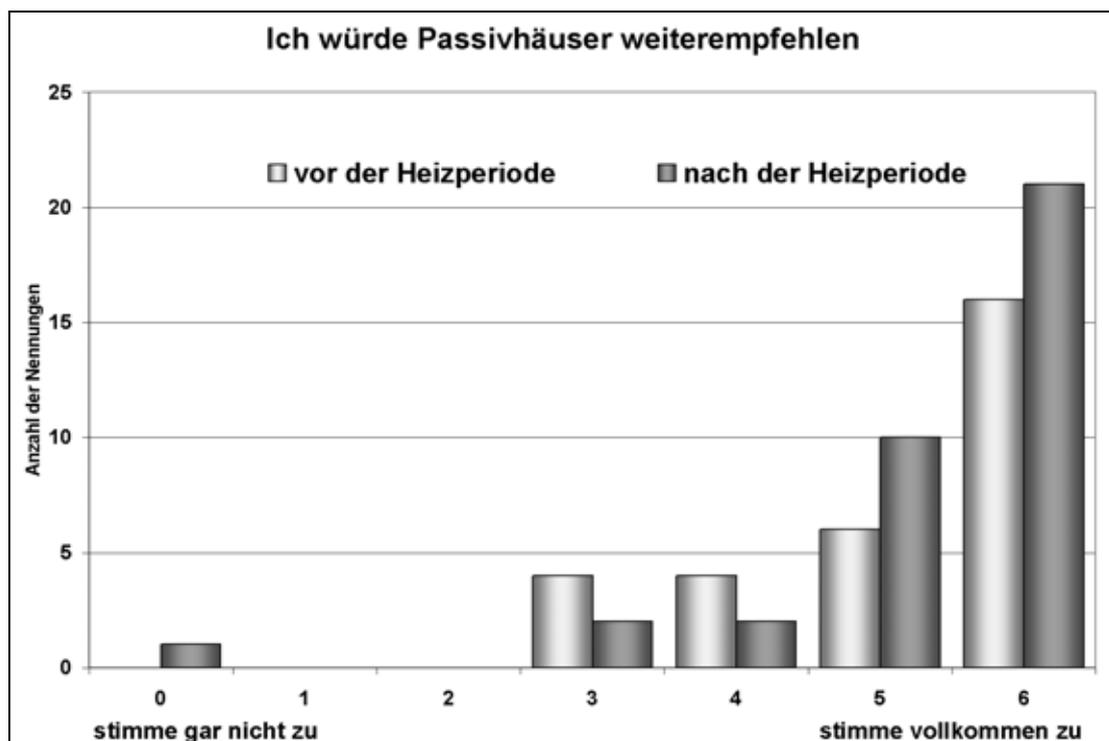


Abbildung 6: Ergebnis einer Bewohnerbefragung

Weitere nützliche Erfahrungen:

- Es zeigte sich auch, dass noch ein unzureichendes Wissen von Teilaspekten (z. B. Wärmebrücken, Luftdichtheit) bei den Architekten, Planern und ausführenden Handwerkern besteht.
- Das CEPHEUS - Projekt konnte bedeutende Innovationsimpulse für die Entwicklung hocheffizienter Bauteile und Technik-Komponenten von Passivhäusern (z. B. Dämmsysteme, Fenster, Lüftungsanlagen, Kompaktheizgeräte) sowie für eine breite Markteinführung von Passivhäusern geben.
- 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.
- Für die thermische Sanierung des Gebäudebestandes können die Passivhausbauelemente (Fenster, Dämmsysteme, energieeffiziente Geräte) eingesetzt werden, wodurch höhere Energieeinsparungen erzielt werden können.

Diese Ergebnisse zeigen sehr deutlich, dass das CEPHEUS-Projekt sehr erfolgreich verlaufen ist und alle angestrebten Ziele erreicht wurden.

Alle 14 CEPHEUS-Projekte sind bis ins Detail dokumentiert. Neben diesen Detailberichten der einzelnen Bauprojekte gibt es noch zahlreiche andere CEPHEUS-Publikationen. Eine Auflistung der gesamten CEPHEUS-Literatur finden Sie im Kapitel 15.

Im folgenden wird eines der österreichischen Projekte - das Passivhaus in Egg, Vorarlberg - genau beschrieben.

2 Standortinformationen

Die Gemeinde Egg ist mit ca. 3.500 Einwohnern das schulische und wirtschaftliche Zentrum des Bregenzerwaldes. Landwirtschaft, Tourismus und Handwerk bilden die wirtschaftliche Basis der Region. Der Bregenzerwald liegt in Vorarlberg, im westlichsten Bundesland Österreichs. Der ganzjährig bewohnte Teil der Gemeinde liegt auf einer Meereshöhe von 500-800 m über Adria. Die höher gelegenen Regionen werden im Zuge der saisonalen Viehwirtschaft nur zeitweise bewohnt und bewirtschaftet.

Das Passivhaus Egg-Wieshalde liegt etwas oberhalb des Ortszentrums, auf 635 m Meereshöhe, an einem Süd-Westhang mit ca. 16° Neigung. Die umliegenden Einzel- und Doppelhäuser stammen vorwiegend aus den vergangenen 10 Jahren. Der gültige Bebauungsplan sah eine Doppelhausbebauung vor und gab Grenzabstand, Höhenentwicklung, Ausrichtung und Nutzung des Gebäudes sowie das Material der Fassaden vor.

Die Errichtung der Kleinwohnanlage mit 4 Wohneinheiten erforderte eine Änderung des Bebauungsplanes.

2.1 Übersichtskarten und Pläne

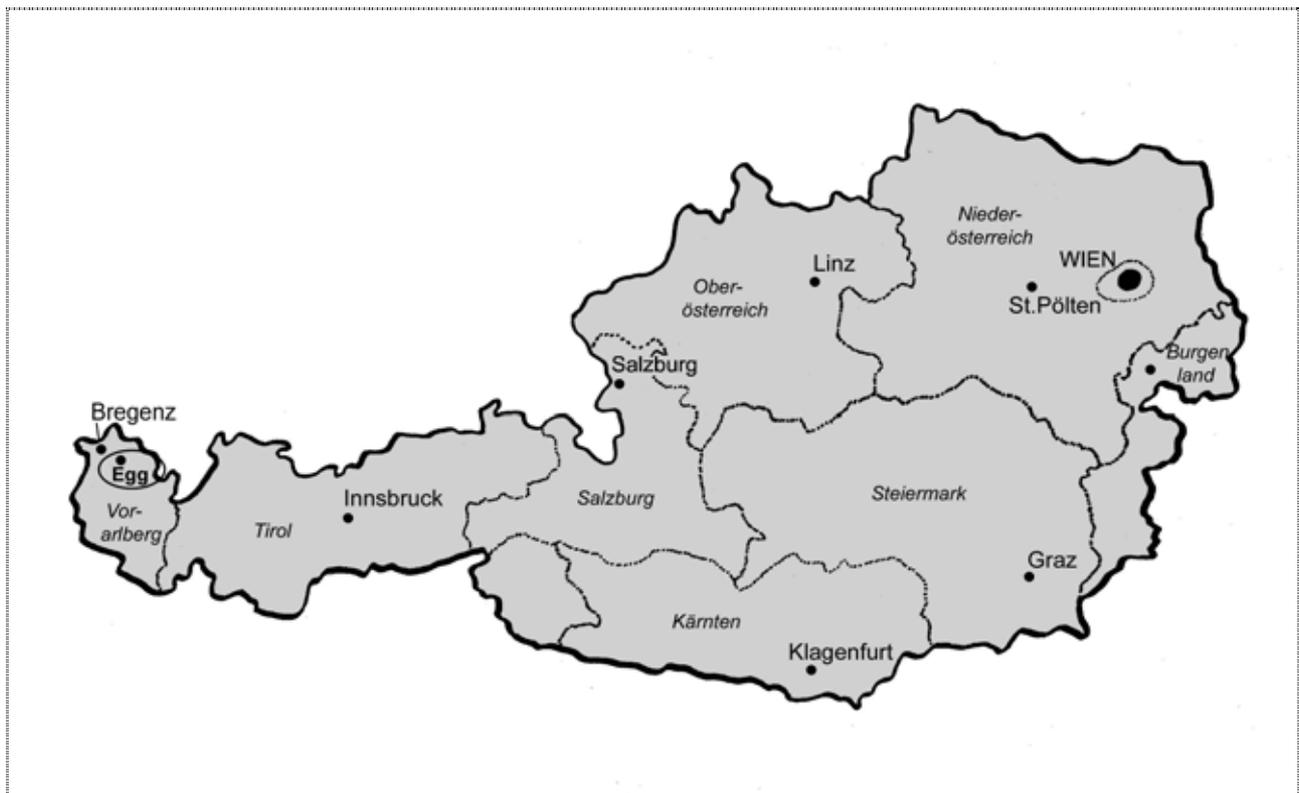


Abbildung 7: Egg im Bundesland Vorarlberg

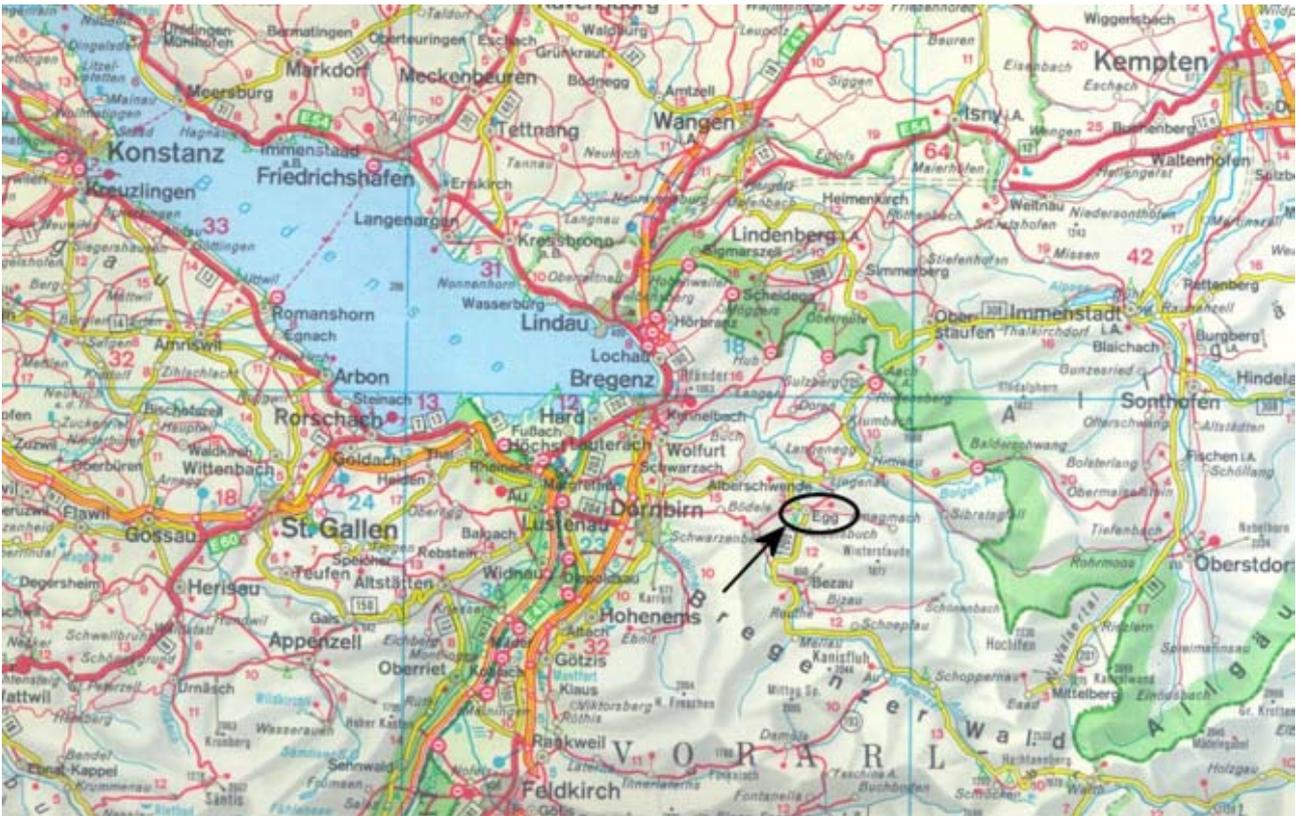


Abbildung 8: Die Lage von Egg im 3-Länder-Eck Deutschland-Schweiz-Österreich



Abbildung 9: Lage des Baugrundstücks

2.2 Geografische und klimatische Daten

Standort Egg: Geographische Länge: 9° 45'
 Geographische Breite: 47° 26'
 Meereshöhe (Postamt): 545 m ü.M.

Monat/Jahr	Mittlere Außentemp.	Heizgradtage (12°/20°)	Mittlere tägliche Globalstrahlung auf horizontale Fläche
	[C°]	[Kd]	[Wh/m²d]
Januar	-2,4	692	1032
Februar	-0,7	579	1775
März	2,9	529	2859
April	7,3	360	3940
Mai	11,6	187	4760
Juni	15	64	5187
Juli	16,7	26	5138
August	16,1	26	4468
September	13,1	110	3300
Oktober	8,2	339	2045
November	2,9	511	1148
Dezember	-1,1	654	808
Jahr	7,5	4.077	3.038

Tabelle 2: Langjährige Mittelwerte der wichtigsten Klimadaten [Klimadatenkatalog]

3 Baubeschreibung

Das Gebäude wurde als kompakter, 2-geschossiger Baukörper mit Mittelerschließung konzipiert. Durch Ausnutzung der Topographie erhielten sowohl die beiden Erdgeschosswohnungen als auch die beiden Obergeschosswohnungen einen eigenen Gartenbereich.

Die Erdgeschosswohnungen orientieren sich hauptsächlich Richtung Südwest, die Obergeschosswohnungen besitzen über die gesamte Haustiefe durchgehende Wohn-Essräume, um sowohl die optimale Belichtungs- und Besonnungssituation mit dem herrlichen Ausblick auszunutzen, als auch einen großzügigen Gartenbezug herzustellen.

Die mittige Erschließung liegt innerhalb der wärmegeprägten Gebäudehülle. Die Eingangstüre und die Belichtung über Dach haben Passivhausstandard.

Die Nebenräume der Wohnungen sowie die Technikbereiche wurden im Dachboden untergebracht. Die vier Carports sowie ein allgemeiner Kellerraum sind im Zufahrtsbereich an der Südwestseite des Grundstückes angeordnet.

Auf dem Dach befindet sich eine Solaranlage mit 26 m² Kollektorfläche.

Im Bereich der nordseitigen Gärten wurde der Sole-Erdkollektor eingebaut. Die Ansaugung der Frischluft erfolgt im Carportbereich, die Luft wird in jede Wohnung einzeln geführt und vorgewärmt.

3.1 Grundrisse, Gebäudeschnitte und Ansichten

Im Erdgeschoss befinden sich zwei 2 ½ Zimmerwohnungen mit einem Wohn-Essraum, 2 Schlafzimmer, Bad-WC, Abstellraum und Gang. Im Obergeschoss befinden sich zwei 3 Zimmerwohnungen mit einem Wohn-Essraum, Küche, 2 Schlafzimmer, Bad/WC und Gang.

