

F 2797

Benno Bliemetsrieder, Norbert Sack

## Nachhaltige Optimierung von Holzfensterprofilen zur Erreichung der Anforderungen der EnEV 2012





## F 2797

Bei dieser Veröffentlichung handelt es sich um die Kopie des Abschlußberichtes einer vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung -BMVBS- im Rahmen der Forschungsinitiative »Zukunft Bau« geförderten Forschungsarbeit. Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die Originalmanuskripte wurden reprotechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprotechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

2011

ISBN 978-3-8167-8619-1

Vervielfältigung, auch auszugsweise, nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

## Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69 70504 Stuttgart

Nobelstraße 12 70569 Stuttgart

Telefon 07 11 9 70 - 25 00 Telefax 07 11 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

www.irb.fraunhofer.de/bauforschung

## Bitte beachten:

Fehlende Seiten sind **Leerseiten**, die bei Erstellung der PDF-Datei für den Download nicht berücksichtigt wurden

Fraunhofer IRB Verlag





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

Abschlussbericht

BUW \ U'r][ Y'Cdr]a ]Yfi b[ 'j cb <c`nZYbghYfdfcZ]`Yb'ni f'9ffY]W i b[ XYf'5 bZcfXYfi b[ Yb'XYf'9b9J'&\$%&

Juni 2011





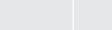












© ift Rosenheim



# **Abschlussbericht Holzfenster 2012**

**Thema** Nachhaltige Optimierung von Holzfensterprofilen zur

Erreichung der Anforderungen der EnEV 2012

**Kurztitel** Holzfenster 2012

Projektförderung Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben

wurde mit Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesamtes für Bauwesen und Raumord-

nung gefördert.

(Aktenzeichen: Z6-10.08.18.7-08.30/II2-F20-08-49).

Die Verantwortung für den Inhalt des Berichts liegt

bei den Autoren.

Forschungsstelle ift gemeinnützige Forschungs- und

Entwicklungsgesellschaft mbH Theodor-Gietl-Straße 7-9

83026 Rosenheim

**Projektleitung** Dipl.-Ing. (FH) Benno Bliemetsrieder

Projektbearbeitung Dipl.-Ing. (FH) Benno Bliemetsrieder

Dipl.-Phys. Norbert Sack

Rosenheim, Juni 2011

## Inhaltsverzeichnis



## Inhaltsverzeichnis

|      |  | Seite |
|------|--|-------|
| Kurz | zfassung   | 1     |
| Abs  | tract  | 5     |
| 1    | Motivation und Projektziel                             | 8     |
| 2    | Bisherige Möglichkeiten und Lösungen                   | 13    |
| 2.1  | Einfachfenster   | 13    |
| 2.2  | Verbund- und Kastenfenster                             | 14    |
| 2.3  | Einsatz von Dämmstoffen                                | 17    |
| 3    | Analyse zu Vorgaben "Holzfenster 2012"                 | 23    |
| 3.1  | Erstellung Pflichtenheft                               | 23    |
| 3.2  | Analyse der Vorgaben                                   | 29    |
| 4    | Wärmeschutztechnische Eigenschaften von Rahmenprofilen | 31    |
| 4.1  | Ermittlung der erforderlichen U <sub>f</sub> -Werte    | 31    |
| 4.2  | Berechnung der erreichbaren U <sub>f</sub> -Werte      | 32    |
| 4.3  | Wärmeleitfähigkeit von Holz                            | 39    |
| 4.4  | Zusammenfassung der Berechnungen                       | 40    |
| 5    | Orientierende Eignungsprüfung aktueller Konstruktionen | 41    |
| 5.1  | Vorgehensweise und Klassifizierung                     | 41    |
| 5.2  | Orientierende Eignungsprüfung                          | 42    |
| 5.3  | Zusammenfassung der orientierenden Eignungsprüfungen   | 52    |
| 6    | Konzepte zur Verbesserung des Wärmeschutzes            | 53    |
| 6.1  | Dämmstoffeinlagen im Blendrahmen                       | 53    |

## Inhaltsverzeichnis



| 6.2  | Einsatz von modifizierten und leichten Hölzern                | 58  |
|------|---|-----|
| 6.3  | Auswirkungen Gebrauchstauglichkeit und Leistungseigenschaften | 72  |
| 6.4  | Zusammenfassung der Konzepte zur Verbesserung                 | 83  |
| 7    | Orientierende Untersuchungen thermisch modifizierte Pappel    | 85  |
| 7.1  | Wärmeleitfähigkeit  | 85  |
| 7.2  | Lamellierungsprüfung  | 86  |
| 7.3  | Schraubenauszug   | 88  |
| 7.4  | Mechanische Eigenschaften                                     | 91  |
| 7.5  | Quell- und Schwindverhalten                                   | 99  |
| 7.6  | Bearbeitbarkeit   | 103 |
| 7.7  | Zusammenfassung thermisch modifizierte Pappel                 | 105 |
| 8    | Weiterentwicklung Fenstertypen                                | 107 |
| 8.1  | Konzept Integralfenster                                       | 107 |
| 8.2  | Konzept Schalenfenster  | 119 |
| 9    | Zusammenfassung und Ausblick                                  | 121 |
| 10   | Danksagung  | 127 |
| 11   | Literaturverzeichnis  | 129 |
| Glos | ssar  | 135 |

#### Kurzfassung



## Kurzfassung

Aktuelle und zukünftige Vorgaben der Energieeinsparverordnung (EnEV), steigende Energiekosten sowie zusätzliche Anreize durch staatliche Fördermaßnahmen erfordern immer energieeffizientere Bauweisen. Da hierfür sowohl bei Neubauten als auch im Bereich der energetischen Gebäudesanierung die Anforderungen an einzelne Bauprodukte steigen, müssen auch Fenster- und Außentürelemente mit dieser Entwicklung Schritt halten und die Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Werte) dieser Konstruktionen verbessert werden. Die zukünftigen Verschärfungen erfordern dabei neben Verbesserungen im Bereich der Verglasung auch eine deutliche Verbesserung der Wärmedurchgangskoeffizienten der Fensterrahmen (U<sub>f</sub>-Wert).

Ziel des Forschungsvorhabens war es daher, Konzepte für eine Optimierung des Wärmeschutzes von Holzfensterprofilen und Umsetzungsvorschläge zur Erreichung der steigenden Anforderungen – unter Berücksichtigung aller fenstertechnischen und gestalterischen Belange – zu erarbeiten.

Bisherige Möglichkeiten und Lösungen für hochwärmedämmende Fensterelemente scheiterten oftmals an der konstruktiven und fertigungstechnischen Umsetzung sowie an mangelnder Gebrauchstauglichkeit. Im Rahmen des Projektes wurde daher ein umfangreiches Pflichtenheft erstellt. Darin wurden neben den Anforderungen an die technischen Eigenschaften u. a. auch Konstruktionsdetails und gestalterische Aspekte hinterfragt, um daraus Vorgaben für das "Holzfenster 2012" abzuleiten.

Im weiteren Vorgehen wurden durch breit angelegte Berechnungen, unter Variation der maßgeblichen Parameter, Grenzen von reinen Holzkonstruktionen sowie Möglichkeiten durch die Integration von Dämmstoffen aufgezeigt. An aktuell in der Entwicklung befindlichen Holzfenstersystemen wurden zudem Untersuchungen zu den Leistungseigenschaften im Neuzustand sowie nach künstlicher Alterung durchgeführt.

Für weitergehende wärmetechnische Verbesserungen wurden zudem einige Konzepte und Herangehensweisen tiefergehend untersucht. Neben Umsetzungsvorschlägen zur Integration von Dämmstoffen wurden dabei auch Verbesserungen u. a. durch modifizierte Holzarten betrachtet. Dazu wurden die damit verbundenen Auswirkungen auf Gebrauchstauglichkeit und Leistungseigenschaften von Fensterkonstruktionen sowie die für einen Einsatz in der Holzfensterfertigung maßgeblichen Eigenschaften hinterfragt.

#### Kurzfassung



Neben Verbesserungsmöglichkeiten bekannter und bewährter Konstruktionsvarianten von Fenstern wurden im Projekt auch innovative Konstruktionsvarianten betrachtet. An einem im Rahmen des Forschungsprojektes gefertigten Prototypen wurden dabei auch weitergehende Untersuchungen und Berechnungen durchgeführt.

Nach den Erkenntnissen des Forschungsvorhabens sind mit Holzfenstern künftige energetische Anforderungen erreichbar. Um gestalterische Aspekte zu erhalten und eine klare Abgrenzung zu anderen Rahmenwerkstoffen zu ermöglichen, sollten Holzfenster dabei Holzoberflächen auf Raum- und Wetterseite aufweisen. Eine Rahmendicke von mindestens 90 mm in Verbindung mit 3-fach Mehrscheibenisolierglas kann schon heute als "neuer Standard" bzw. "Stand der Technik" angesehen werden. Solche Konstruktionen können dabei auch mit reduzierten Flügelrahmenquerschnitten und bei Großelementen funktionieren. Wichtig bei der Entwicklung solcher Systeme ist eine laufende Abstimmung mit Beschlags-, Dichtprofil- und Werkzeugherstellern sowie allen anderen beteiligten Zulieferern zum frühest möglichen Zeitpunkt in der Entwicklungsphase.

Zur wärmetechnischen Verbesserung von reinen Massivholzquerschnitten liefert die Integration von Dämmstoffen in die Blendrahmen eine einfache aber effektive Lösung bei relativ geringem fertigungstechnischem Aufwand. Das Konzept ist sehr flexibel und kann auch von handwerklich orientierten Herstellern angewendet werden. Die entsprechende Lösung sieht Flügelrahmen ohne Dämmstoffabschnitte vor. Diese können in diesem Fall auf einen minimal möglichen Querschnitt ausgelegt werden. Das Konzept "Dämmstoffe im Blendrahmen" hat sehr geringen Einfluss auf gestalterische Aspekte und die Machbarkeit unterschiedlicher Fenstertypen.

Gute Erfolgsaussichten für wärmetechnische Verbesserungen von Holzfenstern bietet auch der Einsatz von modifizierten Hölzern bzw. Hölzern mit geringer Rohdichte und niedriger Wärmeleitfähigkeit. Diese könnten zur wärmetechnischen Verbesserung z. B. im Mittelbereich von Fensterkanteln eingesetzt werden. Ein möglicher Verzicht auf den Einsatz von Kunst- bzw. Dämmstoffen bringt in diesem Fall Vorteile bei Konstruktion, Fertigung und Entsorgung. Zudem geht davon nur sehr geringer Einfluss auf gestalterische Aspekte und die Machbarkeit unterschiedlicher Fenstertypen aus. Darüber hinaus besteht dabei die Möglichkeit zur Verbesserung aller Bauteile eines Fensters (z. B. Pfosten, Riegel, Sprossen etc.).

#### Kurzfassung



Die im Vorhaben untersuchten Konstruktionen mit wärmetechnischen Verbesserungen zeigten nur geringen Einfluss auf die maßgeblichen Leistungseigenschaften der Fenster. Eine Kombination der Konzepte "Dämmstoffe im Blendrahmen" mit "modifizierte Hölzer" erscheint in vielen Bereichen als besonders interessant.

Die Holzeigenschaften von thermisch modifizierten Hölzern (z. B. thermisch modifizierte Pappel) sind nach den Erkenntnissen der orientierenden Untersuchungen des Vorhabens sehr vielversprechend. Um eine Eignung von Hölzern für die Fensterstellung abschließend nachzuweisen, müssen jedoch eingehendere Untersuchungen folgen und der erfolgreiche Einsatz der Materialien in der Praxis nachgewiesen werden.

Mit Kasten- und Verbundfensterkonstruktionen ist ein sehr guter Wärmeschutz möglich; zudem können technische Komponenten wie Lüftungs- oder Sonnenschutzsysteme einfacher integriert werden. Abgesehen von der aufwändigeren Fertigung sowie der nachteiligen Benutzerfreundlichkeit können solche Systeme zukünftig für passende Bauvorhaben erfolgreich weiter entwickelt werden.

Großes Entwicklungspotenzial wird auch in innovativen Verglasungssystemen bzw. in Konstruktionen von Integralfenstern gesehen. Integrallösungen ermöglichen eine Minimierung der Ansichtsbreiten und damit Vorteile sowohl aus gestalterischen als auch aus wärmeschutztechnischen Gesichtspunkten. Der innerhalb der Projektarbeit gefertigte und untersuchte Prototyp zeigte vielversprechende Leistungseigenschaften, ausreichende statische Eigenschaften sowie sehr gute wärmetechnische Eigenschaften. Beim Einsatz des Mehrscheibenisolierglases inklusive des Verbindungsrahmens als Zulieferprodukt wird dabei eine einfache und schnelle Verglasung der fertigen Konstruktion ermöglicht. Einschränkungen solcher Fertigungsvarianten ergeben sich in den konstruktiven Möglichkeiten bzw. Konstruktionen. Lösungen für Schalenfenster scheitern oftmals an passenden Verbindungsmitteln, bieten aber großes Entwicklungspotenzial.

Aufgrund der Erkenntnisse des Forschungsvorhabens stehen nun einige Konzepte für die Konstruktion von hochwärmedämmenden Holzfensterprofilen bzw. für das "Holzfenster 2012" zur Verfügung. Diese Konzepte können von Herstellern von Holzfenstern angewandt werden, um ihr individuelles Produktportfolio "fit" für zukünftige energetische Anforderungen zu gestalten.

Abstract



## **Abstract**

On-going and future specifications of the Energy Savings Ordinance (EnEV), rising energy costs and additional incentives provided by government sponsored measures constantly call for construction techniques that are more energy-efficient. Since this results in the requirements of individual construction products becoming increasingly stringent, both for new structures and in the segment of energy-related refurbishment of buildings, elements of windows and exterior doors, too, must keep pace with this development and there must be an improvement in the values of heat transfer coefficients (U values) of these constructions The increasing stringencies in future will require considerable improvement in the heat transfer coefficients of window frames (U<sub>f</sub> value), in addition to improvements in the field of glazing.

Therefore, the aim of the planned research project was to formulate concepts for optimising the thermal protection of timber window profiles as well as suggestions how to meet the increasing requirements while taking all window-relevant specifications into account.

So far, the possibilities and solutions for window constructions providing a high level of thermal insulation often failed, due to the insufficient implementation in the area of manufacturing and the lack of suitability for use. Within the framework of this project, substantial performance specifications have been provided. Next to the requirements to the technical characteristics, construction details and aspects of design have been scrutinised as well, to derive specifications for the "Timber windows 2012".

The limitations of timber constructions as well as the possibilities of the integration of insulation materials were shown, using a broad range of calculations and a variation of the critical parameters, in the course of further work. The performance characteristics of new timber window systems which are currently being developed as well as their performance characteristics after artificial ageing have been examined.

In addition, certain concepts and approaches have been analysed in greater depth to achieve greater developments related to thermal insulation. In the process, improvements, among others, by using modified types of wood have also been taken into consideration, apart from proposals and recommendations for implementing the integration of insulating materials. The impact on the suitability of use and performance characteristics of window constructions

#### **Abstract**



as well as the properties critical for use in timber window manufacture, have also been scrutinised for this purpose.

Apart from improvements that could be achieved in popular and proven construction variants of windows, the project also took innovative construction variants into consideration. Further investigations and calculations within the framework of this project were carried out with respect to a manufactured prototype.

Based on the findings of the research project, energy-related requirements of the future can be attained. To take aspects of design into account and to enable clear demarcation with respect to other materials used in the frame, timber windows should have timber surfaces on the interior and exterior sides. Frame thicknesses of at least 90 mm in conjunction with triple-layer insulating glass can already be perceived today as the "new standard" or "state-of-theart technology". Such constructions, in the process, may also work with reduced casement cross-sections or with large elements. It is important while developing such systems to have on-going coordination with the manufacturers of hardware fittings, sealing profiles and tools and with all other relevant suppliers as early as possible during the development phase itself.

The integration of insulating materials in the window frame provides a simple, yet effective solution, and one that requires relatively little effort during manufacture, to improve the thermal characteristics of solid wood cross sections. The concept is highly flexible and can also be applied by manufacturers deploying manual production methods. The corresponding solution provides casements without insulating material sections. In this case, these may be designed for the smallest possible cross-section. The concept of "insulation materials in the window frame" has a negligible impact on the design aspects and feasibility of different types of windows.

The use of modified wood types or those having low density and thermal conductivity, too, holds promising prospects for bringing about improvements in the thermal characteristics of timber windows. These could be used, for example, in the middle section of window edges, to improve the thermal characteristics. Dispensing with the use of plastics or insulating materials, in this case, results in advantages in construction, production and disposal. Furthermore, this has a negligible impact on the design aspects and feasibility of different types of windows. Over and above this, it is also possible to improve on all components of a window (e.g. mullion, dead bolt, cross bars etc.).

#### Abstract



The constructions with improvements in thermal characteristics that were analysed in the project showed only a minor impact on the critical performance characteristics of the windows. A combination of the concepts of "insulation materials in window frames" with "modified wood" appears to be attractive in many segments.

The properties of thermally modified wood (e.g. thermally modified poplar wood) are highly promising according to the findings of the relevant analyses conducted in the course of the research project. Finally, in order to establish and verify the suitability of wood for window manufacture, however, detailed tests and analyses must follow and the success of using the materials in practice must be verified.

We can reach excellent thermal insulation with casement window and coupled window constructions; in addition, it is easier to integrate technical components such as ventilation and solar shading systems. Apart from the more cumbersome and expensive production, and the unfavourable user-friendliness of such systems, they can undergo further development successfully for use in compatible construction projects in future.

A large potential for development is also perceived in innovative glazing systems or in constructions of integral windows. Integral solutions facilitate minimisation of the viewing widths, and thus, provide benefits with respect to both design and thermal characteristics. The prototype manufactured and analysed in the course of the project work showed highly promising performance characteristics, adequate structural properties and excellent thermal characteristics. Simple and quick glazing of the finished construction is facilitated by using the multi-layer insulation glazing including the connecting frame as a delivered product. The limitations of such manufacturing variants arise in the constructional options or the constructions themselves. Solutions for profile windows often fail on account of compatible bonding agents, but they offer a great potential for development.

As a result of the findings and outcome of the research project, certain concepts are now available for the construction of timber window profiles having high levels of thermal insulation or for the "timber windows 2012". These concepts can be applied by manufacturers of timber windows so that they can adapt their individual product portfolio to make it "fit" for the energy-related requirements of the future.

#### Motivation und Projektziel



## 1 Motivation und Projektziel

Der Klimawandel bestimmt zunehmend die derzeitigen politischen und wirtschaftlichen Entscheidungen. Die möglichen Auswirkungen der drohenden Klimaveränderung deuten sich bereits heute in zunehmend extremen Witterungsverhältnissen an und gewinnen somit immer mehr Einfluss auf das soziokulturelle Leben und die Wahrnehmung der Bevölkerung.

In erster Linie wird für den Klimawandel der durch den Menschen verursachte CO<sub>2</sub>-Ausstoß verantwortlich gemacht, der u. a. durch erhebliche Energieverluste durch Gebäude verursacht wird. Auch die Politik hat den Handlungsbedarf hierzu erkannt und versucht, mittels stark verschärfter Anforderungen an Gebäude und Bauteile dem Klimawandel entgegen zu wirken.

Auf europäischer Ebene wurden vor diesem Hintergrund mit der "Energy performance of buildings directive (EPBD)" [1] Vorgaben und Zielsetzungen definiert, deren Umsetzung im Verantwortungsbereich der einzelnen Mitgliedsstaaten liegen. In Deutschland finden diese Vorgaben Umsetzung in der Energieeinsparverordnung (EnEV) [2], die den Bau- und Immobiliensektor auch weiterhin prägen wird. Zusätzliche Anreize für energieeffiziente Bauweisen entstehen in Deutschland durch staatliche Fördermaßnahmen der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW). Bei Erfüllung definierter Vorgaben besteht dabei die Möglichkeit Fördergelder bzw. besonders günstige Finanzierungen zu erhalten.

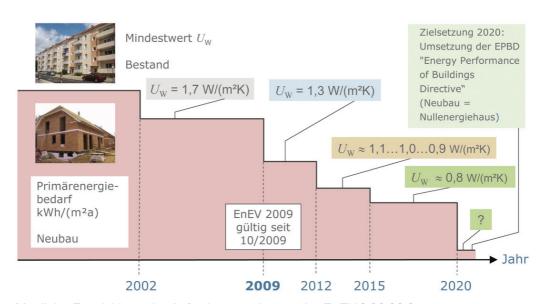
Dies bedeutet, dass immer energieeffizientere Gebäude errichtet werden und besonders im Rahmen der energetischen Gebäudesanierung energieeffiziente Produkte benötigt werden. Somit müssen auch für das Fenster neue und weiter steigende Anforderungen umgesetzt werden. Eine wesentliche, weitere Motivation zum energiesparenden Bauen ist besonders durch kontinuierlich steigende Energiekosten gegeben. Dieser Kostentrend wird sich durch die langsam zur Neige gehenden Ölreserven und den derzeit in Deutschland angestrebten Ausstieg aus der Nutzung der Kernenergie weiter fortsetzen.

Durch die im Rahmen der Energieeinsparverordnung (EnEV) verschärften Anforderungen an den Wärmeschutz von Bauobjekten müssen Fenster- und Außentürelemente bezüglich des Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) verbessert werden.

#### 1 Motivation und Projektziel



Abbildung 1 zeigt die Entwicklung der Anforderungsniveaus der Energieeinsparverordnung in den letzten Jahren sowie mögliche weitere Entwicklungsstufen [1] [2] [3]. Zu unterscheiden sind dabei generell Anforderungen an den Primärenergiebedarf für Neubauten bzw. bauteilbezogene Anforderungen für Bestandsbauten, bei denen detaillierte Anforderungen z. B. an die Wärmedurchgangskoeffizienten von Fenstern (Uw-Wert) gestellt werden. Aktuell wird durch die EnEV 2009 seit Oktober 2009 bzgl. des Bauteilverfahrens ein Uw-Wert von 1,3 W/(m<sup>2</sup>K) gefordert. Für die nächste Stufe der Energieeinsparverordnung (EnEV 2012) ist von einer Verschärfung um ca. 30 % bezogen auf den Primärenergiebedarf zu rechnen, was in punkto Bauteilverfahren etwa einem U<sub>w</sub>-Wert im Bereich von 0,9 bis 1,1 W/(m²K) entspricht. Mit der übernächsten Stufe der Energieeinsparverordnung (EnEV 2015) ist mit einer weiteren Verschärfung des Primärenergiebedarfs um 30 % zu rechnen, was dann einem U<sub>w</sub>-Wert im Bereich von ca. 0,8 W/(m<sup>2</sup>K) entsprechen dürfte. Zielsetzung der Bundesregierung bis 2020 ist für den Neubau das "Nullenergiehaus". Diese Anforderungen dürften sich aber auf den Primärenergiebedarf eines Gebäudes beziehen. Im Hinblick auf das Bauteilverfahren ist eine Beibehaltung der U<sub>w</sub>-Werte für Fenster im Bereich von 0,8 W/(m<sup>2</sup>K) realistisch.



Mögliche Entwicklung der Anforderungsniveaus der EnEV [1] [2] [3]

Neben den Anforderungen der Energieeinsparverordnung wird der Markt auch von in Deutschland verfügbaren Fördermaßnahmen der KfW-Bank (Kreditanstalt für Wiederaufbau) mitbestimmt. Aus den Voraussetzungen für eine Förde-

## Motivation und Projektziel



rung ergeben sich dabei Anforderungen an komplette Gebäude bzw. im Falle von geförderten Einzelmaßnahmen an spezifische Bauelemente [4]. Für den Fall eines Austauschs kompletter Fenster mit Mehrscheibenisolierglas (Sanierungsfall) liegt die Mindestanforderung der KfW-Bank bei  $U_w \le 0,95 \text{ W/(m^2K)}$  (siehe Abbildung 2). Die Voraussetzung für eine Förderung entspricht also schon jetzt etwa dem Anforderungsniveau der nächsten EnEV-Stufe.

| lfd. Nr. | Sanierungs-<br>maßnahme        | Bauteil  | maximaler U-Wert in W/(m²·K) |
|----------|--------------------------------|--|------------------------------|
| 4.1      |                                | Fenster, Balkon- und Terrassentüren mit<br>Mehrscheibenisolierverglasung | 0,95                         |
| 4.2      | Erneuerung von<br>Fenstern und | Fenster mit Sonderverglasung   | 1,3                          |
| 4.3      | Fenstertüren                   | Dachflächenfenster   | 1,0                          |
| 4.4      |                                | Fenster an Denkmälern und sonstiger<br>erhaltenswerter Bausubstanz       | 1,4                          |

Abbildung 2 Ausschnitt "Technische Mindestanforderungen Einzelmaßnahmen" KfW [4]

Die im Rahmen der EnEV 2009 geforderten Werte können noch vergleichsweise einfach unter Beibehaltung herkömmlicher Fensterkonstruktionen gemäß DIN 68121 [5] und ggf. zusammen mit optimierten 3-fach Verglasungen erreicht werden. Die geplanten verschärften Anforderungen der "EnEV 2012", die aktuellen Mindestanforderungen der KfW-Bank sowie weitere zukünftige Verschärfungen werden jedoch nicht allein durch Verbesserungen im Bereich der Verglasung erreichbar sein, sondern erfordern eine deutliche Verbesserung der Wärmedurchgangskoeffizienten der Fensterrahmen (U<sub>f</sub>-Wert).

Bisher existiert hierzu eine Reihe von Konzepten, die jedoch zumeist unter reiner Betrachtung eines verbesserten Wärmeschutzes entwickelt wurden. Zudem handelt es sich bei den am Markt befindlichen Produkten, die für den Einsatz in Passivhäusern oder Niedrigenergiegebäuden entwickelt wurden, um Nischenlösungen, die für eine wirtschaftliche, industrielle Großfertigung oftmals nur bedingt geeignet sind.

Für die Rahmenmaterialien Metall und Kunststoff können durch die Struktur und Größe der verarbeitenden Betriebe sowie durch die aktuellen Marktanteile diese Herausforderungen angenommen und umgesetzt werden. Den Herstellern von Holzfenstern fehlen jedoch oftmals die hierfür notwendigen Kapazitä-

#### 1 Motivation und Projektziel



ten, die erforderlich sind, um zu "neuartigen" Konstruktionen zu gelangen. Insofern ist es notwendig, speziell die klein- und mittelständisch strukturierte Holzfensterbranche gezielt auf die zukünftigen Anforderungen vorzubereiten und rechtzeitig durch die Entwicklung und Bewertung von Konzepten Umsetzungsvorschläge für die erhöhten Anforderungen zu finden.

Ziel des Forschungsvorhabens war es daher, Konzepte für eine Optimierung des Wärmeschutzes von Holzfensterprofilen unter Berücksichtigung aller technischen Anforderungen zur Sicherstellung der Gebrauchstauglichkeit der Fenster zu erarbeiten. Die Projektarbeit diente zur Vorbereitung und Umsetzung der sich im Rahmen der EnEV 2012 abzeichnenden, verschärften wärmetechnischen Anforderungen.

Da eine einseitige wärmetechnische Optimierung dabei nicht ausreicht, ist es notwendig zahlreiche weitere Aspekte mitzubetrachten. Bei derzeitigen wärmetechnisch verbesserten Holzfenster-Konstruktionen werden oftmals weitere Werkstoffe (z. B. Dämmstoffe) in die Querschnitte von Fensterkanteln eingebracht. Im Wesentlichen geht es daher um Problemstellungen in Bezug auf Funktion, Dauerhaftigkeit und Gebrauchstauglichkeit, die sich bei der Integration solcher Werkstoffe in Holzfensterprofile ergeben. Neben diesen Problemstellungen, den grundsätzlichen Systemfragen (d. h. mögliche Fenstertypen, Öffnungsarten etc.) sind im Weiteren Fragestellungen zur Fügetechnik, statischen Belastbarkeit, Verglasung, Beschlagstechnik, Abdichtung sowie zu den Funktionseigenschaften der Konstruktion zu beantworten. Darunter fallen auch Eigenschaften, die in der Produktnorm für Fenster und Außentüren DIN EN 14351-1 [6] definiert sind. Dies sind z. B. Schlagregen- und Luftdichtheit, Schallschutz, Sicherheit bzgl. Einbruchhemmung etc.

Da gerade Holzfenster neben den rein technischen Eigenschaften in hohem Maß auch als gestalterisches Mittel an Gebäuden eingesetzt werden, sollen auch Belange des Produktdesigns und der emotionalen Wirkung betrachtet werden. Individuelle Gestaltungsmöglichkeiten des Holzfensters müssen in jedem Fall erhalten bleiben.

Aufgrund der Erkenntnisse aus dem Forschungsvorhabens sollen ganzheitliche Konzepte für die Konstruktion von hochwärmedämmenden Holzfensterprofilen bzw. das "Holzfenster 2012" entstehen. Diese Konzepte können von Herstellern von Holzfenstern angewandt werden, um ihr individuelles Produktportfolio "fit" für die kommenden Stufen der Energieeinsparverordnung (siehe Abbildung 1) zu gestalten.

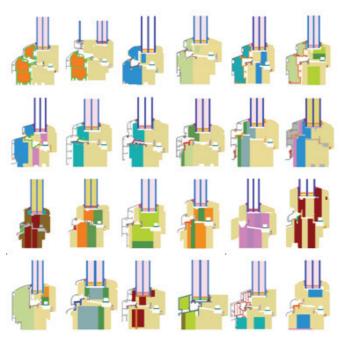
#### 2 Bisherige Möglichkeiten und Lösungen



## 2 Bisherige Möglichkeiten und Lösungen

#### 2.1 Einfachfenster

Wärmetechnisch verbesserte Einfachfenster wurden bisher vor allem für Passivhäuser benötigt. Passivhäuser sind Gebäude mit ganzjährig behaglichem Wohnkomfort und einen Heizwärmebedarf kleiner als 15 kWh/(m²a) sowie einem Primärenergiebedarf (inkl. Strom, Warmwasser) kleiner als 120 kWh/(m²a). Zur Erreichung der hohen Ansprüche an die Wärmedämmung werden seit vielen Jahren u. a. sog. Passivhausfenster verwendet. Diese Konstruktionen zeichnen sich durch hervorragende Wärmeschutzeigenschaften aus; der Wärmedurchgangskoeffizient dieser Konstruktionen liegt bei maximal 0,8 W/(m²K). Detaillierte Kriterien, Definitionen und Anforderungen sind der ift-Richtlinie WA-15/2 [7] oder den Vorgaben zur Zertifizierung des Passivhausinstitutes [8] zu entnehmen. Eine Auswahl derartiger Konstruktionen ist Abbildung 3 dargestellt.



**Abbildung 3** Beispiele für Passivhaus Holzfenster (Quelle: [9])

Sämtlichen Konstruktionen ist ein hervorragender Wärmeschutz gemein, sie sind jedoch oftmals nicht für die Erfordernisse des Massenmarktes geeignet. Nachteilig wirken sich oftmals sehr aufwändige und daher teure Konstruktionen sowie vielmals eingeschränkte Fensterformen und -geometrien aus.

#### Bisherige Möglichkeiten und Lösungen



Da an die Masse der Fensterkonstruktionen bisher weitaus niedrigere Anforderungen an den Wärmeschutz gestellt wurden als durch den Passivhaus-Standard definiert sind, blieben diese Konstruktionen bisher Randprodukte und konnten sich für einen breiten Einsatz bis heute nicht durchsetzen. Aufgrund der sich verschärfenden Anforderungen könnten derartige Systeme in den nächsten Jahren wieder vermehrt zur Anwendung kommen.

#### 2.2 Verbund- und Kastenfenster

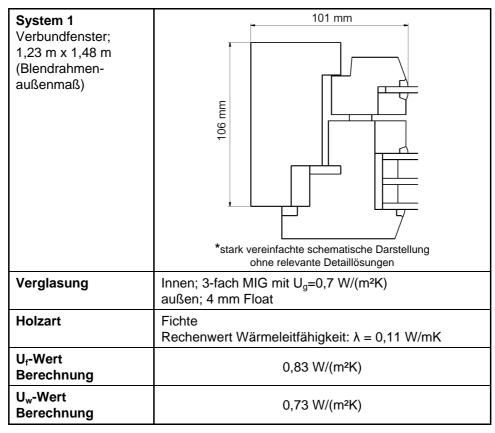
Mit bisher üblichen Standard-Holzfenstern waren erhöhte Anforderungen an den Wärmeschutz nur in begrenztem Maße möglich. Für besondere Anforderungen und Bauvorhaben wurden daher bisher Fenstertypen eingesetzt, die von den üblichen IV68-Konstruktionen nach DIN 68121 [5] abweichen. Im Folgenden sind zwei dieser Fenstertypen zusammen mit Konstruktionsdetails und wärmetechnischen Möglichkeiten exemplarisch dargestellt (siehe Tabelle 1 und Tabelle 2).

