

1. Aufgabenstellung

Niedrigenergie- und Passivhäuser müssen einen möglichst geringen Wärmebrückeneinfluss aufweisen. Diese Untersuchung soll zeigen, ob die GU Vorbauzarge hinsichtlich dieser Anforderung zur Verwendung im Passivhaus geeignet ist. Hierzu wird der Berechnung eine Einbausituation der Zarge zugrunde gelegt, die einer Einbausituation im Passivhaus entspricht. Die die Zarge umgebenden Bauteile sind so gewählt, dass ihre U-Werte den Anforderungen an ein Passivhaus entsprechen (Ziffer 2.3). Die längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten ψ werden mittels der „Finite-Elemente“-Methode rechnerisch bestimmt.

Die Schnittzeichnungen der GU Vorbauzarge sind in den Anlagen 1 und 2 dargestellt.

2. Grundlagen für die Berechnung

2.1. Wärmeschutztechnische Größen

Tabelle 1: Wärmeschutztechnische Größen

Benennung	Zeichen	Einheiten
Wärmeleitfähigkeit	λ	W/(m·K)
Wärmedurchlasswiderstand	R	m ² ·K/W
Wärmeübergangswiderstand	R _s	m ² ·K/W
Wärmestromdichte	q	W/m ²
Wärmedurchgangskoeffizient	U	W/(m ² ·K)
Wärmestrom	Q	W
Längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient	ψ	W/(m·K)
Temperaturfaktor für raumseitige Oberflächen	f _{Rsi}	-

2.2 Randbedingungen für die Berechnung und Auswertung

Die der Untersuchung zugrunde gelegten Anschlussbauteile, Wand und Fenster, sind Niedrigenergie- und Passivhaus geeignet.

Der Wandaufbau weist einen U-Wert von $U_{AW} = 0,14 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ auf und besteht, aus einer 240 mm dicken, massiven Wand und 260 mm Wärmedämmverbundsystem (WDVS). Der Wandaufbau ist, entsprechend dem U-Wert, geeignet zur Verwendung in Niedrigenergie- und Passivhäusern.

Im Berechnungsmodell werden die Geometrie des Rahmens und der Verglasung durch ein Paneel abgebildet. Die Breite des Fensterpaneels beträgt hier 135 mm, stellvertretend für übliche Rahmenbreiten von in Passivhäusern verwendeten Fenstern. Die Wärmeleitfähigkeit des Fensterpaneels beträgt hier $\lambda = 0,125 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$. Das Paneel weist somit einen U-Wert von $U = 0,80 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ auf, entsprechend dem U_w -Wert des Fensters, einschließlich Verglasung, Rahmen und Glas-Randverbund.

Befestigungsschrauben und Dübel werden in der Untersuchung nicht berücksichtigt, da die Befestigungsmittel bei einem 260 mm dicken WDVS von mindestens 140 mm Dämmstoff überdeckt werden.

Nachstehende Temperaturen und Wärmeübergangswiderstände werden in Anlehnung an DIN 4108-2¹⁾ für die Berechnung des jeweiligen längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten (ψ -Wert) verwendet.

$$\begin{aligned}\theta_i &= 20^\circ\text{C} & R_{si} &= 0,13 \text{ m}^2\text{K}/\text{W} \\ \theta_e &= -5^\circ\text{C} & R_{se} &= 0,04 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}\end{aligned}$$

¹⁾ DIN 4108-2:2013-02 „Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden – Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz“

