Forschung & Entwicklung

Das Institut für
Fenster und Fassaden,
Türen und Tore,
Glas und Baustoffe

Bericht

Vermeidung von Tauwasser an Ganzglasecken mit integriertem T-Stripe

April 2015

© ift Rosenheim

Vermeidung von Tauwasser an Ganzglasecken mit integriertem T-Stripe

Thema	Ermittlung von notwendigen Heizleistungen zur Vermeidung von Tauwasser an Ganzglasecken mit integriertem T-Stripe
Auftraggeber	T-Stripe GmbH Rautenweg 8 1220 Wien
Auftragnehmer	**ift** gemeinnützige Forschungs- und Entwicklungs-gesellschaft mbH Theodor-Gietl-Straße 7-9 83026 Rosenheim
Projektleitung	Dipl. Phys. Norbert Sack
Projektmitarbeiter	Dipl.-Ing. (FH) Maurice Mayer

Rosenheim, April 2015

© **ift** Rosenheim, April 2015

© **ift** Rosenheim, April 2015

1 Problemstellung

Die T-STRIPE Fensterheizung ist ein flexibles elektrisches Heizelement mit einem Durchmesser von 3,8mm. Die Fensterheizung wird im Übergangsbereich Glas/Rahmenprofil auf der Scheibe aufgeklebt und mit Strom (230 Volt) betrieben. Durch die Erwärmung des Glasrandbereiches verhindert sie, dass der Taupunkt unterschritten wird und Tauwasser entsteht. Eine Darstellung der momentanen Verwendung in Verbindung mit dem Fenster kann Abbildung 1 entnommen werden.

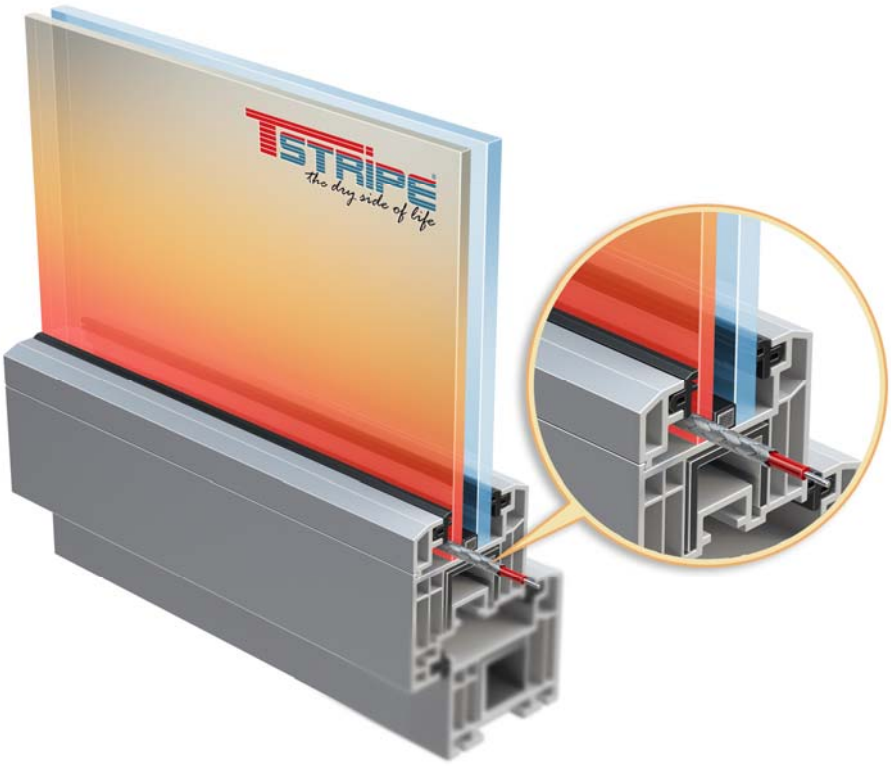

Abbildung 1 Anwendung der T-Stripe Fensterheizung [Quelle: T-Stripe GmbH]

Die Fa. T-Stripe beabsichtigt den Anwendungsbereich des Heizelementes zu erweitern. So stellt sich aktuell die Frage, ob das Heizelement eingesetzt werden kann, um im Bereich einer sog. Ganzglasecke die innere Oberflächentemperatur soweit zu erhöhen, dass die Gefahr von Tauwasserbildung deutlich reduziert werden kann. Hierzu soll das Heizelement in den Dichtstoff ein-

gebracht werden. Eine schematische Darstellung der geplanten Anwendungssituation kann Abbildung 2 entnommen werden.

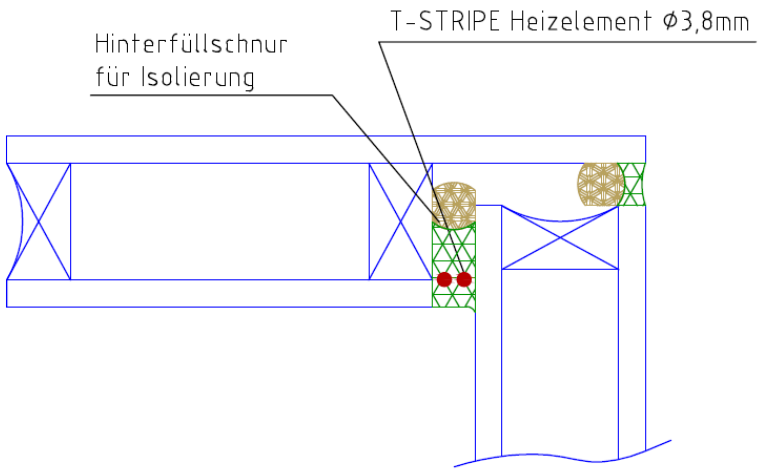

Abbildung 2 Schematische Darstellung der zu untersuchenden Anwendung der T-Stripe im Bereich von Ganzglasecken [Quelle: T-Stripe GmbH]

Im ersten Schritt ist zu klären, ob die Heizleistungen, die durch das Heizelement erreicht werden ausreichen um die Gefahr des Tauwasserausfalls deutlich zu reduzieren. Um die Temperaturbelastung der in der Ganzglasecke verwendeten Werkstoffe beurteilen zu können, ist es des Weiteren notwendig die sich einstellenden Temperaturen in der Nähe des Heizelementes zu ermitteln.

Somit soll erforscht werden, ob das Produkt T-Stripe in einer neuen Anwendungssituation eingesetzt werden könnte.

© **ift** Rosenheim, April 2015

2 Durchführung der Berechnungen

2.1 Methodik

Durch entsprechende numerische 2D-Berechnung von unterschiedlichen Aufbauten von Ganzglasecken erfolgt die Ermittlung der notwendigen Heizleistung, mit der Tauwasserausfall unter den jeweiligen Randbedingungen vermieden werden kann. Gleichzeitig erfolgt die Berechnung der sich ausbildenden Temperatur des Heizelementes.

Zur Berechnung der stationären Temperaturverteilung der Ganzglasecke mit integriertem T-Stripe wurde das Programmsystem WINISO verwendet.

Als Berechnungsverfahren für mehrdimensionale Wärmeströme dient die auch in anderen Bereichen angewandte Methode der Finiten Differenzen.

Der zu berechnende Querschnitt (zweidimensional) wird in entsprechende Elemente aufgeteilt, dass die geometrischen Abmessungen und wärmetechnischen Eigenschaften für das Objekt eindeutig bestimmt werden können. Bei der Berechnung wird für jedes Element die Wärmeleitgleichung unter Berücksichtigung der Randbedingungen gelöst.
Die Berechnung erfolgte auf Grundlage von EN 10077-2 „Thermal performance of windows, doors and shutters - Calculation of thermal transmittance - Part 2: Numerical method for frames“ [1] .

Hinweis: Die zur Berechnung verwendete Software WINISO verwendet ein orthogonales Gitter zur Generierung des Berechnungsmodells. Daher ist das Heizelement T-STRIPE in den Berechnungen zur Vereinfachung quadratisch dargestellt.

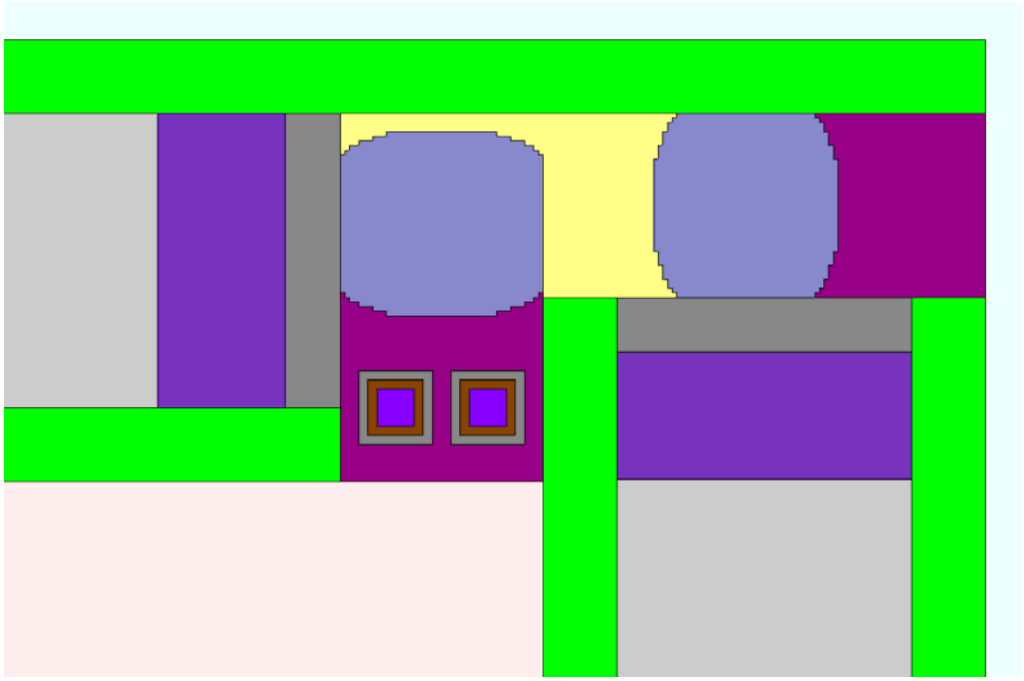

Abbildung 3 Modell einer Ganzglasecke aus 2fach Wärmedämmglas mit integriertem T-Stripe zur numerischen Berechnung

