

Ingo Leuschner, Christian Hübner, Karin Lieb,

# **Dauerhaftigkeit von geklebtem Isolierglas**



F 2762

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

2010

ISBN 978-3-8167-8386-2

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/tauforschung](http://www.irb.fraunhofer.de/tauforschung)

Bitte beachten:

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

Fraunhofer IRB Verlag



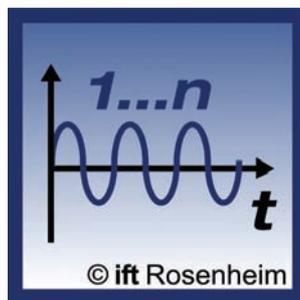
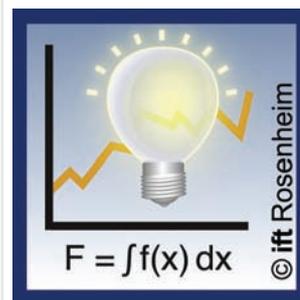
Das Institut für  
Fenster und Fassaden,  
Türen und Tore,  
Glas und Baustoffe

# Forschung & Entwicklung

## Abschlussbericht

# Dauerhaftigkeit von geklebtem Isolierglas

<  
Mai 2010



## Dauerhaftigkeit von geklebtem Isolierglas – Abschlussbericht

<b>Thema</b>	Einsatz von geklebten Verglasungen im Fensterbau – Einfluss von innovativen Techniken auf die Dauerhaftigkeit von Mehrscheiben-Isolierglas
<b>Kurztitel</b>	„DAGI“ – <b>DA</b> uerhaftigkeit von <b>G</b> eklebtem Isolierglas
<b>Gefördert durch</b>	Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung Aktenzeichen: Z6-10.08.18.7-08.13 / II2-F20-08-007
<b>Forschungsstelle</b>	<b>ift</b> gemeinnützige Forschungs- und Entwicklungs- gesellschaft mbH Theodor-Gietl-Straße 7-9 83026 Rosenheim
<b>Projektleitung</b>	Dipl.-Ing. (FH) Ingo Leuschner
<b>Bearbeiter</b>	Dipl.-Ing. (FH) Christian Hübner Dipl.-Ing. (FH) Karin Lieb
<b>Institutsleitung</b>	Dipl.-Ing. (FH) Ulrich Sieberath

Rosenheim, Mai 2010

**Inhaltsverzeichnis**

	<b>Seite</b>
<b>Zusammenfassung</b>	<b>1</b>
<b>Abstract</b>	<b>3</b>
<b>1 Problemstellung und Zielsetzung</b>	<b>5</b>
<b>2 Analyse</b>	<b>7</b>
2.1 Analyse Isolierglas	7
2.2 Analyse Verglasungstechnik	9
2.2.1 Konventionelle Verglasungstechnik	9
2.2.2 Klebetechnik	10
2.3 Analyse der Lasten am Fenster	12
2.3.1 Klimalasten	13
2.3.2 Windlasten	14
2.3.3 Lasten aus dem Eigengewicht (statische Lasten)	15
2.3.4 Lasten aus der Nutzung (dynamische Lasten)	16
<b>3 Vorgehensweise und Methodik</b>	<b>19</b>
3.1 Allgemeine Festlegungen	19
3.2 Labortechnische Umsetzung der Belastungen	20
3.2.1 Darstellung der Klimalasten	20
3.2.2 Darstellung der Eigenlasten	22
3.2.3 Darstellung der Lasten aus der Nutzung	24
3.2.4 Definition der zu untersuchenden Lastfälle	28
3.3 Zu untersuchende Parameter	29
3.3.1 Gasverlustrate	29
3.3.2 Gaskonzentration	31
3.3.3 Trocknungsmittelbeladung	33
3.3.4 Geometrische Verformung	34
3.4 Ablauf der Untersuchungen	35
<b>4 Beschreibung der Probekörper</b>	<b>37</b>
4.1 Mehrscheiben-Isolierglas	37



4.2 Fensterflügel und Klebesysteme	38
<b>5 Ergebnisse</b>	<b>41</b>
5.1 Lastfall 1	41
5.2 Lastfall 2	43
5.3 Lastfall 3	46
5.4 Vergleich der Ergebnisse der Lastfälle 1-3	48
<b>6 Aussage und Ausblick</b>	<b>55</b>
Erhöhter Gasverlust bei den Klimabelastungen	56
Verformung	56
Prozesstechnik	57
<b>7 Danksagung</b>	<b>61</b>
<b>8 Literatur und Normen</b>	<b>63</b>
<b>Anhang</b>	<b>67</b>
<b>A1 Festlegungen bezüglich der Auflastungen der Prüfscheiben (Ausarbeitung Prof. Dr. Benno Eierle)</b>	<b>67</b>
<b>A1.1 Allgemeines</b>	<b>67</b>
Bezeichnungen und Symbole	67
<b>A 1.2 Auflastungsberechnung für Dauerlast</b>	<b>68</b>
<b>A 1.3 Auflastungsberechnung für dynamische Last</b>	<b>70</b>
<b>A 1.4 Auswertung</b>	<b>73</b>
<b>A 1.5 Zusammenfassung und Umsetzungsvorschlag</b>	<b>76</b>
<b>A 1.6 Zahlenwerte</b>	<b>77</b>

## Zusammenfassung

Mit Einführung den EnEV 2009 wurden die Mindestanforderungen an den Wärmeschutz um 30 % verschärft. Wird bei einem Gebäude die Hülle entsprechend den Vorgaben gedämmt, wird der Anteil an Transmissionswärmeverlusten, die über das Fenster erfolgen, im Verhältnis immer größer. Zusätzlich sollen die solaren Gewinne über transparente Bauteile möglichst hoch gehalten werden. Diese Anforderungen führen dazu, dass auch neue Techniken bei der Fensterherstellung Einzug halten.

Ein aktueller Ansatz alle Anforderungen zu kombinieren ist die umlaufende Klebung des Glases zum Flügelrahmen („direct glazing“). Hauptargumente für diese Verglasungstechnik sind:

- Erhöhte Stabilität durch Ausnutzung der mittragenden Wirkung von Glas,
- erhöhter Lichteinfall und geringere Wärmeverluste durch schmalere Rahmenkonstruktionen und damit reduziertem Rahmenanteil am Fenster,
- Entfall oder Reduzierung der zusätzlichen Stahl-Verstärkung bei Kunststofffenstern,
- Möglichkeiten einer rationalisierten und automatisierten Herstellung,
- Entfall der Verglasungs-Klötze,
- neue Designmöglichkeiten,
- Möglichkeiten zur Verbesserung der Wärme- und Schalldämmung sowie Einbruchhemmung.

Durch diese Verglasungstechnik können allerdings vermehrt Kräfte direkt auf den Randverbund des Isolierglases einwirken, was zu einem vorzeitigen Versagen der Isolierglaseinheit führen kann.

Ziel dieses Forschungsprojektes war es, zu ermitteln, ob die zusätzlichen Lasten, die durch die neue Verglasungstechnik auf ein Mehrscheibenisolierglas aufgebracht werden, die Dauerhaftigkeit des Randverbundes negativ beeinträchtigen. Um das Projekt erfolgreich durchführen zu können, mussten vorab viele Parameter analysiert werden. Dies reichte von der Auswahl und Zusammenstellung der Probekörper, über den Aufbau und die Anpassung der Messeinrichtungen bis hin zur Auflastung und Analyse der Probekörper.

Nach der Auswahl sinnvoller Probekörper musste ein Konzept für eine gezielte Auflastung der Probekörper abhängig von der Art der Belastung entwickelt



werden. Als nächstes musste eine Lösung gefunden werden, um das Auflaskonzept in der Praxis an den Probekörpern reproduzierbar und sicher durchführen zu können. Eine theoretische Lösung konnte schnell gefunden werden. Allerdings können nicht alle Einflussfaktoren erfasst werden, so dass es wichtig war, ausreichend Vor- und Vorbereitungsarbeit und Zeit zu investieren, um im Ablauf der Prüfungen möglichst viele Probleme im Vorfeld zu entdecken und einzugrenzen.

An Hand der bei Vorversuchen auftretenden Probleme können in der Praxis entstehende Wechselwirkungen, die bei theoretischen Überlegungen nicht erfasst werden, sichtbar gemacht, Ursachen ermittelt und Lösungen entwickelt werden.

Bei der Durchführung des Projekts konnten die trotz der aufwändigen Vorbereitung aufgetretenen Probleme zügig und effektiv gelöst und dabei Erfahrungen für zukünftige Aufgaben gesammelt werden. Die wesentlichen Ergebnisse können wie folgt zusammengefasst werden:

- Die Art der Klebtechnik (weich, hart und Position) hat keinen großen Einfluss auf die Größe der ermittelten Kennwerte (Gasverlustrate 0,15 - 0,6 %/a, TM-Beladung 1,4 - 2,3 %; Veränderung der Gaskonzentration 1 - 5,5 %).
- Das Material der sekundären Dichtstufe hat keinen großen Einfluss auf die Kennwerte Gasverlustrate, TM-Beladung und Gaskonzentration.
- Große Unterschiede liegen bei der geometrischen Verformung der Isoliergläser im Vergleich zwischen Polysulfid und Polyurethan als sekundäre Dichtstufe vor.
- Die Verformung der Gläser ohne Begrenzung würde sich bis zum Versagen der Scheiben fortsetzen (außer Falzgrundklebung).
- Die Verformung der Scheiben ist so groß ist, dass für die eingesetzten Dichtstoffe eine erhöhte UV-Belastung zu erwarten ist und eine optische Beeinträchtigung der Isoliergläser vorliegt (außer Falzgrundklebung).

Somit ist unter den Gesichtspunkten dieses Projekts kein negativer Einfluss der Klebtechnik auf die Dauerhaftigkeit des Randverbundes von MIG erkennbar. Allerdings ist auf Grund der geometrischen Verformungen von der Ausführung der Verglasung ohne lastabtragende Klotzung auch bei geklebten Systemen abzuraten. Einzelfälle müssen im Voraus mit dem Isolierglashersteller abgesprochen werden.

## Abstract

Along with the enactment of the EnEV 2009, minimum requirements for thermal insulation were made more stringent by 30 %. If the shell of a building is insulated in compliance with the specifications, the proportion of thermal transmission losses taking place via the window is continuously increasing. In addition, the solar recoveries via transparent building components should be maximised as far as possible. These requirements lead to new technologies finding their way into the manufacture of windows as well.

A current approach of combining all the requirements is the continuous adhesion of the glass to the casement ("direct glazing"). The main arguments in favour of this glazing technique are:

- Enhanced stability by utilising the supporting effect of glass;
- Increased incidence of light and reduced thermal losses by smaller frame constructions and, thus, less proportion of the frame in the window;
- Omission or reduction of the supplementary steel reinforcement used in plastic windows;
- Opportunities and options for rationalised and automated manufacture;
- The setting blocks for the glazing can be dispensed with;
- New design options;
- Options for the improvement of thermal and sound insulation and burglary resistance.

However, as a result of deploying this glazing technique, increased forces might impinge directly on the insulating glass, which may lead to premature failure of the insulating glass unit.

The aim of this research project was to determine whether the additional loads, borne by insulating glass units as a result of the new glazing technique, have a detrimental impact on the durability of the edge seal (bonding at the border).

To begin with, a number of parameters had to be analysed to execute the project successfully. They ranged from the selection and compilation of the test specimens to the setting up and adjustment of the measuring equipment right up to loading and analysing the test specimens.



After selecting meaningful and suitable test specimens, a concept had to be developed for the application of specific loads to the test specimens depending on the type of load or stress. In the next step, it was necessary to find a solution for implementing the concept of applying the load in practice to the test specimens so that they can be reproduced and carried out surely and safely. A theoretical solution could be worked out quickly. Nonetheless, not all influencing factors could be captured, as a result of which it was important to invest time and effort for preparatory work to unearth and pinpoint as many problems as possible, to begin with, in the course of the practical tests.

On the basis of the problems that arose in the course of the preliminary tests, interactions occurring in practice, which are not captured during the theoretical considerations, can be visualised, their causes determined and solutions to counter the same can be developed. While executing the project, problems occurring, despite the time and effort put into the preparatory work, may be resolved promptly and effectively, and, in the process, experience could be gained for tasks in the future. The most significant results may be summarised as follows:

- The type of adhesive technique (soft, hard and location) does not have a significant impact on the dimensions of the determined characteristic values (gas leakage rate  $\pm 3\text{-}4\text{ \%/a}$ , TM load  $\pm 0.2\text{-}0.4\text{ \%$ ; gas concentration  $\pm 1\text{-}2\text{ \%$ ).
- The material of the secondary sealing stage does not have a significant impact on the characteristic values of the gas leakage rate, Tm load and gas concentration.
- Related to the geometric deformation of the insulation glass units, there are large differences between polysulfide and polyurethane as secondary sealing stage.
- The deformation of the glazing would continue unabated until the pane fails (except the basic bonding of the rebate).
- The deformation of the panes is so large that increased UV stress can be expected for the sealants used and the insulating glass gets optically degraded (other than the basic bonding of the rebate).

Thus, from the viewpoint of the project, there would be no deteriorating impact noticeable of the bonding technique on the durability of the IGU edge seal. Nonetheless, owing to the geometric deformations, it is not recommended to design the glazing without load-bearing blocks even in the case of bonded systems. The manufacturer of the insulation glass units must be consulted in advance on a case-to-case basis.

## 1 Problemstellung und Zielsetzung

Bei der energetischen und funktionalen Sanierung eines Gebäudes spielen Fenster stets eine wichtige Rolle. Die Entwicklung neuer Fenstersysteme schreitet im Zuge energetischer Modernisierung sowie der entsprechenden Verschärfungen der Anforderungen weiter fort.

Die Entwicklungen führen zu einer Erhöhung der abzutragenden Lasten durch großformatige Flügel und Dreifachgläser und die Forderung nach geringen Ansichtsbreiten und einem hohen Wärmedämmstandard bringen konventionelle Profilgeometrien aus statischer Sicht an die Grenzen des Möglichen (sofern man auf Stahlarmierungen verzichtet).

Neue Fenstersysteme müssen aus Sicht des Endverbrauchers wartungsarm bzw. möglichst wartungsfrei und langlebig sein. Architekten wünschen neue Designmöglichkeiten und der Hersteller versucht die Kosten der Produktion zu senken – unter Beibehaltung oder sogar Verbesserung der Produktqualität.

Eine aktuelle Möglichkeit, alle Anforderungen zu kombinieren, ist die umlaufende Klebung des Glases zum Flügelrahmen („direct glazing“). Hauptargumente für diese Verglasungstechnik sind:

- Erhöhte Stabilität durch Ausnutzung der mittragenden Wirkung von Glas,
- erhöhter Lichteinfall und geringere Wärmeverluste durch schmalere Rahmenkonstruktionen und damit reduziertem Rahmenanteil am Fenster,
- Entfall oder Reduzierung der zusätzlichen Stahl-Verstärkung bei Kunststofffenstern,
- Möglichkeiten einer rationalisierten und automatisierten Herstellung,
- Entfall der Verglasungs-Klötze,
- neue Designmöglichkeiten,
- Möglichkeiten zur Verbesserung der Wärme- und Schalldämmung sowie Einbruchhemmung.

Beim Einsatz in einer geklebten Verglasung müssen alle Systembauteile einer ausgiebigen Verträglichkeitsprüfung unterzogen werden, um Schäden durch chemische Wechselwirkungen auszuschließen. Unverträglichkeiten können vor allem durch direkten Kontakt des Klebstoffs mit Verglasungsdichtungen, mit der Klotzung und mit der primären und sekundären Dichtstufe des Mehrscheibenisoliertes (MIG) auftreten. Auswirkungen der Unverträglichkeit



sind die Schädigung der Isolierglaseinheit, Beeinflussung der Klebstoffeigenschaften bzw. eventuell Verlust der Funktionalität. Aus diesem Grund sollte auch ein intensiver Informationsaustausch zwischen allen Komponentenherstellern erfolgen, um bereits in der Konstruktionsphase ein funktionierendes, dauerhaftes und betriebssicheres Fenstersystem zu entwickeln.

Die Funktionstüchtigkeit der Glas-Rahmen-Klebung wurde bereits in anderen Forschungsarbeiten ausführlich untersucht und die Ergebnisse in Richtlinien angewendet [3]. Dabei stand stets die Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit der Glas-Rahmenklebung an Fenstern und Fassaden im Vordergrund. Die Ergebnisse der Projekte zeigten, dass unter Berücksichtigung gewisser Details wie der genannten Prüfung der Verträglichkeit diese Klebetechnik für den Praxiseinsatz geeignet ist.

Da MIG ein wesentliches Bauteil für die Einhaltung der zugesicherten Eigenschaften eines Fensters bezüglich Wärme- und Schallschutz ist, muss sichergestellt sein, dass die im Scheibenzwischenraum eingefüllten Edelgase über den Nutzungszeitraum erhalten bleiben und die Low-e-Schicht gegen Feuchtigkeit geschützt wird. Der Einfluss eines undichten Randverbunds wird für den Nutzer zudem schnell in Form von Feuchtigkeit und Beschichtungsschäden im Scheibenzwischenraum sichtbar. Das Verhalten von MIG unter den durch die Glasklebung erzeugten Belastungen ist bislang weitgehend unbekannt.

Bereits die übliche Nutzung des Fensters (Öffnen, Schliessen, Kippen, Temperaturunterschiede raumseitig – außen) sowie auch die Fehlnutzung (z. B. Zuschlagen bei Durchzug mit hindernden Gegenständen im Flügelfalz, Belastungen des geöffneten Flügels) verursachen Kräfte, die nicht nur auf die lastabtragende Klebung, sondern auch auf die Klebung des MIG-Randverbunds einwirken. Handelsübliches MIG erfüllt die Anforderungen der EN 1279, wobei jedoch nur von Verglasung nach Stand der Technik ausgegangen wird. Für die ganzheitliche Betrachtung der Dauerhaftigkeit von MIG müssen die hinzugekommenen Lasten im Scheibenaufbau ermittelt und bewertet und ggf. zukünftig bei der Konstruktion berücksichtigt werden.

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wird untersucht, ob die aus der neuen Verglasungstechnik resultierenden zusätzlichen Lasten (z. B. erhöhtes Eigengewicht und Betriebslasten) einen Einfluss auf die Dauerhaftigkeit des Randverbundes des MIG haben.

## 2 Analyse

Zu Beginn des Forschungsprojekts mussten die für das Projekt wichtigen Bauteile, deren Zusammensetzung und die Belastungen, die auf die entsprechenden Bauteile wirken, analysiert und zusammengestellt werden, um daraus die Vorgehensweise im Projekt abzuleiten.

### 2.1 Analyse Isolierglas

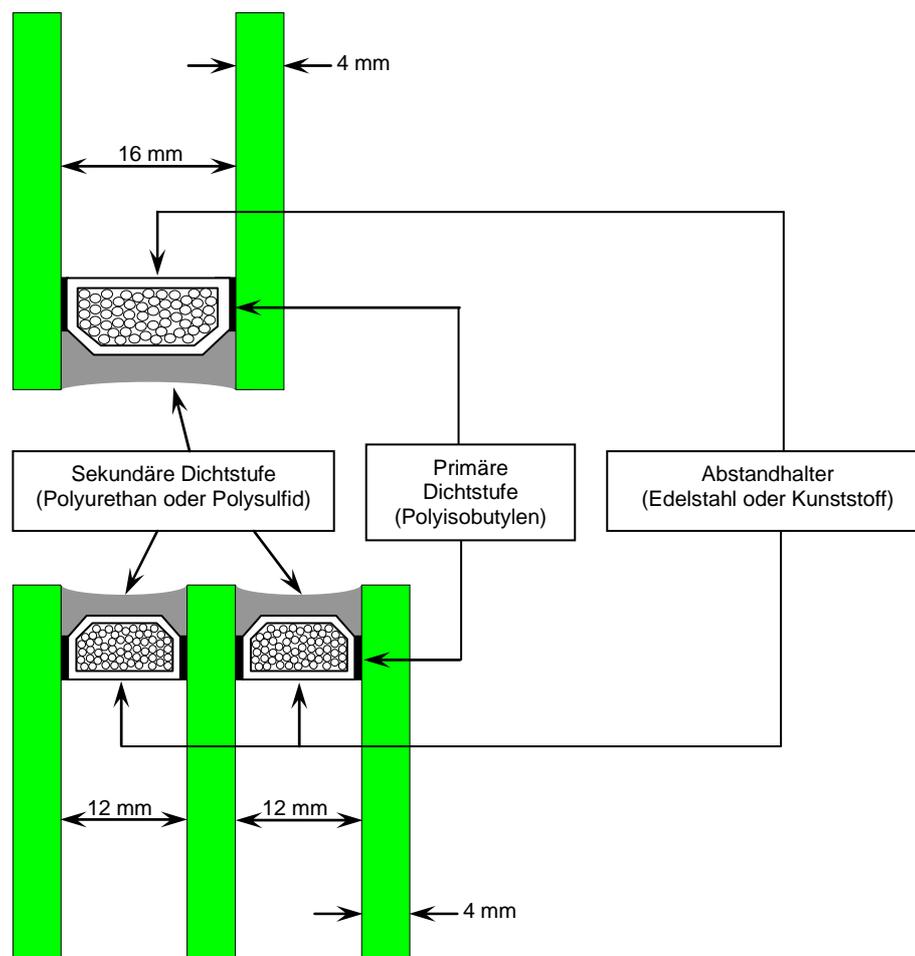
Mehrscheibenisoliertes Glas (MIG) besteht aus zwei oder mehreren parallel angeordneten Flachglasscheiben (Floatglas nach EN 572-2, ESG oder VSG), die über die Klebung im Randverbund zusammengehalten werden, wobei eine oder mehrere Scheiben zur Verbesserung der Wärmeschutzeigenschaften mit einer so genannten Low-E-Schicht versehen kann. Diese aufgedampfte Edelmetallschicht vermindert das Emissionsvermögen der Glasoberfläche und wirkt selektiv, d. h. der kurzwellige Anteil der Sonnenstrahlen wird von der Schicht durchgelassen, der langwellige Anteil wird reflektiert. Die kurzwelligen Strahlen werden von Wänden, Decken und Gegenständen im Raum absorbiert und als langwellige Wärmestrahlung wieder abgegeben. Durch die Reflexion der Wärmestrahlung an der Metallbeschichtung kann nicht mehr so viel Raumwärme verloren gehen. Diese Beschichtung hat den größten Beitrag zur wärmetechnischen Verbesserung der Isoliergläser. Ein Funktionsverlust, z. B. durch Feuchtigkeit, hat größere Auswirkungen auf den  $U_g$ -Wert als der Verlust von im SZR eingeschlossenem Edelgas. Der Einsatz von Edelgasen im SZR anstelle von getrockneter Luft ergibt eine weitere Verbesserung des  $U_g$ -Wertes um  $0,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ . Der Randverbund wiederum besteht aus vier Elementen:

- Abstandhalterraahmen (Alu, Edelstahl, Kunststoff),
- primäre Dichtstufe (Polyisobutylen),
- sekundäre Dichtstufe (PU, Polysulfid, Silikon),
- Trocknungsmittel im Abstandhalterraahmen (Zeolith).