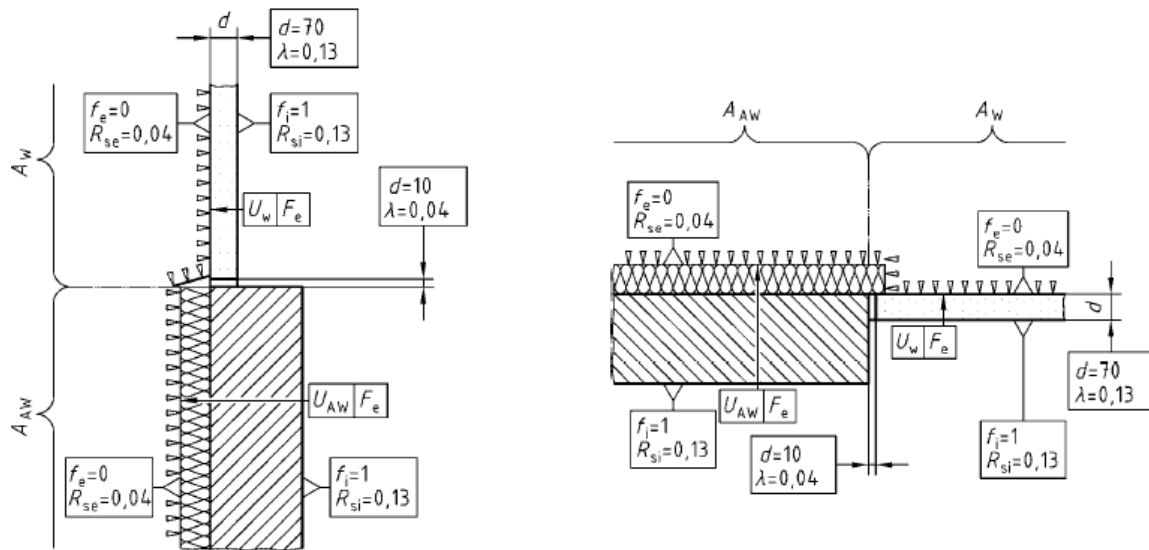


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Randbedingungen nach DIN 4108 Bbl 2²⁾ zur Berechnung der ψ -Werte. Für die Untersuchung, ob die GU Vorbauzarge für ein Niedrigenergie- oder Passivhaus geeignet ist, wird - abweichend zum Bild oben - ein 135 mm breites Paneel mit einer Wärmeleitfähigkeit von $\lambda = 0,125 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ verwendet. Das entspricht einem Wärmedurchgangskoeffizienten des Fensters von $U_w = 0,80 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$.

2.3 Materialwerte

Als Bemessungswerte der Wärmeleitfähigkeit werden Werte nach DIN 4108-4³⁾ und DIN EN ISO 10456⁴⁾ beziehungsweise die vom Hersteller angegebenen Werte verwendet.

Die Außenwand ist geeignet für Niedrigenergie- und Passivhäuser und weist einen U-Wert von $U_{AW} = 0,14 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ auf. Sie besteht aus 240 mm Mauerwerk und einem 260 mm dicken Wärmedämmverbundsystem (WDVS) mit einer Wärmeleitfähigkeit von $\lambda = 0,040 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$. Das an die Vorbauzarge anschließende Fenster ist ebenfalls geeignet für Niedrigenergie- und Passivhäuser und weist einen U_w -Wert von $0,80 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ auf.

²⁾ DIN 4108 Bbl 2:2006-03 „Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden – Wärmebrücken - Planungs- und Ausführungsbeispiele“

³⁾ DIN 4108-4:2013-02 „Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden – Teil 4: Wärme- und Feuchteschutz-technische Bemessungswerte“

⁴⁾ DIN EN ISO 10456:2010-05 „Baustoffe und Bauprodukte - Wärme- und feuchtetechnische Eigenschaften - Tabellierte Bemessungswerte und Verfahren zur Bestimmung der wärmeschutztechnischen Nenn- und Bemessungswerte“

Die GU Vorbauzarge besteht aus 4 quaderförmigen Einzelteilen mit einer Querschnittsfläche von 120 mm x 90 mm. Die Formteile werden aus expandiertem Polystyrol (EPS) mit hoher Rohdichte hergestellt. Je nach Montagerichtung beträgt die Dicke der einzelnen Quader (Dämmstoffdicke) 120 mm oder 90 mm. Die Höhe der Einzelteile verhält sich umgekehrt und beträgt dann 90 mm bzw. 120 mm.

Die Formteile werden um die Fensteröffnung umlaufend vor der Außenwand eingebaut. Das Fenster sitzt außenbündig in der Vorbauzarge oder um 80 mm nach innen versetzt, d. h. teilweise in der Vorbauzarge und überwiegend in der Fensteröffnung.

Die Befestigung der Vorbauzarge am Mauerwerk erfolgt durch Verklebung und Verschraubung. Die Schrauben haben einen Durchmesser von 7 mm und werden nach Vorgabe im Abstand von ca. 0,5 Meter und mit 70 mm Abstand zur Öffnungskante gesetzt. In der Berechnung finden die Schrauben und Dübel keine Berücksichtigung, weil diese bei einem 260 mm dicken WDVS von 140 mm bzw. 170 mm Dämmstoff überdeckt werden, je nach Montagerichtung der quaderförmigen Einzelteile der Vorbauzarge.

Fertigteil Fensterzarge: Expandiertes Polystyrol (EPS), $d = 120 \text{ mm} / 90 \text{ mm}$

Fenster: Paneel, $U = 0,80 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$, $d = 135 \text{ mm}$

Wandaufbau:

Innenputz	10 mm	Kalkgipsputz
Tragschale	240 mm	Mauerwerk
Kleber	5 mm	WDVS Kleber / Haftmörtel
WDVS	260 mm	WLG 040
Außenputz	8 mm	Mineralischer Putz

Die Wärmeleitfähigkeiten der Materialien sind in Tabelle 2 zusammengefasst.

Tabelle 2: Bemessungswerte der Wärmeleitfähigkeit

Material / Bauteil	Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit λ in W/(m·K)
Innenputz (Kalkgips)	0,57
Mauerwerk	0,99
Kleber / Haftmörtel	1,00
WDVS	0,040
Außenputz	1,00
Fensterbank außen, Aluminium	160
Fensterbank innen, Naturstein, Marmor	3,50
GU Vorbauzarge (EPS)	0,037 ¹⁾
GU-Dichtband BG1 (Fugenband)	0,048 ¹⁾
GU-Pistolenschaum (unter FB außen)	0,040
GU KSK-Bauabdichtung (unter FB außen)	-- ²⁾
GU-1K-Montagekleber	-- ²⁾

1) Angabe des Herstellers

2) In der Berechnung nicht berücksichtigt

2.4 Abmessungen

Untersucht werden die beiden Varianten mit den Abmessungen der quaderförmigen Einzelteile der Vorbauzarge von $d \times h = 120 \text{ mm} \times 90 \text{ mm}$ und $90 \text{ mm} \times 120 \text{ mm}$. Im ersten Fall sitzt das Fenster außenbündig in der Vorbauzarge und im zweiten Fall um 80 mm nach innen versetzt, d. h. teilweise in der Vorbauzarge und überwiegend in der Fensteröffnung.

