

Alterungsverhalten von Mehrscheiben -
Isolierglas

F 1985

F 1985

Bei dieser Veröffentlichung handelt es sich um die Kopie des Abschlußberichtes einer vom Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen -BMVBW- 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

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

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69
70504 Stuttgart

Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

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

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

Alterungsverhalten von Mehrscheiben-Isolierglas

Der Bundesminister für Wohnungsbau

Abschluß-Zwischen-Bericht
zum Forschungs-Auftrag

Az.: BIS-800179-112 Eing.: 19.12.84

Sammlung der
Forschungsberichte
des Referats
BIS

Nr. 1985

Institut für Fenstertechnik e.V.
Rosenheim
Leiter: Dipl.-Ing. Josef Schmid

Theodor-Gietl-Str. 9
D-8200 Rosenheim
Telefon 08031 / 62078 <6501-0>
Fernschreiber 525 746

A B S C H L U S S B E R I C H T

Thema: Untersuchung über die Möglichkeiten der Beurteilung des Alterungsverhaltens von Isolierglas-einheiten einschließlich der Verglasung

Az.: B I 5 - 800179 - 112

Kurztitel: Alterungsverhalten von Mehrscheiben-Isolierglas

Auftraggeber: Bundesministerium für Raumordnung, Bauwesen
und Städtebau
5300 Bonn - Bad Godesberg

Forschungsstelle: Institut für Fenstertechnik e.V.,
Arnulfstraße 13
8200 Rosenheim - Aisingerwies

Sachbearbeiter: Dr. Franz Feldmeier
Dipl.-Ing. (FH) Rudolf Heinrich
Dipl.-Ing. (FH) Bernhard Hepp
Dipl.-Ing. Josef Schmid
Dipl.-Ing. (FH) Werner Stiell

Institutsleitung:
Dipl.-Ing. Josef Schmid

Rosenheim, Oktober 1984

Alterung von Mehrscheiben-Isolierglas

INHALTSANGABE

1.	Problemstellung.....	1
2.	Entwicklung der Verglasung.....	2
2.1	Glasabdichtung mit Dichtstoffen.....	2
2.2	Glasabdichtung mit Dichtprofilen.....	7
2.3	Gemischte Verglasungssysteme.....	12
3.	Entwicklung des Mehrscheiben-Isolierglases.....	13
3.1	Allgemeines.....	13
3.2	Technische Entwicklung.....	15
3.3	Marktentwicklung.....	18
4.	Beschreibung der Systeme.....	20
4.1	Allgemeines.....	20
4.2	Glas.....	21
4.3	Der Abstandhalter.....	21
4.4	Trocknungsmittel.....	27
4.5	Dichtstoffe.....	31
4.5.1	Allgemeines.....	31
4.5.2	Die innere Dichtung.....	31
4.5.3	Die äußere Dichtung.....	32
5.	Umgebungseinwirkungen auf das Mehrscheiben-Isolierglas.....	35
5.1	Allgemeines.....	35
5.2	Belastung von Mehrscheiben-Isolierglas durch Änderung des atmosphärischen Druckes und Temperaturänderung.....	39
5.2.1	Durchbiegung in der Scheibenmitte.....	44
5.2.2	Die maximale Biegespannung.....	45
5.2.3	Die Belastung des Randverbundes.....	46
5.3.	Beanspruchung des Randverbundes.....	48
6.	Normen und Richtlinien.....	49
6.1	Allgemeines.....	49
6.2	Mehrscheiben-Isolierglas.....	52
6.3	Verglasung.....	57
7.	Alterungsverhalten.....	63
7.1	Allgemeines.....	63
7.2	Verglasung.....	64
7.3	Mehrscheiben-Isolierglas.....	66
7.3.1	Rechnerische Abschätzung der Nutzungserwartung.....	66
7.3.2	Praktische Erfahrungen.....	69

Alterung von Mehrscheiben-Isolierglas

8.	Tatsächliche Belastungen an Mehrscheiben-Isolierglas.....	77
8.1	Allgemeines.....	77
8.2	Versuchsprogramm.....	77
8.2.1	Verglaste Fenster.....	77
8.2.2	Laborprüfung.....	91
8.3	Ergebnis aus der Freilandprüfung.....	93
8.3.1	Beladungszunahme.....	93
8.3.2	Temperaturbelastung.....	95
8.3.3	Feuchtigkeitsbelastung.....	108
8.4	Ergebnisse aus der Laborprüfung.....	117
8.4.1	Beladungszunahme.....	117
8.4.2	Grenzflächenverhalten.....	121
9	Auswertung.....	125
9.1	Schadensanalyse.....	125
9.2	Scheibenzwischenraum und Scheibenformate.....	125
9.3	Umgebungseinwirkungen und Nutzungserwartung.....	127
9.3.1	Allgemeines.....	127
9.3.2	Verglasung.....	127
9.3.3	Mehrscheiben-Isolierglas.....	131
10	Zusammenfassung.....	134

Literaturnachweis

1. Problemstellung

Aus Gründen der Energieeinsparung und zur Gewährleistung eines angemessenen Wohnkomforts werden in Mitteleuropa bereits seit langem Einfachfenster mit Einfachverglasungen nur in Zonen mit mildem Klima eingesetzt. In den übrigen Klimazonen wurde zumindest während der Winterzeit eine Doppelverglasung an den Fenstern angebracht. Aus dem einfachen Winterfenster, welches im Sommer abgenommen wurde, entwickelte man das Kastenfenster und das Verbundfenster. Die gestiegenen Anforderungen an den Wohnkomfort führten dann nach 1950 zum verstärkten Einsatz von Mehrscheiben-Isolierglas, da die Bauherren und Bewohner nicht mehr bereit waren, die Schwachpunkte der Kastenfenster und Verbundfenster zu akzeptieren. Diese Schwachpunkte waren Tauwasserbildung im Scheibenzwischenraum und der erhöhte Aufwand an Reinigung im Vergleich zum Fenster mit Mehrscheiben-Isolierglas.

Gefördert wurde die Entwicklung zum Mehrscheiben-Isolierglas noch durch die Notwendigkeit zur Energieeinsparung, die mit der Wärmeschutzverordnung und den einschlägigen Normen festgeschrieben wurde.

Im Gegensatz zur Doppelverglasung an Verbund- und Kastenfenstern ist die Tauwasserfreiheit im Scheibenzwischenraum bei Mehrscheiben-Isolierglas eine vom Hersteller zugesicherte Eigenschaft. Eine fünfjährige Garantie für die Tauwasserfreiheit ist in der Bundesrepublik üblich. Diese zeitliche Begrenzung der Garantie darf nicht verwechselt werden mit der Nutzungserwartung von Mehrscheiben-Isolierglas, die im Durchschnitt ein Vielfaches der Garantiezeit beträgt.

Eine Häufung von Schäden an Mehrscheiben-Isolierglas nach relativ kurzer Nutzungsdauer in den vergangenen Jahren beunruhigte Bauherren, Architekten und auch die Hersteller von Mehrscheiben-Isolierglas. Über die Ursachen für den vorzeitigen Ausfall war keine einheitliche Ursache festzustellen. Der Ausfall erfolgt immer durch Tauwasserbildung im Scheibenzwischenraum. Man nennt diese Erscheinung, da die Durchsicht gestört wird, "Erblinden des Isolierglases". Auch wenn durch das Tauwasser im Scheibenzwischenraum die wärmetechnischen Eigenschaften - zumindest bei Normalscheiben - nicht beeinträchtigt werden, erscheint es dennoch notwendig, die Ursachen zu klären.

Im Rahmen dieser Forschungsarbeit wurden deshalb die Ursachen für den vorzeitigen Ausfall des Mehrscheiben-Isolierglases untersucht und weiter die Voraussetzungen erarbeitet, die für eine angemessene Nutzungsdauer der eingebauten Scheiben notwendig sind. Denn die Nutzungsdauer des Mehrscheiben-Isolierglases wird sowohl vom Isolierglas selbst als auch von der Glasabdichtung bestimmt. Eine Untersuchung beider Einflüsse war deshalb notwendig.

2. Entwicklung der Verglasung

2.1 Glasabdichtung mit Dichtstoffen

Für den Wohnungsbau wurden vor 1950, von wenigen Ausnahmen abgesehen, die Fensterrahmen aus Holz hergestellt. Rahmen aus Stahl und Aluminium wurden vorwiegend im Verwaltungs- und Industriebau eingesetzt. Die zum Teil großflächigen Fenster wurden durch Sprossen unterteilt, so daß kleinformatige Scheiben entstanden.

Der Glaseinbau erfolgte bei einfachen Holzfenstern in Nuten (Bild 1), wobei der Rahmen zum Glaseinbau zerlegt werden mußte. Der Regelfall des Glaseinbaues war für alle Rahmenwerkstoffe die freiliegende Dichtstoffase (Bild 2 und 3).

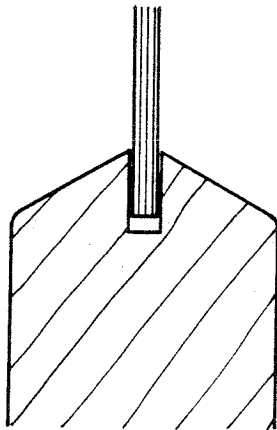


Bild 1

Glaseinbau in Nuten

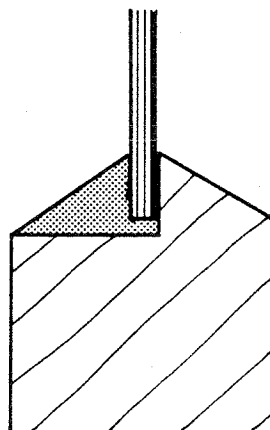


Bild 2

"Kittfase" beim Holzfenster

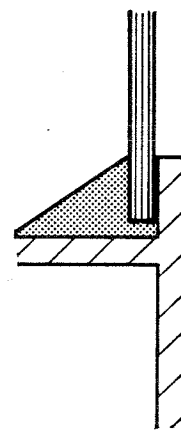


Bild 3

"Kittfase" beim Stahlfenster

Die Abdichtung zwischen Glas und Rahmen wurde mit Leinölkitt durchgeführt. Leinölkitt ist ein erhärtender Dichtstoff, der nach dem Einbringen aushärtet und eine starre Verbindung zwischen Glas und Rahmen herstellt. Bei kleinformatigen Scheiben konnten die aus Temperaturänderungen bedingten Spannungen im Verbund aufgenommen werden. Schäden an der Verglasung sind aus dieser Zeit kaum bekannt.

Erst großflächige Verglasungen in den Jahren nach 1950 führten zu Schäden, weil die Glasabdichtung mit Leinölkitt nicht mehr in der Lage war, die erhöhten Beanspruchungen aufzunehmen. Die Schäden entstanden zum Teil bereits in der Zeit zwischen dem Glaseinbau und der Erreichung des Endzustandes, der Aushärtung des Dichtstoffes.

Vor allem bei Holzfenstern führte dies zu einer großen Schadenswelle [1, 2, 3, 4]. Auch die Änderung der Konstruktionen zur Verglasung mit Glashalteleisten und die Entwicklung von plastischen Dichtstoffen brachten keine nachhaltige Besserung. Die Bewegungen an den immer größer werdenden Scheibenflächen konnten auch durch die plastischen Massen nicht ausgeglichen werden. Aus dieser Erkenntnis entwickelte sich die Diskussion, ob die Glashalteleiste von der Außenseite (Bild 4) oder von der Raumseite (Bild 5) angebracht werden sollte. Die Befürworter der außenseitigen Glashalteleiste gingen davon aus, daß über die undichte Verglasung eingedrungenes Wasser ohne Schädigung der Konstruktion und ohne Beeinträchtigung der Bewohner zur Außenseite abgeführt wird.

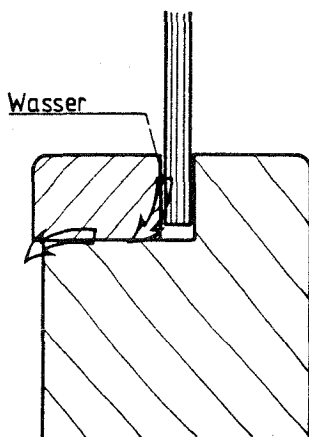


Bild 4

Glashalteleiste
außenseitig

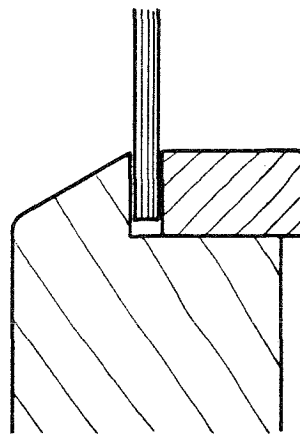


Bild 5

Glashalteleiste
innenseitig

Diese Annahme bestätigte sich nicht, so daß in der Folgezeit die raumseitige Glashalteleiste den Regelfall darstellte [2, 5].

Die Beanspruchung der Glasabdichtung aus Temperatur- und Windeinwirkung erhöhte sich noch beim Einbau von Mehrscheiben-Isolierglas, wobei sich nun neben den Schäden an den Rahmen auch Schäden am Mehrscheiben-Isolierglas zeigten [4, 6, 7]. Erst der Einsatz von elastischen Dichtstoffen brachte die Möglichkeit einer funktionsfähigen Glasabdichtung. Angenommen von Bauplanern wurden die elastischen Dichtstoffe erst, nachdem 1968 die "Tabellen zur Ermittlung der Beanspruchungsgruppen zur Verglasung von Fenstern" vom Institut für Fenstertechnik e. V., Rosenheim, veröffentlicht wurden (Bild 6) [8, 9]. Diese Tabellen wurden für Holzfenster, für Stahlfenster und für Aluminiumfenster herausgegeben. Mit den Tabellen war erstmals die Möglichkeit gegeben, ausgehend von den zu erwartenden Belastungen, ein geeignetes Verglasungssystem zu ermitteln. Die Zuordnung der Dichtstoffe zu den Beanspruchungsgruppen und Verglasungssystemen erfolgte von den Dichtstoffherstellern in eigener Verantwortung (Bild 7).

Tabelle zur Ermittlung der Beanspruchungsgruppen zur Verglasung von Fenstern Ausgearbeitet vom Institut für Fenstertechnik e.V. · 8201 Rosenheim / Aisingerwies							
Beanspruchungsgruppen	1	2	3	4	5		
Beanspruchungsarten	Keine Bewegung im Kittbett		Bewegung im Kittbett				
	Abstreifen von außen durch dauerelastische Versiegelung					Zusätzliche Stabilisierung im Kittbett auf der Innenseite	
	hier können auch härtende Materialien verwendet werden			Dauerelastische Versiegelung innen			
Windlast derzeitige Maximalwerte nach DIN 1055 und Fenstergröße	Gebäudehöhe — 6 m (60 kp/m ²)	0,50	2,00	4,00			
	Fensterfläche m ²						
	8 — 20 m (96 kp/m ²)	0,25	1,00	2,00	3,00	5,00	6,00
	Fensterfläche m ²						
	20 — 100 m (132 kp/m ²)		0,50	1,00	2,00	3,00	5,00
Die Belastung aus dem Winddruck kann von der angegebenen Gebäudehöhe abweichen	Fensterfläche m ²						
	10	20	30	40	50	60	70 kp/m
max. Kantenlänge	Isolierglas						
		— 120 cm	120 — 200 cm	200 — 250 cm	250 — 300 cm		
	Flechtglas						
	— 120 cm	120 — 140 cm	140 — 200 cm	200 — 250 cm	250 — 300 cm		
Erschütterungen	Beim Einsatz von Sondergläsern sind die Vorschriften der Hersteller zu beachten.						
	Ruhige Wohnlage		Normale Verkehrsbelastung	Starke Verkehrsbelastung in engen Straßen und an Ausfallstraßen	Belastung durch Flugverkehr, starken LKW-Verkehr und dergl.		
	Erschütterungen durch den Transport der Fenster zur Baustelle und dergl. sind nicht berücksichtigt. Falls Belastungen aus dem Gebäude, wie z. B. bei Fabrikationshallen, zu erwarten sind, müssen diese analog eingestuft werden.						
Fensterart	Feststehende Verglasung, Dreh- und Drehkipplügel und Kippflügel. (Die Verglasung ist hier auch als freiliegende Fassade möglich.)		Feststehende Verglasung, Dreh- und Drehkipplügel über 2,5 m ² Schwingflügel bis 2,5 m ²	Schwingflügel größer 2,5 m ² , Schiebs- und Hebeschiebefenster, Hebelstüren und dergl.	Sonderfenster, wie Wendefenster, Fenster in Nischen, chemischen Werken und dergl.		
	Bei dunklem Rahmenmaterial (Dunkelstufe 5.0 oder größer nach DIN 6164, Beiblatt 25) erfolgt die Einstufung mindestens in Gruppe 3.						

Bild 6 Tabelle zur Ermittlung der Beanspruchungsgruppen zur Verglasung von Fenstern

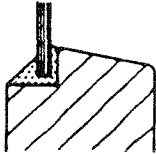
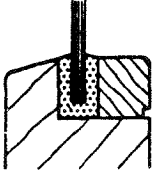
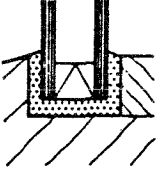
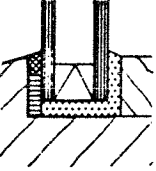
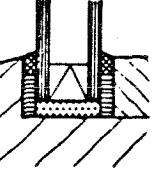
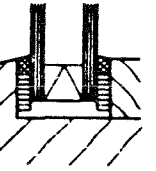
BG Ver- glasungs- system	1	2	3	4	5
freiliegende Dichtstoffase					
Einfachglas mit Glashalte- leiste					
Isolierglas mit Glashalte- leiste					

Bild 7 Übersicht der Verglasungssysteme für die Beanspruchungsgruppen

Etwa ab 1970 konnten die Tabellen als Regeln der Technik gelten. In der Folgezeit gingen die Schäden an Verglasungen und auch die Schäden an Holzfenstern, soweit sie auf die Glasabdichtung zurückzuführen waren, sehr stark zurück. Die Glasabdichtung war, bei Verwendung von Dichtstoffen, in der Zeit von 1970 bis 1980 ein System mit ausgefülltem Falzraum, wie in Bild 8 dargestellt. Die Forderung nach dem ausgefüllten Falzraum steht in Übereinstimmung mit den technischen Regelwerken (DIN 18 361).

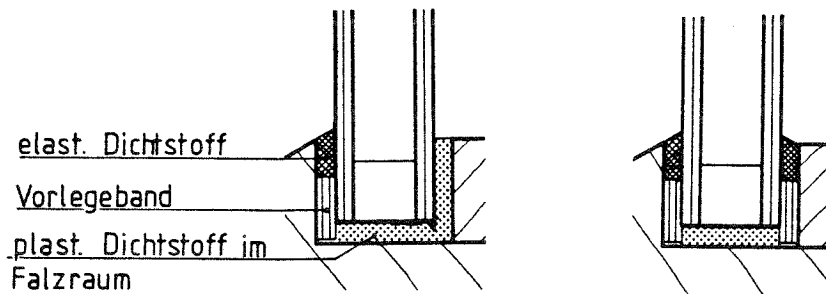


Bild 8 Glasabdichtung mit ausgefülltem Falzraum

Aber bereits ab Mitte der 70er Jahre wurde auch bei Verwendung von Dichtstoffen der dichtstofffreie Falzraum angewandt.

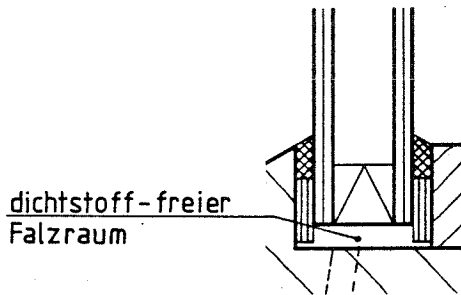


Bild 9 Verglasung mit dichtstofffreiem Falzraum; Glasabdichtung nach BG 5

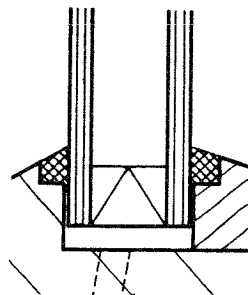


Bild 10 Verglasung mit dichtstofffreiem Falzraum; Glasabdichtung ohne Vorlegeband

Nach den derzeitigen Einbaurichtlinien der meisten Hersteller von Mehrscheiben-Isolierglas gilt für die Verglasung

- bei Holzfenstern: Verglasung wahlweise mit ausgefülltem Falzraum oder mit dichtstofffreiem Falzraum
- bei Aluminiumfenstern: Verglasung mit dichtstofffreiem Falzraum
- bei Holz-Aluminiumfenstern: Verglasung mit dichtstofffreiem Falzraum
- bei Kunststofffenstern: Verglasung mit dichtstofffreiem Falzraum

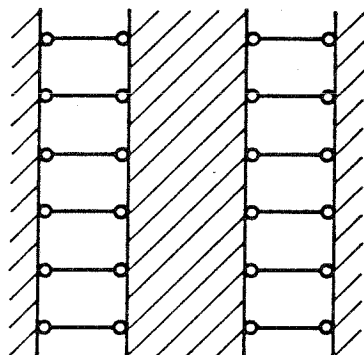
Bei der Verglasung mit dichtstofffreiem Falzraum ist die Öffnung des Falzraumes zur Außenseite erforderlich [10]. Diese Verglasung ist in den derzeitigen Regelwerken näher beschrieben.

Die Verglasung von Holzfenstern ohne Vorlegeband, d. h. mit direkter Anlage des Glases am Holz (Bild 10), ist in Regelwerken zur Zeit nicht erfaßt, wengleich Schäden, welche ausschließlich auf diese Art der Verglasung zurückzuführen sind, nicht nachweisbar sind. Die wesentlichen Merkmale dieser Verglasung sind deshalb in der Richtlinie "Verglasung von Holzfenstern ohne Vorlegeband" des Instituts für Fenstertechnik e.V., Rosenheim, zusammengestellt [75].

2.2 Glasabdichtung mit Dichtprofilen

Die Verglasung unter Verwendung von vorgefertigten Profilen wird mit Ausnahme des Holzfensters seit den 60er Jahren eingesetzt. Die Dichtwirkung unterscheidet sich dabei grundsätzlich vom System der Abdichtung mit Dichtprofilen (Bild 11). Beim heutigen Kenntnisstand sind mit beiden Systemen funktionsfähige Verglasungen möglich [11, 12].

Verbindung
unlösbar



Verbindung
lösbar

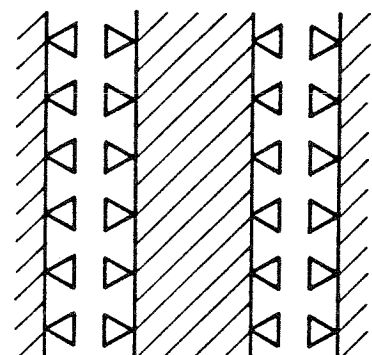


Bild 11 Ersatzsysteme für die Glasabdichtung; rechts für Dichtprofile; links für Dichtstoffe

Eingeführt wurden die Systeme der Verglasung mit Dichtprofilen unter dem Begriff der Druckverglasung, da der Anpreßdruck zur Abdichtung mit Druckelementen hergestellt wurde (Bild 12) [3, 13, 14].

