



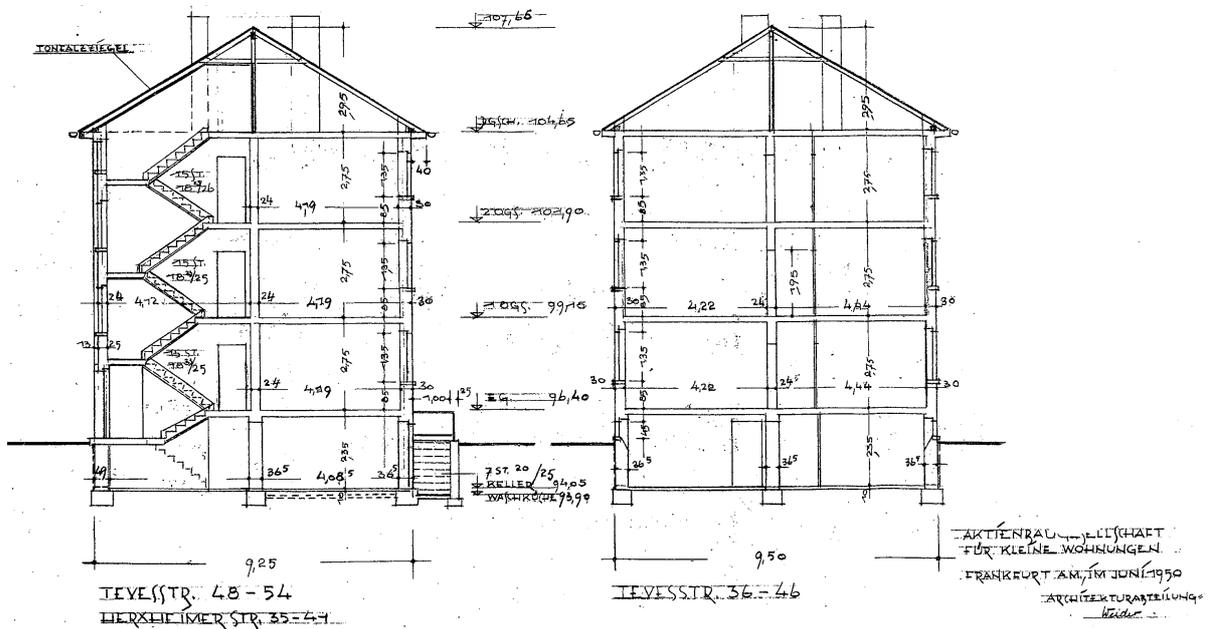
**PASSIV  
HAUS  
INSTITUT**

**Dr. Wolfgang Feist  
Rheinstr. 44-46  
D64283 Darmstadt**

# Sanierung mit Passivhauskomponenten



## Untersuchungen zu den Bestandsgebäuden Tevesstraße Frankfurt a.M.



Im Auftrag des Hessischen Ministeriums für  
Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung, Wiesbaden

Bauherr: ABG Frankfurt Holding GmbH

Autoren: R. Pfluger, B. Kaufmann, S. Peper, W. Feist

Darmstadt, Februar 2009

**Autoren:**

Dr. Rainer Pfluger  
Dr. Berthold Kaufmann  
Dipl.Ing. Sören Peper  
Prof. Dr. Wolfgang Feist

**Herausgeber:**

PASSIVHAUS INSTITUT  
Dr. Wolfgang Feist  
Rheinstr. 44/46  
D-64283 Darmstadt

Tel: 06151 / 82699-0  
Fax: 06151 / 82699-11  
E-Mail: [mail@passiv.de](mailto:mail@passiv.de)  
[www.passiv.de](http://www.passiv.de)

**Darmstadt, Februar 2009**

**Dieser Bericht entstand im Auftrag  
Hessischen Ministeriums für Wirt-  
schaft, Verkehr und Landesentwick-  
lung, Wiesbaden**

**Titel des Forschungsauftrages:**

Wissenschaftliche Begleitung und mess-  
technische Untersuchung zur Demonstra-  
tion von Passivhaus Gebäudetechnik in  
der Altbaumodernisierung am Beispiel  
Tevesstraße 36-54, Friedrich Ebert-  
Siedlung, Frankfurt/M.

**Sanierung Tevesstraße. Untersuchung  
zu den Bestandsgebäuden.**

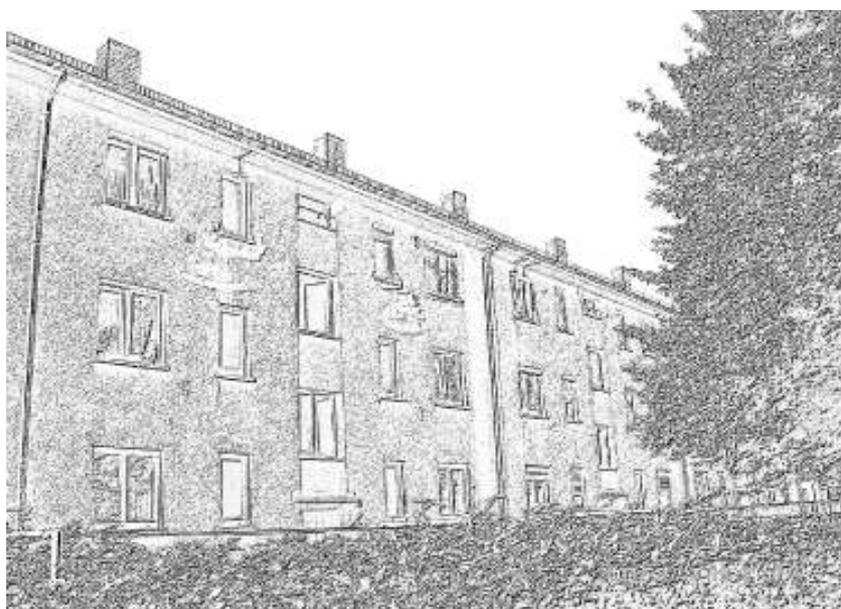
Wir danken dem Bauherren, der ABG  
Frankfurt Holding, insbesondere Herrn  
Frank Junker und Herrn Braun für die  
wohlwollende Unterstützung des Projek-  
tes. Wir danken den Vertretern der ABG  
im Bauteam, Herrn Wagner und Herrn  
Theobald für die konstruktive Zusam-  
menarbeit im Laufe des Projektes.

Wir danken den Architekten, Büro faktor  
10, Herrn Folkmer Rasch und Frau Petra  
Grenz und dem Haustechnikplaner, Ing.  
Büro Baumgartner, Herr Hans Baumgart-  
ner und Herrn Petrausch für die stete  
Diskussionsbereitschaft während der  
Planungs- und Ausführungsphase.

**Haftungsausschluss:** Die Informationen in dieser Schrift wurden nach bestem Wis-  
sen zusammengestellt. Eine Haftung für den Inhalt kann jedoch trotz sorgfältiger Be-  
arbeitung und Korrektur nicht übernommen werden. Dies gilt insbesondere für De-  
tailzeichnungen, die in jedem Fall als Prinzipskizzen zu verstehen sind, in denen  
nicht immer alle baulich relevanten Komponenten enthalten sein müssen.

**Inhaltsverzeichnis**

<b>1</b>	<b>Bauphysikalische Dokumentation und Analyse der Bestandsgebäude .....</b>	<b>4</b>
1.1	Einführung .....	4
1.2	Fundamente .....	8
1.3	Wandaufbauten .....	8
1.4	Decken .....	8
1.5	Fenster und Eingangstüren .....	8
1.6	Dachgeschoss .....	12
1.7	Keller .....	13
1.8	Wärmebrücken .....	14
1.9	Untersuchung der Luftdichtheit .....	20
1.9.1	Leckagen .....	22
1.9.2	Ergebnisse Luftdichtheitsuntersuchung .....	24
1.10	Infrarotthermographie .....	26
1.10.1	Außenfassaden .....	27
1.10.2	Thermographieaufnahmen im Keller .....	40
1.10.3	Innenraum-Thermographien .....	46
1.10.4	Thermographie vom Dachboden aus .....	51
1.10.5	Schlussfolgerungen aus der thermographischen Untersuchung .....	53
<b>2</b>	<b>Dokumentation und Analyse der Haustechnik in den Bestandsgebäuden .....</b>	<b>55</b>
2.1	Heizwärmeversorgung und Warmwasserbereitung .....	55
<b>3</b>	<b>Heizwärmebedarfsberechnung, Primärenergie- und CO<sub>2</sub>-Berechnung für die Bestandsgebäude .....</b>	<b>55</b>
3.1	Energetische Bilanzierung nach PHPP .....	55
3.2	Energiebedarfsberechnung nach EnEV .....	57
<b>4</b>	<b>Zusammenfassung und Schlussfolgerungen .....</b>	<b>58</b>
<b>5</b>	<b>Literatur .....</b>	<b>59</b>
<b>6</b>	<b>Anhang .....</b>	<b>61</b>
6.1	Ansichten und Grundrisse: .....	61
6.2	Blower Door Untersuchung: Messprotokolle aller 10 Eingänge .....	61
6.3	PHPP Dokumentation der Bestandsgebäude .....	61



## 1 Bauphysikalische Dokumentation und Analyse der Bestandsgebäude

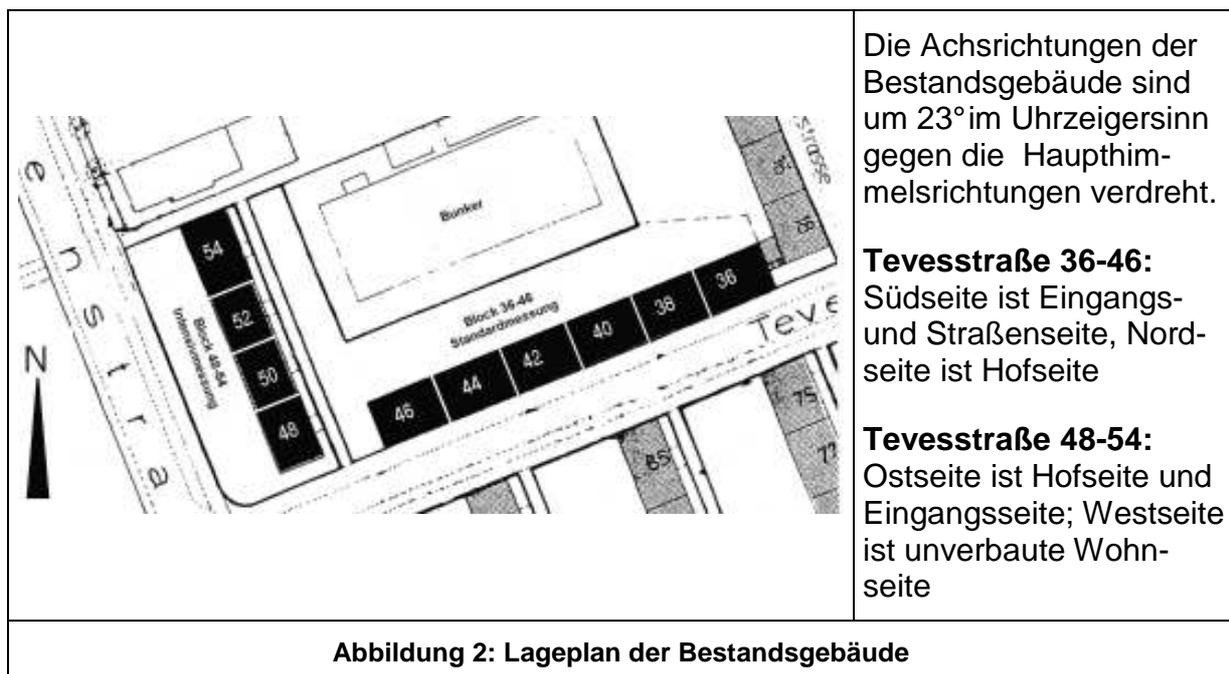
### 1.1 Einführung

Die zu sanierenden Bestandsgebäude befinden sich in Frankfurt a. M. ca. 4 km westlich des Hauptbahnhofes in der Friedrich Ebert Siedlung (Ecke Tevesstraße / Sondershausenstraße, siehe Abbildung 1).



**Abbildung 1: Standort der Bestandsgebäude (Tevesstraße / Sondershausenstraße) Quelle: Stadt Frankfurt**

Es handelt sich um zwei Wohnungsbaublöcke aus den 50er Jahren, insgesamt 60 Wohneinheiten, die als Zweispännerkonstruktion jeweils sechs Wohnungen über einen Hauseingang bzw. Treppenaufgang erschließen. Der Block in der Tevesstraße weist dabei 6 Hauseingänge mit insgesamt 36 Wohneinheiten (WE), der in der Sondershausenstraße 4 Hauseingänge mit 24 WE auf (siehe Abbildung 2).



**Abbildung 2: Lageplan der Bestandsgebäude**

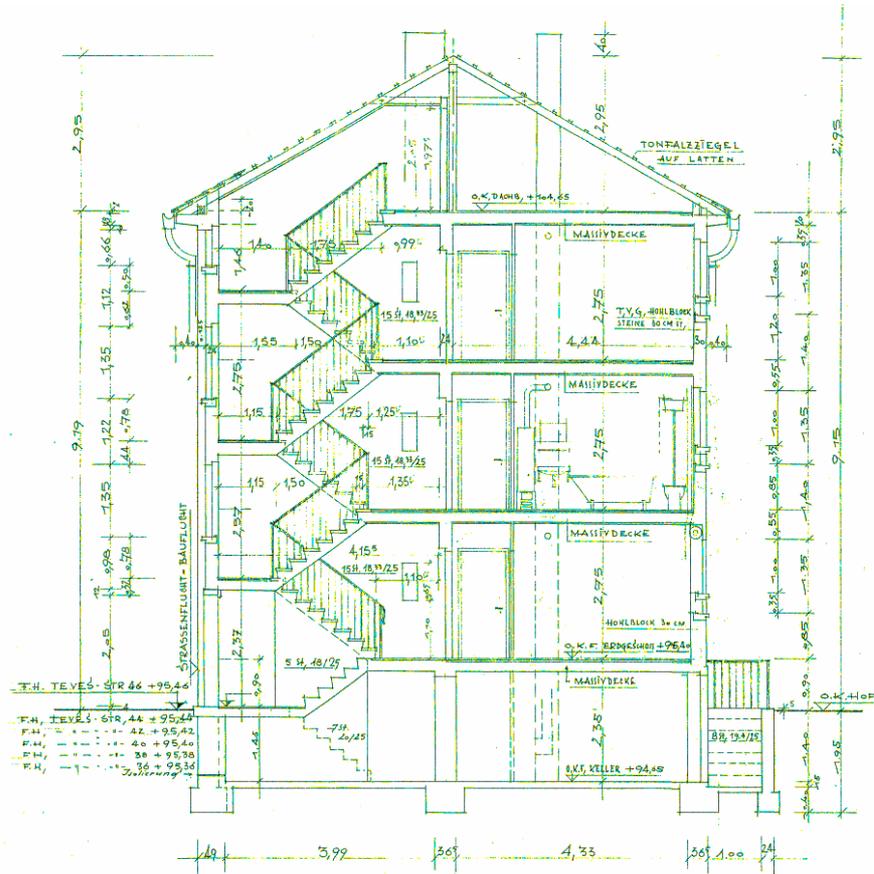




**Abbildung 4: Fassadenansicht der Bestandsgebäude (Straßenseite/ Hofseite, Photos: PHI)**



**Abbildung 5: Bestandsgebäude Tevesstraße 48-54, Hofansicht (Eingangsseite), Photos: PHI**


**Abbildung 6: Schnitt Tevesstraße 36-46 (Treppenhaus-Ebene)**

Bauteil/ Ausführung	Aufbau	U-Werte, im Bestandsgebäude
Außenwände	30 cm TVG-Hohlblockstein	1,3 W/m <sup>2</sup> K
Decke zum Dachboden	17 cm Stahlsteindecken	1,6 W/m <sup>2</sup> K
Kellerdecke	17 cm Stahlsteindecken, Holzdielen auf Lagerhölzern, Sandfüllung	1,3 W/m <sup>2</sup> K
Fenster	Kunststoff-Rahmen mit Wärmeschutzverglasung, teilweise noch Holzrahmen mit Einfachverglasung	2,2 W/m <sup>2</sup> K
Wärmebrücken	Kellerwände, Traufanschluss	Ψ-Wert: 0,1 W/mK
Lüftung / Gebäudedichtigkeit	keine Lüftungsanlage / n <sub>50</sub> = 4,4 1/h	n = 0,7 1/h (Fensterlüftung bei undichtem Gebäude)

**Tabelle 1: Zusammenstellung der Bauteil- U-Werte und Ausführungen in den Bestandsgebäuden. n<sub>50</sub>-Wert: Mittelwert der Messergebnisse nach Abschnitt 1.9**

## 1.2 Fundamente

Die Bestandsgebäude gründen auf Stahlbetonfundamenten mit einer Stärke von 60 cm (Außenwandfundament) bzw. 90 cm (Mittelwandfundament).

## 1.3 Wandaufbauten

Die Außenwände bestehen aus TVG-Hohlblockmauerwerk mit einer Stärke von 30 cm. Außenputz: 2 cm Kratzputz, Innenputz: 1,5 cm rauher oder feiner Wandputz. Die inneren Tragwände bestehen aus 24 cm TVG-Vollsteinmauerwerk. Die Bezeichnung TVG geht auf die ehemals in Frankfurt ansässige Herstellerfirma „Trümmer-Verwertungs-Gesellschaft“ zurück. Nach DIN 4108 Teil 4 bzw. DIN 4226 Teil 2 beträgt der Rechenwert der Wärmeleitfähigkeit für Dreikammer-Hohlblocksteine ( $\leq 300$  mm, Rohdichte  $1400 \text{ kg/m}^3$ )  $0,57 \text{ W/(mK)}$ . Für den gesamten Außenwandaufbau errechnet sich damit ein U-Wert von  $1,3 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ .

## 1.4 Decken

Die Deckenausführung besteht aus Stahlsteindecken mit TVG-Steinen und TVG-Trümmerschutt (System Kaiser, Spannrichtung: Außenwand-Innenwand-Außenwand). Stahlsteindecke bezeichnet eine Konstruktion mit Doppel-T-Trägern aus Stahl, in welche entsprechend geformte Steine ohne weitere Stahlbewehrung eingelegt wurden. Die Deckenstärke beträgt im Mittel 17 cm. Die statische Tragfähigkeit dieser Deckenkonstruktion ist aus heutiger Sicht sehr knapp bemessen. Bei der Sanierung müssen deshalb zusätzlich auftretende Belastungen wie zum Beispiel das Aufstellen eines Wärmepumpen-Kompaktaggregates mit Lüftung etc. sorgfältig geplant werden. Der errechnete U-Wert (mit Ausnahme der obersten Geschossdecke) beträgt  $1,1 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ .

## 1.5 Fenster und Eingangstüren

Die ursprünglichen Fenster des Bestandsgebäudes bestehen aus Holzrahmen mit Einscheibenverglasung (U-Wert  $5,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ ). Davon sind noch 8 Stück erhalten (siehe Abbildung 7). Die innenliegenden Rolladenkästen sind nach innen mit einem ungedämmten Holzbrett verschlossen, welches lediglich über zwei Drehriegel angedrückt wird. An dieser Stelle liegt eine signifikante Undichtheit (über den Rolladenkasten nach außen) vor. Bis auf wenige Einzelfenster sind diese Rolladenkästen bei allen Fenstern erhalten. Die Holzrahmen mit Einscheibenverglasung wurden dagegen bei den übrigen 120 Fenstern durch Kunststoffrahmen mit Wärmeschutzverglasung  $U_g=1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$  ersetzt. Einzelne Fenster auf der Südfassade (Tevesstraße 36-46) wurden nachträglich mit Sonnenschutz (außenliegende Jalousien) ausgestattet (Abbildung 10).

Die Wohnungseingangstüren sind in der Originalausführung aus Holz (U-Wert  $1,4 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ ) mit Einfachverglasung (U-Wert  $5,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ ), einige wurden durch Aluminium-Türen (Rahmen U-Wert  $2,4 \text{ W/mK}$ ) ersetzt, aber auch diese sind mit ESG ausgestattet. Beide Ausführungsformen sind in Abbildung 12 dargestellt.



Abbildung 7: Holzfenster mit originalem innenliegendem Holzrolladen im Bestandsgebäude



Abbildung 8: Nachträglich eingebaute Kunststoff-Fenster (Holzrolladen original)



**Abbildung 9: Nachträglich eingebaute PVC-Fenster im Bestandsgebäude (links: ausgebrochene Laibung, rechts mit nachträglich installiertem Rolladenkasten)**



**Abbildung 10: Nachträglich eingebaute Jalousien an der Südfassade (Tevesstraße 36-46)**



**Abbildung 11: Einfach-verglaste Treppenhausfenster mit Holzrahmen**



**Abbildung 12: Holz- und Aluminiumhauseingangstür im Bestandsgebäude**

## **1.6 Dachgeschoss**

Die Dachkonstruktion im Bestandsgebäude besteht aus Holz mit Tonfalzziegeleindeckung (siehe Abbildung 13). Die oberste Geschossdecke besteht aus einer Stahlsteindecke mit Trümmerschutt. Der berechnete U-Wert beträgt  $1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$ .



**Abbildung 13: Dachstuhl und oberste Geschossdecke als Stahlsteindecke**

## 1.7 Keller

Die Kellerdeckenkonstruktion besteht ebenfalls aus einer Stahlsteindecke mit Trümmerschutt (System Kaiser). Der Fußbodenaufbau im EG besteht aus Sand und Holzfußboden. Damit errechnet sich für den gesamten Kellerdeckenaufbau ein U-Wert von 1,1 W/mK. Die Tür zur Treppenhaus ist eine einfachverglaste Holztür (U-Wert 5,0 W/mK).



