

UNTERSUCHUNGSBERICHT

Antragsteller: Hilti Aktiengesellschaft
Feldkircher Straße 100
9494 Schaan
Liechtenstein

Inhalt des Antrags: Numerische Berechnung der punktuellen Wärmebrückenwirkung und Einstufung des punktuellen Wärmedurchgangskoeffizienten für die Befestiger
Hilti X-IE 6 und Hilti X-IE 9
im Einsatz in Perimeterdämmung
und in Dämmung von vorgehängten hinterlüfteten Fassaden.

Bericht Nr.: B3-2016/15
Ausstellungsdatum: 23. November 2016
Seiten: 15
Davon Anlagen: 3

Eine auszugsweise Veröffentlichung des Prüfberichtes ist nur mit vorheriger schriftlicher Genehmigung des FIW München zulässig.

1. Aufgabenstellung

Für die Firma Hilti Aktiengesellschaft in Schaan (Liechtenstein) werden die Zuschläge zum Wärmedurchgangskoeffizienten U aufgrund der punktuellen Wärmebrückeneinflüsse für die Hilti-Befestigungselemente X-IE 6 und X-IE 9 mit Stahlnagel X-PH62, mittels Finite-Elemente-Methode rechnerisch bestimmt.

Nach DIN EN ISO 6946 muss der U -Wert korrigiert werden, wenn die summierten Einflüsse auf den U -Wert größer als 3 % des ungestörten U -Werts der Konstruktion sind. Laut Technical Report TR-025 darf für punktuelle Wärmedurchgangskoeffizienten χ von kleiner 0,0005 W/K ein Wert von 0 W/K angesetzt werden. Die Wärmebrückenwirkung solcher Befestiger ist somit vernachlässigbar für die U -Wert Berechnung.

Der Wärmebrückeneffekt der Anker im WDVS wird in einem korrigierten U -Wert der Außenwand erfasst. Die Korrektur $n \cdot \chi$ errechnet sich nach der folgenden Formel:

$$U_c = U + n \cdot \chi$$

Mit:

U_c korrigierter U -Wert in $W/(m^2 \cdot K)$

n Anzahl der Befestiger pro Quadratmeter in $1/m^2$

χ punktueller Wärmedurchgangskoeffizient in W/K

Die maximale Anzahl Befestiger pro Quadratmeter für die der Wärmebrückeneffekt gerade noch nicht berücksichtigt werden muss, ist abhängig von der Dicke der Dämmschicht. Laut Technical Report TR025 sind Berechnungen für die kleinste Dämmdicke, (für diese Befestiger 60 mm) für eine mittlere Dämmdicke (etwa 150 mm) und für die größte Dämmdicke (für diese Befestiger 200 mm), die mit den Befestigern möglich ist, durchzuführen. Auf die Berechnung für die größte Dämmdicke kann verzichtet werden, wenn der für die mittlere Dicke ermittelte χ -Wert kleiner ist als der für die kleinste Dämmdicke.

2. Grundlagen der Berechnung

Die Berechnung wird gemäß den Vorgaben der DIN EN ISO 10211:2015-06 und in Anlehnung an die Richtlinie EOTA TR-025 “Technical Report – χ ” für WDVS nach ETAG 014¹⁾ durchgeführt, jedoch mit einem geänderten Modell und modifizierten Randbedingungen um die Anwendung im Perimeterbereich sowie der vorgehängten hinterlüfteten Fassade abzudecken.

2.1. Wärmetechnische Größen

Die verwendeten wärmetechnischen Größen sind in unterer Tabelle angegeben.