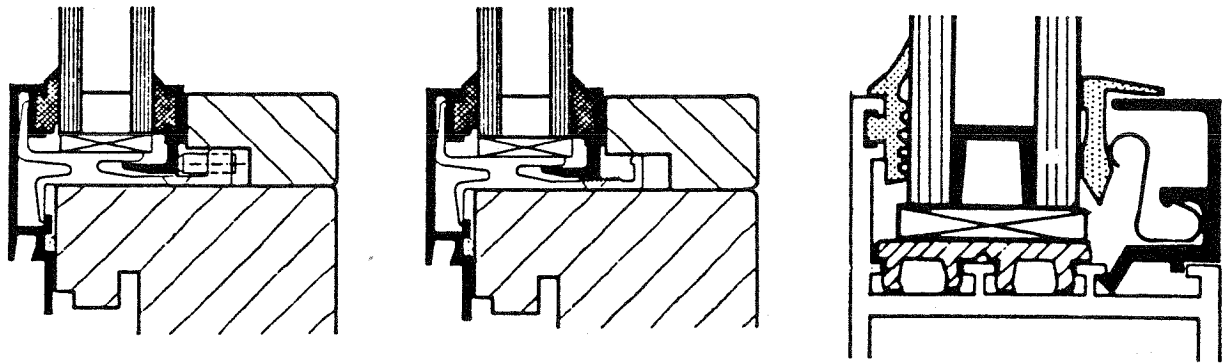


Bild 12 Beispiele für Verglasungen mit Druckelementen

Die Größe des Anpreßdruckes ist von der Belastbarkeit des Mehrscheiben-Isolierglases abgeleitet und mit maximal 5 kg/cm angegeben. Die Höhe des Anpreßdruckes ist nach heutigem Kenntnisstand kein hinreichendes Merkmal für die Funktionsfähigkeit des Verglasungssystems [15]. Die Benutzung des Begriffes "Druckverglasung zur Abgrenzung von billigen Systemen" war in den 60er Jahren zweckmäßig, ist aber heute nicht mehr gerechtfertigt [16].

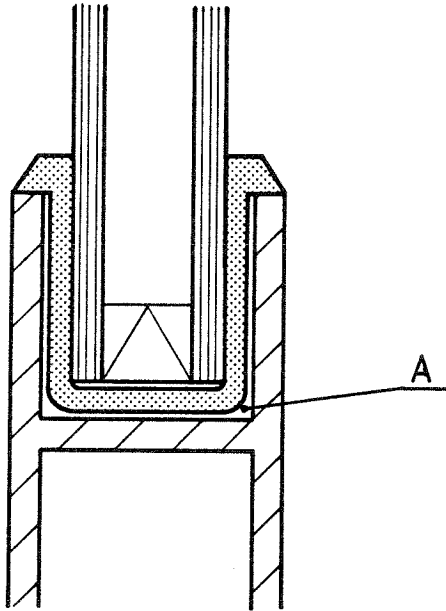


Bild 13 Beispiel einer Profilverglasung mit U-Profilen

Profilverglasungen wurden auch mit U-Profilen und Spannelementen ausgeführt (Bild 14). Weiter wurden für bestimmte Anwendungsbereiche sogenannte "Reißverschlußsysteme" entwickelt (Bild 15).

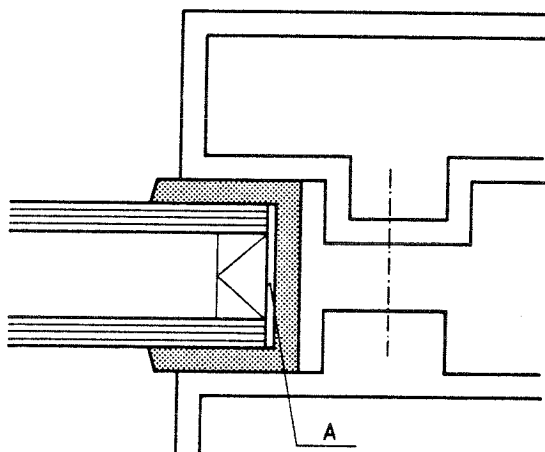


Bild 14 Beispiel einer Profilverglasung mit U-Profil und Spannelement

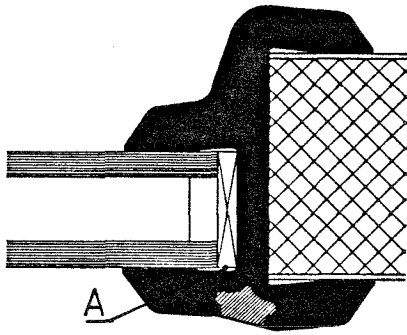


Bild 15 Beispiel einer "Reißverschluß-Verglasung"

Bei beiden Systemen besteht aber das Problem, daß Feuchtigkeit, die in den Bereich zwischen Glas und Profil (A) gelangt, nur sehr schwer wieder abgeführt werden kann.

Verglasungen mit vorgefertigten Profilen werden zur Zeit in großem Umfang bei Aluminiumfenstern sowie bei Holz-Aluminiumfenstern und Kunststoff-Fenstern eingesetzt. Der Aufbau dieser Systeme ist mit den grundsätzlichen Elementen in Bild 16 dargestellt [17, 18, 19, 20].

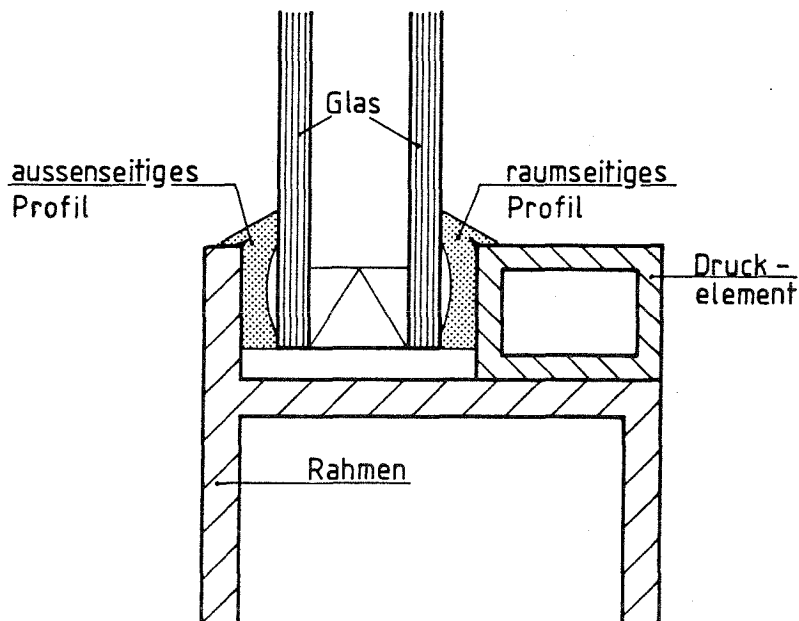


Bild 16 Beispiel einer Verglasung mit Dichtprofilen

Als Druckelement kann dabei entweder die Glashalteleiste oder ein Zusatzteil wie z. B. eine Klemmleiste oder eine Feder Verwendung finden.

Als Material für die Profile wird PC (Polychloroprene) und EPDM (Ethylen-Propylen-Teer-Polymer-Kautschuk), zum Teil auch PVC eingesetzt. Anforderungen an den Werkstoff PC und EPDM sind in DIN 7863 festgelegt. Für PVC sind zur Zeit keine genormten Festlegungen vorhanden.

An die Verglasung mit vorgefertigten Profilen ist die Forderung zu stellen, daß die Verglasung auch in den Ecken dicht sein muß. Bei Aluminiumfenstern werden deshalb auf der Witterungsseite die Profile häufig zu Rahmen verbunden, während bei Kunststofffenstern vielfach die Profile nur gestoßen werden. Eine zusätzliche Abdichtung des Profilstoßes im Eckbereich hat sich als notwendig erwiesen.

Außer der allgemeinen Forderung an Verglasungen nach Dichtheit gegen Wind und Regen werden an die Beurteilung von Verglasungen mit vorgefertigten Profilen keine weiteren Forderungen gestellt. Eine Richtlinie zur Überprüfung der Funktionsfähigkeit ist in Vorbereitung [21].

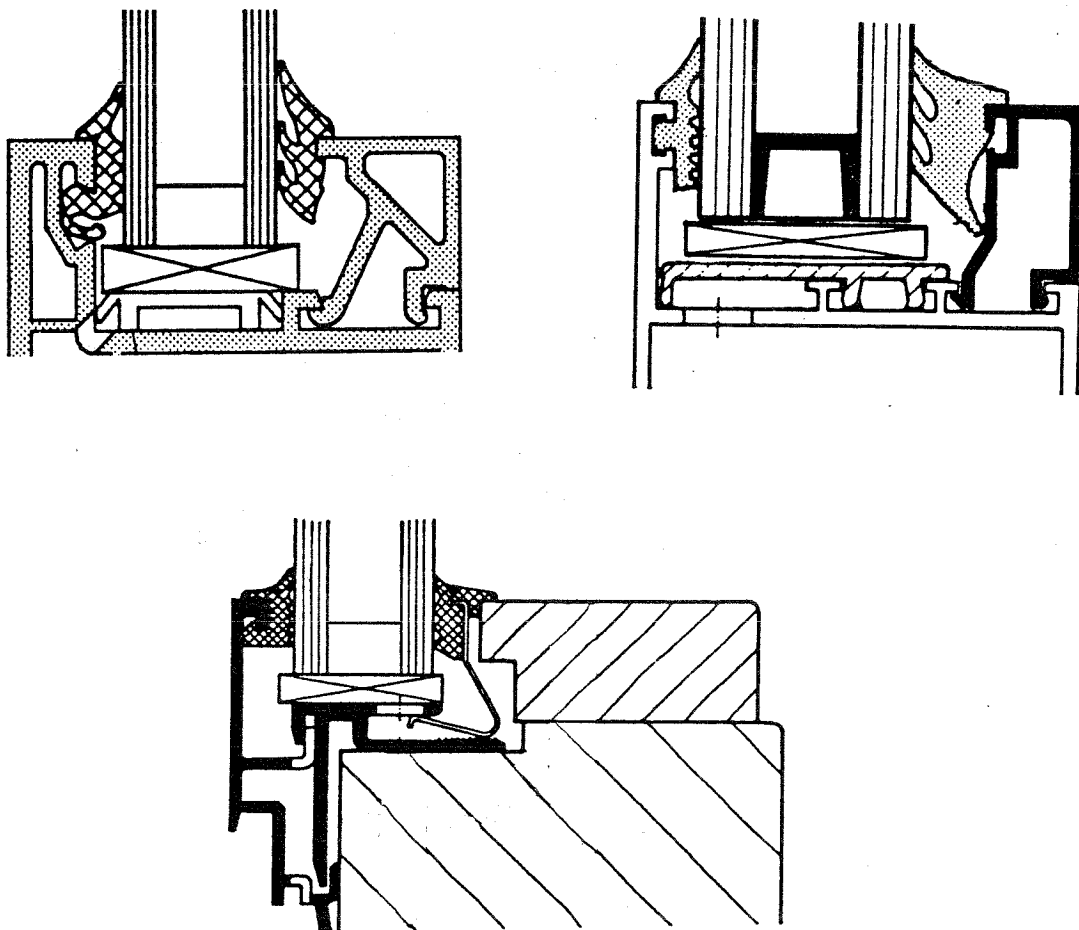


Bild 17 Beispiele für Verglasungen mit vorgefertigten Dichtprofilen

2.3 Gemischte Verglasungssysteme

Neben Profilverglasungen und Verglasungen mit Dichtstoffen werden auch gemischte Formen eingesetzt. Die der Witterung zugewandte Seite wird dabei in der Regel mit Dichtstoffen ausgeführt (Bild 18). Bevorzugt wird dieses System bei Holzfenstern; es ist aber auch bei Fenstern aus anderen Rahmenwerkstoffen möglich. Die Funktionsfähigkeit ist nur dann gewährleistet, wenn Dichtprofil und Vorlegeband einschließlich Dichtstoff so aufeinander abgestimmt sind, daß eine Überbeanspruchung des Dichtstoffes bei äußeren Einwirkungen, wie z. B. Windbelastung, nicht auftritt. Bei zu hoher Belastung kann sich der Dichtstoff vom Rahmen oder vom Glas lösen. Bei zu weichen Vorlegebändern besteht die Gefahr, daß das raumseitige Dichtprofil nicht in der vorgegebenen Lage bleibt und herausfällt [22].

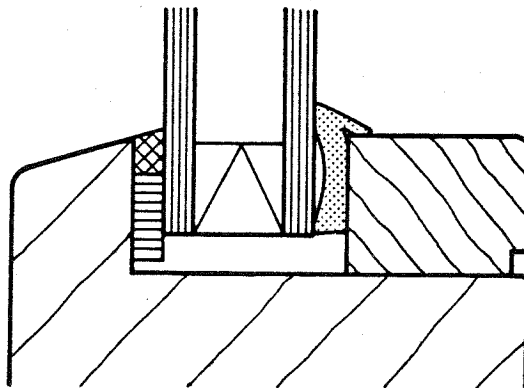


Bild 18 Gemischtes Verglasungssystem am Beispiel eines Holzfensters

3. Entwicklung des Mehrscheiben-Isolierglases

3.1 Allgemeines

Die Bezeichnung "Isolierglas" wird, seit das Produkt angeboten wird, kritisiert und als nicht zutreffend bezeichnet. Der Begriff ist aber in der Baubranche und auch beim Bauherrn so verankert, daß eine Korrektur nicht sinnvoll ist.

DIN 18 361 "Verglasungsarbeiten" definiert deshalb wie folgt:

"Mehrscheiben-Isolierglas ist eine Verglasungseinheit aus mehreren Glasscheiben, die durch luftgefüllte Zwischenräume getrennt sind; sie müssen an den Rändern luft- und feuchtigkeitsdicht miteinander verbunden sein. Die Scheibenflächen im Zwischenraum dürfen weder beschlagen noch verschmutzen."

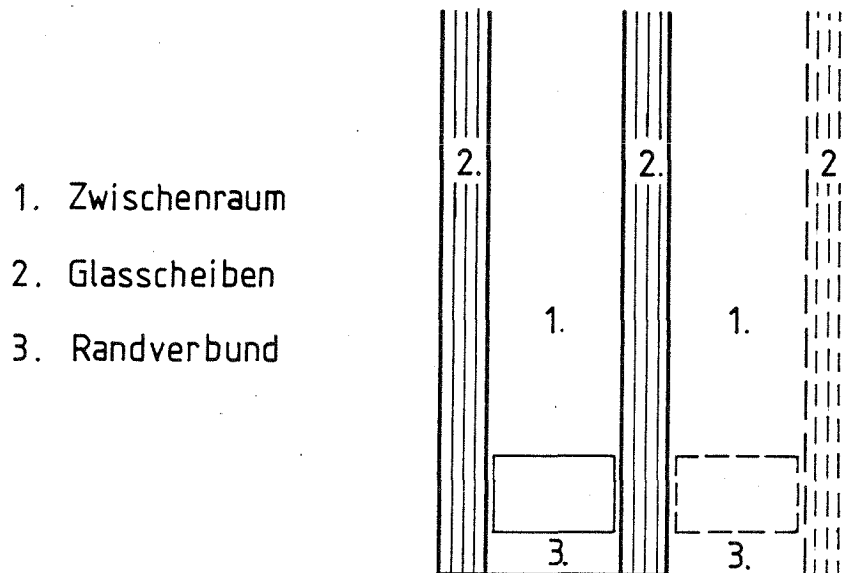


Bild 19 Schematischer Aufbau eines Mehrscheiben-Isolierglases

Je nach der Anzahl der Zwischenräume (auch Scheibenzwischenraum) spricht man von 2-fach-Isolierglas und 3-fach-Isolierglas. Die Definition nach DIN 18 361 muß dahingehend erweitert werden, daß die Zwischenräume auch mit Spezialgasen gefüllt sein können. Spezialgase werden zur Verbesserung bestimmter Eigenschaften eingesetzt.

In den Beschreibungen der Eigenschaften durch die Hersteller wird die Tauwasserfreiheit im Zwischenraum unter normalen Bedingungen zugesichert. Von seiten der Bauherrn wird häufig die irrtümliche Auffassung vertreten, daß die Tauwasserfreiheit auch an den raumseitigen Scheibenoberflächen zugesichert wird. Eine solche Zusicherung ist nicht möglich, da der Tauwasseranfall an diesen Scheibenflächen von den Umgebungsbedingungen und dem k-Wert des Mehrscheiben-Isolierglases bestimmt wird.

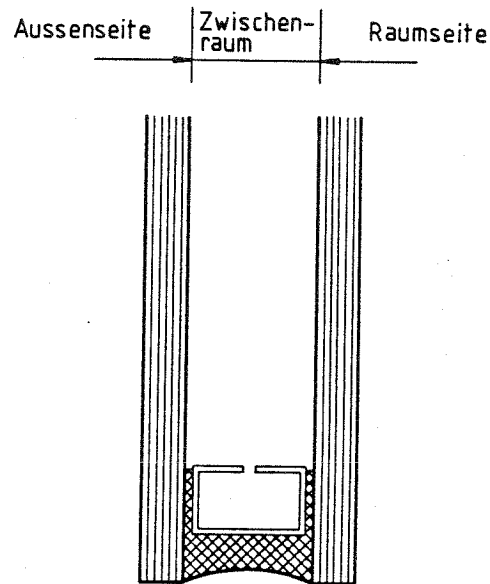


Bild 20 Lage des Scheibenzwischenraumes (SZR)

3.2 Technische Entwicklung

Die Überlegungen zur Herstellung von Mehrscheiben-Isolierglas gehen zurück auf T. D. Stetson, der 1865 in den USA ein entsprechendes Patent angemeldet hat [23]. Praktische Bedeutung bekam die Idee erst in späteren Jahren mit drei unterschiedlichen Ausführungen, die in Bild 21 in den grundsätzlichen Elementen dargestellt sind [23, 24, 25, 26].

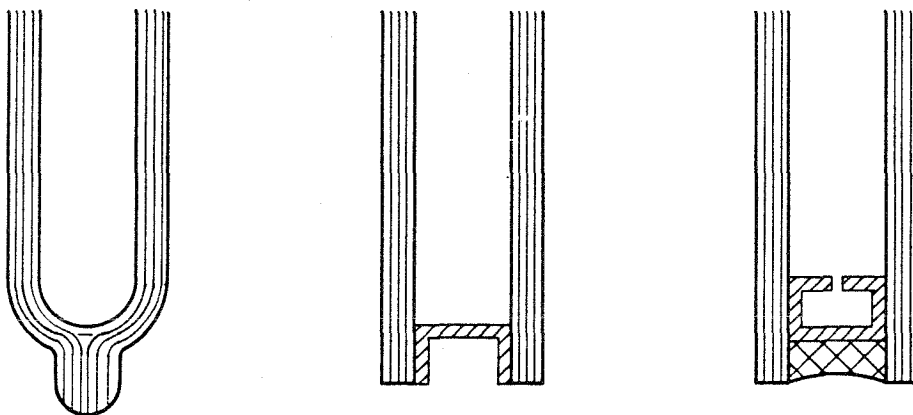


Bild 21 Grundsätzliche Systeme der Randabdichtung

Das Herstellungsverfahren für den glasverschweißten Randverbund wurde in den 50er Jahren in Europa und in den USA entwickelt. Dieses Verfahren kann als industriell bezeichnet werden, wobei die Herstellung von Einzelscheiben mit wirtschaftlichem Aufwand zur Zeit nicht möglich ist. Bei der Herstellung wird das auf Format geschnittene Scheibenpaar im Durchlaufverfahren im Randbereich so weit erwärmt, daß eine Verformung und Verschmelzung des Glases zum Randverbund möglich ist. Da trotz eines zusätzlichen Arbeitsganges, der zum Ausgleich der bei der Herstellung in den Scheibenrändern entstandenen Spannungen notwendig ist, Restspannungen verbleiben, sind durch Größtmaße und Kleinstmaße sowie durch die Begrenzung des Scheibenzwischenraumes die Anwendungsbereiche eingengt. Überwiegende Anwendungsbereiche sind Dachflächenfenster und die Verglasung von Gewächshäusern.

Die Vorteile dieses Systems

- Unempfindlichkeit des Verbundes gegen Feuchtigkeit,
- hohe Steifigkeit wegen des starren Randverbundes,
- rißfreie Kanten durch das Verschmelzen,

können bei diesen Anwendungsbereichen nur teilweise genutzt werden. Die Tauwasserfreiheit im Scheibenzwischenraum wird durch Spülen mit trockener Luft oder trockenem Gas erreicht. Die nach dem Spülvorgang im Scheiben-

zwischenraum verbleibende Restfeuchtigkeit und die Dichtheit des Randverbundes bestimmen die Gebrauchstauglichkeit der jeweiligen Scheiben [27, 30].

In den 40er Jahren wurde bereits das Isolierglas mit gelötetem Randverbund entwickelt und unter dem Namen "Thermopane" auf dem Markt angeboten. Auch wenn dieses System heute auf dem deutschen Markt keine Bedeutung mehr hat, so steht doch der Name "Thermopane" bei vielen Bauherren und Architekten als Gattungsbegriff für Mehrscheiben-Isolierglas.

Das System selbst ist in der französischen Patentschrift Nr. 886030 [25] und ein vergleichbarer Randverbund ist in dem US-Patent 2229351 beschrieben. Thermopane wird mit einem Bleisteg als Abstandhalter hergestellt, der über eine auf die Randflächen der Glasscheiben aufgebrachte Kupferschicht mit dem Glas verlötet wird [28, 29, 31]. Nach diesem Verfahren können auch vom Rechteckformat abweichende Scheiben als Einzelstücke hergestellt werden. Ein Austausch der Luft im Scheibenzwischenraum erfolgt nach dem gleichen Verfahren wie bei den Scheiben mit glasverschweißtem Randverbund.

Aufgrund der lohnintensiven Herstellung und der begrenzten Möglichkeiten der Mechanisierung der Fertigung wurde die Produktion von Thermopane in der Bundesrepublik bereits vor Jahren eingestellt. Hinzu kam noch, daß unvermeidbare Einwirkungen auf den Randverbund, z. B. aus der Durchbiegung des Scheibenrandes und aus dem Anpreßdruck bei Profilverglasungen, von anderen Systemen besser ertragen werden konnten.

Die größte Bedeutung haben heute mit über 90 % Marktanteil die Systeme mit geklebtem Randverbund, deren Entwicklung bis in die 20er Jahre zurückreicht [24]. Erste Versuche sind aus der Glasfabrik Bunslau im Jahre 1924 bekannt. 1933 wurde von der Glashütte Kunzendorf unter Verwendung neuer Kleber eine Doppelscheibe mit der Bezeichnung "Ku-Do-Glas" angeboten. Die folgende Entwicklung war gekennzeichnet durch den Einsatz von Abstandhaltern aus Glas, Holz und Kunststoff bis hin zum Metall, sowie durch eine Vielzahl von Klebstoffen und Fertigungsverfahren [32, 33, 34].

Eine weitere Entwicklungsstufe begann etwa im Jahre 1970 mit dem Verzicht vieler Systeme auf den Kantenschutz [23] und die Einführung zweistufiger Abdichtungssysteme im Randverbund [35, 36].