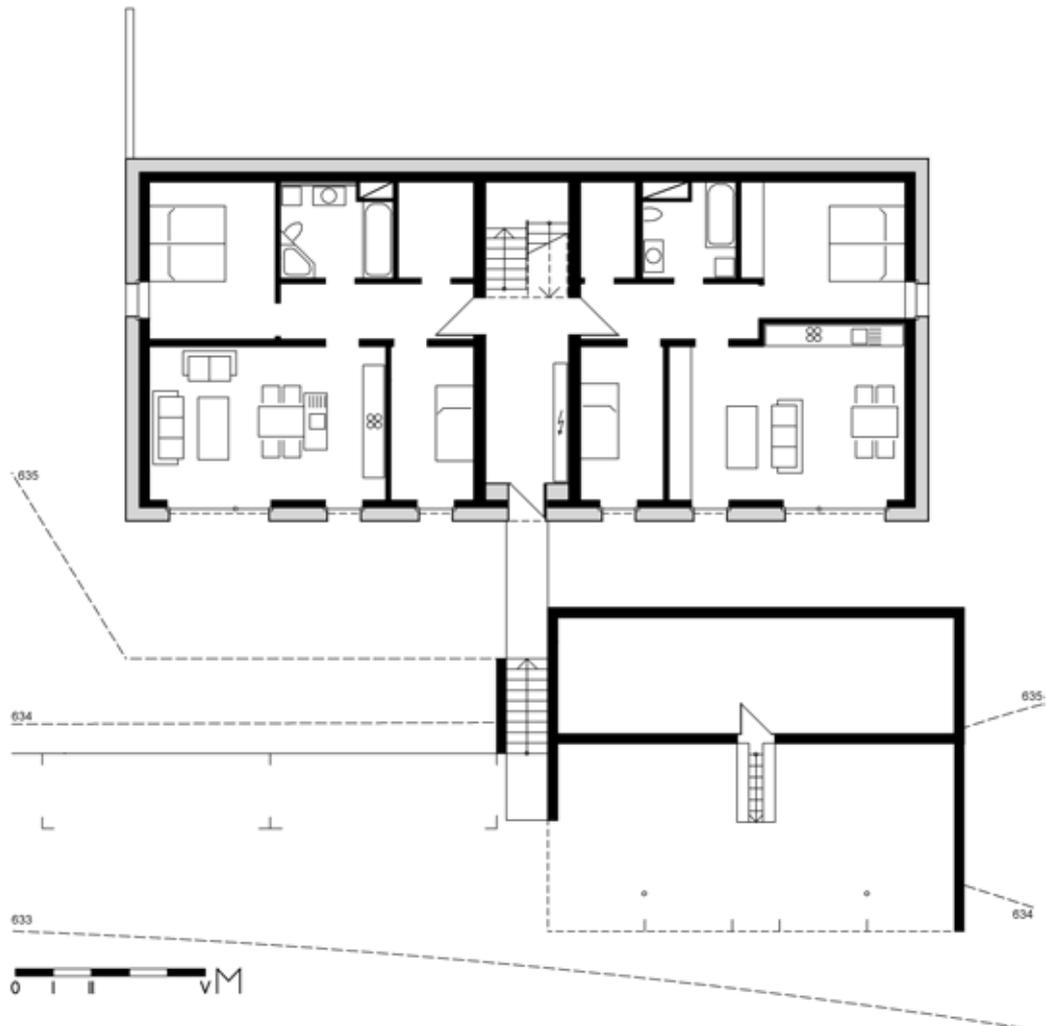


Abbildung 10: Grundriss Erdgeschoss mit Carport

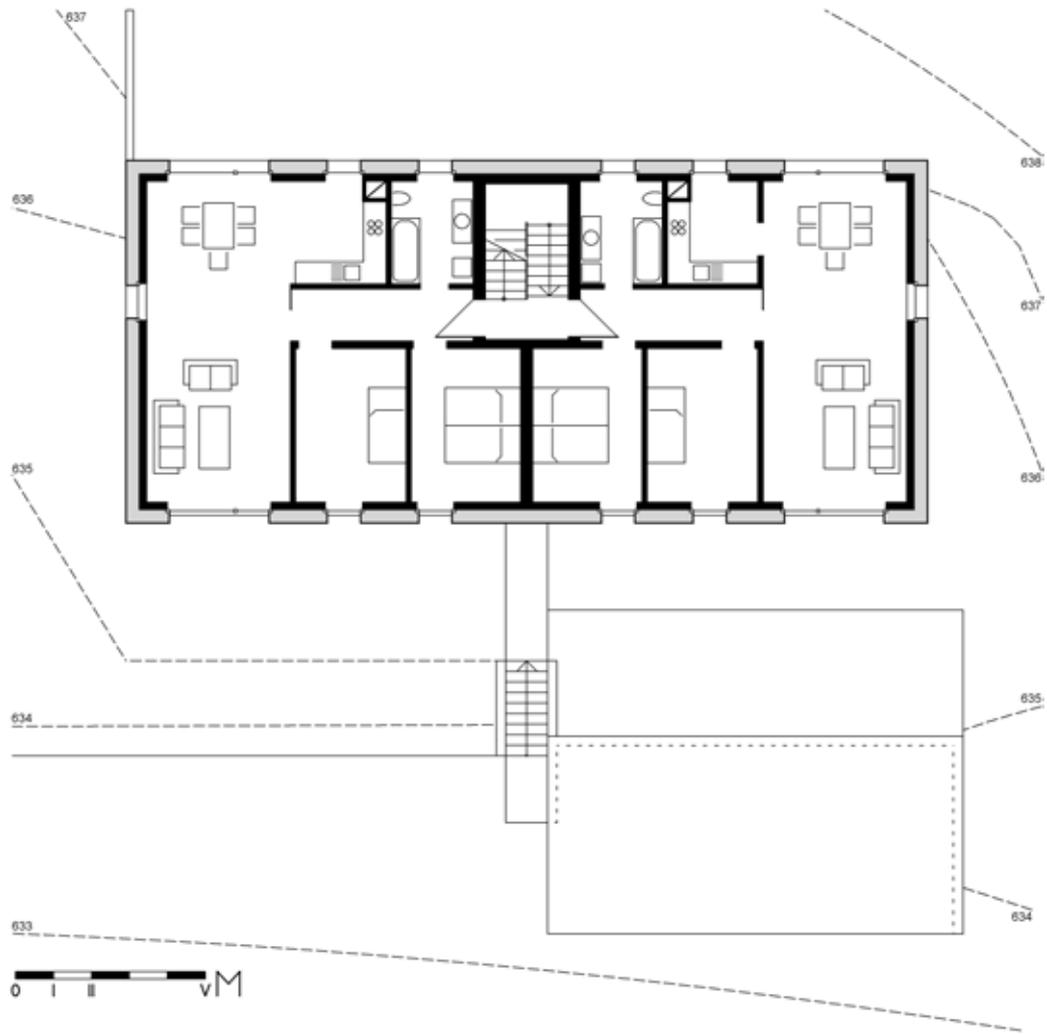


Abbildung 11: Grundriss Obergeschoss

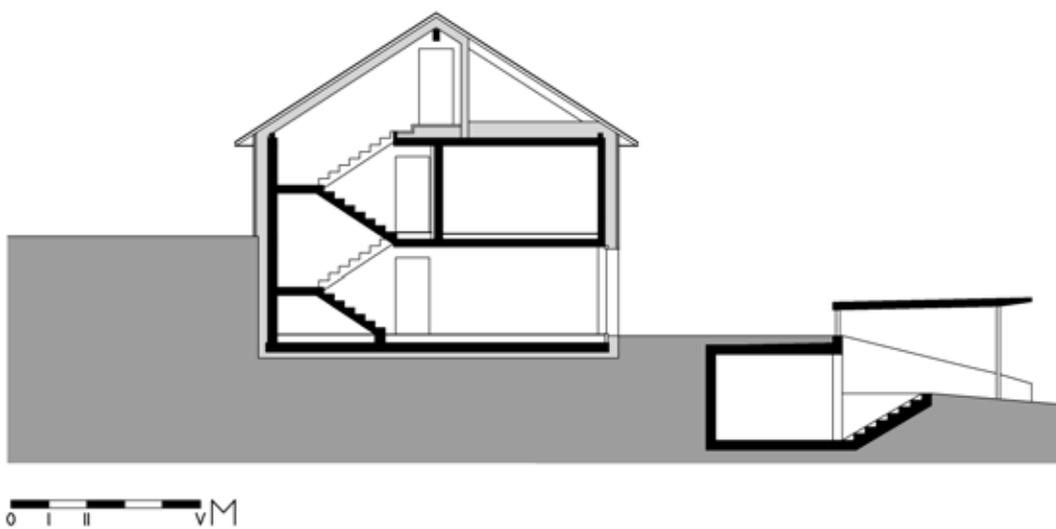


Abbildung 12: Querschnitt



Abbildung 13: Südansicht



Abbildung 14: Nordansicht

3.2 Angaben zur Energiebezugsfläche

	Wohnnutzfläche lt. ÖNORM 1800 [m ²]	Energiebezugsfläche "treated floor area (TFA)" nach vereinbartem EU- Berechnungsmodus [m ²]
Top 1	68,86	65,17
Top 2	68,86	65,17
Top 3	75,34	69,34
Top 4	75,19	70,59
Stiegenhaus, Technik	112,03	39,42
Gesamt	400,27	309,69

Tabelle 3: Gegenüberstellung der Energiebezugsflächen

Die Treated Floor Area (TFA) ist eine für das CEPHEUS-Projekt definierte, nach vereinheitlichten Regeln berechnete Energiebezugsfläche [CEPHEUS 1]. Diese kann mehr oder weniger stark von den nach nationalen Normen berechneten Flächen abweichen.

3.3 Beschreibung der Bauweise

Das Gebäude wurde als Massivbau ausgeführt. Bodenplatte, Decken, Wände unter Niveau, Wohnungstrennwände und Wände zwischen Treppe und Wohnungen sind betoniert, die Außenwände über Niveau und die Zimmertrennwände wurden mit Tonziegeln gemauert. Die Dachkonstruktion ist eine einfache Holzkonstruktion mit Eterniteindeckung.

Die wärmedämmende Hülle wurde ausgeführt mit

- 16 cm XPS unter und 12 cm EPS über der Bodenplatte
- 24 cm XPS an den Außenwänden unter Niveau
- 30 cm EPS an den Außenwänden über Niveau
- 25 cm EPS über der Obergeschossdecke im Bereich der Technik
- 40 cm EPS über der Obergeschossdecke im Bereich der Abstellräume

Die Außenwände wurden innen (=winddichte Ebene), die Zimmertrennwände beidseitig mit einem Kalk-Zementputz verputzt. An der Untersicht der Stahlbetondecken wurde eine Dünnschichtspachtelung aufgebracht.

Die Fassade wurde als geklebte Holzfassade ausgeführt. Dieser Wandaufbau ist eine Eigenentwicklung des Bauträgers und ermöglicht einen wärmebrückenfreien Wandaufbau mit einem Tonziegelmauerwerk und einer vollflächig aufgeklebten Wärmedämmung (30 cm EPS der Wärmeleitfähigkeitsgruppe 040). Die Besonderheit des Wandaufbaues liegt darin, dass die Holzfassade auf der Wärmedämmung nur aufgeklebt und nicht mechanisch befestigt ist. Mit diesem Wandaufbau wird die gute Speichereigenschaft des Tonziegelmauerwerkes genutzt, die Wärmedämmung wird nicht geschwächt oder durchbrochen und die regional typische Holzfassade ist wärmebrückenfrei ausführbar.

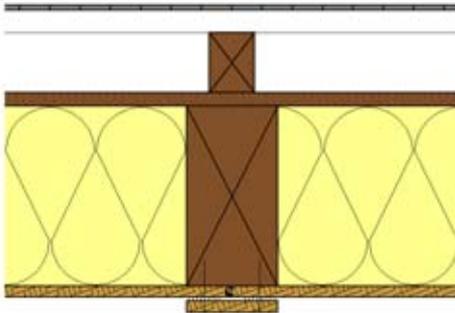
An der höheren technischen Versuchsanstalt für Bauwesen in Rankweil (Vorarlberg) wurden verschiedene Versuchsreihen bezüglich der Klebetechnik durchgeführt. Weiters wurden auch statische Berechnungen zum Verhalten bei verschiedenen Wind- und Wandlasten gemacht. Dieser Wandaufbau wurde beim Österreichischen Patentamt mittels eines Gebrauchsmusters geschützt.

3.4 Regelquerschnitte der Außenbauteile

Abbildung 15 zeigt die Regelquerschnitte der hochwärmegeämmten Gebäudehülle. Die U-Werte der opaken Bauteile liegen zwischen 0,10 und 0,17 W/(m²K), der mittlere U-Werte der Fenster bei 0,86 W/(m²K). Im Projekt wurden Holzfenster der Tischlerei Sigg eingesetzt, die Rahmen sind nicht gedämmt. Als Verglasung wurde eine dreifach-Wärmeschutzverglasung mit Argon-Füllung gewählt. Die Scheibenzwischenräume betragen 18 mm. Der U-Wert der Verglasung liegt lt. Deutschem Bundesanzeiger bei 0,7 W/(m²K), der g-Wert bei 0,53. Eingesetzt wurde der thermisch getrennte „Thermix“-Abstandhalter. Die Außenwand gegen Außenluft wurde mit 30 cm expandiertem Polystyrol der Wärmeleitfähigkeitsgruppe 040 gedämmt, die Dämmung wurden einlagig ausgeführt.

Dach Technikraum / Stiegenhaus

$U = 0,17 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

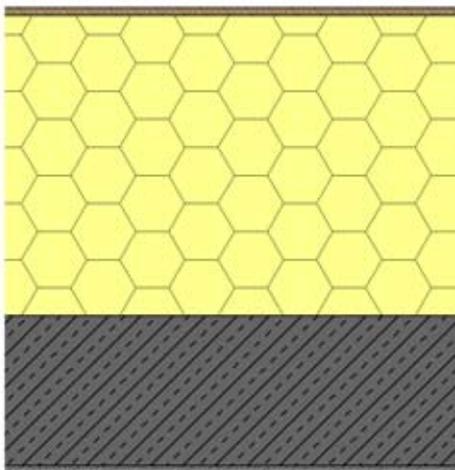


Außen / kalt	
Eternitdeckung	
Lattung	3/5
Konterlattung	8/6
MDF-Platte	1,8 cm
Sparren / Mineralwolle	12/24
OSB-Platte, Stöße überklebt	1,5 cm
Technik / unbeheizt	
Stiege / warm	

Im Bereich des Abstellraumes ohne Dämmung und ohne OSB-Platte. $U =$ nicht relevant

Obere Geschossdecke (gegen unbeheizt)

$U = 0,10 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

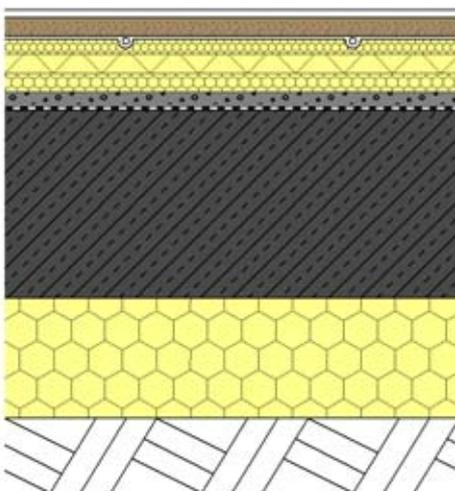


Abstellraum / unbeheizt	
Spanplatte	1,0 cm
EPS (expandiertes Polystyrol)	40,0 cm
Stahlbeton-Decke	20,0 cm
Innenputz	1,0 cm
Innen / warm	

Im Bereich des Technikraumes 25cm EPS.
 $U = 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

Bodenplatte

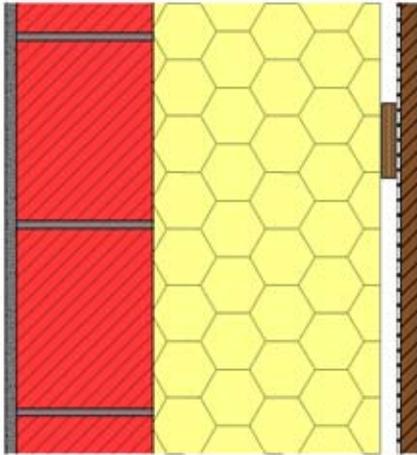
$U = 0,13 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$



Innen / warm	
Belag	1,0 cm
Spanplatte	2,5 cm
Fussbodenheizung	2,4 cm
Alu-Schirm	
EPS-Formteil	
Trittschalldämmung Polystyrol	2,5 cm
EPS (expandiertes Polystyrol)	3,0 cm
Splittschüttung	1,6 cm
Dampfbremse	-----
Stahlbeton-Decke	25,0 cm
Extrudiertes Polystyrol	16,0 cm
Erdreich	

Außenwand 1

U= 0,12 W/(m²K)



Innenputz	1,5 cm
Hochlochziegel	18,0 cm
Expandiertes Polystyrol geklebt	30,0 cm
Multiplan K1 (Dreischichtplatte) geklebt	2,7/10
Winddichtung schwarz	-----
Holzschirm	2,4 cm

Außenwand 2 (gegen Erdreich)

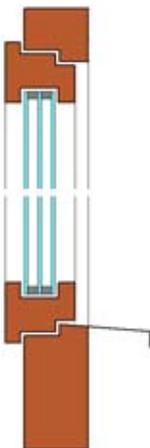
U= 0,13 W/(m²K)



Innenputz	1,5 cm
Stahlbeton	25,0 cm
Extrudiertes Polystyrol geklebt	24,0 cm
Noppenfolie	-----

Fenster

U= 0,86 W/(m²K)



Rahmen	
Hersteller	Sigg
Material	Holz
U-Wert	$U_{\text{Rahmen}} = 1,25 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

Verglasung	
Unitop	0,6
Abstände	4 / 18 / 4 / 18 / 4 mm
Gasfüllung	Argon
Randverbund	Kunststoff (Thermix)
U-Wert	$U_{\text{Glas}} = 0,7 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
g-Wert	$g = 53\%$

Abbildung 15: Regelquerschnitte der Gebäudehülle

3.5 Darstellung von Anschlussdetails

Voraussetzung für die Realisierung von Gebäuden im Passivhaus-Niveau ist nicht nur der sehr gute Wärmeschutz aller Bauteile der Gebäudehülle im Regelquerschnitt, sondern auch die wärmebrückenfreie und luftdichte Ausführung aller Bauteilanschlüsse.

Die Gebäudehülle der CEPHEUS-Projekte wurde daher durch planungsbegleitende Wärmebrückenberechnungen optimiert. Ziel der Optimierung ist die wärmebrückenfreie Ausführung aller Bauteilanschlüsse. Erläuterungen zum Begriff „wärmebrückenfrei“ finden sich in [PHI 2]. Die Ergebnisse der Wärmebrückenberechnungen für das Projekt in Egg sind in Kapitel 9.2 dargestellt.

Ein weiterer Schwerpunkt bei der Detailplanung der CEPHEUS-Projekte lag auf der Entwicklung luftdichter Bauteilanschlüsse. Ziel war der Passivhaus-Grenzwert der Luftdichtheit n_{50} von $0,6 \text{ h}^{-1}$ und damit eine Reduktion der Wärmeverluste durch In- und Exfiltration um den Faktor 4 bis 6 gegenüber durchschnittlichen Neubauten. Die Luftdichtheit der Gebäudehülle wurde im Rahmen der Qualitätssicherung gemessen, die Messergebnisse sind in Kapitel 9.3 dargestellt. Die nachfolgenden Abbildungen zeigen die wichtigsten Detailpunkte des Projekts in Egg.

NORDFENSTER VERTIKAL

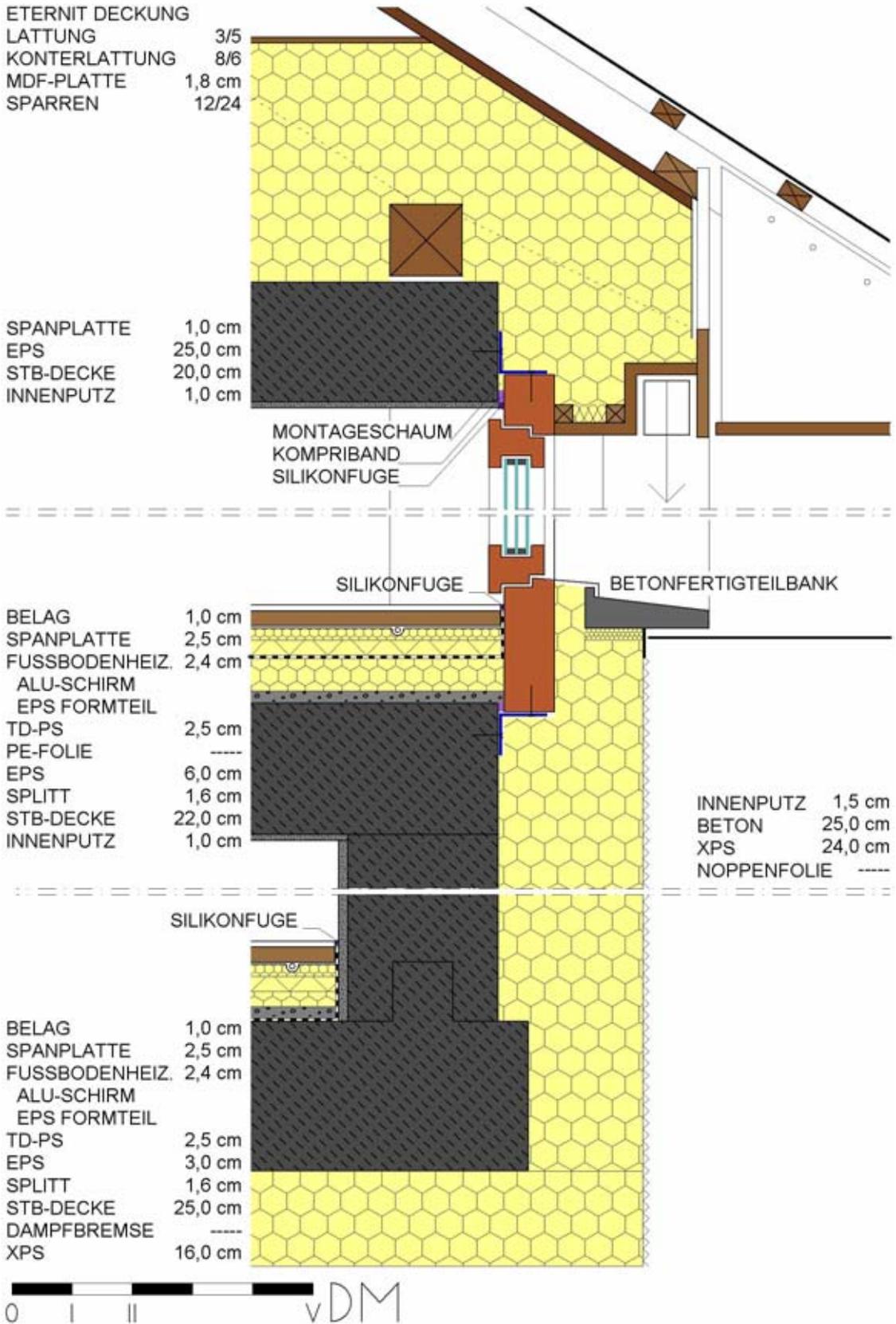


Abbildung 16: Vertikalschnitt durch die Nordfassade

Abbildung 16 zeigt den Vertikalschnitt durch die Nordfassade. Erkennbar ist die oberseitige Dämmung der obersten Geschosdecke mit 25 cm expandiertem Polystyrol (WLG 040). Dieser Aufbau wurde im Bereich des Technikraumes ausgeführt, gegen die unbeheizten Teile des Dachraums wurde die Dämmung 40 cm dick ausgeführt. Die Fenster sind mit Winkeln an der Außenseite der Massivwand befestigt, liegen damit in der Dämmebene, die Rahmen sind bauseits überdämmt. Die Außenwand gegen Erdreich ist mit 24 cm extrudiertem Polystyrol gedämmt, die Bodenplatte unterseitig mit 16 cm. Die Bodenplatte ist zusätzlich oberseitig gedämmt, die Dämmung liegt auf einer Splittschüttung und unterhalb der Fußbodenheizung.

