

Ingo Leuschner, Erwin Friedl, Benno Bliemetsrieder,  
Andreas Hemer

## **Folienoberflächen im Fensterbau**



## F 2726

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

© by Fraunhofer IRB Verlag

2009

ISBN 978-3-8167-8067-0

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](mailto:irb@irb.fraunhofer.de)

[www.baufachinformation.de](http://www.baufachinformation.de)

[www.irb.fraunhofer.de/bauforschung](http://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



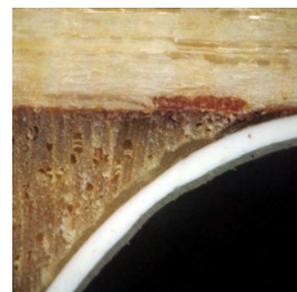
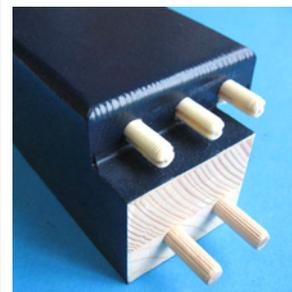
Das Institut für  
Fenster und Fassaden,  
Türen und Tore,  
Glas und Baustoffe

## Forschungsvorhaben

Abschlussbericht

# Ölienoberflächen im Fensterbau

<  
Mai 2008



## Folienoberflächen im Fensterbau – Abschlussbericht

<b>Thema</b>	Untersuchung der Anwendung von innovativen Folien als Wetterschutz von Holzbauteilen am Anwendungsbeispiel Holzfenster
<b>Kurztitel</b>	Folienoberflächen im Fensterbau
<b>Förderung</b>	Gefördert mit Mitteln des Bundesamtes für Bauwesen und Raumordnung (Aktenzeichen: Z6-10.08.18.7-06.10 / II2-F20-06-028)
<b>Forschungsstelle</b>	ift gemeinnützige Forschungs- und Entwicklungsgesellschaft mbH Theodor-Gietl-Straße 7-9 83026 Rosenheim
<b>Projektleitung</b>	Dipl.-Ing. (FH) Ingo Leuschner
<b>Bearbeitung</b>	Dipl.-Ing. (FH) Ingo Leuschner Dipl.-Ing. (FH) Benno Bliemetsrieder
<b>2. Forschungsstelle</b>	Hochschule Rosenheim F&E Kompetenzzentrum Hochschulstraße 1 83024 Rosenheim
<b>Bearbeitung</b>	Prof. Erwin Friedl (Projektleitung 2. Forschungsstelle) Dipl.-Ing. (FH) Andreas Hemer

Rosenheim, Mai 2008

## Inhaltsverzeichnis

	Seite
<b>Zusammenfassung</b>	<b>1</b>
<b>Abstract</b>	<b>6</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>11</b>
1.1 Allgemeines	11
1.2 Gliederung Abschlussbericht	16
<b>2 Stand der Technik</b>	<b>19</b>
<b>3 Bewertungsgrundlagen</b>	<b>23</b>
<b>4 Folie</b>	<b>27</b>
4.1 Diffusionsverhalten ( $s_D$ -Wert)	28
4.2 Elastizität	30
4.3 UV-Durchlässigkeit	33
4.4 Zusammenfassung Folie	35
<b>5 Verbund</b>	<b>37</b>
5.1 Diffusionsverhalten (Aufnahme und Abgabe)	38
5.2 Brandverhalten	44
5.3 Witterungsbeständigkeit bei künstlicher Bewitterung	46
5.4 Witterungsbeständigkeit bei Freibewitterung	51
5.5 Haftungsverhalten	54
5.6 Verträglichkeit	57
5.7 Verblockung	60
5.8 VOC Emissionen	61
5.9 Zusammenfassung Verbund	66
<b>6 Stab, Einzelteil und Rahmen</b>	<b>67</b>
6.1 Beschichtungsqualität	68
6.2 Profilgeometrien	75
6.3 Diffusionsverhalten (Simulation)	83
6.4 Zusammenfassung Einzelteil	98



<b>7 Fenster</b>	<b>99</b>
7.1 Rahmeneckverbindungen / Abdichtungsvarianten	100
7.2 Witterungsbeständigkeit	107
7.3 Konstruktionsvarianten	113
7.4 Zusammenfassung Fenster	116
<b>8 Verfahrensparameter und Fertigungstechnik</b>	<b>117</b>
8.1 Aufgabenstellung	117
8.2 Rahmenbedingungen	117
8.3 Umsetzung	117
8.4 Ergebnisse	118
<b>9 Nutzungsphase</b>	<b>119</b>
9.1 Reinigung	119
9.2 Beschädigung und Reparatur	121
9.3 Verwertung und Entsorgung	126
9.4 Zusammenfassung Nutzungsphase	129
<b>10 Aussage und Ausblick</b>	<b>131</b>
<b>11 Danksagung</b>	<b>133</b>
<b>12 Literaturverzeichnis</b>	<b>135</b>
<b>Anhang</b>	
Teilbericht Hochschule Rosenheim – Verfahrensparameter und Fertigungstechnik	

## Zusammenfassung

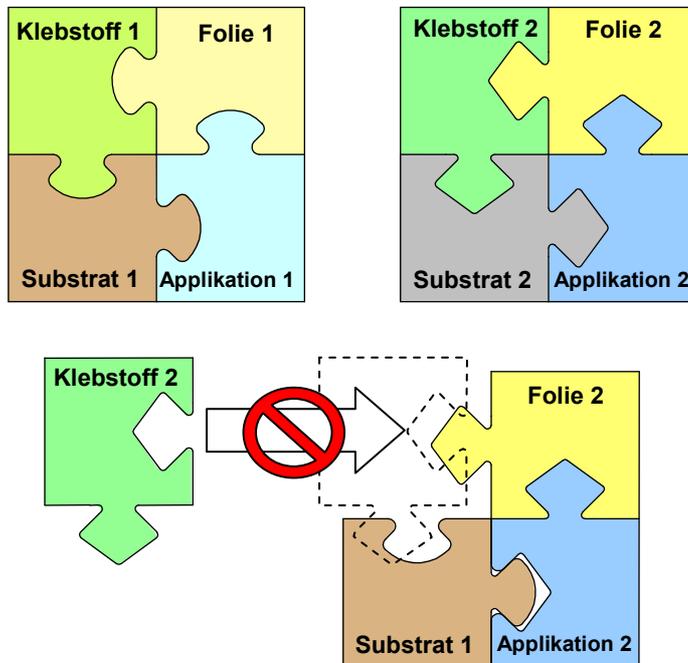
Ziel dieses Forschungsprojekts war es, die Verwendbarkeit von Folienbeschichtungen im Bausektor als Wetterschutz von maßhaltigen Bauteilen aus Holz, speziell bei Fenstern und Außentüren zu untersuchen. Dazu wurden eine Reihe von Versuchen durchgeführt und Konzepte für einen zukünftigen Einsatz der Folienbeschichtung erarbeitet. Eine fundierte Beurteilung von Folienbeschichtungen ist auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse nun besser möglich. Zusammenfassend kann folgendes festgestellt werden.

### Folien

Die untersuchten Folien sind zwar etwas dichter als herkömmliche Oberflächenbeschichtungen, was aber für sich genommen keinen echten Nachteil darstellt. Sie sind sehr elastisch und bieten einen guten Schutz vor holzerstörender UV-Strahlung. Die untersuchten Folien eignen sich grundsätzlich als Oberflächenbeschichtung von Holzbauteilen im Außenbereich wie z. B. Fenster.

### Folien-Klebstoff-Holz-Verbünde

Die Leistungsfähigkeit von Folienoberflächen in der Praxis ist nicht nur vom Folienprodukt an sich abhängig. Der verwendete Klebstoff, das Untergrundmaterial und nicht zuletzt auch das angewendete Applikationsverfahren können hier enormen Einfluss haben und Wechselwirkungen verursachen, die wiederum Auswirkungen auf die visuelle und technische Gebrauchstauglichkeit haben. Der Zusammenhang wird in Abbildung 1 schematisch dargestellt.

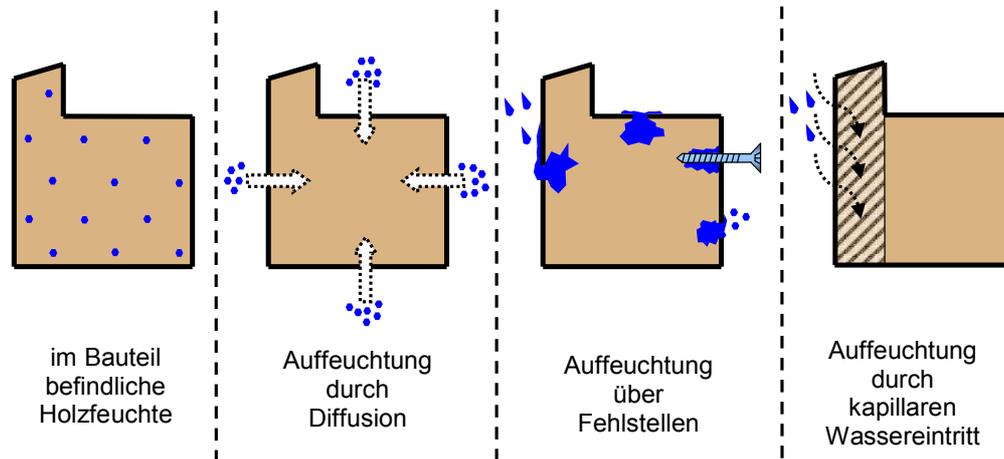


**Abbildung 1** Kombination von Parametern

Die Untersuchungen zeigen, dass die Rücktrocknung von aufgefuechteten Holzteilen durch die Folienbeschichtung stark verlangsamt abläuft. Der Vermeidung von starken Aufuechtungen durch z. B. kapillaren Wassereintritt muss bei folienbeschichteten Bauteilen also besondere Aufmerksamkeit zuteil werden. Wie die Praxis zeigt, kann Wasseraufnahme durch Fehlstellen jedoch selten komplett verhindert werden. Der Feuchtetransport aufgrund von Diffusion durch die Folie ist von den klimatischen Verhältnissen auf Raum- und Wetterseite abhängig.

Die simulierte Feuchteentwicklung in folienbeschichteten Bauteilen zeigt, dass bei Einhaltung bestimmter konstruktiver Grundsätze keine signifikanten Aufuechtungen im Bauteil durch Diffusion zu erwarten sind.

Die im Bauteil befindliche Holzfeuchte beim Einbau sollte auch bei folienbeschichteten Bauteilen im üblichen Bereich von maximal 12 % bis 15 % liegen. In Abbildung 2 ist dargestellt, auf welchen Wegen Feuchtigkeit in z. B. ein Fensterprofil gelangen kann.



**Abbildung 2** Wie kommt Wasser ins Holz?

Die untersuchten Verbünde zeigen eine teilweise im Vergleich zu herkömmlichen Oberflächenbeschichtungen verbesserte Witterungsbeständigkeit bei künstlicher und natürlicher Bewitterung. Schäden treten hier nur vereinzelt durch chemische Unverträglichkeiten im Zusammenhang mit Holzinhaltsstoffen auf, welche durch verschärfte klimatische Randbedingungen begünstigt werden.

Bezüglich allen anderen überprüften und für Oberflächenbeschichtungen maßgeblichen Eigenschaften verhielten sich die folienbeschichteten Probekörper weitgehend unkritisch. Grundsätzlich eignen sich Holz und auch Holzwerkstoffe gut zur Beschichtung mit Folien. Die verwendete Holzart sollte jedoch grundsätzlich für maßhaltige Bauteile im Außenbereich geeignet sein und in guter Qualität vorliegen.

Ob für die geplante Kombination ein Problem vorliegt, muss individuell überprüft werden. Die dargestellten Untersuchungen bieten dabei einen guten Ansatz für die Zusammenstellung eines entsprechenden Nachweisprogramms.



### **Stab, Einzelteil und Rahmen**

Die herkömmlichen Fensterprofile nach DIN 68121 [1] sind nicht auf die Erfordernisse einer Folienbeschichtung abgestimmt. Wesentliche Profildetails sind allerdings auch mit herkömmlicher Nassbeschichtungstechnik problematisch zu beschichten, was durch die Vielzahl der in der Praxis festgestellten Mängel belegt ist. Auch deshalb liegt der Schritt nahe, von diesen genormten Profilen abweichend neue Fenstersysteme mit „folienfreundlichen“ Profilgeometrien zu entwickeln.

### **Fenster**

Der Abdichtung der Rahmeneckverbindung kommt bei folienbeschichteten Fenstern wegen der stark verlangsamten Rücktrocknung eine übergeordnete Bedeutung zu. Die im Rahmen der Projektarbeit angefertigten Ausführungsvarianten zeigen, dass ein erheblicher Aufwand nötig ist, um eine ausreichend funktionierende Abdichtung herzustellen. Bei allen untersuchten Varianten kam es zu Aufweichungen.

### **Verfahrensparameter und Fertigungstechnik**

Die Erkenntnisse der Untersuchungen zeigen, dass die Beschichtung von Fensterteilen mit Folie unter Beachtung gewisser technischer Voraussetzungen grundsätzlich möglich ist.

Die Rentabilität einer Folienbeschichtung ist stark vom zu produzierenden Teilespektrum bzw. den unterschiedlichen Profilgeometrien abhängig. Aussagen über die Rentabilität können also nur bedingt verallgemeinert werden und müssen für jeden speziellen Einzelfall separat betrachtet werden.

### **Nutzungszeitraum**

Im Verlauf des Nutzungszeitraumes eines folienbeschichteten Fensters ist mit keinen aussergewöhnlichen Anforderungen oder Auswirkungen zu rechnen. Sowohl Pflege und Instandhaltung als auch Instandsetzung sind unter vereinzelter Inkaufnahme von optischen Nachteilen möglich.

### **Anwendungsbereiche**

Fenster und Fassaden sind bei Beachtung gewisser Konstruktionsmerkmale grundsätzlich für eine Beschichtung mit Folie geeignet. Für flächige Bauteile wie z. B. Außentüren, Tore etc. ist besonders die Vakuumpresstechnik geeignet.

Neben Fenstern, Fassaden, Türen und Toren ist der Einsatz von Folienbeschichtung an Holzbauteilen auch in vielen anderen Anwendungen im Außenbereich denkbar. Es sind dies z. B.:

- Fassadenverschalungen,
- Balkone,
- Terrassenbeplankungen,
- Spielgeräte und Gartenmöbel,
- etc.

### **Resümee**

Aufgrund der aus dem Forschungsprojekt gewonnenen Erkenntnisse, erscheint der Einsatz von Folienbeschichtungen als Wetterschutz von maßhaltigen Bauteilen wie Fenster und Außentüren aus Holz unter Beachtung gewisser Konstruktionsmerkmale als möglich.

Für eine erfolgreiche Umsetzung muss im Besonderen die konstruktive Ausführung von Profilgeometrien und Rahmeneckverbindung den speziellen Anforderungen einer Folienbeschichtung angepasst werden.

Aussagen über wirtschaftliche und technische Retabilität einer Folienbeschichtung sind Verfahrensabhängig und zudem in großem Maß vom zu beschichtenden Teilespektrum abhängig.



## Abstract

The briefing for this research project was to study the usefulness of foil coatings as weather protection for dimensionally stable timber components, in particular windows and external pedestrian doors. The intention was to ascertain that such coating systems are safe to use, under exposures that are typical of the built environment, for a sustainable period of usage.

## Foils

Although the foils investigated are somewhat denser than conventional surface coatings, this does, in itself, not present any real disadvantage. They have good elasticity and offer good protection against the destructive effects of UV radiation. The investigated foils are generally suitable for surface-coating external timber components such as windows.

## Combination of foil, adhesive and substrate

In practice, the performance of surface foils does not only depend on the foil product. Other factors, such as the adhesive, the substrate and not least also the application method, can have a big influence and cause interacting effects which, in turn will have an effect on the visual and technical performance. The interaction is illustrated diagrammatically in Fig. 1.

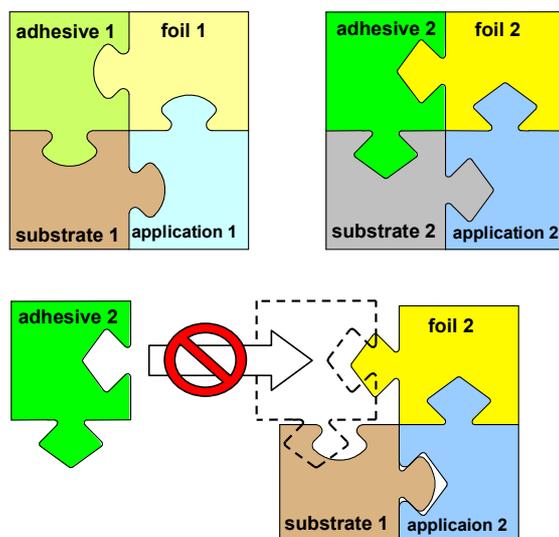


Fig. 1 Combination of parameters

The studies show that the foil coating will considerably slow down the re-drying process of timber parts with high moisture content. This means that with foil-coated building components special care must be taken to avoid any heavy ingress of moisture, e.g. by capillary action. However, practical experience has shown that it is rarely possible to avoid the ingress of water through faulty areas.

The diffusion of moisture through the foil is dependent on the internal and external climate conditions. The simulation of moisture accumulation in foil-coated building components shows that no significant amount of moisture has to be expected to penetrate into the wood via diffusion, provided certain design principles are complied with.

With foil-coated components, as with conventional items, the moisture content in the wood on installation should be within the common-practice range of max. 12% to 15%. Fig. 2 shows potential pathways for moisture to get into components such as a window profile.

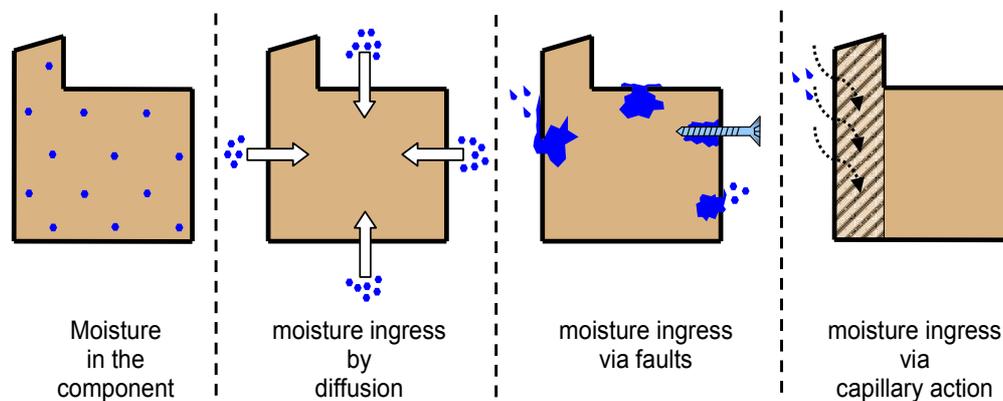


Fig. 2 How does water get into wood?

Compared to conventional surface coatings, some of the coated components showed an improved resistance to weather when exposed to artificial and natural weathering. Some damage did occur through chemical incompatibility in connection with substances in the wood, which may be aggravated by certain climatic conditions.



With respect to all other tested characteristics that are relevant for surface coatings, the foil-coated test specimens did not show any particular vulnerabilities. On principle, timber and wood-based materials are well suited for foil coating. However, the timber species should be suitable for dimensionally stable exterior timber components and be of good quality.

### **Bar, component and frame**

Conventional window profiles are not specifically designed for the requirements of foil coating. Although it must be said that important profile details also present problems for the coating with conventional wet coating methods, a fact that is demonstrated by the many defects encountered in practice. This is another reason for suggesting to deviate from the standardised profiles and develop new window systems with 'foil-friendly' profile geometries.

### **Windows**

The sealing of the joint at the frame corners is particularly important for foil-coated windows because of the much reduced rate of re-drying. The test models constructed as part of the project demonstrated that considerable effort is necessary in order to achieve a satisfactorily functioning corner seal. During our testing, all test models were subject to moisture ingress, which in some instances was enormous.

### **Parameter of procedure and manufacturing technology**

The studies and findings indicate that, on principle, it is possible to use foil-coating on window components. However, for a successful implementation it is necessary for the current mechanical engineering technology to be developed further since the investigated processes do not allow full automation and to a large extent require a manual work input.

The commercial viability of foil-coating depends to a large extent on the spectrum of parts to be produced and/or the different profile geometries. This means that any statements about commercial viability do not necessarily apply on a general level and have to be considered separately for each individual case.

### Using period and usage areas

During the service life of foil-coated windows there are no unusual requirements or effects that have to be expected or taken into account. Both maintenance and repair are possible although visual disadvantages may have to be accepted in certain cases. Apart from windows, facades, pedestrian and industrial doors, the use of foil coating on timber components is conceivable in many other external applications (e.g. facade cladding, balconies, decking, playground items and garden furniture etc.).

### Summary

Based on the findings of the research project, foil-coating of dimensionally stable components, such as timber windows and external pedestrian doors, as a means of protection against the weather appears possible provided certain design aspects are taken into account.

In particular, for a successful implementation, the design detail of profile geometries and frame corner joints has to be adapted to the special requirements of foil coating.

In this context, the above studies offer a good basis for working out a suitable verification programme and concepts that are helpful for planning a change to foil-coating in the production of windows and external pedestrian doors.



## 1 Einleitung

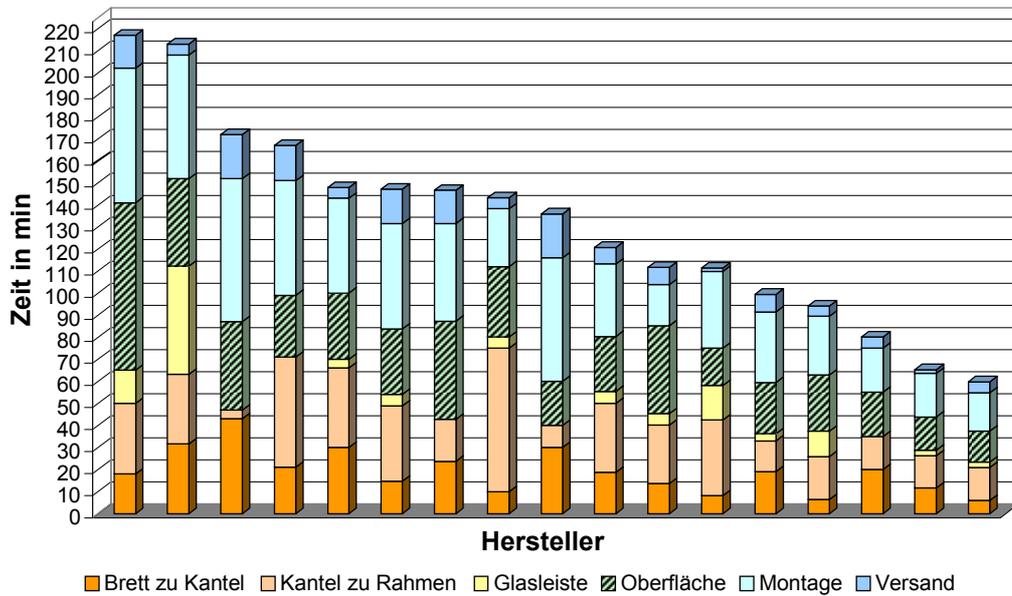
### 1.1 Allgemeines

Die Oberflächenbeschichtung von Holz im Außenbereich muss eine Vielzahl von technischen und gestalterischen Funktionen erfüllen.

Im Rahmen des Forschungsprojektes „Konstruktionsgrundlagen für Fenster, Türen und Fassadenelemente aus Verbundwerkstoffen und Holz“ [2] haben Voruntersuchungen stattgefunden, welche Alternativen zur herkömmlichen Oberflächenbeschichtung zum Wetterschutz von maßhaltigen Holzkonstruktionen aufzeigen. Insbesondere die Beschichtung mit innovativen Folien deutet bei diesen ersten Untersuchungen ein erhebliches Potential an.

Das zurzeit praktisch zu 100 % angewendete Verfahren der Nasslackierung von Fenstern und Außentüren aus Holz stellt für die Hersteller einen der größten Kostenblöcke im Fertigungsprozess dar (siehe Abbildung 3) [3]. Zudem ist es auch der größte Unsicherheitsfaktor bezüglich möglicher vorzeitig auftretender Schäden sowie der Schwerpunkt bei den planmäßig zu erwartenden Unterhaltungsaufwendungen. So sind die Endkunden mit der Situation beim Wartungs- und Pflegeaufwand der Oberflächenbeschichtung höchst unzufrieden (siehe Abbildung 4).

Eine Optimierung der Herstellung und der Funktion der Oberflächenbeschichtung ist daher erforderlich.



**Abbildung 3** Arbeitszeiten für unterschiedliche Arbeitsblöcke eines einflügeligen Fensters, Dreh-Kipp, 1,30m x 1,30 m von 17 Holzfensterherstellern aus Deutschland und Österreich [3]



**Abbildung 4** Befragung von Fensterkäufern, welche sich gegen Holzfenster entschieden haben, Studie der GfK im Auftrag des ift Rosenheim [3]

1 Einleitung



Die Oberflächenbeschichtung des Holzfensters ist Teil der Maßnahmen zum Schutz des Holzes vor dauerhafter Feuchtigkeitseinwirkung. Beim Holzschutz muss zwischen drei wesentlichen Arten unterschieden werden (siehe Abbildung 5):

- 1 Konstruktiver Holzschutz gegliedert in
  - 1.1 Baulicher Schutz
  - 1.2 Schutz des Holzes durch materialgerechte Konstruktion des Fensters und der Anschlüsse zur Wand
- 2 Physikalischer Holzschutz
- 3 Chemischer Holzschutz

1 Konstruktiver Holzschutz

Die konsequente Ausbildung des konstruktiven Holzschutzes ist von übergeordneter Bedeutung für den dauerhaften und erfolgreichen Einsatz von Holz bei Fenstern und Türen. Dazu zählen die baulichen Maßnahmen zur Abschirmung von Witterungseinflüssen wie z. B. Vordächer, vorspringende Leibungen. Hier ist in den letzten Jahren durch Veränderungen in der Architektur der Trend zu einer Verminderung des baulichen Schutzes zu beobachten. Somit kommt den weiteren Maßnahmen zum Holzschutz noch mehr Bedeutung zu.

Auch die materialgerechte Konstruktion des Fensters zum Schutz vor dauerhafter Feuchteinwirkung durch Ablaufschrägen, gedichtete Kapillarfugen, luftdichte raumseitige Fugen zur Vermeidung von Tauwasser in der Konstruktion etc. Die Ausbildung des Baukörperanschlusses nach dem Stand der Technik, d. h. luft- und schlagregendicht mit ausreichender Wärmedämmung zur Vermeidung von Wärmebrücken, trägt ebenfalls zur Vermeidung von Feuchtebelastungen bei.

Diese Punkte müssen berücksichtigt werden, bei ggf. erforderlichen Anpassungen der Profilgeometrien, der Rahmenverbindungstechnik etc., um den Einsatz von Folienbeschichtungen beim Holzfenster zu ermöglichen.



## 2 Physikalischer Holzschutz

Durch eine Oberflächenbeschichtung wird verhindert, dass Wasser unmittelbar auf das Holz gelangt und eindringen kann. Dadurch werden die Verformungen durch Quellen und Schwinden minimiert und somit die Voraussetzungen für funktionierende maßhaltige Konstruktionen geschaffen.

Für die Dichtheit von Konstruktionsfugen und weitere Abdichtungen ist ebenfalls die Maßhaltigkeit wesentlich, welche durch die geschlossene Beschichtung um das gesamte Rahmenprofil sichergestellt wird. Bei der Oberflächenbeschichtung von Holzfenstern kommen derzeit praktisch nur Flüssigbeschichtungen zum Einsatz. Hierbei kann grundsätzlich zwischen Lasuren und Dickschichtsystemen unterschieden werden. Details dazu werden in Kapitel 2 vermittelt.

Der Einsatz von Folien als Oberflächenbeschichtung scheitert bislang an Systemen mit zu hoher Wasserdampfdurchlässigkeit, welche die Anreicherung von Feuchtigkeit im Holz und damit weitergehende Schäden begünstigen. Neuartige Folien besitzen dagegen ein verbessertes Diffusionsverhalten und sind somit durchlässiger für Wasserdampf.

## 3 Chemischer Holzschutz

Durch den Einsatz von Wirkstoffen gegen den Befall von holzerstörenden Pilzen können besonders gefährdete Konstruktionen in deren Dauerhaftigkeit verbessert werden. Besondere Gefährdungen bestehen beim Einsatz von Holz mit mäßiger oder geringer natürlicher Dauerhaftigkeit und/oder besonderen Belastungssituationen. Es existieren unterschiedliche Arten und Applikationsverfahren für chemischen Holzschutz, auf die hier nicht näher eingegangen werden soll.

Zusätzlich wäre noch der „organisatorische“ Holzschutz anzuführen. Darunter fallen alle Faktoren während des Transports, der Lagerung auf der Baustelle, des Einbaus und in der Bauphase, welche das Holz vor außergewöhnlichen Feuchtebelastungen schützen. Eine robuste Ausführung der Oberflächenbeschichtung ist im rauen Baubetrieb sinnvoll.

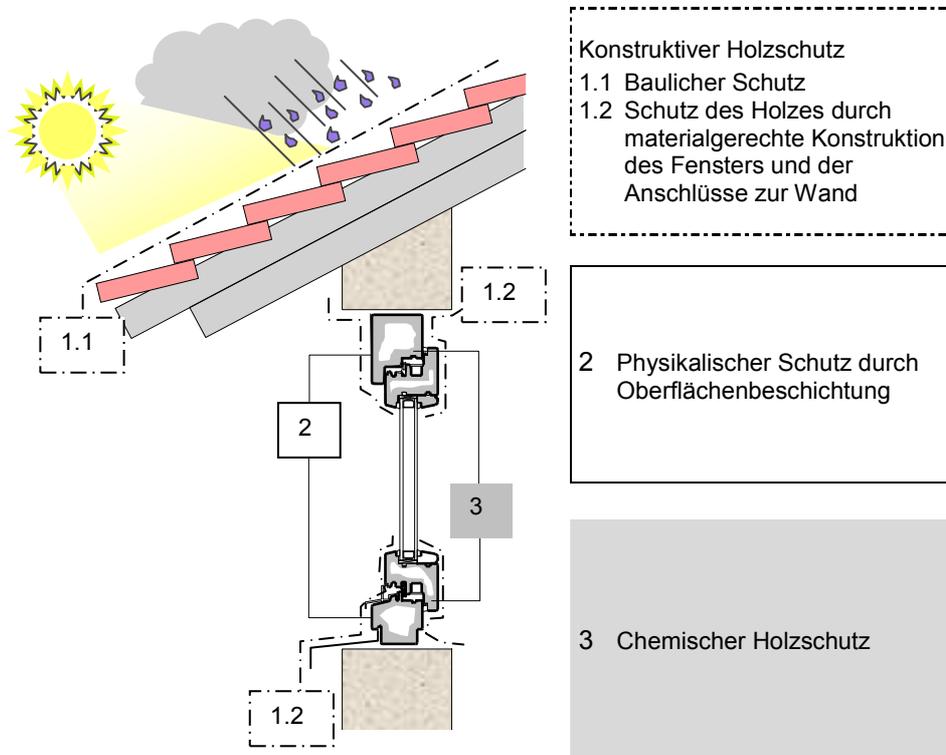


Abbildung 5 Die drei Prinzipien des Holzschutzes beim Fenster



## 1.2 Gliederung Abschlussbericht

Im Rahmen dieses Forschungsprojekts wurden umfangreiche Untersuchungen zur Thematik durchgeführt, inwieweit Folien bei Holzfenstern sinnvoll als Oberflächenbeschichtung eingesetzt werden können. Die Erkenntnisse und Ergebnisse sind in diesem Abschlussbericht zusammengefasst.

Die Untersuchungen orientieren sich dabei an den einzelnen Stufen wie folgt:

- 1 Folie ohne Weiteres  
„Folie“
- 2 Folie in Kombination mit Klebstoff und einem einfachen Holzuntergrund  
„Verbund“
- 3 Folienbeschichtung auf einem Holzprofil mit holzfenstertypischer Querschnittsgestaltung und/oder Rahmeneckverbindung  
„Stab, Einzelteil und Rahmen“
- 4 Mit Folie beschichtete Rahmenkonstruktion  
„Fenster“

Das folgende Schema (Abbildung 6) zeigt die Gliederung dieses Abschlussberichts ausführlicher mit den durchgeführten Untersuchungen.

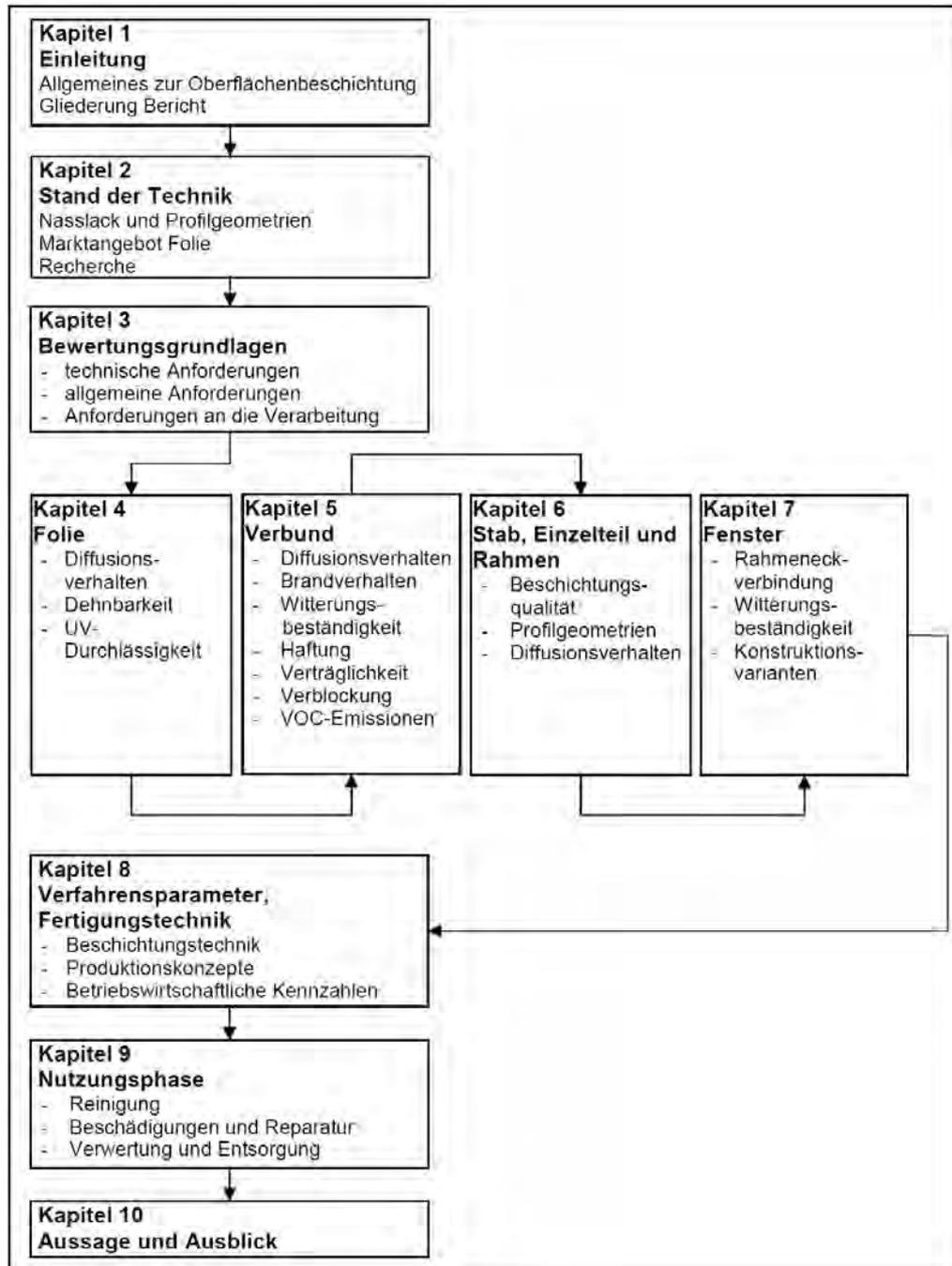


Abbildung 6 Gliederung des Berichts und der durchgeführten Untersuchungen



## 2 Stand der Technik

Die beim Fraunhofer Institut für Raum und Bau in Auftrag gegebene Recherche zur Thematik ergab genau auf das Thema bezogen keine Hinweise zu bereits gelaufenen Projekten oder verwertbaren Erkenntnissen. Dies weist auf den Forschungsbedarf zu Folienoberflächen als Wetterschutz für Holz hin.

Ebenso wurde eine umfangreiche eigene Recherche zu am Markt befindlichen Produkten, bisherigen institutseigenen Untersuchungsergebnissen und Verfahrenstechniken aus dem Baubereich, dem Möbelbau und der Automobilindustrie durchgeführt.

Die Beschichtung mit Folien, auch von kompliziert dreidimensional geformten Teilen ist unter anderem in der Automobilindustrie Stand der Technik. Im Baubereich werden schon seit längerem PVC-Kunststoffprofile mit dekorativen Folienoberflächen versehen. Folienmaterialien, die auch für Holzbauteile empfohlen werden, konnten aber, abgesehen von der ASA-Folie des Projektpartners BASF, bisher nur noch bei einem weiteren Hersteller gefunden werden. Dabei handelt es sich um ein Produkt auf PVC-Basis das beim Projektpartner Holz Schiller bereits seit Jahren als Beschichtung der Easy-LongLife® Fenster zur Anwendung kommt.

Bei der Oberflächenbeschichtung von Holzfenstern kommen derzeit praktisch nur Flüssigbeschichtungen zum Einsatz. Es kann grundsätzlich zwischen Lasuren und Dickschichtsystemen unterschieden werden. Diese werden mit zwei- bis vier Schichten aufgebaut und erfüllen oftmals nur bedingt alle gewünschten Anforderungen von Hersteller und Endanwender. Wesentlicher Unterschied der Systeme ist neben der Schichtdicke der optische Eindruck. So sind Dickschichtsysteme vollkommen opak, während bei Lasuren ein gewisser Holzeindruck durch die Transparenz des Films erhalten bleibt. Ein wichtiger Parameter für die Funktionalität der Beschichtung stellt auch noch die Pigmentierung dar, da diese maßgeblich für den UV-Schutz des Holzes zuständig ist. Die Erfahrung zeigt, dass bei volltransparenten Systemen dieser bis heute nicht gewährleistet ist.

Als Werkstoffe für Flüssigbeschichtungen sind in der Regel Acryl-Dispersionen und Alkyd-Harze im Einsatz, welche in Wasser oder synthetischen Lösemitteln gelöst sind. Bei der Applikation der Imprägnierung, Grundierung und Zwischenbeschichtung zeichnen sich zwei Tendenzen ab: hier stehen das



Tauchen und das Fluten unmittelbar in Konkurrenz. Der Vorteil des Flutens ist, dass es außer zum Imprägnieren und Grundieren auch für den Zwischenlack eingesetzt werden kann.

Aufgrund hoher Anschaffungskosten einer solchen Flutanlage ist deren Einsatz meist den Unternehmen vorbehalten, welche einen Jahresumsatz von mehr als 2,5 Mio. € aufweisen. Trotz höherer Anschaffungskosten findet das Fluten seine Berechtigung, da die Kosten der Beschichtung im Mittel 11 % geringer sind als in Unternehmen, in denen getaucht wird: so ergeben sich im Schnitt Kosten von 29,60 € pro Fenstereinheit für die Beschichtung mit Fluten und 33,20 € für Anlagen ohne Fluttechnik. Für die Zwischenbeschichtung (in Unternehmen mit Tauchtechnologie) und für die Deckbeschichtung findet zu 100 % das Spritzverfahren Anwendung [3].

Weitere Verfahren wie die Pulverbeschichtung, PVC-Ummantelung, Modifikation der oberflächennahen Holzsubstanz usw. sind derzeit in der Praxis nicht im Einsatz. Es sind aus der Vergangenheit Fensterkonstruktionen bekannt, die aus Holz mit einer Kunststoff-Ummantelung bestehen (siehe Abbildung 7). Diese Bauweise hat sich nicht bewährt, da bei feuchtebelasteten Fenstern nach kurzer Zeit der Befall von holzerstörenden Pilzen einsetzte. Trotz hoher Anstrengungen, den Eintritt von Feuchtigkeit von der Raumseite her oder aus Niederschlagswasser zu verhindern, konnte an Fehlstellen (z. B. Falzentwässerung etc.) Wasser eindringen. Durch die ansonsten recht dichte Konstruktion war die Trocknung der Holzprofile nur noch eingeschränkt möglich und eine dauerhafte Durchfeuchtung die Folge.



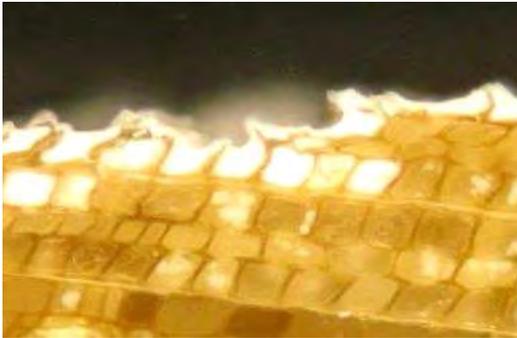
**Abbildung 7** Kunststoffummanteltes Holzfensterprofil, geschnitten im Bereich der Falzentwässerung; Befall durch holzerstörende Pilze, ausgelöst durch Eintritt von Wasser im Bereich der Entwässerungsröhrchen

Ähnliche Probleme sind auch bei Dickschicht-Systemen bekannt (siehe Abbildung 8). Dies belegt, dass die Abstimmung der Wasserdurchlässigkeit der Beschichtung von Außen nach Innen und umgekehrt eine elementare Bedeutung für die Funktion und Dauerhaftigkeit der Beschichtung und Fensterkonstruktion hat.



**Abbildung 8** Holzfensterprofil mit Dickschichtlasur, zerstörte Holzsubstanz unter dem intakten Beschichtungsfilm

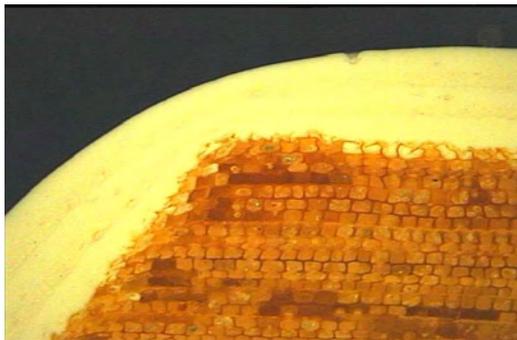
Bei herkömmlichen Flüssigbeschichtungssystemen ergeben sich eine Reihe von Praxisproblemen, die auch Ursache für das mittlerweile geringe Kundenvertrauen in das Holzfenster sind. Durch Fehlstellen im Beschichtungsfilm z. B. an rauen Hirnholzflächen kann Feuchtigkeit von außen in das Holz eindringen. Auch durch Blasen und aufstehende Holzfasern sowie an scharfen Kanten ist die effektive Schichtdicke reduziert und der Durchtritt von Wasser wird erleichtert. In Abbildung 9 bis Abbildung 11 sind typische Beschichtungsmängel von Flüssigbeschichtungen zusammengestellt.



**Abbildung 9** Holzoberfläche mit deckender Beschichtung (weiß), unzureichende Schichtdicke und aufstehende Holzfasern



**Abbildung 10** Holzfenster mit Lasur, Lufteinschlüsse mindern die effektive Schichtdicke, teilweise durchgehende Poren



**Abbildung 11** Beschichtungsfilm mit verringerter Schichtdicke an scharfer Profilkante



**Abbildung 12** Holzfenster nach jahrelanger Bewitterung ohne Pflege: geschützte Bereiche des Profils im Falz mit intakter Beschichtung

In Verbindung mit einer häufig nur mäßigen Nasshaftung der Beschichtungen kommt es zu Unterwanderung des Films und zu Ablösungen. Dadurch liegt das Holz ungeschützt in der Bewitterung und es kommt zur Abwitterung der Holzoberfläche, zu Rissbildung im Holz und/oder zum Verzug der Profile (Abbildung 12). Zu vermeiden sind diese Vorgänge nur durch eine frühzeitige Wartung der Beschichtung. Das Nachstreichen der Oberfläche wird aber in der Praxis von den Nutzern kaum in ausreichendem Maße bzw. in einer ausreichenden Qualität durchgeführt.

### 3 Bewertungsgrundlagen

Aus den Erkenntnissen der Recherche, den vorliegenden hausinternen Erfahrungen und auch aus den Anregungen aus der Projektgruppe wurde ein Anforderungsprofil entwickelt, das für innovative Oberflächenbeschichtungen als Pflichtenheft anzusehen ist. Das Anforderungsprofil wurde in die Bereiche technische Anforderungen (siehe Tabelle 1), allgemeine Anforderungen (siehe Tabelle 2) sowie Anforderungen zur Verarbeitung (siehe Tabelle 3) unterteilt. Zu den jeweiligen Anforderungen sind die entsprechenden Arbeitspunkte angegeben, die im Rahmen der Projektarbeit durchgeführt wurden.

**Tabelle 1** Technische Anforderungen an ein Beschichtungssystem

Technische Anforderungen			
Nr.	Begriff	Beschreibung	Arbeitspunkt
1	Diffusionsverhalten	Das Beschichtungsmaterial muss eine ausreichende Durchlässigkeit für Wasserdampf besitzen, um eine dauerhafte Auffeuchtung zu verhindern bzw. eine Austrocknung von im Holz befindlicher Feuchte ermöglichen.	Diffusionsverhalten ( $s_D$ -Wert)
			Diffusionsverhalten (Aufnahme, Abgabe)
			Diffusionsverhalten (Simulation)
2	Elastizität	Das Beschichtungsmaterial muss Dimensionsänderungen des Holzuntergrunds bei Feuchteschwankungen oder mechanischer Beschädigung aushalten können bzw. darf keine Auswirkungen auf die Formstabilität der beschichteten Teile haben.	Dehnungsverhalten
3	UV-Durchlässigkeit	Das Beschichtungsmaterial muss einen ausreichenden Schutz vor UV-Strahlung bieten.	UV-Durchlässigkeit
4	Brandverhalten	Vom Beschichtungsmaterial darf keine erhöhte Brandgefahr ausgehen.	Entflammbarkeit
5	Witterungsbeständigkeit	Das Beschichtungssystem muss eine ausreichende Dauerhaftigkeit auch bei starker Bewitterung (UV-Strahlung, Beregnung) besitzen.	künstliche Bewitterung
			natürliche Bewitterung



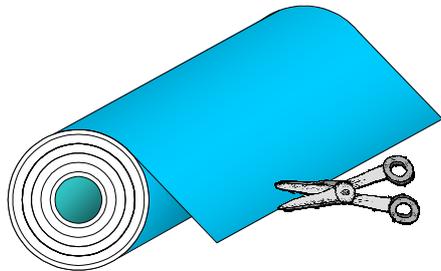
Technische Anforderungen			
Nr.	Begriff	Beschreibung	Arbeitspunkt
6	Haftungsverhalten	Das Beschichtungssystem muss eine ausreichende Haftung, auch bei Feuchtebelastung, aufweisen.	Gitterschnitt
			Abreißfestigkeit
7	Verträglichkeit	Aus Reaktionen mit praxisüblichen Kontaktmaterialien dürfen keine Einschränkungen der Gebrauchstauglichkeit oder visuelle Beeinträchtigungen des Beschichtungsmaterials entstehen.	Verträglichkeit mit Dichtstoffen, Dichtprofilen, Metallen und Mörtel
8	Verblockung	Beschichtete Teile dürfen bei Kontakt nicht aneinander haften.	Verblockungsverhalten
9	Hygiene, Umwelt und Gesundheit	Vom Beschichtungsmaterial und den verwendeten Klebstoffen darf keine Gesundheitsgefährdung durch Freisetzung gefährlicher Substanzen ausgehen.	VOC-Emissionen
10	Pflege und Instandsetzung	Das Beschichtungsmaterial darf keine übermäßige Verschmutzungseigung aufweisen und soll eine unkomplizierte Reinigung ermöglichen. Eine Instandsetzung von beschädigten Stellen muss möglich sein.	Reinigungsverhalten
			Reparaturmöglichkeiten
11	Festigkeit gegen Beschädigungen der Oberfläche	Das Beschichtungsmaterial muss Beschädigungen, wie sie bei bestimmungsgemäßen Gebrauch vorkommen, ausreichend standhalten können.	mechanische Belastbarkeit

**Tabelle 2** Allgemeine Anforderungen an ein Beschichtungssystem

<b>Allgemeine Anforderungen</b>			
<b>Nr.</b>	<b>Begriff</b>	<b>Beschreibung</b>	<b>Arbeitspunkt</b>
12	Farbgestaltung	Das Beschichtungsmaterial muss eine flexible Farbgestaltung ermöglichen. Transparente Folien sollen auch möglich sein.	Kein Arbeitspunkt „Stand der Technik“
13	Dekore	Das Beschichtungsmaterial soll in verschiedenen Dekoren möglich sein.	Kein Arbeitspunkt „Stand der Technik“
14	Struktur	Strukturierte Oberflächen sollten möglich sein: a) in Folie geprägte Struktur b) Abbildung der Holzstruktur durch die Folie hindurch	Kein Arbeitspunkt „Stand der Technik“
15	Verwertung und Entsorgung	Für bei Verarbeitung sowie nach Gebrauch anfallende Reststoffe sollen eine umweltverträgliche Verwertung und Entsorgung möglich sein.	Verwertung und Entsorgung

**Tabelle 3** Anforderungen zur Verarbeitung eines Beschichtungssystems

<b>Anforderungen an die Verarbeitung</b>			
<b>Nr.</b>	<b>Begriff</b>	<b>Beschreibung</b>	<b>Arbeitspunkt</b>
16	Formbarkeit	Das Beschichtungsmaterial muss sich komplizierten Profilgeometrien anpassen können.	Beschichtungsqualität
17	Wirtschaftlichkeit	Das Beschichtungsmaterial soll eine wirtschaftliche Verarbeitung ermöglichen.	Betriebswirtschaftliche Parameter (Hochschule Rosenheim)
18	Applikationsverfahren	Es soll eine rationelle Applikation des Beschichtungsmaterials möglich sein.	Prozesstechnik (Hochschule Rosenheim)
19	Bearbeitbarkeit	Eine Bearbeitung von beschichteten Teilen mit gewöhnlichen Holzbearbeitungsmaschinen muss möglich sein.	Beschichtungsqualität
20	Substratmaterialien	Neben Massivholz sollte auch eine Beschichtung von modifizierten Hölzern, Holzwerkstoffen, WPC etc. möglich sein.	Witterungsbeständigkeit



#### 4 Folie

Die Folie als Ausgangsmaterial für das Beschichtungssystem muss im Einsatz bei maßhaltigen Bauteilen gewisse technische Eigenschaften besitzen. Derartige Eigenschaften sind z. B.

- Wasserdampfdiffusionsverhalten,
- Dehnbarkeit,
- Durchlässigkeit für UV-Strahlung.

In diesem Kapitel wird die Untersuchung der Eigenschaften für verschiedene Folien zusammengefasst. Die jeweiligen Folienprodukte wurden mit den Bezeichnungen „Folie 1“ bis „Folie 4“ benannt. Wurden im Vergleich zu den Folien auch herkömmliche Flüssigbeschichtungen untersucht, sind diese mit „Lack“ bzw. „Lasur“ benannt. In Tabelle 4 sind die im Rahmen des Forschungsprojekts untersuchten Folien und Flüssigbeschichtungen nochmals aufgeführt.

**Tabelle 4** Beschichtungsmaterialien

Bezeichnung	Typ	Details
Folie 1	ASA-Folie (Acrylnitril-Styrol-Acrylester)	verschiedene Farbtöne, unterschiedliche Dicken
Folie 2	PVC-Folie (Poly-Vinyl-Chlorid)	Holzdekor rot-braun, strukturierte Oberfläche
Folie 3	PVC-Folie	Holzdekor dunkelbraun, strukturierte Oberfläche
Folie 4	PVC-Folie	Holzdekor weiß strukturierte Oberfläche
Lack	mehrschichtiger industrieller Decklack, Acrylat-Basis	deckend weiß
Lasur	mehrschichtige industrielle Dickschichtlasur, Acrylat-Basis	lasierend, Eiche hell



## 4.1 Diffusionsverhalten ( $s_D$ -Wert)

### 4.1.1 Ziel der Untersuchung

Ziel dieser Untersuchung war es, die Wasserdampfdurchlässigkeit verschiedener Folienmaterialien zu bestimmen. Als Maß dafür wurde die wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke, auch  $s_D$ -Wert genannt, bestimmt. Dieser Wert gibt die Dicke einer ruhenden Luftschicht an, die den gleichen Wasserdampfdiffusions-Durchlasswiderstand wie das untersuchte Material hat, und ermöglicht somit einen Vergleich unterschiedlich dichter Oberflächenbeschichtungssysteme.

Das Diffusionsverhalten einer Beschichtung für maßhaltige Bauteile ist besonders wichtig. Zum einen soll verhindert werden, dass Feuchte von außen oder aus dem Innenraum in das Bauteil diffundiert, zum anderen sollte im Bauteil befindliche Feuchte durch die Oberfläche abdiffundieren können.

### 4.1.2 Durchführung

Grundlage der Untersuchung war DIN EN ISO 12572 [4]. Untersucht wurden zwei unterschiedliche Folienprodukte und der Einfluss der Klebstoffschicht auf das Diffusionsverhalten. Die Folienprodukte wurden dabei auf die Oberseite von Glasschalen aufgebracht, in denen zum einen Trockenmittel (Dry-Cup-Methode) und zum anderen eine wässrige, gesättigte Lösung (Wet-Cup-Methode) enthalten war (siehe Abbildung 13). Die Schalen wurden in geregelter Klima gelagert. Wegen der unterschiedlichen Wasserdampfteildrücke entstand dabei ein Diffusionsstrom zwischen Prüfgefäß und Prüfraum – durch die aufgespannten Folien hindurch.

Aus der Massenzunahme bzw. -abgabe über ca. zwei Wochen wurde die Massenänderung je Zeiteinheit bestimmt. Der Unterschied zwischen den Methoden Dry-Cup und Wet-Cup bestand in der unterschiedlichen Feuchtedifferenz zwischen Prüfgefäß und Prüfumgebung. Aus den Messwerten und den Umgebungsparametern wurden gemäß DIN EN ISO 12572 [4] die  $s_D$ -Werte der jeweiligen Folienprodukte berechnet.



**Abbildung 13** Probekörper zur Bestimmung  $s_D$ -Wert

#### 4.1.3 Ergebnisse

In Tabelle 5 sind die jeweiligen Ergebnisse für die untersuchten Folienprodukte zusammengefasst. Folie 1 wurde ebenfalls zusammen mit dem zugehörigen, aufgetragenen Klebstoff untersucht. Der Klebstoff für sich wurde nicht untersucht. Die Werte dieses Klebstoffs errechnen sich aus der Differenz der Folie-Klebstoff Kombination und dem Wert der reinen Folie. Die angegebenen Werte für herkömmliche Flüssigbeschichtungen sind hausinterne Erfahrungswerte langjähriger Prüfarbeit.

**Tabelle 5** Ergebnisse Diffusionsverhalten ( $s_D$ -Wert)

Folienprodukt	Mittelwert Dicke in $\mu\text{m}$	Mittelwert $s_D$ -Wert in m	
		Dry-Cup	Wet-Cup
Folie 1	266	2,59	2,07
Folie 2	228	6,46	6,08
Folie 1+ Klebstoff 1	320	3,36	2,55
Klebstoff 1	54	0,77	0,48
Herkömmliche Flüssigbeschichtungen	80 bis 150	0,1 bis 0,8	



#### **4.1.4 Zusammenfassung**

Die untersuchten Folienprodukte sind tendenziell dichter als herkömmliche Flüssigbeschichtungen. Die Klebstoffschichten haben einen geringen, aber dennoch messbaren Einfluss auf das Diffusionsverhalten.

### **4.2 Elastizität**

#### **4.2.1 Ziel der Untersuchung**

Ziel dieser Untersuchung war es, die Elastizität verschiedener Folienprodukte zu untersuchen. Um die Quell- und Schwindbewegungen des Holzes, aber auch mechanische Belastungen wie z. B. Hagelschlag ohne Beschädigung aufnehmen zu können, müssen Oberflächenbeschichtungen eine ausreichende Dehnfähigkeit besitzen.

#### **4.2.2 Durchführung**

Grundlage der Untersuchung waren DIN EN ISO 527-1 [5] und DIN EN ISO 527-2 [6]. Aus unterschiedlichen Folienprodukten wurden normgemäße Probekörper ausgeschnitten. Die Probekörper wurden in die Spannvorrichtung einer Prüfmaschine eingespannt und bei gleichmäßiger Geschwindigkeit bis zum Bruch gedehnt (siehe Abbildung 14).

Während der Untersuchung wurden die Kraft-Weg Diagramme aufgezeichnet, aus denen die jeweiligen Dehnungswerte bestimmt wurden. Gemäß VFF-Merkblatt HO.03 von 2004 [7] wird für Beschichtungssysteme für Holz im Außenbereich eine Bruchdehnung von mindestens 20 % empfohlen.



Abbildung 14 Untersuchung Elastizität

#### 4.2.3 Ergebnisse

Abbildung 15 zeigt ein versuchstypisches Kraft-Weg-Diagramm, in dem die jeweiligen Dehnungsbereiche markiert sind. In Tabelle 6 sind die jeweiligen Ergebnisse für die untersuchten Folienprodukte zusammengefasst. Da bei Folie 1 Einflüsse des zugehörigen Beschichtungsverfahrens auf die Dehnbarkeit zu vermuten waren, wurde Folie 1 sowohl im Neuzustand als auch im „gestreckten“ Zustand nach Durchlauf eines Beschichtungs Vorgangs untersucht.

Farbliche Veränderungen traten nur bei Folie 1 auf. Bei dunkel gefärbten Folien traten dabei im Dehnbereich zunächst Aufhellungen auf die sich im Verlauf der Dehnung zu Bereichen mit weißer Verfärbung veränderten. Die Bruchdehnung sämtlicher untersuchter Folien lag deutlich oberhalb der Empfehlung von 20 %.

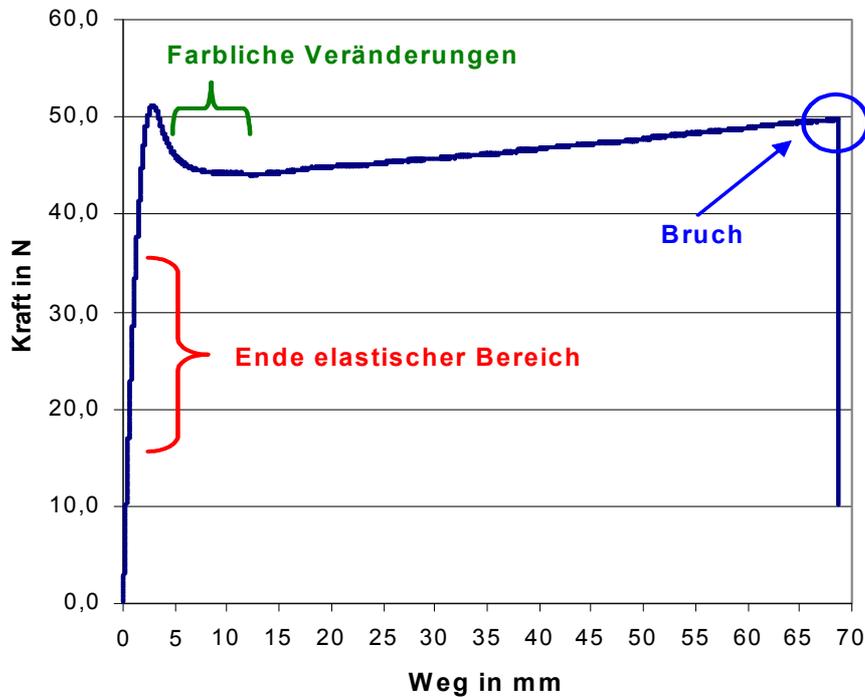


Abbildung 15 exemplarisches Kraft-Weg Diagramm

Tabelle 6 Ergebnisse Elastizität

Folie	Zustand	Mittelwert Dicke in µm	Dehnung in %		
			Ende elastischer Bereich	Auftreten farblicher Veränderung	Bruch
Folie 1	neu	264	1,6	7,8	80,8
	gestreckt	250	1,5	8,5	54,7
Folie 2	neu	220	2,2	nicht feststellbar	116,1
Folie 3	neu	244	2,0	nicht feststellbar	140,4
Folie 4	neu	248	2,0	nicht feststellbar	134,1

#### 4.2.4 Zusammenfassung

Die untersuchten Folienprodukte sind bis zum Bruch sehr dehnfähig. Bei Folie 1 kommt es jedoch bereits bei relativ niedriger Dehnung zu farblichen Veränderungen, die besonders bei dunklen Folien als weiße Verfärbungen sichtbar werden. Alle untersuchten Folien haben einen geringen elastischen Bereich.