Seite 14 von 136 © ift Rosenheim Juni 2011

## 2 Bisherige Möglichkeiten und Lösungen

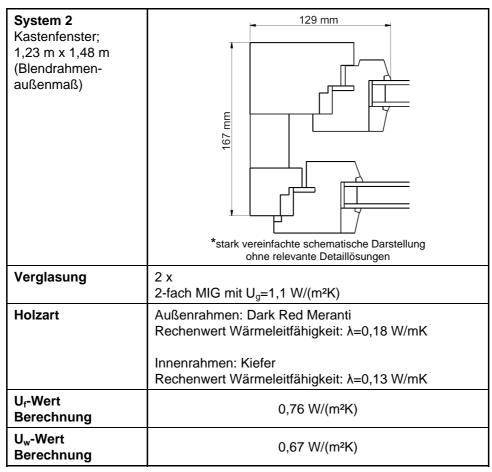


 Tabelle 1
 Beispiel Verbundfenster (System 1)





**Tabelle 2** Beispiel Kastenfenster (System 2)



Sowohl Verbund- als auch Kastenfenster zeichnen sich durch hervorragende Wärmeschutzeigenschaften aus. Diese gehen in der Regel mit besonders guten Schallschutzeigenschaften einher.

Die im Vergleich zu herkömmlichen Konstruktionen relativ aufwändigen Fenstertypen sind jedoch wegen Nachteilen bei Kosten, Gebrauchstauglichkeit und Nutzerfreundlichkeit Randprodukte geblieben und konnten sich für einen breiten Einsatz bis heute nicht durchsetzen. Wegen der enormen Möglichkeiten zur Integration zusätzlicher mechanischer Komponenten (z. B. Lüftungstechnik, Sonnenschutzsysteme) könnten derartige Systeme in den nächsten Jahren wieder vermehrt zur Anwendung kommen.

#### 2 Bisherige Möglichkeiten und Lösungen



#### 2.3 Einsatz von Dämmstoffen

Sowohl in den genannten Passivhauskonstruktionen als auch in herkömmlichen Fensterkonstruktionen werden vermehrt Dämmstoffe eingesetzt. Dabei gilt es jedoch vorab einige grundsätzliche Fragestellungen und Zusammenhänge zu beachten.

#### 2.3.1 Arten von Dämmstoffen

Für den Einsatz von Dämmstoffen in Fensterprofilen können zwei wesentliche Prinzipien unterschieden werden. In Tabelle 3 sind diese beschrieben sowie mit schematischen Beispielen dargestellt.

 Tabelle 3
 Prinzipien Dämmstoffeinsatz

| Konstruktionsdämmstoffe  | Nicht belastbare Dämmstoffe   |
|--|---|
| Dämmstoffe sind fest im Kantelaufbau integriert und müssen damit entsprechend belastbar ausfallen. | Einsatz in geschützten bzw. ummantelten Bereichen des Profils; Dämmstoff ohne statische Eigenschaften |
|  |   |
| *stark vereinfachte schematische Darstellung ohne relevante Detaillösungen                         | *stark vereinfachte schematische Darstellung ohne relevante Detaillösungen                            |

#### Bisherige Möglichkeiten und Lösungen



Da Konstruktionsdämmstoffe zumindest ähnliche statische Eigenschaften wie das durch sie ersetzte Holzmaterial besitzen müssen, sind hierzu nur Dämmstoffe mit entsprechenden Eigenschaften geeignet. Mit Konstruktionsdämmstoffen sind daher nur begrenzte wärmetechnische Verbesserungen erreichbar, da Dämmstoffe mit sehr guter bzw. sehr niedriger Wärmleitfähigkeit keine statischen Aufgaben übernehmen können.

Für den Einsatz von nicht belastbaren Dämmstoffen ist im Vergleich zu den Konstruktionsdämmstoffen meist mit einer deutlichen Abkehr von bisherigen Profilgeometrien zu rechnen. Unter der Voraussetzung einer "Hilfskonstruktion" zur Realisierung der Statik sind dafür aber auch sehr leistungsfähige Dämmstoffe einsetzbar, die deutliche wärmetechnische Verbesserungen ermöglichen.

#### 2.3.2 Bearbeitung

Neben den grundsätzlichen Unterschieden in der Art der Dämmstoffe können innerhalb der Holzfensterfertigung zwei unterschiedliche Vorgehensweisen ausgemacht werden. Dabei können sowohl die Voraussetzungen für eine Bearbeitung als auch die während der Fertigung anfallenden Reststoffe unterschieden werden.

In Tabelle 4 sind die beiden Vorgehensweisen im Hinblick auf eine Holzfensterfertigung schematisch dargestellt. Neben der Darstellung der Vorgehensweise in den einzelnen Fertigungsabschnitten sind auch die jeweils anfallenden Reststoffe angegeben. Der Umgang mit den anfallenden gemischten Reststoffen ist in Kapitel 2.3.3 beschrieben.

Seite 18 von 136

#### 2 Bisherige Möglichkeiten und Lösungen



 Tabelle 4
 Bearbeitungsprinzipien Dämmstoffe in der Holzfensterfertigung

| prinzipielle<br>Vorgehensweise            |                           | Vorfertigung  | Profilierung                         | Endfertigung                                     |
|---|---------------------------|---|--------------------------------------|--|
| Bearbeitung von                           | Darstellung               |   |                                      |  |
| Halbzeugen                                | anfallende<br>Reststoffe  | Zulieferprodukt,<br>keine Reststoffe<br>beim Fenster-<br>hersteller | gemischte<br>Reststoffe und<br>Späne | gemischte<br>Kappstücke und<br>ggf. Schleifstaub |
| Bearbeitung<br>von Einzel-<br>werkstoffen | Darstellung               |   |                                      |  |
|   | anfallende<br>Restestoffe | sortenreine<br>Reststoffe   | Klebstoffreste                       | gemischte<br>Kappstücke und<br>ggf. Schleifstaub |

Bei der Bearbeitung von Halbzeugen muss durch den Holzfensterhersteller innerhalb der Fertigung sichergestellt werden, dass die zugelieferten kombinierten Kantelaufbauten mit den üblichen Holzbearbeitungsmaschinen und Werkzeugen unter sinnvollen Parametern bearbeitet werden können. Problematisch sind hier, abhängig von den eingesetzten Werkstoffen, die geringeren Standzeiten der Werkzeuge, die nur durch eine aufwändigere Schneidentechnik vermieden werden können. Darüber hinaus kann es zu Staubemissionen kommen die durch die herkömmliche Absaugtechnik nur bedingt erfasst wird.

Bei der Bearbeitung von Einzelwerkstoffen wird eine Bearbeitung der Dämmstoffe in einem Durchgang mit den Holzbereichen zwar umgangen; innerhalb der Fensterherstellung müssen die zusätzlichen Werkstoffe trotzdem für sich genommen bearbeitet oder die benötigten Geometrien zugeliefert werden. Der Holzfensterhersteller muss in diesem Fall zudem für die Verbindung der unterschiedlichen Werkstoffe sorgen. Gemischte Kappstücke fallen dabei in der Endfertigung bei beiden Bearbeitungsprinzipien an.



#### 2.3.3 Entsorgungsproblematik

Sowohl die während der Fertigung anfallenden, oftmals gemischten Reststoffe als auch die nach der Nutzungsphase anfallenden kompletten Fensterelemente müssen entsorgt werden. In Holzfenster integrierte Dämmstoffe ziehen dabei im Vergleich zum bisherigen Umgang gewisse Auswirkungen auf den Umgang bei Verwertung und Entsorgung nach sich.

In Abbildung 4 ist ein Schema dargestellt, das die Verwertungs- und Entsorgungswege der Reststoffe aufzeigt, die während des gesamten Produktlebenszyklus eines Holzfensters mit integrierten Kunst- bzw. Dämmstoffen anfallen. Der Produktlebenszyklus kann im Hinblick auf entstehende Reststoffe in drei unterschiedliche Phasen gegliedert werden:

#### Phase 1 – Vorfertigung

Im Rahmen der Produktion fallen in dieser Phase sortenreine Reststoffe an. Eine stoffliche Verwertung dieser Reste ist meist nur möglich, wenn eine Trennung nach Art bzw. Zusammensetzung vorliegt und keine Verunreinigung mit z. B. Klebstoffen vorhanden ist.

Die separierten Reststoffe können im Fall von Dämmstoffen oftmals nur sehr aufwändig in den Stoffkreislauf zurückgeführt werden. Diese Reststoffe gelten daher als Restmüll und müssen einer energetischen Verwertung zugeführt werden. Dies kann jedoch nur durch ein spezialisiertes Entsorgungsunternehmen durchgeführt werden. Die Art der Verwertung der Reststoffe ist für den jeweiligen Einzelfall zu überprüfen und unterliegt wirtschaftlichen Interessen.

#### Phase 2 - Profilierung und Endfertigung

In der weiteren Produktion fallen in Phase 2 kombinierte Kappstücke aus Holz und Kunst- bzw. Dämmstoff sowie zerspantes Holz mit Reststoffen an. Liegen die Reste dabei unter 50 % Massenanteil Holz, gelten diese Chargen als Restmüll und müssen, abhängig von der Trennbarkeit, meist als solcher entsorgt werden. Eine in der Holzfensterherstellung übliche energetische Verwertung dieser Reste ist damit ausgeschlossen. Liegen die Reste über 50 % Massenanteil Holz (bei Fensterprofilen sehr wahrscheinlich) gilt für diese

Seite 20 von 136

#### 2 Bisherige Möglichkeiten und Lösungen



Chargen in Deutschland die Altholzverordnung. Gemäß Altholzverordnung [11] werden diese Reststoffe als Industrierestholz eingeteilt. Unterschieden wird dabei in die Kategorien A I bis A IV.

Eine stoffliche Verwertung (z. B. als Hackschnitzel oder Späne zur Holzwerkstoffherstellung) ist bei Einhaltung von Grenzwerten für Fremdstoffe nur für die Kategorien A I bis A III zulässig. Bei Resten der Kategorie A III ist zusätzlich eine Vorbehandlung mit Entfernung der Fremdstoffe nötig. Die dabei abfallenden Reststoffe gelten dabei als Restmüll und müssen energetisch verwertet werden (siehe Phase 1).

Eine energetische Verwertung von Resthölzern der jeweiligen Kategorie ist nur in den entsprechenden Feuerungsanlagen möglich. Zu beurteilen ist zunächst in allen Kategorien, ob eine "unerhebliche" Verunreinigung mit Fremdstoffen wie z. B. Dämmstoffanteilen vorliegt. Während Resthölzer der Kategorien A I und A II dann noch in Kleinfeuerungsanlagen verbrannt werden dürfen, ist für die Verbrennung von Resthölzern der Kategorie A III – wegen der enthaltenen halogenorganischen Anteile (z. B. PVC) – eine Großfeuerungsanlage nötig. Sind die Resthölzer mit Holzschutzmitteln behandelt, fallen sie in die Kategorie A IV und dürfen nur in einer Abfallverbrennungsanlage energetisch verwertet werden.

## Phase 3 – Ende der Gebrauchsphase

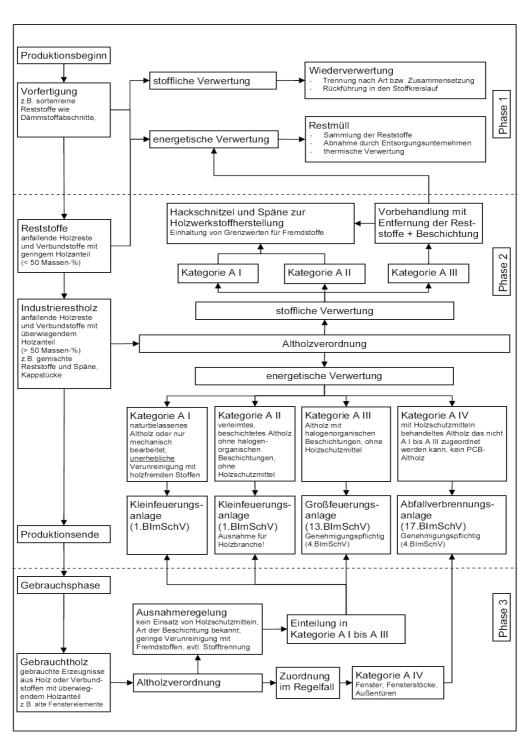
In Phase 3 werden nach Ende der Gebrauchsphase alte Fenster und Außentüren gemäß Altholzverordnung als Gebrauchtholz eingeteilt. Im Regelfall erfolgt für Altfenster eine Einteilung in die Kategorie A IV, was eine energetische Verwertung in einer Abfallverbrennungsanlage vorsieht.

Sind nachweislich keine Holzschutzmittel verarbeitet, ist sogar eine Einteilung in die Kategorien A I bis A III möglich. Dies setzt jedoch voraus, dass die Art der Beschichtung bekannt ist, keine größeren Verunreinigungen mit z. B. Dämmstoffen etc. vorhanden sind und evtl. sogar eine Vorbehandlung mit Entfernung von Beschichtungen und Fremdstoffen vorgenommen wird.

Da nach Ende der Gebrauchsphase im Regelfall keine Daten zur Art der Beschichtung und den verarbeiteten Fremdstoffen vorhanden sind, erfolgt zumeist jedoch eine Einteilung in Kategorie A IV.

#### Bisherige Möglichkeiten und Lösungen





2

Abbildung 4 Ablaufschema Verwertung und Entsorgung

3 Analyse zu Vorgaben "Holzfenster 2012"



## 3 Analyse zu Vorgaben "Holzfenster 2012"

## 3.1 Erstellung Pflichtenheft

Neben den wärmeschutztechnischen Verbesserungen werden an das "Holzfenster 2012" viele weitere neue Anforderungen gestellt. Gleichzeitig dürfen viele heutige Anforderungen und Werte des Holzfensters bei weiterer Entwicklung nicht verloren gehen. In enger Zusammenarbeit mit den Holzfensterherstellern aus der Projektgruppe sowie Spezialisten aus dem ift Rosenheim wurden sämtliche Anforderungen zusammengefasst und zur besseren Übersicht in acht verschiedene Bereiche unterteilt (siehe Tabelle 5):

- · technische Eigenschaften,
- Konstruktionsdetails und Öffnungsarten,
- · Fenster-Sonderformen,
- Maße.
- Sonderausstattung,
- · gestalterische Aspekte,
- · Verglasung,
- Sonstiges (Montage, Bedienkomfort, Nachhaltigkeit etc.).

Zu den jeweiligen Eigenschaften sind teilweise erläuternde Anmerkungen ergänzt. Die Validierung unterteilt sich in "primäre Projektziele" bzw. "Projektoptionen". Im weiteren Projektverlauf wurden sämtliche Entwicklungen laufend mit dem Pflichtenheft abgeglichen. Die darin enthaltenen Anforderungen bzw. Zielsetzungen sollen durch unterschiedliche Konstruktionen möglichst umgesetzt werden.

## 3 Analyse zu Vorgaben "Holzfenster 2012"



 Tabelle 5
 Pflichtenheft Holzfenster 2012

|     | Holzfenster 2012         |                            |  | Projektoption                   |                  | primäres Projektziel   |   |
|-----|--------------------------|----------------------------|--|---------------------------------|------------------|--|---|
| Nr. | Bereich                  | Eigenschaft                | Anmerkungen  | wenig<br>wichtig                | von<br>Interesse | wichtig  | sehr<br>wichtig   |
| 1.  |                          | Wärmeschutz U <sub>w</sub> | Wo liegen die mit<br>einem "massiven"<br>Holzfenster er-<br>reichbaren Gren-<br>zen?<br>Welche Werte<br>sind durch eine<br>Integration von<br>Dämmstoffen er-<br>reichbar? | U <sub>w</sub> > 1,0<br>W/(m²K) | -                | U <sub>w</sub> = 0,8 bis 1,0 W/(m <sup>2</sup> K) für Massivholz | zukünftig U <sub>w</sub> = 0,7 bis 0,8 W/(m²K) durch Integration Dämm- stoffe |
| 2.  |                          | Oberflächen-<br>temperatur | Wichtig bzgl. Be-<br>haglichkeit, Tau-<br>wasserausfall und<br>Schimmelpilzbil-<br>dung  | -                               | -                | 13 °C Iso-<br>therme<br>(Schim-<br>melpilzbil-<br>dung)          | 10 °C Iso-<br>therme<br>(Tauwas-<br>serbildung)                               |
| 3.  | Technische Eigenschaften | Schallschutz               | Schallschutz wird hauptsächlich durch Verglasung erreicht!  Haben im Rahmen integrierte Dämmstoffe einen Einfluss auf den Schallschutz?                                    | > 45 dB                         | 45 dB            | 42 – 45 dB   | 30 – 42 dB  |
| 4.  |                          | Einbruchhemmung            | herkömmliche<br>Anforderungen<br>abhängig haupts.<br>Beschlagtechnik   | WK1,<br>WK4, WK5                | WK3              | _  | WK2   |
| 5.  |                          | Schlagregendichtheit       | herkömmliche<br>Anforderungen  | _                               | -                | _  | Klasse 9A   |
| 6.  |                          | Luftdichtheit              | herkömmliche<br>Anforderungen  | _                               | -                | _  | Klasse 4  |
| 7.  |                          | Funktion, Bedienung        | herkömmliche Anforderungen; keine Einschrän- kungen durch verbesserten Wärmeschutz   | -                               | -                | -  | Leicht-<br>gängig,<br>höchste<br>Beanspru-<br>chungs-<br>klassen              |

3 Analyse zu Vorgaben "Holzfenster 2012"



|     | Holzfenster 2012                       |  |   | Projektoption primäres  |  | Projektziel                        |  |
|-----|--|--|---|-------------------------|--|------------------------------------|--|
| Nr. | Bereich                                | Eigenschaft  | Anmerkungen   | wenig<br>wichtig        | von<br>Interesse                                 | wichtig                            | sehr<br>wichtig  |
| 8.  |  | Barrierefreiheit<br>(Schwellen-<br>ausführung)           | zukünftig erhöhte<br>Wichtigkeit                            |                         |  |                                    | muss mög-<br>lich sein,<br>Einschrän-<br>kungen im<br>Wärme-<br>schutz<br>zulässig |
| 9.  |  | Statik   | Grundanforderung  |                         |  |                                    | muss ge-<br>geben sein<br>"I/200" und<br>besser                                    |
| 10. |  | Dreh-Kipp (1-flügelig)                                   | Standard  |                         |  |                                    | Х  |
| 11. |  | Dreh-Kipp (2-flügelig<br>mit aufgehendem<br>Mittelstück) | Standard  |                         |  |                                    | X  |
| 12. |  | Festverglasung   | Standard  |                         |  |                                    | Х  |
| 13. | c                                      | Sprossen   | wichtige<br>gestalterische<br>Option<br>(Denkmalschutz)     | X<br>(glas-<br>teilend) |  |                                    | X  |
| 14. | Konstruktionsdetails und Öffnungsarten | Pfosten (Setzholz),<br>Riegel (Kämpfer)                  | Standard  |                         | X<br>(auch im<br>Flügel<br>z. B. Bal-<br>kontür) |                                    | Х  |
| 15. | nsdetails un                           | Mitteldichtung<br>(MD)                                   | zukünftig als<br>2.Dichtung für<br>erhöhte<br>Anforderungen |                         |  |                                    | Х  |
| 16. | struktic                               | Innendichtung<br>(AD RS)                                 | zukünftig<br>Standard                                       |                         |  |                                    | X  |
| 17. | Kon                                    | Außendichtung<br>(AD WS)                                 | 3. Dichtung für erhöhte Ansprüche                           |                         | Х  |                                    |  |
| 18. |  | Hebe-Schiebe   | hauptsächlich<br>beschlagabhängig                           |                         |  |                                    | Х  |
| 19. |  | PSK  | hauptsächlich<br>beschlagabhängig                           |                         |  | X<br>(be-<br>schlags-<br>abhängig) |  |
| 20. |  | nach außen öffnend                                       | in D unüblich   | Χ                       |  |                                    |  |

## Analyse zu Vorgaben "Holzfenster 2012"



|     | Holzfenster 2012                                   |   |             | Projel              | Projektoption    |   | primäres Projektziel                  |  |
|-----|--|---|-------------|---------------------|------------------|---|---------------------------------------|--|
| Nr. | Bereich  | Eigenschaft   | Anmerkungen | wenig<br>wichtig    | von<br>Interesse | wichtig   | sehr<br>wichtig                       |  |
| 21. | Fenster-Sonderformen                               | Schrägfenster,<br>Trapez-Fenster  |             |                     |                  | X (Ist laut Aussage der Pro- jektpartner in beinahe jedem Auf- trag vor- handen.) |                                       |  |
| 22. | Fer  | Rundbogen,<br>Segmentbogen  |             |                     |                  | Х   |                                       |  |
| 23. |  | kreisrund, oval   |             |                     |                  | Х   |                                       |  |
| 24. |  | min. Breite Flügel<br>(Flügelrahmen-<br>außenmaß)   |             |                     |                  |   | 350 mm                                |  |
| 25. | er,  | max. Breite Flügel  |             |                     | 1500 mm          | 1300 mm   | 1200 mm                               |  |
| 26. | enst   | min. Höhe Flügel  |             |                     |                  |   | 350 mm                                |  |
| 27. | achf<br>p)   | max. Höhe Flügel  |             |                     | 3500 mm          |   | 3000 mm                               |  |
| 28. | Maße<br>(bezogen auf Einfachfenster,<br>Dreh-Kipp) | minimale Ansichts-<br>breite  |             |                     |                  | 80 mm   | 100 mm                                |  |
| 29. | ogen a<br>Dr                                       | maximale Ansichts-<br>breite  |             |                     |                  |   | so gering<br>wie möglich              |  |
| 30. | zəq)   | Rahmendicken Holz<br>(44, 55, 68, 78, 88,<br>92, 98, 105, 114)<br>handelsübliche Holz-<br>dicken beachten |             |                     |                  |   | < 114 mm                              |  |
| 31. |  | Lüftungs-<br>einrichtungen  |             | Glasfalz-<br>lüfter |                  | Falzlüfter  |                                       |  |
| 32. | Вu   | Antriebe, Bedienung   |             |                     |                  | Möglich-<br>keit Integ-<br>ration   | Möglich-<br>keit<br>Aufsatz           |  |
| 33. | sstattuı   | Sensoren, elektrische Bauteile  |             |                     |                  |   | Х                                     |  |
| 34. | Sonderausstattung                                  | integrierte<br>Verschattungs-<br>systeme  |             |                     | im MIG           |   | Verbund-<br>und<br>Kasten-<br>fenster |  |
| 35. |  | Querschnittsthema<br>Kabelführung   |             |                     |                  |   | X<br>(zukünftig<br>unum-<br>gänglich) |  |

Seite 26 von 136

3 Analyse zu Vorgaben "Holzfenster 2012"



|     |                        | Holzfenster 201   | 12          | Projek                                      | Projektoption    |  | primäres Projektziel   |  |
|-----|------------------------|---|-------------|---|------------------|--|--|--|
| Nr. | Bereich                | Eigenschaft   | Anmerkungen | wenig<br>wichtig                            | von<br>Interesse | wichtig  | sehr<br>wichtig  |  |
| 36. |                        | Holzoberfläche<br>Raumseite                                   |             |   |                  |  | Х  |  |
| 37. |                        | Holzoberfläche<br>Wetterseite                                 |             |   |                  |  | Х  |  |
| 38. |                        | Metall oder<br>Kunststoff<br>Wetterseite                      |             |   | Х                |  |  |  |
| 39. |                        | Gestaltungsvarianten<br>Profil Raumseite                      |             |   |                  |  | Х  |  |
| 40. | Aspekte                | Gestaltungsvarianten<br>Profil Außenseite                     |             |   |                  |  | Х  |  |
| 41. | Gestalterische Aspekte | verdeckt liegender<br>Beschlag / Bänder                       |             |   |                  |  | X<br>(herk.<br>Beschlags-<br>technik<br>soll weit-<br>gehend<br>beibehalten<br>werden) |  |
| 42. |                        | erkennbarer<br>Flügelrahmen                                   |             |   |                  |  | X<br>(muss mög-<br>lich sein)  |  |
| 43. |                        | Integralsystem ohne erkennbarem Flügel                        |             |   |                  | X<br>(sollte<br>möglich<br>sein)                                       |  |  |
| 44. | D                      | Einsatz von<br>3fach MIG                                      |             |   |                  |  | X<br>(wird für<br>zukünftige<br>Konstruk-<br>tionen der<br>Standard<br>sein)           |  |
| 45. | Verglasung             | minimale Dicke<br>des Glases                                  |             | 1012 mm<br>bei VIG<br>24mm bei<br>2fach MIG |                  |  | 32 mm  |  |
| 46. |                        | maximale Dicke des<br>Glases<br>(Anpassung des FR<br>möglich) |             |   |                  | 60 mm bei<br>Sonder-<br>konstrukti-<br>onen z. B.<br>Sonnen-<br>schutz | 52 mm  |  |

## 3 Analyse zu Vorgaben "Holzfenster 2012"



|     | Holzfenster 2012 |  |   | Projektoption    |   | primäres Projektziel   |  |
|-----|------------------|--|---|------------------|---|--|--|
| Nr. | Bereich          | Eigenschaft                            | Anmerkungen                                   | wenig<br>wichtig | von<br>Interesse  | wichtig  | sehr<br>wichtig  |
| 47. |                  | Einsatz von<br>Glasklebung<br>(Statik) |   |                  |   |  | X<br>(Aus-<br>bildung<br>noch völlig<br>offen)                                   |
| 48. |                  | Einsatz von<br>Glashalteleisten        |   |                  | X<br>z. B. für<br>Verglasung<br>am Objekt,<br>Festver-<br>glasungen |  | X<br>(bei bishe-<br>rigen Kon-<br>struktionen)                                   |
| 49. |                  | Verglasung über<br>Vorsatzschale       |   |                  |   |  | X<br>(bei<br>Schalen-<br>system)   |
| 50. |                  | Verglasung ohne<br>Glashalteleiste     |   |                  |   |  | X<br>(für neue<br>Konstruk-<br>tionen)   |
| 51. |                  | Austausch der<br>Verglasungseinheit    |   |                  |   |  | X (ein nach- träglicher Austausch der Ver- glasung- seinheit muss mög- lich sein |
| 52. |                  | maximaler<br>Glaseinstand              |   |                  |   | 15 mm wie<br>gehabt bei<br>20 mm<br>Falztiefe                    |  |
| 53. |                  | Montagezarge                           | wird laut<br>Herstellern nicht<br>akzeptiert  | X                |   |  |  |
| 54. | Sonstiges        | Wandanschluss                          | regionale<br>Unterschiede sind<br>zu beachten |                  |   | X<br>speziell bei<br>Schalen,<br>Putzan-<br>schluss-<br>profilen | X<br>Fenster-<br>bankan-<br>schlüsse<br>und Ent-<br>wässerung                    |
| 55. |                  | Bedienkomfort                          |   |                  |   |  | Х  |

Seite 28 von 136

3 Analyse zu Vorgaben "Holzfenster 2012"



|     | Holzfenster 2012 |                             |   | Projek           | Projektoption primäres   |         | Projektziel   |  |
|-----|------------------|-----------------------------|---|------------------|--|---------|---|--|
| Nr. | Bereich          | Eigenschaft                 | Anmerkungen   | wenig<br>wichtig | von<br>Interesse   | wichtig | sehr<br>wichtig   |  |
| 56. |                  | Wartungs-<br>freundlichkeit | Wartungsintervall von 10 Jahren   |                  |  |         | X   |  |
| 57. |                  | Fertigung                   |   |                  | X<br>(Fragen<br>der Ferti-<br>gungs-<br>technik<br>sind stets<br>zu beach-<br>ten) |         |   |  |
| 58. |                  | Nachhaltigkeit              | Faktor Nachhal-<br>tigkeit ist im Pro-<br>jekt mit Hauptau-<br>genmerk auf stoff-<br>liche Trennung<br>bzw. Verwertung<br>und Entsorgung<br>enthalten |                  |  | (X)     | (X)<br>mit dem<br>konkreten<br>Hinter-<br>grund sie-<br>he 59                                     |  |
| 59. |                  | Entsorgung                  |   |                  |  |         | X stoffliche Trennung während Fertigung und nach Verwendung muss ohne techn. Aufwand möglich sein |  |

## 3.2 Analyse der Vorgaben

Im Pflichtenheft wurden sämtliche Anforderungen und Vorgaben detailliert ausgearbeitet und angegeben. Die Inhalte des Pflichtenhefts sollten bei allen weiteren Betrachtungen und Konzepten berücksichtigt werden. Im Mittelpunkt stehen zunächst Anforderungen an den Wärmeschutz. Mit U<sub>w</sub>-Werten im Bereich von 0,8 bis 1,0 W/(m²K) für reine Holzkonstruktionen sowie 0,7 bis 0,8 W/(m²K) für Konstruktionen mit zusätzlichen Dämmstoffen wurden vorab sehr ambitionierte Zielsetzungen definiert, die teilweise über die Anforderungen der geplanten nächsten Stufe der Energieeinsparverordnung hinausge-

## Analyse zu Vorgaben "Holzfenster 2012"



hen. Die weiteren technischen Eigenschaften entsprechen weitgehend den bereits heute üblichen Anforderungen an die Produkte (z. B. Schallschutz, Einbruchhemmung etc.).

Im Hinblick auf Konstruktionsdetails und Öffnungsarten wird deutlich, dass von zukünftigen Konstruktionen und Systemen eindeutig erwartet wird, weiterhin sämtliche denkbaren Bauarten und Fenster-Sonderformen zu ermöglichen. Für erhöhte Anforderungen sind zudem Kombinationen mehrerer Dichtungsebenen erforderlich.

Der Trend in den Konstruktionsmaßen geht generell zu geringen Ansichtsbreiten, Rahmendicken von mindestens 90 mm und sehr großen Fensterelementen. Zu beachten sind dabei auch Optionen zur Integration von Sonderausstattung wie z. B. Verschattungssystemen, Lüftungseinrichtungen etc. Weiter wurde für Konstruktionen im Rahmen des Vorhabens festgelegt, dass diese sowohl auf der Raum- als auch auf Außenseite des Fensters Holzoberflächen besitzen sollten. Hintergrund ist hierbei zum einen eine klare Abgrenzung zu anderen Produktvarianten sowie die Beibehaltung der gestalterischen Möglichkeiten.

Als Standard künftiger Konstruktionen wird der Einsatz von 3-fach Mehrscheibenisolierglas gesehen. Die Dicken dieser Scheibenpakete reichen dabei von 32 mm im geringsten Fall bis zu 60 mm bei Sonderanforderungen. Für die Verglasung werden unterschiedliche Möglichkeiten in Betracht gezogen; wichtig dabei erscheint jedoch jeweils die Möglichkeit für einen späteren Austausch der Verglasungseinheit.

Die Betrachtung der Nachhaltigkeit wird bei Bauprodukten zukünftig immer wichtiger werden. Die Qualität eines Gebäudes wird zukünftig an der Qualität der verbauten Bestandteile beurteilt werden. In diesem Zusammenhang werden bei Bauprodukten sämtliche umweltrelevanten Gesichtspunkte des gesamten Produktlebenszyklus betrachtet und bewertet werden. Innerhalb des Forschungsvorhaben werden diesbezüglich speziell Aspekte zu Entsorgung sowie stofflicher Trennung hinterfragt.