TRAUFE

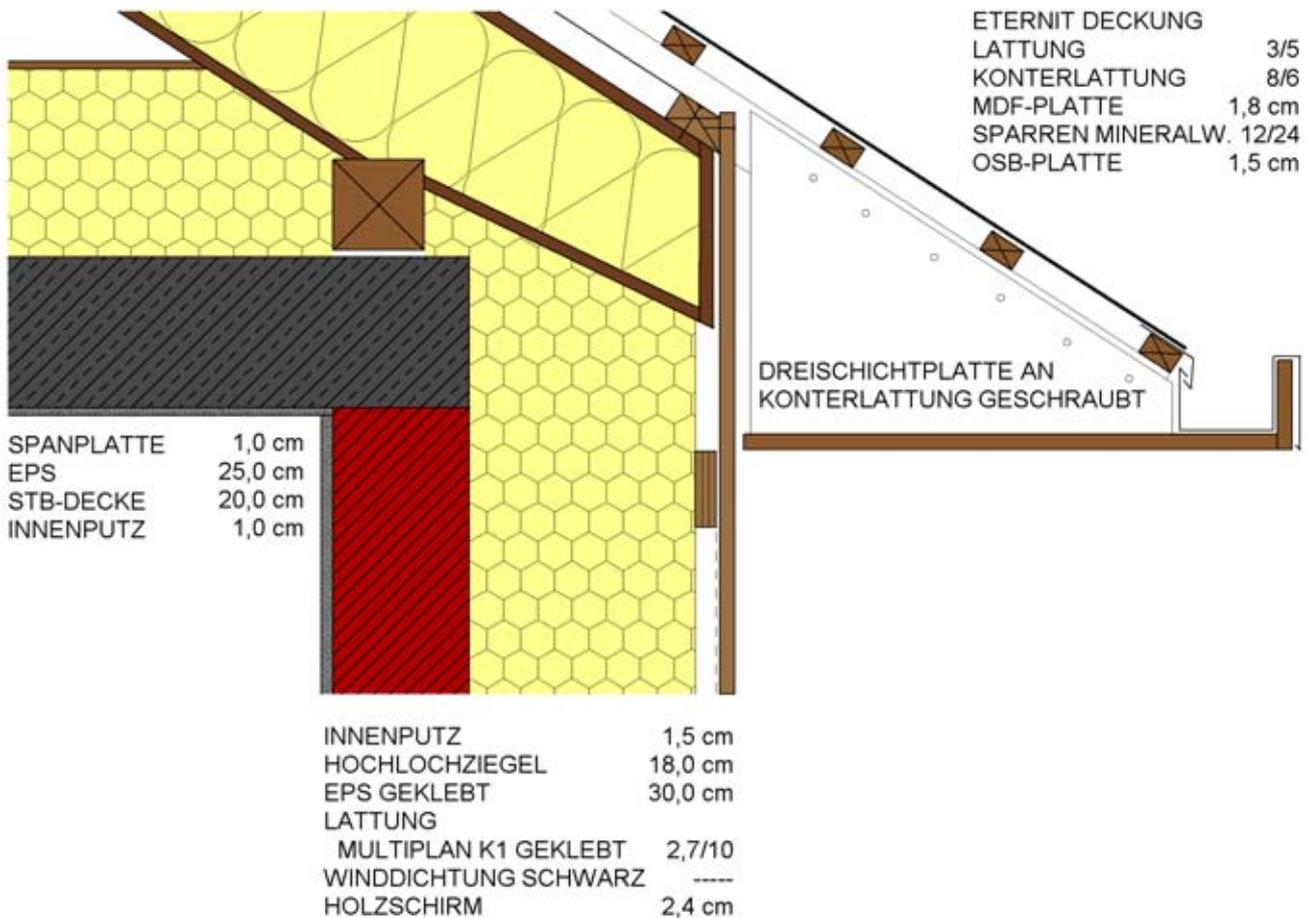


Abbildung 17: Detail Dach-Traufe

Abbildung 17 zeigt die zusätzliche Zwischensparrendämmung im Technikbereich mit 24 cm Mineralwolle der Wärmeleitfähigkeit 0,036 W/(mK). Diese wurde ausgeführt, um die Wärmeverluste der Boiler- und Speichereinheiten zu reduzieren.

DECKENANSCHLUSS

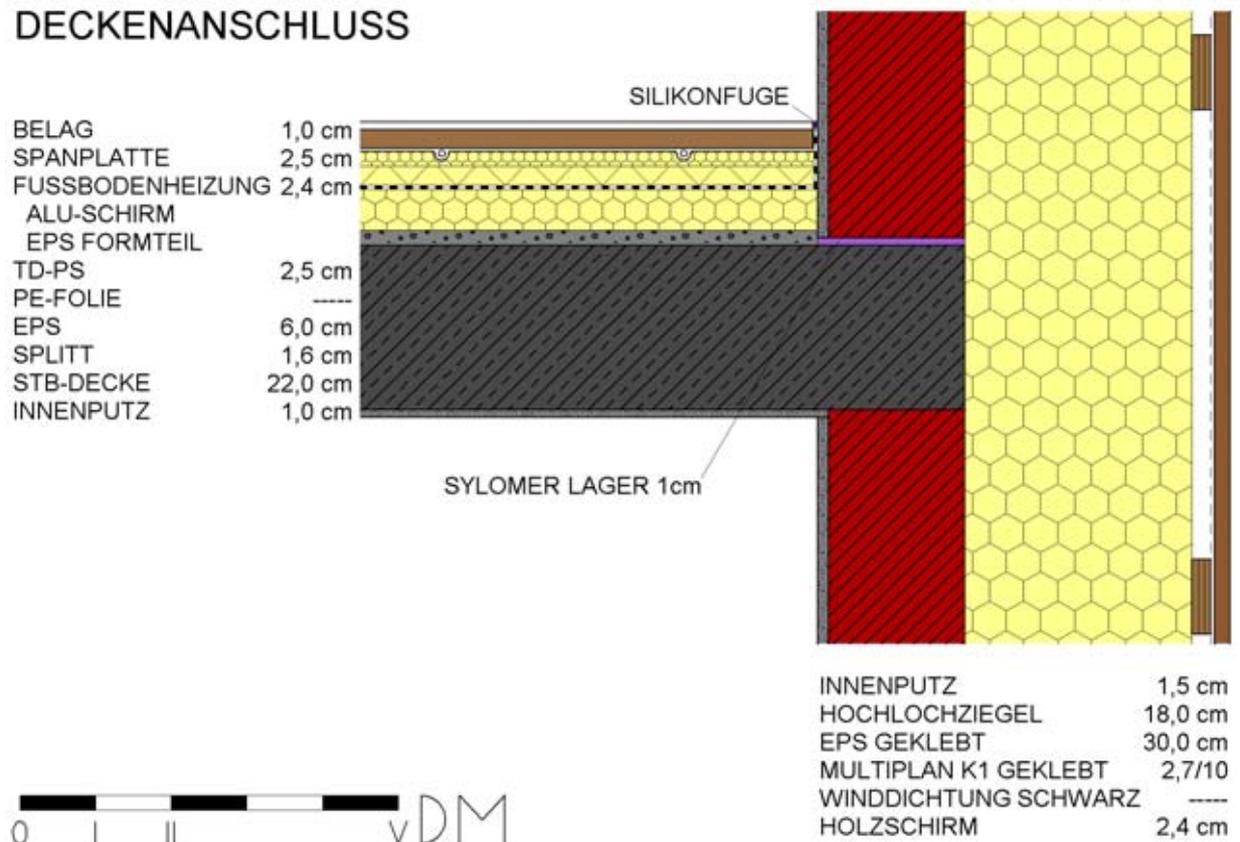


Abbildung 18: Detail Anschluss Geschossdecke - Außenwand

SÜDFENSTER VERTIKAL

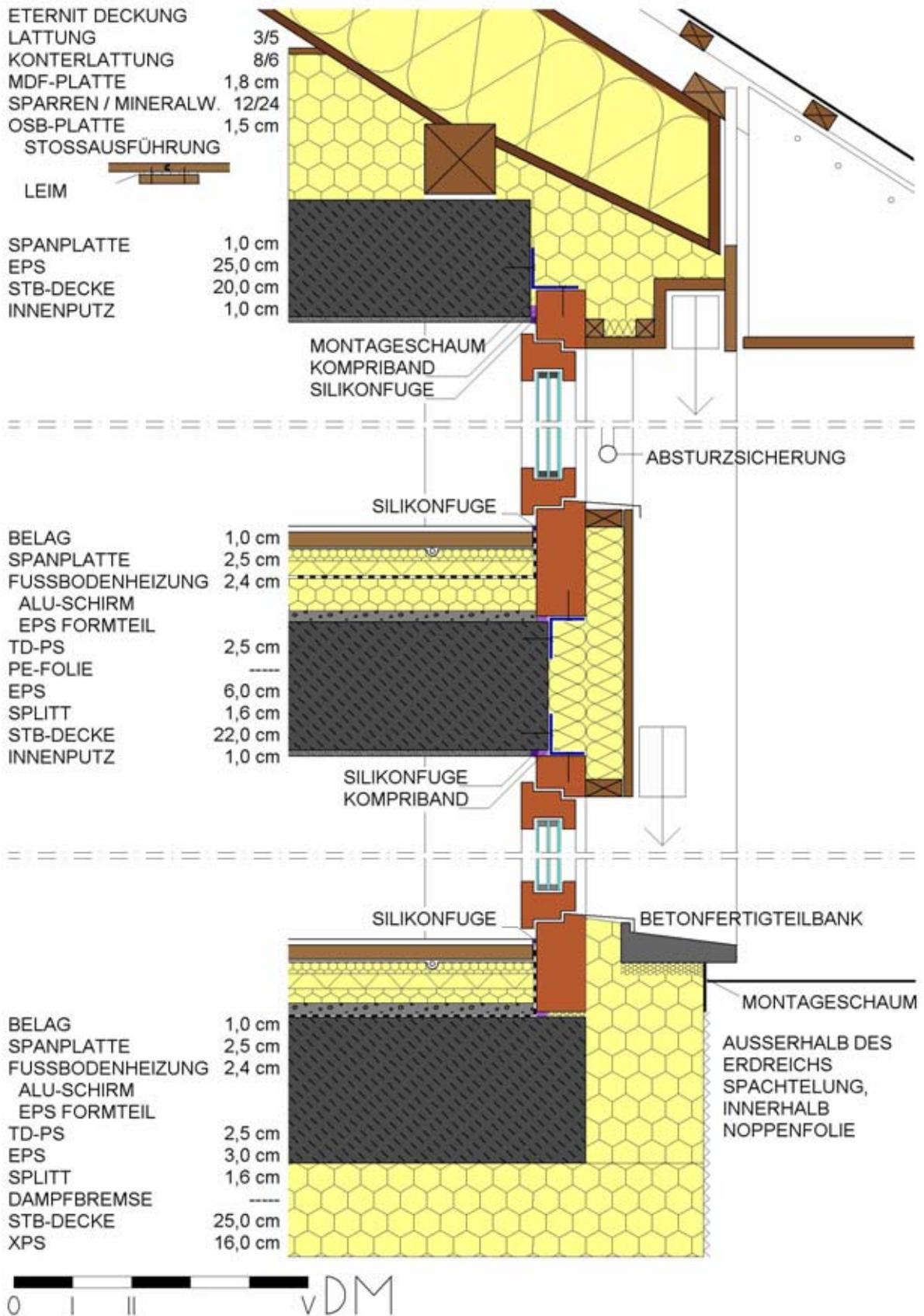


Abbildung 19: Vertikalschnitt durch die Südfassade

Abbildung 19 zeigt den Vertikalschnitt durch die Südfassade. Die Abdichtung der Fenster erfolgte durch Kompribänder zwischen Blendrahmen und Mauerwerk. Der Innenputz wurde durch eine Silikonfuge vom Fenster getrennt. Die Dämmung der Außenwand ist zur Integration des außenliegenden Sonnenschutzes ausgenommen.

ORTGANG ABSTELLBEREICH

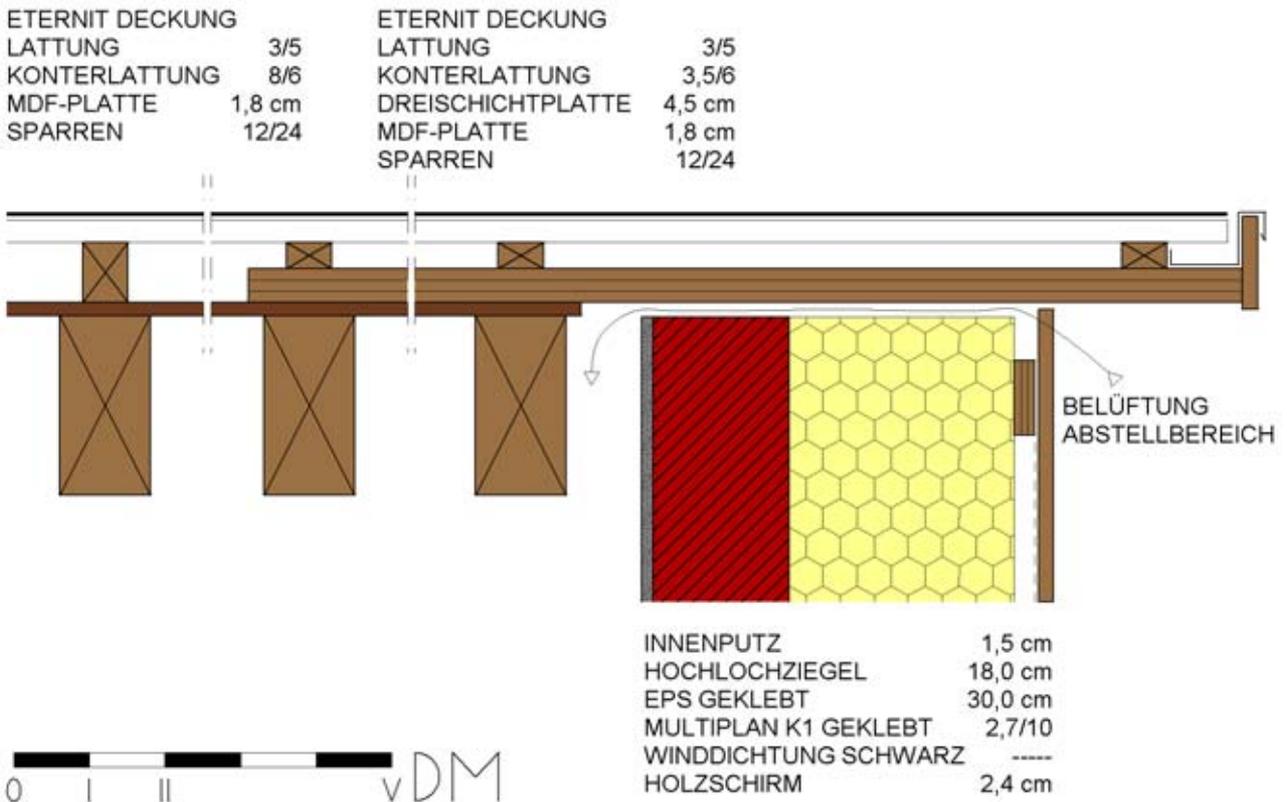
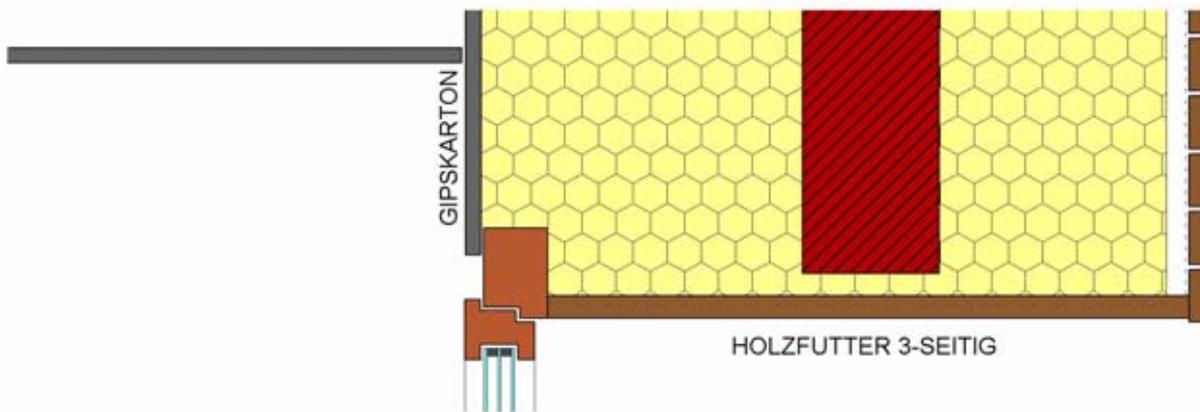


Abbildung 20: Detail Ortgang im Bereich des Dachbodens

Abbildung 20 zeigt das Ortgangdetail im Bereich des unbeheizten Dachbodens. Die Belüftung des Dachraums erfolgt oberhalb der Mauerkrone.

HORIZONTALSCHNITT EINGANGSTÜRE



VERTIKALSCHNITT EINGANGSTÜRE

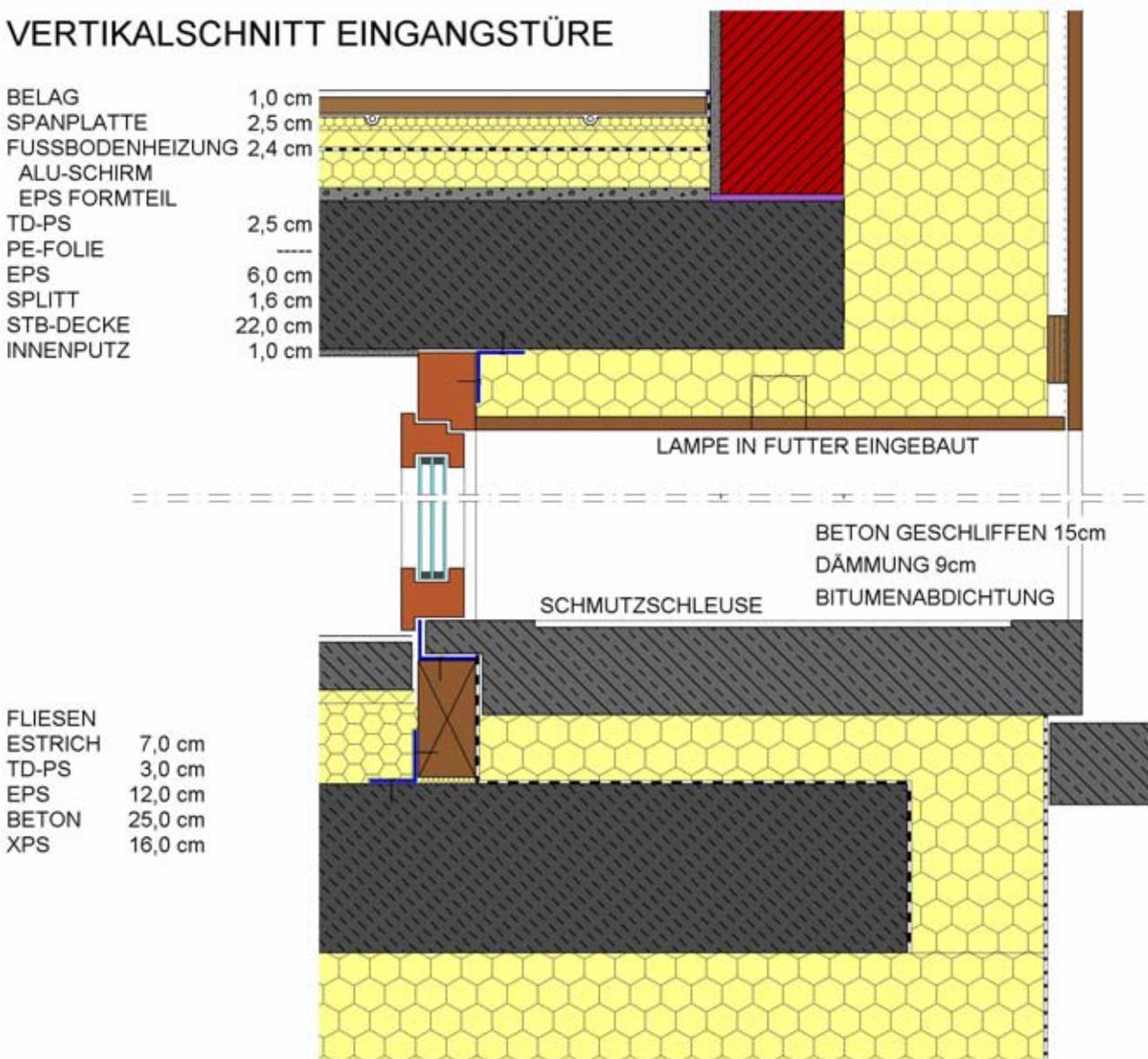


Abbildung 21: Details der Haus-Eingangstüre

Abbildung 21 zeigt die Einbausituation der Haustüre. Die ungedämmten Rahmen sind wo möglich bauseits überdämmt, eine thermische Schwachstelle ist der nicht überdämmte untere Türanschlag.

