

WOHNBAUFORSCHUNG
NIEDEROESTERREICH:
WOHNBAUFORSCHUNGSERFASSUNG 2003

ERFASSUNGSNUMMER: 822073

SIGNATUR: WBF2003 822073

KATALOG: A, INDEX ST. POELTEN

STATUS: 22 2

BESTART: E

LIEFERANT: WOHNBAUFORSCHUNG
DOKUMENTATION 2003, WBF2003,
WBFNOE

ERWAR: B

EXEMPLAR: 1

EINDAT: 2003-07-03

BDZAHL: 1 Mappe

HAUPTETRAGUNG: Evaluierung der Energieversorgung der
Wohnhausanlage Ternitz/Schoellergasse
unter besonderer Beruecksichtigung der
Elemente Solarfassade

TYP: 1

VERFASSER – VORL: DI Michael Berger; AEE NOE.Wien

NEBEN – PERSONEN: DI Wolfgang Scherz
Arbeitsgemeinschaft Erneuerbare
Energie – AEE NOE.Wien

NEBEN – SACHTITEL: Solarfassade Wohnhausanlage in Ternitz

ZUSAETZE: F 2073

VERLAGSORT, BEARBEITERADRESSE: AEE Niederoesterreich/Wien
Erdbergstrasse 30/2 1030 Wien

Tel.: 01/7107523 e-mail: arge-ee-
noe@nextra.at

VERLAG, HERAUSGEBER: AEE Niederoesterreich/Wien
Eigenverlag

E-Jahr: 2003
UMFANG: 56 Seiten

FUSSNOTEN HAUPTGRUPPEN
ABGEKUEERTZT: BOGL; TEGL

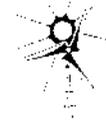
SACHGEBIET(E)/ EINTEILUNG
BMWA: Info+Demo; Energie
ARBEITSBEREICH (EINTEILUNG
NACH F-971, BMWA): Technik

SW – SACHLICHE (ERGAENZUNG) Fassade; Solarenergie;
Waermedaemmung; Waermetechnik;

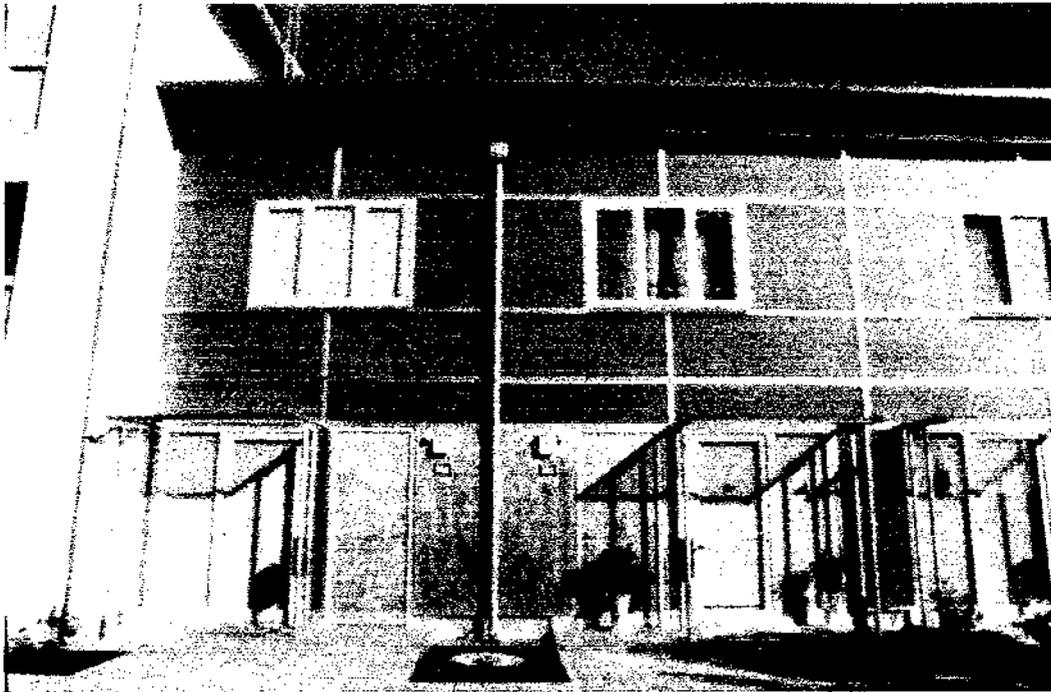
PERMUTATIONEN: S1 / S2

BEDEUTUNG FUER NIEDEROESTERREICH: Die
Siedlungsgenossenschaft Neunkirchen
hat in Ternitz eine
Mehrfamilienhausanlage errichtet bei der
eine Solarfassade (Solarwabe) und eine
Solaranlage zur
Brauchwassererwaermung eingesetzt
wurde. Die AEE hat die Effizienz der
Solarfassade und Solaranlage im
Zeitraum von November 2001 bis
Dezember 2002 messtechnisch begleitet.
Ergebnisse dieser Evaluierung sind fuer
den zukuenftigen Wohnbau in NOE
bezugl. Energiekennzahl,
Energieausweis von Bedeutung

BEDEUTUNG FUER DEN WOHNBAUSEKTOR:
Die vorliegende Evaluierung der
Energieversorgung einer
Wohnhausanlage kann als Instrument zur
Novellierung von Foerderbestimmungen
im Wohnbau und
Bautechnikverordnungen verwendet
werden.



Kurzfassung



Evaluierung der Energieversorgung der Wohnhausanlage Ternitz/ Schöllergasse

unter besonderer Berücksichtigung der Elemente Solarfassade

Dipl.-Ing. Michael Berger
Dipl.-Ing. Wolfgang Scherz

Wiener Neustadt, im April 2003

1 EINLEITUNG

Ein gesteigertes Energiebewusstsein auf Grund steigender Umweltbelastung bewirkt auch in der Gebäudetechnik Aktivitäten und Maßnahmen zur Senkung des Energieverbrauches. Entsprechende Novellierungen von Förderbestimmungen- und Bautechnikverordnungen sollen den Heizenergieverbrauch durch verbesserten Dämmstandard minimieren.

Techniken, die Gebäudehülle zur Energieversorgung zu nutzen, bieten eine weitere Möglichkeit, einen Beitrag zur Verminderung des Energieverbrauches zu leisten. Das Solarstrahlungsangebot der Heizperiode ist zwar wesentlich geringer als im Sommer, durch effiziente passive Solarsysteme, wie z.B. verbesserte Verglasungen und transparente Wärmedämmung (TWD), können selbst im Winter, aber vor allem aber in der Übergangszeit, Wärmegewinne erzielt werden bzw. die Transmissionswärmeverluste im Vergleich zu einer opaken Wärmedämmung verringert werden.

Die in dieser Arbeit behandelte Solarwabe stellt eine besondere Art der Wärmedämmung dar. Sie ist genauso wie die transparente Wärmedämmung ein System zur Nutzung der Solarstrahlung. Im Gegensatz zur TWD besteht die Solarwabe nicht aus transparentem Material sondern aus Altpapier-Kartonwaben.

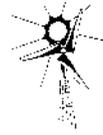
Die Siedlungsgenossenschaft Neunkirchen hat sich entschlossen eine Mehrfamilienhausanlage zu errichten, bei der diese Solarfassade eingesetzt wird. Neben dieser speziellen Wärmedämmung wurde auch eine Solaranlage zur Brauchwassererwärmung eingesetzt. Um die Effizienz der Solarfassade und der Solaranlage zu untersuchen wurde das Gebäude vom November 2001 bis Dezember 2002 von der Arbeitsgemeinschaft ERNEUERBARE ENERGIE messtechnisch begleitet.

2 ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE

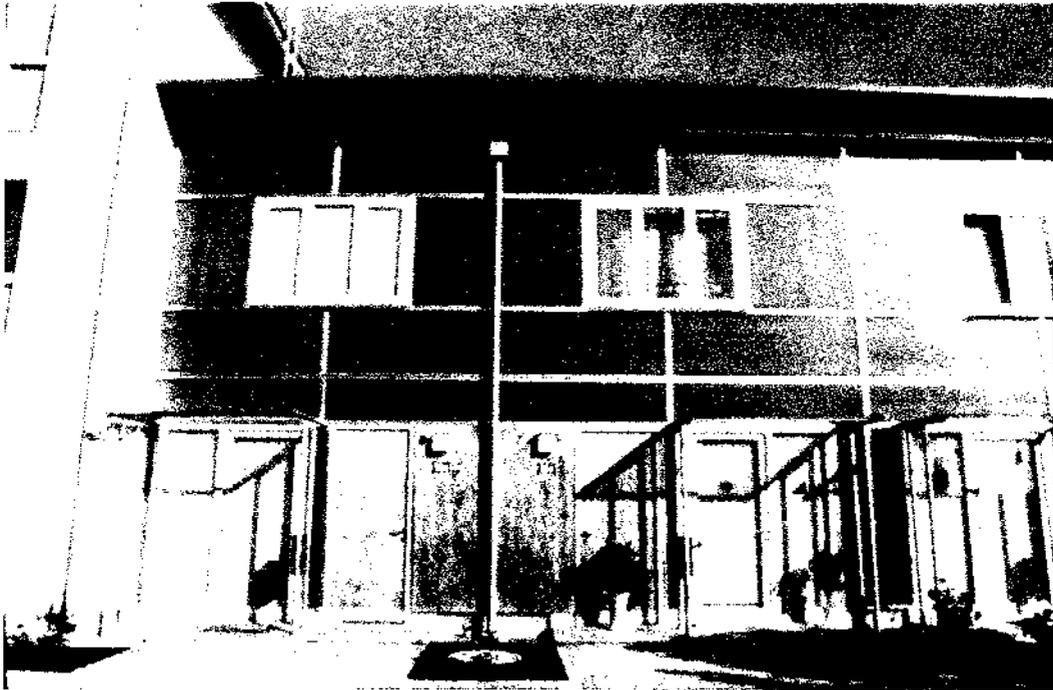
Folgende Ergebnisse wurden im Rahmen des Forschungsvorhabens erzielt:

- Die Messergebnisse des Wärmestroms in der Solarfassade und in der Referenzfassade ergaben deutliche Unterschiede im Verhalten zwischen den beiden Varianten. Diese Unterschiede entsprechen qualitativ den Herstellerangaben: In der Kartonwabenschicht entsteht eine Pufferzone höherer Temperatur, die den Wärmefluss nach außen sowohl reduziert als auch durch die Trägheit der thermischen Masse glättet.
- Bei hohen Einstrahlungswerten wird - auch in kalten Perioden - ein Wärmestrom nach innen erzeugt, der allerdings auf einige Stunden pro Tag beschränkt bleibt.
- Der U-Wert der Fassade lässt sich auf Basis der Messwerte in Abhängigkeit von der Sonneneinstrahlung darstellen und korreliert mit einer Regressionsgeraden, deren Gleichung dargestellt wurde. Der ermittelte Zusammenhang deckt sich im Wesentlichen mit den publizierten Ergebnissen aus der Literatur. Der über die gesamte Heizperiode gemessene effektive U-Wert von $0,05 \text{ W/m}^2\text{K}$ wurde auch bei anderen Objekten festgestellt.
- Die Monatsmittelwerte des U-Wertes sinken im Großteil der Heizperiode nicht unter 0. Einzig im Oktober und im März/April wurden negative U-Werte (entspricht einer positiven Wärmebilanz mit mehr Wärmetransport nach innen als von innen nach außen) gemessen.

- Die Funktion der Fassade wurde prinzipiell bestätigt. Um eine derzeit wirtschaftliche Alternative zu konventionellen Bauweisen bieten, müsste das Preisgefälle zwischen Massiv- und Leichtbauwand noch weiter reduziert werden. Allerdings hat die Solarfassade im Rahmen der Preisstruktur des gegenständlichen Projektes in den südseitigen Fassaden durchaus ihre Berechtigung.
- Bei steigendem Dämmstandard des Gebäudes sinken die Energieersparnisse und damit die Wirtschaftlichkeit einer Solarfassade.
- Fließen in die Entscheidung über die Wahl der Komponenten auch ökologischen Parameter ein, wird die Bilanz zugunsten der Leichtbaukonstruktion verschoben (weniger graue Energie, weniger Global – warming - Potential, weniger Versäuerungspotential).
- Die erforderliche Korrektur des Preisgefälles könnte etwa im Rahmen einer Ökologisierung der Förderungsbestimmungen im Wohnungsbau erfolgen.



Endbericht



Evaluierung der Energieversorgung der Wohnhausanlage Ternitz/ Schöllergasse

unter besonderer Berücksichtigung der Elemente Solarfassade

Dipl.-Ing. Michael Berger
Dipl.-Ing. Wolfgang Scherz

Wiener Neustadt, im April 2003

INHALTSVERZEICHNIS

1	Einleitung	1
2	Gebäudebeschreibung	2
2.1	Ausgangssituation	2
2.2	Aufgabenstellung	2
2.3	Standort und Klima	3
2.4	Objektbeschreibung	3
2.5	Bauphysik, Wärmeschutz	9
2.5.1	Aussenwände	9
2.5.2	Kellerwände	12
2.5.3	Dach	13
2.5.4	Fenster	14
3	Gebäudetechnik und Anlagentechnik	14
3.1	Transparente Wärmedämmung	14
3.1.1	Physik der transparenten Wärmedämmung	16
3.2	Solarfassade	17
3.2.1	Aufbau der ESA-Solarfassade (Herstellerangaben)	17
3.2.2	Funktionsweise der ESA-Solarfassade (Herstellerangaben)	18
3.2.3	Ausführung	19
3.3	Solaranlage	22
4	Messkonzept	24
4.1	Datenerfassung	24
4.2	Messsystem Solarfassade	24
4.3	Messsystem Solaranlage	29
5	Auswertung der Solarfassade	31
5.1	Aufbereitung der Messdaten	31
5.2	Auswertung	32
5.2.1	Physikalische Auswertung	32
5.2.2	Ökonomische Auswertung	37
5.2.3	Anwendbarkeit am Passivhaus	40
6	Zusammenfassung	42
7	Literatur- und Quellenverzeichnis	43
8	Anhang	45
8.1	Messdaten Dezember 2001	46
8.2	Messdaten Juni 2002	48
8.3	Tabellen Heizwärmebedarf	51

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 2-1: Grundriss der Wohnanlage Ternitz Schöllergasse	4
Abbildung 2-2: Ansichten Wohnhausanlage Ternitz Schöllergasse	5
Abbildung 2-3: Grundriss Erdgeschoss, Reihenhaus	6
Abbildung 2-4: Grundriss Obergeschoss, Reihenhaus	6
Abbildung 2-5: Schnitt Wohnhausanlage Ternitz Schöllergasse	7
Abbildung 2-6: <i>Reihenhäuser (links und rechts) und Mehrfamilienhaus (Mitte), Südostseite</i>	7
Abbildung 2-7: Reihenhäuser, Südostseite	8
Abbildung 2-8: Reihenhäuser und Mehrfamilienhaus, Nordwestseite	8
Abbildung 2-9: Schnitt Holzfassade Reihenhaus (Planung)	10
Abbildung 2-10: Schnitt Solarfassade Reihenhaus	12
Abbildung 3-1: Gegenüberstellung transparente Wärmedämmung und opake Dämmung [9]	15
Abbildung 3-2: Leistungsfähigkeit einer TWD-Wand als Funktion des Klimas	17
Abbildung 3-3: Funktionsweise ESA-Solarfassade [7]	18
Abbildung 3-4: Messtechnik-Schema Solaranlage	23
Abbildung 4-1: Messtechnisch erfasstes Reihenhaus Schöllergasse 14D	25
Abbildung 4-2: Fassadenmesspunkte Südostorientierung	25
Abbildung 4-3: Messpunkte Grundriss Reihenhaus	26
Abbildung 4-4: Pyranometer an SO-Fassade	27
Abbildung 4-5: Schnitt Fassade mit Wärmeflussensor	28
Abbildung 5-1: Monatsdaten-Mittelwerte November 2001 bis Dezember 2002	32
Abbildung 5-2: <i>Saisonaler Verlauf des effekt. U-Wertes (Monatsmittel)</i>	33
Abbildung 5-3: Verlauf des bezogenen effektiven U-Wertes im Erfassungszeitraum	34
Abbildung 5-4: Globalstrahlung, Außentemperatur, Wärmestrom 1.7.-8.7.2002	35
Abbildung 5-5: Raumtemperatur Solarfassadenraum, Außentemperatur Juli 2002	35
Abbildung 5-6: Globalstrahlung, Außentemperatur, Wärmestrom 5.12-12.12.2002	36
Abbildung 5-7: Gegenüberstellung des voraussichtlichen Jahres-Heizwärmebedarfs & Kosten der SO Fassade der Varianten 1 bis 3	38
Abbildung 5-8: Vergleich Heizwärmebedarf verschiedener Fassadenvarianten	41
Abbildung 8-1: Tagesverläufe der Globalstrahlung in der Wandebene im Dezember 2001	46
Abbildung 8-2: Tagesverläufe des Wärmeflusses in der Solarfassade im Dezember 2001, negative Werte = Verluste, positive Werte = Gewinne	46
Abbildung 8-3: Tagesverläufe des Wärmefluss (Transmissionswärmeverluste) in der Nordwestfassade, alle Werte sind Verluste	47
Abbildung 8-4: Tagesverläufe der Raumtemperatur im Solarfassadenraum und der Außentemperatur	47
Abbildung 8-5: Tagesverläufe der Temperatur im NW-Fassadenraum und der Außentemperatur	48
Abbildung 8-6: Tagesverläufe der Globalstrahlung in der Wandebene im Juni 2002	48
Abbildung 8-7: Tagesverläufe des Wärmeflusses in der Solarfassade im Dezember 2001, negative Werte = Verluste, positive Werte = Gewinne	49
Abbildung 8-8: Tagesverläufe des Wärmefluss (Transmissionswärmeverluste) in der Nordwestfassade, alle Werte sind Verluste	49
Abbildung 8-9: Tagesverläufe der Raumtemperatur im Solarfassadenraum und der Außentemperatur	50
Abbildung 8-10: Tagesverläufe der Temperatur im NW-Fassadenraum und der Außentemperatur	50

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 2-1: U-Wert aus dem bauphysikalischen Nachweis [2].....	14
Tabelle 3-1: Berechnung U-Wert Fassade NO	20
Tabelle 3-2: Berechnung U-Wert (statisch) Solarfassade SO.....	22
Tabelle 4-1: Messpunkte Solarfassade	27
Tabelle 4-2: Messpunkte Solaranlage.....	29
Tabelle 4-3: Auszug aus den ausgelesenen Daten vom 3.2.2002.....	30
Tabelle 5-1: Monatsdaten November 2001 bis Dezember 2002.....	31
Tabelle 5-2: Monatsmittelwerte und Berechnung U_{effektiv}	33
Tabelle 5-3: Wandaufbauten je Variante mit U-Werten und Netto-Herstellungskosten lt. Ausschreibung	37
Tabelle 5-4: Jahres-Heizwärmebedarf Variante 1 bis 3	37
Tabelle 5-5: Amortisation statisch berechnet	39
Tabelle 5-6: Heizwärmebedarf Passivhaus mit opaker und transluzenter Fassade	40
Tabelle 8-1: Jahres-Heizwärmebedarf Variante 1	52
Tabelle 8-2: Jahres-Heizwärmebedarf Variante 2.....	53
Tabelle 8-3: Jahres-Heizwärmebedarf Variante 3.....	54
Tabelle 8-4: Variante Reihenhaus in Passivhaus-Bauweise.....	55
Tabelle 8-5: Variante Reihenhaus in Passivhausbauweise und Solarwabe in SO-Fassade	56

1 EINLEITUNG

Ein gesteigertes Energiebewusstsein auf Grund steigender Umweltbelastung bewirkt auch in der Gebäudetechnik Aktivitäten und Maßnahmen zur Senkung des Energieverbrauches. Entsprechende Novellierungen von Förderbestimmungen- und Bautechnikverordnungen sollen den Heizenergieverbrauch durch verbesserten Dämmstandard minimieren.

Techniken, die Gebäudehülle zur Energieversorgung zu nutzen, bieten eine weitere Möglichkeit, einen Beitrag zur Verminderung des Energieverbrauches zu leisten. Das Solarstrahlungsangebot der Heizperiode ist zwar wesentlich geringer als im Sommer, durch effiziente passive Solarsysteme, wie z.B. verbesserte Verglasungen und transparente Wärmedämmung (TWD), können selbst im Winter, aber vor allem aber in der Übergangszeit, Wärmegewinne erzielt werden bzw. die Transmissionswärmeverluste im Vergleich zu einer opaken Wärmedämmung verringert werden.

Die in dieser Arbeit behandelte Solarwabe stellt eine besondere Art der Wärmedämmung dar. Sie ist genauso wie die transparente Wärmedämmung ein System zur Nutzung der Solarstrahlung. Im Gegensatz zur TWD besteht die Solarwabe nicht aus transparentem Material sondern aus Altpapier-Kartonwaben.

Die Siedlungsgenossenschaft Neunkirchen hat sich entschlossen eine Mehrfamilienhausanlage zu errichten, bei der diese Solarfassade eingesetzt wird. Neben dieser speziellen Wärmedämmung wurde auch eine Solaranlage zur Brauchwassererwärmung eingesetzt. Um die Effizienz der Solarfassade und der Solaranlage zu untersuchen, wurde das Gebäude vom November 2001 bis Dezember 2002 von der Arbeitsgemeinschaft ERNEUERBARE ENERGIE messtechnisch begleitet.

„Moderne Baustoffe und -techniken eröffnen dem Architekten weit gehende Freiheiten im Gebäudeentwurf. Allerdings können zur Schaffung eines behaglichen Raumklimas energieintensive technische Maßnahmen erforderlich werden, wenn die gestalterischen Möglichkeiten unüberlegt ausgeschöpft werden. Dies ist aus Gründen des Umweltschutzes und der Ökonomie sicherlich nicht wünschenswert. Vielmehr sollte bereits im Entwurf darauf geachtet werden, dass ein Gebäude sich den außenklimatischen Verhältnissen am Standort schon durch seine Konstruktion optimal anpasst. Nur so lässt sich zukünftig eine deutliche Reduktion des Energiebedarfs erzielen. In diesem Kontext muss die Fassade als flexibel reagierende Membran zwischen Innen- und Außenklima vermitteln, wobei die Wechselwirkung der unterschiedlichen, einander teilweise entgegengerichteten Filterfunktionen ausbalanciert werden müssen. Bei einem konventionellen Gebäude wird die Gebäudehülle dagegen eher als Trennschicht verstanden. Die Planung energetisch optimierter Gebäude mit behaglichem Raumklima setzt eine Grundkenntnis der physikalischen Bedingungen voraus, denen ein Gebäude unterliegt.“

aus: Hausladen Gerhard/Kippenberg Kaja/Oeltzen Jenny; „Kontext Bauphysik“ aus [2]

2 GEBÄUDEBESCHREIBUNG

2.1 AUSGANGSSITUATION

Die Siedlungsgenossenschaft Neunkirchen (SG Neunkirchen) führte Bauvorhaben in den letzten Jahren verstärkt nach energiesparenden Kriterien aus. So wurde einerseits auf eine verbesserte thermische Gebäudequalität Wert gelegt, andererseits wird auch versucht, ein effizientes Heizungs- und Warmwasserverteilsystem, teilweise unter Einbindung einer Solaranlage, zu realisieren.

Das Bauvorhaben der SG Neunkirchen in Ternitz, Schöllergasse (Wohnbau mit 30 WE) ist ebenfalls mit einer verbesserten Wärmedämmung, einer Thermischen Solaranlage zur Warmwasserbereitung und darüber hinaus mit einer Solarfassade der Firma GAP-Solar GmbH (früher: ESA Energie Systeme Aschauer Vertriebs GmbH) [7] ausgestattet.

2.2 AUFGABENSTELLUNG

Die Siedlungsgenossenschaft Neunkirchen hat bereits in der Vergangenheit diverse Bauvorhaben hinsichtlich der getroffenen Maßnahmen im Bereich Heizenergieverbrauch durch die AEE evaluieren lassen.

Da die Anwendung der Solarfassade Neuland für die SG Neunkirchen darstellt, ist es von großem Interesse, wie sich diese Form der Fassadendämmung im Vergleich zu bisher realisierten Dämmsystemen im Geschosswohnbau der SG Neunkirchen bewährt, und welche Ergebnisse hinsichtlich Energieeinsparung und aktiver solarer Gewinne erzielt werden können.