Seite 30 von 136

4 Wärmeschutztechnische Eigenschaften von Rahmenprofilen



## 4 Wärmeschutztechnische Eigenschaften von Rahmenprofilen

## 4.1 Ermittlung der erforderlichen U<sub>f</sub>-Werte

Um Aussagen zu weiteren Konstruktionsvorgaben treffen zu können, müssen zunächst die hierzu erforderlichen  $U_f$ -Werte (Wärmedurchgangskoeffizient des Rahmenanteils) ermittelt werden. Da diese von den Zielwerten der  $U_w$ -Werte (Wärmedurchgangskoeffizient der kompletten Fenster) sowie der eingesetzten Verglasung bzw. deren  $U_g$ -Werten (Wärmedurchgangskoeffizient der Verglasung) abhängen, wurde der Zusammenhang zunächst grafisch dargestellt (siehe Abbildung 5). Die Berechnungen nach DIN EN ISO 10077-1 [11] beruhen auf folgenden Annahmen:

• Ψ-Wert Abstandhalter: 0,04 W/mK

(wärmetechnisch verbesserter Randverbund)

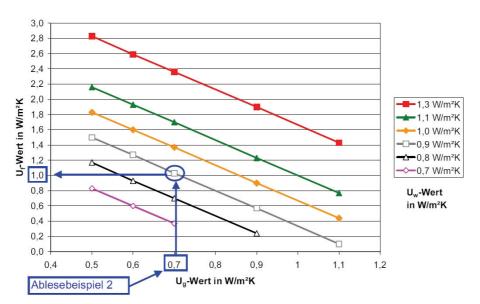
Holzfenster mit Größe: 1,23 m x 1,48 m

(Standardgröße nach EN 14351-1)

Rahmenanteil: 30 %

(entspricht Rahmenansichtsbreite 110 mm)

• Dämmstoffe: Polyurethan-Dämmstoff mit  $\lambda = 0,025 \text{ W/mK}$ 



**Abbildung 5** Zusammenhang U<sub>f</sub>-, U<sub>q</sub>- und U<sub>w</sub>-Wert mit Ablesebeispiel 2

4 Wärmeschutztechnische Eigenschaften von Rahmenprofilen



Ablesebeispiele zu Abbildung 5:

- Beispiel 1: Zur Erreichung eines  $U_w$ -Wertes von 1,0 W/(m²K) ist beim Einsatz einer Verglasung mit einem  $U_g$ -Wert von 0,7 W/(m²K) ein  $U_f$ -Wert von ca. 1,4 W/(m²K) erforderlich.
- Beispiel 2: Zur Erreichung eines U<sub>w</sub>-Wertes von 0,9 W/(m²K) ist beim Einsatz einer Verglasung mit einem U<sub>g</sub>-Wert von 0,7 W/(m²K) ein U<sub>f</sub>-Wert von ca. 1,0 W/(m²K) erforderlich.
- Beispiel 3: Zur Erreichung eines U<sub>w</sub>-Wertes von 0,8 W/(m²K) ist beim Einsatz einer Verglasung mit einem U<sub>g</sub>-Wert von 0,7 W/(m²K) ein U<sub>f</sub>-Wert von ca. 0,7 W/(m²K) erforderlich.

## 4.2 Berechnung der erreichbaren U<sub>f</sub>-Werte

Auf Basis der dargestellten Zusammenhänge wird für zukünftige Konstruktionen ein  $U_f$ -Wert im Bereich 0,7 W/(m²K) bis 1,4 W/(m²K) erforderlich sein. Um zu verdeutlichen, wo hierbei die Grenzen eines reinen Massivholzfensters liegen bzw. welche Werte durch den Einsatz von Dämmstoffen erreichbar sind wurde eine große Zahl von Berechnungen durchgeführt.

Hierzu wurden an stark vereinfachten Profilgeometrien unterschiedliche Parameter wie z. B. Wärmeleitfähigkeit, Rahmendicke etc. variiert und die sich ergebenden U<sub>f</sub>-Werte bestimmt. Für sämtliche Berechnungen wurde 3-fach Mehrscheibenisolierglas mit einer Dicke von 36 mm angenommen. In der Praxis wären hierbei, abhängig der jeweiligen Rahmendicke, auch größere Dicken möglich.

Es wird an dieser Stelle nochmals deutlich darauf hingewiesen, dass es sich bei den in diesem sowie allen anderen Kapiteln abgebildeten Querschnittszeichnungen um stark vereinfachte schematische Darstellungen handelt, in denen relevante bzw. herstellerspezifische Detaillösungen fehlen.

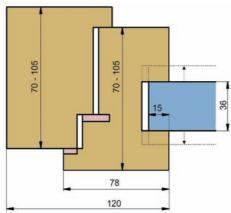
Seite 32 von 136 © ift Rosenheim Juni 2011

4 Wärmeschutztechnische Eigenschaften von Rahmenprofilen



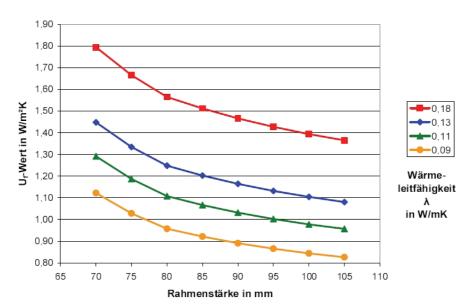
## 4.2.1 Modell Standardfenster Holz

Abbildung 6 stellt den stark vereinfachten Querschnitt eines Holzfensters mit herkömmlicher Falzgeometrie dar. Auf Basis dieses Querschnitts wurden die Wärmeleitfähigkeiten des Holzes sowie die Rahmendicken der Konstruktion variiert. Abbildung 7 zeigt den Zusammenhang grafisch.



\*stark vereinfachte schematische Darstellung ohne relevante Detaillösungen

**Abbildung 6** Modell Holzfenster (alle Maße in mm)



**Abbildung 7** Abhängigkeit U<sub>f</sub>-Werte-Modell Standardfenster Holz

## 4 Wärmeschutztechnische Eigenschaften von Rahmenprofilen



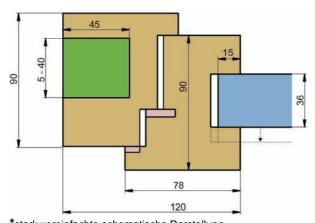
Ausgehend von einer Rahmendicke von 90 mm und dem Einsatz von Hölzern wie z. B. Fichte ( $\lambda$  = 0,11 W/mK) oder z. B. Lärche ( $\lambda$  = 0,13 W/mK) sind U<sub>f</sub>-Werte zwischen 1,0 W/(m²K) und 1,2 W/(m²K) erreichbar. Ausgehend von den Annahmen aus Kapitel 4.1 und einem U<sub>g</sub>-Wert von 0,7 W/(m²K) entspricht dies U<sub>w</sub>-Werten zwischen 0,90 W/(m²K) und 0,95 W/(m²K).

Unter diesen Annahmen sind mit dem Einsatz von Hölzern wie z. B. Eiche ( $\lambda$ =0,18 W/(m²K)) U<sub>f</sub>-Werte von ca. 1,45 W/(m²K) bzw. U<sub>w</sub>-Werte von ca. 1,00 W/(m²K) realisierbar.

Mit dem Einsatz von Hölzern mit noch besserer Wärmeleitfähigkeit (z. B.  $\lambda$  = 0,09 W/(m²K)) könnten theoretisch U<sub>f</sub>-Werte von ca. 0,9 W/(m²K) bzw. U<sub>w</sub>-Werte von ca. 0,85 W/(m²K) realisiert werden.

#### 4.2.2 Modell Standardfenster Holz + Dämmstoff im Blendrahmen

Abbildung 8 stellt den stark vereinfachten Querschnitt eines Holzfensters mit herkömmlicher Falzgeometrie und Dämmstoffeinlagen im Blendrahmen dar. Auf Basis dieses Querschnitts wurden die Wärmeleitfähigkeiten des Holzes sowie die Dicke der Dämmstoffeinlage variiert. Abbildung 9 zeigt den Zusammenhang grafisch.



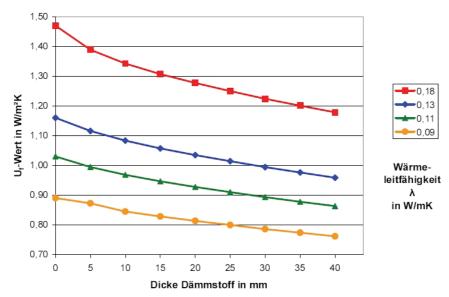
\*stark vereinfachte schematische Darstellung ohne relevante Detaillösungen

Abbildung 8 Modell Holzfenster + Dämmstoff im Blendrahmen (alle Maße in mm)

Seite 34 von 136 © ift Rosenheim Juni 2011

### 4 Wärmeschutztechnische Eigenschaften von Rahmenprofilen





**Abbildung 9** Abhängigkeit U<sub>f</sub>-Werte-Modell Standardfenster + Dämmstoff BR

Ausgehend von einer Rahmendicke von 90 mm, dem Einsatz von Hölzern wie z. B. Fichte ( $\lambda$  = 0,11 W/mK) oder z. B. Lärche ( $\lambda$  = 0,13 W/mK) und einer Dämmstoffdicke im Blendrahmen von 40 mm sind U<sub>f</sub>-Werte zwischen 0,85 W/(m²K) und 0,95 W/(m²K) erreichbar. Ausgehend von den Annahmen aus Kapitel 4.1 und einem U<sub>g</sub>-Wert von 0,7 W/(m²K) entspricht dies U<sub>w</sub>-Werten zwischen 0,85 W/(m²K) und 0,90 W/(m²K).

Unter diesen Annahmen sind mit dem Einsatz von Hölzern wie z. B. Eiche ( $\lambda$  = 0,18 W/(m²K)) U<sub>f</sub>-Werte von ca. 1,15 W/(m²K) bzw. U<sub>w</sub>-Werte von ca. 0,95 W/(m²K) realisierbar.

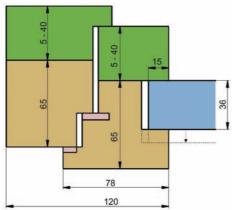
Mit dem Einsatz von Hölzern mit noch besserer Wärmeleitfähigkeit (z. B.  $\lambda$  = 0,09 W/(m²K)) könnten theoretisch U<sub>f</sub>-Werte von ca. 0,75 W/(m²K) bzw. U<sub>w</sub>-Werte von ca. 0,80 W/(m²K) realisiert werden.

### 4 Wärmeschutztechnische Eigenschaften von Rahmenprofilen



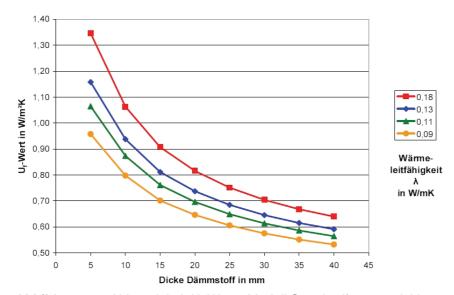
## 4.2.3 Modell Standardfenster mit Vorsatzschale

Abbildung 10 stellt den stark vereinfachten Querschnitt eines Holzfensters mit herkömmlicher Falzgeometrie und einer Vorsatzschale für Blendrahmen und Flügelrahmen dar. Auf Basis dieses Querschnitts wurden die Wärmeleitfähigkeiten des Holzes sowie die Dicke der Vorsatzschale variiert. Abbildung 11 zeigt den Zusammenhang grafisch.



\*stark vereinfachte schematische Darstellung ohne relevante Detaillösungen

Abbildung 10 Modell Holzfenster + Vorsatzschale (alle Maße in mm)



**Abbildung 11** Abhängigkeit U<sub>f</sub>-Werte-Modell Standardfenster mit Vorsatzschale

Seite 36 von 136

### 4 Wärmeschutztechnische Eigenschaften von Rahmenprofilen



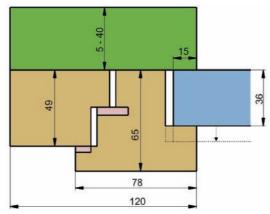
Ausgehend von einer Rahmendicke von gesamt 90 mm (Holzdicke 65 mm, Dämmstoffdicke 25 mm), dem Einsatz von Hölzern wie z. B. Fichte ( $\lambda$  = 0,11 W/mK) oder z. B. Lärche ( $\lambda$  = 0,13 W/mK) sind U<sub>f</sub>-Werte zwischen 0,65 W/(m²K) und 0,70 W/(m²K) erreichbar. Ausgehend von den Annahmen aus Kapitel 4.1 und einem U<sub>g</sub>-Wert von 0,7 W/(m²K), entspricht dies einem U<sub>w</sub>-Wert von ca. 0,80 W/(m²K).

Unter diesen Annahmen sind mit dem Einsatz von Hölzern wie z. B. Eiche ( $\lambda$ =0,18 W/(m²K)) U<sub>f</sub>-Werte von ca. 0,75 W/(m²K) bzw. U<sub>w</sub>-Werte von ca. 0,85 W/(m²K) realisierbar.

Mit dem Einsatz von Hölzern mit noch besserer Wärmeleitfähigkeit (z. B.  $\lambda$ =0,09 W/(m²K)) könnten theoretisch U<sub>f</sub>-Werte von ca. 0,60 W/(m²K) bzw. U<sub>w</sub>-Werte von ca. 0,75 W/(m²K) erreicht werden.

## 4.2.4 Modell Integralfenster

Abbildung 12 stellt den stark vereinfachten Querschnitt eines Integralfensters mit einer Vorsatzschale am Blendrahmen dar. Auf Basis dieses Querschnitts wurden die Wärmeleitfähigkeiten des Holzes sowie die Dicke der Vorsatzschale variiert. Abbildung 13 zeigt den Zusammenhang grafisch.

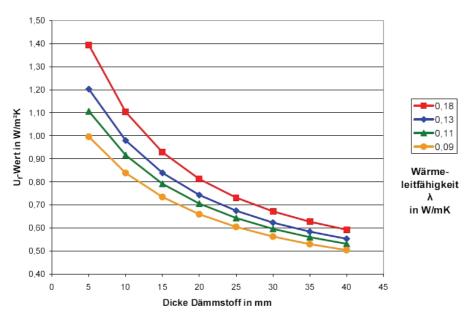


\*stark vereinfachte schematische Darstellung ohne relevante Detaillösungen

Abbildung 12 Modell Integralfenster (alle Maße in mm)

## 4 Wärmeschutztechnische Eigenschaften von Rahmenprofilen





**Abbildung 13** Abhängigkeit U<sub>f</sub>-Werte-Modell Integralfenster

Ausgehend von einer Rahmendicke von gesamt 90 mm (Holzdicke Flügelrahmen 65 mm, Dämmstoffdicke 25 mm), dem Einsatz von Hölzern wie z. B. Fichte ( $\lambda$  = 0,11 W/mK) oder z. B. Lärche ( $\lambda$  = 0,13 W/mK) sind U<sub>f</sub>-Werte von ca. 0,65 W/(m²K) erreichbar. Ausgehend von den Annahmen aus Kapitel 4.1 und einem U<sub>g</sub>-Wert von 0,7 W/(m²K) entspricht dies einem U<sub>w</sub>-Wert von ca. 0,80 W/(m²K).

Unter diesen Annahmen sind mit dem Einsatz von Hölzern wie z. B. Eiche ( $\lambda$ =0,18 W/(m²K)) U<sub>f</sub>-Werte von ca. 0,75 W/(m²K) bzw. U<sub>w</sub>-Werte von ca. 0,85 W/(m²K) realisierbar.

Mit dem Einsatz von Hölzern mit noch besserer Wärmeleitfähigkeit (z. B.  $\lambda$ =0,09 W/(m²K)) könnten theoretisch U<sub>f</sub>-Werte von ca. 0,60 W/(m²K) bzw. U<sub>w</sub>-Werte von ca. 0,75 W/(m²K) realisiert werden.

Seite 38 von 136

### 4 Wärmeschutztechnische Eigenschaften von Rahmenprofilen



## 4.3 Wärmeleitfähigkeit von Holz

Für die Berechnung von wärmetechnischen Kennwerten nach EN ISO 10077-2 [12] müssen die entsprechenden Wärmeleitfähigkeiten der verwendeten Materialien vorliegen. Im Zeitraum der Bearbeitung des Forschungsvorhabens wurde die Norm auf europäischer Ebene überarbeitet. Ein wesentlicher Punkt war hierbei eine detaillierte Angabe der Wärmeleitfähigkeit unterschiedlicher Holzarten. Es hatte sich gezeigt, dass die Angaben von nur zwei Wärmeleitfähigkeiten von 0,13 W/mK für Weichholz und 0,18 W/mK für Hartholz nicht praxisgerecht waren.

Zum einen war nicht definiert, was unter Weichholz und was unter Hartholz zu verstehen ist. Zum anderen zeigten sich beim Vergleich von Messungen und Berechnungen des U<sub>f</sub>-Wertes starke Unterschiede. Diese sind im Wesentlichen auf zu hohen Wärmeleitfähigkeiten für die Berechnung begründet. Daher wurde im Rahmen der Überarbeitung (prEN ISO 10077-2 [13]) eine "neue" Tabelle vorgeschlagen, die eine bessere und eindeutigere Zuordnung der Wärmeleitfähigkeit zu den Holzarten vorsieht.

Table A.2 — Thermal conductivity of timber species

| Code for timber species <sup>a</sup>   | Thermal conductivity, λ W/(m·K) |  |
|--|---------------------------------|--|
| ABAL, PCAB, PCST, PNCN, THPL   | 0,11                            |  |
| KHXX, LADC, LAER, LAGM, LAOC, LAXX, PCGL, PHWS, PNSY, PSMN, SHLR, SWMC, TMIV, TSHT | 0,13                            |  |
| ENCY, ENUT, EUXX, HEXM, HEXN, MIXX, OCRB, SHDR, TEGR, TGHC                         | 0,16                            |  |
| AFXX, CLXX, EUGL, EUGR, EUSL, EUUG, EUUP, INXX, PHMG, PMPN, QCXA, QCXE, ROPS       | 0,18                            |  |

**Abbildung 14** Vorschlag zur Zuordnung der Wärmeleitfähigkeiten zur Holzart nach Entwurf prEN ISO 10077-2 [13]

Im Rahmen des Vorhabens wurden sämtliche Berechnungen bereits mit diesen Wärmeleitfähigkeiten durchgeführt.

### 4 Wärmeschutztechnische Eigenschaften von Rahmenprofilen



## 4.4 Zusammenfassung der Berechnungen

Die Untersuchungen zeigen die mit einem reinen Holzfenster erreichbaren Grenzen, die ohne den Einsatz zusätzlicher Dämmstoffe möglich sind, auf. Bei realistischer und praxisnaher Betrachtung kann von einem Trend hin zu einer Rahmendicke von mindestens 90 mm ausgegangen werden, bei der auch die Integration von 3-fach Isolierglas ohne weiteres möglich ist. Von Vorteil ist generell der Einsatz von Holzarten mit niedriger Wärmeleitfähigkeit wie z. B. Fichte (Rechenwert  $\lambda = 0,11$  W/mK), die im Vergleich mit Holzarten wie z. B. Eiche (Rechenwert  $\lambda = 0,18$  W/mK) erheblich bessere  $U_f$ -Werte erzielen.

Durch eine Integration von Dämmstoffen in die Blendrahmen herkömmlicher Konstruktionen kann bei relativ geringem Aufwand eine deutliche Verbesserung der U<sub>f</sub>-Werte erreicht werden. Je nach verwendeter Holzart und verwendetem Dämmstoff fallen diese Verbesserungen unterschiedlich aus.

Anforderungen der nächsten Stufe der Energieeinsparverordnung können auf Basis der durchgeführten Berechnungen – ausgehend von einer Rahmendicke von 90 mm – noch mit herkömmlichen Massivholzkonstruktionen bzw. Verbesserungen mit Dämmstoffen im Blendrahmen erreicht werden. Für Anforderungen, die darüber hinaus gehen, wird aus heutiger Sicht ein breiterer Einsatz von Dämmstoffen als komplette Schalen nötig werden.

Mittels Vorsatzschalen an Flügel- und Blendrahmen oder mittels Integralkonstruktionen sind je nach verwendetem Dämmstoff bzw. konstruktiver Auslegung erhebliche Verbesserungen möglich. Vorteilhaft wirken sich hier die jeweils durchgehenden Dämmstoffschichten im Querschnitt aus.

Seite 40 von 136 © ift Rosenheim Juni 2011

#### 5 Orientierende Eignungsprüfung aktueller Konstruktionen



# 5 Orientierende Eignungsprüfung aktueller Konstruktionen

## 5.1 Vorgehensweise und Klassifizierung

Die Berechnungen zu den mit herkömmlichen Konstruktionen erreichbaren wärmetechnischen Eigenschaften haben gezeigt, dass mit Rahmendicken von mindestens 90 mm und dem Einsatz von 3-fach Mehrscheibenisolierglas die nächste Anforderungsstufen an den Wärmeschutz durchaus erreichbar erscheint. Um für solche Konstruktionen Aussagen über Mindestquerschnitte und zur Bemessung zu erhalten, wurden orientierende Eignungsprüfungen durchgeführt.

Aus den Erkenntnissen sollten keine konkreten Dimensionierungsregeln abzuleiten sein, jedoch Anhaltspunkte zur Umsetzbarkeit gewonnen werden. Hierzu wurden Fensterelemente vor und nach einer Dauerfunktionsprüfung auf ihre Leistungseigenschaften hin untersucht. Bewertet wurden dabei mögliche Veränderungen der Leistungseigenschaften durch die Dauerfunktionsprüfung sowie mögliche Schadensereignisse während der Dauerfunktionsprüfung. Der durchgeführte Prüfablauf ist in Abbildung 15 schematisch dargestellt.

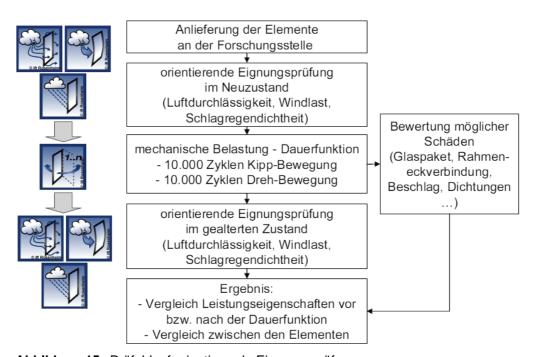


Abbildung 15 Prüfablauf orientierende Eignungsprüfung

### 5 Orientierende Eignungsprüfung aktueller Konstruktionen



Für die Untersuchung wurden Fenstersysteme von zwei am Forschungsvorhaben beteiligten Herstellern ausgewählt. Zum Zeitpunkt der Probenahme befanden sich beide Systeme in einem fortgeschrittenen Entwicklungsstadium, waren jedoch in dieser Form noch nicht am Markt erhältlich.

Von beiden Systemen wurden jeweils drei unterschiedliche Varianten (A, B, C) mit geringfügigem konstruktiven Unterschied angefordert. Für Variante A war dabei eine normale Dimensionierung von Flügel- und Blendrahmenquerschnitt vorgesehen (normale Rahmen- bzw. Ansichtsbreite). Im Gegensatz dazu sollte Variante B jeweils mit einer minimalen Dimensionierung ausgeführt werden (minimale Rahmen- bzw. Ansichtsbreite), um Anhaltspunkte zu Machbarkeit und Möglichkeiten der Dimensionierung solcher Querschnitte zu erhalten. Im Rahmen der Untersuchungen sollte auch der Aspekt Holz-Glas-Klebung, also eine statisch wirksame Verbindung von Glaspaket und Flügelrahmen, untersucht werden. Dazu wurde Variante C mit der schon für Variante B vorgesehenen minimalen Dimensionierung ausgeführt und der Flügelrahmen zusätzlich mit einer Holz-Glas-Klebung ausgeführt. Die untersuchten Probekörper sind zusammen mit den Ergebnissen der Untersuchungen in den folgenden Kapiteln dargestellt.

## 5.2 Orientierende Eignungsprüfung

Der Prüfablauf wurde, wie in Abbildung 15 dargestellt, mit allen Varianten und Systemen durchlaufen. Im Weiteren sind die Einzelschritte zur Untersuchung der Leistungseigenschaften sowie die Ergebnisse der Untersuchungen getrennt nach System 3 und System 4 zusammengefasst.

## 5.2.1 Einzelschritte Untersuchung

#### Schlagregendichtheit

Die Schlagregendichtheit wird nach DIN EN 1027 [14] bis zur maximalen Prüfdruckdifferenz geprüft. Der Probekörper wird dauerhaft durch eine oben liegende Düsenreihe mit einer Wassermenge von etwa 2 l/min je Düse auf der Außenseite besprüht, wobei gleichzeitig ein Überdruck in Form von aufeinanderfolgenden Druckstufen in gleichmäßigen Abständen aufgebracht wird (siehe Abbildung 16). Bei Probekörpern von mehr als 2,50 m Blendrahmenaußenmaß werden zusätzliche Düsenreihen in vertikalen Abständen von 1,5 m unterhalb der oberen Düsenreihe angebracht. Die Wassermenge der zusätzlichen Düsenreihen beträgt etwa 1 l/min je Düse.

Seite 42 von 136

### 5 Orientierende Eignungsprüfung aktueller Konstruktionen



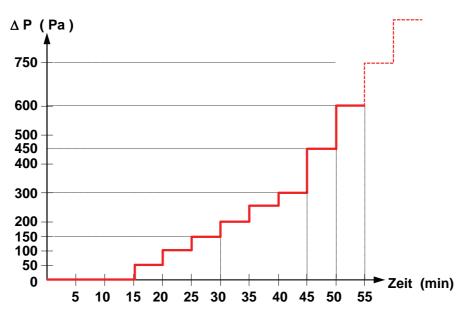


Abbildung 16 Prüfablauf Schlagregendichtheit

Die Klassifizierung der Schlagregendichtheit erfolgt nach DIN EN 12208 [15], abhängig der erreichten Druckstufe. Abbruchkriterium ist dabei Wassereintritt in den Falzbereich der Konstruktion. Die im Pflichtenheft angegebene Klasse 9 entspricht dabei der Druckstufe 600 Pa.

## Luftdurchlässigkeit

Die Luftdurchlässigkeit wird nach DIN EN 1026 [16] stufenweise bis zur maximalen Prüfdruckdifferenz bei Über- und bei Unterdruck geprüft. Undichtheiten im Prüfaufbau werden mit Hilfe von künstlich erzeugtem Nebel sichtbar gemacht und mit dauerelastischem Dichtstoff abgedichtet. Der Probekörper wird zunächst mit drei Druckstößen Δp<sub>max</sub> + 10 % bzw. mindestens 500 Pa beaufschlagt. Im Anschluss wird die Luftdurchlässigkeit bei den jeweiligen Druckstufen gemessen (siehe Abbildung 17).



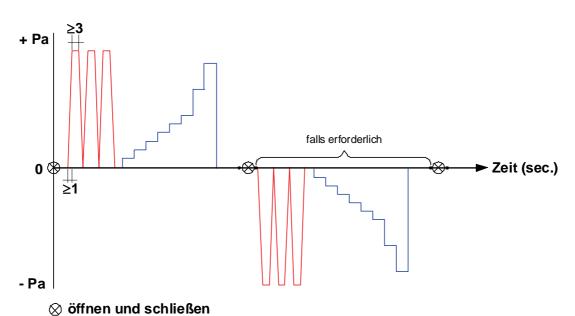


Abbildung 17 Prüfablauf Luftdurchlässigkeit

Die Klassifizierung erfolgt nach DIN EN 12207 [17], abhängig vom maximalen Prüfdruck bzw. der dabei gemessenen Leckage. Nach Durchführung der Widerstandsfähigkeit bei Windlast wird die Luftdurchlässigkeit erneut bestimmt und darf dabei nur begrenzt von der ersten Messung abweichen. Die im Pflichtenheft angegebene Klasse 4 entspricht dabei der höchsten erreichbaren Klasse.

## Widerstandsfähigkeit bei Windlast

Die Widerstandsfähigkeit bei Windlast wird nach DIN EN 12211 [18] stufenweise bis zum Prüfdruck  $p_1$  bei Überdruck und bei Unterdruck geprüft. Der Probekörper wird zunächst mit drei Druckstößen  $\Delta p_1 + 10$  % beaufschlagt. Im Anschluss wird die frontale Durchbiegung bei Überdruck  $\Delta p_1$  und bei Unterdruck  $\Delta p_1$  stufenweise ermittelt (entfällt bei Einfachfenster). Die weitere Windbelastung wird als Druck-Sog-Wechselbelastung mit 50 Zyklen von  $\pm \Delta p_2 = \Delta p_1 - 50$  % auf den Probekörper aufgebracht.

Seite 44 von 136 © ift Rosenheim Juni 2011

### 5 Orientierende Eignungsprüfung aktueller Konstruktionen



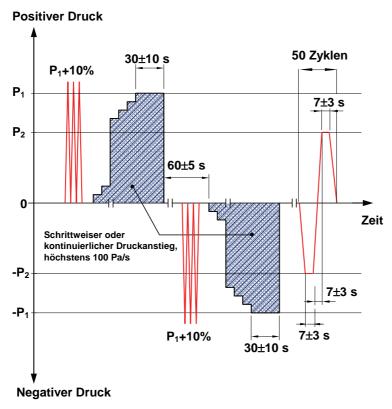


Abbildung 18 Prüfablauf Widerstandsfähigkeit gegen Windlast

Die Klassifizierung erfolgt nach DIN EN 12210 [19], abhängig von den aufgebrachten Windlasten bzw. der relativen frontalen Durchbiegung.

## 5.2.2 Untersuchung System 3

Nach einer ersten Prüfdurchführung der orientierenden Eignungsprüfung im Neuzustand wurden die Elemente nochmals an den Hersteller zurückgegeben. Um den eigentlichen Untersuchungsansatz eines Vergleichs der Leistungseigenschaften vor bzw. nach einer mechanischen Belastung durch Dauerfunktion zu ermöglichen wurden die festgestellten Schwachstellen überarbeitet. Dazu wurden die Glashalteleisten abgedichtet, zusätzliche Beschlagsteile (Schließstücke) ergänzt sowie die Dichtprofile getauscht. Nach den durchgeführten Überarbeitungen wurde die gesamte Prüfdurchführung nochmals von Beginn an mit der Bestimmung der Leistungseigenschaften im Neuzustand gestartet. Bei Variante A konnte trotz der Überarbeitung keine

### 5 Orientierende Eignungsprüfung aktueller Konstruktionen



Klassifizierung der Schlagregendichtheit erreicht werden, bei den Kriterien Luftdurchlässigkeit und Widerstandsfähigkeit bei Wind hingegen konnten gute Werte erreicht werden. Bei den Varianten B und C konnten bzgl. aller Kriterien gute Werte im Neuzustand erreicht werden.

Bei der Durchführung der Dauerfunktion kam es an allen drei Varianten zu systembedingten Schäden. Die aufgetretenen Schäden an den Beschlagsteilen (Scherenlager) waren jedoch nicht dem konstruktiven Aufbau der geprüften Elemente zuzuordnen, sondern in einem Fehler der Beschläge selbst begründet. Der Fehler konnte in Zusammenarbeit mit dem Fensterhersteller sowie dem Beschlagshersteller genauer untersucht und die Problematik gelöst werden. Während der Dauerfunktion wurden daher die betroffenen Beschlagsteile bei Variante A und Variante B erneuert und die Untersuchung fortgesetzt. Bei Variante C konnte der Prüfdurchlauf nicht zu Ende geführt werden.

Im Rahmen der Dauerfunktion gab es auch Probleme mit den Dichtprofilen. Diese wurden während der Dauerfunktion aus den Profilnuten herausgezogen. Die Ursache hierfür konnte nicht abschließend geklärt werden. Da jedoch auf ein Dichtprofil zurückgegriffen wurde, dessen Erfahrungswerte sich auf das Fenstersystem des Herstellers mit Rahmendicke 68 mm beziehen wird die Ursache in den durch die größere Rahmendicke verursachten geänderten Falz- und Profilgeometrien sowie den geänderten Drehwinkeln beim Öffnen und Schließen vermutet. Um die Dauerfunktion fortsetzen zu können, wurden die Dichtprofile in den Nuten befestigt.

Aufgrund der Vorkommnisse innerhalb der mechanischen Belastung durch die Dauerfunktion konnte die Untersuchung der Leistungseigenschaften im gealterten Zustand nur bedingt aussagekräftig durchgeführt werden. Bei Variante A blieben Luftdurchlässigkeit und Widerstandsfähigkeit bei Wind auf demselben guten Niveau, die Schlagregendichtheit konnte dabei bereits im Neuzustand nicht klassifiziert werden. Bei Variante B blieben Luftdurchlässigkeit und Widerstandsfähigkeit bei Wind ebenfalls auf demselben Niveau, während bei der Schlagregendichtheit eine etwas niedrigere Klasse erreicht wurde. Variante C konnte aufgrund der durch die beschriebenen Beschlagsprobleme verursachten Schäden während der Dauerfunktion nicht mehr weiter untersucht werden.