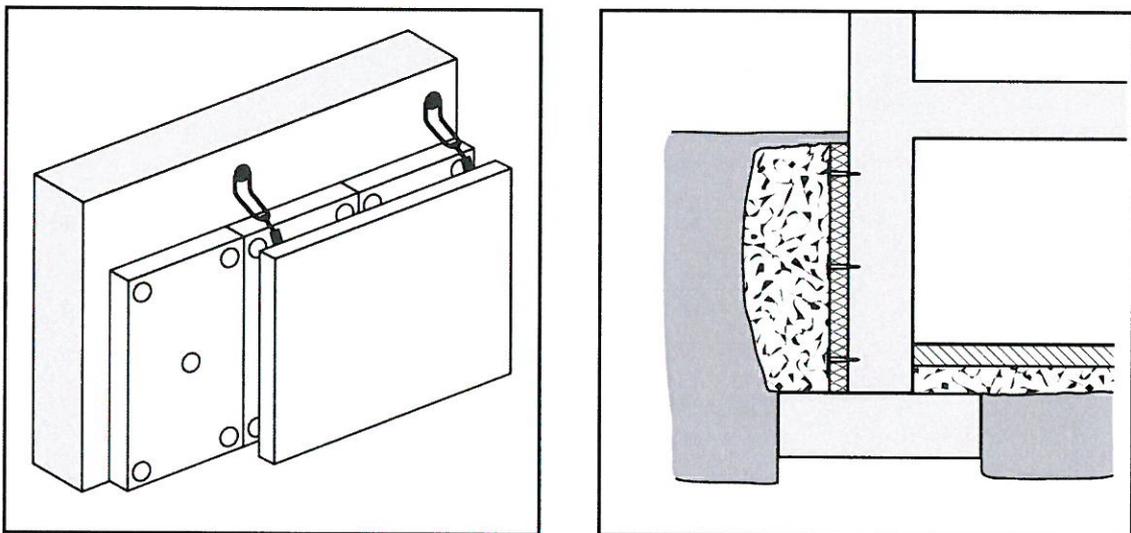
Tabelle 1: Wärmetechnische Größen

Name	Symbol	Einheit
Temperatur	θ	°C
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
3-dimensionaler thermischer Leitwert	L ^{3d}	W/K
U-Wert Korrektur (pro Befestiger) bzw. punktueller Wärmedurchgangskoeffizient	U _p = χ	W/K

¹ Technical Report No. 025 for ETAG 004 and 014– TR025: Determination of point thermal transmittance of plastic anchors for the anchorage of external thermal insulation composite systems (ETICS)
Eine auszugsweise Veröffentlichung des Prüfberichtes ist nur mit vorheriger schriftlicher Genehmigung des FIW München zulässig.

2.2. Produktbeschreibung

Der Befestiger bestehend aus einer Hülse mit Dübelteller wird aus Polyethylen mit hoher Rohdichte (HDPE) gefertigt. Das Verbindungsmittel ist ein Nagel aus Kohlenstoffstahl HRC 58. Der Befestiger wird ohne Aussparung leicht versenkt montiert, indem er die flexible Dämmung im Tellerbereich etwa 1 mm staucht. Der Befestiger wird zur Fixierung von Perimeterdämmung und von Dämmplatten hinterlüfteter Fassaden verwendet.



**Abbildung 1: Darstellung der Anwendungsbereiche des Dübels Hilti X-IE
(Links: Vorgehängte hinterlüftete Fassade; Rechts: Perimeterdämmung)**

Die Länge der Dübelhülse variiert mit der Dicke der Dämmschicht, während der Stahlnagel eine konstante Länge von 62 mm hat. Für den X-IE 6 beträgt der Durchmesser des Dübeltellers 60 mm, für den X-IE 9 beträgt der Durchmesser 90 mm. Der Hilti X-IE 6 und Hilti X-IE 9 werden für Dämmdicken von 60 mm bis 200 mm betrachtet. In Anhang 1 sind detaillierte Zeichnungen des Befestigers dargestellt.

2.3. Berechnungsmodell und Randbedingungen

Die Randbedingungen der Berechnung werden für die Nutzung der Befestiger im Bereich Perimeterdämmung als auch bei Dämmung in hinterlüfteten Fassaden angepasst. Dabei wird nach den Vorgaben der DIN EN ISO 6946² vorgegangen:

Randbedingungen für die Anwendung in Perimeterdämmung:

$$\theta_i = 20^\circ\text{C} \quad R_{si} = 0,13 \text{ m}^2\text{K/W (Modellgrenze zur Innenseite)}$$

$$\theta_e = 5^\circ\text{C} \quad R_{se} = 0 \text{ m}^2\text{K/W (Modellgrenze zur Außenseite)}$$

Randbedingungen für die Anwendung in Dämmung von vorgehängten hinterlüfteten Fassaden:

$$\theta_i = 20^\circ\text{C} \quad R_{si} = 0,13 \text{ m}^2\text{K/W (Modellgrenze zur Innenseite)}$$

$$\theta_e = -5^\circ\text{C} \quad R_{se} = 0,13 \text{ m}^2\text{K/W (Modellgrenze zur Außenseite)}$$

Die Lösung des dreidimensionalen Temperaturfelds wird mittels dreidimensionaler FE-Methode durchgeführt. Hierbei wird ein repräsentativer Ausschnitt des Systems modelliert.