Um diese Aussagen treffen zu können, wurde die Arbeitsgemeinschaft ERNEUERBARE ENERGIE (AEE) beauftragt, die Evaluierung der Wohnhausanlage zu übernehmen.

Die Aufgaben der AEE in diesem Projekt lassen sich wie folgt umreißen:

1. Erstellen eines Messkonzeptes für die Solarfassade und die Solaranlage. Es sollen die Energieerträge des Objektes erfasst werden, im Besonderen die Erträge der Solarfassade als Ergebnis aus nutzbaren Solarerträgen und Transmissionswärmeverlusten der Fassade, sowie die Erträge der solaren Warmwasserbereitung.
2. Überwachung der Installation der Mess- und Datenerfassungsgeräte
3. Laufende Datenerfassung über einen Zeitraum von ca. zwei Jahren (2001-2002)
4. Auswerten und Analyse der erfassten Daten.
Nach Vorliegen ausreichender Daten sollen die Erträge der Solarfassade und der Solaranlage ausgewertet und daraus vergleichende Aussagen abgeleitet zur Wirtschaftlichkeit der Solarfassade im Vergleich zu herkömmlichen Fassaden werden.
Aussage.

2.3 STANDORT UND KLIMA

Die Gemeinde Ternitz, Bezirk Neunkirchen befindet sich im Süden des Bundeslandes Niederösterreich, circa 60 Kilometer südlich von Wien. Die Region wird als Steinfeld bezeichnet und schließt im Osten an die Österreichischen Kalkalpen an. Der Schneeberg, mit 2078 Meter Höhe die höchste Erhebung der Niederösterreichischen Kalkalpen, liegt knapp 20 Kilometer von Ternitz entfernt. Die Gemeinde befindet sich auf 47.5 ° nördlicher Breite. Trotz der Nähe zu den Alpen herrscht hier kontinental beeinflusstes pannonisches Klima (niederschlagsarme, heiße Sommer aber mäßig kalte Winter) vor.

STANDORTDATEN FÜR TERNITZ:

Seehöhe:	399 m
HGT _{12/20} :	3622 Kd
HT ₁₂ :	219 d
T _e :	3.46 °C
T _{ne} :	-14 °C
I _s :	450 kWh/(m ² a)
I _{OW} :	268 kWh/(m ² a)
I _N :	171 kWh/(m ² a)
I _{horizontal} :	442 kWh/(m ² a)

es bedeuten:

HGT _{12/20} :	Heizgradtage HGT _{12/20} sind die Summe der täglichen Differenz zwischen der mittleren Raumtemperatur von + 20°C und dem Tagesmittel der Außentemperatur über alle Heiztage H ₁₂ der Heizzeit (1.10.–30.4.) bei einer Heizgrenztemperatur von 12°C mittlerer Außentemperatur.
HGT ₁₂ :	Heiztage HGT ₁₂ in der Heizperiode
T _e :	mittlere Außentemperatur im Monat bzw. in der Heizperiode
T _{ne} :	Norm Außentemperatur
I _j :	durchschnittliche Strahlungssumme pro Jahr mit der Orientierung j (S, O, W, N)

2.4 OBJEKTBSCHREIBUNG

Die Wohnhausanlage Ternitz Schöllergasse besteht aus 12 zweigeschossigen Reihenhäusern und 3 Mehrfamilienhäusern mit je 2 Wohneinheiten in 3 Geschossebenen. Die Reihenhäuser sind nicht unterkellert, die Mehrfamilienhäuser besitzen ein Kellergeschoss wo sich Heizraum, Hauskeller und Trockenraum befinden.

bebaute Fläche:	1178.90 m ²
Grundstücksfläche:	3633.00 m ²

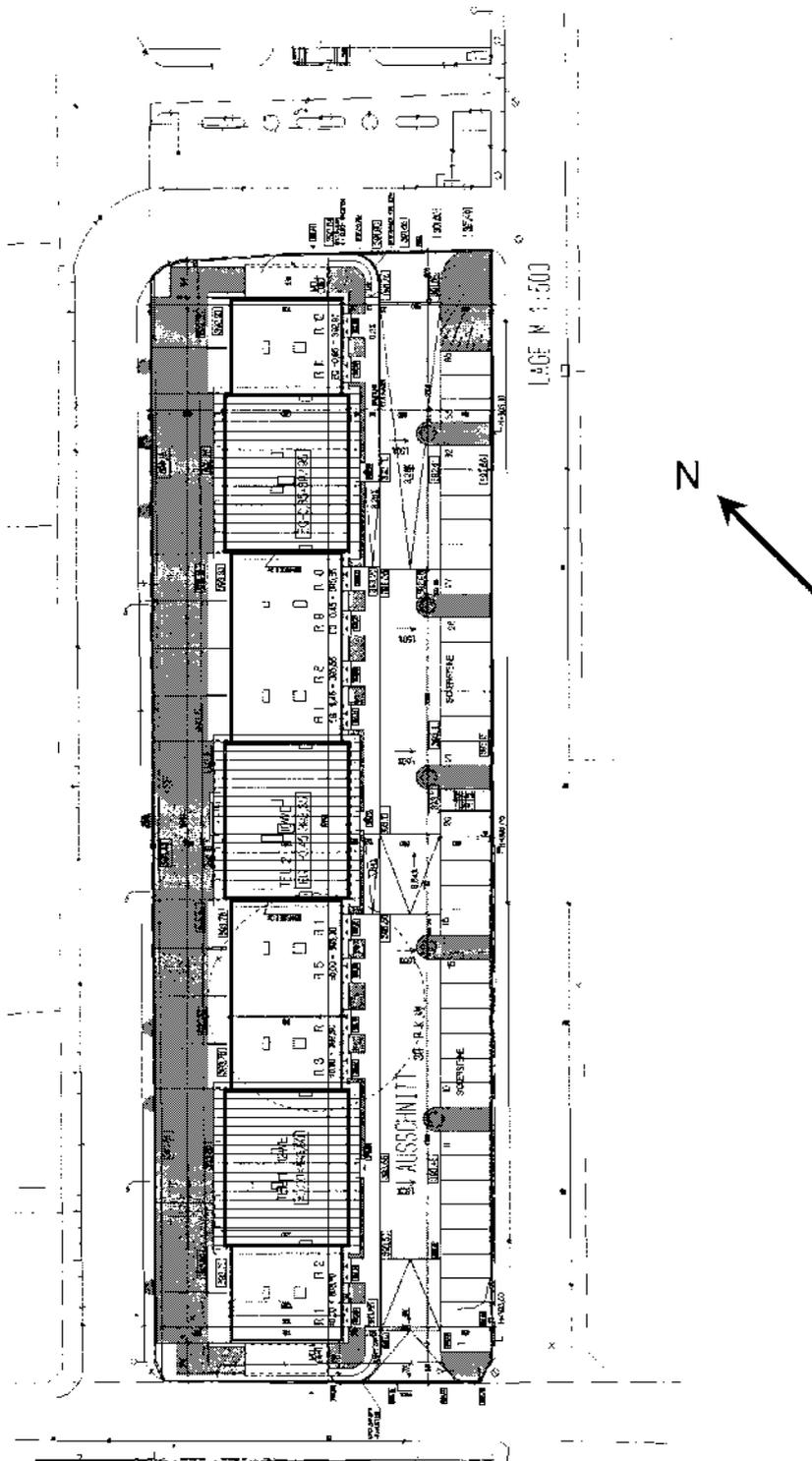


Abbildung 2-2: Grundriss der Wohnanlage Ternitz Schöllergasse

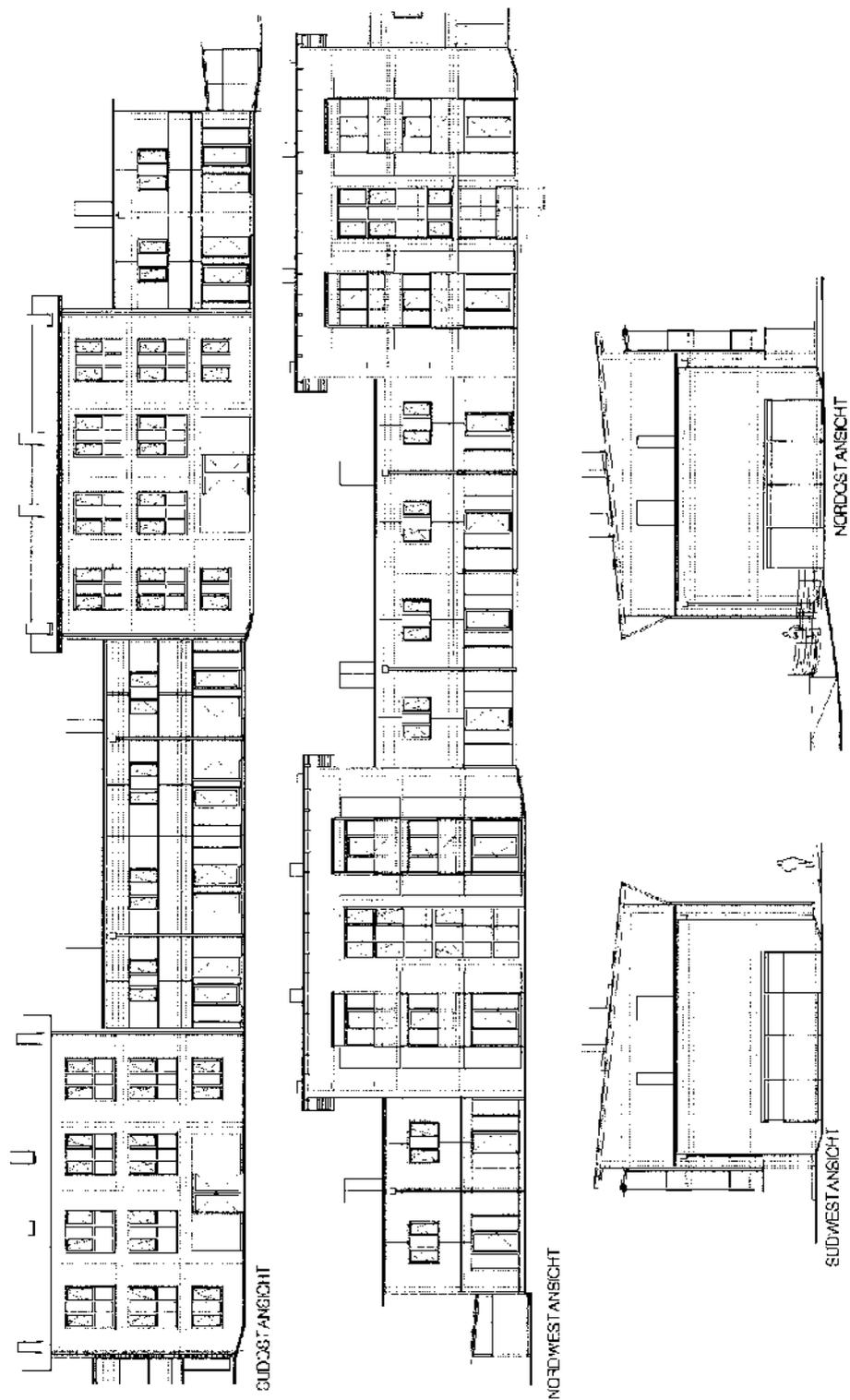
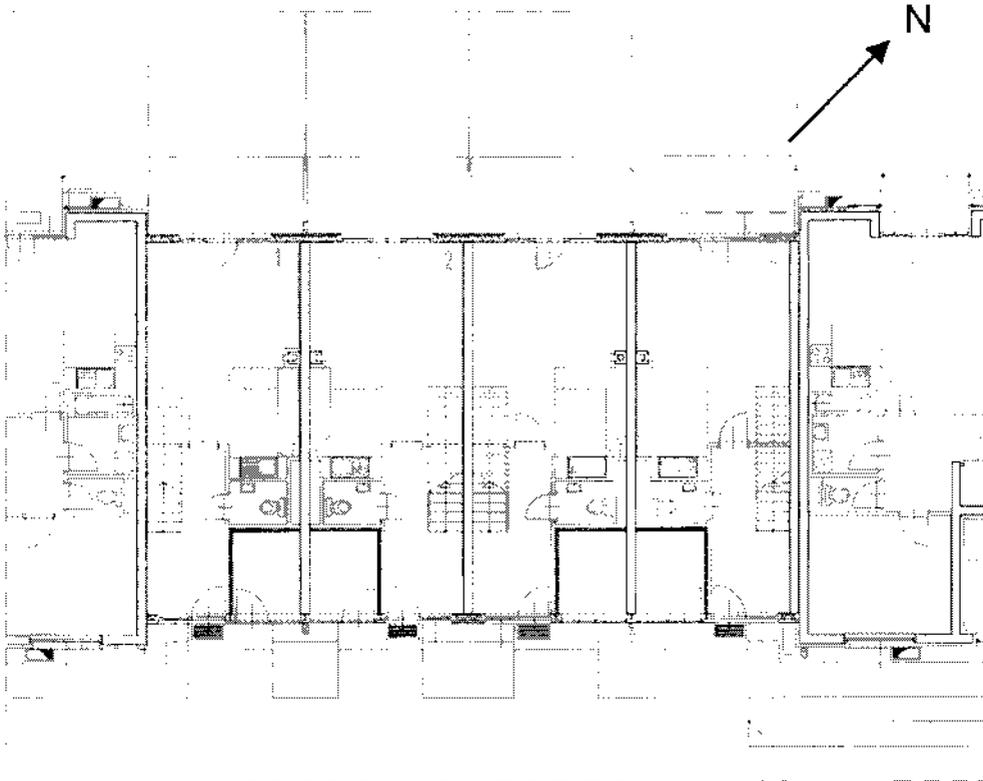
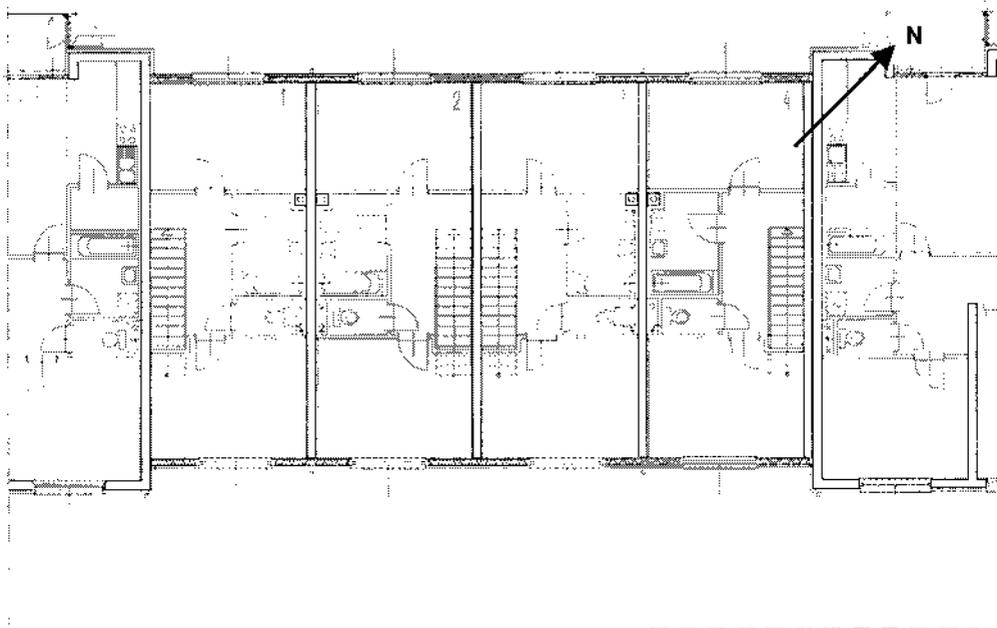


Abbildung 2-4: Ansichten Wohnhausanlage Ternitz Schöllergasse



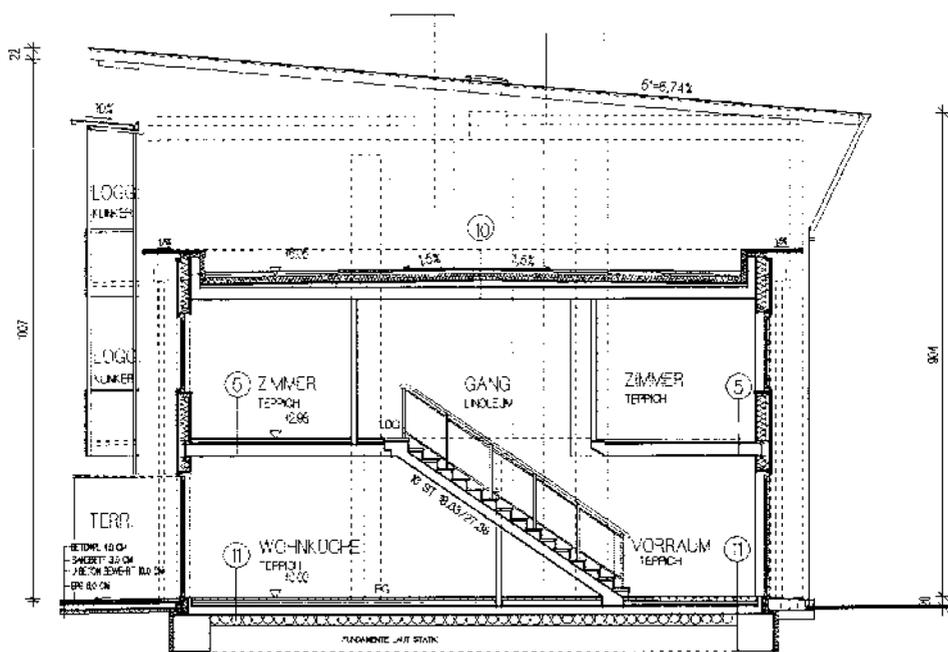
GRUNDRISS EG M 1:100

Abbildung 2-7: Grundriss Erdgeschoss, Reihenhaus



GRUNDRISS OG M 1:100

Abbildung 2-10: Grundriss Obergeschoss, Reihenhaus



SCHNITT A A

Abbildung 2-13: Schnitt Wohnhausanlage Ternitz Schöllergasse



Abbildung 2-16: Reihenhäuser (links und rechts) und Mehrfamilienhaus (Mitte), Südostseite



Abbildung 2-18: Reihenhäuser, Südostseite



Abbildung 2-19: Reihenhäuser und Mehrfamilienhaus, Nordwestseite

2.5 BAUPHYSIK, WÄRMESCHUTZ

2.5.1 AUSSENWÄNDE

Die Außenwände der Mehrfamilienhäuser wurden in Ziegelbauweise errichtet, wobei für die Außenwände der 25 cm starke Hochlochziegel HLZ25 vorgesehen ist. Dieser erhält außenseitig als weitere Wärmedämmung ein Vollwärmeschutzsystem aus Hartschaumplatten in der Stärke von 10 cm [2].

Außenwand Wohnhaus Ziegel mit 10 cm VWS:

0.4 cm	Dünnputz
10.0 cm	Hartschaumplatte EPS-F
25.0 cm	Hochlochziegel HLZ25
1.5 cm	Innenputz

Wärmeschutz: $U = 0.288 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
 $R = 3.311 \text{ (m}^2\text{K)/W}$

Der SOLL - Wert laut NÖ - BauTV und ÖNORM von
 $U_{\text{max}} = 0.4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
wird eingehalten.

Bei den Reihenhäusern wird die Nordwestfassade als Holzriegelwand mit folgendem Aufbau ausgeführt:

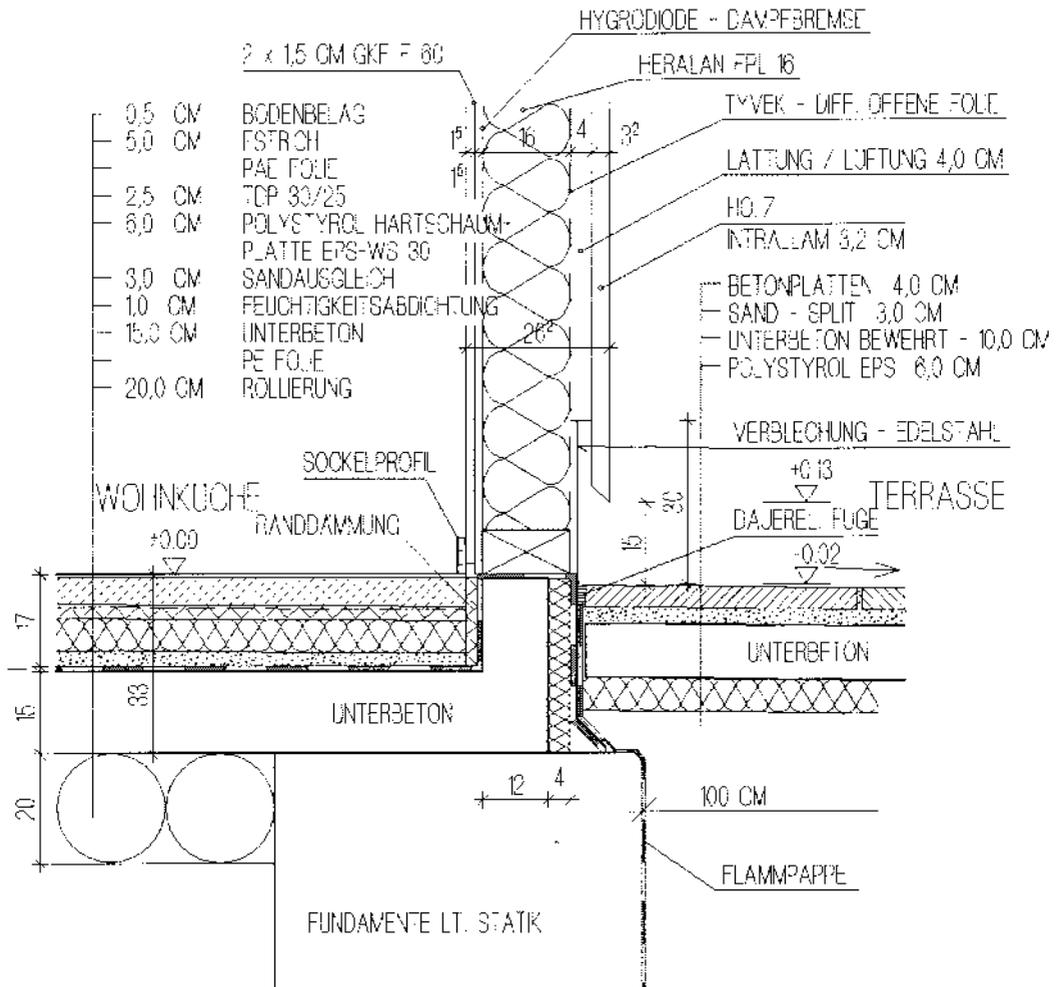


Abbildung 2-20: Schnitt Holzfassade Reihenhäuser (Planung)

Außenwand Reihenhäuser Holzriegelwand

- 1.6 cm INTRALLAM® Spanstreifenholz
- 8.0 cm Lattung/Konterlattung
diffusionsdichte Folie
- 16.0 cm Holzriegel dazwischen 16 cm Steinwolle(HERALAN® FPL 16)
atmungsaktive Dampfbremse
- 3.0 cm Gipskarton-Feuerschutzplatten 2x1.5 cm GKF F60

Wärmeschutz bei Dämmung:

$$U = 0.216 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

$$R = 4.472 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

bei Holzriegel:

$$U = 0.651 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

$$R = 1.369 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

Mittlerer U-Wert über gesamte Wandfläche bei 60 cm Abstand der Holzriegel 60/160

$$U_m = (0.216 \times 54 + 0.651 \times 6)/(60) = 0.259 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

$$U_m = 0.259 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

Auch unter Berücksichtigung der wärmetechnischen Schwachstellen bei den Holzriegeln wird in Summe für den mittleren U-Wert der Maximalwert von $U = 0.4 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ gemäß der NÖ - BauTV eingehalten.

Als Witterungsschutz und Schutz gegen Flugschnee etc. wird auf der Außenseite der Holzriegelkonstruktion die Anbringung einer diffusionsoffenen Unterspannbahn vorgesehen, damit die Wärmedämmung nicht durchnässt wird.