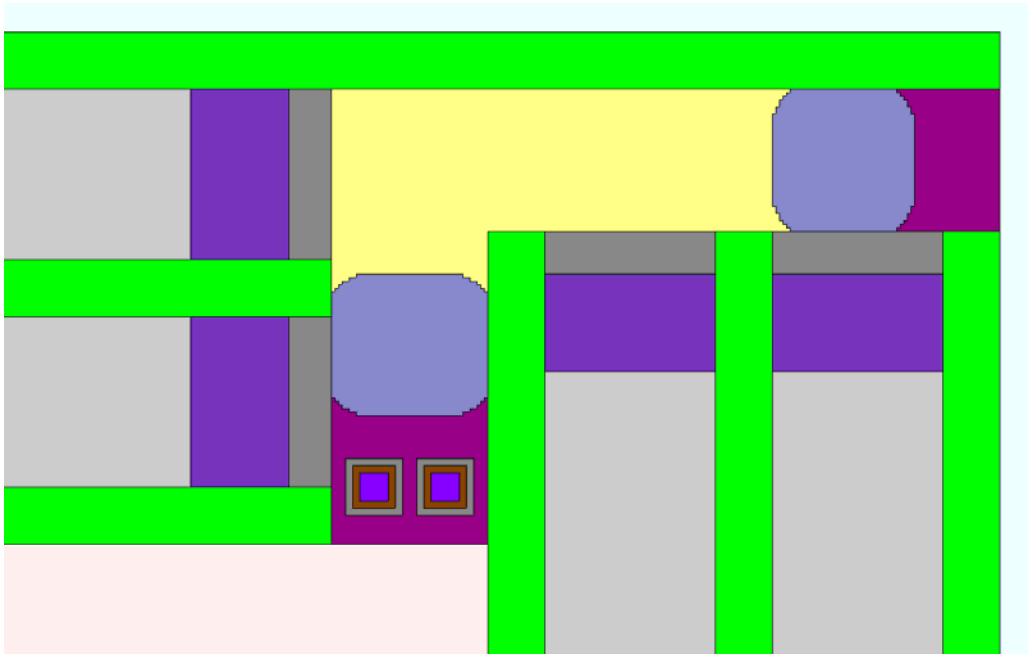

Abbildung 4 Modell einer Ganzglasecke aus 3fach Wärmedämmglas mit integriertem T-Stripe zur numerischen Berechnung

© **ift** Rosenheim, April 2015

2.2 Zu untersuchende Systeme/Randbedingungen

Im ersten Schritt erfolgte eine Festlegung, welche Varianten von Ganzglasecken im Rahmen einer numerischen Untersuchung betrachtet werden sollen:

- 2 Glasaufbauten (2-fach, 4/16/4 mit U_g = 1,2 W/m^{2}K); 3-fach: 4/12/4/12/4 mit U_g = 0,7 W/m^{2}K)
- 2 Randverbundaufbauten (normaler Abstandhalter: Aluminium; wärmetechnisch verbesserter Abstandhalter: Hohlprofil aus Kunststoff mit metallischer Dampfdiffusionssperre)

Die sich auf der Rauminnenseite einstellende Oberflächentemperatur der Ganzglasecke hängt neben der geometrischen Ausbildung der Ganzglasecke und den hierbei verwendeten Materialien von folgenden weiteren Randbedingungen ab:

- Der Außentemperatur T_e;
- der Rauminnentemperatur T_i sowie
- vom inneren Wärmeüberganskoeffizienten h_i.

Die Rauminnentemperatur wurde bei den numerischen Berechnungen nicht variiert und mit Ti = 20°C angenommen.

Bei einer angenommenen rel. Luftfeuchte von 50% ergebt sich bei einer Rauminnentemperatur von T_i = 20°C die Taupunkttemperatur zu 9,3°C. Um Tauwasserausfall auf der raumseitigen Oberfläche der Ganzglasecke zu vermeiden muss die die Oberflächentemperatur über der Taupunkttemperatur liegen. Zur Beurteilung der Gefahr der Tauwasserbildung wird im Rahmen dieser Untersuchungen eine minimale Oberflächentemperatur von $T_{i,min}$ = 10°C angesetzt. Diese Vorgehensweise bietet etwas Sicherheit in Bezug auf die Beurteilung der Gefahr von Tauwasserbildung.

Die Außentemperatur T_e wurde in den Berechnungen wie folgt variiert: +5°C, 0°C, -5°C, -10°C.
Der innere Wärmeübergangskoeffizient beschreibt "wie gut" Wärme vom Raum auf die innere Oberflächen von Außenbauteilen übertragen werden kann. Standardmäßig wird hierbei entsprechend EN ISO 13788 [2] ein Übergangskoeffizient von h_i = 8 W/m^{2}K angesetzt. Dieser gilt jedoch im Regelfall nur für flächige Bauteile. Bei z.B. Ecken ist von einem reduzierten Wärme-

übergangskoeffizienten auszugehen. Daher wurde ebenso ein Wärmeübergangskoeffizient von h_i = 4 W/m^{2}K untersucht. Eine Beurteilung der Gefahr der Tauwasserbildung sollte auf Basis des reduzierten Wärmeübergangskoeffizienten erfolgen.

2.2.1 Aufbauten der Wärmedämmgläser

Die Aufbauten und U-Wert der Wärmedämmgläser (Aufbau 4/16/4) wurden wie folgt angenommen

2-fach Wärmedämmglas
Aufbau: 4/16/4 mit 90% Argonfüllung und low e Beschichtung mit ε_n = 0,03 auf Ebene 3, U_g = 1,1 W/m^{2}K

3-fach Wärmedämmglas
Aufbau: 4/12/4/12/4 mit 90% Argonfüllung und low e Beschichtung mit ε_n = 0,03 auf Ebene 2 und 5, U_g = 0,7 W/m^{2}K

2.2.2 Aufbau des Randverbundes

Der Randverbund der Wärmedämmglaser wurde wie folgt angesetzt:

Als sekundäre Dichtstufe des Randverbundes wurde Polysulfid mit einer Dicke von 3 mm verwendet.

Die in den Berechnungen untersuchten Abstandhalter wurden wie folgt angenommen:

1) Aluminium Abstandhalter
   Kastenprofil mit einer Bauhöhe von 7 mm und einer Wandstärke von 0,3 mm
2) Wärmetechnisch verbesserte Abstandhalter
   Die Modellierung des Wärmetechnisch Verbesserten Abstandhalters erfolgt auf Grundlage der ift Richtlinie WA/08-2 anhand eines sog. 2 Box Modells. Hierbei wird der Abstandhalter im numerischen Modell als Rechteck mit einer äquivalenten Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{eq,2B}$ angesetzt. Für eine wärmetechnisch verbesserten Abstandhalter aus einem Hohlprofil aus Kunststoff mit einer metallischen Dampfdiffusionssperre kann ein typischer Wert von $\lambda_{eq,2B}$=0,30 W/mK angesehen werden. De-

© **ift** Rosenheim, April 2015

taillierte Angaben zu tatsächlichen $\lambda_{eq,2B}$ von einer Vielzahl am Markt erhältlichen wärmetechnisch verbesserten Abstandhalter finden sich in den Datenblättern des Bundesverbandes Flachglas e.V[1]. Wärmetechnisch verbesserte Abstandhalter werden auch als "warm edge" Systeme bezeichnet.

2.2.3 Wärmeleitfähigkeiten der verwendeten Materialien

Die Wärmeleitfähigkeiten der einzelnen Materialien wurden der europäischen Norm EN ISO 10077-2 entnommen.

Tabelle 1 Materialeigenschaften und Randbedingungen für die Berechnung

Materialeigenschaften / Randbedingungen			Wert	Quelle [1]
λ	Wärmeleitfähigkeit Aluminium	W/(m K)	160	EN ISO 10077-2
λ	Wärmeleitfähigkeit Edelstahl	W/(m K)	17	EN ISO 10077-2
λ	Wärmeleitfähigkeit Floatglas	W/(m K)	1	EN ISO 10077-2
λ	Wärmeleitfähigkeit Polysulfid	W/(m K)	0,40	EN ISO 10077-2
λ	Wärmeleitfähigkeit Silikon	W/(m K)	0,35	EN ISO 10077-2
λ	Wärmeleitfähigkeit EPDM	W/(m K)	0,25	EN ISO 10077-2
λ	Wärmeleitfähigkeit Butyl	W/(m K)	0,24	EN ISO 10077-2
λ	Wärmeleitfähigkeit Trocknungsmittel	W/(m K)	0,13	EN ISO 10077-2
λ	Wärmeleitfähigkeit Hinterfüllschnur	W/(m K)	0,06	EN ISO 10077-2

Bei der Berechnung der entstehenden Temperaturen wurden zwei unterschiedliche Ansätze gewählt:

Ansatz 1: Es wurde die Temperatur des Heizelementes ermittelt, die sich einstellt, wenn mit der für Tauwasservermeidung minimal notwendigen Leistung geheizt wird. Diese würde in der Praxis dem An-

[1] http://www.bundesverband-flachglas.de/shop/kostenfreie-downloads/bf-datenblaetter/datenblaetter.html

wendungsfall entsprechenden, wenn die Heizleistung nicht konstant wäre sondern geregelt würde.

Ansatz 2: Es wurde die Temperatur des Heizelementes ermittelt, die sich einstellt, wenn konstant mit der maximalen Leistung des Elementes im worst case scenario geheizt wird. Diese wurde mit 10 W/m angesetzt. Diese würde in der Praxis dem Anwendungsfall entsprechenden, dass keine Regelung der Heizleistung erfolgt. Die Berechnungen erfolgten hierbei für eine konstante Außentemperatur von 5°C, als auch von -15°C. Es kann davon ausgegangen werden, dass hierbei eine Außentemperatur von 5°C als worst case darstellt, da sich bei einer konstanten Heizleistung bei niedrigeren Außentemperaturen auch niedrigere Temperaturen des Heizelementes ergeben werden. Es wird davon ausgegangen, dass das Heizelement bei höheren Außentemperaturen als 5°C nicht aktiviert ist.
Ebenso wurden für die worst case Berechnungen der erniedrigte innere Wärmeübergangskoeffizienten h_i = 4 W/m^{2}K als der wärmetechnisch verbesserte Abstandhalter zu Grunde gelegt. Die Berechnungen erfolgen sowohl für die Ganzglasecken aus 2-fach als auch aus 3-fach Wärmedämmglas.

© **ift** Rosenheim, April 2015

3 Ergebnisse

3.1 Minimal notwendige Heizleistungen

Die nachfolgenden Tabelle 2 sowie Tabelle 3 zeigen die Ergebnisse der durchgeführten numerischen Simulationen.
Folgende Parameter bzw. Ergebnisse sind enthalten:

Parameter

1. Wärmübergangskoeffizient: Es wird unterschieden zwischen "normalem Wärmeübergangskoeffizienten" mit h_i = 8 W/m^{2}K sowie reduziertem Wärmeübergangskoeffizienten mit h_i = 4 W/m^{2}K. Zur Interpretation der Ergebnisse sollte der reduzierte Wärmeübergangskoeffizient betrachtet werden.
2. Variante Abstandhalter: Es wird unterschieden zwischen einem Abstandhalter aus Aluminium und einem wärmetechnisch verbesserten Abstandhalter (warm edge)
3. Außentemperatur: Die Außentemperatur wurde von +5°C bis -15°C in 5°C Schritte variiert.