FENSTER HORIZONTAL

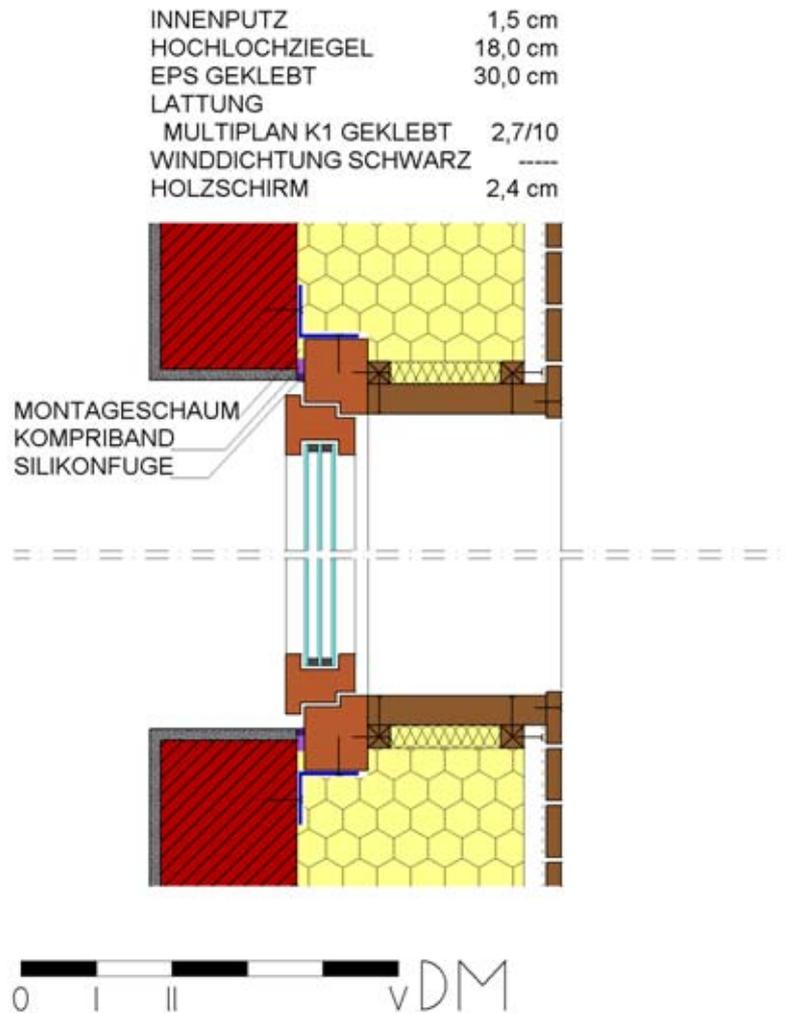


Abbildung 22: Fenstereinbau, Horizontalschnitt

3.6 Besonderheiten

Bei der ursprünglichen Planung wurden die Architekten beauftragt, ein Mehrfamilienwohnhaus mit der geklebten Holzfassade als Niedrigenergiehaus zu planen. Als Heizquelle sollte eine Biomasseheizanlage kombiniert mit Sonnenkollektoren eingesetzt werden. Der Begriff des Passivhauses war dem Bauträger nicht bekannt.

Erst nach der Einreichung der Energiesparhausberechnung beim Energieinstitut Vorarlberg wurde die Planung überarbeitet und das Gebäude als Passivhaus konzipiert. Das Dachgeschoss (Giebelraum) wurde mit einer Treppe erschlossen. Somit konnte der Haustechnikraum im vorhandenen Gebäudevolumen untergebracht werden.

Das Grundkonzept des einfachen kubischen Baukörpers ohne Vor- und Rücksprünge reduziert die wärmetechnischen Schwachpunkte der Gebäudehülle und eignete sich bestens für die Ausführung als Passivhaus. Dadurch waren keine weiteren architektonischen Umplanungen notwendig.

4 Lüftungskonzept

Die Wohnungen verfügen über dezentrale Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung. Die Ansaugung der Frischluft erfolgt im Bereich des Carports. Die Frischluft wird durch einen für jede Wohnung separaten, ca. 35 m langen Erdreichwärmetauscher vorgewärmt und dem jeweiligen Lüftungsgerät zugeführt. In den Erdgeschosswohnungen stehen die Lüftungsgeräte in der Wohnung im Abstellraum. Die Lüftungsgeräte der Dachgeschosswohnungen stehen im Haustechnikraum im Dachgeschoss.

4.1 Zu-, Abluft, Überströmzonen

Die Zuluft wird in den Wohn-Essräumen und in den Schlafräumen über Deckenauslässe im Fensterbereich eingeblasen.

Die Abluft wird über Deckenauslässe in der Küche und im Bad/WC abgesaugt und zum Luft/Luft-Wärmetauscher geführt. Die Überströmung der Luft erfolgt über 15 mm hohen Schlitze zwischen Boden und Türblatt.

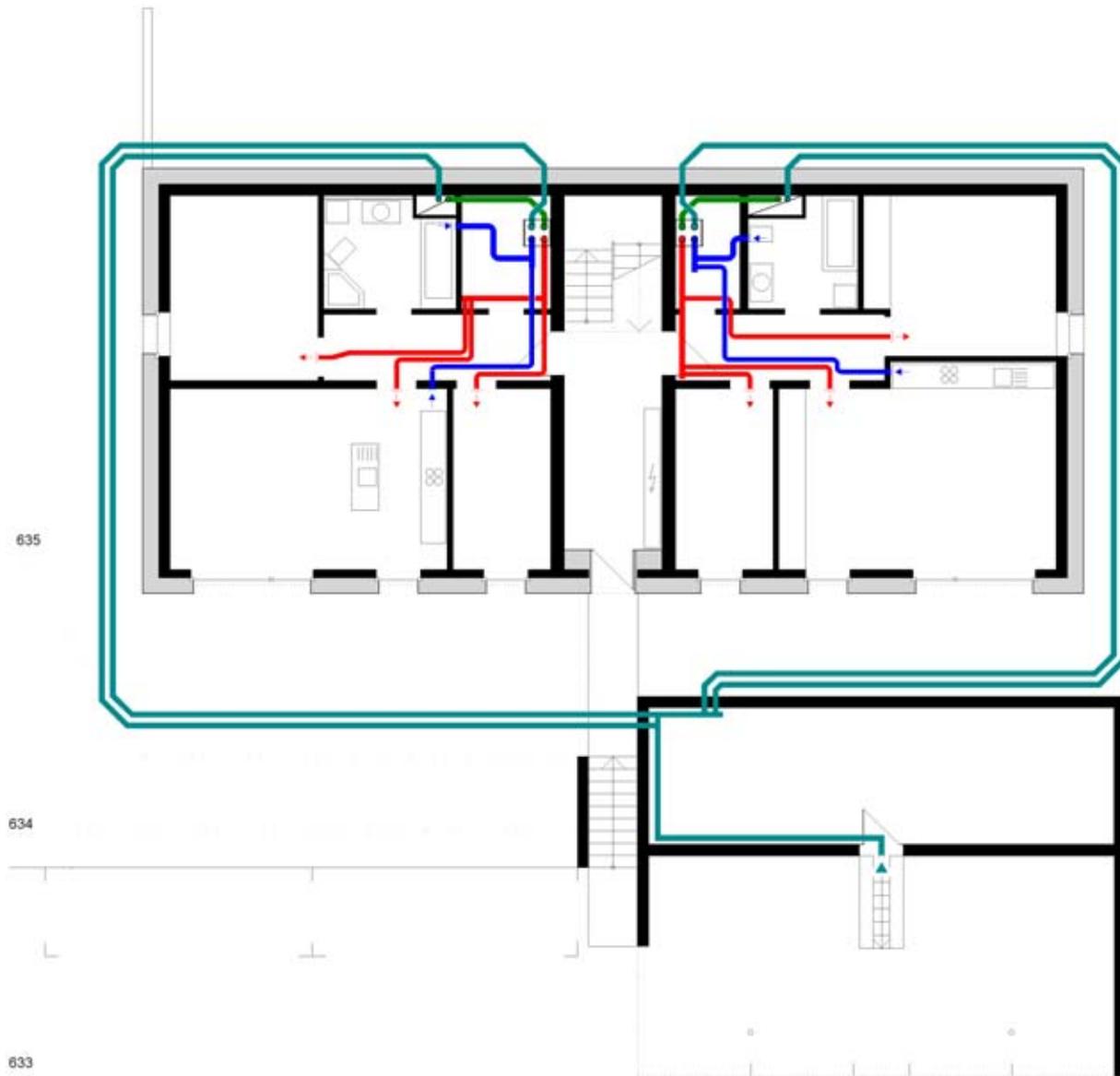


Abbildung 23: Verlauf des Erdreichwärmetauschers und der Lüftungsleitungen im EG

4.2 Angaben zu den technischen Parametern

4.2.1 Regelquerschnitt des Zu- und Abluftkanals

Die Rohre des Erdreichwärmetauschers bestehen aus PE (Polyethylen) und haben einen Querschnitt von 160 mm. Innerhalb des Gebäudes werden sowohl für die Zuluft als auch für die Abluft Wickelfalzrohre mit einem Querschnitt von 125 mm verwendet.

4.2.2 Auslegungsluftvolumenströme

Zu- und Abluftmenge (Stufe 2) betragen 125 m³/h je Wohnung.

Aufteilung der Zuluftmenge:

Wohn-/Essraum	60 m ³ /h
Schlafzimmer	40 m ³ /h
Zimmer	25 m ³ /h

Aufteilung der Abluftmenge:

Küche	50 m ³ /h
Bad	50 m ³ /h
Abstellraum	25 m ³ /h

Die Nennluftmenge (Stufe 2) ist von ca. 7:00 bis 22:00 h aktiv; in der Nacht wird die Luftmenge um ca. 30% reduziert (Stufe 1).

4.2.3 Druckverluste

Außenluft/Zuluft:

Ansauggitter	5 Pa
Sammelkanal	5 Pa
Feinstaubfilter	5 Pa
Erdreichwärmetauscher	35 Pa
Außenluftrohr bis zum Gerät	20 Pa
Zuluftrohr inkl. Rohrschalldämpfer bis zum weitesten Auslass	60 Pa
Zuluftauslass	15 Pa

Summe externe Druckverluste 145 Pa

Geräteinterner Druckverlust 55 Pa

Abluft/Fortluft:

Abluftventil	35 Pa
Abluftrohr inkl. Rohrschalldämpfer	55 Pa
Fortluftrohr über Dach	30 Pa
Fortluftausblasbogen	20 Pa

Summe externe Druckverluste 140 Pa

Geräteinterner Druckverlust 55 Pa

4.2.4 Filter

Vor dem Lufttritt in den EWT ist ein gemeinsamer Feinstaubfilter, Klasse F6 mit einem Anfangsdruckverlust von 5 Pa angeordnet. In jedem Lüftungsgerät befindet sich frisch- und abluftseitig ein Grobstaubfilter, Klasse G4.

4.2.5 Zuluftventile

Im Erdgeschoss: Weitwurfdüse, Fabrikat ABB, Type STH 100



Abbildung 24: Weitwurfdüse im Erdgeschoss

Im Obergeschoss: Radialauslass, Fabrikat KRANTZ, Type RA 100



Abbildung 25: Radialauslass im Obergeschoss

4.2.6 Abluftventile

Abluft-Tellerventil, Fabrikat Kanalfläkt, Type EFF 100



Abbildung 26: Abluft-Tellerventil

4.3 Beschreibung des Wärmetauschers

Die rekuperative Wärmerückgewinnung besteht aus einem Kreuz-Gegenstromtauscher aus Aluminium mit einer trockenen Rückwärmezahl von ca. 75%. Der Wärmebereitstellungsgrad des gesamten Gerätes (MAICO AEREX LU 125) beträgt 78-80%.



Abbildung 27: 2 AEREX-Lüftungsgeräte im Technikraum am Dachboden

4.4 Regelmöglichkeiten

Die Mikroprozessorsteuerung sieht folgende Eingriffsmöglichkeiten für den Nutzer vor:

- Programmierung eines Zeitfensters pro Tag, z.B. Luftmengenabsenkung während der Nacht
- manuelles Aktivieren der erhöhten Lüfterstufe (automatische Rückstellung nach einer Stunde)
- Betriebsarten: Automatikbetrieb; Absenkbetrieb (Stufe 1); Zuluftbetrieb (nur Zuluft – Kühlmöglichkeit); Abluftbetrieb (nur Abluft)
- Anforderung Filterwechsel im Lüftungsgerät nach 3 Betriebsmonaten

4.5 Beschreibung des Erdreichwärmetauschers

Vier Rohre aus Polyethylen (PE) mit einem Nenndurchmesser von 160 mm und einer Länge von je 30-35 m werden einzeln vom Ansaugpunkt (Nebengebäude) zu den zentralen Steigschächten geführt. Von dort aus erfolgt die Verteilung zu den Lüftungsgeräten. Die Verlegung erfolgte in einem Abstand von 1 m zur Gebäudekante und mit einem Gefälle von 1,5%.

4.6 Besonderheiten

Keine Nacherwärmung der Zuluft für die Lüftungsanlage.

5 Konzept der Raumwärmeversorgung

Die Verringerung der maximalen Heizlast auf Werte unter 10 W/m^2 in Passivhäusern ermöglicht eine Beheizung allein über die aus hygienischen Gründen notwendige, durch die automatische Lüftungsanlage bereitgestellte Zuluft. Die Möglichkeit der Begrenzung der maximalen Heizlast auf 10 W/m^2 wurde schon im ersten Passivhaus in Passiv-Kranichstein in der Praxis nachgewiesen, die Beheizbarkeit über die Zuluft wurde im Rahmen des CEPHEUS-Projekts detailliert ermittelt [PHI 3]. Im Projekt Egg wurde nicht diese Möglichkeit der Beheizung über die Zuluft zurückgegriffen.

5.1 Heizwärmeverteilung

Die Wärmeverteilung der 4 Wohnungen im Gebäude erfolgt nicht über das Lüftungssystem, sondern über ein konventionelles Pumpen-Zweirohr-Heizungsnetz mit sehr guter Wärmedämmung aller Rohrleitungen.

Die Heizungsleitungen werden von der Dachzentrale zum jeweiligen Wohnungsverteiler geführt. Dort sind auch die Wärmemengenzähler für die messtechnische Datenerfassung installiert. Die Wärmeabgabe in den einzelnen Wohnungen erfolgt über eine Niedrigsttemperatur-Fußbodenheizung, wobei jeweils im Bad zusätzlich ein kleiner Heizkörper installiert wurde.

Die maximale Heizungsvorlauftemperatur beträgt 35°C bei einer min. Außentemperatur -16°C .

5.2 Wärmeversorgung für Warmwasser und Heizung

Die Wärmeversorgung erfolgt über eine Sole-Wasser-Wärmepumpe mit einer maximalen Leistungsaufnahme von 1,8 kW (lt. Herstellerangabe). Das Erdreich als Wärmequelle wird über Künetten-Erdreich-Absorber erschlossen. Das Rohrnetz von etwa 1200 m Länge müsste in Gebäuden mit üblichem Heizwärmebedarf 3 bis 4-fach länger sein, die Ausführung des Gebäudes im Passivhausniveau bringt eine bedeutende Kostenreduktion bei der Erschließung der Wärmequelle Erdreich. Eine Besonderheit des Projekts in Egg ist die Möglichkeit, die Temperatur des Erdkreises durch die thermischen Solarkollektoren weiter anzuheben. Wie Abbildung 22 zeigt, können diese dem Erdregister nachgeschaltet werden.

Durch den Einbau eines 1.000 Liter-Pufferspeichers mit ausreichend dimensioniertem Solarwärmetauscher wird die Laufzeit der Wärmepumpe optimal genutzt.

Das Warmwasser wird in dem 1.000 Liter fassenden Warmwasser-Solarboiler bei Bedarf über die Wärmepumpe nacherwärmt.

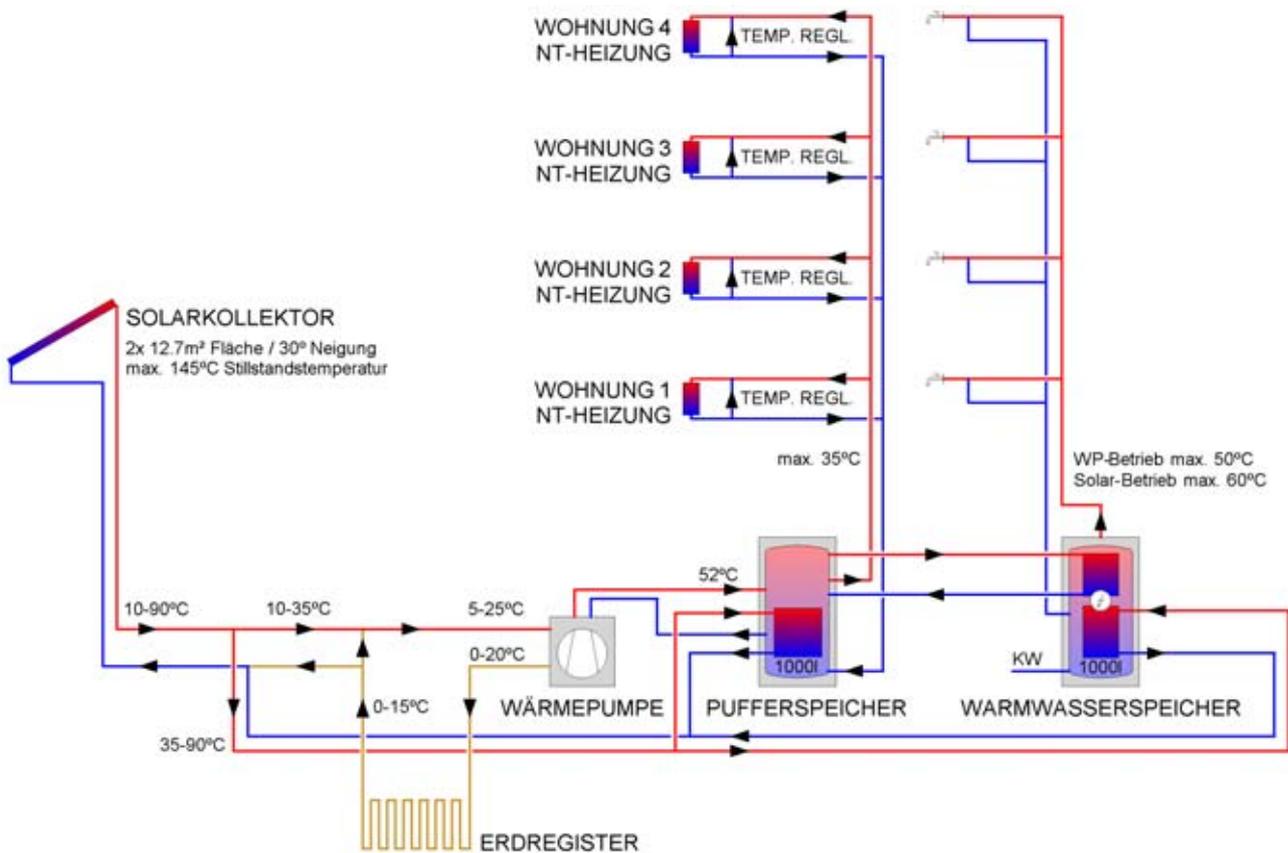


Abbildung 28: Haustechnik-Schema

5.2.1 Technische Daten des Künetten-Erdkollektors

Kollektorlänge	20 m
Anzahl der Register	8 Stk.
Gesamtrohrlänge	1.200 lfm

5.3 Besonderheiten

Die Erdtemperatur im Bereich des Künetten-Kollektors beträgt zwischen 12 und 0°C. Eine Frostbildung im Künetten-Kollektor muss verhindert werden. Dies kann durch folgende Maßnahmen erreicht werden:

1. Durch Überdimensionierung des Künetten-Kollektors, d.h. es müsste ein zweiter Künetten-Kollektor eingebaut werden (großer Platzbedarf) oder
2. durch Anhebung der Soletemperatur über die Solaranlage.

Man hat sich für die 2. Variante entschieden, weil dadurch auch die Leistungsziffer der Wärmepumpe verbessert wird.

6 Konzept der Warmwasserversorgung

6.1 Angaben zur Erzeugung, Speicherung, Verteilung

Die Warmwasserversorgung erfolgt über die in Kapitel 5.3 beschriebene Solaranlage. Eine eventuell erforderliche Nachheizung wird über die Wärmepumpe durchgeführt. Sollte die Warmwassertemperatur (max. 50°C bei Wärmepumpenbetrieb) den Bewohnern zu niedrig sein, so besteht die Möglichkeit über die mittig montierte Elektro-Heizpatrone das Brauchwarmwasser auf eine höhere Temperatur aufzuheizen.

Die Warmwasser-Verteilung erfolgt über ein sehr gut isoliertes Metall-Verbundrohr. Um Komfortansprüchen gerecht zu werden, wurde eine Zirkulationsleitung installiert. Die Schaltung der Umwälzpumpe erfolgt wie folgt:
Zirkulationspumpe 5 Minuten ein, 10 Minuten Pause. Diese Parameter können jederzeit verändert werden.
Der Warmwasserverbrauch jeder einzelnen Wohnung wird über je einen Warmwasserzähler gemessen.

6.2 Auslegungsdaten

6.2.1 Warmwassertemperaturen

Über die Wärmepumpe kann das Warmwasser auf maximal 50° C erwärmt werden, im Sommerbetrieb mit Brauchwasser-Zentralmischer auf max. 60° C.

6.2.2 Rohr-Dämmungen

Als Dämmmaterial werden für die Heizungs-, Warmwasser- und Zirkulationsleitungen folgende Materialien und Dämmstärken verwendet:

Unterputz:

PE-Weichschaum, bis Rohraußendurchmesser 26 mm beträgt die Dämmstärke 20 mm.

Aufputz

PUR-Isolierschalen; bis Rohraußendurchmesser 26 mm beträgt die Dämmstärke 30 mm, darüber 40 mm.

