



**PASSIV  
HAUS  
INSTITUT**

*Dr. Wolfgang Feist*

---

# **Mehrgeschoss-Passivhaus Hamburg Pinnasberg**



**Auftraggeber: Umweltbehörde Hamburg**

**September 2005**



**PASSIV  
HAUS  
INSTITUT**

*Dr. Wolfgang Feist*

# Mehrgeschoss-Passivhaus Hamburg Pinnasberg

## Endbericht

<p><b>Autoren:</b> Dipl.-Ing. Søren Peper Dipl.-Phys. Jürgen Schnieders Dr. Wolfgang Feist</p> <p><b>Unter Mitarbeit von:</b> Patrick Möller und Matthias Nagel</p> <p><b>Herausgeber:</b> PASSIVHAUS INSTITUT Rheinstr. 44/46 D-64283 Darmstadt Tel: 06151 / 82699-0 Fax: 06151 / 82699-11 E-Mail: mail@passiv.de www.passiv.de</p> <p><b>Darmstadt September 2005</b></p>	<p><b>Dieser Bericht entstand im Auftrag der Hamburg Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt, Energieabteilung</b></p> <p>Titel des Forschungsauftrages: <b>Messtechnische Untersuchungen zum thermischen Verhalten des Mehrgeschoss-Passivhauses „Parkhaus“ in Hamburg, Pinnasberg 27</b></p> <p>Wir danken insbesondere den Bewohnern des Gebäudes für Ihre Bereitschaft zur Durchführung der Messungen. Für die aktive Hilfe vor Ort danken wir besonders der tatkräftigen Unterstützung von Irene Bude und Simone Griesel.</p>
---	--



# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>EINLEITUNG UND ZUSAMMENFASSUNG .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>PROJEKTÜBERSICHT .....</b>	<b>11</b>
<b>3</b>	<b>GEBÄDEVORSTELLUNG: PASSIVHAUS HAMBURG PINNASBERG.....</b>	<b>13</b>
3.1	Fassadenansichten .....	14
3.2	Grundriss und Schnitt.....	19
3.3	Haustechnik.....	22
3.3.1	Lüftung.....	26
3.3.2	Heizwärmeversorgung in den Wohnungen .....	29
3.4	Energiebezugsfläche und Bewohnerzahl .....	30
3.5	Luftdichtheit .....	32
3.6	Energiebilanz PHPP.....	34
3.7	Thermographische Untersuchung.....	37
<b>4</b>	<b>MESSKONZEPT .....</b>	<b>49</b>
4.1	Aufbau der Messtechnik.....	50
4.2	Position und Spezifikation der Messstellen.....	51
4.2.1	Zentrale Hauptzähler und Sensoren.....	52
4.2.1.1	Wärmemengen- und Gaszähler .....	52
4.2.1.2	Zentrale Stromzähler.....	54
4.2.1.3	Wetterstation .....	55
4.2.2	Haushaltsstromzähler .....	58
4.2.3	Temperatursensoren.....	59
4.2.3.1	Treppenhaus .....	59
4.2.3.2	Wohnungen und Garage .....	61
4.2.3.3	Kalibrierung der Temperatursensoren.....	62
4.3	Tabellarische Übersicht der Messgeräte .....	65
<b>5</b>	<b>MESSDATENAUSWERTUNG .....</b>	<b>67</b>
5.1	Klimadaten.....	67
5.2	Außen- und Raumtemperaturen.....	72
5.2.1	Nord-Süd-Temperaturen .....	78
5.2.2	Treppenhaustemperaturen.....	79
5.3	Sommerfall.....	81
5.4	Kälteste und wärmste Zeiträume .....	87
5.5	Stromverbrauch.....	90
5.5.1	Wohnungen .....	90
5.5.2	Gemeinschaftliche elektrische Verbräuche.....	95
5.5.3	Strom Quartiersgarage .....	99
5.6	Energieverbrauch für Heizung und Warmwasser.....	101
5.6.1	Gasverbrauch.....	101
5.6.2	Wärmeverbrauch .....	103
5.6.2.1	Warmwasser.....	104
5.6.2.2	Heizwärme und Heizleistung .....	106



5.6.2.3	Heizleistung .....	110
5.6.2.4	Wärmeverteilung/Speicherung .....	112
5.7	Energiebilanz.....	114
5.7.1	Primärenergie.....	117
5.7.1.1	Primärenergie gesamt.....	117
5.7.1.2	Primärenergie für Heizung, Lüftung und Warmwasser.....	118
<b>6</b>	<b>TREPPENHAUS: TEMPERATURSCHICHTUNG UND WÄRMEVERLUSTE</b>	<b>120</b>
6.1	Ergebnisse der Thermographie.....	122
6.2	Ergebnisse der kontinuierlichen Temperaturmessungen.....	126
6.3	Thermisches Modell des Treppenhauses.....	131
6.4	Luftströmungen im Treppenhaus .....	133
6.4.1	Freie Konvektion im Treppenhaus .....	133
6.4.2	Luftbewegung durch Personen im Treppenhaus .....	134
6.4.3	Kamineffekt.....	135
6.4.4	Unmittelbare Messung der Strömungsgeschwindigkeit .....	135
6.4.5	Tracergasmessung des Luftaustauschs .....	136
6.5	Ergebnisse für das themische Treppenhausmodell.....	147
6.6	Sensitivitätsanalyse.....	149
6.6.1	Konvektion zwischen den Zonen .....	150
6.6.2	Infiltration.....	151
6.6.3	Temperatur KG .....	152
6.6.4	Konvektion im Fahrstuhlschacht.....	153
6.6.5	Andere Zeiträume.....	153
6.7	Einfluss auf die Energiebilanz.....	154
6.8	Fazit .....	155
6.9	Berechnung der Wärmeverluste durch ein offenes Treppenhaus.....	157
<b>7</b>	<b>QUELLENANGABEN</b> .....	<b>159</b>
<b>8</b>	<b>ANHANG</b> .....	<b>162</b>
8.1	Anhang Resonanzen.....	173



# 1 Einleitung und Zusammenfassung

Das Passivhaus in Hamburg, Pinnasberg 27, ist das Passivhaus mit den meisten Geschossen in Deutschland. Es verfügt über 8 Ober- und 3 Untergeschosse inkl. zwei Ebenen mit einer Quartiersgarage mit 46 Stellplätzen. Es wurde geplant und gebaut für eine Hausgemeinschaft und beherbergt 19, zum Teil barrierefreie Wohnungen auf insgesamt 1491 m<sup>2</sup> Wohnfläche. Errichtet wurde es im sozialen Wohnungsbau. Das Gebäude steht in direkter Nähe zur Elbe und dem Hamburger Hafen und verfügt über eine nahezu unverschattete Südost-Fassade. Mit seiner Größe und der Nutzerstruktur stellt es ein Passivhaus-Pilotprojekt dar. Es handelt sich um einen Massivbau mit Wärmedämmverbundsystem.

Die Planung wurde vom Hamburger Architektenbüro „Plan -R-“ durchgeführt. Bauherr ist die St. Pauli Hafensstraßengenossenschaft e.G. Das Gebäude wurde im Herbst 2003 bezogen.

Das Haus wurde im Passivhaus-Standard errichtet, was eine ausgezeichnete Dämmung der Außenwände (hier 25 cm), Dreischeibenverglasungen in wärmege- dämmten Fensterrahmen, Wärmebrückenreduktion, ausgezeichnete Luftdichtheit (hier  $n_{50} = 0,2 \text{ h}^{-1}$ ) und kontrollierte Be- und Entlüftung mit hocheffizienter Wärmerückgewinnung voraussetzt. Es wurde durch das Passivhaus Institut zerti- fiziert [Sariri 2003].

Das Gebäude wird zentral von dem im Technikraum im Dachgeschoss positionierten Gas-Brennwertkessel (12 bis 61 kW) mit Wärme versorgt. Aus dem 1000-Liter Puffer- speicher wird die Warmwasserbereitung, die Heizung sowie der hydraulische Frostschutz bedient. Im Technikraum befindet sich auch die Lüftungszentrale mit der Wärmerückgewinnung und den beiden zentralen Ventilatoren. In 8 der 19 Woh- nungen wird das Kochgasangebot genutzt und auf einen elektrischen Herd ver- zichtet.

Die wissenschaftliche Begleitung des Gebäudes durch das Passivhaus Institut hat drei wesentliche Ziele: Als Erfolgskontrolle wurden die Wärme- und Endenergie- verbräuche gemessen und bilanziert. Die thermische Behaglichkeit, insbesondere für den Sommerfall, wurde dokumentiert und als dritter Schwerpunkt wurde die Aus- wirkung der Temperaturschichtung in hohen Gebäudeschächten untersucht.

Mit der Begleitmessung wurden die Verbrauchsdaten für Heizwärme, Strom und Warmwassererwärmung vollständig erfasst und mit ihnen die Projektierungsdaten überprüft. Es wurden die Heizwärme- und die Warmwasserverbräuche als Summe für das gesamte Gebäude gemessen.

## Messergebnisse Heizung und Warmwasser

Der Winter-**Heizwärmeverbrauch** für das Gebäude beträgt im untersuchten Bilanzzeitraum Mai 2004 bis April 2005 **21,2 kWh/(m<sup>2</sup>a)** bezogen auf die beheizte Wohnfläche. Dabei lag die mittlere flächengewichtete Raumtemperatur im **Kern-**



**winter bei 21,6 °C**, in einer Größenordnung wie bei fast allen vermessenen Passivhäusern. Der Unterschied zu den projektierten Heizwärmebedarf von 12,9 kWh/(m<sup>2</sup>a) hat seine Ursache hauptsächlich in den höheren Raumtemperaturen (Rechenannahme 20 °C) und mehreren zusätzlichen Wärmeverlusten, die durch spezielle bauliche Situationen bedingt sind. Bei Berücksichtigung der gemessenen Randbedingungen und der tatsächlichen Bausausführung wird mit dem PHPP fast genau der gemessene Verbrauchswert ermittelt.

Die Messung hat ergeben, dass im Sommer ungewollte Wärmeverbräuche von 1,6 kWh/m<sup>2</sup> zu verzeichnen waren, welche durch das nicht Abschalten der Heizkreispumpe entstanden sind.

Die maximale tagesmittleren **Heizleistungen** wurden mit Werten **knapp unter 10 W/m<sup>2</sup>** gemessen. Dies liegt deutlich unter der maximal in diesem Haus möglichen Heizleistung von 12,0 W/m<sup>2</sup>. Die in den Bädern und je Wohnung angebrachten einzelnen statischen Heizflächen wären aus Gründen der Beheizbarkeit des Gebäudes nicht notwendig gewesen.

Die Wärmeverbräuche zur **Warmwasserversorgung** ergeben sich im Jahreszeitraum zu **21,4 kWh/(m<sup>2</sup>a)** und liegen damit etwa gleichauf mit dem Heizwärmeverbrauch.

Im Bilanzzeitraum wurden keine Wärmeverbräuche für das Frostschutzregister der Lüftungsanlage gemessen. Die Schaltschwelle wurde durch den Planer im ersten Winter nach Bezug herabgesetzt.

Für die **Wärmeverteilung und Speicherung** in der Technikzentrale wurden im Bilanzjahr **5,8 kWh/(m<sup>2</sup>a)** verbraucht. Auch wenn ein Teil davon im Winter als Heizwärme dem Gebäude zugute kommt, zeigt sich hier ein großes und relativ einfach erschließbares Einsparpotential.

Als weiterer Gasverbrauch ist der **Kochgasverbrauch** der acht Wohnungen bezogen auf die Gesamtfläche mit **1,7 kWh/(m<sup>2</sup>a)** zu nennen. Der Endenergieverbrauch für das Kochen mit Gas liegt in gleicher Größenordnung wie der im PHPP angesetzte Wert für das elektrische Kochen.

### **Messergebnisse Stromverbrauch**

Der gesamte elektrische Endenergieverbrauch im Gebäude summiert sich auf **42,0 kWh/(m<sup>2</sup>a)**. Den größten Anteil daran stellt der Haushaltsstromverbrauch mit 25,9 kWh/(m<sup>2</sup>a). Dieser Wert liegt relativ niedrig und dies obwohl keine Stromsparberatungen durchgeführt wurden. Allerdings müssen hier noch die gemeinschaftlichen Stromverbräuche berücksichtigt werden. Diese gemeinschaftlichen Verbräuche werden hier ebenfalls auf die gesamte Energiebezugsfläche bezogen.

Der Verbrauch der zentralen Lüftungsanlage des Gebäudes war mit **9,6 kWh/(m<sup>2</sup>a)** deutlich zu hoch. Es stellte sich heraus, dass die Anlage mit einem viel zu hohen



Volumenstrom betrieben wurde und mehrere Defekte auftraten. Das hydraulische Vorheizregister war nicht korrosionsbeständig, was dazu führte, dass umgeklappte Aluminium-Lamellen in der Außenluft-Ansaugung einen übermäßigen Druckverlust erzeugten. Auch der durch den Wartungsdienst eingebauter Außenluftfilter mit geringerer Filterfläche führte nochmals zu einem erhöhten Druckverlust der Anlage. Die Folge war eine deutliche Überschreitung der projektierten Stromaufnahme. Nach der versuchsweise durchgeführten Reparatur im September 2005 wurden die gewünschten Leistungen von ca. 750 Watt bei ca. 1800 m<sup>3</sup>/h eingehalten. Damit wird sich der Stromverbrauch nach der erfolgten Reparatur etwa halbieren. Der Wartungsdienst ist mit den notwendigen Unterlagen ausgerüstet und kann jetzt gezielt arbeiten und einen gesicherten Anlagenbetrieb gewährleisten.

Der Stromverbrauch des **Fahrstuhls** betrug **2,5 kWh/(m<sup>2</sup>a)**, was einem Tagesverbrauch von 9,6 kWh/d entspricht. Es konnte ermittelt werden, dass die Standby- und Beleuchtungsverbräuche ohne jegliche Fahrtätigkeit einen Anteil von 56 % des Verbrauchs des Fahrstuhls haben. Hier handelt es sich auf jeden Fall um einen dringend optimierungsbedürftigen Bereich. Allein durch eine effizientere Beleuchtung könnte bei dieser „Standard-Technik“ der Stromverbrauch deutlich gesenkt werden.

Der Jahresverbrauch der Technik im Dachgeschoss (Pumpen, Kesselstrom, Regelung etc.) summiert sich flächenbezogen auf **0,3 kWh/(m<sup>2</sup>a)**. Dieser Wert liegt vergleichsweise niedrig.

Der Verbrauch der „Allgemeinen Stromverbräuche“ ist gesondert gemessen worden. Dazu zählen: Beleuchtung Treppenhaus, Keller und Außenlampe, Gegensprechanlagen, Türöffner (barrierefreier Zugang Haustür), Strom Gemeinschaftsräume/Gästezimmer in DG und Keller und zugehörige Toiletten/Bäder, Waschmaschinen im Keller (Nutzung nur durch einige Wohnungen) sowie eine Serveranlage für Internetzugang. Der gesamte Verbrauch beträgt **3,6 kWh/(m<sup>2</sup>a)**. Durch die Summierung der sehr unterschiedlichen Bereiche ist eine detaillierte Beurteilung nicht möglich.

### **Fazit Energiebilanzen**

Insgesamt ergibt sich der gemessenen gesamte **Endenergieverbrauch** für alle Bereiche (Heizung, Warmwasser, Lüftung, Haushaltsstrom und gemeinschaftlicher Strom) im Jahreszeitraum Mai 2004 bis April 2005 zu **93,7 kWh/(m<sup>2</sup>a)**.

Für die Bewertung des Gebäudes ist die primärenergetische Beurteilung der Endenergieverbräuche maßgeblich. Nur diese zeigen an, wie groß die Umweltbelastungen durch den Betrieb des Gebäudes einzuordnen sind bzw. wie hoch die Einsparung sich gegenüber herkömmlichen Gebäuden darstellt.

Die primärenergetische Bewertung mit Faktoren nach [Gemis] liefert insgesamt **170,3 kWh/(m<sup>2</sup>a)**. Hier fallen die Stromverbräuche ganz besonders ins Gewicht. Der einzuhaltende Grenzwert für Passivhäuser beträgt 120 kWh/(m<sup>2</sup>a). Die Ursache der Überschreitung um 42 % sind insbesondere die zu hohen Stromverbräuche der Lüftungsanlage, welche sich künftig etwa halbieren sollten und diverser bei der Zertifizierung nicht berücksichtigter elektrischer „Sonderanwendungen“ (Fahrstuhl,





Server, Gemeinschaftsräume, Aufwendungen für barrierefreies Wohnen). Die etwas höheren Heizwärme- und Warmwasserverbräuche schlagen weniger stark zu Buche. Wenn die diskutierten Einsparungen bei der Lüftungsanlage erzielt werden, ergibt sich ein Primärenergiekennwert von  $156 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$  (bezogen auf die Energiebezugsfläche beheizte Wohnfläche). Dieser Primärenergiekennwert beinhaltet auch den elektrischen Haushaltsstrom.

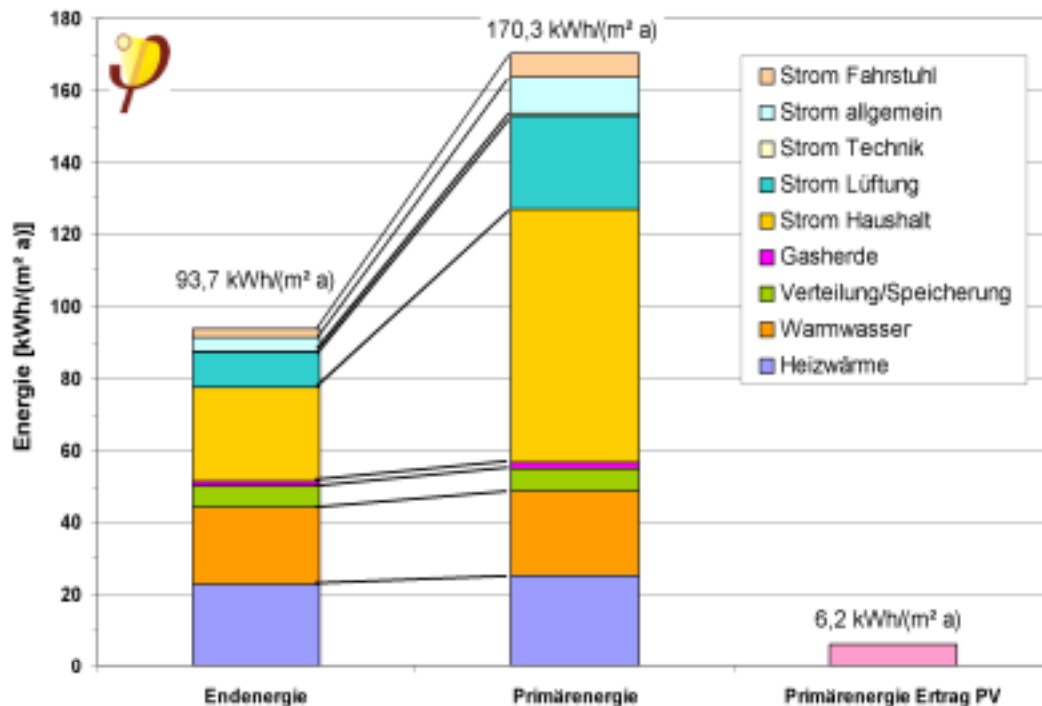


Abbildung 1: Primärenergetische Bewertung der gesamten Endenergieverbräuche des Gebäudes (Jahresbilanzzeitraum Mai 2004 bis April 2005, Bezugsgröße: Energiebezugsfläche). Zusätzlich ist der Ertrag der PV-Anlage primärenergetisch bewertet mit aufgetragen.

Die Stromerträge der **Photovoltaikanlage** (5 kWp) an der Gebäudefassade werden in das Stromnetz eingespeist. Im Bilanzjahreszeitraum wurde der Ertrag von  $3398,2 \text{ kWh/a}$  erzeugt. Bezogen auf die Energiebezugsfläche entspricht dies einem spezifischen Ertrag von  $2,3 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ . Der Anteil des erzeugten und eingespeisten Solarstromes (PV-Anlage) wird ebenfalls primärenergetisch mit dem Faktor 2,7 bewertet und beträgt dann  $6,2 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ . Dieser Ertrag kann bei der Beurteilung dem Gebäude gutgeschrieben werden, also vom gesamten Primärenergieverbrauch abgezogen werden. Die Summe reduziert sich dann auf  $164,1 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$  (inkl. Haushaltsstrom, bezogen auf die Energiebezugsfläche).

Die primärenergetische Einsparung durch die Gasherde anstelle von Elektroherden wurde zu  $5,1 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$  ermittelt.





## Fazit Teilbilanz: Energie für Heizung, Warmwasser und Lüftung

Üblicherweise werden bei den unvollständigen Bilanzierungen der [EnEV] nur die Aufwendungen für Heizung, Lüftung, Warmwasser und Hilfsstrom (Technik) berücksichtigt. Dies ist aus physikalischer Sicht eine willkürliche Grenze, da insbesondere die Wärmeabgabe aller Elektrogeräte des Haushalts in einem hochwärmege-  
dämmten Gebäude einen erheblichen Beitrag zur Raumheizung darstellen. Aus Gründen der Vergleichbarkeit wird diese reduzierte Bilanz hier ebenfalls dargestellt.

Die Summe der Endenergieverbräuche für die Anwendungen Heizung, Lüftung, Warmwasser inkl. Hilfsstrom beträgt genau  $60 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ . Bewertet mit den oben genannten Faktoren zur primärenergetischen Beurteilung [Gemis] ergibt sich ein wohnflächenspezifischer Primärenergieverbrauch von  $81,9 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ .

In der [EnEV] wird als Bezugsgröße für Gebäude jedoch die viel größere Nutzfläche  $A_N$  verwendet. Sie wird aus dem Gebäudevolumen pauschal berechnet. Für das hier untersuchte Gebäude beträgt sie – wie in Abschnitt 3.4 aufgeführt –  $2301 \text{ m}^2$  und ist damit  $54 \%$  größer als die im gesamten Bericht verwendete Energiebezugsfläche. Wird der Primärenergie-Kennwert (PE) für Heizung, Lüftung, Warmwasser inkl. Hilfsstrom auf diese Fläche bezogen, ergibt sich ein spezifischer Primärenergieverbrauch entsprechend EnEV-Nomenklatur von  $53,1 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ .

Wenn die Einsparungen bei den elektrischen Verbräuchen der Lüftungsanlage nach den angestrebten Reparaturen realisiert werden, beträgt der Primärenergieverbrauch für Heizung, Lüftung, Warmwasser und Hilfsstrom noch  **$67,6 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{EBFA}}\text{a})$**  bei Ansatz der Energiebezugsfläche, bzw. noch  **$43,8 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{AN}}\text{a})$**  bei Bezug auf die Nutzfläche  $A_N$ .

Das Ergebnis dieses Bauprojektes ist somit im Licht der derzeitigen üblichen Bewertung als ausgezeichnet anzusehen.

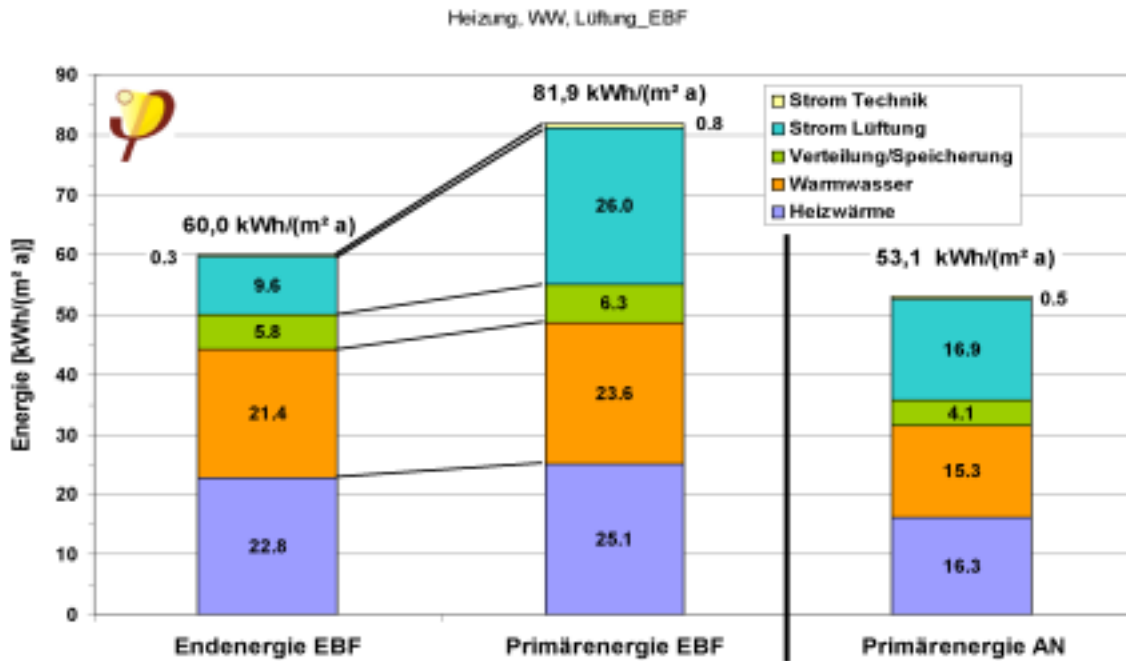
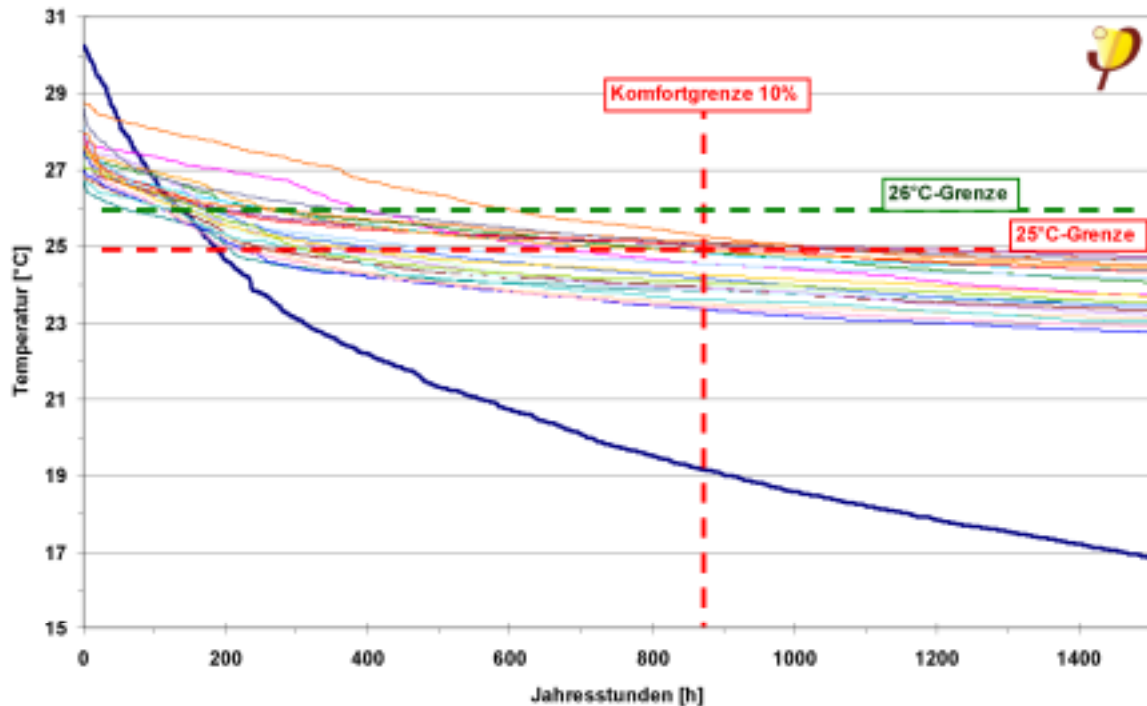


Abbildung 2: Primärenergetische Bewertung der Endenergieverbräuche des Gebäudes für Heizung, Warmwasser und Lüftung. Die Bezugsgröße der Primärenergieverbräuche ist zum einen die Energiebezugsfläche EBF und zum anderen die Nutzfläche  $A_N$  nach der EnEV (Jahresbilanzzeitraum Mai 2004 bis April 2005). Dargestellt sind hier generell nur gemessene Verbrauchswerte. Das Ergebnis ist bereits ohne die im Bericht beschriebenen Optimierungspotentiale als ausgezeichnet zu bewerten.

### Fazit Sommerbehaglichkeit

Die Untersuchung der sommerlichen Temperaturen zeigt, dass die in der Norm [DIN 4108-T2] für die Klimazone „gemäßigt“ (Hamburg) geforderte 26 °C-Grenze in allen Wohnungen unterschritten wird. Nur in drei Wohnungen werden überhaupt Stundenmitteltemperaturen über 28 °C gemessen. Zur Untersuchung der strengeren 25 °C-Grenze (eigentlich für „sommerkühle Regionen“ zu denen Hamburg nicht zugeordnet ist) zeigt sich, dass vier Temperaturmessstellen über dieser strengeren Grenze liegen, eine genau den Grenzpunkt schneidet. Die Überschreitungen sind mit maximal 0,3 K sehr moderat. Die vier Kurven verlaufen relativ flach weiter bis zu ihren jeweiligen Höchsttemperaturen.



**Abbildung 3: Oberer Ausschnitt der Stundenwerte der Raum- und Außentemperaturen (absteigend sortiert nach Jahresstunden). Angegeben sind die 25°C/10%- und die 26°C/10%-Grenze der sommerlichen Behaglichkeit.**

Es kann festgestellt werden, dass das sommerliche Temperaturverhalten der Wohnungen als gut zu beurteilen ist. Dies ist insofern besonders beachtlich, da das Gebäude über keine aktiven Sonnenschutzvorrichtungen verfügt. In einem extremen Sommer werden sich die Werte sicherlich noch leicht nach oben verschieben. Der gemessene Sommer kann für die Region durchaus als typisch bezeichnet werden.

Für die unterschiedlichen Temperaturniveaus der Wohnungen im Sommer dürfte unterschiedliches Lüftungsverhalten der Bewohner den bedeutendsten Einfluss besitzen. Die Untersuchung der Korrelation der geringen Übertemperaturstunden mit den Stromverbräuchen der Wohnungen und mit den spezifischen Solarlasten zeigt keine Trends. Nur mit der Höhe der Kernwintertemperaturen zeigt sich eine Trend: Wird von den Bewohnern einer Wohnung im Winter ein relativ hohes Temperaturniveau bevorzugt, liegt es nahe, dass auch im Sommer höhere Temperaturen gewünscht oder zumindest ohne Gegenmaßnahmen akzeptiert werden. Die im Winter kühleren Wohnungen haben eher die niedrigeren Überhitzungsstunden.

Es bleibt festzuhalten, dass die „Sommerfallsituation“ insgesamt als gut zu bewerten ist. Sie würde sich noch weiter verbessern, würden die festgestellten ungewollten sommerlichen Heizwärmeverbräuche im Gebäude vermieden.

Damit zeigt sich, dass in diesem nahezu unverschatteten Gebäude mit Südausrichtung die vom Planer projektierte Verschattung durch die Fensterlaibungen und die vorgestellte Balkonanlage ausreicht um im Sommer gute Behaglichkeitsbe-



dingungen herzustellen. Die hohe Wärmedämmung und der kräftige Wind am Standort und bei diesem hohen Gebäude führen zu diesem guten Ergebnis. Bei der Vorausberechnung durch das PHI wurde festgestellt, dass auf weitere temporäre Verschattungen verzichtet werden kann, was sich durch die Messungen bestätigt hat. Dieses Ergebnis gilt speziell für dieses Gebäude an diesem Standort und kann nicht einfach verallgemeinert werden.

### **Fazit Treppenhaus-Messungen/-Berechnungen**

Detaillierte Messungen wurden zu den Temperaturen und zum Luftaustausch im Treppenhaus durchgeführt. Die Messergebnisse wurden mit Hilfe eines thermischen und eines Strömungsmodells ausgewertet, um Aussagen über die Wärmeströme in diesem Bereich zu gewinnen.

Für die Wärmeverluste, die durch das offene Treppenhaus entstehen, konnte auf dieser Grundlage eine vereinfachte Berechnungsvorschrift angegeben werden. Dabei werden die Wärmeverluste durch Transmission, Strahlung und Konvektion addiert. Die Transmissions- und Strahlungsanteile lassen sich im Prinzip leicht berechnen; für den konvektiven Anteil konnte aus den Messungen als obere Schranke ein Luftaustausch von  $20 \text{ m}^3/\text{h}$  pro  $\text{m}^2$  freier Querschnittsfläche ermittelt werden. Zusätzlich ist der Luftaustausch im Fahrstuhlschacht zu berücksichtigen, für den sich die Annahme vollständiger Durchmischung alle 10 Minuten bewährt hat.

Als einfach handhabbare Näherung auf der sicheren Seite kann für die Öffnungen in der thermischen Hülle im Treppenhaus bzw. Fahrstuhlschacht bei stabiler Schichtung ein U-Wert von  $12 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  angesetzt werden. Zusätzlich sind dann nur noch die Transmissionsverluste durch die opaken Begrenzungen der thermischen Hülle im Bereich des Treppenhauses zu berücksichtigen.

## 2 Projektübersicht

### Mehrgeschoss-Passivhaus „Parkhaus“, Hamburg

**ADRESSE:**

Pinnsberg 27  
20359 Hamburg

**BAUHERR**

St Pauli Hafenstrassen-  
genossenschaft e.G.

**ARCHITEKTEN:**

Plan - R-, Architektenbüro  
Joachim Reinig, Hamburg

**HAUSTECHNIKPLANUNG:**

InnovaTec, Kassel

**GENERALUNTERNEHMER:**

Richard Ditting GmbH & Co.KG  
Hamburg

**WIRTSCHAFTLICHE BETREUUNG:**

Stattbau Hamburg, Hamburg

**WISSENSCHAFTLICHE BEGLEITUNG:**

Passivhaus Institut, Darmstadt

**FERTIGSTELLUNG:**

Herbst 2003



Ansicht von Osten



Gebäudeschnitt



Typischer Grundriss



### Gebäude:

- 19 Wohnungen (z.T. barrierefrei) im öffentlich geförderten Wohnungsbau (Sozialwohnungen)  
1491 m<sup>2</sup> Energiebezugsfläche  
Individuelle Planung für Bewohner (Wohnprojekt)
- Quartiersgarage:  
46 Tiefgaragenplätze auf 2 Ebenen

### Konstruktion

- Tragkonstruktion:  
Stahlbeton
- Außenwände:  
Kalksandstein mit WDVS 24cm
- Fenster:  
Fa. Rehau Clima Design  
Dreischeiben-Wärmeschutzverglasung mit hochgedämmten Fensterrahmen (U-Wert Verglasung: 0,6 W/m<sup>2</sup>K)
- Dach:  
Stahlbeton
- Bodenplatte:  
Stahlbeton

### Baukosten

- Gesamt 3,8 Mill. € (inkl. NK, ohne Grund.)  
Reine Baukosten 3,3 Mill. €  
1.360,- €/m<sup>2</sup> Nutzfläche (inkl. Gemeinschaftsräume)

### Haustechnik

- **Lüftung:** Zentrale Lüftungsanlage mit Gegenstrom-Platten-Wärmeübertrager und hydraulischem Frostschutzregister
- **Heizung:** Zentraler Gasbrennwert-Kessel (12 bis 61 kW), Luftheizung mit wohnungsweisem Zuluftnachheizregister und zwei hydraulische Zusatzheizkörper für jede Wohnung (Bad, Wohnraum)
- **Warmwasser:** Zentrale Warmwasserbereitung über Gasbrennwert-Kessel
- **Solarstromanlage:** 48 senkrecht angeordnete Module mit insgesamt 5 kWp



Zentrale Lüftungsanlage in der Technikzentrale im DG



### 3 Gebäudevorstellung: Passivhaus Hamburg Pinnasberg

Das Gebäude befindet sich in Hamburg St. Pauli in der Straße Pinnasberg Nr. 27 und liegt damit in direkter Nähe zur Elbe und zum Hamburger Hafen. Es stellt als erstes Passivhaus mit 8 Vollgeschossen (19 Wohneinheiten) und der besonderen Nutzerstruktur (Genossenschaft) ein Pilotprojekt dar.

Das Haus mit Quartiersgarage verfügt neben den acht Geschossen noch über drei Tiefgeschosse, wobei die 46 PKW-Stellplätze in den beiden untersten Etagen angeordnet sind. Die Zufahrt für die Garagen erfolgt von der tiefer liegenden Hafenstraße. Das zentrale Treppenhaus und der Fahrstuhl befinden sich innerhalb der thermischen Gebäudehülle. Die Trennwand zwischen Fahrstuhlschacht und Treppe besteht überwiegend aus Glas. Bei dem Gebäude handelt es sich um einen Massivbau mit Wämedämmverbundsystem.

Das Gebäude wurde im öffentlich geförderten Wohnungsbau errichtet (Sozialwohnungen) und barrierefrei gebaut. In 2 der 19 Wohnungen leben 3 Rollstuhlfahrer.

Die Planung wurde vom Architektenbüro „Plan -R-“ durchgeführt. Bauherr ist die St. Pauli Hafenstraßengenossenschaft e.G.

**Tabelle 1: Projektbeteiligte an dem Passivhaus-Projekt „Parkhaus“ Hamburg, Pinnasberg 24**

Bauherr	St. Pauli Hafenstraßengenossenschaft e.G.	Hamburg
Architekten und Bauleitung	Plan -R-, Architektenbüro Joachim Reinig	Hamburg
Haustechnikplanung	InnovaTec	Kassel
Generalunternehmer	Richard Ditting GmbH & Co.KG	Hamburg
Wirtschaftliche Betreuung	Stattbau Hamburg	Hamburg
Zertifizierung und Begleitforschung	Passivhaus Institut	Darmstadt

Geplant wurde für die Wohnprojektgruppe „Parkhaus“, welche aus einer Stadtteil-Initiative entstanden ist. Diese hat sich für stadtteilnahe Park- und Grünflächen eingesetzt und entwickelte das Konzept von „park fiction“ (Beitrag auf der Dokumenta 2002). Aus der Initiative gründeten einige Mitglieder der Parkinitiative ein stadtteilnahes Wohngruppenprojekt für unterschiedliche Menschen (Alter, Haushaltsgröße, etc). Daher der Name „Parkhaus“, der keinen direkten Bezug zu den Stellplätzen in den Tiefgeschossen hat. Bei der Gebäudeplanung mussten die Belange der bestehenden Wohnprojektgruppe z.B. bezüglich der unterschiedlichen Wohnungsgrößen berücksichtigt werden.





Abbildung 4: Logo des Wohnprojektes „Parkhaus“ im Passivhaus Pinnsberg 27.

Das Gebäude wurde im Passivhaus-Standard errichtet, was eine ausgezeichnete Dämmung der Außenwände, Dreischeibenverglasungen in wärmegeprägten Fensterrahmen, Wärmebrückenreduktion, ausgezeichnete Luftdichtheit und kontrollierte Be- und Entlüftung mit hocheffizienter Wärmerückgewinnung voraussetzt. Es wurde durch das Passivhaus Institut zertifiziert [Sariri 2003].



Abbildung 5: Lageplan des Projektes.

### 3.1 Fassadenansichten

Das Gebäude ist fast exakt in Nord-Süd-Richtung ausgerichtet (Abweichung nach Westen: 4 Grad) und im Süden und Osten nur sehr gering verschattet. Es wurde in



die beengten Platzverhältnisse der innerstädtischen Bebauung hineingebaut und grenzt im Westen, im Kellerbereich auch im Süden, an die bestehende Bebauung an.

Auf der gebogenen Süd-Ost Fassade sind an der vorgestellten Balkonanlage Photovoltaik-Module installiert. An der Nordfassade gibt es fünf vorgehängte Balkone. Das Gebäude verfügt trotz der optimalen solaren Ausrichtung und fast unverschatteten Lage über keine temporären Verschattungsvorrichtungen. Es war auch Gegenstand dieses Begleitforschungsprojektes, ob dies für akzeptable sommerliche Innentemperaturen ausreicht.



**Abbildung 6: Süd-Ost-Ansicht des Gebäudes.**



**Abbildung 7: Ansicht v von Osten.**



**Abbildung 8: Südwest-Ansicht des Gebäudes mit angrenzenden Gebäuden (über dem Torweg).**



**Abbildung 9: Nordansicht des Gebäudes mit der Haustür sowie der Müll- und Fahrradraumtür im EG.**



**Abbildung 10: Einfahrtstore zu den beiden Tiefgeschossen mit der Quartiersgarage (Zufahrt von der Hafenstraße). Oben links ist ein Teil der Süd-Ost Fassade des Hauses zu erkennen.**

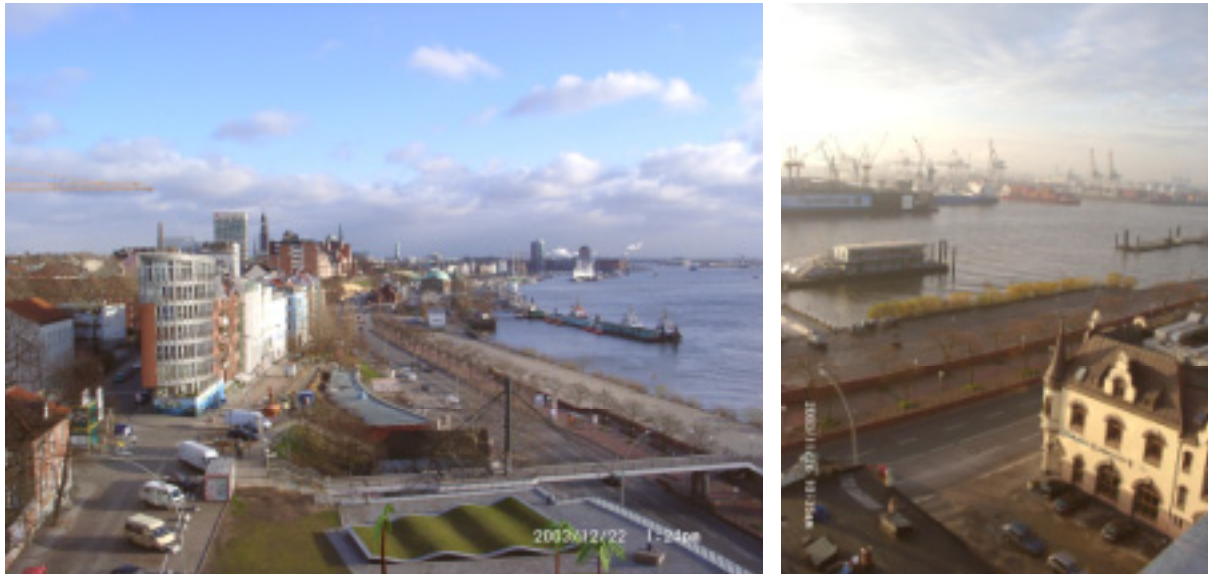


**Abbildung 11: Gebäudehaustür auf der Nordseite EG mit der Müllraumbelüftung (Gitter rechts der Hausnummer) und Detail der Balkone an der Nordfassade.**



**Abbildung 12: Detail der Balkonanlage auf der Südfassade (KG/EG)**

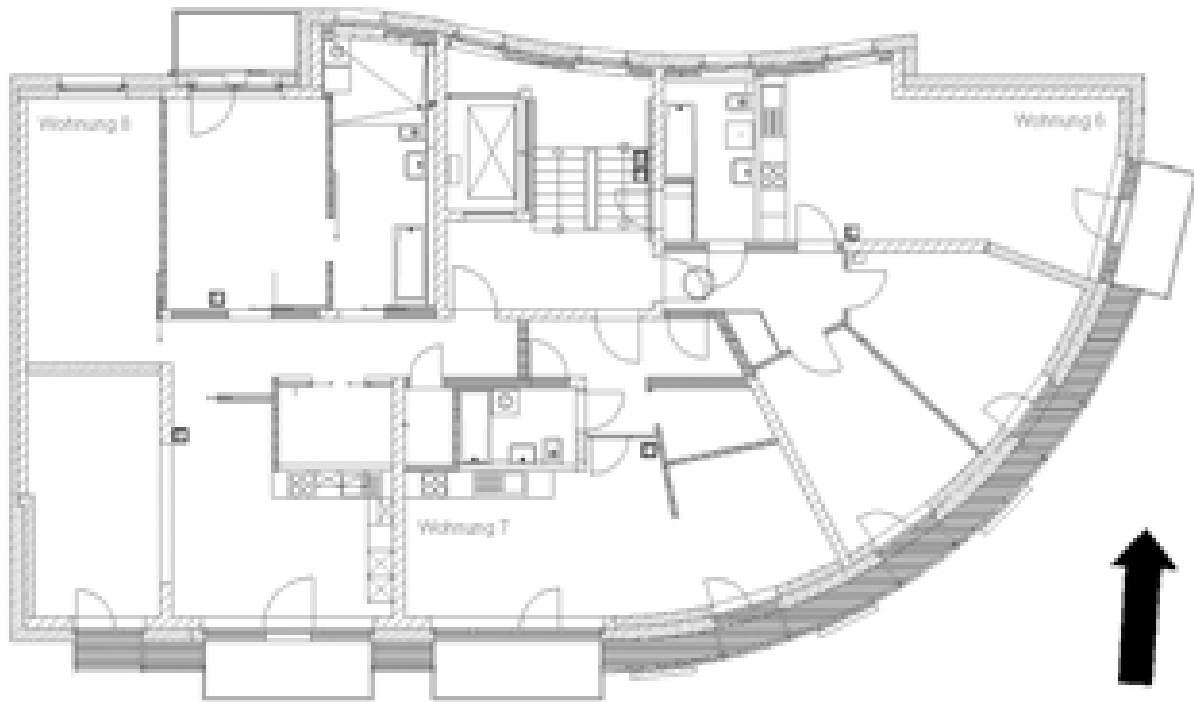




**Abbildung 13: Ausblick von der Dachterrasse nach Südwesten (mit Teilen der Parkfläche vorne mittig) und nach Südosten zur Hafenstraße und zur Elbe .**

## 3.2 Grundriss und Schnitt

Beispielhaft wird hier ein Grundriss des 2. OG dargestellt. Die Grundrisse der Stockwerke weichen alle voneinander ab, da individuell auf die Bedürfnisse der Bewohnergruppe hin geplant wurde. In jeder Etage liegen zwischen zwei und vier Wohnungen. Alle Grundrisse sind im Anhang dokumentiert.



**Abbildung 14: Beispielhafter Grundriss des Passivhauses Pinnaberg (2. OG). Oben in der Mitte befindet sich das Treppenhaus mit Fahrstuhl. Vom Treppenhaus gibt es in diesem Geschoss Zugänge in drei Wohnungen. An der Südost-Fassade ist die vorgestellten Balkonanlage zu erkennen (Quelle: nach Plan -R-).**

Im Gebäudeschnitt in Abbildung 15 ist der Treppenhausbereich mit dem auskragenden Teil auf der Nordfassade zu erkennen. Der Bereich der Tiefgaragen ist deutlich breiter als der Wohnbereich des Gebäudes.



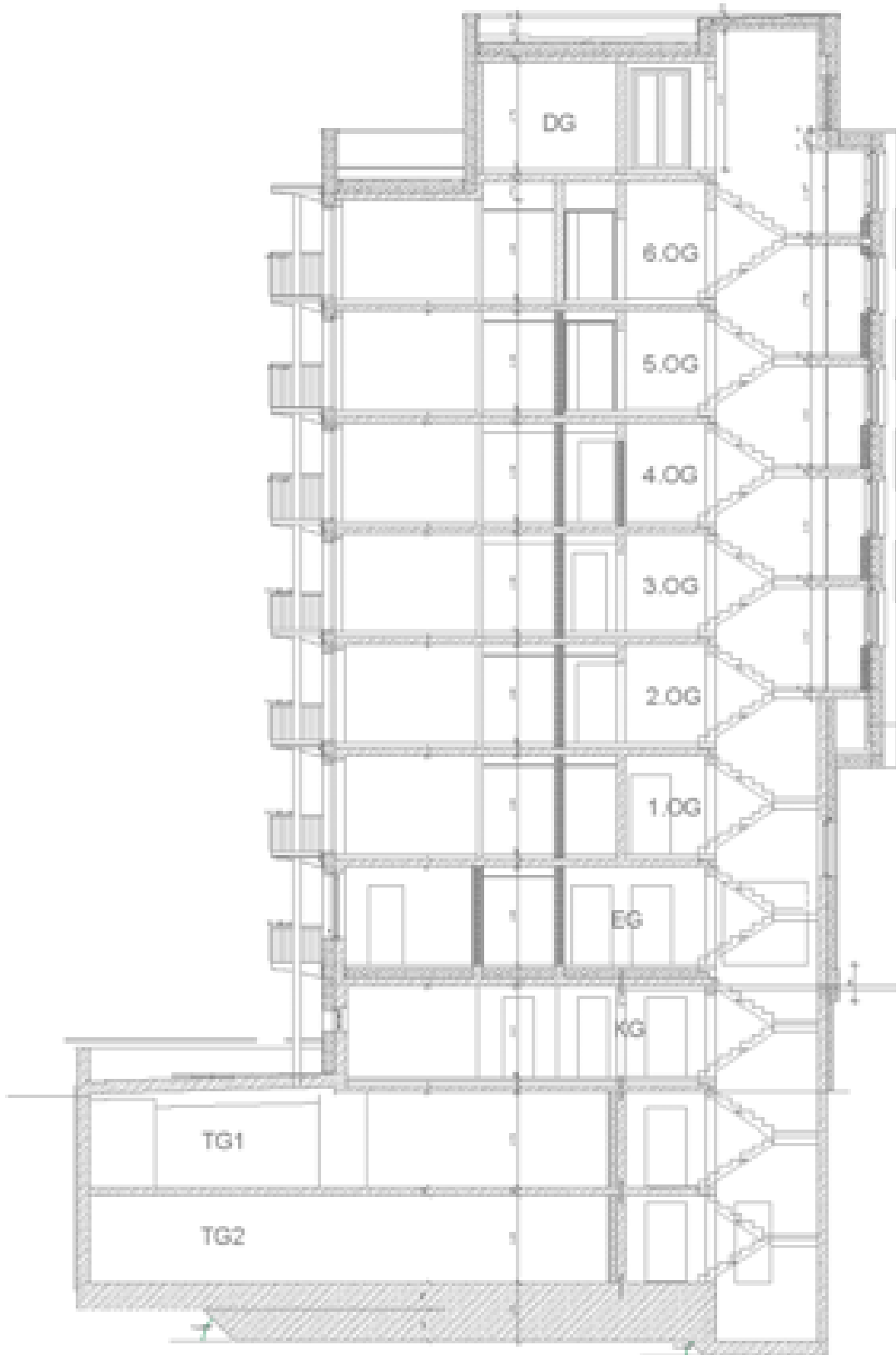


Abbildung 15: Gebäudeschnitt in der Ebene des Treppenhauses (Quelle: Plan -R-).



### 3.3 Haustechnik

Das Gebäude verfügt über einen zentralen Gasbrennwert-Kessel mit 1000 Liter Pufferspeicher im Technikraum im Dachgeschoss (DG). Der Kessel mit 12 bis 61 kW Leistung (Fa. Paradigma Modula II) stellt die Wärmeversorgung für Warmwasser und Heizung sowie den Frostschutz der Lüftungsanlage sicher. Der Pufferspeicher enthält Heizungswasser, der Warmwasser- und der Frostschutzkreislauf arbeiten mit externen Wärmetauschern. Das Hydraulikschema ist in Abbildung 20 dargestellt.

Der Hauptgasanschluss befindet sich gemeinsam mit dem Hauptstromanschluss und den Elektrounterzählern in einem Kellerraum. Von der Gasleitung zur Versorgung des Kessels gibt es in diesem Keller einen Abgang für einen separaten Strang zur Versorgung der Gasherde im Gebäude, aktuell sind acht Gasherde angeschlossen.

Die Heizungs-, Wasser- und Lüftungsleitungen (Wickelfalzrohr) werden vom Technikraum im DG über zwei Versorgungsschächte durch das Gebäude nach unten geführt. Von den Schächten aus werden die einzelnen Wohnungen wärme- und lüftungstechnisch versorgt.



**Abbildung 16:** Hausanschlussraum mit dem Hauptgaszähler (rechts) und einem Unterzähler für die 8 Gasherde im Gebäude. Unten ist der Hauptwasseranschluss und rechts der Schaltschrank des Hauptstromanschlusses zu erkennen.



**Abbildung 17: Technikraum im DG mit Wärme- und Lüftungszentrale.**



Abbildung 18: Links: Gaskessel für die Heizungs- und Warmwasserversorgung des gesamten Gebäudes. Unten rechts im Bild befindet sich der temperaturkompensierte Gaszähler mit Impulsmessung. Rechts: 1000 Liter Pufferspeicher im Technikraum (Fa. Paradigma, Typ „PS 1000“)



Abbildung 19: Links: Geöffneter Versorgungsschacht im Treppenhaus mit dem Volumenstromregler der Lüftung und dem Nachheizregister einer Wohnung sowie Wasserleitungen. Rechts: Oberster Teil des Fahrstuhlschachtes im DG mit der Verglasung zum Treppenhausbereich und der Rauchabzugsklappe in der Nordfassade.

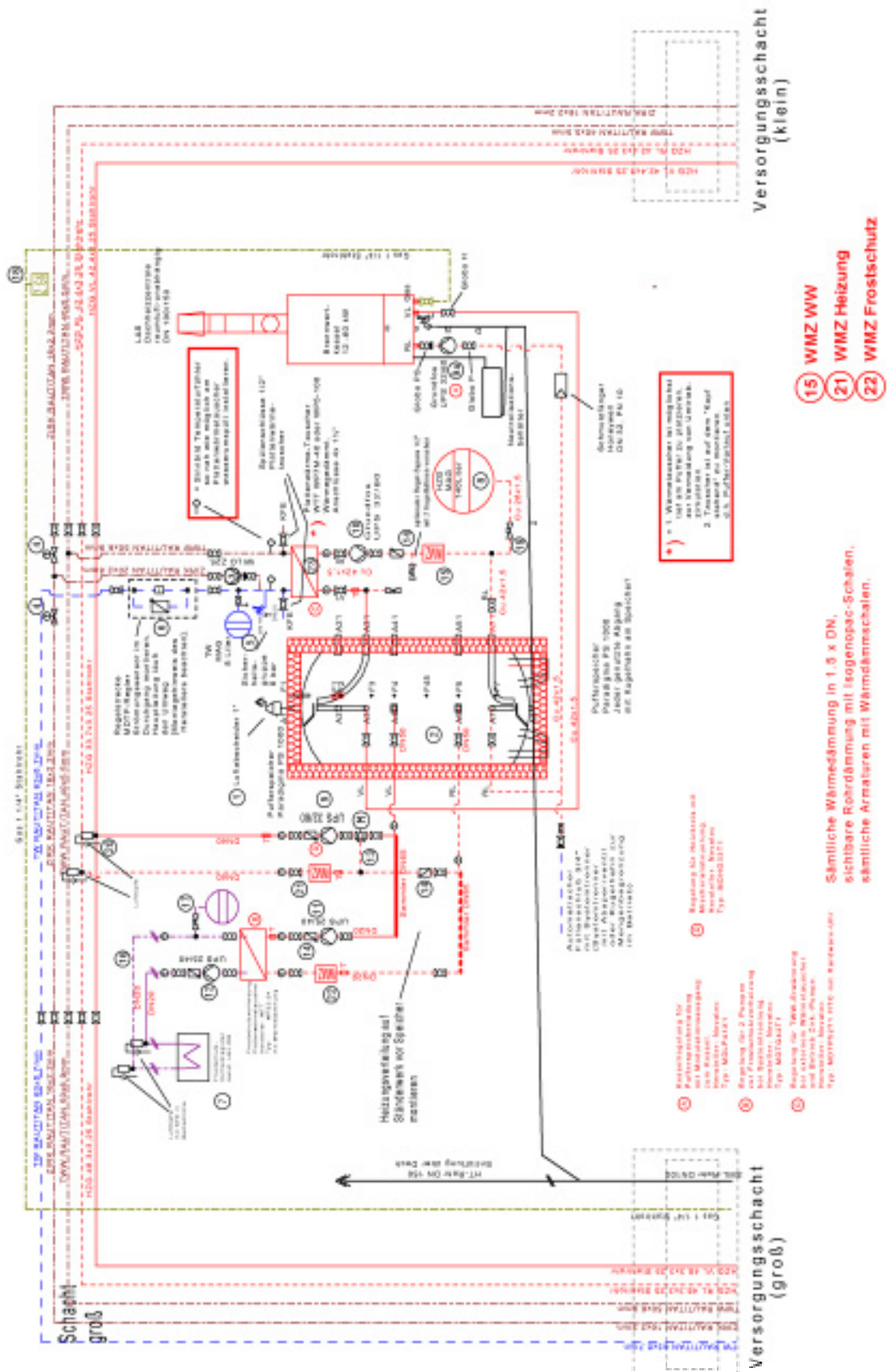


Abbildung 20: Hydraulikplan der zentralen Wärmeversorgung im DG mit Kessel und Speicher sowie den drei installierten Wärmemengenzählern. (Quelle: nach Fa. innovaTec).



Außerhalb der thermischen Hülle in den beiden Tiefgeschossen TG-1 und TG-2 ist für die Quartiersgarage eine konventionelle Lüftungsanlage installiert worden. Sie dient der Entlüftung der Tiefgarage und ist vom Haustechnikplaner nach VDI 2053 ausgelegt worden. Die Auslegung nach Verkehrsaufkommen nach VDI 2053 führt zu einem deutlich niedrigeren erforderlichen Luftwechsel als die Auslegung nach der Fläche entsprechend der Hamburger Bauordnung.



Abbildung 21: Lüftungsanlage für die Quartiersgarage mit Regelung.

### 3.3.1 Lüftung

Die zentrale Lüftungsanlage befindet sich ebenfalls im Technikraum im DG. Die Luftansaugung der Außenluft erfolgt auf der Südseite des Raumes (Wandgitter), die Fortluft wird über Dach ausgeblasen. Es gibt hier neben dem Gegenstrom-Platten-Wärmeübertrager den zentralen Außenluft- und den Fortluftventilator (rückwärtsgekrümmte Radialventilatoren, außen- und fortluftseitig positioniert). Außerdem verfügt die Anlage über einen Sommerbypass (abluftseitig mit Motorklappe) und ein hydraulisches Frostschutz-Register, um den Wärmeübertrager vor dem Einfrieren zu schützen (Regelung über Fortlufttemperatur). Es ist ein Außenluft- (F7) und ein Abluftfilter (F6) von jeweils ca. 28 m<sup>2</sup> Filterfläche installiert. Der Nennvolumenstrom beträgt ca. 1700 m<sup>3</sup>/h.





Abbildung 22: Lüftungsanlage im Technikraum DG.



Abbildung 23: Außenluft-Ansauggitter auf der Südwand des Technikraumes von der Dachterrasse gesehen und Fortluftauslass-Haube der zentralen Lüftungsanlage auf dem Dach.





Für jede Wohnung sind zwei Volumenstromregler und ein Nachheizregister installiert. Die Zuluftleitungen nach dem Heizregister und das Heizregister selbst sind wärme-gedämmt. Als Zuluftauslässe werden überwiegend Weitwurfdüsen und einige Deckenquellauslässe eingesetzt. Alle Abluftventile sind mit vorgesetzten G3-Filter ausgerüstet, um die Rohrleitungen vor Verschmutzungen zu schützen. Vor jedem Luftventil befindet sich ein Schalldämpfer von 1 m Länge. Die jeweiligen Bewohner können individuell über einen im Wohnungsflur positionierten Wahlschalter die Abluftmenge „Minimallüftung“ oder „Nomallüftung“ einstellen. Im Küchenbereich ist zusätzlich noch ein „Starklüftungs-Taster“ montiert, mit dem die Luftmenge auf „Stoßlüftung“ erhöht werden kann. Damit kann insgesamt zwischen drei Lüftungsstufen gewählt werden. Die Steuerung verstellt den Volumenstromregler für die Abluft. Der Volumenstromregler für die Zuluft wird nachgeregelt, sodass in den Wohnungen jeweils Balance bzgl. der Luftströme besteht. Als Außendruck-Referenz für die Regelung mittels eines Strömungssensors dient jeweils einer der beiden Versorgungsschächte, welche über den Technikraum Verbindung zur druckneutralen Außenluft haben. Die Gesamtluftmenge der zentralen Lüftungsanlage ist konstant-druck-geregelt (Drucksensoren in Zu- und Abluft) und richtet sich nach den individuellen Einstellungen in den Wohnungen.



**Abbildung 24:** Installation der Lüftungsrohre mit Schalldämpfern an der Flurdecke einer Wohnung (Rohbauzustand). Später werden die Rohre im Flurbereich durch eine abgehängte Decke verdeckt.



Abbildung 25: Zuluft einlass in einem Wohnraum.

### 3.3.2 Heizwärmeversorgung in den Wohnungen

An den Flurschaltern wird auch das hydraulisch versorgte Heizregister jeder Wohnung individuell geregelt: Es kann am Drehschalter von 0 bis 6 - entsprechend etwa 15 bis 25 °C - eingestellt werden. Die Temperatur wird am Wohnungsthermostat, welcher in den Schalter integriert ist, gemessen. Damit wird jede Wohnung einzeln nach der jeweiligen Kerntemperatur der Wohnung geregelt.



Abbildung 26: Schalter für die Heizungs- und Lüftungsregelung in den Wohnungsfluren. Der Drehschalter dient der Einstellung der Temperatur, mit dem Kippschalter werden zwei der drei Lüftungsstufen eingestellt.



Zusätzlich zur Wärmeversorgung durch das Nachheizregister einer Wohnung sind in allen Badezimmern hydraulische Heizkörper mit Thermostatventilen vorhanden. Zudem ist in einem Raum jeder Wohnung ein Zusatzheizkörper montiert. Wenn die Wohnung über ein Nordzimmer verfügt, ist die Heizfläche dort positioniert.

### 3.4 Energiebezugsfläche und Bewohnerzahl

Im Gebäude gibt es 19 Wohnungen mit Energiebezugsflächen (EBF) zwischen 33 und 171 m<sup>2</sup>, insgesamt beträgt die EBF mit dem Gemeinschaftsraum ohne die beheizten Kellerräume **1491,0 m<sup>2</sup>**. Die Energiebezugsfläche ist nicht zu verwechseln mit der Fläche, die nach der Energieeinsparverordnung (EnEV) angesetzt wird (diese ist mit 2301 m<sup>2</sup> um beachtliche 54 % größer!). Als Energiebezugsfläche wird hier die Wohnungsfläche, berechnet nach DIN 277, unter Abzug von Flächen außerhalb der thermischen Hülle (z.B. Balkon), verwendet.

Mit Stand Februar 2005 werden die 19 Wohnungen von 42 Personen bewohnt, wovon 34 Erwachsene und 8 Kinder sind [Griesel 2005]. Damit beträgt die durchschnittliche Wohnfläche ohne Gemeinschaftsraum im Dachgeschoss 34,5 m<sup>2</sup> pro Person.

**Tabelle 2: Energiebezugsflächen der 19 Wohnungen und des Gemeinschaftsraumes im Dachgeschoss (angegeben sind aus Datenschutzgründen die verschlüsselten Wohnungsnummern).**

Whg.-Nr.	Fläche
I	32.6
II	40.2
III	69.9
IV	45.0
V	48.3
VI	48.7
VII	55.6
VIII	55.7
IX	66.2
X	69.1
XI	71.5
XII	73.2
XIII	50.6
XIV	99.4
XV	103.0
XVI	104.1
XVII	106.1
XVIII	137.5
XIX	171.3
Gem.-Raum (DG)	43.0
<b>Summe</b>	<b>1491.0</b>



Die Durchschnittsfläche pro Wohnung beträgt 76,2 m<sup>2</sup>. Untersucht man die Haushaltsgrößen (Anzahl der Bewohner), ergibt sich folgende Aufteilung: Es gibt 7 Ein-Personen-Haushalte, 6 Zwei-Personen-Haushalte, 3 Drei-Personen-Haushalte, einem Vier-Personen-Haushalt und 2 Fünf-Personen-Haushalte. Dabei werden Erwachsene und Kinder gezählt.

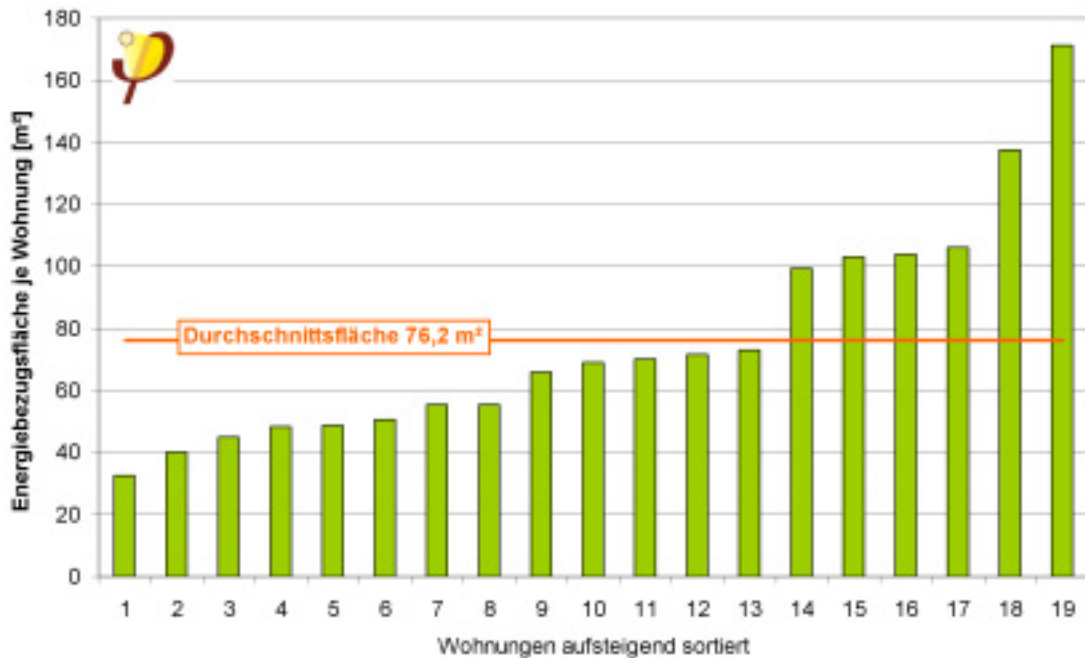


Abbildung 27: Energiebezugsfläche der 19 Wohnungen aufsteigend sortiert.

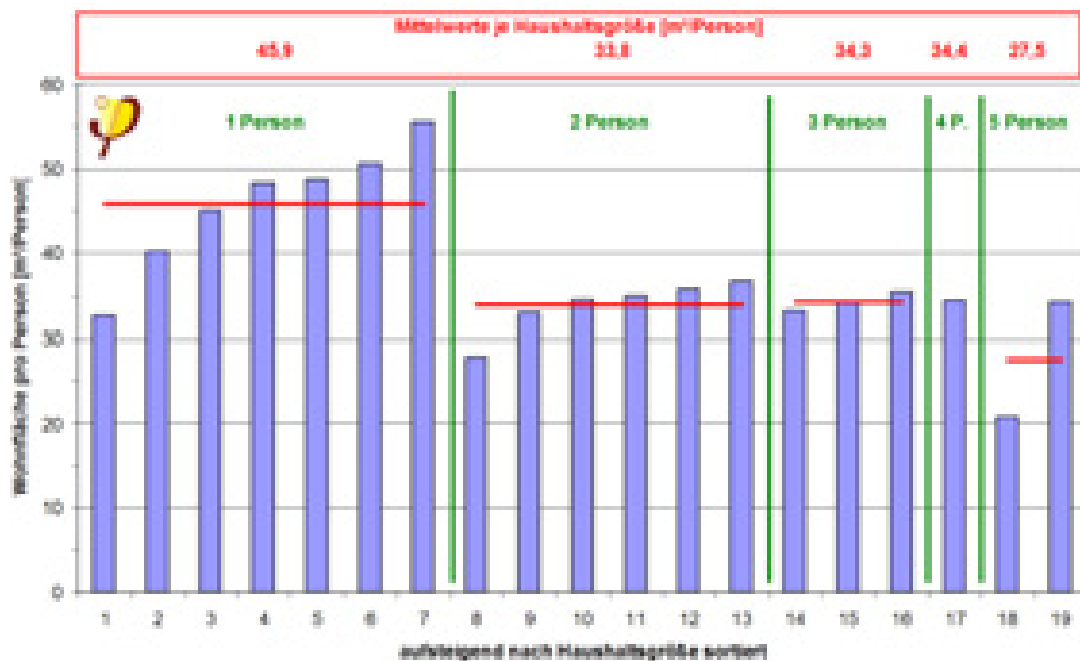


Abbildung 28: Energiebezugsfläche je Person der 19 Wohnungen, sortiert nach Haushaltsgrößen. Oben im Bild sind die Durchschnittsflächen für die jeweiligen Haushaltsgrößen angegeben.



Bei der Darstellung der Energiebezugsfläche je Person (Abbildung 28) zeigt sich der zu erwartende Trend einer geringeren Fläche pro Kopf bei zunehmender Haushaltsgröße. Die Flächen liegen zwischen 20,8 und 55,7 m<sup>2</sup>/Person. Wie bereits weiter oben angegeben beträgt die Durchschnittsfläche pro Person 34,5 m<sup>2</sup>. Im Vergleich dazu liegt im Bundesdurchschnitt die Wohnfläche pro Kopf bei 41,6 m<sup>2</sup> [SBD 2005]. Dabei ist zum einen zu berücksichtigen, dass bei der Wohnfläche auch z.B. Balkonflächen mitgerechnet werden, zum anderen handelt es sich bei diesem Objekt um Sozialwohnungen mit begrenzter Flächenvorgabe. In einem anderen Passivhaus-Projekt mit 19 Eigentumswohnungen in Frankfurt ist die EBF pro Kopf mit 31,2 m<sup>2</sup>/Person sogar noch etwas kleiner [Peper 2004b].

