

Fensterkonstruktionen mit Vakuumglas:

Simulationsbasierte Weiterentwicklung von innovativen Fensterkonstruktionen

Magdalena Wölzl, BSc

Forschungsprojekt FIVA

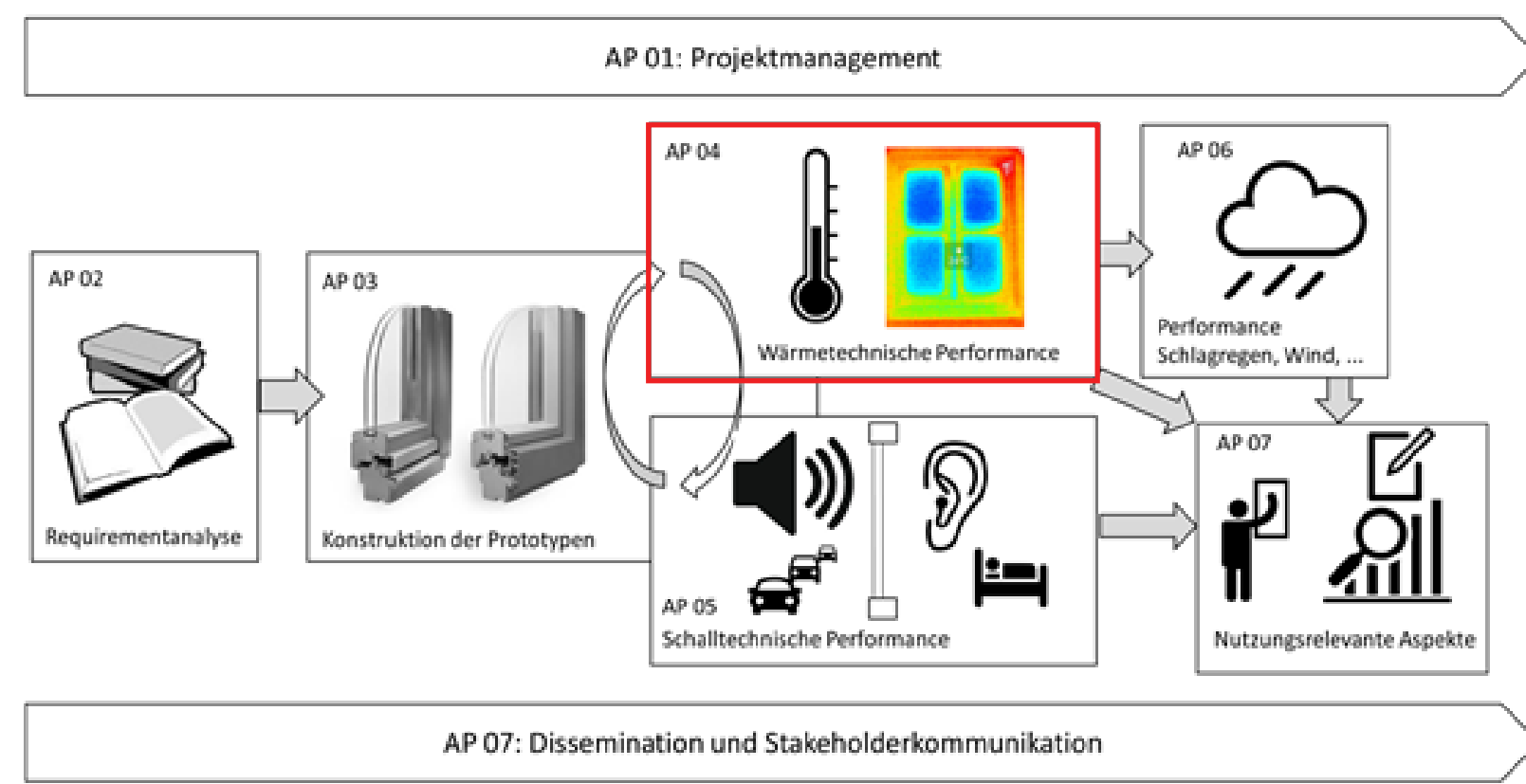
Bemühungen, den Wärmetransport in der Verglasung mittels Vakuum zu reduzieren, bestehen schon seit über einem Jahrhundert. Dennoch sind bis dato im europäischen Raum Fensterkonstruktionen mit Vakuumglas noch kein handelsüblicher Bauteil; vielmehr bedarf es noch weiterer F&E Aktivitäten, um den steigenden Anforderungen an die Energieeffizienz von Verglasungen (und an Gebäuden) gerecht zu werden.

Die vorliegende Arbeit referenziert zu den aktuellen F&E Ergebnissen des FFG Projekts **FIVA - Fensterprototypen mit integriertem Vakuumglas** (Laufzeit: 07.2018 bis 07.2020; Proj.Nr.: 867352), welches auf bereits zwei Sondierungsprojekte - MOTIVE und VIG-SYS-RENO - aufbaut.

Das Projekt FIVA hat zum Ziel, mittels eines multi-kriteriellen Ansatzes, zwei bis vier voll marktnahe, innovative und funktionsfähige Fensterprototypen mit Vakuumglas umzusetzen und somit die Entwicklung von Vakuumglasfenstern voranzutreiben.

Hier diskutiert werden Erkenntnisse aus dem **Arbeitspakt 4 „Wärmetechnische Performance“**, dessen Inhalte sind:

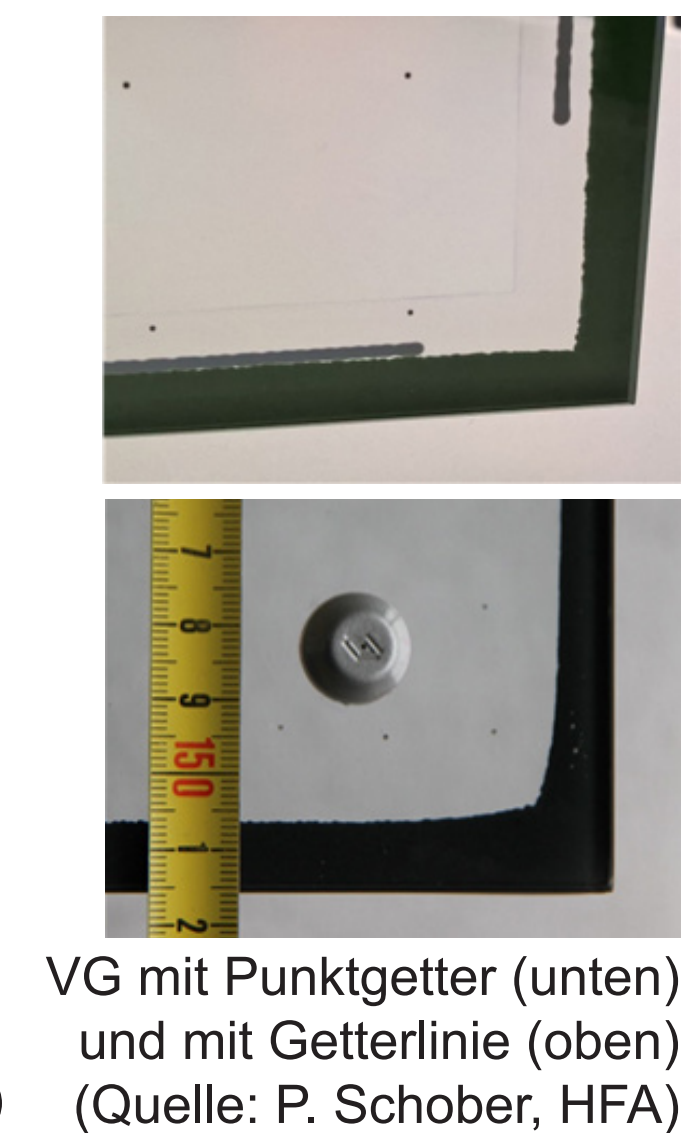
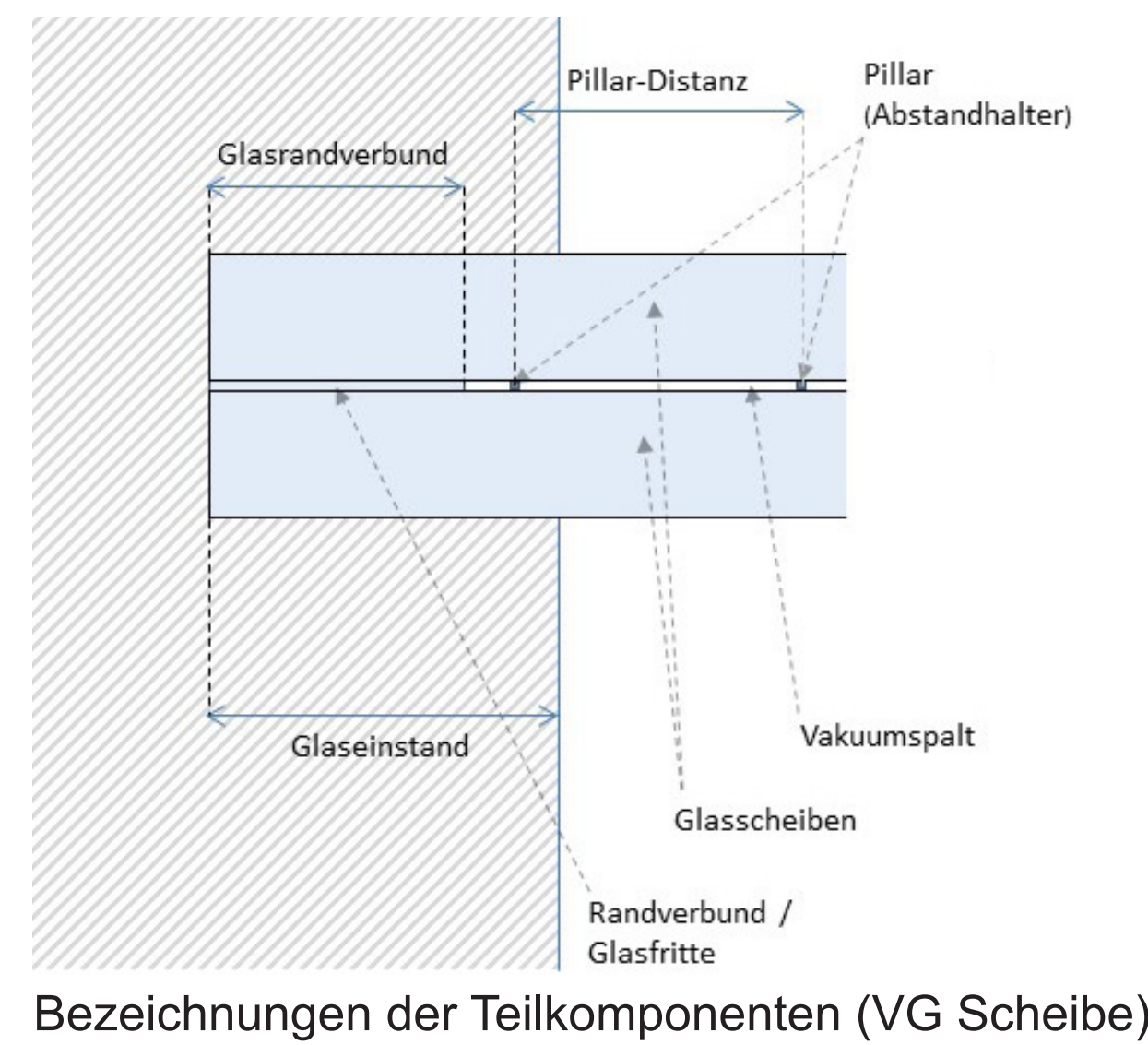
- Berücksichtigung der wesentlichen wärmetechnischen Aspekte von Vakuumgläsern als Konstruktionsvorgabe
- simulationsgestützte wärmetechnische Performance-Untersuchung der Vorstudien zu den Funktionsprototypen
- Abwägen wie Konstruktionsvarianten hier performen



Was ist Vakuumglas?