### 4.3 UV-Durchlässigkeit

#### 4.3.1 Ziel der Untersuchung

Ziel der Untersuchung war es, die Durchlässigkeit von Folienprodukten für UV-Strahlung zu bestimmen. Oberflächenbeschichtungen für Holz im Außenbereich müssen einen Schutz vor holzerstörender Strahlung bieten.

#### 4.3.2 Durchführung

Aus unterschiedlichen Folienprodukten wurden Kleinproben entnommen und im UV/VIS-Spektralphotometer untersucht. Aufgezeichnet wurde der prozentuale Anteil des Lichts pro Wellenlängenbereich, der die Beschichtungsfolien durchdringt ( $\tau_{UV}$ ).

Die Untersuchung wurde im holzerstörenden UV-Bereich von 280 – 440 nm und im sichtbaren Wellenlängenbereich von 440 – 720 nm durchgeführt. Gemäß VFF Merkblatt HO.03 von 1999 [8] weisen für den Außenbereich geeignete Beschichtungssysteme für Holz eine UV-Durchlässigkeit von  $\tau_{UV} < 3\%$  auf.

#### 4.3.3 Ergebnisse

In Tabelle 7 sind die jeweiligen Ergebnisse für die untersuchten Folienprodukte zusammengefasst. Abbildung 16 zeigt den Transmissionsgrad der untersuchten Folien im Wellenlängenbereich von 280 bis 720 nm. Die Ausschläge der einzelnen Graphen zwischen 280 bis 360 nm sind dabei als „Hintergrundrauschen“ zu vernachlässigen.

Im sichtbaren Bereich steigen die Graphen aufgrund der Skalierung relativ steil an, befinden sich jedoch unterhalb einer Transmission von 6 % (blickdicht). Da auch bei dieser Untersuchung Einflüsse des zugehörigen Beschichtungsverfahrens auf die Dehnbarkeit zu vermuten waren, wurde Folie 1 sowohl im Neuzustand, als auch im „gestreckten“ Zustand nach Durchlauf eines Beschichtungsvorgangs untersucht. Alle untersuchten Folien weisen eine UV-Durchlässigkeit von deutlich unterhalb  $\tau_{UV} = 3\%$  auf.



Tabelle 7 Ergebnisse UV-Durchlässigkeit

Folienprodukt	Zustand	Mittelwert Dicke in $\mu\text{m}$	$\tau_{\text{UV}}$ in %
Folie 1	neu	261	0,3
	gestreckt	143	0,4
Folie 2	neu	220	0,2
Folie 3	neu	241	0,3
Folie 4	neu	254	0,3

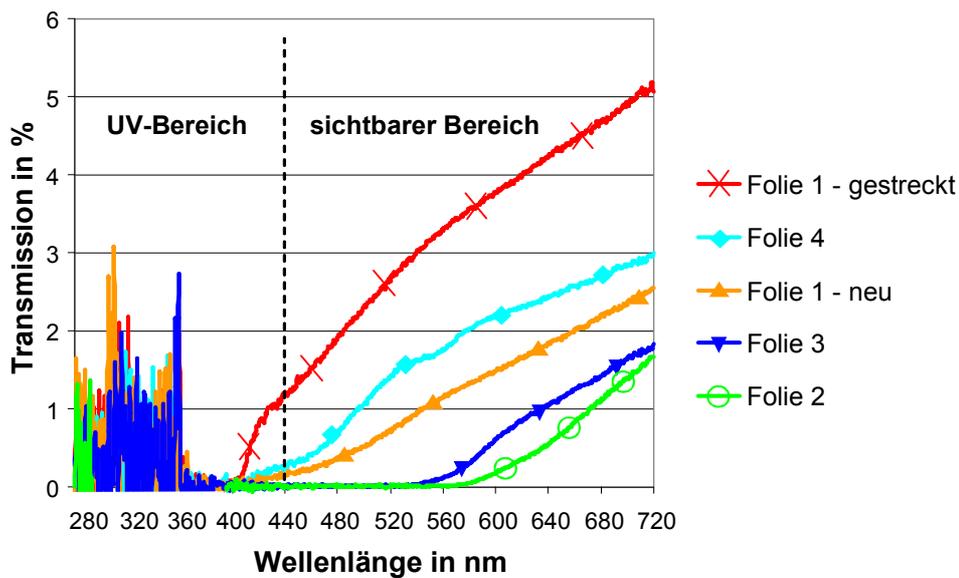


Abbildung 16 UV-Durchlässigkeit

#### 4.3.4 Zusammenfassung

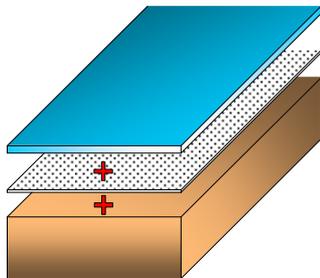
Sämtliche untersuchte Folien bieten einen ausreichenden Schutz vor holzerstörender UV-Strahlung. Ein Unterschied zwischen verschiedenen gefärbten Folien konnte nicht festgestellt werden.

#### 4.4 Zusammenfassung Folie

Die durchgeführten Untersuchungen zeigen, dass die Folien für sich genommen tendenziell diffusionsdichter als herkömmliche Oberflächenbeschichtungssysteme sind. Dies stellt jedoch nicht zwingend einen Nachteil gegenüber Flüssigbeschichtungen dar, da auch diese größtenteils kein optimales Diffusionsverhalten besitzen.

Die untersuchten Folienprodukte sind sehr elastisch. Maßänderungen des Holzuntergrunds durch Quell- und Schwindbewegungen oder mechanische Beanspruchung wie z. B. Hagelschlag können vom Folienmaterial ohne Beschädigung aufgenommen werden. Eine Rückverformung ist wegen des geringen elastischen Bereichs jedoch nur sehr begrenzt möglich. Zudem traten bei den untersuchten Folien teilweise bereits bei relativ geringer Dehnung farbliche Veränderungen auf. Besonders bei Folien mit dunkler Färbung stellen diese Verfärbungen einen optischen Nachteil dar.

Sämtliche untersuchten Folienprodukte schützen das Holz ausreichend vor holzerstörender UV-Strahlung. Bei möglicherweise zukünftig verfügbaren transparenten Folien muss dieser Aspekt jedoch erneut überprüft werden.



## 5 Verbund

Die Folie wird mit einem Klebstoff fest mit dem Untergrund – in diesem Fall Holz – verbunden. Um die Wechselwirkungen dieser Komponenten zu bestimmen, wurden verschiedene Untersuchungen durchgeführt. Dies sind u. a.

- das Wasserdampfdiffusionsverhalten,
- das Brandverhalten,
- die Verträglichkeit mit anderen Werkstoffen,
- die natürliche und künstliche Bewitterung.

In den folgenden Kapiteln werden die Untersuchungen an den aufgeklebten Folien beschrieben, das Holzbauteil ist dabei in der Regel ein einfaches Brett ohne die wesentlichen Details eines Fensterprofils. Da nun neben den Folienprodukten (Folie 1 bis Folie 4) auch vom verwendeten Klebstoff und dem Applikationsverfahren Einflüsse zu erwarten sind, wurden die jeweiligen Kombinationen aus Folie + Klebstoff + Applikationsverfahren als System 1 bis System 4 benannt. In Tabelle 8 sind die untersuchten Systeme zusammenfassend dargestellt.

**Tabelle 8** Beschichtungssysteme

Bezeichnung	Folie	Klebstoff	Applikationsverfahren
System 1	Folie 1 (ASA-Folie)	Klebstoff 1 (2-K PU-Klebstoff)	Vakuumpresse
System 2	Folie 2 (PVC-Folie)	Klebstoff 2 (PUR-Hotmelt)	Rollenkaschierung
System 3	Folie 3 (PVC-Folie)	Klebstoff 3 (PUR-Hotmelt)	Membranpresse
System 4	Folie 4 (PVC-Folie)	Klebstoff 4 (PUR-Hotmelt)	Membranpresse
Lack	industrieller, mehrschichtiger deckender Lack, Acrylat-Basis, deckend weiß		
Lasur	mehrschichtige industrielle Dickschichtlasur, Acrylat-Basis, Eiche hell		

## 5.1 Diffusionsverhalten (Aufnahme und Abgabe)

### 5.1.1 Ziel der Untersuchung

Ziel der Untersuchung war es, das Diffusionsverhalten von folienbeschichteten Holzteilen zu untersuchen. Neben der diffusionstechnischen Betrachtung des Oberflächenmaterials Folie war es auch nötig, das Zusammenspiel zwischen Folie und Holzuntergrund zu betrachten, da hier Wechselwirkungen zu erwarten sind.

### 5.1.2 Durchführung

Grundlage der Untersuchung war DIN EN 927-4 [9]. Mit Folien beschichtete und unbeschichtete Holzprobekörper wurden einer 14-tägigen Belastung unter Feuchtklimalagerung (siehe Abbildung 17) bzw. Wasserlagerung und anschließender 14-tägiger Rücktrocknung im Normalklima ausgesetzt. Die Probekörper waren dabei an einer der Flachseiten mit dem jeweils zu überprüfenden Oberflächensystem beschichtet. Die restlichen Flächen der Probekörper waren mit einer diffusionsdichten Versiegelung abgedichtet.

In Abbildung 18 ist die Beschichtung der Probekörper und der Prüfablauf schematisch dargestellt.

Aus der Massenzunahme bzw. -abnahme der beschichteten und unbeschichteten Probekörper wurden Messkurven ermittelt. Daraus wurde die dynamische Feuchtedurchlässigkeit (DMP-Wert) der Probekörper bestimmt. Dieser Wert stellt das Verhältnis der abgegebenen Feuchtemenge der Rücktrocknung zur aufgenommenen Menge der Auffeuchtung dar.



Abbildung 17 Durchführung Auf- und Abfeuchtung

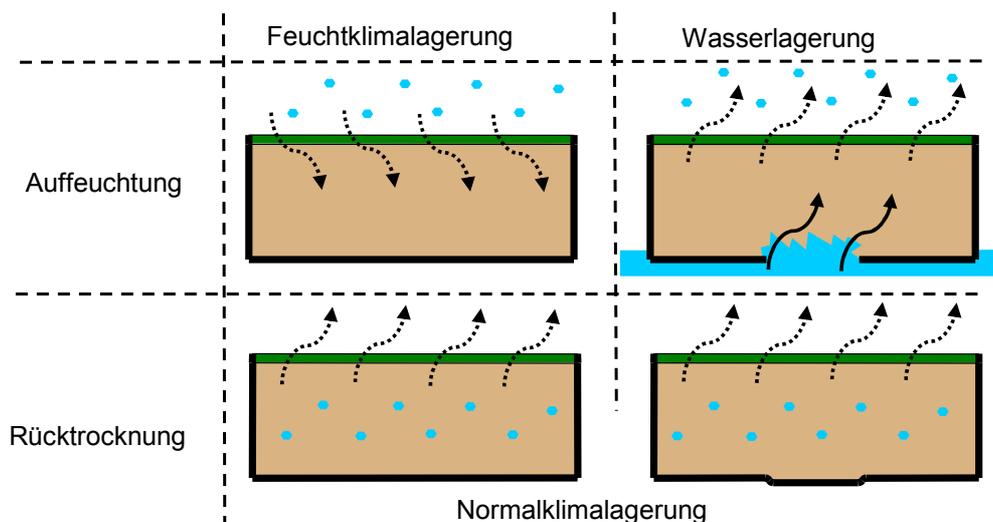


Abbildung 18 Prüfablauf Auffeuchtung und Rücktrocknung



### 5.1.3 Ergebnisse

In Tabelle 9 sind die DMP-Werte der untersuchten Foliensysteme zusammengefasst. Unterschieden wird dabei der Prüfablauf. System 1 gibt bei der Rücktrocknung 17,1 % bzw. 18,9 % der zuvor aufgenommenen Wassermenge wieder an die Umgebung ab. Die Werte von System 2 liegen deutlich darunter. Herkömmliche Oberflächenbeschichtungen zeigten in beiden Lagerungsfolgen DMP-Werte oberhalb 20 %.

In Abbildung 19 bis Abbildung 22 ist die Feuchteentwicklung für die beiden Lagerungsfolgen grafisch dargestellt. Zur besseren Vergleichbarkeit der Rücktrocknung wurde diese jeweils zusätzlich dargestellt und die einzelnen Graphen übereinander gelegt.

**Tabelle 9** Ergebnisse Auf- und Abfeuchtung

Foliensystem	Holzart Unter- grund	DMP-Wert in %	
		Feuchtklimalagerung	Wasserlagerung
System 1	Fichte	17,1	18,9
System 2	Fichte	6,1	10,3
Lack	Fichte	21,4	27,0
Lasur	Fichte	28,6	34,6

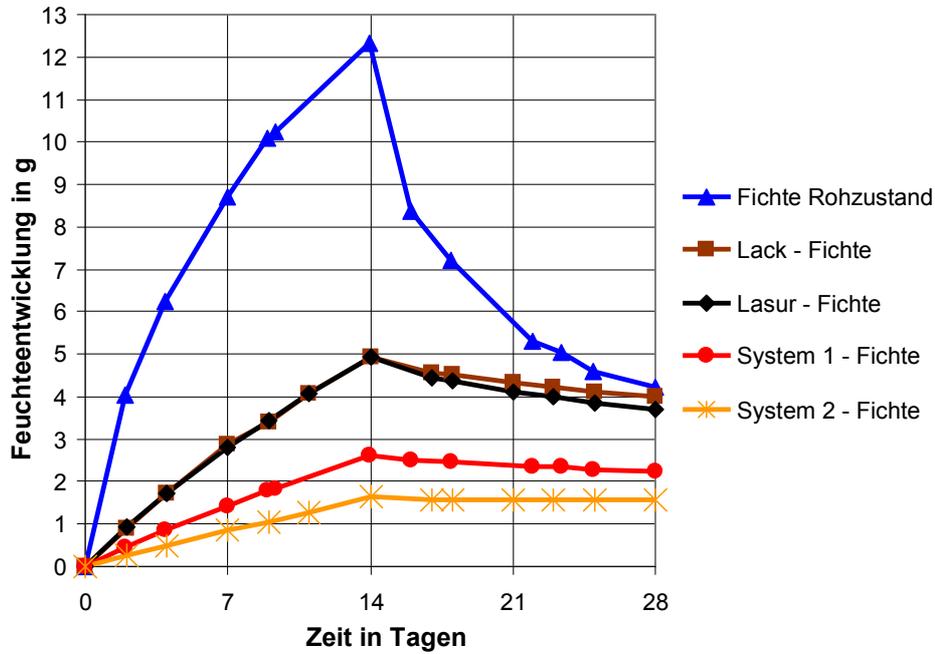


Abbildung 19 Feuchteentwicklung Feuchtklimalagerung

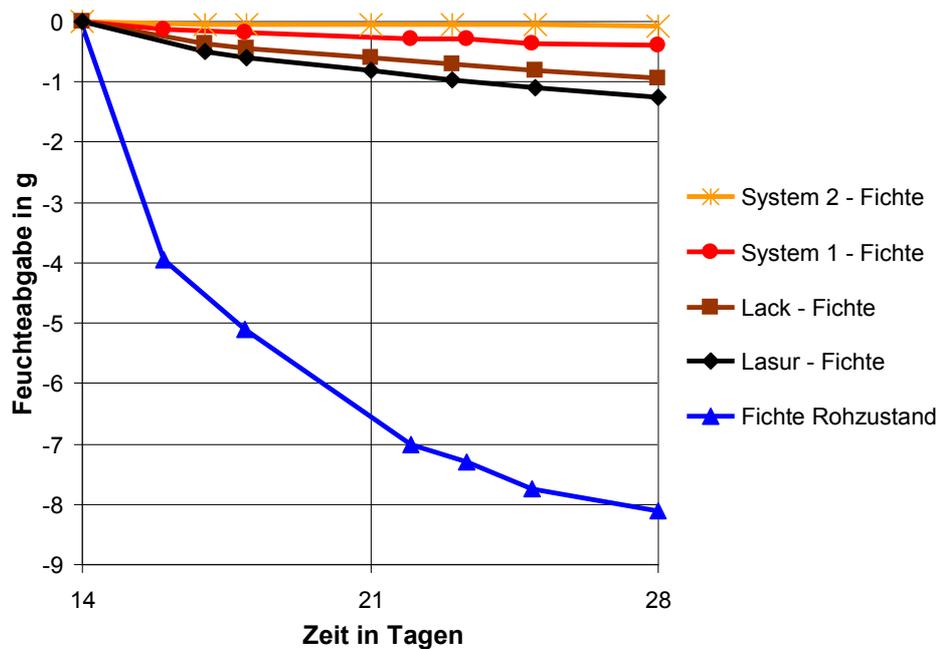


Abbildung 20 Rücktrocknung nach Feuchtklimalagerung

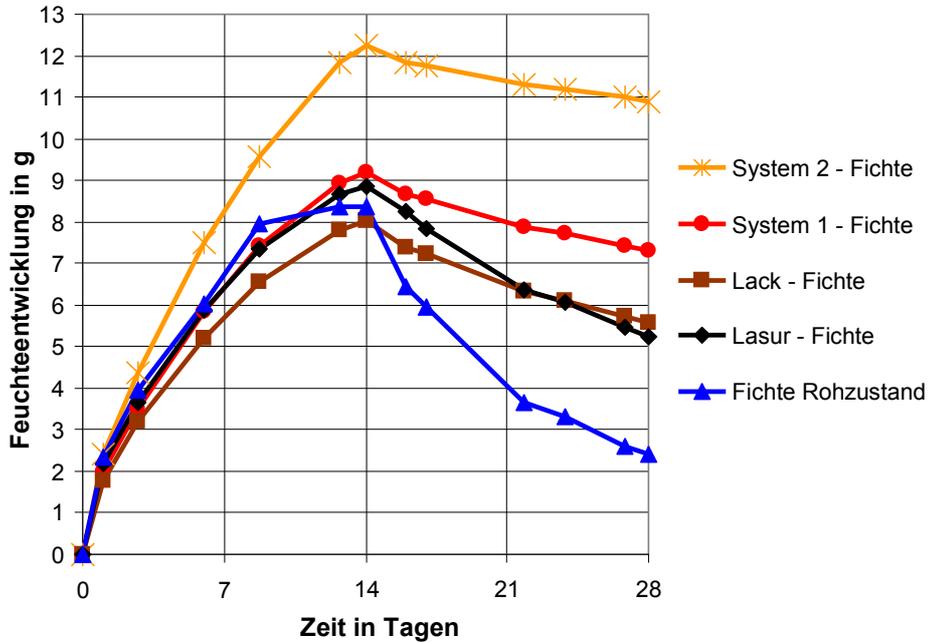


Abbildung 21 Feuchteentwicklung Wasserlagerung

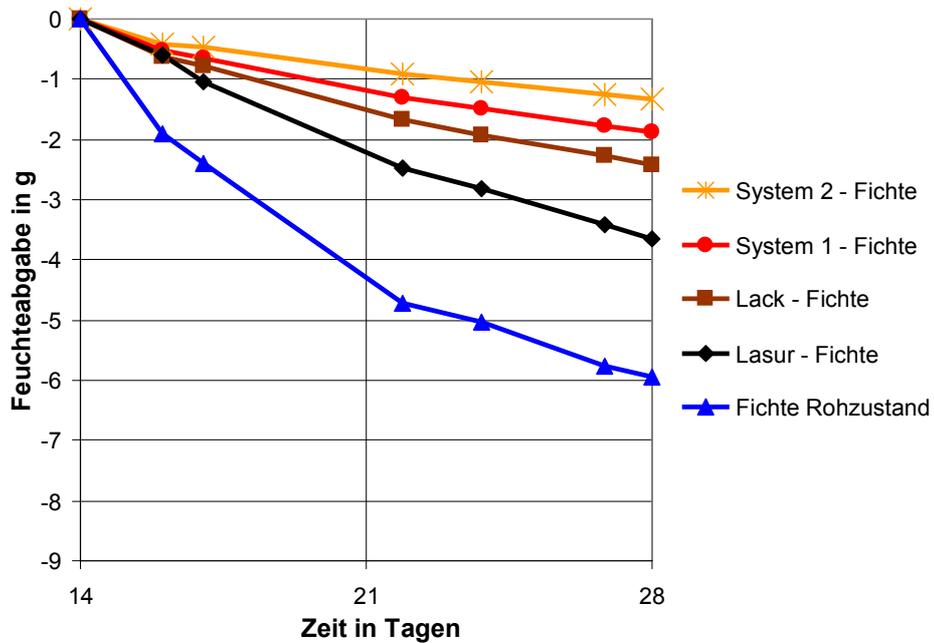


Abbildung 22 Rücktrocknung nach Wasserlagerung

Durch die Wasserdampfdiffusionsdichte der Folien gelangt bei der Feuchtklimalagerung nur sehr wenig Wasser ins Holz (siehe Abbildung 19). Die Vergleichsprobekörper mit herkömmlichen Oberflächenbeschichtungen nehmen ca. die doppelte Wassermenge auf. Bei der anschließenden Rücktrocknung (siehe Abbildung 20) verlieren die folienbeschichteten Probekörper nur sehr wenig an Masse. Rücktrocknungsvorgänge werden also stark verlangsamt. Jedoch zeigen auch die mituntersuchten, herkömmlichen Oberflächenbeschichtungen eine ähnlich verlangsamte Rücktrocknung.

Für die Wasserlagerung (siehe Abbildung 21) wurden sämtliche untersuchten Probekörper mit der bis auf das rohe Holz geöffneten Rückseite in flüssiges Wasser eingelegt. Abgesehen von dem sehr dichten System 2 nehmen dabei alle untersuchten Probekörper etwa dieselbe Menge an Wasser auf. Der höhere Wert bei System 2 ist auf die gleichzeitig während der Wasserlagerung ablaufende, stark verminderte Diffusion durch das Oberflächenmaterial zurückzuführen.

Im Anschluss an die Wasserlagerung wurde die rohe Rückseite der Probekörper wieder abgedichtet, so dass sämtliche Rücktrocknungsvorgänge wieder auf die zu untersuchenden Oberflächenbeschichtungen konzentriert wurden. Die Ergebnisse der Rücktrocknung (siehe Abbildung 22) zeigen, dass auch bei sehr hohem Feuchtegehalt eine Rücktrocknung von den Folienbeschichtungen stark verlangsamt wird. Obwohl bei den Probekörpern mit herkömmlicher Oberflächenbeschichtung ebenfalls sehr hohe Feuchte enthalten war, lief die Rücktrocknung hier schneller ab.

#### 5.1.4 Zusammenfassung

Durch die Folienbeschichtungen werden Rücktrocknungsvorgänge des Holzuntergrundes verlangsamt. Festgestellt wurde jedoch, dass auch herkömmliche Oberflächenbeschichtungen Rücktrocknung von im Holz befindlicher Feuchte verlangsamen. Dies entspricht auch den Erfahrungswerten. Kritisch zu sehen sind also im Holz befindliche Feuchte und Öffnungen bzw. Beschädigungen der Folienoberflächen, durch die größere Mengen an flüssigem Wasser in das Holz gelangen können.



## 5.2 Brandverhalten

### 5.2.1 Ziel der Untersuchung

Ziel der Untersuchung war es, das Brandverhalten von mit Folien beschichteten Holzteilen zu untersuchen. Hier können Wechselwirkungen zwischen Folienoberfläche, Klebstoff und Holzuntergrund auftreten.

### 5.2.2 Durchführung

Grundlage der Untersuchung waren DIN EN 13501-1 [10] und DIN EN ISO 11925-2 [11]. Die folienbeschichteten Holzteile wurden normgemäß im Brennkasten beflammt. Unterschieden wurde dabei zwischen Flächen- und Kantenbeflammung. Überprüft wurde das Erreichen der europäischen Klasse E zum Brandverhalten von Bauprodukten. Diese Klassifizierung führt zur bauaufsichtlichen Anforderung „normalentflammbar“. Dazu erfolgte eine 15 Sekunden andauernde Belastung mit einer Gasflamme (siehe Abbildung 23). Beurteilt wurde dann die Ausbreitung der Flammspitze nach gesamten 20 Sekunden Prüfzeit, die in Klasse E 150 mm nicht überschreiten darf.



Abbildung 23 Durchführung Brandverhalten

### 5.2.3 Ergebnisse

In Tabelle 10 sind die Ergebnisse für die untersuchten Folien-systeme zusammengefasst.

**Tabelle 10** Ergebnisse Brandverhalten

Folien-system	Flammausbreitung nach 20s in mm				Bewertung	
	Kanten-beflammung		Flächen-beflammung		europäische Klasse	bauaufsichtliche Anforderung
	max.	Mittel-wert	max.	Mittel-wert		
System 1	50	32	50	44	E	normal-entflammbar
System 2	65	58	65	56	E	normal-entflammbar
Lack	45	23	20	15	E	normal-entflammbar
Lasur	30	23	30	23	E	normal-entflammbar

### 5.2.4 Zusammenfassung

Sämtliche untersuchten Folienbeschichtungen zeigten ein unkritisches Brandverhalten. Eine Klassifizierung in die europäische Klasse E und die Einteilung in die bauaufsichtliche Anforderung „Normalentflammbar“ war bei den untersuchten Folienbeschichtungen und herkömmlichen Beschichtungen möglich.



### 5.3 Witterungsbeständigkeit bei künstlicher Bewitterung

#### 5.3.1 Ziel der Untersuchung

Ziel der Untersuchung war es, die Witterungsbeständigkeit von folierten Holzteilen zu untersuchen. Um schnelle Ergebnisse vieler Varianten von Folienmaterial, Klebstoff und Substrat zu erhalten, wurde eine künstliche Bewitterung im QUV-Gerät durchgeführt.

#### 5.3.2 Durchführung

Grundlage der Untersuchung waren DIN EN 927-2 [12] und DIN EN 927-6 [14]. Folienbeschichtete Probekörper wurden nach erfolgter Klimatisierung im Normalklima und nach der Eingangsuntersuchung einer künstlichen Bewitterung im QUV-Gerät (siehe Abbildung 24) ausgesetzt. Der Bewitterungszyklus (siehe Tabelle 11) wurde je Beladung 1000 Stunden wiederholt. Nach Abschluss der Untersuchungen wurden die Probekörper erneut untersucht und nach den in Tabelle 12 dargestellten Kriterien bewertet.



**Abbildung 24** QUV-Gerät für künstliche Bewitterung

**Tabelle 11** Bewitterungszyklus

Schritt	Funktion	Temperatur	Dauer	Randbedingungen
Schritt 1	Kondensation	45 ± 3 °C	24 h	
Schritt 2	Unterzyklus Schritt 3 + 4		48-mal Wiederholung	
Schritt 3	UV-Bestrahlung	60 ± 3 °C	2,5 h	(0,89 ± 0,1) W/m <sup>2</sup> nm bei 340 nm
Schritt 4	sprühen mit deionisiertem Wasser		0,5 h	6 bis 7 l/min, keine UV-Strahlung

**Tabelle 12** Bewertungskriterien

Bewertungs- kriterium	Bewertung und Bedeutung					
	0	1	2	3	4	5
Haftfestigkeit	keine erkennbaren Schäden			...	Schäden in sehr großer Menge	
Rissbildung	keine erkennbaren Risse			...	Risse in sehr großer Menge	
Blasenbildung	keine erkennbare Blasenbildung			...	Blasenbildung in sehr großer Menge	
Abblätterung	keine erkennbare Abblätterung			...	Abblätterungen in sehr großer Menge	
Kreidung	keine erkennbare Kreidung			...	Kreidung in sehr großer Menge	
Farbveränderung	keine Farbveränderung			...	sehr deutliche Farbveränderung	
	visuelle Bewertung vgl. zu Rückstellmuster					
Glanzgraddifferenz	Glanzgrad: Anteil des direkt reflektierten Lichts					
	Differenz zwischen Messung vor bzw. nach der Bewitterung					



### 5.3.3 Ergebnisse

In Tabelle 13 ist die Bewertung der verschiedenen Varianten von Folie, Klebstoff und Substrat zusammengefasst. Sämtliche untersuchten Systeme zeigten bezüglich der bewerteten Kriterien, abgesehen von den Probekörpern aus Kiefernholz, geringe Schäden. Durch die vermutlich durch den hohen Anteil von Holzinhaltstoffen der Kiefer-Probekörper verursachten Unverträglichkeiten mit dem Klebstoff kam es in Kombination mit System 1 vereinzelt zu starken Zerstörungen der Folienoberflächen. Die prozentuale Veränderung des Glanzgrades bewegt sich bei allen untersuchten Varianten in akzeptablen Bereichen.

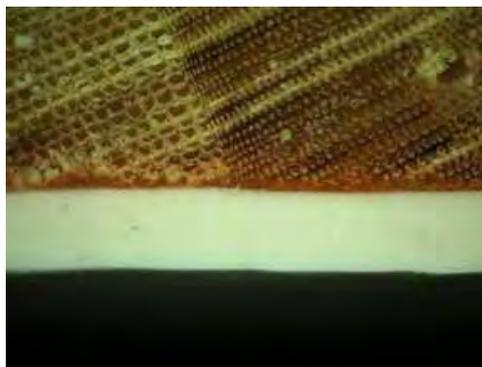
Aufgrund von begrenzten Prüfkapazitäten, aufwendiger Beschaffung von Probekörpern und sehr großer Variantenvielfalt wurden nur die angegebenen Kombinationen in begrenzter Stückzahl untersucht. Aussagen über die Verträglichkeit von Kiefernholz mit den anderen Foliensystemen sind aufgrund der Ergebnisse nicht möglich. Abbildung 25 bis Abbildung 27 zeigen fehlerfreie, bewitterte Probekörper. Abbildung 28 und Abbildung 29 zeigen Schäden die durch die Bewitterung entstanden sind (Unverträglichkeit Kiefer).

**Tabelle 13** Ergebnisse Künstliche Bewitterung

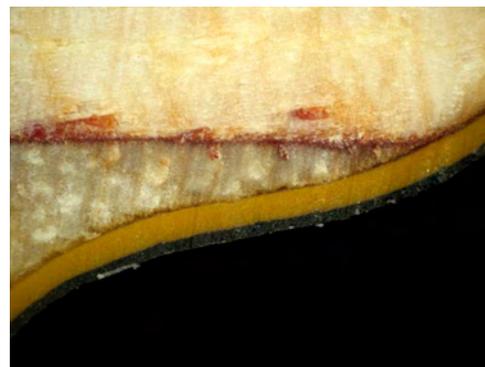
Mittelwerte der Bewertung nach 1000h QUV-Belastung								
Folien-system	Substrat	Haft-festigkeit	Riss-bildung	Blasen-bildung	Abblät-terung	Kreidung	Farb-verände-rung	Glanz-gradiffe-renz in %
System 1	Eiche	0,0	0,0	1,2	0,3	0,0	1,2	30,8
	Fichte	0,0	0,0	1,2	0,8	0,0	1,3	25,8
	Kiefer	1,6	1,3	3,2	1,7	0,0	1,8	27,7
	Meranti	0,7	0,0	1,0	0,0	0,0	1,7	23,8
	Thermobuche	1,5	0,3	1,3	1,3	0,0	2,0	9,4
	Wachsholz	0,0	0,0	0,5	0,4	0,0	2,3	16,0
	Acetyliertes Holz	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,5	21,0
System 2	Fichte	1,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,3	0,6
System 3	MDF	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	19,3
	Multiplex	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	11,6
System 4	MDF	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	15,4
	Multiplex	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	14,0



**Abbildung 25** Fehlerfreie Probekörper



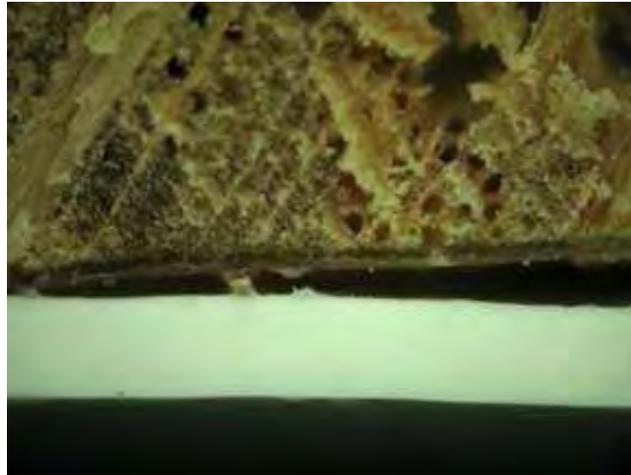
**Abbildung 26** Folienverlauf Massivholz,  
100-fache Vergrößerung



**Abbildung 27** Folienverlauf Multiplex,  
50-fache Vergrößerung



**Abbildung 28** Unverträglichkeit Kiefer



**Abbildung 29** Ablösung Folie,  
100-fache Vergrößerung

#### 5.3.4 Zusammenfassung

Die untersuchten Foliensysteme zeigen bereichsweise bessere Witterungsbeständigkeit als herkömmliche Oberflächenbeschichtungen. Als kritische Untergrundmaterialien sind inhaltsstoffreiche Hölzer wie z. B. Kiefer zu beurteilen, da Unverträglichkeiten zwischen dem Untergrund und dem Foliensystem beobachtet wurden.

Grundsätzlich ist eine Folienbeschichtung von Massivholz, modifizierten Hölzern und Holzwerkstoffen möglich. Eine Verallgemeinerung der Ergebnisse ist jedoch nicht möglich. Neue Kombinationen an Untergrundmaterial und Foliensystem oder Veränderungen der Parameter innerhalb eines Foliensystems können Einflüsse auf die Witterungsbeständigkeit haben und sind für jeden Einzelfall zu überprüfen.

## 5.4 Witterungsbeständigkeit bei Freibewitterung

### 5.4.1 Ziel der Untersuchung

Ziel der Untersuchung war es, die Witterungsbeständigkeit von folierten Holzteilen zu untersuchen. Dazu wurden für eine praxisnahe Abschätzung der Dauerhaftigkeit und Witterungsbeständigkeit Untersuchungen unter natürlicher Bewitterung im Freien durchgeführt.

### 5.4.2 Durchführung

Grundlagen der Untersuchung waren DIN EN 927-2 [12] und DIN EN 927-3 [13]. Folienbeschichtete Probekörper wurden nach erfolgter Klimatisierung im Normalklima und nach der Eingangsuntersuchung der natürlichen Bewitterung am Standort Rosenheim ausgesetzt. Ein Teil der Probekörper wurde mit künstlichen Beschädigungen wie Einschnitten oder simulierten Hagelschlägen versehen, um die Auswirkung derartiger Beschädigungen auf die Witterungsbeständigkeit mit zu untersuchen.

Abbildung 30 zeigt den im Rahmen des Forschungsprojekts erweiterten, und den speziellen Anforderungen von Probekörpern unterschiedlicher Größe angepassten Freibewitterungsstand mit den enthaltenen folienbeschichteten Proben.



Abbildung 30 Freibewitterung



### 5.4.3 Ergebnisse

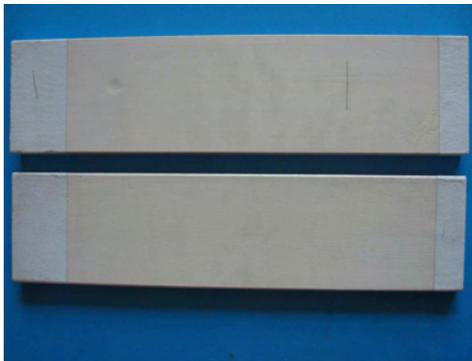
Die im Rahmen dieses Abschlussberichts angegebenen Ergebnisse sind als Zwischenergebnisse zu sehen, da eine abschließende Bewertung erst nach der regulären Bewitterungszeit von 2 Jahren möglich ist. Ein Teil der Probekörper soll im Zuge von Langzeitstudien über den Zeitraum von 2 Jahren und das Projektende hinaus weiter betrachtet werden. Die Probekörper wurden nach denselben Kriterien wie bei der künstlichen Bewitterung (siehe Tabelle 12) bewertet. Die aktuelle Bewitterungszeit der einzelnen Probekörper ist jeweils angegeben. In Tabelle 14 ist die Bewertung der verschiedenen Varianten von Folie, Klebstoff und Substrat zusammengefasst.

Sämtliche untersuchten Systeme zeigten bezüglich der bewerteten Kriterien kaum erkennbare Schäden. Auch die Probekörper mit Untergrundmaterial Kiefer zeigten – anders als bei der künstlichen Bewitterung – keinerlei Auffälligkeiten. Aufgrund von begrenzten Prüfkapazitäten, aufwendiger Beschaffung von Probekörpern und sehr großer Variantenvielfalt wurden nur die angegebenen Kombinationen in begrenzter Stückzahl untersucht.

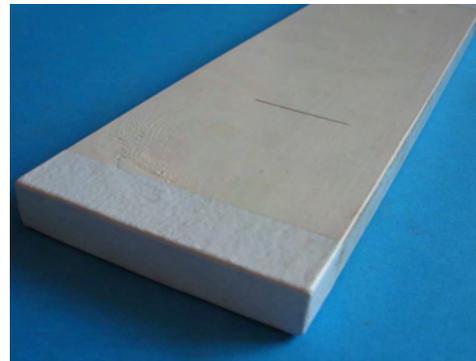
**Tabelle 14** Ergebnisse Freibewitterung

Foliensystem	Substrat	Prüfdauer in Monaten	Haffestigkeit	Rissbildung	Blasenbildung	Abblätterung	Kreidung	Farbveränderung	Glanzgradifferenz in %
System 1	Eiche	22	-	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	27,1
	Fichte	10	-	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	21,4
	Kiefer	22	-	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	30,1
	Thermobuche	10	-	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	10,0
	Wachsholz	10	-	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	23,1
	Acetyliertes Holz	10	-	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	13,2
System 2	Fichte	10	-	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	10,4
System 3	Multiplex	10	-	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	10,3
System 4	Multiplex	10	-	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	11,0

An keiner der auf die Probekörper aufgetragenen Vorbeschädigungen kam es zu Folgeschäden. An den Einschnitten konnte keine Verminderung der Folienhaftung oder Ablösungen festgestellt werden. An den künstlich aufgetragenen Hagelschlägen kam es, anders als bei herkömmlichen Oberflächenbeschichtungssystemen üblich, zu keinerlei Rissen oder Wassereintritten. In Abbildung 31 bis Abbildung 34 sind schadensfreie Probekörper nach 22-monatiger Bewitterung zu sehen.



**Abbildung 31** Probekörper  
Freibewitterung



**Abbildung 32** Probekörper  
mit Einschnitt



**Abbildung 33** Probekörper mit  
schrägem Einschnitt



**Abbildung 34** Probekörper mit  
Hagelschlag

#### 5.4.4 Zusammenfassung

Die in der Freibewitterung gelagerten Probekörper zeigen durchwegs ein positives Verhalten. Einige der Probekörper wurden auch mit Vorbeschädigungen wie Einschnitten und Hagelschlägen versehen. An keiner dieser Stellen kam es zu Ablösungen oder Folgeschäden. Eine Verallgemeinerung der Ergebnisse ist jedoch nicht möglich.



## 5.5 Haftungsverhalten

### 5.5.1 Ziel der Untersuchung

Ziel der Untersuchung war es, das Haftungsverhalten von Folienbeschichtungen auch bei Feuchtebelastung genauer zu untersuchen. Die Standardmethode „Gitterschnitt“, die im Rahmen der Untersuchungen der Probekörper aus der künstlichen Bewitterung und der Freibewitterung angewendet wurde, lieferte nur bedingt Aussagen über das Haftungsverhalten der Folien. Grund dafür ist das im Vergleich zu herkömmlichen Oberflächenbeschichtungen stark erhöhte Haftungsverhalten, das nur sehr begrenzt Vergleiche zwischen unterschiedlichen Varianten ermöglicht, weil sich an kaum einer Stelle Folie ablösen ließ.

### 5.5.2 Durchführung

Grundlage für die Untersuchung war DIN ISO 4624 [15]. Auf die zu prüfenden Folienoberflächen wurden Metallstempel aufgeklebt, die für die Verwendung in einer Zugprüfmaschine geeignet sind. Die Haftung der verwendeten Klebstoffe wurde in Vorversuchen überprüft und sichergestellt. Rund um die aufgeklebten Stempel wurde die Oberflächenbeschichtung bis auf den Holzuntergrund aufgefräst.

Die zu prüfenden Probekörper wurden verschiedenen Vorbelastungen mit Feuchte unterzogen. Neben Vergleichsprobekörpern, die nur im Normklima-raum gelagert wurden, wurde zum einen unmittelbar vor der Prüfung rund um den aufgeklebten Stempel für 2 Stunden flüssiges Wasser auf das unbeschichtete Holz aufgebracht. Zum anderen wurden Probekörper verwendet, deren Holzuntergrund bereits unterschiedlich starke Aufweichungen im Feuchtklima bzw. bei Wasserlagerung erfahren hatte und die im Anschluss wieder rückgetrocknet wurden. Die Foliensysteme System 3 und System 4 konnten dabei nur der Normklimalagerung und der unmittelbaren Befeuchtung unterzogen werden.

Die Stempel wurden rechtwinklig zur Oberfläche bis zum Bruch belastet. Bewertet wurden dabei die beim Bruch wirkende Kraft und das sich ergebende Bruchbild. Gemäß VFF Merkblatt HO.03 von 2004 [7] wird für die Nasshaftung von maßhaltigen Bauteilen aus Holz eine Abreißfestigkeit von 1,5 MPa oder ein überwiegendes Auftreten von Kohäsionsbruch in der Probenplatte (Holzbruch) empfohlen.

### 5.5.3 Ergebnisse

Bei den Folienystemen System 1, System 3 und System 4 kam es bei der Prüfung annähernd zu 100 % Holzbruch und nur zu vereinzelt Ablösungen zwischen Klebstoff und Folie. Bei System 2 hingegen kam es zu ca. 80 % Holzbruch und damit verbunden zu vermehrter Ablösung zwischen Klebstoff und Folie. Die Abreißfestigkeit sämtlicher untersuchter Folienysteme und Lagerungsfolgen lag dabei jedoch zum Teil deutlich über der Empfehlung von 1,5 MPa. Die Haftung der untersuchten Folienysteme kann demnach trotz der nicht durchgehend auftretenden Holzbrüche als gut bezeichnet werden. In Abbildung 35 sind die Ergebnisse der Abreißfestigkeit grafisch dargestellt. In Tabelle 15 sind die Ergebnisse der Untersuchungen zum Haftungsverhalten zusammengefasst. Abbildung 36 und Abbildung 37 zeigen die überwiegend auftretenden Bruchbilder.

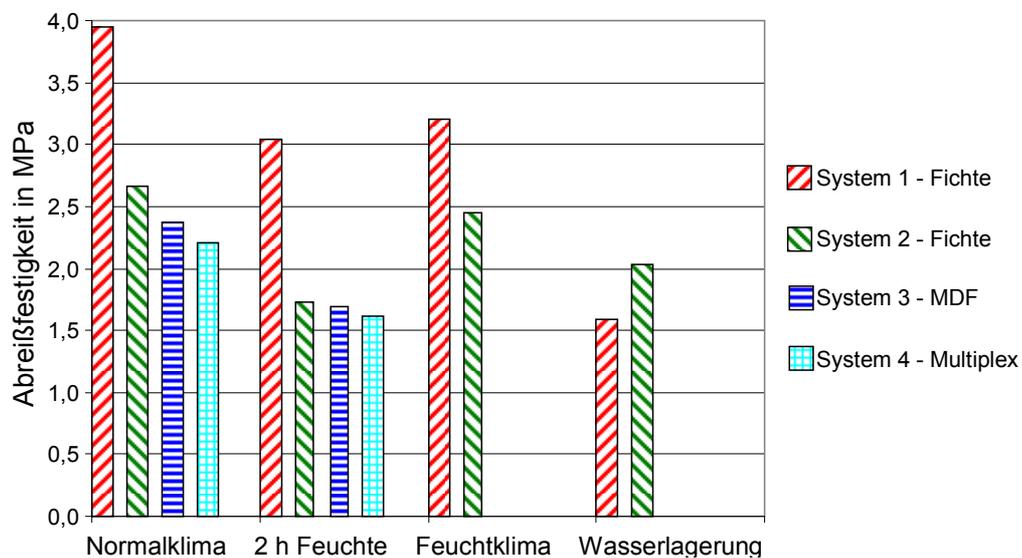
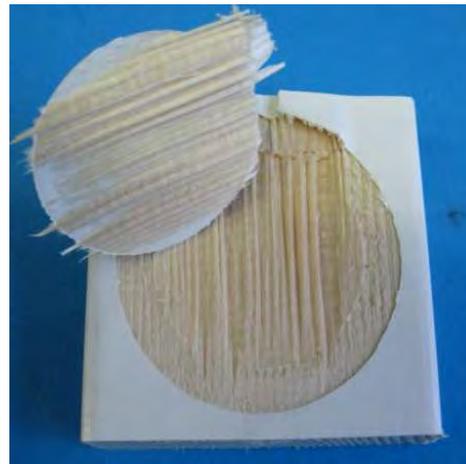


Abbildung 35 Abreißfestigkeit

**Tabelle 15** Ergebnisse Haftungsverhalten

Folien- system	Substrat	Abreißfestigkeit in MPa			
		Normalklima	2h Feuchte	Feuchtklima	Wasser- lagerung
System 1	Fichte	3,95	3,04	3,20	1,60
System 2	Fichte	2,66	1,73	2,44	2,03
System 3	MDF	2,37	1,70	–	–
System 4	Multiplex	2,21	1,61	–	–

**Abbildung 36** 100 % Holzbruch MDF**Abbildung 37** 90 % Holzbruch Fichte

#### 5.5.4 Zusammenfassung

Die untersuchten Foliensysteme zeigen durchwegs ein sehr gutes Haftungsverhalten, auch bei Feuchtebelastung.

## 5.6 Verträglichkeit

### 5.6.1 Ziel der Untersuchung

Ziel der Untersuchung war es, die Verträglichkeit von unterschiedlichen Folien-Systemen mit in der Praxis vorkommenden Materialien wie Dichtstoffen, Dichtprofilen, Metallen und Mörtel zu untersuchen. Beobachtet wurden dabei mögliche Verfärbungen oder Veränderungen der Oberflächen und bei Dichtstoffen auch die Auswirkungen auf das Haftungsverhalten.

### 5.6.2 Durchführung

#### Metalle

Folienbeschichtete Probekörper (System 1) wurden mit in der Praxis üblichen Metallteilen ausgerüstet (siehe Abbildung 38). Im Anschluss erfolgte eine 7-tägige Lagerung unter erhöhter Luftfeuchtigkeit. Bewertet wurden Farbveränderungen an der Oberflächenbeschichtung.



Abbildung 38 Verträglichkeit Metalle

#### Mörtel

Auf folienbeschichtete Holzoberflächen wird frisch angerührter Mörtel (Kalk-Gips-Putz, Kalk-Zement-Putz, Zementestrich) aufgelegt und abgedeckt (siehe Abbildung 39). Nach 24-stündiger Lagerung im Normalklima (20 °C/50 %r.L.) wurden die Probekörper auf Verfärbungen der Oberflächen untersucht und bewertet.



Abbildung 39 Verträglichkeit Mörtel



### Dichtprofile

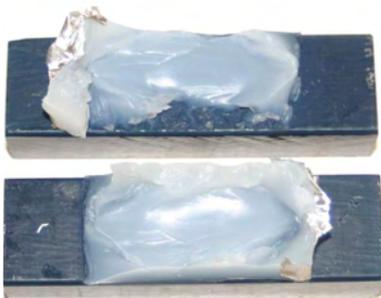
Zwischen jeweils 2 folienbeschichteten Holzprobekörpern (System 1) wurden unterschiedliche, praxisübliche Dichtprofile (u. a. Silikon, TPE, modif. PVC) eingelegt (siehe Abbildung 40). Die Probekörper wurden für längere Zeit unter definierten Prüfbedingungen mit den Dichtprofilen in Kontakt gebracht. Nach Ende der Belastung wurden die Probekörper zerlegt und die Kontaktfläche zwischen Dichtprofil und Oberflächenbeschichtung nach Veränderungen wie Erweichungen, Klebung und Farbveränderung bewertet.



**Abbildung 40** Verträglichkeit  
Dichtprofile

### Dichtstoffe

Grundlage der Untersuchung war DIN 52452-4 [16]. Zwischen folienbeschichtete Holzprobekörper wurden 12 mm dicke Fugen aus praxisüblichen Dichtstoffen (u. a. Silikon, Polysulfid, SMP) mit einer Länge von 50 mm eingebracht. Die hergestellten Probekörper wurden für sieben Tage im Wärmeschrank bei ca. 70°C oder bei erhöhter Luftfeuchtigkeit gelagert. Im Anschluss an die Belastung wurden die Probekörper mit einer Zugprüfmaschine bis zum Bruch gezogen. Die Probekörper wurden nach den Kriterien Bruchbild und Farbveränderung bewertet (siehe Abbildung 41).



**Abbildung 41** Verträglichkeit  
Dichtstoffe

### 5.6.3 Ergebnisse

Auf den untersuchten Foliensystemen kam es durch die aufgetragenen Metalle zu keinen Verfärbungen oder Veränderungen. Durch die Feuchteeinwirkung verursachte Rostspuren waren größtenteils nur oberflächlich und stellten keine Beschädigung der Oberflächen dar.

Es wurden keine Unverträglichkeiten oder Farbveränderungen zwischen frischem Mörtel und den untersuchten Folienoberflächen festgestellt.

Bei den untersuchten Foliensystemen wurde keine Unverträglichkeit mit praxisüblichen Dichtprofilen festgestellt. Durch die Prüfbelastung kam es zwar zu leichten Anhaftungen an der Folienoberfläche. Die Dichtprofile konnten jedoch mit geringem Kraftaufwand und ohne Beschädigung der Folienoberfläche entfernt werden.

Die untersuchten Dichtstoffe verursachten keinerlei Verfärbungen oder Veränderungen an den Folienoberflächen. Die Dichtstoffe zeigten auf den Folienoberflächen eine gute Haftung.

### 5.6.4 Zusammenfassung

Es wurden keine Unverträglichkeiten mit Dichtstoffen, Dichtprofilen, Metallen und Mörtel festgestellt.



## 5.7 Verblockung

### 5.7.1 Ziel der Untersuchung

Ziel der Untersuchung war es, das Verblockungsverhalten von Folienbeschichtungen zu untersuchen. Als Verblockung wird das Aneinanderhaften der Beschichtungen sich berührender Oberflächen bezeichnet. Bei Folienbeschichtungen sind im Regelfall keine Trockenzeiten nach der Beschichtung nötig – im Gegensatz zu den herkömmlichen Oberflächenbeschichtungen. Daher werden fertig folierte Teile im Regelfall umgehend weiterverarbeitet. Da es hier häufig auch zum Aufeinandertreffen folienbeschichteter Teile kommen kann, ist es nötig, das Verblockungsverhalten der Foliensysteme zu untersuchen.

### 5.7.2 Durchführung

Jeweils zwei folienbeschichtete Holzprobekörper (System 1) wurden mit der beschichteten Seite aufeinander gelegt und mit Gewichten belastet (siehe Abbildung 42). Die Probekörper wurden in dieser Anordnung zum einen für 24 Stunden im Wärmeofen bei ca. 70 °C und zum anderen für sieben Tage bei erhöhter Luftfeuchtigkeit gelagert. Nach der Belastung wurden die beiden Probekörper voneinander getrennt und das Verblockungsverhalten beurteilt.



**Abbildung 42** Untersuchung Blockungsverhalten

### 5.7.3 Ergebnisse

Bei den untersuchten Foliensystemen konnte lediglich leichtes Aneinanderhaften bei der Lagerung im Wärmeschrank festgestellt werden. Die Probkörper ließen sich jedoch ohne Beschädigungen der Oberflächen und mit geringem Kraftaufwand voneinander trennen.

### 5.7.4 Zusammenfassung

Das untersuchte Foliensystem zeigt ein unkritisches Verblockungsverhalten.

## 5.8 VOC-Emissionen

### 5.8.1 Ziel der Untersuchung

Ziel der Untersuchung war es, das Emissionsverhalten von flüchtigen, organischen Verbindungen (VOC; SVOC) aus folienbeschichteten Holzteilen zu untersuchen. Da Emissionen gefährlicher Substanzen in die Innenraumluft einen immer größer werdenden Stellenwert im Baubereich besitzen und zwischen Holzinhaltstoffen, Klebstoff und Folie Wechselwirkungen möglich sind, ist diese Betrachtung von Bedeutung. In der Produktnorm für Fenster und Außentüren [17] ist zudem bereits der Abschnitt „Gefährliche Substanzen“ enthalten. Zukünftig wird eine Deklaration des Emissionsverhaltens von Bauprodukten erforderlich werden.

### 5.8.2 Durchführung

Grundlage der Untersuchung war DIN EN ISO 16000-9 [18]. Die Untersuchung wurde im Chemischen Labor der Fakultät Holztechnik an der Hochschule Rosenheim von Prof. Dr. Larbig durchgeführt. Der ausführliche Bericht dazu, aus dem die wesentlichen Ergebnisse hier auszugsweise dargestellt werden, liegt dem ift Rosenheim vor. [19]

Eine 3-schichtige Verbundplatte aus Fichte wurde auf den Flächen mit Foliensystem 1 beschichtet. Die Gesamtfläche beider Seiten der Platte betrug dabei



1 m<sup>2</sup>. Die unbeschichteten Kanten wurden mittels eines Alu-Klebebands abgesperrt. Nach erfolgter Beschichtung wurde die Platte luftdicht verpackt und schnellst möglich in die Emissionsprüfkammer eingebracht (siehe Abbildung 43).

Unter regulierten Bedingungen von Temperatur, Luftfeuchte und Luftwechselrate wurde die Platte in der Prüfkammer gelagert. Nach jeweils 24 Stunden erfolgte eine Probennahme von Luft aus der Kammer. Die entnommene Probe wurde mittels Gaschromatographen und gekoppelten Massenspektrometers untersucht und ausgewertet. Die Bewertung erfolgte in Anlehnung an das AgBB-Schema [20].



**Abbildung 43** Emissionsprüfkammer-Verfahren

### 5.8.3 Ergebnisse

Obwohl eine Reihe von Emittenten detektiert und identifiziert werden konnten, lag der TVOC<sub>3</sub>-Wert des untersuchten Probekörpers bei 0 µg/m<sup>3</sup>. Grund dafür ist, dass gemäß AgBB-Schema [20] für diesen Wert nur Einzelstoffe mit einer Konzentration  $\geq 5$  µg/m<sup>3</sup> aufsummiert werden und keiner der emittierten Stoffe oberhalb dieser Konzentration vorlag. Der Grenzwert liegt für den TVOC<sub>3</sub>-Wert bei 10.000 µg/m<sup>3</sup>.

Da bei der Messung auch keine Kanzerogene festgestellt werden konnten, wurde die Messung nach drei Tagen abgebrochen. Gemäß AgBB-Schema wäre eine Untersuchung von 28 Tagen vorgesehen gewesen. In Tabelle 16 sind die detektierten Emittenten aufgeführt. Abbildung 45 zeigt das zugehörige Diagramm der Messungen am 3. Tag. In Abbildung 44 ist das Abklingverhalten der Emissionen während der ersten drei Tage dargestellt.

**Tabelle 16** Ergebnisse der Emissionsmessung

Nr. (s. Abbildung 45)	Stoff	Konzentration in $\mu\text{g}/\text{m}^3$
1	Cyclobutanol	0,005
2	Toluol	0,008
3	Hexamethyl-Cyclotrisiloxan	0,007
4	Ethylbenzol	0,005
5	m-, p-Xylol	0,010
6	o-Xylol	0,004
7	$\alpha$ -Pinen	0,013
8	1,4- Benzendicarboxylic acid dihexylester	0,003
9	1,2,3-Trimethylbenzol	0,003
10	1,2,4-Trimethylbenzol	0,003
11	Octamethyl-Cyclotetrasiloxan	0,006
12	1,3,5- Trimethylbenzol	0,005
13	3-Caren	0,007
14	Limonen	0,008
15	C-11-Kohlenwasserstoffe	0,006
16	Decamethyl-Cyclopentasiloxan	0,007
17	C-12-Kohlenwasserstoffe	0,006
18	C-13-Kohlenwasserstoffe	0,007
19	Kohlenwasserstoffe	0,003
20	Si-Verbindungen	0,003
21	2,3-Cyclohexadien-1,4 dion, 2,6-bis (1,1-dimethylethyl)	0,003
22	C-14-Kohlenwasserstoffe	0,003
23	Buthylated Hydroxytoluol	0,003
24	Ribitol, Pentaacetat	0,004
25	3,5-di-tert.-4-Hydroxybenzaldehyd	0,005
...	...	...
Summe aller VOC nach 3 Tagen		0,144

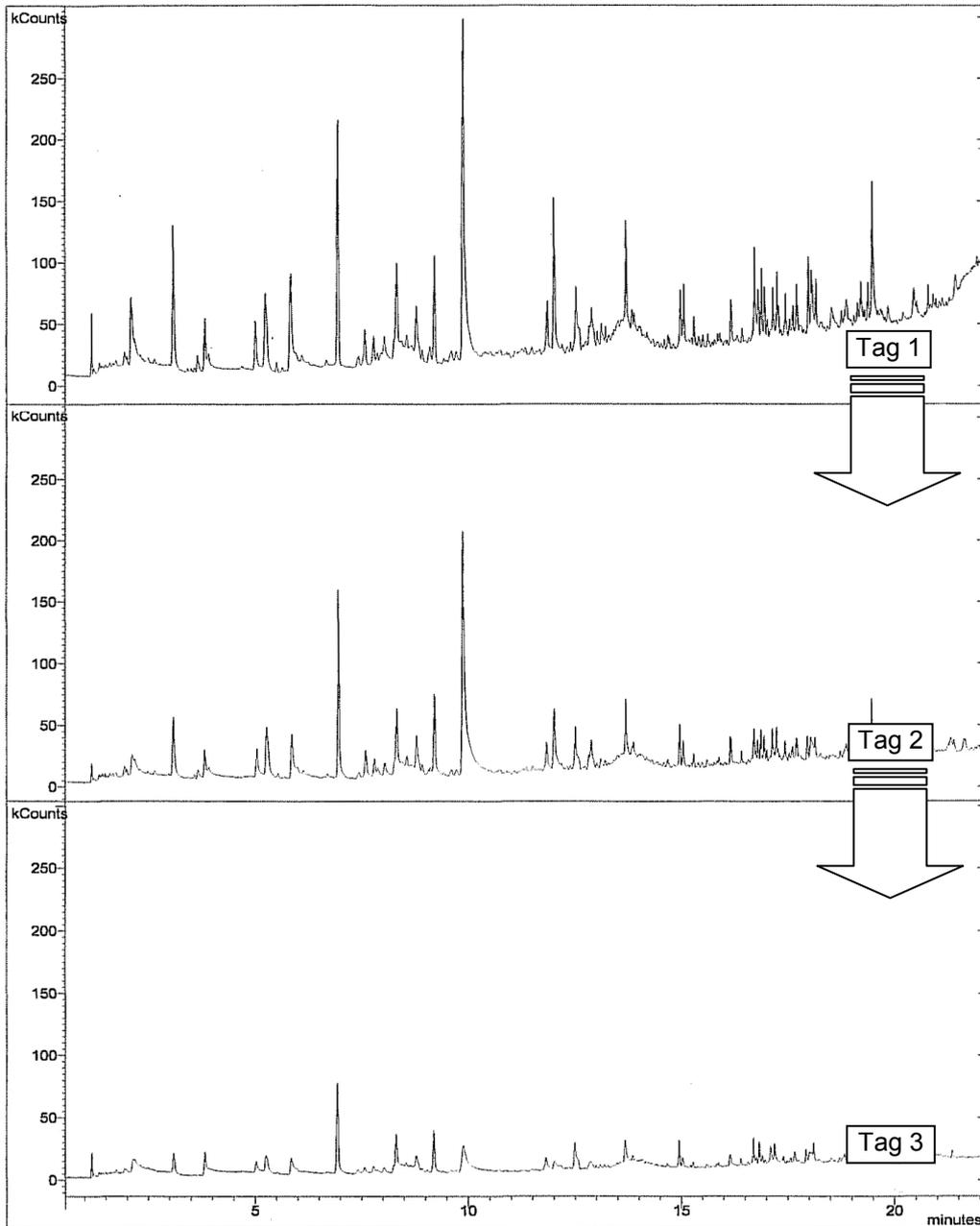


Abbildung 44 Emissionsverlauf der ersten drei Tage

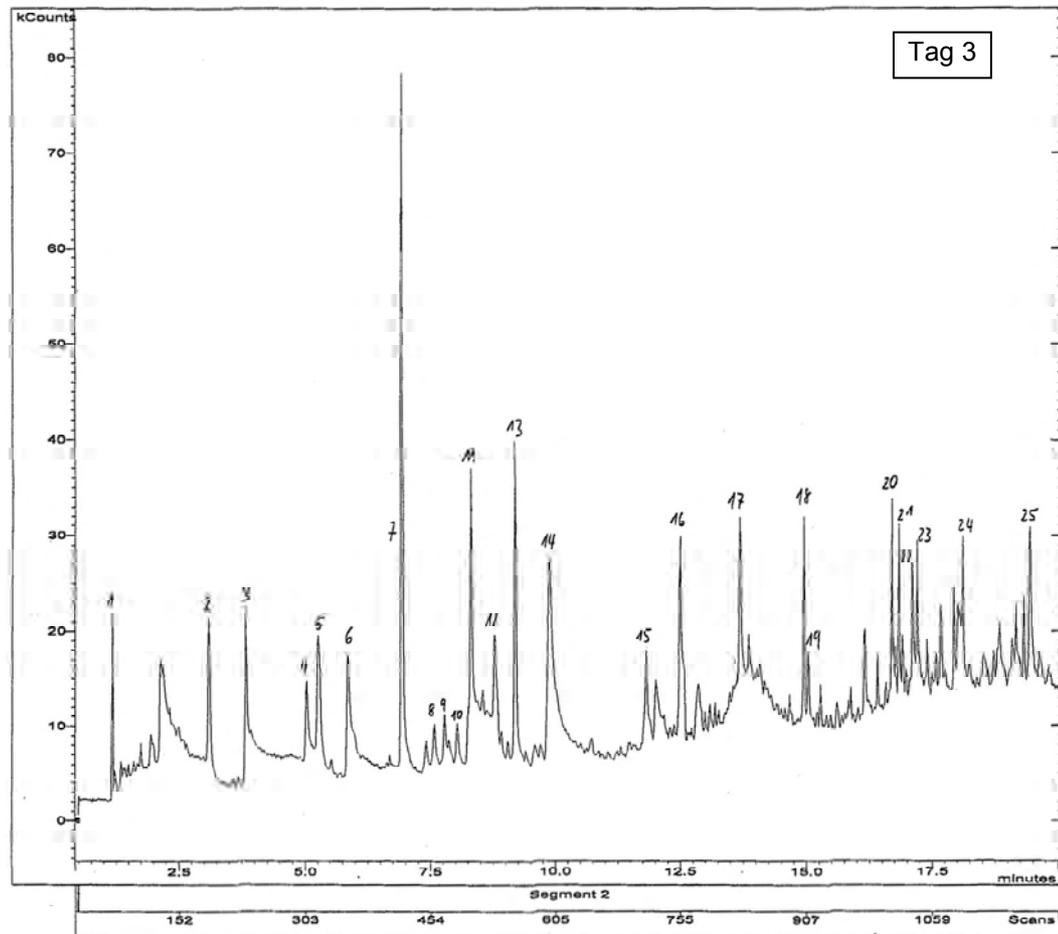


Abbildung 45 Emissionen am dritten Tag

### 5.8.4 Zusammenfassung

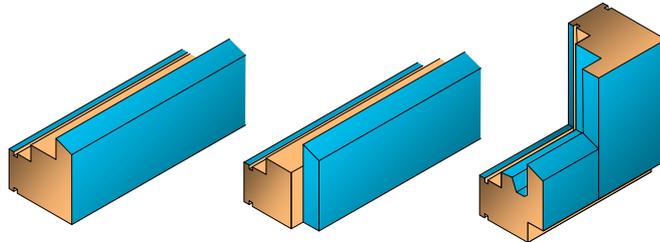
Durch das untersuchte Foliensystem entsteht keine erhöhte Belastung der Innenraumluft durch VOC-, SVOC-Emissionen.



