



**INSTITUT WOHNEN
UND UMWELT GmbH**

Annastraße 15
64285 Darmstadt

Fon: (0049) 06151/2904-0

Fax: (0049) 06151/2904-97

eMail: info@iwu.de

Internet: <http://www.iwu.de>

Wiesbaden – Lehrstraße 2

Energetische Modernisierung eines Gründerzeithauses

**Eine Untersuchung im Auftrag der Stadt Wiesbaden
in Kooperation mit der Klimaschutz-Agentur Wiesbaden e.V.**

Darmstadt, den 13.11.2003

**Autoren: Tobias Loga
Rainer Feldmann
Dr. Nikolaus Diefenbach
Marc Großklos
Rolf Born**

Wiesbaden – Lehrstraße 2

Energetische Modernisierung eines Gründerzeithauses

Angaben zum Objekt

Eigentümer / Bauherr: GWW Wiesbadener Wohnbaugesellschaft mbH
Kronprinzenstraße 28
65185 Wiesbaden

Planung: Bohnen & Schmitz Consult GmbH
Siegener Straße 5a
65936 Frankfurt/M.

Angaben zur vorliegenden Dokumentation

Autoren: Tobias Loga
Rainer Feldmann
Dr. Nikolaus Diefenbach
Marc Großklos
Rolf Born

Reprotechnik: Reda Hatteh

1. Auflage

Darmstadt, den 13.11.2003

ISBN-Nr.: 3-932074-65-3

IWU-Bestellnummer: 08/03

INSTITUT WOHNEN UND UMWELT GMBH

Annastraße 15

64285 Darmstadt

Fon: 06151/2904-0 / Fax: -97

Internet: www.iwu.de

Inhalt

1 Das Projekt Wiesbaden Lehrstraße 2	1
1.1 Ausgangssituation	1
1.2 Die Maßnahmen	5
2 Energiekennwerte und rechnerische Energieeinsparung	12
2.1 Wärmeschutz-Varianten	12
2.2 U-Werte und Einfluss der Wärmebrücken	12
2.3 Jährliche Transmissionswärmeverluste	18
2.4 Anlagentechnik	19
2.5 Randbedingungen der Berechnung	20
2.6 Ergebnisse: Einsparung von Heizwärme, End- und Primärenergie	21
2.7 Aufteilung der Energieeinsparung auf die Maßnahmen	22
2.8 Auswirkung einer Vernachlässigung der Wärmebrücken auf den berechneten Energiebedarf	23
3 Kosten und Wirtschaftlichkeit	24
3.1 Abgerechnete Kosten	24
3.2 Betriebswirtschaftliche Betrachtung	27
4 Feuchtemessung Holzbalkendecke	29
4.1 Innendämmung in Gebäuden mit Holzbalkendecke – ein Problem?	29
4.2 Lage der Messstellen	30
4.3 Installation der Messtechnik und der Dämmung im Balkenzwischenraum	31
4.4 Ergebnisse der Feuchtemessungen	38
5 Zusammenfassung und Resümee	40
6 Quellen	42
7 Anhang A: Dokumentation der Energiebilanzberechnungen	43
8 Anhang B: Ermittlung der Flächen und Rohrleitungslängen	53
9 Anhang C: Ermittlung der Wärmebrückenverlustkoeffizienten	55

Bild 1: Gründerzeithaus Lehrstraße 2, Wiesbaden, Straßenfassade vor der Modernisierung

1 Das Projekt Wiesbaden Lehrstraße 2

1.1 Ausgangssituation

Das Gebäude in der Lehrstraße 2 wurde als typisches Gründerzeithaus zwischen 1880 und 1890 errichtet. Zwischen Januar 2001 und Februar 2002 fand innen und außen eine durchgreifende Modernisierung statt. Eigentümer des Gebäudes und Träger der Maßnahmen ist die *GWW Wiesbader Wohnbaugesellschaft mbH*.

Da es sich um ein historisches Gebäude mit erhaltenswerter Fassade handelt, ergaben sich besondere Anforderungen an das Vorhaben. Es wurde angestrebt, im Rahmen des Möglichen (Vorgaben zu Denkmalschutz, Praktikabilität und Wirtschaftlichkeit) energiesparende Maßnahmen durchzuführen, die für ähnliche Gebäude als Vorbild dienen könnten.

Das Institut Wohnen und Umwelt wurde damit beauftragt, die Umsetzung der (zu diesem Zeitpunkt schon weitgehend fertig geplanten) Modernisierungsmaßnahmen zu begleiten, zu dokumentieren und ein Messprogramm im Hinblick auf die hier besonders interessante Kombination Innendämmung/Holzbalkendecke durchzuführen.

Die folgenden Abbildungen zeigen zunächst das Gebäude vor der Modernisierung. Anschließend sind die Erneuerungsmaßnahmen beschrieben.

Bild 2: Gebäude vor der Modernisierung: Wohnung, Detail Straßenfassade



Bild 3: Gebäude vor der Modernisierung: Details Straßenfassade, Hoffassade



Bild 4: Gebäude vor der Modernisierung: Ansicht Dachgauben und Dachgeschosswohnung



**Bild 5: Untersicht einer geöffneten Holzbalkendecke mit Bimsstein-/Lehmschlag-Füllung
Die Strohmatte dient als Putzträger, Putzreste sind noch zu erkennen.**



**Bild 6: Kehlbalckendecke über den Dachgeschosswohnungen.
Rechts ist zu erkennen, dass die Sparrenzwischenräume im darunter liegenden be-
wohnten Bereich mit Strohhalm gefüllt sind.**



Bild 7: Gebäude vor der Modernisierung: Details der Elektro- und Gasinstallation



Bild 8: Grundriss des 2. Obergeschosses

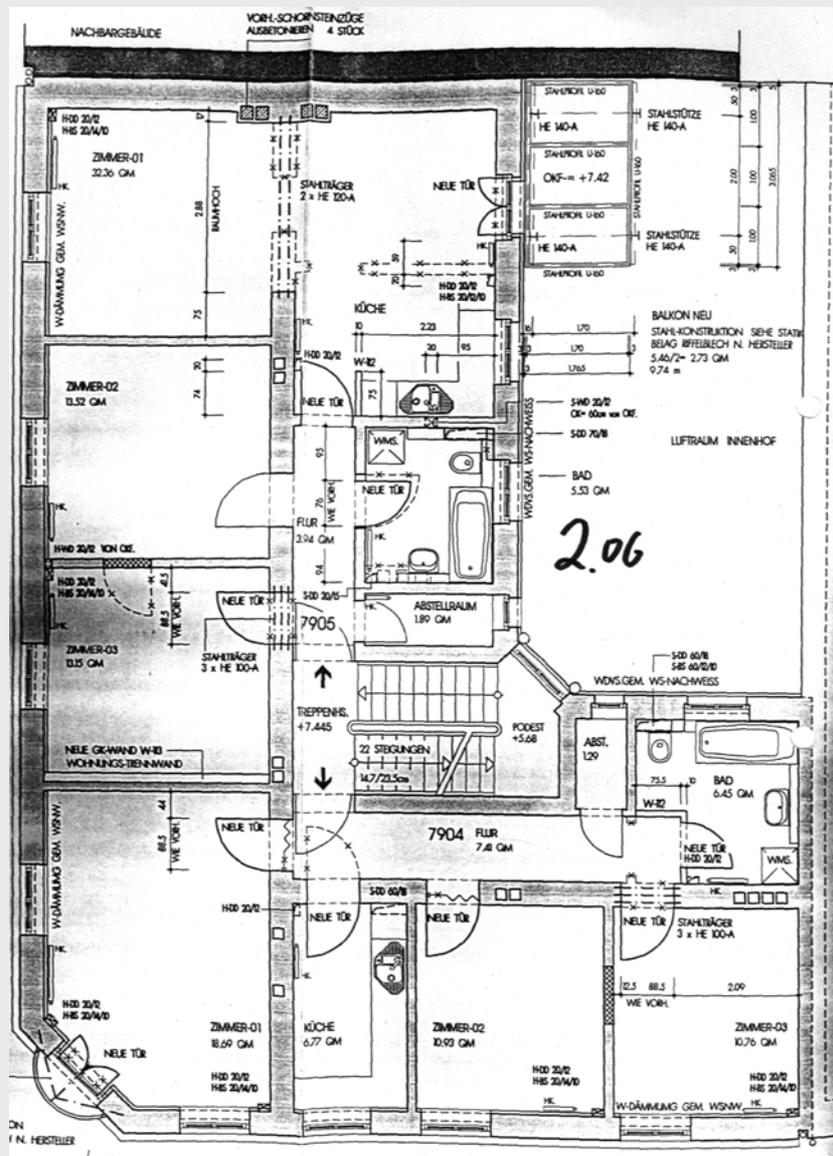


Bild 9: Erneuerte Straßenfassade

1.2 Die Maßnahmen

Straßenfassade: Innendämmung

Die für ein Gründerzeitgebäude typische Straßenfassade war bei der Modernisierung aus Gründen des Denkmalschutzes zu erhalten. Es wurde daher lediglich der Putz erneuert (Bild 9). Eine Möglichkeit für Außendämmmaßnahmen bestand nicht, auch die Verwendung eines Dämmputzes wurde im vorliegenden Fall aus Denkmalschutzgründen abgelehnt.

Als Energiesparmaßnahme kam daher die Innendämmung zur Anwendung. Dazu wurde eine Hartschaum-Mehrschicht-Leichbauplatte verwendet (6 cm Plattenstärke, davon 5,5 cm Hartschaum-Dämmmaterial der Wärmeleitfähigkeitsgruppe WLG 035). Die einseitige Heraklith-Schicht (0,5 cm) diente als Putzträger für den Innenputz. Durch den Putz wird die für die Innendämmung notwendige Luftdichtheit hergestellt. Damit wird verhindert, dass feuchte Raumluft hinter die Dämmung an die kalte Außenwand gelangt und dort kondensiert. Ebenfalls aus Gründen der Luftdichtheit wurden in der Innendämmung keine Steckdosen angeordnet.

Um die Wärmebrückenwirkung und das damit verbundene Risiko von Tauwasserniederschlag zu verringern, wurden die einbindenden Innenwände in der Nähe des Anschlussbereichs an die Außenwand ebenfalls in die Dämmung einbezogen (Bild 11).

Bild 10: Links: Vorbereitung der Dämmplatten für das Ankleben an die Wand, Rechts: Unterhalb eines Fensters verlegte Dämmplatten



Bild 11: Innendämmung in der Fensterlaibung und an der anstoßenden Innenwand; links vor, rechts nach dem Verputzen



Bild 12: Räume nach Fertigstellung der Innendämmung



Hoffassade: Außendämmung

Im Gegensatz zur Straßenseite war im Hof das Anbringen eines Wärmedämmverbundsystems möglich. Durch Verwendung von Material der Wärmeleitfähigkeitsgruppe WLG 035 und eine Dämmstoffstärke von 12 cm wurde hier ein guter energetischer Standard eingehalten. Es kamen hier Hartschaum-Dämmplatten zur Anwendung (Bild 13 und Bild 14). Das Erdreich im Hof wurde teilweise abgetragen, dadurch wurde der Einbau einer Perimeterdämmung vereinfacht. Vor der Sanierung hatte das Haus keine Balkons, sie wurden nun bei der Sanierung angefügt. Dafür wurde eine frei vor die Fassade gestellte Konstruktion verwendet (Bild 15), so dass Wärmebrücken in der Außendämmung weitgehend vermieden werden konnten.

Bild 13: Anbringung des Wärmedämmverbundsystems an der Hoffassade



Bild 14: Detailansicht im Fensterbereich vor Anbringung der Laibungsdämmung



Bild 15: Hoffassade nach der Dämmung, rechts die freistehende Balkonkonstruktion



Neue Fenster in alter Optik

Vor der Modernisierung waren überwiegend einfach verglaste Fenster im Holzrahmen vorhanden, teilweise waren diese auch schon durch PVC-Fenster mit Isolierglasscheiben ersetzt worden. Im Zuge der Modernisierung wurden alle Fenster in einheitlicher Weise erneuert. Eingebaut wurden mehrflügelige Holzfenster mit profilierten Außenwangen und Glasleisten und profiliertem aufgesetztem Kämpfer in Denkmalschutzausführung (Bild 16).

Bild 16: Die neuen Fenster von außen und innen



Dachgeschoss

In den Dachgeschosswohnungen wurde das selbe Innendämmsystem verwendet, wie in den darunter liegenden Etagen. An den Dachschrägen hätte die einfache Dämmstoffstärke nicht ausgereicht, um die Anforderungen der Energieeinsparverordnung einzuhalten. Hier wurden die Platten daher in doppelter Dämmstärke angebracht. Auch die Seitenwände der Dachgauben wurden gedämmt (Bild 17). Die Dämmstoffstärke musste dabei so gewählt werden, dass die Fenster noch bequem zu bedienen sind. Im Dachgeschoss aus statischen Gründen eingebaute Stahlträger wurden ebenfalls mit einer Mineralwolle-Dämmschicht umgeben, um die Wärmebrückenwirkung und Gefahr von Kondensatbildung zu verringern (Bild 18).

Die nicht begehbaren Kehlbalkendecke wurde von oben mit 20 cm Mineralwolle-Dämmplatten belegt (Bild 19).

Bild 17: Dämmung der Dachschrägen und Dachgauben im Obergeschoss



Bild 18: Dachräume mit Stahlträgern vor und nach Durchführung der Maßnahmen



Bild 19: Kehlbalkendecke nach Durchführung der Dämmmaßnahmen**Bild 20: Luke zur Kehlbalkendecke mit Dämmauflage und umlaufender Dichtung**

Erdgeschossfußboden

Eine Dämmung der gewölbten Kellerdecke von unten wurde als schwer durchführbar angesehen. Auf diese Maßnahme wurde auch aufgrund der sehr kleinen Kellerräume und der dicken Kellerinnenwände, die eine hohe Wärmebrückenwirkung erwarten ließen, verzichtet. Daher wurde die Dämmung von oben durchgeführt (5 bis 6 cm, WLG 035). Da eine Anhebung des Fußbodenniveaus vom Architekten als nicht zweckmäßig angesehen wurde, war es notwendig, den gesamten vorhandenen Estrich zu entfernen und neu aufzubauen.

Bild 21: Wärmeverteilungsleitungen in der abgehängten Decke des Erdgeschosses / Verlegung der vertikalen Steigstränge der Heizwärmeverteilung



Heizung

Das Gebäude war ursprünglich mit Einzelöfen beheizt worden. Im Zuge der Modernisierung wurde im Keller ein Heizraum eingerichtet. Dort wurde ein Brennwertkessel installiert und mit einem neuen Abgasrohr versehen. Die Warmwasserbereitung erfolgt ebenfalls über den Brennwertkessel und einen beigestellten Warmwasserspeicher.

Vom Heizraum aus bringen Verteilleitungen die Heizwärme und Warmwasser direkt ins Erdgeschoss. Die horizontale Verteilung und Anbindung an mehrere Steigstränge erfolgt in der abgehängten Decke des Erdgeschosses (also innerhalb der thermischen Hülle). Dadurch können die Wärmeverluste reduziert werden. Die Steigstränge liegen im 1. bis 3. Obergeschoss jeweils vor der Außenwand (siehe Bild 21).

2 Energiekennwerte und rechnerische Energieeinsparung

2.1 Wärmeschutz-Varianten

Im Folgenden wird der wärmetechnische Zustand vor und nach Modernisierung quantitativ belegt. Dies stellt die Grundlage für die Berechnung der Energieeinsparung und Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen dar.

Damit die Ergebnisse auch auf Gründerzeithäuser mit anderen Fassadengestaltungen übertragen werden können, wurden neben der realisierten Variante auch eine mit reiner Außendämmung und eine mit reiner Innendämmung der Fassade realisiert. Die Wärmeschutz-Varianten sind wie folgt definiert:

- Var. 1: Zustand vor Modernisierung
- Var. 2: Zustand nach Modernisierung – wie geplant und realisiert (siehe vorangegangener Abschnitt 1.2)
- Var. 3: Zustand nach Modernisierung – jedoch alle Fassaden mit Innendämmung
- Var. 4: Zustand nach Modernisierung – jedoch alle Fassaden mit Außendämmung

2.2 U-Werte und Einfluss der Wärmebrücken

Für den Zustand vor Modernisierung und die verschiedenen Maßnahmenvarianten wurden jeweils die U-Werte ermittelt. Tab. 1 zeigt die Schichtfolge und die Berechnung der U-Werte für die Regelquerschnitte.

Üblicherweise werden diese Daten für die Abschätzung der Energieeinsparung von Wärmeschutzmaßnahmen verwendet. Im Rahmen des hier durchgeführten Projekts soll allerdings auch der Einfluss der Wärmebrücken auf das Ergebnis untersucht werden. Insbesondere im Fall der Innendämmung sind erhebliche zusätzliche Verluste zu erwarten, die hier quantifiziert werden sollen. Die Berechnung der Wärmebrückenverlustkoeffizienten ist in Abschnitt 9 dokumentiert, eine Bewertung der Relevanz für die Energiebilanz in Abschnitt 2.8.

Tab. 2 liefert einen Überblick über die Flächen und U-Werte sowie die Längen und Verlustkoeffizienten der vorhandenen linearen Wärmebrücken.

Tab. 1: Berechnung der U-Werte

Lfd.Nr.	Bauteil Kürzel	Bauteil-Bezeichnung
1	w1u	Vollklinker ungedämmt
Wärmeübergangswiderstand innen R_{si} : 0,13 m^2KW		
Dicke d in mm		
Wärmeleitfähigkeit λ in $W/(mK)$		
Bereich 1	Bereich 2*	Bereich 3*
1. Gipsmörtel		
2. Vollziegel 2000 kg/m ³		
3. Kalkzementmörtel		
4.		
5.		
6.		
7.		
8.		
9.		
10.		
Wärmedurchlasswiderstand unbeheizter Räume (z.B. Dachraum) R_{U} : m^2KW		
Wärmeübergangswiderstand außen R_{sa} : 0,04 m^2KW		
Flächenanteile: 100%		
U-Wert: 1,620 $W/(m^2K)$		

*) λ für Bereich 2 oder 3 nur eintragen, wenn abweichend von Bereich 1

Lfd.Nr.	Bauteil Kürzel	Bauteil-Bezeichnung
2	w1a	Vollklinker mit Außendämmung
Wärmeübergangswiderstand innen R_{si} : 0,13 m^2KW		
Dicke d in mm		
Wärmeleitfähigkeit λ in $W/(mK)$		
Bereich 1	Bereich 2*	Bereich 3*
1. Gipsmörtel		
2. Vollziegel 2000 kg/m ³		
3. Kalkzementmörtel		
4. Wärmedämmung (WLG 035)		
5. Kalkzementmörtel		
6.		
7.		
8.		
9.		
10.		
Wärmedurchlasswiderstand unbeheizter Räume (z.B. Dachraum) R_{U} : m^2KW		
Wärmeübergangswiderstand außen R_{sa} : 0,04 m^2KW		
Flächenanteile: 100%		
U-Wert: 0,243 $W/(m^2K)$		

*) λ für Bereich 2 oder 3 nur eintragen, wenn abweichend von Bereich 1

Lfd.Nr.	Bauteil Kürzel	Bauteil-Bezeichnung
3	w1i	Vollklinker mit Innendämmung
Wärmeübergangswiderstand innen R_{si} : 0,13 m^2KW		
Dicke d in mm		
Wärmeleitfähigkeit λ in $W/(mK)$		
Bereich 1	Bereich 2*	Bereich 3*
1. Gipsmörtel		
2. Holzwoleleichtbauplatte		
3. Polystyrol-Hartschaum-Platte		
4. Gipsmörtel		
5. Vollziegel 2000 kg/m ³		
6. Kalkzementmörtel		
7.		
8.		
9.		
10.		
Wärmedurchlasswiderstand unbeheizter Räume (z.B. Dachraum) R_{U} : m^2KW		
Wärmeübergangswiderstand außen R_{sa} : 0,04 m^2KW		
Flächenanteile: 100%		
U-Wert: 0,444 $W/(m^2K)$		

*) λ für Bereich 2 oder 3 nur eintragen, wenn abweichend von Bereich 1

Tab. 1 (Fortsetzung)

Lfd.Nr.	Bauteil Kürzel	Bauteil-Bezeichnung
4	k1u	Kellerdecke ungedämmt

Wärmeübergangswiderstand innen R_{si} : 0,17 m^2K/W			Dicke d in mm	Wärmeleitfähigkeit λ in $W/(mK)$		
Bereich 1	Bereich 2*	Bereich 3*		Bereich 1	Bereich 2*	Bereich 3*
1. Holzdielen			25	0,130		
2. Luftschicht			24	0,126		
3. Sandschüttung			100	1,400		
4. gemauertes Kappengewölbe			250	0,960		
5.						
6.						
7.						
8.						
9.						
10.						
Wärmedurchlasswiderstand unbeheizter Räume (z.B. Dachraum) R_{U} :			Flächen- anteile:			
			100%			
Wärmeübergangswiderstand außen R_{sa} : 0,17 m^2K/W			U-Wert: 0,949 $W/(m^2K)$			

*) λ für Bereich 2 oder 3 nur eintragen, wenn abweichend von Bereich 1

Lfd.Nr.	Bauteil Kürzel	Bauteil-Bezeichnung
5	k1d	Kellerdecke gedämmt

Wärmeübergangswiderstand innen R_{si} : 0,17 m^2K/W			Dicke d in mm	Wärmeleitfähigkeit λ in $W/(mK)$		
Bereich 1	Bereich 2*	Bereich 3*		Bereich 1	Bereich 2*	Bereich 3*
1. Fliesen			6	1,000		
2. Zementestrich			45	1,400		
3. PS 30 SE WLG 035			40	0,035		
4. Fermacell-Ausgleichsschüttung			20	0,050		
5. Sandschüttung			100	1,400		
6. gemauertes Kappengewölbe			250	0,960		
7.						
8.						
9.						
10.						
Wärmedurchlasswiderstand unbeheizter Räume (z.B. Dachraum) R_{U} :			Flächen- anteile:			
			100%			
Wärmeübergangswiderstand außen R_{sa} : 0,17 m^2K/W			U-Wert: 0,444 $W/(m^2K)$			

*) λ für Bereich 2 oder 3 nur eintragen, wenn abweichend von Bereich 1

Lfd.Nr.	Bauteil Kürzel	Bauteil-Bezeichnung
6	w2u	Gaubenwände ungedämmt

Wärmeübergangswiderstand innen R_{si} : 0,13 m^2K/W			Dicke d in mm	Wärmeleitfähigkeit λ in $W/(mK)$		
Bereich 1	Bereich 2*	Bereich 3*		Bereich 1	Bereich 2*	Bereich 3*
1. Lehmputz auf Schilfrohrgeflecht			20	0,800		
2. Holzfachwerk	Lehmschlag		120	0,130	0,930	
3.						
4.						
5.						
6.						
7.						
8.						
9.						
10.						
Wärmedurchlasswiderstand unbeheizter Räume (z.B. Dachraum) R_{U} :			Flächen- anteile:			
			25% 75%			
Wärmeübergangswiderstand außen R_{sa} : 0,13 m^2K/W			U-Wert: 2,117 $W/(m^2K)$			

*) λ für Bereich 2 oder 3 nur eintragen, wenn abweichend von Bereich 1

Tab. 1 (Fortsetzung)

Lfd.Nr.	Bauteil Kürzel	Bauteil-Bezeichnung
7	w2d	Gaibenwände gedämmt

Wärmeübergangswiderstand innen R_{si} : **0,13** m^2K/W

Bereich	Wärmeleitfähigkeit λ in $W/(mK)$		
	Bereich 1	Bereich 2*	Bereich 3*
1. Gipsmörtel	0,700		
2. Holzwolleleichtbauplatte	0,150		
3. Polystyrol-Hartschaum-Platte	0,035		
4. Lehmputz auf Schilfrohrgeflecht	0,800		
5. Holzfachwerk	0,130	0,930	
6.			
7.			
8.			
9.			
10.			

Dicke d in mm: 20, 5, 55, 20, 120

Wärmedurchlasswiderstand unbeheizter Räume (z.B. Dachraum) R_u : m^2K/W

Wärmeübergangswiderstand außen R_{sa} : **0,13** m^2K/W

Flächenanteile: 25%, 75%

U-Wert: 0,467 $W/(m^2K)$

*) λ für Bereich 2 oder 3 nur eintragen, wenn abweichend von Bereich 1

Lfd.Nr.	Bauteil Kürzel	Bauteil-Bezeichnung
8	d1u	Dachfläche ungedämmt

Wärmeübergangswiderstand innen R_{si} : **0,1** m^2K/W

Bereich	Wärmeleitfähigkeit λ in $W/(mK)$		
	Bereich 1	Bereich 2*	Bereich 3*
1. Lehmputz auf Schilfrohrgeflecht	0,800		
2. Sparren	0,130	0,930	
3.			
4.			
5.			
6.			
7.			
8.			
9.			
10.			

Dicke d in mm: 20, 120

Wärmedurchlasswiderstand unbeheizter Räume (z.B. Dachraum) R_u : m^2K/W

Wärmeübergangswiderstand außen R_{sa} : **0,1** m^2K/W

Flächenanteile: 86%, 14%

U-Wert: 1,261 $W/(m^2K)$

*) λ für Bereich 2 oder 3 nur eintragen, wenn abweichend von Bereich 1

Lfd.Nr.	Bauteil Kürzel	Bauteil-Bezeichnung
9	d1i	Dachfläche mit Innendämmung

Wärmeübergangswiderstand innen R_{si} : **0,1** m^2K/W

Bereich	Wärmeleitfähigkeit λ in $W/(mK)$		
	Bereich 1	Bereich 2*	Bereich 3*
1. Gipsmörtel	0,700		
2. Holzwolleleichtbauplatte	0,150		
3. Polystyrol-Hartschaum-Platte	0,035		
4. Holzwolleleichtbauplatte	0,150		
5. Polystyrol-Hartschaum-Platte	0,035		
6. Lehmputz auf Schilfrohrgeflecht	0,800		
7. Sparren	0,130	0,930	
8.			
9.			
10.			

Dicke d in mm: 20, 5, 55, 5, 55, 20, 120

Wärmedurchlasswiderstand unbeheizter Räume (z.B. Dachraum) R_u : m^2K/W

Wärmeübergangswiderstand außen R_{sa} : **0,1** m^2K/W

Flächenanteile: 20%, 80%

U-Wert: 0,272 $W/(m^2K)$

*) λ für Bereich 2 oder 3 nur eintragen, wenn abweichend von Bereich 1

Tab. 1 (Fortsetzung)

Lfd.Nr.	Bauteil Kürzel	Bauteil-Bezeichnung
10	og1u	Kehlbalkendecke ungedämmt

Wärmeübergangswiderstand innen R_{si} :			0,1	m^2K/W	Dicke d in mm	Wärmeleitfähigkeit λ in $W/(mK)$			
Bereich 1	Bereich 2*	Bereich 3*				Bereich 1	Bereich 2*	Bereich 3*	
1. Lehmputz auf Schilfrohrgeflecht					20	0,800			
2. Balken	Luftschicht				45	0,130	0,281		
3. Balken	Blindboden				15	0,130	0,130		
4. Balken	Lehmschlag				100	0,130	0,930		
5. Holzdielen					25	0,130			
6.									
7.									
8.									
9.									
10.									
Wärmedurchlasswiderstand unbeheizter Räume (z.B. Dachraum) R_{u} :			0,2	m^2K/W	Flächenanteile:		20%	80%	
Wärmeübergangswiderstand außen R_{sa} :			0,04	m^2K/W	U-Wert:		0,990		$W/(m^2K)$

*) λ für Bereich 2 oder 3 nur eintragen, wenn abweichend von Bereich 1

Lfd.Nr.	Bauteil Kürzel	Bauteil-Bezeichnung
11	og1d	Kehlbalkendecke gedämmt

Wärmeübergangswiderstand innen R_{si} :			0,1	m^2K/W	Dicke d in mm	Wärmeleitfähigkeit λ in $W/(mK)$			
Bereich 1	Bereich 2*	Bereich 3*				Bereich 1	Bereich 2*	Bereich 3*	
1. Lehmputz auf Schilfrohrgeflecht					20	0,800			
2. Balken	Luftschicht				45	0,130	0,281		
3. Balken	Blindboden				15	0,130	0,130		
4. Balken	Lehmschlag				100	0,130	0,930		
5. Holzdielen					25	0,130			
6. Mineralfaserplatten 2 x 100 mm WLG 035					200	0,035			
7.									
8.									
9.									
10.									
Wärmedurchlasswiderstand unbeheizter Räume (z.B. Dachraum) R_{u} :			0,2	m^2K/W	Flächenanteile:		20%	80%	
Wärmeübergangswiderstand außen R_{sa} :			0,04	m^2K/W	U-Wert:		0,148		$W/(m^2K)$

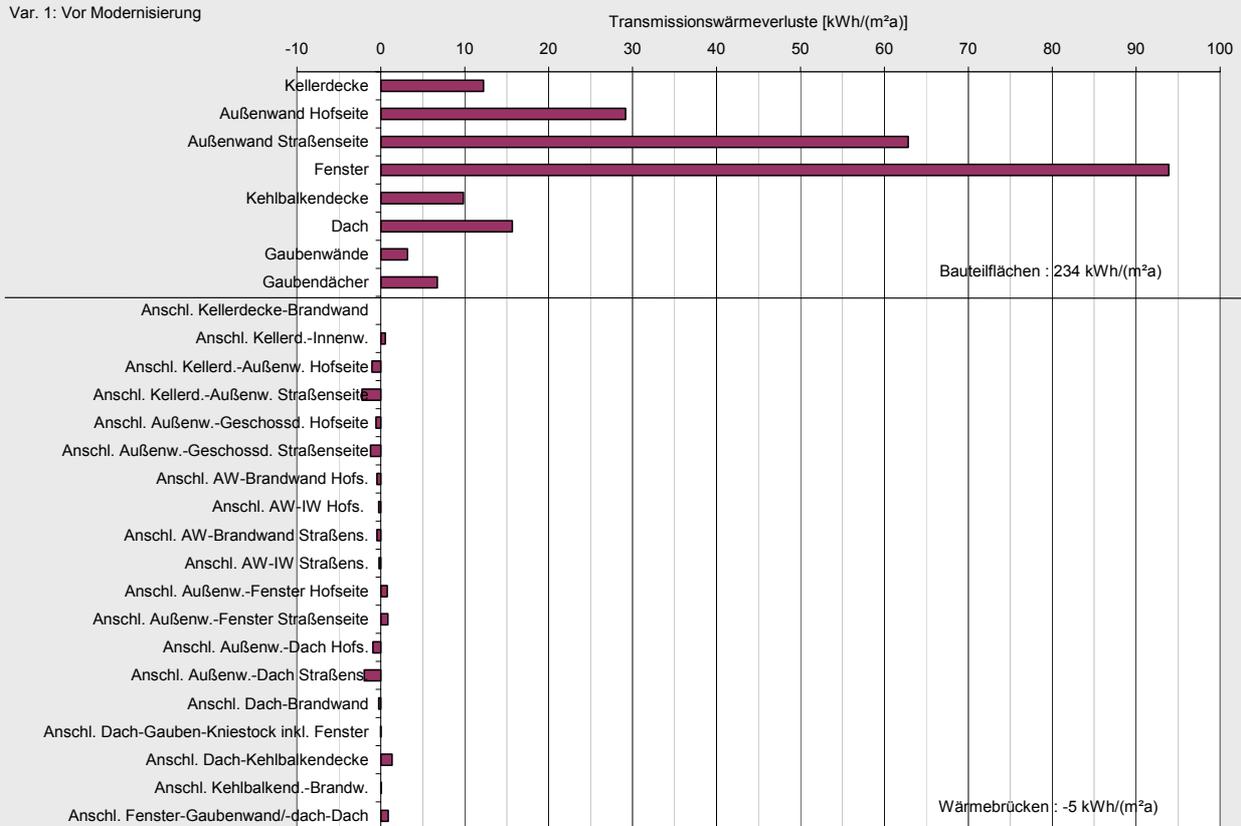
*) λ für Bereich 2 oder 3 nur eintragen, wenn abweichend von Bereich 1

Tab. 2: Zusammenfassung der Bauteilflächen und Wärmebrückenlängen sowie zugehörige Wärmedurchgangskoeffizienten der verschiedenen Varianten

Bauteil-Kürzel (s.o.)	Bezeichnung (freier Eintrag)	Ges.-fläche [m²]	Wärmeschutz-Varianten			
			1	2	3	4
			Vor Modernisierung	Innen-/Außen-Dämmung	Innen-Dämmung	Außen-Dämmung
U-Werte in W/(m²K)						
1. KD	Kellerdecke	185,3	0,949	0,444	0,444	0,444
2. AWH	Außenwand Hofseite	155,2	1,620	0,243	0,444	0,243
3. AWS	Außenwand Straßenseite	334,4	1,620	0,444	0,444	0,243
4. FE	Fenster	161,8	5,000	1,700	1,700	1,700
5. OG	Kehlbalkendecke	85,7	0,990	0,148	0,148	0,148
6. DA	Dach	106,9	1,261	0,272	0,272	0,272
7. AWG	Gaubenwände	13,0	2,117	0,467	0,467	0,467
8. DAG	Gaubendächer	27,3	2,117	0,467	0,467	0,467
9. Wärmebrücken						
10. WB-KD1	Anschl. Kellerdecke-Brandwand	15,9	0,005	0,230	0,230	0,230
11. WB-KD2	Anschl. Kellerd.-Innenw.	70,9	0,108	0,344	0,344	0,344
12. WB-KD3	Anschl. Kellerd.-Außenw. Hofseite	14,5	-0,638	0,037	-0,245	0,037
13. WB-KD4	Anschl. Kellerd.-Außenw. Straßenseite	30,3	-0,638	-0,245	-0,245	0,037
14. WB-AW1	Anschl. Außenw.-Geschossd. Hofseite	57,9	-0,087	0,012	0,107	0,012
15. WB-AW2	Anschl. Außenw.-Geschossd. Straßenseite	121,1	-0,087	0,107	0,107	0,012
16. WB-AW3	Anschl. AW-Brandwand Hof.	28,3	-0,139	-0,003	0,303	-0,003
17. WB-AW4	Anschl. AW-IW Hof.	70,7	-0,031	0,000	0,209	0,000
18. WB-AW5	Anschl. AW-Brandwand Straßens.	28,3	-0,139	0,303	0,303	-0,003
19. WB-AW6	Anschl. AW-IW Straßens.	84,8	-0,021	0,177	0,177	0,000
20. WB-FE1	Anschl. Außenw.-Fenster Hofseite	78,2	0,085	0,081	0,113	0,081
21. WB-FE2	Anschl. Außenw.-Fenster Straßenseite	84,5	0,085	0,113	0,113	0,081
22. WB-AW7	Anschl. Außenw.-Dach Hof.	14,5	-0,566	0,085	-0,078	0,085
23. WB-AW8	Anschl. Außenw.-Dach Straßens.	30,3	-0,566	-0,078	-0,078	0,085
24. WB-DA1	Anschl. Dach-Brandwand	11,6	-0,185	0,442	0,442	0,442
25. WB-DA2	Anschl. Dach-Gauben-Kniestock inkl. Fenster	14,3	-0,009	0,084	0,018	0,232
26. WB-DA3	Anschl. Dach-Kehlbalkendecke	45,3	0,256	0,195	0,195	0,195
27. WB-OG1	Anschl. Kehlbalkend.-Brandw.	15,0	0,030	0,294	0,294	0,294
28. WB-FE3	Anschl. Fenster-Gaubenwand/-dach-Dach	48,1	0,157	0,108	0,108	0,108

Hinweis: Die Berechnung der Wärmebrückenverlustkoeffizienten ist in Abschnitt 9 dokumentiert.
Für die Erstellung der oben stehenden Tabelle wurden die Werte z.T. zusammengefasst

Bild 22: Aufteilung der Transmissionswärmeverluste – Var. 1: vor Modernisierung

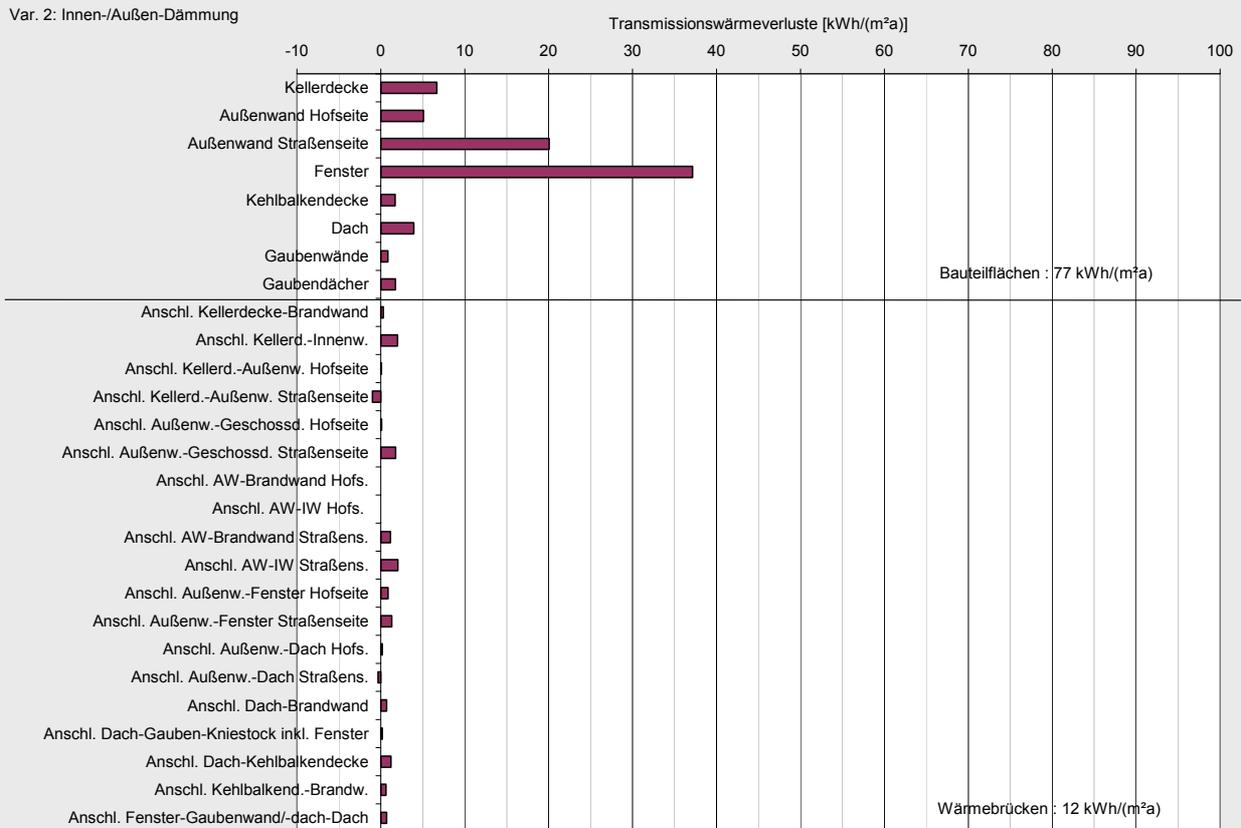


2.3 Jährliche Transmissionswärmeverluste

Die jährlichen Transmissionswärmeverluste liegen bei insgesamt 234 kWh pro m² Wohnfläche. Vor der Modernisierung entfiel der größte Teil auf die Außenwände und Fenster: je ca. 90 kWh/(m²a). Die anderen Flächen haben nur noch einen geringen Anteil. Ebenso die Wärmebrücken (zusammen -5 kWh/(m²a));

Nach der Modernisierung (Var. 2: Innen-/Außendämmung) weisen die Fenster mit 37 kWh/(m²a) die größten Verluste auf. Allerdings können auch nutzbare solare Gewinne von 23 kWh/(m²a) in der Heizperiode verbucht werden, so dass die effektiven Verluste nur bei 14 kWh/(m²a) liegen (siehe Energiebilanz-Berechnungen in Abschnitt 7). Die Wärmeverluste der Außenwand werden durch die Maßnahmen auf 25 kWh/(m²a) reduziert. Die einzelnen Wärmebrücken liefern jetzt auch z.T. deutliche Beiträge – in der Summe 12 kWh/(m²a) (zur Bedeutung der Wärmebrücken für die Energiebilanz siehe Abschnitt 2.8)

Bild 23: Aufteilung der Transmissionswärmeverluste – Var. 2: Innen-/Außendämmung



2.4 Anlagentechnik

Vor Modernisierung waren in dem Gebäude mit Kohle oder Öl betriebene Einzelöfen vorhanden. Der Aufwand für Brennstoffbeschaffung und Betrieb der Öfen und der mangelnde thermische Komfort entsprechen nicht mehr dem heute üblichen Standard. Obwohl die Heizkosten in ofenbeheizten Wohnungen in der Regel deutlich niedriger sind, werden Wohnungen ohne Zentralheizung auf dem Wohnungsmarkt kaum noch nachgefragt. Der Einbau von Zentralheizungen gehört daher heute zu den Standardmaßnahmen der Modernisierung und wird auch keiner Prüfung der Wirtschaftlichkeit unterzogen. Darüber hinaus kann durch Einbau von Zentralheizungen in der Regel – trotz verbesserter Brennstoffausnutzung – keine Energieeinsparung erzielt werden, da die mittleren Raumtemperaturen in den Wohnungen ansteigen.

Da die Zentralheizung – unabhängig vom Energiekonzept – also in jedem Fall eingebaut worden wäre, wird diese bei allen Varianten zu Grunde gelegt. Gleiches gilt für den Brennwertkessel: Dieser ist heute schon eine Standardmaßnahme beim Einbau von Gaszentralheizungen.

Für den Brennwertkessel wurde nach DIN V 4701-10 eine Erzeugeraufwandszahl für die Warmwasserbereitung von 1,12 und für die Heizung von 1,05 verwendet.

Die Leitungslängen der Heizwärme- und Warmwasserverteilung wurden aus den Installationsplänen (1:50) ermittelt, die Längenermittlung ist in Abschnitt 8 dokumentiert. Die Dämmung der Leitungen erfolgte nach den Vorgaben der zum Ausführungszeitpunkt geltenden Heizungsanlagenverordnung.

2.5 Randbedingungen der Berechnung

Die Berechnung des Energiebedarfs für Heizung und Warmwasser erfolgt möglichst nahe an der Realität. Die Randbedingungen nach Energieeinsparverordnung (EnEV) sind hierfür ungeeignet.

Als Randbedingungen werden die Nutzungsbedingungen nach [EPHW 1997] und [Toolbox 2001] verwendet. Darin wird von einer Tag-Raumsolltemperatur von 21°C sowie der Durchführung einer Nachtabsenkung ausgegangen. Für die hier vorliegende mittlere Wohnungsgröße liegt der nicht direkt beheizte Raumanteil gemäß [Toolbox 2001] bei 13%. Die mittlere Raumtemperatur liegt bei typischer Nutzung für den Urzustand bei 18,4, für den modernisierten Zustand bei 20,2°C (siehe Kopfblock in den Energiebilanzen in Abschnitt 7).

Die Klimadaten entsprechen dem langjährigen Mittel der Klimaregion 9 nach DIN V 4108-6 (Standort Geisenheim) für eine Heizgrenztemperatur von 15°C. Die tatsächliche Heizgrenztemperatur liegt für den Urzustand bei 17,3 °C, nach Modernisierung bei 15,4 °C.

Tab. 3: Überblick über den Energiebedarf und die Energieeinsparung

Variante		1	2	3	4
		Vor Modernisierung	Innen-/Außen- Dämmung	Innen-Dämmung	Außen- Dämmung
Heizwärmebedarf	kWh/(m²a)	219,4	94,7	101,1	84,3
<i>Reduktion im Vergleich zu Var. 1</i>			-57%	-54%	-62%
Endenergiebedarf (Erdgas)	kWh/(m²a)	264,9	133,9	140,6	123,0
<i>Reduktion im Vergleich zu Var. 1</i>			-49%	-47%	-54%
Primärenergiebedarf	kWh/(m²a)	301,5	154,7	162,1	142,5
<i>Reduktion im Vergleich zu Var. 1</i>			-49%	-46%	-53%

2.6 Ergebnisse: Einsparung von Heizwärme, End- und Primärenergie

Tab. 3 gibt einen Überblick über den Energiebedarf der Varianten und die Einsparung gegenüber dem Zustand vor Modernisierung. Die realisierten Maßnahmen (Var. 2) reduzieren den Heizwärmebedarf um 57% von 219 auf 95 kWh/(m²a) (Bezugsfläche: beheizte Wohnfläche). Insgesamt wird der Bedarf an Endenergie für Heizung und Warmwasser (Brennstoff Erdgas) etwa halbiert. Gleiches gilt für den Primärenergiebedarf.

Aufgrund des vergleichsweise geringen Fassadenanteils der mit Außendämmung realisierten Hofseite, wäre die Einsparung bei einer Komplett-Lösung mit Innendämmung nur 3% geringer ausgefallen. Wäre dagegen die Außendämmung für die gesamte Fassade realisiert worden, so läge die Einsparung bei 62% – also um 5% höher.

Tab. 4: Reduktion der Transmissionswärmeverluste nach Maßnahmen und Zuordnung der berechneten Endenergieeinsparung

	Transmissionswärmeverluste				zugeordnete Endenergieeinsparung	
	Var. 1	Var. 2	Differenz	relativ	insgesamt	gegenüber "Ohnehin"- Maßnahmen
	vor Moderni- sierung kWh/(m ² a)	Innen-/ Außen- Dämmung kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)			
Bauteile						
Kellerdecke*	12,8	8,9	3,8	3%	3,4	3,4
Außenwand Hofseite	29,2	5,1	24,1	16%	21,3	21,3
Außenwand Straßenseite*	61,0	25,0	36,0	24%	31,9	31,9
Fenster**	93,9	37,1	56,7	38%	50,3	7,6
Kehlbalkendecke	9,8	1,7	8,1	5%	7,2	7,2
Dach (inkl. Gauben)	25,5	6,5	19,1	13%	16,9	16,9
Summe	232,2	84,3	147,8	100%	131,0	88,3
Endenergiebedarf	264,9	133,9	131,0			

alle Energiekennwerte bezogen auf Wohnfläche

*) inkl. der zugehörigen Wärmebrücken

*) "Ohnehin-Maßnahme": Fenster-U-Wert $U_w = 2,2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
(entspricht gleichartigem Holzfenster mit energetisch schlechterer Verglasung: $U_g = 1,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$)

2.7 Aufteilung der Energieeinsparung auf die Maßnahmen

Die durch die Maßnahmen erzielte Energieeinsparung wird wie folgt ermittelt:

- Für jede Maßnahme werden die Transmissionswärmeverluste vor und nach Modernisierung bestimmt.
- Im Fall der Maßnahmen mit verbleibenden konstruktiven Wärmebrücken (Kellerdeckendämmung und Innendämmung) werden die zugehörigen Transmissionswärmeverluste durch die linearen Wärmebrücken hinzuaddiert (ohne Anschlüsse an Nachbarbauteile)
- Die so bestimmte Reduktion der Transmissionswärmeverluste jedes Bauteils wird auf die gesamte Reduktion bezogen (Prozentwerte in Tab. 4).
- Die erzielte Reduktion des Endenergiebedarfs wird entsprechend den Prozentwerten den Maßnahmen zugeordnet.
- Bei den Fenstern darf nicht die gesamte Energieeinsparung berücksichtigt werden, sondern nur der gegenüber der ohnehin erforderlichen Fenstererneuerung. Dabei wird der Einbau von gleichartigen Holzfenstern mit energetisch schlechteren Verglasungen ($U_g = 1,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$) angesetzt (vgl. Abschnitt 6: Wirtschaftlichkeit).

Die auf diese Weise bestimmte Einsparung von Endenergie (Erdgas) zeigt Tab. 4. Sie ist Grundlage für die Berechnung der Wirtschaftlichkeit in Abschnitt 3.2.

2.8 Auswirkung einer Vernachlässigung der Wärmebrücken auf den berechneten Energiebedarf

Tab. 5 zeigt, welche Bedeutung die Wärmebrücken für die Energiebilanz besitzen. Im Ist-Zustand liefert die Berücksichtigung der Wärmebrücken um 2% geringere Werte für den Heizwärmebedarf. Dieser bekannte Effekt beruht auf der Tatsache, dass die Berechnung ohne explizite Berücksichtigung von Wärmebrücken auf der Basis von Außenmaßen erfolgt. Damit werden die Wärmeverluste an den Gebäudekanten – zumindest solange keine bedeutsamen konstruktiven Wärmebrücken vorliegen – überschätzt. Werden die Wärmebrücken berechnet, so liegen sie in der Regel nahe Null oder sind negativ.

Dies ist für die gedämmten Konstruktionen nicht mehr der Fall: Liegen konstruktive Wärmebrücken vor, so machen sich die zusätzlichen Wärmeverluste in der Energiebilanz deutlich bemerkbar. Daher wurden sie auch in Abschnitt 4.2 in der Energiebilanz berücksichtigt.