Die primäre Dichtstufe sorgt zum einen für die Haftung zwischen den Glasscheiben während der Produktion, zum anderen ist die Gas- und Wasserdampfdichtigkeit entscheidend abhängig von der Ausführung dieser Dichtstufe. Wichtig hierbei ist sowohl die Auftragsmenge pro Laufmeter als auch der korrekte, lückenlose Auftrag auf den Abstandhalterraahmen. Ein weiterer Punkt, der bei der Herstellung zu beachten ist, ist die Verpressung der Butylschnur, die einen großen Einfluss auf die Geschwindigkeit der Gasdiffusion

hat. Erfolgt die Verpressung zu schnell, wird die Butylschnur hart und kann nicht mehr in die raue Glasoberfläche bzw. Abstandhalteroberfläche eingepresst werden. Da die Gas- und Wasserdampfdiffusion aus und in den SZR eine Grenzflächendiffusion ist (d. h. an den Grenzflächen zwischen Dichtstoff und Abstandhalter bzw. Glas stattfindet), ist die Ausführung der Verpressung wichtig für die Dichtheit des Randverbundes

Die sekundäre Dichtstufe aus Polyurethan oder Polysulfid dient hauptsächlich der verbesserten Festigkeit der Randverbundes und somit zum Auffangen der Lasten, die auf einen Randverbund einwirken. Des Weiteren wird durch diese Dichtstufe der Diffusionsweg aus dem SZR verlängert. Aus diesen Gründen ist die genaue Auslegung der Rückenüberdeckung entscheidend für die Festigkeit und zusätzlich für die Gasdichtigkeit des Isolierglases.



**Abbildung 1** Zusammensetzung von MIG

## 2.2 Analyse Verglasungstechnik

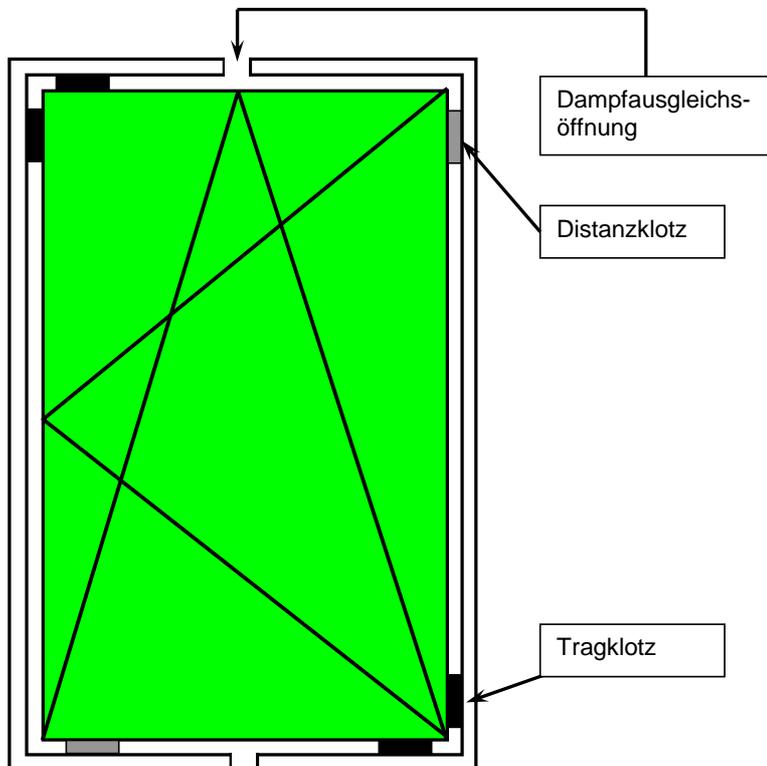
### 2.2.1 Konventionelle Verglasungstechnik

Bei der konventionellen Verglasungstechnik erfolgt die Lastabtragung und Positionierung des Isolierglases im Flügelrahmen durch Tragklötze bzw. Distanzklötze. Die Ausführung und Einbringung der Klotzung muss gemäß der technischen Richtlinie Nr. 3 des Instituts des Glaserhandwerks für Verglasungstechnik und Fensterbau erfolgen [26].

Als Klotzmaterial kommen Kunststoff oder Holz zum Einsatz, wobei auf die Verträglichkeit der Klotzmaterialien mit den Dichtstoffen des Isolierglasrandverbundes [11] geachtet werden muss. Falls notwendig, werden auch zusätzlich Klotzbrücken verwendet, um die Unebenheiten des Glasfalzraumes auszugleichen (Vgl. Abbildung 2).

Die Trag- und Distanzklötze sind so einzusetzen, dass das MIG an allen Seiten einen gleichmäßigen Abstand zum Flügelrahmen erhält und dabei aber nicht die Dampfdruckausgleichsöffnungen des Glasfalzraumes verdeckt. Die Aufgaben der Klotzung können wie folgt zusammengestellt werden.

- Das Gewicht der Glasscheibe im Rahmen so verteilen und den Untergrund auszugleichen, dass der Flügelrahmen die Glasscheibe trägt,
- Aufrechterhaltung des Flügelformats in Flügalebene,
- Sicherstellung der Gebrauchstauglichkeit des Flügels,
- Sicherstellung, dass keine Glaskante an keiner Stelle den Rahmen berührt,
- Lasteinleitung des Glasgewichts in den Flügelrahmen.



**Abbildung 2** Prinzipdarstellung der Ausführung der Klotzung beim Drehkipp-Flügel

Beim Kunststofffenster erfolgt die Abdichtung des Glasfalzraumes mittels in das Profil eingebrachte oder an das Profil anextrudierte Dichtprofile. Man bezeichnet diese Technik als Trockenverglasung, da keine spritzbaren Dichtstoffe verwendet werden.

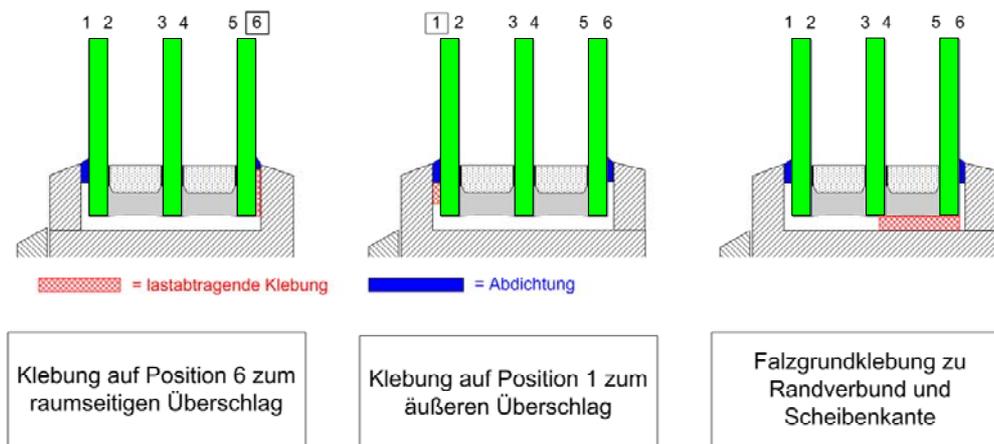
### 2.2.2 Klebetechnik

Die Klebetechnik kommt bereits seit einigen Jahren bei vielen Fensterherstellern zum Einsatz. Ursprünglich hauptsächlich bei 2-fach-Isolierglas eingesetzt, werden im Zuge der Verschärfungen der EnEV 2009 bezüglich der wärmetechnischen Kennwerte auch Dreifachisoliergläser geklebt.

Die Klebung kann auf allen Rahmenmaterialien (Holz, Aluminium und Kunststoff) nach entsprechender Vorbehandlung erfolgen und ist bereits weitreichend untersucht. Unterschieden werden die Systeme nach der Klebetechnik,

dem Klebstoff und der Positionierung der Klebefläche. Aktuell werden folgende Klebetechniken angewandt (vgl. Abbildung 3):

- Überschlagsklebung auf unterschiedlichen Positionen (1 oder 6),
- Falzgrundklebung,
- Stufenglasklebung.



**Abbildung 3** Schematische Darstellungen der verschiedenen Glasklebetechniken (ohne Stufenglasklebung, da im Projekt nicht verwendet)

Für die Falzgrundklebung und die Überschlagsklebung kommen Klebstoffe zum Einsatz, deren Elastizitätseinstufung eher „weich“ ist. Der Klebstoffauftrag erfolgt mit Applikationsautomaten, wobei der Klebstoff erwärmt und durch eine Dosierpumpe zur entsprechenden Düse transportiert wird.

Für die Überschlagsklebung und die Stufenglasklebung wird der Klebstoff mittels einer Dreiecksdüse als definierte Dreiecksraupe aufgetragen. Die Raupe kann hierbei umlaufend oder nur abschnittsweise aufgetragen sein.

Bei der Falzgrundklebung wird der Klebstoff mit einer Nadeldüse umlaufend in den Glasfalzraum eingespritzt. Hier muss besonders auf die Auswahl des Klebstoffes geachtet werden, da es sonst zu Unverträglichkeiten zwischen Randverbund und Klebstoff kommen kann.

Zu beachten bei diesen Klebearten ist die relativ geringe Soforthaftkraft der Klebstoffe, weshalb die Fensterflügel bis zur Aushärtung des Klebstoffs ruhig gelagert werden müssen, um ein Verrutschen des MIG zu vermeiden.



Eine weitere Möglichkeit der Klebung ist die Verwendung eines dünnen Klebstoffbandes, dessen Elastizitätseinstufung eher „hart“ ist (z. B. geschlossenzelliges Acrylatklebstoffband) [18],[19]. Die Applikation erfolgt mit einem speziellen Rollenapplikator mit bestimmtem Anpressdruck auf das Glas. Dieses wird anschließend mit einem Anpresswerkzeug in den Flügelrahmen eingepresst. Vorteil dieses Bandes ist die hohe Soforthaftkraft, wodurch die weiteren Produktionsschritte und der anschließende innerhalb kurzer Zeit erfolgen können.

Entscheidend für die Festigkeit der Klebung ist die Vorbehandlung der zu fügenden Bauteile. Bei allen Stoffen muss vorher eine akkurate Reinigung der Substratflächen erfolgen. Des Weiteren muss eine Vorbehandlung der Rahmenmaterialien mit entsprechenden Primersystemen erfolgen, um die volle Haftkraft des Klebstoffes an den Substratflächen zu erzielen. Die optimale Ausreaktion der Klebstoffe sollte unter den vorgegebenen Verarbeitungsbedingungen der Klebstoffhersteller erfolgen.

Entsprechend EN 45020 [25] wird unter Ziffer 1.4 der Stand der Technik definiert als „entwickeltes Stadium der technischen Möglichkeiten zu einem bestimmten Zeitpunkt, soweit Produkte, Prozesse und Dienstleistungen betroffen sind, basierend auf entsprechenden gesicherten Erkenntnissen von Wissenschaft, Technik und Erfahrung“. Daraus wird ersichtlich, dass alle verwendeten Materialien und Prozesse zum Stand der Technik zählen, wobei die Klebertechnik zwischen Glas und Rahmen bei der Fensterherstellung zu einem vergleichsweise jungen Verfahren zu zählen ist.

### 2.3 Analyse der Lasten am Fenster

Auf ein Fenster wirken über den Lebenszyklus diverse Lasten, die über die Konstruktion und das Material in den Baukörper abgeleitet werden müssen. Diese Lasten können in verschiedene Gruppen eingeteilt werden (vgl. Abbildung 4):

- Klimalasten,
- dynamische Lasten,
- Eigenlasten (Gewicht Glas und Rahmen).

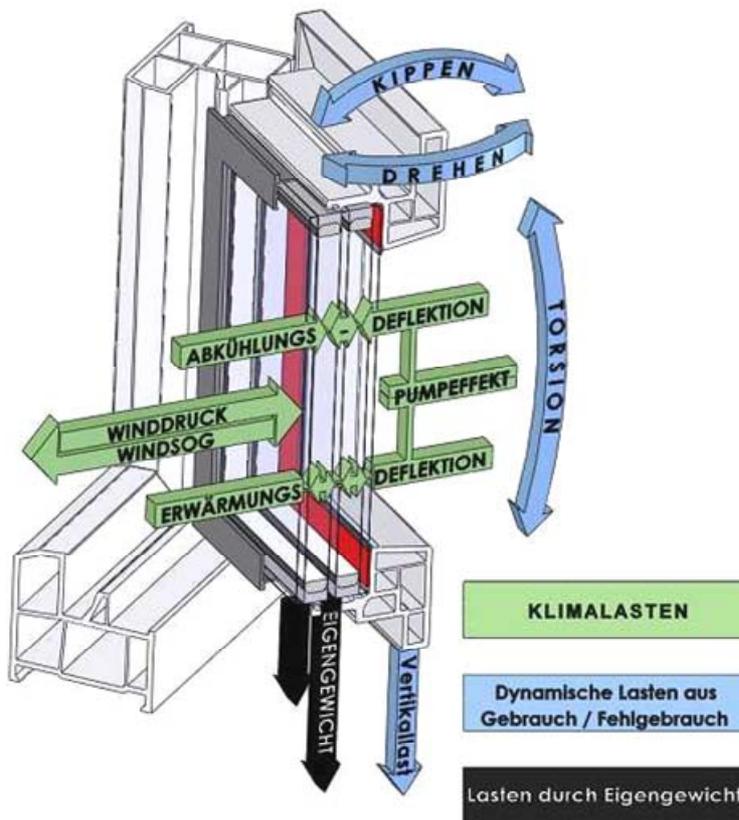
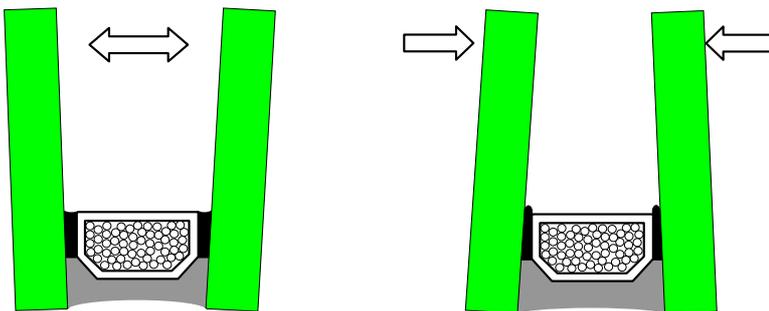


Abbildung 4 Zusammenstellung der auftretenden Lasten

### 2.3.1 Klimalasten

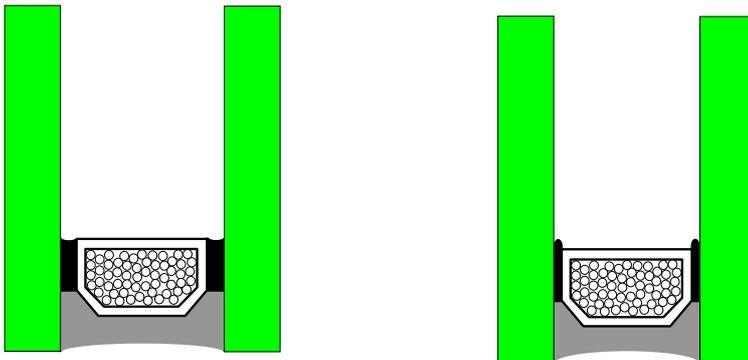
Unter Klimalasten versteht man Lasten, die durch Änderung der klimatischen Gegebenheiten (Temperatur, Luftdruck, Luftfeuchte) entstehen. Bei Isoliergläsern liegt im SZR ein Edelgasvolumen vor, das durch den Randverbund von den Umgebungsbedingungen abgeschlossen ist. Veränderungen des Luftdrucks und der Temperatur führen dazu, dass sich das Edelgasvolumen ausdehnen oder zusammenziehen kann, was zu Deformationen des Isolierglases führt. Die Kräfte, die durch die Deformationen entstehen, wirken direkt auf den Randverbund des Isolierglases. Die mechanischen Belastungen für den Randverbund, die sich aus den ständig wechselnden Druckverhältnissen ergeben, sind stark abhängig vom Format des MIG bzw. vom Verhältnis der Kantenlängen. Großformatige Scheiben haben in der Mitte eine biegeeweiche Zone, so dass bei Überdruck die Scheiben mit einer konvexen Verformung, bei Unterdruck mit einer konkaven Verformung reagieren (vgl. Abbildung 5).

Kleinformatige Scheiben haben eine deutlich kleinere biegeeweiche Zone, so dass fast die gesamte Kraft aus dem Über- bzw. Unterdruck in eine Aufweitung oder Kompression des Randverbundes abgeleitet wird (vgl. Abbildung 6).



**Abbildung 5** Deflektionen bei großen Scheiben

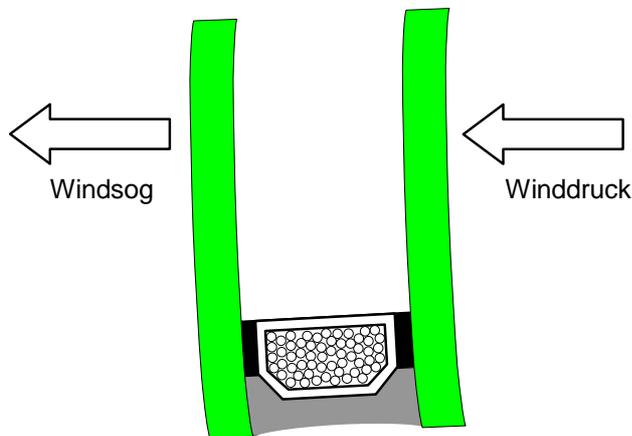
Die Klimalasten haben den stärksten Auswirkungen auf den Randverbund, da diese täglich mehrmals im Wechsel auftreten.



**Abbildung 6** Deflektionen bei kleinen Scheiben

### 2.3.2 Windlasten

Windlasten entstehen beim Auftreffen des Windes auf ein Gebäude. Dabei wirken immer Winddruck (Luv-seitig) und Windsog (Lee-seitig). Die Wirkung der Windlasten hat eine parallele Verformung des Isolierglases zur Folge, wodurch der Randverbund ebenfalls mit Scherlasten beaufschlagt wird.



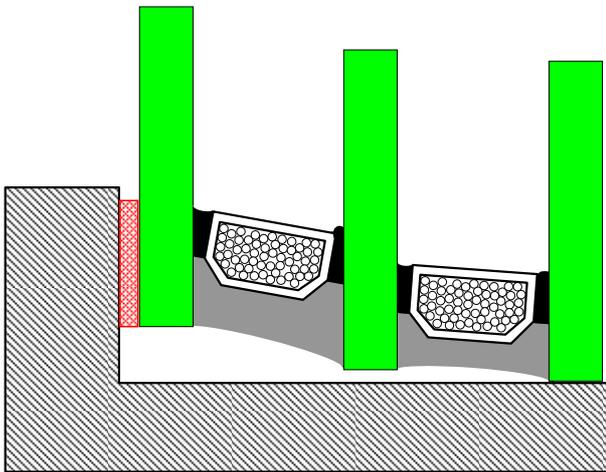
**Abbildung 7** Windlasten

Zu Beginn des Projektes wurde in Folge einer Abschätzung durch Professor Feldmeier ermittelt [23], dass die Auswirkungen der Windlasten auf den Randverbund im Vergleich zu den Klimlasten deutlich geringer ausfallen und somit bei der Belastung der Scheiben durch Klimlasten die Windlasten nicht mehr berücksichtigt werden müssen.

### 2.3.3 Lasten aus dem Eigengewicht (statische Lasten)

Lasten aus dem Eigengewicht wirken nur auf den Randverbund, wenn die Lasten nicht vorschriftsmäßig über Klotzung oder spezielle sekundäre Dichtstufen abgetragen werden. Auch bei geklotzten Systemen kann es durch Produktionstoleranzen dazu kommen, dass einzelne Scheiben nicht auf den Klötzen aufliegen. Über die Nutzungsdauer des Fensters wird sich die Scheibe, die nicht durch Auflage auf einem Glasklotz gelagert wird auf den entsprechenden Klotz absenken. Dies kann aber im Normalfall durch die Elastizität des Randverbundes aufgefangen werden.

Problematischer wird dies beim Wegfall der lastabtragenden Verklotzung, da nun die einzelnen Scheiben die Möglichkeit besitzen bis auf das Rahmenprofil abzusinken. Verstärkt wird dieses Absinken bei 3-fach Isolierglas, da hierbei noch ein zweiter SZR und eine weitere Glasscheibe den Randverbund der geklebten Scheibe belasten [22].



**Abbildung 8** Auswirkung der Eigenlasten beim 3fach-MIG

Die Verformungen können Scherlasten auf die Dichtstufen aufbringen, die zum Versagen der primären Dichtstufe und somit zu erhöhtem Gasverlust führen.

### 2.3.4 Lasten aus der Nutzung (dynamische Lasten)

Durch die Nutzung der Fenster- und Türelemente werden schon bei regulärer Nutzung Lasten aus der Torsion des Flügelrahmens bei Krafteinleitung oder beim Schließen des Fensters Lasten auf den Flügelrahmen und über die Klebung auf das Isolierglas übertragen. Auf Grund des schubfesten Verbundes zwischen Glas und Rahmen ist zu erwarten, dass Kräfte [13], [14], [15], [16], die auf den Flügelrahmen einwirken, je nach Art der Klebung („hart“ mit Klebstoffband und „weich“ mit Kleberaupe) auch unterschiedlich starke Krafteinleitungen in das Bauteil Glas haben. Durch die Krafteinwirkung kommt es zu Verformungen (z. B. Durchbiegung oder Torsion) des Isolierglases, die durch den Randverbund kompensiert werden müssen.

Besonders stark können die wirkenden Kräfte werden, wenn Fehlnutzungen, wie z. B. ein gekipptes Fenster bei Wind (Zugerscheinung und dadurch Zuschlagen des Fensters) oder ein Hindernis z. B. zum Offenhalten des Flügels im Blendrahmen eingebracht wird. Durch Zugerscheinungen kann das Hindernis langsam entlang des Blendrahmens verschoben werden, so dass der Flügelrahmen Bewegungsspielraum erhält. Erfährt der Flügel dann eine Beschleunigung durch Zug, kommt es beim Auftreffen auf das Hindernis zu starken Hebelwirkungen, wodurch auf den Flügel große Kräfte wirken.