Im Kellergeschoss des Gebäudes sind neben den Kellerräumen der Wohnungen auch noch eine Waschküche, ein Gästezimmer/Büro, ein Badezimmer sowie ein Raum zum Aufladen der Akkus der elektrischen Rollstühle vorhanden. Insgesamt beträgt die Zusatzfläche im Keller 74,4 m<sup>2</sup>. Diese Flächen befinden sich nicht in der thermischen Hülle im Passivhaus-Standard. Sie werden nur zeitweise beheizt, daher sind sie bei der Energiebezugsfläche nicht berücksichtigt.

### 3.5 Luftdichtheit

Die Luftdichtheit ist einer der entscheidenden Voraussetzungen für ein energieeffizientes Gebäude. Sie ist in gleicher Priorität mit guter Wärmedämmung und mit der Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung anzusiedeln. Nur bei gut luftdichten Gebäuden können die In- und Exfiltrationsluftströme minimiert und so Bauschäden vermieden werden. Mit einer detailgenauen Planung der luftdichten Ebene wird der Grundstein für die Realisierung eines gut luftdichten Gebäudes gelegt. Die Einhaltung der hohen Luftdichtheitsanforderung wurde in diesem Projekt wie üblich mittels einer Blower-Door-Messung überprüft. Die Messung wurde am 26. Juli 2003 für das gesamte Gebäude vom Ing.-Büro M. Meyer-Olbersleben durchgeführt.

Dem zunächst ermittelten und für die Zertifizierung verwendeten Ergebnis der Drucktestmessung lag ein falsches Gebäudevolumen zu Grunde. Nach Rückfrage beim Büro Meyer-Olbersleben wurde das Protokoll berichtigt [Meyer-Olbersleben 2005]. Der Leckagevolumenstrom beträgt im Mittel (Über- und Unterdruck) 1032 m<sup>3</sup>/h und führt auf das Ergebnis von  $n_{50} = 0,2 \text{ h}^{-1}$ . Damit liegen sehr gute Voraussetzungen für die Einhaltung des Passivhaus-Standards vor. Der angestrebte Grenzwert für Passivhäuser von  $n_{50} = 0,6 \text{ h}^{-1}$  wird deutlich unterschritten. Das Protokollblatt der Messung ist in Abbildung 29 dargestellt.



## BlowerDoor-Prüfprotokoll

### Berechnungsgrundlage EN 13829, Verfahren A

#### Minneapolis Blower Door Modell 4 - Tectite Express 2.1.18.21



Objekt : <u>Passivhaus Pinnasberg, Gesamtgebäude</u> Hamburg	PrüferIn: <u>Dipl.-Ing. Michael Meyer-Obersleben</u> Datum: <u>26.07.2003</u> FLUB-Nr.: <u>400</u>
---	---

**Klimadaten**

Innen Temperatur: <u>21 °C</u>	Luftgeschw. Anemom.: <u>2,0 m/s</u>	Referenzdruckmessstellen: <u>1</u>
Außen Temperatur: <u>19 °C</u>	Windstärke: <u>3</u>	Gebäudestandort: <u>B</u>
Luftdruck (Standard): <u>101300 Pa</u>	Zusätzliche Messunsicherheit infolge Wind: <u>9 %</u>	

**Unterdruck**

Natürliche Druckdiff	$\Delta P_{\text{In}}$	$\Delta P_{\text{Ex}}$	$\Delta P_{\text{In}}$	$\Delta P_{\text{Ex}}$
	-	-2,5 Pa	-	-8,6 Pa

**Überdruck**

Natürliche Druckdiff	$\Delta P_{\text{In}}$	$\Delta P_{\text{Ex}}$	$\Delta P_{\text{In}}$	$\Delta P_{\text{Ex}}$
	-	-2,2 Pa	0,4 Pa	-

**Messreihen**

Reduzierblende	Gebäude- druck	Gebäude- druck	Volumen- strom $V_1$	Abwei- chung	Reduzierblende	Gebäude- druck	Gebäude- druck	Volumen- strom $V_1$	Abwei- chung
$\Delta P_{\text{In}}$	-2,5	—	—	—	$\Delta P_{\text{In}}$	-2,2	—	—	—
B	-38	73	693	-7,66	B	29	82	734	-1,34
B	-37	88	761	5,33	B	33	102	818	1,23
B	-44	113	861	2,85	B	39	123	898	-0,49
B	-48	121	891	-1,25	B	43	148	985	2,53
B	-52	143	968	1,34	B	48	161	1027	-1,10
B	-58	164	1036	-1,31	B	53	184	1097	-1,43
B	-61	181	1088	0,59	B	58	216	1188	0,66
$\Delta P_{\text{Ex}}$	-8,6	—	—	—	$\Delta P_{\text{Ex}}$	0,4	—	—	—

Korrelationskoeff. $r$ :	0,970	Vertrauensintervall	
$C_{\text{max}}$ [(m³/h Pa²)]	65	min. 137	min. 31
$C_{\text{a}}$ [(m³/h Pa²)]	65	min. 137	min. 31
n	0,70	min. 0,60	min. 0,50

Korrelationskoeff. $r$ :	0,998	Vertrauensintervall	
$C_{\text{max}}$ [(m³/h Pa²)]	73	min. 95	min. 58
$C_{\text{a}}$ [(m³/h Pa²)]	73	min. 95	min. 58
n	0,68	min. 0,75	min. 0,61

**Ergebnis, Kenngrößen**

Innenvolumen:	Nettogrundfläche:	Hüllfläche:
4933 m³ $\pm 10\%$	1807 m² $\pm 10\%$	3217 m² $\pm 10\%$

	$V_{50}$	Unsch.- heit	$n_{50}$	Unsch.- heit	$W_{50}$	Unsch.- heit	$q_{50}$	Unsch.- heit
	m³/h	%	h⁻¹	%	m³/h	%	m³/h	%
Unterdruck	1006	$\pm 13\%$	0,20	$\pm 17\%$	0,56	$\pm 17\%$	0,31	$\pm 17\%$
Überdruck	1058	$\pm 12\%$	0,21	$\pm 15\%$	0,59	$\pm 15\%$	0,33	$\pm 15\%$
Mittelwert	1032	$\pm 12\%$	0,2	$\pm 16\%$	0,57	$\pm 16\%$	0,32	$\pm 16\%$

Anforderungen nach:	<b>PHI</b>	<b>0,6</b>	h⁻¹		
---------------------	------------	------------	-----	--	--

**Die Anforderungen der Vorschrift werden erfüllt.**

Bemerkung: Das Messergebnis schließt (entdeckte) Mängel in der Konstruktion nicht aus.

Auftragnehmer :  
Ingenieurbüro Meyer-Obersleben, Ihr Haus-Doktor

BearbeiterIn : Dipl.-Ing. M. Meyer-Obersleben  
Tel : 04131 407997

Abbildung 29: Protokoll der Blower Door Messung [Meyer-Obersleben 2005].



## 3.6 Energiebilanz PHPP

Die energetische Planung und die Passivhaus-Zertifizierung des Gebäudes durch das Passivhaus Institut wurden mit Hilfe des „Passivhaus Projektierungs Paketes“ (PHPP) durchgeführt. Die wärmetechnischen Daten sind in übersichtlicher Form in den Arbeitsmappen des PHPP dokumentiert.

Es wurden die normalen Standardrandbedingungen des PHPP verwendet:

- Standard-Raumtemperatursollwert 20 °C
- Standard-Klimadaten für Deutschland
- Standard-Warmwassernachfragedaten (25 Liter/Person/Tag bei 60 °C).
- Standard-Lüftungsauslegung nach DIN 1946
- Personenbelegung nach Plandaten: 42 Personen

Diese Standarddaten können nicht in allen Punkten den tatsächlich für die Messzeit vorliegenden Daten entsprechen. Letztere hängen vielmehr von den realen Gegebenheiten wie dem Nutzerverhalten, dem Wetter im Messzeitraum, von der Nutzung und auch von der Ausführungsqualität der Gebäudehülle und der technischen Systeme ab. In diesem Abschnitt werden die "Plandaten" dokumentiert, mit denen das Gebäude zertifiziert wurde. Sie kennzeichnen den Stand des Wissens, wie er vor Baufertigstellung, Bezug und Beginn des Messprogramms vorliegt. So gibt es beispielsweise danach - durch nachträgliche Grundrissumplanungen - eine leichte Veränderung der Energiebezugsfläche von 1486,5 m<sup>2</sup> auf 1491,0 m<sup>2</sup>.

Abbildung 30 zeigt das Nachweisblatt (Objektdatenblatt) aus dem Zertifizierungs-PHPP. Für das Gebäude sind alle Anforderungen für die Zertifizierung als Passivhaus erfüllt: Der Heizwärmebedarf ist mit etwa 13 kWh/(m<sup>2</sup>a) sogar geringer als gefordert, ebenso das Drucktestergebnis mit 0,1 h<sup>-1</sup> (spätere Korrektur auf den noch immer sehr guten Wert von 0,2 h<sup>-1</sup>). Der rechnerische Primärenergiebedarf für Warmwasser, Heizung und Hilfsstrom ist mit 43 kWh/(m<sup>2</sup>a), bezogen auf die Energiebezugsfläche, sehr gering. Worauf es ankommt, ist der Gesamt-Primärenergiebedarf inkl. auch der Haushaltsanwendungen von elektrischem Strom, welche die dominanten Verbräuche bei diesem Objekt bilden. Mit 118,5 kWh/(m<sup>2</sup>a) wird das Passivhaus-Kriterium hier gerade eingehalten, wobei dies den Einsatz stromsparender Hausgeräte und Beleuchtungsmittel voraussetzt.





## Passivhaus Qualitätsnachweis



Objekt:	Passivhaus Pinnasberg 27
Standort:	Hamburg
Straße:	Pinnasberg 27
PLZ/Ort:	D-20359 Hamburg
Land:	Deutschland

Kennwerte mit Bezug auf Energiebezugsfläche:

	Vorhanden:	Anforderung:	Erfüllt?
Energiekennwert Heizwärme:	12.9 kWh/(m <sup>2</sup> a)	15 kWh/(m <sup>2</sup> a)	✓
Drucktest-Ergebnis:	0.10 h <sup>-1</sup>	0.6 h <sup>-1</sup>	✓
Primärenergie-Kennwert (WW, Heizung, Lüftung und Haushalts-Strom):	118.5 kWh/(m <sup>2</sup> a)	120 kWh/(m <sup>2</sup> a)	✓
Primärenergie-Kennwert (WW, Heizung und Lüftung):	43.3 kWh/(m <sup>2</sup> a)		

Kennwert mit Bezug auf Nutzfläche nach EnEV:

	Vorhanden:	Anforderung:	Erfüllt?
Primärenergie-Kennwert (WW, Heizung und Lüftung):	28.0 kWh/(m <sup>2</sup> a)	40 kWh/(m <sup>2</sup> a)	✓

Objekt-Typ:	Mehrfamilienhaus
Bauherr(en):	Parkhaus e.V. vertr. d. Stattbau GmbH
Straße:	Neuer Kamp 25
PLZ/Ort:	D-20359 Hamburg
Architekt:	Plan-R Architekten
Straße:	Lange Reihe 27
PLZ/Ort:	D-20099 Hamburg
Haustechnik:	innovaTec Energiesysteme GmbH
Straße:	Im Graben 5
PLZ/Ort:	D-34292 Ahnatal
Baujahr:	2001-2003
Zahl WE:	19

Energiebezugsfläche:	1486.5 m <sup>2</sup>
Umbautes Volumen:	7190.0 m <sup>3</sup>
Personenzahl:	42

Ausgestellt am:  
18.11.2003  
gezeichnet:  
Passivhaus Institut

Abbildung 30: Objektdatenblatt aus dem Zertifizierungs-PHPP.



## Passivhaus-Projektierung ENERGIEKENNWERT HEIZWÄRME

Name	Deutschland	Gebäudetypkategorie	Reihfamilienhaus
Objekt	Passivhaus Pinnasberg 27	Energiebezugsfläche AEB	1496,5 m <sup>2</sup>
Standort	Hamburg		

Bauteile	Fläche m <sup>2</sup>	U-Wert W/(m <sup>2</sup> K)	Reduktionsfaktor R	Q <sub>T</sub> mWh	Q <sub>T</sub> mWh	g <sub>T</sub> m <sup>2</sup> Energiebezugsfläche
1 Außenwand gegen Außenluft	1069,6	0,124	1,0	94	11362	
2 Wand g. Gebäude unabh.	109,0	0,238	0,9	94	1963	
3 Dach	149,6	0,082	1,0	94	974	
4 Dachterrasse	171,7	0,091	1,0	94	1310	
5 Dach über Fahrstuhl	4,4	0,252	1,0	94	97	
6 Fußboden g. unabh. Bauteil	306,2	0,132	0,5	94	1937	
7 Fußboden g. Außenluft	12,4	0,182	1,0	94	318	
8 Treppenhaus gegen KG/FG	7,3	0,000	0,5	94	1835	
9 Türen gegen Außenluft	7,5	0,888	1,0	94	507	
10 Fenster	439,8	0,714	1,0	94	25273	
11 Wände außen (Länge/m)	205,1	0,061	1,0	94	1055	
12 Wände innen (Länge/m)	37,9	0,328	0,5	94	509	

**Transmissionswärmeverluste Q<sub>T</sub>** Summe 46894 31,5

Luftanlage:		wirksames Luftvolumen VL	AEB	ichte Raumhöhe	
		m <sup>3</sup>	m <sup>2</sup>	m	m <sup>3</sup>
			1496,5	2,50	3716
Wärmeabstrahlungsgrad der Heizenutzflächen	gGPT	0,14			
Wärmeabstrahlungsgrad der Erhitzennutzflächen	gGRT	0,9	nL_Anlage	gGRT	nL_Raum
			14	0,007	14
energetisch wirksamer Luftwechsel nL		0,394	(1 - 0,81)	0,208	0,208

**Lüftungswärmeverluste Q<sub>L</sub>** VL 3716 2,5

**Summe Wärmeverluste Q<sub>V</sub>** Q<sub>T</sub> 46894 31,5

Ausrichtung der Fläche	Reduktionsfaktor vgl. Blatt Fenster	g-Wert (je m <sup>2</sup> )	Fläche m <sup>2</sup>	Gesamter Heizwert mWh	g <sub>T</sub> mWh
1 Ost	0,38	0,46	84,71	264	3925
2 Süd	0,43	0,46	227,63	363	14929
3 West	0,37	0,46	16,87	231	652
4 Nord	0,28	0,46	111,95	140	2048
5 Horizontal	0,45			380	

**Wärmeangebot Solarstrahlung Q<sub>S</sub>** Summe 22554 14,9

**Interne Wärmequellen Q<sub>I</sub>** Länge Heizzeit 0,004 225 2,10 1496,5 16857 11,3

Freie Wärme Q<sub>F</sub> Q<sub>S</sub> + Q<sub>I</sub> 39410 25,9

Verhältnis Freie Wärme zu Verlusten Q<sub>F</sub> / Q<sub>V</sub> 0,892

Heizungsgrad Wärmegeheim n<sub>D</sub> (1 - (Q<sub>F</sub> / Q<sub>V</sub>)) / (1 - (Q<sub>T</sub> / Q<sub>V</sub>)) 0,545 3,5

**Wärmegewinne Q<sub>G</sub>** Q<sub>F</sub> + Q<sub>D</sub> 36302 24,4

**Heizwärmebedarf Q<sub>H</sub>** Q<sub>V</sub> - Q<sub>G</sub> 10210 12,9

Anforderung Energiekennwert (normiert)	Grenzwert	Ergebnis	Anforderung erfüllt?
=	Ja/Nein	11	ja

Abbildung 31: Heizwärmeblatt aus dem Zertifizierungs-PHPP.



Die einzelnen Daten für die Energiebilanz über die Gebäudehülle aus dem PHPP der Zertifizierung sind in Abbildung 31 wiedergegeben. Etwa je ein Drittel der Wärmeverluste über die Gebäudehülle werden durch passiv solare Energie (14,5 kWh/(m<sup>2</sup>a)), interne Wärmequellen (11,3 kWh/(m<sup>2</sup>a)) und durch die Heizung (12,0 kWh/(m<sup>2</sup>a)) mittels Zuluftheizregister und Heizkörper erbracht.

### 3.7 Thermographische Untersuchung

Die thermographische Untersuchung der Gebäudehülle war nicht Gegenstand der Begleitforschung. Der Generalunternehmer Fa. Ditting hat die Untersuchung beim Passivhaus Institut gesondert beauftragt. Sie wurde am 11. Februar 2004 zwischen 5:00 und 7:30 durchgeführt. Die wichtigsten Ergebnisse aus dem Bericht [Peper 2004a] werden hier vorgestellt (Texte und Bilder sind weitgehend dem Bericht entnommen).

Tabelle 3: Randbedingungen der thermographischen Untersuchung

<b>Randbedingungen</b>	
Außentemperatur Vortag 10.02.2004 (Mittelwert)	ca. 1,8°C
Außentemperatur 11.02.2004 Mittelwert 5:30 bis 7:30 Uhr	2,4°C
Windbedingungen	schwacher Wind
Niederschlag	kein Niederschlag
rel. Luftfeuchte (Tagesmittel)	85%
<b>Gebäude</b>	vollständig bewohnt und beheizt
Emissionsgrad der opaken Wandflächen	0,93

Die thermographischen Aufnahmen wurden mit dem hochauflösenden Thermographiesystem „VARIOSCAN high resolution“ der Fima Jenoptik (Jena) aufgenommen. Zur Bearbeitung der Aufnahmen wurde das Programm IRBIS+ der Fima InfraTec GmbH (Dresden) verwendet.

Tabelle 4: Geräteparameter des verwendeten Thermographie-Systems

<b>Geräteparameter des Thermographie-Systems</b>	
Messgerät	VARIOSCAN 3021 ST, Fa. Jenoptik
Spektralbereich (µm)	8..12
Aufnahmesystem	Scansystem
Detektormaterial	HgCdTe
Temperaturauflösung bei 30°C (K)	± 0,03
Bildformat (Pixel)	360 x 240



Alle dargestellten IR-Außenbilder werden aus Gründen der Vergleichbarkeit mit der gleichen Temperaturskala (1 bis 10°C) dargestellt.

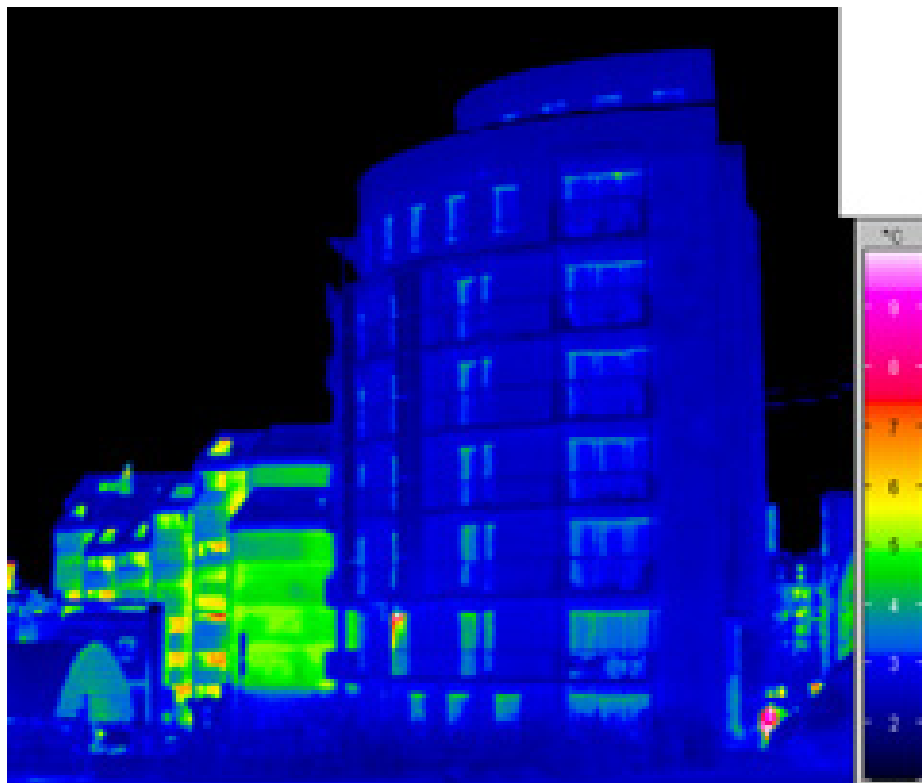


Abbildung 32: Ost-Fassade des Passivhauses Pinnasberg 27. Im unteren Teil des EG versperrt eine Hecke die Sicht auf die Fassade. Im ersten OG ist ein geöffnetes Fenster erkennbar. Rechts vor dem Haus steht eine Person (rot).

Die **Ost-Fassade** des Gebäudes zeigt sehr einheitliche Oberflächentemperaturen der Fassade um 2,5 °C. Dies zeigt die durchgängig hohe Qualität der Wärmedämmung. Dieser Fassadenbereich steht fast komplett im Strahlungsaustausch mit dem Nachthimmel. Nur die vorgestellten Stahlelemente der Balkonanlage und die PV-Module zeigen noch geringfügig niedrigere Temperaturen (ca. 2 °C), da sie sich etwa auf Außenlufttemperatur abkühlen. Die Fenster verfügen erwartungsgemäß über wenig höhere Temperaturen (um 4 °C), wobei für die Auswertung der exakten Glasoberflächentemperaturen ein anderer Emissionsgrad verwendet werden muss. Der Vergleich mit den Fassaden der Altbauten links hinter dem Gebäude verdeutlicht die Fassadenqualität des Passivhaus Neubaus.

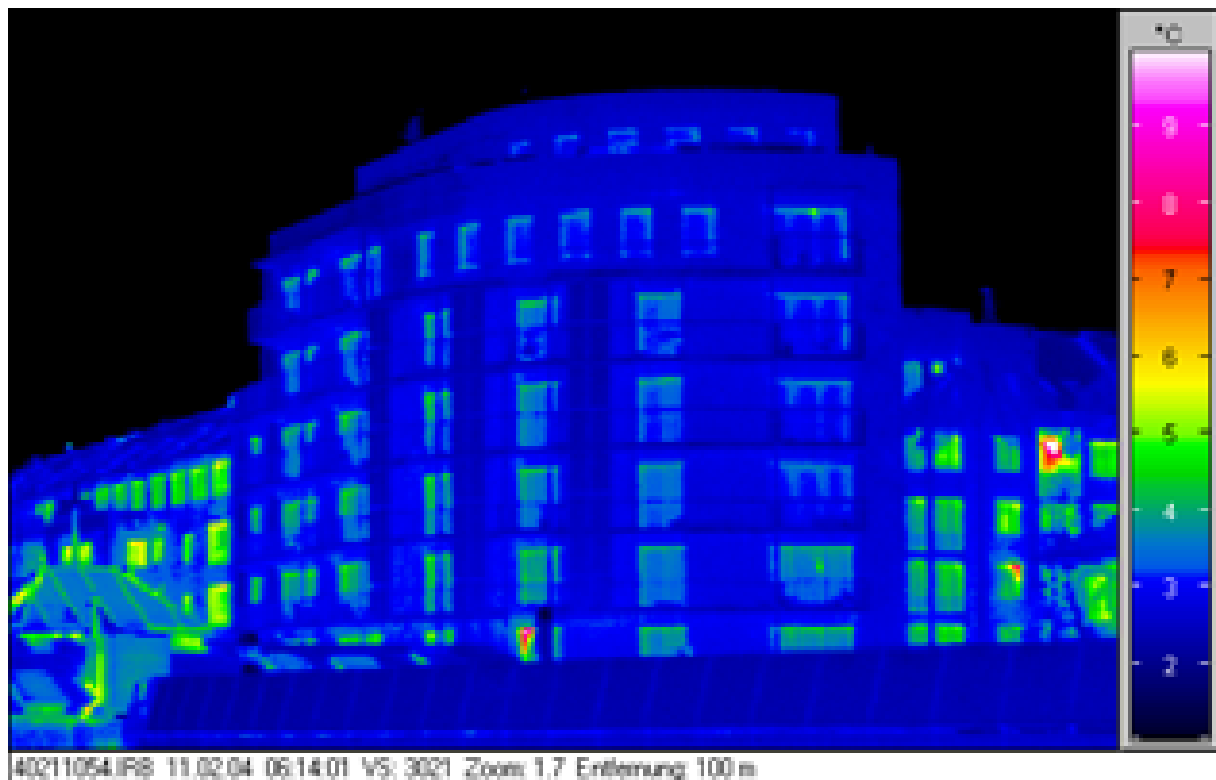
In Abbildung 33 zeigt sich für die gekrümmte **Süd-Ost-Fassade** das gleiche hochwertige Bild mit durchgängig niedrigen Temperaturen. Im 1. OG in der Bildmitte ist an der erwärmten Fassade zu erkennen, dass ein Fenster geöffnet ist.

Ein Detail der Fassade in dieser Himmelsrichtung ist Abbildung 34 zu entnehmen. Hier sind ebenfalls die einheitlichen Temperaturen der Fassade zu erkennen. Als maximale Temperatur auf der Verglasung im Bereich des Randverbundes werden moderate 6,4°C gemessen.

Die **Südwest-Fassade** (Abbildung 35) zeigt ebenfalls das gleiche Temperaturniveau um 2,5 °C und ein sehr harmonisches und störungsfreies Bild. Im Bereich des unverglasten Überbaues im Dachgeschoss (Außenbereich) ist kein Oberflächen-temperaturunterschied zur Fassade im Bereich der beheizten Wohnungen zu erkennen.

Ein **Detail der Südfassade** zeigt in Abbildung 36 die Befestigung der vorgestellten Balkonanlage. An der Durchführung der Verankerung ist eine Erwärmung der Oberfläche um 1 K festzustellen. Da es sich um eine Vielzahl von diesen Verankerungspunkten auf der Fassade handelt, war es notwendig, dieses Detail planerisch zu optimieren. Der Metallträger ist vom Mauerwerk thematisch getrennt.

Anders sieht es bei der Metallstrebe (mit Kabelführung) an der Kellerwand neben der Außenbeleuchtung auf der Südfassade aus (Abbildung 37). Hier sind Oberflächentemperaturen bis maximal ca. 8 °C festzustellen. Die Metallstrebe ist stellenweise deutlich über 5,5 °C erwärmt und damit 3 K wärmer als die ungestörte Wandoberfläche. Diese Einführung stellt eine nennenswerte Wärmebrücke dar. Da es sich allerdings nur um eine einmalige Konstruktion dieser Art auf der Fassade handelt, spielt sie energetisch keine nennenswerte Rolle.



**Abbildung 33: Südost-Fassade des Passivhauses.** Im mittleren vorderen Bereich ist ein geöffnetes Fenster zu erkennen.

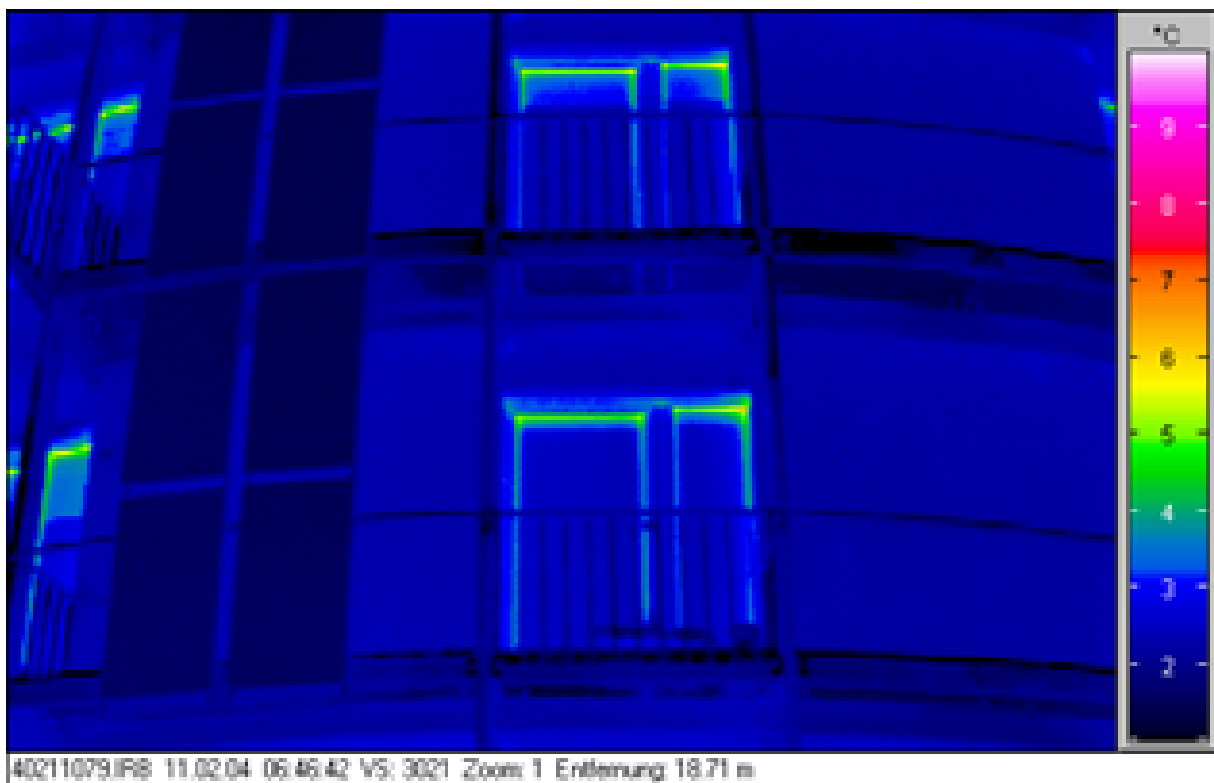


Abbildung 34: Detail Südost-Fassade mit Balkonanlage und PV-Modulen.

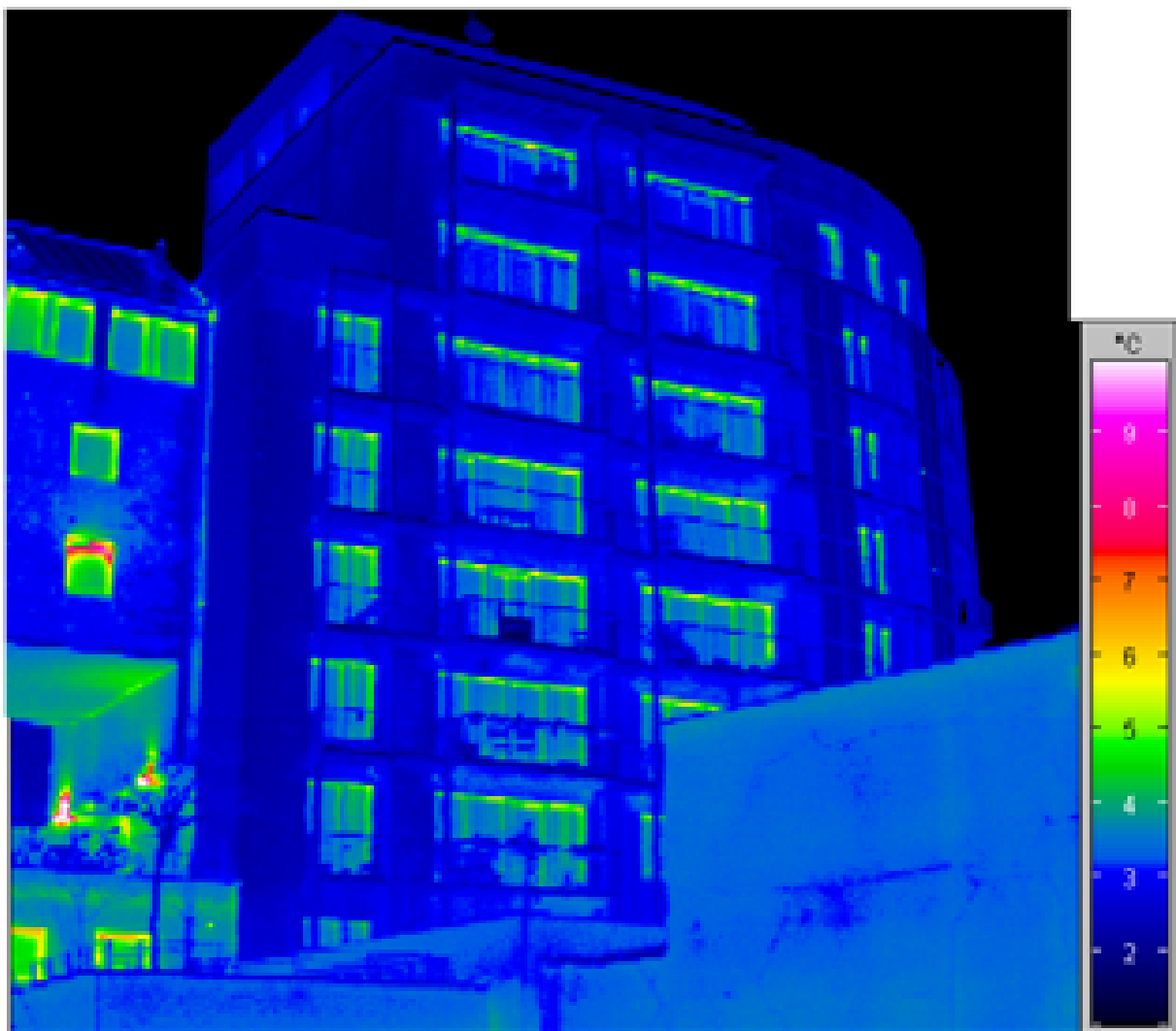


Abbildung 35: Süd-West-Fassade mit dem Torweg unter dem westlichen Nachbargebäude (links unten).



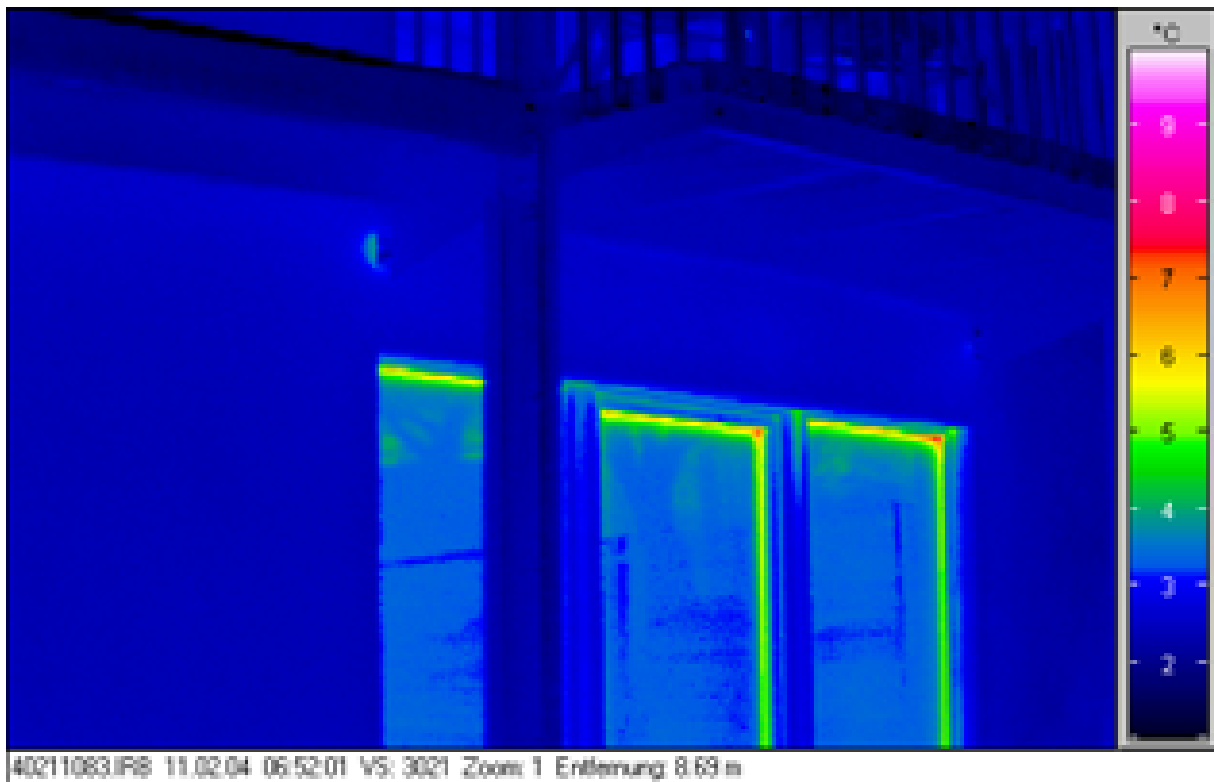
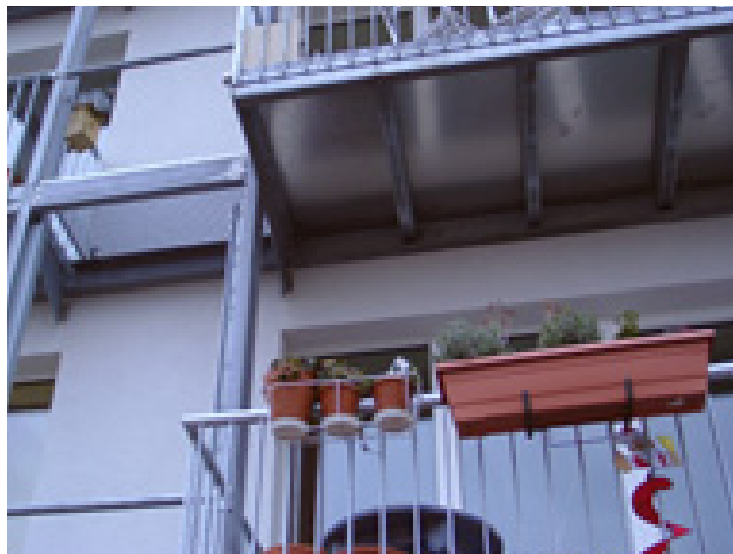
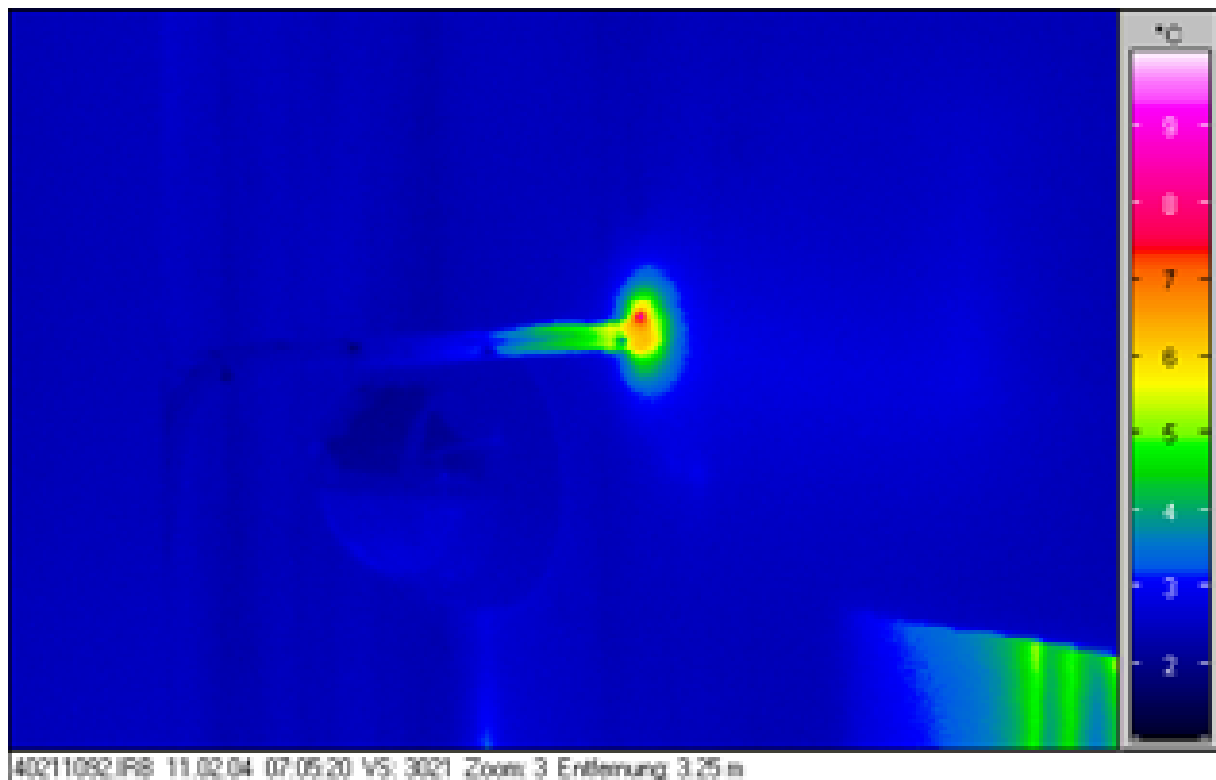


Abbildung 36: Detail Befestigung Balkonanlage.



**Abbildung 37: Kabelführung durch die Wärmedämmung**

Die Westfassade des Gebäudes besteht zum Großteil aus der Trennwand zum angrenzenden Nachbargebäude. Der freie Fassadenbereich ist in Abbildung 38 dargestellt. Auch hier zeigen sich die einheitlichen Oberflächentemperaturen um ca. 2,5 °C. Im oberen Bereich im 5. OG und im DG ist jeweils eine Attika vorhanden, welche mit Metallabdeckungen von oben geschützt ist. Der Unterschied der Oberflächentemperatur zwischen den Attika-Mauern, den Metallabdeckungen und der normalen Fassade ist sehr gering. Die weiße Linie markiert den Bereich, für den ein Temperaturprofil erstellt wurde. Das Temperaturprofil in Abbildung 39 zeigt den sehr gleichmäßigen Oberflächentemperaturverlauf. Die kleinen Peaks zeigen die geringe Temperaturveränderung durch die Metallabdeckung der Attika im 5. OG und den Übergang zum Attikabereich im 5. OG.

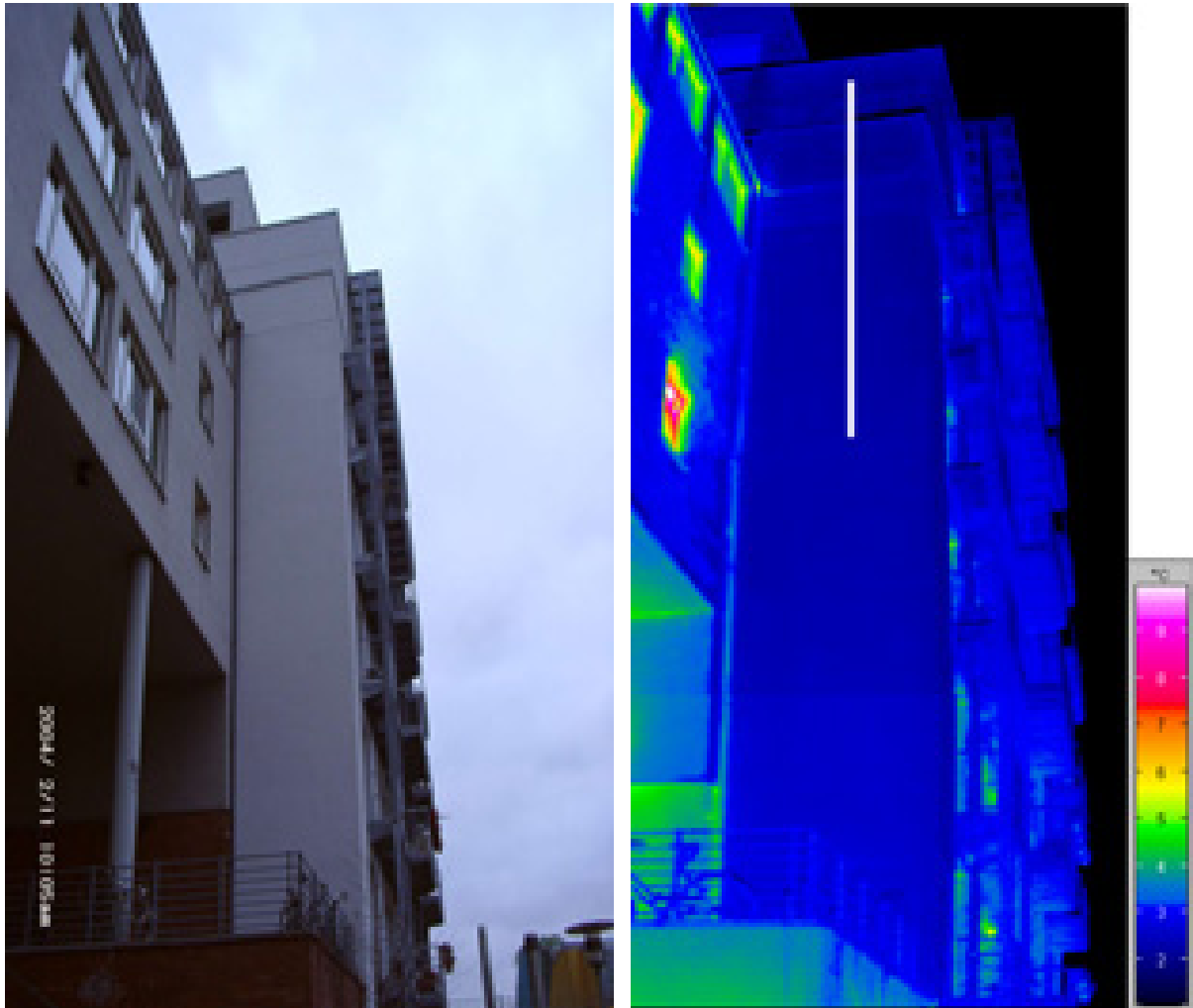
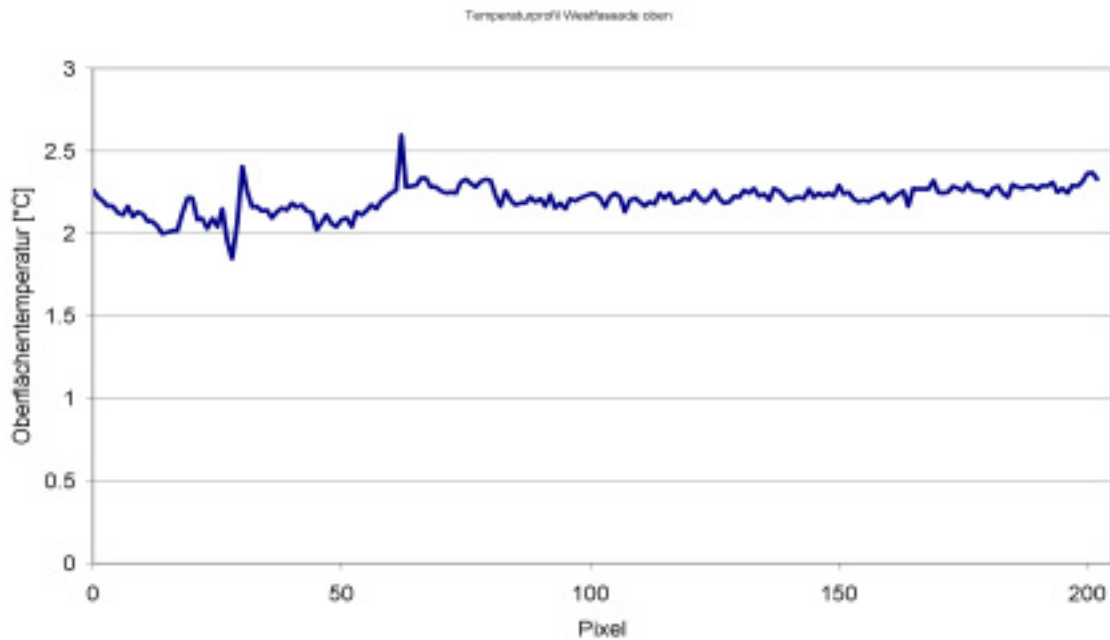


Abbildung 38: Westfassade des Passivhauses. Im oberen Bereich ist eine weiße Profilline eingezeichnet. Der Temperaturverlauf ist in Abbildung 39 dargestellt.



**Abbildung 39: Temperaturprofil entlang der weißen Line in Abbildung 38.**

Ein Detail der **Nordfassade** im EG zeigt Abbildung 40 mit dem Bereich der Haustür. Deutlich zu erkennen ist die Warmluftfahne der Müllraumlüftungsöffnung. Die Haustür stellt mit den höheren Oberflächentemperaturen einen in der Bilanz berücksichtigen Schwachpunkt in der Gebäudehülle dar. Zusätzlich schließt die Tür im oberen Bereich nicht luftdicht.

Die thermische Trennung der Balkone auf der Nordfassade zeigt in Abbildung 41 jeweils in drei Bereichen pro Balkon Schwachstellen mit um etwa 2 K erhöhten Temperaturen.

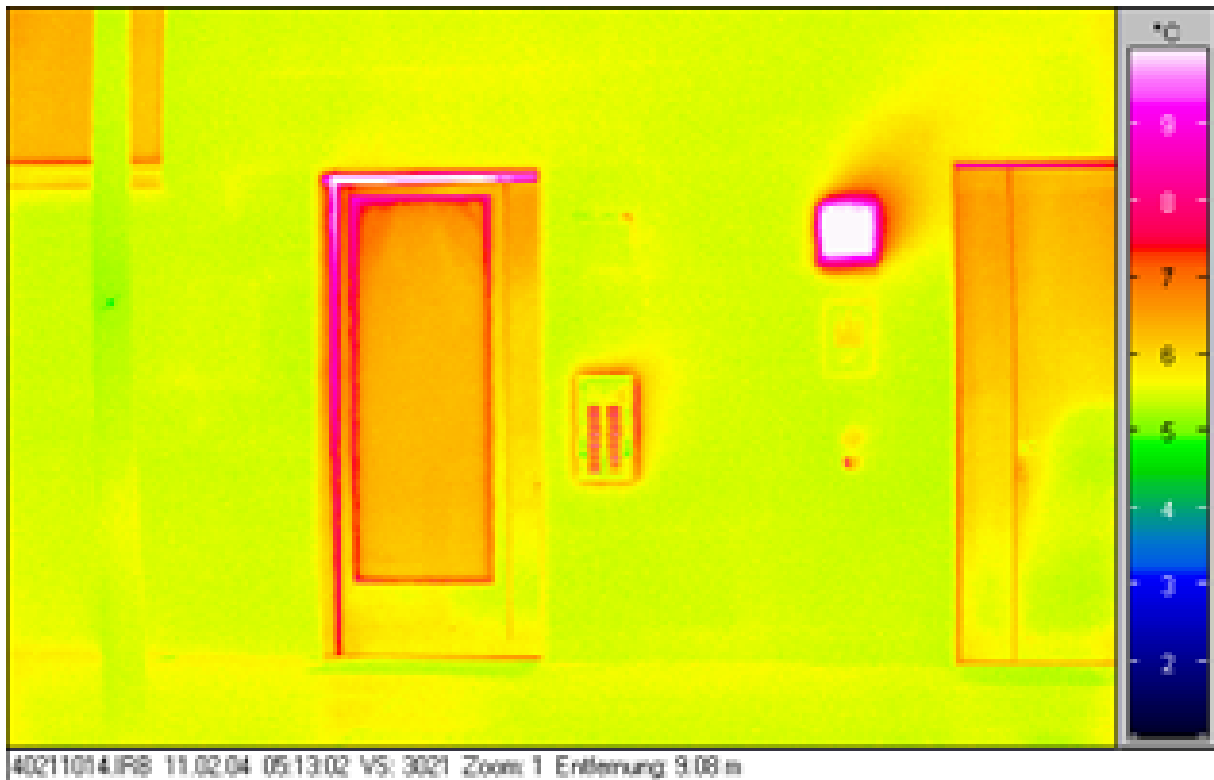
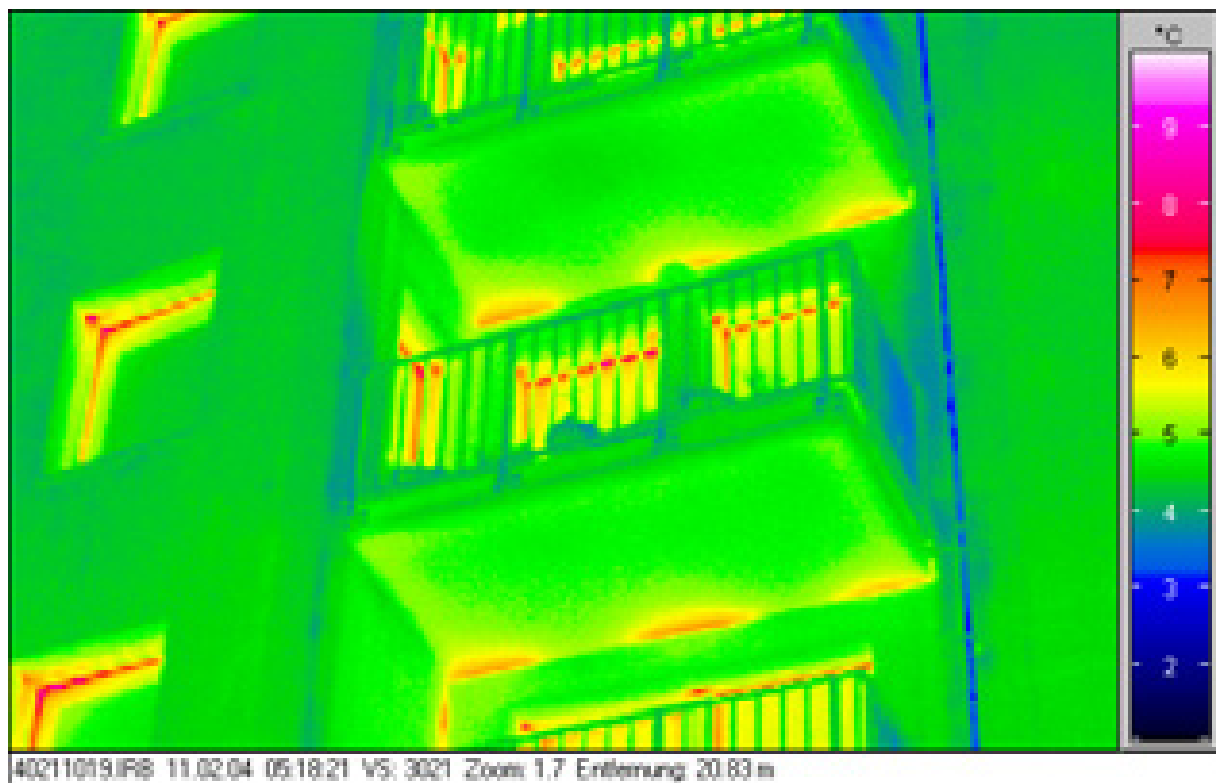


Abbildung 40: Nordfassade EG im Bereich der Haustür und der Müllraumtür.



**Abbildung 41: Ausschnitt der Nordfassade mit den Balkonen**

Es lässt sich abschließend feststellen, dass - bis auf wenige nicht bedeutende Ausnahmen - eine sehr gute, durchgehende Dämmhülle des Passivhauses mit minimierten Wärmebrücken vorhanden ist. Die Unterschiede zwischen der Außenlufttemperatur und den Wandoberflächentemperaturen sind minimal. Die Transmissionswärmeverluste sind damit sehr weitgehend reduziert. Die Lösung der Befestigungen der Balkonanlagen auf der Süd-West-Fassade ist gut geplant und umgesetzt worden. Bei den Balkonen auf der Nordfassade fällt die themische Trennung nicht ganz so optimal aus.

## 4 Messkonzept

Die Forschungsziele der Begleitforschung gliedern sich in die folgenden drei Schwerpunkte:

- wissenschaftliche Untersuchung der themischen Behaglichkeit und des Sommerverhaltens,
- Auswirkung der Temperaturschichtung in hohen Gebäudeschächten,
- Prüfung von Wärme- u. Endenergieverbrauch

Mit der Begleitmessung sollen die Verbrauchsdaten für Heizwärme, Strom und Warmwassererwärmung vollständig erfasst werden. Diese Daten dienen der Erfolgskontrolle des Projektes, des weiteren können die Projektierungsdaten überprüft werden. In diesem Projekt werden die Heizwärme- und die Warmwasserverbräuche für das gesamte Gebäude und nicht für die einzelnen Wohnungen gemessen. Über die Erfassung der Wärmeverbräuche werden die Endenergieverbräuche ermittelt. Die Erfassung des gesamten Gasverbrauches dient zur Bestimmung der Primärenergieverbräuche. Die Temperaturmessung in allen 19 Wohnungen ist zur Untersuchung der themischen Behaglichkeit und zur Beurteilung der Wärmeverbräuche erforderlich.

Bei dem Gebäude handelt es sich um ein 8-geschossiges und weitgehend unverschattetes südorientiertes Gebäude in exponierter Lage. Um Aussagen über das thermische Verhalten der Wohnungen und die Wirksamkeit der Maßnahmen zur Vermeidung von sommerlicher Überhitzung treffen zu können, sind neben der Messung der Raumlufttemperaturen auch Messungen der Solarstrahlung sowie der internen Wärmequellen (elektrische Verbräuche) notwendig.

Zur Klärung der Planungsfragen bei hochwärmegedämmten Geschosswohnbauten zum Bereich von Treppenhäusern und Fahrstühlen sind Temperatursensoren im Treppenhaus eingebaut worden (Luft- und Oberflächentemperaturen). Hier treten Temperaturschichtungen auf, welche die Transmissionswärmeströme der angrenzenden Wohnräume und die Wärmeverluste des gesamten Gebäudes sowie die Luftströmung im Sommer erheblich beeinflussen. Gemäß den derzeitigen Planungsrichtlinien geht man von einer einheitlichen Temperatur im Treppenhaus aus. Dieser Ansatz liegt auf der sicheren Seite, Wärmeverluste zu unbeheizten Kellerräumen oder der Tiefgarage müssen demnach jedoch mit teils erheblichem baulichem Aufwand durch Wärmedämmung reduziert werden. Simulationsrechnungen haben jedoch gezeigt, dass sich aufgrund von Dichteunterschieden eine Temperaturschichtung einstellt. Der konvektive Wärmetransport aus den kalten Kellerbereichen in das Treppenhaus nach oben sollte daher relativ gering sein. Der verbleibende Wärmetransport beruht dann neben der Querwärmeleitung in den Bauteilen vor allem auf Wärmestrahlung. Messungen der Luft- und Oberflächentemperatur in





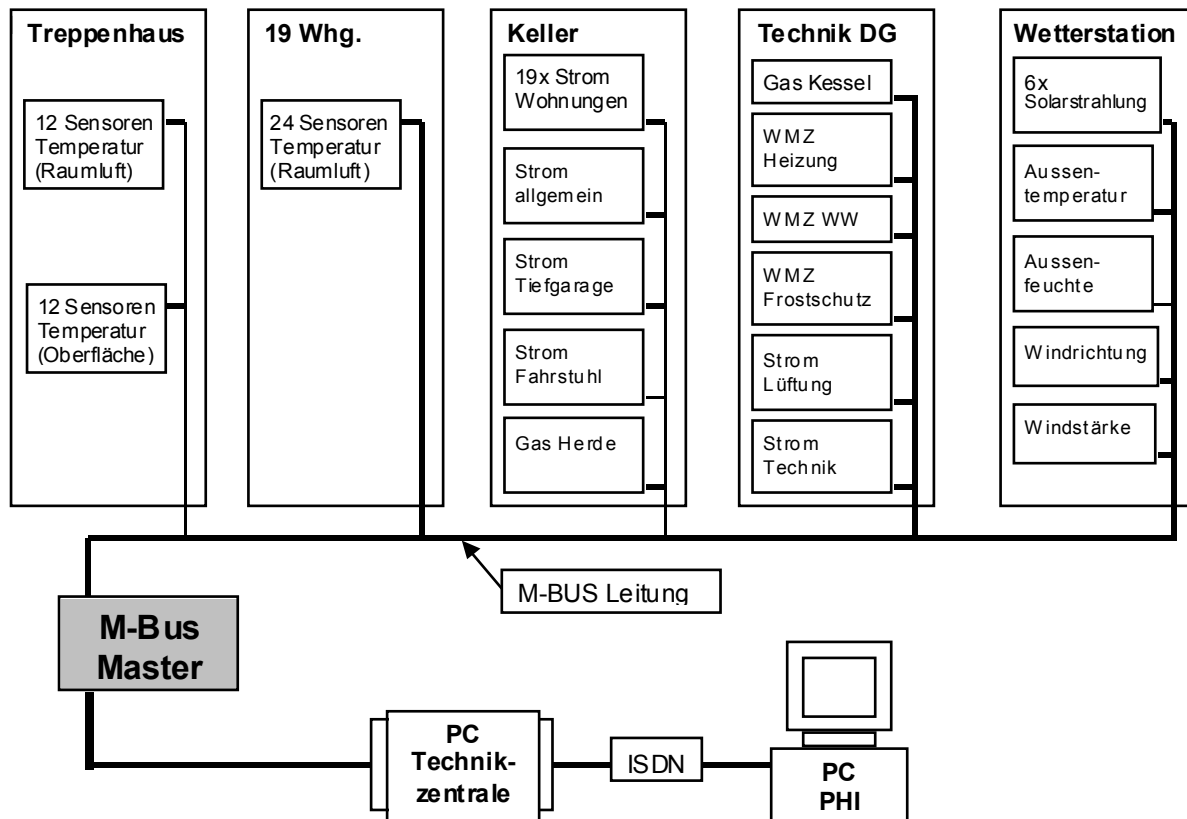
verschiedenen Höhen des Treppenhauses bei diesem Projekt geben über die Verhältnisse im realen Gebäude Aufschluss und ermöglichen für zukünftige Planungen evtl. kostengünstigere Entwürfe.

Um die notwendigen Klimadaten während der Messzeit zu erfassen, wurde auf dem Dach eine Wetterstation installiert.

## 4.1 Aufbau der Messtechnik

Im Gebäude wurde ein Zweidraht-M-Bus-Messnetz (gem. DIN EN 1434-3) installiert. Die eingesetzten Wärmezähler, ein Stromzähler sowie alle Temperatursensoren im Gebäude sind direkt an den Bus anschließbar und können nach einer Initialisierung ausgelesen werden. Dazu dient ein sog. M-Bus-Master, welcher über eine RS 232 Schnittstelle mit dem Messrechner verbunden ist. Mit Hilfe von Zusatzkomponenten wie z. B. Analog-Digitalwandler und Impulssammler können auch alle anderen Sensoren auf das M-Bus-Netz aufgelegt werden. Nach der Installation können über das M-Bus-System alle Einzelgeräte über ihre dreistellige Primäradresse und 8-stellige Sekundäradresse angesprochen und die Daten ausgelesen werden. Es handelt sich dabei um eine direkte digitale Übertragung der Zählerwerte mit dem Vorteil der Datensicherheit, denn auch nach evtl. temporärem Ausfall des M-Bus-Netzes werden die tatsächlichen Zählerstände übermittelt, da jeder Zähler autonom weiter arbeitet. Durch die batteriegepufferten Impulssammler können auch bei den nicht direkt M-Bus-fähigen Sensoren keine Impulse durch äußere Störungen verloren gehen. Die Messstellen werden zeitlich hochaufgelöst in 10-minütigen Intervallen mit 2400 Baud abgefragt und die Daten auf dem zentralen PC zur Datenerfassung abgespeichert. Dieser ist mit einer ISDN-Karte zur Datenfernübertragung (Telefonnetz) und regelmäßigen Kontrolle der Messdaten ausgestattet.

Der schematische Aufbau des Messnetzes ist in Abbildung 42 dargestellt.



**Abbildung 42: M-Bus - Schema der Messdatenerfassung mit Fernübertragung im Passivhaus Pinnaasberg (WMZ = Wärmemengenzähler; WW = Warmwasser; PC = Personal Computer).**

Der Messrechner und der M-Bus-Master sind im Hausanschluss-Keller positioniert. Von dort ist das Netz in zwei Hauptsträngen in den beiden zentralen Versorgungsschächten nach oben geführt. Von den beide Schächten aus sind dann jeweils die Sensoren in den Wohnungen bzw. im Treppenhaus und in der Technikzentrale verbunden. Die Elektronik der Wetterstation befindet sich ebenfalls im Technikraum im DG. Sie ist mit einem Kabel mit den meteorologischen Sensoren auf dem Dach verbunden. Der M-Bus wird mit einer Betriebsspannung von 42 V versorgt. Darüber können auch Sensoren ohne eigene Spannungsversorgung betrieben werden. Alle M-Bus-Temperatur Sensoren werden über zwei weitere separate Litzen von einem zentralen Netzteil (im DG) mit 15 V Betriebsspannung versorgt.

## 4.2 Position und Spezifikation der Messstellen

Alle für die Begleitmessung benötigten Messeinrichtungen werden in diesem Abschnitt spezifiziert. Dabei wird unterschieden nach Zähler- und Messeinrichtungen für nicht einzelnen Wohnungen zugeordnete „gemeinsame“ Verbräuche, allgemeinen Messungen (z.B. Wettermessung), den wohnungsweisen Stromverbräuchen sowie den Temperaturmessungen.



## 4.2.1 Zentrale Hauptzähler und Sensoren

### 4.2.1.1 Wärmemengen- und Gaszähler

Die zentrale Wärmeversorgung wird über einen Gaskessel mit Pufferspeicher realisiert. Der gesamte Gasverbrauch des Kessels wird über einen temperaturkompensierten Einrohr-Balgengaszähler (Fa. Elster, Typ BK-G6T) mit Impulsausgang ermittelt (siehe Abbildung 18 im Abschnitt Haustechnik).

Die drei installierten Wärmemengenzähler (WMZ) messen die Wärmemengen, welche aus dem Pufferspeicher entnommen werden, getrennt für die Bereiche: Heizung (Nachheizregister und Heizkörper), Frostschutzregister Lüftungsanlage und Warmwassererwärmung inkl. Zirkulation. Die schematische Anordnung der WMZ (Ultraschall-Wärmezähler Fa. AAB Elster, Typ F95) kann Abbildung 43 entnommen werden. Das genaue hydraulische Strangschema ist in Abbildung 20 dargestellt. Die Baugrößen der Zähler unterscheiden sich bedingt durch den unterschiedlichen Einsatzzweck: Frostschutzregister  $Q_n = 0,6 \text{ m}^3/\text{h}$ , Heizungsnetz  $Q_n = 1,5 \text{ m}^3/\text{h}$ , Warmwasserbereitung  $Q_n = 2,5 \text{ m}^3/\text{h}$ .

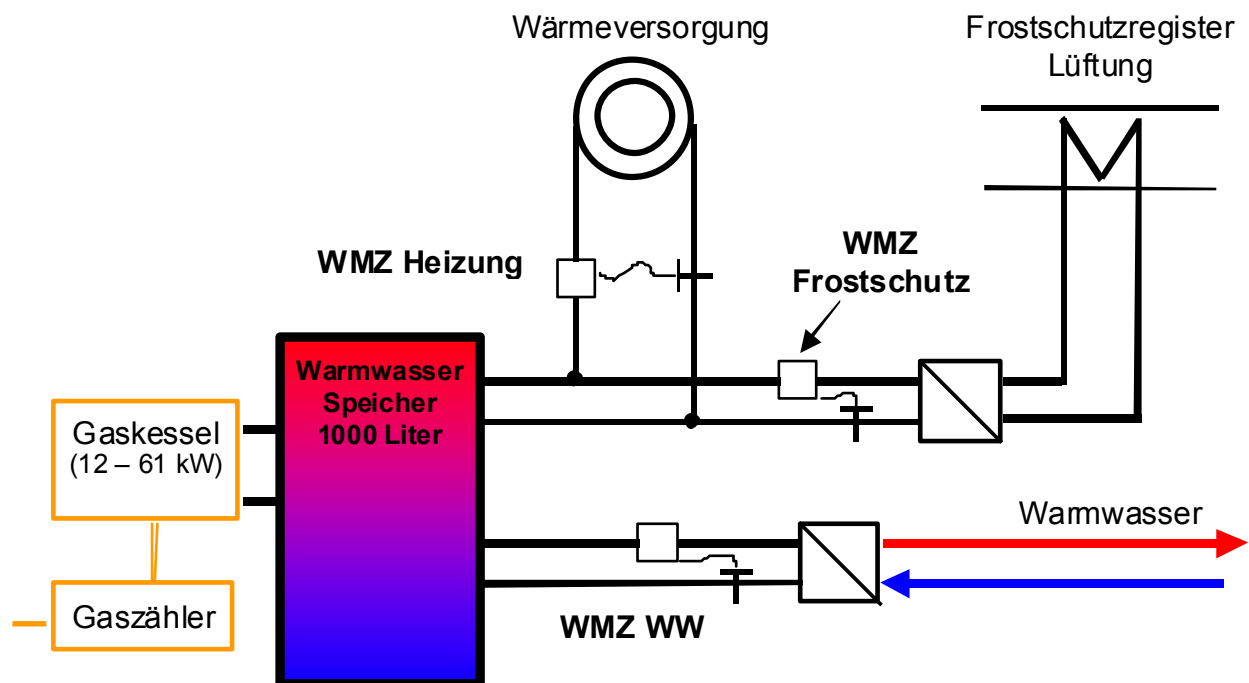
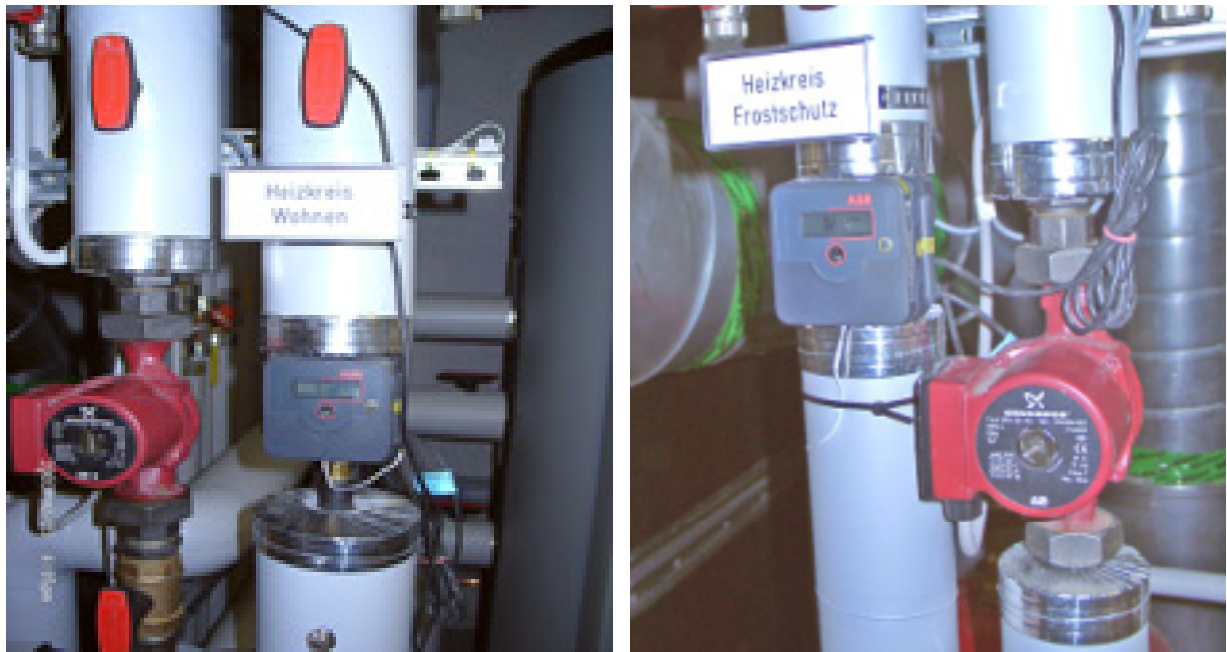


Abbildung 43: Schematisches Strangschema der Gas- und Wärmeversorgung mit den Zählereinrichtungen.