Solarfassade Reihenhaus

An der Südfassade der Reihenhäuser ist in den Parapeten (=Fensterbrüstung) und Sturzbereichen ebenso eine Holzriegelwand als Außenwandssystem vorgesehen, wobei zusätzlich zur 16 cm dicken Wärmedämmung außenseitig ein vorgehängtes Einscheiben-Sicherheitsglas mit einer dahinter liegenden transluzenten Wärmedämmung als Wabensystem¹ vorgesehen ist. Infolge der gewählten Wärmedämmung wird zumindest der gleiche Wärmeschutz für den stationären Wärmedurchgang von $U = 0.259 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ wie bei der Holzriegelwand an der Nordwestfassade eingehalten.

Aus bauphysikalischer Sicht muss bei der Solarfassade raumseitig eine Dampfbremse angebracht werden.

¹ ESA Solarfassade®, auf diese wird in Kapitel 3.2 eingegangen

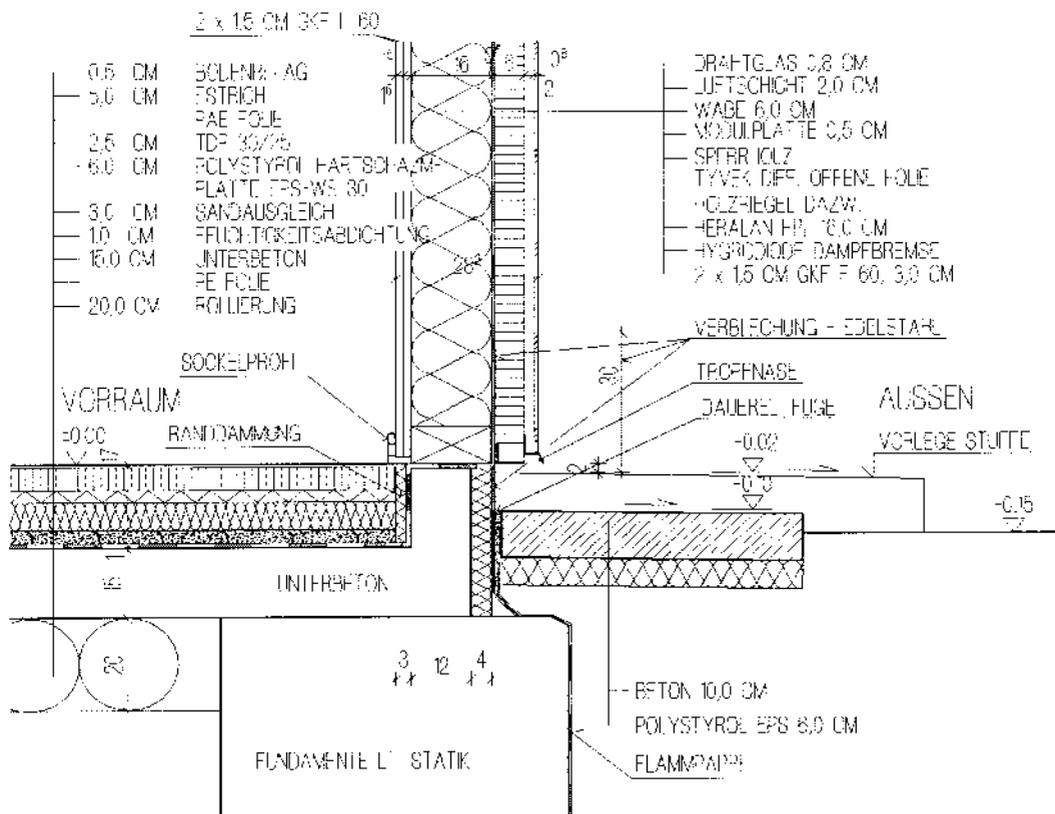


Abbildung 2-22: Schnitt Solarfassade Reihenhaus

2.5.2 KELLERWÄNDE

Die Außenwand im Keller wird aus 25 cm Stahlbeton vorgesehen.

Laut den Einreichplänen befinden sich keine beheizten Räume im Keller.

Der Wärmeschutz der Außenwand muss aber zur Vermeidung von Wärmebrücken bei der Geschossdecke zum Keller gemäß ÖNORM B 8110 bis 1.5 m unter das angrenzende Niveau gewährleistet sein.

Im Sockelbereich sowie in diesem Bereich gegen das Erdreich sind daher bei der Stahlbetonwand wegen der erhöhten Feuchtigkeit Platten aus extrudiertem Polystyrol zu verlegen.

Außenwand unter Erdreich bis 150 cm unter Niveau

8.0 cm	extrudiertes Polystyrol FCKW - frei
1.0 cm	Feuchtigkeitsabdichtung 2-lagig
25.0 cm	Stahlbeton

Wärmeschutz:

$$U = 0.378 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

$$R = 2.478 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

Für die unbeheizten Räumen im Keller bestehen keine Mindestanforderungen für den Wärme- und Schallschutz gemäß der NÖ - BauTV.

Unterhalb der 150 cm ist keine Wärmedämmung erforderlich. Dort können als Schutz für die Feuchtigkeitsabdichtung z.B. DRAIN - Platten aus normalem Polystyrol - Hartschaum in 3-4 cm Stärke verwendet werden.

2.5.3 DACH

Das Dach über den Wohnungen wird als Pultdach mit einer Blechdeckung mit Hinterlüftung wie folgt vorgesehen:

Pultdach Aufbau:

	Blechdeckung
	Pappe
	Schalung
	Sparren, Hohlraum Hinterlüftung
18.0 cm	Mineralwolle
18.0 cm	Stahlbetonplatte

Wärmeschutz:

$$U = 0.207 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

$$R = 4.578 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

SOLL- Wert laut NÖ – BauTV: $U_{\max} = 0.22 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

Die Dächer der Reihenhäuser werden jeweils als Flachdach mit folgendem Aufbau als Umkehrdach vorgesehen.

Flachdach Reihenhaus:

5.0 cm	Kies
	Trennvlies
16.0 cm	extrudiertes Polystyrol FCKW-frei
1.5 cm	Feuchtigkeitsabdichtung 3-lagig
6-14 cm	Gefällsbeton
18.0 cm	Stahlbetonplatte

Wärmeschutz:

$$U = 0.197 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

$$R = 4.912 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

Die SOLL- Werte laut NÖ-BauTV und ÖNORM von $U_{\max} = 0.22 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ werden eingehalten.

2.5.4 FENSTER

Hinsichtlich des Wärmeschutzes wird von der NÖ - BauTV ein Maximalwert von $U = 1.8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ verlangt.

Bei diesem Bauvorhaben werden Kunststoffrahmen mit Zweischeiben-Isolierverglasung mit einem U-Wert (inkl. Rahmen) von $1.30 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ und einem g-Wert von 0.620 eingesetzt. Damit wird der geforderte Wert eingehalten.

	U-Wert, Planung	U_{max} -Wert, Ö-Norm
	W/(m ² K)	W/(m ² K)
Außenwand Mehrfamilienhaus	0.336	0.4
Außenwand Reihenhaus (Mittelwert)	0.259	0.4
Reihenhaus Solarfassade, stationär Gutachten, Maximalwert	0.259	0.4
Keller	0.378	-----
Pulldach Mehrfamilienhaus	0.207	0.22
Flachdach Reihenhaus	0.197	0.22
Fenster	1.3	1.8

Tabelle 2-2: U-Wert aus dem bauphysikalischen Nachweis [2]

3 GEBÄUDETECHNIK UND ANLAGENTECHNIK

3.1 TRANSPARENTE WÄRMEDÄMMUNG

Konventionelle Wärmedämmung mit nichtdurchlässigen (opaken) Materialien zeichnen sich durch geringe Materialdichte aus. Diese bewirkt einen niedrigen Wärmetransport durch Wärmeleitung im Dämmmaterial. Zusätzlich wird durch ein feines Porensystem die Luftbewegung im Dämmmaterial fast komplett verhindert. Dadurch werden Wärmetransport durch Konvektion und Wärmeleitung der Luft in der Dämmschicht gering gehalten. Solcher Art gedämmte Gebäude bieten einen wirksamen Schutz gegen Wärmeverluste. Die auf der Oberfläche auftreffende Solarstrahlung kann jedoch nicht genutzt werden, bzw. wird sie davon abgehalten, das Gebäudeinnere zu erwärmen.

Als einfachstes passives System bietet sich der direkte Wandaufbau Dämmmaterial – Massivwand an. Das Dämmmaterial muss sich zu diesem Zweck, neben guten Dämmeigenschaften (geringe Wärmeleitfähigkeit λ), durch einen hohen Transmissionsgrad und einen hohen Gesamtenergiedurchlassgrad g auszeichnen.

Ein solches transparentes Wärmedämmsystem (TWD) lässt einen großen Teil der solaren Einstrahlung bis zur dahinterliegenden Massivwand durchtreten. Hier trifft die kurzwellige Solarstrahlung auf die schwarz gefärbte Wand (Absorber) auf und wird in langwellige Wärmestrahlung umgewandelt. Ein Großteil der Wärmestrahlung wird nun durch Wärmeleitung zeitverzögert durch die Wand an das Rauminnere abgegeben.

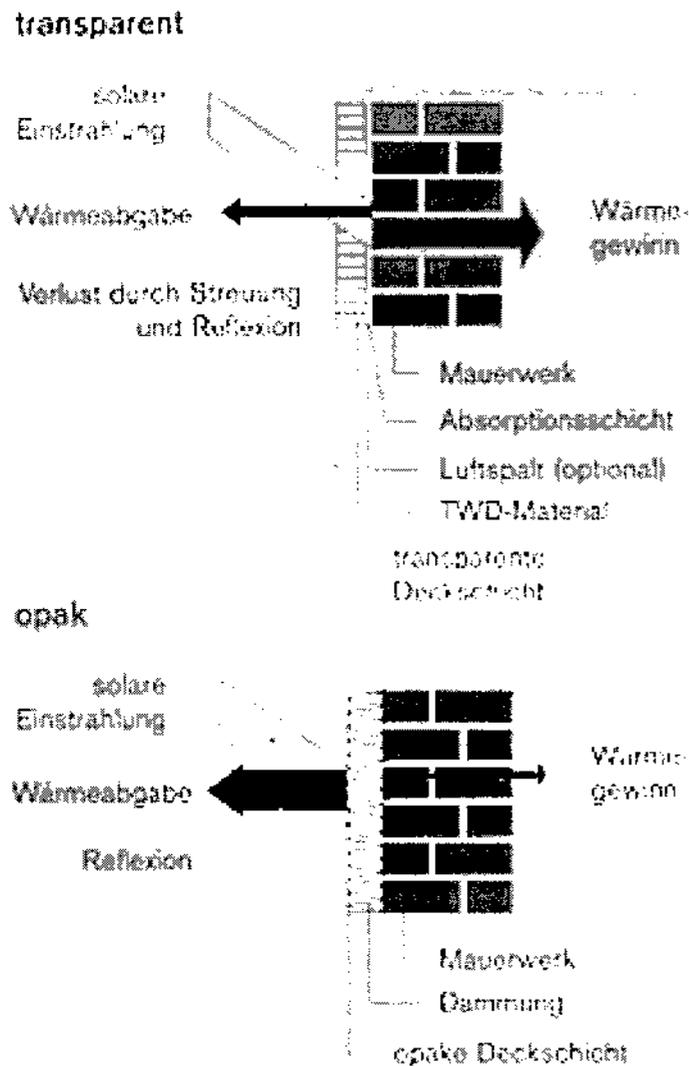


Abbildung 3-1: Gegenüberstellung transparente Wärmedämmung und opake Dämmung [9]

Als Dämmmaterial für die TWD werden Kunststoffe und Glas verwendet. Kriterien für die Materialwahl sind neben hoher Transparenz im Spektralbereich der Solarstrahlung und guten Wärmedämmeigenschaften hohe Temperatur- und UV-Beständigkeit. Das beste Verhältnis von Strahlungsdurchlässigkeit zu Wärmewiderstand haben offene, senkrecht zur Absorberfläche angeordnete Hohlkammerstrukturen, wie Kapillaren oder Waben.

Um im Sommer eine Überhitzung der Räume zu vermeiden, muss eine Abschattungsvorrichtung vorgesehen werden.[4][5][6]

3.1.1 PHYSIK DER TRANSPARENTEN WÄRMEDÄMMUNG

Energiegewinne einer transparente Wärmedämmung können durch die Differenz aus solaren Gewinnen und den Transmissionswärmeverlusten beschrieben werden. Da die Solarfassade ebenfalls ein System zur Nutzung der Solarstrahlung ist, kann folgende Energiebilanzierung angesetzt werden:

$$Q_W = U_W \cdot \Delta\vartheta_W \cdot t - \eta_G \cdot g_W \cdot G_W \cdot t \quad \text{Gleichung 1}$$

mit

$$g_W \cdot G_W \cdot t = Q_{WS} \quad \text{Gleichung 2}$$

es bedeuten:

Q_W	Nettowärmegewinne durch die TWD - Wand in der Auswerteperiode, positive Werte sind Verluste, negative Werte Gewinne	Wh/m ²
Q_{WS}	Solare Wärmegewinne in der Auswerteperiode	Wh/m ²
U_W	Transmissionswärmeverlust der TWD - Wand (gesamter Wandaufbau)	W/(m ² K)
$\Delta\vartheta_W$	Ti-Ta mittlere Temperaturdifferenz innen - außen	K
η_G	Solarer Gewinn Nutzungsgrad	---
g_W	Solarer Gesamtenergiedurchlassgrad (g-Wert) des gesamten Wandaufbaus	---
G_W	Mittlere solare Einstrahlung auf die TWD - Wand	W/m ²
t	Dauer der Auswerteperiode	h

Gleichung 1 umgeformt ergibt:

$$\frac{Q_W}{\Delta\vartheta_W \cdot t} = U_W \cdot - \eta_G \cdot g_W \cdot \frac{G_W}{\Delta\vartheta_W} \quad \text{Gleichung 3}$$

dies stellt eine lineare Gleichung ($y = mx + d$) dar mit:

$$y = \frac{Q_W}{\Delta\vartheta_W \cdot t} \quad \text{und} \quad x = \frac{G_W}{\Delta\vartheta_W}$$

$$y = U_W \cdot - \eta_G \cdot g_W \cdot x \quad \text{Gleichung 4}$$

y wird als „effektiver U-Wert“ bezeichnet:

$$U_{eff} = \frac{Q_W}{\Delta\vartheta_W \cdot t} \quad \text{Gleichung 5}$$

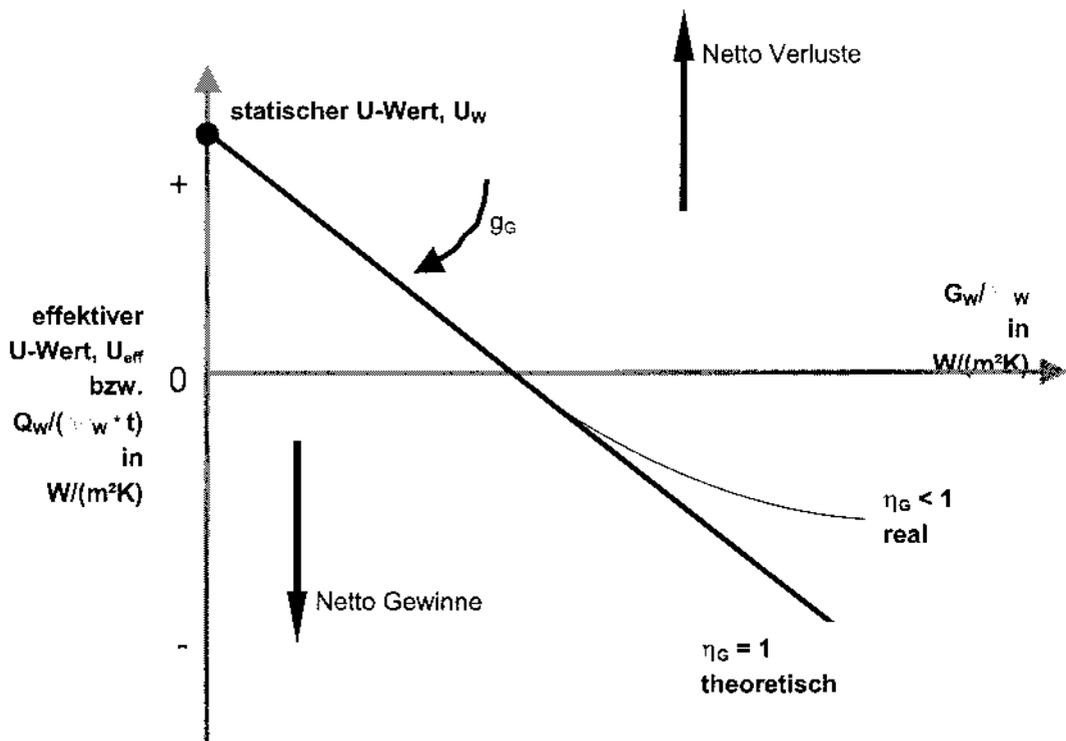


Abbildung 3-3: Leistungsfähigkeit einer TWD-Wand als Funktion des Klimas

In der Abbildung 3-3 beginnt die Gerade beim Punkt U_w – dem Wärmeverlust ohne solare Einstrahlung. Mit zunehmendem Quotienten Einstrahlung/Temperaturdifferenz werden die Nettoverluste geringer und erreichen dann den Bereich der Wärmegewinne ($U_w < 0$). Die Neigung der Geraden wird durch den solaren Energiedurchlassgrad g_w bestimmt. Je effektiver eine TWD-Wand ist, desto niedriger ist U_w und desto steiler (hohes g_w) verläuft die Gerade.

Können die solaren Gewinne voll genutzt werden, so bleibt die Kurve auch im Gewinnbereich linear ($\eta_G = 1$). In der Praxis wird jedoch in den Sommermonaten mehr Wärme angeboten als benötigt wird, es muss verschattet oder durch Lüftung gekühlt werden. Der solare Gewinn-Nutzungsgrad sinkt dadurch ab ($\eta_G < 1$).

Die x-Achse dieser Abbildung ist durch das Klima (solare Einstrahlung und Temperaturdifferenz) gegeben. Bei der messtechnischen Erfassung müssen Mittelwerte über längere Zeitperioden herangezogen werden. Damit können Verfälschungen durch kurzfristige Klimaschwankungen kompensiert werden.

3.2 SOLARFASSADE

3.2.1 AUFBAU DER ESA-SOLARFASSADE (HERSTELLERANGABEN)

Die ESA-Solarfassade ist ein Produkt der Firma GAP-Solar GmbH (früher: ESA Energie Systeme Aschauer Vertriebs GmbH).[7]

Verglasung: gehärtete Glasscheibe

Luftspalt: die Fassade ist für Dampfdruckausgleich leicht hinterlüftet (diffusionsoffen).

Solarwabe: Die Wabe besteht aus Spezialkarton und ist brandschutz-behandelt. Stärke meist 50 mm (optimale Stärke für Strahlungsumwandlung).

Wabenrückwand: Die Rückwand besteht aus ca. 1 mm Karton oder 10-12 mm Holzwerkstoff und sorgt für eine Stabilisierung der Wabe.

Statischer Wandaufbau: je nach Anwendungsbereich aus mineralischen Materialien (mit Ausgleichsdämmung) oder in Holzleichtbauweise.

3.2.2 FUNKTIONSWEISE DER ESA-SOLARFASSADE (HERSTELLERANGABEN)

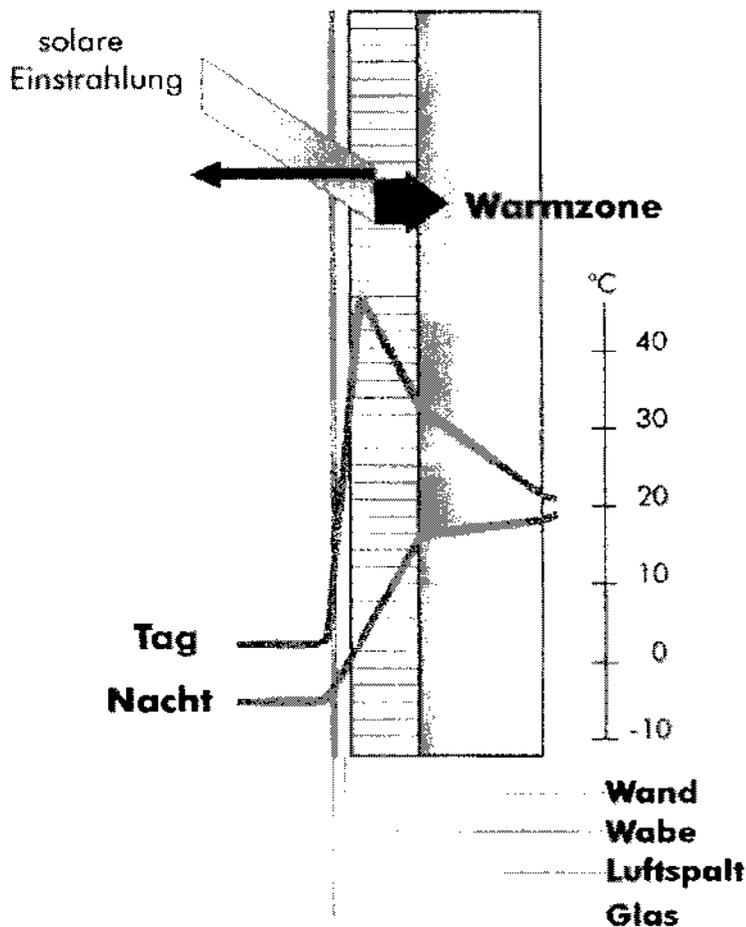


Abbildung 3-5:
Funktionsweise ESA-
Solarfassade [7]

Die Sonnenstrahlung wird in der Solarfassade aufgenommen und genutzt. Dadurch hebt die Solarfassade den Temperaturunterschied zwischen innen und

außen auf und stoppt den Wärmestrom von innen nach außen.

Die Hersteller betonen, dass sich die ESA-Solarfassade stark von der transparenten Wärmedämmung unterscheidet und führt folgende Punkte an:

- Hinter der Fassade ist keine große Speichermasse nötig, da sich die Nutzung der Sonnenstrahlung in der Solarfassade abspielt.

- Die Wand muss nicht schwarz gestrichen werden, da die Solarwabe die Funktion des Absorbers übernimmt.
- Die ESA-Solarfassade ist im Gegensatz zur TWD kein System, das auf Gewinnmaximierung ausgerichtet ist; sondern sie macht Energie auf einem relativ niedrigen Temperaturniveau nutzbar. Die ESA-Solarfassade benötigt keine Abschattung und verzichtet auf bewegliche und wartungsaufwendige Teile.

Für den Winterfall wird die Funktion wie folgt beschrieben:

Die Sonne steht tief und die Strahlung dringt bis in den Kern der Solarfassade ein. Dabei entsteht in der Wabe eine Temperatur, die je nach Strahlung und Himmelsrichtung bis 80°C erreichen kann. Die Auskühlung in der Nacht erfolgt sehr langsam, da die Wabe gute Dämmeigenschaften aufweist. Im Winter beträgt die Mitteltemperatur in der Wabe ca. +18°C.

Sommerfall: Der Sonnenstand ist hoch und die Strahlung wird nun unmittelbar an der Wabenoberfläche umgewandelt und zum Großteil über die Verglasung nach außen abgestrahlt. Nur ein geringer Teil der Wärme dringt in den Wandaufbau ein. Dieser Wärmeeintrag entspricht beispielsweise bei einer Außenwand von 10 m² Fläche der Wärmeentwicklung einer durchschnittlichen Glühbirne. Es kommt daher auch im Sommer zu keiner Überwärmung des Wohnraumes durch die Solarfassade.[7]

3.2.3 AUSFÜHRUNG

Um eine Bewertung der Solarfassade vornehmen zu können, war es notwendig den tatsächlichen Aufbau der Solarfassade zu eruieren.