Ergebnisse

1. Minimale innere Oberflächentemperatur ohne Heizung: Dies ist die minimale Temperatur der inneren Oberfläche in der Glasecke in °C, wenn keine Heizung vorhanden ist bzw. wenn die Heizung ausgeschaltet ist.
2. Notwendige minimale Heizleistung: Dies ist die notwendige Leistung des Heizelementes in W/m um die Temperatur der inneren Oberfläche auf minimal 10°C zu erhöhen. Hinweis: Die angegebene Heizleistung bezieht sich auf einen Laufmeter des Heizelementes. Da in der Ecke "zwei" Heizelemente vorhanden sind, ist die sich ergebende Heizleistung pro Laufmeter Glasecke doppelt so hoch.
3. Mittlere Temperatur des Heizelementes: Dies ist die Mitteltemperatur beider Heizelement in °C, die sich bei der notwendigen minimalen Heizleistung einstellt.

Tabelle 2 Berechnungsergebnisse für die modellierte Ganzglasecke aus 2-fachem Wärmedämmglas

Variante Abstandhalter	Außentemperatur T_e in °C	minimale innere Oberflächentemperatur in °C ohne Heizung	Notwendige Heizleistung in W/m	Mittlere Temperatur des Heizelementes in °C
Normaler Wärmeübergangskoeffizient h_i = 8 W/(m²K)				
Aluminium	5	9,9	0,1	9,7
	0	6,6	3,0	12,7
	-5	3,2	6,0	16,1
	-10	-0,2	9,2	19,6
	-15	-3,6	12,4	23,3
Warme edge	5	12,7	0,0	12,3
	0	10,2	0,0	9,7
	-5	7,8	1,1	10,4
	-10	5,2	2,2	11,4
	-15	2,9	3,4	12,4
Reduzierter Wärmeübergangskoeffizient h_i = 4 W/(m²K)				
Aluminium	5	8,4	1,2	11,0
	0	4,5	4,3	14,5
	-5	0,6	7,5	18,2
	-10	-3,2	10,8	22,2
	-15	-7,1	14,1	26,1
Warme edge	5	10,6	0,0	10,4
	0	7,5	1,0	10,6
	-5	4,4	2,2	11,7
	-10	1,2	3,5	12,9
	-15	-1,9	4,9	15,1

© **ift** Rosenheim, April 2015

Tabelle 3 Berechnungsergebnisse für die modellierte Ganzglasecke aus 3-fachem Wärmedämmglas

Variante Abstandhalter	Außentemperatur T_e in °C	minimale innere Oberflächentemperatur in °C ohne Heizung	Notwendige Heizleistung in W/m	Mittlere Temperatur des Heizelementes in °C
Normaler Wärmeübergangskoeffizient h_i = 8 W/(m²K)				
Aluminium	5	11,5	0,0	11,4
	0	8,6	1,0	11,1
	-5	5,8	3,0	13,6
	-10	2,9	5,1	16,2
	-15	0,1	7,2	18,9
Warme edge	5	14,2	0,0	13,9
	0	12,3	0,0	11,9
	-5	10,3	0,0	9,9
	-10	8,4	0,6	9,7
	-15	6,5	1,3	10,1
Reduzierter Wärmeübergangskoeffizient h_i = 4 W/(m²K)				
Aluminium	5	9,8	0,1	10,1
	0	6,5	2,1	12,6
	-5	3,1	4,2	15,3
	-10	1,2	6,3	18,0
	-15	-3,7	8,5	20,9
Warme edge	5	12,4	0,0	12,2
	0	9,9	0,1	9,8
	-5	7,3	0,8	10,2
	-10	4,8	1,6	10,6
	-15	2,3	2,4	11,2

Abbildung 5 bis Abbildung 8 stellen den Zusammenhang zwischen Außentemperatur sowie notwendiger Heizleistung zur Vermeidung von Tauwasser grafisch dar.
Im Anhang A sind die Isothermenverläufe für eine Außentemperatur von -15°C sowie den weiteren Ergebnissen nach Tabelle 2 und Tabelle 3 dargestellt.

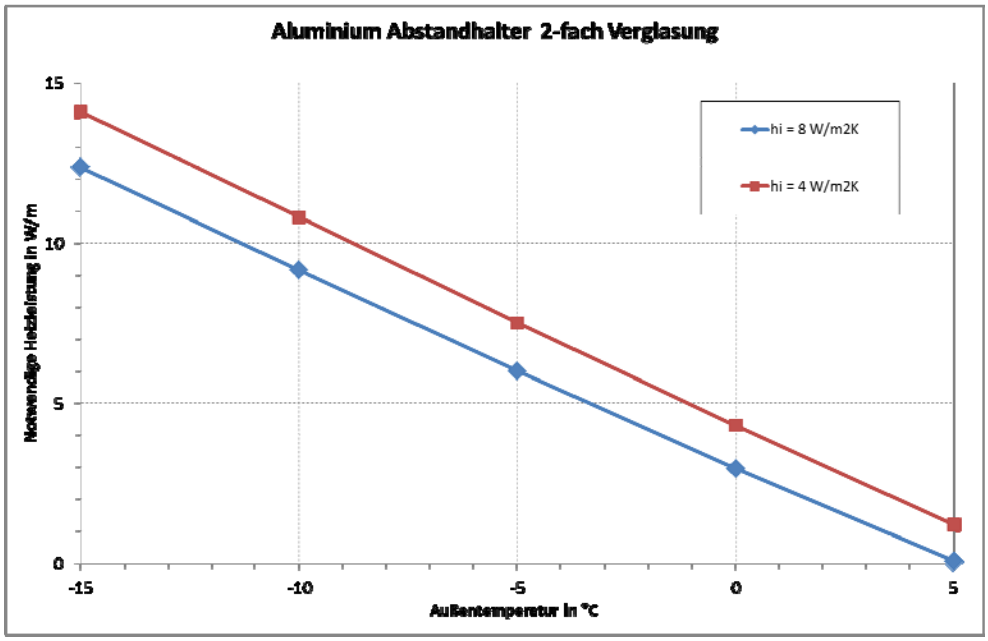

Abbildung 5 Berechnete notwendige Heizleistung in Abhängigkeit der Außentemperatur für eine Ganzglasecke aus 2 fach Wärmedämmglas mit Abstandhalter aus Aluminium

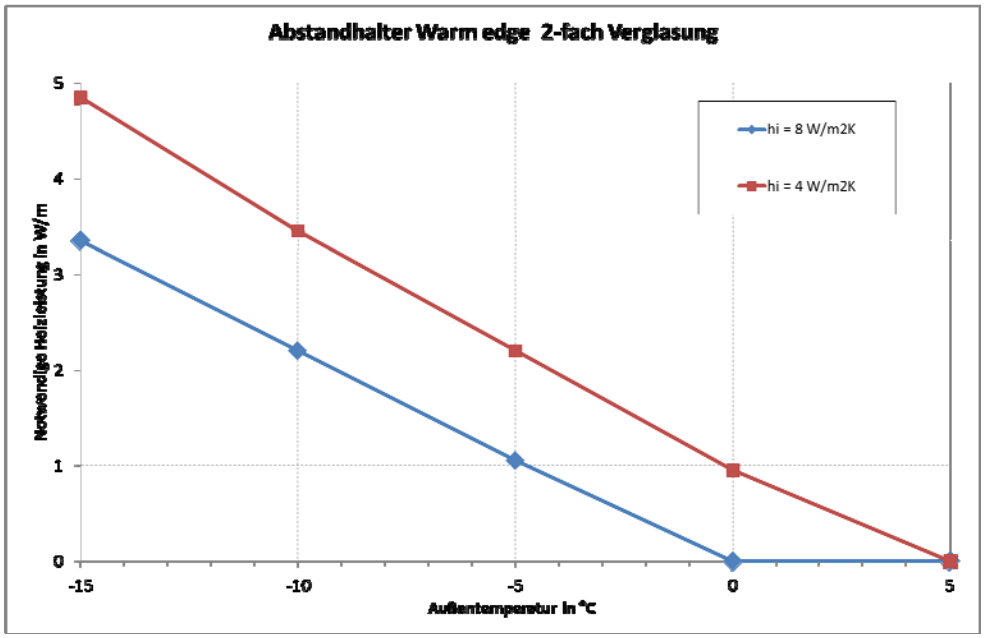

Abbildung 6 Berechnete notwendige Heizleistung in Abhängigkeit der Außentemperatur für eine Ganzglasecke aus 2 fach Wärmedämmglas mit wärmetechnisch verbessertem Abstandhalter

© **ift** Rosenheim, April 2015

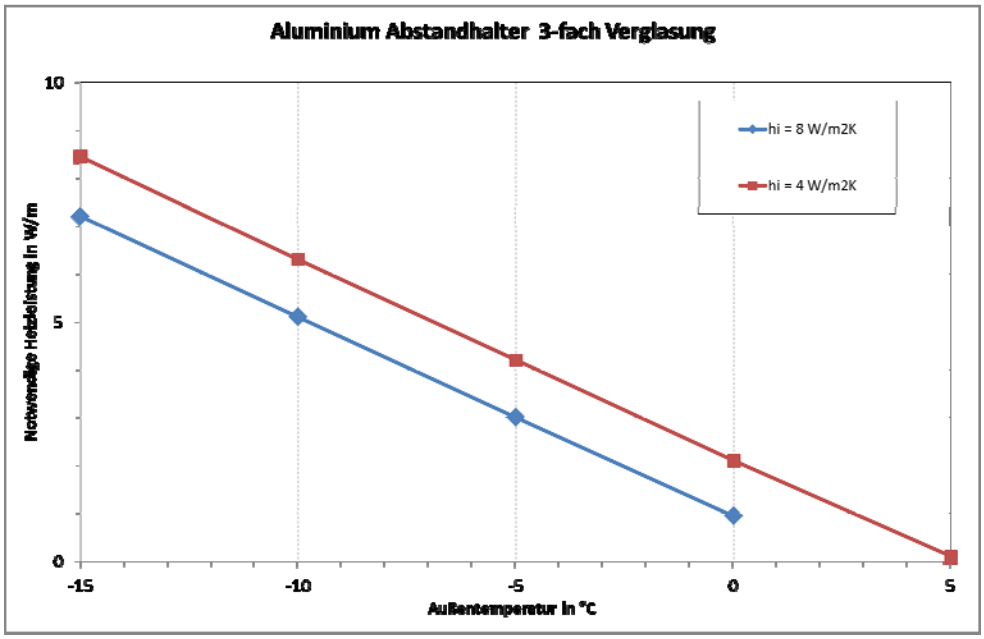

Abbildung 7 Berechnete notwendige Heizleistung in Abhängigkeit der Außentemperatur für eine Ganzglasecke aus 3 fach Wärmedämmglas mit Abstandhalter aus Aluminium