Im dreidimensionalen Berechnungsmodell wird der Befestiger in einen von der Referenzkonstruktion der EOTA TR 0-25 abweichenden Aufbau eingesetzt um die Anwendungsbereiche des Hilti X-IE besser nachzubilden:

Die Dämmschicht variierender Dicke wird auf einer 175 mm dicken Betonwand aufgebracht, die mit 10 mm Innenputz versehen ist. Außenseitig ist keine Putzschicht auf der Dämmung angebracht.

² DIN EN ISO 6946:2008-04 „Thermal resistance and thermal transmittance – calculation method“
Eine auszugsweise Veröffentlichung des Prüfberichtes ist nur mit vorheriger schriftlicher Genehmigung des FIW München zulässig.

2.4. Materialeigenschaften

Bemessungswerte der Wärmeleitfähigkeit werden aus DIN EN ISO 6946 und DIN EN ISO 10456.³⁾⁴⁾ Die Materialeigenschaften der Lufteinschlüsse werden nach DIN EN ISO 6946 bestimmt.

Die verwendeten Wärmeleitfähigkeiten der Materialien sind in unterer Tabelle zusammengefasst.

Tabelle 2: Bemessungswerte der Wärmeleitfähigkeit

Bauteil / Bauschicht	Material	Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit λ W/(m·K)
Verbindungsmittel	Kohlenstoffstahl	50
Befestiger / Dübel (variable Länge)	Polyethylen hoher Rohdichte	0.50
Dämmschicht	Dämmstoff (generisch)	0.035
Innenputz	Gipsputz	0.57
Wand Unterkonstruktion	Beton (Nutzungsstufe A)	2.3

³ DIN EN ISO 10456:2010-05 „Hygrothermal properties – Tabulated design values and procedures for determining declared and design thermal values“

⁴ DIN EN ISO 6946:2015-06 „Thermal resistance and thermal transmittance – calculation method“

3. Durchführung der numerischen Berechnung

Die Berechnung wird für den Hilti X-IE 9 Befestiger in 6 verschiedenen Längen bzw. Dämmdicken durchgeführt. Die entsprechenden Artikelbezeichnungen und Zeichnungsnummern der Fa. Hilti sind in unterer Tabelle dargestellt:

Tabelle 3: Item and drawing numbers for Hilti X-IE 9

Artikel	Artikelnummer	Montagezeichnung	Kunststoffteil-Zeichnung	Nagelzeichnung
X-IE 9-60 BK	2041746	5077325/04	5129933/03	324473/08
X-IE 9-70 BK	*	5077325/04	5129933/03	324473/08
X-IE 9-100 BK	2041749	5077325/04	5077183/04	324473/08
X-IE 9-120 BK	2041750	5077325/04	5077183/04	324473/08
X-IE 9-140 BK	2041751	5073703/04	5073630/03	324473/08
X-IE 9-200 BK	2041754	5073703/04	5073630/03	324473/08

*) wird derzeit nicht vertrieben

Aufgrund der geometrischen Übereinstimmungen der Hilti X-IE 6 mit dem Hilti X-IE 9 können die berechneten Ergebnisse auch für den Hilti X-IE 6 übertragen werden. Die entsprechenden Artikelbezeichnungen und Zeichnungsnummern sind in unterer Tabelle zusammengefasst:

Tabelle 4: Item and drawing numbers for Hilti X-IE 6

item designation	item number	assembly drawing	plastic part drawing	pin drawing
X-IE 6-60	2041719	5077325/04	5129673/02	324473/08
X-IE 6-70	2041740	5077325/04	5129673/02	324473/08
X-IE 6-100	2041744	5077325/04	5030806/06	324473/08
X-IE 6-120	2041745	5077325/04	5030806/06	324473/08
X-IE 6-140	2041393	5073701/04	5067128/05	324473/08
X-IE 6-200	2041396	5073701/04	5067128/05	324473/08