### 5.9 Zusammenfassung Verbund

Wird die Folie mit dem Klebesystem und dem Holz in Verbund gebracht, ergeben sich für einzelne Kombinationen bei Belastung Wechselwirkungen, welche erhebliche Auswirkungen auf die visuelle und technische Gebrauchstauglichkeit haben. Die meisten geprüften Verbünde verhalten sich dennoch unkritisch. Die beobachteten Schäden traten durch chemische Unverträglichkeiten in Zusammenhang mit Holzinhaltstoffen auf, die durch verschärfte klimatische Randbedingungen begünstigt wurden.

Ob für die geplante Kombination ein Problem vorliegt, muss individuell überprüft werden. Die dargestellten Untersuchungen bieten dabei einen guten Ansatz für die Zusammenstellung eines entsprechenden Nachweisprogramms.



## 6 Stab, Einzelteil und Rahmen

Im folgenden Kapitel sollen die Auswirkungen von praxisnahen Profilgeometrien und Konstruktionen auf die Folienbeschichtung untersucht werden. Im näheren sind dies:

- Beschichtungsqualität,
- Profilgeometrien,
- Feuchtetransport im Bauteil.

## 6.1 Beschichtungsqualität

Um erste Erfahrungswerte zu sammeln und die Folienbeschichtung am Einzelteil kennenzulernen, wurden zum Projektbeginn erste grundlegende Beschichtungsversuche im Technikum des Projektpartners BASF in Ludwigshafen durchgeführt. Im Mittelpunkt stand dabei die von der BASF entwickelte PermaSkin®-Technologie (siehe auch Anhang 1; Teilbericht Hochschule Rosenheim – Verfahrensparameter und Fertigungstechnik).

### 6.1.1 Beschichtungsvorgang

Die Beschichtungsversuche wurden an einer Vakuumpresse durchgeführt. Der Ablauf des Beschichtungsvorgangs ist in Abbildung 46 schematisch dargestellt. Erläuterung:

- 1) ober- und unterhalb der durch eine Kammer mit Werkstück gespannten Folie wird der Druck abgesenkt,
- 2) die Folie wird aufgeheizt,
- 3) oberhalb der Folie wird wieder Normaldruck hergestellt,
- 4) die heiße Folie wird durch den Druckunterschied auf das zuvor mit Klebstoff besprühte Werkstück gezogen bzw. gedrückt.

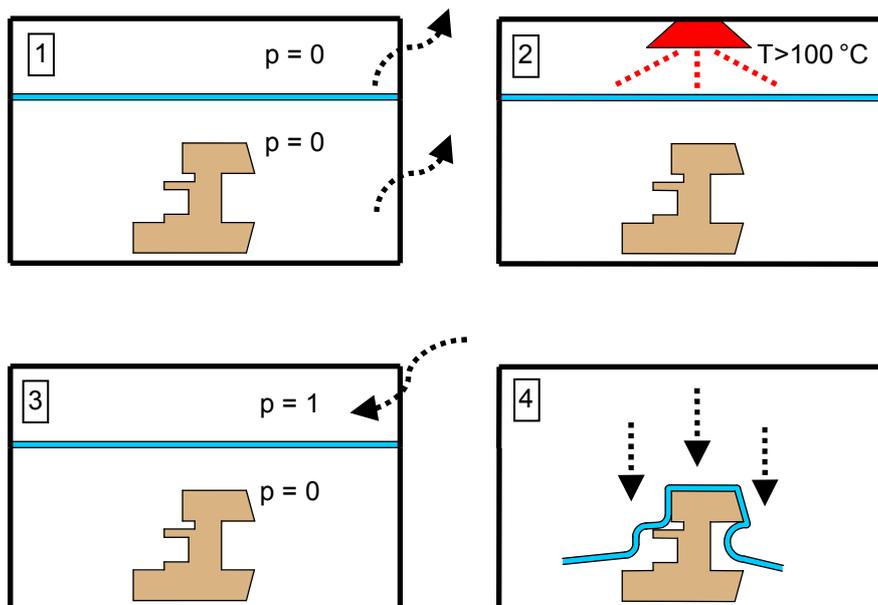
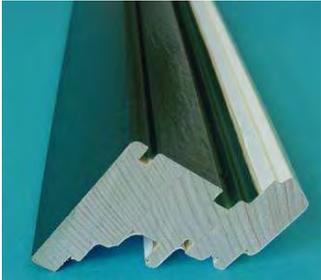
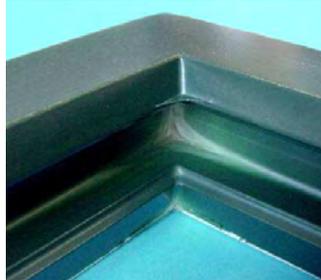


Abbildung 46 Schematische Darstellung Vakuumpressverfahren

### 6.1.2 Probekörper

Um die Beschichtungsmöglichkeiten für Fenster zu untersuchen, wurden zunächst drei Gruppen von Probekörpern gebildet, die jeweils ein eigenes Fertigungskonzept verkörpern (siehe Tabelle 17).

**Tabelle 17** Beschichtungsversuche

Beschichtung am Stab	Beschichtung am Einzelteil	Beschichtung am Fenster
		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• vorgesehen für Stangenfertigung</li> <li>• 2-dimensionale Beschichtung</li> <li>• keine Beschichtung der Hirnholz- bzw. Verbindungsbereiche</li> <li>• Verwendung von Standardprofilen IV 68</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• vorgesehen für Konzept der Einzelteilfertigung</li> <li>• 3-dimensionale Beschichtung</li> <li>• Beschichtung der Hirnholz- bzw. Verbindungsbereiche</li> <li>• Verwendung von Standardprofilen IV 68</li> <li>• Änderung der Schlitz- und Zapfenverbindung in einfache Konterverbindung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• vorgesehen für Beschichtung bereits verleimter Rahmen</li> <li>• 3-dimensionale Beschichtung</li> <li>• Überdeckung der Rahmeneckverbindung</li> <li>• Verwendung von Standardfenster-rahmen IV 68</li> </ul>

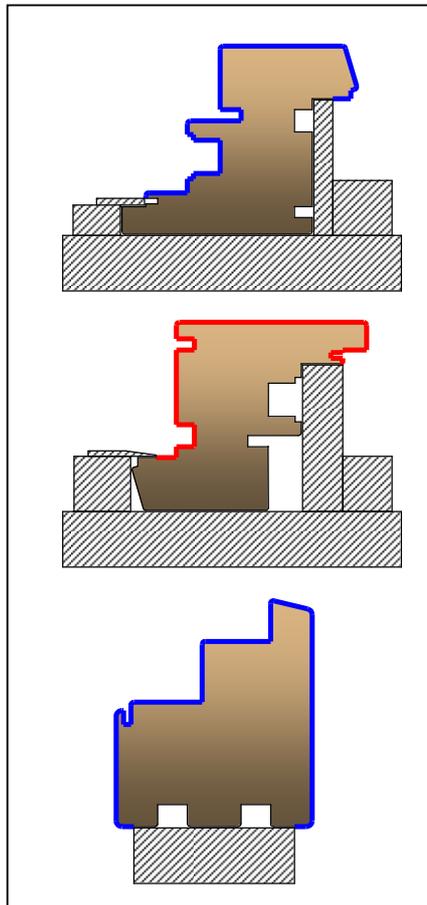


### 6.1.3 Beschichtung am Stab

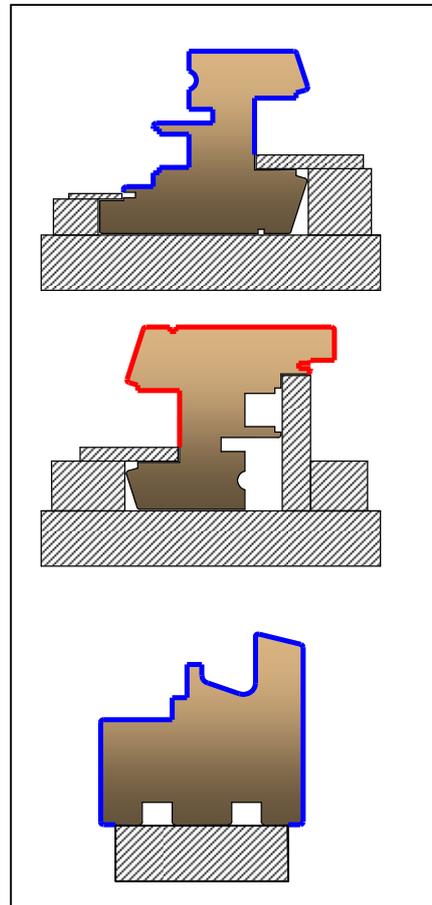
Eine Beschichtung der vorgegebenen Profile war möglich. Dazu war es jedoch nötig, einige wichtige Voraussetzungen zu schaffen. Die Beschichtung der Flügelrahmenprofile war nur durch zwei getrennte Beschichtungsvorgänge möglich. Dazu war es nötig die Stoßpunkte der Folie zu definieren. Da es schwierig war „überhängende“ Profile von oben zu beschichten, mussten zwei Stoßpunkte festgelegt werden, um diese Problemzone zu vermeiden. Ein Stoßpunkt wurde 5 – 10 mm tief in den Glasfalz hineingelegt, damit beim späteren Blick durch die Scheibe nicht das rohe Holz sichtbar ist, trotzdem aber der Stoß der Folie verdeckt wird. Der andere Punkt wurde in den Bereich der Innendichtung gelegt, da der Stoßbereich dort durch die Dichtung verdeckt wird.

Bei den Haltevorrichtungen (siehe Abbildung 47 und Abbildung 48) war es besonders wichtig, dass die Bereiche, die jeweils nicht beschichtet werden sollen, komplett abgedeckt werden und ein sanftes Auslaufen der Folie ermöglichen. Zusätzlich wurden zur Vermeidung von Rissen in der Folie, die ein optimales Anpressen der Folie an das Werkstück verhindern, die Hirnbereiche der Profile schräg angeschnitten.

Für den Klebstoffauftrag wurden die Bereiche verdeckt, die gerade nicht beschichtet werden sollten (siehe Abbildung 49). Die Beschichtung der Blindrahmenprofile war in einem Zug möglich (siehe Abbildung 50). Dazu wurde lediglich eine Unterkonstruktion an die Profile angebracht, die eine Folierung bis in den Bauanschlussbereich hinein ermöglichte (siehe Abbildung 47 und Abbildung 48). Einrisse der Folie während des Pressvorgangs konnten vermieden werden, wenn die Hirnenden der Profile schräg angeschnitten wurden.



**Abbildung 47** Folierung und Schablonenanordnung Profilgeometrie 1



**Abbildung 48** Folierung und Schablonenanordnung Profilgeometrie 2



**Abbildung 49** Beschichtetes Flügelrahmenprofil

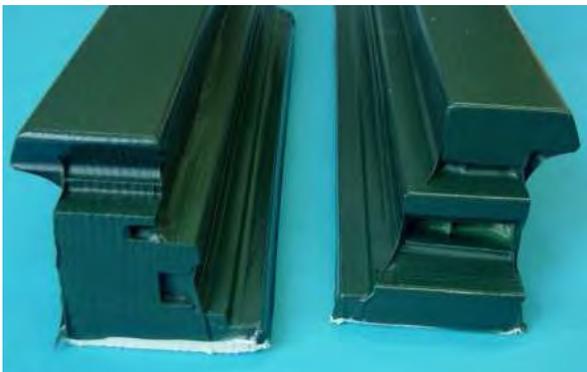


**Abbildung 50** Beschichtetes Blendrahmenprofil

#### 6.1.4 Beschichtung am Einzelteil

Die Beschichtung an den Flügel- und Blendrahmenprofilen als Einzelteil lief nach derselben Vorgehensweise ab wie schon bei der Beschichtung der Profilstäbe. Es musste aber zusätzlich auf eine Verblendung der Hirnholzbereiche geachtet werden, welche die Rahmeneckverbindung aufnehmen. Bei den Flügelprofilen musste auch hier definiert werden, wo genau die Folie gestoßen wird. In den Hirnholzbereichen der Rahmeneckverbindungen kam die Dehnfähigkeit jedoch an ihre Grenzen. Es bildeten sich Falten und nicht beschichtete Bereiche.

Eine Beschichtung der Einzelteile war zwar grundsätzlich möglich, es zeigte sich jedoch, dass herkömmliche Profilgeometrien sehr schwierig und nur mit enormen Aufwand beschichtet werden können (siehe Abbildung 51 und Abbildung 52).



**Abbildung 51** Beschichtung am Einzelteil Flügelrahmen



**Abbildung 52** Beschichtung am Einzelteil Blendrahmen

### 6.1.5 Beschichtung am Fenster

Es wurden sowohl an Flügel- als auch an Blendrahmen Beschichtungsversuche durchgeführt. Die Ergebnisse zeigten jedoch, dass es nach derzeitigem Erkenntnisstand sehr schwierig ist, komplette Ecken bzw. komplette Fensterrahmen zu beschichten. Es kommt im Bereich der Ecken zu starker Faltenbildung und zu Beschädigungen der Folie. Dadurch werden – besonders im sensiblen Bereich der Rahmeneckverbindung – die Profile nicht optimal beschichtet. Für die weitere Vorgehensweise wurde daraufhin die Variante „Beschichtung am Fenster“ nicht mehr berücksichtigt.

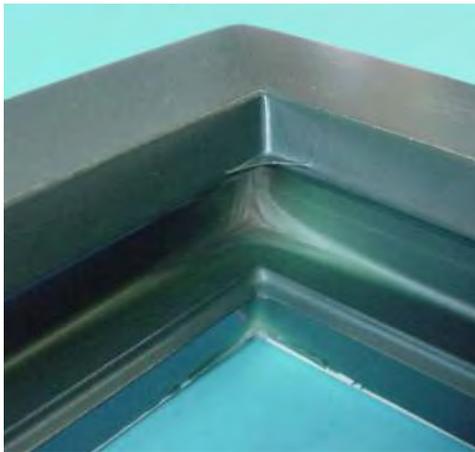


Abbildung 53 Beschichtung Rahmenecke



Abbildung 54 Beschichtung Rahmenecke



### 6.1.6 Zusammenfassung Beschichtungsqualität

Nach den Erkenntnissen der ersten Beschichtungsversuche ist eine Beschichtung von herkömmlichen Flügel- bzw. Blendrahmenprofilen mittels des Vakuumverfahrens am Stab möglich. Dazu sind jedoch eine an die Profilgeometrie angepasste Einspannvorrichtung und genau definierte Folienstöße notwendig. Grundsätzlich wird es jedoch erforderlich sein, Profilgeometrien den besonderen Anforderungen der Folienbeschichtung anzupassen, gleiches gilt für die Anlagentechnik. Die Folienbeschichtung kann nicht als direkter Ersatz für herkömmliche Beschichtungsverfahren bei Holzfenstern nach DIN 68121 [1] angesehen werden.

Zur Beschichtung am Stab ist möglicherweise der Einsatz einer Rollenkaschierungsanlage von Vorteil. Der Projektpartner Holz-Schiller verwendet diese Technologie zur Folienbeschichtung der Easy-Long-Life®-Fenster. Im Rahmen des Forschungsprojekts konnten keine detaillierten Beschichtungsversuche an einer solchen Anlage durchgeführt werden. Eine Folierung auch von aufwendigeren Profilgeometrien scheint möglich zu sein und wird bereits in zahlreichen Anwendungsbeispielen erfolgreich durchgeführt.

Die Beschichtung von Flügel- und Blendrahmenprofilen am Einzelteil (inkl. Rahmeneckverbindung) ist mittels Vakuumverfahren möglich. Die Beschichtungsversuche haben gezeigt, dass an einfachen Konterprofilen die Mitbeschichtung der Hirnholzbereiche denkbar ist. Voraussetzung hierfür ist jedoch eine der Profil- und Falzgeometrie angepasste Einspannvorrichtung. Dies stellt jedoch einen erheblichen Aufwand an Vorrichtungsbau und Fertigungstechnik dar.

Die Beschichtung von kompletten Rahmenecken oder ganzen Fensterelementen scheint nach derzeitigem Erkenntnisstand nur bedingt möglich zu sein. Wegen der fehlenden Erfolgsaussichten wurde diese Variante im weiteren Vorgehen nicht betrachtet.

## 6.2 Profilgeometrien

Anhand der Erkenntnisse aus den ersten Beschichtungsversuchen und den Rechercheergebnissen sollen in diesem Kapitel die Möglichkeiten aber auch Problemstellen eines herkömmlichen IV68-Holzfensterprofils im Zusammenhang mit einer Folienbeschichtung dargestellt werden. Darüber hinaus soll anhand eines Beispiels verdeutlicht werden, welche Änderungen an der Profilgeometrie nötig wären, um eine rationelle und effektive Folienbeschichtung zu ermöglichen (siehe auch Anhang 1; Teilbericht Hochschule Rosenheim – Verfahrensparameter und Fertigungstechnik).

### 6.2.1 Lage und Ausführung Folienstoß

Da bei herkömmlichen Profilgeometrien eine Folierung von 2 Seiten erforderlich ist, muss die Folie zwangsläufig an zwei Stellen der Geometrie gestoßen werden. In Abbildung 55 sind dafür mögliche Bereiche einer herkömmlichen IV68-Profilgeometrie gekennzeichnet. Zudem sind Bereiche markiert, deren Folierung nach den im Rahmen des Forschungsprojekts erlangten Kenntnissen nicht möglich ist bzw. Schwierigkeiten verursacht. Auf diese Bereiche muss – wenn möglich – verzichtet werden oder die Profilierung muss nach der Folienbeschichtung erfolgen. Dies hat jedoch unbeschichtete Nutgründe und -flanken zur Folge.

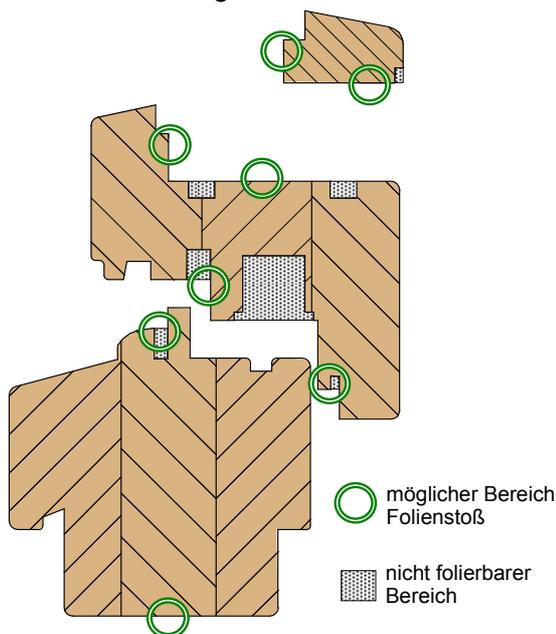
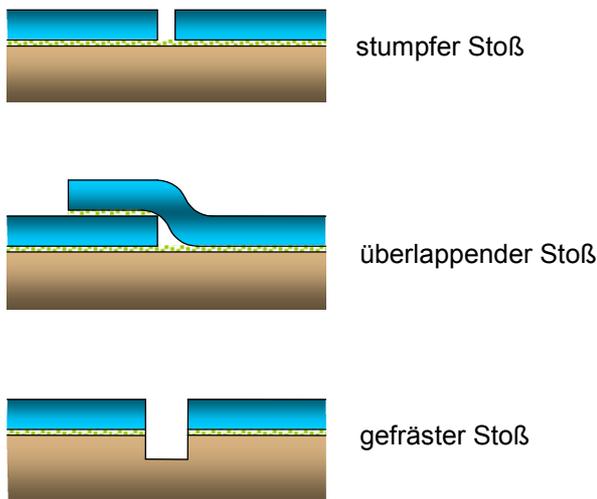


Abbildung 55 Lage von Folienstößen am IV68-Profil



Die Ausführung des Folienstoßes kann dabei nach den in Abbildung 56 dargestellten Arten erfolgen. Die Variante „überlappender Stoß“ hat gegenüber der Variante „stumpfer Stoß“ den Vorteil einer dichten Verbindung. Es muss jedoch sichergestellt sein, dass der verwendete Klebstoff auch zwischen Folienmaterial funktioniert und dass beim Klebstoffauftrag keine Verschmutzungen der fertigen Oberfläche entstehen. Zudem ist im Bereich des Stoßes die doppelte Foliendicke vorhanden.

Die Variante „gefräster Stoß“ ist z. B. an den in Abbildung 55 dargestellten nicht folierbaren Bereichen möglich. Der Vorteil liegt darin, dass der Stoßbereich zunächst nur geringen Aufwand verlangt, da im weiteren Vorgehen der gesamte Stoßbereich gefräst wird und somit ein sauberer Abschluss entsteht. Der Nachteil liegt jedoch im unbeschichteten Nutgrund und in den Nutflanken. Im Falle einer Dichtungsnut kann dies möglicherweise in Kauf genommen werden, da die unbeschichteten Bereiche durch das Dichtprofil vor äußeren Einflüssen weitgehend abgedichtet werden. Im Fall von z. B. der Beschlagsnut ist dies als kritischer zu sehen, da der typische Beschlag die Beschlagsnut nicht abdichtet.



**Abbildung 56** Ausführung Folienstoß

### 6.2.2 Problemstellen an herkömmlichen Profilgeometrien

Um verständlich zu machen, warum bei den herkömmlichen Profilgeometrien Schwierigkeiten bei der Beschichtung mit Folie auftreten können, soll zunächst der Unterschied zwischen den zwei grundsätzlich möglichen Fertigungsverfahren aufgezeigt werden. Im Mittelpunkt steht dabei der Moment, in dem sich die Folie an die Profilgeometrie anpassen muss.

#### Vakuumverfahren

Beim Vakuumverfahren (siehe Abbildung 57) kommt die Folie flächig von oben auf das in der Presse gelagerte Bauteil zu. Die Folie muss den Weg über die Profilgeometrie nach unten größtenteils durch Dehnung erreichen. Schwierigkeiten bereiten dabei Nuten und Fälze mit ungeeigneten Maßverhältnissen, scharfe Innenkanten sowie überhängende Profile. Im Folgenden sind die kritischen Bestandteile von herkömmlichen Profilgeometrien gemeinsam mit den jeweiligen Lösungsvorschlägen zusammengefasst (siehe Tabelle 18). Die angegebenen Diagramme und Maßverhältnisse wurden durch umfangreiche Untersuchungen mit einer sehr großen Anzahl an Probekörpern erarbeitet. Durch Variation der jeweiligen Maßverhältnisse und Profilgeometrien konnten die angegebenen Grenzbereiche angenähert werden [21].

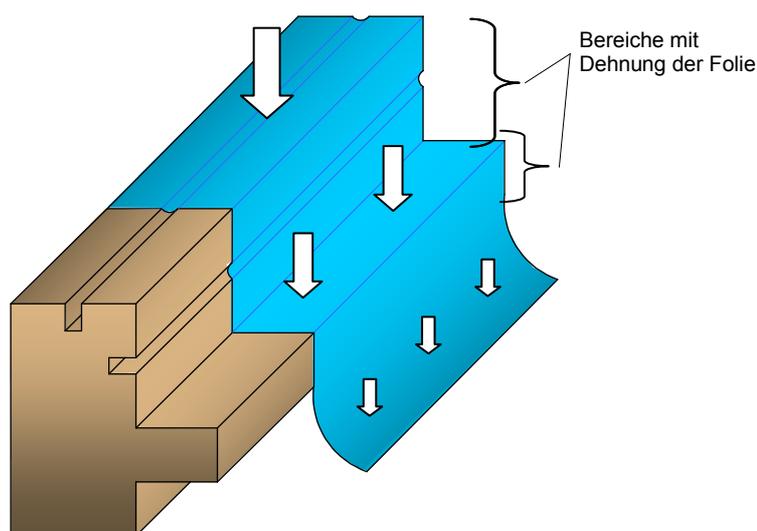
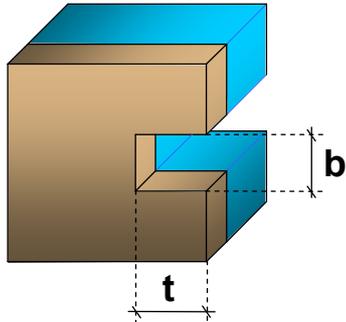
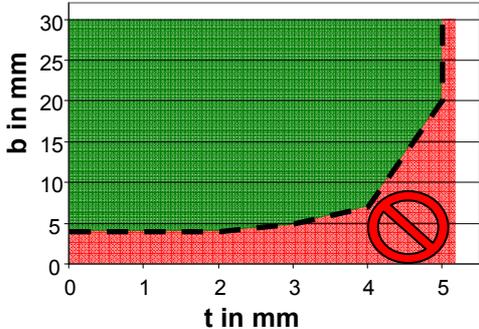
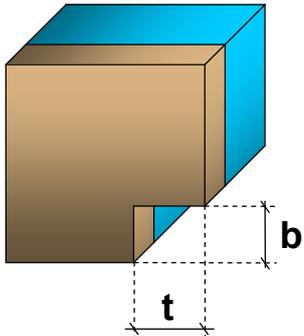
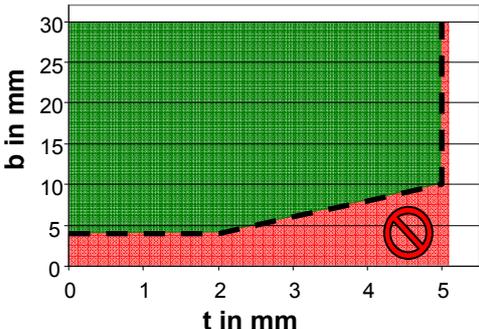


Abbildung 57 Vakuumverfahren an einem beispielhaften Profil

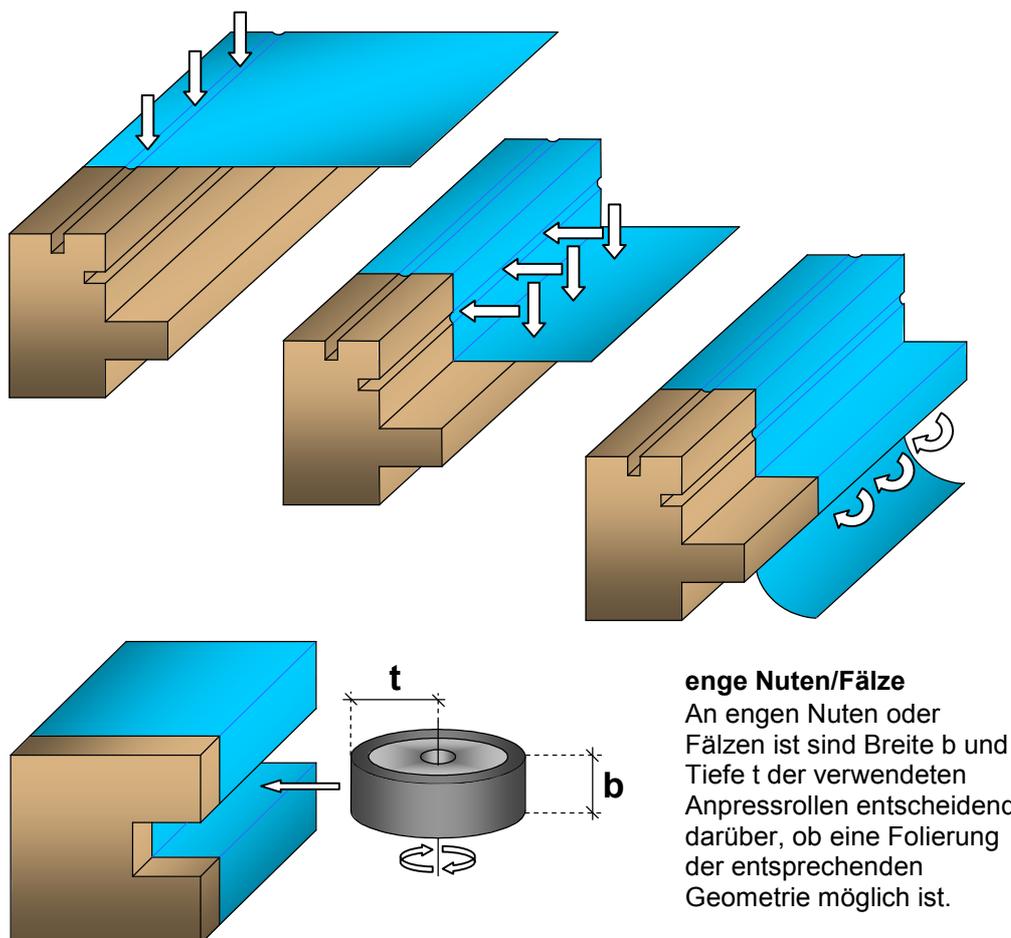
**Tabelle 18** Problemstellen Profilgeometrie Vakuumverfahren und Lösungsansätze:  
Die folgenden Bemessungen beziehen sich auf einen praxisüblichen  
Profilquerschnitt von ca. 70 mm x 70 mm.

Bild	Beschreibung
	<p><b>Innenkante/Nutgrund</b></p> <p>An Innenkanten und Nutgründen legt sich die Folie oftmals nicht bis in die scharfe Kante hinein. Die Folge sind beschädigungsanfällige Bereiche, an denen von Folie überspannte Hohlräume entstehen.</p> <p><b>Lösung:</b></p> <p>Innenkanten und Nutgründe sollten, wenn möglich, mit Rundung oder Fase ausgeführt werden. Je größer der Radius bzw. die Fasenabstände, desto einfacher die Folierung.</p>
	<p><b>Nut in Beschichtungsrichtung</b></p> <p>An oben liegenden Nuten ist das Verhältnis zwischen Breite <math>b</math> und Tiefe <math>t</math> entscheidend, ob eine Folierung der gesamten Nuttiefe möglich ist.</p> <p><b>Lösung:</b></p> <p>Grenzverhältnis <math>b:t = 1:1</math></p> <p>Die Nut darf nicht tiefer als breit sein. Die geringste Breite liegt bei ca. 3 mm. Die Folie muss die Nut durch Dehnung ausfüllen. Die maximale Tiefe ist also auch von der Dehnfähigkeit und der damit verbundenen Ausdünnung begrenzt.</p>

 	<p><b>Nut quer zur Beschichtungsrichtung</b></p> <p>An seitlich liegenden Nuten ist das Verhältnis zwischen Breite <math>b</math> und Tiefe <math>t</math> entscheidend, ob eine Folierung der gesamten Nuttiefe möglich ist.</p> <p><b>Lösung:</b></p> <p>Grenzverhältnis (siehe Diagramm)</p> <p>Die maximal erreichbare Nuttiefe liegt bei 5 mm. Die Breite muss dabei mindestens 20 mm betragen. Die Folie muss die Nut durch Dehnung ausfüllen. Die maximale Tiefe ist also auch von der Dehnfähigkeit und der damit verbundenen Ausdünnung begrenzt.</p>
 	<p><b>Falz unten/Überhang</b></p> <p>An unten liegenden Fälzen bzw. Überhängen ist das Verhältnis zwischen Breite <math>b</math> und Tiefe <math>t</math> entscheidend, ob eine Folierung der gesamten Falztiefe möglich ist.</p> <p><b>Lösung:</b></p> <p>Grenzverhältnis (siehe Diagramm)</p> <p>Die maximal erreichbare Falztiefe liegt bei 5 mm. Die Breite muss dabei mindestens 10 mm betragen. Die Folie muss den Falz durch Dehnung ausfüllen. Die maximale Tiefe ist also auch von der Dehnfähigkeit und der damit verbundenen Ausdünnung begrenzt.</p>

### Profilkaschierung

Beim Rollenkaschierungsverfahren (siehe Abbildung 58) wird die Folie Schritt für Schritt durch Anpressrollen an das Bauteil gepresst. Die Folie wird dabei in ihrer gesamten Breite von oben beginnend der Profilgeometrie angepasst. Die Rollenanordnung muss dabei exakt auf das zu profilierende Bauteil eingestellt werden. Problematisch können hierbei sehr enge Nuten oder Fälze sein, in die kaum eine Anpressrolle hineinreicht. Genauere Angaben hierzu sind jedoch von den jeweiligen Anlagenparametern abhängig und können im Rahmen dieses Forschungsprojekts nicht detailliert beschrieben werden.

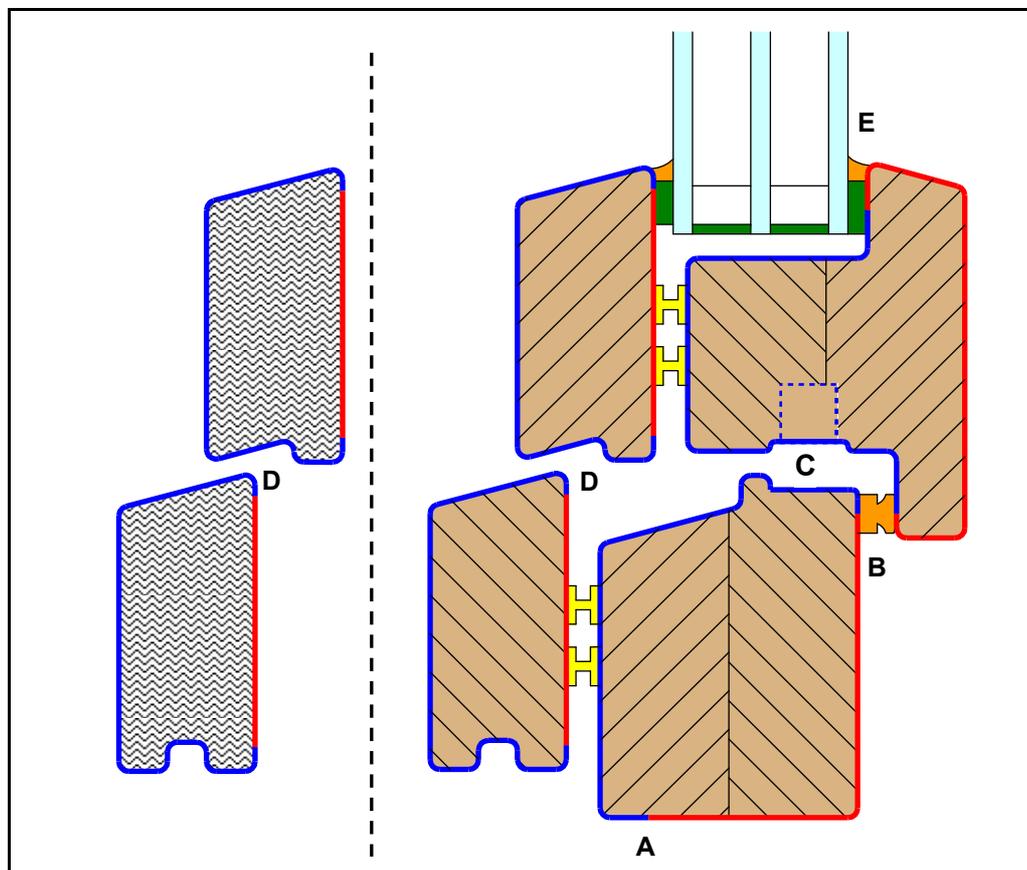


**Abbildung 58** Rollenkaschierungsverfahren mit Problemstellen an einem beispielhaften Profil

### 6.2.3 Profilgeometrie-Konzept zur Folienbeschichtung

Unter Berücksichtigung der gesammelten Erkenntnisse soll ein Profilgeometrie-Konzept dargestellt werden, das hinsichtlich Folienbeschichtung optimiert ist. Wichtige Details sind darin markiert und beschrieben.

**Tabelle 19** Mögliches Konzept einer folienbeschichtungstauglichen Profilgeometrie



<b>A</b>	Der Folienstoß erfolgt jeweils an den Stellen, an denen die blaue Linie auf die rote Linie trifft. Sämtliche Folienstöße sind „überlappend“ ausgeführt.
<b>B</b>	Die Konstruktion arbeitet mit einer Innendichtung.
<b>C</b>	Die Beschlagsnut kann je nach Beschichtungsverfahren mitbeschichtet werden oder muss nach erfolgter Beschichtung gefräst werden.
<b>D</b>	Die Konstruktion besitzt eine Vorsatzschale. Diese kann aus demselben Material bestehen wie Blend- und Flügelrahmen oder aus einem anderen Material z. B. Aluminium oder einem Dämmstoff. Bei Verwitterung oder Beschädigung kann die Vorsatzschale einfacher ersetzt werden.
<b>E</b>	Das Mehrscheibenisoliertes Glas ist durch eine geklebte Verbindung befestigt.



#### 6.2.4 Zusammenfassung Profilgeometrien

Herkömmliche Profilgeometrien können nur mit erheblichem Fertigungsaufwand allseitig mit Folien beschichtet werden. Abhängig vom Applikationsverfahren müssen hierzu gewisse Konstruktionsmerkmale beachtet werden.

Beim Vakuumverfahren wurden erste Anhaltspunkte zu Möglichkeiten und Problemstellen gesammelt. Diese können sich jedoch mit der Weiterentwicklung von Presstechnik, Folienmaterial und Fertigungsablauf laufend verändern. Beim Rollenkaschierungsverfahren sind die folierbaren Geometrien weniger vom Folienmaterial, sondern mehr von den Spezifikationen der Fertigungstechnik abhängig.

Mit dem vorgestellten Profilgeometrie-Konzept wurde eine mögliche Konstruktion eines Holzfensters erstellt, das den speziellen Anforderungen einer Folienbeschichtung angepasst ist.

### 6.3 Diffusionsverhalten (Simulation)

#### 6.3.1 Modellierung

Um die Thematik Diffusion auch auf Bauteilebene zu untersuchen, wurden mittels der Software WUFI<sup>®</sup> Pro 4.1 IBP eindimensionale Simulationen zum Feuchtetransport in folienbeschichteten Holzkonstruktionen durchgeführt. WUFI<sup>®</sup> dient zur Berechnung des gekoppelten Wärme- und Feuchtetransports in eindimensionalen, mehrschichtigen Bauteilen. Ziel war es, an einem stark vereinfachten Bauteil die grundsätzlichen Unterschiede im Feuchtetransport bei Variation der Oberflächenbeschichtung auf Raum- bzw. Wetterseite darzustellen und dabei die relativen Unterschiede verschiedener Oberflächenkombinationen zueinander zu untersuchen.

Simuliert wurde eine Situation, wie sie z. B. an der beidseitig beschichteten Füllung einer Außentür auftritt (siehe Abbildung 59). Alle Ergebnisse beziehen sich also auf eine gedachte Linie, die quer durch einen 70 mm dicken Materialquerschnitt verläuft. Zur Vereinfachung der Simulation wurde als Material für den Querschnitt massives Fichtenholz ausgewählt. An den Oberflächen wurden an Raum- und Wetterseite jeweils die der Variante entsprechenden Materialdaten angenommen (siehe Tabelle 20).

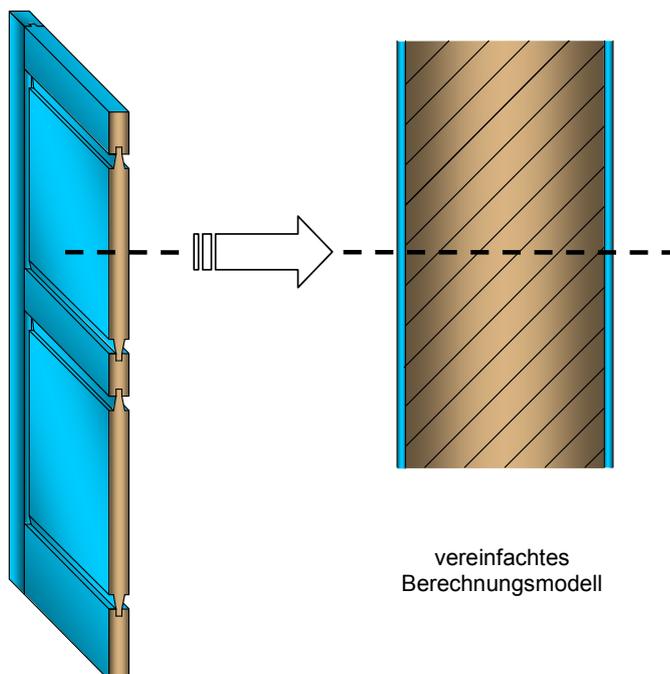
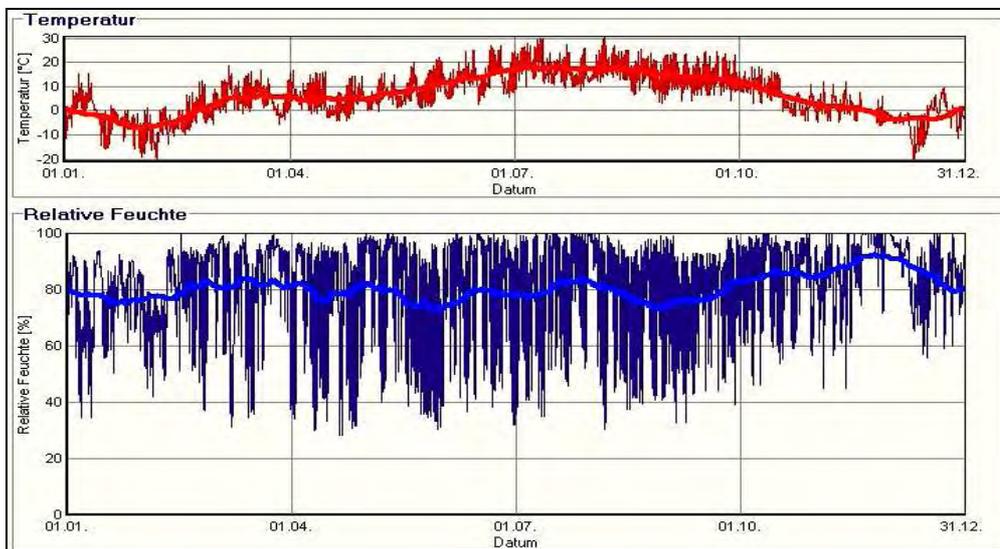


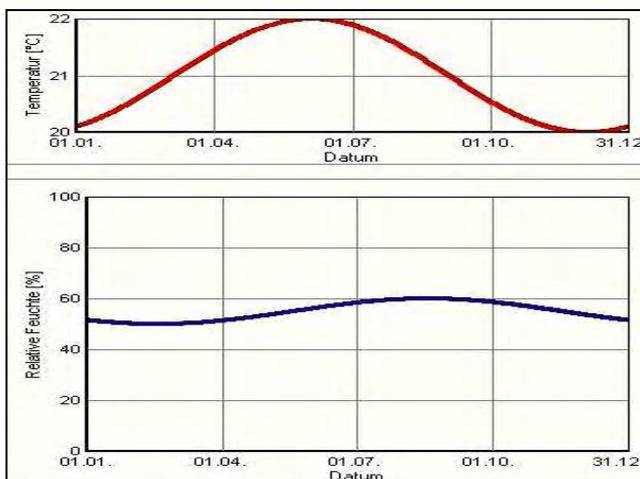
Abbildung 59 Vereinfachtes Berechnungsmodell

Als Eckdaten für die Simulation wurden die folgenden Parameter angenommen:

- Klimadaten außen Holzkirchen/Süddeutschland (siehe Abbildung 60),
- Raumklimabedingungen mit hoher Feuchtelast (siehe Abbildung 61),
- Gebäudehöhe bis 10 m, der Bewitterung ausgesetzt (westseitig),
- Oberflächenfarbe weiß,
- Ausgangsfeuchte im Holzquerschnitt bei konstant 12 % Holzfeuchte,
- Start der Simulation jeweils im Monat Oktober.



**Abbildung 60** Jahresverlauf Außenklima (Holzkirchen)



**Abbildung 61** Jahresverlauf Raumklima

Zur Variation der Oberflächenbeschichtung auf Raum- bzw. Wetterseite wurde zunächst eine Matrix erstellt, um unterschiedliche Kombinationen von Beschichtungen darzustellen. Daraus wurden sieben Beschichtungsvarianten für die Berechnungen ausgewählt (siehe Tabelle 20).

**Tabelle 20** Kombinationen für WUFI®-Berechnungen, hervorgehoben sind die in der Folge berechneten Kombinationen

		Raumseite		Lack	System 1	System 2
		Ausführung Oberfläche	Dicke in µm			
Wetterseite		Ausführung Oberfläche	Dicke in µm	150	266	228
Ausführung Oberfläche	Dicke in µm	$s_D$ -Wert in m	0,3	2,59	6,46	
Lack	150	0,3	L/L	L/S1	L/S2	
Lack + Renovierungsanstrich	250	0,5	LR/L	LR/S1	LR/S2	
System 1	266	2,59	S1/L	S1/S1	S1/S2	
System 2	228	6,46	S2/L	S2/S1	S2/S2	



6.3.2 Ergebnisse

In Tabelle 21 bis Tabelle 27 sind die Auswertungen der jeweiligen Varianten zusammengefasst. Im Feuchteverlauf ist dabei jeweils die Entwicklung der über die Bauteildicke des Holzquerschnitts gemittelten Feuchte dargestellt. Da sich bei den verschiedenen Konstruktionen ab einem bestimmten Zeitpunkt jeweils ein konstanter, lediglich jahreszeitlich abhängiger Feuchteverlauf einstellt, wurde der Zeitraum der Simulation unterschiedlich gewählt. Zudem wurde die Feuchteverteilung über die Bauteildicke des Holzquerschnitts jeweils zum Feuchtemaximum und zum Feuchteminimum dargestellt. Eine Erläuterung der Auswertungsdiagramme ist in Abbildung 62 dargestellt.