Seite 46 von 136 © ift Rosenheim Juni 2011

5 Orientierende Eignungsprüfung aktueller Konstruktionen



In Abbildung 19 und Abbildung 20 sind Fotos der Untersuchungen an System 3 zu sehen.



Abbildung 19 System 3 auf dem Prüfstand



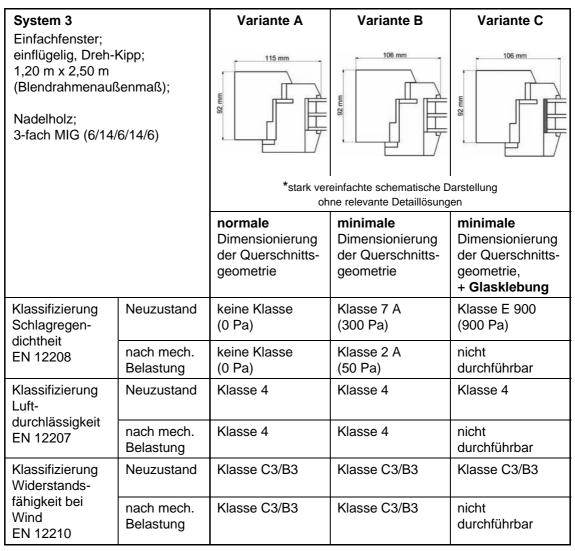
**Abbildung 20** Herausgezogenes Dichtprofil bei Dauerfunktionsprüfung System 3

## 5 Orientierende Eignungsprüfung aktueller Konstruktionen



In Tabelle 6 ist ein Überblick über die unterschiedlichen Fensterelemente und die erreichten Leistungseigenschaften von System 3 zusammengefasst.

Tabelle 6Überblick System 3



## 5.2.3 Untersuchung System 4

Während der Durchführung der orientierenden Eignungsprüfung im Neuzustand kam es bei Variante B bei 150 Pa zu Wassereintritt in den Falzbereich

### 5 Orientierende Eignungsprüfung aktueller Konstruktionen



während der Untersuchung der Schlagregendichtheit. Variante B erreichte daher im Neuzustand lediglich die Klasse 4A. Da es sich hierbei nur um ein geringfügiges Abdichtungsproblem handelte, wurden die Varianten A und C vor Prüfbeginn in Absprache mit dem Hersteller an der unteren Mitteldichtung nachgebessert bzw. abgedichtet. Aufgrund dieser Überarbeitung konnten die Varianten A und C bzgl. der Schlagregendichtheit etwas bessere Klassifizierungen als die Variante B erreichen. Bei den Kriterien Luftdurchlässigkeit und Widerstandsfähigkeit bei Wind hingegen konnten bei allen Varianten unabhängig von der Überarbeitung gute Werte erreicht werden.

Bei der Durchführung der Dauerfunktion wurden keine Schäden an den Fensterelementen oder einzelnen Komponenten festgestellt. Die Leistungseigenschaften wurden durch die Dauerfunktion nur in geringem Maß beeinflusst, so dass die im Neuzustand erreichten Klassifizierungen auch im gealterten Zustand erreicht werden konnten.

Die Wirksamkeit der Überarbeitung an der unteren Mitteldichtung zeigt sich besonders durch die Erreichung einer besseren Schlagregendichtheit im gealterten Zustand als im Neuzustand bei Variante B.

In Abbildung 31 und Abbildung 23 sind Fotos der Untersuchungen an System 4 zu sehen.

# Orientierende Eignungsprüfung aktueller Konstruktionen





Abbildung 21 System 4 auf dem Prüfstand



Abbildung 22 Überarbeitete Mitteldichtung; Untersuchung Schlagregendichtheit

## 5 Orientierende Eignungsprüfung aktueller Konstruktionen



In Tabelle 7 ist ein Überblick über die unterschiedlichen Fensterelemente und die erreichten Leistungseigenschaften von System 4 zusammengefasst.

Tabelle 7 Überblick System 4

| Tabelle 1 U   | Derblick Syster         |   |   |   |
|---|-------------------------|---|---|---|
| System 4 Einfachfenster; einflügelig, Dreh-Kipp; 1,20 m x 2,50 m (Blendrahmenaußenmaß); Nadelholz; 3-fach MIG (6/14/6/14/6) |                         |   | Variante B  96 mm reinfachte schematische Dane relevante Detaillösung | •   |
|   |                         | normale Dimensionierung der Querschnitts- geometrie | minimale Dimensionierung der Querschnitts- geometrie                  | minimale Dimensionierung der Querschnitts- geometrie, + Glasklebung |
| Klassifizierung<br>Schlagregen-   | Neuzustand              | Klasse 9 A<br>(600 Pa)                              | Klasse 4 A<br>(150 Pa)  | Klasse 9 A<br>(600 Pa)  |
| dichtheit<br>EN 12208   | nach mech.<br>Belastung | Klasse 9 A<br>(600 Pa)                              | Klasse 9 A<br>(600 Pa)  | Klasse 9 A<br>(600 Pa)  |
| Klassifizierung<br>Luft-<br>durchlässigkeit   | Neuzustand              | Klasse 4  | Klasse 4  | Klasse 4  |
| EN 12207  | nach mech.<br>Belastung | Klasse 4  | Klasse 4  | Klasse 4  |
| Klassifizierung<br>Widerstands-   | Neuzustand              | Klasse C3/B3  | Klasse C3/B3  | Klasse C3/B3  |
| fähigkeit bei<br>Wind<br>EN 12210 nach mech.<br>Belastung   |                         | Klasse C3/B3  | Klasse C3/B3  | Klasse C3/B3  |

### 5 Orientierende Eignungsprüfung aktueller Konstruktionen



## 5.3 Zusammenfassung der orientierenden Eignungsprüfungen

Die Untersuchungen zeigen, dass aktuelle Konstruktionen mit Rahmendicken von 90 mm, reduzierten Flügelrahmenquerschnitten und 3-fach Mehrscheibenisolierglas auch bei Großelementen funktionieren können.

Eine bloße Veränderung bzw. Vergrößerung der Rahmendicke unter Beibehaltung aller Geometrien und verbauten Komponenten kann zu unvorhersehbaren Auswirkungen auf Leistungs- bzw. Funktionseigenschaften führen. Bei der Entwicklung solcher Systeme ist eine detaillierte Abstimmung zwischen allen beteiligten Material-, Werkzeug- und Maschinenherstellern schon während der Konstruktionsphase nötig.

Bzgl. erreichbarer Leistungseigenschaften können schon geringfügige Verbesserungen erhebliche Auswirkungen mit sich bringen. Empfehlenswert ist hierzu eine begleitende Untersuchung der Leistungseigenschaften bereits in der Entwicklungsphase der Fenstersysteme.

Seite 52 von 136 © ift Rosenheim Juni 2011

6 Konzepte zur Verbesserung des Wärmeschutzes



# 6 Konzepte zur Verbesserung des Wärmeschutzes

## 6.1 Dämmstoffeinlagen im Blendrahmen

Wärmetechnische Verbesserungen an Fensterrahmenprofilen durch den Einsatz von Dämmstoffen führen zu Verbesserungen der resultierenden U<sub>f</sub>-Werte. Zusammen mit den Verbesserungen treten dabei aber häufig auch Schwierigkeiten bei Konstruktion und Bearbeitung auf, sobald die komplette Konstruktion (Flügel- und Blendrahmen) mit Dämmstoffbereichen versehen wird. Werden Dämmstoffe nur in den Blendrahmen platziert, sind die wärmetechnischen Verbesserungen zwar begrenzt, die Variante bietet jedoch auch viele Vorteile:

- relativ einfache fertigungstechnische Umsetzung, die weitgehend mit ohnehin vorhandenen Holzbearbeitungsmaschinen möglich ist und auch von handwerklich orientierten Herstellern umgesetzt werden kann;
- Umsetzung kann sehr flexibel bei allen möglichen Fensterformen auch nachträglich bzw. nur bei speziellen Anforderungen an den Wärmeschutz angewendet werden;
- geringe Auswirkungen auf bestehende Konstruktionen da Flügelrahmen bzw. konstruktive Profile wie Pfosten (Setzholz) oder Riegel (Kämpfer) davon nicht betroffen sind;
- Dämmstoff- bzw. Kunststoffbereiche sind für den Nutzer nicht sichtbar, Konstruktion erscheint optisch als reines Holzfenster;
- Einsatz von Hochleistungsdämmstoffen, die keine statischen Aufgaben bewerkstelligen müssen und damit optimale Werte der Wärmeleitfähigkeit bieten;
- trennbare Verbünde, die weder gemischte Fertigungsabfälle verursachen noch bei späterem Recycling aufwändig getrennt werden müssen.

Aufgrund der vielen Vorteile und der einfachen Umsetzbarkeit wurde diese Variante im durchgeführten Forschungsvorhaben bzgl. Leistungsfähigkeit und möglicher Schwachstellen weitergehend untersucht.

#### Konzepte zur Verbesserung des Wärmeschutzes



## 6.1.1 Eingesetzte Dämmstoffe

Innerhalb der Untersuchungen im Forschungsvorhaben wurden unterschiedliche Polyurethan-Dämmstoffe (Herstellerangabe:  $\lambda$ =0,019 W/mK bis  $\lambda$ =0,021 W/mK) sowie ein Aerogel-Dämmstoff (Herstellerangabe:  $\lambda$ =0,013 W/mK) für die Messungen und Versuche eingesetzt. Für die jeweiligen Berechnungen wurden die Herstellerangaben für die Wärmeleitfähigkeit verwendet.

Alle eingesetzten Dämmstoffe entsprechen einer nach heutigem Stand der Technik bei vertretbaren Aufwand und Kosten möglichen Auswahl. Die damit erreichbaren Wärmeleitfähigkeiten stellen die im besten Fall (Neuzustand etc.) erreichbaren dar und müssten sich für einen Einsatz in der Praxis der Fensterherstellung erst noch bewähren.

Neben den reinen Werten für die Wärmeleitfähigkeit müssen Dämmstoffe für einen wie im durchgeführten Vorhaben vorgesehenen Einsatz in der Fensterherstellung auch andere Anforderungen erfüllen können. So müssen die Materialien möglichst schon in den benötigten Querschnittsgeometrien lieferbar sein, so dass diese nur noch abgelängt werden müssen.

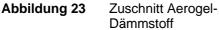
Eine Bearbeitung von z. B. Polyurethan-Dämmstoffen war im durchgeführten Vorhaben mit herkömmlichen Holzbearbeitungsmaschinen möglich, sollte aber für eine großtechnische Fertigung möglichst vermieden werden. Die Bearbeitung des ebenfalls im Vorhaben eingesetzten Aerogel-Dämmstoffes war dagegen eher problematisch bzgl. der Bearbeitbarkeit und anfallender Stäube. Ähnlich wie bei den Polyurethan-Dämmstoffen sollten für einen möglichen Einsatz in der Fensterherstellung hier bereits angepasste Geometrien angeliefert werden. Abbildung 23 und Abbildung 24 zeigen das Einbringen des Aerogel-Dämmstoffes in die Blendrahmennut eines Fensterelements.

Seite 54 von 136 © ift Rosenheim Juni 2011

#### 6 Konzepte zur Verbesserung des Wärmeschutzes









**Abbildung 24** Eingepasster Dämmstoff

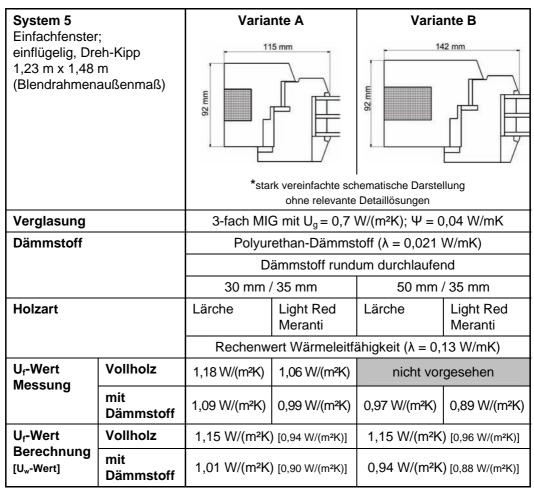
# 6.1.2 Vergleich Messung und Berechnung U<sub>f</sub>-Werte

Für die Untersuchung wurden Fenstersysteme von zwei am Forschungsvorhaben beteiligten Herstellern ausgewählt. Die vorhandenen Konstruktionen wurden mit teilweise unterschiedlichen Dämmstoffeinlagen in den Blendrahmen versehen. Neben den durch Dämmstoffe verbesserten Varianten wurden jeweils auch die entsprechenden Vollholzvarianten mit untersucht, um den direkten Vergleich bzw. den wirklichen Anteil der Verbesserung beurteilen zu können. Um mögliche Abweichungen von Eigenschaften der verbauten Materialien sowie Fertigungseinflüsse zu hinterfragen, wurden neben den messtechnischen Untersuchungen nach DIN EN 12412-2 [20] jeweils auch Berechnungen der U<sub>f</sub>-Werte nach DIN EN ISO 10077-2 durchgeführt. In Tabelle 8 und Tabelle 9 sind die Varianten und Werte zusammengefasst.

#### Konzepte zur Verbesserung des Wärmeschutzes



 Tabelle 8
 Vergleich Messung und Berechnung System 5



Die erhaltenen Unterschiede zwischen gemessenen und berechneten Werten liegen in Abweichungen zwischen den in der Berechnung angesetzten Werten und den tatsächlich vom eingesetzten Holz erfüllten Werten. Speziell bei den Varianten mit eingesetzten Dämmstoffen ist auch hier mit Unterschieden zwischen Rechenwerten und von den Materialien erfüllbaren Werten auszugehen. Zudem sieht die Rechnung eine optimale und fugenlose Einbringung der Dämmstoffe vor, was in der Praxis schwer erreichbar ist.

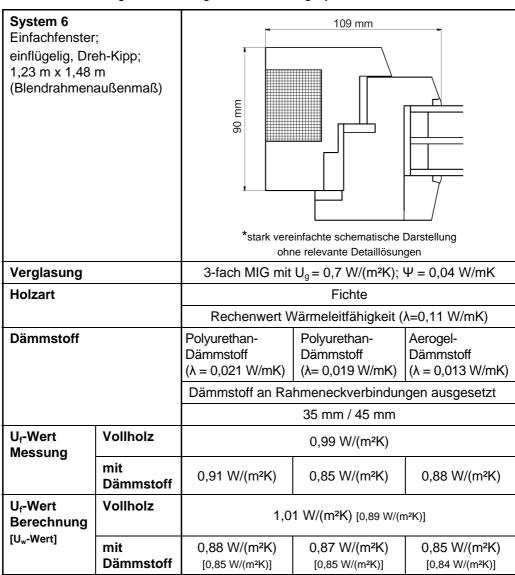
Der Berechnung nach bringen die eingesetzten Dämmstoffanteile im Vergleich zu den Vollholzvarianten Verbesserungen im  $U_f$ -Wert von 0,14 bis 0,19 W/(m²K). Nach den Ergebnissen der Messungen beläuft sich die Verbesserung im  $U_f$ -Wert auf 0,07 bis 0,09 W/(m²K).

### 6 Konzepte zur Verbesserung des Wärmeschutzes



Variante B zeigt durch die größeren Dämmstoffanteile zwar etwas bessere U<sub>f</sub>-Werte als Variante A. Durch die größere Ansichtsbreite von Variante B und der damit verbundenen negativen Auswirkungen auf den Wärmedurchgangskoeffizienten des kompletten Fensters werden sich die U<sub>w</sub>-Werte der beiden Varianten etwa im selben Bereich befinden.

**Tabelle 9** Vergleich Messung und Berechnung System 6



Die erhaltenen Unterschiede zwischen gemessenen und berechneten Werten sind bei der Untersuchung von System 6 sehr gering. Abweichungen liegen in



den Unterschieden zwischen Rechenwerten und von den angesetzten Dämmstoffen erfüllbaren Werten begründet. Zudem sieht die Rechnung eine optimale und fugenlose Einbringung der Dämmstoffe vor, was in der Praxis schwer erreichbar ist.

Der Berechnung nach bringen die eingesetzten Dämmstoffanteile im Vergleich zu den Vollholzvarianten Verbesserungen im  $U_f$ -Wert von 0,13 bis 0,16 W/(m²K). Nach den Ergebnissen der Messungen beläuft sich die Verbesserung im  $U_f$ -Wert auf 0,08 bis 0,14 W/(m²K).

### 6.2 Einsatz von modifizierten und leichten Hölzern

Die Berechnungen in Kapitel 3.2 haben gezeigt, dass durch Verwendung von Hölzern mit niedriger Wärmeleitfähigkeit erhebliche Verbesserungsmöglichkeiten der U<sub>f</sub>-Werte möglich sind. Bei bisher im Fensterbereich eingesetzten Hölzern werden nach dem derzeit in Abstimmung befindlichen Überarbeitungsvorschlag von prEN ISO 10077-2 [13] (siehe auch Kapitel 4.4) die in Tabelle 10 für einige Holzarten angegebenen Rechenwerte angesetzt.

**Tabelle 10** Beispiele für Rechenwerte Wärmeleitfähigkeit Hölzer nach Überarbeitungsvorschlag prEN ISO 10077-2 [13]

| Wärmeleitfähigkeit λ<br>in W/mK | Holzarten   |
|---------------------------------|---|
| 0,18                            | Eiche, Robinie, Afzelia,<br>Eukalyptus, Merbau u. a.  |
| 0,16                            | Dark Red Meranti, Teak,<br>Iroko, Sipo, Sapelli u. a. |
| 0,13                            | Lärche, Kiefer, Douglasie,<br>Light Red Meranti u. a. |
| 0,11                            | Tanne, Fichte u. a.                                   |

Neben anderen Parametern wie z. B. der Ausgleichsfeuchte ist die Wärmeleitfähigkeit von Holz in besonderem Maße abhängig von der Dichte der jeweiligen Holzarten. Im abgeschlossenen Forschungsvorhaben sollte nun untersucht werden, ob bisher nicht für die Herstellung von Fenstern eingesetzte "leichte" Hölzer mit niedriger Dichte weitere Vorteile bzgl. der Wärmeleitfähigkeit bieten können.

### 6 Konzepte zur Verbesserung des Wärmeschutzes



Daneben wurde auch untersucht, welche Auswirkungen auf die Wärmeleitfähigkeit von unterschiedlichen Varianten der Holzmodifizierung ausgehen. Die derzeitig am Markt erhältlichen modifizierten Hölzer wurden bislang hauptsächlich mit der Zielsetzung einer Verbesserung von Dauerhaftigkeit und des Quell-/Schwindverhaltens modifiziert. Die mit der Holzmodifizierung durch technische und/oder chemische Verfahren einhergehende Eigenschaftsveränderung der Hölzer betrifft aber auch die Ausgleichsfeuchte sowie die Dichte der Materialien. Möglich sind somit auch Auswirkungen auf die Wärmeleitfähigkeit der Hölzer.

## 6.2.1 Wärmeleitfähigkeit von leichten Hölzern

Für die Untersuchungen wurden Hölzer mit geringer Rohdichte ausgewählt. Neben europäischen Hölzern wie Pappel und Tanne wurden auch außereuropäische. Hölzer ausgewählt. Neben der Rohdichte war auch eine ausreichende Verfügbarkeit ein Kriterium für die Holzauswahl.

In Tabelle 11 sind die für die Untersuchungen ausgewählten "leichten" Holzarten zusammengefasst. Nach der Anlieferung der Hölzer wurden die Proben einem festgelegten Ablauf unterzogen (siehe Abbildung 25).

Tabelle 11 Überblick der untersuchten "leichten" Holzarten [22], [23]

| Bezeichnung  | Vorkommen               | Optik   | Rohdichte                     |  |  |  |  |
|--|-------------------------|---|-------------------------------|--|--|--|--|
|  | außereuropäische Hölzer |   |                               |  |  |  |  |
| Pulai<br>(Alstonia spp.)                             | Südostasien             | Splint- und Kern-<br>holz hell, gelb                          | 0,33 – 0,51 kg/m³             |  |  |  |  |
| Kiri<br>(Paulownia<br>tomentosa)                     | temperiertes Asien      | Splint- und Kern-<br>holz hell                                | 0,25 – 0,30 kg/m <sup>3</sup> |  |  |  |  |
| Wawa<br>bzw. Abachi<br>(Triplochiton<br>scleroxylon) | tropisches Afrika       | Splint- und Kern-<br>holz hell, gelb                          | 0,25 – 0,55 kg/m³             |  |  |  |  |
| Light Red<br>Meranti<br>(Shorea spp.)                | Südostasien             | Kernholz braun bis<br>rot, Splintholz farb-<br>lich abgesetzt | 0,32 – 0,70 kg/m <sup>3</sup> |  |  |  |  |

### 6 Konzepte zur Verbesserung des Wärmeschutzes



| Bezeichnung           | Vorkommen         | Optik                                | Rohdichte                     |
|-----------------------|-------------------|--------------------------------------|-------------------------------|
|                       | europäiso         | che Hölzer                           |                               |
| Pappel (Populus spp.) | Europa            | Splint- und Kern-<br>holz hell, gelb | 0,36 - 0,56 kg/m <sup>3</sup> |
| Tanne<br>(Abies alba) | Mittel-/Südeuropa | weiß bis weißgrau                    | 0,40 – 0,50 kg/m <sup>3</sup> |

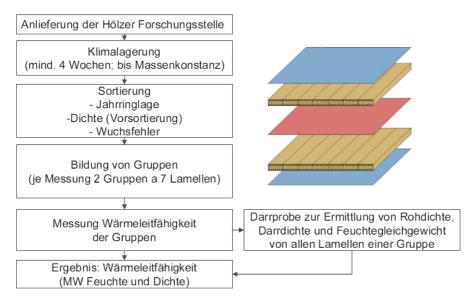


Abbildung 25 Untersuchungsablauf "leichte" Hölzer

Die Messungen der Wärmeleitfähigkeit erfolgten gemäß DIN EN 12667 [21]. Zusätzlich wurden die Darrrohdichte, die Rohdichte bei Ausgleichsfeuchte sowie die Ausgleichsfeuchte ermittelt. Die Ergebnisse der Untersuchungen sind in Tabelle 12 zusammengefasst.

Seite 60 von 136 © ift Rosenheim Juni 2011

# 6 Konzepte zur Verbesserung des Wärmeschutzes



Tabelle 12 Messwerte "leichte" Hölzer

| Holzart        | Charge                                | Darr-<br>Rohdichte<br>(MW) | Rohdichte bei<br>Ausgleichs-<br>feuchte (MW) | Ausgleichs-<br>feuchte<br>(MW) | Wärmeleit-<br>fähigkeit<br>(MW) |
|----------------|---------------------------------------|----------------------------|--|--------------------------------|---------------------------------|
| Pulai          | "leichte"<br>Sortierung               | 311 kg/m³                  | 334 kg/m³                                    | 10,5 %                         | 0,086 W/mK                      |
| ruiai          | "schwere"<br>Sortierung               | 389 kg/m³                  | 413 kg/m³                                    | 10,5 %                         | 0,100 W/mK                      |
| Kiri           | "leichte"<br>Sortierung               | 263 kg/m³                  | 284 kg/m³                                    | 8,5 %                          | 0,078 W/mK                      |
| KIII           | "schwere"<br>Sortierung               | 287 kg/m³                  | 310 kg/m³                                    | 8,6 %                          | 0,085 W/mK                      |
| Wawa           | "leichte"<br>Sortierung               | 337 kg/m³                  | 363 kg/m³                                    | 10,0 %                         | 0,104 W/mK                      |
| bzw.<br>Abachi | "schwere"<br>Sortierung               | 378 kg/m³                  | 403 kg/m³                                    | 9,9 %                          | 0,118 W/mK                      |
| Light Red      | "leichte"<br>Sortierung               | 337 kg/m³                  | 357 kg/m³                                    | 9,7 %                          | 0,089 W/mK                      |
| Meranti        | "schwere"<br>Sortierung               | 401 kg/m³                  | 425 kg/m³                                    | 9,8 %                          | 0,097 W/mK                      |
| Dannal         | "leichte"<br>Sortierung               | 331 kg/m³                  | 347 kg/m³                                    | 8,7 %                          | 0,080 W/mK                      |
| Pappel         | "schwere"<br>Sortierung               | 390 kg/m³                  | 410 kg/m³                                    | 8,8 %                          | 0,096 W/mK                      |
| Tanne          | "leichte"<br>Sortierung<br>(Rift)     | 484 kg/m³                  | 501 kg/m³                                    | 9,4 %                          | 0,103 W/mK                      |
|                | "schwere"<br>Sortierung<br>(Halbrift) | 508 kg/m³                  | 530 kg/m³                                    | 9,8 %                          | 0,109 W/mK                      |

In Abbildung 26 sind die Wärmeleitfähigkeiten in Abhängigkeit der Rohdichte bei Ausgleichsfeuchte grafisch dargestellt.

## 6 Konzepte zur Verbesserung des Wärmeschutzes



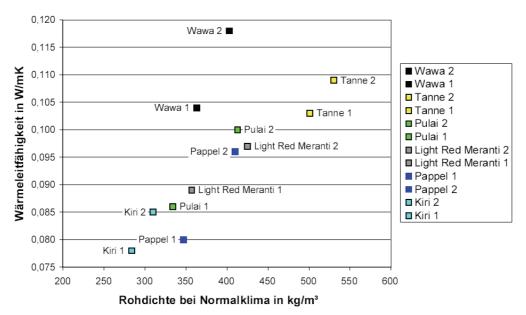


Abbildung 26 Wärmeleitfähigkeit in Abhängigkeit der Rohdichte

Aus den Untersuchungen wird generell die Abhängigkeit der Wärmeleitfähigkeit von den jeweiligen Rohdichten der Hölzer ersichtlich. Die erhaltenen Werte zeigen aber sehr gute wärmetechnische Eigenschaften sämtlicher untersuchter Hölzer.

Die Untersuchungen bestätigen auch die zukünftig bei Berechnungen für Tanne angesetzten Werte in der Wärmeleitfähigkeit von ca.  $\lambda = 0,11$  W/mK. Auch die untersuchte Holzart Wawa würde im Mittelwert etwa bei dieser Größenordnung liegen.

Werte für die Wärmeleitfähigkeit im Bereich von  $\lambda = 0,086$  W/mK und  $\lambda = 0,100$  W/mK konnten auf Basis der Untersuchungen für die Holzarten Pulai und Light Red Meranti festgestellt werden.

Die untersuchte Pappel zeigte abhängig von der jeweiligen Dichtesortierung eine erhebliche Streuung zwischen  $\lambda = 0,080$  W/mK und  $\lambda = 0,096$  W/mK. Das untersuchte Kiri lag sogar zwischen  $\lambda = 0,078$  W/mK und  $\lambda = 0,085$  W/mK.

Neben der Berücksichtigung der Wärmeleitfähigkeit sollten bei leichten Hölzern für einen möglichen Einsatz in der Fensterherstellung viele weitere wichtige Eigenschaften untersucht werden. Fragestellungen dazu sind zum Bei-

Seite 62 von 136

### 6 Konzepte zur Verbesserung des Wärmeschutzes



spiel die vorliegende Dauerhaftigkeit sowie die mechanischen Eigenschaften der Hölzer. Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens konnte mit Ausnahme der Untersuchungen an Pappelholz (thermisch modifiziert) keine weiteren Untersuchungen zur Eignung der Hölzer durchgeführt werden.

Die Erkenntnisse der Untersuchungen haben aufgrund der geringen Anzahl an Messungen nur informativen Charakter. Um einen klaren Trend bestimmen zu können, wäre eine größer angelegte Prüfserie notwendig.

## 6.2.2 Auswirkungen Holzmodifizierung auf die Wärmeleitfähigkeit

Im Rahmen der Untersuchungen sollte der Einfluss von Modifizierungsverfahren auf die Wärmeleitfähigkeit der Hölzer untersucht werden. Dazu sollen Hölzer derselben Charge sowohl mit Modifizierung als auch in naturbelassenem Zustand untersucht werden, um den wirklichen Einfluss der Modifizierung zu ermitteln. Bei entsprechender Verbesserung der Wärmeleitfähigkeiten der Hölzer könnte durch den Einsatz von modifizierten Hölzern im Profilaufbau eine Verbesserung der U<sub>f</sub>-Werte erreicht werden.

Zur Untersuchung wurden drei unterschiedliche Modifizierungsverfahren bzw. Holzarten ausgewählt, die derzeit für den Einsatz im Holzfensterbereich im Gespräch sind (siehe Tabelle 13). Um den tatsächlichen Einfluss der Modifizierung zu ermitteln, wurden die Hölzer zunächst im naturbelassenen Zustand angeliefert. Nach der Anlieferung der Hölzer wurden die Proben einem festgelegten Ablauf unterzogen (siehe Abbildung 27).

 Tabelle 13
 Überblick der untersuchten modifizierten Hölzer

| Art der Mod                 | ifizierung            | Verwendete Holzart |
|-----------------------------|-----------------------|--------------------|
| chemische                   | Holz-<br>Acetylierung | Pinus radiata      |
| Modifizierung               | Holz-<br>Vernetzung   | Kiefer             |
| thermische<br>Modifizierung |                       | Pappel             |



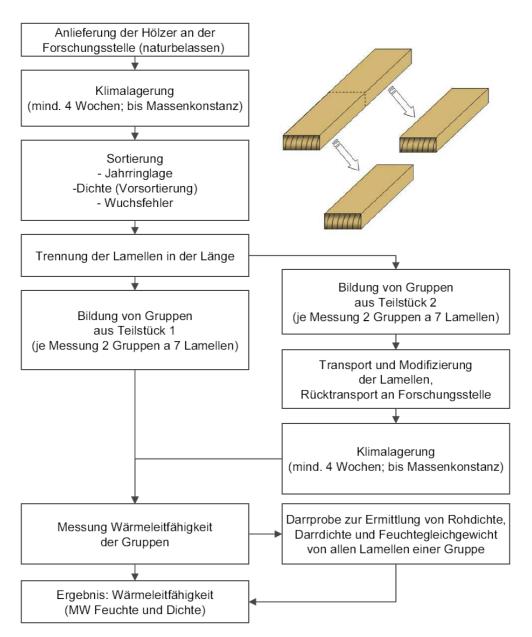


Abbildung 27 Untersuchungsablauf modifizierte Hölzer

Die Ergebnisse der Untersuchungen sind in Tabelle 14, Tabelle 15 und Tabelle 16 zusammengefasst. In Abbildung 28 sind die Wärmeleitfähigkeiten in Abhängigkeit von der Rohdichte bei Ausgleichsfeuchte grafisch dargestellt.

Seite 64 von 136 © ift Rosenheim Juni 2011

### 6 Konzepte zur Verbesserung des Wärmeschutzes



Tabelle 14 Messwerte Pinus radiata

| Pinus radiata bzw. modifiziertes Pinus radiata (chemische Modifizierung, Holz-Acetylierung)    |               |           |           |                                |                                 |  |
|--|---------------|-----------|-----------|--------------------------------|---------------------------------|--|
| Charge bzw. Gruppe  Darr- Rohdichte bei Rohdichte (MW)  Rohdichte bei Ausgleichs- feuchte (MW) |               |           |           | Ausgleichs-<br>feuchte<br>(MW) | Wärmeleit-<br>fähigkeit<br>(MW) |  |
| "leichte"<br>Sortierung  | naturbelassen | 417 kg/m³ | 445 kg/m³ | 10,5 %                         | 0,109 W/mK                      |  |
| (Rift)   | modifiziert   | 498 kg/m³ | 510 kg/m³ | 3,0 %                          | 0,102 W/mK                      |  |
| "schwere"<br>Sortierung  | naturbelassen | 474 kg/m³ | 503 kg/m³ | 10,4 %                         | 0,118 W/mK                      |  |
| (Rift)   | modifiziert   | 540 kg/m³ | 556 kg/m³ | 3,3 %                          | 0,110 W/mK                      |  |

Durch die Modifizierung erhöht sich die Rohdichte der Hölzer, während sich die Ausgleichsfeuchte der Hölzer reduziert. In beiden Messreihen bzw. beiden Dichte-Sortierungen reduziert sich die Wärmeleitfähigkeit durch die Modifizierung um ca. 7%.