Bei Vernachlässigung der Wärmebrücken läge der Heizwärmebedarf des modernisierten Gebäudes (Var. 2) um 10 kWh/(m²a) niedriger. Der Bedarf wäre also um 11% unterschätzt worden. Bezogen auf die gesamte thermische Hülle machen sich die Wärmebrücken in einer Erhöhung der Transmissionswärmeverluste von 0,08 W/(m²K) bemerkbar. Dieser Wert kann verglichen werden mit dem in der EnEV eingeführten Wärmebrückenzuschlag von 0,05 bzw. 0,1 W/(m²K).

In der Diskussion ist für die Bewertung innengedämmter Bestandsgebäude ein Pauschalzuschlag von 0,2 W/(m²K). Der für das komplett mit Innendämmung versehene Gebäude ermittelte Wärmebrückenzuschlag liegt allerdings nur bei 0,1 W/(m²K). Dabei muss allerdings beachtet werden, dass die Anschlüsse z.T. bereits wärmetechnisch „entschärft“ wurden (Flankendämmung bei einbindenden Innenwänden). Außerdem ist die Situation im Bereich der Holzbalkendecken deutlich günstiger als bei massiven Decken.

Mit 0,06 W/(m²K) deutlich geringer ist der Wärmebrückenzuschlag bei der kompletten Außenwanddämmung (Var. 4). Allerdings haben die Wärmebrücken immer noch einen Einfluss von 9% auf den Heizwärmebedarf.

In Anbetracht dieser Ergebnisse scheint es ratsam, bei der Bestandserneuerung in Zukunft auch verstärkt den Einfluss der Wärmebrücken zu beachten und gegebenenfalls durch optimierte Lösungen zu verringern.

Tab. 5: Auswirkung der Vernachlässigung der Wärmebrücken auf den Heizwärmebedarf

Variante		1	2	3	4
		Vor Modernisierung	Innen-/Außen- Dämmung	Innen-Dämmung	Außen- Dämmung
Heizwärmebedarf					
mit Berücksichtigung Wärmebrücken	kWh/(m²a)	219,4	94,7	101,1	84,3
ohne Berücksichtigung Wärmebrücken	kWh/(m²a)	223,5	84,7	88,3	76,7
<i>Auswirkung der Vernachlässigung der Wärmebrücken auf den Heizwärmebedarf</i>	<i>kWh/(m²a)</i>	<i>+4,2</i>	<i>-10,0</i>	<i>-12,7</i>	<i>-7,6</i>
<i>relativ</i>		<i>+2%</i>	<i>-11%</i>	<i>-13%</i>	<i>-9%</i>
Wärmebrückenzuschlag (bezogen auf die thermische Hülle)	W/(m²K)	-0,04	+0,08	+0,10	+0,06

3 Kosten und Wirtschaftlichkeit

3.1 Abgerechnete Kosten

Tab. 6 zeigt die abgerechneten Kosten für das Gesamtprojekt nach Gewerken. Mit 1424 € pro m² Wohnfläche liegen die Modernisierungskosten etwa auf einem Niveau von typischen Neubaukosten. Andererseits ist es gelungen, ein für das Straßenbild prägendes Gründerzeitgebäude an markanter Stelle zu erhalten. Für die Bewohner verbinden sich zeitgerechte Wohnungszuschnitte und Komfort mit dem für Altbauten typischen Flair, so dass die Sinnhaftigkeit des Gesamtprojekts wohl nicht in Frage gestellt werden kann. Nicht beurteilt werden kann von uns dagegen die betriebswirtschaftliche Rentabilität der Gesamtmaßnahme für das Wohnungsunternehmen. Hierzu müssten Aussagen über das Mietpreisniveau und die langfristige Vermietbarkeit mit einbezogen werden.

Der Fokus soll in diesem Projekt auf den Mehrkosten liegen, die durch die wärmetechnische Aufwertung des Gebäudes entstanden sind. Hierzu wurden für die wärmetechnisch relevanten Gewerke die abgerechneten Kosten im Detail ausgewertet (Tab. 7, Tab. 8 und Tab. 9). Die zu jeder Energiesparmaßnahme gehörigen Einzelpositionen wurden aufgelistet und zusammengefasst. Dabei wird unterschieden zwischen „bauteilbezogenen“ und „hüllflächenbezogenen“ Kosten. Als Bauteil wird hier die in der Abrechnung angegebene Fläche verstanden, als Hüllfläche die in der Energiebilanz angesetzte Fläche. Aufgrund von unterschiedlichen Bezugskanten und Messvorschriften (Übermessen von Fenstern) können sich beide Flächen z.T. erheblich unterscheiden. In

der Berechnung der Wirtschaftlichkeit im nächsten Abschnitt werden ausschließlich hüllflächenbezogene Werte verwendet.

Darüber hinaus wird in den Tabellen für jede Position bewertet, zu welchem Anteil sie tatsächlich durch die energetische Modernisierung bedingt ist. Die hüllflächenbezogenen Kosten werden somit in einen Anteil „energiebedingte Mehrkosten“ und einen Anteil „Instandhaltungskosten“ aufgeteilt. Nur die energiebedingten Mehrkosten gehen in die Berechnung der Wirtschaftlichkeit ein.

Tab. 6: Übersicht über die gesamten Kosten der Modernisierung

		Wohnfläche (WF): 645,60 m ² (Energiebilanz) = Bezugsfläche in dieser Tabelle 679,90 m ² (GWW)					
		Gesamtkosten		Gesamtkosten pro m ² WF	Baukosten pro m ² WF	Kostenanteil Gesamtprojekt	Kostenanteil Bauvorhaben
		[€]	[€]	[€]	[€]		
Gebäudeerwerb:	Grundstück:	44.175,62		68,43		3,25%	
	Gebäude:	388.377,31		601,58		28,54%	
	Steuern und Gebühren:	9.016,12		13,97		0,66%	
	Summe:		441.569,05		683,97	32,44%	
Baukosten:							
	Rohbau und Maurer	147.230,00		228,05		10,82%	16,01%
	Dachdecker, Zimmerer und Spengler	101.865,45		157,78		7,48%	11,08%
	Gerüst	10.918,96		16,91		0,80%	1,19%
	Innenputz und Trockenbau	160.687,14		248,90		11,81%	17,48%
	Fassade und Außenputz	53.848,97		83,41		3,96%	5,86%
	Brandschutz	5.836,09		9,04		0,43%	0,63%
	Entsorgung Bauschutt	7.155,73		11,08		0,53%	0,78%
	Fenster	68.649,21		106,33		5,04%	7,47%
	Schreiner	35.933,14		55,66		2,64%	3,91%
	Fliesen	21.856,07		33,85		1,61%	2,38%
	Fußboden und Estrich	43.368,00		67,17		3,19%	4,72%
	Sonstiges	8.394,33		13,00		0,62%	0,91%
	Sanitär	57.902,65		89,69		4,25%	6,30%
	Heizung	44.941,22		69,61		3,30%	4,89%
	Elektro	46.608,80		72,19		3,42%	5,07%
	Summe:		815.195,76		1.262,69	59,90%	88,66%
Baunebenkosten:							
	Baufaufnahme und Bauleitung	47.978,97		74,32		3,53%	5,22%
	Planung Heizung	8.819,28		13,66		0,65%	0,96%
	Planung Sanitär	5.638,40		8,73		0,41%	0,61%
	Statik	14.936,37		23,14		1,10%	1,62%
	Planung Elektro	5.787,09		8,96		0,43%	0,63%
	Bodengutachten	693,93		1,07		0,05%	0,08%
	Baugebühren und Versicherung	10.254,14		15,88		0,75%	1,12%
	Bauschild	1.243,85		1,93		0,09%	0,14%
	Sonstiges	4.135,84		6,41		0,30%	0,45%
	Summe:		99.487,86		154,10	7,31%	10,82%
Zusätzliche Kosten:							
	Umzugsentschädigung:	4.744,86		7,35		0,35%	0,52%
	Summe:		4.744,86		7,35	0,35%	0,52%
GESAMT:		1.360.997,53		2.108,11			
Kosten o. Gebäudeerwerb:			919.428,48		1.424,15		

Tab. 7: Auswertung der abgerechneten Kosten der Fassadensanierung Hofseite (Wärmedämmverbundsystem)

Positionstitel	nach LV			Bauteilbezogen (brutto)		Hüllflächenbezogen (brutto)		Wohnflächenbezogen (brutto)		Aufteilung der Kosten										
	Menge	Einheit	EP	EP	Menge	Einheit	Grundpreis	Menge	Einheit	Grundpreis	Menge	Einheit	Grundpreis	Gesamtkosten netto	Gesamtkosten brutto	Anteil an Gesamtkosten	energie-relevanter Anteil	Energiebedingte Kosten hüllflächenbezogen (brutto)	Instandhaltungskosten hüllflächenbezogen (brutto)	
	[DM/Einheit]	[€/Einheit]	[€/m² _{Bauteil}]	[€/m² _{Bauteil}]	[€/m² _{Bauteil}]	[€/m² _{Bauteil}]	[€/m² _{Bauteil}]	[€/m² _{Bauteil}]	[€/m² _{Bauteil}]	[€/m² _{Bauteil}]	[€]	[€]	[%]	[%]	[€/m²]	[€/m²]				
Demontage																				
Abschlagen Vorsprünge	32,3	m²	29,95	15,31	179,9	m²	3,19	155,2	m²	3,70	645,6	m²	0,89	495	574	82	100%	3,70	0,00	
Ausbau Lüfter	1,0	pausch	15,00	7,67	179,9	m²	0,05	155,2	m²	0,06	645,6	m²	0,01	8	9	1	0%	0,00	0,06	
Abbruch Fensterbänke	28,4	m	7,00	3,58	179,9	m²	0,66	155,2	m²	0,76	645,6	m²	0,18	102	118	17	100%	0,76	0,00	
SUMME:				3,90	4,52	1,09	605	701	100	4,46	0,06									
Einbau																				
Alu-Sockelschiene	16,0	m	16,45	8,41	179,9	m²	0,87	155,2	m²	1,01	645,6	m²	0,24	135	156	1	0%	0,00	1,01	
WDVS	179,9	m²	119,45	61,07	179,9	m²	70,86	155,2	m²	82,12	645,6	m²	19,74	10.987	12.745	56	100%	82,12	0,00	
Zulage Perimeterdämmung	19,0	m²	20,65	10,56	179,9	m²	1,29	155,2	m²	1,50	645,6	m²	0,36	200	232	1	100%	1,50	0,00	
Verklebung / Ausgleich von Unebenheiten	61,0	m²	12,65	6,47	179,9	m²	2,54	155,2	m²	2,95	645,6	m²	0,71	394	457	2	100%	2,95	0,00	
Abdichtband	128,5	m	4,05	2,07	179,9	m²	1,72	155,2	m²	1,99	645,6	m²	0,48	266	309	1	100%	1,99	0,00	
Dehnungsprofil	28,9	m	26,45	13,52	179,9	m²	2,52	155,2	m²	2,92	645,6	m²	0,70	391	453	2	100%	2,92	0,00	
Edelstahlgewebewinkel	188,3	m	7,95	4,06	179,9	m²	4,94	155,2	m²	5,72	645,6	m²	1,38	765	888	4	0%	0,00	5,72	
Fugenversiegelung	282,4	m	4,90	2,51	179,9	m²	4,56	155,2	m²	5,29	645,6	m²	1,27	707	821	4	100%	5,29	0,00	
Grundierung und Oberputz	179,9	m²	60,45	30,91	179,9	m²	35,85	155,2	m²	41,55	645,6	m²	9,99	5.559	6.448	28	0%	0,00	41,55	
Zulage Regenrohr	27,8	m	21,95	11,22	179,9	m²	2,01	155,2	m²	2,33	645,6	m²	0,56	312	362	2	100%	2,33	0,00	
SUMME:				127,16	147,37	35,43	19.717	22.872	100	99,09	48,28									
Gesamt				131,06	151,89	36,51	20.322	23.573	103,55	48,33										

Tab. 8: Auswertung der abgerechneten Kosten der Dämmung des Erdgeschoss-Fußbodens

Positionstitel	nach LV			Bauteilbezogen (brutto)		Hüllflächenbezogen (brutto)		Wohnflächenbezogen (brutto)		Aufteilung der Kosten										
	Menge	Einheit	EP	EP	Menge	Einheit	Grundpreis	Menge	Einheit	Grundpreis	Menge	Einheit	Grundpreis	Gesamtkosten netto	Gesamtkosten brutto	Anteil an Gesamtkosten	energie-relevanter Anteil	Energiebedingte Kosten hüllflächenbezogen (brutto)	Instandhaltungskosten hüllflächenbezogen (brutto)	
	[DM/Einheit]	[€/Einheit]	[€/m² _{Bauteil}]	[€/m² _{Bauteil}]	[€/m² _{Bauteil}]	[€/m² _{Bauteil}]	[€/m² _{Bauteil}]	[€/m² _{Bauteil}]	[€/m² _{Bauteil}]	[€/m² _{Bauteil}]	[€]	[€]	[%]	[%]	[€/m²]	[€/m²]				
Demontage (Maurer)																				
Abbruch Estrich	103,6	m²	65,00	33,23	137,5	m²	29,05	185,3	m²	21,55	645,6	m²	6,19	3.443	3.994	100	100%	21,55	0,00	
SUMME:				29,05	21,55	6,19	3.443	3.994	100	21,55	0,00									
Estrich EG neu																				
Estrich mit Dämmung	137,5	m	21,99		137,5	m²	25,51	185,3	m²	18,93	645,6	m²	5,43	3.024	3.508	58				
Dichtungsbahn	137,5	m²	7,06		137,5	m²	8,19	185,3	m²	6,08	645,6	m²	1,74	971	1.126	19	100%	6,08	0,00	
Leichtbetonestrich	106,5	m²	11,15		137,5	m²	10,02	185,3	m²	7,44	645,6	m²	2,13	1.188	1.378	23	0%	0,00	7,44	
SUMME:				43,72	32,44	9,31	5.183	6.012	100	6,08	7,44									
Gesamt				72,77	54,00	15,50	8.626	10.006	27,63	7,44										

Tab. 9: Auswertung der abgerechneten Kosten der Innendämmung der Fassade Straßenseite, und der Dachflächen sowie der Dämmung der Kehlbalkendecke

Positionstitel	nach LV		Bauteilbezogen (brutto)		Hüllflächenbezogen (brutto)		Wohnflächenbezogen (brutto)		Aufteilung der Kosten										
	Menge	Einheit	EP	Menge	Einheit	Grundpreis	Menge	Einheit	Grundpreis	Menge	Einheit	Grundpreis	Gesamtkosten netto	Gesamtkosten brutto	Anteil an Gesamtkosten	energie-relevanter Anteil	Energiebedingte Kosten hüllflächenbezogen (brutto)	Instandhaltungskosten hüllflächenbezogen (brutto)	
			[€/Einheit]			[€/m² _{Bauteil}]			[€/m² _{Bauteil}]			[€/m² _{Wohnfläche}]	[€]	[€]	[%]	[%]	[€/m²]	[€/m²]	
Innendämmung Außenwände																			
Innendämmung	340,2	m²	35,51	340,2	m²	41,20	334,4	m²	41,91	645,6	m²	21,71	12.082	14.015	88	100%	41,91	0,00	
Fläche nach LV (515,05-142,7-32,1)																			
Stundenlohnarbeiten (Anteilig)	340,2	m²	5,05	340,2	m²	5,86	334,4	m²	5,96	645,6	m²	3,09	1.718	1.993	12	100%	5,96	0,00	
SUMME:						47,06			47,87			24,80	13.800	16.008	100		47,87	0,00	
Innendämmung Gaubenflächen																			
Innendämmung	32,1	m²	35,51	32,1	m²	41,19	40,3	m²	32,81	645,6	m²	2,05	1.140	1.322	82	100%	32,81	0,00	
Zulage Gauben	32,1	m²	2,56	32,1	m²	2,97	40,3	m²	2,37	646,6	m²	0,15	82	95	6	100%	2,37	0,00	
Stundenlohnarbeiten (Anteilig)	32,1	m²	5,05	32,1	m²	5,86	40,3	m²	4,67	645,6	m²	0,29	162	188	12	100%	4,67	0,00	
SUMME:						50,02			39,84			2,49	1.384	1.606	100		39,84	0,00	
Innendämmung Dachflächen																			
Innendämmung	142,7	m²	35,51	142,7	m²	41,19	106,9	m²	54,99	645,6	m²	9,11	5.068	5.878	76	100%	54,99	0,00	
Zulage	142,7	m²	6,39	142,7	m²	7,41	106,9	m²	9,90	645,6	m²	1,64	912	1.058	14	100%	9,90	0,00	
Stundenlohnarbeiten (Anteilig)	142,7	m²	5,05	142,7	m²	5,86	106,9	m²	7,82	645,6	m²	1,29	721	836	11	100%	7,82	0,00	
SUMME:						54,47			72,71			12,04	6.700	7.772	100		72,71	0,00	
Dämmung Kehlbalkenlage																			
Dämmung	109,3	m²	16,69	109,3	m²	19,36	85,7	m²	24,69	645,6	m²	3,28	1.824	2.116	70	100%	24,69	0,00	
Dachschräge	9,5	m²	16,69	109,3	m²	1,69	85,7	m²	2,15	645,6	m²	0,29	159	184	6	100%	2,15	0,00	
Gerüst	1,0	pausch	86,92	109,3	m²	0,92	85,7	m²	1,18	645,6	m²	0,16	87	101	3	100%	1,18	0,00	
Stundenlohnarbeiten (Anteilig)	109,3	m²	5,05	109,3	m²	5,86	85,7	m²	7,47	645,6	m²	0,99	552	640	21	100%	7,47	0,00	
SUMME:						27,83			35,49			4,71	2.622	3.042	100		35,49	0,00	

3.2 Betriebswirtschaftliche Betrachtung

Zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen wurden Berechnungen mit der Kapitalwertmethode durchgeführt. Als Randbedingungen wurden die nominale Teuerungsrate allgemein mit 1% und für Energie mit 4% angesetzt, der Kalkulationszinsfuß beträgt 6% und der aktuelle Preis des Energieträgers Erdgas liegt bei 4 Ct/kWh. Als rechnerische Lebensdauer der Maßnahmen wurden generell 25 Jahre angesetzt – die tatsächliche Lebensdauer dürfte jedoch z.T. erheblich höher liegen. Förderungen oder sonstige Zuschüsse wurden bei den Berechnungen nicht berücksichtigt.

Als Ergebnis werden für jede der Maßnahmen die Kosten pro eingesparte kWh Erdgas ausgewiesen. Diese müssen jeweils mit den Kosten für den Energiebezug verglichen werden. Aus den oben genannten Ansätzen ergibt sich ein über den Betrachtungszeitraum gemittelter Erdgaspreis von 5,6 Ct/kWh. Liegen die Kosten der eingesparten kWh niedriger als die Energiebezugskosten, so ist die Maßnahme als wirtschaftlich anzusehen.

Mit 2,3 Ct/kWh schneiden die Fenster am besten ab. Die Ausgaben für die Verwendung von Ver-

glasung mit U_g -Wert 1,1 statt 1,8 $W/(m^2K)$ sind also ökonomisch sehr interessant. Betriebswirtschaftlich rentabel sind außerdem die Innendämmung und die Dämmung der Kehlbalkendecke (5,5 und 4,6 Ct/kWh). Eine vergleichsweise schlechtere Rentabilität weisen das Wärmedämmverbundsystem und die Dämmung der Dachflächen auf (8,2 und 10,7 Ct/kWh). Sehr ungünstig liegt die Dämmung des Erdgeschossfußbodens. Dies wird insbesondere verursacht durch die hohen Kosten für die Entfernung des bestehenden Fußbodenaufbaus.

Tab. 10: Berechnung der Wirtschaftlichkeit

Allgemeine Daten

Teuerungsrate allgemein (nominal)	p.a.	1,0%
Teuerungsrate Energie (nominal)	p.a.	4,0%
Kalkulationszins (nominal)	p.a.	6,0%
Energieträger		Erdgas
Energiepreis	Ct/kWh	4,0
Förderung Gesamtpaket	€	0
Betrachtungszeitraum	Jahre	25
Kalkulationszins real	p.a.	4,95%
Annuitätsfaktor (real)		7,06%
Realzins bei realen Energiepreissteigerungen	p.a.	1,89%
Barwert der Einsparung einer kWh	€/kWh	79
mittlerer Energiepreis	Ct/kWh	5,6
Teuerungsrate Energie real	p.a.	3%
Wohnfläche	m ²	645,6

Berechnung Maßnahmen

Bezeichnung Maßnahme

Investition

	Kellerdecke	Außen-dämmung Fassade (Hof-seite)	Innen-dämmung Außen-wand (Straßen-seite)	Fenster	Kehlbalkendecke	Dach (inkl. Gauben)	Gesamt
rechnerische Lebensdauer	25	25	25	25	25	25	25
Einheit	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	
Gesamtkosten pro Einheit	35	152	48	10	35	113	
Ohnehinkosten pro Einheit	7	48	0	0	0	0	
energiebedingte Mehrkosten pro Einheit	28	104	48	10	35	113	
Anzahl Einheiten	185	155	334	162	86	147	
energiebedingte Mehrkosten gesamt	5.120	16.071	16.008	1.618	3.042	16.567	58.427
investitionsbezogene jährl. Wartungskosten	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	
Förderung	0	0	0	0	0	0	0

Energieeinsparung

jährl. Energiebedarf ohne Maßnahme	kWh/(m ² a)	12,8	29,2	61,0	93,9	9,8	25,5	
jährl. Energiebedarf mit Maßnahme	kWh/(m ² a)	9,4	7,8	29,1	86,3	2,6	8,6	
jährl. Energieeinsparung absolut	kWh/a	3,4	21,3	31,9	7,6	7,2	16,9	88
jährl. Energiekosteneinsparung	€/a	2.196	13.772	20.579	4.918	4.649	10.911	57.024
		123	769	1.149	275	260	609	3.184

Wirtschaftlichkeit

Investition	€	5.120	16.071	16.008	1.618	3.042	16.567	58.427
Annuitätsfaktor (real)		0,071	0,071	0,071	0,071	0,071	0,071	0,071
Ersatzinvestitionsfaktor		1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
jährliche Kapitalkosten	€/a	361	1.135	1.130	114	215	1.170	4.125
Energiekosteneinsparung annuitätisch	€/a	123	769	1.149	275	260	609	3.184
Zusatzkosten annuitätisch	€/a	0	0	0	0	0	0	0
Förderung annuitätisch	€/a	0	0	0	0	0	0	0

Berechnungsergebnisse

Annuitätischer Gewinn (real)	€/a	-239	-366	19	160	45	-561	-941
Kosten der eingesparten Energie (real)	Ct/kWh	16,5	8,2	5,5	2,3	4,6	10,7	7,2

4 Feuchtemessung Holzbalkendecke

4.1 Innendämmung in Gebäuden mit Holzbalkendecke – ein Problem?

Die Auswirkungen einer Innendämmung auf den Feuchtehaushalt der Außenwand werden in Fachkreisen intensiv diskutiert. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass bei Auswahl einer angemessenen Konstruktion und fachgerechter Ausführung Feuchteprobleme im Allgemeinen ausgeschlossen werden können.

Besondere Fragen der Innendämmung stellen sich, wenn Holzbalkendecken in die Außenwand einbinden: Hier ist nicht nur der Umstand von Bedeutung, dass eine Unterbrechung der Dämmebenen stattfindet. Im Gegensatz zu massiven Decken und einbindenden Innenwänden ist hier ganz besonders zu beachten, dass Holz empfindlicher als andere Baumaterialien auf anfallende Feuchte reagiert. Besonders gefährdet sind die außen liegenden, in die Wand eingelassenen Balkenköpfe, deren ohnehin niedrige Temperatur im Winter durch eine Innendämmung noch weiter abgesenkt wird. Hinzu kommt, dass eine Holzbalkendecke im Allgemeinen keine luftdichte Konstruktion darstellt, so dass Feuchte nicht nur durch Diffusion, sondern auch durch Konvektion (Transport in einströmender warmer Raumluft) in die Konstruktion eindringen kann.

Aus der Bauschadensforschung ist bekannt, dass Konstruktionen vor allem dann problematisch sind, wenn entweder zu viel Schlagregen von außen eindringen kann (vor allem auf der Wetterseite) oder aber die Wandkonstruktion nicht luftdicht ist, so dass feuchte Innenluft durch die Holzbalkendecke und das Mauerwerk nach außen strömen kann (auf der windabgewandten Gebäudeseite). Auch ohne eine Innendämmung können in einer solchen Situation Bauschäden auftreten, die Innendämmung kann das Problem möglicherweise noch verschärfen [Lamers 1997].

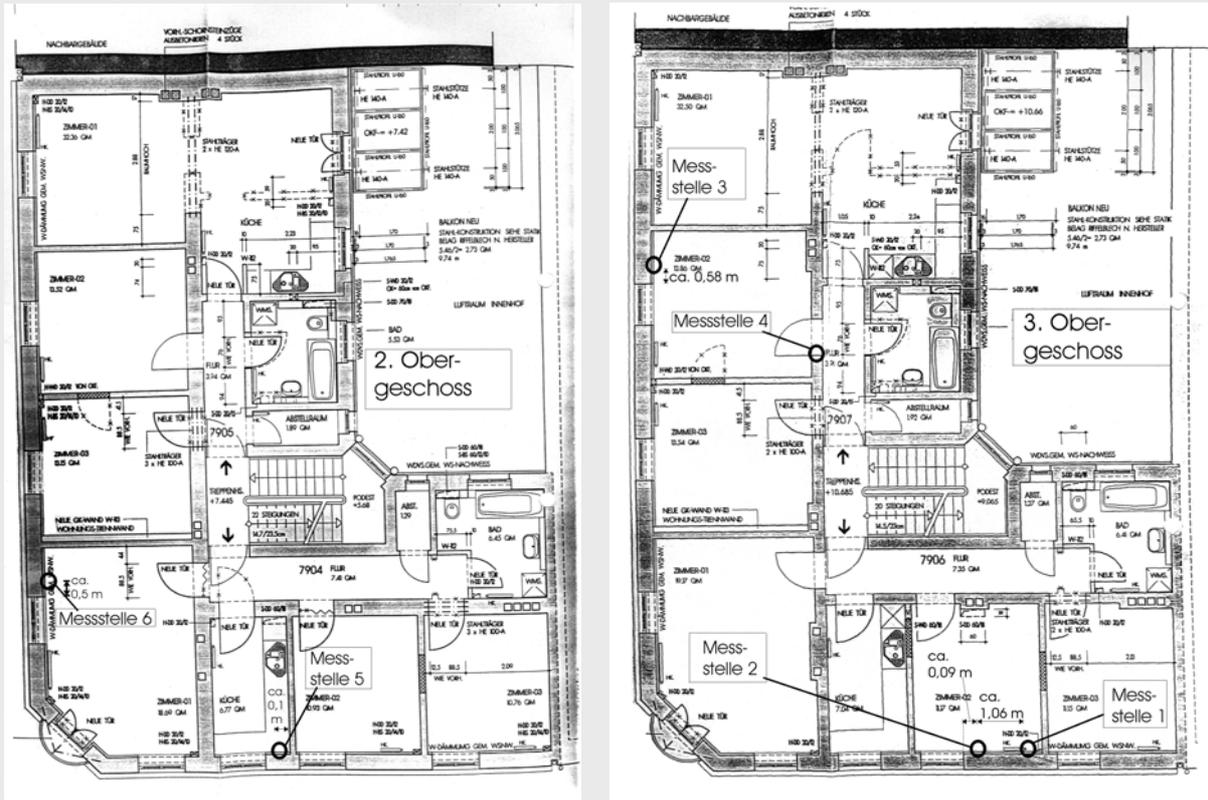
In der Lehrstraße 2 liegen in dieser Hinsicht aber günstige Voraussetzungen vor: Es handelt sich hier nicht um Sichtmauerwerk, sondern um verputztes Mauerwerk. Im Rahmen der Erneuerungsmaßnahmen hat eine Putzsanierung stattgefunden. Außerdem wurde auf den alten Holzdielen ein neuer Linoleumfußboden verlegt, so dass sich hier eine luftdichte Oberfläche ergibt. Aus diesen Gründen ist von einer im Prinzip günstigen, weitgehend luft- und regendichten Konstruktion auszugehen.

Eine exakte Vorhersage ist aber nicht möglich. Die bauphysikalischen Verhältnisse sind sehr komplex und lassen sich, insbesondere was die Konvektion betrifft, nicht mit ausreichender Sicherheit berechnen. In der Literatur sind bisher nur wenige Erfahrungen zum Thema „Innendämmung und Holzbalkendecke“ dokumentiert (dies betrifft theoretische Untersuchungen ebenso wie Erfahrungsberichte und Messungen). Zum Stand des Wissens wurden im Vorfeld dieses Projekts verschiedene Bauforscher und Baupraktiker befragt. Diese sehen im Allgemeinen noch Forschungsbedarf in dieser Frage. Aus diesen Gründen wurde beschlossen, im vorliegenden Fall ein Messprogramm durchzuführen.

4.2 Lage der Messstellen

Bild 24 zeigt Grundrisse der 2. und 3. Etage der Lehrstraße. Die gewählten Messstellen sind mit Ihrer ungefähren Lage eingezeichnet. An den insgesamt 6 Messpunkten wurden Sonden zur Feuchtemessung, an drei Punkten zusätzlich Sonden zur Temperaturmessung in der Nähe des Holzbalkenkopfes eingebaut. Tab. 11 zeigt eine Übersicht.

Bild 24: Lage der Messstellen für die Feuchtemessung



Tab. 11 Erläuterung der Messstellen

Messstelle Nr.	Etage	Wohnung	Zi.	Bemerkung
1	3.OG	7906	02	Dämmung im Balkenzwischenraum
2	3. OG	7906	02	Vergleichsmessung im selben Raum wie Nr. 1: vorhandene Konstruktion, d.h. keine Dämmung im Balkenzwischenraum
3	3. OG	7907	02	Wohnraum
4	3.OG	7907	02	Vergleichsmessung im selben Raum wie Nr. 3 im warmen Innenwandbereich
5	2. OG	7904	Kü.	Küche
6	2. OG	7904	01	Wohnraum

Bei den Messstellen 2-6 wurde die vorhandene Konstruktion (Lehmschüttung im Balkenzwischenraum) nicht verändert, Messpunkt 1 stellt dagegen einen Sonderfall dar: Hier wurde eine Dämmung der Balkenzwischenräume zum linken und rechten Nachbarbalken eingebracht. Im selben Raum wurde zum Vergleich eine weitere Messstelle in einem anderen Balken ohne zusätzliche Dämmung angebracht. Eine weitere Besonderheit stellt die Messstelle 4 dar, die sich im warmen Innenwandbereich befindet. Die hier durchgeführten Messungen sollen als Plausibilitätscheck für die Funktionsfähigkeit der Messtechnik dienen bzw. gegebenenfalls einen (nicht erwarteten) Anstieg der Feuchte im Innenbereich des Gebäudes identifizieren.

Im Treppenhaus befindet sich im 2. und 3. Obergeschoss jeweils eine Dose, in der die Messkabel der jeweiligen Etage zusammenlaufen und über Buchsen an ein tragbares Feuchtemessgerät angeschlossen werden können.

4.3 Installation der Messtechnik und der Dämmung im Balkenzwischenraum

Die Feuchteermittlung erfolgt durch Messen des elektrischen Widerstands zwischen 2 ca. 4 cm langen Edelstahlnägeln, welche im Abstand von ca. 3 cm in das Holz eingeschlagen wurden. Da die Messung vorne im in der Wand befindlichen Balkenkopf stattfinden sollte, wurden zunächst, ausgehend vom Eindringpunkt des Balkens in die Wand, zwei parallele 12 cm tiefe Löcher von oben schräg in den Balken zur Stirnseite des Balkens hin vorgebohrt. Um eine parallele Ausrichtung zu gewährleisten, wurde dabei der Bohrer in einer zu diesem Zweck gefertigten Schablone geführt. Die Edelstahlnägeln wurden jeweils mit Hilfe eines Rundholzes, welches knapp den Durchmesser des Bohrloches aufwies, im Balkeninneren in das Balkenholz eingeschlagen. Das Rundholz verblieb zum Verschließen des Bohrloches im Balken, das überstehende Ende wurde abgebeitelt. Das (zur Vermeidung von Beschädigungen beim Einschlagen) unterhalb des Kopfes des Edelstahlnagels verlötete Messkabel wurde in einer in den Nagelkopf und in das Rundholz eingefrästen Nut nach außen geführt. Dort wurde es zu einem späteren Zeitpunkt mit dem mehradrigen Messkabel verbunden, welches die jeweilige Messstelle mit den Dosen im Treppenhaus verbindet.



Bild 25: Ansicht eines Balkenkopfes

Es handelt sich hier um die Messstelle Nr. 1, in die später rechts und links des Balkens eine Wärmedämmung eingebracht wurde. Aus diesem Grund sind die Balkenzwischenräume rechts und links der Messstelle freigeräumt. Das Bild zeigt den Zustand vor der Anbringung der Innendämmung. Im Zwischenraum sind Reste der Schilfmatte, auf der der Deckenputz aufgebracht war, und der Wandverputz des darunter liegenden Raumes zu sehen.

Bild 26: Links: Anbringen der Bohrschablone am Übergang Balkenkopf/Wand

Diese enthält zwei Kanäle in 3 cm Abstand und im 45°-Winkel, in denen der Bohrer geführt wird.

Rechts: Weiterbohren der mit der Schablone vorgebohrten Löcher auf die richtige Tiefe (12 cm)

**Bild 27: Anordnung der Feuchtemessstellen im Balkenkopf**

Die angegebenen Maße sind als Näherungswerte zu verstehen.

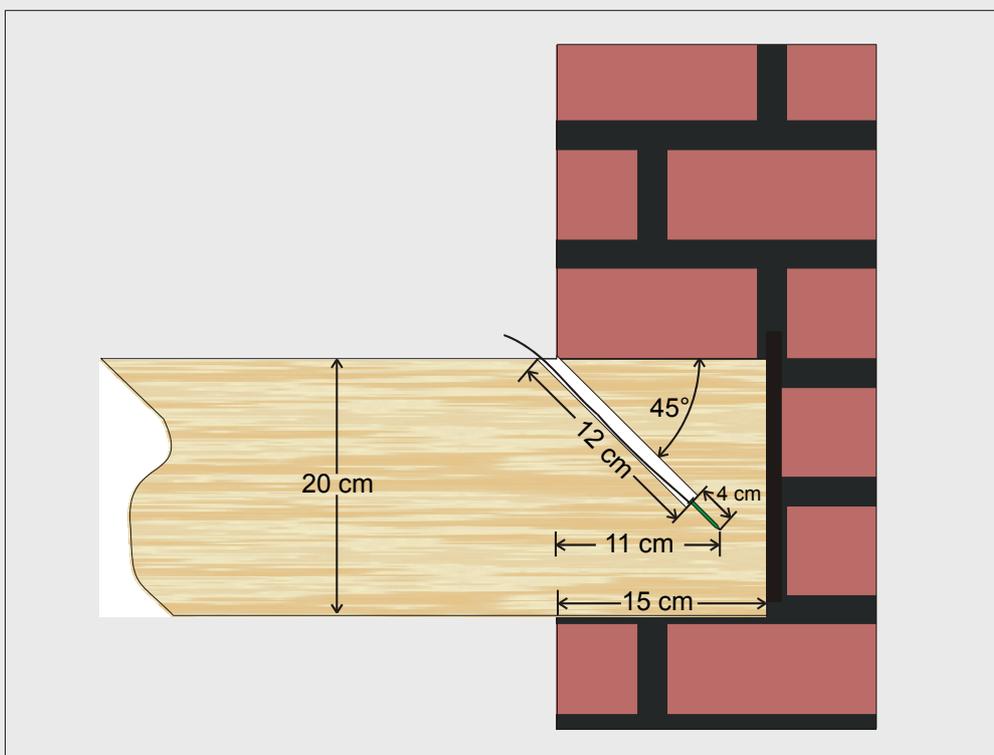


Bild 28: Gesamtansicht einer Messsonde: Edelstahl Nagel auf Rundholz, in der Nut verlegtes Messkabel

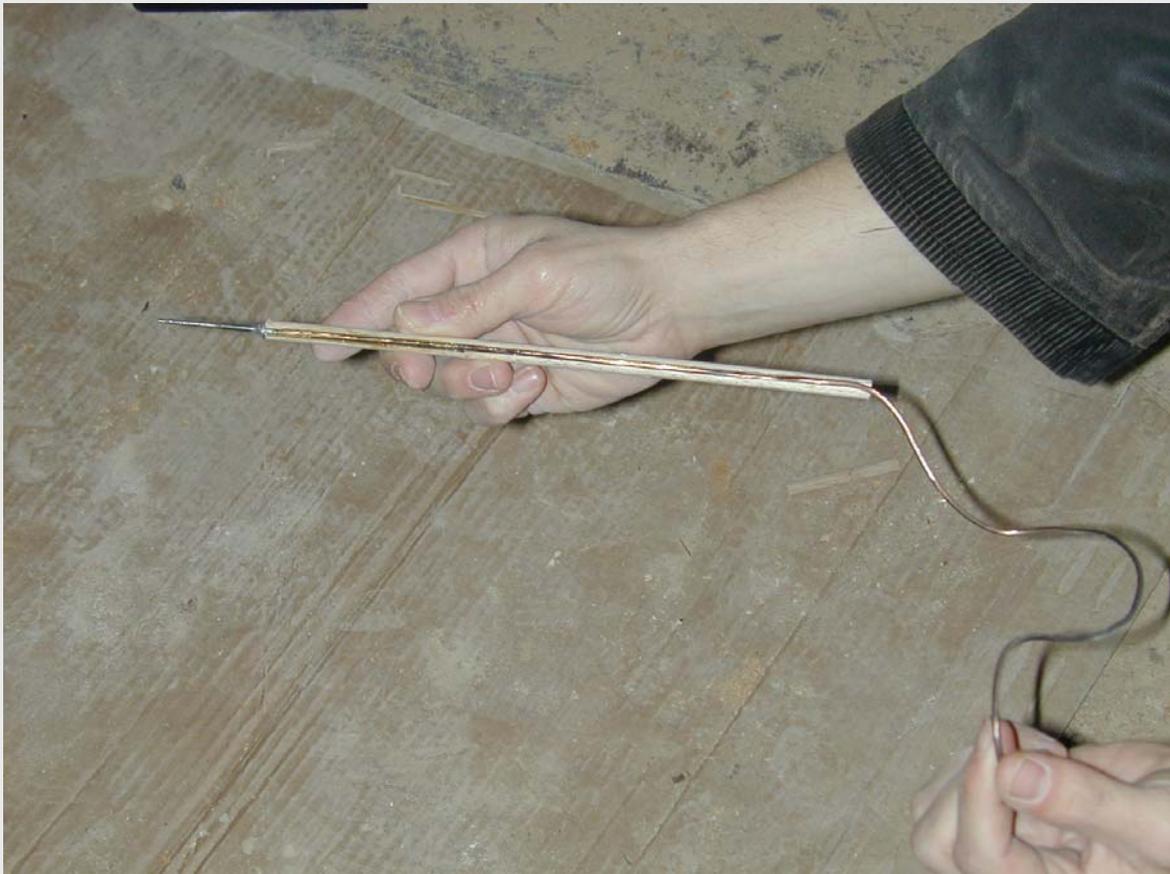


Bild 29: Einbringen der Messsonde in das linke Bohrloch



Bild 30: Fertig eingebrachtes Sondenpaar

Im linken Bild ist an der linken Sonde noch das überstehende Rundholz sichtbar, an der rechten wurde es bereits abgebeitelt. Im rechten Bild ist ein anderes Sondenpaar dargestellt, bei dem die Bohrlöcher schon fertig mit Silicon abgedichtet wurden. Anders als bei Messstelle 1 blieb das Füllmaterial der Holzbalkendecken bei den hier dargestellten (und allen weiteren) Messstellen vorhanden.

**Bild 31: Temperaturfühler**

ein PT 100-Widerstand in einem Aluminiumröhrchen mit 10 mm Durchmesser, welches auf beiden Seiten mit Heißkleber verschlossen wurde

An den Messstellen Nr. 1, 2 und 6 wurde neben das Sondenpaar zur Feuchtemessung noch eine Sonde zur Temperaturmessung eingebracht. Dies ist notwendig, da die Messung der Holzfeuchte temperaturabhängig ist. Der Effekt ist zwar gering, kann aber nicht vernachlässigt werden: 5 K Temperaturunterschied z.B. ergeben rund 1 % Änderung des gemessenen Holzfeuchtwertes, bezogen auf 100 % Holzfeuchte. Die Temperaturmessung muss nicht an jedem Balken durchgeführt werden, da davon auszugehen ist, dass sich bei gleichen Temperaturbedingungen innen und außen gleiche Temperaturen im Balkenkopf einstellen. Daher wird die Temperatur in jeder Etage einmal gemessen (Messstellen 2 und 6). Bei Messstelle 1 ist allerdings aufgrund der besonderen Konstruktion (Dämmung im Balkenzwischenraum) eine separate Messung notwendig.

Die Temperaturmessung erfolgt durch elektrische Widerstandsmessung an einem Pt100-Widerstand. Es wird eine Vier-Pol-Messung durchgeführt, d.h. zu den beiden Anschlüssen des Widerstandes laufen jeweils ein Kabel für die Strom- und ein Kabel für die Spannungsmessung. Der Widerstand wurde mit Heißkleber in einem schützenden ca. 5 cm langen Stahlröhrchen untergebracht.

Bild 32: Linkes Bild: Vorbereitung einer Temperatursonde zur Installation neben einem bereits fertigen Sondenpaar zur Feuchtemessung (Messstelle 2 bzw. 6)
 Rechtes Bild: Fertig installierte und abgedichtete Temperatursonde im Bohrloch (links) neben Sondenpaar zur Feuchtemessung (rechts) an Messstelle 1. Da die Installation der Messtechnik sich über mehrere Termine hinzog und an den Fortgang der Sanierungsmaßnahmen angepasst werden musste, wurden Schilder zur Information der Handwerker angebracht, die auf dem Photo ebenfalls erkennbar sind.



Zur Verbindung der Messstellen mit den Messdosen im Treppenhaus wurden mehradrige, abgeschirmte Kabel verwendet, die in Leerrohren in der Ausgleichsschüttung des neuen Fußbodens verlegt wurden. Die Abschirmung wurde geerdet.

Bild 33: mit dem Messkabel verlötetes Sondenpaar zur Feuchtemessung (Messstelle 5)
 Die beiden Kabel wurden später noch durch einen Schrumpfschlauch geschützt, welcher vorher über das Kabel gezogen wurde und hier links von der Lampe weiß sichtbar ist.



Bild 34: linkes Bild: in einem Lehrrohr auf dem alten Fußboden verlegtes Messkabel

Die Holzdielen, die zur Installation der Messstelle entfernt worden war, ist hier bereits erneuert worden. Die Innendämmung ist ebenfalls schon angebracht, die Aussparungen am Messkabel waren nicht vorgesehen, die fehlende Dämmung wurde hier später ergänzt.

rechtes Bild: die Kabel der Messstellen 5 und 6 laufen im Treppenhaus zusammen (2. Etage)

Bild 35 und Bild 36 zeigen die Installation der an Messstelle 1 ausgeführten Sonderkonstruktion, die von Architekt und Bauleiter nach Vorstellung und Diskussion unterschiedlicher Varianten ausgewählt worden war. In die Balkenzwischenräume links und rechts von der Messstelle wurde jeweils eine kleine Heratekta-Dämmplatte (Verbundplatte, Styropor mit Holwolleleichtbauplatten kassiert) eingebaut, so dass sich eine von oben nach unten durchgehende Wärmedämmung ergab. Oberhalb der kleinen Platte wurde aus schalltechnischen Gründen ein Zwischenraum von ca. 1 cm belassen und mit Mineralwolle ausgestopft. Die Fugen wurden mit Klebeband abgeklebt. Die Heratekta-Platten wurden später überputzt. Der Putz wurde dabei mit Hilfe von Armierungsgewebe auch über das Klebeband geführt, auf Höhe der waagerechten Fuge aber weggelassen. Der nach Ausführen der Arbeiten verbleibende Hohlraum in der Holzbalkendecke wurde mit Zement ausgegossen. Insgesamt war die Ausführung dieser Konstruktion sehr aufwändig.

Zu einem späteren Zeitpunkt wurden die beiden Messdosen im Treppenhaus installiert (Bild 37 und Bild 38).

**Bild 35: linkes Bild: Dämmung der Balkenzwischenräume links und rechts von Messstelle 1
rechtes Bild: Ansicht der Gesamtsituation nach Anbringung der Dämmplatten auf der Außenwand**

Der vordere Balken enthält die Messstelle, auch der Balkenzwischenraum zwischen hinterem Balken und Wand wurde in der beschriebenen Weise ausgeführt.



**Bild 36: linkes Bild: Zum Ausstopfen der waagerechten Fuge wurde die unterste Dämmplatte im Raum vorübergehend wieder entfernt.
rechtes Bild: Gesamtsituation nach Abkleben der Fugen und Anschlüsse.**



Bild 37: linkes Bild: Installation einer Messdose im Treppenhaus
Rechtes Bild: Messdose im 3. Obergeschoss mit zwei Temperatur- und vier Feuchtemessstellen; die Dose ist sonst durch eine Abdeckung verschlossen



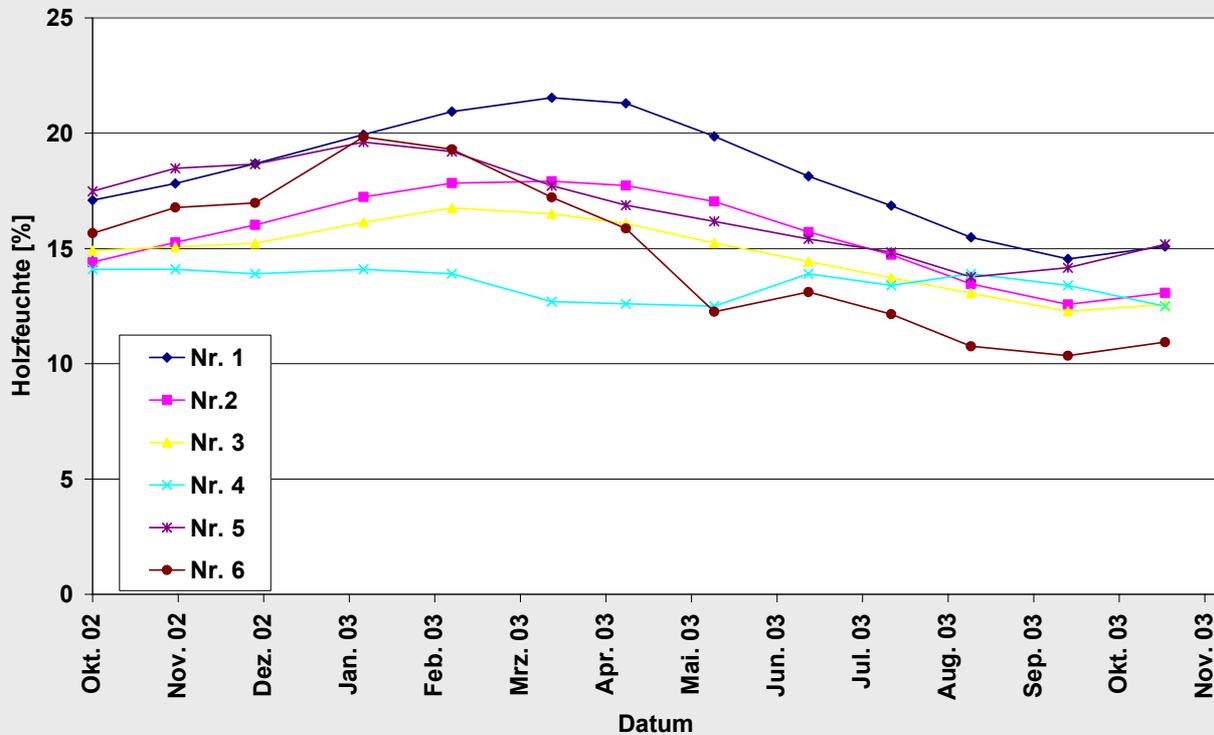
Bild 38: Probemessungen für Feuchte (links) und Temperatur (rechts)



4.4 Ergebnisse der Feuchtemessungen

Die Messungen werden monatlich durchgeführt. Die Ablesung erfolgt durch die Klimaschutz-Agentur Wiesbaden. In der folgenden Abbildung sind die Ergebnisse des ersten Messjahres dargestellt. Der Feuchtwert im Innenbereich (Messstelle Nr. 4) bleibt weitgehend konstant. Für die in den Außenwänden liegenden Balkenköpfe ist dagegen ein typischer Jahresverlauf mit einer stärkeren Schwankung zu erkennen: In der kalten Jahreszeit ist – aufgrund der bei niedrigen Temperaturen verminderten Austrocknung des aufgenommenen Schlagregenwassers und der teilweise stattfindenden Kondensation – ein Zuwachs der Holzfeuchte zu verzeichnen. Im Sommer findet dagegen Austrocknung statt und die Feuchte sinkt.