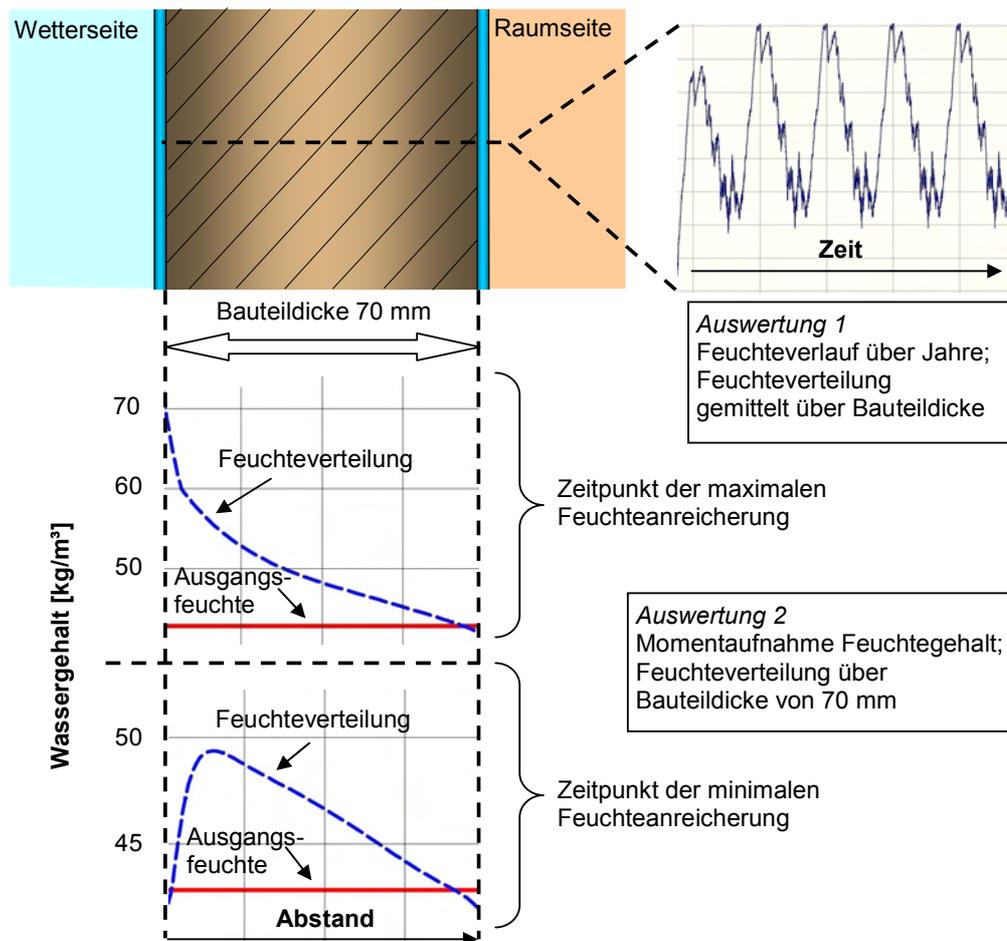


Abbildung 62 Erklärung der Auswertungsdiagramme am Berechnungsmodell

Tabelle 21 Simulation Variante L/L

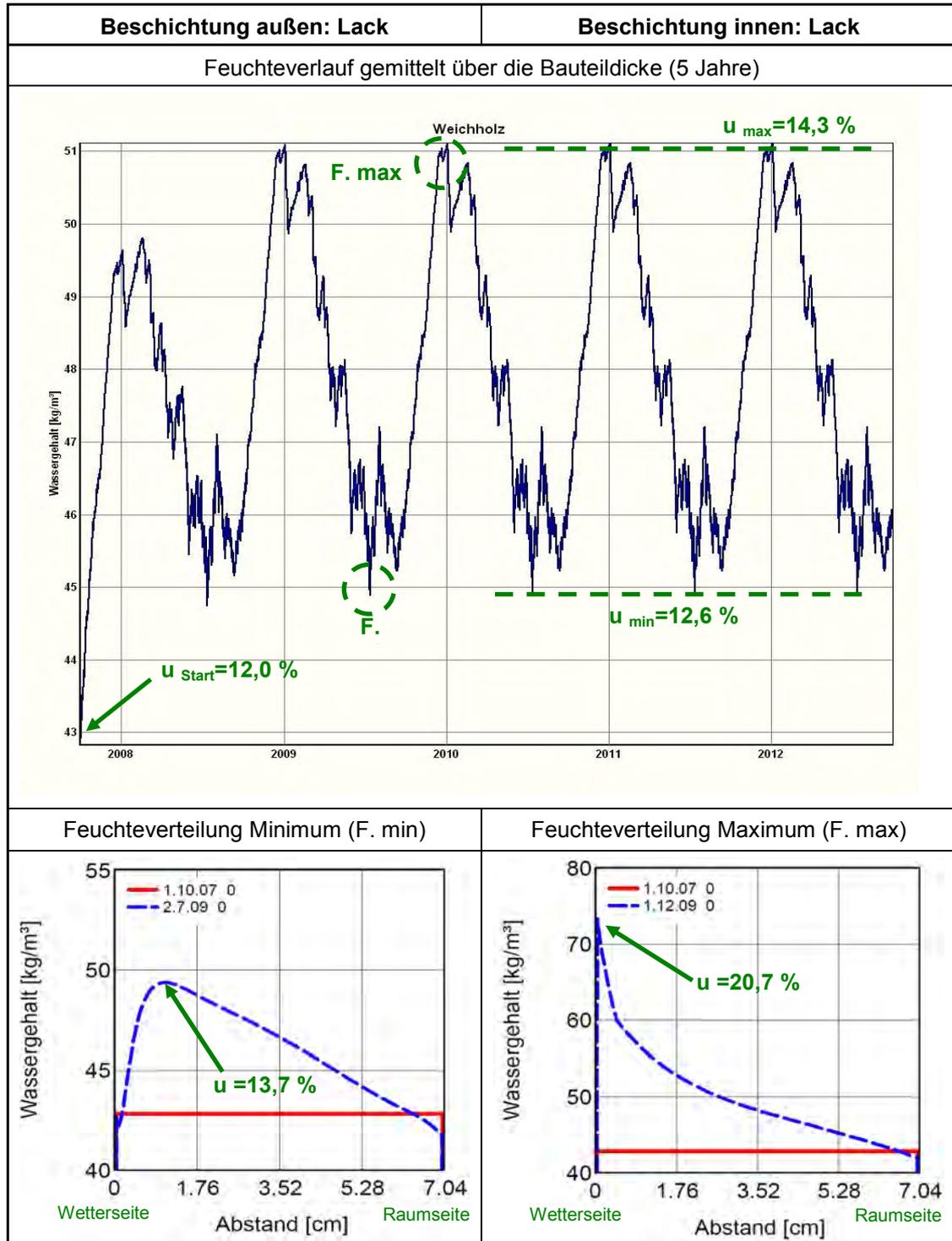




Tabelle 22 Simulation Variante L/S1

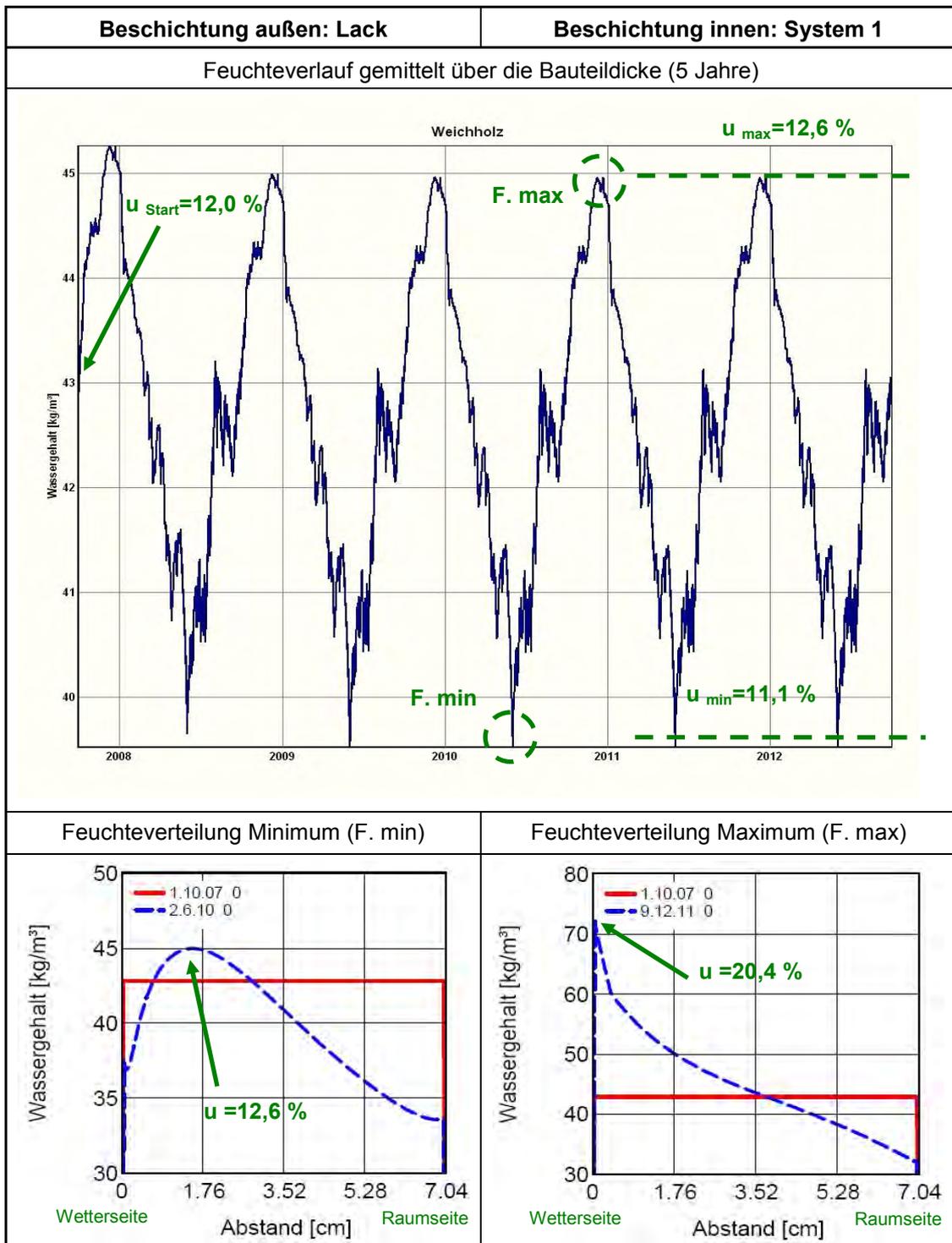


Tabelle 23 Simulation Variante LR/L

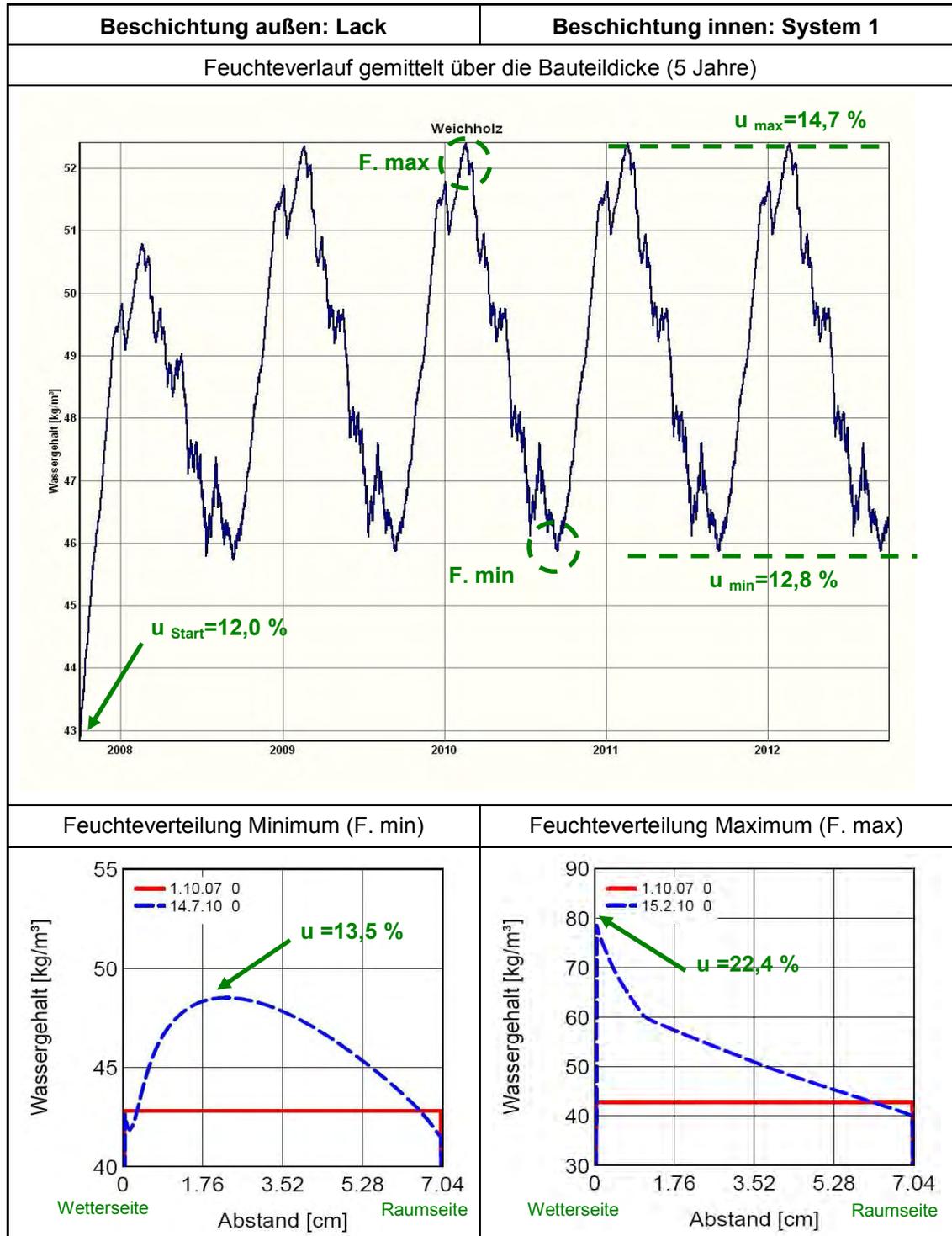




Tabelle 24 Simulation Variante S1/L

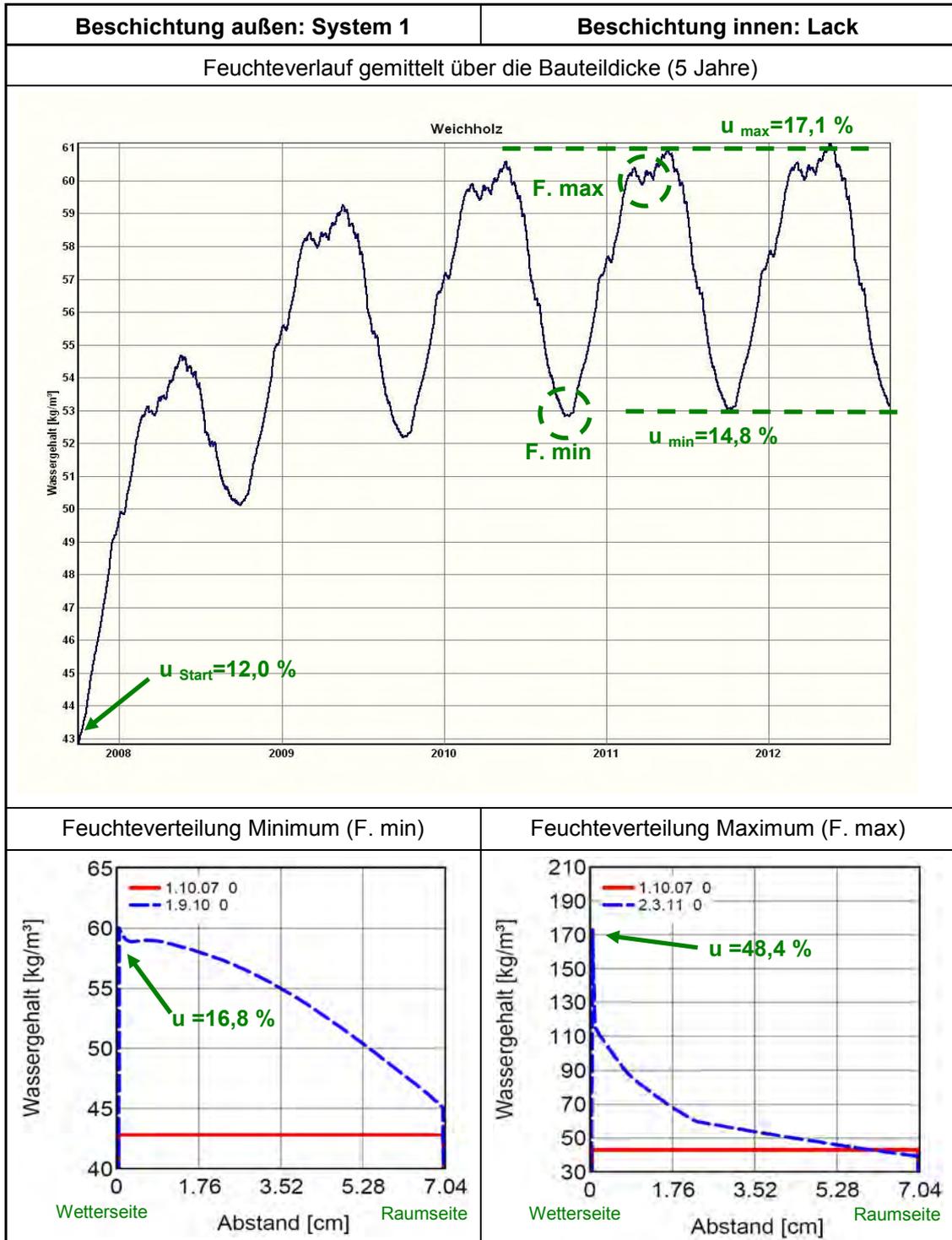


Tabelle 25 Simulation Variante S1/S1

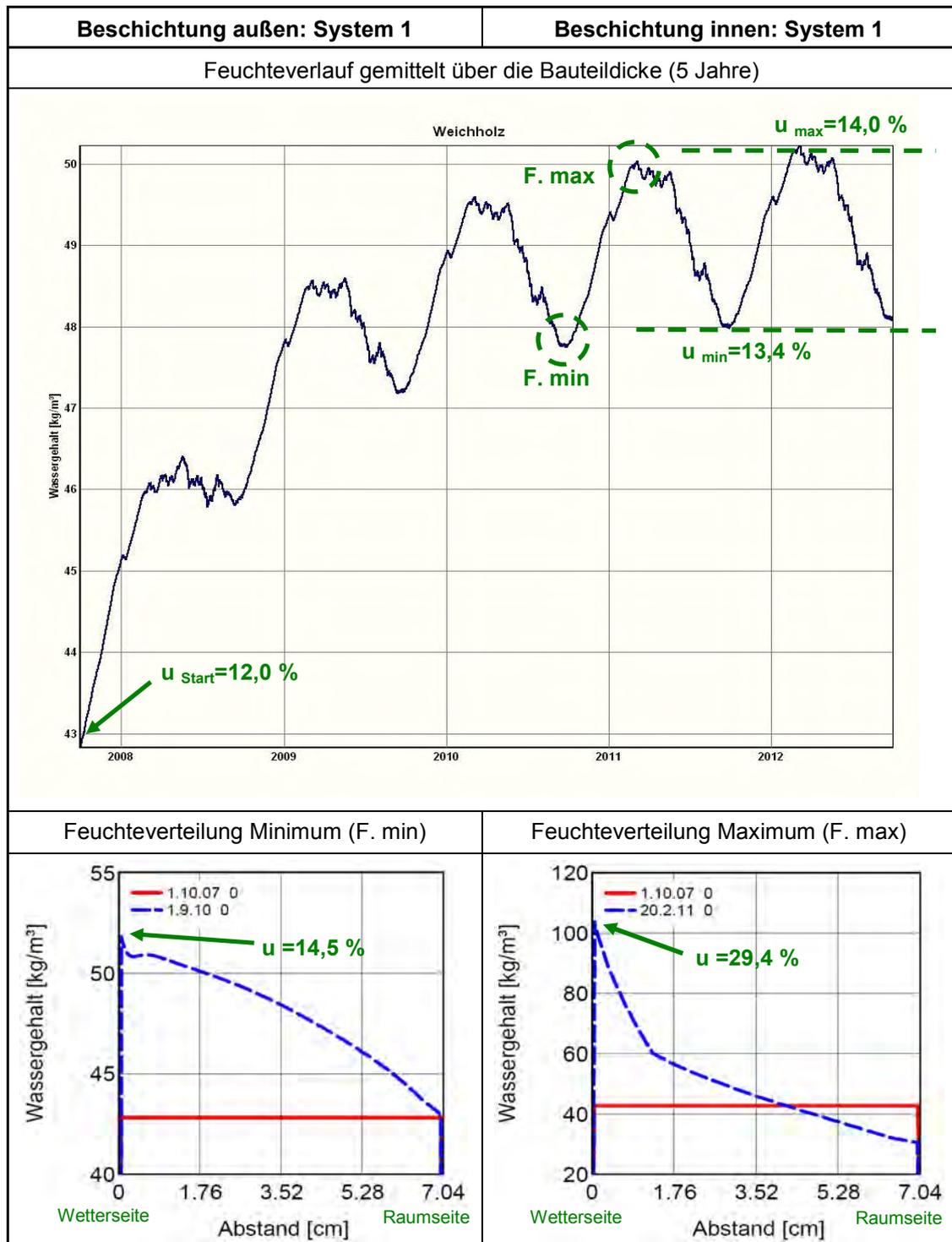




Tabelle 26 Simulation Variante S2/L

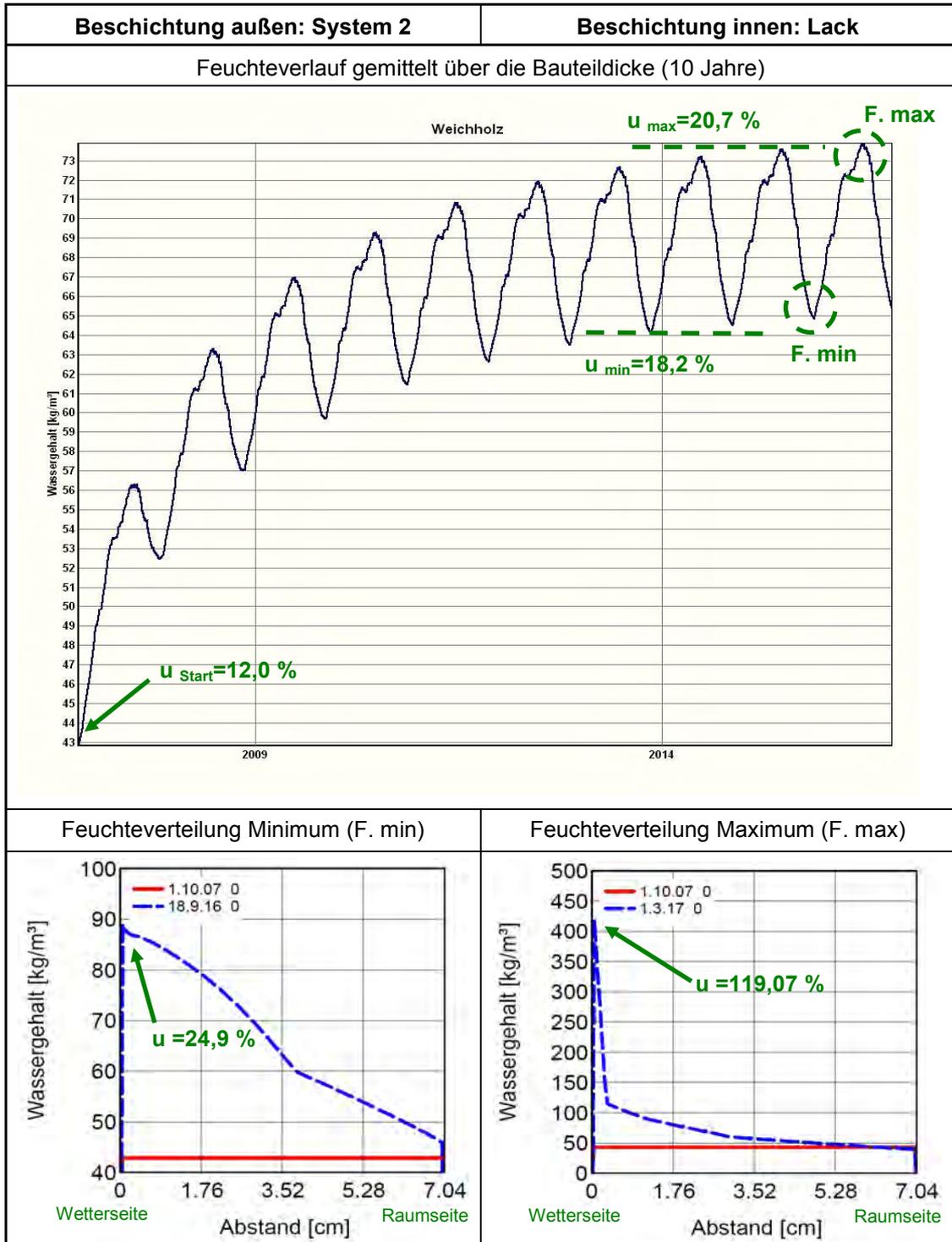
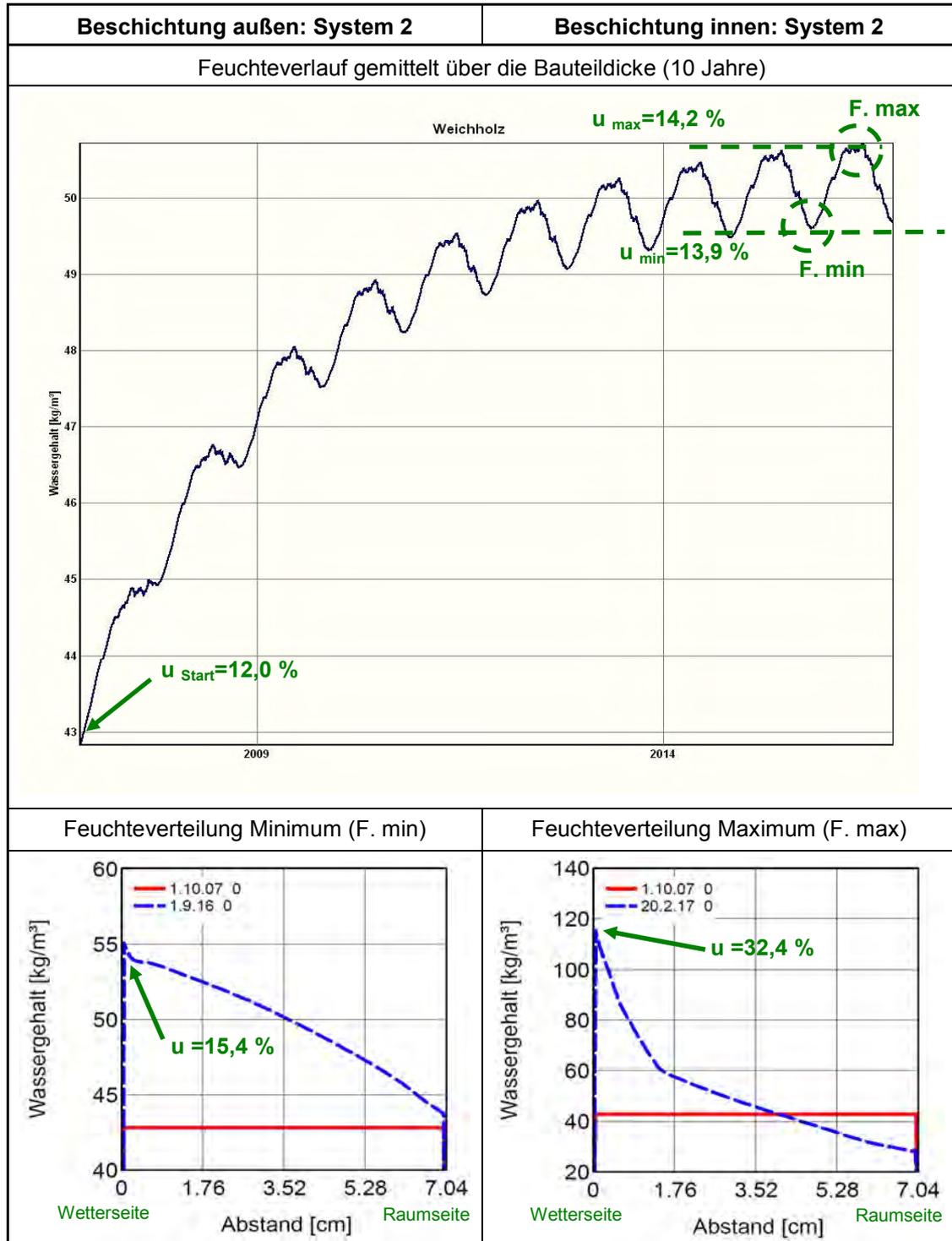


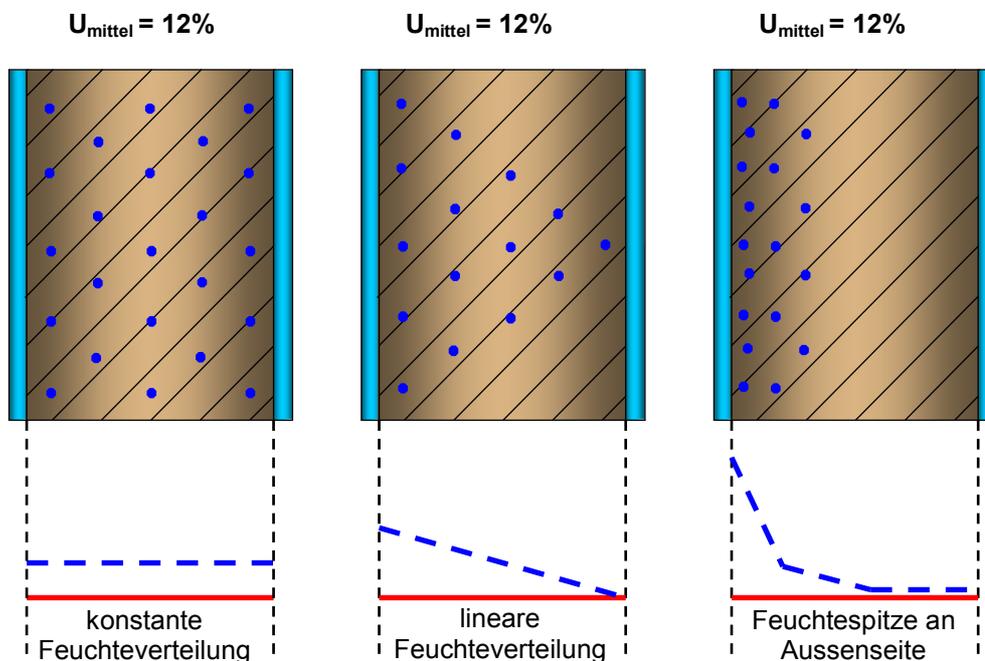
Tabelle 27 Simulation Variante S2/S2



### 6.3.3 Zusammenfassung Diffusionsverhalten

Bei allen untersuchten Konstruktionen stellt sich die Feuchteentwicklung bei reiner Betrachtung des über die Bauteildicke gemittelten Verlaufs als relativ unkritisch dar. Werden hingegen auch die auftretenden Feuchtespitzen betrachtet, die besonders unterhalb sehr diffusionsdichter Beschichtungen auf der Wetterseite auftreten können, muss diese Aussage relativiert werden.

Abbildung 63 zeigt realistische Möglichkeiten der Feuchteverteilung innerhalb eines Bauteilquerschnitts. Bei den untersuchten Varianten stellt sich jeweils am Höhepunkt der über die Bauteildicke gemittelten Feuchte eine Feuchtespitze unterhalb der Beschichtung auf der Wetterseite ein. Die Holzfeuchte in diesem lokal begrenzten Bereich liegt zum Teil weit höher als die zum selben Zeitpunkt über die Bauteildicke gemittelte Feuchte. Bei der weiteren Auswertung wurden deshalb vor allem diese lokal im Bauteil auftretenden Feuchtespitzen bewertet.



**Abbildung 63** Möglichkeiten der Feuchteverteilung im Bauteil

Zur genaueren Betrachtung wurde für die jeweiligen Beschichtungsvarianten ermittelt, für welche Zeiträume bestimmte Holzfeuchten lokal im Bauteil überschritten wurden. Betrachtet wurde dabei je ein Jahr des Feuchteverlaufs (siehe Abbildung 64). Unter den angenommenen Randbedingungen kam es bei den Beschichtungsvarianten S1/L (Tabelle 24) und S2/L (Tabelle 26), bei denen auf der Wetterseite eine Folie und auf der Raumseite eine Lackbeschichtung simuliert wurde, zu mehrwöchigen, lokalen Auffeuchtungen im Holz oberhalb des Fasersättigungsbereiches. Ist also die Beschichtung auf der Wetterseite wasserdampfdichter als auf der Raumseite, kann es bei ungünstigen klimatischen Verhältnissen (hohe Raumluftfeuchten) zu lang anhaltenden Auffeuchtungen kommen, die das Risiko einer Holzzerstörung durch Pilzbefall zur Folge haben könnten.

Die beiden Beschichtungsvarianten S1/S1 (Tabelle 25) und S2/S2 (Tabelle 27) mit Folien auf Außen- und Raumseite führten ebenfalls zu mehrwöchigen Auffeuchtungen. Diese lagen jedoch nur kurzzeitig nahe der für holzzerstörende Pilzbildung kritischen Holzfeuchte von 30 %. Kommen hier noch zusätzliche Auffeuchtungen durch Beschädigungen oder kapillare Wasseraufnahme hinzu besteht auch bei diesen Beschichtungsvarianten ein gewisses Risiko von Folgeschäden. Daher kommt dem konstruktiven Holzschutz eine besonders wichtige Rolle zu, um Wassereintritt von außen zu verhindern.

Die zumeist auch in der Praxis verwendete Beschichtungsvariante L/L (Tabelle 21) mit Lack auf Wetter- und Raumseite führte zwar zu mehrwöchigen Feuchtespitzen im Bereich von 20 %, sie zeigt insgesamt aber ein relativ ausgewogenes Feuchteverhalten. Wie auch aus der Praxis bekannt, kommt es hier hauptsächlich durch Schäden in der Beschichtung zu kapillaren Wassereintritt in die Konstruktion. Schäden, deren Ursache auf ungeeignetes Diffusionsverhalten zurückzuführen ist, sind derzeit nur Ausnahmefälle.

Da lackierte Fenster auf der Wetterseite (abhängig der Einbausituation) spätestens alle fünf bis zehn Jahre einen Renovierungsanstrich erhalten (sollten) steigt bei lackierten Fenstern die Dicke und somit auch die Wasserdampfdichtheit im Laufe der Jahre an. Die Beschichtungsvariante LR/L (Tabelle 23) mit Lackschicht auf der Raumseite und einer dickeren Lackschicht auf der Wetterseite simuliert diesen Fall. Die Auswertung zeigt, dass sich eine zunehmende Vergrößerung der Abdichtung auf der Wetterseite negativ auf die Feuchteentwicklung auswirkt. Bei weiteren Renovierungsanstrichen wird sich diese Variante immer mehr der Variante S1/L annähern.



Die Auswertung der Variante Lack auf der Wetterseite, Folie auf der Raumseite L/S1 (Tabelle 22) zeigt, dass sich der Grundsatz „innen dichter als außen“ untermauern lässt. Lediglich auf der Raumseite eine Folie zu applizieren, ist jedoch aus fertigungstechnischer Sicht nicht die optimale Lösung. Eine praktische Anwendung wäre jedoch z. B. der Einsatz einer Folie als Grundierung auf der Raumseite innerhalb einer Holz-Alu-Konstruktion.

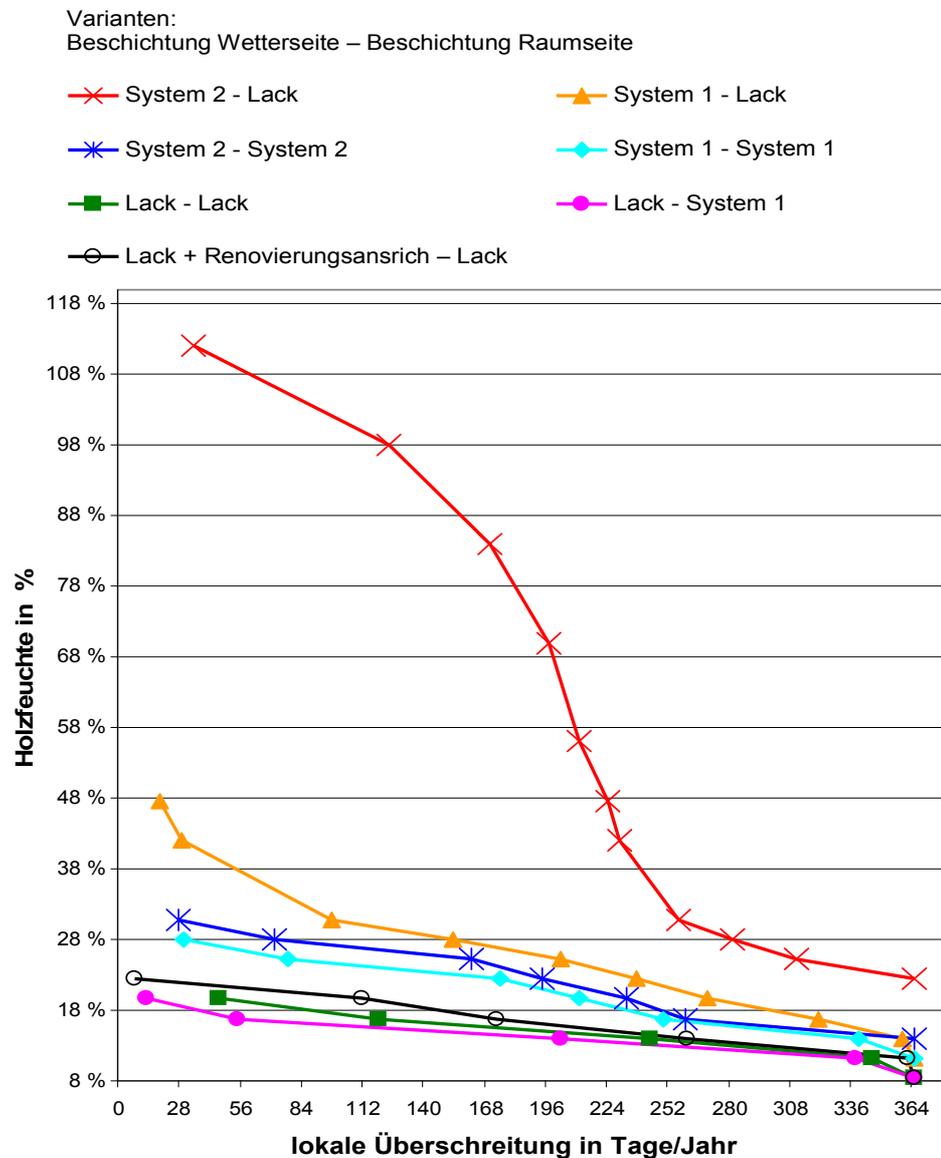


Abbildung 64 lokale Überschreitung der Holzfeuchte

Zur Erklärung der Ergebnisse bleibt anzumerken, dass es sich bei der Simulation um ein Worst-Case-Szenario handelt. Die durchgeführte Simulation entspricht zudem nur bedingt der Situation eines Blend- oder Flügelrahmenquerschnitts einer Fensterkonstruktion. Hier kommt es zu zahlreichen weiteren Einflüssen wie z. B. Falzgeometrien, Kombination mit anderen Materialien, Feuchte im Falzraum etc., die durch eine eindimensionale Simulation nicht abgebildet werden können.

Eine genauere Betrachtung der Feuchtesituation am Bauteil wäre durch eine zweidimensionale Simulation z. B. mit einer weiterentwickelten Version der WUFI® Software möglich. Dies stellt jedoch eine drastische Erhöhung an Komplexität und Aufwand dar und war im Rahmen der Forschungsarbeit nicht zu leisten. Bei derartigen Berechnungen können jedoch auch nicht alle am Fenster vorkommenden Parameter einbezogen werden, deshalb kann ebenfalls nur in Annäherung das Verhalten in der Praxis wiedergegeben werden. So kann z.B. die Belüftung des Falzraumes nach außen nicht realistisch berechnet werden, obwohl hierbei Einflüsse auf das feuchtetechnische Verhalten zu erwarten sind.

Im Rahmen des Forschungsprojekts „Grundlagen zur Entwicklung einer neuen Holzfenstergeneration“ [22] [23] wird derzeit von der Holzforschung Austria (HFA) die Problematik der Feuchtediffusion intensiv untersucht. Der Abschluss des Vorhabens ist ab Herbst 2008 zu erwarten. Zur Vermeidung von Doppelforschung soll im Rahmen dieses Forschungsprojektes hierauf nicht näher eingegangen werden, sondern die Erkenntnisse der laufenden Forschungsarbeit abgewartet werden. Die bisher veröffentlichten Ergebnisse entsprechen jedoch weitgehend den Erkenntnissen der eindimensionalen Simulationen:

*„... Generell wurde festgestellt, dass die Belastung auf der Innenseite der äußeren Beschichtung teilweise hoch ist, dies allerdings durch die Applikation einer diffusionsoffeneren Beschichtung außen verhältnismäßig einfach in den Griff zu bekommen ist. Es besteht die Möglichkeit, durch geeignete feuchteschutztechnische Maßnahmen die aufkommende Feuchtigkeitsmenge günstiger, das heißt gleichmäßiger über den Profilquerschnitt zu verteilen. ....“[24]*



In der Praxis treten noch zahlreiche weitere Einflussparameter bei Fensterelementen auf, die unter anderem Auswirkungen auf das feuchtetechnische Verhalten haben. Viele dieser Parameter lassen sich weder mit rechnergestützten Simulationen, noch mit Laborversuchen vollständig nachbilden. Dazu gehören z. B.

- Einbaulage und bauliche Situation,
- Unterschiede in der Holzqualität,
- Vorschäden an den verwendeten Holzchargen,
- Nutzungsgewohnheiten,
- Beschädigungen der Oberflächenbeschichtung,

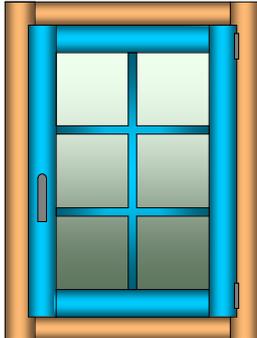
Der Einfluss solcher Parameter wäre nur durch eine praktische Überprüfung der Ergebnisse im Rahmen einer Langzeitbetrachtung möglich. In umfangreichen und langjährigen Betrachtungen könnten Erkenntnisse gewonnen werden, mit denen sich die Praxisrelevanz von simulierten Situationen überprüfen lässt. Im Rahmen dieser Forschungsarbeit waren jedoch keine weiteren Betrachtungen möglich.

#### 6.4 Zusammenfassung Einzelteil

Eine Beschichtung am Stab ist mit unterschiedlichen Verfahren praktisch umsetzbar. Einzelteilbeschichtung ist bei profilierten Teilen sehr aufwendig bzw. rationell schwer umsetzbar. Eine Beschichtung am Fenster ist nach derzeitigem Kenntnisstand kaum umsetzbar. Herkömmliche Fensterprofile sind für die Folienbeschichtung weitgehend ungeeignet.

Bei der Folierung von komplizierten Profilgeometrien müssen, abhängig vom Foliensystem und dem Fertigungsverfahren, bestimmte überwiegend geometrische Konstruktionsprinzipien beachtet werden. Für eine rationelle Folienbeschichtung von Fenstern ist eine diesbezüglich optimierte Profilgeometrie empfehlenswert.

Bei unbeschädigten, beidseitig ähnlich diffusionsdicht folierten Teilen sind keine signifikanten Auffeuchtungen zu erwarten. Folienoberflächen können funktionieren, wenn Konstruktionsmerkmale beachtet werden.



## 7 Fenster

Beim Fenster werden die einzelnen Rahmenteile verbunden und mittels weiterer Bauteile wie Beschläge, Glas und Dichtungen das fertige Produkt erstellt. Den festen und dichten Rahmenverbindungen kommt in diesem Zusammenhang für den späteren Nutzungszeitraum höchste Bedeutung in Bezug auf die Dauerhaftigkeit zu. Daher wurde der Schwerpunkt im folgenden Kapitel auf die verschiedenen Konzepte der Rahmenverbindungen und deren Untersuchung gelegt.

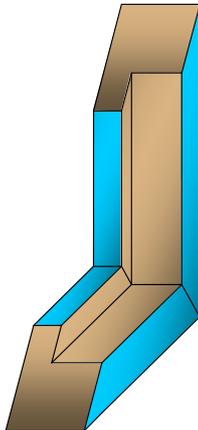


## 7.1 Rahmeneckverbindungen / Abdichtungsvarianten

### 7.1.1 Fertigungstechnische Betrachtung

In diesem Kapitel soll auf die konstruktive Umsetzung der Folienbeschichtungen am Fenster eingegangen werden (siehe auch Anhang 1; Teilbericht Hochschule Rosenheim – Verfahrensparameter und Fertigungstechnik). Im Speziellen soll zunächst die Ausführung der Folienstöße untersucht werden, die an der Rahmeneckverbindung entstehen. Wie bei herkömmlichen Oberflächenbeschichtungen auch, sind diese Stellen als besonders kritisch anzusehen, da hier oftmals der Ausgangspunkt für Holzzerstörungen zu finden ist. Ziel ist es verschiedene Varianten aufzustellen und theoretisch zu bewerten. Die Ausführung des Folienstoßes kann grundsätzlich in zwei Konzepte (Konzept A und B) eingeteilt werden, in welchen sich ebenfalls zwei unterschiedliche Fertigungskonzepte bzw. Rahmeneckverbindungen wiederfinden:

#### Konzept A – Gehrungsverbindung / Folierung von Stangenware



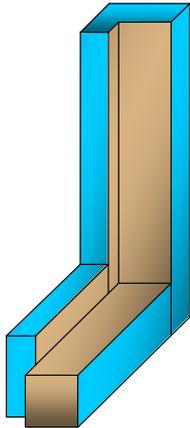
Vorteile:

- Profilierung kann am Stangenprofil problemlos vorgefertigt werden
- Möglichkeit einer rationellen Durchlauffertigung
- Beschichtung evtl. über Systemgeber

Nachteile:

- Fräs- und Schnitтарbeiten an fertig beschichteten Teilen
- Verbindungen müssen besonders genau gefertigt werden (geringe Toleranzen)
- Gehrungsverbindung kann bei Schwankungen der Holzfeuchte zu offenen Verbindungen oder verzogenen Profilen führen

### Konzept B – Konterverbindung / Einzelteilerfertigung



#### Vorteile:

- Toleranzen in der Maßgenauigkeit der Verbindung sind leichter zu kompensieren
- Hirnholzbereiche bzw. Verbindungsbereiche können mitbeschichtet und somit geschützt werden
- Bearbeitung ist bei der Folierung bereits abgeschlossen

#### Nachteile:

- Höhere Taktzeiten durch langsameren Fertigungsprozess
- Aufwändige Prozesstechnik zur dreidimensionalen Folienbeschichtung
- Klebung der Rahmeneckverbindung muss zumindest teilweise auf der Folienoberfläche erfolgen



### 7.1.2 Abdichtungsvarianten

Zur Beurteilung der für die Konzepte A und B möglichen Abdichtungsvarianten wurde ein Bewertungssystem erstellt. In Tabelle 28 sind die einzelnen Aspekte der Bewertung und die jeweilige Untergliederung dargestellt.

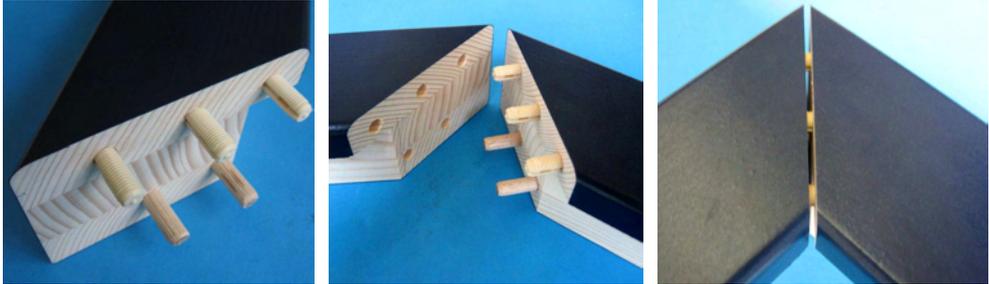
**Tabelle 28** Bewertungsaspekte für Abdichtungsvarianten

Bewertungsaspekte		Erläuterung
Fertigungstechnik	Prozessgeschwindigkeit	Taktzeiten bei der Folierung
	Klebstoffauftrag	Auftragsverfahren, manueller oder automatisierter Auftrag
	Anlagenkomplexität	Technischer Aufwand der Beschichtungsanlage
	praktische Umsetzung	Machbarkeit bzw. Realisierung der Variante
Konstruktion	Kompensation von Fertigungstoleranzen	Auswirkungen von Toleranzen durch Verbindungsmittel oder Maßabweichungen
	Kompensation von Quell- und Schwindbewegungen	Auswirkungen von Maßänderungen der Holzquerschnitte
Montage	zusätzlicher Mehraufwand	zeitlicher Mehraufwand durch zusätzliche Arbeitsschritte
	manuelle Nachbearbeitung	nicht automatisierbare Arbeitsschritte
Optik	Beeinträchtigung von Folie bzw. Dekor	farbliche oder gestalterische Auswirkungen
	Anfälligkeit für Beschädigungen der Folie	Mögliche Beschädigungen oder Veränderungen der Folienoberflächen
Nachhaltigkeit	Witterungsbeständigkeit	Dauerhaftigkeit der Abdichtung unter Bewitterung
	Pflege	Möglichkeit und Aufwand von Instandhaltung und Pflege
	Reparaturmöglichkeiten	Möglichkeit und Aufwand von Instandsetzungsmaßnahmen

Aus der Bewertung zahlreicher Varianten und Kombinationen wurden je Fertigungskonzept die vier aussichtsreichsten Varianten ausgewählt. Mit Hilfe einer vereinfachten Rahmenkonstruktion wurden diese Varianten angefertigt bzw. bei der Montage der Rahmen angewendet. Sämtliche Probekörper wurden dabei mit Foliensystem 1 beschichtet. Ziel dabei war es, die praktische Umsetzung der jeweiligen Varianten zu untersuchen und dadurch den Praxis-

bezug zu beurteilen. In Tabelle 29 und Tabelle 30 sind die Konstruktionsdetails und die zugehörige Beurteilung der Herstellung tabellarisch dargestellt.

**Tabelle 29** Abdichtungsvarianten Gehrungsverbindung

Konzept A – Gehrungsverbindung		
		
Variante	Details	Beurteilung Herstellung
PVAc-Klebstoff	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Klebung von Dübelverbindung und Fügefläche mit Standard-PVAc-Klebstoff</li> <li>– keine gesonderte Abdichtung des Folienstoßes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– unkomplizierte Montage</li> <li>– einfache Reinigung von überschüssigen Klebstoffresten</li> </ul>
PUR-Klebstoff	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Klebung von Dübelverbindung und Fügefläche mit PUR-Klebstoff</li> <li>– Benetzung der Fügefläche der Folie mit PUR-Klebstoff</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Dosierung Klebstoffmenge relativ schwierig</li> <li>– überschüssige Klebstoffreste können kaum entfernt werden</li> </ul>
PVAc-Klebstoff + Klebeband	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Klebung von Dübelverbindung und Fügefläche mit Standard-PVAc-Klebstoff</li> <li>– Abdichtung des Folienstoßes nach erfolgter Klebung mittels eines witterungsbeständigen Klebebands</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– zunächst unkomplizierte Klebung</li> <li>– sehr zeitaufwendige manuelle Aufbringung des Klebebands</li> </ul>
PVAc-Klebstoff + Hirnholzschutzmittel	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Behandlung der Hirnholz-bereiche mit Hirnholzschutzmittel</li> <li>– Klebung von Dübelverbindung und Fügefläche mit Standard-PVAc-Klebstoff</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– nach Behandlung mit Hirnholzschutz Trockenzeit nötig</li> <li>– unkomplizierte Klebung</li> </ul>



**Tabelle 30** Abdichtungsvarianten Konterverbindung

Konzept B – Konterverbindung		
Variante	Details	Beurteilung Herstellung
PVAc-Klebstoff	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Klebung von Dübelverbindung und Holzfügefläche mit Standard-PVAc-Klebstoff</li> <li>– keine gesonderte Abdichtung des Folienstoßes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– unkomplizierte Montage</li> <li>– einfache Reinigung von überschüssigen Klebstoffresten</li> </ul>
PUR-Klebstoff	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Klebung von Dübelverbindung und Fügeflächen mit PUR-Klebstoff</li> <li>– Abdichtung der folienbeschichteten Fügeflächen mit PUR-Klebstoff</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Dosierung Klebstoffmenge relativ schwierig</li> <li>– überschüssige Klebstoffreste können kaum entfernt werden</li> </ul>
PVAc-Klebstoff + Klebeband	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Klebung von Dübelverbindung und Holzfügefläche mit Standard-PVAc-Klebstoff</li> <li>– Abdichtung der Brüstungsfuge nach erfolgter Klebung mittels eines witterungsbeständigen Klebebands</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– zunächst unkomplizierte Klebung</li> <li>– sehr zeitaufwendige manuelle Aufbringung der Tapes</li> </ul>
PVAc-Klebstoff + Fugensiegel	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Klebung von Dübelverbindung und Holzfügefläche mit Standard-PVAc-Klebstoff</li> <li>– Abdichtung der Brüstungsfuge nach erfolgter Klebung mittels Fugensiegels</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– zunächst unkomplizierte Klebung</li> <li>– Dosierung Fugensiegel relativ schwierig (Nachsinken)</li> <li>– Fugensiegel setzt sich optisch ab</li> </ul>

### 7.1.3 Zusammenfassung Abdichtungsvarianten

#### Konzept A – Gehrungsverbindung

Die Fertigung der Rahmen mit Gehrungsverbindung war grundsätzlich von der Anfertigung und der Montage unproblematisch. Es zeigte sich jedoch, dass an den Gehrungsstößen Versätze unvermeidbar waren. Dies führte dazu, dass an den Folienstößen durch Versätze von bis zu 0,4 mm bereichsweise offenes Hirnholz auftrat. Eine Nachbearbeitung bzw. Abtragung dieser Versätze ist wegen der bereits fertigen, folierten Oberfläche ausgeschlossen. Bei einer Fertigung solcher Verbindungen im Industriemaßstab ist eine Reduzierung dieser Toleranzen durch höhere Fertigungsgenauigkeit möglich. Eine vollständige Kompensation solcher Abweichungen erscheint bei der Gehrungsverbindung jedoch schwer möglich.

Während sich die Klebung mit PVAc-Klebstoff als unproblematisch erwies, stellte sich die Verwendung von PUR-Klebstoff als schwierig dar. Problematisch waren die Dosierung des leicht aufschäumenden Klebstoffs sowie überschüssige Klebstoffreste, die beim Fügen und Pressen der Rahmen auf die Folienoberfläche austraten. Diese waren kaum von der Folienoberfläche zu entfernen.

Die Verwendung eines transparenten Klebebands zur Abdichtung der Rahmeneckverbindung stellte sich wegen der schwierigen Formanpassung des Klebebandes als sehr aufwendig in der Anwendung dar. Unter gestalterischen Gesichtspunkten war eine Abdichtung der Verbindung möglich. Das transparente Tape war bei genauerer Betrachtung zwar erkennbar, störte jedoch kaum den Gesamteindruck der Rahmeneckverbindung.

Eine Applizierung von Hirnholzschutzmittel auf die unbeschichteten Hirnholzbereiche war ohne großen Aufwand möglich. Vor der Weiterverarbeitung musste jedoch eine 24-stündige Trockenzeit eingehalten werden.



### **Konzept B – Konterverbindung**

Die Fertigung der Rahmen mit Konterverbindung war in Bezug auf Anfertigung und Montage unproblematisch. Durch die gerundete Brüstungsfuge wurden Fertigungstoleranzen optisch weitgehend kompensiert. Durch die Flächenführung der Konterverbindung war zudem eine sehr exakte Fertigung und Montage der Rahmen möglich. Da der Falz zur Vereinfachung der Fertigung erst nach erfolgter Folienbeschichtung gefräst wurde, blieb auch am Gegenstück die entsprechende Stoßfläche unbeschichtet.

Auch bei der Konterverbindung erwies sich die Klebung mit PVAc-Klebstoff als unproblematisch. Anzumerken ist jedoch, dass dieser lediglich auf die unbeschichteten Bereiche aufgetragen wurde.

Die Verwendung von PUR-Klebstoff stellte sich schwierig dar. Überschüssige Klebstoffreste wurden zwar durch die Brüstungsfuge nicht so auffällig, ließen sich jedoch auch schwierig entfernen. Vorteil war hierbei, dass der PUR-Klebstoff sowohl Bereiche mit rohem Holz als auch folierte Bereiche fest verbindet.

Die Verwendung eines transparenten Klebebands zur Abdichtung der Rahmeneckverbindung wurde durch die Ausbildung der Brüstungsfuge zusätzlich erschwert. Das transparente Tape stieß hier durch seine geringen Möglichkeiten zur Formanpassung an die Grenzen der Anwendbarkeit.

Eine Verwendung von Fugensiegel in den Brüstungsfugen war möglich. Durch das Nachsinken der Versiegelung während der Trocknung zeigte sich jedoch die Schwierigkeit einer korrekten Dosierung. Obwohl ein transparentes Fugensiegel gewählt wurde, setzte sich die Versiegelung besonders bei dunklen Folien optisch von der Folienoberfläche ab. Dies stellte einen optischen Makel der Abdichtungsvariante dar.

## 7.2 Witterungsbeständigkeit

### 7.2.1 Ziel der Untersuchung

Ziel der Untersuchung war es, die Witterungsbeständigkeit der in Kapitel 7.1 beschriebenen Rahmeneckverbindungen und die Funktion der jeweiligen Abdichtungsvarianten zu untersuchen. Da hiervon die größte Gefahr von Feuchteintritt in die Konstruktion ausgeht, ist es wichtig die Konstruktionen diesbezüglich zu überprüfen.

### 7.2.2 Durchführung

Die angefertigten Rahmen wurden mit ebenfalls folienbeschichteten Füllungen versehen, welche mit Dichtstoff an den Rahmen entsprechend einer Verglasung angebunden wurden. Zur Überprüfung der Witterungsbeständigkeit wurde eine künstliche Bewitterung durchgeführt. Die Probekörper durchliefen dabei 20 Belastungszyklen. Die Zyklen setzten sich aus jeweils 8 Stunden Bestrahlung mit UV-Licht (Oberflächentemperatur 60 – 80 °C), gefolgt von acht Stunden Beregnung mit kaltem Wasser und einer darauffolgenden 8-stündigen Rekonditionierung bei Raumtemperatur zusammen (siehe Abbildung 65 und Abbildung 66). Beurteilt wurden dabei das Verhalten sämtlicher Folienoberflächen und die Entwicklung der Rahmeneckverbindungen. Zudem wurde die Feuchteentwicklung im Bereich der Rahmeneckverbindung durch Integration von Feuchtesensoren untersucht.



**Abbildung 65** Bestrahlung mit UV-Licht



**Abbildung 66** Beregnung mit Wasser



### 7.2.3 Ergebnisse

#### Konzept A – Gehrungsverbindung

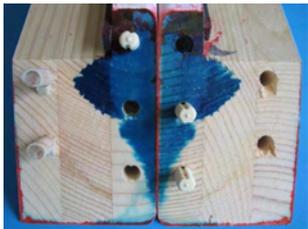
Durch das an den Versätzen in die Rahmeneckverbindung eindringende Wasser kam es zu erhebliche Quell- und Schwindbewegungen im Verlauf der Bewitterung. Der Großteil der Fügstellen der Rahmeneckverbindung öffnete sich bereits nach ca. 5 Zyklen (siehe Abbildung 67). Äußerlich war dabei kein Unterschied zwischen den verschiedenen Abdichtungsvarianten zu erkennen.

Grund hierfür sind Quell- und Schwindbewegungen der Rahmenteile, besonders in der Breite. Daraus resultiert eine Veränderung des Gehrungswinkels. Dies hat bei Profilen mit anderen Abmessungen und Längen häufig ein Verziehen der einzelnen Rahmenteile zur Folge. Da bei den Versuchsprobekörpern sehr massive Querschnitte und Längen von lediglich 40 cm zur Anwendung kamen, wurden die in dem hygroskopischen Verhalten des Holzes begründeten Spannungen durch Öffnung der Gehrungsfugen abgebaut.

Im Bereich der Rahmeneckverbindung kam es zu Auffeuchtungen bis oberhalb des Fasersättigungsbereichs. Keine der untersuchten Abdichtungsvarianten konnte eine Feuchteaufnahme in großen Mengen verhindern. Es kam jedoch trotz der erheblichen Auffeuchtungen zu keinen Ablösungen der Folienbeschichtung. Das verwendete Foliensystem 1 zeigte ein sehr gutes Nasshaftungsverhalten.



Abbildung 67 Öffnung der Gehrungsfuge

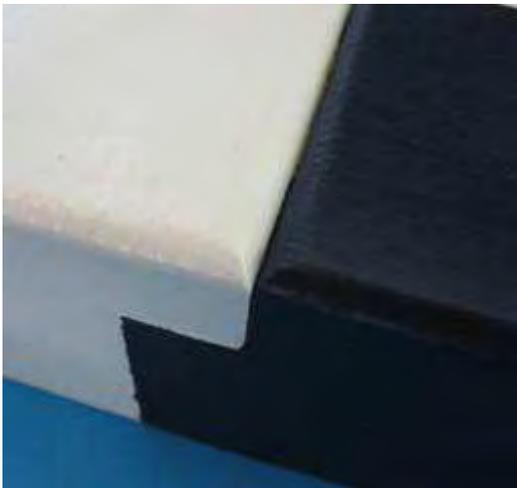
Konzept A – Gehrungsverbindung		
Variante	Beurteilung	Foto
PVAc-Klebstoff	<ul style="list-style-type: none"> <li>– bereits im Eingangszustand undichte Gehrungsfuge (blaues Penetrationsmittel)</li> <li>– keine Abdichtung vorhanden</li> <li>– starke Auffeuchtung</li> </ul>	
PUR-Klebstoff	<ul style="list-style-type: none"> <li>– bereits im Eingangszustand undichte Gehrungsfuge (blaues Penetrationsmittel)</li> <li>– verbesserte Abdichtung gegenüber Variante PVAc</li> <li>– starke Auffeuchtung</li> </ul>	
PVAc-Klebstoff + Klebeband	<ul style="list-style-type: none"> <li>– bereits im Eingangszustand undichte Gehrungsfuge (blaues Penetrationsmittel)</li> <li>– gering verbesserte Abdichtung gegenüber Variante PVAc</li> <li>– starke Auffeuchtung</li> </ul>	
PVAc-Klebstoff + Hirnholzschutzmittel	<ul style="list-style-type: none"> <li>– durch das Hirnholzschutzmittel konnte im Vergleich zur Variante PVAc keine Verbesserung der Abdichtung erreicht werden</li> <li>– starke Auffeuchtung</li> </ul>	



### Konzept B – Konterverbindung

Die in der Bewitterung stehenden Rahmeneckverbindungen blieben optisch geschlossen. Es kam lediglich zu geringfügigen Öffnungen der Brüstungsfugen, die sich jedoch wegen der auch an den Hirnholzbereichen der Wetterseite vorhandenen Folienbeschichtung in Grenzen hielten. An den seitlichen Kanten der Rahmeneckverbindung kam es durch Quell- und Schwindbewegungen zu leichten Versätzen und geringfügigen Öffnungen.

Im Bereich der Rahmeneckverbindung entstanden Auffeuchtungen bis über den Fasersättigungsbereich. Keine der untersuchten Abdichtungsvarianten konnte eine Feuchteaufnahme in großen Mengen verhindern. Vermutlich war hierfür kapillarer Wassertransport durch die im Falzbereich unbeschichteten Bereiche verantwortlich. Jedoch kam es trotz der erheblichen Auffeuchtungen nicht zu Ablösungen der Folienbeschichtung. Das verwendete Foliensystem 1 zeigte ein sehr gutes Nasshaftungsverhalten.



**Abbildung 68** Konterverbindung nach Bewitterung

Konzept B – Konterverbindung		
Variante	Beurteilung	Foto
PVAc-Klebstoff	<ul style="list-style-type: none"> <li>– bereits im Eingangszustand unzureichende Abdichtung der unbeschichteten Bereiche (blaues Penetrationsmittel)</li> <li>– Abdichtung der Brüstungsfuge auch nach Bewitterung intakt (rotes Penetrationsmittel)</li> <li>– Auffeuchtung über unbeschichtete Bereiche</li> </ul>	
PUR-Klebstoff	<ul style="list-style-type: none"> <li>– verbesserte Abdichtung gegenüber Variante PVAc besonders an den unbeschichteten Bereichen</li> <li>– Klebung auch an folierten Flächen</li> <li>– Auffeuchtung durch Kapillarfugen</li> </ul>	
PVAc-Klebstoff + Klebeband	<ul style="list-style-type: none"> <li>– verbesserte Abdichtung besonders an den unbeschichteten Bereichen</li> <li>– Brüstungsfuge ist dicht</li> <li>– Auffeuchtung durch Kapillarfugen</li> </ul>	
PVAc-Klebstoff + Fugensiegel	<ul style="list-style-type: none"> <li>– gering verbesserte Abdichtung gegenüber Variante PVAc</li> <li>– Auffeuchtung durch Kapillarfugen</li> </ul>	



#### 7.2.4 Zusammenfassung

Keine der untersuchten Abdichtungsvarianten konnte eine Auffeuchtung im Bereich der Rahmeneckverbindung verhindern.

Bei den angefertigten Abdichtungsvarianten der Gehrungsverbindung zeigten die Variante mit PUR-Klebstoffe sowie die Variante mit Klebeband Potential zur Verbesserung der Abdichtung. Durch die Öffnung der Gehrungsfuge bereits im Eingangszustand wurde eine funktionierende Abdichtung jedoch erheblich erschwert. Um der Gefahr einer kompletten Öffnung einer Rahmeneckverbindung auf Gehrung entgegenzuwirken, muss hier in hohem Maß auf die Fertigungsgenauigkeit sowie eine entsprechende Abdichtung geachtet werden.

Die angefertigten Varianten der Konterverbindung zeigten – abgesehen von der Klebung mit PVAc-Klebstoff – Potential zur Verbesserung der Abdichtung. Wegen der geringen Rücktrocknung durch die Folienbeschichtung ist die Aufnahme von flüssigem Wasser durch die Rahmeneckverbindung in jedem Fall zu vermeiden. Es wird deshalb empfohlen sämtliche Oberflächen der Hirnholzbereiche ebenfalls mit Folie zu beschichten.

### 7.3 Konstruktionsvarianten

Aufgrund der im Projektverlauf gesammelten Erkenntnisse sollten folienbeschichtete Musterfenster gefertigt werden. Da sich in allen bisherigen Betrachtungen grundsätzlich zwei unterschiedliche Fertigungskonzepte herauskristallisiert hatten wurden dabei ebenfalls die beiden Konzepte umgesetzt.

#### Konzept A – Gehrungsverbindung

Da der Projektpartner Holz Schiller bereits langjährige Erfahrung mit Folienbeschichtung an Holzfenstern besitzt, wurde hier auf ein vorhandenes Produkt zurückgegriffen. Zur Veranschaulichung der Konstruktionsvariante Gehrungsverbindung wurde ein Musterfenster aus der Serie Easy-Long-Life<sup>®</sup> hergestellt (siehe Abbildung 69). Das Fenster ist auf der Wetterseite mit einer Dekorfolie auf PVC-Basis beschichtet. Auf der Raumseite ist das massive Fichtenholz erkennbar, das mit einer Lasur beschichtet ist. Die Rahmeneckverbindung ist als Gehrungsverbindung ausgeführt. Genauere Konstruktionsdetails können im Rahmen dieses Abschlussberichts nicht veröffentlicht werden.



**Abbildung 69** Konstruktionsdetail Easy-Long-Life<sup>®</sup>-Fenster des Projektpartners Holz-Schiller



### Konzept B – Konterverbindung

Auf Basis einer Standard IV 68-Fensterkonstruktion wurde eine der Folienbeschichtung angepasste Konstruktion mit der Zielsetzung Einzelteilbeschichtung hergestellt (siehe Abbildung 70). Die Planung, die Anfertigung der Fensterprofile sowie die Endmontage der Fensterelemente erfolgte in enger Kooperation mit dem Projektpartner Bayerwald. Die Folienbeschichtung erfolgte im Technikum des Projektpartners BASF mittels der PermaSkin® Technologie. Besonderheit war die durch Bürsten strukturierte Holzoberfläche. Die Beschichtung mittels des Vakuumverfahrens ermöglichte eine exakte Abbildung der Holzoberfläche durch die Folienbeschichtung.



**Abbildung 70** Konstruktionsdetail Musterfenster mit PermaSkin® Folienbeschichtung des Projektpartners BASF

Innerhalb des Messeauftritts des **ift** Rosenheim auf der Messe „Saie Spring“ in Bologna im März 2008 wurde das Forschungsprojekt „Folienoberflächen im Fensterbau“ einer breiten Öffentlichkeit präsentiert (siehe Abbildung 71). Neben allgemeinen Projektinformationen wurden die für das Projekt hergestellten Musterfenster vorgestellt.



**Abbildung 71** Präsentation Forschungsprojekt  
Messe Saie Spring/Bologna



#### 7.4 Zusammenfassung Fenster

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass die Rahmenverbindungen der wesentliche Angelpunkt für ein dauerhaft funktionsfähiges Fenster ist. Die Gestaltung des Übergangs der Folien an der Verbindung und die Verbindungstechnik muss so gewählt werden, dass das darunter liegende Hirnholz nicht übermäßig aufweicht.

Mit den untersuchten Systemen konnte dies nicht sichergestellt werden. Für die zukünftige Entwicklungsarbeit sind hier Schwerpunkte zu setzen. Das Zusammenspiel von

- Fertigungstechnik,
- Verbindungstechnik,
- Abdichtungstechnik und
- Folienbeschichtung

ist für den Einsatz der Folientechnik bei äußerlich stark belasteten Fenstern genauer zu untersuchen und abzustimmen. Die ansatzweise positiven Ergebnisse beim Einsatz von Klebebändern zur Abdichtung sollten der Anstoß für weitere F&E-Bemühungen sein. Dabei könnten auch Entwicklungen auf dem Bekleidungssektor (siehe Abbildung 72) oder anderer Anwendungen berücksichtigt werden.



**Abbildung 72** Detail einer funktionellen Sportbekleidung: die Brusttasche und deren Reißverschluss sind mit einem aufgeklebten Formteil (grau) aus zweidimensional elastischem Material mit dem Stoff verbunden.

## 8 Verfahrensparameter und Fertigungstechnik

Die fertigungstechnische Betrachtung zur Thematik „Folienoberflächen im Fensterbau“ wurde durch die zweite Forschungsstelle Hochschule Rosenheim ausgeführt. Die Ergebnisse und Erkenntnisse dazu wurden in einem separaten Bericht zusammengefasst, welcher in Anhang 1 enthalten ist. Im Folgenden soll ein kurzer, stark zusammengefasster Überblick über die Bearbeitungsschwerpunkte und die wichtigsten Erkenntnisse gegeben werden.

### 8.1 Aufgabenstellung

Innerhalb des Projektes untersuchte die Hochschule Rosenheim die Folienbeschichtung von Holzfenstern hinsichtlich einer technischen und wirtschaftlichen Umsetzung.

### 8.2 Rahmenbedingungen

Aus einer grundsätzlichen Betrachtung und Erläuterung der zur Folienbeschichtung denkbaren Fertigungsprinzipien wurde zur detaillierteren Modellierung die Einzelteilmontage ausgewählt. Unterschieden wurde dabei als Applikationsverfahren der Einsatz einer stationären Presstechnologie nach dem Vakuumverfahren und die Durchlauffertigung mittels Rollenkaschierung.

Im Rahmen der Modellierung wurde zudem eine repräsentative Produktpalette ausgewählt die einen Großteil des Marktbedarfs abdeckt. Basis der Konstruktion der entsprechenden Einzelteile waren dabei den speziellen Anforderungen der Folienbeschichtung angepasste IV68-Profilgeometrien. Für die Rahmeneckverbindungen wurde dabei die Konterverbindung mit Dübeln oder einem mechanischen Verbindungssystem angenommen. Ebenso wurden Abmessungen und Farbauswahl festgelegt, um die Modellierungsparameter einzuschränken.

### 8.3 Umsetzung

Innerhalb der jeweiligen Konzepte stationäre Beschichtung und Durchlauffertigung wurde der genaue Produktionsablauf festgelegt. Besondere Betrachtung fand dabei in beiden Fertigungskonzepten neben der Längsbeschichtung der Einzelteile auch die Beschichtung der entsprechenden Hirnholzbereiche innerhalb der Rahmeneckverbindung.



