



Bauaufsichtlich anerkannte Stelle  
für Prüfung, Überwachung und  
Zertifizierung  
Zulassung neuer Baustoffe, Bauteile  
und Bauarten  
Forschung, Entwicklung,  
Demonstration und Beratung auf  
den Gebieten der Bauphysik

Institutsleitung  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gerd Hauser  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Klaus Sedlbauer

IBP-Bericht WTB-03/2008

## Energetische Altbausanierung Schwabach

Förderkennzeichen 0329750P

Durchgeführt im Auftrag  
GeWoBau Schwabach

Der Bericht umfasst  
74 Seiten Text  
16 Tabellen  
77 Abbildungen  
1 Anhang

Dipl. Phys. Erwin Lindauer  
Dipl. Ing. Andreas Nimtsch

Holzkirchen, 08. April 2008

Institutsleitung

Univ.-Prof. Dr.-Ing.  
Gerd Hauser

Gruppenleiter

Dipl. Ing. Herbert Sinnesbichler

Bearbeiter

Dipl. Phys. Erwin Lindauer  
Dipl. Ing. Andreas Nimtsch

Bauaufsichtlich anerkannte Stelle  
für Prüfung, Überwachung und  
Zertifizierung  
Zulassung neuer Baustoffe, Bauteile  
und Bauarten  
Forschung, Entwicklung, Demonstra-  
tion und Beratung auf den Gebieten  
der Bauphysik

Institutsleitung  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gerd Hauser  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Klaus Sedlbauer

IBP-Bericht WTB-03/2008

# Energetische Altbausanierung Schwabach

Förderkennzeichen 0329750P

Durchgeführt im Auftrag  
GeWoBau Schwabach

Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP)  
Stuttgart - Holzkirchen - Kassel

Dipl. Phys. Erwin Lindauer  
Dipl. Ing. Andreas Nimtsch

Der Bericht umfasst  
74 Seiten Text  
16 Tabellen  
77 Abbildungen  
1 Anhang

Any publication, reproduction or communication  
of this report, be it partial or integral, requires prior  
written authorisation from the issuing body, Fraun-  
hofer-Institut fuer Bauphysik (IBP).

Holzkirchen, 8. April 2008

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie unter dem Förderkennzeichen 0329750P gefördert.  
Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Technologie

Die beteiligten Industriepartner waren:

- Interpane Glasindustrie AG
- Sto AG
- Viessmann Werke GmbH & Co.KG
- Engelhardt Architekten
- Koppe Ingenieurbüro
- Umweltamt Schwabach

Wir bedanken uns für die finanzielle und fachliche Unterstützung aller Förderer des Vorhabens.

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Bestandsaufnahme vor der Sanierung</b>	<b>7</b>
2.1	Gebäude	7
2.1.1	Allgemeiner Zustand vor der Sanierung	7
2.1.2	Gebäudehülle	10
2.2	Anlagentechnik	11
2.3	Energiebedarfsberechnung im Ist-Zustand	12
<b>3</b>	<b>Planung und Ausführung der Sanierungsmaßnahmen</b>	<b>13</b>
3.1	Zusammenfassung der bautechnischen Kenndaten	13
3.1.1	Referenzgebäude	15
3.1.2	Innovativgebäude	16
3.2	Anlagentechnik	21
3.2.1	Referenzgebäude	21
3.2.2	Innovativgebäude	21
3.2.2.1	Heizung	21
3.2.2.2	Warmwasserbereitung	22
3.2.3	Solarer Flachkollektor (Dach)	23
3.2.4	Hybride Fassadenkollektoren	24
3.2.5	Solarer Vakuumröhrenkollektor	27
3.2.6	Solarer Fassadenflachkollektor	28
3.2.7	Regelungsstrategie der Solaranlagen	30
3.2.8	Lüftungsanlagen	30
3.3	Energetische Vorausberechnungen	33
3.3.1	Referenzhaus	33
3.3.2	Innovativgebäude	33
<b>4</b>	<b>Messtechnik</b>	<b>34</b>
4.1	Soft- und Hardware	34
4.1.1	Übersicht	34
4.1.2	Messdatenerfassung IMEDAS™	36
4.1.3	Scanner	39
4.2	Messstellen	40
4.2.1	Meteorologie	40
4.2.2	Wärmemengen der Anlagentechnik	40
4.2.3	Hilfsenergien	42
4.2.4	Raumlufttemperaturen und -feuchte	42
4.2.5	Raumluftqualität	43
4.2.6	Fensterkontakte	43
<b>5</b>	<b>Messergebnisse</b>	<b>44</b>
5.1	Meteorologische Randbedingungen	44
5.2	Gemessene Verbräuche	45
5.2.1	Gas und Heizenergieverbräuche	45
5.2.2	Wärmemengen der Anlagentechnik	50
5.2.3	Hilfsenergien	52
5.2.4	Raumlufttemperaturen	53

5.2.5	Raumluftfeuchten	59
5.2.6	Raumluftqualität	60
5.2.7	Fensterkontakte	61
5.2.8	Lüftungsanlagen	62
5.3	Sonderfragen	64
5.3.1	Sommerliches Verhalten	64
5.3.2	Nutzungsgrad des Wärmeerzeugers	64
<b>6</b>	<b>Wesentliche Erkenntnisse</b>	<b>65</b>
6.1	Nutzerverhalten	65
6.2	„3-Liter-Haus“-Ziel	66
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung und Schlussfolgerungen</b>	<b>67</b>
<b>8</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>68</b>
<b>9</b>	<b>Anhang</b>	<b>69</b>

# 1 Einleitung

Während im Neubaubereich das Niedrigenergiehaus zum gesetzlichen Standard geworden ist, weist der Altbaubereich noch große Einsparpotentiale auf. So benötigt der Bestand der vor 1982 errichteten Gebäude über 90% der in Deutschland verbrauchten Heizenergie. Im Bereich des Neubaus hat sich bei Demonstrationsgebäuden gezeigt, dass mit einer nachvollziehbaren Darstellung der angewandten Sanierungsmaßnahmen das Interesse der Bauherren und der Wohnungsgesellschaften geweckt werden kann. Um dies auch im Altbausektor zu erreichen, fördert das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) im Rahmen des Förderkonzeptes „Energetische Sanierung der Bausubstanz (EnSan)“ eine Reihe von Demonstrationsprojekten, wobei möglichst alle Gebäudetypen abgedeckt werden sollen. Die Internetseite [www.ensan.de](http://www.ensan.de) bietet weitere Informationen über die einzelnen EnSan-Projekte. Ziel dieses Projektes ist die Sanierung eines Mehrfamilienhauses in Schwabach im Rahmen des Förderkonzeptes „Energetische Sanierung der Bausubstanz (EnSan)“ des Bundesministeriums für Wirtschaft und Arbeit. Ziel dieser Förderung ist die Erstellung von übertragbaren Sanierungskonzepten für Typen von Baukörpern, also nicht allein von Wohngebäuden, sondern auch von Schulen, Seniorenheimen usw. Im Zuge des EnSan-Projektes Schwabach wird ein Mehrfamilienhaus aus den sechziger Jahren auf einen zeitgemäßen bauphysikalischen und anlagentechnischen Standard gebracht. Die energetische Zielsetzung war der Standard, der durch einen Primärenergieverbrauch für Heizwärme - ohne Trinkwasserbereitung - von maximal 34 Kilowattstunden pro Quadratmeter Nutzfläche und Jahr charakterisiert ist („3 Liter Haus Standard“). Neben vielen anderen Maßnahmen wie die Erhöhung der Wärmedämmung und der Einsatz von mechanischen Be- und Entlüftungsanlagen ist ein Baustein für das Erreichen des Niedrigenergiestandards der Einsatz von solaren Flachkollektoren, Röhrenkollektoren sowie Fassadenkollektoren zur Unterstützung der Trinkwassererwärmung. Auf Grund dieser innovativen Techniken wird das hier schwerpunktmäßig beschriebene Gebäude als Innovativgebäude bezeichnet, daneben wurde ein Referenzgebäude das mit konventionellen Technologien saniert wurde, untersucht. In dieser Arbeit wurde ein messtechnisches Konzept erstellt, das die Beurteilung der Sanierungsmaßnahmen ermöglicht.

Die gemeinnützige Wohnungsbaugesellschaft der Stadt Schwabach GmbH (GeWo-Bau) hat sich zur Aufgabe gemacht, mehrere Mehrfamilienhäuser in Schwabach modellhaft zu sanieren und anhand dieser Beispiele ein übertragbares Sanierungskonzept für Wohngebäude aus den 60-iger Jahren zu erarbeiten. Die Gebäude wiesen hinsichtlich Energieverbrauch und Wohnqualität erhebliche Mängel auf. Durch Sanierung mit teilweiser Entkernung sowie neuem Innenausbau und Ersatz der haustechnischen Anlagen unter Einsatz erprobter innovativer Technologien sollte ein energetisch und betriebswirtschaftlich optimiertes Sanierungsergebnis erreicht werden. Das EnSan-Vorhaben betrifft die Sanierung von zwei im Lageplan Bild 1 dargestellten Gebäuden. Die Sanierung des so genannten Referenzgebäudes Königsbergstr.17/19 wurde bereits im August 2003 abgeschlossen, während die Sanierung des Innovativgebäudes der Fichtestr.14/16 bis August 2004 andauerte. Um Aussagen über die eingesetzten Anlagentechniken und über die Sanierungsmaßnahmen treffen zu können, wurde im Referenzgebäude und insbesondere im Innovativgebäude umfangreiche Messtechnik installiert.

Die Projektdurchführung und Koordination des vom BMWi geförderten Projektes liegt bei der GeWo-Bau, die auch Antragsteller des EnSan-Projektes ist. Wissenschaftlich wird das Vorhaben vom Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP, Abteilung Wärmetechnik Holzkirchen begleitet. Weitere Projektbeteiligte waren das Umweltamt der Stadt Schwabach, sowie die Firmen Interpane, Viessmann und Sto AG.

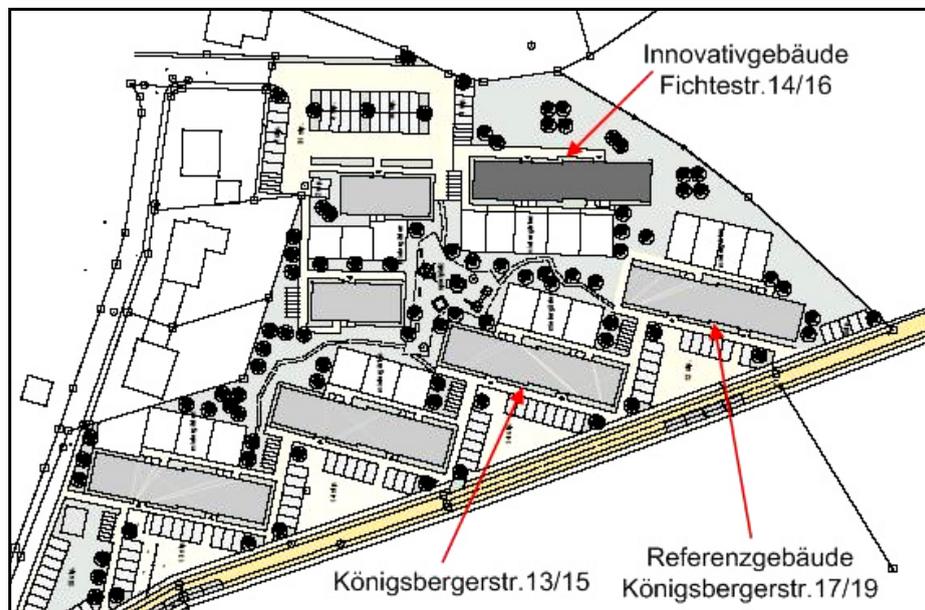


Bild 1: Lageplan.

## 2 Bestandsaufnahme vor der Sanierung

### 2.1 Gebäude

#### 2.1.1 Allgemeiner Zustand vor der Sanierung

Bei der Siedlung handelt es sich um 12 Wohnblöcke (insgesamt 98 Wohnungen) mit 3 Geschossen ohne ausgebautem Dachgeschoss (Bild 2). Der Keller ist halb eingegraben, die innere Erschließung erfolgt über zwei Treppenhäuser, an die nach dem Vierspännerprinzip jeweils vier Wohnungen pro Geschoss angeschlossen sind. Der vorhandene Grundriss ist kein Grundriss im klassischen Sinn, sondern nur eine Aneinanderreihung von zwei bis drei Wohnungen (Bild 3), Gemeinschafts-toiletten befinden sich im Treppenhaus (Bild 4) und einige Duschen im Keller (Bild 5). Die Gebäude besitzen keinen ausreichenden Wärmeschutz der Außenwände, keine der Wärmeschutzverordnung entsprechende Fenster (Bild 6), keinen temporären Wärmeschutz (Rolläden, Fensterläden) und das Dach bzw. die oberste Geschoßdecke zum Dach ist ungedämmt (Bild 7). Belichtung (Ost- oder Westorientierung) und Belüftung der Wohnungen (keine Querlüftung) ist auf Grund der Architektur nur unzureichend möglich.



Bild 2: Fotografische Aufnahme der Außenansicht der Mehrfamilienhäuser vor der Sanierung.

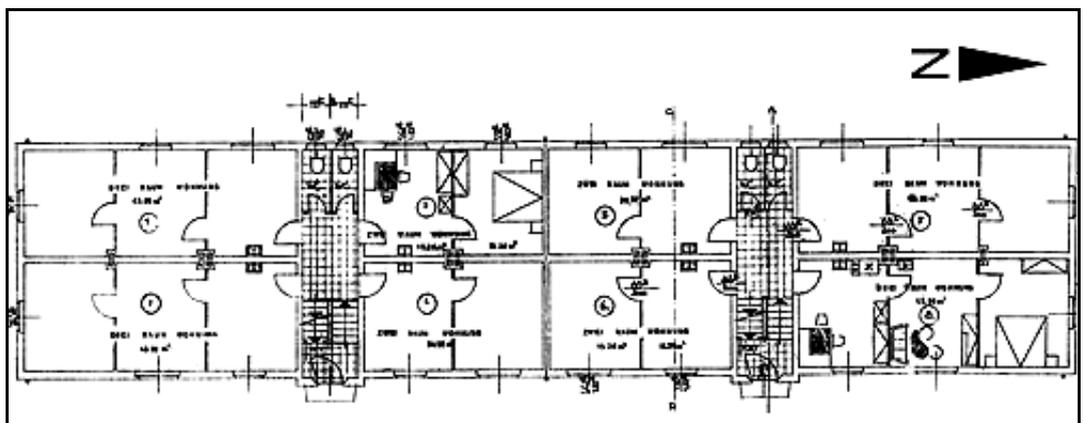


Bild 3: Grundriss einer Etage der Mehrfamilienhäuser vor der Sanierung.



Bild 4: Gemeinschaftstoiletten vor der Sanierung etagenweise im Treppenhaus.



Bild 5: Gemeinschaftsduschen im Keller.



Bild 6: Zwei-Scheiben-Verbundfenster mit Klarglas vor der Sanierung.



Bild 7: Innenansicht des Dachgeschosses vor der Sanierung.

## 2.1.2 Gebäudehülle

Die bautechnische Qualität der Gebäudehülle aus den 60/70 Jahren ist aus Tabelle 1 ersichtlich. Die angegebenen Werte gelten sowohl für das Referenz als auch Innovativgebäude vor den Sanierungen.

Tabelle 1: Wärmetechnische Kennwerte von Bauteilen vor der Sanierung.

Bauteil	Aufbau	Dicke [mm]	U-Wert [W/m <sup>2</sup> K]
Außenwand	Kalkgipsputz	15	1,5
	Bimshohlblockstein	300	
	Kalkzementputz	20	
Fenster	Holzfenster, doppelt verglast (Klarglas)	-	3,0
Oberste Geschoßdecke	Zementestrich	40	2,1
	Faserdämmstoff	20	
	Stahlbeton	160	
Kellerdecke	Zementestrich	40	2,1
	Faserdämmstoff	20	
	Stahlbeton	160	

## 2.2 Anlagentechnik

Die Beheizung erfolgte über Einzelöfen mit Kohle und Heizöl. Trinkwasser wurde mit verschiedenen Elektroboilern und Durchlauferhitzern erzeugt, siehe Bild 8 und Bild 9.



Bild 8: Warmwasserbereiter im Duschaum .



Bild 9: Elektroboiler zur Warmwasserbereitung.

## 2.3 Energiebedarfsberechnung im Ist-Zustand

Im Ist-Zustand lagen die folgenden Kenndaten vor:

Maße der Baukenndaten, pro „Wohnblock“ mit jeweils 24 Wohnungen:

– Bruttovolumen:	3.334 m <sup>3</sup>
– beheiztes Nettovolumen:	2.667 m <sup>3</sup>
– Wohnfläche:	952 m <sup>2</sup>
– Nutzfläche: (nach WSchVO 95)	1.076 m <sup>2</sup>
– Energiebezugsfläche:	1.076 m <sup>2</sup>

Aufbauten und U-Werte der Hüllflächen sind aus Tabelle 1 zu entnehmen

Heizwärme- und Stromverbräuche sowie der Primärenergieverbrauch der letzten Jahre vor der Sanierung konnten wegen der Einzelofenheizung nicht erfasst werden. Die Heizwärmebedarfsberechnung nach DIN EN 832 ergibt einen Jahresheizwärmebedarf von ca. 200 kWh/m<sup>2</sup>a. Der zugehörige Endenergiebedarf kann bei Einzelofenheizung nach DIN V 18599 [1] aus dem Nutzwärmebedarf mit dem Faktor 1,6 errechnet werden. Der resultierende Primärenergiebedarf für die Raumheizung ergibt sich hieraus durch Multiplikation mit dem Primärenergiefaktor für 1,1 zu ca. 340 kWh/m<sup>2</sup>a. Dies entspricht einem Heizölverbrauch von etwa 30 Liter/m<sup>2</sup>.

## 3 Planung und Ausführung der Sanierungsmaßnahmen

### 3.1 Zusammenfassung der bautechnischen Kenndaten

Das Sanierungskonzept besteht aus folgenden Punkten.

#### Angabe der geplanten Hüllflächendämmung:

- Außenwand 12 cm (Referenzhaus) bzw. 16 cm (Innovativgebäude) Wärmedämmverbundsystem  $U = 0,3$  bzw.  $0,2 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Decke zum unausgebauten Dachgeschoß 18 cm begehbare Wärmedämmung (Innovativgebäude)  $U = 0,21 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Kellerdecke 8 cm unterseitig gedämmt  $U = 0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$

#### Angaben zu Fenstermaßnahmen und – qualitäten:

- Fenster-U-Werte  $U_w = 1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Verglasungs-U-Werte  $U_g = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$

#### Beschreibung der zukünftigen haustechnischen Anlage:

- Einsatz einer Gasbrennwerttherme mit zentraler Trinkwasserversorgung und einer Gesamtleistung von ca. 30-35 kW
- Trinkwasserversorgung unterstützt durch Dach-Flachkollektor, Dach Vakuumröhrenkollektor und Fassadenflachkollektor. Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung (zentrale Anlagen pro Wohnung) sowie dezentrale Abluftanlagen ohne Rückgewinnung)

#### Berechnung des Jahresheizwärmebedarfs (nach DIN 4108 Teil 6):

- ergibt ca.  $22 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ , inkl. Wärmerückgewinnung
- Der Jahresheizenergiebedarf beträgt unter Berücksichtigung der Wärmerückgewinnung, der Hilfsenergien und Verteilungsverluste etc.  $31,2 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ .

#### Bewertung des Primärenergiebedarfs für die Beheizung:

- Durch Einsatz einer Gasbrennwerttherme errechnet sich mit einer Aufwandszahl von 0,99 und einem Primärenergiefaktor von 1,1 ein Primärenergiebedarf von  $34 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ .

#### Angaben zum Energiebedarf für Warmwasserbereitung:

- Der Wärmebedarf für Trinkwasser wird mit dem Standardwert von  $12,5 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  angenommen

#### Angaben zum Hilfsstromverbrauch für Heizung, Brauchwassererwärmung und Lüftung (Pauschalwerte nach DIN 4701, Teil 10):

- Heizung  $0,27 \text{ kWh/m}^2\text{a}$
- Brauchwassererwärmung  $0,22 \text{ kWh/m}^2\text{a}$
- Lüftung  $2,60 \text{ kWh/m}^2\text{a}$

#### Angaben zu den Anlagenverlusten für das Verteilsystem Heizung und Warmwasserbereitung sowie Verluste des Wärmeerzeugers:

- Verteilsystem Heizung  $0,50 \text{ kWh/m}^2\text{a}$
- Warmwasserbereitung  $3,60 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ .

Eine Zusammenfassung der Eckdaten des sanierten Gebäudes ist in Tabelle 2 aufgelistet.