Beide Varianten werden jeweils ohne und mit Überdämmung des Blendrahmens von außen untersucht. Im Falle der Überdämmung, überdeckt das Wärmedämmverbundsystem (WDVS) den Blendrahmen um 30 mm, zuzüglich 8 mm Außenputz.

Die Laibungen links und rechts sind identisch. Die Brüstung und der Sturz sind unterschiedlich, da sich im Brüstungsbereich die Fensterbänke befinden. Eine Heizkörpernische unterhalb der Brüstung wird nicht modelliert. Der Sturz wird als Betonsturz modelliert. Ein Raffstorekasten wird nicht berücksichtigt.

Brandriegel, die mit einem maximalen Abstand von 500 mm zum Sturz montiert werden müssen, sind im Modell nicht berücksichtigt. Die Alternative, der Sturzschutz, der das Fenster ggf. dreiseitig umschließen muss, z. B. wenn das Fenster in der Dämmebene sitzt, wird hier von der zu untersuchenden Vorbauzarge verdrängt und daher im Modell ebenfalls nicht berücksichtigt. Der bauliche Brandschutz muss bei der Planung und Montage der Vorbauzargen berücksichtigt werden.

Als Abmessungen werden die vom Hersteller angegebenen Werte, wie in den Anlagen 1 und 2 dargestellt, verwendet.

3. Durchführung der Untersuchung

Die Lösung des zweidimensionalen Temperaturfeldes erfolgt numerisch mittels der „Finite-Elemente“-Methode.

4. Ergebnisse

Die Berechnungsergebnisse sind in Tabelle 3 zusammengefasst dargestellt.

Tabelle 3: Ergebnisse

GU Vorbauzarge	ψ-Wert in W/(m·K)
Breite x Höhe = 120 mm x 90 mm	
<u>Oberer Anschluss (Sturz):</u>	
Blendrahmen nicht überdämmt	0,013
Blendrahmen überdämmt	0,004
<u>Seitlicher Anschluss (Laibung):</u>	
Blendrahmen nicht überdämmt	0,011
Blendrahmen überdämmt	0,002
<u>Unterer Anschluss (Brüstung):</u>	
	0,009
Breite x Höhe = 90 mm x 120 mm	
<u>Oberer Anschluss (Sturz):</u>	
Blendrahmen nicht überdämmt	0,121
Blendrahmen überdämmt	0,074
<u>Seitlicher Anschluss (Laibung):</u>	
Blendrahmen nicht überdämmt	0,102
Blendrahmen überdämmt	0,063
<u>Unterer Anschluss (Brüstung):</u>	
	0,087

5. Beurteilung

Niedrigenergie- und Passivhäuser müssen einen möglichst geringen Wärmebrückeneinfluss aufweisen. Als „wärmebrückenfrei“ wird ein Konstruktionsdetail im Allgemeinen bezeichnet, wenn sein längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient maximal $\psi = 0,01 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ beträgt.

Der berechnete längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizient erfüllt für die untersuchte Einbausituation der GU Vorbauzarge in ein Niedrigenergie- bzw. Passivhaus das Kriterium „wärmebrückenfrei“, wenn das Fenster außenbündig mit der 120 mm dicken Zarge, d. h. in der Dämmebene, montiert wird. In den anderen Fällen, wenn das Fenster überwiegend in der Mauerwerksöffnung positioniert ist, wird das Kriterium nicht erfüllt.

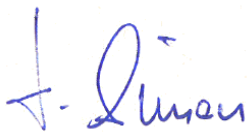
Damit ist die GU Vorbauzarge ein aus wärmetechnischer Sicht für Niedrigenergie- und Passivhäuser geeignetes Bauteil, sofern das damit verbundene Fenster in der Dämmebene des Wärmedämmverbundsystems angeordnet wird.

Die Berechnung der ψ -Werte in der vorliegenden Untersuchung erfolgt mit Niedrigenergie- und Passivhaus tauglichen Bauteilen, die an die GU Vorbauzarge angrenzen. Die Geometrie der angrenzenden Wand und die Dicke des an die GU Vorbauzarge angrenzenden Fensterpaneels entsprechen in dieser Untersuchung nicht den Bildern 43, 49 und 55 aus DIN 4108-Bbl 2 bzw. den Randbedingungen in Abschnitt 7 der Norm. Daher muss die Gleichwertigkeit des Anschlussdetails zum Beiblatt 2 in einer gesonderten Berechnung über den Referenzwert nachgewiesen werden.