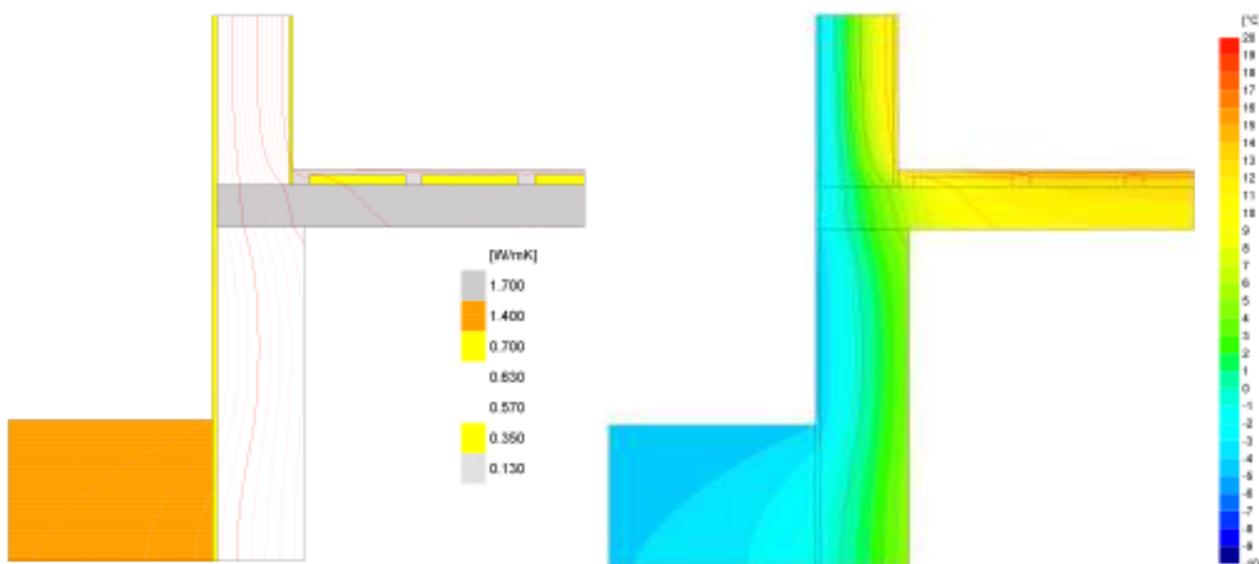
Abbildung 14: Kellertür (Abgang Treppenhaus) und Stahlsteindecke (System Kaiser)



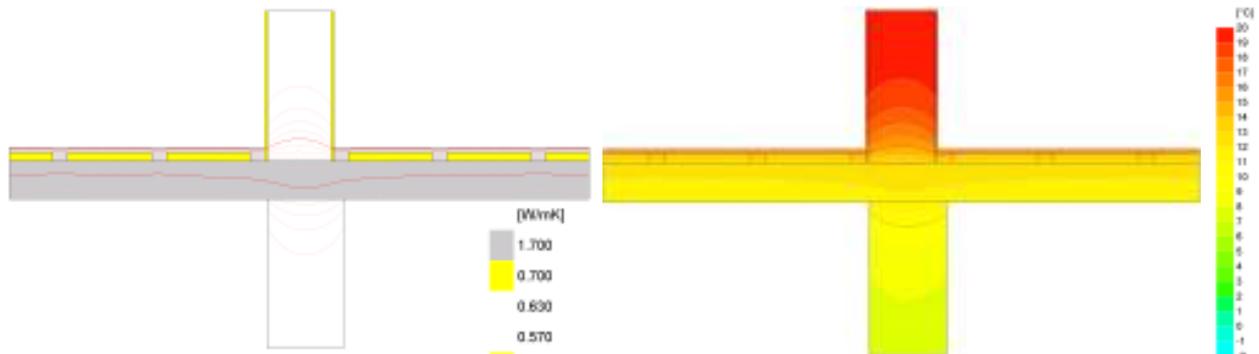
Neben den  $\Psi_a$ -Werten sind vor allem die Temperaturen an den inneren Oberflächen der Bauteile von Bedeutung. Diese wurden mit den Randbedingungen bestimmt, wie sie die gültige Normung [7] vorgibt: Außentemperatur  $-5^\circ\text{C}$  Innentemperatur (Luft)  $20^\circ\text{C}$ , reduzierter Wärmeübergang an den Innenoberflächen von  $\alpha_i = 4 \text{ W/m}^2$  und entsprechend erhöhtem Wärmeübergangswiderstand  $R_{si} = 0,25 \text{ m}^2/\text{W}$ . Dies entspricht dem häufig in Wohnungen anzutreffenden Gegebenheiten, dass nämlich Möbel an kalten Außenwänden stehen oder Vorhänge den Wärmeübergang vom Innenraum an die Wand vermindern. Neben der niedrigsten Oberflächentemperatur ist in Tabelle 2 noch das dimensionslose Temperaturverhältnis  $f_{Rsi}$  für den genannten Wert  $R_{si} = 0,25 \text{ m}^2/\text{W}$  angegeben.

**Tabelle 2: Außenmaßbezogene Wärmebrückenverlustkoeffizienten  $\Psi_a$  [W/(mK)], niedrigste Temperatur an der Innenoberfläche und Temperaturverhältnis  $f_{Rsi}$  ( $R_{si} = 0,25 \text{ m}^2/\text{W}$ ) im Bestandsgebäude. Randbedingungen:  $\vartheta_a = -5^\circ\text{C}$ ,  $\vartheta_i = 20^\circ\text{C}$**

Bez.	Bauteilanschluss	$\Psi_a$ [W/mK]	$\vartheta_{\min}$ [ $^\circ\text{C}$ ]	$f_{Rsi}$ [-]
WB 1	Kellerdecke an Außenwand	-0,36	9,9	0,6
WB 2	Kellerdecke an Innenwand	0,00	12,8	0,7
WB 3	Traufanschluss	-0,96	5,9	0,44
WB 3d	Traufanschluss mit Dämmlage auf oberster Geschossdecke	-0,38	8,1	0,52
WB 4	Brandwand an oberste Geschossdecke	-0,37	6,9	0,48
WB 4d	Brandwand mit Dämmlage auf oberster Geschossdecke	0,12	12,3	0,69
WB 5ls	Fenster an Außenwand Laibung und Sturz $\Psi_{\text{Einbau}}$ [W/(mK)]	0,10	10,5	0,62
WB 5b	Fenster an Außenwand Brüstung mit Steinfensterbank	0,14	8,8	0,55



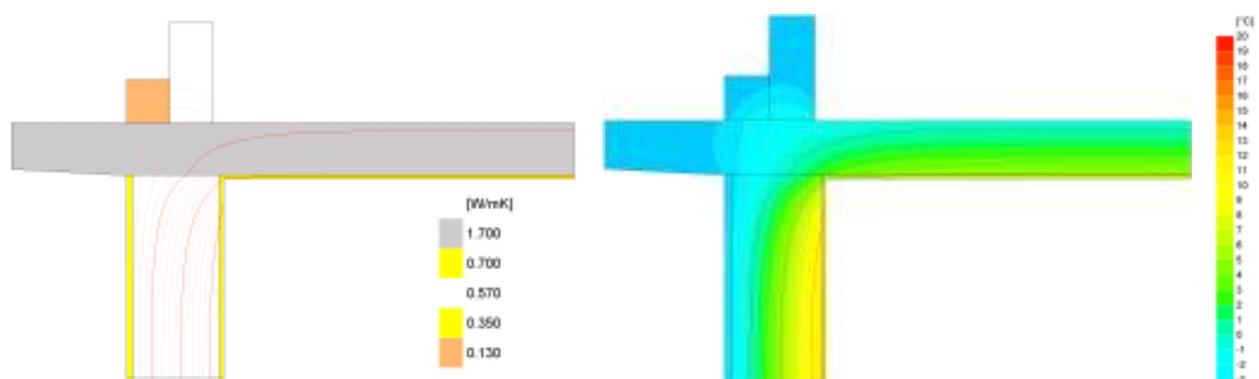
**Abbildung 16: Wärmebrücke WB1. Anschluss Kellerdecke an Außenwand.  $\Psi_a = -0,36 \text{ W/(mK)}$ . Minimale Temperatur an der Innenoberfläche  $\vartheta_{\min} = 9,9^\circ\text{C}$  entsprechend  $f_{Rsi} = 0,6$**



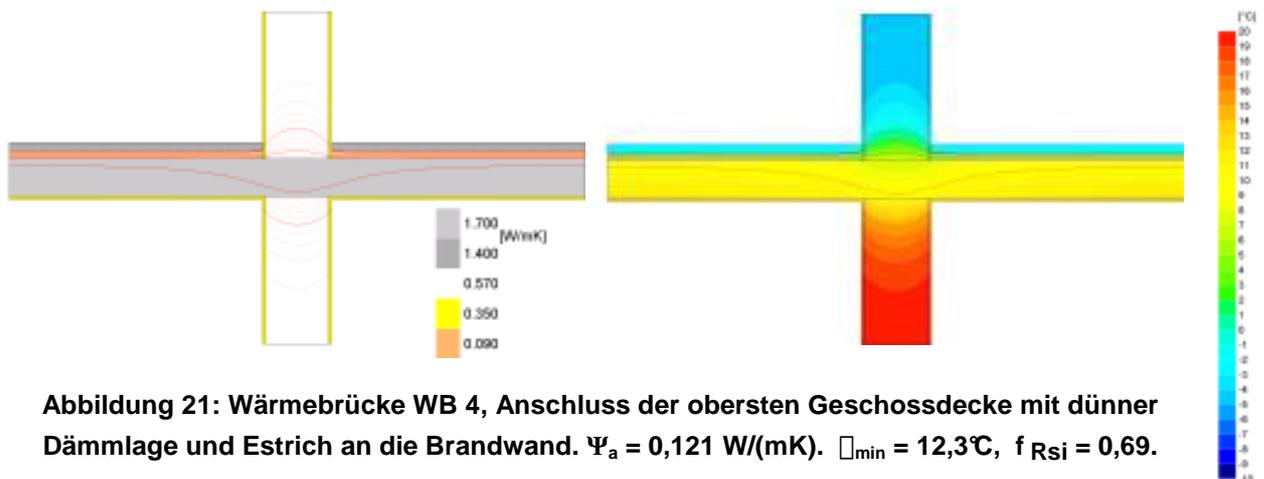
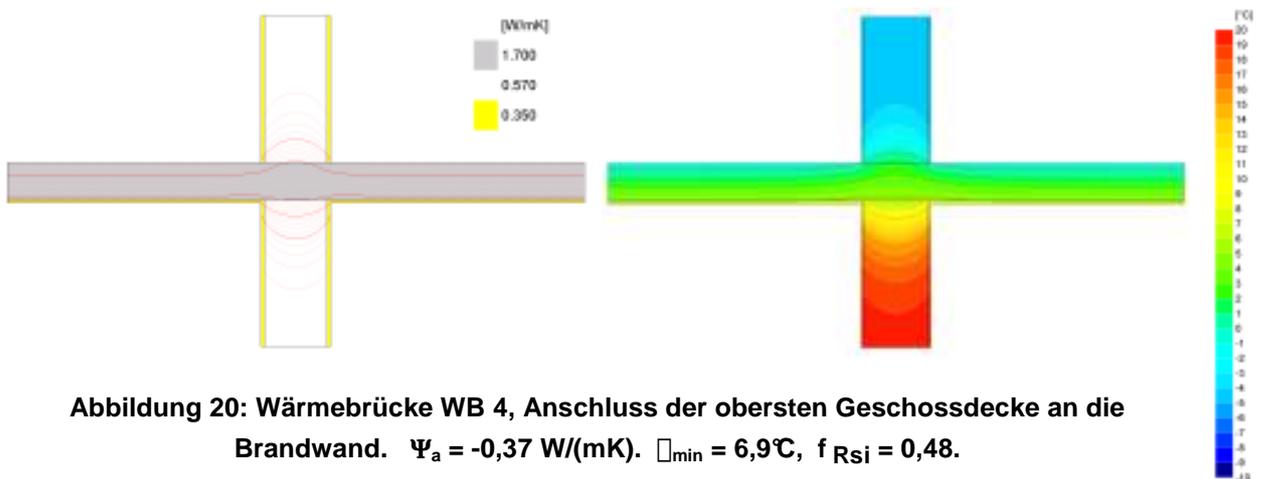
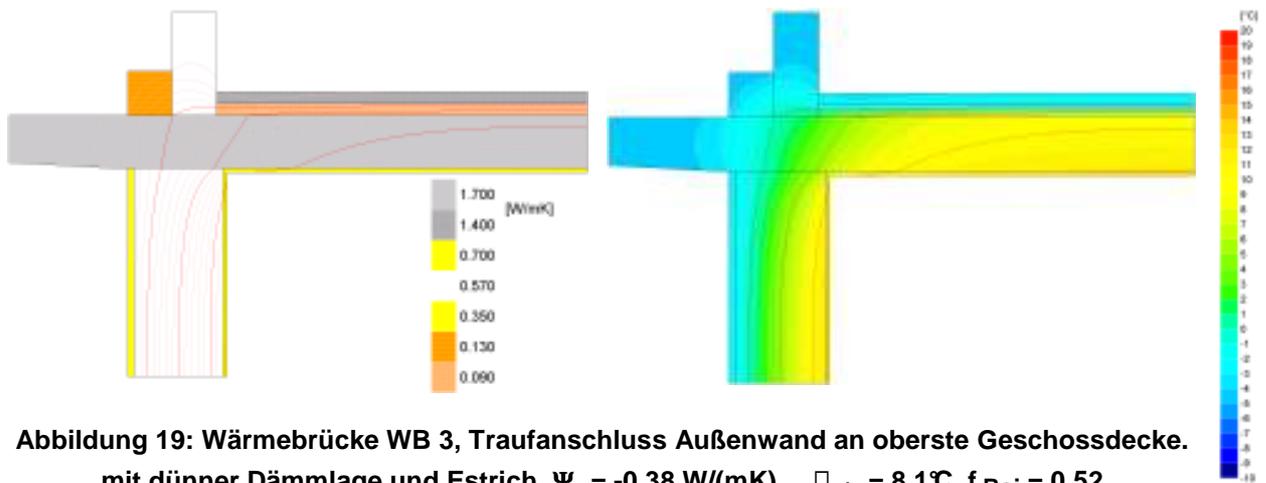
**Abbildung 17: Wärmebrücke WB 2, Kellerdecke an Innenwand. Der Wärmebrückenverlustkoeffizient ist hier  $\Psi_a = 0$ , weil die Wärmeleitfähigkeit der Wandmaterialien geringer ist als die der Betondecke.  $\vartheta_{\min} = 12,8^\circ\text{C}$ , am Innenputz hinter den Holzdielen,  $f_{R_{Si}} = 0,70$**

Wie in Abbildung 16 bis Abbildung 22 zu erkennen ist, sind die tiefsten Temperaturen an ungünstigen Stellen, z. B. an Außenwandkanten, so niedrig, dass dort häufig mit Tauwasser, zumindest aber mit Schimmelbildung zu rechnen ist. Von der Norm wird generell gefordert, dass  $f_{R_{Si}}$  ( $R_{Si} = 0,25$ )  $\geq 0,7$  eingehalten wird. Dies wird hier nur für den Anschluss WB2 erreicht, Innenwand auf Kellerdecke. Diese Problematik wurde ausführlich in der Literatur beschrieben [2], [4].

In Abbildung 19 und Abbildung 21 wurde der Einfluss einer dünnen Dämmlage unter einem Estrich auf der obersten Geschossdecke dokumentiert. Bei Gebäuden, die um die Jahrhundertwende errichtet wurde, ist eine solche Dämmschicht in der Regel vorhanden. Bei Gebäuden ab den 1960er Jahren wurde sie zunehmend weggelassen. Diese lediglich 40 mm dünne Dämmschicht verhindert, dass die Temperaturen an den inneren Bauteiloberflächen auf weniger als  $8^\circ\text{C}$  absinken (Traufanschluss in Abbildung 19), was zumindest einen geringen, wenn auch nicht den heute geforderten Tauwasserschutz gewährleistet. Die Energiebilanz wird durch diese dünne Dämmschicht allerdings nicht in ausreichendem Maß verbessert.

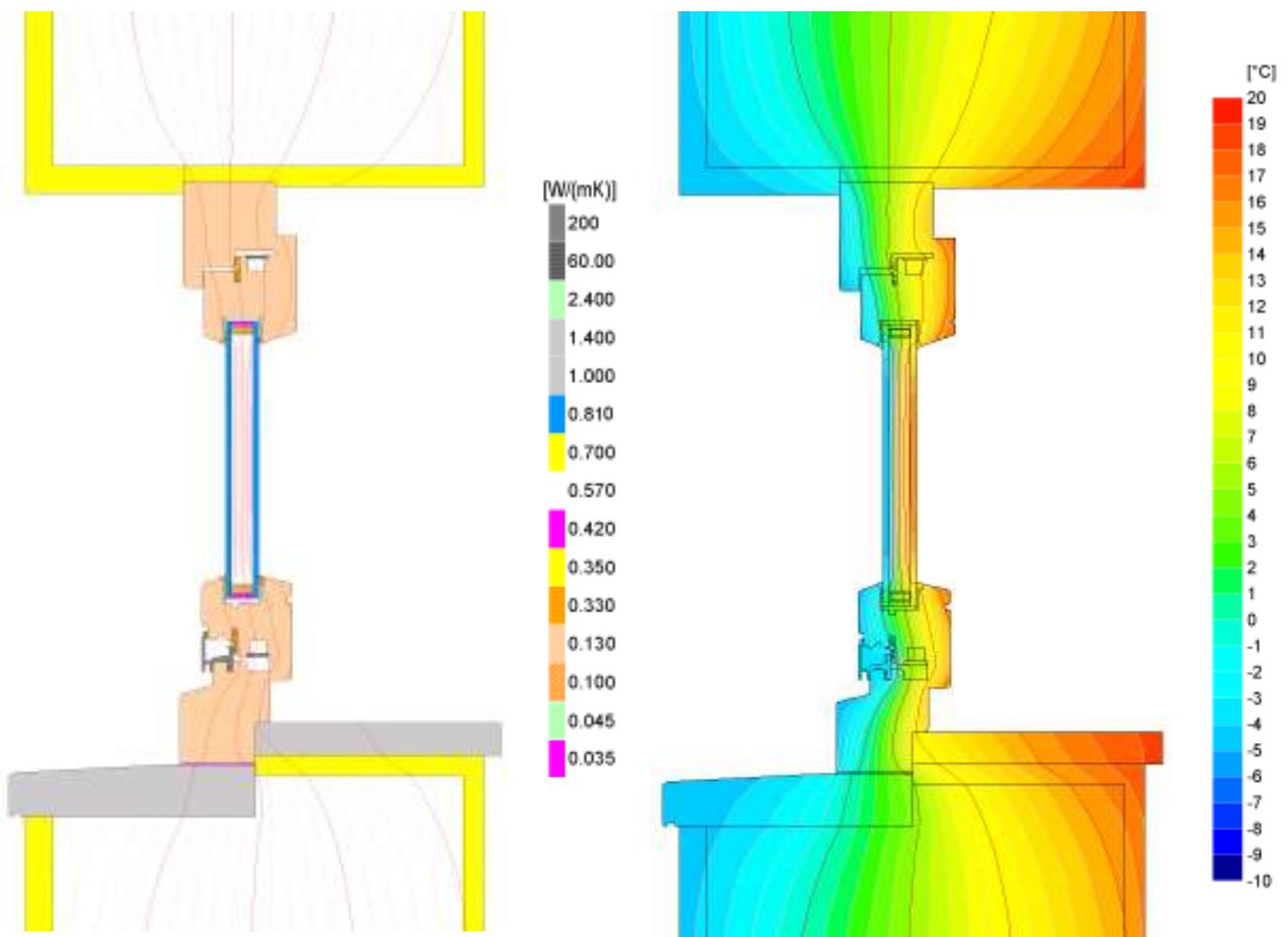


**Abbildung 18: Wärmebrücke WB 3, Traufanschluss Außenwand an oberste Geschossdecke.  $\Psi_a = -0,96 \text{ W}/(\text{mK})$ .  $\vartheta_{\min} = 5,9^\circ\text{C}$  in der oberen Ecke,  $f_{R_{Si}} = 0,44$**



In Abbildung 22 ist der konventionelle Fensteranschluss dargestellt, wie er bislang gemäß der üblichen Baupraxis ausgeführt wurde. Ein Fenster aus Holz- oder Kunststoff-Profilen wird in der Laibung und im Sturz direkt an das nicht gedämmte Mauerwerk angeschlossen. In der Brüstung wird das Profil direkt auf die Fensterbank, hier aus Werkstein, aufgesetzt. Die innere Fensterbank wird in einem Stufenfalz der Fensterprofiles angeschlagen.

Wie in der vorgegangenen Bestandsdokumentation erwähnt, wurden in den letzten Jahren im Zuge von wohnungsweise durchgeführten Modernisierungsmaßnahmen alle nachträglich erneuerten Fenster im untersuchten Gebäude auf diese Weise an die Stelle der alten Fenster eingesetzt. Dabei wurden hauptsächlich ungedämmte PVC-Profile verwendet.



**Abbildung 22: Wärmebrücke WB 5. Position eines konventionellen Holzfensters im Mauerwerk der Außenwand. Fensterbänke innen und außen aus Stein.  $U_w$ (nicht eingebaut)= 1,51 W/(m<sup>2</sup>K)**

**Einbauwärmebrücke Laibung:  $\Psi_a = 0,31$  W/(mK),  $\vartheta_{\min} = 11,9^\circ\text{C}$ ,  $f_{Rsi} = 0,68$**

**Brüstung:  $\Psi_a = 0,40$  W/(mK),  $\vartheta_{\min} = 10,8^\circ\text{C}$ ,  $f_{Rsi} = 0,63$**

**Resultierender Wärmeverlust über das eingebaute Fenster:  $U_w$ (eingebaut = 2,49 W/(m<sup>2</sup>K)**

Die bauphysikalische Fragwürdigkeit einer solchen 'Sanierung' zeigt sich beim Studium der Temperaturverläufe in Abbildung 22 und Abbildung 23: Die Temperaturen an den Innenoberflächen von Rahmen und angrenzendem Mauerwerk sinken bis auf etwa 10°C (Brüstung) ab. Tauwassergefahr bzw. Schimmelbildung ist hier also immer noch gegeben. Doch selbst bei Verwendung von heute üblichen konventionellen Holzfensterrahmen sind die Temperaturverhältnisse nicht wesentlich besser. Die Wärmeverluste über das Fenster und die Wärmebrücke am Bauteilanschluss sind dementsprechend hoch. Für eine hocheffiziente Sanierung sind diese Fenster deshalb ungeeignet und können nicht weiter verwendet werden.