Vakuumglas (VG) besteht aus zwei Einscheibensicherheitsgläsern und/oder Floatgläsern, die einen parallel Abstand von 0,10 bis 0,25 mm aufweisen und die am Rand dicht miteinander verbunden sind. Die Luft im Scheibenzwischenraum wird nahezu komplett evakuiert, und

der (Schall- und) Wärmetransport zwischen Innen- und Außenscheibe ist dadurch erheblich reduziert. Dabei kann der Scheibenzwischenraum sehr schlank gehalten werden, weshalb diese Konstruktion eine vergleichbare Dicke wie bei Einscheibengläser ergibt.



Vorteile von Vakuumglas (VG)

- deutlich dünner als Isolierglas (ab 6,15 mm Gesamtstärke)
- leichter als Dreifach-Isolierglas
- niedriger Ug-Wert ($> 0,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$)
- Ug-Wert von VG bleibt bei allen Neigungswinkeln gleich
- guter Schallschutz ($> 35 \text{ dB}$), nur die Pillars übertragen Schall
- der Randverbund von VG ist witterungsfest und UV-stabil
- deutlich längere zu erwartende Lebensdauer als Isolierglas (> 50 Jahre)

Nachteile von Vakuumglas (VG)

- fehlen viele int. Zertifikate
- Produzenten nennen keine psi-Werte (Wärmebrücke des Randverbunds)
- Pillars und Getter können als optisch störend empfunden werden
- derzeit (noch) keine Produktionsstätte in Europa

Wärmebrückensimulation

Der gesamte Erstellungs-/Planungs- und Konstruktionsprozess der Vakuumglasfenster wurde mittels numerisch thermischen Simulationen begleitet. Hierbei kam die Wärmebrückensoftware AnTherm zum Einsatz, mit welcher die Konstruktionsüberlegungen hinsichtlich thermischer Performance evaluiert wurden und zusätzlich Performance-Schlüsselwerte (Indikatoren) gewonnen wurden.

Indikator - f_{Rsi} -Wert

der Temperaturfaktor für die raumseitige Oberfläche

- kritischen Werte für f_{Rsi} lt. ÖNORM B 8110-2: 2003, zur Vermeidung:
- $\geq 0,71$ von Schimmelbildung
 - $\geq 0,69$ von Kondensation

Limits der Simulation

Die Simulationen basieren auf der numerischen Lösung von Wärmeleitungsgleichungen (gem. EN ISO 10211). Der Einfluss von Konvektion und Wärmestrahlung kann nur rudimentär (d.h. via Einzahlwerte, z.B. R_s -Werte) berücksichtigt werden. Es ist davon auszugehen, dass die Realität bei weitem komplexer ist und Anströmungs- und Strahlungseffekte die Performance von Fenstern, im speziellen auch Fenstern mit VG, berühren.

U-Werte

Für die Berechnung gibt die EN ISO 10077-1 keine klare normative Bestimmung von Fenstern mit VG vor. Die Berechnungen repräsentieren daher einen ersten Versuch der Adaptierung der Norm. Die Werte sind nicht als endgültig zu betrachten, lassen aber für alle vier Konstruktionsformen zufriedenstellende U-Werte erwarten.

Erkenntnisse für den Fensterbau mit Vakuumglas

In Folge der Optimierungsmaßnahmen von vier Fensterkonstruktionen entstanden (von November 2018 bis September 2019) insgesamt 140 Wärmebrückensimulationen. Die vier Fensterkonstruktionen zeichnen sich durch unterschiedliche Öffnungsarten aus und waren dementsprechend mit unterschiedlichen Herausforderungen konfrontiert. Die relevanten Erkenntnisse für die Planung von Fenstern mit Vakuumglas werden hier diskutiert und mit ausgewählten thermischen Simulationen veranschaulicht.