Durch die zentrale Anordnung der WMZ werden die überwiegenden Anteile der Leitungswärmeabgaben der Rohrleitungen durch die WMZ mit erfasst. Nur die Wärmeabgabe des Speichers und der relativ kurzen Rohrleitungen zwischen dem Speicher und den drei WMZ im Technikraum stellt eine Differenzmenge zwischen Wärmelieferung des Kessels und der gemessenen Summe der drei WMZ dar. In

dieser Differenzmenge sind ebenfalls die Umwandlungsverluste des Kessels enthalten.



**Abbildung 44: Wärmemengenzähler für die Heizung und den Frostschutz des Wärmeübertragers der Lüftungsanlage.**

Der Gaszähler für den Gasverbrauch der 8 Gasherde im Haus befindet sich im Hausanschlussraum im Keller (siehe auch Abbildung 16). Es handelt sich ebenfalls um einen Einrohr-Balgengaszähler (Fa. Elster, Typ BK-G6T) mit Temperaturkompensation. Die Summe der Verbräuche des Gaszählers „Kessel“ und des Gaszählers „Herde“ stellt die bezogene Gesamt-Gasmenge dar.



Abbildung 45: Einrohr-Gaszähler mit Impulserfassung (schwarzer Kasten mit Kabel) für den Gasverbrauch der 8 Gasherde.

#### 4.2.1.2 Zentrale Stromzähler

Für die Erfassung der gemeinschaftlichen Stromverbräuche im Gebäude gibt es die folgenden Zähler:

Tabelle 5: Liste der allgemeinen Stromzähler mit zugeordneten Verbräuchen und Position der Geräte (HAR = Hausanschlussraum im Keller).

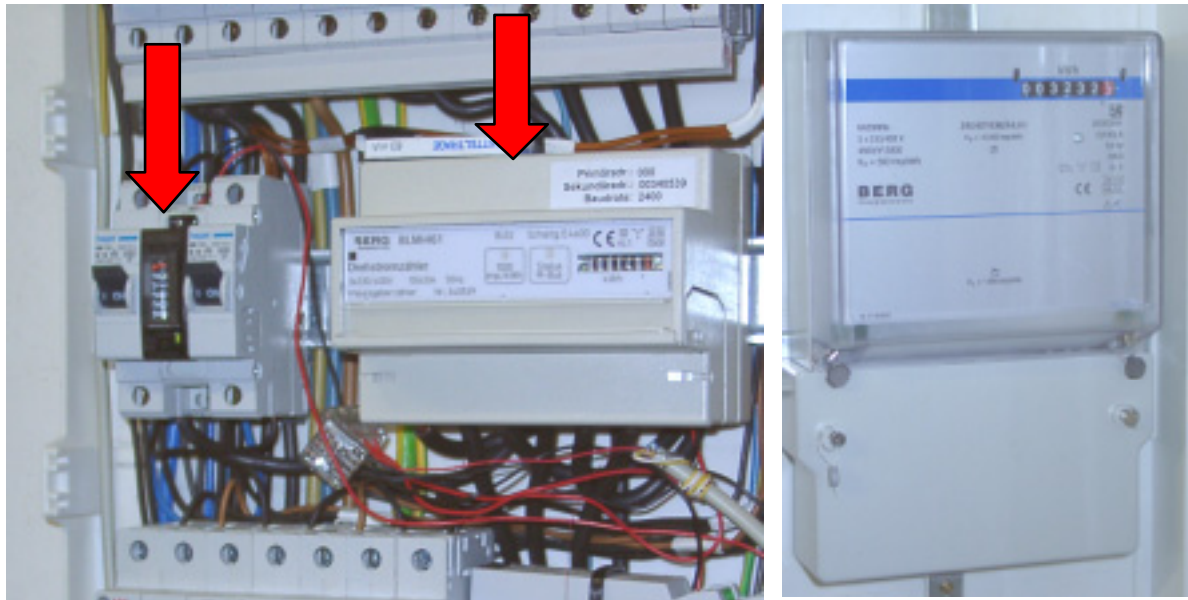
#	Stromzähler	Erfasste Verbräuche	Ort	Typ
1	Strom Technik DG	Strom für Kessel, Pumpen etc.	DG	A
2	Strom Lüftung	Lüftungsanlage Passivhausbereich inkl. Steuerung etc.	DG	B
3	Strom Fahrstuhl	Fahrstuhl gesamt (Licht, Motor, Elektronik)	HAR	C
4	Strom Keller/DG	Treppenhauslicht, autom. Türöffner, Gegensprechanlage, Licht Wohnungskeller, Strom Gemeinschaftsräume, Serveranlage, Waschmaschinen im Keller <b>und Gesamtverbrauch Technik DG und Lüftungsanlage</b>	HAR	C
5	Strom Tiefgaragen	Lüftungsanlage Garagen, Beleuchtung Garagen, Türöffner Garagen, Rolltore Garagen	HAR	C

### Zählertypen aus der oben stehenden Tabelle:

- A: Fa. SAIA-Burgess, Wechselstromzähler Typ AAC, mit Impulsausgang
- B: Fa. Berg Energiekontrolle, Drehstromzähler Typ BLMi461, M-Bus Schnittstelle
- C: Fa. Berg Energiekontrolle, Drehstromzähler Typ K429iNNs, mit Impulsausgang

Zähler 1 und 2 sind Unterzähler von Zähler 4 „Strom Keller/DG“. Bei der Auswertung werden diese von den Messwerten von Zähler 4 abgezogen. Der restliche Verbrauch stellt dann den sog. „Allgemeinstrom“ dar, welcher bei Zähler 4 in der Tabelle genannt ist, allerdings ohne die fett gedruckten Verbraucher.

Der für die Messtechnik der Begleitforschung benötigte Strom wurde im Keller (PC und M-Bus-Master) sowie im DG (Wetterstation, Zentralnetzteil) gesondert gemessen. Diese Stromzähler wurden nur manuell abgelesen und nicht über das M-Bus-Netz zeitlich hoch aufgelöst erfasst.



**Abbildung 46:** Links: Stromzähler Technik DG (schwarz) mit Impulsausgang und M-Bus-Drehstromzähler Lüftung (breites Gehäuse rechts). Rechts: Einer der Drehstromzähler im Hausanschlussraum für Fahrstuhl, Tiefgaragen oder Allgemeinstrom.

#### 4.2.1.3 Wetterstation

Die lokalen Klimadaten sind mit Hilfe der Wetterstation auf dem Dach des Gebäudes gemessen worden. Dazu wurde ein Wettermast mit Abspannungen zum beschwerten Mastfuß (Aufstellkreuz) montiert. Der Mast steht unverschattet etwa in der Mitte des Daches. Die Sensoren befinden sich ca. 2 bis 2,5 m über dem Flachdach mit Kiesschüttung. An dem Mast wurde folgende Sensoren montiert:



**Tabelle 6: Sensoren der Wetterstation auf dem Dach des Gebäudes.**

#	Sensor	Typ, Hersteller	Messung
1	Pyranometer	CM 11, Fa. Kipp & Zonen	horizontalen Globalstrahlung
2	Pyranometer	CM 11, Fa. Kipp & Zonen	Vertikale (Süd) Globalstrahlung
3	4 St. PV-Strahlungs- sensoren	SOZ-03, Fa. NES	Vertikal (Nord, Ost, Süd, West) Globalstrahlung
4	Hygro-Thermogeber mit Strahlungsschutz	Fa. Thies Klima	Außenlufttemperatur und Außenluftfeuchte
5	Windrichtungsgeber (Windfahne)	Fa. Thies Klima	Windrichtung
6	Windgeber (Schalenkreuz)	Fa. Thies Klima	Windgeschwindigkeit

Zur Messung der Global-Strahlung in den Haupthimmelsrichtungen sind die vier Photovoltaik-Strahlungssensoren (PV) eingesetzt worden. Zum Abgleich dieser Messung wurde ein zusätzliches Pyranometer vertikal nach Süden ausgerichtet montiert. Diese Messdaten können mit der PV-Strahlungsmessung „Süd“ verglichen werden. Das Ergebnis kann auf die Qualität der anderen drei PV-Strahlungsmessungen übertragen werden kann.

Zum Blitzschutz des Wettermastes wurde eigens ein Erdungskabel durch das gesamte Haus bis zur Potentialschiene zum Hausanschlussraum im Keller verlegt.





**Abbildung 47: Wettermast auf dem Dach des Gebäudes mit Temperatur-, Feuchte-, Wind- und Strahlungssensoren.**

Die zur Wetterstation zugehörigen Messverstärker und die Spannungsversorgung sowie die M-Bus-Module mit A/D-Wandlern sind in einem separaten Schaltschrank im Technikraum im DG installiert.



Abbildung 48: Elektronik der Wetterstation im Technikraum DG.

#### 4.2.2 Haushaltsstromzähler

Für jede der 19 Wohnungen gibt es einen eigenen Stromzähler im Hausanschlussraum im Keller. Bei diesem Haushaltszähler handelt es sich um Drehstromzähler der Fa. Berg Energiekontrolle, Typ K429iNNs (Genauigkeitsklasse 2) mit Impulsausgang. Die Impulse werden über die unter dem Zählerfeld installierten Pulssammler auf den M-Bus aufgeschaltet. Die Steckdosen in den Bewohnerkellern sind auf den jeweiligen Wohnungszähler aufgeschaltet, ebenso wie die Verbräuche der Ladestationen für die Rollstühle.



**Abbildung 49: Drehstromzähler der einzelnen Haushalte im Hausanschlussraum (Ausschnitt aus dem Zählerfeld).**

### **4.2.3 Temperatursensoren**

Zur Messung der Raumtemperaturen wurden M-Bus Temperatursensoren des Herstellers Fa. DENEG eingesetzt. Da am Markt keine M-Bus-Temperatursensoren vorhanden sind, handelt es sich um eine Sonderentwicklung nach Vorgaben des Passivhaus Instituts. Als Mess-Sensor werden langzeitstabile Platin-Widerstände (Pt100) der höchsten Genauigkeitsklasse (Klasse: 1/10 DIN) verwendet. Die Elektronik der Temperatursensoren gibt alle 6:40 Minuten eine Mittelwerttemperatur aus. Dabei erfolgt die Messung über die Auswertung der temperaturabhängigen Impulsanzahl in dem jeweiligen Messintervall. Die Elektronik der Sensoren ist in Unterputzdosen montiert und mit geschlitzten Deckeln (Belüftung) abgedeckt.

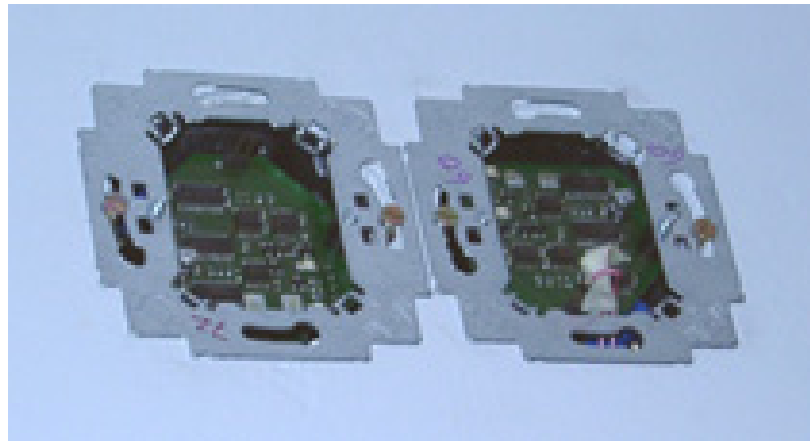
Die Lage der Temperatursensoren kann den Grundrissen im Anhang entnommen werden. Die Lage der Temperatursensoren im Treppenhaus kann der Schnittzeichnung in Abbildung 101 entnommen werden.

#### **4.2.3.1 Treppenhaus**

Für die Untersuchung des Temperaturverhaltens des Treppenhauses sind über die gesamte Höhe des Treppenhauses ungleichmäßig 12 Temperaturmessstellen verteilt. Der Abstand zwischen den Sensoren ist im Bereich vom Übergang beheizt / unbeheizt (EG / Keller) geringer, da hier höhere Temperaturänderungen erwartet und besonders viele Informationen benötigt werden. Es handelt es sich immer um Doppel-Messstellen mit jeweils einem Pt100-Sensor für die Raumluft und einem



eingeputzten Unterputz-Pt100-Sensor für die Messung der Wandoberflächentemperatur. Der Pt100 für die Raumlufftemperatur befindet sich im Abstand von ca. 5 cm vor der Wandoberfläche in einem Aluminium-Strahlungsschutzrohr. Die Oberflächentemperatursensoren wurden vor dem Verputzen der Betonwand mit etwas Gips ca. 10 bis 15 cm von der Unterputzdose entfernt aufgebracht. 10 der 12 Doppelsensoren befinden sich an der Ostwand des Treppenhauses in einer Linie untereinander.



**Abbildung 50: Doppelte Temperatursensoren für Oberflächen- und Raumlufftemperaturmessung (mit Alu-Strahlungsschutz). Im oberen Bild ist im geöffneten Zustand die Elektronik sichtbar.**

Bei einer der Messstellen an der Ostwand (Position TF7) konnte nur die Oberflächentemperatur gemessen werden. Das Alu-Strahlungsschutzrohr konnte nicht montiert werden, da bei der Nutzung des Handlaufs des Treppengeländers der Sensor beschädigt worden wäre.

Zwei der 12 Doppelsensoren sind nicht nebeneinander sondern hintereinander in der Unterputzdose montiert. Sie sind mit einem Gitter geschützt und etwa 20 cm über je einem Treppenpodest in der Außenwand (Nordwand) angebracht.



**Abbildung 51:** Doppelter Sensor für Oberflächen- und Raumlufitemperaturmessung mit einem Schutzgitter gegen Beschädigungen. Diese Ausführung wurde zweimal montiert für die beiden Doppelsensoren in Fußbodennähe in der Außenwand (Nord) des Treppenhauses.

#### 4.2.3.2 Wohnungen und Garage

In den 19 Wohnungen sind insgesamt 24 Einzel-Temperaturmessstellen positioniert worden. Hier befindet sich der Pt100-Sensor jeweils unter dem geschlitzten Deckel. Nach Möglichkeit wurden die Sensoren im Wohn- oder Wohn-Esszimmer angebracht, an Positionen, an denen direkte Sonnenbestrahlung ausgeschlossen werden kann. Wenn möglich, wurden sie in Flucht über den Lichtschaltern in ca. 1,2 m über Fertigfußboden installiert.

In 5 größeren Wohnungen wurden jeweils zwei Sensoren positioniert. Dabei wurde, wenn vorhanden, ein Süd- und ein Nordraum gemessen.

Bei der Montage stellte sich heraus, dass nicht alle in Absprache mit dem Haustechnikplaner ausgewählten Plätze über optimale Bedingungen verfügten. In einer Wohnung liegt die Messstelle über der Küchenzeile, die gegenüber der ursprünglichen Planung nachträglich verschoben werden musste. Die Daten sind durch die Wärmefreisetzung der Kochvorgänge etc. damit nicht repräsentativ für diesen



Raum und wurden daher nicht mit ausgewertet. Vor eine andere Messstelle wurde ein großer Kühlschrank positioniert. Die Messstelle konnte ebenfalls nicht berücksichtigt werden, da die Daten dauerhaft das Takten des Kompressors dokumentieren und nicht die ungestörte repräsentative Raumlufttemperatur messen.



**Abbildung 52: Temperatursensor mit geschlitzter Abdeckung über einem Lichtschalter in einer der 19 Wohnungen.**

Zur Messung der Referenztemperatur in den Tiefgaragen ist in TG-1 eine einzelne Temperaturmessstelle gleicher Bauart wie in den Wohnungen in der Wärmedämmung der Treppenhauswand montiert.

#### **4.2.3.3 Kalibrierung der Temperatursensoren**

Vor dem Einsatz der Temperatursensoren mussten diese im Passivhaus Institut kalibriert werden. Die Herstellerfirma konnte die Kalibrierung nicht in der notwendigen Genauigkeit durchführen.

Die Kalibrierung wurde in einem Kellerraum mit nur sehr geringen tageszeitlichen Temperaturschwankungen und minimierten Störeinflüssen (z.B. wechselnder Wärmestrahlung) durchgeführt. Um die spätere Einbausituation der Sensoren möglichst realitätsnah abzubilden, wurden die Module nach Einsatzzweck unterschiedlich kalibriert. Für die Messung der Lufttemperatur in den Wohnungen und im



Treppenhaus wurden die Geräte jeweils in eine Unterputzdose in einem Kalksandstein eingebaut und dort kalibriert. Der Sensor im Dämmsystem in der Tiefgarage (TG-1) wurde in einer UP-Dose in der auf dem KS-Stein aufgetragenen Polystyrol-Platte kalibriert. Für beide Kalibrierreihen wurden die Sensoren 30 Minuten vor Beginn der Messung in den Stein eingebaut.

Zur Messung der Referenz-Temperaturen wurde ein Laborgerät (ALMEMO Typ 3290-8 Fa. Ahlborn) eingesetzt. Dabei wurden zwei Referenz-Messwerte aufgezeichnet:

1. Ref.-Wert: in Höhe des Pt100 des Moduls, 10 cm vor dem Modul
2. Ref.-Wert: auf der Steinoberfläche (Oberflächen-Pt100)

Der Messwert des jeweiligen M-Bus-Moduls wurde mit einem „Micro-Master“ (Fa. Relay) über ein Laptop ausgelesen und mit den Referenzmesswerten verglichen.

Bei umfangreichen Voruntersuchungen hat sich gezeigt, dass die Messwerte der M-Bus-Module mit Pt100-Widerstand unter dem geschlitzten Deckel (Wohnungen) gut einem gewichteten Mittel aus etwa **20 % Lufttemperatur und 80 % Oberflächentemperatur** entsprechen. Bei den Treppenhaus-Lufttemperaturmessungen mit Pt100-Widerstand im Strahlungsschutzrohr (Aluminium) ist das Verhältnis gerade umgekehrt: Die Wichtungsfaktoren betragen **80 % für die Lufttemperatur und 20 % für die Oberflächentemperatur**. Im Treppenhaus sollten durch die Messungen auch etwaige Differenzen zwischen Luft- und Oberflächentemperatur detektiert werden. Zur Messung der Oberflächentemperaturen wurden 12 Unterputzsensoren verwendet. Um auch die Lufttemperatur in einem stark frequentierten Treppenhaus so gut wie möglich zu erfassen, wurde für die 12 Lufttemperatursensoren der Aluminium-Strahlungsschutz vorgesehen. Gemessen werden in den Wohnungen wie im Treppenhaus damit keine reinen „Lufttemperaturen“, sondern eine Mischung der Oberflächen- und der Lufttemperatur. Dies ist in den Wohnungen erwünscht, da sich die von Personen empfundene Temperatur ebenfalls aus der Luft- und der Strahlungstemperatur der umgebenen Wandflächen zusammensetzt (gewöhnlich zu etwa gleichen Teilen).

In diesen Wohnungen mit hochwertiger passivhaustauglicher Dämmung sollten sich nach der Theorie Oberflächen- und Lufttemperaturen nur wenig unterscheiden. Dies wurde auch bei Begleitmessungen in anderen Projekten bestätigt [Feist 1997]. Es erübrigt sich daher, in den Wohnungen Luft- und Oberflächentemperaturen getrennt zu messen; im Treppenhaus dagegen sollten die getrennten Messungen Aufschluss über evtl. Temperaturunterschiede geben.





**Abbildung 53: Aufbau der Kalibriermessung mit einem Wohnungs-Temperaturmodul, eingebaut in einer UP-Dose im Kalksandstein. Die Referenz-Temperatur Sensoren sind auf dem Stein fixiert (orange) bzw. an dem schwarzen Ständer vor dem Modul fixiert.**

Die Unterputz-Pt100-Sensoren werden später im Treppenhaus eingeputzt und verfügen damit durch den vollständigen Kontakt zum umgebenden Beton/Putz eine optimale Wärmeableitung. Für die Kalibrierung der 12 Unterputzsensoren wurde daher ein Aufbau gewählt, der auch für eine gute Wärmeableitung der Eigenerwärmung sorgt. Die Sensoren an den 15 cm langen Kabeln wurden zur Kalibrierung in einem luftdurchströmten Papprohr montiert. Der Lufttemperatur-Referenzsensor wurde bei der Kalibrierung ebenfalls in diesem durchströmten Papprohr positioniert.

Um die Temperaturmessung im Objekt bei realen Bedingungen zu überprüfen, wurden stichprobenartig in vier Wohnungen und an sieben Positionen im Treppenhaus Kontrollmessungen durchgeführt. Für die Referenztemperatur wurde ein Handmessgerät (ALMEMO Typ 2290-8, Fa. Ahlborn) wieder mit dem Luft- und dem Oberflächensensor verwendet. Die Messungen wurden jeweils über mindestens 24 Stunden durchgeführt, die Ergebnisse mit den Messwerten der M-Bus-Temperaturmessung verglichen und ggf. in der Auswertung berücksichtigt. Die Nachmessungen dienten zugleich der Kontrolle der laufenden Messungen. Außerdem mussten einige Module aufgrund der Änderung der Einbausituation nachkalibriert werden. So wurde beispielsweise eine UP-Dose eines Sensors in einer Holzplatte auf der Wand und nicht direkt in der Wand eingebaut.

## 4.3 Tabellarische Übersicht der Messgeräte

Tabelle 7: Zusammenstellung der Messgeräte mit Angaben zu Messzweck und –ort, Hersteller und Messgenauigkeit.

Messgröße	Messort	Spezifikation	Firma	Messgenauigkeit
Wärmemenge (Heizung gesamt)	Technikzentrale DG	Ultraschall-Wärmezähler, Typ F95, $Q_n = 1,5$	Fa. AAB Elster	Metrol. Klasse C
Wärmemenge (WW Trinkwasser)	Technikzentrale DG	Ultraschall-Wärmezähler, Typ F95, $Q_n = 2,5$	Fa. AAB Elster	Metrol. Klasse C
Wärmemenge (Frostschutz Lüftung)	Technikzentrale DG	Ultraschall-Wärmezähler, Typ F95, $Q_n = 0,6$	Fa. AAB Elster	Metrol. Klasse C
Gasvolumen Erdgas (Herde)	Hausanschlussraum	Balgengaszähler mit Temperaturkompensation	Fa. AAB Elster	+/- 0,8 %
Gasvolumen Erdgas (Heizung)	Hausanschlussraum	Balgengaszähler mit Temperaturkompensation	Fa. AAB Elster	+/- 0,8 %
Lüftungsstrom	Technikzentrale DG	Drehstromzähler	Fa. Berg	Genauigkeitsklasse 1 (1%)
Strom Technik	Technikzentrale DG	Wechselstrom	SAIA-Burgess AAC	Genauigkeitsklasse 1 (1%)
Haushaltsstrom	Hausanschlussraum	Drehstromzähler	Berg	Genauigkeitsklasse 2, Verkehrsfehler 3%
Strom Fahrstuhl	Hausanschlussraum	Drehstromzähler	Berg	Genauigkeitsklasse 2, Verkehrsfehler 3%
<b>Wetterstation</b>				
Außenlufttemperatur	Wetterstation	PT 100	Fa. Thies Clima	+/- 0,2 K
Windgeschwindigkeit	Wetterstation	Schalenkreuz	Fa. Thies Clima	+/- 0,5 m/s
Windrichtung	Wetterstation	Windfahne compact	Fa. Thies Clima	+/- 5°
Außenluftfeuchte	Wetterstation	FE 09/1	Fa. Thies Clima	+/- 2 % r.F.
horizontalen Globalstrahlung	Wetterstation	Solarimeter, CM 11	Fa. Kipp & Zonen	+/- 2 %
vertikale Globalstrahlung	Wetterstation	Solarimeter, CM 11	Fa. Kipp & Zonen	+/- 2 %
Vertikal (Nord, Ost, Süd, West) Globalstrahlung	Wetterstation	4 St. PV-Strahlungssensoren. SOZ-03	Fa. NES	+/- 2 %



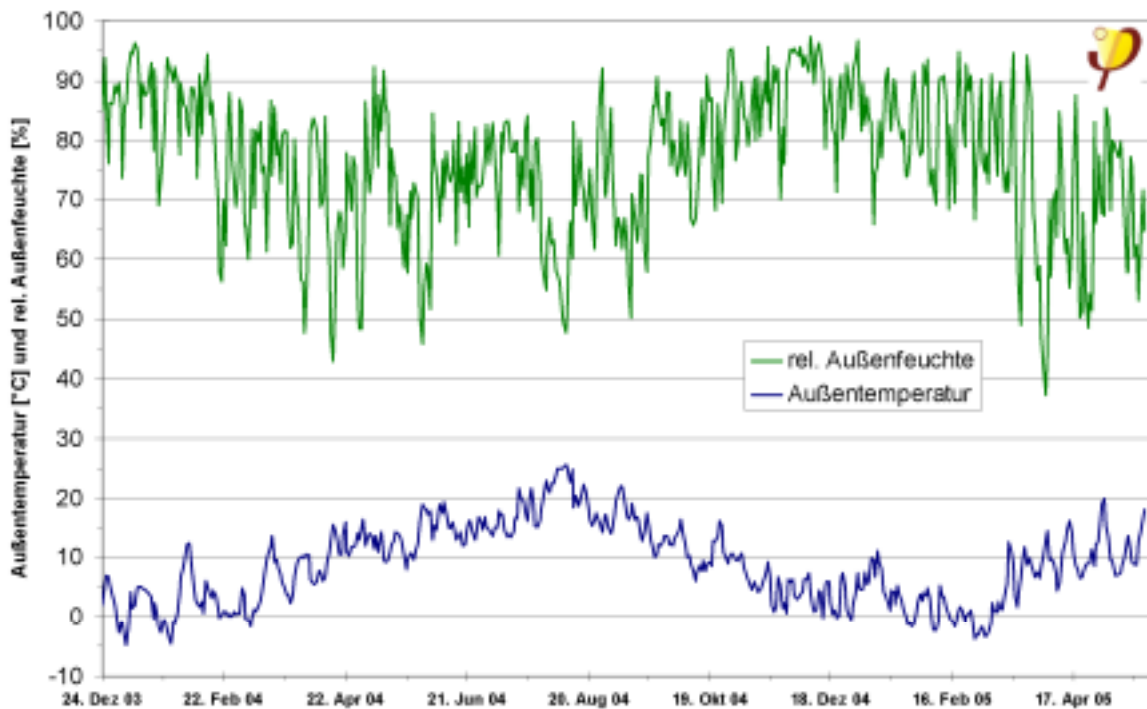
Messgröße	Messort	Spezifikation	Firma	Messgenauigkeit Sensor
<b>Temperaturmessung</b>				
Raumlufttemperatur	Wohnungen	PT 100, Unterputzdose	Fa. DENEK	Pt 100, DIN Klasse 1/10 B
Oberflächen- temperatur	Treppenhaus	PT 100, Unterputzsensor	Fa. DENEK	Pt 100, DIN Klasse 1/10 B
Raumlufttemperatur	Treppenhaus	PT 100, Unterputzdose + Alurohr	Fa. DENEK	Pt 100, DIN Klasse 1/10 B
Raumlufttemperatur	Tiefgarage	PT 100, Unterputzdose	Fa. DENEK	Pt 100, DIN Klasse 1/10 B

## 5 Messdatenauswertung

Die Daten wurden im Zeitraum von November/Dezember 2003 bis zum 22. Mai 2005, also über einen Zeitraum von etwa 1,5 Jahren, aufgezeichnet. Auswertbar liegen die Daten - bis auf einige wenige Ausnahmen - ab dem 22./23.12.2003 vor. Vereinzelt Zähler oder Sensoren konnten erst im Januar / Februar 2004 aktiviert werden. In diesem Abschnitt werden die Messdaten und die Auswertung zur Dokumentation über den gesamten Zeitraum der Messungen dargestellt. Daneben wird für die Bilanzen der Jahreszeitraum 1. Mai 2004 bis 30. April 2005 gewählt.

### 5.1 Klimadaten

Die mit der Wetterstation auf dem Dach gemessenen meteorologischen Daten Außentemperatur, Außenfeuchte, die Global-Strahlung sowie Windstärke und Windrichtung werden hier dargestellt.



**Abbildung 54:** Tagesmittlere Außentemperatur und Außenfeuchte und deren Mittelwerte im gesamten Zeitraum.

Im näher untersuchten Jahreszeitraum (Mai 2004 bis April 2005) beträgt die mittlere Außentemperatur 10,0 °C, die mittlere relative Außenfeuchte 76,7 %.



**Tabelle 8: Minimale, maximale und mittlere Messdaten der Tagesmittelwerte der Außentemperatur und der relativen Außenfeuchte. Zum Vergleich der Außentemperatur sind die Testreferenzdaten des Deutschen Wetterdienstes für den Standort Hamburg-Fühlsbüttel angegeben [TRY].**

	Messung vor Ort	Messung vor Ort	Testreferenzjahr [TRY]
	<b>Außen- temperatur [°C]</b>	<b>rel. Außen- feuchte [%]</b>	<b>Außen- temperatur [°C]</b>
<b>Jahr</b> (1.5.04 - 30.4.05)			
Mittelwert	10,0	76,7	8,8
Min	-3,8	37,3	-10,5
Max	25,5	97,2	20,9
<b>Sommer</b> (1.5.04 - 30.9.04)			Mai bis September
Mittelwert	16,1	72,0	14,9
Min	7,9	45,8	8,0
Max	25,5	92,3	20,9
<b>Winter</b> (1.10.04 - 30.4.05)			Oktober bis April
Mittelwert	5,6	80,1	4,3
Min	-3,8	37,3	-10,5
Max	16,4	97,2	16,0

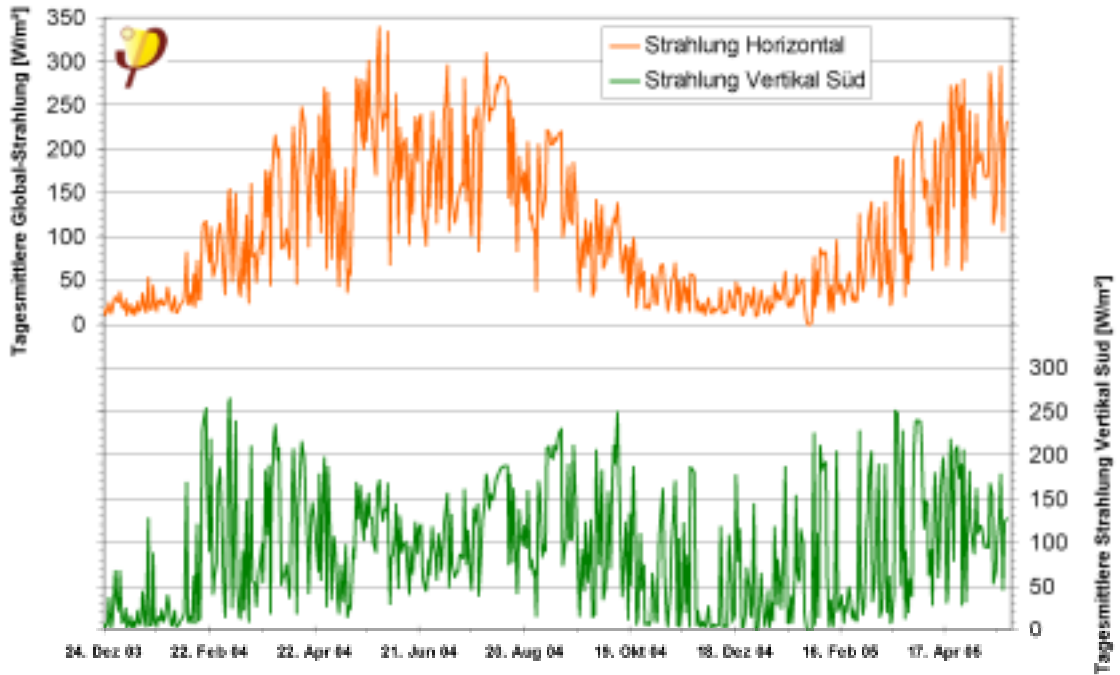


Abbildung 55: Tagesmittlere Global-Strahlung horizontal und vertikal Süd während des gesamten Messzeitraumes gemessen, mit den beiden Pyranometern.

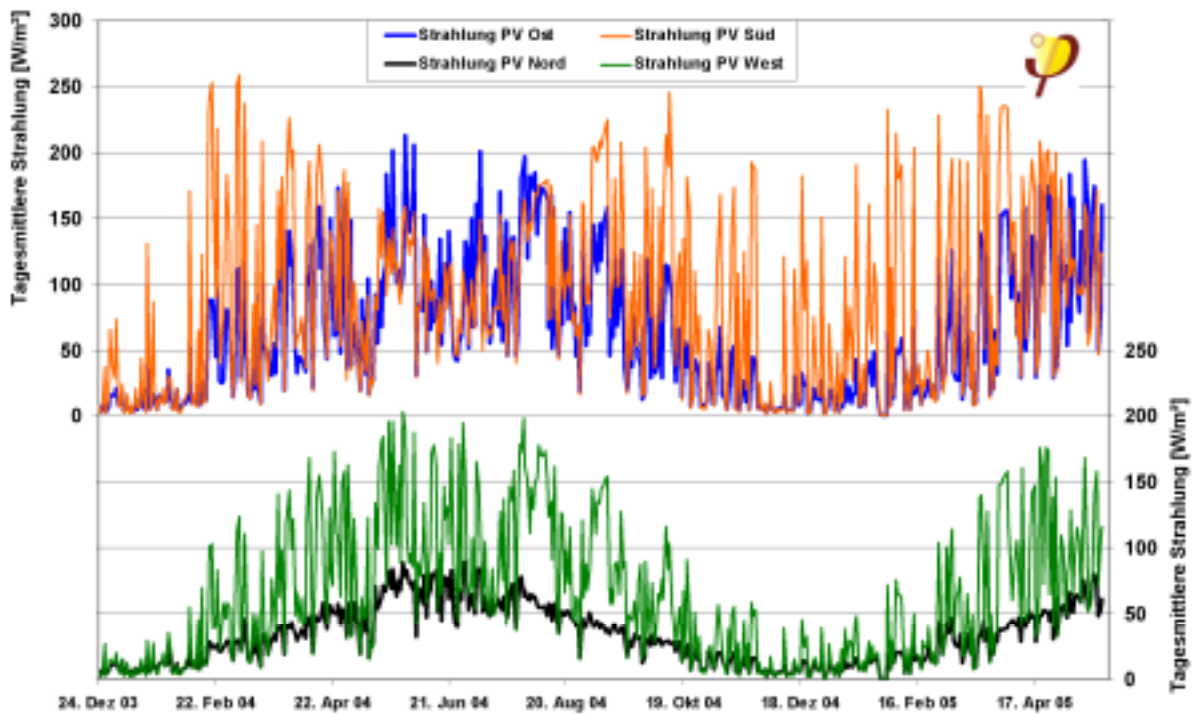


Abbildung 56: Tagesmittlere Global-Strahlung in den vier Haupthimmelsrichtungen während des gesamten Messzeitraumes (Messung mit PV-Sensoren).

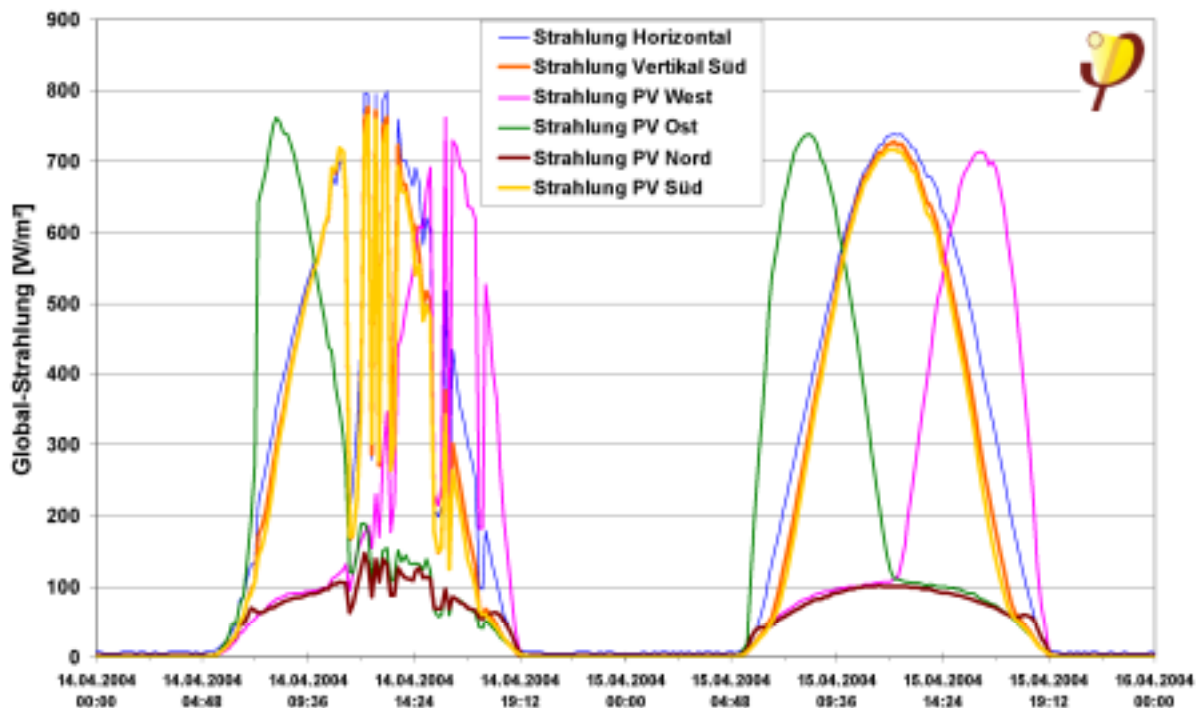


Abbildung 57: 10-Minuten Messdaten der 6 Strahlungsgeräte an 2 exemplarischen Tagen im April 2004. Am 14. April haben Wolken die Strahlung reduziert, am Folgetag führt der quasi wolkenlose Himmel zu den idealtypischen Messkurven.

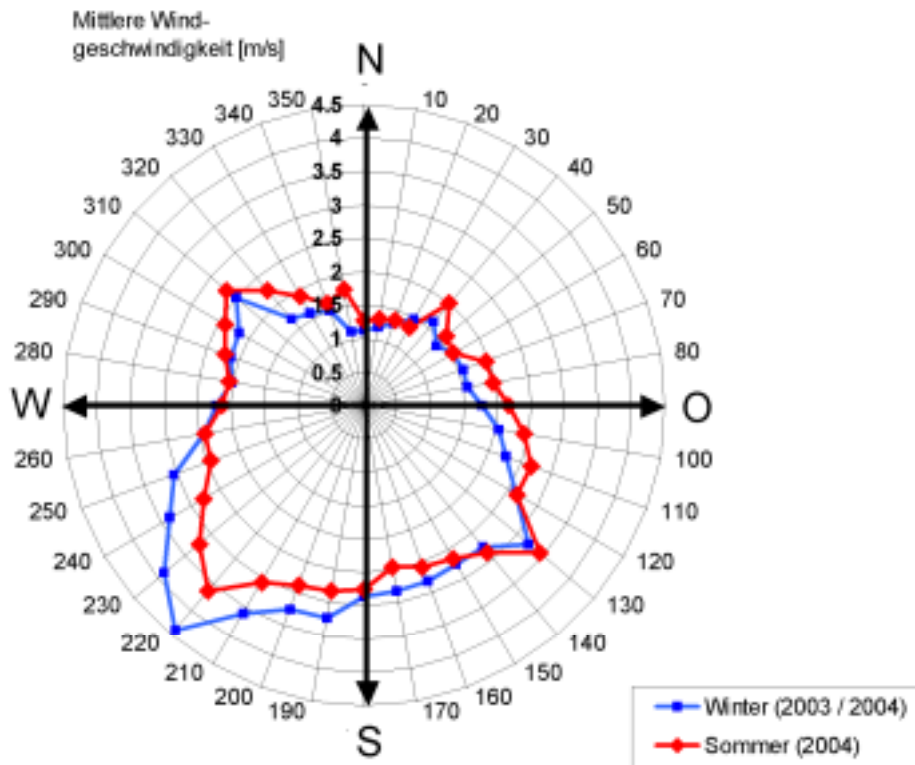
Die 10-Minuten Strahlungsdaten zeigen für die beiden vertikal nach Süden ausgerichteten Strahlungsmessgeräte eine gute Übereinstimmung: die rote Kurve zeigt die Daten des Pyranometers, die gelbe die des PV-Sensors. In den Monatssummen der Strahlung weichen die beiden Messungen zwischen 0,0 und 6,3 % - im Mittel 1,6 % - von einander ab. Die Messdaten für die Einstrahlung nach Himmelsrichtungen der vier PV-Sensoren können somit gut verwendet werden.

Tabelle 9: Monatssummen der Strahlungsmessung

[kWh/(m <sup>2</sup> Monat)]	Strahlung Horizontal	Strahlung PV West vertikal	Strahlung PV Ost vertikal	Strahlung PV Nord vertikal	Strahlung PV Süd vertikal
<b>Mai 04</b>	134.8	78.3	71.4	43.5	68.8
<b>Jun 04</b>	132.3	79.9	67.3	47.7	63.6
<b>Jul 04</b>	141.6	77.6	81.1	45.3	72.7
<b>Aug 04</b>	140.1	79.7	84.3	36.8	90.0
<b>Sep 04</b>	99.4	62.5	60.0	24.7	92.7
<b>Okt 04</b>	54.7	33.3	37.0	16.4	69.5
<b>Nov 04</b>	27.6	17.3	17.4	8.9	50.1
<b>Dez 04</b>	16.5	8.1	8.1	5.2	26.8
<b>Jan 05</b>	23.4	13.1	14.1	7.8	40.2
<b>Feb 05</b>	34.5	21.4	21.3	11.7	49.8
<b>Mrz 05</b>	71.1	44.9	44.9	21.3	74.1
<b>Apr 05</b>	127.4	73.7	77.6	31.7	99.9



Der maximale horizontale Global-Strahlungswert wurde mit  $963,8 \text{ W/m}^2$  am 28.5.2004 um 11:00 gemessen (Stundenmittelwerte).



**Abbildung 58: Mittlere Windgeschwindigkeiten nach Himmelsrichtung als Windrose dargestellt. Unterschieden nach Kernwinter- (23.12.2003 bis 29.2.2004) und Sommerzeitraum (01.06. bis 31.08.2004).**

Aus den 10-Minuten Messdaten sind die mittleren Windgeschwindigkeiten nach Himmelsrichtungen sortiert ermittelt worden. Die Windgeschwindigkeit und Windrichtungsmessung sind hier als Windrose dargestellt. Die höchsten mittleren Windgeschwindigkeiten wurden aus Südwest und etwas geringer aus Südost festzustellen. Die Hauptwindrichtung ist im Sommer wie im Winter nahezu identisch. Die Windgeschwindigkeiten sind im Winter in der Hauptwindrichtung höher als im Sommer. Für die innerstädtische Lage des Gebäudes handelt es sich um recht kräftige Winde.

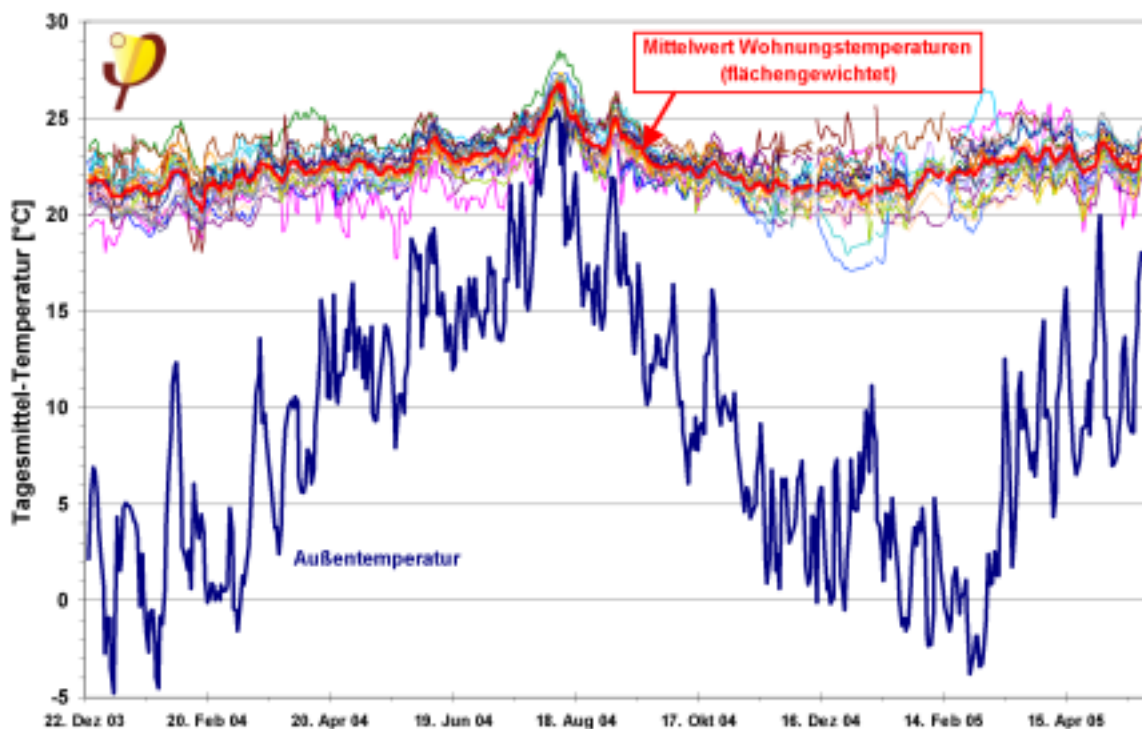
Die höchste Windgeschwindigkeit im gesamten gemessenen Zeitraum von  $17,9 \text{ m/s}$  (entspricht  $64,4 \text{ km/h}$ ) wurde am 1. Februar 2004 um 1:20 Uhr gemessen (10-Minuten-Messwerte).



## 5.2 Außen- und Raumtemperaturen

Von den 24 Temperatursensoren in den 19 Wohnungen werden zwei nicht ausgewertet, da die Messstellen durch die Wohnungseinrichtung bzw. Nutzung gestört sind (siehe auch Abschnitt 4.2.3.2). Die anderen Messdaten sind hier vollständig dargestellt. Während der Messung hat es einige Messdatenausfälle gegeben, welche sich insbesondere durch Arbeiten am Stromnetz (Erdarbeiten) ergeben haben. Der Versorger hat im Winter 2004/2005 wiederholt die Versorgung unterbrochen und es gab im Frühjahr eine Spannungsspitze im Netz, welche zeitweise zum Ausfall einiger Temperatursensoren geführt hat.

Neben den einzelnen Temperaturverläufen in den Wohnungen wird auch der flächengewichtete Temperaturmittelwert des Gebäudes bestimmt. Die Flächengewichtung ist notwendig, da die jeweiligen Messstellen unterschiedlich große Flächen im Gebäude repräsentieren. Der Mittelwert ist gesondert im Diagramm eingetragen.

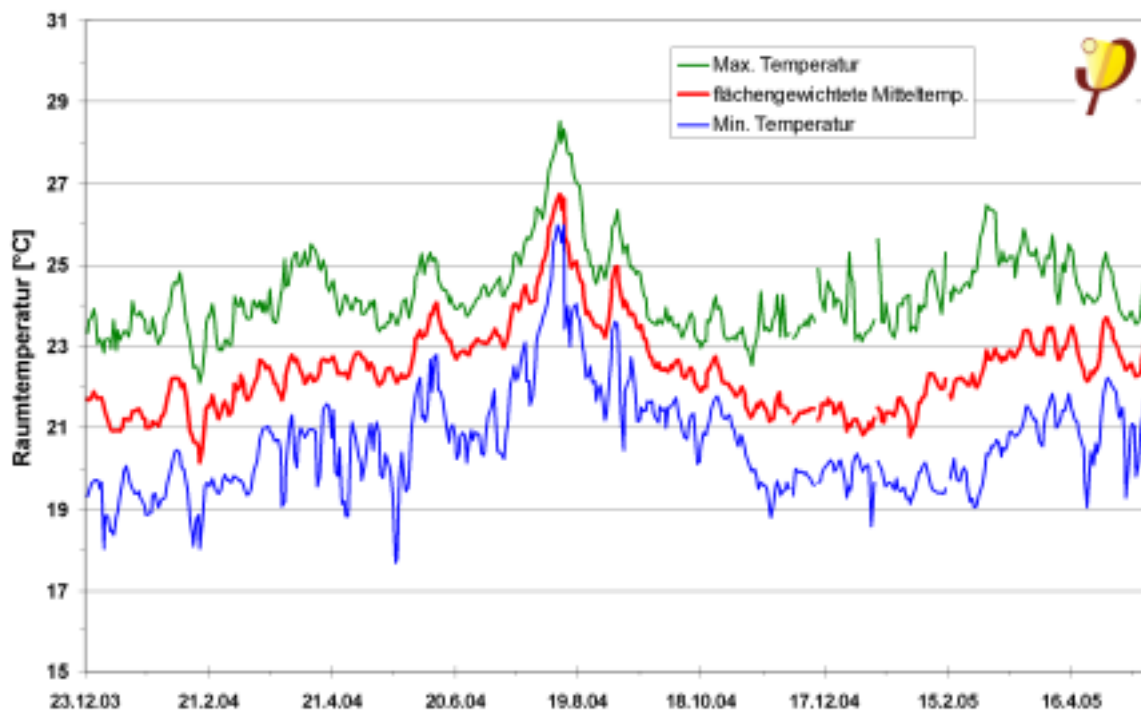


**Abbildung 59: Raum- und Außentemperaturen im gesamten Auswertzeitraum 22.12.2003 bis 30.04.2005 (Tageswerte).**

Die Darstellung der Temperaturverläufe in Abbildung 59 und Abbildung 61 (nur Heizperiode) zeigt die unterschiedlichen Temperaturprofile der einzelnen Wohnungsmessstellen. Vom 15. Dezember 2004 bis zum 16. Januar 2005 ist ein Absinken von zwei Temperaturgängen auf minimal 17,2 °C zu erkennen. Dabei handelt es sich um eine Wohnung mit zwei Sensoren, welche in dieser Zeit unbewohnt und vermutlich unbeheizt war (Urlaub). Es wird allerdings nicht empfohlen, die Heizung bei Ab-

wesenheit im Winter vollständig abzustellen. Die Einsparung ist minimal, die Aufheizzeit auf die gewünschte Temperatur kann relativ lang dauern.

Die Differenz zwischen den Wohnungstemperaturen beträgt – ohne Berücksichtigung der Extremwerte der einen zeitweise unbeheizten Wohnung – 1,7 bis 6,1 K. Im Jahresverlauf liegen Temperaturen der meisten Wohnungen (ohne die Ausreißer) in einem Band von 3 bis 4 K. Die Bandbreite ist damit relativ groß. Die Bewohner können die Temperaturen ihren Wünschen in einem breiten Spektrum anpassen. Bei einigen der Minimaltemperaturen in Abbildung 60 handelt es sich um Temperaturabsenkungen durch zusätzliche Lüftungsvorgänge. Dies ist an den sehr schnellen Absenkungen zu erkennen. Würde es sich um Mängel in der Beheizbarkeit handeln, würden dies zu viel langsameren Temperaturreaktionen führen.



**Abbildung 60:** Darstellung der minimalen und der maximalen tagesmittleren Wohnungstemperaturen aus Abbildung 59. Nur die beiden Messstellen in der zeitweise unbeheizten Wohnung sind vom 15.12.2004 bis zum 17.01.2005 nicht berücksichtigt worden. Zusätzlich ist noch der flächengewichtete Mittelwert aufgetragen. Die kurzzeitigen Ausreißer der Minimumkurve zeigen einzelne zusätzliche Lüftungsvorgänge an.

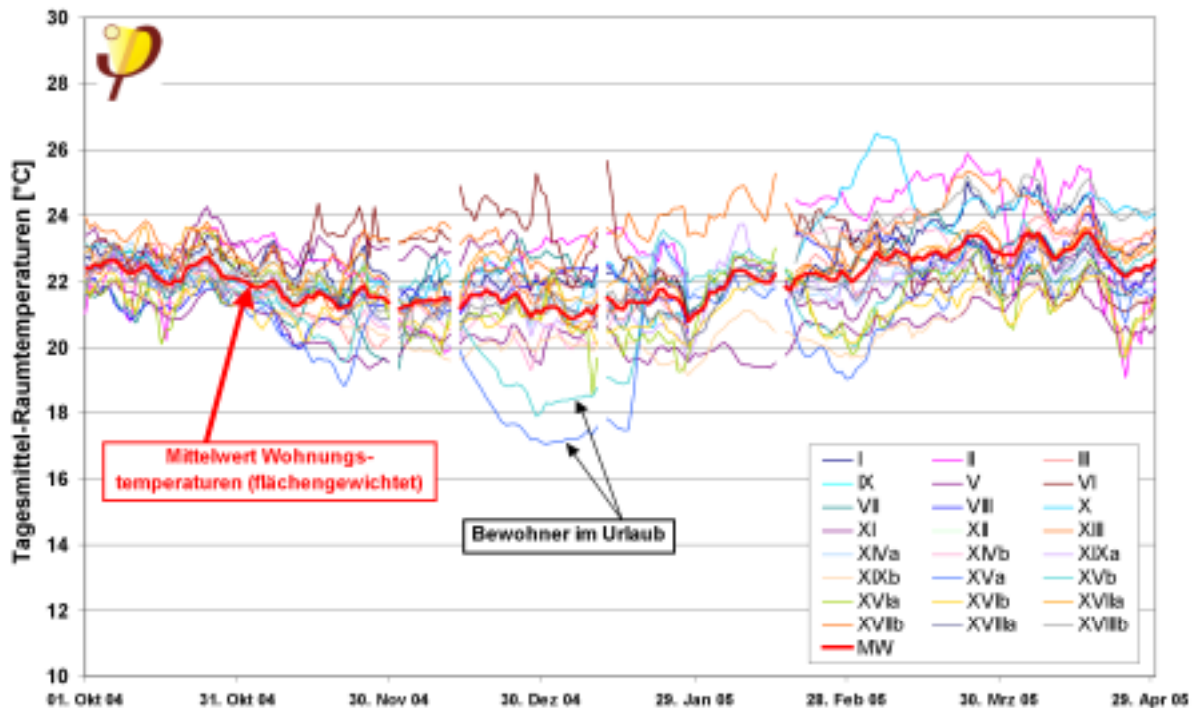


Abbildung 61: Raumtemperaturen und flächengewichteter Mittelwert während der HEIZPERIODE 1.10.2004 bis 30.4.2005 (Tageswerte). Die Zuordnung zu den Temperaturmessstellen ist verschlüsselt angegeben.

In der Anfangszeit der Winterperiode (Oktober bis Mitte November 2004) ist die Spreizung des Raumtemperaturfeldes noch deutlich geringer als in der Folgezeit des Winters. In der Heizperiode betragen die mittleren Temperaturen in den Wohnungen 22,1 °C, im Kernwinter 21,6 °C (beides flächengewichtet). Beide Temperaturen liegen damit deutlich über dem Projektierungsansatz von 20 °C und noch deutlicher über dem Ansatz der Energieeinsparverordnung [EnEV] von 19 °C. Andererseits finden sich Innentemperaturen in dieser Größe (um 21,5 °C) bei fast allen vermessenen Niedrigenergie- und Passivhäusern.

Als niedrigste Außentemperatur wurden -7,2 °C am 4. März 2005 um 4:00 Uhr gemessen (Stundenmittelwert).

Tabelle 10: Mittlere gemessene Temperaturmittelwerte in drei Zeiträumen.

Temperaturmittelwert [°C]	Außen- temperatur	Wohnungs- temperatur (flächengewichtet)
<b>Winter</b> (01.10.04 bis 30.04.05)	<b>5,6</b>	<b>22,1</b>
<b>Kernwinter</b> (01.11.04 bis 28.02.05)	<b>3,5</b>	<b>21,6</b>
<b>Sommer</b> (01.05.04 bis 30.09.05)	<b>16,1</b>	<b>23,6</b>



**Tabelle 11: Monatliche Temperaturmittelwerte der Außen- und der Wohnungstemperaturen (flächengewichtet).**

[°C]	Außen- temperatur	Wohnungs- temperaturen (flächengewichtet)
Jan 03	0,6	21,2
Feb 03	3,7	21,5
Mrz 03	5,3	22,1
Apr 03	10,6	22,4
Mai 03	12,5	22,4
Jun 03	15,5	23,2
Jul 03	17,0	23,7
Aug 03	20,1	25,0
Sep 03	15,4	23,5
Okt 03	10,9	22,3
Nov 03	5,7	21,6
Dez 03	3,4	21,4
Jan 04	4,0	21,2
Feb 04	0,7	22,1
Mrz 04	4,2	22,8
Apr 04	10,2	22,9

Die Darstellung der mittleren Raumtemperaturen in den Wohngeschossen des Gebäudes im Kernwinter (Nov. 2004 bis Feb. 2005) zeigt keinen eindeutigen Trend. Die höchsten Temperaturen sind im 1. (22,2 °C) und im 6. OG (22,3 °C) gemessen worden. Die „niedrigste“ Temperatur mit im Mittel 20,5 °C im EG.

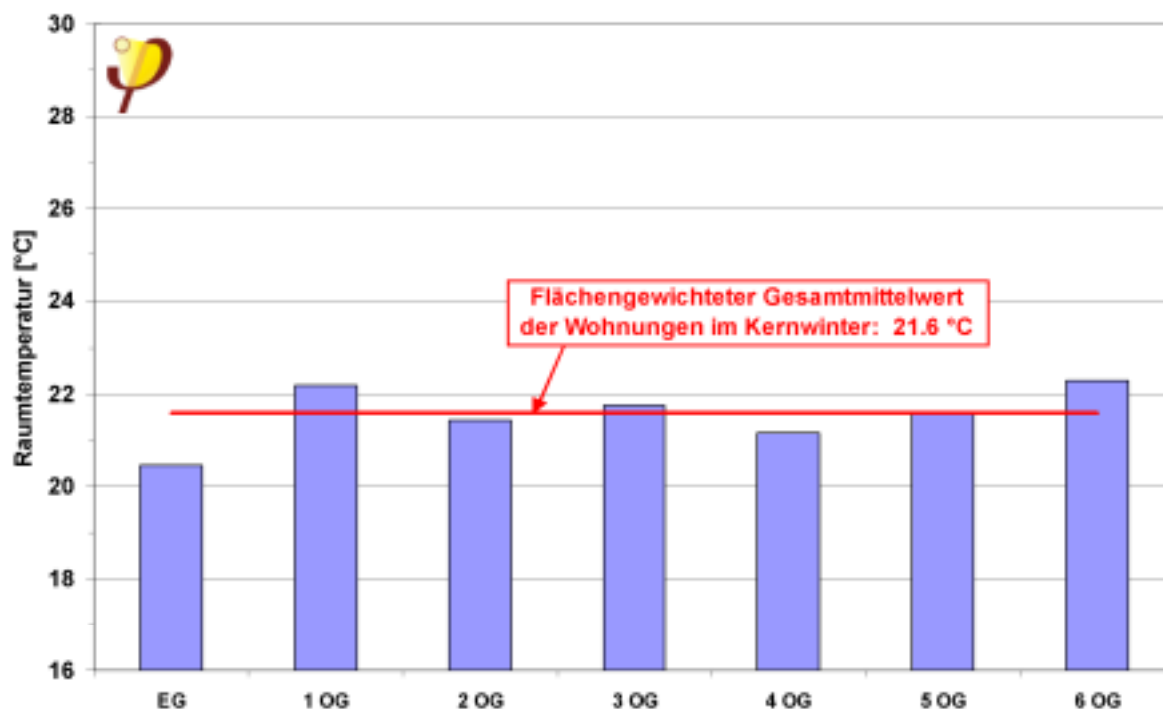


Abbildung 62: Flächengewichtete Temperaturmittelwerte der Wohnungen je Etage im Kernwinter (1.11.2004 bis 28.2.2005).

Die gemessenen Sommer-Temperaturen im Zeitraum Mai bis September 2004 aller Wohnungen und der Außentemperatur sind in Abbildung 63 dargestellt. Die höchste tagesmittlere Außentemperatur betrug  $25,5\text{ °C}$  (09.08.2004). Die höchste gemessenen stundenmittlere Außentemperatur wurde mit  $30,3\text{ °C}$  am 10.08.2004 um 15:00 Uhr festgestellt. Der maximal gemessene Momentanwert liegt mit  $31,3\text{ °C}$  nur wenig darüber (12.08.2004 14:00 Uhr). Die mittlere Innentemperatur der Wohnungen betrug in der Sommerzeit  $23,6\text{ °C}$ . Während der Zeit mit den höchsten Außentemperaturen um den 09.08.2004 wurde die höchste tagesmittlere Innentemperatur in einer Wohnung im 1. OG mit  $28,5\text{ °C}$  gemessen (10.8.2005). Diese eine Wohnungstemperatur ist von dem Temperaturfeld der übrigen Wohnungen deutlich abgehoben (1,2 K). In den restlichen Wohnungen betragen die Innentemperaturen an diesem Tag zwischen  $25,8$  und  $27,3\text{ °C}$ . Da die mit Abstand wärmste Wohnung sich im 1. OG befindet, kann als Ursache die Solarstrahlung ausgeschlossen werden. Möglicherweise wurde in der Wohnung auch bei hohen Temperaturen geheizt (siehe dazu Abschnitt 5.6).







Die Sommertemperaturen zeigen in der Darstellung der Mittelwerte nach Wohnungsebenen keinen eindeutigen Trend nach der Geschosshöhe. Die niedrigsten Temperaturen sind im 3. OG gemessen worden (23,1 °C) die höchsten im 1. (23,8 °C) und 6. OG (24,2 °C). Eine genauere Untersuchung des „Sommerfalls“ wird in Abschnitt 5.3 durchgeführt.

### 5.2.1 Nord-Süd-Temperaturen

In fünf der 19 Wohnungen wurden jeweils zwei Temperatursensoren installiert. In vier dieser fünf Wohnungen konnten diese jeweils in einem Nord- und in einem Südraum angeordnet werden. Damit kann untersucht werden, ob es durch die Solarstrahlung in den Südzimmern zu höheren Temperaturen kommt. Bei der Auswertung wurden jeweils die Mitteltemperaturen im Kernwinter und im Sommer der Messstelle im Südzimmer von der im Nordzimmer einer Wohnung abgezogen. Positive Temperaturdifferenzen zeigen damit an, dass die Temperatur im Süden höher ist als die im Norden. Die Auswertung in Abbildung 65 zeigt, dass es im **Kernwinter (blau)** in den vier Wohnungen im Süden zwischen 0,27 und 0,97 K wärmer ist als im Norden. Im **Sommer (orange)** ist es in zwei Wohnungen umgekehrt: im Norden wärmer als im Süden. Zur Bewertung muss allerdings berücksichtigt werden, dass sich in drei Wohnungen in den Südzimmern mit den Messstellen auch die Wohnküchen befinden. Hier ist durch die Kochvorgänge, interne Lasten (Abwärme Kühlschrank, Spülmaschine etc.) und vermutlich längere Aufenthaltszeit der Bewohner generell mit höheren Temperaturen zu rechnen. Allerdings sind gerade in der im Diagramm ganz rechts dargestellten Wohnung die Durchschnittstemperaturen im Süden immer höher, obwohl die Wohnküche nicht in dem vermessenen Südzimmer angeordnet ist. Jede der Wohnungen mit zwei Sensoren befindet sich auf einem anderen Geschoss (1. bis 5. OG). Die unterschiedlichen Temperaturdifferenzen der Wohnungen zeigen keinen Trend nach Geschosszuordnung. Es bleibt festzustellen, dass die Temperaturdifferenzen durch verschiedene Ursachen hervorgerufen werden. Diese überlagern sich, es kann kein eindeutiger Trend zu höheren Temperaturen in den südorientierten Räumen festgestellt werden.



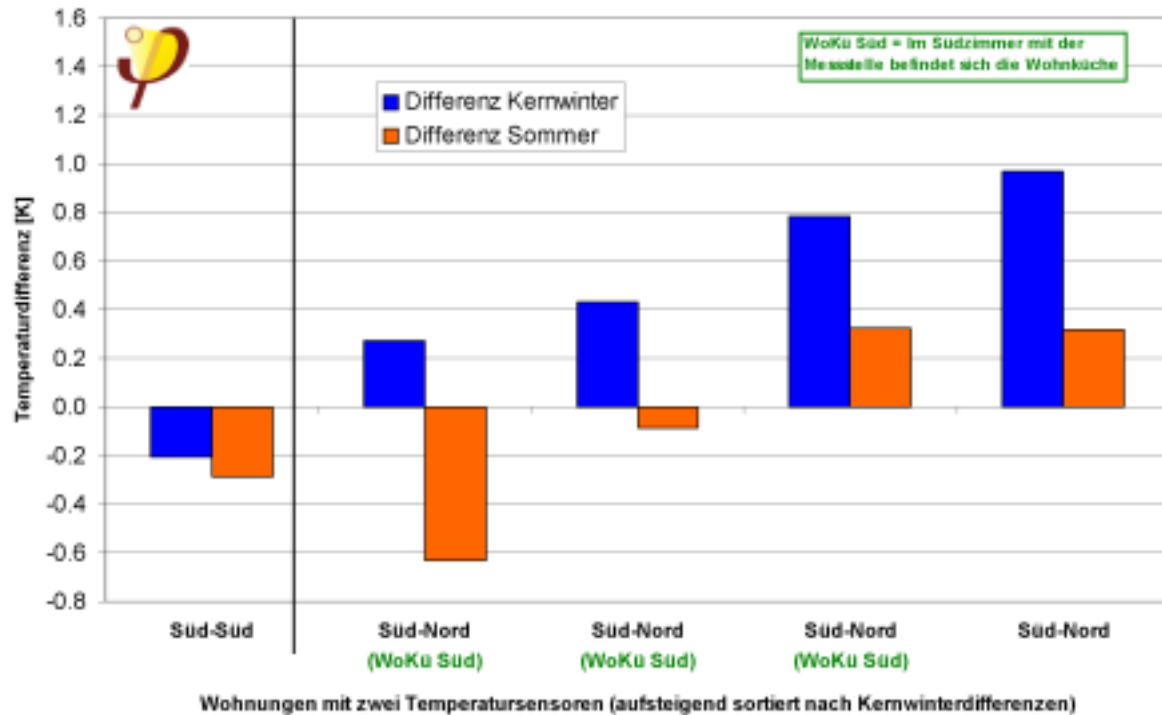


Abbildung 65: Temperaturdifferenzen bei Wohnungen mit Sensoren in zwei Räumen. Erläuterungen dazu im Text.

## 5.2.2 Treppenhaustemperaturen

Die Treppenhaustemperaturen der 12 Doppelmessstellen werden hier getrennt nach Raumluft- und Oberflächentemperatur dargestellt. Zusätzlich ist auch die Temperatur in der Tiefgarage mit aufgetragen. Die Sensoren sind vom DG bis zum TG-2 mit den Namen TF1 bis TF10 bezeichnet. Die beiden in der Außenwand positionierten Doppelmessstellen sind mit TF11 und TF12 bezeichnet. Die genaue Lage der Messpositionen im Treppenhaus kann - wie oben erwähnt - Abbildung 101 entnommen werden.

Die Messdaten zeigen deutlich die Temperaturschichtung im Treppenhaus: oben die höchsten, unten die niedrigsten Temperaturen. Die Differenz der tagesmittleren Treppenhaustemperaturen zwischen DG und TG-2 betragen maximal 10 K (10.8.2004) und minimal 2,6 K. Sie sind im Sommer deutlich größer als im Winter. Dabei verhalten sich die Oberflächen- und die Raumlufttemperaturen sehr ähnlich. Im Jahresmittel (Mai 2004 bis April 2005) betragen die Differenzen zwischen oben und unten 6,3 K bei den Oberflächentemperaturen und 6,0 K bei den Raumlufttemperaturen. Die Bandbreite der Oberflächen- und der Raumlufttemperaturen im Treppenhaus ist Tabelle 12 zu entnehmen.

