
ENDBERICHT

Energetische Diagnose von Gebäuden (Phase II)

AG Solar NRW

(Förderkennzeichen 514 – 253 133 96)

Laufzeit: 01.01.1996 – 31.12.1999

Autoren: Dipl.-Phys. D. Schulze-Kegel

Prof. Dr. F. D. Heidt

Februar 2000

Prof. Dr. F. D. Heidt, Universität-Gesamthochschule Siegen, Fachgebiet Bauphysik &
Solarenergie

Walter-Flex-Straße, D-57068 Siegen, Telefon: +49-271-7403817, Telefax: +49-271-7403820

e-mail: heidt@physik.uni-siegen.de • WWW: <http://nesa1.uni-siegen.de>

INHALTSVERZEICHNIS

1	EINFÜHRUNG	1
2	BESCHREIBUNG DER VERMESSENEN OBJEKTE	3
3	SENSORIK, DATENERFASSUNG, DATENVERARBEITUNG UND DOKUMENTATION	6
3.1	Meteorologie	6
3.2	Energieströme	6
3.3	Gebäudeinnenklima	7
3.4	Lüftungsanlagen	7
3.5	Meßwerterfassung und -verarbeitung	8
3.6	Meßdatenbanken	8
4	EXEMPLARISCHE AUSWERTUNGSERGEBNISSE	11
4.1	Meteorologische Daten	11
4.2	Lüftungsanlagen	12
4.3	Heizleistung und täglicher Heizwärmebedarf	13
4.4	Bilanzierung der Energieströme	13
4.5	Thermischer Komfort	17
4.6	Zusammenfassung	17
5	AUSGEWÄHLTE CHARAKTERISTIKA DER VERMESSENEN GEBÄUDE	19
5.1	Solarhaus Issum	19
5.2	Bürogebäude Issum	20
5.3	EFH Neunkirchen	22
5.4	Hypokaustenhaus Rüggeberg	23
5.5	MF-NEH Essen (diagonale Grundrißteilung)	24
5.6	MF-NEH Essen (orthogonale Grundrißteilung)	27
5.7	ZF-NEH Witten	30
5.8	NEH-Laborgebäude Köln	31
5.9	Energiespeicherhaus Düren	32
5.10	NE-Fertighaus Hünsborn	33

	II	
5.11	NE-Sanierung Wenden	35
5.12	ZF-PH Hillmicke	37
5.13	EF-PH Hohkeppel	38
5.14	Schulgebäude Hilden	40
6	ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK	42
7	DANK	43
8	LITERATUR	44
8.1	Eigene Veröffentlichungen	44
8.2	Andere Quellen	45
9	ANHÄNGE	
9.1	A1 – Liste der Objekte / Bauherren	

Die Anhänge 9.2 bis 9.4 können von Ihnen auf unserer Website "<http://nesa1.uni-siegen.de>" eingesehen und heruntergeladen werden.

1 Einführung

Der hiermit vorgelegte Abschlußbericht zum Forschungsvorhaben „Energetische Diagnose von Gebäuden II“ im Themenfeld NESAs (Niedrig-Energie-Solar-Architektur) der Arbeitsgemeinschaft Solar NRW (Förderkennzeichen: 514 – 253 133 96) beschreibt die Arbeiten und Ergebnisse aus dem Zeitraum vom 1. Januar 1996 bis zum 31. Dezember 1999. Wie in der vorausgegangenen Phase I war das Forschungsvorhaben personell mit einem wissenschaftlichen Mitarbeiter besetzt.

Um eine Vielfalt von Gebäudespezifikationen abzudecken, wurden insgesamt 14 interessante Gebäude ausgewählt, die sich hinsichtlich des Gebäudetyps, der Nutzung, der Bauweise sowie des solaren und energiesparenden Konzepts unterscheiden. Mit Standardmessungen wurden diese Objekte hinsichtlich des Energiebedarfs, der Raumtemperaturen und des Außenklimas vor Ort erfaßt. Sämtliche Meßeinrichtungen wurden nach Abschluß einer mindestens 12-monatigen Vermessungsdauer wieder abgebaut.

Zur Zielsetzung des Vorhabens zählte, durch konsistent durchgeführte Messungen an Gebäuden und vollständige Beschreibung der Datenerfassung und Verwaltung der Meßdaten eine Grundlage für Analysen, insbesondere unter NESAs-Gesichtspunkten, zu schaffen. Durch Dokumentation der unmittelbaren Meßdaten in allgemein zugänglichen Datenbanken stehen die Meßergebnisse aus den einzelnen Gebäuden auch anderen Nutzern für spätere Auswertungen zur Verfügung.

Zu den Randbedingungen des Meßprogramms gehörte die Verwendung einheitlicher Meßtechnik und Auswertungsprozeduren sowie eine Beschränkung der Meßeinrichtungen auf minimale Sensorik, wie später noch erläutert wird. Obschon Benutzerverhalten und Lüftungssituationen meßtechnisch nicht direkt erfaßt wurden, bietet der geschaffene Datenbestand die prinzipielle Möglichkeit diesbezüglicher Analysen (z.B. Lüftung: Temperaturverlaufsanalyse zusammen mit Heizbetrieb).

Weitergehende wissenschaftliche Aspekte, wie z.B. die Parameteridentifikation von mathematischen Modellen des Gebäudewärmehaushalts durch Analyse der gemessenen Zeitreihen, konnten nur teilweise erfaßt werden [2, 4, 5]. Die geplanten Arbeiten zum Short Term Monitoring konnten aus finanziellen Gründen nicht durchgeführt werden.

Das folgende Kapitel 2 listet die vermessenen Gebäude auf, zeigt die geographische Verteilung ihrer Standorte und stellt die spezifischen Merkmale der erfaßten Häuser übersichtlich dar. Zudem wird die Struktur der im Anhang A 2 enthaltenen Objektbeschreibungen erläutert.

Kapitel 3 beinhaltet allgemeine Informationen zur Sensorik, Datenerfassung und Meßdatenverarbeitung sowie eine Übersicht und Erläuterung der im Anhang A 4 dokumentierten Meßdaten.

In Kapitel 4 wird am Beispiel eines Gebäudes die Struktur des Anhangs A 2 erläutert, der die für alle Gebäude nach gleicher Vorgehensweise gewonnenen Auswertungsergebnisse zusammenfaßt.

Das Kapitel 5 enthält zu jedem Gebäude eine Charakterisierung der meteorologischen Bedingungen, der Gebäudetechnik und des Heizwärmebedarfs sowie eine Bilanzierung der Energieströme und Angaben zum thermischen Komfort.

In Kapitel 6 wird abschließend auf die Verfügbarkeit der dokumentierten Meßdatenbanken im Internet hingewiesen.

2 Beschreibung der vermessenen Objekte

Im Rahmen des Forschungsprojekts wurden insgesamt 14 Gebäude in Nordrhein-Westfalen an das Datenerfassungsnetz angeschlossen. Adressen und Bauherren dieser Objekte sind in Anhang A1 aufgelistet. Abbildung 1 zeigt die geographische Verteilung der Standorte der entsprechenden Gebäude:



Abbildung 1: Geographische Verteilung der Meßstandorte in NRW.

- | | |
|---|------------------------------|
| 1. Solarhaus Issum | 8. NEH-Laborgebäude Köln |
| 2. Bürogebäude Issum | 9. Energiespeicherhaus Düren |
| 3. EFH Neunkirchen | 10. NE-Fertighaus Hünsborn |
| 4. Hypokaustenhaus Rüggeberg | 11. NE-Sanierung Wenden |
| 5. MF-NEH Essen (diagonale Grundrißteilung) | 12. ZF-PH Hillmicke |
| 6. MF-NEH Essen (orthogonale Grundrißteilung) | 13. EF-PH Hohkeppel |
| 7. ZF-NEH Witten | 14. Schulgebäude Hilden |

Die Meßobjekte wurden so ausgewählt, daß möglichst unterschiedliche bauliche und anlagentechnische Konzepte zum Energiesparen und zur solaren Energiegewinnung untersucht werden können. In Tabelle 1 sind die spezifischen Merkmale der meßtechnisch erfaßten Gebäude in einer Übersichtsmatrix zusammengestellt. Sie illustriert die Vielzahl der verwirklichten Konzepte.

Spezifikation der vermessenen Gebäude	Gebäude													
	Solarhaus Issum	Bürogebäude Issum	EFH Neunkirchen	Hypokaustenhaus Rüggeberg	MF-NEH Essen (diagonale Grundrißteilung)	MF-NEH Essen (orthogonale Grundrißteilung)	ZF-NEH Witten	NEH-Laborgebäude Köln	Energiespeicherhaus Düren	NE-Fertighaus Hünsborn	NE-Sanierung Wenden	ZF-PH Hillmicke	EF-PH Honkeppel	Schulgebäude Hilden
Charakteristika														
Massivbau	X	X	X	X	X	X		X	X		X	X		X
Leichtbau							X			X			X	
Isolierverglasung			X											
Wärmeschutzverglasung	X	X		X	X	X	X		X	X	X			
Superverglasung								X			X	X	X	X
Fenstersystem	X	X												X
Wintergarten	X			X										
Wasserkollektoren			X	X			(X)				X	X	X	
Luftkollektoren				X			(X)							
Photovoltaik				X										
Gasbrennwerttherme				X			X				X	X		X
Fernwärmeheizanschluß								X		X				
Wärmepumpe mit WT im Erdreich	X	X	X		X	X			X					
elektrische Warmwasserbereitung	X	X	X		X	X			X				X	
Luft-Erdreichwärmetauscher	X	X						X				X	X	
Transmissionswärmetauscher									X					
zentrale Lüftung mit WRG		X					(X)	X	X	X		X	X	
zentrale Lüftung ohne WRG														
dezentrale Lüftung mit WRG	X										X			X
dezentrale Lüftung ohne WRG					X	X					X			
Hypokauste				X										
Fußbodenheizung	X	X	X		X	X			X	X	X			X
Deckenheizung									X					
Warmluftheizung							(X)	X	X			X	X	
zwangsbelüftete Konvektorheizung	X													
elektrischer Heizlüfter					X	X								
Radiatoren				X			X	X			X	X		

Tabelle 1: Spezifikation der vermessenen Gebäude

Der Anhang **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** enthält die Gebäudedatenblätter der vermessenen Objekte. Dort werden die Detailinformationen nach Gebäuden getrennt in Unterkapiteln aufgelistet. Jede Objektbeschreibung enthält folgende Punkte:

- Photographie des Gebäudes
- Kurzbeschreibung
- Adresse des Bauherrn
- Adresse des Architekten
- Standort des Gebäudes
- Lageplan
- Ansichten der Fassaden
- Kompaktheit der Gebäudehülle
- Ausrichtung der Hauptfassade
- Fenster- und Türenart
- Gesamtfensterfläche und Fensterflächenanteile nach Orientierungen getrennt
- Verschattungselemente
- Bauteilbeschreibungen mit k-Werten
- Geschoßgrundrisse
- Nutzungsbedingungen
- Aufriß
- Angaben zur Gebäudetechnik (Heizsystem, Lüftungssystem, etc.)
- Spezielle Maßnahmen zur Vermeidung von Wärmebrücken
- Gebäudedichtheit
- Baukosten (falls bekannt)
- Zeitraum der Vermessung
- Energiekennwerte (Heizenergiebedarf, Heizenergieverbrauch)

3 Sensorik, Datenerfassung, Datenverarbeitung und Dokumentation

Zur Überprüfung der Energiebilanz und Analyse des thermischen Raumklimas wurde jedes Gebäude mit einer minimalen Sensorik ausgestattet (Klimadaten, Energieströme, Zonentemperaturen), die in standardisierter Meßtechnik ausgeführt war (Wärmemengenzähler, Zähler für elektrische Energie, globale Solarstrahlung, Außenlufttemperatur, Windgeschwindigkeit, Raumluft- und Wand-Temperaturen in diversen Zonen, etc.). Datenaufbereitung und -erfassung (z.B. Signalverstärkung, Kalibrierung, Umrechnung) geschahen in automatisierter Weise über Datenlogger. Die Beschränkung auf eine zwar ausreichende, aber möglichst geringe Anzahl von Meßstellen folgte aus der Erfahrung, daß bei einer zu großen Anzahl von Daten deren Verarbeitung nicht mehr sichergestellt ist. Im Anschluß werden die meßtechnisch erfaßten physikalischen Größen nach Themenbereichen getrennt erläutert.

3.1 Meteorologie

Die meteorologischen Kenngrößen werden in der Regel auf einem Mast in 5 m Höhe über dem Erdboden in der unverschatteten Umgebung des Gebäudes gemessen. Die auf die horizontale Ebene auftreffende Globalstrahlung dient zur Berechnung der durch die transparenten Bauteile ins Gebäude eintretenden solaren Gewinne. Die in Südrichtung auf die Vertikale auftreffende Globalstrahlung wird ebenfalls gemessen; deren Meßergebnisse werden dazu benutzt, die oben erwähnten Berechnungen der solaren Einstrahlung auf geneigte Flächen zu überprüfen. Die Heizlast kann – insbesondere bei undichten Gebäuden – mit Windgeschwindigkeit korreliert sein. Letztere wird aufgezeichnet, um dies überprüfen zu können. Insgesamt werden folgende Größen erfaßt:

- Globalstrahlung auf die Horizontale,
- Globalstrahlung auf eine vertikale Südfläche,
- Außenlufttemperatur und
- Windgeschwindigkeit.

3.2 Energieströme

Neben der Solarstrahlung gibt es zwei weitere Energieströme, die in ein Gebäude eingebracht werden. Die Heizenergie zum Betrieb einer Radiatoren- oder Fußbodenheizung wird in Form von warmem Wasser zugeführt. Sie wird mittels eines im Vor- und Rücklauf befindlichen Wärmemengenzählers direkt gemessen. Die elektrische Energie, die in einem Haus verbraucht wird, wird zu 100 % in thermische Energie umgewandelt. Sie wird gemessen und muß zum Aufstellen der Gebäudeenergiebilanz bekannt sein.