Beim Kippen eines Fensters ist die Höhe des Fensters entscheidend für die Belastungen des Flügelrahmens beim Auftreffen auf den Blendrahmen. Die Krafterleitung beim Schließen des Fensters erfolgt über die Olive, die sich im unteren Drittel des Flügels befindet. Bei der Beschleunigung des Flügels kommt es zu einer Durchbiegung, die sich erst beim Auftreffen auf den Blendrahmen ähnlich eines Peitscheneffekts entlädt. Flügelrahmen ohne Stahlverstärkung schwingen nach dem Anprall deutlich nach in Form einer Torsion des Flügels.

### 3 Vorgehensweise und Methodik

#### 3.1 Allgemeine Festlegungen

Um aussagekräftige Kennwerte zu erhalten, die einen vergleichende Bewertung der einzelnen Probekörper nach den entsprechenden Belastungen zu erlauben, müssen spezielle Parameter, die Auswirkungen auf die Ergebnisse haben, konstant gehalten werden. Um für die Fenstersysteme dieselben Voraussetzungen zu schaffen, wurden im Zuge der ersten Projektgruppensitzung folgende Festlegungen getroffen:

- Die Isoliergläser werden von einem Hersteller produziert und an die Projektpartner in entsprechender Stückzahl ausgeliefert. Die Produktion erfolgt an einem Standort, auf einer Anlage und in einer Produktionscharge, um Schwankungen in der Qualität so gering wie möglich zu halten.
- Die Scheibenproduktion erfolgt durch Glas Trösch.
- Das zugrunde gelegte Prüfformat der Scheiben ist einheitlich: 600 mm x 1000 mm.
- Es erfolgt eine zusätzliche Auflastung der Prüfscheiben, um größere Nutzformate und Scheibendicken zu simulieren (gl. 6.2).
- Die Verglasungsklotze fallen weg, um ein freies Absinken der nicht geklebten Scheiben zu ermöglichen.
- Stahlverstärkungen im Flügel entfallen, außer wenn diese zur Befestigung der Beschläge erforderlich sind – dann werden die Verstärkungsprofile in diesem Bereich verwendet.
- Glashalteleisten fallen weg, um eine ungehinderte Einleitung der dynamischen Lasten in den Randverbund zu ermöglichen.
- Bei 2-fach MIG wird eine Scheibe und bei 3-fach die mittlere Scheibe auf Position 3 mit Low-E-Beschichtung versehen, um Kontrollmessungen mittels Gasglass<sup>®</sup> zu ermöglichen

Die Wahl der Scheibenformate erforderte einige grundlegende Überlegungen: Für die Prüftechnik sollten die Scheiben nicht zu groß ausfallen. Gleichzeitig werden die dynamischen Lasten beim Kippvorgang speziell durch die Scheibengröße beeinflusst – große Scheibe = große Lasten. Die Klimlasten spielen umgekehrt dazu speziell bei kleinen Scheibenformaten eine Rolle.



Als Grundlage für die vergleichende Bewertung der untersuchten MIG werden die Kennwerte angesehen, die gemäß EN 1279-3 ermittelt werden. Dies sind:

- Gasverlustrate,
- Gaskonzentration,
- Trocknungsmittelbeladung.

Zusätzlich wird noch die geometrische Verformung an den MIG betrachtet, die mittels Auflastung zusätzlich belastet werden. Die Messwerte werden nach den Belastungen erfasst, die in Abschnitt 4 detaillierter erläutert werden.

## 3.2 Labortechnische Umsetzung der Belastungen

### 3.2.1 Darstellung der Klimalasten

Um die real vorkommenden Belastungen Klima, Statik und Dynamik unter Laborbedingungen nachzustellen, wurde versucht ein für die Belastung des Randverbundes ungünstiges Scheibenformat zu wählen, allerdings unter Berücksichtigung der labortechnisch noch verarbeitbaren Größe.

Grundlage für die klimatischen Belastungen ist DIN EN 1279-3 [2]. Die allgemeinen Grundlagen der Prüfung nach DIN EN 1279 werden hier als bekannt vorausgesetzt. Die Gesamtlaufzeit eines Klimabelastungstests gemäß DIN 1279-3 setzt sich aus zwei Wochen Wechselklimazyklus, gefolgt von 4 Wochen Konstantklima (58 °C, rel. Feuchte  $\geq$  95 %) zusammen. Im Anschluss erfolgt eine Nachlagerung von vier Wochen unter Normalklima. In Abbildung 9 sind die Parameter eines Wechselklimazyklus dargestellt.

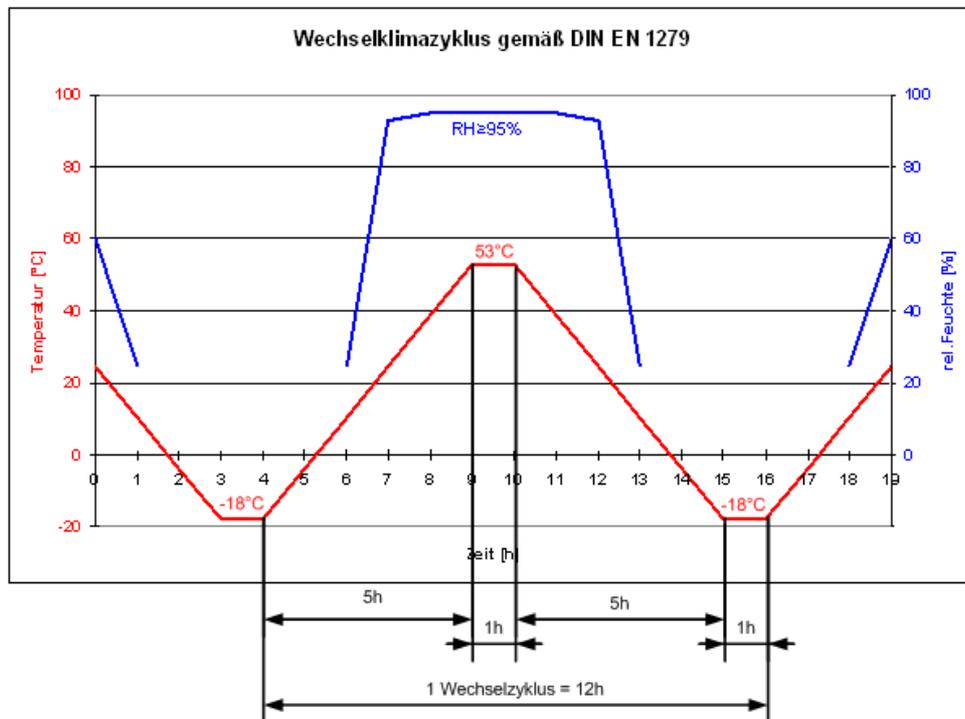
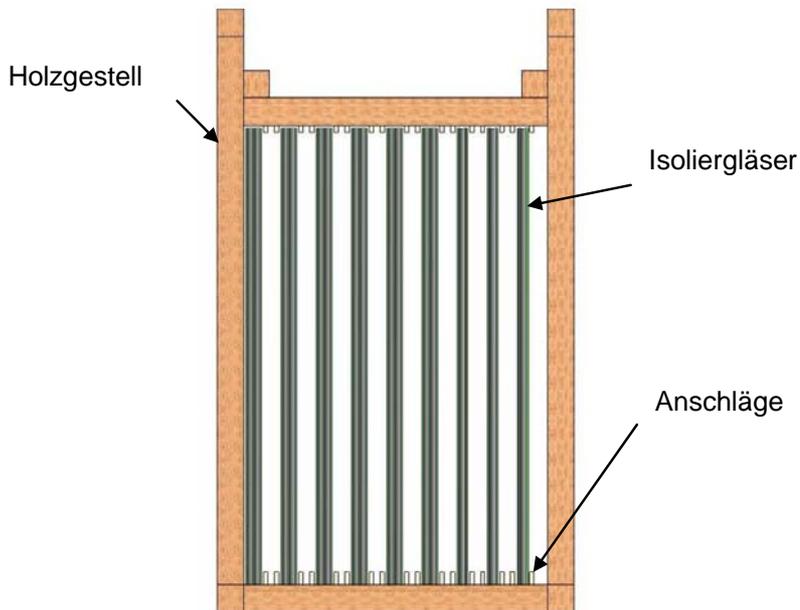


Abbildung 9 Wechselklimazyklus

Zur Durchführung der Klimabelastungen wurden die MIG mit zwei Lagergestellen in die Klimakammer eingebaut. Jedes Gestell ermöglicht eine Auflage aller Glasscheiben (Abbildung 10), ähnlich einer geklotzten Verglasung. Durch an den Querträgern eingebrachte Anschläge wird ein definierter Abstand zwischen den Isoliergläsern aufrecht erhalten. Der Abstand der Anschläge ermöglicht allerdings auch ausreichend Raum für die Pumpbewegung der MIG bei Temperaturänderung.



**Abbildung 10** Lagergestell für Lastfall 1

In diesen Gestellen werden je Füllung der Klimakammer 18 MIG (6 Stk. 2-fach MIG, 12 Stk. 3-fach MIG) mit unterschiedlicher Ausführung des Randverbundes gemäß den Vorgaben der DIN EN 1279-3 belastet, d. h. zwei Wochen Wechselklima, danach vier Wochen konstante Hochtemperaturlagerung bei hoher Luftfeuchte und zum Abschluss eine vierwöchige Nachlagerung bei Normklima in einem gesonderten Klimaraum. Nach Ablauf der Nachlagerungszeit erfolgen die notwendigen Messungen an den Probekörpern.

### 3.2.2 Darstellung der Eigenlasten

Zur Simulation der Flächengewichte von größeren Formaten wurde ein Konzept zur gezielten Auflastung der MIG von Professor Dr. Benno Eierle (Hochschule Rosenheim) erarbeitet, das detaillierter im Anhang unter A1 nachzulesen ist.

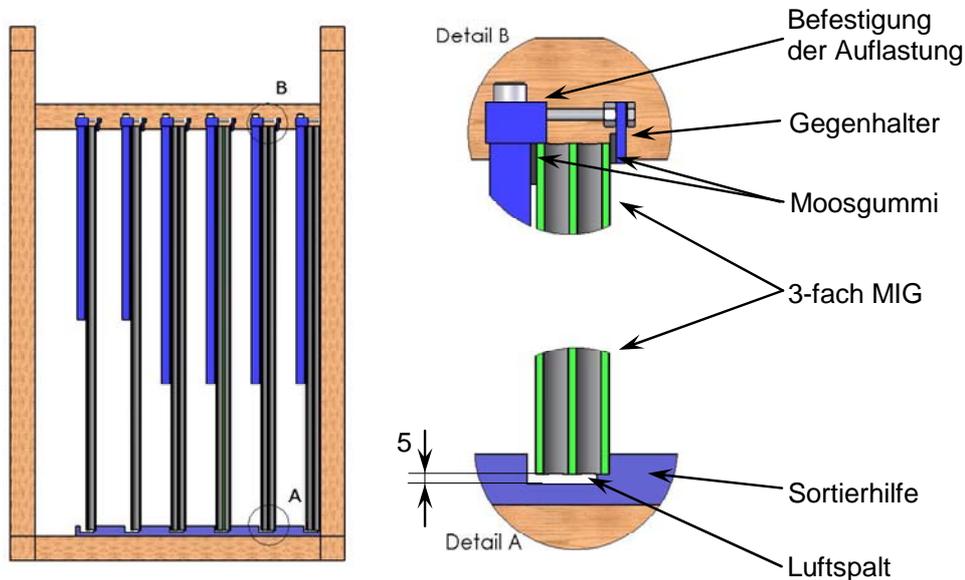
Für die Darstellung der Eigenlasten erfolgt die Simulation einer geklebten Festverglasung mit Entfall der lastabtragenden Klotzung. Nur eine Scheibe des MIG wird lastabtragend gelagert, die restlichen hängen frei. Dabei wird die der Klebung abgewandte Scheibe mit entsprechenden Zusatzgewichten belastet um zusätzlich ein größeres Scheibenformat zu simulieren.

Als Gewichte für die Auflastung dienen Stahlplatten in entsprechenden Abmessungen (Tabelle 1). Die Auflage des Gewichts auf dem MIG erfolgt auf der der Glasklebung abgewandten Seite. Hier wird das Gewicht mit einem Flansch auf der Glaskante aufgelegt. Damit das Gewicht durch die Pumpbewegungen – verursacht durch das Wechselklima – nicht von der Glaskante rutscht, ist ein verstellbarer Gegenhalter installiert, so dass das MIG umfasst wird. Der Gegenhalter wird so eingestellt, dass der Zwischenraum groß genug ist, um die wärmeinduzierte Ausdehnung aufzunehmen.

**Tabelle 1** Zusammenstellung der statischen Auflastung

MIG-Aufbau	berechnete Auflastung	Material	Ausführung	L x B x H [mm]
4-16-8	30 kg	Flachstahl	2 Gewichte á 15 kg	480 x 200 x 20
4-12-4-12-8	42 kg	Flachstahl	2 Gewichte á 20 kg	640 x 200 x 20

Zur Durchführung der Belastungen wurde ebenfalls ein Gestell angefertigt, das die beschriebene Lagerung erlaubt. Hierzu wurde ein Holzgestell wie unter 3.2.1 gebaut, allerdings mit einer speziellen Glasaufnahme, gefräst aus hochfestem Kunststoff. Diese Aufnahme ermöglicht sowohl die definierte Lagerung als auch freie Pumpbewegungen der Scheiben. Die äußere Scheibe besitzt dabei die Möglichkeit, um maximal 5 mm abzusinken (Abbildung 11). Dies entspricht ungefähr der Höhe des Glasfalzraums laut DIN 18545-1. Nach Überschreiten dieser Strecke wird auch in den Lagergestellen die äußere Scheibe durch die Auflage abgefangen, um die Isoliergläser nicht soweit zu belasten, dass diese Defekte wie den kompletten Gasverlust ausweisen. Ohne Gasfüllung ist die Ermittlung des Kennwertes Gasverlustrate nicht mehr möglich.



**Abbildung 11** Links: Gestell mit Auflastung; rechts: Detail A: Glasaufnahme PE-HM; Detail C: Auflastungsbefestigung

Zur Kontrolle der geometrischen Verformung wurden vor Beginn der Klimabelastungen Linien rechtwinklig zur Scheibenebene als Markierung angebracht. Die Verformungen des Randverbundes werden durch die Verzerrungen der Linie deutlich.

### 3.2.3 Darstellung der Lasten aus der Nutzung

Für die Darstellung der Betriebslasten werden geklebte Fenster mittels Dauerfunktionsautomaten gemäß DIN EN 1191 [17] belastet, d. h. die Flügel durchlaufen die Belastungsart Kippen mit einer Endgeschwindigkeit beim Auftreffen auf den Blendrahmen von 0,5 m/s. Die Norm sieht als Belastung 10000 Zyklen Kippen und 10000 Zyklen Drehen vor. Auch bei der Darstellung der Lasten aus der Nutzung sollen Zusatzgewichte größere Scheibenformate simulieren (vgl. Anhang A1, Ausarbeitung Prof. Dr. Eierle).

Bei den Prüfungen werden immer alle Fenster eines Herstellers nacheinander geprüft, um den Montageaufwand zu reduzieren. Hierbei wird der Blendrahmen einmal auf der Aufspannwand befestigt und nur der Fensterflügel gewechselt. In Tabelle 1 sind die benötigten Zusatzgewichte aufgelistet.

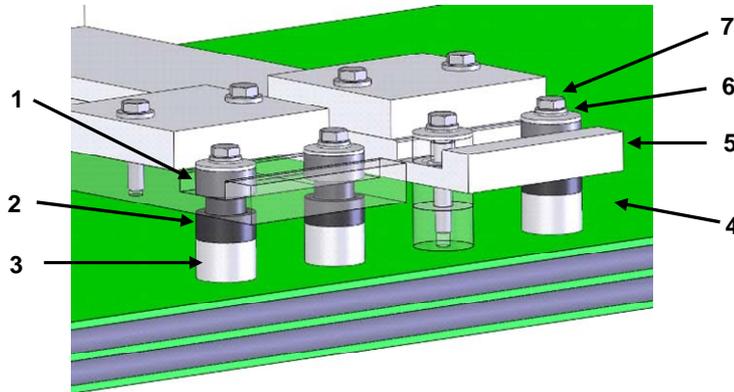
**Tabelle 2** Zusammenstellung der dynamischen Zusatzlasten

MIG-Aufbau	Berechnete Auflastung	Material	Ausführung	L x B x H [mm]
4-16-8	18 kg	Flachstahl	2 Gewichte á 9 kg	480 x 100 x 20
4-12-4-12-8	24,7 kg	Flachstahl	2 Gewichte á 9 kg + 2 Gewichte á 3,35 kg	480 x 100 x 20 160 x 100 x 20

Die Auflastungsgewichte haben für das Kippen ihren Schwerpunkt im oberen Drittel des Flügels. Betrachtet man die Bewegung Drehen, müsste der Schwerpunkt der Zusatzgewichte im äußeren Drittel des Flügels, bezogen auf die Drehachse, liegen. Dies hätte allerdings großen Aufwand bei der Anbringung der Zusatzlasten für beide Bewegungsarten zur Folge. Aus diesem Grund hat sich die Projektgruppe darauf geeinigt, die Bewegungsart „Drehen“ durch eine Verdoppelung der Zyklen für das Kippen zu ersetzen. Somit werden die Flügel statt mit 10000 Zyklen (laut Norm) mit 20000 Zyklen Kippen belastet.

Die Auflastung bei den dynamischen Belastungen erfolgt ebenfalls mit Gewichten aus Flachstahl, die auf den Isoliergläsern befestigt werden. Um die Gewichte an den Scheiben befestigen zu können und diese nach der Prüfung zerstörungsfrei wieder abzunehmen, wurde folgendes Konzept erarbeitet.

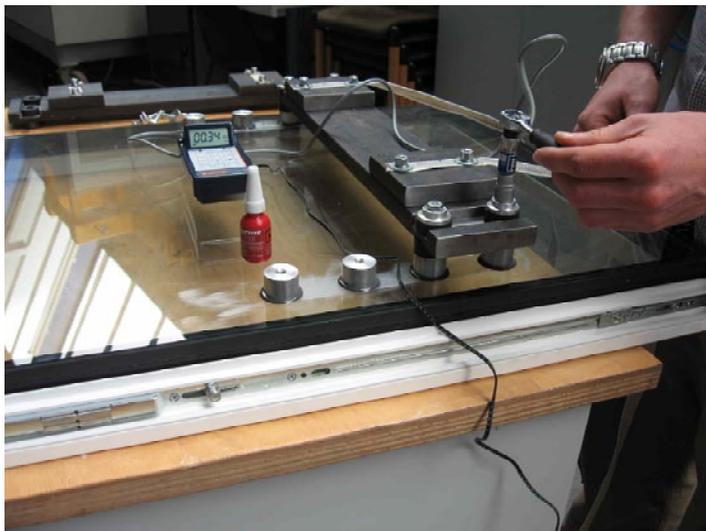
Es werden auf jedes Fensterelement acht Ronden (je vier pro Gewicht,  $\varnothing = 30$  mm, Höhe = 20 mm) mittels eines 2-Komponenten Epoxid-Montageklebstoffs geklebt und verbleiben auf der Scheibe. Das Glas wird zuvor mit Schleifpapier an den Klebestellen angeraut und anschließend mit Aceton gereinigt. Die Ronden sind in der Mittelachse mit einer M8-Gewindebohrung versehen, an der die Gewichte mit Schrauben befestigt werden. Die Positionierung der Ronden erfolgt mittels einer Schablone, wodurch die genauen Lochabstände den Gewindebohrungen eingehalten werden können. Die Befestigungsschrauben werden mit einer leicht zu lösenden Schraubensicherung von Loctite® und einem gleichmäßigen Drehmoment von 0,3 Nm angezogen. Der Aufbau der Befestigung ist in und Abbildung 12 zu ersehen.



**Abbildung 12** Schematische Darstellung der Befestigung der Auflastung für die dynamische Belastung

**Tabelle 3** Legende der Abbildung 20

Pos.-Nr.	Bezeichnung
1	Schwingungsdämpferoberenteil
2	Schwingungsdämpferunterteil
3	Alu-Ronde
4	MIG
5	Gewicht
6	Unterlegscheibe
7	M8 x 55



**Abbildung 13** Anbringung der Auflastungsgewichte

Beim ersten Versuch die Gewichte anzuschrauben kam es beim Anziehen der letzten Schraube zum Bruch des Glases um die Ronde. Als Grund hierfür wird angenommen, dass die Ronden beim kleben nicht plan auf der Scheibe auflagen. Das schiefe aufliegen der Ronden entsteht beim Kleben, da bei einer optimalen Klebstoffdicke von 2 mm ohne Schablone ein gleichmäßiges Absinken der Ronden auf die Scheibe nicht sichergestellt ist. Beim Anziehen der Schrauben wurden die Ronden dann plan an den Flachstahl gezogen, wodurch über die nun ausgehärtete Klebung Spannungen auf die Scheibe übertragen werden, die zum Bruch führten.

Abhilfe konnte geschaffen werden durch die Verwendung der Schablone und dem zusätzlichen Einsatz von elastischen Zwischenlagen zwischen Ronde und Flachstahl (Abbildung 12) Diese elastischen Zwischenlagen kompensieren Winkelversatz und Spannungsspitzen.

Im Anschluss an die dynamischen Lasten wurden die Fensterelemente für die Klimabelastungen vorbereitet. Hierfür wurde der Flügelrahmen auf der Oberseite entfernt, um die Befestigung der Zusatzgewichte zu ermöglichen. Die aufgelasteten Fensterflügel wurden in den dafür umgebauten Holzlagergestellen untergebracht und in der Klimakammer gemäß DIN EN 1279 belastet.

Ein weiteres Problem trat an den Isoliergläsern beim Durchlaufen der Klimabelastungen auf. Durch die aufgeklebten Aluminium-Ronden kam es bei den Wechselklimazyklen zu Spannungen, die zu Wurmbrüchen der Floatglas-scheiben im Bereich der Klebestellen führte. Um dies zu vermeiden, wurden alle Ronden in der Klebefuge vom Isolierglas abgetrennt, was das Problem beseitigt hat.

Des Weiteren versagte bei einem Hersteller unter der Temperatur- und Feuchtebelastung in der Klimakammer die Glas-Rahmenklebung, wodurch es zu einem Ausfall von 12 Probekörpern kam. In Abstimmung mit der Projektgruppe wurden diese Probekörper nachproduziert und erneut den Belastungen zugeführt. Durch Gasglass<sup>®</sup>-Messung und Konzentrationsmessung wurde festgestellt, dass die nachträglich produzierten MIG zusätzlich von Hand mit Argon zu befüllen sind, um diese an die restlichen Probekörper anzugleichen.