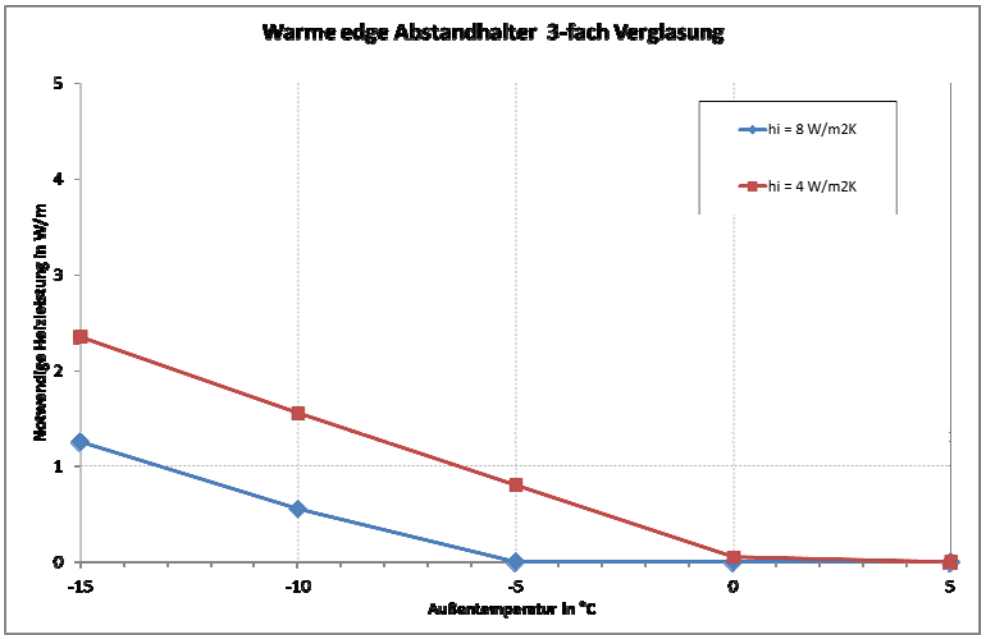

Abbildung 8 Berechnete notwendige Heizleistung in Abhängigkeit der Außentemperatur für eine Ganzglasecke aus 3 fach Wärmedämmglas mit wärmetechnisch verbessertem Abstandhalter

Diskussion der Ergebnisse
Die nachfolgenden Aussagen beruhen auf der in den Berechnungen angenommen Randbedingungen. Für die nachfolgende Beurteilung wird der reduzierte Wärmeübergangskoeffizient von h_i = 4 W/m^{2}K.

Nach Angaben der Fa. T-Stripe beträgt die maximale Heizleistung des Elements 10 W/m.

Dies bedeutet, dass für eine Ganzglasecke aus 3-fach Wärmedämmglas für beide Abstandhaltervarianten (Aluminium und wämetechnisch verbessert) die Heizleistung ausreichend ist, um mindestens bis zu einer Außentemperatur von -15°C Tauwasserbildung auszuschließen. Auch für Ganzglasecken, die aus 2-fach Wärmedämmglas mit einem wärmetechnisch verbesserten Randverbund ausgebildete sind, reicht die Heizleistung aus, um mindestens bis zu einer Außentemperatur von -15°C Tauwasserbildung auszuschließen. Bei Verwendung eines Aluminiumabstandhalters im 2-fach Glas reicht die maximale Heizleistung jedoch nur bis zu einer Außentemperatur von ca. -8°C aus.

Die bei den berechneten minimal notwendigen Heizleistung entstehenden Temperaturen des Heizelementes liegen bei max. ca. 26°C. Dies liegt im Bereich von normalen Raumtemperaturen. Es ist daher davon auszugehen, dass der Dichtstoff, in den das Heizelement integriert wird, keine erhöhten Temperaturbelastungen erfährt.

3.2 Temperatur bei einer konstanten Heizleistung von 10 W/m

Bei einer konstanten maximalen Heizleistung von 10 W/m wurden unter Annahme der Randbedingungen entsprechend Ansatz 2 folgende sich einstellende Temperaturen des Heizelementes berechnet:

© **ift** Rosenheim, April 2015

Tabelle 4 Berechnungsergebnisse für die sich ausbildenden Temperaturen des Heizelements bei einer konstanten Leistung von 10 W/m

Variante Abstandhalter	Außentemperatur T_e in °C	Glasaufbau	Heizleistung in W/m	Mittlere Temperatur des Heizelementes in °C	Max. Temperatur-Differenz zwischen Glaskante und Scheibenmitte in °C
Reduzierter Wärmeübergangskoeffizient h_i = 4 W/(m²K)					
Warme Edge	5	2 fach	10,0	45,4	25
	5	3 fach	10,0	52,2	30
Warme Edge	-15	2 fach	10,0	32,6	17
	-15	3 fach	10,0	41,8	22

Bei einer konstanten Heizleistung von 10 W/m ergibt sich bei einer Außentemperatur von 5°C sowie den weiteren beschriebenen Randbedingungen eine maximale Temperatur des Heizelementes von ca. 52°C bei einer Ganzglasecke aus 3-fach Wärmedämmglas. Dies ist bei der Auswahl des Dichtstoffes zu beachten. Beim Einsatz von Silikon als Dichtstoffe sollten hier im Regelfall keine Probleme vorhanden sein.
Die maximale Temperaturdifferenz zwischen dem Glasrand der Einzelscheibe und der ungestörten Scheibenmitte ergibt sich bei einer Außentemperatur von 5°C sowie den weiteren beschriebenen Randbedingungen zu ca. 30°C bei einer Ganzglasecke aus 3-fach Wärmedämmglas. In EN 14178-1 [3] wird für Floatglas eine Beständigkeit gegen plötzliche Temperaturwechsel und Temperaturunterschiede von 40°C angegeben. Entsprechend EN 14178-1 sind diese 40°C ein allgemein anerkannter Wert, der von der Kantenqualität und der Glasart beeinflusst wird. Legt man diese 40°C als "kritische" Temperaturdifferenz zugrunde, liegt die berechnete maximale Temperaturdifferenz von 30°C deutlich darunter. Ein signifikant erhöhtes Risiko von Glasbruch ist daher nicht zu erwarten

3.3 Zusammenfassung der Ergebnisse

Die durchgeführten Untersuchungen konnten zeigen, dass das Heizelement T-Stripe prinzipiell in der Lage ist, Tauwasserbildung im Bereich von Ganzglasecken unter den untersuchten Randbedingungen zu verhindern. Es konnte gezeigt werden, dass hierfür auch schon deutlich geringere Heizleistungen als die maximale Heizleistung des Elementes ausreichen. Dies bietet Potential für die Entwicklung einer entsprechenden Steuerung. Hierdurch kann der Energieverbrauch des Heizelementes gesenkt werden. Die sich hierbei (gere-

gelte Heizleistung) ausbildenden Temperaturen können als unkritisch bezeichnet werden.

Erfolgt jedoch keine Regelung der Heizleistung entstehen, bei Annahme der beschriebenen Randbedingungen, Temperaturen des Heizelements von über 50°C. Dies ist bei der Auswahl des Dichtstoffes zu beachten. Beim Einsatz von Silikon als Dichtstoffe sollten hier im Regelfall keine Probleme vorhanden sein.

Da die Ergebnisse der numerischen Simulationen auf Annahmen der Randbedingungen beruhen wird angeraten, zusätzliche experimentelle Untersuchungen zur Ermittlung der maximal entstehenden Temperaturen durchzuführen um eine Schädigung der Ganzglasecke auszuschließen.

Des Weiteren muss darauf hingewiesen werden, dass die Prüfung der Verträglichkeit des verwendeten Dichtstoffes in den das Heizelement eingebettet ist; mit den Materialien (Polymere der Umhüllung), durchgeführt werden muss.

© **ift** Rosenheim, April 2015

4 Literaturverzeichnis

[1] EN ISO 10077-2:2012
Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern, Türen und Abschlüssen - Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten - Teil 2: Numerisches Verfahren für Rahmen
Beuth Verlag GmbH, Berlin

[2] EN ISO 13788:2012
Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen - Raumseitige Oberflächentemperatur zur Vermeidung kritischer Oberflächenfeuchte und Tauwasserbildung im Bauteilinneren - Berechnungsverfahren
Beuth Verlag GmbH, Berlin

[3] EN 14178:2004
Glas im Bauwesen – Basiserzeugnisse aus Erdalkali-Silicatglas Teil1: Floatglas
Beuth Verlag GmbH, Berlin

ANHANG A Isothermenverläufe

A.1 Minimal notwendige Heizleistung

Der Anhang A.1 enthält die berechneten Isothermenverläufe für die minimal notwendigen Heizleistungen nach Tabelle 2 und Tabelle 3.

Die Isothermen sind in 5°C Schritten dargestellt. Die 10°C Isotherme, die für die Beurteilung der Gefahr von Tauwasserbildung herangezogen werden kann ist in Rot dargestellt.

