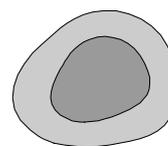




CEPHEUS - gefördertes Projekt:
EUROPÄISCHE KOMMISSION
DIRECTORATE-GENERAL XVII, ENERGY
THERMIE
Projekt-Nummer: **BU / 0127 / 97**



Energieinstitut Vorarlberg

CEPHEUS-Projektinformation Nr. 31

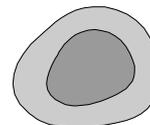


Reihenhäuser Steyr - Dietach





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



Energieinstitut Vorarlberg

CEPHEUS-Projektinformation Nr. 31

CEPHEUS



cost efficient passive houses as european standards

Reihenhäuser Steyr - Dietach

Autoren:

Helmut Krapmeier, Eva Müller

unter Mitwirkung von:

**Günter Baumgartner, Peter Hausdörfer,
Otto Köck, Martin Ploss**

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	1
1.1	Das Passivhauskonzept	2
1.2	Zentrale Ergebnisse von CEPHEUS	2
2	STANDORTINFORMATIONEN	7
2.1	Übersichtskarten und Pläne	7
2.2	Geografische und klimatische Daten	9
3	BAUBESCHREIBUNG	9
3.1	Grundrisse, Gebäudeschnitte und Ansichten	9
3.2	Angaben zur Energiebezugsfläche	13
3.3	Beschreibung der Bauweise	13
3.4	Regelquerschnitte der Außenbauteile	14
3.5	Darstellung von Anschlussdetails	16
3.6	Besonderheiten	21
4	LÜFTUNGSKONZEPT	22
4.1	Zu-, Abluft, Überströmzonen	22
4.2	Angaben zu den technischen Parametern	22
4.2.1	Regelquerschnitt des Zu- und Abluftkanals	22
4.2.2	Auslegungsluftvolumenströme	23
4.2.3	Druckverluste	23
4.2.4	Filter	23
4.2.5	Zuluftventile	23
4.2.6	Abluftventile	23
4.3	Beschreibung des Wärmetauschers	23
4.4	Regelmöglichkeiten	24
4.5	Beschreibung des Erdreichwärmetauschers	24
5	KONZEPT DER RAUMWÄRMEVERSORGUNG	25
5.1	Heizwärmeverteilung	25
5.2	Wärmeversorgung für Warmwasser und Heizung	26
6	KONZEPT DER WARMWASSERVERSORGUNG	26



6.1	Angaben zur Erzeugung, Speicherung, Verteilung	26
6.2	Auslegungsdaten	27
6.3	Beschreibung der Solaranlage	28
6.4	Besonderheiten	28
7	AUSSTATTUNG MIT ELEKTRISCHEN HAUSHALTSGERÄTEN UND BELEUCHTUNG	28
8	KOSTEN UND MEHRKOSTEN	28
9	BESCHREIBUNG DES BAUABLAUFS	30
9.1	Zeitliche Daten	30
9.2	Beteiligte und Organisation des Bauablaufs	30
9.3	Erfahrungen mit Beteiligten bzw. den geplanten technischen Lösungen hinsichtlich der Realisierung der Qualitätsanforderungen	30
10	ERGEBNISSE QUALITÄTSSICHERNDER MAßNAHMEN	30
10.1	PHPP-Berechnung	30
10.2	Berechnungen der Wärmebrücken	33
10.3	Ergebnisse der Luftdichtheitstests	33
10.4	Ergebnisse der Thermografien	33
11	ANGABEN ZU ERWERBERN/BAUHERREN BZW. MIETERN	38
11.1	Durchgeführte Einweisungen	38
12	MESSERGEBNISSE	38
12.1	Energieverbrauch	40
12.2	Thermischer Komfort	41
12.3	Heizlasten	46
13	AKTIVITÄTEN ZUR INFORMATIONSVERBREITUNG	46
14	FOTODOKUMENTATION	47
15	CEPHEUS-PUBLIKATIONEN	49
16	QUELLEN	51

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 Nieder-temperaturwärmebedarfs 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.

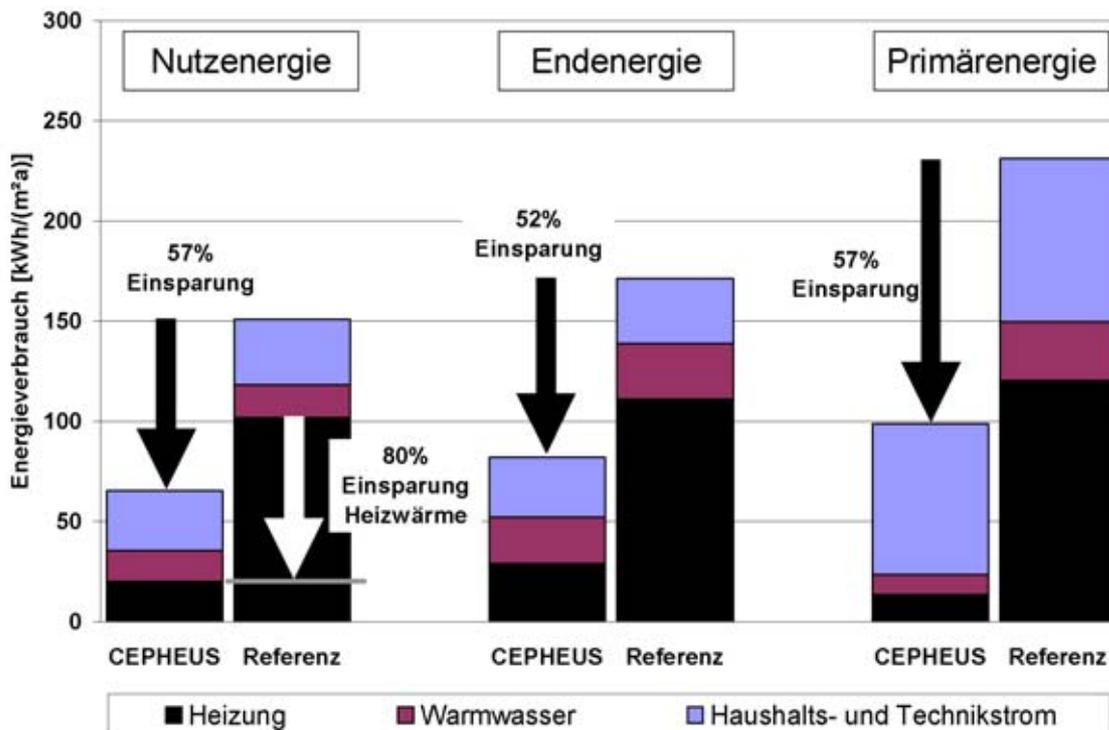


Abbildung 2: Erreichte Energieeinsparungen im Vergleich zu Referenzgebäuden

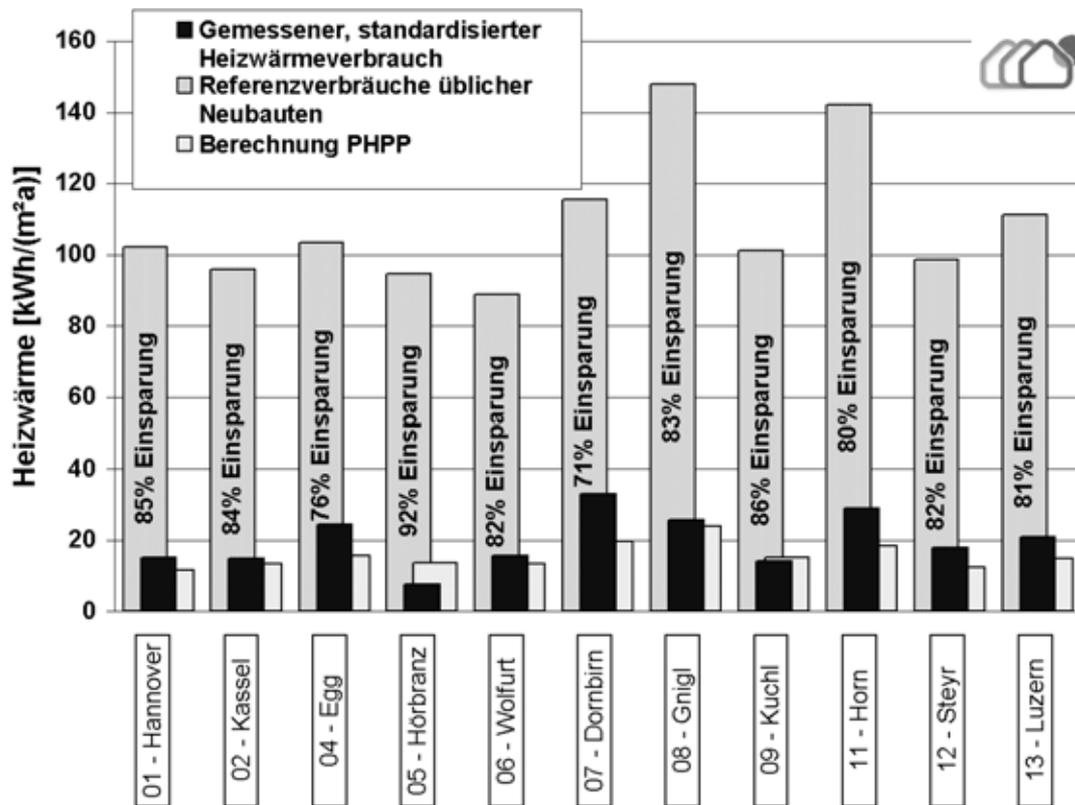


Abbildung 3: Berechneter und gemessener Heizwärmeverbrauch aller Projekte im Vergleich zu Referenzgebäuden

Die Mehrkosten sind gering:

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

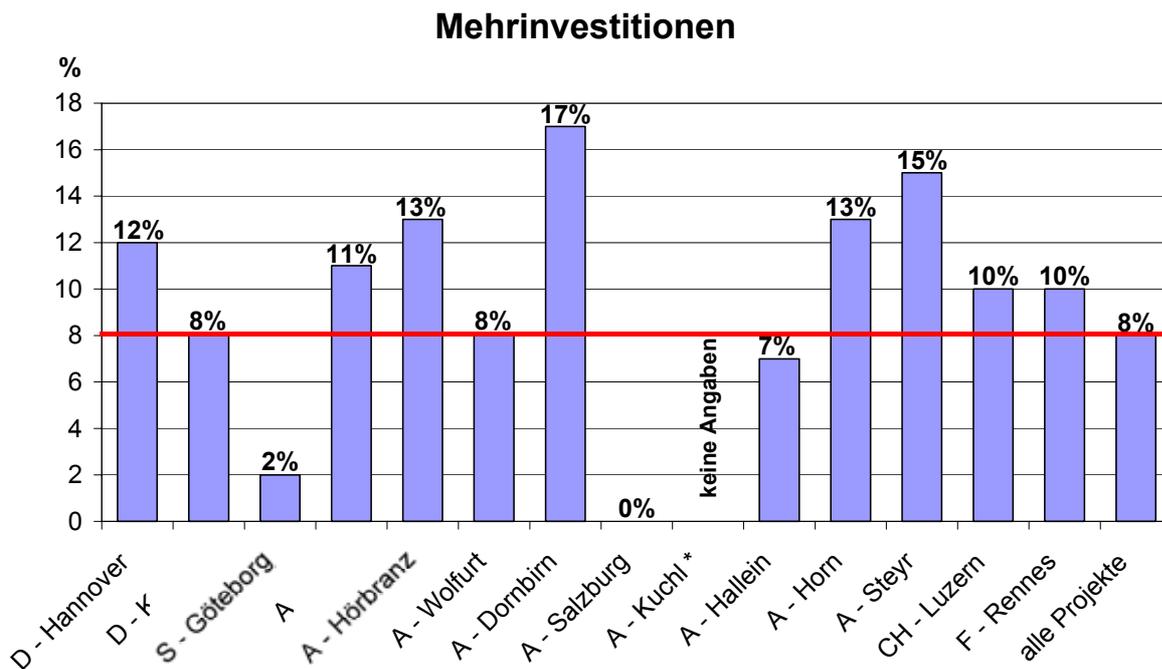


Abbildung 4: Mehrkosten in % aller Projekte im Vergleich zu Referenzgebäuden

Passivhäuser sind behaglich:

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

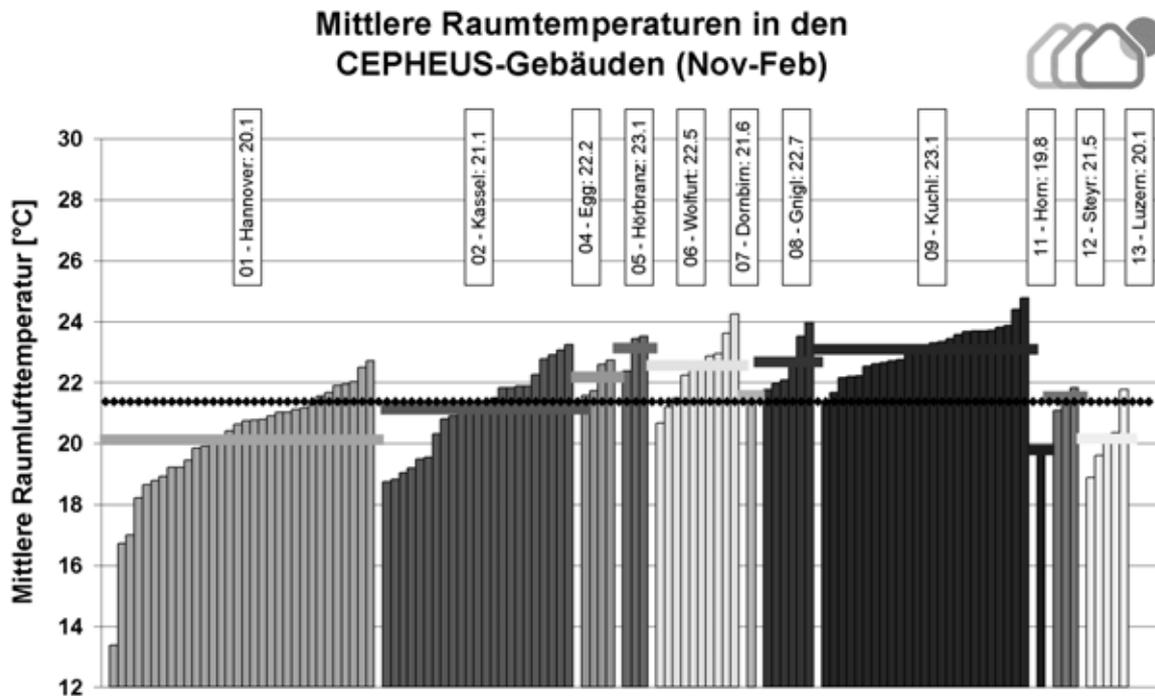


Abbildung 5: Gemessene Innenraum-Temperaturen aller Projekte

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 Steyr, Oberösterreich - genau beschrieben.

2 Standortinformationen

Steyr, eine Stadt mit rund 40.000 Einwohnern, liegt im Bundesland Oberösterreich, ca. 42 km südöstlich der Landeshauptstadt Linz.

Der Standort der Passivhäuser Dietach, ein in der Nähe des Flusses Enns gelegener Vorort von Steyr. Das lokale Klima wird von den Menschen der Gegend als nebliger und windiger als in Steyr beschrieben.