Bei der Ermittlung der technischen Kennzahlen wurden die verfügbaren Maschinendaten auf die modifizierten Anlagen übertragen. Anhand dieser Grundlagen wurden hinsichtlich der Produktionskapazität und Fertigungszeit von beiden Verfahren Kenndaten ermittelt. Im Rahmen einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wurden die gewonnenen Plandaten der beiden Folienbeschichtungsverfahren mit Basisdaten einer Nasslackierung verglichen. Dazu wurden sämtliche fertigungsrelevanten variablen und fixen Kosten mitbetrachtet und bis auf die Ebene der Einzelteile umgelegt.

#### 8.4 Ergebnisse

Die Untersuchungen zeigten, dass eine Folienbeschichtung von einzelnen Rahmenteilen in zwei Durchgängen möglich ist. Dazu nötig ist jedoch eine Vereinfachung der herkömmlichen Profilgeometrien sowie eine teilweise Verlagerung profilgebender Arbeitsschritte innerhalb des Fertigungsablaufs. Da die Beschichtung einer Schlitz- und Zapfenverbindung mit Folie an technische Grenzen stößt, ist zudem eine Vereinfachung der Rahmeneckverbindung in Form einer gedübelten Konterprofilierung oder eines mechanischen Verbindungssystems nötig.

Für die angenommenen Randbedingungen ergeben sich mit zunehmender Schichtleistung bei möglichst wenigen Farbwechseln deutliche Kostenvorteile für das Durchlaufverfahren mittels Rollenkaschierung. Das stationäre Verfahren erzielte im direkten Vergleich bei vielen Farbwechseln und gleichzeitiger hoher Anlagenauslastung punktuelle Kostenvorteile.

Unter den genannten Voraussetzungen ist die Folienbeschichtung von Holzfenstern aus fertigungstechnischer Sicht möglich. Die Rentabilität einer Folienbeschichtung ist jedoch stark vom zu produzierenden Teilespektrum bzw. den unterschiedlichen Profilgeometrien abhängig. Aussagen über die Rentabilität können also nur bedingt verallgemeinert werden und müssen für jeden speziellen Einzelfall separat betrachtet werden.

## 9 Nutzungsphase

Während der Nutzungsphase ist bei einer Oberflächenbeschichtung von Fensterelementen besonders die Pflege und Instandhaltung von Bedeutung. Ausschlaggebend hierfür sind die Punkte

- Reinigung,
- mechanische Belastbarkeit und
- Reparaturmöglichkeiten.

Daneben ist aber auch die Verwertung bzw. Entsorgung der Fensterelemente nach dem Ende der Nutzungsphase zu betrachten.

### 9.1 Reinigung

#### 9.1.1 Ziel der Untersuchung

Ziel der Untersuchung war es, Aussagen zur Verschmutzungsneigung und den möglichen Reinigungsverfahren zu gewinnen. Im Zuge von Pflege und Instandhaltung von Fenstern sind diese Punkte gerade für die Gebrauchstauglichkeit beim Endanwender wichtig.

#### 9.1.2 Durchführung

Bei durch Freibewitterung verschmutzten Probekörpern mit Folienbeschichtung wurden unterschiedliche praxisübliche Reinigungsmittel angewendet (siehe Abbildung 73). Untersucht wurden dabei die Qualität der Reinigung und mögliche Auswirkungen auf die Folienoberfläche (System 1 und 2).



**Abbildung 73** Untersuchungen zum Reinigungsverhalten

### 9.1.3 Ergebnisse

An den untersuchten Probekörpern der Freibewitterung konnte keine außergewöhnliche Verschmutzung festgestellt werden. Lösemittelhaltige Reinigungsmittel zeigten auf den untersuchten Folienoberflächen je nach Reinigertyp teils starkes Anlöseverhalten, Fleckenbildung oder Matteeffekte auf der Oberfläche. Lösemittelhaltige Reinigungsmittel scheinen grundsätzlich nicht geeignet zu sein. Die Verwendung von Reinigungsmitteln auf Wasser-/Tensidbasis zeigte durchwegs gute Reinigungswirkung ohne Veränderungen der Oberflächen.

### 9.1.4 Zusammenfassung

Die untersuchten Folienbeschichtungen zeigen keine erhöhte Neigung zu Verschmutzung. Eine Reinigung mit üblichen Reinigern auf Tensid-Basis ist möglich.

## 9.2 Beschädigung und Reparatur

### 9.2.1 Ziel der Untersuchung

Ziel der Untersuchung war es zum einen Aussagen über die mechanische Belastbarkeit von Folienbeschichtungen zu gewinnen und zum anderen Möglichkeiten der Reparatur von aufgetretenen Schäden zu untersuchen.

### 9.2.2 Durchführung

Folienbeschichteten Probekörpern wurden unterschiedliche Beschädigungen bzw. Abnützungen beigebracht, wie sie auch in der Praxis auftreten können (Einschnitte, Ablösungen, Einfräsungen, Hagelschlag etc.) (siehe Abbildung 74 bis Abbildung 77). Mittels unterschiedlicher Methoden wurde versucht die Schäden auszubessern. Die überarbeiteten Probekörper wurden der Freibewitterung ausgesetzt, um die Dauerhaftigkeit der Reparaturen zu überprüfen.

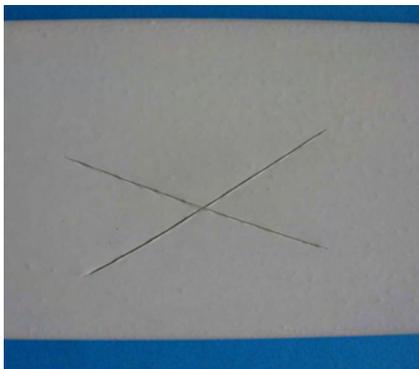


Abbildung 74 Einschnitte



Abbildung 75 Ablösungen



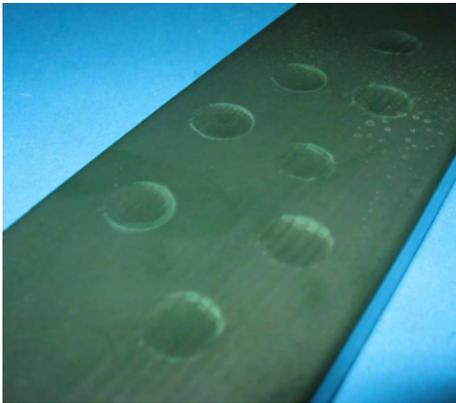
Abbildung 76 Einfräsung



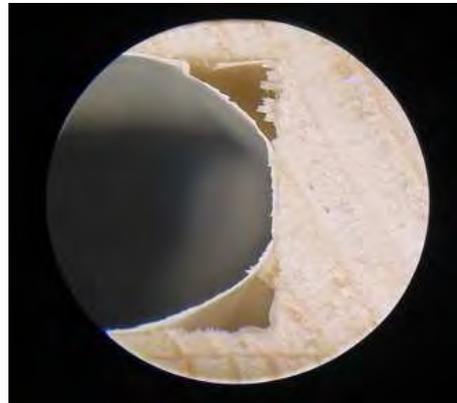
Abbildung 77 verschiedene Beschädigungen

### 9.2.3 Ergebnisse

Aufgrund der einheitlich dicken Beschichtung auch z. B. an Rundungen zeigen die untersuchten Folienoberflächen grundsätzlich einen guten Widerstand gegen mechanische Beschädigungen. Die hohe Elastizität der Folien gewährt auch bei stärkeren Belastungen (z. B. Hagelschlag) eine weiterhin geschlossene Oberflächenbeschichtung (siehe Abbildung 78). Gegenüber Verkratzen bieten die Folienoberflächen kaum Vorteile gegenüber herkömmlichen Oberflächenbeschichtungen. Die Empfindlichkeit dafür hängt aber von der jeweiligen Oberflächenbeschaffenheit und dem Glanzgrad ab. Anfällig für Beschädigungen sind besonders Bereiche an Innenkanten, in denen sich die Folien oftmals nicht bis in die Kanten hinein kleben lassen (siehe Abbildung 79). In Tabelle 31 ist eine Zusammenfassung von möglichen Schadensbildern und der zugehörigen Reparaturvorschläge angegeben. Die Erkenntnisse der Versuchsdurchführung sind darin bereits berücksichtigt.



**Abbildung 78** Beschädigung durch Hagelschlag



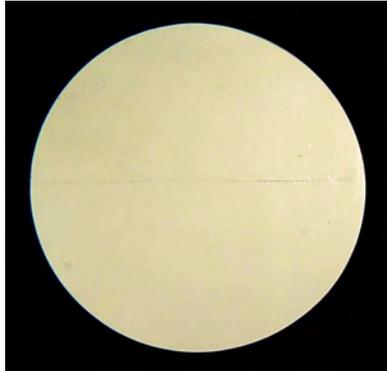
**Abbildung 79** Folien an Innenkanten

**Tabelle 31** Schadensbilder und zugehörige Reparaturmethoden

Schadensbild	Reparaturdetails	Erfolgsaussichten
<p>Verschmutzung</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verwendung von Reinigungsmitteln auf Tensid-Basis</li> </ul>	<p>Reinigung unproblematisch</p>
<p>Renovierungsanstrich</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Überstreichen der Folienoberflächen mit Flüssigbeschichtung</li> <li>• Abstimmung der Beschichtungssysteme nötig (Haftung)</li> </ul>	<p>Geschlossene Beschichtung und Übergänge zur Folie möglich</p>



Schadensbild	Reparaturdetails	Erfolgsaussichten
<p>leichte Oberflächenschäden</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• (wenn nötig) Auffüllen der Beschädigungen mit Reparaturmasse</li> <li>• Egalisieren der Oberfläche mit Ziehklinge</li> <li>• Politur mit anlösendem Glättmittel</li> <li>• Farbanpassung mit Lackstift oder -spray</li> </ul>	<p>Reparatur möglich, jedoch optische Veränderung im Umfeld des Schadens</p>
<p>Ablösungen, Blasen</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aufschneiden der betroffenen Bereiche</li> <li>• Neuverklebung der abgelösten Folie mit Sekundenklebstoff</li> <li>• Sofortige Reinigung von Klebstoffresten</li> <li>• weiteres Vorgehen wie bei leichten Oberflächenschäden</li> </ul>	<p>Reparatur möglich, jedoch optische Veränderung im Umfeld des Schadens</p>



Schadensbild	Reparaturdetails	Erfolgsaussichten
<p>Substanzschäden</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Entfernung der beschädigten Holz- und Folienbereiche</li> <li>• Auffüllen der Beschädigungen mit Reparaturmasse</li> <li>• Farbanpassung und Endversiegelung mit Lackstift oder -spray</li> </ul>	<p>Reparatur möglich, jedoch optische Veränderung im Umfeld des Schadens</p>



#### 9.2.4 Zusammenfassung

Eine Instandhaltung mit üblichen Reinigern auf Tensid-Basis ist möglich. Ein Überstreichen mit Flüssigbeschichtungen ist ebenfalls möglich. Hierzu ist jedoch eine Abstimmung der Lacke auf den Untergrund nötig. Eine Reparatur von leichten Oberflächenschäden, Ablösungen und Substanzschäden ist möglich, beinhaltet jedoch optische Einschränkungen. Für die Hersteller der Folien, Reinigungssysteme usw. gilt es, die Materialien für die hier vorgestellten Techniken zu optimieren um insbesondere eine akzeptable Optik sicherzustellen.



### 9.3 Verwertung und Entsorgung

Nach Abschluss der Nutzungsphase müssen Fensterelemente entsorgt werden. Eine Oberflächenbeschichtung mit Folien könnte Auswirkungen auf den Umgang mit alten Fenstern haben. Da der Bereich Verwertung und Entsorgung auch während der Herstellung ein wichtiges Thema ist, wurden auch die Phasen der Produktion mitbetrachtet. In Abbildung 80 ist ein Schema dargestellt, das die Verwertungs- und Entsorgungswege der Reststoffe aufzeigt, die während des gesamten Produktlebenszyklus eines folienbeschichteten Fensters anfallen.

Der Produktlebenszyklus kann im Hinblick auf anfallende Reststoffe der Folienbeschichtung in 3 unterschiedliche Phasen gegliedert werden:

#### Phase A

Im Rahmen der Produktion fallen in dieser Phase Folienreste an, die noch nicht auf Holz geklebt wurden. Eine stoffliche Verwertung der Reste ist nur möglich, wenn die Folien nach Art, Farbe etc. getrennt vorliegen und keine Verunreinigung mit z. B. Klebstoffen vorhanden ist.

Die separierten Folienreste können – abhängig der Vorgaben des Folienherstellers – regranuliert und in den Stoffkreislauf zurückgeführt werden. Das Verfahren kann nur rentabel durchgeführt werden, wenn große Mengen an Folienresten vorliegen. Kleinere Mengen an Folienresten sowie Folien, die bereits mit Klebstoffen behaftet sind, gelten als Restmüll und können einer energetischen Verwertung zugeführt werden.

Dies kann jedoch nur durch ein spezialisiertes Entsorgungsunternehmen durchgeführt werden. Die Art der Verwertung von Folienresten ist für den jeweiligen Einzelfall zu überprüfen und unterliegt wirtschaftlichen Interessen.

## Phase B

In der weiteren Produktion fallen in Phase B folienbeschichtete Kappstücke aus Holz sowie zerspantes Holz mit Folienresten an. Gemäß Altholzverordnung [25] werden diese Reste als Industrierestholz eingeteilt. Unterschieden wird dabei in die Kategorien A I bis A IV (siehe Abbildung 80).

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 Beschichtung nötig. Die dabei abfallenden Beschichtungsreste gelten dabei als Restmüll und müssen energetisch verwertet werden (siehe Phase A).

Eine energetische Verwertung von Resthölzern der jeweiligen Kategorie ist nur in den entsprechenden Feuerungsanlagen möglich. Während Resthölzer der Kategorien A I und A II noch in Kleinfeuerungsanlagen verbrannt werden dürfen, ist für die Verbrennung von Resthölzern der Kategorie A III – wegen der enthaltenen halogenorganischen Beschichtungen (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 C

In Phase C werden nach Ende der Gebrauchsphase alte Fenster, Fensterstöcke 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. Dichtstoffen etc. vorhanden sind und evtl. sogar eine Vorbehandlung mit Entfernung der Beschichtung vorgenommen wird.

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

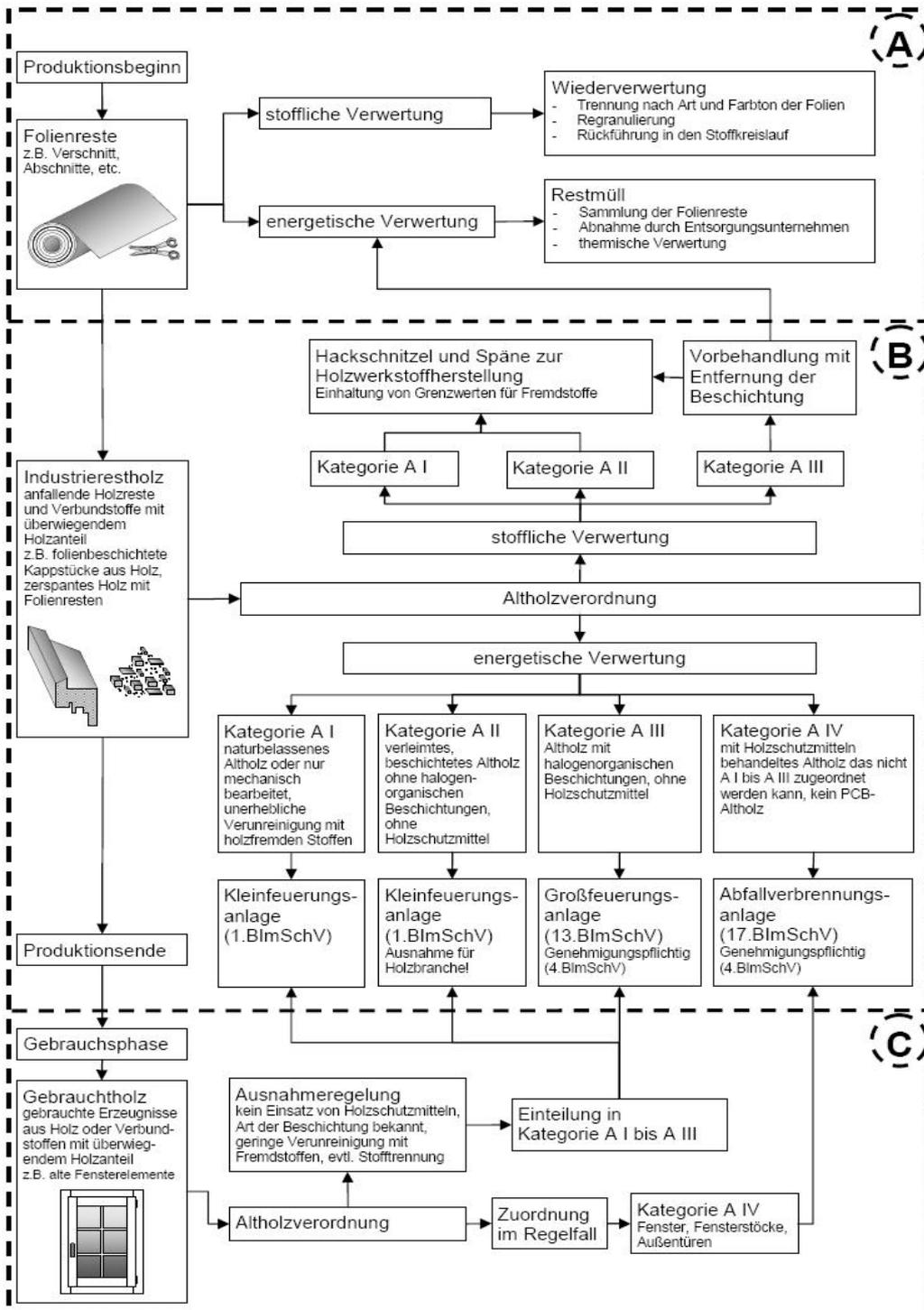


Abbildung 80 Ablaufschema Verwertung und Entsorgung

### 9.3.1 Zusammenfassung Verwertung und Entsorgung

Bei der Produktion anfallende Folienreste können nur stofflich verwertet werden, wenn größere, gut sortierte und nicht verunreinigte Mengen anfallen. Ist dies nicht möglich, gelten diese Kunststoffreste als Restmüll und müssen thermisch verwertet werden.

Bei dem während der Produktion anfallenden Industrierestholz ist ebenfalls sowohl eine stoffliche als auch eine energetische Verwertung möglich. Abhängig ist dies jedoch von der verarbeiteten Beschichtungsart, da hiervon die Kategorisierung gemäß Altholzverordnung abhängig ist. Nachteilig wirken sich hier besonders halogenorganische Beschichtungen aus, da diese im Zuge einer Einteilung in Kategorie III zur thermischen Verwertung bereits eine Großfeuerungsanlage voraussetzen.

Das am Ende des Produktlebenszyklus anfallende Gebrauchtholz wird im Regelfall, unabhängig von der Beschichtung, in Altholz-Kategorie A IV eingeteilt. Ausnahmeregelungen sind hier möglich, wenn auf die Verwendung von Holzschutzmitteln verzichtet wurde, die genaue Zusammensetzung der Beschichtung bekannt ist, nur geringe Verunreinigungen durch z. B. Dichtstoffe vorhanden sind oder sogar eine stoffliche Trennung mit Entfernung der Beschichtung vorgeschaltet wurde.

### 9.4 Zusammenfassung Nutzungsphase

Pflege und Instandhaltung von folienbeschichteten Fenster stellt keinen erhöhten Aufwand an Reinigung oder Wartung dar. Reparaturen von kleineren Schäden oder gar Renovierungsanstriche sind möglich. Reparaturen größerer Schäden sind nur bei Inkaufnahme von optischen Einschränkungen möglich.

Die Thematik Verwertung und Entsorgung muss im Rahmen des Fertigungsprozess für jeden Einzelfall bewertet werden. Nach erfolgter Nutzung verursachen folienbeschichtete Fenster im Regelfall keinen Mehraufwand zu bisherigen Fenstern. Sie bieten jedoch die Möglichkeit zu einer umweltverträglichen Verwertung durch stoffliche Trennung und Verwertung.

## 10 Aussage und Ausblick

Ziel dieser Untersuchungen im Rahmen dieses Forschungsprojekts war es, eine Beurteilung der Verwendbarkeit von Folienbeschichtungen im Bausektor bei maßhaltigen Bauteilen aus Holz, speziell bei Fenstern und Außentüren, zu untersuchen. Dazu wurden eine Reihe von Versuchen durchgeführt und Konzepte für einen zukünftigen Einsatz der Folienbeschichtung erarbeitet.

Eine fundierte Beurteilung von Folienbeschichtungen ist auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse nun besser möglich. Der Einsatz von Folienbeschichtungen als Wetterschutz von maßhaltigen Bauteilen wie Fenster und Außentüren aus Holz erscheint realisierbar. Folgende Voraussetzungen gilt es zu erfüllen:

Die am Markt befindlichen Folienprodukte, zugehörigen Klebstoffe sowie Applikationsverfahren sollten bezüglich der speziellen materialtechnischen Anforderungen von Untergründen aus Holz oder Holzwerkstoffen und den im Fensterbereich vorkommenden Bauteilgeometrien weiterentwickelt und optimiert werden.

Neben den bereits erhältlichen einfarbigen Folien, aber auch zahlreichen unterschiedlichen Dekoren, sollten zukünftig auch transparente Beschichtungen möglich sein, um die natürliche Optik des Holzuntergrunds zu erhalten.

Die softwarebasierten Simulationen der Feuchteentwicklung innerhalb des Forschungsvorhabens lieferten erste Anhaltspunkte bzgl. der Auswirkungen sehr diffusionsdichter Oberflächenbeschichtungen auf die Feuchteentwicklung in stark vereinfachten Bauteilen. Zukünftig sollten auch Einflüsse der entsprechenden, im Fensterbau vorkommenden Profilgeometrien und Materialkombinationen sowie möglicher Fehlstellen auf die Feuchteentwicklung in einer mehrdimensionalen Simulation abgebildet werden. Da jedoch auch eine mehrdimensionale Simulation nur annäherungsweise das Verhalten in der Praxis widerspiegelt ist es zudem notwendig, die auftretenden Effekte auch im praktischen Versuch zu untersuchen.



Für eine erfolgreiche Umsetzung der Folienbeschichtung ist es auch erforderlich, die konstruktive Ausführung von Profilgeometrien und Rahmeneckverbindung den speziellen Anforderungen einer Folienbeschichtung anzupassen. Die im Rahmen dieses Forschungsvorhabens erarbeiteten Konzepte zu Profilgeometrien und Abdichtungsvarianten liefern erste Hinweise zu Möglichkeiten und Anforderungen.

Neben der Oberflächenbeschichtung von Fenstern und Außentüren sind auch zahlreiche weitere Anwendungsgebiete denkbar. So wäre z. B. auch im Fassadenbereich ein Einsatz der Folienbeschichtung, besonders wegen der teilweise vereinfachten Profilgeometrien, durchaus denkbar. Die umfangreichen Beschichtungsversuche an der vom Projektpartner BASF entwickelten Vakuumpresse der PermaSkin<sup>®</sup>-Technologie zeigten, dass diese neben der Beschichtung von Fensterprofilen hervorragend zur Beschichtung großflächiger Bauteile wie z. B. Türen, Tore oder Paneele geeignet ist.

Darüber hinaus ist eine Folienoberfläche bei allen Konstruktionen im Außenbereich denkbar, bei denen der Werkstoff Holz wegen der kurzen Renovierungsintervalle herkömmlicher Flüssigbeschichtungen immer mehr vom Markt verdrängt wird. Denkbar wäre also auch eine Folienbeschichtung von Spielgeräten, Gartenmöbeln, Terrassenbeplankungen, Fassadenverschalungen etc.



## 11 Danksagung

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesamtes für Bauwesen und Raumordnung gefördert. (Aktenzeichen: Z6 – 10.08.18.7-06.10 / II 2 – F20-06-028). 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:

Herrn Prof. Dr. Holger Miltz	Universität Göttingen
Herrn Matthias Krolak	Deutsche Gesellschaft für Holzforschung (DGfH)
Herrn Eike Gehrts	Verband der Fenster- und Fassadenhersteller e.V.

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



4B Gruppe  
An der Ron 7  
CH-6281 Hochdorf



BASF AG  
D-67056 Ludwigshafen



Bayerwald Fenster Haustüren  
GmbH & Co. KG  
Gewerbepark 7  
D-94154 Neukirchen v. Wald



Finstral AG  
Gastererweg 1  
I-39054 Unterinn am Ritten



... der Systemlieferant

Holz-Schiller GmbH  
Pointenstraße 24-28  
D-94209 Regen



## 12 Literaturverzeichnis

- [1] DIN 68121-1 : 1993-09  
Holzprofile für Fenster und Fenstertüren; Maße, Qualitätsanforderungen  
Beuth Verlag GmbH, Berlin
- [2] Unveröffentlichte Manuskripte zum Abschlussbericht  
Konstruktionsgrundlagen für Fenster, Türen und Fassadenelemente aus Verbundwerkstoffen und Holz  
Forschungsprojekt gefördert durch Bayerische Staatsministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst im Rahmen der High-Tech-Offensive Bayern  
ift Rosenheim, 2008-05
- [3] Abschlussbericht  
Holzfenster der Zukunft – Innovation für Industrie und Handwerk durch integrierten Umweltschutz im Bereich der Holzfensterproduktion  
Forschungsprojekt gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung  
ift Rosenheim, WKI Wilhelm-Klauditz-Institut, 2002-12
- [4] DIN EN ISO 12572 : 2001-09  
Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Baustoffen und Bauprodukten-  
Bestimmung der Wasserdampfdurchlässigkeit (ISO 12572 : 2001);  
Deutsche Fassung EN ISO 12572:2001  
Beuth Verlag GmbH, Berlin
- [5] DIN EN ISO 527-1 : 1996-04  
Kunststoffe – Bestimmung der Zugeigenschaften – Teil 1: Allgemeine Grundsätze (ISO 527-1 : 1993 einschließlich Corr 1:1994);  
Deutsche Fassung EN ISO 527-1:1996  
Beuth Verlag GmbH, Berlin
- [6] DIN EN ISO 527-2 : 1996-07  
Kunststoffe – Bestimmung der Zugeigenschaften – Teil 2: Prüfbedingungen für Form- und Extrusionsmassen (ISO 527-2 : 1993 einschl. Corr 1:1994);  
Deutsche Fassung EN ISO 527-2 : 1996  
Beuth Verlag GmbH, Berlin
- [7] VFF-Merkblatt HO.03: 2004-04  
Anforderungen an Beschichtungssysteme für die werksseitige Beschichtung von Holzfenstern und -Haustüren  
Hrsg.: Verband der Fenster- und Fassadenhersteller e.V. VFF, Frankfurt a. M.
- [8] VFF-Merkblatt HO.03: 1999-03  
Anforderungen an Beschichtungssysteme von Holzfenstern und -Haustüren  
Hrsg.: Verband der Fenster- und Fassadenhersteller e.V. VFF, Frankfurt a. M.
- [9] DIN EN 927-4 : 2001-01  
Beschichtungsstoffe und Beschichtungssysteme für Holz im Außenbereich –  
Teil 4: Beurteilung der Wasserdampfdurchlässigkeit;  
Deutsche Fassung EN 927-4 : 2000  
Beuth Verlag GmbH, Berlin



- [10] DIN EN 13501-1 : 2007-05  
Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten – Teil 1: Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Prüfungen zum Brandverhalten von Bauprodukten;  
Deutsche Fassung EN 13501-1 : 2007  
Beuth Verlag GmbH, Berlin
- [11] DIN EN ISO 11925-2 : 2002-07  
Prüfungen zum Brandverhalten von Bauprodukten – Teil 2: Entzündbarkeit bei direkter Flammeinwirkung (ISO 11925-2 : 2002);  
Deutsche Fassung EN ISO 11925-1 : 2002  
Beuth Verlag GmbH, Berlin
- [12] DIN EN 927-2 : 2006-07  
Beschichtungsstoffe – Beschichtungsstoffe und Beschichtungssysteme für Holz im Außenbereich – Teil 2: Leistungsanforderungen;  
Deutsche Fassung EN 927-2 : 2006  
Beuth Verlag GmbH, Berlin
- [13] DIN EN 927-3 : 2007-03  
Beschichtungsstoffe – Beschichtungsstoffe und Beschichtungssysteme für Holz im Außenbereich – Teil 3: Freibewitterung,  
Deutsche Fassung EN 927-3 : 2006  
Beuth Verlag GmbH, Berlin
- [14] DIN EN 927-6 : 2006-10  
Beschichtungsstoffe – Beschichtungsstoffe und Beschichtungssysteme für Holz im Außenbereich – Teil 6: Künstliche Bewitterung von Holzbeschichtungen mit fluoreszierenden UV-Lampen und Wasser  
Deutsche Fassung EN 927-6 : 2006  
Beuth Verlag GmbH, Berlin
- [15] DIN EN ISO 4624 : 2003-08  
Beschichtungsstoffe – Abreißversuch zur Beurteilung der Haftfestigkeit (ISO 4624 : 2002); Deutsche Fassung EN ISO 4624 : 2003  
Beuth Verlag GmbH, Berlin
- [16] DIN 52452-4 : 2007-10  
Prüfung von Dichtstoffen für das Bauwesen – Verträglichkeit der Dichtstoffe – Teil 4: Verträglichkeit mit Beschichtungssystemen  
Beuth Verlag GmbH, Berlin
- [17] DIN EN 14351-1 : 2006-07  
Fenster und Türen – Produktnorm, Leistungseigenschaften – Teil 1: Fenster und Außentüren ohne Eigenschaften bezüglich Feuerschutz und/oder Rauchdichtheit; Deutsche Fassung EN 14351-1 : 2006  
Beuth Verlag GmbH, Berlin
- [18] DIN EN ISO 16000-9 : 2008-04  
Innenraumluftverunreinigung – Teil 9: Bestimmung der Emission von flüchtigen organischen Verbindungen aus Bauprodukten und Einrichtungsgegenständen – Emissionsprüfkammer-Verfahren (ISO 16000-9:2006);  
Deutsche Fassung EN ISO 16000-9 : 2006  
Beuth Verlag GmbH, Berlin



- [19] Analysenbericht  
VOC-Bestimmung und Auswertung in Anlehnung an das AgBB-Schema von  
zwei Werkstoffproben  
ift Rosenheim, 2007-04
- [20] AgBB – Bewertungsschema für VOC aus Bauprodukten  
Teil 1: Einführung:  
Vorgehensweise bei der gesundheitlichen Bewertung der Emissionen von flüch-  
tigen organischen Verbindungen (VOC und SVOC) aus Bauprodukten;  
Ausschuss zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten;  
[www.umweltbundesamt.de](http://www.umweltbundesamt.de)
- [21] Bericht zu den Versuchen im Forschungsprojekt  
Folienoberflächen im Fensterbau  
Autor: Sebastian Meyer, Oktober 2007  
BASF AG, Ludwigshafen
- [22] Forschungsprojekt  
Grundlagen zur Entwicklung einer neuen Holzfenstergeneration  
Endbericht 1. Forschungsjahr, Oktober 2006  
Holzforschung Austria, Wien
- [23] Forschungsprojekt  
Grundlagen zur Entwicklung einer neuen Holzfenstergeneration  
Endbericht 2. Forschungsjahr, November 2007  
Holzforschung Austria, Wien
- [24] Feuchtestau im Fensterprofil vermeiden – Konstruktive Optimierung durch  
Computersimulation und Versuche  
Autor: Robert Fitl, Holzforschung Austria, Wien  
Holzzentralblatt Nr.13, 28. März 2008, Seite 351
- [25] Verordnung über Anforderungen an die Verwertung und Beseitigung von  
Altholz (Altholzverordnung – AltholzV)  
Ausfertigungsdatum: 15.08.2002
- [26] DIN 68121-2 : 1990-06  
Holzprofile für Fenster und Fenstertüren; Allgemeine Grundsätze  
Beuth Verlag GmbH, Berlin

## Anhang

Teilbericht Hochschule Rosenheim –  
Verfahrensparameter und Fertigungstechnik



# Folienoberflächen im Fensterbau

## Abschlussbericht

Bearbeiter: Prof. Erwin Friedl  
Dipl.-Ing. (FH) Andreas Hemer

Titel: Untersuchung der Anwendung von innovativen Folien als Wetterschutz  
von Holzbauteilen am Anwendungsbeispiel Holzfenster

Teilbericht: Fertigungstechnik der Hochschule Rosenheim

Stand: Mai 2008





## Inhaltsverzeichnis:

<b>1.</b>	<b>Einführung</b>	<b>5</b>
1.1	Allgemeines	5
<b>2.</b>	<b>Aufgabenstellung</b>	<b>6</b>
2.1	Rahmenbedingungen	6
2.2	Vorgehensweise	6
2.3	Lösungsansatz	6
2.3.1	Beschreibung Stabfertigung	6
2.3.2	Beschreibung Einzelteulfertigung	7
<b>3.</b>	<b>Stand der Technik</b>	<b>8</b>
3.1	Folienauswahl	8
3.2	Beschreibung der Folie	8
3.2.1	Klebstoffe	8
3.2.1.1	Physikalische Eigenschaften	9
3.2.1.2	Chemische Klebstoffeigenschaften	10
3.2.1.3	Anforderungsparameter des Klebstoffes	10
3.2.2	Applikationsverfahren	11
3.2.2.1	Folienauftrag	11
3.2.2.2	Vakuumkaschieren – Stationäres Verfahren	11
3.2.2.3	Vakuumkaschieren System BASF – Stationäres Verfahren	12
3.2.2.4	Rollenkaschieren - Durchlaufverfahren	12
3.3	Analyse der Profilgeometrie	13
3.3.1	Holzfensterprofil	13
3.3.1.1	Blendrahmen	13
3.3.1.2	Flügelrahmen	15
3.3.1.3	Zusätzliche Profile	16
3.3.2	Modifizierung der Profilgeometrie	17
3.4	Analyse der Rahmeneckverbindungen	18
3.4.1	Schlitz- und Zapfenverbindung	18
3.4.2	Gehrungsverbindung	18
3.4.3	Konterverbindung	19
3.4.3.1	Dübel-Verbindung	19
3.4.3.2	Mechanische Verbinder – Beispiel MC-SFS	19
3.5	Fenstertypen und Teilespektrum	20
<b>4.</b>	<b>Lösungsansätze</b>	<b>22</b>
4.1	Systemgrenze	22
4.1.1	Einzelteulfertigung ↔ Stabfertigung	22
4.1.2	3-Ebenen-Modell	22
4.1	Modellierung des Durchlaufverfahrens	23
4.1.1	Ablaufschema Durchlaufverfahren	25
4.1.1.1	Vorarbeiten	26
4.1.1.2	Querprofilierung	26
4.1.1.3	Beschichtung Stirnseite	26
4.1.1.4	Längsprofilierung	28
4.1.1.5	Versuch Haftung der Stirnseitenbeschichtung	28
4.1.1.6	Beschichtung Längsseite	29
4.1.1.7	Teileverfolgung	33
4.1.1.8	Bohren	33
4.1.1.9	Teile zusammenfügen	33
4.1.1.10	Zusammenführung Rahmen und Flügel	34
4.2	Modellierung des Stationären Verfahren	34
4.2.1	Ablaufschema Stationäres Verfahren	35
4.2.1.1	Profilierung – längs und quer	36
4.2.1.2	Vorhandene Erkenntnisse	36
4.2.1.3	Zwischenabstände	36
4.2.1.4	Faltenbildung	37
4.2.1.5	Beschichtungsablauf	38
4.2.1.6	Belegung der Pressfläche	38



<b>5.</b>	<b>Plandaten zur Kennzahlenermittlung</b>	<b>40</b>
5.1	Arbeitszeit	40
5.2	Farbspektrum	40
5.3	Maschinendaten - Durchlaufverfahren	41
5.3.1	Basisdaten	41
5.3.2	Produktionsdatenermittlung	42
5.3.3	Maschinenlaufzeit – Rüstzeit	43
5.3.4	Teilelänge	44
5.3.5	Laufmeter pro Fenster	45
5.3.6	Maschinenlaufzeit	45
5.3.7	Fenstermenge	46
5.3.8	Einzelteile	47
5.3.9	Teile pro Minute	48
5.3.10	Fenstermenge pro Tag	48
5.4	Maschinendaten – Stationäres Verfahren	49
5.4.1	Grundlegende Daten	49
5.4.2	Produktionsdatenermittlung	50
5.4.3	Teileanzahl	51
5.4.4	Tischbelegung	52
5.4.5	Presszyklen	53
5.4.6	Presszeit	53
5.4.7	Teile pro Minute	54
5.4.8	Fenstermenge pro Tag	54
<b>6.</b>	<b>Wirtschaftlichkeitsbetrachtung</b>	<b>55</b>
6.1	Allgemein	55
6.1.1	Folienverbrauch	55
6.1.2	Materialkosten	56
6.1.3	Maschinenstundensatz	57
6.1.4	Variable und fixe Kosten	58
6.2	Kapazitätsauslastung	59
6.3	Vergleich Beschichtungskosten	61
<b>7.</b>	<b>Fazit</b>	<b>64</b>
7.1	Allgemein	64
7.2	Technische Betrachtung	64
7.3	Wirtschaftliche Betrachtung	64
	<b>Danksagung</b>	<b>66</b>
	<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>67</b>
	<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>69</b>
	<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>70</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>71</b>
	<b>Firmenverzeichnis</b>	<b>72</b>



# 1. Einführung

## 1.1 Allgemeines

Die Folienbeschichtung wird bereits bei Bauteilen für den Möbel- und Innenausbau erfolgreich angewendet. Die wesentlichen Vorteile sind eine homogene Oberfläche und der rationelle Beschichtungsauftrag auf das Trägermaterial. Es sind grundsätzlich zwei verschiedene Verfahren verfügbar. Das Rollenkaschieren wird bei Werkstücken mit ebenen Flächen und Kanten und das Vakuumkaschieren wird bei profilierten Flächen eingesetzt.

Für die Haftung der Folie ist ein Klebstoffauftrag notwendig. Beim Rollenkaschieren wird der Klebstoff unmittelbar vor dem Pressvorgang auf die Folie aufgetragen. Beim Vakuumkaschieren wird der Klebstoff vorher auf das Werkstück aufgetragen und beim Pressen durch Wärmezufuhr aktiviert.

Bei Holzfenstern wird die Oberflächenbeschichtung, die bei maßhaltigen Bauteilen im Außenbereich notwendig ist, durch Lacke oder Lasuren erzielt. Diese werden im Nassspritzverfahren in mehreren Schichten aufgetragen.



## 2. Aufgabenstellung

### 2.1 Rahmenbedingungen

Mit diesem Projekt wird untersucht, inwieweit die Folienbeschichtung mit den verfügbaren Applikationsverfahren auf das Holzfenster übertragen werden kann.

Im Kreis der beteiligten Projektpartner werden folgende Rahmenbedingungen formuliert:

- Durch die Folienbeschichtung soll die Nasslackierung vollständig ersetzt werden.
- Als Rahmenprofil soll das Holzfenster in Anlehnung an DIN 68121 verwendet werden.
- Es sollen Vergleiche zur Nasslackierung gezogen werden.

### 2.2 Vorgehensweise

Das Projekt gliedert sich in folgende Grobstruktur:

1. Untersuchung der Profilgeometrie und Rahmeneckverbindung
2. Analyse der verfügbaren Applikationsverfahren
3. Festlegung der Profilgeometrie und Produktionsspektrum
4. Ermittlung technischer und wirtschaftlicher Kennzahlen und Vergleich der Verfahren
5. Ermittlung wirtschaftlicher Kennzahlen und Vergleich der Verfahren

### 2.3 Lösungsansatz

Erste Untersuchungen mit der Vakuumpresse ergeben, dass die Applikation der Folie auf bereits fertig montierte Fensterrahmen nicht möglich ist, da an mehreren Stellen die Folie zu stark überdehnt wird.

Für die Folienbeschichtung von Holzfenstern sind deshalb zunächst jeweils zwei alternative Lösungsansätze für die Stabfertigung bzw. für die Einzelteilerfertigung entwickelt worden. Diese sind in Abbildung 1 dargestellt.

#### 2.3.1 Beschreibung Stabfertigung

Bei der Stabfertigung könnte analog zur Kunststoff-Fensterfertigung auf fertig profilierte und beschichtete Halbzeuge zurückgegriffen werden. Für den Verarbeiter werden jeweils standardisierte Rahmen- und Flügelprofile in Längen von z. B. 6,0 Metern zur Verfügung gestellt.

Für die damit verbundene umlaufende Profilierung würde sich am besten die Gehrungsverbindung eignen.

Es sind zwei Varianten denkbar. Bei der Ersten folgt direkt auf den Gehrungsschnitt die Verbindung des Blend- bzw. Flügelrahmens. Bei der Zweiten erfolgt noch zusätzlich ein stirnseitiger Folienauftrag um das Profil auch in diesem Bereich zu schützen. Fertigungstechnisch ist die Herstellung der Gehrungsverbindung einfach zu realisieren.

Analog zum Kunststoff-Fenster wäre auch hier die gewohnte Vielfalt der Farbgebung und Profilgestaltung durch die Vorfertigung etwas eingeschränkt.



### 2.3.2 Beschreibung Einzelteilerfertigung

Das Konzept der Einzelteilerfertigung sieht vor die fertig profilierten Rahmenteile mit Folie zu beschichten und anschließend zum Fensterrahmen zusammen zufügen. Als geeignete Rahmeneckverbindung kommt hier die Konterverbindung mit Dübeln und/oder einer mechanischen Verbindung in Frage.

Für die Einzelteilerfertigung werden ebenfalls zwei Lösungsansätze konzipiert. Die erste Variante sieht vor, das Fensterholz zuerst zu profilieren und anschließend mit Folie zu ummanteln. Bei der zweiten Variante wird der stirnseitige Folienauftrag in die Teilerfertigung integriert. In einem ersten Arbeitsschritt wird der Rahmen an den Stirnseiten profiliert und gleich anschließend mit Folie kaschiert. Danach wird das Fensterholz an der Längsseite profiliert und anschließend mit Folie beschichtet. Diese Variante hat im Vergleich zur ersten den Vorteil, dass die überstehende Folie auf der Stirnseite durch die nachfolgende Längsprofilierung maschinell sauber abgetrennt wird.

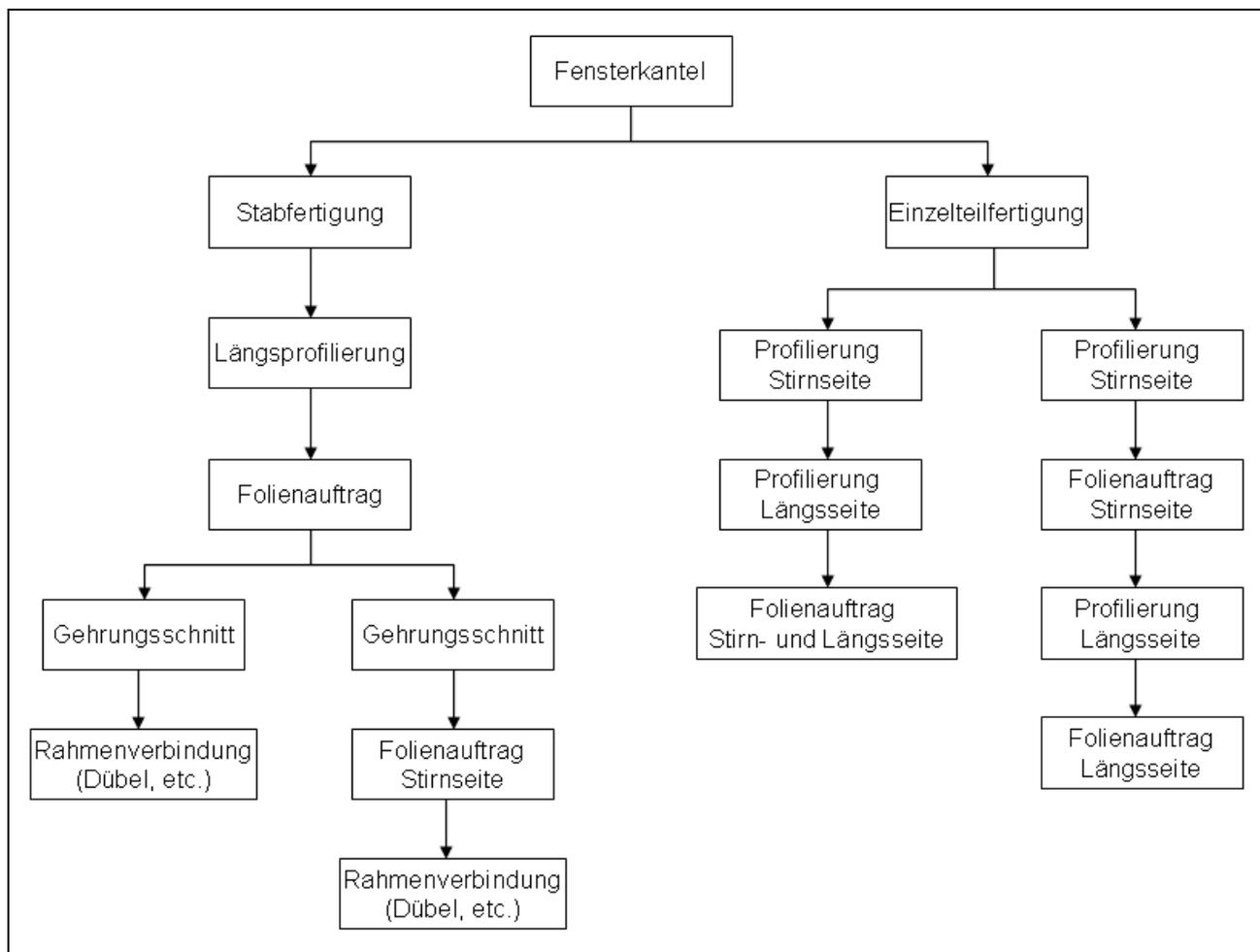


Abbildung 1: Schema der Grundkonzeption



### 3. Stand der Technik

#### 3.1 Folienauswahl

Für die weiteren fertigungstechnischen Untersuchungen wird die vom Projektpartner BASF zur Verfügung gestellte Folie Luran® S verwendet.

#### 3.2 Beschreibung der Folie

Die Basis für die Folie ist der Spezialkunststoff Luran® S. Es handelt sich hierbei um ein Copolymer aus Acrylnitril, Styrol und Acrylester (ASA). Diese Folie wird in der Automobilindustrie bereits seit mehr als 20 Jahren mit Erfolg verwendet. Luran® S und die daraus hergestellte Folie ist extrem belastbar, witterungsbeständig und auch chemikalienresistent. Die Folie zeichnet sich durch hohe Farbtransparenz aus und lässt sich gut verarbeiten. Sie ist als Standardfolie (LuraSkin® S) oder als elastomer-modifizierte High Performance Folie (LuraSkin® HP) verfügbar. Die HP-Variante ermöglicht es, den relativ starken, durch Temperatur oder Feuchtigkeitsschwankungen verursachten Ausdehnungen von Holz- oder Metallstrukturen ohne Aufreißen zu folgen. Die Materialstärke beträgt bei der Standardfarbe Weiß 250 µm und bei RAL-Farbtönen 300 µm.

##### 3.2.1 Klebstoffe

Als Klebstoffe werden Schmelzklebstoffe verwendet. Nach DIN EN 923<sup>1)</sup> ist ein Schmelzklebstoff definiert als ein thermisch aufschmelzbares Klebesystem, das nach der Abkühlung Kohäsion (innere Festigkeit) entwickelt. Grundsätzlich besteht ein Schmelzklebstoff, wie alle Klebstoffe, aus einem oder mehreren Polymeren, ergänzt durch Zusatzstoffe, wie Pigmente, Stabilisatoren, etc.<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> DIN EN 923 „Klebstoffe – Benennungen und Definitionen“, Entwurf vom Februar 2004, Beuth Verlag, Berlin

<sup>2)</sup> vgl. Literaturnachweis [1]



Schmelzklebstoffe werden meist nach den Basispolymeren benannt:

Tabelle 1: Basispolymere für die Herstellung von Schmelzklebstoffen

Abkürzung	Basispolymer	Bemerkungen
EVA	Ethylen-Vinylacetat	Häufig verwendetes Basispolymer
APAO	Polyolefin	Erlaubt höheren Wärmewiderstand
PA	Polyamid	Hoher Wärmewiderstand und leichte Verarbeitbarkeit
PUR	Polyurethan	Meist reaktives System mit hoher Wärmefestigkeit und Feuchtbeständigkeit
PES	Polyester	Verbessertes Haftspektrum und lange offene Zeit

Viele Systeme sind *reaktiv* und *thermoplastisch* realisierbar. *Thermoplastische Schmelzklebstoffe* lassen sich reversibel aufschmelzen. Bei genügend hoher Temperaturbelastung werden sie wieder flüssig, verlieren folglich ihre Kohäsion.

Dieser Tatsache kann man dadurch entgegenwirken, dass man die Polymermoleküle nach dem Abbindevorgang untereinander vernetzt (chemisch verknüpft). Der Kohäsionsverlust bei erhöhter Temperatur wird damit reduziert und die Bindekraft des Schmelzklebstoffes bleibt erhalten. Derartige Systeme, die während oder nach der Abkühlung chemischen Vernetzungsreaktionen unterworfen sind nennt man *reaktive Schmelzklebstoffe*.

### 3.2.1.1 Physikalische Eigenschaften

Aus der oben genannten Erklärung des Klebevorganges ergibt sich, dass bei der Beschreibung eines Schmelzklebstoffes genau unterschieden werden muss, ob man sich auf die Schmelze, den Phasenübergang oder den erstarrten Festkörper bezieht. Die meisten *Anwendungsparameter* beschreiben die Schmelze, die meisten *Auswahlkriterien den Festkörper*.

Die Schmelze wird mittels Größen beschrieben, die eine Flüssigkeit beschreiben, wie z. B. die Viskosität, der Festkörper mittels mechanischer Größen, wie dem G-Modul. Dazwischen stehen die Parameter, die den Phasenübergang zwischen den beiden beschreiben, wie z. B. der Erweichungspunkt. Wichtige physikalische Eigenschaften sind:

- Viskosität
- Melting Flow Index
- Melting Volume Index
- Fließpunkt
- Erweichungspunkt
- Dichte
- Elast. G-Modul
- Plast. G-Modul
- Relaxationszeit



### 3.2.1.2 Chemische Klebstoffeigenschaften

Schmelzklebstoffe sind Mehrkomponentensysteme, bei denen durch geschicktes Kombinieren verschiedener Polymere und Zusatzstoffe die Eigenschaften gezielt eingestellt werden können. Damit können Schmelzklebstoffe z. B. ein thermisches und ein mechanisches Verhalten zeigen, das sich von dem der Basispolymeren stark unterscheidet. Wie auch bei der Legierung Stahl, die ihr Rohmaterial Eisen bei weitem übertrifft, können so durch eine optimale Kombination von Rohstoffen Eigenschaften erhalten werden, welche die Einzelstoffe nicht haben. So lassen sich Schmelzklebstoffe als Polymerlegierungen nach Maß herstellen.

### 3.2.1.3 Anforderungsparameter des Klebstoffes

Die Anforderungsparameter des Klebstoffes bei der Verwendung im Fensterbau werden zu einen durch die Bewegungen des Trägermaterials, also Quellen und Schwinden, sowie zum anderen durch die äußeren Einflüsse vorgegeben. Das Trägermaterial kann durch die Ummantelung mit Folie nicht vollständig verschlossen werden. Es sind funktionsbedingt Bohrungen für Beschlagsteile und Schrauben anzubringen. Hier wird die Folie durchbrochen und es kann zur Feuchtigkeitsaufnahme über Kondensat aus feuchter Raumluft oder Regenwasser kommen. Weiter trägt die Sonneinstrahlung zur Materialausdehnung bei.

Der Klebstoff muss diesen Belastungen gerecht werden. In Tabelle 2 sind die unterschiedlichen Klebstoffe aufgezeigt, die in der aktuellen Folienbeschichtung eingesetzt werden. Für die hohen Anforderungen im Fensterbau kann momentan nur der PUR-Schmelzkleber die genannten Anforderungen erfüllen.

Tabelle 2: Schmelzklebstoffe Parameterübersicht<sup>3</sup>

	Kleber	EVA	PO	PUR	Dispersionskleber	Lösungsmittel-
		Schmelzkleber	Schmelzleber	Schmelzkleber	(PVAC)	kleber
Trägermaterial	Holz- und Holzwerkstoffe	X	+	X	X	X
Beschichtungsmaterial	Thermoplastische Folien	O		X	X	X
	PET Folien	X		X	X	X
Verarbeitung	Auftragsmenge g/m <sup>2</sup>	50 - 150	50 - 150	40 - 100	80 - 180	60 - 150
	Auftrags-temperatur °C	140 - 220	180 - 220	120 - 150	18	18
	Vorschub m/min	20 - 60	20 - 60	20 - 60	8 - 15	8 - 20
Eigenschaften	Feuchtigkeitsbeständigkeit	niedrig	mittel	sehr hoch	mittel	hoch
	Temperaturbeständigkeit	60 - 80 °C	100 - 120 °C	? 150 °C	80 - 110 °C	60 - 150 °C

Legende:

- x möglich
- + mit Zusatzeinrichtung für PO möglich
- o mit niedrig schmelzendem EVA möglich

<sup>3</sup> Quelle: Datenblatt zu Klebstoffen; Firma FRIZ  
Seite 10 von 72



## 3.2.2 Applikationsverfahren

### 3.2.2.1 Folienauftrag

Voraussetzung für eine wirtschaftliche Oberflächenbeschichtung ist eine maschinelle Aufbringung der Folie. Aufgrund der komplexen Profilgeometrie und der notwendigen allseitigen Beschichtung kann dieser nicht komplett in einem Arbeitsgang erfolgen. Der Folienauftrag muss deshalb mind. in zwei getrennten Durchgängen erfolgen. Je nach Verfahren (siehe Abbildung 1) sind 2-4 Arbeitsschritte notwendig. Maßgebend sind neben der Dehnfähigkeit der Folie der Materialverbrauch sowie die Taktzeit.

In einer ersten Überlegung wurde eine bereits vom Folienhersteller werksseitig aufgebrachte Beschichtung der Folie mit Klebstoff angedacht. Dies erweist sich nach einer näheren Betrachtung als nicht umsetzbar. Die Gründe hierfür sind zum einen die Folie selbst, die als Rollenware geliefert wird und somit aufgrund ihres homogenen Aufbaus in sich verkleben würde, zum anderen ist es der Klebstoff selbst. Wie im Absatz 3.2.1.3 bereits genannt, ist nur ein PUR-Schmelzkleber geeignet. Dieser ist jedoch nicht mehr reaktivierbar. Aufgrund dieser beiden Parameter ist für den Klebstoffauftrag ein eigenständiger Arbeitsschritt unumgänglich.

### 3.2.2.2 Vakuumkaschieren – Stationäres Verfahren

Bei diesem Verfahren wird die Folie mittels Vakuumpressen um das Profil herumgezogen. Es kann sowohl mit als auch ohne Membran gearbeitet werden. Zuvor erfolgt der Klebstoffauftrag auf das Werkstück. In der geschlossenen Presse wird ein Vakuum erzeugt und die Folie um die Werkstückkonturen herumgeführt. Zur Beschleunigung des Abbindevorgangs werden Heizelemente in der Presse verwendet.

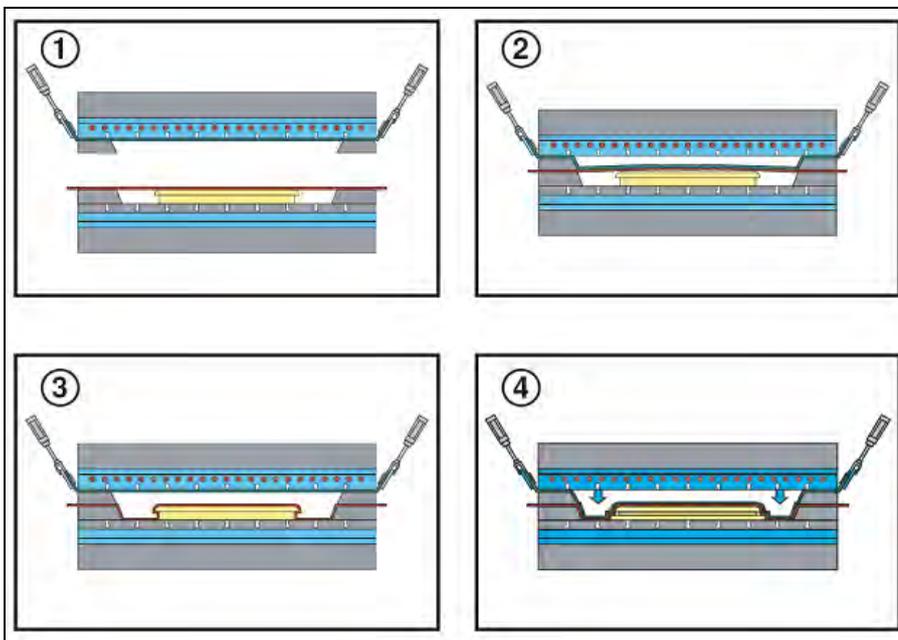


Abbildung 2: Arbeitsschritte der Vakuumpresse<sup>4</sup>

<sup>4</sup> Quelle: Optimat MFP 250, Firmenunterlagen; Firma FRIZ  
© Hochschule Rosenheim, Mai 2008



Die nutzbare Presstischfläche einer Standardanlage beträgt z. B. 1250 mm x 2550 mm und die Werkstückhöhe maximal 60 mm. Eine Verwendung der Presse für die Beschichtung von Fensterprofilen erfordert eine Anpassung an die Abmessungen der Profile. Die durchschnittliche Taktzeit beträgt ca. 6 bis 7 Presszyklen je Stunde.

Um eine Optimierung der Taktzeit zu erreichen, kann die Presse mit einem Wechseltisch ausgestattet werden. Dabei wird parallel zum Pressvorgang bereits ein weiterer Tisch von fertigen Werkstücken frei geräumt und neu bestückt.

### 3.2.2.3 Vakuumkaschieren System BASF – Stationäres Verfahren

Das vom Projektpartner BASF angewandte Verfahren ist vom Ablauf her analog zum bereits gezeigten Verfahren zu betrachten. Der Unterschied besteht im Wesentlichen darin, dass die Erwärmung der Folie über eine Infrarot-Bestrahlung erfolgt. Bestimmte Werkstücke wie z. B. Türblätter können mit dieser Technologie auch 2-seitig in einem Pressvorgang beschichtet werden.

Siehe auch Teilbericht ift® „Folienoberflächen im Fensterbau“, Abschnitt 6.1.1.

### 3.2.2.4 Rollenkaschieren - Durchlaufverfahren

Dieses Applikationsverfahren findet Anwendung bei großen Mengen gleicher Teile. Das Trägermaterial wird über eine längere Rollenstraße geführt. Die Anpress-Rollen sind dem Profil entsprechend angeordnet und legen die Folie fortlaufend um das Profil herum. Die Folie wird nach dem Abrollen von der Rolle durch Aufsprühen mit Klebstoff benetzt. Die Breite der Folie wird so gewählt, dass kein Verschnitt entsteht. Die Vorschubgeschwindigkeit beträgt zwischen 5-30 m/min (abhängig vom Maschinentyp). Für die Ummantelung von aufwändigen Profilen muss die Vorschubgeschwindigkeit auf ca. 10-15  $\frac{\text{m}}{\text{min}}$  eingestellt werden.

Die Trennung der Folie zwischen den einzelnen Werkstücken erfolgt mit einem Schneideaggregat. Dieses kann je nach Werkstücktyp stationär oder mitlaufend ausgeführt werden. Vor allem bei Letzterem ist eine passgenaue Trennung der Folie direkt am Werkstück möglich. Das Einsetzen einer neuen Folienrolle kann so gesteuert werden, dass der Folienstoß zwischen den Werkstücken liegt.

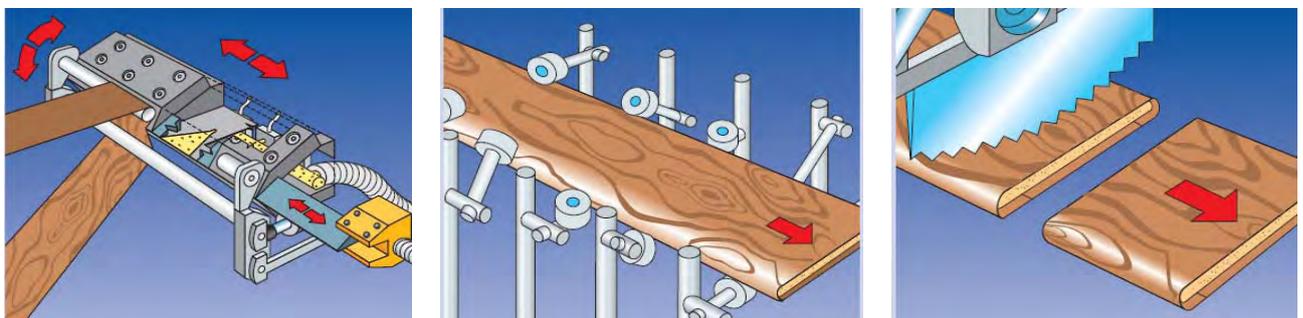


Abbildung 3: Funktionsprinzip Rollenkaschieren<sup>5</sup>

<sup>5</sup> Bildquelle: Prospekt Thermokaschieranlagen FK; Firma FRIZ; Weinsberg  
Seite 12 von 72



### 3.3 Analyse der Profilgeometrie

Bei der Beschichtung von Kunststoff-Fensterprofilen wird bereits mit Folien in verschiedenen Farben oder verschiedene Dekoren die Rollenkaschiertechnik eingesetzt. Hierbei werden jedoch nur die glatten Oberflächen mit Folien versehen. Im Innenbereich des Fensters bleibt die Basisfarbe des Rahmens erhalten.