Bei einigen Fußbodenheizsystemen werden die Wärmemengen indirekt über Volumenstromzähler und Vorlauf-Rücklauf-Temperaturdifferenzen bestimmt. Ebenso wird der Nutzwärmeverbrauch für die Warmwasserbereitung unter Verwendung der mit Rohranlegefühlern (Folien-Pt100) gemessenen Temperaturerhöhung und des mit einer Wasseruhr erfaßten Warmwasserverbrauchs bestimmt. Kurze Zapfraten des Warmwassers

führen jedoch häufig zu ungenauen Meßwerten der Temperaturerhöhung, da die Messung der Temperatur an der Rohroberfläche unter der Wärmedämmung und nicht direkt im Fluid erfolgt. Zur Berechnung der Nutzwärmeverbräuche werden daher Tagesmaxima der Vorlauftemperaturen (warm) und Tagesminima der Rücklauftemperaturen (kalt) herangezogen. Deshalb werden aufgezeichnet:

- Heizenergieeintrag,
- elektrischer Energieeintrag,
- Volumenströme,
- Vorlauf- und Rücklauftemperaturen

3.3 Gebäudeinnenklima

Die Wärmeverluste eines Gebäudes sind direkt proportional zur Differenz von Innen- und Außentemperatur. Auch der Luftfeuchteunterschied zwischen innen und außen bewirkt einen Energieaustausch, da sich die Enthalpie von Luft mit der Luftfeuchtigkeit verändert. Die Gebäudeinnentemperatur bzw. Raumlufttemperatur ist eine fiktive Größe, die sich aus den Temperaturen der einzelnen Zonen innerhalb des Gebäudes zusammensetzt. Daher müssen die Lufttemperaturen an mehreren Stellen über die Geschosse verteilt gemessen werden. Zur exakten Beschreibung der Dynamik des thermischen Gebäudeverhaltens – insbesondere bei Massivbauten – ist die Erfassung von Wandtemperaturen notwendig. Bei den Gebäuden in Leichtbauweise spielt der Einfluß der Wärmespeicherung in den Wänden – aufgrund der viel geringeren Wärmekapazität der Holzrahmenwände – auf diese Dynamik eine untergeordnete Rolle. Daher kann auf die Aufzeichnung dieser Temperaturen verzichtet werden. Die Lage der entsprechenden Sensoren für den Bereich des Gebäudeinnenklimas kann den Abbildungen im Anhang A4 entnommen werden. Die Meßgrößen sind:

- Raumlufttemperaturen (in allen Gebäuden)
- Wandtemperaturen (in allen Massivbauten)
- Raumluftfeuchten (nur im NE-Fertighaus Hünsborn)

3.4 Lüftungsanlagen

Die Lüftungsanlagen sind in einigen Gebäuden (Nr. 8, 9, 10, 12, 13) von besonderem Interesse. Um ihren Einfluß auf die Gebäudeenergiebilanz zu quantifizieren, müssen die Zustände von Zu-, Ab-, Fort- und Frischluft (jeweils gekennzeichnet durch Temperatur und Feuchte) bekannt sein. Weiterhin ist die Kenntnis der Luftvolumenströme sowie der elektrischen Leistungsaufnahme erforderlich. Gemessen werden somit:

- Temperaturen von Zu-, Ab-, Fort- und Frischluft,
- relative Feuchten von Zu-, Ab-, Fort- und Frischluft,
- Zu- und Abluftvolumenstrom, elektrischer Energieverbrauch.

3.5 Meßwerterfassung und -verarbeitung

Die Meßwerte wurden an allen Standorten mit Datenloggersystemen der Fa. Schühle¹ erfaßt, umgerechnet, abgespeichert und täglich per Modem zur Universität Siegen übertragen.

Da die Möglichkeit besteht, bereits innerhalb des Datenloggers mathematische Operationen durchzuführen, wurden alle gemessenen Größen direkt in die interessierenden Größen umgerechnet (z.B. der Widerstand der Pt100-Thermometer in die Temperatur in °C, die Ausgangsspannung der Pyranometer in den entsprechenden Strahlungswert in W/m²). Dies ersparte die Programmierung und Durchführung einer nachträglichen Konvertierung und erleichterte die Online-Kontrolle der Daten. So wurden sowohl 15-minütige Mittelwerte der gemessenen Größen (alle 10 sec ein Meßwert) als auch die Standardabweichungen dieser Mittelwerte im Datenlogger abgespeichert.

Nach täglicher Übertragung der Meßergebnisse nach Siegen erfolgte die Sicherung der Rohdaten auf verschiedenen Datenträgern (Harddisk, Streamer, CD), eine automatische Qualitätskontrolle der Meßwerte sowie die Verwaltung aller Originaldaten und Mittelwerte bzw. Summen über verschiedene Zeiträume (stündlich bis jährlich) mit Hilfe eines relationalen Datenbankprogramms (MS-ACCESS 2.0). Durch die Plausibilitätsprüfung der Meßwerte wurde unnötigem Datenausfall weitgehend vorgebaut, weil durch die automatisierte Fehlersuche Mängel frühzeitig erkannt und behoben werden konnten. Weitere Angaben zur Meßausrüstung und Datenaufbereitung sind in [1, 2, 6] enthalten.

3.6 Meßdatenbanken

Mit den erstellten Datenbanken können die Meßergebnisse aus den einzelnen Objekten in definierter Weise auch anderen Nutzern zur Verfügung gestellt werden. Eine Dokumentation der Datenbanken ist in Anhang A 4 – Datenbestände enthalten. Dort sind für jedes vermessene Gebäude die in den gebäudespezifischen Datenbanken enthaltenen Datenfelder tabellarisch aufgelistet. Folgendes Beispiel soll dies veranschaulichen:

Bezeichnung	Tabelle	Beschreibung	Herkunft
T_EG	15min-Werte	mittlere Raumlufttemperatur EG in °C	= Mittelwert [T11K_m bis T15K_m]
T_EG	Stundenwerte	Mittelwert mittlere Raumlufttemperatur EG in °C	=Stundenmittelwert T_EG 15min-Werte

Die erste Spalte enthält die Bezeichnung des Datenfelds, gefolgt von einer Spalte, die jene Tabellen aufführt, in denen dieses Datenfeld enthalten ist. In der dritten Spalte wird das Datenfeld beschrieben und in der letzten Spalte ist die Herkunft der darin abgelegten Werte angegeben. Im oben stehenden Beispiel bedeutet die erste Zeile, daß das Datenfeld „T_EG“ in der Datenbanktabelle „15min-Werte“ Daten der mittleren Raumtemperatur des Erdgeschosses in der Einheit °C enthält, die durch Mittelwertbildung aus den Werten der Datenfelder „T11K_m“, „T12K_m“, „T13K_m“, „T14K_m“, „T15K_m“ gewonnen wurden. Die zweite Zeile beschreibt entsprechend, daß das Datenfeld „T_EG“ in der Datenbanktabelle „Stundenwerte“ Mittelwerte der mittleren Raumtemperatur des Erdgeschosses in der Einheit °C enthält, die als Stundenmittelwerte der Daten des gleichnamigen Datenfeldes in der „15min-Werte“-Tabelle vorliegen.

¹ Schuehle Mess- und Kontrollsysteme, Franz-Bayer-Straße 14, 88213 Ravensburg

Allgemein gilt für alle erstellten gebäudespezifischen Datenbanken, daß die Datenbanktabelle „15min-Werte“ die Originaldaten des vermessenen Gebäudes und daraus abgeleiteten Größen enthält. Die Datenbanktabellen „Stundenwerte“, „Tageswerte“ und „Monatswerte“ beinhalten aus den in der Tabelle „15min-Werte“ vorliegenden Daten hervorgegangene Mittelwerte bzw. Summen über verschiedene Zeiträume und gegebenenfalls weitere auf größeren Zeiträumen als 15 Minuten basierende berechnete Größen.

Die nächste Tabelle zeigt die zeitliche Verfügbarkeit der Meßdaten in den Datenbanken der einzelnen Gebäude sowie die für die Auswertung (Kap.4, Anhang A3 – Auswertungsergebnisse) ausgewählten Zeiträume von je 12 Monaten kontinuierlicher Messung.

4 Exemplarische Auswertungsergebnisse

Im Folgenden wird die Struktur des Anhangs A3 und der Vorgehensweise bei der Auswertung der Meßdaten am Beispiel des NEH-Fertighauses Hünsborn erläutert. Die Numerierung der Abbildungen im Anhang A3 setzt sich aus der jeweiligen Gebäude-Nummer und einer fortlaufenden objektbezogenen Zählweise zusammen. So ist die erste Abbildung zu den Auswertungsergebnissen für das NEH-Fertighauses Hünsborn z.B. mit 10.1 bezeichnet.

4.1 Meteorologische Daten

Aus den gemessenen meteorologischen Daten läßt sich für das jeweilige betrachtete Auswertungsjahr ein Klimadatensatz erstellen, der in thermischen Berechnungsprogrammen wie z.B. HELENA einsetzbar ist. Somit können Energiebilanzen der vermessenen Gebäude mit den tatsächlichen Wetterdaten der Standorte bestimmt werden. Dies geschieht in Kapitel 4.3, in dem die gemessenen Energiebilanzen mit den entsprechenden Berechnungen verglichen werden. Weiterhin ermöglichen diese Wetterdaten die Analyse des Gebäudeverhaltens während gewisser klimatischer Situationen, wie z.B. die Untersuchung der Windabhängigkeit des täglichen Heizwärmebedarfs.

Das Verhalten der Außenluft wird in den Abbildungen 10.1 und 10.2 dargestellt: Abbildung 10.1 zeigt den jährlichen Verlauf der monatlich gemittelten Außenlufttemperatur. Sie verändert sich von $-0,9^{\circ}\text{C}$ im Februar bis zu $+17,2^{\circ}\text{C}$ im Juli. Die über den Zeitraum eines Monats gemittelten Temperaturen geben allerdings keinen Einblick in die Variabilität der einzelnen Tagestemperaturen. Hierzu gibt Abbildung 10.2 eine Übersicht, in der – getrennt für die Heizperiode (schwarze Balken) und das gesamte Jahr (weiße Balken) – die entsprechenden Tageshäufigkeiten der Außenlufttemperatur(klassen) aufgetragen sind. Für die praktizierte Heizperiode von 284 Tagen, die vom 17.8.1998 bis zum 27.5.1999 dauerte, erkennt man eine leicht schiefssymmetrische Verteilung, deren Mittelwert durch das Temperaturklassenintervall (6°C , 8°C) gebildet wird. Nur an 10 Tagen lagen die Tagesmitteltemperaturen unterhalb von -2°C und nur an 17 Tagen oberhalb von $+18^{\circ}\text{C}$.

Abbildung 10.3 stellt die Monatssummen der solaren Globalstrahlung auf eine horizontale Ebene dar. Man erkennt, daß diese in der Zeit von Oktober bis Februar gegenüber dem Rest des Jahres vergleichsweise klein sind – Bereich 15 kWh/m^2 bis 40 kWh/m^2 gegenüber sonst 70 kWh/m^2 bis 170 kWh/m^2 . Dies entspricht einer Variabilität der täglichen solaren Einstrahlung im monatlichen Mittel von rund 500 Wh/m^2 bis etwa 5.700 Wh/m^2 . Zur Berücksichtigung der solaren Einstrahlung in der Energiebilanz des Gebäudes müssen diese Werte allerdings noch auf die Ausrichtungen der transparenten Teile der Gebäudehülle umgerechnet werden, wobei auch zeitlich veränderliche Verschattungen zu berücksichtigen sind. Beides führt zu einer Veränderung in den Relationen der monatlichen solaren Energiebeiträge für das Gebäude gegenüber den Relationen der monatlichen solaren Einstrahlung auf eine horizontale Fläche (siehe Abbildung 10.9).

Die Windgeschwindigkeit ist ein meteorologischer Parameter, der für den Gebäudewärmehaushalt vor allem dann bedeutsam wird, wenn die Gebäudehülle nicht winddicht ausgebildet ist. Deshalb wurde die horizontale Windgeschwindigkeit gebäudenah erfaßt und kontinuierlich registriert. Das Ergebnis der Messungen ist in Abbildung 10.4 festgehalten, in der die Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeit(sklassen) sowohl für die Heizperiode (schwarze Balken) als auch für das gesamte Jahr (weiße Balken) angezeigt wird. Man erkennt, daß beide Verteilungen einander ähnlich sind: die beiden größten

Häufigkeiten liegen im Werte-Intervall (1 m/s, 2 m/s). Die Extremfälle (geringere Windgeschwindigkeiten als 1 m/s und größere als 3 m/s) treten sowohl während der Heizperiode als auch sonst auf. Sie sind jedoch auf 126 Tage beschränkt (94 fast windstille Tage, 32 Tage mit Windgeschwindigkeiten oberhalb von 3 m/s).

4.2 Lüftungsanlage

Ein wichtiger Aspekt der Gebäudevermessung des NEH-Fertighauses Hünsborn ist die energetische Analyse der Lüftungsanlage. Die für eine energetische Bewertung entscheidende Kenngröße ist der Jahresnutzungsgrad \dot{a}_{WRG} . Er gibt das Verhältnis von eingesparter zu eingesetzter Energie an. Die Ermittlung des Jahresnutzungsgrads beschränkt sich auf die Heizperiode. Wird die Lüftung im Sommer oder während der warmen Jahreszeit betrieben, so dient sie ausschließlich der Komfortverbesserung. \dot{a}_{WRG} ergibt sich aus:

$$e_{WRG} = \frac{\sum Q_{Therm}}{\sum Q_{Elekt}} = \frac{C_{Luft} \cdot V_{L\ddot{u}t} \cdot \int h_{WRG} \cdot (T_{Innen} - T_{Außen}) \cdot dt}{\sum Q_{Elekt}}$$

mit Q_{Elekt} als dem täglichen elektrischen Energieverbrauch und Q_{Therm} der täglich rückgewonnenen Wärmeenergie. C_{Luft} ist die volumenspezifische Wärmekapazität von Luft, $V_{L\ddot{u}t}$ der Betriebsvolumenstrom und ζ_{WRG} die (momentane, zeitabhängige) Rückwärmezahl

$$h_{WRG} = \frac{T_{Zuluft} - T_{Frischlufte}}{T_{Ablufte} - T_{Frischlufte}}$$

der Lüftungsanlage. Die Summation bzw. Integration erfolgt über die Dauer der Heizperiode. Aus den Meßwerten ergibt sich:

$$\dot{a}_{WRG} = 11,2.$$

Die Anlage hat demnach für jede verbrauchte Kilowattstunde elektrischer Energie 11,2 kWh thermischer Energie eingespart.