Tabelle 2: Eckdaten der sanierten Gebäude.

	Innovativgebäude	Referenzgebäude
Bruttovolumen [m <sup>3</sup> ]	3.334,0	
Nettovolumen [m <sup>3</sup> ]	2.667,2	
Nutzfläche nach EnEV [m <sup>2</sup> ]	1.066,9	
Beheizte Wohnfläche [m <sup>2</sup> ]	926,04	
A/V [m <sup>-1</sup> ]	0,49	
Heizlast [kW]	32,3	38,0
Nennleistung Gasbrennwerttherme [kW]	16,6 – 66,3	
Spezifischer Transmissionswärmetransfer= Koeffizient H <sub>T</sub> [W/m <sup>2</sup> K]	0,32	0,39
Primärenergiebedarf nach EnEV [kWh/m <sup>2</sup> a]	44,9	74,6

### 3.1.1 Referenzgebäude

Der Grundriss eines Geschosses des sanierten Referenzgebäudes Königsbergstraße 17/19 ist in Bild 10 dargestellt. Das Treppenhaus liegt im Westen. Die Aufteilungen der Wohnungen sind der Südhälfte annähernd spiegelbildlich zur Nordhälfte gestaltet. Bild 11 zeigt die Ostansicht des Wohnblocks. Auf dem Ostdach der Nordhälfte ist die Flachkollektoranlage zu erkennen. In Tabelle 3 sind die wärmetechnisch relevanten Bauteilkennwerte aufgelistet.

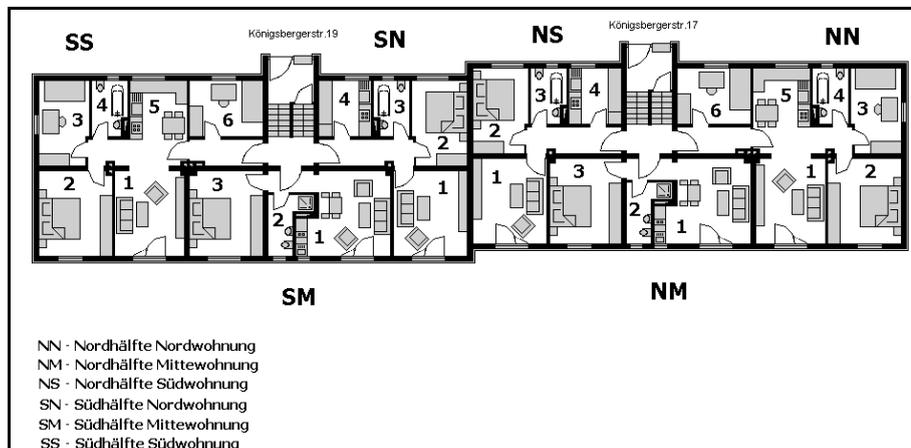


Bild 10: Grundriss einer Etage des Referenzgebäudes Königsbergstraße nach der Sanierung mit Angabe der Bezeichnungen für die einzelnen Wohnungen (S: Südblock, N: Nordblock, S, M, N jeweils südliche, mittelliegende und nördliche Wohnung innerhalb eines Blocks).



Bild 11: Außenansicht (Ost) des Referenzgebäudes nach der Sanierung.

Tabelle 3: Wärmetechnische Kennwerte von Bauteilen des Referenzgebäudes nach der Sanierung.

Bauteil	Aufbau	Dicke	U-Wert
		[mm]	[W/m <sup>2</sup> K]
Außenwand	Innenputz	15	0,3
	Bimshohlblockstein	300	
	WDVS (WLG040)	120	
	Außenputz	20	
Fenster	Wärmeschutzverglasung mit Kunststoffrahmen	-	1,3
Oberste Geschoßdecke	Dachbodenverbunddämmelemente	100	0,4
	Zementestrich	40	
	Faserdämmstoff	20	
	Stahlbeton	160	
Kellerdecke	Fußbodenbelag	-	0,54
	Zementestrich	40	
	Faserdämmstoff	20	
	Stahlbeton	160	
	Dämmplatten	50	

### 3.1.2 Innovativgebäude

Der Grundriss eines Geschosses des sanierten Innovativgebäudes Fichtestraße 14/16 ist im Bild 12 dargestellt. Das Treppenhaus liegt im Osten. Auch hier sind die Aufteilungen der Wohnungen im Südblock annähernd spiegelbildlich zum Nordblock gestaltet. In Tabelle 4 sind die wärmetechnisch relevanten Bauteilkennwerte aufgelistet. Im Vergleich zum Referenzgebäude sind die Außenwände, die Kellerdecke und die Decke zum Dachgeschoss stärker gedämmt.

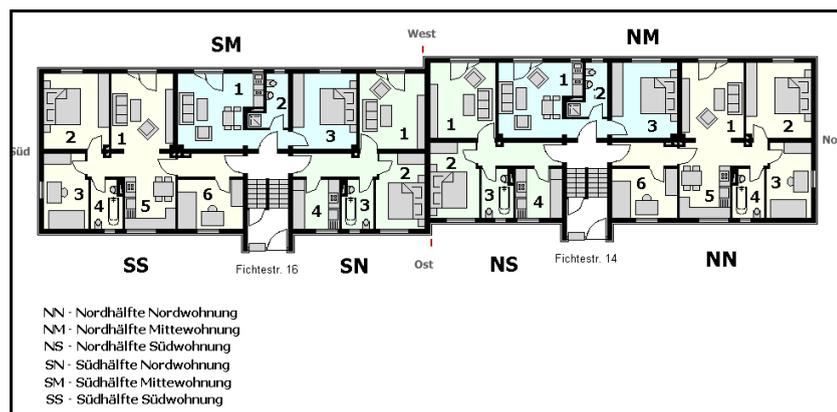


Bild 12: Grundriss einer Etage des Innovativgebäudes Fichtestraße nach der Sanierung mit Angabe der Bezeichnungen für die einzelnen Wohnungen (S: Südblock, N: Nordblock, S, M, N jeweils südliche, mittenliegende und nördliche Wohnung innerhalb eines Blocks).

Tabelle 4: Wärmetechnische Kennwerte von Bauteilen des Innovativgebäudes nach der Sanierung.

Bauteil	Aufbau	Dicke	U-Wert
		[mm]	[W/m <sup>2</sup> K]
Außenwand (opak)	Innenputz	15	0,2
	Bimshohlblockstein	300	
	WDVS (WLG040)	160	
	Außenputz	20	
Fenster	Wärmeschutzverglasung mit Kunststoffrahmen	-	1,3
Oberste Geschoßdecke	Dachbodenverbunddämmelemente	200	0,19
	Zementestrich	40	
	Faserdämmstoff	20	
	Stahlbeton	160	
Kellerdecke	Fußbodenbelag	-	0,46
	Zementestrich	40	
	Faserdämmstoff	20	
	Stahlbeton	160	
	Dämmplatten	60	



Bild 13: Westansicht des Innovativgebäudes.

Bild 13 zeigt die Westansicht, Bild 14 den Südgiebel und Bild 15 die Ost- und Nordansicht des sanierten Innovativgebäudes. In den Jahren 2004/2005 befand sich am Südgiebel und zweitem Obergeschoss der Westseite des Innovativgebäudes eine Transparente Wärmedämmung (TWD) sowie eine Hybrid-Transparente Wärmedämmung (HTWD) zur Trinkwasservorwärmung. Diese Systeme wurden 2006 wegen eines Schadensfalles durch ein opakes Wärmedämmverbundsystem ersetzt.



Bild 14: Südansicht des Innovativgebäudes nach der Sanierung mit TWD und HTWD



Bild 15: Ost- und Nordansicht des Innovativgebäudes nach der Sanierung.

In Bild 16 sind Farbproben zur Bemusterung dargestellt sowie rechts unten eine Probe der transparenten Wärmedämmung. Ein Detail der innengedämmten Kelleraußenwand im Sockelbereich zusätzlich zur außenliegenden Perimeterdämmung zur Reduzierung von Wärmebrückeneffekten zeigt Bild 17. In Bild 18 sind die begehbaren Dämmplatten der obersten Geschossdecke zu erkennen und in Bild 19 die Innendämmung der Giebelaußenwand im Dachbereich.

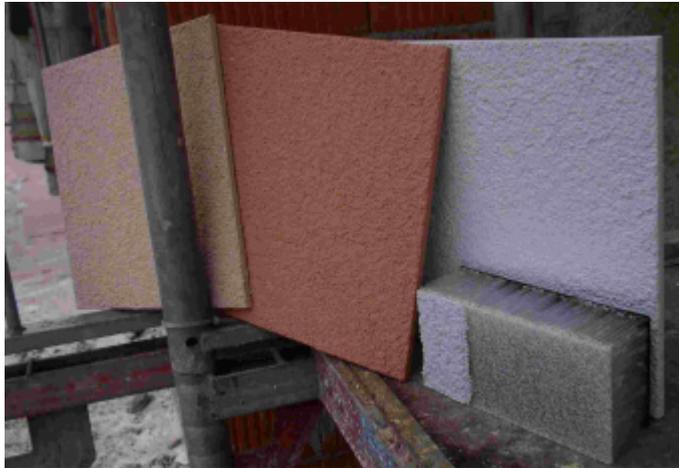


Bild 16: Bemusterung zu Farbanstrichen des Innovativgebäudes mit TWD-Probe.



Bild 17: Detail zur Dämmung der Kelleraußenwand des Innovativgebäudes im oberen Wandbereich.



Bild 18: Begehbare Dämmung des Fußbodens im Dachgeschoß des Innovativgebäudes nach der Sanierung.



Bild 19: Dämmung der Giebelseiten im Dachgeschoß des Innovativgebäudes nach der Sanierung.

## 3.2 Anlagentechnik

### 3.2.1 Referenzgebäude

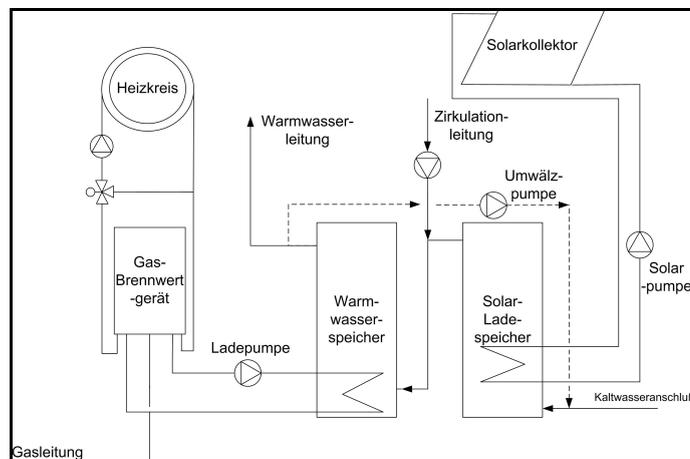


Bild 20: Schematische Darstellung der Heizungsanlage des Referenzgebäudes nach der Sanierung.

Die Heizanlage des Referenzgebäudes ist in Bild 19 dargestellt. Sie besteht aus einer Gasbrennwerttherme, welche neben der Versorgung des Heizkreisverteilungssystems (Radiatoren mit Thermostatventilen) auch die Nachheizung des Warmwasserspeichers übernimmt. Dieser wird zusätzlich vom Solarladespeicher einer 15 m<sup>2</sup>-Flachkollektoranlage gespeist. Die Anlage wird unten im Zusammenhang mit dem baugleichen System des Innovativgebäudes beschrieben.

### 3.2.2 Innovativgebäude

#### 3.2.2.1 Heizung

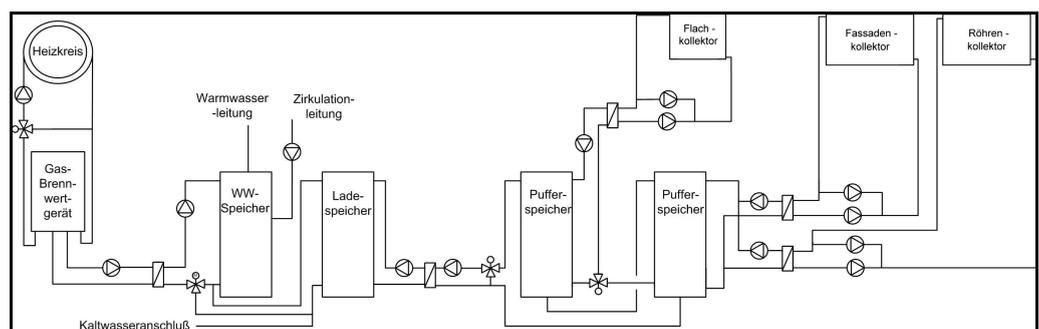


Bild 21: Schematische Darstellung der Heizungsanlage des Innovativgebäudes nach der Sanierung.

Die Heizungsanlage des Innovativgebäudes im Bild 21 entspricht im Prinzip der des Referenzgebäudes. Nach Aussagen der Hausverwaltung ist die Raumheizung ganzjährig, auch im Sommer betriebsbereit, um Beschwerden der Nutzer an kühlen Sommertagen zu vermeiden. Die Trinkwassererwärmung wird von einem 15 m<sup>2</sup>-Dachflachkollektor auf dem Westdach, einem 10 m<sup>2</sup>-Fassadenkollektor am Südgiebel und einem weiteren 15 m<sup>2</sup> großen Vakuumröhrenkollektor ebenfalls auf dem Westdach vorgenommen. Die Gasbrennwerttherme in Bild 22 versorgt das Verteilungssystem der Raumheizung (Konvektoren mit Thermostatventilen) und übernimmt die Nachheizung des solar erwärmten Trinkwassers. Zur Entkoppelung der mit Frostschutzmittel gefüllten

Solarkollektoren sind Gegenstromwärmetauscher eingebaut. Die Anlage verfügt über eine Legionellenschaltung.



Bild 22: Brennwerttherme im Innovativgebäude nach der Sanierung.

### 3.2.2.2 Warmwasserbereitung

Bild 23 bis Bild 25 zeigen die Anlagen zur Warmwasserbereitung im Heizraum des Innovativgebäudes.



Bild 23: Detailansicht der Installation der Heizungsanlage (rechts Trinkwasserspeicher) im Innovativgebäude nach der Sanierung.



Bild 24: Trinkwasserspeicher und Pufferspeicher im Innovativgebäude nach der Sanierung.



Bild 25: Verteilungssystem im Innovativgebäude mit Pumpstationen für Flachkollektor, Fassadenkollektor und Röhrenkollektor.

### 3.2.3 Solarer Flachkollektor (Dach)

Der 15 m<sup>2</sup> große Flachkollektor (Viessmann 6x Vitosol 100 Typ s2,5, 2.5 m<sup>2</sup> Absorberfläche) auf dem Westdach des Innovativgebäudes ist baugleich mit dem des Referenzgebäudes (dort ostorientiert), siehe Bild 26. Der optische Wirkungsgrad beträgt auf Grund der Sol-Titan-Beschichtung des Kupferabsorbers und des Solarglases mit geringem Eisenanteil nach Herstellerangaben 83 %. Die Stillstandstemperatur liegt bei 211 °C. Der Kollektor in Aufdachmontage ist von einem hochwärmegedämmten Gehäuse umgeben, um Kollektorverluste zu minimieren.



Bild 26: Flachkollektor auf dem Dach des Referenzgebäudes.

### 3.2.4 Hybride Fassadenkollektoren

In einer ersten Versuchphase waren an der Westseite des Innovativgebäudes und am Südgiebel so genannte hybrid-transparente Fassadenkollektoren, siehe Bild 27 bis Bild 30 eingebaut. Die Entwicklung der HTWD-Systeme [2] wurde in den 90er Jahren u.a. am Fraunhofer-Institut für Bauphysik begonnen, um ursprüngliche Nachteile von TWD-Systemen, die je nach Wandbildner während der Sommermonate zu Übertemperaturen an den Wandinnenoberflächen führten, zu kompensieren, in dem hinter der TWD eine von einer Kühlflüssigkeit durchströmte Absorberfläche installiert wurde. Die dabei aufgenommene Solarwärme konnte zur Trinkwasservorerwärmung genutzt werden. Die erwarteten Kollektorleistungen wurden auf Grund von Erfahrungen aus vorhergehenden Projekten zu 8 kW für den 22 m<sup>2</sup> großen Südabsorber und zu 12 kW für den 33 m<sup>2</sup> großen Westabsorber abgeschätzt. Wegen eines Schadenfalles siehe Bild 31 (zu hohe Stillstandstemperaturen mit Beschädigung des transparenten Decksystems) wurde in 2005 das HTWD-System rückgebaut und durch eine opake Wärmedämmung ersetzt. Eine ausführliche Beschreibung der HTWD-Anlage sowie TRNSYS-Simulationsrechnungen sind in einer im Rahmen des Projektes durchgeführten Diplomarbeit [3] beschrieben.



Bild 27: Aufbau der HTWD am Innovativgebäude .

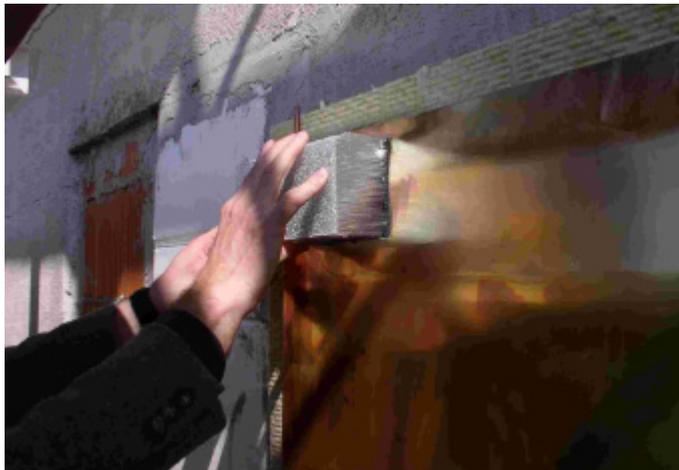


Bild 28: Detail zum Aufbau der HTWD am Innovativgebäude (Absorberblech und TWD-Element).



Bild 29: Detail zum Aufbau der HTWD am Innovativgebäude (Montage Absorberelement).



Bild 30: Absorberelement der HTWD.



Bild 31: Fotografische Aufnahme des Schadensfalls an der HTWD wegen Überhitzung.

### 3.2.5 Solarer Vakuumröhrenkollektor

Den 15 m<sup>2</sup> großen, direkt durchflossenen Vakuumröhrenkollektor (Viessmann Vitosol 200) auf dem Westdach des Innovativbäudes zeigt Bild 32. Der optische Wirkungsgrad beträgt auf Grund der Sol-Titan-Beschichtung der in den einzelnen Röhren integrierten Kupferabsorberbleche und des Solarglases mit geringem Eisenanteil nach Herstellerangaben 84 %. Die Vakuumröhren sind drehbar gelagert, um eine optimale Ausrichtung zum vorherrschenden Sonneneinstrahlungswinkel zu gewährleisten. Die Stillstandstemperatur liegt bei 300 °C. Auch dieser Kollektor in Aufdachmontage ist von einem hochwärmegedämmten Gehäuse umgeben, um Kollektorverluste zu minimieren.



Bild 32: Röhrenkollektor am Innovativgebäude.

### 3.2.6 Solarer Fassadenflachkollektor

Der 10 m<sup>2</sup> große, integrierte Fassadenflachkollektor „IFK“ der Fa. Sonnenkraft im Bereich des zweiten Obergeschosses im Südgiebel ist in Bild 33 und Bild 34 dargestellt. Das integrierte System ist auf einer 6 cm dicken Hinterdämmung montiert und ragt um ca. 2,5 cm aus der Oberfläche der opaken Wärmedämmung. An der Oberkante befindet sich ein Abtropfblech, eine schematische Darstellung hierzu zeigt Bild 35. Alle gedämmten Verrohrungen, siehe Bild 36, liegen innerhalb des Wärmedämmverbundsystems der Fassade. Die Vollflächenkupferabsorber mit selektiver Beschichtung sind mit gehärtetem Solarsicherheitsglas und thermisch getrennten Alurahmen versehen. Die Stillstandstemperatur beträgt nach Herstellerangaben 180 °C. Der Bereich zwischen Verglasung und Absorber ist schwach belüftet, der Kollektor insgesamt besitzt keine weitere Hinterlüftung im Anschlussbereich zur Außenwand.



Bild 33: Montage des südorientierten Fassadenkollektors.



Bild 34: Montage des südorientierten Fassadenkollektors.

