

Therm-Tec GmbH, Blomberg

**Entwicklung von thermisch getrennten
Stahlprofilen zur Optimierung der
Wärmedämmleistung von stahlarmierten
Kunststofffensterrahmen**

Abschlussbericht über ein Entwicklungsprojekt,
gefördert unter dem Az: 26376 von der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt

von

Dipl.- Wirtschafts-Ing. Katrin Kiene

Blomberg, Juni 2009

Projektkennblatt



der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt

Az	26376	Referat	21/0	Fördersumme	84.000 €
Antragstitel		Entwicklung von thermisch getrennten Stahlprofilen zur Optimierung der Wärmedämmleistung von stahlarmierten Kunststofffensterrahmen			
Stichworte					
Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)		
18 Monate	02.07.2008	30.06.2009	6		
Zwischenberichte	31.12.2008				
Bewilligungsempfänger	Therm-Tec GmbH		Tel	05235 960932	
	Blomberger Straße 36		Fax	05235 960924	
	32825 Blomberg		Projektleitung		
			Katrin Kiene		
		Bearbeiter			
		Katrin Kiene			
Kooperationspartner					

Zielsetzung und Anlaß des Vorhabens

Die Therm-Tec GmbH ist ein Produktions- und Dienstleistungsunternehmen zur Entwicklung und Herstellung thermisch getrennter Stahlprofile.

Bei der bisherigen Herstellung von Klimagerätegehäusen werden mindestens 2 Stahlprofile mit Polyurethan in speziell ausgebildeten Verbindungsfugen auf einem Keder vergossen. Das Ergebnis ist eine feste Verbindung von Stahlprofil und Kunststoff, die die Wärmedämmfähigkeit und Stabilität des Profils deutlich erhöht. Es handelt sich um kalt gewalzte und verzinkte Stahlprofile, die je nach Kundenwunsch in verschiedensten Formen realisiert werden können. Eine weitere Erhöhung der Dämmwirkung ist durch Verschäumen der Hohlräume möglich.

Wir sehen ein erhebliches Potenzial im Fenster- und Fassadenbau und haben für Stahlarmierungen im Kunststofffenster bereits Entwicklungsstudien für die thermische Trennung erstellt.

Die konkrete Umweltentlastung durch die Verwendung von Therm-Tec Profilen wirkt sich aus in:

- deutlich geringerem Energieverbrauch
- geringerem Rohstoffverbrauch zur Erreichung eines bestimmten Wärmedämmwertes des Endproduktes

Für die Umsetzung unserer Entwicklungsstudien in den Produktionsprozess müssen Verguss- und Dämm-Materialien (als mögliche Schalung und zusätzliche Dämmschicht), alternative Verguss-Schalungen zum Keder sowie mögliche Oberflächenbehandlungen ausgewählt und getestet werden. Ziel ist es, den Wärmedurchgangskoeffizienten des Fensterrahmens U_f bei mindestens gleichbleibenden Schubwiderständen (T, c) und erhöhter Biegesteifigkeit ($E \times I$) so zu verbessern, dass der Wärmeverlust durch die Stahlarmierung aufgehoben wird. Ein „passivhaustauglicher“ U_f -Wert von ca. $0,7 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ soll in einem entsprechenden Kunststoffrahmen (Mehrkammerkonstruktion, Ausschäumung mit Dämmstoff) erreicht werden.

Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

1. Projektschritt: Das bisher verwendete Vergussmaterial ist ein Polyurethan, das sich aus 2 Komponenten (Baydur/Desmodur) zusammensetzt. Der Lambda-Wert des ausgehärteten PU-Kerns beträgt 0,18 W/mK. Das Material ist nur bedingt hitzebeständig. Die Komponenten werden erhitzt und über einen Mischer in einem vom Hersteller vorgegebenen Verhältnis gemischt und vergossen. Die anschließende Reaktionszeit beträgt 15 s, bis zur vollständigen chemischen Vernetzung vergehen 48 h. Es sollen alternative Materialien gefunden werden, die eine höhere Temperaturbeständigkeit sowie eine verkürzte Fertigungszeit durch geringere Aushärtungszeiten ermöglichen. Anforderungen sind ein hohes E-Modul, entsprechende Shorehärte bei geringem Lambda-Wert und hoher Temperaturfestigkeit und schnelle Reaktionszeit sowie eine angemessene exotherme Reaktionstemperatur.

Die notwendigen Recherchen, sowie die Einholung von Angeboten und die Material- Lieferantenauswahl wurden von Frau Kiene und Herrn Richter durchgeführt. Unterstützt wurden sie von einem Mitarbeiter der Hochschule Ostwestfalen-Lippe aus dem Fachbereich Architektur und Innenarchitektur.

Die Materialien wurden hinsichtlich physikalischer und statischer Eigenschaften geprüft.

2. Projektschritt: Der Wärmedurchgangskoeffizient des Rahmens Ur kann durch das Einbringen eines Dämmstoffes nochmals verringert werden. Denkbar war der Einsatz eines Styropor-Kerns oder das Einbringen von PU-Schaum. Zusätzlich könnte der Dämmstoff bei entsprechender Temperaturbeständigkeit als Verguss-Schalung dienen (siehe 4. Projektschritt). Die verschiedenen Material-Alternativen müssen hinsichtlich Materialeigenschaften, -preisen und Verarbeitbarkeit untersucht und getestet werden.

Die Durchführung dieses Projektschrittes erfolgte analog zu Projektschritt 1: Recherche, Angebotseinholung, Material- und Lieferantenauswahl durch Frau Kiene, Herrn Richter in Zusammenarbeit mit einem Mitarbeiter der Hochschule Ostwestfalen-Lippe.

Die Verarbeitbarkeit und die Integration der Dämmstoffeinbringung in den Produktionsprozess wurde durch Probeserien geprüft.

3. Projektschritt: Durch eine Beschichtung z. B. mit Pulverlack kann der Verlust von Strahlungswärme verringert werden. In einigen Bereichen (z. B. Außenbereich Fassade) ist die Oberflächenbehandlung des Profils sogar erforderlich. Bisher wurde noch keine Pulverbeschichtung oder Lackierung durchgeführt. Problematisch ist die PU-Schicht, die nur eine Hitzebeständigkeit bis ca. 120 Grad C aufweist und daher für die Pulverbeschichtung nicht geeignet ist.

Es wurde eine Materialrecherche (s. auch 1. Projektschritt) durchgeführt, die Materialien mit geringem Strahlungsverlust sondiert und bewertet. Die Anwendungsgebiete, in denen Beschichtungen erforderlich sind, sollen von der Hochschule Ostwestfalen-Lippe untersucht werden. Lösungsvorschläge für die praktische Umsetzung wurden erarbeitet.

4. Projektschritt: Für den Verguss der Profile für den Bereich Klimageräte sind bisher Kunststoff-Keder in das Stahlprofil eingeschoben worden, auf denen die PU-Masse vergossen wird. Der Einsatz dieser Keder soll vor dem Hintergrund von Vergussmassen-Einsparung und Produktionsoptimierung in Frage gestellt werden. Alternativen für den Einsatz von Kedern sollen untersucht werden (z. B. Verguss auf Dämmstoff oder Alu-Schienen).

Analog zu den o. g. Projektschritten war auch hier die Recherche, Material- und Lieferantenauswahl, Produktanfragen erforderlich. Für die Probeserien wurden spezielle Aluminium-Werkzeuge angefertigt, die die verschiedenen Profile auf der Maschine halten bzw. den Keder ersetzen. Um das Ablösen des Stahlprofils von der Vergusschiene zu erleichtern wurden unterschiedliche Teflonklebestreifen sowie Trennmittel getestet.

5. Projektschritt: Die während der Probeserien angefertigten Profile müssen bestimmte Anforderungen erfüllen. Die Ermittlung der Ix und Iy-Werte wurde vom IFT Rosenheim durchgeführt. Ziel war es, die Ist-Werte lt. u. a. Tabelle mindestens zu erreichen bzw. zu verbessern. Die Vorarbeiten werden von Therm-Tec-Personal übernommen.

6. Projektschritt: Der Nachweis für die Verbesserung des Wärmedurchgangskoeffizienten wird durch thermografische Berechnungen geliefert. Ziel war es, die Wärmeverluste durch die Stahlarmierung im Kunststoffrahmen weitestgehend zu eliminieren (s. Tabelle Seite 5). Diese Berechnungen wurden mit dem notifizierten Win Iso Programm der Therm-Tec GmbH von Herrn Richter durchgeführt.

Ergebnisse und Diskussion

Das Projektziel, den Wärmedurchgangskoeffizienten des Fensterrahmens U_f bei mindestens gleichbleibenden Schubwiderständen (T, c) und erhöhter Biegesteifigkeit ($E \times I$) so zu verbessern, dass der durch die Stahlarmierung verursachte Wärmeverlust aufgehoben wird, wurde für einzelne Profil-/Rahmenkombinationen erreicht.

Im Rahmen der Materialrecherche (Projektschritt 1) wurde das Vergussmaterial CETHERM 100 ausgewählt und erfolgreich getestet, das mit einem Lambda-Wert von $0,121 \text{ W/m}^2\text{K}$ deutlich unter dem bisher eingesetzten Baydur/Desmodur ($0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$) liegt.

Der Verguss auf Aluschienen als Schalung wurde unter Einsatz verschiedener Trennmittel getestet. Vorteilhaft ist dieses Vergussverfahren, weil die Aluschienen wieder verwendbar sind und kein „Materialmix“ aus verschiedenen Kunststoffen (ABS-Keder und PU) entsteht.

Als zusätzlicher Dämmstoff wird ein PUR-Hartschaum eingesetzt, der sich in den Testserien durch Temperaturbeständigkeit, Formstabilität und gute Dämmwirkung ausgezeichnet hat.

Eine Oberflächenbehandlung durch Lackierung/Pulverlackbeschichtung ist nach vorherigem Auftragen eines Statik-Fluides möglich, hat aber in erster Linie optische Vorteile. Der Wärmedurchgangskoeffizient wird nicht wesentlich verbessert. Deutlich effektiver ist der Einsatz eines PUR-Hartschaumes mit einem Lambda-Wert von $0,02 \text{ W/m}^2 \text{ K}$.

Die Prüfung der Biegesteifigkeit der thermisch getrennten Musterprofile wurde vom Ift Rosenheim mittels Ermittlung der I_x und I_y Werte durchgeführt. Alle ermittelten Werte liegen über den Daten der Standard-Stahlprofile (s. Anlage A2).

Eine Prüfung der Schubwiderstände wurde nicht durchgeführt, da diese Beanspruchung im Kunststofffenster nicht auftritt.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Folgende Schritte wurden unternommen, um die aus dem Projekt entstandenen Produkte der Öffentlichkeit zu präsentieren und bekannt zu machen:

- Erstellung einer Internetseite mit entsprechenden Hinweisen auf das Projekt und die Produkte
- Erarbeitung eines Produktprospektes in Zusammenarbeit mit dem Walzwerk Gebhardt-Stahl
- Veröffentlichungen in Fachzeitschriften
- Messestand in Hannover im Bereich „innovative Produkte“, in Zusammenarbeit mit dem Steinbeis-Technologiezentrum
- Teilnahme an dem Wettbewerb „Stahlinnovations-Preis“
- Informationsstand im Rahmen des „Fassadensymposiums“ der Hochschule Ostwestfalen.

Fazit

Der Einsatz von thermisch getrennten Stahlprofilen eliminiert die Wärmeverluste, die durch die Stahlarmierung im Fensterrahmen hervorgerufen werden bei gleichzeitiger Verbesserung der statischen Eigenschaften.

Damit sind die Weichen für die Erreichung eines „passivhaustauglichen“ Rahmenwertes im Kunststofffenster gestellt. Bei einem wärmetechnisch entsprechend optimierten Rahmenaufbau mit ausgeschäumten Hohlräumen ist damit ein U_f -Wert von $0,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ erreichbar.

x
x

Inhaltsverzeichnis

Verzeichnis von Bildern und Tabellen	Seite 1
Verzeichnis von Begriffen und Definitionen	Seite 2
1. Zusammenfassung	Seite 3
2. Einleitung	Seite 4
3. Hauptteil	Seite 7
3.1 Darstellung des Lösungskonzeptes auf Basis des Arbeits-, Zeit-, und Kostenplanes	Seite 7
3.1.1 1. Projektschritt: Auswahl Vergussmaterial	Seite 7
3.1.2 2. Projektschritt: Auswahl Dämmstoffe	Seite 8
3.1.3 3. Projektschritt: Test Oberflächenbehandlung	Seite 9
3.1.4 4. Projektschritt: Entwicklung Vergussschalung	Seite 10
3.1.5 5. Projektschritt: Statische Prüfungen	Seite 11
3.1.6 6. Projektschritt: Thermografische Berechnungen	Seite 12
3.2 Ökologische; technologische und ökonomische Bewertung	Seite 13
3.3 Maßnahmen zur Verbreitung der Vorhabensergebnisse	Seite 15
4. Fazit	Seite 16
5. Literaturverzeichnis	Seite 17
6. Anlagen	Seite 18

Verzeichnis von Bildern, Grafiken und Tabellen

Bild 1:	Gegenüberstellung des Wärmeverlaufs im Stahlprofil - ohne Armierung - mit Standard-Armierung - mit thermisch getrennten Stahlprofilen	Seite 5
Bild 2:	Aufbau Kunststofffenster für Passivhaussystem	Seite 14
Tabelle 1:	Materialalternativen Verguss	Seite 7
Tabelle 2:	Materialalternativen Dämmstoffe	Seite 9
Tabelle 3:	Ix-, Iy-Werte nach Werkstoffprüfungen Ift Rosenheim	Seite 11
Tabelle 4:	U _f -Wert-Berechnung Fenstersysteme als Entwicklungsstudie	Seite 12
Tabelle 5:	U _f -Wert-Berechnung Fenstersysteme aus Musterserien	Seite 12

Verzeichnis von Begriffen und Definitionen

- CO₂ Kohlendioxid, chemische Verbindung aus Kohlenstoff und Sauerstoff
- ε Emissionsgrad eines Körpers, gibt an, wie viel Strahlung er im Vergleich zu einem idealen Wärmestrahler, einem schwarzen Körper, abgibt.
- EnEv Energie-Einsparverordnung
- ExI Biegesteifigkeit, Produkt aus Elastizitätsmodul und Flächenträgheitsmoment in N/(mm²)
- λ Wärmeleitfähigkeit eines Körpers ist das Vermögen, thermische Energie mittels Wärmeleitung in Form von Wärme zu transportieren, in W/(mK)
- PIR Polyisocyanurat, ein dem Polyurethan verwandter Kunststoff, der speziell zur Wärmedämmung eingesetzt wird
- PUR Polyurethane, Kunststoffe oder Kunstharze, welche aus der Polyadditionsreaktion von Diolen bzw. Polyolen mit Polyisocyanaten entstehen.
- TB-Wert Gehäuseklasse, Bewertungskriterium für die energetische Gehäusequalität
- U_w-Wert Wärmedurchgangskoeffizient des Fensters in W/(m²K)
- U_f-Wert Wärmedurchgangskoeffizient des Fensterrahmens in W/(m²K)

1. Zusammenfassung

Die Therm-Tec GmbH ist ein Produktions- und Dienstleistungsunternehmen zur Entwicklung und Herstellung thermisch getrennter Stahlprofile.