6. Haftung

Die berechneten Werte gelten ausschließlich für die angegebenen Materialien sowie deren Eigenschaften und Abmessungen. Für die durchgeführten Berechnungen ist der gegenwärtige Stand der Forschung maßgebend. Eine Haftung kann daher nur im Rahmen dieses Kenntnisstandes übernommen werden. Die Gewährleistung für gutachterliche Aufträge an das FIW München e.V. beschränkt sich auf die gesetzliche Haftung von 5 Jahren entsprechend den Verjährungsbestimmungen nach § 634a BGB für Bauwerke.

Gräfelfing, den 12. Juni 2015

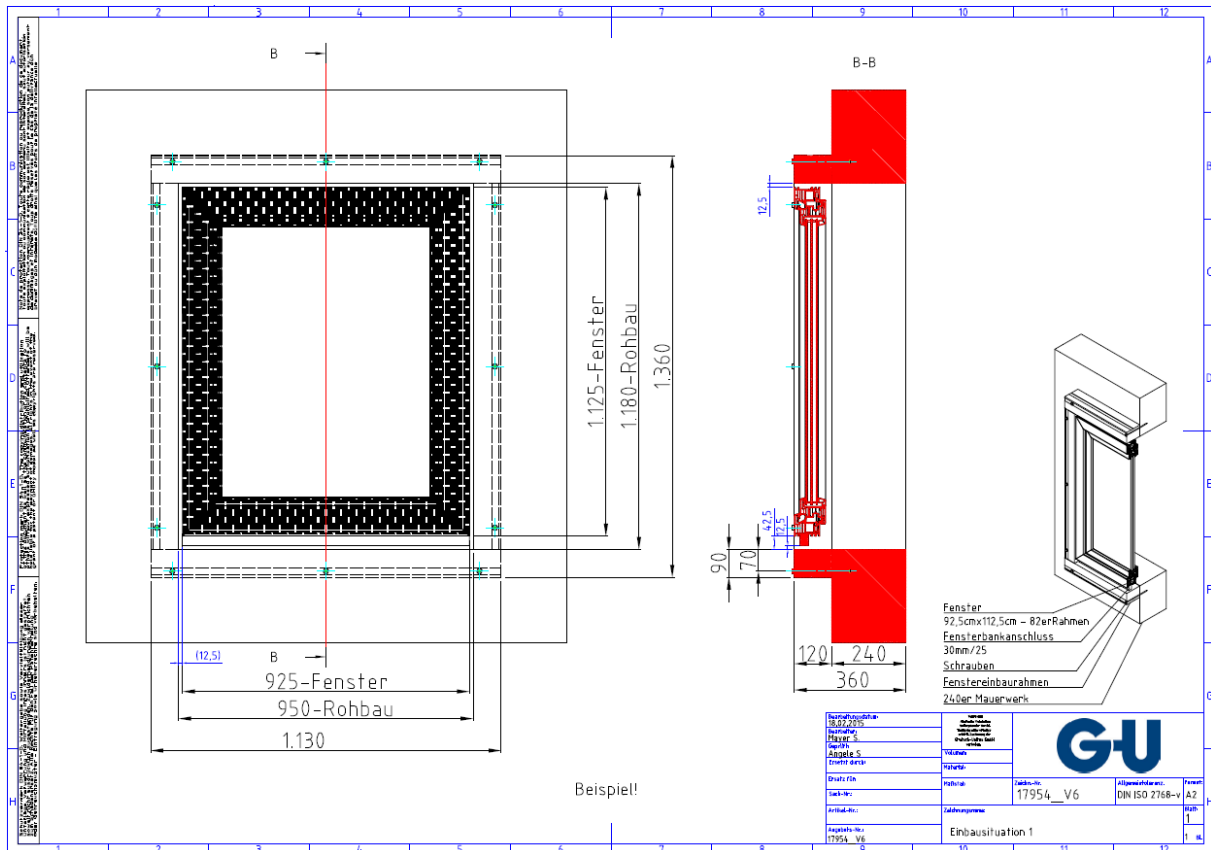


Dipl.-Ing. (FH) Holger Simon

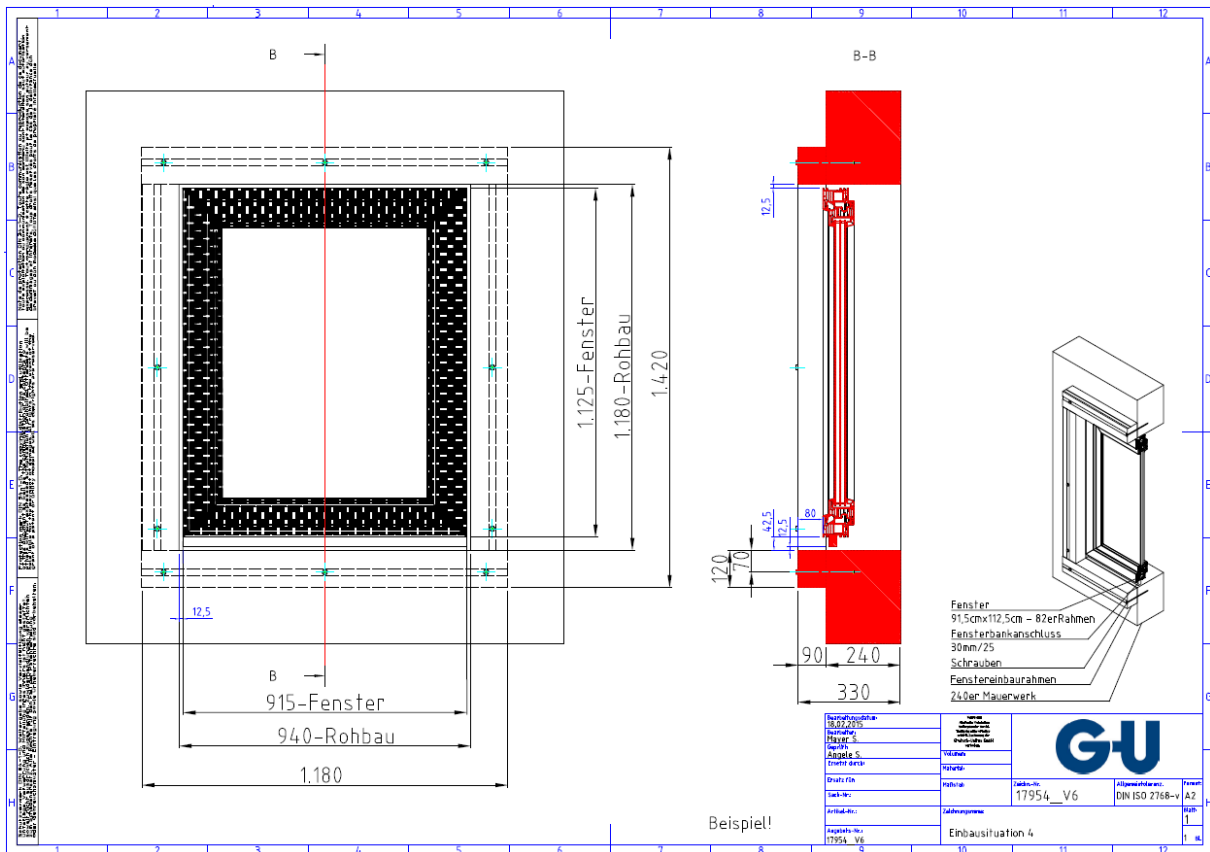