6.3 Beschreibung der Solaranlage

Der Solarkollektor wurde auf dem Satteldach mit ca. 30° Neigung montiert, die Dachfläche ist annähernd süd-west orientiert (38° Südabweichung).

Kollektorfläche: 2 x 12,7 m² NETTO ergibt 2 x 14,0 m² BRUTTO

Fabrikat: DOMA

Type: GFK

Beschichtung: TRANSFER ELEKTRIC

Als Variante wurde auch eine Aufstellung als Fassadenkollektor untersucht, wobei der Winterbetrieb einen höheren Solarertrag bringen würde, jedoch der Sommerbetrieb, bedingt durch das Vordach, keine Volldeckung mehr erreichen würde.

6.4 Besonderheiten

Der Haustechnikplaner verzichtet generell auf Kollektoren mit selektiver Beschichtung, da der maximale Mehrertrag einfach über mehr Kollektorflächen ausgeglichen wird.

Die Solaranlage wird mit einem Betriebsdruck von 3 bar betrieben.

Die max. Stagnationstemperatur beträgt bei dieser Beschichtung 145°C.

Durch diese Maßnahme ist ein Überhitzen der Anlage (Urlaub) im Normalfall ausgeschlossen.

Die bei Überhitzung auftretenden bekannten Probleme wie Korrosion, Foogin

(Niederschlagsbildung an den Scheiben), Geräuschbildung durch Dampfschläge sind dadurch kein Thema für diese Anlage.

7 Ausstattung mit elektrischen Haushaltsgeräten und Beleuchtung

Als Teil des Gesamt-Informationspakets wurden alle CEPHEUS-Partner über die Bedeutung des Themas Stromeffizienz informiert. Unter anderem erhielten sie aktuelle Listen energieeffizienter Haushaltsgeräte [NEI]. Finanzielle Anreize zum Kauf energieeffizienter Geräte konnten nicht gewährt werden, die Ausstattung der Wohnung mit Haushaltsgeräten blieb den Errichtern/Erwerbenden/Bewohnern überlassen. Ausnahme ist das Projekt in Kuchl. Dort wurden die Wohnungen vom Errichter mit Haushaltsgeräten der Effizienzklasse A ausgestattet.

Im Projekt Egg wurde den EigentümerInnen beim Kauf der Wohnung ein gemeinsamer Ankauf der energiesparenden Haushaltsgeräte angeboten. Zudem wurde allen EigentümerInnen eine Liste energiesparender Haushaltsgeräte mit Lieferantenadressen und Richtpreisen zur Verfügung gestellt. Durch die individuelle Ausstattung der Wohnungen hat aber niemand davon Gebrauch gemacht.

Alle EigentümerInnen wurden bezüglich Energieverbrauch zwischen normalen Elektrogeräten und Glühlampen beziehungsweise energiesparenden Elektrogeräten und Energiesparlampen aufgeklärt.

8 Kosten und Mehrkosten

Jedes Gebäude ist ein Unikat.

Jedes Gebäude wird bestimmt durch den Ort, die Zeit und die handelnden Personen.

Jedes Gebäude ist unverwechselbar.

Ein Kostenvergleich zwischen den einzelnen Projekten und ein Kostenvergleich mit fiktiven Gebäuden ist daher nur beschränkt machbar.

Darüber hinaus wird der Vergleich zwischen den einzelnen Projekten durch die unterschiedlichen Ausstattungsstandards, die in den Baukosten (Kostenbereich 2 bis 4 ÖNORM181-1) enthalten sind, erschwert:

- Einige Projekte haben Tiefgaragen, einige Carports und einige Stellplätze im Freien.
- Einige Projekte haben Keller andere haben keine.
- Wenige Projekte sind mit großzügigen Gemeinschaftseinrichtungen (Waschküchen, Aufenthaltsräume für Kinder, Veranstaltungsräume, Hobbyräume, etc.) ausgestattet, manche bloß mit Waschküchen und die meisten haben keine Gemeinschaftseinrichtungen.

Unabhängig von den Ausstattungs- und energietechnischen Standards werden Baukosten noch von vielen anderen Faktoren beeinflusst, wie zum Beispiel:

- Allgemeine Wirtschaftslage des Landes
- Lokale Wirtschaftslage im Großraum der Baustelle
- Spezielle Wirtschaftslage der jeweiligen Unternehmen (Auftragslage, Auslastung, etc.)
- Position der Auftraggeber (großer Bauträger oder kleine Errichtergemeinschaft)
- Größe des Projekts generell
- Größe des Projekts in Relation zu den anderen Aufträgen im Unternehmen
- Fördersystem

Diese Liste könnte sicherlich noch ergänzt werden. Um aber trotz dieser Einschränkungen eine Vergleichbarkeit der Projekte zu erreichen, werden die „Gesamtbaukosten“ auf die Bauwerkskosten lt. ÖNORM 1801-1 (Kostenbereiche 2 bis 4) beschränkt und alle flächenbezogenen Angabe auf die einheitlich ermittelte Energiebezugsfläche (TFA) bezogen.

Die dementsprechend ermittelten Bauwerkskosten und Kostenrelationen sind in nachfolgender Tabelle ersichtlich:

CEPHEUS		4: Egg Austria	CEPHEUS gesamt
Anzahl der Wohneinheiten (WE)		4	223
Energiebezugsfläche (TFA)	[m ²]	310	19.674
TFA / WE	[m ²]	77	88
Bauwerkskosten (inkl. Kosten f. Energieeffizienz + ern. Energie)	[€]	376.293	20.210.704
	%	100%	100%
Bauwerkskosten / m ²	[€/m ²]	1.215	1.184
Bauwerkskosten / WE	[€/WE]	94.073	110.441
Investitionskosten für Energieeffizienz (Wärmedämmung, Lüftung, Fenster etc.) und erneuerbare Energie (Solarkollektoren)	[€]	44.082	1.908.352
	%	12%	9%
Investitionskosten. f. Energieeffizienz u. ern. Energie / m ²	[€/m ²]	142	97
Investitionskosten f. Energieeffizienz u. ern. Energie / WE	[€/WE]	11.021	8.558
Investitionskosten für Energieeffizienz (Wärmedämmung, Lüftung, Fenster etc.)	[€]	36.486	1.715.705
	%	11%	8%
Investitionskosten f. Energieeffizienz / m ²	[€/m ²]	130	87
Investitionskosten f. Energieeffizienz / WE	[€/WE]	10.071	7.694
Investitionskosten nur für erneuerbare Energie (Solarkollektoren)	[€]	3.798	196.996
	%	1%	1%
Investitionskosten nur für erneuerbare Energie / m ²	[€/m ²]	12	10
Investitionskosten nur für erneuerbare Energie / WE	[€/WE]	950	883

Tabelle 4: Kostenzusammenstellung

Die angeführten Kosten basieren auf Angaben des Bauträgers. Diese Angaben enthalten die Abrechnungssummen der Leistungsgruppen und weisen auch die für die Passivhausqualität relevanten Mehrkosten aus. Die Bauwerkskosten (Kostenbereich 2-4) wurden vom Energieinstitut Vorarlberg aus diesen Listen herausgefiltert.

Die Energiebezugsfläche (TFA – Treated Floor Area) wurde vom Energieinstitut Vorarlberg aus den Ausführungsplänen ermittelt, da diese nicht mit den Flächenberechnungen laut ÖNORM 1800 übereinstimmt (siehe Kapitel 2.2).

Wie aus der vorhergehenden Tabelle ersichtlich ist, liegt Egg mit seinen Bauwerkskosten etwa im Durchschnitt der CEPHEUS – Projekte und weist mit 12% „Investitionskosten für Energieeffizienz und erneuerbare Energie“ einen geringfügig höheren Wert aus, als der CEPHEUS – Durchschnitt. Dieser etwas höhere Wert entsteht vor allem durch die zusätzliche Ausstattung mit einer Fußbodenheizung. Dadurch werden die Kosten der Lüftung nicht durch den Entfall einer Heizanlage kompensiert.

9 Beschreibung des Bauablaufs

9.1 Zeitliche Daten

Planungsbeginn:	Februar 1998
Planung als Passivhaus:	Herbst 1998
Detailplanung:	bis Herbst 1999
Spatenstich:	Dezember 1999
Bauausführung:	Dezember 1999 bis September 2000
Bezug der Wohnungen:	September und Oktober 2000

9.2 Beteiligte und Organisation des Bauablaufs

Bauträger:	Kohler Wohnbau GmbH, Andelsbuch
Projektentwicklung, -management und Bauleitung:	Günther Morscher, Morscher Hausbau, Mellau
Architekten:	DI Josef Fink + DI Markus Thurnher, Bregenz
Heizung-Sanitäre Planung:	TB Michael Gutbrunner, Dornbirn
Elektroplanung:	TB Ing. Willi Meusburger, Bezau
Bauphysik:	Dr. DI Lothar Künz, Hard; Ing. Karl Brüstle, Dornbirn
PHPP Berechnung:	TB Ing. Gerhard Ritter, Andelsbuch

Die handwerkliche Umsetzung des gesamten Projektes konnte mit regional ansässigen Firmen, mit welchen auch bereits bei anderen Projekten (keine Passivhäuser) zusammengearbeitet wurde, ausgeführt werden.

9.3 Baudurchführung im Detail

Durch den kompakten Baukörper, ohne unnötige Vor- und Rücksprünge, waren wenige komplizierte Detaillösungen erforderlich. Variantenuntersuchungen dienten im wesentlichen der Kostenoptimierung.

9.3.1 Wärmedämmung

9.3.1.1 Wärmedämmung Bodenplatte

Folgende Varianten wurden untersucht:

- Misa-Por Schüttung unter der Bodenplatte, das bedeutet eine Schüttung von Recyclingglas mit mineralischen Zuschlagstoffen in einer Stärke von etwa 60 cm. Vorteil dieser Dämmung ist eine konsequente, durchgehende Außendämmung und die hohe Belastbarkeit des Materiales. Der Hauptnachteil lag in den höheren Kosten (zusätzlicher Aushub).
- Dämmung zur Gänze unter der Bodenplatte mit XPS-Platten. Vorteilhaft wäre die konsequente Außendämmung, nachteilig die stärkeren Verformungen durch die Pressung und die höheren Kosten der Außendämmung gegenüber der Innendämmung.
- Dämmung teilweise unter der Bodenplatte mit XPS-Platten und mit EPS-Platten auf der Bodenplatte. Diese Variante vereint die Vorteile der Außendämmung (Kondensatproblematik) mit den Kostenvorteilen der Innendämmung.



Abbildung 29: Dämmung unterhalb der Bodenplatte mit 16 cm extrudiertem Polystyrol

9.3.1.2 Wärmedämmung Decke über Wohnungen

Folgende Überlegungen wurden angestellt:

- Abstellräume werden außerhalb der Wärmedämmebene angeordnet. Dadurch wird die Decke über dem Wohngeschoss mit 40 cm EPS gedämmt, die Abstellräume befinden sich im durchlüfteten Dachraum.
- Der Technikbereich mit den Boiler- und Speichereinheiten muss bei einer Anordnung im Kaltbereich stark gedämmt werden. Die Abwärme der Lüftungsgeräte entweicht nach außen. Die oberste Decke im Technikbereich wurde mit 25 cm EPS gedämmt, zusätzlich wurde in der Sparrenebene 24 cm Mineralwolle aufgebracht, um die Verluste der Boiler- und Speichereinheiten zu reduzieren.

9.3.2 Fenster

Zur Ausführung gelangten Vollholzfenster der Tischlerei Sigg, Hörbranz aus Weißtanne mit einer Stärke von 88 mm. Die Fensterstöcke wurden bauseits überdämmt. Die Dreischeibenverglasung (Unitop 0,6) mit Thermix-Abstandhaltern weist einen g-Wert von 53% und einen U-Wert von $0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$ laut Herstellerfirma bzw. $0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ laut deutschem Bundesanzeiger auf.

9.3.3 Luftdichtheit

9.3.3.1 Anschluss Boden – Wand

Vorgesehen war eine Estrichkonstruktion, bei der die Folie unter dem Estrich mit der verputzten Außenwand verklebt ist. Durch die nachträgliche Änderung der Ausführung als Trockenboden war eine Siliconfuge zwischen Parkett und Innenputz unter der Sockelleiste erforderlich.

9.3.3.2 Anschluss Boden – Fenster

Der Anschluss erfolgte analog dem Anschluss Boden – Wand mit einer Siliconfuge.

9.3.3.3 Anschluss Stiegenhauswände – Dachbereich

Die Stiegenhauswände des Erd- und Obergeschosses wurden betoniert und mit einer biegeweichen Vorsatzschale ausgeführt. Das Dachgeschoss wurde als Holz-Leichtbaukonstruktion ausgeführt. Dadurch wurde im Bereich der Treppenhauswände eine Abdichtung zur Betondecke notwendig. Hier könnten bei zukünftigen Projekten die massiven Wände bis unter die Dachhaut geführt werden. So ließen sich unnötige Mehraufwände bei der luftdichten Ebene und unnötige Fehlerquellen verhindern.

9.3.3.4 Anschluss Fenster – Außenwand

Die Abdichtung erfolgte mittels Compriband zwischen Mauerwerk und Fensterstock. Zwischen Innenputz und Fenster wurde eine Acrylfuge eingebaut.

9.3.4 Besonderheiten

Ein wesentlicher Vorteil der aufgeklebten Holzfassade liegt darin, dass sämtliche Außenbauteile wie Absturzsicherungen, Sonnenschutz etc. an die Holzfassade befestigt werden können und keine Verbindungen durch die Wärmedämmung in die konstruktiven Bauteile wie Wände und Decken notwendig sind.

9.3.5 Allgemein

Die Dichtheitsprüfung sollte so früh wie möglich durchgeführt werden, damit alle Detailpunkte der dichtenden Hülle möglichst noch sichtbar sind. So kann man Leckstellen leichter finden und ohne unnötigen Mehraufwand sanieren.

9.4 Erfahrungen mit Beteiligten bzw. den geplanten technischen Lösungen hinsichtlich der Realisierung der Qualitätsanforderungen

Bei allen Handwerkern mit Ausnahme des Fensterbauers musste festgestellt werden, dass Sinn und Zweck der Luftdichtheit nicht bekannt waren. Erst die Dichtheitsprüfung hat ein gewisses Verständnis gebracht. Von den meisten beteiligten Handwerkern wurden Bedenken geäußert, dass solche Gebäude zu dicht seien und dadurch eine größere Gefahr der Schimmelbildung gegeben sei. Das erforderte von der Bauleitung eine intensivere Betreuung und mehr Kontrolle bei den Detailausführungen. Gravierende Wissensdefizite bestehen insbesondere über die Zusammenhänge von Wärmedämmung, Luftdichtheit und Wasserdampfdiffusion. Erst als bei der Luftdichtheitsprüfung eine Nebelmaschine eingesetzt wurde und die Leckagen sichtbar wurden, haben viele Beteiligte den Unterschied zwischen Wärmedämmung und Luftdichtheit verstanden.

Bei zukünftigen Projekten muss bei der Detailplanung noch mehr auf die Darstellung der Abdichtungsebene eingegangen werden. Die luftdichtende Schicht muss ausnahmslos bei allen Details geplant werden. Weiters muss noch stärker auf die Verarbeitungsrichtlinien der eingesetzten Baustoffe, besonders der Abdichtungsmaterialien, hingewiesen werden.

Probleme traten auch bei der Einführung von Kabeln, Kabelhüllrohren und Rohrleitungen durch die Dichtheitsebene ins Gebäude und innerhalb des Gebäudes, z.B. vom Gang in die Wohnungen auf.

9.5 Besonderheiten

Eine Besonderheit stellt die ausgeführte Außenwandkonstruktion mit der auf die Wärmedämmung geklebten Holzfassade dar. Dieser Wandaufbau ist eine Eigenentwicklung des Bauträgers der zugleich auch der ausführende Baumeister war. Ziel war es, einen Wandaufbau zu entwickeln, der dem Baumeister eine möglichst große Wertschöpfung überlässt und trotzdem die von der Baubehörde geforderte, regional typische Holzfassade ermöglicht.

Erst im Zuge der Detailplanung stellte sich heraus, dass dieser Wandaufbau für Passivhäuser sehr gut geeignet ist.

10 Ergebnisse qualitätssichernder Maßnahmen

Ein Schwerpunkt der Projektbegleitung lag auf der Durchführung qualitätssichernder Maßnahmen. Für alle Projekte wurden detaillierte Berechnungen mit dem Passivhaus-Projektierungs-Paket sowie Luftdichtheitstests und Thermographien durchgeführt.

10.1 PHPP-Berechnung

Zur energetischen Optimierung der CEPHEUS-Gebäude und zum Nachweis der Passivhaus-Grenzwerte (spezifischer Heizwärmebedarf, Primärenergiebedarf, maximale Heizlast) wurde das Passivhaus-Projektierungs-Paket (PHPP) des PHI eingesetzt. Das Verfahren lehnt sich an EN 832 an und ist gut validiert [PHI 1]. Die Berechnungsannahmen wurden wo möglich vereinheitlicht, um die Vergleichbarkeit zwischen den Projekten zu erleichtern.

- Energiebezugsfläche ist die „Treated Floor Area“ (TFA) [CEPHEUS 1]
- Raumlufttemperatur einheitlich 20°C für die gesamte Energiebezugsfläche
- Interne Wärmequellen: Standardwert von 2,1 W/m²a
- Reduktionsfaktoren solare Einstrahlung: Verschmutzung 0,95, nicht senkrechter Lichteinfall: 0,85

Verglasungsanteil und Verschattungsfaktoren wurden projektspezifisch und orientierungsabhängig ermittelt, die Eigenverschattung wurde projektspezifisch ermittelt, die Horizontverschattung i.d.R. nicht.

Die Berechnungen für das Projekt in Egg wurden nicht für die einzelnen Wohnungen, sondern für das Gesamtgebäude inklusive Stiegenhaus durchgeführt.

Das Gebäude war ursprünglich nur als Energiesparhaus geplant und wurde erst dann auf Passivhaus-Niveau umgearbeitet. Dabei wurden verschiedene Varianten mit dem Passivhaus-Projektierungs-Paket berechnet um die notwendigen Dämmstärken zu ermitteln.

Man begann z.B. bei den Außenwänden mit einer Dämmstärke von 40 cm, die man letztendlich auf 30 cm reduzieren konnte sowie bei der Bodenplatte, bei der statt 15 cm EPS auf der Stahlbeton-Platte nur 6 cm ausgeführt wurden (zusätzlich zu den 16 cm XPS unter der Platte). Diese und andere Optimierungen konnten aufgrund der PHPP-Berechnungen realisiert werden.

Projektspezifische Eingabedaten und wichtige Annahmen für die PHPP-Berechnungen:

- Energiebezugsfläche 309,7 m²
- Außentemperaturen: regionale Klimadaten mit 85 kWh/a in der Heizperiode von 1. Oktober bis 30. April [Krec].
- Solarstrahlung: orientierungsabhängige Werte für den Berechnungszeitraum von 225 Tagen aus langjährigen Mittelwerten für Egg [Krec] berechnet
- Luftdichtheit: tatsächlicher n₅₀-Wert von 0,51 LW/h
- Wärmebereitstellungsgrad WRG: 75%
- Wärmebereitstellungsgrad EWT: 20%
- Mittlerer Luftwechsel: Berechnungsannahme: 300 m³/h, entsprechend 0,41 LW/h; Abweichung von der Auslegung des Haustechnikplaners mit ca. 440 m³/h im 24-Stunden Mittel

Der berechnete spezifische Heizwärmebedarf liegt bei 15,7 kWh/(m²a), die maximale Heizlast im Mittel des Hauses bei 10,6 W/m².

Folgende Abbildung zeigt das PHPP-Berechnungsblatt zur Ermittlung des Heizwärmebedarfs.