Bei der Herstellung werden mindestens 2 Stahlprofile mit Polyurethan in speziell ausgebildeten Verbindungsfugen vergossen. Das Ergebnis ist eine feste Verbindung von Stahlprofil und Kunststoff, die die Wärmedämmfähigkeit und Stabilität des Profils deutlich erhöht. Es handelt sich um kalt gewalzte und verzinkte Stahlprofile, die je nach Kundenwunsch in verschiedensten Formen realisiert werden können.

Die konkrete Umweltentlastung durch die Verwendung von Therm-Tec Profilen wirkt sich aus in:

- deutlich geringerem Energieverbrauch
- geringerem Rohstoffverbrauch zur Erreichung eines bestimmten Wärmedämmwertes des Endproduktes

Wir sehen ein erhebliches Potential im Fenster- und Fassadenbau und haben uns zunächst auf das Marktsegment Kunststofffenster konzentriert. Im Kunststofffenster kann auf eine Stahlarmierung aus Stabilitätsgründen kaum verzichtet werden. Bisher wurde diese Stahlarmierung thermisch ungetrennt verbaut. Der durchschnittliche U_f -Wert eines mehrkammerigen Kunststoff-Fensters beträgt $1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ (Verband der Fenster- und Fassadenhersteller, Studie zur energetischen Modernisierung 31.12.2007). Unsere Entwicklungsstudien belegen eine drastische Reduzierung dieses Wertes durch die thermische Trennung der Stahlarmierungen im Fensterrahmen.

Für die Umsetzung der Entwicklungsstudien wurden Verguss- und Dämm-Materialien (als mögliche Schalung und zusätzliche Dämmschicht), alternative Verguss-Schalungen sowie mögliche Oberflächenbehandlungen ausgewählt und getestet. Ziel war es, den Wärmedurchgangskoeffizienten des Fensterrahmens U_f bei erhöhter Biegesteifigkeit ($E \times I$) so zu verbessern, dass der Wärmeverlust durch die Stahlarmierung aufgehoben wird. Ein passivhaustauglicher U_f -Wert von ca. $0,8 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ soll in einem entsprechenden Kunststoffrahmen (Mehrkammerkonstruktion, Ausschäumung mit Dämmstoff) erreicht werden.

Als Projektergebnis können wir verschiedene, als Musterserie produzierte thermisch getrennte Stahlprofile vorweisen, die, verglichen mit dem ursprünglich eingesetzten Stahlprofil, den durch den Stahl hervorgerufenen Wärmeverlust nachweislich eliminieren. Die Basis für einen „passivhaustauglichen“ Kunststofffensterrahmen ist damit geschaffen.

Nach der erfolgreichen Umsetzung der Produktentwicklung und –gestaltung rückt jetzt die Optimierung des Produktionsverfahrens und der –abläufe sowie der Aufbau einer professionellen und flächendeckenden Vertriebsstruktur in den Vordergrund.

Das Projekt wurde gefördert durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt unter dem Aktenzeichen 26376.

2. Einleitung

Ein zentraler Lösungsansatz für die Klimaproblematik ist eine bessere bauliche Energieeffizienz. Nach Angabe des CO₂-Reports der Bundesregierung gibt es in Deutschland 17 Millionen Wohngebäude, die im Jahr 2005 rd. 191 Millionen Tonnen CO₂ durch Heizen oder Kühlen emittiert haben.

Im deutschen Fenstermarkt hat das Kunststofffenster einen Anteil von rd. 60 % (Fenstermarkt 2006 lt. Verband für Fenster und Fassade). Die thermische Schwachstelle besteht hier in der Stahlarmierung der Profile, da Stahl gegenüber PVC mit einer Wärmeleitfähigkeit von $\lambda = 50 \text{ W/(mK)}$ fast den 300-fachen Wert gegenüber PVC mit $\lambda = 0,17 \text{ W/(mK)}$ aufweist. Bisher wurde die Stahlarmierung thermisch ungetrennt verbaut. Die Wärmeleitfähigkeit wird im thermisch getrennten Profil drastisch reduziert.

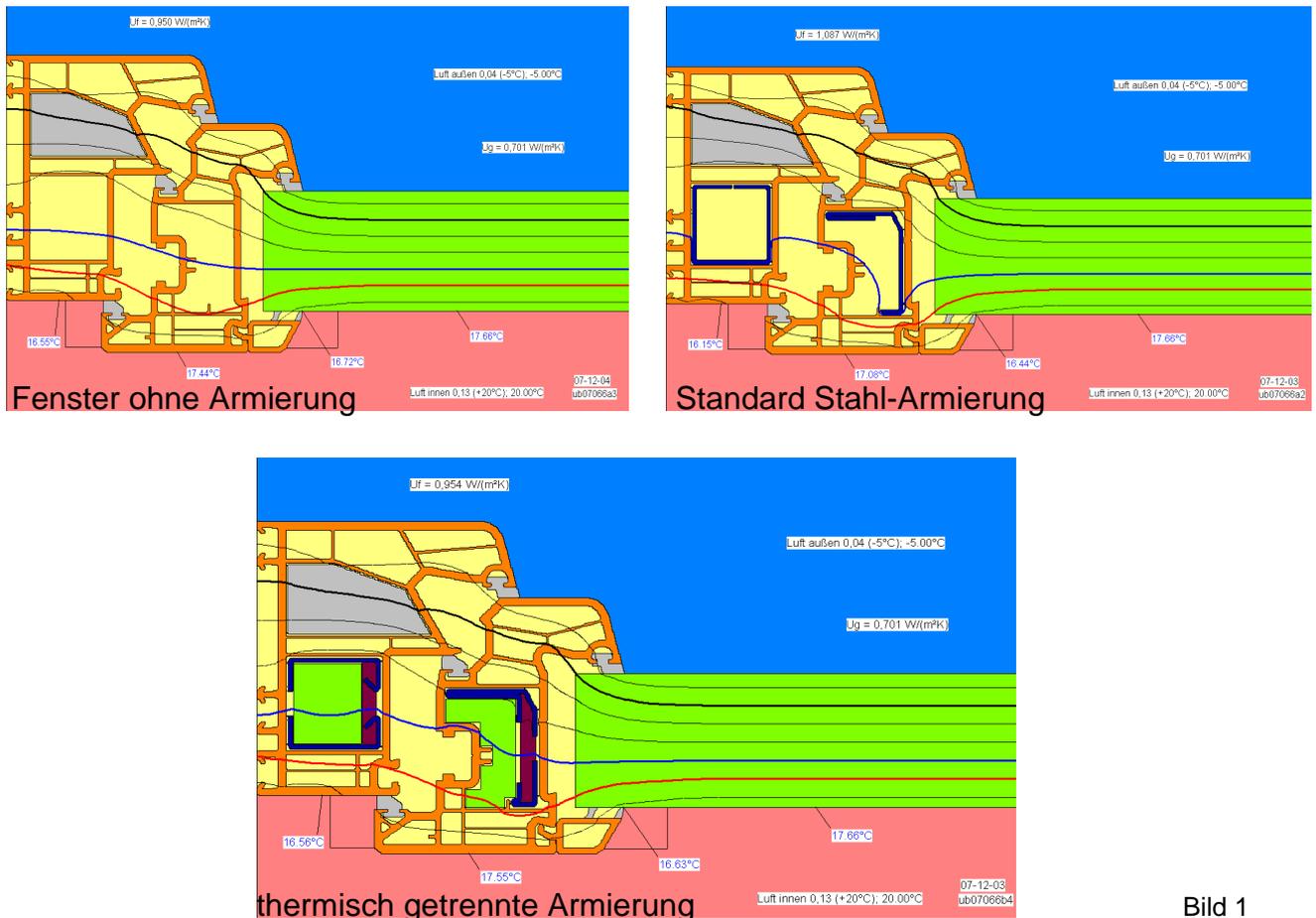
Etwa 30 % der Fensteröffnung entfallen üblicherweise auf den Fensterrahmen, die Rahmenqualität hat daher wesentlichen Einfluss auf die Gesamtqualität des Fensters. Bisher wurde mit einem Standard-Profil ohne Klebung ein U_f -Wert von ca. $1,8 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$ erreicht. U -Werte von energetisch optimierten Fensterrahmen liegen zwischen $0,8$ und $1,2 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ [Pas 08]. In einem Vortrag von Herrn Dr. Wolfgang Feist vom Institut Passivhaus anlässlich des Jahreskongresses des Verbandes Fenster und Fassade im Juni 2008 wurde als zukunftsweisender U -Wert für den Fensterrahmen im Passivhaus $0,74 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$ angegeben (Anlage 1).

Die Mindestanforderungen für den U -Wert von Fenstern werden in der Neufassung der EnEV 2009 auf $1,3 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$ und in einer weiteren Fassung 2012 voraussichtlich auf $0,9 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$ reduziert. Diese Anforderung kann neben dem Einsatz von Dreifach-Isoliergläsern nur durch eine Weiterentwicklung der Rahmen und Profilkonstruktion erreicht werden.

Eine Voraussetzung für die Erreichung dieser Werte ist die thermische Trennung des Rahmens. Die bislang vielfach praktizierte Erhöhung der Kammeranzahl im Kunststoffrahmen ist nicht mehr ausreichend, da die relative Verbesserung der Dämmwirkung mit zunehmender Kammeranzahl und Bautiefe abnimmt.

Wirksame Verbesserungsmöglichkeiten des Wärmekoeffizienten im Rahmen sind die thermische Trennung der Aussteifungen, die auch eine Verringerung der Abmessungen des Stahlprofils bei verbesserter Statik ermöglicht in Kombination mit der Verwendung von Einschieblingen und Oberflächenlegierungen.

Die beigefügte technische Zeichnung, basierend auf Wärmeverlaufsrechnungen, stellt die Effektivität der thermischen Trennung am Beispiel eines Kunststofffensters dar.



Die Isothermenlinien des Fenstersystems mit thermisch getrennter Stahlarmierung verlaufen fast identisch mit denen des Fensters ohne Armierung. Eine Armierung im Kunststofffenster ist jedoch für die gesamte Statik unumgänglich. An den Isothermen des Systems mit Standard-Stahlverstärkung ist deutlich zu erkennen, wie die „Kältebrücken“ die Isothermen „verbiegen“. Der bei reinen Stahlarmierungen ansonsten stattfindende Wärmefluss wird durch die thermische Trennung drastisch verringert.

Im Klimagerätebau werden die Therm-Tec Profile nach erfolgreichen technischen Prüfungen bereits eingesetzt. Während der Produktion dieser Profile wird Polyurethan in speziell ausgebildeten Verbindungsfugen auf einem Keder vergossen. Es wird nachweislich mit der Verwendung von thermisch getrennten Profilen ein deutlich verbesserter Wärmebrückenfaktor und damit eine energetisch hochwertigere Gehäuseklasse (TB2 statt TB3) erreicht. Die mit diesen Profilen ausgestatteten Klimageräte benötigen dadurch einen im Verhältnis zur Leistung wesentlich niedrigeren Energieeinsatz. Durch die geringe Kondensbildung wird das Wachstum von Bakterien gehemmt, der Einsatz von Chemikalien kann demzufolge reduziert werden.

Im Fenster- und Fassadenmarkt wurden bereits erste Kontakte geknüpft. Für einige potentielle Großkunden im Bereich Kunststofffenster wurden Ansätze für technische Lösungsmöglichkeiten in Form von CAD-Zeichnungen erarbeitet. Es handelt sich hier um Entwicklungsstudien, die

noch nicht „produktionsreif“ sind und deren Realisierung im Rahmen dieses Projektes beginnen soll.

Am Beispiel unserer Entwicklungsstudien mit Hilfe des Software-Programms Win Iso 2D 5.06 können wir die Verbesserung des Wärmedurchgangskoeffizienten U_f bereits belegen.

Zielsetzung des Projektes war es, den Wärmedurchgangskoeffizienten des Fensterrahmens U_f bei erhöhter Biegesteifigkeit so zu verbessern, dass der Wärmeverlust durch die Stahlarmierung aufgehoben wird.

Die Projektabwicklung unterteilt sich in 6 Teilbereiche. Als erster Schritt wurden verschiedene Vergussmaterialien ausgewählt und hinsichtlich physikalischer Eigenschaften untersucht. Es sollte ein 2-Komponenten Elastomer mit einem möglichst geringen Wärmedurchgangskoeffizienten, einer hohen Temperaturbeständigkeit, einer schnellen Reaktionszeit bei angemessener exothermer Reaktionstemperatur gefunden werden.

Im zweiten Schritt soll der Wärmedurchgangskoeffizient durch Einbringen eines Dämmstoffes in das Profil weiter verringert werden. Dieser Dämmstoff sollte neben guten Wärmedämmwerten besonders temperatur- und formstabil sein, da er gleichzeitig als Vergusschalung dienen kann.