Bild 39: Messergebnisse des ersten Jahres für die sechs Feuchtemessstellen. Die Holzfeuchte gibt in Prozent den Massegehalt des enthaltenen Wassers bezogen auf trockenes Holz an.



Bemerkenswert ist, dass die Feuchtwerte nach einem Jahr im Oktober 2003 (letzter Messpunkt) generell um ca. 2% unterhalb der Ausgangswerte im Oktober 2002 liegen. Im Jahresmittel hat die Holzfeuchte also abgenommen. Der Fühler im Bereich mit Dämmung zwischen den Balken (Messstelle 1) misst um ca. 2% höhere Werte als der Fühler im Bereich ohne Dämmung (Messstelle 2). Dies hängt jedoch vermutlich nicht mit der Dämmung zusammen, da auch schon die ersten Testmessungen im Frühjahr 2002 vor Einbau der Innendämmung an dieser Stelle höhere Feuchtwerte ergaben.

Probleme könnten dann auftreten, wenn langfristig die Bauteilfeuchte immer mehr ansteigen und dauerhafte Werte von deutlich über 20 % annehmen würde (nach Aussagen von Fachwissenschaftlern liegt der problematische Feuchtebereich irgendwo zwischen 20 und 30 %). Der feuchte-technische Zustand der Konstruktion ist also im gegenwärtigen Zustand als völlig unproblematisch zu bewerten. Natürlich sollten auch weiterhin Messungen durchgeführt werden, um die langfristige Entwicklung der Holzfeuchte zu erfassen.

5 Zusammenfassung und Resümee

Das Haus Lehrstraße 2 in Wiesbaden ist ein typischer Vertreter eines Hauses aus der Gründerzeit. Die mit der Zeit notwendig gewordene durchgreifende Sanierung wurde genutzt, um das Gebäude auch energetisch zu verbessern.

Innendämmung

Eine besondere Herausforderung stellte die Dämmung der Straßenfassade dar. Aus Gründen des Denkmalschutzes sollte die mit Querlisenen, Fenstergewänden und Schmuckelementen ausgestattete Fassade erhalten werden. Daher kam nur eine Innendämmung in Frage. Diese wurde auf einem hochwertigen Niveau mit 5,5 cm Dämmung (WLG 035) ausgeführt. In der Fachöffentlichkeit wird die Innendämmung jedoch bisweilen kritisch beurteilt – insbesondere für Gebäude mit Holzbalkendecken, da die Balkenköpfe nach Durchführung der Innendämmung im kalten Mauerwerk liegen und sich damit ein höheres Risiko der Auffeuchtung ergibt. Ein solcher Effekt konnte für das vorliegende Projekt nicht bestätigt werden. In die Balkenköpfe eingebaute Messsonden belegen, dass sich die Feuchte nach Abschluss der Bauarbeiten in einem Bereich zwischen 20% und 15% bewegt. Das Gesamtniveau zeigt dabei eine kontinuierlich abnehmende Tendenz. Bei den vorliegenden Randbedingungen (intakte verputzte Fassade, Holzbalkendecken unterseitig verputzt und oberseitig vollflächig mit einem Bodenbelag versehen, verputzte Innendämmung ohne Steckdosen o.ä.) ist die Innendämmung auch aus Feuchtesicht offensichtlich unproblematisch.

Dämmung der Bauteile und Berücksichtigung der Wärmebrücken

Auch die anderen wärmetechnischen Maßnahmen erreichen ein hohes Niveau. Die Fassade auf der Hofseite weist keine Schmuckelemente auf, so dass eine Außendämmung in Form eines 12 cm starken Wärmedämmverbundsystems (WLG 035) ausgeführt werden konnte. Die neuen Holzfenster wurden in historischer Form mit Zwei-Scheiben-Wärmeschutzverglasung (Glas-U-Wert 1,1 W/(m²K)) realisiert. Die Kellerdecke wurde 6 cm dick von oben gedämmt. Bei den Dachflächen wurde 10 cm Dämmung (WLG 035) von innen angebracht, auf der Kehlbalkendecke wurden 20 cm (WLG 035) Dämmung verlegt.

Auch die Anschlüsse der einzelnen Bauteile untereinander wurden weitgehend wärmetechnisch optimiert, so dass sich die Wärmeverluste durch Wärmebrücken in Grenzen halten. Dennoch stellen sie einen deutlichen Beitrag zu den Energieverlusten dar und sollten daher grundsätzlich bei allen Modernisierungen berücksichtigt werden. Dabei ist sowohl eine explizite Berechnung als auch eine Verwendung von Wärmebrückenkatalog möglich und sinnvoll. Einerseits kann damit die Energieeinsparung (insbesondere bei Innendämmung und Dämmung der Kellerdecke) realistischer eingeschätzt werden. Andererseits bringt das systematische Vorgehen bei der Berücksichtigung von Wärmebrücken den Vorteil, dass mögliche Schwachstellen in der Planungsphase früher lokalisiert werden.

Energieeinsparung, Wirtschaftlichkeit und langfristige Vermietbarkeit

Mit den beschriebenen Maßnahmen wird eine Senkung des Heizwärmebedarfs um insgesamt 57% erreicht. Es können jährlich 57.000 kWh Erdgas eingespart werden. Die Heizkosten sinken um 3.200 € jährlich, das sind ca. 40 Ct pro m² Wohnfläche. Darüber hinaus wird eine deutliche Steigerung des thermischen Komforts erzielt.

In der betriebswirtschaftlichen Berechnung stellen sich die Maßnahmen recht unterschiedlich dar. Die Verwendung eines guten Glas-U-Wertes, die Innendämmung und die Dämmung der Kehlbal-kendecke sind betriebswirtschaftlich rentabel. Die Dach- und Außenwanddämmung stehen etwas schlechter da. Sehr ungünstig ist die Dämmung des Erdgeschossfußbodens. Die Ursache liegt in dem hohen Aufwand für die Entfernung des alten Fußbodenaufbaus. Andererseits macht sich gerade ein guter Wärmeschutz des Erdgeschossfußbodens für die Bewohner sehr positiv bemerkbar, da keine Fußkälte mehr auftritt. Sieht man die Maßnahmen als Gesamtheit, so liefern sie zwar keinen Gewinn – der größte Teil der Kosten wird jedoch über einen üblichen Finanzierungszeit-raum durch die Heizkosteneinsparung wieder eingebracht. Durch den drastisch reduzierten Ener-giebedarf sinkt jedoch das Risiko, dass das Gebäude einmal im Falle drastisch steigender Ener-giepreise nicht mehr beheizbar sein würde. Im Sinne einer Sicherung der langfristigen Vermietbar-keit – aber auch natürlich einer Minimierung der Umwelt- und Klimabelastung – besitzt das Wär-meschutz-Konzept somit Vorbildcharakter und kann auf andere Gründerzeit-Bauten übertragen werden.

Der Bauprozess

Die Kommunikation zwischen den verschiedenen Akteuren bei einem komplexen Sanierungsvor-haben ist nicht einfach. Dies gilt erfahrungsgemäß für alle größeren Bauprojekte mit vielen Betei-ligten mit jeweils unterschiedlichen Aufgaben und es zeigte sich gelegentlich auch hier, wo in das Zusammenspiel zwischen Bauleiter, Architekten und Handwerkern der verschiedenen Gewerke ab und zu noch das IWU als externer Begleiter einbezogen wurde.

Durch Missverständnisse, Terminverschiebungen, die Notwendigkeit aufgrund geänderter Bedin-gungen plötzlich neue Entscheidungen zu treffen und ähnlicher praktischer Probleme können übli-cherweise bei einem größeren Bauvorhaben und insbesondere bei einem Sanierungsvorhaben nicht alle beabsichtigten Ziele punktgenau erreicht werden. Auch im vorliegenden Fall hätte wahr-scheinlich einiges noch besser gemacht werden können: So war im Erdgeschossfußboden ur-sprünglich eine bessere Wärmedämmung angestrebt worden, Dämmstreifen unter den Fenster-bänken (bei der Innendämmung) wurden nicht installiert, der Anschluss des Linoleumfußbodens an die Innen- und Außenwände wurde nicht nach den Absprachen ausgeführt. Für die Zukunft stellt sich die Frage, inwieweit der komplizierte Bauprozess durch die Erarbeitung detaillierterer Leitfäden und Checklisten für energiesparende Erneuerungsmaßnahmen verbessert werden könn-te (Diese würden dann sehr umfangreich werden, ohne dass Lücken vollständig vermieden werden könnten).

Insgesamt lässt sich aber sagen, dass die Zusammenarbeit der Beteiligten beim Modernisierungsvorhaben Lehrstraße sehr gut war. Dies war nicht nur dem Bauleiter und dem Architekten, sondern auch den beteiligten Handwerkern zu verdanken. Nicht zuletzt bei der im Installation der Feuchte-Messtechnik ist das IWU von allen Beteiligten intensiv unterstützt worden.

6 Quellen

- [EPHW 1997] Loga, Tobias; Imkeller-Benjes, Ulrich: Energiepass Heizung / Warmwasser - Energetische Qualität von Baukörper und Heizungssystem; IWU, Darmstadt 1997
- [Lamers 1997] Lamers, R.: Erfahrungen aus der Bauschadensforschung, in: Forum Innendämmung, Tagungsdokumentation, herausgegeben von der Energieagentur NRW, Wuppertal, 1997
- [Toolbox 2001] Loga, Tobias; Born, Rolf; Großklos, Marc; Bially, Matthias: Energiebilanz-Toolbox. Arbeitshilfe und Ergänzungen zum Energiepass Heizung / Warmwasser; IWU Darmstadt, Dez. 2001

7 Anhang A: Dokumentation der Energiebilanzberechnungen

- Berechnung des Heizwärmebedarfs für die Varianten 1, 2, 3 und 4
- Berechnung des End- und Primärenergiebedarfs für die Variante 2

Blatt HW

Energiepass Heizung/Warmwasser
Jahresheizwärmebedarf
 Berechnung nach DIN V 4108-6 Heizperiodenbilanz / Randbedingungen nach "Leitfaden Energiebewusste Gebäudeplanung"

Projekt Wiesbaden Lehrstraße 2 Variante Nr. 1 Vor Modernisierung Standort PLZ/Ort Straße/Haus-Nr. Gebäudeart / Nutzung Einfamilienhaus	Anzahl Geschosse n_G 4,5 Anzahl Wohneinheiten n_{WE} 10 <input checked="" type="radio"/> beheizte Wohnfläche 645,6 m ² <input type="radio"/> beheizte Nettogrundfläche m ² Energiebezugsfläche A_{EB} 645,6 m ²
---	--

Klima Geisenheim (Region 8) Heizgrenztemperatur ϑ_{HG} 15 °C Länge der Heizperiode t_{HP} 289 d/a mittl. Außentemperatur ϑ_a 7,6 °C Nutzungsbedingungen Standard Raum-Solltemperatur $\vartheta_{i,Soll}$ 21,0 °C	Nachtabsenkung <input type="radio"/> keine <input checked="" type="radio"/> Nachtabsenkung <input type="radio"/> Nacht- u. Wochenendabs. Reduktionsfaktor f_{ze} 0,92 <input checked="" type="checkbox"/> Nutzungsfaktor effektive mittlere Raumtemp. in der Heizperiode $\vartheta_{i,eff}$ 18,4 °C	Teilbeheizung <input type="radio"/> keine <input checked="" type="radio"/> Standard n_{re} 13% <input type="radio"/> individuell n_{re} Reduktionsfaktor f_{re} 0,99 nicht direkt beheizter Raumanteil n_{re} Reduktionsfaktor f_{re} effektive mittlere Raumtemp. in der Heizperiode $\vartheta_{i,eff}$ 18,4 °C
--	---	--

Transmission

Bauteilbezeichnung	Fläche	U-Wert	Reduktions-		W/K	jährliche Energieströme, flächen- bezogen kWh/(m ² a)
			f _T	=		
1. KD Kellerdecke	185,3	x 0,95	x 0,6	=	105	12,2
2. AWH Außenwand Hofseite	155,2	x 1,62	x 1	=	251	29,2
3. AWS Außenwand Straßenseite	334,4	x 1,62	x 1	=	542	62,9
4. FE Fenster	161,8	x 5,00	x 1	=	809	93,9
5. OG Kehlbalkendecke	85,7	x 0,99	x 1	=	85	9,8
6. DA Dach	106,9	x 1,26	x 1	=	135	15,6
7. AWG Gaubenwände	13,0	x 2,12	x 1	=	28	3,2
8. DAG Gaubendächer	27,3	x 2,12	x 1	=	58	6,7
9.						
10. WB-KD1 Anchl. Kellerdecke-Brandwand	15,9	x 0,01	x 0,6	=	0	0,0
11. WB-KD2 Anchl. Kellerd.-Innenw.	70,9	x 0,11	x 0,6	=	5	0,5
12. WB-KD3 Anchl. Kellerd.-Außenw. Hofseite	14,5	x -0,64	x 1	=	-9	-1,1
13. WB-KD4 Anchl. Kellerd.-Außenw. Straßenseite	30,3	x -0,64	x 1	=	-19	-2,2
14. WB-AW1 Anchl. Außenw.-Geschossd. Hofseite	57,9	x -0,09	x 1	=	-5	-0,6
15. WB-AW2 Anchl. Außenw.-Geschossd. Straßenseite	121,1	x -0,09	x 1	=	-11	-1,2
16. WB-AW3 Anchl. AW-Brandwand Hof.	28,3	x -0,14	x 1	=	-4	-0,5
17. WB-AW4 Anchl. AW-IW Hof.	70,7	x -0,03	x 1	=	-2	-0,3
18. WB-AW5 Anchl. AW-Brandwand Straßens.	28,3	x -0,14	x 1	=	-4	-0,5
19. WB-AW6 Anchl. AW-IW Straßens.	84,8	x -0,02	x 1	=	-2	-0,2
20. WB-FE1 Anchl. Außenw.-Fenster Hofseite	78,2	x 0,09	x 1	=	7	0,8
21. WB-FE2 Anchl. Außenw.-Fenster Straßenseite	84,5	x 0,09	x 1	=	7	0,8
22. WB-AW7 Anchl. Außenw.-Dach Hof.	14,5	x -0,57	x 1	=	-8	-1,0
23. WB-AW8 Anchl. Außenw.-Dach Straßens.	30,3	x -0,57	x 1	=	-17	-2,0
24. WB-DA1 Anchl. Dach-Brandwand	11,6	x -0,18	x 1	=	-2	-0,2
25. WB-DA2 Anchl. Dach-Gauben-Kniestock inkl. Fens	14,3	x -0,01	x 1	=	0	0,0
26. WB-DA3 Anchl. Dach-Kehlbalkendecke	45,3	x 0,26	x 1	=	12	1,3
27. WB-OG1 Anchl. Kehlbalkend.-Brandw.	15,0	x 0,03	x 1	=	0	0,1
28. WB-FE3 Anchl. Fenster-Gaubenwand/-dach-Dach	48,1	x 0,16	x 1	=	8	0,9
29.						
30.						
Transmissionswärmeverlust H_T					Summe 1967	228,2

Lüftung

A_{EB} m ² lichte Raumhöhe m V_L m ³
Luftvolumen V_L 645,6 x 2,5 = 1614

$$\text{Lüftungswärmeverlust } H_V = n_{\text{aqui}} \times V_L \times C_{p,\text{Luft}} + H_{V,\text{LK}} = 329 \text{ W/K}$$

$n_{\text{aqui}} = 0,60 \text{ 1/h}$
 $V_L = 1614 \text{ m}^3$
 $C_{p,\text{Luft}} = 0,34 \text{ Wh/(m}^3\text{K)}$
 $H_{V,\text{LK}} = 329 \text{ W/K}$

38,2

Wärmeverlust Gesamt

$$\text{Gradtagszahlfaktor} = (\vartheta_i - \vartheta_e) \times t_{\text{HP}} \times 0,024 = 92,7 \text{ kWh/a}$$

$\vartheta_i = 21,0 \text{ }^\circ\text{C}$
 $\vartheta_e = 7,6 \text{ }^\circ\text{C}$
 $t_{\text{HP}} = 289 \text{ d/a}$

$$\text{Wärmeverlust } Q_L = (H_T + H_V) \times f_{\text{ze/re}} \times f_{\text{GT}} = 172009 \text{ kWh/a}$$

$H_T = 1967 \text{ W/K}$
 $H_V = 329 \text{ W/K}$
 $f_{\text{ze/re}} = 0,81$
 $f_{\text{GT}} = 92,7 \text{ kWh/a}$

266,4

Solare Wärmegewinne

Fenster	Ausrichtung	Reduktionsfaktor	g-Wert (senkr. Einstr.)	Fläche (m ²)	Globalstrahlung Heizperiode (Heizgrenze 15 °C)	
					kWh/(m ² a)	kWh/a
1. horizontal	H	0,359	x	x	697	=
2. Ost	O	0,359	x	x	427	=
3. Südost	SO	0,359	x 0,86	x 46,4	x 531	= 7613
4. Süd	S	0,359	x 0,86	x 9,1	x 572	= 1614
5. Südwest	SW	0,359	x 0,86	x 51,0	x 531	= 8360
6. West	W	0,359	x	x	x 427	=
7. Nordwest	NW	0,359	x 0,86	x 11,0	x 319	= 1082
8. Nord	N	0,359	x 0,86	x 10,8	x 276	= 920
9. Nordost	NO	0,359	x 0,86	x 33,5	x 319	= 3308
10. Ost 45° Neigung	O 45	0,359	x	x	x 614	=
11. Südost 45° Neigung	SO 45	0,359	x	x	x 742	=
12. Süd 45° Neigung	S 45	0,359	x	x	x 795	=
13. Südwest 45° Neigung	SW 45	0,359	x	x	x 742	=
14. West 45° Neigung	W 45	0,359	x	x	x 614	=
15. Nordwest 45° Neigung	NW 45	0,359	x	x	x 477	=
16. Nord 45° Neigung	N 45	0,359	x	x	x 415	=
17. Nordost 45° Neigung	NO 45	0,359	x	x	x 477	=
18.		0,359	x	x	x	=
19.		0,359	x	x	x	=
20.		0,359	x	x	x	=

11,8
2,5
13,0
1,7
1,4
5,1

$$\text{Wärmeangebot Solarstrahlung } Q_S = \text{Summe} = 22898 \text{ kWh/a}$$

35,5

innere Wärmequellen

$$\text{innere Wärmequellen } Q_i = q_i \times t_{\text{HP}} \times A_{\text{EB}} = 11196 \text{ kWh/a}$$

$q_i = 0,024 \text{ kh/d}$
 $A_{\text{EB}} = 645,6 \text{ m}^2$

17,3

nutzbare Wärmegewinne

$$\gamma = \frac{Q_S + Q_i}{Q_V} = 0,20 \quad \eta_G = \frac{1 - \gamma^a}{1 - \gamma^{a+1}} = 0,89$$

$\tau = 13 \text{ h}$
 $a = 1,25$

$$\text{nutzbare Wärmegewinne } Q_G = \eta_G \times (Q_S + Q_i) = 30393 \text{ kWh/a}$$

47,1

Heizwärmebedarf

$$\text{Heizwärmebedarf } Q_H = Q_L - Q_G = 141616 \text{ kWh/a}$$

219,4

Energiepass Heizung/Warmwasser
Jahresheizwärmebedarf
 Berechnung nach DIN V 4108-6 Heizperiodenbilanz / Randbedingungen nach "Leitfaden Energiebewusste Gebäudeplanung"

Projekt	Wiesbaden Lehrstraße 2		Anzahl Geschosse	n_G	4,5
Variante Nr.	2	Innen-/Außen-Dämmung	Anzahl Wohneinheiten	n_{WE}	10
Standort	PLZ/Ort		<input checked="" type="radio"/> beheizte Wohnfläche		645,6 m ²
	Straße/Haus-Nr.		<input type="radio"/> beheizte Nettogrundfläche		m ²
Gebäudeart / Nutzung	Einfamilienhaus		→ Energiebezugsfläche	A_{EB}	645,6 m ²

Klima	Geisenheim (Region 8)	
Heizgrenztemperatur	ϑ_{HG}	15 °C
Länge der Heizperiode	t_{HP}	289 d/a
mittl. Außentemperatur	ϑ_a	7,6 °C
Nutzungsbedingungen	Standard	
Raum-Solltemperatur	$\vartheta_{t,Soll}$	21,0 °C

Nachtabenkung	
<input type="radio"/> keine	
<input checked="" type="radio"/> Nachtabenkung	
<input type="radio"/> Nacht- u. Wochenendabs.	
Reduktionsfaktor	f_{ze} 0,94
<input checked="" type="checkbox"/> Nutzungsfaktor	
effektive mittlere Raumtemp. in der Heizperiode $\vartheta_{t,eff}$ 20,2 °C	

Teilbeheizung		nicht direkt beheizter Raumanteil
<input type="radio"/> keine		
<input checked="" type="radio"/> Standard	n_{re}	13%
<input type="radio"/> individuell	n_{re}	
Reduktionsfaktor	f_{re}	0,99
		1,01

Transmission

Bauteilbezeichnung	Fläche	U-Wert	Reduktionsfaktor f_T	W/K	jährliche Energieströme, flächenbezogen
	m ²	W/(m ² K)			kWh/(m ² a)
1. KD Kellerdecke	185,3	x 0,44	x 0,6	= 49	6,7
2. AWH Außenwand Hofseite	155,2	x 0,24	x 1	= 38	5,1
3. AWS Außenwand Straßenseite	334,4	x 0,44	x 1	= 149	20,1
4. FE Fenster	161,8	x 1,70	x 1	= 275	37,1
5. OG Kehlbalkendecke	85,7	x 0,15	x 1	= 13	1,7
6. DA Dach	106,9	x 0,27	x 1	= 29	3,9
7. AWG Gaubenwände	13,0	x 0,47	x 1	= 6	0,8
8. DAG Gaubendächer	27,3	x 0,47	x 1	= 13	1,7
9.					
10. WB-KD1 Anchl. Kellerdecke-Brandwand	15,9	x 0,23	x 0,6	= 2	0,3
11. WB-KD2 Anchl. Kellerd.-Innenw.	70,9	x 0,34	x 0,6	= 15	2,0
12. WB-KD3 Anchl. Kellerd.-Außenw. Hofseite	14,5	x 0,04	x 1	= 1	0,1
13. WB-KD4 Anchl. Kellerd.-Außenw. Straßenseite	30,3	x -0,25	x 1	= -7	-1,0
14. WB-AW1 Anchl. Außenw.-Geschossd. Hofseite	57,9	x 0,01	x 1	= 1	0,1
15. WB-AW2 Anchl. Außenw.-Geschossd. Straßenseite	121,1	x 0,11	x 1	= 13	1,8
16. WB-AW3 Anchl. AW-Brandwand Hof.	28,3	x 0,00	x 1	= 0	0,0
17. WB-AW4 Anchl. AW-IW Hof.	70,7	x 0,00	x 1	= 0	0,0
18. WB-AW5 Anchl. AW-Brandwand Straßens.	28,3	x 0,30	x 1	= 9	1,2
19. WB-AW6 Anchl. AW-IW Straßens.	84,8	x 0,18	x 1	= 15	2,0
20. WB-FE1 Anchl. Außenw.-Fenster Hofseite	78,2	x 0,08	x 1	= 6	0,9
21. WB-FE2 Anchl. Außenw.-Fenster Straßenseite	84,5	x 0,11	x 1	= 10	1,3
22. WB-AW7 Anchl. Außenw.-Dach Hof.	14,5	x 0,08	x 1	= 1	0,2
23. WB-AW8 Anchl. Außenw.-Dach Straßens.	30,3	x -0,08	x 1	= -2	-0,3
24. WB-DA1 Anchl. Dach-Brandwand	11,6	x 0,44	x 1	= 5	0,7
25. WB-DA2 Anchl. Dach-Gauben-Kniestock inkl. Fens	14,3	x 0,08	x 1	= 1	0,2
26. WB-DA3 Anchl. Dach-Kehlbalkendecke	45,3	x 0,19	x 1	= 9	1,2
27. WB-OG1 Anchl. Kehlbalkend.-Brandw.	15,0	x 0,29	x 1	= 4	0,6
28. WB-FE3 Anchl. Fenster-Gaubenwand/-dach-Dach	48,1	x 0,11	x 1	= 5	0,7
29.					
30.					

Transmissionswärmeverlust H_T Summe **658** 88,8

Lüftung

A_{EB} lichte Raumhöhe V_L

m² m m³

Luftvolumen V_L 645,6 x 2,5 = 1614

$$\text{Lüftungswärmeverlust } H_V = n_{\text{äqui}} \times V_L \times c_{p,\text{Luft}} + H_{V,\text{LK}} = 329 \text{ W/K} \quad 44,5$$

Wärmeverlust Gesamt

$$\text{Gradtagszahlfaktor} = (g_i - g_e) \times t_{\text{HP}} \times f_{\text{GT}} = 92,7 \text{ kWh/a}$$

$$\text{Wärmeverlust } Q_L = (H_T + H_V) \times f_{ze/re} \times f_{\text{GT}} = 86049 \text{ kWh/a} \quad 133,3$$

Solare Wärmegewinne

Fenster	Ausrichtung	Reduktionsfaktor	g-Wert (senkr. Einstr.)	Fläche m²	Globalstrahlung Heizperiode (Heizgrenze 15 °C)		kWh/a	
					kWh/(m²a)	kWh/a		
1. horizontal	H	0,359	x	x	x	697	=	
2. Ost	O	0,359	x	x	x	427	=	
3. Südost	SO	0,359	x	0,6	x	46,4	x	531 = 5312
4. Süd	S	0,359	x	0,6	x	9,1	x	572 = 1126
5. Südwest	SW	0,359	x	0,6	x	51,0	x	531 = 5833
6. West	W	0,359	x	x	x	x	x	427 =
7. Nordwest	NW	0,359	x	0,6	x	11,0	x	319 = 755
8. Nord	N	0,359	x	0,6	x	10,8	x	276 = 642
9. Nordost	NO	0,359	x	0,6	x	33,5	x	319 = 2308
10. Ost 45° Neigung	O 45	0,359	x	x	x	x	x	614 =
11. Südost 45° Neigung	SO 45	0,359	x	x	x	x	x	742 =
12. Süd 45° Neigung	S 45	0,359	x	x	x	x	x	795 =
13. Südwest 45° Neigung	SW 45	0,359	x	x	x	x	x	742 =
14. West 45° Neigung	W 45	0,359	x	x	x	x	x	614 =
15. Nordwest 45° Neigung	NW 45	0,359	x	x	x	x	x	477 =
16. Nord 45° Neigung	N 45	0,359	x	x	x	x	x	415 =
17. Nordost 45° Neigung	NO 45	0,359	x	x	x	x	x	477 =
18.		0,359	x	x	x	x	x	=
19.		0,359	x	x	x	x	x	=
20.		0,359	x	x	x	x	x	=

$$\text{Wärmeangebot Solarstrahlung } Q_S = \text{Summe} = 15975 \text{ kWh/a} \quad 24,7$$

innere Wärmequellen

$$\text{innere Wärmequellen } Q_i = q_i \times t_{\text{HP}} \times A_{\text{EB}} = 11196 \text{ kWh/a} \quad 17,3$$

nutzbare Wärmegewinne

$$\text{nutzbare Wärmegewinne } Q_G = \eta_G \times (Q_S + Q_i) = 24885 \text{ kWh/a} \quad 38,5$$

Heizwärmebedarf

$$\text{Heizwärmebedarf } Q_H = Q_L - Q_G = 61164 \text{ kWh/a} \quad 94,7$$

Energiepass Heizung/Warmwasser
Jahresheizwärmebedarf
 Berechnung nach DIN V 4108-6 Heizperiodenbilanz / Randbedingungen nach "Leitfaden Energiebewusste Gebäudeplanung"

Projekt	Wiesbaden Lehrstraße 2	
Variante Nr.	3	Innen-Dämmung
Standort	PLZ/Ort	
	Straße/Haus-Nr.	
Gebäudeart / Nutzung	Einfamilienhaus	

Anzahl Geschosse	n_G	4,5
Anzahl Wohneinheiten	n_{WE}	10
<input checked="" type="radio"/> beheizte Wohnfläche		645,6 m ²
<input type="radio"/> beheizte Nettogrundfläche		m ²
→ Energiebezugsfläche	A_{EB}	645,6 m ²

Klima	Geisenheim (Region 8)	
Heizgrenztemperatur	ϑ_{HG}	15 °C
Länge der Heizperiode	t_{HP}	289 d/a
mittl. Außentemperatur	ϑ_a	7,6 °C
Nutzungsbedingungen	Standard	
Raum-Solltemperatur	$\vartheta_{i,Soll}$	21,0 °C

Nachtabenkung	
<input type="radio"/> keine	
<input checked="" type="radio"/> Nachtabenkung	
<input type="radio"/> Nacht- u. Wochenendabs.	
Reduktionsfaktor	f_{ze} 0,94
<input checked="" type="checkbox"/> Nutzungsfaktor	

Teilbeheizung		nicht direkt beheizter Raumanteil
<input type="radio"/> keine		
<input checked="" type="radio"/> Standard	n_{re}	13%
<input type="radio"/> individuell	n_{re}	
Reduktionsfaktor	f_{re}	0,99
effektive mittlere Raumtemp. in der Heizperiode	$\vartheta_{i,eff}$	20,1 °C

Transmission

Bauteilbezeichnung	Fläche	U-Wert	Reduktions-		W/K	jährliche Energieströme, flächen-bezogen kWh/(m ² a)
			faktor f_T			
1. KD Kellerdecke	185,3	x 0,44	x 0,6	=	49	6,6
2. AWH Außenwand Hofseite	155,2	x 0,44	x 1	=	69	9,2
3. AWS Außenwand Straßenseite	334,4	x 0,44	x 1	=	149	19,9
4. FE Fenster	161,8	x 1,70	x 1	=	275	36,8
5. OG Kehlbalkendecke	85,7	x 0,15	x 1	=	13	1,7
6. DA Dach	106,9	x 0,27	x 1	=	29	3,9
7. AWG Gaubenwände	13,0	x 0,47	x 1	=	6	0,8
8. DAG Gaubendächer	27,3	x 0,47	x 1	=	13	1,7
9.						
10. WB-KD1 Anchl. Kellerdecke-Brandwand	15,9	x 0,23	x 0,6	=	2	0,3
11. WB-KD2 Anchl. Kellerd.-Innenw.	70,9	x 0,34	x 0,6	=	15	2,0
12. WB-KD3 Anchl. Kellerd.-Außenw. Hofseite	14,5	x -0,25	x 1	=	-4	-0,5
13. WB-KD4 Anchl. Kellerd.-Außenw. Straßenseite	30,3	x -0,25	x 1	=	-7	-1,0
14. WB-AW1 Anchl. Außenw.-Geschossd. Hofseite	57,9	x 0,11	x 1	=	6	0,8
15. WB-AW2 Anchl. Außenw.-Geschossd. Straßenseite	121,1	x 0,11	x 1	=	13	1,7
16. WB-AW3 Anchl. AW-Brandwand Hof.	28,3	x 0,30	x 1	=	9	1,1
17. WB-AW4 Anchl. AW-IW Hof.	70,7	x 0,21	x 1	=	15	2,0
18. WB-AW5 Anchl. AW-Brandwand Straßens.	28,3	x 0,30	x 1	=	9	1,1
19. WB-AW6 Anchl. AW-IW Straßens.	84,8	x 0,18	x 1	=	15	2,0
20. WB-FE1 Anchl. Außenw.-Fenster Hofseite	78,2	x 0,11	x 1	=	9	1,2
21. WB-FE2 Anchl. Außenw.-Fenster Straßenseite	84,5	x 0,11	x 1	=	10	1,3
22. WB-AW7 Anchl. Außenw.-Dach Hof.	14,5	x -0,08	x 1	=	-1	-0,2
23. WB-AW8 Anchl. Außenw.-Dach Straßens.	30,3	x -0,08	x 1	=	-2	-0,3
24. WB-DA1 Anchl. Dach-Brandwand	11,6	x 0,44	x 1	=	5	0,7
25. WB-DA2 Anchl. Dach-Gauben-Kniestock inkl. Fens	14,3	x 0,02	x 1	=	0	0,0
26. WB-DA3 Anchl. Dach-Kehlbalkendecke	45,3	x 0,19	x 1	=	9	1,2
27. WB-OG1 Anchl. Kehlbalkend.-Brandw.	15,0	x 0,29	x 1	=	4	0,6
28. WB-FE3 Anchl. Fenster-Gaubenwand/-dach-Dach	48,1	x 0,11	x 1	=	5	0,7
29.						
30.						
Transmissionswärmeverlust H_T			Summe		713	95,5

Lüftung

A_{EB}	lichte Raumhöhe	V_L
m ²	m	m ³
Luftvolumen V_L	645,6 x 2,5	= 1614

$$\text{Lüftungswärmeverlust } H_V = n_{\text{aqui}} \times V_L \times c_{p,\text{Luft}} + H_{V,\text{LK}} = 44,1$$

$n_{\text{aqui}} = 0,60 \text{ 1/h}$
 $V_L = 1614 \text{ m}^3$
 $c_{p,\text{Luft}} = 0,34 \text{ Wh/(m}^3\text{K)}$
 $H_{V,\text{LK}} = 329 \text{ W/K}$

Wärmeverlust Gesamt

$$\text{Gradtagszahlfaktor} = (g_i - g_e) \times t_{\text{HP}} \times f_{\text{GT}} = 92,7$$

$g_i = 21,0 \text{ }^\circ\text{C}$
 $g_e = 7,6 \text{ }^\circ\text{C}$
 $t_{\text{HP}} = 289 \text{ d/a}$
 $f_{\text{GT}} = 0,024 \text{ kh/d}$

$$\text{Wärmeverlust } Q_L = (H_T + H_V) \times f_{\text{ze/re}} \times f_{\text{GT}} + Q_L = 139,6$$

$H_T = 713 \text{ W/K}$
 $H_V = 329 \text{ W/K}$
 $f_{\text{ze/re}} = 0,93$
 $f_{\text{GT}} = 92,7 \text{ kWh/a}$

Solare Wärmegewinne

Fenster	Ausrichtung	Reduktionsfaktor	g-Wert (senkr. Einstr.)	Fläche m ²	Globalstrahlung Heizperiode (Heizgrenze 15 °C)		
					kWh/(m ² a)	kWh/a	
1. horizontal	H	0,359	x	x	697	=	
2. Ost	O	0,359	x	x	427	=	
3. Südost	SO	0,359	x	0,6	46,4	x	531 = 5312
4. Süd	S	0,359	x	0,6	9,1	x	572 = 1126
5. Südwest	SW	0,359	x	0,6	51,0	x	531 = 5833
6. West	W	0,359	x	x	x	x	427 =
7. Nordwest	NW	0,359	x	0,6	11,0	x	319 = 755
8. Nord	N	0,359	x	0,6	10,8	x	276 = 642
9. Nordost	NO	0,359	x	0,6	33,5	x	319 = 2308
10. Ost 45° Neigung	O 45	0,359	x	x	x	x	614 =
11. Südost 45° Neigung	SO 45	0,359	x	x	x	x	742 =
12. Süd 45° Neigung	S 45	0,359	x	x	x	x	795 =
13. Südwest 45° Neigung	SW 45	0,359	x	x	x	x	742 =
14. West 45° Neigung	W 45	0,359	x	x	x	x	614 =
15. Nordwest 45° Neigung	NW 45	0,359	x	x	x	x	477 =
16. Nord 45° Neigung	N 45	0,359	x	x	x	x	415 =
17. Nordost 45° Neigung	NO 45	0,359	x	x	x	x	477 =
18.		0,359	x	x	x	x	=
19.		0,359	x	x	x	x	=
20.		0,359	x	x	x	x	=

$$\text{Wärmeangebot Solarstrahlung } Q_S = \text{Summe} = 15975 = 24,7$$

innere Wärmequellen

$$\text{innere Wärmequellen } Q_I = q_i \times t_{\text{HP}} \times A_{\text{EB}} = 17,3$$

$q_i = 0,024 \text{ kh/d}$
 $t_{\text{HP}} = 289 \text{ d/a}$
 $A_{\text{EB}} = 645,6 \text{ m}^2$

nutzbare Wärmegewinne

$$\text{nutzbare Wärmegewinne } Q_G = \eta_G \times (Q_S + Q_I) = 38,5$$

$\tau = 28 \text{ h}$
 $a = 1,80$
 $\gamma = \frac{Q_S + Q_I}{Q_V} = 0,30$
 $\eta_G = \frac{1 - \gamma^a}{1 - \gamma} = 0,92$

Heizwärmebedarf

$$\text{Heizwärmebedarf } Q_H = Q_L - Q_G = 101,1$$

Energiepass Heizung/Warmwasser
Jahresheizwärmebedarf
 Berechnung nach DIN V 4108-6 Heizperiodenbilanz / Randbedingungen nach "Leitfaden Energiebewusste Gebäudeplanung"

Projekt	Wiesbaden Lehrstraße 2	
Variante Nr.	4	Außen-Dämmung
Standort	PLZ/Ort	
	Straße/Haus-Nr.	
Gebäudeart / Nutzung	Einfamilienhaus	

Anzahl Geschosse	n_G	4,5
Anzahl Wohneinheiten	n_{WE}	10
<input checked="" type="radio"/> beheizte Wohnfläche		645,6 m ²
<input type="radio"/> beheizte Nettogrundfläche		m ²
→ Energiebezugsfläche	A_{EB}	645,6 m ²

Klima	Geisenheim (Region 8)	
Heizgrenztemperatur	ϑ_{HG}	15 °C
Länge der Heizperiode	t_{HP}	289 d/a
mittl. Außentemperatur	ϑ_a	7,6 °C
Nutzungsbedingungen	Standard	
Raum-Solltemperatur	$\vartheta_{i,Soll}$	21,0 °C

Nachtabsenkung	
<input type="radio"/> keine	
<input checked="" type="radio"/> Nachtabsenkung	
<input type="radio"/> Nacht- u. Wochenendabs.	
Reduktionsfaktor	f_{ze} 0,94
<input checked="" type="checkbox"/> Nutzungsfaktor	

Teilbeheizung		nicht direkt beheizter Raumanteil
<input type="radio"/> keine		
<input checked="" type="radio"/> Standard	n_{re}	13%
<input type="radio"/> individuell	n_{re}	
Reduktionsfaktor	f_{re}	0,99
effektive mittlere Raumtemp. in der Heizperiode	$\vartheta_{i,eff}$	20,4 °C

Transmission

Bauteilbezeichnung	Fläche	U-Wert	Reduktions-		W/K	jährliche Energieströme, flächen-bezogen kWh/(m ² a)
			f _T			
1. KD Kellerdecke	185,3	x 0,44	x 0,6	=	49	6,8
2. AWH Außenwand Hofseite	155,2	x 0,24	x 1	=	38	5,2
3. AWS Außenwand Straßenseite	334,4	x 0,24	x 1	=	81	11,1
4. FE Fenster	161,8	x 1,70	x 1	=	275	37,7
5. OG Kehlbalkendecke	85,7	x 0,15	x 1	=	13	1,7
6. DA Dach	106,9	x 0,27	x 1	=	29	4,0
7. AWG Gaubenwände	13,0	x 0,47	x 1	=	6	0,8
8. DAG Gaubendächer	27,3	x 0,47	x 1	=	13	1,7
9.						
10. WB-KD1 Anchl. Kellerdecke-Brandwand	15,9	x 0,23	x 0,6	=	2	0,3
11. WB-KD2 Anchl. Kellerd.-Innenw.	70,9	x 0,34	x 0,6	=	15	2,0
12. WB-KD3 Anchl. Kellerd.-Außenw. Hofseite	14,5	x 0,04	x 1	=	1	0,1
13. WB-KD4 Anchl. Kellerd.-Außenw. Straßenseite	30,3	x 0,04	x 1	=	1	0,2
14. WB-AW1 Anchl. Außenw.-Geschossd. Hofseite	57,9	x 0,01	x 1	=	1	0,1
15. WB-AW2 Anchl. Außenw.-Geschossd. Straßenseite	121,1	x 0,01	x 1	=	1	0,2
16. WB-AW3 Anchl. AW-Brandwand Hof.	28,3	x 0,00	x 1	=	0	0,0
17. WB-AW4 Anchl. AW-IW Hof.	70,7	x 0,00	x 1	=	0	0,0
18. WB-AW5 Anchl. AW-Brandwand Straßens.	28,3	x 0,00	x 1	=	0	0,0
19. WB-AW6 Anchl. AW-IW Straßens.	84,8	x 0,00	x 1	=	0	0,0
20. WB-FE1 Anchl. Außenw.-Fenster Hofseite	78,2	x 0,08	x 1	=	6	0,9
21. WB-FE2 Anchl. Außenw.-Fenster Straßenseite	84,5	x 0,08	x 1	=	7	0,9
22. WB-AW7 Anchl. Außenw.-Dach Hof.	14,5	x 0,08	x 1	=	1	0,2
23. WB-AW8 Anchl. Außenw.-Dach Straßens.	30,3	x 0,08	x 1	=	3	0,4
24. WB-DA1 Anchl. Dach-Brandwand	11,6	x 0,44	x 1	=	5	0,7
25. WB-DA2 Anchl. Dach-Gauben-Kniestock inkl. Fens	14,3	x 0,23	x 1	=	3	0,5
26. WB-DA3 Anchl. Dach-Kehlbalkendecke	45,3	x 0,19	x 1	=	9	1,2
27. WB-OG1 Anchl. Kehlbalkend.-Brandw.	15,0	x 0,29	x 1	=	4	0,6
28. WB-FE3 Anchl. Fenster-Gaubenwand/-dach-Dach	48,1	x 0,11	x 1	=	5	0,7
29.						
30.						

Transmissionswärmeverlust H_T Summe **568** 77,8

Lüftung

A_{EB} lichte Raumhöhe V_L

m² m m³

Luftvolumen V_L **645,6** x **2,5** = **1614**

$$\text{Lüftungswärmeverlust } H_V = n_{\text{aqui}} \times V_L \times c_{p,\text{Luft}} + H_{V,\text{LK}} = 45,1$$

$n_{\text{aqui}} = 0,60 \text{ 1/h}$
 $V_L = 1614 \text{ m}^3$
 $c_{p,\text{Luft}} = 0,34 \text{ Wh/(m}^3\text{K)}$
 $H_{V,\text{LK}} = 329 \text{ W/K}$

Wärmeverlust Gesamt

$$\text{Gradtagszahlfaktor} = (g_i - g_e) \times t_{\text{HP}} \times f_{\text{GT}} = 92,7$$

$g_i = 21,0 \text{ }^\circ\text{C}$
 $g_e = 7,6 \text{ }^\circ\text{C}$
 $t_{\text{HP}} = 289 \text{ d/a}$
 $f_{\text{GT}} = 0,024 \text{ kh/d}$

$$\text{Wärmeverlust } Q_L = (H_T + H_V) \times f_{\text{ze/re}} \times f_{\text{GT}} = 122,9$$

$H_T = 568 \text{ W/K}$
 $H_V = 329 \text{ W/K}$
 $f_{\text{ze/re}} = 0,95$
 $f_{\text{GT}} = 92,7 \text{ kWh/a}$

Solare Wärmegewinne

Fenster	Ausrichtung	Reduktionsfaktor	g-Wert (senkr. Einstr.)	Fläche m ²	Globalstrahlung Heizperiode (Heizgrenze 15 °C)					
					kWh/(m ² a)	kWh/a				
1. horizontal	H	0,359	x		x	697	=			
2. Ost	O	0,359	x		x	427	=			
3. Südost	SO	0,359	x	0,6	x	46,4	x	531	=	5312
4. Süd	S	0,359	x	0,6	x	9,1	x	572	=	1126
5. Südwest	SW	0,359	x	0,6	x	51,0	x	531	=	5833
6. West	W	0,359	x		x		x	427	=	
7. Nordwest	NW	0,359	x	0,6	x	11,0	x	319	=	755
8. Nord	N	0,359	x	0,6	x	10,8	x	276	=	642
9. Nordost	NO	0,359	x	0,6	x	33,5	x	319	=	2308
10. Ost 45° Neigung	O 45	0,359	x		x		x	614	=	
11. Südost 45° Neigung	SO 45	0,359	x		x		x	742	=	
12. Süd 45° Neigung	S 45	0,359	x		x		x	795	=	
13. Südwest 45° Neigung	SW 45	0,359	x		x		x	742	=	
14. West 45° Neigung	W 45	0,359	x		x		x	614	=	
15. Nordwest 45° Neigung	NW 45	0,359	x		x		x	477	=	
16. Nord 45° Neigung	N 45	0,359	x		x		x	415	=	
17. Nordost 45° Neigung	NO 45	0,359	x		x		x	477	=	
18.		0,359	x		x		x		=	
19.		0,359	x		x		x		=	
20.		0,359	x		x		x		=	

$$\text{Wärmeangebot Solarstrahlung } Q_S = \text{Summe} = 15975 = 24,7$$

innere Wärmequellen

$$\text{innere Wärmequellen } Q_I = q_i \times t_{\text{HP}} \times A_{\text{EB}} = 17,3$$

$q_i = 0,024 \text{ kh/d}$
 $t_{\text{HP}} = 289 \text{ d/a}$
 $A_{\text{EB}} = 645,6 \text{ m}^2$

nutzbare Wärmegewinne

$$\text{nutzbare Wärmegewinne } Q_G = \eta_G \times (Q_S + Q_I) = 38,5$$

$\tau = 32 \text{ h}$
 $a = 1,96$
 $\gamma = \frac{Q_S + Q_I}{Q_V} = 0,34$
 $\eta_G = \frac{1 - \gamma^a}{1 - \gamma} = 0,92$

Heizwärmebedarf

$$\text{Heizwärmebedarf } Q_H = Q_L - Q_G = 84,3$$

Energiepass Heizung/Warmwasser
Wärmeverteilung und -speicherung
 Berechnung nach DIN V 4701-10 / Randbedingungen nach "Leitfaden Energiebewusste Gebäudeplanung"

Projekt: Wiesbaden Lehrstraße 2
 Wärmeschutzvariante Nr. **2** Innen-/Außen-Dämmung

Gebäudetyp/Nutzung **Einfamilienhaus**
 Energiebezugsfläche A_{EB} **646** m²
 Heizperiode Anlagentechnik $t_{HP/AT}$ **273** d/a

Warmwasserverteilung und -speicherung

Bezeichnung Strang

Rohrleitungslänge Warmwasserverteilung
 mittl. Wärmeverlustleistung pro m Rohrlänge
 Anteil der Verluste innerh. der therm. Hülle
 mittl. Wärmeverlustleistung Warmwasserverteilung

$L_{W,V}$ (Projekt)
 $q'_{L/W,V}$ (Toolbox Tab. 8)
 f_{iH} (Projekt)
 $Q_{W,V} = L_{W,V} \times q'_{L/W,V}$

Teilstränge			Gesamt
W1	W2	W3	
horizontale Verteilung	vertikale Steigstränge	Stichleitungen	
56,5	122,0	46,8	
6,0	6,0	2,4	
82%	100%	100%	Σ W1 bis W3
339	732	112	1183

davon innerhalb der therm. Hülle als Heizwärmebeitrag verfügbar

mittl. Wärmeverlustleistung Speicher

$Q_{W,S}$ (Tab. 2-11)

innerhalb therm. Hülle

mittl. Wärmeverlustleistung gesamt
 jährl. Betriebszeit zentrale WW-Bereitung
 jährl. Wärmeverl. WW-Verteilung u. -Speicherung
 zusätzl. Verluste (Nahwärmenetz, Speicher etc.)
 flächenbezogene Verluste

$Q_{W,V+S} = \Sigma Q_{W,V} + Q_{W,S}$
 t_W (Projekt)
 $Q_{W,V+S} = Q_{W,V+S} \times t_W \times 0,024$
 Berechnung auf separatem Blatt
 $q_{W,V+S} = (Q_{W,V+S} + Q_{W,zusätzlich}) / A_{EB}$

107	1290	1123
0	365	273
0	11298	7359
0		
17,5		

$q_{I/W}$ **11,4** kWh/(m²a)

Heizwärmeverteilung und -speicherung

Bezeichnung Strang

Rohrleitungslänge Heizwärmeverteilung
 mittl. Wärmeverlustleistung pro m Rohrlänge
 Anteil der Verluste innerh. der therm. Hülle
 mittl. Wärmeverlustleistung Heizwärmeverteilung

$L_{H,V}$ (Toolbox Tab. 6, 7)
 $q'_{L/H,V}$ (Toolbox Tab. 5)
 f_{iH} (Projekt)
 $Q_{H,V} = (1-f_{iH}) \times L_{H,V} \times q'_{L/H,V}$

Teilstränge			Gesamt
H1	H2	H3	
horizontale Verteilung	vertikale Steigstränge	Anbindeleitungen	
133,5	114,6	74,8	
6,3	6,3	27,0	
90%	100%	100%	Σ H1 bis H3
85	0	0	85

Wärmeverluste der Heizwärmeverteilung innerhalb der therm. Hülle zu 100% als Heizwärmebeitrag nutzbar (Standard bei heizlastabhängiger Netztemperatur)

jährl. Wärmeverl. Heizwärmeverteilung
 zusätzl. Verluste (Nahwärmenetz, Speicher etc.)
 flächenbezogene Verluste

$Q_{H,V} = Q_{H,V} \cdot t_{HP/AT} \cdot 0,024$
 Berechnung auf separatem Blatt
 $q_{H,V+S} = (Q_{H,V+S} + Q_{H,zusätzlich}) / A_{EB}$

557	0	0
0,9		

$q_{I/H}$ **0,0** kWh/(m²a)

zusätzliche Heizwärmegutschrift

Beitrag Anlagentechnik zu inneren Wärmequellen
 Standardwert

$q_{I/AT} = 0,024 \times 0,88 \times 289 = 6,1$

als Heizwärmebeitrag tatsächlich verfügbar

$q'_{I/AT} = q_{I/W} + q_{I/H}$ **11,4** kWh/(m²a)

zusätzliche Heizwärmegutschrift

$\Delta q_{HIG} = \eta_G \times (q'_{I/AT} - q_{I/AT})$ **4,8** kWh/(m²a)

Elektro-Hilfsgeräte (Heizung + Warmwasser)

Hilfsgerät (Heizungs-, Zirk.-Pumpe, Lüftung, gekopp. Stromerzeugung)

mittlere elektr. Leistung (Stromerzeugung negativ)
 jährliche Betriebszeit
Strombedarf

P_{el} Toolbox Abschn. 2.11
 $t_{Betrieb}$ Toolbox Abschn. 2.11
 $Q_{E,EH} = P_{el} \cdot t_{el} / 1000$

Geräte			Gesamt
E1	E2	E3	
Regelung	Brenner	Umwälzpumpe Heizung	
10	57	128	
8760	1678	6552	
88	95	836	

Hilfsgerät (Heizungs-, Zirk.-Pumpe, Lüftung, gekopp. Stromerzeugung)

mittlere elektr. Leistung (Stromerzeugung negativ)
 jährliche Betriebszeit
Strombedarf

P_{el} Toolbox Abschn. 2.11
 $t_{Betrieb}$ Toolbox Abschn. 2.11
 $Q_{E,EH} = P_{el} \cdot t_{el} / 1000$
 $Q_{E,EH} = Q_{E,EH} / A_{EB}$

Geräte			Gesamt
E4	E5	E6	
WW-Zirkulation	Speicherladekreis		
80	80		
8760	622		
701	50		

$Q_{E,EH}$ **2,7** kWh/(m²a)

Energiepass Heizung/Warmwasser

End- und Primärenergiebedarf

Berechnung nach DIN V 4701-10 / Randbedingungen nach "Leitfaden Energiebewusste Gebäudeplanung"

Projekt: Wiesbaden Lehrstraße 2 Gebäudetyp/Nutzung: Einfamilienhaus
 Variante: 2 Energiebezugsfläche: A_{EB} 646 m²

Energieträger

Primärenergie-Faktor (nicht-erneuerbare Energien) f_p (s. Tab.)
 CO₂-Emissionsfaktor (CO₂-Äquivalent) f_{CO_2} (s. Tab.)