Die Wärmebrückeneffekte eines Befestigers χ (= punktueller Wärmedurchgangskoeffizient) werden aus dem Vergleich der U-Werte des Wandaufbaus – mit und ohne Anker – ermittelt.

$$\chi = \frac{U_c - U}{n} \quad [\text{W/K}] \quad \text{and} \quad U_c = \frac{L^{3d}}{A} \quad [\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})]$$

Die Wanduntergründe für Befestiger werden in ETAG 014 in 5 Nutzungskategorien eingeteilt (A bis E). Die Wärmebrückeneffekte müssen für den ungünstigsten Wanduntergrund (üblicherweise Beton) ermittelt werden, der für die beschriebenen Befestiger vorgesehen ist – etwa in der ETA der Befestiger. Alternativ kann der χ -Wert für einzelne Untergründe ermittelt werden, und erhält dann einen Index (A bis E) für die individuelle Nutzungskategorie. Jede spezielle Nutzungskategorie deckt Nutzungskategorien mit einer niedrigeren Wärmeleitfähigkeit des Wanduntergrunds ab. Mit Beton als Wanduntergrund für die Berechnung des χ -Werts sind alle anderen Nutzungskategorien abgedeckt.

Hinweis:

Im Rahmen gängiger Berechnungsverfahren für den Heizwärmebedarf von Gebäuden (z.B. nach DIN EN ISO 13790) ist bei der Ermittlung des Transmissionswärmeverlustes bei erdberührten Bauteilen ein Temperaturkorrekturfaktor zur Berücksichtigung einer geringeren Temperaturdifferenz anzusetzen. Wie auch beim Wärmedurchgangskoeffizient U und den längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten ψ sind die hier ermittelten punktförmigen Wärmedurchgangskoeffizienten χ der Befestiger ebenfalls zu korrigieren, da die durchgeführten Berechnungen nicht den thermischen Einfluss des Erdreichs erfassen (Modellgrenze am Übergang zum Erdreich).

4. Ergebnisse

Die untere Tabelle zeigt die Berechnungsergebnisse für den Hilti X-IE 6 und Hilti X-IE 9 bei Anwendung mit einer 175 mm starken Betonunterkonstruktion (Nutzungsklasse A wie beschrieben in ETAG 014) in der Anwendung zur Fixierung von Perimeterdämmung bzw. Dämmung in vorgehängten hinterlüfteten Fassaden.

Tabelle 5: Berechnungsergebnisse für den Hilti X-IE 6 und Hilti X-IE 9

Dicke der Dämmschicht h [mm]	χ [W/K]	
	Perimeter	Vorgehängte hinterlüftete Fassade
60	0,00212	0,00152
70	0,00171	0,00128
100	0,00113	0,00091
120	0,00096	0,00079
140	0,00084	0,00072
200	0,00067	0,00059