2.1 Übersichtskarten und Pläne



Abbildung 7: Steyr im Bundesland Oberösterreich

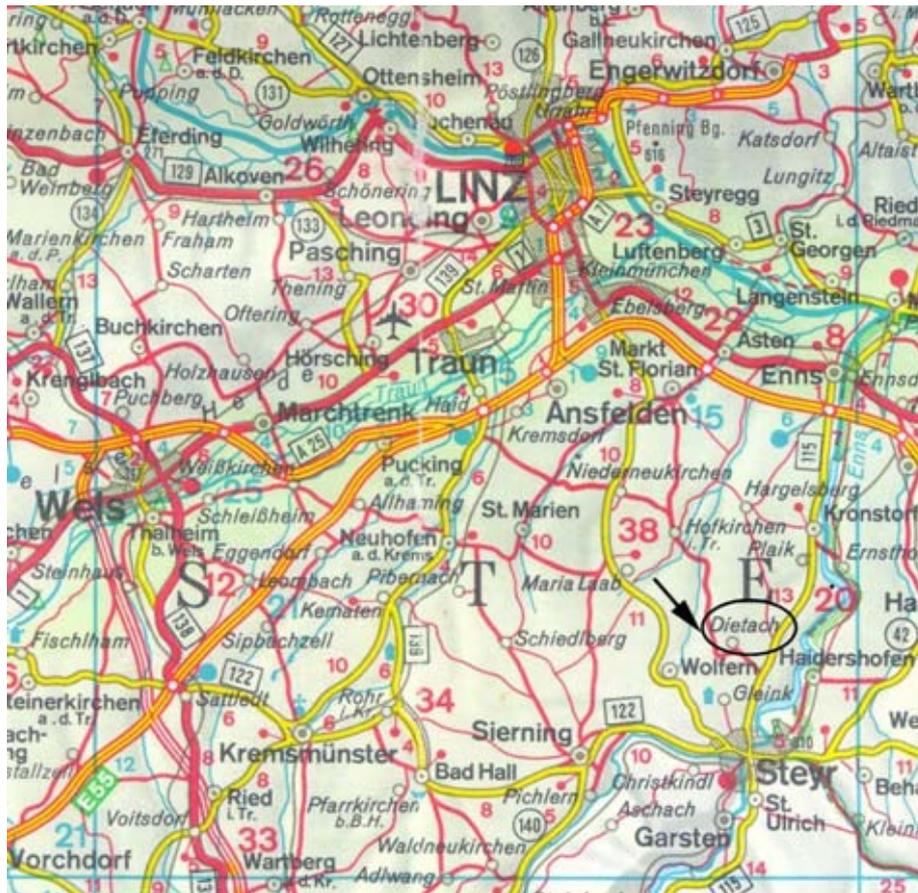


Abbildung 8: Die Lage von Dietach in der näheren Umgebung



Abbildung 9: Lage des Baugrundstücks

2.2 Geografische und klimatische Daten

Gebäudestandort: Geographische Länge: 14° 24' 58"
 Geographische Breite: 48° 05' 31"
 Meereshöhe Steyr: 300 m ü.M.

Monat/Jahr	Mittlere Außentemp.	Heizgradtage (12°/20°)	Mittlere tägliche Globalstrahlung auf horizontale Fläche
	[C°]	[Kd]	[Wh/m²d]
Januar	-1,9	677	878
Februar	-0,3	568	1.541
März	3,9	493	2.618
April	9	290	3.775
Mai	13,5	113	4.659
Juni	16,7	33	5.072
Juli	18,3	10	4.973
August	17,6	9	4.278
September	14,2	69	3.093
Oktober	9	308	1.835
November	3,6	489	979
Dezember	-0,3	631	682
Jahr	8,6	3.690	2.865

Tabelle 2: Langjährige Mittelwerte der wichtigsten Klimadaten [Klimadatenkatalog]

3 Baubeschreibung

3.1 Grundrisse, Gebäudeschnitte und Ansichten

Die drei Reihenhäuser wurden von einem örtlich ansässigen Bauunternehmen in architektonisch herkömmlichen Stil errichtet. Man setzte sich als Ziel, einen konventionellen, gut verkaufbaren Reihenhaustyp mit Satteldach zu einem Passivhaus umzuplanen.

Das Gebäude ist nach Südwesten orientiert (27° Abweichung von Süd) und, wie in Oberösterreich üblich, voll unterkellert. Der Keller ist wasserdicht ausgeführt. Die Kellerzugänge liegen außerhalb der thermischen Hülle in Windfängen, die dem Eingangsbereich vorgelagert sind. Der Technikraum befindet sich im Kellergeschoss direkt unter den Nassräumen, wodurch kurze Rohrleitungen ermöglicht wurden.

Um die passiv-solaren Gewinne zu erhöhen, wurde die nach Süden ausgerichtete Fensterfläche vergrößert und durch einen zusätzlichen Gaupenaufbau im Dachgeschoss erweitert. Die Wohnfläche innerhalb der thermischen Hülle beträgt ca. 160 m². Die Wohneinheiten erstrecken sich über 3 Ebenen, die Erschließung der Stockwerke erfolgt innerhalb der Wohnungen.

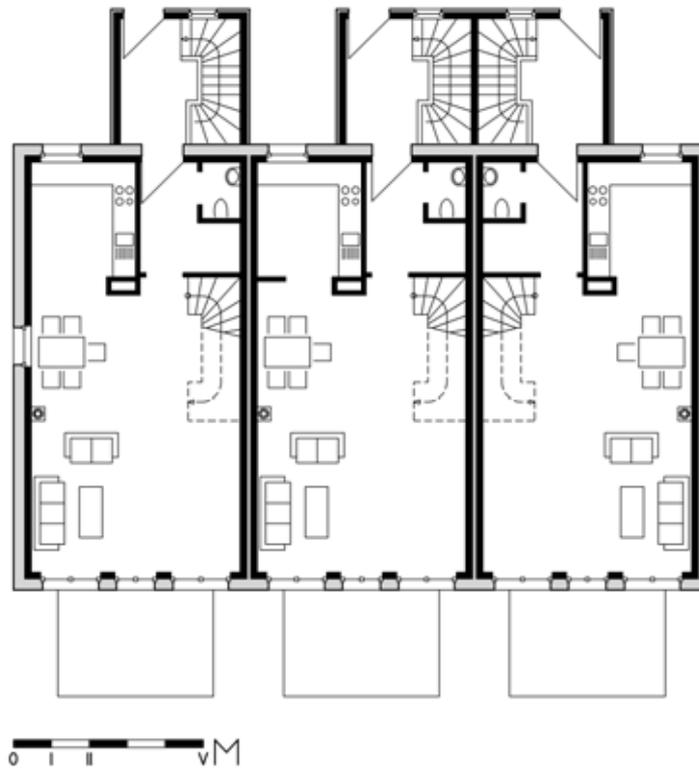


Abbildung 10: Grundriss Erdgeschoss



Abbildung 11: Grundriss Obergeschoss

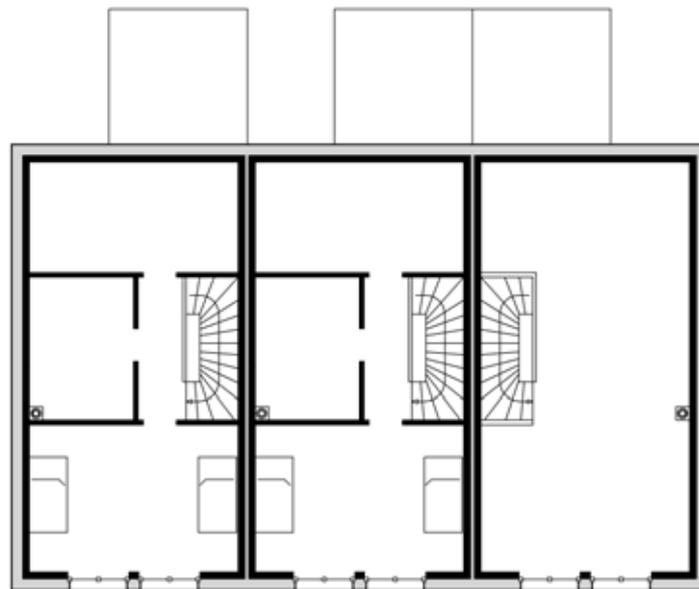


Abbildung 12: Grundriss Dachgeschoss

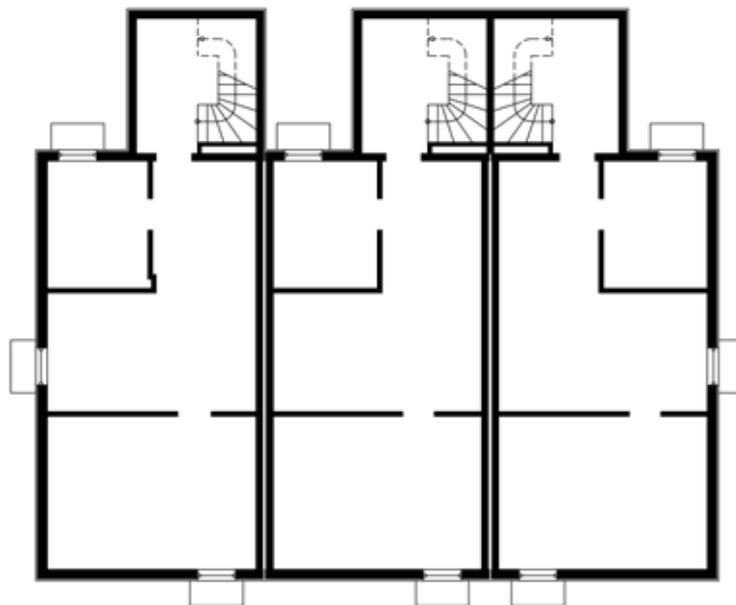


Abbildung 13: Grundriss Kellergeschoss

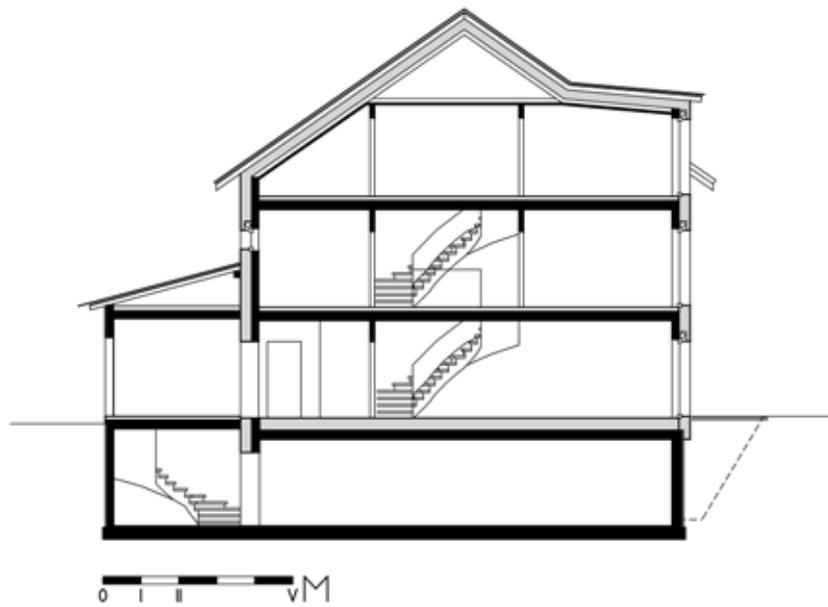


Abbildung 14: Schnitt quer



Abbildung 15: Ansicht von Südwest



Abbildung 16: Ansicht von Nord

3.2 Angaben zur Energiebezugsfläche

	Wohnnutzfläche lt. ÖNORM 1800 [m ²]	Energiebezugsfläche “treated floor area (TFA)” nach vereinbartem EU- Berechnungsmodus [m ²]
Haus 1	170,7	154,5
Haus 2	170,7	154,5
Haus 3	171,3	157,9
Gesamt	512,7	466,9

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 in Massivbauweise errichtet. Die Außenwände sind mit Kalksandstein gemauert und mit einem Wärmedämmverbundsystem bekleidet. Die Haustrennwände bestehen aus zwei Kalksandsteinwänden. Die Decken sind aus Stahlbeton. Das Dach ist wie alle anderen Bauteile der Gebäudehülle hochwärmegeklämt.

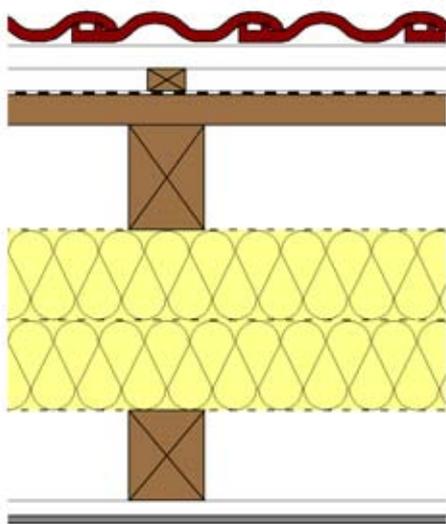
3.4 Regelquerschnitte der Außenbauteile

Abbildung 11 zeigt die Regelaufbauten der Bauteile der hochwärmegedämmten Gebäudehülle. Die U-Werte der opaken Bauteile liegen zwischen 0,09 und 0,13 W/(m²K), der mittlere U-Wert der Fenster bei 0,77 W/(m²K). Im Projekt wurden Kunststofffenster der Fa. Pazen eingesetzt, die PVC-Rahmen sind PU-gedämmt. Als Verglasung wurde eine dreifach-Wärmeschutzverglasung mit Krypton-Füllung gewählt. Die Scheibenzwischenräume betragen 18 mm, die Scheibendicken 4 mm. Der U-Wert der Verglasung liegt lt. Deutschem Bundesanzeiger bei 0,7 W/(m²K), der g-Wert bei 0,53. Eingesetzt wurde ein thermisch getrennter Abstandshalter aus Kunststoff.

Die Außenwand aus 17,5 cm Kalksandstein wurde mit einem 30 cm dicken, zweilagig aufgetragenen Wärmedämmverbundsystem aus Polystyrol gedämmt. Die innere Lage wurde mit Dübeln befestigt. Innenseitig wurden die Kalksandsteinwände nicht verputzt, sondern gespachtelt. Das Dach besteht aus einer Doppel-Sparren Konstruktion und ist mit 2 * 12 cm alu-kaschieten PU-Dämmplatten der Wärmeleitfähigkeit 0,025 W/(mK) gedämmt. Die Luftdichtheitsschicht bildet die Alukaschierung der Platten, die miteinander und mit den angrenzenden Bauteilen verklebt wurde. Die Kellerdecke wurde oberseitig mit 30 cm Polystyrol gedämmt.

Dach

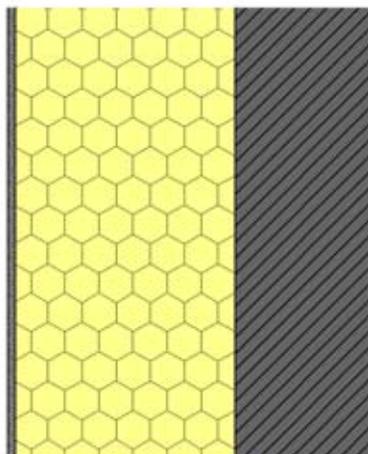
U = 0,09 W/(m²K)



Außen / kalt	
Dachsteine	
Lattung	3/5
Konterlattung	3/5
Hinterlüftung	
Dachpappe	2,4 cm
Sparren	10/14
Dämmung, Alu-kaschiert	2x 12,0 cm
Stöße abgeklebt	
Sparren	10/12
Lattung	2,4 cm
Gipskarton	1,5 cm
Innen / warm	

Außenwand

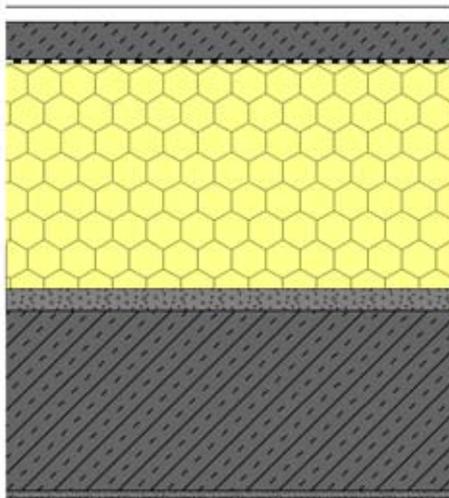
U = 0,13 W/(m²K)



Außen / kalt	
Außenputz	1,0 cm
expandiertes Polystyrol	30,0 cm
Kalksandstein	17,5 cm
Innen / warm	

Kellerdecke

U = 0,12 W/(m²K)

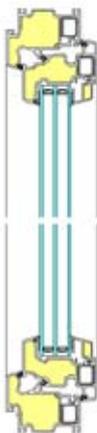


Innen / warm	
Bodenbelag	2,0 cm
Estrich	5,0 cm
Folie	-----
expandiertes Polystyrol	30,0 cm
Beschüttung	3,0 cm
Stahlbeton-Decke	24,0 cm
Putz	1,0 cm
Keller / kalt	

Fenster

U = 0,77 W/(m²K)

(Mittel aller Fensterflächen)



Rahmen	Eco-2
Hersteller	Eurotec-Pazen
Material	Kunststoff / PUR-Schaum
U-Wert	$U_{\text{Rahmen}} = 0,75 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

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

Abbildung 17: 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 Steyr-Dietach 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 Steyr-Dietach.