Teilsysteme				
	E	T1	T2	T3
Hilfsenergie: Strom		Erdgas		
	2,7	1,1	0,0	2,7
	680	310	0	0

Warmwasser

Nutzenergiebedarf Warmwasser* (EFH: 13 / MFH: 17) q_W 17,0 kWh/(m²a)
 Bauart Wärmeerzeuger (Projekt)
 Anteil Deckung Wärmebedarf Warmwasser α_W (Proj./Tab. 2-16)
 Aufwandszahl Wärmeerzeuger $e_{W,E} = 1 / \eta_{a,W}$
 Aufwandszahl Wärmeverteilung/-speicherung $e_{W,V+S} = (q_{W,z} + q_{W,v}) / q_{W,z}$
Endenergie-Bedarf Warmwasser* $q_{E,W} = \alpha_W \times q_W \times e_{W,V+S} \times e_{W,E}$

	zentral	zentral	dezentral
Brennwertkessel	100%		
	1,12		
	2,03	-	-
	38,6	0,0	0,0

davon zentral: $q_{W,z}$ 17,0 kWh/(m²a)

Raumwärme

Heizwärmebedarf* q_H 94,7 (Blatt HW)
 abzügl. zusätzl. Heizwärmegutschrift $q_{H,eff} = q_H - \Delta q_{HW}$ 89,9
 Bauart Wärmeerzeuger (Projekt)
 Anteil Deckung Wärmebedarf Raumheizung α_H (Proj./Tab. 2-8)
 Aufwandszahl Wärmeerzeuger $e_{H,E} = 1 / \eta_{a,H}$
 Aufwandszahl Wärmeverteilung/-speicherung $e_{H,V+S} = (q_{H,z} + q_{H,v}) / q_{H,z}$
Endenergie-Bedarf Raumwärme* $q_{E,H} = \alpha_H \times q_H \times e_{H,V+S} \times e_{H,E}$

	zentral	dezentral	dezentral
Brennwertkessel	100%		
	1,05	0,00	1,00
	1,01	-	-
	95,3	0,0	0,0

davon zentral: $q_{H,z}$ 89,9 kWh/(m²a)

Endenergie

Endenergie-Bedarf Elektro-Hilfsgeräte* $q_{E,EH}$ 2,7
Endenergie-Bedarf Heizung + Warmwasser* $q_E = q_{E,H} + q_{E,W}$ 133,9
 davon Biomasse (insbes. Holz) $q_{E,BM}$ 0,0
 maximal als erneuerbar ansetzbar (Biomasse-Potenzial) $q_{p,BMP}$ 30,0
 im Primärenergiebedarf zu berücksichtigen $q_{E,P} = q_{E,BM} - q_{p,BMP}$ 0,0

2,7	133,9	0,0	0,0
-----	-------	-----	-----

Biomasse:
 $q_{E,BM}$ 0,0 kWh/(m²a)
 $q_{p,BMP}$ 30,0 kWh/(m²a)
 $q_{E,P}$ 0,0 kWh/(m²a)

CO₂ / Primärenergie

Emissionen CO₂-Äquivalent* $m_p = e \cdot X_{CO_2}$
 Gesamt* Σm_p 43,4
Primärenergie-Bedarf*(nicht-erneuerbare Energien) $q_P = q_E \cdot f_p$ 7,4

1,9	41,5	0,0	0,0
-----	------	-----	-----

$q_{P,BM}$ 0,0 kWh/(m²a)

Primärenergie-Bedarf Gesamt* $q_{P,Ges} = \Sigma q_P + \Sigma q_{P,BM}$ **154,7** kWh/(m²a)

Grenzwert	Zielwert
100	50
155%	309%

Anforderungen Niedrigenergiehaus
 Verhältnis zu Anforderungen Niedrigenergiehaus

Primärenergie-Aufwandszahl $e_P = q_{P,Ges} / (q_W + q_H)$ **1,385**

8 Anhang B: Ermittlung der Flächen und Rohrleitungslängen

Tab. 12: Flächenermittlung

Flächenermittlung

Kennung (beliebig)	Bezeichnung/Lage	Ausführung	zugeordnet		Abzugs- fläche = A	Breite [m]	Länge [m]	Höhe [m]	Anzahl (wenn <=>1)	Zusatz- fläche [m²] W/(m²K)	U-Wert	Fläche Brutto [m²]	Fläche Netto [m²]
			Bauteil- Kürzel (max.30)	transp. Fläche Orient. (s.u.)									
KD	Kellerdecke		KD			13,26	17,89			-3,0536		234,1	185,3
	Hoffläche = Abzug				A	4,75	10,36			-0,4186			48,8
AW NO	Nordost (Steingasse)		AWH				9,45	14,14				133,6	104,3
FE NO EG 1	Nordost (Steingasse) EG Standard		FE	NO	A	0,99		2,10	2				4,2
FE NO EG 3	Nordost (Steingasse) EG Balkon		FE	NO	A	1,23		2,90	1				3,6
FE NO EG 2	Nordost (Steingasse) EG WC		FE	NO	A	0,49		1,30	1				0,6
FE NO 1.-3.OG 1	Nordost (Steingasse) 1.-3.OG		FE	NO	A	0,99		1,90	6				11,3
FE NO 1.-3.OG 3	Nordost (Steingasse) 1.-3.OG Balkon		FE	NO	A	0,95		2,70	3				7,7
FE NO 1.-3.OG 2	Nordost (Steingasse) 1.-3.OG WC		FE	NO	A	0,49		1,30	3				1,9
AW N	Treppenhaus		AWH				1,20	14,14				17,0	6,2
FE N 1	Treppenhaus Tür + 2 Fenster		FE	N	A	1,20		2,00	3				7,2
FE N 2	Treppenhaus oberstes Fenster		FE	N	A	1,20		3,00	1				3,6
AW NW	Nordwest (Lehrstr.)		AWH				3,84	14,14				54,2	44,7
FE NW 1	Nordwest (Lehrstr.) Standard		FE	NW	A	0,90		2,00	4				7,2
FE NW 2	Nordwest (Lehrstr.) WC		FE	NW	A	0,45		1,30	4				2,3
AW SW	Südwest (Steingasse)		AWS				16,15	14,14				228,4	183,1
FE SW EG	Südwest (Steingasse) EG		FE	SW	A	8,66		2,09	1				18,1
FE SW 1.-2.OG	Südwest (Steingasse) 1.-2.OG		FE	SW	A	1,17		2,09	8				19,6
FE SW 3.OG	Südwest (Steingasse) 3.OG		FE	SW	A	1,04		1,82	4				7,6
AW S	Süd (Kreuzung)		AWS				2,60	14,14				36,8	29,1
FE S	Süd (Kreuzung)		FE	S	A	1,15		2,23	3				7,7
AW SO	Südost (Lehrstraße)		AWS				11,52	14,14				162,9	122,2
FE SO EG 1	Südost (Lehrstraße) Eingangstür		FE	SO	A	1,25		2,50	1				3,1
FE SO EG 2	Südost (Lehrstraße) Fenster		FE	SO	A	5,27		2,05	1				10,8
FE SO 1.-2.OG	Südost (Lehrstraße) 1.-2.OG		FE	SO	A	1,17		2,05	8				19,2
FE SO 3.OG	Südost (Lehrstraße) 3.OG		FE	SO	A	1,04		1,82	4				7,6
OG 1	Kehlbalkendecke Steingasse		OG			3,90	13,75						53,6
OG 2	Kehlbalkendecke Lehrstraße		OG			3,60	8,90						32,0
DA	Dachfläche		DA							136,2		136,2	106,9
-	Gaubenabzug		-		A	1,10	2,05		13				29,3
DA G	Gauben Dachfläche		DAG			1,40	1,50		13				27,3
AW G	Gauben Wangen		AWG			1,00	0,50		26				13,0
FE G NO	Gauben Fenster NO (Steingasse)		FE	NO		1,10	1,30		3				4,3
FE G NW	Gauben Fenster NW (Lehrstraße)		FE	NW		1,10	1,30		1				1,4
FE G SW	Gauben Fenster SW (Steingasse)		FE	SW		1,10	1,30		4				5,7
FE G S	Gauben Fenster S (Kreuzung)		FE	S		1,10	1,30		1				1,4
FE G SO	Gauben Fenster SO (Lehrstraße)		FE	SO		1,10	1,30		4				5,7
													0,0
													0,0
													0,0
													0,0
Wärmebrücken bzw. Bauteilanschlüsse / Längen in m													
KD-IW t	Anschl. Kellerd.-Innenw. trag. + 0,5xBrandwand		WB-KD1				25,86			18			43,9
KD-IW nt	Anschl. Kellerd.-Innenw. nicht tragend		WB-KD2				3,50		10				35,0
KD-AW Hof	Anschl. Kellerd.-Außenw. Hofseite		WB-KD3				14,48						14,5
KD-AW Str	Anschl. Kellerd.-Außenw. Straßenseite		WB-KD4				30,27						30,3
AW-GD Hof	Anschl. Außenw.-Geschossd. Hofseite		WB-AW1				14,48		4				57,9
AW-GD Str	Anschl. Außenw.-Geschossd. Straßenseite		WB-AW2				30,27		4				121,1
AW-IW Hof t	Anschl. AW-IW Hofseite trag. + 0,5xBrandw.		WB-AW3					14,14	3				42,4
AW-IW Hof nt	Anschl. AW-IW Hofs. nicht tragend		WB-AW4					14,14	3				42,4
AW-IW Str t	Anschl. AW-IW Straße trag. + 0,5xBrandw.		WB-AW5					14,14	2				28,3
AW-IW Str nt	Anschl. AW-IW Straße nicht tragend		WB-AW6					14,14	5				70,7
AW-FE Hof	Anschl. Außenw.-Fenster Hofseite		WB-FE1					78,16					78,2
AW-FE Str	Anschl. Außenw.-Fenster Straßenseite		WB-FE2					84,50					84,5
AW-DA Hof	Anschl. Außenw.-Dach Hof.		WB-AW7				14,48						14,5
AW-DA Str	Anschl. Außenw.-Dach Straßens.		WB-AW8				30,27						30,3
DA-BW	Anschl. Dach-Brandwand		WB-DA1				5,80		1				5,8
DA-G	Anschl. Dach-Gauben (inkl. Fensterbank)		WB-DA2				7,17		13				93,3
DA-OG	Anschl. Dach-Kehlbalkendecke		WB-DA3				45,30						45,3
OG-BW	Anschl. Kehlbalkend.-Brandw.		WB-OG1				7,50		1				7,5
FE-G	Anschl. Fenster-Gaubenwand/-dach		WB-FE3				2,40		13				31,2

Tab. 13.: Leitungslängen Verteilung Heizwärme und Warmwasser

	Heizung			Warmwasser inkl. Zirkulation		
	Plan 1:50 cm	Strang m	Rohr m	Plan 1:50 cm	Strang m	Rohr m
horizontale Stränge						
außerhalb therm. Hülle						
Kellergeschoss	3	1,5	3	3	1,5	3
	7	3,5	7	7	3,5	7
	3,5	1,75	3,5		0	0
Summe außerhalb therm. Hülle			13,5			10
innerhalb therm. Hülle						
Erdgeschoss	36,5	18,25	36,5	5,5	2,75	5,5
	15	7,5	15	14	7	14
	15	7,5	15	5,5	2,75	5,5
	14	7	14	1	0,5	1
	13,5	6,75	13,5	10,5	5,25	10,5
	26	13	26	4	2	4
		0	0	4	2	4
		0	0	2	1	2
Summe innerhalb therm. Hülle			120			46,5
vertikale Stränge						
außerhalb therm. Hülle						
Kellergeschoss		2	4	2	4	
			0		0	
Summe außerhalb therm. Hülle			4		4	
innerhalb therm. Hülle						
EG	Anzahl			EG		
1.OG-DG	1	4	8	1.OG-DG	4	8
	11	11	242	bis Zähler	39	78
			0		16	32
Summe innerhalb therm. Hülle			250			118
Anbinde- / Zapfleitungen						
EG hor.	Anzahl					
EG vert.	12	1	6	12	9,5	4,75
1.OG-3-OG	12	6	36	72	12	6
DG	33	1	16,5	33	54	27
	15	1	7,5	15	18	9
Summe Anbindeleitungen			132			46,75

9 Anhang C: Ermittlung der Wärmebrückenverlustkoeffizienten

Tab. 11 zeigt den Überblick über die berechneten Ψ -Werte und die folgenden Seiten die Ψ -Wert-Berechnung für die einzelnen Bauteile. Dabei ist auf jedem Blatt jeweils die Bezeichnung und das Kürzel des Bauteils, eine Angabe der Schnittebene (vertikal oder horizontal), sowie die Schnittzeichnung und die Isothermendarstellung dargestellt. Darunter befinden sich die Ψ -Werte für Innenmaßbezug, Außenmaßbezug nach der Modernisierung und dort, wo eine Angabe sinnvoll ist, Außenmaß auf den unsanierten Zustand bezogen. Der letzte Wert ist wichtig, wenn für das modernisierte Gebäude nicht alle Längen neu aufgenommen werden sollen. Neben den Ψ -Werten ist jeweils noch der U-Wert der beteiligten ungestörten Bauteile wiedergegeben.

Randbedingungen

Mittlere Außentemperatur	4,2 °C	
	Wärmestrom Oberflächentemperatur	
Innentemperatur	20 °C	20 °C
Außentemperatur	-10 °C	-5 °C
Temperaturverhältnis Keller	0,5	nach Hauser
Kellertemperatur	5 °C	10 °C

Tab. 14: Übersicht über die Werte der Wärmebrückenverlustkoeffizienten

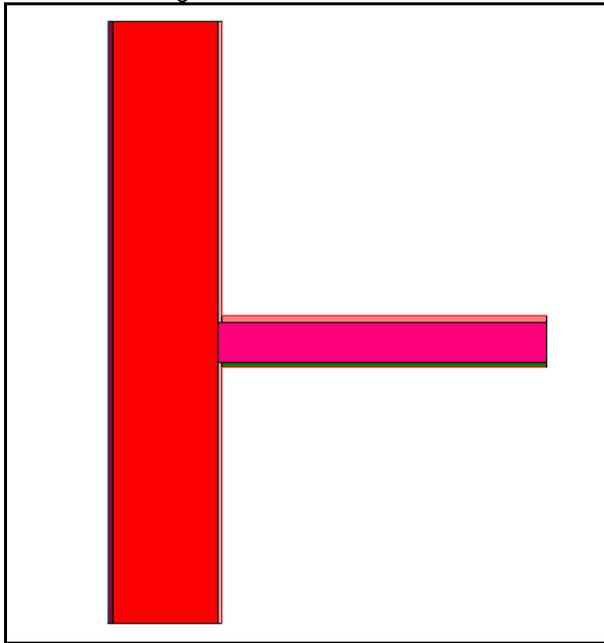
Bezeichnung der Variante	Beschreibung	Istzustand		Innendämmung		Außendämmung	
		$\Psi_{\text{Innenma}} [\text{W/mK}]$	$\Psi_{\text{Außenma}} [\text{W/mK}]$	$\Psi_{\text{Innenma}} [\text{W/mK}]$	$\Psi_{\text{Außenma}} [\text{W/mK}]$	$\Psi_{\text{Innenma}} [\text{W/mK}]$	$\Psi_{\text{Außenma}} [\text{W/mK}]$
<i>Keller</i>							
WB_KD1W51	Kellerdecke an Brandwand 51 cm	0,449	-0,045	0,488	0,238		
WB_KD1W25	Kellerdecke an Brandwand 25 cm	0,308	0,059	0,347	0,221		
WB_KD2W25	Kellerdecke mit einbind. Innenwand 25 cm	0,410	0,147	0,493	0,359		
WB_KD2W51	Kellerdecke mit einbind. Innenwand 51 cm	0,627	0,128	0,691	0,438		
WB_KD2W12	Kellerdecke mit einbind. Innenwand 12 cm	0,218	0,087	0,317	0,250		
WB_KD3	Kellerdecke an Außenwand	0,217	-0,638	0,074	-0,245	0,248	0,005
WB_KD3	Kellerdecke an Außenwand mit Perimeter	0,217	-0,638	0,073	-0,246	0,222	-0,021
<i>Außenwand</i>							
WB_AW1	Außenwand an Geschossdecke-Balkenebene	0,160	-0,179	0,180	0,064	0,060	-0,004
WB_AW1	Außenwand an Geschossdecke-Bimsschüttung	0,271	-0,068	0,233	0,116	0,063	-0,001
WB_AW3W19	Außenwand an Brandwand 19 cm	0,306	-0,033	0,324	0,232	0,050	0,000
WB_AW3W51	Außenwand an Brandwand 51 cm	0,625	-0,244	0,609	0,374	0,124	-0,006
WB_AW5W12	Außenwand an einbind. Innenwand 12 cm	0,235	-0,013	0,362	0,295		
WB_AW5W38	Außenwand an einbind. Innenwand 38 cm	0,620	-0,059	0,681	0,498		
WB_AW5W12_Schürze 25		0,235	-0,013	0,220	0,153		
WB_AW5W38_Schürze 25		0,620	-0,059	0,478	0,294		
WB_AW5W12_Schürze 50		0,235	-0,013	0,193	0,125		
WB_AW5W38_Schürze 50		0,620	-0,059	0,407	0,223		
<i>Fenster</i>							
FE1	Fenster (nicht unterteilt) in Außenwand	0,131	0,073	0,059	0,043	0,074	0,065
FE1_mit Stütze	Fenster (mit Stütze, 90 cm breit) in Außenwand	0,143	0,085	0,129	0,113	0,090	0,069
FE3	Fenster in Gaubenwand/Dach	-0,246	0,157	-0,092	0,108		
FE3		0,958	1,206	0,348	0,422		
<i>Dach</i>							
WB_AW7_Sparren	Dach an Kniestock (Sparrenebene)	-0,203	-0,232	0,001	-0,069	0,112	0,006
WB_AW7_Feld	Dach an Kniestock (Feldebene)	-0,003	-0,635	0,012	-0,080	0,168	0,034
WB_DA1W19	Dach an Brandwand 19 cm	0,417	-0,028	0,378	0,323		
WB_DA1W51	Dach an Brandwand 51 cm	0,798	-0,341	0,702	0,561		
WB_DA2	Dach an Gaube inkl. Fenster	-0,009	-0,009	0,018	0,018	0,232	0,232
WB_DA3_Sparren	Dach an Kehlbalkendecke (Sparrenebene)	0,051	-0,074	0,111	0,046		
WB_DA3_Feld	Dach an Kehlbalkendecke (Feldebene)	0,668	0,323	0,304	0,225		
WB_OG1_19	Kehlbalkendecke an Brandwand (19 cm)	0,297	0,095	0,256	0,226		
WB_OG1_51	Kehlbalkendecke an Brandwand (51 cm)	0,482	-0,035	0,439	0,361		

Außenwand an Geschossdecke (Bimsschüttung) - Istzustand

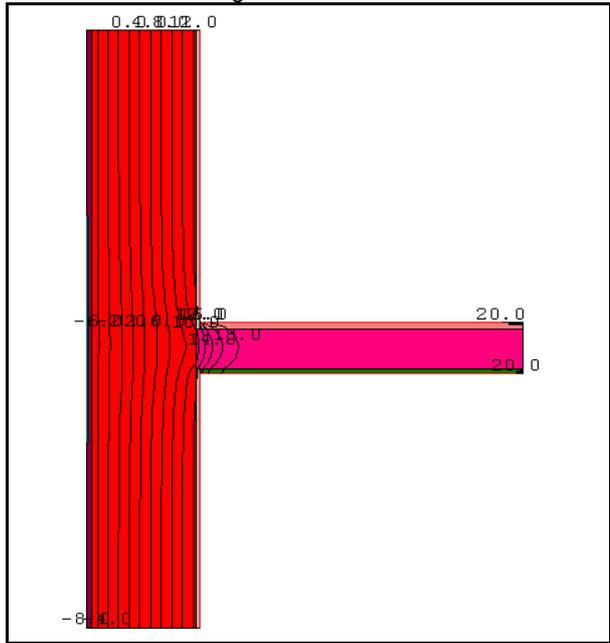
Kürzel

WB_AW1

Schnittzeichnung vertikal



Isothermendarstellung



	$\Psi_{\text{Innenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}^*$
	[W/mK]	[W/mK]	[W/mK]
WB_AW1	0,271	-0,068	

* auf unsanierten Zustand bezogen

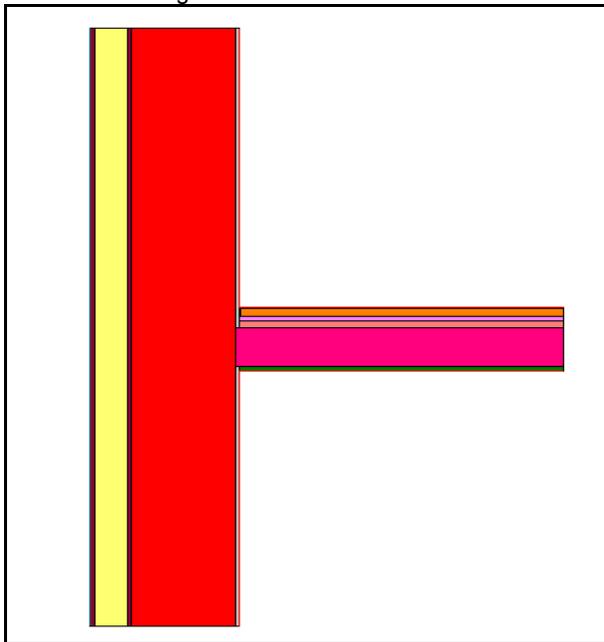
U-Werte der ungestörten Bauteile	W/m²K
Außenwand	1,654

Außenwand an Geschossdecke (Bimsschüttung) - Außendämmung

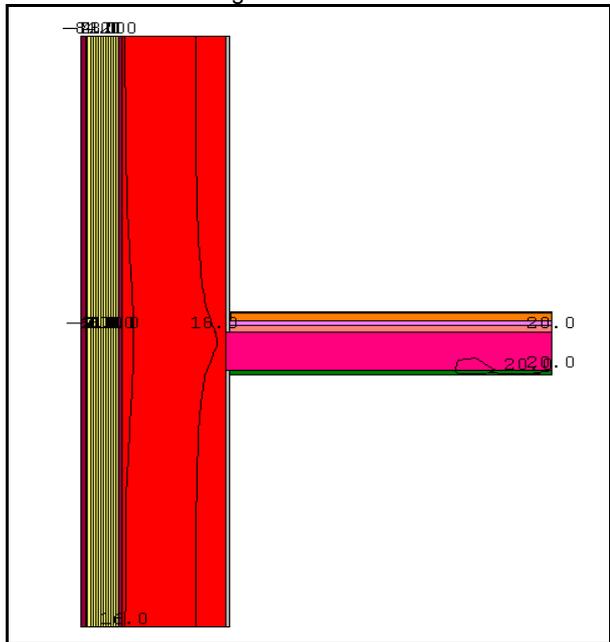
Kürzel

WB_AW1a

Schnittzeichnung vertikal



Isothermendarstellung



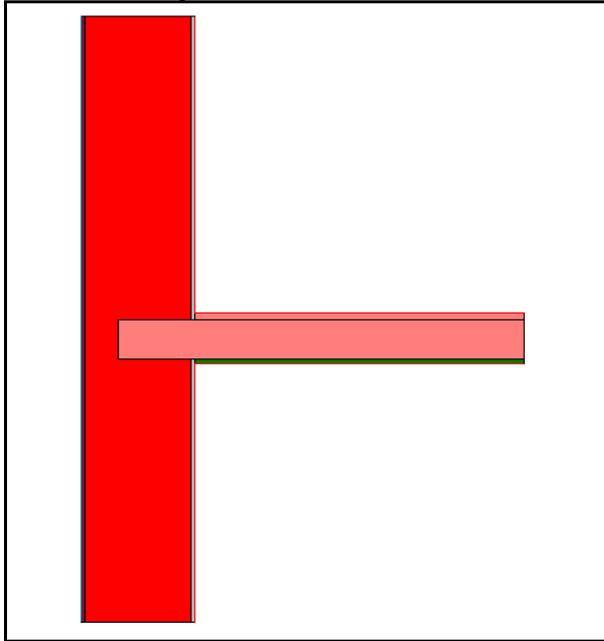
	$\Psi_{\text{Innenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}^*$
	[W/mK]	[W/mK]	[W/mK]
WB_AW1BaII	0,063	-0,001	0,012

* auf unsanierten Zustand bezogen

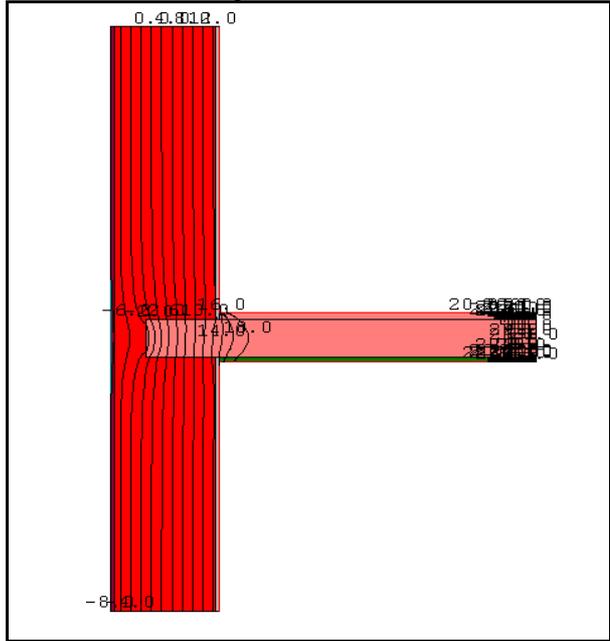
U-Werte der ungestörten Bauteile	W/m²K
Außenwand	0,247

Außenwand an Geschossdecke (Balkenlage) - Istzustand

Schnittzeichnung vertikal



Kürzel WB_AW1Balken
Isothermendarstellung



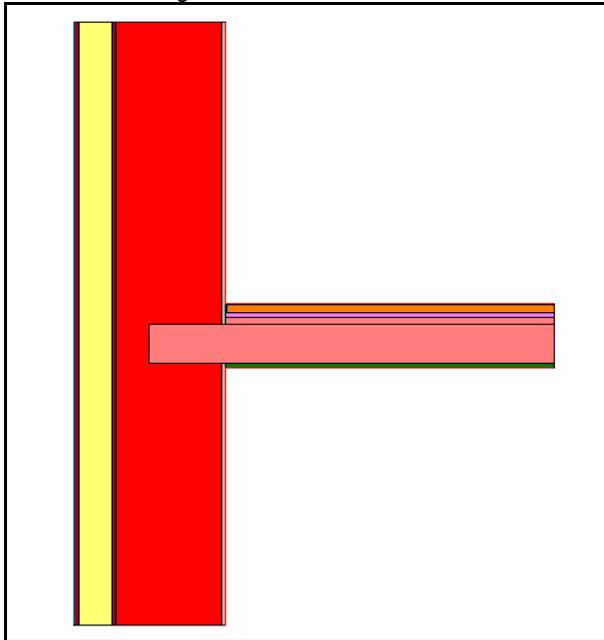
	$\Psi_{\text{Innenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}^*$
	[W/mK]	[W/mK]	[W/mK]
WB_AW1a	0,160	-0,179	

* auf unsanierten Zustand bezogen

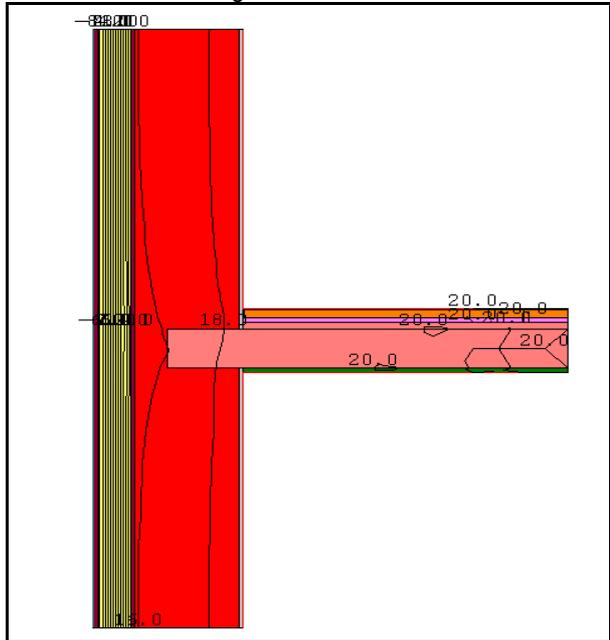
U-Werte der ungestörten Bauteile	W/m²K
Außenwand	1,654

Außenwand an Geschossdecke (Balkenlage) - Außendämmung

Schnittzeichnung vertikal



Kürzel WB_AW1aBalken
Isothermendarstellung



	$\Psi_{\text{Innenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}^*$
	[W/mK]	[W/mK]	[W/mK]
WB_AW1aBa	0,060	-0,004	0,010

* auf unsanierten Zustand bezogen

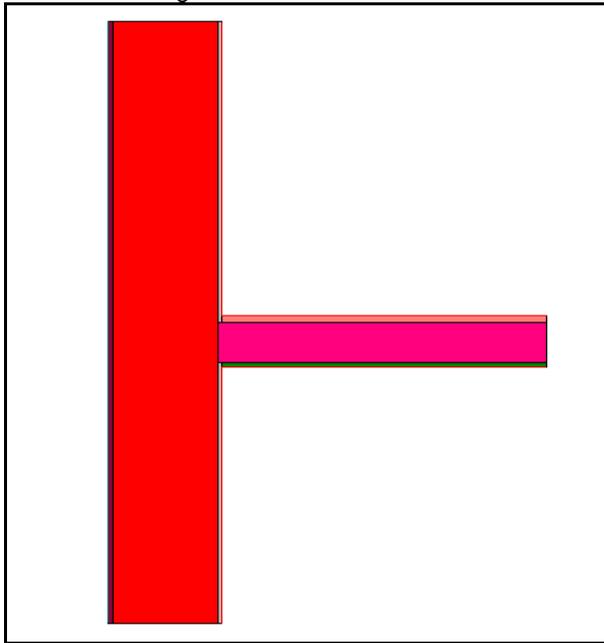
U-Werte der ungestörten Bauteile	W/m²K
Außenwand	0,247

Außenwand an Geschossdecke (Bimsschüttung) - Istzustand

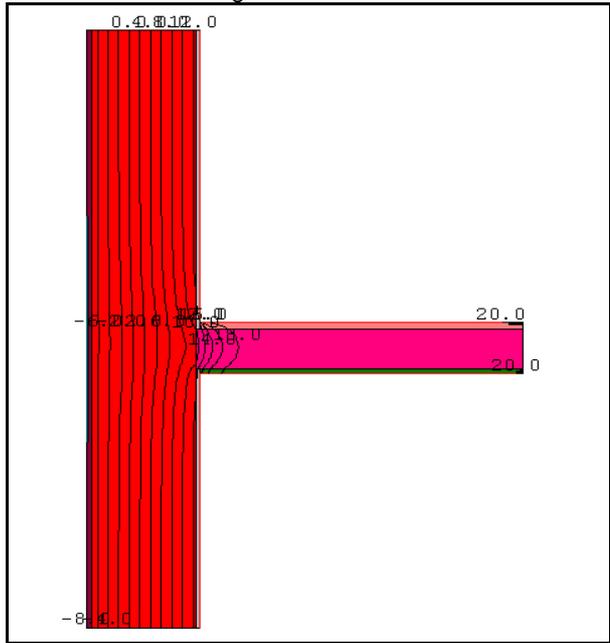
Kürzel

WB_AW1

Schnittzeichnung vertikal



Isothermendarstellung



	$\Psi_{\text{Innenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}^*$
	[W/mK]	[W/mK]	[W/mK]
WB_AW1	0,271	-0,068	

* auf unsanierten Zustand bezogen

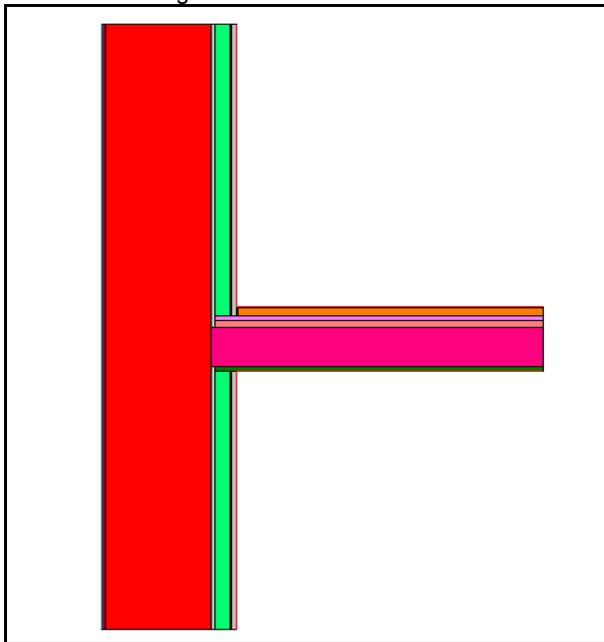
U-Werte der ungestörten Bauteile	W/m ² K
Außenwand	1,654

Außenwand an Geschossdecke (Bimsschüttung) - Innendämmung

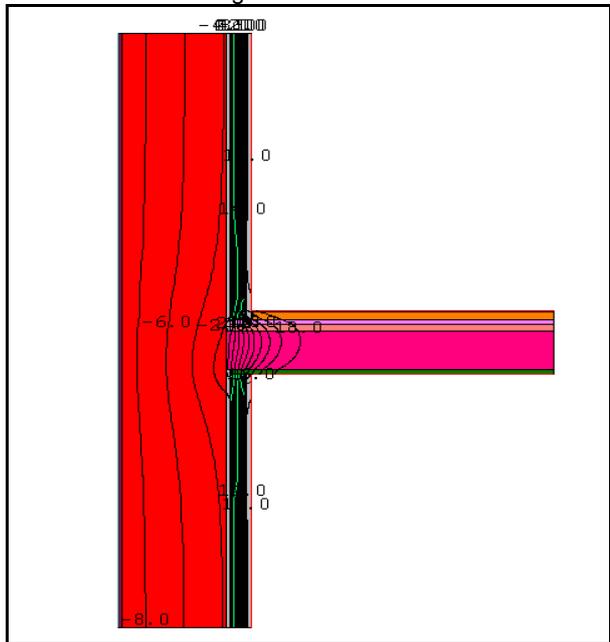
Kürzel

WB_AW1i

Schnittzeichnung vertikal



Isothermendarstellung



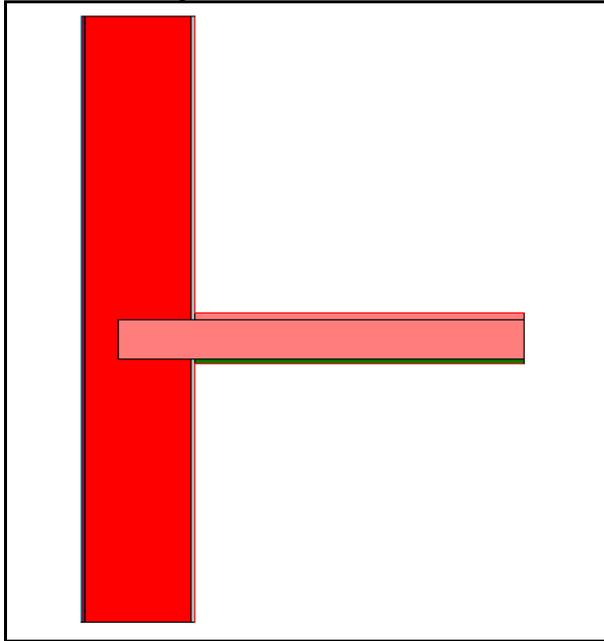
	$\Psi_{\text{Innenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}^*$
	[W/mK]	[W/mK]	[W/mK]
WB_AW1i	0,233	0,116	

* auf unsanierten Zustand bezogen

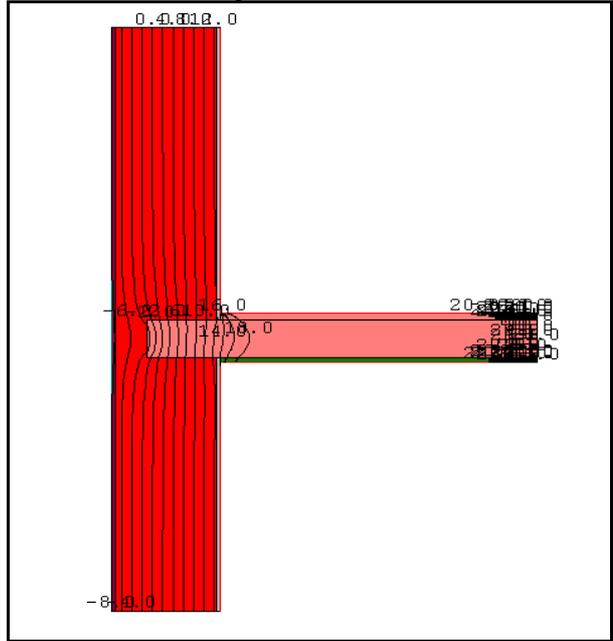
U-Werte der ungestörten Bauteile	W/m ² K
Außenwand	0,448

Außenwand an Geschossdecke (Balkenlage) - Istzustand

Schnittzeichnung vertikal



Kürzel WB_AW1Balken
Isothermendarstellung



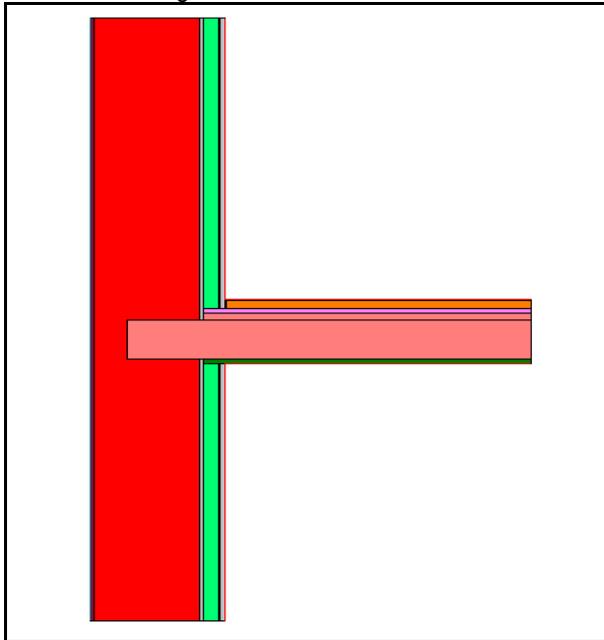
	$\Psi_{\text{Innenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}^*$
	[W/mK]	[W/mK]	[W/mK]
WB_AW1Balk	0,160	-0,179	

* auf unsanierten Zustand bezogen

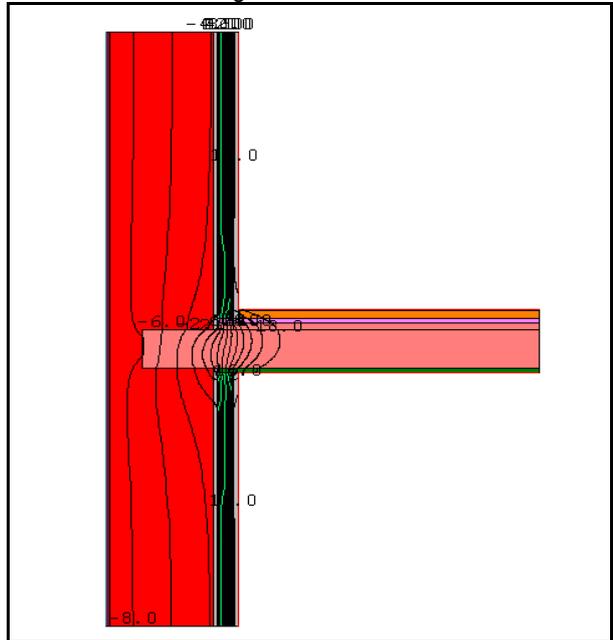
U-Werte der ungestörten Bauteile	W/m ² K
Außenwand	1,654

Außenwand an Geschossdecke (Balkenlage) - Innendämmung

Schnittzeichnung vertikal



Kürzel WB_AW1iBalken
Isothermendarstellung

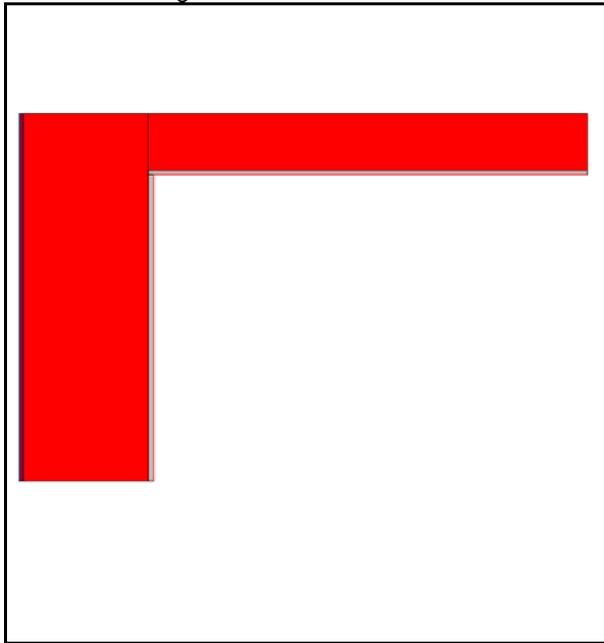


	$\Psi_{\text{Innenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}^*$
	[W/mK]	[W/mK]	[W/mK]
WB_AW1iBal	0,180	0,064	

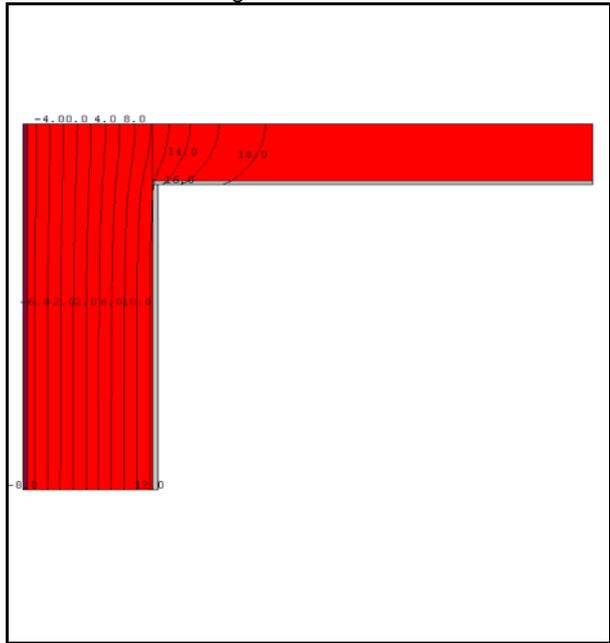
* auf unsanierten Zustand bezogen

U-Werte der ungestörten Bauteile	W/m ² K
Außenwand	0,448

Außenwand an Brandwand (19 cm) - Istzustand
Schnittzeichnung horizontal



Kürzel WB_AW3W19Brandwand
Isothermendarstellung

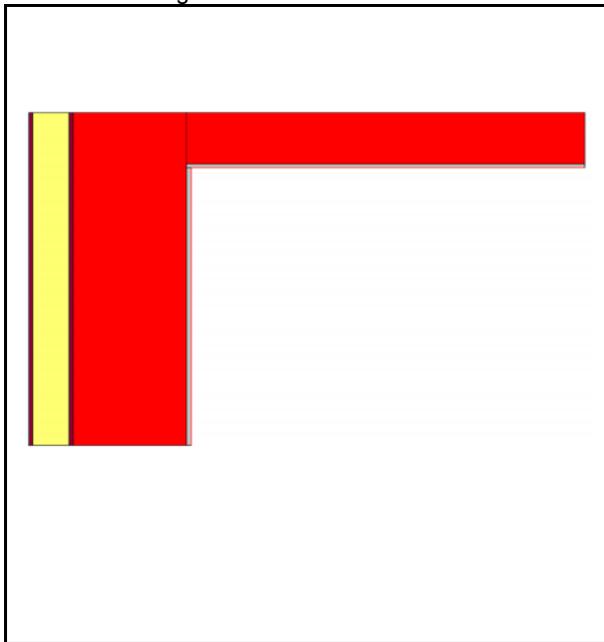


	$\Psi_{\text{Innenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}^*$
	[W/mK]	[W/mK]	[W/mK]
WB_AW3W19	0,306	-0,033	