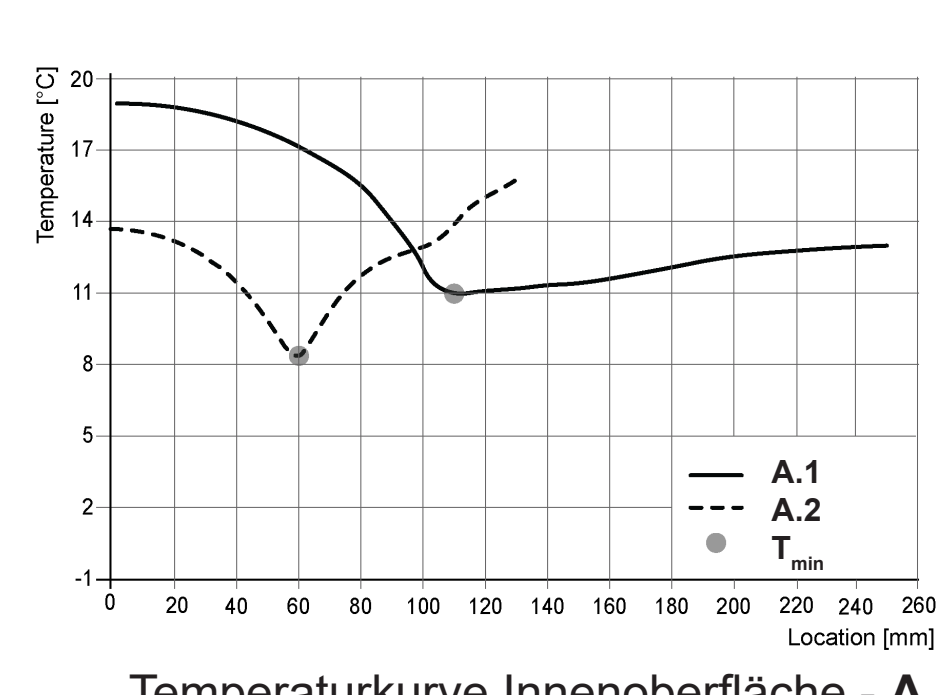
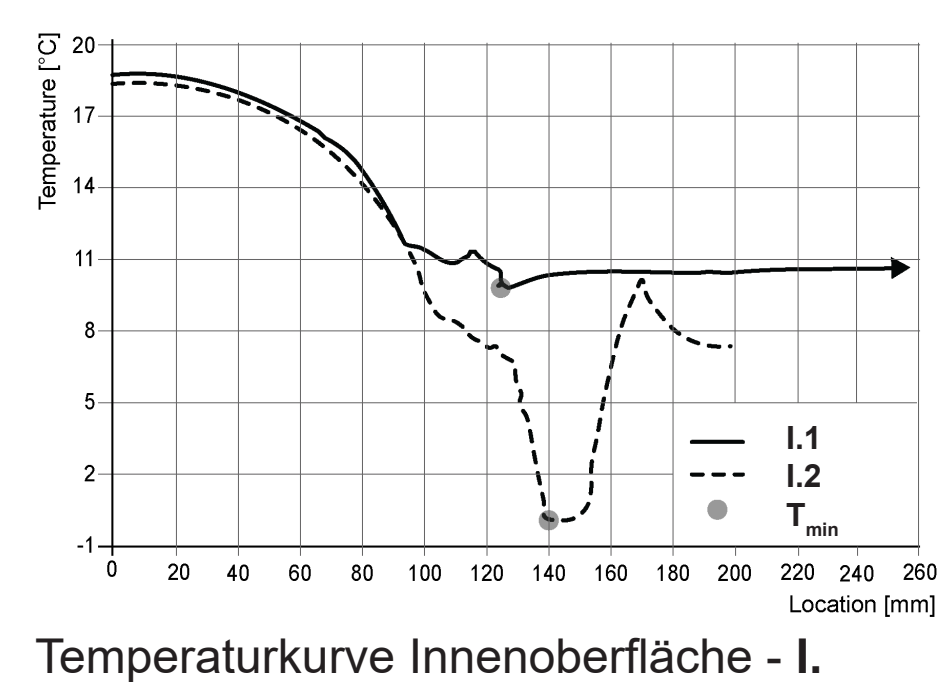
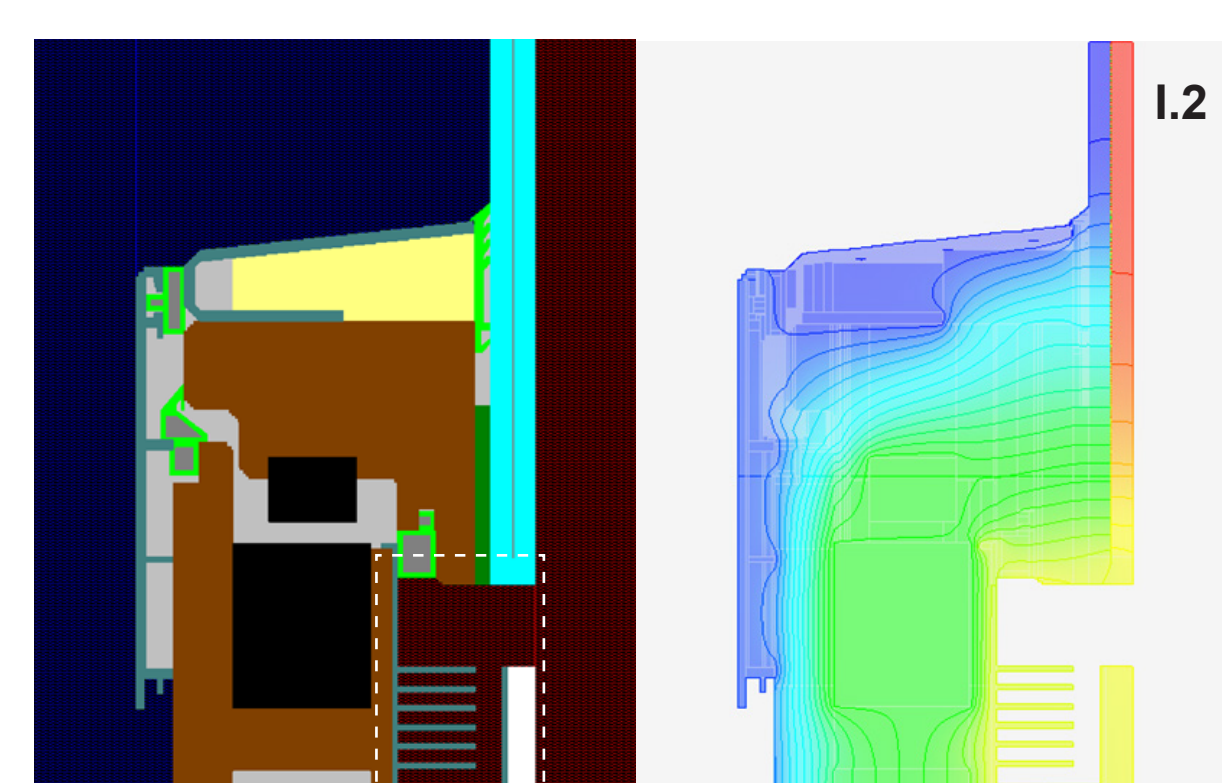
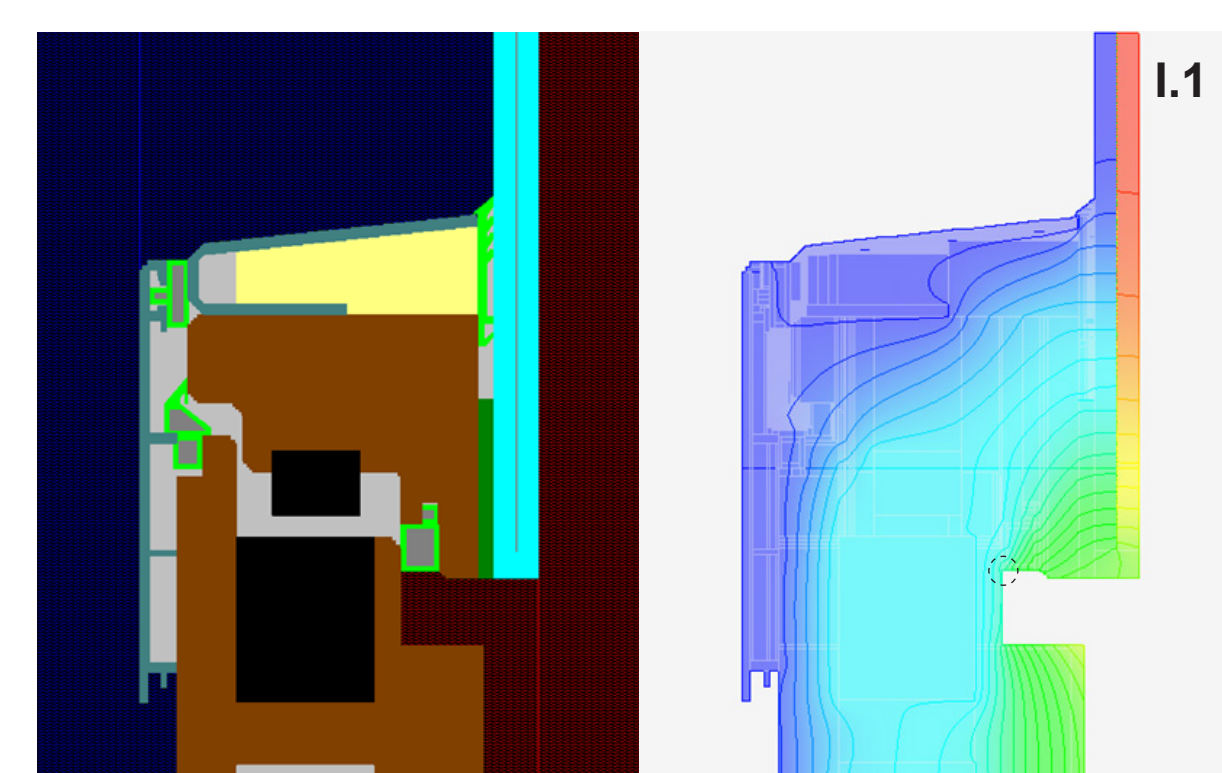
Positionierung d. VG-Scheibe