Der gesamte Wandaufbau für die Reihenhäuser wurde von einer Holzbaufirma als Fertigmodul zur Baustelle geliefert. Zur Berechnung des U-Wertes sieht die DIN 4108, Teil 5 folgende Gleichung vor:

Gleichung 6:

$$U = U_1 \cdot \frac{A_1}{A} + U_2 \cdot \frac{A_2}{A} + \dots + U_n \cdot \frac{A_n}{A}$$

3.2.3.1 NW-Fassade, Holzriegelwand

Außenwand Reihenhäuser Holzriegelwand-ausgeführt

2.5 cm	INTRALAN® Spanstreifenholz
4.0 cm	Lattung/Konterlattung mit Hinterlüftung
1.5 cm	OSB-Platte
16.0 cm	Holzriegel dazwischen 16 cm Wärmedämmung, atmungsaktive Dampfbremse
1.25 cm	Gipskarton-Feuerschutzplatten GKF F60
1.0 cm	Gipskarton-Feuerschutzplatten GKF F60

Tabelle 3-1: Berechnung U-Wert Fassade NO

		Dämmung Anteil 84 %			
		Schichtdicke d m	Wärmeleitfähigkeit λ W/(mK)	äquivalenter Wärmeleit widerstand R (m ² K)W	U W/(m ² K)
	Ri			0,13	
1	Gipskarton F60	0,225	0,21	1,07	
2	Dampfsperre				
3	Wärmedämmung	0,16	0,04	4,00	
4	OSB Platte	0,015	0,13	0,12	
5	Hinterlüftung	0,04		0,18	
		0,44		5,50	0,18

		Holzriegel Anteil 16 %			
		Schichtdicke d m	Wärmeleitfähigkeit λ W/(mK)	äquivalenter Wärmeleit widerstand R (m ² K)W	U W/(m ² K)
	Ri			0,13	
1	Gipskarton F60	0,225	0,21	1,07	
2	Dampfsperre				
3	Holz	0,16	0,13	1,23	
4	OSB Platte	0,015	0,13	0,12	
5	Hinterlüftung	0,04		0,18	
		0,44		2,73	0,37

$$U_{\text{mittel}} = U_{\text{Dämmung}} \cdot \frac{A_{\text{Dämmung}}}{A_{\text{gesamt}}} + U_{\text{Holz}} \cdot \frac{A_{\text{Holz}}}{A_{\text{gesamt}}}$$

$$U_{\text{mittel}} = 0,18 \cdot 0,84 + 0,37 \cdot 0,16$$

$$U_{\text{mittel}} = 0,223 \frac{W}{m^2 K}$$

3.2.3.2 SO-Fassade, Solarwand

Die Firma GAP-Solar konnte folgende Angaben zu der Solarfassade machen:

Die Standardstärke der Solarwabe beträgt 5 cm. Diese Ausführung kommt hier zur Anwendung.

Der λ -Wert der Wabe wird mit 0,08 W/(mK) angegeben.

Der Gesamtenergiedurchlassgrad g wird mit 0,13 angegeben.

Für den statischen U-Wert wird in den zur Verfügung gestellten Unterlagen eine Standardwandkonstruktion angegeben, deren U-Wert von der tatsächlichen Ausführung nur gering abweicht und somit als Referenz-U-Wert angenommen werden kann. (Aussage der Fa. GAP-Solar).

Referenz-U-Wert: 0.18 W/(m²K)

(Für genauere Werte für den tatsächlichen Aufbau wird ein Simulationsprogramm zu einem entsprechenden Preis angeboten.)

Außenwand Reihenhaus Solarfassade-ausgeführt

	Sicherheitsglas
2.0 cm	Hinterlüftung
5.0 cm	Wabe
1.5 cm	OSB-Platte
16.0 cm	Holzriegel dazwischen 16 cm Zellulose (eingebblasen)atmungsaktive Dampfbremse
1.25 cm	Gipskarton-Feuerschutzplatten GKF F60
1.0 cm	Gipskarton-Feuerschutzplatten GKF F60

Die Berechnung des U-Wertes ergab folgendes Ergebnis:

Dämmung Anteil 80 %		Schichtdicke	Wärmeleitfähigkeit	äquivalenter Wärmeleitwiderstand	U
		d m	λ W/(mK)	R (m ² K)W	
	Ri			0,13	
1	Gipskarton F60	0,23	0,21	1,07	
2	Dampfsperre				
3	Wärmedämmung	0,16	0,04	4,00	
4	OSB Platte	0,02	0,13	0,12	
5	Wabe	0,05	0,08	0,63	
6	Hinterlüftung	0,02		0,17	
		0,47		6,11	0,16

Holzriegel Anteil 20 %		Schichtdicke d m	Wärmeleit fähigkeit λ W/(mK)	äquivalenter Wärmeleit widerstand R (m ² K)W	U W/(m ² K)
	Ri			0,13	
1	Gipskarton F60	0,23	0,21	1,07	
2	Dampfsperre				
3	Holzriegel	0,16	0,13	1,23	
4	OSB Platte	0,02	0,13	0,12	
5	Wabe	0,05	0,08	0,63	
6	Hinterlüftung	0,02		0,17	
		0,47		3,34	0,30

Tabelle 3-3: Berechnung U-Wert (statisch) Solarfassade SO

$$U_{\text{mittel, statisch}} = U_{\text{Dämmung}} \cdot \frac{A_{\text{Dämmung}}}{A_{\text{gesamt}}} + U_{\text{Holz}} \cdot \frac{A_{\text{Holz}}}{A_{\text{gesamt}}}$$

$$U_{\text{mittel, statisch}} = 0,16 \cdot 0,80 + 0,30 \cdot 0,20$$

$$U_{\text{mittel, statisch}} = 0,191 \frac{W}{m^2 K}$$

3.3 SOLARANLAGE

Die Planung und Konzeption der Solar- und Heizungsanlage erfolgte durch das technische Büro „ALL-PROJEKT“.

Jeweils ein Mehrfamilienhaus (MFH) und vier Reihenhäuser sind versorgungstechnisch zusammengefasst. Beheizt werden die Gebäude über einen Gasbrennwertkessel (Nennheizleistung 50 kW), der auch die Warmwasserbereitung sicherstellt.

Auf dem Dach jedes Mehrfamilienhauses befinden sich je 11 Aufdachkollektoren à 2,5 m² Gesamtfläche (2,3 m² Aperturfläche/Kollektor). Die Kollektoren dienen der Brauchwassererwärmung. Die Nachheizung wird über den Gasbrennwertkessel gesichert.

4 MESSKONZEPT

Um abgesicherte Aussagen über die getroffenen Maßnahmen treffen zu können, hat die AEE ein Messkonzept erstellt, welches eine Auswertung der Daten in Hinblick auf die in Kapitel 2.2 formulierten Aufgaben zulässt.

4.1 DATENERFASSUNG

Die Messsignale der Sensoren werden mit einem Datalogger Datataker 500:

- mit 10 bipolaren oder 30 unipolaren Analogeingängen,
- digitalen Ein-Ausgängen
- 3 Hochgeschwindigkeitszählern
- Genauigkeit 0.15 %, 16-Bit Auflösung

erfasst und viertelstündlich als Mittelwerte lokal abgespeichert. Zur Weiterverarbeitung der Daten wurde im Heizraum ein Telefonanschluss sowie ein Modem installiert. Die Daten werden über das Modem täglich von der AEE abgerufen, in ein weiterverarbeitbares Format übertragen und in Form von Wochenberichten abgespeichert.

4.2 MESSSYSTEM SOLARFASSADE

Das Messsystem unterteilt sich in klimatechnische Sensoren und Sensoren, die das thermische Verhalten der Solarfassade erfassen.

Klimatechnische Messung:

- Einstrahlung auf die Wandebene der Solarfassade
- Außentemperatur

Thermische Messgrößen der Fassade

- Wärmeflussmessung an der Solarfassade (Südost)
- Wärmeflussmessung an einer Referenzwand mit konventionellem Aufbau (Nordwest)
- Innentemperatur Solarfassadenraum
- Innentemperatur Referenzraum

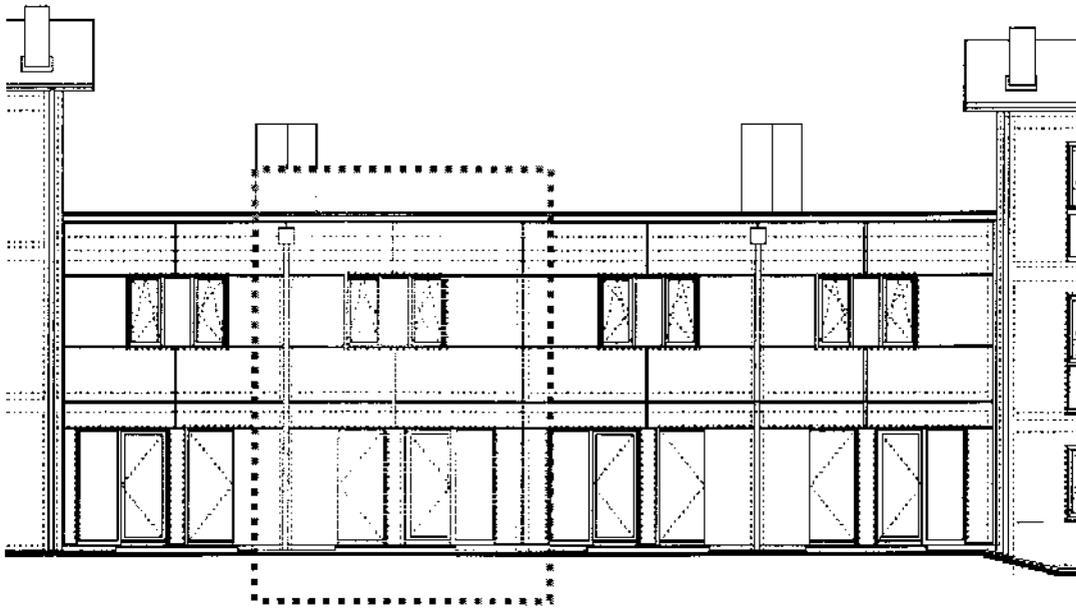


Abbildung 4-1: Messtechnisch erfasstes Reihenhaus Schöllergasse 14D

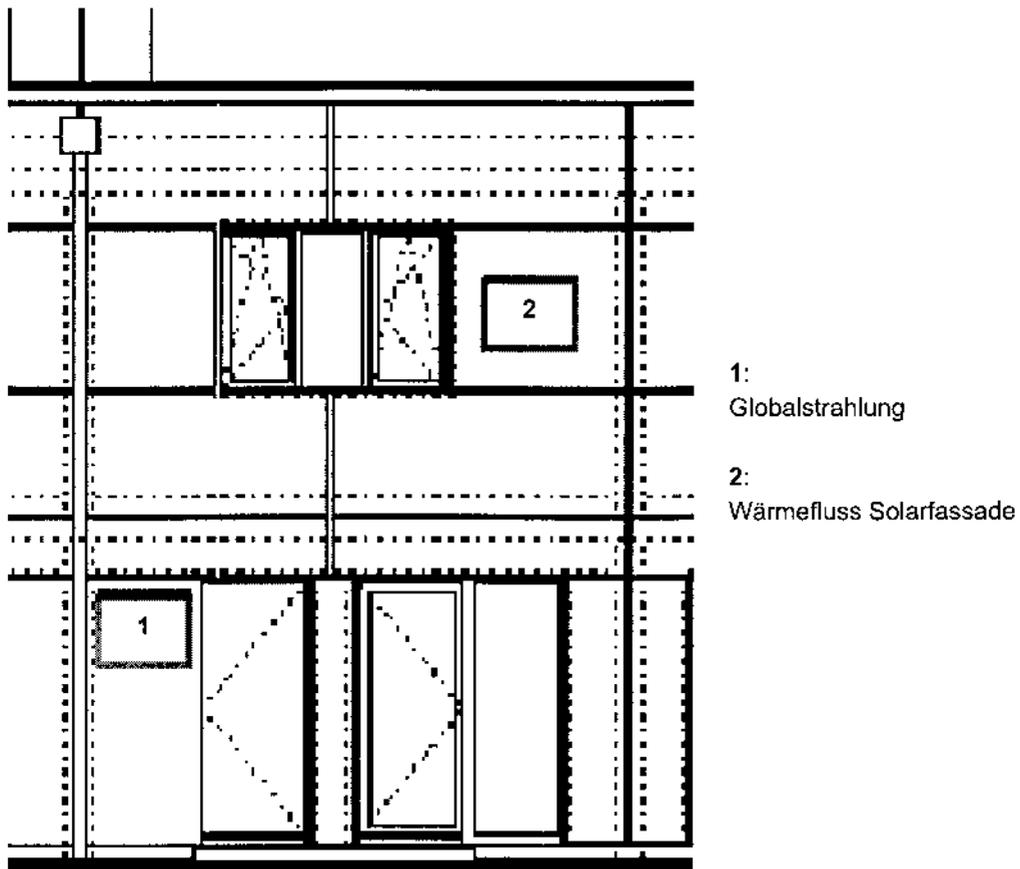


Abbildung 4-3: Fassadenmesspunkte Südorientierung

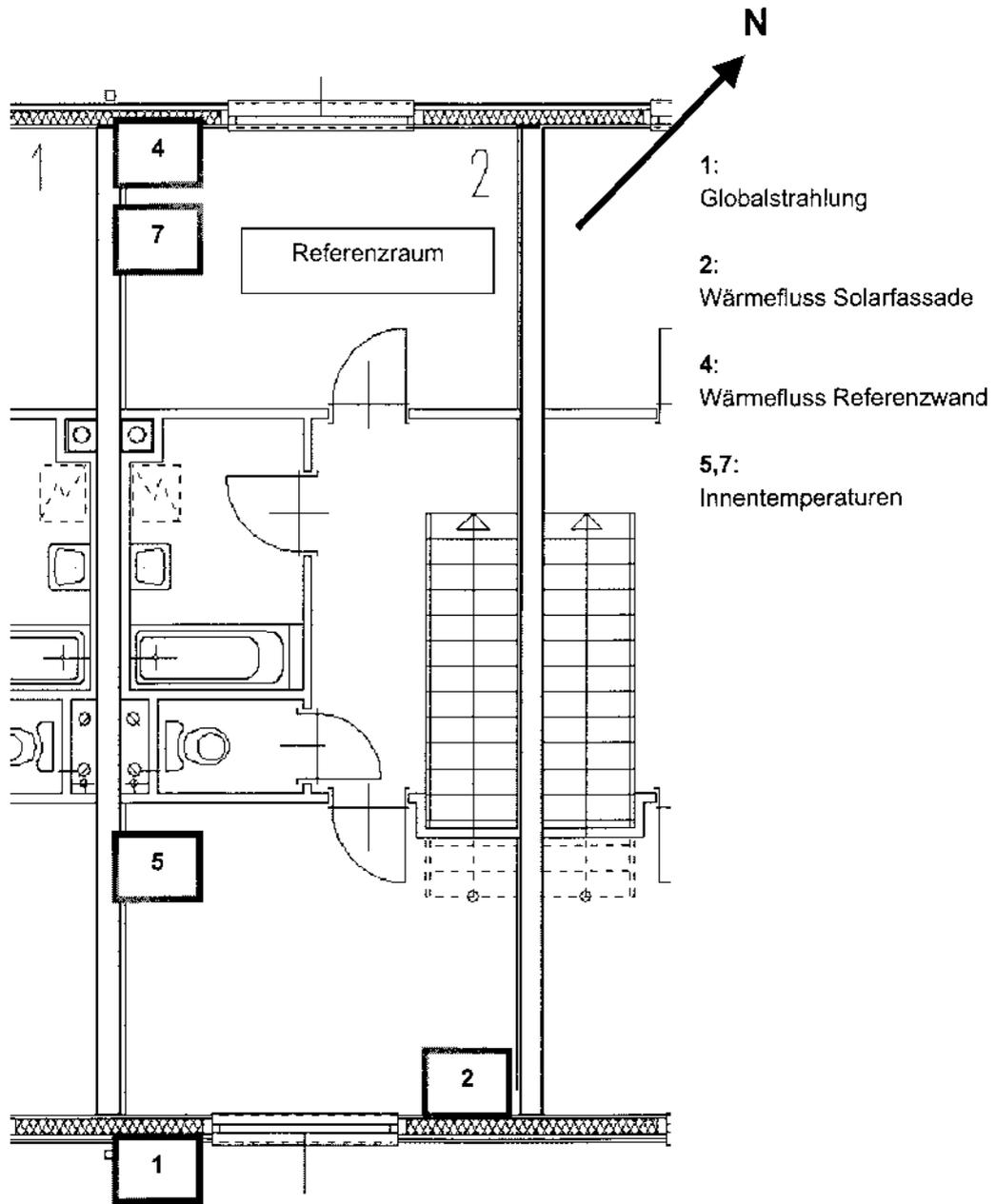


Abbildung 4-5: Messpunkte Grundriss Reihenhaus

Tabelle 4-1: Messpunkte Solarfassade

Nr.	Physikalische Parameter	Bezeichnung	Messbereich	Messsensor
1	Sonnenstrahlungsleistung in der Wandebene	I_r	0-5000 W/m ²	Pyranometer Skye SKS 1110
2	Wärmefluss durch die Solarfassade SO	q_1	100 W/m ²	2 Wärmeflussensoren PU 43
4	Wärmefluss Referenzraum NW	q_3	100 W/m ²	Wärmeflussensor PU 43
5	Innentemperatur Solarfassadenraum	T_{i1}	-40...+60 °C	Temperaturmess- umformer EE 09
6	Außentemperatur	T_a	-40...+60 °C	Außentemperaturfühler mit Strahlungsschutz
7	Innentemperatur Referenzraum NW	T_{i3}	-40...+60 °C	Temperaturmess- umformer EE 09

Nr. 1: Halbleiter-Sensor Skye SKS 1110 (Pyranometer):

Hier handelt es sich um einen Sensor mit einem lichtempfindlichen Halbleiterelement (Silizium) mit Kosinuskorrektur. Der kosinus-korrigierte Kopf beinhaltet eine hochwertige Silizium-Photozelle, empfindlich für Strahlung in der Bandbreite von 350 – 1100 nm. Der Kopf ist vollständig versiegelt und kann somit in allen Breichen und Lagen eingesetzt werden. Der Sensor wurde werksseitig unter freiem Himmel nach Referenzpyranometern kalibriert und entspricht der „World Radiometric Reference“. Die Kalibrierung wurde für einen Wellenlängenbereich von 300 bis 3000 nm durchgeführt.

Das Pyranometer wurde an der Südostfassade des Reihenhauses in 2 m Höhe, neben der Eingangstür montiert.



Abbildung 4-7: Pyranometer an SO-Fassade

Nr. 2 und 4: Wärmeflussensor TNO PU 43

Der Wärmeflussensor besteht aus einer elastischen Kunststoffscheibe (Polyurethan) mit einer eingearbeiteten Thermo-elementkette mit einem Durchmesser von 100 mm und einer Dicke von 3 mm.

An den Polen der Platte liegt eine Spannung an. Die gemessene Spannung wird mit der kalibrierte Materialkonstante C multipliziert. Diese Materialkonstante C ist abhängig von der Wärmeleitfähigkeit λ , der Plattendicke L , der Anzahl der Thermo-elemente n und der Empfindlichkeit des Thermo-elementes S .

Die Wärmeflussensoren sind jeweils in einem Fassadenelement im Obergeschoss (Höhe 4.55 m, bezogen auf Erdgeschossniveau) rechts vom Fenster eingebaute. (siehe Abbildung 4-8)

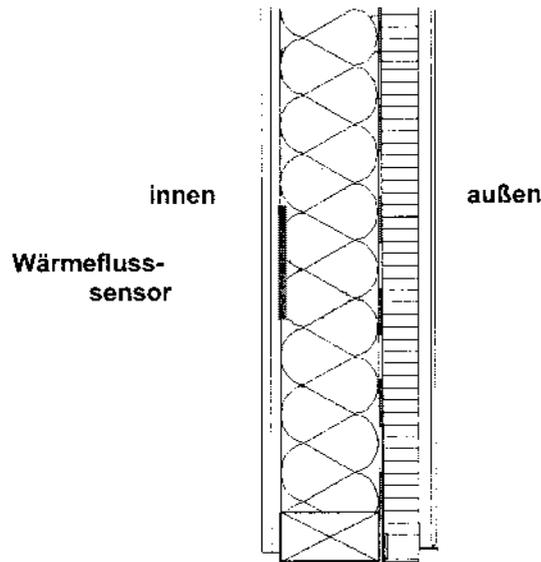


Abbildung 4-8: Schnitt Fassade mit Wärmeflussensor

4.3 MESSSYSTEM SOLARANLAGE

Tabelle 4-3: Messpunkte Solaranlage

Nr.	Physikalische Parameter	Bezeichnung	Einheit	Messsensor
8	Kollektortemperatur	T_{koll}	°C	PT 100
9	Systemtemperaturen Solaranlage	T_1-T_3	°C	Thermocouple Typ K
10	Systemtemperaturen Solaranlage	T_4-T_6	°C	Thermocouple Typ K
11	Systemtemperaturen Solaranlage	T_7-T_9	°C	Thermocouple Typ K
12	Wärmemenge von Kollektor in den Solarboiler	Q_{sol}	kWh	ISTA sensonic
13	Wärmemenge von Nachheizung in den Solarboiler	Q_{zus}	kWh	ISTA sensonic
14	Kaltwasserzustrom in den Solarboiler	V_{kw}	kWh	ISTA Wasserzähler mit Kontaktausgang

Das Verschaltungsschema ist aus Kapitel 3.3 ersichtlich.

Datum	Zeit	Globale Istrahlung Wand auf	Q Solarf assad enrau	Q Nordf assad enrau	RT Solarf assad enrau m	RT Nordf assad enrau m	T Kollek tor	Syste mtem p T1	Syste mtem p T2	Syste mtem p T3	Syste mtem p T4	Syste mtem p T5	Syste mtem p T6	Syste mtem p T7	Syste mtem p T8	Syste mtem p T9	Q Solar	Q Nach heizü ng	KW Volum sstro m	
03.02.02	10:15	866,3	1,42	2,93	20,74	10,76	20,3	78,8	37,9	90,1	89,6	78	31,9	14	43,4	32,3	54,7	0	2	0
03.02.02	10:30	904,2	3,04	2,96	20,76	11,31	20,34	83,1	40,9	94,4	93,9	82	30,3	13,9	43,5	32,3	55,8	0	1	0
03.02.02	10:45	806,1	4,73	2,97	20,84	11,6	20,35	87,2	40,8	97,8	97,5	86,3	29,1	14	43,8	32,3	56,9	0	2	0
03.02.02	11:00	834,6	6,47	2,96	20,84	13,72	20,38	89,2	40,3	100,3	99,9	88,7	28,2	14	44	32,4	58	0	2	0
03.02.02	11:15	819,4	8,31	2,95	20,73	14,03	20,38	90,4	41,6	101,7	101,5	89,9	27,5	14	44,1	32,4	58,7	0	1	0
03.02.02	11:30	783,1	10,21	2,86	20,56	13,79	20,28	90,6	41,7	101,5	101,4	90,5	27	13,9	44,3	32,4	59,4	0	1	0
03.02.02	11:45	740	11,74	2,82	20,55	13,98	20,35	90,2	40,4	101	101	90,1	26,7	14	44,4	32,5	59,3	0	0	0
03.02.02	12:00	697,6	13,1	2,77	20,54	14,3	20,42	89,9	39,9	100,9	100,8	90	26,5	14,1	44,4	32,7	59,1	0	0	0
03.02.02	12:15	640,1	14,14	2,69	20,28	14,37	20,3	88,8	40,7	99,6	99,5	88,9	26,6	14,2	44,4	32,9	58,4	0	0	0
03.02.02	12:30	596,8	15,03	2,61	20,32	14,63	20,31	87	42,2	97,7	97,7	87,2	26,9	14,3	44,4	33	58	0	0	0
03.02.02	12:45	534,3	15,61	2,55	20,34	15,17	20,34	84,9	40,5	95,2	95,3	85,3	27	14,4	44,3	33,1	57,7	0	0	0
03.02.02	13:00	473,7	15,95	2,5	20,36	17,25	20,35	82,2	40,4	92,5	92,5	83	27,3	14,5	44,1	33,3	57,3	0	0	0
03.02.02	13:15	422,1	15,94	2,46	20,36	17,89	20,39	79,3	39,4	89,4	89,4	80,3	27,5	14,7	44,1	33,3	56,8	0	0	0
03.02.02	13:30	345,6	16,22	2,34	20,29	18,77	20,36	75,3	38,8	84,9	85,1	76,7	27,5	14,7	44	33,2	56,4	0	0	0
03.02.02	13:45	98,91	16,03	2,28	20,22	17,68	20,34	70,7	38,4	79,7	80	72,4	27,1	14,8	43,8	33,3	56,1	0	0	0
03.02.02	14:00	86,5	15,69	2,21	20,22	18,08	20,34	66	38	74,7	75,1	68,2	26,7	14,8	43,7	33,3	55,6	0	0	0
03.02.02	14:15	79,96	15,21	2,15	20,11	16,9	20,3	60,4	37,7	68,7	69,2	63,4	26,3	14,9	43,5	33,2	55,2	0	0	0
03.02.02	14:30	72,31	14,96	2,02	20,08	16,7	20,3	54,7	37,4	62,5	63	58,5	26,1	15	43,4	33,2	54,8	0	0	0
03.02.02	14:45	60,37	14,35	1,97	19,99	16,45	20,28	49,3	37,4	56,7	57,2	53,9	25,9	15	43,3	33	54,4	0	0	0
03.02.02	15:00	54,99	14,31	1,79	19,83	15,08	20,18	42,9	42,6	50,9	51,4	49,7	25,9	15,1	43,2	33,1	54	0	0	1
03.02.02	15:15	48,23	13,96	1,67	19,69	14,17	20,13	37,8	40,9	45,5	45,9	46,2	25,8	15,1	43	33,1	53,4	0	0	0
03.02.02	15:30	40,36	13,58	1,58	19,56	13,56	20,06	33,4	40,9	41,2	41,6	43,4	25,8	15,2	42,9	33,1	53,1	0	0	0
03.02.02	15:45	33,62	13,23	1,43	19,35	12,87	19,93	29,4	39,6	37	37,5	40,8	25,9	15,3	42,7	33	52,7	0	0	0
03.02.02	16:00	23,97	12,94	1,28	19,05	12,05	19,89	25,5	42,2	33,4	33,8	38,5	25,9	15,3	42,6	33	52,2	0	0	0
03.02.02	16:15	23,29	13,16	1,05	18,73	11,19	19,7	22,2	40,4	29,8	30,2	36,3	26,3	15,3	42,5	33	51,6	0	0	0
03.02.02	16:30	14,56	12,8	0,9	18,46	10,55	19,58	20,1	39,5	28,2	28,8	34,2	26,8	15,2	42,7	32,7	51,9	0	2	0
03.02.02	16:45	8,28	12,42	0,85	18,5	10,31	19,57	19,2	39,7	27,9	28,4	32,8	27,4	15	43,1	32,6	53,1	0	2	0

Tabelle 4-3: Auszug aus den ausgelesenen Daten vom 3.2.2002

5 AUSWERTUNG DER SOLARFASSADE

5.1 AUFBEREITUNG DER MESSDATEN

Die Messdaten liegen von November 2001 bis einschließlich Dezember 2002 in Viertelstunden-Mittelwerten vor.