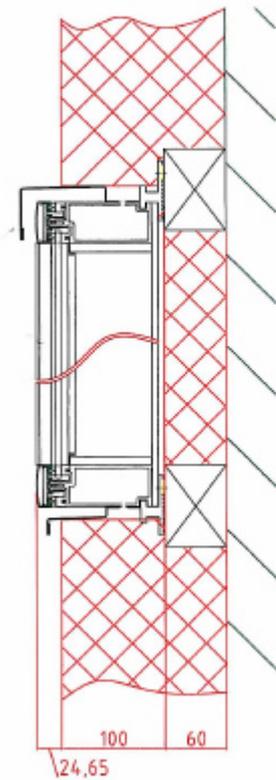


Bild 35: Einbauschema des Integrierten Fassadenkollektors.



Bild 36: Verrohrung der Fassadenkollektoren (Beispiel).

### 3.2.7 Regelungsstrategie der Solaranlagen

Die Flachkollektoranlage auf dem Dach des Referenzgebäudes wird durch einen Kompaktregler der Firma Viessmann gesteuert. Die Flüssigkeitskreisläufe der am Innovativgebäude installierten Solarthermieanlagen werden über die in das Messtechnik-Konzept integrierte speicherprogrammierbare Steuerung (SPS) geregelt. Dies sind am Dach der Flach- und der Röhrenkollektor und an der Südseite des Gebäudes der Fassadenkollektor bzw. vormals die HTWD-Anlage an der Süd- und Westfassade. Alle Anlagen sind mit einem Temperatursensor am Vorlauf an den Kollektoren ausgestattet. Die Steuerung vergleicht diesen Temperaturwert jedes Kollektors mit der Medien-temperatur im unteren Drittel des jeweils angeschlossenen Pufferspeichers. Ist die Kollektortemperatur um mindestens 5 K höher als die Speichertemperatur, wird das Pumpenpaar der Anlage eingeschaltet, um die Wärmeenergie vom Kollektor in den Pufferspeicher zu übertragen. Wird die Temperaturdifferenz unterschritten, schalten die Pumpen ab. Um kurze Schaltintervalle zu vermeiden, wurde eine Mindesteinschaltzeit von fünf Minuten in das System einprogrammiert. Ebenso werden die Temperatur im oberen Drittel der Pufferspeicher mit der Temperatur im unteren Drittel des Ladespeichers verglichen, um das Pumpenpaar anzusteuern, welches die Solarwärme-Energie dem Warmwassersystem zuführt.

### 3.2.8 Lüftungsanlagen

In den Wohnungen Südblock/Süd, Südblock/Nord und Nordblock/Nord sind wohnungsweise Be- und Entlüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung (Viessmann Vivovent 300) installiert. Diese Lüftungsanlagen (Details siehe Bild 37 bis Bild 39) können von den Nutzern selbst bedient und auf verschiedenen Stufen (Tag/Nacht; Ein-Aus, reduziert oder erhöhte Partylüftung) betrieben werden. Die Systeme verfügen über eine automatische Bypassschaltung zur Umgehung des Rückwärmetauschers in Abhängigkeit von der Außen- und Raumlufttemperatur sowie eine Frostschutzschaltung, welche die Anlage bei Vereisungsgefahr in eingeschränktem Betrieb oder ganz außer Betrieb setzt. Während die Wohnungen Nordblock/Süd nur über Fenster belüftet werden, verfügen alle „Mittenwohnungen“ über Abluftanlagen (Bild 40), bestehend aus einem Ventilator in der Küchenabzugshaube und Nachströmöffnungen hinter den Heizkörpern in den Schlafzimmern.



Bild 37: Schrank einer Be- und Entlüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung.



Bild 38: Verteilung der Lüftungskanäle unter der später abgehängten Decke.



Bild 39: Lüftungsanlage im geöffneten Zustand.



Bild 40: Abluftanlage im geöffneten Zustand.

### 3.3 Energetische Vorausberechnungen

#### 3.3.1 Referenzhaus

Eine Zusammenstellung der Ergebnisse der EnEV-Berechnung mit der Software EPASS-Helena 4.8 für das Referenzhaus in der Königsbergstraße 17-19 zeigt Tabelle 5. Das Gebäude ist nach „gutem Gewo.Standard“ ausgeführt und unterschreitet die Anforderungen der Energieeinsparverordnung.

Tabelle 5: Ergebnisse der EnEV-Berechnung für das Referenzgebäude.

	<b>Bedarf [kWh/m<sup>2</sup>a]</b>
Jahresheizwärmebedarf	51,2
Endenergiebedarf	65,5
Zulässiger Höchstwert des Primärenergiebedarfs nach EnEV	96,0
Primärenergiebedarf nach EnEV inkl. Brauchwassererwärmung	74,6

#### 3.3.2 Innovativgebäude

Das Innovativgebäude Fichtestraße 14-16 unterscheidet sich vom Referenzgebäude durch eine zusätzlich verbesserte Außenwanddämmung, Dämmung der obersten Geschossdecke und Perimeterdämmung der Kelleraußenwand. Die Anlagentechnik dieses Gebäudes umfasst neben Be- und Entlüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung und Abluftanlagen auch drei unterschiedliche Solaranlagen zur Brauchwassererwärmung. Eine Zusammenstellung der Ergebnisse der EnEV-Berechnung mit der Software EPASS-Helena 4.8 für das Innovativhaus zeigt Tabelle 6.

Tabelle 6: Ergebnisse der EnEV-Berechnung für das Innovativgebäude.

	<b>Bedarf [kWh/m<sup>2</sup>a]</b>
Jahresheizwärmebedarf	32,6
Endenergiebedarf	36,5
Zulässiger Höchstwert des Primärenergiebedarfs nach EnEV	96,0
Primärenergiebedarf nach EnEV inkl. Brauchwassererwärmung	44,9

## 4 Messtechnik

### 4.1 Soft- und Hardware

#### 4.1.1 Übersicht

Die bei der Sanierung umgesetzten Maßnahmen werden energetisch und kostenmäßig bewertet. In einem Messprogramm, welches sich über zwei Heizperioden und zwei Sommerperioden erstreckt, werden die im folgenden beschriebenen Messgrößen kontinuierlich mit Hilfe einer rechnergestützten Messwerterfassungsanlage aufgezeichnet:

##### **Außenklima**

- Außenlufttemperatur
- Globalstrahlung horizontal
- Globalstrahlung vertikal Süd

##### **Raumlufttemperaturen**

- Raumlufttemperaturen in repräsentativen Wohneinheiten bzw. Räumen; in den Hauptwohnräumen wird zusätzlich die Raumluftfeuchte gemessen

##### **Fensterlüftung**

- Fensteröffnungszeiten in allen Räumen

##### **Wärmestromdichten**

- Wärmeflussmessscheiben an repräsentativen Stellen der Hüllfläche (opake Dämmung, hybride Dämmung, Keller- und Geschoßdecke)

##### **Heizwärmeverbrauch**

- Heizwärmeverbrauch für die einzelnen Heizkreise und Warmwasserversorgung

##### **Energieverbrauch für Warmwasser**

- Warmwassernutzwärme
- Speicherverluste, Zirkulationsverluste

##### **Stromverbrauch**

- Stromverbrauch für Hilfsenergie Heizung
- Stromverbrauch für Hilfsenergie Lüftung

## Mechanische Lüftung

- Luftdurchsatz in den einzelnen Räumen und Zonen
- Zulufttemperatur/Ablufttemperatur
- Anlagenlaufzeit
- Rückwärmzahl

## Endenergieverbrauch

- Gasverbrauch
- Stromverbrauch

Die Messgrößen werden mit kalibrierten Fühlern und Wandlern erfasst, in 1-minütigem Zeitraster abgespeichert und gleichzeitig mit Hilfe eines am IBP entwickelten internetfähigen Messdatenerfassungs- und -verarbeitungssystems am Bildschirm visualisiert (IMEDAS™). Die Grundstruktur der Messwerterfassung ist in Bild 41 und Bild 42 schematisch dargestellt.

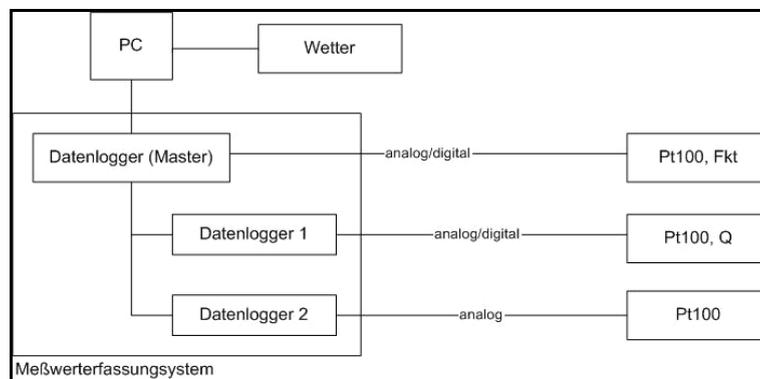


Bild 41: Schematische Darstellung der Messwerterfassungsanlage im Referenzgebäude.

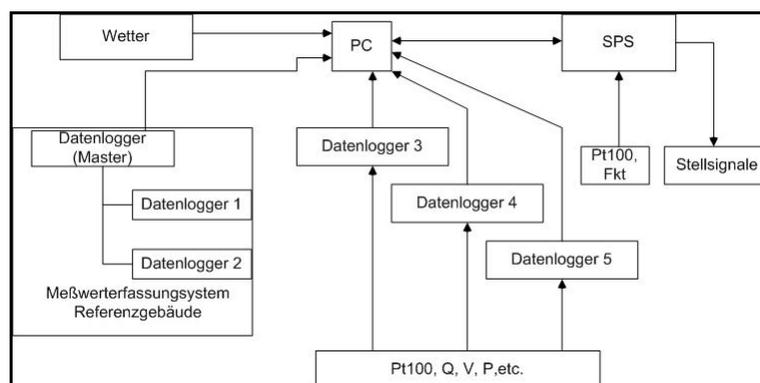


Bild 42: Schematische Darstellung der Messwerterfassungsanlage im Innovativgebäude.

#### 4.1.2 Messdatenerfassung IMEDAS™

Imedas™ ist ein am IBP entwickeltes und für die Belange der Bauphysikforschung optimiertes Software-System für die Bereiche Mess-, Steuerungs- und Regeltechnik (MSR). Die Bedienung erfolgt über normale Webbrowser. Im Einzelnen besteht Imedas™ aus folgenden Modulen:

- Planungswerkzeug (Prüfstands-Konfiguration)
- Mess- und Kommunikationsprogramm
- Visualisierung
- Zentrale Datenbank für Mess- und Zustandswerte
- Dokumentations- und Informationssystem
- Benutzer- und Projektverwaltung

Jedes dieser Module ist über den Startbildschirm (siehe Bild 43) erreichbar.

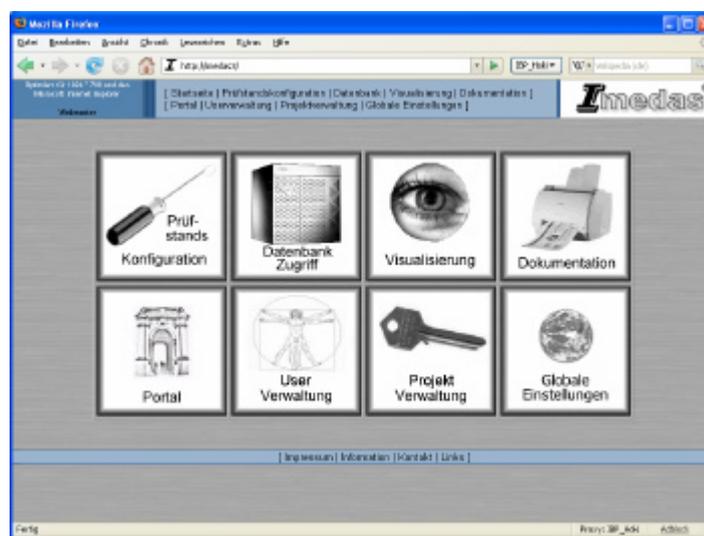


Bild 43: Startseite Imedas™-Softwaresystem.

Die Imedas-Datenbank ist die zentrale Instanz für alle im Projekt laufenden MSR-Prozesse. Alle Messdaten aus den Dataloggern werden in die Datenbank geschrieben. Dort können sie über den Messrechner in die Speicherprogrammierbaren Steuerungen (SPS) sofort wieder ausgelesen und z.B. als Istwerte für Regel- und Steuerungskreise verwendet werden. Der Vorteil einer Speicherprogrammierbaren Steuerungen (SPS) ist die höhere Betriebssicherheit im Gegensatz zu PC gestützten Systemen. Sollte der Signalfuss *PC* -> *Datenbank* -> *SPS* trotzdem einmal unterbrochen werden, so sind für kritische Prozesse jeweils eigene Eingangssensoren an der SPS vorgesehen, auf die im Notfall zurückgegriffen werden kann. Diese Signaleingänge besitzen dann zwar nicht die hohe Genauigkeit, sie sorgen jedoch dafür, dass die Regelkreise selbständig weiter laufen. Das meist genutzte Interface des Imedas-Systems ist die Auswertemaske der Datenbank. Im System angemeldete Benutzer erhalten Zugriff auf die für sie freigeschaltete Datenbank. Die Auswertemaske bietet zahlreiche Abfrage- und Einstellmöglichkeiten. So kann man bis zu 12 Datenkanäle gleichzeitig über frei definierbare Zeiträume in beliebiger Zeitrasterung ausgeben lassen. Ausgabeformen sind entweder verschieden farbige Messkurven oder ASCII-Datensätze. Exportfunktionen erlauben die Weiterverarbeitung der Grafiken in Berichten oder - im Falle der ASCII-Datensätze - in Spezialprogrammen zur wissenschaftlichen Auswertung.

Bild 44 zeigt ein berechnetes Kurvenfenster der Datenbankmaske. Solche Kurvenfenster-Konfigurationen können auch abgespeichert und wieder verwendet werden. Ebenso ist es möglich, sie über eine Exportfunktion an weitere Nutzer der Datenbank weiter zu geben.

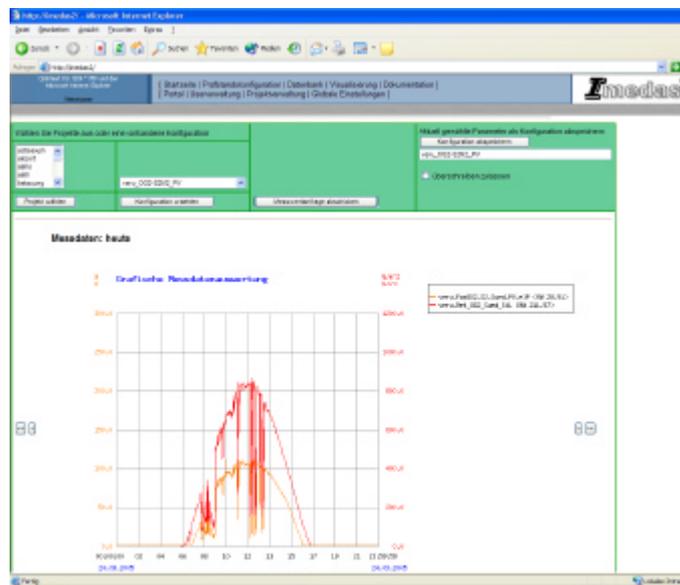


Bild 44: Datenbankmaske zur Erzeugung von Grafiken bzw. Export der Messdaten in Form von ASCII-Datensätzen.

Laufende Prozesse und Messungen lassen sich mit Hilfe der imedasinernen Visualisierung veranschaulichen. Auf dem Imedas-Datenbankserver läuft ein Webserver, der diese Seiten an den Browser des Benutzers ausliefert. Über jedem javafähigen Webbrowser kann die Visualisierung aufgerufen werden. Somit ist es möglich, bequem vom Arbeitsplatz aus, oder falls gewünscht, auch per Internet die aktuellen Zustände der laufenden Versuche einzusehen. Notwendig sind hier wiederum entsprechende Zugriffsrechte auf die Projekt-Visualisierung. Es handelt sich bei den Prozessbild-Darstellungen um einfache HTML-Seiten mit eingebettetem Java®-Applet. Dieses Applet ist Teil des Imedas-Systems und erlaubt eine Datenkommunikation in beide Richtungen - vom und zum Imedas-Webserver. Dies ist insofern wichtig, da über diese Funktion auch Änderungen an den laufenden Versuchsparametern eingegeben werden können. Mit Hilfe von Hintergrundgrafiken lässt sich die jeweilige Versuchsumgebung veranschaulichen. Im Vordergrund der Seite sind Datenfelder oder Prozessbilder dazu im Kontext angeordnet. Jeder Wert läuft über die zentrale Datenbank. Deshalb holt sich das Applet auch von dort die aktuellen Mess- und Zustandswerte und gibt sie anschließend aus. Bild 45 zeigt exemplarisch eine Visualisierungsseite aus dem Schwabensan-Projekt und Bild 46 die Messzentrale im Innovativgebäude.

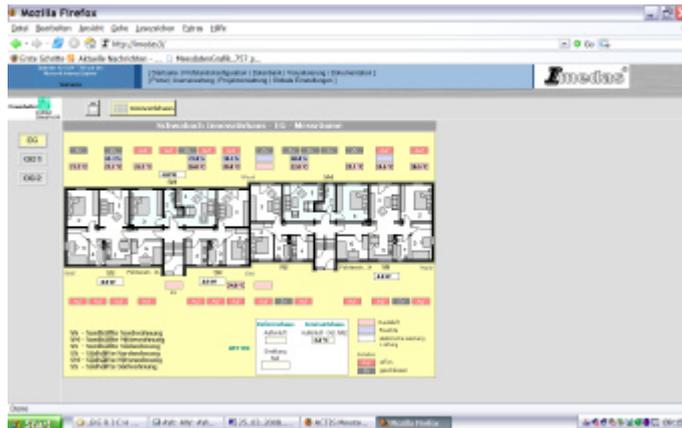


Bild 45: Online-Visualisierungsseiten zur Kontrolle und Steuerung der Versuchsrandbedingungen.



Bild 46: Messdatenerfassungszentrale im Heizungsraum des Innovativgebäudes.

### 4.1.3 Scanner

#### **Agilent-Datenerfassung:**

Der Großteil der Messdaten wird mit Datenerfassungs- und Schalteinheiten der Firma Agilent aufgenommen. Diese bestehen aus einem Multimeter für verschiedene elektrische Größen und Relais-Multiplexer-/Umschalter-Einschüben zur Messung von Widerstand oder Spannung. Diese kommen zur Anwendung, da zur Temperaturmessung ausschließlich Pt 100-Widerstands-Thermometer in 4-Leiter-Schaltung verwendet werden. Hierbei wird ein Leiterpaar am Widerstand mit einem konstanten Strom beaufschlagt; der Quotient mit der am zweiten Leiterpaar gemessenen Spannung ergibt den Widerstandswert. Mittels im o. g. Imedas<sup>TM</sup>-System integrierter Umrechnungspolynome wird aus diesem die Temperatur des Sensors berechnet. Weitere physikalische Größen wie z. B. relative Luftfeuchte und Luftströmungsgeschwindigkeit werden durch entsprechende Transmitter in analoge Spannungssignale umgewandelt. Diese werden ebenfalls mit den Agilent-Messgeräten erfasst. Die Analog-digital-Wandlung im Agilent-Multimeter hat eine Auflösung von 22 bit. Alle Sensoren werden mit einer Rate von 15 s abgetastet; ein Mittelwert aus vier aufeinander folgenden Messwerten wird jede Minute gespeichert.

#### **Gantner-Datenerfassung:**

Die elektronischen Datenerfassungsgeräte der Firma Gantner besitzen verschiedenen einsetzbare Eingänge zur Messung analoger Signale wie auch Eingänge zur Verarbeitung digitaler Größen. Durch den eingebauten Mikroprozessor können alle Signale intern in Werte der ursprünglichen physikalischen Größen umgerechnet werden. Als Analogwerte werden Temperaturen von Pt 100-Sensoren als Spannungssignal erfasst. Öffnungszeiten von Fenstern und Impulse von Energie- oder Massenstrom-Zählern werden als Digitalsignal registriert. Die Analog-digital-Wandlung der Analog-Signal-Eingänge hat eine Auflösung von 12 bit. Dabei wurde der interne Speicher der Geräte zur Messwertaufzeichnung genutzt. Weiterhin sind Gantner-Geräte mit einer Bus-Schnittstelle ausgestattet, die es ermöglicht, die einzelnen Messwertaufzeichnungs-Module über kürzere Strecken verteilt anzuordnen. Die Messdatenaufzeichnung erfolgt bei einem solchen Bussystem an einem zentralen Punkt. Diese Variante wurde im Versuch bei der Anbindung der Datenerfassung des Referenzgebäudes an die Datenfernübertragung im Innovativgebäude genutzt.

#### **SPS-Datenerfassung:**

Zusätzlich zur Aufgabe der Regelung der verschiedenen Solar-Thermie-Anlagen werden von der SPS im Innovativgebäude die Öffnungszeiten der Fenster in diesem Gebäude erfasst.