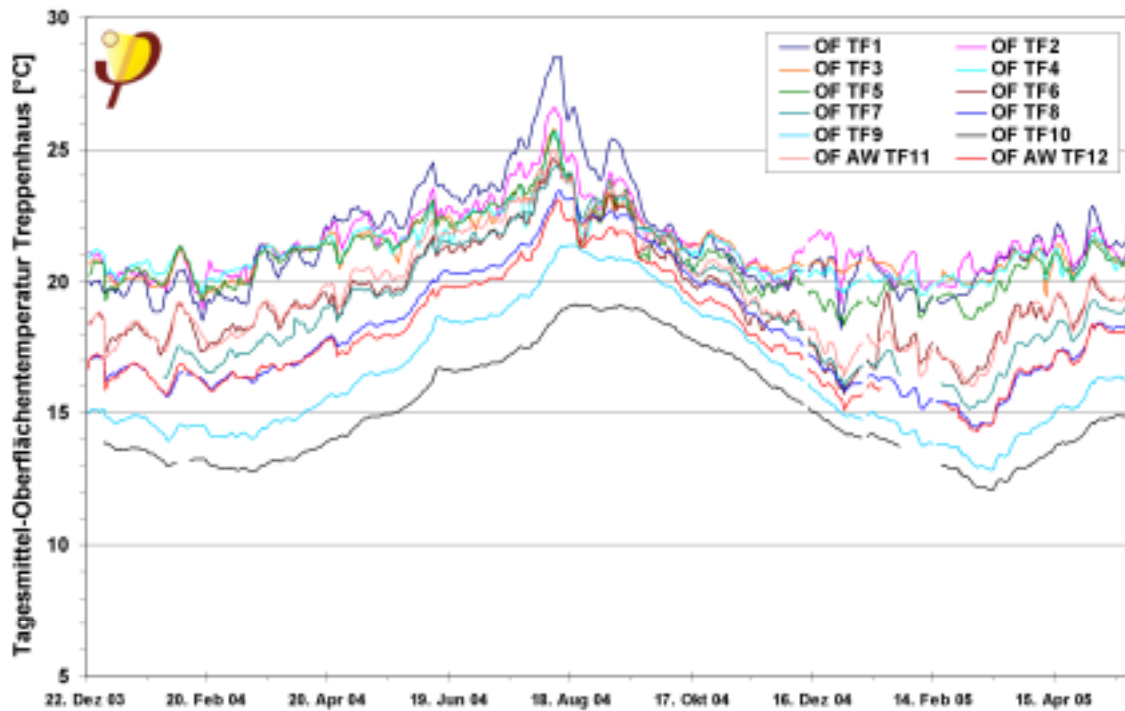


Abbildung 66: Oberflächentemperaturen (OF) im Treppenhaus während des gesamten Auswertzeitraumes 22.12.2003 bis 30.04.2005 (Tageswerte). „AW“ steht für die beiden Sensoren, die nicht in der Ost-, sondern in der Außenwand (AW) positioniert sind.

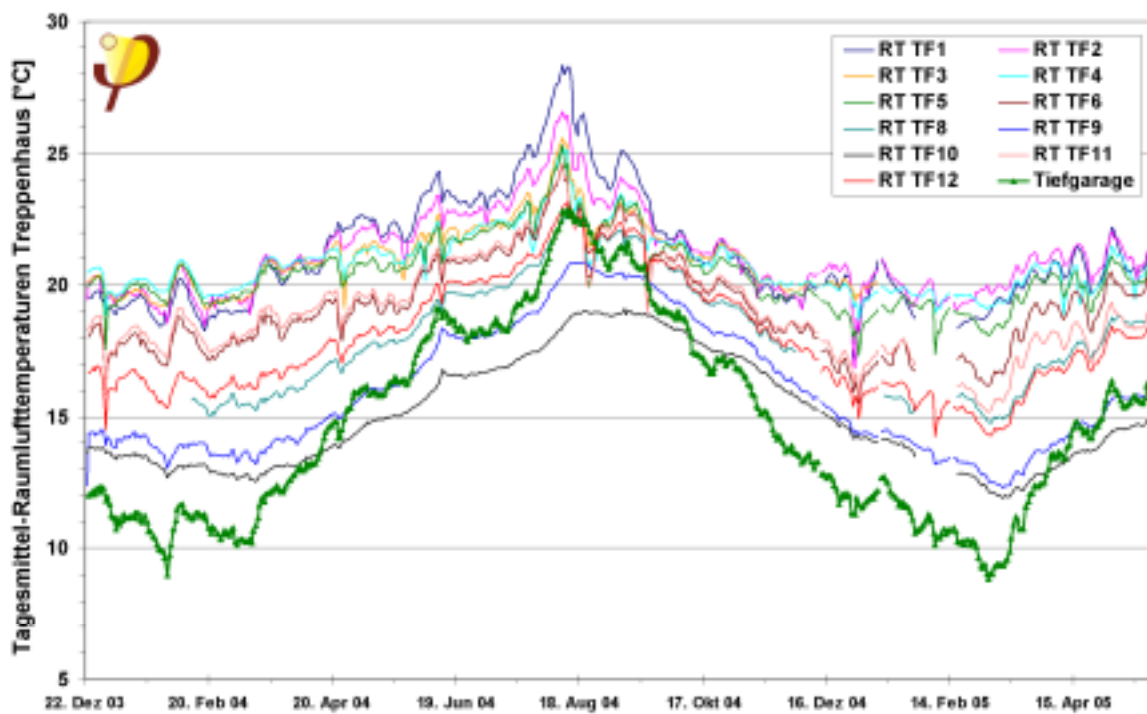


Abbildung 67: Raumlufttemperaturen (RT) im Treppenhaus während des gesamten Auswertzeitraumes 22.12.2003 bis 30.04.2005 (Tageswerte).

Tabelle 12: Bandbreite der wärmsten und kältesten Temperaturmesspunkte im Treppenhaus.

Temperatur [°C]	Oberfläche		Raumluft	
	Minimal	Maximal	Minimal	Maximal
Sensor Position DG (TF1)	18,2	28,5	17,1	28,3
Sensor Position TG-2 (TF10)	12,1	19,1	11,9	19,1

Erwartungsgemäß liegen die Treppenhaustemperaturen in den Wohngeschossen (EG bis 6.OG) deutlich enger zusammen als in den Bereichen zu den unbeheizten Keller- und Tiefgaragen. Der Temperaturgang in der Tiefgarage (außerhalb der thermischen Hülle) zeigt erwartungsgemäß eine stärkere Ankopplung an die Außentemperatur. Er zeigt im Winter deutlich kältere und im Sommer deutlich wärmere Messwerte als der auf gleicher Höhe im Treppenhaus positionierte Sensor (Messstelle TF9).

An den dargestellten Treppenhaustemperaturen lassen sich am 31.12.2003/01.01.2004 und am 31.12.2004/01.01.2005 Temperaturabsenkungen erkennen. Dabei handelt es sich um kalte Außenluft, welche durch das längere Öffnen der Außentüren zur Dachterrasse das Haus durchströmt hat (Sylvesterfeier im Gemeinschaftsraum im DG).

Genauere Untersuchungen zur Temperaturschichtung im Treppenhaus, Simulationsrechnungen dazu sowie eine Ableitungen von Planungshinweisen für Treppenhäuser befinden sich in Abschnitt 6.

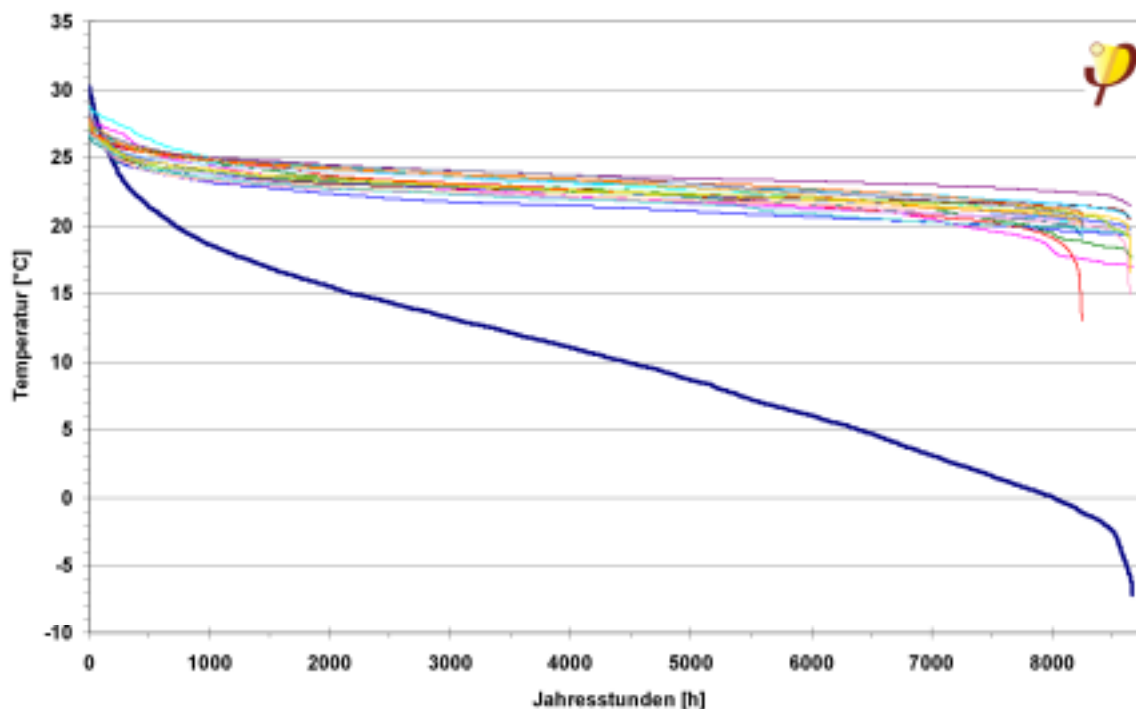
### 5.3 Sommerfall

Zur Untersuchung der sommerlichen Behaglichkeit in den Wohnungen ist die Anzahl der Stunden des Jahres, die über einer bestimmten Grenztemperatur liegen, von Interesse. Nach [DIN 4108-T2] ist der Grenzwert der Innentemperatur, der an nicht mehr als 10 % der Jahresstunden herrschen sollte, mit 25 °C festgelegt. Dieser gilt allerdings für „sommerkühle“ Regionen Deutschlands. Der Standort Hamburg wird nach der DIN 4108-T2 der „gemäßigten“ Region zugeordnet. Für diese ist der Grenzwert mit 26 °C festgelegt. Wir verwenden hier trotzdem den schärferen Grenzwert von 25 °C / 10% der Stundenzahl.

Zur Untersuchung der Übertemperaturstunden ist es sinnvoll, die gemessenen Temperaturdaten jedes Sensors als absteigend sortierte Jahresdauerlinie darzustellen. So können die Jahresstunden-Anteile der Temperaturen gut in Bezug zur Behaglichkeitsgrenze dargestellt werden. In Abbildung 68 sind zunächst alle Temperaturmesswerte der Wohnungen gemeinsam mit der Außentemperatur absteigend sortiert aufgetragen. Dabei führen die unterschiedlich langen Ausfälle der Sensoren zu einer geringeren Anzahl der gemessenen Jahresstunden. Das gesamte Messjahr vom 01. Mai 2004 bis zum 30. April 2005 besteht aus 365 Tagen, also 8760 Stunden. Bei den sehr niedrigen Raumtemperaturen der roten Kurve handelt es sich



um kurzzeitige zusätzliche Fensterlüftungen. Auch bei der Darstellung der Tagesmittelwerte im Abschnitt 5.2 (Abbildung 59) konnten bei dieser Wohnung (II) bereits diese zeitweiligen Absenkungen beobachtet werden. Auch zwei andere Messstellen (gelbe und rosa Kurve) zeigen einige wenige Temperaturabsenkungen, die auf zusätzliche Fensterlüftungen hindeuten. Bei den beiden längere Zeit abgesenkten Temperaturkurven (grün und rosa) handelt es sich wieder um die im Winter längere Zeit unbeheizte Wohnung (Urlaub).



**Abbildung 68: Stundenwerte der Raum- und Außentemperaturen absteigend sortiert nach Jahresstunden. Die Länge der Kurven ist ausfallbedingt unterschiedlich lang. Die Zeiten mit Raumtemperaturen unter etwa 20,0 °C sind auf vereinzelte Fensterlüftungsvorgänge bzw. die weiter oben erwähnte Heizungsunterbrechung zurückzuführen.**

Für die sommerliche Situation sind die wärmsten Stunden des Jahres von Interesse. In Abbildung 69 ist in den oberen Ausschnitt der Kurvenschar der Jahresdauerlinien die 25 °C/10 %-Grenze eingetragen. Bei 8760 Jahresstunden dürfen maximal 876 Stunden über der Grenze liegen. Zunächst ist zu erkennen, dass die in der Norm für die Klimazone „gemäßigt“ (Hamburg) geforderte 26 °C-Grenze in allen Wohnungen unterschritten wird. Nur in drei Wohnungen werden überhaupt Stundenmitteltemperaturen über 28 °C gemessen. Zur Untersuchung der 25 °C-Grenze wird der Ausschnitt in Abbildung 70 noch weiter vergrößert dargestellt. Dabei zeigt sich, dass vier Temperaturmessstellen über der strengerer Grenze liegen, eine genau den Grenzpunkt schneidet. Die Überschreitungen sind mit maximal 0,3 K sehr moderat. Die vier Kurven verlaufen dann auch relativ flach weiter bis zu ihren jeweiligen Höchsttemperaturen.

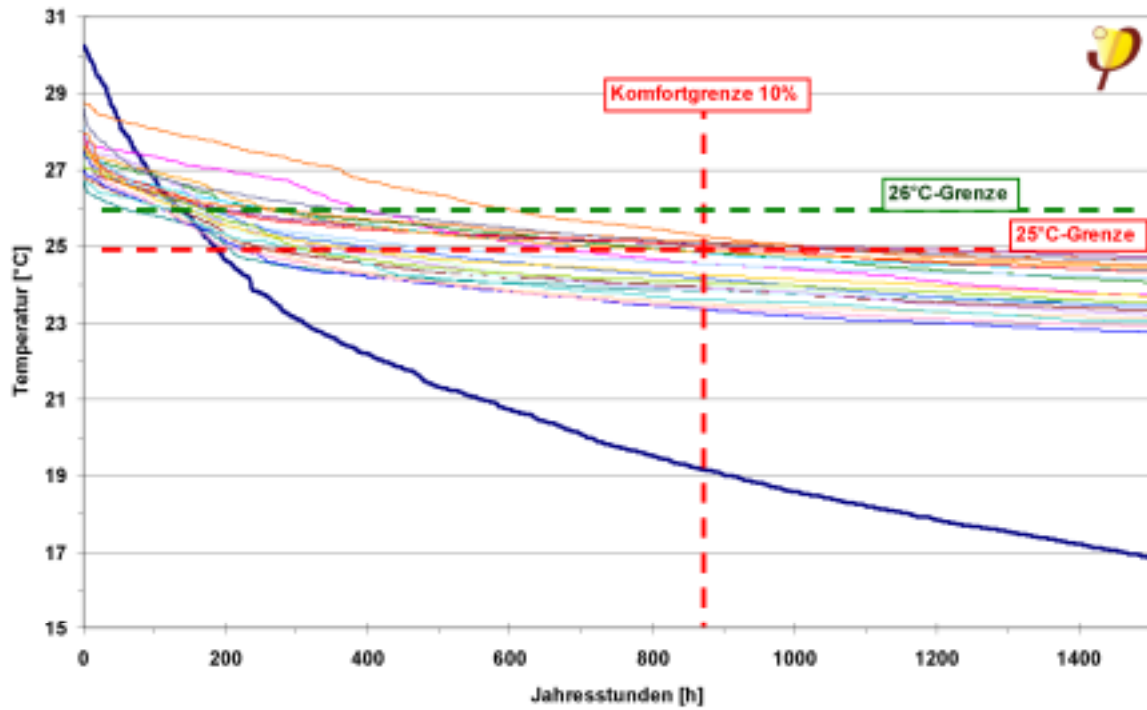


Abbildung 69: Ausschnitt aus Abbildung 68 mit der 25°C/10%- und der 26°C/10%-Grenze.

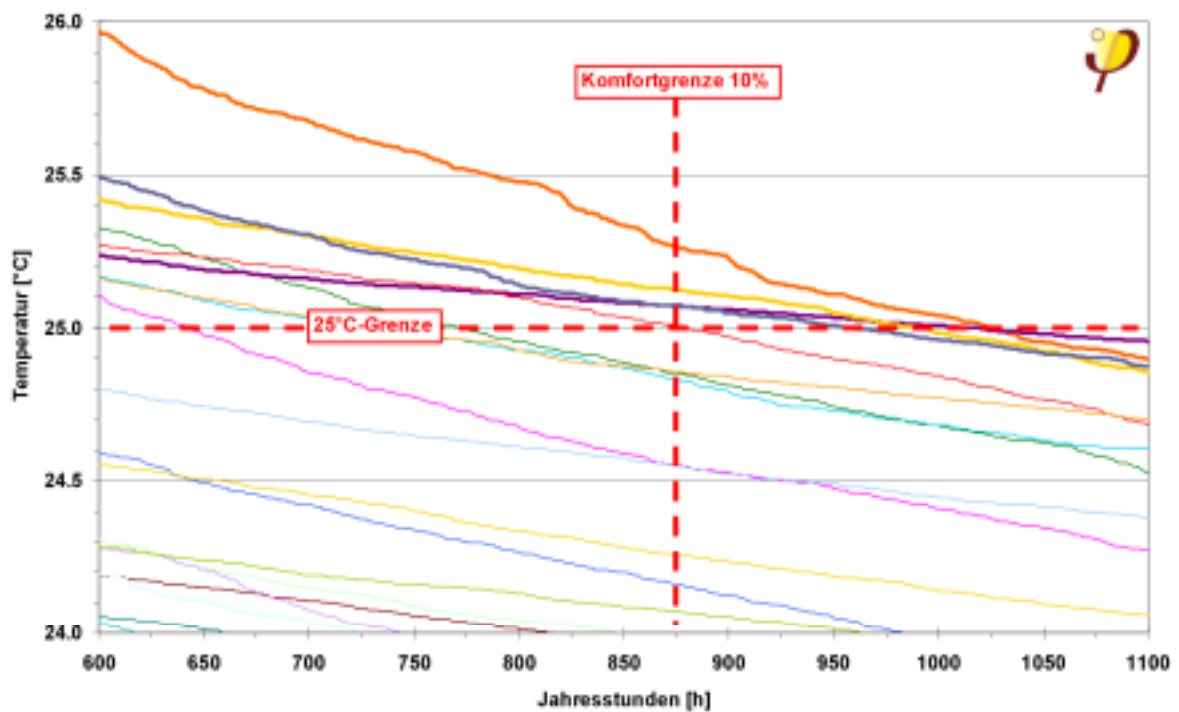


Abbildung 70: Detail der Temperaturkurven aus Abbildung 69 bei der 25°C/10%-Grenze.



Es kann festgestellt werden, dass das sommerliche Temperaturverhalten der Wohnungen als gut zu beurteilen ist. Dies ist insofern besonders beachtlich, da das Gebäude über keine aktiven Sonnenschutzvorrichtungen verfügt. In einem extremen Sommer werden sich die Werte sicherlich noch leicht nach oben verschieben. Der gemessene Sommer kann für die Region allerdings durchaus als typisch bezeichnet werden. Die monatlichen Außentemperatur-Mittelwerte der Wetterstation des Deutschen Wetterdienstes in Hamburg-Fuhlsbüttel (Flughafen) zeigen im August 2004 sogar etwas höhere Werte als das langjährige Mittel im August.

**Tabelle 13: Monatsmitteltemperaturen der Wetterstation Hamburg-Fuhlsbüttel [DWD].**

Monatliche Temperaturmittelwerte [°C]	Langzeitmittel 1991 – 2004	2004
Juli	18,1	16,2
<b>August</b>	<b>18,2</b>	<b>18,8</b>
September	14,0	14,4

Es bleibt die Frage nach den Ursachen der geringen Überschreitungen der 25 °C/10%-Grenze in den vier genannten Wohnungen. Zwei der Wohnungen befinden sich im 1. OG, die beiden anderen im 6. OG. Die Wohnung, die genau auf dem Grenzpunkt liegt, ist im 3. OG. Von der Ausrichtung der Wohnungen sind alle im Gebäude möglichen Himmelsrichtungen Ost, Südost, Süd und Südwest vertreten. Damit kann die Lage oder Ausrichtung als Ursache für die Überhitzung dieser Wohnungen ausgeschlossen werden.

Der Zusammenhang der Überhitzungsstunden mit der Solarstrahlung soll hier noch genauer untersucht werden: Mittels der Fensterflächen der Wohnungen, deren Ausrichtung und der gemessenen Solarstrahlungsdaten nach Himmelsrichtungen wurden die spezifischen Solarlasten in den strahlungsreichen Sommermonaten Juni bis September 2004 einer jeden Wohnung berechnet. Dabei ist die spezielle Verschattung eines jeden Fensters durch Brüstung und Balkon etc. berücksichtigt worden. Als Ergebnis wurden für die Wohnungen im gesamten Zeitraum Solarlasten zwischen 8,7 und 18,3 kWh/Quadratmeter Wohnfläche ermittelt. Der Zusammenhang dieser spezifischer Solarlasten mit den Überhitzungsstunden ist in Abbildung 71 dargestellt. Es ist kein signifikanter Zusammenhang zu erkennen. Es gibt Wohnungen mit hoher Last mit sehr geringen Überhitzungsstunden und umgekehrt. Damit kann dies als entscheidende Ursache ebenfalls ausgeschlossen werden.

Die weiter unten in Abschnitt 5.5.1 ausgewerteten Stromverbräuche entsprechen unterschiedlichen inneren Wärmequellen der Wohnungen. Im Vorgriff auf diese Darstellung der Auswertung werden die unterschiedlichen mittleren elektrischen Leistungen (1,9 bis 4,4 W/m<sup>2</sup>) hier verwendet. Die Korrelation der elektrischen Leistungen mit den Überhitzungsstunden zeigt ebenfalls keinen signifikanten Trend. So ist die Wohnung mit den meisten Überhitzungsstunden diejenige mit den zweitniedrigsten elektrischen Leistungen. Daher liefert auch dies keinen Zusammenhang mit der Zahl der Überhitzungsstunden. In einem weiteren Schritt wurde zu den elek-



trischen Leistungen in den Wohnungen mit Gasherden die spezifische Kochgasleistung addiert. Auch dann zeigte sich kein Trend.

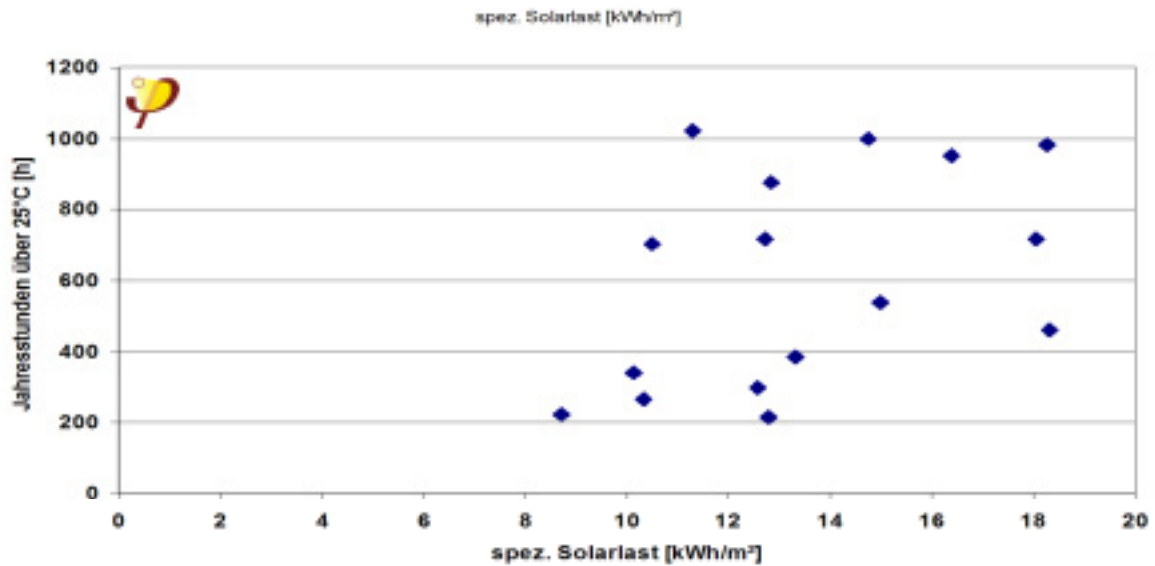


Abbildung 71: Überhitzungsstunden der einzelnen Wohnungen im Zusammenhang mit der spezifischen Solarlast der Wohnungen (Bestimmtheitsmaß  $r^2 = 0,19$ ).

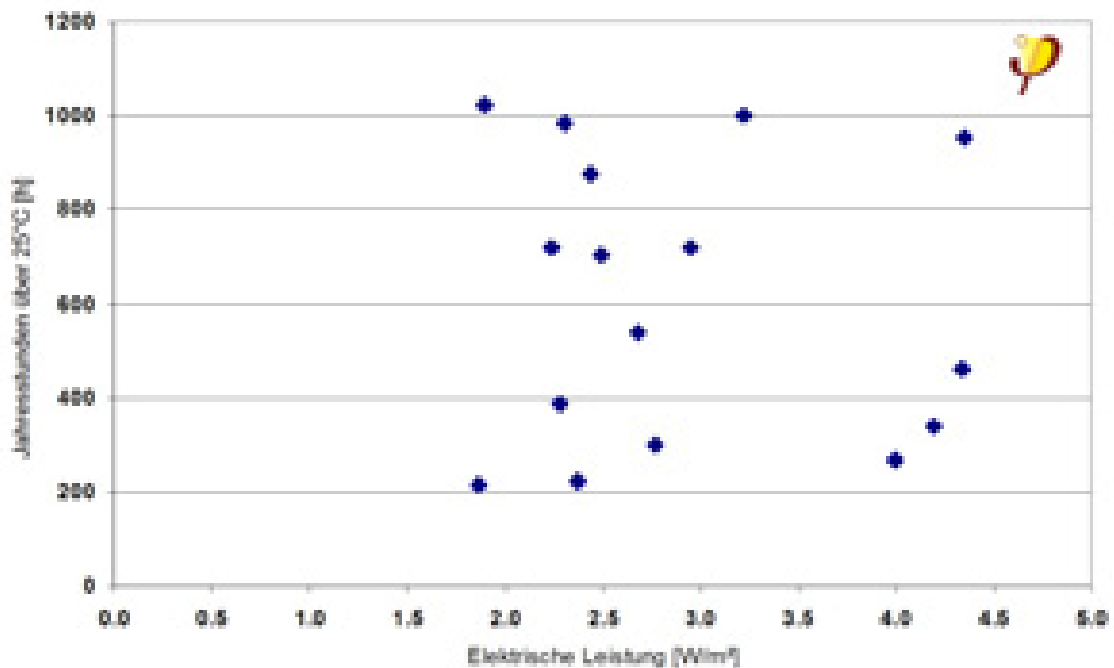
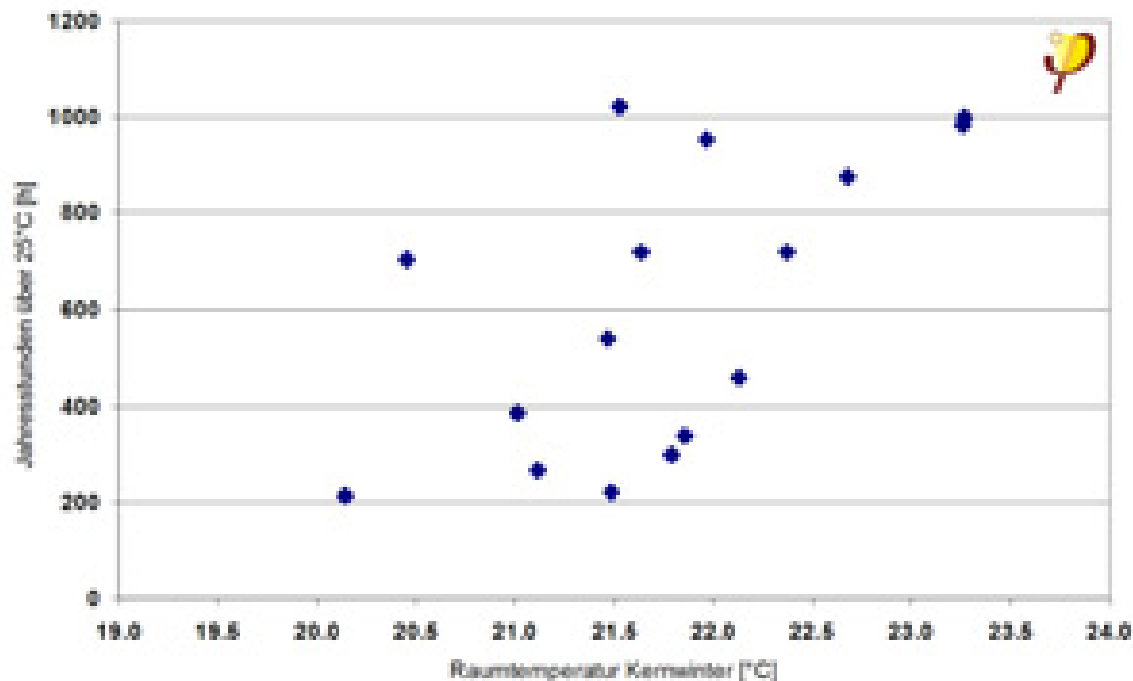


Abbildung 72: Überhitzungsstunden der einzelnen Wohnungen im Zusammenhang mit den spezifischen elektrischen Leistungen der Wohnungen (Bestimmtheitsmaß  $r^2 = 0,01$ ).





**Abbildung 73: Überhitzungsstunden der einzelnen Wohnungen in Korrelation zu den mittleren Raumtemperaturen der Wohnungen im Kernwinter (Bestimmtheitsmaß  $r^2 = 0,36$ ).**

Als letzte Einflussgröße auf die Überhitzungsstunden wird hier der Zusammenhang mit den Temperaturen der Wohnungen während der Kernwinterzeit untersucht. Wird von den Bewohnern einer Wohnung im Winter ein relativ hohes Temperaturniveau bevorzugt, liegt es nahe, dass auch im Sommer höhere Temperaturen gewünscht oder zumindest ohne Gegenmaßnahmen akzeptiert werden. Der Zusammenhang in Abbildung 73 zeigt einen Trend, der dies vermuten lässt: Die im Winter kühleren Wohnungen haben eher die niedrigeren Überhitzungsstunden und umgekehrt.

Ob gerade in diesen Wohnungen die etwas höheren Temperaturen akzeptiert werden, kann ohne eine Befragung jedoch nicht eindeutig geklärt werden. Sicher ist allerdings, dass bei unerwünscht hohen Temperaturen durch konsequentes nächtliches Querlüften die Temperatur deutlich abgesenkt werden kann. Dies gilt auch ohne das Vorhandensein von temporären Verschattungsvorrichtungen (siehe dazu auch [Peper 2002], [AkkP 22]). In diesem Gebäude kann in vielen Wohnungen besonders effektiv Querlüftung betrieben werden, da sie über Fenster sowohl in der Süd- als auch in der Nordfassade verfügen. Da der Wind besonders aus Richtung Südost bzw. Südwest bläst (vgl. Abschnitt 5.1) ergibt sich damit eine gute Durchspülung der Wohnung und damit ein wirkungsvoller Wärmeabtransport.

Für die unterschiedlichen Temperaturniveaus der Wohnungen im Sommer dürfte unterschiedliches Lüftungsverhalten der Bewohner den bedeutendsten Einfluss besitzen. Es bleibt nochmals festzuhalten, dass die „Sommerfallsituation“ insgesamt als gut zu bewerten ist. Sie würde sich noch weiter verbessern, würden die weiter unten (Abschnitt 5.6.2.2) festgestellten ungewollten sommerlichen Heizwärmeverbräuche im Gebäude vermieden.



Damit zeigt sich, dass in diesem nahezu unverschatteten Gebäude mit Südausrichtung die vom Planer projektierte Verschattung durch die Fensterlaibungen und die vorgestellte Balkonanlage ausreicht um im Sommer gute Behaglichkeitsbedingungen herzustellen. Die hohe Wärmedämmung und der kräftige Wind am Standort und bei diesem hohen Gebäude führen zu diesem guten Ergebnis. Bei der Vorausberechnung durch das PHI wurde festgestellt, dass auf weitere temporäre Verschattungen verzichtet werden kann, was sich durch die Messungen bestätigt hat. Dieses Ergebnis gilt speziell für dieses Gebäude an diesem Standort und kann nicht einfach verallgemeinert werden.

## 5.4 Kälteste und wärmste Zeiträume

Der Zeitraum Anfang August 2004 mit den höchsten gemessenen Außentemperaturen stellt eine typische Hitzeperiode dar: Die Solarstrahlung erreicht mit bis zu  $800 \text{ W/m}^2$  hohe Leistungen und die Außentemperatur wächst langsam. Die Temperatur bleibt dann mehrere Tage auf hohem Niveau, da die Sonne bis zum 10. August am nahezu wolkenlosen Himmel scheint. Die Temperatur der Wohnungen folgt der Außentemperaturerhöhung nur langsam und gedämpft nach. Die Außentemperatur zeigt in der Hitzeperiode einen ausgeprägten Tag-Nacht-Gang mit Temperaturdifferenzen von fast  $9 \text{ K}$ . Bei Nachtlüftung wird dieses Kühlpotential gezielt ausgenutzt.

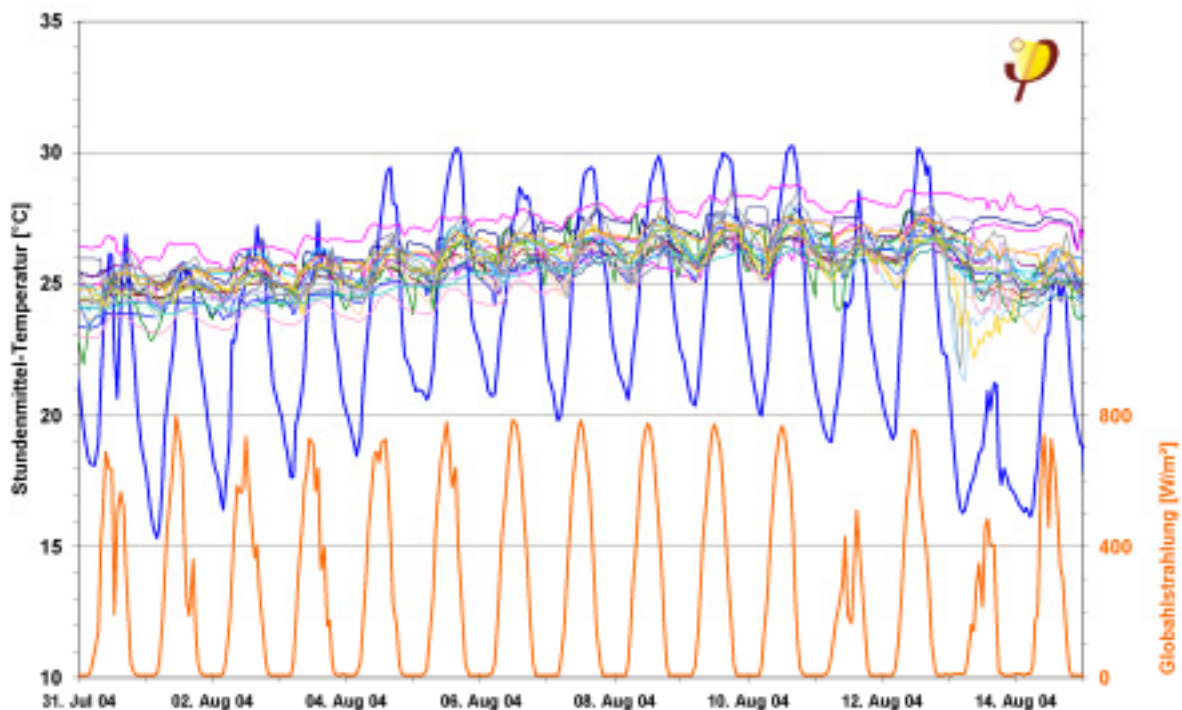


Abbildung 74: Stundenmittelwerte der Wohnungs- und Außentemperaturen sowie der Globalstrahlungsdaten vom 31.07. bis zum 15.08.2004. Es handelt sich um den Sommerzeitraum mit der höchsten gemessenen Außentemperatur.



Das unterschiedliche Temperaturverhalten der einzelnen Wohnungen wird deutlich, wenn die zeitliche Auflösung vergrößert wird (Abbildung 75). Vier Wohnungen sind hervorgehoben. An diesen kann beispielhaft das unterschiedliche thermische Verhalten – verursacht insbesondere durch unterschiedliches Nutzerverhalten - studiert werden. So zeigt die orange Kurve einen sehr gleichmäßigen Verlauf die grüne dagegen deutliche Schwankungen. Die graue folgt dem Verlauf der Außentemperatur etwas zeitversetzt am stärksten. Insbesondere bei der grünen Kurve ist zu vermuten, dass hier am 08. August bis ca. 23:00 Uhr und ab dem 09. August um 6:00 Uhr gelüftet wird. Dazwischen steigen die Temperaturen wieder deutlich an. In der Wohnung mit den rot dargestellten Messdaten wird vermutlich dauerhaft gelüftet. Da es sich bei der roten wie auch bei der grünen Kurve um Temperaturen von nach Osten ausgerichteten Wohnungen in unverschatteter Position handelt, stellen sich die solaren Lasten etwa zeitgleich ein. Diese Umstand führt also nicht zu den unterschiedlichen Temperaturgängen.

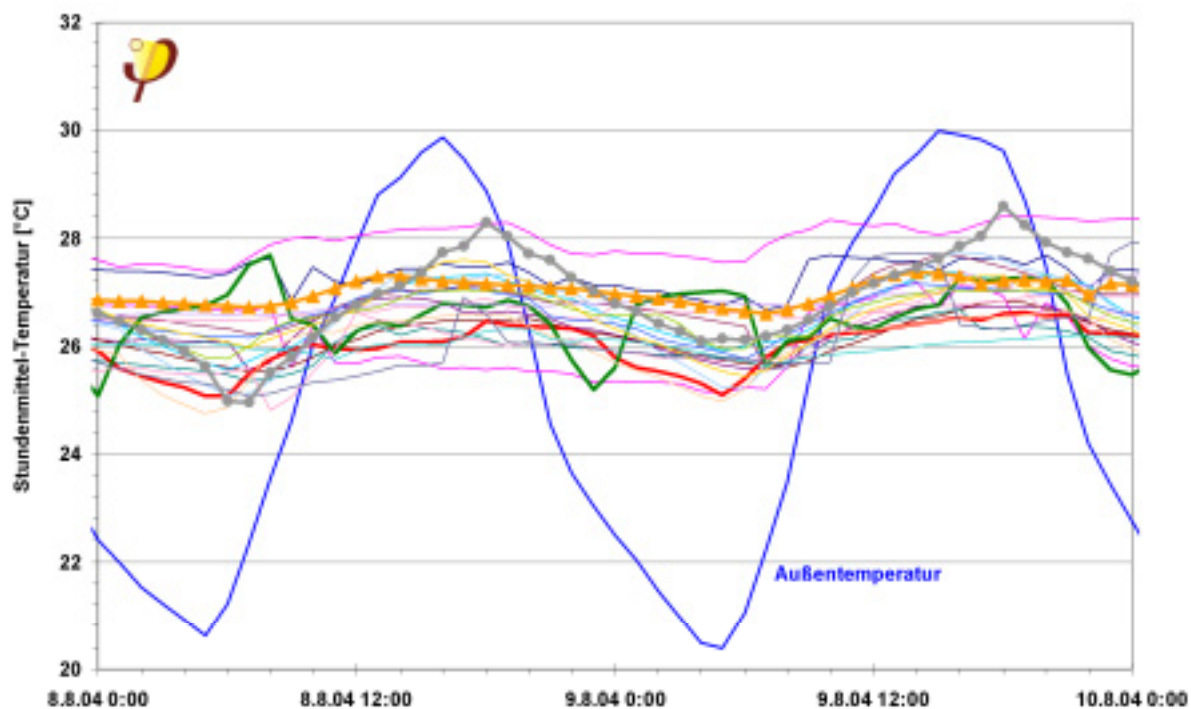
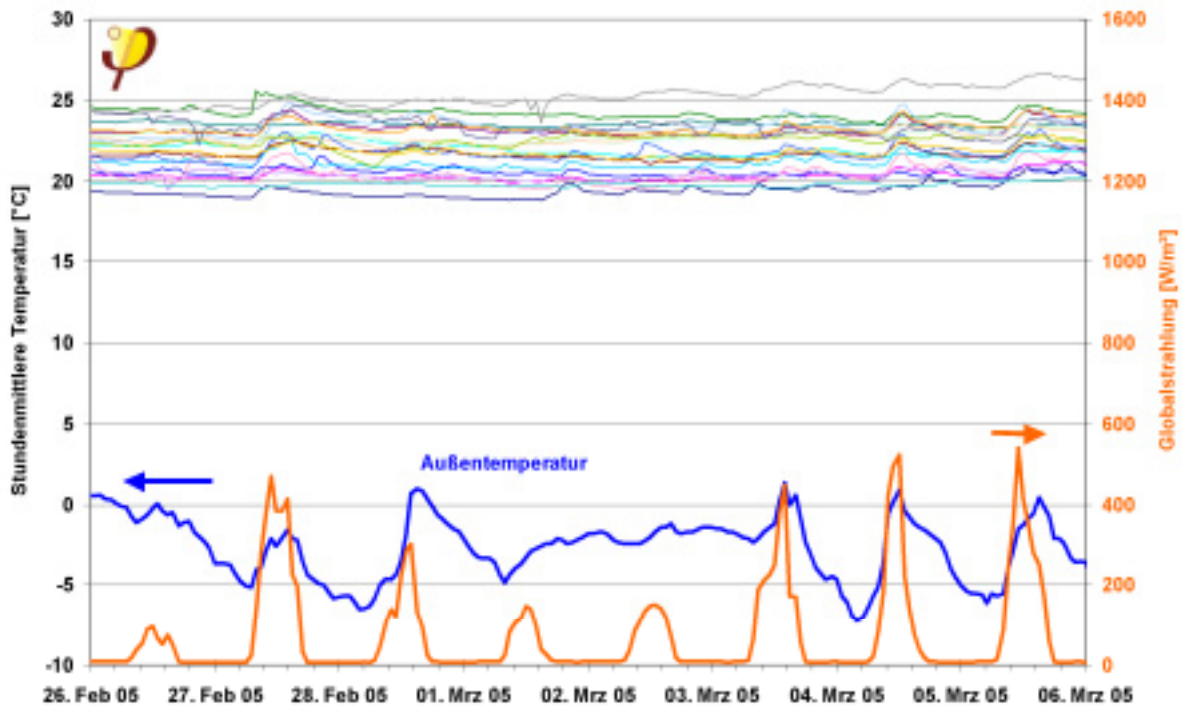


Abbildung 75: Detail der Stundenmittelwerte aus Abbildung 74 v om 8.8. bis zum 9.8.2004 ohne die Solarstrahlungsdaten.



**Abbildung 76: Stundenmittelwerte der Wohnungs- und Außentemperaturen sowie der Globalstrahlungsdaten vom 26.02. bis zum 06.03.2005. Es handelt sich um den Winterzeitraum mit der minimalen gemessenen Außentemperatur.**

Die Woche mit den kältesten Außentemperaturen im Winter 2004/2005 zeigt gleichmäßiger verlaufende Raumlufttemperaturen in den Wohnungen. Das hat seine Ursache in der - durch überwiegend geschlossene Fenster – geringeren Ankopplung an die Außentemperatur, der schwächeren Solarstrahlung sowie der damit verbundenen geringeren Außentemperaturtagesschwankung.

In dem Ausschnitt der Winterzeit in Abbildung 77 sind die gleichen Wohnungstemperaturen hervorgehoben wie beim Detail der Sommerzeit. Die Temperaturachse (y-Achse) deckt den gleichen Bereich von 12 K ab, allerdings in einem verschobenen Bereich. Die „Welle“ am 04. März in fast allen Temperaturkurven wird durch die stärkere Solareinstrahlung an diesem Tag verursacht.

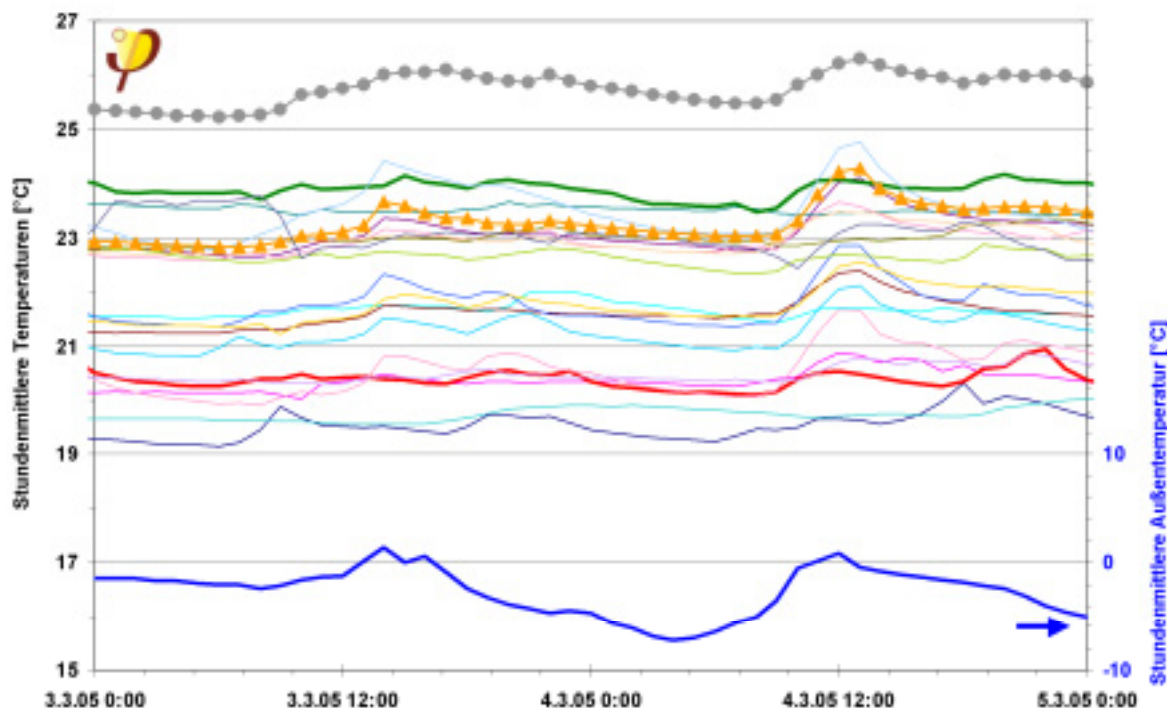


Abbildung 77: Detail der Stundenmittelwerte aus Abbildung 76 am 03. und 04.03.2005 ohne die Solarstrahlungsdaten.

## 5.5 Stromverbrauch

Die Auswertung der Stromverbräuche des Passivhauses Hamburg Pinnsberg wird getrennt nach den Verbräuchen der einzelnen Wohnungen und der gemeinschaftlichen Verbräuche (Lüftung, Fahrstuhl, Treppenhauslicht etc.) vorgenommen.

### 5.5.1 Wohnungen

Die Stromverbräuche der 19 Wohnungen werden separat durch die Drehstromzähler im Hausanschlussraum erfasst und vom M-Bus-System abgefragt. Für die Wohnungen gab es weder eine Stromsparberatung oder ein speziellen finanziellen Anreiz Stromspargeräte einzusetzen, noch wurden die Wohnungen z.B. mit stromsparenden Trockenschränken ausgestattet [Feist 2000].

Der Verlauf der monatlichen Verbräuche der Wohnungen in der Zeit vom Januar 2004 bis zum April 2005 zeigt Werte zwischen 0,1 und 5,7 kWh/(m<sup>2</sup> Monat). Die Unterscheidung zwischen der Sommerzeit mit etwas geringeren und der Winterzeit mit etwas höheren Verbräuchen ist bei fast allen Wohnungen abzulesen. Auffällig ist, dass die Wohnung mit dem geringsten Juli-Verbrauch im Dezember auch den Spitzenwert liefert. Möglicherweise spielen hier Urlaubszeiten und/oder eine veränderte Personenzahl in der Wohnung eine Rolle.

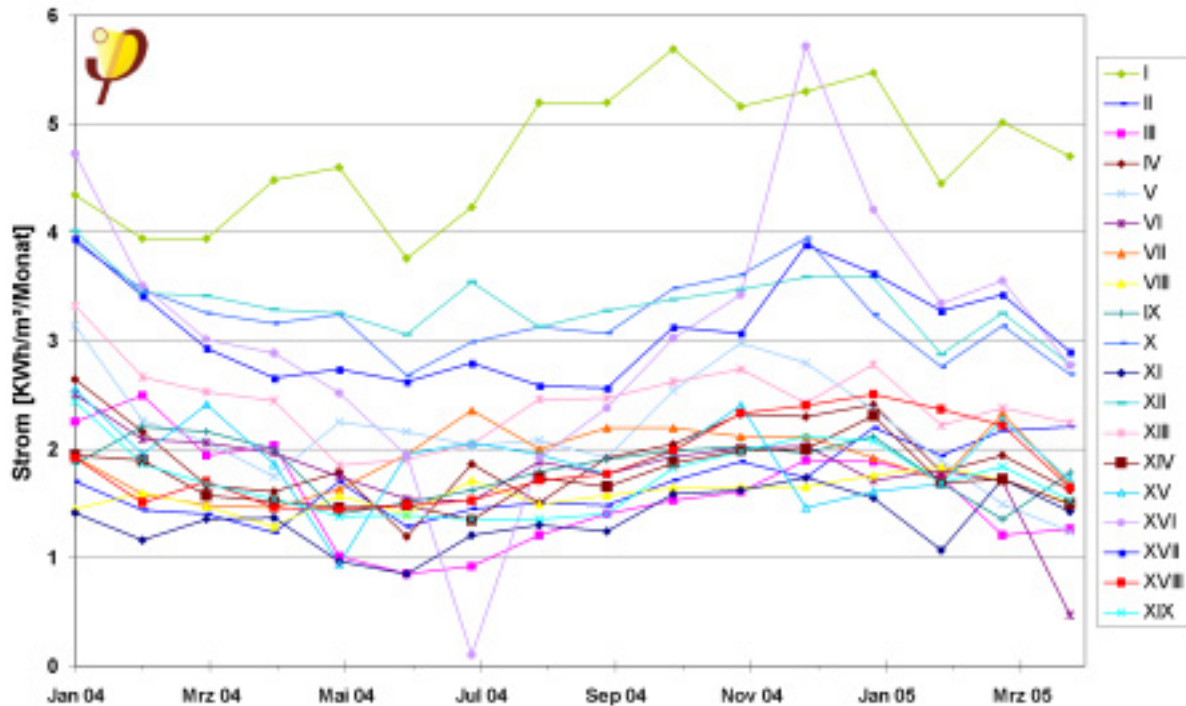


Abbildung 78: Monatliche Haushaltsstromverbräuche der 19 Wohnungen ohne allgemeine Verbräuche pro Monat und je Quadratmeter Energiebezugsfläche (Dezember 2003 bis April 2005).

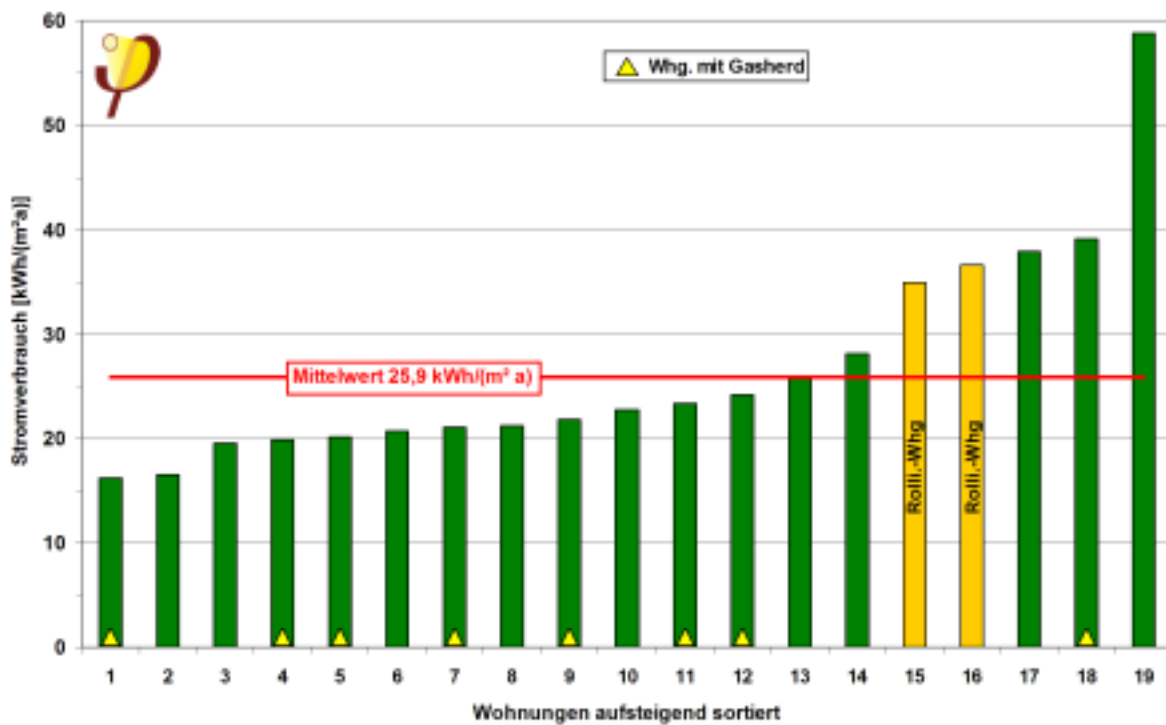


Abbildung 79: Flächenbezogener Jahres-Stromverbrauch der 19 Haushalte (Mai 2004 bis April 2005).





Die flächenbezogenen Jahres-Stromverbräuche der 19 Wohnungen sind in Abbildung 79 dargestellt. Sie betragen je nach Wohnung zwischen 16,3 und 58,8 kWh/(m<sup>2</sup>a). Der Jahres-Mittelwert berechnet sich zu **25,9 kWh/(m<sup>2</sup>a)**. Eine der Wohnungen hebt sich mit den höchsten Verbräuchen deutlich von den anderen ab. Die beiden Wohnungen mit den rollstuhlfahrenden Bewohnern und die Wohnungen mit den Gasherden anstelle von Elektroherden sind gesondert gekennzeichnet.

Die elektrischen Verbräuche der Wohnungen, in denen die drei Rollstuhlfahrer wohnen, liegen im oberen Drittel der gemessenen Verbräuche. Dies hat seine Ursache sicherlich im zusätzlichen Ladestrom für die Akkus der Rollstühle sowie den elektrischen Türöffnern der Wohnungstüren.

Der mittlere Verbrauch aller Wohnungen ist deutlich niedriger als der bundesdeutsche Durchschnittsverbrauch. Zusätzlich sind allerdings noch die „Gemeinschaftsverbräuche“ zu berücksichtigen (siehe nächster Abschnitt).

### **Stromverbrauch Elektroherde**

Bei sieben der acht Wohnungen mit Gasherden liegen die elektrischen Verbräuche der Wohnungen unterhalb des Mittelwertes. Ob es sich um Nutzer handelt, die generell sparsamer Strom verwenden (Energiespargeräte, Energiesparbeleuchtung) oder der Einfluss auch nennenswert vom Einsatz der Gasherde herrührt, kann nicht exakt festgestellt werden (Gasverbrauch der Herde liegt nur als Summe aller acht Wohnungen vor). Der mittlere Stromverbrauch der Wohnungen mit Gasherden (22,9 kWh/(m<sup>2</sup>a)) liegt um **3,3 kWh/(m<sup>2</sup>a)** niedriger als der von den Wohnungen mit Elektroherden (26,2 kWh/(m<sup>2</sup>a)). Dieser Unterschied ist in Abbildung 80 dargestellt. Dabei wurden die beiden Wohnungen mit den rollstuhlfahrenden Bewohnern herausgelassen, um nicht durch andere „Sonderverbräuche“ den Vergleich zu verzerren.

Die Auswertung der Kochgasmesswerte (siehe Abschnitt 5.6.1) ergibt einen mittleren Energieverbrauch von **3,49 kWh/(m<sup>2</sup>a)** für das Kochen mit Gas. Bei der PHPP-Berechnung werden 126,4 kWh/(Person a) für das elektrische Kochen angesetzt. Die Personen in den acht Wohnungen mit den Gasherden bewohnen im Durchschnitt 34,6 m<sup>2</sup>/Person. Das bedeutet, dass nach dem Ansatz im PHPP im Durchschnitt 3,7 kWh/(m<sup>2</sup>a) für das elektrische Kochen kalkuliert werden können. Dieser Wert ist damit in der gleichen Größenordnung wie der gemessene spezifisch durchschnittliche Kochgasverbrauch. Dies zeigt im Nebenergebnis auch den realitätsnahen Ansatz des Wertes im PHPP.

Um diesen Betrag nach dem PHPP Ansatz wäre der Stromverbrauch bei den Gasherdwohnungen höher anzusetzen, wenn diese mit elektrischem Strom kochen würden. Dieser Wert entspricht sehr gut der oben festgestellten mittleren Differenz der Stromverbräuche zwischen den Gasherd- und den Elektroherdwohnungen von 3,3 kWh/(m<sup>2</sup>a). Es kann damit vermutet werden, dass die geringeren Stromverbräuche der Gasherdwohnungen (Durchschnittswert) in der Hauptsache auf das Vermeiden des Kochstromverbrauches zurückzuführen sind.



Der durch die Gasherde eingesparte Strom wird primärenergetisch mit dem Faktor 2,7 bewertet [Gemis]. Geht man im Gebäude von durchschnittlich 3,3 kWh/(m<sup>2</sup>a) eingespartem Strom aus, entspricht dies primärenergetisch damit 8,9 kWh/(m<sup>2</sup>a). Das Kochgas wird primärenergetisch nur mit dem Faktor 1,1 bewertet [Gemis], was einen Primärenergieverbrauch für das Gaskochen von 3,8 kWh/(m<sup>2</sup>a) ergibt. Die Differenz der beiden Primärenergieverbräuche von **5,1 kWh/(m<sup>2</sup>a)** stellt die primärenergetische Einsparung durch die Gasherde dar.

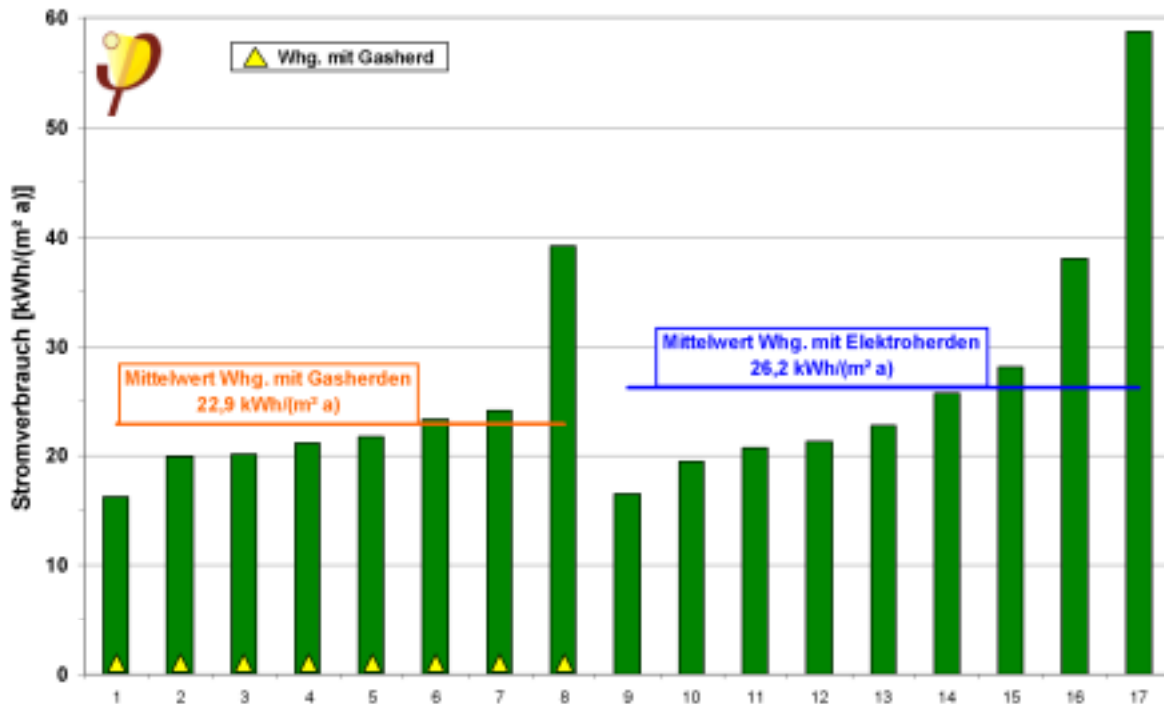
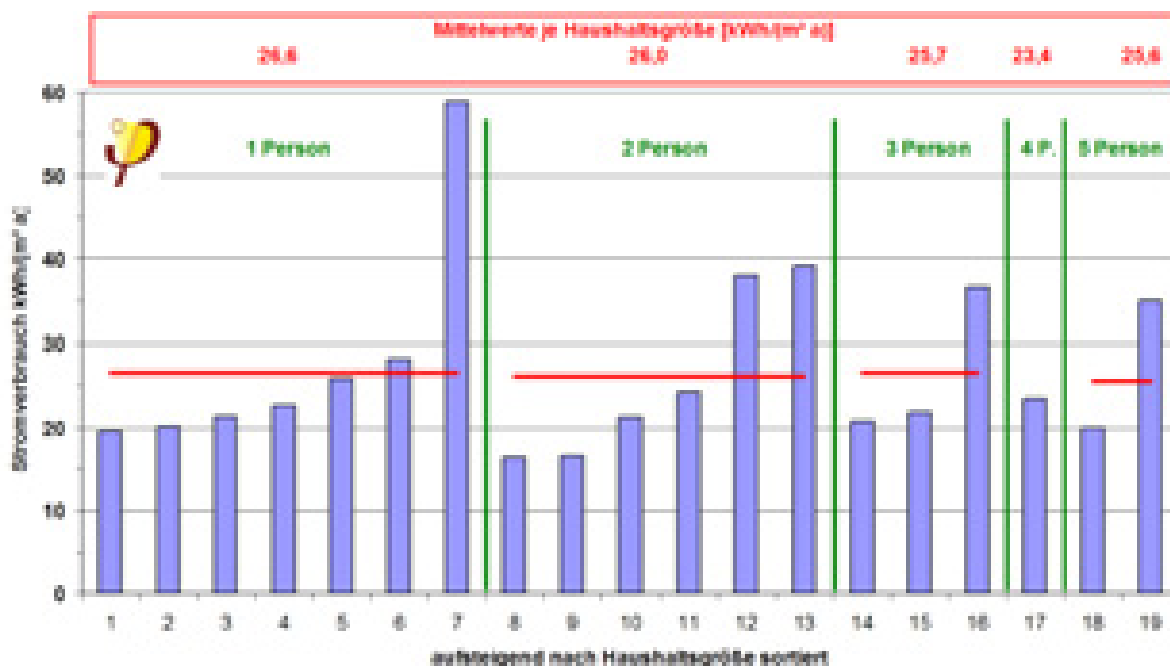


Abbildung 80: Stromverbrauchsdaten aus Abbildung 79 sortiert nach Wohnungen mit Gas- und mit Elektroherden (jeweils aufsteigend sortiert). Die beiden Wohnungen mit den Rollstuhlfahrern sind für den Vergleich herausgelassen worden.



**Abbildung 81: Flächenbezogener Jahresstromverbrauch sortiert nach Haushaltsgrößen und mit Angabe der Mittelwert je Haushaltsgröße (Mai 2004 bis April 2005).**

Sortiert man die flächenbezogenen Stromverbräuche der Wohnungen (Abbildung 79) nach Haushaltsgrößen, zeigt sich, dass die Mittelwerte nur wenig von der Haushaltsgröße abhängen (Abbildung 81).

Werden die Werte nicht auf die Fläche, sondern auf die Personen bezogen, ergeben sich Werte zwischen 578,2 und 1913,0 kWh/(Person a). Mit Ausnahme der Drei-Personen-Haushalte zeigt sich die erwartete Stufung der Mittelwerte nach Haushaltsgrößen: Je höher die Personenzahl in einem Haushalt, desto geringer der personenbezogene Verbrauch. Insbesondere innerhalb der Gruppe „2-Personen-Haushalte“ zeigen sich deutliche Unterschiede der Verbräuche durch unterschiedliches Nutzerverhalten.



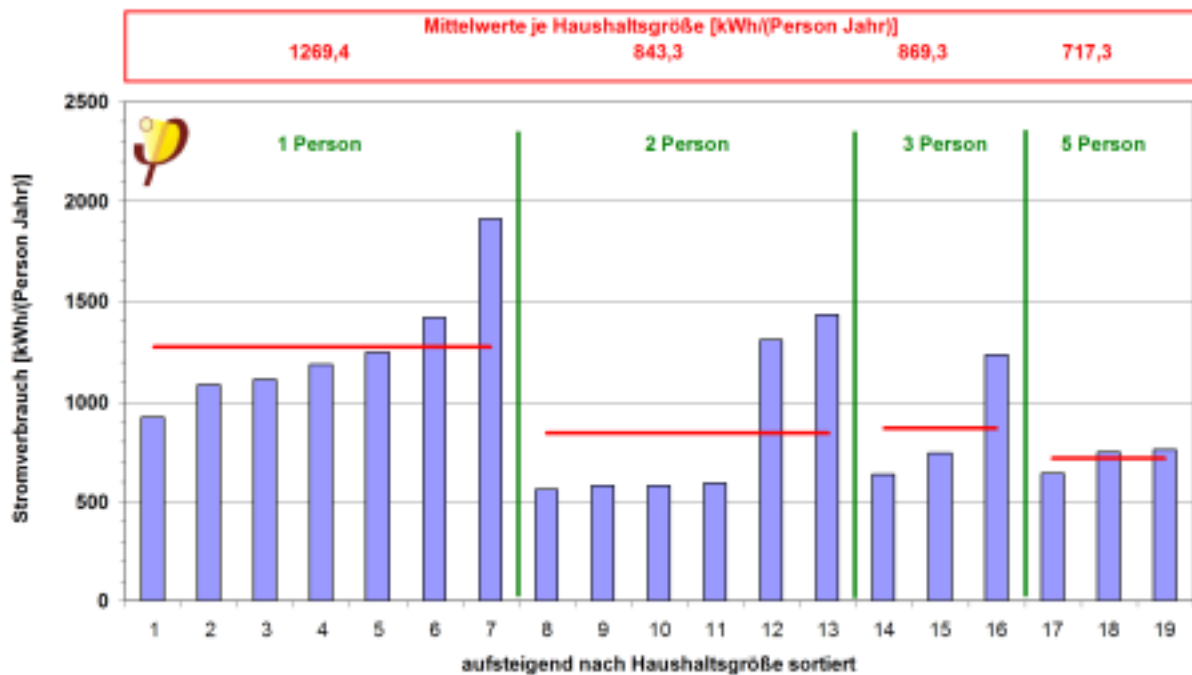


Abbildung 82: Jahresstromverbrauch pro Person sortiert nach Haushaltsgrößen und mit Angabe der Mittelwerte je Haushaltsgröße ((Mai 2004 bis April 2005).

## 5.5.2 Gemeinschaftliche elektrische Verbräuche

Die Auswertung der gemeinschaftlichen Stromverbräuche gliedert sich nach den Bereichen Technik DG, Fahrstuhl, allgemeiner Verbrauch, Lüftung und Tiefgaragen. Da es sich bei den Tiefgaragen um Quartiersgaragen handelt, diese damit auch von Personen genutzt werden, die nicht das Passivhaus bewohnen, sich die Anlage außerhalb der themischen Hülle befindet und diese nicht für die Funktion des Gebäudes (Haustechnik) notwendig ist, wird der Verbrauch hier gesondert ausgewertet und betrachtet.

Die allgemeinen Verbräuche werden hier ebenfalls auf die gesamte Energiebezugsfläche bezogen und für den Jahreszeitraum der Bilanzierung dargestellt. Der Jahresverbrauch der Technik im Dachgeschoss (Pumpen, Kesselstrom, Regelung etc.) summiert sich flächenbezogen auf **0,3 kWh/(m<sup>2</sup>a)**. Dieser Wert liegt vergleichsweise niedrig. Der Verbrauch entspricht einer mittleren Dauerleistung über das Jahr von 0,04 W/m<sup>2</sup>. Als zweitgrößter gemeinschaftlicher Stromverbrauch ist der Fahrstuhl zu nennen. Der spezifische Jahresverbrauch beträgt **2,5 kWh/(m<sup>2</sup>a)**, was einer Dauerleistung von 0,29 W/m<sup>2</sup> entspricht. Bei den Fahrstuhlverbrauchswerten ist zu bemerken, dass auch einige der Quartiersgaragennutzer, die nicht im Haus wohnen, den Fahrstuhl benutzen. Das heißt, dass ein gewisser Anteil nicht der „normalen Hausnutzung“ anzurechnen wäre. Der Anteil konnte allerdings nicht näher bestimmt werden und ist sicherlich relativ gering, da es sich maximal um Fahrten über vier Geschosse handelt (EG zum TG-1 bzw. TG-2).