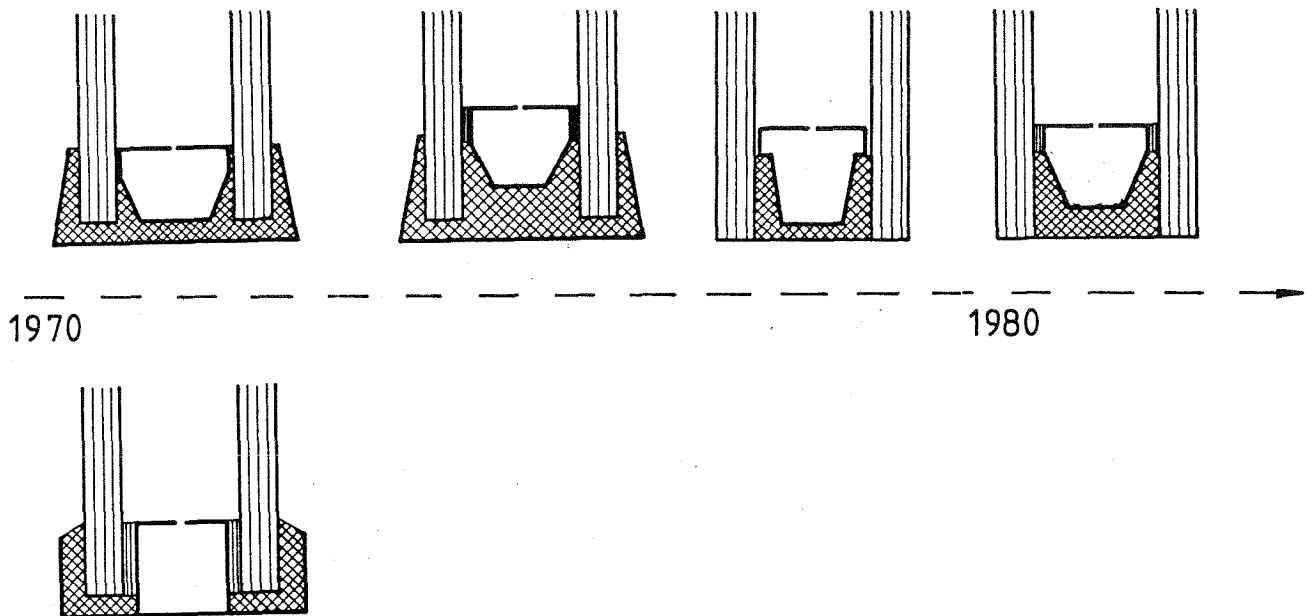


Bild 22 Entwicklung der Randverbundausbildung

Bei den geklebten Systemen wird die Tauwasserfreiheit im Scheibenzwischenraum durch die Bindung der vorhandenen und über den Randverbund eindiffundierenden Feuchtigkeit mit Hilfe eines Trocknungsmittels sichergestellt [37, 38, 39, 40]. Die Vorteile des geklebten Systems liegen u. a. in der einfachen Herstellung, sowie in der Verwendung unterschiedlicher Glasarten, Glasdicken und Scheibenzwischenräume, die sowohl manuell als auch mit hohem Mechanisierungsgrad möglich sind [41].

3.3 Marktentwicklung

Erst ab 1970 sind Zahlen über die Marktentwicklung des Mehrscheiben-Isolierglases auf dem deutschen Markt bekannt. Wie Bild 23 zeigt, ist bis 1980 eine stetige Aufwärtsentwicklung festzustellen [42]. Die Produktion von Mehrscheiben-Isolierglas liegt damit wesentlich über der der benachbarten europäischen Ländern. Die Gegenläufigkeit der Entwicklung der allgemeinen Bautätigkeit zur Produktion von Mehrscheiben-Isolierglas ist zum Teil auf die Nachrüstung von einfachverglasten Fenstern auf Mehrscheiben-Isolierglas, und zum Teil auf den steigenden Anteil von Fenstern mit Isolierglas im Neubaubereich zurückzuführen.

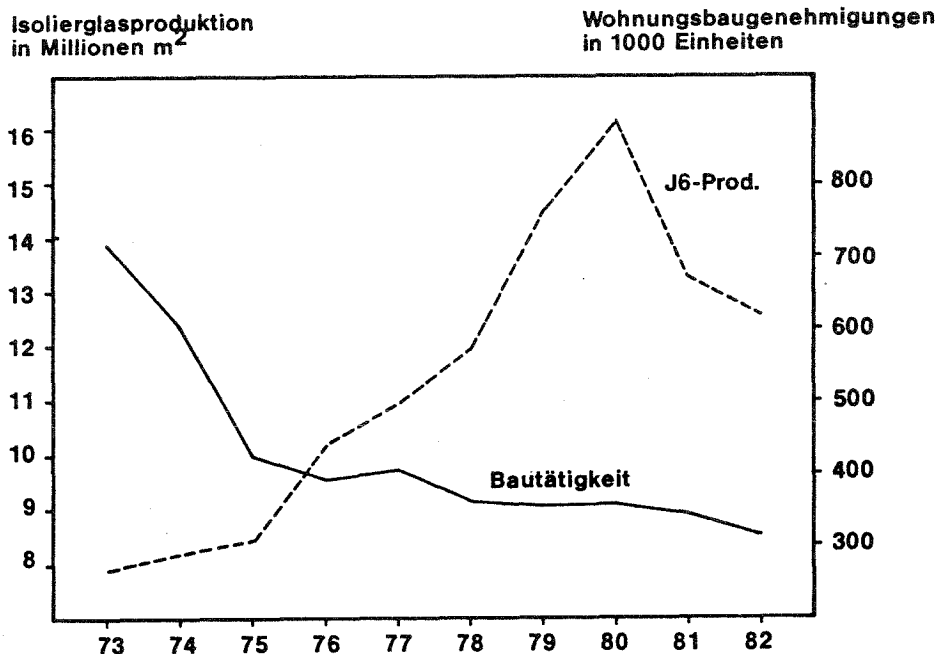


Bild 23 Isolierglasproduktion und Bautätigkeit in der Bundesrepublik von 1973 bis 1982 meldepflichtiger Betriebe[42]

Die weitere Entwicklung wird durch den steigenden Anteil von Funktionsgläsern an der Gesamtproduktion bestimmt sein. Als Funktionsglas wird z. B. Mehrscheiben-Isolierglas mit verbessertem Wärmeschutz und verbessertem Schallschutz bezeichnet; aber auch solche Einheiten, die für Sonnenschutzmaßnahmen, Durchbruchhemmung usw. eingesetzt werden. Die nachfolgende Tabelle 1 gibt einen Überblick zu den Funktionsgläsern.

Nicht abgeschlossen ist auch die Entwicklung hinsichtlich des Randverbundes. Hier sind neue Ansätze bekannt und zwar hinsichtlich der Werkstoffe und der Einbindung der Trocknungsmittel. Inwieweit diese Ansätze zur Marktreife gelangen, ist derzeit nicht abzusehen. Auf keinen Fall darf die Entwicklung des Mehrscheiben-Isolierglases als abgeschlossen betrachtet werden.

Funktion	Anforderung	Prüfung	Systemangaben
Wärmeschutz	DIN 4108	DIN 52619	
Sonnenschutz	DIN 4108	DIN 67507	
Schallschutz	DIN 4109 VDI-RL 2719	DIN 52210	
Angriffhemmende Verglasung	DIN 52290	DIN 52290	

Tabelle 1 Anforderung, Prüfung und Aufbau von Funktionsgläsern

4. Beschreibung der Systeme

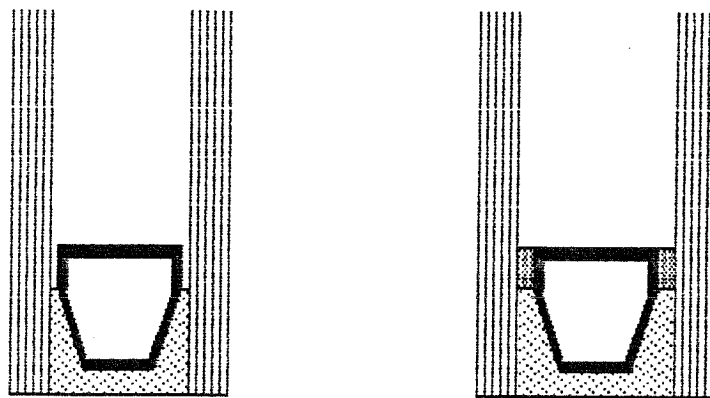
4.1 Allgemeines

Die wesentlichen Bestandteile des Mehrscheiben-Isolierglases sind:

- Glas
- Abstandhalter
- Dichtstoff
- Trocknungsmittel.

Diese stellen aufeinander abgestimmt ein System mit geklebtem Randverbund dar. Die folgende Beschreibung beschränkt sich auf dieses System, welches einen Marktanteil von über 90 % hält. Da das System mit geschweißtem Randverbund nur von einem Hersteller angeboten wird, und wegen des bereits beschriebenen Herstellungsverfahrens trotz günstiger Eigenschaften nur einen begrenzten Einsatzbereich hat, erscheint eine Beschreibung nicht notwendig.

Bei den geklebten Systemen werden sogenannte einstufige und zweistufige Systeme angeboten (Bild 24), wobei die Entwicklung zum zweistufigen System geht.



einstufig

zweistufig

Bild 24 schematische Darstellung der Randverbundsysteme

4.2 Glas

Für die Fertigung von Mehrscheiben-Isolierglas wird überwiegend Spiegelglas und die daraus hergestellten Produkte verwendet. Spiegelglas wird heute weitgehend im Floatverfahren hergestellt, wobei die besonderen Merkmale dieses Glases die Ebenheit und die geringen Toleranzen innerhalb der Dicke einer Scheibe sind. Bedingt durch das Floatbad, welches aus flüssigem Zinn besteht, ergibt sich am Glas eine Zinn- bzw. Atmosphärenseite. Die unterschiedlichen Eigenschaften dieser Oberflächen sind nach bisherigen Erkenntnissen ohne Bedeutung für die Qualität und die Lebenserwartung von Mehrscheiben-Isolierglas. Die Überprüfung der Zinnbadseite ist mit einer Prüflösung möglich [89] oder mit einer kurzwelligen UV-Lampe. Noch nicht ausreichend geklärt ist der Einfluß infrarotreflektierender Schichten im Bereich des Randverbundes. In der Regel werden die Haftflächen von der Beschichtung freigehalten, und zwar entweder durch Abkleben des Randes vor der Beschichtung von Formaten oder durch nachträgliches Entfernen, z. B. Bürsten oder Abflämmen, nach dem Zuschnitt der beschichteten Tafel. Die Nachweise, bei welchem Beschichtungsverfahren auf eine Freilegung des blanken Glasrandes zur Abdichtung verzichtet werden kann, müssen von Fall zu Fall geführt werden.

Bei der Verarbeitung von Glas mit Oberflächenstruktur wird meistens wegen der einfacheren Reinigung die glatte Oberfläche als Außenfläche genommen. Damit ergeben sich von der Struktur der Oberfläche her Anwendungsgrenzen für die Herstellung von Isolierglas, denn die Oberfläche muß eine einwandfreie vollflächige Verklebung ermöglichen.

4.3 Der Abstandhalter

Der in der Randabdichtung eingebettete Abstandhalter hat die Aufgabe, den gewünschten Abstand des Scheibenzwischenraumes herzustellen, und das Trocknungsmittel (Adsorptionsmittel) aufzunehmen.

Abstandhalter werden in der Regel aus Aluminium (Strangpreß-Profile) oder verzinktem Stahl (Walzprofile) angeboten. Abstandhalter aus Kunststoff sind nach heutigen Kenntnissen nicht geeignet.

Durch entsprechende Vorbehandlung der Oberflächen und durch die Vermeidung von Verunreinigungen bei der Verarbeitung, muß eine vollflächige Haftung mit dem Dichtstoff möglich sein. Verunreinigungen stören die Haftreaktion der wirksamen OH-Gruppen an der Profiloberfläche und können in ungünstigen Fällen zum Ausbleiben der Haftung führen [44].

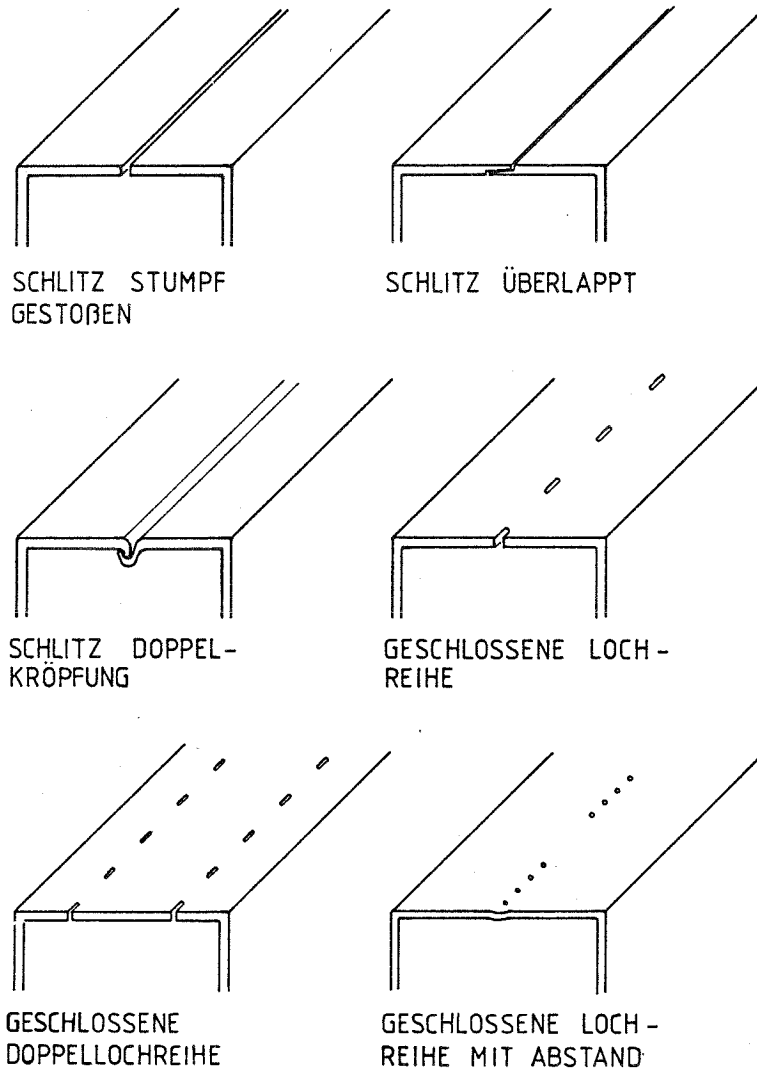


Bild 26 übliche Öffnungsausführungen von Abstandhaltern

Für die Herstellung von Mehrscheiben-Isolierglas sind Loch- und Schlitzsysteme geeignet, auch wenn durch Laborversuche nachweisbar ist, daß bei der Herstellung durch ein Schlitzprofil die Feuchtigkeit schneller aus dem Scheibenzwischenraum aufgenommen wird, als durch ein Lochprofil.

Lagerzeit der gefertigten Isolierglasscheiben bis zur Taupunktprüfung in Stunden	Lagerzeit der Abstandhalterrahmen bis zur Isolierglasfertigung in Stunden							
	0		3		6		16	
	Schlitzprofil	Lochprofil	Schlitzprofil	Lochprofil	Schlitzprofil	Lochprofil	Schlitzprofil	Lochprofil
2	-37°C	-32°C	-37°C	-32°C	-33°C	-24°C	-22°C	-16°C
3	-41°C	-36°C	-41°C	-36°C	-42°C	-26°C	-32°C	-23°C
24	-52°C	-47°C	-53°C	-43°C	-51°C	-40°C	-43°C	-38°C
96	-61°C	-53°C	-65°C	-54°C	—	—	—	—
120	—	—	—	—	-58°C	-49°C	-46°C	-44°C

Tabelle 2 Ergebnis der Messung des Taupunktes bei Schlitz- bzw. Lochprofilen [44]

Ein Abstandhalter hat aus Gründen der Fertigung dann eine ideale Öffnungsgröße, wenn die Wasserdampfbeladung des Trocknungsmittels nach 4 Stunden Lagerung 0,5 %, und nach 8 Stunden Lagerung 1 % Wasserdampfvorladung nicht übersteigt [45].

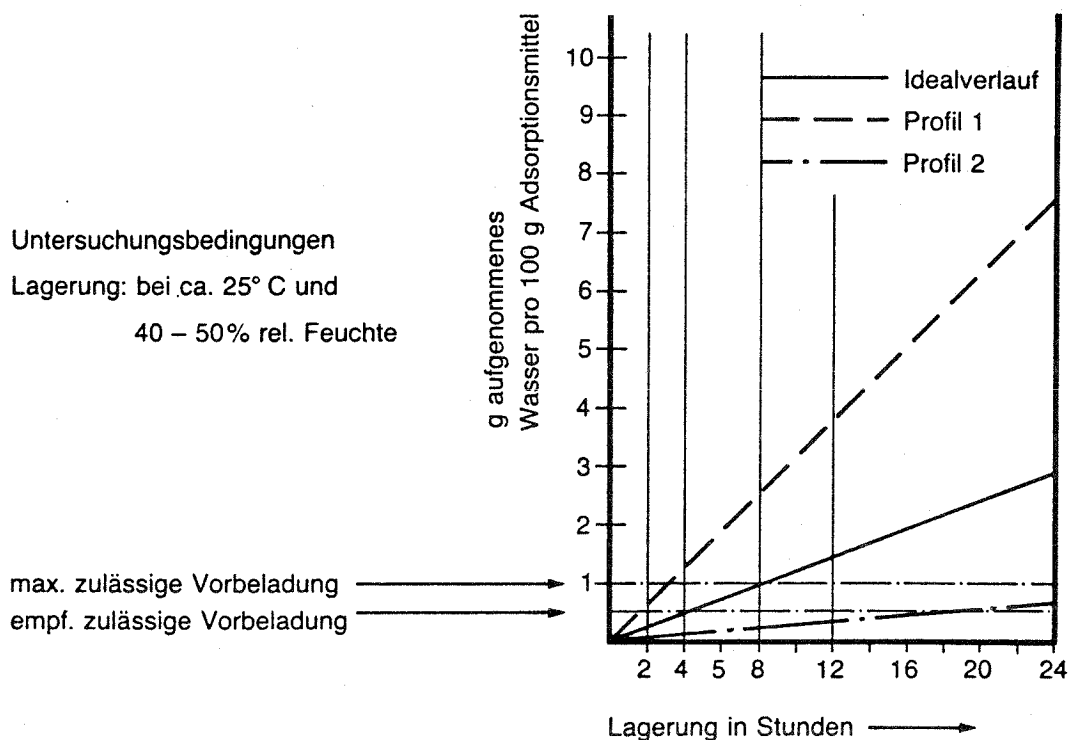


Bild 27 Wasseraufnahmegeschwindigkeit [45]

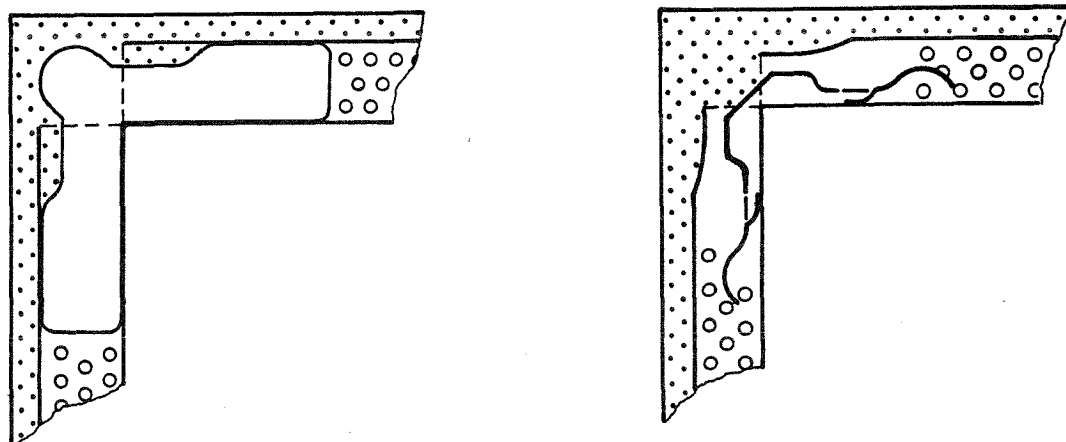


Bild 28 Beispiele von gesteckten Ecken

Der Abstandhalterrahmen wird durch Zusammenstecken der einzelnen Profilstücke mit Eckwinkeln gebildet. Die Eckausbildung sollte keine Verschlechterung der Wasserdampfdiffusionsdichte ergeben [46].

Die Eckverbindung des Abstandhalters ist mit vorgefertigten Eckwinkeln in gesteckter Form möglich, oder auf Gehrung mit z. B. Ultraschall-Lötung, wobei letzteres Verfahren aus Kostengründen nur geringe Marktanteile besitzt. Eckwinkel werden aus Kunststoff, Zink-Druckguß oder Aluminium und auch aus Stahlblech angeboten. Für die Auswahl des geeigneten Eckwinkels ist aus technischen Gründen die Materialfrage sekundär [46]. Wichtig ist, daß Eckwinkel, Eckabdichtung und Herstellungsverfahren aufeinander abgestimmt sind.

Eine weitere Variante der Eckausbildung ist das gebogene Profil [48]. Mit einer speziellen Biegemaschine können Abstandhalterprofile hergestellt werden. Der fertiggebogene Abstandhalterrahmen wird nach dem automatischen Füllen mit Trocknungsmittel an der Stoßstelle mit einem Geradenverbinder zusammengesteckt.

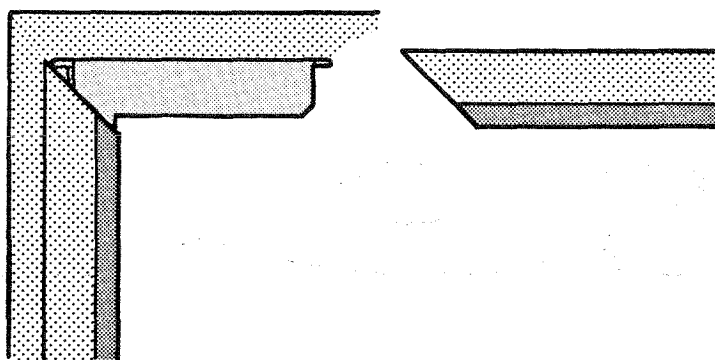


Bild 29 Beispiel einer gesteckten und geschweißten bzw. gelöteten Eckverbindung

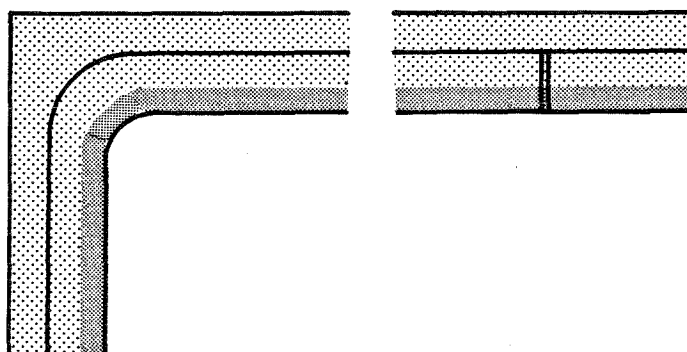


Bild 30 Beispiel einer gebogenen Eckverbindung

4.4 Trocknungsmittel

Die Aufgabe des Trocknungsmittels, welches in den Abstandhalter eingefüllt wird, ist die Bindung der Feuchtigkeit, die bei der Fertigung eingeschlossen wird, sowie die Adsorption der im Laufe der Zeit in den Scheibenzwischenraum eindiffundierten Wassermoleküle.

Als Trocknungsmittel werden Zeolithe (Molekularsieb), Kieselgele (Silikagele) oder Mischungen daraus für die Isolierglasherstellung angeboten.

	I Molekular- sieb	II Silikagel	III Mischgel
Chemischer Aufbau	Metallalu- minosilikat	Silizium- dioxid	Mischung aus I und II
Körper- struktur	kristallin	amorph	-
Lieferform	Kugeln	Kugeln oder Granulat	Kugeln und/oder Granulat
Adsorptions- vermögen in Gewicht % für H ₂ O	20 - 25 %	30 - 35 %	30 - 35 %
Porengröße in Å	3 4 10	20 - 100	4 - 100
geeignet für Lösungs- mittel	nein nein ja	ja	ja
geeignet für gasgefüllte Scheiben	ja ja nein	nein	nein

Tabelle 3 Art und Eigenschaften verschiedener Trocknungsmittel [44]

Der Vorteil der Molekularsiebe (synthetische Zeolithe) sind die einheitlichen innerkristallinen Hohlräume, welche durch Ionenaustausch erzielt werden (z. B. 3 Å, 4 Å, 10 Å). Silikagele oder aktivierte Tonerde haben dagegen ein breites Porenspektrum.