Da in einigen Bereichen eine Oberflächenbehandlung des Profils erforderlich sein könnte, die eventuell gleichzeitig den Verlust von Strahlungswärme verringern würde, besteht der dritte Projektschritt in der Recherche von geeigneten Beschichtungsmaterialien und –verfahren.

Im Rahmen des 4. Projektschrittes sollen Alternativen für den Verguss auf Kunststoff-Kedern entwickelt werden. Denkbar wäre ein Verguss auf Alu-, POM-, Teflon- oder Hartholzstäben. Je nach Profilform könnte auch auf einem Dämmkern vergossen werden, der in dem Profil verbleibt.

Nach Abschluss der Materialrecherchen und Tests müssen die Probeserien bezüglich der statischen Werte (Biegefestigkeit) geprüft werden. Ziel ist es, die Werte der Standard-Stahlprofile mindestens zu erreichen bzw. zu übertreffen.

Der Nachweis für die Verbesserung des Wärmedurchgangskoeffizienten in Form von thermografischen Berechnungen soll im letzten Projektschritt erbracht werden. Die Berechnungen werden mit dem notifizierten Programm Win Iso 2D 5.06 durchgeführt.

3. Hauptteil

3.1 Darstellung des Lösungskonzeptes auf Basis des Arbeits-, Zeit-, und Kostenplanes

3.1.1 1. Projektschritt: Auswahl Vergussmaterial

Das ursprünglich verwendete Vergussmaterial ist ein Polyurethan, das sich aus 2 Komponenten (Baydur/Desmodur) zusammensetzt. Der Lambda-Wert des ausgehärteten PU-Kerns beträgt 0,2 W/mK. Das Material ist nur bedingt hitzebeständig. Die Komponenten werden erhitzt und über einen Mischer in einem vom Hersteller vorgegebenen Verhältnis gemischt und vergossen. Die anschließende Reaktionszeit beträgt 15 s, bis zur vollständigen chemischen Vernetzung vergehen 48 h. Es sollten alternative Materialien gefunden werden, die eine höhere Temperaturbeständigkeit sowie eine verkürzte Fertigungszeit durch geringere Aushärtungszeiten ermöglichen. Anforderungen sind ein hohes E-Modul, entsprechende Shorehärte bei geringem Lambda und hoher Temperaturfestigkeit und schnelle Reaktionszeit, sowie eine angemessene exotherme Reaktionstemperatur.

Mögliche Materialalternativen:

Name	Lambda-Wert	Oberflächenhärte	formbeständig bis	Reaktionszeit/-temperatur
Baydur Desmodur	0,18 W/mK	80D	120 Grad Celsius	15 s / 88 Grad C
CETHERM 100	0,12 W/mK	74D	210 Grad Celsius	17 s
Baytec RT	n. b.	82D	n. b.	n. b.
Gepotec 11/22		62D	175 Grad Celsius	6-7 s
Baydur RP.PU 31B Zusatzmittel 22 AK13		n. b.	107 Grad Celsius	10-15 min

Tabelle 1

Einige Materialien sind bereits im Vorfeld aus folgenden Gründen ausgeschieden:

Baytec RT, ungenügende thermische Stabilität, sedimentative Ablagerungen - für den Einsatz ist ein Rührwerk mit einer Kolbenpumpe notwendig.

Gepotec 11/22, ungenügende thermische Stabilität, sedimentative Ablagerungen - für den Einsatz ist ein Rührwerk mit einer Kolbenpumpe notwendig.

Testserien wurden für diesen Projektschritt ausschließlich mit den Materialien CETHERM 100 und Baydur/Desmodur durchgeführt.

Der Verguss von PU-Materialien mit Füllstoffen (z. B. Glasfasern) ist auf der vorhandenen Vergussanlage nicht möglich. Da die Anschaffung einer neuen Anlage kurzfristig nicht geplant ist, können diese Materialien vorerst nicht getestet werden.

Obwohl im Vorfeld die chemische Verträglichkeit der Materialien Baydur/Desmodur mit dem Versuchsmaterial CETHERM 100 geklärt wurde, hat sich die Verarbeitung auf derselben Anlage als problematisch erwiesen. Die Materialtanks wurden vor dem Materialwechsel komplett „leer

gefahren“, dennoch konnte das Verbleiben von Materialresten in den Tanks und Pumpen nicht ausgeschlossen werden. Nach der Testserie mit dem temperaturfesten Material CETHERM 100 traten bei der anschließenden Produktion mit dem Baydur/Desmodur PU Probleme auf. Der Verguss war spröde und die Profile dementsprechend nicht stabil und somit unbrauchbar. Nach Rücksprache mit dem Lieferanten BÜFA (Bayer-Tochter) wurde von der Bayer AG eine Materialanalyse durchgeführt, die Materialverunreinigungen in den Proben nachgewiesen hat.

Diese Problematik hatte zur Folge, dass Testserien vorerst nur noch mit dem Standard-Material Baydur/Desmodur gefahren wurden, um eine erneute Materialverunreinigung und die damit verbundenen Probleme zu vermeiden.

Für die Verarbeitung des Materials CETHERM 100 wurde eine Leihanlage aufgestellt, mit der ein Kundenauftrag für temperaturfeste thermisch getrennte Profile produziert wurde. Diese Profile haben sich aber während der Pulverlackierung als nicht temperaturfest herausgestellt (Aufplatzen der Trennschicht und damit Zerstörung des Profils). Als Ursachen wurden vom Lieferanten die ungenügende Durchmischung der Materialkomponenten und die Maschineneinstellungen benannt. Es folgten Testläufe mit den unterschiedlichsten Statikmischern. Als am besten geeignet hat sich der TAH Mischer 160-432 erwiesen. Ebenso ist eine Erhöhung der Maschinentemperatur auf 45 °C notwendig.

Das Material CETHERM 100 hat sich nach anfänglich nicht optimaler Zusammensetzung nach einiger geringfügiger Veränderung der Rohstoffkomponenten und dem Einsatz eines anderen Statikmischers als gut verarbeitbar erwiesen. Die im Produktdatenblatt bestätigte Temperaturbeständigkeit bis 210 Grad C reicht aus, um nach Behandlung mit einem speziellen Fluid, eine Pulverlackbeschichtung vorzunehmen (s. Projektschritt 3). Hervorzuheben ist auch der gegenüber dem Baydur/Desmodur-Produkt um 0,06 W/m²K bessere Wärmedurchgangskoeffizient.

3.1.2 2. Projektschritt: Auswahl Dämmstoffe

Der Wärmedurchgangskoeffizient des Rahmens Ur kann durch das Einbringen eines Dämmstoffes nochmals verringert werden. Denkbar war der Einsatz eines Styropor-Kerns oder das Einbringen von PU-Schaum. Zusätzlich könnte der Dämmstoff bei entsprechender Temperaturbeständigkeit als Verguss-Schalung dienen (siehe 4. Projektschritt). Die verschiedenen Material-Alternativen sollten hinsichtlich Materialeigenschaften, -preisen und Verarbeitbarkeit untersucht und getestet werden.

Die Durchführung dieses Projektschrittes erfolgte analog zu Projektschritt 1: Recherche, Angebotseinholung, Material- und Lieferantenauswahl durch Frau Kiene, Herrn Richter in Zusammenarbeit mit einem Mitarbeiter der Hochschule Ostwestfalen-Lippe.

Die Anforderungen an den gesuchten Dämmstoff sind neben einer geringen Wärmeleitfähigkeit eine hohe Temperaturbelastbarkeit während des Vergussvorgangs bei maximaler Formstabilität.

Vorteilhaft wäre außerdem die Bezugsmöglichkeit von variablen Größen, bzw. die unkomplizierte Bearbeitung (z. B. Zuschnitt) da für unterschiedlichste Profilgeometrien passende Dämmstoffe benötigt werden.

Nach einer umfangreichen Recherche und Analyse wurden folgende Dämmstoffe im Rahmen von Musterserien getestet:

Name	Material	temperaturbeständig	Wärmeleitfähigkeit
Tremco Illbruck super illen	XPELD	bis 100 Grad Celsius	0,035 W/(mK)
Tremco Illbruck illpor-Neopor 031	Polystyrol Hartschaum	k. A.	0,031 W/(mK)
Jakodur Dämmplatte	XPS	bis 75 Grad Celsius	0,035 W/(mK)
Puren PUR/PIR Hartschaum RG 32	PUR/PIR-Hartschaum	kurzfr. bis 250 Grad Celsius	0,021 W/(mK)

Tabelle 2

Der Polystyrol-Hartschaum von Tremco Illbruck hat sich für den Einsatz als Verguss-Schalung als ungeeignet erwiesen. Die Verguss-Masse wies eine extreme Blasenbildung auf, die durch eine Gasbildung des aufgrund der exothermen Reaktionswärme geschmolzenen Polystyrol-Hartschaums hervorgerufen wurde.

Als Material für die Verwendung als Dämmstoff und Vergussschalung ist der Puren PUR/PIR Hartschaum RG 32 prädestiniert. Er weist im Vergleich die besten technischen und physikalischen Werte (Temperaturbeständigkeit, Wärmeleitfähigkeit) auf, auch komplizierte Formteile sind herstellbar.

3.1.3 3. Projektschritt: Test Oberflächenbehandlung

Die Annahme, dass durch eine Beschichtung z. B. mit Pulverlack der Verlust von Strahlungswärme verringert werden kann, soll untersucht werden. In einigen Bereichen (z. B. Außenbereich Fassade) ist die Oberflächenbehandlung des Profils zwingend erforderlich. Bisher wurde noch keine Pulverbeschichtung oder Lackierung durchgeführt. Problematisch war bisher die PU-Schicht, die nur eine Hitzebeständigkeit bis ca. 120 Grad Celsius aufwies und daher für die Pulverbeschichtung nicht geeignet war.

Basis für die Pulverlackung ist der Verguss mit einem temperaturfesten Material. Wir haben uns hier (s. Projektschritt 1) für das Material CETHERM 100 entschieden, das Temperaturen bis zu 210 Grad Celsius standhält. Es hat sich hier im Rahmen von Versuchen herausgestellt, dass die direkte Beschichtung auf der thermischen Trennung nicht ausreichend haftet. Als Begründung hierfür kann die mangelnde statische Aufladbarkeit des Kunststoffes angeführt werden, die als Haftgrundlage erforderlich wäre.

Diese Problematik kann durch Auftragen einer leitfähigen Salzlösung (Statik-Fluid 800/00016 von TIGER Coatings GmbH & Co. KG) behoben werden. Die Beschichtungsversuche wurden von der Firma Euro Elast GmbH mit Erfolg durchgeführt.

Beschichtungen der mit CETHERM 100 getrennten Profile sind jetzt nach Auftragen des Statik Fluids problemlos möglich.

Die Auswirkungen auf den Verlust von Strahlungswärme wurden im Rahmen von Win Iso Berechnungen geprüft: Jeder Körper, dessen Temperatur über dem absoluten Nullpunkt liegt, sendet Wärmestrahlung aus. Der Emissionsgrad ϵ eines Körpers gibt an, wie viel Strahlung er im Vergleich zu einem idealen Wärmestraher, einem schwarzen Körper, abgibt. Das Programm sieht die manuelle Eingabe des Wertes ϵ , abhängig von der Oberflächenbeschaffenheit, vor. Je niedriger dieser Wert ist, desto geringer ist der Verlust von Strahlungswärme. Bisher wurde in Win Iso mit einem Standard-Wert für Stahl, kaltgewalzt, von $\epsilon=0,9$ gerechnet. Da für die thermisch getrennten Profile aus verzinktem Stahl gefertigt werden, wäre hier ein wesentlich besserer Wert von $\epsilon=0,08$ anzusetzen (s. Richtlinie IFT). Die rechnerischen Auswirkungen auf den Uf-Wert liegen hier im 10-tel-Bereich.

Der Emissionsgrad für Lack/Farbe liegt bei $\epsilon =0,9$ [Bae 04] und damit wird der Verlust der Strahlungswärme durch die Oberflächenbehandlung mit Pulverlack entgegen der ursprünglichen Annahme vergrößert.

3.1.4 4. Projektschritt: Entwicklung Vergussschalung

Für den Verguss der Profile in dem Bereich Klimageräte sind bisher Kunststoff-Keder in das Stahlprofil eingeschoben worden, auf denen die PU-Masse vergossen wird. Der Einsatz dieser Keder soll vor dem Hintergrund von Vergussmassen-Einsparung und Produktionsoptimierung in Frage gestellt werden. Alternativen für den Einsatz von Kedern sollen untersucht werden (z. B. Verguss auf Dämmstoff oder Alu-, Holz oder Kunststoff-Schienen).

Der Verguss auf POM-Stäben wurde an Mustern getestet. Aufgrund der während des Vergussvorgangs entstehenden hohen Temperaturen und der geringen Wärmekapazität von Kunststoffen war eine erhebliche Verformung des POM-Stabes zu verzeichnen.

Holzstäbe sind aufgrund der hohen Adhäsion in Verbindung mit PU nur nach dem Aufbringen einer Teflonfolie als Vergussschalung verwendbar. Allerdings kann die erforderliche Maßhaltigkeit $\pm 0,2$ mm bei Holzstäben nicht erreicht werden.

Der Verguss auf Dämmstoffen wurde an verschiedenen Produkten getestet (s. 2. Projektschritt). Ein Verguss auf einem PUR-/PIR-Hartschaumzuschnitt hat sich als fertigungstechnisch vorteilhaft erwiesen und führt zu einer verbesserten Wärmedämmwirkung (s. 6. Projektschritt).

Der Verguss auf Aluminium-Stäben wurde an verschiedenen Profilmustern getestet. Das Material FORMODAL 030 ist auch in Sonderformaten erhältlich und somit für spezielle Profilgeometrien geeignet. Der Verguss ließ sich jedoch bei den ersten Mustern schlecht von dem Alukern lösen. Es wurden daraufhin folgende Trennmittel getestet: Weißfett-Spray, Vaseline als Spray und Paste, Teflonspray und Graphitspray.