In der Klimakammer kam es zu weiteren Glasschäden, die aber auf vorhergehende Beschädigung der Glaskante (Transport, Fensterproduktion) zurückgeführt werden konnten. Diese Probekörper konnten allerdings auf Grund des engen Zeitplans nicht ersetzt werden.



### 3.2.4 Definition der zu untersuchenden Lastfälle

Zur leichteren Verständigung wurden für dieses Projekt drei Lastfälle definiert, die jeweils die notwendigen Belastungen und Messungen beinhalten. Allen Lastfällen liegen die Klimabelastungen gemäß DIN EN 1279 zu Grunde, d. h. die Lastfälle unterscheiden sich nur in der Art der zusätzlichen Belastungen.

Lastfall 1 dient hierbei als Referenz, da nur Klimalasten wirken ohne entsprechende Zusatzlasten. Simuliert werden hierbei die Klimalasten bei einer Festverglasung mit Lastabtragung durch Glasklötze. Die MIG erfahren bei dieser Prüfung nur die Klimalasten gemäß DIN EN 1279. Diese Scheiben dienen als Referenz für den Vergleich der Kennwerte aus Gasverlustrate, Gaskonzentration und Trocknungsmittelbeladung mit den Werten aus den Lastfällen 2 und 3

Lastfall 2 durchläuft dieselben Klimazyklen wie Lastfall 1, allerdings mit zusätzlicher statischer Auflastung. In diesem Lastfall wird eine geklebte Verglasung mit Entfall der lastabtragenden Klotzung simuliert. Den der Klebung abgewandten Scheiben wird die Möglichkeit zum Absinken eingeräumt. Die Zusatzlasten sollen größere Formate und eine höhere Glasdicke auf der Außenseite darstellen.

Somit können die Probekörper aus Lastfall 2 den von Zusatzlasten freien Probekörpern aus Lastfall 1 vergleichend gegenübergestellt werden. Der Vergleich der Probekörper aus Lastfall 2 und 3 soll wiederum Aufschluss geben über die Auswirkungen der dynamischen Lasten auf den Randverbund.

Beim Lastfall 3 werden erst ganze Fensterelemente inklusive einer definierten Auflastung dynamisch in Form einer Dauerfunktionsprüfung nach DIN EN 1191 belastet. Im Anschluss durchlaufen die Probekörper den Lastfall 2.

In Tabelle 4 sind die Lastfälle und die zugehörigen Messungen zusammengestellt.

**Tabelle 4** Beschreibung der Lastfälle und Messungen

Lastfall	Belastungen			Messungen
	Klimalasten nach DIN EN 1279	klimatisch + statisch	klimatisch + statisch + dynamisch	
1	•			Gaskonzentration Feuchtebeladung Gasverlustrate Verformung
2	•	•		
3	•	•	•	

### 3.3 Zu untersuchende Parameter

Nach Aufbringen der Belastungen müssen Messwerte ermittelt werden, womit im Vergleich der Lastfälle Aussagen möglich werden über die Dauerhaftigkeit des Randverbundes und ob die zusätzlich aufgebrauchten Lasten Einflüsse auf die Dauerhaftigkeit des Randverbundes haben.

#### 3.3.1 Gasverlustrate

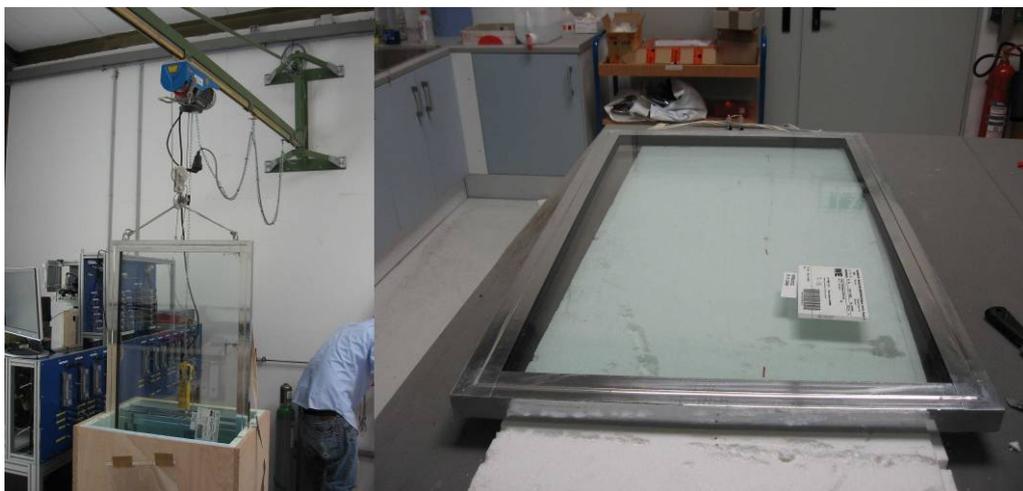
Die Ermittlung der Gasverlustrate erfolgt entsprechend EN 1279-3. Bei dieser zerstörungsfreien Messung werden die MIG in den Ringkassetten von einem Trägergas (hochreines Helium 6.0) umströmt. Auf Grund des Partialdruckgefälles der im SZR eingeschlossenen Gase zum Helium in der Ringkassette diffundiert das Argon durch den Randverbund in den Heliumstrom um das MIG. Diese Gasmischung wird nach Anreicherung in einer sogenannten Ausfrierschleife an den Gaschromatographen zur Analyse transportiert. Dieser zerlegt das Gasgemisch und ermittelt mittels Integration die Flächeneinheiten der einzelnen Gase. Durch Umrechnung wird ein Wert in  $\mu\text{g/h}$  ermittelt, der wiederum mit Umrechnung unter Berücksichtigung mehrerer Faktoren, inklusive der tatsächlichen Gaskonzentration (ermittelt über Gaskonzentrationsmessung, vgl. 3.3 mit anschließender Korrektur der Gasverlustrate) im SZR in einen Wert in  $\%/a$  umgewandelt wird. Dieser Wert gibt an, wie viel Prozent der Gasfüllung über ein Jahr durch den Randverbund verloren gehen und ist ein Kennwert für die Qualität des Randverbundes und somit auch für die Qualität der Isolierglaseinheit.



Bei der Beurteilung der Einflüsse verschiedener Belastungsszenarien auf die Dauerhaftigkeit des Randverbunds bei geklebten Verglasungen werden die Ergebnisse der Gasverlustratenmessung vergleichend gegenübergestellt.

Zur Messung der Gasverlustrate werden MIG nach den nötigen Klimabelastungen in so genannte Ringkassetten eingebaut, deren Abmessungen an die des Isolierglases angepasst sind. Die Abmessungen der Probekörper weichen allerdings von den normativen Vorgaben ab. Für das Projekt beträgt das Scheibenformat 1000 mm x 600 mm anstelle der üblichen 500 mm x 350 mm, Aufgrund der entsprechend ebenfalls größeren und somit auch schwereren Ringkassetten konnten die Probekörper nur mit einem entsprechenden Hebewerkzeug in die Messeinrichtung eingebaut werden können (Abbildung 14).

Die Messung der Gasverlustes nach DIN EN 1279-3 muss bei  $20 \pm 1$  °C durchgeführt werden. Es wurde dazu eine Holzkiste gebaut und alle Wände wurden innenseitig mit einer Wärmedämmung versehen. Die Kühlung wird durch den Einsatz eines Peltierelements mit 48 Watt erreicht. Im Innern der Kiste befinden sich zwei Lüfter, die eine gleichmäßige Umwälzung der gekühlten Luft sicherstellen (Abbildung 15). Bei Vorversuchen wurden alle Messplätze in der Kühlkiste mit Probekörpern belegt und jede Scheibe mit Thermosensoren ausgerüstet. Zusätzlich wurde ein Sensor in der Mitte der Kisten im freien Raum platziert, um die Temperaturkonstanz in der Kühlkiste zu untersuchen. Auch bei den Messungen wurde stichprobenartig die Temperatur überprüft.



**Abbildung 14** Links: Ausbau der Probekörper aus Kühlkiste; rechts Ringkassette mit eingeklebtem MIG

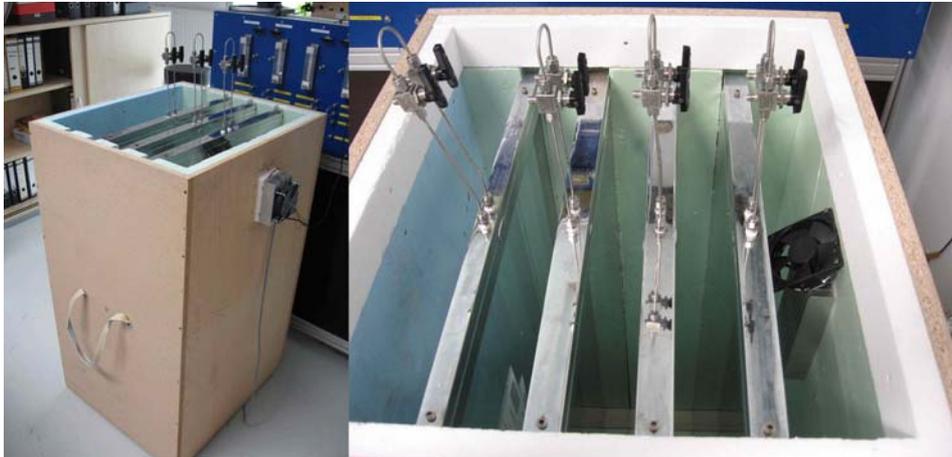


Abbildung 15 Kühlkiste mit Ringkassetten

### 3.3.2 Gaskonzentration

Vor den Belastungen der MIG und vor der Gasverlustenmessung werden alle Isolierglaser mittels Gasglass<sup>®</sup> auf die Konzentration ihrer Gasfüllung überprüft.

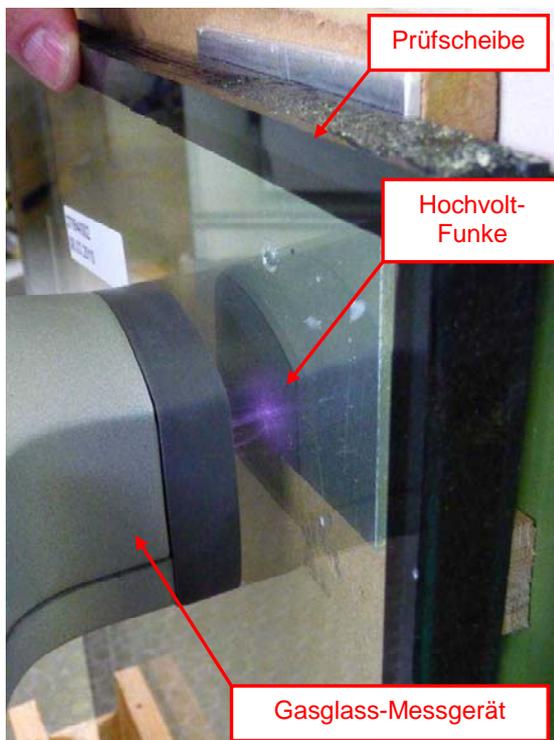


Abbildung 16 Gasglass<sup>®</sup>-Messung



Für die Messung mittels Gasglass<sup>®</sup> wird ein 50.000 V-Funke im SZR gezündet, der die Argon-Atome zur Emission von Licht anregt, das von einem Spektrometer gemessen und in die entsprechende Gaskonzentration umgerechnet wird.

Diese Messung kann allerdings hauptsächlich der Kontrolle dienen, ob die Scheibe überhaupt eine Argonfüllung besitzt bzw. ob die Anfangskonzentration den Vorgaben entspricht, da zum einen Umwelteinflüsse (Licht, Schmutz) und zum anderen die Gaskonzentration große Einflüsse auf die Genauigkeit der Messergebnisse hat. Die Messtoleranz liegt bei Gasfüllkonzentrationen bis 90 % bei  $\pm 1$  %, bis 85 bei  $\pm 2$  % und darunter bei mindestens  $\pm 5$  % (Herstellerangaben).

Bei einer regulären Systemprüfung werden am **ift** alle MIG als Eingangstest mit dem Gasglass<sup>®</sup> gemessen und vier Probekörper des Eingangstests werden im Anschluss mittels GC überprüft. In nachfolgender Tabelle sind einige Werte aus Vergleichsmessungen am **ift** gegenübergestellt und man kann erkennen, dass die Herstellerangaben bezüglich der Genauigkeit des Messgerätes mit den ermittelten Abweichungen übereinstimmen.

Mittelwert in % Ar	Standardabweichung	Messung GC in % Ar	Differenz in %
<b>94</b>	0,08	<b>93</b>	<b>1</b>
<b>95</b>	0,22	<b>94</b>	<b>1</b>
<b>85</b>	1,19	<b>83</b>	<b>2</b>
<b>89</b>	0,64	<b>87</b>	<b>2</b>
<b>95</b>	0,12	<b>94</b>	<b>1</b>
<b>95</b>	0,29	<b>96</b>	<b>1</b>
<b>94</b>	0,54	<b>93</b>	<b>1</b>
<b>96</b>	0,19	<b>95</b>	<b>1</b>
<b>91</b>	0,46	<b>89</b>	<b>2</b>
<b>88</b>	0,26	<b>86</b>	<b>2</b>
<b>93</b>	0,43	<b>92</b>	<b>1</b>
<b>89</b>	1,02	<b>87</b>	<b>2</b>
<b>94</b>	0,55	<b>93</b>	<b>1</b>

Die genaue Messung der Gaskonzentration ist eine zerstörende Prüfung, da zur Ermittlung der Randverbund des MIG durchstoßen werden muss, um eine kleine Menge des enthaltenen Gasgemischs mittels einer Spritze aus dem SZR zu entnehmen. Der Inhalt der Spritze wird durch ein Septum in den Injektionsport des Gaschromatographen eingespritzt, der dann die Gaszusammensetzung und somit auch die Argonkonzentration ermitteln kann. Auf Grund der Beschädigung des Randverbundes erfolgt die Prüfung erst nach Abschluss der Gasverlustratenmessung.

Durch den Abgleich der Konzentrationswerte nach der Belastung mit den Werten der Gasglass<sup>®</sup>-Messung an den unbelasteten Probekörpern kann die Abnahme der Gaskonzentration über den Zeitraum der Klimabelastungen angegeben werden. Dies ist ein weiterer Kennwert zur Beurteilung der Qualität des Randverbundes und dessen Funktionstüchtigkeit.

### 3.3.3 Trocknungsmittelbeladung

Die Trocknungsmittelbeladung kann ein verstärktes Eindringen von Wasserdampf durch den Randverbund in den SZR aufzeigen. Bei den Klimabedingungen nach DIN EN 1279 wird das Isolierglas konstant hohen Temperaturen mit hoher Feuchte ausgesetzt. Bedingt durch die hohen Temperaturen kommt es zu Aufweitungen in den Molekülketten der Dichtstufen, was die Wasserdampfdiffusion erleichtert. Wird der Randverbund bei Lastabtragung über die Glas-Rahmen-Klebung stärker belastet, kann es zu Beschädigungen der Dichtstufen kommen, was einen erhöhten Wasserdampfeintrag in den SZR zur Folge hätte.

Um die Trocknungsmittelbeladung zu ermitteln, wird der Randverbund von außen durchbohrt und das austretende Zeolith mit Tiegeln aufgefangen. Diese werden gewogen und danach innerhalb von drei Stunden bei 950 °C getrocknet [2] (Vgl. Abbildung 17). Im Anschluss werden die Tiegel wieder gewogen und der prozentuale Wasseranteil des Trocknungsmittels errechnet. Unter Verwendung der Beladung nach Belastung  $T_f$ , der Beladung im Neuzustand  $T_{i,av}$  und der Norm-Feuchteaufnahmekapazität  $T_{c,av}$  kann der Feuchtigkeitsaufnahmefaktor berechnet werden.

Die Kombination der Kennwerte Gasverlustrate, Gaskonzentration und Trocknungsmittelbeladung geben zusammen Aufschluss über den Zustand der Isolierglaser v. A. über den Randverbund und damit über die Auswirkungen der zusätzlichen Lasten aus der Direktverglasung ohne lastabtragende Glasklötze.



Abbildung 17 Temperofen mit Tiegel

### 3.3.4 Geometrische Verformung

Als weiteres Merkmal wird die geometrische Verformung ermittelt, die durch das Aufbringen der unterschiedlichen Zusatzlasten zu erwarten ist. Die Verformungen wurden visuell und mittels Fühlerlehre ermittelt. Sichtbar werden hierbei die Unterschiede der Randverbundfestigkeiten im Vergleich der sekundären Dichtstoffsysteme, die für die mechanische Festigkeit zuständig sind.

Beeinflusst wird die Festigkeit der Dichtstoffe sowohl durch erhöhte Temperaturen und Luftfeuchtigkeit und durch die zusätzlichen statischen und dynamischen Lasten die auf die Mehrscheibenisoliergläser aufgebracht werden.

Als geometrische Verformung wird die Parallelverschiebung der einzelnen Floatglasscheiben zueinander festgehalten. Dieses Abgleiten der Scheiben führt dazu, dass die primäre Dichtung (Butyl) zum einen der UV-Strahlung stärker ausgesetzt wird und zum Anderen, dass die relativ dünne Butylschicht auseinander gezogen wird und dadurch eventuell die Gasdichtigkeit (Hauptaufgabe der primären Dichtstufe) nicht mehr gewährleistet ist.

Bei korrekt ausgeführter, lastabtragender Klotzung ist eine gravierende geometrische Verformung, abgesehen von Fertigungstoleranzen, nicht möglich.

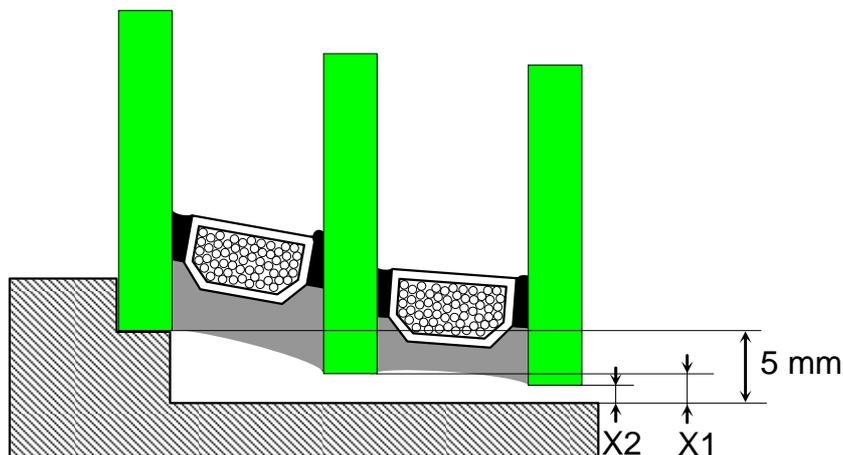


Abbildung 18 Messpunkte der geometrischen Verformung

Mittels Fühlerlehre wurden die Werte  $X_1$  und  $X_2$  gemessen. Zieht man diesen Wert von den 5 mm, die durch die Sortierhilfe des Lagergestells vorgegeben werden ab, so erhält man den Versatz der SZR 1 und des SZR 2 in Bezug auf den Nullpunkt.

### 3.4 Ablauf der Untersuchungen

Der Projektablauf ist in vier Phasen eingeteilt. Phase 1 befasste sich hauptsächlich mit der Herstellung der Probekörper, insbesondere mit der Herstellung der Isoliergläser. In der Matrix (Abbildung 19) ist ersichtlich, dass ein Teil der Gläser (Probekörper für Lastfall 1 und 2) direkt an das **ift** geschickt wurde (schwarze dünne Linie). Die restlichen MIG wurden an die Fensterhersteller zur Fertigung der Probekörper in Form von Fensterelementen auf Flügel- und Blendrahmen mit den vorgeschriebenen verstärkten Beschlägen. Die Elemente wurden anschließend zum **ift** Rosenheim geliefert.

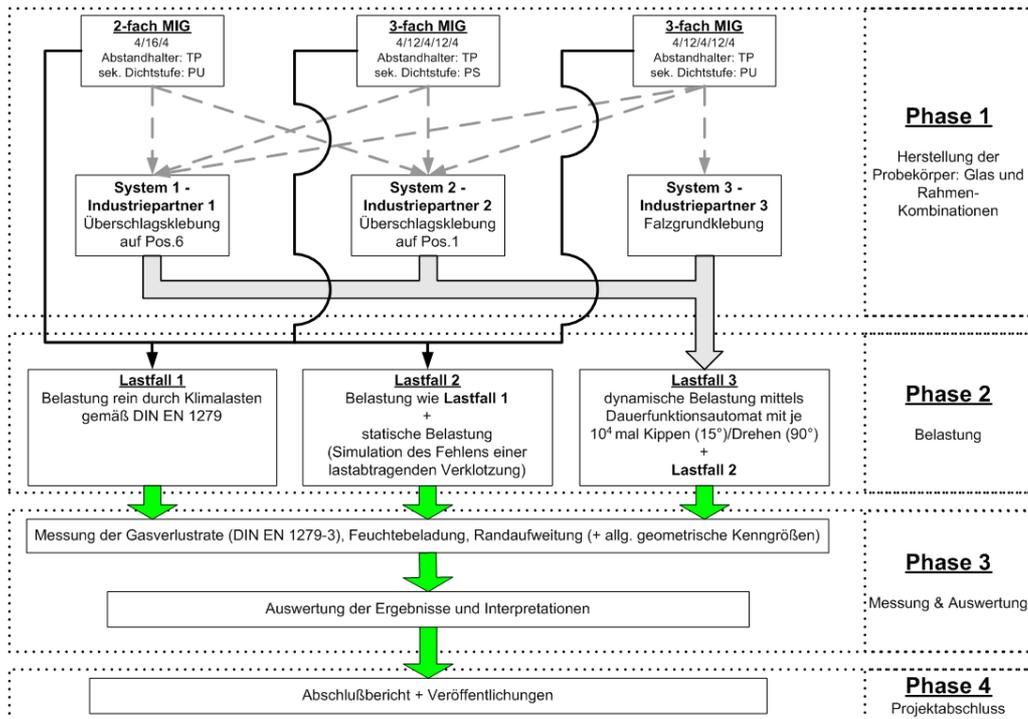


Abbildung 19 Projektphasen

In Phase 2 wurden die Probekörper für Lastfall eins und zwei parallel in der Klimakammer belastet. Gleichzeitig wurden die Probekörper für Lastfall 3 auf dem Dauerfunktionsautomaten dynamisch belastet. Nach Abschluss von Lastfall 1 und 2 an MIG ohne Flügelrahmen und den dynamischen Belastungen an den Fenstern wurden diese den Klimabelastungen unterzogen. Zur selben Zeit wurden die Messungen aus Phase 3 an den bereits belasteten Probekörpern durchgeführt. Die Messungen (Gasverlustrate, Gaskonzentration und Tim-Beladung) an vier Probekörpern dauerten im Durchschnitt 2,5 Wochen.