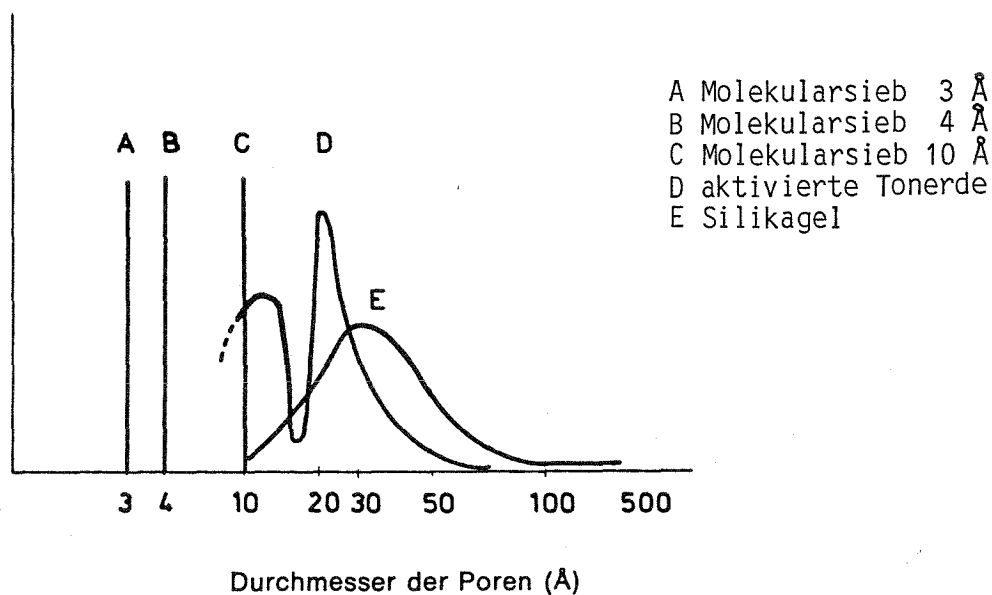


Bild 31 Darstellung der Porendurchmesser [47]

Da solche Moleküle adsorbiert werden, deren Durchmesser kleiner ist als der Porendurchmesser des Trocknungsmittels, ist durch die Wahl des Trocknungsmittels die Vorbestimmung der Bindung möglicher Bestandteile aus dem eingeschlossenen Gasvolumen abzuschätzen. In der Vergangenheit wurde deshalb der Einsatz von 3Å-Molekularsieb besonders empfohlen, um insbesondere die Bindung von Stickstoff aus der Luft zu vermeiden.

Diese unerwünschte Stickstoffbindung führt je nach Temperatur zu einer mehr oder weniger starken Volumenveränderung des eingeschlossenen Gases und damit zu Verformungen der Scheibenflächen, die sich mit Verformungen aus Klimaänderungen, wie im Abschnitt 5.2 beschrieben, überlagern.

Der Vorgang der Adsorption unter Einbeziehung des adsorbierten Moleküls, der Wechselwirkung des Adsorbats mit der Zeolithstruktur und anderer Faktoren (zwischenmolekulare Wechselwirkungen verschiedener Art) wurden untersucht und ausführlich in der Literatur beschrieben [38, 47, 49, 50, 51, 52].

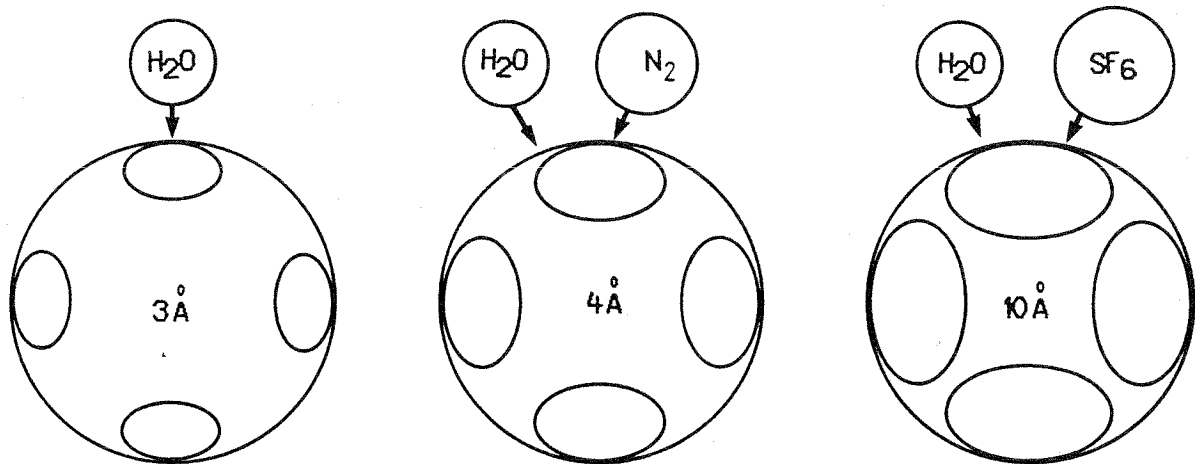


Bild 32 Adsorption von Gasen und Dämpfen an Molekularsieben mit verschiedenen Porendurchmessern [32]

Schwieriger ist das Adsorptionsverhalten des Trocknungsmittels bezüglich der eigentlichen Füllgase, also bezüglich Sauerstoff und Stickstoff oder eventueller Schwergase, quantitativ zu beurteilen. Molekularsiebe mit einer Porengröße von 4 Å oder größer sind in der Lage, neben Wassermolekülen auch die Moleküle dieser Gase, insbesondere auch Stickstoff, den Hauptbestandteil der Luft, zu adsorbieren. Da diese Adsorptionsgleichgewichte empfindlich von der Temperatur abhängen, muß bei niederen Temperaturen mit Adsorption, also zusätzlicher Druckerniedrigung im Scheibenzwischenraum, und bei höheren Temperaturen mit Desorption, also Druckerhöhung, gerechnet werden. Dieses Verhalten verstärkt die thermisch bedingten Druckänderungen und kann zu einer zusätzlichen Belastung der Isolierglaseinheit führen.

Die Stickstoffadsorptionskapazität von 4 Å-Molekularsieben hängt allerdings stark von der bereits vorhandenen Beladung mit Wasserdampf ab. Sie beträgt z. B. bei 3 % Vorbeladung nur noch 20 % des maximalen Wertes und sinkt schnell weiter ab [47]. In Bild 33 ist der Druck im Scheibenzwischenraum und die Verformung in Abhängigkeit von der Temperatur für ein 4 Å-Molekularsieb und ein 3 Å-Molekularsieb dargestellt. Die durchgezogene Linie entspricht dem theoretischen Verhalten ohne Berücksichtigung des Trocknungsmittels.

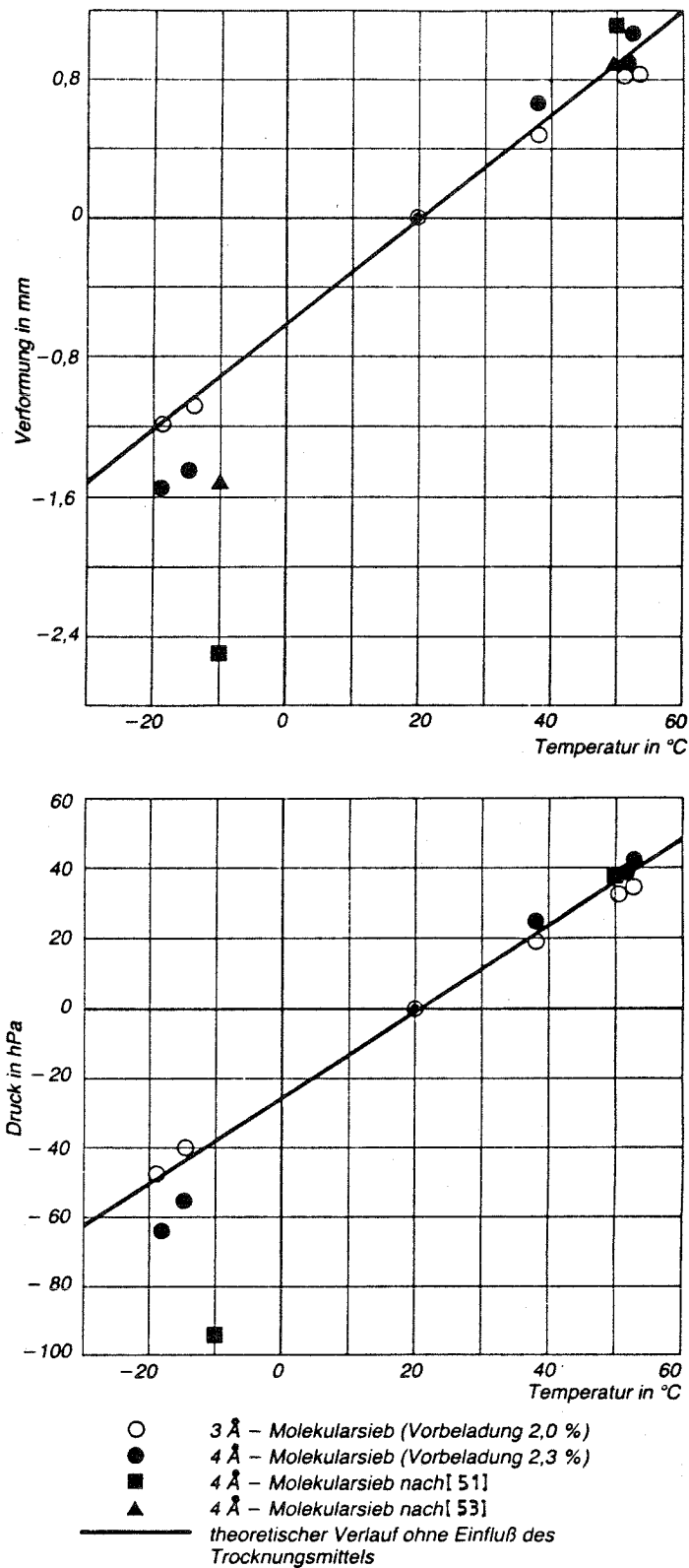


Bild 33 Verlauf von Druck und Verformung von Mehrscheiben-Isolierglas in Abhängigkeit der Temperatur.

Während die theoretische Kurve die Werte des 3A-Siebes sehr gut erklärt, weichen die Werte des 4A-Siebes bei niederen Temperaturen deutlich ab. Zum Vergleich sind die Ergebnisse von Rechnungen anderer Autoren [51, 53] mit eingetragen, die einen stärkeren Einfluß des 4A-Siebes erwarten lassen. Die Ursache hierfür liegt in den geringeren Vorbelastungen, die bei den zitierten Rechnungen zugrunde gelegt wurden.

Ob die in Bild 33 dargestellten Einflüsse nach [51] bei einer geringeren Beladung als bei den eigenen Versuchen festgestellt auftreten, wurde nicht geprüft. Die Beobachtungen in der Praxis zeigen, daß der Einfluß aus dem Trocknungsmittel nicht überbewertet werden darf. Er kann unter Umständen, wenn alle anderen Einflüsse sich ungünstig überlagern, den "Ausschlag" für eine berechtigte Reklamation geben.

4.5 Dichtstoffe

4.5.1 Allgemeines

Die Dichtstoffe zur Verbindung des Systems, mit den Aufgaben der Verklebung und der Randabdichtung, sind für die Nutzungserwartung von wesentlicher Bedeutung. Wenn man die Kosten in Relation zum Anteil an der Gebrauchstauglichkeit setzt, so ist in jedem Fall der Anteil an der Gebrauchstauglichkeit überproportional. Wenn die Entwicklung der letzten Jahre betrachtet wird, sind die häufigsten Änderungen bei allen eingesetzten Werkstoffen am Dichtstoff erfolgt. Man kann dies als positives Bemühen der Dichtstoffhersteller zur Sicherung der Qualität und zur Verbesserung der Nutzungserwartung sehen. Die Umkehr, daß wegen der schlechten Qualität der Dichtstoffe diese Entwicklung notwendig war, ist nicht gerechtfertigt.

An Werkstoffen für die Dichtung werden heute eingesetzt:

- für die innere Dichtung: - Butyl
- für die äußere Dichtung: - Polysulfid
 - Polyurethan
 - Silikon
 - Butyl Hot-melt

4.5.2 Die innere Dichtung

Die innere Dichtung aus Butyl, einem dauerplastischen Dichtstoff auf der Basis Polyisobutylen, wird durch Extrusion bei erhöhter Temperatur auf den Abstandhalter aufgebracht [46, 54]. Die Klebwirkung entsteht durch mechanisches Verankern auf dem Substrat [55]. Rocholl [36] führt die starke Bindung der adhäsierenden Stoffe auf Diffusionsvorgänge in der Grenzschicht zurück. Der Vorteil des Butyls liegt nach [56] in der sehr geringen Wasserdampfdiffusion, einer guten Alterungsstabilität. Die innere Dichtung wird bei der Herstellung als Montagehilfe genutzt. Nach Dilger [57] muß jedoch berücksichtigt werden, daß das Butyl wegen der zu geringen Eigenmaterialfestigkeit keinen Beitrag zur mechanischen Festigkeit des gesamten Randverbundes in der Anwendung leistet. Für die

Funktion der plastischen Dichtstoffe ist die Klebkraft auf Glas und Metall neben der Fogfreiheit und Wasserdampfdurchlässigkeit wichtig [36]. Für die Minderung der Wasserdampfdurchlässigkeit ist der gleichmäßige und ununterbrochene Auftrag, insbesondere im Eckbereich, erwünscht [46], wobei der Einfluß geringerer Unterbrechungen auf die Nutzungsdauer noch nicht untersucht ist.

4.5.3 Die äußere Dichtung

Für die äußere Dichtung von Mehrscheiben-Isolierglas werden Dichtstoffe eingesetzt, welche die Aufgabe übernehmen müssen, die Glastafeln zu verbinden (verkleben) und dem Randverbund einen dichten Abschluß zu geben [58]. Hockenberger zeigt in [59] auf, daß nur ein elastischer Randverbund für Mehrscheiben-Isolierglas geeignet ist, da starre und unelastische Verbundarten bei geklebten Systemen zu hohen Ausfall- bzw. Reklamationsquoten führen. Diese Feststellung kann auf glasverschweißte und gelötete Systeme nicht übertragen werden. Rocholl beurteilt die Qualität der elastischen Dichtstoffe nach der Verarbeitbarkeit, Reaktivität und der Funktionalität [36]. Auf ähnliche Bewertungskriterien verweist auch Zimmermann [60].

K R I T E R I E N

- die Verarbeitbarkeit
 - Viskosität
 - Fließverhalten
 - Standfestigkeit des Dichtstoffes in der Fuge
- der Reaktivität
 - Topfzeit oder Verarbeitungszeit
 - Härtingscharakteristik als Ausdruck des Shore-A-Härte-Anstieges
 - Zeit zur Ausbildung einer klebfreien Oberfläche
- der Funktionalität
 - End-Shore-A-Härte (nach 24 Stunden)
 - Elastizität (50 % und 100 %-Modul)
 - Reißdehnung (N/cm²)
 - Rückstellung (als % der Dehnung)
 - Haftung auf Glas und Aluminium bzw. verz. Stahl nach Raumlagerung und Alterung (UV trocken, UV naß)
 - Fog-Freiheit der Dichtstoffe
 - Wasserdampfdurchlässigkeit gemessen an Folien definierter Dicke

Tabelle 4 Qualitätskriterien für Isolierglas-Dichtstoffe [36]

Die Dichtstoffeigenschaften im Vergleich zeigt Henrich [32] auf. Nach Hockenberger werden in Europa 90 % der Randabdichtungen elastisch mit Thiokol hergestellt [59].

Materialeigenschaften:	Thiokol	Polymercaptan	Polyurethan	Silikon	Butyl Hot melt
Haftung an Substraten o. Belastung					
Glas nach 24 h/RT	gut	befriedigend	befriedigend	gut	gut
Metall nach 24 h/RT	gut	befriedigend	ausreichend	ausreichend	gut
Wasserbeständigkeit	gut	befriedigend	befriedigend	gut	ungenügend*)
Wasserdampfdurchlässigkeit g/m ² · d (ca. 3 m ²)	4-9	10-20	2	20-25	0,2
UV-Beständigkeit	gut	gut	befriedigend	gut	gut bis befriedigend
Elastizität	gummielastisch	gummielastisch	gummielastisch	gummielastisch	plastisch
Rückstellvermögen nach 24 h Belastung	gut	gut	gut	gut	schlecht
Scherfestigkeit (N/mm ²) (Belastungszeit 24 h)	0,30 gut	0,20 gut	0,30 gut	0,20 gut	< 0,07 schlecht
Verhalten bei tiefen Temperaturen (-25 °C)	elastisch	elastisch	elastisch	elastisch	Versprödung
Wärmebeständigkeit (+80 °C)	gut	gut	gut	gut	Erweichung
Gasdiffusionsdichte (Argon/SF 6)	befriedigend	?	?	schlecht	?
Verhalten gegen Kittöl/ Holzschutzmittel	sehr beständig	weniger beständig (Verhärtung)	weniger beständig, wird klebrig	beständig, aber starke Diffusion	Aufweichung
Praktische Erfahrung bezogen auf Europa	ca. 20 Jahre	ca. 2 Jahre	ca. 2 Jahre	ca. 10 Jahre	ca. 3 Jahre

*) Haftung basiert auf Benetzung, eine chemische Verbindung zum Substrat wird nicht erreicht. Daher ist bei Wassereinwirkung die Haftverbindung nur kurzfristig beständig.

Anmerkung: Die Prüfungen wurden meist in Anlehnung an DIN-Prüfmethoden durchgeführt.

Tabelle 5 Vergleich verschiedener Dichtstoffsysteme für die Randabdichtung [32]

Bergmann spricht von 25 Jahren Thiokol im Isolierglas [33]. Der chemische Aufbau des Polymers beschreibt Wilhelm [34], während Rocholl [36] die Theorie der Haftung und des Reaktionsmechanismus erläutert. Die Aushärtung bzw. Vernetzung erfolgt durch eine chemische Reaktion zwischen den aktiven Bestandteilen [61], deren Geschwindigkeit sehr stark von der Temperatur beeinflusst wird. Für die einwandfreie Funktion des Randverbundsystems sind bestimmte Mindestdichtstoffdicken erforderlich [46]. Über die notwendigen Mindestdicken bestehen bei den verschiedenen Herstellern unterschiedliche Auffassungen.

Die Anwendung der Hot-Melt-Systeme stellt eine Alternative zu den überwiegenden Systemen mit elastischen Dichtstoffen dar. Mehr als bei anderen Systemen nimmt bei den Hot-Melt-Systemen das Auftrags- und Fertigungsverfahren Einfluß auf die Gebrauchstauglichkeit[62, 63, 64]. Für die Nutzungsdauer dieses Systems ist darüberhinaus noch die Beachtung der von den Herstellern vorgegebenen Anwendungsgrenzen von Bedeutung.

5. Umgebungseinwirkungen auf das Mehrscheiben-Isolierglas

5.1 Allgemeines

Das Mehrscheiben-Isolierglas stellt mit dem Randverbund und dem eingeschlossenen Gasvolumen ein in sich geschlossenes System dar, welches auf Änderungen der Randbedingungen entsprechend reagiert. Im Gegensatz zu den sonstigen Doppelverglasungen ist die Trennung des eingeschlossenen Gasvolumens von der Umgebung Voraussetzung für die zugesicherten Eigenschaften. Beim Verbundfenster wird eine Verbindung des eingeschlossenen Luftvolumens mit der Umgebung zur Gewährleistung einer höchstmöglichen Sicherheit gegen Tauwasseranfall angestrebt [65]. Beim Verbundfenster ist also auch bei gebietsüblichen Klimaeinwirkungen vorübergehend mit Tauwasseranfall im Scheibenzwischenraum zu rechnen, ohne daß das System in seiner Funktionsfähigkeit beeinträchtigt wird. Beim Mehrscheiben-Isolierglas bedeutet Tauwasseranfall im Scheibenzwischenraum bei gebietsüblichen Klimaeinwirkungen das Ende des Nutzungszeitraumes. Aus diesen Voraussetzungen ergeben sich Beanspruchungen auf das System Mehrscheiben-Isolierglas, die nur zum Teil durch Beeinflussung der Randbedingungen ausgeschlossen oder gemindert werden können (Bild 34).

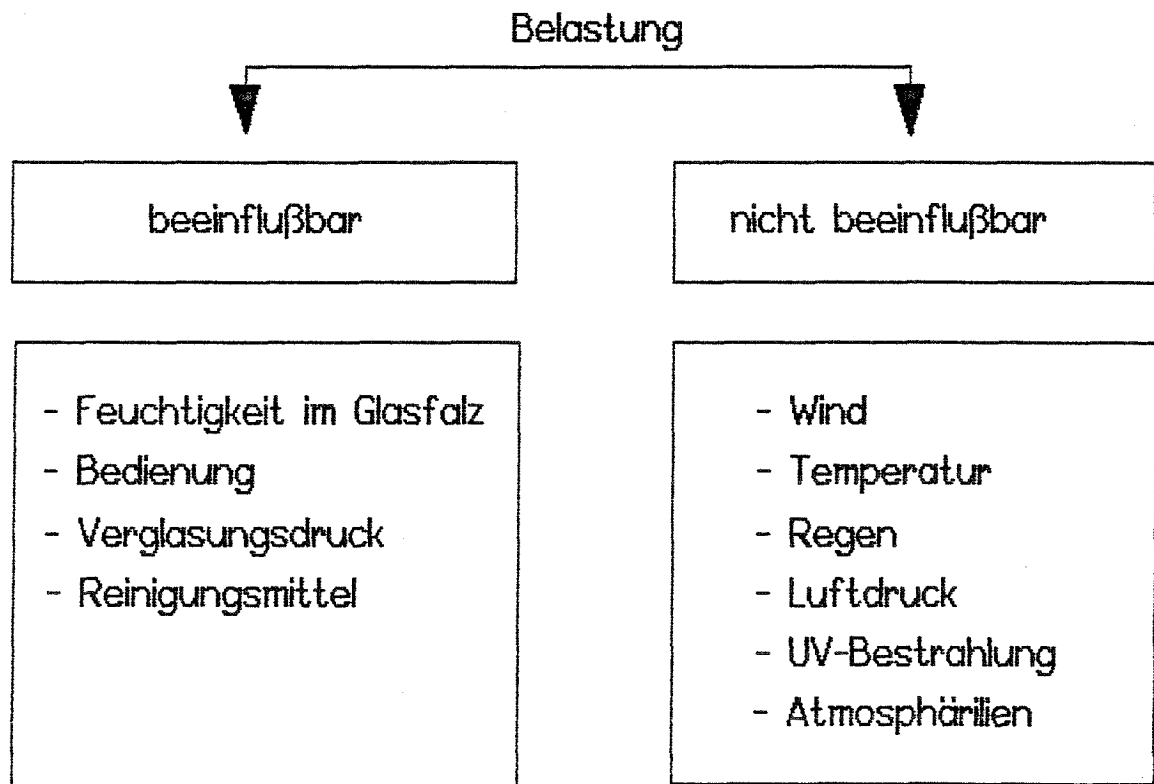


Bild 34 Unterteilung der Belastungen

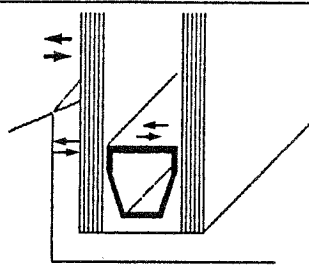
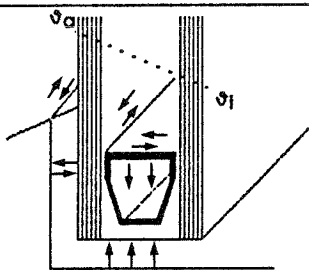
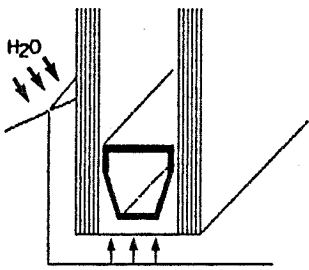
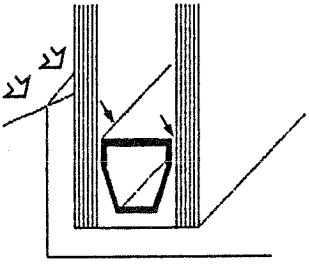
Belastung	Beanspruchung	Auswirkung
WIND	 <p>mechanische Beanspruchungen an Glasabdichtung und Randverbund</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Veränderung des Adhäsionsverhaltens zu den Haftflächen - Veränderungen vom Diffusionsverhalten des Dichtstoffes (Flächen, Widerstand, ...) - Veränderungen der physikalischen Eigenschaften des Dichtstoffes (Elastizität, ...)
TEMPERATUR	 <p>mechanische Beanspruchungen an Glasabdichtung und Randverbund der erhöhte Wasserdampfdruck bewirkt eine verstärkte Diffusion</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Veränderung des Adhäsionsverhaltens zu den Haftflächen - Veränderungen vom Diffusionsverhalten des Dichtstoffes (Flächen, Widerstand, ...) - Veränderungen der physikalischen Eigenschaften des Dichtstoffes (Elastizität, ...) - Veränderungen im chemischen Aufbau des Dichtstoffes (Lösen von Bindungen, ...)
REGEN bzw FEUCHTIGKEIT	 <p>die erhöhte Feuchtigkeitsbelastung bewirkt eine verstärkte Diffusion</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Veränderung des Adhäsionsverhaltens zu den Haftflächen - Veränderungen vom Diffusionsverhalten des Dichtstoffes (Flächen, Widerstand, ...) - Veränderungen der physikalischen Eigenschaften des Dichtstoffes (Elastizität, ...) - Veränderungen im chemischen Aufbau des Dichtstoffes (Lösen von Bindungen, ...)
UV	 <p>direkte Beanspruchung an der Glasabdichtung indirekte Beanspruchung am Randverbund</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Veränderung des Adhäsionsverhaltens zu den Haftflächen - Veränderungen im chemischen Aufbau des Dichtstoffes (Lösen von Bindungen, ...) - Veränderungen der physikalischen Eigenschaften des Dichtstoffes (Elastizität, ...)

