



Der Einfluss der thermischen Eigenschaften von Fensterrahmen auf die Wärmeisoliereigenschaften des gesamten Fensters kann besonders bei kleinen Fenstern hoch sein. Selbst Kunststoffrahmen bieten hier noch erhebliches Optimierungspotenzial.

**Optimierung.** Die leichte Umgestaltung des Profils und der Stahlverstärkung eines gegebenen Fensterrahmens aus Polyvinylchlorid (PVC) kann das thermische und mechanische Verhalten gleichzeitig deutlich verbessern.

# Ein Kunststofffenster zeigt Profil

Die Bauwirtschaft fordert eine immer höhere Energieeffizienz von den eingesetzten Baustoffen und stellt damit auch die Fensterhersteller vor die Herausforderung, ihre Produkte ständig zu optimieren. Größte Anstrengungen wurden zur Verbesserung der thermischen Eigenschaften der Glassysteme unternommen, Ergebnisse sind beispielsweise emissionsvermindernde Metallbeschichtungen oder Doppelglassysteme mit Edelgasfüllungen. Der Einfluss der thermischen Eigenschaften von Fensterrahmen auf die Wärmeisoliereigenschaften des gesamten Fensters sollte dabei jedoch nicht unterschätzt werden. Insbesondere bei kleinen Fenstern kann der Flächenanteil des Fensterrahmens bis zu 50 % annehmen. Kunststoffe sind als Material für Fensterrahmen sehr gut geeignet, denn sie dämmen die Wärme hervorragend und sind kostengünstig zu Mehrkammerprofilen extrudierbar. Dennoch weisen auch sie bezüglich der thermischen Eigenschaften noch ein deutliches Verbesserungspotenzial auf.

Im Vergleich zu den klassischen Konstruktionswerkstoffen Holz und Alumini-

um zeigen Kunststoffe sehr viel geringere Steifigkeiten. Mit Hilfe von Verstärkungsblechen lässt sich die Steifigkeit zwar verbessern, die Bleche bringen jedoch einen unangenehmen Nebeneffekt mit sich: Sie leiten die Wärme. Meist sind die Blechverstärkungen sogar so konstruiert, dass sie über einen Großteil des Fensterprofilquerschnitts wie eine Wärmebrücke wirken. Diese Verstärkungsstruktur birgt daher das größte Optimierungspotenzial hinsichtlich der thermischen Eigenschaften von Rahmenkonstruktionen aus Kunststoff.

## Wie Wärmeenergie übertragen wird

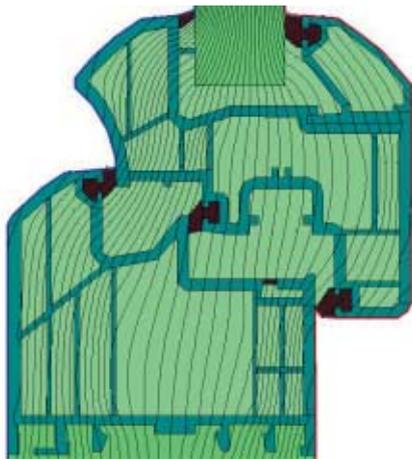
Die Mechanismen, die bei der Übertragung von Wärmeenergie bei Fensterrahmen eine Rolle spielen, lassen sich prinzipiell in Wärmeleitung, Konvektion und Strahlung einteilen.

Der Begriff Wärmeleitung bezeichnet den Energietransport infolge atomarer und molekularer Wechselwirkungen unter dem Einfluss einer ungleichförmigen Temperaturverteilung. Im Allgemeinen

sind Kunststoffe sowohl schlechte elektrische als auch schlechte Wärmeleiter, da sie praktisch keine freien Elektronen für die Leitungsmechanismen zur Verfügung haben, wie es bei Metallen und unter bestimmten Bedingungen bei Halbleitern der Fall ist. Die Wärmeleitfähigkeit von Kunststoffen liegt durchschnittlich zwischen 0,15 und 0,5 W/mK.