Passivhaus-Projektierung

ENERGIEKENNWERT HEIZWÄRME

Klima: Deutschland		Gebäudetyp/Nutzung: Mehrfamilienwohnhaus
Objekt: Passivhaus Egg Wieshalde		Energiebezugsfläche A_{EB} : 309,7 m ²
Standort: Egg		Standard-Personenbelegung: 10 Pers

Bauteile	Fläche m ²	U-Wert W/(m ² K)	Reduktionsfaktor ξ	G _T kWh/a	=	kWh/a	pro m ² Energie- bezugsfläche
1. Außenwand 1 Außen	207,1	0,120	1,0	85	=	2112	
2. OD zu Dachboden	93,6	0,096	1,0	85	=	764	
3. OD zu Technikraum	93,6	0,149	0,5	85	=	593	
4. NO Außenwand 2 Erde	102,7	0,124	0,5	85	=	541	
5. Innenwand DG	26,5	0,149	1,0	85	=	336	
6. Fußboden EG	203,4	0,135	0,5	85	=	1167	
7. Schrägdach	15,1	0,172	1,0	85	=	220	
8. Fenster	01,9	0,858	1,0	85	=	5977	
summe	823,9						37,8

Transmissionswärmeverluste Q_T Summe **11710** kWh/a

Lüftungsanlage:	wirksames Luftvolumen V_L	A_{EB} m ²	lichte Raumhöhe m	=	m ³
		309,7	2,35	=	728
Wärmebereitstellungsgrad des Plattenwärmetauschers	η_{WRO}	75%	Wärmebereitstellungsgrad		
Wärmebereitstellungsgrad des Erdeichwärmetauschers	η_{EWT}	20%	$\eta_{L-Anlage}$ 1/h	Φ_{WRO}	$\eta_{L-Instr.}$ 1/h
energetisch wirksamer Luftwechsel n_L		0,412	$(1 - 0,800)$	+	0,030
				=	0,120

Lüftungswärmeverluste Q_L	V_L m ³	n_L 1/h	c_{Luft} Wh/(m ³ K)	G _T kWh/a	=	kWh/a	kWh/(m ² a)
	728	0,120	0,33	85	=	2452	7,9

Summe Wärmeverluste Q_V	Q_T kWh/a	+	Q_L kWh/a	=	kWh/a	kWh/(m ² a)
	11710		2452	=	14162	45,7

Ausrichtung der Fläche	Reduktionsfaktor vgl. Blatt Fenster	g-Wert (senkr. Einstr.)	Fläche m ²	Globalstr. Heizzeit kWh/(m ² a)	=	kWh/a	kWh/(m ² a)
1. Ost	0,30	0,53	3,09	309	=	193	
2. Süd	0,55	0,53	49,35	341	=	4878	
3. West	0,38	0,53	3,09	166	=	104	
4. Nord	0,47	0,53	24,65	150	=	980	
5. Horizontal	0,47	0,53	1,76	449	=	197	
Summe						6352	20,5

Wärmeangebot Solarstrahlung Q_S Summe **6352** kWh/a

Interne Wärmequellen Q_I	kWh/d	Länge Heizzeit ds	spezif. Leistung q_i Wh/m ²	A_{EB} m ²	=	kWh/a	kWh/(m ² a)
	0,024	225	2,1	309,7	=	3512	11,3

Freie Wärme Q_F	$Q_S + Q_I$	=	kWh/a	kWh/(m ² a)
		=	9864	31,9

Verhältnis Freie Wärme zu Verlusten	Q_F / Q_V	=	kWh/a
		=	0,697

Nutzungsgrad Wärmegewinne η_G	$(1 - (Q_F / Q_V)^{\beta}) / (1 - (Q_T / Q_V)^{\beta})$	=	kWh/a	kWh/(m ² a)
		=	0,944	

Wärmegewinne Q_G	$\eta_G \cdot Q_F$	=	kWh/a	kWh/(m ² a)
		=	9310	30,1

Heizwärmebedarf Q_H	$Q_V - Q_G$	=	kWh/a	kWh/(m ² a)
		=	4852	15,7

Abbildung 30: PHPP-Berechnungsblatt „Heizwärme“

10.2 Berechnungen der Wärmebrücken

Zur Optimierung der Bauteilanschlüsse wurden für den Großteil der österreichischen CEPHEUS-Projekte stationäre, zweidimensionale Wärmebrückenberechnungen durchgeführt. Ziel der Optimierung war die Entwicklung wärmebrückenfreier Bauteilanschlüsse. Das Kriterium der Wärmebrückenfreiheit gilt als erfüllt, wenn die Wärmebrücken-Verlustkoeffizienten ψ aller Bauteilanschlüsse bei unter 0,01 W/mK liegen [PHI 2] bzw. wenn der Wärmeverlust über die Gebäudehülle inklusive aller Wärmebrückeneffekte den Verlust bei Berechnung mit den U-Werten der Regelbauteile bei Außenmaßbezug nicht übersteigt [PHI 4].

Der Schwerpunkt der Wärmebrückenberechnungen für das Projekt in Egg [Künz 4] lag auf der Untersuchung der Fensteranschlüsse. Außerdem wurde der Anschluss Fußboden gegen Außenwand und der Anschluss Fußboden / Außenwand gegen Erdreich berechnet. Aufgrund der einfachen Grundkonstruktion mit einer außenliegenden, umlaufenden Wärmedämmung und dem kompakten Entwurf ohne Vor- und Rücksprünge waren Wärmebrückenberechnungen für viele Detailpunkte (etwa die Gebäudeaußenecke) nicht unbedingt notwendig.

Der projektspezifisch ermittelte mittlere k-Wert aller Fenster liegt unter Berücksichtigung der Wärmebrückeneffekte des Rahmens, des Abstandshalters und der Einbausituation bei 0,858 W/(m²K). Angesichts der nicht gedämmten Holzfensterrahmen ist dies ein sehr guter Wert, der auf die konsequente außenseitige Überdämmung der Rahmen (siehe Abbildung 16) und die im Durchschnitt relativ großen Fensterformate zurückzuführen ist. Die folgende Tabelle fasst die Ergebnisse der Wärmebrückenberechnungen zusammen.

Nummer	Bezeichnung Detail	Ψ [W/mK]
1	Fensteranschluss seitlich	-0,032
2	Fensteranschluss unten 1	-0,083
3	Fensteranschluss unten 2	-0,035
4	Fensteranschluss oben Süd	-0,032
5	Fensteranschluss oben Nord	-0,017
6	Fußboden gegen Erdreich (Ecke)	-0,195
7	Fußboden/Außenwand gegen Erdreich (Ecke)	-0,191

Tabelle 5: Psi-Werte der berechneten Wärmebrücken

10.3 Ergebnisse der Luftdichtheitstests

Als wichtiger Bestandteil der Qualitätssicherung wurden für alle CEPHEUS-Projekte Luftdichtheitstests gemäß ÖNORM EN ISO 9972, Entwurf 1/1997 durchgeführt. Ziel ist der Nachweis des Passivhausgrenzwertes n_{50} von $\leq 0,6h^{-1}$.

Für das Projekt in Egg wurden insgesamt 3 Drucktests zur Überprüfung der Luftdichtheit durchgeführt. Festgestellte Undichtheiten wurden soweit möglich nachgebessert.

Kurz vor Fertigstellung und Bezug des Gebäudes wurde der letzte, abschließende Drucktest am 13.9.2000 durchgeführt, das Messprotokoll findet sich in [Künz 5].

Für die Messungen wurde das Blower-door-Gerät in einer südseitigen Fenstertür im Erdgeschoss eingebaut und das gesamte Gebäudevolumen inkl. Stiegenhaus unter Druck gesetzt. Der n_{50} -Wert betrug im Mittel von Unterdruck und Überdruckmessung $0,51h^{-1}$.

Die größten Undichtheiten fanden sich im Stiegenhaus (Anschluss Fußboden-Außenwand), bei der Hauseingangstür und den Elektroleitungen.

Anfängliche Schwachstellen bei den Fenstern konnten relativ problemlos nachgebessert werden.

10.4 Ergebnisse der Thermografien

Die Ausführungsqualität der Gebäudehülle der CEPHEUS-Projekte wurde durch Infrarot-thermographische Aufnahmen gemäß ÖNORM EN 13187 überprüft.

Die Thermografieaufnahmen wurden am 28.3.2001 von 6.20 h - 7.30 h morgens durchgeführt, die Ergebnisse sind in [Künz 6] detailliert dargestellt.

Die Außentemperatur lag bei +3 °C, bei bewölktem Himmel. Die Innenraumtemperatur in der gemessenen Wohnung lag bei +21,8 °C mit 30,7% relativer Luftfeuchte.

Es wurden sowohl Außenaufnahmen als auch Innenaufnahmen durchgeführt.

Die folgenden Abbildungen zeigen die durch Thermographien aufgezeigten Schwachstellen.

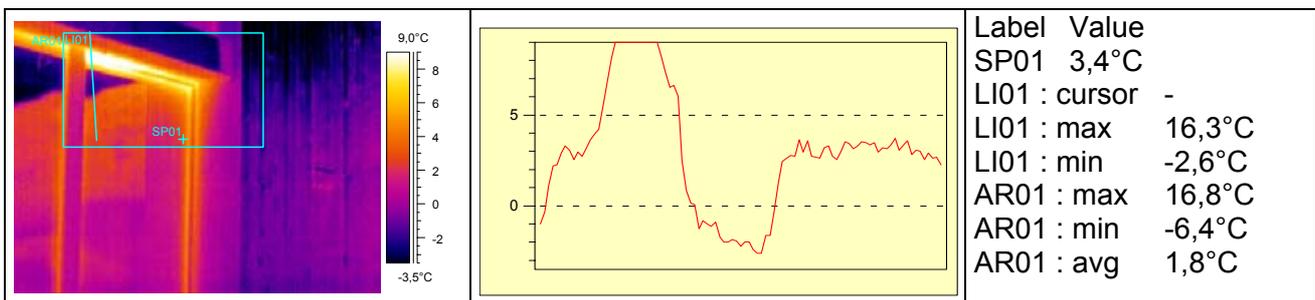


Abbildung 31: Undicht schließendes Fenster im Erdgeschoss, Außenaufnahme

Die Außenaufnahme des Fensters in der Südfassade EG links zeigt deutlich erhöhte Temperaturen zwischen Blend- und Flügelrahmen. Ursache ist entweder ein unvollständig geschlossenes oder ein undicht schließendes Fenster.

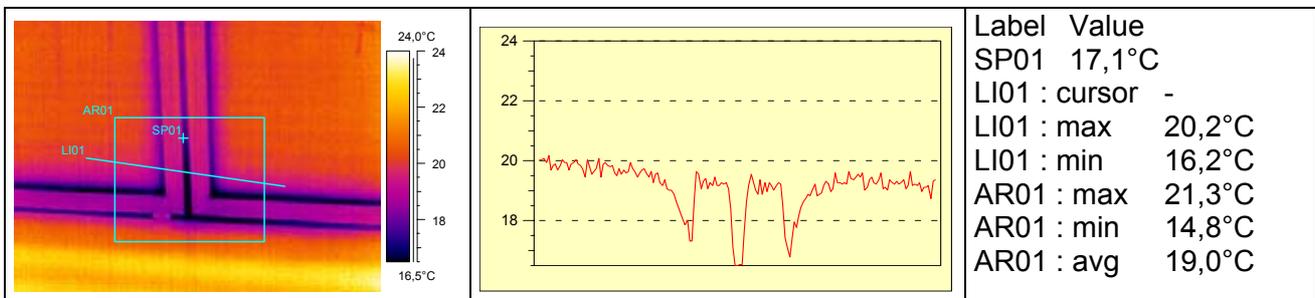


Abbildung 32: Südfenster, mittlerer Stoß, Innenaufnahme

Die Abbildung zeigt den unteren Teil einer zweiflügeligen Fenstertüre auf der Südfassade. Die minimalen Temperaturen treten am Glasrand (17,5°C) und in der Fuge zwischen den Flügelrahmen (16,2°C) auf. Die Oberflächentemperatur im ungestörten Glasbereich liegt bei etwa 21°C.

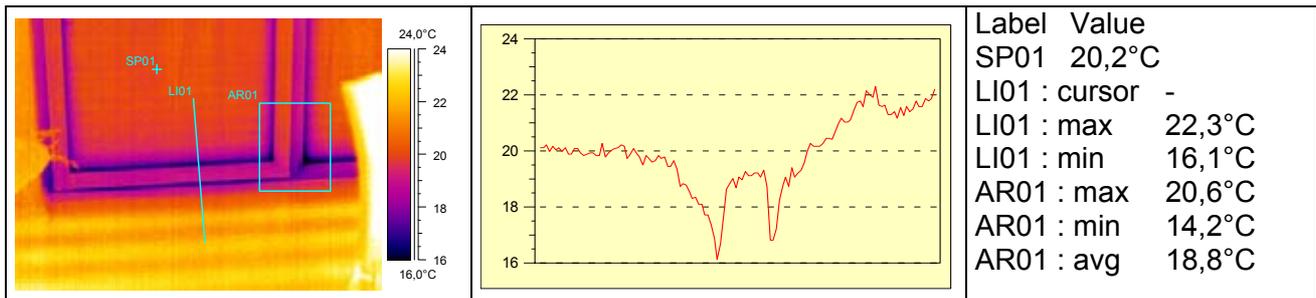


Abbildung 33: Fenster Nordfassade, mittlerer Stoß, Innenaufnahme

Die Abbildung zeigt den unteren Bereich einer Fenstertüre in der Nordfassade. Die Oberflächentemperatur des Glases im ungestörten Bereich beträgt 20,2°C. Auffällig ist der Temperaturabfall an der Gehung der Fixverglasung. Vermutliche Ursache ist eine leichte Undichtheit zwischen Blend- und Flügelrahmen. Selbst an der kältesten Stelle liegt die Temperatur mit 16,1°C deutlich über den Werten eines Zweischeiben-verglasten Fensters.

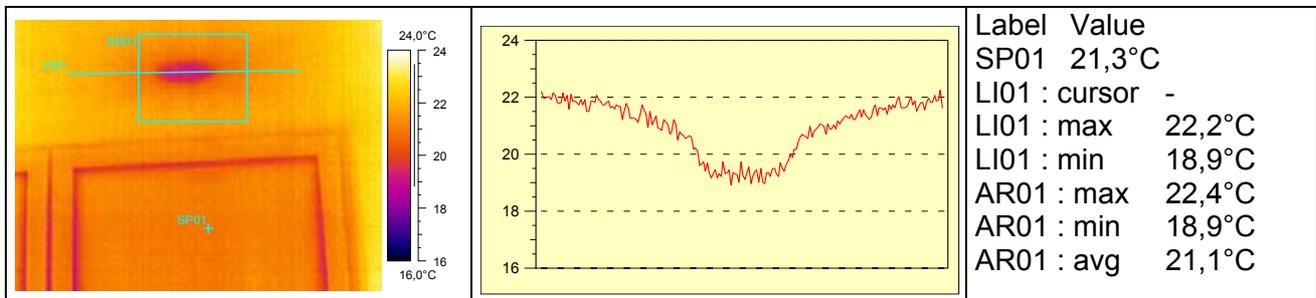


Abbildung 34: Fenster Südfassade, Lüftungsauslass, Innenaufnahme

Die Thermographie verdeutlicht die hohe Qualität der Gebäudehülle des Projekts in Egg: die Temperaturen auf der Innenseite der Außenwand, der obersten Geschossdecke und der Verglasung liegen nur geringfügig unter der Lufttemperatur von 21,8°C. Sichtbar ist die geringere Temperatur am Glasrand. Diese liegt aufgrund des thermisch getrennten Randverbunds nur um etwa 2K unter der Oberflächentemperatur der Verglasung. Der runde Fleck am oberen Bildrand ist der Zuluftauslass. Da das Projekt über keine Luftnacherwärmung verfügt, liegt die Zulufttemperatur unter der Raumlufttemperatur. Mit 18,9°C erfüllt sie das Behaglichkeitskriterium einer Mindesttemperatur von 17,5°C.

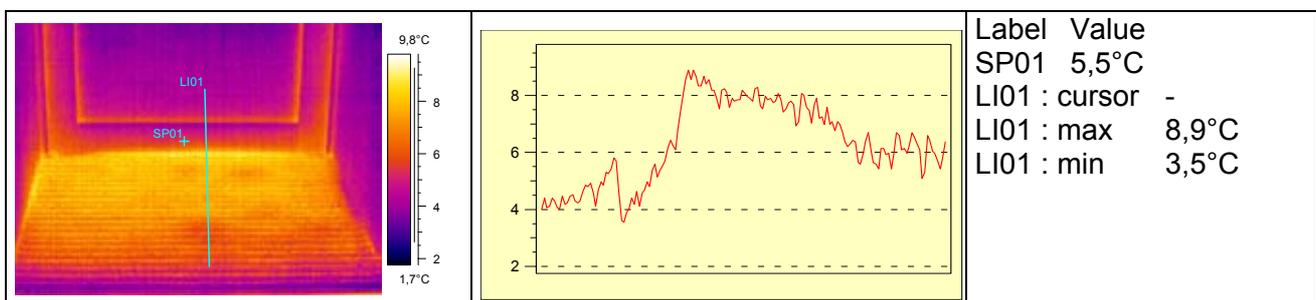


Abbildung 35: Hauseingangstüre unten, Außenaufnahme

Die größte thermische Schwachstelle des Gebäudes ist der untere Abschluss der Hauseingangstüre. In diesem Bereich ist der Holz-Fensterrahmen nicht bauseits gedämmt (siehe Abbildung 15), Die Thermographie zeigt deutlich die Erwärmung des Eingangspodestes infolge der erhöhten Wärmeverluste.

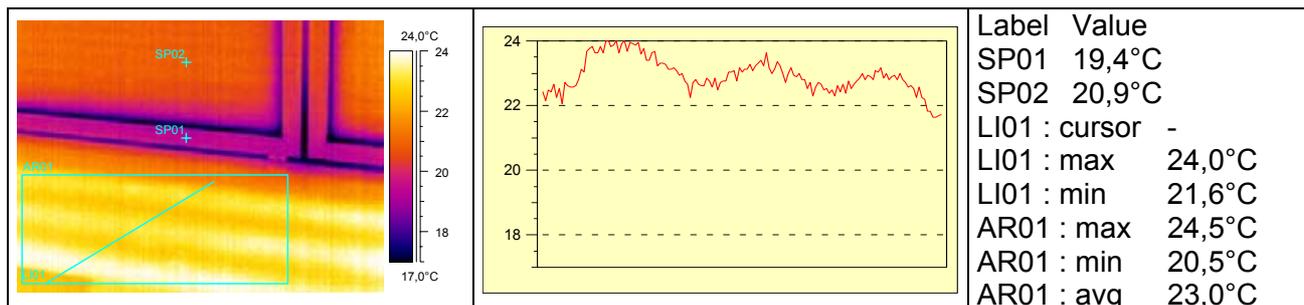


Abbildung 36: Top 4, Fenster Südfassade, mittlerer Stoß

Die hellen Streifen im Vordergrund zeigen die Rohre der Fußbodenheizung. Die Oberflächentemperatur über Rohrmitte liegt um 2K über der Fußbodentemperatur zwischen den Rohren.

11 Angaben zu Erwerberr/Bauherren bzw. Mietern

Drei der vier Wohnungen werden von den EigentümerInnen selber bewohnt. Eine Wohnung ist vermietet. Alle Wohnungen wurden von Frauen gekauft. Für keine der Käuferinnen war die Qualität eines Passivhauses mit den damit verbundenen niedrigen Energiekosten ein wesentliches Argument für den Wohnungskauf. Bei den Verkaufsgesprächen wurden die Argumente lediglich wohlwollend zur Kenntnis genommen. Nach der ersten Heizperiode äußerten sich aber alle BewohnerInnen positiv über das angenehme Raumklima. Bemerkenswerterweise wurden wir sogar während der tiefsten Außentemperaturen auf die scheinbar relativ hohen Raumtemperaturen aufmerksam gemacht und es wurde der Wunsch geäußert, die Heizleistung etwas zu reduzieren.

11.1 Durchgeführte Einweisungen

Die Eigentümer und die Mieter wurden vom Planer der Haustechnikanlage, dem ausführenden Installateur, dem Lüftungsbauer, dem Lieferant der Steuerungssoftware und der örtlichen Bauleitung bezüglich der Energiegewinnung, Speicherung und Verteilung eingewiesen. Zusätzlich wurde ein Telefonanschluss für eine Fernwartung und Überwachung der Heizungssteuerungsanlage installiert. Der Projektleiter steht den Bewohner auch jetzt noch für Fragen und Koordinierungsaufgaben zur Verfügung.

12 Messergebnisse

Hauptziel des Messkonzepts im CEPHEUS-Projekt ist die Bestimmung des Nutz- und Endenergieverbrauchs für Gebäudebeheizung und Warmwasserbereitung, des Stromverbrauchs für Lüftung, Pumpen und Anwendungen im Haushalt sowie die Erfassung der Behaglichkeitskriterien Raumlufttemperatur und Raumluftfeuchte im Wohnzimmer. Zur Bewertung des Einflusses des Nutzerverhaltens wird der Kalt- und der Warmwasserverbrauch aufgezeichnet. Das Grundkonzept für die Messungen an allen europäischen CEPHEUS-Projekten wurde von der Projektleitung einheitlich vorgegeben. Die Ausarbeitung der konkreten Messkonzepte für alle österreichischen Projekte, die Ausschreibung und Vergabe, die Installation der Messfühler, Datenlogger etc. und die Auswertung wurde durch die Arbeitsgemeinschaft erneuerbare Energien – Institut für nachhaltige Energien (AEE INTEC), Alexander Thür durchgeführt. Der Aufbau des Messkonzepts ist in [AEE INTEC] beschrieben, die Messergebnisse sind in [AEE INTEC 2] dokumentiert.