Tabelle 6a Beanspruchungen und Auswirkungen auf den Randverbund

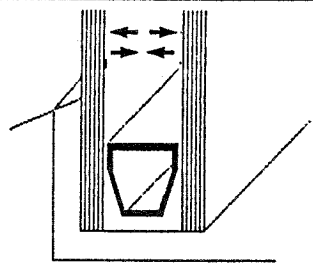
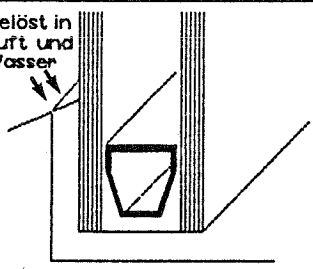
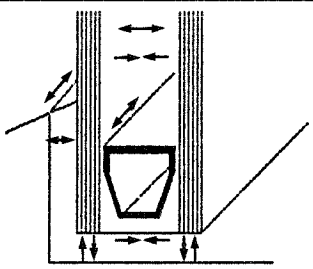
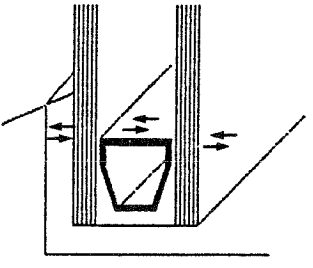
Belastung	Beanspruchung	Auswirkung
LUFTDRUCK (Wetterlage)	 <p>mechanische Beanspruchungen an Glasabdichtung und Randverbund</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Veränderung des Adhäsionsverhaltens zu den Haftflächen - Veränderungen vom Diffusionsverhalten des Dichtstoffes (Flächen, Widerstand, ...) - Veränderungen der physikalischen Eigenschaften des Dichtstoffes (Elastizität, ...)
ATMOSPHERIEN (zB. Ozon, Sauerstoff, Schwefeldioxid, Chlorwasserstoffe usw) REINIGUNGSMITTEL	 <p>gelöst in Luft und Wasser</p> <p>direkte Beanspruchung an der Glasabdichtung indirekte Beanspruchung am Randverbund</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Veränderung des Adhäsionsverhaltens zu den Haftflächen - Veränderungen im chemischen Aufbau des Dichtstoffes (Lösen von Bindungen, ...) - Veränderungen der physikalischen Eigenschaften des Dichtstoffes (Elastizität, ...) - Veränderungen im chemischen Aufbau des Dichtstoffes (Lösen von Bindungen, ...)
BEDIENUNG	 <p>mechanische Beanspruchungen an Glasabdichtung und Randverbund; undefinierte Vibrationsbewegungen f (Bedienung; Wartung usw)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Veränderung des Adhäsionsverhaltens zu den Haftflächen - Veränderungen vom Diffusionsverhalten des Dichtstoffes (Flächen, Widerstand, ...) - Veränderungen der physikalischen Eigenschaften des Dichtstoffes (Elastizität, ...)
VERGLASUNGSDRUCK	 <p>mechanische Beanspruchungen an Glasabdichtung und Randverbund</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Veränderung des Adhäsionsverhaltens zu den Haftflächen - Veränderungen vom Diffusionsverhalten des Dichtstoffes (Flächen, Widerstand, ...) - Veränderungen der physikalischen Eigenschaften des Dichtstoffes (Elastizität, ...)

Tabelle 6b Beanspruchungen und Auswirkungen auf den Randverbund

In den Tabelle 6a und 6b sind die wesentlichen Einwirkungen nochmals dargestellt und auf die Auswirkungen hingewiesen. Diese Einwirkungen treten in der Praxis überlagert auf, so daß es auch sinnvoll ist, sie in Gruppen zusammengefaßt zu betrachten. Dabei ergeben sich die Unterteilungen:

- aus der Beanspruchung durch das eingeschlossene Gasvolumen:
 - Luftdruck
 - Lufttemperatur
 - Wind

- aus der Beanspruchung durch Feuchtigkeitsbelastung und Klimabelastung des Randverbundes:
 - Feuchtigkeit im Glasfalz
 - Reinigungsmittel
 - UV-Einwirkung
 - Einwirkung von Atmosphärrillen

Die Beanspruchung aus Verglasungsdruck kann bei den derzeitigen Systemen als untergeordnet betrachtet werden, da der zur Abdichtung notwendige Anpreßdruck wesentlich unter dem liegt, der von den Herstellern als Grenzwert angegeben wird. Auch der Einfluß aus der Bedienung, d. h. der Nutzung der Fenster durch das Öffnen und Schließen der Flügel, ist bei ausreichender Bemessung der Rahmen von geringem Einfluß.

5.2 Belastung von Mehrscheiben-Isolierglas durch Änderung des atmosphärischen Druckes und Temperaturänderung

Ändert sich der atmosphärische Druck der Umgebung oder die Temperatur des Gases im Scheibenzwischenraum, so entsteht zwischen "außen" und "innen" der Isolierglasscheibe eine Druckdifferenz, die einer flächigen Belastung der einzelnen Glasscheibe entspricht. Die Theorie der Flächentragwerke zusammen mit den Gasgesetzen erlaubt es, das Verhalten einer Mehrscheiben-Isolierglaseinheit unter den verschiedensten Bedingungen zu berechnen.

Die Geometrie der Isolierglasscheibe und die verwendeten Symbole für die Abmessungen werden in Bild 35 erläutert.

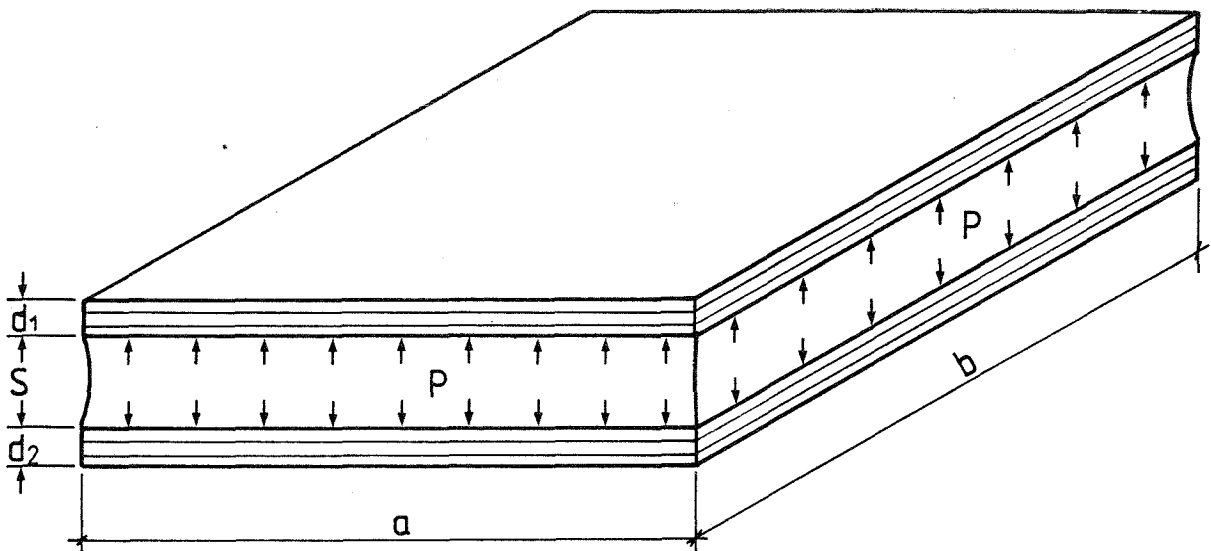


Bild 35 schematische Darstellung eines Mehrscheiben-Isolierglases
 a = kurze Kante
 b = lange Kante
 d_1 bzw. d_2 = Dicke der Glasscheiben
 s = Scheibenzwischenraum
 Der Scheibenaufbau wird im Text mit dem Symbol $d_1/s/d_2$ abgekürzt
 $e = a/b$ ist das Seitenverhältnis

Mit den elastischen Konstanten des Glases ($E = 70000 \text{ N/mm}^2$, $\mu = 0,22$) berechnet sich die Plattensteifigkeit K für die Glasscheibe der Dicke d :

$$K = \frac{E d^3}{12(1-\mu^2)}$$

Nimmt man frei drehbare starre Lager und eine konstante Flächenlast (p) an, so liefert die Plattentheorie für die maximale Durchbiegung (w), die maximale Spannung (σ) und die maximale Randkraft (q) folgende Beziehungen:

$$w = A_w p a^4 / K$$

$$\sigma = A_m p a^2 / d^2$$

$$q = A_q p a$$

Die Beiwerte A_w , A_m und A_q hängen vom Seitenverhältnis $e=a/b$ der Isolierglasscheibe ab. Sie sind in Tabelle 7 aufgeführt.

e	A_w	A_v	A_m	A_q
1.00	0.00406	0.00170	0.0442	0.432
0.90	0.00496	0.00208	0.0527	0.454
0.80	0.00603	0.00253	0.0628	0.474
0.70	0.00727	0.00307	0.0742	0.491
0.60	0.00867	0.00370	0.0869	0.505
0.50	0.01013	0.00440	0.0999	0.514
0.40	0.01150	0.00516	0.1119	0.518
0.30	0.01252	0.00595	0.1208	0.520

Tabelle 7 Beiwerte zur Berechnung der maximalen Durchbiegung (A_w), des Volumens (A_v), der maximalen Spannung (A_m) und der größten Auflagerkraft (A_q), abhängig vom Seitenverhältnis e

Mit dem ebenfalls in Tabelle 7 eingetragenen Volumenbeiwert A_v läßt sich ein "kritischer Druck" p^* definieren, der nur von der Geometrie der Isolierglasscheibe abhängt:

$$p^* = (s/a^4) \cdot (k/A_v)$$

Dabei ist $k = K_1 K_2 / (K_1 + K_2)$ die reduzierte Plattensteifigkeit.

Für eine ausführliche Darstellung der hier angegebenen Zusammenhänge siehe [68] und die dort zitierte Literatur.

Bei der Herstellung der Isolierglasscheibe wird ein bestimmtes Gasvolumen im Scheibenzwischenraum eingeschlossen. Die eingeschlossene Gasmenge und Gaszusammensetzung hängt dabei im wesentlichen vom Klima, also von Luftdruck und Temperatur sowie der Luftfeuchtigkeit im Produktionsraum ab.

Der im Scheibenzwischenraum vorhandene Wasserdampf (Luftfeuchte) wird in kurzer Zeit durch das Trocknungsmittel gebunden, so daß sich ein leichter Unterdruck im Scheibenzwischenraum ergibt. Das eingeschlossene Gas (Luft) wird durch diesen Druck (p_0) und die Temperatur (T_0) charakterisiert.

Die in Mitteleuropa möglichen Bedingungen bei Herstellung eines Mehrscheiben-Isolierglases und die Bedingungen am Einbauort sind in Tabelle 8 zusammengestellt. Aus Luftdruck und Ortshöhe des Einbauortes ergibt sich der Außendruck (p_a) und zusammen mit der Temperatur (T_i) im Scheibenzwischenraum läßt sich dann der Über- bzw. Unterdruck (p) im Scheibenzwischenraum am Einbauort berechnen:

$$p = \frac{p^*}{2} \left(\sqrt{\left(1 - \frac{p_a}{p^*}\right)^2 + 4 \frac{p_0}{p^*} \frac{T_i}{T_0}} - \left(1 + \frac{p_a}{p^*}\right) \right)$$

Die Ursachen des Druckaufbaues im Scheibenzwischenraum liegen also in einem veränderten Außendruck, in einer veränderten Innentemperatur und in dem Adsorptionsverhalten des Trocknungsmittels. Wie stark sich diese Veränderungen auswirken, wird durch den kritischen Druck p^* , also durch die Scheibengeometrie, bestimmt.

		Herstellungsort	Einbauort
Luftdruck (NN)	in hPa	940 - 1050	940 - 1050
Temperatur	in °C	10 - 30 (50)	- 20 - 50
rel. Luftfeuchtigkeit	in %	30 - 80	-
Wasserdampfpartialdruck	in hPa	4 - 32	-
Ortshöhe	in m	0 - 500	0 - 3000

Tabelle 8 Bereich der möglichen klimatischen Bedingungen am Herstellungsort und am Einsatzort.
Die in Klammern angegebene Produktionstemperatur von 50 °C ist nur bei Heißklebverfahren möglich.

Der kritische Druck p^* der Isolierglasscheibe ist mit dem atmosphärischen Außendruck p_a zu vergleichen. Dabei sind drei Fälle zu unterscheiden:

- p^* wesentlich größer p_a ,
- p^* wesentlich kleiner p_a ,
- p^* etwa gleich p_a .

a) $p^* \gg p_a$

Dieser Fall ergibt sich für eine kleine Kantenlänge und dicke Scheiben, z. B. trifft dieser Fall bei 4 mm Glasdicke für $a < 100$ mm zu. Die Gleichung für den Druck im Scheibenzwischenraum vereinfacht sich dann wie folgt:

$$p = p_a \left(\frac{T_i/T_0}{p_a/p_0} - 1 \right)$$

In diesem Bereich ist der Druck also unabhängig von der Kantenlänge. Die Scheiben sind so steif, daß sie keine Volumenänderung zulassen.

b) $p^* \ll p_a$

Dieser Fall ergibt sich bei großen Längen der kurzen Kante und bei dünnen Scheiben, z. B. bei 4 mm Glasdicke für a größer 600 mm. In dieser Näherung gilt für den Druck:

$$p = p^* \left(\frac{T_i/T_0}{p_a/p_0} - 1 \right)$$

Die Klimaänderung wird durch den gleichen Ausdruck wie schon im ersten Fall beschrieben. Allerdings ist der Druck linear zu p^* und damit von der Scheibengeometrie abhängig. Insbesondere ist er zur vierten Potenz der Länge der kurzen Kante umgekehrt proportional, fällt also mit zunehmender Scheibengröße stark ab.

c) $p^* \sim p_a$

Diesen Fall erhält man für eine für jeden Scheibenaufbau typische Kantenlänge a^* :

$$a^* = 4 \sqrt{\frac{s}{p_a} \frac{k}{A_v}}$$

Für übliche Mehrscheiben-Isoliergläser liegt diese Kantenlänge zwischen 200 mm und 800 mm je nach Glasdicke und Scheibenabstand. Für den Druck im Scheibenzwischenraum ergibt sich wieder ein einfacher Ausdruck:

$$p = p^* \left(\sqrt{\frac{T_i/T_0}{p_a/p_0}} - 1 \right)$$

Im Bild 36 ist der prinzipielle Verlauf des Druckes als Funktion der Länge der kurzen Kante für ein quadratisches und ein rechteckiges Scheibenformat dargestellt.

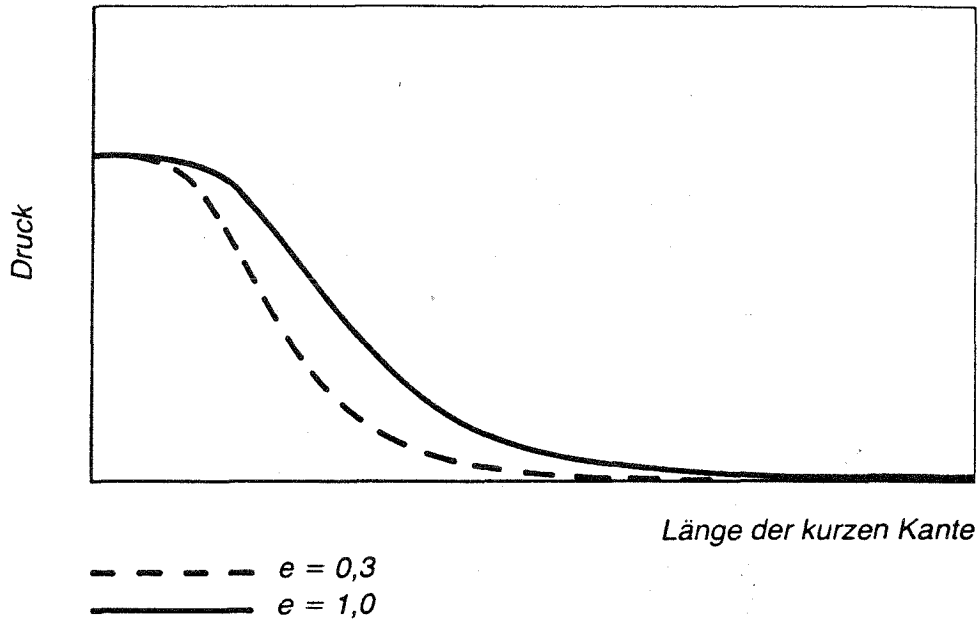


Bild 36 Prinzipieller Verlauf des Druckes in einer Isolierglasscheibe als Funktion der Länge der kurzen Kante für ein quadratisches Format ($e = 1,0$) und für ein Seitenverhältnis von $e = 0,3$

Die Formel für den Druck im Scheibenzwischenraum zusammen mit den Beziehungen aus der Plattenstatik erlaubt es nun, die interessierenden Größen Verformung, Spannung (Glasstreß) und Belastung des Randverbundes zu berechnen.

Die klimatischen Bedingungen am Einbauort und bei der Produktion unterliegen den natürlichen Schwankungen (Tabelle 8) und müssen als gegeben vorausgesetzt werden. Im Weiteren wurde deshalb bei allen Rechnungen die folgende klimatische Situation angenommen:

Herstellung:	Ortshöhe	100 m
	Druck	1030 hPa(NN)
	Temperatur	15 °C
	Luftfeuchtigkeit	30 %
	keine Adsorption des Füllgases (außer Wasseranteil) an das Trocknungsmittel	

Einbau:	Ortshöhe	400 m
	Druck	980 hPa(NN)
	Temperatur	30 °C

Die gewählten Bedingungen stellen realistische Werte dar, die im Einzelfall wesentlich ungünstiger sein können. Demzufolge sind die berechneten Verformungen, Spannungen usw. als Regelfall zu betrachten, die bei extremen Verhältnissen wesentlich überschritten werden können.

5.2.1 Durchbiegung in der Scheibenmitte

In Bild 37 ist diese Verformung in Abhängigkeit von der Länge der kurzen Kante für verschiedene Seitenverhältnisse für einen Scheibenaufbau 4/12/4 dargestellt. Ist die Kantenlänge sehr klein, so erfolgt praktisch keine Durchbiegung. Mit zunehmender Kantenlänge steigt die Verformung rasch an und wird dann praktisch konstant. Für große Scheiben mit $p^* \ll p_a \approx p_0$ läßt sich ein einfacher Ausdruck für die Verformung angeben:

$$w = s \frac{k}{K} \frac{A_W}{A_V} \left(\frac{T_i/T_0}{p_a/p_0} - 1 \right)$$

Die maximale Durchbiegung ist also proportional zum Scheibenzwischenraum s . Als zweiter Faktor tritt das Verhältnis der reduzierten Plattensteifigkeit zur Plattensteifigkeit der Einzelscheibe auf. Für den symmetrischen Scheibenaufbau ergibt sich ein Wert von 0,5. Besonders zu beachten ist hierbei, daß die Verformung für große Scheiben nicht von der Dicke der Einzelscheibe abhängt. Bei asymmetrischen Scheiben verformt sich die dicke Scheibe weniger, die dünnere Scheibe stärker. Im Extremfall einer sehr dicken Glasscheibe kombiniert mit einer dünnen Scheibe wird praktisch die gesamte Verformung durch die dünnere Scheibe getragen, die dann auch entsprechend stärker belastet wird.

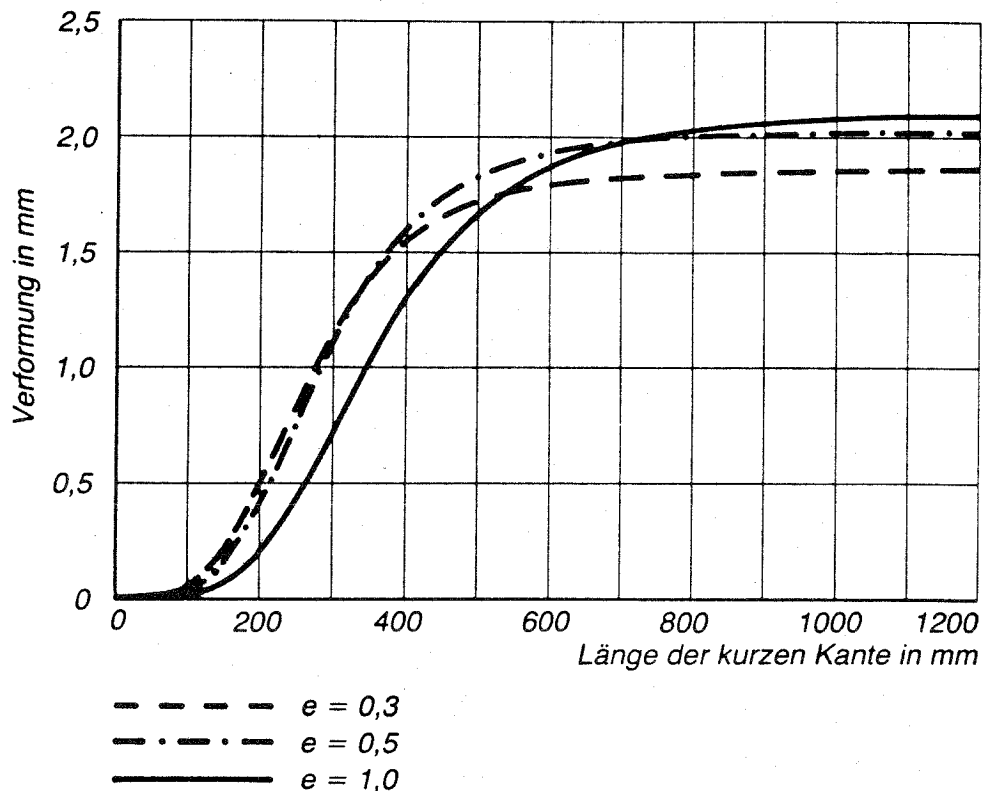


Bild 37 Verformung einer Isolierglasscheibe (4/12/4) als Funktion der Länge der kurzen Kante für ein Seitenverhältnis von $e = 1$, $e = 0,5$ und $e = 0,3$
 Herstellung: 1030 mbar, 15°C, 30 % rLF, 100 m Ortshöhe
 Einbauort: 980 mbar, 30°C, 400 m Ortshöhe

Das Verhältnis der statischen Beiwerte A_w/A_v verändert sich nur wenig. Für quadratische Scheiben ergibt sich der Wert 2,39; für ein Seitenverhältnis von 0,3 ergibt sich ein Wert von 2,10. Die Durchbiegung hängt also kaum vom Scheibenformat ab. Die entscheidende Größe für die Verformung großer Scheiben ist demnach der Scheibenzwischenraum.