Ob das Vakuumglas raumseitig oder aussenseitig des Rahmens angebracht ist, ist relevant für die thermische Performance des Fensters und erhöht bzw. verringert die Anforderungen an den Rahmen. Bei dem innen-öffnenden Fenster war dies ein Grund für aufwendigen Optimierungsmaßnahmen, bzw. führte es bei dem aussen-öffnenden Fenster von Anfang an zu akzeptablen KPIs.

Innen-öffnendes Fenster mit der Fa. Wicknorm

Zuleitung von Wärme und Verlängerung Innenoberfläche

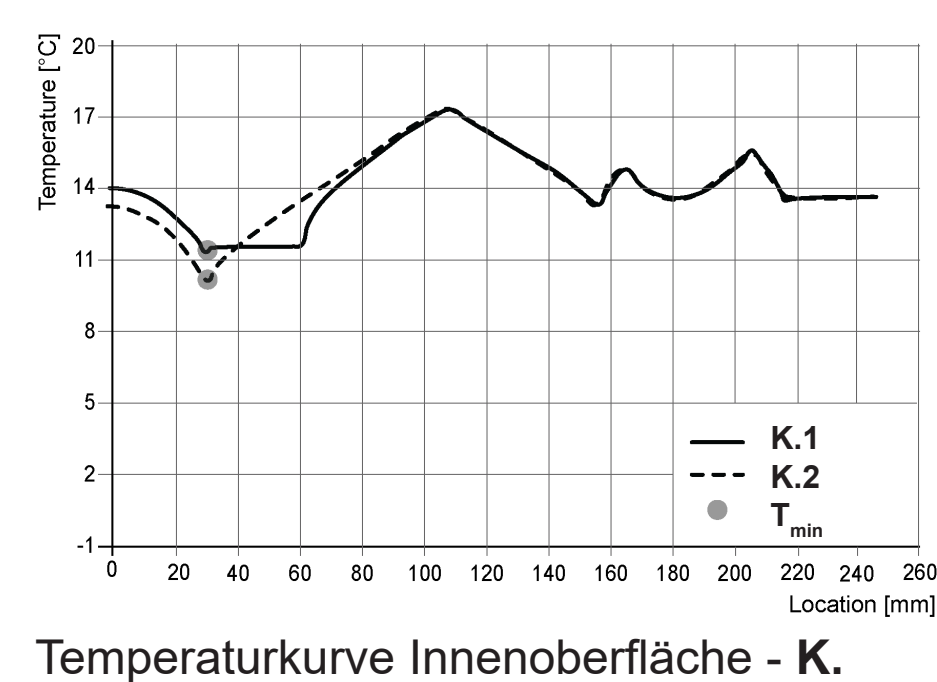
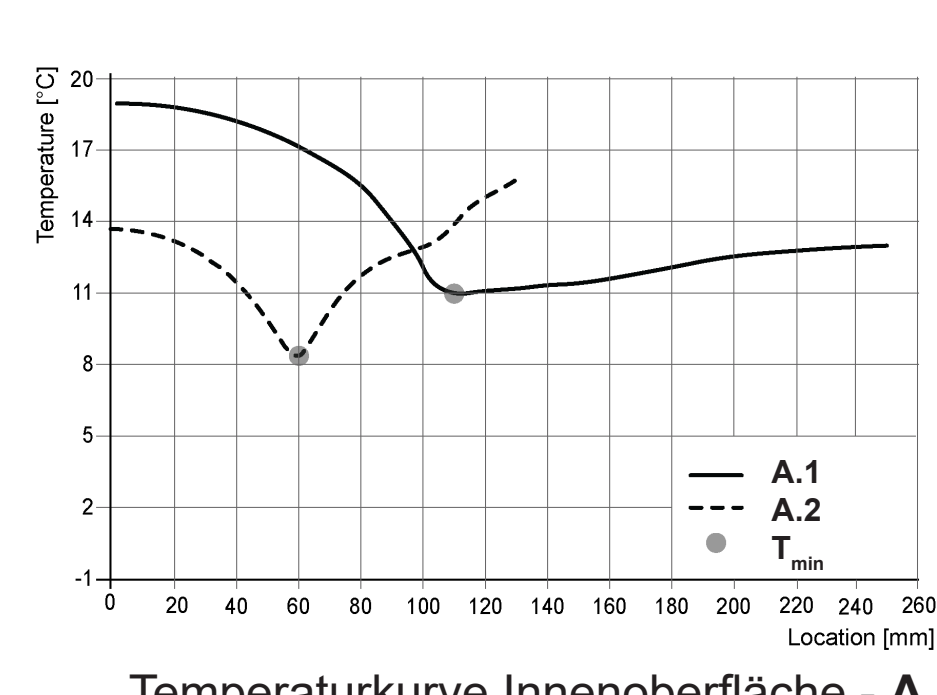
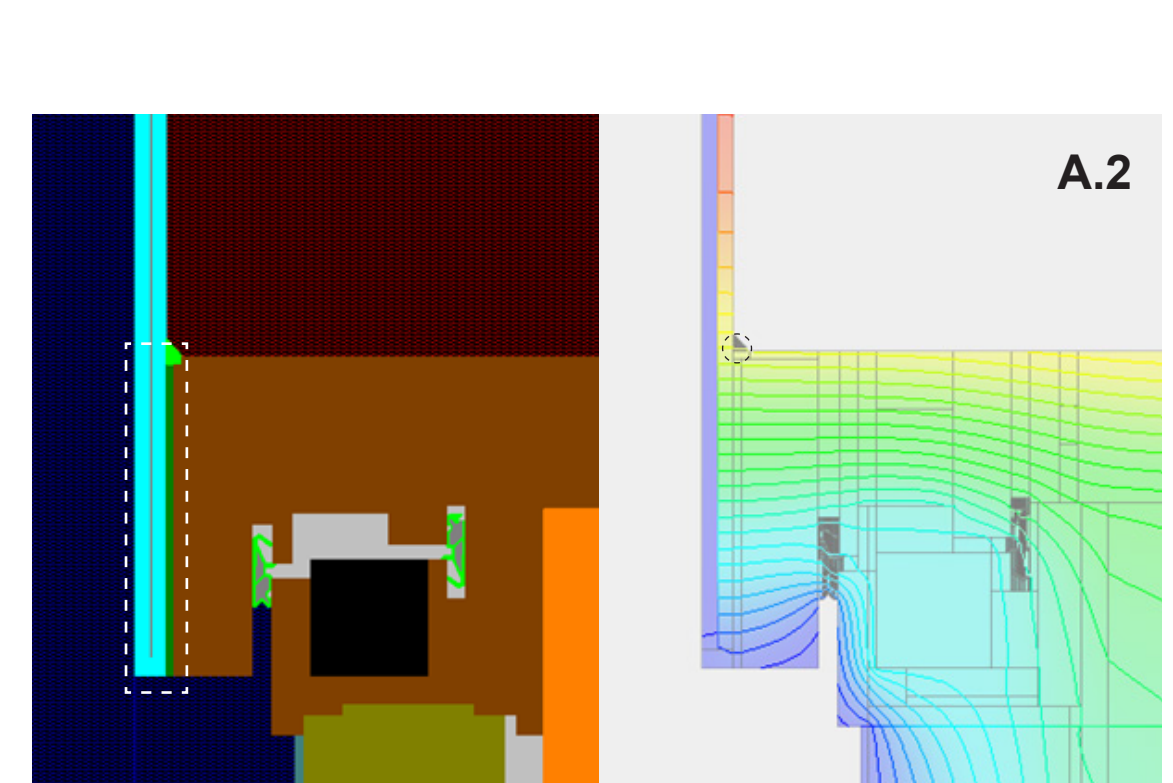
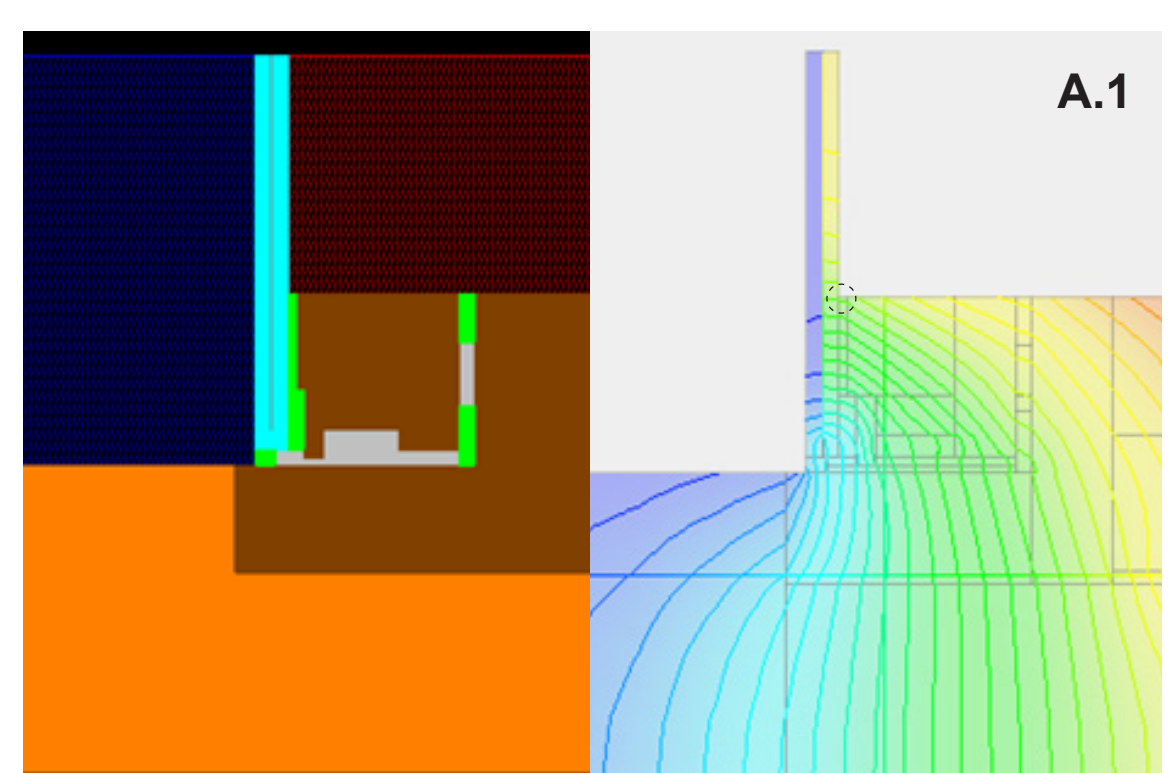
f_{Rsi} -Werte
I.1 0,34
I.2 0,67