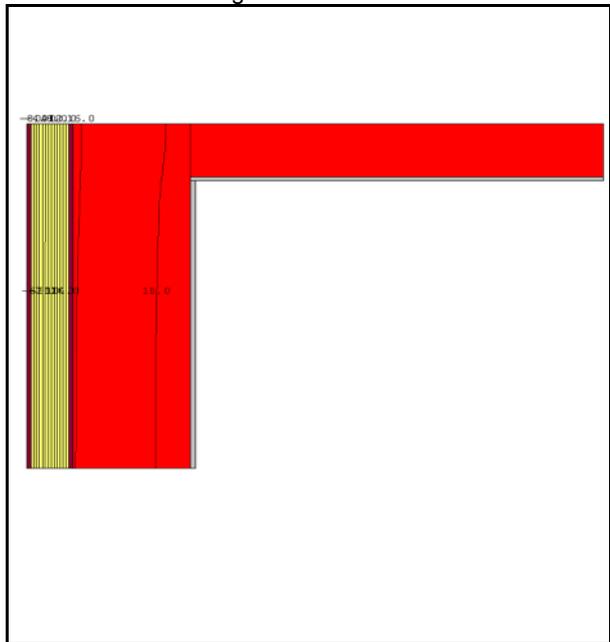
* auf unsanierten Zustand bezogen

U-Werte der ungestörten Bauteile	W/m²K
Außenwand	1,654

Außenwand an Brandwand (19 cm) - Außendämmung
Schnittzeichnung horizontal



Kürzel WB_AW3W19aBrandwand
Isothermendarstellung

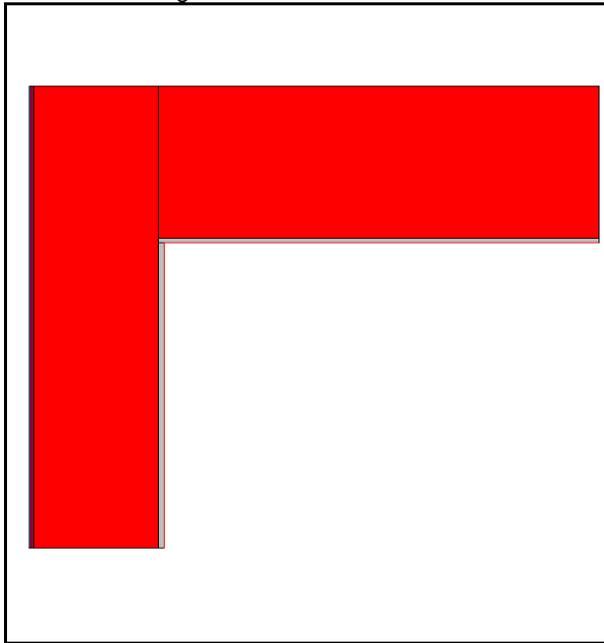


	$\Psi_{\text{Innenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}^*$
	[W/mK]	[W/mK]	[W/mK]
WB_AW3W19	0,050	0,000	

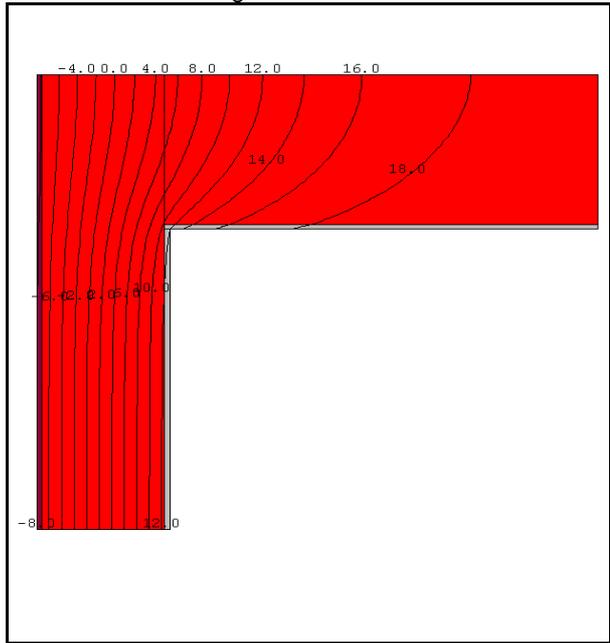
* auf unsanierten Zustand bezogen

U-Werte der ungestörten Bauteile	W/m²K
Außenwand	0,247

Außenwand an Brandwand (51 cm) - Istzustand
Schnittzeichnung horizontal



Kürzel WB_AW3W51Brandwand
Isothermendarstellung

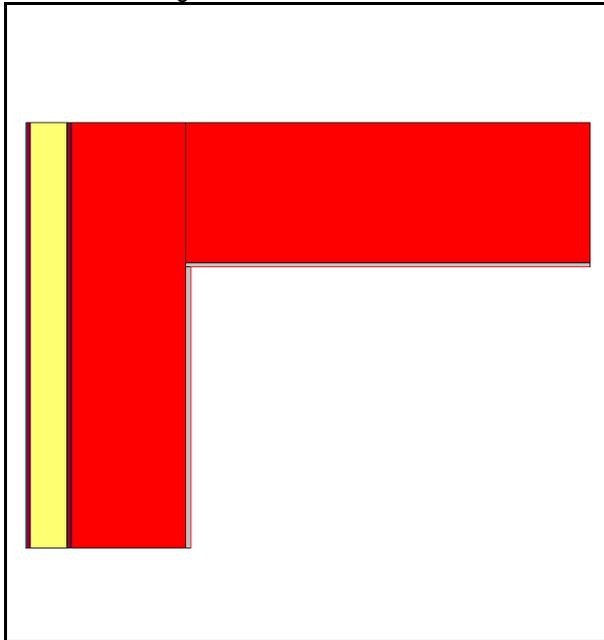


	$\Psi_{\text{Innenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}^*$
	[W/mK]	[W/mK]	[W/mK]
WB_AW3W51	0,625	-0,244	

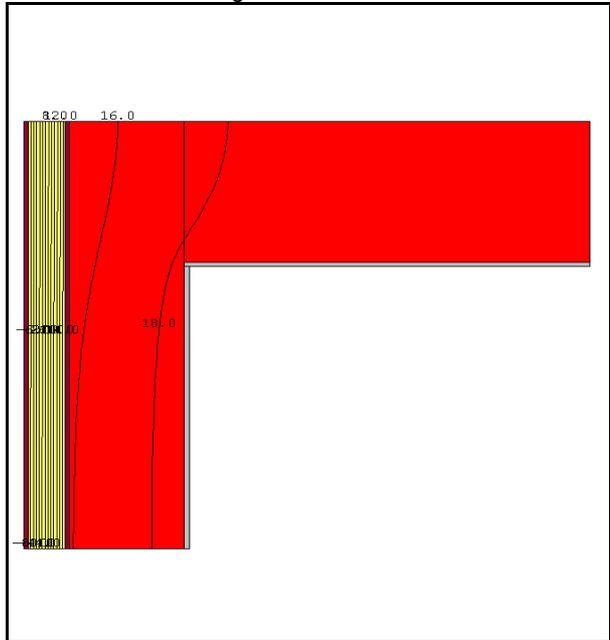
* auf unsanierten Zustand bezogen

U-Werte der ungestörten Bauteile	W/m²K
Außenwand	1,654

Außenwand an Brandwand (51 cm) - Außendämmung
Schnittzeichnung horizontal



Kürzel WB_AW3W51aBrandwand
Isothermendarstellung

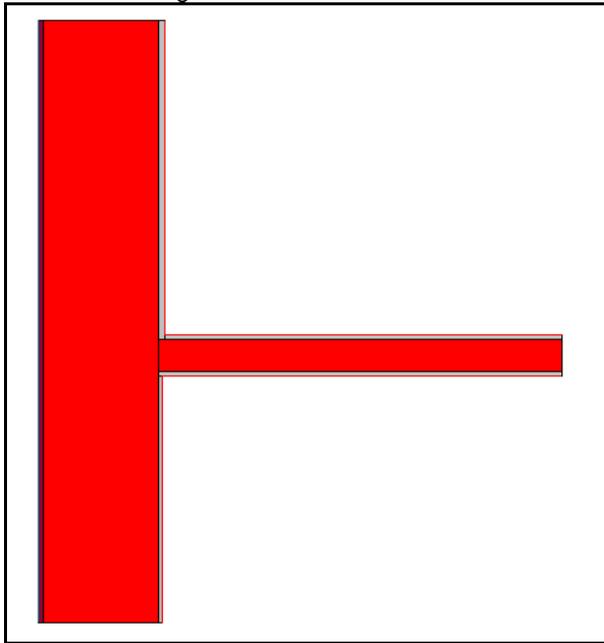


	$\Psi_{\text{Innenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}^*$
	[W/mK]	[W/mK]	[W/mK]
WB_AW3W51	0,124	-0,006	

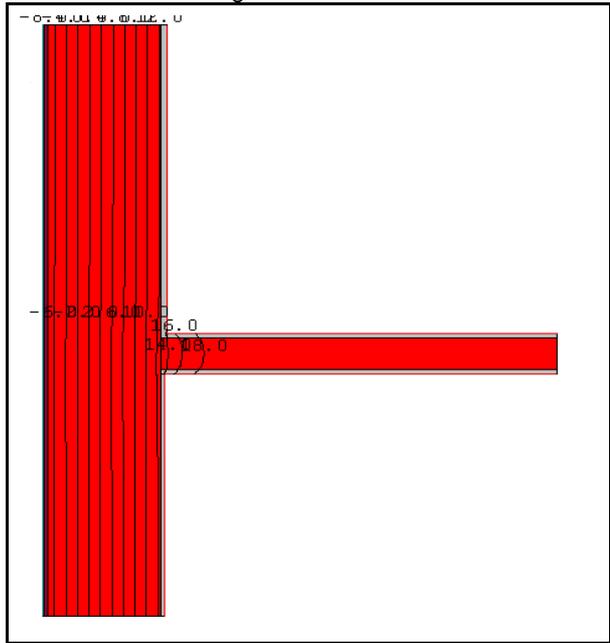
* auf unsanierten Zustand bezogen

U-Werte der ungestörten Bauteile	W/m²K
Außenwand	0,247

Außenwand an Innenwand (12 cm) - Istzustand
Schnittzeichnung horizontal



Kürzel WB_AW3W12
Isothermendarstellung

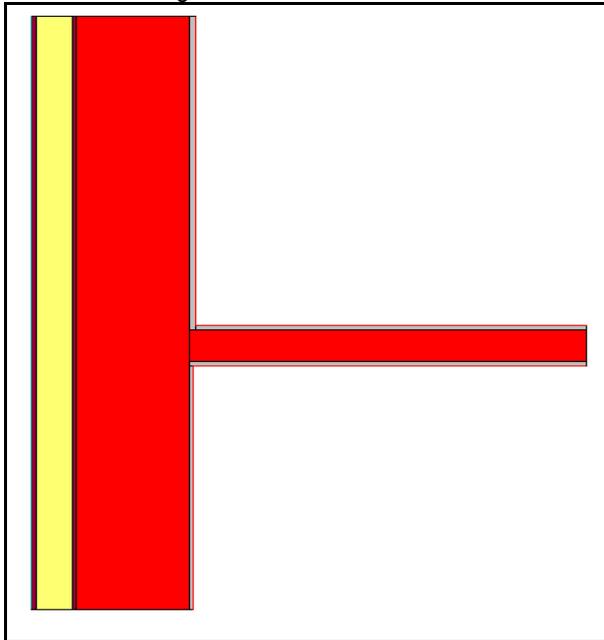


	$\Psi_{\text{Innenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}^*$
	[W/mK]	[W/mK]	[W/mK]
WB_AW3W12	0,235	-0,013	

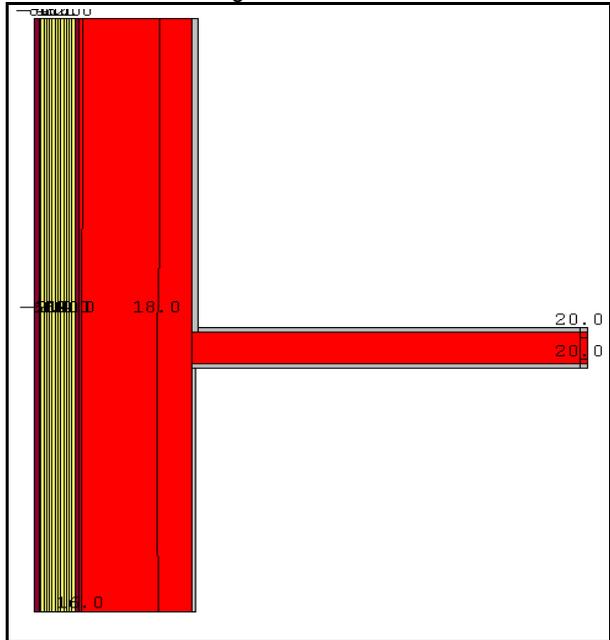
* auf unsanierten Zustand bezogen

U-Werte der ungestörten Bauteile	W/m²K
Außenwand	1,654

Außenwand an Innenwand (12 cm) - Außendämmung
Schnittzeichnung horizontal



Kürzel WB_AW3W12a
Isothermendarstellung

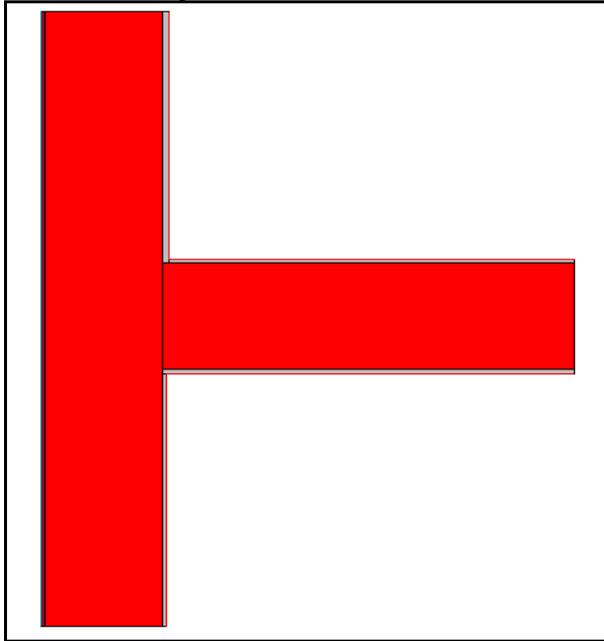


	$\Psi_{\text{Innenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}^*$
	[W/mK]	[W/mK]	[W/mK]
WB_AW3W12	0,038	0,001	

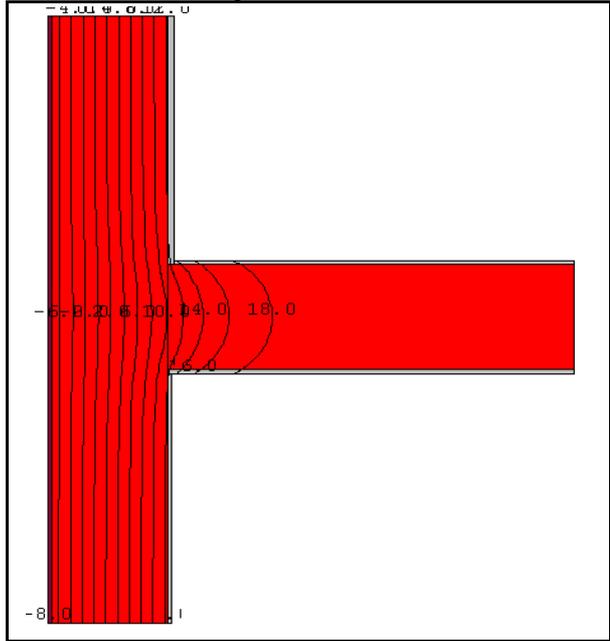
* auf unsanierten Zustand bezogen

U-Werte der ungestörten Bauteile	W/m²K
Außenwand	0,247

Außenwand an Innenwand (38 cm) - Istzustand
Schnittzeichnung horizontal



Kürzel WB_AW3W38
Isothermendarstellung

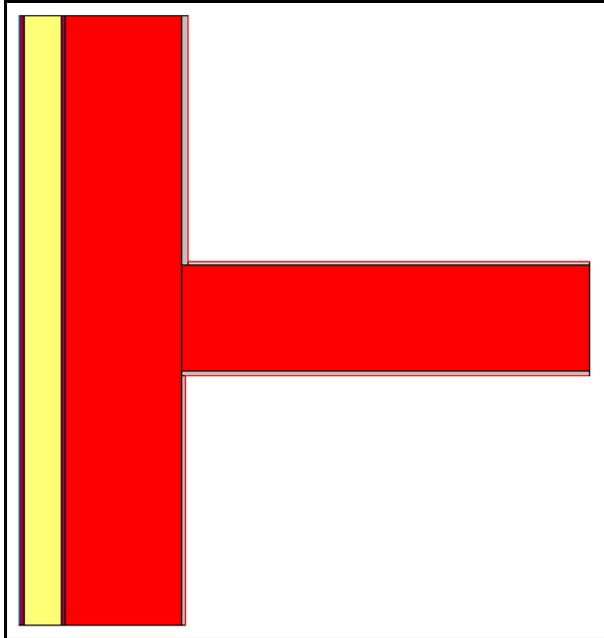


	$\Psi_{\text{Innenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}^*$
	[W/mK]	[W/mK]	[W/mK]
WB_AW3W38	0,613	-0,065	

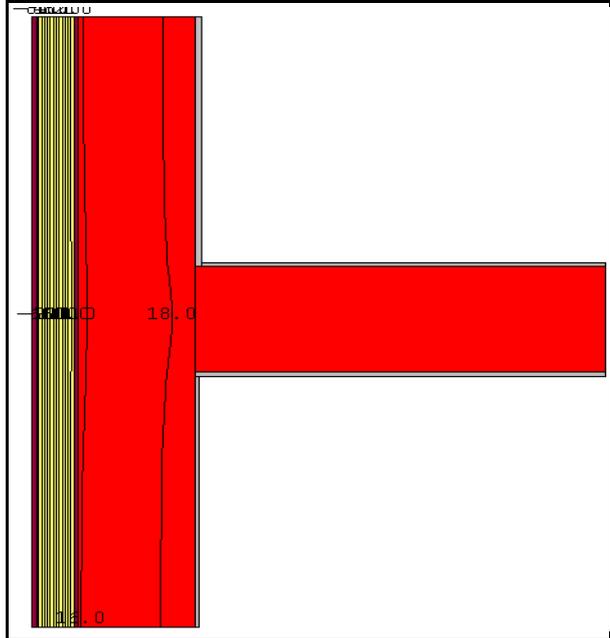
* auf unsanierten Zustand bezogen

U-Werte der ungestörten Bauteile	W/m²K
Außenwand	1,654

Außenwand an Innenwand (38 cm) - Außendämmung
Schnittzeichnung horizontal



Kürzel WB_AW3W38a
Isothermendarstellung

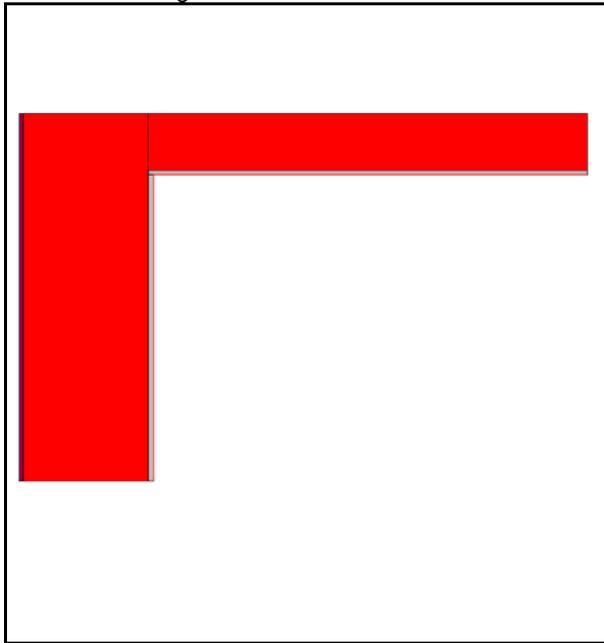


	$\Psi_{\text{Innenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}^*$
	[W/mK]	[W/mK]	[W/mK]
WB_AW3W38a	0,100	-0,001	

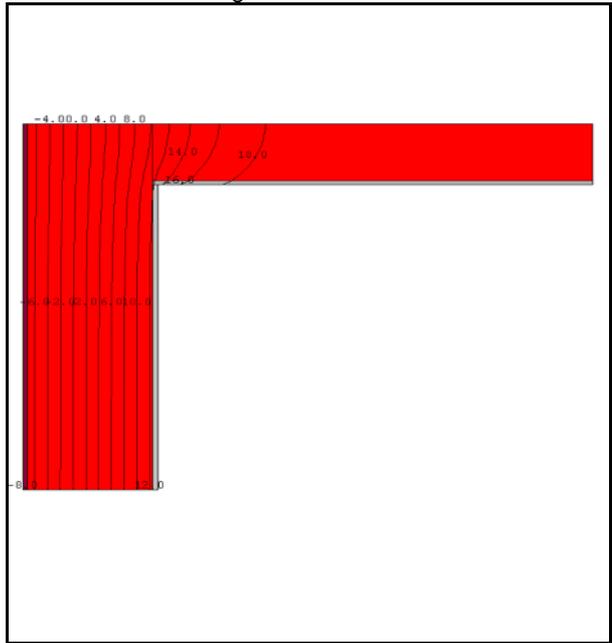
* auf unsanierten Zustand bezogen

U-Werte der ungestörten Bauteile	W/m²K
Außenwand	0,247

Außenwand an Brandwand (19 cm) - Istzustand
Schnittzeichnung horizontal



Kürzel WB_AW3W19Brandwand
Isothermendarstellung

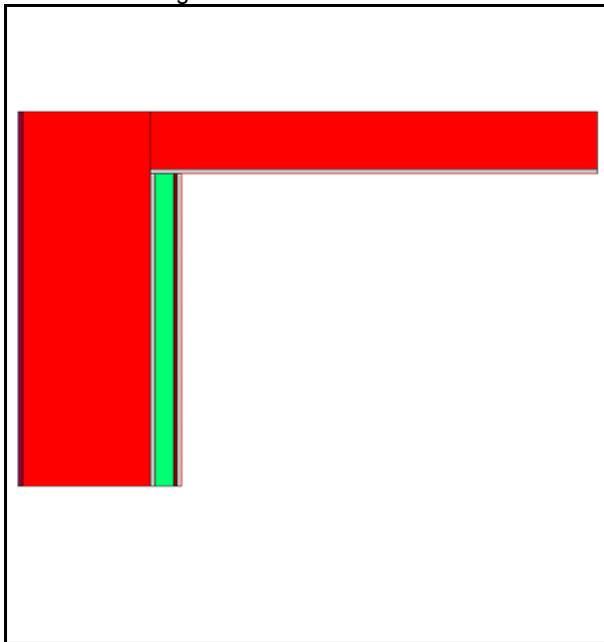


	$\Psi_{\text{Innenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}^*$
	[W/mK]	[W/mK]	[W/mK]
WB_AW3W19	0,306	-0,033	

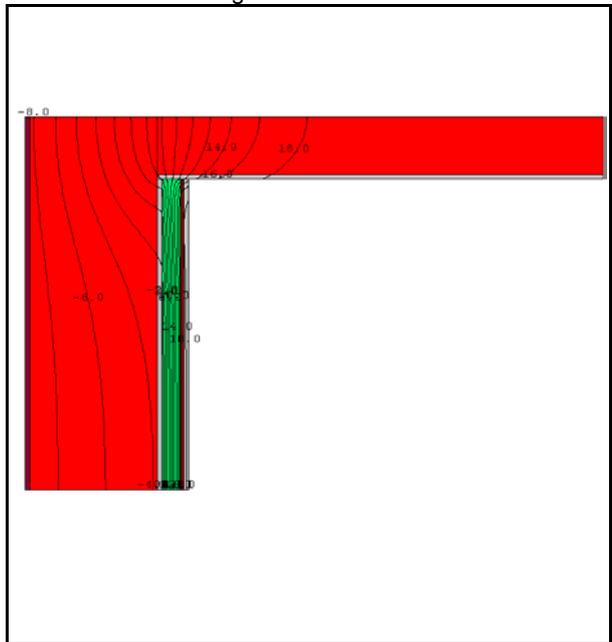
* auf unsanierten Zustand bezogen

U-Werte der ungestörten Bauteile	W/m ² K
Außenwand	1,654

Außenwand an Brandwand (19 cm) - Innendämmung
Schnittzeichnung horizontal



Kürzel WB_AW3W19iBrandwand
Isothermendarstellung

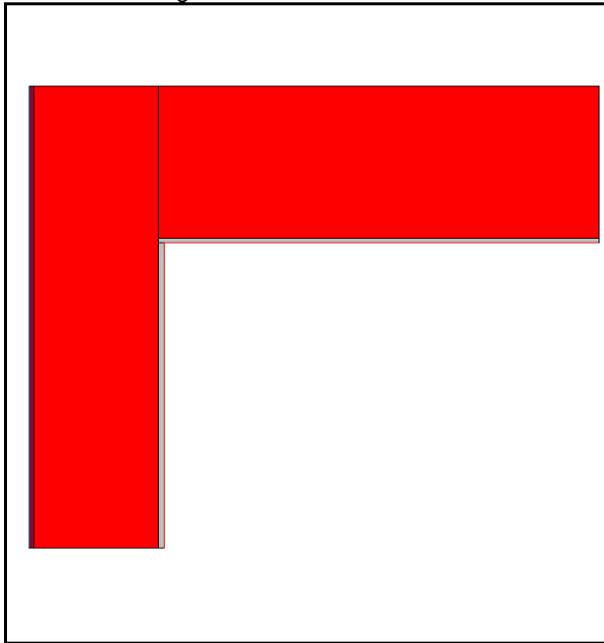


	$\Psi_{\text{Innenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}^*$
	[W/mK]	[W/mK]	[W/mK]
WB_AW3W19i	0,324	0,232	

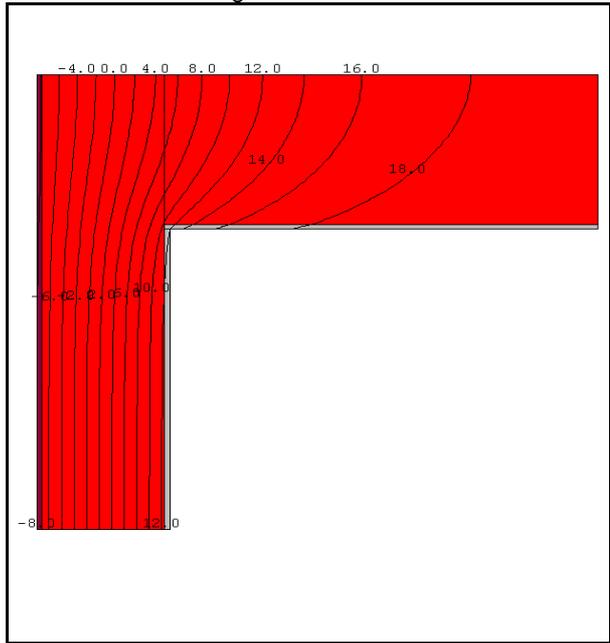
* auf unsanierten Zustand bezogen

U-Werte der ungestörten Bauteile	W/m ² K
Außenwand	0,448

Außenwand an Brandwand (51 cm) - Istzustand
Schnittzeichnung horizontal



Kürzel WB_AW3W51Brandwand
Isothermendarstellung

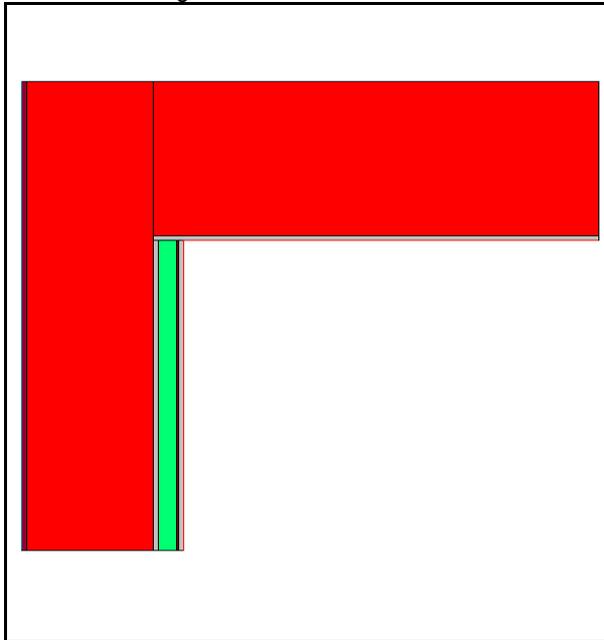


	$\Psi_{\text{Innenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}^*$
	[W/mK]	[W/mK]	[W/mK]
WB_AW3W51	0,625	-0,244	

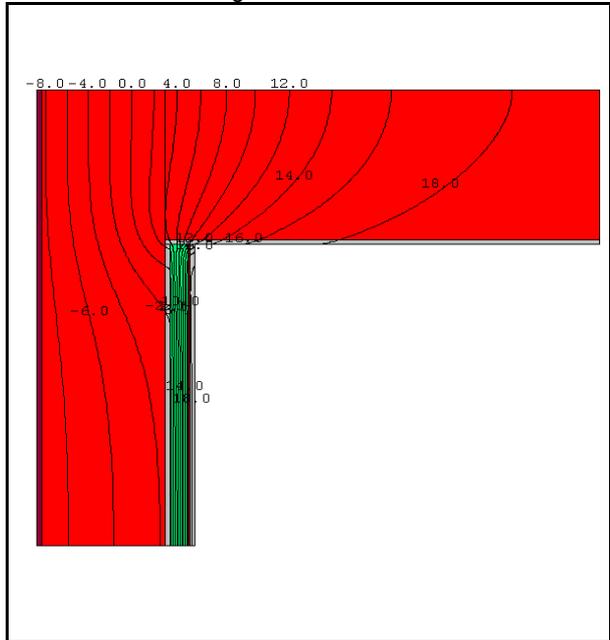
* auf unsanierten Zustand bezogen

U-Werte der ungestörten Bauteile	W/m ² K
Außenwand	1,654

Außenwand an Brandwand (51 cm) - Innendämmung
Schnittzeichnung horizontal



Kürzel WB_AW3W51iBrandwand
Isothermendarstellung

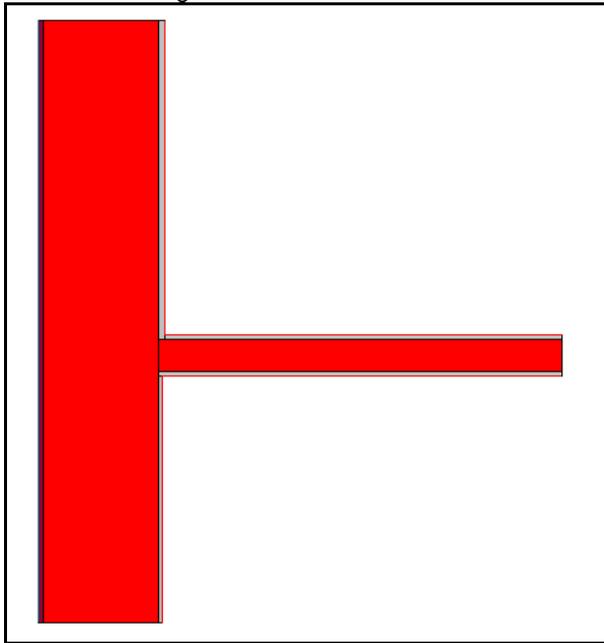


	$\Psi_{\text{Innenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}^*$
	[W/mK]	[W/mK]	[W/mK]
WB_AW3W51	0,609	0,374	

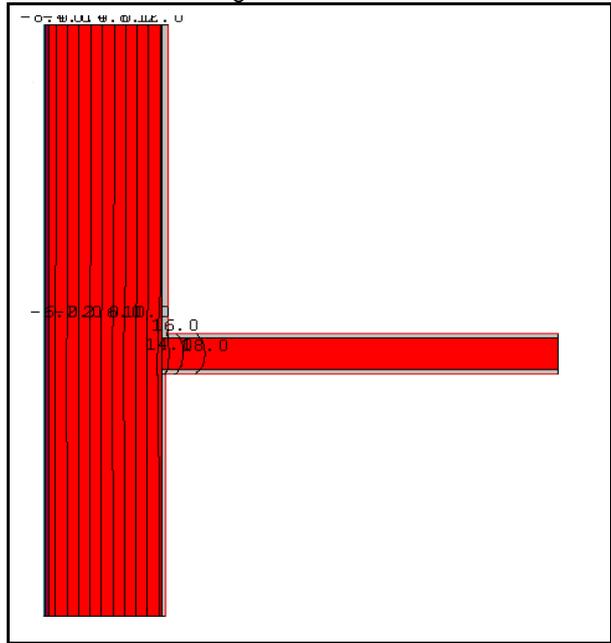
* auf unsanierten Zustand bezogen

U-Werte der ungestörten Bauteile	W/m ² K
Außenwand	0,448

Außenwand an Innenwand (12 cm) - Istzustand
Schnittzeichnung horizontal



Kürzel WB_AW3W12
Isothermendarstellung

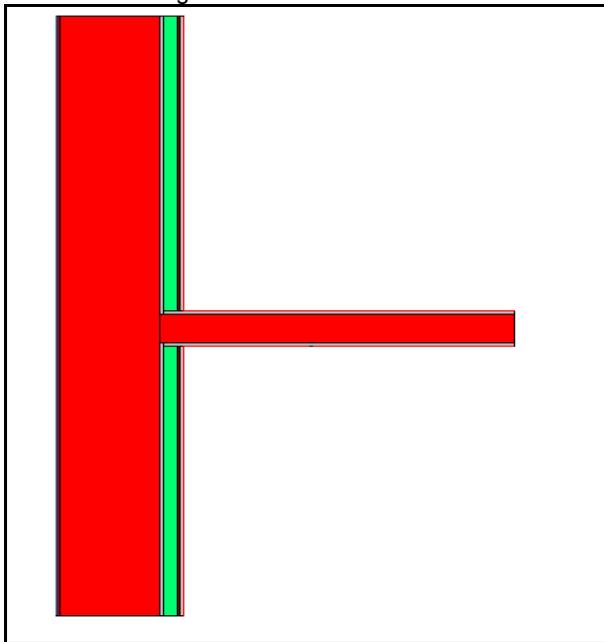


	$\Psi_{\text{Innenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}^*$
	[W/mK]	[W/mK]	[W/mK]
WB_AW3W12	0,235	-0,013	

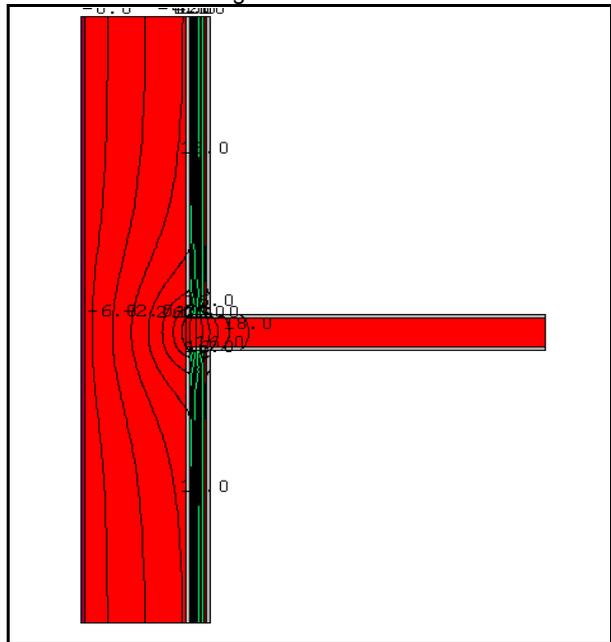
* auf unsanierten Zustand bezogen

U-Werte der ungestörten Bauteile	W/m²K
Außenwand	1,654
Oberflächentemperatur der Innenecke	13,6 °C

Außenwand an Innenwand (12 cm) - ID ohne Schürze
Schnittzeichnung horizontal



Kürzel WB_AW5W12_ohne_Schürze
Isothermendarstellung

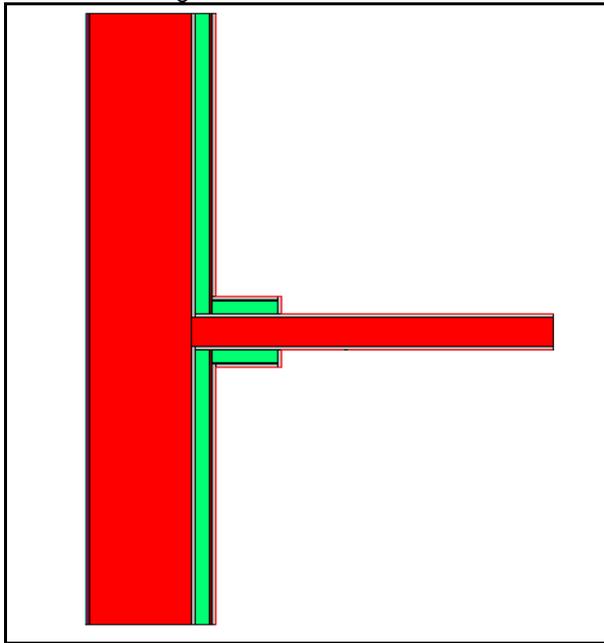


	$\Psi_{\text{Innenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}^*$
	[W/mK]	[W/mK]	[W/mK]
WB_AW5W12	0,362	0,295	

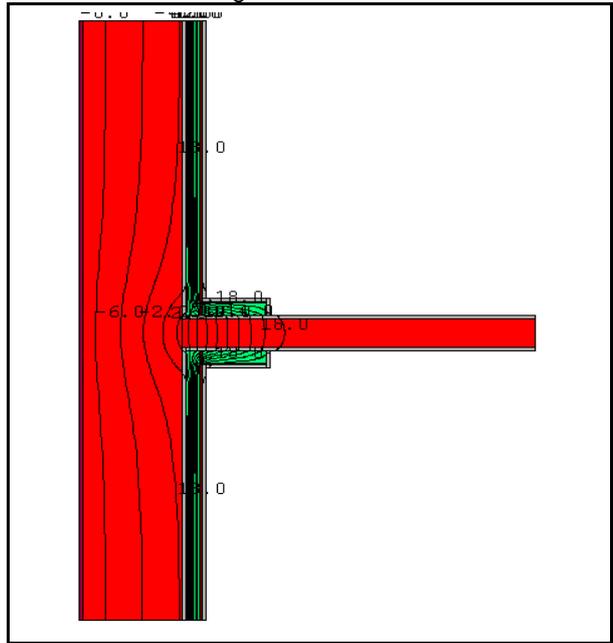
* auf unsanierten Zustand bezogen

U-Werte der ungestörten Bauteile	W/m²K
Außenwand	0,448
Oberflächentemperatur der Innenecke	14,0 °C

Außenwand an Innenwand (12 cm) - ID mit Schürze 25 cm
Schnittzeichnung horizontal



Kürzel WB_AW5W12_Schürze25
Isothermendarstellung

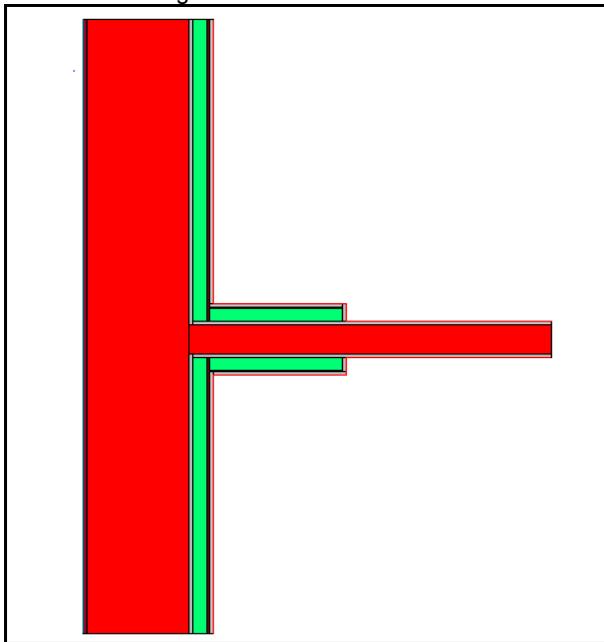


	$\Psi_{\text{Innenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}^*$
	[W/mK]	[W/mK]	[W/mK]
WB_AW5W12	0,220	0,153	

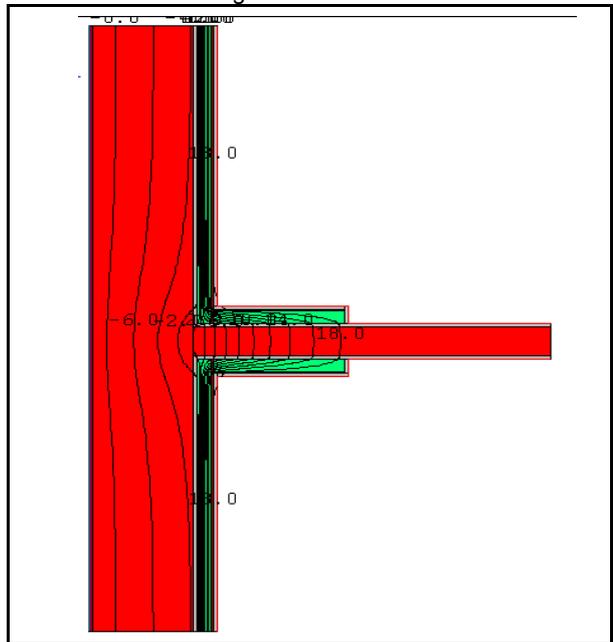
* auf unsanierten Zustand bezogen

U-Werte der ungestörten Bauteile	W/m ² K
Außenwand	1,654
Oberflächentemperatur der Innenecke	17,2 °C

ze **Außenwand an Innenwand (12 cm) - ID mit Schürze 50 cm**
Schnittzeichnung horizontal



Kürzel WB_AW5W12_Schürze50
Isothermendarstellung

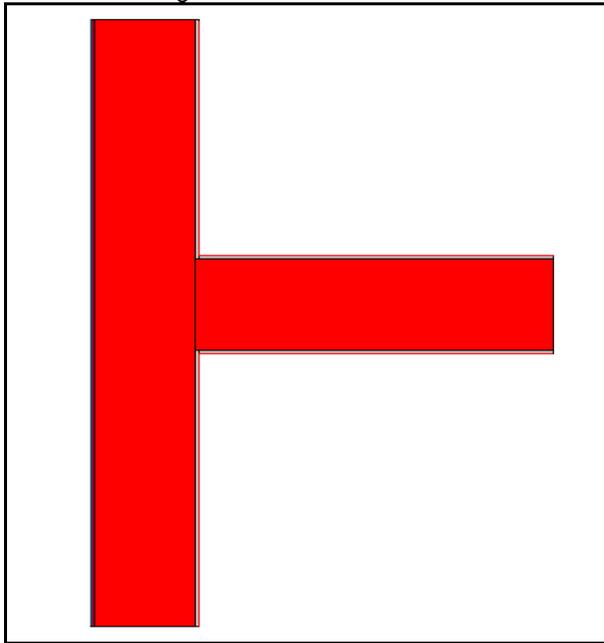


	$\Psi_{\text{Innenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}^*$
	[W/mK]	[W/mK]	[W/mK]
WB_AW5W12	0,193	0,125	

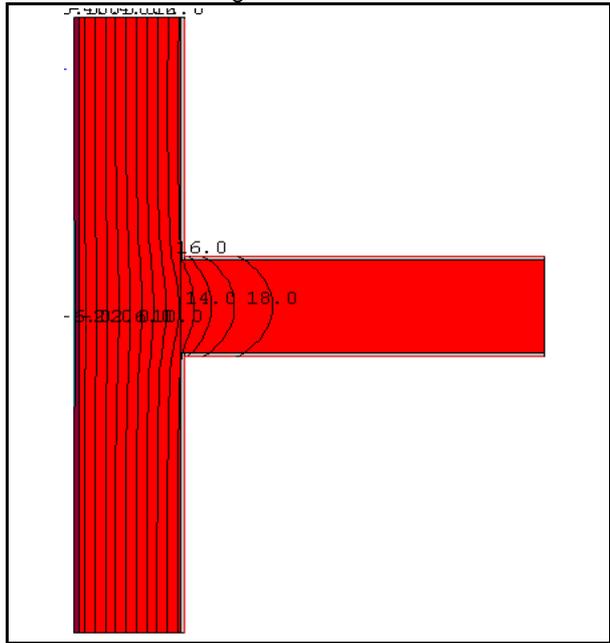
* auf unsanierten Zustand bezogen

U-Werte der ungestörten Bauteile	W/m ² K
Außenwand	0,448
Oberflächentemperatur der Innenecke	17,1 °C

Außenwand an Innenwand (38 cm) - Istzustand
Schnittzeichnung horizontal



Kürzel WB_AW3W38
Isothermendarstellung

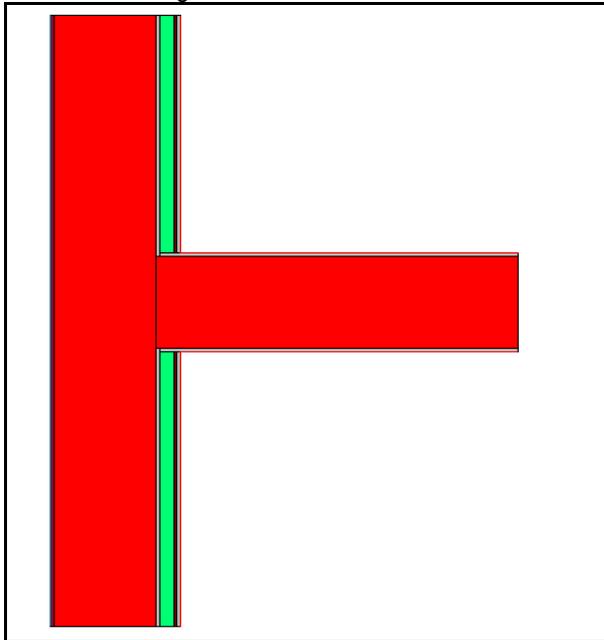


	$\Psi_{\text{Innenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}^*$
	[W/mK]	[W/mK]	[W/mK]
WB_AW3W38	0,613	-0,065	

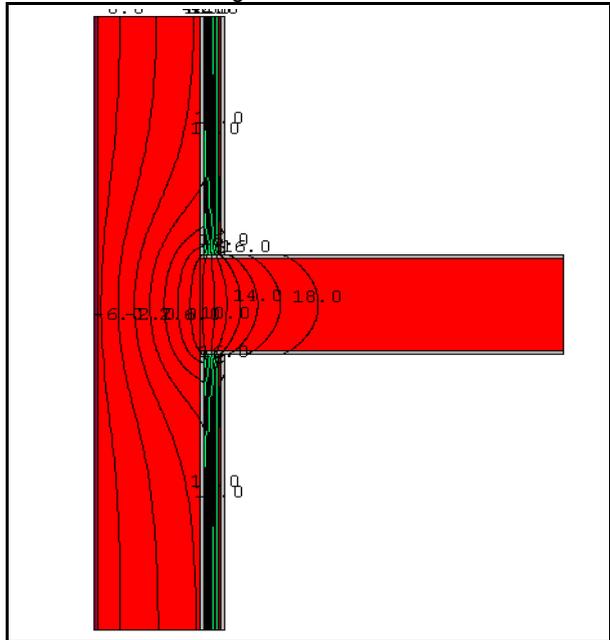
* auf unsanierten Zustand bezogen

U-Werte der ungestörten Bauteile	W/m²K
Außenwand	1,654

Außenwand an Innenwand (38 cm) - ID ohne Schürze
Schnittzeichnung horizontal



Kürzel WB_AW5W38_ohne_Schürze
Isothermendarstellung

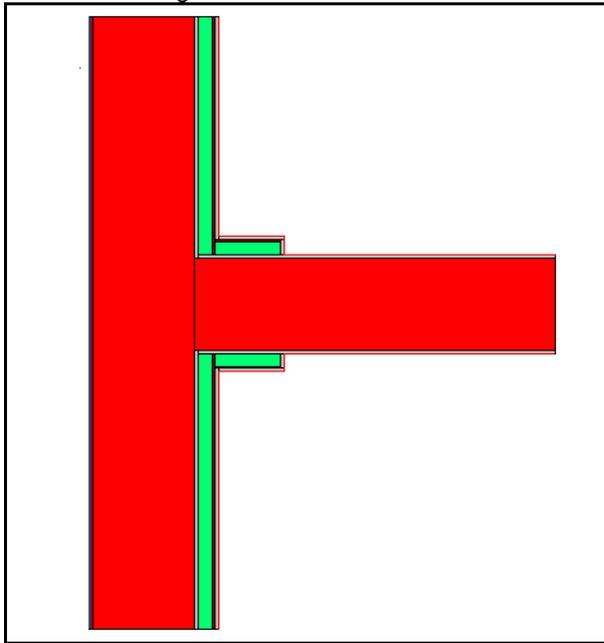


	$\Psi_{\text{Innenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}^*$
	[W/mK]	[W/mK]	[W/mK]
WB_AW5W38	0,681	0,498	