© **ift** Rosenheim, April 2015

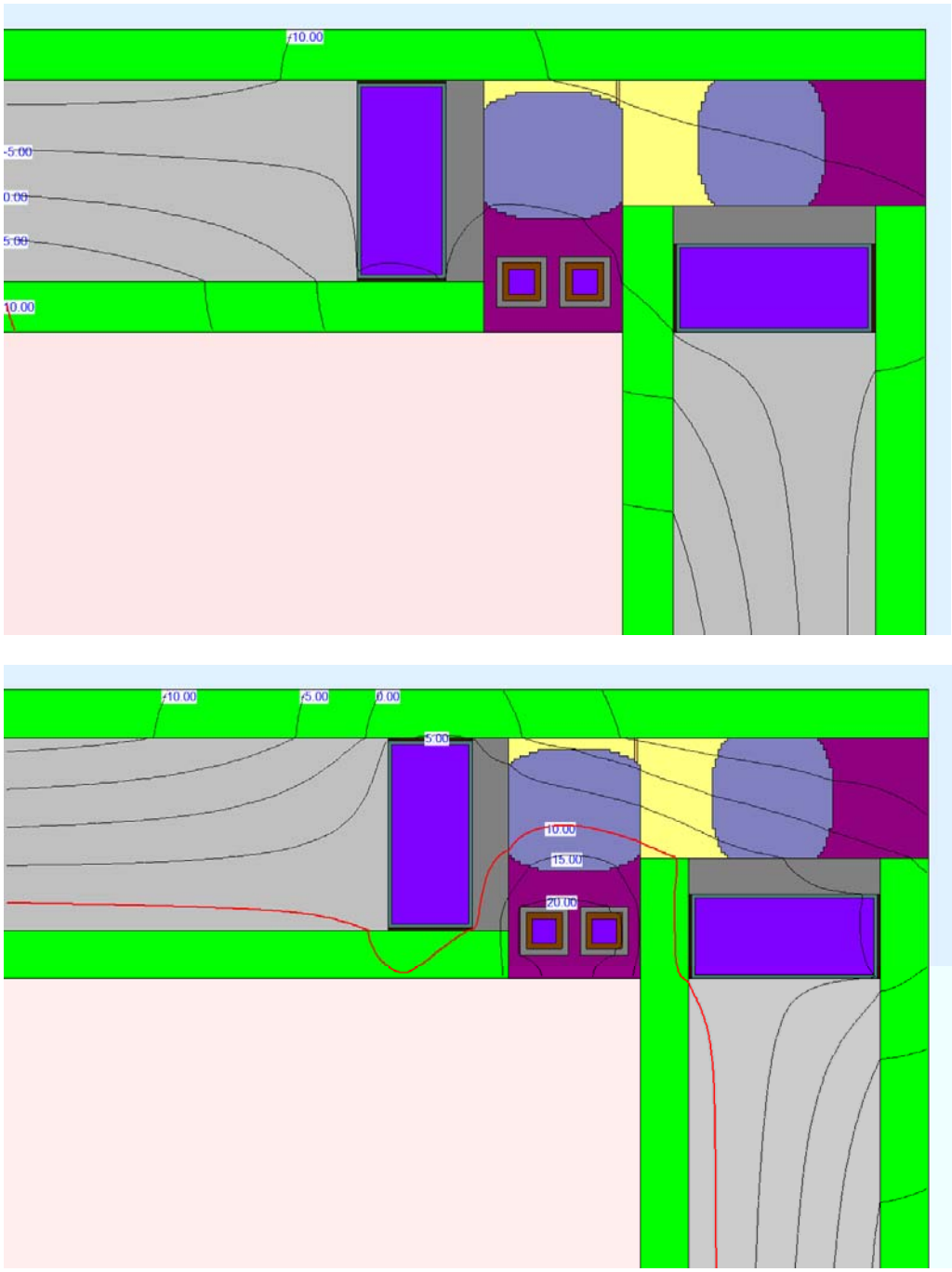

Abbildung 9 Isothermenverlauf für Ganzglasecke aus 2 fach Wärmedämmglas
Te = -15°C, Ti = 20°C, Normaler Wärmeübergangskoeff. h_i = 8W/m^{2}K
Abstandhalter: Aluminium
Heizleistung: Bild oben 0 W/m Bild unten 12,4 W/m,

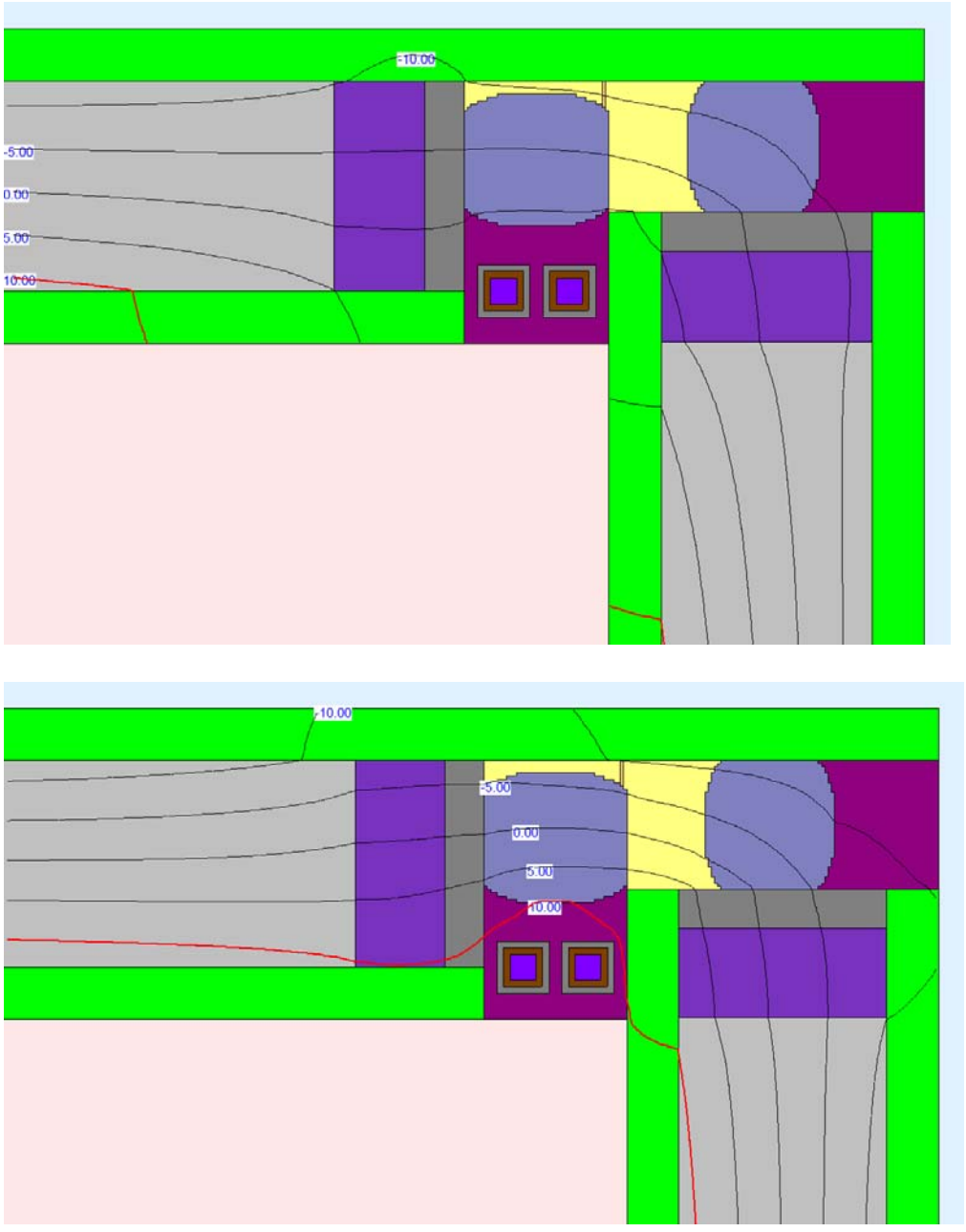

Abbildung 10 Isothermenverlauf für Ganzglasecke aus 2 fach Wärmedämmglas
Te = -15°C, Ti = 20°C, Normaler Wärmeübergangskoeff. h_i = 8W/m^{2}K
Abstandhalter: Warme Edge
Heizleistung: Bild oben 0 W/m Bild unten 3,4 W/m

© **ift** Rosenheim, April 2015

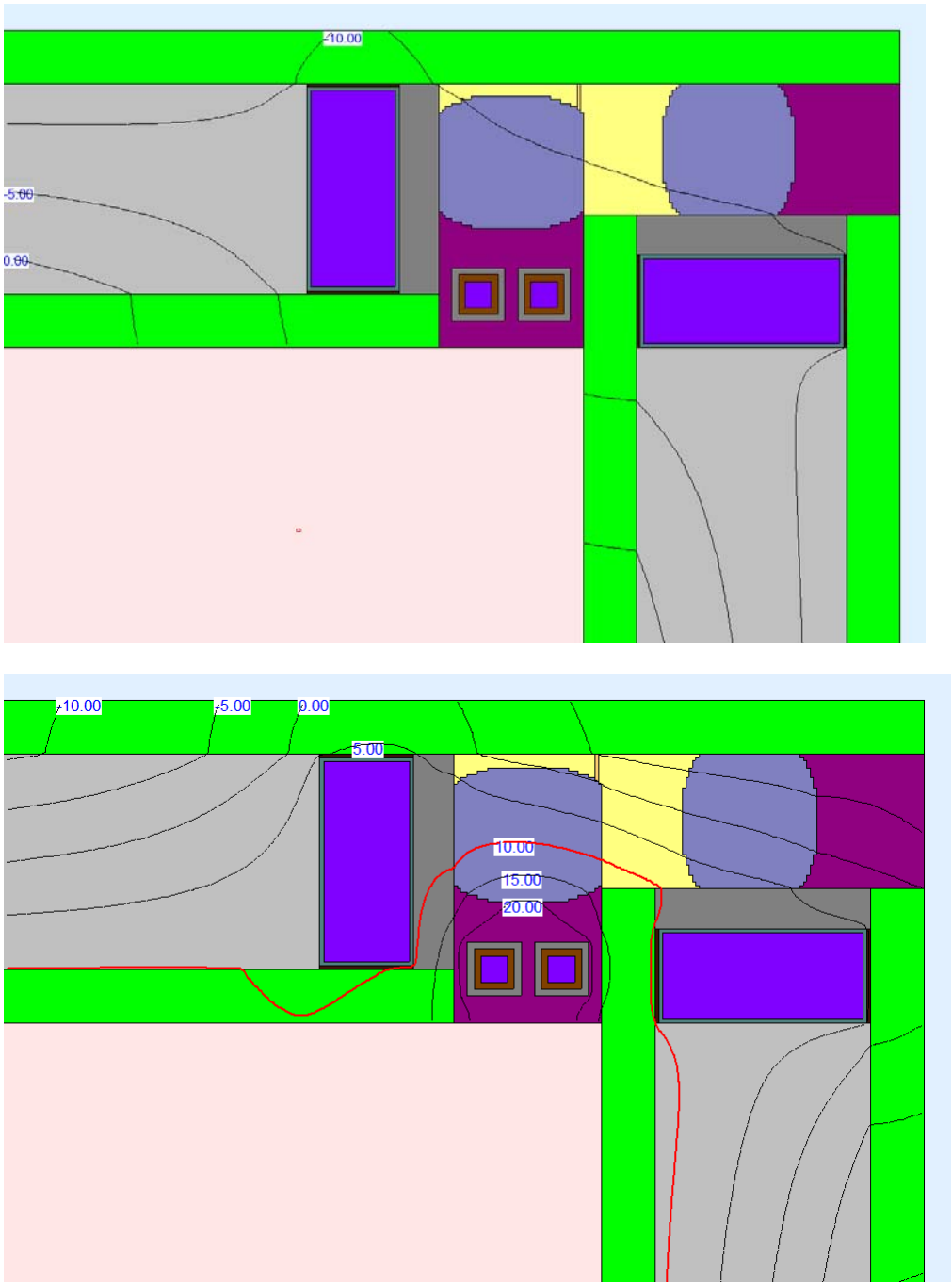

Abbildung 11 Isothermenverlauf für Ganzglasecke aus 2 fach Wärmedämmglas
Te = -15°C, Ti = 20°C, Red. Wärmeübergangskoeff. h_i = 4W/m^{2}K
Abstandhalter: Aluminium
Heizleistung: Bild oben 0 W/m Bild unten 14,1 W/m