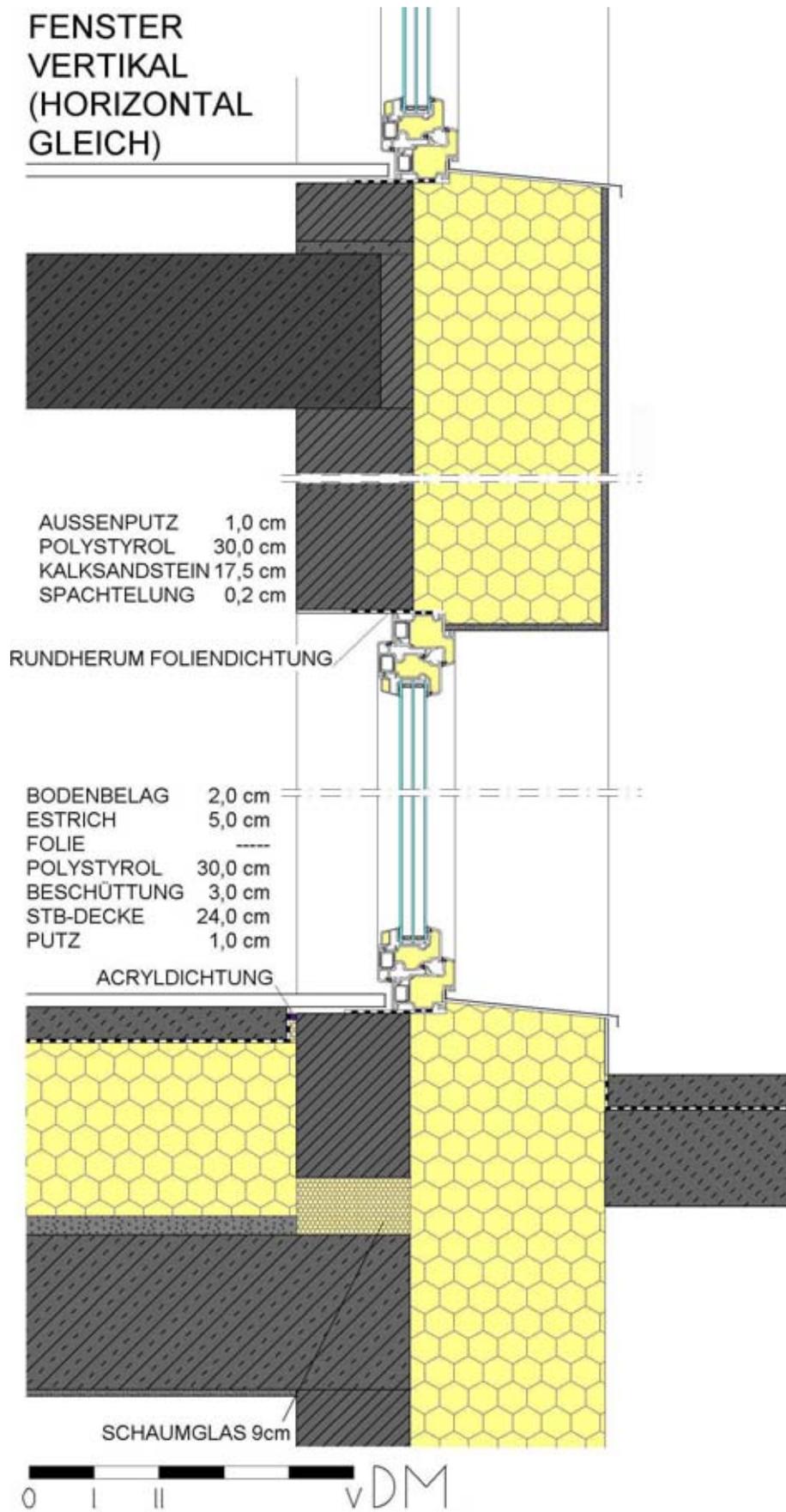


Abbildung 18: Fassadenschnitt

Der Fassadenschnitt zeigt die 30 cm dicke PS-Dämmung der Außenwand und der Kellerdecke. Die Blendrahmen der gedämmten Fensterprofile sind zusätzlich bauseits geringfügig überdämmt. Der luftdichte Anschluss der Fenster an den Baukörper wird durch Verklebung mit Folie erreicht. Die Innenseite der Kalksandsteinwände ist nicht verputzt, sondern gespachtelt. Zur Verringerung der Wärmebrücke am Fußpunkt der Erdgeschosswände stehen diese auf einem 9 cm dicken Schaumglasstreifen.

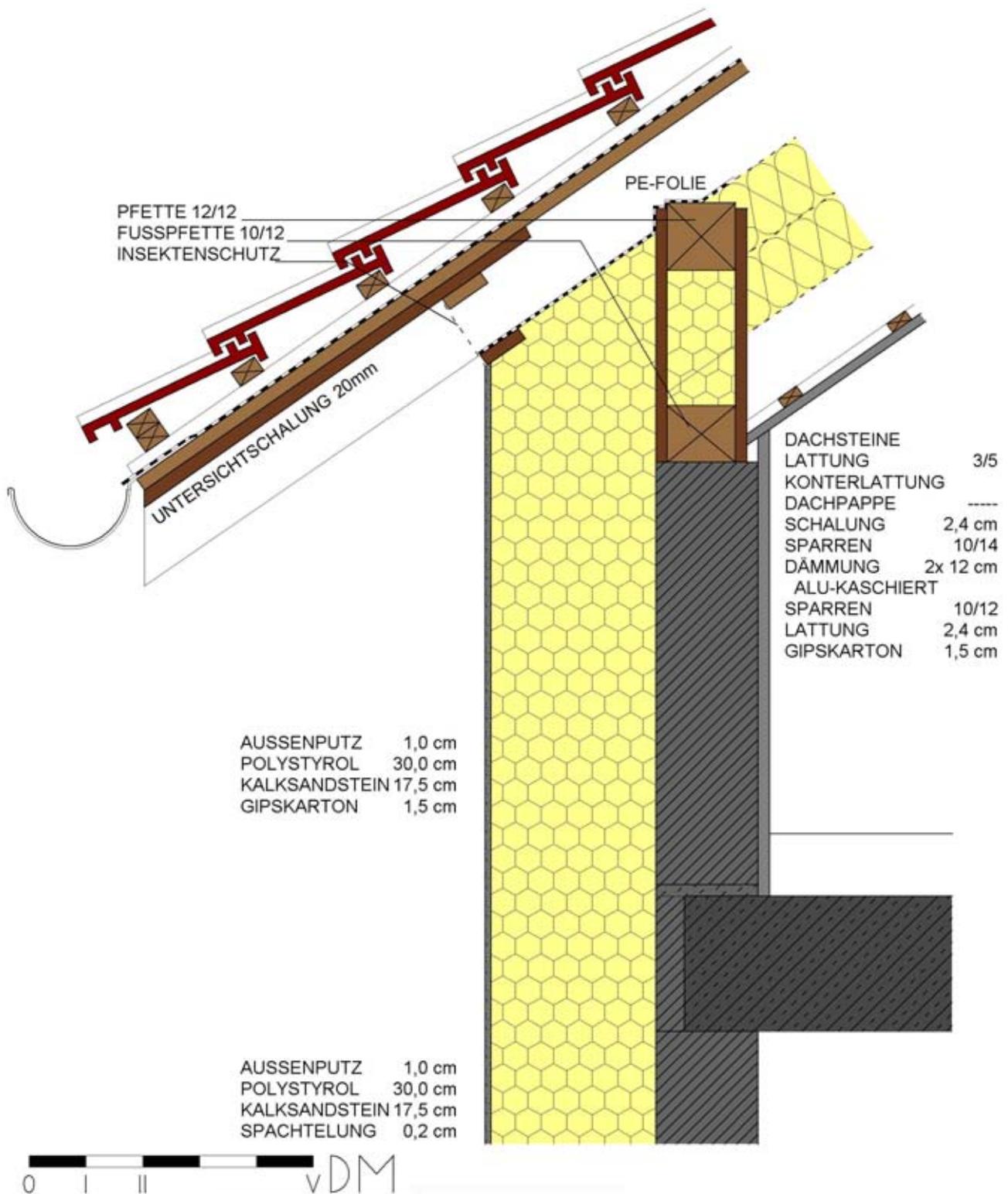


Abbildung 19: Detail Dachtraufe

ORTGANG + GAUPENANSCHLUSS

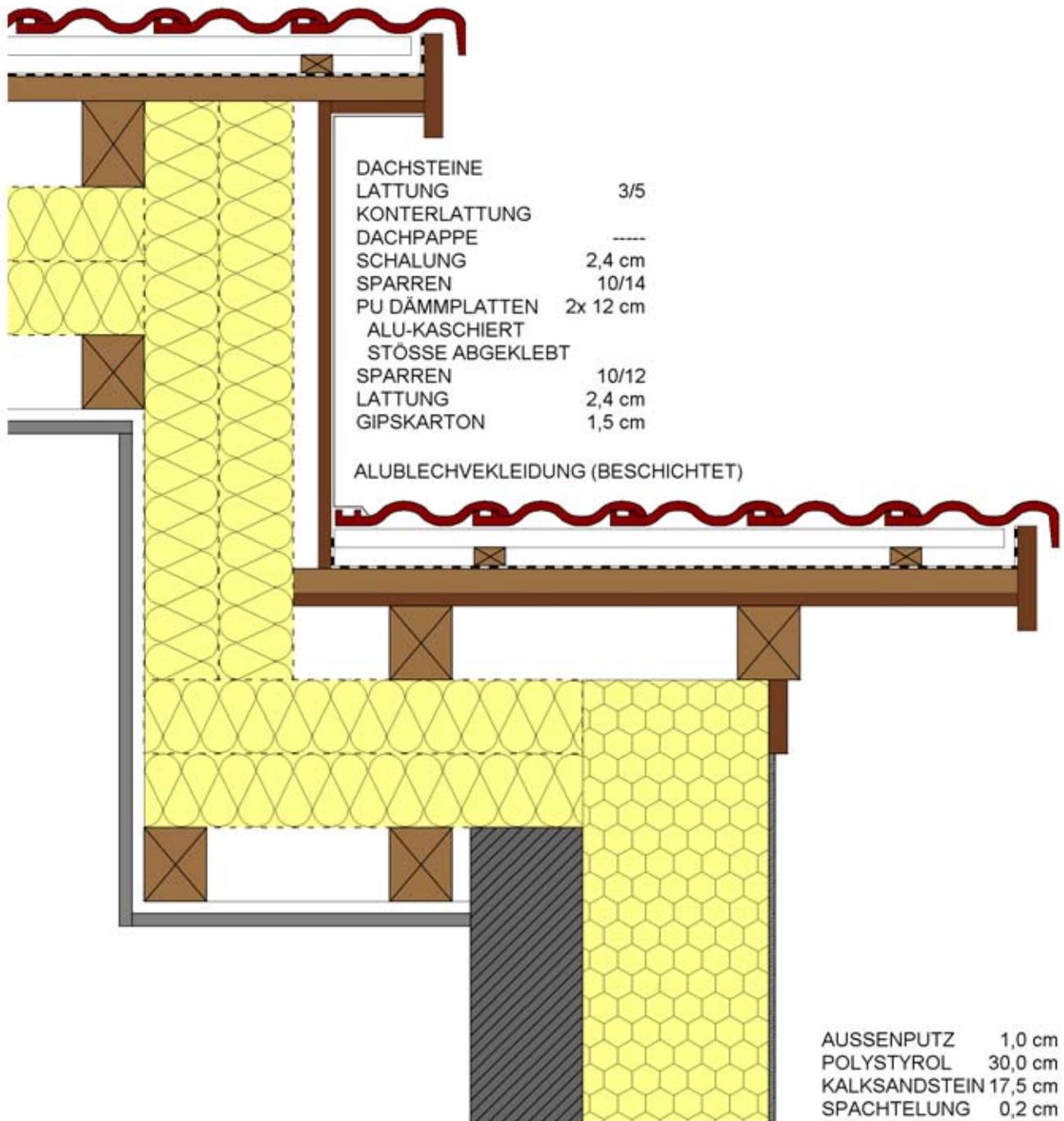


Abbildung 20: Detail Ortgang und Gaupenanschluss

Abbildung 20 zeigt die Doppelsparren-Konstruktion des Dachs und die Lage der Dachdämmung. Diese besteht aus zwei Lagen PU-Dämmplatten der Wärmeleitfähigkeit 0,025 W/mK.

HAUSTRENNWAND

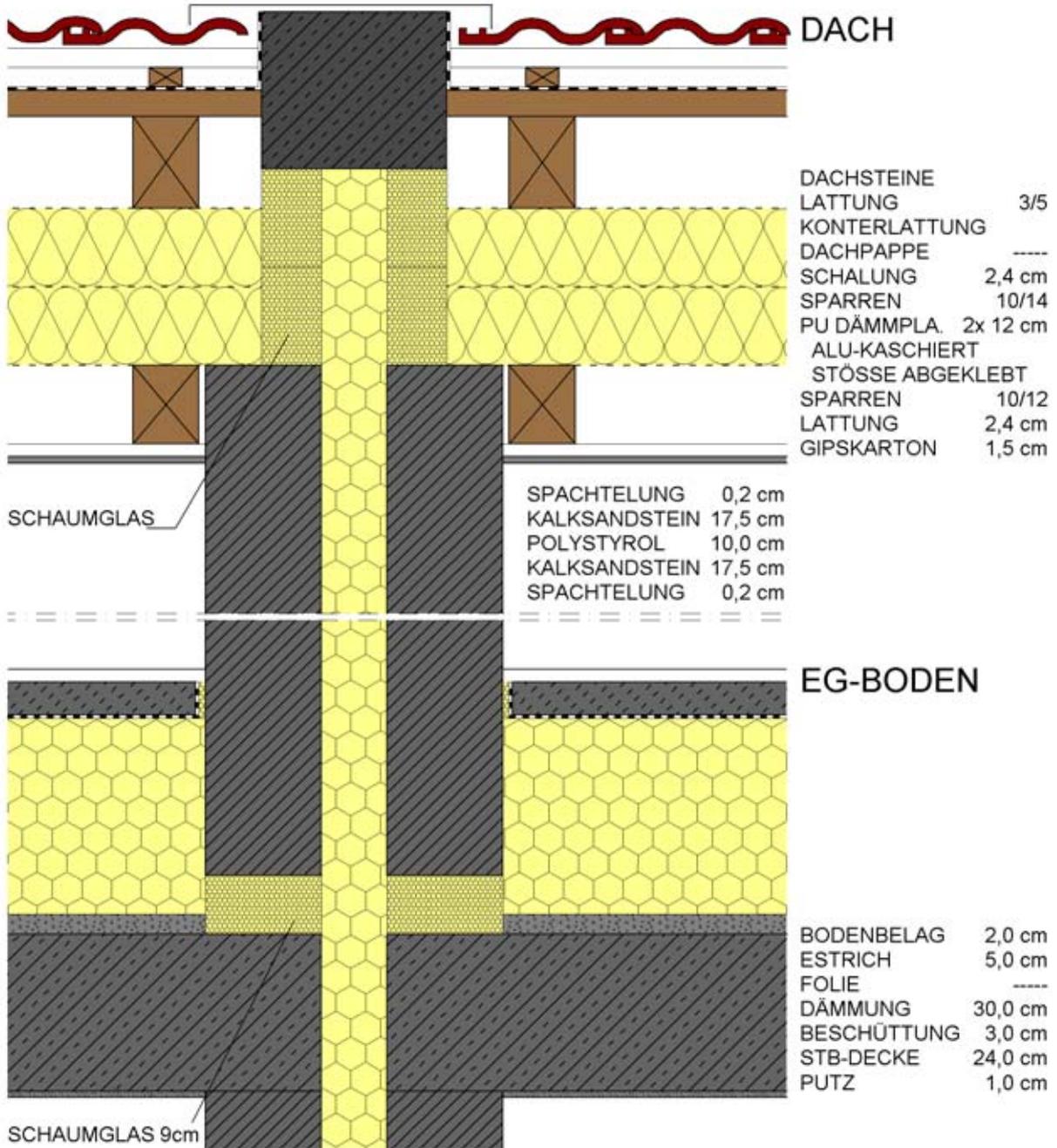


Abbildung 21: Horizontalschnitt durch die Haustrennwand

Abbildung 21 zeigt den Horizontalschnitt durch die Haustrennwand. Die beiden Trennwände aus Kalksandstein werden durch eine mit 10 cm Polystyrol gedämmte Fuge getrennt. Zur Minimierung der Wärmebrücke am Fußpunkt stehen die KS-Wände auf 9 cm hohen Schaumglas-Streifen. Aus Brandschutzgründen ist die Dämmung an der Mauerkrone aus Schaumglas ausgeführt, über diesen Schaumglaselementen werden die Mauerkronen aus Brandschutzgründen bis über Dach geführt. Die Kalksandsteinwände wurden innenseitig nicht verputzt, sondern gespachtelt. Ob diese Ausführung die Anforderungen an die Luftdichtheit erfüllen kann, soll in den Luftdichtheitstests untersucht werden. Im Dach wurde keine Luftdichtheitsschicht zusätzlich zu der Verklebung der Alukaschierung der Dämmplatten ausgeführt.