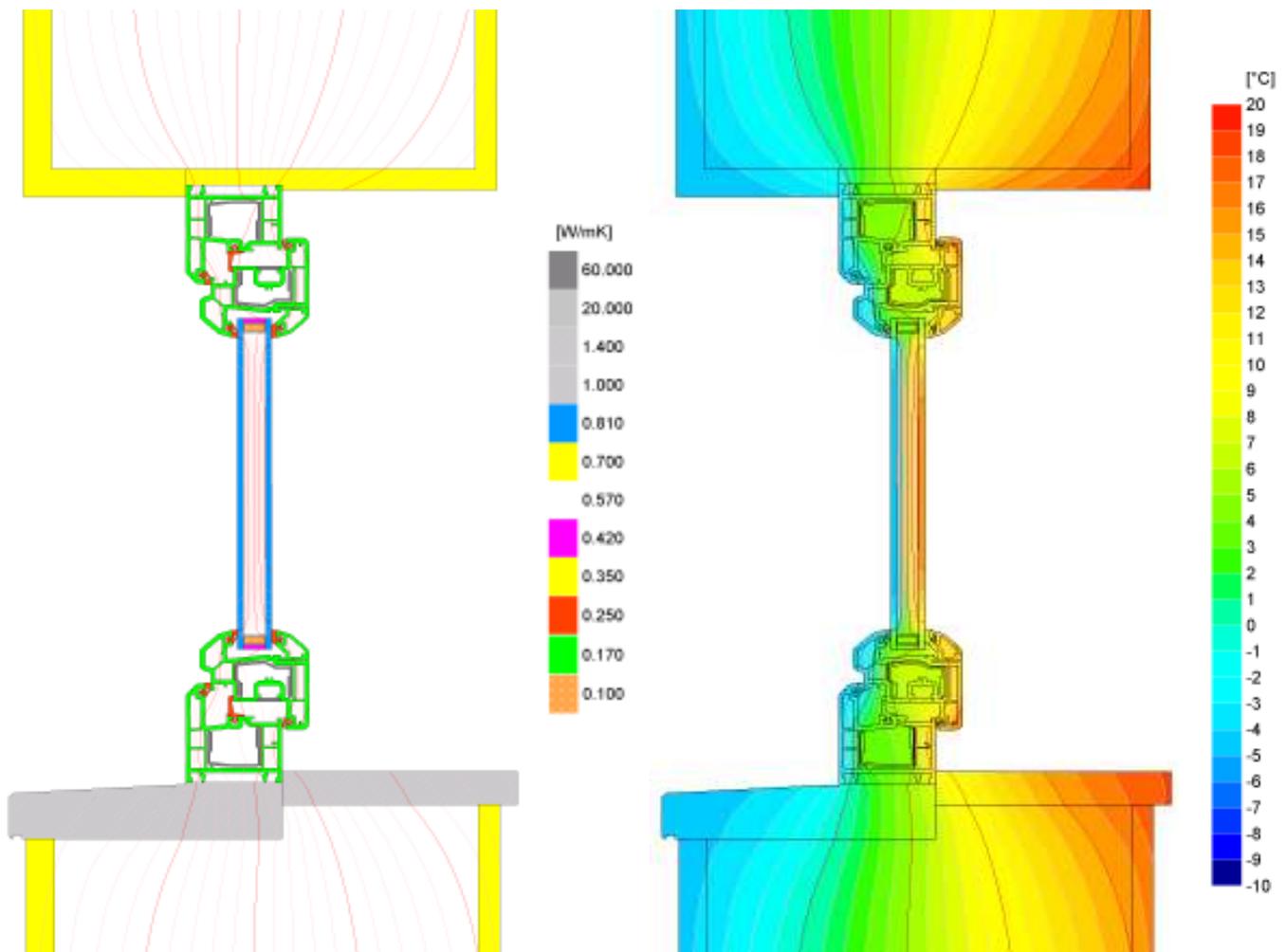


Abbildung 23: Wärmebrücke WB 5. Position eines konventionellen Fensterrahmens aus Hohlkammer-PVC-Profilen im Mauerwerk der Außenwand. Fensterbänke innen und außen aus Stein.  
 $U_w(\text{nicht eingebaut}) = 2,02 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

Einbauwärmebrücke Laibung:  $\Psi_a = 0,25 \text{ W}/(\text{mK})$ ,  $T_{\min} = 11,6^\circ\text{C}$ ,  $f_{Rsi} = 0,66$

Brüstung:  $\Psi_a = 0,35 \text{ W}/(\text{mK})$ ,  $T_{\min} = 9,6^\circ\text{C}$ ,  $f_{Rsi} = 0,58$

Resultierender Wärmeverlust über das eingebaute Fenster:  $U_w(\text{eingebaut}) = 2,82 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

## 1.9 Untersuchung der Luftdichtheit

Die Luftdichtheit der Bestandsgebäude wurde am 28. und 29. November 2003 mittels Blower Door Messungen untersucht. An den beiden Tagen wurden hauseingangswise Luftdichtheitsmessungen nach EN 13829 (Verfahren A) durchgeführt. Die Luftfördereinrichtung (Minneapolis Blower Door Model 4 mit Druckmessdose Tectite) wurde jeweils in die Hauseingangstür eingebaut und die Keller- wie auch die Bodentür geschlossen gehalten. Die Bewohner sind über die Messungen im Vorfeld informiert worden. Sie wurden gebeten anwesend zu sein, damit während der Messung aus Sicherheitsgründen die Gasetagenheizungen abgeschaltet werden und die jeweils sechs Wohnungstüren offen stehen konnten. Somit bildeten die sechs Wohnungen mit dem Treppenhaus einen Luftverbund und man konnte mit nur einer Gesamtmessung pro Hauseingang die Luftdichtheit des Gebäudes bestimmen. Dieses Vorgehen konnte in allen Fällen erfolgreich durchgeführt werden. Vereinzelt waren die Bewohner nicht anwesend und die Wohnungstüren konnten nicht geöffnet werden. In diesen Fällen wurden die einzelnen Türen temporär vom Treppenhaus aus abgeklebt und das Volumen der entsprechenden Wohnung vom Gebäudevolumen abgezogen. An einer Beispielwohnung wurde kontrolliert, ob es Leckageströme über Anschlussfugen oder Schächte zwischen der abgeklebten und einer Nachbarwohnung gibt. Hier konnten keine nennenswerten internen Leckagen festgestellt werden. Das gewählte Vorgehen konnte damit sinnvoll durchgeführt werden.



**Abbildung 24: Eingebaute Blower Door in der Hauseingangstür und geöffnete Wohnungstüren während der Messung.**



**Abbildung 25: Temporär abgeklebte Wohnungstür und Kontrolle der Lüftströmung an der Gastherme mittels Thermoanemometer.**

Einige Wohnungen verfügen über Außenwandbelüftungssteine in der Küche. Fast alle Wohnungen haben Gasthermen mit Abgasleitungen. Es wurden keine weiteren Präparationen oder Abdichtungen vorgenommen, da die Messungen den Nutzungszustand der Gebäude abbilden soll. Eine Ausnahme bilden hier nur die Abdichtungen (Auffüllen) der Abwasser-Syphone in den unbewohnten Wohnungen.



**Abbildung 26: Lüftungsgitter für Küchenbelüftung und Einzelraum Gasofen mit Abgasrohr nach außen. Deutlich zu erkennen ist der Ruß- und Staubniederschlag an der kalten Innenoberfläche der Außenwand.**

### 1.9.1 Leckagen

Bewohnte Wohnungen konnten im Normalfall nicht zur Leckagesuche betreten werden. Es wurden nur vereinzelt bewohnte Wohnungen besichtigt um den Bewohnern Hauptleckagen aufzuzeigen. Vier Wohnungen standen bereits leer. Hier konnten die typischen Leckagen genauer identifiziert werden. Außerdem wurden bei jeder Messung die Leckagen in den Treppenhäusern geortet.

So konnten Undichtheiten in den Treppenhäusern durchgängig - wenn auch in unterschiedlicher Ausprägung - lokalisiert werden an:

- Fenstern sowie
- Keller- und Bodentüren.

In den untersuchten Wohnungen wurden in der Regel undichte Fenster, Leckagen an Rollladenkästen und Rollladengurtdurchführungen, Steckdosen in Außenwänden sowie Rohrdurchführungen durch den Fußboden der EG-Wohnungen ermittelt. Zusätzlich stellten die Außenluftverbindungen der Einzelraumfeuerstätten und die Lüftersteine in den Küchen deutliche Leckagen dar, die einfach zu lokalisieren waren.

An den geputzten Innenwänden, sowie den Decken-, Wand- und Fußbodenanschlüssen wurden keine nennenswerten Leckagen festgestellt. Nur vereinzelte Risse im Putz oder einzelne unverputzte Bereiche hinter abgelösten Fußleisten wurden als kleinere Leckagen identifiziert.



**Abbildung 27: Leckagen an der geschlossenen Kellertür im Treppenhaus und am Treppenhausfenster.**



Abbildung 28: Links: Leckagen am Abwasserrohr einer EG-Wohnung (vom Kellerflur gesehen). Der Bereich war mit Zeitungspapier ausgestopft. Rechts: Leckage in einer Wohnung am Rolladenkasten.



Abbildung 29: Undichtetes Fenster in einer Wohnung



**Abbildung 30:** Links: Leckagen am Rollladenkasten, insbesondere an der Gurteinführung. Rechts: In der Küche festgestellte Luftströmung durch den Lüftungsstein in der Außenwand.

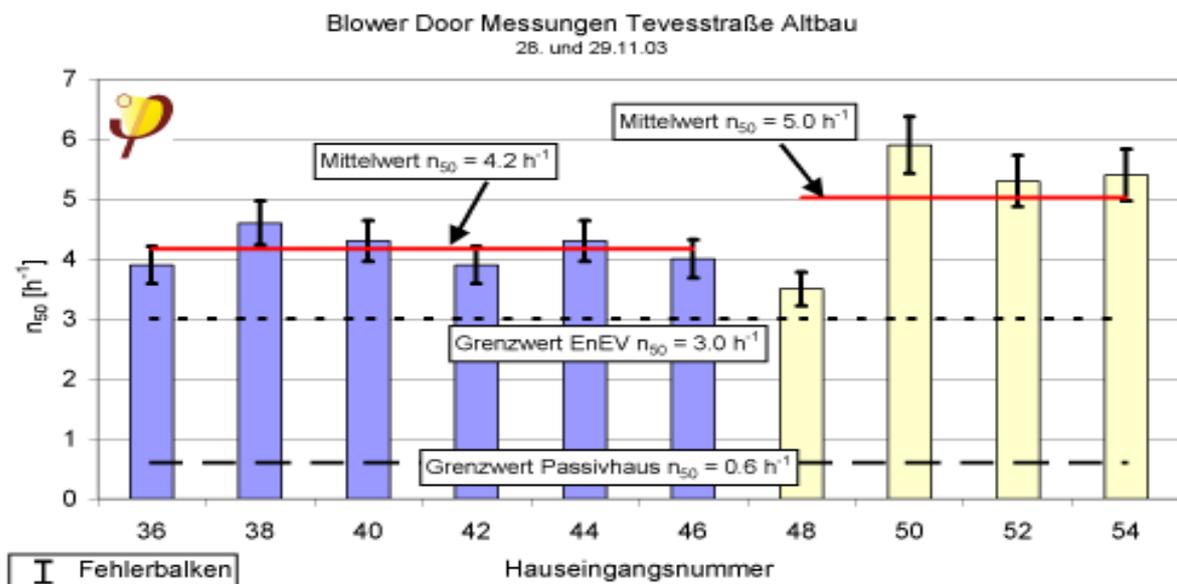
### 1.9.2 Ergebnisse Luftdichtheitsuntersuchung

Die Drucktestmessungen (Unter- und Überdruckmessreihe) wurden für jeden der zehn Eingänge einzeln ausgewertet. Es ergaben sich Messwerte zwischen  $n_{50} = 3,5$  und  $5,9 \text{ h}^{-1}$ . Dabei liegt der Mittelwert von Block 36 bis 46 mit  $n_{50} = 4,2 \text{ h}^{-1}$  unter dem von Block 48 bis 54 mit  $n_{50} = 5,0 \text{ h}^{-1}$ . Der gesamte volumengewichtete Mittelwert für beide Wohnblöcke ergibt sich zu  $n_{50} = 4,4 \text{ h}^{-1}$ . Die internen Leckagen zwischen Wohnungen benachbarter Hauseingängen wurden nicht separat gemessen. Dazu hätte eine aufwendigere Messmethode (sog. „Schutzdruckverfahren“) durchgeführt werden müssen, welche den Rahmen dieses Forschungsprojektes überschritten hätte und auch keine entscheidenden zusätzlichen Erkenntnisse gebracht hätte. Bei der Bauweise sind keine Volumenströme in nennenswerter Größe zu erwarten. Bei den Stichproben in den unbewohnten Wohnungen wurden diesbezüglich keine Leckagen festgestellt.

	Hauseingangsnummer									
	36	38	40	42	44	46	48	50	52	54
<b>n<sub>50</sub>-Wert [1/h]</b>	3,9	4,6	4,3	3,9	4,3	4,0	3,5	5,9	5,3	5,4
<b>Mittelwert</b>	(Block 36 – 46) 4,2 <sup>1</sup> / <sub>h</sub>					(Block 48 – 54) 5,0 <sup>1</sup> / <sub>h</sub>				
	<b>Gesamtmittelwert 4,4</b>									

**Tabelle 3: Messergebnisse der Drucktestmessungen der zehn Hauseingänge**

Die Messwerte liegen damit deutlich über den heute nach gültiger Bauvorschrift (EnEV) zulässigen Werten von  $n_{50} = 3,0 \text{ h}^{-1}$  für Gebäude ohne Lüftungsanlagen. An der graphischen Darstellung der Messwerte in Abbildung 31 zeigt sich damit auch deutlich die Herausforderung zum Erreichen des Passivhaus-Grenzwertes von  $n_{50} = 0,6 \text{ h}^{-1}$  nach der Sanierung der Objekte.



**Abbildung 31: Ergebnisse der 10 Luftdichtheitsmessungen am 28. und 29. November 2003 der beiden Altbaublöcke in der Tevesstraße. Die Mittelwerte sind je jeweils pro Block dargestellt.**

Die einzelnen Drucktestmessprotokolle der zehn Messungen sind im Anhang dokumentiert.

### 1.10 Infrarotthermographie

Zur Beurteilung des energetischen Standards der beiden Wohngebäude wurden am 4. Dezember 2003 in der Zeit von ca. 5:30 bis 11:00 Uhr Außen- und Innenthermographien der beiden Wohnblöcke erstellt. Die klimatischen Randbedingungen der Untersuchung sind in Tabelle 4 zusammengefasst.

**Tabelle 4: Randbedingungen der thermographischen Untersuchung**

Außentemperatur Vortag 03.12.2003 (Mittelwert)	3,9°C
Außentemperatur 04.12.2003 Mittelwert 5:30 bis 06:00 Uhr	4,8°C
Windbedingungen	schwacher Wind
Niederschlag	kein Niederschlag
rel. Luftfeuchte (Tagesmittel)	84,4%
Emissionsgrad der opaken Wandflächen	0,93

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

**Tabelle 5: Geräteparameter des verwendeten Thermographie-Systems**

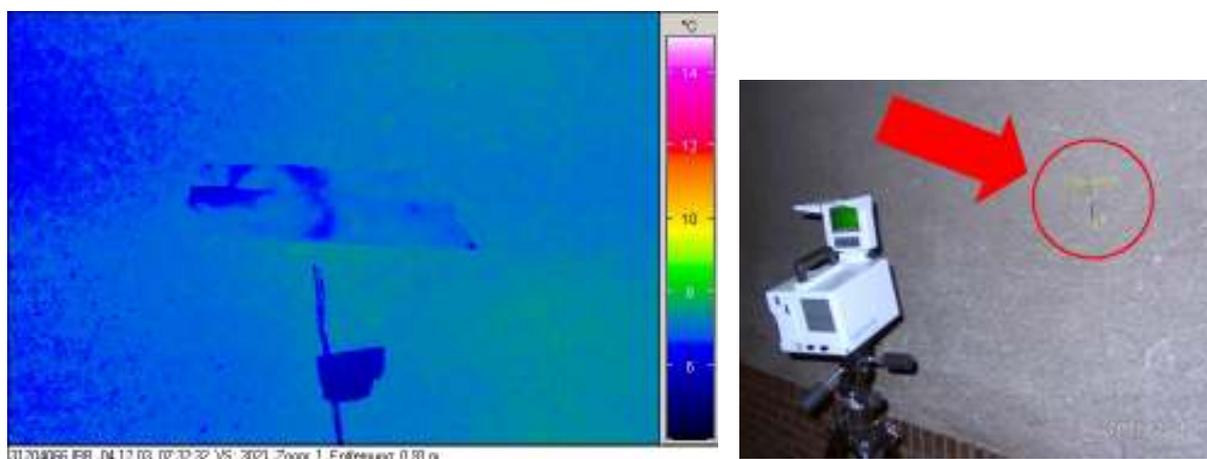
Messgerät	VARIOSCAN 3021 ST, Fa. Jenoptik
Spektralbereich (µm)	8...12
Aufnahmesystem	Scansystem
Detektormaterial	HgCdTe
Temperaturauflösung bei 30°C (K)	± 0,03
Bildformat (Pixel)	360 x 240

### 1.10.1 Außenfassaden

Alle Gebäudefassaden wurden an dem Morgen vor Sonnenaufgang mit der Thermographiekamera untersucht. Die IR-Bilder werden hier immer mit dem zugehörigen Lichtbild (Normalspektrum) dargestellt, welche überwiegend direkt im Anschluss an die Untersuchung aufgenommen wurden, nachdem ausreichend Tageslicht vorhanden war.

Alle dargestellten IR-Außenbilder werden aus Gründen der Vergleichbarkeit mit der gleichen Temperaturskala (4 bis 15°C) dargestellt. Bei der Beurteilung der IR-Aufnahmen ist zu beachten, dass die Emissivität der Verglasung ( $\epsilon=0,84$ ) um 9 % von der Emissivität der Putzoberfläche ( $\epsilon=0,93$ ) abweicht.

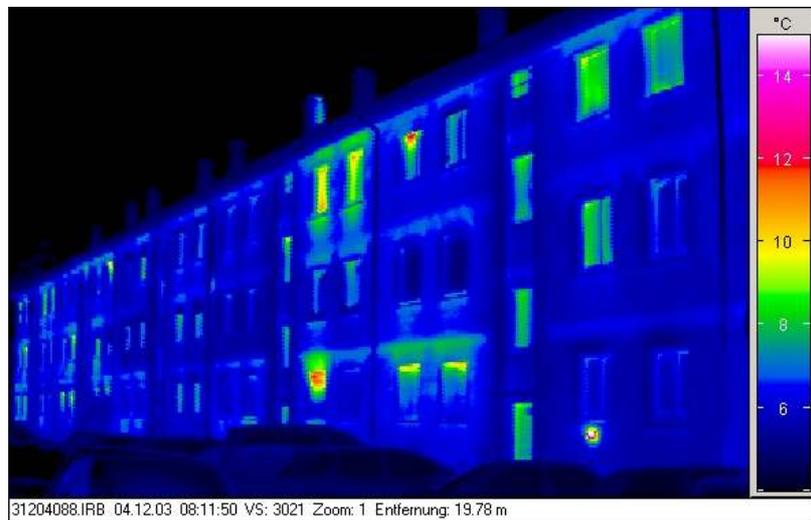
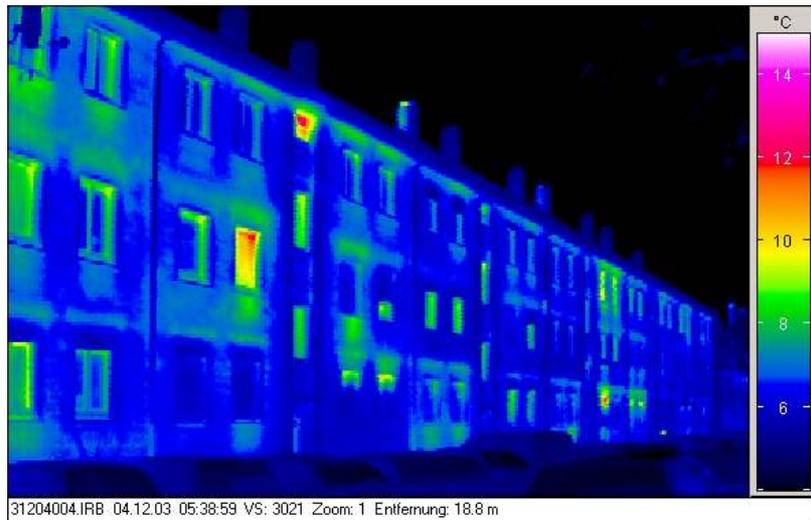
Zur Kontrolle der Temperaturmessung wurde der Oberflächensensor (Pt100) eines Temperaturmessgerätes (Almemo 2290-8, Fa. Ahlborn) mit einem Kreppband auf die Putzoberfläche der Westfassade von Haus 46 geklebt. Nach ausreichender Wartezeit wurde ein IR-Bild des Bereichs angefertigt und die Oberflächentemperatur am Messgerät abgelesen. Unter Annahme einer Emissivität von  $\epsilon = 0,93$  ergibt sich der Bereich um den Sensor im Mittel zu 7,2 °C, die Messung mit dem Oberflächensensor ergab den Messwert von 7,0°C. Die Abweichung von 0,2 K ist für die Auswertung als hinreichend genau anzusehen.



**Abbildung 32: Oberflächentemperaturmessung mit Hilfe eines Oberflächen Pt100-Sensors zur Kontrolle der Thermographieaufnahmen. Im Kreis befindet sich der aufgeklebte Sensor.**

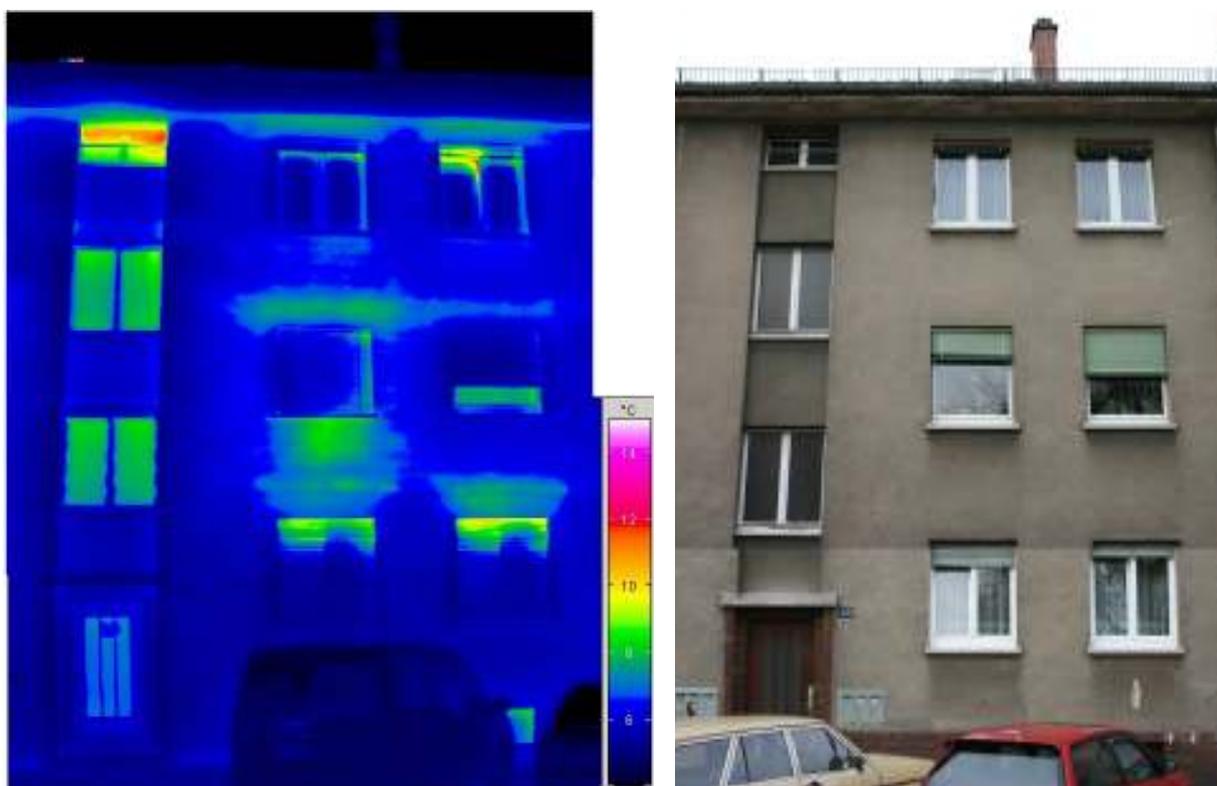
### Block 36 bis 46

Die gesamte Südfassade von Block 36-46 ist als Übersicht aus westlicher und östlicher Richtung dokumentiert. In Abbildung 33 zeichnen sich als wärmere Bereiche insbesondere die Fensterstürze und die Heizkörperbereiche unter den Fenstern ab.



**Abbildung 33: Block 36 bis 46 Gesamtansicht der Südfassade mit Blickrichtung von West und von Ost.**

Ein Ausschnitt der Südfassade, der rechte Teil von Haus Nr. 44, wird hier exemplarisch dargestellt. Die Thermographie (Abbildung 34) zeigt als wärmere Bereiche die Fensterstürze der Wohnungsfenster und den Bereich eines Heizkörpers unter dem Fenster im 1. OG. Bei dem IR-Bild sind die Außenrollläden im EG und 1. OG heruntergelassen (rechts im 1. OG nicht vollständig). Im 2. Stock sind ein Flügel des rechten Wohnungsfensters und das Treppenhausfenster nicht richtig verschlossen bzw. leicht geöffnet. Die Wandoberflächentemperaturen im Bereich der Wohnungen liegen im ungestörten Bereich um 5,5 bis 5,9°C und damit 0,7 bis 1,1 K über der Außenlufttemperatur. Die Stürze sind maximal 7,7°C, die Wand im Bereich des Heizkörpers maximal um 8,5°C warm. Die Wandoberflächentemperatur im Bereich des nicht direkt beheizten Treppenhauses beträgt 5,6°C. Eine Wärmebrücke am Fasadendachanschluss ist ebenfalls zu erkennen.