Tabelle 15 Messwerte Kiefer

| Kiefer bzw. modifizierte Kiefer<br>(chemische Modifizierung, Holzvernetzung)  |               |           |           |        |            |  |
|---|---------------|-----------|-----------|--------|------------|--|
| Charge bzw. Gruppe  Darr- Rohdichte bei Ausgleichs- Feuchte (MW)  Rohdichte bei Ausgleichs- feuchte (MW)  (MW)  Wärmele fähigke |               |           |           |        |            |  |
| "leichte"<br>Sortierung   | naturbelassen | 441 kg/m³ | 469 kg/m³ | 10,6 % | 0,101 W/mK |  |
| (Rift)  | modifiziert   | 488 kg/m³ | 512 kg/m³ | 6,8 %  | 0,111 W/mK |  |
| "schwere"<br>Sortierung   | naturbelassen | 449 kg/m³ | 474 kg/m³ | 10,4 % | 0,106 W/mK |  |
| (Rift)  | modifiziert   | 506 kg/m³ | 526 kg/m³ | 7,2 %  | 0,114 W/mK |  |

Durch die Modifizierung erhöht sich die Rohdichte der Hölzer, während sich die Ausgleichsfeuchte der Hölzer reduziert. In beiden Messreihen bzw. beiden Dichte-Sortierungen erhöht sich die Wärmeleitfähigkeit durch die Modifizierung um ca. 10 %.

### 6 Konzepte zur Verbesserung des Wärmeschutzes



Tabelle 16 Messwerte Pappel

| Pappel bzw. modifizierte Pappel<br>(thermische Modifizierung) |               |           |           |       |                                 |  |
|---|---------------|-----------|-----------|-------|---------------------------------|--|
| Charge bzw. Gruppe Rohdichte Ausgleichs- feuchte fähigke      |               |           |           |       | Wärmeleit-<br>fähigkeit<br>(MW) |  |
| "leichte"<br>Sortierung                                       | naturbelassen | 331 kg/m³ | 347 kg/m³ | 8,7 % | 0,080 W/mK                      |  |
| (Rift)  | modifiziert   | 295 kg/m³ | 302 kg/m³ | 3,7 % | 0,077 W/mK                      |  |
| "schwere"   | naturbelassen | 390 kg/m³ | 410 kg/m³ | 8,8 % | 0,096 W/mK                      |  |
| Sortierung<br>(Rift)  | modifiziert   | 358 kg/m³ | 365 kg/m³ | 3,6 % | 0,084 W/mK                      |  |

Durch die Modifizierung reduzieren sich erwartungsgemäß die Rohdichte sowie die Ausgleichsfeuchte der Hölzer. In beiden Messreihen bzw. beiden Dichte-Sortierungen reduziert sich die Wärmeleitfähigkeit durch die Modifizierung um ca. 5 % bis 12 %.

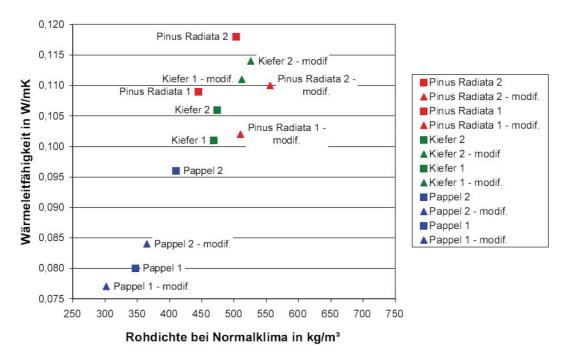


Abbildung 28 Wärmeleitfähigkeit in Abhängigkeit der Rohdichte

Seite 66 von 136 © ift Rosenheim Juni 2011

### 6 Konzepte zur Verbesserung des Wärmeschutzes



Die Untersuchungen zeigen generell einen deutlichen Einfluss der Holzmodifizierung auf die Wärmeleitfähigkeit der Hölzer. In Abhängigkeit vom Modifizierungsverfahren kann sich dies unterschiedlich auf die Wärmeleitfähigkeit der Hölzer auswirken.

Sehr deutlich ist der positive Effekt der thermischen Modifizierung zu sehen, da bei dieser Variante beide für die Wärmeleitfähigkeit maßgeblichen Parameter – Ausgleichsfeuchte und Rohdichte – in eine sich positiv auswirkende Richtung verändert werden.

Die Erkenntnisse der Untersuchungen haben aufgrund der geringen Anzahl an Messungen nur informativen Charakter. Um einen klaren Trend bestimmen zu können, wäre eine größer angelegte Prüfserie notwendig.

# 6.2.3 Thermische Modifizierung von leichten Hölzern

Bei der thermischen Modifizierung werden sowohl die Dichte als auch die Ausgleichsfeuchte der Hölzer reduziert. Die Wärmleitfähigkeit ist besonders von diesen beiden Parametern abhängig und das Verfahren zudem generell relativ flexibel auf verschiedene Holzarten übertragbar. Neben den Auswirkungen auf die Wärmeleitfähigkeit verbessert sich durch das Verfahren die Dauerhaftigkeit der Hölzer. Da von den ausgewählten außereuropäischen "leichten" Hölzern (Kapitel 5.2.1) mit Ausnahme von Kiri keine ausreichenden natürlichen Dauerhaftigkeiten zu erwarten waren, wurde daher zusätzlich eine Charge von jeder Holzart thermisch modifiziert und nachträglich dem Prüfablauf unterzogen.

Neben Auswirkungen auf die Wärmeleitfähigkeit und Dauerhaftigkeit der Hölzer gehen von der thermischen Modifizierung auch erhebliche Einflüsse auf die mechanischen Eigenschaften aus. Entscheidend dabei sind die während des Modifizierungsverfahrens eingestellten Verfahrensparameter (z. B. Temperatur, Dauer etc.). Im Falle der thermisch modifizierten Pappel wurden diese Parameter durch den Hersteller speziell dieser Holzart angepasst. Die entsprechenden Holzeigenschaften der thermisch modifizierten Pappel waren deshalb vielversprechend und wurden in Kapitel 7 orientierend untersucht.

Für die nachträglich modifizierten leichten Hölzer konnten die Verfahrensparameter im Rahmen des Forschungsvorhabens nicht angepasst werden. Die Hölzer wurden daher mit den Erfahrungswerten der Pappel modifiziert. Die bei

# Konzepte zur Verbesserung des Wärmeschutzes



der Holzart Pappel passenden Verfahrensparameter für die thermische Modifizierung waren für die untersuchten leichten Hölzer jedoch zu intensiv. Zwar konnte an den Hölzern die Wärmeleitfähigkeit bestimmt werden, jedoch wären diese in der untersuchten, zu intensiv modifizierten Form, überwiegend nicht für einen Einsatz bei der Fensterherstellung geeignet.

Bei diesen nachträglichen Untersuchungen war es zudem nicht möglich dieselben Chargen auch im naturbelassenen Zustand zu untersuchen. Aus den Ergebnissen können daher keine weiteren Anhaltspunkte zum Einfluss der thermischen Modifizierung auf die Wärmeleitfähigkeit (siehe Kapitel 6.2.2) abgeleitet werden. Die Ergebnisse der Untersuchungen sind in Tabelle 17 zusammengefasst.

Tabelle 17 Messwerte "leichte" modifizierte Hölzer

| Holzart              | Charge                                 | Darr-<br>Rohdichte<br>(MW) | Rohdichte<br>bei Aus-<br>gleichs-<br>feuchte (MW) | Aus-<br>gleichs-<br>feuchte<br>(MW) | Wärmeleit-<br>fähigkeit<br>(MW) |
|----------------------|--|----------------------------|---|-------------------------------------|---------------------------------|
| Pulai                | thermisch<br>modifiziert <sup>1)</sup> | 300 kg/m³                  | 309 kg/m³   | 5,0 %                               | 0,071 W/mK                      |
|                      | naturbelassen <sup>2)</sup>            | 311bis<br>389 kg/m³        | 334 bis<br>413 kg/m³                              | 10,5 %                              | 0,086 bis<br>0,100 W/mK         |
| Kiri                 | thermisch<br>modifiziert <sup>1)</sup> | 231 kg/m³                  | 237 kg/m³   | 4,3 %                               | 0,064 W/mK                      |
|                      | naturbelassen <sup>2)</sup>            | 263bis<br>287 kg/m³        | 284 bis<br>310 kg/m³                              | 8,5 bis 8,6 %                       | 0,078 bis<br>0,085 W/mK         |
| Wawa<br>bzw.         | thermisch<br>modifiziert <sup>1)</sup> | 319 kg/m³                  | 329 kg/m³   | 4,7 %                               | 0,083 W/mK                      |
| Abachi               | naturbelassen <sup>2)</sup>            | 337bis<br>378 kg/m³        | 363 bis<br>403 kg/m³                              | 9,9 bis<br>10,0 %                   | 0,104 bis<br>0,118 W/mK         |
| Light Red<br>Meranti | thermisch<br>modifiziert <sup>1)</sup> | 334 kg/m³                  | 341 kg/m³   | 4,7 %                               | 0,083 W/mK                      |
|                      | naturbelassen <sup>2)</sup>            | 337 bis<br>401 kg/m³       | 357 bis<br>425 kg/m³                              | 9,7 bis 9,8 %                       | 0,089 bis<br>0,097 W/mK         |

<sup>1)</sup> thermische Modifizierung zu intensiv; enormer Einfluss restliche Holzeigenschaften

Seite 68 von 136

<sup>&</sup>lt;sup>2)</sup> keine Aussage zum Einfluss der thermischen Modifizierung möglich; andere Ausgangsdichte

# 6 Konzepte zur Verbesserung des Wärmeschutzes



Abbildung 29 und Abbildung 30 zeigt beispielhaft zwei der intensiv modifizierten leichten Hölzer.







Abbildung 29 intensive Mo

intensive Modifizierung Light Red Meranti

Abbildung 30

intensive Modifizierung Pulai

Für einen Einsatz der untersuchten leichten Hölzer im thermisch modifizierten Zustand müssten die entsprechenden Verfahrensparameter angepasst werden. Nach bisherigen Erkenntnissen ist davon auszugehen dass die entsprechenden Wärmeleitfähigkeiten dabei auch etwas höher bzw. schlechter ausfallen würden.

# 6.2.4 Vergleich Messung und Berechnung U<sub>f</sub>-Werte

Um weitere Anhaltspunkte zum Einsatz von modifizierten Hölzern im Fensterprofil bzw. den damit verbundenen wärmetechnischen Verbesserungen zu gewinnen, wurde eine weitere Vergleichsuntersuchung durchgeführt. Für die Untersuchung wurde ein Fenstersystem eines am Forschungsvorhaben beteiligten Herstellers ausgewählt. Die vorhandene Konstruktion wurde jedoch mit unterschiedlichen Kantelaufbauten ausgeführt.

# 6 Konzepte zur Verbesserung des Wärmeschutzes



Um mögliche Abweichungen von Eigenschaften der verbauten Materialien sowie Fertigungseinflüsse zu hinterfragen, wurden neben den messtechnischen Untersuchungen nach DIN EN 12412-2 erneut jeweils auch Berechnungen der U<sub>f</sub>-Werte nach DIN EN ISO 10077-2 durchgeführt. In Tabelle 18 sind die Varianten und Werte zusammengefasst.

 Tabelle 18
 Vergleich Messung und Berechnung

| System 7 Einfachfenster; einflügelig, Dreh-Kipp; 1,23 m x 1,48 m (Blendrahmenaußenmaß); |                        | 109 mm  |  |  |  |  |
|---|------------------------|---|--|--|--|--|
|   |                        | *stark vereinfachte schematische Darstellung ohne relevante Detaillösungen      |  |  |  |  |
| Verglasun   | g                      | 3-fach MIG mit $U_g = 0.7 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ ; $\Psi = 0.04 \text{ W/mK}$ |  |  |  |  |
|   | Außen<br>(Wetterseite) |   | Pinus radiata modifiziert 20 mm; Rechenwert: λ = 0,11 W/mK             |  |  |  |
| Kantel-<br>aufbau   | Mitte                  | Fichte ges. 90 mm Rechenwert: λ = 0,11 W/mK                                     | Pappel thermisch<br>modifiziert<br>50 mm; Rechenwert:<br>λ = 0,09 W/mK |  |  |  |
|   | Innen<br>(Raumseite)   |   | Fichte 20 mm; Rechenwert: λ = 0,11 W/mK                                |  |  |  |
| U <sub>f</sub> -Wert M  | essung                 | 0,99 W/(m <sup>2</sup> K)   | 0,94 W/(m <sup>2</sup> K)  |  |  |  |
| U <sub>f</sub> -Wert Berechnung<br>[U <sub>w</sub> -Wert]                               |                        | 1,01 W/(m²K)<br>[0,89 W/(m²K)]  | 0,93 W/(m²K)<br>[0,87 W/(m²K)]   |  |  |  |

Seite 70 von 136 © ift Rosenheim Juni 2011

6 Konzepte zur Verbesserung des Wärmeschutzes



Die erhaltenen Unterschiede zwischen gemessenen und berechneten Werten sind bei der Untersuchung von System 8 sehr gering. Die angesetzten Rechenwerte scheinen sehr gut mit den tatsächlich vorherrschenden Werten der Hölzer übereinzustimmen.

Der Berechnung nach bringt der spezielle Kantelaufbau mit thermisch modifizierter Pappel im Kantelinneren im Vergleich zum Kantelaufbau aus Fichtenholz Verbesserungen im U<sub>f</sub>-Wert von ca. 0,08 W/(m²K). Nach den Ergebnissen der Messungen beläuft sich die Verbesserung im U<sub>f</sub>-Wert auf ca. 0,05 W/(m²K).

Besonders reizvoll am untersuchten kombinierten Kantelaufbau ist die sehr dauerhafte Lamelle mit modifizierten Pinus radiata auf der Außenseite, die wärmetechnisch hervorragende thermisch modifizierte Pappel im Mittelbereich sowie die dekorative Fichte auf der Raumseite des Kantels.



# 6.3 Auswirkungen Gebrauchstauglichkeit und Leistungseigenschaften

Um die Verbesserungskonzepte "Dämmstoffeinlagen im Blendrahmen" und "Einsatz leichter/modifizierter Hölzer" bzgl. möglicher Auswirkungen auf die Gebrauchstauglichkeit zu untersuchen, wurden weitergehende Untersuchungen dazu angestoßen.

Weil beide Verbesserungskonzepte eine gewisse Schwächung des Profilquerschnitts mit sich bringen, wurden dazu Dauerfunktionsprüfungen und vergleichende Untersuchung zur Einbruchhemmung durchgeführt. Da mit Veränderungen in Struktur und Dichte der verbauten Materialien des Weiteren auch Auswirkungen auf den Schallschutz möglich sind, wurden auch hierzu weitergehende vergleichende Untersuchungen durchgeführt.

# 6.3.1 Auswirkungen Gebrauchstauglichkeit

Die innerhalb des Forschungsvorhabens für das Verbesserungskonzept "Dämmstoffeinlage im Blendrahmen" vorgesehenen Dämmstoffe können keinerlei statische Aufgaben im Profil übernehmen. Die statischen und mechanischen Eigenschaften der Hölzer im Verbesserungskonzept "Einsatz leichter/modifizierter Hölzer" weisen im Vergleich zu herkömmlich in der Fensterherstellung eingesetzten Hölzern gewisse Einschränkungen auf. Beide Verbesserungskonzepte stellen daher eine gewisse Schwächung des Profilquerschnitts dar. Um Aussagen zu möglichen negativen Auswirkungen und möglichen Schwachstellen im Hinblick auf die Gebrauchstauglichkeit zu untersuchen, wurde eine Dauerfunktionsprüfung (siehe Abbildung 31) durchgeführt.



Abbildung 31 Dauerfunktionsprüfung Verbesserungskonzepte

Seite 72 von 136 © ift Rosenheim Juni 2011

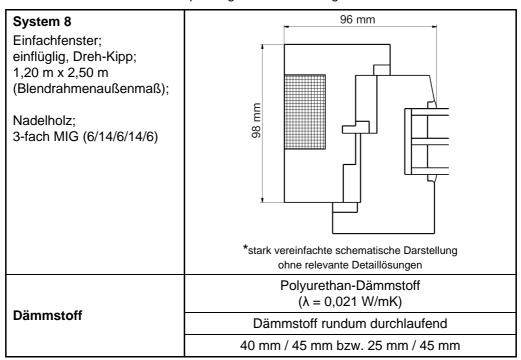
# 6 Konzepte zur Verbesserung des Wärmeschutzes



Für die Durchführung der Dauerfunktion wurden zwei Systeme der beteiligten Fensterhersteller ausgewählt. Zur Untersuchung des Konzepts "Dämmstoffeinlagen im Blendrahmen" wurde ein Fensterelement umlaufend mit Dämmstoffeinlagen aus Polyurethan bestückt. Um eine Worst Case-Situation nachzustellen, wurde ein sehr großes Element mit 3-fach Mehrscheibenisolierglas ausgewählt (siehe Tabelle 19).

Die Dauerfunktion verlief ohne Schäden. Es konnten keine Auswirkungen der Dämmstoffeinlagen auf die Gebrauchstauglichkeit festgestellt werden. Auch bei Großelementen mit 3-fach Mehrscheibenisolierglas können auf Basis der Untersuchungen Dämmstoffe in die Blendrahmen integriert werden.

 Tabelle 19
 Dauerfunktionsprüfung Dämmstoffeinlage im Blendrahmen



# 6 Konzepte zur Verbesserung des Wärmeschutzes



Zur Untersuchung des Konzepts "Einsatz leichter/modifizierter Hölzer" wurde ein Fensterelement mit modifizierter Pinus radiata auf der Außenlamelle, zwei Lamellen thermisch modifizierter Pappel im Mittelbereich sowie einer Fichten-Lamelle auf der Raumseite ausgewählt (siehe Tabelle 20).

Die Dauerfunktion verlief ohne Schäden (siehe Abbildung 32). Es konnten keine Auswirkungen des speziellen Kantelaufbaus auf die Gebrauchstauglichkeit festgestellt werden.

 Tabelle 20
 Dauerfunktionsprüfung Einsatz leichter/modifizierter Hölzer

| System 9 Einfachfens einflügelig, 1,23 m x 1,4 (Blendrahm | Dreh-Kipp;          | *stark vereinfachte schematische Darstellung ohne relevante Detaillösungen |  |  |
|---|---------------------|--|--|--|
| Verglasung  |                     | 3-fach MIG (Glasgewicht durch Auflastung simuliert)                        |  |  |
| Kontol  | außen (Wetterseite) | Pinus radiata modifiziert 20 mm  |  |  |
| Kantel-<br>aufbau   | Mitte               | Pappel thermisch modifiziert 50 mm   |  |  |
|   | innen (Raumseite)   | Fichte 20 mm   |  |  |

Seite 74 von 136 © ift Rosenheim Juni 2011

6 Konzepte zur Verbesserung des Wärmeschutzes





**Abbildung 32** Dauerfunktionsprüfung Einsatz leichter/modifizierter Hölzer

# 6.3.2 Auswirkungen Einbruchhemmung

Bereits zu Beginn des Forschungsvorhabens wurde im Pflichtenheft die Forderung an zukünftige Konstruktionen angegeben, bzgl. Einbruchhemmung die Widerstandsklasse 2 (WK2) erfüllen zu können. Innerhalb DIN V ENV 1627 [24] ist diese Klasse wie folgt definiert:

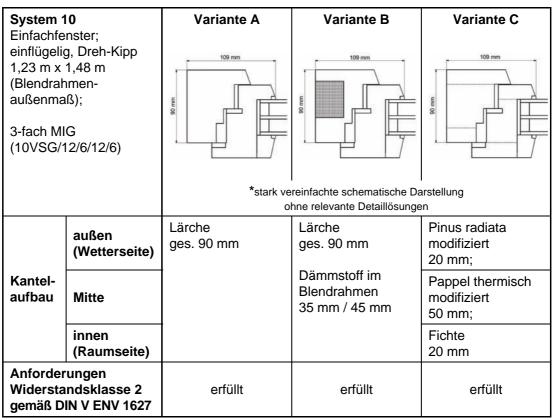
- Erwarteter Tätertyp, mutmaßliches Verhalten:
  - "...der Gelegenheitstäter versucht, zusätzlich mit einfachen Werkzeugen wie Schraubendreher, Zange und Keile, das verschlossene und verriegelte Bauteil aufzubrechen..."
- Empfohlener Einsatzort des einbruchhemmenden Bauteils:
  - "...Wohnobjekte, Gewerbeobjekte, öffentliche Gebäude...mutmaßliche Täter mit geringer Risikobereitschaft..."

### Konzepte zur Verbesserung des Wärmeschutzes



In Bezug auf die in diesem Kapitel vorgestellten Verbesserungskonzepte wurde daher an drei unterschiedlichen Varianten eines Fenstersystems der beteiligten Hersteller eine vergleichende Einbruchsprüfung durchgeführt. Die untersuchten Varianten sowie die ermittelten Ergebnisse sind in Tabelle 21 zusammengefasst.

 Tabelle 21
 Vergleich Einbruchhemmung



Bei Variante A, einem 4-fach lamellierten Kantelaufbau aus Lärchenholz, wurde Widerstandsklasse 2 erwartungsgemäß erfüllt. Bei Berücksichtigung aller bereits aus einbruchhemmenden Holzfenstern mit geringeren Rahmendicken bekannten Anforderungen an Konstruktionsdetails (z. B. Glasanbindung, Beschlagsausführung etc.) können auch Holzfenster mit größeren Rahmendicken Anforderungen an die Einbruchhemmung erfüllen. Die ausgewählte Holzart Lärche stellt hier eine Kompromisslösung dar. Lärche hat mit einer Wärmeleitfähigkeit von  $\lambda=0,13$  W/mK taugliche Wärmeschutzeigenschaften

Seite 76 von 136 © ift Rosenheim Juni 2011

# 6 Konzepte zur Verbesserung des Wärmeschutzes



bei gleichzeitig sehr hoher Festigkeit im Hinblick auf die resultierende Einbruchhemmung.

Variante B entsprach in diesem Fall dem generellen Kantelaufbau von Variante A (4-fach Lärche) wurde jedoch zur wärmetechnischen Verbesserung mit Dämmstoffeinlagen im Blendrahmen versehen. Von den statisch nicht belastbaren Dämmstoffeinlagen geht eine gewisse statische Schwächung des Profilaufbaus im Blendrahmen aus. Darin begründete Nachteile der Konstruktion im Bezug auf die Einbruchhemmung konnten bei der Untersuchung jedoch nicht bestätigt werden. Die enthaltenen Dämmstoffe bzw. Freiräume in der Konstruktion führten dazu, dass beim Versuch, den Flügelrahmen aus den verriegelten Schließstücken zu hebeln, ein stabiles Gegenlager fehlte und dadurch die entsprechende Hebelwirkung nicht erreicht werden konnte (siehe Abbildung 33). Bei der untersuchten Konstruktion mit Dämmstoffeinlagen im Blendrahmen konnte also im Vergleich zur Variante ohne Dämmstoffe keine nachteilige Auswirkung auf die Einbruchhemmung des Bauteils festgestellt werden. Variante B konnte die Widerstandsklasse 2 somit erfüllen.



**Abbildung 33** Einbruchhemmung Variante B; freiliegende Dämmstoffnut

#### Konzepte zur Verbesserung des Wärmeschutzes



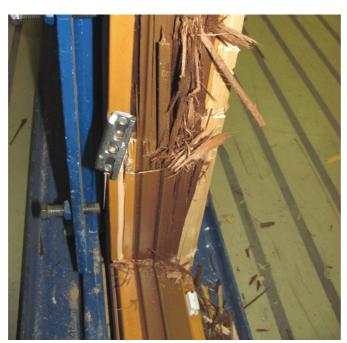
Variante C entsprach ebenfalls dem generellen Holzfenstersystem der zuvor beschriebenen Varianten, der Kantelaufbau setzte sich hingegen aus modifizierter Pinus radiata auf der Außenlamelle, zwei Lamellen thermisch modifizierter Pappel im Mittelbereich sowie einer Fichten-Lamelle auf der Raumseite zusammen. Besonders von den Bereichen in Flügel- und Blendrahmen mit thermisch modifizierter Pappel geht eine gewisse statische Schwächung des kompletten Profilaufbaus aus. Eine weitere Schwächung resultiert aus der geringen Schraubenauszugsfestigkeit der modifizierten Pappel, die im Hinblick auf die Beschlagsbefestigung bei der Einbruchhemmung besonders wichtig ist. Die vermuteten Schwachstellen der Konstruktion bestätigten sich im durchgeführten Versuch jedoch nicht. Ähnlich wie bei Variante B führten die Bereiche mit thermisch modifizierter Pappel im Kernbereich der Kantel dazu, dass ein stabiles Gegenlager fehlte und die entsprechende Hebelwirkung nur bedingt auf die Konstruktion übertragen werden konnte (siehe Abbildung 34 und Abbildung 35). Bei der untersuchten Konstruktion mit speziellem Kantelaufbau konnten also im Vergleich zu den anderen beiden untersuchten Varianten nur geringe Nachteile bzgl. der Einbruchhemmung des Bauteils festgestellt werden. Variante C konnte die Widerstandsklasse 2 somit ebenfalls erfüllen.



Abbildung 34 Einbruchhemmung Variante C

6 Konzepte zur Verbesserung des Wärmeschutzes





**Abbildung 35** Einbruchhemmung Variante C; Beschädigung Profil nach Prüfung bei geöffnetem Flügel

Wie die durchgeführten Untersuchungen zeigen, kann mit Holzfenstersytemen einer Rahmendicke von 90 mm auch bei wärmeschutztechnischen Verbesserungen durch den Einsatz modifizierter Hölzer oder Dämmstoffeinlagen im Blendrahmen die Widerstandsklasse 2 erreicht werden.



# 6.3.3 Auswirkungen Schallschutz

Im Pflichtenheft zu Entwicklungen im Forschungsvorhaben wurde die Forderung angegeben, hinsichtlich des Schallschutzes ein Schalldämm-Maß  $R_W$  von 42 - 45 dB erreichen zu können.

In Bezug auf die in diesem Kapitel vorgestellten Verbesserungskonzepte wurde daher an 3 unterschiedlichen Varianten eines Fenstersystems der beteiligten Hersteller eine vergleichende Schallschutzprüfung gemäß DIN EN ISO 10140 [25] [26] und DIN EN ISO 717-1 [27] durchgeführt. Die untersuchten Varianten sowie die ermittelten Ergebnisse sind in Tabelle 22 zusammengefasst.

 Tabelle 22
 Vergleich Schallschutz am Element

| System 1   |                        | Variante A   | Variante B                                   | Variante C                                |  |  |
|--|------------------------|--|--|---|--|--|
| Einfachfenster;<br>einflügelig, Dreh-Kipp;<br>1,23 m x 1,48 m<br>(Blendrahmen-<br>außenmaß);<br>3-fach MIG<br>(10VSG-12-6-12-8VSG) |                        | 109 mm   | 109 mm                                       | 109 mm                                    |  |  |
|  |                        | t *stark vereinfachte schematische Darstellung ohne relevante Detaillösungen |  |   |  |  |
|  | außen<br>(Wetterseite) | Fichte<br>ges. 90 mm   | Fichte<br>ges. 90 mm                         | Pinus radiata<br>modifiziert<br>20 mm;    |  |  |
| Kantel-<br>aufbau  | Mitte                  |  | Dämmstoff im<br>Blendrahmen<br>35 mm / 45 mm | Pappel thermisch<br>modifiziert<br>50 mm; |  |  |
| innen<br>(Raumseite)   |                        |  |  | Fichte<br>20 mm                           |  |  |
| Bewertetes Schalldämm-Maß R <sub>W</sub> Spektrum- Anpassungswerte C und C <sub>tr</sub>   |                        | 43 (-1;-3) dB  | 43 (-1;-3) dB                                | 43 (-1;-3) dB                             |  |  |

Seite 80 von 136 © ift Rosenheim Juni 2011

# 6 Konzepte zur Verbesserung des Wärmeschutzes



Das Holzfensterelement Variante A mit einem Kantelaufbau aus Fichte ergab innerhalb der Untersuchung ein bewertetes Schalldämm-Maß  $R_W$  von 43 (-1;-3) dB (Spektrum-Anpassungswerte C und  $C_{tr}$ ).

Da von im Kantelaufbau integrierten Dämmstoffanteilen Auswirkungen auf die Schallschutzeigenschaften vermutet wurden, wurde Variante B mit demselben Aufbau wie Variante A und zusätzlichen Dämmstoffanteilen im Blendrahmen ausgeführt. Bei der Untersuchung ergab sich ebenfalls ein bewertetes Schalldämm-Maß R<sub>W</sub> von 43 (-1;-3) dB (Spektrum-Anpassungswerte C und C<sub>tr</sub>).

Variante C wurde dagegen mit einem Kantelaufbau aus modifizierter Pinus radiata, thermisch modifizierter Pappel und Fichte ausgeführt. Von dem in der Dichte stark reduzierten thermisch modifizierten Pappelholz wurden dabei ebenfalls Einflüsse auf die Schallschutzeigenschaften vermutet. Bei der Untersuchung ergab sich ebenfalls ein bewertetes Schalldämm-Maß  $R_W$  von 43 (-1;-3) dB (Spektrum-Anpassungswerte C und  $C_{tr}$ ).

Bei der durchgeführten Untersuchung am kompletten Fenster wurden zwischen den unterschiedlichen Rahmenvarianten keine messbaren Unterschiede festgestellt. Auf Basis der durchgeführten Untersuchungen kann davon ausgegangen werden, dass von vergleichbaren wärmetechnischen Verbesserungen kaum Einflüsse auf die Schallschutzeigenschaften der Fensterelemente ausgehen. Guter Schallschutz kann demnach auch mit wärmetechnisch verbesserten Konstruktionen erfüllt werden.

Um den Einfluss solcher Rahmenvarianten nochmals genauer zu hinterfragen, wurde eine weitere Untersuchungsreihe durchgeführt. Dabei wurde jeweils lediglich eine Kombination aus Blend- und Flügelrahmenprofil am Stab untersucht bzw. relativ zueinander verglichen.

In Tabelle 23 sind die untersuchten Varianten und ermittelten Ergebnisse zusammengefasst.



Tabelle 23 Vergleich Schallschutz am Profil

| S  | ystem 10 | Ho<br>bzw. Ka  | Norm-<br>Schallpegel-<br>differenz D <sub>n,e,w</sub> |       |  |  |
|--|----------|--|---|-------|--|--|
|  | 109 mm   | 4-fach Eiche   | ca. 700 kg/m³   | 66 dB |  |  |
| Variante A   | 8        | 4-fach   | ca. 500 kg/m³   | 63 dB |  |  |
|  |          | Meranti  | < 500 kg/m³   | 63 dB |  |  |
|  | 109 mm   | 4-fach Eiche<br>+ Dämmstoff<br>Blendrahmen                       | ca. 700 kg/m³   | 64 dB |  |  |
| Variante B   |          | 4-fach<br>Meranti +  | ca. 500 kg/m³   | 63 dB |  |  |
|  |          | Dämmstoff<br>Blendrahmen   | < 500 kg/m³   | 62 dB |  |  |
| Variante C   | 109 mm   | Pinus radiata r<br>+ 2-fach therm<br>modifizierte Pa<br>+ Fichte | 63 dB   |       |  |  |
| *stark vereinfachte schematische Darstellung ohne relevante Detaillösungen |          |  |   |       |  |  |

Für die untersuchten Kanteln wurden erneut die drei Varianten ausgewählt, die schon bei den untersuchten Fensterelementen ausgewählt wurden. Variante A und Variante B wurden dabei zusätzlich in unterschiedlichen Holzarten bzw. Rohdichten ausgeführt. Variante B wurde erneut mit in den Blendrahmen integrierten Dämmstoffen, Variante C wieder mit dem bereits beschriebenen Kantelaufbau ausgeführt.

Wie schon bei der Untersuchung an kompletten Fensterelementen, sind die messbaren Unterschiede bzgl. des Schallschutzes sehr gering. Minimale Einflüsse sind, wie vermutet, beim direkten Vergleich unterschiedlicher Rohdichten der verwendeten Hölzer sowie beim direkten Vergleich der Profile mit bzw. ohne Dämmstoffeinlagen im Blendrahmen erkennbar.