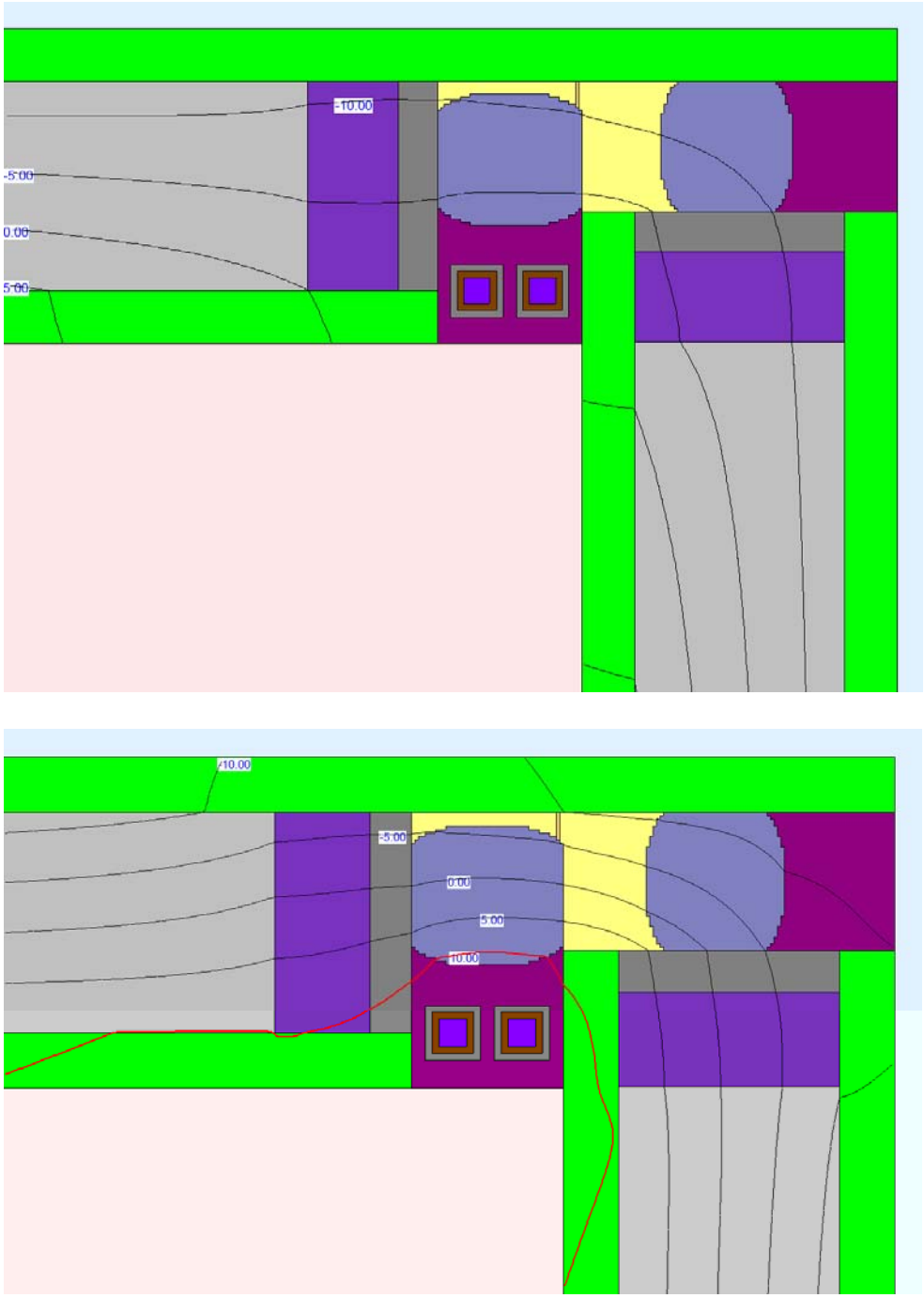

Abbildung 12 Isothermenverlauf für Ganzglasecke aus 2 fach Wärmedämmglas
Te = -15°C, Ti = 20°C, Red. Wärmeübergangskoeff. h_i = 4W/m^{2}K
Abstandhalter: Warme Edge
Heizleistung: Bild oben 0 W/m Bild unten 4,9 W/m

© **ift** Rosenheim, April 2015

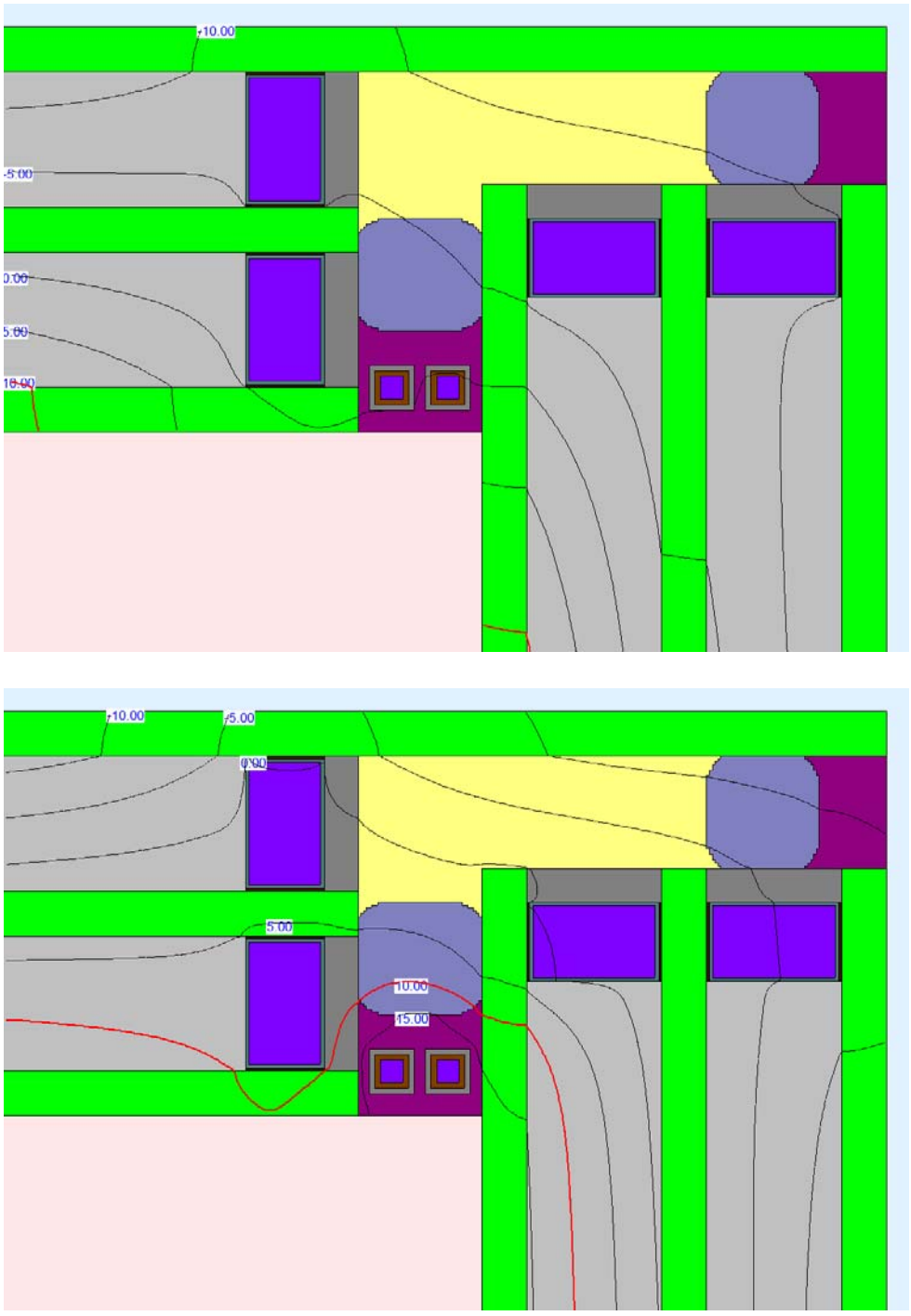

Abbildung 13 Isothermenverlauf für Ganzglasecke aus 3 fach Wärmedämmglas
Te = -15°C, Ti = 20°C, Normaler Wärmeübergangskoeff. h_i = 8W/m^{2}K
Abstandhalter: Aluminium
Heizleistung: Bild oben 0 W/m Bild unten 7,2 W/m