#### 3.3.1 Holzfensterprofil

Bei der Analyse von gängigen Holzfensterprofilen in Anlehnung an DIN 68121 werden im Folgenden die kritischen Zonen für die Folienbeschichtung aufgezeigt. Die dargestellten Abbildungen stehen stellvertretend für die nach dem derzeitigen Stand verwendeten Holzfensterprofile.

##### 3.3.1.1 Blendrahmen

Profilart: Blendrahmen – seitlich und oben

Beim Holzfenster ist der Blendrahmen nicht umlaufend mit dem gleichen Profil ausgeführt. Im unteren waagrechten Rahmen wird zum Ablaufen des Regenwassers eine Regenschutzschiene eingesetzt.

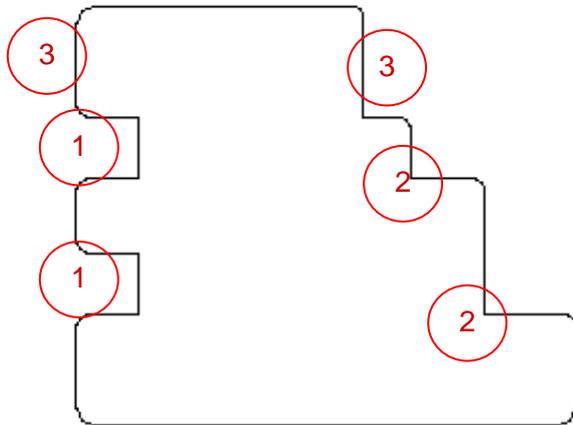
Bei einem Holzfenster wird für die Kombinationen mit anderenistereinheiten oder zur Verbreiterung des Rahmens das Profil mit Nuten/Falzen (1) versehen. Diese dienen einerseits der korrekten Positionierung des Anschlussteiles wie auch einer luftdichten Abdichtung. Die Möglichkeit einen Falz im Innenbereich zu kaschieren ist gewissen Grenzen unterworfen<sup>6</sup>. Nach bisherigen Untersuchungen<sup>7</sup> sollte die Nut beim Vakuumkaschieren die minimale Abmessung von  $B/T=20/5\text{mm}$  nicht überschreiten, beim Rollenkaschieren sind die Nuttiefen durch die Rollendurchmesser begrenzt.

Ein weiterer Punkt ist die Ummantelung der innen liegenden Falze. Hier muss die Folie um die Rundung gelegt werden (2). Das Anlegen der Folie an diese Kontur ist mit einer Dehnung des Materials verbunden.

Als Anforderung soll das Holzfensterprofil allseitig mit Folie umschlossen werden. Die Analyse der Maschinenteknik ergibt, dass die Ummantelung nicht durch einen Arbeitsgang umgesetzt werden kann. Es sind in der Längsbeschichtung zwei getrennte Arbeitsgänge erforderlich. Als Folge dessen entstehen zwei Folienstöße (3). Diese können in den Falzbereich gelegt werden. Im Außenbereich wird dieser in den Bereich des Wandanschlusses gelegt und ist damit nicht sichtbar. Eine Überlappung der Folie ist nicht zu vermeiden.

<sup>6</sup> vgl. Literaturnachweis [2]

<sup>7</sup> vgl. Literaturnachweise [2] und [3]

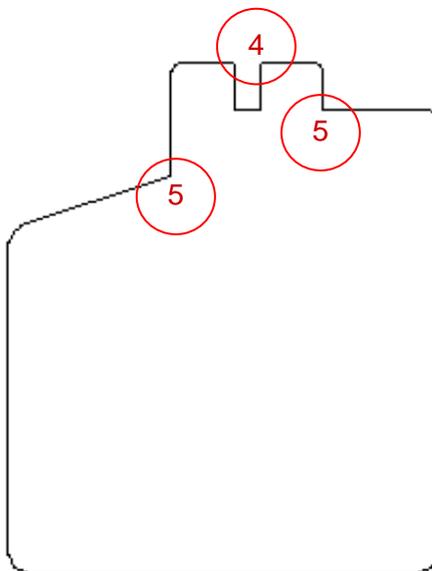


1. Nut/Falz für Anschlussprofile
2. Innenkante
3. Folienstoß im Falzbereich (sichtbar)

Abbildung 4: Kritische Bereiche am Blendrahmenprofil seitlich/oben

Profilart: Blendrahmen – unten

Beim unteren Blendrahmenprofil befindet sich im Falzbereich die Regenschutzschiene. Die notwendige Aufnahmenut (4) beträgt  $B/T=4/7,5\text{mm}$ . Eine Folienbeschichtung dieser kleinen Nut ist nicht möglich. Ein weiterer Punkt sind auch hier die Innenkanten (5).



4. Aufnahmenut der Regenschutzschiene
5. Innenkante

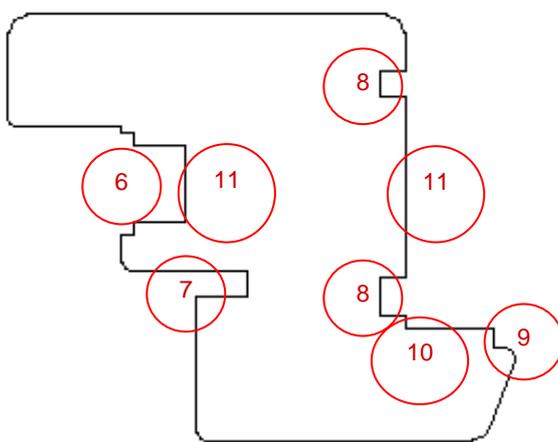
Abbildung 5: Kritische Bereiche am Blendrahmenprofil unten



### 3.3.1.2 Flügelrahmen

Profilart: Flügelrahmen – seitlich und oben

Der Flügelrahmen hat eine komplexere Geometrie. Die kritischen Bereiche sind hier die Getriebenut (6) und die Dichtungsnut (7) im sichtbaren Falzbereich. Im Glasfalz befinden sich Nuten zur Entlüftung (8) und häufig ein Silikonfalz (9). Beim Flügelprofil ist die Lage des Folienstoßes (11) einfacher, dieser kann im Bereich der Getriebenut und des Glasfalzes verlaufen und wäre somit nicht sichtbar.

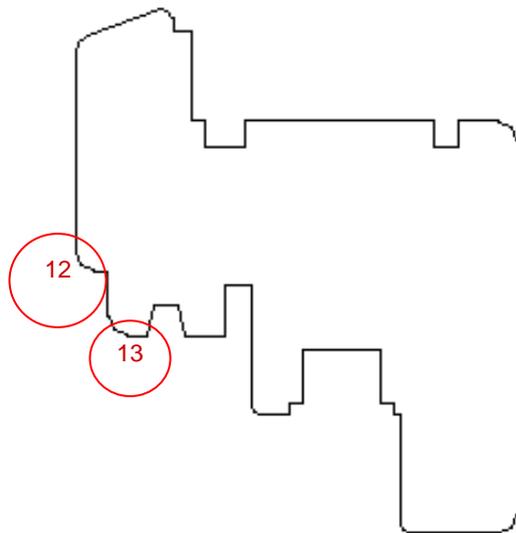


- 6. Getriebenut
- 7. Dichtungsnut
- 8. Glasfalzentlüftung
- 9. Silikonfalz
- 10. Innenkante
- 11. Folienstoß

Abbildung 6: Kritische Bereiche am Flügelprofil oben/seitlich

Profilart: Flügelrahmen – unten

Beim unteren Flügelprofil kann zusätzlich ein Anschlagfalz für die Regenschutzschiene (12) sowie eine Tropfnase (13) für das ablaufende Regenwasser angebracht sein. Diese beiden Details erschweren die Ummantelung des unteren Profils noch zusätzlich.



- 12. Anschlagfalz für  
Regenschutzschiene
- 13. Tropfnase

Abbildung 7: Kritische Bereiche am Flügelprofil untem

### 3.3.1.3 Zusätzliche Profile

Neben den Glashalteleisten gibt es noch weitere Leistenprofile, wie z. B. für Wandanschlüsse, Deckleisten für Kombinationen, Sprossen im Glasfeld usw., die als Stangenware hergestellt werden. Diese Leistenprofile können sehr gut mit der Rollenkaschierung wirtschaftlich in größeren Stückzahlen beschichtet werden. Die Leistenherstellung wird deshalb im Rahmen dieser Untersuchungen nicht weiter betrachtet.

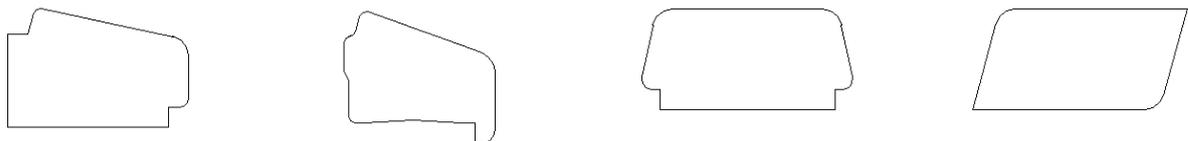


Abbildung 8: Beispiele für zusätzliche Profile



### 3.3.2 Modifizierung der Profilgeometrie

Die im Abschnitt 3.3.1 betrachteten Profile zeigen die kritischen Zonen, die bei einer Beschichtung mit Folie zu beachten sind. Eine Kaschierung ist hier teilweise nur mit sehr großem Aufwand bzw. gar nicht umsetzbar. Für eine Folienbeschichtung ist deshalb eine vereinfachte Profilgeometrie als Ausgangslage notwendig.

#### Blendrahmen:

Es werden hier Vereinfachungen im Falzbereich vorgesehen. Die Falzabmessungen sollten großzügig gestaltet werden, um das Umlegen der Folie besser zu ermöglichen. Anschlussnuten auf der Außenseite werden nachträglich angebracht. Die Rundungen sollten etwas größer ausgeführt werden (mind.  $R = 3 \text{ mm}$ ). Das untere Blendrahmenprofil kann nur wenig modifiziert werden, da beim Verzicht auf die Regenschutzschiene die Entwässerung durch Bohrungen oder Ausfräsungen im unteren Rahmenteil erfolgen müsste.

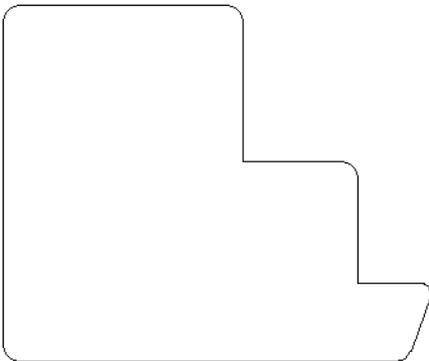


Abbildung 9: Blendrahmen oben/seitlich modifiziert

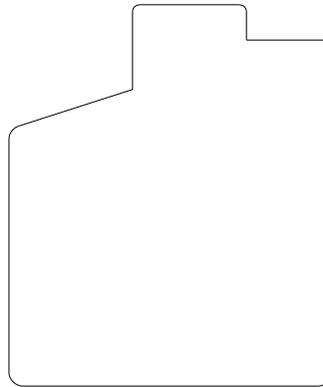


Abbildung 10: Blendrahmen unten modifiziert

#### Flügelrahmen:

Die Getriebe- und Dichtungsnut werden erst nach dem Beschichten eingefräst. Die Nuten für die Glasfalzentlüftung werden durch eine ausreichend großen Bohrung ersetzt. Die Kanten sind auch hier mit größeren Rundungen auszuführen (mind.  $R = 3 \text{ mm}$ ).

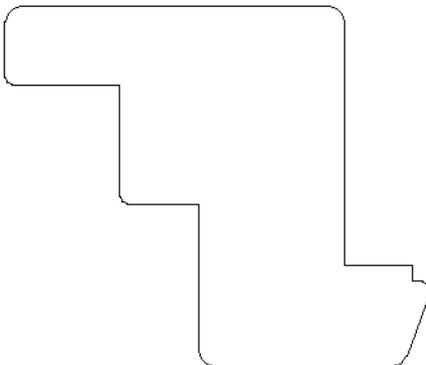


Abbildung 11: Flügelrahmen modifiziert



## 3.4 Analyse der Rahmeneckverbindungen

### 3.4.1 Schlitz- und Zapfenverbindung

Die beim Holzfenster gängigste Rahmeneckverbindung ist die Schlitz-Zapfenverbindung. Wie vorher bei der Profilgeometrie stößt die Folienbeschichtung bei diesem Verbindungstyp an geometrische Grenzen. Die Folie kann weder beim Vakuum- noch beim Rollenkaschieren zufriedenstellend aufgebracht werden. Daher kann diese Verbindung nicht verwendet werden.

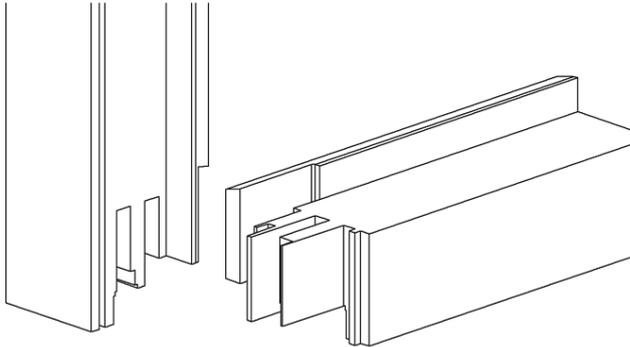


Abbildung 12: Schlitz- und Zapfenverbindung

### 3.4.2 Gehrungsverbindung

Diese Verbindung erfüllt bei der Verwendung von bereits profilierten Stangenprofilen die besten Voraussetzungen. Wie in Abschnitt 2.3.1 bereits dargestellt könnten die Gehrungsflächen mit oder ohne Folienbeschichtung ausgeführt werden.

#### Gehrungsfläche ohne Folie:

Bei dieser Variante besteht die Gefahr der Feuchteaufnahme über die Gehrungsfuge durch Witterungseinflüsse und es entstehen Versätze zwischen den gefügten Teilen. Dadurch kann das Hirnholz mit Feuchte in Kontakt kommen und die Gehrungsfuge öffnen.

#### Gehrungsfläche mit Folie:

Einer Feuchteaufnahme könnte man durch eine zusätzliche Beschichtung der Gehrungsfläche entgegenwirken. Dies hat jedoch einen weiteren Arbeitsschritt bei der Beschichtung zur Folge. Das Aufbringen der Folie könnte man dabei automatisieren, aber das Entfernen des Folienüberstandes und eventueller Klebstoffreste ist weder manuell noch maschinell einfach machbar.



### 3.4.3 Konterverbindung

Wie in Abschnitt 2.3.2 dargestellt ist die Konterverbindung für die Einzelteilerfertigung notwendig. Die Folienbeschichtung der Konterflächen ist in Kombination mit der Längsbearbeitung technisch umsetzbar (siehe Abschnitt 4.1.1.3). Die Konterverbindung kann durch Dübel und/oder einem mechanischen Verbinder erfolgen.

#### 3.4.3.1 Dübel-Verbindung

Die Bohrungen und das Einbringen der Dübel werden erst nach der Folienbeschichtung durchgeführt.

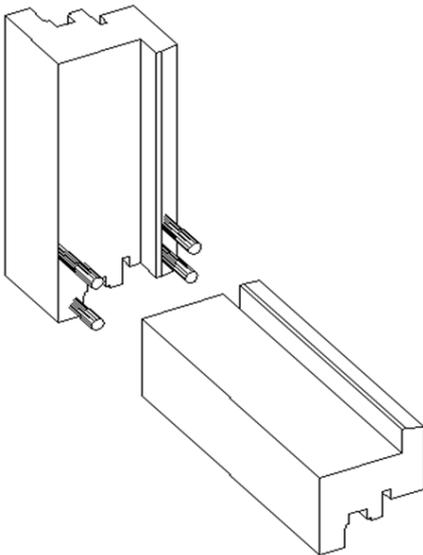


Abbildung 13: Prinzipdarstellung der Dübelverbindung

#### 3.4.3.2 Mechanische Verbinder – Beispiel MC-SFS

Hierbei handelt es sich um eine Schraubenverbindung. Die zu verbindenden Teile werden mit Bohrungen für die Verbindungselemente erst nach der Folienbeschichtung versehen. Das Verbindersystem besteht aus Spezialschrauben und Dübeln.

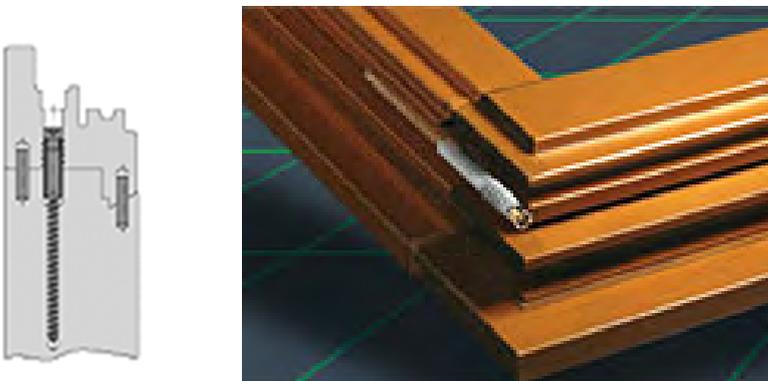


Abbildung 14: Beispiel einer mechanische Rahmeneckverbindung MC (SFS<sup>8</sup>)

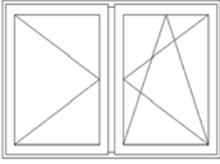
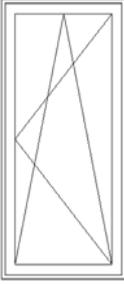
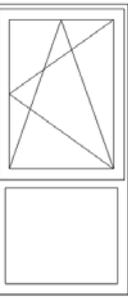
<sup>8</sup> Siehe [www.sfsintec.biz](http://www.sfsintec.biz) – Mechanische Holz-Eck-Verbindung MC  
© Hochschule Rosenheim, Mai 2008



### 3.5 Fenstertypen und Teilespektrum

Neben der Modifizierung der Profilgeometrie ist parallel eine Einschränkung bei der Vielfalt der möglichen Fenstertypen gegeben. In Anlehnung an das F&E-Projekt „Innovative Holzfensterkonstruktionen“ wird das in der nachfolgenden Tabelle aufgeführte Produktspektrum für die weiteren Untersuchungen ausgewählt. Dabei wird berücksichtigt, dass die Auswahl den wesentlichen Teil der benötigten Fenster auf dem Bausektor abdeckt. Weitere Fenstertypen wie Rundbogen-, Spitzbogen-, Dreiecks- und runde Fenster werden nicht berücksichtigt. Der Grund wird im weiteren Verlauf durch produktionstechnische Einschränkungen ersichtlich.

Tabelle 3: Übersicht der Fenstertypen<sup>9</sup>

Fenstertyp	Skizze	Verteilung	Breite [mm]	Höhe [mm]
Typ 1 Einflüglig		51%	1000	1300
Typ 2 Zweiflüglig mit Pfosten		25%	2000	1300
Typ 3 Einflüglig (Fenstertüre)		10%	1000	2100
Typ 4 Festverglasung		3%	1000	1300
Typ 5 Kombination Festverglasung/Flügel mit Riegel bzw. Pfosten		11%	1000	2100

<sup>9</sup> Fensterspektrum in Anlehnung an F&E-Projekt, vgl. Literaturverzeichnis [4]  
Seite 20 von 72



Aus der Verteilung der Fenstertypen wird ein repräsentatives Teilespektrum für die weiteren Untersuchungen abgeleitet und nach gleichen Profilgeometrien zusammengefasst. Aus dieser Zusammenfassung ergibt sich, dass zur Herstellung des Produktspektrums insgesamt 8 verschiedene Profile notwendig sind. Die Anzahl der verschiedenen Profile hat einen wesentlichen Einfluss auf die Bestimmung der Rüstzeiten bei der Kapazitätsauslastung der Folienbeschichtungsanlagen.

Tabelle 4: Übersicht Teilespektrum

Fenstertypen	Fenster	Fenster	Fenstertüre	Festverglasung	Fenster/Fest
	DK/D 1-flg.	DK/D 2-flg.	DK/D 1-flg.		Kombination
Fenstertyp	Typ 1	Typ 2	Typ 3	Typ 4	Typ 5
Verteilung	51%	25%	10%	3%	11%
Rahmen links	x	x	x	x	x
Rahmen rechts	x	x	x	x	x
Rahmen oben	x	x	x	x	x
Rahmen unten	x	x	x	x	x
Pfosten		x			x
Riegel					x
Flügel links	x	x	x	x	x
Flügel rechts	x	x	x	x	x
Flügel oben	x	x	x	x	x
Flügel unten	x	x	x	x	x



## 4. Lösungsansätze

### 4.1 Systemgrenze

Für die nachfolgenden technischen und wirtschaftlichen Untersuchungen der Folienbeschichtung werden nur innerhalb der Systemgrenze die für den Beschichtungsvorgang notwendigen Arbeitsschritte betrachtet. Die vorgelagerte Teilefertigung und die nachfolgende Montage der Einzelteile wird analog zur gängigen Holzfensterproduktion angenommen und für die Untersuchung nicht näher betrachtet.

#### 4.1.1 Einzelteilerfertigung ↔ Stabfertigung

Die beiden in Abschnitt 2.3 aufgezeigten Möglichkeiten einer Fertigung müssen näher betrachtet werden. Bei der Stabfertigung wird Zugrunde gelegt, dass bereits fertig profilierte und beschichtete Stangenware verwendet wird. Dabei kann eine Begrenzung der Profilvielfalt erwartet werden. Ein kritischer Punkt ist die Gehrungsverbindung, deren Anwendung bei diesem Fertigungsprinzip naheliegend ist. Die im Punkt 3.4.2 zu erwartenden Probleme bei dieser Verbindung sind ausschlaggebend, dass die Stabfertigung nicht näher betrachtet wird.

Für den Einsatz der im Abschnitt 3.2.2 genannten Technologien zur Folienapplikation ist eine Einzelteilerfertigung geeignet. Die Bearbeitung kann mit den zur Verfügung stehenden Maschinen erfolgen. Die Herstellung verschiedener Profilarten kann hier einfacher umgesetzt werden. Aufgrund der vorliegenden Vorteile der Einzelteilerfertigung wird diese zur Grundlage der weiteren Untersuchungen gewählt.

#### 4.1.2 3-Ebenen-Modell

Mit den momentan zur Verfügung stehenden Anlagen ist es möglich Werkstücke in einer Ebene (z. B. auf der Sichtfläche) oder in zwei Ebenen (z. B. die Kante) zu beschichten (siehe Abbildung 15). Es handelt sich dabei meistens um plattenförmige Werkstücke einer im Vergleich zum Holzfenster einfacheren Profilgebung.

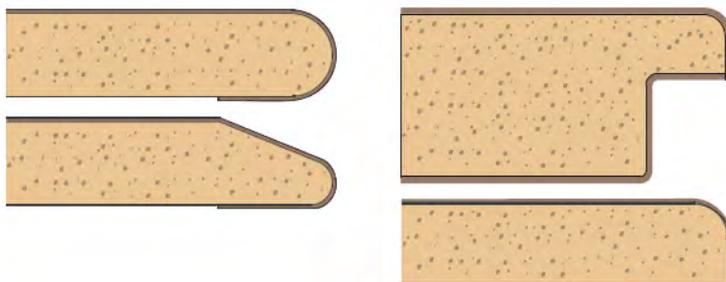


Abbildung 15: Beispiele für mögliche Kantenbeschichtungen<sup>10</sup>

<sup>10</sup> Bildquelle: Prospekt Optimat FKP 100; Firma FRIZ; Weinsberg  
Seite 22 von 72

Bei der Folienbeschichtung einer Fensterkante muss zusätzlich mit der Stirnseite eine dritte Ebene beschichtet werden. Die Stirnseite der Fensterkante ist mit dem Konterprofil der Längsseite versehen. Die Beschichtung wird dadurch zusätzlich erschwert.

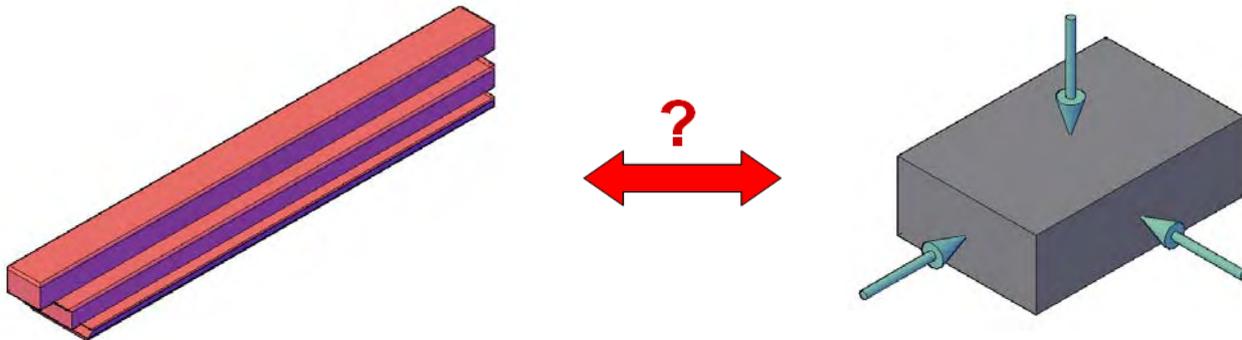


Abbildung 16: 3-Ebenen-Modell

Beim Rollenkaschieren kann die dritte Ebene technisch nicht im Durchlauf beschichtet werden, da sie sich auf der Vorschubachse befindet. Dieser Arbeitsschritt muss deshalb an eine andere Stelle des Fertigungsprozesses verlagert werden. Beim 3D-Vakuumkaschieren entstehen Falten an den senkrechten Kanten.

#### 4.1 Modellierung des Durchlaufverfahrens

Für das Durchlaufverfahren wird als Grundlage das Rollenkaschieren verwendet. Die derzeitigen Bearbeitungsmöglichkeiten sind auf die Bedürfnisse der Möbel- und Türenindustrie im Hinblick auf die Werkstückabmessungen (insbesondere die Werkstückhöhe) sowie die Profilgeometrie ausgelegt. Die bestehende Anlagentechnik kann auf die Bedürfnisse der Holzfensterprofile technisch angepasst werden. Nach Herstellerinformation könnten mit modifizierten Rollenkaschieranlagen<sup>11</sup> Holzfensterprofile im Durchlaufverfahren in 1 und 2 Ebenen beschichtet werden. Die Werkstückzuführung ist so steuerbar, dass beim Austausch der Folienrolle der Folienstoß (siehe Abbildung 17) zwischen den Werkstücken liegt und somit die Folienverluste minimiert wird.

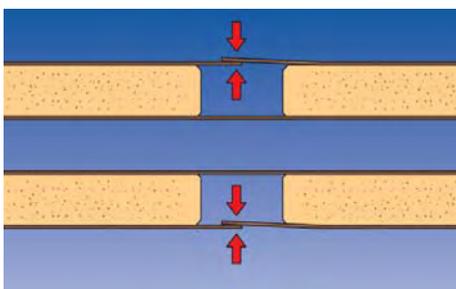


Abbildung 17: Folienstoß<sup>12</sup>

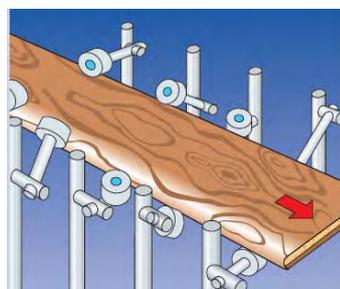


Abbildung 18: Kantenbeschichtung<sup>13</sup>

<sup>11</sup> siehe Firmenverzeichnis

<sup>12</sup> Bildquelle: Prospekt Thermokaschieranlagen FK; Firma FRIZ; Weinsberg

<sup>13</sup> Bildquelle: Prospekt Thermokaschieranlagen FK; Firma FRIZ; Weinsberg



Die Folienbeschichtung des Falzbereiches erfolgt über Anpressrollen, die die Folie um das Profil herumführen (siehe Abbildung 18). Aufgrund der komplexen Profilgeometrie des Fensters ist eine hohe Anzahl von Anpressrollen notwendig. Eine Umrüstung auf eine andere Profilgeometrie ist sehr damit sehr zeitaufwändig. Für eine wirtschaftliche Kaschierung müssen deshalb alle gleichen Profile und Farben zu einem Fertigungslos zusammengefasst werden.

Die Vorschubgeschwindigkeit für das Durchlaufverfahren kann mit  $11 \text{ m}/\text{min}$  angesetzt werden. Die Werkstückabmessungen der Fensterkanteln werden mit einer Breite von 81 mm und einer Höhe von 68 mm angenommen. Für die Länge gibt es im Prinzip keine Beschränkung.



### 4.1.1 Ablaufschema Durchlaufverfahren

Bei der Folienbeschichtung mit einer Durchlaufanlage werden aufgrund der Zusammenfassung gleicher Profile die Flügel und Rahmen getrennt voneinander beschichtet. Abbildung 19 zeigt die Herstellung der Blendrahmen im linken Zweig und der Flügelrahmen im rechten Zweig. Die auszuführenden Arbeitsschritte sind im gestrichelten Kasten dargestellt. Wie in 4.1.2 beschrieben, wird die Folienbeschichtung der Stirnseite als gesonderter Arbeitsgang nach der Querprofilierung angeordnet. Die im weiteren Verlauf näher erläuterten Arbeitsschritte gelten für Rahmen und Flügel gleichermaßen.

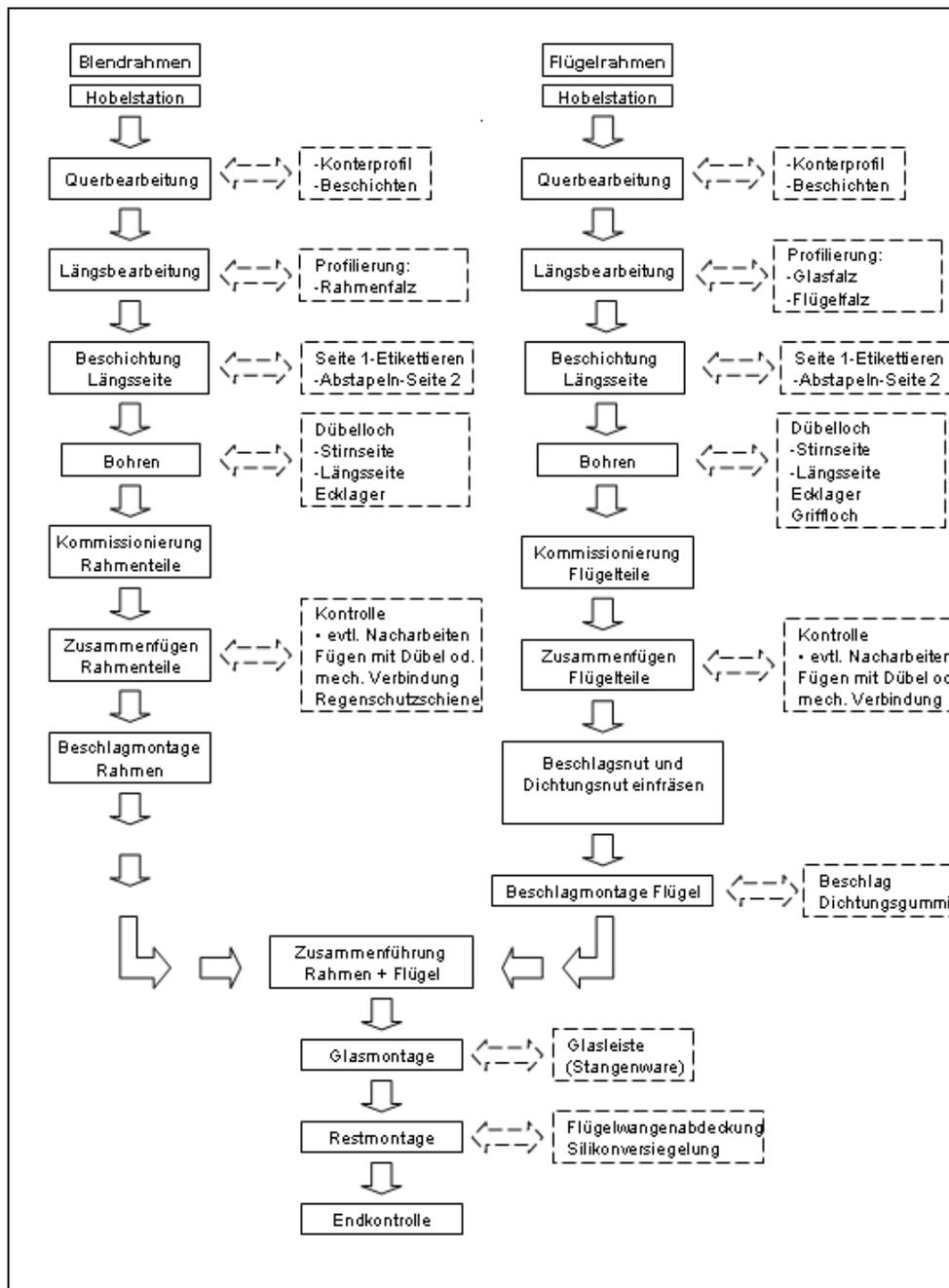


Abbildung 19: Ablaufschema Durchlaufverfahren



#### 4.1.1.1 Vorarbeiten

Die Kanthölzer werden grob abgelängt (+25-50 mm), kommissioniert bzw. sortiert und anschließend gefügt und auf Breite und Höhe gehobelt. Beim Hobeln muss eine einwandfreie Oberfläche für die anschließende Folienbeschichtung erzielt werden.

#### 4.1.1.2 Querprofilierung

An die Stirnseiten der Fensterkanteln werden die entsprechenden Profile angefräst. Hier werden mit einem Profilautomaten die Fensterteile paarweise bearbeitet.

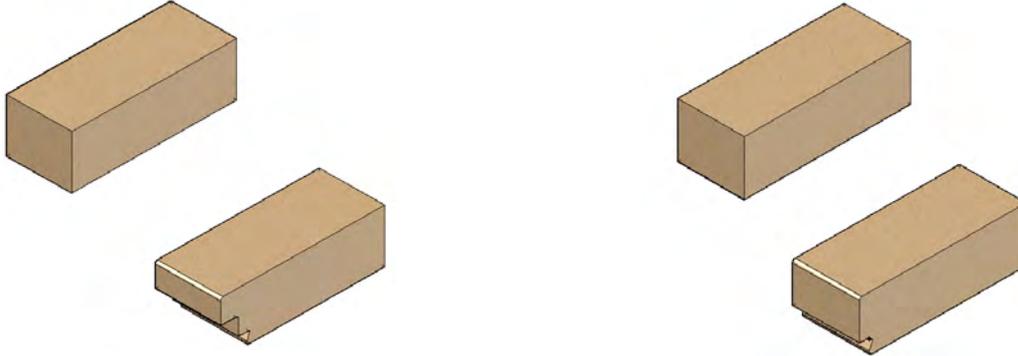


Abbildung 20: Profilierung der Stirnseiten

#### 4.1.1.3 Beschichtung Stirnseite

Im Anschluss wird die Stirnseite mit Folie beschichtet. Dieser Arbeitsschritt wird an dieser Stelle im Fertigungsprozess angeordnet, da hier die Bearbeitung aufgrund der geringen Vorschubgeschwindigkeit beim Querprofilieren am günstigsten ist.

##### Ablauf:

Die Fensterkanteln werden vom Schiebeschlitten übergeben. Entweder auf einen weiteren Schiebeschlitten oder ein Vorschubband. Dabei wird die Stirnseite mit Druckluft von Staub und Spänen gesäubert. Anschließend erfolgt die Folienbeschichtung. Die Folie wird von einer Vorratsrolle abgerollt und durch eine Schlitzdüsen (siehe Abbildung 21) mit Klebstoff benetzt. Dieser Arbeitsschritt sollte nicht direkt nach der Querprofilierung stattfinden, sondern mit einem ausreichenden Abstand, um eine evtl. erneute Verschmutzung durch Staub zu vermeiden.

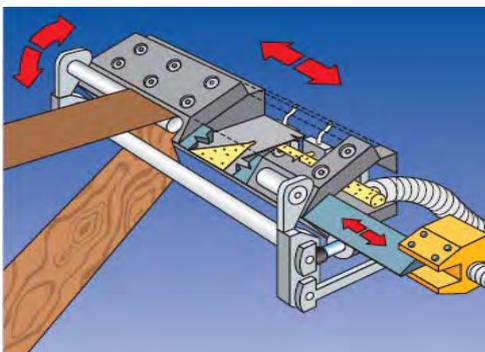


Abbildung 21: Schlitzdüsenauftrag<sup>14</sup>

Die Folie wird vor die Hirnholzseite gezogen und mit einem Metallstempel (siehe Abbildung 22 und Abbildung 23) gegen die zu beschichtende Fläche gepresst. Der Metallstempel gewährleistet

<sup>14</sup> Bildquelle: Prospekt Thermokaschieranlagen FK; Firma FRIZ; Weinsberg  
Seite 26 von 72

gleichzeitig einen ausreichend hohen Anpressdruck sowie die benötigte Hitzeentwicklung zum Reagieren und Abbinden des Schmelzklebers. Anschließend wird die Folie seitlich abgetrennt. Das Abtrennen des Folienüberstandes erfolgt durch die nachfolgende Längsprofilierung. Die Positionierung in der Höhe wird durch die Folienhöhe gesteuert. Diese sollte so gewählt werden, dass die angefräste Rundung (V-Fuge) nicht beschichtet wird, da sonst beim anschließenden Längsbeschichten hier eine Überlappung der Folie entsteht.

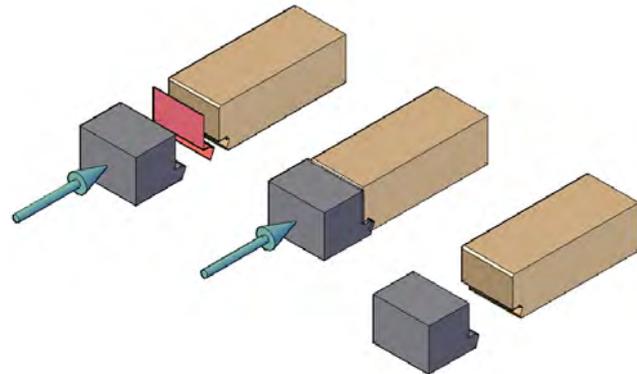
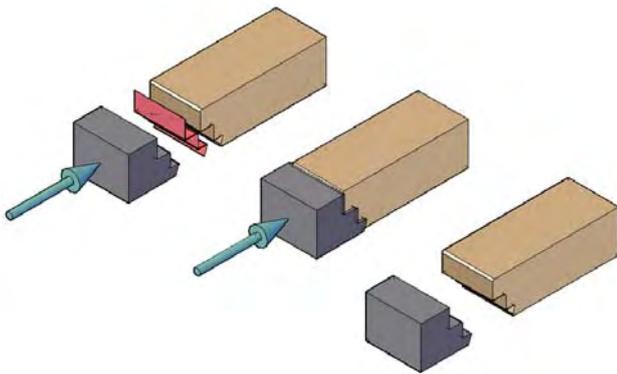


Abbildung 22: Stirnseitenbeschichtung Blendrahmen      Abbildung 23: Stirnseitenbeschichtung Flügelrahmen

Die Hölzer müssen an beiden Stirnseiten beschichtet werden. Wenn die Fensterkanteln am Beschichtungsaggregat quer vorbei geführt werden (wie beim Querprofilieren), dann muss für die gegenüberliegende Stirnseite das Holz gedreht werden. Dies ist aufgrund der unterschiedlichen Holzlängen nur mit einem sich daraus ergebenden erhöhten Platzbedarf umsetzbar.

Als geeigneter wird eine Folienbeschichtung der Stirnseite in einer der Längsachse der Holzes entsprechenden Vorschubrichtung betrachtet. Dabei wird die Fensterkantel an der entsprechenden Position gestoppt und die Folie wird von oben auf die Stirnkante gesetzt. Der Stempel wird mit einer 90°-Drehbewegung herangeführt und angepresst. Das Holz wird in Vorschubrichtung weitergeführt, bei der entsprechenden Position gestoppt und ein spiegelbildlicher Stempel wird von der anderen Seite eingedreht. Durch das Anordnen mehrerer Trommeln übereinander sind die unterschiedlichen Profile verfügbar.

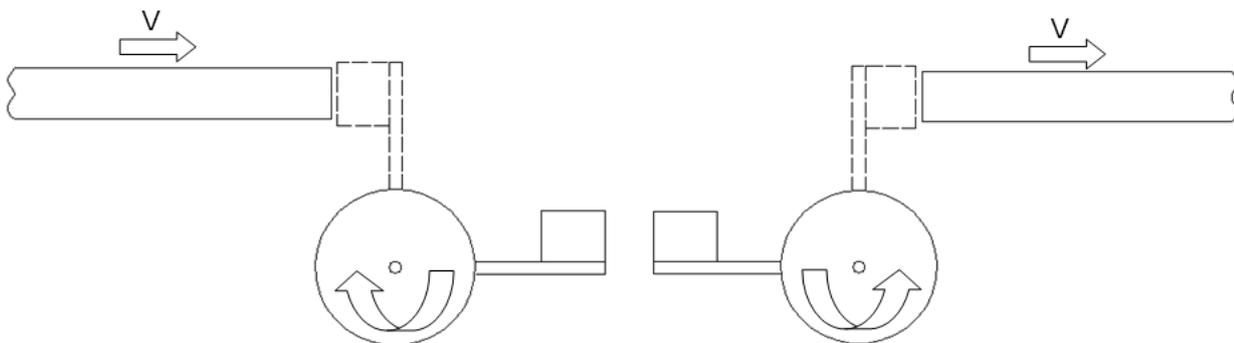


Abbildung 24: Prinzipskizze Stirnkantenbeschichtung

#### 4.1.1.4 Längsprofilierung

Bei der Längsprofilierung werden die Rahmen-, Flügel- und Glasfalze an die Fensterkanten angefräst. Beim Beschichten der Längsseite wird die Folie seitlich bündig geschnitten. Eventuell vorhandene Überstände werden bei der Längsprofilierung bündig gefräst. Die stirnseitige Folie wird im Falzbereich gemäß der vorhandenen Profilgeometrie abgefräst. Das mit hohem Aufwand verbundene bündige Abschneiden direkt nach der Stirnseitenbeschichtung entfällt damit.

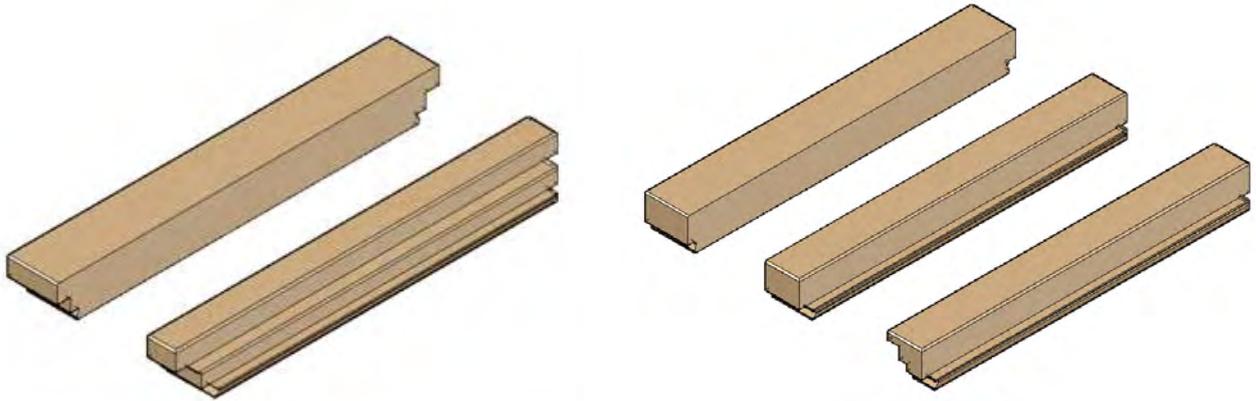


Abbildung 25: Längsprofilierung

#### 4.1.1.5 Versuch Haftung der Stirnseitenbeschichtung

Beim Konzept der Längsprofilierung stellt sich Frage, ob die Haftung der Folie auf dem Hirnholz ausreicht und ob der eingreifende Fräser am Ende der Fensterkante die Folie wieder wegreißt. In diesem Fall muss mit einem gegenlaufenden Fräser gearbeitet werden.

Um einen Anhaltspunkt zu erhalten, wird eine Versuchsreihe durchgeführt. Bei den Probenstücken handelt es sich um Holzfensterprofile IV 68 mit Konterprofilierung. Das Hirnholz wird mit Klebstoff benetzt und die Folie zwischen die Stirnseite und das Gegenprofil gelegt. Nach dem Aufbau eines Anpressdrucks wird mit einem Heißluftfön die Reaktion des Schmelzklebers erzeugt.

Es sind zwei Forderungen zu beachten:

- 1) Zum Reagieren des Klebers muss sowohl Druck wie auch Hitze gleichzeitig auf den Probekörper aufgebracht werden.
- 2) Der Schmelzkleber benötigt etwa 150-160°C zum Reagieren.

Zu 1.) Für den Versuch wird ein Gegenstück aus Holz verwendet.

Zu 2.) Der verwendete Heißluftfön erzeugt eine Maximaltemperatur von ca. 100°C und liegt damit unterhalb der geforderten Temperatur auf der Klebefläche.

Nach der Wegnahme des Anpressdrucks löst sich die Folie teilweise wieder ab. Durch eine Erhöhung der Presszeit auf 30 min konnte das zu geringe Temperaturniveau kompensiert werden.. Bei den anschließenden Fräsversuchen kommt es zu keinem Abreißen der Folie durch die Werkzeugschneide.

Es kann deshalb die Annahme getroffen werden, dass eine Stirnseitenbeschichtung mit Folie unter optimierten Bedingungen zufriedenstellend durchgeführt werden kann.



### Versuchsbeschreibung:

Probenanzahl: 15 Probekörper  
Folie: LuraSkin  
Klebstoff: PUR-Dispersionsklebstoff  
Anpressdruck: ca. 7,0 bar



Abbildung 26: Haftungversuche der Folie auf der Stirnseite

#### **4.1.1.6 Beschichtung Längsseite**

Die Folie wird durch die Anpressrollen kontinuierlich um das profilierte Holz herumgelegt. Der Schmelzklebstoff hat beim Auftragen auf die Folie eine Temperatur von 150-200°C. Die Anfangshaftung erreicht der Kleber bei < 50-60°C. Die Zeit bis zum Erreichen der Anfangshaftung beträgt ca. 6-10 Sekunden.

Aufgrund der Komplexität des Holzfensterprofils benötigt die Anordnung der Anpressrollen einen längeren Weg als bei bisher bekannten Profilen (Möbel und Türfronten). Ein zu schnelles Abkühlen des Klebstoffes beeinflusst die Haftung negativ. Um dem entgegen zu wirken sollten die Werkstücke wie auch die Folie auf Raumtemperatur erwärmt werden (bspw. durch Infrarot-Bestrahlung).

Aufgrund der Profilgeometrie kann die volle Profilabwicklung nicht in einem Durchlauf erreicht werden. Die Folie wird im Falzbereich gestoßen. Die Teile werden nach dem Beschichten der ersten Seite gewendet und nach dem Umrüsten der Anpressrollen wird die zweite Seite beschichtet. In der Abbildung 27 und Abbildung 28 ist eine mögliche Anordnung der Anpressrollen für die Blend- und Flügelrahmen schematisch dargestellt.

Das Umrüsten der Anpressrollen erfolgt über ein Schnellspannsystem. Dies ermöglicht einen zeitsparenden und genau positionierten Profilwechsel. Es ergibt sich die Forderung, die Profilvervielfalt einzuschränken. Jedes neue Profil benötigt eine komplette Bestückung mit Anpressrollen und führt zu hohen Umrüstzeiten.

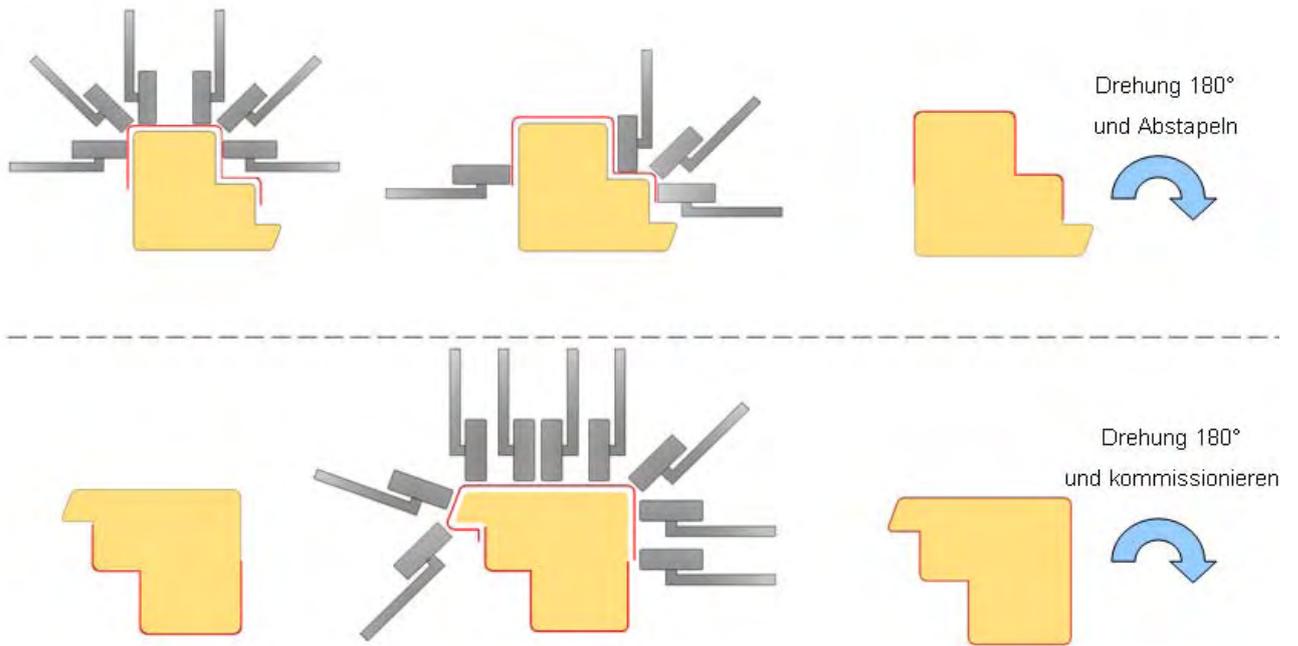


Abbildung 27: Rollenbeschichtung Blendrahmen

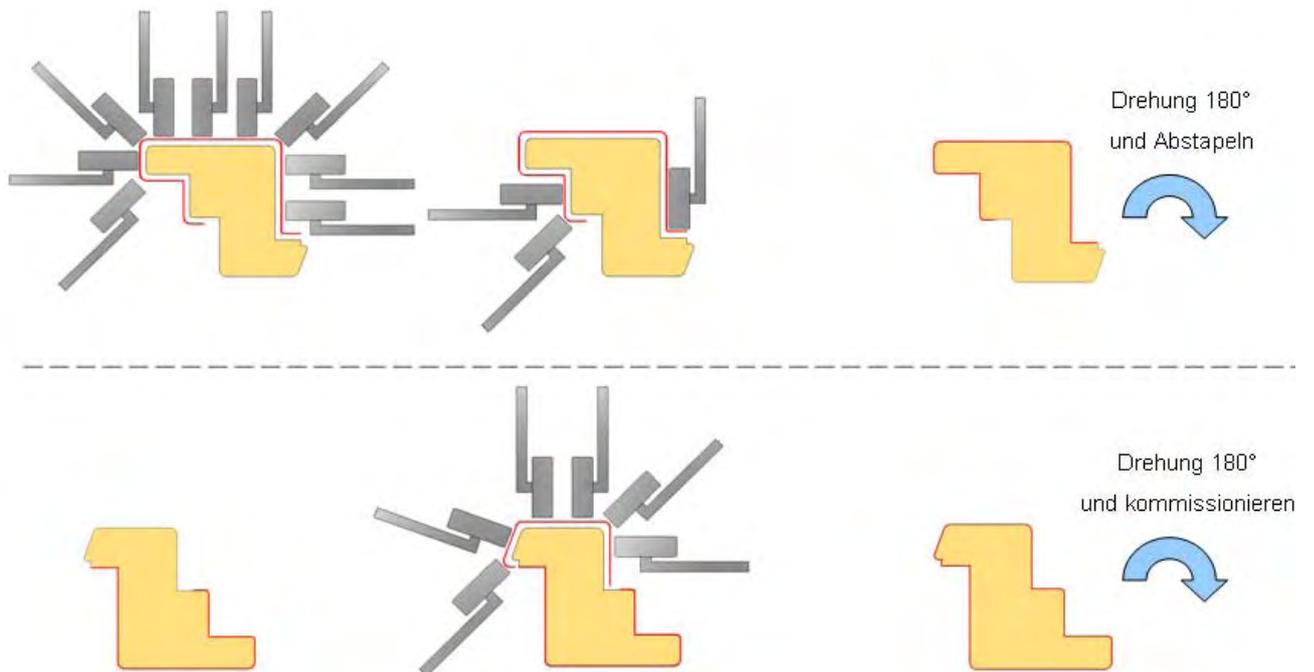


Abbildung 28: Rollenbeschichtung Flügelrahmen

### Beschichtung der V-Fuge:

Im Bereich der Rahmeneckverbindung muss auch die V-Fuge beschichtet werden. Wie im Abschnitt 4.1.1.3 gezeigt, wird die stirnseitige Beschichtung so positioniert, dass die abgerundete Kante zwischen Sichtfläche und Hirnholz nicht beschichtet wird. Erst beim Kaschieren der Längsseite wird diese Kante mit Folie versehen. Dafür müssen die Werkstücke mit einem Zwischenabstand vom mindestens 200 mm gefahren werden. Durch den Federdruck der Anpressrollen wird die Folie zwar nach unten gedrückt, dies sollte jedoch erst nach dem Herumlegen der Folie um die Längsseite passieren. Bei der anderen Variante – erst Folie an der Stirnkante herunterdrücken und dann um die Längsachse legen – kann eine ungewünschte Faltenbildung im Falzbereich auftreten. In jedem Fall problematisch ist der Klebstoff. Bis zu diesem Zeitpunkt ist er soweit abgekühlt, dass er seine Anfangshaftung erreicht hat. Ein erneutes kurzzeitiges Erwärmen des Klebers auf deutlich  $> 60^{\circ}\text{C}$  könnte ein neues Haften ermöglichen.

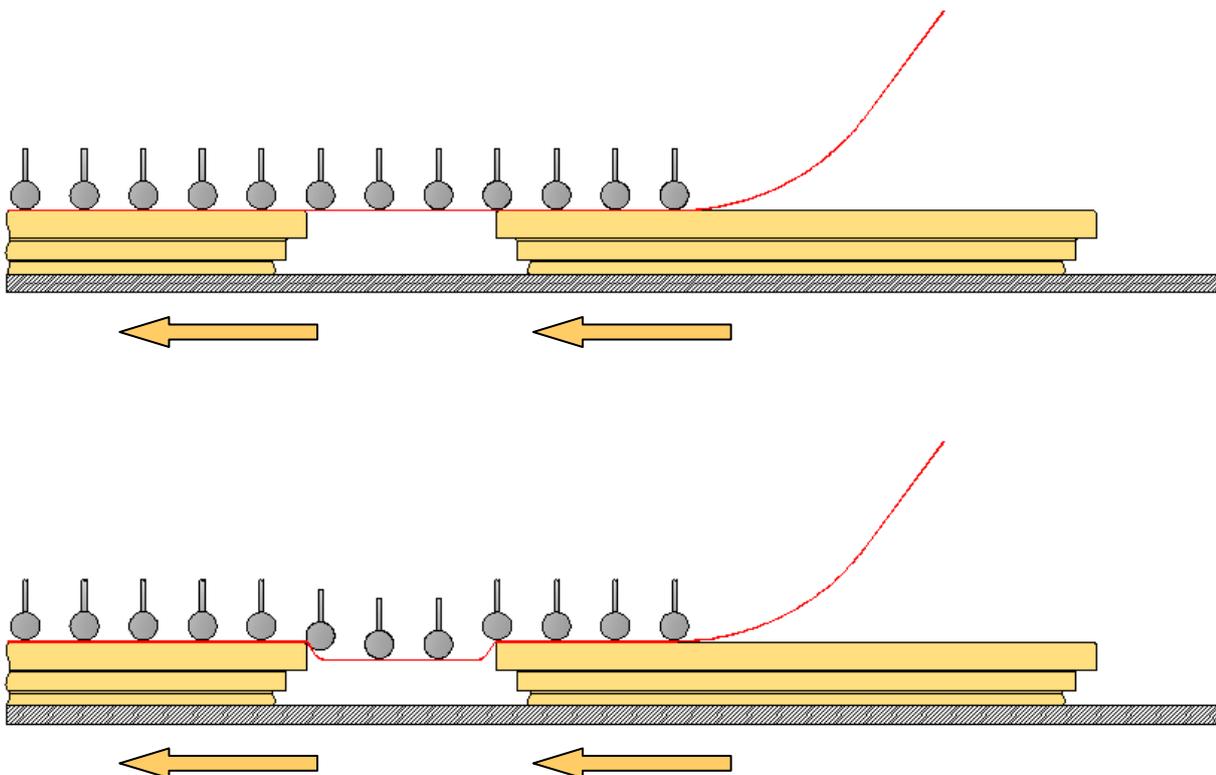


Abbildung 29: Beschichtung der V-Fuge

In der obenstehenden Abbildung ist schematisch das gedachte Funktionsprinzip dargestellt. Die Pfeile stehen für die Vorschubrichtung.

Ein entsprechendes Aggregat zur Wiedererwärmung des Klebers sowie den Anpressrollen mit einem höherem Federweg muss vom Maschinenhersteller noch entwickelt werden.



### Trennung der Werkstücke:

Über die Folie sind die Werkstücke zunächst verbunden und müssen noch getrennt werden. Hierfür kann entweder mit einer Trennsäge gearbeitet werden oder mit einem Messer. Die Genauigkeit des Trennschnitts kann sehr genau gesteuert werden. Der Schnitt kann nur in einer Ebene erfolgen. Die profilierte Stirnkante ist 3-dimensional ausgebildet.

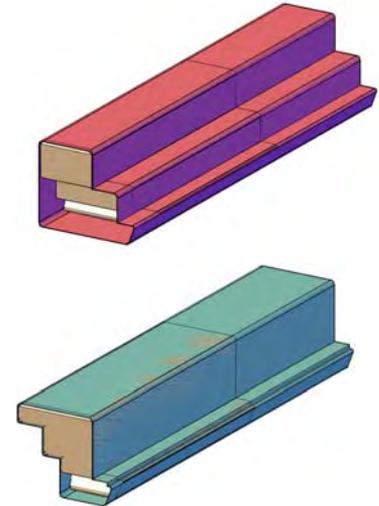
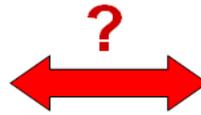
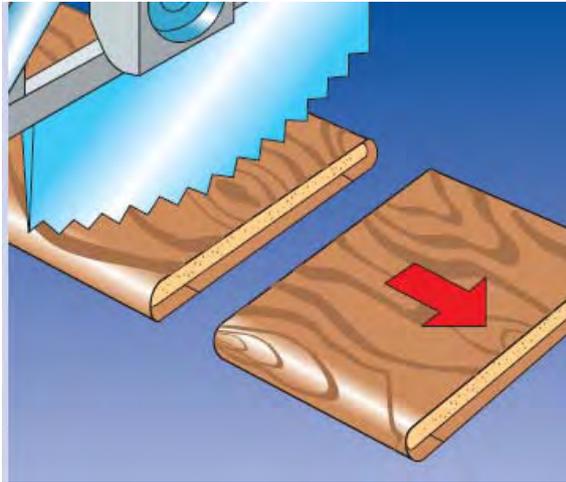


Abbildung 30: Trennung der Werkstücke<sup>15</sup>

Die Folientrennung muss in 3 Einzelschnitte aufgeteilt werden.