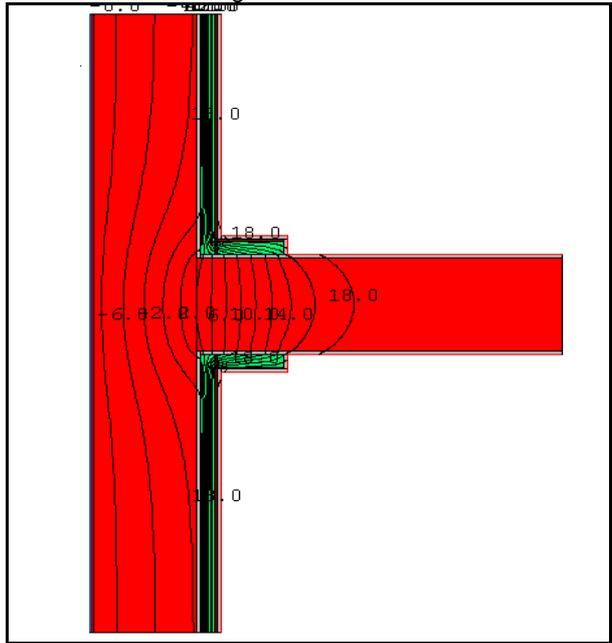
* auf unsanierten Zustand bezogen

U-Werte der ungestörten Bauteile	W/m²K
Außenwand	0,448

Außenwand an Innenwand (38 cm) - ID mit Schürze 25 cm
Schnittzeichnung horizontal



Kürzel WB_AW5W38_Schürze25
Isothermendarstellung

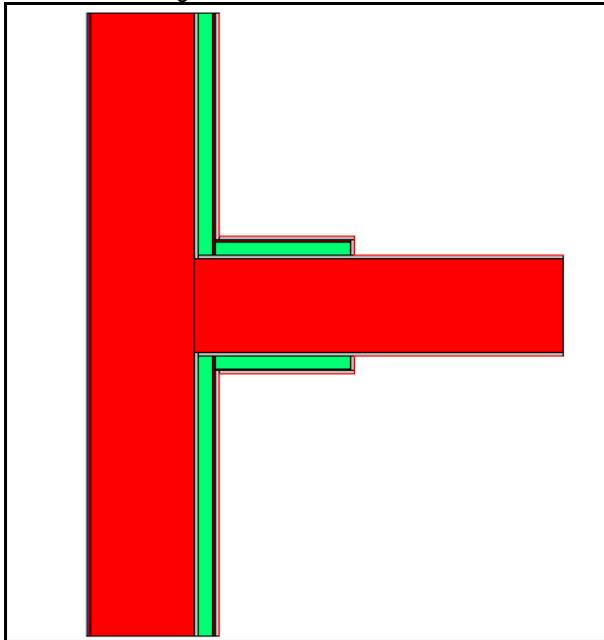


	$\Psi_{\text{Innenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}^*$
	[W/mK]	[W/mK]	[W/mK]
WB_AW5W38	0,478	0,294	

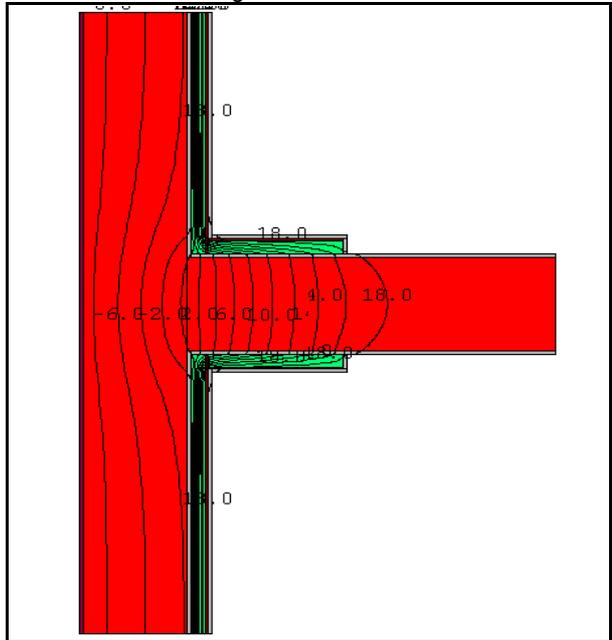
* auf unsanierten Zustand bezogen

U-Werte der ungestörten Bauteile	W/m ² K
Außenwand	1,654

ze **Außenwand an Innenwand (38 cm) - ID mit Schürze 50 cm**
Schnittzeichnung horizontal



Kürzel WB_AW5W38_Schürze50
Isothermendarstellung

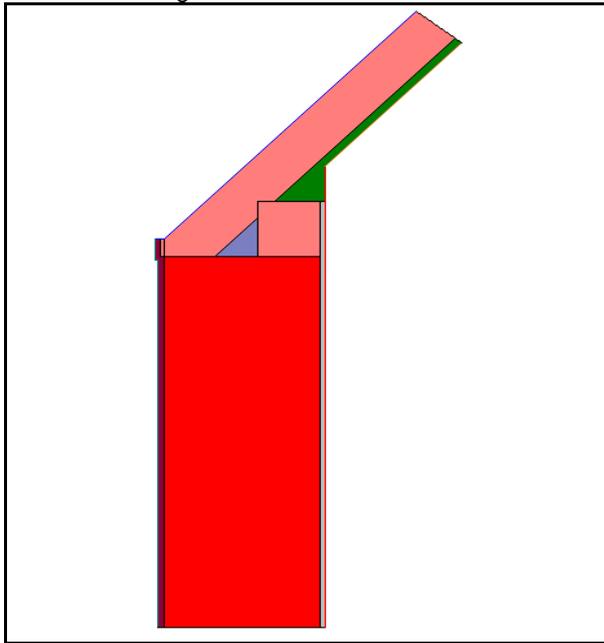


	$\Psi_{\text{Innenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}^*$
	[W/mK]	[W/mK]	[W/mK]
WB_AW5W38	0,407	0,223	

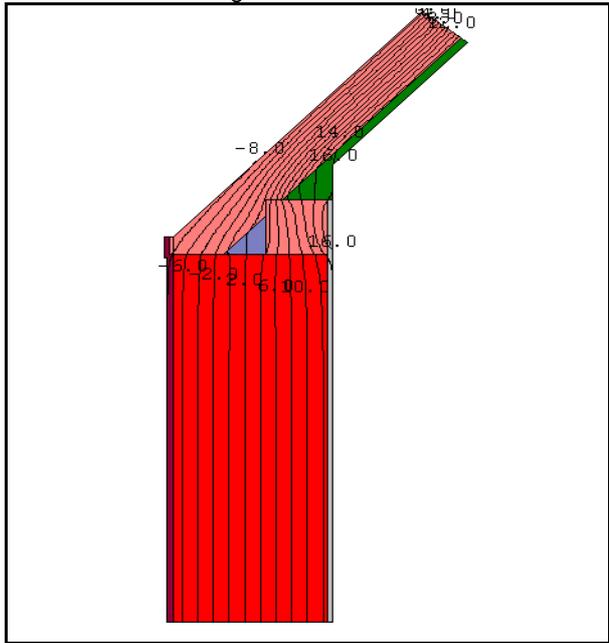
* auf unsanierten Zustand bezogen

U-Werte der ungestörten Bauteile	W/m ² K
Außenwand	0,448

Außenwand an Dach (Sparren) - Istzustand
Schnittzeichnung vertikal



Kürzel WB_AW7_Sparren_ist
Isothermendarstellung

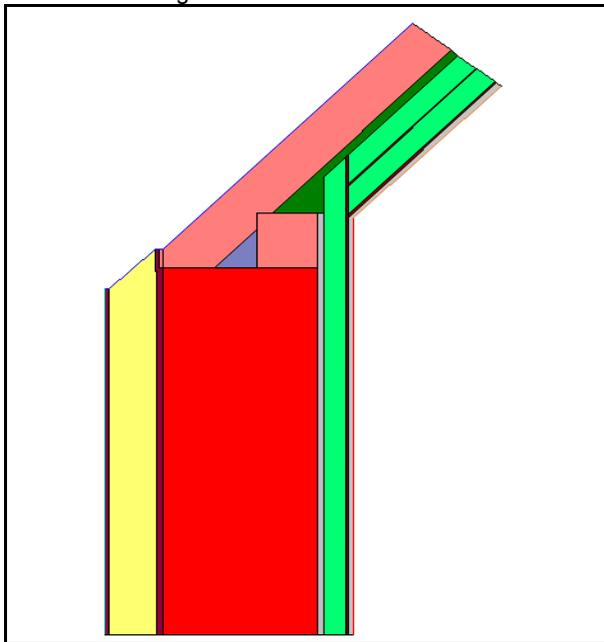


	$\Psi_{\text{Innenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}^*$
	[W/mK]	[W/mK]	[W/mK]
WB_AW7_Sp	-0,203	-0,232	

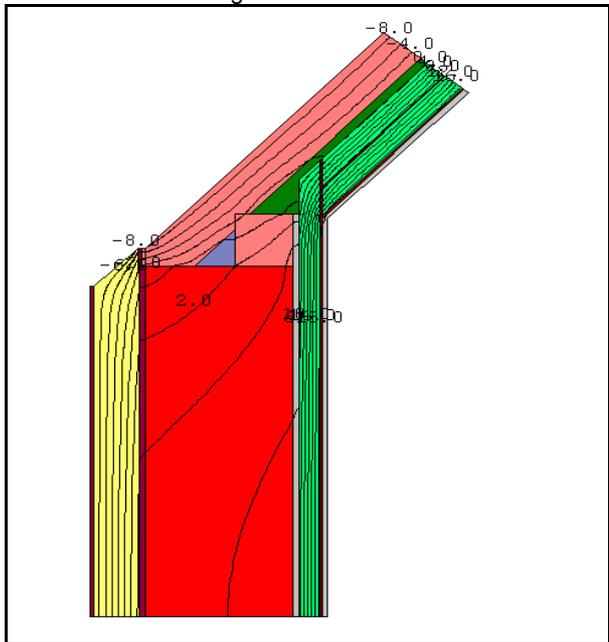
* auf unsanierten Zustand bezogen

U-Werte der ungestörten Bauteile	W/m ² K
Außenwand	1,654
Dach	0,876

Außenwand an Dach (Sparren) - Außendämmung (Hofseite)
Schnittzeichnung vertikal



Kürzel WB_AW7_Sparren_Außend
Isothermendarstellung

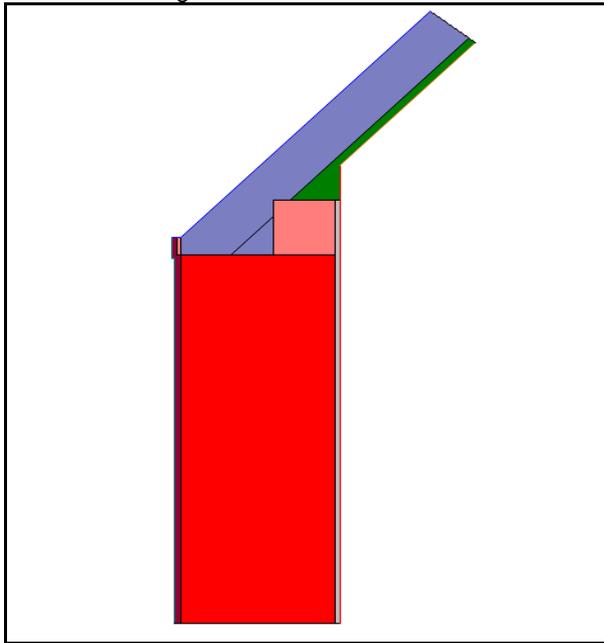


	$\Psi_{\text{Innenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}^*$
	[W/mK]	[W/mK]	[W/mK]
WB_AW7_Sp	0,112	0,006	0,054

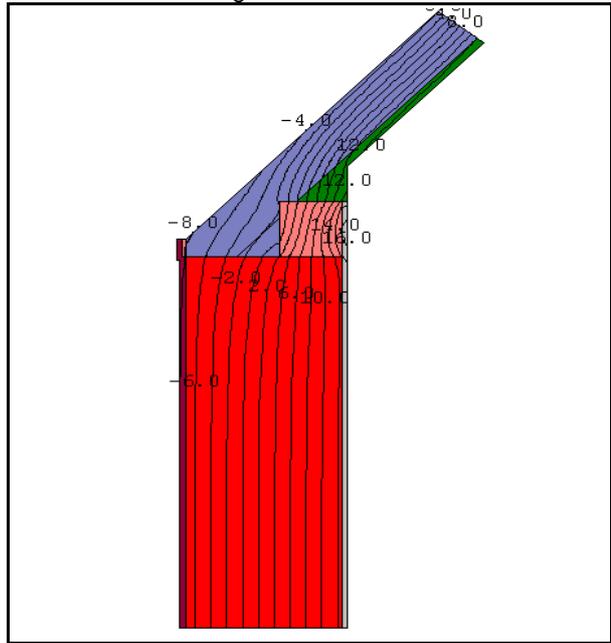
* auf unsanierten Zustand bezogen

U-Werte der ungestörten Bauteile	W/m ² K
Außenwand	0,176
Dach	0,227

Außenwand an Dach (Feld) - Istzustand
Schnittzeichnung vertikal



Kürzel WB_AW7_Feld_ist
Isothermendarstellung

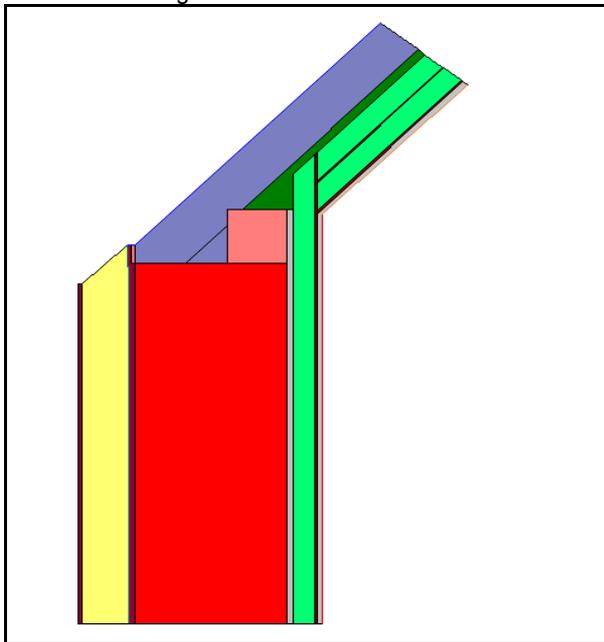


	$\Psi_{\text{Innenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}^*$
	[W/mK]	[W/mK]	[W/mK]
WB_AW7_Fe	-0,003	-0,635	

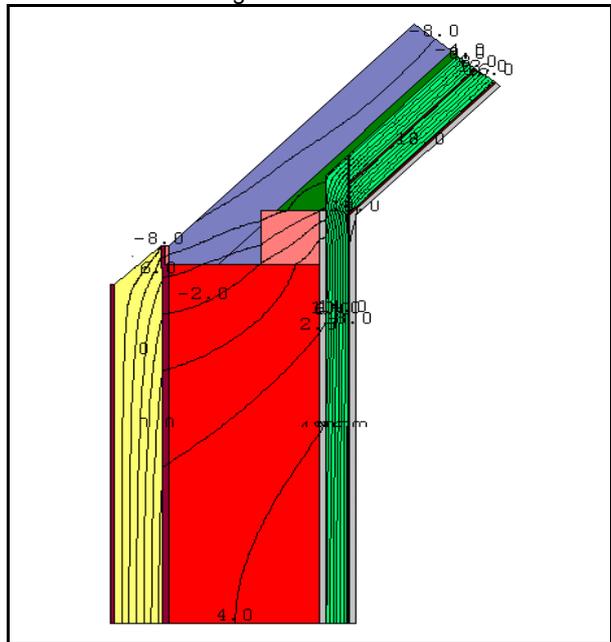
* auf unsanierten Zustand bezogen

U-Werte der ungestörten Bauteile	W/m²K
Außenwand	1,654
Dach	2,363

Außenwand an Dach (Feld) - Außendämmung (Hofseite)
Schnittzeichnung vertikal



Kürzel WB_AW7_Feld_Außend
Isothermendarstellung

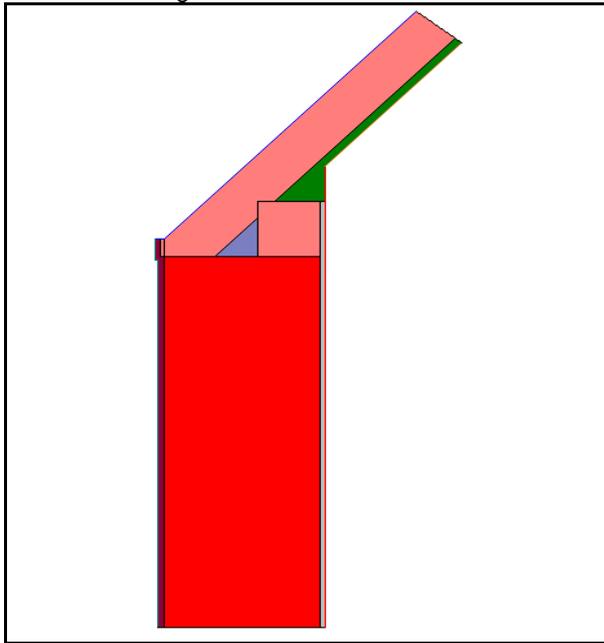


	$\Psi_{\text{Innenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}^*$
	[W/mK]	[W/mK]	[W/mK]
WB_AW7_Fe	0,168	0,034	0,091

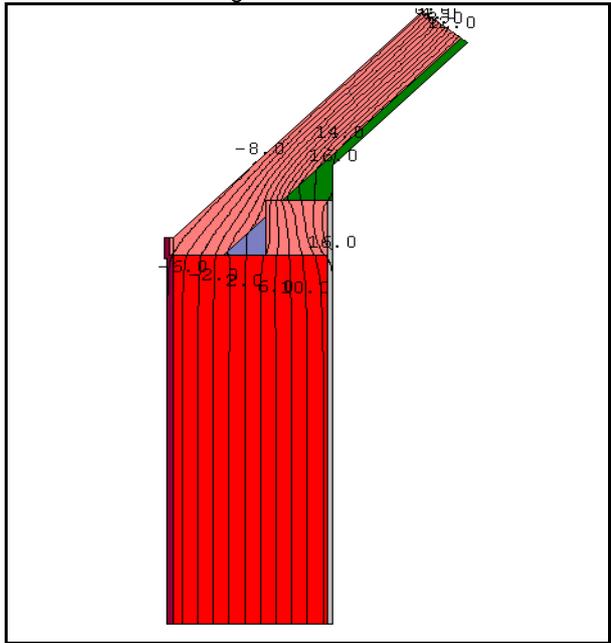
* auf unsanierten Zustand bezogen

U-Werte der ungestörten Bauteile	W/m²K
Außenwand	0,176
Dach	0,272

Außenwand an Dach (Sparren) - Istzustand
Schnittzeichnung vertikal



Kürzel WB_AW7_Sparren_ist
Isothermendarstellung

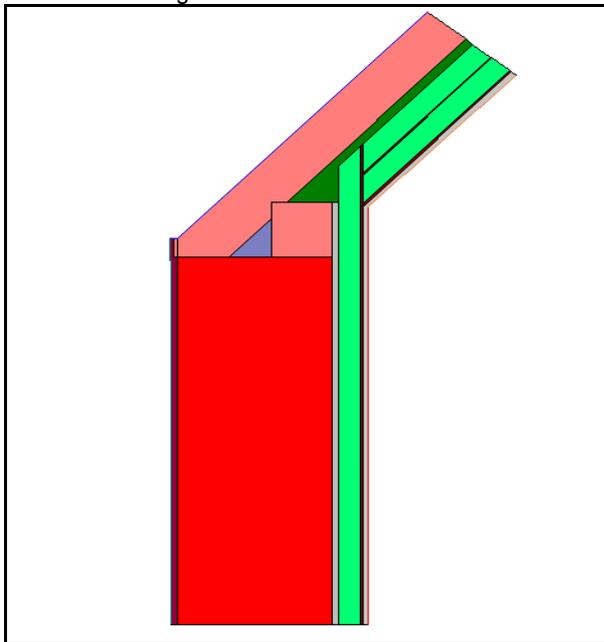


	$\Psi_{\text{Innenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}^*$
	[W/mK]	[W/mK]	[W/mK]
WB_AW7_Sp	-0,203	-0,232	

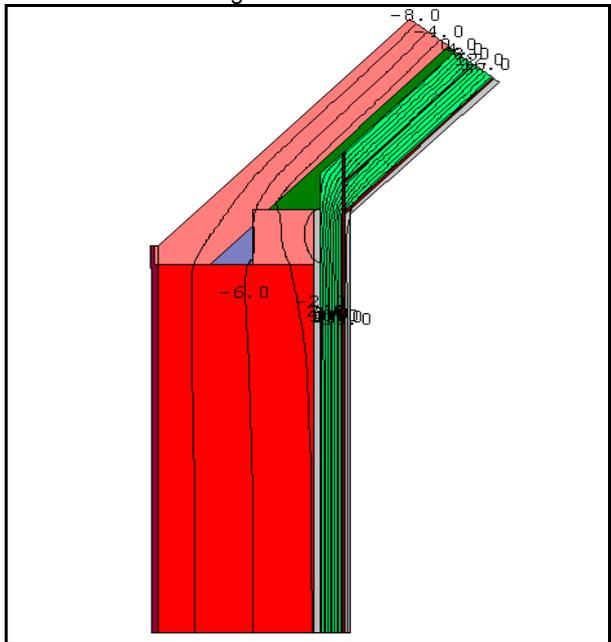
* auf unsanierten Zustand bezogen

U-Werte der ungestörten Bauteile	W/m ² K
Außenwand	1,654
Dach	0,876

Außenwand an Dach (Sparren) - Innendämmung (Straßenseite)
Schnittzeichnung vertikal



Kürzel WB_AW7_Sparren_Innendä
Isothermendarstellung

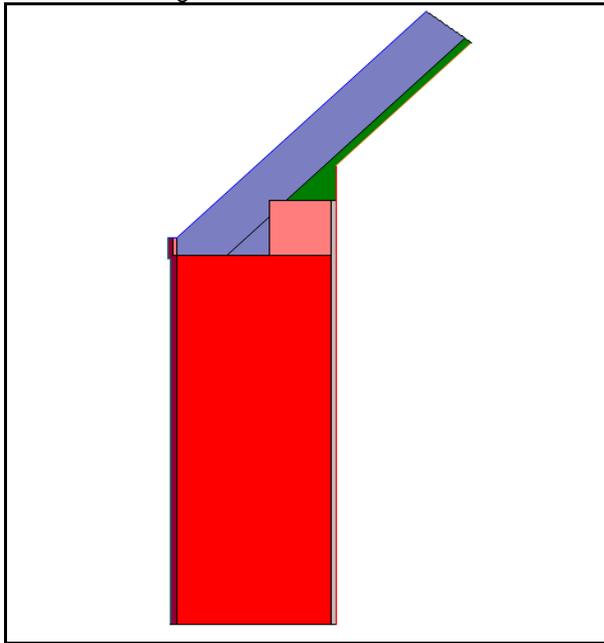


	$\Psi_{\text{Innenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}^*$
	[W/mK]	[W/mK]	[W/mK]
WB_AW7_Sp	0,001	-0,069	

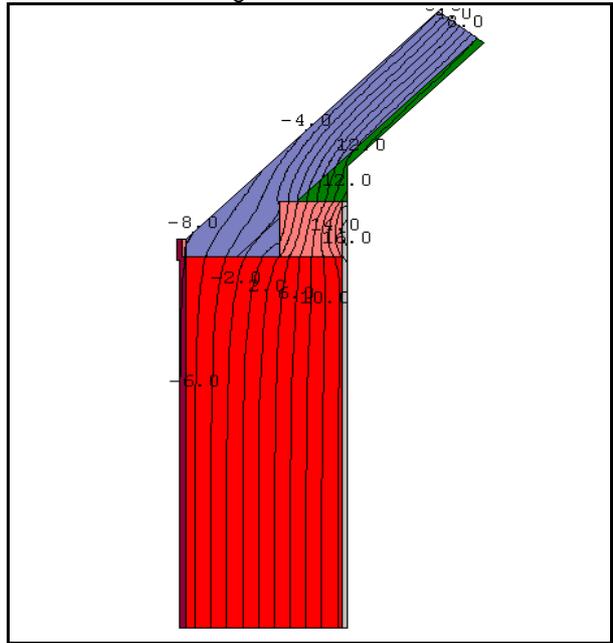
* auf unsanierten Zustand bezogen

U-Werte der ungestörten Bauteile	W/m ² K
Außenwand	0,448
Dach	0,227

Außenwand an Dach (Feld) - Istzustand
Schnittzeichnung vertikal



Kürzel WB_AW7_Feld_ist
Isothermendarstellung

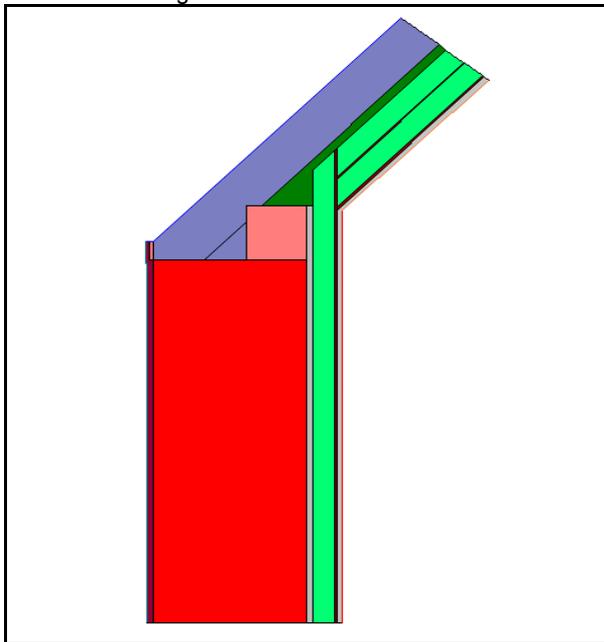


	$\Psi_{\text{Innenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}^*$
	[W/mK]	[W/mK]	[W/mK]
WB_AW7_Fe	-0,003	-0,635	

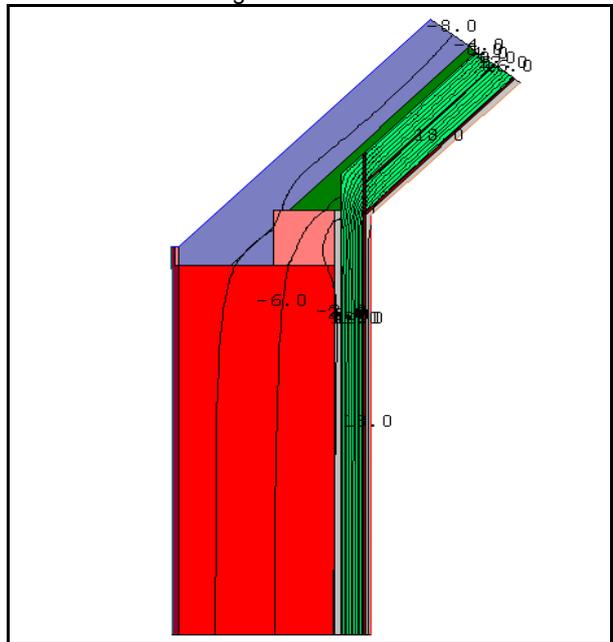
* auf unsanierten Zustand bezogen

U-Werte der ungestörten Bauteile	W/m ² K
Außenwand	1,654
Dach	2,363

Außenwand an Dach (Feld) - Innendämmung (Straßenseite)
Schnittzeichnung vertikal



Kürzel WB_AW7_Feld_Innendä.
Isothermendarstellung

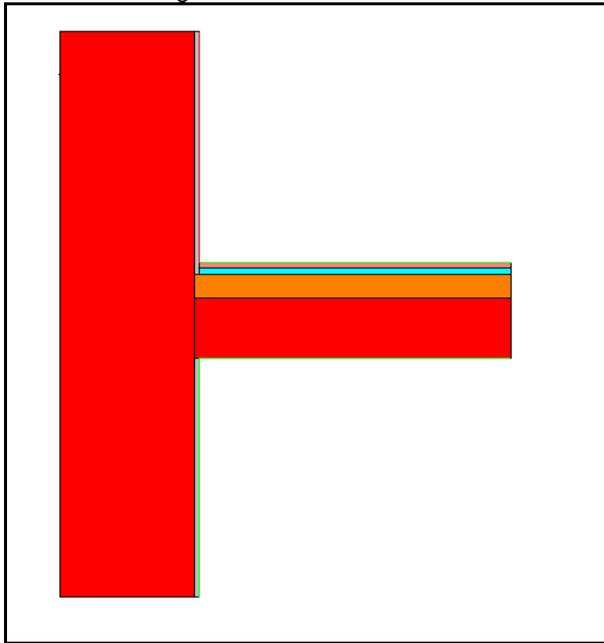


	$\Psi_{\text{Innenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}^*$
	[W/mK]	[W/mK]	[W/mK]
WB_AW7_Fe	0,012	-0,080	

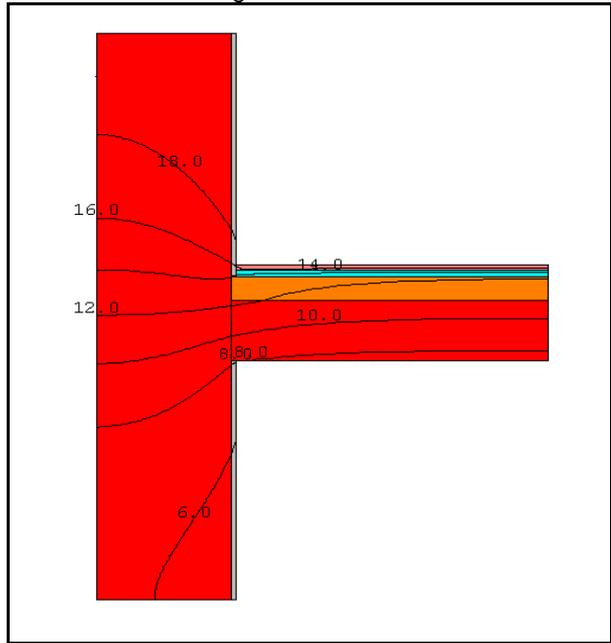
* auf unsanierten Zustand bezogen

U-Werte der ungestörten Bauteile	W/m ² K
Außenwand	0,448
Dach	0,272

Anschluss Kellerdecke an Brandwand 51 cm - Istzustand
Schnittzeichnung vertikal



Kürzel WB_KD1W51_ist
Isothermendarstellung

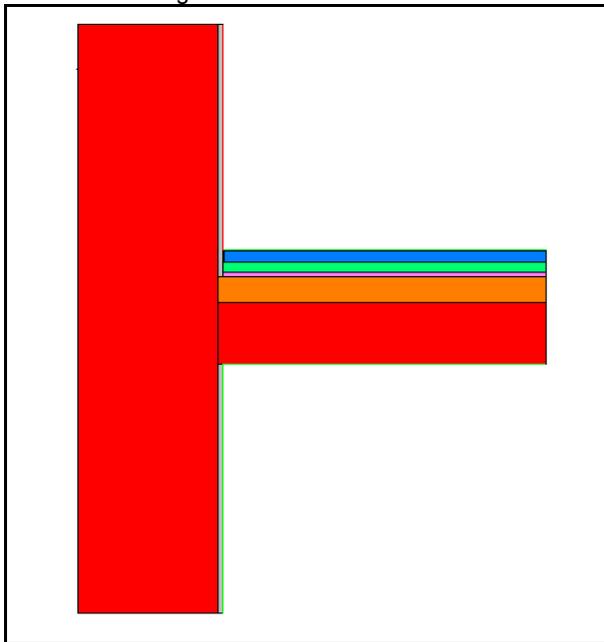


	$\Psi_{\text{Innenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}^*$
	[W/mK]	[W/mK]	[W/mK]
WB_KD1W51	0,449	-0,045	

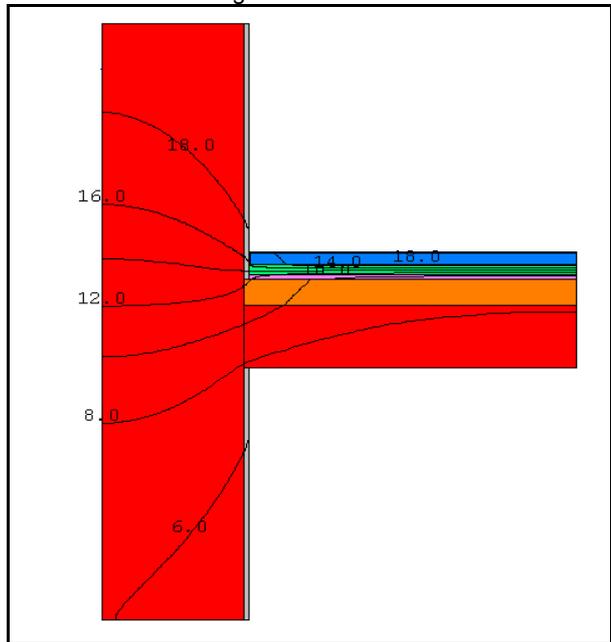
* auf unsanierten Zustand bezogen

U-Werte der ungestörten Bauteile	W/m ² K
Kellerdecke	0,941

Anschluss Kellerdecke an Brandwand 51 cm - saniert
Schnittzeichnung vertikal



Kürzel WB_KD1W51_san
Isothermendarstellung

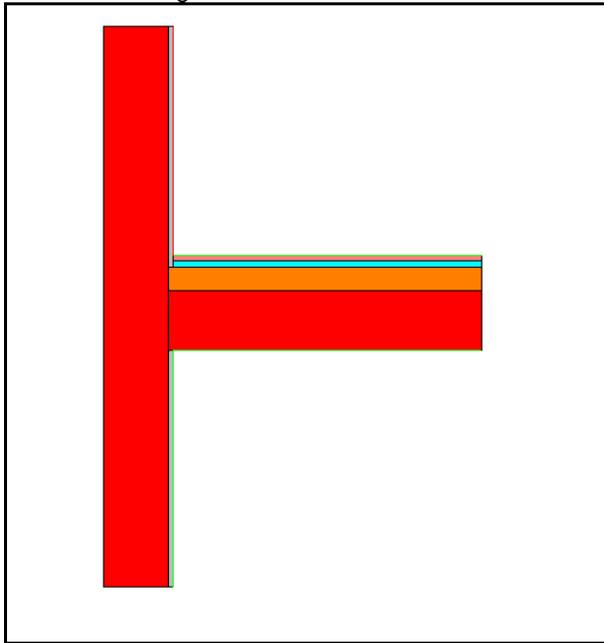


	$\Psi_{\text{Innenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}^*$
	[W/mK]	[W/mK]	[W/mK]
WB_KD1W51	0,488	0,238	

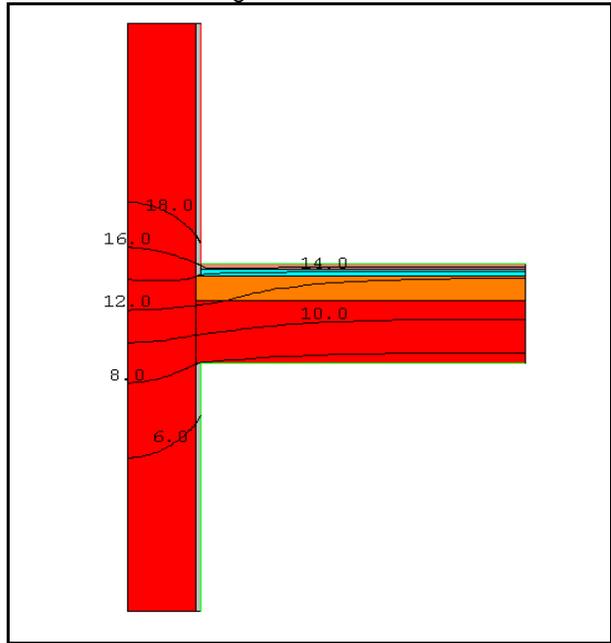
* auf unsanierten Zustand bezogen

U-Werte der ungestörten Bauteile	W/m ² K
Kellerdecke	0,477

Anschluss Kellerdecke an Brandwand 25 cm - Istzustand
Schnittzeichnung vertikal



Kürzel WB_KD1W25_ist
Isothermendarstellung

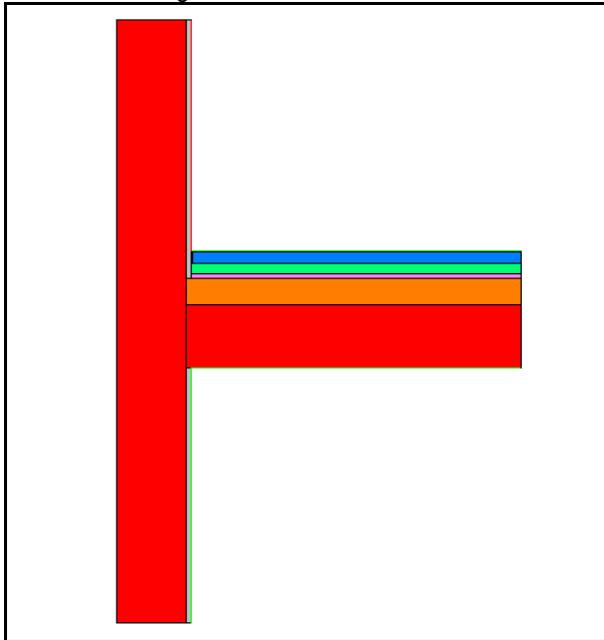


	$\Psi_{\text{Innenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}^*$
	[W/mK]	[W/mK]	[W/mK]
WB_KD1W25	0,308	0,059	

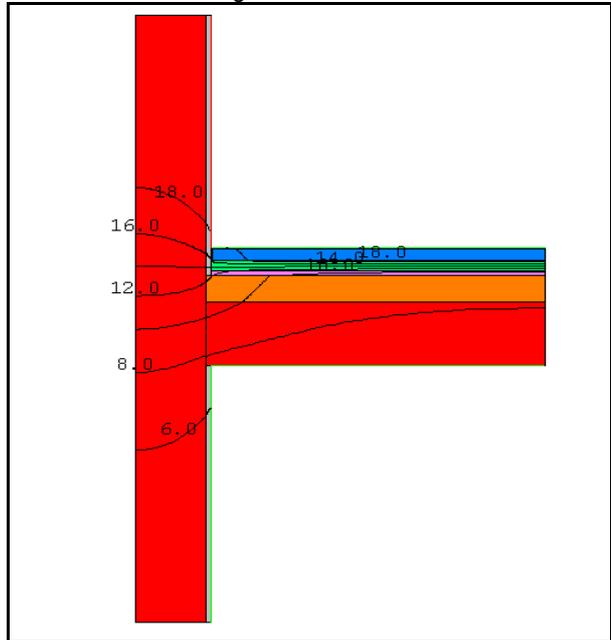
* auf unsanierten Zustand bezogen

U-Werte der ungestörten Bauteile	W/m ² K
Kellerdecke	0,941

Anschluss Kellerdecke an halbe Brandwand 25 cm - saniert
Schnittzeichnung vertikal



Kürzel WB_KD1W25_san
Isothermendarstellung

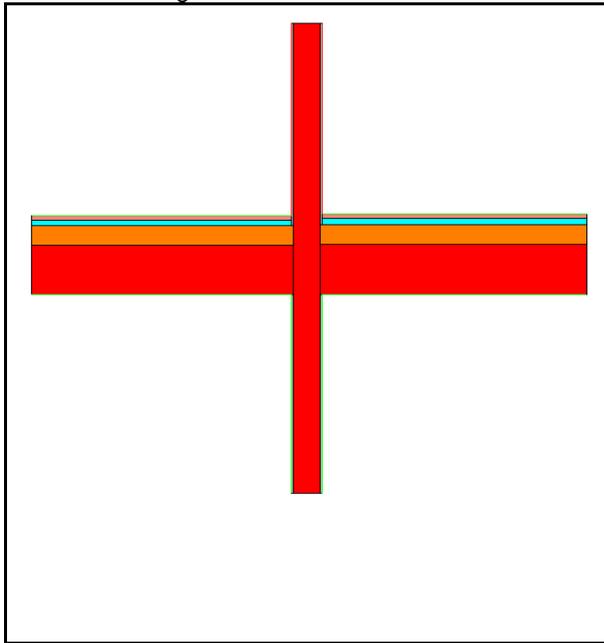


	$\Psi_{\text{Innenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}^*$
	[W/mK]	[W/mK]	[W/mK]
WB_KD1W25	0,347	0,221	

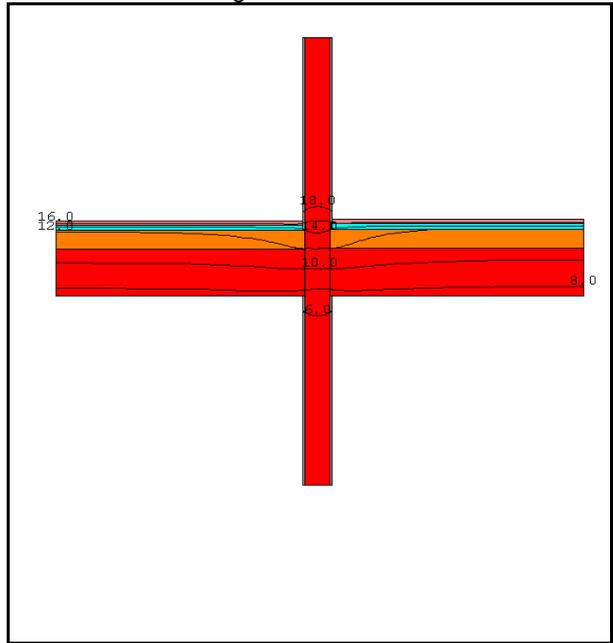
* auf unsanierten Zustand bezogen

U-Werte der ungestörten Bauteile	W/m ² K
Kellerdecke	0,477

Anschluss Kellerdecke an Innenwand 12 cm - Istzustand
Schnittzeichnung vertikal



Kürzel WB_KD2W12_ist
Isothermendarstellung

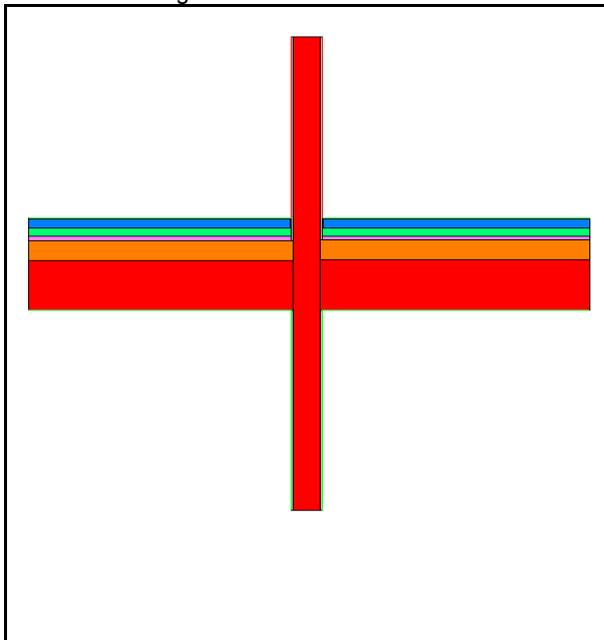


	$\Psi_{\text{Innenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}^*$
	[W/mK]	[W/mK]	[W/mK]
WB_KD2W12	0,218	0,087	

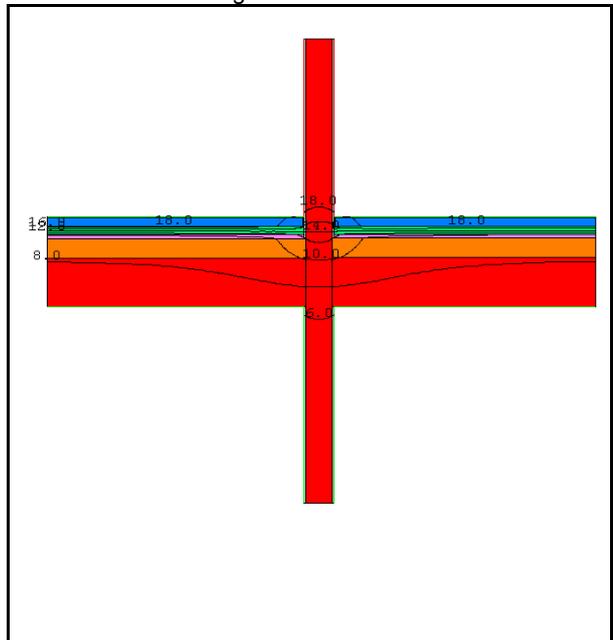
* auf unsanierten Zustand bezogen

U-Werte der ungestörten Bauteile	W/m ² K
Kellerdecke	0,941

Anschluss Kellerdecke an Innenwand 12 cm - saniert
Schnittzeichnung vertikal



Kürzel WB_KD2W12_san
Isothermendarstellung

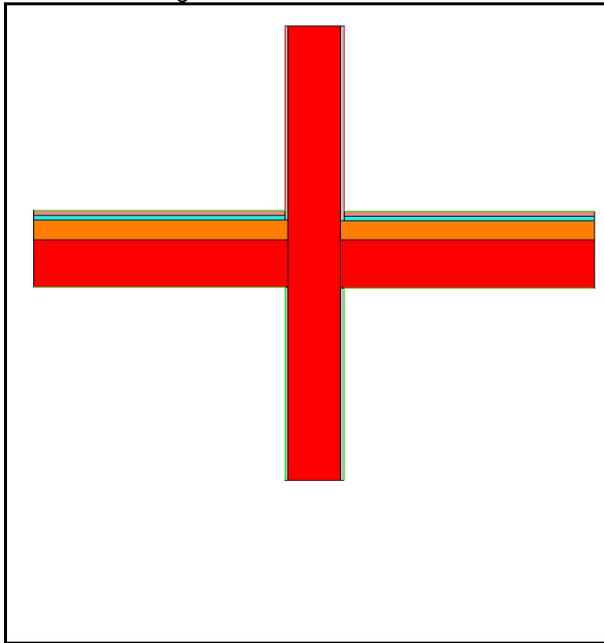


	$\Psi_{\text{Innenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}^*$
	[W/mK]	[W/mK]	[W/mK]
WB_KD2W12	0,317	0,250	

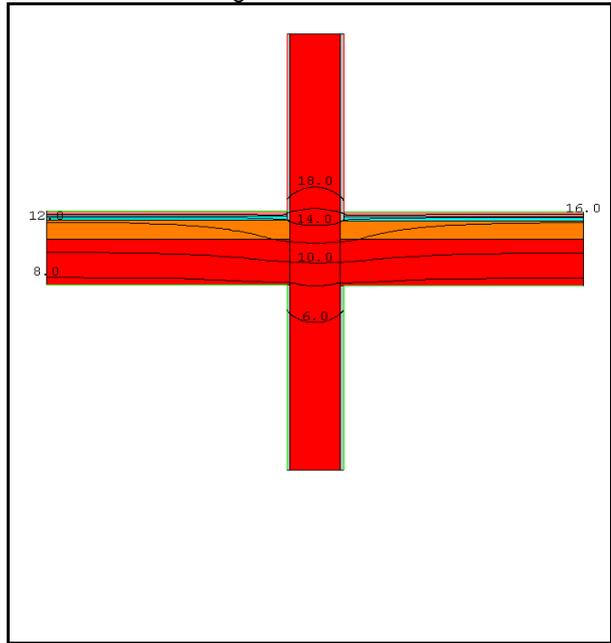
* auf unsanierten Zustand bezogen

U-Werte der ungestörten Bauteile	W/m ² K
Kellerdecke	0,477

Anschluss Kellerdecke an Innenwand 25 cm - Istzustand
Schnittzeichnung vertikal



Kürzel WB_KD2W25_ist
Isothermendarstellung

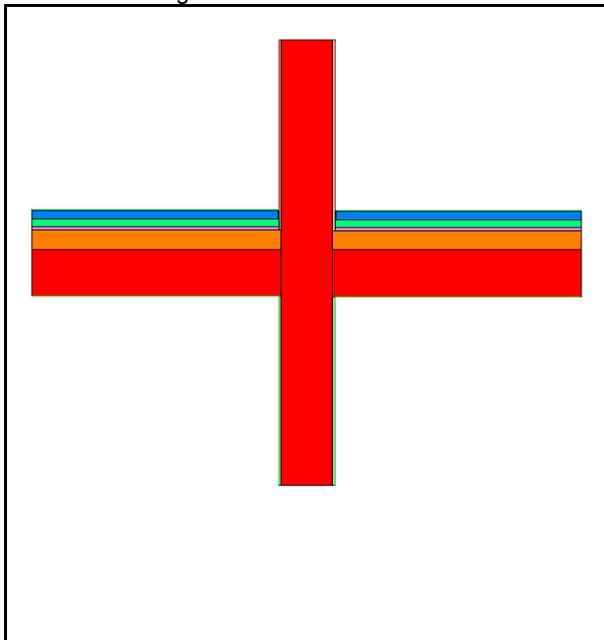


	$\Psi_{\text{Innenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}^*$
	[W/mK]	[W/mK]	[W/mK]
WB_KD2W25	0,410	0,147	