Konvektion ist die Wärmeübertragung durch Stofftransport. Im Gegensatz zur erzwungenen Konvektion entsteht die freie Konvektion und damit die Bewegung des Fluids durch Dichteunterschiede aufgrund von Temperaturunterschieden.

Während für die Wärmeübertragung durch Wärmeleitung und Konvektion stets Materie erforderlich ist, erfolgt der Wärmeenergietransfer bei der Strahlung über elektromagnetische Wellen. Der Emissionsgrad von Kunststoffen liegt im Allgemeinen bei ungefähr 0,9. Eine der Ursachen für diesen sehr hohen Wert ist die geringe Kristallinität von Kunststoffen. Zum anderen zeigen Kunststoffe das Phänomen der Tiefenstrahlung. Das bedeutet, dass nicht nur die Oberfläche an der Abstrahlung beteiligt ist, sondern zusätzlich auch



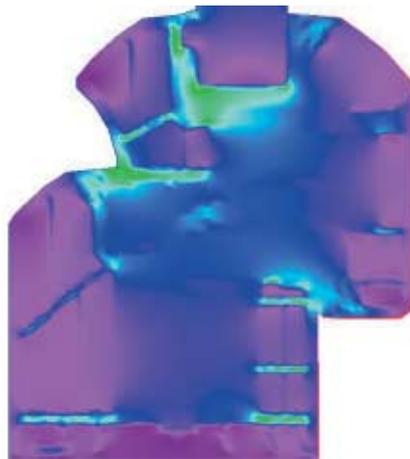
**Bild 1. Der ursprüngliche Internorm-Fenster-  
rahmen: Isothermen über dem Querschnitt des  
PVC-Profiles**

die Moleküle knapp unter der Oberfläche Strahlungsenergie emittieren. Der Füllstoff Kreide, der dem Konstruktionswerkstoff PVC beigemischt wird, um Kosten zu reduzieren, trägt unter anderem auch zur Reduzierung der Tiefenstrahlung bei.

### Verbesserungspotenziale

Um die thermischen und mechanischen Eigenschaften eines Fensterrahmens aus Kunststoff mit einer herkömmlichen Stahlverstärkung innerhalb des Kunststoffprofils zu optimieren, ist es sinnvoll, die Luftkammern des Kunststoffprofils geometrisch zu verändern. Ziel ist, eine optimale Wärmedämmung bei möglichst geringer Kammeranzahl zu erreichen. Bei der Wahl der Kammerbreite sind konvektive Kriterien und die Wärmeübertragung durch Strahlung zu berücksichtigen: Um eine Konvektion in den Kammern zu unterbinden, darf die Kammerbreite 8 mm nicht überschreiten. Der Strahlungsanteil, der maßgeblich zur Wärmeübertragung beiträgt, nimmt annähernd linear mit der Kammerbreite zu. Es gilt daher, eine minimale Kammerbreite anzustreben.

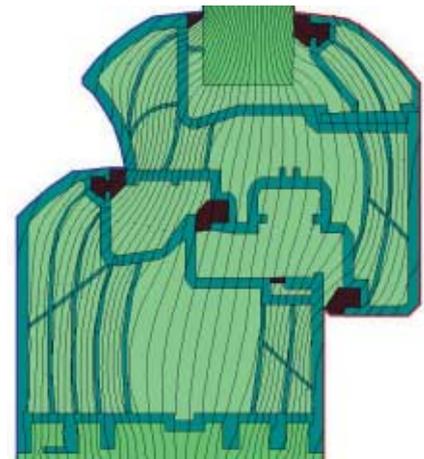
Neben der Anzahl der Kammern spielt auch die Kammerform eine Rolle. Sie soll für einen verringerten Strahlungsanteil sorgen. Die Trennwände der Kammern müssen außerdem eine geringere Wärmeleitung aufweisen. Sie kann reduziert werden, wenn die Kammerwände innerhalb des Kunststoffprofils auf isothermen Linien liegen. Auf diese Weise ist der Temperaturengleich quer zur Isolationsrichtung geringer, was sich positiv auf die Wärmedämmung auswirkt. Eine Änderung der Kammerform beeinflusst aber auch die Einstrahlzahl der Kammer. Die Einstrahlzahl beschreibt den Anteil der Strahlung,