Der Vergleich der Messwerte mit den vorausgerechneten Energiebedarfswerten soll Aufschluss darüber geben, ob die in einzelnen Forschungsprojekten bereits demonstrierten Energieeinsparungen bei gesteigerter Behaglichkeit sich auch im ersten größeren Praxistest realisieren lassen. Wie Erfahrungen aus Messprojekten zeigen, kann der tatsächliche Verbrauch von Gebäuden von den vorausgerechneten Werten abweichen. Abweichungen zwischen Berechnungsergebnis und tatsächlichem Verbrauch können u.a. aus den folgenden Ursachen resultieren:

- Abweichung der wichtigsten Klimadaten (Außenlufttemperatur, Globalstrahlung) im Messzeitraum von den Annahmen der Berechnung (langjährige Mittelwerte)
- Abweichung der mittleren Raumlufthtemperatur von der angenommenen Mitteltemperatur
- Sonstige Abweichungen des Nutzerverhaltens von den Annahmen der Berechnung (Fensterlüftung, Personenanwesenheit im Gebäude, Ausstattung mit und Nutzung von Elektrogeräten)
- Von den Berechnungsannahmen abweichende Luftundichtheiten der Gebäudehülle
- Abweichungen der ausgeführten von der geplanten Gebäudekonstruktion (zusätzliche Wärmebrücken, Materialwechsel etc.)
- Austrocknung der Gebäudekonstruktion in den ersten Betriebsjahren
- Erhöhter Bedarf durch Nachbesserungsarbeiten durch Handwerker
- Erstmaliges Aufheizen bei Bezug der Gebäude in der Heizperiode

Zum Vergleich mit den Berechnungsergebnissen bedürfen Messergebnisse daher der Interpretation. Für die CEPHEUS-Projekte wurde dabei wie folgt vorgegangen: Um den Vergleich der Messwerte mit den Berechnungsergebnissen zu erleichtern, wurde aus dem gemessenen (Nutzwärme) Verbrauch für die Gebäudebeheizung der sogenannte standardisierte Heizwärmeverbrauch ermittelt. Dazu wurde der gemessene Verbrauch mit dem Monatsverfahren nach EN 832 auf den Verbrauch im gesamten Jahr hochgerechnet. Außerdem wurde der bei den tatsächlichen Raumtemperaturen im Messzeitraum gemessene Verbrauch auf den Verbrauch bei 20°C umgerechnet. Eine Korrektur der Klimadaten wurde nicht vorgenommen. Der Jahresverbrauch für Warmwasser wurde unter Annahme eines jahreszeitlich konstanten Bedarfs aus den Messwerten ermittelt. Der solare Jahresdeckungsgrad wurde für alle CEPHEUS-Projekte einheitlich mit 40% angenommen. Der Jahresstromverbrauch wurde ebenfalls unter der Annahme eines jahreszeitlich konstanten Bedarfs aus den Messwerten ermittelt. Die Berechnung der Primärenergieverbräuche erfolgte auf der Grundlage von Ergebnissen aus Gemis 4.0 [Gemis]. Es wurden die folgenden Primärenergiefaktoren verwendet [CEPHEUS 1]:

Gas	1,15
Strom	2,50
Fernwärme	0,70
Holzpellets	0,10

Bei den Werten handelt es sich um mittlere Werte des nicht-erneuerbaren, kumulierten Energieaufwands für die Bereitstellung des jeweiligen Energieträgers an der Gebäudehülle. Die Primärenergiefaktoren repräsentieren den europäischen Durchschnitt und können für einzelne Projekte aufgrund der örtlichen Gegebenheiten stark abweichen. Ein Vergleich der Messwerte aller CEPHEUS-Projekte untereinander und mit jeweils identischen Gebäuden in üblicher energetischer Qualität findet sich in [CEPHEUS 1].

12.1 Energieverbrauch

Nutzwärmeverbrauch Heizung

Der gemessene Nutzwärmeverbrauch für die Gebäudebeheizung während der Messperiode (Dezember bis März) beträgt bei der gemessenen mittleren Raumlufthtemperatur von 22,7°C 27,0 kWh/m². Der aus dem Messwert hochgerechnete Verbrauch für das gesamte Jahr liegt unter Annahme der gemessenen Raumlufthtemperatur bei 35,4 kWh/m²a.

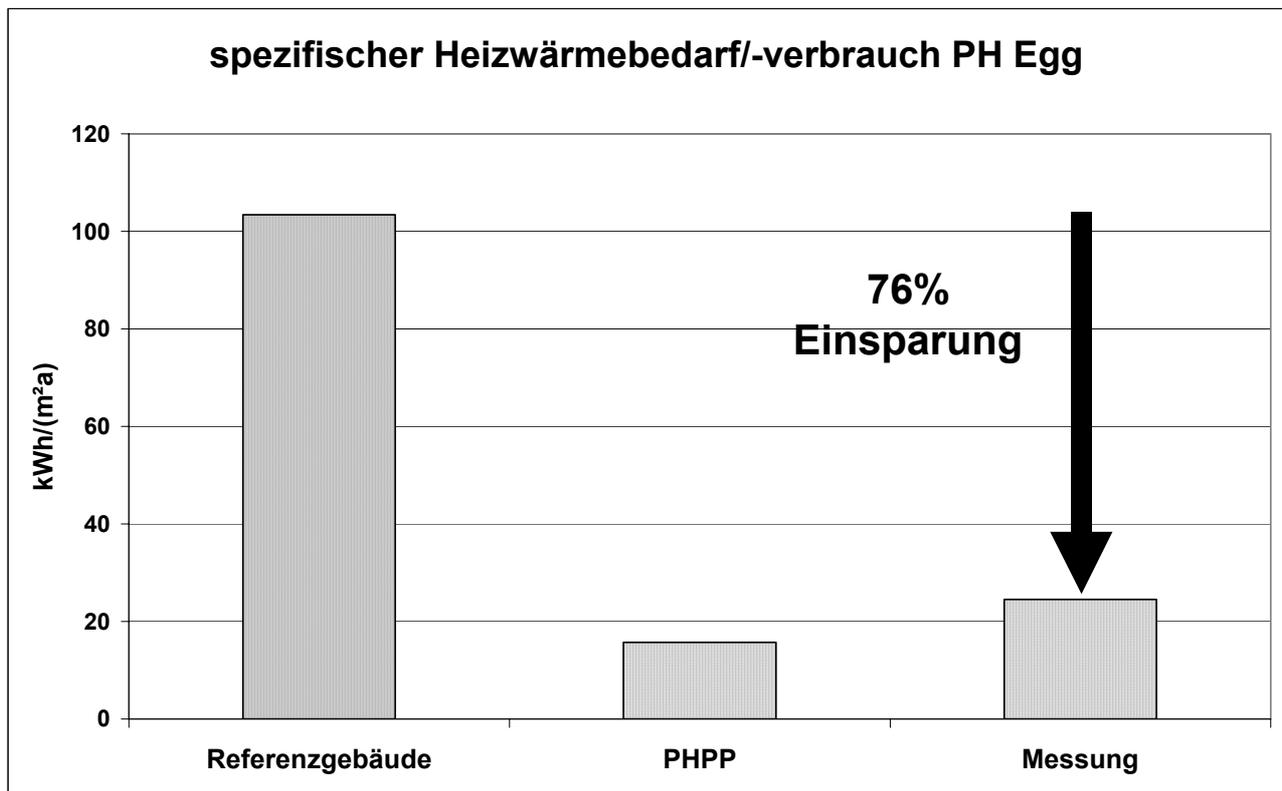


Abbildung 37: Jahresheizwärmeverbrauch berechnet und gemessen im Vergleich zu einem herkömmlichen Gebäude

Der auf Basis der Messungen auf das gesamte Jahr hochgerechnete und standardisierte Jahresheizwärmeverbrauch bei Innenlufttemperaturen von 20°C liegt bei 24,5 kWh/(m²a) und damit deutlich über dem Berechnungsergebnisse von 15,7 kWh/(m²a). Die Einsparung gegenüber identischen Gebäuden nach Bautechnikverordnung beträgt 76%.

Nutzwärmeverbrauch Warmwasser

Der aus den Messwerten ermittelte und auf das gesamte Jahr hochgerechnete Nutzwärmeverbrauch für Warmwasser beträgt 9,4 kWh/(m²a).

Der auf die Personenzahl (6 Bewohner) bezogene Verbrauch liegt mit 485 kWh/Person und Jahr relativ niedrig. Die gemessene Warmwasserverbrauchs-Menge liegt bei knapp 45 Litern pro Person und Tag.

Endenergieverbrauch Heizung

Der gemessene Endenergieverbrauch der elektrischen Wärmepumpe für die Gebäudebeheizung während der Messperiode (Dezember bis März) beträgt 10,3 kWh/m², der aus dem Messwert rechnerisch ermittelte Wert für das gesamte Jahr beträgt (ohne Korrektur der mittleren Innenraumtemperatur) 13,5 kWh/(m²a).

Endenergieverbrauch Warmwasser

Der gemessene Endenergieverbrauch für die Warmwasserbereitung während der Messperiode von Dezember bis März beträgt 2,8 kWh/m². Der von der Messperiode auf das gesamte Jahr hochgerechnete Verbrauch beträgt 3,9 kWh/m²a. Wegen der pauschalen Annahmen bezüglich des solaren Wärmeertrages kann dieser Wert nur eine erste, überschlägige Abschätzung sein.

Endenergieverbrauch Strom

Der während des Erfassungszeitraums gemessene Stromverbrauch für alle Anwendungen beträgt 11,87 kWh/m². Der Anteil des Haushaltsstrombedarfs beträgt 8,4 kWh/(m²), der Lüfterstrombedarf während der Messperiode durchschnittlich 1,9 kWh/(m²). Die durchschnittliche Leistungsaufnahme pro Wärmetauscheraggregat beträgt damit etwa 41 W. Der Rest von 1,5 kWh/(m²) fällt für Allgemeinstrom, Haustechnik und Messkonzept an.

Der hochgerechnete Jahresstromverbrauch beträgt 26,08 kWh/(m²a).

Der hochgerechnete Verbrauch pro Wohneinheit liegt mit 2.238 kWh/a etwas über dem österreichweiten Durchschnittswert für Mehrfamilienhäuser.

Primärenergieverbräuche

Der aus den Messwerten ermittelte, auf das gesamte Jahr hochgerechnete Primärenergiekennwert für Heizung, Warmwasser und alle Stromanwendungen beträgt 108,7 kWh/(m²a). Der Passivhaus-Grenzwert von 120 kWh/(m²a) wird damit um 10% unterschritten. Gegenüber architektonisch identischen Neubauten nach Bautechnikverordnung beträgt die Einsparung 48,5%.

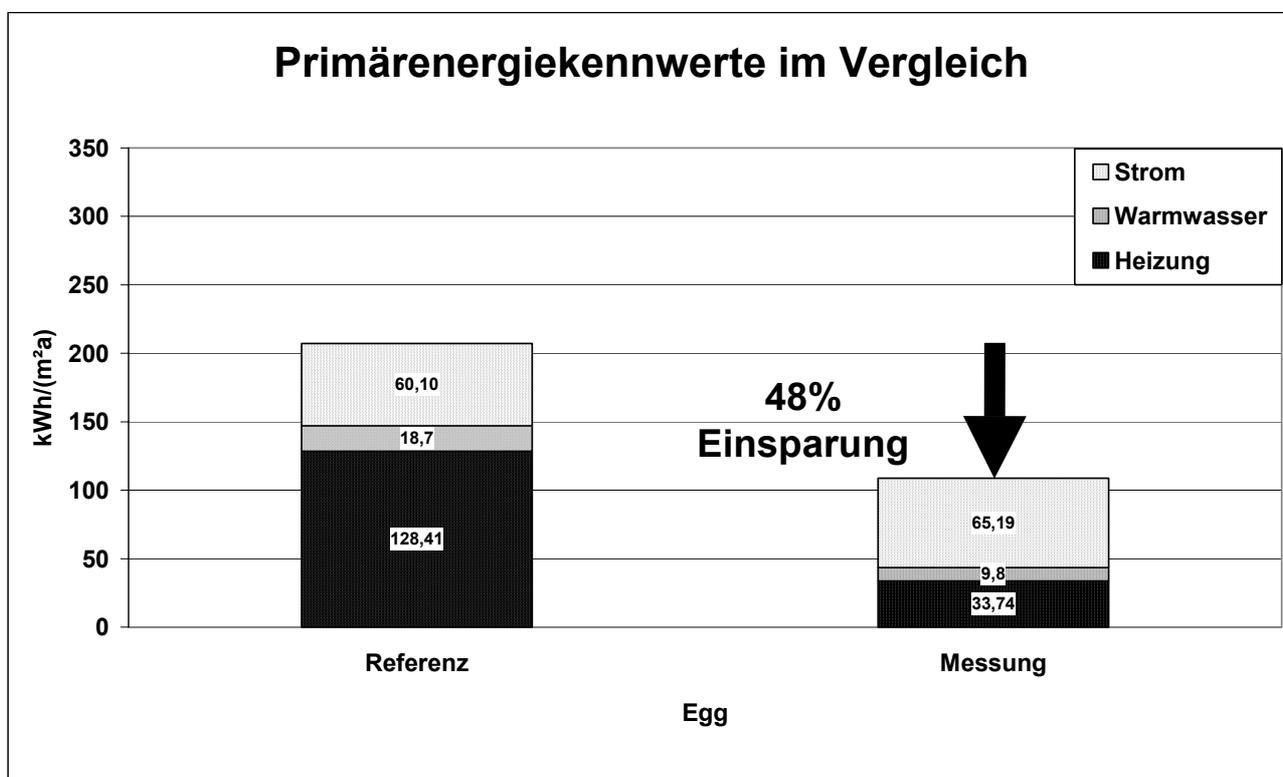


Abbildung 38: Gemessener Primärenergiekennwert im Vergleich zu einem herkömmlichen Gebäude

12.2 Thermischer Komfort

Mittlere Raumlufthtemperatur

Die mittlere Raumlufthtemperatur in den Wohnzimmern aller Wohnungen betrug in der Periode von November bis Februar 22,2°C. Diese Monate repräsentieren die Kern-Heizzeit der Heizperiode.

Abbildung 39 zeigt den Verlauf der mittleren Raumlufthtemperaturen in den Wohnzimmern (24h-Mittelwerte) während der Messperiode vom 1.10.2000 bis zum 31.3.2001

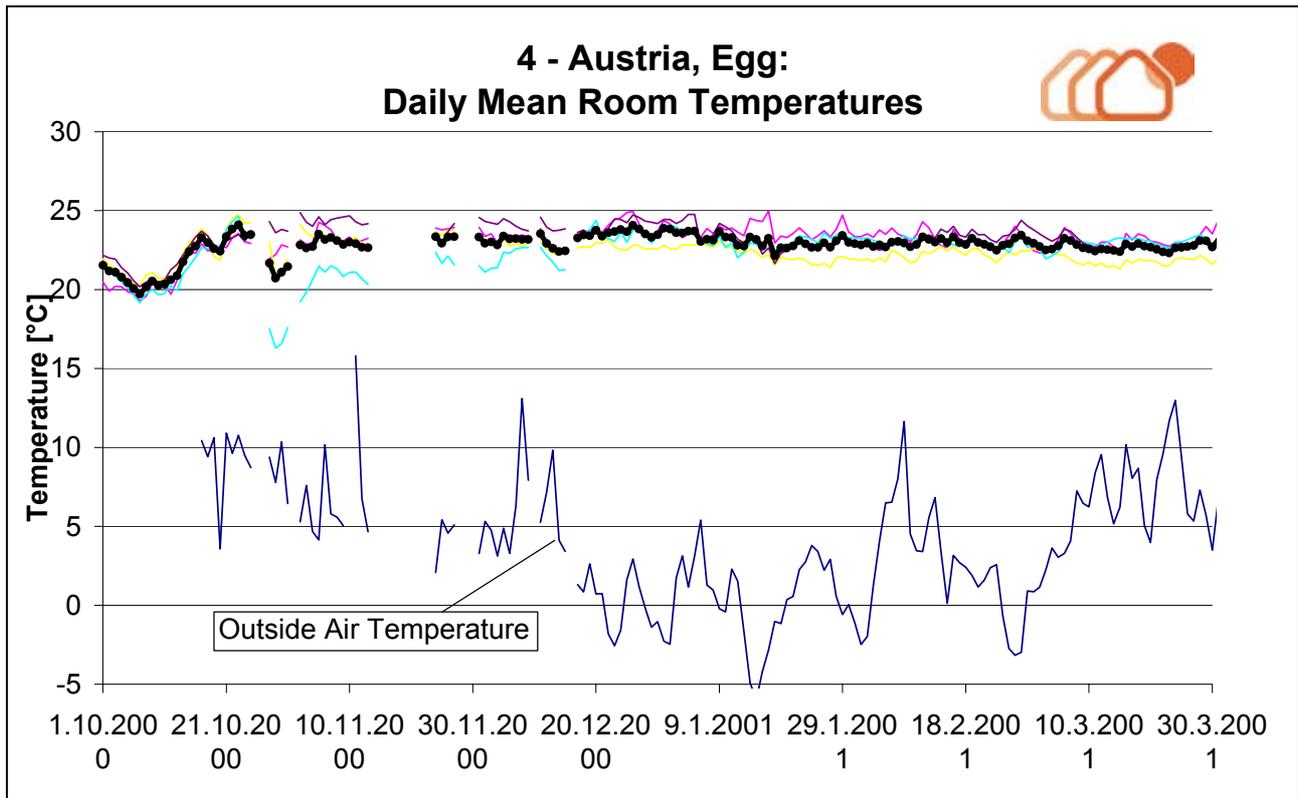


Abbildung 39: Tagesmittelwerte der Raumlufthtemperaturen

Wie die Abbildung zeigt, liegen die Raumlufthtemperaturen der 4 Wohneinheiten meist zwischen 22 und 24°C. Eine deutliche Unterschreitung der für die Berechnung des Heizwärmebedarfs angenommenen Raumlufthtemperatur von 20°C trat lediglich in einer Wohnung kurzfristig auf, Ursache ist vermutlich die Abwesenheit der Bewohner.

Typische strahlungsarme Winterwoche

Abbildung 40 zeigt den Temperaturverlauf im Erdgeschoss aller Wohnzimmer am Beispiel einer typischen wolkgigen Winterwoche.

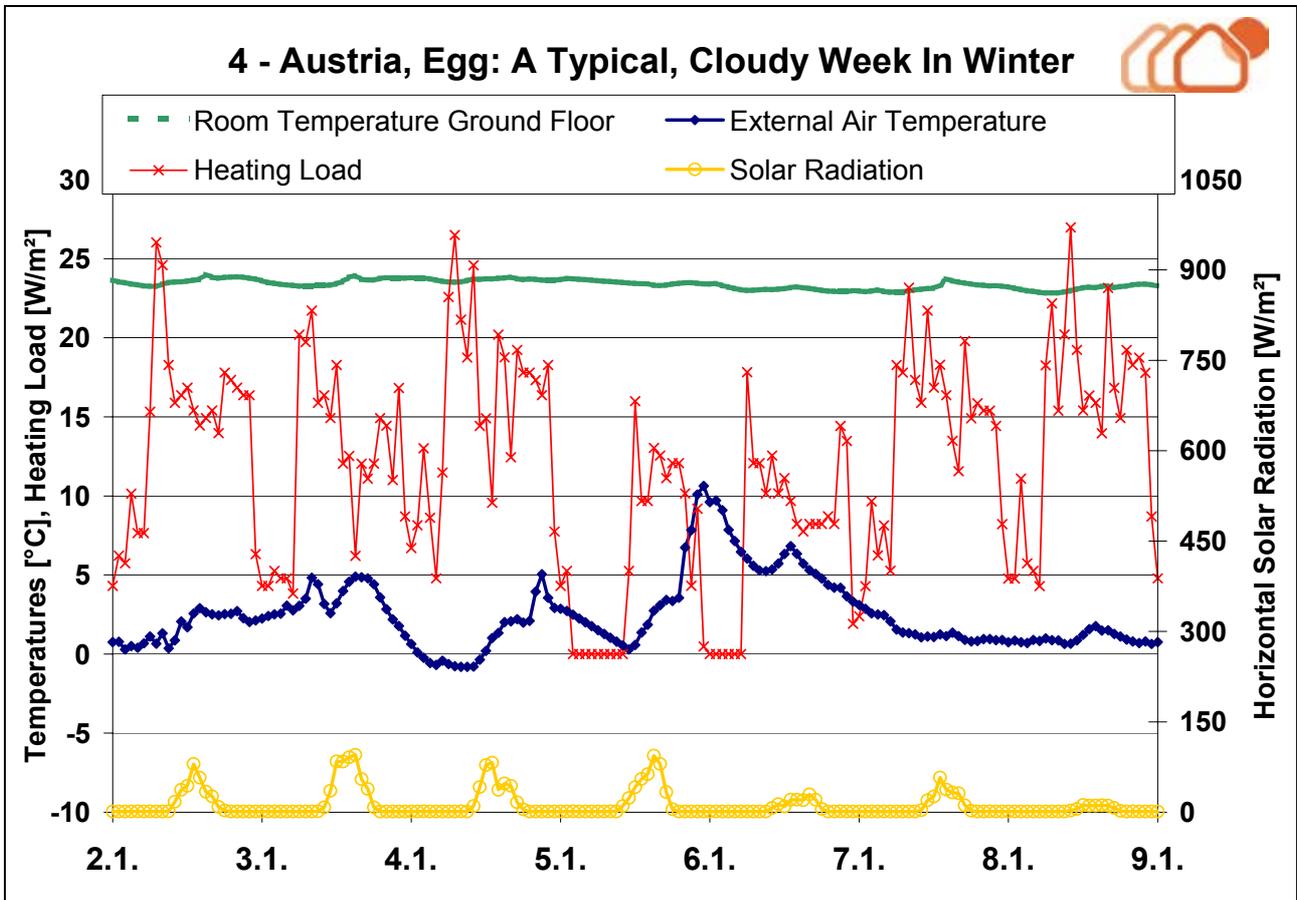


Abbildung 40: Temperaturkurve in einer typischen strahlungsarmen Winterwoche

In der typischen, strahlungsarmen Winterwoche mit Tagesmaxima der Globalstrahlung von unter 150 W/m² liegen die Raumlufttemperaturen bei Außenlufttemperaturen von -1 bis +10°C konstant in einem Bereich zwischen etwa 23 und 24°C.