3.6 Besonderheiten

Das oberösterreichische Baugesetz schreibt zwingend einen Notkamin vor. Dieser sollte eigentlich bis in den Keller geführt werden. Weil es sich um ein Passivhaus handelt, konnte wenigstens erreicht werden, dass der Kamin nicht bis in den Keller geführt werden muss, sondern im EG enden darf. Er wurde auf einer Schaumglasplatte wärmebrückenfrei aufgestellt. Die mit dem Notkamin verbundenen Wärmeverluste durch Luftzirkulation im Kamin müssen hingenommen werden.

4 Lüftungskonzept

Jede der drei Wohneinheiten verfügt über eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung, die Frischluft der beiden Randhäuser wird in Erdreichwärmetauschern vorkonditioniert.

4.1 Zu-, Abluft, Überströmzonen

Zulufräume sind alle Aufenthaltsräume (Wohnzimmer, Schlafzimmer, Kinderzimmer, Arbeitszimmer), Überströmzonen sind Gang und Treppenhaus, die Abluftzonen sind: Badezimmer, Toilette, Küche und Abstellräume.

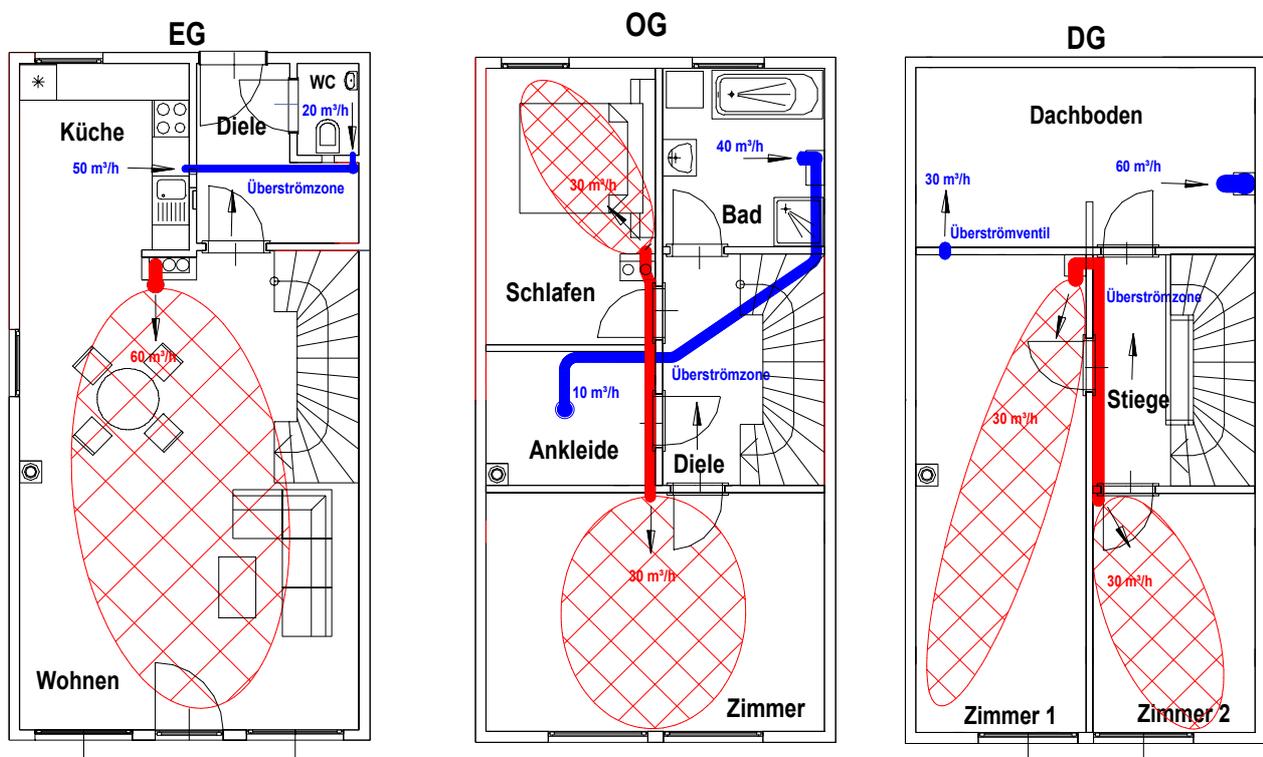


Abbildung 22: Zu- und Abluftzonen in EG, OG und DG

4.2 Angaben zu den technischen Parametern

4.2.1 Regelquerschnitt des Zu- und Abluftkanals

Abluft von der Lüftungsanlage bzw. Steigstrang 200 mm. Die Abzweigungen sind je nach Bedarf 100, 125 bzw. 150 mm.

Zuluft wird im Keller von 1x 200 auf 3 x 150 mm als Steigstrang für jedes Stockwerk verteilt. Dort wieder nach Bedarf 100, 125 bzw. 150 mm.

4.2.2 Auslegungsluftvolumenströme

Zonen	Zuluft [m³/h]	Luftwechsel rate [h ⁻¹]	Abluft [m³/h]	Luftwechsel rate [h ⁻¹]	Überströ- mung [m³/h]	Luftwechsel rate [h ⁻¹]
Wohnraum	60	0,54				
Küche			60	3,00		
WC			20	4,00		
Diele					20	1,23
Zimmer	50	0,88				
Schlafräum	30	0,90				
Bad			50	2,44		
Ankleide			10			
Diele					60	5.82
Dachzimmer 1	30	0,41				
Dachzimmer 2	30	0,69	30	0,69		
Haustechnik			30	1,49		
Gesamt	200		200			

Tabelle 4: projektierte Auslegungsvolumenströme Druckverluste

Es wurden keine detaillierten Druckverlustberechnungen durchgeführt.

4.2.4 Filter

An der Außenluftansaugung befindet sich ein G4 Filter. Im Wärmetauscher sind auf der Zu- und auf der Abluftseite je ein weiterer G4 Filter eingebaut. Außerdem ist im Wärmetauscher ein Einsteckplatz für einen Pollenfilter vorgesehen. Dieser war zunächst eingesetzt und wurde von den Benutzern wieder herausgenommen und beiseite gelegt, weil keine Notwendigkeit für den Pollenfilter bestand, der zusätzliche Druckverlust jedoch hoch war.

4.2.5 Zuluftventile

Als Zuluftventile wurden in allen Räumen (mit Ausnahme im Dachgeschoss des Hauses 1) Weitwurfdüsen eingesetzt. Im Dachgeschoss des Hauses 1 sind in der abgehängten Decke 2 Tellerventile eingebaut.

4.2.6 Abluftventile

Es sind überall Tellerventile eingebaut.

4.3 Beschreibung des Wärmetauschers

Im Lüftungsgerät ist ein Kreuz-Gegenstromwärmetauscher (Fabrikat Brink) eingesetzt. Diese Modellserie hat durch eine metallische Verbindung eine Wärmebrücke zwischen der kalten und der warmen Seite. Das Lüftungsgerät (Fabrikat Westaflex, Typ WAC 250) wird nur mit geringer Wärmedämmung und mit zahlreichen Wärmebrücken ausgeliefert und wurde daher bauseits zusätzlich wärmegeklämt.

4.4 Regelmöglichkeiten

Das Lüftungsgerät verfügt über eine Steuerung, die verdrahtet an einem beliebigen Ort platziert werden kann. 3 Lüftungsstufen können händisch eingestellt werden. In diesem Fall wurden die drei Lüftungsstufen auf die Luftmengen 120, 180 und 250 m³ eingestellt. Außerdem kann eine eingebaute Zeitschaltuhr eine Absenkung der Luftmenge steuern.

Mit der Steuerung des Lüftungsgerätes kann der vorhandene Bypass (Umgehung des Wärmetauschers) aktiviert werden. Die werksmäßige Einstellung beruht auf einer Temperaturbandbreite der Außentemperatur von +15 bis +18°C. Bei Unterschreitung dieser Außentemperatur wird der Wärmetauscher wieder aktiviert. Die Bewohner des Hauses 1 haben dies im Sommer in Hitzeperioden als Nachteil empfunden, weil sie dadurch keine kühle Luft mehr in die Räume zugeführt erhalten.

Eingestellte Regelungen:

Haus 1: Die Anfangseinstellung auf 24 Stunden Stufe 2 wurde nach einigen Wochen Wohnen ergänzt um eine Nachtabsenkung auf Stufe 1 von 22 bis 6 Uhr. Seit März 2001 wurde die Stufe 1 (120m³) dauerhaft eingestellt.

Haus 2: 120 m³ (Stufe 1) im Heizbetrieb

Haus 3: 180 m³ (Stufe 2) im Heizbetrieb

4.5 Beschreibung des Erdreichwärmetauschers

Die Häuser 1 und 3 verfügen über Erdreichwärmeüberträger. Das Mittelhaus hat keinen Erdreichwärmeüberträger. Da die Reihenhäuser parzelliert sind, hätte dieser für das Mittelhaus unter der Bodenplatte verlegt werden müssen. Die damit verbundenen Aufwendungen, vor allem hinsichtlich der Zugänglichkeit und der Kondensatableitung, haben die Planer zum Verzicht auf die Luftvorerwärmung bewogen. Die Frostfreihaltung der Fortluft für das Mittelhaus erfolgt durch eine elektrische Erwärmung der Außenluft vor dem Wärmeüberträger.

Der Erdreichwärmeüberträger ist ein außenseitig gewelltes Polypropylenrohr mit einem Durchmesser von 200 mm. Innenseitig ist eine glatte zusätzliche Innenwandung. Der Erdreichwärmeüberträger ist im Gefälle von der Luftansaugung bis zum Austritt im Keller verlegt. Er ist ca. 50 Meter lang und 1,7 bis 2,5 Meter unter der Erdoberfläche im lehmigen Boden verlegt.

Die Außenluft wird immer über den Erdreichwärmeüberträger geführt. Eine direkte Luftzuführung der Außenluft zum Lüftungsgerät wurde aus Kostengründen nicht eingebaut und ist daher nicht möglich.

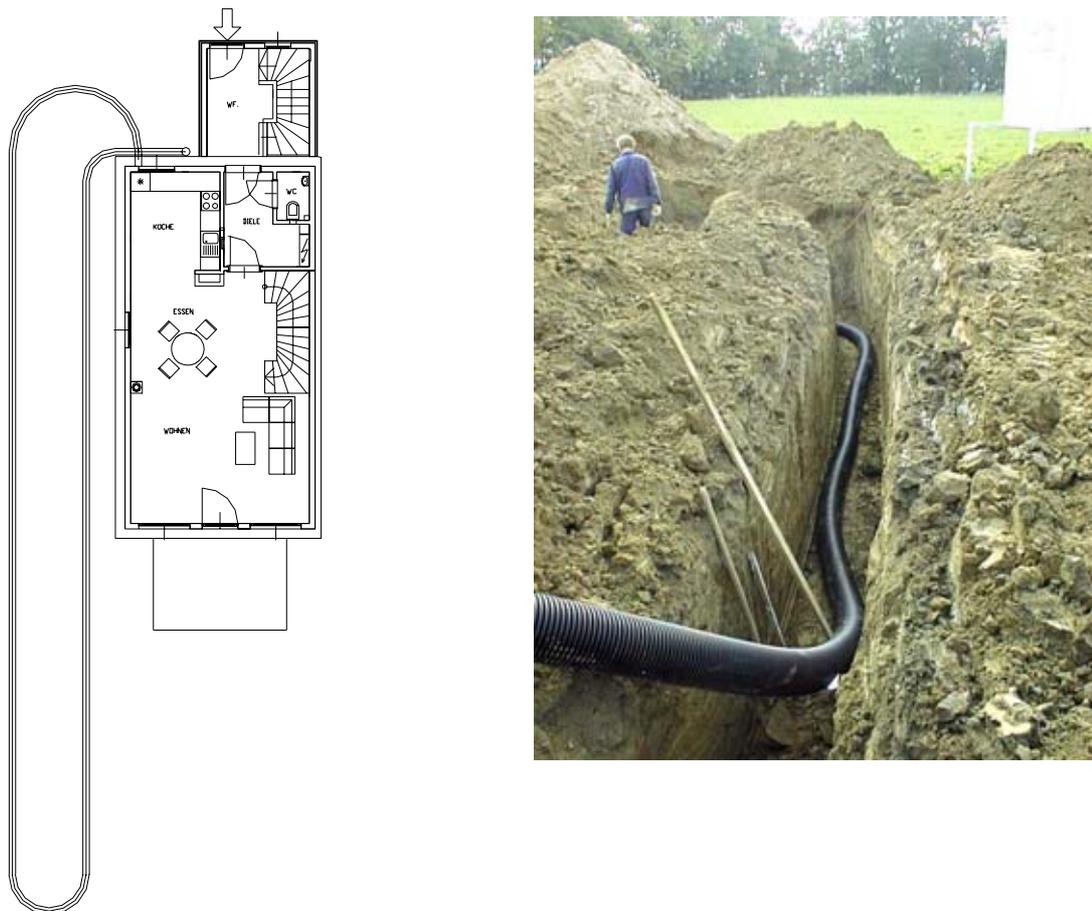


Abbildung 23: Verlegung des Erdreichwärmetauschers

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].

5.1 Heizwärmeverteilung

Die Raumwärmeversorgung des Passivhauses Steyr erfolgt ausschließlich über das Lüftungssystem. Abbildung 17 zeigt ein Schema des Heizungs-, Lüftungs- und Solarsystems.

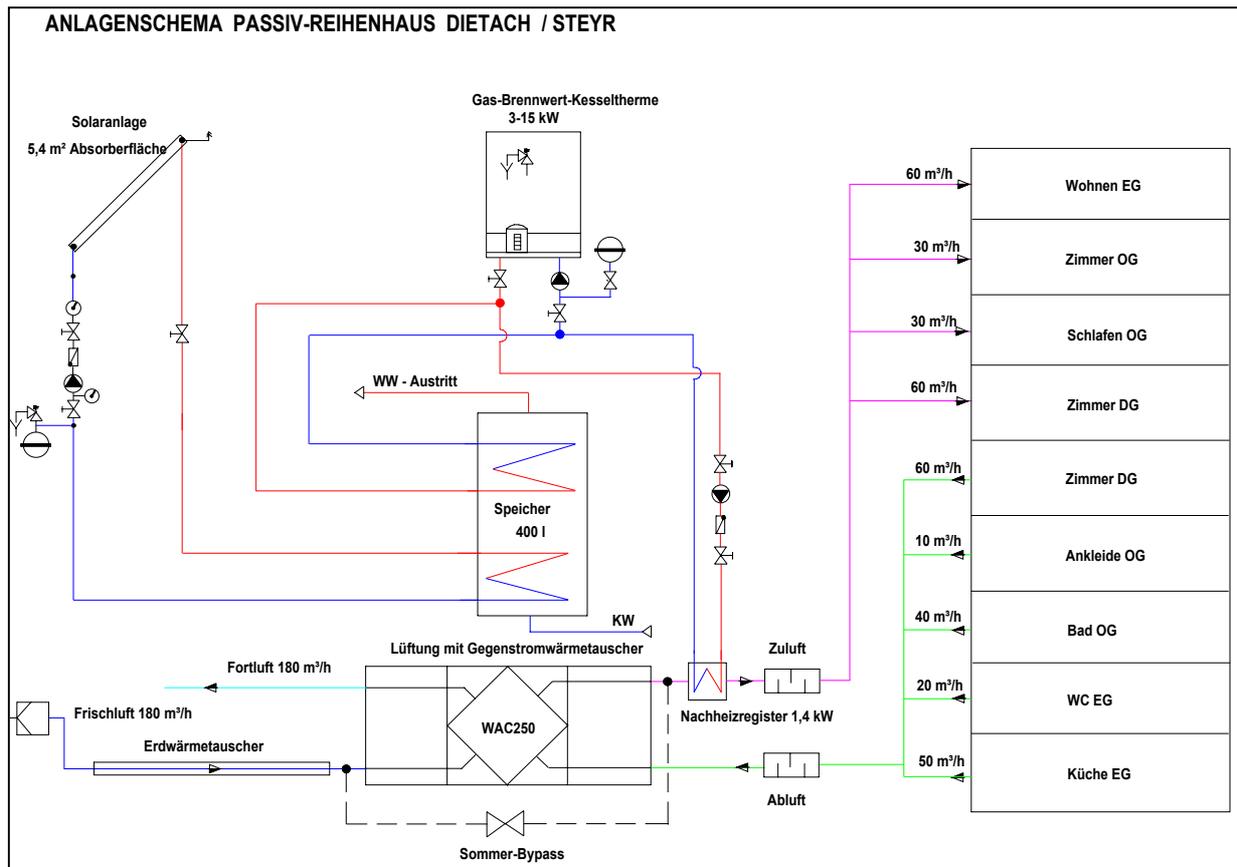


Abbildung 24: Haustechnik-Schema

5.2 Wärmeversorgung für Warmwasser und Heizung

Der Wärmeerzeuger ist eine Gasbrennwerttherme (Produkt Junkers, Typ ZSBR 3-12 A 23) mit einem Leistungsbereich von 3 bis 12kW. Diese erwärmt im Bedarfsfall die Zuluft über ein 1,4 kW Nachheizregister.

