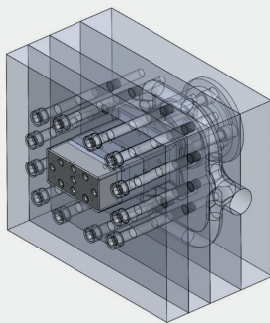
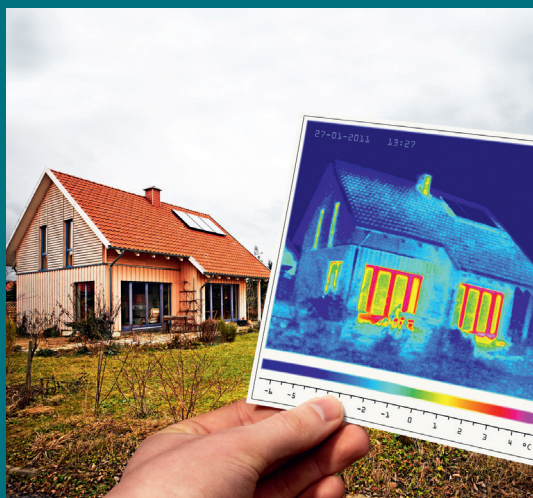


# Hochwärmeisolierende Fassadenelemente



Entwicklung einer innovativen Verfahrenstechnik für die energieeffiziente Sanierung und den Neubau von Gebäuden

Kilian Dietl, Carolin Feser, Kersten Kurda, Christian Eck, Johannes Rudloff, Eduard Kraus, Hermann Achenbach, Marieluise Lang, Thomas Hochrein, Martin Bastian

SKZ – Das Kunststoff-Zentrum (Herausgeber)

Entwicklung einer innovativen  
Verfahrenstechnik zur Herstellung  
hochwärmeisolierender Fassadenelemente  
für die energieeffiziente Sanierung  
und den Neubau von Gebäuden

1. Auflage



SKZ – Forschung und Entwicklung

**SKZ – Das Kunststoff-Zentrum (Hrsg.)**

**Entwicklung einer innovativen Verfahrenstechnik  
zur Herstellung hochwärmeisolierender Fassaden-  
elemente für die energieeffiziente Sanierung  
und den Neubau von Gebäuden**

Shaker Verlag  
Düren 2020

### **Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Die Autoren:

Kilian Dietl  
Carolin Feser  
Kersten Kurda  
Christian Eck  
Johannes Rudloff  
Dr. Eduard Kraus  
Dr. Hermann Achenbach  
Dr.-Ing. Marieluise Lang  
Dr. Thomas Hochrein  
Prof. Dr.-Ing. Martin Bastian

Copyright Shaker Verlag 2020

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-7393-5

ISSN 2364-754X

Shaker Verlag GmbH • Am Langen Graben 15a • 52353 Düren  
Telefon: 02421 / 99 0 11 - 0 • Telefax: 02421 / 99 0 11 - 9  
Internet: [www.shaker.de](http://www.shaker.de) • E-Mail: [info@shaker.de](mailto:info@shaker.de)

### **Danksagung**

Das IGF-Vorhaben 19 EWN der Forschungsvereinigung FSKZ e.V. wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Ebenso gilt unser Dank den Mitgliedern des Projektbegleitenden Ausschusses für die hilfreichen Anregungen und lebhaften Diskussionen bei den Ausschusstreffen.



## **Kurzfassung**

Das Ziel des Forschungsprojekts war die Entwicklung einer Verfahrenstechnik zur Herstellung von hochwärmeisolierenden Fassadenelementen für Gebäude und die Fertigung dieser in einem einzigen Produktionsschritt. Die separate Betrachtung des Schäumprozesses zeigte, dass mit der eingesetzten Anlage, bestehend aus einem gleichläufigen Doppelschneckenextruder, einer Zahnradpumpe, zwei Kühlmischern und einer Extrusionsdüse eine hohe Schaumgüte erzielt werden kann. Dabei entsprach die erreichte Wärmeleitfähigkeit des Schaums einem guten Wärmedämmbereich. Die Analyse der Profilextrusion ergab, dass die für das Schäumen erforderlichen 80 bar durch eine Werkzeugentlüftung und eine Dornverlängerung des Extrusionswerkzeugs erreicht werden können. Trotz dieser positiven Ergebnisse blieb die Schaumbildung beim Ausschäumen des Profils hinter den Erwartungen zurück, da beim bisherigen Werkzeugkonzept die Temperatur des Dorns nicht gezielt beeinflusst werden konnte. Dadurch konnten im Rahmen des Projekts keine voll ausgeschäumten Profile hergestellt werden.

Neben der Profilherstellung wurde auch das Schweißen als Nachfolgeschritt bei der Fensterherstellung zur Übertragung des Coextrusionsverfahrens in die industrielle Praxis betrachtet. Die Versuche zeigten jedoch, dass der Schaum durch die Wärmeeinwirkung des Heizelements kollabiert und sich aus der Fügezone zurückzieht. Hierdurch wird verhindert, dass das Polystyrol in die lastübertragende PVC-Struktur eindringt.

Mit einer anwendungsbezogenen Nachhaltigkeitsanalyse konnte abschließend dargestellt werden, dass trotz der zahlreichen getroffenen Annahmen der Einsatz von Polystyrolschaum aus ökobilanzieller Sicht lohnenswert ist, da die Energieeinsparung der Nutzungsphase die Mehraufwendungen in der Herstellung bei weitem übersteigt.