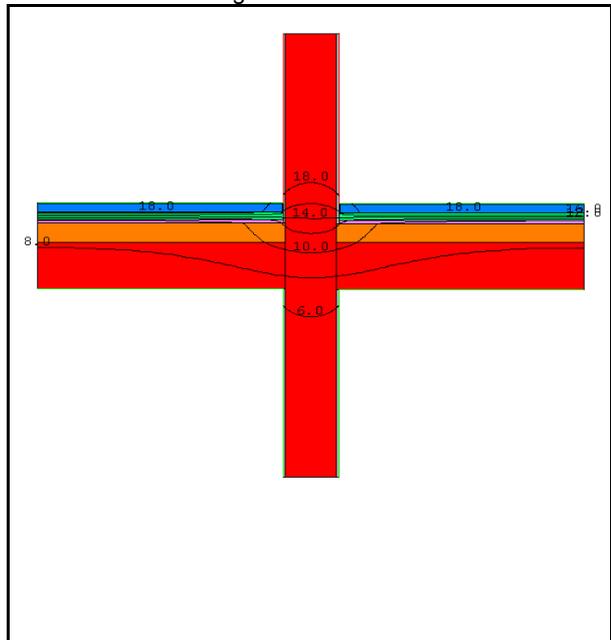
* auf unsanierten Zustand bezogen

U-Werte der ungestörten Bauteile	W/m ² K
Kellerdecke	0,941

Anschluss Kellerdecke an Innenwand 25 cm - saniert
Schnittzeichnung vertikal



Kürzel WB_KD2W25_san
Isothermendarstellung

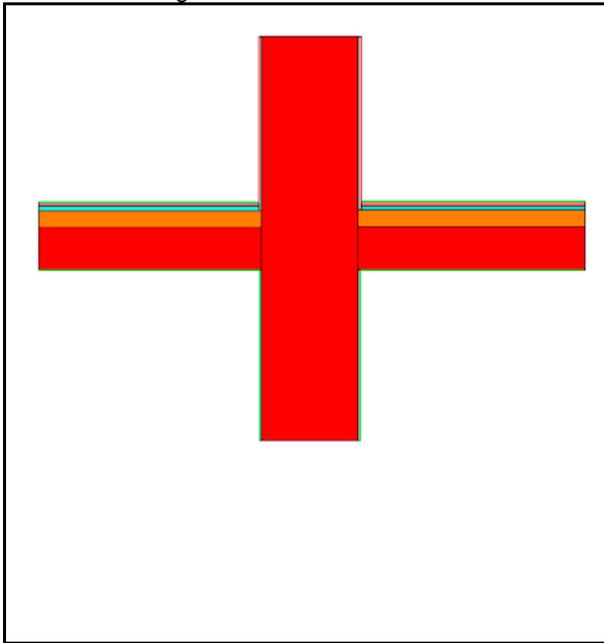


	$\Psi_{\text{Innenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}^*$
	[W/mK]	[W/mK]	[W/mK]
WB_KD2W25	0,493	0,359	

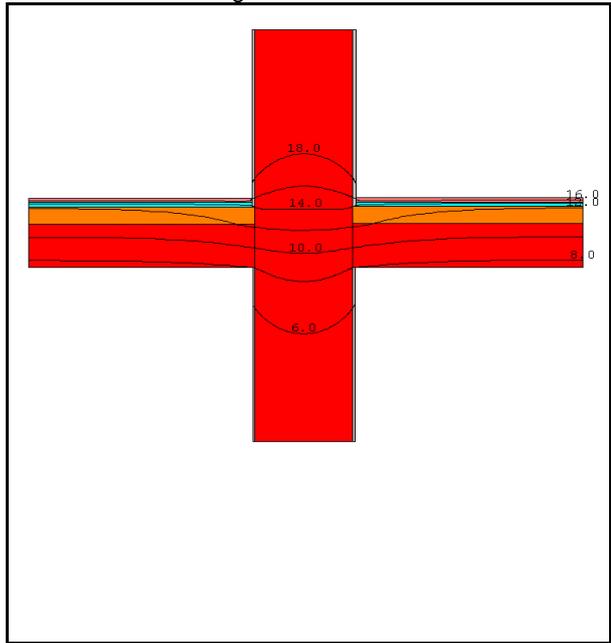
* auf unsanierten Zustand bezogen

U-Werte der ungestörten Bauteile	W/m ² K
Kellerdecke	0,477

Anschluss Kellerdecke an Innenwand 51 cm - Istzustand
Schnittzeichnung vertikal



Kürzel WB_KD2W51_ist
Isothermendarstellung

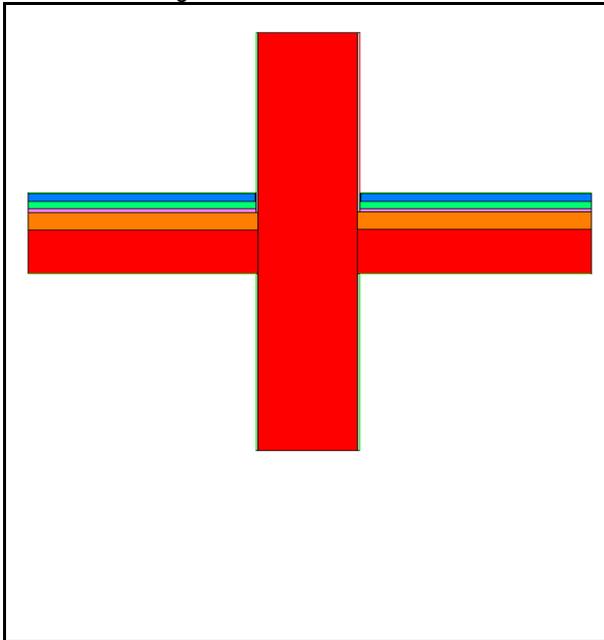


	$\Psi_{\text{Innenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}^*$
	[W/mK]	[W/mK]	[W/mK]
WB_KD2W51	0,627	0,128	

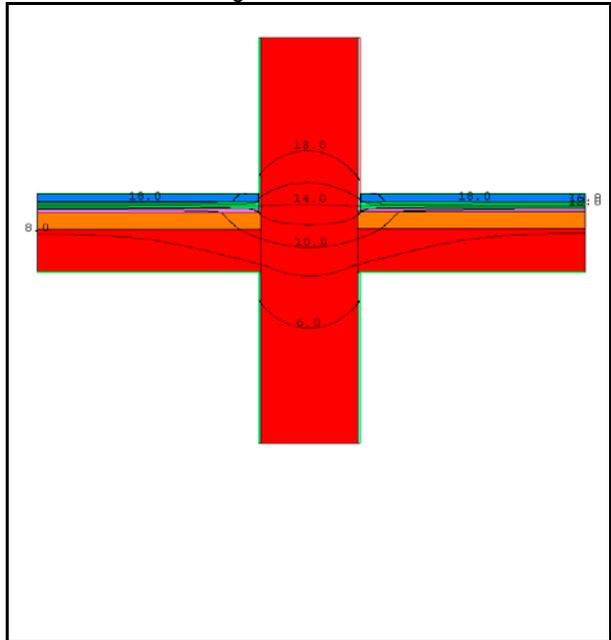
* auf unsanierten Zustand bezogen

U-Werte der ungestörten Bauteile	W/m ² K
Kellerdecke	0,941

Anschluss Kellerdecke an Innenwand 51 cm - saniert
Schnittzeichnung vertikal



Kürzel WB_KD2W51_san
Isothermendarstellung



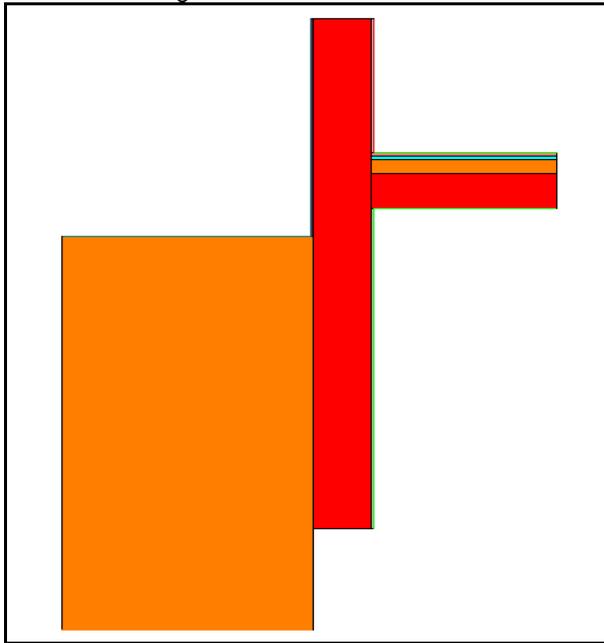
	$\Psi_{\text{Innenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}^*$
	[W/mK]	[W/mK]	[W/mK]
WB_KD2W51	0,691	0,438	

* auf unsanierten Zustand bezogen

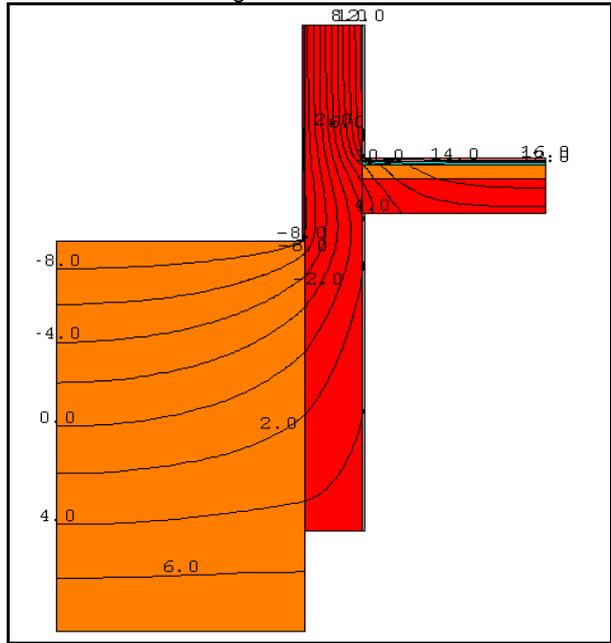
U-Werte der ungestörten Bauteile	W/m ² K
Kellerdecke	0,477

Kellerdecke an Außenwand - Istzustand

Schnittzeichnung vertikal



Kürzel Isothermendarstellung WB_KD3W1_ist



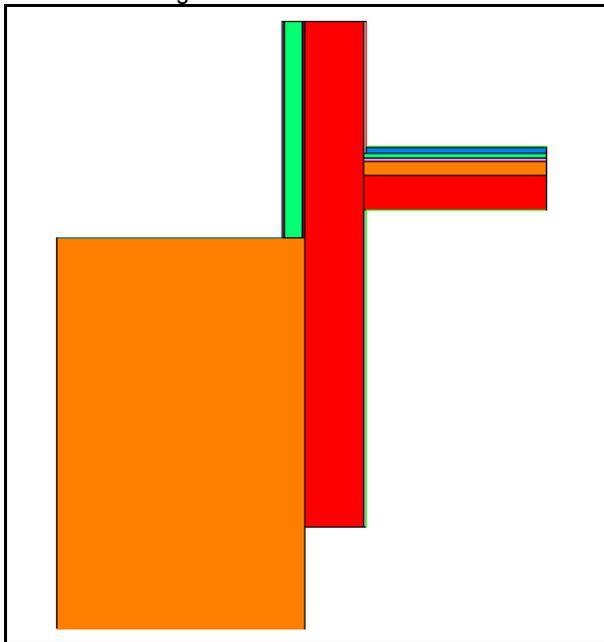
	$\Psi_{\text{Innenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}^*$
	[W/mK]	[W/mK]	[W/mK]
WB_KD3W1	0,217	-0,638	

* auf unsanierten Zustand bezogen

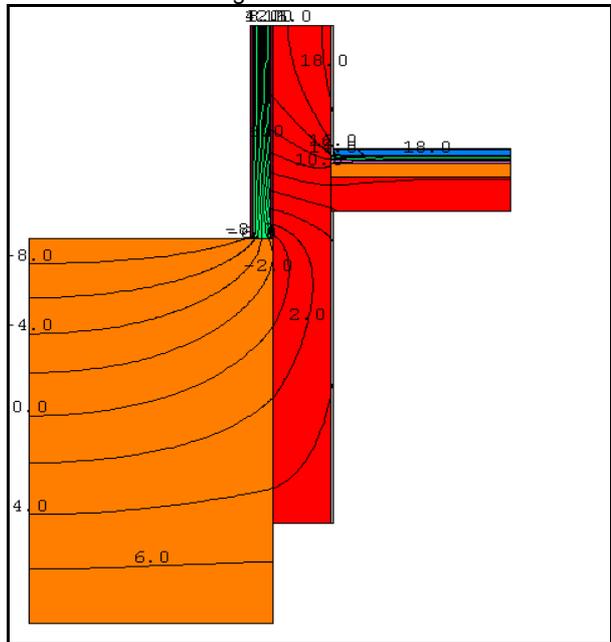
U-Werte der ungestörten Bauteile	W/m²K
Außenwand	1,654
Kellerdecke	0,941

Kellerdecke an Außenwand - Hofseite mit Außendämmung

Schnittzeichnung vertikal



Kürzel Isothermendarstellung WB_KD3W1a_san

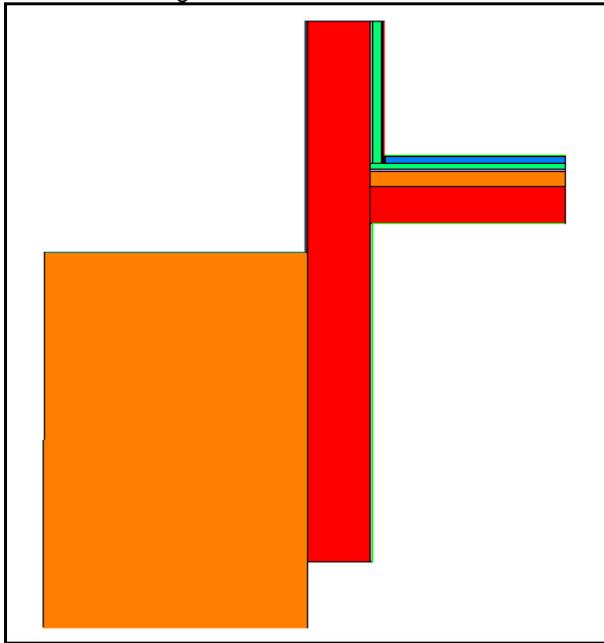


	$\Psi_{\text{Innenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}^*$
	[W/mK]	[W/mK]	[W/mK]
WB_KD3W1a	0,248	0,005	0,037

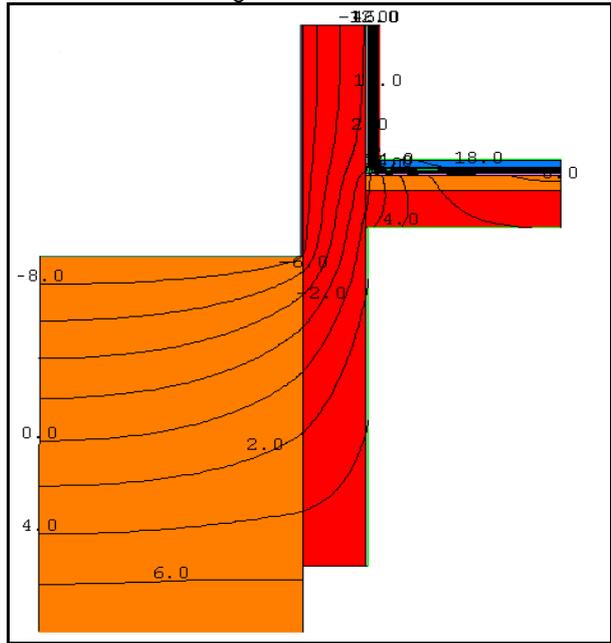
* auf unsanierten Zustand bezogen

U-Werte der ungestörten Bauteile	W/m²K
Außenwand	0,246
Kellerdecke	0,477

Kellerdecke an Außenwand - Straßenseite mit Innendämmung
Schnittzeichnung vertikal



Kürzel WB_KD3W1i_san
Isothermendarstellung

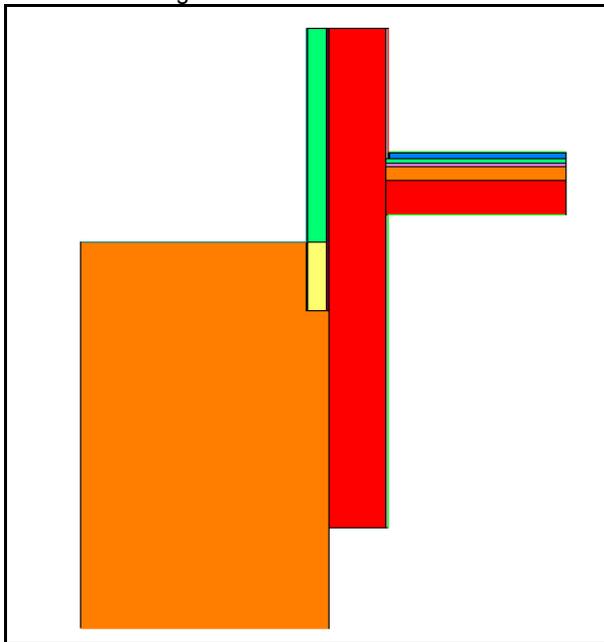


	$\Psi_{\text{Innenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}^*$
	[W/mK]	[W/mK]	[W/mK]
WB_KD3W1i	0,074	-0,245	

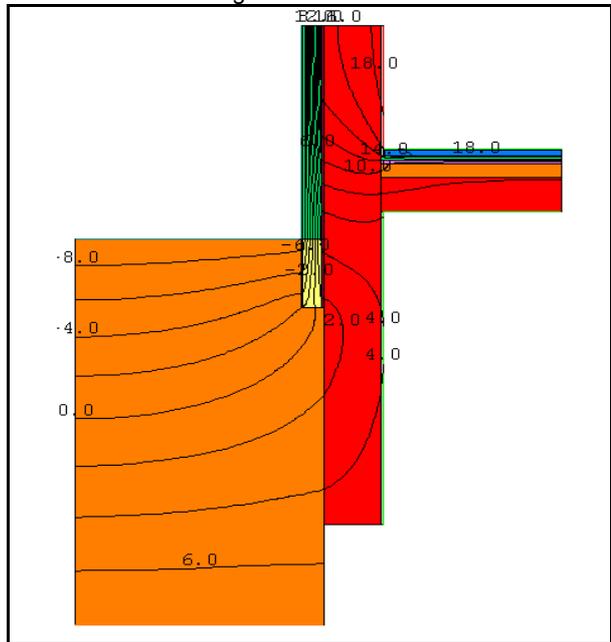
* auf unsanierten Zustand bezogen

U-Werte der ungestörten Bauteile	W/m ² K
Außenwand	0,443
Kellerdecke	0,477

Kellerdecke an Außenwand - Hofseite mit Außen- und Perimeterdämmung
Schnittzeichnung vertikal



Kürzel WB_KD3W1a_san_Per
Isothermendarstellung

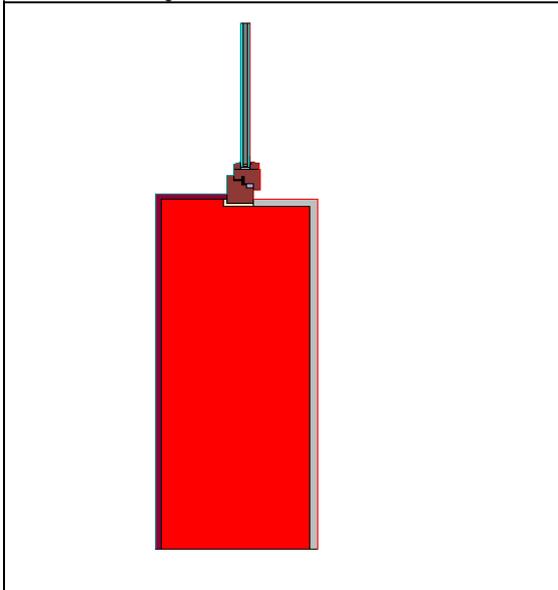


	$\Psi_{\text{Innenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}^*$
	[W/mK]	[W/mK]	[W/mK]
WB_KD3W1a	0,222	-0,021	0,011

* auf unsanierten Zustand bezogen

U-Werte der ungestörten Bauteile	W/m ² K
Außenwand	0,246
Kellerdecke	0,477

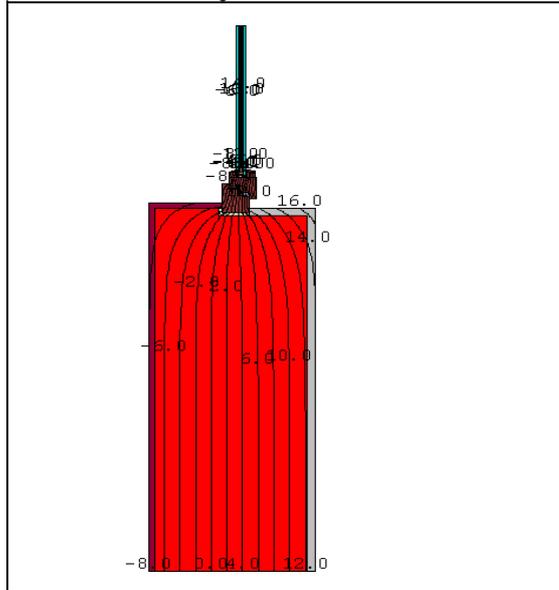
Fenster - Einbau Istzustand, aber neues Fenster
Schnittzeichnung horizontal



	$\Psi_{\text{Innenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}^*$
	[W/mK]	[W/mK]	[W/mK]
Fe1_ist	0,131	0,073	

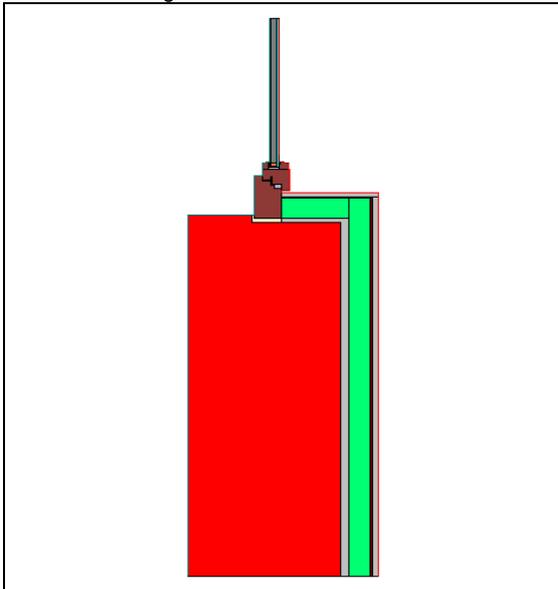
* auf un sanierten Zustand bezogen

Kürzel Fe1_ist
Isothermendarstellung



U-Werte der ungestörten Bauteile	W/m²K
Außenwand	1,654
Fenster	1,311

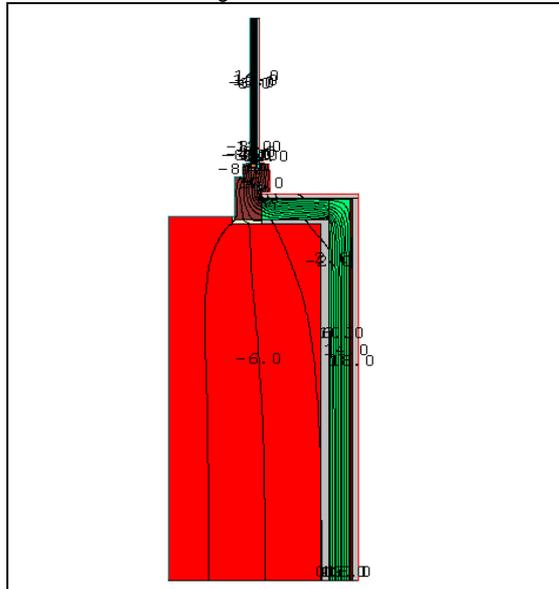
Fenster - Innendämmung (Straßenseite)
Schnittzeichnung horizontal



	$\Psi_{\text{Innenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}^*$
	[W/mK]	[W/mK]	[W/mK]
Fe1_i	0,059	0,043	

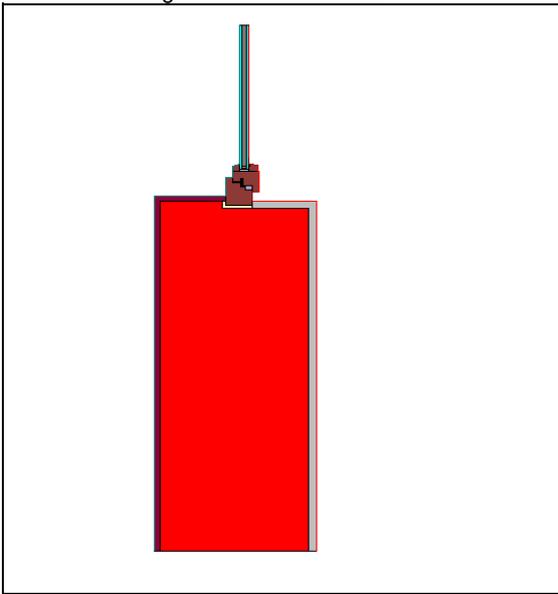
* auf un sanierten Zustand bezogen

Kürzel Fe1_i
Isothermendarstellung



U-Werte der ungestörten Bauteile	W/m²K
Außenwand	0,448
Fenster	1,311

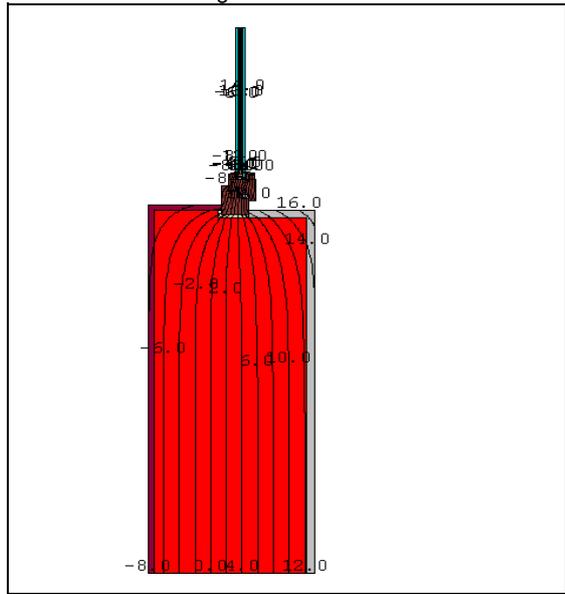
Fenster - Einbau Istzustand, aber neues Fenster
Schnittzeichnung horizontal



	$\Psi_{\text{Innenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}^*$
	[W/mK]	[W/mK]	[W/mK]
Fe1_ist	0,131	0,073	

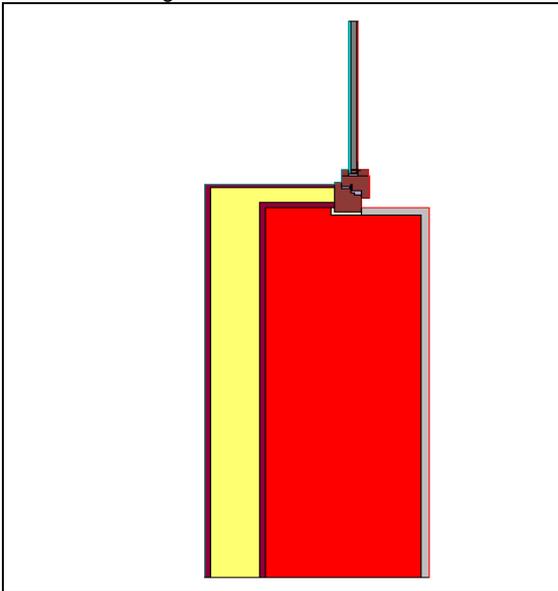
* auf unsanierten Zustand bezogen

Kürzel Fe1_ist
Isothermendarstellung



U-Werte der ungestörten Bauteile	W/m²K
Außenwand	1,654
Fenster	1,311

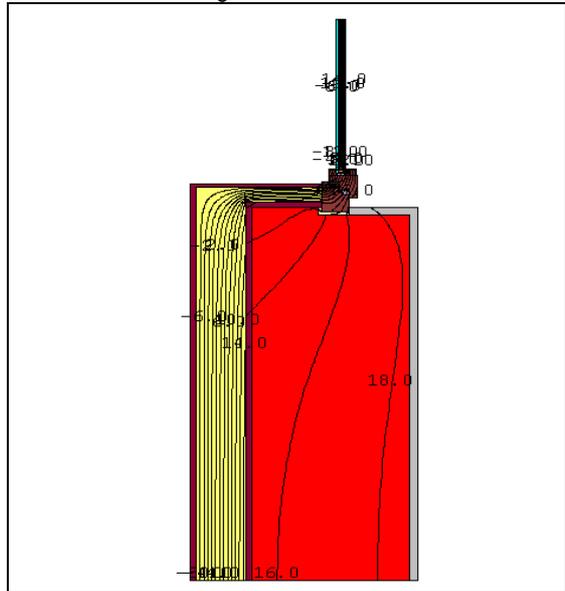
Fenster - Außendämmung (Hofseite)
Schnittzeichnung horizontal



	$\Psi_{\text{Innenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}^*$
	[W/mK]	[W/mK]	[W/mK]
Fe1_a	0,074	0,065	

* auf unsanierten Zustand bezogen

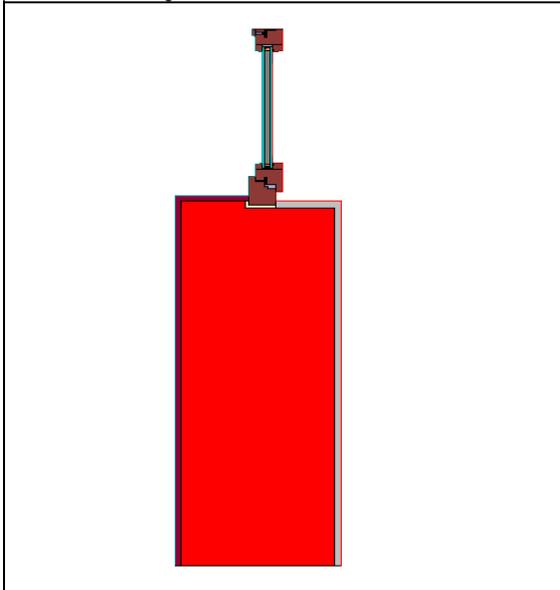
Kürzel Fe1_a
Isothermendarstellung



U-Werte der ungestörten Bauteile	W/m²K
Außenwand	0,247
Fenster	1,311

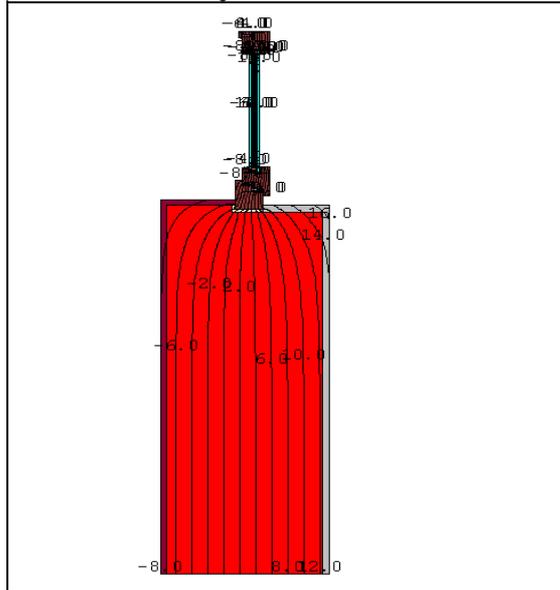
Fenster mit Mittelstütze - Einbau Istzustand, neues Fenster

Schnittzeichnung horizontal



Kürzel Fe1_mit_Stütze_ist

Isothermendarstellung



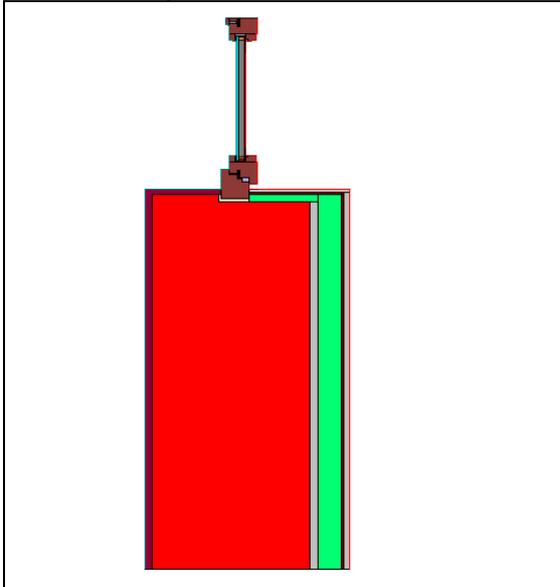
	$\Psi_{\text{Innenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}^*$
	[W/mK]	[W/mK]	[W/mK]
Fe1_mit Stütz	0,143	0,085	

* auf un sanierten Zustand bezogen

U-Werte der ungestörten Bauteile	W/m ² K
Außenwand	1,654
Fenster	1,526

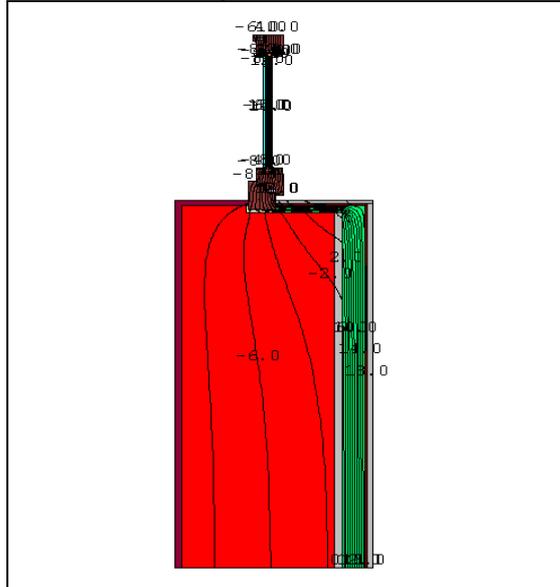
Fenster mit Mittelstütze - Innendämmung (Straßenseite)

Schnittzeichnung horizontal



Kürzel Fe1_mit Stütze_i

Isothermendarstellung

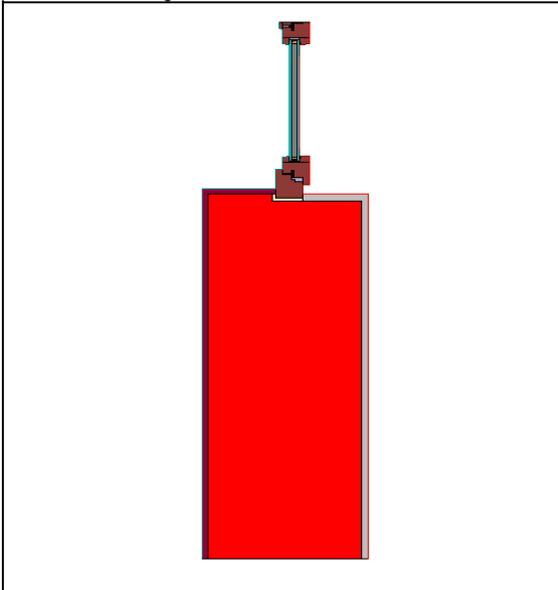


	$\Psi_{\text{Innenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}^*$
	[W/mK]	[W/mK]	[W/mK]
Fe1_mit Stütz	0,129	0,113	

* auf un sanierten Zustand bezogen

U-Werte der ungestörten Bauteile	W/m ² K
Außenwand	0,448
Fenster	1,526

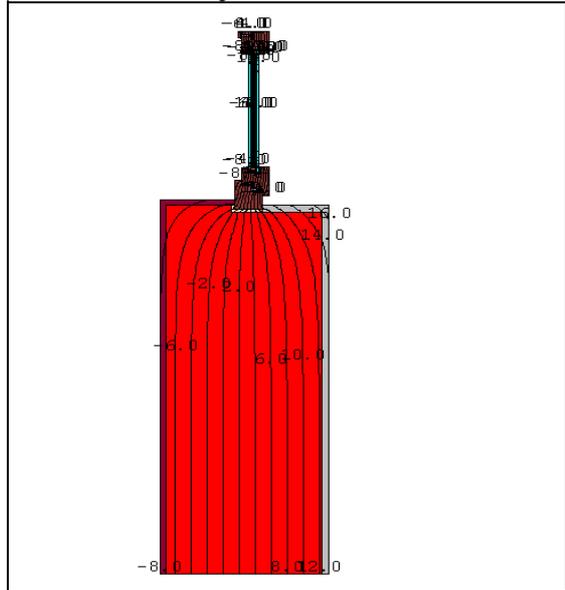
Fenster mit Mittelstütze - Einbau Istzustand, neues Fenster
Schnittzeichnung horizontal



	$\Psi_{\text{Innenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}^*$
	[W/mK]	[W/mK]	[W/mK]
Fe1_mit_Stüt	0,143	0,085	

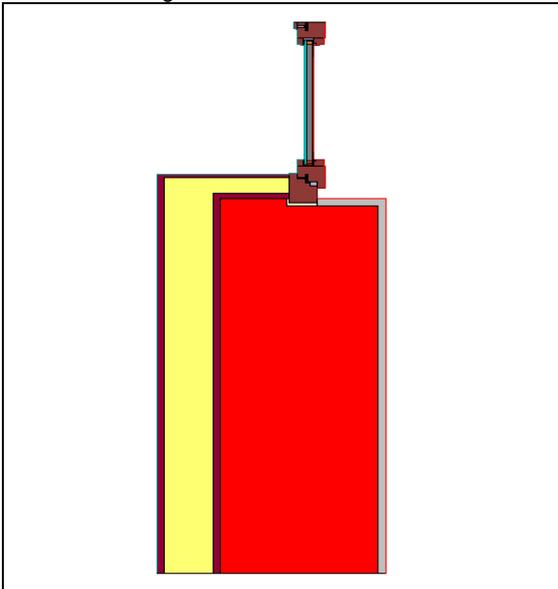
* auf unsanierten Zustand bezogen

Kürzel Fe1_mit_Stütze_ist
Isothermendarstellung



U-Werte der ungestörten Bauteile	W/m²K
Außenwand	1,654
Fenster	1,526

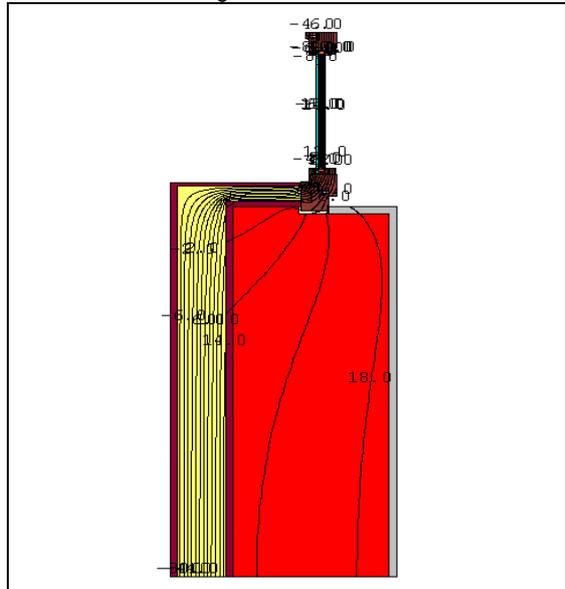
Fenster mit Mittelstütze - Außendämmung (Hofseite)
Schnittzeichnung horizontal



	$\Psi_{\text{Innenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}^*$
	[W/mK]	[W/mK]	[W/mK]
Fe1_mit_Stüt	0,090	0,069	0,081

* auf unsanierten Zustand bezogen

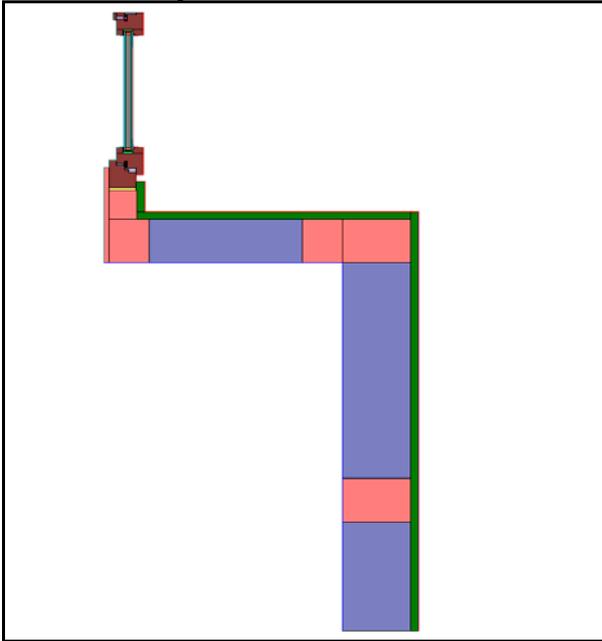
Kürzel Fe1_mit_Stütze_a
Isothermendarstellung



U-Werte der ungestörten Bauteile	W/m²K
Außenwand	0,247
Fenster	1,526

Gaubenfenster - Istzustand

Schnittzeichnung horizontal

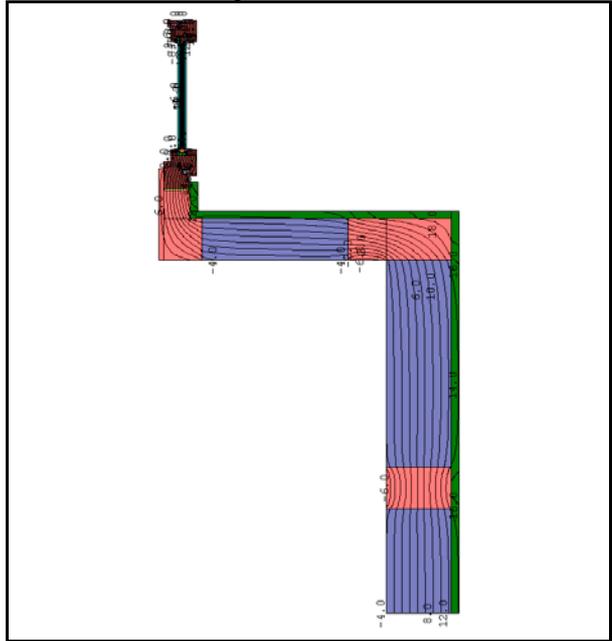


	$\Psi_{\text{Innenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}^*$
	[W/mK]	[W/mK]	[W/mK]
Fe3_ist	-0,246	0,157	

* auf unsanierten Zustand bezogen

Kürzel Fe3_ist

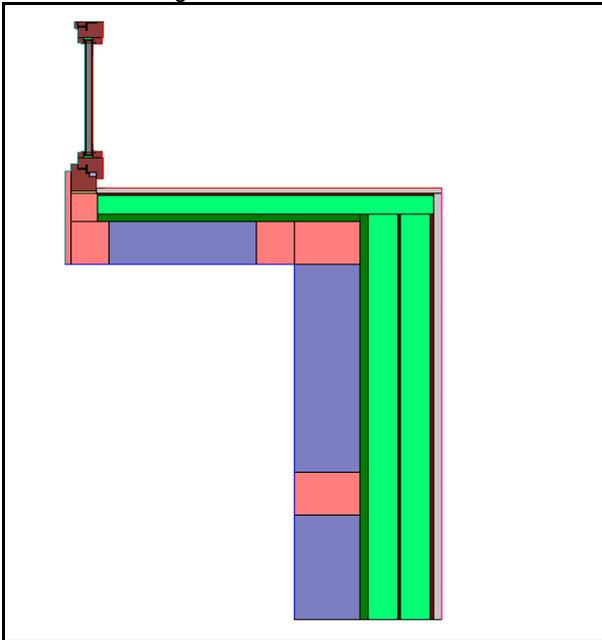
Isothermendarstellung



U-Werte der ungestörten Bauteile	W/m²K
Dach (45° geschnitten)	1,769
Fenster	1,526
Gaubenwand	1,771

Fenster Innendämmung (Straßenseite)

Schnittzeichnung horizontal

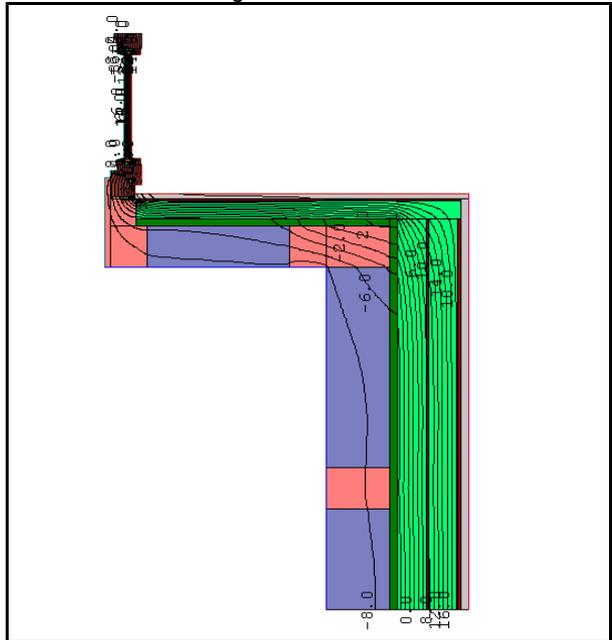


	$\Psi_{\text{Innenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}^*$
	[W/mK]	[W/mK]	[W/mK]
Fe3_gedämm	-0,092	0,108	

* auf unsanierten Zustand bezogen

Kürzel Fe3_gedämmt_optimiert

Isothermendarstellung



U-Werte der ungestörten Bauteile	W/m²K
Dach (45° geschnitten)	0,194
Fenster	1,526
Gaubenwand	0,449

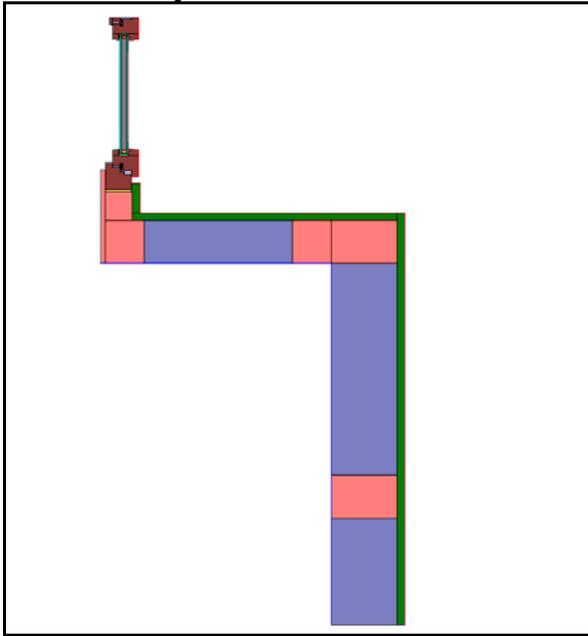
Gaubenfenster - Istzustand, nur Fenster und Dach gerechnet

Kürzel

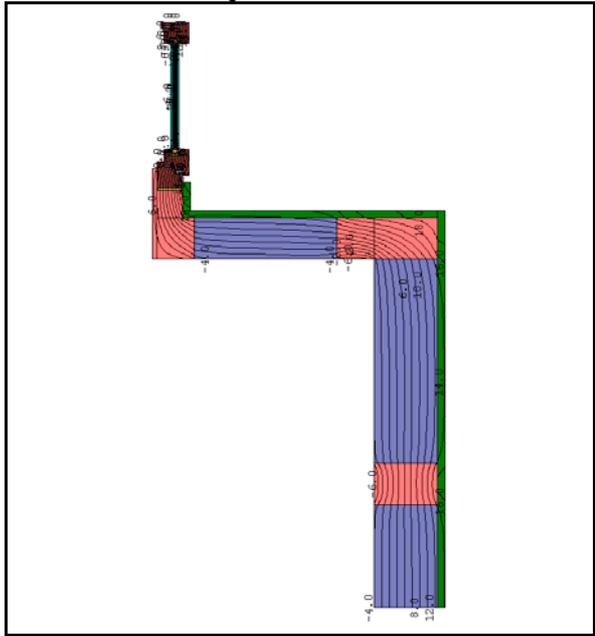
FE3_ist(nur Fenster und Dach)

Schnittzeichnung

horizontal



Isothermendarstellung



	$\Psi_{\text{Innenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}$
	[W/mK]	[W/mK]	[W/mK]
FE3_ist(nur F	0,958	1,206	

U-Werte der ungestörten Bauteile	W/m ² K
Dach (45° geschnitten)	1,769
Fenster	1,526