## 4 Beschreibung der Probekörper

Durch die Klebung soll ein schubfester Verbund zwischen Flügelrahmen und Glas entstehen. Im Gegensatz zu konventionell verglasten Fenstern wirken bei geklebten Fenstern somit die auftretenden Lasten direkt und auf die Länge des Rahmens verteilt auf den Randverbund des MIG. Vor allem die Lasten, die aus dynamischer Bewegung (Kippen-Drehen) und aus dem Fehlgebrauch auftreten (Aufschlagen durch Windstöße oder bei Auftreffen auf ein Falzhindernis), wirken so stärker direkt auf den Randverbund als es bei geklotzten Verglasungen der Fall ist.

Bei geklotzten Systemen kann es bei ungünstigen Kombinationen von Fertigungstoleranzen des Glases und der Fensterrahmen dazu kommen, dass keine definierte Lastabtragung über die Klötze stattfinden kann, da kein Kontakt zwischen Glas und Klotz besteht. Bei geklebten Fenstersystemen ist man sogar bemüht, einen Wegfall der Glasklötze aus produktionstechnischen und ökonomischen Gründen zu erreichen. Die Isolierglashersteller empfehlen standardmäßig den Einsatz von Klötzen zur Lastabtragung [21]. Nur in Ausnahmen und mit spezieller Dimensionierung der Glasfuge ist ein Entfall der Klotzung möglich.

### 4.1 Mehrscheiben-Isolierglas

Um die Anzahl der Probekörper in einem sinnvollen und prüfbareren Rahmen zu halten, wurde mit den Projektteilnehmern folgender Aufbau der Isoliergläser vereinbart:

- Floatglas 4mm,
- Abstandhalter Thermix (thermisch verbesserter Abstandhalter aus Kunststoff mit Edelstahlrücken) mit 16 mm Breite bei 2-fach MIG und 12 mm bei 3-fach MIG,
- primäre Dichtstufe Polyisobutylene (3g pro Laufmeter),
- sekundäre Dichtstufe Polysulfid und Polyurethan (Rückenüberdeckung min. 4 mm),
- Butylierung der Steckverbindungen des Abstandhalterrahmens.

Daraus ergeben sich verschiedene Kombinationen der einzelnen Werkstoffe, die wiederum für das Projekt zu drei Glassystemen führen, die in folgender Tabelle zusammengestellt sind.



**Tabelle 5** Zusammenstellung der Glassysteme

	Geometrie des Aufbaus							Randverbund				Bezeichnung der Glassysteme		
	MIG - Art	Scheibendicke in mm	Kurze Kante a in mm	Lange Kante b in mm	Scheibengewicht ca. in kg	Beschichtung	SZR in mm	Abstandhalter	Primärdichtstoff	Sekundärdichtstoff				
	2-fach MIG	4	600	1000	12						1x16		2x12	ACS
Glassysteme mit dem Scheibenformat 600 x 1000 in mm	3-fach MIG	4	600	1000	18	•		•	•	•				GS 3
								•	•	•				GS 2
	2-fach MIG	4			12		•		•	•	•			GS 1

#### 4.2 Fensterflügel und Klebesysteme

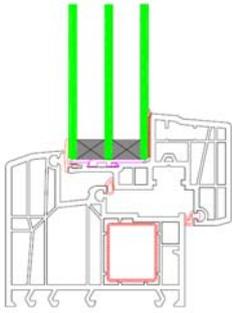
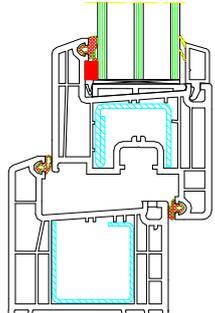
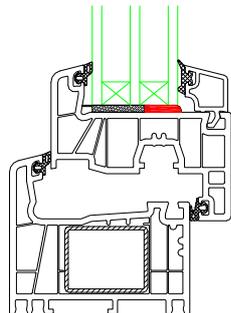
Von den unter 2.2 aufgeführten Klebetechniken werden im Forschungsprojekt drei Arten eingesetzt, um die Einflüsse auf den Randverbund zu untersuchen.

## Dauerhaftigkeit von geklebtem Isolierglas

### 4 Beschreibung der Probekörper



**Tabelle 6** Gegenüberstellung der verwendeten Kleb- und Fenstersysteme

Hersteller	Finstral SPA	Weru AG	Strobel Fensterbau GmbH
Profil	System Top 200 mit Flügel Nova Line	System Castello	System Stream Line 76
Klebe-position	Überschlagsklebung auf Position 6	Überschlagsklebung auf Position 1	Falzgrundklebung
Klebstoff	3M VHB 4947 (Klebstoffband mit geschlossenzelligem Klebstoffkern)	Sikaflex® -665 Window RH 1-K PU – Montageklebstoff	Sikaflex® -650 WT1 1-K PU – Montageklebstoff
Einstufung der Klebstofffestigkeit	„hart“	„weich“	„weich“
Abbildung (Firmenzeichnung)			
<b>Anmerkung:</b> Das System der Finstral SPA ist normalerweise nicht für Dreifach-Glas vorgesehen; das Profil wurde adaptiert.			

Wichtig bei der Zusammenstellung der Systeme ist die Verträglichkeit der verwendeten Stoffe, da dies v. a. bei der Falzgrundklebung mit direktem Kontakt zwischen Klebstoff und Dichtstoff des MIG zu chemischen Wechselwirkungen führen kann, was eine Schädigung der Dichtstufen zur Folge haben kann.

Aus der Zusammenführung der Kennzeichnung der Isoliergläser und der entsprechenden Fenstersysteme der einzelnen Hersteller ergibt sich eine Kennzeichnung, welche die Abkürzungen der einzelnen Elemente enthält. FI-GS1 z. B. bedeutet, dass der Fensterhersteller Finstral (FI) für dieses Element eine Scheibe des Glassystems (GS) 1 (= 2-fach MIG mit PU-Randverbund) verwendet hat. (Tabelle 7).



**Tabelle 7** Zusammensetzung der Systembezeichnung

Bezeichnung der Glassysteme	Systemhersteller und Abkürzungen				
	Nur MIG	Finstral SpA	Weru AG	Strobel Fensterbau	System-Bezeichnung
	0	FI	WE	SF	Bez.
GS 1	•				0-GS 1
		•			FI-GS 1
			•		WE-GS 1
GS 2	•				0-GS 2
		•			FI-GS 2
			•		WE-GS 2
GS 3	•				0-GS 3
		•			FI-GS 3
			•		WE-GS 3
				•	SF-GS 3

## 5 Ergebnisse

Bei der Darstellung der Ergebnisse erfolgt die Angabe der Gaskonzentration als Veränderung der Argonkonzentration im Vergleich zur Ursprungskonzentration, die mittels Gasglass<sup>®</sup> ermittelt wurde. Eine Ermittlung der Gaskonzentration mittels GC konnte nicht erfolgen, da hierbei der Randverbund beschädigt werden müsste. Die Genauigkeit der Gasglass<sup>®</sup>-Messung als Eingangstest wurde unter 3.3.2 dargelegt (Vergleichsmessung zwischen Gasglass<sup>®</sup> und GC).

Bei der Darstellung der Mittelwerte bezüglich der Veränderung der Gaskonzentration wurde bei allen Werten kontrolliert, ob in allen SZR die Gaskonzentration noch ausreichend ist.

Die Darstellung der Trocknungsmittelbeladung erfolgt ebenfalls als Mittelwert der beiden SZR, da die Angabe der Gasverlustrate auch nur als Mittelwert der beiden SZR angegeben werden kann (messtechnische Hintergründe). Somit erfolgt die Angabe aller Ergebnisse als Mittelwert der beiden SZR von jedem 3-fach MIG. Bei 2-fach MIG wird entsprechend der Einzelwert angegeben.

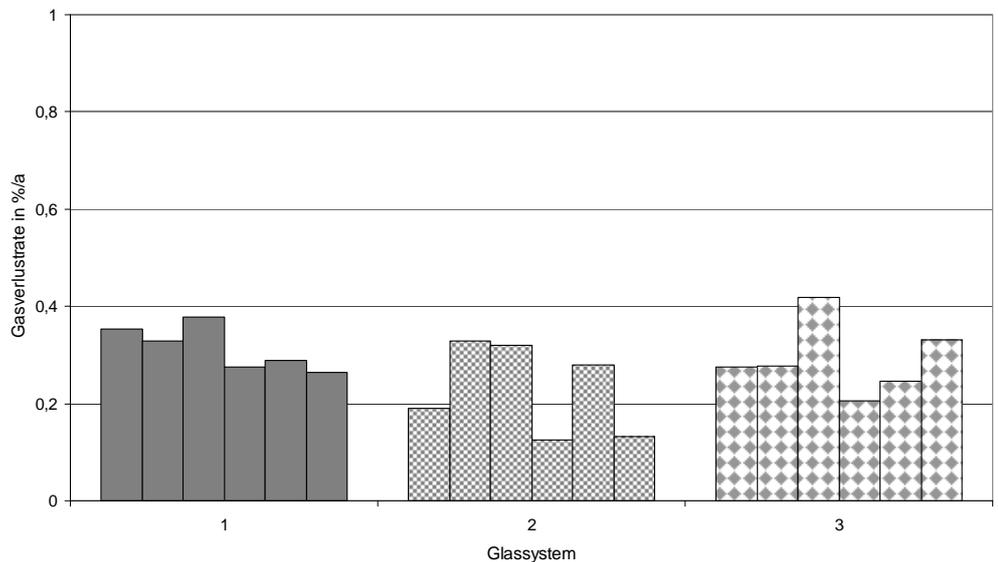
Zusätzlich zu den Projektscheiben mit den Abmessungen 1000 mm x 600 mm wurden auch Scheiben mit Normmaß nach DIN EN 1279 geprüft. Die Messwerte können wie folgt zusammengefasst werden:

- Gasverlustrate  $L_i = 0,52 \text{ \%}/a$ ,
- Trocknungsmittelbeladung  $T_{f,av} = 2,7 \text{ \%}$ ,
- Gaskonzentration  $c_i = 87 \text{ \%}$ .

Diese Ergebnisse dienen dem Vergleich mit den Kennwerten, die im Projekt an Probekörpern ermittelt wurden, deren Format vom Normformat der DIN EN 1279 abweicht.

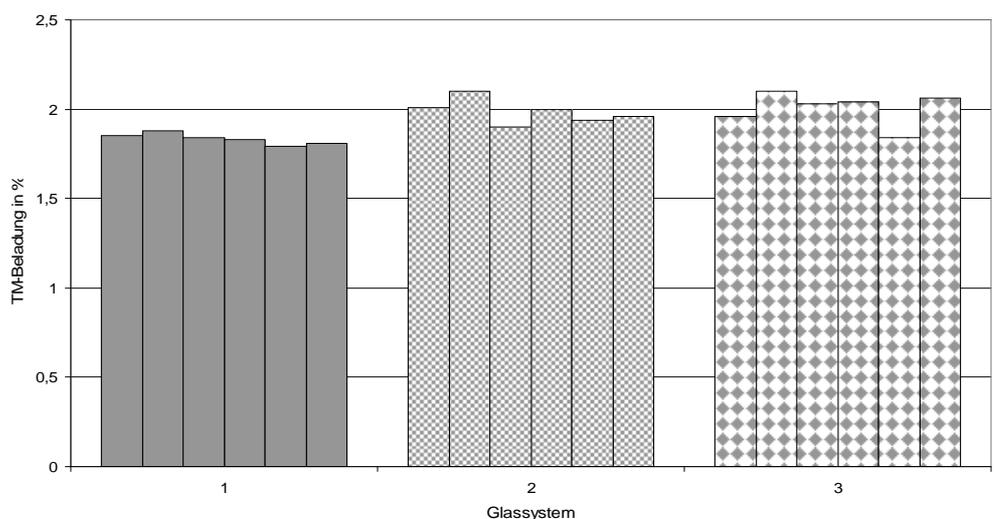
### 5.1 Lastfall 1

Nach den Belastungen der Isoliergläser konnten keine geometrischen Veränderungen der Scheiben festgestellt werden. Die Kontrollmessung mittels Gasglass<sup>®</sup> ergab, dass alle Scheiben noch mit Argon gefüllt waren. Es waren keine defekten Scheiben vorhanden.



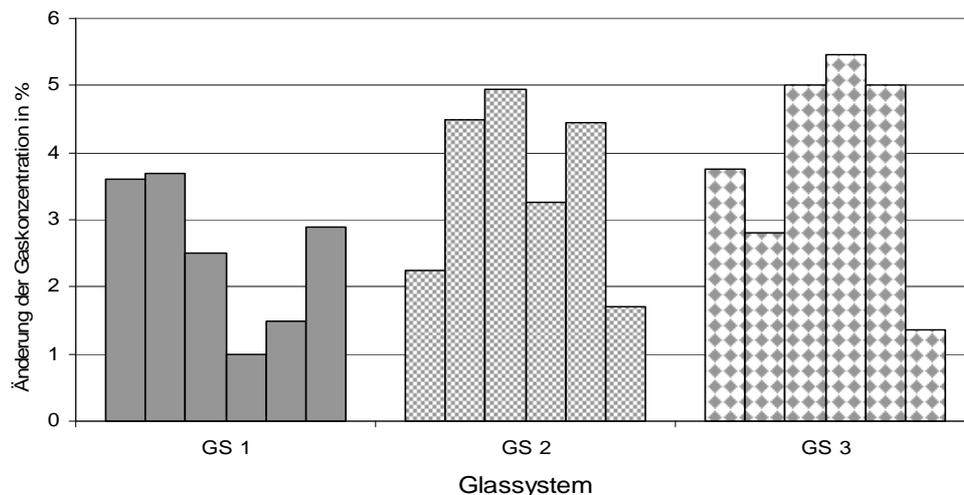
**Abbildung 20** Gasverlustrate bei Glassystem GS 1-3 ohne Zusatzlasten

Beim Vergleich der Werte der Gasverlustrate zwischen den drei Glassystemen können keine gravierenden Abweichungen festgestellt werden. Alle Werte liegen zwischen 0,15 und 0,4 %/a. Das zeigt, dass die Verlustrate bei diesen Probekörpern nicht durch den Aufbau und die unterschiedlichen sekundären Dichtstufen beeinflusst wird.



**Abbildung 21** Trocknungsmittelbeladung bei Glassystem GS 1-3 ohne Zusatzlasten

Auch bei der Trocknungsmittelbeladung können keine großen Unterschiede zwischen den drei Glassystemen festgestellt werden. Die Werte liegen zwischen 1,7 und 2,1 %.

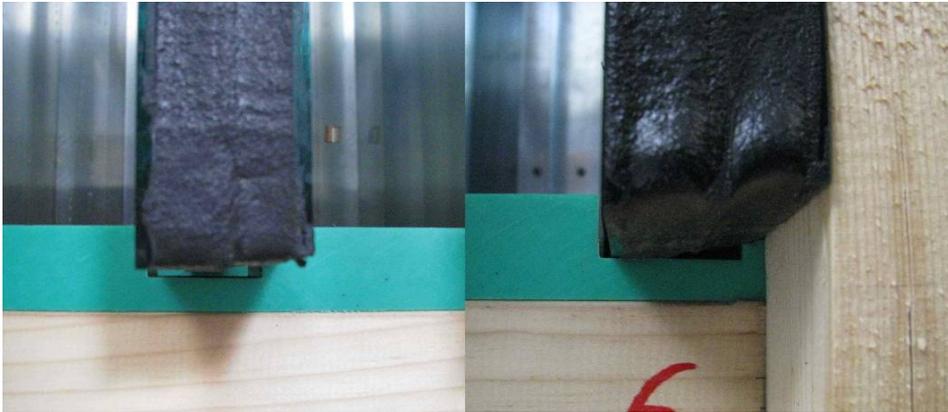


**Abbildung 22** Veränderung der Gaskonzentration bei Glassystem 1-3 während Lastfall 1

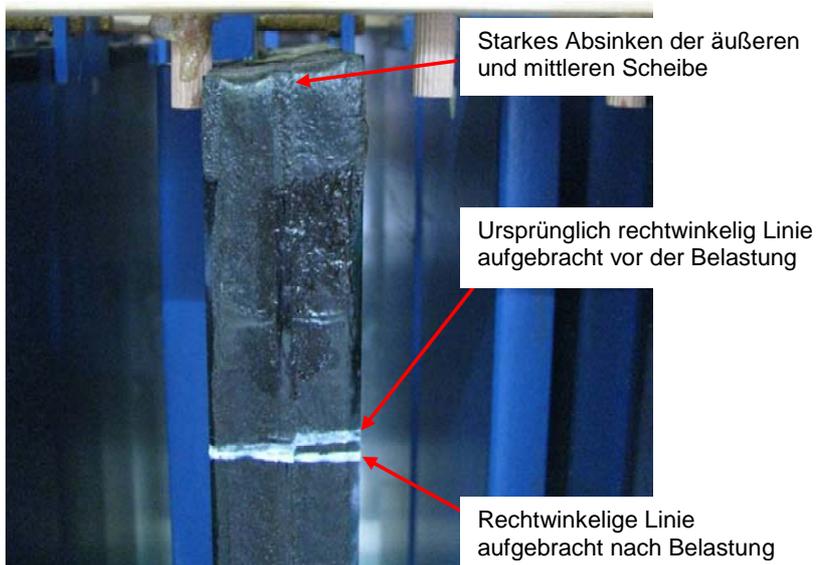
Bezüglich der Veränderung der Gaskonzentration kann dargestellt werden, dass die Unterschiede zwischen den Systemen nicht allzu groß sind. Alle Werte liegen zwischen 1 und 5,5 %. Im Vergleich zu Normformaten ist dies schon deutlich höher, führt allerdings über die Belastungsdauer im Labor nicht zum Versagen der MIG.

## 5.2 Lastfall 2

Als erste Beobachtung kann festgehalten werden, dass bei den aufgelasteten MIG mit Polysulfid als sekundäre Dichtstufe die äußere Scheibe bis auf die Begrenzung in der Sortierhilfe absinkt, wobei die Scheiben mit PU als sekundäre Dichtstufe nur ca. 2 -3 mm absinken (Vgl. Abbildung 23)



**Abbildung 23** Links: PU-Randverbund mit geringer Absenkung der Scheiben mit Luft zum „Falzgrund“  
rechts: PS-Randverbund mit starker Absenkung der Scheiben mit Kontakt zum „Falzgrund“



**Abbildung 24** Markierung der Verformung des MIG

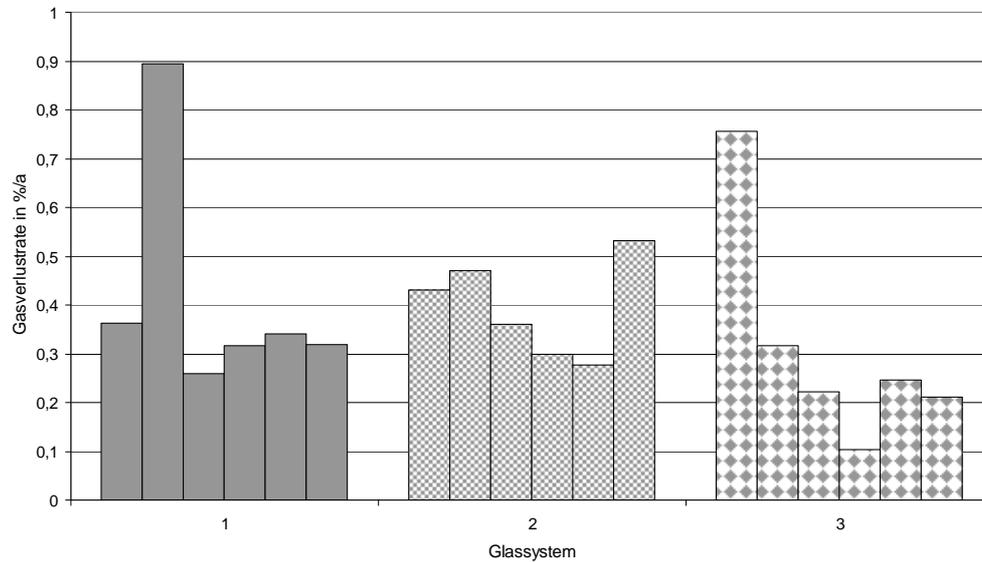


Abbildung 25 Gasverlustrate bei Glassystem GS 1-3 mit statischen Zusatzlasten

Die Gasverlustrate liegt auch beim Lastfall 2 generell zwischen 0,2 und 0,5 %/a. Die beiden höheren Werte sind als „Ausreißer“ zu definieren.