5.2.2 Die maximale Biegespannung

In Bild 38 ist der Verlauf der Spannung unter den gleichen Voraussetzungen wie in Bild 37 gezeigt. Nach einem parabolischen Ansteigen der Spannung bei kleinen Kantenlängen zeigt sich ein ausgeprägtes Maximum zwischen 250 mm für ein Seitenverhältnis $e = 0,3$ und 350 mm für das Quadratformat ($e = 1,0$). Die größte Spannung tritt bei $e = 0,3$ auf. Am günstigsten ist das quadratische Format. Mit zunehmender Kantenlänge nimmt die Spannung wieder ab; gleichzeitig wird der Einfluß des Seitenverhältnisses geringer.

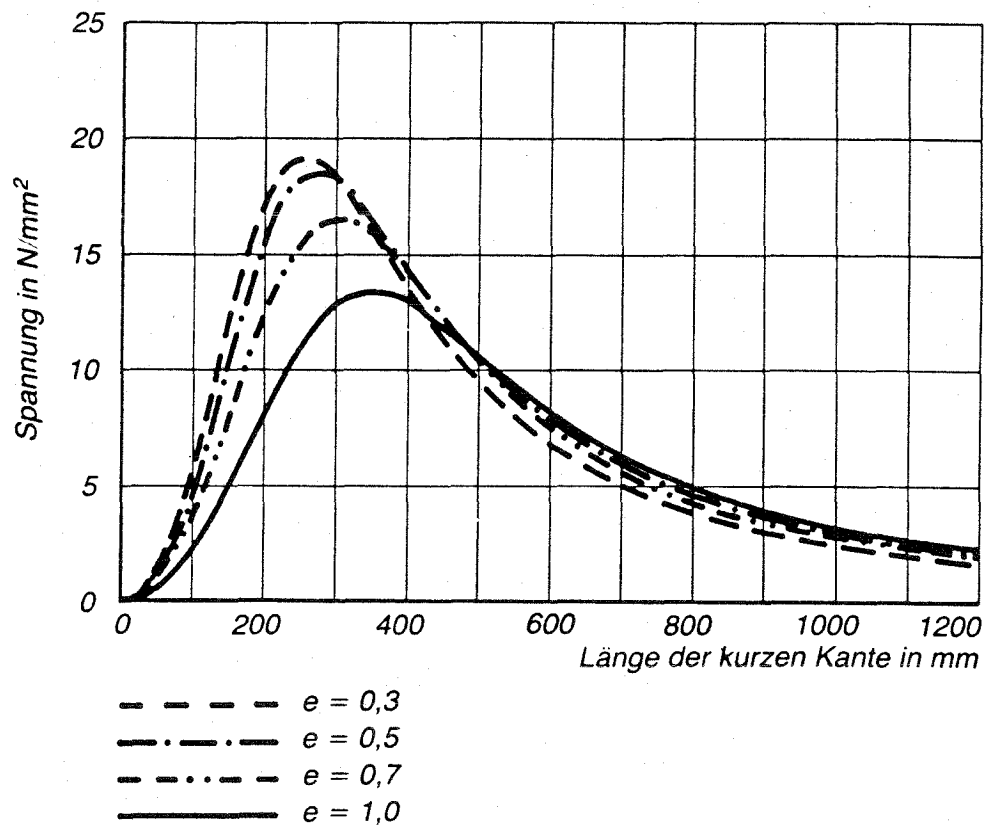


Bild 38 Biegespannung einer Isolierglasscheibe (4/12/4) als Funktion der Länge der kurzen Kante für ein Seitenverhältnis von $e = 1$, $e = 0,7$, $e = 0,5$ und $e = 0,3$

Vergleicht man diese Zahlenwerte mit der für Glas allgemein angenommenen zulässigen Biegespannung von 30 N/mm^2 so zeigt sich, daß bei den angenommenen normalen Bedingungen Scheibem mit ungünstigen Formaten die zulässige Spannung bereits zu mehr als 60 % ausschöpfen. Bei ungünstigen Fertigungs- und Einsatzbedingungen muß deshalb mit Schäden durch Glasbruch gerechnet werden.

Ist der Aufbau einer Isolierglasscheibe vorgegeben, so stellt sich die Frage nach dem ungünstigsten Scheibenformat. Läßt man das Seitenverhältnis zuerst konstant, so ist diese Frage mit der Lösung der Gleichung:

$$\left. \frac{d\sigma}{da} \right|_{e=\text{const}} = 0$$

verbunden. Diese Gleichung läßt sich geschlossen lösen und führt neben den trivialen Lösungen $a = 0$ und $a = \infty$ zu der Forderung:

$$p_a = p^*,$$

die für die kritische Kantenlänge a^* erfüllt ist. Für symmetrisch aufgebaute Scheiben mit 4 mm Glasdicke liegt a^* zwischen 200 mm und 500 mm; für 8 mm Glasdicke liegt a^* zwischen 400 mm und 800 mm, je nach Scheibenabstand und Scheibenformat. Für den Druck bei dieser Kantenlänge folgt dann:

$$\sigma_{\max} = \frac{6}{d^2} \sqrt{\text{sk} p_a \frac{A_m^2}{A_v}} \left(\sqrt{\frac{T_i/T_o}{p_a/p_o}} - 1 \right)$$

Das ungünstigste Seitenverhältnis ergibt sich $e = 0,34$. Dabei nimmt die Spannung ausgehend vom Quadrat, um fast 80 % zu. Die absolut ungünstige 4/12/4-Scheibe hat das Format 295 x 870 mm². Zu ähnlichen Ergebnissen kommt [69].

5.2.3 Die Belastung des Randverbundes

Unter den Voraussetzungen, die in Bild 37 und in Bild 38 gemacht werden, ist in Bild 39 die Abhängigkeit der Randlast von der Länge der kurzen Kante für verschiedene Seitenverhältnisse dargestellt. Es zeigt sich, daß auch hier die kleinen Formate mit Kantenlängen zwischen 200 mm und 400 mm besonders ungünstig sind. Bei diesen Formaten treten Randlasten über 1 N/mm auf, während große Scheiben wesentlich geringer belastet werden.

Bild 40 zeigt, daß die Belastung des Randverbundes beim Einsatz von dickeren Scheiben deutlich zunimmt. Dicke Scheiben, die das Glasbruchrisiko reduzieren, belasten also den Randverbund stärker.

Eine wesentliche Belastung des Randverbundes eines Mehrscheiben-Isolierglases ist somit das Abführen der Randlast bei Überdruck im Scheibenzwischenraum. Die Zugbeanspruchung des Dichtstoffes bei Überdruck ist meist mit hohen Temperaturen und eventuell mit hohem Wasserdampfpartialdruck im Glasfalz verbunden. Diese Bedingungen stellen extrem hohe Anforderungen an die Dichtheit des Randverbundes der Isolierglaseinheit.

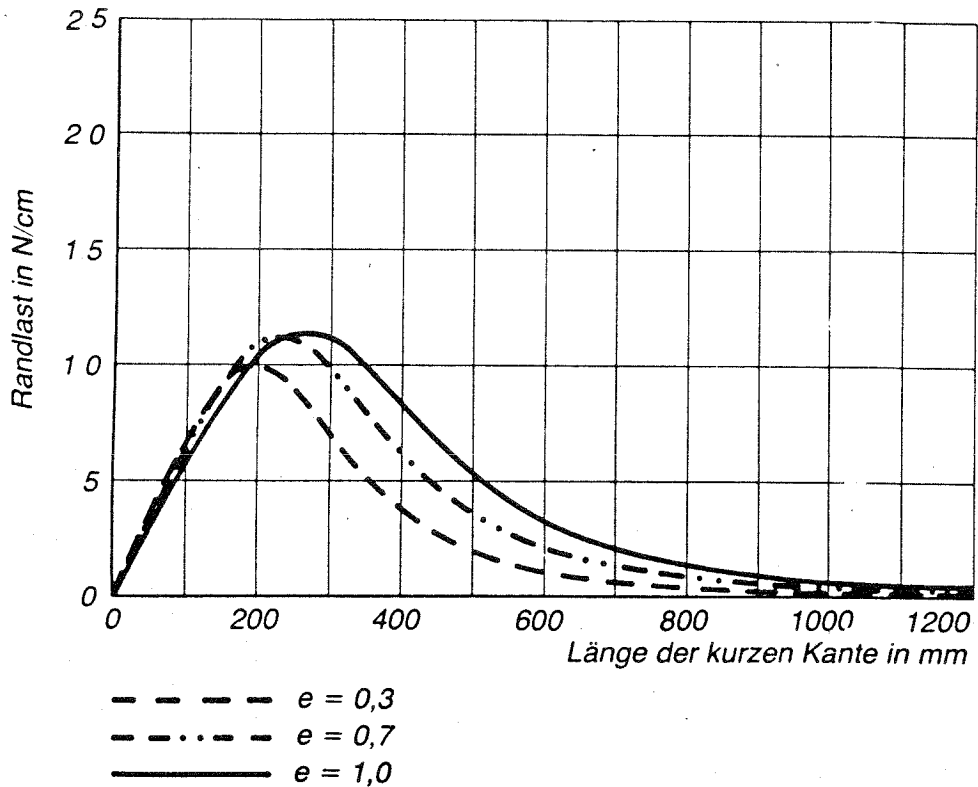


Bild 39

Die maximale Randstreckenlast einer Isolierglasscheibe (4/12/4) als Funktion der Länge der kurzen Kante für ein Seitenverhältnis von $e = 1$, $e = 0,7$ und $e = 0,3$

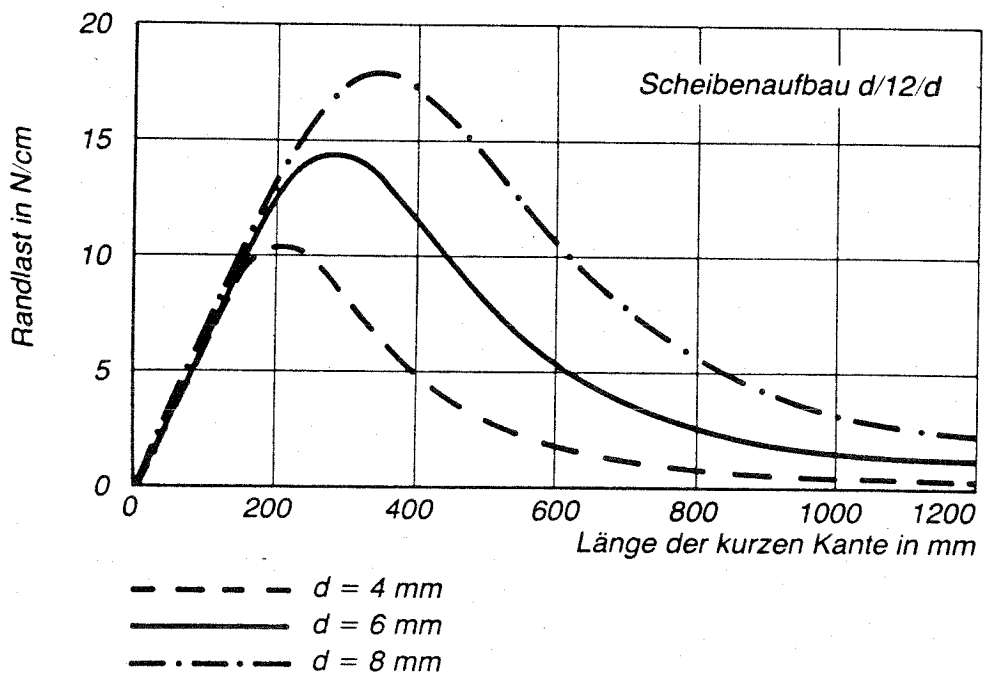


Bild 40

Randlast einer symmetrisch aufgebauten Isolierglasscheibe ($e = 0,7$) für verschiedene Glasdicken als Funktion der Länge der kurzen Kante

5.3 Beanspruchung des Randverbundes

Wenn von der Beanspruchung, die sich aus dem Gasvolumen im Scheibenzwischenraum ergibt, abgesehen wird, sind die wesentlichen Einflüsse auf die Nutzungserwartung des Mehrscheiben-Isolierglases die Einwirkungen aus der Umgebung, und hier insbesondere:

- Die Feuchtigkeitsbelastung auf den Randverbund, die zu einer erhöhten Diffusion von Wasser in den Scheibenzwischenraum führt und die Grenzfläche Glas/Dichtstoff beeinträchtigt.
- Die Belastung durch Reinigungsmittel, die wegen ihrer Aktivität im Grenzflächenbereich die Haftung des Dichtstoffes am Glas beeinträchtigen.
- Die Einwirkung von UV-Licht und sichtbarem Licht, welches die Alterung des Dichtstoffes beschleunigt und damit die Diffusionsfähigkeit und die Haftung beeinflusst.
- Die Einwirkungen aus Atmosphäriken, die ebenfalls an den Grenzflächen die Haftung zwischen Glas und Dichtstoff beeinträchtigen.

Hinzu kommt noch die Wärme, welche die Vorgänge beschleunigt, wobei sich die überlagerten Einwirkungen ebenfalls ungünstig auswirken können. Insbesondere bei Kunststoffen, und als solche sind die Dichtstoffe zu bezeichnen, wirkt die Kombination von manchen Klimafaktoren einander entgegen, d. h. die schädigende Wirkung wird gemindert. In der Regel kann aber bei den Einflüssen auf den Randverbund davon ausgegangen werden, daß die Kombination der Einflüsse die schädigende Wirkung erhöht [66]. Dies gilt insbesondere auch für die hydrolisierende Wirkung von Kondensat bei den bisher verwendeten Kittungen (plastische Dichtstoffe), bei denen in Verbindung mit Wasser Fettsäuren entstehen [67]. Das Wasser selbst greift die Silanbindeschicht zwischen Dichtstoff und Glasfläche an. Zusätzlich findet eine Alkaliauslagerung an der Glasoberfläche statt, die die Reaktion am Silan noch verstärkt. Durch die Zersetzungsprodukte der Dichtstoffe verkürzt sich die Reaktionszeit auf etwa die Hälfte im Vergleich zur Einwirkung aus Wasser. Alle diese Vorgänge werden durch erhöhte Temperaturen z. B. aus Sonneneinstrahlung oder fensternahen Wärmequellen beschleunigt.

Im Gegensatz zur Beanspruchung aus dem eingeschlossenen Gasvolumen ist eine Abschätzung der Belastung schwierig. Allgemein muß angestrebt werden, daß der Randverbund durch Feuchtigkeit, Atmosphäriken und UV-Strahlung nicht beeinträchtigt wird.

6. Normen und Richtlinien

6.1 Allgemeines

Die Entwicklung von Normen und Richtlinien für die Verglasung und für Mehrscheiben-Isolierglas läuft entgegengesetzt zu den allgemeinen Bemühungen, den Umfang der Technischen Regelwerke zu reduzieren. Will man diese Feststellung werten, dann muß man die technische Entwicklung betrachten. Sie hat in den letzten 10 Jahren einen sehr starken Aufschwung genommen und ist auch heute noch nicht abgeschlossen. Der Beginn der Normungsarbeiten fällt zusammen mit dem Beginn dieses Aufschwunges und konnte in den für den Praktiker notwendigen Normen und Richtlinien erst jetzt zum Teil abgeschlossen werden. Der Begriff des "Nachholbedarfes" zur Beschreibung der Qualität ist deshalb in diesem Zusammenhang angebracht.

Die wichtigsten Normen für Mehrscheiben-Isolierglas, die im wesentlichen auf den Randverbund und die Überprüfung der Tauwasserfreiheit eingehen, sind nachfolgend zusammengestellt, wobei auch die internationalen Normen aufgeführt sind.

Deutschland

- DIN 1286 Teil 1, Mehrscheiben-Isolierglas, luftgefüllt Zeitstandverhalten, Überwachung
- DIN 52 344, Klimawechselprüfung an Mehrscheiben-Isolierglas (Mai 84)
- DIN 52 345, Bestimmung der Taupunkttemperatur am Mehrscheiben-Isolierglas (April 80)
- DIN 52 294, Bestimmung der Beladung von Trocknungsmitteln in Mehrscheiben-Isolierglas (November 83)
- DIN 52 293, Prüfung der Gasdichtheit von gasgefülltem Mehrscheiben-Isolierglas (Oktober 82)

USA

- ASTM E6 P1 bis P3 Test methods for Insulating Glass
- ASTM E 546
- ASTM E 576
- Sigma Specification for Sealed Insulating Glass Units No.-65-7-2

Canada

- CAN 2 - 12.8 - M76 Insulation Glass Units

Italien

- UNI 7171, Vetri uniti al perimetro

Niederlande

- NEN 3567 Glass in building; Insulating Glass; Requirements and methods of test
- VDBW 81 Beglazingsvoorschrift (Juli 81)

Großbritannien

- BS 5713/79 Specification for hermetically sealed flat double glazing units

Frankreich

- AFNOR P 78-451 Vitrages isolants; Essais de Resistance a la Penetration de l humidete (April 80)

Norwegen

- NBI-119/80E Sealed glazing units; Resistance to accelerated climatic strains

Schweden

- SIS 224410 Flat glass. Determination of cleanness for sealed glazing units (1977)
- SIS 224411 Flat glass. Determination of dew point for sealed glazing units (1977)
- SIS 224412 Flat glass. Determination of air tightness for sealed glazing units (1977)
- SIS 224413 Flat glass. Determination of the ability of sealed glazing units to resist accelerated climatic strains (1977)

Schweiz

- Isolierglas anwendungstechnische Vorschrift Nr. 01 und Nr. 02 Schweizerisches Institut für Glas am Bau (1980)

Zu ergänzen ist die Aufstellung noch durch

- die RAL-Güte- und Prüfbestimmungen für Mehrscheiben-Isolierglas, und
- die Richtlinien der UEAtc für Mehrscheiben-Isolierglas (Entwurf).

Bezüglich der Anforderungen wird in diesen Unterlagen auf bestehende Normen zurückgegriffen. Ansonsten sind sowohl in den RAL-Güte- und Prüfbestimmungen als auch in den Richtlinien der UEAtc weitergehende Qualitätsmerkmale beschrieben und ihre Bewertung festgelegt. Für das Glas selbst haben sich die beteiligten Verkehrskreise geeinigt auf

- die Richtlinie zur Beurteilung der visuellen Qualität von Mehrscheiben-Isolierglas aus Spiegelglas, herausgegeben vom Institut des Glaserhandwerks, Hadamar.

Für den Bereich der Verglasung und Glasabdichtung gelten die nachstehenden Normen:

- DIN 18 545 Teil 1 Abdichten von Verglasungen mit Dichtstoffen; Anforderungen an Glasfalze
- DIN 18 545 Teil 2 Abdichten von Verglasungen mit Dichtstoffen; Dichtstoffe - Bezeichnung, Anforderungen, Prüfung
- DIN 18 545 Teil 3 Abdichten von Verglasungen mit Dichtstoffen; Verglasungssysteme
- DIN 18 361 Verglasungsarbeiten; VOB Verdingungsordnung für Bauleistungen - Teil C: Allgemeine Technische Vorschriften für Bauleistungen
- DIN 7863 Nichtzellige Elastomer-Dichtprofile im Fenster- und Fassadenbau; Technische Lieferbedingungen

Es handelt sich hier um Anforderungs- oder Ausführungsnormen, in denen auf die notwendigen Prüfnormen verwiesen wird. Als Richtlinien sind darüber hinaus zu nennen, die

- Tabelle "Beanspruchungsgruppen zur Verglasung von Fenstern", herausgegeben vom Institut für Fenstertechnik e.V., Rosenheim,
- Richtlinie "Verglasung von Holzfenster ohne Vorlegeband", herausgegeben vom Institut für Fenstertechnik e.V., Rosenheim,
- Informationsschriften des Bundesinnungsverbandes des Glaserhandwerks.

Weiter sind zu beachten die

- Verarbeitungsrichtlinien der Hersteller von Mehrscheiben-Isolierglas.

6.2 Mehrscheiben-Isolierglas

DIN 1286 ist bisher in zwei Teilen erarbeitet worden, und zwar in:

- DIN 1286 Teil 1 Mehrscheiben-Isolierglas; luftgefüllt -
Zeitstandverhalten, Überwachung
- DIN 1286 Teil 2 Mehrscheiben-Isolierglas; gasgefüllt -
Zeitstandverhalten - Toleranz der Gaskonzentration -
Überwachung

Teil 2 der DIN 1286 liegt zur Zeit nur als Manuskript vor. Eine eingehende Diskussion dieses Teiles erscheint nicht sinnvoll, da im Rahmen der vorliegenden Arbeit die Fragen der Gasfüllung nicht behandelt wurden, und da zu erwarten ist, daß der derzeit vorgesehene Prüfaufwand nicht in die Endfassung der Norm übernommen wird. Gerechtfertigt ist der Aufwand nur für Entwicklungsprüfungen.

Im Teil 1 der Norm wird neben der Bezeichnung und Überwachung auch folgendes geregelt:

- Anforderungen an
 - Taupunkttemperaturen der Luft im Scheibenzwischenraum
 - Beladung des Trocknungsmittels zu Beginn der Prüfung und die Zunahme der Beladung durch die Prüfung
- Probenanzahl und Abmessung unter Hinweis auf DIN 52 344
- Prüfung der
 - Taupunkttemperatur nach DIN 52 345
 - Beladung nach DIN 52 294
 - Klimawechselbeanspruchung nach DIN 52 344

Bei einer Probenabmessung von 35 cm/50 cm und 12 mm Scheibenzwischenraum ergibt sich, wie Bild 41 zeigt, aufgrund von Änderungen der Umgebungseinflüsse aus Luftdruck und Temperatur für das System des Randverbundes eine sehr hohe Belastung, die auch bei größeren Scheiben durch andere Einwirkungen, wie z. B. Wind, über einen längeren Zeitraum nicht erreicht werden kann.