Seite 82 von 136 © ift Rosenheim Juni 2011

## 6 Konzepte zur Verbesserung des Wärmeschutzes



# 6.4 Zusammenfassung der Konzepte zur Verbesserung

Dämmstoffeinlagen im Blendrahmen von Holzfensterprofilen stellen eine sehr einfache, aber durchaus wirkungsvolle Möglichkeit der wärmetechnischen Verbesserung dar. Sowohl durch Berechnung als auch durch Messung konnte gezeigt werden, dass, abhängig vom jeweiligen Fenstersystem bzw. vom verwendeten Dämmstoff, Verbesserungen im U<sub>f</sub>-Wert von ca. 0,1 W/(m²K) möglich sind. Innerhalb der durchgeführten Untersuchungen zu Dauerfunktion, Schallschutz und Einbruchhemmung konnten keine negativen Auswirkungen auf die Gebrauchstauglichkeit der Systeme festgestellt werden.

Mit der Verwendung "leichter" Hölzer bzw. durch Holzmodifizierung wärmetechnisch verbesserter Hölzer konnten ohne den Einsatz von Dämmstoffen ebenfalls verbesserte U<sub>f</sub>-Werte erzielt werden. Innerhalb der durchgeführten Untersuchungen zu Dauerfunktion, Schallschutz und Einbruchhemmung konnten keine negativen Auswirkungen auf die Gebrauchstauglichkeit der Systeme festgestellt werden. Trotzdem muss vor einem Einsatz solcher Hölzer eine Reihe weiterer Untersuchungen durchgeführt werden, die über den orientierenden Charakter innerhalb dieses Forschungsvorhabens hinausgehen. In Kapitel 7 sind am Beispiel der thermisch modifizierten Pappel weitere, jedoch ebenfalls orientierende, Untersuchungen zur Eignung des Materials für einen Einsatz in der Fensterherstellung enthalten.

Für eine weitere Entwicklung von Holzfenstern kann eine Kombination der beiden vorgestellten Konzepte empfohlen werden. Während die Möglichkeit von Dämmstoffeinlagen im Blendrahmen als optimale Lösung erscheint, könnte das Flügelrahmenprofil mit einem kombinierten Kantelaufbau ausgeführt werden.

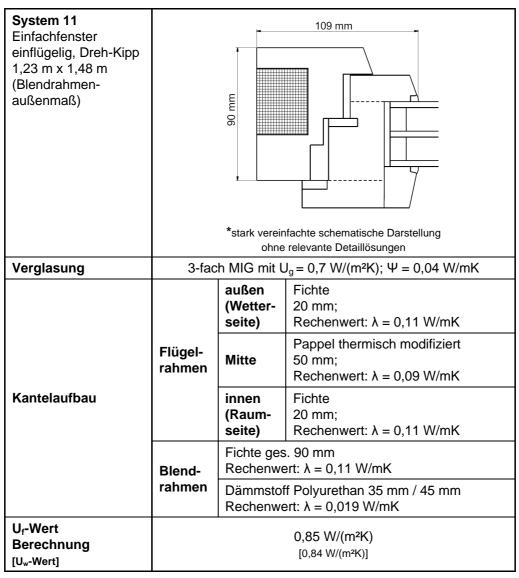
Konstruktionselemente wie z. B. Pfosten oder Riegel wären dazu ebenfalls aus einem kombinierten Kantelaufbau herzustellen. Dadurch wären auch solche Profilteile wärmetechnisch verbessert. Die in diesen Fällen oftmals auftretenden konstruktiven und statischen Probleme beim Einsatz von Dämmstoffen könnten damit vermieden werden.

Ein Beispiel für eine solche Konstruktion wird anhand eines Fenstersystems eines der beteiligten Hersteller in Tabelle 24 dargestellt.

# 6 Konzepte zur Verbesserung des Wärmeschutzes



Tabelle 24 Kombination Verbesserungsmöglichkeiten



Der mit einer solchen Konstruktion erreichbare  $U_f$ -Wert von 0,85 W/(m²K) stellt einen bei vertretbarem Aufwand einen hervorragenden Wert dar. Ausgehend von den Annahmen aus Kapitel 4.1 und einem  $U_g$ -Wert von 0,7 W/(m²K) entspricht dies einem  $U_w$ -Wert von 0,84 W/(m²K).

Seite 84 von 136 © ift Rosenheim Juni 2011

# 7 Orientierende Untersuchungen thermisch modifizierte Pappel



# 7 Orientierende Untersuchungen thermisch modifizierte Pappel

Die in Kapitel 6.2 beschriebenen Untersuchungen zum Einsatz von modifizierten und leichten Hölzern zeigten für die beispielhaft betrachtete thermisch modifizierte Pappel hervorragende Erfolgsaussichten. Für einen Einsatz von Hölzern in der Fensterherstellung sind nach "Stand der Technik" in Deutschland Hölzer vorgesehen, die in den VFF-Merkblättern HO.06 Teil 1 bis Teil 4 [28], [29], [30], [31] enthalten sind.

Um erste Anhaltspunkte zur Eignung der thermisch modifizierten Pappel als Holzart für den Fensterbau zu gewinnen, wurden orientierende Untersuchungen zu ausgewählten Holzeigenschaften durchgeführt. Für eine Aufnahme in die entsprechenden VFF-Merkblätter sind sehr viel tiefergehende Untersuchungen als die im durchgeführten Forschungsvorhaben enthaltenen nötig. Im Folgenden sind die Erkenntnisse der Untersuchungen dargestellt.

# 7.1 Wärmeleitfähigkeit

Ausgang für die weiteren Untersuchungen an thermisch modifizierter Pappel waren die aussichtsreichen Werte der Wärmeleitfähigkeit, bestimmt mit dem Plattenmessgerät nach DIN EN 12667 [21]. In Tabelle 25 sind die bereits in Kapitel 6.2 vorgestellten Werte nochmals zusammengefasst dargestellt.

 Tabelle 25
 Messwerte Wärmeleitfähigkeit Pappel

| Charge bzw. Gruppe      |               | Rohdichte bei<br>Ausgleichsfeuchte<br>(Mittelwert) | Ausgleichs-<br>feuchte<br>(Mittelwert) | Wärmeleit-<br>fähigkeit<br>(Mittelwert) |  |
|-------------------------|---------------|--|--|---|--|
| "leichte"<br>Sortierung | naturbelassen | 347 kg/m³  | 8,7 %                                  | 0,080 W/mK                              |  |
| (Rift)                  | modifiziert   | 302 kg/m³  | 3,7 %                                  | 0,077 W/mK                              |  |
| "schwere"<br>Sortierung | naturbelassen | 410 kg/m³  | 8,8 %                                  | 0,096 W/mK                              |  |
| (Rift)                  | modifiziert   | 365 kg/m³  | 3,6 %                                  | 0,084 W/mK                              |  |

Durch die thermische Modifizierung werden sowohl Dichte als auch Ausgleichsfeuchte reduziert. Die Veränderung durch die Modifizierung bewirkt eine Reduzierung der Wärmeleitfähigkeit. Die Wärmeleitfähigkeiten der unter-

# 7 Orientierende Untersuchungen thermisch modifizierte Pappel



suchten thermisch modifizierten Pappel liegen mit Werten von 0,077 W/mK bzw. 0,084 W/mK in einem hervorragenden Bereich.

# 7.2 Lamellierungsprüfung

Ziel der Untersuchung war es, zu überprüfen, ob mit thermisch modifizierter Pappel lamellierte Kanteln den speziellen Anforderungen für einen Einsatz im Fensterbau genügen. Dazu wird die grundsätzliche Eignung einer Kombination aus Holz (Holzart, -sortierung und Vorbehandlung), des eingesetzten Klebstofftyps und des gesamten Fertigungsprozesses gemäß ift-Richtlinie ift-HO-10/1 [32] untersucht. Hierzu wurden drei unterschiedliche Kantelaufbauten unter Verwendung von drei unterschiedlichen Klebstoffen untersucht. Die Fertigung der Kanteln erfolgte im Labormaßstab. In Tabelle 26 ist ein Überblick zu den untersuchten Varianten sowie die erzielten Ergebnisse dargestellt.

Tabelle 26 Varianten und Ergebnisse der Untersuchung nach ift-Richtlinie HO-10/1

|              | Außen-<br>lamellen | thermisch<br>modifizierte Pappel | Eiche  | Fichte            |  |  |  |  |  |  |
|--------------|--------------------|----------------------------------|--|-------------------|--|--|--|--|--|--|
|              | Mittel-<br>lamelle | the                              | thermisch modifizierte Pappel  |                   |  |  |  |  |  |  |
| Kantelaufbau | Bild               |                                  |  |                   |  |  |  |  |  |  |
| ffe          | PU                 | <b>✓</b>                         | ×  | ✓                 |  |  |  |  |  |  |
| Klebstoffe   | EPI                | *                                | *  | ×                 |  |  |  |  |  |  |
| K            | PVAC               | ✓                                | ×  | ×                 |  |  |  |  |  |  |
| Beurteilung  | <b>√</b>           | Klebung nach <b>ift</b> -Richt   | linie HO-10/1 (in Anlehn   | ung) nachgewiesen |  |  |  |  |  |  |
| Beurl        | ×                  | Klebung nach <b>ift</b> -Richtli | Klebung nach <b>ift</b> -Richtlinie HO-10/1 (in Anlehnung) <u>nicht</u> nachgewiesen |                   |  |  |  |  |  |  |

Seite 86 von 136 © ift Rosenheim Juni 2011

# 7 Orientierende Untersuchungen thermisch modifizierte Pappel



Bei einigen Variationen bzw. Kombinationen aus Holzarten und Klebstoffen konnten die Anforderungen der **ift**-Richtlinie nicht vollständig erfüllt werden. Dabei waren durchweg Fugenöffnungen bei der temperierten Wasserlagerung die Ursache für die entsprechende Bewertung. In Abbildung 36 und Abbildung 37 sind beispielhafte Kantelabschnitte mit Fugenöffnungen zu sehen.

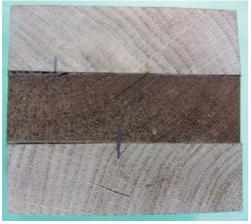


Abbildung 36 Delaminierung; Verbindung th. mod. Pappel + Eiche; Klebstoff PVAC



Abbildung 37 Delaminierung; Verbindung th. mod. Pappel + th. mod. Pappel; Klebstoff EPI

Gute Erfolgsaussichten gehen auf Basis der durchgeführten Untersuchungen vom Einsatz von PU-Klebstoffen aus. Bei der Kombination von Holzarten mit sehr unterschiedlichem Quellungsverhalten wie z.B. Eiche und thermisch modifizierte Pappel ist besondere Vorsicht geboten. Für abschließende Aussagen sollten neben der Lamellierungsprüfung gemäß ift-Richtlinie HO-10/1 [32] auch weitergehende Untersuchungen wie z.B. eine einseitige Beregnung und Bestrahlung längerer Kanteln in Betracht gezogen werden.

Neben den untersuchten Klebstofftypen sind auch noch weitere Klebstoffe denkbar (z. B. Melamin-basierte Klebstoffe). Generell sollten die vorgesehenen Kantelaufbauten mit dem Klebstoffhersteller vorab abgestimmt werden sowie ggf. Untersuchungen nach den einschlägigen Richtlinien durchgeführt werden.

# Orientierende Untersuchungen thermisch modifizierte Pappel



Parallel zu diesem Forschungsvorhaben wurde durch die Universität Hamburg das AiF-Forschungsvorhaben mit dem Kurztitel "Eignungsprüfung lamellierter Kanteln mit dekorativer Sichtlage" [33] durchgeführt. In dem Vorhaben wurden großangelegte Untersuchungen zur Klebung von unterschiedlichen Holzarten zu Kanteln für die Fensterfertigung durchgeführt. Zahlreiche Untersuchungsergebnisse dazu finden sich auch in der aus dem Projekt entstanden Diplomarbeit von Herrn Matthies Ehmcke "Untersuchung der Verklebungseigenschaften und Dimensionsstabilität von kombinierten Kanteln für den Fensterbau" [34].

Aufgrund zahlreicher thematischer Berührungspunkte zwischen den beiden Forschungsprojekten entwickelte sich während der Projektlaufzeit ein gegenseitiger Austausch von Erkenntnissen und Erfahrungen. An dieser Stelle sei Herrn PD Dr. Habil. Gerald Koch vom Institut für Holztechnologie und Holzbiologie des Johann Heinrich von Thünen-Instituts (vTI) in Hamburg sehr herzlich gedankt.

# 7.3 Schraubenauszug

Durch die thermische Modifizierung verändern sich Dichte und Struktur der Holzsubstanz. Eine besonders wichtige Eigenschaft für den Einsatz in der Fensterherstellung ist die Schraubenauszugsfestigkeit, die von dieser Veränderung maßgeblich mitbestimmt wird. Ziel der Untersuchungen war es daher, die Schraubenauszugsfestigkeit von thermisch modifizierter Pappel im Vergleich zu anderen Holzarten zu untersuchen.

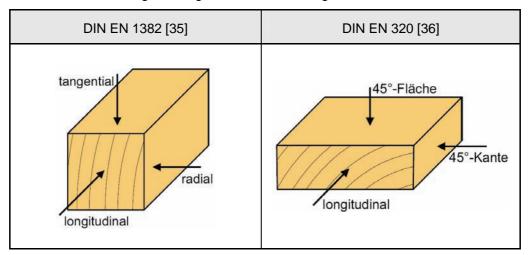
Um einen Vergleich zu anderen Holzarten zu ermöglichen, wurden zunächst Untersuchungen mit einer Schraubengröße von 3,5 mm x 35 mm durchgeführt. In Tabelle 27 sind die maßgeblichen Auszugsrichtungen sowie die entsprechenden Prüfnormen angegeben, da neue Versuche und Vergleichswerte nach unterschiedlichen Verfahren bestimmt wurden. In Abbildung 38 sind die ermittelten Werte im Vergleich zu Werten anderer Holzarten dargestellt. Neben der thermisch modifizierten Pappel wurde auch die naturbelassene Pappel mit untersucht.

Seite 88 von 136 © ift Rosenheim Juni 2011

# 7 Orientierende Untersuchungen thermisch modifizierte Pappel



 Tabelle 27
 Auszugsrichtungen Schraubenauszug und Prüfnormen



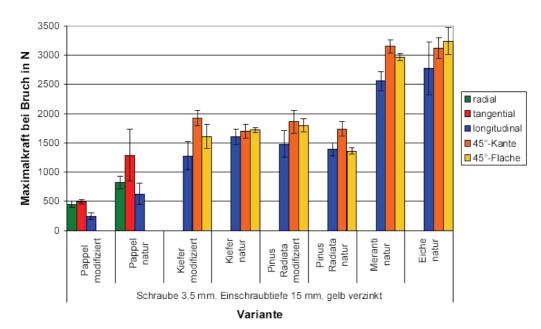


Abbildung 38 Vergleich Schraubenauszug Holzarten



Im Vergleich zu anderen Holzarten weist Pappel bereits in naturbelassenem Zustand niedrigere Auszugswerte auf. Durch die Modifizierung werden diese Werte nochmals deutlich reduziert. Herkömmliche Schraubengeometrien sind nicht auf modifizierte Hölzer mit geringer Dichte und besonderer Holzstruktur ausgelegt. Um den Sachverhalt genauer zu untersuchen, wurden für die weitere Untersuchungen mehrere unterschiedliche Schraubenvarianten verwendet. In Abbildung 39 sind die Messwerte im Vergleich dargestellt.

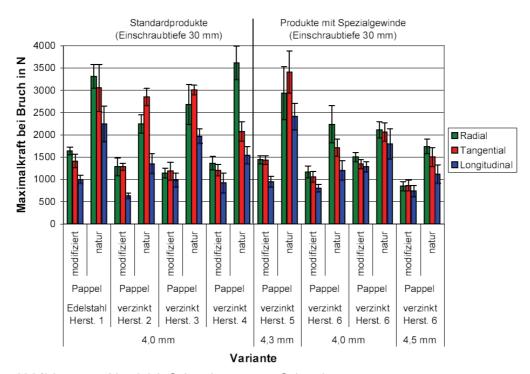


Abbildung 39 Vergleich Schraubenauszug Schraubentypen

Aussagen über Mindestanforderungen zur Schraubenauszugsfestigkeit können, bezogen auf den reinen Schraubenauszug, für den Holzfensterbereich schwer angegeben werden, da zum einen keine technischen Vorgaben hierzu existieren und zum anderen generell sehr viele Einflussgrößen vorhanden sind (Holzart, Jahrringlage, Einbringmethode, Gewindeform etc.). Für spezifische Fenstersysteme sind diesbezüglich jedoch in jedem Fall die Vorgaben der TBDK-Richtlinie der Gütegemeinschaft Schlösser und Beschläge e.V. [37] einzuhalten und nachzuweisen.

Seite 90 von 136 © ift Rosenheim Juni 2011

# 7 Orientierende Untersuchungen thermisch modifizierte Pappel



Beim Vergleich mit anderen Holzarten werden bei der naturbelassenen Pappel generell sowie bei der thermisch modifizierten Pappel im Speziellen, niedrigere Auszugswerte erreicht. Im Hinblick auf die untersuchte Einbruchhemmung an einem Holzfenster mit thermisch modifizierter Pappel im Kantelaufbau konnte dagegen keine nachteilige Wirkung festgestellt werden (siehe Kapitel 6.3.1).

Die untersuchten Gewindeformen zeigten keine maßgeblichen Verbesserungen der Schraubenauszugsfestigkeit, besonders bei thermisch modifizierter Pappel. Durch die Entwicklung speziell angepasster Gewindeformen und Schraubentypen für solche Hölzer könnte in diesem Bereich vermutlich Verbesserungen erreicht werden.

# 7.4 Mechanische Eigenschaften

Wie schon in Bezug auf die Schraubenauszugsfestigkeit erwähnt, verändern sich durch die thermische Modifizierung Dichte und Struktur der Holzsubstanz. Wichtig für die Eignung einer Holzart für die Fensterherstellung sind auch die generellen mechanischen Eigenschaften, die von dieser Veränderung maßgeblich mitbestimmt wird. Ziel der Untersuchungen war es daher, die mechanischen Eigenschaften von thermisch modifizierter Pappel im Vergleich zu naturbelassener Pappel zu untersuchen.

Um Anhaltspunkte zu den mechanischen Eigenschaften von thermisch modifizierter Pappel zu erhalten, wurde ein Biegeversuch durchgeführt (siehe Abbildung 40, Abbildung 41). Aus den Messwerten wurde der Biege-Elastizitätsmodul sowie die Biegefestigkeit im Vergleich zu naturbelassener Pappel errechnet. Die Ergebnisse der Versuchsdurchführung in Anlehnung an DIN 52186 [38] sind in Tabelle 28 zusammengefasst.

# 7 Orientierende Untersuchungen thermisch modifizierte Pappel



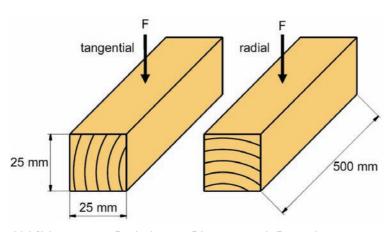


Abbildung 40 Probekörper Biegeversuch Pappel



Abbildung 41 Prüfdurchführung Biegeversuch

Seite 92 von 136 © ift Rosenheim Juni 2011

# 7 Orientierende Untersuchungen thermisch modifizierte Pappel



Tabelle 28 Erkenntnisse aus dem Biegeversuch

| Holz                      | Variante        | Biege-<br>E-Modul<br>Mittelwert<br>in N/mm² | Bruch-<br>kraft<br>Mittel-<br>wert<br>in kN | Durchbiegung<br>bei Bruch<br>Mittelwert<br>in mm | Biege-<br>festigkeit<br>(bei Bruch)<br>Mittelwert<br>in N/mm² |
|---------------------------|-----------------|---|---|--|---|
| thermisch<br>modifizierte | radial          | 9346  | 1,3   | 7,2  | 50,8  |
| Pappel                    | tangential      | 8900  | 1,1   | 6,4  | 44,6  |
| naturbelas-               | radial          | 9892  | 1,8   | 15,1   | 69,8  |
| sene Pappel               | tangential      | 8898  | 1,7   | 14,6   | 65,2  |
| Probekörper: je 1         | 0 Proben; Kante | ellänge : 500 mm;                           | Höhe: 25 mm                                 |  |   |
| Vergleichs                | werte Literat   | ur (Prof. DrIr                              | ng. habil. P                                | eter Niemz, ETH 2                                | Zürich) [39]  |
| Fichte                    |                 | 11000                                       | _ (abhängig vom<br>jeweiligen               |  | 71  |
| Eiche                     | tangential      | 12500                                       |   |  | 97  |
| Buche                     |                 | 14350                                       | Prüfquerschnitt)                            |  | 108   |

Die Untersuchungen zeigen, dass der Biege-Elastizitätsmodul sich durch die thermische Modifizierung nur in geringem Maß verändert. Die Werte von Pappel liegen hier generell etwas niedriger als bei bekannten Hölzern wie z. B. Fichte.

Die Biegefestigkeit wird durch die thermische Modifizierung verändert. Im Vergleich zu bekannten Hölzern wie z. B. Fichte liegen die Werte tendenziell etwas niedriger. Die Veränderung der mechanischen Eigenschaften hält sich den bloßen Messwerten nach in Grenzen.

Deutlich wird die Veränderung der Holzstruktur bei Betrachtung der Bruchbilder der thermisch modifizierten Pappel (siehe Abbildung 42 und Abbildung 43). Im Vergleich zum "holzüblichen" Bruchverhalten der naturbelassenen Pappel (siehe Abbildung 44) kommt es hier zu einem stumpfen Bruch.

# Orientierende Untersuchungen thermisch modifizierte Pappel









**Abbildung 43** Bruchbild thermisch modifizierte Pappel



Abbildung 44 Bruchverhalten naturbelassene Pappel

Bei reiner Betrachtung der im Versuch bestimmten Werte von Biege-Elastitzitätsmodul bzw. Biegefestigkeit spricht wenig gegen einen Einsatz von thermisch modifizierter Pappel im Fensterbau. Das für Holz ungewöhnliche Bruchverhalten deutet jedoch trotzdem auf gewisse Einschränkungen bzgl. der statischen Festigkeit des Materials hin. Zu empfehlen ist in jedem Fall eine Kombination des modifizierten Holzes im Kantel mit anderen statisch leistungsfähigen Holzarten.

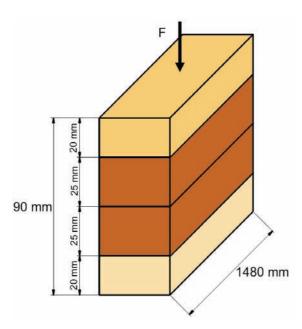
Um innerhalb der Projektarbeit weitere Erkenntnisse zu einem kombinierten Kantelaufbau mit thermisch modifizierter Pappel zu gewinnen, wurde ein weiterer Biegeversuch an Kanteln durchgeführt.

Die Ergebnisse der Versuchsdurchführung (siehe Abbildung 45, Abbildung 46) in Anlehnung an DIN 52186 [38] sind in Tabelle 29 zusammengefasst.

Seite 94 von 136 © ift Rosenheim Juni 2011

# 7 Orientierende Untersuchungen thermisch modifizierte Pappel





**Abbildung 45** Probekörper Biegeversuch Kantelaufbau mit thermisch modifizierter Pappel



Abbildung 46 Biegeversuch an Fensterkanteln

### Orientierende Untersuchungen thermisch modifizierte Pappel



 Tabelle 29
 Erkenntnisse aus dem Biegeversuch an Kanteln

|  | Mittelwert<br>in N/mm²                | Mittel-<br>wert<br>in kN                             | bei Bruch<br>Mittelwert<br>in mm  | (bei Bruch)<br>Mittelwert<br>in N/mm²  |
|--|---------------------------------------|--|---|--|
| ca. 700 kg/m³  | 13374                                 | 16,8   | 39,1  | 112,3  |
| 4-fach ca. 500 kg/m³ < 500 kg/m³                           |                                       | 10,3   | 50,7  | 68,9   |
|  |                                       | 9,5  | 43,9  | 63,3   |
| modif. Pinus radiata<br>2-fach th. modif. Pappel<br>Fichte |                                       | 8,4  | 27,8  | 56,0   |
| f  | a. 500 kg/m³ 500 kg/m³ diata . Pappel | a. 500 kg/m³ 7719 500 kg/m³ 7697 diata . Pappel 7080 | a. 700 kg/m³ 13374 16,8 a. 500 kg/m³ 7719 10,3 500 kg/m³ 7697 9,5 diata . Pappel 7080 8,4 | a. 700 kg/m³ 13374 16,8 39,1 a. 500 kg/m³ 7719 10,3 50,7 500 kg/m³ 7697 9,5 43,9 diata |

Probekörper: je 2 Proben; Kantellänge: 1480 mm; Stützweite: 1300 mm; Breite: 36 mm; Höhe: 90 mm

Wie erwartet, liegt der Kantelaufbau aus Eiche bei einem für Holz sehr hohen Biege-Elastizitätsmodul von 13374 N/mm² bzw. einer Biegefestigkeit von 112,3 N/mm². Der Kantelaufbau mit Meranti unterschiedlicher Rohdichte liegt deutlich unterhalb bei 7719 N/mm² bzw. 7697 N/mm². Auch die Biegefestigkeit liegt dabei deutlich unterhalb der Werte des Eichenkantels.

Der kombinierte Aufbau mit thermisch modifizierter Pappel im Kantelinneren liegt mit einem Biege-Elastizitätsmodul von 7080 N/mm² ebenfalls deutlich unter dem Kantelaufbaus aus Eiche. Der Wert liegt jedoch im selben Bereich wie die Aufbauten aus Meranti. Auffällig ist die Biegefestigkeit des kombinierten Aufbaus. Diese liegt nur bei ca. 50 % des Eichenaufbaus bzw. ca. 20 % niedriger als die Aufbauten aus Meranti.

Die Durchbiegung des kombinierten Aufbaus mit thermisch modifizierter Pappel im Kantelinneren beim Bruch liegt mit 27,8 mm bei 2 % der Kantellänge bzw. I/50. Nach der Produktnorm für Fenster DIN EN 14351-1 [6] ist in Deutschland bzgl. der Durchbiegungsbegrenzung die Klasse B nach DIN EN 12210 [19] vorgegeben (entspricht 0,5 % bzw. I/200). Diese bezieht sich jedoch nicht auf die Durchbiegung beim Bruch, sondern auf die bei weitaus niedrigeren Prüflasten vorkommende Durchbiegung am Bauteil. Die Erkenntnisse der Untersuchungen zeigen also, dass ein Versagen eines Kantelauf-

Seite 96 von 136 © ift Rosenheim Juni 2011

7 Orientierende Untersuchungen thermisch modifizierte Pappel



baus mit modifizierter Pappel im Kern erst bei sehr viel größeren Durchbiegungen als der durch die statische Auslegung sichergestellten maximalen Durchbiegung eines Fensterbauteils erfolgt. Der untersuchte Kantelaufbau verfügt also über ein ausreichendes Verformungsverhalten für einen Einsatz in Fensterbauteile.

Der bereits beim Vergleich von Kleinproben aus naturbelassener und thermisch modifizierter Pappel festgestellte Unterschied im Bruchbild ist auch bei den untersuchten Kantelaufbauten deutlich (siehe Abbildung 47, Abbildung 48 und Abbildung 49). Bei einem kombinierten Kantelaufbau aus unterschiedlichen Holzarten werden an das Kernmaterial aufgrund der Verteilung der Dehn- und Druckspannungen geringere Anforderungen an die Bruchdehnung gestellt als in den Randbereichen. Das besondere Bruchverhalten der thermisch modifizierten Pappel kann daher speziell bei kombinierten Kantelaufbauten ausgeglichen werden.

# 7 Orientierende Untersuchungen thermisch modifizierte Pappel





Abbildung 47 Bruchbild Biegeversuch Kantelaufbau Eiche



Abbildung 48 Bruchbild Biegeversuch Kantelaufbau Meranti



Abbildung 49 Bruchbild Biegeversuch kombinierter Kantelaufbau

Seite 98 von 136

# 7 Orientierende Untersuchungen thermisch modifizierte Pappel



### 7.5 Quell- und Schwindverhalten

Holz zeigt bei Veränderungen der Umgebungsbedingungen wie relativer Luftfeuchte und Temperatur Quell- bzw. Schwindverhalten. Bei klimatrennenden Bauteilen wie Fenstern, in denen sich je nach anliegenden Klimadifferenzen Feuchteströme einstellen, ist diese Holzeigenschaft daher besonders wichtig. Innerhalb der Untersuchungen des Forschungsvorhabens wurde daher das Quell- und Schwindverhalten von thermisch modifizierter Pappel und naturbelassener Pappel in Anlehnung an DIN 52184 [40] bestimmt. Die Erkenntnisse sind im Vergleich zu anderen Holzarten in Tabelle 30 zusammengefasst.

**Tabelle 30** Erkenntnisse zum Quell- und Schwindverhalten

| Holzart                            | differenzielle Trocknungs- Quellung q in schwindmaß in % |          | Quellungs-<br>anisotropie | Quellungs-<br>koeffizient h<br>in %/% |      |              |
|------------------------------------|--|----------|---------------------------|---------------------------------------|------|--------------|
|                                    | tangential   | radial   | tangential                | radial                                |      | longitudinal |
| Pappel naturbelassen               | 0,27   | 0,13     | 4,38                      | 2,3                                   | 2,0  | 0,0031       |
| Pappel<br>thermisch<br>modifiziert | 0,22   | 0,12     | 1,80                      | 0,9                                   | 1,9  | 0,0017       |
|                                    | Ve   | rgleichs | werte Litera              | tur [34],                             | [41] |              |
| Dark Red<br>Meranti 1)             | 0,32   | 0,17     | 5,50                      | 3,0                                   | 1,9  |              |
| Buche 2)                           | 0,41   | 0,20     | 8,80                      | 4,0                                   | 2,1  |              |
| Fichte 1)                          |  |          |                           |                                       |      | 0,0018       |
| Eiche 1)                           |  |          |                           |                                       |      | 0,0033       |

<sup>1)</sup> für die Fensterherstellung bewährte Holzart

Die ermittelten Werte für die differenzielle Quellung und das Trocknungsschwindmaß von thermisch modifizierter Pappel liegen deutlich unterhalb der Vergleichswerte der für die Fensterherstellung seit langem bewährten Holzart Dark Red Meranti. Die Quellungsanisotropie liegt etwa gleich auf mit Dark Red Meranti, jedoch deutlich unterhalb der Werte der für die Fensterherstellung ungeeigneten Holzart Buche. Der Wert des longitudinalen Quellungskoeffzienten liegt im Bereich der ebenfalls im Fensterbereich seit langem verwendeten Holzart Fichte.

<sup>&</sup>lt;sup>2)</sup> für die Fensterherstellung ungeeignete Holzart

# 7 Orientierende Untersuchungen thermisch modifizierte Pappel



Ausgehend vom Quell- und Schwindverhalten in radialer und tangentialer Richtung (quer zur Faser) sowie der Quellungsanisotropie, die eine Aussage über mögliches Verwindungsverhalten ermöglicht, kann für die thermisch modifizierte Pappel kein nachteiliges Verhalten festgestellt werden. Für mögliche Verzugserscheinungen von längeren Bauteilen (z. B. Fensterprofilen) ist in besonderem Maß das Quell- und Schwindverhalten in longitudinaler Richtung (in Faserrichtung) mitbestimmend. Dieses ist bei Holz zwar als sehr gering anzusehen, speziell bei der Verwendung unterschiedlicher Holzarten mit diesbezüglichen Abweichungen kann es jedoch zu Verzugserscheinungen kommen.

Um den Sachverhalt von Hölzern mit unterschiedlichem Quell- Schwindverhalten generell zu untersuchen, wurde im abgeschlossenen Forschungsvorhaben "Konstruktionsgrundlagen für Fenster, Türen und Fassadenelemente aus Verbundwerkstoffen und Holz" [41] unter Leitung von Prof. Josef Schmid (isp Rosenheim) ein Berechnungsprogramm erstellt, mit dem unterschiedliche Kantelaufbauten diesbezüglich untersucht wurden.

Innerhalb des vorliegenden Forschungsvorhabens konnten mit Hilfe dieses erstellten Programms Berechnungen zu unterschiedlichen Kantelkombinationen durchgeführt werden, bei denen in der Mittellage jeweils thermisch modifizierte Pappel vorgesehen ist. Für die Unterstützung und Durchführung der Berechnungen sei Herrn Prof. Schmid und Herrn Michael Stiller vom isp Rosenheim an dieser Stelle sehr herzlich gedankt. Tabelle 31 zeigt die berechneten Kombinationen und die sich daraus ergebenden günstigen bzw. ungünstigen Paarungen.