#### **Datenfernübertragung:**

Jede Komponente des Datenerfassungssystems ist mit dem leistungsfähigen PC mit DSL-Internet-Anschluß im Keller des Innovativgebäudes verbunden. Dies gewährleistet die ständige Übertragung der Messdaten an die o. g. Imedas<sup>TM</sup>-Datenbank am IBP-Standort Holzkirchen.

## 4.2 Messstellen

### 4.2.1 Meteorologie

Auf dem Dach des Referenzgebäudes ist eine Kompakt-Wetterstation mit Mikroprozessor der Firma Reinhardt installiert. Es werden die nachfolgend genannten Größen gemessen bzw. berechnet:

- Lufttemperatur
- Globalstrahlung
- relative Luftfeuchte
- barometrischer Luftdruck
- Windgeschwindigkeit
- Windrichtung
- Windchill (Rechenwert)
- Taupunkt (Rechenwert)

Die Wetterstation ist über eine serielle Verbindung an einen PC im Keller des Gebäudes angeschlossen, auf dem die Wetterdaten gespeichert werden.

### 4.2.2 Wärmemengen der Anlagentechnik

Die Wärmemengen in der Heizungs- und Trinkwasseraufbereitungsanlage wurden mit INVENSYS-Wärmemengenzählern, bestehend aus Durchflussmengenählern auf Flügelradbasis, integrierten Vor- und Rücklauftemperaturenfühlern und Rechenwerk erfasst. Die Geräte können per Hand abgelesen werden und besitzen Impulsausgänge für die Messwerterfassungsanlage. Die einzelnen Messaufnehmer sind auf die jeweiligen Durchflussmengen abgestimmt. Bild 47 zeigt die Anordnung der Wärmemengen im Referenzhaus. Erfasst werden hier die Wärmemengen für das Raumheizsystem, für die Trinkwassernachheizung, für den solaren Eintrag aus dem Flachkollektor sowie die Trinkwasserentnahme. Im Innovativhaus, siehe Bild 48 sind weitere Wärmemengenzähler installiert, um auch einzelne vertikale Heizungsstränge, d.h. Wohnungen, welche übereinander liegen, separat erfassen zu können. Somit ist es möglich, den Nutzwärmeverbrauch von Südblock/Süd, Südblock/Mitte, Südblock/Nord, Nordblock/Süd, Nordblock/Mitte und Nordblock/Nord getrennt zu erfassen. In den Solarkreisläufen werden erprobte, hochgenaue magnetoinduktive Durchflussmengenähler sowie Pt-100-Tauchfühler für die Vor- und Rücklauftemperaturen eingesetzt, aus denen die Wärmemengen errechnet werden (Bild 49).

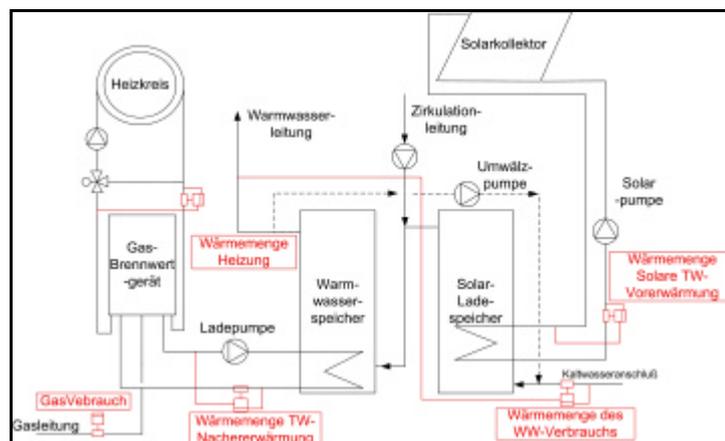


Bild 47: Schematische Darstellung der Erfassung der Wärmemengen im Referenzgebäude.

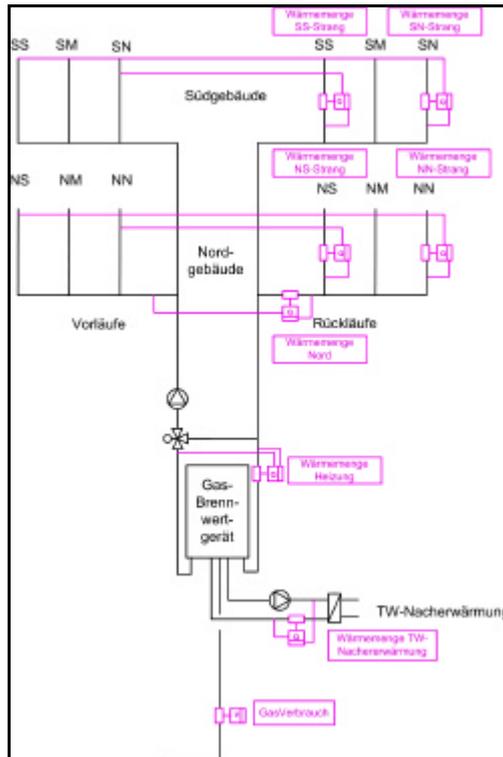


Bild 48: Schematische Darstellung der Erfassung der Wärmemengen im Innovativgebäude.

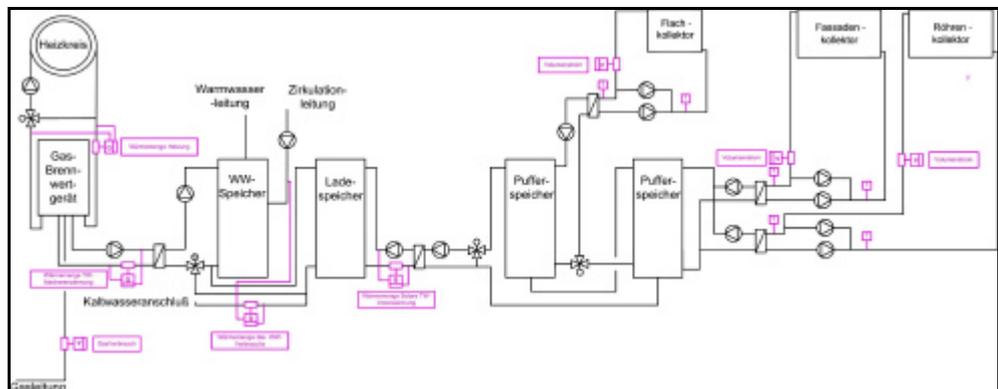


Bild 49: Schematische Darstellung der Erfassung der Messgrößen im Zusammenhang mit der solaren Trinkwasserbereitung im Innovativgebäude.

### 4.2.3 Hilfsenergien

Zur Erfassung der elektrischen Energieverbräuche der einzelnen Wohnungen und der elektrischen Hilfsenergie der gesamten Heizungsanlage sind im Keller der Gebäude handelsübliche Elektrozähler, siehe Bild 50 eingebaut. Diese werden in der Messphase monatlich per Hand abgelesen.



Bild 50: Elektrozähler zur Handablesung der Verbräuche in den einzelnen Wohnungen sowie der Hilfsenergie für die Heizungsanlage.

### 4.2.4 Raumlufthtemperaturen und -feuchte

Die Raumlufthtemperaturen und -feuchten werden in repräsentativen Räumen aller Wohnungen kontinuierlich erfasst. Ein Fühler befindet sich dabei im jeweiligen Hauptwohnraum und ein zweiter im Schlafraum. Ein an einer unbesonnten Stelle in ca. 1,70 m Höhe montierter Kombifühler ist im Bild 51 links dargestellt.



Bild 51: Kombierter Raumlufthtemperatur- und Raumlufthfeuchtefühler (links) und Luftqualitätsfühler (rechts).

#### 4.2.5 Raumlufqualität

Bild 51 zeigt rechts das Gehäuse, in dem Fühler und Elektronik des LuQaS-Systems (Fa. ETR-GmbH, [www.etr-gmbh.de](http://www.etr-gmbh.de)) untergebracht ist. Es handelt sich dabei, im Gegensatz zu üblichen in der Raumlufqualitätsmessung eingesetzten CO<sub>2</sub>-Sensoren um einen VOC (volatile organic compound) Detektor. Dieser besteht aus oxidierbaren Schichten, z.B. Zinnoxid, welche ihren elektrischen Widerstand verändern, wenn oxidierbare Luftbestandteile auf das Oxid treffen. Bei der Entwicklung des Sensors wurden nach Herstellerangaben Querempfindlichkeiten z.B. Temperatur- und Feuchteinflüsse reduziert sowie Langzeitstabilität gewährleistet. Die Elektronik liefert einen Index für die Luftqualität; dieser liegt zwischen 100 und 220. Niedrige Werte entsprechen qualitativ einer guten, höhere einer schlechteren Raumlufqualität. Eine genaue Zuordnung zu absoluten Konzentration verschiedener Schadstoffe ist nicht möglich.

#### 4.2.6 Fensterkontakte

Sämtliche Fenster (mit Ausnahme der Treppenhäuser) sind mit handelsüblichen, in den Rahmen integrierten Fensterkontakten ausgestattet. Zwischen Dreh- und Kippstellung kann nicht unterschieden werden.

## 5 Messergebnisse

### 5.1 Meteorologische Randbedingungen

In Tabelle 7 sind die Monatsmittelwerte der meteorologischen Randbedingungen der Jahre 2005 bis 2007 dargestellt. Die entsprechenden Referenzklimadaten für die Bundesrepublik Deutschland (Quelle: EnEV) zeigt Tabelle 8. Die gemessenen Außenlufttemperaturen entsprechen in den Heizmonaten des Jahres 2005 in etwa denen des Referenzklimas. Im Jahr 2006 lagen die Außenlufttemperaturen etwas unterhalb der Referenzwerte.

Tabelle 7: Monatswerte von Außenlufttemperatur und Globalstrahlung im Untersuchungszeitraum.

	Außenlufttemperatur [°C]			Globalstrahlung [kWh/m <sup>2</sup> Monat]		
	2005	2006	2007	2005	2006	2007
Januar	0,8	-3,2	4,5	19	20	15
Februar	-1,9	-0,4	4,1	36	29	31
März	3,2	2,2	5,8	73	59	70
April	9,7	8,7	11,7	100	90	146
Mai	13,3	13,6	14,9	142	133	136
Juni	18,0	17,6	18,1	156	167	161
Juli	18,8	22,6	18,4	137	171	153
August	16,1	15,9		112	96	
September	14,7	17,1		121	132	
Oktober	9,9	11,7		65	61	
November	3,2	6,2		21	23	
Dezember	0,0	0,7		12	13	
Durchschnitt	8,8	9,4	11,1			
Summe				994	994	

Tabelle 8: Referenzklima nach EnEV für die Bundesrepublik Deutschland.

Monat	Außenlufttemperatur [°C]	Globalstrahlung [kWh/m²]
Januar	-1,3	25
Februar	0,6	35
März	4,1	61
April	9,5	137
Mai	12,9	157
Juni	15,7	184
Juli	18,0	190
August	18,3	133
September	14,4	97
Oktober	9,1	56
November	4,7	28
Dezember	1,3	14
Mittelwert	8,9	
Summe		1.117

## 5.2 Gemessene Verbräuche

### 5.2.1 Gas und Heizenergieverbräuche

In Bild 52 bis Bild 55 sind die gemessenen Gasverbräuche von Innovativ- und Referenzgebäude aufgezeigt. Tabelle 9 enthält die Jahressummen für 2005 bzw. 2006. Das Innovativgebäude verbraucht dabei 17,5 im Jahr 2005 bzw. 22,7 % im Jahr 2007 weniger als das Referenzgebäude für die Jahre 2005 und 2006.

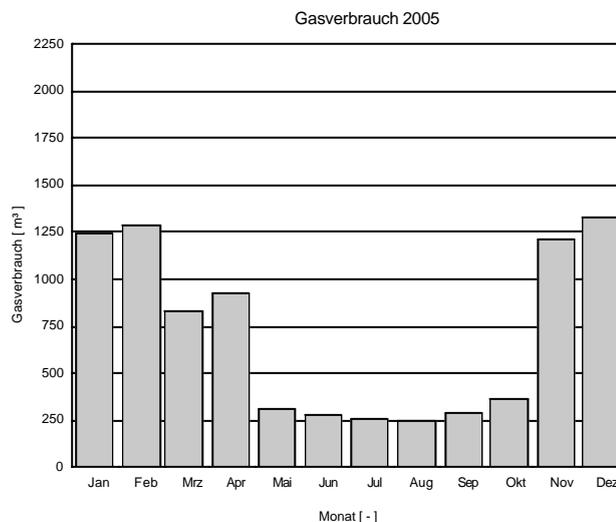


Bild 52: Gasverbrauch im Innovativgebäude 2005.

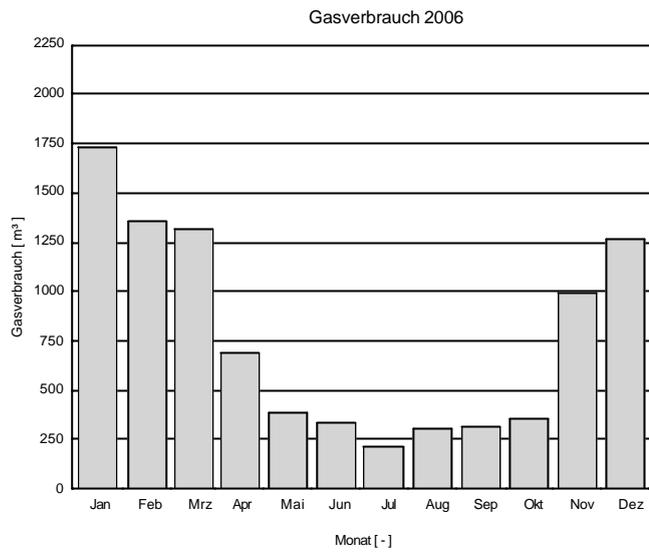


Bild 53: Gasverbrauch im Innovativgebäude 2006.

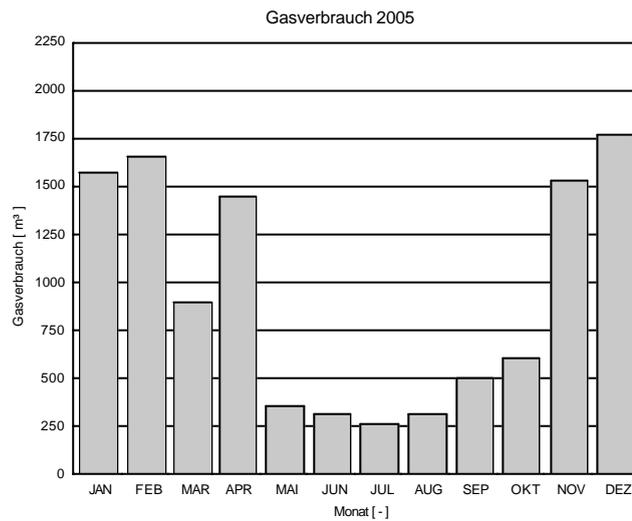


Bild 54: Gasverbrauch des Referenzgebäudes im Jahr 2005.

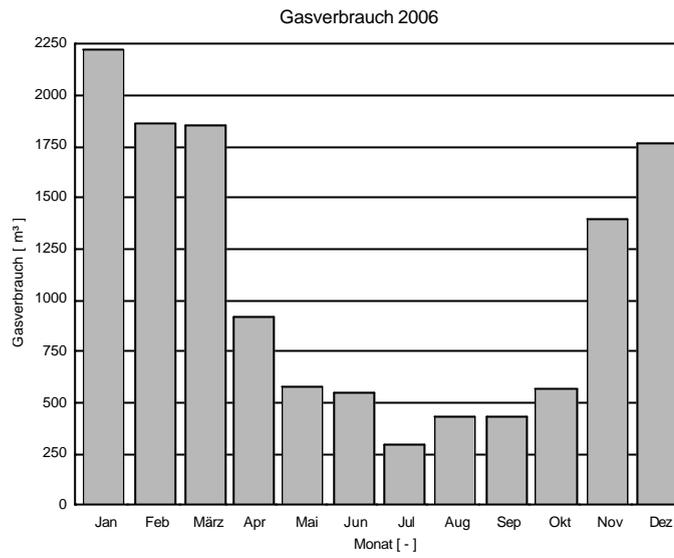


Bild 55: Gasverbrauch des Referenzgebäudes im Jahr 2006.

Tabelle 9: Jahressummen des Gasverbrauchs.

	Jährlicher Gasverbrauch [m <sup>3</sup> ]	
	2005	2006
Innovativgebäude	8.555	9.953
Referenzgebäude	10.368	12.883

Tabelle 10 und Tabelle 11 geben einen Überblick zu Gasverbräuchen, Raumheizenergie, Trinkwassernachheizung, Hilfsenergien für Heizung und Lüftungsanlagen im Innovativgebäude in den Jahren 2005 und 2006. Die Berechnung des Primärenergieverbrauchs für Raumheizung wird folgendermaßen durchgeführt:

- Prozentuale Aufteilung des Gasverbrauchs auf Raumheizenergie und Energie für Nachheizung des Trinkwassers gemäß dem Verhältnis der Wärmemengen beider Anteile
- Multiplikation des anteiligen Gasverbrauchs für Raumheizenergie mit dem unteren Brennwert für Erdgas nach Angaben des Gasversorgers in Schwabach von 10,34 kWh/m<sup>3</sup>
- Berücksichtigung des Primärenergiefaktors für Erdgas von 1,1 und für elektrische Energie von 2,7.

Unter Berücksichtigung aller Hilfsenergien ergibt sich ein Primärenergieverbrauch von 5,4 (im Jahr 2005) bzw. 5,6 (im Jahr 2006) Litern Heizöl.

Tabelle 10: Energieverbräuche des Innovativgebäudes im Jahr 2005.

2005 Monat	Gas [m <sup>3</sup> ]	Heizenergie [kWh]	Nachheizung Trinkwasser [kWh]	Hilfsenergien Heizung [kWh]	Hilfsenergien Lüftung [kWh]	Trinkwasser- entnahme- [kWh]
Januar	1.240	7.970	3.850	251		2.453
Februar	1.289	8.420	3.510	249		2.471
März	828	4.130	3.210	329		2.297
April	928	4.630	2.990	259		3.462
Mai	308	440	2.600	188		1.439
Juni	274	60	2.330	231		1.266
Juli	259	0	2.200	273		1.129
August	248	110	2.020	289		849
September	287	210	2.300	285		1.075
Oktober	362	1.380	1.860	233		932
November	1.208	7.390	3.370	346		2.028
Dezember	1.324	8.450	3.430	282		2.023
<b>Gesamt</b>	<b>8.555</b>	<b>43.190</b>	<b>33.670</b>	<b>3.832</b>	<b>1.165</b>	<b>21.424</b>

Tabelle 11: Energieverbräuche des Innovativgebäudes im Jahr 2006.

<b>2006</b> Monat	<b>Gas</b> [m <sup>3</sup> ]	<b>Heizener- gie</b> [kWh]	<b>Nachheizung Trinkwasser</b> [kWh]	<b>Hilfsener- gien Heizung</b> [kWh]	<b>Hilfsener- gien Lüftung</b> [kWh]	<b>Trinkwasser- entnahme-</b> [kWh]
Januar	1.731	11.630	3.950	375		2.448
Februar	1.356	8.450	3.630	319		2.375
März	1.317	7.290	4.290	366		2.947
April	687	2.670	3.390	301		2.154
Mai	387	350	2.980	293		1.787
Juni	331	150	2.660	322		1.461
Juli	209	0	1.750	261		901
August	308	190	2.380	342		1.079
September	314	130	2.490	315		1.247
Oktober	351	1.010	2.040	225		1.104
November	997	5.360	3.450	359		1.988
Dezember	1.271	7.840	3.530	354		2.104
<b>Gesamt</b>	<b>9.259</b>	<b>45.070</b>	<b>36.540</b>	<b>3.832</b>	<b>1.068</b>	<b>21.595</b>

## 5.2.2 Wärmemengen der Anlagentechnik

In Bild 56 und Bild 57 sind die Verbräuche für Heizenergie, Trinkwassernachheizung sowie die elektrische Hilfsenergie für die Lüftungsanlagen im Innovativgebäude in den Jahren 2005 und 2006 grafisch dargestellt.