**Abbildung 34: Südseite von Haus 44 / rechts**

Die westliche Giebelwand zeigt deutlich unterschiedliche Oberflächentemperaturen. Im oberen Bereich (2. OG) betragen sie ca. 6,0°C, darunter im 1. OG ca. 7,0°C bzw. ca. 7,1°C im EG Bereich der ungestörten Wand. Die Wohnung im 2. OG ist unbewohnt und vermutlich nur schwächer beheizt. Das ist die Ursache für die niedrige Oberflächentemperatur an dieser Stelle. Das erste Fenster der Wohnung ist lange Zeit gekippt, deutlich zu erkennen an der starken Erwärmung im oberen Fensterbereich.

In Höhe der Geschosdecken sind deutlich konstruktive Wärmebrücken zu erkennen. Die Oberflächentemperaturen der Fassade im Bereich der Geschosdecke zwischen EG und 1. OG liegen bei 7,7°C. Die Temperatur unter dem Dachüberstand am Anschluss Wand-Dach beträgt etwa 7°C. Hier liegen ebenfalls Wärmebrückenverluste vor.

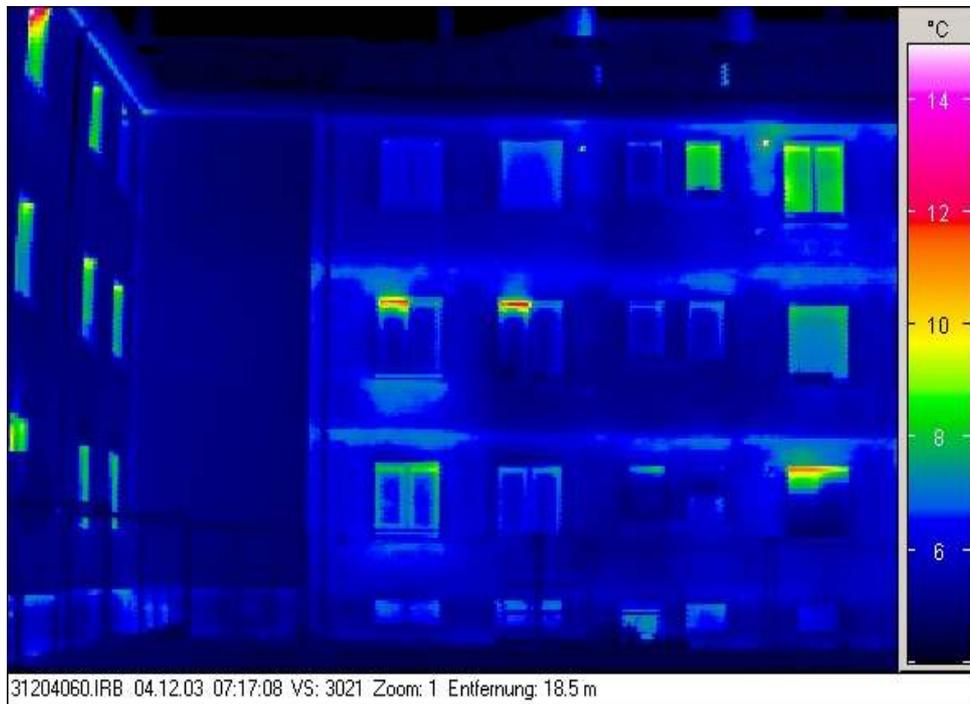


**Abbildung 35: Westliche Giebelwand von Block 36-46**

Einen typischen Ausschnitt der Nordfassade des Wohnblockes im Bereich von Haus 36 zeigt Abbildung 36. Hier zeigen sich wieder die erhöhten Wandoberflächentemperaturen im Bereich der Fensterstürze und Heizkörperpositionen (um 7°C). Die niedrigsten Wandoberflächentemperaturen liegen bei 5,2°C. Es zeichnen sich auch deutlich die Verläufe der Geschossdecken ab (6,36 bis 7,2°C). Bei dem rechten Fenster im EG ist der Rollladen geschlossen und das Fenster geöffnet. Aus diesem Grund zeigt sich hier die stärkere Erwärmung im oberen Bereich bis zu 10,1°C. Im 2. OG sind Lüftungsöffnungen der Küchen als hellere Punkte zu lokalisieren. Besonders auffällig sind auch die hohen Oberflächentemperaturen der Kellerfenster. Hier ist bei Berücksichtigung der Verglasungsoberfläche ( $\epsilon = 0,84$ ) eine Oberflächentemperatur von 7,0°C festzustellen. Die Temperaturerhebung der unbeheizten Kellerräume erfolgt hauptsächlich durch Transmissionsverluste der EG-Wohnung sowie der Wärmeabgabe der Abwasserrohre.

Die schlechte thermische Qualität der Fassade wird am linken Rand des IR-Bildes deutlich: hier zeigt die Fassade des sanierten Nachbarhauses eine durchgängig niedrigere Temperatur von 5°C. Nur der Anschluss Wand-Dach und der nicht berücksichtigte Sockelbereich erscheinen noch als wärmere Bereiche.

Der sichtbare Bereich der Ostfassade zeigt Oberflächentemperaturen im Mittel um 5,9°C. Die Geschossdecken zeichnen sich schwächer ab (ca. 0,3 K). Beim Übergang zur Fassadendämmung vom Nachbarhaus zeigt sich eine Wärmebrücke durch das Verschwenken der Isothermen im Übergang der ungedämmten Wand zum Bereich der Wand mit Wärmedämmung (teilweise durch das Regenfallrohr verdeckt).



**Abbildung 36: Rückseite (Nordfassade) von Hauseingang 36. Links grenzt die sanierte Fassade des Nachbargebäudes an.**



Abbildung 37: Mittlerer Teil der Giebelwand Ost des Wohnblocks Nr. 36-46

### Block 48 bis 54

Bei den vier Hauseingängen von Block 48 bis 54 ergibt sich bei der thermographischen Untersuchung ein ähnlicher Gesamteindruck wie beim Nachbarblock. Abbildung 38 zeigt eine Übersicht über den Großteil der Westfassade, welche z.T.

durch Bäume verdeckt ist. Dabei fallen wieder die Fensterstürze, Heizkörperbereiche sowie die Kellerfenster auf.



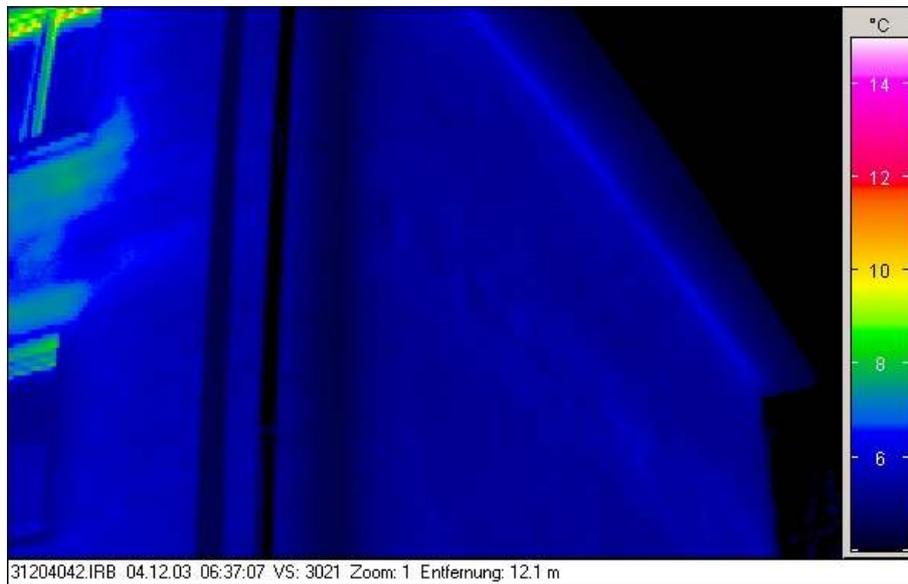
**Abbildung 38: Übersicht über die Westfassade des Blocks 48-54**

Als Detail der Westfassade wird hier der Bereich von Haus 50 dargestellt. Besonders die beiden Fenster (Rahmen und Scheiben) der Wohnung im 2. OG links sind auffällig warm. Diese beiden Fenster weisen den geringsten Wärmeschutzstandard an diesem Fassadenabschnitt auf. Es handelt sich um Holzfenster mit Einfachverglasung. Unter einigen Fenstern zeichnet sich wieder sehr deutlich der Bereich der Heizkörper mit Oberflächentemperaturen der Fassade bis 8°C ab. Im EG zeichnen sich deutlich die kühleren Rolladenkästen zwischen Fenster und Sturz ab (ca. 5°C). Die übrige ungestörte Fassadenoberfläche ist 5,3 bis 5,9°C warm. Die im IR-Bild sichtbaren Unterschiede der Fassadentemperaturen zwischen den Wohnungen haben ihre Ursache in den differierenden Raumlufttemperaturen. Einige Wohnungen sind unbewohnt und nur schwach beheizt (Frostschutz).

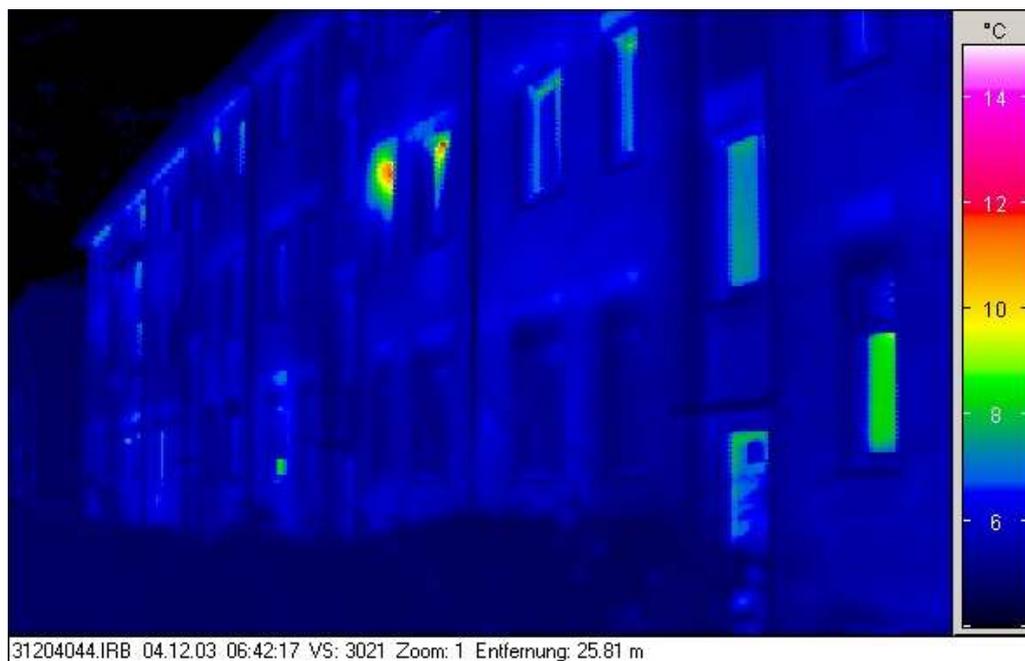


Abbildung 39: Ausschnitt der Westfassade im Bereich von Haus 50.

Die fensterlose Giebelwand im Norden zeigt relativ gleichmäßige Temperaturen der Oberfläche. Im ungestörten Wandbereich liegen die Temperaturen bei etwa  $5,3^{\circ}\text{C}$ , im Bereich der Geschossdecken bei  $5,8^{\circ}\text{C}$ . Auch an dieser Fassade ist der Übergang Wand-Dach als thermischer Schwachpunkt mit Temperaturen um  $6,3^{\circ}\text{C}$  zu erkennen.



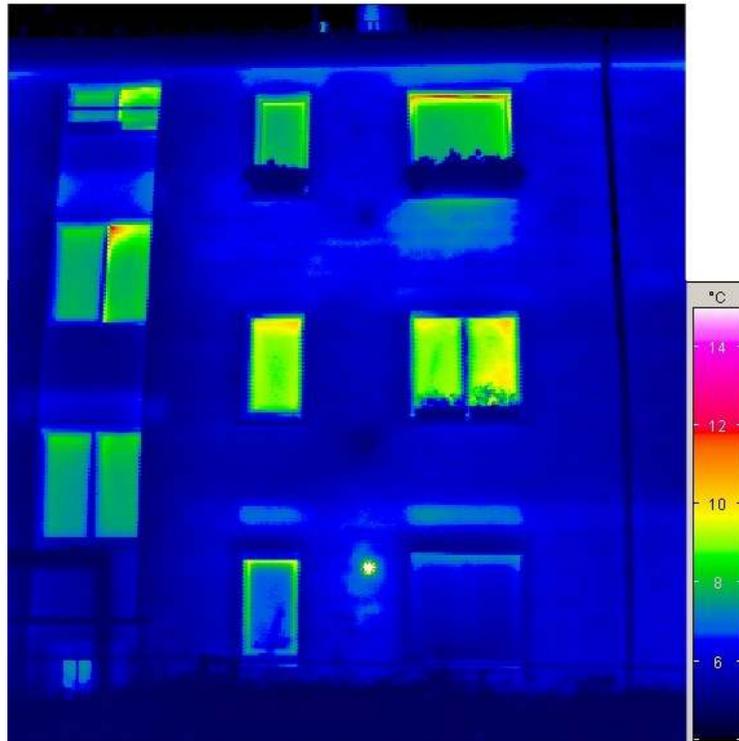
**Abbildung 40: Nördliche Giebelwand von Block 48-54 von Ost.**



**Abbildung 41: Ansicht der Ostfassade von Block 48-54 von Norden.**

Die Ostfassade wird zunächst wieder im Gesamtüberblick dargestellt (Abbildung 41). Hier zeigen sich wieder die wärmeren Außenbauteile: Fensterstürze, Fenster selbst sowie die Wärmebrücke am Übergang Wand-Dach.

Der Ausschnitt der Ostfassade im Bereich vom rechten Teil des Eingangs Nr. 46 wird in Abbildung 42 dargestellt. Neben den bereits bekannten Schwachstellen zeigt hier ein Abgasrohr im EG zwischen den beiden Fenstern (rechts ist der Rollladen geschlossen) besonders hohe Temperaturen (60,5°C). In dem IR-Bild erscheint der Bereich als weißer Punkt, da sich die Temperatur außerhalb des dargestellten Temperaturbereiches befindet. Der Wandbereich um des Abgasrohr ist ebenfalls erwärmt.



**Abbildung 42: Ausschnitt der Ostfassade von Block 48-54 im Bereich von Haus 48 rechts.**

Die Stirnseite des Gebäudes in Richtung Süden zeigt im Bereich der mittleren Wohnung (1. OG) niedrigere Fassadenoberflächentemperaturen. Vermutlich wird diese Wohnung nur auf niedrigerem Temperaturniveau beheizt. Obwohl der Baum einen Teil der Fassade verdeckt, sind im 2. OG die ausgeprägten Wärmebrücken unter und über dem linken Fenster deutlich zu erkennen (Sturz bis 9,1°C, Heizungsbereich bis 9,2°C). Unterhalb des linken Fensters im EG (mit heruntergelassenem Rollladen) ist die ehemalige Abgasdurchführung (jetzt verschlossen und verputzt) eines Einzelraumheizgerätes zu erkennen (Detail in Abbildung 44).

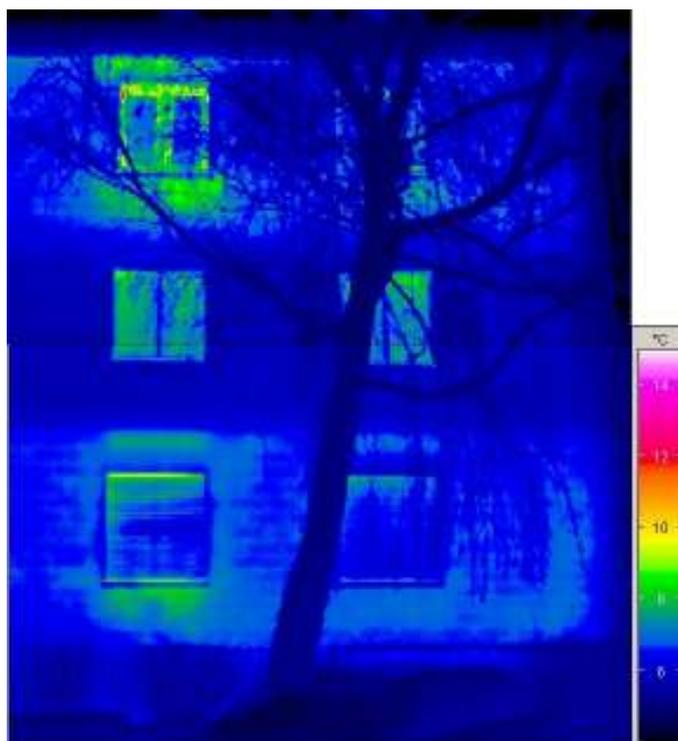


Abbildung 43: Giebelwand Süd vom Wohnblock 48-54

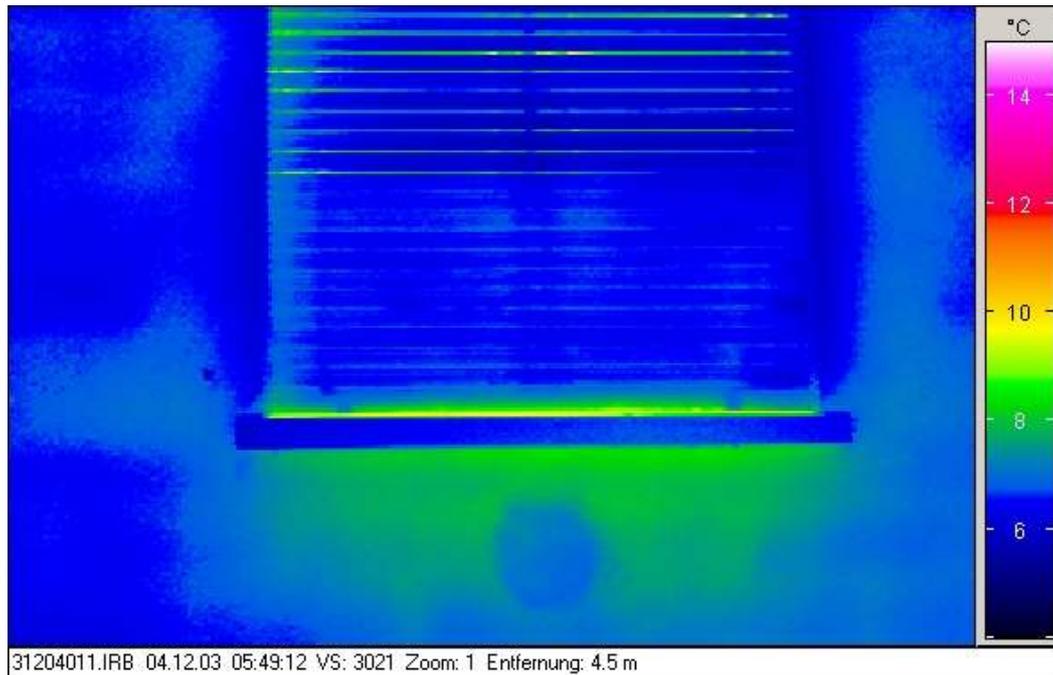
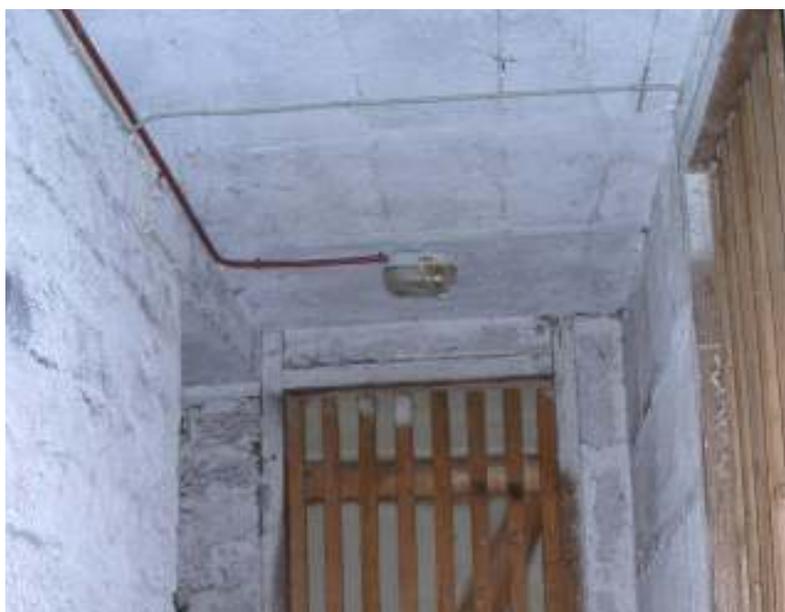


Abbildung 44: Ausschnitt der Giebelwand Süd vom Block 48-54 (IR-Bild mit heruntergelassenem Rollladen).

### 1.10.2 Thermographieaufnahmen im Keller

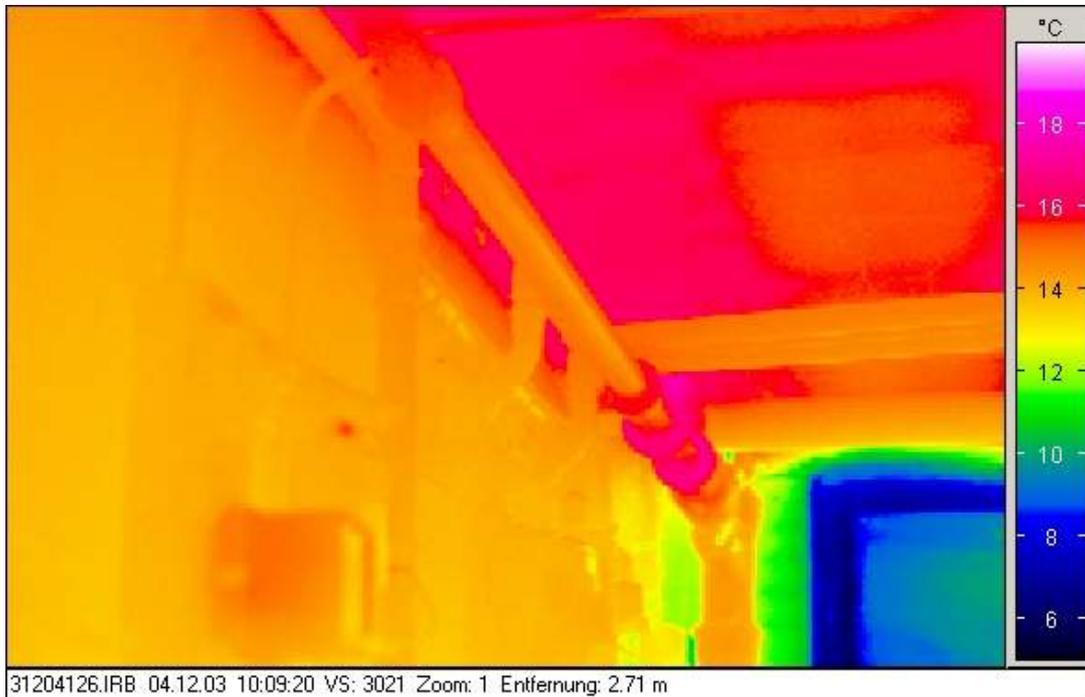
Alle dargestellten IR-Kellerbilder werden aus Gründen der Vergleichbarkeit mit der gleichen Temperaturskala (5 bis 20°C) dargestellt. Die Raumlufttemperatur im Keller betrug zur Zeit der Untersuchung in 1,7 m Höhe über dem Kellerfußboden 14,0°C. Untersucht wurden exemplarisch die Kellerflure von Haus 46, von denen die Bereiche der Decken in Abbildung 45 bis Abbildung 47 dargestellt werden.