- die vertikale Trennung an der äußersten Stirnfläche (Abbildung 30)
- ein weiterer vertikaler Schnitt im Falzbereich (Abbildung 31)
- ein horizontaler Schnitt im Falzbereich (Abbildung 32)



Abbildung 31: Vertikaler Schnitt im Falzbereich

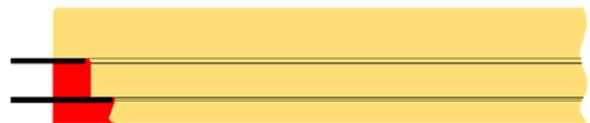


Abbildung 32: Horizontaler Schnitt im Falzbereich

Das Trennaggregat kann entweder mitlaufend oder stationär ausgeführt sein. Nach dem derzeitigen Stand der Technik ist ein Trennschnitt in dieser Ausführung maschinell nur mit sehr hohem technischem Aufwand umsetzbar. Auch hier wird deutlich, dass sich eine Beschränkung der Profilvervielfalt als notwendig erweist.

<sup>15</sup> Bildquelle: Prospekt Thermokaschieranlagen FK; Firma FRIZ; Weinsberg  
Seite 32 von 72



#### 4.1.1.7 Teileverfolgung

Durch die Zusammenfassung gleicher Profile müssen die Teile z. B. durch Etiketten identifiziert werden. Die Rahmenteile müssen deshalb in der richtigen Reihenfolge bereit gestellt werden. Das Anbringen der Etiketten kann in der Kaschieranlage automatisch erfolgen.

#### 4.1.1.8 Bohren

Die Bohrarbeiten müssen im Anschluss an das Kaschieren in einem separatem Arbeitsschritt stattfinden. Hier werden an den jeweiligen Stellen Bohrlöcher für die mechanische Rahmeneckverbindung und/oder Dübel und die Glasfalzentlüftung angebracht. Bei den Blendrahmen werden noch die Bohrungen für die Ecklager (Abbildung 33), bei den Flügelrahmen die Grifflochbohrung (Abbildung 34) eingebohrt.

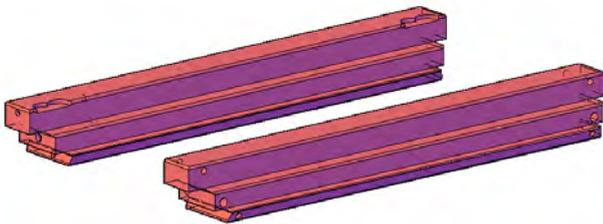


Abbildung 33: Bohrungen Blendrahmen

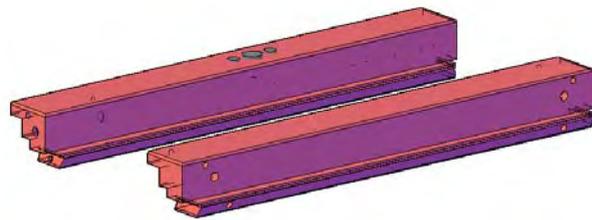


Abbildung 34: Bohrungen Flügelrahmen

#### 4.1.1.9 Teile zusammenfügen

Vor dem Zusammenfügen der Einzelteile werden diese kommissioniert. Dafür eignen sich bereits vorhandene Kommissionssysteme.

Beim Zusammenfügen der Einzelteile zu Blend- bzw. Flügelrahmen erfolgt von den jeweiligen Mitarbeitern eine Kontrolle der kaschierten Oberfläche. Hier besteht die Möglichkeit, evtl. kleinere Nacharbeiten auszuführen. Die Rahmen werden mit Dübeln verpresst oder mit der mechanischen Verbindung zusammengezogen.

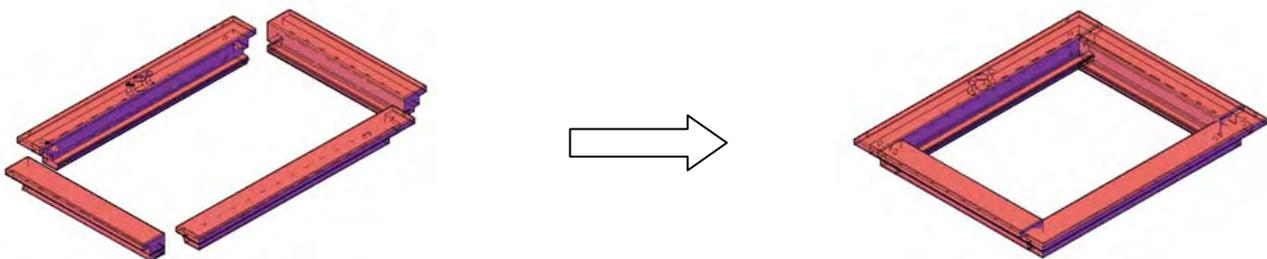


Abbildung 35: Teile zusammenfügen



Nach dem Zusammenfügen der Einzelteile zum Flügelrahmen werden die Getriebe Nut und die Dichtungsnut eingefräst. Beim Blendrahmen werden evtl. benötigte Nuten für Verbindungsfedern eingefräst. Um dabei eine Beschädigung der Folienoberfläche zu vermeiden sollte ein mitlaufender Schiebschlitten eingesetzt werden.

#### 4.1.1.10 Zusammenführung Rahmen und Flügel

Nach der Beschlagsmontage werden die Fensterrahmen zusammengeführt. Für die Glasmontage werden Glasleisten als Stangenware (siehe 3.3.1.3 Zusätzliche Profile) abgelängt und eingesetzt. Die Abdichtung zwischen Glas und Fensterprofil erfolgt entweder durch eine Trockenverglasung mit entsprechenden Dichtungsprofilen oder durch eine Nassverglasung mit Silikon.

Letztere Möglichkeit warf die Frage auf, ob Silikon auf der Folienoberfläche eine ausreichende Haftung entwickelt, um die auftretenden Bauteilbewegungen abzufangen. Ein Lösen des Silikons von der Folienoberfläche würde ein Eindringen von Regenwasser in den Glasfalz ermöglichen.

Zur Abschätzung über die Haftungsfähigkeit von Silikon auf Folie wird ein Versuch durchgeführt. Es werden Silikonstreifen auf 10 Probekörper aufgetragen. Nach einer Trocknungszeit von 24 Stunden wird durch Abziehversuche die Haftung überprüft. Als Ergebnis kann bei keiner einzigen Probe ein Ablösen festgestellt werden.

Verwendete Silikone:

- Perennator 110 C00 Transparent
- Perennator 110 C01 Weiß
- Perennator 110 C31 Eiche hell
- Perennator 110 C20 Hellgrau

Verwendete Folie:

- Luran® S



Abbildung 36: Haftungversuch Silikon auf Folie:

## 4.2 Modellierung des Stationären Verfahrens

Es wird hier, wie auch bei der Durchlaufanlage, eine derzeit verfügbare Technologie zu Grunde gelegt. Für die Modellplanung und zur Datenermittlung wird eine Vakuumpresse verwendet.

Der Presstisch wird mit Werkstücken belegt und anschließend die Folie durch das Vakuum um die Werkstücke gezogen. Dabei dehnt sich die Folie proportional zur Werkstückdicke aus. Durch die Dehnung der Folie nimmt die Schichtdicke an den vertikalen Flächen ab. Die Presszeit beträgt je nach Ausführung zwischen 60-120 Sekunden.



### 4.2.1 Ablaufschema Stationäres Verfahren

In der folgenden Abbildung 37 ist das Schema des Stationären Verfahrens dargestellt. Die nach dem Einfräsen der Beschlags- und Dichtungsnut zu tätigen Arbeiten sind analog zum Durchlaufverfahren in Abbildung 19.

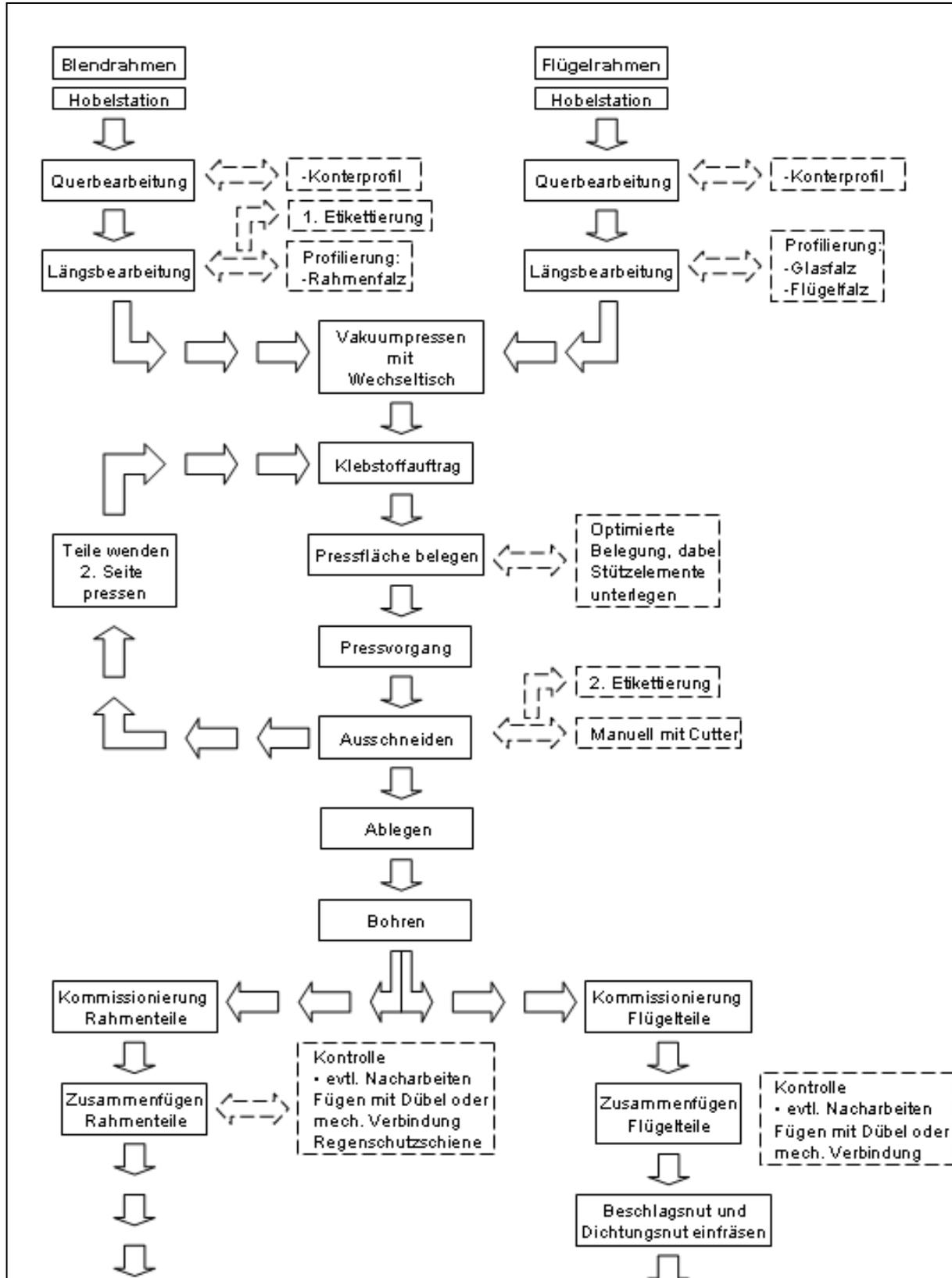


Abbildung 37: Ablaufschema Stationäres Verfahren



#### **4.2.1.1 Profilierung – längs und quer**

Die Arbeitsschritte Querprofilierung (4.1.1.2) und Längsprofilierung (4.1.1.4) werden komplett ausgeführt. Das fertig profilierte Holz wird anschließend für die Folienbeschichtung bereitgestellt.

#### **4.2.1.2 Vorhandene Erkenntnisse**

Zur Beschichtung von Fensterkanteln mit der Vakuumpresse wurden von der Firma BASF bereits grundlegende Erkenntnisse<sup>16</sup> und Erfahrungen gewonnen. Insbesondere die Erkenntnisse über die notwendigen Zwischenabstände der Werkstücke und das Verhalten der Folie bei Dehnung.

#### **4.2.1.3 Zwischenabstände**

Die Abstände zwischen den Werkstücken sind abhängig von der Werkstückhöhe. Bei der Höhe eines Fensterprofils von 68 mm sollte eine Abstandsbreite von 75 mm nicht unterschritten werden. Damit liegt das Verhältnis von Werkstückhöhe und Abstandsbreite bei annähernd 1:1.

---

<sup>16</sup> siehe Literaturverzeichnis [2] und [3]  
Seite 36 von 72



#### 4.2.1.4 Faltenbildung

Beim Beschichten von 3-dimensionalen Körpern mit Folie bilden sich an den Ecken Falten aus (siehe Abbildung 38). Diese Faltenbildung ist während des Kaschierungsprozesses nicht vermeidbar. Durch die Verwendung von Pass-Stücken an den Werkstückenden und ein Unterlegen der Teile kann die Faltenbildung weitgehend vermieden werden<sup>17</sup>.

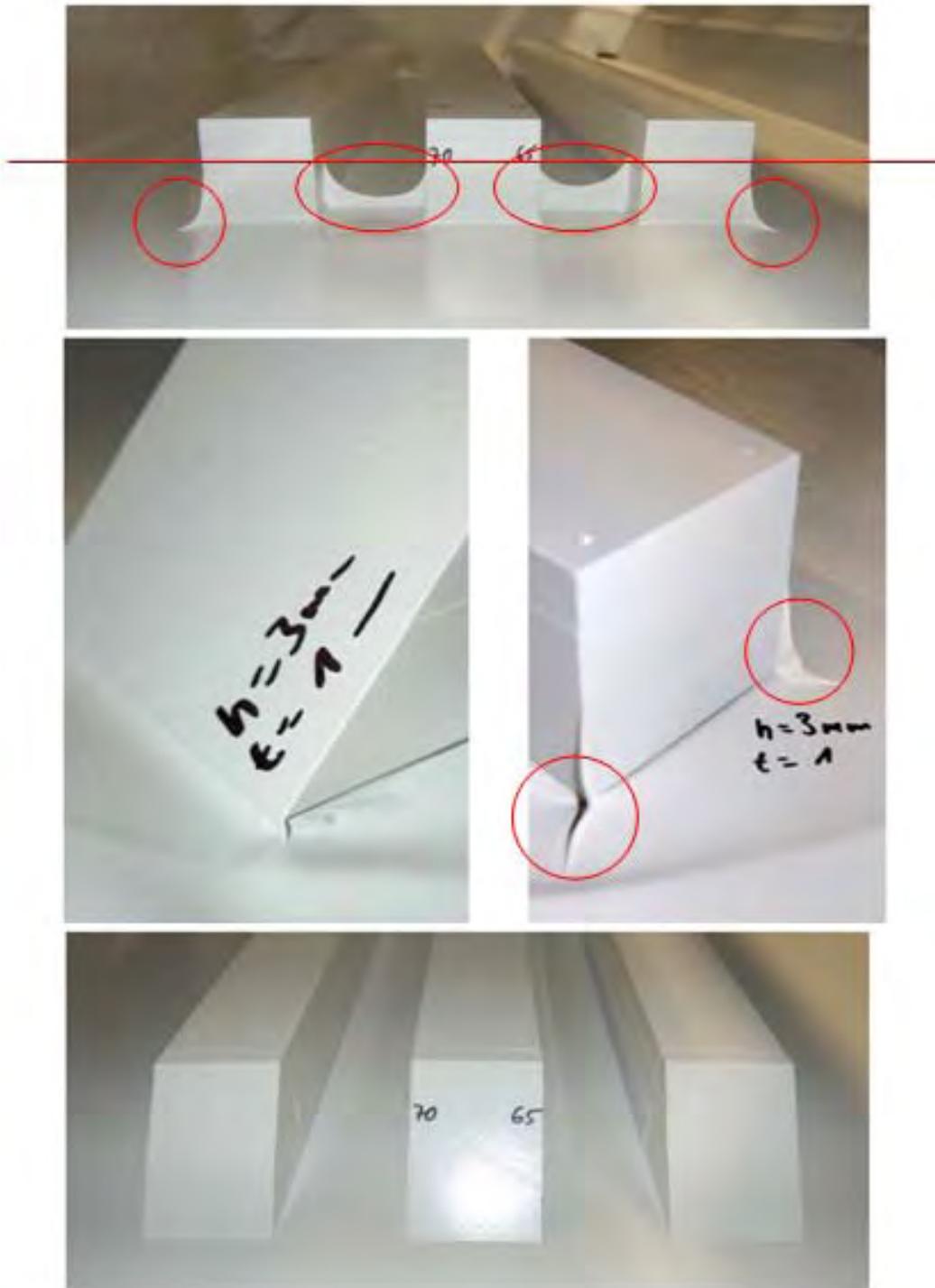


Abbildung 38: Faltenbildung beim 3D-Kaschieren

<sup>17</sup> vgl. Literaturnachweis [3]  
© Hochschule Rosenheim, Mai 2008



#### 4.2.1.5 Beschichtungsablauf

Von den 6 Seiten eines Werkstückes können maximal 5 in einem Pressvorgang beschichtet werden, d.h. es ist ein zweiter Pressvorgang notwendig. Die Haftung der Folie wird durch den aufgetragenen Klebstoff gewährleistet. Im Gegensatz zum Durchlaufverfahren wird beim Stationären Verfahren das Werkstück vorher mit Klebstoff benetzt. Der Auftrag erfolgt manuell mittels Rollen oder Spritzpistole. Durch Verwendung von Schablonen kann die mit Klebstoff benetzte Fläche begrenzt werden. Damit entsteht nach dem Pressvorgang eine eindeutig definierte Linie an der die Folie abgetrennt wird. Beispiel hierfür zeigt die Abbildung 39. Die Verwendung von Schablonen ist auch dahingehend sinnvoll, dass beim zweiten Pressvorgang nach dem Wenden der Werkstücke die Folie dort getrennt werden kann, wo die Folienüberlappung vorgesehen ist.

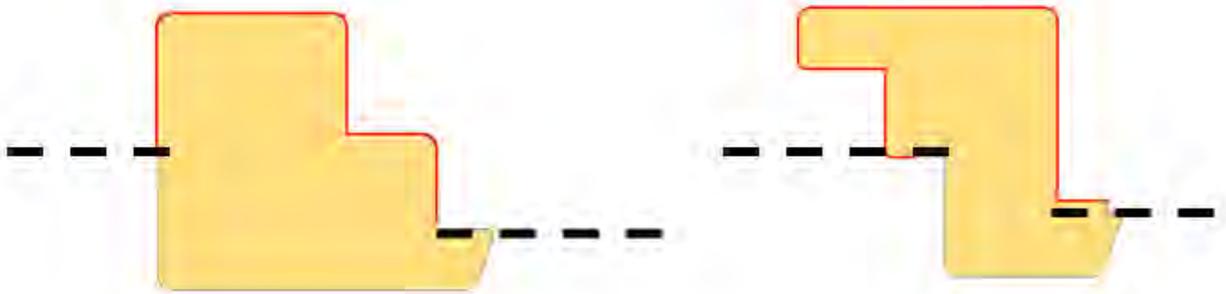


Abbildung 39: Folientrennkante beim Pressen

#### 4.2.1.6 Belegung der Pressfläche

Die im Abschnitt 4.2.1.3 gezeigten Abstände zwischen den Werkstücken sollten nicht unterschritten werden. Um den daraus resultierenden Verschnittabfall zu minimieren, muss die Belegung der Pressfläche optimiert werden. Für eine wirtschaftliche Belegung ist die Verwendung eines rechnergestützten Optimierungsprogramms notwendig. Dies zeigt auf einem Ausdruck oder Display die Anzahl, die Abmessungen und die Position der Teile an. Nach dem Pressvorgang werden die Werkstücke mit Etiketten gekennzeichnet. Das Positionieren der Werkstücke kann durch eine auf der Tischoberfläche angebrachte Skala erleichtert werden.



Abbildung 40: Beispiel Pressenbelegung



### Werkstückkippen:

Das Werkstück kann beim Pressvorgang kippen, wenn die Folie durch das Vakuum an den Werkstücken heruntergezogen wird. Bei einer zu geringen Auflagefläche, bzw. einem ungünstigen Schwerpunkt kann das Werkstück kippen. Dies gilt vor allem für des Flügelprofil, wenn die Fensteraußenseite aufliegt. Es müssen deshalb Stützelemente eingelegt werden.

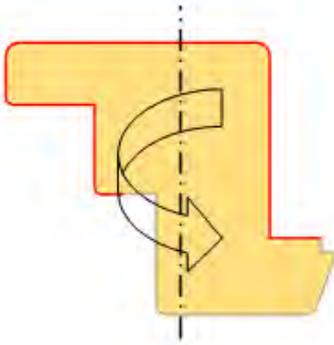


Abbildung 41: Kippgefahr beim Flügelprofil



## 5. Plandaten zur Kennzahlenermittlung

Für die beiden in Abschnitt 4.1 und 4.2 konzipierten Fertigungsalternativen werden nachfolgend charakteristische Kennzahlen ermittelt um die beiden Systeme miteinander vergleichen zu können. Auf Basis des im Abschnitt 3.5 gewählten repräsentativen Produktionsprogramm werden die beiden zu vergleichenden Verfahren in Abhängigkeit der Schichtleistung und einer definierten Anzahl an Farbwechsel je Schicht miteinander verglichen.

### 5.1 Arbeitszeit

Tage pro Jahr	365
Samstage	-52
Sonntage	-52
Feiertage	-12
Urlaubstage	-26
Krankheitstage	- 3
<b>Arbeitstage</b>	<b>220</b>

Die tägliche Schichtdauer wird mit 7,7 Stunden angesetzt.

### 5.2 Farbspektrum

Im Abschnitt 3.2 wurde die Möglichkeit einer farbigen Gestaltung der Folien genannt. Es wird unterstellt, dass pro Schicht bis zu fünf verschiedene Farbtöne produziert werden können. Die vom Markt am häufigsten gewünschte Farbe ist weiß. Deshalb wird dieser Farbe eine entsprechende hohe Gewichtung zugeteilt. Wie in Abbildung 42 dargestellt, wird für die Farbe Weiß ein Anteil von 75% festgelegt, die restlichen 25% verteilen sich gleichmäßig auf die weiteren 4 Farbtöne. Die Farbe Weiß wird jeden Tag aufgelegt.

Hohe Rüstzeiten beim Farbwechsel wirken sich sehr deutlich auf die Produktionskapazität aus.

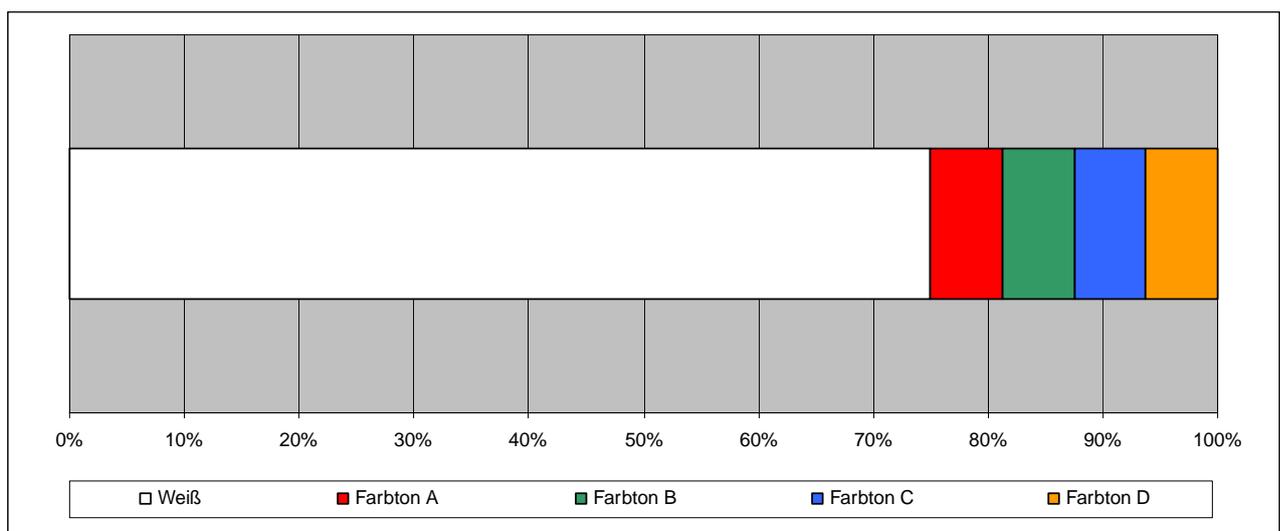


Abbildung 42: Übersicht Farbspektrum



## 5.3 Maschinendaten - Durchlaufverfahren

### 5.3.1 Basisdaten

Für die zu produzierende Fenstermenge ist die zur Verfügung stehende Maschinenlaufzeit entscheidend. Diese ergibt sich aus der gesamten Arbeitszeit abzüglich der Verteil- und Rüstzeiten, die zur Umstellung auf andere Rahmenprofile bzw. Farben benötigt werden. Zu Grunde gelegt wird, dass alle Fenstertypen aus dem im Abschnitt 3.5 definierten Produktspektrum pro Schicht produziert werden. Rahmenteile, die nur in sehr geringer Stückzahl benötigt werden, haben damit ein sehr ungünstiges Verhältnis zwischen Rüstzeit zur Produktionszeit.

#### Planungsdaten zum Durchlaufverfahren:

Vorschubgeschwindigkeit*	11	[m/min]
Rüstzeit je Profilwechsel	25	[min]
Rüstzeit je Farbwechsel	10	[min]
Zwischenabstand Werkstücke	0,2	[m]

### 5.3.2 Produktionsdatenermittlung

#### Vorgehensweise:

Eine Produktion kann nur dann stattfinden, wenn Teile durch die Maschine laufen. Maßgebend hierfür ist die Maschinenlaufzeit. Je nach Anzahl der Farbwechsel ändert sich die Kapazität der jeweiligen Anlage aufgrund der notwendigen Umrüstarbeiten. Diese zur Verfügung stehende Kapazität wird mit dem in Tabelle 3 aufgestellten Verteilungsschlüssel auf die einzelnen Fenstertypen verteilt.

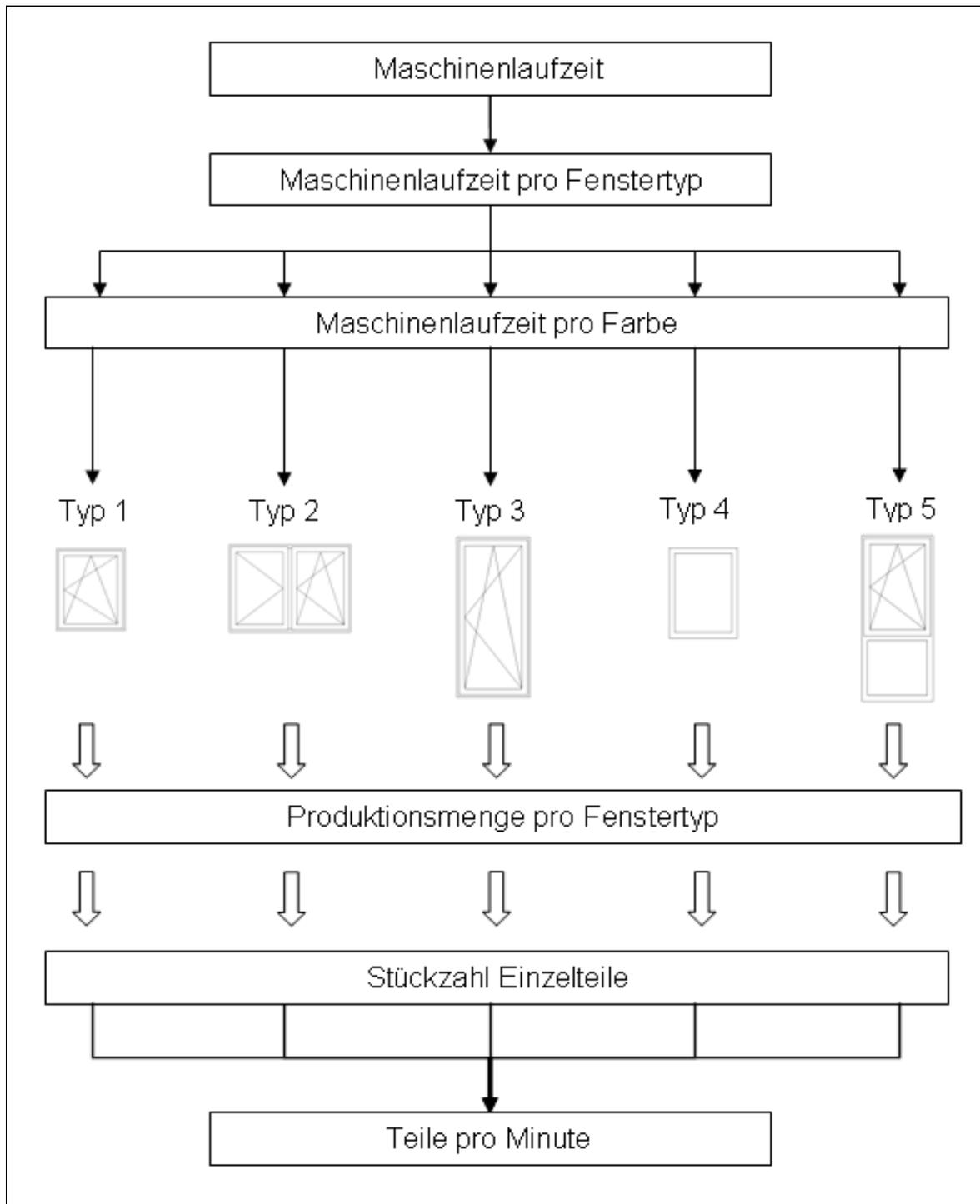


Abbildung 43: Prinzipdarstellung zur Ermittlung der Produktionsdaten im Durchlaufverfahren



### 5.3.3 Maschinenlaufzeit – Rüstzeit

Die zur Verfügung stehende Produktionszeit ergibt sich aus der gesamten Arbeitszeit abzüglich der Summe aller anfallenden Rüst- und Verteilzeiten. Der Aufwand für eine Umstellung der Profilart ist weitaus größer als die Umstellung der Farbe. Aus diesem Grund werden alle gleichen Profilarten zusammengefasst und beschichtet. Der Wechsel der farbigen Folien findet innerhalb der Profilbeschichtung statt. Beim Umrüsten der Profilart wird parallel dazu ebenfalls ein Folienwechsel durchgeführt.

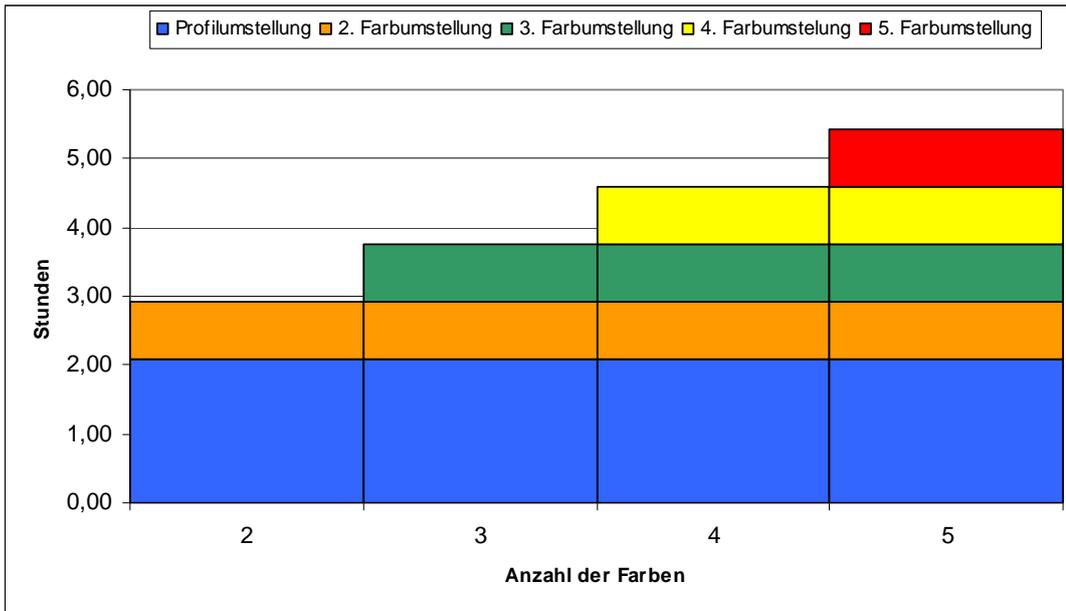


Abbildung 44: benötigte Rüstzeiten

In Abbildung 44 sind grafisch die anfallenden Rüstzeiten dargestellt. Der blaue Bereich zeigt die notwendige Zeit für den Profilwechsel an. Es wird deutlich, dass die zur Verfügung stehende Maschinenlaufzeit im Wesentlichen durch die Anzahl der Farbwechsel beeinflusst wird.

Tabelle 5: Verhältnis Maschinenlaufzeit zu Rüstzeit

	Anzahl der Farbwechsel je Schicht							
	2		3		4		5	
Produktionszeit	Stunden	Anteil	Stunden	Anteil	Stunden	Anteil	Stunden	Anteil
Maschinenzeit	4,78	62%	3,95	51%	3,12	40%	2,28	30%
Rüstzeit	2,92	38%	3,75	49%	4,58	60%	5,42	70%
Gesamtzeit	7,70	100%	7,70	100%	7,70	100%	7,70	100%

Als Maschinenlaufzeit wird die Zeit bezeichnet, in der Fensterteile in der Anlage beschichtet werden. In der Tabelle 5 wird ersichtlich, wie stark der Einfluss der Farbwechsel ist. Mit der Vorschubgeschwindigkeit multipliziert ergibt sich die Anzahl der laufenden Meter pro Schicht.



### 5.3.4 Teilelänge

Zur Ermittlung der Produktionsmenge werden erst die vorhanden laufenden Meter pro Fenstertyp ermittelt. Benötigt werden hierfür die Fertigmaße der Fenster. Als Rohmaß werden hier die Außenmaße bezeichnet. Das Fertigmaß ergibt sich unter Berücksichtigung der verwendeten Rahmeneckverbindung und Falzausbildung.

#### Profilquerschnitte:

Die in Tabelle 6 ermittelten Längenangaben beziehen sich auf die in Abbildung 45 dargestellten Falzmaße.

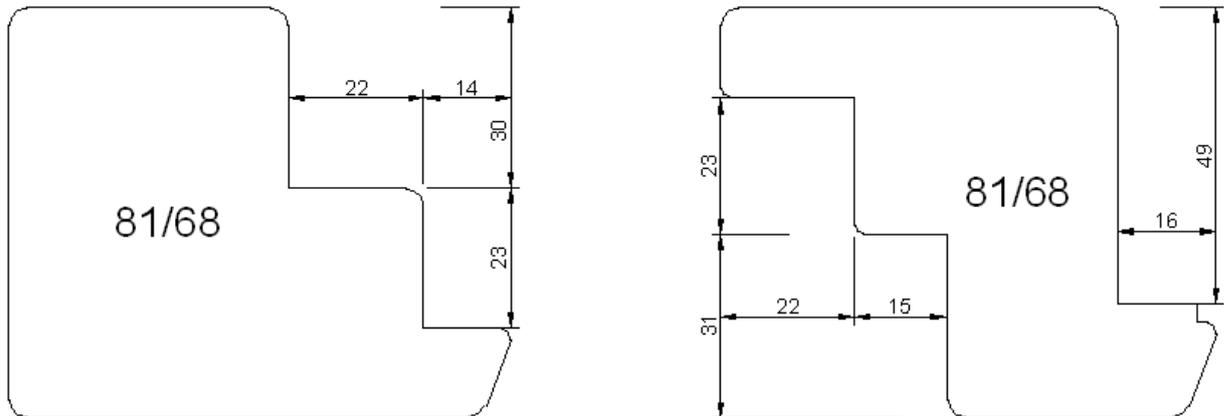


Abbildung 45: Fensterprofile Falzmaße

Tabelle 6: Fenstergröße Rohmaß – Fertigmaß [mm]

Teilegröße	Rahmen (Rohmaß)			Flügel (Rohmaß)		
	Breite	Höhe	Gesamt	Breite	Höhe	Gesamt
1-flgl. Fenster	1000	1300	4600	930	1230	4320
2-flgl. Fenster m. Setz	2000	1300	7900	930	1230	8640
1-flgl. Fenstertüre	1000	2100	6200	930	2030	5920
Festverglasung	1000	1300	4600	0	0	0
Kombination	1000	2100	7200	930	980	3820
Pfosten		1300				
Riegel	2000					

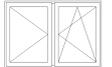
Teilegröße	Rahmen (Fertigmaß)			Flügel (Fertigmaß)		
	Breite	Höhe	Gesamt	Breite	Höhe	Gesamt
1-flgl. Fenster	1000	1208	4416	800	1230	4060
2-flgl. Fenster m. Setz	2000	1208	7624	800	1230	8120
1-flgl. Fenstertüre	1000	2008	6016	800	2030	5660
Festverglasung	1000	1208	4416	0	0	0
Kombination	1000	2008	7016	800	980	3560
Pfosten		1208		0		
Riegel	1870					



### 5.3.5 Laufmeter pro Fenster

Aus den ermittelten Fertigmaßen der Fensterteile ergibt sich die Laufmeteranzahl je Fenstertyp. In der Summe der Laufmeter ist der Abstand<sup>18</sup> von 0,20 m zwischen den jeweiligen Werkstücken eines Fensters sowie zum folgenden Fenster eingerechnet.

Tabelle 7: Laufmeter Rahmenprofile pro Fenstertyp

Laufende Meter pro Fenstertyp mit Zwischenabstand		Anzahl	Rahmen Breite [mm]	Anzahl	Rahmen Höhe [mm]	Anzahl	Flügel Breite [mm]	Anzahl	Flügel Höhe [mm]	Anzahl	Pfosten [mm]	Anzahl	Riegel [mm]	Rahmen [lfm]	Flügel [lfm]	Gesamt [lfm]
Typ	Schema															
1		2	1.000	2	1.208	2	800	2	1.230					5,22	4,86	10,08
2		2	2.000	2	1.208	4	800	4	1.230	1	1.208			8,42	9,72	18,14
3		2	1.000	2	2.008	2	800	2	2.030					6,82	6,46	13,28
4		2	1.000	2	1.208	0	0	0	0					5,22	0,00	5,22
5		2	1.000	2	2.008	2	800	2	980	0,5	1.208	0,5	1.870	7,56	3,56	11,12

### 5.3.6 Maschinenlaufzeit

Durch die Vorschubgeschwindigkeit kann die Anzahl der beschichteten Laufmeter pro Schicht in Abhängigkeit der Farbwechsel ermittelt werden. In Tabelle 8 ist die mögliche zu produzierende Laufmeteranzahl angegeben. Da die Fensterkanteln in zwei Durchgängen beschichtet werden müssen, halbieren sich rechnerisch die Laufmeter je Fenster.

Tabelle 8: Maschinenlaufzeit und Laufmeter pro Schicht

		Anzahl der Farben			
		2	3	4	5
Maschinenlaufzeit	[Std]	4,78	3,95	3,12	2,28
	[min]	287	237	187	137
Laufmeter Kanteln	[m]	3444	2844	2244	1644
Laufmeter Fenster	[m]	1722	1422	1122	822

Die Maschinenlaufzeit wird je Fenstertyp unter Berücksichtigung der prozentualen Verteilung der jeweiligen Fenstertypen (siehe Tabelle 3) aufgeschlüsselt. Dann wird die Zeit pro Fenstertyp nochmals nach den Farben aufgeteilt. Der Farbanteil weiß wird mit 75 % veranschlagt (siehe Abschnitt 5.2). Die restliche Produktionszeit verteilt sich auf die jeweiligen Farben. Im Beispiel in Tabelle 9 wird nur ein Farbwechsel pro Schicht durchgeführt. Je nach Anzahl der Farbwechsel ändert sich damit die Anlagenkapazität.

<sup>18</sup> vgl. Abschnitt 4.1.1.6 Seite 31

Tabelle 9: Maschinenlaufzeit nach Farben in Minuten (bei zwei Farben pro Schicht)

Maschinenzeit in Minuten nach Folienfarbe pro Tag je Fenstertyp							
Farbe	Anteil	Fenstertyp					Summe
		Typ 1	Typ 2	Typ 3	Typ 4	Typ 5	
weiß	75%	109,78	53,81	21,53	6,46	23,68	215,25
RAL-Ton A	25%	36,59	17,94	7,18	2,15	7,89	71,75
Summe	100%	146,37	71,75	28,70	8,61	31,57	287,00

### 5.3.7 Fenstermenge

Die Maschinenlaufzeit [min] multipliziert mit der Vorschubgeschwindigkeit [ $\text{m}/\text{min}$ ] ergibt die Laufmeteranzahl pro Schicht. Durch die in Tabelle 7 ermittelten laufenden Meter pro Fenstertyp ergibt sich die Menge der zu produzierten Fenstertypen pro Schicht (auf ganze Zahlen gerundet).

Tabelle 10: Fenstermenge pro Schicht bei 2 Farben

Fenster pro Schicht							
Farbe	Anteil	Fenstertyp					Summe
		Typ 1	Typ 2	Typ 3	Typ 4	Typ 5	
weiß	75%	59	16	9	7	8	99
RAL-Ton A	25%	20	5	3	2	3	33
Summe	100%	79	21	12	9	11	132

Bei einer gleichmäßigen Verteilung der 25 % bunten Farbanteile auf die Farbtöne B, C und/oder D ergibt sich eine entsprechende Anzahl von Fenstern nach Typen geordnet.

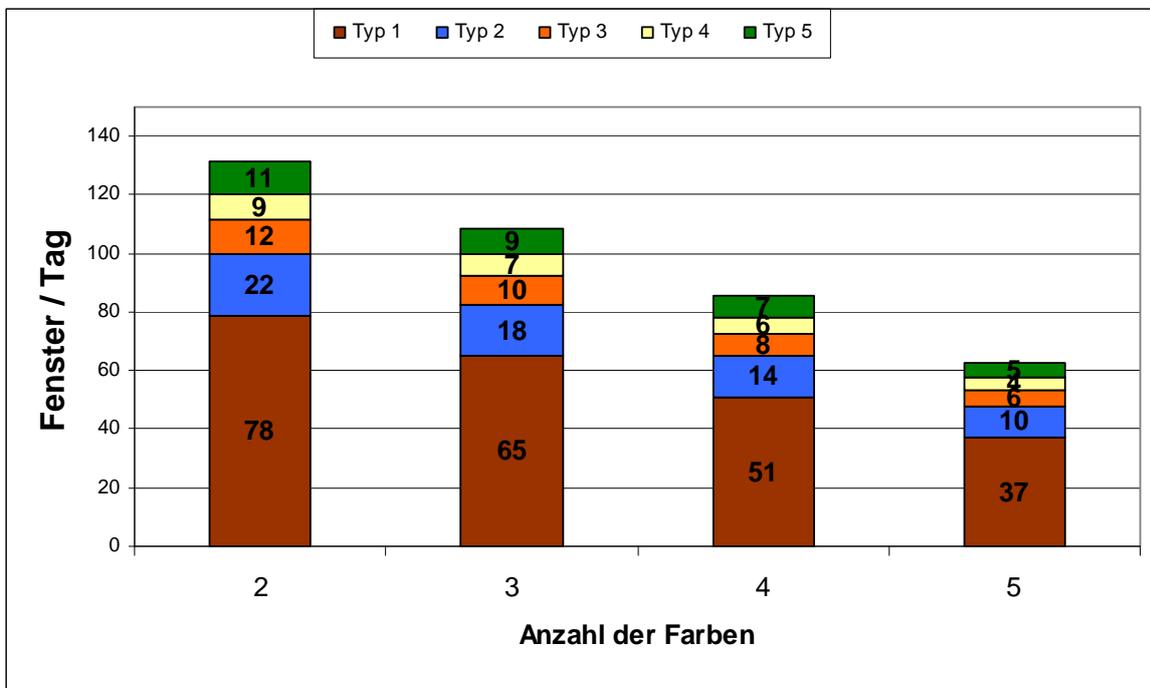


Abbildung 46: Stückzahl Fenstertypen pro Schicht



### 5.3.8 Einzelteile

Aus den produzierten Fenstermengen ergibt sich unter Berücksichtigung der Fenstertypen (siehe Tabelle 3) die benötigte Stückzahl von Einzelprofilen je Fenstertyp. Diese sind in der Spalte „Bezeichnung“ in Tabelle 11 dargestellt. Diese Einzelteile müssen für eine optimierte Maschinenauslastung zusammengefasst werden. Es wird deutlich, dass z. B. für die Profilart Pfosten oder Riegel das Verhältnis von Maschinenlaufzeit zu Rüstzeit in einem äußerst ungünstigem Verhältnis steht.

Tabelle 11: Einzelteile pro Schicht

Einzelteile pro Tag							
lfd. Nr.	Bezeichnung	Typ 1	Typ 2	Typ 3	Typ 4	Typ 5	Gesamt
1	Blend oben	78	22	12	9	11	132
2	Blend unten	78	22	12	9	11	132
3	Blend links	78	22	12	9	11	132
4	Blend rechts	78	22	12	9	11	132
5	Pfosten	0	22	0	0	6	30
6	Riegel	0	0	0	0	6	6
7	Flügel oben	78	43	12	0	11	144
8	Flügel unten	78	43	12	0	11	144
9	Flügel links	78	43	12	0	11	144
10	Flügel rechts	78	43	12	0	11	144
Summe		628	280	94	35	99	<b>1.136</b>

Bei einer Berechnung mit je 3, 4 und 5 Farben ändert sich der in Tabelle 9 angegebene Anteil der bunten Farben in die in Tabelle 12 angezeigten Anteile. Damit ergibt sich eine geringere Stückzahl von Einzelteilen pro Schicht.

Tabelle 12: Einzelteile in Abhängigkeit der produzierten Farben pro Schicht

Farben	Farbanteil	Einzelteile
3	12,5 %	938
4	8,2 %	738
5	6,25%	542

### 5.3.9 Teile pro Minute

Dieselbe Berechnung mit den zusätzlichen Farbverteilungen und den daraus resultierenden Einzelteilen ergibt die Teileanzahl die pro Minute beschichtet werden kann. Es zeigt sich nun, wie die Anzahl der Teile von den Rüstzeiten abhängen. Im gezeigten Beispiel wird mit einer gleichmäßigen Farbverteilung gerechnet.

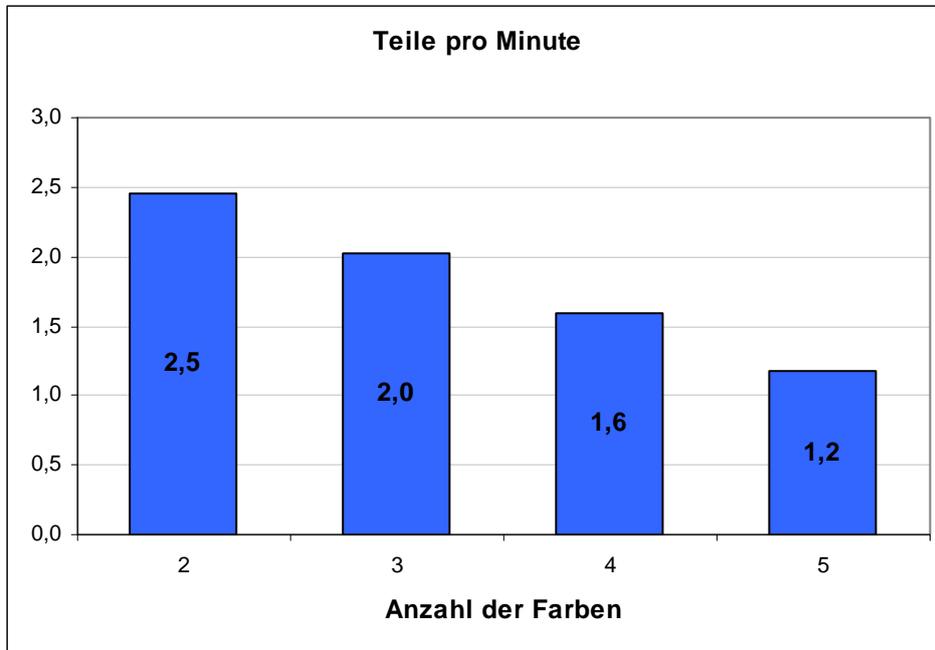


Abbildung 47: Teile pro Minute im Durchlaufverfahren

### 5.3.10 Fenstermenge pro Tag

Damit ergibt sich für das Durchlaufverfahren folgende Produktionskapazität an Fenstern pro Schicht in Abhängigkeit der Farbwechsel.

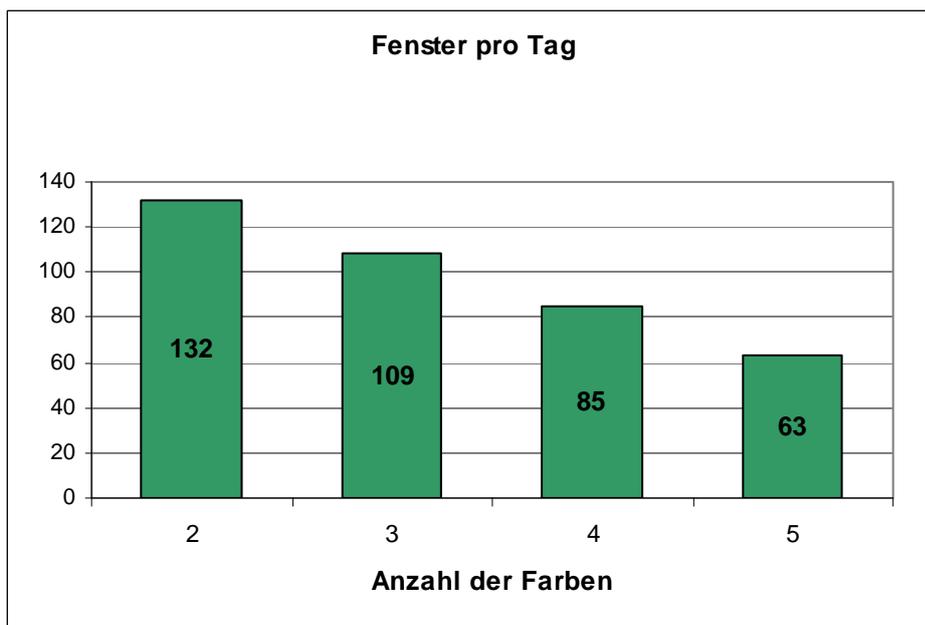


Abbildung 48: Fenster pro Schicht im Durchlaufverfahren



## 5.4 Maschinendaten – Stationäres Verfahren

### 5.4.1 Grundlegende Daten

Für dieses Verfahren ist die Anzahl der Presszyklen und die Optimierung der Pressenbelegung maßgebend. Bei der Beschichtung mit der Vakuumpresse treten Rüstzeiten nur bei weiteren Farbwechseln auf.

#### Planungsdaten zum Stationären Verfahren:

##### Presstisch:

Breite	1,25	[m]
Länge	2,55	[m]
Fläche	3,19	[m <sup>2</sup> ]

##### Zeitansatz:

Pressen	1	[min]
Belegen – Tisch	2-4	[min]
Freiräumen u. Ausschneiden	4,4	[min]
Presszyklen	6-7	1/[Stunde]

Berechnete Fensteranzahl	161	Stück
Zwischenabstände	> 75	[mm]

Gearbeitet wird mit einem Wechseltischsystem. Dadurch kann die Belegung und Entnahme der Teile parallel zum Pressvorgang stattfinden. Das Entnehmen und Zuschneiden der Teile dauert länger als das Belegen und Pressen. Die Taktzeit der Presse wird dabei nicht vom eigentlichen Folienbeschichtungsvorgang bestimmt, sondern von dem genauen Naschschnitten der überstehenden Folie.

## 5.4.2 Produktionsdatenermittlung

### Vorgehensweise:

Es wird das gleiche Produktspektrum wie bei der Durchlaufanlage mit 2 Farbwechseln vorausgesetzt. Diese Anzahl beinhaltet alle Fenstertypen gemäß ihrer Verteilung (siehe Tabelle 3). Aus dieser Fensteranzahl wird die entsprechende Teileanzahl ermittelt. Diese Teileanzahl wird anschließend mit den genannten Zeitansätzen pro Presszyklus beschichtet. Die Tischbelegung ist dabei optimiert, um den Folienverlust und die Kapazität zu optimieren. Aus der Anzahl der Presszyklen wird die Stückzeit ermittelt und daraus die Anzahl der Teile pro Minute berechnet.

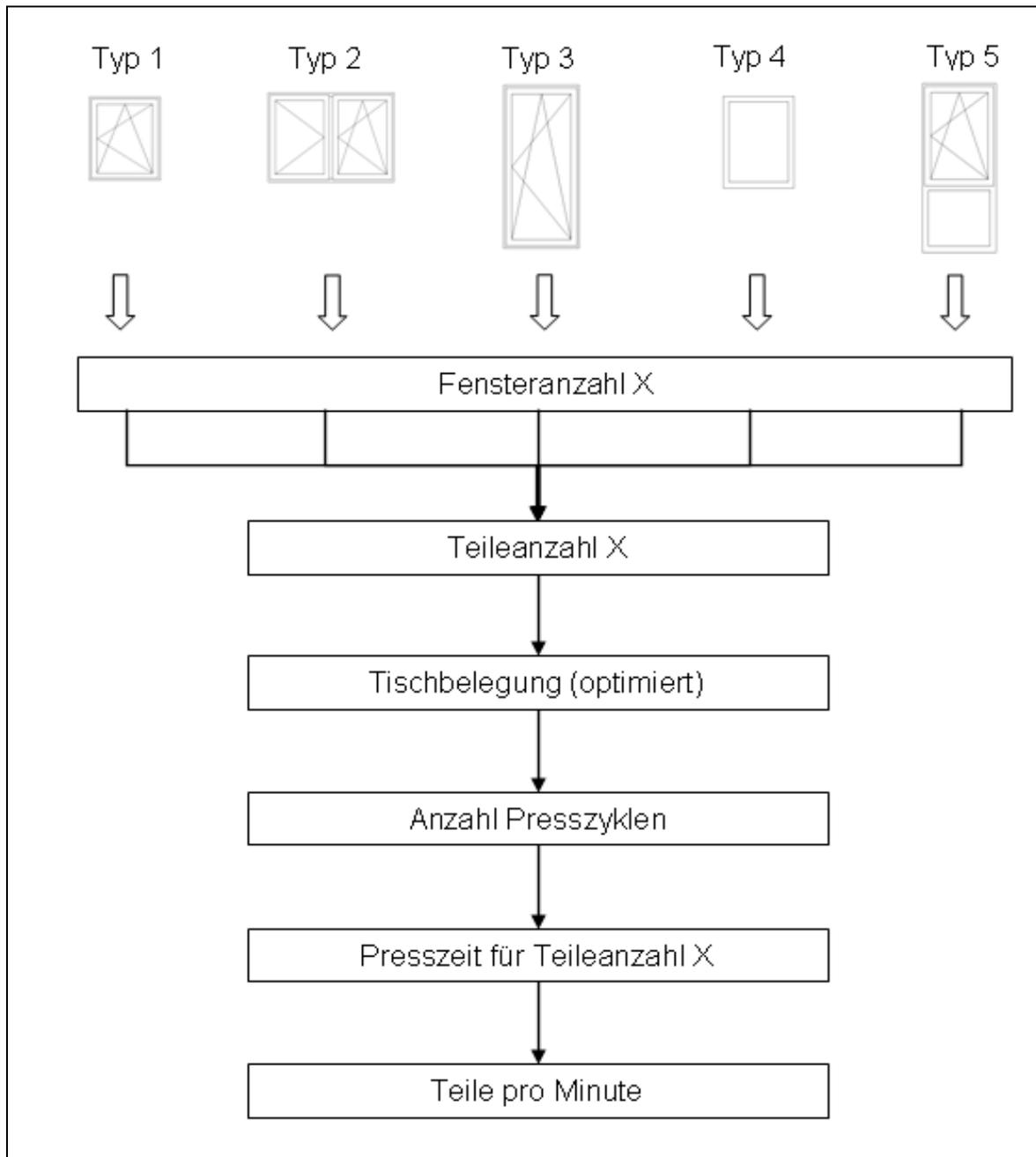


Abbildung 49: Prinzipdarstellung zur Ermittlung der Produktionsdaten im Stationären Verfahren

Alternativ dazu wird mit einer mittleren Teillänge gerechnet. Der Verlustfaktor der Folie ist hier durch die sehr günstige Pressenauslegung zwar geringer, aber im Endergebnis führen beide Belegungsarten zu nahezu gleichen Ergebnissen.



### 5.4.3 Teileanzahl

Aus der Verteilung der Fenstertypen (siehe Tabelle 3) ergibt sich eine entsprechende Anzahl an Einzelteilen. Die Länge der einzelnen Fensterprofile ist im Abschnitt 5.3.4 beschrieben. Zur Optimierung der Pressenbelegung werden Teile mit gleicher Länge und Farbe wie in Tabelle 13 dargestellt zusammengefasst. Die Zusammenfassung gleicher Teilleängen ist Voraussetzung für die Optimierung der Pressenbelegung.

Tabelle 13: Teile nach Länge zusammengefasst

Teilegröße	Rahmen (Fertigmaß)	Flügel (Fertigmaß)				
	Breite [mm]	Höhe [mm]	Gesamt [mm]	Breite [mm]	Höhe [mm]	Gesamt [mm]
1-flgl. Fenster	1000	1208	4416	800	1230	4060
2-flgl. Fenster m. Setz	2000	1208	7624	800	1230	8120
1-flgl. Fenstertüre	1000	2008	6016	800	2030	5660
Festverglasung	1000	1208	4416	0	0	0
Kombination	1000	2008	7016	800	980	3560
Pfosten		1208		0		
Riegel	1870					

Um einen Vergleich der beiden Applikationsverfahren zu ermöglichen, wird als zu beschichtende Menge die bei der Durchlaufanlage ermittelten Werte als Zielvorgabe angenommen. Damit ergeben sich bei einer Teileanzahl von 1239 Fensterteilen pro Tag (vgl. Tabelle 11) bei einer Arbeitszeit von 7,7 Stunden ca. 161 Teile pro Stunde (siehe Tabelle 14). Diese Anzahl wird für die Ermittlung der Anzahl der Presszyklen als Basiswert verwendet. Diese Teilemenge müsste von der Stationären Anlage pro Stunde beschichtet werden, um die Kapazität einer Durchlaufanlage zu erreichen.

Tabelle 14: Teileanzahl pro Stunde

Teilezahl pro Stunde							
lfd. Nr.	Bezeichnung	Typ 1	Typ 2	Typ 3	Typ 4	Typ 5	Gesamt
1	Blend oben	11,1	3,1	1,7	1,2	1,6	18,6
2	Blend unten	11,1	3,1	1,7	1,2	1,6	18,6
3	Blend links	11,1	3,1	1,7	1,2	1,6	18,6
4	Blend rechts	11,1	3,1	1,7	1,2	1,6	18,6
5	Pfosten	0,0	3,1	0,0	0,0	0,8	3,8
6	Riegel	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	0,8
7	Flügel oben	11,1	6,1	1,7	0,0	1,6	20,4
8	Flügel unten	11,1	6,1	1,7	0,0	1,6	20,4
9	Flügel links	11,1	6,1	1,7	0,0	1,6	20,4
10	Flügel rechts	11,1	6,1	1,7	0,0	1,6	20,4
Summe		88,9	39,7	13,3	5,0	14,1	<b>160,9</b>

Die in Tabelle 13 genannten Teilleängen ergeben bezogen auf die in Tabelle 14 dargestellten Mengen folgende in Tabelle 15 gezeigte prozentuale Verteilung. Die Teile mit gleicher Farbe bedeuten gleiche Längen. Aus dieser Losgröße wird die Pressfläche so optimal wie möglich belegt. Dabei ist eine Vermischung der Teile von verschiedenen Fenstertypen und Fensterpositionen

unvermeidbar. Diese müssen anschließend wieder sortiert werden. Das fensterweise Beschichten führt zu einem zu hohen Verschnittanteil und auch zu einem zeitlich höheren Aufwand.

Tabelle 15: Prozentuale Verteilung im Teilelos

Stückzahlen pro Stunde							
lfd. Nr.	Bezeichnung	Typ 1	Typ 2	Typ 3	Typ 4	Typ 5	Gesamt
1	Blend oben	6,9%	1,9%	1,0%	0,8%	1,0%	11,6%
2	Blend unten	6,9%	1,9%	1,0%	0,8%	1,0%	11,6%
3	Blend links	6,9%	1,9%	1,0%	0,8%	1,0%	11,6%
4	Blend rechts	6,9%	1,9%	1,0%	0,8%	1,0%	11,6%
5	Pfosten	0,0%	1,9%	0,0%	0,0%	0,5%	2,4%
6	Riegel	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,5%	0,5%
7	Flügel oben	6,9%	3,8%	1,0%	0,0%	1,0%	12,7%
8	Flügel unten	6,9%	3,8%	1,0%	0,0%	1,0%	12,7%
9	Flügel links	6,9%	3,8%	1,0%	0,0%	1,0%	12,7%
10	Flügel rechts	6,9%	3,8%	1,0%	0,0%	1,0%	12,7%
Verteilung		55,3%	24,6%	8,3%	3,1%	8,7%	100,0%

#### 5.4.4 Tischbelegung

Um die Faltenbildung zu minimieren ist ein Mindestabstand zwischen den Werkstücken notwendig (siehe Abschnitt 4.2.1.4). Bei einer gleichmäßigem Belegung der Presstischfläche ergibt sich im Mittel in der Breite eine maximale Anzahl von 7 FensterkanteIn. Selbst bei optimaler Belegung ergibt sich bedingt durch die Zwischenabstände und den umlaufenden Randabstand generell eine Belegfläche von weniger als 50 %.