Generelle Ausfälle der Messdaten waren im Zeitraum November 2001- Juni 2002 selten. Einzelne, fehlende Daten wurden entsprechend interpoliert. Danach mehrten sich die Datenlücken merklich.

Fehlende Daten:

- In der Zeit von 17. – 22.11.2001 fehlen die Daten für die Globalstrahlung, da in diesem Zeitraum das Pyranometer wegen eines Defekts erneuert werden musste.
- Die Daten 7.3.2002 und 8.3.2002 fehlen, eine Ursache dafür ist nicht bekannt.
- Weitere Lücken unbekannter Ursache: 14.7., 16.7., 22.7., 16.8., 20.8., 26.8., 13.9.-26.9., 30.9.-1.10., 11.10.-24.10., 31.10.-1.11, 21.11, 28.11, 12.12, 17.-19.12, 29.-31.12.2002

Bei den Globalstrahlungsdaten wurden negative Werte zu Null gesetzt. Kleine negative Werte, in der Größenordnung bis ca. - 20 W/m², treten in klaren Nächten auf Grund von thermischer Abstrahlung des Pyranometers zum Himmel auf.

In der folgenden Tabelle sind die Monatsmittelwerte bzw. Monatssummen der vorhandenen Messdaten aufgelistet.

Zeitraum	Globalstrahlung Wand	Globalstrahlung Wand	Q Solarfassade PLUS	Q Solarfassade MINUS	Q NW-Fassade	Q NW-Fassade	RT Solarfassadenraum	Äußen temperatur	RT NW-Fassadenraum
	[W/m ²]	[W/m ²]	[W/m ²]	[W/m ²]	[W/m ²]	[W/m ²]	[°C]	[°C]	[°C]
	Monatssumme	Monatsmittel	Monatsmittel	Monatsmittel	Monatssumme	Monatsmittel	Monatsmittel	Monatsmittel	Monatsmittel
Nov 2001	149444	53,66	0,86	-2,39	8951	-3,21	21,49	2,89	21,43
Dez 2001	164105	55,16	0,42	-3,71	14083	-4,73	21,24	-2,83	21,24
Jan 2002	182274	61,23	0,81	-3,05	12548	-4,21	20,85	0,26	21,16
Feb 2002	162391	80,47	1,29	-2,10	6537	-3,24	20,56	4,34	20,20
März 2002	314064	113,71	2,10	-1,68	7910	-2,86	20,21	5,91	19,85
April 2002	308010	107,40	2,01	-1,10	6472	-2,26	20,26	8,69	20,54
Mai 2002	452785	152,04	3,37	-0,32	3366	-1,13	22,88	16,27	22,78
Juni 2002	433975	150,63	3,40	-0,23	2983	-1,04	24,53	19,05	24,63
Juli 2002	408951	143,09	3,22	0,00	2373	-0,83	25,29	20,12	25,34
August 2002	332314	114,16	2,65	-0,04	2565	-0,88	24,25	18,90	24,26
September 2002	216623	150,22	3,35	-0,22	1933	-1,34	23,05	15,37	22,64
Oktober 2002	144968	94,38	1,59	-1,03	3579	-2,33	20,86	9,34	20,75
November 2002	105264	39,63	0,27	-1,64	7261	-2,73	20,09	6,76	20,39
Dezember 2002	72056	35,34	0,00	-3,70	10415	-5,11	24,57	-2,61	24,02

Tabelle 5-1: Monatsdaten November 2001 bis Dezember 2002

Die folgende Abbildung 4-1 zeigt die Monatsmittelwerte der gesamten Messperiode. In dieser Darstellung ist zu beachten, dass negative Wärmeströme der Fassaden als Verluste (Transmissionswärmeverluste), positive Werte als Gewinne (Wärmestrom von Außen nach Innen) ausgewiesen sind.

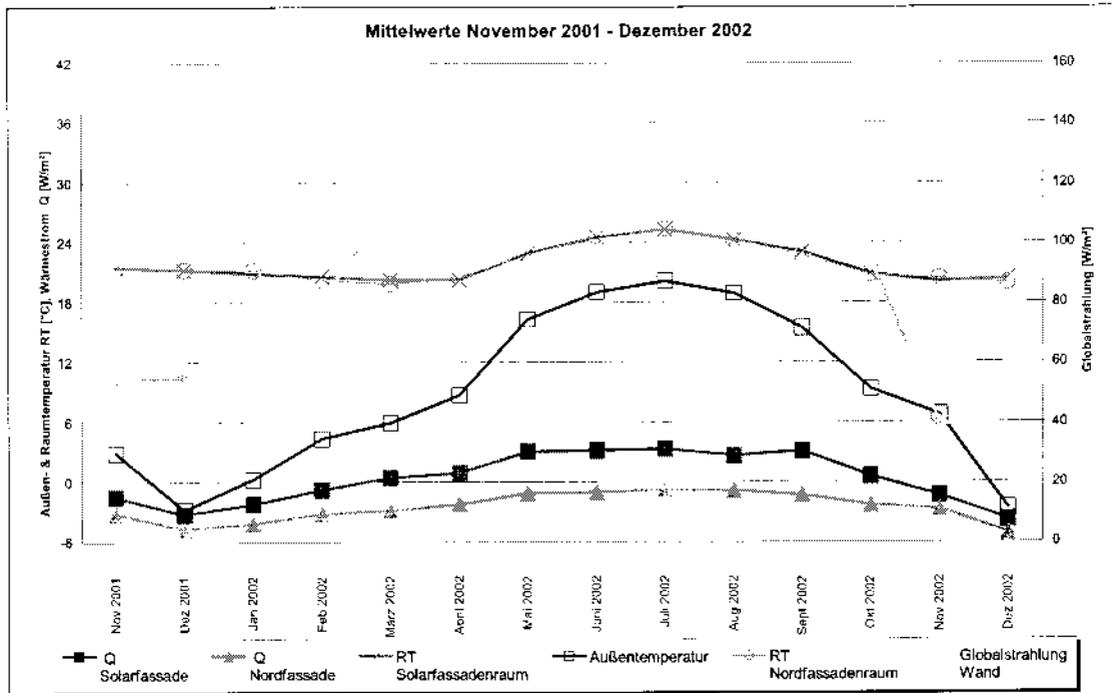


Abbildung 5-1: Monatsdaten-Mittelwerte November 2001 bis Dezember 2002

Die Messwerte wurden weiters in diversen Tabellen zusammengefasst. Im Kapitel 5.2.1 werden die Tagesverläufe verschiedener Messdaten der Monate November 2001 und Dezember 2002 dargestellt. Diese beiden Monate charakterisieren die Situation in einem kalten und heißen Monat.

5.2 AUSWERTUNG

5.2.1 PHYSIKALISCHE AUSWERTUNG

Die physikalische Auswertung basiert auf Wärmeflussensoren, die sowohl in der Solarfassade als auch in der nordseitigen Leichtbauwand den Wärmestrom messen und einen darauf basierenden Vergleich ermöglichen. Temperatursensoren liefern Raumtemperaturen der zugehörigen Räume und die Außentemperatur. Mit den Wärmeströmen und den Temperaturen kann zu jeder Zeit der U-Wert der Fassadenvarianten ermittelt werden.

Zusätzlich liefert der Pyranometer die Daten über momentane Einstrahlung an der Solarfassade, womit die Abhängigkeit des U-Wertes von der Sonnenstrahlung festgestellt werden kann.

Ziel der Messung ist, das physikalische Verhalten und den ökonomischen Nutzen der Solarfassade zu bewerten.

5.2.1.1 Effektiver U-Wert

Vorab werden aus den Monatsmittelwerten der Messperiode November 2001 bis Dezember 2002 (siehe Tabelle 5-3) die effektiven U-Werte der Solarfassadenkonstruktion nach Gleichung 5 errechnet, wobei im konkreten Fall der Faktor Zeit nicht mehr berücksichtigt werden muss.

Gleichung 7 korrigiert:
$$U_{eff} = \frac{Q_W}{\Delta \vartheta_W}$$

Zeitraum	Globalstrahlung Wand	Q Solarfassade	RT sol - Taußen	U eff = Q/ Δθ y	Globalstrahlung g/ Δθ
	W/m ²	W/m ²	K	W/(m ² K)	W/(m ² K)
Zeitraum				0,19	0,00
Nov 2001	53,6605	-1,52933	18,59807	0,08	2,89
Dez 2001	55,1613	-3,28937	24,06205	0,14	2,29
Jan 2002	61,2274	-2,23666	20,58567	0,11	2,97
Feb 2002	80,4710	-0,80906	16,22146	0,05	4,96
März 2002	113,7087	0,423016	14,30147	-0,03	7,95
April 2002	107,3954	0,909941	11,56915	-0,08	9,28
Mai 2002	152,0432	3,059557	6,618402	-0,46	22,97
Juni 2002	150,6335	3,161073	5,484793	-0,58	27,46
Juli 2002	143,0901	3,322608	5,169255	-0,64	27,68
August 2002	114,1581	2,606575	5,35457	-0,49	21,32
September 2002	150,2239	3,12887	7,674535	-0,41	19,57
Oktober 2002	94,3802	0,562799	11,51581	-0,05	8,20
November 2002	39,6325	-1,36443	13,32158	0,10	2,98
Dezember 2002	35,3390	-3,7876	27,179	0,14	1,30

Tabelle 5-3: Monatsmittelwerte und Berechnung $U_{effektiv}$

Die ermittelten U_{eff} -Werte zeigen einen kontinuierliche Änderung. Im Zeitraum März bis Oktober 2002 ist der effektive U-Wert negativ, was bedeutet dass sich der Wärmefluss umkehrt (von außen nach innen) und somit Erträge bringt.

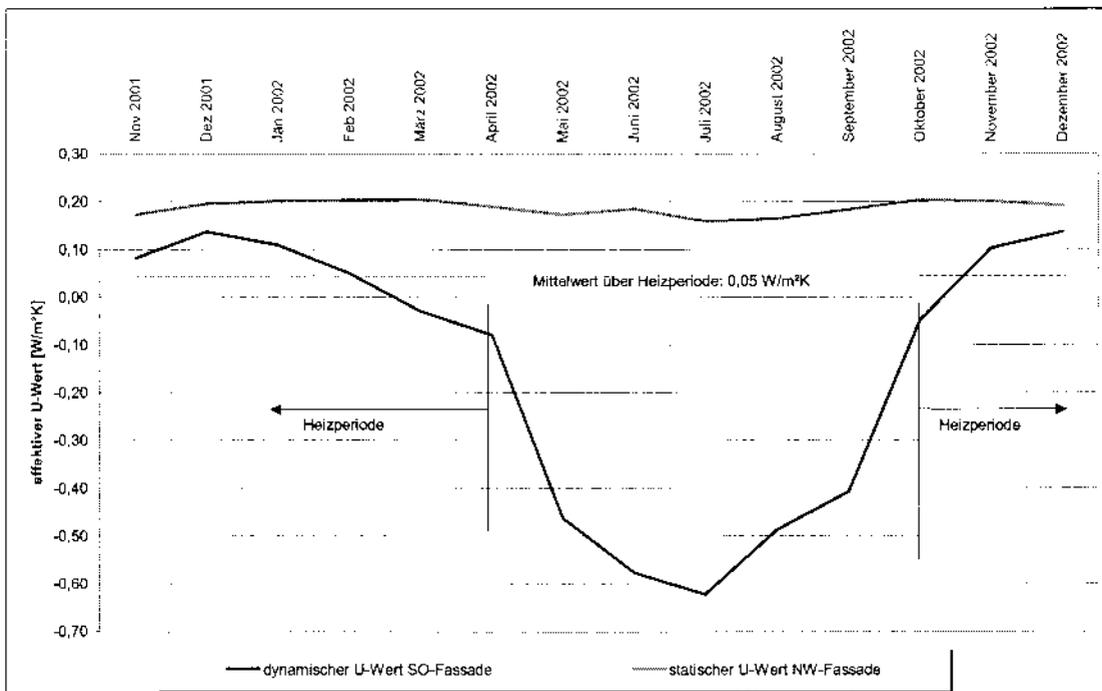


Abbildung 5-3: Saisonaler Verlauf des effekt. U-Wertes (Monatsmittel)

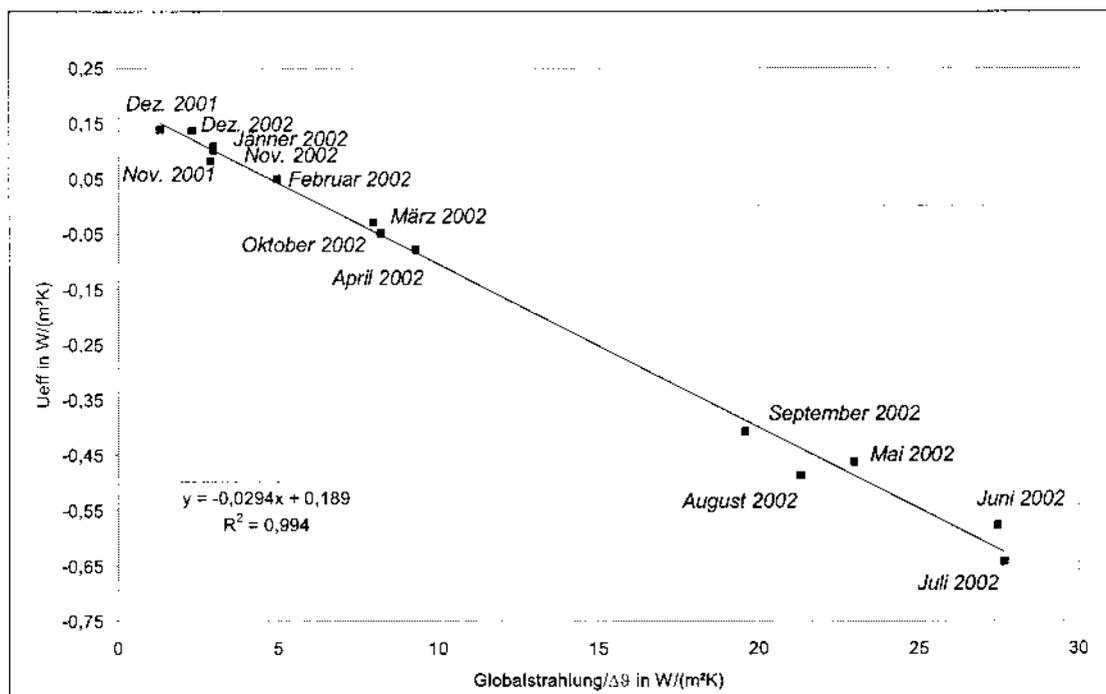


Abbildung 5-5: Verlauf des bezogenen effektiven U-Wertes im Erfassungszeitraum

Abbildung 5-5 zeigt graphisch den Verlauf des effektiven U-Wertes über den Erfassungszeitraum. Dort fällt auf, dass die Streuung der Messwerte um die Ausgleichsgerade sehr gering ist, obwohl die Messung unter realen Bedingungen durchgeführt wurde.

Der statische U-Wert der Solarfassade gemäß Hersteller liegt bei $0,191 \text{ W/m}^2\text{K}$ (Wert bei Globalstrahlung/Temperaturdifferenz = 0). Der messtechnisch ermittelte statische U-Wert der durch die Ausgleichsgerade ermittelt wurde, liegt bei $0,189 \text{ W/m}^2\text{K}$. Somit ergibt sich eine minimale Abweichung von $0,002 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Die Steigung der Geraden gibt den Wirkungsgrad der Solarfassade an. Die Steigung kann als annähernd konstant betrachtet werden und beträgt hier $0,029$, was bedeutet, dass $2,9 \%$ der solaren Einstrahlung durch die Solarfassade in nutzbare Wärme umgewandelt werden.

5.2.1.2 Analyse charakteristischer Perioden

Juli 2002:

Die Abbildung 5-7 zeigt den Wochenverlauf von 1.7. – 8.7. An sonnigen Tagen wird eine Globalstrahlung von ca. 750 W/m^2 erreicht wodurch die Außentemperatur auf $25 - 30^\circ\text{C}$ steigt. Der positive Wärmestrom (Wärmegewinne von außen nach innen) an der SO Fassade schwankt zwischen $10-12 \text{ W/m}^2$.

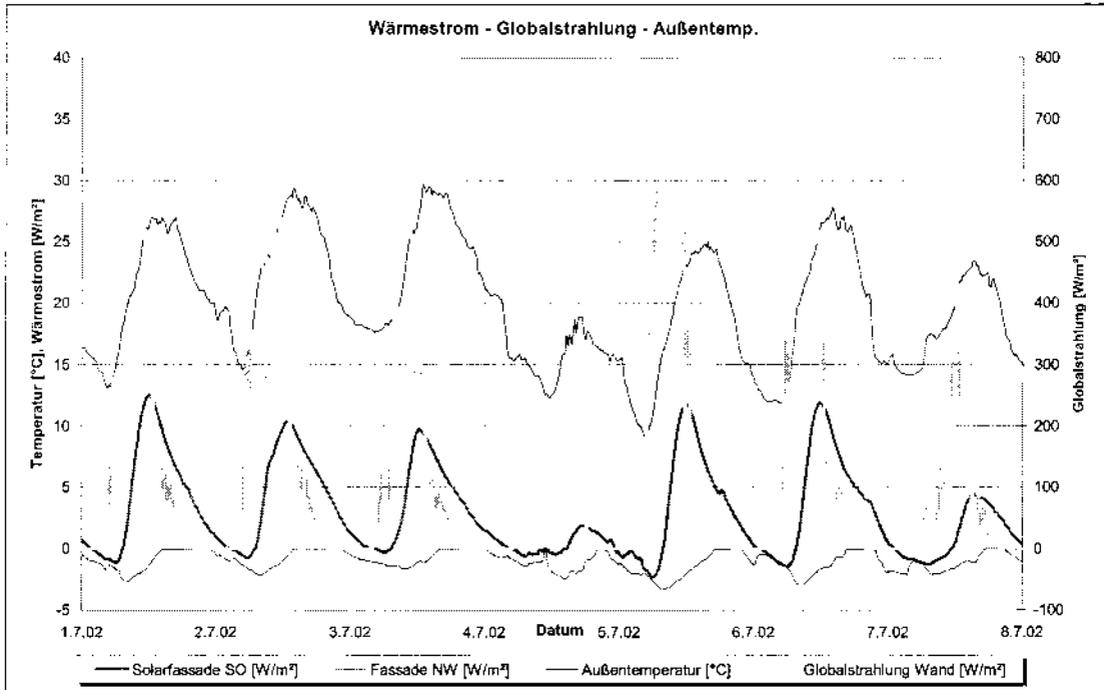


Abbildung 5-7: Globalstrahlung, Außentemperatur, Wärmestrom 1.7.-8.7.2002

Wie die Abbildung 5-9 zeigt führt die Solarfassade nicht zu einer Überwärmung des dahinterliegenden Raumes. Obwohl die Außentemperatur über 31°C beträgt erreicht die Rauminnentemperatur maximal 26,6°C.

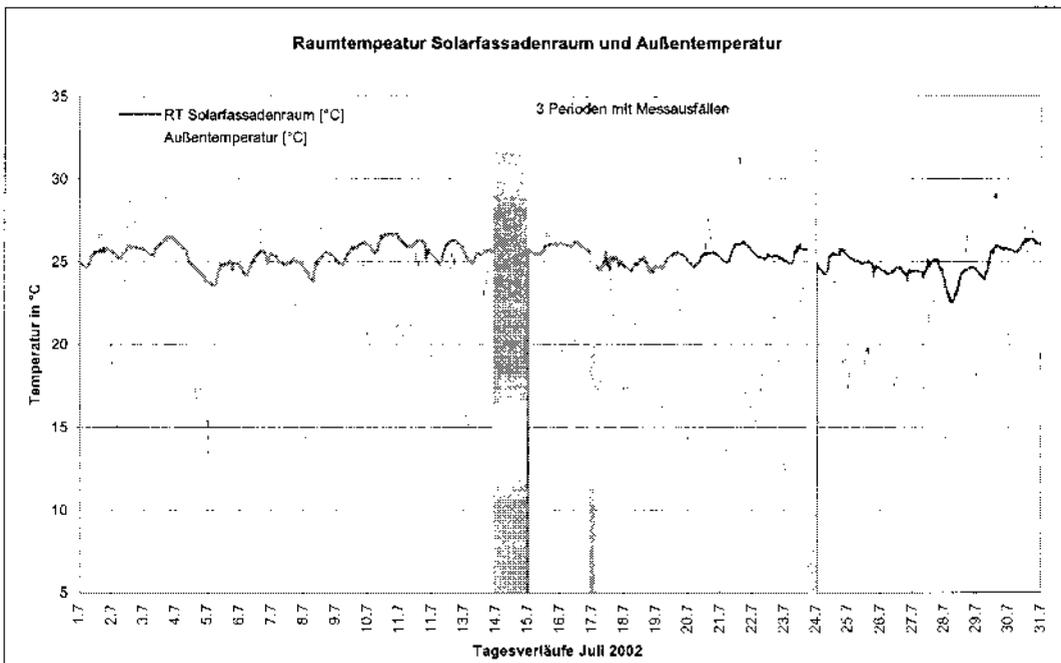


Abbildung 5-9: Raumtemperatur Solarfassadenraum, Außentemperatur Juli 2002

Dezember 2002:

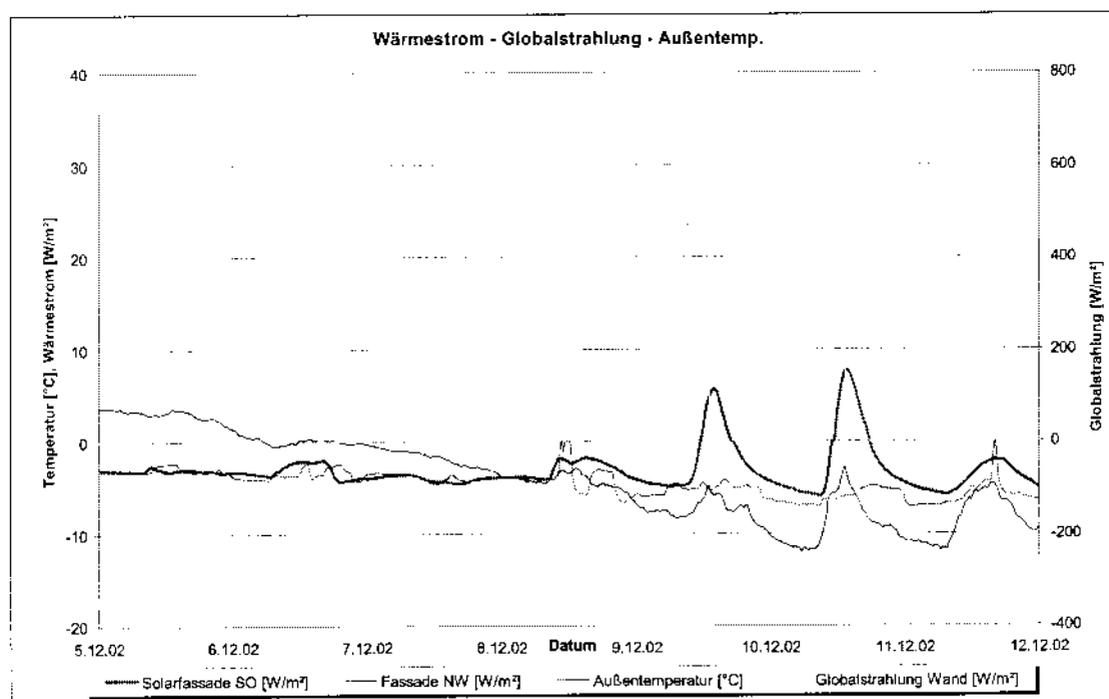


Abbildung 5-11: Globalstrahlung, Außentemperatur, Wärmestrom 5.12-12.12.2002

Aus Abbildung 5-11 ist erkennbar, dass an einstrahlungsschwachen Tagen keine Wärmegewinne über die Solarfassade erzielt werden. Dies ändert sich jedoch schlagartig wenn die Globalstrahlung an klaren Wintertagen stark ansteigt.