Dr.-Ing. Sebastian Tremel

Anlage 1: Ansicht und Schnitt durch die GU Vorbauzarge mit den Abmessungen der quaderförmigen Einzelteile der Zarge von $b \times h = 120 \text{ mm} \times 90 \text{ mm}$. Das Fenster sitzt außenbündig mit der Vorbauzarge.



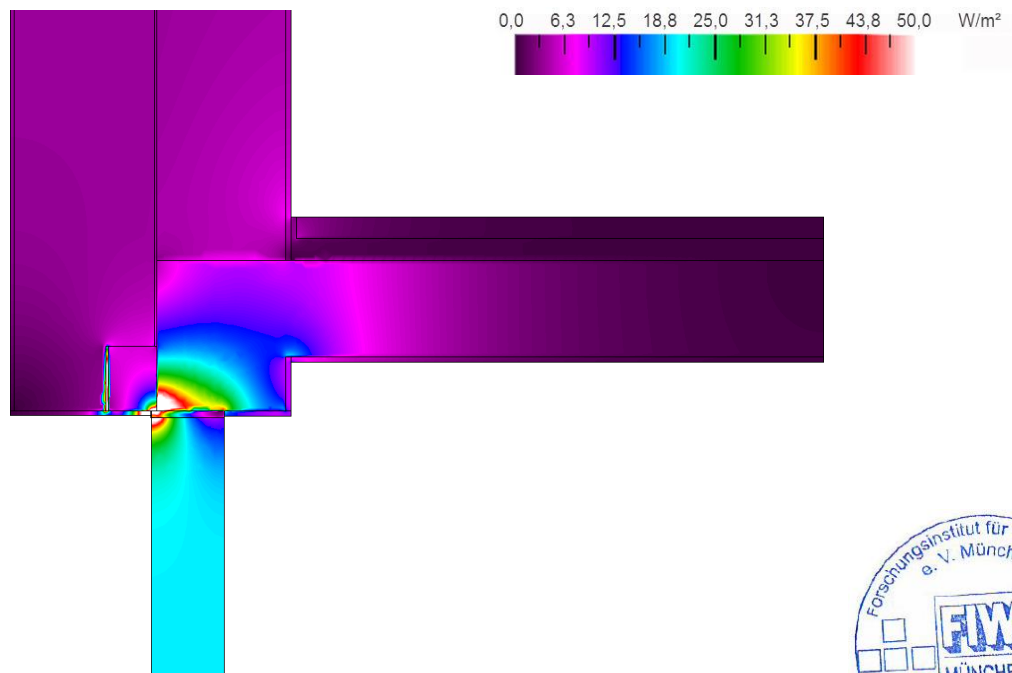
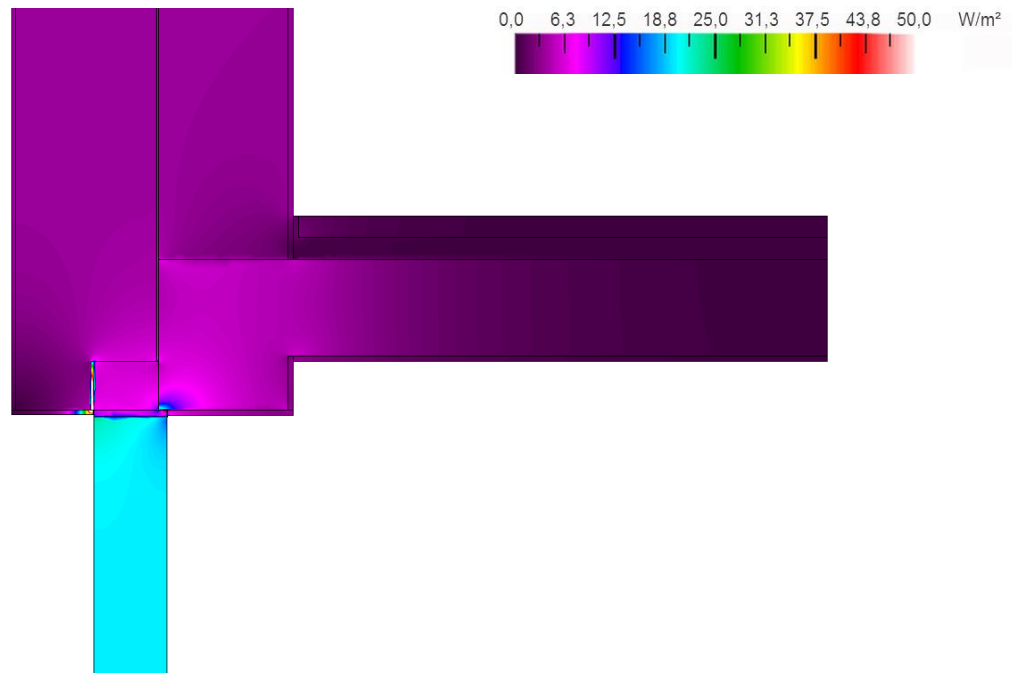
Anlage 2: Ansicht und Schnitt durch die GU Vorbauzarge mit den Abmessungen der quaderförmigen Einzelteile der Zarge von $b \times h = 90 \text{ mm} \times 120 \text{ mm}$. Das Fenster sitzt 80 mm nach innen versetzt, d. h. teilweise in der Vorbauzarge und überwiegend in der Fensteröffnung.