Abbildung 10.5 zeigt den zeitlichen Verlauf der Rückwärmezahl ζ_{WRG} während der Heizperiode (17.8.1998 bis 27.5.1999). Die Rückwärmezahl ist nicht konstant, fluktuiert im Tagesverlauf und besitzt einen über den Gesamtzeitraum genommenen Mittelwert von:

$$\langle \zeta_{WRG} \rangle = 0,73.$$

Der Grund für die Fluktuationen von ζ_{WRG} liegt in der oben gegebenen Definition dieser Kennzahl: Ist wegen hoher Außenlufttemperaturen die im Nenner von ζ_{WRG} stehende Differenz $T_{Ablufte} - T_{Frischlufte}$ gering, so ergeben sich rechnerisch höhere Werte von ζ_{WRG} , wenn T_{Zuluft} nicht entsprechend zugenommen hat; umgekehrt ergeben sich bei geringeren Außenlufttemperaturen tendenziell kleinere Rückwärmezahlen. Hier spielt sicherlich auch instationäres Apparatverhalten eine Rolle. Für die energetische Bewertung der Lüftungsanlage ist allerdings lediglich der bereits ermittelte Nutzungsgrad von 11,2 von Bedeutung.

4.3 Heizleistung und täglicher Heizwärmebedarf

Die für ein Gebäude benötigte Heizleistung hängt nicht nur von den gebäudespezifischen Parametern (Flächen, Volumina, Dicken, Materialkennzahlen) ab, sondern auch von seiner klimatischen Umgebung (Temperaturen, Wind, Solarstrahlung). Üblich ist eine Darstellung der täglich mittleren Heizleistung als Funktion der Außentemperatur oder der Differenz zwischen Innen- und Außentemperatur. Letzteres wird in Abbildung 10.6 wiedergegeben. Aus ihr ergibt sich, daß bei einer Temperaturdifferenz $T_{Innen} - T_{Außen}$ von bis zu 10 K, also bei Außentemperaturen bis herunter zu etwa 12°C bis 11°C, die gemessenen Heizleistungen durchwegs unterhalb von 1 kW lagen. Die Meßergebnisse streuen um eine Gerade mit einer Steigung von ca. 2,58 kW/10°C oder 258 W/K. Bei niedrigen Außenlufttemperaturen von etwa - 8°C bis - 10°C werden somit maximale Heizwärmeleistungen von ca. 5 kW erforderlich.

Die täglich im Mittel erforderliche Heizleistung könnte bei einem Gebäude mit ungenügender Luftdichtheit der Gebäudehülle auch von der (mittleren täglichen) Windgeschwindigkeit abhängen, da diese den Luftaustausch antreibt und somit den Lüftungswärmebedarf beeinflusst. Damit der oben beschriebene lineare Einfluß der Temperaturdifferenz zwischen Innen- und Außenluft diese Abhängigkeit nicht überlagert, wird die mittlere tägliche Heizleistung auf diese mittlere Temperaturdifferenz bezogen und als gradtagsspezifische Heizleistung bezeichnet. Sie ist in Abbildung 10.7 über der täglich mittleren Windgeschwindigkeit aufgetragen. Die Darstellung zeigt zum einen, daß bei vorgegebener Windgeschwindigkeit eine große Variation der gemessenen mittleren Heizleistung existiert. Daraus läßt sich schließen, daß andere Einflüsse wie z.B. die solare Einstrahlung oder das Nutzerverhalten (Lüften durch Fenster, aktive Steuerung/Regelung der Heizung) eine viel größere Auswirkung auf den Heizwärmebedarf haben als die Windgeschwindigkeit. Andererseits erkennt man aus der Darstellung, daß mit größer werdender Windgeschwindigkeit ein nur geringes Ansteigen des mittleren Heizwärmebedarfs verbunden ist. Daraus kann geschlossen werden, daß die Gebäudehülle weitgehend luftdicht ist.

4.4 Bilanzierung der Energieströme

Mit zu den wichtigsten Fragestellungen bei der Vermessung des Gebäudes zählte die Überprüfung der energetischen Bilanz:

$$Q_{Heiz} + Q_{Inn} + Q_{Sol} = Q_{Trans} + Q_{Lj\ddot{u}r}$$

Der Heizwärmeeintrag Q_{Heiz} und die inneren (internen) Gewinne Q_{Inn} sind aus den Meßdaten direkt zugänglich. Die solaren Gewinne Q_{Sol} können aus dem Wetterdatensatz und der solaren Apertur des Gebäudes ermittelt werden.

Die solare Apertur ist die für den Eintrag von Solarstrahlung ins Gebäude zur Verfügung stehende transparente Fläche der Gebäudehülle, in diesem Fall die Fensterfläche. Zur Bestimmung der solaren Gewinne müssen die Orientierungen der einzelnen Flächen, deren zeitabhängige Verschattung und der Energiedurchlaßgrad der Verglasung berücksichtigt werden. Der solare Gewinn ist demnach eine von Jahres- und Tageszeit sowie vom Gebäudestandort abhängige Größe. Die Verschattungsfaktoren der Fenster wurden mit dem Programm SOMBRERO² berechnet. Die Einstrahlung auf die Orientierungen der einzelnen transparenten

² Das Programm SOMBRERO ist an der Universität Siegen im Fachgebiet Bauphysik und Solarenergie (Prof. Heidt) entwickelt worden und dient zur Berechnung der Verschattung beliebig orientierter Flächen durch geometrische Elemente in deren Umgebung.

Flächen wurde aus den Werten der horizontalen Globalstrahlung mittels des Programms TRNSYS 14.2 – Modul Strahlungsprozessor Type 16 – berechnet [18].

Die Energiebilanz des Gebäudes wird nur während der Heizperiode betrachtet. Diese wird hier nicht durch eine Definition über die Raumlufttemperatur und die monatlich mittlere Außenlufttemperatur festgelegt (z.B. 20°C / 12°C oder 20°C / 15°C), sondern experimentell durch Zählung der Tage, an denen eine Heizleistung erbracht wurde (17.8.1998 bis 27.5.1999; 284 Heiztage). Die oben angegebene Energiebilanz benötigt keine Nutzungsfaktoren der inneren und solaren Wärmegewinne, da sich die nicht nutzbaren Anteile dieser Gewinne durch erhöhte Transmissions- und Lüftungsverluste ausgleichen. So kann der solare Wärmeeintrag an einem warmen Frühlingstag mit 14°C Außenlufttemperatur während der Mittagszeit zu Raumlufttemperaturen von über 20°C führen. Diese Raumtemperatur ist größer als benötigt und führt zu erhöhten Wärmeverlusten des Gebäudes.

Folgende gemessenen Wärmemengen wurden während der Heizperiode in das Gebäude eingebracht:

$$Q_{Heiz} = 14.346 \text{ kWh (48,0\%)},$$

$$Q_{Inn} = 6.017 \text{ kWh (20,1\%)},$$

$$Q_{Sol} = 9.525 \text{ kWh (31,9\%)}.$$

In Abbildung 10.8 sind diese Beiträge der Heizwärme, der solaren Gewinne und der inneren Wärmegewinne zur Deckung der Gesamtwärmeverluste während der Heizperiode durch Transmission und Lüftung in Höhe von 29.888 kWh in einem Sekordiagramm veranschaulicht. Rund 48,0% der Gesamtwärmeverluste des Gebäudes werden durch die Heizwärme gedeckt, den Rest übernehmen die solaren und inneren Gewinne mit Anteilen von 31,9% bzw. 20,1%.

In Abbildung 10.9 ist der jährliche Verlauf der auf die beheizte Nutzfläche bezogenen, gemessenen Energiebeiträge aus solaren und inneren Gewinnen sowie durch die Heizung monatsweise dargestellt. Man erkennt, daß auch im Juni und Juli kleinere Heizwärmemengen angefallen sind, die jedoch wegen ihres geringen Betrages als nicht zur Heizperiode gehörig eingeordnet werden. Der hinsichtlich der Heizwärme quantitativ relevante Zeitraum beschränkt sich auf die Monate September bis April, erweitert um 17 angrenzende Tage im August sowie um die ersten 27 Tage im Mai. Addiert man jeweils die Energien der solaren und inneren Gewinne sowie der Heizwärme innerhalb dieses Zeitraums, so ergeben sich nach Multiplikation mit der beheizten Nutzfläche die in Abbildung 10.8 angegebenen Werte. Während sich die inneren Gewinne über das Jahr ungefähr gleichmäßig verteilen (ca. 2,2 bis 2,8 kWh/m²), folgen die solaren Gewinne mit etwa 2 kWh/m² bis maximal ca. 7,5 kWh/m² dem Jahresgang des Strahlungsangebots (siehe Abbildung 10.3). Wegen des jahreszeitlich unterschiedlichen Sonnenstandes ist die Variation der solaren Gewinne aber bei weitem nicht so groß wie diejenige der Einstrahlung auf eine horizontale Ebene. Den Rest zur Deckung der monatlichen Gesamtverluste von ca. 10 kWh/m² bis rund 15 kWh/m² während der Heizperiode trägt die Heizwärme mit etwa 4 kWh/m² bis maximal 11 kWh/m² bei.

Aus einer Berechnung des Jahresheizwärmebedarfs nach DIN-EN 832 mit dem Programm HELENA für die realen Betriebsbedingungen des vermessenen Gebäudes ergibt sich dieser zu:

$$Q_{Heiz}(\text{Rechnung}) = 11.319 \text{ kWh.}$$

Die realen Betriebsbedingungen und Berechnungsparameter für HELENA werden vom Programm für den Zeitraum 18.9. bis 15.4. (= 210 Tage) bestimmt und beziehen sich auf:

- die am Standort während der Heizperiode gemessenen Klimadaten (dies betrifft die Monatsmittel der Außenlufttemperaturen sowie die monatlich anzusetzenden solaren Gewinne, die durch die Größen und Orientierungen der Fensterflächen, durch deren Verschattungen und Energiedurchlaßgrade bestimmt werden),
- die dabei gemessenen inneren Gewinne infolge von elektrischem Energieverbrauch im Haushalt und zur Hälfte von der Lüftungsanlage (Ventilator im Zulufrakt),
- die mittleren Raumlufttemperaturen während der Heizperiode, die bei etwa 20,9°C lagen (sie wurden aus der zeitlich gemittelten Ablufttemperatur der Lüftungsanlage bestimmt, die eine kalorische Mischung der verschiedenen Gebäudezonen repräsentiert),
- eine Lüftungsanlage mit einer Rückwärmezahl von durchgängig 73% bei einem balancierten Luftvolumenstrom von 190 m³/h (was bei einem Luftvolumen von 621 m³ einer mechanisch induzierten Luftwechselzahl von 0,306 h⁻¹ entspricht,
- eine Gebäudehülle mit einem Wert von $n_{50} = 2 \text{ h}^{-1}$ für die Luftdichtheit, die – ohne Fensterlüftung – einer Infiltrationsrate von $n_0 = 0,2 \text{ h}^{-1}$ entspricht, welche ohne Wärmerückgewinnung den Lüftungswärmebedarf des Gebäudes über die bereits berechnete Lüftungswärme bei WRG hinaus erhöht.

Bei der Festlegung dieser Randbedingungen für die Berechnung mit HELENA sind allerdings die Annahmen für die inneren Gewinne (keine Berücksichtigung anwesender Personen) und diejenigen über die Infiltration bzw. den natürlichen Luftwechsel (Unsicherheiten über die Häufigkeit und Lüftungswirksamkeit von offenstehenden Fenstern und Türen) nicht belegbar und dementsprechend ungenau.

Die Differenz zwischen gemessenem und berechnetem Bedarf an Heizwärme von:

$$Q_{\text{Heiz}}(\text{Messung}) - Q_{\text{Heiz}}(\text{Rechnung}) = (14.346 - 11.319) \text{ kWh} = 3.037 \text{ kWh}$$

kann somit verschiedene Gründe haben:

1. Der *natürliche Luftwechsel* ist größer als angenommen. Das Gebäude dient als Musterhaus, d.h. es herrscht Kundenverkehr. Daher bleibt die Haustüre oft auf und trotz Lüftungsanlage werden die Fenster teilweise geöffnet (nachfolgend wird gezeigt, daß dies ein plausibler Grund für den Mehrverbrauch von Heizwärme ist).
2. Der tatsächliche, *effektive k-Wert* des Gebäudes entspricht nicht den berechneten Werten. Die Wirkung möglicherweise vorhandener *Wärmebrücken* wird bei der Berechnung nicht berücksichtigt.

Zur Untersuchung der möglichen Ursachen der Abweichung zwischen dem gemessenen und berechneten Heizwärmebedarf wird der *Gebäude-Verlust-Koeffizient (BLC)* bestimmt. Der *Gebäude-Verlust-Koeffizient* (im weiteren gemäß der englischen Bezeichnung als *BLC = "Building Load Coefficient"* bezeichnet) ist der auf die Temperaturdifferenz zwischen Gebäudeinnerem und der Umgebung bezogene Wärmeverluststrom in Watt/Kelvin. Er setzt sich aus folgenden Anteilen zusammen:

$$BLC = \sum_i k_i \cdot A_i + (n_0 \cdot V_0 + V_{Lüf} \cdot (1 - h_{WRG})) \cdot C_{LUFT}$$

Dabei ist $k_i \cdot A_i$ das Produkt von k -Wert und Fläche des i -ten Bauteils in W/K mit einem Summenwert von 169,67 W/K, n_0 die natürliche Luftwechselzahl in Höhe von $0,2 \text{ h}^{-1}$, V_0 das Luftvolumen des Gebäudes mit 621 m^3 , $V_{L\ddot{u}f}$ der gemessene Volumenstrom der Lüftungsanlage mit einem dimensionierten Betrag von $190 \text{ m}^3/\text{h}$, ζ_{WRG} die dimensionslose Rückwärmzahl des Wärmetauschers mit einem mittleren Wert von 73% und C_{LUFT} die volumenspezifische Wärmekapazität von Luft als $0,34 \text{ Wh}/(\text{m}^3\text{K})$.