**Abbildung 45: Decke Kellerflur in Haus 46 in Richtung Westen unter der linken EG Wohnung.**

Unter der linken Wohnung wurden Deckentemperaturen von 15,1 bis 16,3°C gemessen. Abbildung 45 kann entnommen werden, dass die Oberflächentemperatur der Decke nicht einheitlich ist. Links an der Wand ist ein wärmerer Bereich. Die Stahlträger der Stahl-Stein-Decke zeichnen sich horizontal ab.

Noch deutlicher ist dies bei dem Deckenbereich in Abbildung 46 ausgeprägt. Bei diesem Ausschnitt gibt es durch die Wärmebrücke bei der Auflagerwand (links im Bild, 16,2°C) und den Trägern in der Decke (Horizontal) nur noch wenige „ungestörte“ Bereich (Feld rechts oben, 15,5°C).



**Abbildung 46: Decke Kellerflur in Haus 46 in Richtung Norden unter der linken EG Wohnung.**

Im Bereich unter der rechten Wohnung von Haus 46 wurden Deckentemperaturen um 14,5°C gemessen (siehe Abbildung 47) und damit etwas geringere als unter der linken Wohnung. Allerdings muss auch hier berücksichtigt werden, dass das Temperaturniveau in der rechten Wohnung vermutlich niedriger lag (18,4°C), da diese unbewohnt war. Nur im Bereich einer Deckenfuge (Luftspalt) wurden höhere Tem-

peraturen von maximal 15,8°C gemessen. Die Fuge ist in Abbildung 48 gesondert dokumentiert.

Damit liegen die Oberflächentemperaturen der Kellerdecke um 0,5 bis 2,3 K höher als die gemessene Kellerlufttemperatur.

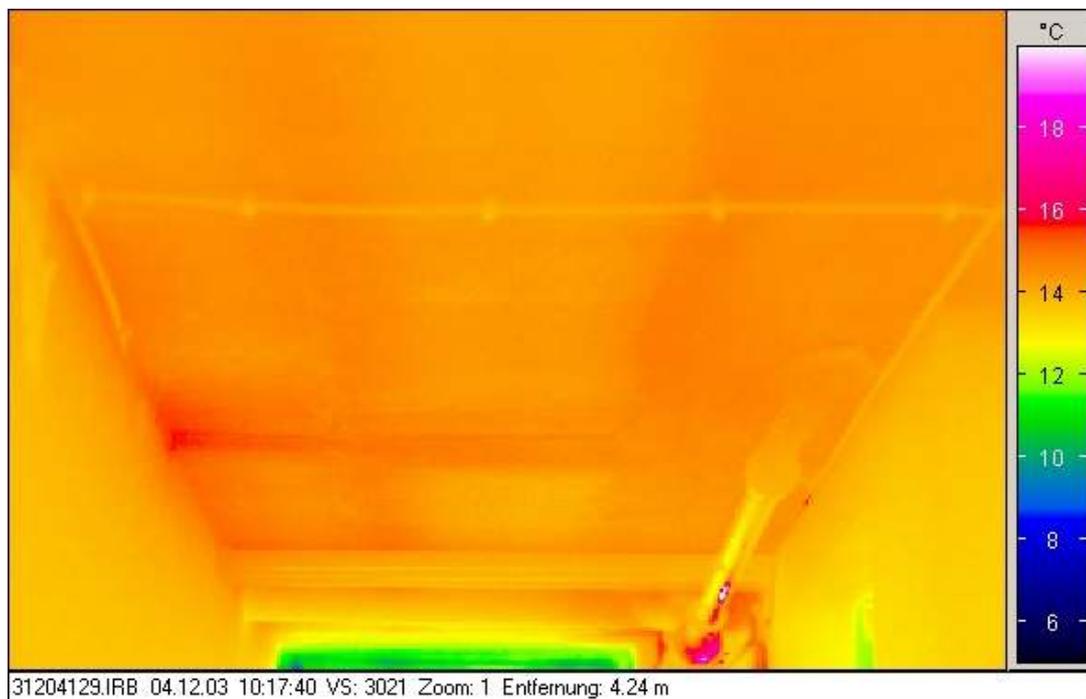


Abbildung 47: Decke Kellerflur in Haus 46 in Richtung Westen unter der rechten EG Wohnung.



**Abbildung 48: Fuge in der Kellerdecke unter EG Wohnung rechts von Haus 46. Detail aus  
Abbildung 47, unter anderer Perspektive aufgenommen.**

Die Thermographie der Holzhaustür zeigt deutlich die Undichtheiten im unteren seitlichen und im Schwellen-Bereich. Hier liegen die Temperaturen bei 7,5 bis 8,2°C. Die Oberfläche der Haustür hat im unteren Bereich eine Mitteltemperatur von 10,7°C im oberen Bereich von etwa 12,6°C.

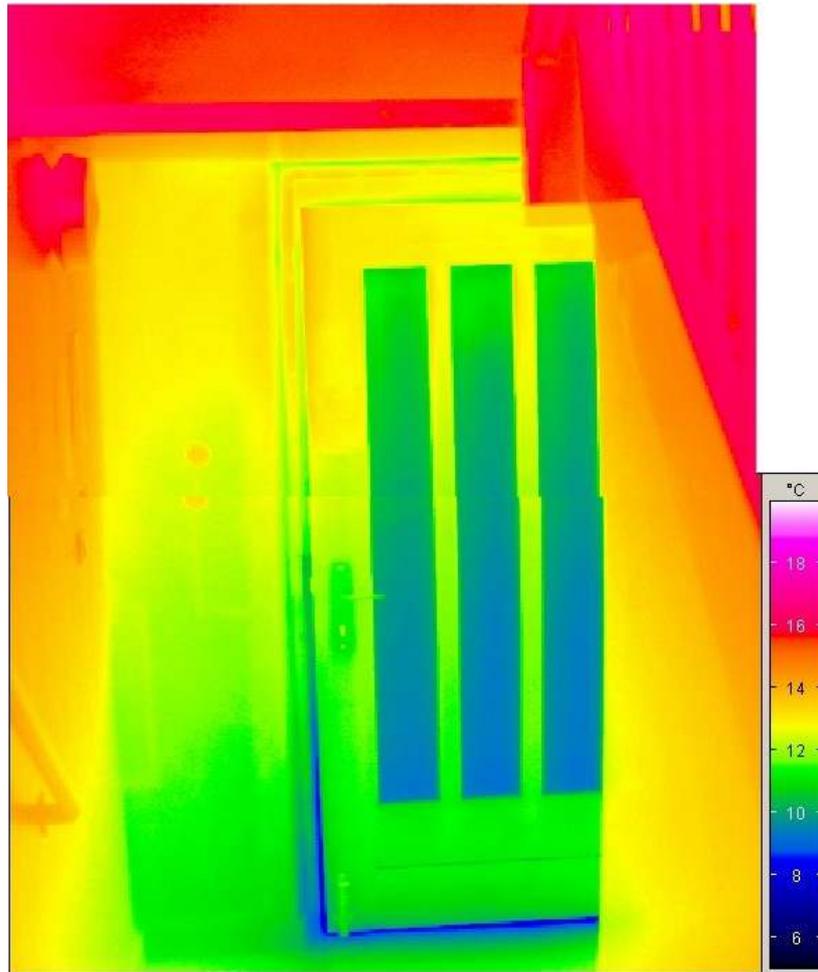


Abbildung 49: Holzhaustür vom Treppenhaus aus gesehen.

### 1.10.3 Innenraum-Thermographien

Alle dargestellten IR-Innenraumbilder werden aus Gründen der Vergleichbarkeit mit der gleichen Temperaturskala (8 bis 22°C) dargestellt. Es wurde exemplarisch die rechte Wohnung EG von Haus 46 untersucht (3 Zimmer, Flur, Küche und Bad, Gastherme mit Heizkörpern, Fenster modernisiert). Sie war, wie oben erwähnt, zur Zeit der Untersuchung unbewohnt. Die Raumlufttemperatur betrug während der Untersuchung 18,4°C (in 1,1 m Höhe).

Der Vergleich der Wandoberflächentemperaturen zeigt bei dem einen Wohnraum mit Heizkörper (Oberfläche im Mittel 35,6°C) unter dem Fenster bei der Außenwand 16,5°C und bei der Innenwand ca. 19,0°C (Abbildung 50). Die Temperaturdifferenz beträgt damit 2,5 K. Bei niedrigeren Außentemperaturen erhöht sich die Strahlungsasymmetrie noch weiter. Die niedrigste Temperatur im dargestellten Bereich findet sich als konstruktive Wärmebrücke in der Ecke Außen-Innenwand-Decke mit 14,7°C. Die niedrigste Temperatur am Fenster wird unten am Rahmen in der Mitte mit 15,4°C lokalisiert. Die Fußbodentemperatur beträgt 18,7°C, die der Decke 19,8°C.

In der Küche zeigt sich ein ähnliches Temperaturbild: Die Außenwandtemperatur beträgt im ungestörten Bereich links neben dem Fenster ca. 15,3°C, kurz über dem Fliesenschild 14,7°C. Die Deckentemperatur liegt mit 16,9°C auch niedriger als im Wohnraum. Deutlich sichtbar ist die Wärmebrückenwirkung des Rollladenkastens (Minimum 9,7°C) und des nicht dicht schließenden Fensters (10,6°C). Auch an der Durchführung des Rollladengurtes finden sich durch diese typische Schwachstelle niedrigen Temperaturen (10,5°C).

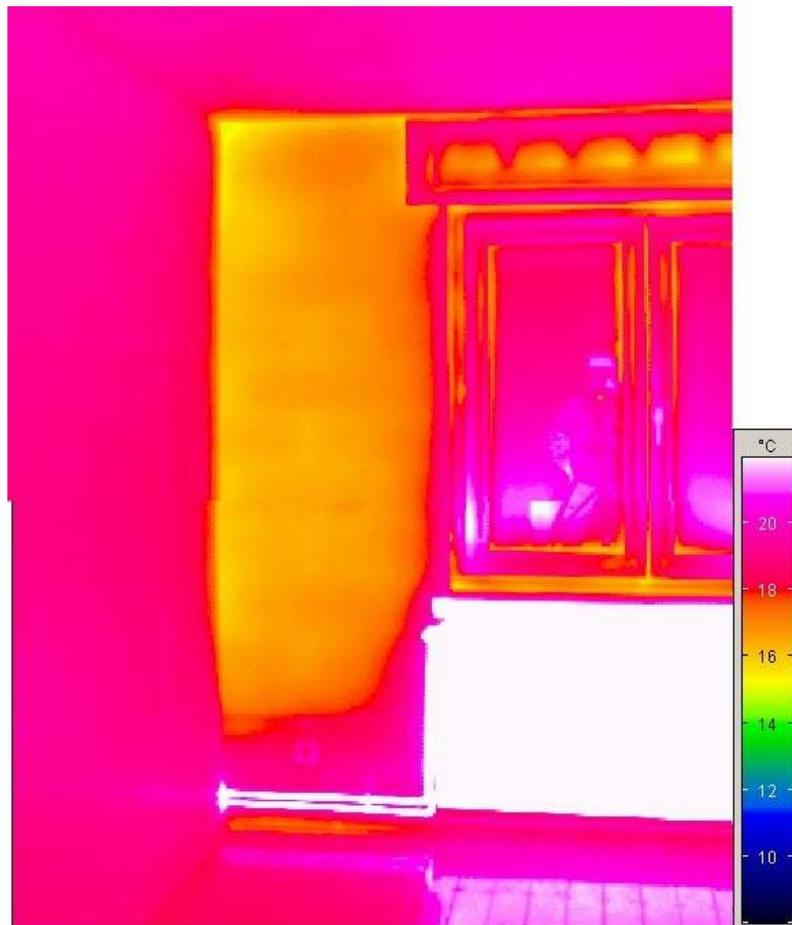
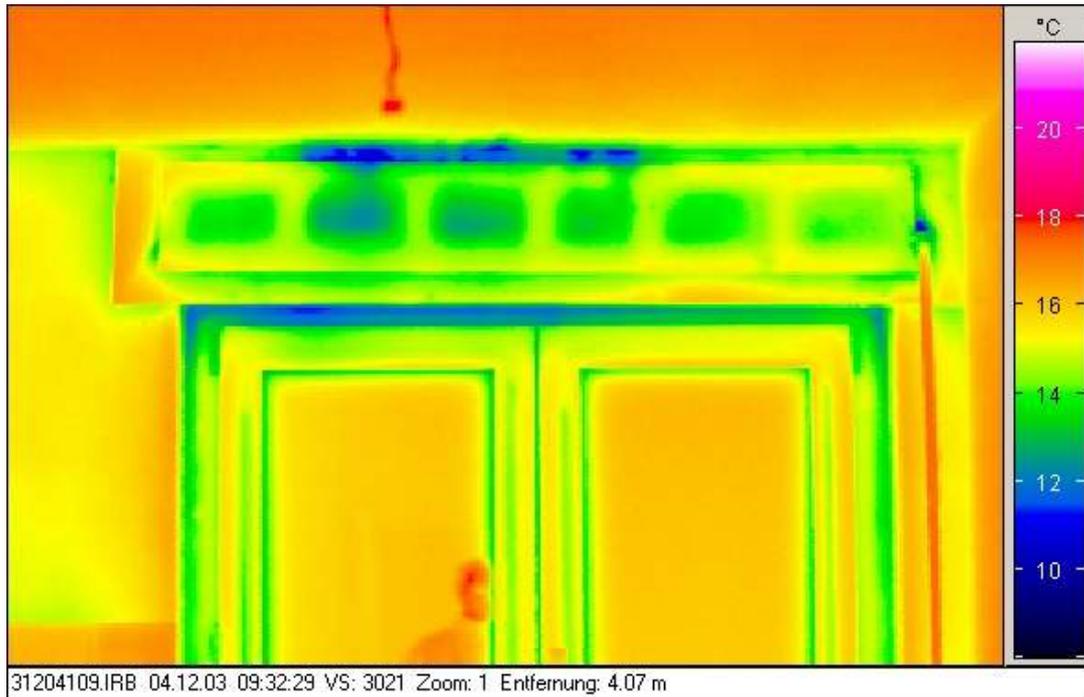


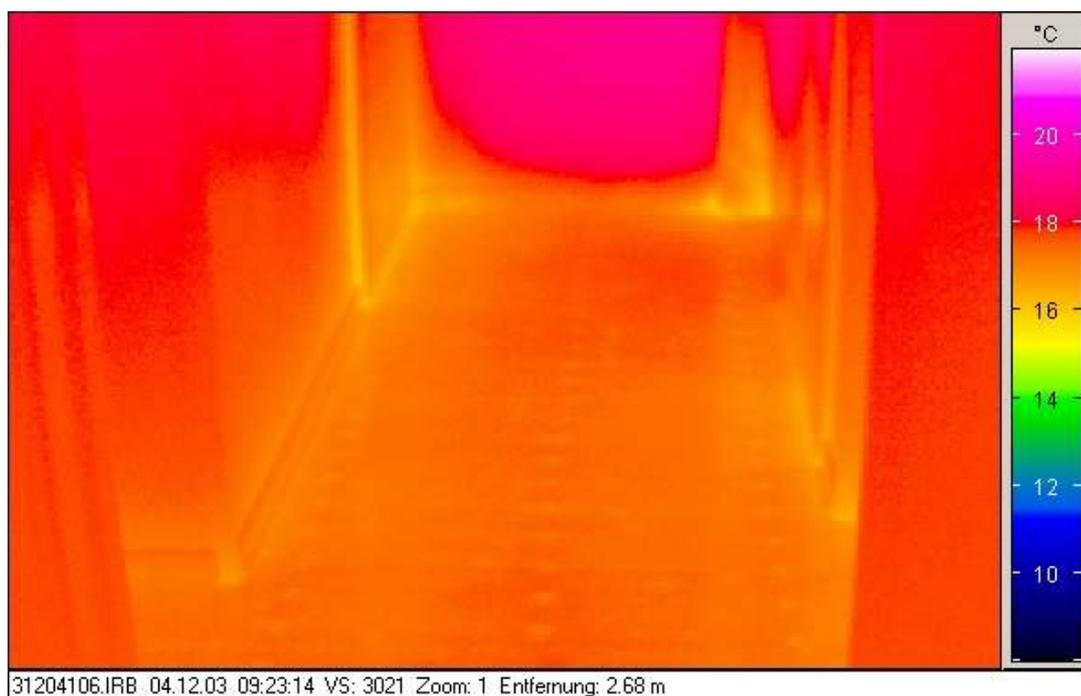
Abbildung 50: Wohnraum Richtung Süden (Innenwand zum Nachbarraum und Außenwand nach Süden)



**Abbildung 51: Detail Küchenfenster mit Rolladenkasten und Gurt in der Nordfassade.**

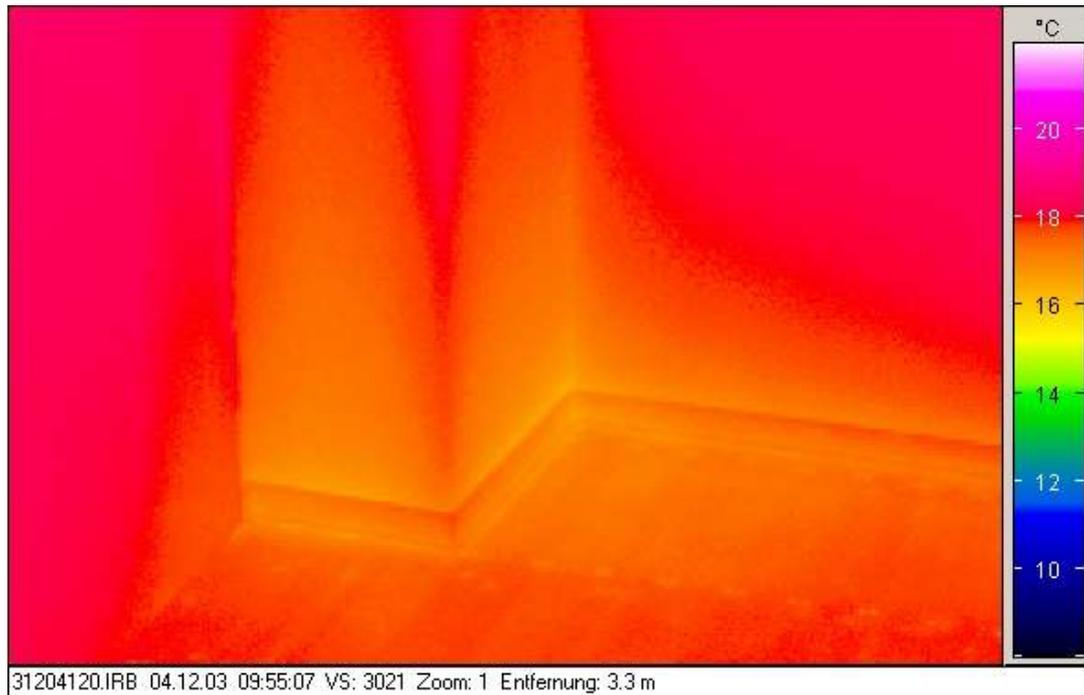
Im Wohnungsflur mit Blick auf die Trennwand zur Nachbarwohnung (nach Westen) wurden die folgenden Oberflächentemperaturen gemessen:

- Fußboden: 17,4°C
- Wand zur Nachbarwohnung (Mittelbereich): 19,0°C
- Wohnungstür unten: 17,3°C



**Abbildung 52: Wohnungsflur in Richtung Haustür (hinten links) mit Blick auf die Trennwand zur Nachbarwohnung.**

An der Trennwand zur Nachbarwohnung sind die Wärmebrückeneinflüsse zum Fußboden und an den Innenwänden zu erkennen. Die Temperaturen in den beiden unteren Ecken der Wand zur Wandmitte beträgt maximal 3 K. Bei höheren Raumlufttemperaturen und niedrigeren Außentemperaturen würde diese Differenz noch größer ausfallen.



**Abbildung 53: Unbenutzter Schornsteinschacht in der Ecke von zwei Innenwänden im hinteren Wohnraum.**

Im hinteren Wohnraum in der Ecke zweier Innenwände befindet sich der unbenutzte Schornsteinschacht, welcher bis in den darunter liegenden Keller gemauert ist. Auf der raumseitigen Oberfläche des Schachtes und auch auf den angrenzenden Wänden wird der Wärmebrückeneffekt im IR-Bild sichtbar. Die ungestörte Innenwand ist 18,3°C warm, die Temperatur vom Schornsteinschacht beträgt dagegen unten nur 16,7°C. Weiter oben gleicht sie sich immer weiter der ungestörten Wandtemperatur an. Die Oberflächentemperatur des Fußbodens liegt mit 17,7°C etwas höher als die im Wohnungsflur.

#### 1.10.4 Thermographie vom Dachboden aus

Zur Beurteilung der oberen Geschossdecke wurden der Dachboden des Gebäudes Nr. 46 untersucht. Alle dargestellten IR-Unterdachbilder werden aus Gründen der Vergleichbarkeit mit der gleichen Temperaturskala (4 bis 17°C) dargestellt.

In Abbildung 54 bis Abbildung 56 betragen die Oberflächentemperaturen der obersten Geschossdecke 8,6 bis 9,2°C. Wie auch an der Kellerdecke zeichnen sich hier die Doppel-T-Träger der Deckenkonstruktion ab.