* auf unsanierten Zustand bezogen

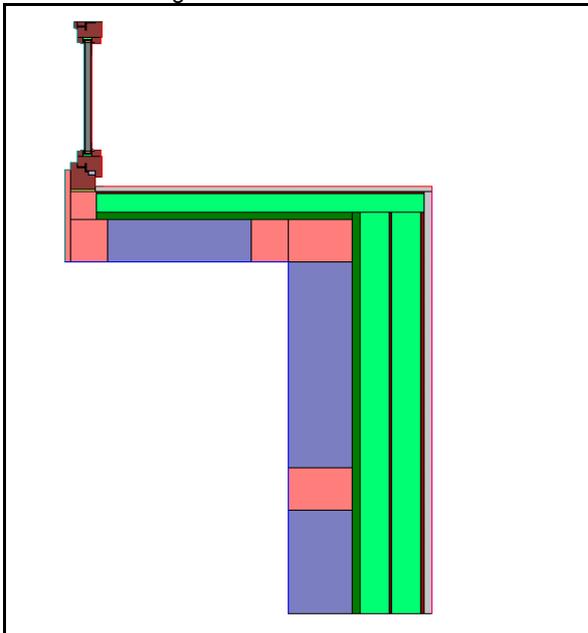
Fenster Innendämmung, nur Fenster und Dach gerechnet

Kürzel

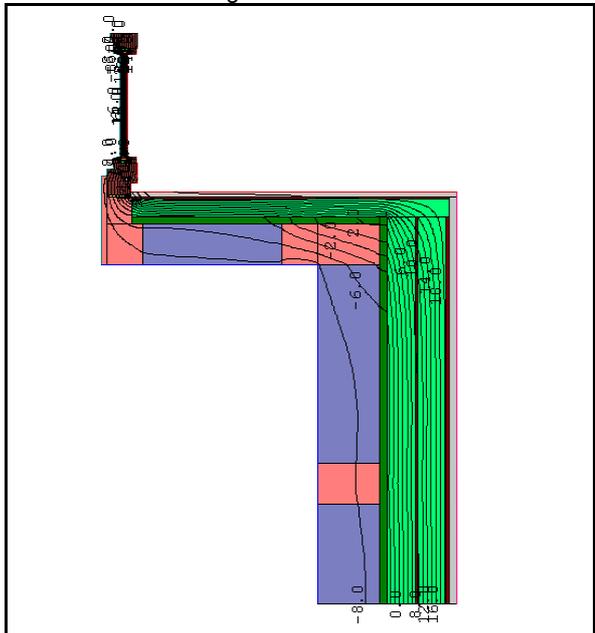
FE3_gedämmt (nur Fen u. Dach)

Schnittzeichnung

horizontal



Isothermendarstellung

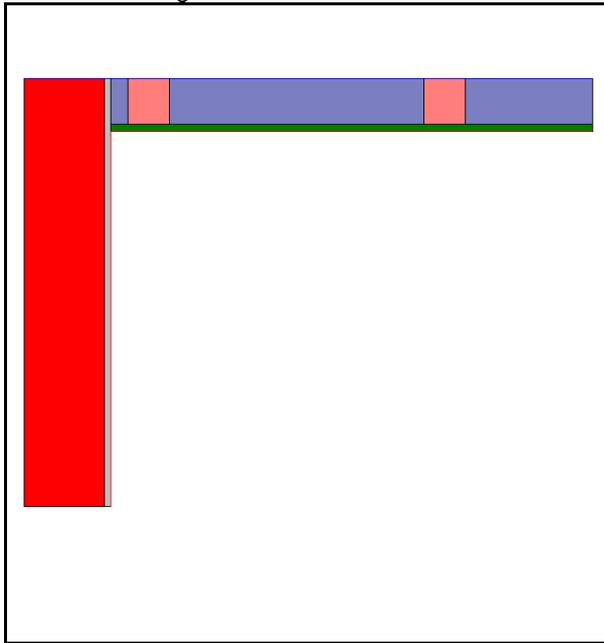


	$\Psi_{\text{Innenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}$
	[W/mK]	[W/mK]	[W/mK]
FE3_gedämmt	0,348	0,422	

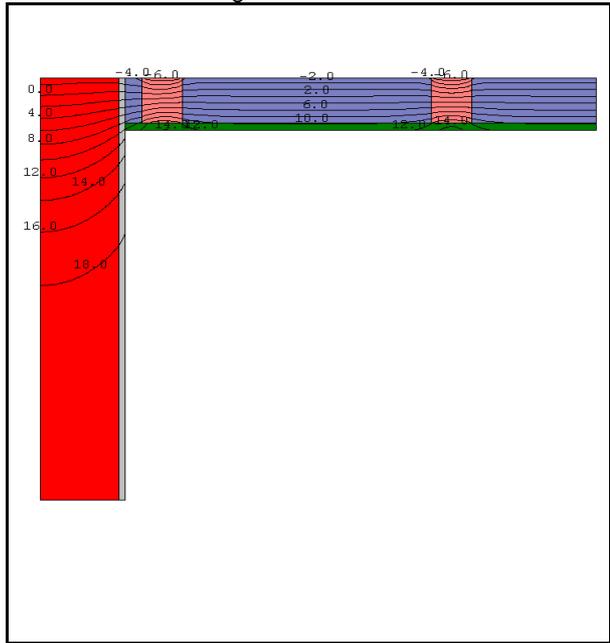
U-Werte der ungestörten Bauteile	W/m ² K
Dach (45° geschnitten)	0,194
Fenster	1,526

* auf unsanierten Zustand bezogen

Dach an Brandwand (19 cm) - Istzustand
Schnittzeichnung vertikal



Kürzel WB_DA1_19_ist
Isothermendarstellung

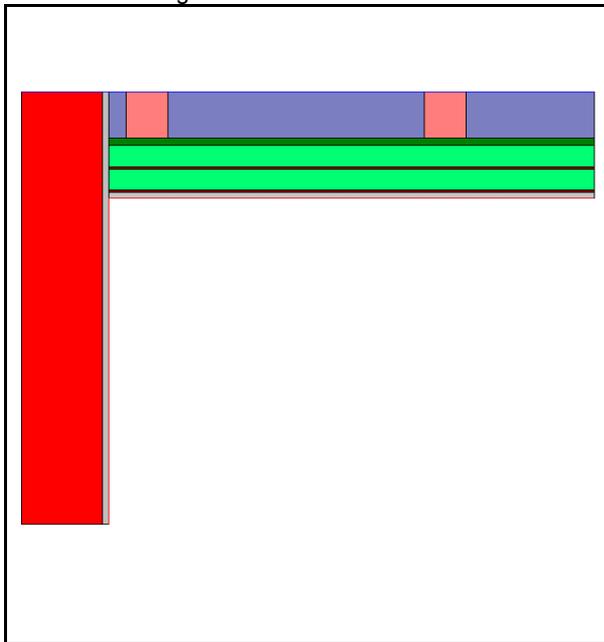


	$\Psi_{\text{Innenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}^*$
	[W/mK]	[W/mK]	[W/mK]
WB_DA1_19	0,417	-0,028	

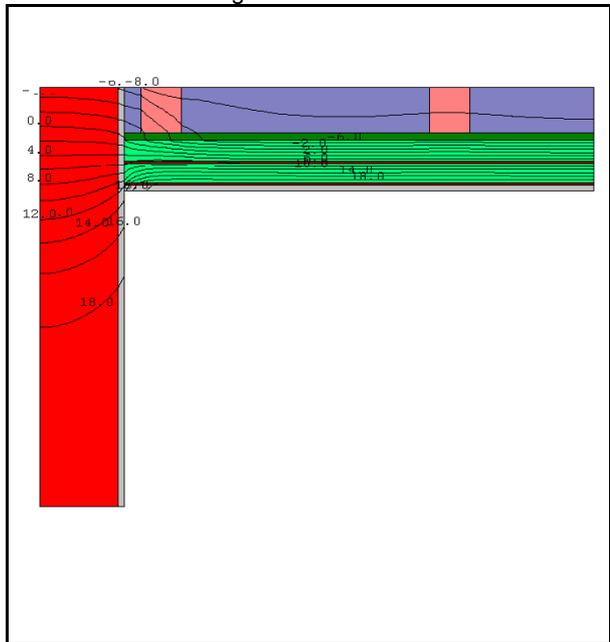
* auf unsanierten Zustand bezogen

U-Werte der ungestörten Bauteile	W/m²K
Dach	2,169

Dach an Brandwand (19 cm) - gedämmt
Schnittzeichnung vertikal



Kürzel WB_DA1_19_gedämmt
Isothermendarstellung

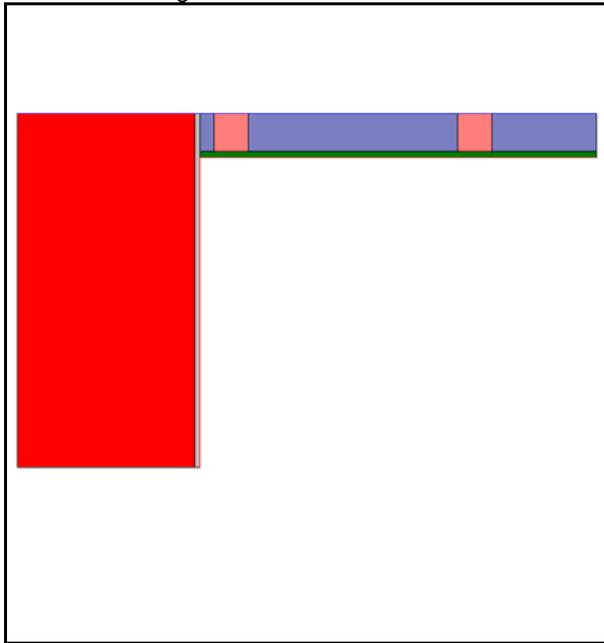


	$\Psi_{\text{Innenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}^*$
	[W/mK]	[W/mK]	[W/mK]
WB_DA1_19	0,378	0,323	

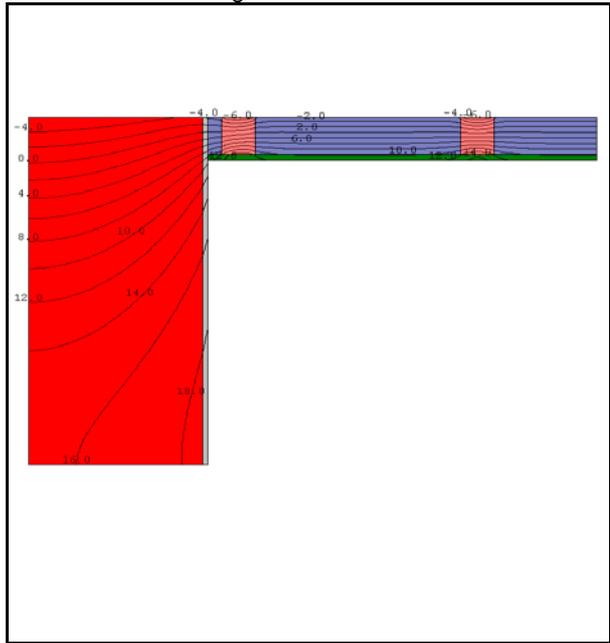
* auf unsanierten Zustand bezogen

U-Werte der ungestörten Bauteile	W/m²K
Dach	0,269

Dach an Brandwand (51 cm) - Istzustand
Schnittzeichnung vertikal



Kürzel WB_DA1_51
Isothermendarstellung

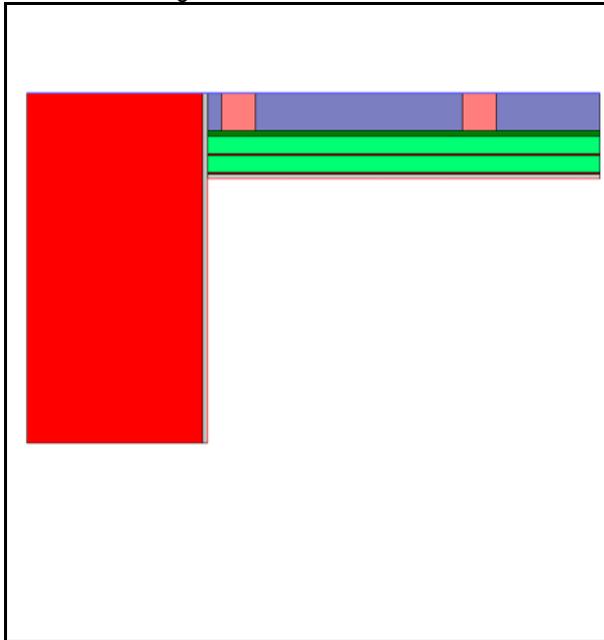


	$\Psi_{\text{Innenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}^*$
	[W/mK]	[W/mK]	[W/mK]
WB_DA1_51	0,798	-0,341	

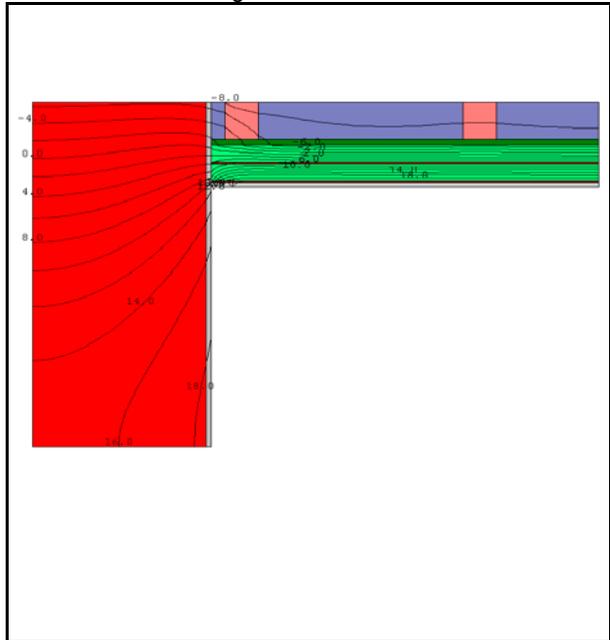
* auf unsanierten Zustand bezogen

U-Werte der ungestörten Bauteile	W/m ² K
Dach	2,169

Dach an Brandwand (51 cm) - gedämmt
Schnittzeichnung vertikal



Kürzel WB_DA1_51_gedämmt
Isothermendarstellung

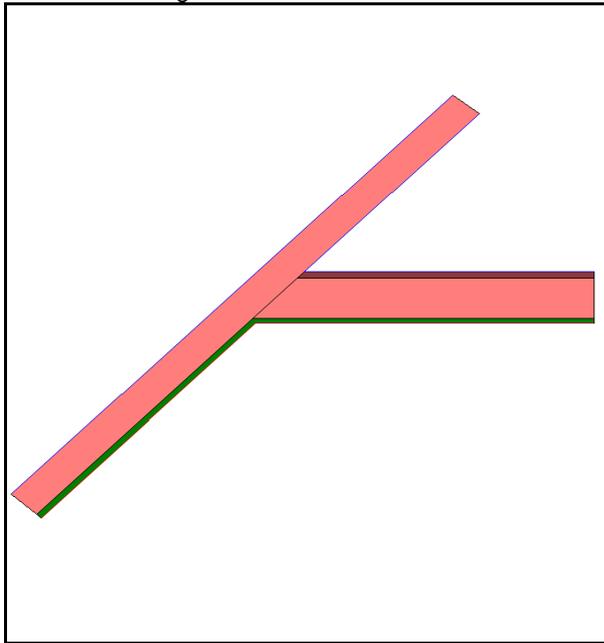


	$\Psi_{\text{Innenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}^*$
	[W/mK]	[W/mK]	[W/mK]
WB_DA1_51	0,702	0,561	

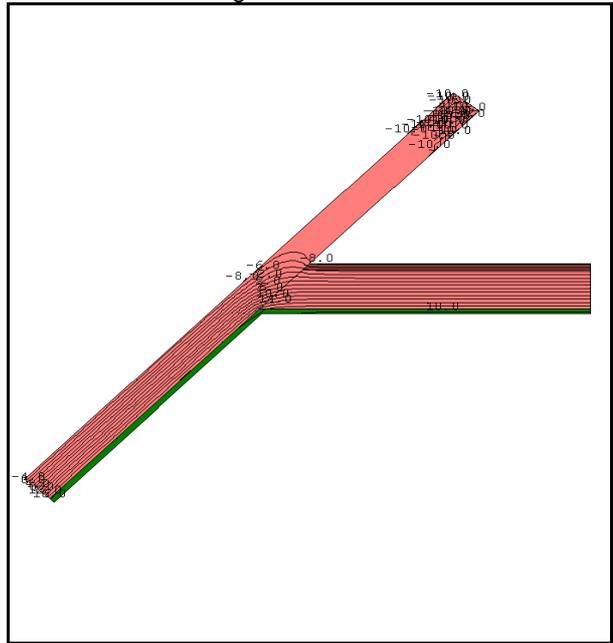
* auf unsanierten Zustand bezogen

U-Werte der ungestörten Bauteile	W/m ² K
Dach	0,269

Dach an Kehlbalkendecke (Sparrenebene) - Istzustand
Schnittzeichnung vertikal



Kürzel WB_DA3_Sparren_ist
Isothermendarstellung

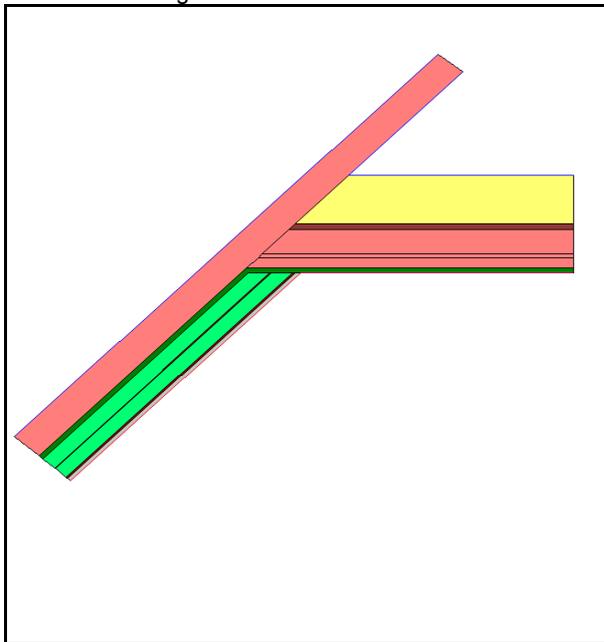


	$\Psi_{\text{Innenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}^*$
	[W/mK]	[W/mK]	[W/mK]
WB_DA3_Spa	0,051	-0,074	

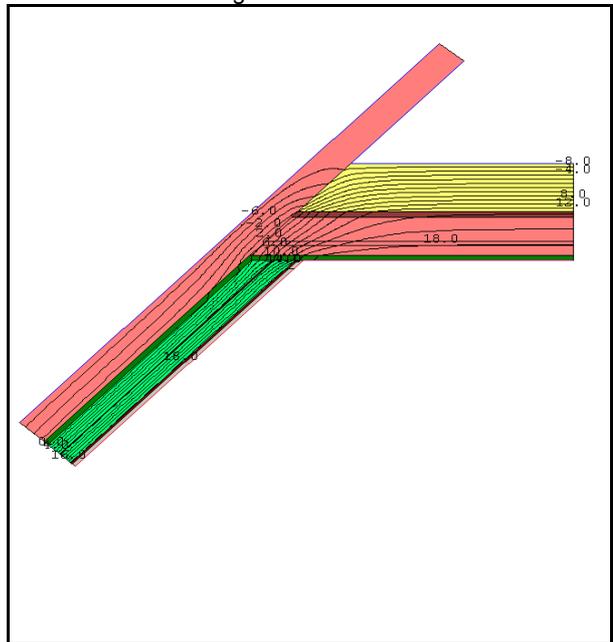
* auf unsanierten Zustand bezogen

U-Werte der ungestörten Bauteile	W/m ² K
Dach	0,858
Kehlbalkendecke	0,273

Dach an Kehlbalkendecke (Sparrenebene) - gedämmt
Schnittzeichnung vertikal



Kürzel WB_DA3_Sparren_gedämm
Isothermendarstellung

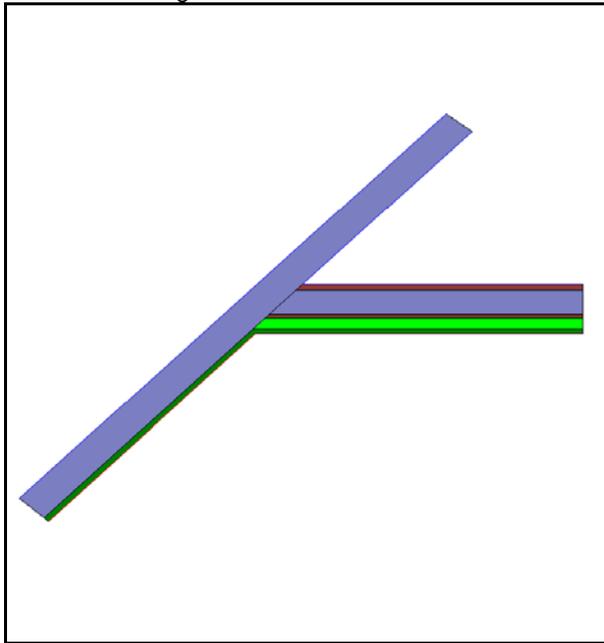


	$\Psi_{\text{Innenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}^*$
	[W/mK]	[W/mK]	[W/mK]
WB_DA3_Spa	0,111	0,046	

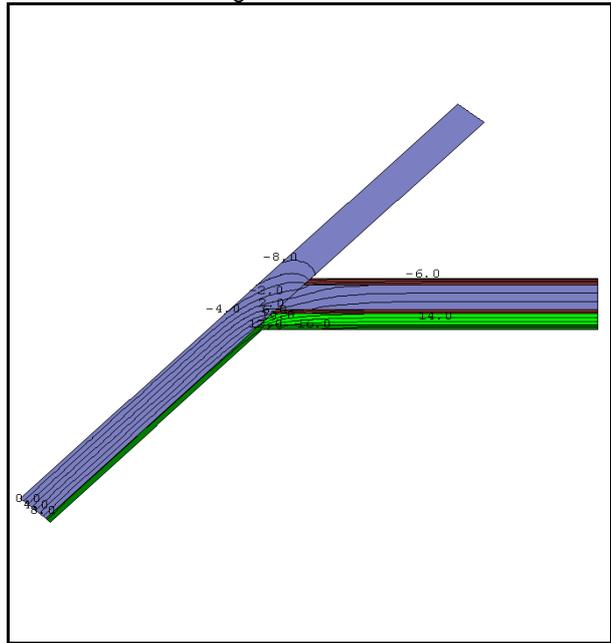
* auf unsanierten Zustand bezogen

U-Werte der ungestörten Bauteile	W/m ² K
Dach	0,273
Kehlbalkendecke	0,137

Dach an Kehlbalkendecke (Feldebene) - Istzustand
Schnittzeichnung vertikal



Kürzel WB_DA3_Feld_ist
Isothermendarstellung

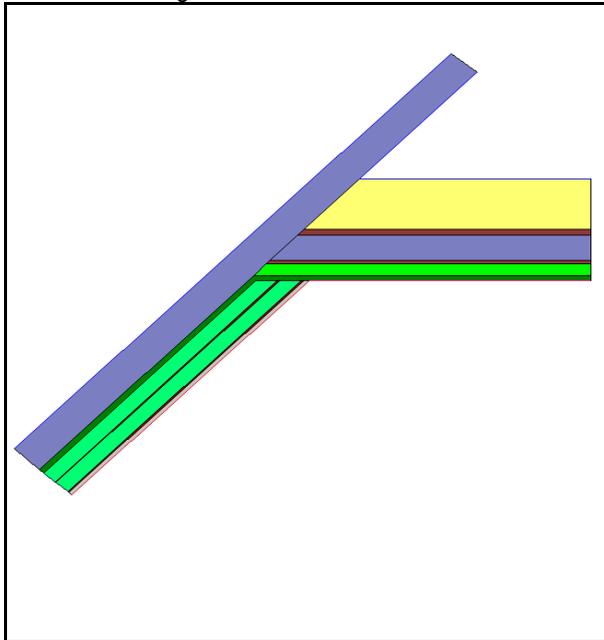


	$\Psi_{\text{Innenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}^*$
	[W/mK]	[W/mK]	[W/mK]
WB_DA3_Feld	0,668	0,323	

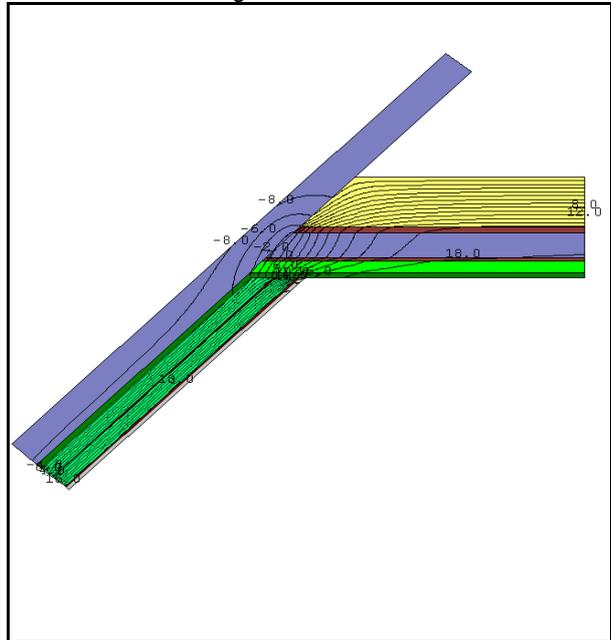
* auf unsanierten Zustand bezogen

U-Werte der ungestörten Bauteile	W/m²K
Dach	2,329
Kehlbalkendecke	0,623

it **Dach an Kehlbalkendecke (Feldebene) - gedämmt**
Schnittzeichnung vertikal



Kürzel WB_DA3_Feld_gedämmt
Isothermendarstellung

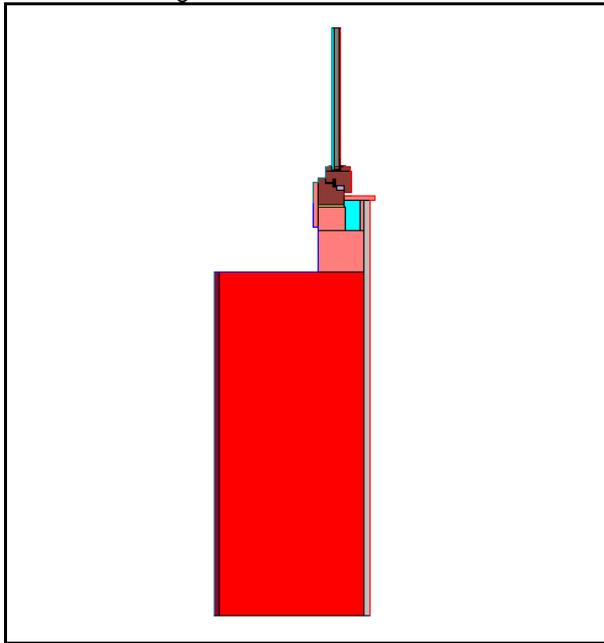


	$\Psi_{\text{Innenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}^*$
	[W/mK]	[W/mK]	[W/mK]
WB_DA3_Feld	0,304	0,225	

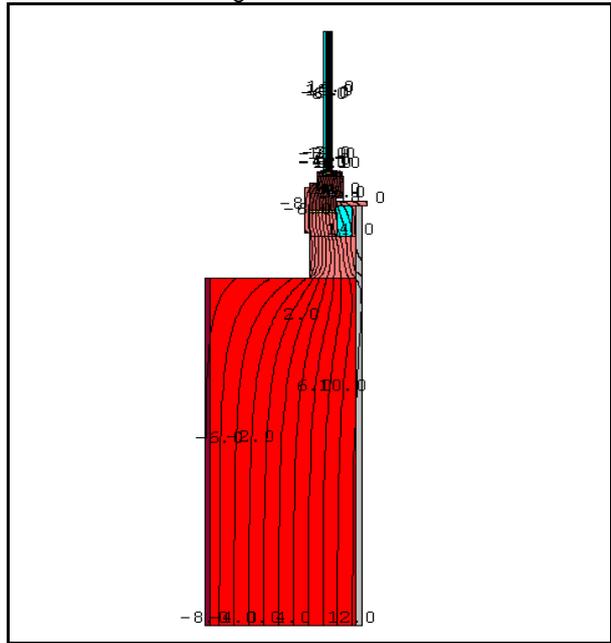
* auf unsanierten Zustand bezogen

U-Werte der ungestörten Bauteile	W/m²K
Dach	0,227
Kehlbalkendecke	0,133

Dach an Fenster in Gaube - Istzustand
Schnittzeichnung vertikal



Kürzel WB_DA2_ist
Isothermendarstellung

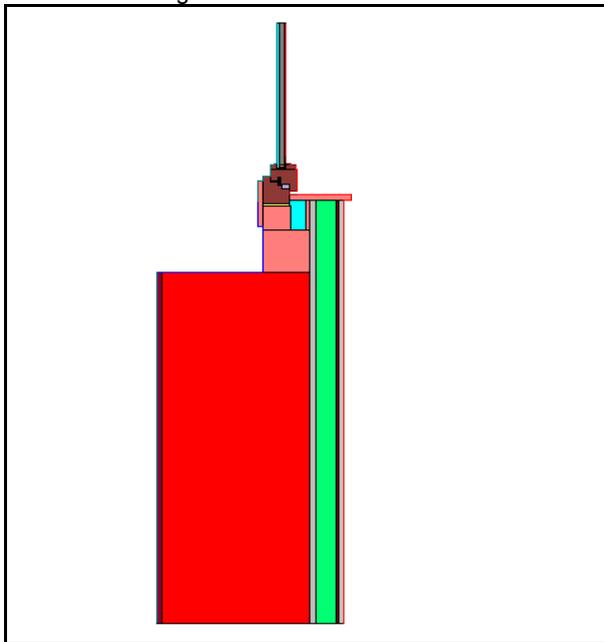


	$\Psi_{\text{Innenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}^*$
	[W/mK]	[W/mK]	[W/mK]
WB_DA2_ist	-0,009	-0,009	

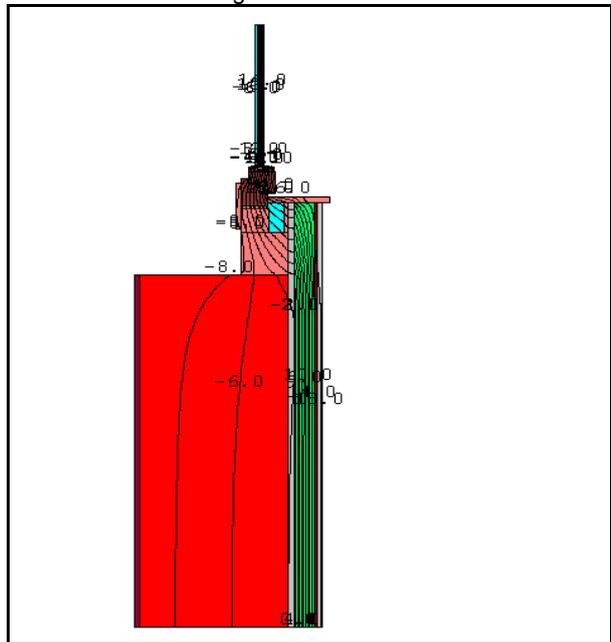
* auf unsanierten Zustand bezogen

U-Werte der ungestörten Bauteile	W/m ² K
Kniestock	1,654
Fenster	1,311

Dach an Fenster in Gaube - Innendämmung (Straßenseite)
Schnittzeichnung vertikal



Kürzel WB_DA2_Innendämmung
Isothermendarstellung

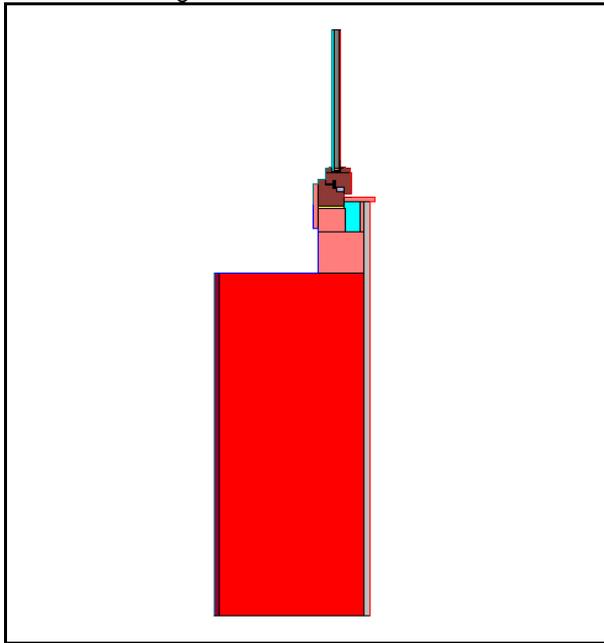


	$\Psi_{\text{Innenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}^*$
	[W/mK]	[W/mK]	[W/mK]
WB_DA2_Inn	0,018	0,018	

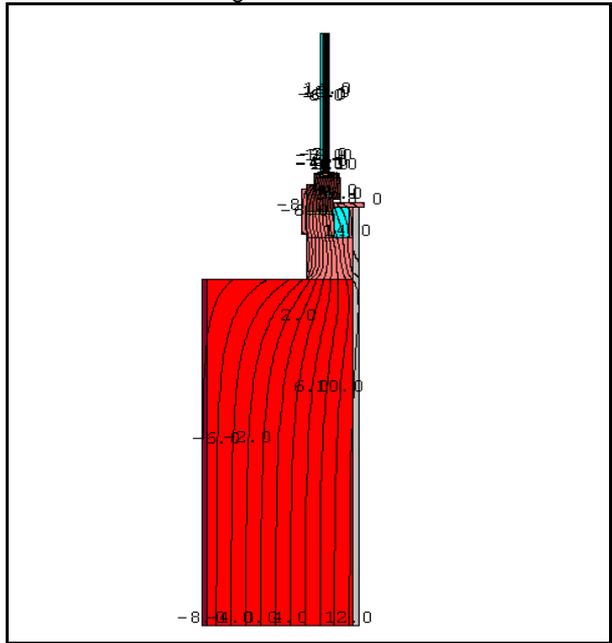
* auf unsanierten Zustand bezogen

U-Werte der ungestörten Bauteile	W/m ² K
Kniestock	0,448
Fenster	1,311

Dach an Fenster in Gaube - Istzustand
Schnittzeichnung vertikal



Kürzel WB_DA2_ist
Isothermendarstellung

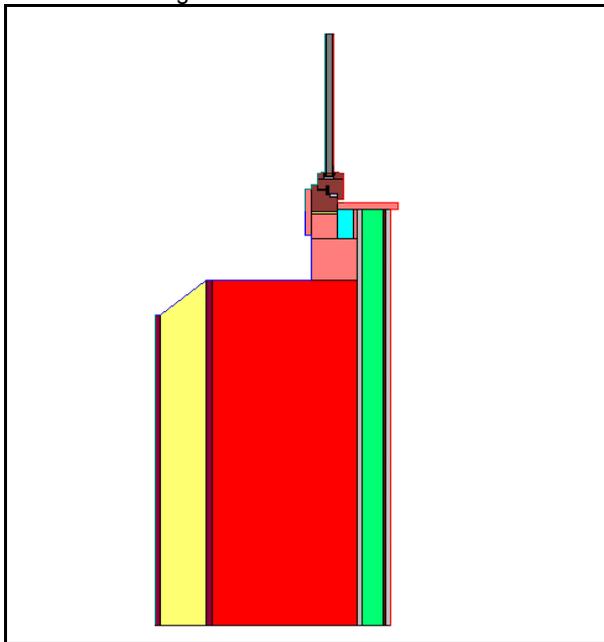


	$\Psi_{\text{Innenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}^*$
	[W/mK]	[W/mK]	[W/mK]
WB_DA2_ist	-0,009	-0,009	

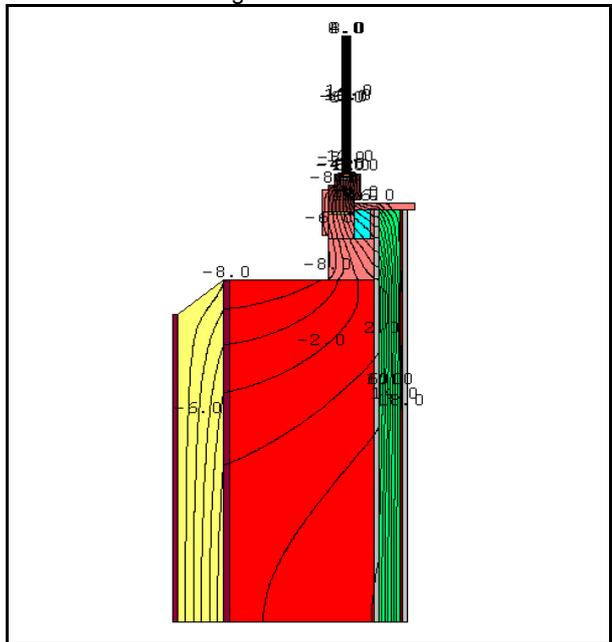
* auf unsanierten Zustand bezogen

U-Werte der ungestörten Bauteile	W/m²K
Kniestock	1,654
Fenster	1,311

Dach an Fenster in Gaube - Innen- und Außendämmung (Hofseite)
Schnittzeichnung vertikal



Kürzel WB_DA2_Innen- und Außd
Isothermendarstellung

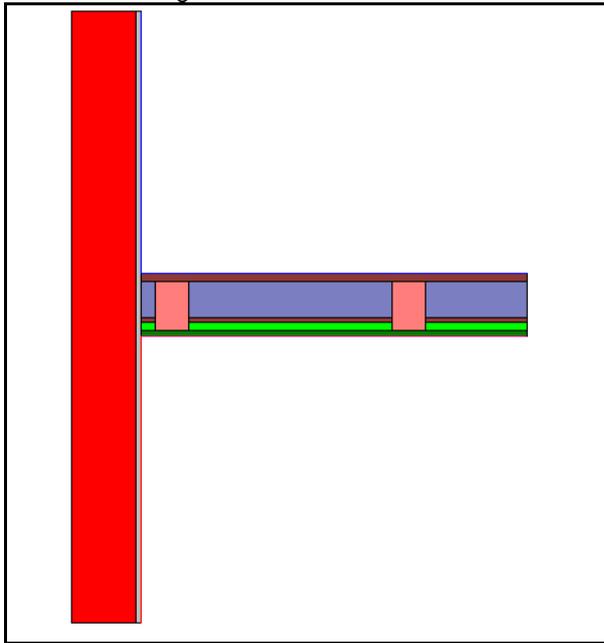


	$\Psi_{\text{Innenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}^*$
	[W/mK]	[W/mK]	[W/mK]
WB_DA2_Inn	0,232	0,232	

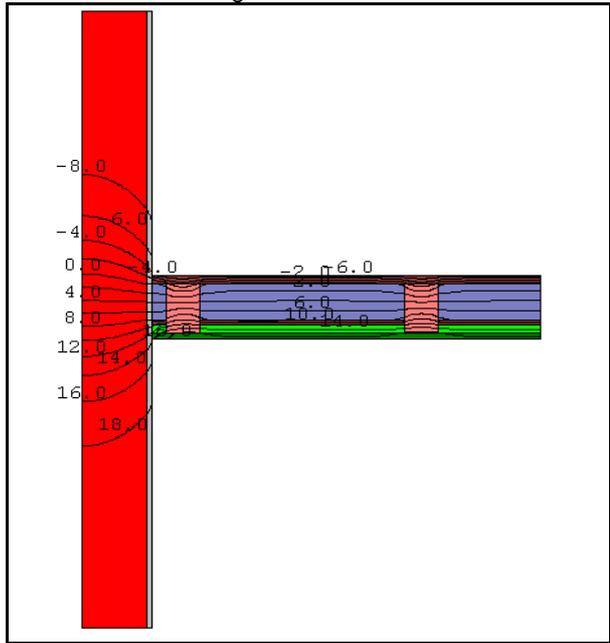
* auf unsanierten Zustand bezogen

U-Werte der ungestörten Bauteile	W/m²K
Kniestock	0,176
Fenster	1,311

Kehlbalkendecke an Brandwand (19 cm) - Istzustand
Schnittzeichnung vertikal



Kürzel OG1_19_ist
Isothermendarstellung

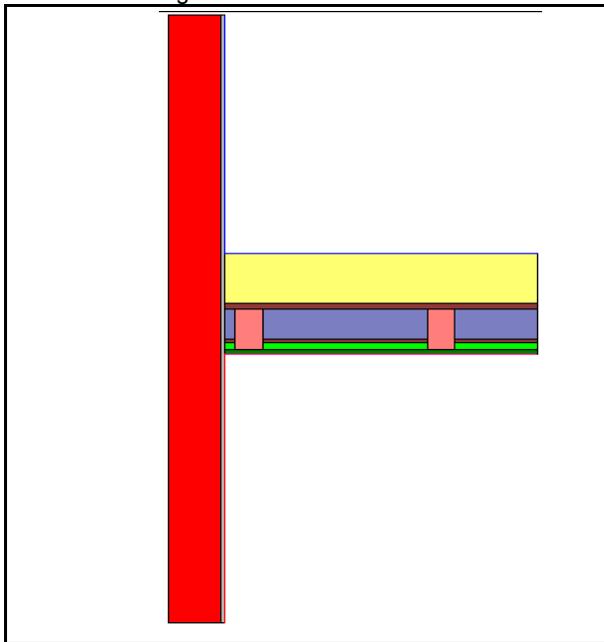


	$\Psi_{\text{Innenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}^*$
	[W/mK]	[W/mK]	[W/mK]
OG1_19_ist	0,297	0,095	

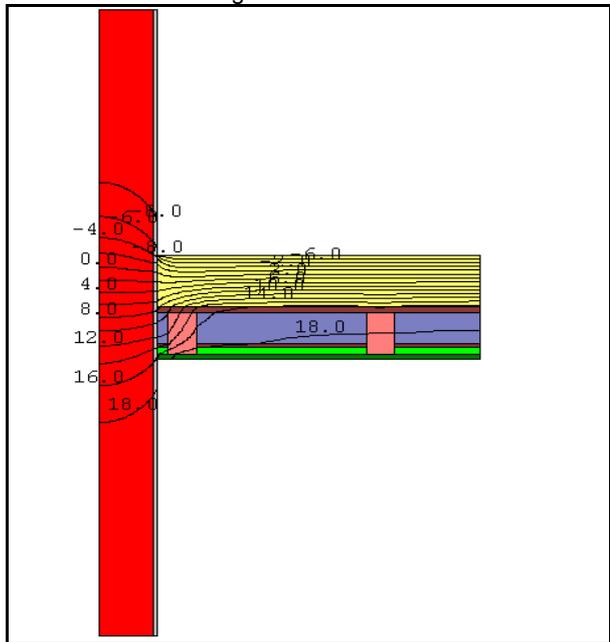
* auf unsanierten Zustand bezogen

U-Werte der ungestörten Bauteile	W/m ² K
Kehlbalkendecke	0,984

Kehlbalkendecke an Brandwand (19 cm) - gedämmt
Schnittzeichnung vertikal



Kürzel OG1_19_gedämmt
Isothermendarstellung

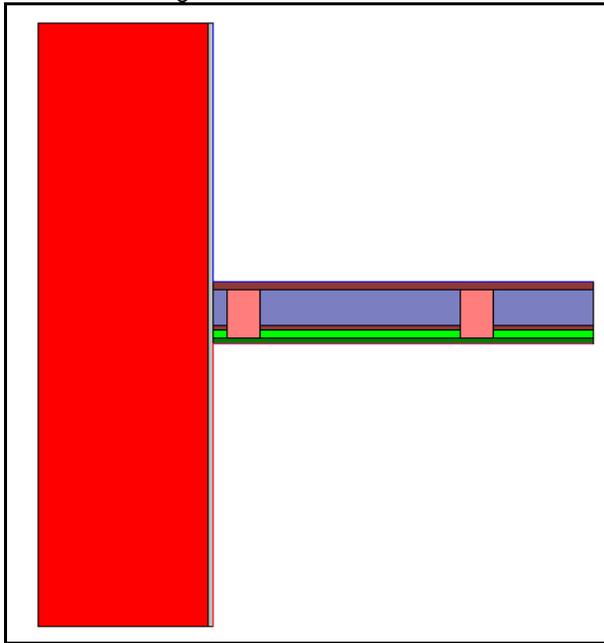


	$\Psi_{\text{Innenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}^*$
	[W/mK]	[W/mK]	[W/mK]
OG1_19_ged	0,256	0,226	

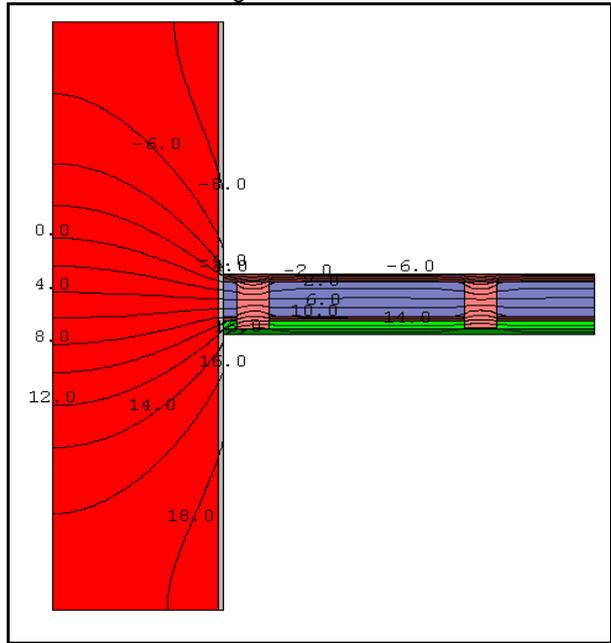
* auf unsanierten Zustand bezogen

U-Werte der ungestörten Bauteile	W/m ² K
Kehlbalkendecke	0,149

Kehlbalkendecke an Brandwand (51 cm) - Istzustand
Schnittzeichnung vertikal



Kürzel OG1_51_ist
Isothermendarstellung

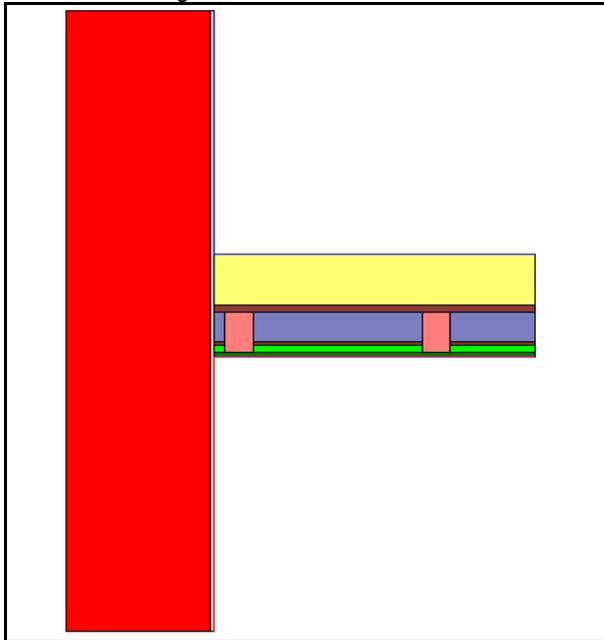


	$\Psi_{\text{Innenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}^*$
	[W/mK]	[W/mK]	[W/mK]
OG1_51_ist	0,482	-0,035	

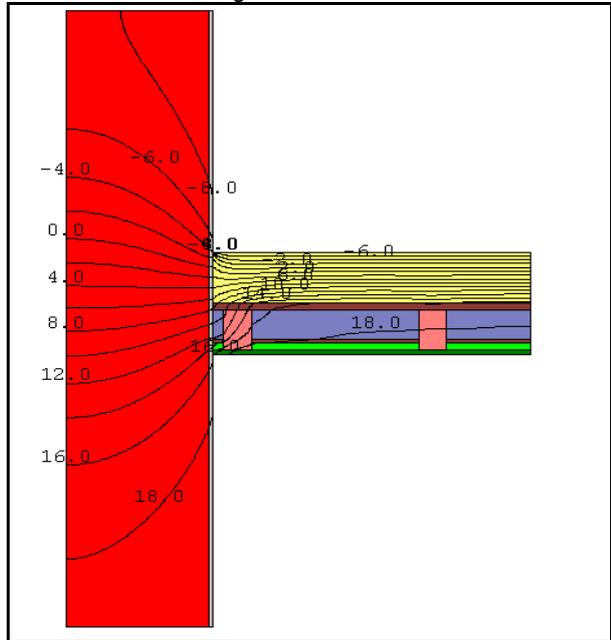
* auf unsanierten Zustand bezogen

U-Werte der ungestörten Bauteile	W/m²K
Kehlbalkendecke	0,984

Kehlbalkendecke an Brandwand (51 cm) - gedämmt
Schnittzeichnung vertikal



Kürzel OG1_51
Isothermendarstellung



	$\Psi_{\text{Innenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}$	$\Psi_{\text{Außenmaß}}^*$
	[W/mK]	[W/mK]	[W/mK]
OG1_51	0,439	0,361	

* auf unsanierten Zustand bezogen

U-Werte der ungestörten Bauteile	W/m²K
Kehlbalkendecke	0,149