6 Konzept der Warmwasserversorgung

6.1 Angaben zur Erzeugung, Speicherung, Verteilung

Die Warmwasserbereitung erfolgt über eine thermische Solaranlage (projektierter solarer Jahresdeckungsgrad 62%), die Deckung des Restbedarfs mittels Gas-Brennwert-Kesseltherme (3-15 kW, hohe Leistungsstufe zur Erwärmung des Warmwasserspeichers, geringe Leistung bei Heizwärmebedarf).

Der Warmwasserbedarf ist in seinem zeitlichen Verlauf (Tages-/Wochen-/Jahresgang) je nach Lebensgewohnheiten und Komfortansprüchen sehr großen Schwankungen unterworfen, bisherige Annahmen gehen häufig von sehr hohem Verbrauch aus.

Die Gasbrennwerttherme und der Sonnenkollektor erwärmen das kalte Frischwasser in einem Tank mit 390 Liter Füllmenge. Der Gasbrennwerttherme steht dazu ein Wärmetauscher im oberen Bereich zur Verfügung. Dieser Bereich umfasst ca. 150 Liter. Der Wärmetauscher für den Sonnenkollektor ist unten angebracht. Die Warmwasserverteilung erfolgt ohne Zirkulationsleitung in einer mit alukaschierter Steinwolle gedämmten Wasserleitung (im kalten Bereich 5 cm, sonst 2 cm). Der Boiler ist werkseitig mit 10 cm PUR-Hartschaum gedämmt. Das entspricht nicht den Empfehlungen für Passivhäuser. Eine zusätzliche bauseitige Wärmedämmung wurde nicht durchgeführt.

6.2 Auslegungsdaten

Der für die Berechnung mit dem Programm T-Sol zugrunde gelegte Bedarf für das Passiv-Reihenhaus ergibt sich aus:

Mindest Warmwassertemperatur	45°C
Verbrauch je Person	40 Liter bei 60°C bzw. 55 Liter bei 45°C
Verlauf	Morgen- bzw. Abendspitze
Annahme Verbrauch Warmwasser	55 m ³ (ca. 150 l/d) pro Jahr (50°C) - Tendenz konstant.
Energie für Warmwasserbereitung	2.551 kWh/a

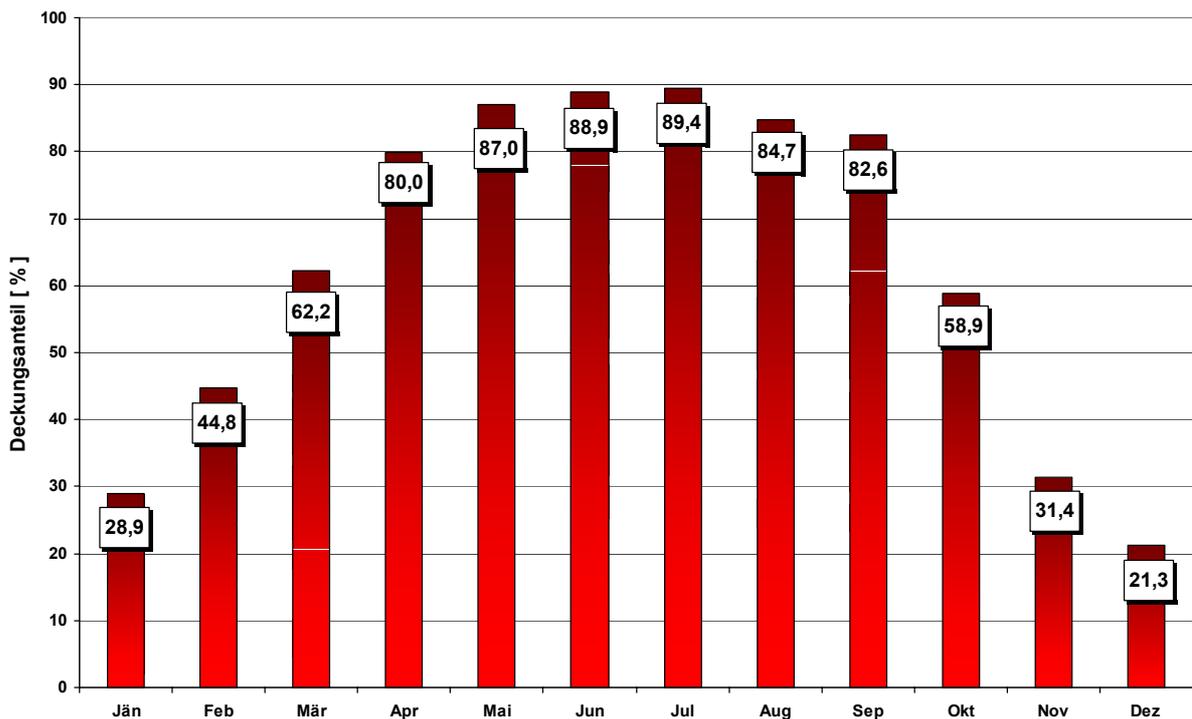


Abbildung 25: Jahresverlauf des solaren Deckungsanteils für eine 5,4 m² Dachanlage

Unter den oben genannten Annahmen bezüglich des Warmwasserbedarfs beträgt der berechnete solare Jahresdeckungsgrad 62%. Der Restenergiebedarf von 1.149 kWh/a muss von der Gas-Brennwert-Kesseltherme erbracht werden.

6.3 Beschreibung der Solaranlage

Die Solaranlage besteht aus einem Flachkollektor der Fa. Produkt Sonnenkraft mit selektiv beschichtetem Absorber. Die Netto-Absorberfläche beträgt 5,4 m² pro Haus. Auf dem 35° geneigten Ziegeldach ist der Sonnenkollektor in Indach-Montage verlegt.

6.4 Besonderheiten

Nach Inbetriebnahme der Heiz- und Solaranlage wurde bei der Sichtung der Messdaten festgestellt, dass der Wärmeeintrag in den Speicher ungewöhnlich größer ist, als die aus dem Speicher entnommene Wärmemenge. Als Ursache wurde festgestellt, dass im ganzen System weder in der Heizleitung noch im Primärkreislauf der Solaranlage Rückschlagklappen montiert wurden. Dieser Mangel wurde nach Feststellung behoben. Ohne die messtechnische Untersuchung wäre dieser Mangel vermutlich nie entdeckt worden. Es ist zu befürchten, dass zahlreiche installierte Solaranlagen diesen Mangel aufweisen.

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.

In den Passivhäusern Steyr-Dietach sind vorwiegend herkömmliche Haushaltsgeräte eingesetzt.

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 ÖNORM 181-1) 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 Angaben auf die einheitlich ermittelte Energiebezugsfläche (TFA) bezogen.

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

CEPHEUS		12:Steyr Austria	CEPHEUS gesamt
Anzahl der Wohneinheiten (WE)		3	223
Energiebezugsfläche (TFA)	[m ²]	467	19.674
TFA / WE	[m ²]	156	88
Bauwerkskosten (inkl. Kosten f. Energieeffizienz + ern. Energie)	[€]	475.827	20.210.704
	%	100%	100%
Bauwerkskosten / m ²	[€/m ²]	1.019	1.184
Bauwerkskosten / WE	[€/WE]	158.609	110.441
Investitionskosten für Energieeffizienz (Wärmedämmung, Lüftung, Fenster etc.) und erneuerbare Energie (Solarkollektoren)	[€]	71.583	1.908.352
	%	15%	9%
Investitionskosten f. Energieeffizienz u. ern. Energie / m ²	[€/m ²]	153	97
Investitionskosten f. Energieeffizienz u. ern. Energie / WE	[€/WE]	23.861	8.558
Investitionskosten für Energieeffizienz (Wärmedämmung, Lüftung, Fenster etc.)	[€]	62.234	1.715.705
	%	13%	8%
Investitionskosten f. Energieeffizienz / m ²	[€/m ²]	133	87
Investitionskosten f. Energieeffizienz / WE	[€/WE]	20.745	7.694
Investitionskosten nur für erneuerbare Energie (Solarkollektoren)	[€]	9.349	196.996
	%	2%	1%
Investitionskosten nur für erneuerbare Energie / m ²	[€/m ²]	133	10
Investitionskosten nur für erneuerbare Energie / WE	[€/WE]	20.745	883

Die Energiebezugsfläche (TFA – treated floor area) wurde vom Energieinstitut Vorarlberg aus den Einreichplänen ermittelt, da diese nicht mit der Flächenberechnung laut ÖNORM 1800 übereinstimmt.

Die angeführten Kosten basieren auf Angaben der Bauherren. Es wurde eine nach Leistungsgruppen und teilweise nach Bauteilen gegliederte Kostenaufstellung vorgelegt. Die Aufstellung entspricht ungefähr den Kostenbereichen 1 – 7 ÖNORM1801-1. Die Bauwerkskosten (Kostenbereiche 2 – 4) wurden vom Energieinstitut Vorarlberg aus dieser Aufstellung heraus gefiltert. Der größte Teil der Investitionskosten für Energieeffizienz und erneuerbare Energie findet sich beim Außenwandaufbau, den Fenstern und der Haustechnik.

Das Projekt Steyr ist ein auf PH – Standard verbesserter, bereits vielfach realisierter und kostengünstiger Reihenhaustyp. Obwohl mit 15% Investitionskosten für Energieeffizienz und erneuerbare Energie einer der höchsten CEPHEUS – Werte ausgewiesen wird ist Steyr mit Bauwerkskosten von 1.019 € pro m² eines der kostengünstigsten CEPHEUS – Projekte.

9 Beschreibung des Bauablaufs

9.1 Zeitliche Daten

Baugenehmigung und Einreichung für Landesförderung	Februar 1999
Fördergenehmigung des Landes und Baubeginn	September 1999
Fertigstellung und Bezug Haus 1 und 3	Februar 2000
Bezug Haus 2	November 2000

9.2 Beteiligte und Organisation des Bauablaufs

Bauherr:	Procon Gesellschaft für Dorf- und Regionalentwicklung
Architekt:	Baumeister Ing. Ganglberger
Ausführender Baumeister:	Ing. Christian Bammer, CB-Bau GmbH, Kirchham
Installateur: Krieger	Pauzenberger Installationstechnik GmbH
TGA-Planung:	Energieinstitut, Linz
Bauphysik +	
Dynamische Gebäudesimulation:	Energieinstitut Linz
Bauüberwachung:	Energieinstitut Linz

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

Die GU-Ausführung hat im Großen und Ganzen gut funktioniert. Bei zukünftigen Projekten sollten alle speziellen Details abgenommen werden, um zu verhindern, dass Mängel wie die fehlende Rückschlagklappe im Solarsystem rechtzeitig auffallen. Wie Luftdichtheitstest und Thermographie zeigen, sollte in Folgeprojekten der Entwicklung des Luftdichtheitskonzepts noch mehr Bedeutung zugemessen werden. Alle Anschlüsse der Luftdichtheitsschicht an den Bauteilübergängen sollten zeichnerisch dargestellt und mit den ausführenden Gewerken abgesprochen werden.

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 (PHPP) sowie Luftdichtheitstests und Thermographien durchgeführt. Für die Passivhäuser in Steyr-Dietach haben die Fachplaner auch dynamische Gebäudesimulationen mit dem Programm TRNSYS 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/m²
- 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.

Für das Projekt in Steyr-Dietach wurden der spezifische Heizwärmebedarf und die maximale Heizlast für jede Wohnung einzeln und für das Gesamtgebäude berechnet, Nachweisgröße ist der Bedarf des Gesamtgebäudes.

Projektspezifische Eingabedaten und wichtige Annahmen für die PHPP-Berechnungen:

- Energiebezugsfläche 466,8 m² (TFA)
- Außentemperaturen: Dt. Standardklima mit 84 kWh/a, entspricht in etwa langjährigem Mittel in Steyr
- Solarstrahlung langjährige Mittelwerte für Steyr, angepasst an Südabweichung, d.h. Werte für Süd-West etc. [Krec]
- Luftdichtheit: Berechnungsannahme: $n_{50} = 0,6h^{-1}$
- Wärmebereitstellungsgrad WRG: 80%
- Wärmebereitstellungsgrad EWT: 20%
- Lineare Wärmebrücken: Ergebnisse der Wärmebrückenberechnungen (siehe Kapitel 9.2)
- Mittlerer Luftwechsel: Berechnungsannahme 540 m³/h, d.h. 180m³/h pro Haus, entsprechend 0,46 LW/h

Der mit PHPP berechnete Wert für den spezifischen Heizwärmebedarf liegt bei 12,3 kWh/(m²a). Die maximale Heizlast liegt bei 8,2 W/m².

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

Passivhaus-Projektierung ENERGIEKENNWERT HEIZWÄRME

Klima:
 Objekt:
 Standort:
 Gebäudetyp/Nutzung:
 Energiebezugsfläche A_{EG}: m²

Bauteile	Fläche m ²	U-Wert W/(m ² K)	Reduktionsfaktor ξ	G _T kWh/a	WW/a
1. AM	397,5	0,127	1,0	84	4241
2. Dach	237,6	0,093	1,0	84	1856
3. Kellerdecke	190,3	0,122	0,5	84	1016
4.					
5.					
6.					
7.					
0. Fenster	85,9	0,768	1,0	84	5543
Wbrücken außen (Länge/m)	255,5	-0,017	1,0	84	-368
Wbrücken Boden (Länge/m)	27,3	0,221	0,5	84	253

Transmissionswärmeverluste Q_T Summe 26,9 (kWh/m²a)

Lüftungsanlage:

wirksames Luftvolumen V_L m² * m = m³ (lichte Raumhöhe)

Wärmebereitstellungsgrad des Plattenwärmtauschers η_{WRG}

Wärmebereitstellungsgrad des Erdreichwärmtauschers η_{EW}

energetisch wirksamer Luftwechsel n_L * (1 -) + = 1/h (Φ_{WRG} n_{L, Anlage})

Lüftungswärmeverluste Q_L m³ * 1/h * W/(m³K) * kWh/a = kWh/a 9,2 (kWh/m²a)

Summe Wärmeverluste Q_V (+) * = 36,0 (kWh/m²a)

Ausrichtung der Fläche

Reduktionsfaktor vgl. Blatt Fenster	g-Wert (senkr. Einstr.)	Fläche m ²	Globalstr. Heizzeit kWh/(m ² a)	WW/a
1. Ost	0,45	0,53	0,00	191 = 0
2. Süd	0,52	0,53	67,54	314 = 5865
3. West	0,41	0,53	1,32	154 = 44
4. Nord	0,42	0,53	16,96	138 = 526
5. Horizontal	0,45	0,53	0,00	335 = 0

Wärmeangebot Solarstrahlung Q_S Summe 13,8 (kWh/m²a)

Interne Wärmequellen Q_I kWh/d * d/a * W/m² * m² = kWh/a 11,3 (kWh/m²a)

Freie Wärme Q_F Q_S + Q_I = 25,1 (kWh/m²a)

Verhältnis Freie Wärme zu Verlusten Q_F / Q_V =

Nutzungsgrad Wärmegewinne η_G (1 - (Q_F / Q_V)^β) / (1 - (Q_F / Q_V)^β) =

Wärmegewinne Q_G η_G * Q_F = 23,7 (kWh/m²a)

Heizwärmebedarf Q_H Q_V - Q_G = 12,3 (kWh/m²a)

Abbildung 26: PHPP-Berechnungsblatt Heizw&WBV

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].

Die Ergebnisse der Wärmebrückenberechnungen für das Projekt in Steyr sind in [Künz 10] detailliert dargestellt. Die Untersuchungen wurden mit dem Programm WAEBRU 6.0 durchgeführt. Die gewählte Konstruktion ermöglicht es, die Wärmebrücken der Gebäudehülle mit relativ geringem Aufwand zu minimieren. Die Summe der durch die Wärmebrücken verursachten zusätzlichen Transmissionswärmeverluste ist (bei Außenmaßbezug) für das Projekt in Steyr negativ.

Nummer	Bezeichnung Detail	Ψ [W/mK]
1	Außenwand-Kellerdecke	-0,015
2	Innenwand-Kellerdecke	0,041
3	Haustrennwand-Kellerdecke	0,259
4	Außenwand-Geschossdecke	-0,001
5	Außenwand-Dachfläche	-0,064
6	Haustrennwand-Dachfläche	0,006
7	Außenwanddecke	-0,065
8	Rollladenkasten	0,022
9	Jalousiekasten	0,057

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 $\leq 0,6h^{-1}$.