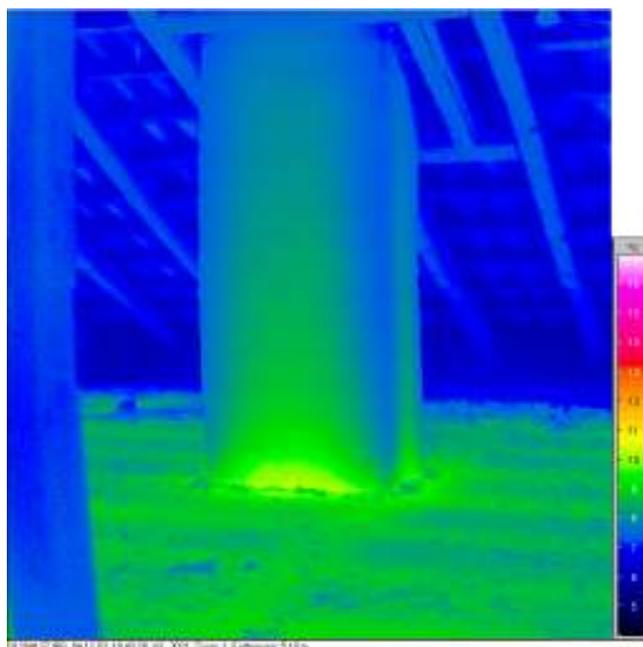
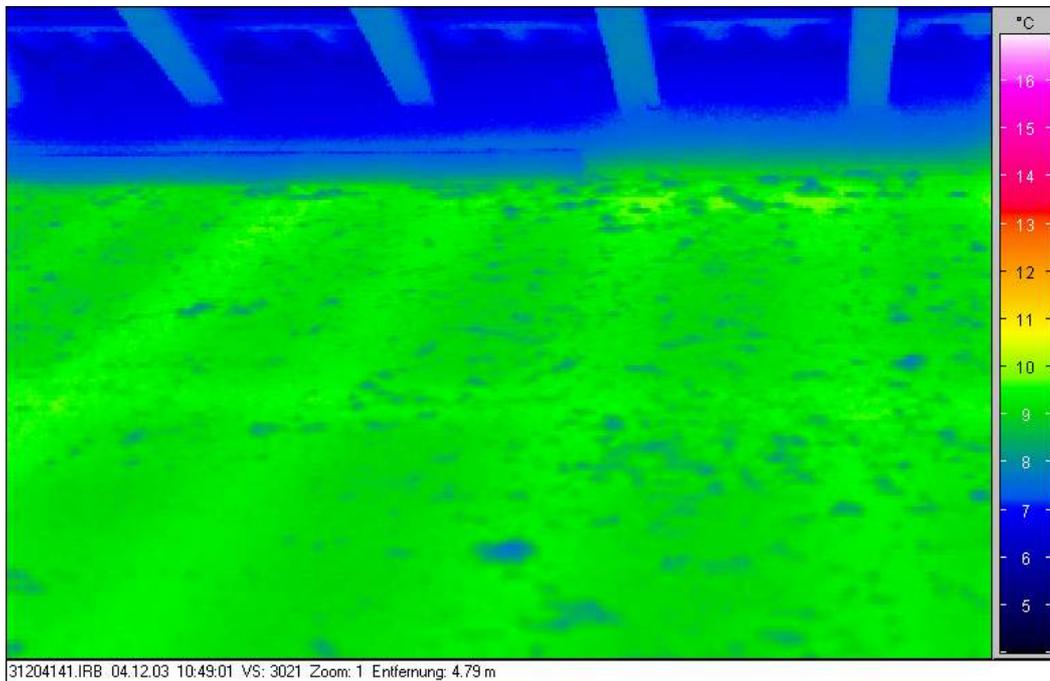


Abbildung 54: Dachboden von Haus 46 mit oberster Geschossdecke, Kaminschacht und von unten offenem Ziegeldach.



**Abbildung 55: Dachboden von Haus 46 mit oberster Geschossdecke.**

Beim Vergleich der beiden dargestellten Kamin­schächte welche durch das Dach­geschoss führen (Abbildung 54 und Abbildung 56) zeigt sich der Unterschied der reinen Wärmebrückenwirkung durch die Kaminsteine und dem Einfluss des noch genutzten Kamins. Bei ungenutztem Kamin beträgt die maximale Temperatur am Fußpunkt 10,1°C, bei dem noch genutzten Kamin dagegen 17,5°C. Bei Abbildung 56 ist außerdem auch ein Steinzeug- oder Gussrohr zu erkennen welches zur Belüftung des Abwasserstranges über Dach geführt wird. Die Oberflächentemperatur des Rohres beträgt 14,2°C.

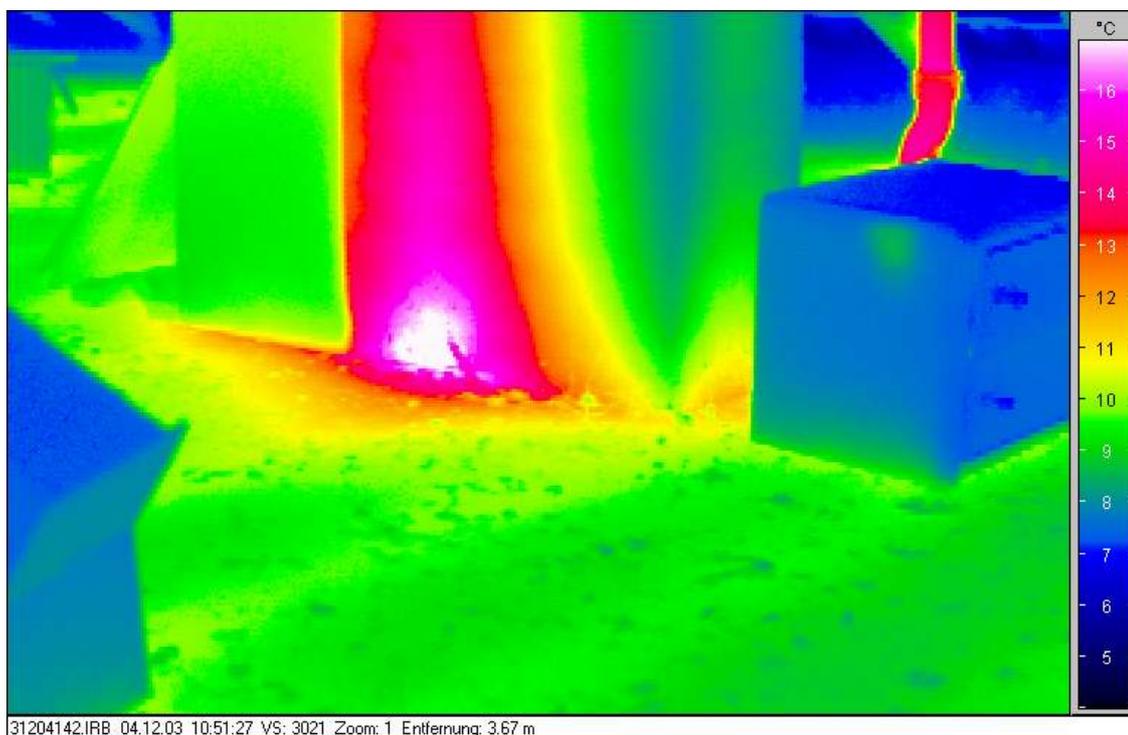


Abbildung 56: Dachboden von Haus 46 mit oberster Geschossdecke, genutztem Kaminschacht und Abwasserstrang-Belüftungsrohr.

### 1.10.5 Schlussfolgerungen aus der thermographischen Untersuchung

Aus der thermographischen Untersuchung können für die Sanierungsmaßnahme der beiden Wohnblöcke die folgenden Schlüsse gezogen werden:

- Zur Beseitigung der Wärmebrücken am Anschluss der Geschossdecken ist eine durchgehende Außenwanddämmung sinnvoll.

- Die Treppenhäuser sollten mit der durchgehenden Außenwanddämmung innerhalb der thermischen Hülle liegen.
- Bei der anstehenden Sanierung sollten hocheffiziente Fenster und Verglasungen zum Einsatz kommen und wärmebrückenoptimiert eingebaut werden.
- Im Keller sollten die Kellerdecken und die tragenden Wände im oberen Bereich gedämmt werden. Die nicht tragenden Wände müssen im Bereich des Deckenanschlusses entfernt werden um eine möglichst durchgehende Deckendämmung zu ermöglichen.
- Im Dachbereich wäre eine energetisch ausgerichtete Aufstockung optimal.

## 2 Dokumentation und Analyse der Haustechnik in den Bestandsgebäuden

### 2.1 Heizwärmeversorgung und Warmwasserbereitung

Bei der Wärmeversorgung im Bestandsgebäude handelt es sich größtenteils um Gasetagenheizungen unterschiedlicher Bauart, da sich diese teilweise im Eigentum des Vermieters und teilweise im Eigentum des Mieters befinden. Vereinzelt sind aber auch noch Kohle-Badeöfen zur Warmwasserbereitung im Einsatz (siehe Abbildung 57).



Abbildung 57: Kohle-Badeofen und Gasetagenheizung im Bestandsgebäude

## 3 Heizwärmebedarfsberechnung, Primärenergie- und CO<sub>2</sub>-Berechnung für die Bestandsgebäude

### 3.1 Energetische Bilanzierung nach PHPP

Das Passivhaus Projektierungspaket hat sich bei der Planung und Umsetzung von Passivhäusern sehr gut bewährt. Insbesondere das CEPHEUS-Projekt [10] zeigte, dass sowohl für die berechnete Heizwärme als auch die Heizlast sehr gute Übereinstimmung der Rechenwerte mit den tatsächlichen Messwerten der realisierten Objekte vorliegt. Die Bestandsmodernisierung im vorliegenden Projekt wird weitgehend mit Passivhauskomponenten durchgeführt, vergleichbar geringe Bedarfswerte wie im Passivhaus-Neubau sind zu erwarten. Eine möglichst genaue Projektierung ist insbesondere für die Heizlastauslegung unerlässlich. Um die Einsparung durch die Modernisierungsmaßnahmen quantifizieren zu können, wird auch die Bilanzie-

rung des Bestandsgebäudes mit dem gleichen Berechnungswerkzeug durchgeführt. Im Folgenden werden die Berechnungsergebnisse aller Gebäudeabschnitte mit Hilfe des PHPP-Monatsverfahrens (Wetterregion Nördlicher Oberrheingraben, Wetterstation Frankfurt) dokumentiert. Als Bezugsfläche gilt hier generell die beheizte Wohnfläche (Energiebezugsfläche, Definition nach [11]).

**Tabelle 6: Heizwärmebedarf und Heizwärmelast nach PHPP für den Gebäudeblock Tevesstraße 36-46**

<b>Tevesstraße 36-46</b>	<b>Heizwärmebedarf [kWh/(m<sup>2</sup>a)]</b>
Haus 36	306
Haus 38	271
Haus 40	271
Haus 42	271
Haus 44	271
Haus 46	309
<b>Gesamtgebäude</b>	<b>283</b>

**Tabelle 7: Heizwärmebedarf und Heizwärmelast nach PHPP für den Gebäudeblock Tevesstraße 36-46**

<b>Tevesstraße 48-54</b>	<b>Heizwärmebedarf [kWh/(m<sup>2</sup>a)]</b>
Haus 48	298
Haus 50	282
Haus 52	282
Haus 54	324
<b>Gesamtgebäude</b>	<b>294</b>

**Tabelle 8: spezifischer Primärenergiebedarf und CO<sub>2</sub>-Emissionen für die beiden Gebäudeblöcke Tevesstraße 36-46 (6erBlock) und Tevesstraße 48-54 (4er Block), berechnet nach PHPP und bezogen auf die EBZ, d.h. Wohnfläche nach 2. BV [11]**

	<b>Primärenergiebedarf Heizung + Warmwasser nach PHPP [kWh/(m<sup>2</sup>a)]</b>	<b>Emissionen CO<sub>2</sub>- Äquivalent nach PHPP [kg/(m<sup>2</sup>a)]</b>
<b>Tevesstraße 36-46 (6erBlock)</b>	<b>370,6</b>	<b>79,5</b>
<b>Tevesstraße 48-54 (4er Block)</b>	<b>379,3</b>	<b>81,4</b>

### 3.2 Energiebedarfsberechnung nach EnEV

Das Bauvorhaben Tevesstraße FF/M wird von der DENA (Deutsche Energieagentur, Berlin) im Rahmen des Programms 'Niedrigenergiehaus (NEH) im Bestand' gefördert. Aus diesem Grund musste auch eine Bilanzierung der Bestandsgebäude und des später angestrebten Sanierungszustandes nach der derzeit gültigen Energie Einspar Verordnung EnEV 2002 [17], [18] durchgeführt werden. Da die Energiebilanzberechnung nach EnEV deutliche Unsicherheiten aufweist, können die Ergebnisse nicht zur Projektierung dieses Bauvorhabens mit seinem sehr geringen Heizenergiebedarf und der angestrebten geringen Heizlast verwendet werden. Die im folgenden genannten Zahlen sind deshalb nur bedingt mit den vorgenannten Ergebnissen nach PHPP vergleichbar, vor allem der Flächenbezug unterscheidet sich um mehr als 20%, so dass die spezifischen Werte in kWh/(m<sup>2</sup>a) entsprechend differieren [19], [20].

Der Primärenergiebedarf für Heizung und Warmwasserbereitung nach EnEV lag für die beiden Gebäude bei 233,6 kWh/(m<sup>2</sup>a) (Tevesstraße 36-46) bzw. bei 249,6 kWh/(m<sup>2</sup>a) (Tevesstraße 48-54).

**Tabelle 9: spezifischer Primärenergiebedarf und CO<sub>2</sub>-Emissionen für die beiden Gebäudeblöcke Tevesstraße 36-46 (6erBlock) und Tevesstraße 48-54 (4er Block), berechnet nach EnEV und bezogen auf die Gebäudenutzfläche A<sub>N</sub> nach EnEV [17].**

	<b>Primärenergiebedarf Heizung + Warmwasser [kWh/(m<sup>2</sup>a)]</b>	<b>Emissionen CO<sub>2</sub>-Äquivalent [kg/(m<sup>2</sup>a)]</b>
<b>Tevestraße 36-46 (6erBlock)</b>	<b>233,6</b>	<b>62,8</b>
<b>Tevestraße 48-54 (4er Block)</b>	<b>249,5</b>	<b>67,4</b>

#### **4 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen**

Bei den untersuchten Bestandsgebäuden handelt es sich um typische Wohnblöcke aus den 50er Jahren, welche mit Ausnahme teilweiser Heizungserneuerung (Gas- etagenheizungen) und Fensteraustausch (Kunststoffrahmen mit Wärmeschutzverglasung) bislang keine energetische Modernisierung aufweisen. Der spezifische Jahresheizwärmebedarf beläuft sich auf 283 bzw. 294 kWh/(m<sup>2</sup>a). Die Luftdichtheit der Gebäudehülle ( $n_{50}$  Luftwechsel bei 50 Pa) wurde mit Hilfe einer Blower-Door Messung im Mittel der 10 Hauseingänge zu  $n_{50} = 4,4 \text{ }^1/\text{h}$  bestimmt.

Zur thermographischen Untersuchung der Bestandsgebäude kann insgesamt festgestellt werden, dass die typischen Wärmebrücken im Altbaubestand auch bei diesen Objekten vorhanden sind. Hier sind insbesondere die Wärmebrücken durch das aufsteigende Mauerwerk vom Keller, die Keller- und oberste Geschossdecke, durchlaufende Schächte und Rohre, Fensterrahmen, Rollladenkästen, Fensterstürze und die Anbindung der Geschossdecken zur Fassade zu nennen. Durch die ungedämmte Außenfassade lassen sich Wandbereiche, hinter denen gerade benutzte Heizkörper stehen, deutlich erkennen.

Der berechnete spezifische Heizenergiebedarf und der Primärenergiebedarf für Heizung und Warmwasser wurde für beide Bestandsgebäude dokumentiert.

## 5 Literatur

- [1] Ladener, H. (Hrsg.) Vom Altbau zum NiedrigEnergieHaus, Energietechnische Gebäudesanierung in der Praxis, Ökobuchverlag, Staufen bei Freiburg, 1. Auflage 1997.
- [2] Feist, W., u.a., Passivhaustechnik im Gebäudebestand – Qualitätssicherung für das Bauvorhaben Jean-Paul-Platz 4 in Nürnberg, interner Bericht im Auftrag der Wohnungsbaugesellschaft Nürnberg (WBG), Passivhaus Institut, Darmstadt, 2003
- [3] Lude, G., Werner, J., Kirtschig, T., Ingenieurbüro ebök, Tübingen, Wärmebrücken am Fuß des Gebäudes – Neue Lösungsmöglichkeiten für Sockelanschluss und erdberührte Flächen bei Neubau und Sanierung, Passivhaustagung Hamburg 2003, Beitrag in [5] Seite 573
- [4] Feist, W. (Hrsg.), Passivhauskomponenten bei der Altbaumodernisierung, Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser, Protokollband Nr. 24, Passivhaus Institut, Darmstadt, 2003
- [5] Feist, W. (Hrsg.), Tagungsband zur 7. Passivhaustagung 2003 in Hamburg, Passivhaus Institut, Darmstadt 2003
- [6] Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern, Türen und Abschlüssen, Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten, DIN EN ISO 10077-Teil 1:2000. Teilweise Ersatz für DIN V 4108-4:1998-10, Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin 1998. Enthält insbesondere einen Algorithmus zur Berechnung des Rahmen U-Wertes  $U_f$  und der Wärmebrücke am Glasrand  $\Psi_g$ .
- [7] Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden, DIN 4108 Teil 2, Mindestanforderungen an den Wärmeschutz, Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin 2001
- [8] Luftdichtheit von Wohngebäuden -- Messung, Bewertung, Ausführungsdetails, Herausgegeben von der RWE, Essen, verfasst von J. Zeller, ebök, Tübingen, zu beziehen über Fachverband Luftdichtheit im Bauwesen e.V., Kassel, ([www.flib.de](http://www.flib.de))
- [9] Feist, W. (Hrsg.), Luftdichte Projektierung von Passivhäusern, CEPUEUS Projektinformation Nr. 7, Passivhaus Institut, Darmstadt, 1999
- [10] Schnieders, J., Feist, W., Pfluger, R., Kah, O., Endbericht CEPHEUS – Wissenschaftliche Begleitung und Auswertung, Endbericht, CEPHEUS Projektinformation Nr. 22, Darmstadt, 2001
- [11] Passivhaus-Projektierungs-Paket (PHPP) mit Handbuch, Darmstadt, Ausgabe 2002 / update Frühjahr 2003.
- [12] Energiebilanzen mit dem PHPP, Protokollband Nr. 13, AKKP, Darmstadt 1998
- [13] Ebel,w., Eicke, W., Feist, W., Energiesparpotentiale im Gebäudebestand, Hrsg: Hessisches Ministerium für Umwelt, Darmstadt, 1990
- [14] Feist, W., Überprüfung der bedingten energetischen Anforderungen im Gebäudebestand bei Beibehaltung der gegenwärtigen Rechtsgrundlage der Wärmeschutzverordnung, Studie im Auftrag des BMBau, Darmstadt, 1997
- [15] Feist, W., Baffia, E., Sariri, V., Wirtschaftlichkeit ausgewählter Energiesparmaßnahmen im Gebäudebestand, Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft, Abschlussbericht 1998, Passivhaus Institut, 3. Auflage, 2001
- [16] Kaufmann, B., Feist, W., Pfluger, R., Technische Innovationstrends und Potenziale der Effizienzverbesserung im Bereich Raumwärme, Studie im Auftrag des Institut für Ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW), Berlin, April 2003

**[17] Verordnung über den energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden, Energieeinsparverordnung – EnEV, verkündet am 21. Nov. 2001 im Bundesgesetzblatt Nr. 59. In Kraft getreten am 1. Feb. 2002**

**[18] Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden. Vornorm DIN V 4108 Teil 6-10, Berechnung des Jahresheizwärme und des Jahresheizenergiebedarfs, Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin 2001**

**[19] Feist, W., PHPP und Vornorm DIN-V-4108-6:2001, Bewertung mit Ergebnissen aus dem CEPHEUS Projekt, Energie Effizientes Bauen, Heft 4/2001 und 5/2001**

**[20] Stellungnahme zur Vornorm DIN V 4108 Teil 6:2001 aus Sicht der Passivhausentwicklung, CEPHEUS Projektinformation Nr. 39, Passivhausinstitut, Darmstadt, 2001**