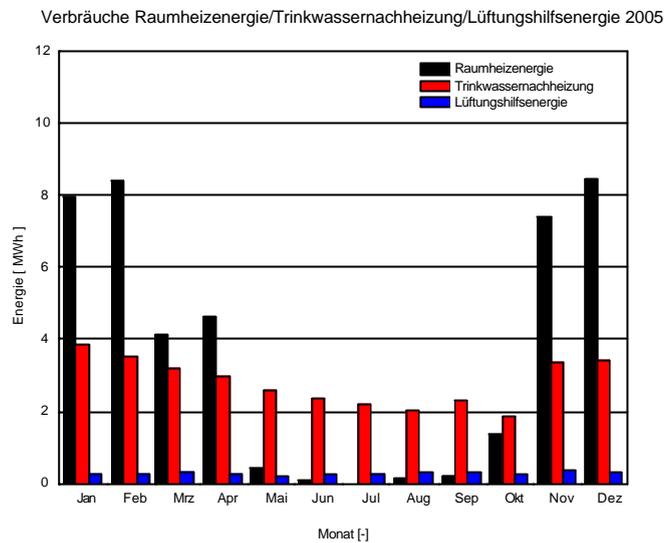


Bild 56: Energieverbrauch für Heizwärme, Trinkwassernachheizung und Hilfsenergien für Lüftungsanlagen im Innovativgebäude im Jahr 2005.

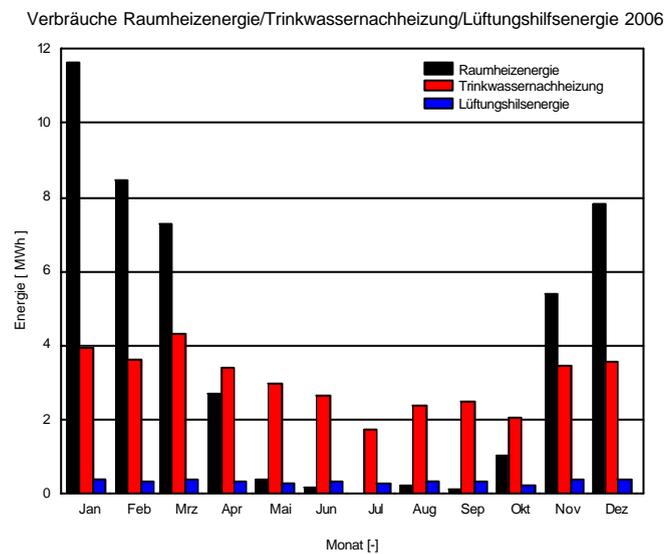


Bild 57: Energieverbrauch für Heizwärme, Trinkwassernachheizung und Hilfsenergien für Lüftungsanlagen im Innovativgebäude für das Jahr 2006.

In Bild 58 und Bild 59 sind monatsweise die Heizwärmeverbräuche in den einzelnen vertikalen Heizungssträngen grafisch dargestellt. Es zeigen sich hierbei keine wesentlichen Unterschiede zwischen dem Verbrauch von Süd- und Nordwohnungen. Dies liegt im Wesentlichen an der Ost-/Westorientierung der Grundrisse und dem geringen Fensteranteil in den Giebelbereichen.

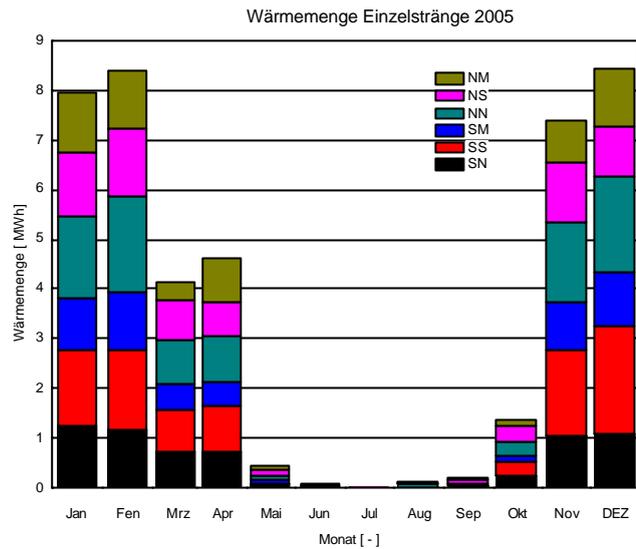


Bild 58: Heizwärmeverbrauch in einzelnen vertikalen Strängen im Innovativgebäude 2005.

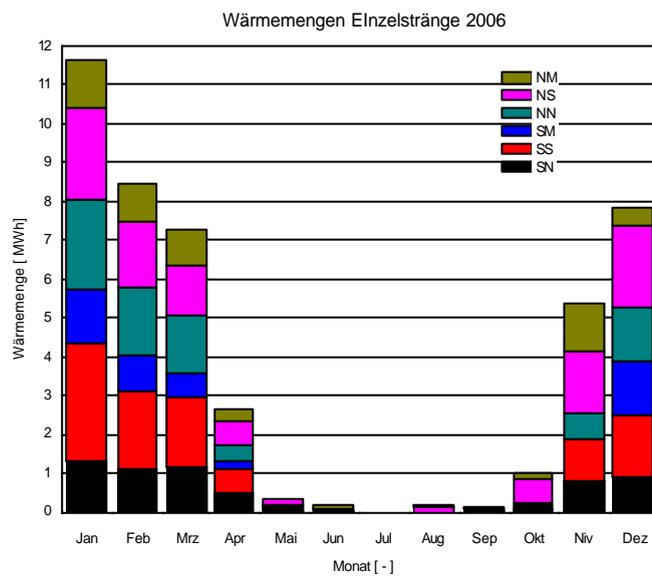


Bild 59: Heizwärmeverbrauch in einzelnen vertikalen Strängen im Innovativgebäude 2006.

### 5.2.3 Hilfsenergien

Die elektrischen Hilfsenergien der gesamten Heizungsanlage im Innovativgebäude sind monatsweise in Bild 60 dargestellt. Auffallend sind auch vergleichsweise hohe Verbräuche im Sommer. Dies ist durch den ganzjährigen Betrieb der Heizung (Umwälzpumpe) sowie der Solaranlagen bedingt.

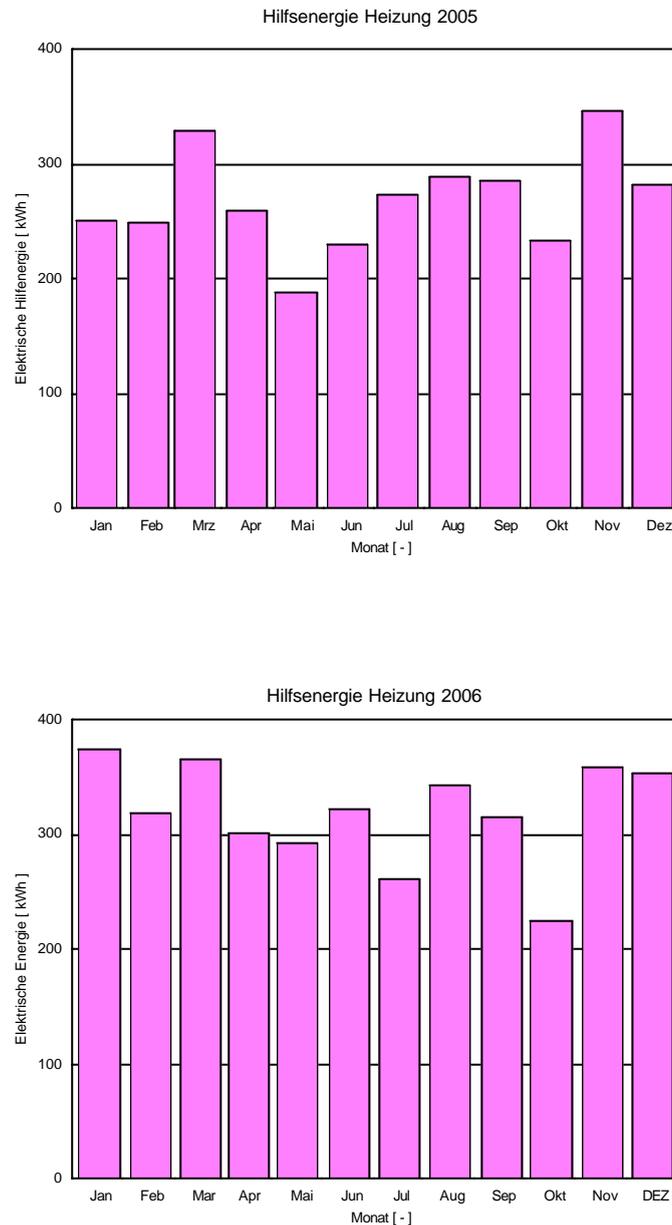


Bild 60: Hilfsenergien der Heizungsanlage im Innovativhaus in den Jahren 2005 und 2006.

## 5.2.4 Raumlufthtemperaturen

Die während der Heizmonate gemessenen Mittelwerte der Raumlufthtemperaturen aller Wohnungen sind in Tabelle 12 und Tabelle 13 aufgelistet. Eine grafische Darstellung dieser Daten findet sich in

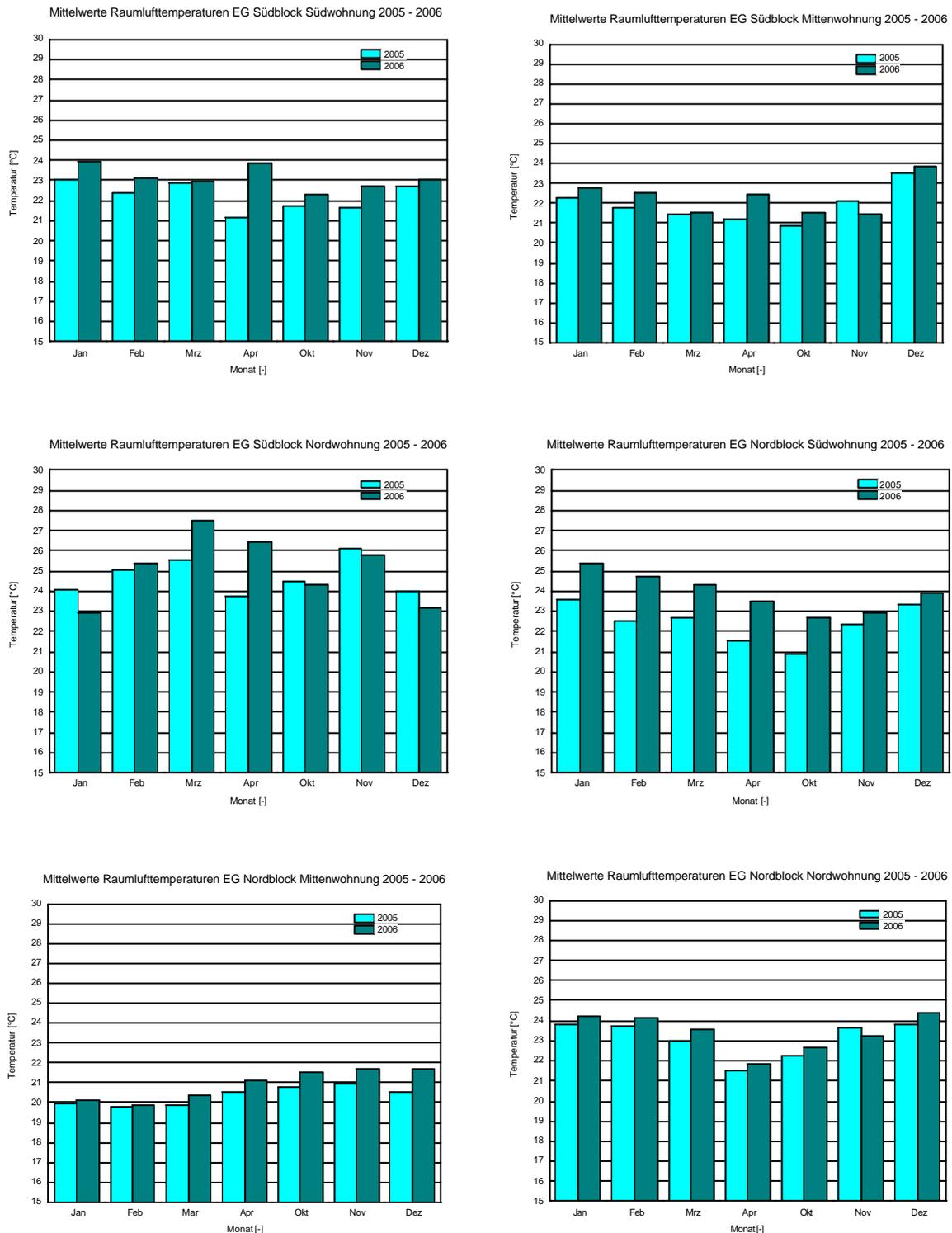


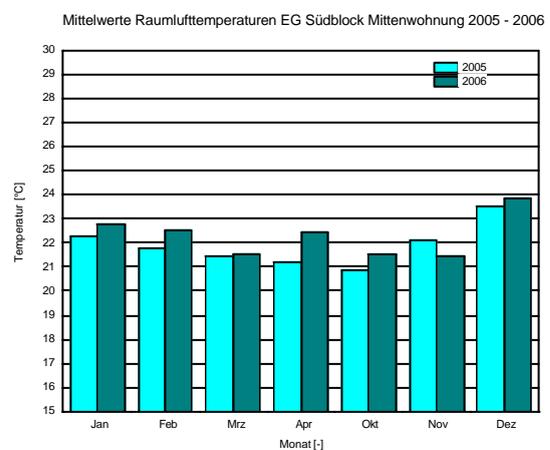
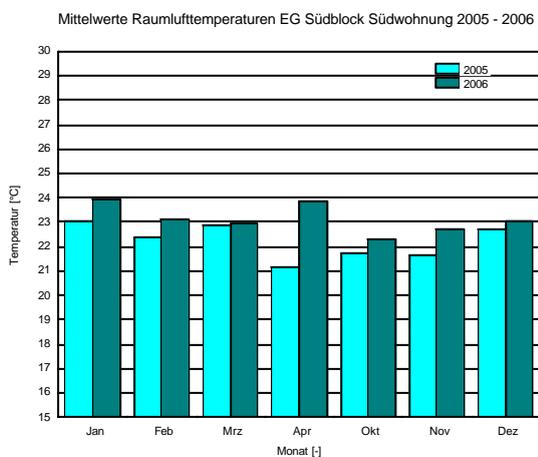
Bild 61, Bild 62 und Bild 63. Es ist festzustellen, dass die unter realen Nutzungsbedingungen gemessenen Werte erheblich über den in den EnEV-Berechnungen angesetzten 19 °C liegen. Der

gesamte Mittelwert in allen Wohnungen beträgt während der Heizmonate in 2005 bei 22,4 °C und im Jahr 2006 bei 23,0 °C.

Tabelle 12: Monatsmittelwerte der Raumlufttemperaturen im Innovativhaus 2005.

Wohnung	Jan 2005	Feb 2005	Mar 2005	Apr 2005	Okt 2005	Nov 2005	Dez 2005	Mittelwerte
I_EG_NM	20,0	19,8	19,8	20,6	20,8	20,9	20,5	<b>20,3</b>
I_EG_NN	23,8	23,7	23,0	21,5	22,3	23,6	23,8	<b>23,1</b>
I_EG_NS	23,6	22,5	22,7	21,5	20,9	22,3	23,4	<b>22,4</b>
I_EG_SM	22,2	21,8	21,4	21,2	20,9	22,1	23,5	<b>21,9</b>
I_EG_SN	24,1	25,0	25,6	23,8	24,5	26,1	24,0	<b>24,7</b>
I_EG_SS	23,1	22,4	22,9	21,2	21,7	21,7	22,7	<b>22,2</b>
I_OG1_NM	22,1	21,6	21,0	21,1	20,3	19,1	18,3	<b>20,5</b>
I_OG1_NN	21,2	21,0	22,4	21,3	22,2	22,4	23,4	<b>22,0</b>
I_OG1_NS	22,2	22,4	22,0	21,0	21,1	21,7	21,5	<b>21,7</b>
I_OG1_SM	22,4	21,9	21,9	21,4	21,2	22,0	22,6	<b>21,9</b>
I_OG1_SN	23,3	25,1	24,1	22,6	21,4	24,9	25,6	<b>23,9</b>
I_OG1_SS	24,6	23,7	24,9	24,0	23,7	24,1	24,3	<b>24,2</b>
I_OG2_NM	21,1	20,6	21,1	21,4	19,8	20,1	23,5	<b>21,1</b>
I_OG2_NN	17,8	20,2	20,4	21,7	21,9	20,4	20,9	<b>20,5</b>
I_OG2_NS	24,2	24,3	24,4	23,9	20,2	22,8	23,5	<b>23,3</b>
I_OG2_SM	21,5	21,0	21,4	22,6	22,4	22,2	22,1	<b>21,9</b>
I_OG2_SN	23,5	23,1	24,1	25,7	22,9	25,6	26,4	<b>24,5</b>
I_OG2_SS	23,1	22,4	22,9	23,2	23,4	23,3	23,9	<b>23,2</b>
<b>Mittelwerte</b>	<b>22,4</b>	<b>22,3</b>	<b>22,6</b>	<b>22,2</b>	<b>21,7</b>	<b>22,5</b>	<b>23,0</b>	<b>22,4</b>

In



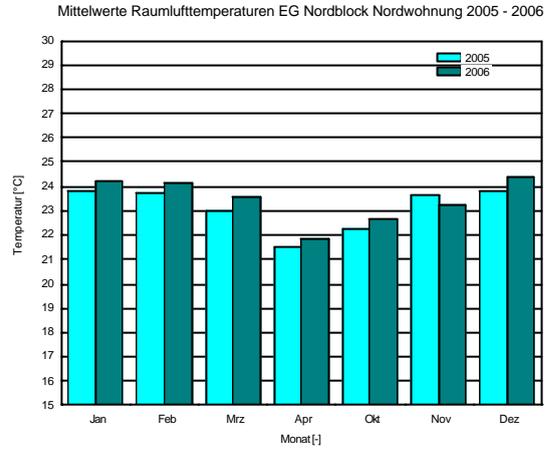
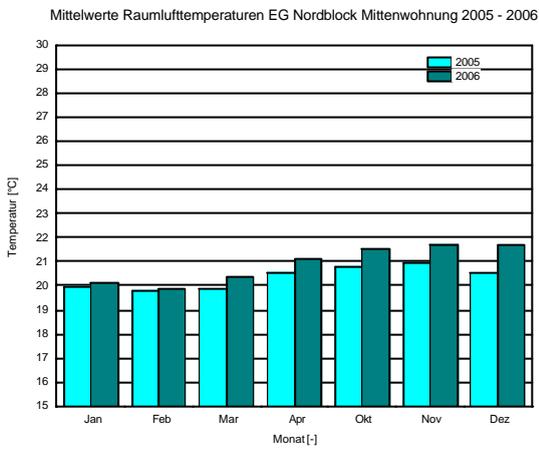
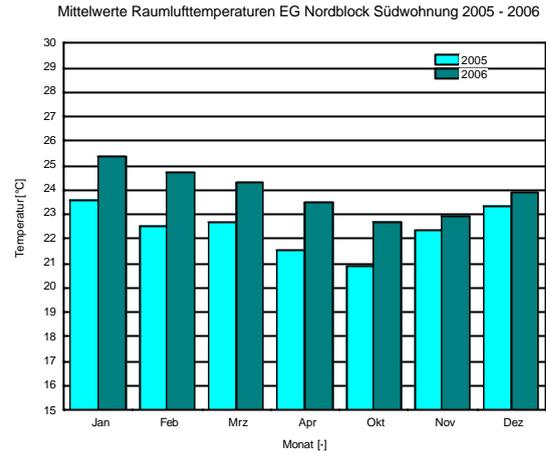
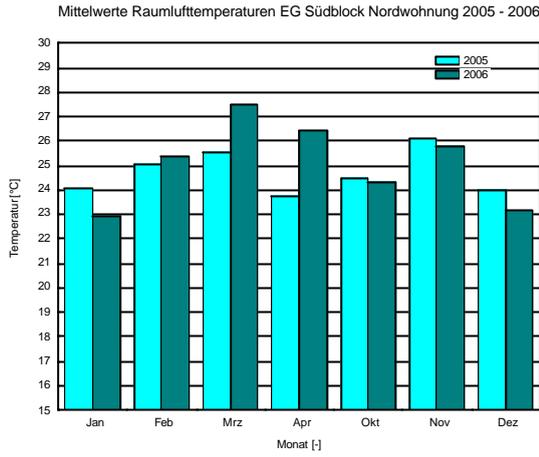


Bild 61 bis Bild 63 sind die mittleren monatlichen Raumlufthtemperaturen während der Heizmonate in den Jahren 2005 und 2006 grafisch dargestellt.

Tabelle 13: Monatsmittelwerte der Raumlufttemperaturen im Innovativhaus 2006.