Aussen-öffnendes Fenster mit der Fa. Svoboda

Verlängerung des Glaseinstandes

f_{Rsi} -Werte
A.1 0,61
A.2 0,7



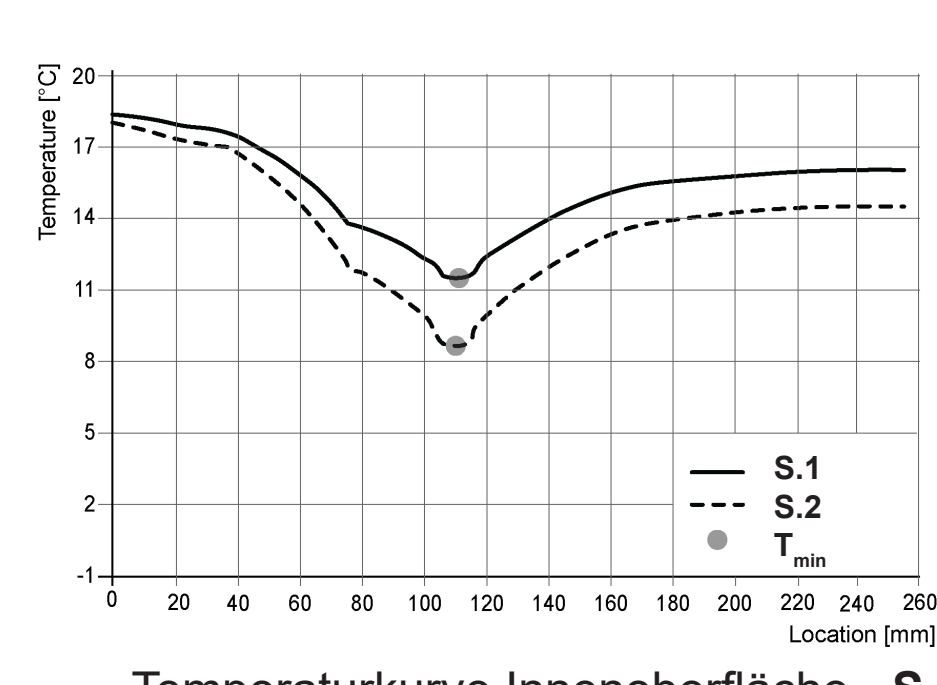
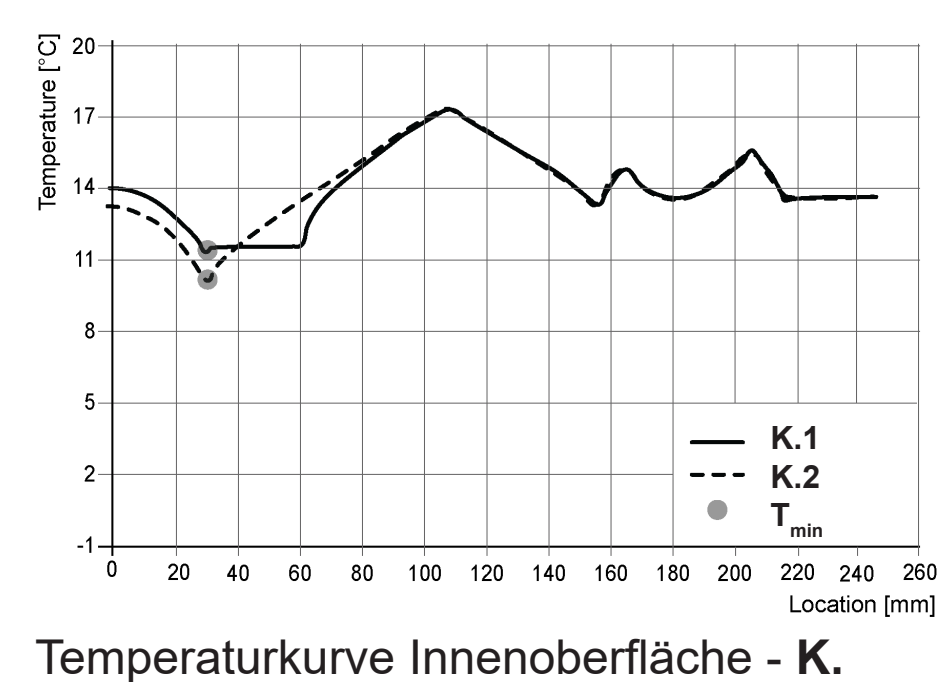
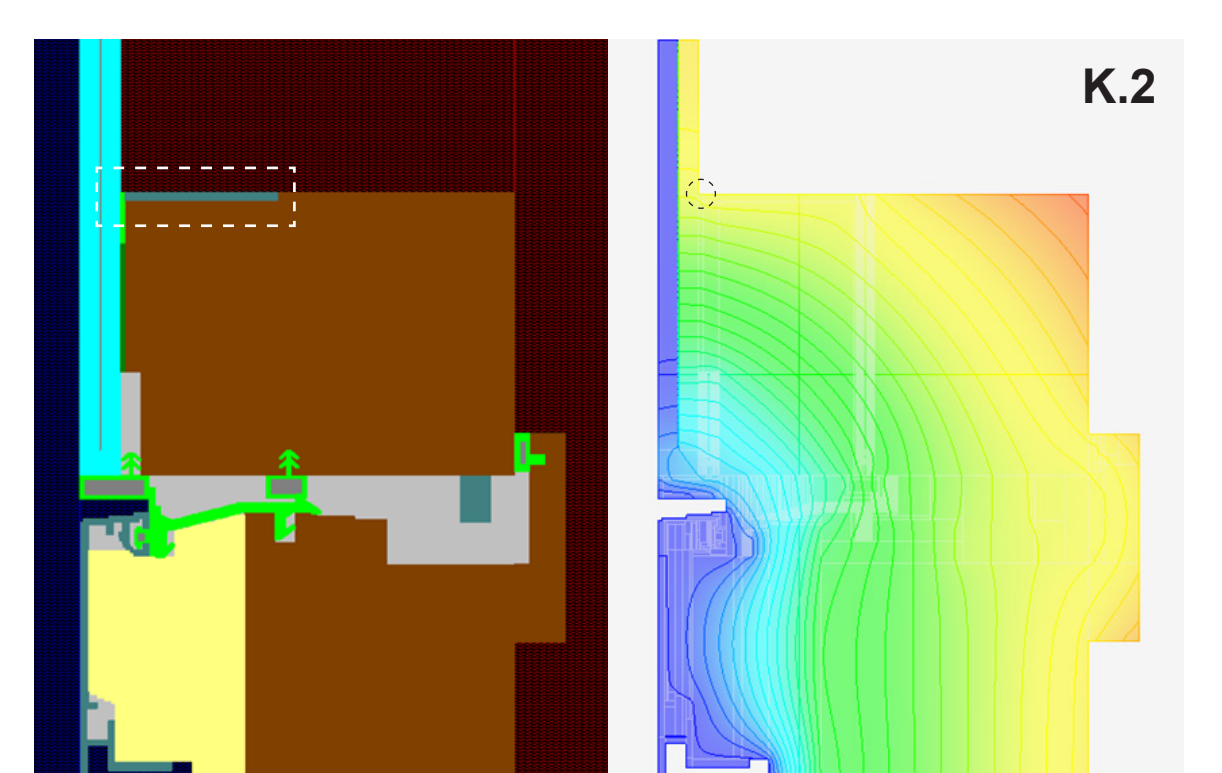
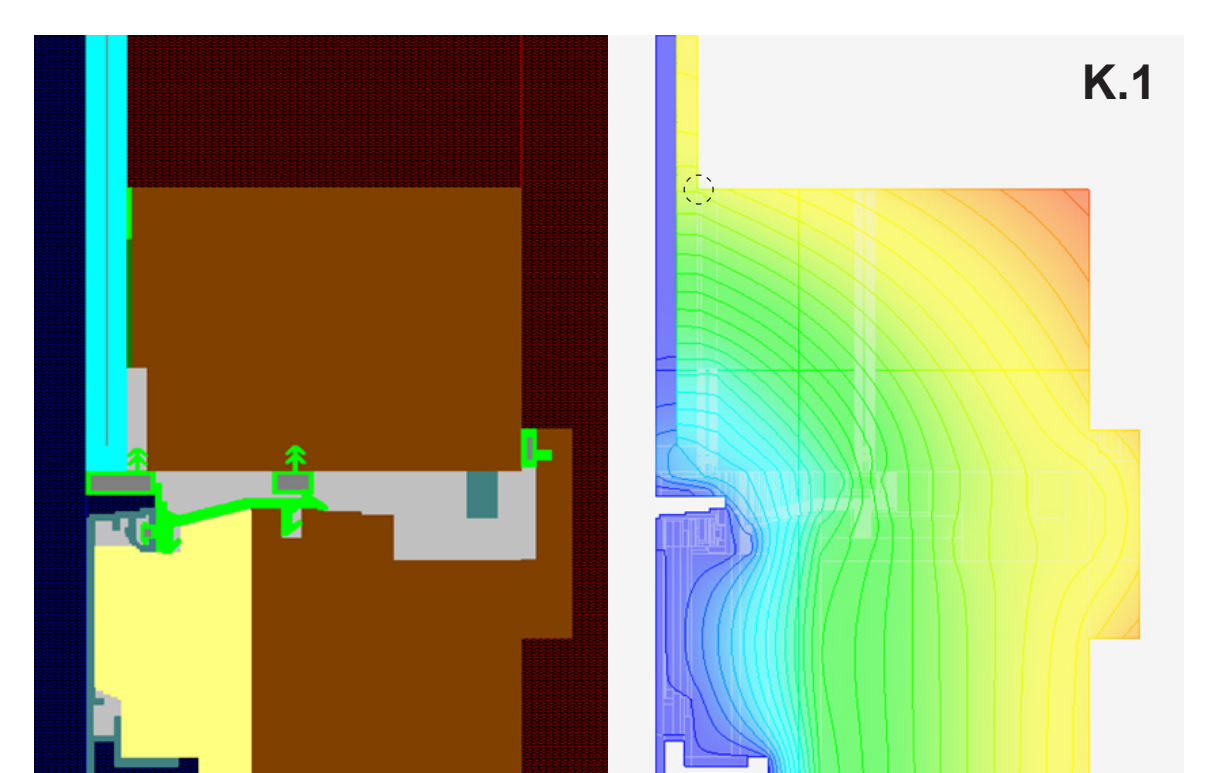
wärme-leitende Materialien