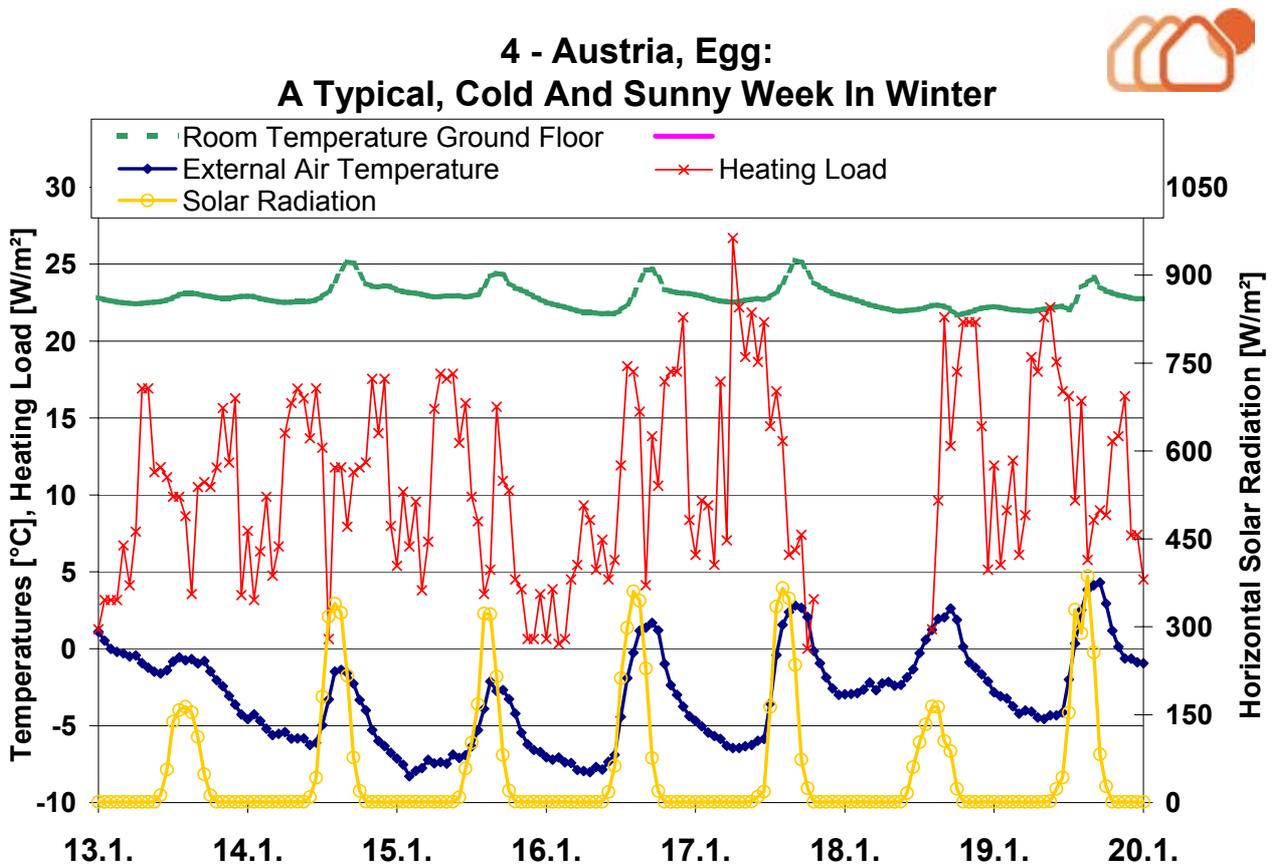


Abbildung 41: Temperaturkurve in einer typischen kalten, strahlungsreichen Winterwoche

Die Raumlufttemperaturen liegen auch in der strahlungsreichen, kalten Winterwoche mit Werten zwischen 22 und 25°C deutlich über 20°C. An den 5 Tagen mit Tagesmaxima der Globalstrahlung von etwa 320 bis 400 W/m² sind deutliche Erhöhungen der Raumlufttemperatur von bis zu 3K zu erkennen.

Sommerwoche

Der in diesem Bericht dargestellte Messzeitraum reicht von 1.10.2000 bis 31.3.2001. Eine Weiterführung des Messprogramms ist beabsichtigt, etwaige Messergebnisse für die Sommerperiode können daher erst in Folgeberichten präsentiert werden.

Raumluftfeuchten

Abbildung 42 zeigt den Verlauf der rel. Raumluftfeuchte für die Wohnung mit der geringsten und der höchsten Feuchtigkeit sowie den Mittelwert der Wohnungen während der Messperiode von Anfang Oktober bis Ende März. Dargestellt ist auch der jeweilige Verlauf der Innenraumtemperaturen.

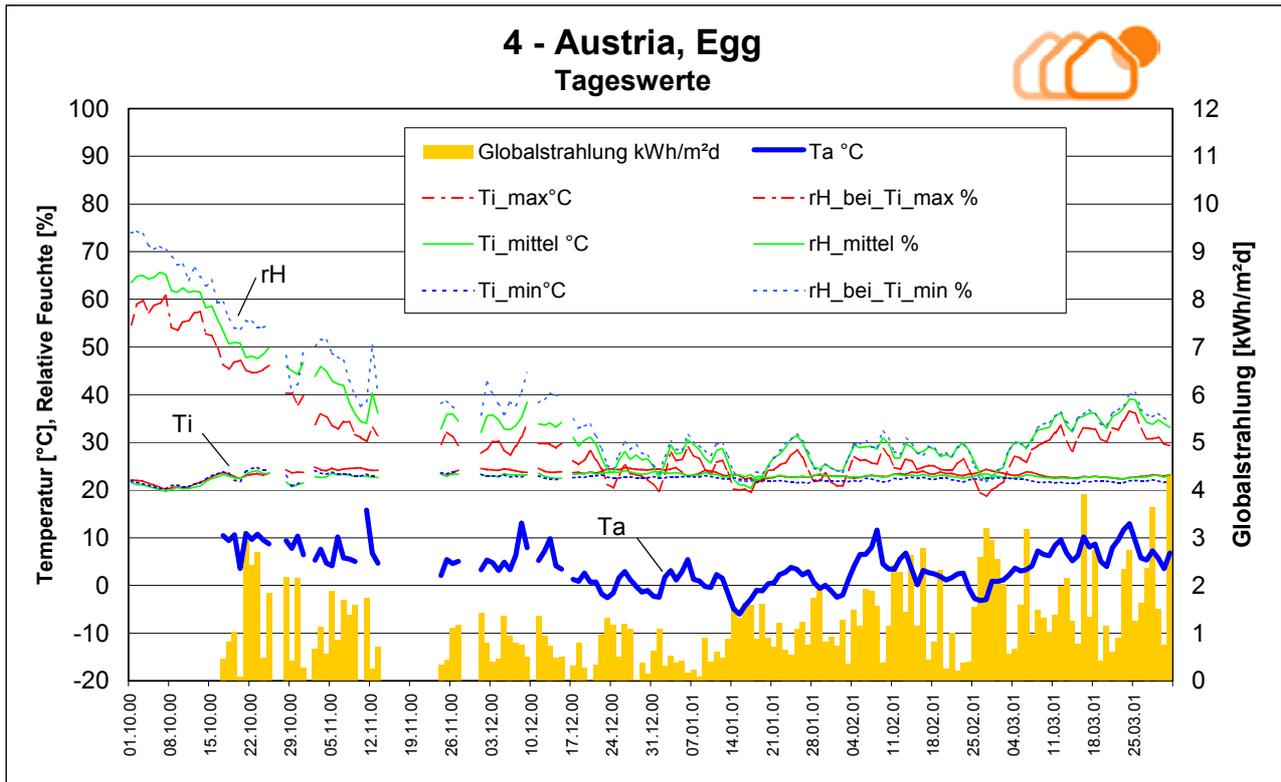


Abbildung 42: Raumlufttemperaturen und relative Luftfeuchtigkeit während der Messperiode

Die Werte der relativen Luftfeuchte schwankt in der Periode von Ende Dezember bis Anfang März zwischen 20 und 30%. Es besteht ein deutlicher Zusammenhang zwischen rel. Luftfeuchte und der Außenlufttemperatur: die niedrigsten Feuchten treten bei niedrigen Außenlufttemperaturen auf.

12.3 Heizlasten

Abbildung 43 zeigt die gemessenen 24h-Mittelwerte der Heizlast (flächengewichtet für alle Wohnungen) über der Außenlufttemperatur. Die dargestellte Gerade bezeichnet den rechnerisch ermittelten Wert der Heizlast zur Beheizung der Gebäude auf die mittlere, gemessene Raumlufttemperatur während der Messperiode.

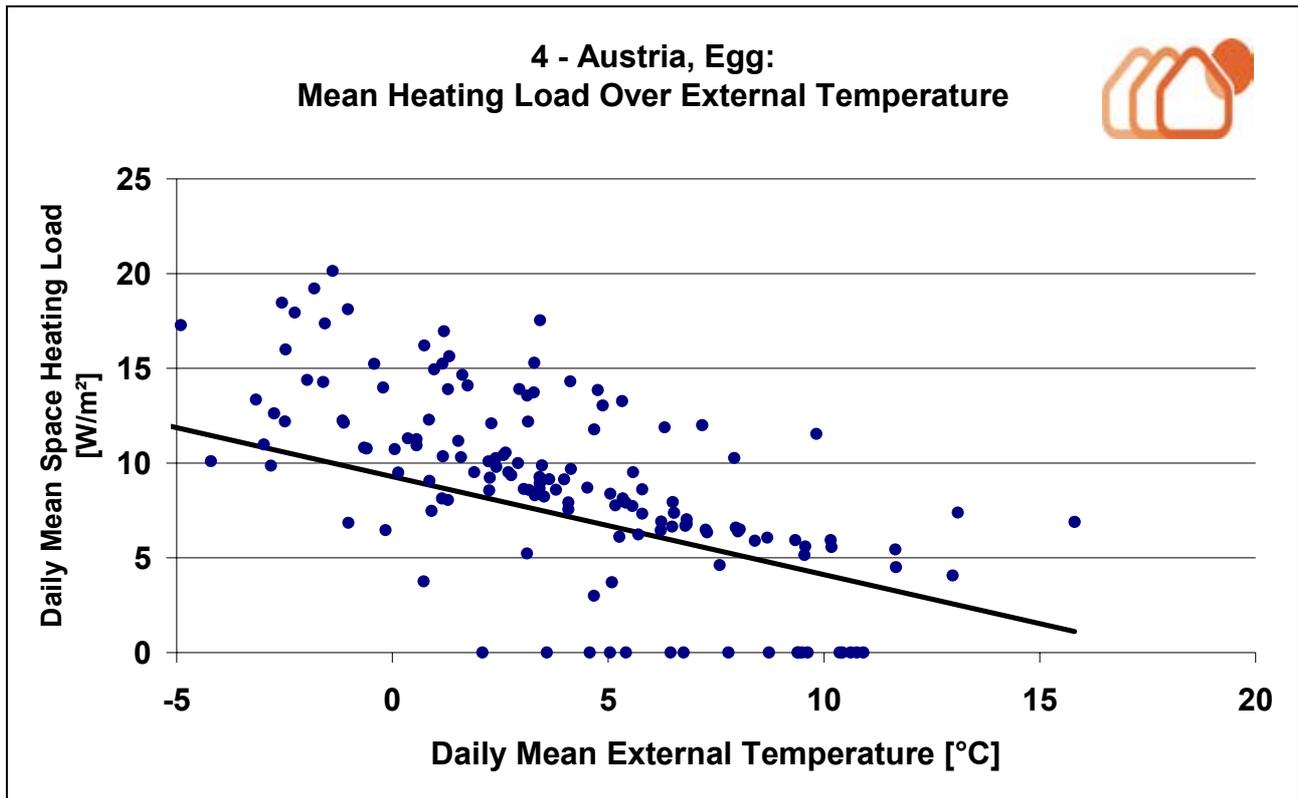


Abbildung 43: Verlauf der mittleren Heizlast (Heizgerade)

Das höchste gemessene 24-Stunden-Mittel der Heizlast liegt während der Messperiode bei knapp über 20 W/m^2 und damit über dem Passivhausgrenzwert von 10 W/m^2 . Die Ursachen für die relativ hohen gemessenen Heizlasten sollten in zusätzlichen Untersuchungen detailliert ermittelt werden.

13 Aktivitäten zur Informationsverbreitung

- Informationsschreiben an alle 22 Gemeinden der Region Bregenzwald.
- Zwei Führungen mit auszubildenden Energieberatern vom Energiezentrum Allgäu.
- Pressekonferenz im Haus in Zusammenarbeit mit dem Energieinstitut Vorarlberg und der Landesregierung von Vorarlberg.
- Berichterstattung in allen Vorarlberger Tages- und Wochenzeitungen, in verschiedenen bundesweiten Tageszeitungen und in verschiedenen Fachzeitschriften.
- Informationsveranstaltung über das gesamte Projekt für die interessierte Öffentlichkeit. Bei dieser Veranstaltung referierten das Energieinstitut Vorarlberg, der Architekt, der Haustechnikplaner und der Projektleiter (ca. 100 Teilnehmer).

14 Fotodokumentation



Bodenplatte mit Dämmung



Rohbau mit Perimeterdämmung



Aufkleben der Außendämmung



Bereits aufgeklebte Lattung für die Montage des Holzschirms



Ansicht Nord



Ansicht West

15 CEPHEUS-Publikationen

Nummer	Titel	Bezugs- möglichkeit
1998		
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
2001		
14	Messdatenauswertung Kronsberg; Zwischenbericht 3	SWH
15	Messtechnische Untersuchung und Auswertung; Klimaneutrale Passivhaussiedlung Hannover Kronsberg	PHI
16	Kostengünstiger Passivhaus-Geschosswohnungsbau in Kassel-Marbachshöhe: Projektdokumentation, Qualitätssicherung und Wirtschaftlichkeitsbetrachtung; Endbericht Juni 2001	PHI
17	Therographische 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: A - Egg	EIV
24	Projektbericht: A - Hörbranz	EIV
25	Projektbericht: A - Wolfurt	EIV
26	Projektbericht: A - Dornbirn	EIV
27	Projektbericht: A - Gnigl	EIV
28	Projektbericht: A - Kuchl	EIV
29	Projektbericht: A - Hallein	EIV
30	Projektbericht: A - Horn	EIV
31	Projektbericht: A - Steyr	EIV

32	Österreich gesamt (Zusammenfassung)	EIV
33	Hannover: Sozialwissenschaftliche Evaluation	SWH
34	Nutzerhandbuch Hannover	SWH
35	Full Report (D)	SWH
36	Full Report (Engl.)	SWH
37	Publishable Report (D)	SWH
38	Publishable Report (Engl.)	SWH
39	Projektbericht Schweiz	Renggli AG
40	Projektbericht Frankreich : Residence Salvatierra, Rennes: Raport Final	COOP de Construction

SWH: Stadtwerke Hannover

www.cepheus.de , e-mail: proklima@enercity.de

Stadtwerke Hannover AG, Manfred Görg, Ihmeplatz 2, D-30449 Hannover

PHI: Passivhausinstitut

www.passiv.de, e-mail: passivhaus@t-online.de

Passivhausinstitut, Dr. Wolfgang Feist, Rheinstr. 44/46, D-64283 Darmstadt

EIV: Energieinstitut Vorarlberg

www.energieinstitut.at, e-mail: office@cepheus.at

Energieinstitut Vorarlberg, Helmut Krapmeier, Stadtstraße 33/CCD, A-6850 Dornbirn

Renggli AG:

www.renggli-haus.ch, e-mail: mail@renggli-haus.ch

Renggli AG; Max Renggli, Gleng, CH-6247 Schötz

COOP de Construction:

e-mail: coop.de.construction@wanadoo.fr

Coop de Construction, Jean-Claude Allain, 9 Boulevard de la Tour d' Auvergne, F-35043 Rennes

16 Quellen

- [Klimadatenkatalog] Bundesministerium für Bauten und Technik (Herausgeber)
Klimadatenkatalog Hefte 5 a bis 5c
Wien, 1984
- [AEE INTEC] Arbeitsgemeinschaft Erneuerbare Energie AEE
Messkonzept für das EU-Projekt C E P H E U S
Für das Projekt V1 – Egg
Gleisdorf, August 1999
- [AEE INTEC 2] Arbeitsgemeinschaft Erneuerbare Energie AEE
CEPHEUS Austria
Messdaten Oktober 2000 bis März 2001
Gleisdorf, 25.05.2001
- [PHI 1] Dr. Wolfgang Feist (Herausgeber)
Arbeitskreis Kostengünstige Passivhäuser – Phase II
Protokollband Nr. 13
Energiebilanzen mit dem Passivhaus-Projektierungs-Paket
Darmstadt, Dezember 1998
- [PHI 2] Dr. Wolfgang Feist (Herausgeber)
Arbeitskreis Kostengünstige Passivhäuser – Phase II
Protokollband Nr. 16
Wärmebrückenfreies Konstruieren
Darmstadt, Juni 1999
- [PHI 3] Dr. Wolfgang Feist (Herausgeber)
Passiv-Reihenhäuser - über die Zuluft beheizbar?
CEPHEUS Teilbericht Nr. 5
Darmstadt, 1998
- [PHI 4] Dr. Wolfgang Feist (Herausgeber)
Stand der Baupraxis Passivhäuser – Einführung
In: Arbeitskreis Kostengünstige Passivhäuser – Phase II
Protokollband Nr. 12
Das Passivhaus-Baustandard der Zukunft?
Darmstadt, 1998
- [Krec] Dipl.-Ing. Dr. techn. Klaus Krec
Klimadaten für 14 Standorte in Österreich
Schönberg, 12. April 1999
- [CEPHEUS 1] Stadtwerke Hannover (Herausgeber)
CEPHEUS – Full Final Technical Report
Hannover, Juli 2001
- [CEPHEUS 2] Stadtwerke Hannover (Herausgeber)
CEPHEUS – Publishable Final Report
Hannover, Juli 2001

- [Gemis] Gesamt-Emissions-Modell integrierter Systeme (Gemis), Version 4.0
Öko-Institut
Darmstadt, 2000
- [NEI] Niedrig-Energie-Institut GbR (Herausgeber)
Strom und Wasser sparen lohnt sich
Besonders Sparsame Haushaltsgeräte 1999
Detmold, 1999
- [Künz 4] Architekt Dipl.-Ing. Dr. Lothar Künz
Wohnanlage Wieshalde, Egg
Wärmebrückenberechnung
Hard, 22.01.1999
- [Künz 5] Architekt Dipl.-Ing. Dr. Lothar Künz
Wohnanlage Wieshalde, Egg
Drucktest-Kurzprotokoll
Hard, 13.09.2000
- [Künz 6] Architekt Dipl.-Ing. Dr. Lothar Künz
Thermographieaufnahme
Wohnanlage Wieshalde, Egg
Hard, 30.03.2001