Zum allgemeinen Verbrauch zählen: Beleuchtung Treppenhaus, Keller und Außenlampe, Gegensprechanlagen, Türöffner (barrierefreier Zugang Haustür), Strom Gemeinschaftsräume/Gästezimmer in DG und Keller und zugehörige Toiletten/Bäder, Waschmaschinen im Keller (Nutzung nur durch einige Wohnungen) sowie eine Serveranlage für Internetzugang. Der gesamte Verbrauch beträgt **3,6 kWh/(m<sup>2</sup>a)**, bzw. 0,41 W/m<sup>2</sup> Dauerleistung. Durch die Summierung der sehr unterschiedlichen Bereiche ist eine detaillierte Beurteilung sehr schwierig. Bei dem Verbrauchswert ist der Stromverbrauch für die Messtechnik der Begleitmessung abgezogen worden.

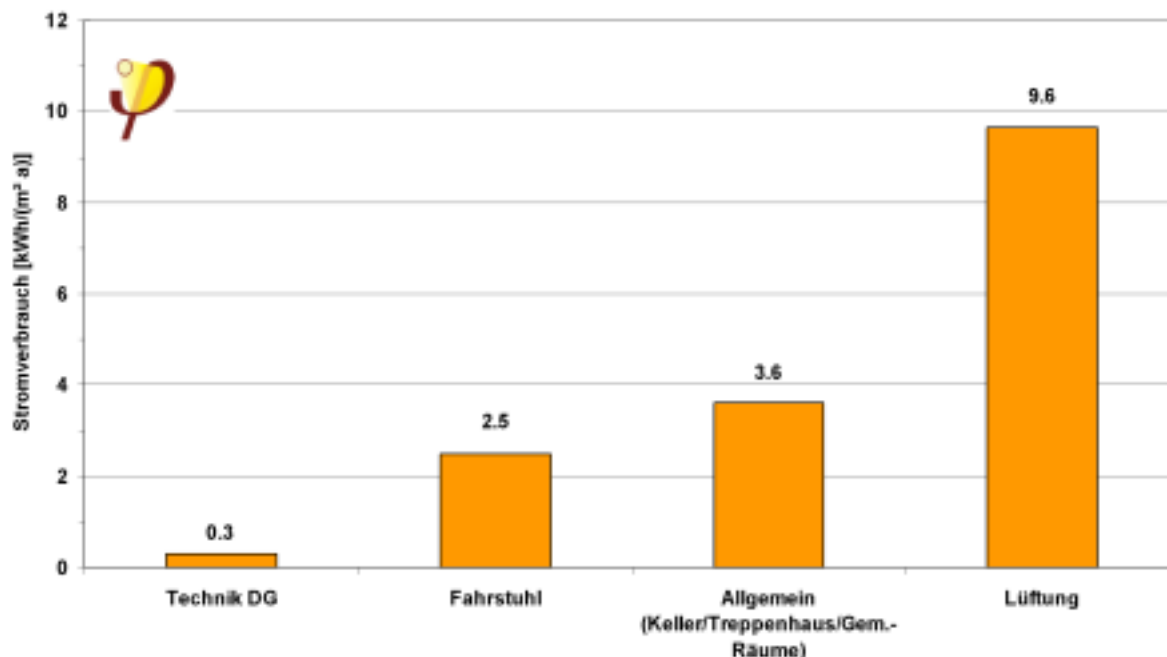


Abbildung 83: Jahresstromverbrauch für die gemeinschaftlichen Verbraucher ohne die Tiefgaragen (Mai 2004 bis April 2005).

Tabelle 14: Jahresstromverbräuche und elektrische Leistungen der gemeinschaftlichen Verbräuche im Jahreszeitraum Mai 2004 bis April 2005 (z.T. Werte aus Abbildung 83).

Allg. Strom	Technik DG	Fahrstuhl	Allgemein	Lüftung
[kWh/(m <sup>2</sup> a)]	0,3	2,5	3,6	9,6
[W/m <sup>2</sup> ]	0,04	0,29	0,41	1,1
[W]	53,2	425,8	772,2	1641,1

Der mit Abstand größte Teil der allgemeinen elektrischen Verbräuche mit **9,6 kWh/(m<sup>2</sup>a)** ist von der Lüftungsanlage benötigt worden. Das entspricht einer Dauerleistung von 1,1 W/m<sup>2</sup> und ist damit für eine kontrollierte Wohnungslüftung **deutlich zu hoch**. Bei dem projektierten Nennvolumenstrom von 1700 m<sup>3</sup>/h beträgt die Leistung für den geförderten Kubikmeter Luft pro Stunde 0,97 W/(m<sup>3</sup>/h). Der für Passivhäuser angestrebte Grenzwert beträgt dagegen nur 0,4 bis 0,45 W/(m<sup>3</sup>/h).

Für die Versorgung mit ausreichend Außenluft, Abtransport der gleichen Menge an Fortluft sowie die Nutzung der hocheffizienten Wärmerückgewinnung mit einer Lüftungsanlage darf etwa nur **ein Drittel** der hier gemessenen Verbräuche entstehen. Dies ist in diversen anderen untersuchten Passiv-Projekten (Reihen- und Mehrfamilienhäusern) z.B. in Darmstadt, Wiesbaden, Kassel, Hannover und Stuttgart belegt worden (siehe dazu z.B. [Pfluger 2001], [Peper 2001], [Reiß 2003], [Ebel 2003], [Peper 2004b]). Dort werden z.B. Werte von 2,9 und 3,29 sowie 3,7 kWh/(m<sup>2</sup>a) angegeben. Wir müssen der Frage der in diesem Projekt untypisch hohen Lüfterstromverbrauchswerte daher nachgehen.

## Lüftungsanlage

Aufgrund der hohen Stromverbräuche der Lüftungsanlage wurde diese noch näher untersucht. In Abbildung 84 sind die Absolutwerte der tagesmittleren Leistungen der allgemeinen Stromverbräuche dargestellt.



**Abbildung 84:** Tagesmittlere elektrische Leistung der gemeinschaftlichen Stromverbraucher ohne Tiefgaragen vom 16.2.2004 bis zum 22.5.2005.

Die tagesmittlere Leistungsaufnahme der Lüftungsanlage zeigt eindeutig einen nicht konstanten Verlauf. Die Schwankungen sind deutlich höher als die durch sommerliche Fensteröffnungen reduzierten Druckwiderstände es vermuten ließen. Im Frühjahr/Sommer 2004 wurden Mängel an der Anlage festgestellt. Am 22.4.2004 ist der zentrale Differenzdrucksensor in der Zuluft der Anlage ausgefallen. Fünf Tage später wurde die Anlage dann als Übergangslösung auf eine feste Drehzahl



eingestellt, was zu relativ konstanten Leistungen um 1200 W geführt hat. Vermutlich am 09.06.2004 wurde der Sensor ausgetauscht und die Anlage wieder im Normalbetrieb betrieben (steiler Anstieg im Lastprofil). Später stellte sich heraus, dass die Außenluftansaugung verstopft war. Der genaue Zeitpunkt kann nicht ermittelt werden. Nach dem Einbau einer Revisionsöffnung und der Entfernung der Verschmutzung am 20.08.2004 wurde der Normalbetrieb wieder hergestellt. Der Rückgang der elektrischen Aufnahmeleistung zwischen ca. dem 15.07. und dem 20.08.2004 hat seine Ursache im geringeren Druckwiderstand in den Wohnungen durch verstärkte Fensteröffnungen (höhere Außentemperaturen).

Am 02.05.2005 wurde - nachdem die Bewohner zu geringe Luftmengen bemängelten - durch die Wartungsfirma eine Filterreinigung durchgeführt. Bis zu diesem Zeitpunkt zeigt sich ein fast kontinuierlicher Anstieg der Aufnahmeleistung.

Es zeigt sich deutlich, dass die Anlage nicht optimal eingestellt und gewartet wurde. Eine zentrale Ursache dafür ist sicherlich ein Rechtsstreit zwischen dem Bauherrn und der ausführenden Firma für Heizung/Lüftung, der dazu führte, dass bis heute die Restmängel nicht behoben wurden und eine andere Firma mit den Wartungsarbeiten beauftragt wurde. Selbst die niedrigsten Betriebsdaten um 1450 W (ohne den Notbetriebs-Zeitraum mit konstantem Druckdifferenzen) liegen für eine effiziente Lüftungsanlage noch um einen Faktor 2 zu hoch. Der Grenzwert von  $0,45 \text{ W}/(\text{m}^3/\text{h})$  führt auf eine Dauerleistung von rund 770 W.

Durch diese Ergebnisse aus der Datenauswertung wurde im September 2005 vom PHI ein Ortstemin mit dem Fachplaner und der Wartungsfirma angeregt. Die Untersuchung der Anlage hat ergeben, dass sie mit deutlich zu hoher Druckdifferenz betrieben wurde. Im Normalbetrieb würde bei der eingestellten Druckdifferenz ein Volumenstrom von ca. 2700 bis 2800  $\text{m}^3$  gefördert werden anstelle des Nennvolumenstromes (1700  $\text{m}^3$ ). Es stellte sich als weiterer Mangel heraus, dass die Aluminium-Lamellen des hydraulischen Vorheizregisters beginnen sich aufzulösen. Dies hatte zur Folge, dass diese „umklappen“ und massiv die Ansaugung verstopfen. Dadurch hat der Außenluftventilator dauerhaft gegen einen hohen Widerstand gearbeitet. Zusätzlich war das Vorheizregister wieder deutlich verschmutzt, was den Druckwiderstand noch weiter erhöht hat. Die ursprünglich eingesetzten Außenluftfilter wurden bei der Wartung gegen Filter mit deutlich weniger Filterfläche ausgetauscht. Alle diese Mängel führen zu der gemessenen deutlich zu hohen Stromaufnahme. Bei dem Ortstemin wurden die Mängel testweise provisorisch behoben und bei einem Volumenstrom von ca. 1700 bis 1800  $\text{m}^3$  eine Leistungsaufnahme von ca. **750 W** gemessen. Damit liegt die Leistung der Anlage in der angestrebten Größenordnung. Der Stromverbrauch wird sich damit - nach den angestrebten Reparaturen - etwa halbieren!

## Fahrstuhl

Der Fahrstuhl trägt wie oben erwähnt mit beachtlichen **2,5 kWh/(m<sup>2</sup>a)** zu den allgemeinen Stromverbräuchen des Gebäudes bei. Zur näheren Untersuchung wird ein zeitlicher Ausschnitt der direkt gemessenen 10-Minuten-Daten betrachtet (Abbildung

85). In diesem beispielhaften Ausschnitt werden im 10-Minuten-Mittel maximal 1440 Watt vom Aufzug inkl. Beleuchtung und Regelung benötigt. Die mittlere Leistung beträgt knapp 400 Watt, was einem **Tagesverbrauch von 9,6 kWh** entspricht. In den Nachtstunden kann durch die konstanten Werte der Standby-Verbrauch für die Regelung und die Beleuchtung (Halogen-Deckenlampen) des Fahrstuhls mit 240 Watt abgelesen werden. Dieser Standby-Verbrauch (ohne Fahrtätigkeit!) ist relativ hoch. Damit werden täglich 5,8 kWh verbraucht, ohne dass eine einzige Fahrstuhl-fahrt unternommen wurde. Dies summiert sich im Jahr auf 2100 kWh und damit auf 56 % des Jahresverbrauchs! Hier handelt es sich auf jeden Fall um einen dringend optimierungsbedürftigen Bereich. Allein durch eine effizientere Beleuchtung könnte bei dieser „Standard-Technik“ der Stromverbrauch deutlich gesenkt werden.

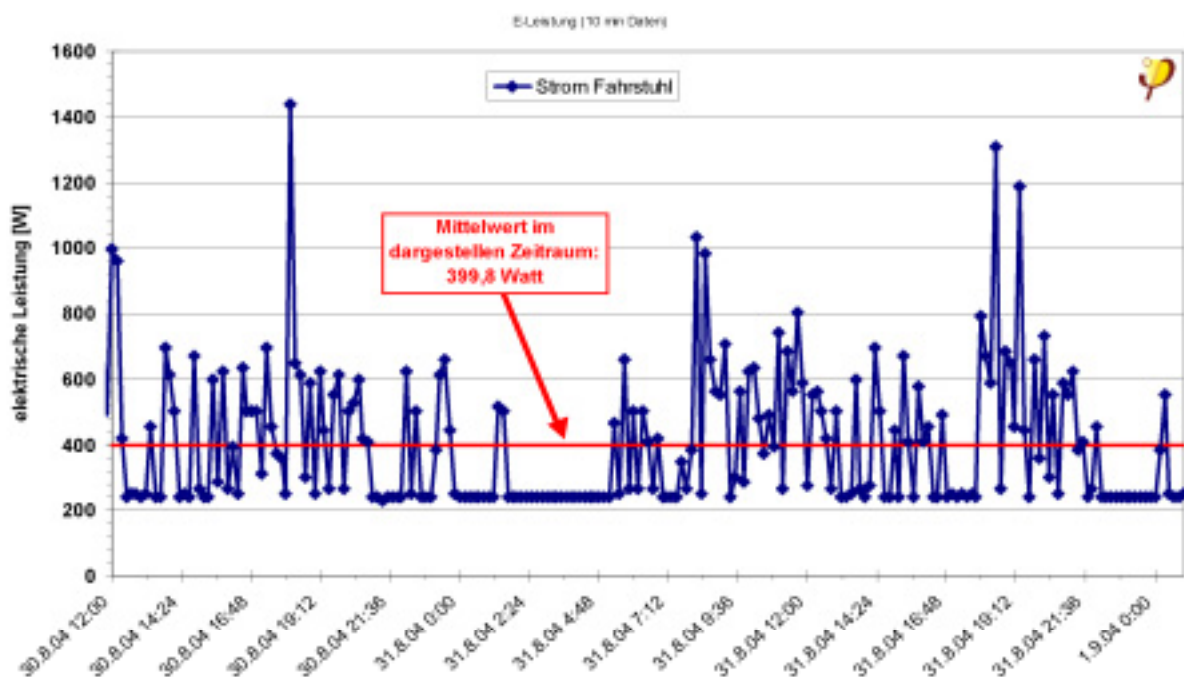


Abbildung 85: 10-Minuten-Messdaten der elektrischen Leistung des Fahrstuhls im zeitlichen Ausschnitt 30.08. 12:00 Uhr bis 01.09.2004 01:00 Uhr.

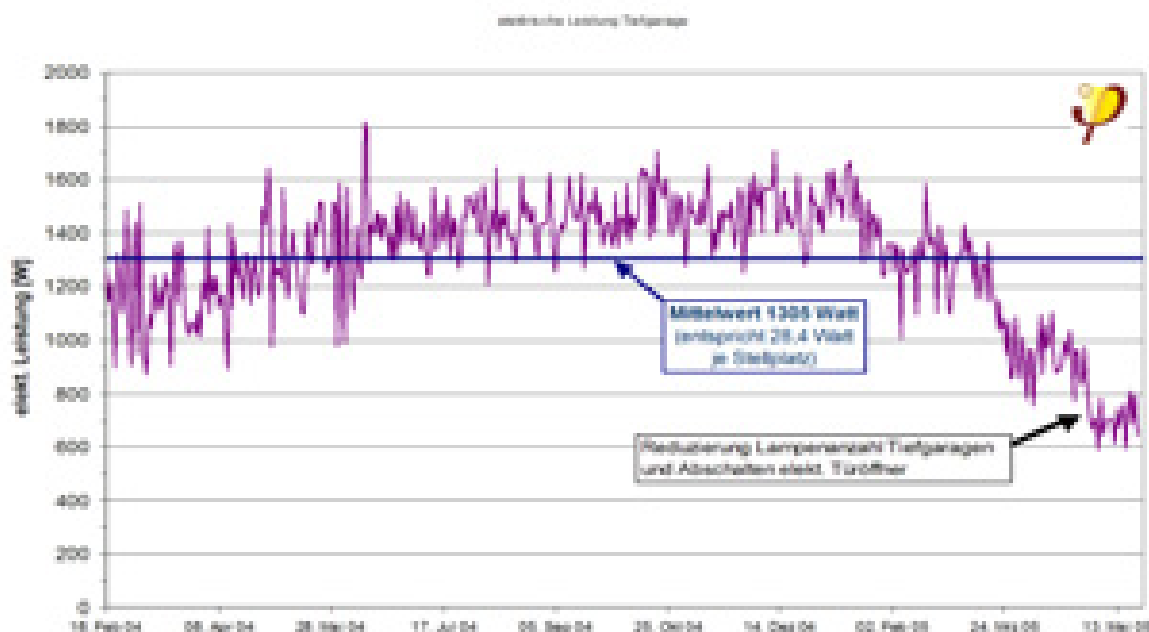
### 5.5.3 Strom Quartiersgarage

Wie oben beschrieben befinden sich die beiden Tiefgaragen-Ebenen außerhalb der thermischen Hülle und werden auch von Personen genutzt, die nicht im Gebäude wohnen. Als Stromverbrauch wird die Summe der Verbräuche der Lüftungsanlage, der Beleuchtung, der elektrischen Rolltore sowie der elektrischen Türöffner gemessen. In diesem Bereich ist eine konventionelle Abluftanlage für eine Tiefgarage zum Einsatz gekommen.

Der gemessene Jahresverbrauch für den Zeitraum Mai 2005 bis April 2004 beträgt 11.940 kWh, was einer Dauerleistung von rund 1360 Watt entspricht. Hier ist die EBF



des Gebäudes keine sinnvolle Bezugsgröße (entspreche  $8,0 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ ). Daher wird der Verbrauch auf die Anzahl der 46 Stellplätze bezogen. Es ergibt sich dann ein Verbrauch von knapp  $260 \text{ kWh}/(\text{a Stellplatz})$ , bzw. eine Dauerleistung von  $29,6 \text{ Watt}/\text{Stellplatz}$ . In Abbildung 86 ist der Verlauf der tagesmittleren Leistungen über den gesamten Messzeitraum angegeben. Die für den gesamten Zeitraum berechneten Mittelwerte weichen nur gering von dem Bilanzjahreszeitraum ab.



**Abbildung 86: Elektrische Leistung der Beleuchtung, beider Rolltore, der elektrischen Türöffner sowie der Lüftungsanlage der beiden Tiefgaragengeschosse mit 46 Stellplätzen während der gesamten Messzeit.**

Der Verlauf der elektrischen Leistung der Tiefgaragen zeigt ab Mitte Januar 2005 einen starken Rückgang. Die Ursache dafür konnte nicht ermittelt werden. Die Bewohner haben keine Veränderung der Einstellung etc. vorgenommen. Die Leistungsreduzierung Ende April 2005 hat ihre Ursache in der Reduzierung der Lampenzahl und dem Stilllegen der elektrischen Türöffner zum Treppenhaus.

Die Verbräuche sind trotz der Minimal-Auslegung der Lüftungsanlage durch den Planer insgesamt gesehen erschreckend hoch. Durch eine Optimierung der Laufzeiten könnte hier ggf. noch eine deutliche Einsparung ermöglicht werden. Zumindest bleibt zu hoffen, dass die Verbräuche auf dem abgesenkten Niveau um die 700 Watt verbleiben. Dies bedeutet immerhin fast eine Halbierung gegenüber dem Mittelwert der gesamten Messzeit.

## 5.6 Energieverbrauch für Heizung und Warmwasser

Die Gasverbräuche im Gebäude verteilen sich auf die Anwendung Wärme und Gasherde. In diesem Abschnitt werden zunächst als Ausgangsgröße für den Energieverbrauch des Gebäudes die Gasverbräuche dargestellt. Dann folgt die Auswertung die Wämeverbräuche getrennt für die Bereiche Warmwasserbereitung, Frostschutz der Lüftungsanlage und Heizung.

### 5.6.1 Gasverbrauch

Der gemessene Gasverbrauch der beiden Gaszähler wird mit einem Energiegehalt von Erdgas von  $10 \text{ kWh/m}^3$  umgerechnet. Der Gasverbrauch des Kessels im DG zeigt die typische jahreszeitliche Kurve mit einem Sockelbetrag im Sommer, der durch den Gasverbrauch für die Warmwasserbereitung entsteht. Es werden maximal knapp 10 und minimal  $1,8 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ Monat})$  verbraucht. Der Verbrauch der Gasherde ist dagegen relativ konstant über den Betrachtungszeitraum.

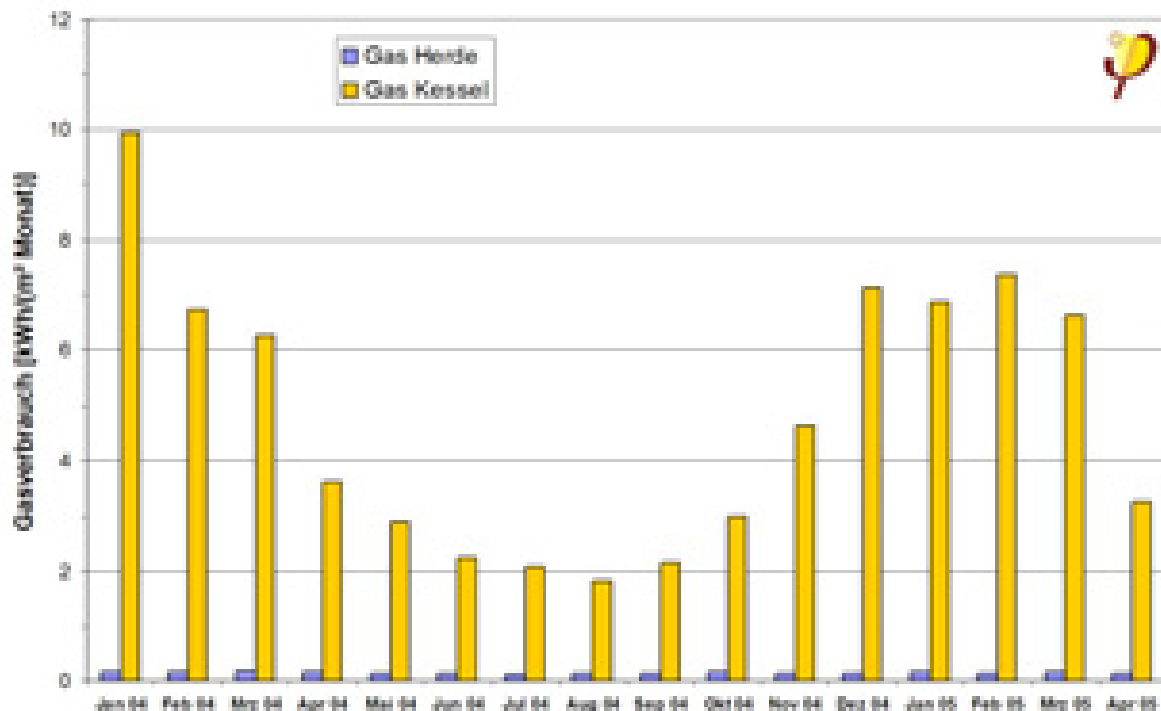


Abbildung 87: Spezifischer monatlicher Gasverbrauch für den zentralen Gaskessel (Heizung, Warmwasser und Frostschutz Lüftung) sowie für die Gasherde im gesamten Auswertungszeitraum.

Im bilanzierten Jahreszeitraum (Mai 2004 bis April 2005) wurden vom Gaskessel insgesamt **7461,1 m<sup>3</sup>/a Gas** verbrannt, entsprechend  $5,0 \text{ m}^3/(\text{m}^2\text{a})$ . Dies entspricht





einer Energie von 74611 kWh/a, bzw. 50 kWh/(m<sup>2</sup>a) für die Anwendungen Warmwasser, Heizung und Frostschutz.

Im Bilanzzeitraum (Mai 2004 bis April 2005) bewegen sich die spezifischen monatliche Verbräuche zwischen 1,8 und 7,4 kWh/(m<sup>2</sup>a). Im Jahresmittel wurden monatlich 4,17 kWh/ (m<sup>2</sup> Monat) verbraucht.

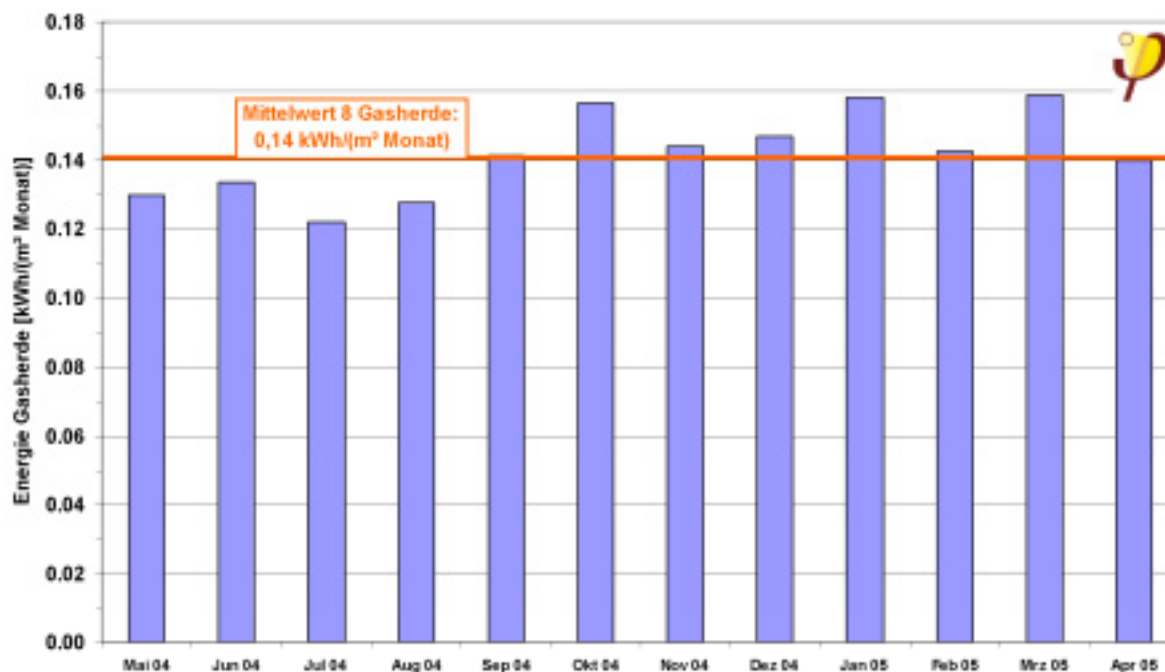


Abbildung 88: Monatlicher Gasverbrauch der 8 Gasherde bezogen auf die gesamte Energiebezugsfläche (Bilanzzeitraum).

Für die acht Gasherde im Gebäude werden im Bilanzjahr insgesamt 253,5 m<sup>3</sup>/a Gas benötigt, was 0,17 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup> a) entspricht. Für die Gebäudebilanz ist ein Bezug auf die gesamte Energiebezugsfläche sinnvoll, obwohl die Herde nur in acht Wohnungen installiert sind. Der Energieinhalt des Kochgases beträgt 2535 kWh/a, bzw. **1,7 kWh/(m<sup>2</sup>a)**. Die Monatsverbräuche sind relativ konstant und schwanken leicht um ihren Jahres-Mittelwert von 0,14 kWh/(m<sup>2</sup> Monat).

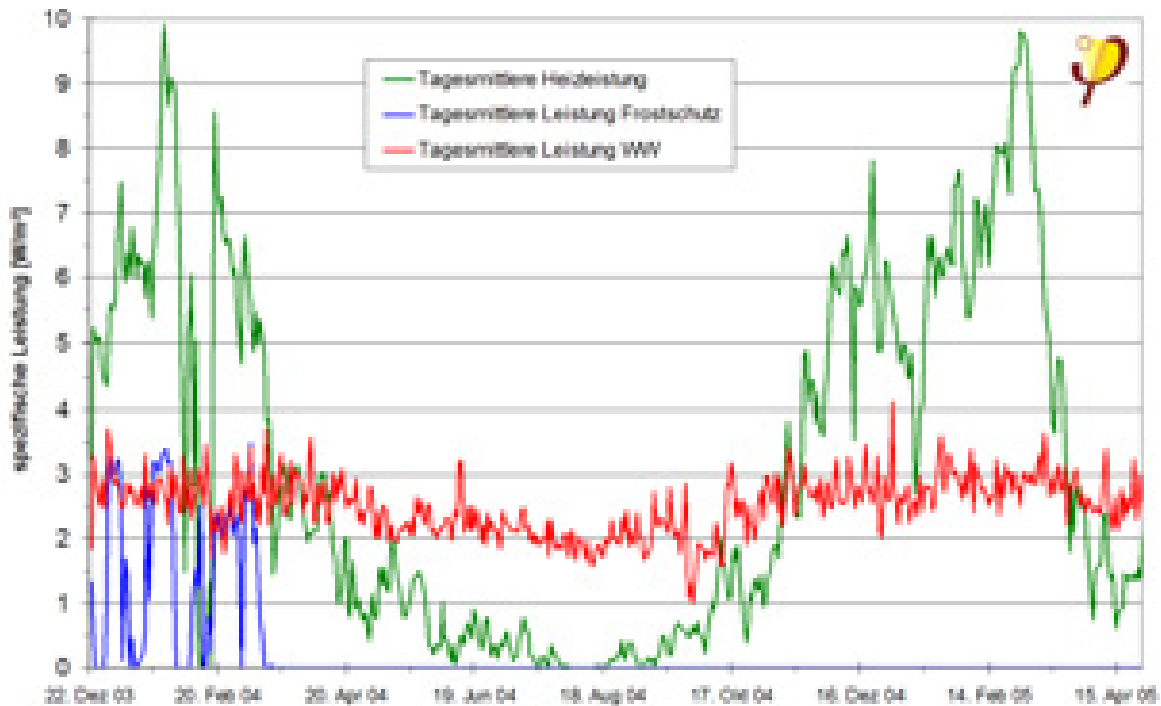
Die Energiebezugsfläche nur der acht Wohnungen mit den Gasherden beträgt 727,2 m<sup>2</sup>. Wird der Kochgasverbrauch auf diese Fläche bezogen, ergibt sich ein spezifischer durchschnittlicher Energieverbrauch für das Kochen mit Gas von **3,49 kWh/(m<sup>2</sup>a)**. Für jeden Gasherde wurden damit jährlich 316,9 kWh/(Herd a) zum Kochen benötigt.



## 5.6.2 Wärmeverbrauch

Durch den Gaskessel im DG wird der zentrale 1000-Liter-Speicher im Dachgeschoss mit Wärme versorgt. Aus dem Kessel beziehen die drei Bereiche Warmwasser, Heizung und Frostschutz direkt oder indirekt ihre Wärme.

Eine Übersicht über die spezifischen tagesmittleren Leistungen der mit den Wärmemengenzählern gemessenen drei Verbraucher für den gesamten Auswertungszeitraum ist Abbildung 89 zu entnehmen:



**Abbildung 89: Spezifische tagesmittlere Leistungen für Heizung, Frostschutz und Warmwasserbereitung im gesamten Messzeitraum.**

Die Kurve für die Warmwasserbereitung zeigt erwartungsgemäß eine leichte Sommersenke, die Heizungsleistung zeigt ebenfalls einen typischen jahreszeitlichen Verlauf. Die Leistung der Warmwasserbereitung beträgt im Mittel der Auswertzeit  $2,51 \text{ W/m}^2$ , die der Heizungsversorgung  $2,95 \text{ W/m}^2$ . Die maximale tagesmittlere Leistung für die Warmwasserbereitung beträgt  $5,2 \text{ W/m}^2$ , die der Heizwärmeversorgung  $9,9 \text{ W/m}^2$ .

Auffällig ist, dass das Frostschutzregister nur bis zum 14. März 2004 Leistung bezogen hat, im Winter 2004/2005 überhaupt nicht mehr. Durch die Auswertung wurde im Frühjahr 2004 festgestellt, dass es erhebliche Wärmeverbräuche für das Frostschutzregister gab. Die Überprüfung an Hand der Außentemperatur zeigt, dass das Heizregister zu früh aktiviert wurde. Auch bei noch niedrigeren Temperaturen wäre noch keine Einfriergefahr gegeben. Daher wurde durch den Planer der Anlage die Einstellung etwas nach unten korrigiert. Die Messung für die Regelung erfolgt bei dieser Anlage in der Fortluft. Die Grenztemperatur wurde im Juli 2004 von  $+5 \text{ °C}$  auf



+2 °C reduziert. Das Ergebnis war, dass es im Winter 2004/2005 gar keine Wärmeverbräuche für das Register mehr gegeben hat.

Die Wärmeverbräuche in Abbildung 90 zeigen aus diesem Grund nur von Januar bis März 2004 Energieaufwendungen für das Frostschutzregister. In diesen drei Monaten wurden allein 2,81 kWh/m<sup>2</sup> für den Frostschutz verbraucht.

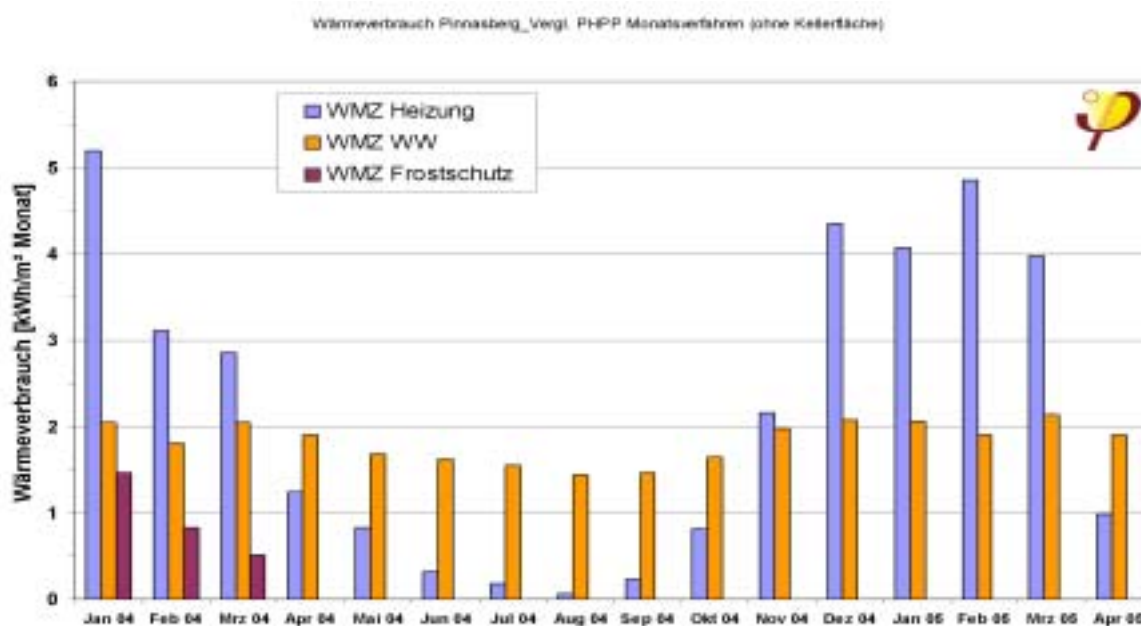


Abbildung 90: Monatssummen der Wärmeverbräuche im gesamten Auswertungszeitraum.

Die Auswertung für den Bilanz-Jahreszeitraum erfolgt im Anschluss in den nächsten Abschnitten.

### 5.6.2.1 Warmwasser

Die Wärmemengen für die Warmwasserbereitung werden im Primärkreislauf zwischen Pufferspeicher und Plattenwärmeübertrager gemessen. Damit werden die Umwandlungsverluste (Abwärme) des Wärmeübertragers mit erfasst. Die Warmwasserversorgung verfügt zur komfortableren Warmwasserversorgung über Zirkulationsleitungen in beiden Schächten. Die zusätzlichen energetischen Aufwendungen für den Betrieb der Zirkulationsleitungen sind in den Messdaten der Warmwassererwärmung damit ebenfalls enthalten.

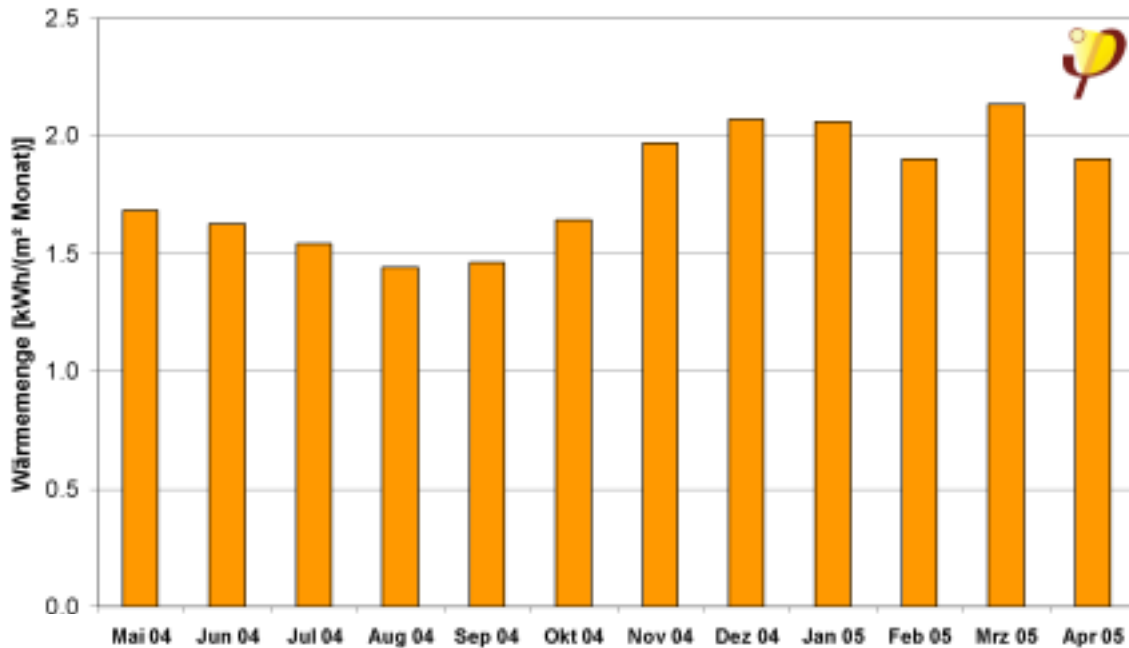


Abbildung 91: Monatliche spezifischen Wärmemengen zur Warmwassererwärmung im Bilanzjahr April 2004 bis Mai 2005.

Die monatlichen Verbräuche zur Warmwasserversorgung schwanken zwischen 1,4 und 2,1 kWh/(m<sup>2</sup> Monat). Im Gesamtjahreszeitraum addieren sich die Verbräuche zu **21,4 kWh/(m<sup>2</sup>a)**. Anders ausgedrückt werden für jeden der 42 Bewohner jährlich 761 kWh/(Jahr Person) zur Warmwasserbereitung aufgewendet.

Im Zertifizierungs-PHPP wurde für die Warmwasserversorgung inkl. der Verteilung ein Bedarf von 16,9 kWh/(m<sup>2</sup>a) angesetzt. Der gemessene Verbrauchswert liegt um 4,5 kWh/(m<sup>2</sup>a) darüber. Dies kann mehrere Ursachen haben: Es könnten die Verteil- und Zirkulationsleitungen schlechter gedämmt worden sein als angesetzt. Dies kann die Wärmeabgabe an das Gebäude deutlich erhöhen. Hinzu kommt, dass die Zirkulationspumpe in einem solchen Mehrfamilienhaus aufgrund einer Verschärfung in der Trinkwasserverordnung (ab 1.1.2003) 24 Stunden am Tag betrieben werden muss. Im Zertifizierungs-PHPP waren dagegen noch 16 Stunden angesetzt worden.

Des Weiteren ist es möglich, dass der Warmwasserverbrauch höher ist als angesetzt. Da in diesem Projekt keine Wärmemenge gemessen wurde, sondern primärseitig die Energiemenge zur Erwärmung des Warmwassers, kann dazu keine gesicherte Aussage gemacht werden. In anderen Messprojekten des PHI zeigte sich allerdings, dass der Ansatz der Wärmemenge im PHPP sogar eher relativ hoch ist. Die Vermutung liegt nahe, dass bei diesem Projekt die Wärmedämmung der Warmwasserleitungen noch hochwertiger bzw. noch sorgfältiger hätten ausgeführt werden müssen. Dann könnte die Wärmeabgabe weiter reduziert werden.



**Tabelle 15: Monatliche Wärmeverbräuche zur Warmwassererwärmung im Bilanzzeitraum.**

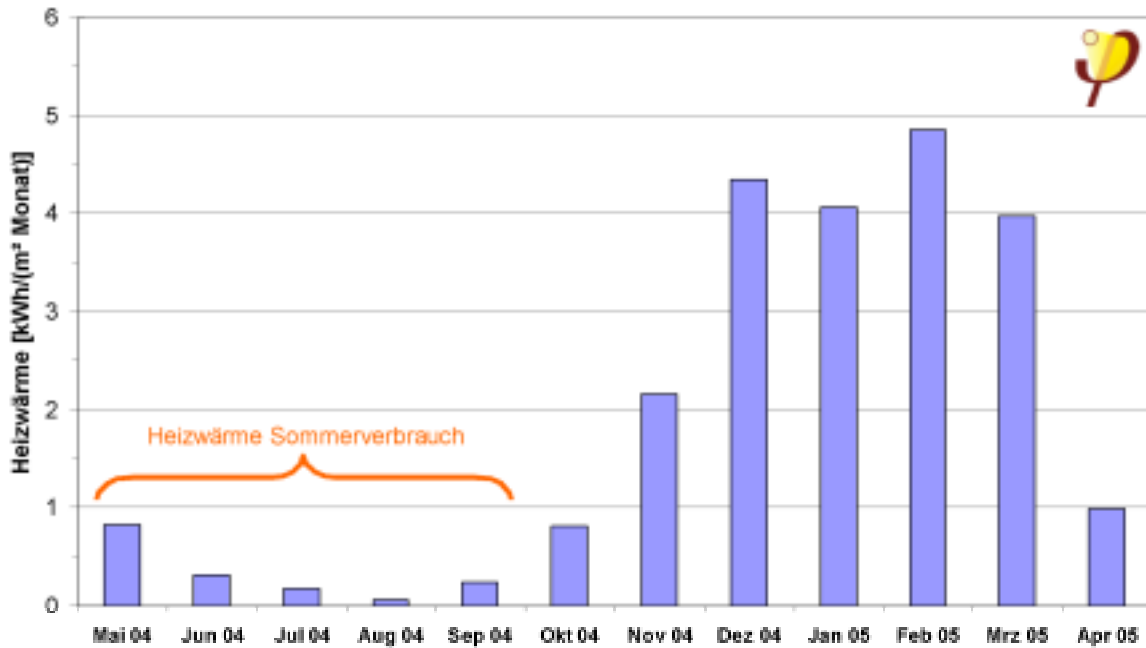
	<b>WMZ WW</b> [kWh/(m <sup>2</sup> Monat)]
Mai 04	1,69
Jun 04	1,63
Jul 04	1,54
Aug 04	1,44
Sep 04	1,46
Okt 04	1,64
Nov 04	1,97
Dez 04	2,07
Jan 05	2,06
Feb 05	1,90
Mrz 05	2,13
Apr 05	1,90
<b>Summe</b>	<b>21,43</b>

### 5.6.2.2 Heizwärme und Heizleistung

Die zentrale Messung der Wärmeverbräuche beinhaltet sowohl die Versorgung der wohnungsweisen Heizregister als auch der Heizkörper in den Bädern und Aufenthaltsräumen. Die Rohrleitungswärmeabgaben der Verteilungen im gesamten Haus ab dem „WMZ Heizung“ im DG sind in den Messwerten mit enthalten. Die monatlichen Werte schwanken zwischen 0,06 und 4,85 kWh/(m<sup>2</sup> Monat). Als Jahreswärmeverbrauch werden in dem Bilanzjahr (Mai 2004 bis April 2005)

**22,8 kWh/(m<sup>2</sup>a)**

gemessen. Damit liegen sie geringfügig über dem Wärmeverbrauch für die Warmwasserbereitung.



**Abbildung 92: Monatliche spezifische Heizwärmeverbräuche im Bilanzjahr April 2004 bis Mai 2005.**

Bei den Monatswerten fällt auf, dass in den allen Sommermonaten Heizwärme verbraucht wurde. Die Raumlufttemperaturen in der vorausgehenden Auswertung zeigen, dass die Wohnungen im Sommer ausreichend warm waren und es nicht notwendig war, Wohnungen zu heizen. In der nachträglichen Recherche stellte sich heraus, dass die zentrale Heizkreispumpe nicht ausgeschaltet wurde. Vermutlich waren in einigen Wohnungen hohe Solltemperaturen während der Sommerzeit eingestellt (Regler im Flur z.B. auf „6“ entsprechend 25 °C). Dann ist es möglich, dass diese Temperaturen z.B. in der Nacht (ggf. Nachtlüftung) unterschritten wurden. Die Folge war, dass das Heizregister der entsprechenden Wohnungen dann die Zuluft beheizt. Entsprechend verhält es sich mit Heizkörperthermostaten, welche im Sommer hoch eingestellt sind. Für die sommerlichen Temperaturen ist es natürlich kontraproduktiv, wenn ungewollt geheizt wird, insbesondere, wenn in der Nachbarwohnung gleichzeitig versucht wird, mittels Nachtlüftung möglichst niedrige Temperaturen zu erzielen. Durch die gute thermische Kopplung ist dies dann schlechter möglich. Als die Sommerheizung bei der Auswertung festgestellt wurde, wurde den Bewohnern empfohlen, die Heizkreispumpe im Sommer komplett außer Betrieb zu nehmen. Auch in konventionellen Wohngebäuden ist im Sommer eine Möglichkeit der Beheizung nicht gegeben.

Die Verbräuche von Mai bis September können als ungewollt und unerwünscht eingestuft werden. Der Verbrauch in diesen 5 Monaten summiert sich auf 1,6 kWh/m<sup>2</sup>. Wird dieser Sommerverbrauch von dem Jahresverbrauch abgezogen, ergibt sich der

**Heizwärmeverbrauch (Oktober 2004 bis April 2005) von 21,2 kWh/(m<sup>2</sup>a).**



Tabelle 16: Monatliche Heizwärmeverbräuche im Bilanzzeitraum

	WMZ Heizung [kWh/(m <sup>2</sup> Monat)]
Mai 04	0,83
Jun 04	0,31
Jul 04	0,18
Aug 04	0,06
Sep 04	0,24
Okt 04	0,81
Nov 04	2,16
Dez 04	4,35
Jan 05	4,07
Feb 05	4,85
Mrz 05	3,97
Apr 05	0,99
<b>Summe</b>	<b>22,83</b>

Der Vergleich zu anderen vermessenen Gebäuden in unterschiedlichen energetischen Qualitäten ist in Abbildung 93 dargestellt.

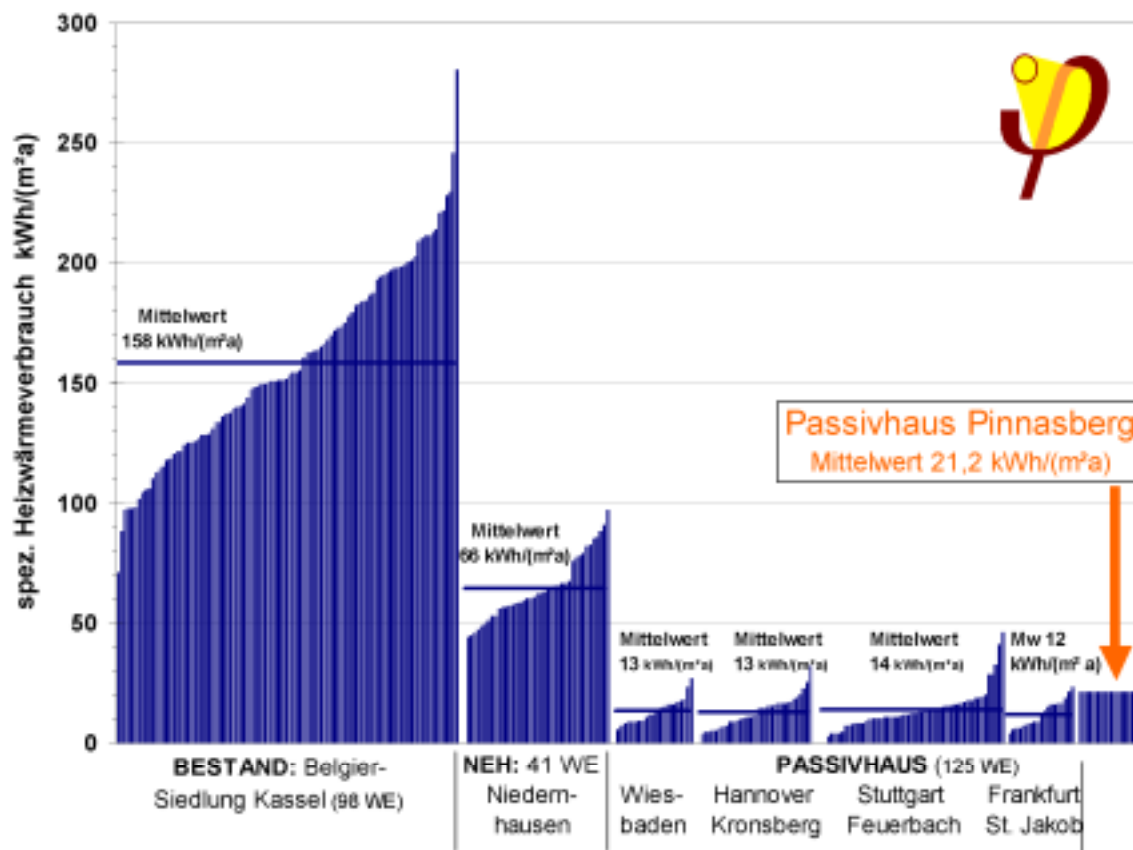


Abbildung 93: Vergleich der Verbrauchsstatistik vermessener Gebäude mit unterschiedlichen Dämmstandards. Es handelt sich um Gruppen (Altbau, Niedrigenergie- und Passivhäuser) jeweils baugleicher Reihenhäuser oder Mehrfamilienhäuser (Quelle: ergänzt nach [Feist 2005]).



Der Winter-Wärmeverbrauch von 21,2 kWh/(m<sup>2</sup>a) ist für das Gebäude ein gutes Ergebnis, er ist allerdings deutlich höher als der mit dem PHPP vorab prognostizierte Wert von 12,9 kWh/(m<sup>2</sup>a). Die Zertifizierung fand im Wesentlichen vor Baufertigstellung statt, die für die Zertifizierung verwendeten Daten stammten aus den damals vorliegenden Plänen und Angaben. Die PHPP-Berechnung wurde im Rahmen der Messdatenauswertung dem aktuellen Zustand des Gebäudes im Messzeitraum angepasst. Die folgenden Veränderungen wurden vorgenommen:

- Die Verschattung durch die Balkonüberstände und benachbarte Gebäude wurde angepasst.
- Das Referenzvolumen aus der Drucktestauswertung erwies sich als zu hoch und wurde nach Rücksprache mit dem Gebäudedichtheitsprüfer korrigiert.
- Der Windschutzkoeffizient wurde der großen Höhe des weitgehend freistehenden Gebäudes entsprechend gewählt.
- Die Energiebezugsfläche wurde nach Umplanungen leicht verändert. Die EBF hat sich gegenüber der Zertifizierungs-Grundlage um 4,5 m<sup>2</sup> vergrößert.
- Zur Wärmebrückenreduzierung zwischen Keller/Tiefgarage und Wohnbereich war ein spezieller Leichtbeton eingesetzt worden. Bei Nachprüfung erwies sich, dass sich die Angaben zur Wärmeleitfähigkeit dieses Betons auf das nicht amierte Material beziehen; die Wärmebrückenverlustkoeffizienten für die Dämmung durchdringende Wände wurden korrigiert.
- Die im ausgewerteten Jahr gemessenen Raumtemperaturen, die um 1,5 K über den standardmäßig in der Zertifizierung angesetzten 20 °C lagen, sowie die gemessenen Wetterdaten wurden eingesetzt.
- Die entgegen den ursprünglichen Annahmen im Müll- und Fahrradraum eingebauten gewöhnlichen Stahltüren mit schlechter Wärmedämmung wurden berücksichtigt.
- Die zusätzliche Infiltration durch die Lüftungsöffnung im Müllraum (vgl. auch die Auswertung zur Thermographie) und durch die undichten Türen zur Tiefgarage (vgl. die Auswertung der Tracergasmessung) wurde berücksichtigt.
- Die Wärmeverluste durch das Treppenhaus wurden nach der Methode der Untersuchung in diesem Bericht durchgeführt (vgl. Kapitel 6).

Die so aktualisierte PHPP-Berechnung führt auf einen Heizwärmebedarf, berechnet mit dem Monatsverfahren, von 21,2 kWh/(m<sup>2</sup>a). Der Unterschied zum Zertifizierungswert erklärt sich im Wesentlichen aus den höheren Raumtemperaturen und den verschiedenen zusätzlichen Wärmeverlusten. Der aktualisierte Wert stimmt ziemlich gut mit dem gemessenen Heizwärmebedarf überein; tatsächlich liegt die erreichbare Genauigkeit der Berechnung allein aufgrund der Ungenauigkeiten in den Eingabegrößen bei ±3 kWh/(m<sup>2</sup>a). Im Rahmen dieser Genauigkeit kann der gemessene Heizwärmeverbrauch mit dem PHPP nachvollzogen werden.





Die zusätzlichen beheizten **Kellerflächen** in der nicht so hochwertigen Dämmhülle werden von der Wärmeversorgung mit versorgt. Diese Flächen werden in der EBF, wie beschrieben, nicht berücksichtigt. Da nicht bekannt ist, inwieweit die Räume dauerhaft beheizt wurden und auf welche Temperaturen, konnten diese nicht vollständig als beheizte Fläche angerechnet werden. Durch Stichproben bei Ortsterminen und der Tatsache, dass der Gästeraum häufiger benutzt wird, sind hier jedoch gewisse Wärmeverbräuche zum Ansatz zu bringen. Wird die Fläche vom beheizten und belüfteten Kellerbereich (74,4 m<sup>2</sup>) komplett als EBF berücksichtigt, verringert sich der spezifische Winter-Heizwärmeverbrauch von 21,2 auf **20,2 kWh/(m<sup>2</sup>a)**.

### 5.6.2.3 Heizleistung

Für eine reine Zuluftheizung, welche in Passivhäusern durch die sehr gut wärmege-dämmte Hülle erst möglich wird, ist die maximale Heizleistung durch die hygienisch notwendige Luftmenge begrenzt. Dies resultiert aus einer weiteren Grenze: die maximale Temperatur der Zuluft nach dem Heizregister sollte ca. 55 °C nicht überschreiten, da sonst die geruchsintensive Staubverschmelzung beginnt. Die maximal in diesem Passivhaus über die Zuluft zu transportierende Heizleistung beträgt laut der PHPP-Berechnung für dieses Gebäude 12,0 W/m<sup>2</sup>. Untersucht man die gemessenen tagesmittleren Heizleistungen im gesamten Zeitraum, zeigt sich ein Spitzenwert von **9,9 W/m<sup>2</sup>** im Januar 2004 und von **9,8 W/m<sup>2</sup>** im März 2005. Die maximal möglichen Leistungen sind damit noch deutlich unterschritten worden, es besteht eine ausreichende Leistungsreserve. Diese Analyse zeigt, dass das Gebäude wie ein klassisches Passivhaus allein über die Zuluft beheizbar wäre. Die zusätzlichen Heizflächen wären aus Gründen der Beheizbarkeit nicht erforderlich.

In Abbildung 94 sind zusätzlich zu den tagesmittleren Heizleistungen auch die Außentemperaturen aufgetragen. Im Februar 2003 gab es zeitweise Ausfälle des Heizkessels, die der Grund für den Einbruch der Heizleistungen sind. Durch die Stromausfälle im Januar 2005, welche das gesamte Gebäude betrafen, wurde auch die Heizungsversorgung unterbrochen. Dies zeigt sich an den deutlich reduzierten Heizleistungen um den 12. Januar 2005. Aber auch die kurzzeitige Erhöhung der Außentemperatur hat in diesem Zeitraum ihren Anteil an der reduzierten Heizleistung.

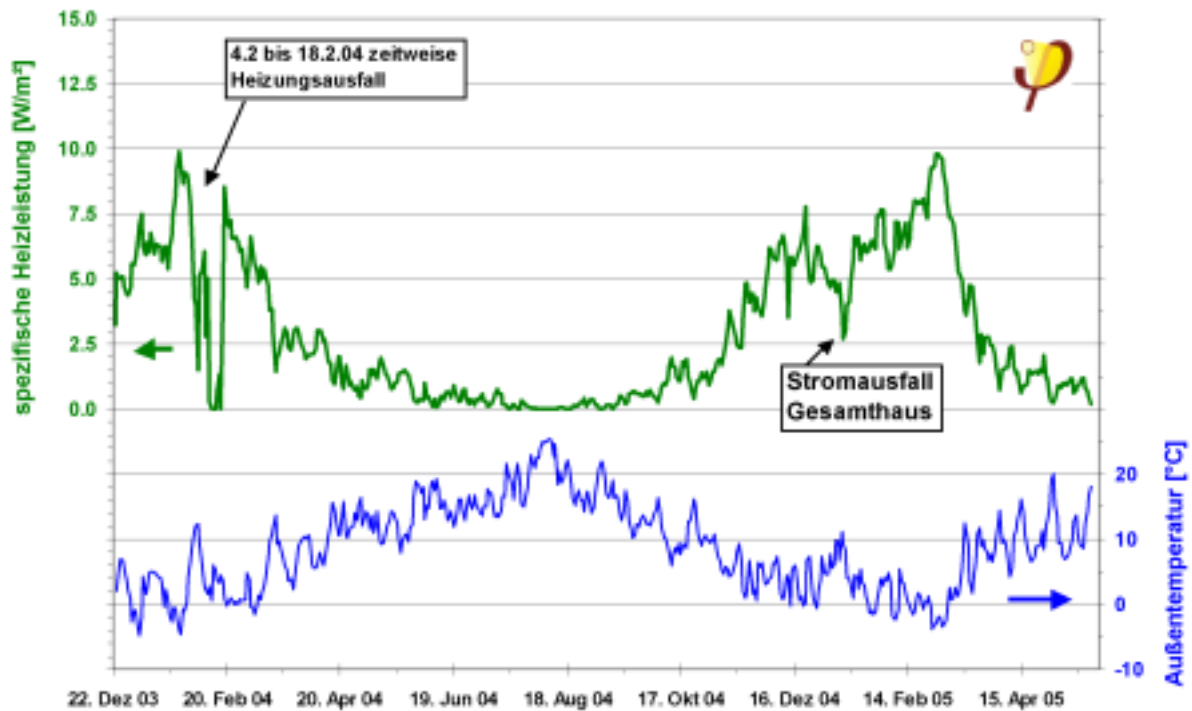


Abbildung 94: Spezifische Heizleistungen und Außentemperaturen im gesamten Auswertzeitraum (Tagesmittelwerte).

## Heizkurve

Die theoretische Heizkurve eines Gebäudes wird aus den Daten der Gebäudehülle (Flächen, U-Werte), der Lüftungsanlagen (Luftmengen und Wärmerückgewinnung) und der inneren Wärmequellen (Stromverbräuche, Personen) sowie der mittleren Innentemperatur bestimmt. Sie ist zur Beurteilung der Abhängigkeit der Heizlast von der Außentemperatur hilfreich. Neben der theoretischen Heizkurve werden die Messwerte der tagesmittleren Heizleistung über der Außentemperatur in dem Diagramm aufgetragen. Der Abstand der gemessenen tagesmittleren Leistungen von der Geraden senkrecht nach unten ist vor allem auf passiv genutzte Solarstrahlung zurückzuführen. Liegen vereinzelt Punkte über der Geraden, handelt es sich z.B. um Aufheizvorgänge (z.B. nach dem Winterurlaub oder nach einem Ausfall der Heizung).

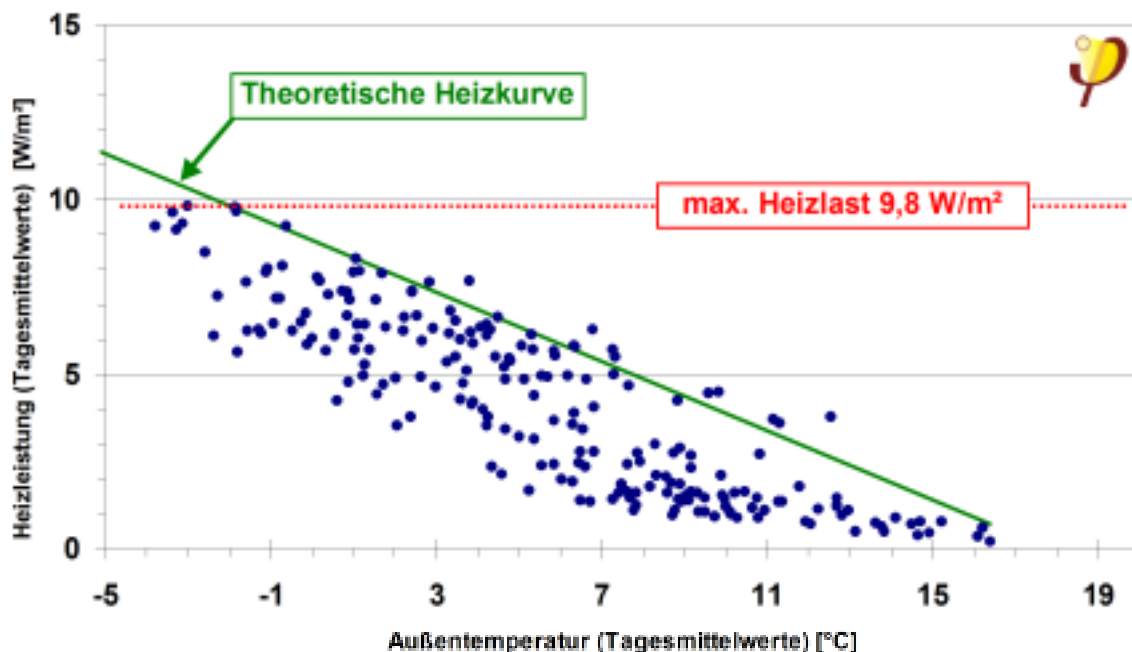


Abbildung 95: Theoretische Heizkurve des Gebäudes und tagesmittlere Heizleistungen über der Außentemperatur aufgetragen (Heizzeit 2004/2005).

Die tagesmittleren Heizleistungen in Abbildung 95 zeigen, dass ab etwa 11 °C Außentemperatur kaum noch nennenswert Heizleistungen gemessen wurden. Der Einfluss der Solarstrahlung ist durch die deutlich unter der Geraden („Heizkurve“) liegenden Punkte zu erkennen. Insbesondere bei Außentemperaturen über ca. 7,5 °C ist dies noch stärker der Fall als zwischen 1 und 7 °C. Unter 1 °C Außentemperatur befinden sich die Messpunkte dann wieder überwiegend mit Abstand unter der Geraden. Das hat seine Ursache im mitteleuropäischen Klima: Die trüben, solarärmeren Tage sind die mit Außentemperaturen etwa um den Gefrierpunkt oder etwas darüber. Hier ist beim Passivhaus der passiv solare Beitrag zur Raumwärmung am geringsten, die notwendige Heizleistung damit größer.

Die Heizkurve belegt die gute Funktion des Gebäudes und den relativ großen Anteil der passiv solaren Beiträge durch die nahezu unverschatteten Ost- und Süd-Fassaden. Sie sind ein weiterer Beleg für die Validität des Heizlastverfahrens nach [Bisanz 1999].

#### 5.6.2.4 Wärmeverteilung/Speicherung

Werden die gemessenen monatlichen Wärmemengen gegenüber der gelieferten Gas-Energiemenge bilanziert, ergibt sich ein monatlicher Differenzbetrag. Diese Wärmemengen beinhalten die:

- Umwandlungswärmemengen und Bereitschaftswärmeabgaben des Kessels,

- der Rohrleitungswärmeabgaben vom Kessel bis zum Speicher und vom Speicher bis zu den drei WMZ sowie
- die Wärmeabgabe des Speichers selbst.

Bei diesen Wärmemengen (hier kurz „Verteilung/Speicherung“) handelt es sich nur zum Teil um „Verluste“, da sich die Heizzentrale im DG innerhalb der thermischen Hülle befindet. Die Wärmeabgaben kommen damit, zumindest in der Zeit, in der eine Beheizung notwendig ist, dem Gebäude zugute. Durch die relativ geringe Dämmung („Standard“) der Lüftungskanäle und Fomteile etc., welche im Technikraum mit großen Oberflächen vertreten sind, ist es in der Winterzeit in der Dachzentrale trotzdem relativ kühl.

Die Wärmemengen für Verteilung/Speicherung betragen zwischen 0,30 und 0,71 kWh/(m<sup>2</sup> Monat). Sie sind im Winter deutlich höher als im Sommer. Als Jahressumme ergibt sich ein Wert von **5,8 kWh/(m<sup>2</sup>a)**. Rechnet man die Wärmeabgabe in monatliche absolute Dauerleistung um, ergeben sich Werte zwischen 621 und 1459 Watt, die im Technikraum abgegeben werden. Hier ist noch ein erhebliches Energiesparpotenzial vorhanden. Durch erhöhte Dämmung aller Bauteile (Rohrleitungen, Pumpen, Fomteile, Lüftungskanäle, Wärmetauscher, Speicher) könnten die noch sehr hohen unerwünschten Wärmeleistungen reduziert werden.

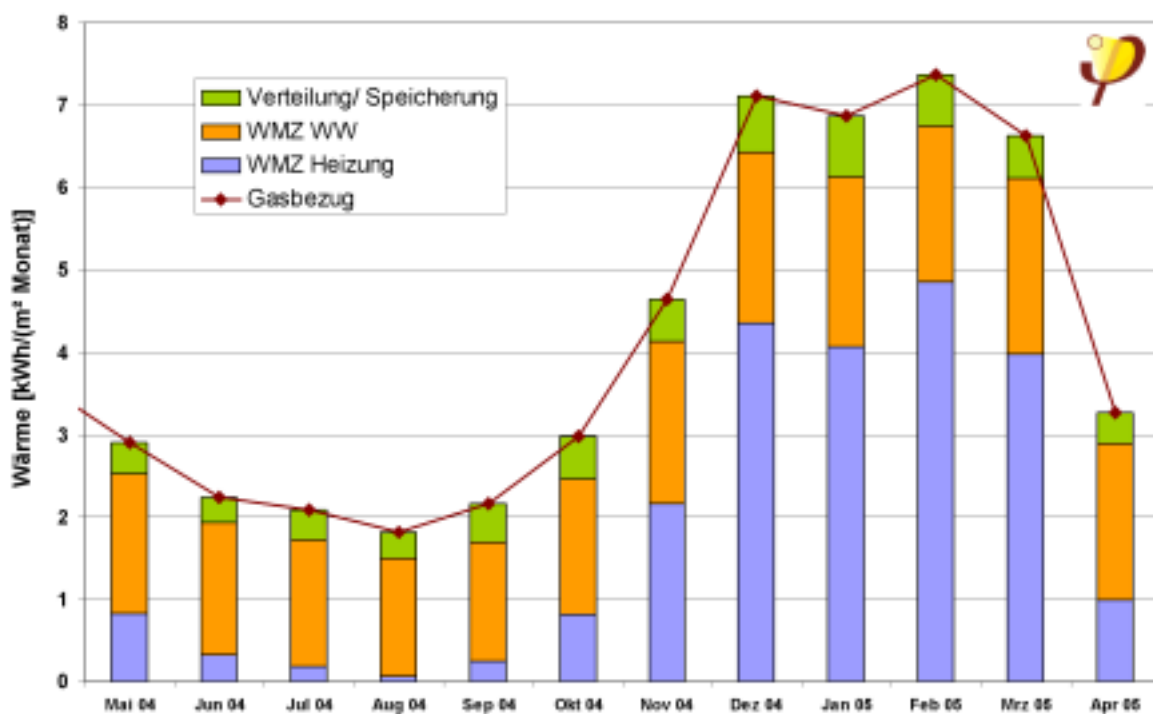


Abbildung 96: Monatliche Bilanz der Wärmeverbräuche der drei WMZ. Im Bilanzjahreszeitraum wurden keine Wärmeverbräuche für den Frostschutz gemessen. Der Differenzwert (grün) gegenüber der Wärmelieferung durch den Kessel (Gasbezug) enthält die Umwandlungs- und Speicherwärmeabgaben im Technikraum.