## **6 Anhang**

### **6.1 Ansichten und Grundrisse:**

#### **Tevesstr. 36 – 46 ab Seite 61**

- Ansicht Nord / Süd
- Grundriss EG/ OG

#### **Tevesstr. 48 – 54 ab Seite 63**

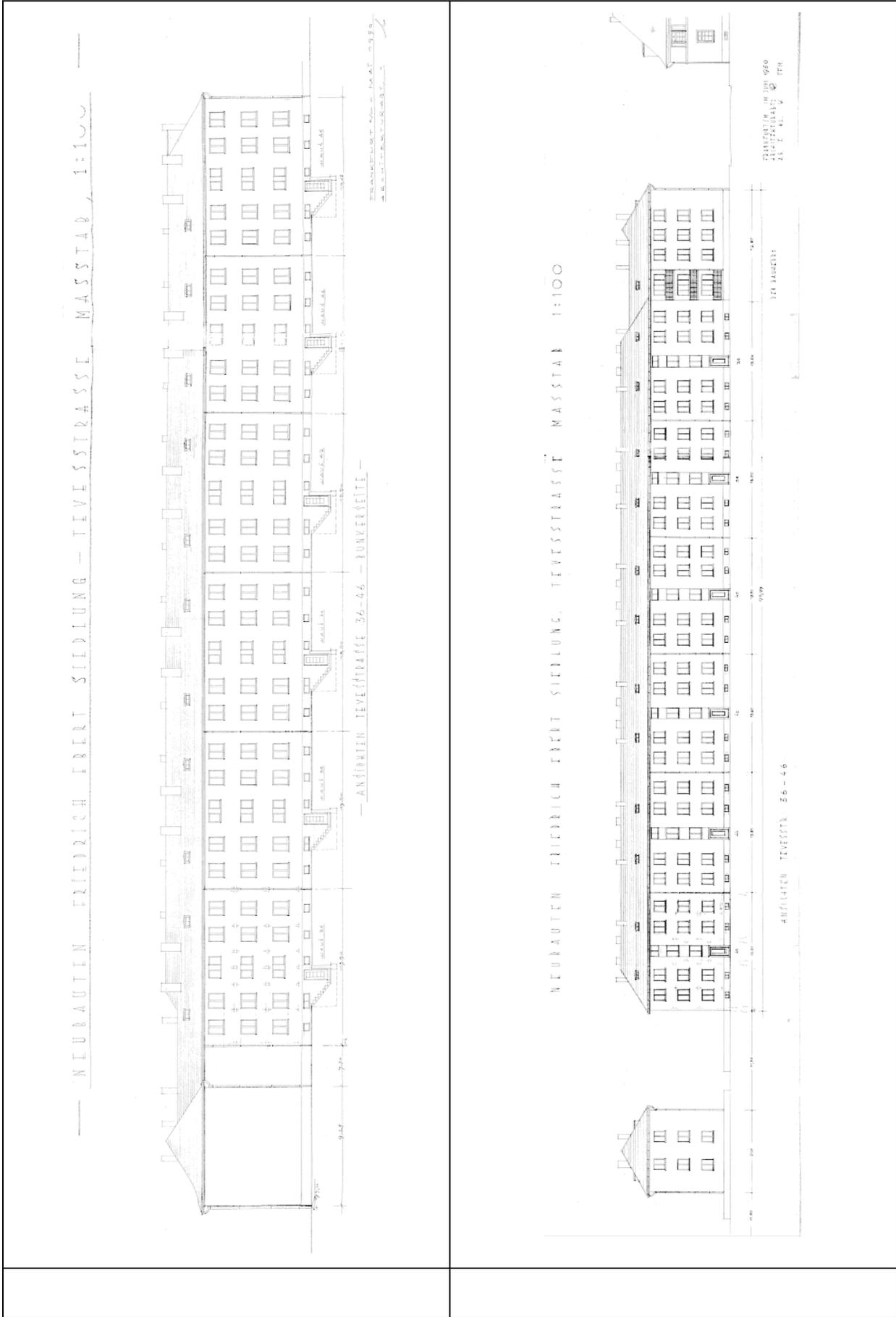
- Ansicht Nord / Süd
- Grundriss EG/ OG

### **6.2 Blower Door Untersuchung: Messprotokolle aller 10 Eingänge**

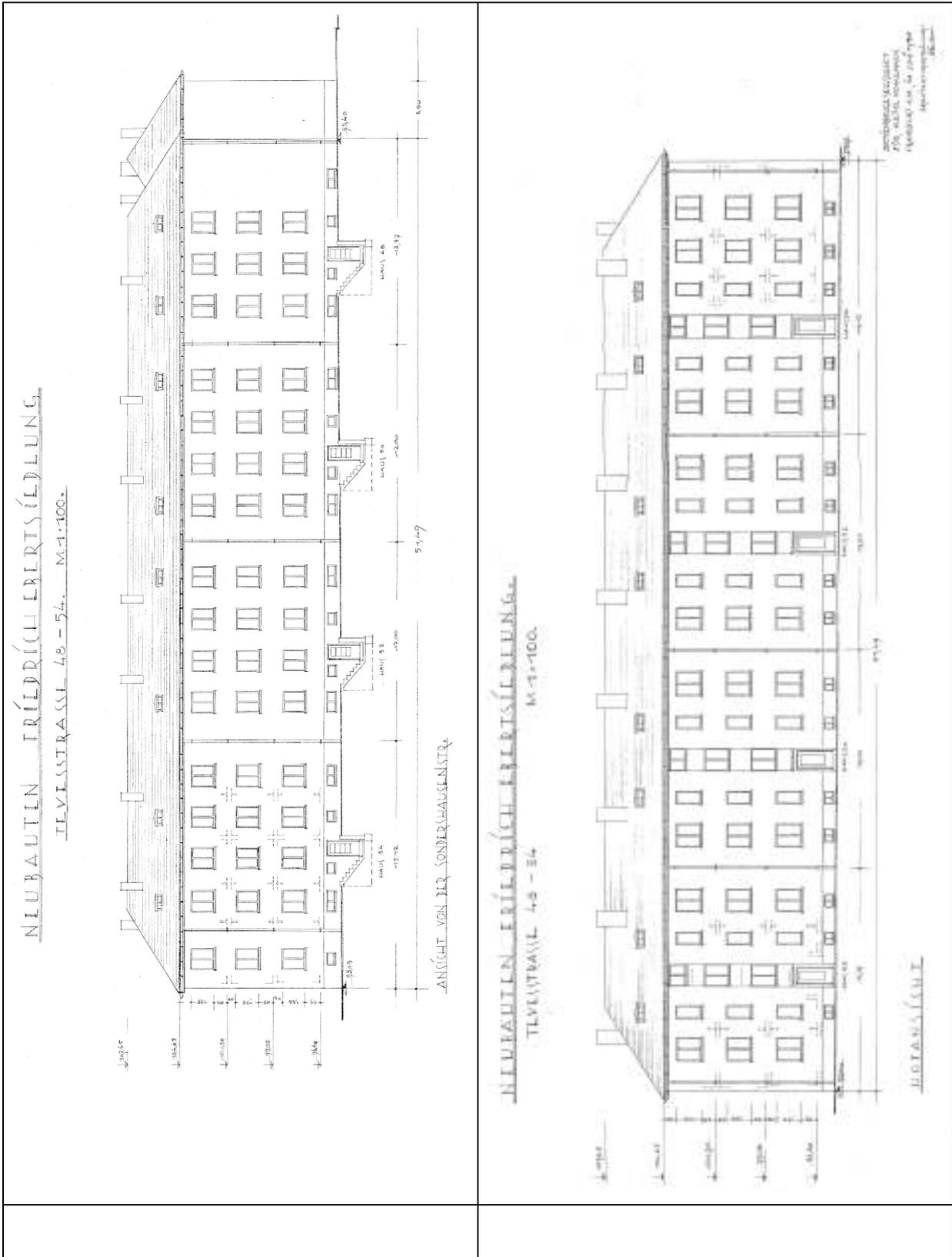
Ab Seite 65

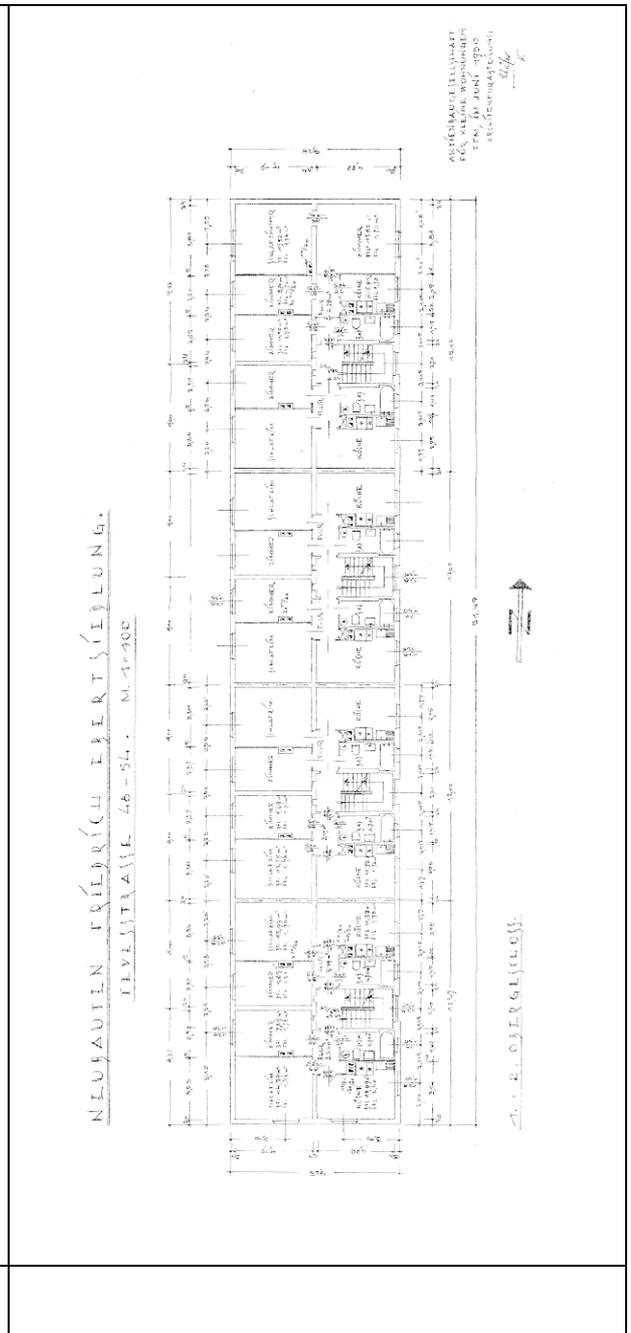
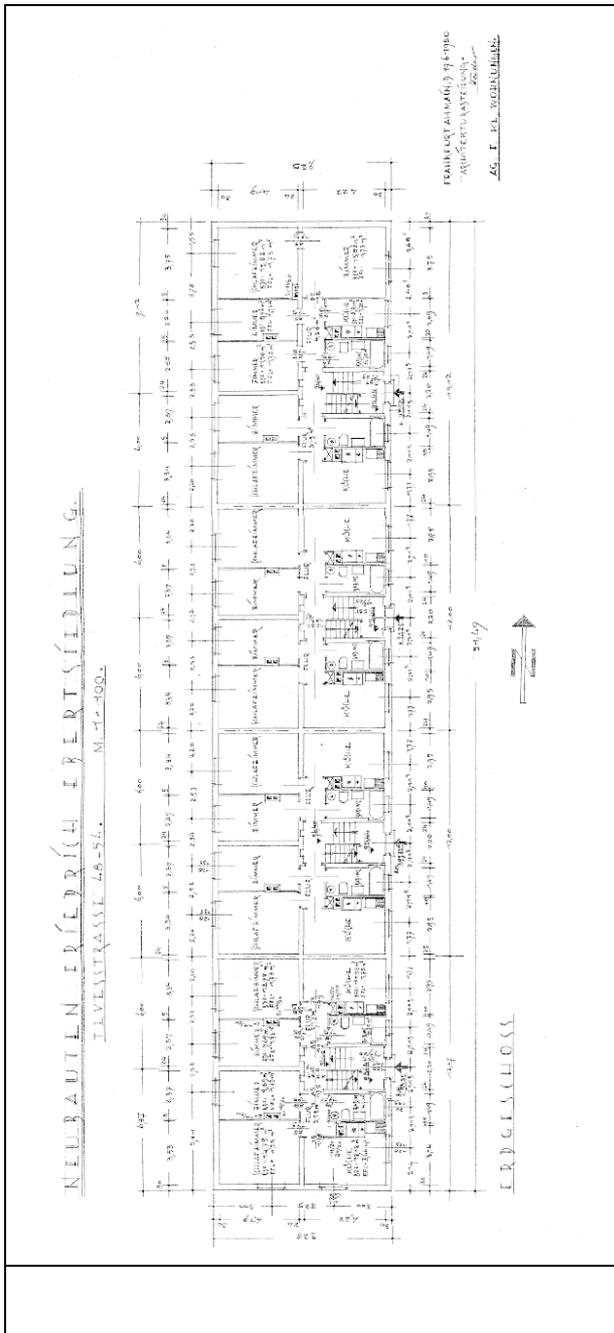
### **6.3 PHPP Dokumentation der Bestandsgebäude**

Energiebilanz nach PHPP für die Bestandsgebäude









## BlowerDoor-Prüfprotokoll

### Berechnungsgrundlage EN 13829, Verfahren A

Minneapolis BlowerDoor Modell 4 - Tectite Express 3.0.0.10

Objekt : Tevesstraße 36	Prüfer/in: S. Peper
	Datum: 28.11.03 FLIB-Nr: 24400

**Klimadaten**

Innentemperatur: 19 °C	Windstärke: 2	Referenzdruckmessstellen: 1
Außentemperatur: 9 °C		Gebäudestandort: B
Luftdruck (Standard): 101325 Pa		Zusätzliche Messunsicherheit infolge Wind: 2 %

**Unterdruck**

Natürliche Druckdiff.	$\Delta p_{01+}$	$\Delta p_{01-}$	$\Delta p_{02+}$	$\Delta p_{02-}$
	-	-1.8 Pa	0.4 Pa	-1.7 Pa

**Überdruck**

Natürliche Druckdiff.	$\Delta p_{01+}$	$\Delta p_{01-}$	$\Delta p_{02+}$	$\Delta p_{02-}$
	-	-1.7 Pa	-	-0.5 Pa

**Messreihen**

Reduzierblende	Gebäude- druck	Gebläse- druck	Volumen- strom $V_f$	Abwei- chung	Reduzierblende	Gebäude- druck	Gebläse- druck	Volumen- strom $V_f$	Abwei- chung
OABCDE	[Pa]	[Pa]	[m³/h]	[%]	OABCDE	[Pa]	[Pa]	[m³/h]	[%]
$\Delta p_{01}$	-1.8	—	—	—	$\Delta p_{01}$	-1.7	—	—	—
A	-63	173	3511	-0.40	A	58	166	3442	1.29
A	-56	156	3336	0.96	A	53	145	3215	0.61
A	-51	136	3119	-0.33	A	49	126	3002	-1.09
A	-46	122	2952	0.57	A	43	106	2748	-2.50
A	-42	108	2774	0.06	A	38	97	2634	0.93
A	-37	89	2519	-1.35	A	34	84	2452	1.11
A	-32	77	2349	-0.23	A	29	67	2196	-0.75
A	-26	61	2094	0.74	A	23	52	1924	0.47
$\Delta p_{02}$	-1.3	—	—	—	$\Delta p_{02}$	-0.5	—	—	—

Korrelationskoeff. $r$ :	0.999	Vertrauensintervall	
$C_{env}$ [m³/(h Pa²)]	315	max. 345	min. 288
$C_L$ [m³/(h Pa²)]	320	max. 351	min. 292
$n$ [-]	0.58	max. 0.60	min. 0.55

Korrelationskoeff. $r$ :	0.998	Vertrauensintervall	
$C_{env}$ [m³/(h Pa²)]	259	max. 305	min. 221
$C_L$ [m³/(h Pa²)]	260	max. 305	min. 221
$n$ [-]	0.63	max. 0.68	min. 0.59

**Ergebnis, Kenngrößen**

$V =$	788 m³	$A_F =$		$A_E =$	
-------	--------	---------	--	---------	--

	$V_{50}$	Unsicher- heit	$n_{50}$	Unsicher- heit	$w_{50}$	Unsicher- heit	$q_{50}$	Unsicher- heit
	m³/h	%	h⁻¹	%	m³/m²h	%	m³/m²h	%
Unterdruck	<b>3072</b>	+/- 7 %	<b>3.9</b>	+/- 8 %				
Überdruck	<b>3095</b>	+/- 7 %	<b>3.9</b>	+/- 8 %				
Mittelwert	<b>3083</b>	+/- 7 %	<b>3.9</b>	+/- 8 %				

Anforderungen nach: <b>EnEV</b>	<b>3</b>	1/h	<b>***</b>	<b>***</b>
---------------------------------	----------	-----	------------	------------

**Keine Anforderungen, da Altbau**
**Bemerkung:** Das Messergebnis schließt (verdeckte) Mängel in der Konstruktion nicht aus.

**Auftragnehmer :** S. Peper  
 PHI Passivhaus Institut  
 64283 Darmstadt

Datum, Unterschrift

Stempel

## BlowerDoor-Prüfprotokoll

## Berechnungsgrundlage EN 13829, Verfahren A

Minneapolis BlowerDoor Modell 4 - Tectite Express 3.0.0.10

Objekt: Tevesstraße 38	Prüfer/in: S. Peper
	Datum: 28.11.03 FLIB-Nr: 24400

## Klimadaten

Innentemperatur: 19 °C	Referenzdruckmessstellen: 1
Außentemperatur: 9 °C	Windstärke: 2
Luftdruck (Standard): 101325 Pa	Gebäudestandort: B
	Zusätzliche Messunsicherheit infolge Wind: 2 %

## Unterdruck

Natürliche Druckdiff.	$\Delta p_{01+}$	$\Delta p_{01-}$	$\Delta p_{02+}$	$\Delta p_{02-}$
	-	-1.7 Pa	-	-2.4 Pa

## Überdruck

Natürliche Druckdiff.	$\Delta p_{01+}$	$\Delta p_{01-}$	$\Delta p_{02+}$	$\Delta p_{02-}$
	-	-2.1 Pa	-	-2.0 Pa

## Messreihen

Reduzierblende	Gebäude- druck	Gebläse- druck	Volumen- strom $V_f$	Abwei- chung	Reduzierblende	Gebäude- druck	Gebläse- druck	Volumen- strom $V_f$	Abwei- chung
O ABCDE	[Pa]	[Pa]	[m³/h]	[%]	O ABCDE	[Pa]	[Pa]	[m³/h]	[%]
$\Delta p_{01}$	-1.7	—	—	—	$\Delta p_{01}$	-2.1	—	—	—
A	-51	187	3642	-0.63	A	47	174	3516	0.14
A	-47	170	3477	0.51	A	43	154	3311	0.13
A	-41	141	3174	0.32	A	37	130	3041	0.90
A	-37	123	2962	0.77	A	34	113	2840	0.04
A	-32	100	2670	1.70	A	27	90	2532	3.57
A	-26	80	2387	2.95	A	23	75	2316	4.47
A	-22	61	2085	3.62	A	19	60	2067	5.65
A	-26	61	2094	-8.72	A	23	52	1924	-13.57
$\Delta p_{02}$	-2.4	—	—	—	$\Delta p_{02}$	-2.0	—	—	—

Korrelationskoeff. $r$ :	0.984	Vertrauensintervall	
$C_{env}$ [m³/(h Pa²)]	270	max. 412	min. 177
$C_L$ [m³/(h Pa²)]	274	max. 417	min. 180
$n$ [-]	0.66	max. 0.78	min. 0.54

Korrelationskoeff. $r$ :	0.958	Vertrauensintervall	
$C_{env}$ [m³/(h Pa²)]	260	max. 521	min. 129
$C_L$ [m³/(h Pa²)]	260	max. 522	min. 130
$n$ [-]	0.67	max. 0.87	min. 0.47

## Ergebnis, Kenngrößen

$V =$	788 m³	$A_F =$		$A_E =$	
-------	--------	---------	--	---------	--

	$V_{50}$	Unsicher- heit	$n_{50}$	Unsicher- heit	$w_{50}$	Unsicher- heit	$q_{50}$	Unsicher- heit
	m³/h	%	h⁻¹	%	m³/m²h	%	m³/m²h	%
Unterdruck	3634	+/- 7 %	4.6	+/- 8 %				
Überdruck	3605	+/- 7 %	4.6	+/- 8 %				
Mittelwert	3619	+/- 7 %	4.6	+/- 8 %				

Anforderungen nach: EnEV	3	1/h	***	***
--------------------------	---	-----	-----	-----

## Keine Anforderungen, da Altbau

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

Auftragnehmer: S. Peper  
PHI Passivhaus Institut  
64283 Darmstadt

Datum, Unterschrift

Stempel

## BlowerDoor-Prüfprotokoll

### Berechnungsgrundlage EN 13829, Verfahren A

Minneapolis BlowerDoor Modell 4 - Tectite Express 3.0.0.10

Objekt : <u>Tevesstraße 36</u>	Prüfer/in: <u>S. Peper</u>
	Datum: <u>28.11.03</u> FLIB-Nr: <u>24400</u>

**Klimadaten**

Innentemperatur: <u>19 °C</u>	Referenzdruckmessstellen: <u>1</u>
Außentemperatur: <u>9 °C</u>	Windstärke: <u>2</u>
Luftdruck (Standard): <u>101325 Pa</u>	Gebäudestandort: <u>B</u>
	Zusätzliche Messunsicherheit infolge Wind: <u>2 %</u>

**Unterdruck**

Natürliche Druckdiff.	$\Delta p_{01+}$	$\Delta p_{01-}$	$\Delta p_{02+}$	$\Delta p_{02-}$
	-	-3.2 Pa	-	-2.6 Pa

**Überdruck**

Natürliche Druckdiff.	$\Delta p_{01+}$	$\Delta p_{01-}$	$\Delta p_{02+}$	$\Delta p_{02-}$
	-	-2.4 Pa	-	-1.8 Pa

**Messreihen**

Reduzierblende	Gebäude- druck	Gebläse- druck	Volumen- strom $V_f$	Abwei- chung	Reduzierblende	Gebäude- druck	Gebläse- druck	Volumen- strom $V_f$	Abwei- chung
OABCDE	[Pa]	[Pa]	[m³/h]	[%]	OABCDE	[Pa]	[Pa]	[m³/h]	[%]
$\Delta p_{01}$	-3.2	—	—	—	$\Delta p_{01}$	-2.4	—	—	—
A	-61	149	3255	1.02	A	57	149	3258	2.34
A	-57	134	3089	-0.14	A	52	132	3067	1.70
A	-54	125	2982	-0.15	A	48	114	2856	-0.97
A	-49	112	2824	0.21	A	48	107	2762	-4.04
A	-43	95	2609	-0.95	A	37	84	2456	-0.36
A	-37	81	2404	-0.56	A	32	74	2296	1.44
A	-33	69	2232	-0.40	A	28	61	2085	-0.07
A	-26	55	1981	0.98	A	23	50	1896	0.11
$\Delta p_{02}$	-2.6	—	—	—	$\Delta p_{02}$	-1.8	—	—	—

Korrelationskoeff. $r$ :	0.999	Vertrauensintervall	
$C_{env}$ [m³/(h Pa²)]	338	max. 367	min. 312
$C_L$ [m³/(h Pa²)]	344	max. 374	min. 317
$n$ [-]	0.54	max. 0.57	min. 0.52

Korrelationskoeff. $r$ :	0.994	Vertrauensintervall	
$C_{env}$ [m³/(h Pa²)]	260	max. 332	min. 204
$C_L$ [m³/(h Pa²)]	261	max. 333	min. 204
$n$ [-]	0.62	max. 0.68	min. 0.55

**Ergebnis, Kenngrößen**

$V =$	671 m³	$A_F =$		$A_E =$	
-------	--------	---------	--	---------	--

	$V_{50}$	Unsicher- heit	$n_{50}$	Unsicher- heit	$w_{50}$	Unsicher- heit	$q_{50}$	Unsicher- heit
	m³/h	%	h⁻¹	%	m³/m²h	%	m³/m²h	%
Unterdruck	<b>2899</b>	+/- 7 %	<b>4.3</b>	+/- 8 %				
Überdruck	<b>2927</b>	+/- 7 %	<b>4.4</b>	+/- 8 %				
Mittelwert	<b>2913</b>	+/- 7 %	<b>4.3</b>	+/- 8 %				

Anforderungen nach: <b>EnEV</b>	<b>3</b>	1/h	***	***
---------------------------------	----------	-----	-----	-----

**Keine Anforderungen, da Altbau**
**Bemerkung:** Das Messergebnis schließt (verdeckte) Mängel in der Konstruktion nicht aus.