Aus den Materialdaten und der gemessenen Rückwärmzahl ergibt sich für das NEH-Fertighaus Hünsborn ein BLC von:

$$BLC \text{ (Rechnung)} = 229,3 \text{ W/K}$$

Mit Hilfe des BLC läßt sich die Energiebilanz eines Gebäudes folgendermaßen darstellen:

$$Q_{Heiz} + Q_{Inn} + Q_{Sol} = BLC \cdot \int (T_{Innen} - T_{Außen}) \cdot dt$$

Somit kann der BLC des Gebäudes aus den gemessenen Wärmemengen bestimmt werden.

Um herauszubekommen, ob der gegenüber der Simulation deutlich höhere Energieverbrauch eine Folge erhöhter natürlicher Lüftung ist, wird der Zeitraum vom 24.-26.12.1998 gesondert ausgewertet (siehe Abbildung 10.10). Während dieser Zeit waren das NEH-Fertighaus Hünsborn für Kundenverkehr geschlossen, die Innenbeleuchtung ausgeschaltet und die solaren Einträge vergleichsweise gering (durchgehend bewölkter Himmel), so daß mit $Q_{Sol} = 38,73 \text{ kWh}$, $Q_{Inn} = 13,04 \text{ kWh}$ und $Q_{Heiz} = 238 \text{ kWh}$ für diesen Zeitraum gilt:

$$BLC = \frac{Q_{Heiz} + Q_{Inn} + Q_{Sol}}{\int (T_{Innen} - T_{Außen}) \cdot dt}$$

Die Auswertung der Daten ergibt:

$$BLC \text{ (Messung)} = 228,8 \text{ W/K}$$

Man erhält somit eine sehr gute Übereinstimmung zwischen dem theoretisch vorherberechneten BLC und dem gemessenen Wert. Letzterer unterscheidet sich absolut um $-0,5 \text{ W/K}$ und relativ um $-0,23\%$ vom Berechnungsergebnis.

Im folgenden werden die monatlich gemessenen Heizenergien sowie solaren und inneren Gewinne zusammen mit den berechenbaren reinen Transmissionsverlusten Q_{Trans} des Gebäudes sowie den Verlusten der mechanischen Lüftungsanlage mit WRG ($Q_{L\ddot{u}f, WRG}$) dazu benutzt, die monatlichen Lüftungsverluste infolge von Infiltration und Fensterlüftung ($Q_{L\ddot{u}f, INF}$) zu bestimmen. Die Ermittlung dieses Wärmeverlustes erfolgt aus der Gleichung:

$$Q_{L\ddot{u}f, INF} = Q_{Heiz} + Q_{Inn} + Q_{Sol} - Q_{Trans} - Q_{L\ddot{u}f, WRG}$$

Andererseits bemißt sich der monatliche Wärmeverlust durch Infiltration und Fensterlüftung aus der entsprechenden Luftwechselzahl n^* (in h^{-1}) aus der Beziehung:

$$Q_{L\ddot{u}f, INF} = C_{Luft} \cdot n^* \cdot V_0 \cdot \int (T_{Innen} - T_{Außen}) dt$$

Das zeitliche Integral erstreckt sich über den betrachteten Monat, für den die Raumluf- und Außenlufttemperaturen bekannt sind. V_0 ist das Luftvolumen des Gebäudes mit 621 m^3 und C_{Luft} die volumenspezifische Wärmekapazität von Luft als $0,34 \text{ Wh}/(\text{m}^3\text{K})$. Damit läßt sich die Luftwechselzahl infolge von Infiltration und Fensterlüftung n^* monatsweise bestimmen.

In Abbildung 10.11 ist der jährliche Verlauf der gemessenen Wärmeverluste des Gebäudes monatsweise in seiner Aufteilung auf die Transmission, die mechanische Lüftung mit WRG und die Infiltration bzw. Fensterlüftung dargestellt. Man erkennt, daß die so gemessenen mittleren Luftwechselzahlen infolge von Infiltration/Fensterlüftung in den kälteren Monaten von Oktober bis April zwischen $0,4 \text{ h}^{-1}$ und $0,9 \text{ h}^{-1}$ liegen. In den wärmeren Monaten Mai bis September mit mittleren Außentemperaturen von 12°C bis 18°C steigt die Luftwechselzahl sogar auf etwa Werte zwischen $1,1 \text{ h}^{-1}$ bis $1,5 \text{ h}^{-1}$. Dieses Benutzerverhalten, bei höheren Außenlufttemperaturen vermehrt die Fenster zu öffnen, ist allgemein bekannt. Daß anscheinend auch während der kälteren Monate – zwar nicht so oft, aber immerhin spürbar – die Fenster zum Lüften verwendet werden, führt offensichtlich zu den über die Ergebnisse des Berechnungsprogramms hinausgehenden Mehrverbräuchen an Heizenergie.

4.5 Thermischer Komfort

Der thermische Komfort innerhalb eines Gebäudes hängt ab von der Raumluf-temperatur, der Luftfeuchtigkeit, der Oberflächentemperatur der Begrenzungsflächen, der Raumluf-teschwindigkeit, der Bekleidung und der Tätigkeit der Gebäudenutzer. Mit diesen Parametern läßt sich der PMV-Index (Predicted Mean Vote - Index) bestimmen. Dieser gibt an, wie die Benutzer die thermische Situation in einem Raum empfinden.

Bei der meßtechnischen Erfassung des NEH-Fertighauses Hünsborn wurden nur die Raumluf-temperatur an verschiedenen Stellen und in verschiedenen Stockwerken bestimmt sowie die relativen Feuchten der Raumluf- im EG und DG. Dies reicht i.a. für eine positive Beurteilung des thermischen Komforts aus, wenn die dabei ermittelten Werte in einem sicheren Bereich liegen und die nicht erfaßten Größen (wie z.B. Raumluf-teschwindigkeit, Bekleidung und Tätigkeit) keine abnormen Werte annehmen. Im vorliegenden Fall trifft dies zu, da die relativen Feuchten durchwegs im Bereich von 40% bis 50% lagen und die Raumluf-temperatur mit einem Mittelwert von $20,9^\circ\text{C}$ zwischen 18°C und 27°C verteilt sind (siehe Abbildung 10.12). Dies entspricht bei sitzender Tätigkeit und leichter Bekleidung einem hohen thermischen Komfort mit etwas Tendenz in Richtung von "zu warm".

Da die Raumluf-temperatur in allen Stockwerken gemessen wurden, konnte auch die Stratifikation der Lufttemperaturen, d.h. ihre Schichtung in verschiedenen Höhen erfaßt werden. Dies wird in Abbildung 10.13 dargestellt, in der die jahresbezogenen Stundensummen des Überschreitens von Raumluf-temperatur im Bereich von 17°C bis 32°C für EG, OG und Spitzboden wiedergegeben werden. So wird z.B. im EG über das gesamte Jahr (8.760 h) die Raumluf-temperatur oberhalb von 18°C liegen, jedoch nur ca. 460 h oberhalb von 26°C . Temperaturen oberhalb von 27°C kommen dort (fast) überhaupt nicht mehr vor (41 h). Im OG sowie vor allem im (nicht von der Lüftungsanlage erfaßten) Spitzboden sind etwas höhere Raumluf-temperatur mit größerer Stundenanzahl anzutreffen.

4.6 Zusammenfassung

Die oben erläuterten Auswertungsergebnisse beschreiben die energetische Vermessung und Analyse für das NEH-Fertighaus Hünsborn im zweiten Jahr seines Betriebs.

Das NEH-Fertighaus Hünsborn ist mit exzellenter Wärmedämmung ausgestattet, so daß es bereits ohne Lüftungsanlage mit WRG mit einem spezifischen Heizwärmebedarf von $61,2 \text{ kWh}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$ die Forderungen der WSVO 1995 ($= 82,8 \text{ kWh}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$) um mehr als 26% unterschreitet. Die zusätzliche Einbringung einer solchen Lüftungsanlage dient somit vor allem der Sicherstellung der Raumluftqualität. Sie wird aber verbunden mit der weiteren Steigerung der energetischen Effizienz des Gebäudes. Deswegen sind Luftdichtheit der Gebäudehülle und Qualität der Anlagentechnik von besonderer Bedeutung.

Durch Testmessungen am Gebäude war ein akzeptabler n_{50} -Wert von knapp unter 2 h^{-1} festgestellt worden. Mit dem Lüftungssystem, dessen gemessene mittlere Rückwärmezahl 73% beträgt, erhält man nach der Berechnungsmethode der WSVO einen spezifischen Heizwärmebedarf von $51,0 \text{ kWh}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$; man unterschreitet also die Forderung der WSVO 1995 um mindestens 38%. Berechnungen mit fachlich verbesserten Methoden weisen auf eine wesentlich weitergehende Verringerung des Heizwärmebedarfs hin.

Die einjährige, umfangreiche Vermessung des Gebäudes (im Zeitraum Mitte Juli 1998 bis Mitte Juli 1999) ergibt einen spezifischen Heizwärmebedarf von $14.346 \text{ kWh}/248 \text{ m}^2 = 57,8 \text{ kWh}/\text{m}^2$, der immerhin noch um knapp 31% unterhalb des nach der WSVO 1995 zulässigen Wertes von $82,8 \text{ kWh}/\text{m}^2$ liegt. Die durch Berechnung nach einer fachlich qualitativ hochwertigen Methode (HELENA-Programm) ermittelten niedrigeren Werte in Höhe von $11.319 \text{ kWh}/248,4 \text{ m}^2 = 45,6 \text{ kWh}/\text{m}^2$ wurden jedoch nicht erreicht. Als Grund hierfür kann das Nutzerverhalten identifiziert werden, das in einer erhöhten Luftwechselzahl durch Fensterlüftung in Höhe von $0,4 \text{ h}^{-1}$ bis $0,9 \text{ h}^{-1}$ während des Winters und noch höheren Werten während der Übergangszeit im Frühjahr und Herbst begründet ist. Außerdem wurden selbst in den Monaten Juni bis August Wärmelieferungen in das Gebäude getätigt, obwohl kein Heizwärmebedarf mehr vorlag. Somit ist durchaus noch Potential für weitere Energieeinsparungen gegeben, wenn unkontrolliertes Lüften und unnötige Wärmelieferungen während der Sommerzeit reduziert bzw. abgestellt werden. Die gemessenen Daten der Lüftungsanlage erfüllen mit einer Rückwärmezahl von 73% und einem Nutzungsgrad von 11,2 die an sie gestellten Erwartungen in hervorragender Weise.

5 Ausgewählte Charakteristika der vermessenen Gebäude

Entsprechend der im Kapitel 4 erläuterten Vorgehensweise bei der Auswertung sind in den folgenden Abschnitten des Kapitels 5 zu jedem Gebäude die Ergebnisse der Vermessung stichwortartig zusammengefaßt.

5.1 Solarhaus Issum

Auswertungsjahr

- 1.7.1995 bis 30.6.1996

Praktizierte Heizperiode

- 2.11.1995 bis 2.4.1996 (153 Tage)

Meteorologische Daten

Heizgradtage G_{12} im Auswertungsjahr (VDI 3807; für Gebäude nach WSVO'95 ist gemäß DIN V 4108 Teil 6 eine Heizgrenztemperatur von 12°C festgelegt):

- $G_{12} = 1745$ Kd, bei 209 Heiztagen
- Heizperiodenmittel der Außentemperatur: 1,79°C
- 197 fast windstille Tage, 19 Tage mit Windgeschwindigkeiten oberhalb von 3 m/s

Thermischer Komfort

- mittlere Innentemperatur während der Heizperiode: 18,69°C
- mittlere Innentemperatur während des gesamten Jahres: 20,04°C
- Intervall der stündlichen Innentemperaturen: 16°C bis 26°C

Heizleistung und täglicher Heizwärmebedarf

- bei Temperaturdifferenz $T_{Innen} - T_{Außen} = 10$ K: Heizleistung < 1170 W
- Meßergebnisse streuen um Gerade mit Steigung von ca. 203 W/K
- keine Windabhängigkeit der gradtagsspezifischen Heizleistung
- weitgehend luftdichte Gebäudehülle

Bilanzierung der Energieströme

- Jahresheizwärmeverbrauch: 36,13 kWh/m² bei 269 m²

- Gesamtwärmeverluste während der Heizperiode: 20814 kWh, davon
- Heizwärmeeintrag: 8997 kWh (43%)
- innere Gewinne: 3910 kWh (19%)
- solare Gewinne: 7908 kWh (38%)
- im Zeitraum vom 24.-26.12.1995 gemessener BLC: 219,4 W/K

Nach DIN-EN 832 (Programm Helena) für die realen Betriebsbedingungen des Gebäudes (monatliche Mittelwerte gemessener Klimadaten, innerer Gewinne, Raumlufttemperaturen, mechanische Lüftung mit 65% WRG) bestimmte Wärmeverluste durch Transmission und mechanische Lüftung sowie aus Vergleich mit Meßdaten ermittelte Lüftungsverluste bzw. Luftwechselzahl n_{nat} infolge von Infiltration und Fensterlüftung:

- Transmission: 5996 kWh (13%)
- mechanische Lüftung: 3512 kWh (8%)
- natürliche Lüftung: 34950 kWh (79%)
- n_{nat} (November bis März): 0,3 h⁻¹ bis 1,0 h⁻¹
- n_{nat} (April bis Oktober): 1,6 h⁻¹ bis 4,9 h⁻¹
- Jahresmittel innerer thermischer Trägheit der beheizten Gebäudezone: 208 h (HELENA 2.0)

Weitere Ergebnisse unter [2], [6], [7], [8].