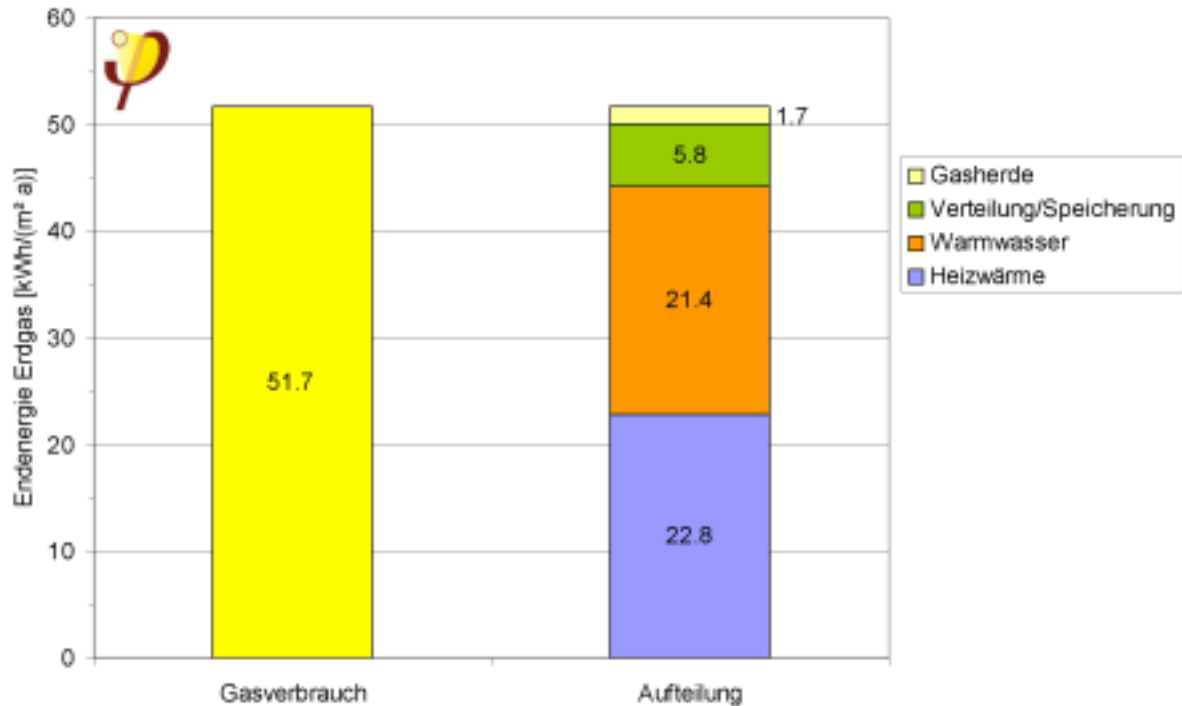


Tabelle 17: Monatliche Wärmemengen für Verteilung/Speicherung im Bilanzzeitraum

	<b>Verteilung/ Speicherung</b> [kWh/(m <sup>2</sup> Monat)]
Mai 04	0,38
Jun 04	0,30
Jul 04	0,37
Aug 04	0,31
Sep 04	0,47
Okt 04	0,52
Nov 04	0,52
Dez 04	0,68
Jan 05	0,73
Feb 05	0,61
Mrz 05	0,51
Apr 05	0,37
<b>Summe</b>	<b>5,77</b>

## 5.7 Energiebilanz

Ausgehend vom gesamten Gasverbrauch des Gebäudes (Messungen mit der höchsten Genauigkeit) beträgt der Endenergieverbrauch im Zeitraum Mai 2004 bis April 2005 bezogen auf die gesamte Energiebezugsfläche 51,7 kWh/(m<sup>2</sup>a). Die Verteilung auf die einzelnen Verbrauchsbereiche ist in den Abschnitten weiter oben bereits dargestellt worden. Zusammengefasst sind die Werte in Abbildung 97 aufgetragen. Die Bereiche Warmwasser und Heizwärme sind nahezu gleich groß vertreten. Frostschutz für das Heizregister wurde im Jahres-Bilanzzeitraum trotz Frosttemperaturen nicht benötigt. Der Anteil der Verteilung/Speicherung im DG trägt mit erheblichen 11,2 % zum gesamten Gasverbrauch bei (bzw. 11,5 % am Gasverbrauch ohne Gasherde).

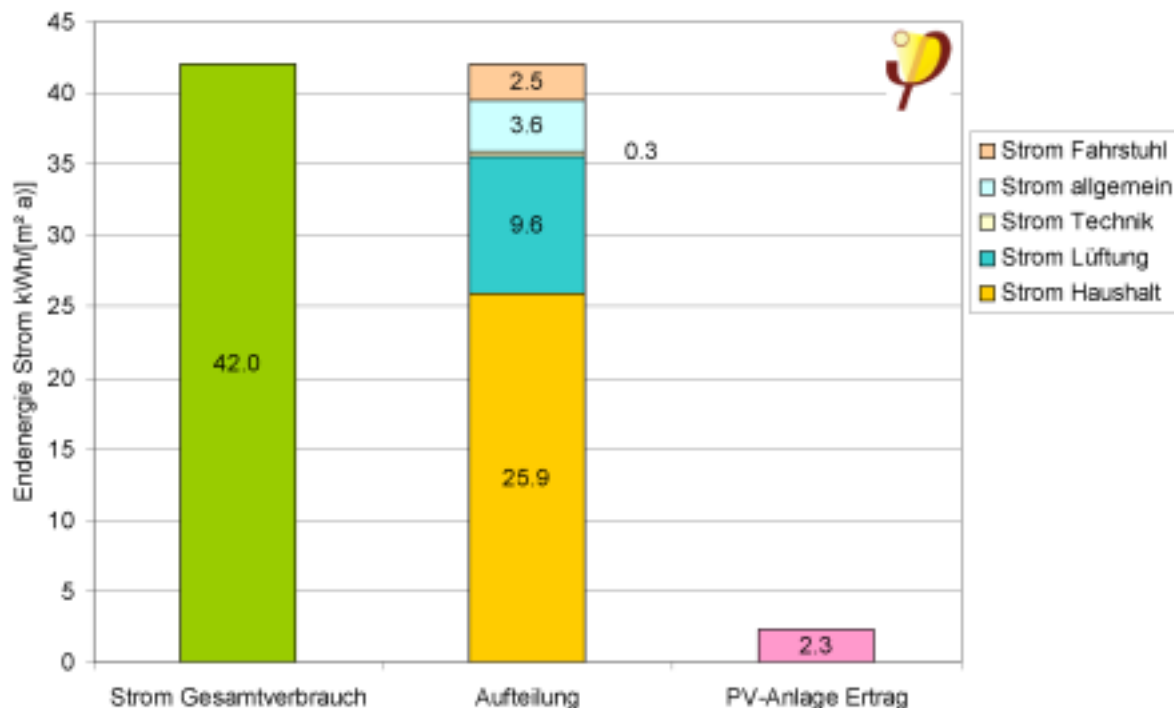


**Abbildung 97: Aufteilung des gesamten Gasbezugs (Kessel und Herde) auf die unterschiedlichen Verbrauchsbereiche (Bilanzzeitraum Mai 2004 bis April 2005).**

Die Aufteilung der Monatsverbräuche ohne die Gasherde nach den unterschiedlichen Wärmeverbrauchsbereichen ist bereits in Abbildung 96 dargestellt.

Der andere Teil des Endenergieverbrauchs wird über elektrischen Strom gedeckt. Der Stromverbrauch im Bilanzzeitraum, bezogen auf die EBF, beträgt 42 kWh/(m²a). Der gesamte Strombezug teilt sich auf fünf unterschiedliche Verbrauchsbereiche (Haushalte, Lüftung, Technik, Allgemein, Fahrstuhl) auf. Darin sind wie oben beschrieben die Verbräuche für den Bereich der Quartiersgaragen nicht enthalten.

Die Stromerträge der **Photovoltaikanlage** (5 kWp) an der Gebäudefassade werden in das Stromnetz eingespeist. Im Bilanzjahreszeitraum wurde ein Ertrag von 3398,2 kWh/a erzeugt. Bezogen auf die EBF entspricht dies einem spezifischen Ertrag von 2,3 kWh/(m²a). Der Ertrag kann damit die Aufwendungen für den Betrieb des Fahrstuhls knapp decken.



**Abbildung 98: Aufteilung des gesamten Strombezugs auf die unterschiedlichen Verbrauchsbereiche. Zusätzlich ist der Ertrag der Solarstromanlage aufgeführt. Die Jahreswerte wurden in dem Bilanzzeitraum Mai 2004 bis April 2005 gemessen.**

Das Zertifizierungs-PHPP weist für das Gebäude Strom-Endenergiewerte von 29,0 kWh/(m²a) aus. Diese sind insbesondere aufgrund der Lüftungsanlage und des im PHPP nicht bilanzierten Fahrstuhls deutlich höher. Aber auch die allgemeinen Stromverbräuche sind relativ hoch, da die elektrischen Türöffner, die Nutzung der Gemeinschaftsräume und z.B. die Serveranlage im Keller vorab nicht berücksichtigte elektrische Verbräuche darstellen. Wenn der Stromverbrauch der Lüftungsanlage wie diskutiert nach der angestrebten Reparatur um 55 % reduziert wird, ergibt die Summe 36,7 kWh/(m²a) anstelle der gemessenen 42,0 kWh/(m²a).

Die gesamte Energielieferung an das Gebäude muss mit einer eindeutigen Bilanzgrenze (hier: thermische Gebäudehülle) bilanziert werden. Eine Ausnahme stellen hier nur die komplett außerhalb der Hülle liegenden Verbraucher der Quartiersgarage dar. Die Endenergie-Summe der gemessenen Gas- und Elektroverbräuche beträgt **93,7 kWh/(m²a)**.

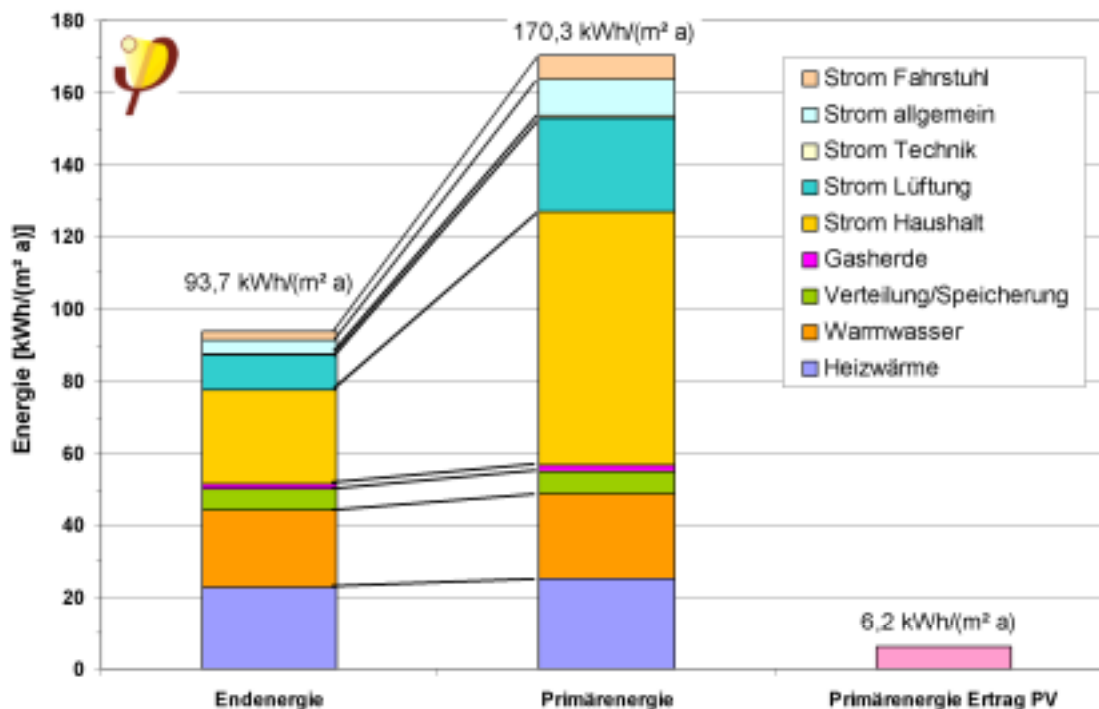


## 5.7.1 Primärenergie

### 5.7.1.1 Primärenergie gesamt

Für die Bewertung des Gebäudes ist die primärenergetische Beurteilung der Endenergieverbräuche maßgeblich. Nur diese zeigen an, wie groß die Umweltbelastungen durch den Betrieb des Gebäudes einzuordnen sind bzw. wie hoch die Einsparung sich gegenüber herkömmlichen Gebäuden darstellt.

Die gesamten Endenergieverbräuche des Gebäudes (Bilanzgrenze: thermische Hülle) werden dazu primärenergetisch bewertet. Diese Bewertung erfolgt mit sog. Primärenergiefaktoren, welche die Herstellungenergie der unterschiedlichen Energieträger berücksichtigen. Nach [Gemis] betragen die Faktoren für den Strommix in Deutschland 2,7 kWh/kWh und für Erdgas 1,1 kWh/kWh. Werden die Endenergieverbräuche aus dem vorherigen Abschnitt damit bewertet, ergibt sich das folgende Bild:



**Abbildung 99:** Primärenergetische Bewertung der gesamten Endenergieverbräuche des Gebäudes (Jahresbilanzzeitraum Mai 2004 bis April 2005, Bezugsgröße: Energiebezugsfläche). Zusätzlich ist der Ertrag der PV-Anlage primärenergetisch bewertet mit aufgetragen.

Die primärenergetische Bewertung liefert insgesamt 170,3 kWh/(m²a). Hier fallen die Stromverbräuche ganz besonders ins Gewicht. Der einzuhaltende Grenzwert für Passivhäuser beträgt 120 kWh/(m²a). Die Ursache der Überschreitung um 42 % wurde bereits diskutiert. Hier seien nochmals insbesondere die zu hohen Stromverbräuche der Lüftungsanlage, welche sich künftig etwa halbieren sollten und



diverser bei der Zertifizierung nicht berücksichtigter elektrischer „Sonderanwendungen“ (Fahrstuhl, Server, Gemeinschaftsräume, Aufwendungen für barrierefreies Wohnen). Die etwas höheren Heizwärme- und Warmwasserverbräuche schlagen hier weniger stark zu Buche. Wenn die diskutierten Einsparungen bei der Lüftungsanlage erzielt werden, ergibt sich ein Primärenergiekennwert von 156 kWh/(m<sup>2</sup>a), bezogen auf die Energiebezugsfläche (beheizte Wohnfläche). Dieser Primärenergiekennwert beinhaltet auch den elektrischen Haushaltsstrom.

Der Anteil des erzeugten und eingespeisten Solarstromes (PV-Anlage) wird ebenfalls primärenergetisch mit dem Faktor 2,7 bewertet und beträgt dann 6,2 kWh/(m<sup>2</sup>a). Dieser Ertrag kann bei der Beurteilung dem Gebäude gutgeschrieben werden, also vom gesamten Primärenergieverbrauch abgezogen werden. Die Summe reduziert sich dann auf 164,1 kWh/(m<sup>2</sup>a) (inkl. Haushaltsstrom, bezogen auf die Energiebezugsfläche).

Bei einem Standardgebäude (konventionelle Bauweise) würde der nicht erneuerbare Primärenergieverbrauch um etwa 100 % höher liegen.

### 5.7.1.2 Primärenergie für Heizung, Lüftung und Warmwasser

Üblicherweise werden bei den unvollständigen Bilanzierungen der [EnEV] nur die Aufwendungen für Heizung, Lüftung, Warmwasser und Hilfsstrom (Technik) berücksichtigt. Dies ist aus physikalischer Sicht eine willkürliche Grenze, da insbesondere die Wärmeabgabe aller Elektrogeräte des Haushalts in einem hochwärmegeprägten Gebäude einen erheblichen Beitrag zur Raumheizung darstellen. Aus Gründen der Vergleichbarkeit wird diese reduzierte Bilanz hier ebenfalls dargestellt.

Die Summe der Endenergieverbräuche für die Anwendungen Heizung, Lüftung, Warmwasser inkl. Hilfsstrom beträgt genau 60 kWh/(m<sup>2</sup>a). Bewertet mit den oben genannten Faktoren zur primärenergetischen Beurteilung [Gemis] ergibt sich ein wohnflächenspezifischer Primärenergieverbrauch von 81,9 kWh/(m<sup>2</sup>a).

In der [EnEV] wird als Bezugsgröße für Gebäude jedoch die viel größere Nutzfläche  $A_N$  verwendet. Sie wird aus dem Gebäudevolumen pauschal berechnet. Für das hier untersuchte Gebäude beträgt sie – wie in Abschnitt 3.4 aufgeführt – 2301 m<sup>2</sup> und ist damit 54 % größer als die im gesamten Bericht verwendete Energiebezugsfläche. Wird der Primärenergie-Kennwert (PE) für Heizung, Lüftung, Warmwasser inkl. Hilfsstrom auf diese Fläche bezogen, ergibt sich ein spezifischer Primärenergieverbrauch entsprechend EnEV-Nomenklatur von 53,1 kWh/(m<sup>2</sup>a).

Wenn die Einsparungen bei den elektrischen Verbräuchen der Lüftungsanlage nach den angestrebten Reparaturen realisiert werden, beträgt der Primärenergieverbrauch für Heizung, Lüftung, Warmwasser und Hilfsstrom noch **67,6 kWh/(m<sup>2</sup><sub>EBF</sub>a)** bei Ansatz der Energiebezugsfläche, bzw. noch **43,8 kWh/(m<sup>2</sup><sub>AN</sub>a)** bei Bezug auf die Nutzfläche  $A_N$ .



Das Ergebnis dieses Bauprojektes ist somit im Licht der derzeitigen üblichen Bewertung als ausgezeichnet anzusehen.

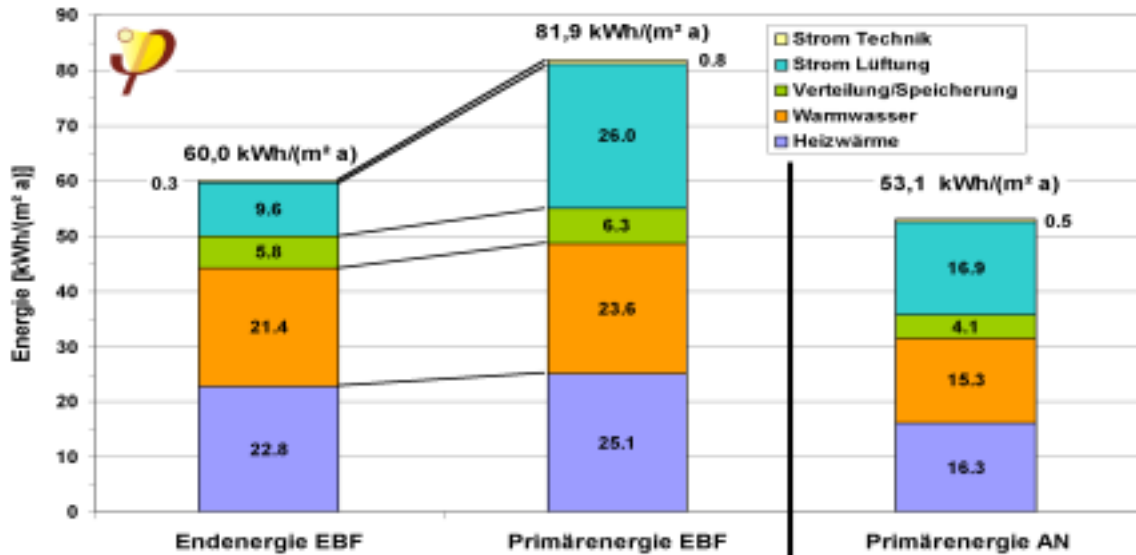


Abbildung 100: Primärenergetische Bewertung der Endenergieverbräuche des Gebäudes für Heizung, Warmwasser und Lüftung. Die Bezugsgröße der Primärenergieverbräuche ist zum einen die Energiebezugsfläche EBF und zum anderen die Nutzfläche  $A_N$  nach der EnEV (Jahresbilanzzeitraum Mai 2004 bis April 2005). Dargestellt sind hier generell nur gemessene Verbrauchswerte. Das Ergebnis ist trotz der im Bericht beschriebenen Optimierungspotentiale als ausgezeichnet zu bewerten.



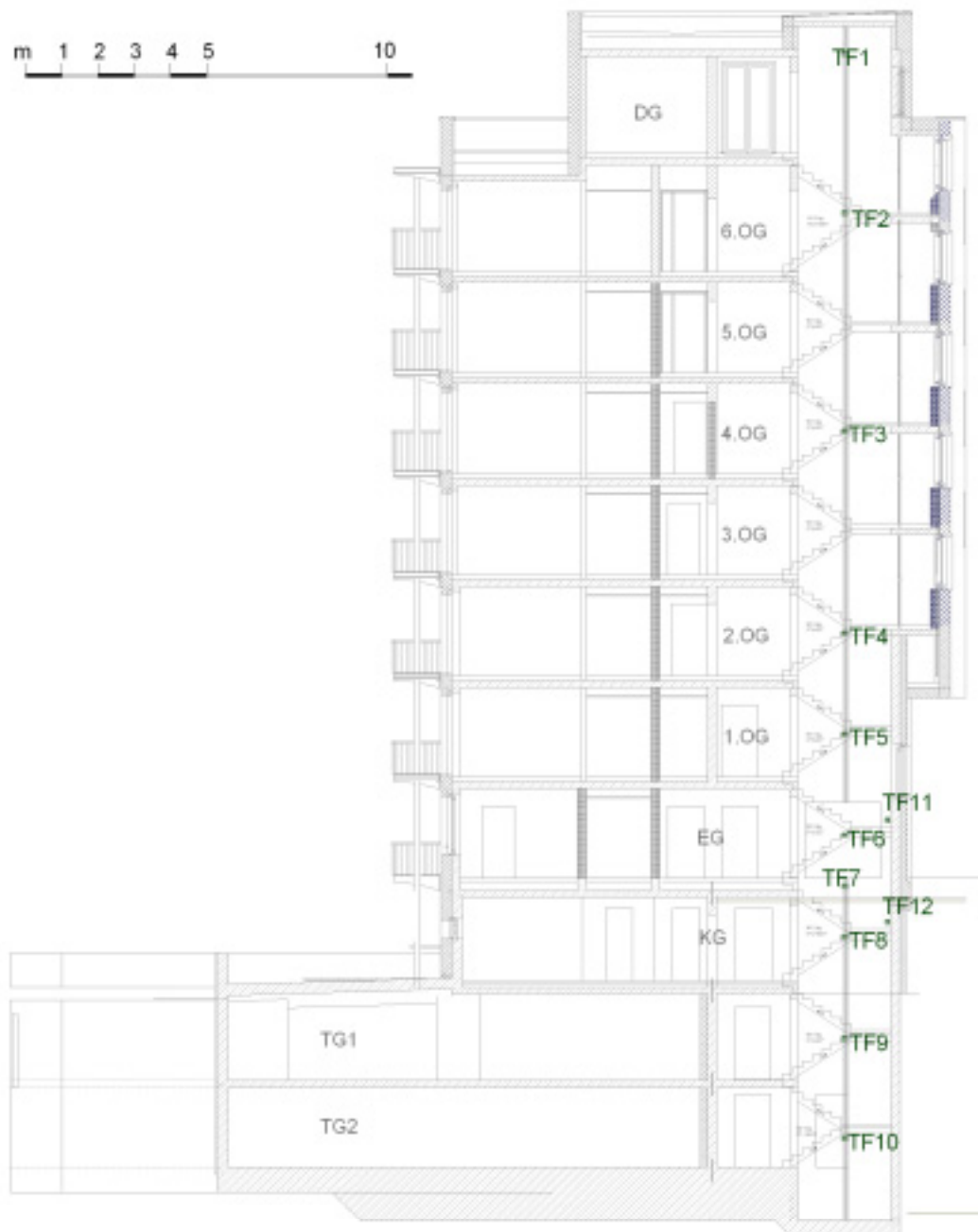
## 6 Treppenhaus: Temperaturschichtung und Wärmeverluste

In einigen größeren Passivhäusern wird ein innenliegender Treppenabgang in den unbeheizten, kalten Keller gewünscht. Dadurch entsteht wesentlicher zusätzlicher Aufwand, denn zahlreiche dreidimensionale Details müssen gut gedämmt, wärmebrückenfrei und luftdicht ausgeführt werden. Selbst wenn dies gelingt, treten rein aus geometrischen Gründen deutlich höhere Wärmeverluste auf als bei einem außerhalb der thermischen Hülle liegenden Treppenabgang.

Die hohen Kosten, die eine passivhaustaugliche Dämmung des Kellerabgangs verursacht, sind die Motivation, nach einfacheren Lösungen zu suchen. Am einfachsten wäre ein Verzicht auf die Wärmedämmung des Kellerabgangs, wobei aber weiterhin auf ausgezeichnete Luftdichtheit zu achten ist. In diesem Fall könnte sich im unteren Teil des Treppenhauses ein Kaltluftsee bilden, der weitgehend stabil bleibt und konvektive Wärmeverluste an den Keller gering hält. Dann würden aber immer noch die Strahlungswärmeverluste zwischen den warmen Oberflächen im oberen und den kalten Oberflächen im unteren Bereich des Treppenhauses auftreten, hinzu kommen die Infiltrationsverluste durch verbleibende Leckagen im Keller.

Dieser Ansatz könnte bei großen Gebäuden prinzipiell funktionieren, der entstehende Wärmeverlust ist hoch, aber rechnerisch erfassbar. Nur durch Messungen lässt sich jedoch feststellen, inwieweit sich die Kaltluft im unteren Bereich des Treppenhauses mit der wärmeren Luft im oberen Bereich vermischt. Letzteres kann durch Turbulenz und freie Konvektion erfolgen, aber auch bei Benutzung des Treppenhauses durch den Luftzug, den die sich dort bewegenden Personen verursachen.

In Hamburg-Pinnsberg wurde ein solches, zu den kalten Untergeschossen offenes Treppenhaus realisiert. Im gesamten Treppenhaus wurden in verschiedenen Höhen Luft- und Oberflächentemperatursensoren installiert, die kontinuierlich Daten aufnehmen. Einen Schnitt des Gebäudes mit der Position der Temperaturfühler im Treppenhaus zeigt Abbildung 101. Zusätzlich wurde am 10. und 11. Februar 2004 eine Thermographie des Treppenhauses durchgeführt. Am 17. und 18. Februar 2005 wurden mit einer Tracergasmessung der interzonale Luftwechsel und die Infiltrationsvolumenströme genauer eingegrenzt.



**Abbildung 101: Gebäudeschnitt mit Lage der Temperatursensoren im Treppenhaus.**

Das untersuchte Treppenhaus reicht über insgesamt 11 Geschosse, davon befinden sich 3 Geschosse unterhalb der thermischen Hülle, die untersten beiden Geschosse grenzen an die gut belüftete Tiefgarage. Von Interesse ist im Folgenden die Frage: Wie groß ist der Wärmestrom vom EG nach unten durch das Treppenhaus? Aus dem Ergebnis soll eine Berechnungsvorschrift für den Wärmeverlust durch offene Treppenhäuser abgeleitet werden.



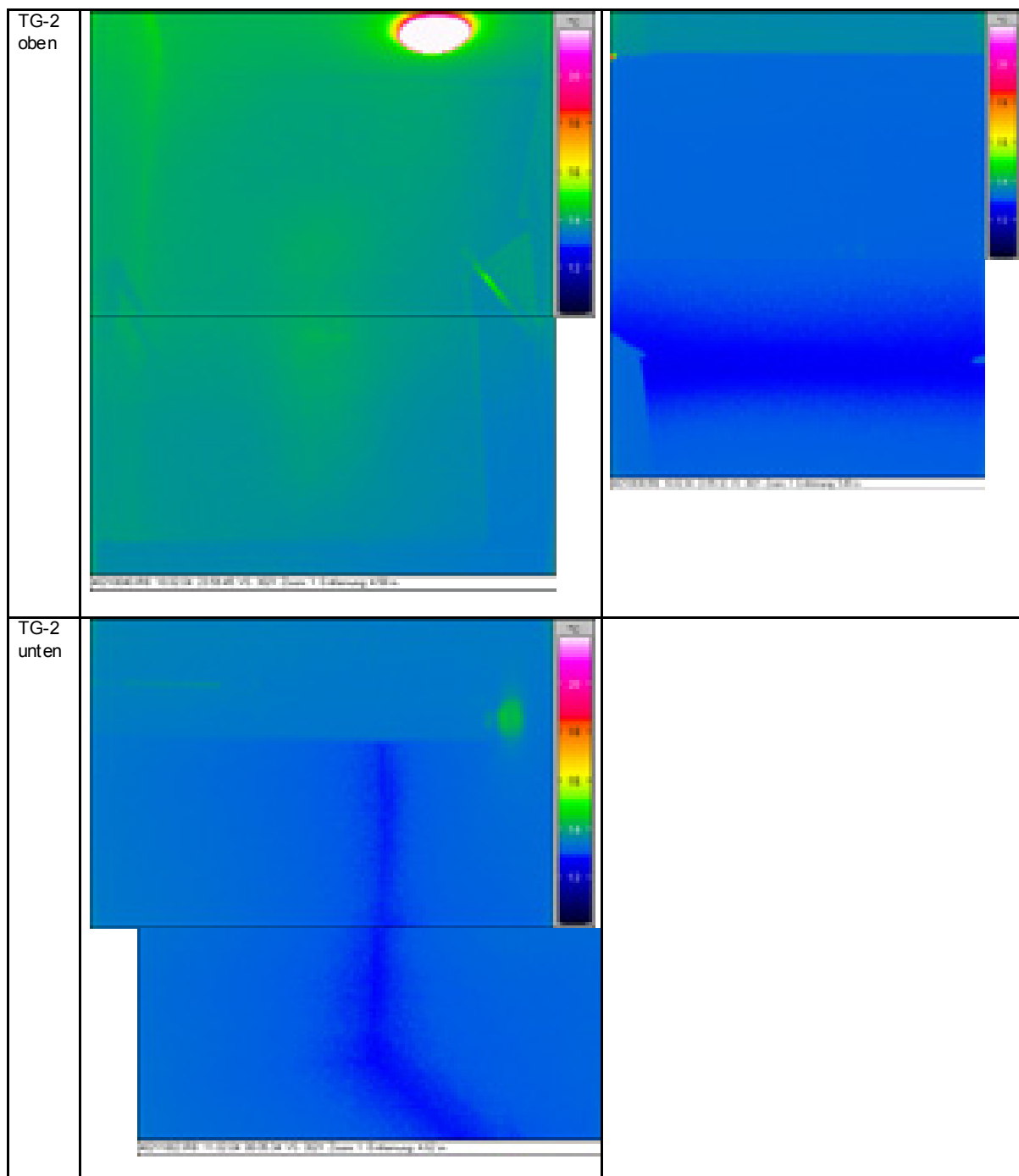
## 6.1 Ergebnisse der Thermographie

In den folgenden Abbildungen (Tabelle 18) sind die Innenthermographien aus dem Treppenhaus zusammengestellt. Die Fotos in Tabelle 19 können zum Vergleich dienen.

	Blick in Nordrichtung (nach außen)	Blick in Südrichtung (nach innen)
DG		
EG oben		







**Tabelle 18: Thermographien des Treppenhauses**

Erkennbar ist zunächst eine Temperaturabnahme unterhalb des EG mit ca. 20 °C Oberflächentemperatur bis zum TG-2 mit ca. 13 °C. Erwartungsgemäß sind die Oberflächen der Außenwände etwas kälter als diejenigen der Innenwände. Deutlich sind auch die Fenster und die erhöhten Wärmeverluste über den Randverbund zu erkennen. Aufgrund der hohen thermischen Qualität der Außenhülle liegen die Oberflächentemperaturen jedoch im oberen Bereich des Treppenhauses auch an den kältesten Stellen noch über 16 °C. Aufgrund der hohen Auflösung der verwendeten Thermographiekamera sind beispielsweise auch die Lichtschalter und



die Temperatursensoren erkennbar, ferner die typischen, etwas höheren bzw. niedrigeren Temperaturen in Ecken und Kanten. Wärmebrücken durch den die Dämmebene durchdringenden Stahlbeton sind z.B. im TG-2 erkennbar.

Für das weiter unten beschriebene themische Modell des Treppenhauses ist bedeutend, dass die Temperatur sich zwischen den Treppenabsätzen (Zonen des Modells in Abbildung 105) stärker ändert als beispielsweise zwischen der oberen und unteren Hälfte des Raumes auf einem Treppenabsatz. Wichtig ist auch, dass in dem Bereich, in dem die Temperatur nach unten hin abnimmt, die Decken wärmer und die Böden kälter sind als die übrigen Oberflächen. Die Transmissionswärmeströme müssen daher im Modell berücksichtigt werden.

Abbildung 102 zeigt den Oberflächentemperaturverlauf entlang der Treppenhaus-Außenwand, wie er sich aus der Thermographie ergibt. Am linken Rand ist zunächst zu erkennen, dass die Decke des Treppenhauses etwas wärmer ist als die Wand im DG (vermutlich aufgrund des besseren U-Werts des Daches von  $0,082 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  im Vergleich zur Außenwand mit  $0,126 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ). Im Bereich der Kante zwischen Decke und Außenwand entsteht eine Temperaturabsenkung aufgrund der dort vorhandenen geometrischen Wärmebrücke. Bis ins EG sinkt die Temperatur nicht spürbar. Erst auf dem Teil der Treppe, der von der Mitte des 1. OG bis zur Mitte des EG reicht („EG oben“), beginnt die Temperatur langsam zu sinken, der wesentliche Temperaturabfall findet dann zwischen der Mitte des EG und der Fußbodenhöhe des KG statt („EG unten“).

Im Treppenabsatz zwischen den Teilen „EG oben“ und „EG unten“ ist ein Temperaturabfall von ca.  $0,5 \text{ K}$  zu erkennen. Zwischen „EG unten“ und „KG unten“ ist die Temperaturdifferenz entsprechend dem größeren Temperaturgradienten noch größer. Diese Temperaturdifferenzen sind auf die wärmedämmende Wirkung der Trittschalldämmung auf den Treppenabsätzen zurückzuführen.

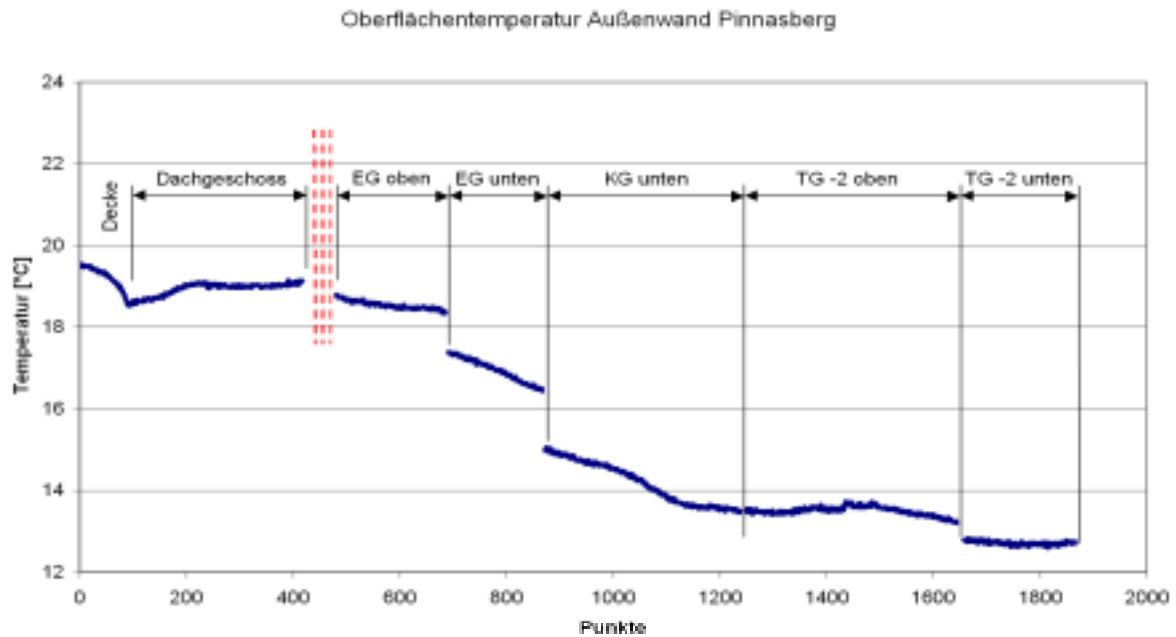




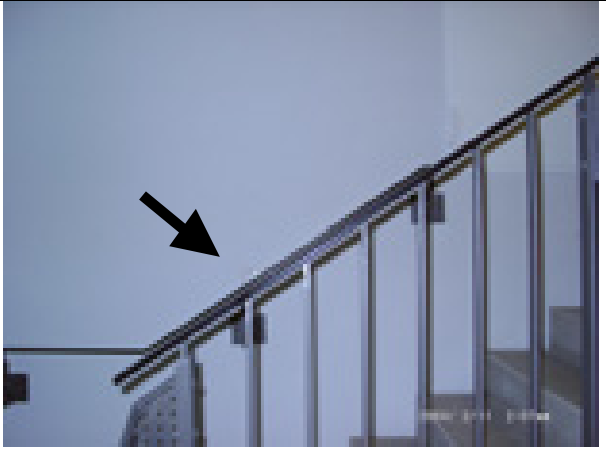
Abbildung 102: Temperaturprofil der Innenoberfläche der Außenwand über die ganze Höhe des Treppenhauses. Auswertung der Thermographie. Zur Erstellung des Diagramms wurden Temperaturprofile aus verschiedenen Thermogrammen zusammengesetzt. Die x-Achse ist aufgrund der perspektivischen Verzerrung nicht maßstäblich.

## 6.2 Ergebnisse der kontinuierlichen Temperaturmessungen


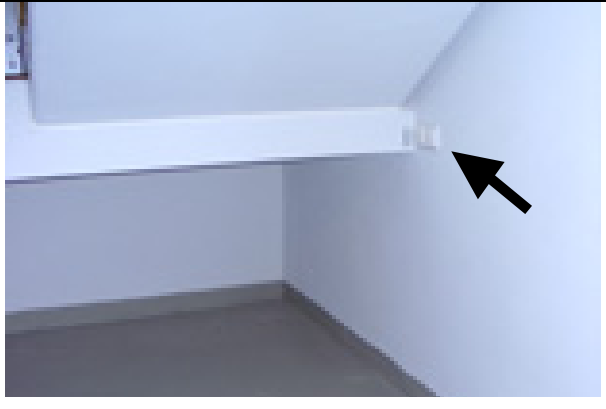
Die Lage der einzelnen Temperaturfühler im Treppenhaus ist in Abbildung 101 zu erkennen. Die folgende Tabelle detailliert die Position der Temperaturfühler weiter (von oben nach unten):

<p>TF1: Im DG, an der Außenwand am obersten Ende des Treppenhauses</p>	
<p>TF2: Im OG6 auf halber Höhe, vor Treppenabsatz zum DG.</p>	<p>wie TF6</p>



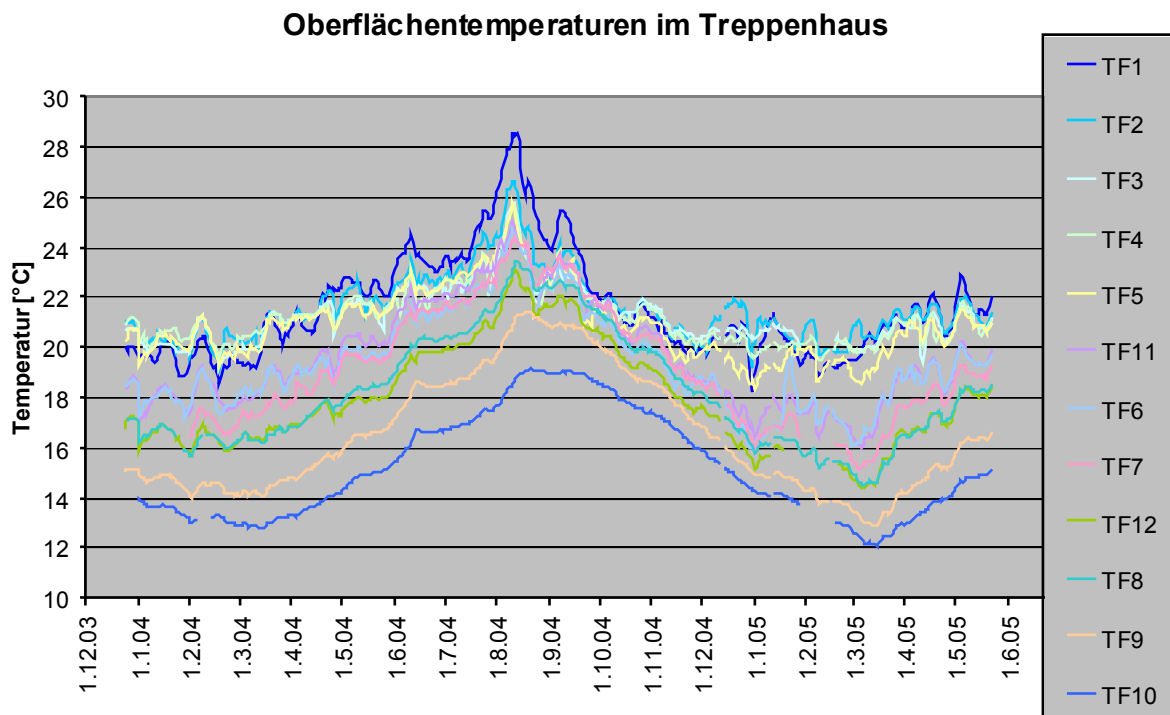
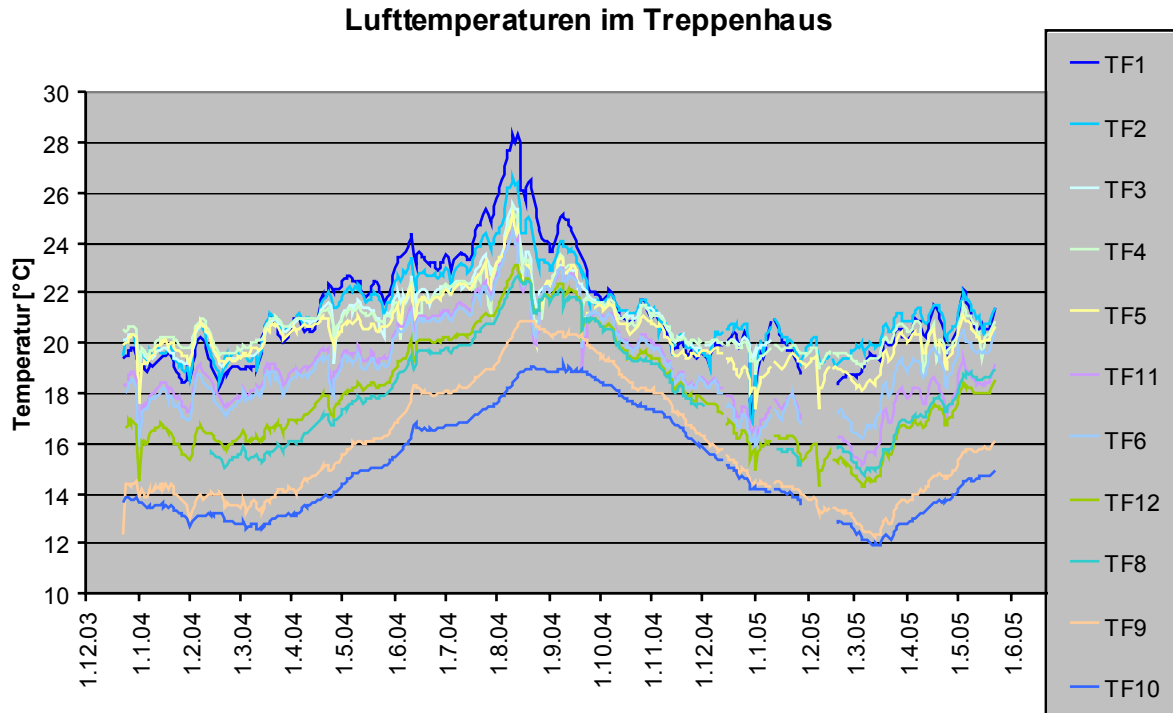
TF3: Im OG4 auf halber Höhe, vor Treppenabsatz zum OG5.	wie TF6
TF4: Im OG2 auf halber Höhe, vor Treppenabsatz zum OG3.	wie TF6
TF5: Im OG1 auf halber Höhe, vor Treppenabsatz zum OG2.	wie TF6
TF11: In der Außenwand auf dem Treppenabsatz EG-OG1	
TF6: Im EG auf halber Höhe, vor Treppenabsatz zum OG1	
TF7: Direkt unterhalb von TF6, etwa auf Höhe EG-Fußboden hinter dem Handlauf	
TF12: In der Außenwand auf dem Treppenabsatz KG-EG	wie TF11



TF8: Im KG, vor Treppenabsatz zum EG.	
TF9: Im TG, vor Treppenabsatz zum TG1.	wie TF8
TF10: Im TG2, vor Treppenabsatz zum TG1.	

**Tabelle 19: Positionierung der Temperatursensoren im Treppenhaus**

Die im Abstand von 10 Minuten kontinuierlich durchgeführten Temperaturmessungen im Treppenhaus zeigen im Mittel einen ähnlichen Verlauf, wie er in Abbildung 102 aus der Thermographie ermittelt wurde. In Abbildung 103 sind Tagesmittelwerte dieser Temperaturen im Zeitraum von Dezember 2003 bis Mai 2005 dargestellt. Neben dem saisonalen Verlauf der Temperaturen ist insbesondere die Temperaturschichtung im unteren Bereich des Treppenhauses zu erkennen. Die Schwankungen der Treppenhaustemperaturen auf Zeitskalen bis zu mehreren Wochen sind dabei gewöhnlich wesentlich geringer als die Unterschiede zwischen den Temperaturen über und unter dem Erdgeschoss.



**Abbildung 103: Luft- und Oberflächentemperaturen im Treppenhaus (Tagesmittelwerte während der Messperiode)**

Für die folgenden Analysen wurde aus den gemessenen Datenreihen der Zeitraum vom 11.2. bis 10.3.2004 ausgewählt. In dieser Zeit bleiben die Temperaturen weitgehend konstant, so dass die hier interessierenden typischen Temperaturen



während der Heizperiode ohne Störungen durch dynamische Effekte untersucht werden können.

In Abbildung 104 sind die mittleren Luft- und Oberflächentemperaturen in diesem Zeitraum gegenübergestellt. Von oben beginnend zeigt sich bis ins 1. OG (TF5) kein Temperaturabfall, danach sinken die Temperaturen bis ins TG2 immer weiter ab. Bis zum TG1 ist dabei ein mittlerer Temperaturgradient von ca. 2 K pro Geschoss zu erkennen (TF5 bis TF8 4 K, bis TF9 noch mal 2 K), danach wird die Temperaturabnahme schwächer.

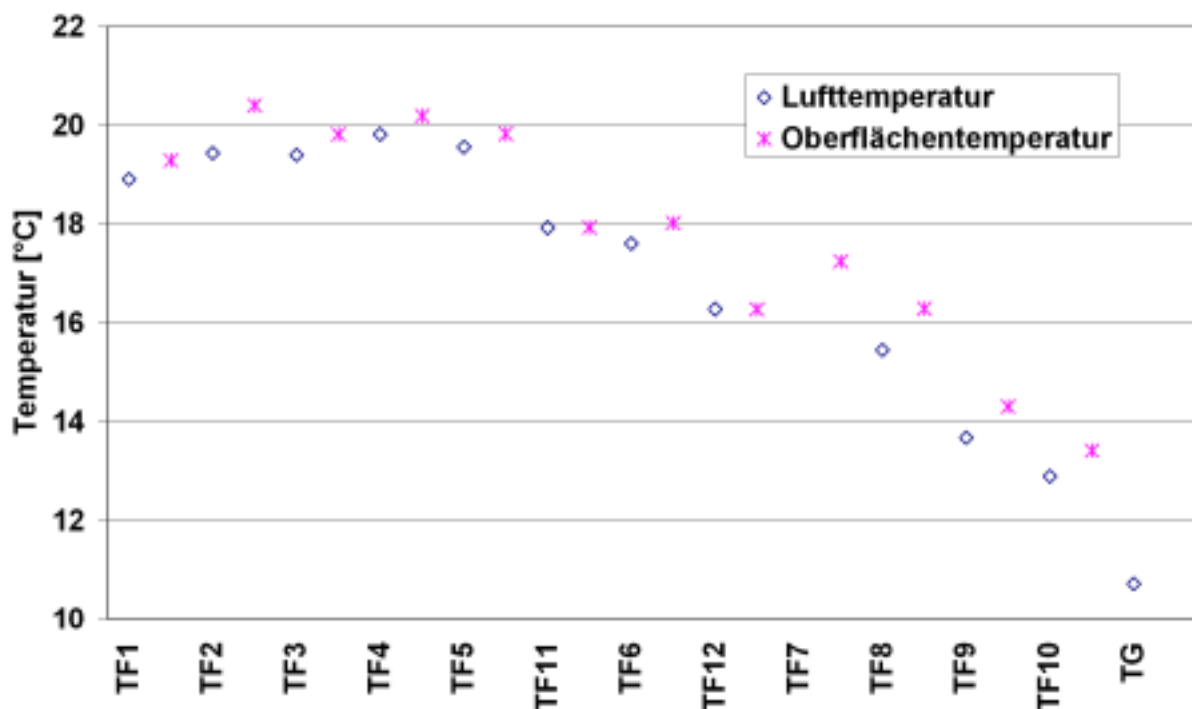


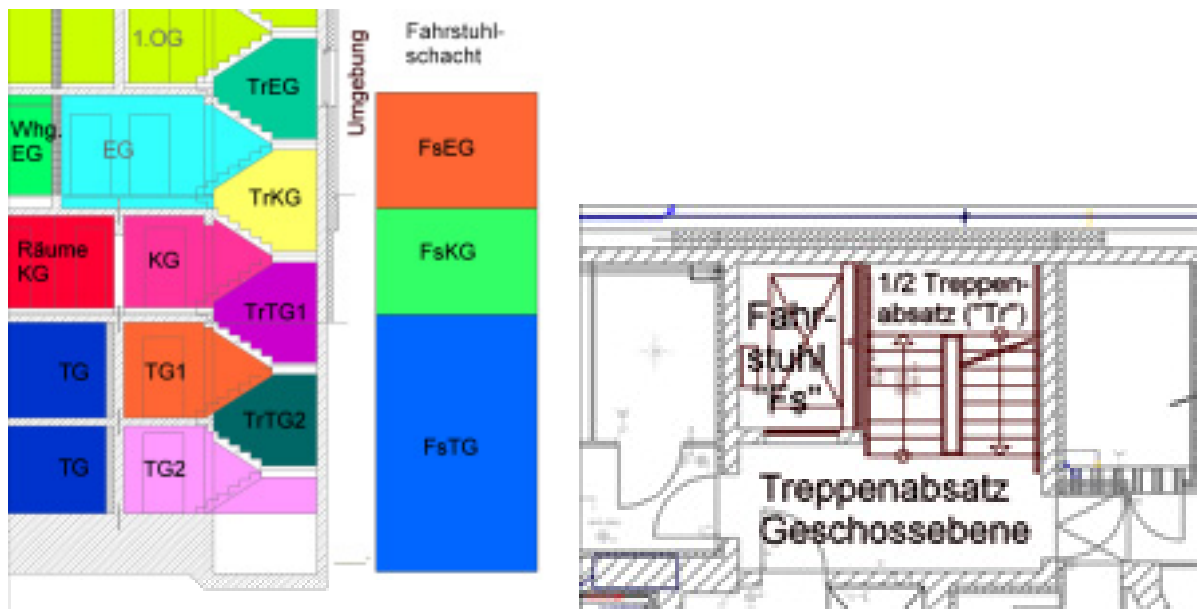
Abbildung 104: Mittelwerte der kontinuierlich gemessenen Temperaturen über den Zeitraum vom 11.2.04 bis 10.3.04. Der ursprünglich vorgesehene Lufttemperaturfühler an der Position TF7 konnte nicht montiert werden, weil an der geplanten und vorbereiteten Einbauposition der Handlauf des Treppengeländers angebracht worden war. In der Tiefgarage wurde nur die Lufttemperatur gemessen.

Weiterhin fällt auf, dass die Lufttemperatur niemals über der Oberflächentemperatur am selben Ort liegt. Besonders große Differenzen treten unterhalb der Erdgeschosshöhe auf. Dies deutet darauf hin, dass kontinuierlich kalte Außenluft in und durch das Treppenhaus strömt; die Größe dieses Volumenstroms wird im Folgenden noch zu klären sein.

## 6.3 Thermisches Modell des Treppenhauses

Die thermischen Verhältnisse im Treppenhaus werden rechnerisch durch ein Widerstands-Netzwerk abgebildet. Die Leitwerte zwischen den insgesamt 16 Knoten bestimmen in Verbindung mit den festgelegten Temperaturen der äußeren Knoten (Außen-, Wohnungs-, Keller-, Tiefgaragentemperatur) die Wärmeströme und die Temperaturen der inneren Knoten.

Die Knotenaufteilung wurde entsprechend Abbildung 105 gewählt. Diese Aufteilung ergab sich aus einer Auswertung der Thermographie, derzufolge innerhalb der zu den Knoten gehörenden Zone jeweils ungefähr gleiche Oberflächentemperaturen herrschen; bei Aufteilung in horizontale Schichten hätte sich die Temperaturhomogenität innerhalb der den Knoten zugeordneten Zonen nicht verbessert.



**Abbildung 105:** Knotenaufteilung im Rechenmodell. Links ein Schnitt mit allen verwendeten Knoten, rechts der Grundriss.

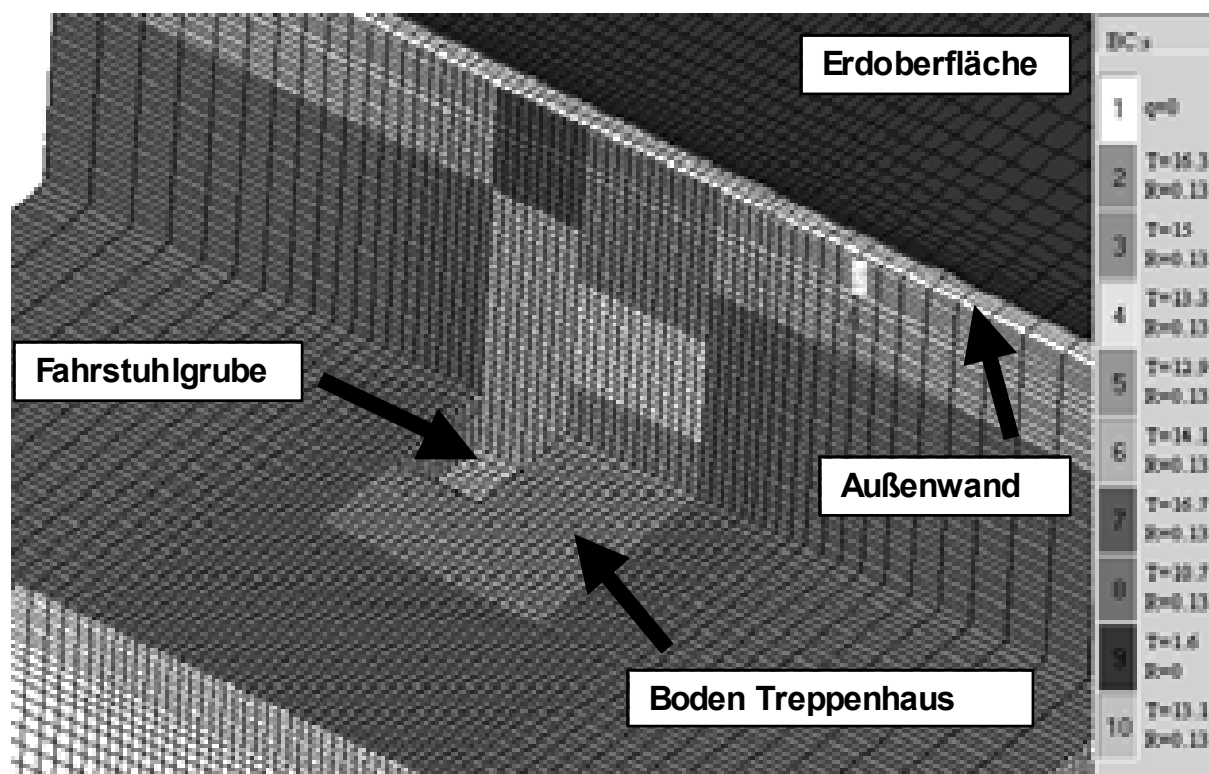
Der neben dem Treppenhaus verlaufende Fahrstuhlschacht wurde ebenfalls in die Berechnungen mit einbezogen. Er wurde in geschossweise Segmente aufgeteilt, zwischen denen es einen Strahlungs- und Luftaustausch (erzwungene Konvektion durch den auf- und abfahrenden Fahrstuhl) gibt.

Aufgrund der in Abbildung 104 dargestellten Messergebnisse erschien es gerechtfertigt, die Strahlungs- und Lufttemperaturen in den einzelnen Knoten als identisch anzusetzen. Eine Differenzierung zwischen Strahlungs- und Lufttemperaturen hätte das Modell erheblich verkompliziert, ohne dass zusätzliche Erkenntnisse zu erwarten gewesen wären.





Bei näherer Betrachtung zeigte sich, dass die Temperaturen im unteren, ungedämmten Bereich des Treppenhauses wesentlich von den Wärmeströmen durch das Erdreich bestimmt werden. Es erwies sich als erforderlich, die Leitwerte durch das Erdreich zwischen den Knoten des Rechenmodells mit Hilfe einer dreidimensionalen Wärmestromberechnung zu ermitteln. Aufgrund der Beschränkung des verwendeten Wärmestromprogramms HEAT3 auf maximal 10 verschiedene Randbedingungen musste die Modellstruktur dazu etwas vereinfacht werden; die Temperaturen in den beiden Tiefgaragen-Geschossen und in den unteren beiden Segmenten des Fahrstuhls wurden jeweils als identisch angenommen (vgl. Abbildung 106).



**Abbildung 106:** Randbedingungen für die dreidimensionale Berechnung der Wärmeströme durch das Erdreich im Bereich des Treppenhauses. Das Raster stellt die gewählte Diskretisierung dar, verschiedene Farben entsprechen den verschiedenen Zonen des thermischen Modells.

Berücksichtigt wurden ferner sämtliche Transmissionsleitwerte zwischen den Knoten, z.B. durch Zwischenböden, Podeste, Treppenstufen, Wände, Fenster und Türen. Aus statischen Gründen durchdringen zahlreiche Betonwände die vorhandene Wärmedämmung, der Einfluss der entstehenden Wärmebrücken wurden ins Modell mit einbezogen.

Zwischen den Knoten gibt es konvektiven Wärmetransport verschiedener Art: Zunächst entsteht durch Infiltration ein Kaminzug über die 11 Stockwerke, der einen

von unten nach oben gerichteten Luftstrom bewirkt. Durch Türöffnungen gelangt im EG und in den Tiefgaragen kalte Außenluft ins Treppenhaus, während relativ warme Luft vom Treppenhaus nach außen strömt. Schließlich existiert im KG ein Zuluftventil, durch das Luft aus der Lüftungsanlage ins Treppenhaus gelangt. Im hier nicht näher betrachteten oberen Teil des Treppenhauses befindet sich ein Abluftventil.

## 6.4 Luftströmungen im Treppenhaus

Einen möglicherweise wesentlichen Anteil an den Wärmeverlusten durch das Treppenhaus nach unten hat der konvektive Wärmetransport. Im Rahmen der Messdatenauswertung war die Frage zu klären, ob sich im Treppenhaus ein Kaltluftsee bildet, so dass die auf konvektivem Wege zwischen den einzelnen Ebenen ausgetauschte Wärmemenge gering ist, oder ob es einen für die Energiebilanz bedeutenden Luftaustausch zwischen den Zonen gibt, bei dem warme Luft aus dem oberen Teil des Treppenhauses in den unteren Teil transportiert wird. Ein solcher Luftaustausch kann auf verschiedene Arten entstehen, die nachfolgend diskutiert werden. Anschließend werden experimentelle Untersuchungen zur Frage des interzonalen Luftwechsels im Passivhaus Pinnsberg ausgewertet.

### 6.4.1 Freie Konvektion im Treppenhaus

Im Treppenhaus wird, verursacht durch freie Konvektion an den Oberflächen, stets eine gewisse minimale Luftbewegung stattfinden. Dafür gibt es verschiedene Ursachen: Wenn im Untergeschoss (UG) eines Treppenhauses niedrigere Temperaturen herrschen als im EG, werden durch Wärmestrahlung, ausgehend von den Oberflächen im EG, fast ausschließlich diejenigen Oberflächen im UG erwärmt, die im unmittelbaren Strahlungsaustausch mit den Oberflächen im EG stehen. Dadurch entstehen im UG in jeweils gleicher Höhe unterschiedliche Oberflächentemperaturen. Diese Temperaturdifferenz wirkt sich auch auf die Luft in Wandnähe aus, so dass Konvektionsströmungen entstehen. Durch Querwärmeleitung in den Treppenhauswänden kann es ebenfalls zu Unterschieden zwischen Luft- und Oberflächentemperatur kommen, die Konvektion hervorrufen.

Die an einer senkrechten Fläche durch freie Konvektion aufsteigende bzw. abfallende Luftmenge kann analytisch berechnet werden; in für den vorliegenden Fall typischen Konfigurationen (Temperaturdifferenz Raumluft – Oberfläche 0,1 bis 3 K, Höhe der Wand 2,50 m) ergeben sich pro Meter Wandbreite Volumenströme von 12 bis 30 m<sup>3</sup>/h, die an der Wand entlangströmen und durch eine entsprechende Gegenströmung, z.B. in der Mitte des Treppenhausquerschnitts, ausgeglichen werden müssen. Aufgrund dieser Abschätzung würde man auf einem Treppenabsatz von 2,50 m Breite und 1 m Länge (insgesamt 4,50 m wirksame Wandlänge) einen Konvektionsstrom von 50 bis 140 m<sup>3</sup>/h erwarten.



Aus diesen Überlegungen wird jedoch noch nicht klar, ob die entstehenden Luftströmungen tatsächlich zwischen den Zonen ausgetauscht werden oder weitgehend innerhalb der einzelnen Zonen verbleiben, und ob der durch die Luftströmungen bewirkte Temperatenausgleich die Strömung schließlich nahezu zum Erliegen bringt. Eine genauere theoretische Analyse wäre nur mit einer CFD-Simulation unter Berücksichtigung des Strahlungsaustauschs möglich. Diese Methode ist kostspielig und aufwendig, eine solche Untersuchung konnte im Rahmen dieses Projekts nicht durchgeführt werden. Hinzu kommt, dass die CFD-Simulation keine Beurteilung anderer, schwer theoretisch zu erfassender Einflussfaktoren erlaubt.

#### **6.4.2 Luftbewegung durch Personen im Treppenhaus**

Personen, die sich im Treppenhaus bewegen, verursachen dabei Luftbewegungen durch thermischen Auftrieb und durch die Bewegung selbst. Gewöhnlich ist die Aufenthaltsdauer von Personen im Treppenhaus jedoch nicht groß. Orientierende Tracergas-Messungen im Zusammenhang mit anderen Projekten haben zudem (in Übereinstimmung mit der Alltagserfahrung) gezeigt, dass eine Person, die sich durch einen Raum bewegt, im Wesentlichen von der Raumluft umströmt wird, statt eine Art Raumluft-Tunnel vor sich her zu schieben, so dass die induzierte Konvektion nur räumlich eng begrenzte Auswirkungen hat.

Ob sich die Benutzung des Treppenhauses bedeutend auf die Luftbewegung auswirkt, wurde anhand der Temperaturmesswerte überprüft: Wenn es einen wesentlichen Einfluss gäbe, müsste das Temperaturprofil im Treppenhaus nachts, wenn fast niemand die Treppe benutzt, steiler ausfallen als tagsüber, wenn eine stärkere Durchmischung der Luft stattfindet. Aus den gemessenen Temperaturen während der gesamten Messperiode wurden daher für die Zeiten zwischen 8 und 22 Uhr sowie zwischen 0 und 5 Uhr getrennt Mittelwerte der Treppenhaustemperaturen berechnet. Sie sind in Abbildung 107 gegenübergestellt.

Ein Einfluss der Tageszeit auf die Temperaturschichtung ist nicht zu erkennen. Die maximale Differenz der Mittelwerte beträgt 0,06 K. Dieser Unterschied entspricht im thermischen Modell des Treppenhauses einem zusätzlichen Luftaustausch von 15 m<sup>3</sup>/h zwischen den Zonen. Es kann gefolgert werden, dass die übliche Benutzung des Treppenhauses durch Personen einen nur geringen Einfluss auf den Wärmetransport besitzt.

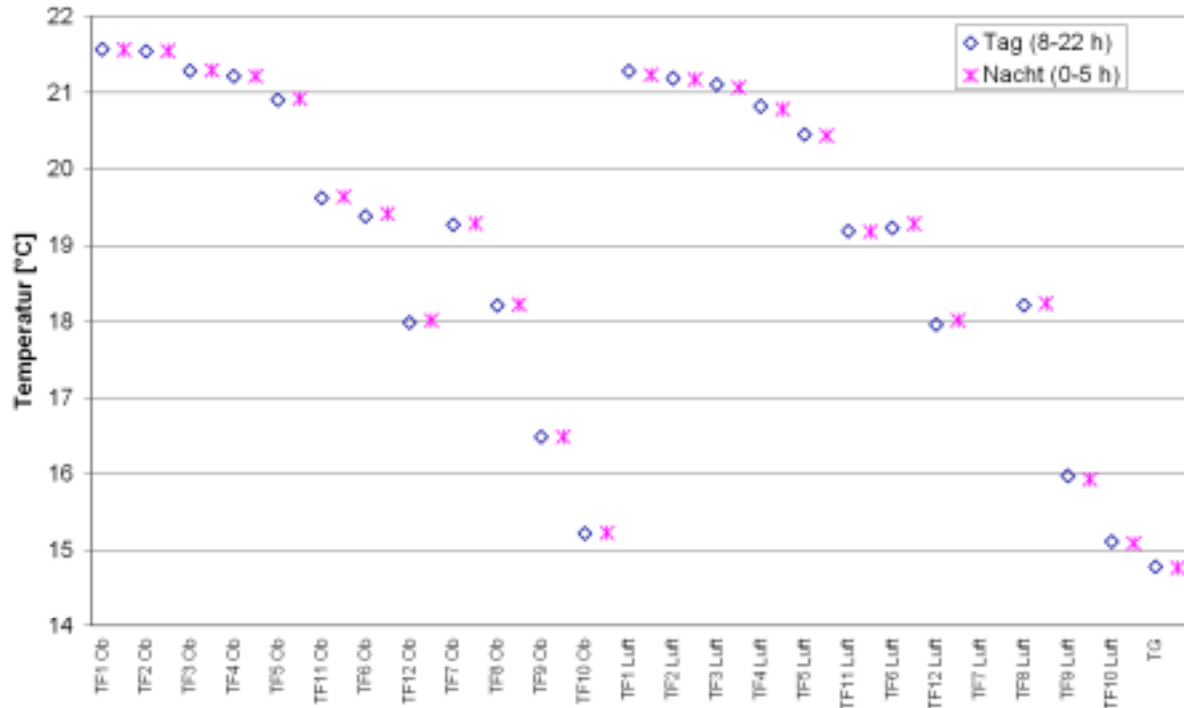


Abbildung 107: Temperaturmittelwerte im Treppenhaus, getrennt nach Tag und Nacht (Zeitraum: Gesamte Messperiode).

### 6.4.3 Kamineffekt

Der Kamineffekt verursacht eine Aufwärtsströmung vom Keller durch das Treppenhaus zum Dach. Die zugehörigen Infiltrationsströme sind in der Energiebilanz bereits an anderer Stelle berücksichtigt. Aufgrund der guten Luftdichtheit von Passivhäusern sollte dieser Effekt an sich keinen großen Einfluss besitzen, beim hier untersuchten Beispiel wurde jedoch eine deutlich spürbare Infiltration an den Tiefgaragentüren festgestellt. In jedem Fall wirkt die entstehende Luftströmung einem konvektiven Wärmetransport nach unten entgegen.

### 6.4.4 Unmittelbare Messung der Strömungsgeschwindigkeit

Mit einem Thermo-Anemometer wurde versucht, im Querschnitt des Treppenhauses zwischen den Zonen Konvektion nachzuweisen. Die Luftgeschwindigkeit lag den Messungen zufolge unter 0,05 m/s (untere Grenze des Messbereichs). Der freie Querschnitt zwischen den Zonen (d.h. der kleinste freie Querschnitt zwischen den Treppenabsätzen) beträgt 3,0 m<sup>2</sup>, der konvektive Luftaustausch zwischen zwei Zonen kann folglich schon nach dieser Messung nicht größer als 270 m<sup>3</sup>/h sein.



### 6.4.5 Tracergasmessung des Luftaustauschs

Die mit dem Thermo-Anemometer bestimmte Obergrenze für die Luftvolumenströme zwischen den Zonen war für die Verwendung im thermischen Modell des Treppenhauses nicht ausreichend: Sollte ein Luftaustausch von  $270 \text{ m}^3/\text{h}$  zwischen den Zonen vorliegen, müsste er auf den Wärmeverlust durch das Treppenhaus bereits einen erheblichen Einfluss haben. Bezogen auf eine Fläche von  $7,3 \text{ m}^2$  (Treppenstufen und Podest) ergäbe dieser Luftaustausch einen äquivalenten U-Wert allein für Konvektion von  $12 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ . Um in dieser Frage Sicherheit zu gewinnen, wurde die Größe des Luftaustauschs mit Hilfe einer Tracergasmessung mit  $\text{CO}_2$  als Spurengas weiter eingegrenzt.

#### **Vorüberlegung: Gibt es einen Störeinfluss durch Diffusion?**

Auch in ruhender Luft würde sich ein in eine Zone eingebrachtes Tracergas ausbreiten: Durch Diffusion verteilt sich der Tracer langfristig gleichmäßig im Raum. Für die Messung des Luftaustauschs mit Tracergas gibt es daher eine Nachweisgrenze: Wenn die vorhandenen Luftbewegungen den Tracer so langsam verteilen, dass dies gegenüber der Ausbreitung durch Diffusion nicht mehr ins Gewicht fällt, lassen sich die Luftbewegungen mit dieser Methode nicht mehr nachweisen.