Temperaturverteilungen entlang der Innenoberfläche verlaufen oft mit großen Schwankungen. Mit einer gezielten Positionierung von hoch-wärmeleitenden Materialien, wie z.B. Aluminiumstreifen, können die kritisch untertemperierten Punkte „beheizt“ und der Temperaturverlauf so ausgeglichen werden, ohne dabei Dimensionsveränderungen der Rahmenquerschnitte durchführen zu müssen. Bei dem Schwing-Klappfenster wurde hierzu eine kleine parametrische Studie durchgeführt. Der Beschlag in der Schiebefensterkonstruktion zeigt die selbe Wirkung einer verstärkten Leitung der Wärme von Innen nach Aussen durch Stahlelemente. Auch der kälteste Punkt an der Innenoberfläche des nach innen-öffnenden Fensters konnte anhand von „Heizrippen“ verbessert werden. Hierbei wurde einerseits die Wärmeleitung der Aluminiumrippen ausgenutzt und andererseits erfolgte dadurch eine Vergrößerung der Innenoberfläche.

Schwing-Klappfenster mit der Fa. Internorm

Zuleitung von Wärme durch Aluminiumblech (3 cm)

f_{Rsi} -Werte
K.1 0,67
K.2 0,71



Schiebefenster Fa. Gaulhofer und Fa. Katzbeck

Verringerung der Aussenoberfläche durch Schließung des Luftraumes

f_{Rsi} -Werte
S.1 0,62
S.2 0,71