Nach den ersten Mustern wurden neben unterschiedlicher Anwendungsfreundlichkeit keine gravierenden Unterschiede zwischen der Wirkung der Trennmittel festgestellt.

Allerdings kam es anschließend zu einem Materialproblem des PU-Vergusses. Die Beschaffenheit der PU-Spur war spröde und nicht konsistent. Anfangs wurde als Ursache neben einer Materialverunreinigung (s. 1. Projektschritt) auch die zu niedrige Temperatur des Aluminiums (Winterzeit) und eine evtl. Reaktion auf das Trennmittel in Erwägung gezogen. Nach Rücksprache mit dem PU-Produzenten Bayer AG wurde daraufhin ein spezielles Trennmittel für PUR-Systeme eingesetzt, das sich auch bewährt hat.

Auch der Verguss auf einer PTFE-beschichteten Glasgewebefolie, die auf die Aluminiumstäbe geklebt wird, wurde getestet. Hier war allerdings die Haltbarkeit und Belastbarkeit der Folie im Langzeittest nicht ausreichend. Genutzt wird die Folie, um Maßungenaugigkeiten des Aluminiumstabes im mm-Bereich auszugleichen.

Zusätzlich wurde eine Heizung für die Erwärmung der Alustäbe installiert, um das Aluminium vor dem ersten Verguss auf eine Temperatur > 30 Grad Celsius zu erwärmen.

3.1.5 5. Projektschritt: Statische Prüfungen

Die während der Probeserien angefertigten Profile müssen bestimmte statische Anforderungen erfüllen. Die I_x und I_y Werte der Musterserien für Salamander wurden durch Werkstoffprüfungen vom IFT Rosenheim ermittelt. Ziel war es, die Ist-Werte I_t u. a. Tabelle mindestens zu erreichen bzw. zu verbessern. Die Vorarbeiten werden von Therm-Tec-Personal übernommen.

Name Armierungen für	Stahlprofil thermisch ungetrennt		Stahlprofil thermisch getrennt	
	I_X	I_Y	I_X	I_Y
Brüggmann VS 220	1,32 cm ⁴	2,60 cm ⁴	1,34 cm ⁴	3,54 cm ⁴
Salamander 415 127	1,34 cm ⁴	2,33 cm ⁴	1,62 cm ⁴	2,59 cm ⁴
Salamander 455 231	1,67 cm ⁴	3,49 cm ⁴	1,93 cm ⁴	4,55 cm ⁴
Salamander 415 128 mit Schaumkern	1,34 cm ⁴	2,33 cm ⁴	4,59 cm ⁴	2,85 cm ⁴
Salamander 415 129 mit Schaumkern	2,42 cm ⁴	2,70 cm ⁴	4,14 cm ⁴	3,31 cm ⁴

Tabelle 3

Die Prüfungsergebnisse des Ift für die Trägheitsmomente bestätigen (s. Anlage 2), dass das thermisch getrennte Stahlprofil dem ursprünglichen Profil statisch überlegen ist. Für die geschlossenen Profile wurden die Werte sogar bis zu 3,25 cm⁴ (242 %) in IX-Richtung optimiert.

Eine Prüfung der Schubwiderstände wurde nicht durchgeführt, da diese Beanspruchung im Fensterrahmen nicht auftritt.

3.1.6 6. Projektschritt: Thermografische Berechnungen

Ziel war es, die Wärmeverluste durch die Stahlarmierung im Kunststoffrahmen weitestgehend zu eliminieren.

Der Nachweis für die Verbesserung des Wärmedurchgangskoeffizienten wird durch thermografische Berechnungen geliefert. Diese wurden mit dem notifizierten Win Iso Programm der Therm-Tec GmbH von Herrn Richter durchgeführt.

Am Beispiel unserer Entwicklungsstudien mit Hilfe des notifizierten Software-Programms Win Iso 2D 5.06 konnten wir bereits die Verbesserung des Wärmedurchgangskoeffizienten U_f belegen. Es wurden Stahlarmierungen für verschiedene Fenstersysteme berechnet:

Name	U_f -Wert ohne Armierung	U_f -Wert ungetrennt	U_f -Wert thermisch getrennt
Brüggmann System AD	1,240 W/m ² K	1,488 W/m ² K	1,366 W/m ² K
Salamander 3 D Sprosse	1,212 W/m ² K	1,333 W/m ² K	1,197 W/m ² K
Veka Alphaline	0,950 W/m ² K	1,087 W/m ² K	0,954 W/m ² K
Salamander Design 3 D mit Schaumkern	1,140 W/m ² K	1,268 W/m ² K	1,151 W/m ² K

Tabelle 4

Ausgegangen wurde hier vorerst von dem Einsatz des Vergussmaterials PU mit einem Lambda-Wert von 0,20 W/mK und für den Schaumkern von 0,03 W/mK.

Im Rahmen des Projektes wurden zunächst unterschiedliche Vergussmaterialien untersucht, um dann das physikalisch und wärmetechnisch optimale Produkt auszuwählen. Zusätzlich wurden verschiedene Dämmstoffe getestet, die als verlorene Schalung für den Verguss dienen können und den Wärmedurchgangskoeffizienten weiter verringern sollen. Weiterhin wurde der mögliche Ersatz des Kunststoffkaders durch Alu- bzw. Holzschienen untersucht und die Weiterbearbeitung des vergossenen Profils (Beschichtung, Pulverlackierung) vor dem Hintergrund der Effizienzerhöhung erprobt. Für die in Musterserien produzierten thermisch getrennten Stahlarmierungen wurden für folgende Systeme Berechnungen durchgeführt:

Name	U_f -Wert ohne Armierung	U_f -Wert ungetrennt	U_f -Wert thermisch getrennt	Anlage Nr.
Brüggmann System AD	1,240 W/m ² K	1,488 W/m ² K	1,296 W/m ² K	A 4.1
Salamander 3 D Sprosse	1,212 W/m ² K	1,333 W/m ² K	1,1159 W/m ² K	A 4.2
Salamander Design 3 D mit Schaumkern	1,140 W/m ² K	1,268 W/m ² K	1,115 W/m ² K	A 4.3

Tabelle 5

Berechnungsgrundlage ist hier der Einsatz des Vergussmaterials CETHERM 100 mit einem Lambda-Wert von 0,12 W/mK und für den Hartschaumkern von PUR/PIR 0,02 W/mK.

Für die Fenster-Systeme von Salamander wurde das Projektziel, den durch das Stahlprofil verursachten Wärmeverlust aufzuheben, erreicht. Die thermische Trennung für das System Brüggmann AD konnte den Wärmeverlust nicht vollständig eliminieren, weil die Systemvorgaben (Lage des Getriebes) einen wärmetechnisch optimalen Aufbau der Trennung nicht zulassen. Kundenwunsch war es, die thermische Trennung in das bestehende System zu integrieren. Daher konnte die Trennspur nicht in der erforderlichen Breite konzipiert werden.

Das Ergebnis der U_f -Wert-Berechnung wird neben der thermischen Trennung im Stahlprofil durch den Rahmenaufbau des Kunststofffensters wesentlich beeinflusst. Als Ergebnis kann zusammenfassend gesagt werden, dass bei allen U_f -Wert-Berechnungen das thermisch getrennte Profil die vom dem ursprünglichen Stahlprofil verursachten Wärmeverluste deutlich reduziert und einem Fall sogar unterschreitet.

3.2 Ökologische; technologische und ökonomische Bewertung

Nach Angabe des CO₂ Reports der Bundesregierung gibt es in Deutschland 17 Mio. Wohngebäude, die 2005 rd. 191 Mio. Tonnen CO₂ durch Heizen oder Kühlen emittiert haben. Davon sind 75% vor 1979 errichtet worden. Dazu kommen rd. 1,5 Mio. Nichtwohngebäude, davon rd. 40.000 Schulen. Hier liegt ein enormes Energieeinsparpotenzial. Dies wird auch deutlich, wenn man sich vergegenwärtigt, dass der Gebäudebereich einen Anteil von rund 40% am gesamten Endenergieverbrauch in Deutschland hat. In deutschen Wohngebäuden kann der Energieverbrauch und die CO₂-Emissionen durch Heizwärme (Raumwärme + Warmwasserbereitung) erheblich reduziert werden [Fra 07].

Im deutschen Fenstermarkt hat das Kunststofffenster einen Anteil von rd. 60% [VFF 07]. Die thermische Schwachstelle bei den aktuell marktgängigen Kunststofffensterprofilen ist die Stahlarmierung. Die in den Rahmen eingelegten Stahlprofile haben gegenüber dem Kunststoffrahmen den fast 300-fachen Wärmeleitwert. Durch die thermische Trennung der Stahlprofile wird der durch den Stahl verursachte Wärmeverlust im Fensterrahmen weitestgehend aufgehoben.

Die Mindestanforderungen für den U-Wert von Fenstern wurden in der Neufassung der EnEV 2009 auf 1,3 W/(m² K) und werden in einer weiteren Fassung 2012 voraussichtlich auf 0,9 W/(m² K) reduziert. Diese Anforderung können neben dem Einsatz von Dreifach-Isoliergläsern nur durch eine Weiterentwicklung der Rahmen- und Profilkonstruktion erreicht werden.[Ift 08]

In einem Vortrag von Herrn Dr. Wolfgang Feist vom Institut Passivhaus anlässlich des Jahreskongresses des Verbandes Fenster und Fassade im Juni 2008 wurde eine Gegenüberstellung verschiedener U-Werte von altem Bestand bis zu zukunftsweisendem Passivhaus-Standard vorgestellt. Eine Verbesserung des U-Wertes von 0,92 W/(m² K) auf 0,73

$W/(m^2 K)$ erfolgt hier nur noch über die Optimierung des Rahmens. Die jährliche Heizenergieeinsparung wird auf 64,1 kWh/(m²a) gegenüber dem alten Bestand beziffert (Anlage 1).

Der U_f -Wert im Kunststofffensterrahmen wird für die produzierten Muster (s. Tab. S. 10) um ca. 10% reduziert. Auf das Standardfenster hat das in Abhängigkeit von dem U_g -Wert des verwendeten Glases eine Reduzierung des U_w -Wertes von 0,03 bis 0,1 $W/(m^2K)$ zur Folge [VFF 09, S. 14]. Die Energiebilanz eines Fensters $U_{w,eq}$ verbessert sich bei einem Fenster mit $U_w = 0,9 W/(m^2K)$ gegenüber einem Fenster mit $U_w = 1,1 W/(m^2K)$ um 0,2 [VFF 09].

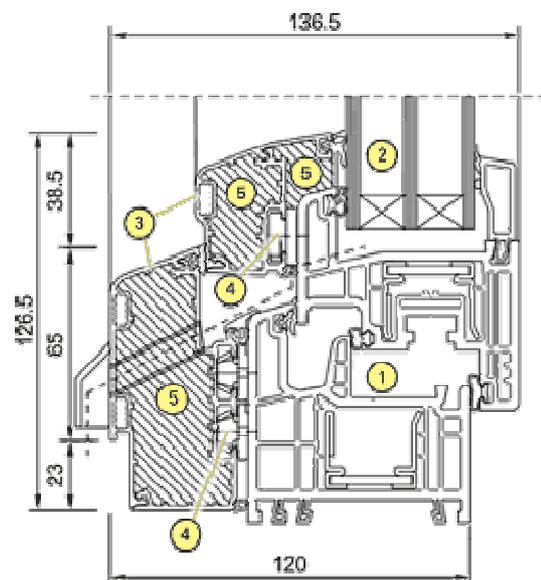
Die Erreichung von „passivhaustauglichen“ U_f -Werten von ca. 0,8 $W/(m^2K)$ ist mit der thermischen Trennung und zusätzlichen Maßnahmen im Rahmenaufbau möglich. Die nachfolgende Studie eines Systemherstellers zeigt den Aufbau eines Kunststofffensters für ein Passivhaus-System:

Schematische Darstellung :

1. System S 7000 IQ (7008/7093) mit thermisch getrenntem Stahl
2. Hochisolierendes Dreischeiben-Glas 42 mm, $U_g = 0,70 W/(m^2K)/g = 60\%$
3. Alu-Außenschale, pulverbeschichtet
4. Aufgeklippte Kunststoff-Trägerprofile
5. Dämmzone aus PU-Hartschaum

Gerechnete Werte:

U_f	0,82 $W/(m^2K)$
ψ_i	0,026 $W/(m^2K)$ (mit Abstandhalter "Swisspacer V")
U_w	0,80 $W/(m^2K)$ für das nicht eingebaute Fenster mit Standardmaßen (1,23 m x 1,48 m) und Scheibe $U_g = 0,70 W/(m^2K)$
U_w	0,85 $W/(m^2K)$ für das eingebaute Fenster in drei normierten Einbauvarianten



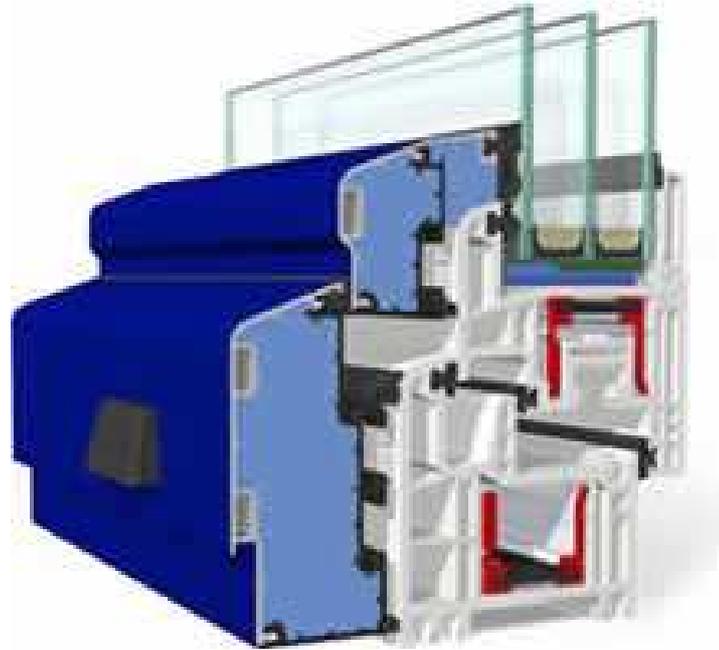


Bild 2

3.3 Maßnahmen zur Verbreitung der Vorhabensergebnisse

Folgende Schritte wurden unternommen, um die aus dem Projekt entstandenen Produkte der Öffentlichkeit zu präsentieren und bekannt zu machen:

- Erstellung einer Internetseite mit entsprechenden Hinweisen auf das Projekt und die Produkte
- Erarbeitung eines Produktprospektes in Zusammenarbeit mit dem Walzwerk Gebhardt-Stahl
- Mailing-Aktion an größere Kunststofffenster-Verarbeiter
- Messestand in Hannover im Bereich „innovative Produkte“, in Zusammenarbeit mit dem Steinbeis-Technologiezentrum
- Teilnahme an dem Wettbewerb „Stahl-Innovations-Preis“
- Informationsstand im Rahmen des „Fassadensymposiums“ an der Hochschule Ostwestfalen.
- Veröffentlichungen in Fachzeitschriften:
Bauelemente Bau, 2008/08, S. 36 [Bau 08]
KWD-Fenster Nr. 1372a, 02.12.2008, S. 2 [Kwd 08]
www.baunetz.de/herstellernews/produktinformationen v. 04.12.2008 [Bne 08]
www.treffpunkt-fenster.de/26396html v. 05.02.2009 [Tre 09]

4. Fazit

Das Projektziel, den durch die Stahlarmierung verursachten Wärmeverlust im Kunststofffenster bei verbesserten statischen Werten weitestgehend zu eliminieren, wurde für die produzierten Musterserien nachweislich erreicht.