5.2 Bürogebäude Isum

Auswertungsjahr

- 1.7.1995 bis 30.6.1996

Praktizierte Heizperiode

- 2.11.1995 bis 2.4.1996 (153 Tage)

Meteorologische Daten

Heizgradtage G_{12} im Auswertungsjahr (VDI 3807; für Gebäude nach WSVO'95 ist gemäß DIN V 4108 Teil 6 eine Heizgrenztemperatur von 12°C festgelegt):

- $G_{12} = 1745$ Kd, bei 209 Heiztagen
- Heizperiodenmittel der Außentemperatur: 1,79°C
- 197 fast windstille Tage, 19 Tage mit Windgeschwindigkeiten oberhalb von 3 m/s

Thermischer Komfort

- mittlere Innentemperatur während der Heizperiode: 18,23°C
- mittlere Innentemperatur während des gesamten Jahres: 20,00°C
- Intervall der stündlichen Innentemperaturen: 15°C bis 27°C

Heizleistung und täglicher Heizwärmebedarf

- bei Temperaturdifferenz $T_{Innen} - T_{Außen} = 10$ K: Heizleistung < 625 W
- Meßergebnisse streuen um Gerade mit Steigung von ca. 74 W/K
- keine Windabhängigkeit der gradtagsspezifischen Heizleistung
- luftdichte Gebäudehülle

Bilanzierung der Energieströme

- Jahresheizwärmeverbrauch: 26,62 kWh/m² bei 125 m²
- Gesamtwärmeverluste während der Heizperiode: 8391 kWh, davon
- Heizwärmeeintrag: 3280 kWh (39%)
- innere Gewinne: 1839 kWh (22%)
- solare Gewinne: 3272 kWh (39%)
- im Zeitraum vom 24.-26.12.1995 gemessener BLC: 105,5 W/K

Nach DIN-EN 832 (Programm Helena) für die realen Betriebsbedingungen des Gebäudes (monatliche Mittelwerte gemessener Klimadaten, innerer Gewinne, Raumlufttemperaturen, mechanische Lüftung mit 80% WRG) bestimmte Wärmeverluste durch Transmission und mechanische Lüftung sowie aus Vergleich mit Meßdaten ermittelte Lüftungsverluste bzw. Luftwechselzahl n_{nat} infolge von Infiltration und Fensterlüftung:

- Transmission: 2554 kWh (17%)
- mechanische Lüftung: 637 kWh (4%)
- natürliche Lüftung: 11762 kWh (79%)
- n_{nat} (November bis März): 0,3 h⁻¹ bis 0,8 h⁻¹
- n_{nat} (April bis Oktober): 0,9 h⁻¹ bis 2,3 h⁻¹
- Jahresmittel innerer thermischer Trägheit der beheizten Gebäudezone: 366 h (HELENA 2.0)

5.3 EFH Neunkirchen

Auswertungsjahr

- 1.1.1995 bis 31.12.1995

Praktizierte Heizperiode

- 1.1.1995 bis 28.5.1995 und 27.8.1995 bis 31.12.1995 (275 Tage)

Meteorologische Daten

Heizgradtage G_{12} im Auswertungsjahr (VDI 3807; für Gebäude nach WSVO'95 ist gemäß DIN V 4108 Teil 6 eine Heizgrenztemperatur von 12°C festgelegt):

- $G_{12} = 1771$ Kd, bei 228 Heiztagen
- Heizperiodenmittel der Außentemperatur: 6,03°C
- 195 fast windstille Tage, kein Tag mit Windgeschwindigkeiten oberhalb von 3 m/s

Thermischer Komfort

- mittlere Innentemperatur während der Heizperiode: 19,76°C
- mittlere Innentemperatur während des gesamten Jahres: 20,41°C
- Intervall der stündlichen Innentemperaturen: 17°C bis 27°C

Heizleistung und täglicher Heizwärmebedarf

- bei Temperaturdifferenz $T_{Innen} - T_{Außen} = 10$ K: Heizleistung < 2540 W
- Meßergebnisse streuen um Gerade mit Steigung von ca. 387 W/K
- geringe Windabhängigkeit der gradtagsspezifischen Heizleistung
- weitgehend luftdichte Gebäudehülle

Bilanzierung der Energieströme

- Jahresheizwärmeverbrauch: 97,95 kWh/m² bei 260 m²
- Gesamtwärmeverluste während der Heizperiode: 36635 kWh, davon
- Heizwärmeeintrag: 24733 kWh (67%)
- innere Gewinne: 5442 kWh (15%)
- solare Gewinne: 6460 kWh (18%)
- im Zeitraum vom 24.-26.12.1995 gemessener BLC: 371,7 W/K

Nach DIN-EN 832 (Programm Helena) für die realen Betriebsbedingungen des Gebäudes (monatliche Mittelwerte gemessener Klimadaten, innerer Gewinne, Raumlufttemperaturen) bestimmte Wärmeverluste durch Transmission sowie aus Vergleich mit Meßdaten ermittelte Lüftungsverluste bzw. Luftwechselzahl n_{nat} infolge von Infiltration und Fensterlüftung:

- Transmission: 20371 kWh (48%)
- natürliche Lüftung: 22390 kWh (52%)
- n_{nat} (November bis März): 0,5 h⁻¹ bis 0,6 h⁻¹
- n_{nat} (April bis Oktober): 0,4 h⁻¹ bis 1,2 h⁻¹
- Jahresmittel innerer thermischer Trägheit der beheizten Gebäudezone wird von HELENA 3.0 zum derzeitigen Entwicklungsstand (Dez. 1999) nicht mehr ausgegeben.

5.4 Hypokaustenhaus Rüggeberg

Auswertungsjahr

- 1.7.1995 bis 30.6.1996

Praktizierte Heizperiode

- 31.10.1995 bis 18.4.1996 (171 Tage)

Meteorologische Daten

Heizgradtage G_{12} im Auswertungsjahr (VDI 3807; für Gebäude nach WSVO'95 ist gemäß DIN V 4108 Teil 6 eine Heizgrenztemperatur von 12°C festgelegt):

- $G_{12} = 2103$ Kd, bei 248 Heiztagen
- Heizperiodenmittel der Außentemperatur: 0,92°C
- 49 fast windstille Tage, 85 Tage mit Windgeschwindigkeiten oberhalb von 3 m/s

Thermischer Komfort

- mittlere Innentemperatur während der Heizperiode: 17,87°C
- mittlere Innentemperatur während des gesamten Jahres: 19,29°C
- Intervall der stündlichen Innentemperaturen: 15°C bis 27°C

Heizleistung und täglicher Heizwärmebedarf

- bei Temperaturdifferenz $T_{\text{Innen}} - T_{\text{Außen}} = 10$ K: Heizleistung < 1000 W
- Meßergebnisse streuen um Gerade mit Steigung von ca. 176 W/K
- geringe Windabhängigkeit der gradtagsspezifischen Heizleistung

- weitgehend luftdichte Gebäudehülle

Bilanzierung der Energieströme

- Jahresheizwärmeverbrauch: 49,91 kWh/m² bei 204 m²
- Gesamtwärmeverluste während der Heizperiode: 14669 kWh, davon
- Heizwärmeeintrag: 8853 kWh (60%)
- Hypokauste: 563 kWh (4%)
- innere Gewinne: 1253 kWh (9%)
- solare Gewinne: 4000 kWh (27%)
- im Zeitraum vom 24.-26.12.1995 gemessener BLC: 171,8 W/K

Nach DIN-EN 832 (Programm Helena) für die realen Betriebsbedingungen des Gebäudes (monatliche Mittelwerte gemessener Klimadaten, innerer Gewinne, Raumlufttemperaturen) bestimmte Wärmeverluste durch Transmission sowie aus Vergleich mit Meßdaten ermittelte Lüftungsverluste bzw. Luftwechselzahl n_{nat} infolge von Infiltration und Fensterlüftung:

- Transmission: 2092 kWh (9%)
- natürliche Lüftung: 21309 kWh (91%)
- n_{nat} (November bis März): 0,7 h⁻¹ bis 1,0 h⁻¹
- n_{nat} (April bis Oktober): 0,9 h⁻¹ bis 2,4 h⁻¹
- Jahresmittel innerer thermischer Trägheit der beheizten Gebäudezone: 96 h (HELENA 2.0)

5.5 MF-NEH Essen (diagonale Grundrißteilung)

Auswertungsjahr

- 1.8.1997 bis 31.7.1998

Praktizierte Heizperiode

- 2.10.1997 bis 11.5.1998 (222 Tage)

Meteorologische Daten

Heizgradtage G_{12} im Auswertungsjahr (VDI 3807; für Gebäude nach WSVO'95 ist gemäß DIN V 4108 Teil 6 eine Heizgrenztemperatur von 12°C festgelegt):

- $G_{12} = 1240 \text{ Kd}$, bei 206 Heiztagen
- Heizperiodenmittel der Außentemperatur: 7,41°C

- 24 fast windstille Tage, 39 Tage mit Windgeschwindigkeiten oberhalb von 3 m/s

Thermischer Komfort einzelner Wohnungen

- mittlere Innentemperatur während der Heizperiode in Whg DG rechts: 20,56°C
- mittlere Innentemperatur während der Heizperiode in Whg DG links: 22,89°C
- mittlere Innentemperatur während der Heizperiode in Whg OG rechts: 20,77°C
- mittlere Innentemperatur während der Heizperiode in Whg OG links: 22,81°C
- mittlere Innentemperatur während der Heizperiode in Whg EG rechts: 21,65°C
- mittlere Innentemperatur während der Heizperiode in Whg EG links: 20,84°C
- mittlere Innentemperatur während des gesamten Jahres in Whg DG rechts: 21,36°C
- mittlere Innentemperatur während des gesamten Jahres in Whg DG links: 23,18°C
- mittlere Innentemperatur während des gesamten Jahres in Whg OG rechts: 21,43°C
- mittlere Innentemperatur während des gesamten Jahres in Whg OG links: 22,94°C
- mittlere Innentemperatur während des gesamten Jahres in Whg EG rechts: 22,17°C
- mittlere Innentemperatur während des gesamten Jahres in Whg EG links: 21,42°C
- Intervall der stündlichen Innentemperaturen in Whg DG rechts: 17°C bis 29°C
- Intervall der stündlichen Innentemperaturen in Whg DG links: 21°C bis 29°C
- Intervall der stündlichen Innentemperaturen in Whg OG rechts: 18°C bis 29°C
- Intervall der stündlichen Innentemperaturen in Whg OG links: 19°C bis 30°C
- Intervall der stündlichen Innentemperaturen in Whg EG rechts: 19°C bis 28°C
- Intervall der stündlichen Innentemperaturen in Whg EG links: 20°C bis 29°C

Heizleistung und täglicher Heizwärmebedarf einzelner Wohnungen

- bei Temperaturdifferenz $T_{Whg\ DG\ rechts} - T_{Außen} = 10\ K$: Heizleistung < 750 W
- Meßergebnisse für Whg DG rechts streuen um Gerade mit Steigung von ca. 82 W/K
- bei Temperaturdifferenz $T_{Whg\ DG\ links} - T_{Außen} = 10\ K$: Heizleistung < 750 W
- Meßergebnisse für Whg DG links streuen um Gerade mit Steigung von ca. 79 W/K
- bei Temperaturdifferenz $T_{Whg\ OG\ rechts} - T_{Außen} = 10\ K$: Heizleistung < 670 W
- Meßergebnisse für Whg OG rechts streuen um Gerade mit Steigung von ca. 66 W/K

- bei Temperaturdifferenz $T_{Whg\ OG\ links} - T_{Außen} = 10\ K$: Heizleistung $< 920\ W$
- Meßergebnisse für Whg OG links streuen um Gerade mit Steigung von ca. $97\ W/K$
- bei Temperaturdifferenz $T_{Whg\ EG\ rechts} - T_{Außen} = 10\ K$: Heizleistung $< 1045\ W$
- Meßergebnisse für Whg EG rechts streuen um Gerade mit Steigung von ca. $110\ W/K$
- Meßergebnisse des Heizenergieverbrauchs für Whg EG links liegen nicht vor
- keine Windabhängigkeit der gradtagsspezifischen Heizleistung bei allen Wohnungen
- luftdichte Gebäudehülle bei allen Wohnungen

Bilanzierung der Energieströme für das gesamte Gebäude

- Jahresheizwärmeverbrauch: $80,60\ kWh/m^2$ bei $412\ m^2$
- Gesamtwärmeverluste während der Heizperiode: $44047\ kWh$, davon
- Heizwärmeeintrag: $30197\ kWh$ (69%)
- innere Gewinne: $6674\ kWh$ (15%)
- solare Gewinne: $7185\ kWh$ (16%)
- im Zeitraum vom 24.-26.1.1998 gemessener BLC: $604,3\ W/K$

Nach DIN-EN 832 (Programm Helena) für die realen Betriebsbedingungen des Gebäudes (monatliche Mittelwerte gemessener Klimadaten, innerer Gewinne, Raumlufitemperaturen, mechanische Lüftung ohne WRG) bestimmte Wärmeverluste durch Transmission und mechanische Lüftung sowie aus Vergleich mit Meßdaten ermittelte Lüftungsverluste bzw. Luftwechselzahl n_{nat} infolge von Infiltration und Fensterlüftung:

- Transmission Whg DG rechts: $3705\ kWh$ (6,1%)
- Transmission Whg DG links: $4139\ kWh$ (6,8%)
- Transmission Whg OG rechts: $5757\ kWh$ (9,5%)
- Transmission Whg OG links: $6633\ kWh$ (10,9%)
- Transmission Whg EG rechts: $7929\ kWh$ (13,1%)
- Transmission Whg EG links: $7393\ kWh$ (12,2%)
- mechanische Lüftung Whg DG rechts: $1814\ kWh$ (3,0%)
- mechanische Lüftung Whg DG links: $25\ kWh$ (0,0%)
- mechanische Lüftung Whg OG rechts: $1578\ kWh$ (2,6%)
- mechanische Lüftung Whg OG links: $2496\ kWh$ (4,1%)

- mechanische Lüftung Whg EG rechts: 2626 kWh (4,3%)
- mechanische Lüftung Whg EG links: 2055 kWh (3,4%)
- natürliche Lüftung: 14441 kWh (23,8%)
- n_{nat} (November bis März): 0,01 h⁻¹ bis 0,27 h⁻¹
- n_{nat} (April bis Oktober): 0,23 h⁻¹ bis 0,89 h⁻¹
- Jahresmittel innerer thermischer Trägheit der beheizten Gebäudezone wird von HELENA 3.0 zum derzeitigen Entwicklungsstand (Dez. 1999) nicht mehr ausgegeben.