<b>Wohnung</b>	<b>Jan 2006</b>	<b>Feb 2006</b>	<b>Mar 2006</b>	<b>Apr 2006</b>	<b>Okt 2006</b>	<b>Nov 2006</b>	<b>Dez 2006</b>	<b>Mittelwerte</b>
I_EG_NM	20,1	19,9	20,4	21,1	21,5	21,7	21,7	<b>20,9</b>
I_EG_NN	24,2	24,2	23,6	21,9	22,7	23,3	24,4	<b>23,5</b>
I_EG_NS	25,4	24,7	24,3	23,5	22,7	22,9	23,9	<b>23,9</b>
I_EG_SM	22,8	22,6	21,5	22,5	21,5	21,5	23,9	<b>22,3</b>
I_EG_SN	22,9	25,4	27,5	26,4	24,4	25,8	23,2	<b>25,1</b>
I_EG_SS	23,9	23,1	23,0	23,9	22,3	22,7	23,1	<b>23,1</b>
I_OG1_NM	20,4	19,2	20,7	21,4	22,5	22,0	20,4	<b>21,0</b>
I_OG1_NN	24,2	24,0	23,6	22,8	22,4	21,9	22,7	<b>23,1</b>
I_OG1_NS	22,6	23,0	22,8	22,3	22,4	21,7	21,7	<b>22,4</b>
I_OG1_SM	22,5	22,1	22,3	22,6	22,9	22,4	23,0	<b>22,5</b>
I_OG1_SN	25,7	25,0	24,7	24,1	22,7	24,7	25,2	<b>24,6</b>
I_OG1_SS	23,7	24,0	24,1	24,3	23,2	22,2	23,6	<b>23,6</b>
I_OG2_NM	21,7	22,5	21,6	20,2	20,8	21,3	19,4	<b>21,1</b>
I_OG2_NN	20,7	21,1	21,4	20,4	21,3	21,4	19,5	<b>20,8</b>
I_OG2_NS	25,2	24,8	23,5	21,5	25,3	25,7	23,8	<b>24,3</b>
I_OG2_SM	22,8	23,0	22,6	23,0	23,1	21,4	22,9	<b>22,7</b>
I_OG2_SN	25,8	25,6	26,2	25,8	25,0	25,4	25,4	<b>25,6</b>
I_OG2_SS	23,8	23,6	23,3	23,5	23,3	22,4	22,5	<b>23,2</b>
<b>Mittelwerte</b>	<b>23,2</b>	<b>23,2</b>	<b>23,2</b>	<b>22,8</b>	<b>22,8</b>	<b>22,8</b>	<b>22,8</b>	<b>23,0</b>

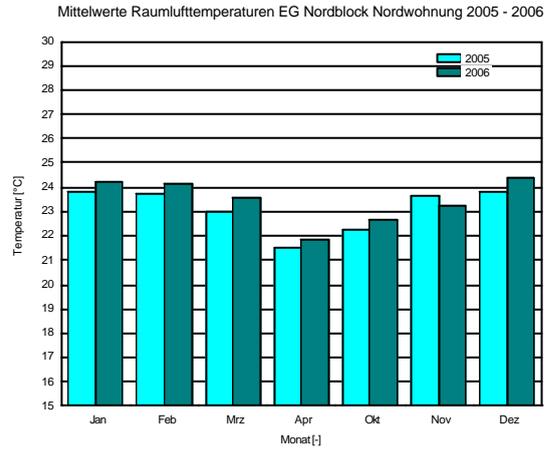
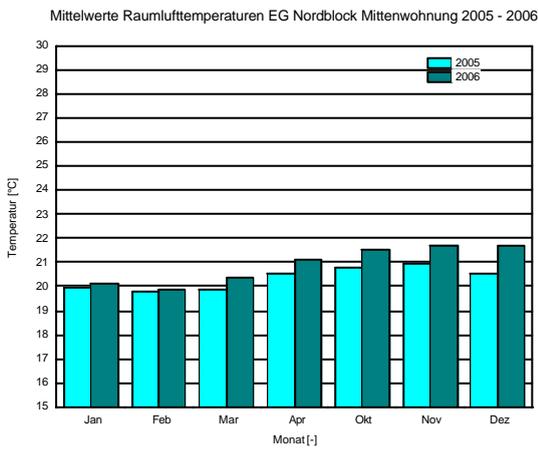
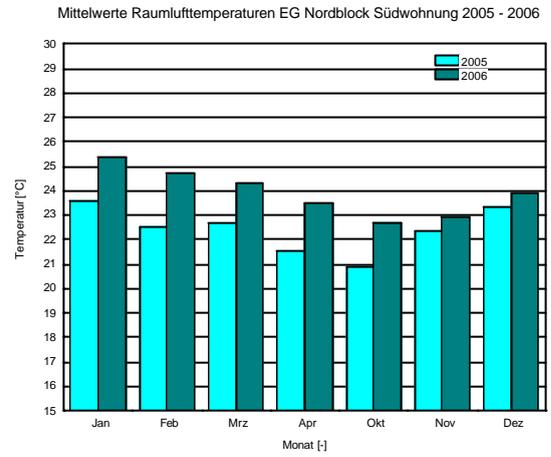
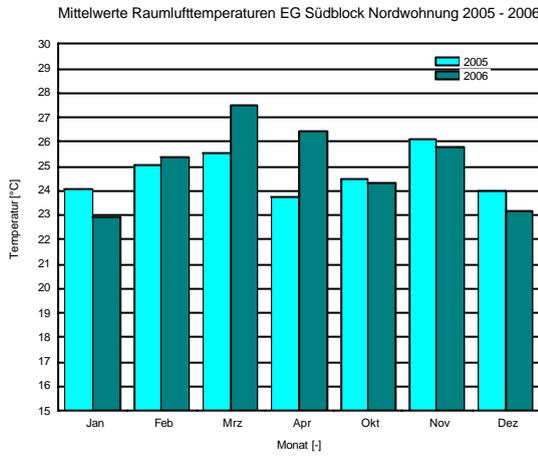
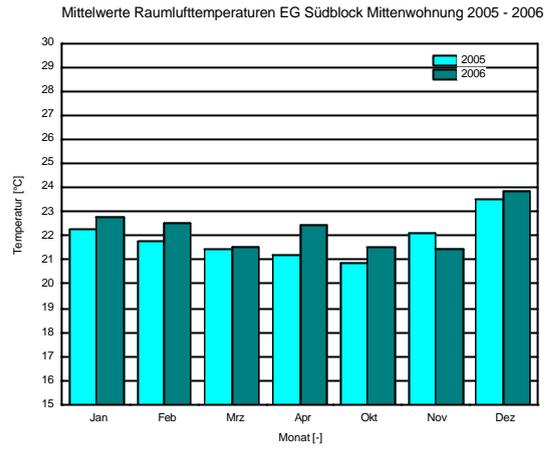
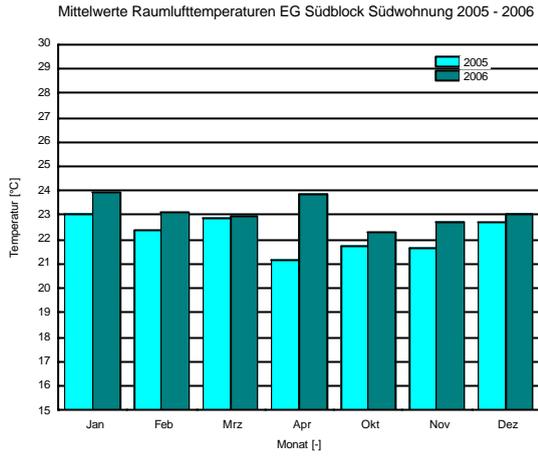


Bild 61: Mittelwert der Raumlufthtemperatur im Erdgeschoß.

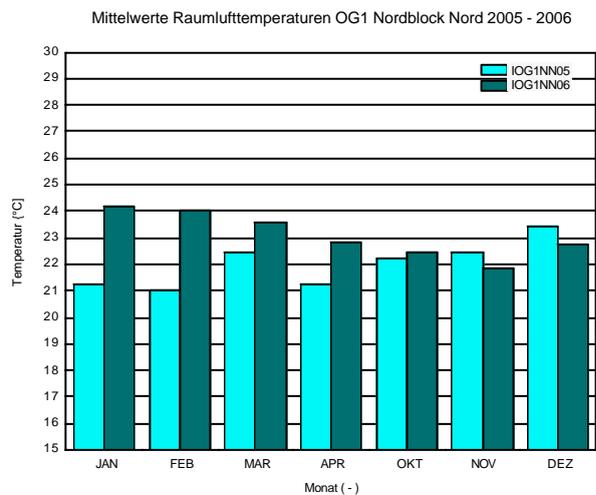
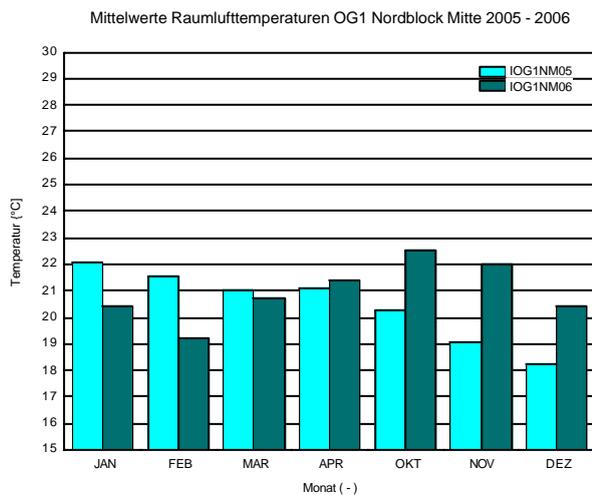
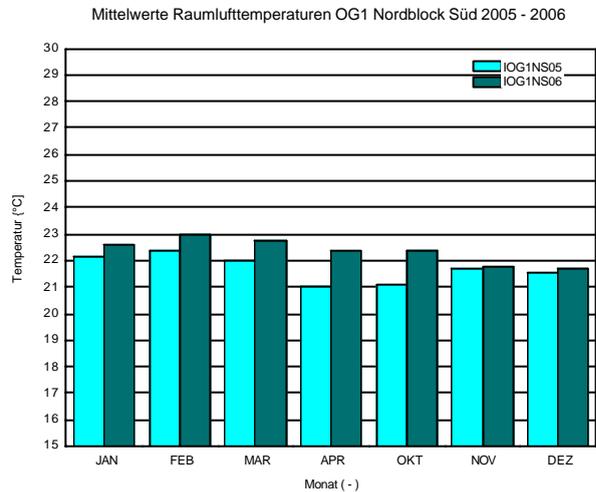
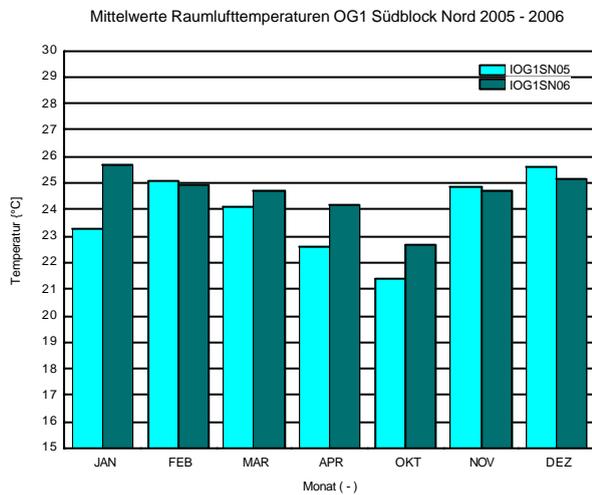
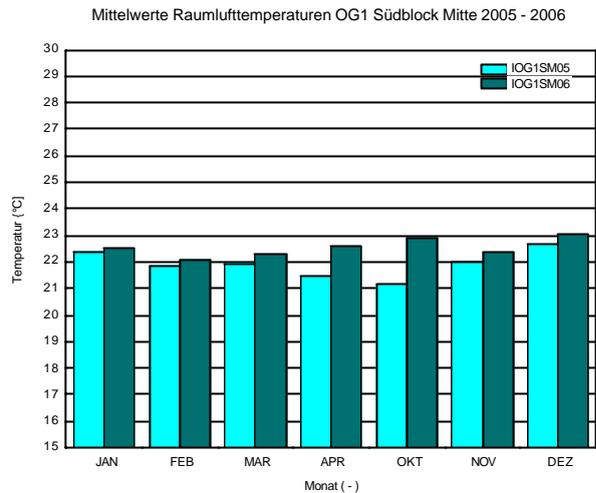
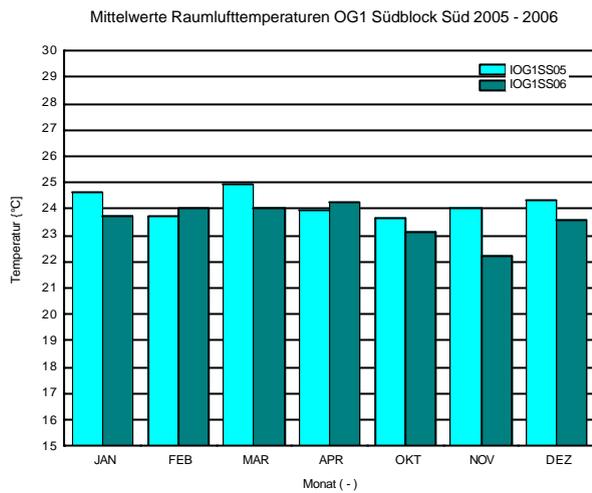


Bild 62: Mittelwert der Raumlufttemperatur im ersten Obergeschoß.

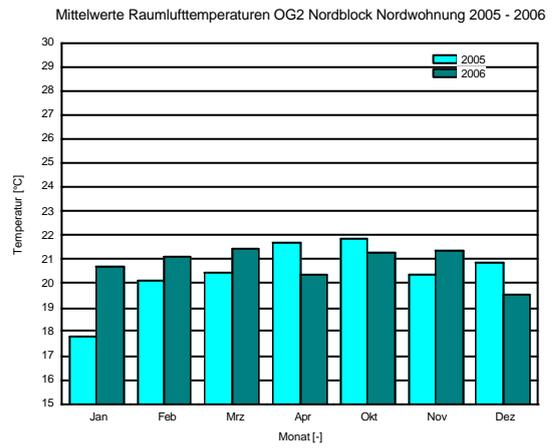
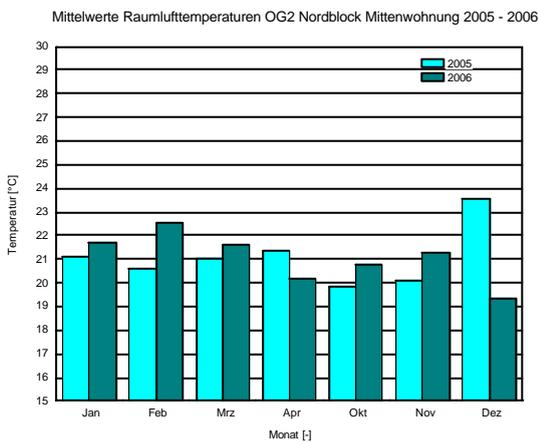
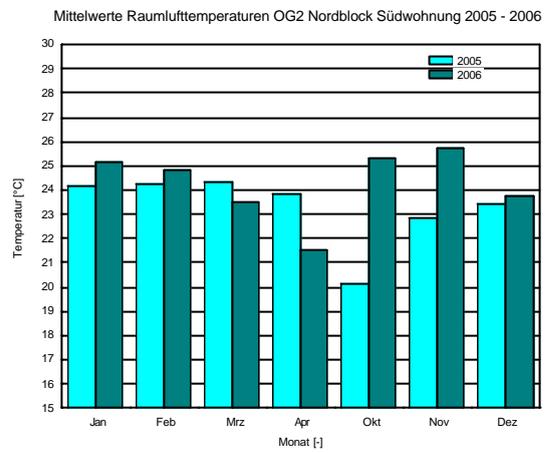
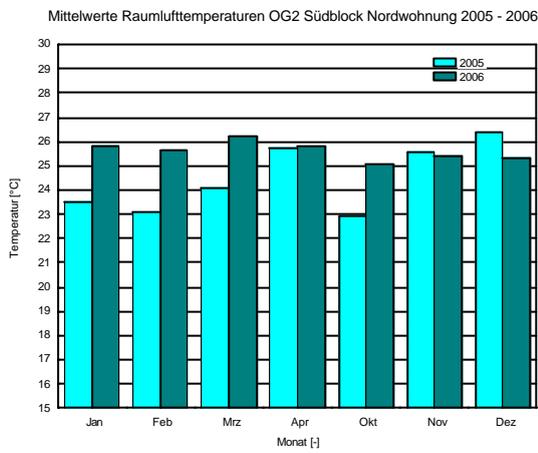
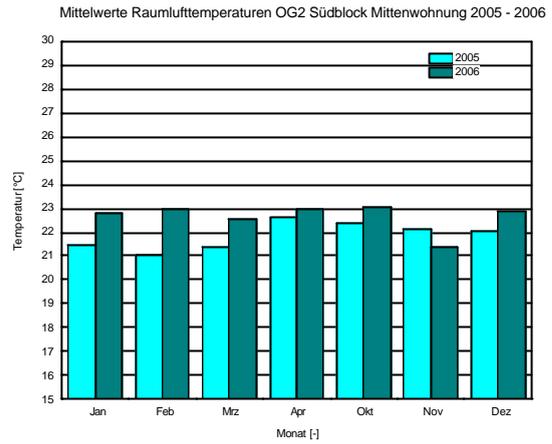
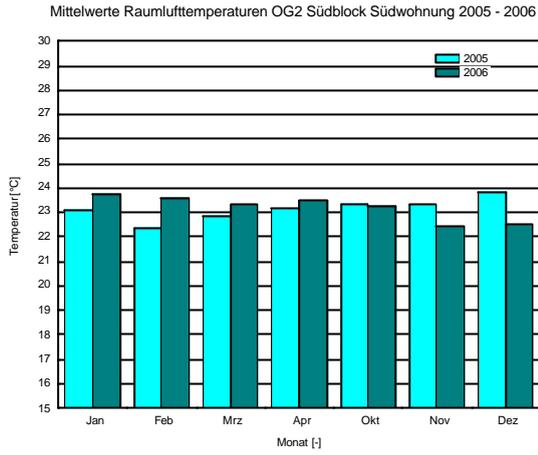


Bild 63: Mittelwert der Raumlufthtemperatur im zweiten Obergeschoß.

In Bild 64 ist die gemessene Dachraumlufttemperatur im Jahr 2006 der Außenlufttemperatur gegenübergestellt. Auf Grund der ungedämmten Dachaußenhaut und der Dämmung des Dachfußbodens liegt die Dachtemperatur durch die Sonneneinstrahlung auf die Dachziegel nur geringfügig über der Außenlufttemperatur.

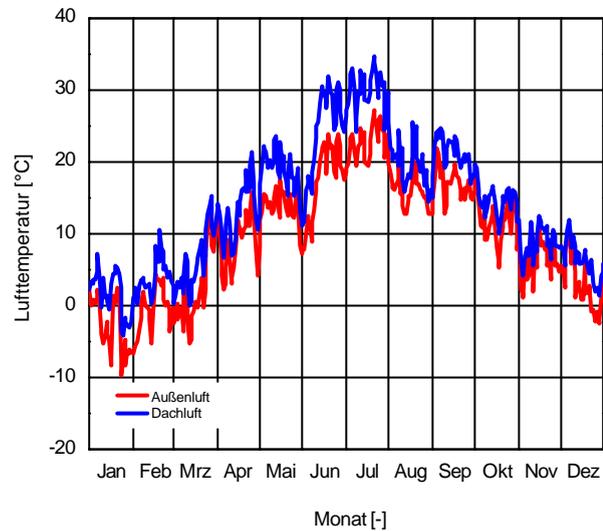


Bild 64: Dachraum- und Außenlufttemperaturen im Innovativgebäude 2006.

## 5.2.5 Raumluftfeuchten

Der Verlauf der gemessenen Raumluftfeuchten im Jahr 2006 wird in Bild 65 der Außenlufttemperatur gegenübergestellt.