Damit ist eine relativ kostengünstige Möglichkeit zur Energieeinsparung durch das Fenster geschaffen, da rd. 30 % des Wärmeverlustes in einem Haus über die Fenster verloren geht [Bay2009]. Der Rahmenanteil beträgt bei einem Standardfenster rd. 30% [VFF 09].

Die Erreichung von Ur-Werten mit zukunftsweisendem Passivhausstandard von ca. $0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ist nur durch die wärmetechnische Optimierung der Rahmen- und Profilkonstruktion möglich. Für einen Teilbereich des Rahmens, die Stahlarmierung, sind die Voraussetzungen nach Abschluss dieses Projektes erfüllt.

Für eine erfolgreiche Markteinführung ist neben der Entwicklung und Umsetzung von Vertriebs- und Marketingstrategien die Optimierung des Fertigungsprozesses dringend erforderlich. Die derzeitige Fertigung besteht zu einem erheblichen Anteil aus personalintensiver „Handarbeit“ und ist durch hohe Rüst- und Stillstandszeiten gekennzeichnet. Eine kostendeckende Produktion ist daher zur Zeit nicht möglich.

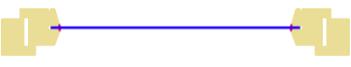
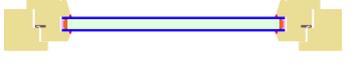
Die umfassende Einführung der thermisch getrennten Profile im Fenstermarkt ist für die Geschäftsjahre 2010 und 2011 eingeplant. Im Anschluss wird die Erschließung des Fassadenmarktes ab 2012 erfolgen. Sobald das Produkt im Absatzmarkt etabliert ist, werden die Umsatzerlöse die laufenden Kosten decken. Eine Kostendeckung mit Abschluss des Geschäftsjahres 2011 erscheint uns realistisch.

5. Literaturverzeichnis

- [Bae 04] Baehr, H. D., Stephan, K., Wärme- und Stoffübertragung, 4. Auflage, Springer Verlag, Berlin 2004, Kap. 5 Wärmestrahlung
- [Bau 08] Bauelemente Bau, 2008/08, Artikel „Stahlprofile mit thermischer Trennung – Therm-Tec sorgt für optimale Wärmedämmung“ S. 36
- [Bne 08] www.baunetz.de/herstellernews/produktinformationen 04.12.2008, Artikel „Produktionformationen: Therm-Tec technisch top“
- [Bay 09] Bayrisches Landesamt für Umwelt (IfU), Faltblatt Klima schützen - Kosten senken, Januar 2009
- [Da 08] Deutsches Architektenblatt, Ausgabe 04/2008, Artikel S. 72: Fenster als Kraftwerke
- [Geb 09] geb-info.de 03/2009, Artikel „Entwicklungspotentiale bei Fenstern - Blick in die Zukunft“ von Jürgen Beniz-Wildenburg
- [ift 08] ift Rosenheim, Energieeffiziente Fenster, Fassaden und Verglasungen, Themenheft zur Sonderschau „frontal gegen Klimawandel“ 3/2008
- [Fra 07] Fraunhofer Institut Bauphysik, CO² Gebäudereport 2007
- [Kwd 08] KWD-Fenster-online Nr. 1372a, 02.12.2008, Artikel S. 2, „Therm-Tec – wärme dämmender Stahl im Profil“
- [Pas 08] Passivhaus-Plattform Klimaschutzregion Hannover
- [Tre 09] www.treffpunkt-fenster.de/26396html v. 05.02.2009, Artikel „Gealan - thermisch getrennte Stahlaussteifungen“
- [Vff 07] Verband der Fenster- und Fassadenhersteller e. V. : Einblicke 2007
- [Vff 08] Verband der Fenster- und Fassadenhersteller e. V. : Studie zur energetischen Modernisierung von alten Fenstern, 31.12.2007
- [Vff 09] Verband der Fenster- und Fassadenhersteller e. V. : Merkblatt ES.01 „Die richtigen U-Werte von Fenstern, Türen und Fassaden“ Februar 2009

6. Anlagen

- A 1: U-Wert-Gegenüberstellung Institut Passivhaus Dr. W. Feist
- A 2: Gegenüberstellung Ix-, Iy-Werte für Standard-Stahlprofile und thermisch getrennte Stahlprofile
- A 3: Prüfprotokoll Ift Rosenheim
- A 4: Berechnungen des Wärmedurchgangskoeffizienten U_f für:
 - A 4.1: *Brüggmann System AD*
 - A 4.2: *Salamander Design 3 D Sprosse*
 - A 4.3: *Salamander Design 3 D mit Schaumkern*

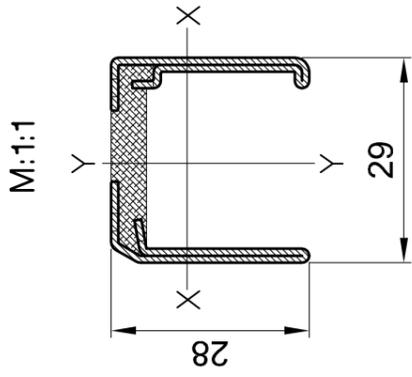
Bauteil alt:	Ohnehin-Maßnahme:	wirtschaftlich sinnvoller Wärmeschutz	zukunftsweisender Wärmeschutz
	Ohnehin fällige Maßnahme ohne besonderen Wärmeschutz	Sanierungsmaßnahme mit ökonomisch gebotenem Wärmeschutz	Sanierungsmaßnahme mit Wärmeschutz nach Empfehlung:
Bestand	EnEV-Variante	IV84	PH-Rahmen
U-Wert des alten Bauteils	U-Wert des alten Bauteils	wirtschaftlich sinnvoller U-Wert	zukunftsweisender U-Wert
5.15 W/(m²K)	1.46 W/(m²K)	0.92 W/(m²K)	0.73 W/(m²K)
Glas	1.10 W/(m²K)	0.60 W/(m²K)	0.60 W/(m²K)
Rahmen	1.59 W/(m²K)	1.30 W/(m²K)	0.74 W/(m²K)
Glasr.	0.08 W/(mK)	0.04 W/(mK)	0.03 W/(mK)
Einbau	0.00 W/(mK)	0.00 W/(mK)	0.00 W/(mK)
			

jährlicher Gewinn: 1.66 €//(m²a) 0.02 €//(m²a)

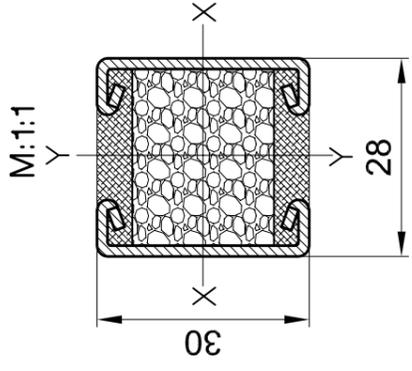
Erzielte Heizenergieeinsparung normalbeheizt : 53.3 kWh/(m²a) 64.1 kWh/(m²a)
Heizenergieeinsparung im Vergleich zum alten Bauteil : 82% 86%

Kosten für eine eingesparte kWh Endenergie : 3.2 Cent/kWh 6.4 Cent/kWh

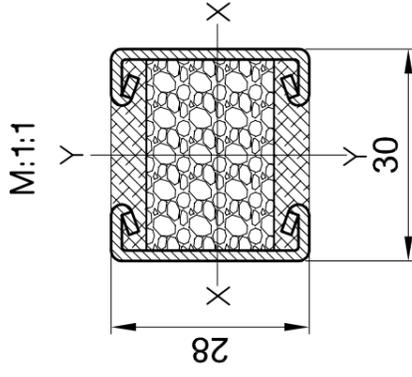
Gegenüberstellung Thermisch getrennter Stahl mit Standard-Stahl nach Ix und Iy Berechnung am ift-Rosenheim



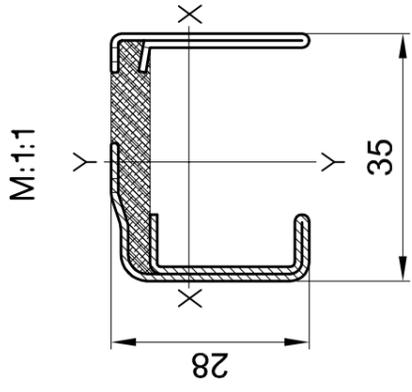
Gewicht: (g/m)	1149
Ix: (cm ⁴)	1.62
Iy: (cm ⁴)	2.59
Dicke: (mm)	1 ¹ doppelt gefaltet



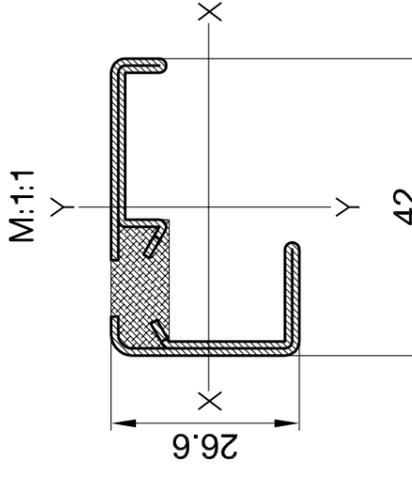
Gewicht: (g/m)	1395,5
Ix: (cm ⁴)	4.59
Iy: (cm ⁴)	2.85
Dicke: (mm)	1.5



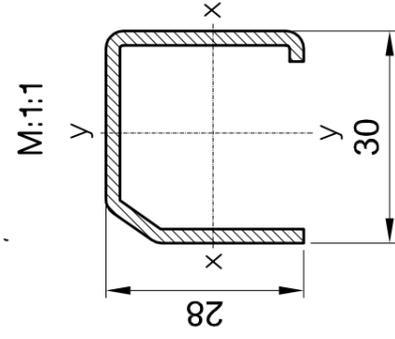
Gewicht: (g/m)	1370.6
Ix: (cm ⁴)	4.14
Iy: (cm ⁴)	3.31
Dicke: (mm)	1.5



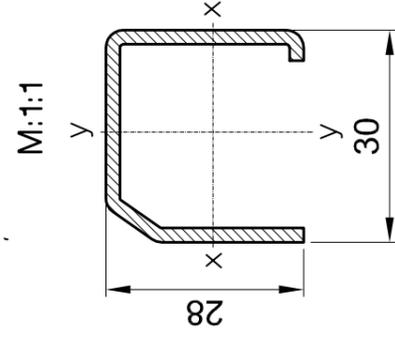
Gewicht: (g/m)	1299
Ix: (cm ⁴)	1.93
Iy: (cm ⁴)	4.55
Dicke: (mm)	1 ¹ doppelt gefaltet



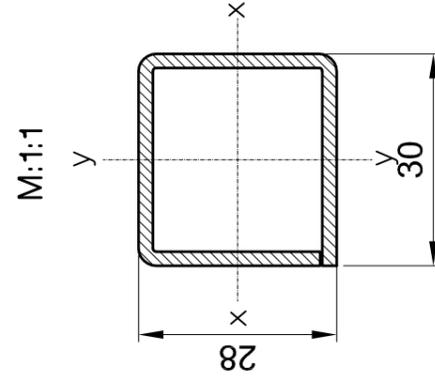
Gewicht: (g/m)	1340.4
Ix: (cm ⁴)	1.34
Iy: (cm ⁴)	3.54
Dicke: (mm)	1 ¹ doppelt gefaltet



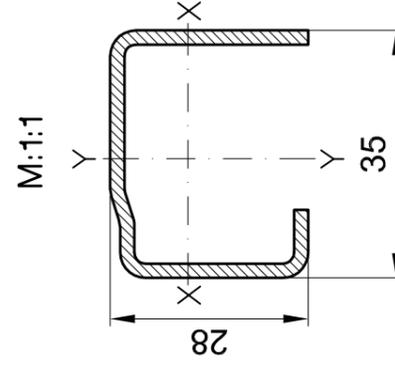
Gewicht: (g/m)	1252
Ix: (cm ⁴)	1.34
Iy: (cm ⁴)	2.33
Dicke: (mm)	2



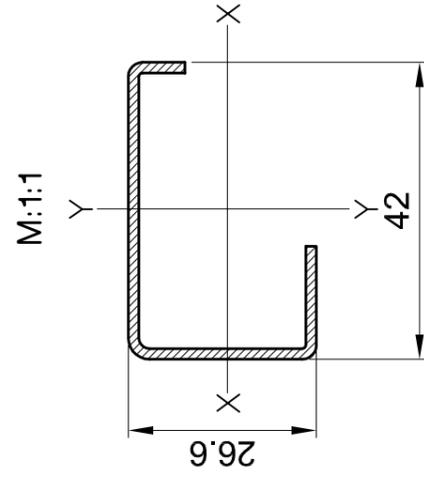
Gewicht: (g/m)	1252
Ix: (cm ⁴)	1.34
Iy: (cm ⁴)	2.33
Dicke: (mm)	2



Gewicht: (g/m)	1660
Ix: (cm ⁴)	2.42
Iy: (cm ⁴)	2.7
Dicke: (mm)	2



Gewicht: (g/m)	1414
Ix: (cm ⁴)	1.67
Iy: (cm ⁴)	3.49
Dicke: (mm)	2



Gewicht: (g/m)	1011
Ix: (cm ⁴)	1.32
Iy: (cm ⁴)	2.6
Dicke: (mm)	1.5

Prüfprotokoll

Nr. 509 36751



Protokolldatum	22. September 2008
Auftraggeber	Salamander Industrie-Produkte GmbH Jakob-Sigle-Str. 58 86842 Türkheim
Auftrag	Berechnung der I_x und I_y Werte
Gegenstand	thermisch getrennte Stahlverstärkungen von PVC Rahmenprofilen
Inhalt	<ol style="list-style-type: none">1 Problemstellung2 Gegenstand3 Ergebnis4 Bedingungen und Hinweise zur Benutzung von ift Prüfdokumentationen



1 Problemstellung

Die Firma Salamander, 86842 Türkheim beauftragte das **ift** Rosenheim, die Berechnung der I_x und I_y Werte durchzuführen, wie im Infoblatt zum Angebot 80261922 vom 12. September 2008 beschrieben.