Die Berechnungen des isp Rosenheim beruhen auf Eingangsdaten, die durch das **ift** Rosenheim im Rahmen des Forschungsvorhabens zur Verfügung gestellt wurden. Des Weiteren wurde ein Kantelaufbau aus vier Einzellamellen mit gesamt 90 mm Dicke angenommen. Für beide Mittellamellen wurde dabei thermisch modifizierte Pappel angesetzt. Die Holzarten auf der Innenseite entsprechen größtenteils dekorativen Varianten, die auch im Forschungsvorhaben "Eignungsprüfung lamellierter Kanteln mit dekorativer Sichtlage" [33] ausgewählt wurden. Für die Außenlamelle wurden Holzarten mit hoher Dauerhaftigkeit ausgewählt. Über die Verteilung der Klassen 1 – 3 können nun Lamellenkombinationen im Hinblick auf das zu erwartende Verformungsverhalten ausgewählt werden.

# 7 Orientierende Untersuchungen thermisch modifizierte Pappel



Tabelle 31 Zuordnung von Holzarten für Innenlamellen und Außenlamellen bei der Verklebung von Profilquerschnitten in der Dicke aus vier Schichten

|              | 92              | Innenlamelle<br>20 mm             | Mit          | tella      | melle |        |                   | ppel<br>17 in |          |       | h mo     | difiz          | iert |
|--------------|-----------------|-----------------------------------|--------------|------------|-------|--------|-------------------|---------------|----------|-------|----------|----------------|------|
|              | Stand: 2011-05  | Mittellamelle 1<br>25 mm          | Inneniamelle |            |       |        |                   |               |          |       |          |                |      |
|              | اط:<br>ک        | Mittellamelle 2                   |              | а          | b     | С      |                   | d             | е        | f     | g        |                | h    |
|              | <b>Nr.</b> Star | 25 mm Außenlamelle 20 mm  Holzart | h bis 0,003  | Stieleiche | Ahorn | Fichte | 0,003 < h < 0,004 | Kirschbaum    | Rotbuche | Esche | Nussbaum | h größer 0,004 | Erle |
|              | h bis           | 0,002                             |              |            |       |        |                   |               |          |       |          |                |      |
|              | 1               | Thermo-Kiefer                     |              | 1          | 1     | 1      |                   | 1             | 1        | 1     | 1        |                | 1    |
|              | 2               | Stieleiche                        |              | 1          | 1     | 1      |                   | 1             | 1        | 1     | 1        |                | 1    |
|              | 3               | Kiefer modifiziert                |              | 1          | 1     | 1      |                   | 1             | 1        | 1     | 1        |                | 1    |
|              | 4               | Pinus radiata mod.                |              | 1          | 1     | 1      |                   | 1             | 1        | 1     | 1        |                | 1    |
| <u>e</u>     | 0,002           | 2 < h < 0,004                     |              |            |       |        |                   |               |          |       |          |                |      |
| mel          | 5               | Lärche                            |              | 1          | 1     | 1      |                   | 1             | 1        | 1     | 1        |                | 2    |
| ınla         | 6               | Dark Red Meranti                  |              | 2          | 2     | 2      |                   | 2             | 2        | 2     | 2        |                | 2    |
| Außenlamelle | 7               | Fichte                            |              | 2          | 2     | 2      |                   | 2             | 2        | 2     | 2        |                | 2    |
| •            | 8               | Douglasie                         |              | 2          | 2     | 2      |                   | 2             | 2        | 2     | 2        |                | 2    |
|              | h gr            | ößer 0,004                        |              |            |       |        |                   |               |          |       |          |                |      |
|              | 9               | Tanne                             |              | 2          | 2     | 2      |                   | 2             | 2        | 2     | 2        |                | 2    |
|              | 10              | Teak                              |              | 2          | 2     | 2      |                   | 2             | 2        | 2     | 2        |                | 2    |
|              | 11              | Gemeine Kiefer                    |              | 2          | 2     | 2      |                   | 2             | 2        | 2     | 2        |                | 2    |
|              | 12              | Edelkastanie                      |              | 3          | 3     | 3      |                   | 3             | 3        | 3     | 3        |                | 3    |

Klasse 1 (grüne Felder) zeigt günstige Paarungen.

Klasse 2 (orange Felder) zeigt Paarungen, die noch als ausreichend gelten können.

Klasse 3 (rote Felder) zeigt Paarungen, die hinsichtlich der Verformung als

kritisch zu bewerten sind.

Die durchgeführten Berechnungen zeigen, dass im Hinblick auf mögliche Verformungen ein Einsatz von thermisch modifizierter Pappel speziell für die Mittellamellen als möglich erscheint. Die Schlussfolgerungen entsprechen den Grundsätzen, die schon im genannten Forschungsvorhaben erarbeitet wurden. In Abbildung 50 sind diese nochmals tabellarisch zusammengefasst.

# Orientierende Untersuchungen thermisch modifizierte Pappel



Für die Festlegung des Profilaufbaus und die Herstellung der Profile sind deshalb folgende Grundsätze zu beachten:

| Profilaufbau                            | Symmetrischer Profilaufbau  |  |  |  |  |
|---|---|--|--|--|--|
| Holzarten                               | Außenseite:     Für Fenster und für die Außenanwendung geeignete Holzart verwenden     Niedrigen Quellungskoeffizienten anstreben  Raumseite:     Dekorative und für Rahmenkonstruktionen geeignete Holzart verwenden |  |  |  |  |
| Holzqualität                            | Paralleler Jahrringverlauf mit gleichmäßiger Struktur   |  |  |  |  |
| Holzfeuchte                             | Ausgleichsfeuchte bei Lagerung im Klima mit gleicher<br>relativer Luftfeuchte   |  |  |  |  |
| Klebstoff                               | Holzartenbezogene Auswahl unter Beachtung der<br>Anforderungen und der Verarbeitungsbedingungen   |  |  |  |  |
| Zwischenlagerung<br>vor der Verklebung  | Keine Überschreitung der maximalen Zwischenzeit<br>nach der Oberflächenbearbeitung  |  |  |  |  |
| Herstellung Verklebung                  | Sicherstellung der durch den Klebstoff und die Holzar-<br>ten gegebenen Verarbeitungsbedingungen wie Um-<br>gebungstemperatur oder Presszeit  |  |  |  |  |
| Zwischenlagerung<br>nach der Verklebung | Ausreichende Zwischenlagerung in der Ausgleichsfeuchte, in der die Lamellen gelagert wurden.  |  |  |  |  |
| Bearbeitung                             | Symmetrischen Profilaufbau in der Dicke beibehalten     Ungleiche Breiten auf der Außen- und auf der Raumseite beeinflussen die Verformung im Differenzklima  |  |  |  |  |

# Abbildung 50

Grundsätze Profilaufbau; Forschungsvorhaben "Konstruktionsgrundlagen für Fenster, Türen und Fassadenelemente aus Verbundwerkstoffen und Holz" [41]

## 7 Orientierende Untersuchungen thermisch modifizierte Pappel



#### 7.6 Bearbeitbarkeit

Von der mit der thermischen Modifizierung einhergehenden Veränderung der Holzstruktur können auch Auswirkungen auf die Bearbeitbarkeit mit Holzbearbeitungsmaschinen innerhalb der Fertigung ausgehen. Daher wurden im Rahmen des Forschungsvorhabens an der Hochschule Rosenheim Versuche zur Bearbeitbarkeit der thermisch modifizierten Pappel durchgeführt.

Für die Unterstützung und Durchführung der Arbeiten sei an dieser Stelle Herrn Prof. Dr. Scholz von der Hochschule Rosenheim sehr herzlich gedankt. Die Erkenntnisse der Untersuchungen wurden in einem Bericht an die Forschungsstelle [42] zusammengefasst. Die in diesem Kapitel dargestellten Erkenntnisse stammen aus dem vorgelegten Bericht.

Vorab wurden die am Forschungsvorhaben beteiligten Holzfensterhersteller zu Erfahrungswerten bei der Bearbeitung von thermisch modifizierten Hölzern befragt. Aufgrund der dabei bisher eher negativen Erfahrungen beim Fräsen von thermisch modifizierter Buche sollte diese vergleichend zur thermisch modifizierten Pappel untersucht werden. In Tabelle 32 sind Versuchsbedingungen und Ergebnisse zusammengefasst.

### Orientierende Untersuchungen thermisch modifizierte Pappel



Tabelle 32 Vergleichende Fräsversuche thermisch modifizierte Hölzer

| Technische<br>Daten | Drehzahl Fräser: 5000 1/min<br>Arbeitseingriff: 20 mm<br>Schnittgeschwindigkeit: 33 m/s<br>Vorschub: 3 m/min   |  |  |  |  |  |
|---------------------|--|--|--|--|--|--|
| Holz                | thermisch modifizierte Pappel  | thermisch modifizierte Buche   |  |  |  |  |
| max.<br>Leistung    | 1,09 kW  | 2,26 kW  |  |  |  |  |
| Schnittkraft        | 33,3 N   | 69,1 N   |  |  |  |  |
| Proben              | 4 Proben   | 4 Proben   |  |  |  |  |
| Ausrisse            | Breite: 0,4 cm - 1,1 cm<br>Länge: 0,15 cm - 0,5 cm<br>Fläche: 0,075 cm <sup>2</sup> - 0,45 cm <sup>2</sup><br>Volumen: 0,0075 cm <sup>3</sup> - 0,0225 cm <sup>3</sup> | Breite: 2,2 cm - 2,3 cm<br>Länge: 0,6 cm - 3,2 cm<br>Fläche: 1,32 cm <sup>2</sup> - 7,36 cm <sup>2</sup><br>Volumen: 0,132 cm <sup>3</sup> - 5,152 cm <sup>3</sup> |  |  |  |  |
| Foto                |  |  |  |  |  |  |

Die Untersuchungen an der Hochschule Rosenheim zeigten für die thermisch modifizierte Pappel, besonders im Vergleich zur thermisch modifizierten Buche ein sehr positives Fräsverhalten. Es kam nur zu geringem Ausrissverhalten, das mit anderen in der Holzfensterfertigung etablierten Holzarten durchaus vergleichbar ist.

Die Erkenntnisse der Untersuchung entsprechen auch neuen Erkenntnissen der am Forschungsvorhaben beteiligten Projektpartner. Bei der Fertigung der Prototypen mit thermisch modifizierter Pappel kam es zu keinen nachteiligen Auswirkungen bei Fräs- und Hobelvorgängen.

Seite 104 von 136

#### 7 Orientierende Untersuchungen thermisch modifizierte Pappel



## 7.7 Zusammenfassung thermisch modifizierte Pappel

Eine Verwendung von naturbelassener Pappel in der Fensterherstellung scheitert an

- der schlechten Dauerhaftigkeit,
- der bei Pappel vorkommenden sehr unregelmäßigen Feuchteverteilung (Nasskern) bzw.
- den daraus folgenden Problemen bei der Holztrocknung sowie
- Inhaltsstoffen, die zu Problemen bei der Klebung führen können.

Durch die thermische Modifizierung sollten sich diese nachteiligen Eigenschaften weitestgehend egalisieren und einen Einsatz zumindest im Mittelbereich von Fensterkanteln ermöglichen.

Die Holzeigenschaften von thermisch modifizierter Pappel sind den orientierenden Untersuchungen und Erkenntnissen des Vorhabens nach sehr vielversprechend. Unumstritten ist die hervorragende Wärmedämmung (niedrige Wärmeleitfähigkeit) des Materials. Eine Lamellierung mit anderen geeigneten Holzarten sollte unter Verwendung eines darauf abgestimmten Klebstoffes möglich sein.

Der nachteilige Schraubenauszugswiderstand könnte vermutlich durch angepasste Schraubengeometrien ausgeglichen werden. Bei der Verwendung in Fensterkanteln sollte die Verschraubung sicherheitsrelevanter Bauteile möglichst auch durch die Bereiche von Innen- bzw. Außenlamellen laufen. Evtl. sind hierzu auch Einbringverfahren und Schraubenlängen anzupassen.

Die mechanischen Eigenschaften liegen etwas unter denen für Hölzer, wie z. B. Fichte, bekannten Werten. Bei einer Verwendung im Mittelbereich eines Fensterkantels kann dies durch entsprechende Außen- bzw. Innenlamellen weitgehend ausgeglichen werden. Vom Quell- und Schwindverhalten der thermisch modifizierten Pappel sollten keine negativen Auswirkungen auf Maßhaltigkeit und Verwindung von Fensterelementen ausgehen. Auch hier sollten entsprechend ausgewählte Außen- und Innenlamellen verwendet werden, um möglichen Verformungserscheinungen bei extremen Klimabedingungen vorzubeugen.

7 Orientierende Untersuchungen thermisch modifizierte Pappel



Die untersuchte thermisch modifizierte Pappel war im Vergleich zu thermisch modifizierter Buche gut zu bearbeiten. Bei der Pappel waren diesbezüglich keine nachteiligen Auswirkungen durch die thermische Modifizierung zu erkennen. Um eine Eignung für die Fensterstellung abschließend nachzuweisen, müssen jedoch eingehendere Untersuchungen folgen und der erfolgreiche Einsatz der Materialien in der Praxis nachgewiesen werden.

### 8 Weiterentwicklung Fenstertypen

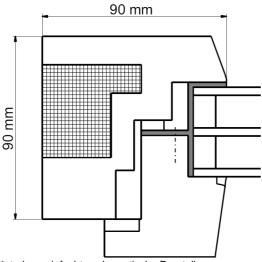


# 8 Weiterentwicklung Fenstertypen

Die bisher dargestellten Konzepte zur wärmetechnischen Verbesserungen beziehen sich zwar auf Konstruktionen mit Rahmendicken von 90 mm und darüber, die grundlegenden Konstruktionsprinzipien und Falzgeometrien entsprechen dabei jedoch weitestgehend bekannten und seit vielen Jahren produzierten Standards. Darüber hinaus sollten im durchgeführten Forschungsvorhaben auch Konstruktionen betrachtet werden, die im Vergleich zu diesen Standards eine deutliche systemische Weiterentwicklung darstellen bzw. sehr viel weitergehende Entwicklungsmöglichkeiten beinhalten.

### 8.1 Konzept Integralfenster

Am Geometriekonzept eines Integralfensters sollte eine innovative Verglasungstechnik umgesetzt werden. Hierbei wird das Scheibenpaket mit einem Kunststoffwinkel verklebt und über eine Schraubverbindung mit dem Flügelrahmen verbunden (siehe Abbildung 51).



\*stark vereinfachte schematische Darstellung ohne relevante Detaillösungen

Abbildung 51 Schematische Darstellung Integralfenster



Das Konzept bietet folgende Vorteile:

- extrem geringe Ansichtsbreiten des Rahmenprofils sind möglich (gestalterischer und wärmeschutztechnischer Vorteil),
- · aussteifende Wirkung der Verglasung wird genutzt,
- Klebung des Rahmens an das Mehrscheibenisolierglas könnte direkt beim Glashersteller erfolgen,
- Holzfensterhersteller müsste keine Glas-Klebung umsetzen (speziell für handwerklich orientierte Hersteller interessant),
- Mehrscheibenisolierglas wird mittels konventioneller Technik (Schrauben) am Flügelrahmen befestigt,
- Mehrscheibenisolierglas kann im Bedarfsfall problemlos ausgetauscht werden.

## 8.1.1 Vorüberlegungen und -untersuchungen

Als mögliche Schwachstelle des Systems wurde vorab die geschraubte Befestigung ausgemacht. Neben den eigentlichen Anforderungen an die Festigkeit der Schraube selbst wurde im Zusammenhang mit den Vorüberlegungen auch die Auszugsfestigkeit des Schraubenkopfes aus dem Kunststoff als mögliche Schwachstelle beurteilt. Bei Untersuchungen zum Schraubenauszug wurden dabei Materialien, Dicken sowie Umgebungstemperaturen variiert. In Abbildung 52 sind die Messwerte der unterschiedlichen Varianten grafisch dargestellt.

#### 8 Weiterentwicklung Fenstertypen



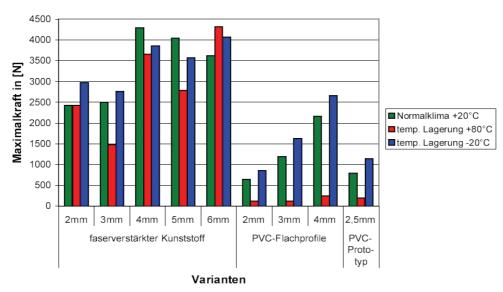


Abbildung 52 Schraubenauszug Kunststoff

Wie erwartet, liegen die Werte bei den untersuchten faserverstärkten Kunststoffen deutlich über den Werten der PVC-Varianten. Der Unterschied wird besonders bei der temperierten Lagerung mit 80 °C deutlich. Die durchgeführte Lagerung bei 80 °C entspricht dabei jedoch einer Worst Case-Situation, die in der Praxis ausschließlich an den außenliegenden Oberflächen des Bauteils auftreffen könnte. Um ausreichende Sicherheit im weiteren Vorgehen zu gewährleisten wurden trotzdem die erhaltenen Werte angesetzt.

Für ein PVC-Profil mit 4 mm Dicke wäre dies eine Maximalkraft von 247 N. Für ein faserverstärktes Kunststoffprofil mit 3 mm Dicke wäre bzgl. des Schraubenauszugs aus dem Kunststoff eine Maximalkraft von 1483 N anzusetzen. Da gleichzeitig für den Schraubenauszug aus dem Holz eine Maximalkraft von höchstens 350 N (vgl. Maximalkräfte Schraubenauszug Kapitel 7.3 + Sicherheitsfaktoren) angesetzt werden kann, müsste hierbei mit diesem Wert gerechnet werden.

Auf Basis der reinen Maximalkräfte bei Schraubenauszug aus dem Kunststoff könnte ein solches Profil durchaus aus PVC hergestellt werden. Vor einer endgültigen Aussage bzw. Anwendung müssten hierzu jedoch Untersuchungen zum Langzeitverhalten der Festigkeit des verschraubten Profils erfolgen, da im Fall von PVC hier mit deutlichen Auswirkungen zu rechnen ist. Aus den Erkenntnissen kann eine klare Empfehlung zum Einsatz von faserverstärkten

#### Weiterentwicklung Fenstertypen



Kunststoffen für derartige Anwendungen abgeleitet werden. Der im Rahmen des Forschungsvorhabens angefertigte Prototyp wurde trotzdem mit einem Glashalteprofil aus PVC ausgeführt, da keine passenden faserverstärkten Profile zur Verfügung standen.

Um weitere Erkenntnisse zur Auslegung des verwendeten Kunststoffprofils zu gewinnen, wurden im Weiteren die statischen Eigenschaften unterschiedlicher Materialien und Geometrien abgeschätzt. Dazu wurde in Zusammenarbeit mit Prof. Dr. Eierle ein Excel-Tool erstellt, das eine schnelle Variation der maßgeblichen Parameter zulässt. Herrn Prof. Dr. Eierle von der Hochschule Rosenheim, der das Projekt auch als Mitglied des projektbegleitenden Ausschusses begleitete, sei an dieser Stelle sehr herzlich gedankt.

In Abbildung 53 und Abbildung 54 ist beispielhaft ein Ausschnitt aus dem Programm abgebildet. Für die Berechnungen wurde jeweils ein Fensterelement mit einem Blendrahmenaußenmaß von 1,20 m x 2,50 m und 3-fach Mehrscheibenisolierglas angenommen. Für sämtliche weiteren Ansätze wurden jeweils die Worst Case-Kriterien angesetzt.

### 8 Weiterentwicklung Fenstertypen



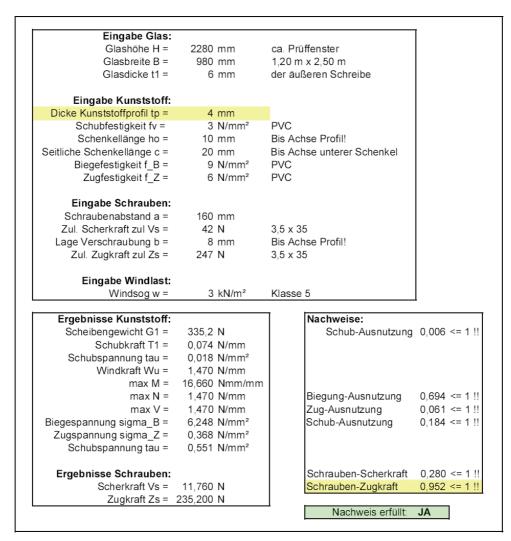


Abbildung 53 Ausschnitt Berechnungstool für PVC-Profil

Der rechnerische Nachweis lässt sich unter den getroffenen Annahmen bei einem 4 mm dicken PVC-Profil und einer Reduzierung des Schraubenabstandes auf 160 mm führen. Es zeigt sich, dass sich die Schrauben-Zugkraft dabei am nächsten an der Nachweisgrenze befindet und demnach unter den angenommenen Vorgaben als generelle Schwachstelle des Systems anzusehen ist. Bei ähnlichen Konstruktionen sollte also speziell die Verschraubung bzw. der Schraubenabstand ausreichend bemessen werden.



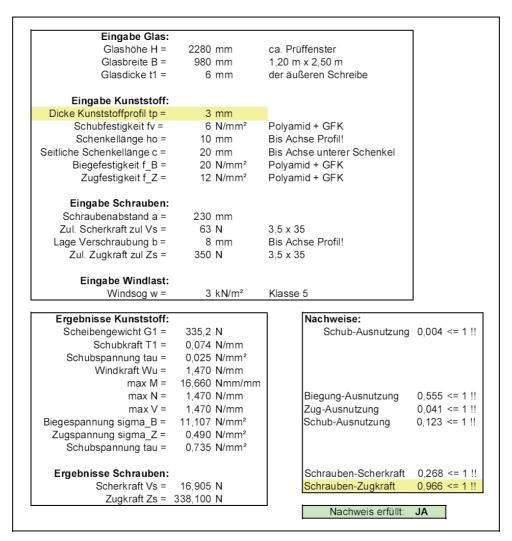


Abbildung 54 Ausschnitt Berechnungstool GFK-Profil

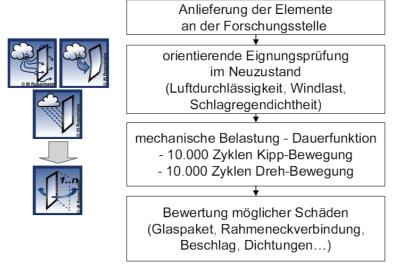
Der rechnerische Nachweis lässt sich unter den getroffenen Annahmen bei einem 3 mm dicken GFK-Profil und einer Reduzierung des Schraubenabstandes auf 230 mm führen. Es zeigt sich, dass sich die Schrauben-Zugkraft dabei ebenfalls am nächsten an der Nachweisgrenze befindet und auch in diesem Fall unter den angenommenen Vorgaben als generelle Schwachstelle des Systems anzusehen ist. Bei ähnlichen Konstruktionen sollte also speziell die Verschraubung bzw. der Schraubenabstand ausreichend bemessen werden.

#### 8 Weiterentwicklung Fenstertypen



### 8.1.2 Untersuchungen Prototyp

Mit den Erkenntnissen der durchgeführten Voruntersuchungen konnte durch einen der beteiligten Projektpartner ein Prototyp eines Integralfensters gebaut werden. Zur Untersuchung der Leistungseigenschaften und Gebrauchstauglichkeit wurde der in Abbildung 55 dargestellte Untersuchungsablauf durchgeführt.



**Abbildung 55** Prüfablauf Prototyp Integralfenster

Bei der Durchführung der Dauerfunktion (siehe Abbildung 56 und Abbildung 57) wurden keine Schäden am Prototyp oder den einzelnen Komponenten festgestellt. In Tabelle 33 sind die erreichten Leistungseigenschaften des Prototyps zusammengefasst.





Abbildung 56 Dauerfunktion Prototyp; Drehzyklen

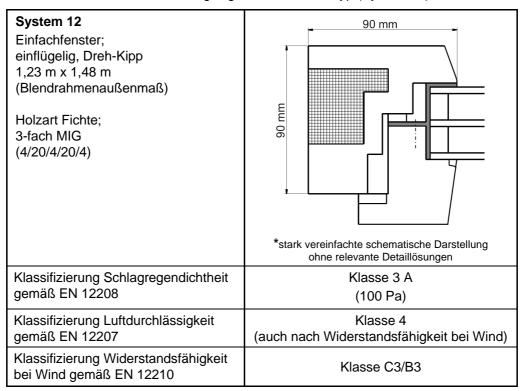


**Abbildung 57** Dauerfunktion Prototyp; Kippzyklen

### 8 Weiterentwicklung Fenstertypen



Tabelle 33 Überblick Leistungseigenschaften Prototyp (System 12)



Bei der Untersuchung der Schlagregendichtheit konnte eine Klassifizierung der Klasse 3A (100 Pa) erreicht werden. Ursache für den Wassereintritt bei 100 Pa war kapillarer Wassereintritt durch den Eckbereich des Glashalteprofil hindurch bis in den Falzbereich des Prototyps (siehe Abbildung 58, Abbildung 59).

Der festgestellte Wassereintritt ist klar der beim Prototyp noch nicht perfektionierten Klebung zwischen Halteprofil und Verglasungspaket bzw. der Eckverbindung des Halteprofils zuzuordnen. Bei einer weiteren Entwicklung des Systems und perfektionierter Fertigung könnten hier sehr viel bessere Werte erreicht werden. Die Untersuchung der Luftdurchlässigkeit und Widerstandsfähigkeit bei Wind zeigte bereits bei Untersuchung des Prototyps sehr gutes Verhalten und führte zu einer sehr guten Klassifizierung.



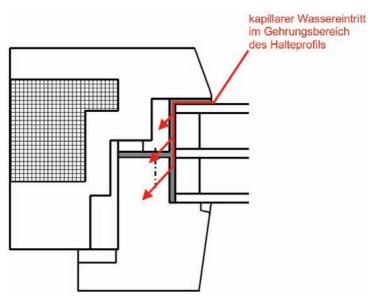


Abbildung 58 Schematische Darstellung kapillarer Wassereintritt



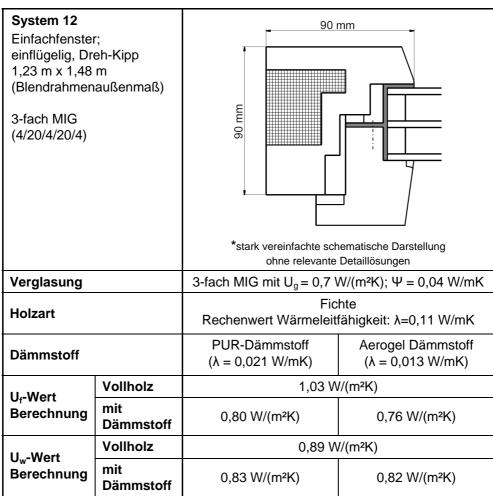
**Abbildung 59** Wassertropfen hinter der Dichtungsebene in Folge kapillaren Wassereintritts

#### 8 Weiterentwicklung Fenstertypen



Für die Konstruktionen des Prototyps wurde zusätzlich das Konzept "Dämmstoff im Blendrahmen" vorgesehen. Die entsprechenden sich ergebenden U<sub>f</sub>-Werte wurden für zwei unterschiedliche Dämmstoffe sowie für eine reine Vollholzvariante nach DIN EN ISO 10077-1 berechnet. In Tabelle 34 sind die Varianten und Werte zusammengefasst.

 Tabelle 34
 Berechnungen U-Werte Prototyp Integralfenster



Der Berechnung nach bringen die eingesetzten Dämmstoffanteile im Vergleich zu der Vollholzvariante Verbesserungen im  $U_f$ -Wert von 0,23 bis 0,27 W/(m²K). Die erreichbaren  $U_f$ -Werte von 1,03 W/(m²K) für die Vollholzvariante sowie die  $U_f$ -Werte im Bereich 0,76 W/(m²K) bzw. 0,80 W/(m²K) für die Variante mit Dämmstoffeinlagen im Blendrahmen sprechen für den hervorragenden Wärmeschutz eines solchen Systems.



### 8.1.3 Fazit Integralfenster

Die Untersuchungen am Prototyp zeigen, dass die Konstruktion bzw. das verwendete Verglasungssystem funktionieren kann. Besonders aufgrund der guten  $U_f$ -Werte wird in der Konstruktion großes Entwicklungspotenzial gesehen.

Für eine erfolgreiche Umsetzung müssten als nächstes Überlegungen zur fertigungstechnischen Lösungen des zur Befestigung des Verglasungspakets verwendeten Kunststoffprofils folgen. Möglich könnten hierbei eine Fertigung beim Hersteller des Mehrscheibenisolierglases und damit eine Anlieferung des kompletten Verglasungspakets inklusive Haltesystem sein. Vorteil dabei wäre, dass sowohl die Anpassung und Verbindung des Kunststoffrahmens als auch die Klebung mit dem Mehrscheibenisolierglas nicht vom Fensterhersteller übernommen werden müsste. Möglich wäre aber auch eine Fertigung beim Fensterhersteller selbst. Die Klebung des Mehrscheibenisolierglases mit dem Halterahmen bzw. die Anfertigung des Halterahmens müsste in diesem Falle jedoch durch den Holzfensterhersteller erfolgen.

Hinsichtlich der Befestigung des Haltesystems mit dem Verglasungspaket müsste auch die genaue Verbindung zwischen den beiden Komponenten hinterfragt werden. Für den Fall, dass der Zwischenraum zum Halteprofil im Bereich des Randverbunds komplett mit Klebstoff gefüllt ist, könnte auf eine Glasfalzbelüftung verzichtet werden. Um Verträglichkeitsprobleme zu vermeiden, sollten in diesem Fall möglichst die im Randverbund verwendeten Klebstoffe auch für die Verbindung Verglasungspaket-Haltewinkel verwendet werden, was eine Fertigung durch den Glashersteller vereinfachen würde. Kann der Zwischenraum im Bereich des Randverbundes nicht komplett mit Klebstoff gefüllt werden ist eine Glasfalzbelüftung vorzusehen, um Tauwasserbildung zu vermeiden.

Abwandlungen der im durchgeführten Forschungsvorhaben untersuchten Konstruktion könnten auch eine direkte Holz-Glas-Klebung zur Verbindung des Verglasungspakets mit dem Flügelrahmen vorsehen. Auf einen Halterrahmen aus Kunststoff könnte in diesem Fall verzichtet werden. Zu lösen wäre dabei jedoch der innere dichte Anschlag des Flügelrahmens an den Blendrahmen sowie der Schutz des Randverbunds des Mehrscheibenisolierglases.

Der im Forschungsvorhaben untersuchte Prototyp stellt ein Einfachfenster mit Dreh-Kipp-Beschlag dar. Für eine erfolgreiche Umsetzung müssten jedoch nach demselben System auch andere Fenstertypen und Sonderformen entwickelt werden.

#### 8 Weiterentwicklung Fenstertypen



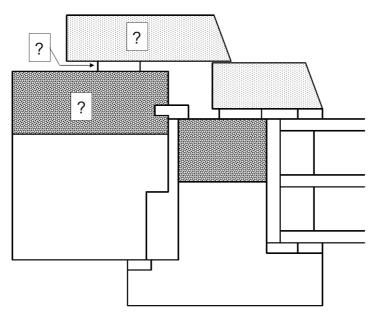
## 8.2 Konzept Schalenfenster

Neben dem Konzept eines Integralfensters wurde innerhalb des Forschungsvorhabens auch das Konzept eines Schalenfensters ausgiebig diskutiert. Dieses Konzept sieht einen schalenweisen Aufbau von Flügel- und Blendrahmen mit flexiblen Schalen für möglichst alle Kantelbereiche vor. So sollten auf der Raumseite unterschiedliche Möglichkeiten für dekorative Hölzer, im Mittelbereich Dämmbereiche bzw. funktionale Schichten und auf der Außenseite möglichst dauerhafte Schichten evtl. mit zusätzlicher Dämmwirkung kombiniert werden.

## 8.2.1 Konstruktionsansätze

Innerhalb des Forschungsvorhabens konnten erste theoretische Ansätze für das Konzept Schalenfenster erstellt werden.

Abbildung 60 zeigt eines diese Konzepte für einen solchen Profilaufbau mit drei unterschiedlichen Schalen.