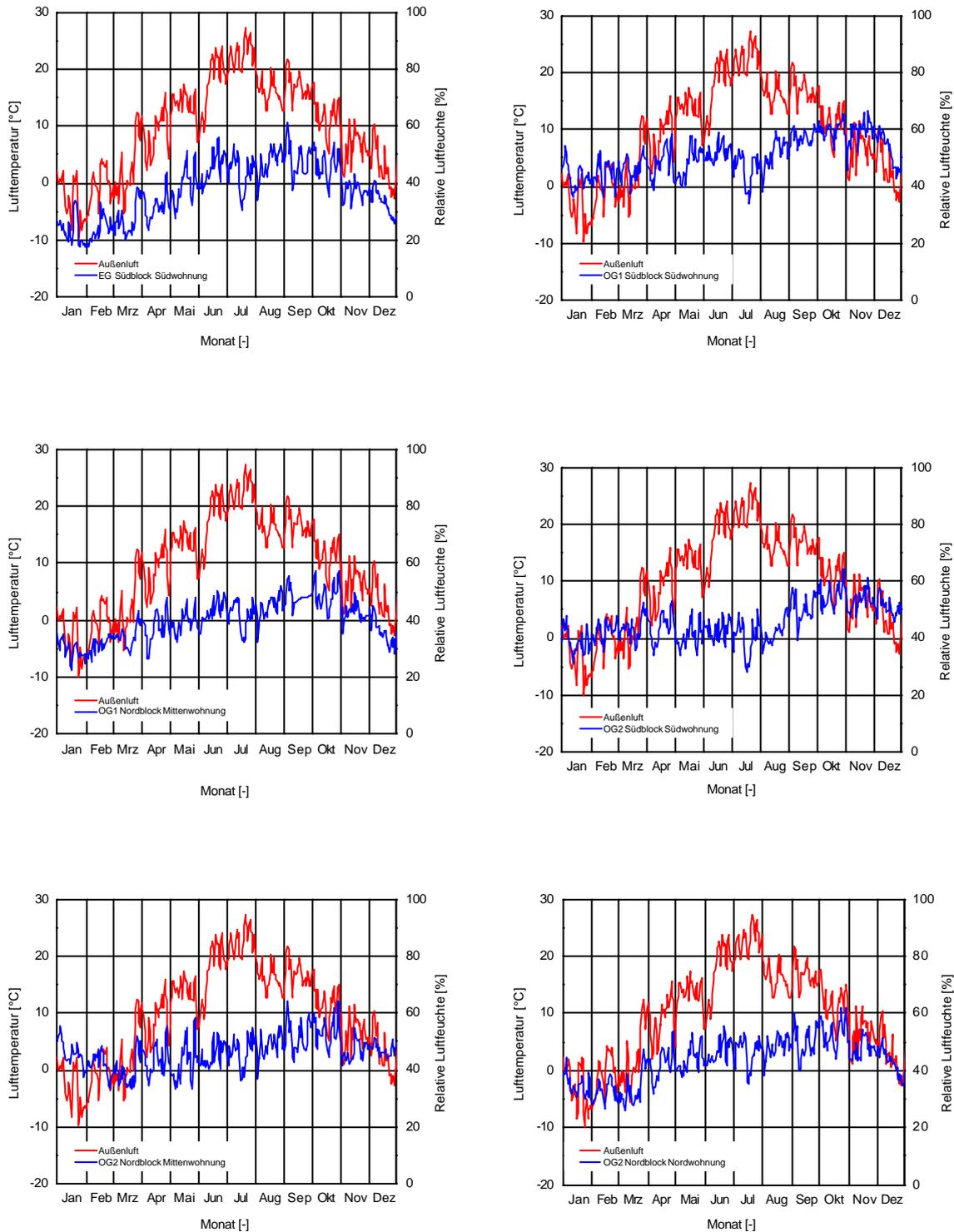


Bild 65: Raumluftfeuchte und Außentemperaturverlauf in sechs repräsentativen Wohnungen.

In der EG Südhälfte - Südwohnung waren die Be- und Entlüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung ordnungsgemäß in Betrieb. Und damit auch die Raumluftfeuchten im Winter niedrig. Da, wie in 5.2.7 und 5.2.8 beschrieben der Betrieb der Lüftungsanlagen von häufiger Fensterlüftung überlagert war, kann keine abgesicherte Aussage zum Einfluß der Lüftungssysteme auf die Raumluftfeuchten getroffen werden.

## 5.2.6 Raumluftqualität

Die in drei repräsentativen Wohnungen installierten Luqas-Fühler zur Bewertung der Raumluftqualität zeigen vergleichsweise hohe Werte, siehe Bild 66. Die Raumluftqualität ist umso ungünstiger je höhere Werte der Luftqualitätsindex annimmt. Am besten schneidet noch die Nordwohnung des Südblocks im EG ab. Aber auch die OG 2- Südhälfte-Südwohnung in der auch die Lüftungsanlage in Betrieb war, zeigt eine relative schlechte Raumluftqualität. Eine vergleichende Aussage über die Wirkung der Lüftungsanlagen ist auch hier nicht möglich.

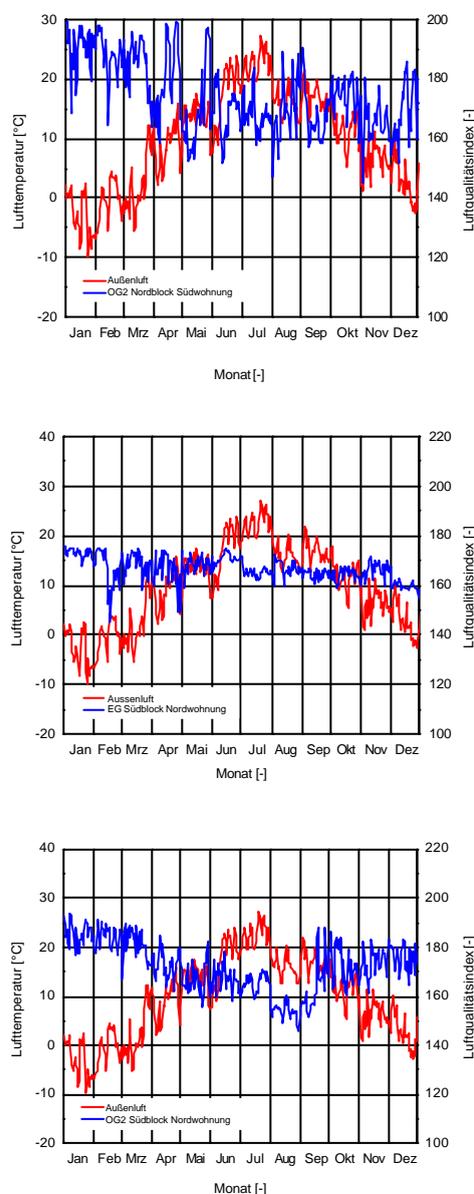


Bild 66: Raumluftqualität und Außenlufttemperatur in drei repräsentativen Wohnungen.

## 5.2.7 Fensterkontakte

In Bild 67 ist die Häufigkeit der Fensteröffnungen im Innovativgebäude im Messwinter 2005/2006 in Abhängigkeit von der Außenlufttemperatur aufgezeigt. Hierbei zeigt sich, daß auch bei kalten Außenbedingungen häufig gelüftet wird. Selbst bei  $-10\text{ °C}$  liegt die Häufigkeit noch bei 25%.

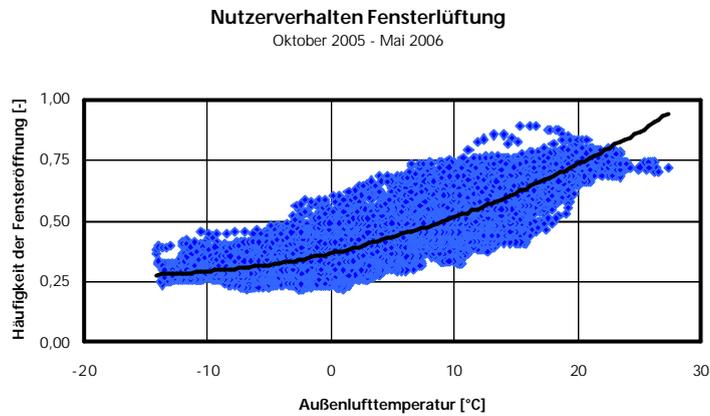


Bild 67: Häufigkeit der Fensteröffnung in Abhängigkeit von der Außenlufttemperatur im Messwinter 2005/2006.

## 5.2.8 Lüftungsanlagen

In Tabelle 14 und Tabelle 15 sind die nutzerbedingten Betriebsweisen der Lüftungsanlagen unter Angabe der mittleren monatlichen elektrischen Hilfsenergie der Ventilatoren und jeweils eine Kurzbezeichnung zur Bewertung der Nutzung zusammengestellt. Es zeigt sich, dass die Lüftungsanlagen nur in wenigen Wohnungen konsequent genutzt worden sind. Die Tabellen geben die durchschnittliche monatliche Ventilatorleistung an und Aussagen über die Betriebsweise:

- ok: ordnungsgemäßer Betrieb
- aus: Anlagen nicht eingeschaltet
- red: in der Regel auf reduzierter Stufe betrieben
- twr: tageweise auf reduzierter Stufe betrieben
- twok: tageweise ordnungsgemäß betrieben
- P: Partybetrieb (erhöhte Lüftung)
- nP: nur im Partybetrieb genutzt

Die messtechnisch festgestellte Rückwärmzahl, für den Fall gleicher Massenströme in Zu- und Abluft sowie nur für sensible Wärme) beträgt im Mittel ca. 0,60.

Tabelle 14: Ventilatorleistungen der Lüftungsanlagen im Innovativgebäude und nutzerbedingte Betriebsweisen im Jahr 2005.

2005	EG_NN		EG_SM		EG_SN		EG_SS		OG1_NN		OG1_SM	
	[W]	Status										
JAN	0	aus	3,48	nP	17,58	red+P	7,59	Twok+P	0,54	nP	23,07	red+P
FEB	0	aus	4,17	nP	17,91	red+P	0	Aus	2,39	nP	22,74	red+P
MAR	0	aus	0,72	nP	19,97	red+P	10,8	twok	0,52	nP	15,66	twr
APR	0	aus	0,32	nP	20,92	red+P	30,77	ok	0	aus	0,7	red+P
MAI	0	aus	0,43	nP	21,23	red+P	10,47	twok	0,63	nP	0,15	nP
JUN	0	aus	0,85	nP	21,9	ok+P	0	aus	0,39	nP	0,38	nP
JUL	31,38	ok	0,43	nP	45,27	ok+P	0,77	twok	2,44	twok	0,51	nP
AUG	37,56	ok	0,13	nP	1,84	nP	0	aus	0,69	nP	0	aus
SEP	36,01	ok	0,27	nP	3,14	nP	0	aus	6,52	nP	1,01	twr+P
OKT	34,24	ok	2,32	nP	3,37	nP	13,09	twok	2,82	nP	0	aus
NOV	34,15	ok	6,84	twr+P	4,57	nP	33,58	ok	2,45	nP	19,82	red+P
DEZ	31,15	ok	0,45	nP	0,36	nP	33,94	ok	24,29	twr+P	23,61	red+P
2005	OG1_SN		OG1_SS		OG2_NN		OG2_SM		OG2_SN		OG2_SS	
JAN	7,83	twr+P	2,37	nP	28,71	ok	21,53	red+P	39,27	ok	1,49	nP
FEB	1,82	twr+P	2,68	twr+P	28,68	ok	21,51	red+P	35,9	ok	1,78	nP
MAR	2,69	twr+P	2,95	twr+P	28,86	ok+P	21,06	red+P	39,19	ok	1,4	nP
APR	0,15	nP	5,4	nP	28,9	ok+P	21,14	red	28,98	twok	0,22	nP
MAI	0	aus	5,53	nP	27,15	ok+P	21,29	red	31,64	twok	1,38	nP
JUN	0	aus	6,38	nP	0	aus	21,23	red	48,16	ok+P	2,38	nP
JUL	0,4	nP	9,22	nP	0,92	nP	9,06	twr	42,08	ok+P	0,41	nP
AUG	0	aus	3,08	twr+P	0,25	nP	8,24	twr	40,07	ok	0	aus
SEP	0	aus	7,86	nP	2,07	nP	2,78	twr	0	aus	0,46	nP
OKT	2,15	twok	6,18	nP	22,3	twok	7,83	twr	13,69	twok	0,15	nP
NOV	19,5	red+P	8,33	nP	24,94	ok+P	15,51	twr	30,48	twok	3,3	nP
DEZ	16,86	red+P	5,8	nP	25,25	ok+P	18,68	twr	8,38	twok	4,09	nP

Tabelle 15: Ventilatorleistungen der Lüftungsanlagen im Innovativgebäude und nutzerbedingte Betriebsweisen im Jahr 2006.

2006	EG_NN		EG_SM		EG_SN		EG_SS		OG1_NN		OG1_SM	
	[W]	Status										
JAN	0	aus	1,76	nP	0	aus	37,82	ok+P	10,57	twok+P	23,88	red+P
FEB	0	aus	2,79	nP	1,23	nP	37,25	ok+P	14,72	nP	24,26	red+P
MAR	0	aus	1,4	nP	0,19	nP	35,76	ok+P	24,3	red+P	11,55	twr
APR	0	aus	1,02	nP	0,22	nP	36,94	ok+P	13,55	tw+P	0	aus
MAI	0	aus	0,72	nP	3,41	nP	41,24	ok+P	0	aus	0	aus
JUN	0	aus	0,13	nP	0	aus	38,02	ok	0	aus	0	aus
JUL	0	aus	0,64	nP	25,3	nP	40,29	ok+P	0	aus	0	aus
AUG	0	aus	0,3	nP	0,63	nP	42,47	ok	0	aus	0	aus
SEP	0	aus	0,15	nP	0,15	nP	41,85	ok	0	aus	0,27	nP
OKT	0	aus	0,43	nP	0	aus	41,14	ok	16,6	twok	0,4	nP
NOV	0	aus	0,34	nP	0	aus	42,11	ok	27,46	ok+P	1,29	twr
DEZ	0	aus	0,51	nP	0	aus	42,2	okl	28,21	Ok+P	2,1	twr
2006	OG1_SN		OG1_SS		OG2_NN		OG2_SM		OG2_SN		OG2_SS	
JAN	16,15	red+P	3,23	nP	33,76	ok+P	7,96	Twok	1,46	wok	5,86	nP
FEB	15,24	red+P	4,22	nP	31,86	ok+P	0,81	Twok	1,79	twok	1,24	nP
MAR	15,27	red+P	2,71	nP	31,43	ok+P	0,26	nP	7,39	twok	0,94	nP
APR	13,95	red	2,78	nP	32,72	ok+P	0	Aus	18,42	twok	0	aus
MAI	0	aus	2,34	nP	35,18	ok+P	0	Aus	19,8	red+P	0,44	nP
JUN	0	aus	2,78	nP	34,84	ok+P	0,12	nP	26,67	red+P	0,37	nP
JUL	10,27	twok	5,76	nP	37,58	ok+P	0,41	twok	23,72	twok	6,16	nP
AUG	15,33	red	3,62	nP	38,72	ok+P	0	aus	0	Aus	0	aus
SEP	15,49	red	5,5	nP	37,75	ok+P	0	aus	0	aus	0,4	nP
OKT	12,62	red+P	6	nP	33,64	ok+P	0	aus	7,49	wok	2,52	nP
NOV	1,94	twr	2,28	tw	34,49	ok+P	0,2	twr	20,67	red+P	1,61	nP
DEZ	2,49	twr	2,5	tw	32,15	Ok+P	0	aus	24,3	Red+P	2,8	nP

## 5.3 Sonderfragen

### 5.3.1 Sommerliches Verhalten

Im Anhang sind für drei exemplarische Wohnungen des Innovativgebäudes Stundenmittelwerte der Raumlufttemperaturen in Abhängigkeit von der Außenlufttemperatur in den Monaten Juni, Juli und August 2005 grafisch dargestellt. Weitere Diagramme enthalten Summenhäufigkeiten der Übertemperaturstunden sowie die absolute Häufigkeit der Raumlufttemperaturen. Es zeigt sich, dass sich die sommerliche Überwärmung in Grenzen hält. Tendenziell ist die dargestellte Südwohnung und Nordwohnung wärmer als die mittenliegende Wohnung.

### 5.3.2 Nutzungsgrad des Wärmeerzeugers

Die erzeugte Heizwärme und Wärme für Trinkwassernachheizung ergibt bezogen auf den Gasverbrauch die in der Tabelle 16 dargestellten Nutzungsgrade des Wärmeerzeugers. Es handelt sich hierbei um Monatsmittelwerte.

Tabelle 16: Nutzungsgrad des Wärmeerzeugers im Innovativgebäude 2006.

2006	Nutzungsgrad des Wärmeerzeugers
Monat	[-]
Januar	0,87
Februar	0,86
März	0,85
April	0,85
Mai	0,83
Juni	0,82
Juli	0,81
August	0,81
September	0,81
Oktober	0,84
November	0,85
Dezember	0,87
Gesamt	0,85

## 6 Wesentliche Erkenntnisse

### 6.1 Nutzerverhalten

Das Nutzerverhalten weicht in Bezug auf die Raumlufttemperaturen und das Lüftungsverhalten deutlich von den bei Energiebedarfsberechnungen angenommenen Randbedingungen ab. Die mittleren Raumlufttemperaturen übersteigen deutlich die in den Berechnungen zur Energieeinsparverordnung angesetzten 19 ° C. Allein dieser Aspekt des Nutzerverhaltens würde selbst bei sparsamer Lüftung und Akzeptanz der Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung zu einem deutlichem Mehrverbrauch an Heizwärme führen.

Die Fensterlüftungszeiten sind während der Heizmonate ungewöhnlich hoch. Selbst in Wohnungen mit Lüftungsanlagen werden Fenster häufig geöffnet. Die Akzeptanz der Lüftungsanlagen ist allgemein niedrig, so dass deren Energieeinsparpotential kaum genutzt wird.

Im September 2006 wurden vom IBP gemeinsam mit der Hausverwaltung alle Wohnungen begangen, die Nutzer zu ihrem Verhalten befragt und entsprechend beraten.

- Thermostatventile werden in der Regel nicht verstellt
- Die Zufriedenheit mit der Heizung ist nach anfänglichen Problemen gut
- Die Raumlufttemperaturen werden als angenehm empfunden
- Die bevorzugten Raumlufttemperaturen liegen nach Aussagen der Nutzer bei 21 bis 22 °C
- Die Warmwasserbereitung und Geschwindigkeit der Warmwasserbereitstellung ist zufrieden stellend
- Über den Einfluss des Nutzers auf den Heizenergieverbrauch besteht Informationsbedarf
- Das Raumklima sowie die Luftqualität wird positiv empfunden
- Betriebsgeräusche der Anlage werden im allgemeinen nicht wahrgenommen
- Die Frischluftzufuhr über Lüftungsanlagen wird positiv bewertet
- Zusätzliche Fensterlüftung wird bei installierten Lüftungsanlagen nicht für nötig befunden
- Zegerscheinungen durch Lüftungsanlagen treten nicht auf
- Im Sommer werden in der Regel die Lüftungsanlagen nicht betrieben
- Die Lüftungsanlagen stellen einen zusätzlichen Komfortgewinn dar

Bei der Nutzerbefragung konnten keine wesentlichen Unterschiede zwischen Wohnungen mit und ohne Lüftungsanlagen festgestellt werden. Die Aussagen aus der Nutzerbefragung stehen teilweise in Widerspruch zu den messtechnisch gewonnenen Daten, insbesondere was das Lüftungsverhalten, die Akzeptanz der Lüftungsanlagen und die eingestellten Raumlufttemperaturen anbelangt. Es konnte leider nicht festgestellt werden, dass diese Aufklärung über den Zusammenhang Nutzerverhalten / Energieverbrauch zu nennenswerten Verbesserungen während der folgenden Messperiode geführt hat.

Eine Möglichkeit, die Auswirkungen des Nutzerverhaltens zu begrenzen, wäre der Einsatz elektronischer Heizkörperventile, welche die Wärmezufuhr bei geöffneten Fenstern verhindern. Des Weiteren könnte die Bedienbarkeit der Be- und Entlüftungsanlagen stark eingeschränkt werden, in dem zumindest die reduzierte Stufe nicht mehr abschaltbar ist. Nach hydraulischem Abgleich könnten die Vorlauftemperaturen der Raumheizung so stark vermindert werden, dass überhöhte Raumlufttemperaturen insbesondere bei starker Fensterlüftung nicht zu erreichen sind.

## 6.2 „3-Liter-Haus“-Ziel

Das ursprüngliche Ziel eines „3-Liter-Hauses“, entsprechend  $34 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  anteiliger Primärenergiebedarf für Raumheizung, konnte durch die geplanten Sanierungsmaßnahmen erreicht werden. Der rechnerisch ermittelte Bedarf nach der Sanierung lag bei  $34 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  wodurch sich ein jährlicher äquivalenter Bedarf von 3 Litern pro Quadratmeter Nutzfläche ergibt. Während der zweijährigen messtechnischen Begleitung des Vorhabens zeigten sich jedoch höhere Verbrauchswerte. Zum einen lag dies daran, dass entgegen der ursprünglichen Planung in der praktischen Ausführung nicht alle Wohnungen mit Lüftungswärmerückgewinnungsanlagen ausgestattet und auch die vorhandenen Systeme nur in geringem Umfang akzeptiert wurden. Zum anderen wurden auch in den Heizmonaten deutlich zu hohe Raumlufttemperaturen festgestellt und obwohl mechanische Lüftungssysteme vorhanden waren, wurde häufig zusätzlich über die Fenster gelüftet. Im Ausgangszustand lag bei einem Primärenergiebedarf von ca.  $340 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  ein „30-Liter-Haus“ vor. Das durch die Sanierung erreichte Niveau war ein 5,5 Liter-Haus, was trotz des ungünstigen Nutzerverhaltens immerhin eine Reduktion um 80 Prozent bedeutet.