Die Berechnungen des tatsächlichen Trägheitsmomentes der genannten Profile beruhen auf den vom Hersteller übermittelten Angaben und Werten zu den Materialien, sowie auf der Angabe dass es sich hierbei um schubfeste Verbindungen und Materialien handelt. Die Maße wurden vom **ift** manuell aus den im Maßstab 1:1 bereitgestellten Schnittzeichnungen des Herstellers (siehe Bild 1) herausgemessen, komplett bemaßte Fertigungszeichnungen lagen nicht vor. Da vom Hersteller keine konkreten Materialeigenschaften bereitgestellt wurden, wurde I_x und I_y materialunabhängig ermittelt.

Die hier durchgeführten Berechnungen stellen das Ergebnis einer sorgfältigen und gewissenhaften Überprüfung durch das ift Rosenheim dar. Es wird jedoch ausdrücklich darauf hingewiesen, dass es sich um unverbindliche Berechnungen handelt. Der Nutzer ist daher verpflichtet, das Ergebnis - insbesondere in Bezug auf den konkreten Einzelfall des Bauvorhabens - zu überprüfen. Es erfolgt keine Plausibilitätsprüfung der Eingaben. Das ift Rosenheim schließt eine Haftung für die Berechnungen aus. Der Haftungsschluss gilt nicht in Fällen des Vorsatzes oder der groben Fahrlässigkeit sowie bei der Verletzung des Lebens, des Körpers oder der Gesundheit.

2 Gegenstand

2.1 Probekörperbeschreibung

Bauteil	thermisch getrennte Stahlverstärkung für PVC Rahmenprofile
Hersteller	Salamander Industrie-Produkte GmbH
Herstelldatum	Juli - August 2008
Produktbezeichnung	415 126, 415 127, 415 128, 415 129, 455 231, VS 2200 (Bild 1)

Die Schnittzeichnungen, Artikelbezeichnungen/-nummer sowie Materialangaben sind Angaben des Auftraggebers.

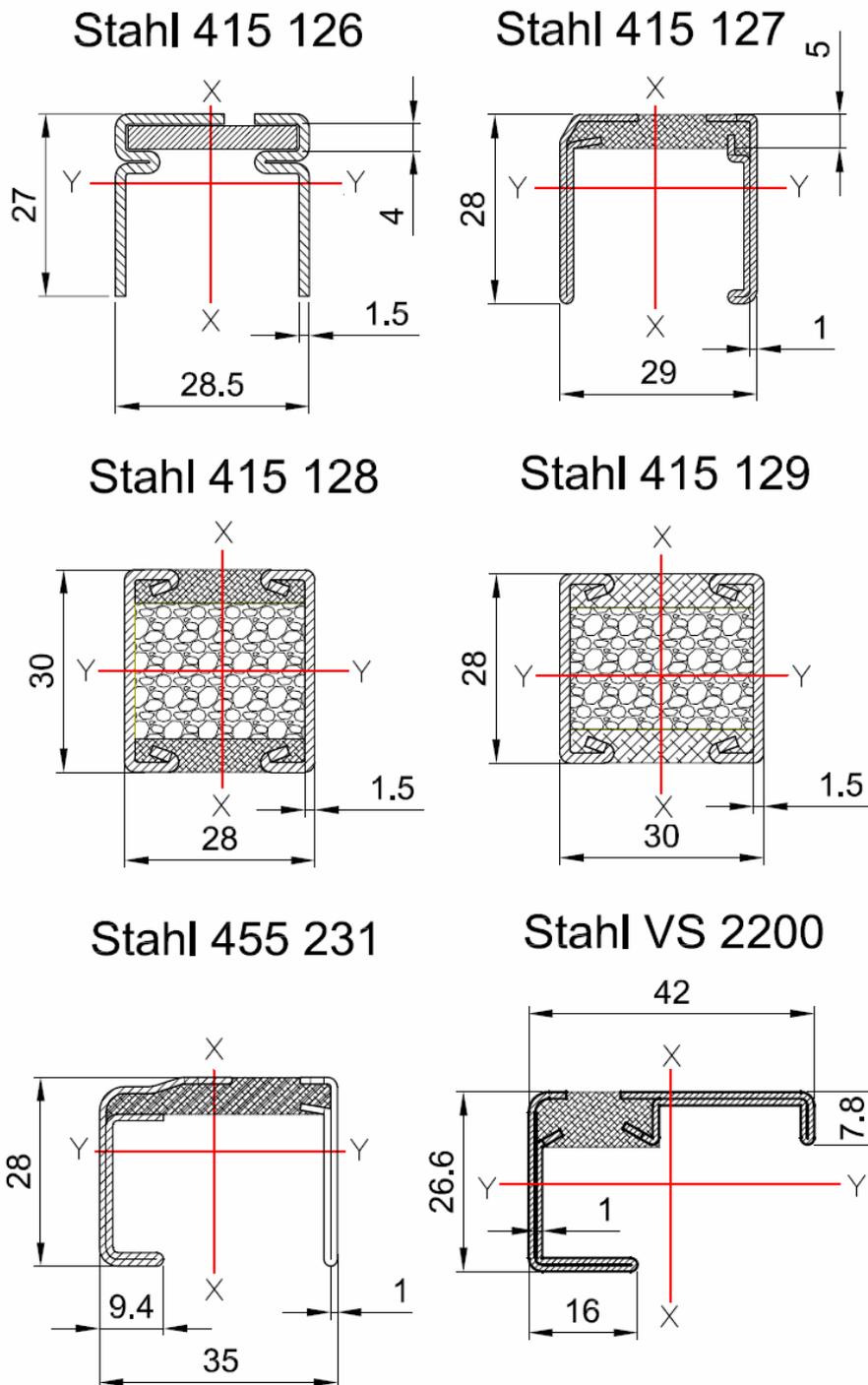


Bild 1 Profilzusammenstellung aus den Schnittzeichnungen des Herstellers

3 Ergebnis

Die Ergebnisse der Berechnung der I_x -, bzw. I_y - Werte sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

Tabelle 1 Zusammenstellung der Ergebnisse; das Koordinatensystem ist Bild 1 zu entnehmen

Profil Nr.		Wert		Bemerkung
415 126	$I_x =$	2,46	cm ⁴	
	$I_y =$	1,10	cm ⁴	
415 127	$I_x =$	2,59	cm ⁴	
	$I_y =$	1,62	cm ⁴	
415 128	$I_x =$	2,85	cm ⁴	Die Styroporfüllung wurde bei der Berechnung vernachlässigt
	$I_y =$	4,59	cm ⁴	
415 129	$I_x =$	3,31	cm ⁴	Die Styroporfüllung wurde bei der Berechnung vernachlässigt
	$I_y =$	4,14	cm ⁴	
455 231	$I_x =$	4,55	cm ⁴	
	$I_y =$	1,93	cm ⁴	
VS 2200	$I_x =$	3,54	cm ⁴	
	$I_y =$	1,34	cm ⁴	

4 Bedingungen und Hinweise zur Benutzung von ift-Prüfdokumentationen

Im ift-Merkblatt „Bedingungen und Hinweise zur Benutzung von ift-Prüfdokumentationen“ sind die Regelungen zur Benutzung der Prüfberichte festgeschrieben.

ift Rosenheim
22. September 2008


 A handwritten signature in blue ink that reads 'Robert Happach'.

Robert Happach
Prüfingenieur
ift Zentrum Glas, Baustoffe & Bauphysik



Seite 1 von 3

Auftraggeber: Salamander Industrie-Produkte GmbH
Datum: 13.07.2009
Simulations-Software: WinIso2D 5.06
Gegenstand: Brüggmann System AD
Datei: D:\Eingene Dokumente\Geschäft\ThermTec\Angebote Aufträge
 Kunden\Salamander\Produktionsunterlagen\WinIso U-Wert\Brüggmann MD\Brüggmann VS 102 im MD TTP-
 optimiert.f2d

**Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten U_f von Rahmenprofilen nach
 DIN EN ISO 10077-2:2003-12 bzw. DIN EN ISO 13947:2007-07**

Simulationsmodell:

Kalibrierpaneel / Verglasung: Dicke: 24 mm; Einstand in Rahmen: 15 mm
 Abmessungen des Simulationsmodells (Breite x Höhe): 308,00 x 109,50 mm
 Anzahl der Finiten Elemente: X-Richtung: 614; Y-Richtung: 380

Klimatische Randbedingungen nach DIN EN ISO 10077-2:2003-12:

Außen:

Temperatur Θ_e : 0,00 °C
 Übergangswiderstand R_{se} : 0,040 m²K/W

Innen:

Temperatur Θ_i : 20,00 °C
 Übergangswiderstand (Normalbereich) R_{si} : 0,130 m²K/W
 Übergangswiderstand (reduzierte Strahlung / Konvektion) R_{si} : 0,200 m²K/W

Ergebnisse nach DIN EN ISO 10077-2:2003-12:

Temperaturdifferenz dT : 20,00 K
 Gesamtwärmestrom Q : 7,500 W/m
 Zweidimensionaler thermischer Leitwert L^{2D} : 0,375 W/mK

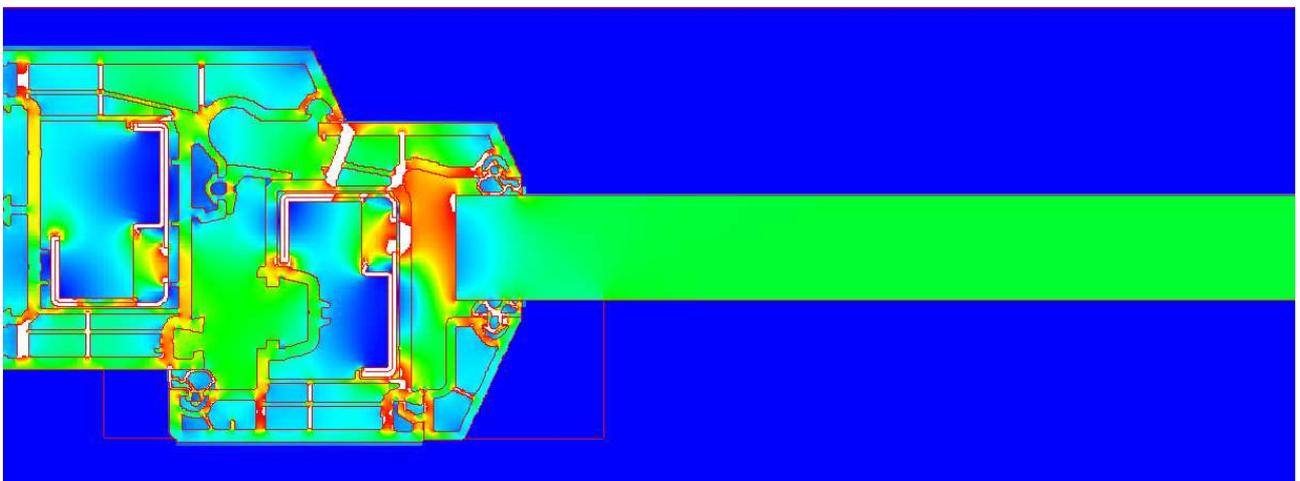
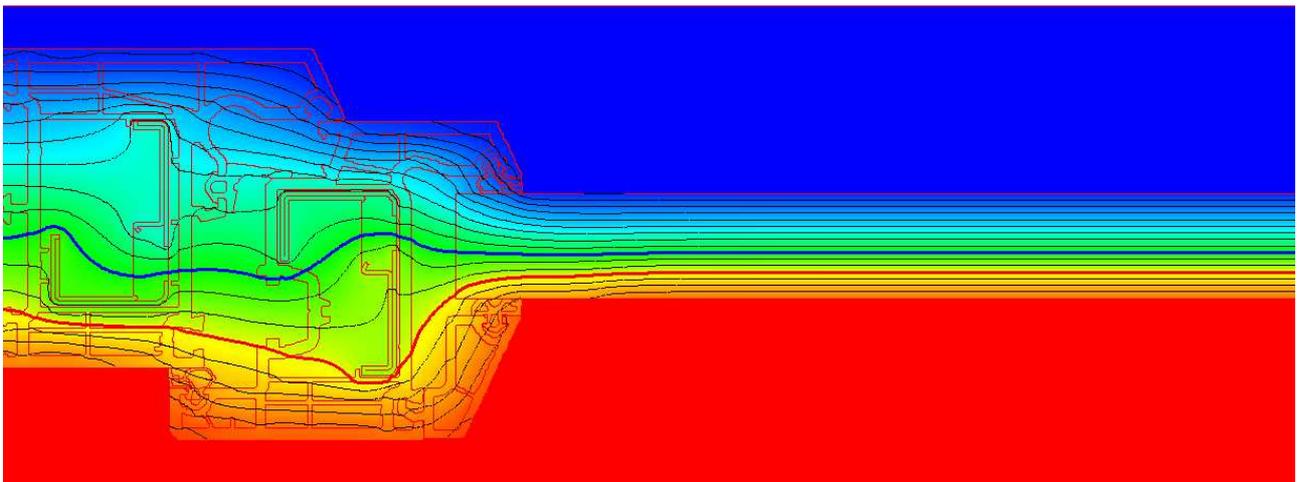
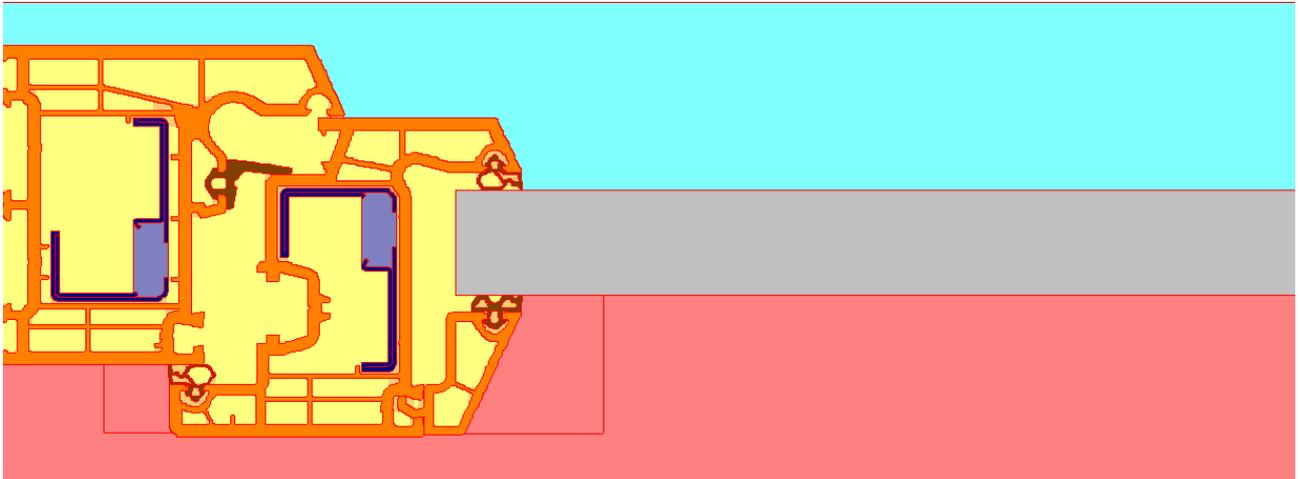
Länge des Kalibrierpaneels: 190,00 mm
 Wärmedurchgangskoeffizient des Kalibrierpaneels: 1,169 W/m²K