**Bild 2. Wärmefluss über dem Querschnitt des  
ursprünglichen Fensterrahmen-Profils**

die von der einen Kammerseite ausgeht und die andere Kammerseite erreichen kann.

Ausgangspunkt für die Optimierungen war eine vorgegebene Fensterrahmen-Geometrie. Bild 1 zeigt die isothermen Linien und Bild 2 den Wärmefluss über den Querschnitt eines Fensterprofils der Internorm International, Traun/Österreich. Die Schwachstellen dieser Konstruktion sind deutlich zu sehen: Der größte Wärmefluss innerhalb des Fensterstocks findet in den Quersteinen und in der unteren Begrenzung des Flügelstocks statt. Schräge Querstege und eine serpentinenförmige untere Begrenzung könnten die Wärmeübertragung in diesen Bereichen verringern. So ließe sich der Wärmeleitungsweg verlängern. Im Steg an der Außenseite, der zur Abführung von Kondenswasser schräg ausgeführt ist, zeigt sich ein deutlich geringerer Wärmefluss. Weitere Verbesserungen sollten durch eine veränderte Geo-



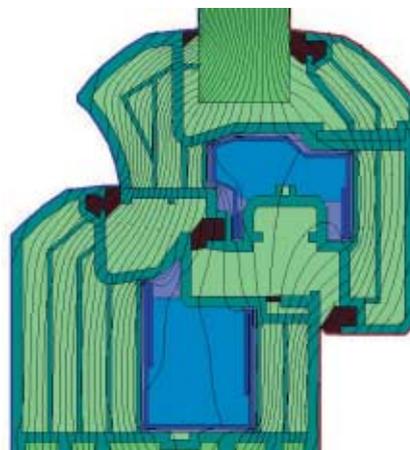
**Bild 3: Ergebnis der Optimierungen: Isothermen  
über dem Querschnitt des PVC-Profiles**

metrie der außenseitig liegenden Kammern zu erzielen sein.

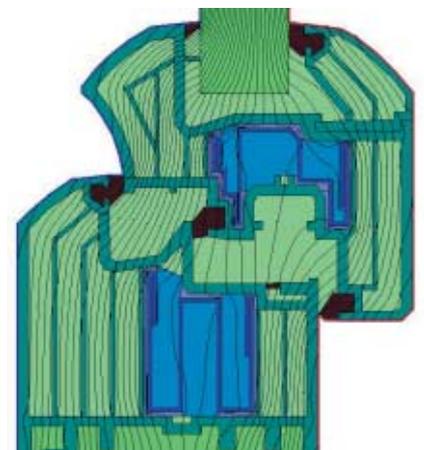
Im Bereich zwischen Fensterstock und -flügel ist ein sehr hoher Wärmefluss erkennbar. Er ist auf die erhöhte Wärmeeinbringung in den Ecken und die nicht optimal ausgeführten Zwischenkammern zwischen Stock und Flügel zurückzuführen. Beim Fensterflügel sind wiederum die Querstege und die große Kammer, in der die Stahlverstärkung untergebracht ist, für die Wärmeübertragung ausschlaggebend.