Der Wärmestrom an der Nordwestfassade weist permanent Verluste auf. Die Phasen wo dieser auf Null ansteigt ist durch das Lüftungsverhalten der Benutzer zu erklären. Beim Lüften wird die Temperaturdifferenz zwischen außen und innen nahezu Null wodurch der Wärmestrom ebenfalls gegen Null geht.

Um ein mögliches Einsparpotential der Solarfassade zu ermitteln, wurden überschlägige Jahres-Wärmebedarfsberechnungen mittels des modifizierten Passivhaus-Vorprojektierungspakets angestellt (siehe auch Anhang 8.3).

5.2.1.3 Wärmebedarf

Als Grundlage der Berechnung dient das mit Messtechnik ausgestattete Reihenmittelhaus Nr. 4.

Folgende Varianten wurden behandelt:

Variante 1: Für die erste Berechnung wird für alle Außenwände ein Massivwandaufbau mit 10 cm Wärmedämmung angenommen. Dieser Aufbau wurde bei den Mehrfamilienhäusern realisiert.

Variante 2: Ausführung mit der 16cm Holzriegelwand für alle Außenwände, die an der NW-Fassade der Reihenhäuser errichtet wurde.

Variante 3: Ausführung wie Variante 2, jedoch wird mit dem gemittelten effektiven U-Wert = 0,05 W/m².K der Heizperiode (Oktober – April) für die Solarfassade (SO) gerechnet.

Variante	U-Wert W/m ² K	Wandaufbau	€/m ²
1.	0,288	Massivwand, wie bei den Mehrfamilienhäusern realisiert	94,-
2.	0,223	Holzriegelwand, wie NW-Fassade Reihenhäuser	268,-
3.	0,05 0,223	SO-Fassade Solarwabe dynamisch NW-Fassade Holzriegelkonstruktion	339,- 268,-

Tabelle 5-5: Wandaufbauten je Variante mit U-Werten und Netto-Herstellungskosten lt. Ausschreibung

5.2.1.4 Jahres-Heizwärmebedarf

Um anschließend Wirtschaftlichkeitsüberlegungen durchführen zu können, wurde eine Berechnung des voraussichtlichen Jahres-Heizwärmebedarfs durchgeführt (Berechnungsblätter der Varianten 1 bis 3 nach dem modifizierten Passivhaus - Vorprojektierungspaket (s. Anhang 8.3).

Annahmen:

- Sämtliche Verluste/Gewinne wurden auf die Energiebezugsfläche = Bruttogeschossfläche = 103,2m² bezogen
- Die Lüftungsverluste wurden, ausgehend vom tatsächlichen Raumluftvolumen, mit einem 0,5-fachen Luftwechsel berücksichtigt
- Solare Gewinne über die Fenster bzw. Türen sowie interne Wärmequellen werden berücksichtigt.

Zusammengefasst kann der spezifische Jahres-Heizwärmebedarf der Varianten 1 - 3 und die Einsparungen bezogen auf die Variante 1 gemäß Tabelle 5-10 dargestellt werden:

	Jahres-Heizwärmebedarf	Einsparung bezgl. Variante 1
	kWh/m ² _{BGF,a}	%
Variante 1	43,5	-
Variante 2	42,2	3,0
Variante 3	39,9	8,3

Tabelle 5-10: Jahres-Heizwärmebedarf Variante 1 bis 3

5.2.2 ÖKONOMISCHE AUSWERTUNG

Um eine Aussage bezüglich Wirtschaftlichkeit anzugeben, wird im Folgenden ein Vergleich zwischen den 3 Varianten durchgeführt.

Basisdaten sind:

Wohnnutzfläche im Reihenhaus Nr. 14D:

76,69 m²

Fassadenfläche der Solarfassade SO:

15,4 m²

Nutz-Energiepreise

(Standard-Gaskessel - Gas-Brennwertkessel):

0,0644 – 0,0576 €/kWh

Nettoherstellkosten lt. Fax SGN v. 28.8.02:

94 – 339 €/m² netto

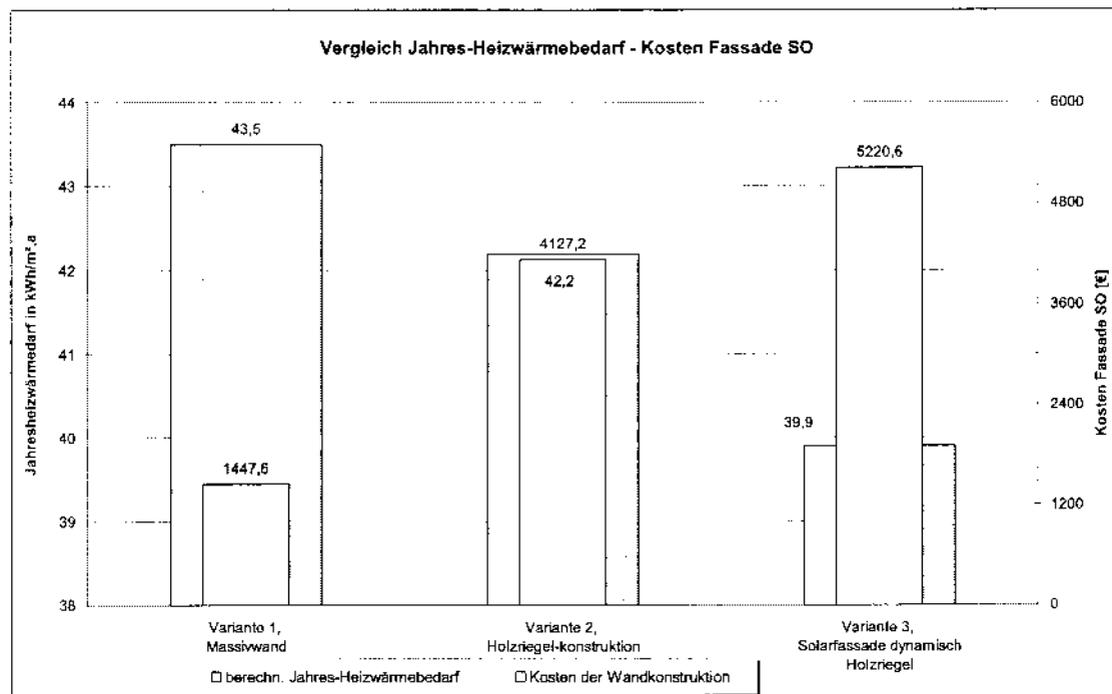


Abbildung 5-13: Gegenüberstellung des voraussichtlichen Jahres-Heizwärmebedarfs & Kosten der SO Fassade der Varianten 1 bis 3

Der Variante 1 mit niedrigen Investitionskosten und hohen Energiekosten stehen in der Variante 3 hohe Investitionskosten und niedere Energiekosten gegenüber.

Die relativ hohen Werte für die statische Amortisationszeit in Tabelle 5-12 resultieren aus den hohen Kosten für die Leichtbau- bzw. Solarfassade. Von den beiden Leichtbaufassaden (mit und ohne Kartonwabe) ist die Solarfassade relativ zur Massivwand noch geringfügig günstiger. In diese Analyse fließen jedoch keine ökologischen Parameter ein, die die Bilanz zugunsten der Leichtbaukonstruktion verschieben würden. (Weniger graue Energie, weniger Global – warming - Potential, weniger Versauerungspotential [26]). Ebenso kann mit einer Kostenreduktion im Leichtbau seit Ausschreibung des gegenständlichen Objekts gerechnet werden.

		Variante 1, Massivwand	Variante 2, Holzriegel- konstruktion	Variante 3, Solarfassade dynamisch Holzriegel
berechn. Jahres-Heizwärmebedarf	kWh/m ² _{BGF,a}	43,5	42,2	39,9
Ersparnis bezogen auf Variante 1	kWh/m ² _{BGF,a}	-	1,3	3,6
Bruttogeschossfläche	m ²	103,2		
Ersparnis absolut	kWh/a	-	134,16	371,52
spezif. Kosten der Wandkonstruktion	€/m ²	94	268	339
Fassadenfläche SO	m ²	15,4		
Kosten der Wandkonstruktion	€	1447,6	4127,2	5220,6
Differenz Wandkosten zu Variante 1	€	-	2679,6	3773
Gaskessel Jahres-Wirkungsgrad 85%				
Kosten pro kWh Endenergie	€/kWh	0,0644		
energetische Ersparnis pro Jahr	€/a	-	8,6	23,9
Gas-Brennwertkessel Jahres-Wirkungsgrad 95%				
Kosten pro kWh Endenergie	€/kWh	0,0576		
energetische Ersparnis pro Jahr	€/a	-	7,7	21,4

Tabelle 5-12: Amortisation statisch berechnet

5.2.2.1 Sensitivitätsanalyse Energiepreis:

Szenario	Energiepreis [€/kWh]	Preiserhöhung bezügl. 0,0644 €/m ² in [%]
Amortisationsdauer der Solarfassade von <u>30 Jahren</u> in Relation zur Variante 1 (Massivwand)	0,338	425
Amortisationsdauer der Solarfassade von <u>30 Jahren</u> in Relation zur Variante 2 (Leichtbauwand)	0,153	138
Amortisationsdauer der Solarfassade von <u>50 Jahren</u> in Relation zur Variante 1 (Massivwand)	0,203	215
Amortisationsdauer der Solarfassade von <u>50 Jahren</u> in Relation zur Variante 2 (Leichtbauwand)	0,092	43

5.2.2.2 Sensitivitätsanalyse Fassadenpreis:

Szenario	Fassadenpreis [€/m ²]	Preisreduktion bezügl. 339 €/m ² in [%]
Amortisationsdauer der Solarfassade von <u>30 Jahren</u> in Relation zur Variante 1 (Massivwand)	141	59
Amortisationsdauer der Solarfassade von <u>30 Jahren</u> in Relation zur Variante 2 (Leichtbauwand)	298	12
Amortisationsdauer der Solarfassade von <u>50 Jahren</u> in Relation zur Variante 1 (Massivwand)	172	49
Amortisationsdauer der Solarfassade von <u>50 Jahren</u> in Relation zur Variante 2 (Leichtbauwand)	318	6

5.2.3 ANWENDBARKEIT AM PASSIVHAUS

Der nachfolgenden Abschätzung wurde die Geometrie des Reihenhauses Nr. 14D Schöllergasse, Ternitz zugrundegelegt. Die Gebäudehülle weist die Qualität eines Passivhauses auf.

- Außenwände: 0,15 W/m²,K
- Fußboden: 0,15 W/m²,K
- Oberste Geschossdecke: 0,12 W/m²,K
- Fenster/Türen: 0,8 W/m²,K

Eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung aus der Abluft (Wärmebereitstellungsgrad 80%) ist vorhanden. Das Gebäude weist hohe Luftdichtigkeit auf wodurch ein energetisch wirksamer Luftwechsel von 0,106 1/h besteht.

Für die Abschätzung des Heizwärmebedarfs wurde das Berechnungsblatt des modifizierten Passivhaus-Vorprojektierungspakets (siehe Anhang 8.3) verwendet. Die Werte beziehen sich auf die Bruttogeschossfläche des Reihenhausobjekts.

Variante	Heizwärmebedarf [kWh/m ² _{BGF,a}]
Passivhaus, SO-Fassade opak	10,7
Passivhaus, SO-Fassade mit 10 cm Dämmung und Kartonwabe	9,9
Passivhaus, SO-Fassade mit 18 cm Dämmung und Kartonwabe	9,6
Passivhaus, SO-Fassade mit 26 cm Dämmung und Kartonwabe	9,5

Tabelle 5-14: Heizwärmebedarf Passivhaus mit opaker und transluzenter Fassade

Resümee:

Die Ausführung als Passivhaus mit opaker SO-Fassade reduziert den Heizwärmebedarf im Vergleich zur Variante 3 (Kapitel 5.2.2) beträchtlich.

Die weitere Analyse von unterschiedlichen Dämmstärken in Kombination mit der Kartonwabe zeigt, dass bei einem sehr gut gedämmten Gebäude die Energieeinsparungen mit steigender Dämmstärke sinken (siehe Tabelle 5-14).

Die Energieerträge der Solarfassade erreichen während der Heizperiode Werte von max. 10W/m². Bezogen auf die SO – Fassade bedeutet dies eine Leistung von maximal 155W. Dies entspricht der Leistung eines kleinen Haushaltsgeräts. Die Gewinne über innere Wärmequellen und Fensterflächen sind in Relation jedoch wesentlich höher.

Zudem sind die möglichen Erträge über die Solarfassade aufgrund des geringen Gesamtbedarfs und der Dämmstärke reduziert, weshalb der Einsatz der Solarfassade im Passivhaus wirtschaftlich weniger interessant ist als im Niedrigenergiehaus.

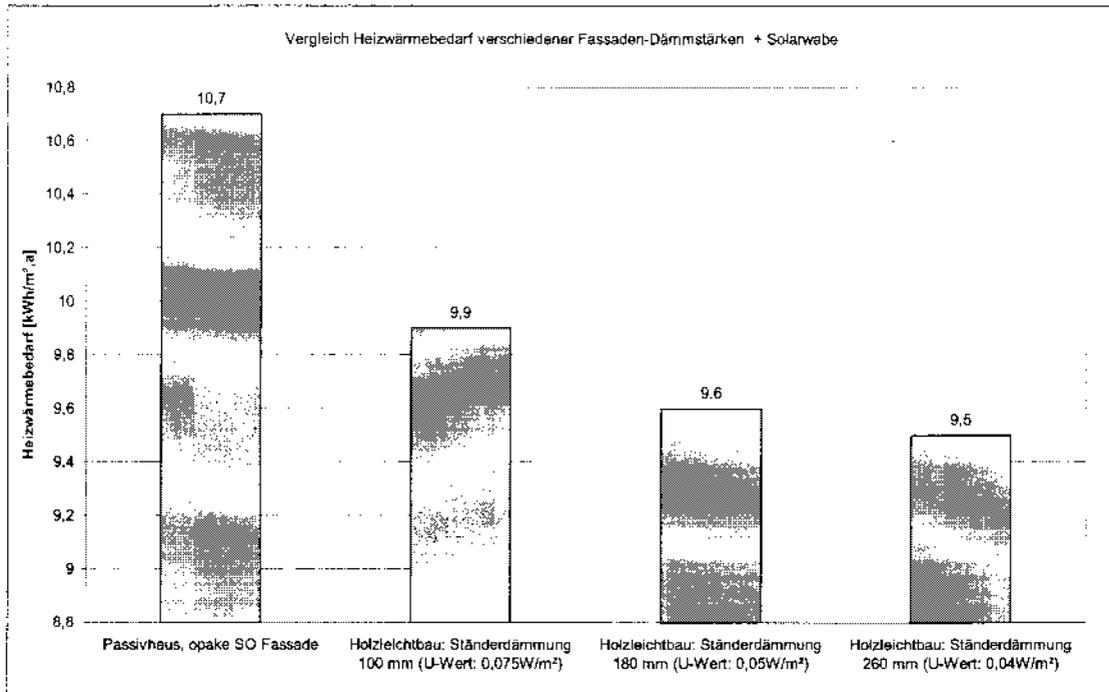


Abbildung 5-15: Vergleich Heizwärmebedarf verschiedener Fassadenvarianten

6 ZUSAMMENFASSUNG

Folgende Ergebnisse wurden im Rahmen des Forschungsvorhabens erzielt:

- Die Messergebnisse des Wärmestroms in der Solarfassade und in der Referenzfassade ergaben deutliche Unterschiede im Verhalten zwischen den beiden Varianten. Diese Unterschiede entsprechen qualitativ den Herstellerangaben: In der Kartonwabenschicht entsteht eine Pufferzone höherer Temperatur, die den Wärmefluss nach außen sowohl reduziert als auch durch die Trägheit der thermischen Masse glättet.
- Bei hohen Einstrahlungswerten wird - auch in kalten Perioden - ein Wärmestrom nach innen erzeugt, der allerdings auf einige Stunden pro Tag beschränkt bleibt.
- Der U-Wert der Fassade lässt sich auf Basis der Messwerte in Abhängigkeit von der Sonneneinstrahlung darstellen und korreliert mit einer Regressionsgeraden, deren Gleichung in Abbildung 5-5 erwähnt ist. Der ermittelte Zusammenhang deckt sich im Wesentlichen mit den publizierten Ergebnissen aus der Literatur. Der über die gesamte Heizperiode gemessene effektive U-Wert von $0,05 \text{ W/m}^2\text{K}$ wurde auch bei anderen Objekten [24], [25] festgestellt.
- Die Monatsmittelwerte des U-Wertes sinken im Großteil der Heizperiode nicht unter 0. Einzig im Oktober und im März/April wurden negative U-Werte (entspricht einer positiven Wärmebilanz mit mehr Wärmetransport nach innen als von innen nach außen) gemessen.
- Die Funktion der Fassade wurde prinzipiell bestätigt. Um eine derzeit wirtschaftliche Alternative zu konventionellen Bauweisen bieten, müsste das Preisgefälle zwischen Massiv- und Leichtbauwand noch weiter reduziert werden. Allerdings hat die Solarfassade im Rahmen der Preisstruktur des gegenständlichen Projektes in den Südseitigen Fassaden durchaus ihre Berechtigung.
- Bei steigendem Dämmstandard des Gebäudes sinken die Energieersparnisse und damit die Wirtschaftlichkeit einer Solarfassade.
- Fließen in die Entscheidung über die Wahl der Komponenten auch ökologischen Parameter ein, wird die Bilanz zugunsten der Leichtbaukonstruktion verschoben (weniger graue Energie, weniger Global – warming - Potential, weniger Versäuerungspotential).
- Die erforderliche Korrektur des Preisgefälles könnte etwa im Rahmen einer Ökologisierung der Förderungsbestimmungen im Wohnungsbau erfolgen.

7 LITERATUR- UND QUELLENVERZEICHNIS

- [1] www.arching.at; Bundeskammer der Architekten und Ingenieurkonsulenten; August 2002
- [2] Danner Dietmar/Dassler Friedrich H./Krause Jan R. (Hrsg.); „Die klima-aktive Fassade“. Mit Beiträgen von Gert Kähler, Matthias Schuler, Gerhard Hausiaden, Helmut F. O. Müller, Ebernhard Oesterle, Guy Battle“, Edition Intelligente Architektur, Verlagsanstalt Alexander Koch GmbH, Leinfelden-Echterdingen; 1999
- [3] Hebenstreit Ing., Wolfgang, Ziviltechnikbüro für Akustik-Lärmschutz „Überprüfung der Wand-, Boden- und Decken-aufbauten in Bezug auf Schall- und Wärmeschutz“ Wohnhausanlage Ternitz, Dezember 1998
- [4] Hausner Dipl.-Ing., Robert / Thür Dipl.-Ing., Alexander; Endbericht zum Forschungsauftrag zur energetischen und ökologischen Beurteilung von Systemen zur transparenten Wärmedämmung, Arbeitsgemeinschaft Erneuerbare Energie Gleisdorf, Oktober 1997
- [5] Wagner Prof. Dr.-Ing., Andreas; „Transparente Wärmedämmung an Gebäuden: ein Informationspaket“; Hrsg. Fachinformationszentrum Karlsruhe, Gesellschaft für Wissenschaftlich-Technische Information mbH; TÜV Rheinland; Köln; 1998
- [6] BINE Informationsdienst; „Transparente Wärmedämmung zur Gebäudeheizung“; Profi Info 1/96; Hrsg. Fachinformationszentrum Karlsruhe, Gesellschaft für Wissenschaftlich-Technische Information mbH
- [7] Herstellerunterlagen ESA-Solarfassade; GAP-Solar GmbH, A-4360 Grein; www.esa-solarfassade.at; Juli 2002
- [8] „Heizen mit der Sonne“ Handbuch zur Planung und Ausführung von solaren Heizungssystemen; Eder Michael et al; Herausgeber und Verleger: Arbeitsgemeinschaft ERNEUERBARE ENERGIE-Gleisdorf; 1997
- [9] www.agsn.de/agsn_texte/energie/waermedaemmung/trwaerdm_inhalt.htm; Juli 2002
- [10] Jauschowitz Dipl.-Ing., Rudolf; „Leitfaden zur Berechnung der Heizlast von Gebäuden“; dbv-Verlag für die Technische Universität Graz; 1987
- [11] Recknagel, Sprenger, Hönnmann; „Taschenbuch für Heizung + Klimatechnik 86/87“; R. Oldenbourg Verlag GmbH, München, 1985
- [12] Papula, Lothar; „Mathematische Formelsammlung für Ingenieure und Naturwissenschaftler“; Friedr. Vieweg & Sohn Verlags-gesellschaft mbH; Braunschweig/Wiesbaden; 1994

- [13] Fluck, Oliver; „Wärmetechnische Vermessung eines Niedrigenergiehauses mit transparenter Wärmedämmung in Donaueschingen“; Fachhochschule Offenburg, Studiengang Versorgungstechnik; Diplomarbeit WS 1995/96
- [14] ÖNORM B 8135; „Vereinfachte Berechnung des zeitbezogenen Wärmeverlustes (Heizlast) von Gebäuden“; 1996
- [15] Niederösterreichische Bautechnikverordnung; 1996
- [16] DIN 4701 Teil 1 und 2; „Regeln für die Berechnung des Wärmebedarfs von Gebäuden“; 1983
- [17] VDI 2067 Blatt 1 und 2; „Berechnung der Kosten von Wärmeversorgungsanlagen“; 1983
- [18] DIN 4108 Teil 5; „Wärmeschutz im Hochbau, Berechnungsverfahren“
- [19] Vorlesungsunterlagen „Solartechnik“; Prof., Dipl.-Ing. Bollin Elmar; Fachhochschule Offenburg
- [20] Vorlesungsunterlagen „Haustechnik“; Prof., Dipl.-Ing. Bollin Elmar; Fachhochschule Offenburg
- [21] Vorlesungsunterlagen „Industrielle Messtechnik“; Prof., Dr. rer. nat. Weichert Norbert; Fachhochschule Offenburg
- [22] Vorlesungsunterlagen „Messwerterfassung und Verarbeitung“; Prof., Dr. rer. nat. Wülker Michael; Fachhochschule Offenburg
- [23] HIRSCHAUER, Irene; Evaluierung der Energieversorgung einer Wohnhausanlage in NÖ, Diplomarbeit 2002 an der Fachhochschule Offenburg
- [24] Passivhaustagung 2003; Tagungsband
- [25] Sonne, Wind und Wärme; Band 4 2003
- [26] OEHME, Ines et. Al.; Ökologische Beschaffung im Hochbau, 2002; Hrsg. iBO