Projizierte Ansichtsbreite des Rahmenprofils: 118,00 mm

**Wärmedurchgangskoeffizient des Rahmenprofils: $U_f = 1,296 \text{ W/m}^2\text{K}$
 (1,296 W/m²K)**



Seite 2 von 3





Seite 3 von 3

Material:

Material	R (m ² K/W)	T (°C)	Q(gesamt) (W/m)	10077 konform
****ADIABAT****	0,000	0,000	0,000	
1 Luft außen 0,04, 0°C, 80%	0,040	0,000	-7,500	X
1 Luft innen 0,13, 20°C, 50%	0,130	20,000	5,841	X
1 Luft innen 0,20, 20°C, 50%	0,200	20,000	1,659	X
1 Luft 10077-2 (Auto)				-
1 Luft 10077-2 (Auto, LBH)				-
Luft 10077-2 (<=2mm)				-

Material	L (W/mK)	Mue	10077 konform
3 Alu (Si-Leg.) 160	160,000	100000	X
1 Kalibrierpaneel	0,035	60	X
3 PVC Hart	0,170	50000	X
5 EPDM	0,250	6000	X
4 Polyurethan(PUR)-Harz 200	0,121	6000	-
3 Baustahl 50	50,000	100000	-

Die mit (X) markierten Materialien entsprechen den Vorgaben der DIN EN ISO 10077-2:2003:12.

Isothermen:

0°C bis 20°C in 1°C-Schritten

Rot: 13°C (schimmelpilzkritische Temperatur bei 20° C/50%)

Blau: 10°C (Taupunkttemperatur bei 20°C/50%)

Normative Verweise:

- Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung EnEV) vom 24. Juli 2007 (im Bundesanzeiger verkündet am 26. Juli 2007, Inkrafttreten am 01. Oktober 2007)
- DIN EN ISO 10077-1:2006-12, Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern, Türen und Abschlüssen, Berechnung von Wärmedurchgangskoeffizienten – Teil 1: Vereinfachtes Verfahren
- DIN EN ISO 10077-2:2003-12, Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern, Türen und Abschlüssen, Berechnung von Wärmedurchgangskoeffizienten – Teil 2: Numerisches Verfahren
- EN 13947:2007-07, Wärmetechnisches Verhalten von Vorhangfassaden, Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten
- DIN EN 673:2003-06, Glas im Bauwesen – Bestimmung des Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert)
- EN ISO 10211-1:1995-11, Wärmebrücken im Hochbau - Wärmeströme und Oberflächentemperaturen - Teil 1: Allgemeine Berechnungsverfahren (ISO 10211-1:1995); Deutsche Fassung EN ISO 10211-1:1995
- EN ISO 10211-2:2001-06, Wärmebrücken im Hochbau - Berechnung der Wärmeströme und Oberflächentemperaturen - Teil 2: Linienförmige Wärmebrücken (ISO 10211-2:2001); Deutsche Fassung EN ISO 10211-2:2001
- DIN EN ISO 6946:2003-10, Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient, Berechnungsverfahren

Therm-Tec GmbH

Blomberg, 13.07.2009

Nikolaus Richter



Seite 1 von 3

Auftraggeber: Salamander GmbH
Datum: 13.07.2009
Simulations-Software: WinIso2D 5.06
Gegenstand: Desing 3D Sprosse 112 220 mit Flügel 211 120 mit TTP- Armierung PU Lambda 0,121
Datei: D:\Eingene Dokumente\Geschäft\ThermTec\Angebote Aufträge Kunden\Salamander\Produktionsunterlagen\WinIso U-Wert\Desing 3D Sprosse 112 220\Desing 3D Sprosse 112 220 mit Flügel mit TTP-Armierung_PU121-optimiert.f2d

Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten U_f von Rahmenprofilen nach DIN EN ISO 10077-2:2003-12 bzw. DIN EN ISO 13947:2007-07

Simulationsmodell:

Kalibrierpaneel / Verglasung: Dicke: 28 mm; Einstand in Rahmen: 15 mm
 Abmessungen des Simulationsmodells (Breite x Höhe): 527,00 x 113,50 mm
 Anzahl der Finiten Elemente: X-Richtung: 998; Y-Richtung: 417

Klimatische Randbedingungen nach DIN EN ISO 10077-2:2003-12:

Außen:

Temperatur Θ_e : 0,00 °C
 Übergangswiderstand R_{se} : 0,040 m²K/W

Innen:

Temperatur Θ_i : 20,00 °C
 Übergangswiderstand (Normalbereich) R_{si} : 0,130 m²K/W
 Übergangswiderstand (reduzierte Strahlung / Konvektion) R_{si} : 0,200 m²K/W

Ergebnisse nach DIN EN ISO 10077-2:2003-12:

Temperaturdifferenz dT : 20,00 K
 Gesamtwärmestrom Q : 11,243 W/m
 Zweidimensionaler thermischer Leitwert L^{2D} : 0,562 W/mK

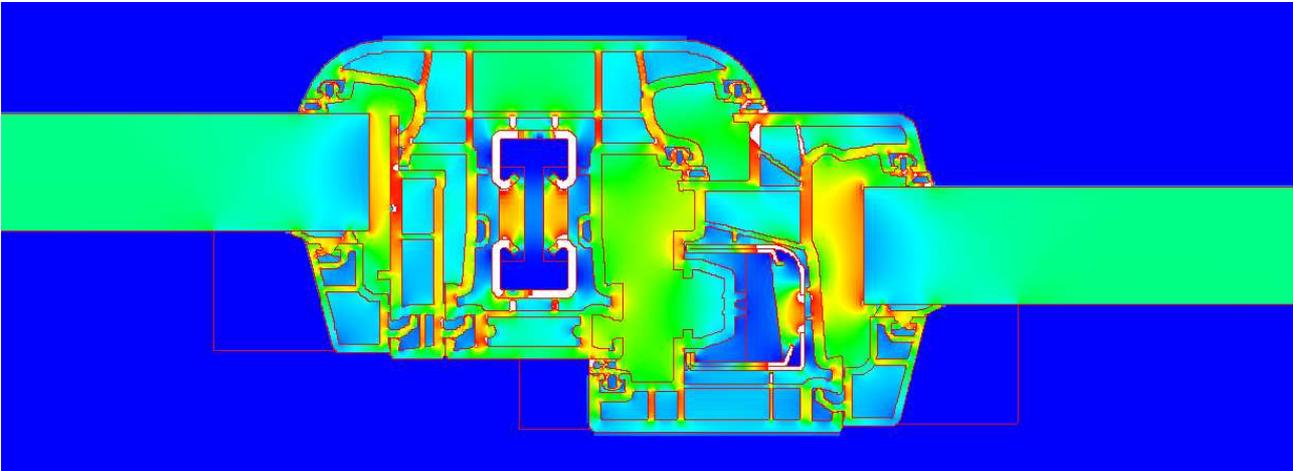
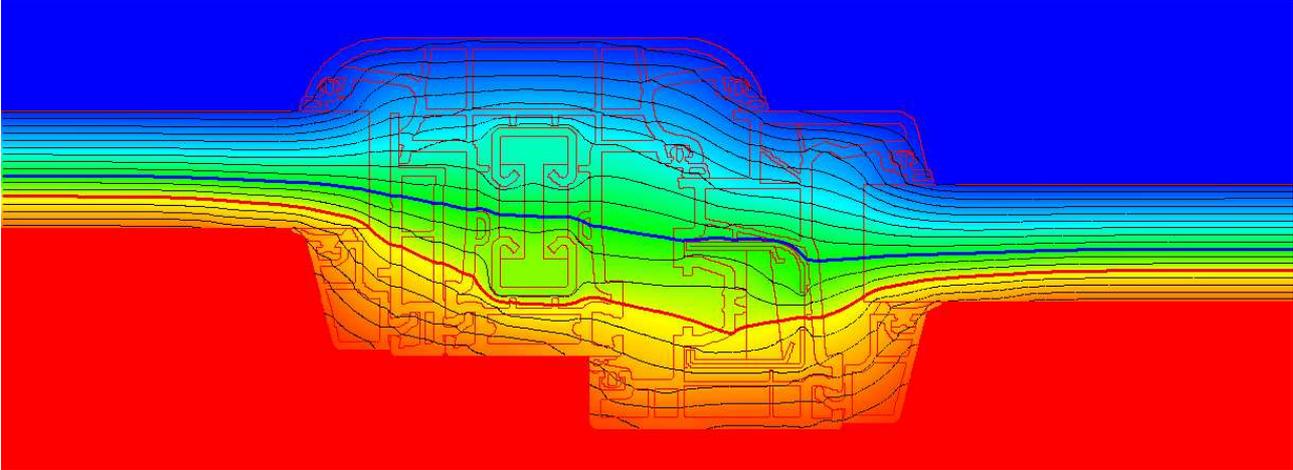
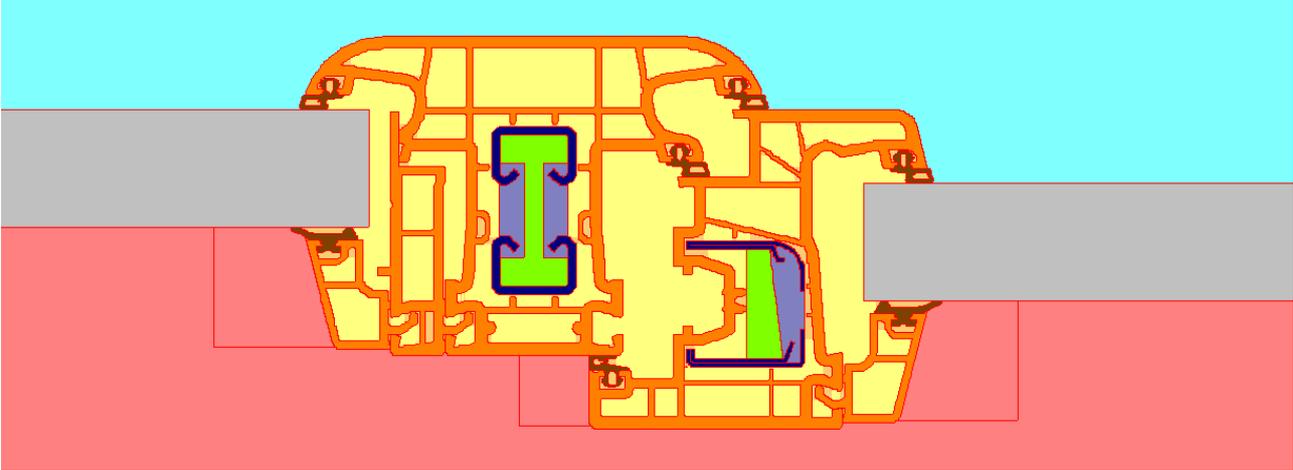
Länge des Kalibrierpaneels: 380,00 mm
 Wärmedurchgangskoeffizient des Kalibrierpaneels: 1,031 W/m²K

Projizierte Ansichtsbreite des Rahmenprofils: 147,00 mm

Wärmedurchgangskoeffizient des Rahmenprofils: $U_f = 1,159 \text{ W/m}^2\text{K}$
 (1,159 W/m²K)



Seite 2 von 3





Seite 3 von 3

Material:

Material	R (m ² K/W)	T (°C)	Q(gesamt) (W/m)	10077 konform
****ADIABAT****	0,000	0,000	0,000	
1 Luft außen 0,04, 0°C, 80%	0,040	0,000	-11,243	X
1 Luft innen 0,13, 20°C, 50%	0,130	20,000	8,919	X
1 Luft innen 0,20, 20°C, 50%	0,200	20,000	2,325	X
1 Luft 10077-2 (Auto)				-
1 Luft 10077-2 (Auto, LBH)				-
Luft 10077-2 (<=2mm)				-

Material	L (W/mK)	Mue	10077 konform
3 Alu (Si-Leg.) 160	160,000	100000	X
3 PVC Hart	0,170	50000	X
1 Kalibrierpaneel	0,035	60	X
PUR 030	0,030	60	-
5 EPDM	0,250	6000	X
6 Polyurethan(PUR)-Harz 250	0,121	6000	-
3 Baustahl 50	50,000	100000	-

Die mit (X) markierten Materialien entsprechen den Vorgaben der DIN EN ISO 10077-2:2003:12.