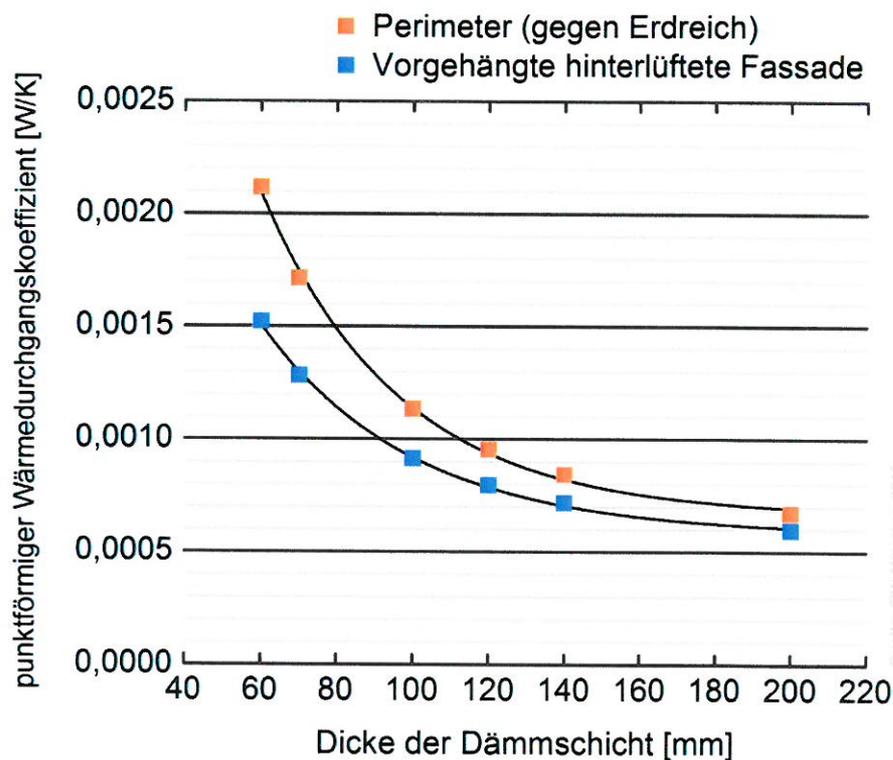


Abbildung 2: Punktförmiger Wärmedurchgangskoeffizient - Ergebnisse für den Hilti X-IE 9

Eine auszugsweise Veröffentlichung des Prüfberichtes ist nur mit vorheriger schriftlicher Genehmigung des FIW München zulässig.

Zu Vergleichszwecken wird der punktförmige Wärmedurchgangskoeffizient χ des Hilti X-IE 60 zusätzlich unter strikter Anwendung der Randbedingungen der EOTA TR 025 (für die Anwendung in Wärmedämmverbundsystemen (WDVS)) berechnet.

Diese Berechnung ergibt einen Wert für χ von 0.00173 W/K.

Bei der Dämmstärke von 60 mm ergibt sich durch die Berechnung mit den modifizierten Randbedingungen für die Perimeterdämmung aufgrund des weggefallenen Außenputzes und dem verbesserten Wärmeübergang auf der Außenoberfläche ein um ca. 20 % höherer Wärmedurchgangskoeffizient χ . Der Verringerung des Wärmestroms aufgrund des angrenzenden Erdreichs wird mit der Anwendung von Temperaturkorrekturfaktoren Rechnung getragen. Die Berechnung mit Randbedingungen für die Anwendung bei vorgehängten hinterlüfteten Fassaden hingegen führt aufgrund des erhöhten Wärmeübergangswiderstands von 0,13 (m²·K)/W zu etwa 10 % niedrigeren Werten.

5. Klassifizierung

Nach Anwendung der Klassifizierungsregeln der EOTA TR 025, ergeben sich für den Hilti X-IE 9 und Hilti X-IE 6 nachfolgende Nennwerte der punktförmigen Wärmedurchgangskoeffizienten χ .

Tabelle 6: Nennwerte der punktförmigen Wärmedurchgangskoeffizienten für die Anwendung in der Perimeterdämmung

Produkt / Anwendung	Nennwert des punktförmigen Wärmedurchgangskoeffizienten
Hilti X-IE 6 und Hilti X-IE 9 in Perimeterdämmung	χ (60 mm) 0.003
	χ (70 mm – 100 mm) 0.002
	χ (120 mm – 200 mm) 0.001

Tabelle 7: Nennwerte der punktförmigen Wärmedurchgangskoeffizienten für die Anwendung in der vorgehängten hinterlüfteten Fassade

Produkt / Anwendung	Nennwert des punktförmigen Wärmedurchgangskoeffizienten
Hilti X-IE 6 und Hilti X-IE 9 in Dämmung von vorgehängter hinterlüfteter Fassade	χ (60 mm – 90 mm) 0.002
	χ (100 mm – 200 mm) 0.001

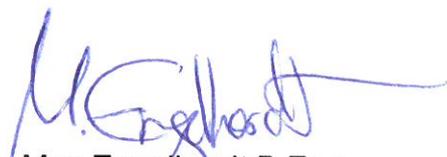
6. Haftung

Die berechneten Werte gelten ausschließlich für die angegebenen Materialien sowie deren Eigenschaften und Abmessungen. Für die durchgeführten Untersuchungen 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.