Weitere Ergebnisse unter [16], [17].

5.6 MF-NEH Essen (orthogonale Grundrißteilung)

Auswertungsjahr

- 1.8.1997 bis 31.7.1998

Praktizierte Heizperiode

- 2.10.1997 bis 11.5.1998 (222 Tage)

Meteorologische Daten

Heizgradtage G_{12} im Auswertungsjahr (VDI 3807; für Gebäude nach WSVO'95 ist gemäß DIN V 4108 Teil 6 eine Heizgrenztemperatur von 12°C festgelegt):

- $G_{12} = 1240$ Kd, bei 206 Heiztagen
- Heizperiodenmittel der Außentemperatur: 7,41°C
- 24 fast windstille Tage, 39 Tage mit Windgeschwindigkeiten oberhalb von 3 m/s

Thermischer Komfort einzelner Wohnungen

- mittlere Innentemperatur während der Heizperiode in Whg DG rechts: 21,12°C
- mittlere Innentemperatur während der Heizperiode in Whg DG links: 22,97°C
- mittlere Innentemperatur während der Heizperiode in Whg OG rechts: 22,81°C
- mittlere Innentemperatur während der Heizperiode in Whg OG links: 24,76°C
- mittlere Innentemperatur während der Heizperiode in Whg EG links: 21,59°C
- mittlere Innentemperatur während des gesamten Jahres in Whg DG rechts: 22,24°C
- mittlere Innentemperatur während des gesamten Jahres in Whg DG links: 23,78°C
- mittlere Innentemperatur während des gesamten Jahres in Whg OG rechts: 23,39°C

- mittlere Innentemperatur während des gesamten Jahres in Whg OG links: 24,95°C
- mittlere Innentemperatur während des gesamten Jahres in Whg EG links: 22,01°C
- Intervall der stündlichen Innentemperaturen in Whg DG rechts: 18°C bis 31°C
- Intervall der stündlichen Innentemperaturen in Whg DG links: 19°C bis 33°C
- Intervall der stündlichen Innentemperaturen in Whg OG rechts: 21°C bis 29°C
- Intervall der stündlichen Innentemperaturen in Whg OG links: 21°C bis 31°C
- Intervall der stündlichen Innentemperaturen in Whg EG links: 18°C bis 29°C
- Meßwerte der Innentemperaturen in Whg EG rechts waren lückenhaft bis unbrauchbar

Heizleistung und täglicher Heizwärmebedarf einzelner Wohnungen

- bei Temperaturdifferenz $T_{Whg\ DG\ rechts} - T_{Außen} = 10\ K$: Heizleistung < 1085 W
- Meßergebnisse für Whg DG rechts streuen um Gerade mit Steigung von ca. 35 W/K
- bei Temperaturdifferenz $T_{Whg\ DG\ links} - T_{Außen} = 10\ K$: Heizleistung < 1085 W
- Meßergebnisse für Whg DG links streuen um Gerade mit Steigung von ca. 70 W/K
- bei Temperaturdifferenz $T_{Whg\ OG\ rechts} - T_{Außen} = 10\ K$: Heizleistung < 625 W
- Meßergebnisse für Whg OG rechts streuen um Gerade mit Steigung von ca. 60 W/K
- bei Temperaturdifferenz $T_{Whg\ OG\ links} - T_{Außen} = 10\ K$: keine Heizleistung,
bei Temperaturdifferenz $T_{Whg\ OG\ links} - T_{Außen} = 12\ K$: Heizleistung etwa 835 W
- Meßergebnisse für Whg OG links streuen um Gerade mit Steigung von ca. 83 W/K,
bzw. unter Berücksichtigung nur von Tagen mit Heizbetrieb ca. 27 W/K
- bei Temperaturdifferenz $T_{Whg\ EG\ rechts} - T_{Außen} = 10\ K$: Heizleistung < 1045 W
- Meßergebnisse für Whg EG rechts streuen um Gerade mit Steigung von ca. 38 W/K
- bei Temperaturdifferenz $T_{Whg\ EG\ links} - T_{Außen} = 10\ K$: Heizleistung < 1045 W
- Meßergebnisse für Whg EG links streuen um Gerade mit Steigung von ca. 91 W/K
- keine Windabhängigkeit der gradtagsspezifischen Heizleistung bei allen Wohnungen
- luftdichte Gebäudehülle bei allen Wohnungen

Bilanzierung der Energieströme für das gesamte Gebäude

- Jahresheizwärmeverbrauch: 84,23 kWh/m² bei 412 m²
- Gesamtwärmeverluste während der Heizperiode: 47049 kWh, davon

- Heizwärmeeintrag: 32275 kWh (69%)
- innere Gewinne: 8652 kWh (18%)
- solare Gewinne: 6122 kWh (13%)
- im Zeitraum vom 24.-26.1.1998 gemessener BLC: 539,1 W/K

Nach DIN-EN 832 (Programm Helena) für die realen Betriebsbedingungen des Gebäudes (monatliche Mittelwerte gemessener Klimadaten, innerer Gewinne, Raumlufitemperaturen, mechanische Lüftung ohne WRG) bestimmte Wärmeverluste durch Transmission und mechanische Lüftung sowie aus Vergleich mit Meßdaten ermittelte Lüftungsverluste bzw. Luftwechselzahl n_{nat} infolge von Infiltration und Fensterlüftung:

- Transmission Whg DG rechts: 3910 kWh (6,3%)
- Transmission Whg DG links: 4450 kWh (7,1%)
- Transmission Whg OG rechts: 4048 kWh (6,5%)
- Transmission Whg OG links: 4562 kWh (7,3%)
- Transmission Whg EG rechts: 5717 kWh (9,2%)
- Transmission Whg EG links: 5359 kWh (8,6%)
- mechanische Lüftung Whg DG rechts: 3617 kWh (5,8%)
- mechanische Lüftung Whg DG links: 0 kWh (0,0%)
- mechanische Lüftung Whg OG rechts: 2764 kWh (4,4%)
- mechanische Lüftung Whg OG links: 1237 kWh (2,0%)
- mechanische Lüftung Whg EG rechts: 10 kWh (0,0%)
- mechanische Lüftung Whg EG links: 11 kWh (0,0%)
- natürliche Lüftung: 26690 kWh (42,8%)
- n_{nat} (November bis März): 0,41 h⁻¹ bis 0,66 h⁻¹
- n_{nat} (April bis Oktober): 0,19 h⁻¹ bis 0,81 h⁻¹
- Jahresmittel innerer thermischer Trägheit der beheizten Gebäudezone wird von HELENA 3.0 zum derzeitigen Entwicklungsstand (Dez. 1999) nicht mehr ausgegeben.

Weitere Ergebnisse unter [16], [17].

5.7 ZF-NEH Witten

Auswertungsjahr

- 1.6.1996 bis 31.5.1997

Praktizierte Heizperiode

- 30.8.1996 bis 30.3.1997 (213 Tage)

Meteorologische Daten

Heizgradtage G_{12} im Auswertungsjahr (VDI 3807; für Gebäude nach WSVO'95 ist gemäß DIN V 4108 Teil 6 eine Heizgrenztemperatur von 12°C festgelegt):

- $G_{12} = 1598$ Kd, bei 240 Heiztagen
- Heizperiodenmittel der Außentemperatur: 5,42°C
- 132 fast windstille Tage, 13 Tage mit Windgeschwindigkeiten oberhalb von 3 m/s

Thermischer Komfort

- mittlere Innentemperatur während der Heizperiode: 20,49°C
- mittlere Innentemperatur während des gesamten Jahres: 21,06°C
- Intervall der stündlichen Innentemperaturen: 15°C bis 29°C

Heizleistung und täglicher Heizwärmebedarf

- bei Temperaturdifferenz $T_{Innen} - T_{Außen} = 10$ K: Heizleistung < 2500 W
- Meßergebnisse streuen um Gerade mit Steigung von ca. 369 W/K
- keine Windabhängigkeit der gradtagsspezifischen Heizleistung
- luftdichte Gebäudehülle

Bilanzierung der Energieströme

- Jahresheizwärmeverbrauch: 67,53 kWh/m² bei 325 m²
- Gesamtwärmeverluste während der Heizperiode: 40009 kWh, davon
- Heizwärmeeintrag: 19760 kWh (50%)
- innere Gewinne: 2459 kWh (6%)
- solare Gewinne: 17791 kWh (44%)
- im Zeitraum vom 24.-26.12.1996 gemessener BLC: 376,1 W/K

- Die Berechnung des Gebäudes nach DIN-EN 832 (Programm Helena) für die realen Betriebsbedingungen wurde aus Zeitgründen nicht mehr durchgeführt.

5.8 NEH-Laborgebäude Köln

Die am NEH-Laborgebäude Köln erfaßten Daten sind im Rahmen dieses Forschungsprojekts vom der DLR Köln ausschließlich für die Bilanzierung des Laborgebäudes zur Verfügung gestellt worden. Die Bewertung des dem Gebäude angegliederten Erdwärmetauschers (EWT) findet im Rahmen eines EWT-Verbundprojektes der AG Solar NRW statt.

Auswertungsjahr

- 1.10.1996 bis 30.9.1997

Praktizierte Heizperiode

- 10.10.1996 bis 19.3.1997 (161 Tage)

Meteorologische Daten

Heizgradtage G_{12} im Auswertungsjahr (VDI 3807; für Gebäude nach WSVO'95 ist gemäß DIN V 4108 Teil 6 eine Heizgrenztemperatur von 12°C festgelegt):

- $G_{12} = 1600 \text{ Kd}$, bei 219 Heiztagen
- Heizperiodenmittel der Außentemperatur: 4,09°C
- 72 fast windstille Tage, 87 Tage mit Windgeschwindigkeiten oberhalb von 3 m/s

Thermischer Komfort

- mittlere Innentemperatur während der Heizperiode: 21,12°C
- mittlere Innentemperatur während des gesamten Jahres: 21,74°C
- Intervall der stündlichen Innentemperaturen: 17°C bis 27°C

Heizleistung und täglicher Heizwärmebedarf

- bei Temperaturdifferenz $T_{Innen} - T_{Außen} = 10 \text{ K}$: Heizleistung $< 1335 \text{ W}$
- Meßergebnisse streuen um Gerade mit Steigung von ca. 403 W/K
- keine Windabhängigkeit der gradtagsspezifischen Heizleistung
- luftdichte Gebäudehülle

Bilanzierung der Energieströme

- Jahresheizwärmeverbrauch: 80,71 kWh/m² bei 194 m²
- Gesamtwärmeverluste während der Heizperiode: 32220 kWh, davon

- Heizwärmeeintrag Luftheizung: 11790 kWh (37%)
- Heizwärmeeintrag Heizkörper: 3357 kWh (10%)
- innere Gewinne: 15488 kWh (48%)
- solare Gewinne: 1585 kWh (5%)
- im Zeitraum vom 24.-26.12.1996 gemessener BLC: 329,0 W/K

Nach DIN-EN 832 (Programm Helena) für die realen Betriebsbedingungen des Gebäudes (monatliche Mittelwerte gemessener Klimadaten, innerer Gewinne, Raumlufttemperaturen, mechanische Lüftung mit 57% WRG) bestimmte Wärmeverluste durch Transmission und Lüftung (eine Aufteilung der Lüftungsverluste in die Verlustanteile infolge von mechanischer Lüftung einerseits sowie Infiltration und Fensterlüftung andererseits war auf Basis der gemessenen Luftvolumenströme in keiner befriedigenden Weise möglich):

- Transmission Laborräume: 8093 kWh (16,4%)
- Transmission Sonnenofenraum: 1696 kWh (3,4%)
- mechanische und natürliche Lüftung: 39632 kWh (80,2%)
- Jahresmittel innerer thermischer Trägheit der beheizten Gebäudezone wird von HELENA 3.0 zum derzeitigen Entwicklungsstand (Dez. 1999) nicht mehr ausgegeben.

5.9 Energiespeicherhaus Düren

Auswertungsjahr

- 1.8.1998 bis 31.7.1999

Praktizierte Heizperiode

- 2.10.1998 bis 27.5.1999 (238 Tage)

Meteorologische Daten

Heizgradtage G_{12} im Auswertungsjahr (VDI 3807; für Gebäude nach WSVO'95 ist gemäß DIN V 4108 Teil 6 eine Heizgrenztemperatur von 12°C festgelegt):

- $G_{12} = 1345$ Kd, bei 214 Heiztagen
- Heizperiodenmittel der Außentemperatur: 6,57°C
- 54 fast windstille Tage, 97 Tage mit Windgeschwindigkeiten oberhalb von 3 m/s

Thermischer Komfort

- mittlere Innentemperatur während der Heizperiode: 20,18°C
- mittlere Innentemperatur während des gesamten Jahres: 20,68°C

- Intervall der stündlichen Innentemperaturen: 18°C bis 24°C

Heizleistung und täglicher Heizwärmebedarf

- bei Temperaturdifferenz $T_{Innen} - T_{Außen} = 10$ K: Heizleistung < 7025 W
- Meßergebnisse streuen um Gerade mit Steigung von ca. 339 W/K
- geringe Windabhängigkeit der gradtagsspezifischen Heizleistung
- weitgehend luftdichte Gebäudehülle

Bilanzierung der Energieströme

- Jahresheizwärmeverbrauch: 61,18 kWh/m² bei 572 m²
- Gesamtwärmeverluste während der Heizperiode: 45292 kWh, davon
- Heizwärmeeintrag Fußboden- und Deckenheizung: 26221 kWh (58%)
- Heizwärmeeintrag Lüftung: 5150 kWh (11%)
- innere Gewinne: 5792 kWh (13%)
- solare Gewinne: 8129 kWh (18%)
- im Zeitraum vom 21.-23.11.1998 gemessener BLC: 331,5 W/K

Nach DIN-EN 832 (Programm Helena) für die realen Betriebsbedingungen des Gebäudes (monatliche Mittelwerte gemessener Klimadaten, innerer Gewinne, Raumlufttemperaturen, mechanische Lüftung mit 80% WRG) bestimmte Wärmeverluste durch Transmission und mechanische Lüftung sowie aus Vergleich mit Meßdaten ermittelte Lüftungsverluste bzw. Luftwechselzahl n_{nat} infolge von Infiltration und Fensterlüftung:

- Transmission: 15679 kWh (27,0%)
- mechanische Lüftung: 16245 kWh (27,9%)
- natürliche Lüftung: 26219 kWh (45,1%)
- n_{nat} (November bis März): 0,3 h⁻¹ bis 0,6 h⁻¹
- n_{nat} (April bis Oktober): 0,4 h⁻¹ bis 1,3 h⁻¹
- Jahresmittel innerer thermischer Trägheit der beheizten Gebäudezone wird von HELENA 3.0 zum derzeitigen Entwicklungsstand (Dez. 1999) nicht mehr ausgegeben.