### Der optimierte Rahmen

Basierend auf der rechnerischen Schwachstellenanalyse des Kunststoffprofils lässt sich ein verbesserter Fensterrahmen entwerfen. Dabei gilt es, auch fenstertechnische Kriterien zu berücksichtigen und so einen akzeptablen Kompromiss zwischen optimaler Wärmedämmung und geforderter Stabilität zu finden. ▶

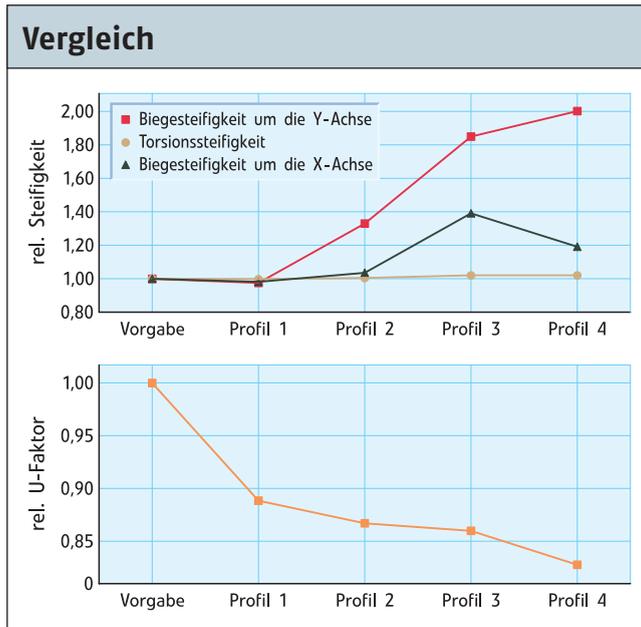


**Bild 4. Isothermen über den Querschnitt  
des Profils mit ursprünglichem Stahlprofil**



**Bild 5. Die optimierte Variante: Isothermen über  
den Querschnitt des Profils mit optimiertem  
Stahlprofil**

**Bild 6. Thermische Eigenschaften (U-Faktor) und mechanische Steifigkeit der einzelnen Optimierungsvarianten, angegeben in relativer Größe bezogen auf die Ausgangssituation**



Im ersten Schritt wurde das aus PVC bestehende Rahmenprofil ohne Berücksichtigung der Stahlverstärkung hinsichtlich der thermischen Eigenschaften optimiert. Kammergrößen und -geometrien wurden so verändert, dass sie die bestmögliche Isolationswirkung erreichen. Sämtliche Querstege sind nun schräg ausgeführt, der Flügel erhielt eine zusätzliche Kammer, die Kammern der Stahlverstärkung wurden etwas verkleinert und alle Kammern zu einem Minimum an Konvektion optimiert. Die Problematik zwischen Stock und Flügel bleibt so aber bestehen. Um jegliche Wärmeleitung in Richtung der Stege zu unterbinden, müssen noch alle senkrechten Stege von der äußeren Kontur getrennt und so ausgeführt werden, dass sie sich auf isothermen Linien im Kunststoffprofil befinden. Die resultierende Form der Stege führt außerdem zu einer geringeren Wärmeübertragung durch Strahlung, erklärbar durch die Veränderung der Einstrahlzahl der Kammern. Bild 3 illustriert die veränderten Verhältnisse, die insgesamt eine Verbesserung der thermischen Eigenschaften von ca. 12 % bedeuten.

**Optimierte Stahlverstärkung**

Der nächste Schritt galt der thermischen und mechanischen Auslegung der Stahlverstärkung. Die erzielbare thermische Verbesserung der Stahlverstärkung von 6 % beruht dabei nicht nur auf der Verlängerung des Wärmeübertragungsweges, sondern auch auf der Unterteilung der großen Kammern durch das Stahlprofil. Die dadurch günstigeren Strahlungsverhältnisse sorgen für verbesserte Isoliereigenschaften der Kammer. Bild 4 und 5

stellen die Isothermen über dem Profilquerschnitt vor und nach der Optimierung gegenüber.