Isothermen:

0°C bis 20°C in 1°C-Schritten

Rot: 13°C (schimmelpilzkritische Temperatur bei 20° C/50%)

Blau: 10°C (Taupunkttemperatur bei 20°C/50%)

Normative Verweise:

- Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung EnEV) vom 24. Juli 2007 (im Bundesanzeiger verkündet am 26. Juli 2007, Inkrafttreten am 01. Oktober 2007)
- DIN EN ISO 10077-1:2006-12, Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern, Türen und Abschlüssen, Berechnung von Wärmedurchgangskoeffizienten – Teil 1: Vereinfachtes Verfahren
- DIN EN ISO 10077-2:2003-12, Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern, Türen und Abschlüssen, Berechnung von Wärmedurchgangskoeffizienten – Teil 2: Numerisches Verfahren
- EN 13947:2007-07, Wärmetechnisches Verhalten von Vorhangfassaden, Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten
- DIN EN 673:2003-06, Glas im Bauwesen – Bestimmung des Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert)
- EN ISO 10211-1:1995-11, Wärmebrücken im Hochbau - Wärmeströme und Oberflächentemperaturen - Teil 1: Allgemeine Berechnungsverfahren (ISO 10211-1:1995); Deutsche Fassung EN ISO 10211-1:1995
- EN ISO 10211-2:2001-06, Wärmebrücken im Hochbau - Berechnung der Wärmeströme und Oberflächentemperaturen - Teil 2: Linienförmige Wärmebrücken (ISO 10211-2:2001); Deutsche Fassung EN ISO 10211-2:2001
- DIN EN ISO 6946:2003-10, Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient, Berechnungsverfahren

Therm-Tec GmbH
Blomberg, 13.07.2009

Nikolaus Richter



Seite 1 von 3

Auftraggeber: Salamander GmbH
Datum: 13.07.2009
Simulations-Software: WinIso2D 5.06
Gegenstand: Desing 3D mit thermisch getrennter Armierung und Schaumprofil - optimiert
Datei: D:\Eingene Dokumente\Geschäft\ThermTec\Angebote Aufträge Kunden\Salamander\Produktionsunterlagen\WinIso U-Wert\Desing 3D\Salamander Design 3D mit TTP-Armierung und Schaumprofil-optimiert.f2d

Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten U_f von Rahmenprofilen nach DIN EN ISO 10077-2:2003-12 bzw. DIN EN ISO 13947:2007-07

Simulationsmodell:

Kalibrierpaneel / Verglasung: Dicke: 28 mm; Einstand in Rahmen: 15 mm
 Abmessungen des Simulationsmodells (Breite x Höhe): 310,00 x 113,50 mm
 Anzahl der Finiten Elemente: X-Richtung: 640; Y-Richtung: 405

Klimatische Randbedingungen nach DIN EN ISO 10077-2:2003-12:

Außen:

Temperatur Θ_e : 0,00 °C
 Übergangswiderstand R_{se} : 0,040 m²K/W

Innen:

Temperatur Θ_i : 20,00 °C
 Übergangswiderstand (Normalbereich) R_{si} : 0,130 m²K/W
 Übergangswiderstand (reduzierte Strahlung / Konvektion) R_{si} : 0,200 m²K/W

Ergebnisse nach DIN EN ISO 10077-2:2003-12:

Temperaturdifferenz dT : 20,00 K
 Gesamtwärmestrom Q : 6,593 W/m
 Zweidimensionaler thermischer Leitwert L^{2D} : 0,330 W/mK

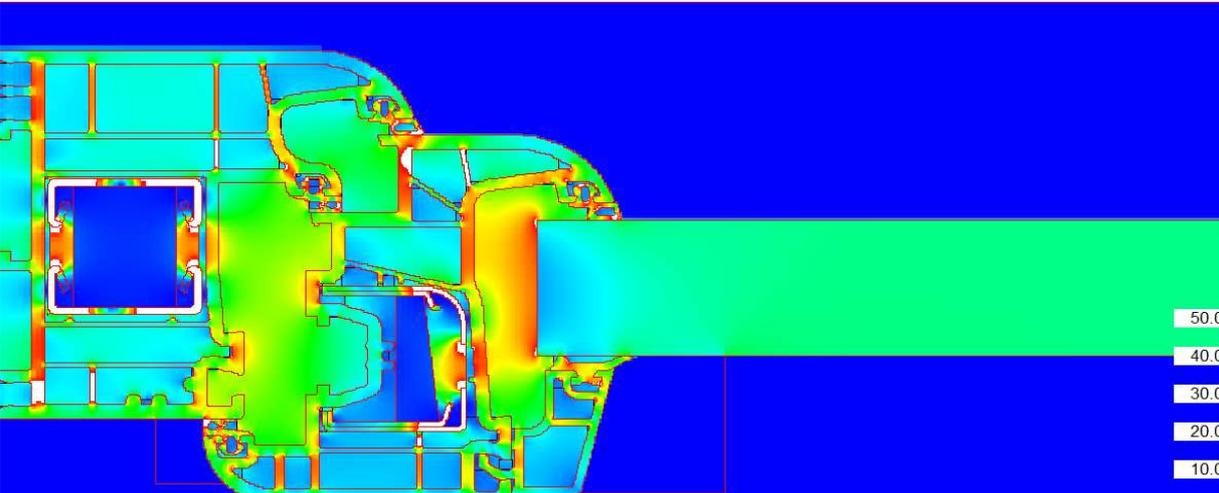
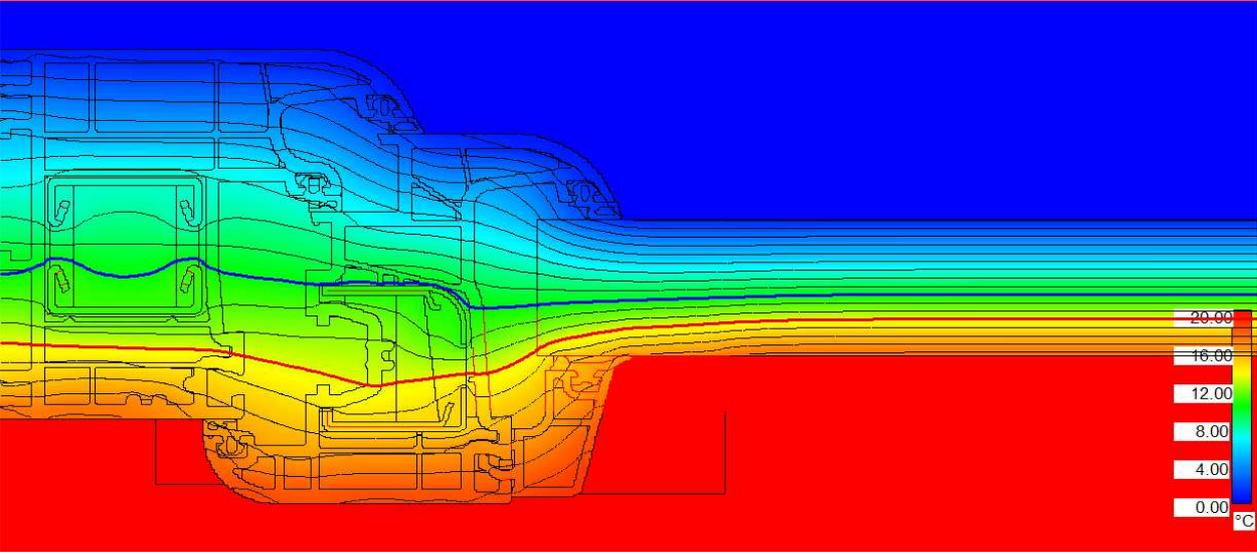
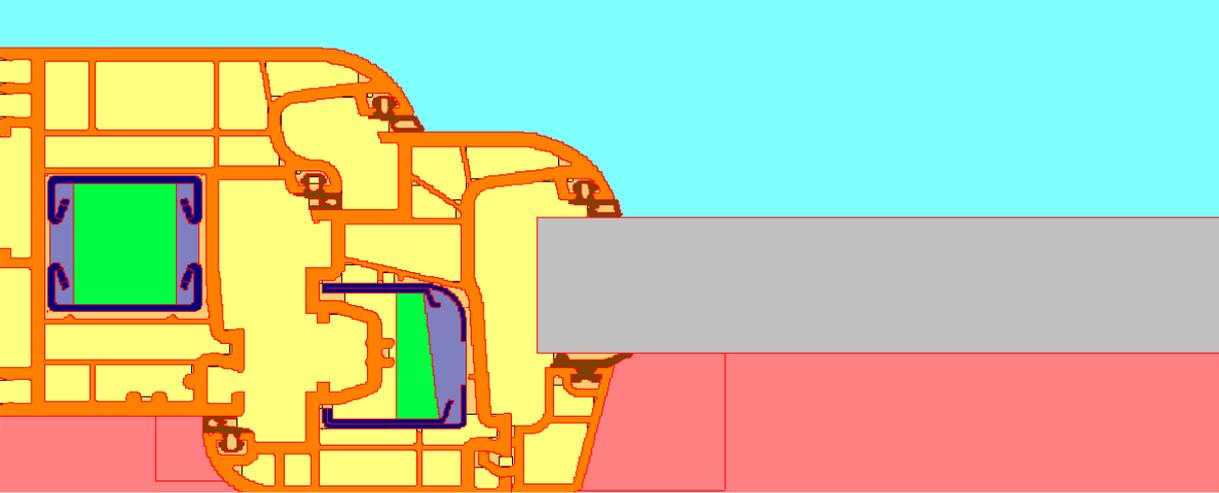
Länge des Kalibrierpaneels: 190,00 mm
 Wärmedurchgangskoeffizient des Kalibrierpaneels: 1,031 W/m²K

Projizierte Ansichtsbreite des Rahmenprofils: 120,00 mm

Wärmedurchgangskoeffizient des Rahmenprofils: $U_f = 1,115 \text{ W/m}^2\text{K}$ (1,115 W/m²K)



Seite 2 von 3





Seite 3 von 3

Material:

Material	R (m ² K/W)	T (°C)	Q(gesamt) (W/m)	10077 konform
****ADIABAT****	0,000	0,000	0,000	
1 Luft außen 0,04, 0°C, 80%	0,040	0,000	-6,593	X
1 Luft innen 0,13, 20°C, 50%	0,130	20,000	5,269	X
1 Luft innen 0,20, 20°C, 50%	0,200	20,000	1,323	X
1 Luft 10077-2 (Auto)				-
1 Luft 10077-2 (Auto, LBH)				-
Luft 10077-2 (<=2mm)				-
Material	L (W/mK)	Mue		10077 konform
3 Alu (Si-Leg.) 160	160,000	100000		X
1 Kalibrierpaneel	0,035	60		X
3 PVC Hart	0,170	50000		X
5 EPDM	0,250	6000		X
PUR 030	0,030	60		-
PUR 020	0,020	60		-
3 Baustahl 50	50,000	100000		-
4 Polyurethan(PUR)-Harz	0,121	6000		-

Die mit (X) markierten Materialien entsprechen den Vorgaben der DIN EN ISO 10077-2:2003:12.

Isothermen:

0°C bis 20°C in 1°C-Schritten

Rot: 13°C (schimmelpilzkritische Temperatur bei 20° C/50%)

Blau: 10°C (Taupunkttemperatur bei 20°C/50%)

Normative Verweise:

- Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung EnEV) vom 24. Juli 2007 (im Bundesanzeiger verkündet am 26. Juli 2007, Inkrafttreten am 01. Oktober 2007)
- DIN EN ISO 10077-1:2006-12, Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern, Türen und Abschlüssen, Berechnung von Wärmedurchgangskoeffizienten – Teil 1: Vereinfachtes Verfahren
- DIN EN ISO 10077-2:2003-12, Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern, Türen und Abschlüssen, Berechnung von Wärmedurchgangskoeffizienten – Teil 2: Numerisches Verfahren
- EN 13947:2007-07, Wärmetechnisches Verhalten von Vorhangfassaden, Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten
- DIN EN 673:2003-06, Glas im Bauwesen – Bestimmung des Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert)
- EN ISO 10211-1:1995-11, Wärmebrücken im Hochbau - Wärmeströme und Oberflächentemperaturen - Teil 1: Allgemeine Berechnungsverfahren (ISO 10211-1:1995); Deutsche Fassung EN ISO 10211-1:1995
- EN ISO 10211-2:2001-06, Wärmebrücken im Hochbau - Berechnung der Wärmeströme und Oberflächentemperaturen - Teil 2: Linienförmige Wärmebrücken (ISO 10211-2:2001); Deutsche Fassung EN ISO 10211-2:2001
- DIN EN ISO 6946:2003-10, Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient, Berechnungsverfahren

Therm-Tec GmbH

Blomberg, 13.07.2009

Nikolaus Richter