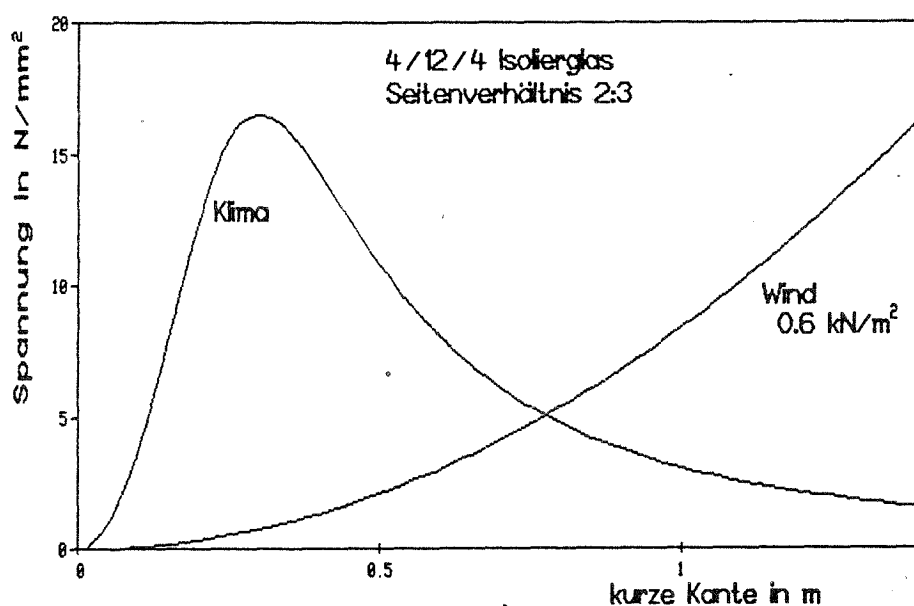


Bild 41 Verlauf der Spannung in Glasmitte in Abhängigkeit der Kantenlänge

Die Bewertung der gemessenen Taupunkttemperaturen und der Beladung der Trocknungsmittel bedarf einer Erläuterung. Der unmittelbare Maßstab für die Bewertung der Gebrauchstauglichkeit einer Scheibe ist die Taupunkttemperatur, wenn man die Tauwasserfreiheit im Scheibenzwischenraum als wesentliches Kriterium nimmt. Die Taupunkttemperatur ist aber nur eine Momentaufnahme aus der man, wenn das Trocknungsmittel und dessen Eigenschaften sowie die Randbedingungen bei der Bestimmung bekannt sind, Schlüsse ziehen kann. Die Bewertung der Ergebnisse setzt die entsprechende Kenntnis voraus. Ohne diese Kenntnis kann nur eine Unterscheidung in gut und schlecht getroffen werden.

Im Gegensatz zur Taupunkttemperatur-Messung hat das Verfahren zur Bestimmung der Beladung des Trocknungsmittels den Nachteil, daß durch die Trocknungsmittelentnahme der Randverbund des Mehrscheiben-Isolierglases zerstört werden muß. Die Zunahme der Beladung über die Zeit bei definierten Verhältnissen, wie dies z. B. bei einer Laborprüfung der Fall ist, läßt die Bewertung des Systems zu.

Bild 42 zeigt Zusammenhänge zwischen Taupunkttemperatur und Wasseraufnahme von Kieselgel und Zeolith, und läßt die Problematik der Interpretation von Ergebnissen der Taupunktmessung erkennen.

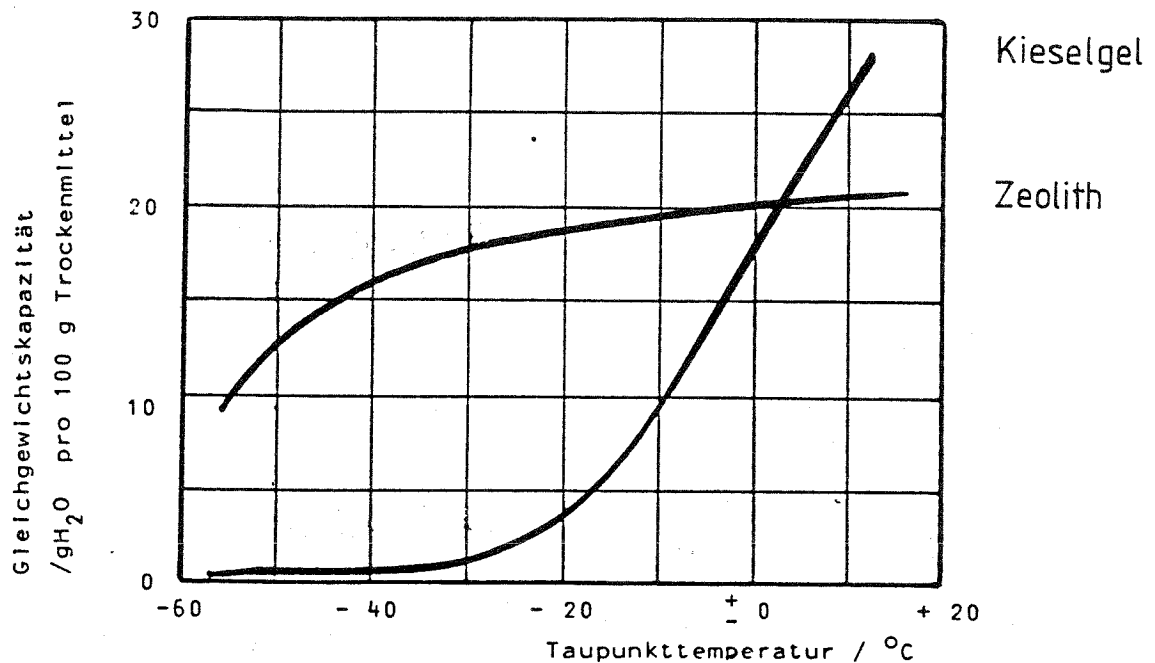


Bild 42 Wasseraufnahmevermögen in Abhängigkeit des Taupunktes für Kieselgel und Zeolith [40]

Der Ablauf der Klimawechselprüfung nach Bild 43 zeigt einen Prüfzyklus nach DIN 52 344. Für die Prüfung nach DIN 1286 Teil 1 wird dieser Prüfzyklus zweimal ohne Unterbrechung wiederholt. Die in DIN 1286 Teil 1 vorgeschriebene Prüfung erstreckt sich somit über 12 Wochen und hat folgende Beanspruchungsgrößen:

- Feuchtigkeitsbelastung bei hohen Temperaturen,
- Belastung bei niedrigen Temperaturen,
- Belastung durch Einwirkung von UV-Licht.

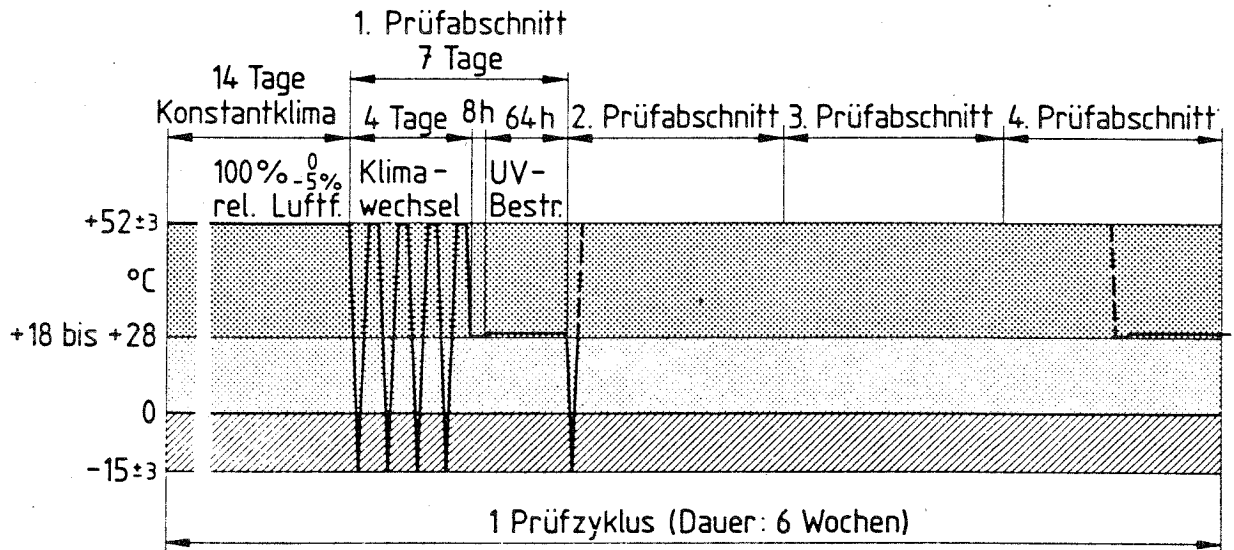


Bild 43 Temperatur-Zeit-Diagramm für einen Prüfzyklus nach DIN 52 344

In diesem Prüfprogramm sind die bisherigen nationalen und internationalen Erfahrungen ausgewertet, wobei es notwendig ist, nach weiteren Erfahrungen das Programm nochmals zu überdenken. Insbesondere stellt sich die Frage, welchen Einfluß die Belastung bei niedrigen Temperaturen auf das Prüfergebnis hat.

Der Vergleich der Prüfzeiten zwischen DIN 52 344 mit Prüfungen anderer Länder zeigt beträchtliche Unterschiede in der Verweilzeit bei hoher Temperatur und Luftdurchlässigkeit.

Prüfungsart	Deutschland DIN 52 344	Frankreich	Italien UNI 7171	Nieder- lande NEN3567	Belgien STS 38	UEAtc Vorschlag	England BSI 5713	SIGMA ASTM E6
1 <u>Konstantklima</u> Temperatur Feuchtigkeit UV-Strahlung Zeitdauer	52 °C 95 % - 4 w	60 °C 95 % 40 W 2x2 w	20 °C 40 W 2 w	- - - -	- - - -	55 °C 95 % 40 W 2 w	- - - -	60 °C 95 % - 2 w
2 Wechselklima sym. Belastung Hohe Temperatur Tiefe Temperatur Zeitdauer UV-Strahlung	52 °C -15 °C 8x4d 8 x 64 ^h	50 °C -15 °C 6x2 w -	-60 °C -20 °C 4 w	55 °C -10 °C 5,5 w	55 °C -10 °C 5,5 w	50 °C -15 °C Nx2 w	55 °C 25 °C 4 w	--
3 Wechselklima asym. Belastung Hohe Temperatur Tiefe Temperatur UV-Strahlung Zeitdauer	-	-	-	-	-	-	52 °C -15 °C - 8,5 w	57 °C -20 °C 40 W 8 w
Gesamtprüfzeit Zyklenzahl Verweilzeit bei hoher Temp. und hoher Luftfeuchte	12 w 32 1216 h	16 w 236 900 h	6 w 28 392 h	5,5 w 152 470 h	5,5 w 224 470 h	-	- 548 h	10 w

Tabelle 9 Vergleich der Beanspruchung durch genormte Prüfverfahren[70]

6.3 Verglasung

Daß Normen nicht die einzige, sondern eine Erkenntnisquelle für technisch ordnungsgemäßes Verhalten im Regelfall sind, sollte auch bei der Verglasung beachtet werden. Vor allem neuere Entwicklungen sind durch Normen nicht erfaßt, da sie u. U. zum Zeitpunkt der Erarbeitung der jeweiligen Norm noch nicht normungswürdig waren. Deshalb ergänzen sich auch im Bereich der Verglasung Normen und Richtlinien. Bei neuen Verglasungstechniken sind aber auch Widersprüche zwischen Regelwerken und Herstellerangaben nicht zu vermeiden.

VOB DIN 18 361 Verglasungsarbeiten

Als Bestandteil der VOB regelt DIN 18 361 vor allem die vertraglichen Grundlagen für Bauleistungen einschließlich der Abgrenzung von Nebenleistungen und der Regelung für das Aufmaß. Die technischen Inhalte der Norm werden, so weit es möglich ist, durch Verweise auf andere Normen geregelt. Diese Entwicklung ist zu begrüßen, da sonst die Gefahr besteht, daß die Normen der VOB nicht den Stand der Technik wiedergeben. Wesentlich ist u. a. der Verweis in Abschnitt 3.1.5 auf Vorschriften der Hersteller bei Verwendung bestimmter Produkte.

DIN 18 545 Abdichten von Verglasungen mit Dichtstoffen

Diese Norm besteht aus drei Teilen und regelt die technischen Grundlagen für die Verglasung von Fenstern. Hier sind auch allgemeingültige Aussagen aus den Einbaurichtlinien der Isolierglashersteller übernommen.

Im Teil 1 der Norm sind die konstruktiven Voraussetzungen am Rahmen, die für eine funktionsfähige Verglasung notwendig sind, festgelegt. Diese Voraussetzungen müssen vom Fensterhersteller geschaffen werden. Der Glaser kann bei der Ausführung der Verglasungsarbeiten nur noch prüfen, ob die notwendigen Voraussetzungen gegeben sind.

Im Teil 2 sind die notwendigen Prüfungen der Eigenschaften der Dichtstoffe zusammengestellt, die für eine gebrauchstaugliche Verglasung erforderlich sind. Durch die Festlegung von Grenzwerten ist eine Abstufung der Dichtstoffe gegeben. Die Norm unterscheidet in Dichtstoffgruppen A, B, C, D und E, ohne daß die Begriffe "plastisch" und "elastisch" gebraucht werden. Wesentlich ist auch die Feststellung, daß die Dichtstoffgruppe A im Vergleich zur Dichtstoffgruppe E keinen Dichtstoff minderer Qualität beschreibt, sondern einen Dichtstoff mit anderen Eigenschaften. Daß nicht alle im Fensterbau eingesetzten Dichtstoffe nach der Norm geprüft werden können, darf nicht zur Aussage führen, daß diese Dichtstoffe ungeeignet sind.

Für den ausführenden Glaser bringt der Teil 3 der Norm wichtige Informationen, da in dieser Norm, unter Hinweis auf die Tabelle des Instituts für Fenstertechnik e.V., Rosenheim, "Beanspruchungsgruppen zur Verglasung von Fenstern", die Anwendungsbereiche für die Dichtstoffgruppen A bis E abgegrenzt sind.

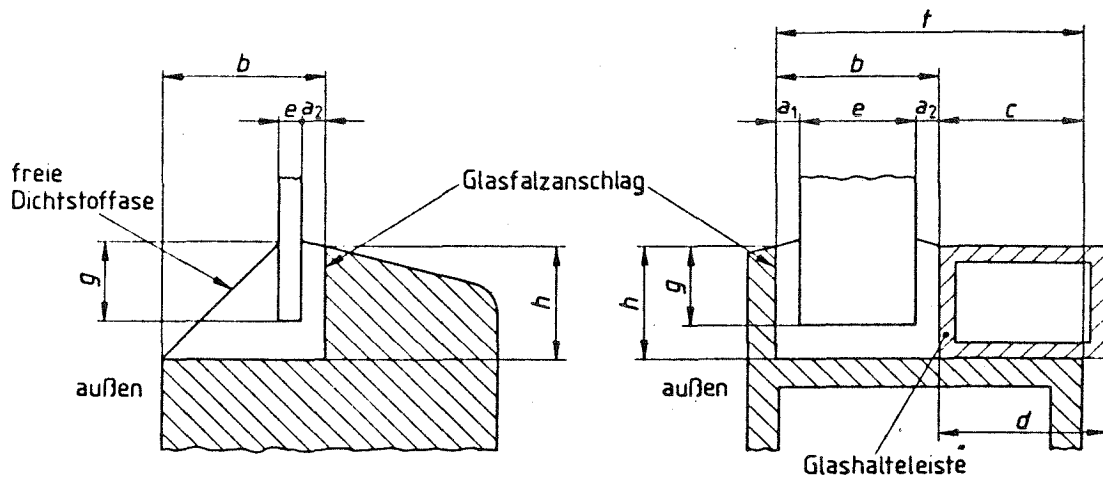
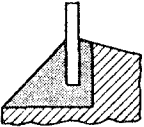
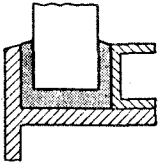
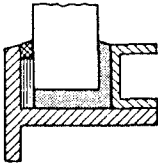
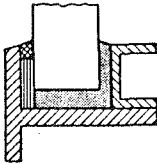
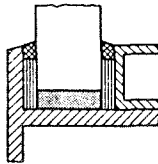
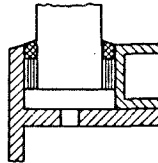
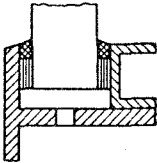
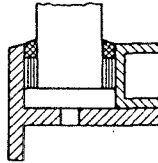





Bild 44 Glasfalzabmessungen (Auszug aus DIN 18 545 Teil 1)

Längste Seite der Verglasungseinheit cm	Glasfalzhöhe bei	
	Einfachglas h mm min.	Mehrscheiben- Isolierglas h mm min.
bis 100	10	18
über 100 bis 250	12	18
über 250 bis 400	15	20

Tabelle 10 Glasfalzhöhen (Auszug aus DIN 18 545 Teil 1)

Tabelle 11 Verglasungssysteme (Auszug aus DIN 18 545 Teil 3)

Beanspruchungsgruppe ¹⁾		1	2	3	4	5
Verglasungssysteme mit ausgefülltem Falzraum						
Kurzzeichen		Va1	Va2	Va3	Va4	Va5
Schematische Darstellung						
Dichtstoffgruppe nach DIN 18 545 Teil 2	für Falzraum	A ²⁾	B	B	B	B
	für Versiegelung	-	-	C	D	E
Verglasungssysteme mit dichtstofffreiem Falzraum						
Kurzzeichen				Vf3	Vf4	Vf5
Schematische Darstellung		³)	³)			
Dichtstoffgruppe nach DIN 18 545 Teil 2	für Versiegelung			C	D	E
 Dichtstoff des Falzraumes  Dichtstoff der Versiegelung  Vorlegeband						
1) Siehe Abschnitt 6. 2) Für das Verglasungssystem Va1 dürfen auch Dichtstoffe der Gruppe B eingesetzt werden, wenn sie von den Herstellern dafür empfohlen werden. 3) Für die Beanspruchungsgruppen 1 und 2 sind Verglasungssysteme mit dichtstofffreiem Falzraum nicht möglich.						

Einbaurichtlinien der Isolierglashersteller

In den Einbaurichtlinien, die von den Isolierglasherstellern für den Einbau ihrer Produkte erarbeitet wurden, sind all die Details geregelt, die entweder gar nicht oder nur unvollständig in Normen festgelegt sind. Auch wenn sich die Richtlinien der verschiedenen Isolierglashersteller nicht wesentlich unterscheiden, ist ihre Beachtung im Detail jedoch notwendig, da die Einhaltung der Festlegungen mit der 5jährigen Garantiezusage bezüglich der Tauwasserfreiheit im Scheibenzwischenraum gekoppelt ist. Diese Garantiezusage darf aber nicht verwechselt werden mit der Lebenserwartung des Mehrscheiben-Isolierglases, welche mit 25 bis 30 Jahren angenommen werden kann.

Technische Richtlinien des Instituts des Glaserhandwerks

In den technischen Richtlinien des Instituts des Glaserhandwerks sind die übrigen Regelwerke für den Praktiker aufbereitet und kommentiert. Weiter sind im Verglasungsbereich offene Fragen geregelt, die bisher in Normen nicht erfaßt sind, so z. B. die Verklotzung von ebenen Glas-scheiben [71] und die Glasdickenbestimmung. In vielen Fragen der Verglasung beschreiben diese technischen Richtlinien den derzeitigen Stand der Technik.

Richtlinien des Instituts für Fenstertechnik e.V., Rosenheim

Aufgrund der Aufgabenstellung des Instituts für Fenstertechnik e.V., Rosenheim, werden in dessen Richtlinien häufig die Voraussetzungen für spätere Normen geschaffen und die Grundlagen für die Einführung neuer Techniken erarbeitet [10, 72, 73, 74]. Dies gilt auch für die Tabelle "Beanspruchungsgruppen zur Verglasung von Fenstern", die Richtlinie "Verglasung von Holzfenstern ohne Vorlegeband" [75] sowie für die Richtlinie "Prüfung von Verglasungssystemen mit vorgefertigten Profilen" [21]

Beanspruchungsgruppen zur Verglasung von Fenstern

Tabelle 12 Ermittlung der Beanspruchungsgruppen zur Verglasung von Fenstern

Alterung von Mehrscheiben-Isolierglas

Beanspruchungsgruppen	1	2	3	4	5		
Verglasungssysteme nach DIN 18 545 Teil 3							
Schematische Darstellung							
Kurzzeichen	Va 1	Va 2	Va 3	VI 3 Va 4	VI 4 Va 5 VI 5		
Beanspruchung aus							
Bedienung	Zuordnung über die Öffnungsart						
	Festverglasung, Drehfenster, Drehkippenfenster			Schwingfenster, Hebefenster und Fenster mit vergleichbarer Beanspruchung			
Umgebungseinwirkung	Zuordnung über Einwirkung von der Raumseite						
					Feuchtigkeit		
					Mechanische Beschädigung		
Scheibengröße	Zuordnung über Rahmenmaterial, Kantenlänge und Dichtstoffvorlage						
Rahmenmaterial	Dichtstoffvorlage	Farbton		Kantenlänge			
Aluminium	3 mm	hell	bis 0,80 m		bis 1,00 m		
Aluminium-Holz		dunkel	bis 0,80 m		bis 1,00 m		
Stahl	4 mm	hell	bis 1,50 m		bis 2,00 m		
		dunkel	bis 1,25 m		bis 1,50 m		
	5 mm	hell	bis 1,75 m		bis 2,25 m		
		dunkel	bis 1,50 m		bis 2,00 m		
Holz	3 mm	Kantenlänge bis 0,80 m		bis 1,50 m	bis 1,75 m		
	4 mm			bis 1,75 m	bis 2,50 m		
	5 mm			bis 2,00 m	bis 3,00 m		
Kunststoff	4 mm	Farbton	hell	Kantenlänge bis 0,80 m			
		dunkel		bis 0,80 m			
	5 mm	hell		bis 1,50 m			
		dunkel		bis 1,25 m			
	6 mm	dunkel		bis 1,50 m			
				bis 2,00 m			
				bis 2,50 m			
Scheibengröße	Belastung der Glasauflage in Abhängigkeit der Gebäudehöhe						
Gebäudehöhe	Lastannahme	Scheibengröße bis 0,5 m ²		bis 0,8 m ²	bis 1,8 m ²	bis 6,0 m ²	bis 9,0 m ²
8 m	0,60 kN/m ²	Belastung bis 0,16 N/mm		bis 0,22 N/mm	bis 0,35 N/mm	bis 0,70 N/mm	bis 0,90 N/mm
20 m	0,96 kN/m ²	bis 0,25 N/mm		bis 0,35 N/mm	bis 0,55 N/mm	bis 1,10 N/mm	bis 1,40 N/mm
100 m	1,32 kN/m ²	bis 0,35 N/mm		bis 0,50 N/mm	bis 0,75 N/mm	bis 1,50 N/mm	bis 1,90 N/mm

Bei der Verglasung mit Dichtstoffen werden folgende Unterscheidungen getroffen:

- Verglasungssystem mit freier Dichtstoffase (Va1),
- Verglasungssysteme mit Glashalteleisten und ausgefülltem Falzraum (Va2 bis Va5),
- Verglasungssysteme mit Glashalteleisten und dichtstofffreiem Falzraum (Vf3 bis Vf5).

Beispiel

Verglasungssystem (V) mit ausgefülltem Falzraum (a) für die Beanspruchungsgruppe 3

Verglasungssystem DIN 18 545 - Va3

Verglasungssysteme mit ausgefülltem Falzraum sind, wenn in den Einbau-richtlinien der Isolierglashersteller keine andere Festlegung getroffen wurde, nur für Holzfenster geeignet.

Die Zuordnung der Dichtstoffe zu den Verglasungssystemen erfolgt nach DIN 18 545 Teil 2, wobei die Dichtstoffgruppen mit den Buchstaben A bis E bezeichnet sind.

Beispiel:

Bezeichnung eines Dichtstoffes der Dichtstoffgruppe D

Dichtstoff DIN 18 545 - D

Für die Beurteilung und Prüfung von Verglasungssystemen mit vorgefertigten Profilen, unabhängig vom Werkstoff der Rahmen und vom Werkstoff der Profile, wurde vom Institut für Fenstertechnik e.V., Rosenheim, eine Richtlinie erstellt. In Normen, wie auch in VOB DIN 18 361, wird dieses Verglasungssystem nur allgemein angesprochen, ohne daß, ähnlich wie bei Verglasungen mit spritzbaren Dichtstoffen, Forderungen und Merkmale der Beurteilung festgestellt werden. Diese Richtlinie soll der bestehenden Unsicherheit bei der Beurteilung dieses Verglasungssystems - insbesondere durch den hohen Anteil bei der Verglasung von Kunststoff- und Aluminium-Fenstern - entgegenwirken.