## 7 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Die gemeinnützige Wohnungsbaugesellschaft der Stadt Schwabach GmbH (GeWo-Bau) hat mehrere Mehrfamilienhäuser in Schwabach modellhaft saniert, um anhand dieser Beispiele ein übertragbares Sanierungskonzept für Wohngebäude aus den 60-er Jahren zu erarbeiten. Die Gebäude, welche vor der Sanierung hinsichtlich Energieverbrauch und Wohnqualität erhebliche Mängel aufwiesen, wurden teilweise entkernt, innen neu ausgebaut und mit modernen haustechnischen Anlagen unter Einsatz erprobter innovativer Technologien energetisch optimiert. Das vom BMWi geförderte EnSan-Vorhaben betraf schwerpunktmäßig die Sanierung von zwei Wohnblöcken und zwar einem so genannten Referenzgebäude und einem Innovativgebäude. Ziel war das Erreichen des Standards eines „3-Liter-Hauses“, d.h. ein Gebäude mit einem Primärenergiebedarf für Raumheizung von 34 kWh/m<sup>2</sup>a. Hierzu wurde die Gebäudehülle wärmetechnisch erheblich verbessert, moderne Anlagentechnik installiert und zusätzlich mehrere Systeme zur solaren Trinkwassererwärmung eingesetzt. Das Projekt wurde über mehrere Jahre vom Fraunhofer-Institut für Bauphysik Holzkirchen, Abteilung Wärmetechnik wissenschaftlich begleitet.

Da das tatsächliche Nutzerverhalten deutlich von den bei Energiebedarfsberechnungen angenommenen Randbedingungen abweichend war, konnte das Ziel eines „3-Liter-Hauses“ in der Planungsphase zwar erreicht werden, die tatsächlichen Verbrauchswerte während der zweijährigen messtechnischen Begleitung lagen jedoch teilweise deutlich darüber. Entgegen der ursprünglichen Planung wurden bei der tatsächlichen Ausführung nicht alle Wohnungen mit Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung ausgestattet und auch die vorhandenen Systeme wurden nur in geringem Umfang akzeptiert. Daneben mussten auch in den Heizmonaten deutlich zu hohe Raumlufttemperaturen und zu häufige Fensterlüftung festgestellt werden. Diese nutzerverursachten Unterschiede zwischen den vorausgerechneten Bedarfswerten und den im Betrieb tatsächlich verursachten Verbrauchswerten wurden bereits in zahlreichen wissenschaftlichen Untersuchungen dokumentiert [4], [5] und werden bei dem hier betrachteten Projekt nochmals bestätigt. Im Ausgangszustand lag ein „30-Liter-Haus“ vor, das tatsächlich erreichte Niveau nach der Sanierung war ein 5,5-Liter-Haus, was immerhin trotz des ungünstigen Nutzerverhaltens eine Reduktion um 80 Prozent bedeutet.

## 8 Literaturverzeichnis

[1] DIN V 18599, Teil 5: Berechnung von Heizsystemen  
Energetische Bewertung von Gebäuden, Berechnung des Nutz -end- und Primärenergiebedarfs für  
Beheizung, Kühlung, Belüftung, Beleuchtung und Warmwasserbereitung, Februar 2007

[2] Leonhardt, H.; Sinnesbichler, H.:  
Hybride Transparente Wärmedämmung - Aktuelle Ergebnisse aus Leistungsmessungen im Freiland  
Bauphysik 20 (1998), Heft 6, S. 174 - 180

[3] Hafner, Florian:  
Analyse einer hybrid transparenten Wärmedämmung, EnSan Projekt Schwabach, Diplomarbeit an  
der FH München, 2004

[4] Reiß, J.; Erhorn, M.:  
Klassifizierung des Nutzerverhaltens bei der Fensterlüftung.  
Künzel, H. (Hrsg.):  
Fensterlüftung und Raumklima, IRB Verlag Stuttgart 2006

[5] Erhorn, H.:  
Bedarf - Verbrauch: Ein Reizthema ohne Ende oder die Chance für sachliche Energieberatung?  
Gesundheitsingenieur 128 (2007), Heft 5, S. 238-288

## 9 Anhang

### Sommerliche Überhitzung

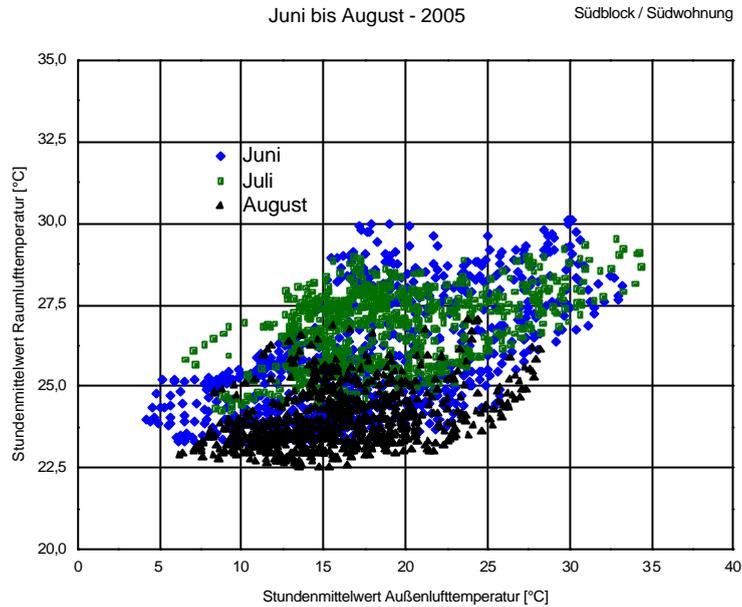


Bild 68: Stundenmittelwerte der Raumlufttemperaturen in Abhängigkeit von der Außenlufttemperatur in der Südwohnung im Südblock der Fichtestraße.

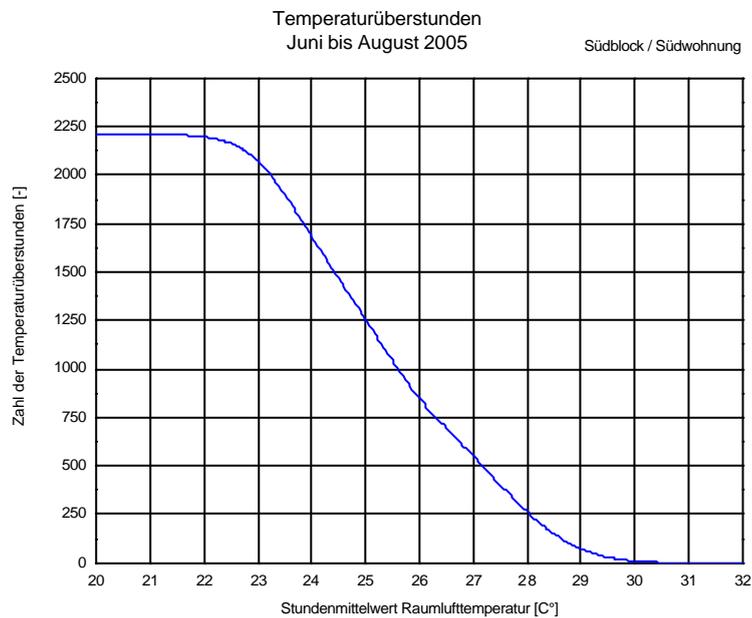


Bild 69: Summenhäufigkeit der Temperaturüberstunden in der Südwohnung des Südblocks Fichtestraße.

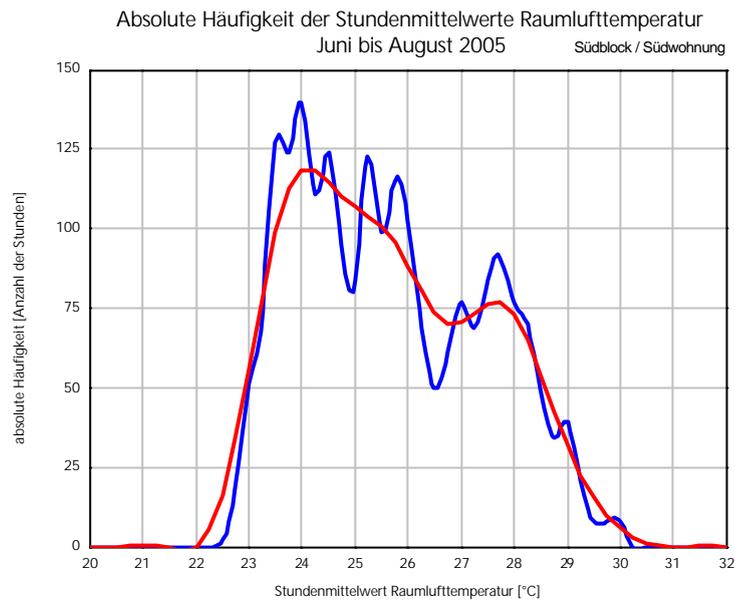


Bild 70: Absolute Häufigkeit der Stundenmittelwerte der Raumlufthtemperatur in der Südwohnung des Südblocks Fichtestraße.

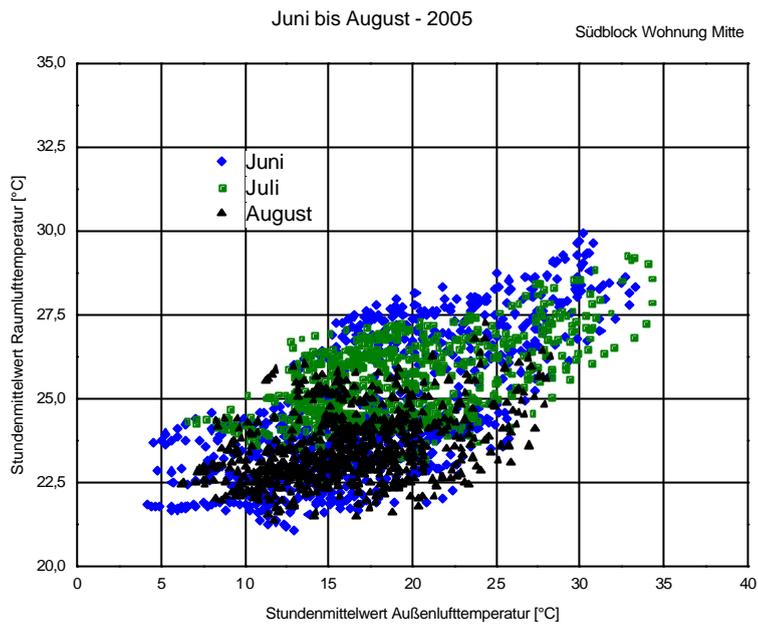


Bild 71: Stundenmittelwerte der Raumlufttemperaturen in Anhängigkeit von der Außenlufttemperatur in der Mittelwohnung im Südblock der Fichtestraße.

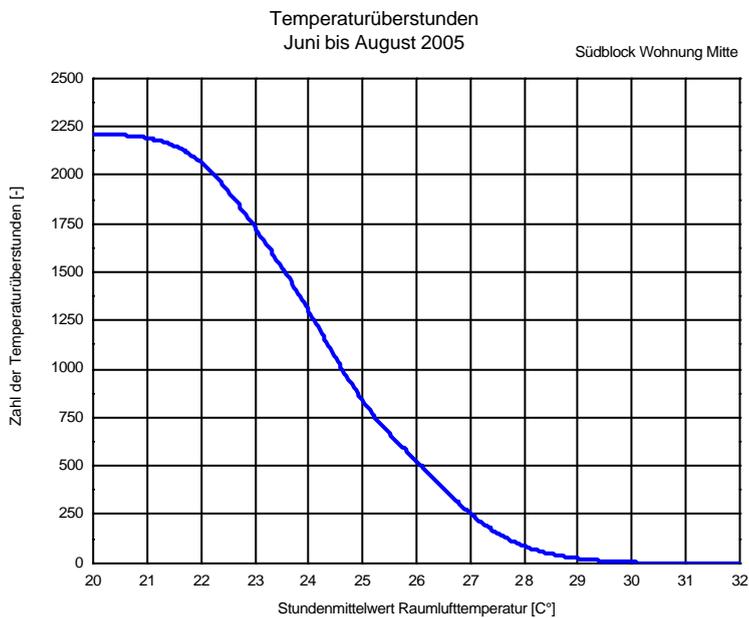


Bild 72: Summenhäufigkeit der Temperaturüberstunden in der Mittelwohnung des Südblocks Fichtestraße.

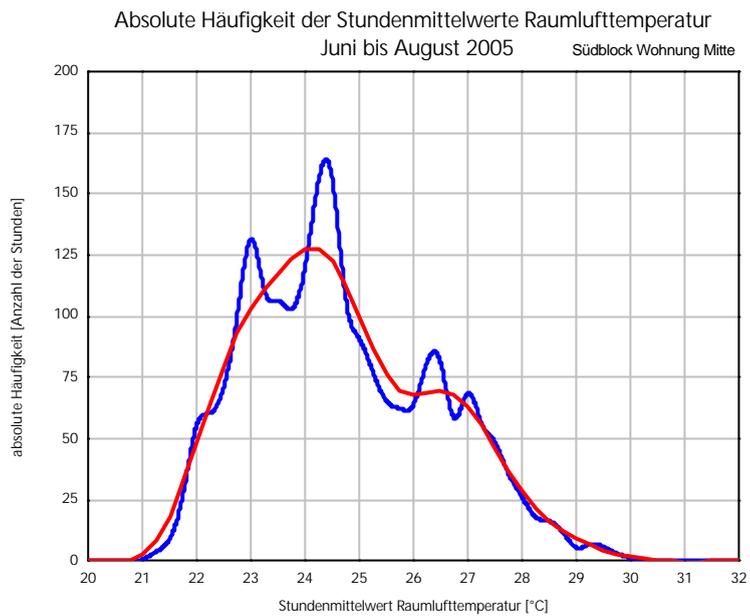


Bild 73: Absolute Häufigkeit der Stundenmittelwerte der Raumlufthtemperatur in der Mittenwohnung des Südblocks Fichtestraße.

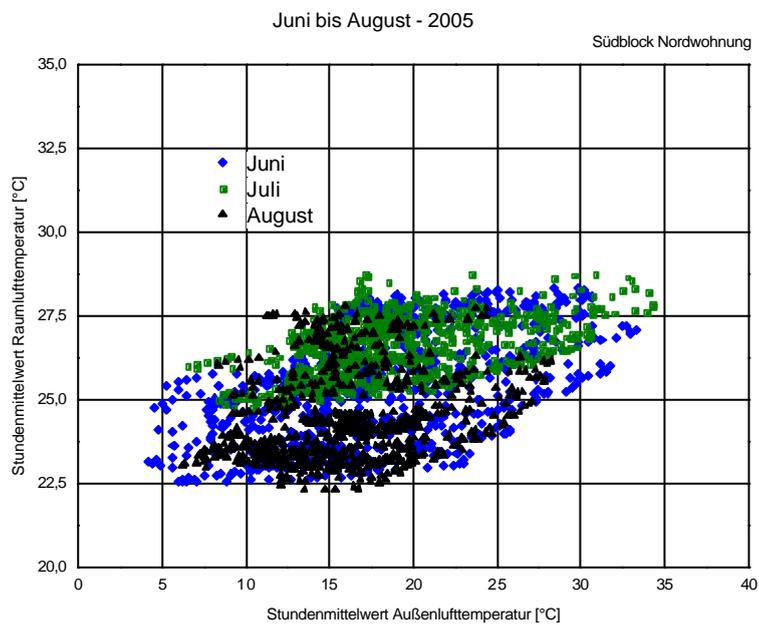


Bild 74: Stundenmittelwerte der Raumlufthtemperaturen in Anhängigkeit von der Außenlufttemperatur in der Nordwohnung im Südblock der Fichtestraße.

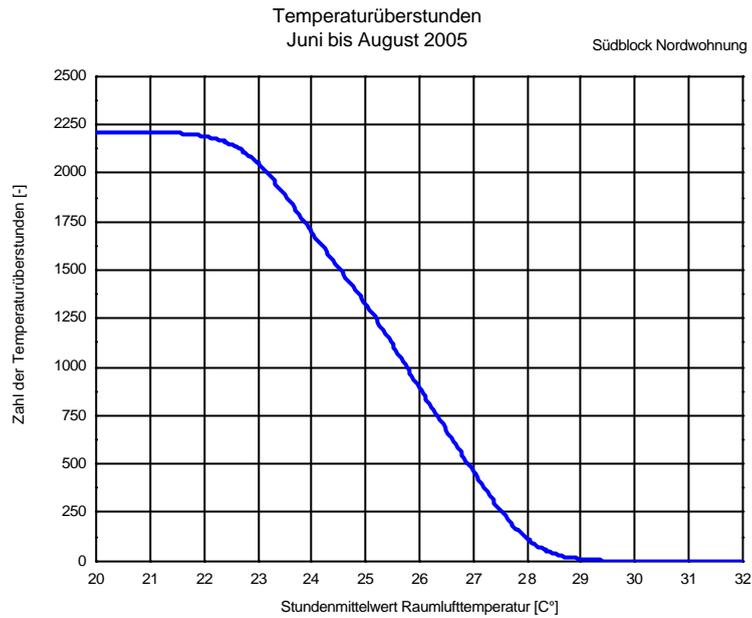


Bild 75: Summenhäufigkeit der Temperaturüberstunden in der Nordwohnung des Südblocks Fichtestraße.

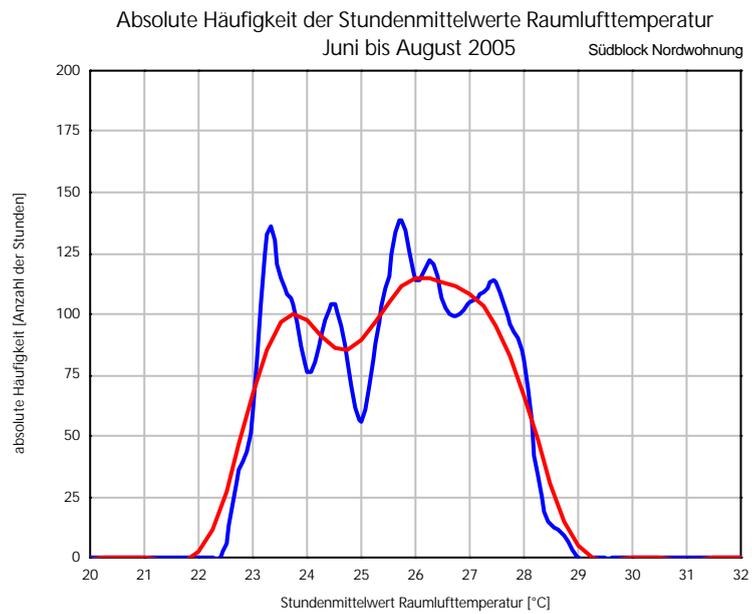


Bild 76: Absolute Häufigkeit der Stundenmittelwerte der Raumlufthtemperatur in der Nordwohnung des Südblocks Fichtestraße.

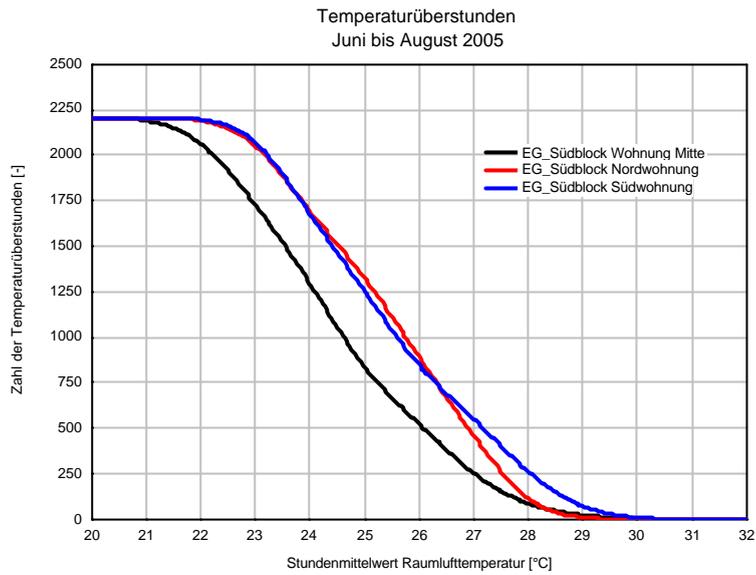


Bild 77: Summenhäufigkeit der Temperaturüberstunden in der allen EG-Wohnungen des Südblocks Fichtestraße.