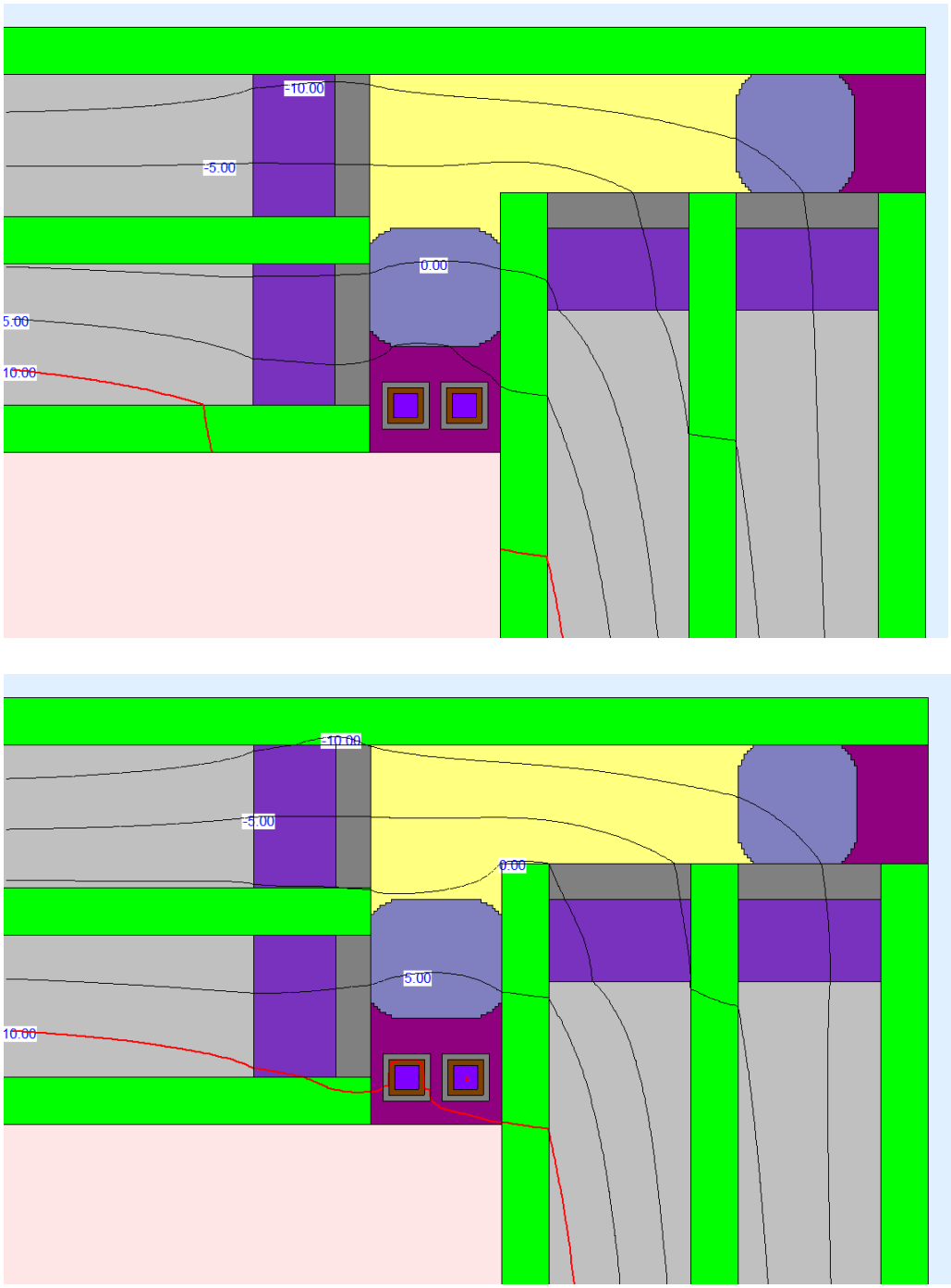

Abbildung 14 Isothermenverlauf für Ganzglasecke aus 3 fach Wärmedämmglas
Te = -15°C, Ti = 20°C, Normaler Wärmeübergangskoeff. h_i = 8W/m^{2}K
Abstandhalter: Warme Edge
Heizleistung: Bild oben 0 W/m Bild unten 1,3 W/m

© **ift** Rosenheim, April 2015

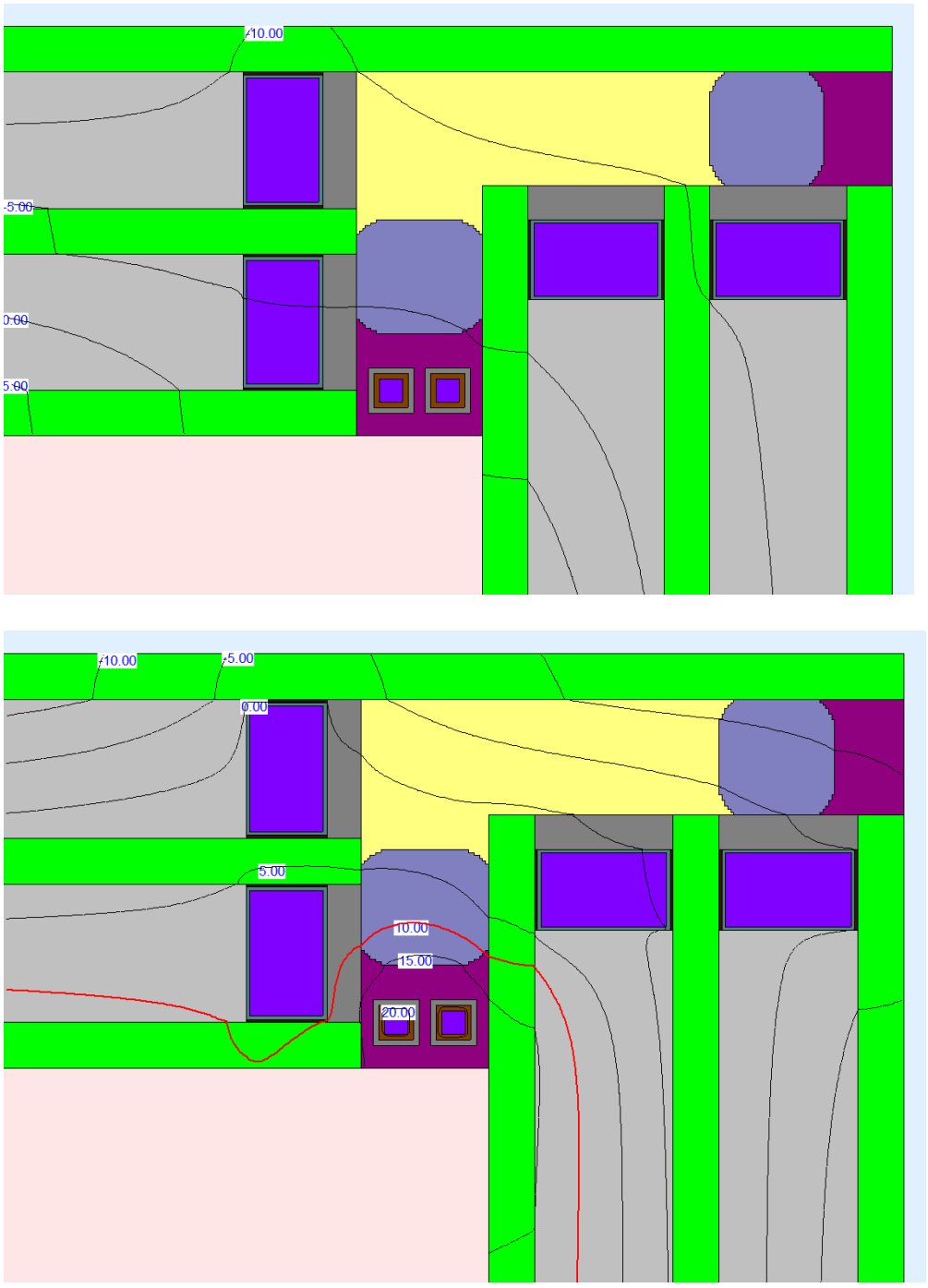

Abbildung 15 Isothermenverlauf für Ganzglasecke aus 3 fach Wärmedämmglas
Te = -15°C, Ti = 20°C, Red. Wärmeübergangskoeff. h_i = 4W/m^{2}K
Abstandhalter: Aluminium
Heizleistung: Bild oben 0 W/m Bild unten 8,5 W/m

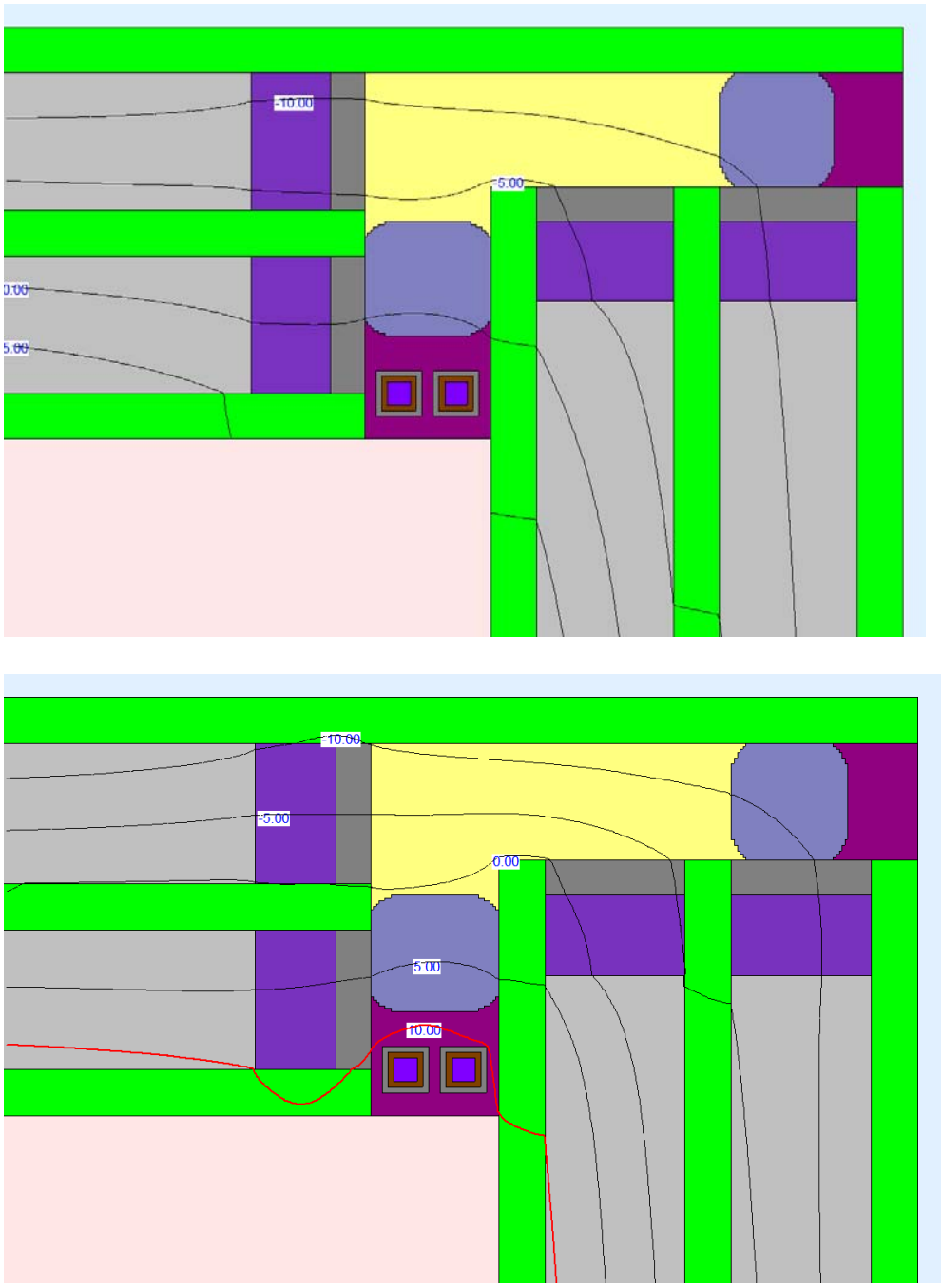

Abbildung 16 Isothermenverlauf für Ganzglasecke aus 3 fach Wärmedämmglas
Te = -15°C, Ti = 20°C, Red. Wärmeübergangskoeff. h_i = 4W/m^{2}K
Abstandhalter: Warme Edge
Heizleistung: Bild oben 0 W/m Bild unten 2,4 W/m

© **ift** Rosenheim, April 2015

A.2 Heizleistung von 10 W/m

Anhang A.2 enthält die Isothermenverläufe für eine konstante Heizleistung von 10 W/m sowie den weiteren beschriebenen Randbedingungen.