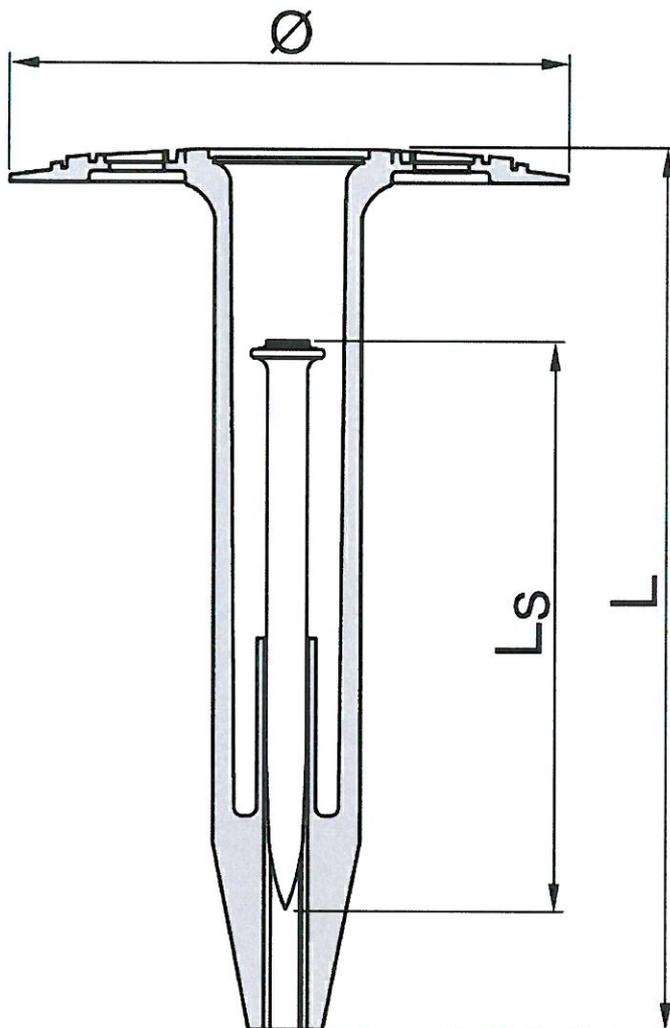
Gräfelfing, 23 November 2016


Dipl.-Ing. Christoph Sprengard

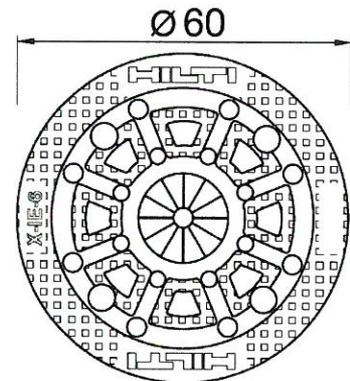



Max Engelhardt B.Eng.

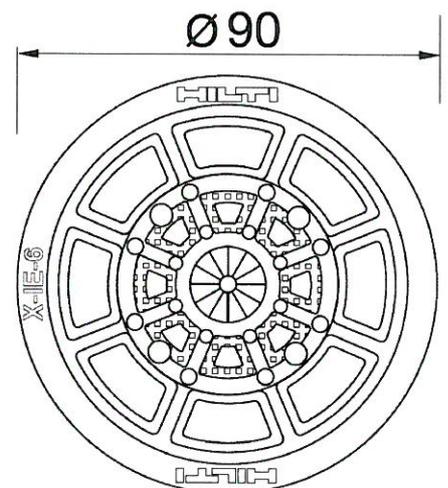
Annex 1: Zeichnung des Hilti X-IE 6 and X-IE 9 Befestigers mit Verbindungsmittel aus Kohlenstoffstahl.