Die Luftdichtheitsprüfungen für das Projekt in Steyr wurden am 05.02.2001 durchgeführt, die Ergebnisse sind in [Markowetz] beschrieben. Der volumenbezogene mittlere Luftwechsel bei 50 Pa betrug bei Unterdruck $1,41 h^{-1}$, bei Überdruck $1,74h^{-1}$. Der Mittelwert aus Unter- und Überdruck beträgt $1,58h^{-1}$, der Passivhausgrenzwert wird deutlich verfehlt. Undichtheiten fielen vor allem bei den Einströmöffnungen der Lüftungsanlage auf. Leichte Undichtheiten wurden auch an den Fenstern, der Elektroinstallation und bei Bauteilanschlüssen im Dachgeschoss festgestellt. Da die Undichtheiten zum Teil durch thermografische Aufnahmen visualisiert werden konnten, sind die Untersuchungsergebnisse in Kapitel 9.4 dargestellt.

10.4 Ergebnisse der Thermografien

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

Die Ergebnisse der Thermographischen Untersuchungen für das Projekt in Steyr sind in [Lummersdorfer] dargestellt. Die Aufnahmen wurden zum Teil durchgeführt, während das Gebäude unter Unterdruck gesetzt war. Die nachfolgenden Abbildungen zeigen die vorgefundenen Schwachpunkte:

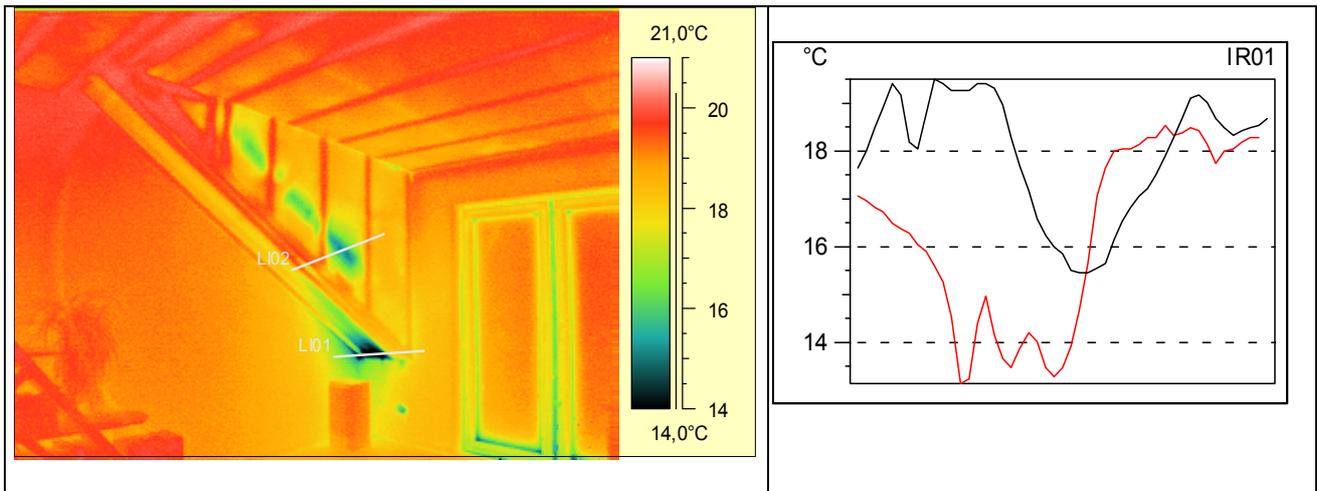


Abbildung 27: Innenaufnahme bei Unterdruck, Dachraum Ecke Südost

Abbildung 27 zeigt deutliche Temperaturabfälle am Anschluss der Dachgaupe. Diese sind auf Undichtheiten am Bauteilanschluss zurückzuführen.

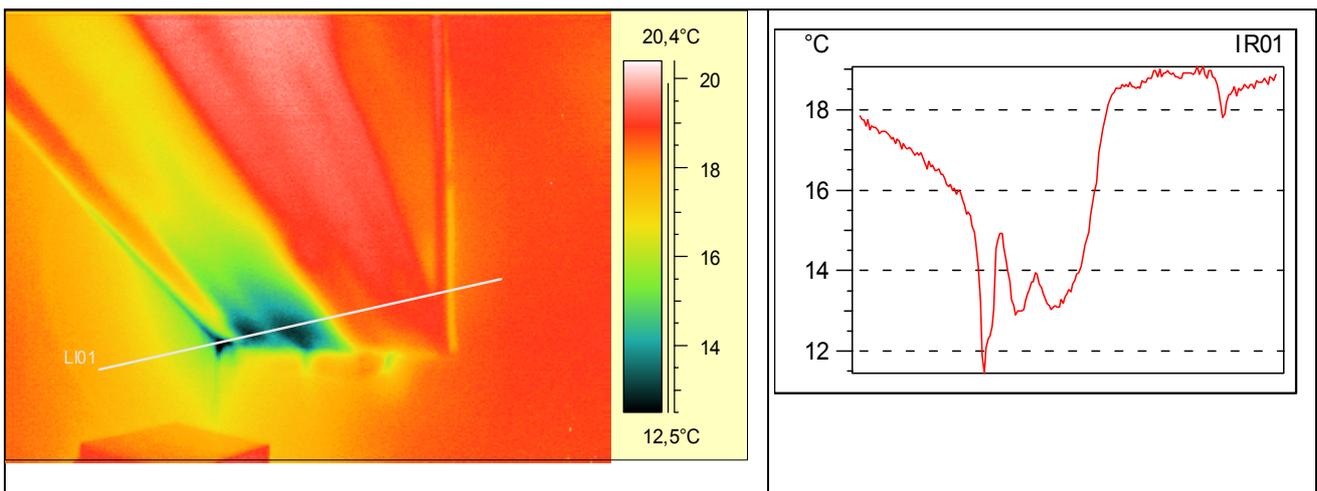


Abbildung 28: Innenaufnahme bei Unterdruck, Dachraum Ausschnitt Ecke Südost

Abbildung 28 zeigt einen Ausschnitt des in Abbildung 27 dargestellten Bereichs. Erkennbar sind die um 6 K abfallenden Temperaturen am Anschluss der Dachgaupe an die Traufwand. Offensichtlich erfolgte die Verklebung der Alukaschierung mit der Außenwand in dem betreffenden Sparrenfeld nicht lückenlos. Erkennbar ist auch, dass die Temperatur im gesamten Sparrenfeld aufgrund der Durchströmung mit Kaltluft deutlich unter der Temperatur des benachbarten Sparrenfeldes liegt. Auch am Anschluss an die Giebelwand sind Undichtheiten vorhanden. Eine geringfügige Wärmebrücke/Luftundichtheit zeichnet sich am Übergang der Gaupenwand zur Traufwand ab.



Abbildung 29 und Abbildung 30: Dachgaube im Bauzustand

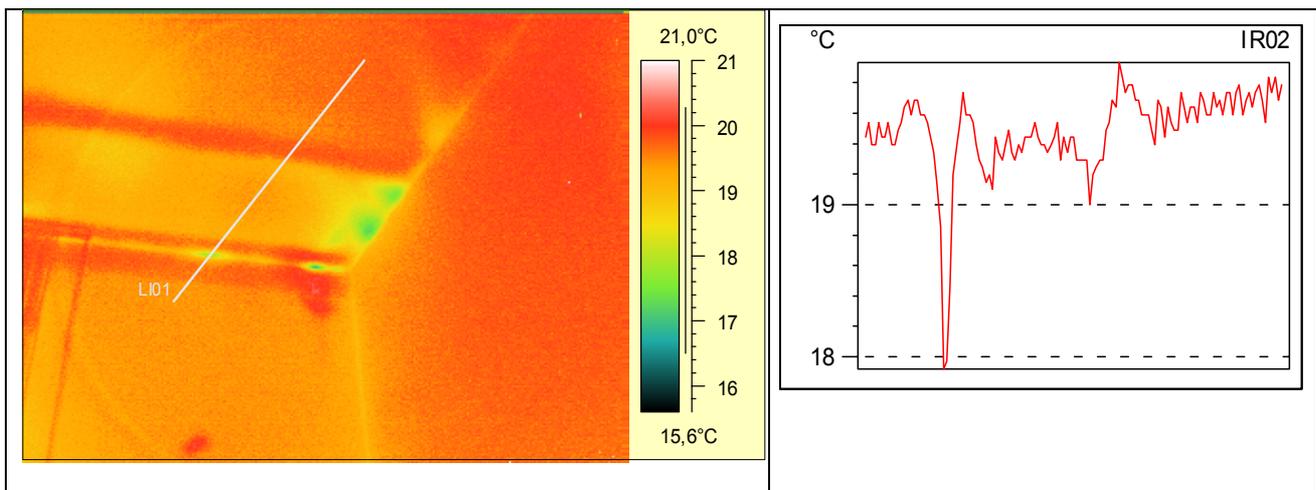


Abbildung 31: Innenaufnahme bei Unterdruck, Dachraum Ecke Südwest

Leichte Undichtheiten finden sich auch in der Südwest-Ecke am Dachanschluss.

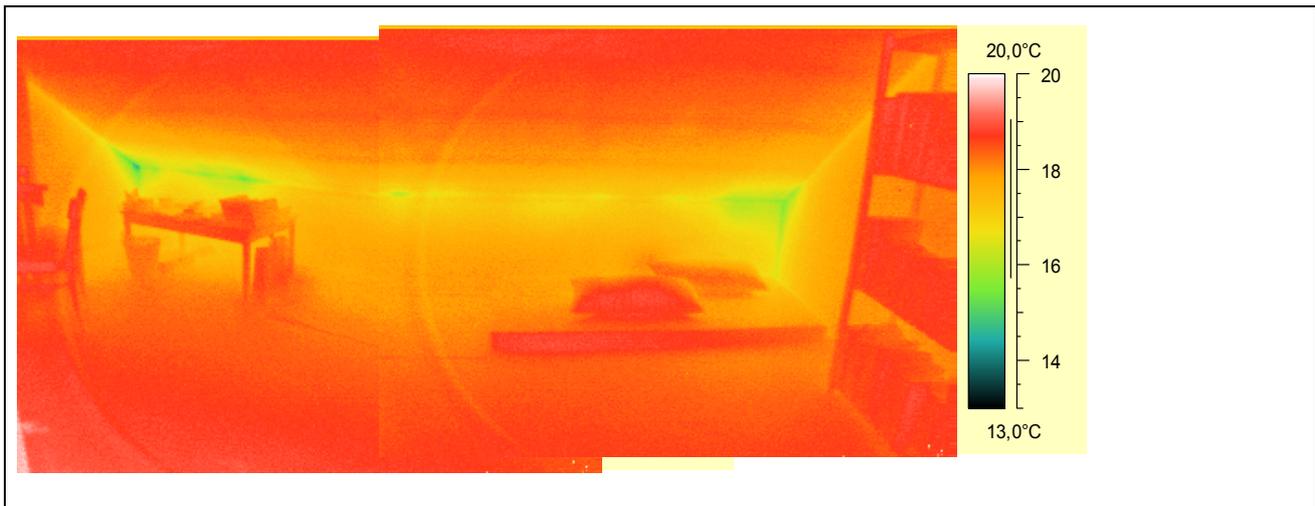


Abbildung 32: Innenaufnahme Dachraum Richtung Nord

In beiden Gebäudeecken treten im Anschlussbereich Dach-Außenwand-Haustrennwand deutlich niedrigere Temperaturen auf, als im ungestörten Dachbereich. Diese sind vermutlich auf Undichtheiten zurückzuführen. Da die Außenwand im dargestellten Bereich des Dachgeschosses mit einer Gipskartonplatte verkleidet ist, kann die genaue Lage der Undichtheit nicht lokalisiert werden. Sie liegt aber vermutlich in der Ecke Dach-Außenwand-Haustrennwand, wo der Anschluss der luftdichtenden Schicht dreidimensional erfolgen muss. Dieser Anschluss ist bei der Lage der luftdichtenden Schicht im Dach nur schwer herstellbar.

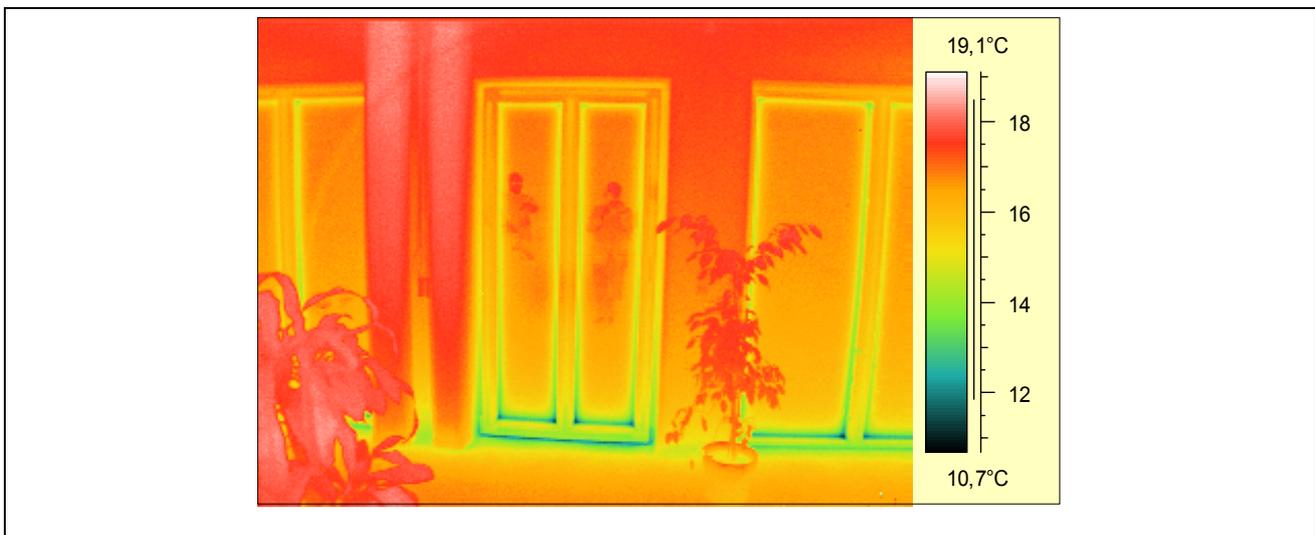


Abbildung 33: Innenaufnahme Wohnzimmer Fenster Süd

Die Innenaufnahme zeigt den leichten Temperaturabfall am Glasrand infolge des Randverbundes. Die niedrigsten Temperaturen treten im unteren Bereich der Fenster auf. Der erhebliche Temperaturabfall in diesem Bereich ist nur durch Undichtheiten zwischen Blendrahmen und Fußboden sowie evtl. zwischen Glas und Rahmen zu erklären.



Abbildung 34: Der Fensteranschluss n der Bauphase

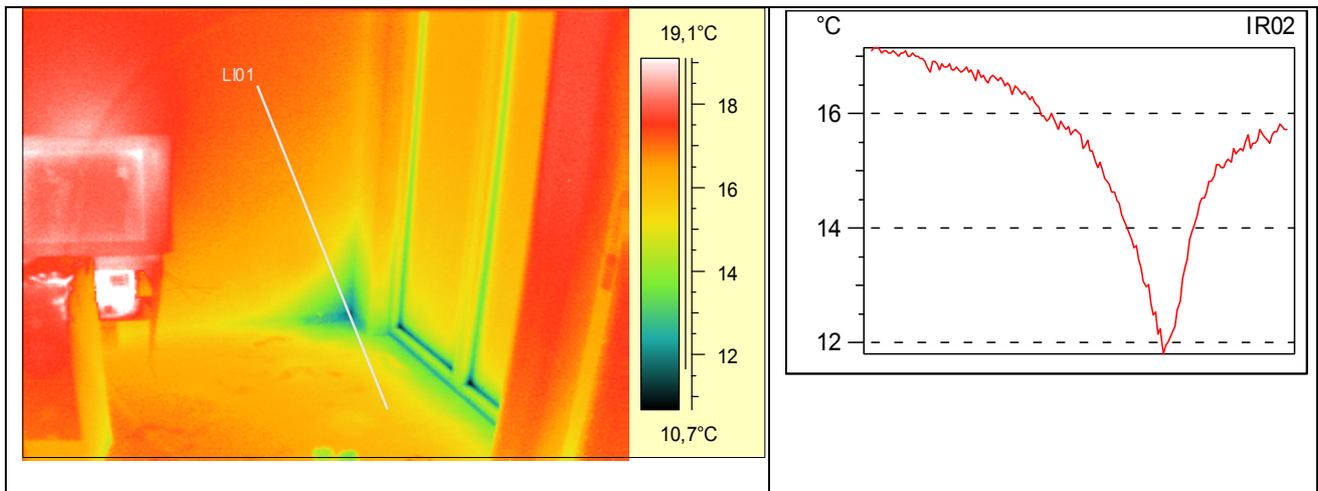


Abbildung 35: Innenaufnahme Wohnzimmer Ecke Südost, Aufnahme bei Unterdruck

Auch im Anschluss Südwand-Ostwand-Fußboden treten deutlich niedrigere Temperaturen auf. Diese sind auf Undichtheiten am dreidimensionalen Bauteilanschluss zurückzuführen.