## **Abstract**

The aim of the research project was to develop a process technology for the production of highly heat-insulating facade elements for buildings and to manufacture these in a single production step. The separate consideration of the foaming process showed that a high foaming quality can be achieved with the applied equipment consisting of a co-rotating twin screw extruder, a gear pump, two cooling mixers and an extrusion die. The thermal conductivity of the foam achieved corresponded to a good thermal insulation range. The analysis of the profile extrusion showed that the 80 bar required for foaming can be achieved by means of a ventilation and a mandrel extension of the extrusion tool. Despite these positive results, the foam formation during profile foaming remained below expectations because the temperature of the mandrel could not be specifically influenced with the previous tooling concept. As a result, it was not possible to produce fully foamed profiles within the scope of the project.

In addition to profile production, welding was also considered to be a follow-up step in window production for transferring the coextrusion process to industrial practice. However, the tests showed that the foam collapses and withdraws from the joining zone due to the heat effect of the heating element. This prevents the polystyrene from penetrating into the load-transferring PVC structure.

With an application-related sustainability analysis, it was finally possible to show that, despite the numerous assumptions made, the use of polystyrene foam is worthwhile from an eco-balance point of view, since the energy savings of the use phase exceed the additional expenditure in production by far.



**Inhaltsverzeichnis**

|                                                                                                 |            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>Abkürzungsverzeichnis.....</b>                                                               | <b>III</b> |
| <b>Projektsteckbrief .....</b>                                                                  | <b>IV</b>  |
| <b>1 Einleitung.....</b>                                                                        | <b>1</b>   |
| 1.1 Anlass für das Forschungsprojekt .....                                                      | 1          |
| 1.2 Problemstellung.....                                                                        | 2          |
| 1.3 Zielsetzung .....                                                                           | 2          |
| <b>2 Stand der Technik.....</b>                                                                 | <b>3</b>   |
| 2.1 Herstellung schaumgefüllter Profile.....                                                    | 3          |
| 2.2 Extrusionsschäumen.....                                                                     | 4          |
| 2.3 Eigene Vorarbeiten.....                                                                     | 6          |
| <b>3 Lösungsweg zur Erreichung des Forschungsziels.....</b>                                     | <b>7</b>   |
| <b>4 Durchgeführte Arbeiten .....</b>                                                           | <b>8</b>   |
| 4.1 Verfahrenstechnische Planung der Versuchsanlage.....                                        | 8          |
| 4.2 Rezepturentwicklung für den isolierenden Schaum.....                                        | 14         |
| 4.2.1 Materialauswahl und Untersuchung der Verbindung zwischenPVC und<br>Polystyrol-Schaum..... | 14         |
| 4.2.2 Bestimmung der Materialdaten.....                                                         | 15         |
| 4.2.3 Schäumversuche .....                                                                      | 16         |
| 4.2.4 Zugabe von Additiven.....                                                                 | 20         |
| 4.2.5 Bestimmung der Schaumeigenschaften .....                                                  | 20         |
| 4.3 Auslegung und Inbetriebnahme des Extrusionswerkzeugs .....                                  | 22         |
| 4.3.1 Konstruktive Auslegung .....                                                              | 22         |
| 4.3.2 Simulation der Werkzeuggeometrien .....                                                   | 27         |
| 4.4 Profilverstellung.....                                                                      | 28         |
| 4.5 Verbindungstechnik .....                                                                    | 28         |
| 4.6 Anwendungsbezogene Nachhaltigkeitsanalyse.....                                              | 30         |
| 4.6.1 Untersuchung der Energieeffizienz.....                                                    | 30         |
| 4.6.2 Ökologische Lebenszyklusanalyse möglicher Anwendungen im<br>Bausektor .....               | 31         |
| <b>5 Diskussion der Ergebnisse.....</b>                                                         | <b>33</b>  |
| 5.1 Versuchsanlage zur Herstellung von schaumgefüllten Profilen .....                           | 33         |
| 5.2 Rezepturentwicklung für den isolierenden Schaum.....                                        | 33         |
| 5.2.1 Materialdaten .....                                                                       | 33         |
| 5.2.2 Bestimmung der Schaumeigenschaften .....                                                  | 35         |
| 5.3 Extrusionswerkzeug .....                                                                    | 43         |
| 5.4 Werkzeugsimulation.....                                                                     | 44         |

|          |                                                                             |           |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 5.5      | Profilherstellung .....                                                     | 47        |
| 5.6      | Verbindungstechnik .....                                                    | 51        |
| 5.7      | Anwendungsbezogene Nachhaltigkeitsanalyse.....                              | 52        |
| 5.7.1    | Untersuchung der Energieeffizienz.....                                      | 52        |
| 5.7.2    | Ökologische Lebenszyklusanalyse möglicher Anwendungen im<br>Bausektor ..... | 53        |
| <b>6</b> | <b>Zusammenfassung.....</b>                                                 | <b>55</b> |
| 6.1      | Physikalisches Schäumen von Polystyrol und Profilextrusion .....            | 55        |
| 6.2      | Verbindungstechnik .....                                                    | 56        |
| 6.3      | Anwendungsbezogene Nachhaltigkeitsanalyse.....                              | 56        |
| <b>7</b> | <b>Literaturverzeichnis.....</b>                                            | <b>57</b> |
| <b>8</b> | <b>Abbildungsverzeichnis.....</b>                                           | <b>60</b> |
| <b>9</b> | <b>Anhang .....</b>                                                         | <b>63</b> |
| 9.1      | Energieverbrauch aufgrund von Wärmeübertragungsvorgängen .....              | 63        |
| 9.2      | Berechnung der Transmissionswärmeverluste.....                              | 63        |
| 9.3      | Berechnung der solaren Wärmegewinne.....                                    | 65        |
| 9.4      | Eingesetzte Energieträger.....                                              | 67        |