X-IE 6

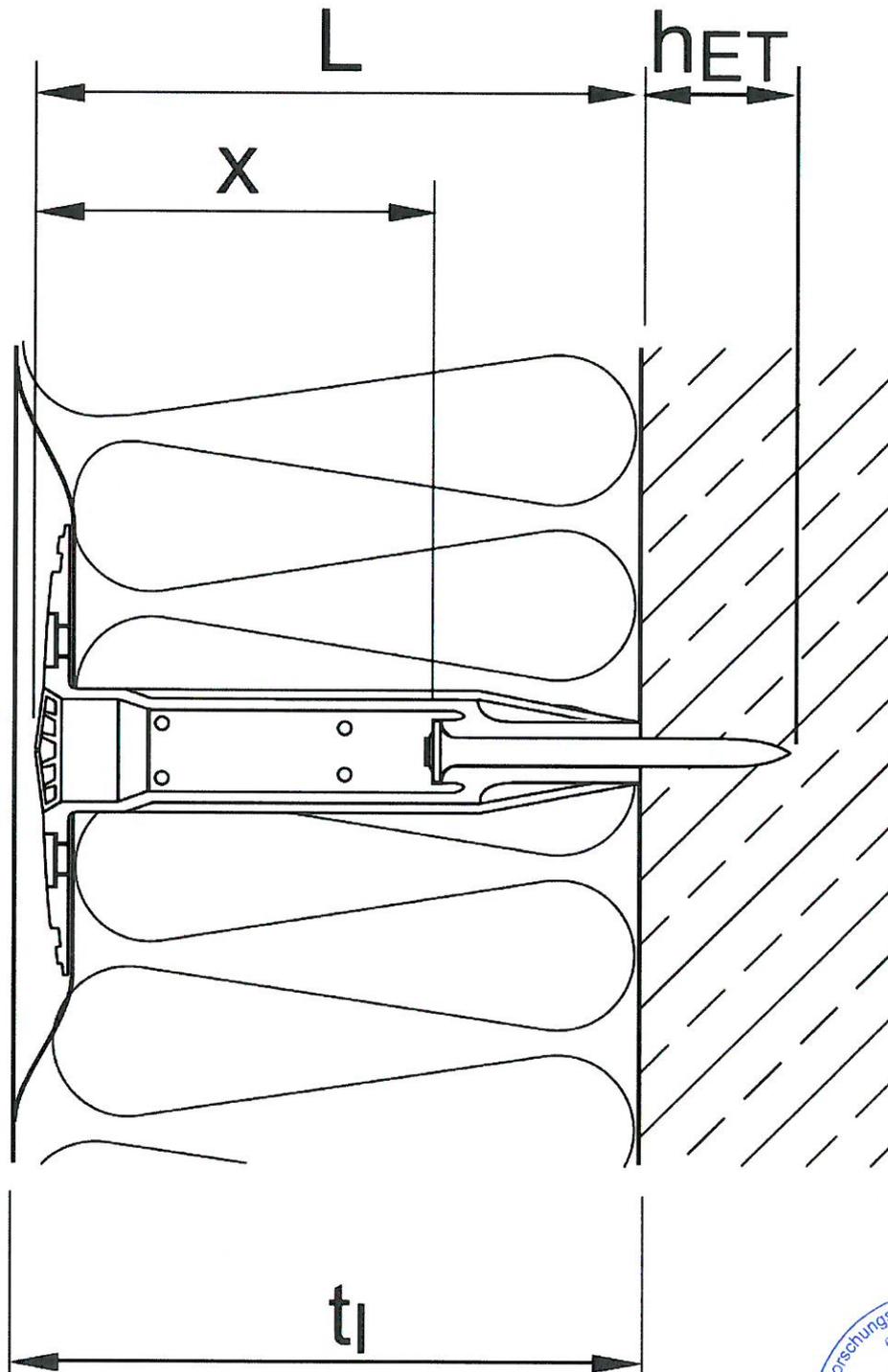


X-IE 9



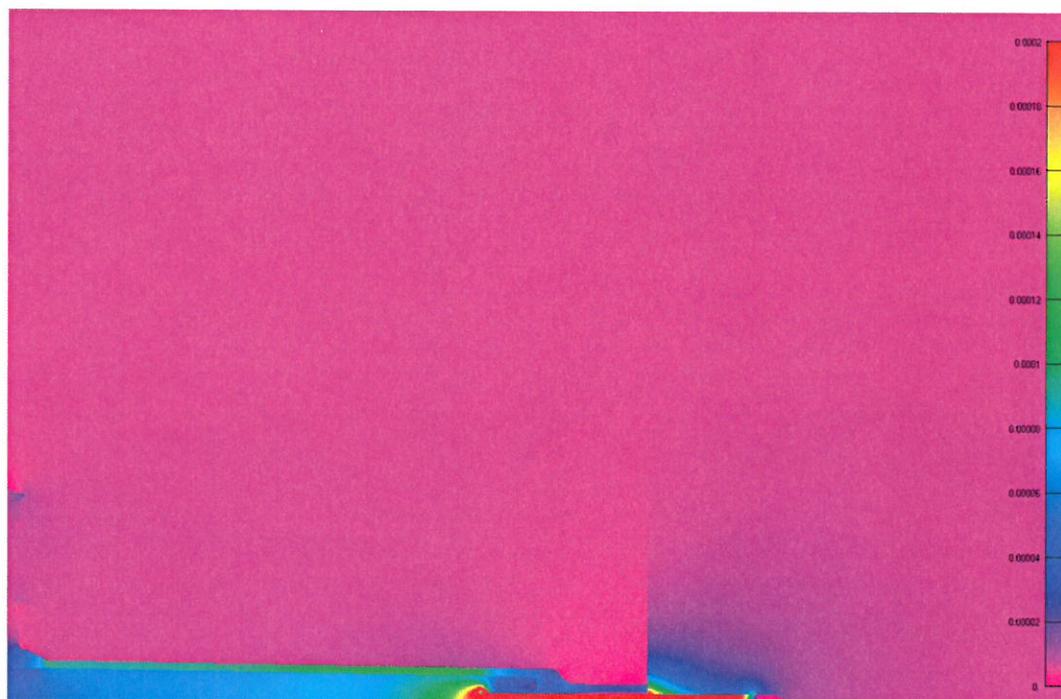
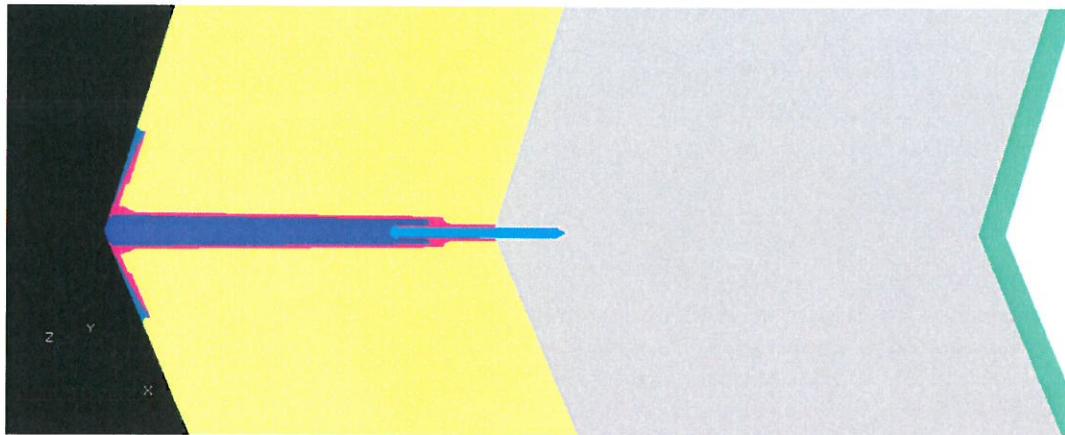
Eine auszugsweise Veröffentlichung des Prüfberichtes ist nur mit vorheriger schriftlicher Genehmigung des FIW München zulässig.

Annex 2: Montageskizze des Hilti X-IE 6.



Eine auszugsweise Veröffentlichung des Prüfberichtes ist nur mit vorheriger schriftlicher Genehmigung des FIW München zulässig.

Annex 3: Modelldarstellung und Falschfarbendarstellung der Wärmestromdichte im des Hilti X-IE 9 Befestigungselements (Axialschnitt) in 140 mm Dämmung bei Rangbedingungen und Modellanpassungen für die Anwendung in Perimeterdämmungen.



Eine auszugsweise Veröffentlichung des Prüfberichtes ist nur mit vorheriger schriftlicher Genehmigung des FIW München zulässig.