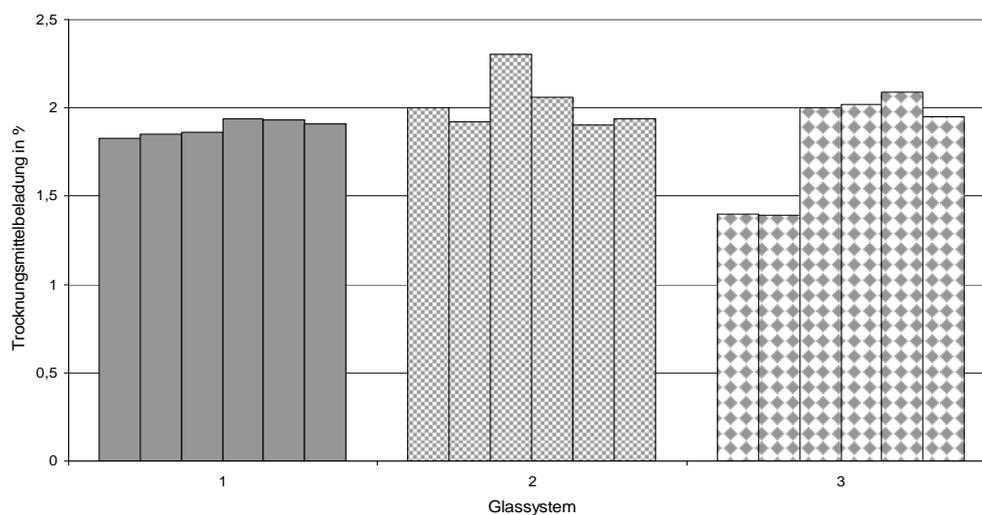
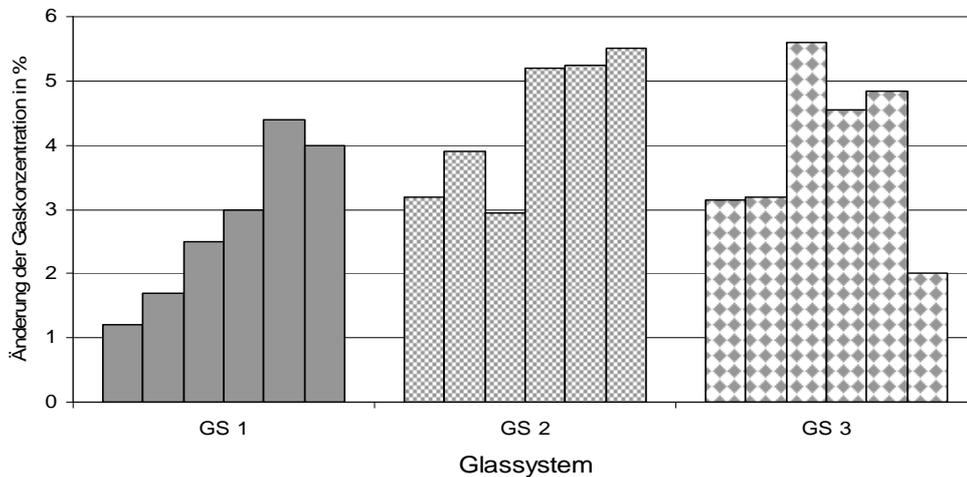


Abbildung 26 Trocknungsmittelbeladung bei Glassystem 1-3 mit statischen Zusatzlasten

Die Trocknungsmittelbeladung liegt beim Lastfall 2 im Durchschnitt zwischen 1,5 und 2,3 %. Das entspricht ungefähr den Werten aus Lastfall 1



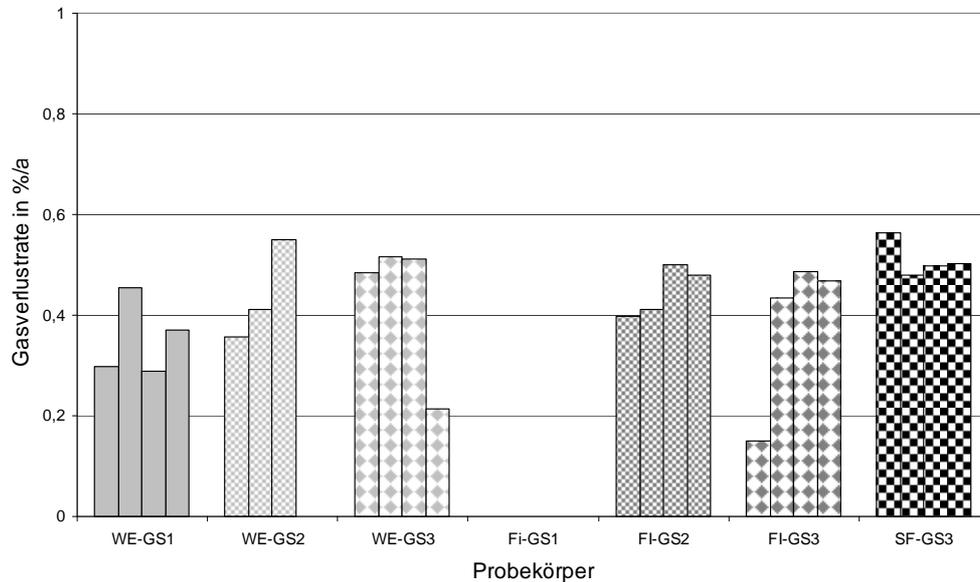
**Abbildung 27** Veränderung der Gaskonzentration Glassystem GS 1-3 während Lastfall 2

### 5.3 Lastfall 3

Bezüglich der geometrischen Verformungen konnte bei Lastfall 3 der gleiche Effekt festgestellt werden wie bei Lastfall 2, d. h. MIG mit PU als sekundäre Dichtstufe sinkt ca. 2 mm ab und MIG mit PS 5 mm.

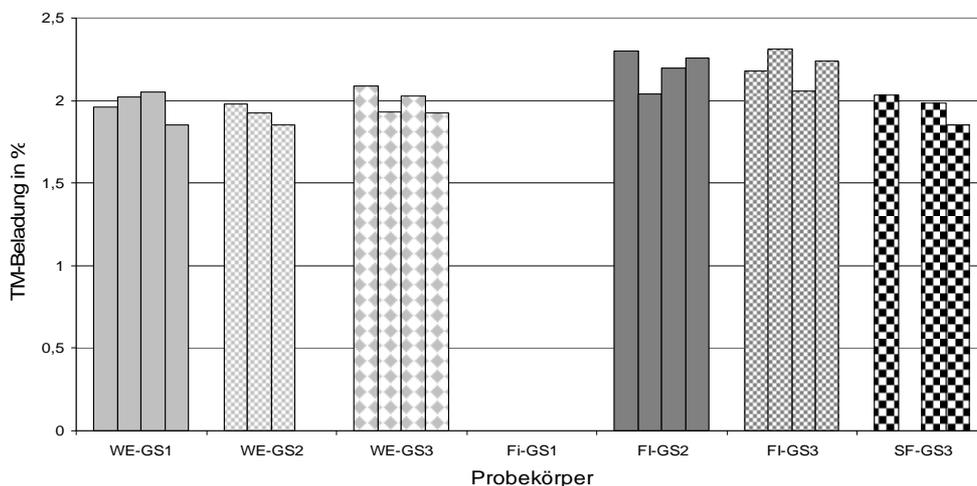
Es konnten keine Verformungen nach der dynamischen Belastung auf dem Dauerfunktionsautomaten mit Zusatzlasten festgestellt werden.

Im Vergleich der Glas-, Fenster- und Klebesysteme untereinander konnten beim Lastfall 3 keine gravierenden Unterschiede zwischen den Messwerten Gasverlustrate, Gaskonzentration und Trocknungsmittelbeladung festgehalten werden.



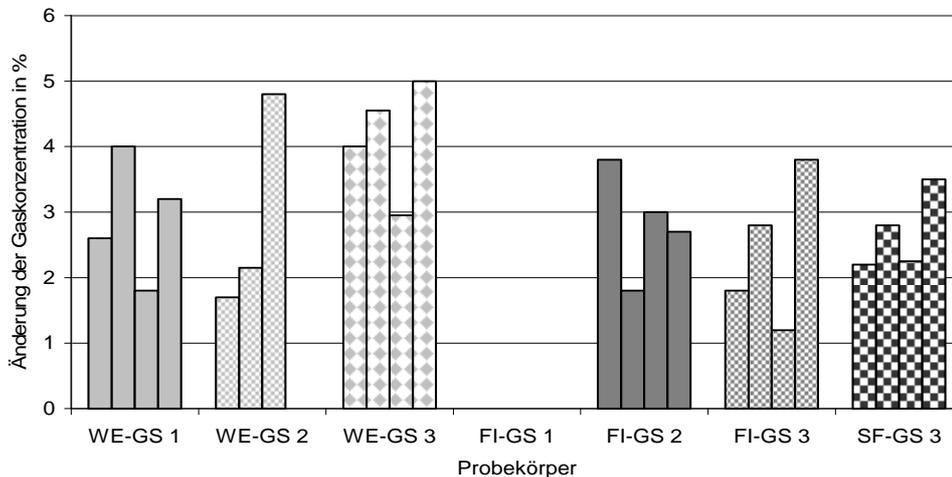
**Abbildung 28** Gasverlustrate bei Fensterelementen im Lastfall 3, unterteilt in Glassystem und Hersteller

Mit 0,2-0,5 %/a entsprechen die Werte der Gasverlustrate im Lastfall 3 den Werten aus Lastfall 1 und 2.



**Abbildung 29** Trocknungsmittelbeladung bei Fensterelementen im Lastfall 3, unterteilt nach Glassystemen und Herstellern

Die Trocknungsmittelbeladung liegt wiederum im Bereich der Werte der vorhergehenden Lastfälle, nur beide den Systemen von Finstral ist eine leichte Erhöhung zu erkennen, was allerdings auf das nachträgliche Auffüllen der SZR mit Argon zurückzuführen ist.

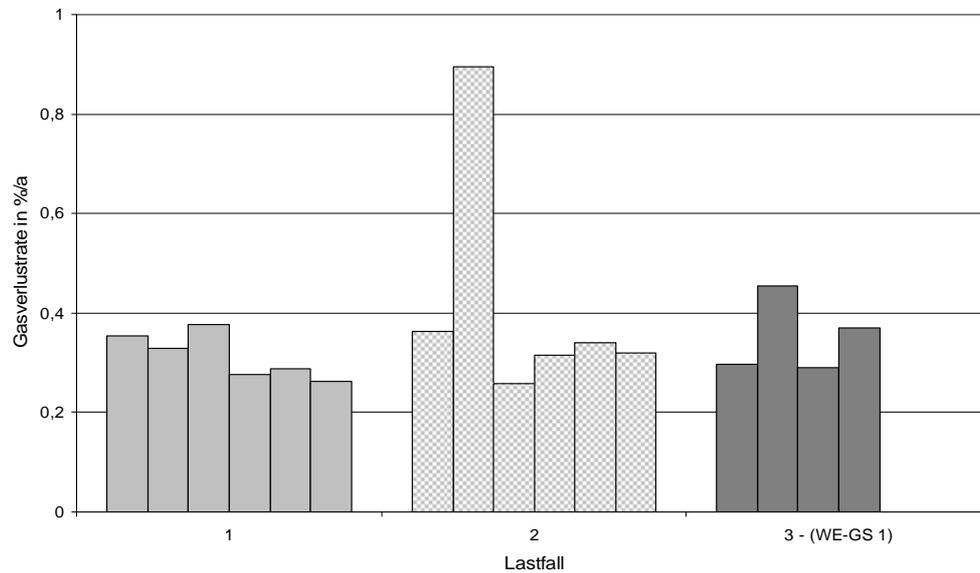


**Abbildung 30** Veränderung der Gaskonzentration bei Fensterelementen im Lastfall 3, unterteilt nach Glassystemen und Herstellern

Bezüglich der Veränderungen der Gaskonzentrationen im Lastfall 3 (Werte zwischen 1,2 und 5 %) ergibt sich das gleiche Bild wie bei den Lastfällen 1 und 2. Die Darstellung der Gaskonzentration würde zeigen, dass bei den Probekörpern FI-GS2 und GS3 eine höhere Gaskonzentration vorliegt. Dies ist durch die nachträgliche Handfüllung mit Argon erklärbar. Dadurch wird deutlich, dass trotz der nachträglichen Befüllung mit anschließender Handversiegelung kein höherer Verlust der Gaskonzentration während der Belastung entsteht.

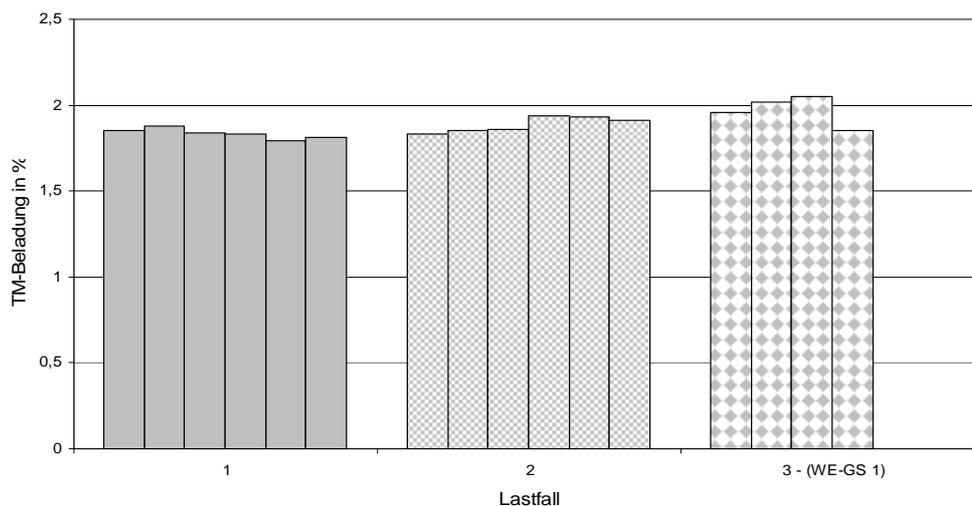
#### 5.4 Vergleich der Ergebnisse der Lastfälle 1-3

Vergleicht man die Ergebnisse der Lastfälle 1-3 bei dem Glassystem 1 (2-fach MIG mit PU); so kann man keine ausschlaggebenden Unterschiede bezüglich der erhöhten Belastungen des Randverbunds bei geklebten Verglasungen an den Kennwerte Gasverlustrate, TM-Beladung und Gaskonzentration feststellen.

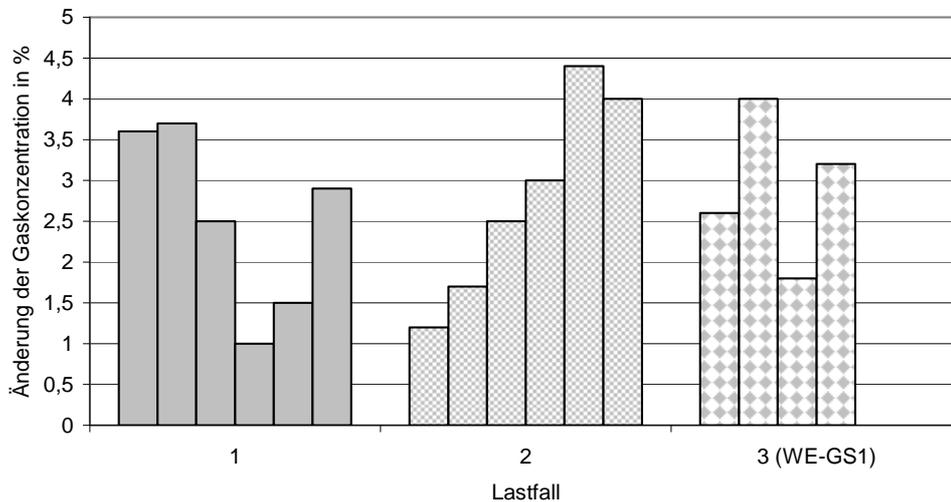


**Abbildung 31** Gasverlustrate im Vergleich der Lastfälle 1-3 beim Glassystem GS 1 und Fensterherstellern mit GS 1

Der Vergleich der Gasverlustrate zwischen den Lastfällen 1-3 ergibt beim GS 1 keine signifikanten Unterschiede. Die Werte liegen zwischen 0,3 und 0,5 %/a.

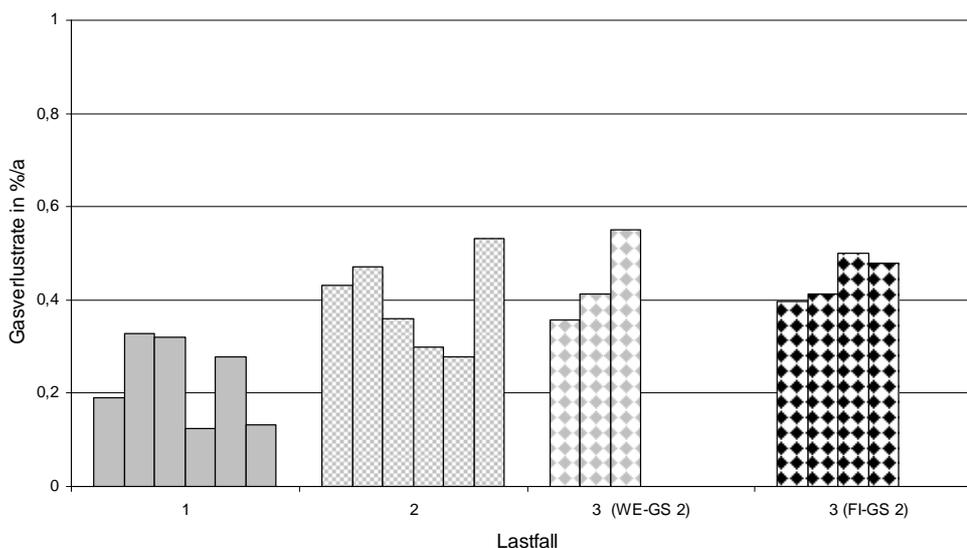


**Abbildung 32** TM-Beladung im Vergleich der Lastfälle 1-3 bei Glassystem GS 1 und Fensterherstellern mit GS 1

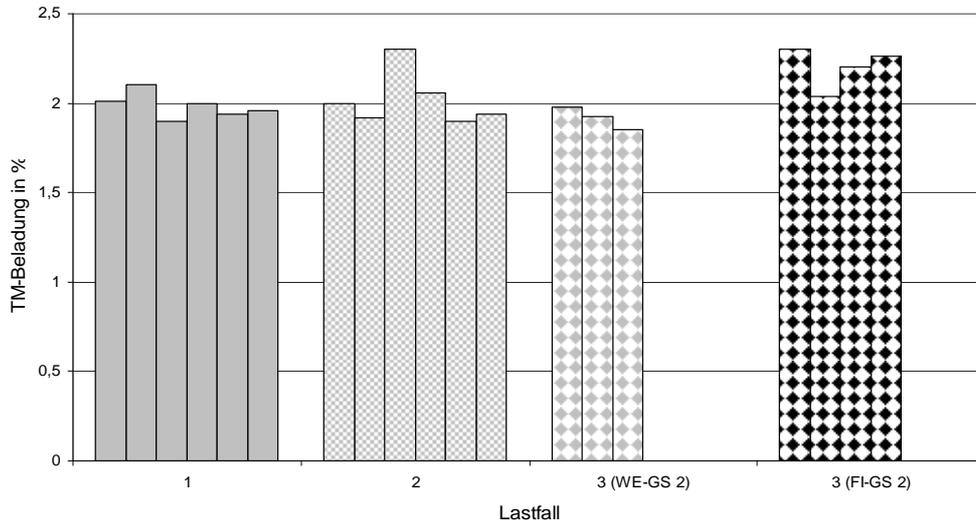


**Abbildung 33** Veränderung der Gaskonzentration im Vergleich der Lastfälle 1-3 bei Glassystem GS 1 und Fensterherstellern mit GS 1

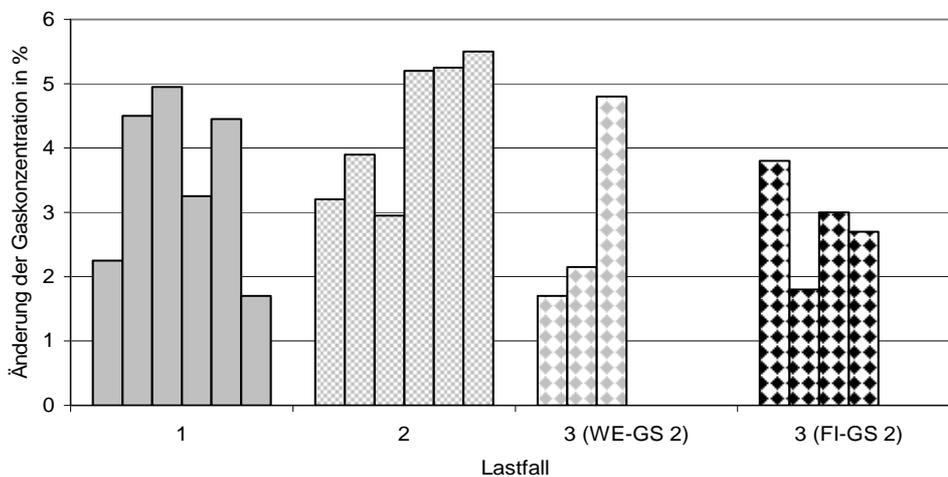
Beim Vergleich der Lastfälle 1-3 bezüglich des Glassystems GS 2 sind bei den ermittelten Kennwerten ebenfalls keine Unterschiede zwischen den Lastfällen darstellbar. Nur beim Vergleich der hier nicht dargestellten Gaskonzentration kann wiederum festgestellt werden, dass die Probekörper 3 (FI-GS2) etwas höher, was auf die nachträgliche Handfüllung zurück zu führen ist.



**Abbildung 34** Gasverlustrate im Vergleich der Lastfälle 1-3 bei Glassystem GS2 und Windowelementen mit GS 2

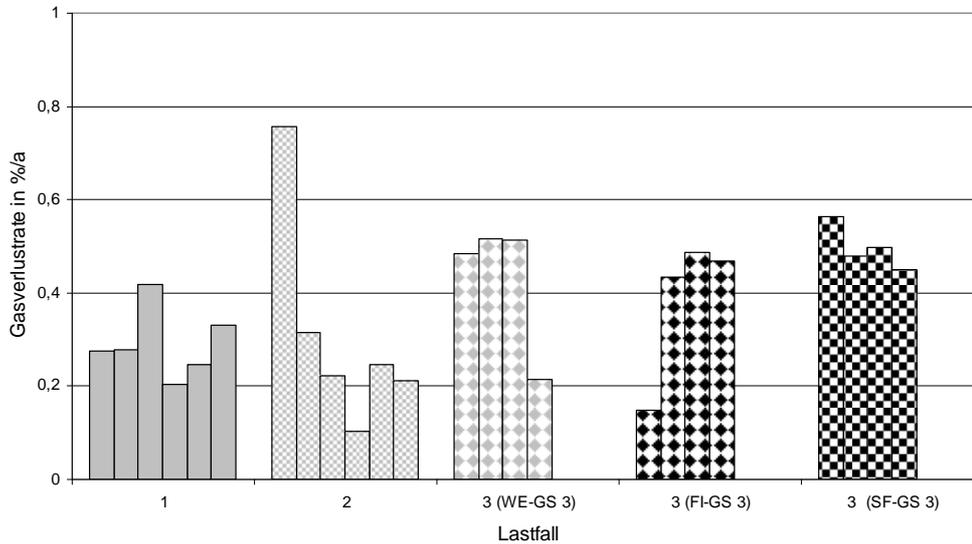


**Abbildung 35** Trocknungsmittelbeladung im Vergleich der Lastfälle 1-3 bei Glassystem GS 2 und Fensterelementen mit GS 2



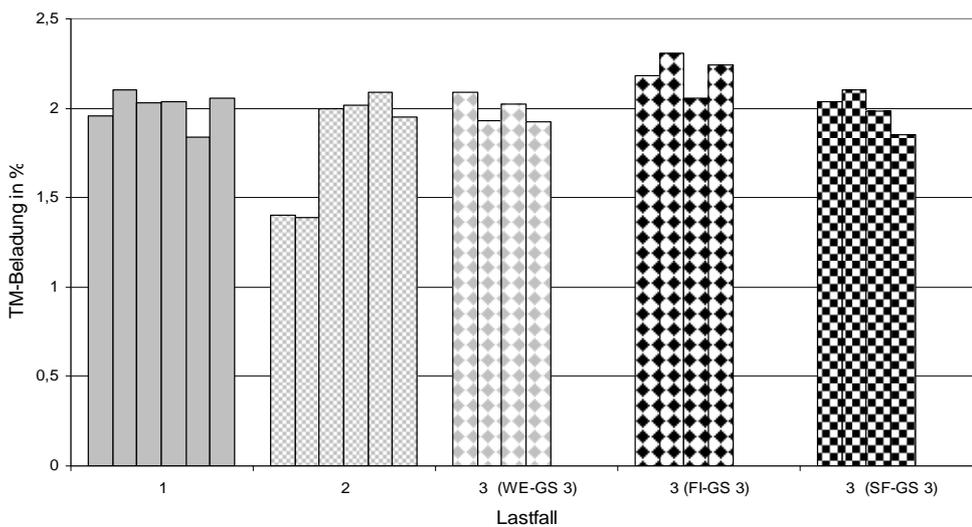
**Abbildung 36** Veränderung der Gaskonzentration im Vergleich der Lastfälle 1-3 bei Glassystem GS 2 und Fensterelementen mit GS 2

Auch beim Vergleich der Messwerte aus den Lastfällen 1-3 bei dem Glassystem GS 3 zeigt sich dasselbe Bild wie beim Vergleich der Glassysteme GS 1 und GS 2. Somit zeigt sich, dass es keinen erwähnenswerten Einfluss der Zusatzlasten auf die zu ermittelnden Kennwerte gibt.