8 ANHANG

MESSDATEN NOVEMBER 2001 – DEZEMBER 2002

8.1 MESSDATEN DEZEMBER 2001

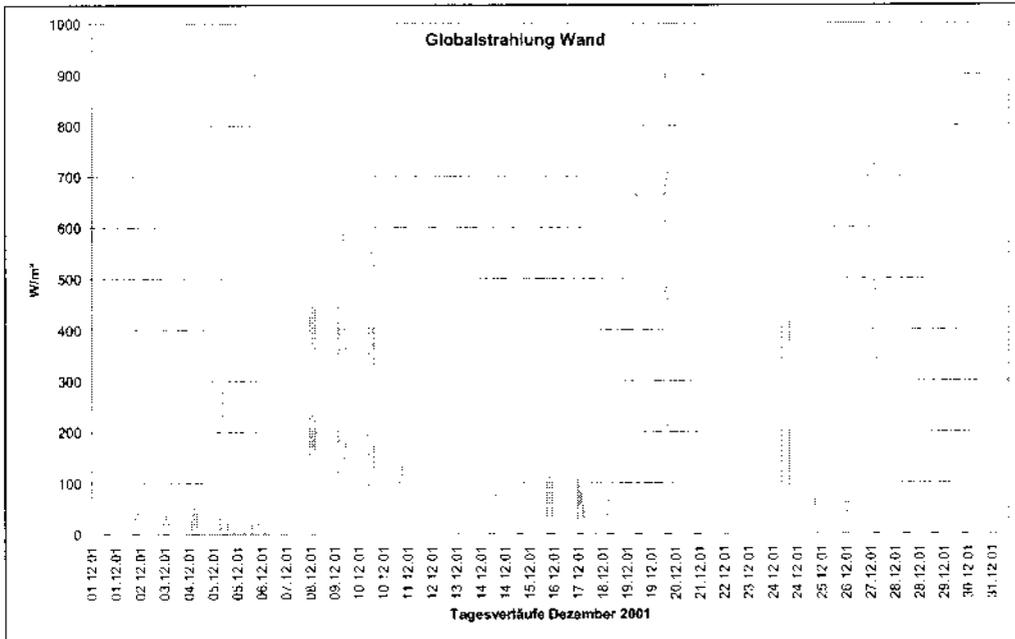


Abbildung 8-1: Tagesverläufe der Globalstrahlung in der Wandebene im Dezember 2001

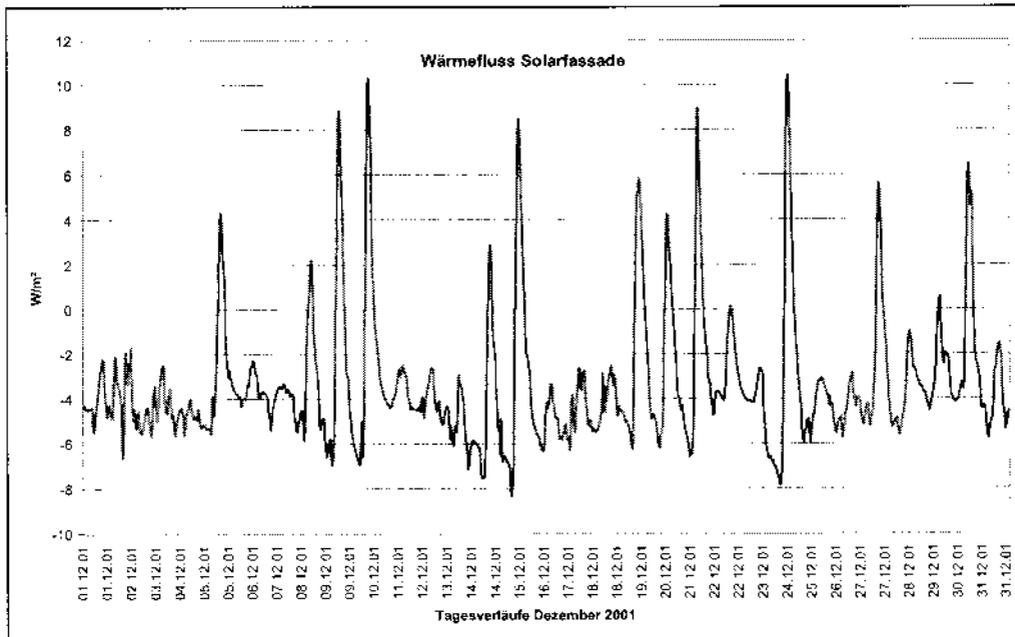


Abbildung 8-3: Tagesverläufe des Wärmeflusses in der Solarfassade im Dezember 2001, negative Werte = Verluste, positive Werte = Gewinne

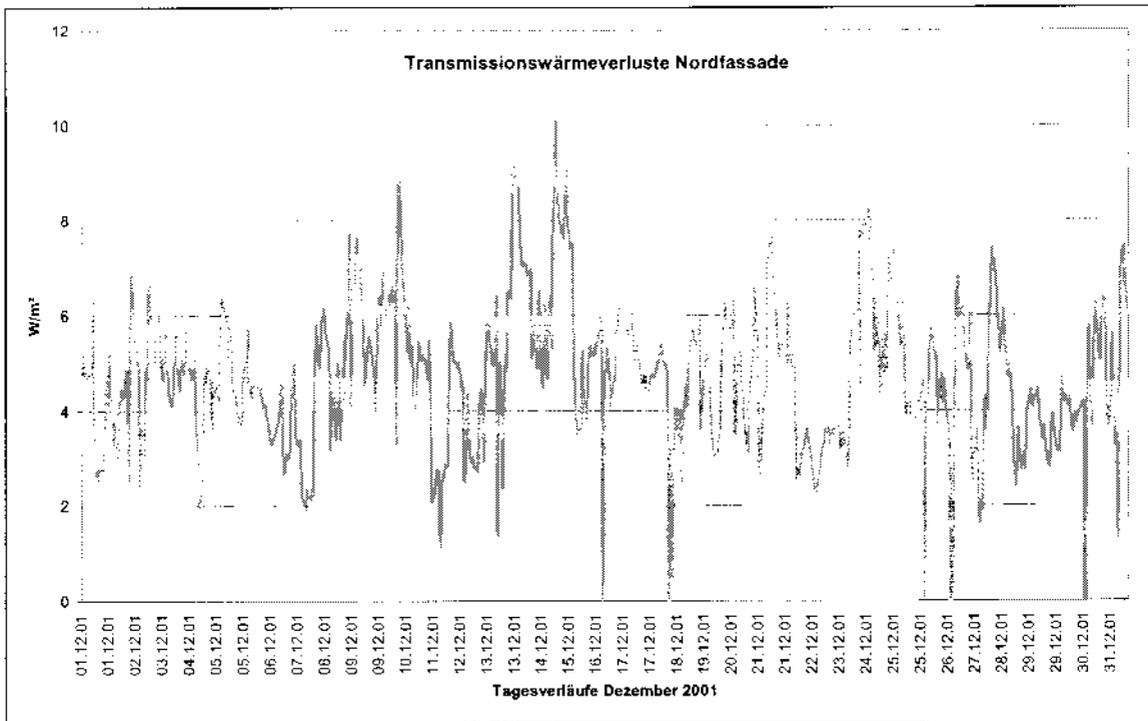


Abbildung 8-5: Tagesverläufe des Wärmefluss (Transmissionswärmeverluste) in der Nordwestfassade, alle Werte sind Verluste

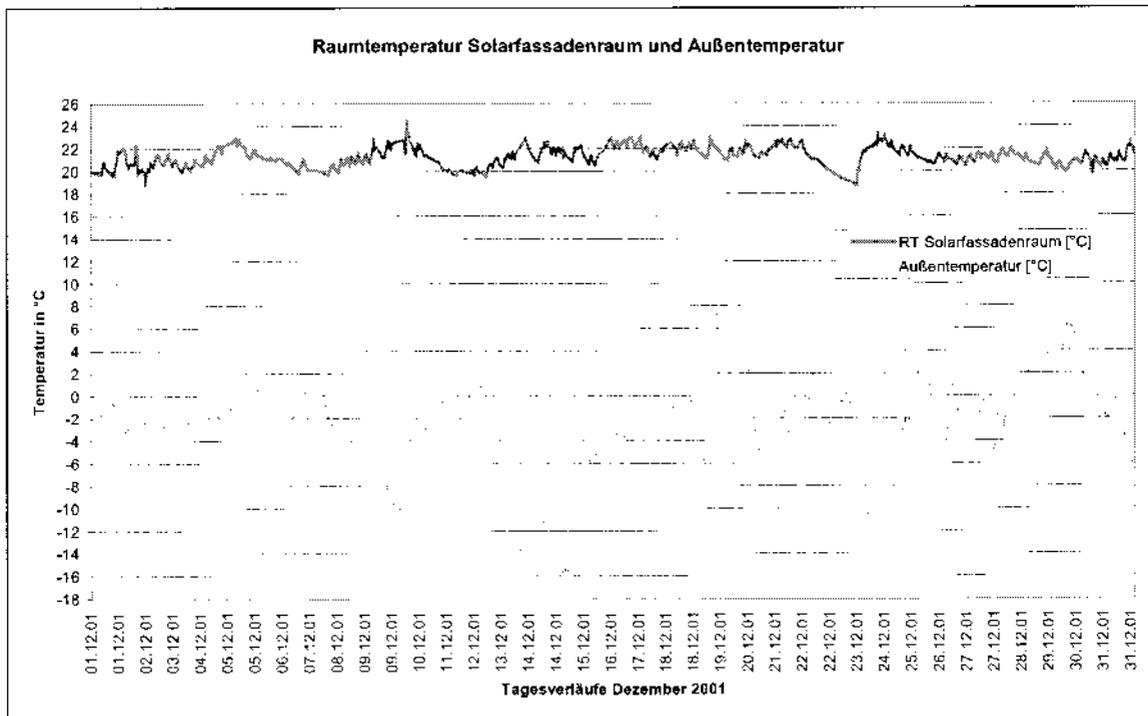


Abbildung 8-7: Tagesverläufe der Raumtemperatur im Solarfassadenraum und der Außentemperatur

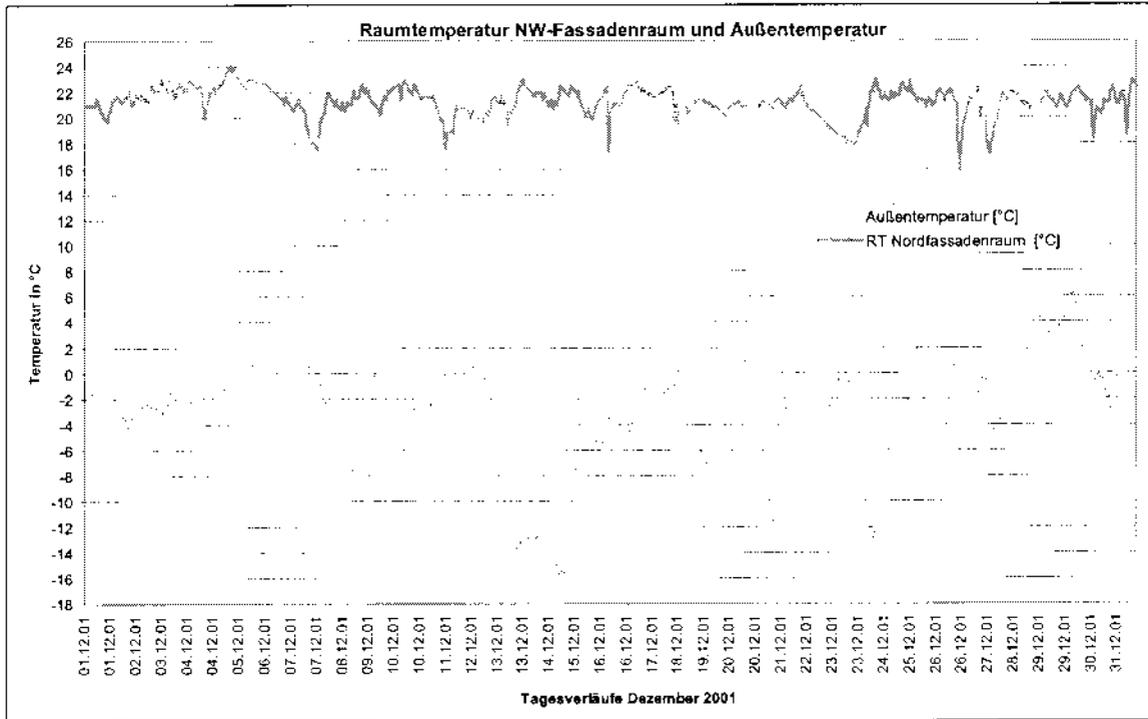


Abbildung 8-9: Tagesverläufe der Temperatur im NW-Fassadenraum und der Außentemperatur

8.2 MESSDATEN JUNI 2002

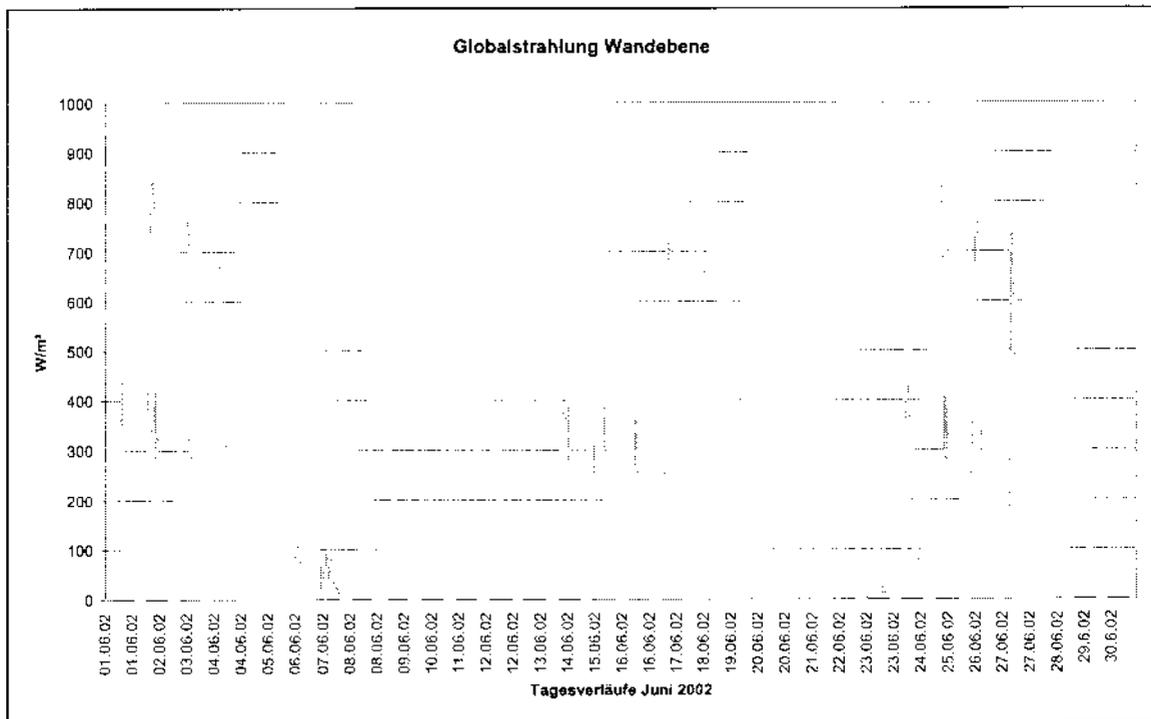


Abbildung 8-11: Tagesverläufe der Globalstrahlung in der Wandebene im Juni 2002

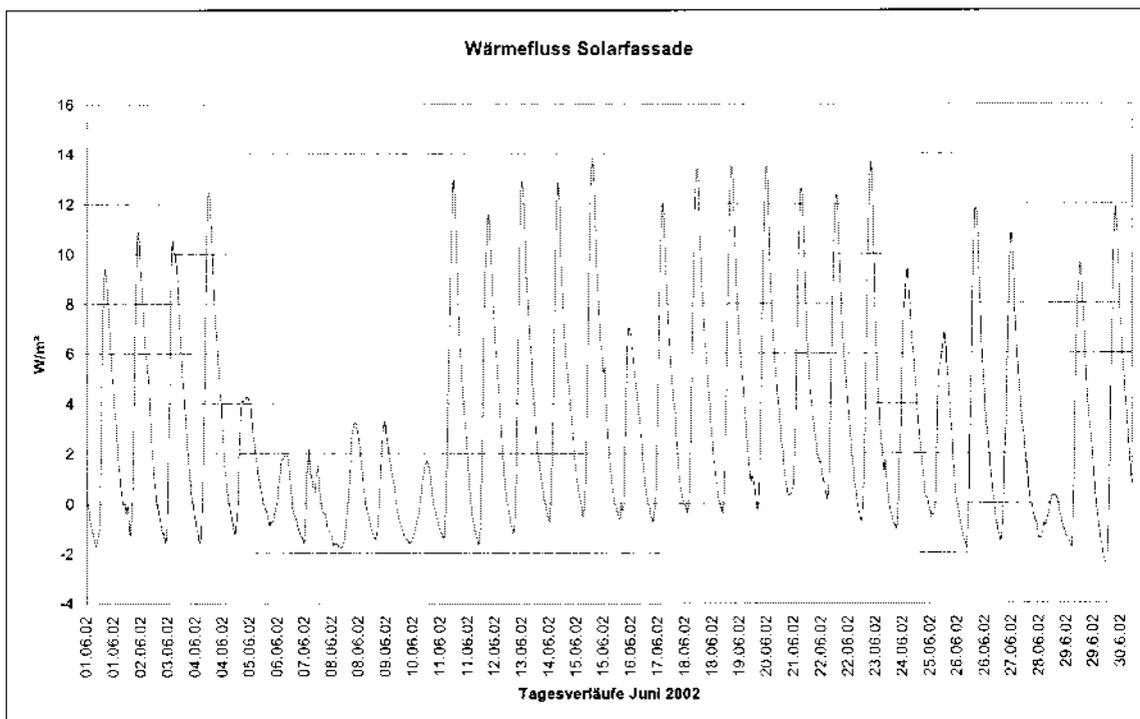


Abbildung 8-13: Tagesverläufe des Wärmeflusses in der Solarfassade im Dezember 2001, negative Werte = Verluste, positive Werte = Gewinne

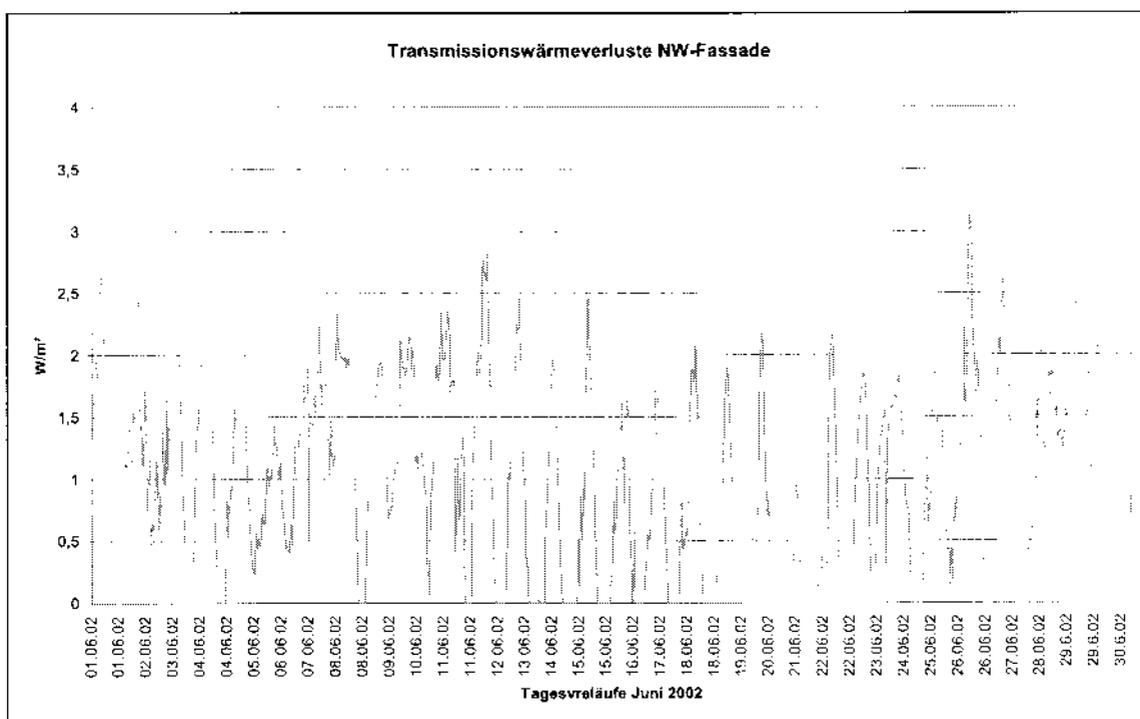


Abbildung 8-15: Tagesverläufe des Wärmefluss (Transmissionswärmeverluste) in der Nordwestfassade, alle Werte sind Verluste

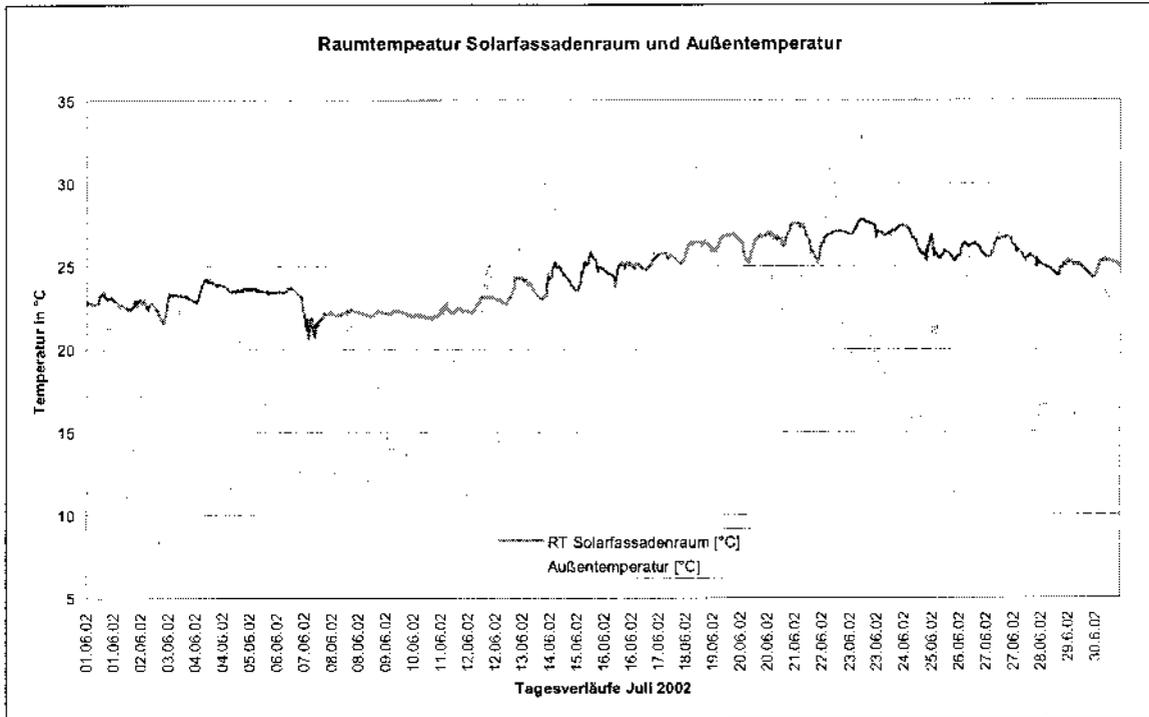


Abbildung 8-17: Tagesverläufe der Raumtemperatur im Solarfassadenraum und der Außentemperatur