Bei der hier durchgeführten Untersuchung stören Diffusionsprozesse jedoch nicht, wie sich leicht abschätzen lässt: Auch wenn in einem Gas reine Wärmeleitung ohne Konvektion vorliegt, sind daran Diffusionsprozesse beteiligt. Die Wärmeleitung ist für die hier untersuchten Wärmetransportvorgänge jedoch vernachlässigbar gering: Die Wärmeleitung in der Luft von einer Zone zur nächsten (Abstand der Mittelpunkte:  $3 \text{ m}$ ) entspricht einem U-Wert von  $0,008 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ . Gegenüber dem Strahlungswärmetransport mit ca.  $5,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  ist dieser Wert vollkommen unbedeutend, er entspricht einem Luftaustausch zwischen den Geschossen von unter  $0,1 \text{ m}^3/\text{h}$ .

#### **Vorüberlegung: Gibt es eine Störung der Messung durch Absinken des $\text{CO}_2$ ?**

Das verwendete Tracergas  $\text{CO}_2$  hat mit  $1,65 \text{ kg}/\text{m}^3$  eine etwas höhere Dichte als Luft mit  $1,2 \text{ kg}/\text{m}^3$ . Man könnte daher befürchten, dass es in ruhender Luft zu einer Entmischung kommt und sich das schwerere  $\text{CO}_2$  am Boden des Treppenhauses ansammelt. Derartige Effekte treten in den höheren Schichten der Atmosphäre tatsächlich auf, bei den Dimensionen, Drücken und Temperaturen im Innern von Gebäuden sind sie jedoch unbedeutend. Dies wird schon dadurch klar, dass eine Entmischung der übrigen Luftkomponenten wie  $\text{N}_2$ ,  $\text{O}_2$  oder  $\text{H}_2\text{O}$ , die z. T. wesentlich größere Dichteunterschiede aufweisen, unter diesen Bedingungen ebenfalls nicht beobachtet wird.

### **Vorüberlegung: Durchmischung von CO<sub>2</sub> und Luft zu Versuchsbeginn**

Beim Einbringen des Tracers in die Luft des Treppenhauses ist eine möglichst gute Durchmischung erforderlich. Andernfalls würde eine CO<sub>2</sub>-Blase entstehen, die als Tracer für die Luftbewegung zunächst nicht geeignet ist. Sie würde vielmehr aufgrund ihrer höheren Dichte unanhängig von der Luftströmung nach unten fließen, bis sich das CO<sub>2</sub> durch Turbulenzen und Diffusion mit der umgebenden Luft vermischt hat.

Eine gründliche Vermischung von CO<sub>2</sub> und Luft in einer Zone des Treppenhauses durch Erzeugung von starken Luftbewegungen ist andererseits nicht möglich, denn dabei würde ein Luftaustausch mit den angrenzenden Zonen verursacht, so dass die Anfangsverteilung des Tracers in der Luft nicht mehr bekannt wäre.

Im Experiment wurde der Tracer daher mit Hilfe einer Schlauchspinne an verschiedenen Orten auf einem Treppenabsatz eingebracht (Abbildung 108). Durch die gleichen Schlauchlängen und Abzweige auf allen Pfaden von der Gasflasche bis zur Ausströmöffnung (Tichelmannverrohrung) kann eine gleichmäßige Verteilung des eingebrachten Gases über die ganze Fläche des Treppenabsatzes angenommen werden.



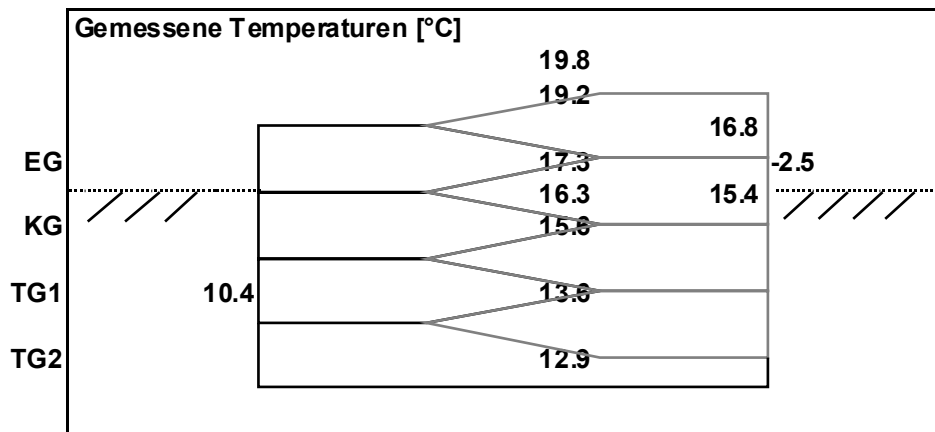
**Abbildung 108: Einbringung der Tracers im Treppenhaus**

### **Durchführung der Messung**

Die Messung wurde in der Nacht vom 17. auf den 18. Februar 2005 zwischen 2:00 und 5:00 Uhr durchgeführt. Im Messzeitraum herrschte eine Außentemperatur von -2,5 °C. Die Temperaturen in verschiedenen Höhen im Treppenhaus zeigt Abbildung



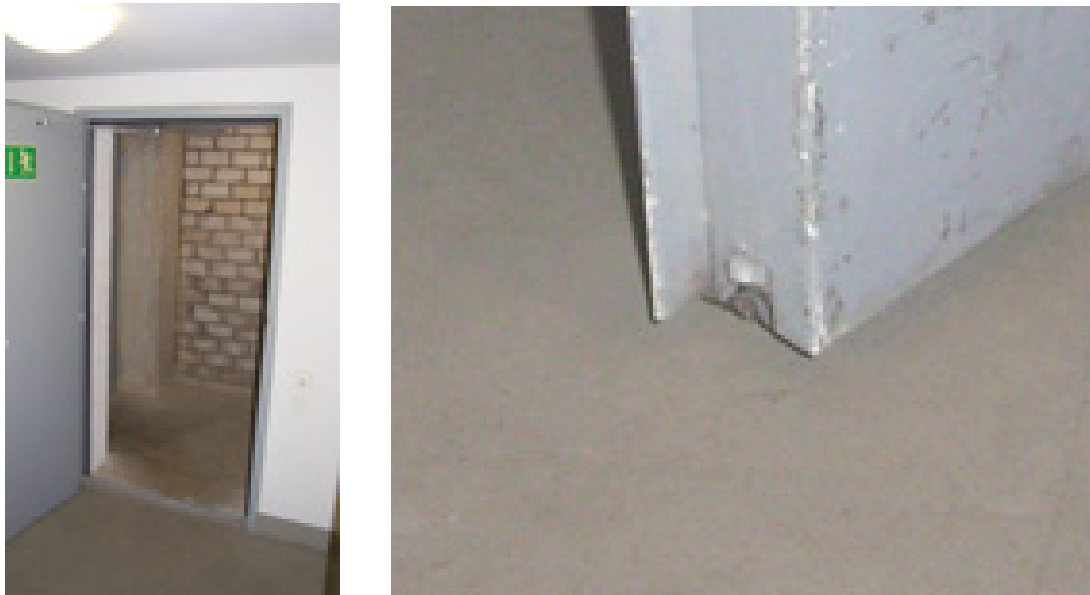
109. Die Temperaturen ähneln weitgehend den in Abbildung 116 angegebenen, es handelt sich also um eine typische Winternacht. Deutlich ist die typische Temperaturschichtung im Treppenhaus zu erkennen. Aufgrund der relativ großen Höhe des Treppenhauses von 30 m ergibt sich ein bedeutender thermischer Auftrieb; die Gesamt-Druckdifferenz über die Höhe des Treppenhauses beträgt etwa 25 Pa.



**Abbildung 109: Temperaturen zum Zeitpunkt der Tracergasmessung**

Im Kellergeschoss befindet sich eine Zuluftöffnung, für die ein Volumenstrom von 38 m<sup>3</sup>/h gemessen wurde. Die Abluft des Treppenhauses wird im Dachgeschoss abgesaugt, hier wurde ein Volumenstrom von 124 m<sup>3</sup>/h gemessen.

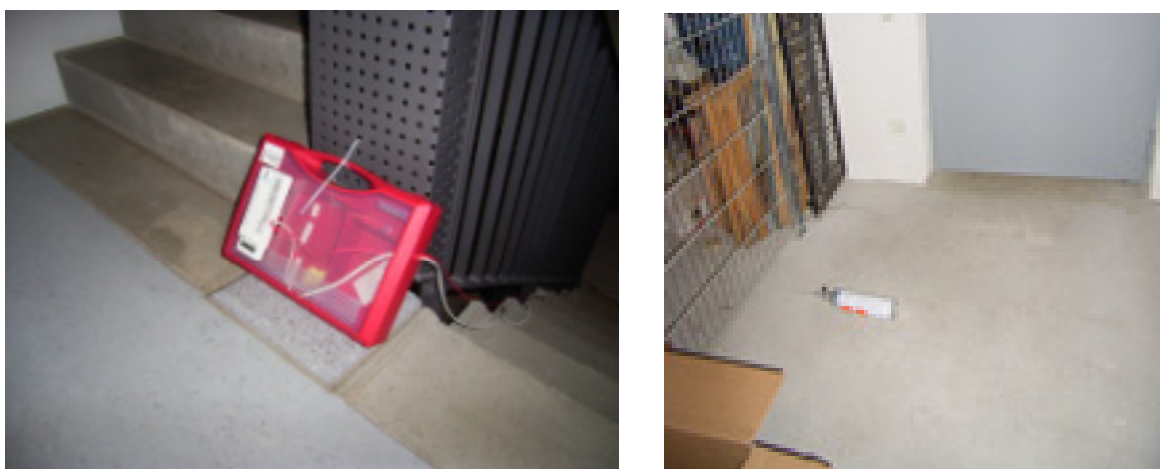
Die Türen zur Tiefgarage im TG1 und TG2 besitzen eine dreiseitig umlaufende Dichtung. Im Schwellenbereich sind sie mit einer Absenktdichtung ausgestattet, die zum Zeitpunkt der Messung in beiden Geschossen nicht vollständig schloss. An den Türschwelen war jeweils ein deutlicher Luftzug wahrnehmbar (Abbildung 110).



**Abbildung 110: Tür zur Tiefgarage mit Absenkdichtung.**

Im Erdgeschoss des Gebäudes befinden sich neben dem Treppenhaus Fahrradräume und ein von außen durch eine Öffnung belüfteter Müllraum. Da sämtliche Türen, auch die Hauseingangstür im EG, aufgrund der Barrierefreiheit keine Schwellen besitzen, ist auch hier eine spürbare Infiltration zu erwarten.

Auf den 5 Treppenabsätzen oberhalb von TG2, TG1, KG, EG und OG1 wurde jeweils ein CO<sub>2</sub>-Messkoffer am Treppengeländer aufgestellt; die in Abbildung 108 dargestellte Verteilspinne wurde an eine CO<sub>2</sub>-Flasche im Kellerbereich außerhalb des Treppenhauses angeschlossen (vgl. Abbildung 111). Nach Installation der Messtechnik und Absperrung des Treppenhauses verließ um 2:10 Uhr auch das wissenschaftliche Personal das Treppenhaus.



**Abbildung 111: CO<sub>2</sub>-Messkoffer, CO<sub>2</sub>-Flasche.**





Um 3:06 Uhr wurde die Absperreinrichtung der CO<sub>2</sub>-Flasche geöffnet und der Tracer auf dem Treppenabsatz eingebracht. Die Entleerung der Flasche dauerte 40 s. Der Inhalt der Flasche betrug 21 g, diese Menge atmet ein Mensch durchschnittlich in 45 min aus. Es traten daher während der Messung keine gefährlichen CO<sub>2</sub>-Konzentrationen auf.

Etwa ab 4:10 Uhr wurde mit dem Abbau der Messgeräte begonnen, die CO<sub>2</sub>-Konzentrationen wurden noch bis 4:50 Uhr erfasst.

### **Messergebnisse**

Den Verlauf der Tracerkonzentrationen in den verschiedenen Ebenen zeigt Abbildung 112. Der Sensor KG, der sich unmittelbar neben dem Tracerauslass befindet, zeigt ab Beginn der Tracerzufuhr (3:06) einen steilen Anstieg der CO<sub>2</sub>-Konzentration. Die Konzentration übersteigt rasch den Messbereich und erreicht erst um 3:14 wieder Werte unter 2000 ppm. Bei ca. 630 ppm verharrt die Konzentration noch für 10 Minuten, daran schließt sich ein exponentieller Abfall an. Eine gleichmäßige Verteilung des eingebrachten Tracers im Volumen des Treppenabsatzes würde zu einer Konzentration von 710 ppm führen; dass wesentlich höhere Werte gemessen wurden, lässt sich dadurch erklären, dass sich um die Einbringposition zunächst eine CO<sub>2</sub>-Blase gebildet hat, die sich erst allmählich mit der umgebenden Luft vermischt. Diese Annahme wird durch den wesentlich kleineren, ausgeprägten Peak der Konzentration im TG1 gestützt: Das CO<sub>2</sub> kann, so lange es nicht mit der Luft vermischt ist, aufgrund seiner höheren Dichte vom Treppenabsatz über dem KG nach unten fließen.

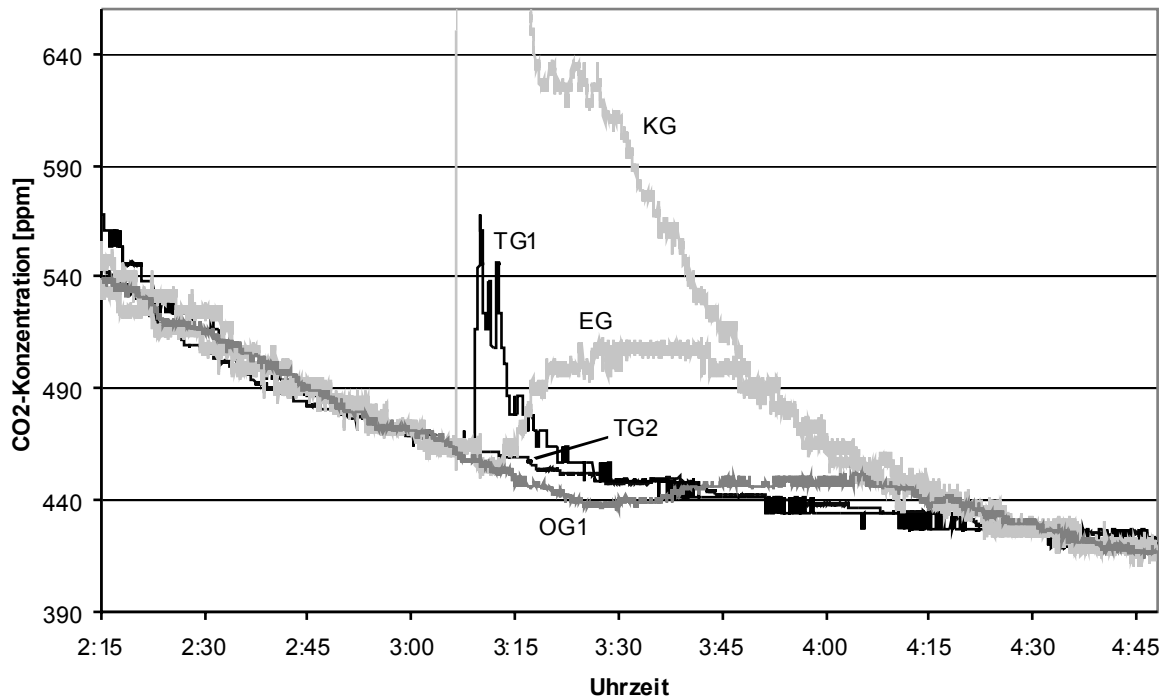


Abbildung 112: Zeitverlauf der CO<sub>2</sub>-Konzentrationen (Messwerte).

Der CO<sub>2</sub>-Peak aus der Ebene des KG zeigt sich zeitversetzt und in abgeflachter Form zunächst im EG, dann auch im OG1. Eine entsprechende Ausbreitung des in der Luft gelösten Tracers in die TG-Geschosse ist in der Abbildung nicht erkennbar; wenn es einen solchen Lufttransport nach unten gibt, ist er jedenfalls erheblich kleiner als der Lufttransport nach oben.

### Außenluftwechsel

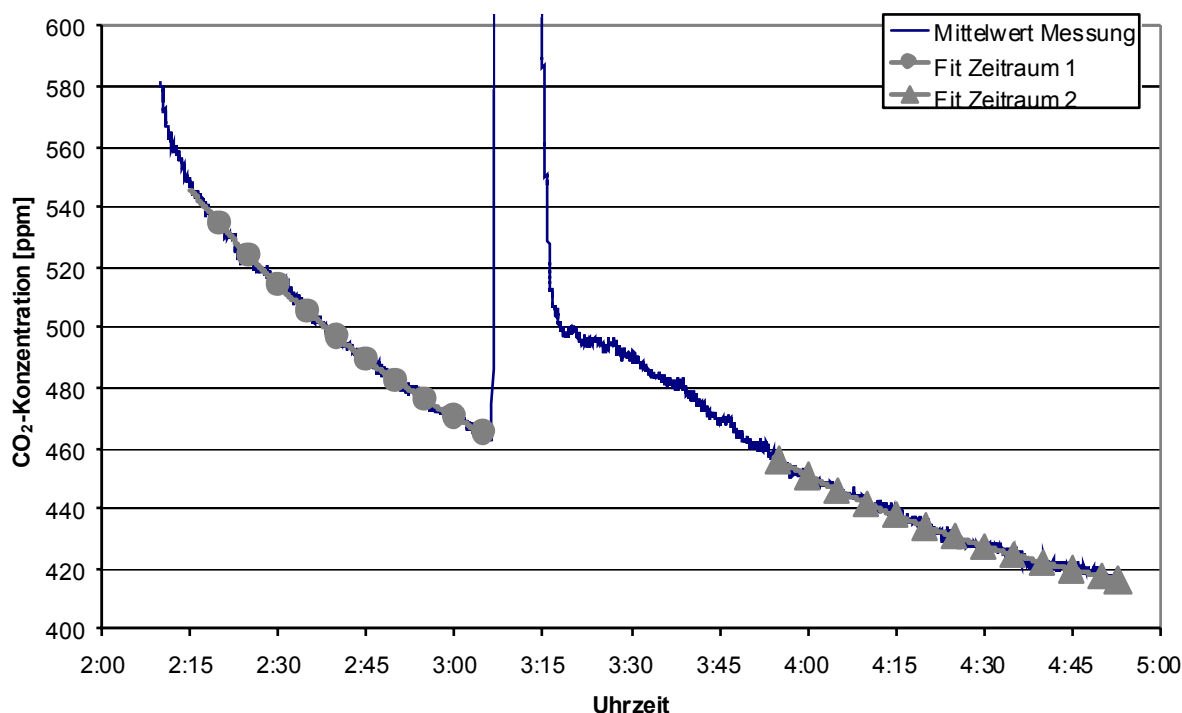
Im Treppenhaus überlagern sich mehrere Luftströmungen:

- Zwischen den einzelnen Zonen gibt es aufgrund der in Abschnitt 6.4 beschriebenen Mechanismen einen Luftaustausch.
- Durch Infiltration kommt es zu einer Durchströmung des Treppenhauses von unten nach oben. Insbesondere an den beiden Türen zur Tiefgarage konnte während der Messung ein spürbarer Luftzug festgestellt werden.
- Zur Belüftung des Treppenhauses ist im Keller ein Zuluftventil vorhanden. Vor Beginn der Tracergasmessung wurde die hier eingebrachte Zuluftmenge gemessen. Sie betrug 38 m<sup>3</sup>/h bei einer Temperatur von 17,4 °C. Im Dachgeschoss ist ein Abluftventil vorhanden, durch das 124 m<sup>3</sup>/h abgesaugt werden.

Aus den gemessenen Tracerkonzentrationen kann ein Mittelwert bestimmt werden, der der mittleren Tracerkonzentration im untersuchten Volumen zwischen TG2 und OG1 entspricht. Im Messzeitraum gibt es zwei Zeiträume, in denen diese Konzen-



tration in sehr guter Näherung exponentiell abfällt, und zwar vor Beginn der Tracerfreisetzung um 3:06 Uhr und vor dem Abschalten der Messgeräte um 4:50 Uhr (vgl. Abbildung 113).



**Abbildung 113: Mittelwert der CO<sub>2</sub>-Konzentration und exponentieller Fit in zwei Zeiträumen.**

Diese Zeiträume ermöglichen die Bestimmung des Außenluftwechsels für den untersuchten Treppenhausbereich, falls zwei Annahmen getroffen werden:

- Die Luft, die von außen in den untersuchten Bereich gelangt, weist dieselbe Tracerkonzentration auf wie die Außenluft.
- Der Luftaustausch mit dem oben angrenzenden Rest des Treppenhauses wirkt sich auf die Tracergas-Bilanz nicht aus: Die Tracerkonzentrationen an der oberen Begrenzung des untersuchten Volumens und im Bereich darüber unterscheiden sich nicht gravierend, und/oder der Luftaustausch ist klein gegenüber der sonstigen Infiltration.

Für die beiden genannten Zeiträume wurde jeweils numerisch eine Exponentialfunktion an den gemessenen Zeitverlauf angepasst. Daraus wurden jeweils die Zeitkonstante des untersuchten Volumens und die CO<sub>2</sub>-Gleichgewichtskonzentration bestimmt. Geht man davon aus, dass der Fahrstuhl und die angrenzenden Räume keinen messbaren Einfluss auf die CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Treppenhausluft haben, ergibt sich für den unteren Teil des Treppenhauses bis einschließlich Treppenabsatz über OG1 ein Volumen von 232 m<sup>3</sup>. Zusammen mit der



gemessenen Zeitkonstante kann damit der Außenluft-Volumenstrom bestimmt werden. In Tabelle 20 sind die Ergebnisse dieser Auswertungen zusammengestellt.

**Tabelle 20: Ergebnisse der Mittelwert-Auswertung für alle Messstellen.**

	Zeitraum 1	Zeitraum 2
Gleichgewichtskonzentration [ppm]	404	393
Zeitkonstante $\tau$ [s]	3527	3509
Außenluft-Volumenstrom [ $\text{m}^3/\text{h}$ ]	237	238

Die mittlere  $\text{CO}_2$ -Konzentration in der Atmosphäre betrug im Jahr 2004 etwa 380 ppm, wobei im innerstädtischen Bereich größere  $\text{CO}_2$ -Konzentrationen erwartet werden können. Die hier ermittelten Gleichgewichtskonzentrationen erscheinen vor diesem Hintergrund plausibel.

Dieselbe Auswertung wurde unter Ausschluss des Sensors auf dem Treppenabsatz über dem OG1 – hier gibt es keine bedeutende Temperaturschichtung mehr, so dass mit einer stärkeren Durchmischung der Luft mit dem darüber liegenden Teil des Treppenhauses zu rechnen ist – durchgeführt. Die Ergebnisse zeigt Tabelle 21.

**Tabelle 21: Ergebnisse der Mittelwert-Auswertung für die unteren vier Messstellen.**

	Zeitraum 1	Zeitraum 2
Gleichgewichtskonzentration [ppm]	414	406
Zeitkonstante $\tau$ [s]	3120	2394
Außenluft-Volumenstrom [ $\text{m}^3/\text{h}$ ]	218	284

Der ermittelte Außenluft-Volumenstrom ist von vergleichbarer Größe wie oben, die Infiltration findet also im Wesentlichen unterhalb des 1. OG statt.

Der gemessene Außenluft-Volumenstrom liegt deutlich über dem erwarteten Wert: Durch die Lüftungsanlage entsteht ein Abluftüberschuss von  $86 \text{ m}^3/\text{h}$ . Bei einer luftdichten Gebäudehülle (der beim Bau gemessene  $n_{50}$ -Wert betrug  $0,2 \text{ h}^{-1}$ !) würde man erwarten, dass durch die Hülle des Treppenhauses ausschließlich Infiltration stattfindet. Wie die Messung zeigt, muss es jedoch auch Exfiltrationsmassenströme von nicht unbedeutender Größe geben. Durch die große Höhe des Treppenhauses und die hohe Temperaturdifferenz zwischen Treppenhaus und Außenluft ist



Exfiltration nach außen jedoch erst oberhalb des durch die Tracergasmessung abgedeckten Bereichs zu erwarten.

### **Simulationsmodell zur Auswertung der Tracergasmessung**

Zur Auswertung der Tracergasmessung wurde die Methode der Parameteridentifikation eingesetzt. Hierzu wurde ein Modell des Lufttransports im Treppenhaus entwickelt, das eine ähnliche Struktur wie das in Abschnitt 6.3 beschriebene thermische Modell aufweist. Das Treppenhaus (ohne den Fahrstuhlschacht) wird in die gleichen Zonen wie im thermischen Modell aufgeteilt. Innerhalb einer Zone wird die Tracerkonzentration jeweils durch ihren Mittelwert beschrieben. Zwischen den Zonen gibt es einen Luftaustausch, der sich auf die Tracerkonzentrationen auswirkt. Außerdem kommt es durch die undichten Türen zur Tiefgarage sowie im Erdgeschoss zu Infiltration. Der gemessene Volumenstrom der Zuluft im KG wird berücksichtigt. Die CO<sub>2</sub>-Konzentration der Außenluft war aus der oben durchgeführten Bestimmung der globalen Zeitkonstante des gesamten Treppenhauses bekannt. Die gemessene Tracerkonzentration im OG1 wurde als Randbedingung angesetzt.

In diesem Modell wurden die Konzentrationen kurz vor Beginn der Tracereinbringung auf die gemessenen Werte gesetzt. Anschließend entwickeln sich die Konzentrationen entsprechend den angenommenen Randbedingungen. Der Tracer wird dabei innerhalb der gemessenen Zeitdauer von 40 s ab 3:06 Uhr überwiegend im KG freigesetzt. Um das in den Messdaten beobachtete Herabfließen des Tracers in die darunterliegenden Geschosse näherungsweise abzubilden, wurde angenommen, dass 15 % des insgesamt eingebrachten Tracergases einen Treppenabsatz tiefer, 5 % zwei Treppenabsätze tiefer freigesetzt wurden.

Die unbekannt Parameter des Modells, d. h. die Infiltrationsvolumenströme und der interzonale Luftaustausch, wurden nun so angepasst, dass die gemessenen Konzentrationsverläufe möglichst gut abgebildet werden. Betrachtet wurde dabei der gesamte Zeitraum von der Initialisierung des Modells bis zum Ende der Messung; ausgespart wurde jedoch die Konzentration im KG während der Zeit von 3:00 bis 3:30, da hier aufgrund der Messbereichsüberschreitungen keine Anpassung an die Messdaten möglich war.

Auf diese Weise können die Werte der freien Parameter des Modells bestimmt werden. In der folgenden Tabelle sind die Ergebnisse zusammengestellt:



Tabelle 22: Ergebnisse der Parameteridentifikation.

Interzonaler Luftaustausch	0 m <sup>3</sup> /h
Infiltration EG	125 m <sup>3</sup> /h
Infiltration KG	9 m <sup>3</sup> /h
Infiltration TG1	29 m <sup>3</sup> /h
Infiltration TG2	15 m <sup>3</sup> /h

Abbildung 114 zeigt den Verlauf der gemessenen und berechneten Tracerkonzentrationen für den besten Fit.

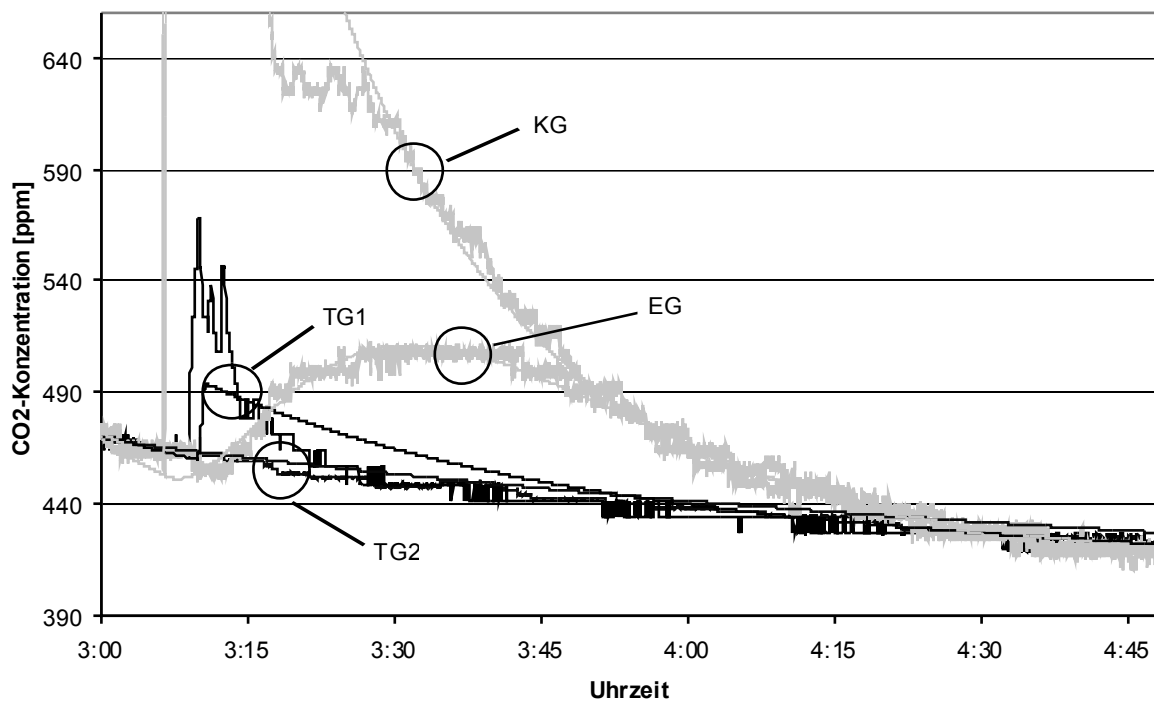
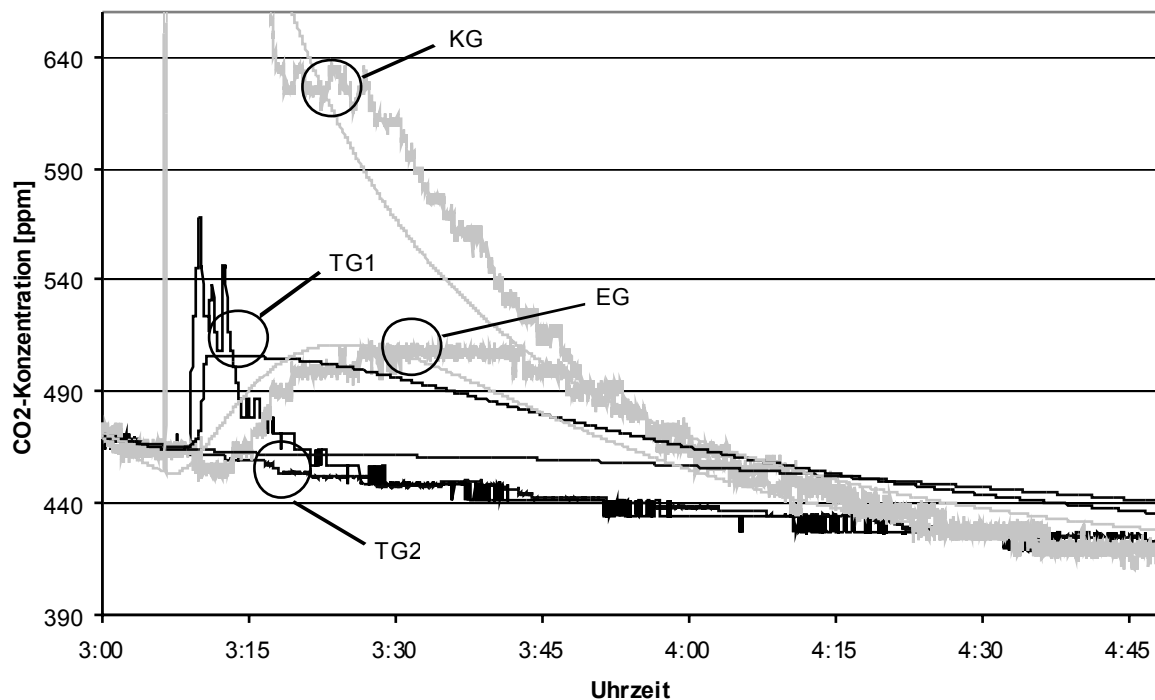


Abbildung 114: Verlauf der gemessenen und berechneten CO<sub>2</sub>-Konzentrationen im Treppenhaus (interzonaler Luftaustausch = 0).



**Abbildung 115:** Verlauf der gemessenen und berechneten  $\text{CO}_2$ -Konzentrationen im Treppenhaus (interzonaler Luftaustausch =  $50 \text{ m}^3/\text{h}$ ).

Die Infiltrationsströme in Tabelle 22 erscheinen vor dem Hintergrund der oben beschriebenen Randbedingungen (undichte Türen, Belüftung des Müllraums) plausibel. Das zentrale Ergebnis ist die Tatsache, dass die gemessenen Konzentrationen am besten wiedergegeben werden, wenn kein zusätzlicher interzonaler Luftwechsel vorliegt.

Eine Fehlerabschätzung für diese Aussage wurde dadurch gewonnen, dass der interzonale Luftwechsel im Modell schrittweise erhöht wurde, bis eine deutlich erkennbare Abweichung von den gemessenen Daten vorlag. In Abbildung 115 sind die gemessenen und berechneten Daten für einen interzonalen Luftwechsel von  $50 \text{ m}^3/\text{h}$  dargestellt. Unter dieser Annahme sinkt die berechnete Konzentration im KG wesentlich schneller ab als gemessen, der Peak im EG verlagert sich in der Rechnung zu weit nach vorne, und die berechneten Konzentrationen in den beiden TG-Geschossen weichen signifikant stärker vom gemessenen Wert ab als im Fall ohne interzonalen Luftaustausch.

Es kann daher angenommen werden, dass der interzonale Luftwechsel im Treppenhaus – zumindest in den Bereichen, in denen thermisch bedeutende vertikale Temperaturgradienten vorliegen – weniger als  $50 \text{ m}^3/\text{h}$  beträgt, vermutlich sogar deutlich weniger. Da es sich im vorliegenden Fall um eine einzelne Messung in einem speziellen Treppenhaus und mit bedeutender Infiltration handelt, sollte für



Projektorungszwecke sicherheitshalber ein Wert von  $50 \text{ m}^3/\text{h}$  verwendet werden, bevor dieses Ergebnis durch weitergehende Untersuchungen abgesichert ist.

## **6.5 Ergebnisse für das thermische Treppenhausmodell**

In das themische Modell des Treppenhauses gehen nahezu 100 Parameter ein, die mit unterschiedlich hoher Genauigkeit bekannt sind: Flächen und U-Werte der Bauteile zwischen den Zonen, Wärmebrücken, Leitwerte durch das Erdreich, Luftströmungen, die Anzahl von Türöffnungen und Aufzugfahrten usw. Durch gewissenhafte Abschätzung der weniger genau bekannten Größen entstand ein Referenzmodell, mit dem sich die Temperaturen im Treppenhaus errechnen lassen.

Die gemessenen Temperaturen können dabei nicht unmittelbar mit den Temperaturknoten des Modells verglichen werden, da die Messungen größtenteils genau an der Grenze zwischen zwei Zonen stattfanden. Um die Güte der Übereinstimmung beurteilen zu können, wurden die Temperaturen daher entsprechend der folgenden Tabelle umgerechnet.





**Tabelle 23: Ermittlung der für einen Vergleich von Messung und Berechnung geeigneten Temperaturen.**

<b>Gemessene Temperatur (Mittelwert aus Luft- und Oberflächentemperatur)</b>	<b>Berechnete Vergleichstemperatur</b>
TF5 unter Treppenabsatz	Mittelwert aus den oben und unten angrenzenden Knoten
TF6 unter Treppenabsatz	Mittelwert aus den oben und unten angrenzenden Knoten
TF7 Höhe EG-Fußboden, nur Lufttemperatur	Treppenabsatz zwischen KG und EG
TF8 unter Treppenabsatz	Mittelwert aus den oben und unten angrenzenden Knoten
TF9 unter Treppenabsatz	Mittelwert aus den oben und unten angrenzenden Knoten
TF10 unter Treppenabsatz TG2	Temperaturknoten TG2
TF11 Außenwand, knapp über dem Treppenabsatz zwischen EG und OG1	Treppenabsatz zwischen EG und OG1 abzüglich 0,5 K (wegen der Temperaturschichtung, in diesem Bereich ca. 2 K pro Geschoss)
TF12 Außenwand, knapp über dem Treppenabsatz zwischen KG und EG	Treppenabsatz zwischen KG und EG abzüglich 0,5 K (wegen der Temperaturschichtung, in diesem Bereich ca. 2 K pro Geschoss)

Abbildung 116 zeigt einen Vergleich der mit dem Referenzmodell berechneten Temperaturen mit den Messergebnissen. Im Rahmen der hier erreichbaren Genauigkeit stimmen die Werte überein, die maximale Abweichung zwischen gemessenen und berechneten Werten beträgt 0,5 K.

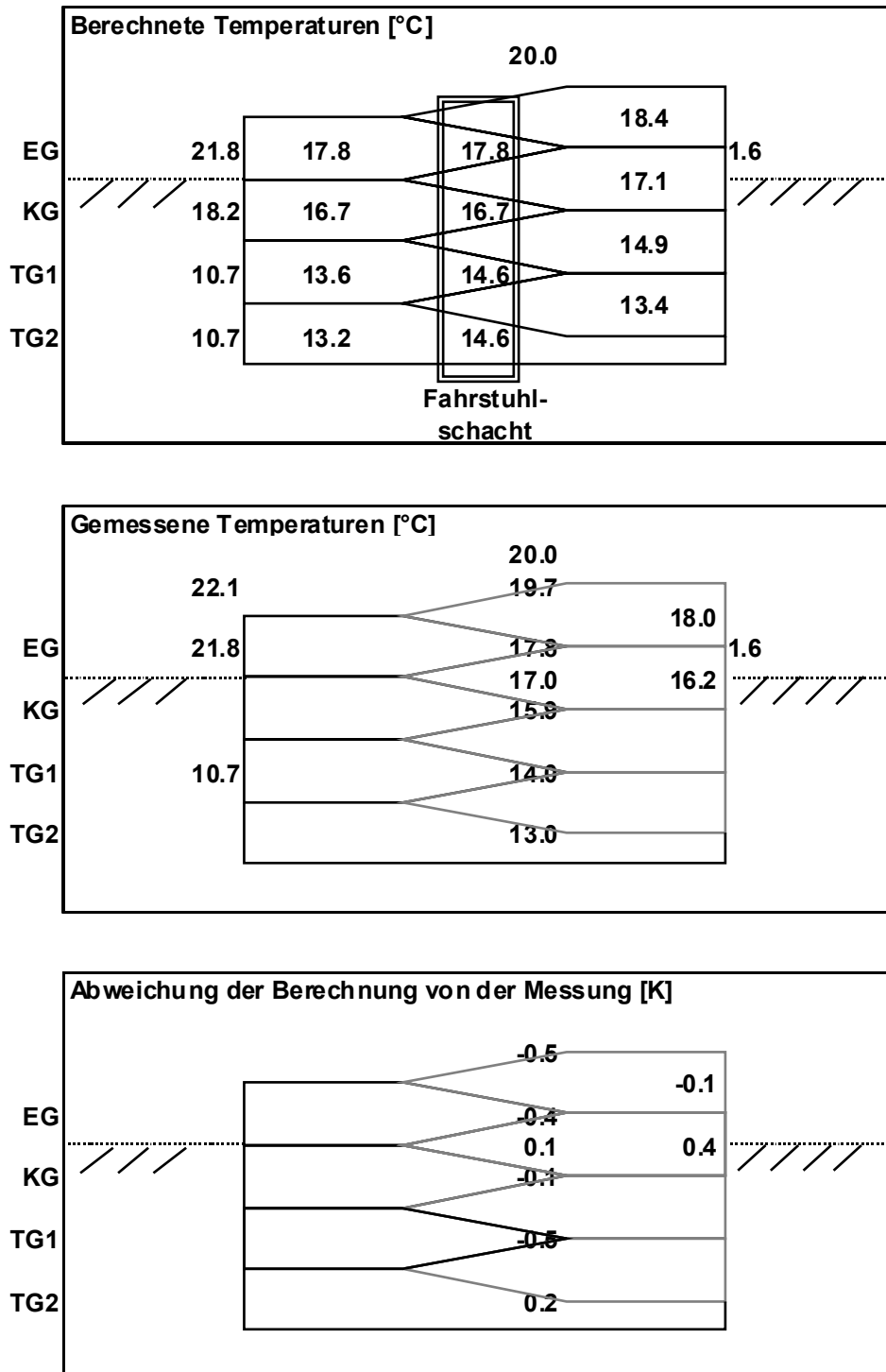


Abbildung 116: Ergebnisse von Berechnung und Messung für den Zeitraum vom 11.2.04 bis zum 10.3.04, Referenzmodell. Zur Interpretation siehe Text.

## 6.6 Sensitivitätsanalyse

Für einige Eingangsgrößen der Temperaturberechnung lagen keine Messwerte vor, diese Größen mussten daher abgeschätzt werden. Die gute Übereinstimmung zwischen Messung und Rechnung ist zwar ein Hinweis auf die Gültigkeit des Modells, belegt diese aber noch nicht: Eine Änderung von bestimmten



Einflussgrößen, die für die Energiebilanz bedeutend sind, wirkt sich auf die Temperaturen im Treppenhaus nicht signifikant aus. Dennoch kann eine Sensitivitätsanalyse dabei helfen, die Abschätzungen abzusichern: Wird die Übereinstimmung der berechneten und gemessenen Temperaturen von einem bestimmten Wert eines Parameters an erheblich schlechter, schränkt dies den sinnvollen Wertebereich dieses Parameters ein.

Um den Einfluss verschiedener Eingangsgrößen auf die errechneten Temperaturen zu ermitteln, wurde anhand des Modells bestimmt, in welchem Rahmen sie verändert werden können, ohne dass dadurch wesentliche Abweichungen zwischen der errechneten und der gemessenen Temperaturverteilung im Treppenhaus entstehen. Als Maß für die Abweichung zwischen Messung und Rechnung dient dabei zum einen die mittlere quadratische Abweichung

$$q = \frac{1}{n} \sqrt{\sum_{i=1}^n x_i^2},$$

wobei die  $x_i$  die entsprechend Tabelle 23 ermittelten Differenzen zwischen gemessener und berechneter Temperatur darstellen. Als zweite Größe wird das Maximum  $m$  der  $|x_i|$  verwendet.

Für das Referenzmodell ist  $q = 0,12$  K. Die Temperaturfühler wurden aufwendig kalibriert, dennoch liegt die Messgenauigkeit sicherlich nicht unter  $0,1$  K. Als Maß für eine nicht mehr plausible Abweichung wird der Wert  $q = 0,2$  K verwendet. Die maximale Abweichung  $m$  beträgt im Referenzmodell  $0,50$  K, hier wird maximal  $m = 1$  K zugelassen.

Im Folgenden werden nur diejenigen Größen betrachtet, die eine relativ große Unsicherheit aufweisen und gleichzeitig für den Wärmeverlust durch das Treppenhaus bedeutend sind.

### 6.6.1 Konvektion zwischen den Zonen

Im Referenzmodell gibt es entsprechend den Ergebnissen der Tracergasmessung keinen konvektiven Wärmetransport zwischen den Zonen des Modells. Aufgrund der in Abschnitt 6.4 beschriebenen Untersuchungen können größere Luftströmungen zwischen den Zonen weitgehend ausgeschlossen werden.

Es wäre aber weiterhin denkbar, dass durch sich zeitlich ändernde Temperaturen der Oberflächen oder durch Personen im Treppenhaus eine Luftbewegung hervorgerufen wird, die energetisch relevant wird. Um die obigen Ergebnisse abzusichern, wird daher zusätzlich die Sensitivität der Temperaturverteilung auf den interzonalen Luftaustausch untersucht.

Abbildung 117 zeigt die Kenngrößen  $q$  und  $m$  für verschiedene Annahmen zum Luftaustausch zwischen den Zonen.

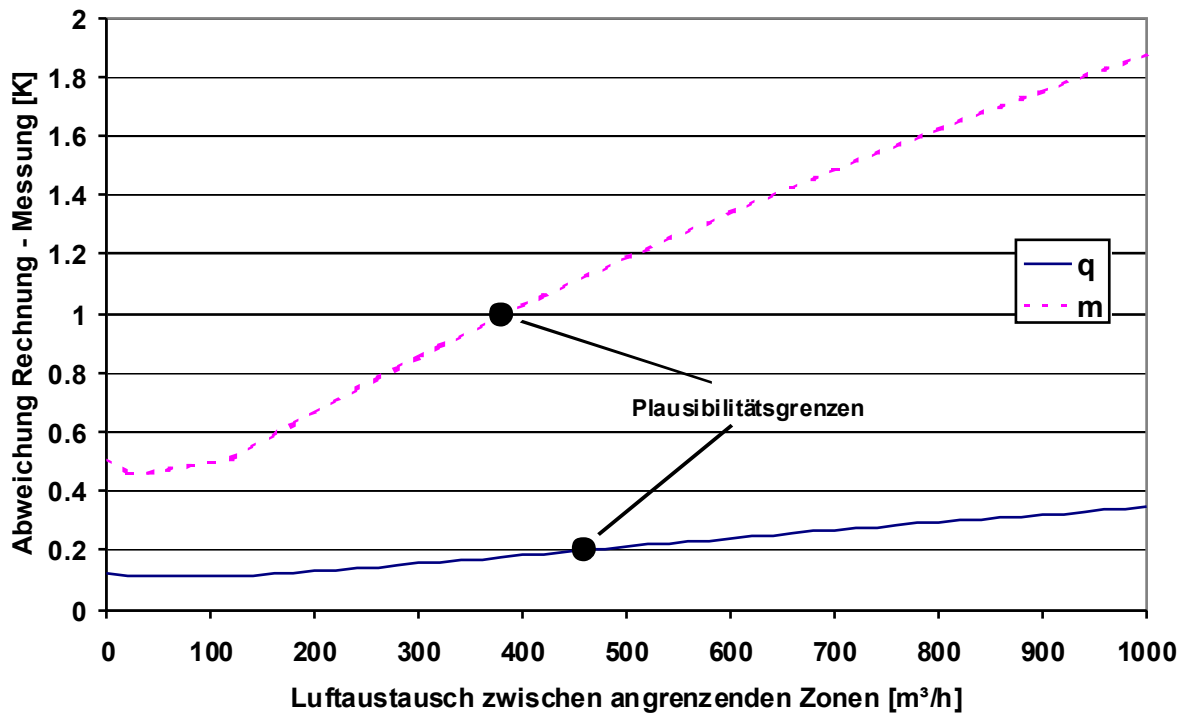


Abbildung 117: Sensitivität auf den Luftaustausch zwischen den Zonen.

Das Ergebnis deutet darauf hin, dass der Luftaustausch zwischen den Zonen keine bedeutende Größenordnung besitzt. Die beste Übereinstimmung mit den Messdaten wird für einen Luftaustausch von  $30 \text{ m}^3/\text{h}$  erreicht. Die Plausibilitätsgrenze wird jedoch erst bei einem Luftaustausch von ca.  $400 \text{ m}^3/\text{h}$  überschritten. Aus diesem Grund wurden die oben beschriebenen weiter gehenden Tracergasuntersuchungen zum Luftaustausch erforderlich.

## 6.6.2 Infiltration

Die Infiltration aufgrund von thermischem Auftrieb und Winddruck wurde im Referenzmodell für das TG1 und TG2 entsprechend der Auswertung der Tracergasmessung eingesetzt. Die hohen Infiltrationsvolumenströme, die die Tracergasmessung im Erdgeschoss lieferte, würden dagegen im thermischen Modell unplausibel niedrige Temperaturen verursachen. Es ist durchaus möglich, dass der thermisch wirksame Infiltrationsvolumenstrom bedeutend kleiner ist als der in der Tracergasmessung wirksame: Ein großer Teil der Infiltration im EG dürfte auf dem Weg durch den Müllraum und den angrenzenden Flur stattfinden. Er wirkt sich dann zwar auf die gemessenen Tracerkonzentrationen aus; da die Luft sich aber auf dem Weg bis zum Treppenhaus auf Raumtemperatur erwärmt, hat diese Infiltration auf die Temperaturen im Treppenhaus wesentlich weniger Einfluss als eine direkte Infiltration von Außenluft (für die Energiebilanz des gesamten Gebäudes ist diese



Unterscheidung selbstverständlich belanglos, der Ort der Infiltration spielt dafür keine Rolle). Die folgende Tabelle zeigt die im Modell angesetzte, thermisch wirksame Infiltration und die zugehörigen Plausibilitätsgrenzen.

**Tabelle 24: Infiltrationsvolumenströme in den unteren Geschossen des Treppenhauses.**

<b>Infiltrationsvolumenströme in m<sup>3</sup>/h</b>			
	Referenzmodell	Untergrenze	Obergrenze
EG	25	0	46
KG	9	0	125
TG1	29	0	85
TG2	15	0	75

Eine erhöhte Infiltration würde sich vor allem im Erdgeschoss (kalte Außenluft) sofort auf die gemessenen Temperaturen auswirken. In der Tiefgarage (mäßig kalte Luft) und im KG (Infiltration nahezu mit der Treppenhaustemperatur in dieser Ebene) sind die Auswirkungen schwächer.

Infiltration findet auch dadurch statt, dass Personen die Türen im EG und den Tiefgarageneingängen benutzen. Es wurden durchschnittlich 3 Türöffnungen pro Stunde mit jeweils 1 m<sup>3</sup> Luftaustausch angenommen. Für den dadurch jeweils ins Gebäude gelangenden Kaltluftschwall wurde angenommen, dass er zu 25 % ins entsprechende Geschoss und zu 75 % auf den darunter liegenden Treppenabsatz gelangt. Die Luftmenge ist relativ klein, könnte jedoch aufgrund der großen Temperaturdifferenzen bedeutend werden.

Die Plausibilitätsgrenzen werden erreicht, wenn die Türöffnungen im EG um den Faktor 4,1, im TG1 um den Faktor 26 und im TG2 um den Faktor 52 erhöht werden. Genauere Aussagen über die Auswirkungen von Türöffnungen auf die Energiebilanz sind mit den vorhandenen Messungen aufgrund der geringen Sensitivität nicht möglich.

### **6.6.3 Temperatur KG**

Im Kellergeschoss sind keine Temperatursensoren installiert. Die Temperatur des Kellergeschosses wurde anhand einer am 1.1.2005 durchgeführten Kalibriermessung ermittelt. Aufgrund gemessener Temperaturen von EG, KG und TG konnten Wichtungsfaktoren ermittelt werden, mit denen die Temperatur im KG als gewichtetes Mittel der kontinuierlich gemessenen EG- und TG-Temperaturen berechnet wurde.



Eine Verschiebung der KG-Temperatur verändert auch die berechneten Temperaturen im Treppenhaus. Die Plausibilitätsgrenze wird dabei erst bei einem Offset von  $+3/-2,8$  K erreicht. Der Einfluss dieser Randbedingung ist folglich gering. Die beste Übereinstimmung von Messung und Rechnung ergibt sich für die berechnete Temperatur  $+0,3$  K.

#### **6.6.4 Konvektion im Fahrstuhlschacht**

Durch den Fahrstuhlschacht entsteht ein bedeutender Wärmetransport zwischen den Geschossen: Strahlungswärmeaustausch kann über die gesamte Gebäudehöhe stattfinden, behindert nur durch den Fahrkorb und die mit zunehmendem Abstand kleiner werdenden Sichtfaktoren. Hinzu kommt ein konvektiver Wärmetransport, verursacht durch den auf- und abfahrenden Fahrkorb. Es wurde angenommen, dass die Luft im Fahrstuhlschacht im Durchschnitt alle 10 Minuten vollständig durchmischt wird. Variiert man diese Größe, so werden die Plausibilitätsgrenzen bei 3,4 bzw. 12 Durchmischungen pro Stunde erreicht. Ein Einfluss von Konvektion im Fahrstuhlschacht in der angenommenen Größenordnung ist folglich plausibel.

#### **6.6.5 Andere Zeiträume**

Parameteridentifikationen wie die hier durchgeführte sollten stets durch Anwendung der bestimmten Parameter auf unabhängige Datensätze abgesichert werden. Hierfür wurden zwei Zeiträume ausgewählt, zum einen der Kernwinter 2004/2005, zum anderen der gesamte Messzeitraum. Tabelle 25 zeigt die sich ergebenden Normdifferenzen, in Abbildung 118 sind die Abweichungen an den verschiedenen Positionen dargestellt.

Die Übereinstimmung von Messung und Rechnung ist hier naturgemäß etwas schlechter als im Referenzfall, für den die Parameteridentifikation durchgeführt wurde. Die Plausibilitätsgrenzen werden jedoch nur für eine einzelne Temperatur im zweiten Fall überschritten: Im TG2 liefert die Rechnung um  $1,3$  K zu hohe Temperaturen. Die Testergebnisse widersprechen damit der Gültigkeit des Modells nicht.



Tabelle 25: Plausibilitätskennwerte für zwei unabhängige Test-Datensätze.

	m [K]	q [K]
1.11.04 – 28.2.05	0,69	0,128
24.12.03 – 22.5.05	1,271	0,185

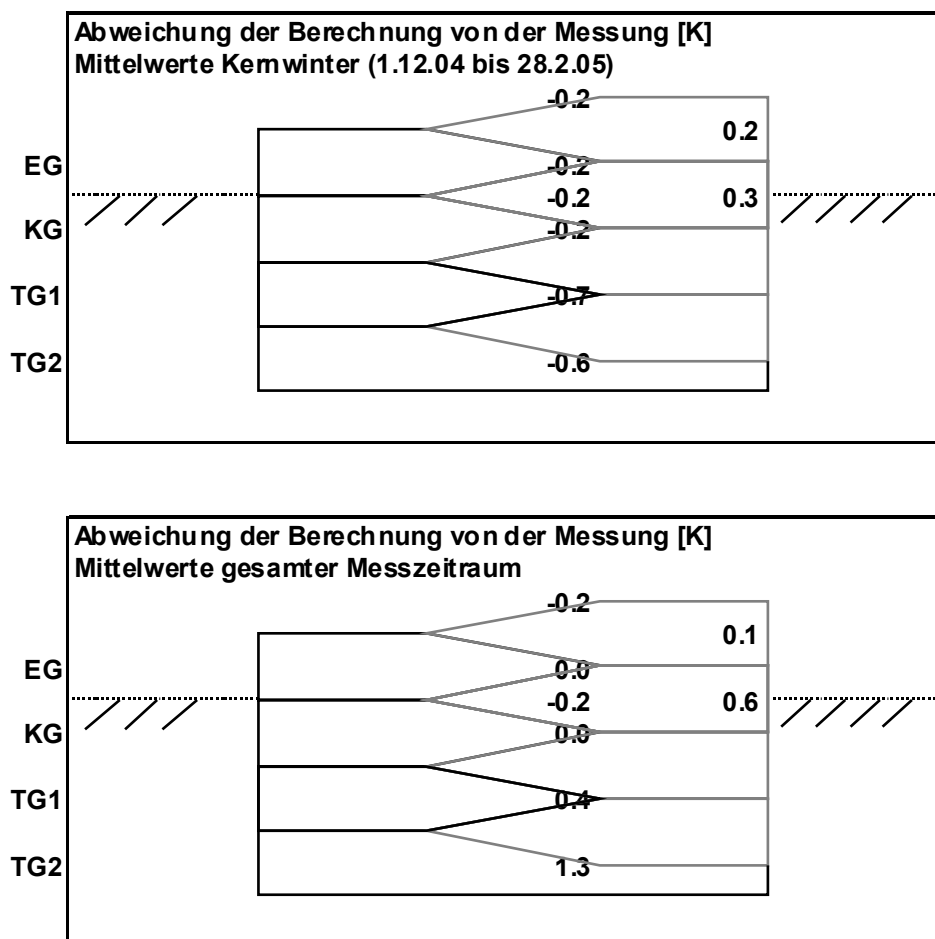


Abbildung 118: Abweichung der Temperaturen zwischen Berechnung und Messung für zwei unabhängige Test-Datensätze.

## 6.7 Einfluss auf die Energiebilanz

In der vorliegenden PHPP-Berechnung für das Projekt Pinnasberg wurde der Wärmeverlust durch das Treppenhaus folgendermaßen abgeschätzt: Auf einer Fläche von 2,80 m x 2,60 m (etwa die Fläche des Horizontalschnitts durch die Treppenstufen und die an der Außenwand gelegenen Treppenabsätze) wurde ein Strahlungswärmeübergang von 6 W/(m<sup>2</sup>K) mit einem Reduktionsfaktor von 0,5 (Wärmeverlust gegen Erdreich) angesetzt, was einem in der Energiebilanz wirksamen Leitwert zwischen innen und außen von 21,8 W/K entspricht. Der reguläre Wärmeverlust durch die Kellerdecke (U = 0,14 W/(m<sup>2</sup>K)) ist für die genannte Fläche



zusätzlich berücksichtigt, gegenüber dem Strahlungswärmeverlust jedoch nicht von Bedeutung. Nicht in der bestehenden Energiebilanz enthalten ist der Wärmeverlust durch den Fahrstuhlschacht nach unten. Andererseits wird im Bereich der Treppenstufen selbst durch die verschiedenen Zwischendecken auf dem Weg vom EG bis zum TG2 der Wärmeverlust gegenüber dem ursprünglichen Ansatz reduziert.

Mit Hilfe des hier erstellten thermischen Modells des Treppenhauses kann nun ein äquivalenter U-Wert ermittelt werden, der bei vergleichbaren Projekten in der Energiebilanz angesetzt werden kann. Hierzu wurde zunächst der Wärmestrom bestimmt, der durch das Treppenhaus nach unten verloren geht. In dieser Berechnung wurde das KG (welches nur mäßig gegenüber den angrenzenden kalten Bereichen gedämmt ist, sich also eigentlich außerhalb der thermischen Hülle befindet) als unbeheizt angenommen, d.h. abweichend von den Messungen wurde hier die Temperatur des TG angesetzt. Die Bilanzgrenze verläuft im Boden des EG, im Fahrstuhlschacht also zwischen den Zonen FsEG und FsKG, im Treppenhaus zwischen den Zonen EG/TrEG einerseits und der Zone TrKG andererseits (vgl. jeweils Abbildung 105). Die Wärmeströme, die diese Bilanzgrenze im Heizperiodenmittel im Bereich des Fahrstuhls, der Treppenstufen und der Treppenabsätze zwischen den Geschossen (Querschnittsfläche:  $15 \text{ m}^2$ ) überschreiten, wurden aufsummiert. Dividiert man diesen Wärmestrom durch die Differenz zwischen EG- und Außentemperatur, ergibt sich ein äquivalenter thermischer Leitwert für den Wärmetransport durch den genannten Teil des Treppenhauses. Der Leitwert, der den Wärmeverlust durch die Außenwand der Zone TrKG direkt nach außen repräsentiert, muss von diesem Wert wieder abgezogen werden, da er in der Energiebilanz bereits berücksichtigt ist. Der verbleibende Leitwert zwischen innen und außen beträgt  $24,6 \text{ W/K}$  und stimmt von der Größe her gut mit dem ursprünglichen Ansatz aus dem PHPP überein.

Mit einem Reduktionsfaktor von 0,5 für die Wärmeverluste an den Keller beträgt der äquivalente U-Wert damit

$$U_{\text{äq}} = 3,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}).$$

Der Luftaustausch zwischen den Zonen ist für diesen Wert nur von vergleichsweise geringer Bedeutung: Setzt man hier einen Wert von  $50 \text{ m}^3/\text{h}$  an, ergibt sich  $U_{\text{äq}} = 3,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ , für  $300 \text{ m}^3/\text{h}$  wäre  $U_{\text{äq}} = 3,9 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ . Entscheidend ist dagegen der Wärmetransport im Fahrstuhlschacht.

## 6.8 Fazit

Die Wärmeströme, die durch das Treppenhaus nach unten gelangen, sind prinzipiell bekannt, auch wenn ihre Ermittlung im Einzelfall mühevoll und fehlerträchtig sein kann. Die Wärmeleitung durch die Seitenwände ist berechenbar, der Transmissionswärmestrom zwischen den Zonen des Treppenhauses lässt sich leicht ermitteln, der





Strahlungswärmetransport von einer Zone zur nächsten wird durch die freie Querschnittsfläche zwischen den Zonen begrenzt. Die Berechnung dieser Wärmeströme ist auf andere Geometrien und Randbedingungen mit ausreichender Genauigkeit übertragbar.

Für den konvektiven Wärmetransport wurde unter den hier gegebenen Randbedingungen aus den Messungen eine obere Schranke bestimmt. Hier ist die Übertragbarkeit auf andere Gebäude jedoch nicht zwangsläufig gegeben. Wenn beispielsweise die Infiltration im unteren Teil des Treppenhauses wesentlich schwächer wird, würde sich auch die Temperaturschichtung abschwächen. Dann könnten sich Raumluftwalzen ausbilden, die im hier untersuchten Treppenhaus nicht bzw. nicht im gleichen Maße entstehen konnten. Für den Fahrstuhlschacht ist die angesetzte Konvektion lediglich durch die Sensitivitätsuntersuchung aus Abschnitt 6.6.4 abgesichert. In beiden Fällen besteht weiterer Forschungsbedarf.

Obwohl die Ergebnisse der Messungen am besten mit einer weitgehend stabilen Luftschichtung im Treppenhaus verträglich sind, empfiehlt es sich für Zwecke der Projektierung daher, einen gewissen Luftaustausch zwischen den Zonen anzusetzen. Weitere Forschung mittels Messungen bzw. Berechnungen für diesen Anteil am Wärmeverlust erscheint notwendig.

Wichtig für die Praxis ist die Begrenzung der Infiltrationsverluste, die im vorliegenden Fall den höchsten Anteil an den Wärmeverlusten des Treppenabgangs haben. Dazu ist auf eine besonders gute Luftdichtheit des Treppenhauses und des Fahrstuhlschachtes zu achten, insbesondere auf die Dichtheit von Türen zu Kellern und Parkdecks. Heute übliche Türen führen regelmäßig zu hohen Infiltrationsströmen. Eine Weiterentwicklung und Verbesserung in Bezug auf die Luftdichtheit ist anzuregen.

In einem Großprojekt wie dem hier untersuchten können die Verluste, die durch einen ungedämmten Treppenabgang entstehen, leicht ausgeglichen werden. Auch in Bezug auf den Komfort entstehen hier keine Probleme, da sich zwischen dem Treppenhaus und Wohnräumen mit Behaglichkeitsanforderungen noch mindestens eine Tür befindet. In einem kleinen Passiv-Einfamilien- oder -Reihenhaus können die durch eine solche Konstruktion entstehenden Verluste dagegen schnell die Größenordnung der Wärmeverluste durch die Außenwände erreichen und damit so bedeutend werden, dass die Funktion des Gebäudes in Frage gestellt wird. Eine sorgfältige Planung ist hier in jedem Fall erforderlich.

## 6.9 Berechnung der Wärmeverluste durch ein offenes Treppenhaus

Zur Berechnung der Wärmeverluste zum unbeheizten Keller durch ein offenes Treppenhaus schlagen wir auf der Basis der hier durchgeführten Untersuchungen folgendes Verfahren vor:

- Die Grenze der thermischen Hülle im Bereich des Treppenhauses wird definiert. Die thermische Hülle kann in diesem Bereich auch unverschlossene Öffnungen, gewöhnlich den Treppenabgang, enthalten.
- Wenn das Treppenhaus unterhalb der thermischen Hülle aus mehreren Treppenabsätzen besteht, kann es in mehrere, übereinander liegende Zonen aufgeteilt werden.
- Der spezifische Transmissionswärmeverlust

$$H_T = \sum UA$$

*U: Wärmedurchgangskoeffizient, A: Fläche*

durch alle Bauteile, die im Bereich des Treppenhauses zur thermischen Hülle zählen, wird berechnet.

- Der spezifische Strahlungswärmeverlust

$$H_{\text{rad}} = 4\varepsilon_0 T^3 A \approx 5,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}) \cdot A$$

*$\varepsilon_0 = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}^4)$ ,  $T$ : mittlere Temperatur der Oberflächen,  $A$ : kleinste freie Querschnittsfläche zwischen den Zonen*

durch diejenigen freien Querschnitte, durch welche Strahlungswärmetransport stattfinden kann, wird berechnet. In einem Fahrstuhlschacht ist die gesamte Querschnittsfläche mit diesem Wert anzusetzen. Anmerkung: Die Emissivität der beteiligten Oberflächen wird hier auf der sicheren Seite mit 1 angenommen, denn bei kleinen Öffnungen zwischen den beteiligten Zonen kann es sich im Extremfall um schwarze Strahlung handeln.

- Aus den obigen Betrachtungen wurde eine Obergrenze für den konvektiven Luftaustausch von  $50 \text{ m}^3/\text{h}$  abgeleitet, die Öffnungsfläche zwischen den Zonen betrug  $3 \text{ m}^2$ . Der spezifische konvektive Wärmeverlust wird daher hier näherungsweise mit einem Luftaustausch von  $20 \text{ m}^3/\text{h}$  pro  $\text{m}^2$  freier Querschnittsfläche angesetzt.

$$H_{\text{kon}} = \rho c_p \cdot 20 \text{ m}^3/\text{h} = 6,6 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}) \cdot A$$



$\rho c_p = 0,33 \text{ Wh}/(\text{m}^3\text{K})$ ,  $A$ : kleinste freie Querschnittsfläche zwischen den Zonen

- Für die Konvektion im Fahrstuhlschacht hat sich die Annahme vollständiger Durchmischung alle 10 Minuten als plausibel erwiesen. Daraus ergibt sich ein spezifischer konvektiver Wärmeverlust von

$$H_{\text{kon}} = 6 \text{ h}^{-1} \rho c_p \frac{V_o V_u}{V_o + V_u} .$$

$\rho c_p = 0,33 \text{ Wh}/(\text{m}^3\text{K})$ ,  $V_o$ : Volumen des Fahrstuhlschachts innerhalb der thermischen Hülle,  $V_u$ : Volumen unterhalb der thermischen Hülle

- Für das entstehende Netzwerk von spezifischen Wärmeverlusten kann ein äquivalenter spezifischer Wärmeverlust berechnet werden. Im einfachsten Fall handelt es sich um die Parallelschaltung mehrerer Wärmeverlustpfade.
- Als einfach handhabbare Näherung auf der sicheren Seite kann für die Öffnungen in der thermischen Hülle im Treppenhaus bzw. Fahrstuhlschacht ein U-Wert von  $12 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  für alle Wärmetransportvorgänge gemeinsam (außer Infiltration) angesetzt werden.



## 7 Quellenangaben

- [AkkP 22] Feist, Wolfgang (Hrsg.): Lüftungsstrategien für den Sommer. Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser, Protokollband Nr. 22, Darmstadt, Passivhaus Institut, März 2003.
- [Bisanz 1999] Bisanz, Carsten: Heizlastauslegung im Niedrigenergie- und Passivhaus, Fachinformation PHI-1999/2, Darmstadt, Passivhaus Institut, Januar 1999
- [DIN 4108-T2] Deutsches Institut für Normung: DIN 4108, Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden, Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz; Beuth-Verlag, Berlin, April 2003.
- [DWD] Deutscher Wetterdienst: Wetterdaten für den Standort HH-Fuhlsbüttel, [www.dwd.de](http://www.dwd.de), August 2005.
- [Ebel 2003] Ebel, Witta; Großklos, Marc; Knissel, Jens; Loga, Tobias; Müller, Kornelia: Wohnen in Passiv- und Niedrigenergiehäusern. Eine vergleichende Analyse der Nutzerfaktoren am Beispiel der „Gartenhofsiedlung Lummerlund“ in Wiesbaden-Dotzheim. Endbericht. ISBN-Nr. 3-932074-63-7, Institut Wohnen und Umwelt (IWU), Darmstadt, Juli 2003.
- [EnEV] Energieeinsparverordnung: Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden, Bundeskabinettdorlage, 16 November 2001.
- [Feist 1997] Feist, Wolfgang und Tobias Loga: Vergleich von Messung und Simulation. In: Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser, Protokollband Nr. 5, Energiebilanz und Temperaturverhalten, Darmstadt, Passivhaus Institut, Januar 1997.
- [Feist 2000] Feist, Wolfgang; Ebel, Witta; Stärz, Norbert: Wäschetrocknen im Trockenschrank: Messergebnisse und Nutzererfahrungen in einem Passivhaus; Passivhaus Institut; Darmstadt 2000.
- [Feist 2005] Feist, Wolfgang: Wärmeübergabeverluste im Licht der Baupraxis. In Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser, Protokollband Nr. 28 „Wärmeübergabe- und Verteilverluste im Passivhaus; Darmstadt, Passivhaus Institut, September 2004.