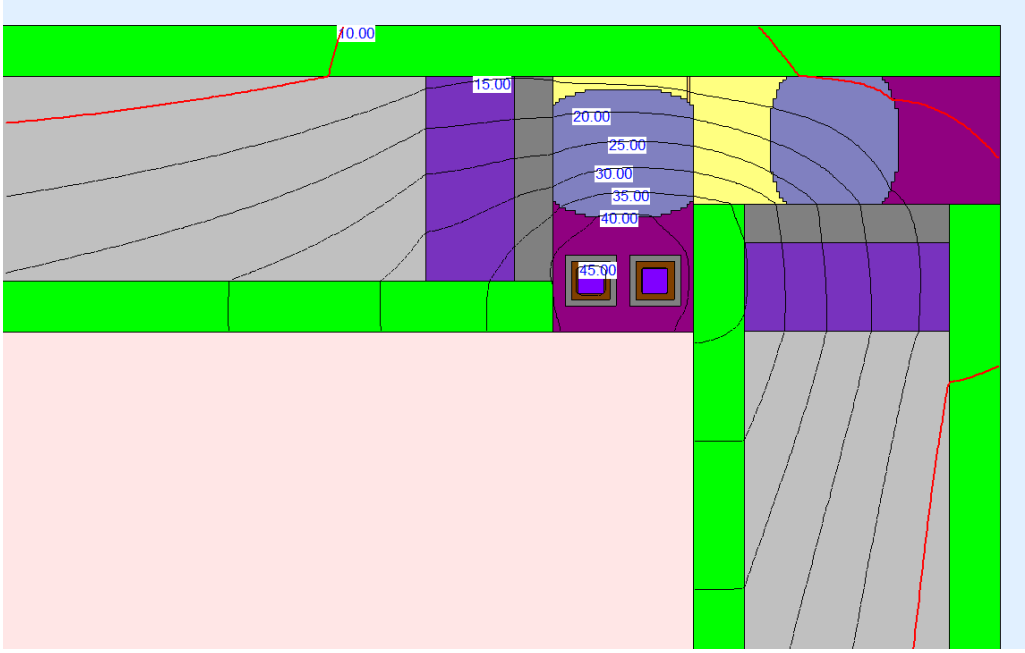

Abbildung 17 Isothermenverlauf für Ganzglasecke aus 2 fach Wärmedämmglas
Te = +5°C, Ti = 20°C, Red. Wärmeübergangskoeff. h_i = 4W/m^{2}K
Abstandhalter: Warme edge
Heizleistung: 10 W/m

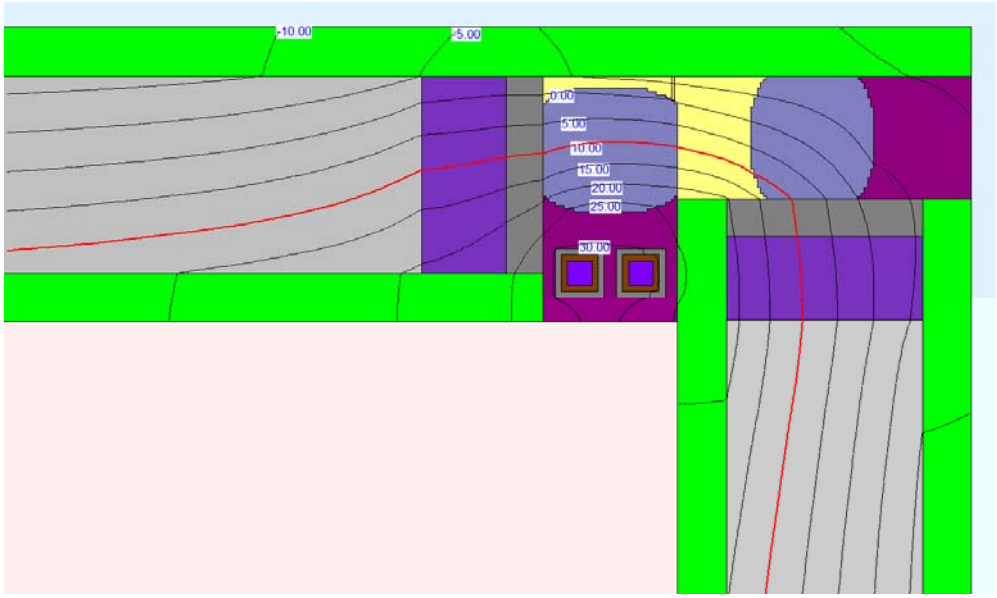

Abbildung 18 Isothermenverlauf für Ganzglasecke aus 2 fach Wärmedämmglas
Te = -15°C, Ti = 20°C, Red. Wärmeübergangskoeff. h_i = 4W/m^{2}K
Abstandhalter: Warme edge
Heizleistung: 10 W/m

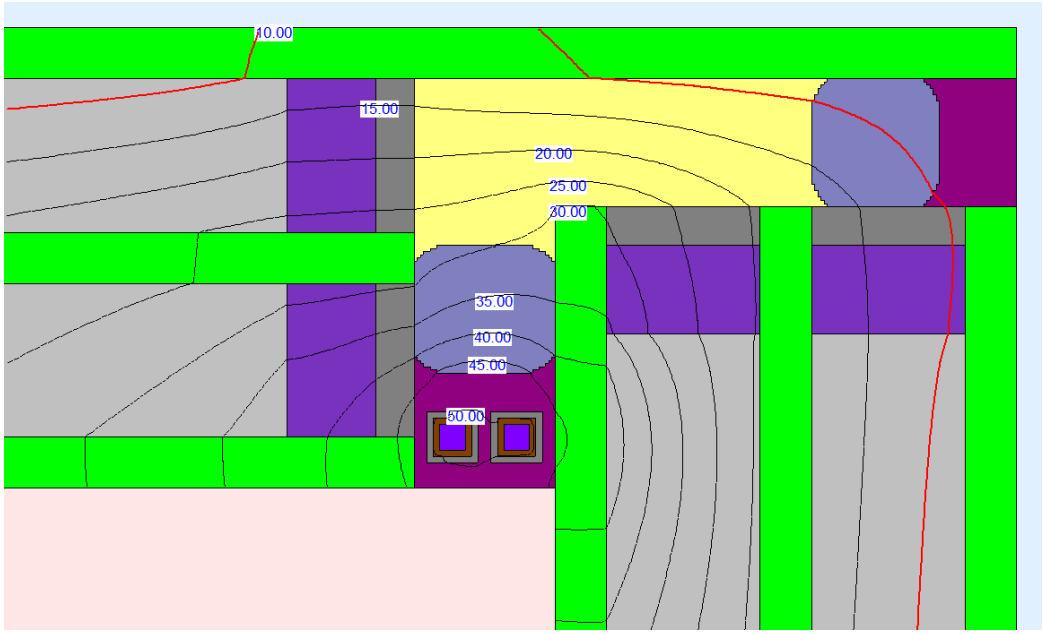

Abbildung 19 Isothermenverlauf für Ganzglasecke aus 3 fach Wärmedämmglas
Te = +5°C, Ti = 20°C, Red. Wärmeübergangskoeff. h_i = 4W/m^{2}K
Abstandhalter: Warme edge
Heizleistung: 10 W/m

© **ift** Rosenheim, April 2015

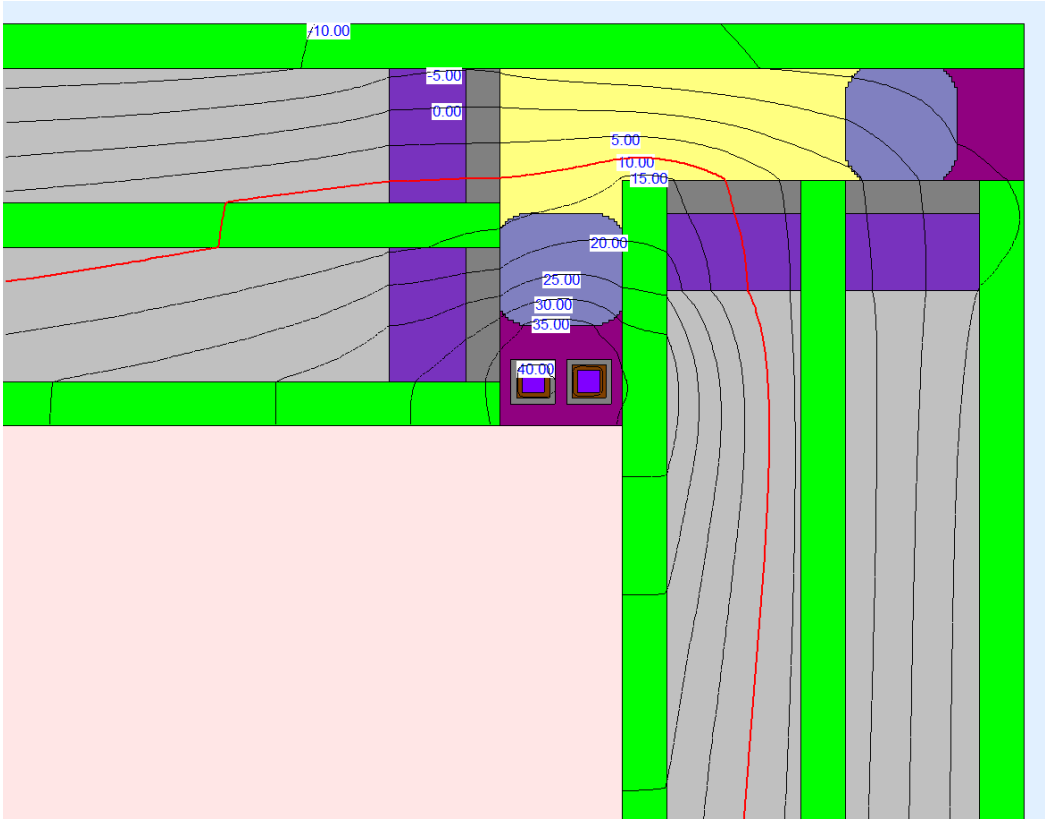

Abbildung 20 Isothermenverlauf für Ganzglasecke aus 3 fach Wärmedämmglas
Te = -15°C, Ti = 20°C, Red. Wärmeübergangskoeff. h_i = 4W/m^{2}K
Abstandhalter: Warme edge
Heizleistung: 10 W/m

ift gemeinnützige Forschungs- und Entwicklungsgesellschaft mbH
Theodor-Gietl-Str. 7-9
83026 Rosenheim
Telefon +49 (0) 8031 261-0
Telefax +49 (0) 8031 261-290
E-Mail: info@ift-rosenheim.de
http://www.ift-rosenheim.de