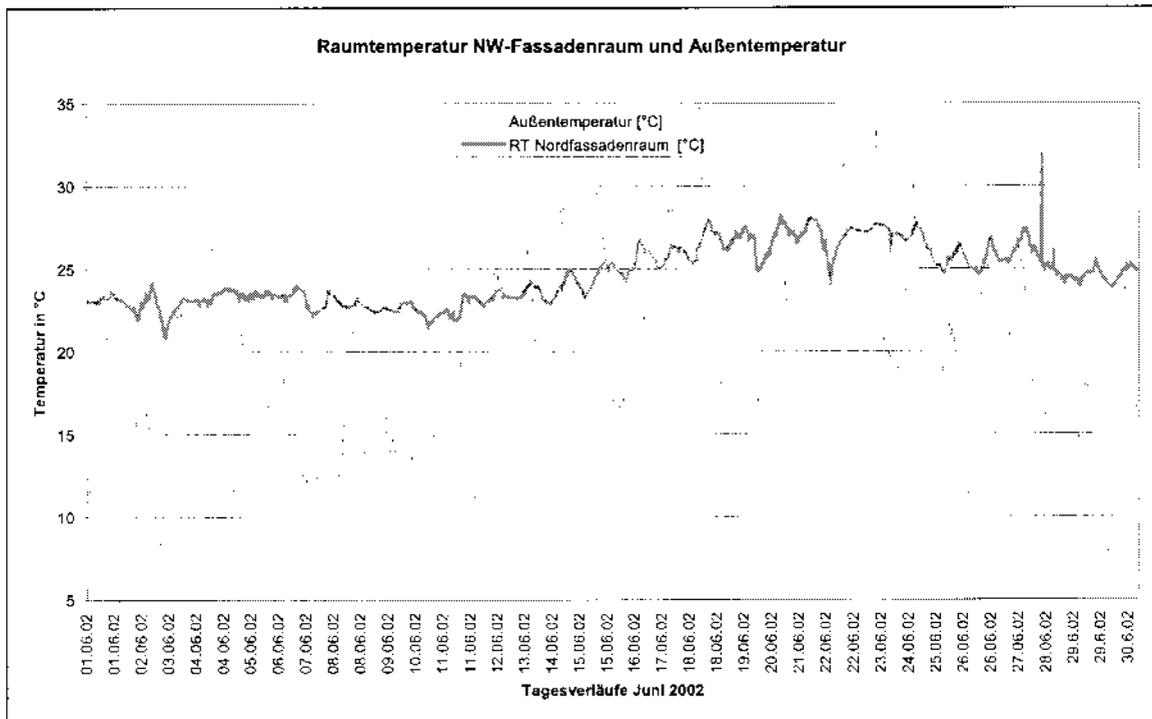


Abbildung 8-19: Tagesverläufe der Temperatur im NW-Fassadenraum und der Außentemperatur

8.3 TABELLEN HEIZWÄRMEBEDARF

Kalkulationstabellen für Variante 1 – 3 Lt. Modif. Passivhaus-Vorprojektierungspaket

ENERGIEKENNWERT HEIZWÄRME

Objekt: NEH Schöllergasse, Massivbauweise, St. HW
Standort: Zentralf

Gebäude-/Nutzung: Reihenhaus / Wohnen
Energiebezugsfläche A_{Ez} : 101,0 m²

Bestelle	Temperaturzone	Fläche m ²	U-Wert W/m ² K	Reduktionsfaktor ξ	G_i kWh/a	κ_{Wz} kWh/m ²	Einheit
1 EG Fußboden	B	41,2	0,310	0,50	57,0	BCU	
2 EG Decke (M. über EG)	X	41,2	0,099	0,00	57,0	=	0
3 EG Außenwand SW	A	4,0	0,266	1,00	57,0	=	116
4 EG Außenwand SE	A	2,5	1,399	1,00	57,0	=	250
6 EG Außenwand NW	A	5,8	1,300	1,00	57,0	=	650
7 EG Decke (Fläche fäch)	B	45,9	0,299	1,00	37,7	=	739
8 EG Außenwand SW	A	15,4	0,299	1,00	37,0	=	359
9 EG Außenwand SE	A	8,0	1,399	1,00	37,0	=	339
5 EG Außenwand NW	A	14,6	0,299	1,00	37,7	=	418
9 EG Außenwand SE NW	A	2,9	1,300	1,00	37,5	=	320
10 U-Wert Vergasung	A		0,70				
11 Wärmebrückenfrei konstruiert	Länge [m]		F-Wert [W/m ² K]				
Wärmebrücken			0,5	1,0	84	=	168
Summe aller U-Wärmer		178,8					kWh/m ²

Transmissionswärmeverluste Q_T

Summe 4076 kWh/a κ_{Wz} 39,5

Lüftungsanlage:

erforderliche Wärmebereitstellungsgrade der Wärmerückgewinnung
Wärmebereitstellungsgrad des Erreichbarkeitskoeffizienten

wirksames Luftvolumen V_L

Wert: 0%

SPWT: 0%

U_{Luft}: 0%

energetisch wirksamer Luftwechsel n_{eff}

0,41

(1 - 0,00)

+ 0,100

= 0,500

A_{Ez} m²: 82,3

lichte Raumhöhe h m: 2,64

= 217,2 m³

Lüftungswärmeverluste Q_L

V_L m³: 217

n_{eff} 1/h: 0,500

C_{Luft} kWh/m³K: 1,35

G_L kWh/a: 27,0

= 3119 kWh/a

κ_{Wz} kWh/m²: 30,2

Summe Wärmeverluste Q_V

G_T kWh/a: 4076

+ G_L kWh/a: 3119

)

Reduktionsfaktor Nachtragswärmereind- absenkung: 1,0

= 7194 kWh/a

κ_{Wz} kWh/m²: 39,7

Ausrichtung der Fläche

Reduktionsfaktor

g-Wert (senkr. Einstr.)

Fläche m²

Globalstr. Heizstr.

κ_{Wz} kWh/a

1 Ost	Rechenwert NW	0,5	0,62	1,19	22,9	=	211
2 Süd	Rechenwert SW	0,5	0,62	3,19	37,0	=	356
3 West	Rechenwert NW	0,5	0,62	1,19	22,9	=	419
4 Nord	Rechenwert SW	0,5	0,62	1,19	22,9	=	130
5 Horizontal					0,0	=	

Summe 1385 kWh/a κ_{Wz} 10,5

Wärmeangebot Solarstrahlung Q_S

Interne Wärmequellen Q_I

Q_{int} kWh/a: 1624

Länge Heizzeit $t_{H,eff}$ h/a: 213

spezif. Leistung q_{int} kWh/m²: 9,0

A_{Ez} m²: 101,2

= 1628 kWh/a

κ_{Wz} kWh/m²: 15,8

Freie Wärme Q_F

$G_S + Q_I$ = 2715 kWh/a

κ_{Wz} kWh/m²: 28,3

Verhältnis Freie Wärme zu Verlusten

Q_F / Q_V = 0,38

Nutzungsgrad Wärmegewinne η_S

$(1 - (Q_F / Q_V)^2) / (1 - (Q_F / Q_V)) = 100\%$

Wärmegewinne Q_G

$\eta_S \cdot Q_I$ = 2700 kWh/a

κ_{Wz} kWh/m²: 25,2

Heizwärmebedarf Q_H

$Q_V - Q_G$ = 4494 kWh/a

κ_{Wz} kWh/m²: 43,5

Tabelle 8-1: Jahres-Heizwärmebedarf Variante 1

ENERGIEKENNWERT HEIZWÄRME

Objekt: MFR Schöllergasse 1-10 in baulose str. BW Gebautyp/Nutzung: Privathaus / Wohnen
 Standort: Ternitz Energiebezugsfläche Ass: 173,2 m²

Bauteile	Temperaturzone	Fläche m ²	U-Wert W/(m ² K)	Reduktionsfaktor f	G _f kWh/a	kWh/a	pro m ² Energiebezugsfläche
1. EG Fußboden	B	41,2	0,378	0,50	67,0	677	
2. EG Decke zw. GG-EG	X	41,2	0,600	0,60	67,0	0	
3. EG Außenwand SW	A	4,0	0,223	1,00	67,0	82	
4. EG Außenwand SO	A	2,3	1,300	1,00	67,0	260	
5. EG Außenwand NW	A	5,8	1,300	1,00	67,0	650	
6. GG Decke (Flachdach)	A	45,9	0,200	1,00	67,0	798	
7. GG Außenwand SW	A	15,4	0,223	1,00	67,0	299	
8. GG Außenfenster SW	A	4,0	1,400	1,00	67,0	339	
9. GG Außenwand NW	A	16,6	0,223	1,00	67,0	321	
10. GG Außenfenster NW	A	2,9	1,300	1,00	67,0	378	
U-Wert Verglasung			0,76				
10. Wärmebrücken konstruiert			0,30				
Wärmebrücken		Länge [m]	Ψ-Wert [W/(mK)]	1,0	84	163	
		U-Wert	0,1				
Summe aller Hüllflächen		170,0					

Transmissionswärmeverluste Q_T Summe 383 kWh/a 33,1 kWh/m²

Lüftungsanlage: effektiver Wärmebereitstellungsgrad der Zirkulationsgewinnung η_{eff} = 75% Wärmebereitstellungsgrad des Erreichwärmehaushalts η_{avr} = 0% energetisch wirksamer Luftwechsel n_L = 0,10	wirksames Luftvolumen V _L m ³ = 62,3 lichte Raumhöhe m = 2,54 resultierendes Luftvolumen V _{eff} m ³ = 217,3 Luftwechsel n _L 1/h = 0,10 resultierende Luftmenge Q _L m ³ /h = 0,500	Reduktionsfaktor f = 0,55 resultierende Wärmeverluste Q _L kWh/a = 3118 kWh/m ² = 30,2
--	---	---

Lüftungswärmeverluste Q_L Summe 3118 kWh/a 30,2 kWh/m²

Summe Wärmeverluste Q_V (383 + 3118) = 3501 kWh/a 63,3 kWh/m²

Ausrichtung der Fläche	Reduktionsfaktor	g-Wert (senk. Einstr.)	Fläche m ²	Globalstr. Heizzeit kWh/m ²	kWh/a	kWh/m ²
1. Ost Fenster 10	0,50	0,62	5,10	222	211	
2. Süd Fenster 8	0,50	0,62	12,10	372	355	
3. West Fenster 10	0,50	0,62	6,30	222	419	
4. Nord Außenfenster 8	0,50	0,62	4,80	142	100	
5. Horizontal				393		
Summe					1085	13,5

Wärmeangebot Solarstrahlung Q_S Summe 1085 kWh/a 13,5 kWh/m²

Interne Wärmequellen Q_I 0,024 kWh/d * 213 d * 30 W/m² = 153,12 kWh/a 15,8 kWh/m²

Freie Wärme Q_F Q_S + Q_I = 2716 kWh/a 23,3 kWh/m²

Verhältnis Freie Wärme zu Verlusten $Q_F / Q_V = 0,38$

Nutzungsgrad Wärmegewinne η_0 $(1 - (Q_T / Q_V)^0) / (1 - (Q_T / Q_V)^0) = 98\%$ 2666 kWh/a 23,1 kWh/m²

Wärmegewinne Q_G $\eta_0 * Q_F = 2666 kWh/a 23,1 kWh/m²$

Heizwärmebedarf Q_H Q_V - Q_G = 436 kWh/a 42,2 kWh/m²

Tabelle 8-2: Jahres-Heizwärmebedarf Variante 2

ENERGIEKENNWERT HEIZWÄRME

Objekt: MFH Schöllergasse, 2WD, SO-Fassade, 178 Lebewohn. Gebäudetyp/Nutzung: Reihenhaus / Wohnen.
 Standort: Ternitz

Baufeld	Temperaturzone	Fläche m²	U-Wert W/(m²K)	Rekulationsfaktor f	G ₀ kWh/a	Q ₀ kWh/a	g ₀ kWh/(m²a)		
1. EG Fußboden	D	41,7	0,348	0,50	87,0	277			
2. EG Decke über 1. EG	X	43,2		0,80	87,0	0			
3. EG Außenwand SO	A	4,9	0,224	1,00	87,0	89			
4. EG Außenwand SW	A	2,3	1,300	1,00	87,0	261			
5. EG Außenwand NW	A	5,8	1,300	1,00	87,0	553			
6. EG Decke (Flachdach)	A	45,9	0,200	1,00	87,0	793			
7. EG Außenwand NO	A	15,4	0,051	1,00	87,0	60			
8. EG Außenfenster SO	A	3,0	1,300	1,00	87,0	339			
9. EG Außenwand NW	A	16,5	0,220	1,00	87,0	317			
10. EG Außenfenster NW	A	2,9	1,300	1,00	87,0	328			
			U-Wert Verglasung						
			0,78						
10. x Wärmehybridkonstrukt	A		1,30	1,00					
Wärmebrücken		Länge [m]	Ψ-Wert [W/(mK)]						
		10,3	0,2	1,0	84	168			
Summe aller Hüllflächen		178							
Transmissionswärmeverluste Q_T						Summe	3695	35,8 kWh/(m²a)	
Luftungsanlage:		wirksames Luftvolumen V _L m³	A _{ES} m²	lignre Raumhöhe m					
effektiver Wärmeerstellungsgrad der Wärmerückgewinnung η _{eff} = 0%			82,3	2,64		217,3			
Wärmeerstellungsgrad des Erdschichtwärmtauschers η _{WT} = 0%									
energetisch wirksamer Luftwechsel n _L = 0,411		n _L Anlage 1/h	Φ _{WRG}	n _L Rest 1/h		1#			
			(1 - 0,00) + 0,100			0,500			
 Lüftungswärmeverluste Q_L		V _L m³	n _L 1/h	Q _{WRG} kWh/a	Q _L kWh/a		kWh/(m²a)		
		217	0,500	0,33	67,0	3119	30,2		
Summe Wärmeverluste Q_V						Q _T kWh/a	Q _L kWh/a	Rekulationsfaktor	
						3695	3119	Nacht/Wocherend- absenkung	1,0
									6815
									68,0 kWh/(m²a)
Ausrichtung der Fläche		Rekulationsfaktor	g-Wert (senkr. Einstr.)	Fläche m²	G ₀ kWh/a	Q ₀ kWh/a	g ₀ kWh/(m²a)		
1. Ost Fassade NW		0,50	0,62	3,11	326	211			
2. Süd Fassade NO		0,50	0,62	3,10	321	353			
3. West Balkon mit NW		0,51	0,62	2,77	286	413			
4. Nord Außenwand SO		0,51	0,62	2,30	140	107			
5. Horizontal									
Wärmeangebot Solarstrahlung Q_S						Summe	1385	10,5 kWh/(m²a)	
interne Wärmequellen Q _I		η _{int}	Länge Heizzeit dh	spezif. Leistung q _I W/m²	A _{ES} m²	Q _I kWh/a	g _I kWh/(m²a)		
		0,024	219	2,11	103,2	1627	15,8		
Freie Wärme Q_F						Q _S + Q _I	2713	23,3 kWh/(m²a)	
Verhältnis Freie Wärme zu Verlusten						Q _F / Q _V	0,40		
Nutzungsgrad Wärmegewinne η ₃						(1 - (Q _F / Q _V) ²) / (1 - (Q _S / Q _V) ²)	99%		
Wärmegewinne Q_G						η ₃ * Q _F	2693	26,1 kWh/(m²a)	
Heizwärmebedarf Q_H						Q _V - Q _G	419	39,9 kWh/(m²a)	

Tabelle 8-3: Jahres-Heizwärmebedarf Variante 3

ENERGIEKENNWERT HEIZWÄRME

Objekt: MEH Schöllergasse HW-S0-Fassade im Passivhaus-Standard		Standort: Ternitz		Gebäudetyp/Nutzung: Reihenhaus / Wohnen		Energiebezugsfläche A_{Ez} : 113,2 m ²		pro m ² Energiebezugsfläche	
Bauteile	Temperaturzone	Fläche m ²	U-Wert W/(m ² K)	Reduktionsfaktor ψ	U_{eff} kK/m ²	Q_{tr} kWh/a	Q_{tr}/A_{Ez} kWh/m ²		
1 EG: Fußboden	B	41,2	0,150	0,50	87,0	289	2,55		
2 EG: Decke zw. 0% EG	A	41,2		0,80	87,0	0	0,00		
3 EG: Außenwand SO	B	4,0	0,150	1,00	87,0	60	0,53		
4 EG: Außenur. SO	A	2,3	0,800	1,00	87,0	100	0,88		
5 EG: Außenur. NW	A	5,3	0,800	1,00	87,0	400	3,53		
6 EG: Decke (Flachdach)	A	45,9	0,120	1,00	87,0	479	4,23		
7 EG: Außenwand SO	B	15,4	0,150	1,00	87,0	201	1,77		
8 EG: Außenfenster SO	A	3,0	0,800	1,00	87,0	209	1,85		
9 EG: Außenwand NW	B	16,8	0,150	1,00	87,0	215	1,90		
10 EG: Außenfenster NW	A	2,0	0,800	1,00	87,0	202	1,78		
J-Wert Vergasung			0,70						
10. Wärmebrückenfrei konstruiert									
Wärmebrücken		Länge [m]	Ψ -Wert [W/(m ² K)]						
		2,7	0,1	1,0	84	163	1,44		
Summe aller Hilfflächen		178,3							
Transmissionswärmeverluste Q_T						Summe	2364	20,9	
Luftungsanlage:		wirksames Luftvolumen V_L		A_{Ez} m ²	lichte Raumhöhe m	V_L m ³			
effektiver Wärmebereitstellungsgrad der Wärmeabgewinnung η_{eff}		80%		82,3	2,54	217,3			
Wärmebereitstellungsgrad des Bereichswärmtauschlers η_{BWT}		20%							
energetisch wirksamer Luftwechsel n_L		$n_{L,Anlage}$ 1/h	Φ_{WWS}	$n_{L,Rest}$ 1/h	n_L				
		0,40	0,64	0,042	0,106				
Luftungswärmeverluste Q_L		V_L m ³	n_L 1/h	$Q_{L,Anlage}$ kWh/a	Q_L kWh/a	Q_L/A_{Ez} kWh/m ²			
		217	0,106	661	661	5,82			
Summe Wärmeverluste Q_V		Q_T kWh/a	Q_L kWh/a	Reduktionsfaktor	Nacht/Wochenendaussenkung	Q_V kWh/a	Q_V/A_{Ez} kWh/m ²		
		2364	661	1,0		3025	26,7		
Ausrichtung der Fläche		Reduktionsfaktor	g-Wert (sonn. Einstr.)	Fläche m ²	Globale Heizzeit kWh/m ²	Q_S kWh/a	Q_S/A_{Ez} kWh/m ²		
1. Ost Fenster NW		0,50	0,50	3,20	2,0	171	1,51		
2. Süd Fenster SO		0,50	0,50	3,10	370	287	2,53		
3. West Balkontur NW		0,50	0,50	2,01	2,5	333	2,94		
4. Nord Außenur. SO		0,50	0,50	1,00	14,0	81	0,71		
5. Horizontal					56,0		0,49		
Wärmeangebot Solarstrahlung Q_S						Summe	875	7,7	
Interne Wärmequellen Q_I		1/h	lange Heizzeit a/a	spezif. Leistung q _I W/m ²	A_{Ez} m ²	Q_I kWh/a	Q_I/A_{Ez} kWh/m ²		
		0,024	213	2,1	133,7	1139	10,06		
Freie Wärme Q_0						$Q_S - Q_I$	2014	17,8	
Verhältnis Freie Wärme zu Verlusten						Q_0 / Q_V	0,67		
Nutzungsgrad Wärmegewinn η_0						$(1 - (Q_0/Q_V)^0,5) / (1 - (Q_0/Q_V)^0,6)$	85%		
Wärmegewinne Q_G						$\eta_0 \cdot Q_0$	1718	15,2	
Heizwärmebedarf Q_H						$Q_V - Q_G$	1167	10,3	

Tabelle 8-4: Variante Reihenhaus in Passivhaus-Bauweise

ENERGIEKENNWERT HEIZWÄRME

Objekt: MFH Schöllergasse HR-20, Fassade, 10m
 Passivhaus-Standard, SO-Fassade mit
 Standort: Ternitz

Gebaudetyp/Nutzung: Reihenhaus / Wohnen
 Energiebezugsfläche A_{Eg} : 103,0 m²

Beachte	Temperaturzone	Fläche m ²	U-Wert W/(m ² K)	Reduktionsfaktor f	G_0 kWh/a	Q_T kWh/a	pro m ² Energiebezugsfläche kWh/(m ² a)
1. EV Fußboden	B	41,2	0,150	0,50	87,0	289	
2. EG Decke zw. OG-EG	X	41,2		0,80	87,0	0	
3. EG Außenwand SO	A	4,6	0,150	1,00	87,0	50	
4. EG Außenwand NW	A	2,3	0,200	1,00	87,0	160	
5. EG Außenwand SW	A	5,8	0,200	1,00	87,0	400	
6. OG Decke (Flachdach)	A	45,0	0,120	1,00	87,0	479	
7. OG Außenwand SO	A	15,4	0,140	1,00	87,0	54	
8. OG Außenfenster SO	A	3,0	0,800	1,00	87,0	209	
9. OG Außenwand NW	A	10,6	0,150	1,00	87,0	218	
10. OG Außenfenster NW	A	2,0	0,800	1,00	87,0	202	
U-Wert Verglasung			0,70				
10	A		1,30	1,00			
wärmelückenfrei konstruiert		Länge [m]	U-Wert [W/(m ² K)]				
Wärmebrücken		2,5	0,1	1,0	84	168	
Summe aller Hüllflächen		178,8					
Summe:						2217	21,6

Transmissionswärmeverluste Q_T

Lüftungsanlage:	wirksames Luftvolumen V_L m ³	A_{Eg} m ²	lichte Raumhöhe m	n m ³
effektiver Wärmeerstellungsgrad der Wärmerückgewinnung η_{eff} 80%		82,3	2,64	217,3
Wärmeerstellungsgrad des Einreichwärmehaushalts η_{wrt} 2,0	PL Anlage 1/h			
energetisch wirksamer Luftwechsel n_L 0,10	Φ_{WRG} 0,84			
	$\Phi_{L,Res}$ 0,042			
	n_L 0,136			

Lüftungswärmeverluste Q_L

V_L m ³	n_L 1/h	$Q_{L,th}$ kWh/(m ² h)	G_0 kWh/a	kWh/(m ² a)
217	0,106	0,33	87,0	6,4

Summe Wärmeverluste Q_V

Q_T kWh/a	Q_L kWh/a	Reduktionsfaktor Nach-/Wochenabsenkung	Q_V kWh/a	kWh/(m ² a)
2217	861	1,0	2879	27,9

Wärmeangebot Solarstrahlung Q_S

Ausrichtung der Fläche	Reduktionsfaktor	g-Wert (senkr. Einstr.)	Fläche m ²	Globalstr. Heizzeit kWh/(m ² a)	Q_S kWh/a	kWh/(m ² a)
1. Ost Balkonier NW	0,50	0,50	3,10	271	171	
2. Süd Balkonier SW	0,50	0,50	3,10	373	287	
3. West Balkonier NW	0,50	0,50	6,10	326	338	
4. Nord Außenwand SW	0,50	0,50	1,40	140	81	
5. Horizontal				361		
Summe:					375	3,5

Interne Wärmequellen Q_I

kWh/d	Länge Heizzeit d/a	spezif. Leistung e-I W/m ²	A_{Eg} m ²	Q_I kWh/a	kWh/(m ² a)
0,024	218	> 1	103,2	1139	11,0

Freie Wärme Q_F $Q_S + Q_I = 2014$ kWh/a $19,5$ kWh/(m²a)

Verhältnis Freie Wärme zu Verlusten $Q_F / Q_V = 0,70$

Nutzungsgrad Wärmegewinne η_g

$\eta_g = (Q_F / Q_V)^{\beta} / (1 - (Q_F / Q_V)^{\beta}) = 84\%$

Wärmegewinne Q_g

$\eta_g \cdot Q_F = 1899$ kWh/a $18,4$ kWh/(m²a)

Heizwärmebedarf Q_H

$Q_V - Q_g = 379$ kWh/a **9,5** kWh/(m²a)

Tabelle 8-5: Variante Reihenhaus in Passivhausbauweise und Solarwabe in SO-Fassade