5.10 NE-Fertighaus Hünsborn

Auswertungsjahr

- 19.7.1998 bis 18.7.1999

Praktizierte Heizperiode

- 17.8.1998 bis 27.5.1999 (284 Tage)

Meteorologische Daten

Heizgradtage G_{12} im Auswertungsjahr (VDI 3807; für Gebäude nach WSVO'95 ist gemäß DIN V 4108 Teil 6 eine Heizgrenztemperatur von 12°C festgelegt):

- $G_{12} = 2005$ Kd, bei 270 Heiztagen
- Heizperiodenmittel der Außentemperatur: 5,17°C
- 94 fast windstille Tage, 32 Tage mit Windgeschwindigkeiten oberhalb von 3 m/s

Lüftungsanlage

- in der Heizperiode gemessener Nutzungsgrad: 11,2
- aus Messung in der Heizperiode bestimmter Mittelwert der Rückwärmezahl: 0,73

Thermischer Komfort

- mittlere Innentemperatur während der Heizperiode: 20,75°C
- mittlere Innentemperatur während des gesamten Jahres: 21,66°C
- Intervall der stündlichen Innentemperaturen: 17°C bis 29°C

Heizleistung und täglicher Heizwärmebedarf

- bei Temperaturdifferenz $T_{Innen} - T_{Außen} = 10$ K: Heizleistung < 1000 W
- Meßergebnisse streuen um Gerade mit Steigung von ca. 258 W/K
- keine Windabhängigkeit der gradtagsspezifischen Heizleistung
- luftdichte Gebäudehülle

Bilanzierung der Energieströme

- Jahresheizwärmeverbrauch: 58,8 kWh/m² bei 248 m²
- Gesamtwärmeverluste während der Heizperiode: 29889 kWh, davon
- Heizwärmeeintrag Fußboden- und Deckenheizung: 14346 kWh (48,0%)
- innere Gewinne: 6017 kWh (20,1%)
- solare Gewinne: 9525 kWh (31,9%)
- im Zeitraum vom 24.-26.12.1998 gemessener BLC: 228,8 W/K

Nach DIN-EN 832 (Programm Helena) für die realen Betriebsbedingungen des Gebäudes (monatliche Mittelwerte gemessener Klimadaten, innerer Gewinne, Raumlufitemperaturen, mechanische Lüftung mit 73% WRG) bestimmte Wärmeverluste durch Transmission und mechanische Lüftung sowie aus Vergleich mit Meßdaten ermittelte Lüftungsverluste bzw. Luftwechselzahl n_{nat} infolge von Infiltration und Fensterlüftung:

- Transmission: 8106 kWh (22,1%)
- mechanische Lüftung: 2984 kWh (8,2%)
- natürliche Lüftung: 25510 kWh (69,7%)
- n_{nat} (November bis März): 0,4 h⁻¹ bis 0,7 h⁻¹
- n_{nat} (April bis Oktober): 0,5 h⁻¹ bis 1,5 h⁻¹
- Jahresmittel innerer thermischer Trägheit der beheizten Gebäudezone: 52 h (HELENA 2.0)

5.11 NE-Sanierung Wenden

Auswertungsjahr

- 1.1.1998 bis 31.12.1998

Praktizierte Heizperiode

- 1.1.1998 bis 6.5.1998 und 7.10.1998 bis 31.12.1998 (212 Tage)

Meteorologische Daten

Heizgradtage G_{12} im Auswertungsjahr (VDI 3807; für Gebäude nach WSVO'95 ist gemäß DIN V 4108 Teil 6 eine Heizgrenztemperatur von 12°C festgelegt):

- $G_{12} = 2381$ Kd, bei 259 Heiztagen
- Heizperiodenmittel der Außentemperatur: 2,76°C
- 216 fast windstille Tage, kein Tag mit Windgeschwindigkeiten oberhalb von 3 m/s

Thermischer Komfort beider Wohnungen

- mittlere Innentemperatur während der Heizperiode im EG: 19,61°C
- mittlere Innentemperatur während der Heizperiode im DG: 20,87°C
- mittlere Innentemperatur während des gesamten Jahres im EG: 20,41°C
- mittlere Innentemperatur während des gesamten Jahres im DG: 20,92°C
- Intervall der stündlichen Innentemperaturen im EG: 17°C bis 27°C

- Intervall der stündlichen Innentemperaturen im DG: 14°C bis 29°C

Heizleistung und täglicher Heizwärmebedarf

- bei Temperaturdifferenz $T_{EG} - T_{Außen} = 10$ K: Heizleistung < 295 W
- Meßergebnisse für EG streuen um Gerade mit Steigung von ca. 48 W/K
- bei Temperaturdifferenz $T_{DG} - T_{Außen} = 10$ K: Heizleistung < 295 W
- Meßergebnisse für DG streuen um Gerade mit Steigung von ca. 36 W/K
- keine Windabhängigkeit der gradtagsspezifischen Heizleistung beider Wohnungen
- luftdichte Gebäudehülle

Bilanzierung der Energieströme

- Jahresheizwärmeverbrauch: 34,1 kWh/m² bei 196 m²
- Gesamtwärmeverluste während der Heizperiode: 10496 kWh, davon
- Heizwärmeeintrag Heizung EG: 3340 kWh (32%)
- Heizwärmeeintrag Heizung DG: 2509 kWh (24%)
- innere Gewinne EG: 865 kWh (8%)
- innere Gewinne DG: 1036 kWh (10%)
- solare Gewinne gesamt: 2747 kWh (26%)
- im Zeitraum vom 7.-9.12.1998 gemessener BLC: 96,8 W/K

Nach DIN-EN 832 (Programm Helena) für die realen Betriebsbedingungen des Gebäudes (monatliche Mittelwerte gemessener Klimadaten, innerer Gewinne, Raumlufttemperaturen, mechanische Lüftung ohne WRG) bestimmte Wärmeverluste durch Transmission und mechanische Lüftung sowie aus Vergleich mit Meßdaten ermittelte Lüftungsverluste bzw. Luftwechselzahl n_{nat} infolge von Infiltration und Fensterlüftung:

- Transmission: 8277 kWh (29,9%)
- mechanische Lüftung: 3989 kWh (14,4%)
- natürliche Lüftung: 15440 kWh (55,7%)
- n_{nat} (November bis März): 0,2 h⁻¹ bis 0,7 h⁻¹
- n_{nat} (April bis Oktober): 0,4 h⁻¹ bis 1,6 h⁻¹
- Jahresmittel innerer thermischer Trägheit der beheizten Gebäudezone: 110 h

5.12 ZF-PH Hillmicke

Auswertungsjahr

- 1.11.1998 bis 31.10.1999

Praktizierte Heizperiode

- 2.11.1998 bis 29.5.1998 (209 Tage)

Meteorologische Daten

Heizgradtage G_{12} im Auswertungsjahr (VDI 3807; für Gebäude nach WSVO'95 ist gemäß DIN V 4108 Teil 6 eine Heizgrenztemperatur von 12°C festgelegt):

- $G_{12} = 1888$ Kd, bei 243 Heiztagen
- Heizperiodenmittel der Außentemperatur: 3,88°C
- 281 fast windstille Tage, kein Tag mit Windgeschwindigkeiten oberhalb von 3 m/s

Lüftungsanlage/Luft-Erdwärme-Tauscher (EWT)

- in der Heizperiode gemessener Nutzungsgrad der Lüftungsanlage: 7,07
- in der Heizperiode gemessener Nutzungsgrad des Systems Lüftungsanlage/EWT: 11,21
- aus Messung in der Heizperiode bestimmter Mittelwert der Rückwärmezahl: 0,83

Thermischer Komfort beider Wohnungen

- mittlere Innentemperatur während der Heizperiode in Whg KG: 20,96°C
- mittlere Innentemperatur während der Heizperiode in Whg EG/DG: 19,02°C
- mittlere Innentemperatur während des gesamten Jahres in Whg KG: 22,04°C
- mittlere Innentemperatur während des gesamten Jahres in Whg EG/DG: 20,12°C
- Intervall der stündlichen Innentemperaturen in Whg KG: 17°C bis 26°C
- Intervall der stündlichen Innentemperaturen in Whg EG/DG: 15°C bis 25°C

Heizleistung und täglicher Heizwärmebedarf des gesamten Gebäudes

- bei Temperaturdifferenz $T_{Innen} - T_{Außen} = 10$ K: Heizleistung < 750 W
- Meßergebnisse streuen um Gerade mit Steigung von ca. 63 W/K
- keine Windabhängigkeit der gradtagsspezifischen Heizleistung beider Wohnungen
- luftdichte Gebäudehülle

Bilanzierung der Energieströme für das gesamte Gebäude

- Jahresheizwärmeverbrauch: 27,8 kWh/m² bei 204 m²
- Gesamtwärmeverluste während der Heizperiode: 14523 kWh, davon
- Heizwärmeeintrag Radiatoren: 2208 kWh (15,2%)
- Heizwärmeeintrag Luftheizung: 2108 kWh (14,5%)
- innere Gewinne Whg KG: 1320 kWh (9,1%)
- innere Gewinne Whg EG/DG: 3300 kWh (22,7%)
- solare Gewinne gesamt: 5588 kWh (38,5%)
- im Zeitraum vom 24.-26.12.1998 gemessener BLC: 157,2 W/K

Nach DIN-EN 832 (Programm Helena) für die realen Betriebsbedingungen des Gebäudes (monatliche Mittelwerte gemessener Klimadaten, innerer Gewinne, Raumlufitemperaturen, mechanische Lüftung mit 83% WRG) bestimmte Wärmeverluste durch Transmission und mechanische Lüftung sowie aus Vergleich mit Meßdaten ermittelte Lüftungsverluste bzw. Luftwechselzahl n_{nat} infolge von Infiltration und Fensterlüftung:

- Transmission Whg KG: 2658 kWh (10,6%)
- Transmission Whg EG/DG: 5199 kWh (20,7%)
- mechanische Lüftung Whg KG: 407 kWh (1,6%)
- mechanische Lüftung Whg EG/DG: 787 kWh (3,1%)
- natürliche Lüftung: 16083 kWh (64,0%)
- n_{nat} (November bis März): 0,3 h⁻¹ bis 0,5 h⁻¹
- n_{nat} (April bis Oktober): 0,6 h⁻¹ bis 1,6 h⁻¹
- Jahresmittel innerer thermischer Trägheit der beheizten Gebäudezone wird von HELENA 3.0 zum derzeitigen Entwicklungsstand (Dez. 1999) nicht mehr ausgegeben.

5.13 EF-PH Hohkeppel

Auswertungsjahr

- 16.11.1998 bis 15.11.1999

Praktizierte Heizperiode

- 16.11.1998 bis 11.3.1999 und 10.11.1999 bis 15.11.1999 (122 Tage)

Meteorologische Daten

Heizgradtage G_{12} im Auswertungsjahr (VDI 3807; für Gebäude nach WSVO'95 ist gemäß DIN V 4108 Teil 6 eine Heizgrenztemperatur von 12°C festgelegt):

- $G_{12} = 1156$ Kd, bei 182 Heiztagen
- Heizperiodenmittel der Außentemperatur: 4,20°C
- 58 fast windstille Tage, 20 Tage mit Windgeschwindigkeiten oberhalb von 3 m/s

Lüftungsanlage

- in der Heizperiode gemessener Nutzungsgrad der Lüftungsanlage: 13,5
- in der Heizperiode gemessener Nutzungsgrad des Systems Lüftungsanlage/EWT: 15,2
- aus Messung in der Heizperiode bestimmter Mittelwert der Rückwärmezahl: 0,91

Thermischer Komfort

- mittlere Innentemperatur während der Heizperiode: 19,95°C
- mittlere Innentemperatur während des gesamten Jahres: 21,68°C
- Intervall der stündlichen Innentemperaturen: 15°C bis 28°C

Heizleistung und täglicher Heizwärmebedarf

- bei Temperaturdifferenz $T_{Innen} - T_{Außen} = 10$ K: Heizleistung < 360 W
- Meßergebnisse streuen um Gerade mit Steigung von ca. 42 W/K
- keine Windabhängigkeit der gradtagsspezifischen Heizleistung
- luftdichte Gebäudehülle

Bilanzierung der Energieströme

- Jahresheizwärmeverbrauch: 9,8 kWh/m² bei 163 m²
- Gesamtwärmeverluste während der Heizperiode: 5517 kWh, davon
- Heizwärmeeintrag Luftheizung: 1494 kWh (27,1%)
- innere Gewinne: 2301 kWh (41,7%)
- solare Gewinne: 1721 kWh (31,2%)
- im Zeitraum vom 12.-14.2.1999 gemessener BLC: 121,3 W/K

Nach DIN-EN 832 (Programm Helena) für die realen Betriebsbedingungen des Gebäudes (monatliche Mittelwerte gemessener Klimadaten, innerer Gewinne, Raumlufttemperaturen, mechanische Lüftung mit 91% WRG) bestimmte Wärmeverluste durch Transmission und

mechanische Lüftung sowie aus Vergleich mit Meßdaten ermittelte Lüftungsverluste bzw. Luftwechselzahl n_{nat} infolge von Infiltration und Fensterlüftung:

- Transmission: 33 kWh (0,2%)
- mechanische Lüftung: 773 kWh (4,9%)
- natürliche Lüftung: 15087 kWh/m² (94,9%)
- n_{nat} (November bis März): 0,5 h⁻¹ bis 0,6 h⁻¹
- n_{nat} (April bis Oktober): 0,7 h⁻¹ bis 2,6 h⁻¹
- Jahresmittel innerer thermischer Trägheit der beheizten Gebäudezone: 177 h (HELENA 2.0)

5.14 Schulgebäude Hilden

Auswertungsjahr

- 1.12.1998 bis 30.11.1999

Praktizierte Heizperiode

- 1.12.1998 bis 26.4.1999 und 18.9.1999 bis 30.11.1999 (220 Tage)

Meteorologische Daten

Heizgradtage G_{12} im Auswertungsjahr (VDI 3807; für Gebäude nach WSVO'95 ist gemäß DIN V 4108 Teil 6 eine Heizgrenztemperatur von 12°C festgelegt):

- $G_{12} = 1198$ Kd, bei 190 Heiztagen
- Heizperiodenmittel der Außentemperatur: 7,05°C
- 91 fast windstille Tage, 19 Tage mit Windgeschwindigkeiten oberhalb von 3 m/s

Thermischer Komfort des vermessenen Bauteils (2. OG, linker Flügel)

- mittlere Innentemperatur während der Heizperiode: 20,59°C
- mittlere Innentemperatur während des gesamten Jahres: 21,76°C
- Intervall der stündlichen Innentemperaturen: 17°C bis 28°C

Heizleistung und täglicher Heizwärmebedarf des vermessenen Bauteils

- bei Temperaturdifferenz $T_{\text{Innen}} - T_{\text{Außen}} = 10$ K: Heizleistung < 4000 W
- Meßergebnisse streuen um Gerade mit Steigung von ca. 626 W/K
- keine Windabhängigkeit der gradtagsspezifischen Heizleistung

- luftdichte Gebäudehülle

Bilanzierung der Energieströme des vermessenen Bauteils

- Jahresheizwärmeverbrauch: 52,1 kWh/m² bei 575 m²
- Gesamtwärmeverluste während der Heizperiode: 52331 kWh, davon
- Heizwärmeeintrag Fußbodenheizung: 29956 kWh (57,2%)
- innere Gewinne: 7159 kWh (13,7%)
- Personen: 4908 kWh (9,4%)
- solare Gewinne: 10308 kWh (19,7%)
- im Zeitraum vom 12.-14.2.1999 gemessener BLC: 726,2 W/K

Die Vermessung des Schulgebäudes Hilden erfolgte im ersten Betriebsjahr. Die dort zum Einsatz gekommenen dezentral in die Brüstung der Fassade integrierten Lüftungsgeräte erbrachten eine völlig unzureichende Frischluftleistung und wurden zum Ende der Vermessungsperiode ausgetauscht. Infolge dieser ineffizienten Geräte wurde verstärkt über Fenster gelüftet. Unter diesen ungünstigen Betriebsbedingungen erschien eine Berechnung des vermessenen Gebäudeteils (2. OG, linker Flügel) nach DIN-EN 832 (Programm Helena) für die realen Betriebsbedingungen zur Aufschlüsselung der Wärmeverlustanteile nicht sinnvoll.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Mit dem vorliegenden Projektbericht liegt eine umfangreiche Datenbasis zu NESA-Gebäuden vor, die für weitere Analysen und Simulation genutzt werden kann. Mit den Objektbeschreibungen im Anhang A2 sind alle wesentlichen Details zu den vermessenen Häusern zusammengetragen. Der Anhang A4 enthält die zur Nutzung der Meßdatenbanken erforderlichen Informationen. Über die Internet-Seite

<http://nesa1.uni-siegen.de/enerdiag/index.htm>

gelangt man zu den Dateien der Meßdatenbanken, Objektbeschreibungen und Auswertungsergebnisse, die heruntergeladen werden können.

7 Dank

An dieser Stelle bedanken wir uns herzlich bei den Eigentümern und Bewohnern der untersuchten Gebäude sowie allen anderen Beteiligten, die aktiv über mehrere Jahre zum Erfolg der Messungen beigetragen haben und deren Dokumentationen weitgehende Datengrundlage für die Aussagen zu den Baukonstruktionen und der Haustechnik sind.

Die Autoren danken dem Ministerium für Schule, Weiterbildung, Wissenschaft und Forschung (MSWWF) für die Förderung des Projekts im Rahmen der AG Solar NRW.

Auch den zahlreichen studentischen Mitarbeitern seit dem Jahr 1992 sei hiermit für ihre tatkräftige Unterstützung bei der Installation von Meßeinrichtungen, der Meßdatenverarbeitung und Dokumentation der Arbeiten gedankt. Für die letzte Projektphase seien besonders erwähnt:

Johannes Alken, Wolfgang Bier, Uwe Mockenhaupt, Marc Schumann, Armin Staudt, Werner Steinert und Michael Stötzel.

8 Literatur

8.1 Eigene Veröffentlichungen

- [1] Heidt, F.D., Schwab, A. und Babetzki, K.: *Energetische Diagnose von Gebäuden Erste Ergebnisse eines Meßprogramms der AG Solar NRW*. Proceedings of the 9th International Solar Forum, 28.6.–1.7.1994, Stuttgart, Bd. 2, 1994, DGS Sonnenenergie-Verlags GmbH, München, S. 1021–1028.
- [2] Schwab, A., Babetzki, K., Pützer, E. und Heidt, F.D.: *Energetische Diagnose von Gebäuden*. In: Heidt, F.D. (Hrsg.): *Niedrigenergie- und Solar-Architektur (NESA)*. Fortschritt-Berichte des VDI, Reihe 6, Nr. 319, 1995, VDI-Verlag, Düsseldorf, S. 12–21.
- [3] Schwab, A. und Weiblen, R.D.: *Energetisches Konzept und Meßergebnisse des solaren Wohnhauses und Büros in Issum*. In: Heidt, F.D. (Hrsg.): *Niedrigenergie- und Solar-Architektur (NESA)*. Fortschritt-Berichte des VDI, Reihe 6, Nr. 319, 1995, VDI-Verlag, Düsseldorf, S. 22–29.
- [4] Pützer, E.: *Die Evolutionsstrategie zur Parameterabschätzung bei energetischen Modellen von Gebäuden*. Studienarbeit, Fachgebiet Bauphysik und Solarenergie, Universität-GH Siegen, Dezember 1995.
- [5] Babetzki, K.: *Entwicklung eines Parameterschätzverfahrens zur Bestimmung energetisch relevanter Gebäudeparameter vereinfachter thermischer Gebäudemodelle aus Zeitreihen von Meßdaten*. Diplomarbeit, Fachgebiet Bauphysik und Solarenergie, Universität-GH Siegen, Dezember 1995.
- [6] Schwab, A., Schulze-Kegel, D. und Heidt, F.D.: *Energetische Diagnose von Gebäuden*. Abschlußbericht zur Phase 1 des Forschungsvorhabens 253 005 91 der AG Solar NRW, März 1996.
- [7] Schulze-Kegel, D., Schwab, A. and Heidt, F.D.: *Energy analysis and thermal behaviour of a small passive solar office building*. Proceedings EuroSun '96, 16.–19. Sept. 1996, Freiburg.
- [8] Heidt, F.D.: *Energetische Diagnose von Gebäuden*. In: Heidt, F.D. (Hrsg.): *Bestandsaufnahmen zur Niedrigenergie- und Solar-Architektur (NESA)*. Fortschritt-Berichte des VDI, Reihe 4, Nr. 139, 1997, VDI Verlag GmbH, Düsseldorf, S. 12–19.
- [9] Schwab, A.: *Solarhäuser Issum*. In: Heidt, F.D. (Hrsg.): *Bestandsaufnahmen zur Niedrigenergie- und Solar-Architektur (NESA)*. Fortschritt-Berichte des VDI, Reihe 4, Nr. 139, 1997, VDI Verlag GmbH, Düsseldorf, S. 20–25.
- [10] Schulze-Kegel, D. und Heidt, F.D.: *Ausgewählte Meßergebnisse der Gebäudediagnose*. In: Heidt, F.D. (Hrsg.): *Bestandsaufnahmen zur Niedrigenergie- und Solar-Architektur (NESA)*. Fortschritt-Berichte des VDI, Reihe 4, Nr. 139, 1997, VDI Verlag GmbH, Düsseldorf, S. 26–33.

8.2 Andere Quellen

- [11] Erbs, D.G., Klein, S.A. and Duffie, J.A., *Solar Energy* 28, p 293, 1982.
- [12] Rabl, A.: *Parameter Estimation in Buildings: Methods for Dynamic Analysis of Measured Energy Use*, *Journal of Solar Energy Engineering* 110, pp 52-66, 1988.
- [13] Reiß, J., Erhorn, H., Kuhl, W., Oswald, D. and Steinborn, F.: *Passive Solarenergienutzung in bewohnten Eigenheimen, Meßergebnisse und energetische Analyse für das Solarhaus Issum*. IBP-Bericht WB 29,1988.
- [14] Dibowski, G.: *NESA-Ausstattung und Meßkonzept für das Sonnenofen -Laborgebäude*. In: Heidt, F.D. (Hrsg.): *Niedrigenergie- und Solar-Architektur (NESA)*. Fortschritt-Berichte des VDI, Reihe 6, Nr. 319, 1995, VDI-Verlag, Düsseldorf, S. 30–42.
- [15] Dibowski, G.: *Energieeinsparung und Kühlung durch solare Systemtechnik bei nach Niedrigenergiestandard gebauten Büro - und Betriebsgebäuden*. In: Heidt, F.D. (Hrsg.): *Bestandsaufnahmen zur Niedrigenergie- und Solar-Architektur (NESA)*. Fortschritt-Berichte des VDI, Reihe 4, Nr. 139, 1997, VDI Verlag GmbH, Düsseldorf, S. 34–40.
- [16] Riedel, M.: *Analyse des Heizwärmeverbrauchs von sechs Niedrigenergie-Mehrfamilienhäusern im Wohnpark Kraienbruch, Essen für die Heizperiode 1995 / 96*. Diplomarbeit, Fachbereich Versorgungstechnik, Technische Gebäudeausrüstung, Fachhochschule Münster, in Zusammenarbeit mit der RWE ENERGIE AG, Essen, Bereich Anwendungstechnik, Juli 1996.
- [17] Leven, B.: *Analyse zum Energieverbrauch und zum Nutzerverhalten bei Niedrigenergie-Mehrfamilienhäusern in Essen -Gerschede*. Diplomarbeit, Fachbereich 12, Maschinenwesen, Universität GH Essen, in Zusammenarbeit mit der RWE ENERGIE AG, Essen, Bereich Anwendungstechnik, Mai 1998.
- [18] TRNSYS 14.2: *A Transient System Simulation Program*. *Solar Energy Laboratory*, University of Wisconsin, Madison, USA 1997.

9 Anhänge

9.1 A1 – Liste der Objekte / Bauherren

Reihenfolge: Objektname, Standort, Bauherr, ggf. abweichende Adresse, Tel.-Nr.

1. Solarhaus Issum

Lindenau 8 - 10
47661 Issum
Fa. Installa Energietechnik-Planungs-GmbH, Herr R. D. Weiblen
Tel.: 02835 / 3883

2. Bürogebäude Issum

Lindenau 8 - 10
47661 Issum
Fa. Installa Energietechnik-Planungs-GmbH, Herr R. D. Weiblen
Tel.: 02835 / 3883

3. EFH Neunkirchen

Kopernikusring 21
57290 Neunkirchen
Eheleute Woltering
Tel.: 02735 / 3524

4. Hypokaustenhaus Rüggeberg

Wulfhorststraße 25
58256 Ennepetal-Rüggeberg
Familie Morhenne
Tel.: 02333 / 75140

5. MF-NEH Essen (diagonale Grundrißteilung)

Wohnpark Kraienbruch
Reinhold-Unterberg-Weg 18
45375 Essen-Gerschede
Allgemeiner Bauverein Essen AG
Kennedyplatz 5
43 Essen 1
Tel.: 0201 / 22070

6. MF-NEH Essen (orthogonale Grundrißteilung)

Wohnpark Kraienbruch
Ewald-Dutschke-Straße 17
45375 Essen-Gerschede
Allgemeiner Bauverein Essen AG
Kennedyplatz 5
43 Essen 1
Tel.: 0201 / 22070

7. ZF-NEH Witten

Brunebecker Straße 75
58454 Witten
Kiemann, Menzler, Ponischowski
Tel.: 02302 / 278213

8. NEH-Laborgebäude Köln

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR)
Linder Höhe
51147 Köln-Porz
DLR – Solare Energietechnik
Tel.: 02203 / 6013211

9. Energiespeicherhaus Düren

Sonnenweg 23
52355 Düren
Familie Leroy
Tel.: 02421 / 63041

10. NE-Fertighaus Hünsborn

Musterpark Fa. WeberHaus
Rheinauer Straße
57482 Wenden-Hünsborn
Hans Weber Hausbau GmbH
Tel.: 02762 / 6130

11. NE-Sanierung Wenden

Bergstraße 15
57482 Wenden
Dr. A. Schneider
Kamberg 11
51399 Burscheid
Tel.: 02174 / 60432

12. ZF-PH Hillmicke

Schützenstraße 5
57482 Wenden-Hillmicke
Familie Schmidt
Tel.: 02762 / 3281

13. EF-PH Hohkeppel

Laurentiusstraße 11e
51789 Lindlar-Hohkeppel
Familie Lücke
Tel.: 02206 / 909090

14. Schulgebäude Hilden

Am Holterhöfchen 34
40724 Hilden
Kreisverwaltung Mettmann
40806 Mettmann
Tel.: 02104 / 992717

Die Anhänge 9.2 A2 bis 9.4 A4 können von Ihnen
auf unserer Website

„<http://nesa1.uni-siegen.de>“

eingesehen und heruntergeladen werden.