- [Gemis] Fritsche, U.; Leuchtner, J.; Matthes, F.C.: Gesamt-Emissions-Modell Integrierter Systeme (GEMIS), Version 4.12, Öko-Institut, Damstadt September 2002.
- [Griesel 2005] Griesel, Simone (Hausbewohnerin Pinnasberg): Persönliche Auskunft im Februar 2005.
- [Meyer-Olbersleben 2005] Meyer-Olbersleben, Michael: Korrigiertes Protokoll der Drucktestmessung vom Gebäude Pinnasberg 27. Ing.-Büro Meyer-Olbersleben, Lüneburg, Juli 2005.
- [Peper 2001] Peper, S., Feist, W., Kah, O., Meßtechnische Untersuchung und Auswertung; Klimaneutrale Passivhaussiedlung in Hannover-Kronsberg, Fachinformation. PHI-2001/6, Passivhaus Institut, Damstadt 2001.
- [Peper 2002] Peper, Søren; Feist, Wolfgang; Klimaneutrale Passivhaussiedlung Hannover-Kronsberg, Analyse im dritten Betriebsjahr, Passivhaus Institut, Darmstadt, Juli 2002.
- [Peper 2004a] Peper, Søren: Thermographie-Untersuchung, Dokumentation des thermischen Zustands des Passivhauses Pinnasberg 27 mit Hilfe der Infrarotthermographie. Passivhaus Institut; Damstadt, März 2004.
- [Peper 2004b] Peper, Søren; Feist, Wolfgang; Pfluger, Rainer: Ein nordorientiertes Passivhaus. Messtechnische Untersuchung und Auswertung, Endbericht. Passivhaus Institut; Damstadt 2004.
- [Pfluger 2001] Pfluger, R., Feist, W., Meßtechnische Untersuchung und Auswertung; Kostengünstiger Passivhaus-Geschoßwohnungsbau in Kassel Marbachshöhe, Fachinformation PHI-2001/2, CEPHEUS-Projektinformation Nr. 15, Passivhaus Institut, Damstadt, 2001.
- [Reiß 2003] Reiß, Johann; Erhorn, Hans: Messtechnische Validierung des Energiekonzeptes einer großtechnisch umgesetzten Passivhausentwicklung in Stuttgart-Feuerbach. Fraunhofer-Institut für Bauphysik. IBP-Bericht WB 117/2003. Stuttgart, 2003.
- [Sariri 2003] Sariri, Vahid: Zertifizierungsunterlagen Passivhaus Pinnasberg, Passivhaus Institut, Damstadt 2003.
- [SBD 2005] Statistisches Bundesamt Deutschland: Bewohnte Wohneinheiten in Wohngebäuden und sonstigen Gebäuden mit Wohnraum nach Belegung und Fläche. Stand 2002. www.destatis.de. August 2005.



[TRY]

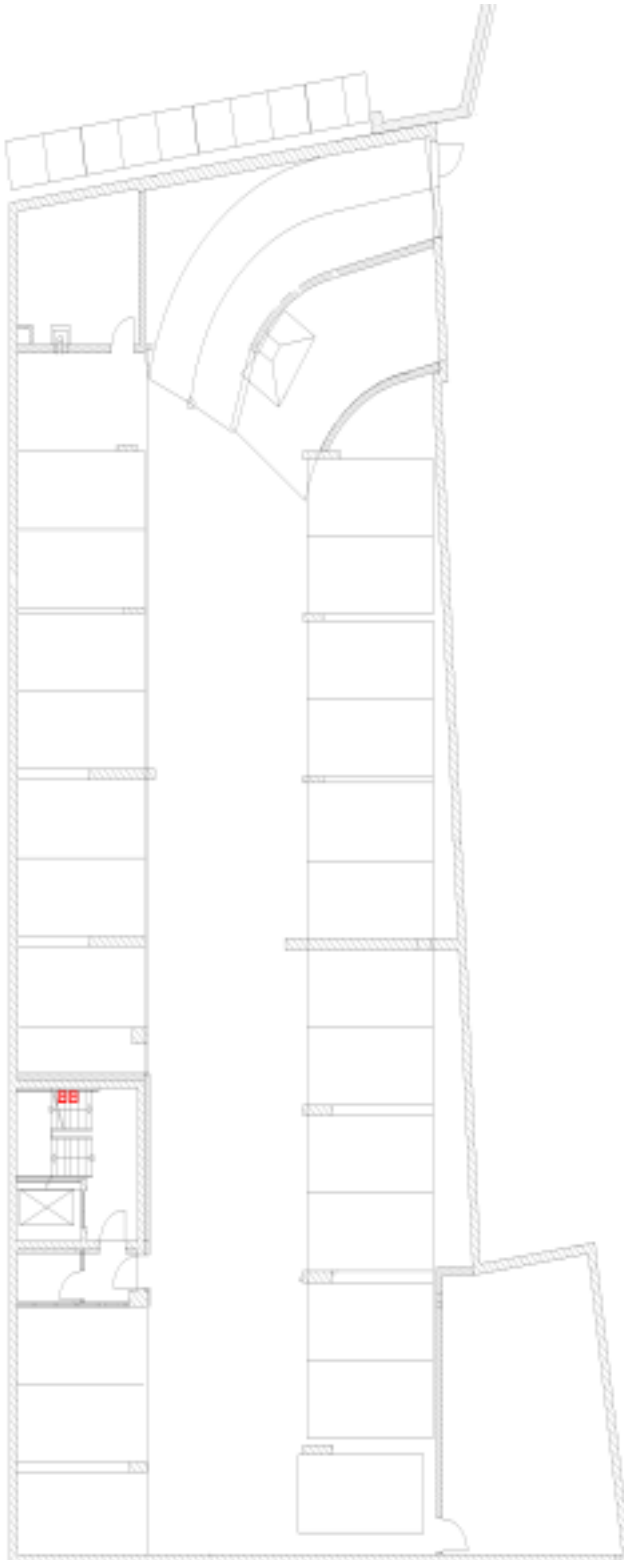
Christoffer, J.; Deuschländer, T.; Webs, Monika: Test-referenzjahre von Deutschland. Daten für die Region „3“ (Nordwestdeutsches Tiefland). Deutscher Wetterdienst, Offenbach a. Main, 2004



## 8 Anhang

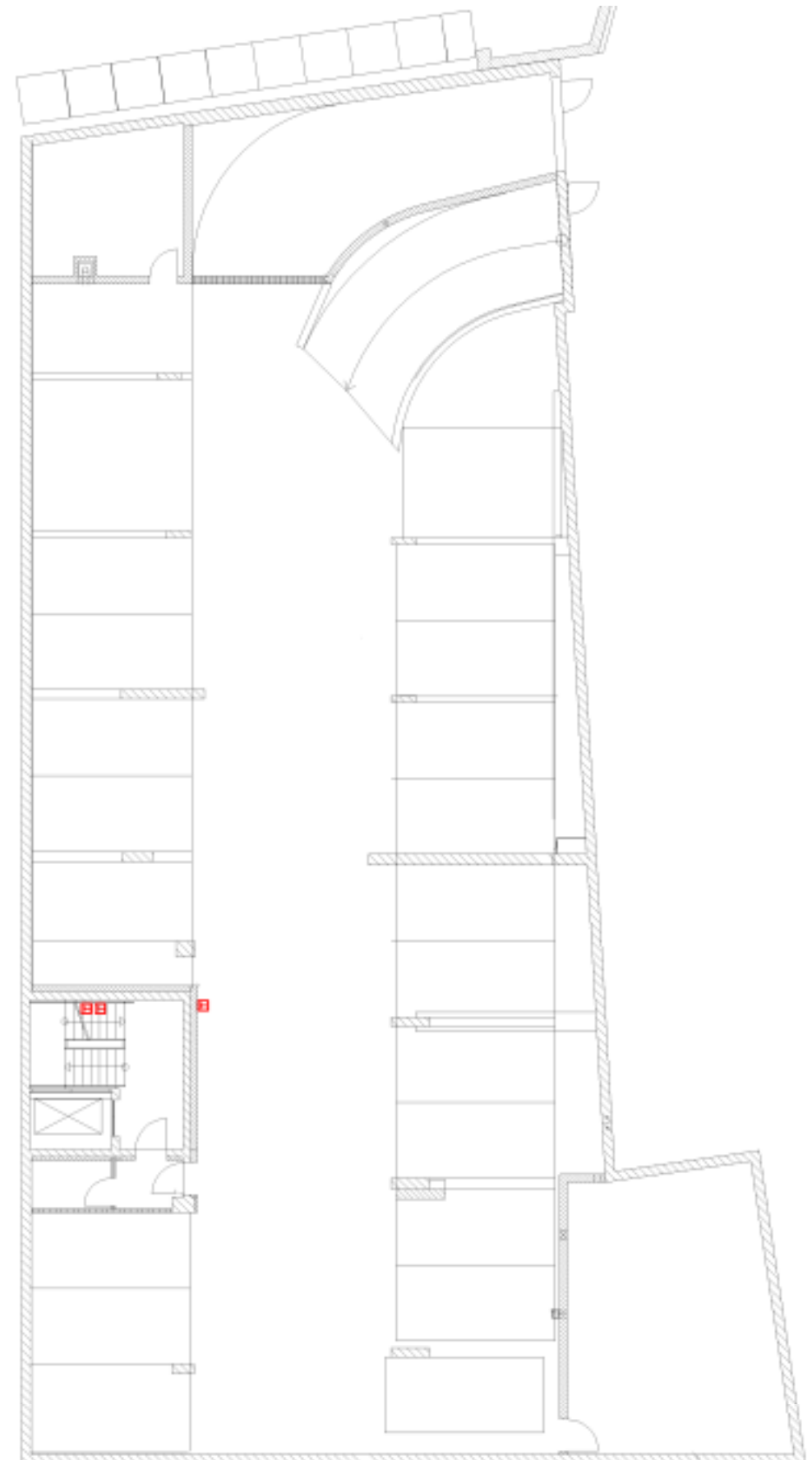
Im Anhang sind alle Grundrisse des Gebäudes dargestellt (Quelle: nach Plan -R-). Zusätzlich wurden die Temperaturmessstellen farbig in den Plänen gekennzeichnet.

### Grundriss Tiefgarage TG-2





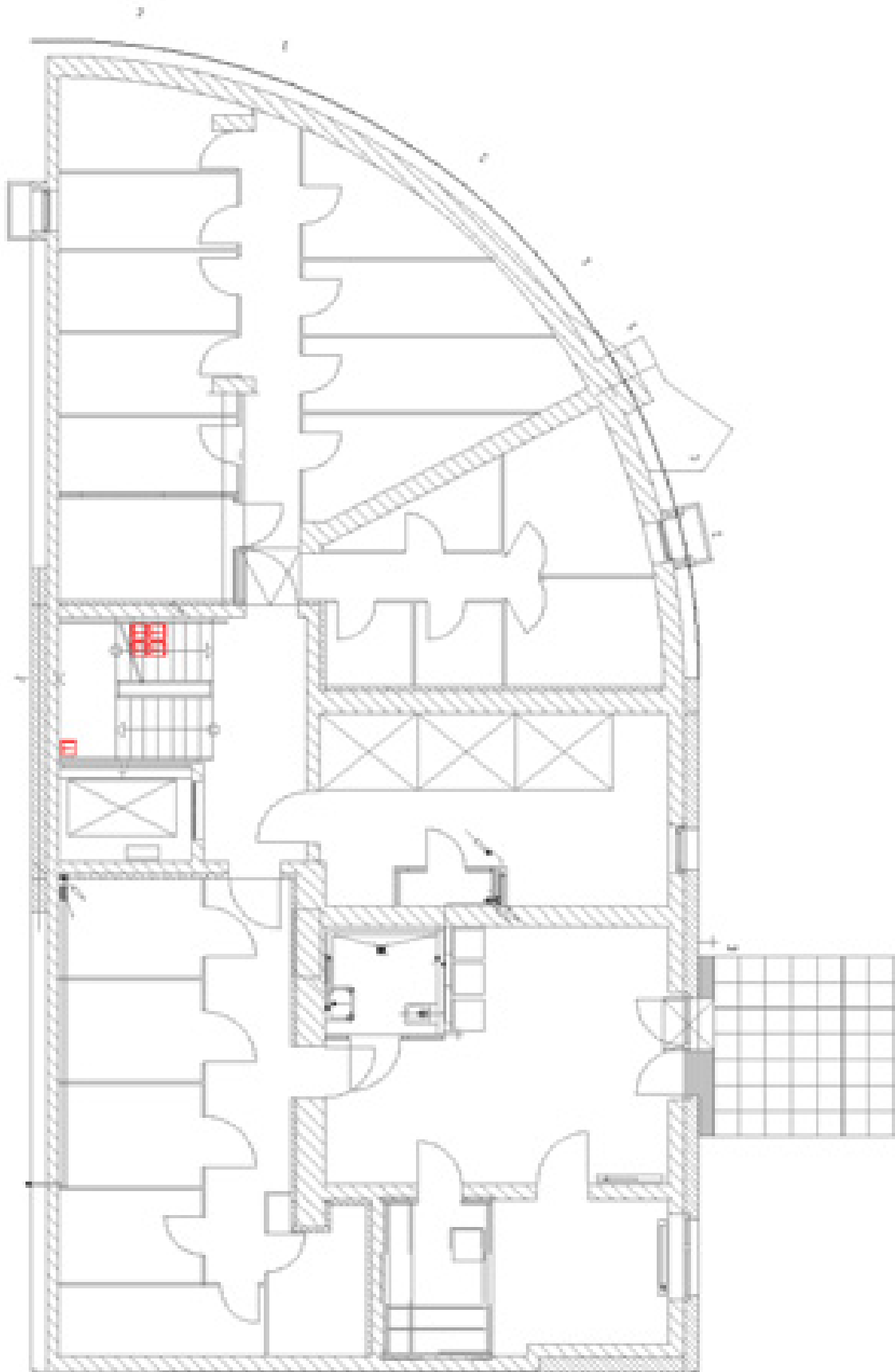
### Grundriss Tiefgarage TG-1





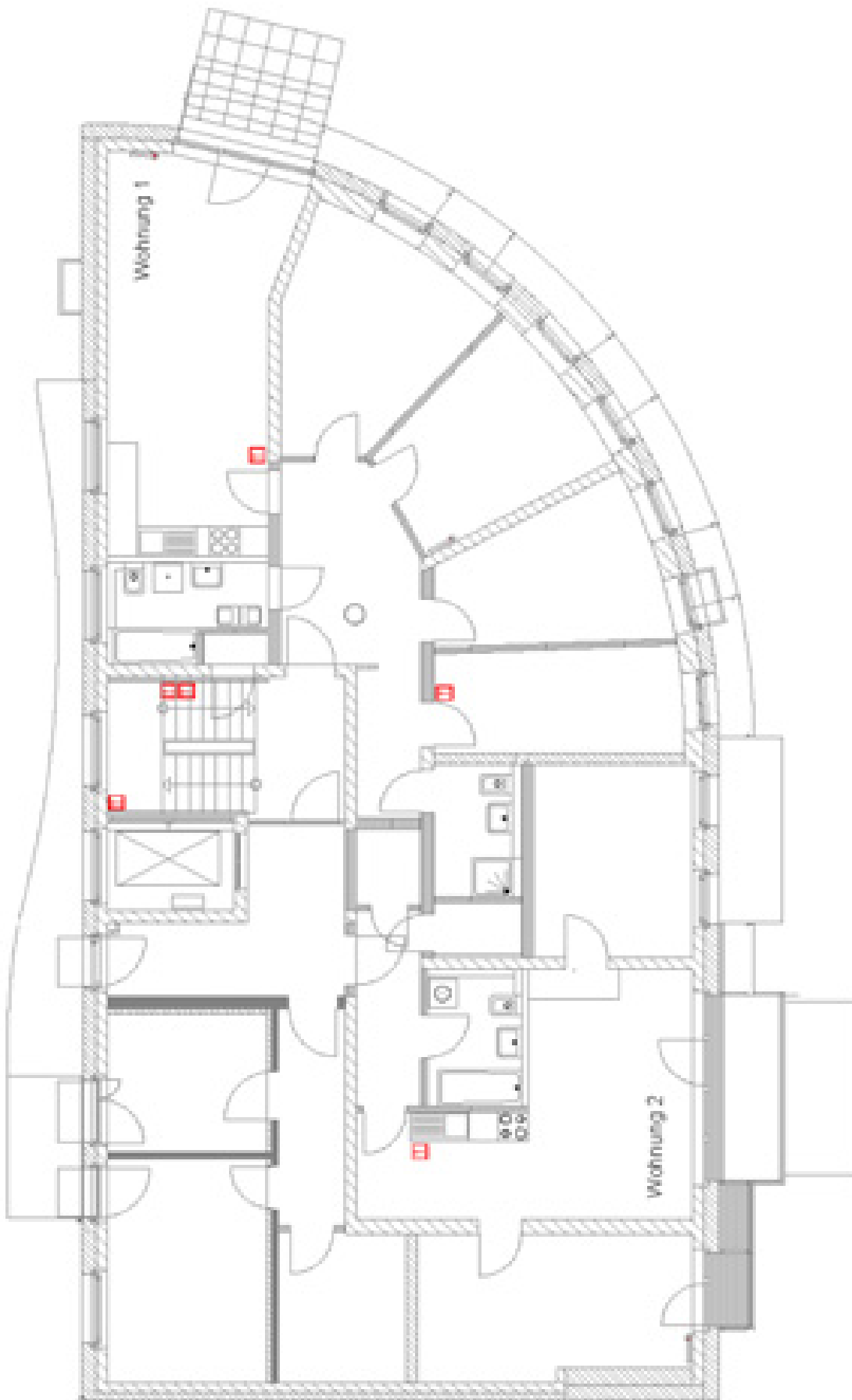


## Grundriss Kellergeschoss mit Waschküche und Gästezimmer



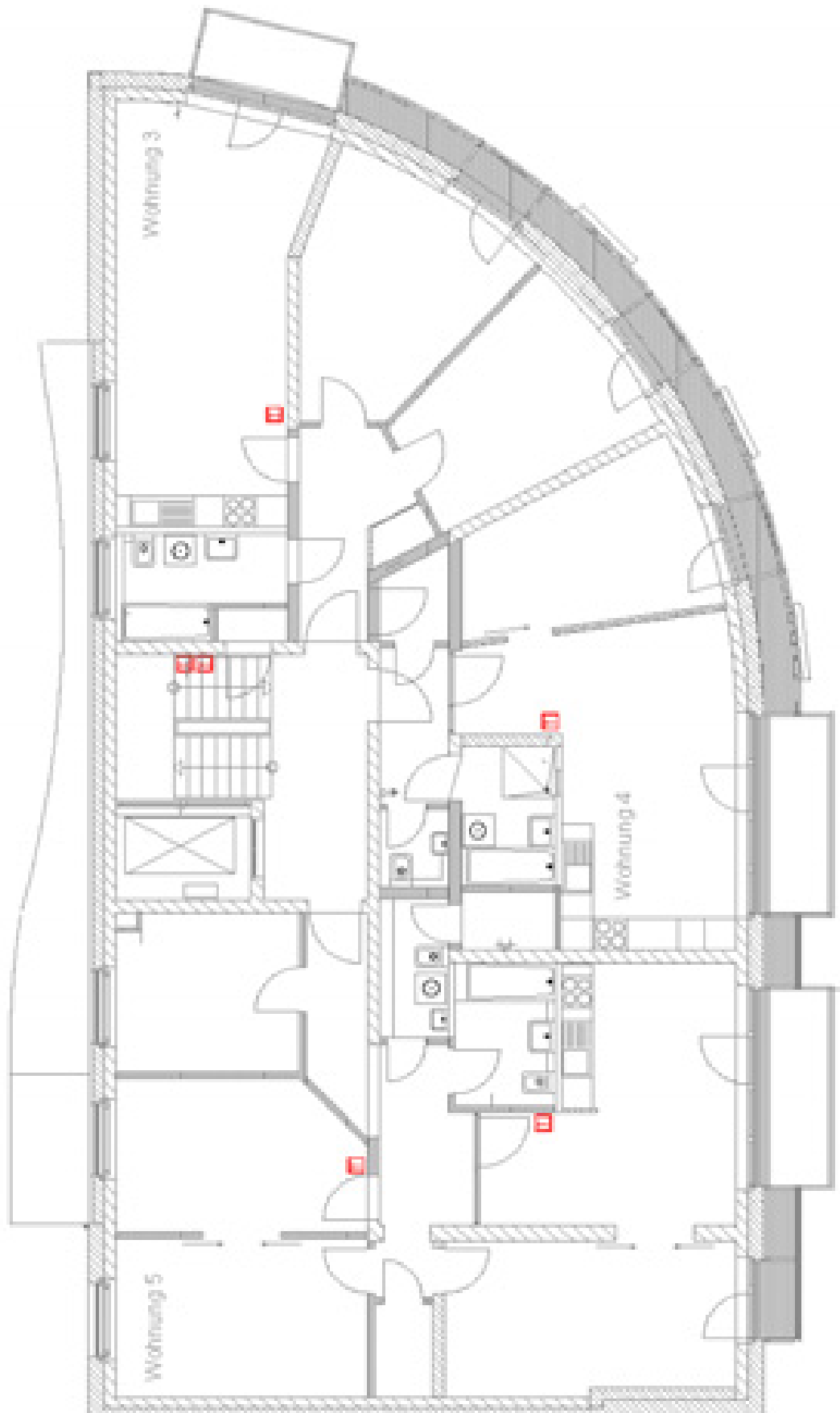


**Grundriss EG mit Eingangsbereich, Müll- und Fahrradraumraum**



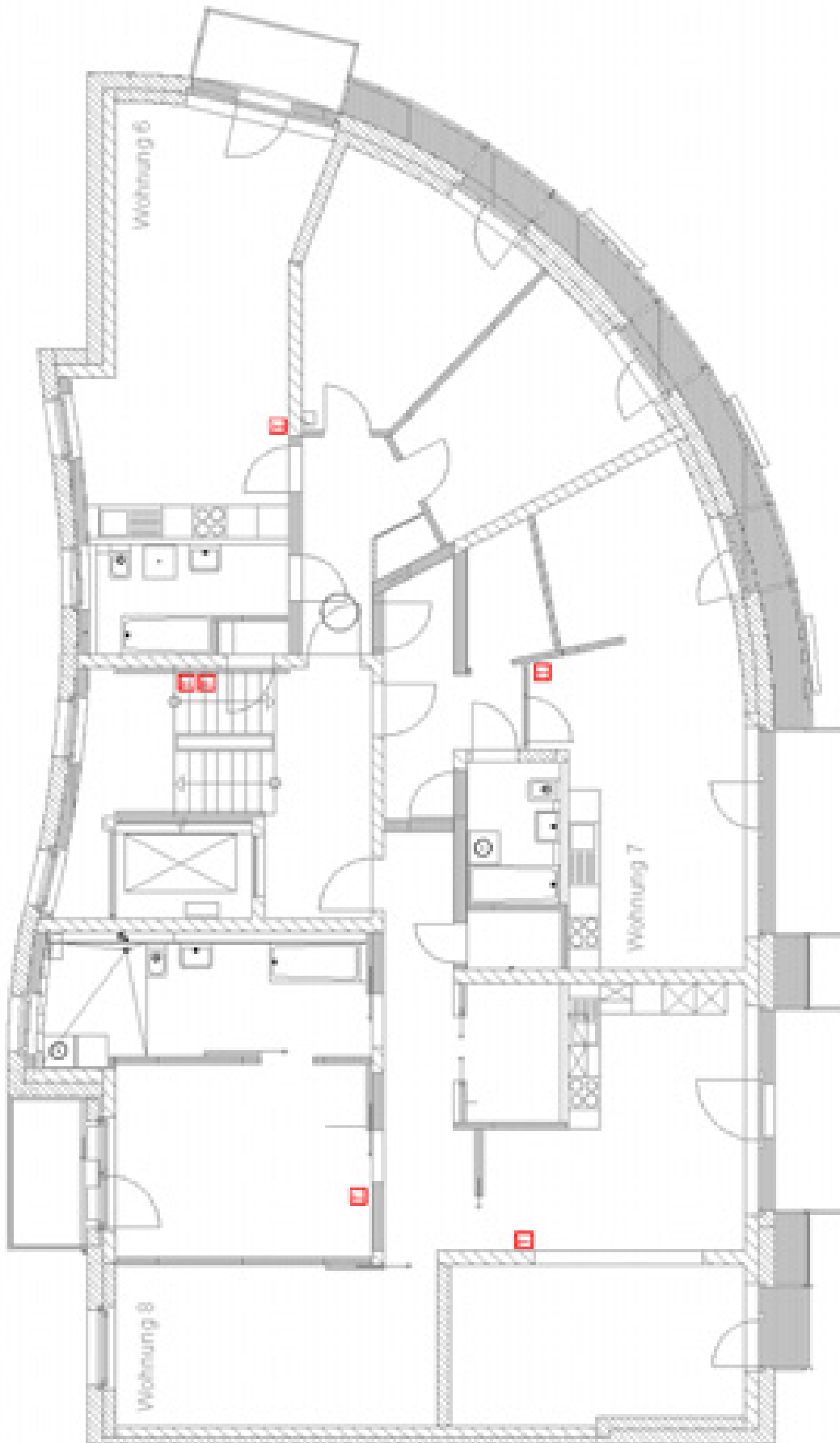


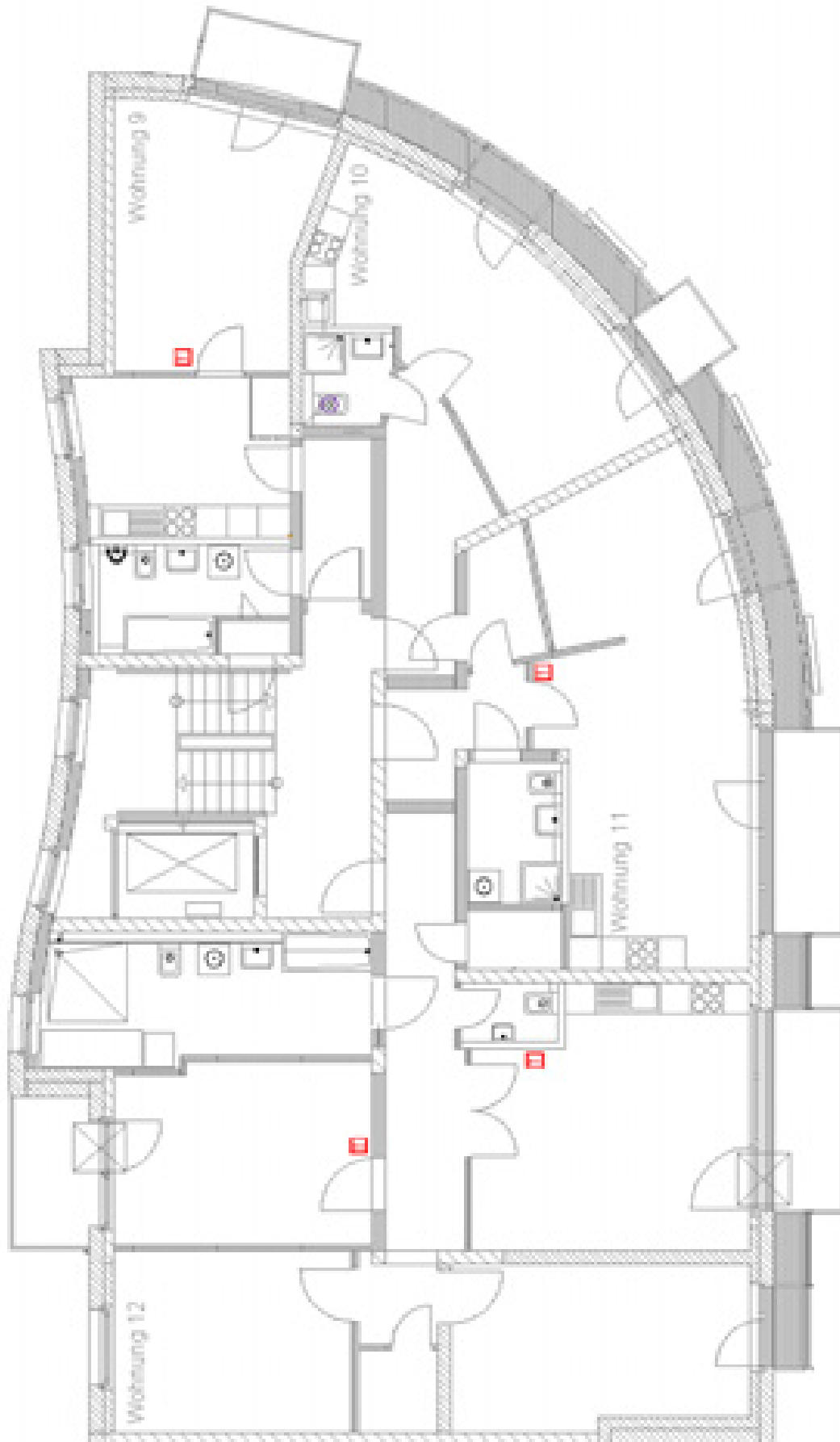
## Grundriss 1. OG





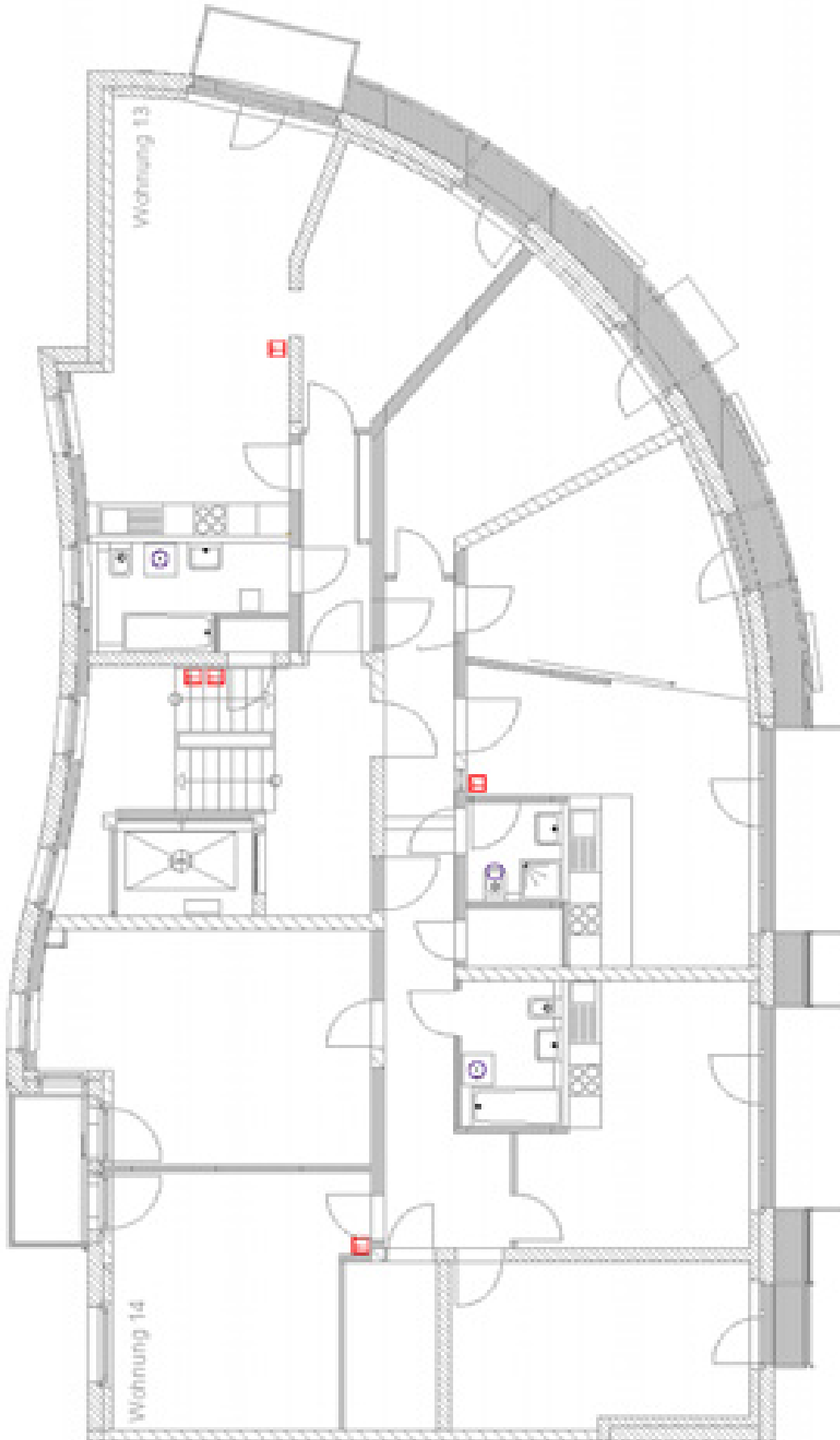
Grundriss 2. OG

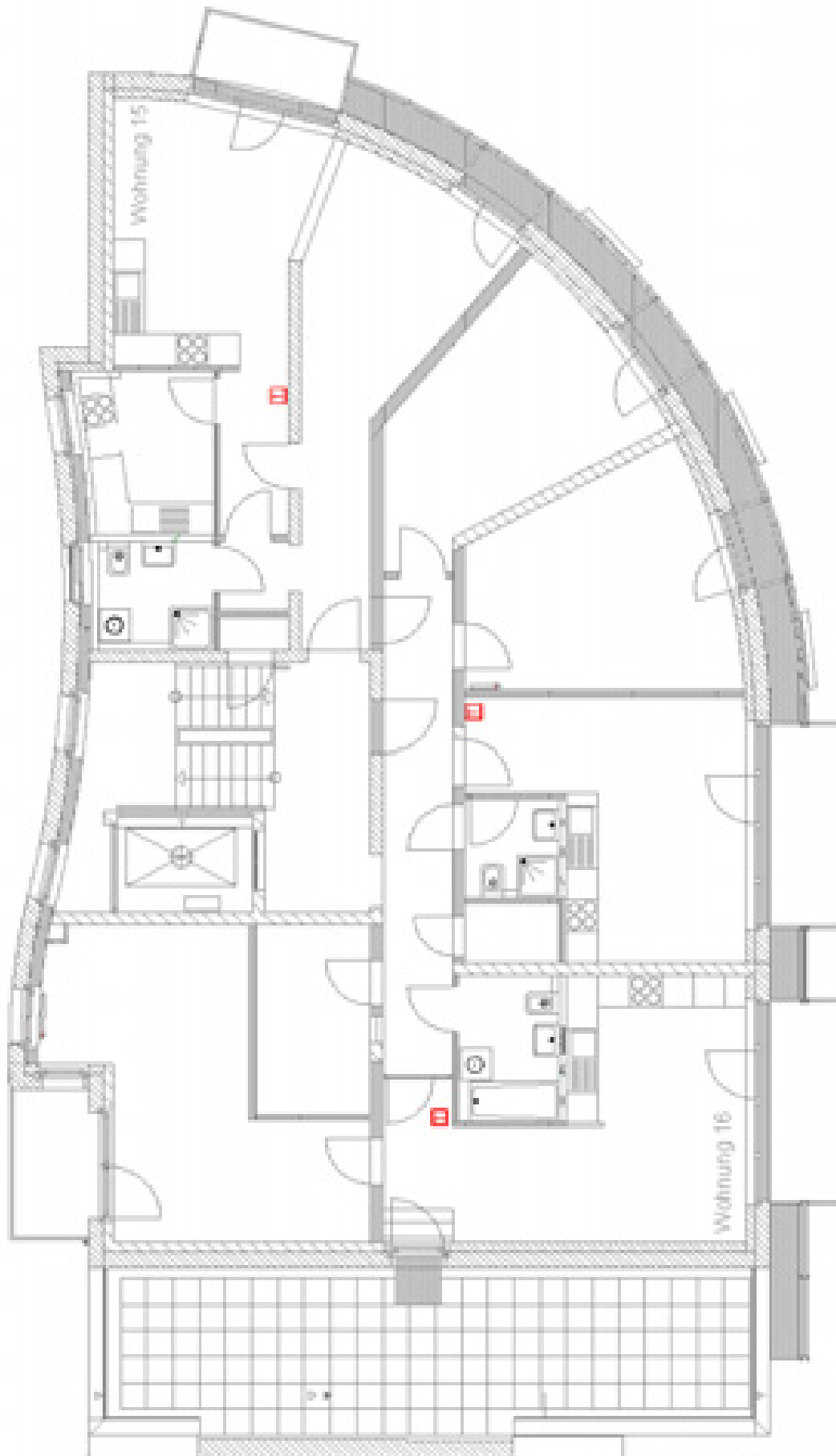


**Grundriss 3. OG**



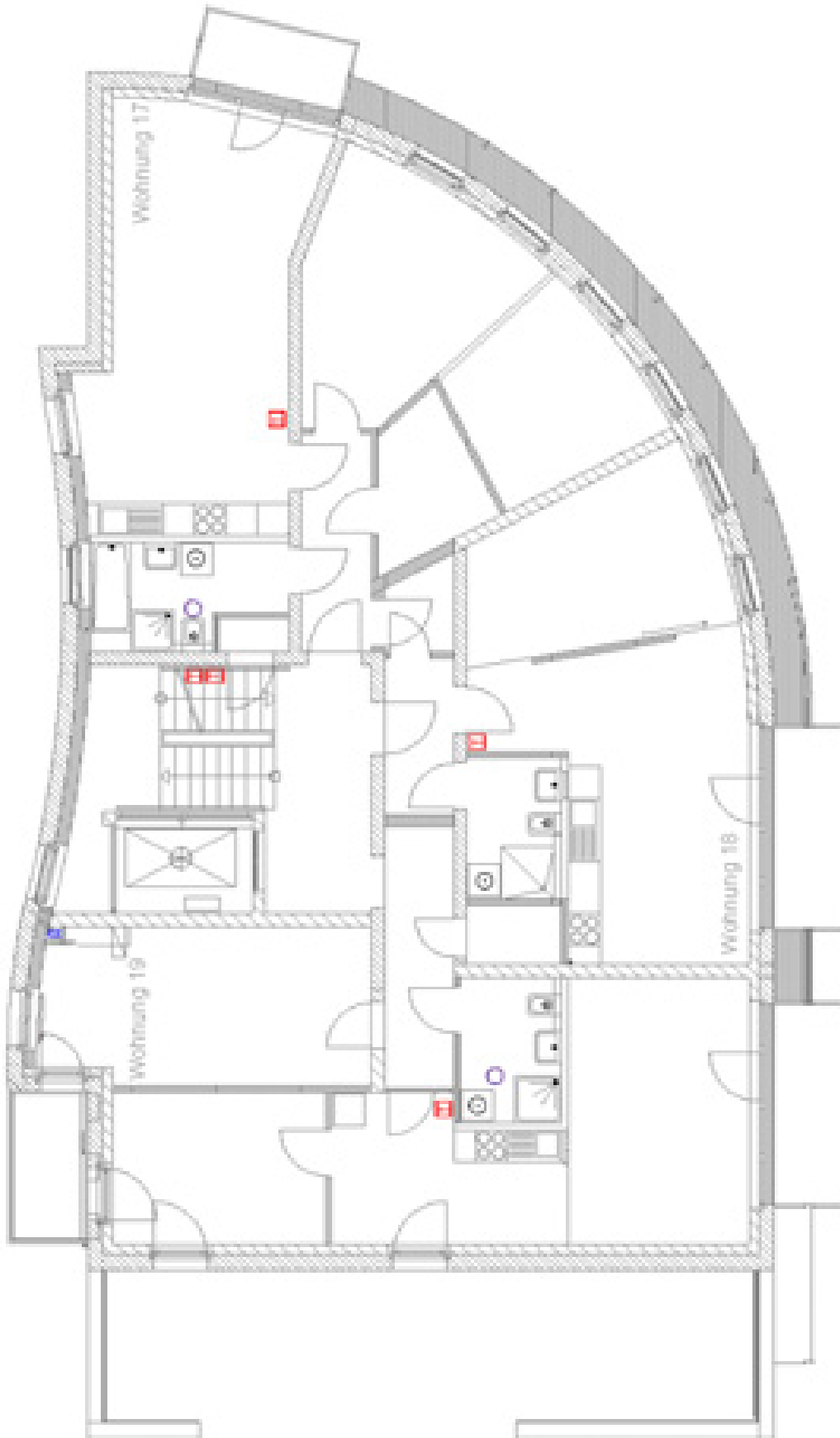
Grundriss 4. OG



**Grundriss 5. OG**



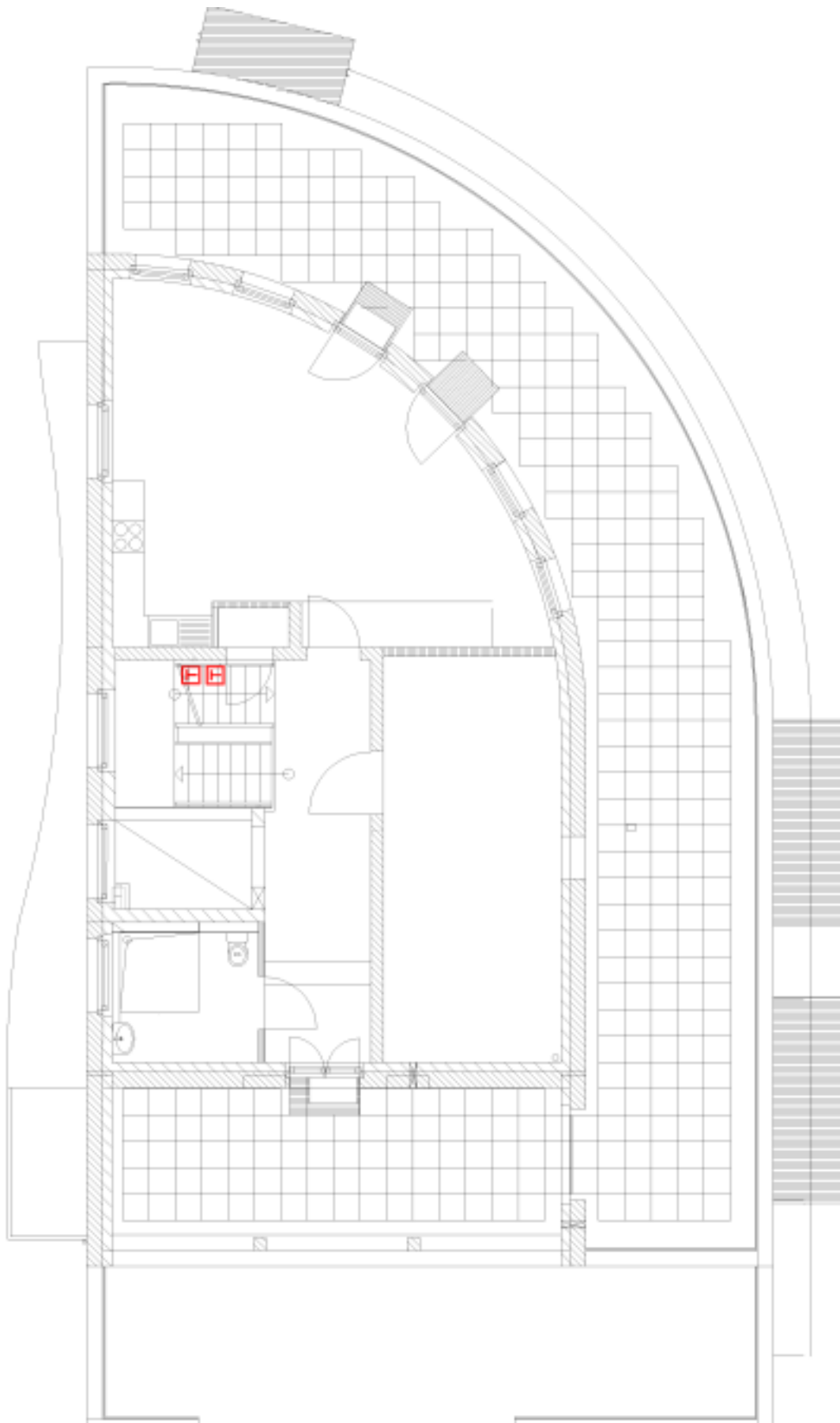
Grundriss 6. OG







## Grundriss Dachgeschoss



## 8.1 Anhang Resonanzen

Einige Resonanzen aus der Fach- und Tagespresse zu dem Projekt werden hier dargestellt.

Seiten aus „Architektur in Hamburg, Jahrbuch 2004“:



1



2

<b>Architekten</b> Plan -R- Architektenbüro Joachim Reinig	<b>Fachingenieure</b> Statik: Ingenieurem. Puzsics; Haustechn.: InnovaTec, Joachim Otte, Ahnatal-Weimar; Zertifizierung und Begleitforschung: Passivhaus-Projektierungs-Paket PHI; Passivhaus Institut Darmstadt; Wirtschaftliche Betreuung: Stättbau Hamburg, Rainer Schendel	<b>Bauherr</b> St. Pauli Hafenstraßengemeinschaft	<b>Konstruktion und Material</b> Mauerwerk, Stahlbeton, Wärmedämmverbundsystem, Passivhauskomponenten, Fotovoltaik
<b>Mitarbeiter</b> Monika Bauer, Tania Wilms Bauleitung: Rolf Sandow		<b>Größe/Kosten</b> Bruttoflächeninhalt: 11.595 qm Wohn-/Nutzfläche: 1855 qm Gesamtbaukosten ohne Grundstück: 3,8 Mio. €; reine Baukosten 1.260 €/qm W5/NF	<b>Standort</b> Pinnasberg 27, 20359 Hamburg

### PARK-HAUS Wohnen am Pinnasberg

Eine Bühne für eine Kirche, ein Superlativ des ökologischen Bauens und eine Architektur, die auch der Alternativ-Kultur gefällt – das soll ein Parkhaus sein? Natürlich nicht: hinter dem Namen versteckt sich vielmehr ein »Bella Vista Social Bau«, der für sechs Euro Quadratmeter-miete das schönste Elb- und Hafenspanorama von der Peute bis Waltersdorf bietet. Der neckische Name entstand als Hommage an Park Fiction, die Bewohner-Künstler-Initiative für einen Stadtteil-park in St. Pauli. Denn das Wohnhaus am Pinnasberg war

ursprünglich Bestandteil eines B-Plans, der weder das Projekt noch die freie Sicht auf die Kirche berücksichtigte, die dem Stadtteil seinen Namen gab. Erst im Zuge der Auseinandersetzungen um Park Fiction wurde der B-Plan so geändert, dass die Baumasse zurückwich, dafür aber höher wurde. Eine Bewohner-Initiative bemühte sich um das Projekt und buchte den ehemaligen Planerkollektiv-Architekten Joachim Reinig. Bekannt für dialogisches Bauen, Arbeiten im Bestand und sozial-ökologische Architektur, verfolgte Reinig weniger den Anspruch, die Perlen-

kette über den Pinnasberg zu ziehen oder Kompensation für die spektakuläre Architektur zu schaffen, die Zaha Hadid hier einst geplant hatte. Gemäß seinem Motto »Architektur darf nicht schreien« suchte er eine »vernünftige Lösung«, die zuerst Bewohnerinteressen und dem Stadtraum dient. Das bedeutete, höchstmögliche Flexibilität und maximal gedrosselter Energieverbrauch mit einem Gebäude zu erreichen, das nicht in Konkurrenz zum schönen Kirchhof tritt. Dazu nahm Reinig den Hüftschwung auf, den das gegenüber liegende Eckgebäude an der Bernhard-



6

1 Der Hüftschwung des gegenüber liegenden Eckgebäudes an der Bernhard-Nocht-Straße wurde aufgenommen. 2 Nordseite mit kleinen Fensteröffnungen 3-5 Grundrisse Dachgeschoss (oben), 4. OG (Mitte) und 1. OG (unten) 6 »Bella Vista Social Bau«, der für sechs Euro Quadratmeter die schönste Blick- und Hafenpanorama bietet

Nocht-Straße zeigt, um so »Vorhänge einer Bühne für die St. Pauli-Kirche« zu schaffen. Innen entwickelte er das »größte Passivhaus Europas«. Eine Besenkammer voll Haustechnik reicht hier aus, um mittels Wärmetauschern den Belüftungsvorgang in ein Heizungssystem zu verwandeln. Die Südlage, massive Dämmung, Dreifachfenster und die natürliche Wärme von Geräten, Körpern und der gasbetriebenen Warmwasseranlage ermöglichen es, mit vorgewärmter Frischluft das ganze Jahr für dreißig Euro Heizkosten T-Shirt-Klima zu halten. Selbst im käl-

testen Winter reichen angeblich zehn Teelichter, um eine Wohnung zu wärmen – wem das zu öko ist, kann auch kurz den Föhn anstellen. Die Grundrisse des Dreispünners sind so konzipiert, das von 33 Quadratmetern Wohnfläche bis zur funfköpfigen Wohngemeinschaft auf 179 Quadratmetern die unterschiedlichsten Wohnmodelle frei kombiniert werden können. Zwischen den wenigen tragenden Wänden sind nach den Wünschen der Erstbezieher Privatneiche entstanden, die sowohl Labyrinth wie Klausurerei sein können. Und ein Gemeinschaftsraum im 11. Stock

mit Dachterrasse und Loggia wäre kommerziell genutzt sicherlich einer der attraktivsten Clubs der Stadt. Vorgehängte Balkone, die Wärmebrücken vermeiden, und einige symbolische Solarpaneele gliedern den schlichten Baukörper in der Vertikalen. Die massive Dämmung als Voraussetzung des wattierten Wohnens zeigt nach außen hin keinerlei plumpe Wirkung. Der Verzicht auf die spießige Sockelzone aus Backstein, die hier sonst Bezirksaufgabe ist, schenkt dem Gebäude in seinem hellgrauen Anstrich angenehme Klarheit. 7/11 Brügge

WOHNEN

123

Artikel im Hamburger Abendblatt vom 15.06.2002:

## Vier Passivhäuser ausgezeichnet

„Als wir vor zehn Jahren die ersten Passivhäuser bauen wollten, hatten das Merkmal vom Ende der Architektur zu die Wank“, erinnerte sich Prof. Helmut Bolt von der Universität Stuttgart während der Preisverleihung zum Passivhaus-Wettbewerb 2001/02 in Architekturzentrum Hamburg. Doch habe sich gezeigt, dass energiesparende Gebäudehüllen und zum Besonderen Haustechnik die gestalterische Präferenz der Architekten nicht einschränken. Beispiele dafür seien die eingereichten zwölf Arbeiten: rechteckige oder L-förmige Häußergestaltende Projekte, die und die in einem Parallelwettbewerb prämierten studentischen Arbeiten stimmten ihn optimistisch, sagte Umweltsenator Zeter Rehsag. „Hamburg braucht diese Kompetenz, denn die Stadt will in den nächsten Jahren viel bauen. Da kommt dem energiesparenden Raum eine große Bedeutung zu.“ Es sei gut zu wissen, dass es im Norden nicht nur kompetente Architekten und Nachwuchsarchitekten gebe, sondern auch Quereinsteiger, die sich dem Thema Energiesparen verpflichtet fühlten. Esgerichtig wurde der von der

Initiative „Arten und Klassen“ ausgeschriebene Passivhaus-Preis nicht nur an Architekten, sondern auch an die Bauherren vergeben. „Energiesparendes Bauen kann nur in Teamarbeit funktionieren“, so Rehsag.

Der erste Preis ging an ein Projekt auf St. Pauli. Das Studierendenwerkgesellschaft STHG hatte das Büro Thomsen/Müller + Partner beauftragt, ein Passivhaus in der Paul-Henkenstraße zu bauen. Geht wurde, dass außerhalb der Ufermischen Halle ein laterales, sauer hallöffentliches Raum gestaltet wurde. Die Stellung konnte sich über zwei weitere Preise freuen. Gemeinsam mit dem Büro Hiltner + Rehsag hat sich entwarf sie das Passivhaus Lohmannstraße 24. Das Büro Pöschel lieferte den Entwurf für das Wohnhaus Pinnasberg 27 in St. Pauli. Hier wurde in der Kreisbegegnung gelobt, dass unter Mitwirkung von Projekt mit sozialintegrativen Zielen entwickelt wurde. Der dritte zweite Preis ging an den Studenten Werst Immobilien, für den das Büro Hiltner zur Kalkenkirchen die Engelsvilla im Villenresort in Hagenbeck-Herpark entworfen hat. (thd)



Artikel aus der Hamburger Morgenpost vom 12.09.2003:

# PASSIVHAUS

## Warm und kuschelig, ganz ohne Heizkörper

Am kommenden Montag ist es so weit: Die neuen Wohnungen im „Parkhaus“ am Pinnasberg 27 stehen für ihre Mieter bereit, ein Monat später ist offizieller Einzugstermin. Das Spektakuläre bei diesem Wohnprojekt: Es handelt sich um ein Passivhaus, in dem es alle Mieter ohne Heizung auch im Winter warm haben.

Das Hamburger Architekturbüro Joachim R. Reising hat das achtstöckige Haus mit insgesamt 19 Wohnungen entworfen. Die Größe der Wohnräume, zwischen 33,7 und 175 Quadratmetern, passt sich an die individuellen Wünsche der zukünftigen Mieter an. Eine der neuen Bewohnerinnen ist die Sozialpädagogin Miriam Hartmann. Zusammen mit ihrem fünfjährigen Sohn Lukas zieht die allein-erziehende Mutter in eine 69-Quadratmeter-Wohnung im Erdgeschoss. Die 37-Jährige: „In einer Wohnung ohne Heizkörper zu leben – diese Technik fasziniert mich. Gleichzeitig habe ich manchmal auch leichte Zweifel, ob es im Winter wirklich schön warm ist.“ WG-Bewohner Dirk Mescher (36), Diplompsychologe, kam durch eine Mitbewohnerin auf die

Idee, in ein Passivhaus mit seinen ökologischen Vorteilen zu ziehen.

Fünf bis 7,50 Euro kostet die Nettokaltmiete im „Parkhaus“ pro Quadratmeter. Die 42 Bewohner, die vor sechs Jahren eine „Park-initiative“ gründeten, haben von Anfang an bei der Planung des neuen Wohnprojektes mitgewirkt. Das Ziel: in einer funktionierenden Hausgemeinschaft leben.

Am 20. und 21. September haben alle Interessierten die Möglichkeit, sich von dem Passivhaus am Pinnasberg sowie vier weiteren Häusern in Hamburg und 24 in Schleswig-Holstein einen Eindruck zu verschaffen. Erstmals gibt es die „Tage des Passivhauses“, in denen Rah-

men diverse Informationsveranstaltungen zum Thema „Bau und Funktionsweise der Energie sparenden Gebäude“ stattfinden.

### BESICHTIGUNGEN

Am 20. und 21. September findet der „Tag des Passivhauses“ statt. An diesen Tagen können Sie in Hamburg die folgenden fünf Passivhäuser mit Führung besichtigen: **Hagenbeckstraße 159:** Sonntag, 21.9., 11 Uhr, Führung: Dipl.-Ing. Wilf Feldsien.

**Reihenhaussiedlung im Bruchvogelweg:** Samstag, 20.9., 11 Uhr, Führung: Dipl.-Ing. Christiane Gerth.

**Telemannstraße 24:** Samstag, 20.9., 16.30 Uhr, Führung: Dipl.-Ing. Rüdiger Mees.

**Legienstraße 127:** Sonntag, 21.9., 16.30 Uhr, Führung: Dipl.-Ing. Marc-Oliver Mathes.

**Pinnasberg 27:** Samstag, 20.9., 13.30 Uhr. Weitere Infos über die Besichtigungstermine unter: [www.energiestiftung.de](http://www.energiestiftung.de)

Miriam Hartmann (mit Sohn Lukas) und Dirk Mescher ziehen im Passivhaus



**Stellingen**

Geschmackvolle 2-Z.-ETW. ca. 74 m<sup>2</sup>, Bj. 96, hübsche EBK, helles V-Bad mit Forster, G-WC, sonniger Balkon, TG-Stellplatz, weitere Angebote auf Anfrage  
€ 185.000,- VB  
Weitere Angebote auf Anfrage.

**LINBERGER IMMOBILIEN**

sz (340) 3 00 66 90 auch Sa.  
[www.linberger-immobilien.de](http://www.linberger-immobilien.de)

## Passivhäuser als neuer Trend – was steckt dahinter?

► **Was ist ein Passivhaus?** Das Besondere ist ein hoher Wohnkomfort bei geringen Energiekosten. Im Passivhaus herrscht das ganze Jahr über ein angenehmes Raumklima – ohne konventionelles Heizsystem oder Klimaanlage. Im Durchschnitt haben die Wohnungen 18 bis 19 Grad, maximal 24 Grad in den Wohnräumen.

► **Ein Passivhaus spart Energie:** Das Passivhaus ist die konsequenteste Weiterentwicklung des Niedrigenergiehauses. Im Vergleich dazu benötigt ein Passivhaus 80 Prozent weniger Heizenergie, gegenüber einem konventionellen Gebäude mehr als 90 Prozent weniger. Ungerechnet in Heizöl kommt ein Passivhaus im Jahr mit weniger als 1,51 Liter pro Quadratmeter aus. Diese Einsparung erreicht es durch seine Grundprinzipien: Wärmeverluste vermeiden und freie Wärmeenergie optimieren.

► **Wie funktioniert ein Passivhaus?** Eine sehr gut gedämmte Gebäudehülle mit Dämmstärken zwischen 25 und 40 Zentimeter und Fenster mit Dreifach-Wärmeschutzverglasung bewirken, dass die Wärme im Haus bleibt. Für Frischluft sorgt eine Komfortlüftung mit Wärmerückgewinnung. So wird die kalte Frischluft allein durch die warme Abluft erwärmt. Wärmegewinnung erzielen Passivhäuser auch durch die Wärmeabgaben von Personen und Haushaltsgeräten.

► **Die Kosten bei der Anschaffung:** Passivhäuser sind in der Anschaffung maximal zehn Prozent teurer als Häuser in herkömmlicher Bauweise. Ein Teil der Mehrkosten wird auch durch die Passivhaus-Förderung der Kreditanstalt für Wiederaufbau aufgefangen.

Artikel aus der taz Hamburg vom 25.11.2003:

# Heizkörper fürs Herz

„Park“-Haus am Pinnasberg jetzt „qualitätsgeprüftes Passivhaus“. Am kältesten Tag reichen zehn Teelichter, um ein Wohnzimmer zu heizen

von GERNOT ENDNER

Hamburg hat ein neues Wahrzeichen des Umweltschutzes: Europas höchstes Passivhaus, das mit elf Stockwerken über dem St. Pauli Fischmarkt am Pinnasberg thront. Es ist weithin sichtbar und bietet den Mitgliedern des hier beherrschtesten Wohnprojekts eine gewaltige Aussicht über Elbe, Docks und Schiffe. Das Haus mit 19 Wohnungen braucht nur ein Zehntel der Energie, die herkömmliche Häuser verbrauchen. Gestern ist das vom Darmstädter Passivhaus-Institut offiziell bestätigt worden.

Der Begriff „Passivhaus“ beschreibt einen Standard, nach dem höchstens das Äquivalent von 15 Litern Heizöl pro Quadratmeter Wohnfläche verbraucht werden dürfen – in vielen Häusern sind es heute 17 bis

**Mit den eingesparten Betriebskosten lassen sich Zins und Tilgung des Kredits bezahlen**

20 Liter. „Auch am kältesten Tag würde es ausreichen, zehn Teelichter anzuzünden, um ein durchschnittliches Wohnzimmer zu heizen“, sagt Wolfgang Feist, der Direktor des Passivhaus-Instituts.

Das energetisch Schlimmste, was dem „Park“-Haus neben dem Antoni-Park passieren kann, ist ein Hamburger Wintertag: regnerisch-trübe – erträglich kalt, aber ohne dass die Sonne durchklimmt. Denn das Haus bezieht seine Heizenergie im Wesentlichen von der Sonne. Zum Nachheizen, vor allem aber für die Warmwasserbereitung verfügt das Haus über einen Gasofen von der Größe, wie er in vielen Zwei-Zimmer-Wohnungen hängt. Der Rest kommt durch die Bewohner und ihre Aktivitäten.

„Wenn ich lächle, blüht es wieder zwei Tage warm“, sagt Feist. Heizkörper werden mehr aus psychologischen Gründen aufgehängt.

Dafür, dass die Sonnenwärme ins Haus kommt, es aber kaum mehr verlässt, sorgt ein Bündel passiver Bautechniken: eine Isolierung, die das Haus rundum einhüllt; eine sorgfältige Verarbeitung, die das Entstehen von „Wärmehürden“ – Lücken in der Hülle – verhindert, etwa bei der Verankerung der Stahlträger für die Balkone; besonders gute Fenster. „Aber auch bei kaltem Wetter auf der Innenseite warm



Als im Guinness-Buch: Das höchste Passivhaus FOTO: WOLFGANG FEIST

sind“ (Feist) und eine automatische Wohnungslüftung.

Letztere hält Feist zufolge auch vielen normalen Wohnungen wohl, weil sie die beim Kochen, Duschen und Atmen entstehende Feuchtigkeit aus der Wohnung transportiert. Das verhindert Schimmel. Die dazu gehörenden Ventilatoren sind in den Wohnungen praktisch nicht zu hören. „Selbstverständlich kann man auch die Fenster öffnen“, versichert Feist.

Das Haus nach Plänen des Architekturbüros Plan B ist von dem Wohnprojekt unter dem Dach der Genossenschaft St. Pauli-Hafenstraße errichtet worden. Nach Angabenainer Schendels vom alternativen Projektträger Starbau, der die Rolle der Bau-

herrn übernahm, liegen die Kosten zehn bis 15 Prozent über denen eines konventionellen Neubaus. Da es mit einem günstigen Fördendarlehen der Kreditanstalt für Wiederaufbau finanziert wurde, ließen sich mit den eingesparten Betriebskosten Zins und Tilgung bezahlen.

Feist, der durch sein Engagement für den Passivhaus-Standard wesentlich hierzu beigetragen hat, ist bereits 2001 mit dem Deutschen Umweltpreis geehrt worden. Er glaubt, dass der Passivhaus-Standard auch für die Volkswirtschaft Vorteile bietet: Der Teil der Wertschöpfung, der sonst in Gas oder Öl gehen würde, geht jetzt in den Bau und die Herstellung der nötigen Anlagen. Das schafft Arbeitsplätze.





## Artikel aus dem MieterJournal 2/2004:

### SERIE

Vereine, Verbände und Institutionen  
auf dem Wohnungsmarkt (7)

## INITIATIVE ARBEIT UND KLIMASCHUTZ

**Trotz 1.800 Stunden Sonnenschein pro Jahr verschwenden Hamburger Haushalte noch immer teuren Strom, Gas oder Heizöl, um warm zu duschen, Fenster zu putzen oder Geschirr zu spülen. „Ganz schön altmodisch.“ In dieser Auffassung sind sich inzwischen fast alle Hamburger Organisationen der Wohnungswirtschaft einig. Bereits vor mehr als fünf Jahren haben sie die „Initiative Arbeit und Klimaschutz“ ins Leben gerufen und bislang eine recht sonnige Bilanz erzielt.**

Auf Hamburgs Dächern sind seit 1998 15.000 Quadratmeter Solarkollektorfläche installiert und 20.000 Wohnungen mit zeitgemäßer Wärmedämmung ausgestattet worden. Damit können die Mieter jährlich etwa 100 Millionen Kilowattstunden Energie einsparen. Außerdem werden 25.000 Tonnen Kohlendioxid weniger pro Jahr in die Atmosphäre geblasen. Der Zusammenschluss von Umweltbehörde, Baubehörde (inzwischen in der Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt vereinigt), Mieterverein zu Hamburg, Handwerkskammer, Grundigentümergeverband, SAGA, Hochschulinstituten und rund 50 weiteren Trägern verfolgt mit der energietechnischen Modernisierung zugleich das Ziel, qualifizierte Arbeitsplätze zu schaffen. Durch das Programm seien bislang Aufträge für jährlich 2.000 Beschäftigte im Handwerk zustande gekommen, bilanziert Matthias Sandrock, zuständiger Referent in der Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt. Die Stadt habe dafür 24 Millionen Euro an Fördermitteln an die Investoren vergeben. Dadurch wurde ein Anreiz für die Eigentümer geschaffen, für insgesamt 125 Millionen Euro in die Energie- und Wärmetechnik ihrer Gebäude zu investieren. Ökologie, Ökonomie und auch Mieterinteressen lassen sich auf diese Weise ideal miteinander verbinden.

Vorbildfunktion für ökologisches und zugleich sparsames Wohnen ist das „Parkhaus“ direkt neben dem Park am Pinnsberg auf St. Pauli. Die „St. Pauli Hafensstraßen Genossenschaft“ hat im vergangenen Jahr Europas höchstes Passivhaus errichtet. Die Mieter der 29 Wohnungen auf 11 Etagen benötigen höchstens 10 Prozent der Heizenergie, die in herkömmlichen Wohnungen verbraucht wird. „Auch am kältesten Tag würden für ein gewöhnliches Wohnzimmer 10 Teelichter ausreichen, um diesen Raum warm zu halten“, kalkuliert der Direktor des Passivhaus-Instituts, Wolfgang Feist.



Das „Parkhaus“ neben dem Park am Pinnsberg auf St. Pauli

Erreicht wurde dies durch die konsequente Vermeidung von Wärmebrücken, die bei herkömmlicher Bauweise einen großen Teil der Heizwärme nach draußen leiten. Die Fenster lassen zwar die Sonnenwärme von außen in die Wohnungen hinein, verhindern aber umgekehrt den Wärmestrom nach außen. Selbst bei kaltem Wetter bleibt die Innenfläche der Fenster warm. Der unauffällig rundumlaufende Wärmeschutz wirkt wie eine warme Bettdecke, die um das ganze Haus gewickelt ist.

Die Initiative Arbeit und Klimaschutz bietet über die öffentlichen Förderungen für Wärmeschutz und Solartechnik hinaus individuelle Beratung für Hausbesitzer, qualitätssichernde Baubegleitung, Wettbe-

werbe und Fachtagungen für innovative Bautechniken an. Ausführliche und praxisorientierte Broschüren informieren über Zusammenhänge und Möglichkeiten beim Energiesparen und bei der Modernisierung. Der Hamburger Energiepass hilft dem Vermieter, energetische Schwachpunkte des Wohngebäudes auszumachen und durch gezielte Verbesserungen den Heizenergieverbrauch zu senken. Davon profitieren Mieter und Vermieter. Der zuletzt für das Jahr 2000 herausgegebene Hamburger Heizspiegel gibt Auskunft über den in Hamburg üblichen Heizenergieverbrauch in zentral beheizten Gebäuden. Jetzt können Mieter und Vermieter ihre Heizkosten interaktiv im Internet testen. Auf der Homepage des

MIETERVEREIN ZU HAMBURG finden sich auch zahlreiche Tipps zum richtigen Heizen und Lüften ([www.mieterverein-hamburg.de](http://www.mieterverein-hamburg.de)). Wer in Sachen Klimaschutz auf dem Laufenden bleiben will, sollte öfter mal die Internetseite der Initiative Arbeit und Klimaschutz aufrufen.

**Rainer Kreuzer**

#### Kontaktadresse:

Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt  
Initiative Arbeit und Klimaschutz  
Billstraße 84, 20539 Hamburg  
Telefon: 040 / 42845-2099  
Internet: [www.arbeitundklimaschutz.de](http://www.arbeitundklimaschutz.de)  
E-mail: [matthias.sandrock@bsu.hamburg.de](mailto:matthias.sandrock@bsu.hamburg.de)

**Text aus dem Artikel in der taz Hamburg vom 15.1.2005 (Seite 25):****Haus ohne Heizung**

von Kirsten Poneß

Keine Angst vorm Passivhaus: Große Fenster, luftdicht gedämmte Außenwände und eine besondere Lüftungsanlage zur Wärmerückgewinnung sorgen auch im Winter für kuscheliges Raumklima

Es klingt wie ein Witz, in Zeiten kollektiver Gaspreisabzocke sogar wie ein ganz böser: In einem Passivhaus kann man auch ohne Heizung wohnen. "Man kann viel erzählen, aber eigentlich muss man es gesehen haben, um seine Bedenken zu vergessen", meint Sören Peper vom Passivhaus Institut in Darmstadt.

In Hamburg gibt es noch nicht viele Häuser dieser Art. Gerade mal sieben hat das Institut derzeit auf seiner Internetseite vermerkt, darunter das so genannte "Parkhaus" am Pinnasberg auf St. Pauli. Valena Momsen wohnt hier, "sehr gerne", wie sie sagt. Im Herbst 2004 hat sie eine der 19 Wohnungen des Wohnprojekts der St. Pauli Hafenstraßengenossenschaft bezogen. Nun ist es Winter und "das Passivhaus-Prinzip funktioniert gut", erzählt Momsen. Stimmt: Es ist kalt draußen, und ihre Vier-Zimmer-Wohnung ist mollig warm.

An dem kleinen, gasbetriebenen Heizkörper im Bad liegt das nicht. "Der hat nur einen psychologischen Effekt", lacht Momsen, "benutzt wird er eigentlich nie." Aufgeheizt wird die Wohnung durch die großen Südfenster, die den Blick auf den Hafen freigeben. "Sie sind ziemlich schwer", sagt die 37-Jährige, während sie ein dreifach verglastes Balkonfenster öffnet. Durch die Fenster, dreimal so dick wie herkömmliche, und die bis zu 40 Zentimeter dicke, luftdichte Dämmung der Außenwände wird der Wärmeverlust verhindert. Dazu tragen auch die Balkon-Konstruktionen bei, die durch spezielle Verankerungen Löcher in der Außenhülle, so genannte Wärmebrücken, vermeiden.

Hauptverantwortlich fürs kuschelige Raumklima ist eine spezielle zentrale Lüftungsanlage: Sie entzieht der abgesaugten Luft die Wärme und gibt sie an die zugeführte Frischluft wieder ab. Um zu demonstrieren, wie die Lüftung arbeitet, hält Valena Momsen ein Blatt Papier abwechselnd an die Ab- und Zuluft-Öffnungen in der Küche: Es wird angesaugt bzw. abgestoßen; zu hören oder zu spüren ist nichts.

Nur im winzigen futuristischen Technikraum neben dem Bad mit seinen Schläuchen und Rohren fiept es ein wenig. Dort wird die wohnungsinterne Wärmezufuhr geregelt. "Im Sommer ist es hier fast zu warm", erzählt Momsen, "leider hat die Lüftung keinen Klimaanlage-Effekt." An heißen Tagen ist es daher ratsam, sie in den Abendstunden stärker einzustellen, damit das Haus abkühlt. Und natürlich können jederzeit die Fenster geöffnet werden.

Kleine Probleme gibt es auch im Winter. "Die Feinabstimmung in der Wohnung funktioniert nicht richtig", bedauert Momsen. Die Wohnungen können zwar innerhalb des Hauses unterschiedlich gewärmt werden, einzelne Zimmer aber nicht. "Die Technik ist verbesserungsfähig", findet die Passivhaus-Bewohnerin. Aber eigentlich mache das Haus keine Schwierigkeiten, im Gegenteil: "Man braucht nicht mehr zu lüften, und die Wäsche trocknet viel schneller."