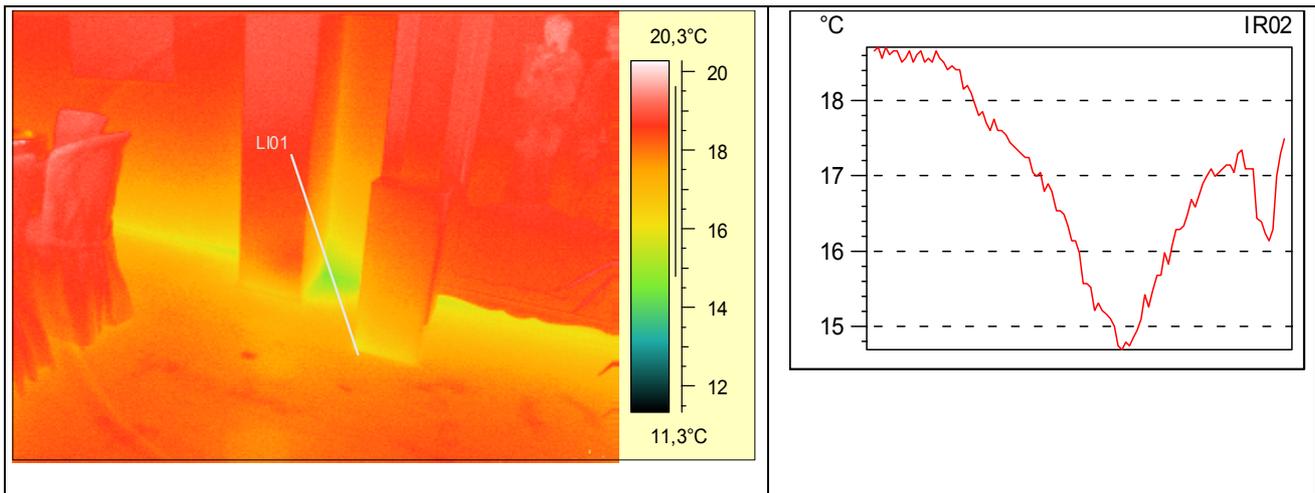


Abbildung 36: Innenaufnahme Wohnzimmer Kamin

Höhere Temperaturen treten auch am Kamindurchbruch im Wohnzimmer auf. Diese sind auf Undichtheiten zurückzuführen.

11 Angaben zu Erwerberr/Bauherren bzw. Mietern

Die drei Wohneinheiten werden von insgesamt 9 Personen bewohnt.

11.1 Durchgeführte Einweisungen

Die Bewohner wurden allgemein über die Funktionsweise eines Passivhauses informiert und speziell über die Lüftung, Heizung und Fenster. Weiters wurden die Benutzerhandbücher des PHI an die Bewohner verteilt.

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 Raumlufttemperatur von der angenommenen Mitteltemperatur
- Sonstige Abweichungen des Nutzerverhaltens von den Annahmen der Berechnung (Fensterlüftung, Personenanwesenheit im Gebäude, Ausstattung mit und Nutzung von Elektrogeräten)
- 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 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:

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 (November bis März) beträgt bei der gemessenen mittleren Raumlufttemperatur von 21,1°C 16,95 kWh/m². Der auf Basis der Messungen auf das gesamte Jahr hochgerechnete und standardisierte Jahresheizwärmeverbrauch bei Innenlufttemperaturen von 20°C liegt bei 18,1 kWh/(m²a) und damit höher als das Berechnungsergebnis von 12,3 kWh/(m²a). Die Einsparung gegenüber identischen Gebäuden nach Bautechnikverordnung beträgt 82%.

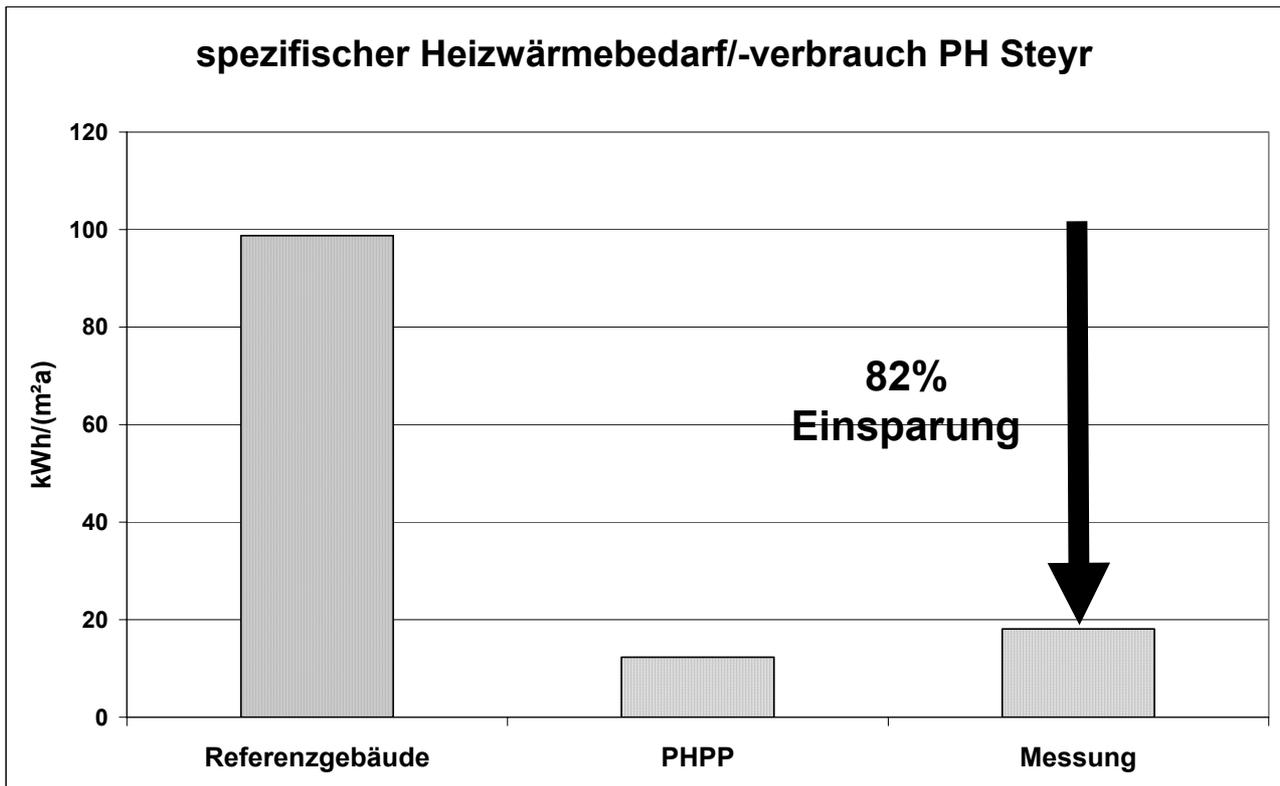


Abbildung 37: Jahresheizwärmeverbrauch berechnet und gemessen im Vergleich zu einem herkömmlichen Gebäude

Nutzwärmeverbrauch Warmwasser

Der aus den Messwerten ermittelte Jahres-Nutzwärmeverbrauch Warmwasser beträgt 7,7 kWh/(m²a).

Endenergieverbrauch Heizung

Der gemessene Endenergieverbrauch für die Gebäudebeheizung während der Messperiode (Dezember bis März) beträgt 20,8 kWh/m², der rechnerisch ermittelte Wert für das gesamte Jahr beträgt (ohne Korrektur der mittleren Innenraumtemperatur) 24,5 kWh/(m²a).

Endenergieverbrauch Warmwasser

Der gemessene Endenergieverbrauch für die Warmwasserbereitung während der Messperiode (Dezember bis März) beträgt 3,75 kWh/m². Der von der Messperiode auf das gesamte Jahr hochgerechnete Verbrauch beträgt 6,7 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 10,2 kWh/m². Der hochgerechnete Jahresstromverbrauch beträgt 28,8 kWh/(m²a) und liegt damit hoch.

Primärenergieverbräuche

Der aus den Messwerten ermittelte Primärenergiekennwert für Heizung, Warmwasser und alle Stromanwendungen beträgt 108,0 kWh/(m²a). Der Passivhaus-Grenzwert von 120 kWh/(m²a) wird damit um 10% unterschritten. Gegenüber architektonisch identischen Neubauten nach Bautechnikverordnung beträgt die Einsparung 45%.

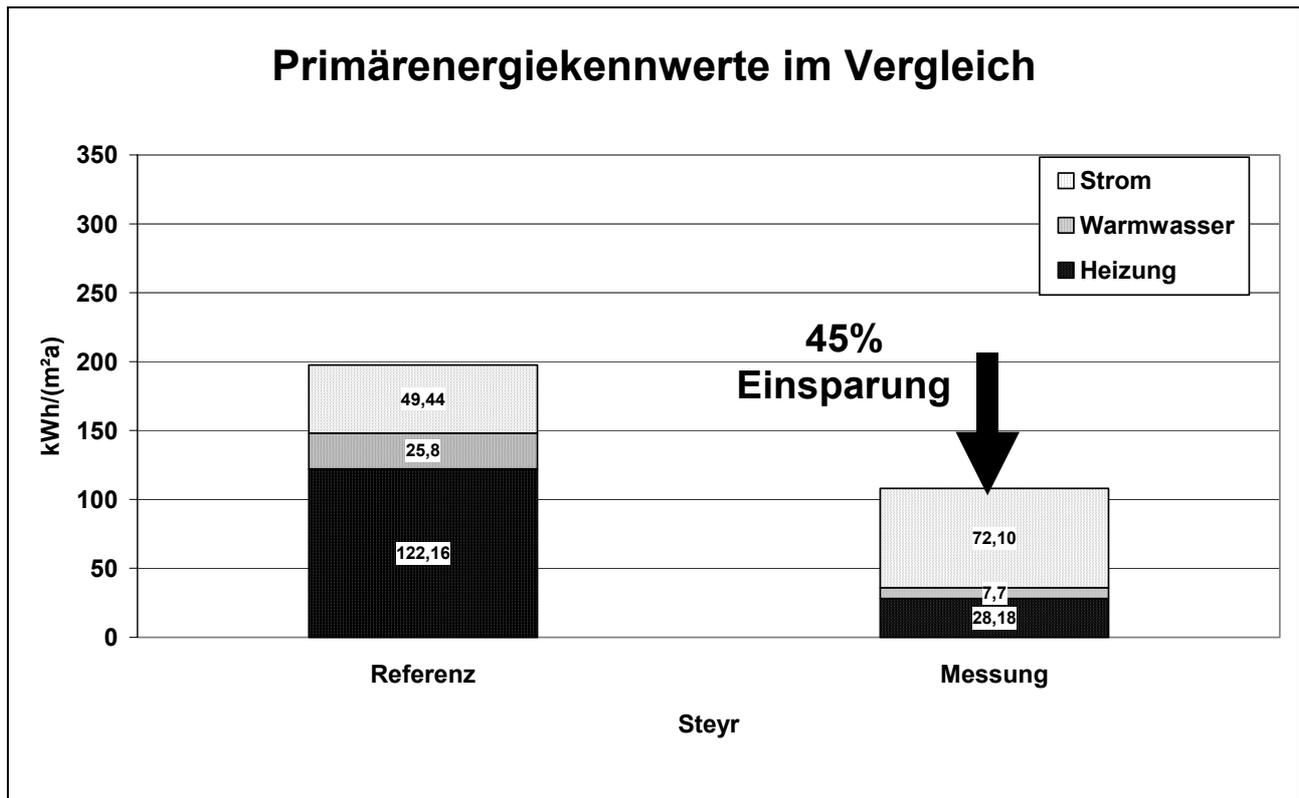


Abbildung 38: Primärenergie nach Bautechnikverordnung und Messwert

12.2 Thermischer Komfort

Mittlere Raumlufthtemperatur

Die mittlere Raumlufthtemperatur in den Wohnzimmern aller Wohnungen betrug in der Periode von November bis März 21,1°C. Auch am kältesten Tag lag die mittlere Raumtemperatur mit 22,0°C deutlich über der Rechenannahme von 20°C, die Mitteltemperatur am wärmsten Tag (November bis März) lag bei 21,2°C. In der Kernzeit der Heizperiode von November bis Februar lag die mittlere Raumlufthtemperatur bei 21,5°C. 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.

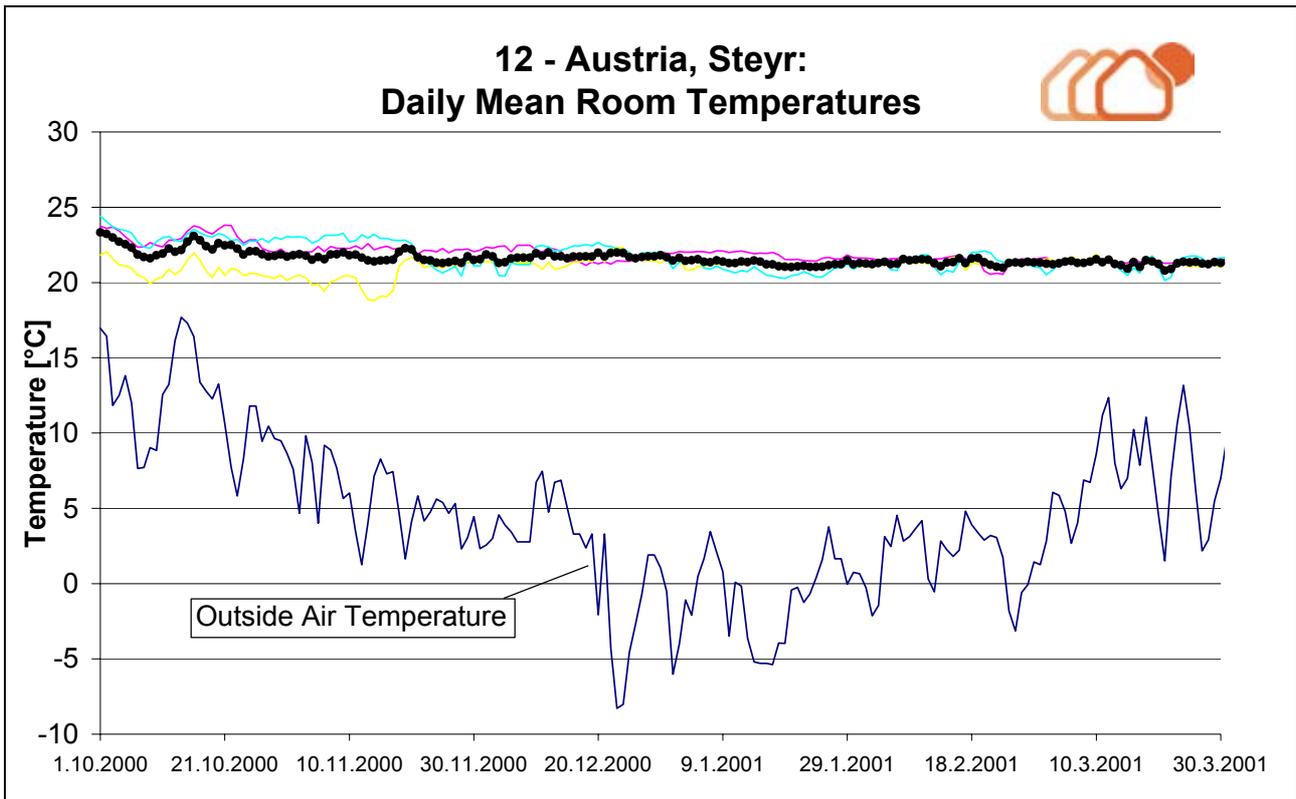


Abbildung 39: Tagesmittelwerte der Raumlufthtemperaturen

Wie die Abbildung zeigt, liegen die Raumlufthtemperaturen während der gesamten Messperiode in einem Bereich deutlich über 20°C. Eine Abhängigkeit der Raumlufthtemperaturen von der Außenlufttemperatur ist nicht erkennbar.

Typische strahlungsarme Winterwoche

Abbildung 40 zeigt den durchschnittlichen Temperaturverlauf aller Wohnungen am Beispiel einer typischen wolkgigen Winterwoche.