Der thermische Vergleich verschiedener optimierter Profile in einem 7-Kammersystem zeigt, dass insgesamt eine Absenkung des U-Faktors, ein Maß für die thermischen Eigenschaften, bis zu 18 % möglich ist. Allerdings liegen den Berechnungen angenommene Emissionsgrade des Stahlblechs von 0,2 zu Grunde. In der Praxis kann dieser Wert jedoch meist nicht erzielt werden, die thermische Verbesserung fällt daher etwas geringer aus.

Mechanische Vergleiche zeigen zudem, dass mit den Veränderungen an der Stahlverstärkung auch eine signifikant erhöhte Biegesteifigkeit um die Y-Achse in der Größenordnung von 40 bis 80 % zu erreichen ist (Bild 6). Auch die Biegesteifigkeit um die X-Achse ist gesteigert. Der Anteil der Stahlverstärkung an der Torsionssteifigkeit – von eher untergeordneter Bedeutung – ist nach der Optimierung kaum verbessert.

**Das Erfolgsprofil**

Somit ergibt sich eine klare Linie zur Verbesserung des thermischen und mechanischen Verhaltens eines gegebenen Fensterprofils. Durch geringfügige Änderung des PVC-Profiles und eine Umgestaltung der Stahlverstärkung kann eine thermische Verbesserung von bis zu 18 % erzielt werden. In dem optimierten Fensterprofil sind die horizontalen Stege so ausgelegt, dass keine Konvektion innerhalb der Kammern auftritt. Auf waagerechte Stege wurde weitgehend verzichtet. Die Stege sind schräg angeordnet, um den Wärmefluss zu redu-

zieren. Auf das Verstärkungsprofil im Flügel kann bei durchschnittlichen Fenstergrößen durch eine Direktverklebung des Isolierglases mit dem Flügelprofil verzichtet werden. Das Verstärkungsprofil im Rahmen wurde von den Zwischenstegen abgerückt, um noch eine zusätzliche Kammer zu erhalten. ■

**LITERATUR**

- 1 Müller, U.; Ehrhard, P.: Freie Konvektion und Wärmeübertragung. C.F. Müller, Heidelberg 1999
- 2 Stoffel, A.: Finite Elemente und Wärmeleitung. VCH, Weinheim 1992
- 3 Häfner, F.; Sames, D.; Voigt, H. D.: Wärme und Stofftransport. Springer Berlin 1992
- 4 Grigull, U.; Sadner, H.: Wärmeleitung. Springer Berlin 1990
- 5 Siegel, R.; Howell, J. R.; Lohrengel, J.: Wärmeübertragung durch Strahlung, Teil 1 bis Teil 3. Springer, Berlin 1988, 1991, 1993
- 6 VDI Wärmeatlas. 7. erweiterte Auflage. Springer, Berlin 1994

**DIE AUTOREN**

- MARTIN FRITZ, geb. 1977, ist Mitarbeiter am Institut für Konstruieren in Kunst- und Verbundstoffen an der Montanuniversität Leoben/Österreich.
- PROF. DR. RUDOLF WÖRNDLE, geb. 1945, ist Vorstand am Institut für Konstruieren in Kunst- und Verbundstoffen an der Montanuniversität Leoben/Österreich; rudolf.woerndle@unileoben.ac.at
- VOLKER NEUMEYER, geb. 1948, ist Vorstand der IFN Holding Internorm in Traun/Österreich; volker.neumeyer@internorm.com
- CHRISTIAN KITZMÜLLER, geb. 1970, leitet das Produktmanagement bei der Kunststoff Internorm International in Traun/Österreich; christian.kitzmueller@internorm.com

**Seminare zum Thema**

**Grundlagen und Praxis der Extrusion – Extruder und Extrusionswerkzeuge als Basis für hochwertige Produkte**

Neben den notwendigen Grundlagen sollen die Praxis und die täglichen Probleme in der Extrusion einen breiten Raum einnehmen. Leitung: Dr. Ulrich Berghaus 17. und 18. November 2003 in Mannheim [www.kunststoffe.de/seminare](http://www.kunststoffe.de/seminare)