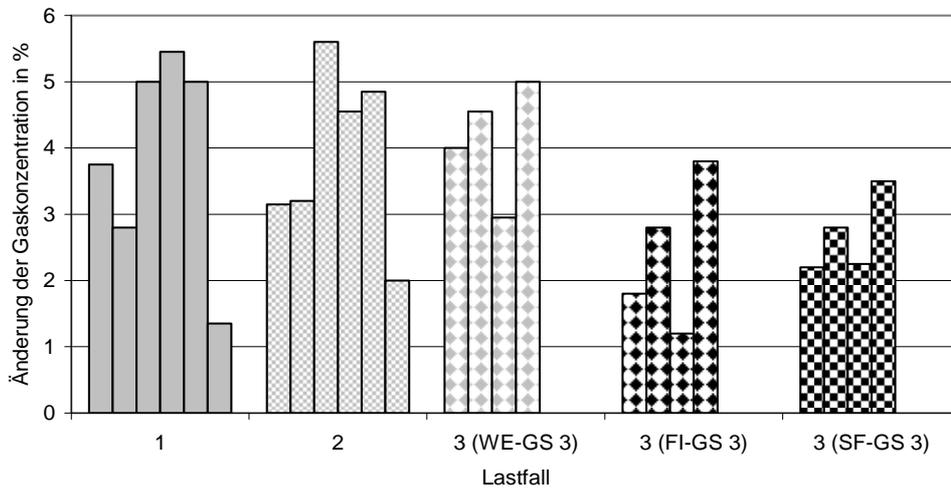


**Abbildung 37** Gasverlustrate im Vergleich der Lastfälle 1-3 bei Glassystem GS 3 und Fensterelementen mit GS 3

Die Gasverlustrate liegt beim Glassystem 3 im Vergleich der Lastfälle 1-3 zwischen 0,15 und 0,55 %/a. Der Einzelwert von 0,75 ist als „Ausreißer“ zu werten.



**Abbildung 38** Trocknungsmittelbeladung im Vergleich der Lastfälle 1-3 bei Glassystem GS 3 und Fensterelementen mit GS 3



**Abbildung 39** Veränderung der Gaskonzentration im Vergleich der Lastfälle 1-3 bei Glassystem GS 3 und Fensterelementen mit GS 3

## 6 Aussage und Ausblick

Im Rahmen des durchgeführten Vorhabens wurde untersucht, ob die aus der Verglasungstechnik "Glasklebung" resultierenden zusätzlichen Lasten einen Einfluss auf die Dauerhaftigkeit des Randverbundes des MIG haben können. Anhand der Analyse von

- Gasverlustrate,
- Gaskonzentration,
- Trocknungsmittelbeladung und
- geometrischer Verformung an den MIG

wurden die Auswirkungen der Belastungen auf den Randverbund und damit auf die zu untersuchenden Parameter ermittelt.

An den im Rahmen des Projektes untersuchten Probekörpern wurde festgestellt, dass

- die Art der Klebetechnik (weich, hart und Position) keinen großen Einfluss auf die Größe der ermittelten Kennwerte hat (Gasverlustrate 0,15 - 0,6 %/a, TM-Beladung 1,4 – 2,3%; Veränderung der Gaskonzentration 1 – 5,5%),
- das Material der sekundären Dichtstufe keinen großen Einfluss auf die Kennwerte Gasverlustrate, TM-Beladung und Gaskonzentration hat,
- große Unterschiede bei der geometrischen Verformung der Isoliergläser im Vergleich zwischen Polysulfid und Polyurethan als sekundäre Dichtstufe vorliegen,
- sich die Verformung des Randverbundes ohne Begrenzung bis zum Versagen der Dichtstufen fortsetzen würde (außer Falzgrundklebung),
- die Verformung der Scheiben so groß ist, dass für die eingesetzten Dichtstoffe eine erhöhte UV-Belastung zu erwarten ist und eine optische Beeinträchtigung der Isoliergläser vorliegt (außer Falzgrundklebung),
- bei weitergehender Scherverformung in der primären Dichtstufe die Gefahr des Abrisses des Butyl vorliegt.

Daraus folgt, dass auf Grund der geometrischen Verformungen von der Ausführung der Verglasung ohne lastabtragende Klotzung auch bei geklebten Systemen abzuraten ist. Einzelfälle müssen im Voraus mit dem Isolierglashersteller abgesprochen werden.



Wenn man die Messwerte allein aus den Prüfungen Gasverlustrate und Trocknungsmittelbeladung betrachtet, könnte man ableiten, dass der Verzicht auf die Klotzung bei geklebter Verglasung keine negative Wirkung auf die Gebrauchstauglichkeit des MIG hat. Auch das Aufbringen von Zusatzlasten (Simulation größerer Scheibenformate) hätte demnach keinen nennenswerten Einfluss auf diese Kennwerte. Betrachtet man allerdings alle ermittelten Messwerte (inkl. der geometrischen Verformung), muss man von der Ausführung eines geklebten Fensters ohne lastabtragende Klotzung aus folgenden Gründen abraten:

### 6.1.1 Erhöhter Gasverlust bei den Klimabelastungen

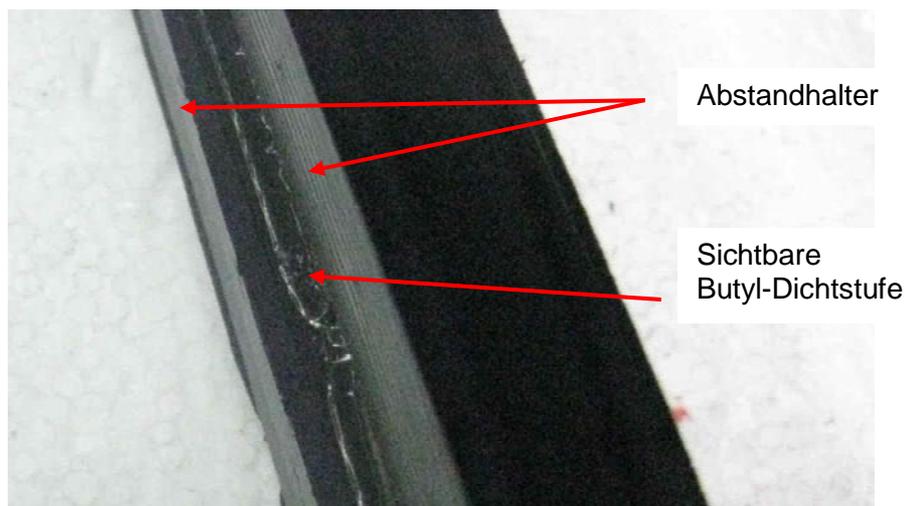
Es konnte festgestellt werden, dass die MIG im Laufe der sechs Wochen dauernden Klimabelastungen einen Verlust von 3 bis 5 % Argon aus dem SZR aufweisen. Die Messung der Gasverlustrate allerdings ergab einen Wert von deutlich unter 1 %/a. Der erhöhte Verlust lässt sich dadurch erklären, dass während der Klimabelastungen durch die hohen Temperaturen und Luftfeuchte der Randverbund aufgeweicht wird, d. h. eine Aufweitung der Molekülketten der Dichtstufen erfolgt. Dies ermöglicht eine verstärkte Diffusion der relativ kleinen Argonmoleküle durch den Randverbund in die Umgebung, umgekehrt aber keine erhöhte Feuchtigkeitsdiffusion in den SZR. Während der Nachlagerzeit im Normalklima haben die Dichtstoffe die Möglichkeit Feuchtigkeit abzugeben und zu relaxieren, wodurch sich die Molekülketten wieder zusammenziehen und die Diffusion der Stoffe wieder verlangsamen. Dies würde ebenfalls erklären, dass die Messwerte der Gasverlustrate wiederum in Ordnung sind.

Das MIG verliert zwar über den Prüfzeitraum nicht seine Funktionstüchtigkeit, da der Argonverlust von bis zu 5 % kaum Auswirkungen auf den  $U_g$ -Wert hat. Wird der Randverbund allerdings so stark aufgeweitet, dass eine stärkere Feuchtezunahme im SZR zu verzeichnen ist, dann ist die Low-E-Schicht gefährdet, was deutlich größere Auswirkungen auf die Optik und den  $U_g$ -Wert und damit die zugesicherten Eigenschaften des MIG hat.

### 6.1.2 Verformung

Die Verformungen, die beim Entfall der lastabtragenden Klotzung entstehen, bewirken, dass ein Teil der Dichtstoffe nicht mehr durch den Abstandhalter verdeckt wird (vgl. Abbildung 40) und somit verstärkt der UV-Strahlung ausge-

setzt wird, was zu erhöhten Belastungen des Materials führt. Zudem ist dies eine visuelle Beeinträchtigung des MIG.



**Abbildung 40** Verformung des Randverbundes

Durch die Verformungen kann es in Kombination mit einem knapp bemessenen Glaseinstand dazu kommen, dass der Glaseinstand der abgesunkenen Scheibe nicht mehr ausreichend ist und somit Probleme bei der Belastung durch Winddruck und -sog entstehen. Des Weiteren muss darauf geachtet werden, dass die Belüftung und Entwässerung des Glasfalzraumes nicht durch die abgesunkenen Scheiben übermäßig behindert wird.

### 6.1.3 Prozesstechnik

In prozesstechnischer Hinsicht ist vor allem bei „weichen“ Klebesystemen der Entfall der Klotzung nicht sinnvoll, da die Anpresskraft der Glashalteleisten nicht ausreichend ist, um das MIG bis zur Ausreaktion des Klebstoffes an der vorgegebenen Position zu halten. Ein Entfall der Klotzung hätte zur Folge, dass der Fensterflügel bis zum Abschluss der Reaktion des Klebstoffes in horizontaler Position gelagert werden muss. Ansonsten könnte das MIG bereits bis auf das Profil absinken, was nicht zulässig ist.



Bei „harten“ Klebesystemen kommt auf Grund der hohen Soforthaftkraft des Klebstoffes ein Absinken des kompletten Isolierglases seltener vor und ist als eher unproblematisch anzusehen.

Die Dauerhaftigkeit des Randverbundes von Mehrscheibenisolierglas wurde über den Bewilligungszeitraum des Projektes von 25 Monaten eingehend untersucht. Da allerdings die Belastungen nach DIN EN 1279 sehr zeitaufwändig sind und keine Erfahrungen bei der Prüfung des Randverbundes unter den aufgestellten Parametern vorlagen, war es nicht möglich eine größere Anzahl an Probekörpern zu prüfen. Mit Hilfe dieses Projektes konnte zwar nachgewiesen werden, dass unter den vorgegebenen Bedingungen der Einfluss der Zusatzlasten auf die Dauerhaftigkeit des Isolierglases nicht von Bedeutung ist. Die Laborbedingungen können aber die Realität nur in gewissem Maße wiedergeben, z. B. wurde die dynamische Belastung nur bei Raumtemperatur durchgeführt, im Betrieb des Fensters kommt es aber auch zum Gebrauch und Fehlbedienung bei erhöhten Temperaturen (z. B. im Sommer bei direkter Sonneneinstrahlung).

In weiterführenden Projekten könnte man die Probekörperauswahl auf ein oder zwei repräsentative Systeme mit entsprechend größerer Probekörperanzahl beschränken und versuchen die Belastungen dafür genauer auf die Realität abzustimmen.

Was auch noch zu untersuchen wäre, ist der Einfluss der Kunststofffenstersysteme auf das Isolierglas bei geklebten Systemen. Bei geklotzten Verglasungen besteht kein schubfester Verbund zwischen Flügel und Glas. Bei Kunststofffenstern kommt es aber bei Flügeln ohne Armierung unter Einfluss der Temperatur (Sonneneinstrahlung) durch den hohen Ausdehnungskoeffizienten des Materials zu größeren Längenänderungen, die durch das eingeklebte Glas behindert werden können, was zu Spannungen führt, die sich in einer Verformung des Fensterflügels abzeichnen können.

Die Ergebnisse des Forschungsprojektes müssen nicht in neue Regelwerke gefasst werden, da es bereits die Vorgaben der Isolierglashersteller gibt, dass eine Verglasung ohne lastabtragende Klotzung nur in Einzelfällen nach Absprache mit dem Hersteller und der angepassten Dimensionierung und Ausführung des Randverbundes möglich ist.

Für ein funktionierendes Glassystem bei geklebten Verglasungen ist die richtige Zusammenstellung der Materialien und Parameter sehr wichtig. So muss immer die Frage der Verträglichkeit der verwendeten Materialien (Dicht- und Klebstoffe, Klotzungsmaterialien) mit den jeweiligen Herstellern genau geklärt sein. Ebenso muss für den vorliegenden Anwendungsfall (Klebeart, Verglasungstechnik) die Dimensionierung der einzelnen Stufen des Randverbundes vom Isolierglashersteller festgelegt werden und der Fensterhersteller darf für das entsprechende Fenstersystem auch nur das vorgegebene Isolierglas verwenden.

Prinzipiell ist die akkurate Ausführung jedes Produktionsschrittes von entscheidender Wichtigkeit, da von der Funktionstüchtigkeit jeder einzelnen Schicht die Funktion des gesamten Systems abhängt. Für die statische Festigkeit des Randverbundes und somit des Isolierglases ist die bedarfsgerechte Auslegung (Rückenüberdeckung) der sekundären Dichtstufe entscheidend. Bezüglich der Gasdichtheit des Randverbundes ist es entscheidend, dass sowohl die Butylierung des Abstandhalters als auch die Eck- und Längsverbindungen sauber ausgeführt werden.

## 7 Danksagung

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesamtes für Bauwesen und Raumordnung im Zuge der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“ gefördert (Aktenzeichen: Z6-10.08.18.7-08.13 / I12-F20-08-007). 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. Franz Feldmeier	Hochschule Rosenheim
Herrn Dipl.-Ing. (FH) Lutz Wiegand	Bundesinnungsverband des Glaserhandwerks/Institut für Glaserhandwerk
Herrn Dipl.-Oecd. Jochen Grönegräs	Bundesverband Flachglas e.V.

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



Bundesverband  
Flachglas e.V.  
Mühlheimer Str. 1  
53840 Troisdorf

mit

**SANCO**<sup>®</sup>

Sanco Beratung  
Glas Trösch  
GmbH  
Reuthebogen 7-9  
86720 Nördlingen



Weru AG  
Zumhofer Straße 25  
D-73631 Rudersberg



Finstral AG  
Gastererweg 1  
I-39054 Unterinn a. Ritten



Strobel Fensterbau GmbH  
Am Haldenbach 24  
86825 Bad Wörishofen

## 8 Literatur und Normen

- [1] EN 14351-1  
Fenster und Türen – Produktnorm, Leistungseigenschaften – Teil1: Fenster und Außentüren ohne Eigenschaften bezüglich Feuerschutz und/oder Rauchdichtheit  
Berlin, Beuth Verlag GmbH
- [2] EN 1279-1  
Glas im Bauwesen – Mehrscheiben-Isolierglas – Teil 1: Allgemeines, Maßtoleranzen und Vorschriften für die Systembeschreibung  
Berlin, Beuth Verlag GmbH  
  
EN 1279-2  
Glas im Bauwesen – Mehrscheibenisolierglas – Teil 2: Langzeitprüfverfahren und Anforderungen bezüglich Feuchtigkeitsaufnahme  
Berlin, Beuth Verlag GmbH  
  
EN 1279-3  
Glas im Bauwesen – Mehrscheiben-Isolierglas – Teil 3: Langzeitprüfverfahren und Anforderungen bezüglich Gasverlustrate und Grenzabweichungen für die Gaskonzentration  
Berlin, Beuth Verlag GmbH
- [3] **ift**-Richtlinie VE-08/1 Beurteilungsgrundlage für geklebte Verglasungssysteme – Teil 1: Charakterisierung des Klebesystems – Teil2: Prüfung am Fenstersystem, September 2008
- [4] BF-Merkblatt 001/2007  
Kompass für geklebte Fenster, Schwerpunkt Glas, Dicht- und Klebstoffe (Bundesverband Flachglas, Troisdorf)
- [5] Technische Regeln für die Verwendung von linienförmig gelagerten Verglasungen (TRLV)
- [6] DIN 18008-1  
Glas im Bauwesen – Bemessungs- und Konstruktionsregeln – Teil 1: Begriffe und allgemeine Grundlagen  
Berlin, Beuth Verlag GmbH  
  
DIN 18008-2  
Glas im Bauwesen – Bemessungs- und Konstruktionsregeln – Teil 2: Linienförmig gelagerte Verglasungen  
Berlin, Beuth Verlag GmbH
- [7] EN 12519  
Fenster und Türen – Terminologie  
Berlin, Beuth Verlag GmbH
- [8] EN 13022-1  
Glas im Bauwesen – Geklebte Verglasungen – Teil 1: Glasprodukte für SSG-Systeme – Einfach- und Mehrfachverglasungen mit und ohne Abtragung des Eigengewichtes  
Berlin, Beuth Verlag GmbH



- [9] ETAG 002-1  
Leitlinie für die europäische technische Zulassung für geklebte Glaskonstruktionen (dt. Ausgabe 1998)
- [10] DIN EN ISO 291  
Kunststoffe – Normalklimate für Konditionierung und Prüfung  
Berlin, Beuth Verlag GmbH
- [11] ift-Richtlinie DI-01/1  
Verwendbarkeit von Dichtstoffen – Teil 1: Prüfung von Materialien in Kontakt mit dem Isolierglas-Randverbund  
Rosenheim, Februar 2008
- [12] EN 572-2  
Glas im Bauwesen – Basiserzeugnisse aus Kalk-Natronsilicatglas – Teil 2: Floatglas  
Berlin, Beuth Verlag GmbH
- [13] EN 12046-1  
Bedienkräfte – Prüfverfahren – Teil 1: Fenster  
Berlin, Beuth Verlag GmbH
- [14] EN 13115  
Fenster – Klassifizierung mechanischer Eigenschaften – Vertikallasten, Verwindung und Bedienkräfte  
Berlin, Beuth Verlag GmbH
- [15] EN 14609  
Fenster – Ermittlung der Widerstandsfähigkeit gegen statische Verwindung  
Berlin, Beuth Verlag GmbH
- [16] EN 14608  
Fenster – Ermittlung der Widerstandsfähigkeit gegen Lasten in der Flügelsebene (Racking)  
Berlin, Beuth Verlag GmbH
- [17] EN 1191  
Fenster und Türen – Dauerfunktionsprüfung – Prüfverfahren  
Berlin, Beuth Verlag GmbH
- [18] 3M GmbH, Produktleitfaden – 3M™ Industrie-Klebesysteme & Spezialprodukte.  
Neuss: Dezember 2004
- [19] 3M GmbH, Verarbeitungshinweise für VHB™ Hochleistungsverbindingssysteme. Neuss: 8/2004
- [20] Glas Trösch GmbH – Sanco Beratung, Glasbuch. Nördlingen: 2.Auflage 2007
- [21] Glas Trösch AG Isolierglas, Isoliergläser für geklebte Verglasungen,  
Bützberg: 2004
- [22] Dr. Roman Graf  
Vortrag: Verkleben im Fensterbau – vom Experiment zum Stand der Technik,  
fensterbau/frontale: 2008
- [23] Franz Feldmeier; Rudolf Heinrich; Bernhard Hepp; Josef Schmid; Werner Stiell: Alterungsverhalten von Mehrscheiben-Isolierglas  
Fraunhofer IRB Verlag: 1984: Best.-Nr. F 1985



- [24] Flachglas Markenkreis: GlasHandbuch, 2008
- [25] EN 45020  
Allgemeine Fachausdrücke und deren Definition betreffend Normung und  
damit zusammenhängende Tätigkeit  
Berlin, Beuth Verlag GmbH
- [26] Bundesinnungsverband des Glaserhandwerks, Technische Richtlinie Nr.3 –  
Klotzung von Verglasungseinheiten. Hadamar: 08/2003: ISBN 3-87864-647-5

## Anhang

### A1 Festlegungen bezüglich der Auflastungen der Prüfscheiben (Ausarbeitung Prof. Dr. Benno Eierle)

Herr Prof. Dr. Benno Eierle wurde im Zuge des Forschungsprojektes beauftragt, eine Berechnungsgrundlage für die Auflastung zu erstellen, mit der sowohl der Befestigungsort der Gewichte, als auch die Höhe der Gewichtsbelastung bezugnehmend auf den jeweiligen Belastungsfall ermittelt werden kann. Die Ausarbeitung wird in den folgenden Abschnitten aufgezeigt.

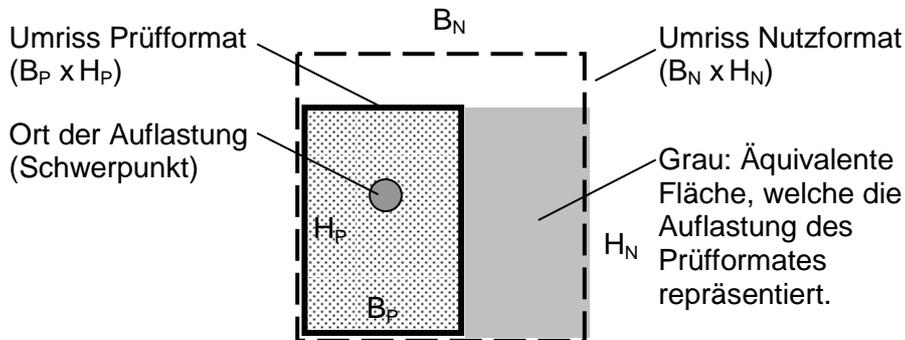
#### A1.1 Allgemeines

Im Forschungsprojekt werden Fenster mit Flügelabmessungen 600 mm x 1000 mm geprüft. Dieses Format ergibt sich aufgrund prüftechnischer Überlegungen. Um die höheren Beanspruchungen des Randverbundes und der Klebung bei größeren Flügelgrößen – wie sie in der Praxis vorkommen – zu simulieren, sollen die Prüfformate mit Zusatzgewichten versehen werden. Nachfolgend wird untersucht, wie diese Auflastung aus statischer Sicht vorzunehmen ist.