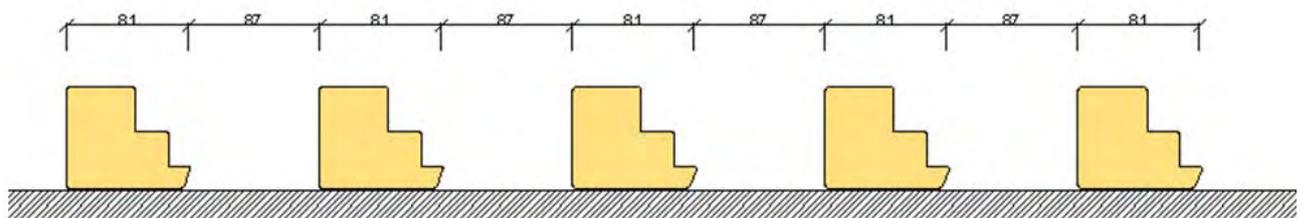


Abbildung 50: Tischbelegung – Zwischenabstand

Die Belegung des Tisches sollte durch ein rechnergestütztes Optimierungsprogramm (Nesting) erfolgen. Dem Auflegen der Fensterteile muss eine Belegung der Tischfläche mit Unterleghölzern vorausgehen. Um eine genaue Positionierung dieser Hölzer zu gewährleisten ist eine detaillierte Arbeitsvorbereitung notwendig. Parallel dazu sollen nach dem Pressvorgang die Teile markiert werden, z. B. durch vorbereitete Etiketten. In Abbildung 51 ist an einem Beispiel gezeigt, wie durch ein Optimierungsprogramm Einzelteile verschiedener Längen zusammengefasst werden könnten.

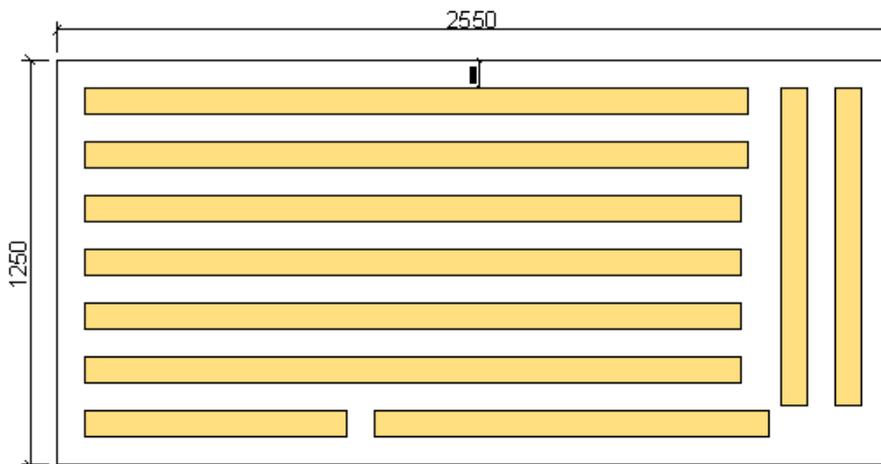


Abbildung 51: Tischbelegung - Optimierungsbeispiel

### 5.4.5 Presszyklen

Durch das Sortieren der Werkstücke und Optimieren der Tischbelegung ergeben sich im Mittel 12 Presszyklen um die angesetzte Teileanzahl von 161 Fensterkanten einseitig zu beschichten. Zur Beschichtung der zweiten Seite der Fensterkanten muss der Vorgang wiederholt werden.

### 5.4.6 Presszeit

In Tabelle 16 ist die Zeit aller Presszyklen zusammengefasst. Das Belegen und Ausschneiden/Freiräumen erfolgt parallel an Wechseltischen. Daher ist die Gesamtzeit gleich der längsten Zeit für das Ausschneiden/Freiräumen.

Tabelle 16: Presszeit

Presszeit	[min]
Belegen	1 - 4
Pressen	1
Ausschneiden / Freiräumen	4
Gesamt	4

### 5.4.7 Teile pro Minute

Aus der Teilmenge und der Presszeit ergibt sich die Anzahl der Teile pro Minute. Bei der Berechnung mit einer mittleren Teillänge (1,147m).

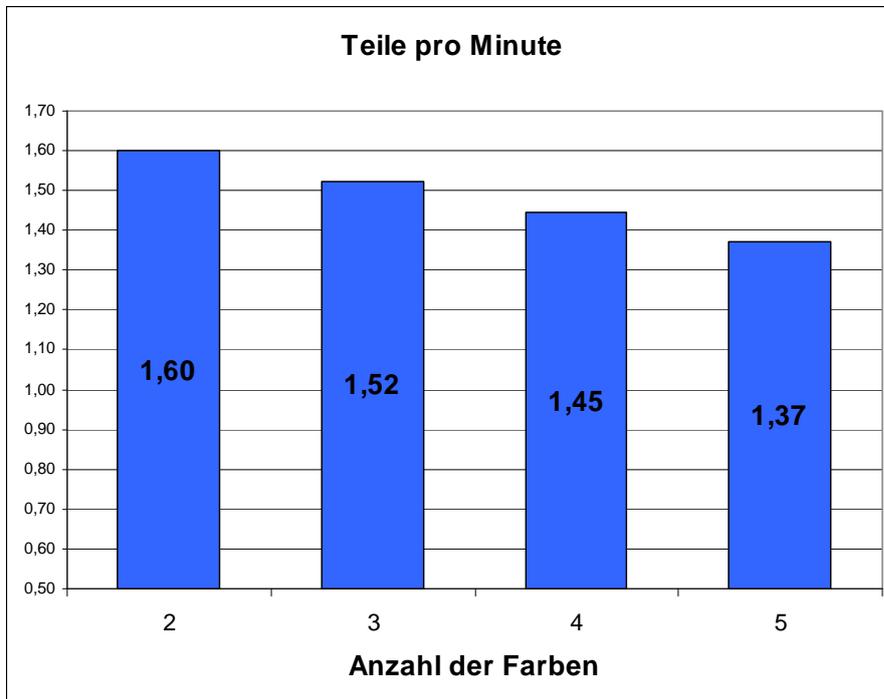


Abbildung 52: Teile pro Minute in Abhängigkeit der Farbwechsel

### 5.4.8 Fenstermenge pro Tag

Die Teileanzahl pro Schicht verteilt auf die Fenstertypen ergibt folgende Produktionsmenge je Schicht:

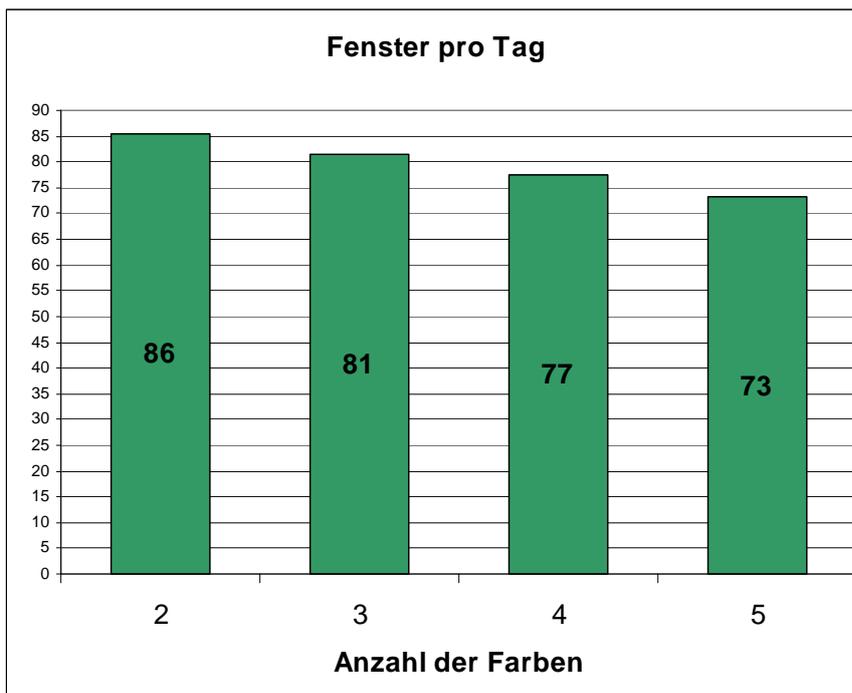


Abbildung 53: Fenstermenge pro Schicht in Abhängigkeit der Farbwechsel



## 6. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

### 6.1 Allgemein

Im nachfolgendem Abschnitt werden die Beschichtungskosten der beiden untersuchten Applikationsverfahren ermittelt und verglichen. Auf Wunsch der Projektgruppe wird nur an vergleichbarer Stelle eine automatisierte Nasslackierung für Fenstereinzelteile mit aufgeführt.

Wie in Abschnitt 3.3.1.3 dargestellt wird für beide Verfahren die benötigte Leistenware identisch mit dem Durchlaufverfahren beschichtet. Dieser Kostenblock spielt für den direkten Vergleich keine Rolle und wird deshalb nicht mit berücksichtigt.

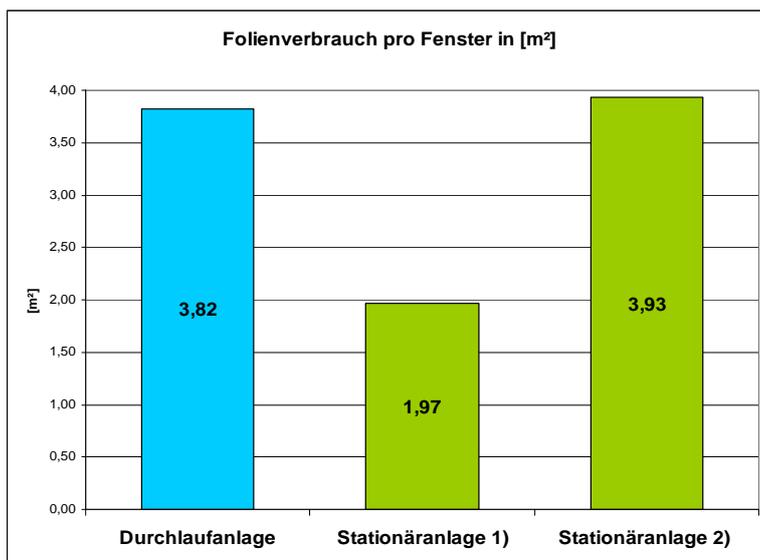
#### 6.1.1 Folienverbrauch

Beim Materialverbrauch der Folie werden neben der direkt aufgetragenen Folie auch die anfallenden Verschnitte berücksichtigt. Beim Durchlaufverfahren fällt kaum Verschnitt an, da hier durch das Applikationsverfahren die Folienaufbringung sehr genau gesteuert wird. Für die Bestimmung des Materialbedarfs ist die Abrollbreite eines Profilquerschnitts maßgebend.

Beim Stationären Verfahren beträgt der Verschnittanteil aufgrund des einzuhaltenen Abstandes zwischen den Werkstücken immer mehr als 50 %. Durch die Dehnung der Folie während des Vakuums ist im Prinzip weniger Folienmasse auf der Fensterkante. Abbildung 54 zeigt, dass der Folienbedarf im Schnitt etwa 50 % der Menge des Durchlaufverfahrens beträgt. Die Dehnung der Folie wird durch die Werkstückhöhe bestimmt.

Im Durchlaufverfahren beträgt der mittlere Folienbedarf pro Fenster 3,82 m<sup>2</sup>. Im Vergleich dazu benötigt man beim Stationären Verfahren 3,93 m<sup>2</sup>, inklusive einem Folienverschnitt von mehr als 50 %.

Dem gegenüber steht ein Materialbedarf von durchschnittlich 1,57 Liter pro Fenster bei der Nasslackierung.



1) reiner Folienbedarf auf der Fensteroberfläche

2) Folienbedarf mit Verschnitt (bei mittlerer Teillelänge)

Abbildung 54: Vergleich Folienverbrauch (ohne Leistenware)



### 6.1.2 Materialkosten

Für die Ermittlung der Materialkosten wird die jeweilige Schichtleistung der beiden Applikationsverfahren bei einer mittleren Teilleuge von 1,147 m angesetzt (Durchlaufverfahren siehe Tabelle 11 und Stationäres Verfahren siehe Tabelle 14).

Als Materialkosten<sup>19</sup> liegen folgende Angaben vor:

Durchlaufverfahren	Stationäres Verfahren	Nasslackierung
3,24 €/m <sup>2</sup>	3,52 €/m <sup>2</sup>	4,71* €/m <sup>2</sup>

Bei den Materialkosten sind Folie und Klebstoff berücksichtigt.

\* Die Kosten belaufen sich bei der Nasslackierung auf 3 Durchgänge zu je 1,57€/m<sup>2</sup>.

Der Materialbedarf und die Kosten beziehen sich auf die Oberfläche der Fensterkanten. Errechnet wird diese aus Abrollbreite x Länge. Die Abrollbreite definiert sich aus allen Falzen und Nuten innerhalb des Profils und beträgt im Mittel 0,284 m. Die Länge der Folie entspricht der mittleren Teilleuge zzgl. dem Zwischenabstand.

Für den Vergleich mit einer Nasslackierung<sup>20</sup> wird ein Bedarf von 170 g/m<sup>2</sup> je Durchlauf mit einer Rückgewinnung von 90 % angesetzt. Es werden 3 Farbwechsel pro Schicht durchgeführt. Die Lackierung erfolgt in 3 Durchläufen mit Mehrschichtlack (Sichtseite – Rückseite – Sichtseite). Der Gesamtbedarf an Lack beläuft sich auf 170 kg/Schicht. Als Kostengrundlage wird ein 20 Liter Gebinde angenommen. Der Preis liegt je nach Hersteller und Farbton/-art bei 180-210 €/Gebinde. Gerechnet wird mit einem Mittelwert von 200 €/Gebinde.

Die ermittelten Materialkosten sind in Abbildung 55 gegenübergestellt. Es zeigt sich, dass hier die Folienbeschichtung etwas günstiger ist.

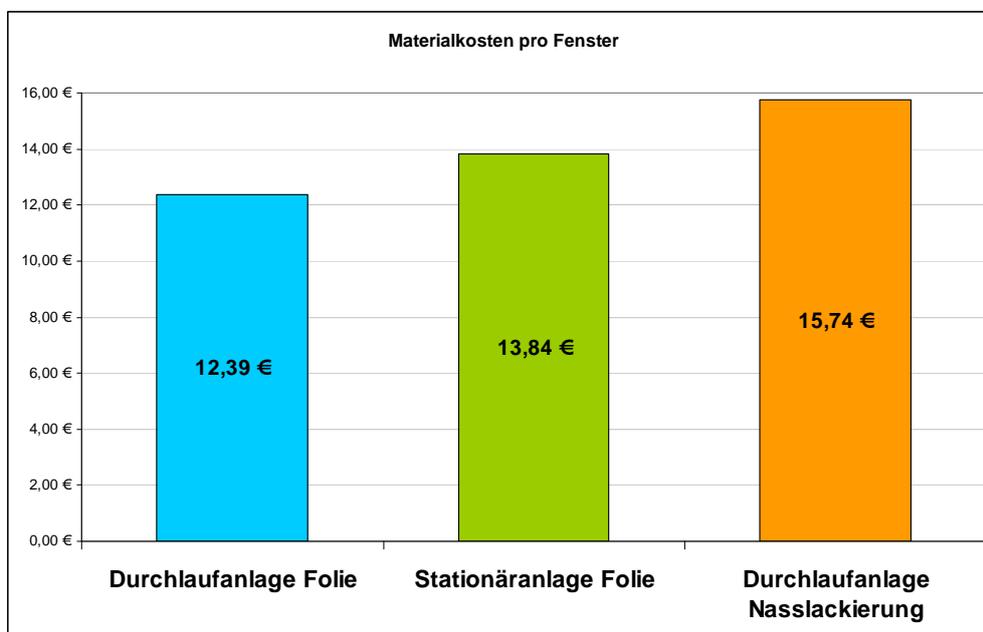


Abbildung 55: Vergleich Materialkosten

<sup>19</sup> Angaben Firma BASF

<sup>20</sup> Angaben Firma Venjakob



### 6.1.3 Maschinenstundensatz

In Tabelle 17 werden exemplarisch die Maschinenstundensätze jeweils für eine Beschichtungsanlage bei 3 Farbwechseln je Schicht ermittelt. Die Beschichtungskapazitäten der einzelnen Anlagen sind dabei konzeptbedingt unterschiedlich hoch. Die Angaben für die Zusatzausstattung (Zeile 3) sind vorläufige Schätzwerte nach Rücksprache mit den Maschinenherstellern.

Tabelle 17: Vergleich Maschinenkosten

Maschinenstundensatzberechnungsbogen			Nassbesch.	Folie	
			Durchlauf	Durchlauf	Stationär
	Kapazität (Rahmeneinzelteile/Schicht)	Stk.	930	930	700
1	Maschinenpreis	€	450.000 €	150.000 € <sup>21</sup>	150.000 €
2	Nebenkosten (Installation ...)	€	- €	- €	- €
3	Zusatzausstattung	€	- €	80.000 € <sup>22</sup>	40.000 €
4	Kosten für die betriebsbereite Maschine (1) + (2) + (3)	€	450.000 € <sup>23</sup>	230.000 €	190.000 € <sup>24</sup>
5	Abschreibungszeitraum	Jahre	8	8	8
6	Jährliche Kostensteigerung	%	4,25	4,25	4,25
7	Faktor für die Kostensteigerung $1 + ((6) / 100)^{(5)}$		1,00	1,00	1,00
8	Jährliche kalkulatorische Abschreibung (4) * (7) / (5)	€/ Jahr	56.250 €	28.750 €	23.750 €
9	Zinssatz (kalkulatorische Zinsen)	%	6,00	6,00	6,00
10	Jährliche Zinskosten $(0,5 * (4) * ((9) / 100))$	€/ Jahr	13500	6900	5700
11	Jährliche fixe Instandhaltungskosten (3 %)	€/ Jahr	13500	6900	5700
12	Jährliche Raumkosten 50 250 m <sup>2</sup> €/ m <sup>2</sup>	€/ Jahr	12500	12500	12500
13	Fixe Maschinenkosten je Jahr (8) + (10) + (11) + (12)	€/ Jahr	95.750 €	55.050 €	47.650 €
14	Nutzungszeit je Jahr 7,7 220 Std / Jahr Std / Sch. Tage		1694	1694	1694
15	Fixer Maschinenstundensatz (13) / (14)	€/ Std.	56,52 €	32,50 €	28,13 €
16	Nennleistung	kW	40	36	48
17	Strompreis	€	0,12	0,12	0,12
18	Wirkungsgrad	η	0,8	0,8	0,8
19	Energiekosten (16) * (17) * (18)	€/ Std.	3,84	3,456	4,608
20	Sonstige Maschinenbezogene Kosten ▪ Werkzeugverbrauch ▪ Werkzeuginstandhaltung variable Instandhaltungskosten der Maschine ▪ Kühl- und Schmiermittelverbrauch	€/ Std.	5,00	5,00	5,00
21	Variabler Maschinenstundensatz (19) + (20)	€/ Std.	8,84 €	8,46 €	9,61 €
22	Maschinenstundensatz	€/ Std.	<b>65,36 €</b>	<b>40,95 €</b>	<b>37,74 €</b>

<sup>21</sup> Angabe Firma FRIZ Kaschiertechnik; Weinsberg

<sup>22</sup> Angabe Firma Weinig Maschinenbau; Tauberbischofsheim

<sup>23</sup> Angabe Firma Venjakob Maschinenbau; Rheda-Wiedenbrück

<sup>24</sup> Angabe Firma FRIZ Kaschiertechnik; Weinsberg



### 6.1.4 Variable und fixe Kosten

Für die Kostenermittlung werden hier die Personalkosten als fixe Kosten angesetzt, d.h. jede Anlage ist mit einer Stammmannschaft besetzt. Wird jeweils mehr als 1 Anlage benötigt, besteht bei den Personalkosten noch Optimierungspotenzial, da einzelne Mitarbeiter bei entsprechend geringer Auslastung anderweitig eingesetzt werden könnten.

Tabelle 18: Variable und fixe Kosten bei 3 Farbwechseln

Verfahren		Nasslack.	Folie	
		Durchlauf	Durchlauf	Stationär
<b>Kapitalbedarf</b>				
Investition	€	450000	230000	190000
		1 Anlage	1 Anlage	1 Anlage
<b>Basisdaten</b>				
Teilebedarf	Stück/Schicht	930	930*	700*
Platzbedarf	m <sup>2</sup>	250	250	250
Personalbedarf	Anzahl MA.	3	2	4
Arbeitstage	Tage/Jahr	220	220	220
Arbeitsstunden	Std./Schicht	7,7	7,7	7,7
Taktzeit incl. Rüstzeiten	min/Teil	0,42	0,25	0,33
Fertigungszeit Personalzeit	min/Teil	0,42	0,49	0,66
pers. Verteilzeit	%	15	15	15
Personalkosten	€/min	1,49	0,99	1,99
<b>Berechnung der var. Kosten</b>				
Energiekosten	€/Teil	0,03 €	0,03 €	0,05 €
Sonstige Maschinenkosten	€/Teil	0,04 €	0,04 €	0,05 €
Materialkosten	€/Teil	1,81 €	1,43 €	1,59 €
<b>Summe var. Kosten</b>	<b>€/Teil</b>	<b>1,88 €</b>	<b>1,49 €</b>	<b>1,70 €</b>
<b>Berechnung der fixen Kosten</b>				
Personalkosten	€/Schicht	599,31 €	399,54 €	799,08 €
kalk. Zinsen	€/Schicht	61,36 €	31,36 €	25,91 €
kalk. Abschreibungen	€/Schicht	255,68 €	130,68 €	107,95 €
kalk. Versicherung	€/Schicht	30,68 €	15,68 €	12,95 €
kalk. Raummiete	€/Schicht	56,82 €	56,82 €	56,82 €
<b>Summe fixe Kosten</b>	<b>€/Schicht</b>	<b>1.003,85 €</b>	<b>634,08 €</b>	<b>1.002,71 €</b>
<b>Summe fixe Kosten</b>	<b>€/Teil</b>	<b>1,08 €</b>	<b>0,67 €</b>	<b>1,42 €</b>

\*Werte auf ganze Dezimalstellen gerundet

Analog gerechnet ergeben sich für mehrere Farbwechsel nachfolgende Gesamtkosten:

Tabelle 19: Gesamtkosten bei unterschiedlichen Farbwechseln

Verfahren		Farbwechsel			
		2	3	4	5
Durchlauf Folie	Σ variable Kosten	1,48 €	1,49 €	1,51 €	1,54 €
Stationär Folie		1,69 €	1,70 €	1,70 €	1,71 €
Durchlauf Nasslack.	Σ fixe Kosten		1,88 €		
Durchlauf Folie		0,55 €	0,67 €	0,85 €	1,16 €
Stationär Folie		1,35 €	1,42 €	1,49 €	1,57 €
Durchlauf Nasslack.			1,08 €		
<b>Durchlauf Folie</b>	Σ Gesamtkosten	<b>2,04 €</b>	<b>2,17 €</b>	<b>2,37 €</b>	<b>2,71 €</b>
<b>Stationär Folie</b>		<b>3,04 €</b>	<b>3,11 €</b>	<b>3,19 €</b>	<b>3,28 €</b>
<b>Durchlauf Nasslack.</b>			<b>2,96 €</b>		



## 6.2 Kapazitätsauslastung

Die im Abschnitt 6.1 aufgezeigte Berechnung der Beschichtungskosten beziehen sich auf die maximale Auslastung der einzelnen Anlage. Um nun die verschiedenen Anlagen bei gleicher Schichtleistung kostenmäßig vergleichen zu können sind in Abbildung 56 bis Abbildung 59 die Kapazitätsauslastungen bei unterschiedlichen Losgrößen und in Abhängigkeit der Farbwechsel pro Schicht dargestellt. Die Durchlaufanlage ist in Blau dargestellt, die Stationäre Anlage in Grün. Die Anzahl der Kästen stellt die notwendige Anlagenanzahl bei der jeweiligen Schichtleistung (X-Achse) dar. Die Zahl innerhalb der farbigen Fläche gibt die Auslastung der jeweiligen Anlage an. Durch die gestrichelte Linie und die Zahl oberhalb der farbigen Fläche ist die Kapazitätsreserve der noch nicht ganz ausgelasteten Anlage angegeben.

In der Tabelle 20 sind die Basisdaten zur grafischen Ermittlung der weiteren Kapazitätsauslastungen aufgelistet. Sobald die Auslastung von 100% erreicht wird, wird eine weitere Anlage hinzugefügt.

Tabelle 20: Basisdaten zur Ermittlung der Kapazitätsauslastung pro Schicht

Farben/Tag	2 Farben	3 Farben	4 Farben	5 Farben	
	Fenster/Tag	Fenster/Tag	Fenster/Tag	Fenster/Tag	Auslastung
Durchlaufanlage	132	109	85	63	100%
Stationäre Anlage	86	81	77	73	100%
Verhältnis	1 : 1,54	1 : 1,35	1 : 1,10	1,15 : 1	

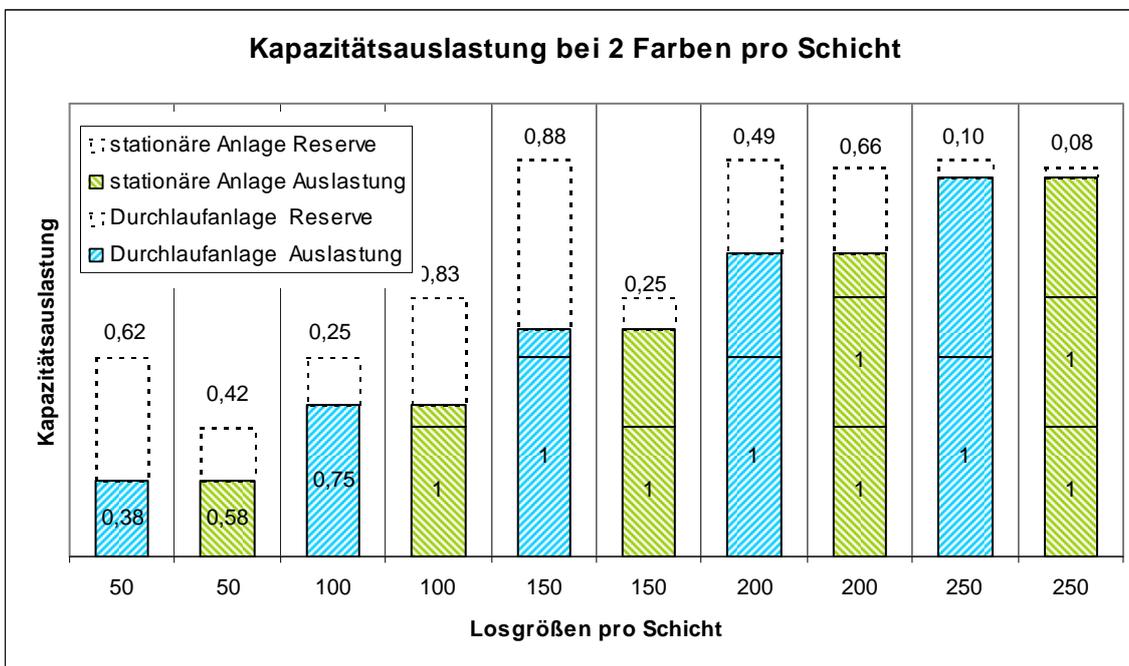


Abbildung 56: Kapazitätsauslastung bei 2 Farben pro Schicht

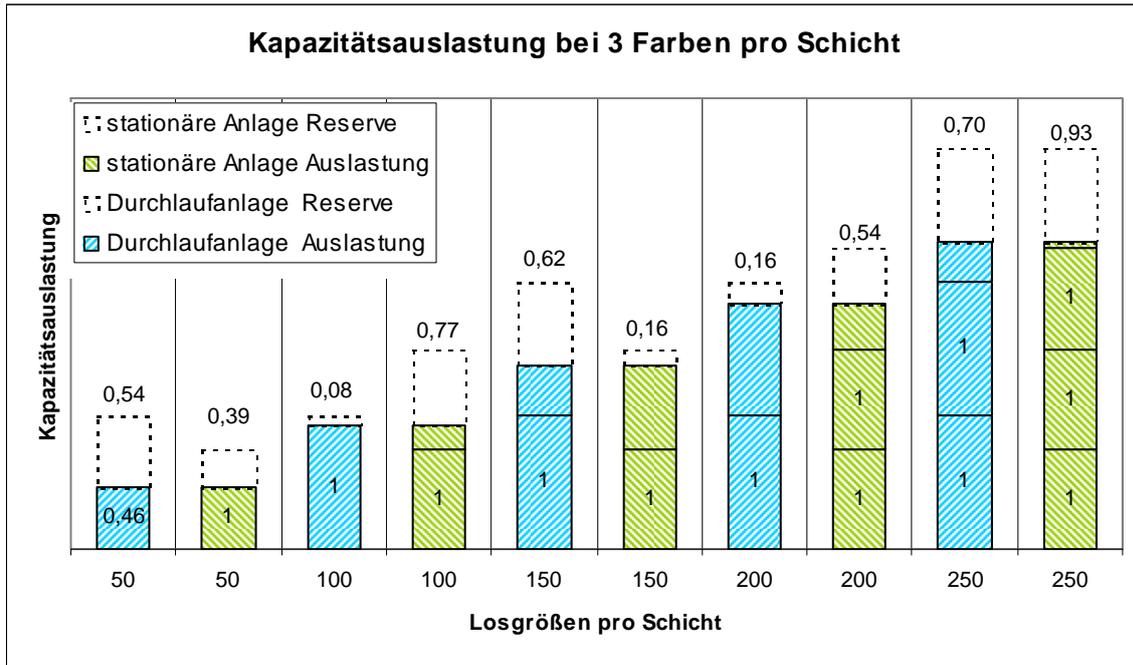


Abbildung 57: Kapazitätsauslastung bei 3 Farben pro Schicht

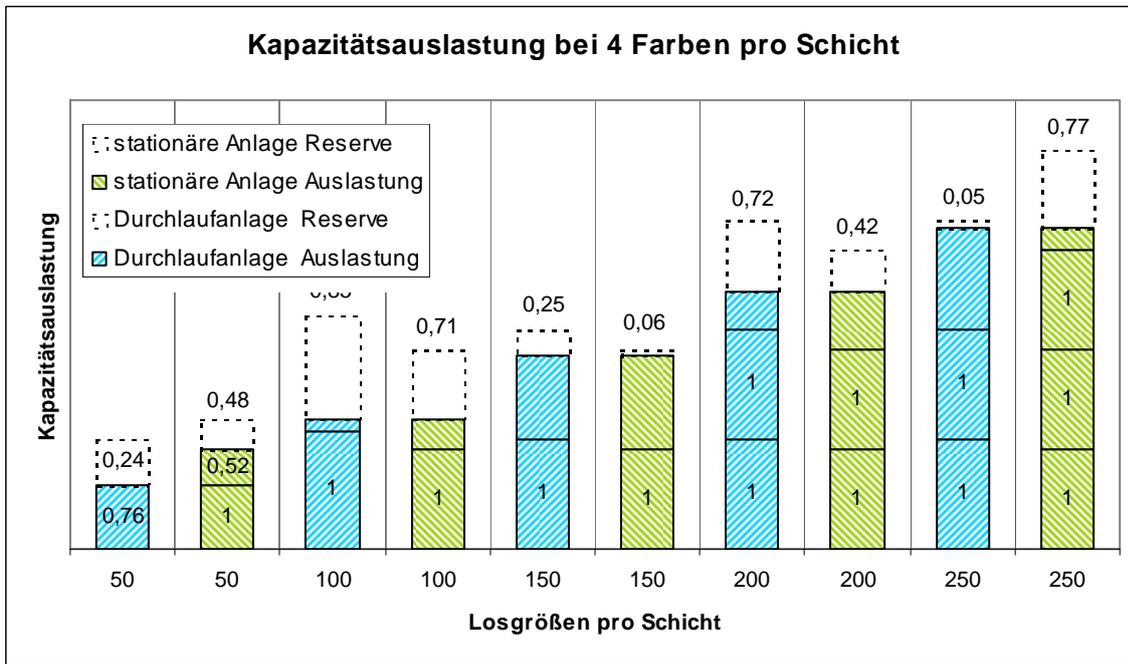


Abbildung 58: Kapazitätsauslastung bei 4 Farben pro Schicht

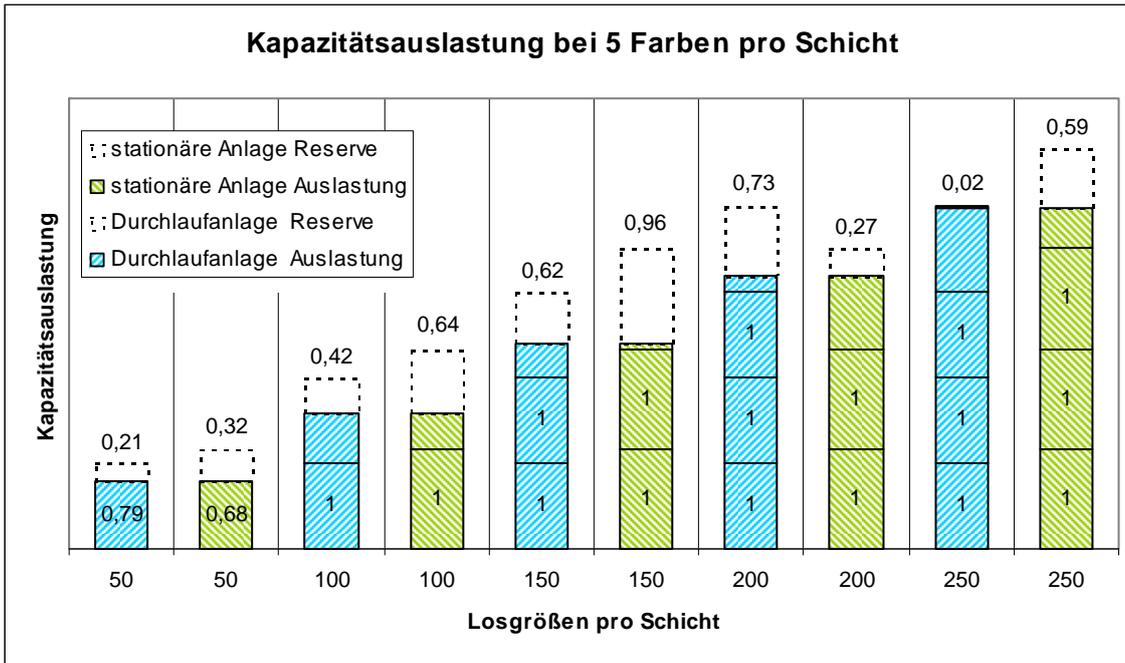


Abbildung 59: Kapazitätsauslastung bei 5 Farben pro Schicht

### 6.3 Vergleich Beschichtungskosten

Durch die in Abschnitt 6.2 ermittelten Daten werden nachfolgend von Abbildung 60 bis Abbildung 63 die Gesamt-Beschichtungskosten in Abhängigkeit der Schichtleistung (Fenster/Schicht) und der Anzahl an Farbwechsel je Schicht (2-5) dargestellt. Die gestrichelte Linie zeigt die fixen Kosten an (Personalkosten und fixer Anteil Maschinenkosten). In Addition mit den variablen Kosten (Material und variabler Anteil Maschinenkosten) ergeben sich die Gesamtkosten.

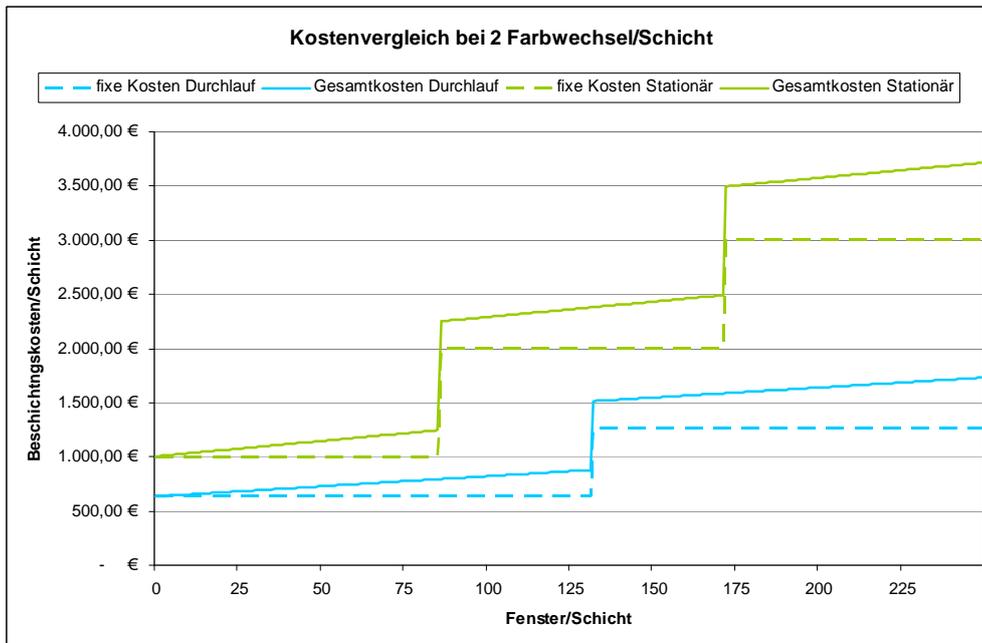


Abbildung 60: Beschichtungskosten pro Schicht bei 2 Farbwechsel

In Abbildung 61 wird zum Vergleich die automatisierte Durchlaufanlage zur Nasslackierung mit dargestellt. Diese Anlage ist ausgelegt für eine Beschichtungskapazität von 100 Fenstern bei 3 Farbwechseln pro Schicht. Für andere Kapazitätsauslegungen liegen keine Daten vor.

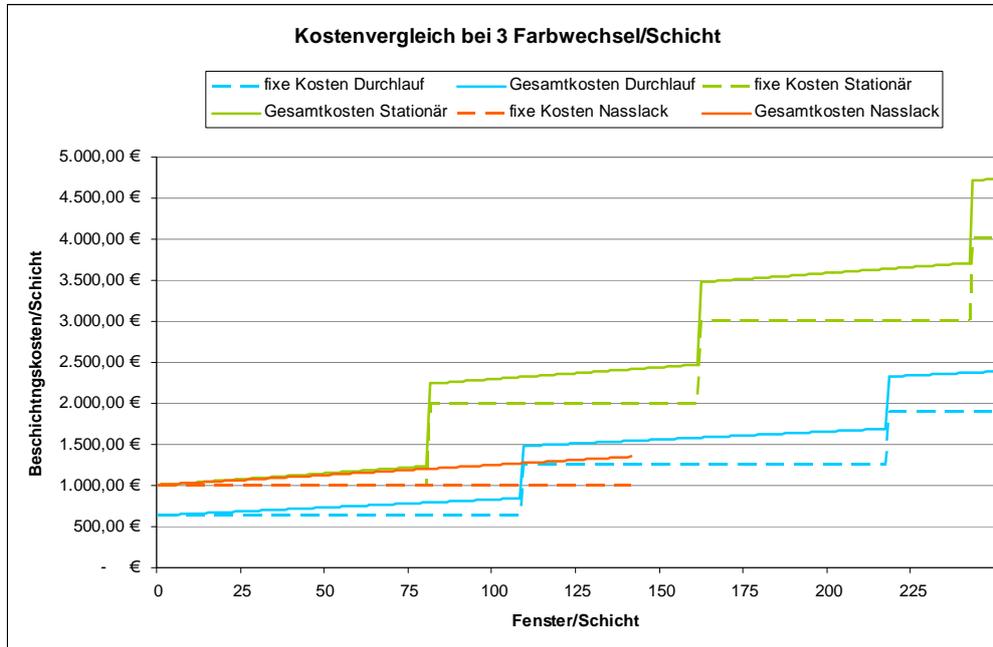


Abbildung 61: Beschichtungskosten pro Schicht bei 3 Farbwechsel

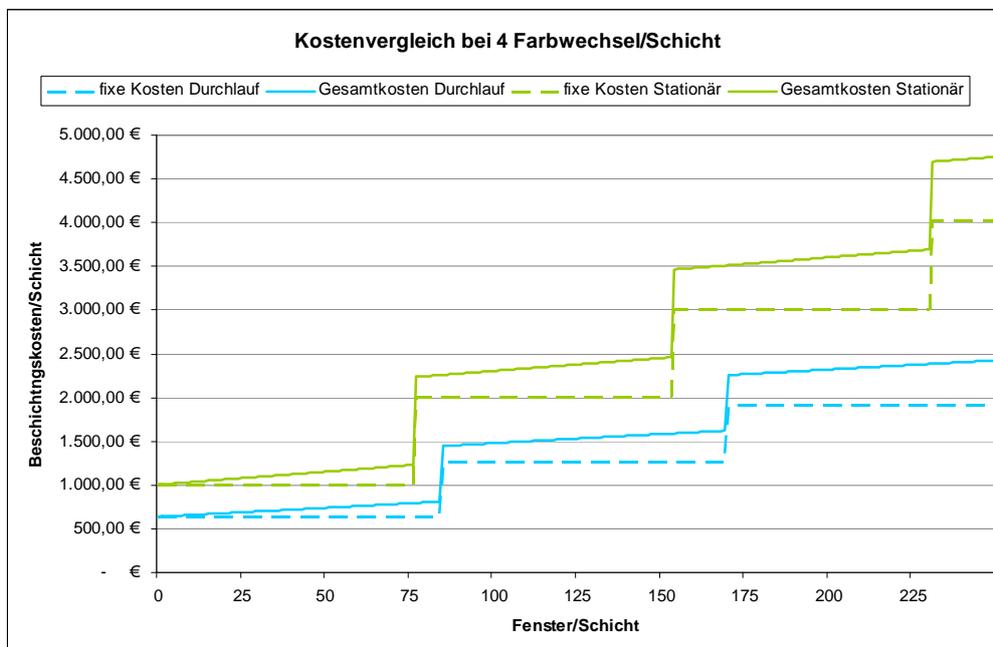


Abbildung 62: Beschichtungskosten pro Schicht bei 4 Farbwechsel

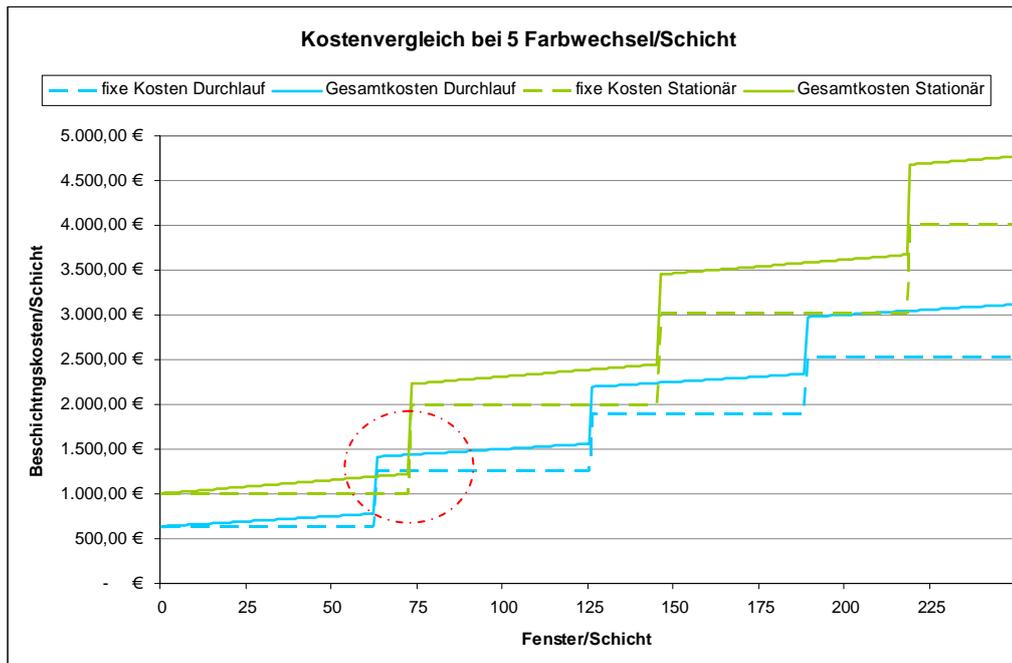


Abbildung 63: Beschichtungskosten pro Schicht bei 5 Farbwechsel

Mit zunehmender Anzahl an Farbwechsel je Schicht steigen die Beschichtungskosten an. Beim Stationärverfahren ist der Kostenanstieg jedoch deutlich geringer als beim Durchlaufverfahren. Die Ursache hierfür liegt in den hohen Rüstzeiten bei der Durchlaufanlage für die Umstellung auf ein neues Profil.

Die Beschichtungskosten steigen Sprunghaft beim Übergang zu einer weiteren Anlage wegen der damit verbundenen Reduzierung der Kapazitätsauslastung.

Bei bis zu 4 Farbwechsel pro Schicht liegen die Beschichtungskosten des Durchlaufverfahrens unabhängig von der Kapazität der Anlagen immer unterhalb des Stationären Verfahrens.

Nehmen die notwendigen Farbwechsel weiter zu, ergibt sich im Bereich von 60-75 Fenster/Schicht erstmalig ein Kostenvorteil des Stationärverfahrens. Dies liegt daran, dass beim Stationärverfahren gerade noch eine Anlage ausreicht, aber beim Durchlaufverfahren wegen der hohen Umrüstzeiten bereits eine zweite Anlage notwendig wird.

Mit zunehmender Schichtleistung liegt der Kostenvorteil wieder beim Durchlaufverfahren.

#### Anmerkung:

Um die Berechnung der Beschichtungskosten durchführen zu können, müssen aufgrund fehlender Erfahrungswerte teilweise Annahmen getroffen werden. Es wird daher darauf hingewiesen, dass die ermittelten Resultate in erster Linie als eine erste Orientierung der Größenordnungen der unterschiedlichen Beschichtungssysteme anzusehen sind. Nach einer eventuellen Umsetzung der Untersuchungsergebnisse und dem anschließendem Vorliegen verlässlicher Daten können bei einer erneuten Betrachtung die Werte abweichend sein.



## 7. Fazit

### 7.1 Allgemein

Ziel des Teilprojektes ist die fertigungstechnische Untersuchung der Folienbeschichtung von Holzfenstern als Alternative zur Nassbeschichtung. Auf der Basis bestehender Applikationsverfahren aus der Holzindustrie werden zwei verschiedene Lösungsansätze entwickelt und auf die Bedürfnisse im Fensterbau hin modifiziert.

### 7.2 Technische Betrachtung

Die Untersuchungen ergeben, dass eine Folienbeschichtung von fertig montierten Holzfensterrahmen in den Eckbereichen zur Überdehnung der Folie führt und deshalb nicht möglich ist. Für die Folienbeschichtung von einzelnen Rahmenteilen sind für beide Verfahren jeweils zwei Durchgänge notwendig.

Um die Rahmeneinzelteile mit Folie beschichten zu können muss die komplexe Geometrie des Holzfensterprofils mit einer Vielzahl an Nuten und Falzen längs und quer vereinfacht werden. Dieses ist möglich, wenn weitere profilgebende Arbeitsschritte im Anschluss an die Folienbeschichtung durchgeführt werden können.

Die im Holzfensterbau weit verbreitete Rahmeneckverbindung mit Schlitz/Zapfen stößt bei der Folienbeschichtung analog an technische Grenzen. Als Alternative muss deshalb die einfacher zu beschichtende Konterprofilierung mit Dübeln oder mechanischer Verbindungssysteme gewählt werden.

Als Ergebnis dieser fertigungstechnischen Untersuchungen kann die Folienbeschichtung von Holzfenstern unter den genannten Voraussetzungen als möglich betrachtet werden.

### 7.3 Wirtschaftliche Betrachtung

Die Ermittlung der Beschichtungskosten für die beiden Lösungsansätze basieren auf einem repräsentativen Produktspektrum in Abhängigkeit der Anlagenkapazitäten und der Anzahl an Farbwechsel je Schicht. Die Kosten für die Beschichtung der Leistenware werden dabei nicht berücksichtigt.

Mit dem Durchlaufverfahren ergeben sich deutliche Kostenvorteile mit zunehmender Schichtleistung bei möglichst wenig Farbwechseln. Das Stationäre Verfahren erzielt im direkten Vergleich nur punktuell Kostenvorteile bei einer hohen Anzahl an Farbwechsel bei gleichzeitig hoher Anlagenauslastung.



In der nachfolgenden Tabelle 21 werden zusammenfassend die wichtigsten Vor- und Nachteile der beiden betrachteten Applikationsverfahren aufgezeigt.

Tabelle 21: Vergleich Vorteile – Nachteile

	<b>Durchlaufverfahren</b>	<b>Stationäres Verfahren</b>
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Folienauftrag sehr genau steuerbar</li> <li>• schneller Farbwechsel möglich</li> <li>• kaum Verschnitt</li> <li>• wenig/keine Nacharbeiten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• geringe Rüstzeiten bei Profilwechsel</li> <li>• schneller Farbwechsel möglich</li> <li>• für kleine Losgrößen geeignet</li> <li>• auch für andere Produkte einsetzbar</li> </ul>
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>• spezielle Holzfensterprofile notwendig und damit Einschränkung in der Profilgeometrie</li> <li>• für große Losgrößen</li> <li>• hohe Rüstzeiten bei Profilwechsel</li> <li>• für jedes Profil sind spezielle Druckelemente notwendig</li> <li>• Bearbeitungen nach Folienauftrag notwendig</li> <li>• Teileverfolgung notwendig</li> <li>• Folientrennung an der profilierten Stirnseite noch nicht gelöst</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• spezielle Holzfensterprofile notwendig um eine Überdehnung der Folie zu vermeiden</li> <li>• Anteil des Verschnitts &gt; 50%</li> <li>• Aufwändige Nacharbeiten für Folienzuschnitt</li> <li>• Für jedes Profile sind spezielle Stützelemente notwendig</li> <li>• Bearbeitungen nach Folienauftrag notwendig</li> <li>• Teileverfolgung notwendig</li> <li>• Faltenbildung der Folie an den Stirnkanten</li> </ul>



## Danksagung

Für die Umsetzung der Untersuchung wurden eine Vielzahl von Daten und Schlüsselinformationen benötigt. In Zusammenarbeit mit den verschiedenen Firmen konnten diese zusammengetragen werden. Für die zügige Bereitstellung der angeforderten Daten zur Beschichtungstechnik gilt der Dank an Herrn Dipl.-Ing.(BA) Peter Sadofsky und Herrn Dipl.-Holzwirt (FH) Andreas Jäger von der Firma FRIZ Kaschiertechnik GmbH, Herrn Dipl.-Ing. Reiner Pocher von der Firma Venjakob sowie Herrn Sascha Hammes von der Firma Schiele Maschinenbau GmbH. Für die Information über Daten zur Folie und Folienbeschichtung an Herrn Roland Streng von der Firma BASF AG.

Die Verfasser dieser Arbeit



## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schema der Grundkonzeption.....	7
Abbildung 2: Arbeitsschritte der Vakuumpresse.....	11
Abbildung 3: Funktionsprinzip Rollenkaschieren.....	12
Abbildung 4: Problempunkte Blendrahmenprofil oben/seitlich .....	14
Abbildung 5: Problempunkte Blendrahmenprofil unten .....	14
Abbildung 6: Problempunkte Flügelprofil oben/seitlich.....	15
Abbildung 7: Problempunkte Flügelprofil unten.....	16
Abbildung 8: Zusätzliche Profile .....	16
Abbildung 9: Blendrahmen oben/seitlich modifiziert.....	17
Abbildung 10: Blendrahmen unten modifiziert.....	17
Abbildung 11: Flügelrahmen modifiziert .....	17
Abbildung 12: Schlitz- und Zapfenverbindung.....	18
Abbildung 13: Konterverbindung .....	19
Abbildung 14: mechanische Eckverbindung MC (SFS).....	19
Abbildung 15: Beispiele für mögliche Kantenbeschichtungen.....	22
Abbildung 16: 3-Ebenen-Modell .....	23
Abbildung 17: Folienstoß.....	23
Abbildung 18: Kantenbeschichtung.....	23
Abbildung 19: Ablaufschema Durchlaufverfahren .....	25
Abbildung 20: Profilierung der Stirnseiten .....	26
Abbildung 21: Schlitzdüsenauftrag.....	26
Abbildung 22: Stirnseitenbeschichtung Blendrahmen .....	27
Abbildung 23: Stirnseitenbeschichtung Flügelrahmen .....	27
Abbildung 24: Prinzipskizze Stirnkantenbeschichtung .....	27
Abbildung 25: Längsprofilierung .....	28
Abbildung 26: Versuch Haftung der Folie auf Hirnholz.....	29
Abbildung 27: Rollenbeschichtung Blendrahmen.....	30
Abbildung 28: Rollenbeschichtung Flügelrahmen .....	30
Abbildung 29: Beschichtung der V-Fuge.....	31
Abbildung 30: Trennung der Werkstücke .....	32
Abbildung 31: Vertikaler Schnitt im Falzbereich.....	32
Abbildung 32: Horizontaler Schnitt im Falzbereich.....	32
Abbildung 33: Bohrungen Blendrahmen.....	33
Abbildung 34: Bohrungen Flügelrahmen.....	33
Abbildung 35: Teile zusammenfügen .....	33
Abbildung 36: Haftungsversuch Silikon .....	34
Abbildung 37: Ablaufschema stationäres Verfahren .....	35
Abbildung 38: Faltenbildung beim Pressen .....	37
Abbildung 39: Folientrennkante beim Pressen.....	38
Abbildung 40: Beispiel Pressenbelegung.....	38
Abbildung 41: Kippgefahr bei Flügelprofil.....	39
Abbildung 42: Übersicht Farbspektrum .....	40
Abbildung 43: Prinzipdarstellung zur Ermittlung der Produktionsdaten im Durchlaufverfahren .....	42
Abbildung 44: benötigte Rüstzeiten.....	43
Abbildung 45: Fensterprofile Falzmaße.....	44
Abbildung 46: Stückzahl Fenstertypen pro Tag.....	46
Abbildung 47: Teile pro Minute im Durchlaufverfahren .....	48
Abbildung 48: Fenster pro Tag im Durchlaufverfahren.....	48
Abbildung 49: Prinzipdarstellung zur Ermittlung der Produktionsdaten im stationären Verfahren .....	50
Abbildung 50: Tischbelegung – Zwischenabstand .....	52
Abbildung 51: Tischbelegung - Optimierungsbeispiel .....	53
Abbildung 52: Teile pro Minute in Abhängigkeit der Farbwechsel.....	54
Abbildung 53: Fenstermenge pro Tag in Abhängigkeit der Farbwechsel.....	54



Abbildung 54: Vergleich Folienverbrauch.....	55
Abbildung 55: Vergleich Materialkosten .....	56
Abbildung 56: Kapazitätsauslastung bei 2 Farben pro Schicht.....	59
Abbildung 57: Kapazitätsauslastung bei 3 Farben pro Schicht.....	60
Abbildung 58: Kapazitätsauslastung bei 4 Farben pro Schicht.....	60
Abbildung 59: Kapazitätsauslastung bei 5 Farben pro Schicht.....	61
Abbildung 60: Beschichtungskosten pro Teil bei 2 Farben .....	61
Abbildung 61: Beschichtungskosten pro Teil bei 3 Farben .....	62
Abbildung 62: Beschichtungskosten pro Teil bei 4 Farben .....	62
Abbildung 63: Beschichtungskosten pro Teil bei 5 Farben .....	63



## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Basispolymere für die Herstellung von Schmelzklebstoffen .....	9
Tabelle 2: Schmelzklebstoffe Parameterübersicht .....	10
Tabelle 3: Übersicht der Fenstertypen .....	20
Tabelle 4: Übersicht Teilespektrum .....	21
Tabelle 5: Verhältnis Maschinenlaufzeit zu Rüstzeit .....	43
Tabelle 6: Fenstergröße Rohmaß – Fertigmaß [mm] .....	44
Tabelle 7: Laufmeter pro Fenstertyp .....	45
Tabelle 8: Laufmeter pro Schicht.....	45
Tabelle 9: Maschinenlaufzeit nach Farben in Minuten (bei zwei Farben pro Tag) .....	46
Tabelle 10: Fenstermenge pro Tag bei 2 Farben .....	46
Tabelle 11: Einzelteile pro Tag .....	47
Tabelle 12: Einzelteile in Abhängigkeit der produzierten Farben pro Schicht .....	47
Tabelle 13: Teile nach Länge zusammengefasst .....	51
Tabelle 14: Teileanzahl pro Stunde .....	51
Tabelle 15: Prozentuale Verteilung im Teilelos .....	52
Tabelle 16: Presszeit .....	53
Tabelle 17: Vergleich Maschinenkosten .....	57
Tabelle 18: variable und fixe Kosten bei 3 Farbwechseln .....	58
Tabelle 19: Gesamtkosten bei unterschiedlichen Farbwechseln .....	58
Tabelle 20: Basisdaten zur Ermittlung der Kapazitätsauslastung pro Schicht .....	59
Tabelle 21: Vergleich Vorteile – Nachteile.....	65



## Abkürzungsverzeichnis

DGFH	Deutsche Gesellschaft für Holzforschung e.V., München
ift	Institut für Fenstertechnik e.V., Rosenheim
o.g.	oben genannt
Lfm	Laufmeter
EVA	Ethylen-Vinyl-Acetat
APAO	Polyolefin
PA	Polyamid
PUR	Polyurethan
PES	Polyester
d.h.	das heißt
bezgl.	bezüglich



## Literaturverzeichnis

- [1] TKH-4 Merkblatt Schmelzklebstoffe; Technische Kommission Holzklebstoffe (TKH) im Industrieverband Klebstoffe e.V.; Düsseldorf; Stand Januar 2006
- [2] Teilbericht 1: PermaSkin Prozessbeschreibung; Sebastian Meyer; Oktober 2007
- [3] Teilbericht 2: Grundlegende Untersuchungen zur Anwendung von PermaSkin im Fensterbau; Sebastian Meyer; Oktober 2007
- [4] Forschungsvorhaben – Innovative Holzfensterkonstruktionen, Forschungsbericht Dezember 2001; ift Rosenheim
- [5] Machbarkeitsstudie zur industriellen Einzelteilerfertigung von Holzfenstern; ift-Rosenheim
- [6] Konzeptionierung und Bewertung von Oberflächenanlagen für die Fenstereinzelteilerfertigung, Teil 1; Diplomarbeit in Zusammenarbeit mit ift-Rosenheim



## Firmenverzeichnis

### **FRIZ Kaschiertechnik GmbH**

Adresse: Im Holderbusch 7  
D - 74189 Weinsberg  
Telefon: +49 (0) 71 34-5 05 - 0  
Telefax: +49 (0) 71 34-5 05 - 20  
E-Mail: [info@friz.de](mailto:info@friz.de)  
Internet: [www.friz.de](http://www.friz.de)

### **Venjakob Maschinenbau GmbH & Co. KG Beschichtungssysteme**

Adresse: Augsburgener Straße 4-6  
D – 33378 Rheda-Wiedenbrück  
Telefon: +49 (0) 52 42-96 03- 0  
Telefax: +49 (0) 52 42-96 03- 0  
E-Mail: [info@venjakob.de](mailto:info@venjakob.de)  
Internet: [www.venjakob.de](http://www.venjakob.de)

### **SFS intec GmbH FasteningSystems**

Adresse: In den Schwarzwiesen 2  
D – 61440 Oberursel / Taunus  
Telefon: +49 (0) 61 71-70 02- 0  
Telefax: +49 (0) 61 71-70 02- 32  
E-Mail: [de.oberusel@sfsintec.biz](mailto:de.oberusel@sfsintec.biz)  
Internet: [www.sfsintec.biz/de](http://www.sfsintec.biz/de)

### **BASF Aktiengesellschaft**

Adresse: Business Management PermaSkin®  
D – 67056 Ludwigshafen  
Telefon: +49 (0) 612 60-94 828  
Internet: [www.basf.de/basf/html/d/produkte/kstoffe/permaskin/permaskin.htm](http://www.basf.de/basf/html/d/produkte/kstoffe/permaskin/permaskin.htm)

### **Schiele Maschinenbau GmbH Beschichtungssysteme**

Adresse: Brohltalstraße 153  
D – 56651 Niederzissen  
Telefon: +49 (0) 26 36-97 52- 0  
Telefax: +49 (0) 26 36-97 52- 99  
E-Mail: [office@schiele-maschinenbau.de](mailto:office@schiele-maschinenbau.de)  
Internet: [www.schiele-maschinenbau.de](http://www.schiele-maschinenbau.de)



**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](mailto:info@ift-rosenheim.de)

<http://www.ift-rosenheim.de>