Anlage 3: Sturz nicht überdämmt: Vergleich der Wärmestromdichten

Oben: $b \times h = 120 \text{ mm} \times 90 \text{ mm}$, Fenster außenbündig mit der Vorbauzarge

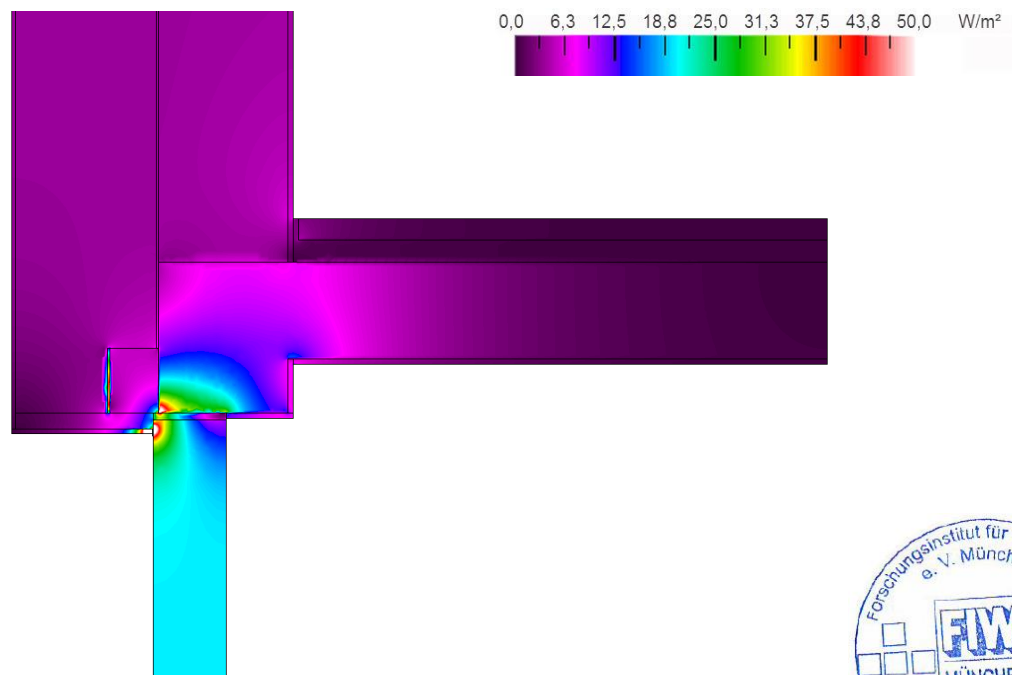
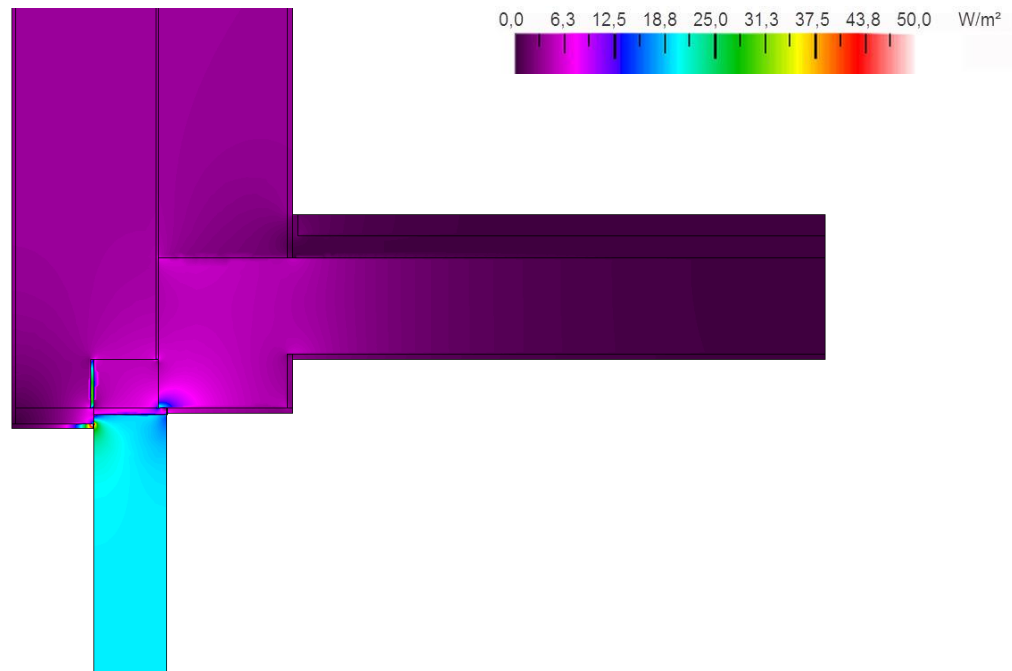
Unten: $b \times h = 90 \text{ mm} \times 120 \text{ mm}$, Fenster 80 mm nach innen gerückt