Als maßgebende mechanische Belastungen wurden die statische Eigengewichtslast und das Kippen identifiziert. Für diese Belastungsarten sind möglichst große Flügelformate ungünstig, da bei diesen das Verhältnis Fläche (= Last) zu Umriss (= Lastabtrag) ungünstiger ist als bei kleinen Formaten. Für die Beanspruchung des Randverbundes geht in die Betrachtung nur das Gewicht der nicht direkt geklebten Scheibe(n) ein. Diese Scheibe(n) soll(en) durch das Zusatzgewicht  $\Delta G$  aufgelastet werden. In den Formeln ist für  $g$  jeweils das Flächengewicht der betrachtete(n) Scheibe(n) einzusetzen.

#### 8.1.1 Bezeichnungen und Symbole

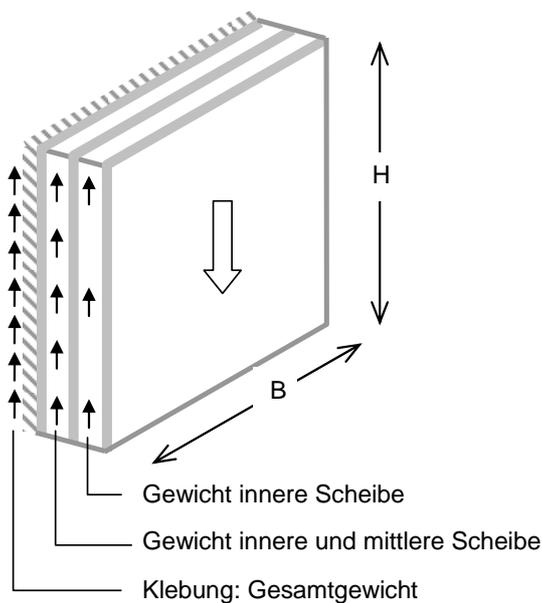
B, H	Breite und Höhe des MIG in m
N	Index für <u>N</u> utzformat, welches simuliert werden soll
P	Index für <u>P</u> rüfformat
$\Delta G$	Gewicht der Auflastung in kg
$g$	Flächengewicht der Scheibe(n) in kg/m <sup>2</sup>
$\alpha$	Lage des Schwerpunkts der Auflastung in Bezug auf $H_P$



**Abbildung 41** Reales Prüfformat und simuliertes Nutzformat der Scheiben

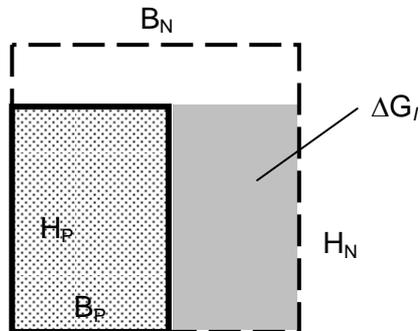
## A 1.2 Auflastungsberechnung für Dauerlast

Üblicherweise wird angenommen, dass die Eigengewichtslast nur über Schubspannungen im vertikalen Rand abgetragen wird. Dies entspricht auch der Lastweiterleitung über die Klebung in den Rahmen bei einer Überschlagsverklebung (Abbildung 42).



**Abbildung 42** Lastabtragung der Scheiben über Randverbund und Klebung

Damit sich die Schubbeanspruchung im vertikalen Randverbund wie beim Nutzformat einstellt, ist der Prüfkörper mit folgendem Gewicht aufzulasten, welches der im Bild grau hinterlegten Fläche entspricht (Abbildung 43).



**Abbildung 43** Reales Prüfformat und simuliertes Nutzformat der Scheiben

Bei gleichartigem Scheibenaufbau:

$$\Delta G_I = (B_N - B_P)H_P \cdot g$$

Bei abweichendem Scheibenaufbau von Nutz- und Prüfformat:

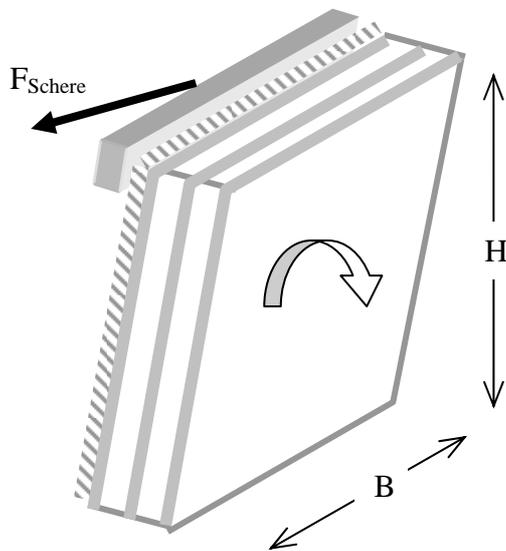
$$\Delta G_I = (B_N - B_P)H_P \cdot g_N + B_P H_P \cdot (g_N - g_P) = (B_N \cdot g_N - B_P \cdot g_P) \cdot H_P$$

Bei dieser Betrachtung spielt somit die Höhe des Nutzformates keine Rolle. Dies ist folgerichtig, da bei einer größeren Höhe auch eine proportional zur höheren Last erhöhte Länge für die Lastabtragung zur Verfügung steht.

Als ungünstigster Fall für die Belastung des Randverbundes aus Eigengewicht wäre eine möglichst große Breite  $B_N$  zu wählen.

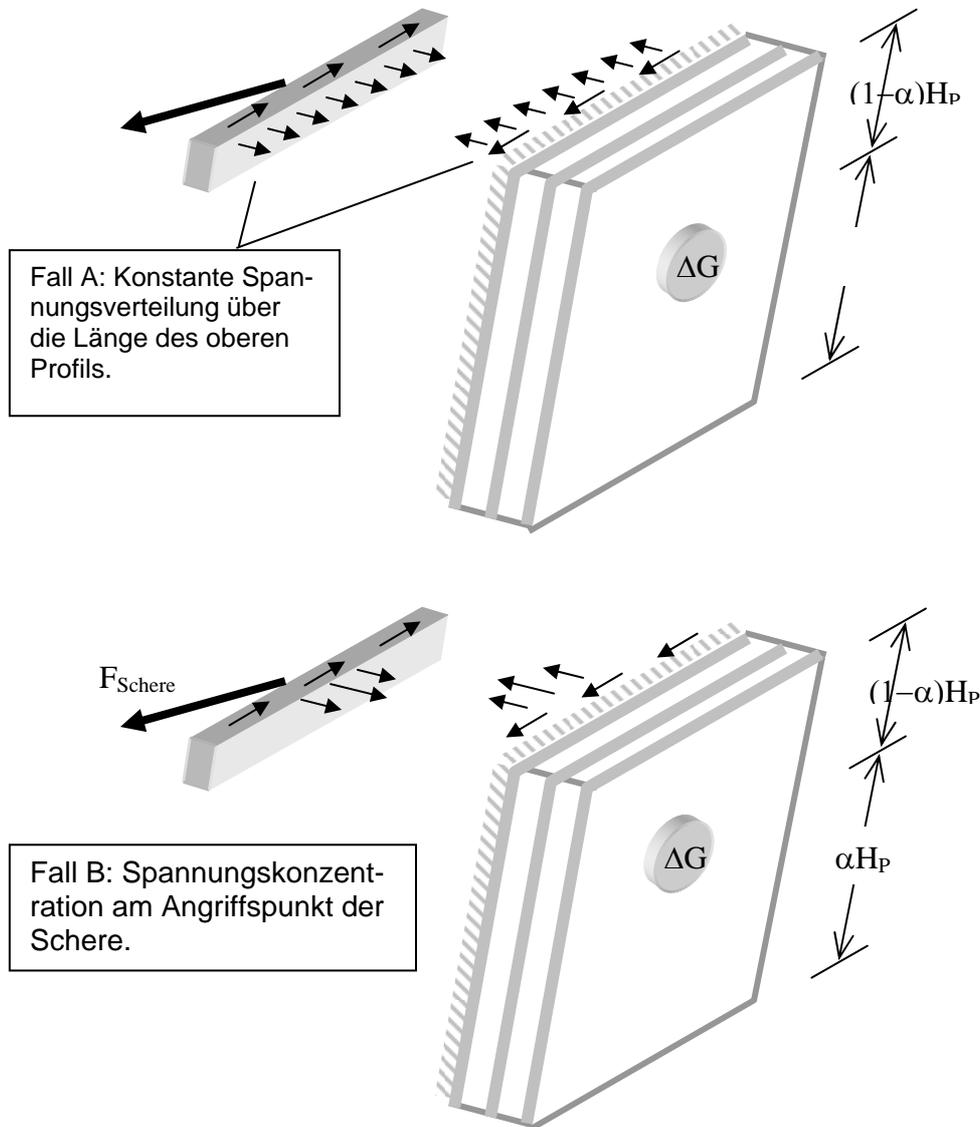
### A 1.3 Auflastungsberechnung für dynamische Last

Der dynamische Kippvorgang erzeugt Schub- und Zugspannungen im oberen Randverbund (Abbildung 44).



**Abbildung 44** Schema der Krafteinleitung beim Kippvorgang

Für die Beurteilung der Beanspruchung ist dabei die Spannungsverteilung innerhalb der Klebung bzw. innerhalb des Randverbundes relevant, über die zum momentanen Zeitpunkt keine gesicherten Erkenntnisse vorliegen. Deshalb werden hier zwei denkbare Grenzfälle (bezeichnet mit A und B) untersucht (Abbildung 45).



**Abbildung 45** Schema der unterschiedlichen Spannungsverteilungen

Diese beiden Grenzfälle können mit den Steifigkeitsverhältnissen von Profil, Klebung und Glas in Zusammenhang gebracht werden. Die Auswirkung dieser Steifigkeitsverteilung ist jedoch auf Schub- und Normalspannungen unterschiedlich. Genauere Untersuchungen könnten mittels einer numerischen Simulation angestellt werden, sofern die Kennwerte für die Steifigkeit der Klebung vorliegen. Zur Abschätzung der Auflastung werden hier beide Grenzfälle betrachtet.



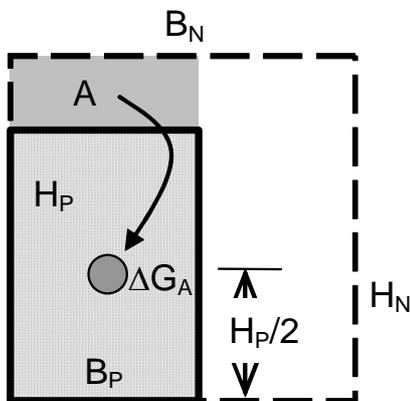
Als weiterer Parameter neben dem Gewicht  $\Delta G$  kann die Höhenlage des Schwerpunkts der Auflastung angesehen werden, die hier über den Beiwert  $\alpha$  in die Berechnung eingeht.  $\alpha = 0,5$  entspricht dabei der Montage auf halber Höhe. Die nachfolgenden Formeln ergeben sich aus einer Momentengleichgewichtsbetrachtung um die Kippachse.

Für Fall A folgt bei gleichartigem Scheibenaufbau:

$$(\alpha \cdot \Delta G)_A = \frac{1}{2}(H_N - H_P) \cdot B_P \cdot g$$

Bei abweichendem Scheibenaufbau von Nutz- und Prüfformat:

$$\begin{aligned} (\alpha \cdot \Delta G)_A &= \frac{1}{2}(H_N - H_P) \cdot B_P \cdot g_N + \frac{1}{2}H_P \cdot B_P \cdot (g_N - g_P) = \\ &= \frac{1}{2}(H_N \cdot g_N - H_P \cdot g_P) \cdot B_P \end{aligned}$$



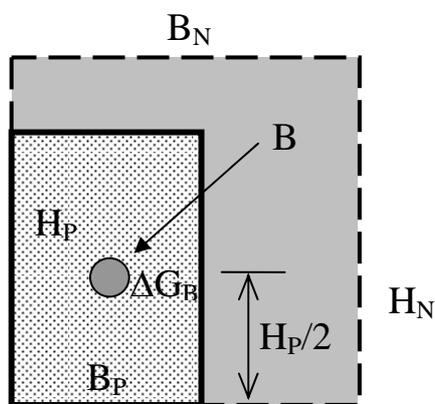
Für  $\alpha = 0,5$  (Auflastung im Schwerpunkt) entspricht die Auflastung der im Bild grau hinterlegten Fläche A oberhalb des Prüfformats.

Für Fall B ergibt sich bei gleichartigem Scheibenaufbau:

$$(\alpha \cdot \Delta G)_B = \frac{1}{2}(B_N \cdot H_N - B_P \cdot H_P) \cdot g$$

Bei abweichendem Scheibenaufbau von Nutz- und Prüfformat:

$$\begin{aligned}
 (\alpha \cdot \Delta G)_B &= \frac{1}{2}(B_N \cdot H_N - B_P \cdot H_P) \cdot g_N + \frac{1}{2}B_P \cdot H_P \cdot (g_N - g_P) = \\
 &= \frac{1}{2}(B_N \cdot H_N \cdot g_N - B_P \cdot H_P \cdot g_P) = \frac{1}{2}(G_N - G_P)
 \end{aligned}$$



Für  $\alpha = 0,5$  (Auflastung im Schwerpunkt) entspricht die Auflastung im Fall B der Differenzfläche zwischen Nutz- und Prüfformat.

## A 1.4 Auswertung

### Auflastung Dauerlast (Eigengewicht)

Zur Simulation der höheren Eigenlast beim Nutzformat wird der Prüfkörper mit dem Gewicht

$$\Delta G_I = (B_N - B_P)H_P \cdot g_N + B_P H_P \cdot (g_N - g_P) = (B_N \cdot g_N - B_P \cdot g_P) \cdot H_P$$

aufgelastet, wobei für  $g$  die Flächengewichte der nicht direkt gelagerten Scheibe(n) anzusetzen sind. Die Auflastung aus Eigengewicht kann an beliebiger Stelle aufgebracht werden.

### Auflastung dynamische Last (Kippen)

Bei der dynamischen Prüfung ist vorrangig das Kriterium für das Kippen zu berücksichtigen. Hierbei liefern die Grenzbetrachtungen A und B umso unterschiedlichere Ergebnisse, je mehr die Breite des Prüfformats  $B_P$  von der Breite



des Nutzformates  $B_N$  abweicht. Bei stehenden, türähnlichen Formaten, die für die dynamische Belastung besonders ungünstig sind, ist der Unterschied gering.

Wünschenswert wäre es, das Kriterium I „Eigengewicht“ mit dem Kriterium II „Kippen“ zu verbinden. Dies wäre möglich, indem  $\Delta G$  aus Kriterium I übernommen wird und der Parameter  $\alpha$  in Kriterium II so angepasst wird, dass das Produkt  $\alpha \Delta G$  den gewünschten Wert ergibt. Entsprechende Formeln lassen sich wie folgt ableiten, hier jeweils für  $g_N = g_P$ , d. h. für gleichartigen Glasaufbau:

Auf Basis von Fall A:

$$\alpha_A = \frac{1}{2} \cdot \frac{H_N - H_P}{B_N - B_P} \cdot \frac{B_P}{H_P}$$

bzw. auf Basis von Fall B:

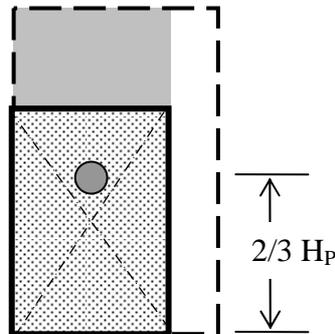
$$\alpha_B = \frac{1}{2} \cdot \frac{B_N H_N - B_P H_P}{B_N - B_P} \cdot \frac{1}{H_P}$$

Aus diesen Formeln ist ersichtlich, dass für den Fall  $B_N = B_P$  die Werte  $\alpha$  gegen  $\infty$  gehen. Für ähnliche Werte  $B_N \approx B_P$  ergeben sich  $\alpha$ -Werte größer als 1. Dies liegt an dem zugrunde liegenden Ergebnis aus Kriterium I, bei dem  $\Delta G_I$  für diese Fälle folgerichtig gegen Null geht. Dies führt jedoch für  $\alpha$  zu Ergebnissen, die im Versuch nicht realisierbar sind. Für ein praktikables Vorgehen kann somit nicht generell  $\Delta G_I$  herangezogen werden.

Als Kompromiss aus den vorgestellten Kriterien wird deshalb folgender Vorschlag für die Auflastung der Prüfformate unter dynamischer Last abgeleitet. Hierbei wird eine Fallunterscheidung bzgl. des Nutzformates vorgeschlagen:

1. Stehende, türähnliche Nutzformate:  $\frac{H_N}{B_N} \geq \frac{H_P}{B_P}$

Diese Anordnung liefert im Kippversuch die höchsten Belastungen. Bei stehenden Formaten wird eher Grenzfall A zutreffen. Die Auflastung erfolgt so, dass der Schwerpunkt im oberen Drittelpunkt des Prüfformates liegt.



→ Auflastung mit  $\Delta G_A$  für  $\alpha = 2/3$

$$\Delta G_{II} = \frac{3}{4}(H_N - H_P) \cdot B_P \cdot g$$

$$\text{bzw. } \Delta G_{II} = \frac{3}{4}(H_N \cdot g_N - H_P \cdot g_P) \cdot B_P$$

Gegenüber einer Auflastung im Mittelpunkt des Prüfformates bietet diese Anordnung den Vorteil, dass die Auflastung geringer ausfällt und damit gegenüber dem Eigengewicht nicht zu sehr auf der sicheren Seite liegt.

Beispiel:

$$H_N = 2500 \text{ mm} \quad H_P = 1000 \text{ mm} \quad B_N = 1200 \text{ mm} \quad B_P = 600 \text{ mm}$$

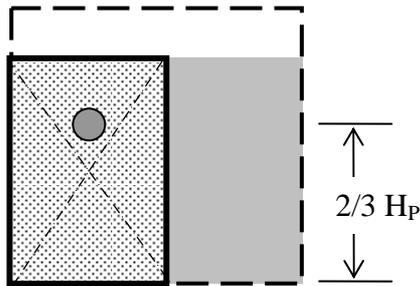
$$\Delta G_{II} = 0,675 \cdot g \quad \cong \quad \Delta G_I = 0,600 \cdot g$$

2. Quadratische oder liegende Nutzformate:  $\frac{H_N}{B_N} < \frac{H_P}{B_P}$

Hier wird sich ein Zustand zwischen den Grenzfällen A und B einstellen. Bei einer Auflast wie bei den türähnlichen Formaten würde die Eigengewichtsbelastung unterschätzt. Deshalb erfolgt die Auflastung mit  $\Delta G_I$  ebenfalls im oberen Drittelpunkt des Prüfformates. Dies liefert eine höhere dynamische Belastung als Grenzfall A, jedoch eine geringere als Grenzfall B.



$$\Delta G_{II} = \Delta G_I = (B_N \cdot g_N - B_P \cdot g_P) \cdot H_P \quad \text{im oberen Drittelpunkt.}$$

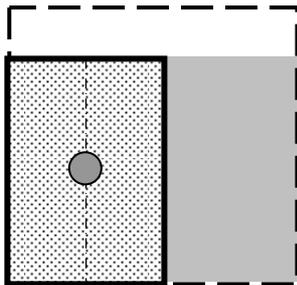


### A 1.5 Zusammenfassung und Umsetzungsvorschlag

- Auflastung für Dauerlast (Eigengewicht)

$$\Delta G_I = (B_N \cdot g_N - B_P \cdot g_P) \cdot H_P$$

Anordnung der Auflastung beliebig.  
Ungünstigste Belastung für Breite Nutzformate.

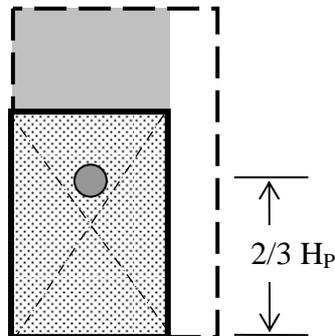


- Auflastung für dynamische Last (Kippen)

Ungünstigste Belastung für hohe Nutzformate (großes  $H_N$ ):

$$\text{für } \frac{H_N}{B_N} \geq \frac{H_P}{B_P} : \quad \Delta G_{II} = \frac{3}{4} (H_N \cdot g_N - H_P \cdot g_P) \cdot B_P$$

Auflastung mit Schwerpunkt etwa im oberen Drittelpunkt des Prüfformates.



### A 1.6 Zahlenwerte

Prüfformat:

$$B_p = 600 \text{ mm} \quad H_p = 1000 \text{ mm}$$

Nutzformat I (Dauerlastprüfung):

$$H_{NI} = 1200 \text{ mm} \quad B_{NI} = 1800 \text{ mm}$$

Nutzformat II (dynamische Prüfung):

$$H_{NII} = 2500 \text{ mm} \quad B_{NII} = 1200 \text{ mm}$$

Glas Prüfformat 4-16-4:

$$g_p = (4) \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot 2500 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 10 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

Glas Prüfformat 4-12-4-12-4:

$$g_p = (4 + 4) \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot 2500 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 20 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

Glas Nutzformat 4-16-8:

$$g_N = (8) \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot 2500 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} = 20 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

Glas Nutzformat 4-12-4-12-8:

$$g_N = (4 + 8) \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot 2500 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} = 30 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

Auflastung für Dauerlastprüfung 2-fach MIG:

$$\Delta G_l = (1,8 \cdot 20 - 0,6 \cdot 10) \cdot 1,0 = 30,0 \text{ kg}$$

Auflastung für Dauerlastprüfung 3-fach MIG:

$$\Delta G_l = (1,8 \cdot 300 - 0,6 \cdot 200) \cdot 1,0 = 42,0 \text{ kg}$$



Auflastung für dynamische Prüfung 2-fach MIG:

$$\Delta G_{II} = \frac{3}{4}(2,5 \cdot 20 - 1,0 \cdot 10) \cdot 0,6 = 18,0 \text{ kg}$$

Auflastung für dynamische Prüfung 3-fach MIG:

$$\Delta G_{II} = \frac{3}{4}(2,5 \cdot 30 - 1,0 \cdot 20) \cdot 0,6 = 24,75 \text{ kg}$$



**ift** gemeinnützige Forschungs- und Entwicklungsgesellschaft mbH

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>