\*stark vereinfachte schematische Darstellung ohne relevante Detaillösungen

Abbildung 60 Konzept Schalenfenster



### 8.2.2 Verbindungsmittel

Voraussetzung für ein solches Konstruktionskonzept sind entsprechende Verbindungsmittel, die sehr flexibel unterschiedlichste Werkstoffe miteinander verbinden können. Zusätzlich sollten diese Verbindungsmittel wieder lösbar sein, um evtl. einzelne Schichten bei Verschleiß austauschen zu können oder am Ende des Produktlebenszyklus eine Trennung der unterschiedlichen Werkstoffe zu ermöglichen. Im Vorhaben wurden hierzu einige sehr innovative Verbindungsmittel recherchiert. Beispielhaft ist in Abbildung 61 ein "Metallklettverschluss" dargestellt, der innerhalb eines Forschungsvorhabens der TU München [43] entwickelt wurde.



Abbildung 61 Beispiel innovativer Verbindungsmittel "metaklett" [43]

Eine weitere Umsetzung bzw. Untersuchung der recherchierten Verbindungsmittel scheiterte am fertigungstechnischen Aufwand, der Flexibilität für unterschiedliche Konstruktionsvarianten und Fenstertypen und nicht zuletzt an der dazu nötigen Anpassung herkömmlicher Fensterkonstruktionen.

## 8.2.3 Fazit Schalenfenster

Das Konzept Schalenfenster vereint einige sehr innovative Ansätze und hat bzgl. zukünftiger Entwicklungen großes Entwicklungs- und Erfolgspotenzial. Im Rahmen des durchgeführten Forschungsvorhabens konnte der Ansatz nicht weiter verfolgt werden, da ein wirklicher Durchbruch von entsprechenden Verbindungsmitteln abhängig gewesen wäre, diese jedoch nicht zur Verfügung standen.

### 9 Zusammenfassung und Ausblick



## 9 Zusammenfassung und Ausblick

Nach den Erkenntnissen des Forschungsvorhabens sind mit Holzfenstern die Anforderungen der nächsten Stufe der Energieeinsparverordnung sowie aktuelle Anforderungen der KfW erreichbar. Eine Rahmendicke von mindestens 90 mm in Verbindung mit 3-fach Mehrscheibenisolierglas kann schon heute als "neuer Standard" bzw. "Stand der Technik" angesehen werden.

Aktuelle Profilgeometrien mit Dicken von 90 mm, reduzierten Flügelrahmenquerschnitten und 3-fach MIG können dabei auch bei Großelementen funktionieren. Wichtig bei der Entwicklung solcher Systeme ist eine laufende Abstimmung mit Beschlags-, Dichtprofil- und Werkzeugherstellern sowie allen anderen beteiligten Zulieferern zum frühest möglichen Zeitpunkt in der Entwicklungsphase.

Um gestalterische Aspekte zu erhalten und eine klare Abgrenzung zu anderen Rahmenwerkstoffen zu ermöglichen, sollten Holzfenster Holzoberflächen auf Raum- und Wetterseite aufweisen. Konstruktionen wie Holz-Alu-Fenster, andere Mischsysteme ebenso wie andere Rahmenwerkstoffe haben ebenfalls weiterhin gute Erfolgsaussichten, sollten jedoch vom Produkt Holzfenster klar abgegrenzt werden.

Mit Kasten- und Verbundfensterkonstruktionen ist ein sehr guter Wärmeschutz möglich; zudem können technische Komponenten wie Lüftungs- oder Sonnenschutzsysteme einfacher integriert werden. Abgesehen von der aufwändigeren Fertigung sowie der eingeschränkten Benutzerfreundlichkeit können solche Systeme zukünftig für passende Bauvorhaben erfolgreich weiter entwickelt werden.

Zur wärmetechnischen Verbesserung von reinen Massivholzquerschnitten liefert die Integration von Dämmstoffen in die Blendrahmen eine einfache, aber effektive Lösung bei relativ geringem fertigungstechnischem Aufwand. Die Dämmstoffe können bei Bedarf, unabhängig der Fensterform (z. B. schräg, rund etc.) von der Außenseite her in eine Nut eingebracht werden. Das Konzept ist sehr flexibel und kann auch von handwerklich orientierten Herstellern angewendet werden.

#### Zusammenfassung und Ausblick



Die entsprechende Lösung sieht Flügelrahmen ohne Dämmstoffabschnitte vor. Diese können in diesem Fall auf einen minimal möglichen Querschnitt ausgelegt werden. Das Konzept "Dämmstoffe im Blendrahmen" hat sehr geringen Einfluss auf gestalterische Aspekte und die Machbarkeit unterschiedlicher Fenstertypen. Eine Kombination der Konzepte "Dämmstoffe im Blendrahmen" mit Konzept "modifizierte Hölzer" erscheint in vielen Bereichen als besonders interessant.

Gute Erfolgsaussichten für wärmetechnische Verbesserungen von Holzfenstern bietet auch der Einsatz von modifizierten Hölzern bzw. Hölzern mit geringer Rohdichte und niedriger Wärmeleitfähigkeit. Diese könnten zur wärmetechnischen Verbesserung z. B. im Mittelbereich von Fensterkanteln eingesetzt werden. Ein möglicher Verzicht auf den Einsatz von Kunst- bzw. Dämmstoffen bringt in diesem Fall Vorteile bei Konstruktion, Fertigung und Entsorgung. Zudem geht davon nur sehr geringer Einfluss auf gestalterische Aspekte und die Machbarkeit unterschiedlicher Fenstertypen aus. Darüber hinaus besteht dabei die Möglichkeit zur Verbesserung aller Bauteile eines Fensters (z. B. Pfosten, Riegel, Sprossen etc.). Die im Vorhaben untersuchten Konstruktionen mit wärmetechnischen Verbesserungen zeigten nur geringen Einfluss auf die maßgeblichen Leistungseigenschaften der Fenster.

Die wärmetechnischen Eigenschaften von thermisch modifizierten Hölzern (z. B. thermisch modifizierter Pappel) sind nach den Erkenntnissen des Vorhabens besonders vielversprechend. Orientierende Untersuchungen zu den weiteren Holzeigenschaften von thermisch modifizierten Hölzern zeigen zwar bereichsweise Einschränkungen, stellen jedoch kein Ausschlusskriterium dar. Die Erfolgsaussichten sind dabei unter Vorbehalt auch auf andere thermisch modifizierte Holzarten übertragbar. Um eine Eignung für die Fensterstellung abschließend nachzuweisen, müssen jedoch eingehendere Untersuchungen folgen und der erfolgreiche Einsatz der Materialien in der Praxis nachgewiesen werden.

Großes Entwicklungspotenzial wird auch in innovativen Verglasungssystemen bzw. in Konstruktionen von Integralfenstern gesehen. Integrallösungen ermöglichen eine Minimierung der Ansichtsbreiten und damit Vorteile sowohl aus gestalterischen als auch aus wärmeschutztechnischen Gesichtspunkten.

### 9 Zusammenfassung und Ausblick



Der innerhalb der Projektarbeit gefertigte und untersuchte Prototyp zeigte vielversprechende Leistungseigenschaften, ausreichende statische Eigenschaften sowie sehr gute wärmetechnische Eigenschaften. Beim Einsatz des Mehrscheibenisolierglases inklusive des Verbindungsrahmens als Zulieferprodukt wird eine einfach und schnelle Verglasung der fertigen Konstruktion ermöglicht. Einschränkungen solcher Fertigungsvarianten ergeben sich in den konstruktiven Möglichkeiten bzw. Konstruktionen. Lösungen für Schalenfenster scheitern oftmals an passenden Verbindungsmitteln, bieten aber großes Entwicklungspotenzial.

Aufgrund der Erkenntnisse des Forschungsvorhabens stehen nun einige Konzepte für die Konstruktion von hochwärmedämmenden Holzfensterprofilen bzw. für das "Holzfenster 2012" zur Verfügung. Diese Konzepte können von Herstellern von Holzfenstern angewandt werden, um ihr individuelles Produktportfolio "fit" für zukünftige energetische Anforderungen zu gestalten.

Ein Überblick über schematische Konstruktionen und konkrete Konstruktionsbeispiele zum "Holzfenster 2012" ist in Tabelle 35 und Tabelle 36 enthalten. Die jeweiligen Konstruktionen sind in den entsprechenden Kapiteln dieses Abschlussberichts detaillierter beschrieben. Alle aufgeführten Beispiele erfüllen die aktuellen Anforderungen der KfW-Bank bzw. die vermutlich in der nächsten Stufe der Energieeinsparungsverordnung EnEV ab 2012 geforderten wärmetechnischen Anforderungen. Die Konstruktionen zeigen aber auch, dass für die übernächste Stufe der Energieeinsparverordnung EnEV ab ca. 2015 noch weiterer Entwicklungsbedarf besteht, um künftige wärmetechnische Anforderungen mit Holzfenstern erfüllen zu können.



 Tabelle 35
 Schematische Konstruktionen "Holzfenster 2012"

|   |     |               | Konstruktionsdetails  |   |   |                                     |                                       | Anforderungen                                |  |  |
|---|-----|---------------|---|---|---|-------------------------------------|---------------------------------------|--|--|--|
|   | Тур | Seite Bericht | Holz  | MIG   | Dämm-<br>stoff                                | sonstiges                           | U <sub>w</sub> -Wert<br>in<br>W/(m²K) | KfW aktuell<br>U <sub>w</sub> ≤ 0,95 W/(m²K) | EnEV 2012<br>U <sub>w~</sub> 0,9 bis 1,1 W/(m²K) | EnEV 2015<br>U <sub>w</sub> ~ 0,80 W/(m²K) |
| Standardfenster<br>Holz                                   |     | 33            | λ ≤ 0,13<br>W/mK<br>(z. B. Fichte,<br>Lärche,<br>modif. Höl-<br>zer etc.) | 3-fach MIG $(U_g=0.7 \text{ W/(m}^2\text{K)})$  | -   | Rahmen-<br>dicke<br>gesamt<br>90 mm | 0,85<br>bis<br>0,95                   | ✓  | ?  | ×  |
| Standardfenster<br>Holz + Dämmung<br>BR                   |     | 34            | λ ≤ 0,13<br>W/mK<br>(z. B. Fichte,<br>Lärche, mo-<br>dif. Hölzer<br>etc.) | 3-fach MIG $(U_g=0.7 \text{ W/(m}^2\text{K)})$  | Poly-<br>urethan<br>$(\lambda=0,025$<br>W/mK) | Rahmen-<br>dicke<br>gesamt<br>90 mm | 0,83<br>bis<br>0,90                   | <b>✓</b>                                     | <b>✓</b>   | 7  |
| Standardfenster<br>Holz + Dämmung<br>Vorsatzschale        |     | 36            | λ ≤ 0,13<br>W/mK<br>(z. B. Fichte,<br>Lärche,<br>modif. Höl-<br>zer etc.) | 3-fach MIG $(U_g=0.7 \text{ W/(m}^2\text{K)})$  | Poly-<br>urethan<br>(λ=0,025<br>W/mK)         | Rahmen-<br>dicke<br>gesamt<br>90 mm | 0,77<br>bis<br>0,80                   | ✓  | <b>√</b>   | <b>✓</b>                                   |
| Integralfenster<br>Holz + Däm-<br>mung Vorsatz-<br>schale |     | 37            | λ ≤ 0,13<br>W/mK<br>(z. B. Fichte,<br>Lärche,<br>modif. Höl-<br>zer etc.) | 3-fach MIG<br>(U <sub>g</sub> =<br>0,7 W/(m²K)) | Poly-<br>urethan<br>(λ=0,025<br>W/mK)         | Rahmen-<br>dicke<br>gesamt<br>90 mm | 0,77<br>bis<br>0,79                   | ✓  | <b>√</b>   | <b>✓</b>                                   |

stark vereinfachte schematische Darstellung ohne relevante Detaillösungen; berechnete U-Werte; Einfachfenster 1,23 m x 1,48 m Blendrahmenaußenmaß; weitere Details sind im Bericht enthalten

## 9 Zusammenfassung und Ausblick



 Tabelle 36
 Konkrete Konstruktionsbeispiele "Holzfenster 2012"

|   |        |               | Konstruktionsdetails                                   |  |                                       |   |                                       | Anforderungen                                |   |  |
|---|--------|---------------|--|--|---------------------------------------|---|---------------------------------------|--|---|--|
| Тур   |        | Seite Bericht | Holz   | MIG  | Dämm-<br>stoff                        | sonstiges                               | U <sub>w</sub> -Wert<br>in<br>W/(m²K) | KfW aktuell<br>U <sub>w</sub> ≤ 0,95 W/(m²K) | EnEV 2012<br>U <sub>w</sub> ~ 0,9 bis 1,1 W/(m²K) | EnEV 2015<br>U <sub>w</sub> ~ 0,80 W/(m²K) |
| Standard-<br>fenster                                      | 90 M   | 72            | Fichte   | 3-fach MIG<br>(U <sub>g</sub> =<br>0,7 W/(m²K))  | -                                     | -                                       | 0,89                                  | <b>✓</b>                                     | ✓   | *  |
| Standard-<br>fenster + th.<br>mod. Pappel                 | 100 mm | 72            | mod. Pinus<br>radiata, th.<br>mod. Pap-<br>pel, Fichte | 3-fach MIG<br>(U <sub>g</sub> =<br>0,7 W/(m <sup>2</sup> K))                                 | -                                     | _                                       | 0,87                                  | <b>✓</b>                                     | ✓   | *  |
| Standard-<br>fenster +<br>Dämmung BR                      | 100 mm | 56            | Fichte   | $\begin{array}{l} \mbox{3-fach MIG} \\ \mbox{($U_g$=} \\ \mbox{0,7 W/($m^2$K))} \end{array}$ | Poly-<br>urethan<br>(λ=0,019<br>W/mK) | Dämmstoff<br>nur im<br>Blend-<br>rahmen | 0,85                                  | <b>✓</b>                                     | <   | ×  |
| Standardfenster<br>+ Dämmung BR<br>+ th. mod. Pap-<br>pel | No see | 84            | Fichte, th.<br>mod. Pap-<br>pel, Fichte                | 3-fach MIG $(U_g=0.7 \text{ W/(m}^2\text{K)})$   | Poly-<br>urethan<br>(λ=0,019<br>W/mK) | Dämmstoff<br>nur im<br>Blend-<br>rahmen | 0,84                                  | <b>✓</b>                                     | ✓   | 7  |
| Integral-<br>fenster                                      | 90 mm  | 115           | Fichte   | $\begin{array}{l} \mbox{3-fach MIG} \\ \mbox{(U}_g = \\ \mbox{0,7 W/(m^2K))} \end{array}$    | Aerogel<br>(λ=0,013<br>W/mK)          | Kunststoff-<br>winkel zur<br>Verglasung | 0,82                                  | <b>✓</b>                                     | ✓   | 7  |
| Verbund-<br>fenster                                       | 107 em | 14            | Fichte   | $\begin{array}{l} \mbox{3-fach MIG} \\ \mbox{(U}_g = \\ \mbox{0,7 W/(m^2 K))} \end{array}$   | -                                     | außen Flo-<br>at 4 mm                   | 0,73                                  | <b>\</b>                                     | ✓   | <b>✓</b>                                   |
| Kasten-<br>fenster  | 123.00 | 15            | DRM bzw.<br>Kiefer                                     | 2x 2-fach MIG<br>(U <sub>g</sub> =<br>1,1 W/(m <sup>2</sup> K))                              | -                                     | -                                       | 0,67                                  | <b>✓</b>                                     | <b>✓</b>  | <b>✓</b>                                   |

stark vereinfachte schematische Darstellung ohne relevante Detaillösungen;

berechnete U-Werte; Einfachfenster 1,23 m x 1,48 m Blendrahmenaußenmaß; weitere Details im Bericht enthalten

#### 10 Danksagung



## 10 Danksagung

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesamtes für Bauwesen und Raumordnung gefördert. (Aktenzeichen: Z6-10.08.18.7-08.30/II2-F20-08-49). Die Verantwortung für den Inhalt des Berichts liegt bei den Autoren.

Das Forschungsprojekt wurde in beratender Funktion durch eine projektbegleitende Arbeitsgruppe betreut. Den Mitgliedern des Beratergremiums gilt besonderer Dank:

Herr Prof. Dr.-Ing. Benno Eierle Hochschule Rosenheim Herr Prof. Dr.-Ing. Peter Niedermaier Hochschule Rosenheim

Herr Frank Koos, Herr Eike Gehrts

VFF Verband Fenster + Fassade

Herr PD Dr. habil. Gerald Koch

vTI – Institut für Holztechnologie

und Holzbiologie

Frau Babett Schriewer, Herr Asmus Schriewer Forschungsinitiative Zukunft Bau

Besonderer Dank gebührt auch folgenden Industriepartnern, die das gesamte Projekt sowohl ideell als auch finanziell unterstützt und somit zum Gelingen beigetragen haben:



FLG Fenster-Leistungsgemeinschaft GmbH, Gottenheim Herr Alfons Hertweck

In der Projektgruppe vertreten durch:



Huber & Sohn GmbH & Co. KG, Bachmehring Herr Martin Werner



Menck Fenster GmbH, Hamburg Herr Rolf Menck



rekord-fenster+türen GmbH & Co. KG, Dägeling Herr Ralph Becken



Schillinger GmbH, Oberwolfach Herr Wilhelm Schillinger

### 10 Danksagung





Stöckel GmbH, Vechtel Herr Jörg Johannsmeyer



Süd-Fensterwerk GmbH & Co. KG, Schnelldorf Herr Fritz Tietze, Herr Alexander Schwarz

Der Dank der Projektgruppe gebührt auch folgenden Unternehmen die das Projekt mit Materialproben unterstützt und beratend zur Seite gestanden haben bzw. mit sonstigen Dienstleistungen zum Projekterfolg beigetragen haben:

- BASF Polyurethanes GmbH, Lemförde
- BASF SE, Ludwigshafen
- BTI Befestigungstechnik GmbH & Co. KG, Ingelfingen
- Enno Roggemann GmbH & Co. KG, Bremen
- Fibrolux GmbH, Hofheim
- isp Rosenheim Ingenieurbüro Prof. Schmid, Rosenheim
- Joseph Dresselhaus GmbH & Co. KG, Herford
- Sägewerk Hagensieker GmbH & Co. KG, Bad Essen Wehrendorf
- SPAX International GmbH & Co. KG, Ennepetal
- Stadur-Süd Dämmstoff-Produktions GmbH, Pliezhausen

#### Literaturverzeichnis



#### Literaturverzeichnis 11

- [1] Richtlinie 2010/31/EU des europäischen Parlaments und des Rates vom 19. Mai 2010 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (Neufassung) European directive energy performance of buildings EPBD; http://www.enev-online.de/epbd/epbd 2010 100618 \_verkuendung\_eu\_amtsblatt\_deutsch.pdf
- [2] Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung - EnEV) Ausfertigungsdatum: 24.07.2007 http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/enev\_2007/gesamt.pdf
- [3] Energieeinsparverordnung (EnEV) Änderungen der Energieeinsparverordnung durch die EnEV 2009 http://www.bmvbs.de/DE/BauenUndWohnen/EnergieeffizienteGebaeude/Energi
- eeinsparverordnung/energieeinsparverordnung\_node.html [4] **Energieeffizient Sanieren**
- Programmnummer 151, 152, 430 Anlage – Technische Mindestanforderungen und ergänzende Informationen für Maßnahmen zur Sanierung zum KfW-Effizienzhaus und für Einzelmaßnahmen Stand 06/2011

KfW-Bank, Frankfurt

http://www.kfw.de/kfw/de/l/II/Download\_Center/Foerderprogramme/versteckter\_ Ordner\_fuer\_PDF/6000001778\_M\_151\_152\_430\_EES\_Anlage.pdf

- [5] Holzprofile für Fenster und Fenstertüren – Maße, Qualitätsanforderungen Berlin, Beuth Verlag GmbH
- [6] EN 14351-1:2006 Fenster und Türen – Produktnorm, Leistungseigenschaften – Teil 1: Fenster und Außentüren ohne Eigenschaften bezüglich Feuerschutz und/oder Rauchdichtheit: Berlin, Beuth Verlag GmbH
- [7] ift-Richtlinie WA-15/2 Passivhaustauglichkeit von Fenster, Außentüren und Fassaden Verfahren und Kriterien zur Beurteilung der Passivhaustauglichkeit von Bauteilen für Fenster, Außentüren und Fassaden auf der Grundlage von EN-Normen Fassung vom Februar 2011 ift Rosenheim
- [8] http://www.passiv.de/index\_phi.html Zertifizierung – Zertifizierung von PH geeigneten Komponenten – Fensterrahmen – Kriterien/Anforderungen Passivhaus Institut, Dr. Wolfgang Feist, 64283 Darmstadt
- [9] http://www.passiv.de/index\_phi.html Zertifizierung – Zertifizierte Produkte – Fensterrahmen Passivhaus Institut, Dr. Wolfgang Feist, 64283 Darmstadt

#### 11 Literaturverzeichnis



[10] Verordnung über Anforderungen an die Verwertung und Beseitigung von Altholz (Altholzverordnung – AltholzV) Ausfertigungsdatum: 15.08.2002 http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/altholzv/gesamt.pdf

[11] EN ISO 10077-1:2010

Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern, Türen und Abschlüssen – Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten – Teil 1: Allgemeines Berlin, Beuth Verlag GmbH

[12] EN ISO 10077-2:2008

Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern, Türen und Abschlüssen – Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten –Teil 2: Numerisches Verfahren für Rahmen

Berlin, Beuth Verlag GmbH

[13] prEN ISO 10077-2:2009

Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern, Türen und Abschlüssen – Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten –Teil 2: Numerisches Verfahren für Rahmen

Berlin, Beuth Verlag GmbH

[14] DIN EN 1027:2000-09

Fenstern und Türen; Schlagregendichtheit; Prüfverfahren Berlin, Beuth Verlag GmbH

[15] DIN EN 12208:2000-06

Fenstern und Türen; Schlagregendichtheit; Klassifizierung Berlin, Beuth Verlag GmbH

[16] DIN EN 1026:2000-09

Fenstern und Türen; Luftdurchlässigkeit; Prüfverfahren Berlin, Beuth Verlag GmbH

[17] DIN EN 12207:2000-06

Fenstern und Türen; Luftdurchlässigkeit; Klassifizierung Berlin, Beuth Verlag GmbH

[18] DIN EN 12211:2000-12

Fenstern und Türen; Widerstandsfähigkeit bei Windlast; Prüfverfahren Berlin, Beuth Verlag GmbH

[19] DIN EN 12210:2003-08

Fenstern und Türen; Widerstandsfähigkeit bei Windlast; Klassifizierung Berlin, Beuth Verlag GmbH

[20] DIN EN 12412-2:2003-11

Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern, Türen und Abschlüssen – Bestimmung des Wärmedurchgangskoeffizienten mittels des Heizkastenverfahrens; Teil 2: Rahmen Berlin, Beuth Verlag GmbH

#### 11 Literaturverzeichnis



#### [21] DIN EN 12667:2001-05

Wärmetechnisches Verhalten von Baustoffen und Bauprodukten – Bestimmung des Wärmedurchlasswiderstandes nach dem Verfahren mit dem Plattengerät und dem Wärmestrommessplatten-Gerät – Produkte mit hohem und mittlerem Wärmedurchlasswiderstand Berlin, Beuth Verlag GmbH

- [22] Richter, H. G. and Dallwitz, M. J. (2000 onwards). 'Commercial timbers: descriptions, illustrations, identification, and information retrieval. In English, French, German, and Spanish.' Version: 4th May 2000 http://www.biologie.uni-hamburg.de/b-online/wood/german/index.htm#T
- [23] VFF Merkblatt HO.06-1: November 2007 Holzarten für den Fensterbau – Teil 1: Eigenschaften, Holzartentabelle VFF, Frankfurt
- [24] DIN V ENV 1627:2009-04 Fenster, Türen, Abschlüsse – Einbruchhemmung – Anforderungen und Klassifizierung Berlin, Beuth Verlag GmbH
- [25] DIN EN ISO 10140-1:2010-12 Akustik – Messung der Schalldämmung von Bauteilen im Prüfstand – Teil 1 Anwendungsregeln für bestimmte Produkte Berlin, Beuth Verlag GmbH
- [26] DIN EN ISO 10140-2:2010-12 Akustik – Messung der Schalldämmung von Bauteilen im Prüfstand – Teil 2 Messung der Luftschalldämmung Berlin, Beuth Verlag GmbH
- [27] DIN EN ISO 717-1:2006-11 Akustik – Bewertung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen – Teil 1: Luftschalldämmung Berlin, Beuth Verlag GmbH
- [28] VFF Merkblatt HO.06-1: November 2011 Holzarten für den Fensterbau – Teil 1: Eigenschaften, Holzartentabelle Holzarten zur Herstellung maßhaltiger Bauteile (Fenster, Außentüren) Verband Fenster + Fassade, Frankfurt am Main
- [29] VFF Merkblatt HO.06-2: April 2006 Holzarten für den Fensterbau – Teil 2: Holzarten zur Verwendung in geschützten Holzkonstruktionen Verband Fenster + Fassade, Frankfurt am Main
- [30] VFF Merkblatt HO.06-3: April 2006 Holzarten für den Fensterbau – Teil 3: Holzarten für den Innenausbau als dekorative Sichtflächen für lamellierte Fensterkanteln Verband Fenster + Fassade, Frankfurt am Main
- [31] VFF Merkblatt HO.06-4: März 2010 Holzarten für den Fensterbau – Teil 4: Modifizierte Hölzer Verband Fenster + Fassade, Frankfurt am Main

#### 1 Literaturverzeichnis



[32] ift-Richtlinie HO-10/1

Massive, keilgezinkte und lamellierte Profile für Holzfenster Anforderungen und Prüfung ift Rosenheim, November 2002

- [33] PD Dr. habil G. Koch, Dr. M. Ohlmeyer; Forschungsvorhaben "Untersuchung der Verklebungseigenschaften und Dimensionsstabilität von kombinierten Kanteln mit dekorativen Ausstattungshölzern für den Fensterbau" Institut für Holztechnologie und Holzbiologie des Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI), Hamburg
- [34] Matthies Ehmcke; Diplomarbeit "Untersuchung der Verklebungseigenschaften und Dimensionsstabilität von kombinierten Kanteln für den Fensterbau" Institut für Holztechnologie und Holzbiologie des Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI), Hamburg
- [35] DIN EN 1382:2000-03 Holzbauwerke; Prüfverfahren; Ausziehtragfähigkeit von Holzverbindungsmitteln Berlin, Beuth Verlag GmbH
- [36] DIN EN 320:1993-08 Faserplatten; Bestimmung des achsparallelen Schraubenausziehwiderstands Berlin, Beuth Verlag GmbH
- [37] TBDK-Richtlinie Befestigung tragender Beschlagteile von Dreh- und Drehkipp-Beschlägen mit Definitionen zu Dreh- und Drehkipp-Beschlägen sowie deren möglichen Einbaulagen Ausgabe 2008-07-24 Gütegemeinschaft Schlösser und Beschläge e.V.
- [38] DIN 52186:1978-06 Prüfung von Holz, Biegeversuch Berlin, Beuth Verlag GmbH
- [39] Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Niemz ETH Zürich, Institut für Baustoffe Physik des Holzes Skript als kurze Einführung in die physikalischen Eigenschaften des Holzes http://www.ifb.ethz.ch
- [40] DIN 52184:1979-05 Prüfung von Holz, Bestimmung der Quellung und Schwindung Berlin, Beuth Verlag GmbH

#### 11 Literaturverzeichnis



- [41] Prof. Josef Schmid, Prof. Dr. Bernhard Schwarz, Michael Stiller Abschlussbericht Forschungsvorhaben Holzbau der Zukunft – Teilprojekt 19: Konstruktionsgrundlagen für Fenster, Türen und Fassadenelemente aus Verbundwerkstoffen und Holz isp Rosenheim
- [42] Prof. Dr. F. Scholz, Andreas Weber, Thomas Keller Bericht zu Versuchstests (nicht veröffentlicht) Verschleißermittlung und Ausrissversuche Hochschule Rosenheim
- [43] Forschungsvorhaben Fügetechnologie Metaklett gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung Reinz-Dichtungs-GmbH Neu-Ulm, Hölzel Stanz- und Feinwerktechnik GmbH & Co. KG Wildberg Lehrstuhls für Umformtechnik und Gießereiwesen der TU München http://www.metaklett.de/index.html

Glossar



### Glossar

Im Folgenden sind Begrifflichkeiten zur Thematik, die innerhalb dieses Berichts häufig verwendet werden, erklärt:

**Blendrahmen** bezeichnet im Fensterbereich den zum Mauerwerk gewandten, äußeren Teil des Fensterrahmens. Je nach Fenstertyp und Anschlagart werden durch den Blendrahmen ein oder mehrere Flügelrahmen getragen. Über den Blendrahmen erfolgt die Befestigung des Fensterelements mit dem Mauerwerk.

**Dämmstoffe** werden Materialien mit geringer Wärmeleitfähigkeit bezeichnet. Unter anderem werden Dämmstoffe im Baubereich eingesetzt, um die gewünschte bzw. geforderte Wärmedämmung zu erreichen.

**EnEV** (Energieeinsparverordnung) ist als Umsetzung der europäischen EPBD (Energy performance of buildings directive) Teil des deutschen Baurechts. Darin enthalten sind bautechnische Standardanforderungen zum energieeffizienten Bau und Betrieb von Gebäuden.

**Fensterkantel** werden im Fensterbereich durch schichtweises Verkleben mehrerer Einzelschichten (Lamellen) hergestellt. Ein Fensterkantel besteht dabei aus mindestens drei Schichten, um Maßhaltigkeit und Geradlinigkeit der aus den Kanteln gefrästen Rahmenteile sicherzustellen.

**Flügelrahmen** bezeichnet im Fensterbereich den Teil des Fensterrahmens in den das Glaspaket eingesetzt wird. Der oder die Flügelrahmen werden durch den Blendrahmen getragen und ermöglichen je nach Öffnungsart eine Öffnung des Fensters.

Holzmodifizierung (modifizierte Hölzer) bezeichnet alle technischen und/oder chemischen Maßnahmen zur Behandlung von naturbelassenem Holz mit der primären Zielsetzung einer Verbesserung der Dauerhaftigkeit. Neben der Dauerhaftigkeit werden durch die Modifizierung meist auch alle anderen technischen und mechanischen Eigenschaften des Holzes verändert.



**KfW** (Kreditanstalt für Wiederaufbau) bietet in Deutschland neben vielen anderen Aufgabenbereichen Fördermaßnahmen und Programme im Immobilienbereich an (z. B. Schaffung Wohneigentum, energetische Gebäudesanierung...). Voraussetzung für einzelne Programme bzw. Fördergelder sind oftmals Kreditvergabekriterien, die sich im Bausektor auch als Energiestandards für Gebäude und Bauteile etabliert haben. Die Finanzierung erfolgt über den Bund bzw. anteilig durch die Bundesländer.

Lamellen werden im Fensterbereich die Einzelschichten bezeichnet, die durch schichtweises Verkleben zu Fensterkanteln verbunden werden. Ein Fensterkantel besteht dabei aus mindestens drei Lamellen, um Maßhaltigkeit und Geradlinigkeit der später aus den Kanteln gefrästen Rahmenteile sicherzustellen.

**MIG** (Mehrscheibenisolierglas) ist ein aus planparallelen Flachglas-Scheiben mittels Abstandhaltern zusammengesetztes Glaselement mit Gasfüllungen in den Scheibenzwischenräumen.

Nachhaltigkeit als Begriff beschreibt eine ganzheitliche Betrachtung von ökologischen, ökonomischen und soziokulturellen Qualitäten z. B. eines Gebäudes. Dabei wird entsprechend der gesamte Lebenszyklus ausgehend von der Rohstoffgewinnung bis hin zu Wiederverwertung und Entsorgung betrachtet. Für das nachhaltige Bauen wurden hierfür Instrumente in Form von Gebäudezertifizierungssystemen geschaffen, um diese entsprechend ihrer Nachhaltigkeit bewerten zu können.

**U-Wert** (Wärmedurchgangskoeffizient) gibt den Wärmestromdurchgang durch Bauteile an die verschiedene Temperaturbereiche trennen (Einheit: W/(m²K)). Je niedriger der U-Wert, desto besser sind die Wärmedämmeigenschaften eines Bauteils. Für den Bereich Fenster existieren die Bezeichnungen U<sub>w</sub>-Wert (bezogen auf das komplette Bauteil), U<sub>f</sub>-Wert (bezogen auf den Rahmenanteil) sowie U<sub>g</sub>-Wert (bezogen auf den Glasanteil).



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