Anlage 4: Sturz überdämmt: Vergleich der Wärmestromdichten

Oben: $b \times h = 120 \text{ mm} \times 90 \text{ mm}$, Fenster außenbündig mit der Vorbauzarge

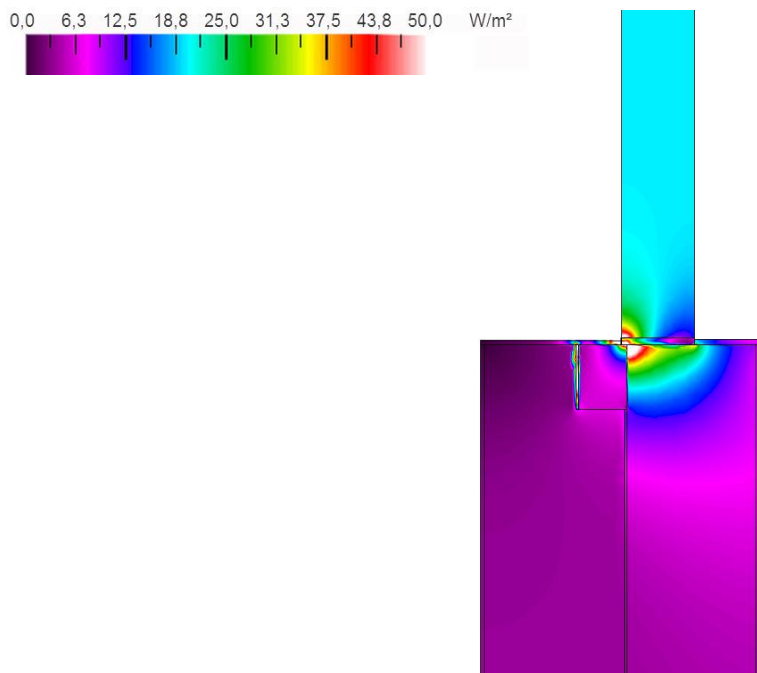
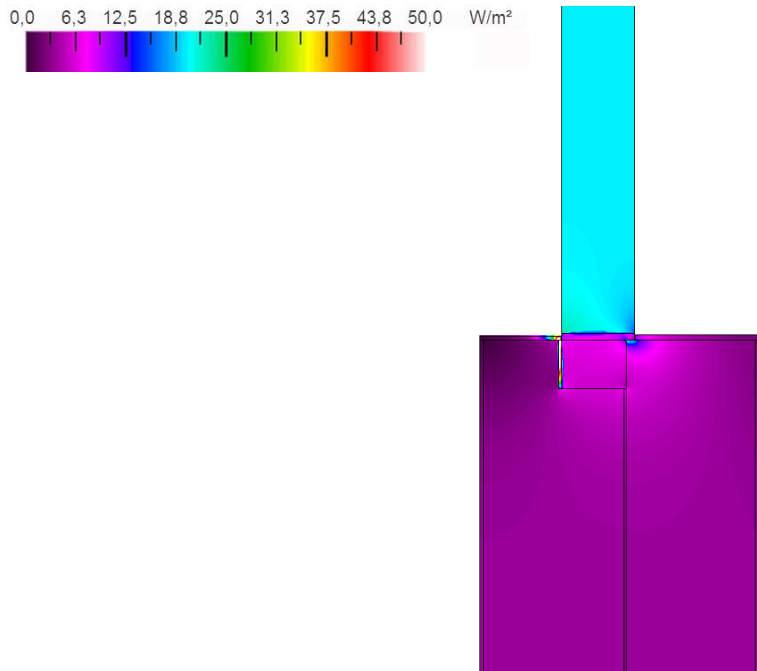
Unten: $b \times h = 90 \text{ mm} \times 120 \text{ mm}$, Fenster 80 mm nach innen gerückt