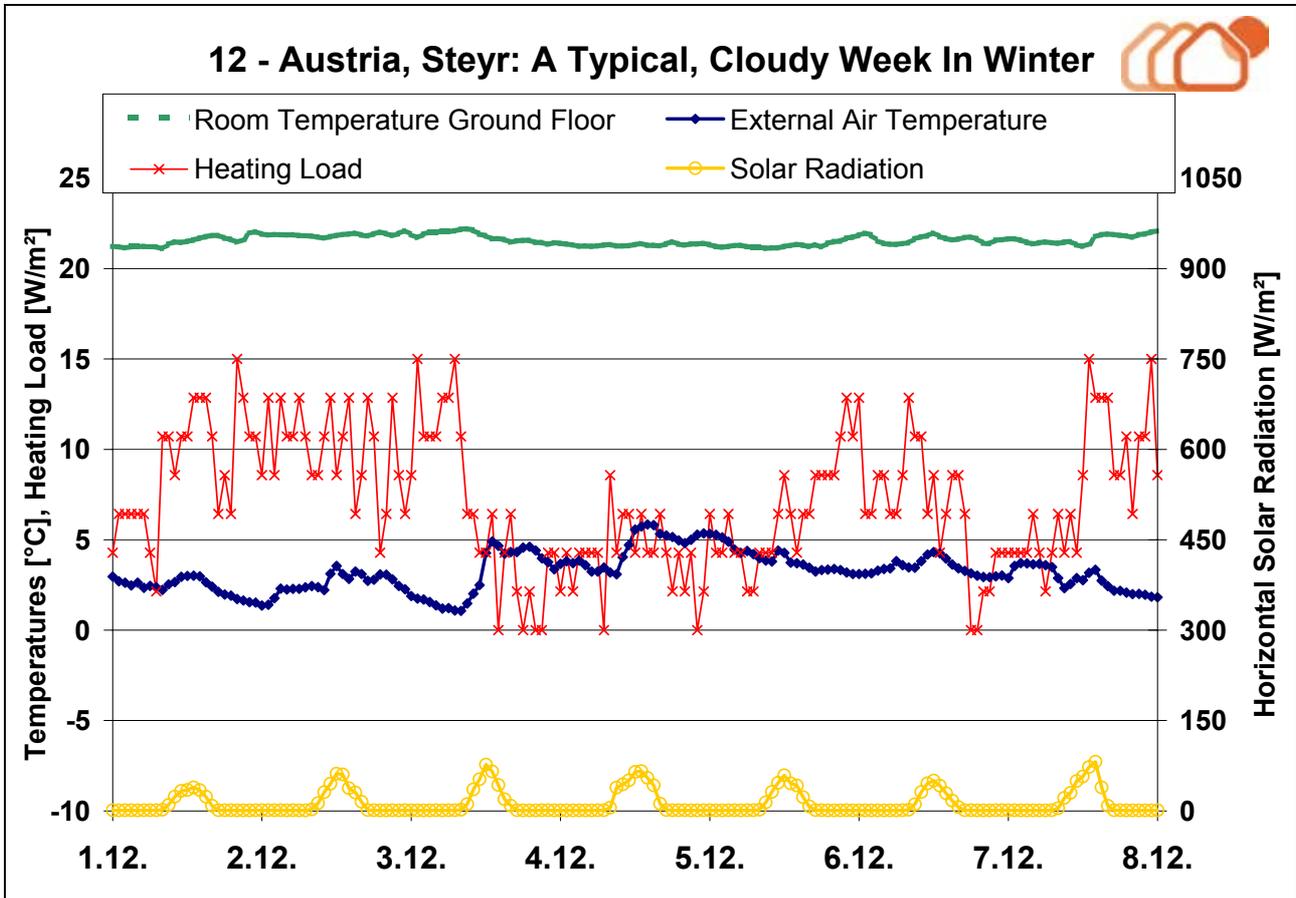


Abbildung 40: Temperaturkurve in einer typischen strahlungsarmen Winterwoche

Wie die Abbildung zeigt, ist ein Einfluss der Solarstrahlung auf die Raumlufttemperaturen nicht erkennbar.

Typische kalte und strahlungsreiche Winterwoche

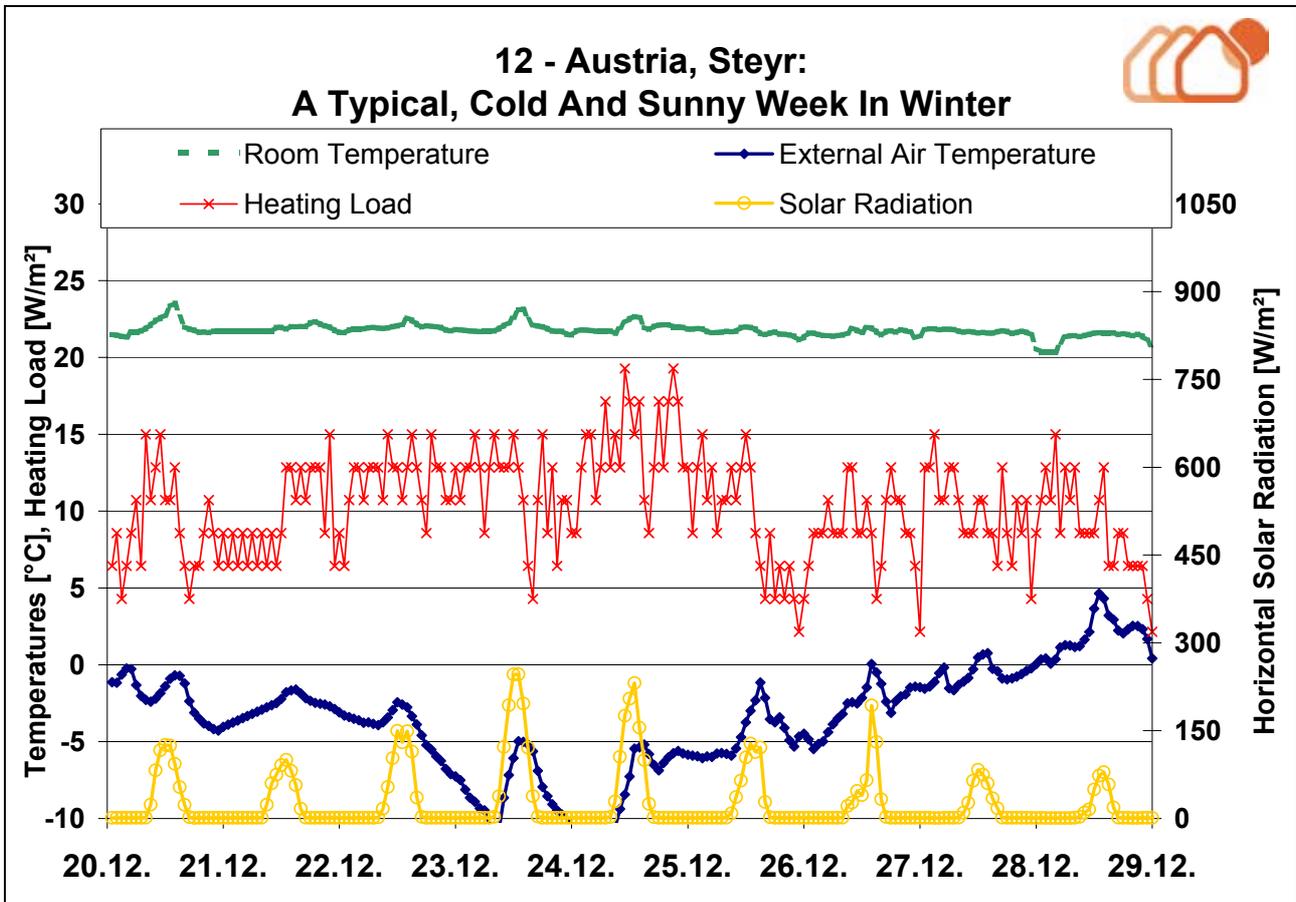


Abbildung 41: Temperaturkurve in einer typischen kalten, strahlungsreichen Winterwoche

Auch während der sonnigen, kalten Winterwoche steigen die Raumlufttemperaturen infolge der Solarstrahlung nur um maximal 2 K an. Dies ist angesichts des eher geringen Fensterflächenanteils (Verhältnis Fensterfläche zu WNF: 18%, Durchschnittswert der österreichischen CEPHEUS-Projekte: 27%) und der hohen Speichermassen ein erwartetes Ergebnis.

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 relativen Raumluftfeuchte für das Haus mit der geringsten und der höchsten Feuchtigkeit sowie den Mittelwert der 3 Häuser während der Messperiode von Anfang Oktober bis Ende März. Dargestellt ist auch der jeweilige Verlauf der Innenraumtemperaturen.

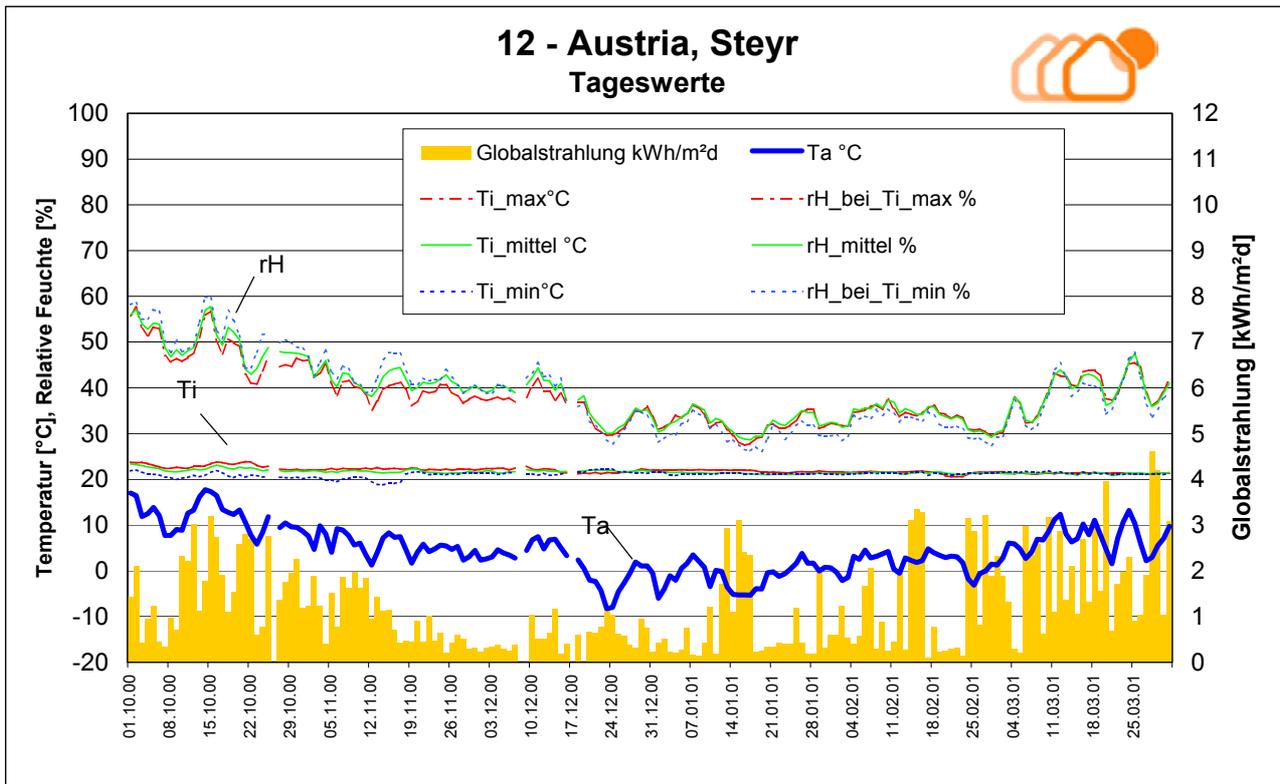


Abbildung 42: Raumlufttemperaturen und relative Luftfeuchtigkeit während der Messperiode

Die relative Luftfeuchtigkeit liegt während der Kernheizzeit von Mitte Dezember bis Anfang März bei Werten zwischen 27 und 38%. Werte unter 30% treten nur selten auf. Es besteht eine deutliche Korrelation zwischen Außenlufttemperatur und relativer Luftfeuchte: die niedrigsten Feuchten treten an den kältesten Tagen 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.

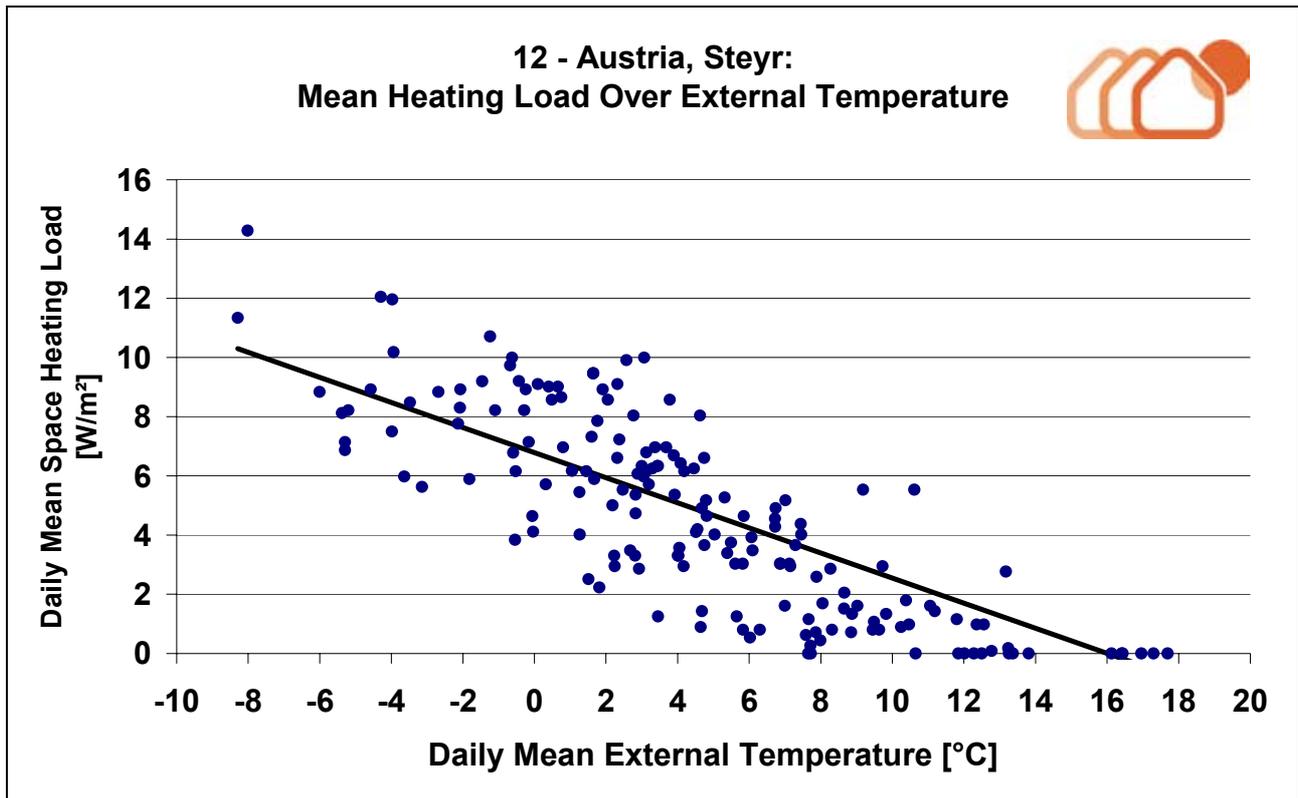


Abbildung 43: Verlauf der mittleren Heizlast

Das höchste gemessene 24-Stunden-Mittel der Heizlast liegt während der Messperiode bei $14,3 \text{ W/m}^2$.

13 Aktivitäten zur Informationsverbreitung

Es wurden zahlreiche Beiträge in Zeitungen und Fachzeitschriften veröffentlicht, wie z.B. Beitrag in BM – Bau Magazin, Ausgabe 3/2000: „Passiv-Komfort-Reihenhaus“, Artikel in den Oberösterreichischen Nachrichten, 15. April 2000: „Alpträum der Ölscheichs“

14 Fotodokumentation



Rohbau Keller+Erdbgeschoss



Rohbau Südfassade



Rohbau Nordfassade



Dachmontage



fertiger Rohbau mit Dach und Kollektoren



Montage der Dämmung



Verputzen der Fassade



Befestigung der französ. Balkongeländer



fertige Ansicht Süd



fertige Ansicht Nordwest

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	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: 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@energcity.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] Arbeitsgemeinschaft Erneuerbare Energie AEE
Messkonzept für das EU-Projekt C E P H E U S
Für das Projekt OÖ14 – Steyr
Gleisdorf, August 1999
- [AEE 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
- [Markowetz] Ing. Thomas Markowetz, Dipl.-Ing. Robert Kernöcker
Prüfbericht Luftdichtheit der Gebäudehülle
Linz, 12.03.2001
- [Künz 10] Architekt Dipl.-Ing. Dr. techn. Lothar Künz
Wärmebrückenberechnungen
Hard, Juli 1999
- [Lummersdorfer] Karl Lummersdorfer
Bilder der Thermographieaufnahmen
Energie Institut
Linz, Mai 2001