**Auftragnehmer :** S. Peper  
 PHI Passivhaus Institut  
 64283 Darmstadt

Datum, Unterschrift

Stempel

## BlowerDoor-Prüfprotokoll

## Berechnungsgrundlage EN 13829, Verfahren A

Minneapolis BlowerDoor Modell 4 - Tectite Express 3.0.0.10

Objekt : Tevesstraße 42	Prüfer/in: S. Peper
	Datum: 28.11.03 FLIB-Nr: 24400

## Klimadaten

Innentemperatur: 19 °C	Referenzdruckmessstellen: 1
Außentemperatur: 10 °C	Windstärke: 2
Luftdruck (Standard): 101325 Pa	Gebäudestandort: B
	Zusätzliche Messunsicherheit infolge Wind: 2 %

## Unterdruck

Natürliche Druckdiff.	$\Delta p_{01+}$	$\Delta p_{01-}$	$\Delta p_{02+}$	$\Delta p_{02-}$
	-	-3.0 Pa	-	-2.6 Pa

## Überdruck

Natürliche Druckdiff.	$\Delta p_{01+}$	$\Delta p_{01-}$	$\Delta p_{02+}$	$\Delta p_{02-}$
	-	-3.1 Pa	-	-3.6 Pa

## Messreihen

Reduzierblende	Gebäude- druck	Gebläse- druck	Volumen- strom $V_f$	Abwei- chung	Reduzierblende	Gebäude- druck	Gebläse- druck	Volumen- strom $V_f$	Abwei- chung
O ABCDE	[Pa]	[Pa]	[m³/h]	[%]	O ABCDE	[Pa]	[Pa]	[m³/h]	[%]
$\Delta p_{01}$	-3.0	—	—	—	$\Delta p_{01}$	-3.1	—	—	—
A	-62	172	3498	-0.58	A	57	163	3409	0.39
A	-58	160	3376	0.14	A	51	141	3169	0.25
A	-54	144	3203	-0.05	A	48	124	2979	-2.63
A	-48	127	3006	0.06	A	41	114	2856	2.75
A	-42	107	2767	0.56	A	37	98	2645	0.37
A	-38	93	2574	0.14	A	32	82	2419	-0.67
A	-33	77	2348	0.60	A	26	66	2174	-0.46
A	-29	62	2104	-0.87	A	21	52	1928	0.09
$\Delta p_{02}$	-2.6	—	—	—	$\Delta p_{02}$	-3.6	—	—	—

Korrelationskoef. $r$	1.000	Vertrauensintervall		Korrelationskoef. $r$	0.997	Vertrauensintervall	
$C_{eff}$ [m³/(h Pa²)]	288	max. 307	min. 270	$C_{eff}$ [m³/(h Pa²)]	271	max. 323	min. 227
$C_L$ [m³/(h Pa²)]	292	max. 311	min. 274	$C_L$ [m³/(h Pa²)]	271	max. 323	min. 227
$n$ [-]	0.61	max. 0.62	min. 0.59	$n$ [-]	0.62	max. 0.67	min. 0.57

## Ergebnis, Kenngrößen

$V =$	789 m³	$A_F =$		$A_E =$	
-------	--------	---------	--	---------	--

	$V_{50}$	Unsicher- heit	$n_{50}$	Unsicher- heit	$w_{50}$	Unsicher- heit	$q_{50}$	Unsicher- heit
	m³/h	%	h⁻¹	%	m³/m²h	%	m³/m²h	%
Unterdruck	3113	+/- 7 %	3.9	+/- 8 %				
Überdruck	3060	+/- 7 %	3.9	+/- 8 %				
Mittelwert	3086	+/- 7 %	3.9	+/- 8 %				

Anforderungen nach: <b>EnEV</b>	<b>3</b>	1/h	***	***
---------------------------------	----------	-----	-----	-----

## Keine Anforderungen, da Altbau

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

Auftragnehmer : S. Peper  
PHI Passivhaus Institut  
64283 Darmstadt

Datum, Unterschrift

Stempel

## BlowerDoor-Prüfprotokoll

**Berechnungsgrundlage EN 13829, Verfahren A**  
Minneapolis BlowerDoor Modell 4 - Tectite Express 3.0.0.10

Objekt : Tevesstraße 44	Prüfer/in: S. Peper
	Datum: 29.11.03 FLIB-Nr: 24400

### Klimadaten

Innentemperatur: 19 °C	Referenzdruckmessstellen: 1
Außentemperatur: 10 °C	Windstärke: 2 Gebäudestandort: B
Luftdruck (Standard): 101325 Pa	Zusätzliche Messunsicherheit infolge Wind: 2 %

### Unterdruck

Natürliche Druckdiff.	$\Delta p_{01+}$	$\Delta p_{01-}$	$\Delta p_{02+}$	$\Delta p_{02-}$
	-	-2.9 Pa	-	-2.7 Pa

### Überdruck

Natürliche Druckdiff.	$\Delta p_{01+}$	$\Delta p_{01-}$	$\Delta p_{02+}$	$\Delta p_{02-}$
	-	-2.7 Pa	-	-2.2 Pa

### Messreihen

Reduzierblende	Gebäude- druck	Gebläse- druck	Volumen- strom $V_f$	Abwei- chung	Reduzierblende	Gebäude- druck	Gebläse- druck	Volumen- strom $V_f$	Abwei- chung
OABCDE	[Pa]	[Pa]	[m³/h]	[%]	OABCDE	[Pa]	[Pa]	[m³/h]	[%]
$\Delta p_{01}$	-2.9	—	—	—	$\Delta p_{01}$	-2.7	—	—	—
A	-62	203	3795	-0.02	A	58	195	3720	-0.12
A	-58	189	3667	-0.01	A	53	177	3545	-0.03
A	-53	170	3479	-0.20	A	47	157	3345	0.55
A	-48	150	3272	0.02	A	43	138	3138	-0.01
A	-43	132	3070	-0.03	A	37	119	2910	0.09
A	-37	112	2824	0.43	A	31	95	2612	-0.80
A	-32	91	2554	0.22	A	27	84	2447	-0.18
A	-28	76	2333	-0.40	A	22	66	2183	0.51
$\Delta p_{02}$	-2.7	—	—	—	$\Delta p_{02}$	-2.2	—	—	—

Korrelationskoeff. $r_c$	1.000	Vertrauensintervall	
$C_{env}$ [m³/(h Pa²)]	361	max. 372	min. 350
$C_L$ [m³/(h Pa²)]	366	max. 378	min. 356
$n$ [-]	0.57	max. 0.58	min. 0.56

Korrelationskoeff. $r_c$	1.000	Vertrauensintervall	
$C_{env}$ [m³/(h Pa²)]	331	max. 347	min. 315
$C_L$ [m³/(h Pa²)]	331	max. 348	min. 315
$n$ [-]	0.59	max. 0.61	min. 0.58

### Ergebnis, Kenngrößen

$V =$	788 m³	$A_F =$		$A_E =$	
-------	--------	---------	--	---------	--

	$V_{50}$	Unsicher- heit	$n_{50}$	Unsicher- heit	$w_{50}$	Unsicher- heit	$q_{50}$	Unsicher- heit
	m³/h	%	h⁻¹	%	m³/m²h	%	m³/m²h	%
Unterdruck	<b>3403</b>	+/- 7 %	<b>4.3</b>	+/- 8 %				
Überdruck	<b>3390</b>	+/- 7 %	<b>4.3</b>	+/- 8 %				
Mittelwert	<b>3396</b>	+/- 7 %	<b>4.3</b>	+/- 8 %				

Anforderungen nach: <b>EnEV</b>	<b>3</b>	1/h	<b>***</b>	<b>***</b>
---------------------------------	----------	-----	------------	------------

**Keine Anforderungen, da Altbau**

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

**Auftragnehmer :** S. Peper  
PHI Passivhaus Institut  
64283 Darmstadt

Datum, Unterschrift

Stempel

## BlowerDoor-Prüfprotokoll

### Berechnungsgrundlage EN 13829, Verfahren A

Minneapolis BlowerDoor Modell 4 - Tectite Express 3.0.0.10

Objekt : Tevesstraße 46	Prüfer/in: S. Peper
	Datum: 28.11.03 FLIB-Nr: 24400

#### Klimadaten

Innentemperatur: 19 °C	Referenzdruckmessstellen: 1
Außentemperatur: 9 °C	Windstärke: 2
Luftdruck (Standard): 101325 Pa	Gebäudestandort: B
	Zusätzliche Messunsicherheit infolge Wind: 2 %

#### Unterdruck

Natürliche Druckdiff.	$\Delta p_{01+}$	$\Delta p_{01-}$	$\Delta p_{02+}$	$\Delta p_{02-}$
	-	-2.1 Pa	-	-1.8 Pa

#### Überdruck

Natürliche Druckdiff.	$\Delta p_{01+}$	$\Delta p_{01-}$	$\Delta p_{02+}$	$\Delta p_{02-}$
	0.4 Pa	-1.6 Pa	0.5 Pa	-0.9 Pa

#### Messreihen

Reduzierblende	Gebäude- druck	Gebläse- druck	Volumen- strom $V_f$	Abwei- chung	Reduzierblende	Gebäude- druck	Gebläse- druck	Volumen- strom $V_f$	Abwei- chung
O ABCDE	[Pa]	[Pa]	[m³/h]	[%]	O ABCDE	[Pa]	[Pa]	[m³/h]	[%]
$\Delta p_{01}$	-2.1	—	—	—	$\Delta p_{01}$	-1.5	—	—	—
A	-62	129	3038	-1.34	A	58	123	2961	-0.05
A	-57	121	2933	0.97	A	56	114	2853	-0.75
A	-52	104	2727	-0.45	A	48	98	2648	0.90
A	-47	93	2578	0.44	A	43	85	2461	-0.56
A	-41	80	2396	0.77	A	38	73	2285	-0.05
A	-37	68	2207	-0.16	A	33	63	2124	1.83
A	-32	59	2055	1.12	A	29	51	1915	-0.57
A	-28	45	1806	-1.32	A	26	45	1791	-0.73
$\Delta p_{02}$	-1.8	—	—	—	$\Delta p_{02}$	-0.7	—	—	—

Korrelationskoef. $r$	0.999	Vertrauensintervall		Korrelationskoef. $r$	0.999	Vertrauensintervall	
$C_{env}$ [m³/(h Pa²)]	246	max. 279	min. 218	$C_{env}$ [m³/(h Pa²)]	241	max. 270	min. 215
$C_L$ [m³/(h Pa²)]	250	max. 283	min. 221	$C_L$ [m³/(h Pa²)]	241	max. 270	min. 215
$n$ [-]	0.61	max. 0.64	min. 0.57	$n$ [-]	0.62	max. 0.65	min. 0.59

#### Ergebnis, Kenngrößen

$V =$	669 m³	$A_F =$		$A_E =$	
-------	--------	---------	--	---------	--

	$V_{50}$	Unsicher- heit	$n_{50}$	Unsicher- heit	$w_{50}$	Unsicher- heit	$q_{50}$	Unsicher- heit
	m³/h	%	h⁻¹	%	m³/m²h	%	m³/m²h	%
Unterdruck	2690	+/- 7 %	4.0	+/- 8 %				
Überdruck	2704	+/- 7 %	4.0	+/- 8 %				
Mittelwert	2697	+/- 7 %	4.0	+/- 8 %				

Anforderungen nach: EnEV	3	1/h	***	***
--------------------------	---	-----	-----	-----

#### Keine Anforderungen, da Altbau

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

Auftragnehmer : S. Peper  
PHI Passivhaus Institut  
64283 Darmstadt

## BlowerDoor-Prüfprotokoll

### Berechnungsgrundlage EN 13829, Verfahren A

Minneapolis BlowerDoor Modell 4 - Tectite Express 3.0.0.10

Objekt: Tevesstraße 48	Prüfer/in: S. Peper
	Datum: 29.11.03 FLIB-Nr.: 24400

**Klimadaten**

Innentemperatur: 19 °C	Windstärke: 2	Referenzdruckmessstellen: 1
Außentemperatur: 9 °C		Gebäudestandort: B
Luftdruck (Standard): 101325 Pa	Zusätzliche Messunsicherheit infolge Wind: 2 %	

**Unterdruck**

Natürliche Druckdiff.	$\Delta p_{01+}$	$\Delta p_{01-}$	$\Delta p_{02+}$	$\Delta p_{02-}$
	-	-1.3 Pa	-	-1.4 Pa

**Überdruck**

Natürliche Druckdiff.	$\Delta p_{01+}$	$\Delta p_{01-}$	$\Delta p_{02+}$	$\Delta p_{02-}$
	-	-1.4 Pa	-	-0.9 Pa

**Messreihen**

Reduzierblende	Gebäude- druck	Gebläse- druck	Volumen- strom $V_f$	Abwei- chung	Reduzierblende	Gebäude- druck	Gebläse- druck	Volumen- strom $V_f$	Abwei- chung
oABCDE	[Pa]	[Pa]	[m³/h]	[%]	oABCDE	[Pa]	[Pa]	[m³/h]	[%]
$\Delta p_{01}$	-1.3	—	—	—	$\Delta p_{01}$	-1.4	—	—	—
A	-61	52	1936	0.19	A	59	53	1957	0.03
A	-57	48	1853	-0.17	A	55	49	1881	-0.16
A	-51	42	1739	-0.08	A	49	43	1769	0.23
A	-47	38	1651	0.20	A	44	38	1652	-0.52
A	-41	33	1534	0.06	A	38	33	1537	0.95
A	-37	28	1412	-0.74	A	34	27	1405	-0.52
B	-31	258	1296	0.78					
B	-26	205	1157	-0.23					
$\Delta p_{02}$	-1.4	—	—	—	$\Delta p_{02}$	-0.9	—	—	—

Korrelationskoeff. $r_c$	1.000	Vertrauensintervall		Korrelationskoeff. $r_c$	0.999	Vertrauensintervall	
$C_{err}$ [m³/(h Pa²)]	168	max. 178	min. 160	$C_{err}$ [m³/(h Pa²)]	169	max. 194	min. 146
$C_L$ [m³/(h Pa²)]	171	max. 180	min. 162	$C_L$ [m³/(h Pa²)]	169	max. 195	min. 147
$n$ [-]	0.59	max. 0.60	min. 0.57	$n$ [-]	0.60	max. 0.64	min. 0.57

**Ergebnis, Kenngrößen**

V =	495 m³	A <sub>F</sub> =	A <sub>E</sub> =
-----	--------	------------------	------------------

	$V_{50}$	Unsicher- heit	$n_{50}$	Unsicher- heit	$w_{50}$	Unsicher- heit	$q_{50}$	Unsicher- heit
	m³/h	%	h⁻¹	%	m³/m²h	%	m³/m²h	%
Unterdruck	<b>1709</b>	+/- 7 %	3.5	+/- 8 %				
Überdruck	<b>1786</b>	+/- 7 %	3.6	+/- 8 %				
Mittelwert	<b>1747</b>	+/- 7 %	<b>3.5</b>	+/- 8 %				

Anforderungen nach: <b>EnEV</b>	<b>3</b>	1/h	***	***
---------------------------------	----------	-----	-----	-----

**Keine Anforderungen, da Altbau**

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

**Auftragnehmer:** S. Peper  
PHI Passivhaus Institut  
64283 Darmstadt

Datum, Unterschrift

Stempel

## BlowerDoor-Prüfprotokoll

### Berechnungsgrundlage EN 13829, Verfahren A

Minneapolis BlowerDoor Modell 4 - Tectite Express 3.0.0.10

Objekt : Tevesstraße 50	Prüfer/in: S. Peper
	Datum: 29.11.03 FLIB-Nr: 24400

#### Klimadaten

Innentemperatur: 19 °C	Referenzdruckmessstellen: 1
Außentemperatur: 10 °C	Windstärke: 2
Luftdruck (Standard): 101325 Pa	Gebäudestandort: B
	Zusätzliche Messunsicherheit infolge Wind: 2 %

#### Unterdruck

Natürliche Druckdiff.	$\Delta p_{01+}$	$\Delta p_{01-}$	$\Delta p_{02+}$	$\Delta p_{02-}$
	-	-2.1 Pa	-	-2.6 Pa

#### Überdruck

Natürliche Druckdiff.	$\Delta p_{01+}$	$\Delta p_{01-}$	$\Delta p_{02+}$	$\Delta p_{02-}$
	-	-2.7 Pa	-	-2.4 Pa

#### Messreihen

Reduzier- blende	Gebäude- druck	Gebläse- druck	Volumen- strom $V_f$	Abwei- chung	Reduzier- blende	Gebäude- druck	Gebläse- druck	Volumen- strom $V_f$	Abwei- chung
o ABCDE	[Pa]	[Pa]	[m³/h]	[%]	o ABCDE	[Pa]	[Pa]	[m³/h]	[%]
$\Delta p_{01}$	-2.1	—	—	—	$\Delta p_{01}$	-2.7	—	—	—
A	-52	74	2300	-3.29	A	47	67	2196	-0.14
A	-48	66	2179	-1.78	A	43	61	2085	-0.83
A	-41	56	2001	2.43	A	38	53	1948	-1.68
A	-38	50	1887	5.20	A	32	44	1788	-2.72
A	-32	40	1696	9.41	A	27	36	1612	-4.89
A	-28	34	1573	14.55	A	22	28	1422	-8.00
B	-31	258	1296	-13.61	A	29	51	1915	10.69
B	-26	205	1157	-9.76	A	26	45	1791	9.00
$\Delta p_{02}$	-2.6	—	—	—	$\Delta p_{02}$	-2.4	—	—	—

Korrelationskoef. $r$ :	0.921	Vertrauensintervall		Korrelationskoef. $r$ :	0.891	Vertrauensintervall	
$C_{50}$ [m³/h Pa²]	80	max. 289	min. 22	$C_{50}$ [m³/h Pa²]	302	max. 764	min. 119
$C_L$ [m³/h Pa²]	81	max. 291	min. 22	$C_L$ [m³/h Pa²]	302	max. 765	min. 119
$n$ [-]	0.86	max. 1.22	min. 0.50	$n$ [-]	0.51	max. 0.77	min. 0.25

#### Ergebnis, Kenngrößen

$V =$	387 m³	$A_F =$		$A_E =$	
-------	--------	---------	--	---------	--

	$V_{50}$	Unsicher- heit	$n_{50}$	Unsicher- heit	$w_{50}$	Unsicher- heit	$q_{50}$	Unsicher- heit
	m³/h	%	h⁻¹	%	m³/m²h	%	m³/m²h	%
Unterdruck	<b>2345</b>	+/- 7 %	<b>6.1</b>	+/- 8 %				
Überdruck	<b>2241</b>	+/- 7 %	<b>5.8</b>	+/- 8 %				
Mittelwert	<b>2293</b>	+/- 7 %	<b>5.9</b>	+/- 8 %				

Anforderungen nach: <b>EnEV</b>	<b>3</b>	1/h	<b>***</b>		<b>***</b>	
---------------------------------	----------	-----	------------	--	------------	--

#### Keine Anforderungen, da Altbau

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

Auftragnehmer : S. Peper  
PHI Passivhaus Institut  
64283 Darmstadt

Datum, Unterschrift

Stempel

## BlowerDoor-Prüfprotokoll

**Berechnungsgrundlage EN 13829, Verfahren A**  
Minneapolis BlowerDoor Modell 4 - Tectite Express 3.0.0.10

Objekt : <u>Tevesstraße 52</u>	Prüfer/in: <u>S. Peper</u>
	Datum: <u>29.11.03</u> FLIB-Nr: <u>24400</u>

**Klimadaten**

Innentemperatur: <u>19 °C</u>	Windstärke: <u>2</u>	Referenzdruckmessstellen: <u>1</u>
Außentemperatur: <u>10 °C</u>		Gebäudestandort: <u>B</u>
Luftdruck (Standard): <u>101325 Pa</u>		Zusätzliche Messunsicherheit infolge Wind: <b>2 %</b>

**Unterdruck**

Natürliche Druckdiff.	$\Delta p_{01+}$	$\Delta p_{01-}$	$\Delta p_{02+}$	$\Delta p_{02-}$
	-	-1.7 Pa	-	-1.8 Pa

**Überdruck**

Natürliche Druckdiff.	$\Delta p_{01+}$	$\Delta p_{01-}$	$\Delta p_{02+}$	$\Delta p_{02-}$
	-	-1.8 Pa	1.9 Pa	-0.8 Pa

**Messreihen**

Reduzierblende	Gebäude- druck	Gebläse- druck	Volumen- strom $V_r$	Abwei- chung	Reduzierblende	Gebäude- druck	Gebläse- druck	Volumen- strom $V_r$	Abwei- chung
o abcde	[Pa]	[Pa]	[m³/h]	[%]	o abcde	[Pa]	[Pa]	[m³/h]	[%]
$\Delta p_{01}$	-1.7	—	—	—	$\Delta p_{01}$	-1.8	—	—	—
A	-62	120	2922	0.02	A	59	112	2831	-0.04
A	-57	108	2776	0.08	A	53	99	2663	0.29
A	-51	94	2590	-0.02	A	48	88	2506	-0.21
A	-47	85	2471	-0.09	A	43	77	2351	0.29
A	-42	74	2297	-0.35	A	38	68	2200	-0.04
A	-37	63	2118	0.08	A	33	56	2013	-0.39
A	-31	52	1927	0.80	A	28	46	1824	-0.37
A	-27	41	1725	-0.51	A	24	39	1673	0.49
$\Delta p_{02}$	-1.8	—	—	—	$\Delta p_{02}$	-0.5	—	—	—

Korrelationskoeff. $r$ : <u>1.000</u>	Vertrauensintervall	Korrelationskoeff. $r$ : <u>1.000</u>	Vertrauensintervall
$C_{env}$ [m³/(h Pa²)]: <u>251</u>	max. 263 min. 239	$C_{env}$ [m³/(h Pa²)]: <u>244</u>	max. 254 min. 234
$C_L$ [m³/(h Pa²)]: <u>254</u>	max. 266 min. 243	$C_L$ [m³/(h Pa²)]: <u>244</u>	max. 254 min. 235
$n$ [-]: <u>0.59</u>	max. 0.60 min. 0.58	$n$ [-]: <u>0.60</u>	max. 0.61 min. 0.59

**Ergebnis, Kenngrößen**

	$V =$	488 m³	$A_F =$		$A_E =$	
	$V_{50}$	Unsicher- heit	$n_{50}$	Unsicher- heit	$w_{50}$	Unsicher- heit
	m³/h	%	h⁻¹	%	m³/m³h	%
Unterdruck	<b>2566</b>	+/- 7 %	<b>5.3</b>	+/- 8 %		
Überdruck	<b>2570</b>	+/- 7 %	<b>5.3</b>	+/- 8 %		
Mittelwert	<b>2568</b>	+/- 7 %	<b>5.3</b>	+/- 8 %		
Anforderungen nach: <b>EnEV</b>	<b>3</b>	1/h	<b>***</b>		<b>***</b>	

**Keine Anforderungen, da Altbau**

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

**Auftragnehmer :** S. Peper  
PHI Passivhaus Institut  
64283 Darmstadt

Datum, Unterschrift

Stempel

## BlowerDoor-Prüfprotokoll

## Berechnungsgrundlage EN 13829, Verfahren A

Minneapolis BlowerDoor Modell 4 - Tectite Express 3.0.0.10

Objekt : Tevesstraße 54	Prüfer/in: S. Peper	Datum: 29.11.03	FLIB-Nr: 24400
-------------------------	---------------------	-----------------	----------------

## Klimadaten

Innentemperatur: 19 °C	Referenzdruckmessstellen: 1
Außentemperatur: 10 °C	Windstärke: 2
Luftdruck (Standard): 101325 Pa	Gebäudestandort: B
	Zusätzliche Messunsicherheit infolge Wind: 2 %

## Unterdruck

Natürliche Druckdiff.	$\Delta p_{01+}$	$\Delta p_{01-}$	$\Delta p_{02+}$	$\Delta p_{02-}$
	-	-1.4 Pa	-	-1.5 Pa

## Überdruck

Natürliche Druckdiff.	$\Delta p_{01+}$	$\Delta p_{01-}$	$\Delta p_{02+}$	$\Delta p_{02-}$
	-	-1.2 Pa	-	-0.7 Pa

## Messreihen

Reduzier- blende	Gebäude- druck	Gebläse- druck	Volumen- strom $V_f$	Abwei- chung	Reduzier- blende	Gebäude- druck	Gebläse- druck	Volumen- strom $V_f$	Abwei- chung
o ABCDE	[Pa]	[Pa]	[m³/h]	[%]	o ABCDE	[Pa]	[Pa]	[m³/h]	[%]
$\Delta p_{01}$	-1.4	—	—	—	$\Delta p_{01}$	-1.2	—	—	—
A	-49	221	3961	-0.49	A	48	229	4035	-0.24
A	-46	205	3819	0.36	A	45	207	3831	-0.31
A	-41	177	3553	3.12	A	38	173	3510	2.04
A	-37	153	3303	3.78	A	33	149	3261	4.89
A	-31	129	3036	6.85	A	29	124	2974	6.52
A	-26	105	2745	10.91	A	23	99	2665	10.97
A	-21	80	2399	14.71	A	19	78	2360	15.23
A	-27	41	1725	-31.16	A	24	39	1673	-31.04
$\Delta p_{02}$	-1.5	—	—	—	$\Delta p_{02}$	-0.7	—	—	—

Korrelationskoef. $r$ :	0.820	Vertrauensintervall		Korrelationskoef. $r$ :	0.837	Vertrauensintervall	
$C_{env}$ [m³/h Pa²]	230	max. 1346	min. 39	$C_{env}$ [m³/h Pa²]	221	max. 1213	min. 40
$C_L$ [m³/h Pa²]	232	max. 1359	min. 40	$C_L$ [m³/h Pa²]	221	max. 1214	min. 40
$n$ [-]	0.73	max. 1.24	min. 0.22	$n$ [-]	0.75	max. 1.24	min. 0.26

## Ergebnis, Kenngrößen

$V =$	754 m³	$A_F =$		$A_E =$	
-------	--------	---------	--	---------	--

	$V_{50}$	Unsicher- heit	$n_{50}$	Unsicher- heit	$w_{50}$	Unsicher- heit	$q_{50}$	Unsicher- heit
	m³/h	%	h⁻¹	%	m³/m²h	%	m³/m²h	%
Unterdruck	<b>4024</b>	+/- 7 %	5.3	+/- 8 %				
Überdruck	<b>4175</b>	+/- 7 %	5.5	+/- 8 %				
Mittelwert	<b>4099</b>	+/- 7 %	<b>5.4</b>	+/- 8 %				

Anforderungen nach: <b>EnEV</b>	<b>3</b>	1/h	<b>***</b>		<b>***</b>	
---------------------------------	----------	-----	------------	--	------------	--

## Keine Anforderungen, da Altbau

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

Auftragnehmer : S. Peper  
PHI Passivhaus Institut  
64283 Darmstadt

Datum, Unterschrift

Stempel