Anlage 5: Laibung nicht überdämmt: Vergleich der Wärmestromdichten

Oben: $b \times h = 120 \text{ mm} \times 90 \text{ mm}$, Fenster außenbündig mit der Vorbauzarge

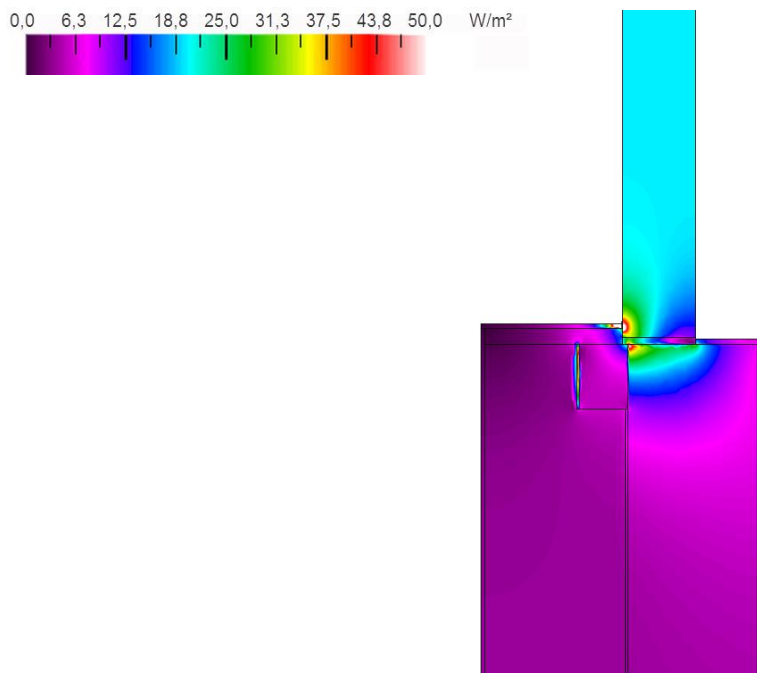
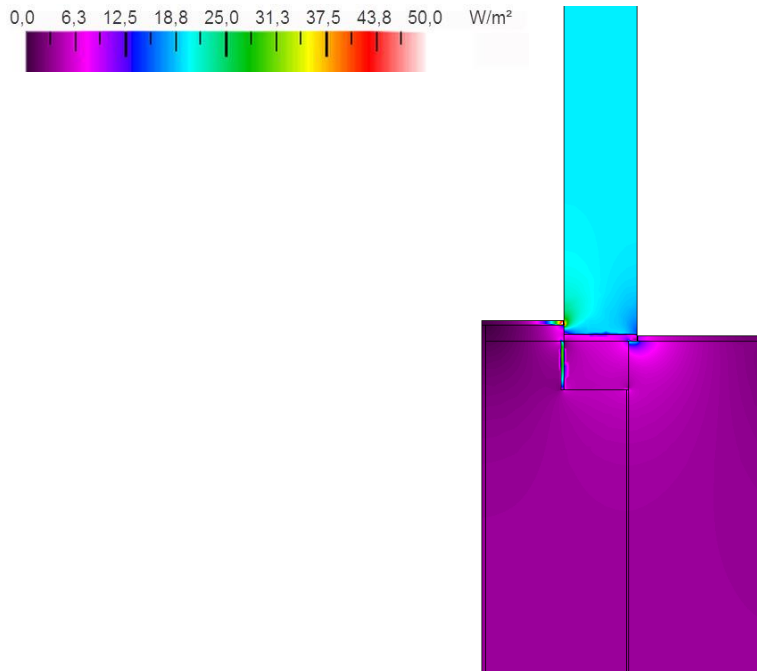
Unten: $b \times h = 90 \text{ mm} \times 120 \text{ mm}$, Fenster 80 mm nach innen gerückt



Anlage 6: Laibung überdämmt: Vergleich der Wärmestromdichten

Oben: $b \times h = 120 \text{ mm} \times 90 \text{ mm}$, Fenster außenbündig mit der Vorbauzarge

Unten: $b \times h = 90 \text{ mm} \times 120 \text{ mm}$, Fenster 80 mm nach innen gerückt



Anlage 7: Brüstung: Vergleich der Wärmestromdichten

Oben: $b \times h = 120 \text{ mm} \times 90 \text{ mm}$, Fenster außenbündig mit der Vorbauzarge

Unten: $b \times h = 90 \text{ mm} \times 120 \text{ mm}$, Fenster 80 mm nach innen gerückt