7. Alterungsverhalten

7.1 Allgemeines

Die Alterung von Materialien ist in DIN 50 035 wie folgt definiert:

"Unter Alterung versteht man in der Gesamtheit alle im Laufe der Zeit in einem Material irreversibel ablaufenden chemischen und physikalischen Vorgänge".

Übertragen auf das Mehrscheiben-Isolierglas und die Verglasung zeigen sich die chemischen Vorgänge der Alterung, z.B. im Nachlassen der Adhäsion des Dichtstoffes zum Glas und den übrigen angrenzenden Stoffen. Die physikalischen Vorgänge des Alterns lassen sich am Mehrscheiben-Isolierglas in der Feuchtigkeitsaufnahme der Trocknungsmittel und der nach dem Erreichen einer bestimmten Sättigung folgenden Tauwasserbildung im Scheibenzwischenraum erklären. Denn zumindest im System Mehrscheiben-Isolierglas ist die Beladung des Trocknungsmittels ein irreversibler Vorgang.

Im Fenster kann die Abdichtung zwischen Glas und Rahmen hinsichtlich der Alterung anders bewertet werden als bei Mehrscheiben-Isolierglas, da davon ausgegangen werden kann, daß beginnende Schäden an der Abdichtung im Rahmen der Instandhaltung beseitigt werden können und somit die Nutzungserwartung erhöht werden kann. Beim Mehrscheiben-Isolierglas dagegen ist ein direkter Eingriff nicht möglich. Indirekt dagegen kann durch die Instandhaltung der Verglasung auch die Nutzungserwartung des Mehrscheiben-Isolierglases beeinflußt werden.

Die auf das Verglasungssystem und das Mehrscheiben-Isolierglas wirkenden Einflüsse sind in Bild 45 dargestellt.

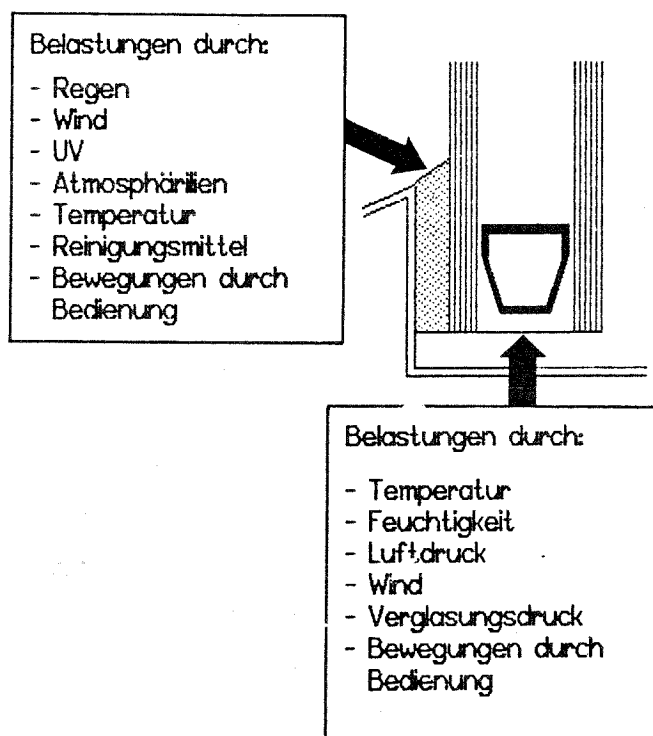


Bild 45 Zusammenstellung der Belastungen auf die Glasabdichtung und den Randverbund unter normalen Bedingungen

7.2 Verglasung

Der Einfluß der Verglasung auf die Nutzungserwartung des Mehrscheiben-Isolierglases ist unbestritten, auch wenn sich eine quantitative Aussage nicht machen läßt. Voraussetzungen, die beim heutigen Stand an alle Verglasungen gestellt werden, weil ihr Einfluß auf die Alterung bekannt ist, sind, daß

- die Feuchtigkeitsbelastung und
- die UV-Lichtbelastung

des Randverbundes des Mehrscheiben-Isolierglases auf ein unvermeidbares Minimum beschränkt bleiben. Hierfür sind bestimmte konstruktive Merkmale vorausgesetzt [72, 73, 74] die auch aus den Erkenntnissen dieser Vorhaben bereits Berücksichtigung in der Praxis gefunden haben. Dies gilt insbesondere für die Öffnung des Glasfalzes bei Verglasung mit dichtstofffreiem Falzraum.

Bei der Bewertung des Alterungsverhaltens der Abdichtung zwischen Glas- und Fensterrahmen muß unterschieden werden in solche, die aufgrund einer zu hohen Beanspruchung ihre Funktion verloren haben und solche, bei denen ausschließlich Alterungsvorgänge zum Ende der Funktionsfähigkeit geführt haben. Nicht mehr funktionsfähig ist eine Glasabdichtung dann, wenn Wasser bei üblichen Umgebungsbeanspruchungen über die Abdichtung in den Glasfalz eindringen kann.

Die Alterung der Glasabdichtung steht in direktem Zusammenhang mit der Veränderung der Materialeigenschaften. In der Literatur sind zur Lebenserwartung von Dichtstoffen sehr unterschiedliche Aussagen zu finden [76] die auch in Diskussionen nicht unwidersprochen blieben. Elastische Dichtstoffe werden zur Glasabdichtung im größeren Umfang seit Ende der 60iger eingesetzt, so daß diese heute auf eine etwa 25-jährige Erfahrung zurückgreifen können. Da es in dieser Zeit mit den zur "Versiegelung" eingesetzten elastischen Dichtstoffen auf der Basis von Polysulfid und Silikon und den elastischen Dichtstoffen mit plastischen Anteilen auf Acrylbasis zu Schäden kam, muß erwähnt werden. In der Regel waren es Ablösungen vom Glas oder Rahmen wobei die Feststellung der Ursachen nicht immer möglich war.

Als Schadensursachen sind zu nennen

- zu geringe Querschnitte der Versiegelung mit dem Kohäsionsriß im Dichtstoff
- zu geringe Haftflächen am Glas oder Rahmen aufgrund ungünstiger Fugenausbildung oder mangelhafter Verarbeitung mit Kohäsions- oder Adhäsionsriß
- verunreinigte Haftflächen durch Feuchtigkeit, Schmutz, ölige und fettige Rückstände an der Oberfläche mit Adhäsionsverlust
- nicht nach Vorschrift des Dichtstoffherstellers vorbehandelte Haftflächen mit Adhäsionsverlust
- Veränderung der Steifigkeit des Dichtstoffes mit der Folge, daß bei einer Dehnung die an den Haftflächen aktivierten Kräfte die Festigkeit der Verbindung übersteigen und zu Adhäsionsverlust führen.
- Versprödung des Dichtstoffes mit Rißbildung, die von der Oberfläche beginnend durch den Querschnitt geht.

Bei der Verglasung mit vorgefertigten Profilen werden als Werkstoff Polychloroprene, EPDM und auch PVC eingesetzt. Mit diesen Systemen liegen ebenfalls etwa 20 Jahre praktische Erfahrung vor [77]. Als Ursachen für undichte Verglasungen sind zu nennen:

- undichte Ecken
- nicht ausreichender Druckverformungsrest
- Unterschreitung des Mindestanpreßdruckes
- zu großes Kriech- und Relaxationsverhalten der Druckelemente.

7.3 Mehrscheiben-Isolierglas

7.3.1 Rechnerische Abschätzung der Nutzungserwartung

Die Bewertung der Nutzungserwartung von Mehrscheiben-Isolierglas hat einen höheren Stellenwert als bei der Glasabdichtung. Denn während die Glasabdichtung saniert werden kann, bedeutet ein Schaden am Randverbund das Ende der Nutzungserwartung bei Mehrscheiben-Isolierglas und damit den Austausch der Scheibe. Bei Mehrscheiben-Isolierglas mit geklebten Randverbund, mit welchem zur Zeit über 90 % aller Scheiben hergestellt werden, geht man von einer durchschnittlichen Nutzungserwartung von 25 bis 30 Jahre aus [35, 67, 78, 79, 80, 81, 84]. Es gibt aber auch Hinweise, daß diese Zeit nicht erreicht wird [35].

Die Angaben zur rechnerischen Abschätzung der Nutzungserwartung führen, entgegen der durchaus realistischen Angaben aus praktischer Erfahrung, zu sehr unterschiedlichen Aussagen, wie die Übersicht in Tabelle 13 zeigt.

Die verschiedenen Ansätze sind nachfolgend erläutert:

Van Santen [35] geht von einer Laborprüfung aus und bestimmt den Wassergehalt der Trocknungsmittel vor der Prüfung, nach der Prüfung und für eine Taupunkttemperatur von -5°C , die als oberste Grenze für die Gebrauchstauglichkeit gesehen wird.

Der Ablauf der Laborprüfung ist in der niederländischen Norm NEN 3567 festgelegt. Der in der Formel angegebene Faktor 15 ist eine empirische Anpassung der Laborprüfung an die Umgebungseinwirkungen in der Praxis und setzt sich wie folgt zusammen

- Anpassung der Feuchtigkeitsbelastung
im Labor mit einem Feuchtigkeitsgehalt der Luft von 50 g/m^3 im Jahresmittel bei üblicher praktischer Einwirkung mit einem Feuchtigkeitsgehalt der Luft von 8 g/m^3
$$50 : 8 = \text{ca } 6 = f_1$$

- Anpassung der Temperaturbelastung
Die für die Diffusion maßgebende Prüftemperatur beträgt das 2-3-fache der mittleren für die Diffusion relevanten Jahresmitteltemperatur

$$2,5 = f_2$$

daraus folgt mit $6 \times 2,5 = 15$ der Korrekturfaktor.

Es handelt sich damit um einen auf Meßwerten für das jeweilige System und Erfahrungen aufgebauten Ansatz.

van Santen	Backman	Michaels Stucker	Bergmann
$L = \frac{X_{-5} - X_{\theta}}{X_e - X_{\theta}} \cdot 15$ <p> X_0 = Wassergehalt des Trocknungsmittels vor der Prüfung X_e = Wassergehalt des Trocknungsmittels nach der Prüfung X_{-5} = Wassergehalt des Trocknungsmittels bei einem Taupunkt von -5°C </p>	$L = \frac{m_{10} - m_{70}}{365 \cdot A \cdot \sum V_i (h_i T_i) \cdot p_i \cdot t_i}$ <p> m_{10} = Wassergehalt des Trocknungsmittels bei einem Taupunkt von -10°C m_{70} = Wassergehalt des Trocknungsmittels bei einem Taupunkt von -70°C A = Diffusionsfläche V = Permeation der Versiegelung p_i = Wasserdampfdruck der Umgebungsluft während t_i t_i = der Bruchteil eines Jahres, in dem konstante Bedingungen herrschen. Ist der Bruchteil 1 Jahr, so gilt $t_i = 1$ </p>	$L = \frac{m}{A \cdot m_D}$ <p> m = Wassermenge, die maximal durchdiffundieren darf A = Diffusionsfläche m_D = Diffusionsmenge pro Jahr </p>	$L = \frac{q}{\pi} \cdot 10^{\frac{\tau - 41,5}{29}}$ <p> τ = Taupunkttemperatur der Isolierglasscheibe L = Zeit in Jahren π = Permeationskoeffizient q = spezifische Trocknungsmittelmenge in g/lfm (Kieselgel A) </p>
<p>L > 12,5 Jahre</p>	<p>L in Abhängigkeit von Dichtstoffen A, B, C:</p> <p> $L_A = 380$ Jahre $L_B = 60$ Jahre $L_C = 35$ Jahre </p>	<p>L in Abhängigkeit der Versiegelung, der Fertigungsbedingungen und des Einsatzortes</p> <p>14 > L > 200</p>	<p>L in Abhängigkeit der Versiegelung</p> <p> $L_B = 588$ Jahre $L_P = 8,4$ Jahre </p>

Tabelle 13

Vergleich der Rechenwerte zur Abschätzung der Nutzungserwartung von Mehrscheiben-Isolierglas

Backman [82] dagegen geht von einer reinen Diffusionsrechnung aus und führt in die Rechnung Materialwerte und die geometrischen Verhältnisse des Randverbundes ein, so

- den Wassergehalt des Trocknungsmittels bei -10°C und -70°C
- den Permeationskoeffizient des Dichtstoffes
- die Diffusionsfläche
- den über die Zeit aufsummierten Wasserdampfdruck der Umgebungsluft.

Unberücksichtigt bleiben die mindernden Einflüsse aus mechanischen und chemischen Belastungen des Randverbundes während der Nutzung.

Michaels und Stucker [83] führen die Ansätze von Backman weiter indem sie den möglichen Einfluß weiterer Randbedingungen einbringen, so z.B. die Einbauverhältnisse, extreme Klimabedingungen. Unberücksichtigt bleiben auch bei ihnen die Alterung, die mechanischen und chemischen Belastungen des Randverbundes.

Bergmann [37] geht ebenfalls von der Diffusion aus, berücksichtigt aber die im Laufe der Nutzungsdauer sich ändernden Verhältnisse. Der Ansatz von Bergmann stellt damit das genaueste rechnerische Verfahren zur Abschätzung der Nutzungserwartung dar. Seine vorliegenden Arbeiten sind aber nur für ein bestimmtes System zu Ende geführt, so z.B. für Kieselgel und einstufige Systeme.

Die Gegenüberstellung der verschiedenen Berechnungsverfahren zeigt, daß sich zum Teil unrealistische Werte für die Nutzungserwartung ergeben. Die nähere Betrachtung der Ansätze verdeutlicht ebenfalls, daß die Theorien nicht zu Ende gedacht sind, so z.B. der Einfluß der Temperatur und der Materialdicke auf die Permeabilität des Randverbundes.

Nur im Ansatz von van Santen [35] geht die theoretisch nicht erfaßbare Eigenheit des Systems mit ein.

Die Weiterentwicklung einer Möglichkeit zur rechnerischen Abschätzung der Nutzungserwartung ist insbesondere für die Entwicklung neuer oder die Weiterentwicklung bestehender Systeme wichtig. Ein rein theoretischer Ansatz führt aber, wie die bisherigen Modelle zeigen, nicht zum Ziel, weil systembedingte Probleme nicht erfaßt werden können.

Insofern ist der Ansatz von van Santen ein Weg der erfolgversprechend ist. Eine Verfeinerung der Korrekturen ist notwendig und nur als Fernziel kann angestrebt werden, die Abschätzung der Nutzungserwartung unter Verwendung von Werkstoffeigenschaften durchzuführen.

7.3.2 Praktische Erfahrungen

Die 5-jährige Garantie der Hersteller von Mehrscheiben-Isolierglas auf die Tauwasserfreiheit im Scheibenzwischenraum wird fälschlicherweise häufig mit der Nutzungserwartung gleichgesetzt. Diese Schäden an Mehrscheiben-Isolierglas wurden in der Vergangenheit sehr ausführlich in der Öffentlichkeit diskutiert und der Schadensumfang vom Hersteller und Bauherrn mit sehr unterschiedlichen Angaben geschätzt.

Von den Herstellern wird der als Reklamation anerkannte Anteil von schadhafte Scheiben mit kleiner als 0,1 % angegeben, während vom Verbraucher ein weitaus höherer Anteil von schadhafte Scheiben in den ersten Jahren der Nutzung vermutet wird.

Zum Verständnis der Nutzungsdauer von Mehrscheiben-Isolierglas ist der Unterschied zwischen Schadensereignis und normalem Ende der Nutzungsdauer in Bild 46 erläutert. Hierzu ist ergänzend festzustellen, daß Mehrscheiben-Isolierglas ein Produkt mit begrenzter Lebensdauer ist, bei dem eine Nutzungsdauer von 25-30 Jahren bei günstigen Umgebungseinflüssen zu erwarten ist.

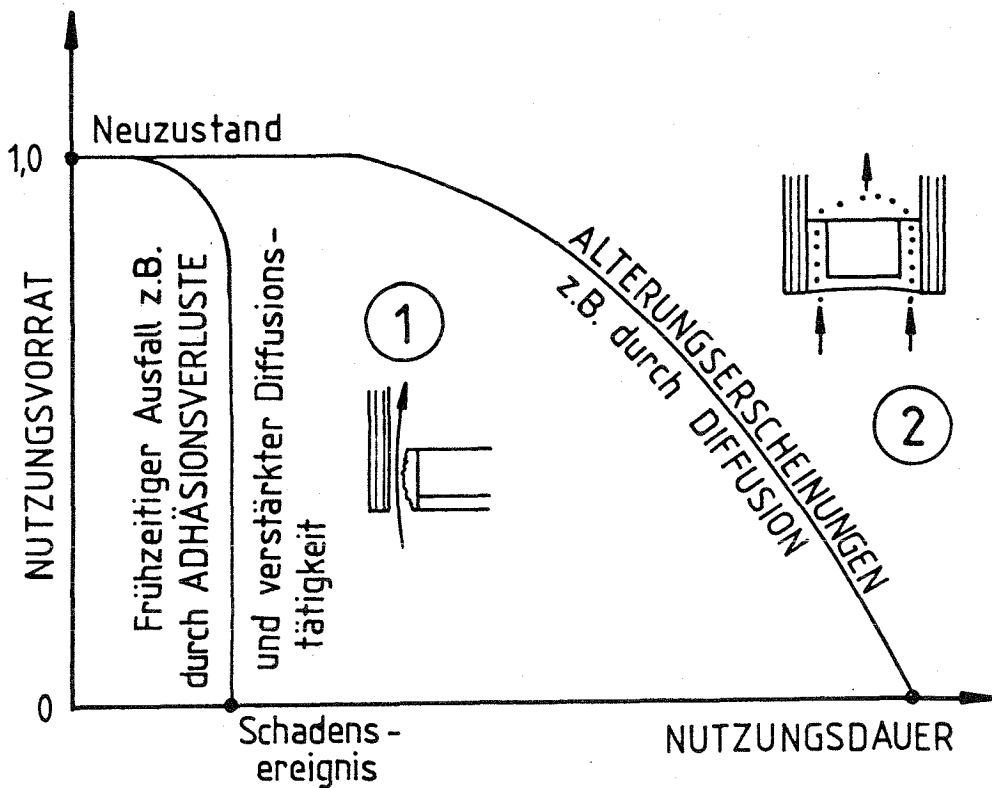


Bild 46 Abbau des Nutzungsvorrates bei Mehrscheiben-Isolierglas

Um Informationen über den Umfang der Schäden zu erhalten und um die Bedingungen abzugrenzen wurde eine Umfrage bei Fensterherstellern, Bauträgern und weiter gestreut über die Fachpresse durchgeführt. Der Fragebogen ist nachstehend abgedruckt.

Umfrage – Isolierglasschäden

Durchgeführt vom Institut für Fenstertechnik e. V.
Rosenheim

Nachfolgende Angaben beziehen sich nur auf ein Objekt und werden nur für wissenschaftliche und statistische Zwecke verwendet.

1. Wir haben blinde Isolierglasscheiben festgestellt an einem
 - Wohngebäude Schulgebäude
 - Verwaltungsgebäude Schwimmbad
 - Sonstiges
2. Wie lautet die Anschrift des Gebäudes?
Gebäude:
Straße:
PLZ: Ort:
3. Wieviel Isolierglasscheiben sind in diesem Gebäude eingebaut?
ca. Stück
4. Wieviel sind davon blind?
ca. Stück
5. Aus welchem Rahmenmaterial bestehen die Fenster?
 Holz Aluminium Kunststoff
 Holz/Aluminium Stahl
6. Wie ist die Verglasung abgedichtet?
 mit spritzbaren Dichtstoffen (Kitt)
 mit vorgefertigten Dichtprofilen (z. B. Neoprene)
7. In welchem Jahr wurden die Fenster eingebaut?
8. In welchem Jahr wurde die erste blinde Scheibe festgestellt?
9. Um welches Isolierglasprodukt (Markenname) handelt es sich?
10. Die blinden Scheiben sind
 bereits ausgetauscht noch nicht ausgetauscht
11. Ist eine Besichtigung der Fenster und eine Detailaufnahme seitens des Instituts für Fenstertechnik e. V. Rosenheim möglich?
 ja nein
12. Kann ein Sachbearbeiter Ihrer Firma die Detailaufnahme vornehmen (Wir schicken Ihnen den dazugehörigen Detailaufnahmebogen zu)?
 ja nein
13. Geben Sie bitte Ihre komplette Adresse an:
Firma:
Sachbearbeiter:
Straße:
PLZ: Ort:
14. Uns sind außer diesem Objekt noch Objekte mit blinden Isolierglasscheiben bekannt.

Bild 47 Umfragebogen Isolierglasschäden
z.B. erschienen in glas + rahmen (1980) Heft 23/24

Er beschränkt sich auf 14 Fragen, nachdem festgestellt wurde, daß bei einem umfangreicheren Bogen mit detaillierten Fragen kein Rücklauf erfolgte. Verschiedene der gemeldeten Objekte wurden an Ort und Stelle überprüft. Die Tabelle 14 zeigt eine Zusammenstellung der erfaßten Objekte gegliedert nach den Gruppen, welche den Fragebogen eingesandt haben.

Informationsträger	Anzahl der gemeldeten Objekte	Anzahl der eingebauten Scheiben	Anzahl der "blinden" Scheiben
Fensterhersteller und Glaser	91	48 254	9 775
Fertighaushersteller	18	494	117
Baustoffhändler	69	4 171	866
Wohnbau- und Siedlungsgesellschaften	22	18 835	1 495
Finanzbau-, Staatsbau-, Gemeindeämter, Schulverwaltung	35	5 014	1 043
Architekten	82	7 298	1 005
Institut (aus Gutachten und eigenen Recherchen)	41	15 165	3 463
private Bauherren	102	4 648	1 247
SUMME	460	103 879	19 011

Tabelle 14 Verteilung der in der Umfrage gemeldeten Objekte

Vor einer weiteren Auswertung der erhaltenen Informationen sind folgende Feststellungen wichtig, um keine unnötige Verunsicherung bei Beteiligten oder bei Betroffenen zu erreichen.

- das erfaßte Mehrscheiben-Isolierglas stammt im wesentlichen aus der Übergangsphase vom "exklusiven Bauteil" Mehrscheiben-Isolierglas zum "Standardbauteil" für die überwiegende Anzahl von Fenstern;
- nicht alle in dieser Übergangszeit eingesetzten Werkstoffe waren hinsichtlich ihres Alterungs- und Zeitverhaltens ausreichend erprobt;
- die Einflüsse aus der Verglasung und aus den angrenzenden Stoffen auf das Mehrscheiben-Isolierglas war nicht bekannt;
- das heute eingesetzte Mehrscheiben-Isolierglas und auch die Verglasungssysteme sind mit den Ausführungen, welche durch die Fragebogen erfaßt wurden, nicht mehr vergleichbar.

Weiterhin ist die Einschränkung zu machen, daß vor allem bei den Scheiben, deren Einbau längere Zeit zurückliegt und die Schäden in den ersten Jahren aufgetreten sind, eine gewisse Unsicherheit in der Zeitangabe mit zu berücksichtigen ist. Bei den Einbaujahren nach 1970 braucht diese Einschränkung nicht gemacht werden.

Genannt in den Fragebogen wurden ausschließlich Objekte mit schadhafte Scheiben, so daß zwar eine Aussage über die Verteilung von Schäden, nicht aber über deren Umfang, bezogen auf die Gesamtproduktion möglich ist.

Eine Auswertung der erfaßten Objekte über die Zeit ist in Bild 48 dargestellt, wobei jeweils über dem Einbaujahr aufgetragen ist, wie groß der Umfang der erfaßten Scheiben im Stück ist und welcher Anteil von diesen Scheiben bis zum Zeitpunkt der Erfassung im Jahre 1980/1981 schadhaft wurden. Deutlich zeigt sich eine Häufung in den Jahren 1972 bis 1976 die auch durch weitere Auswertungen noch bestätigt wird.

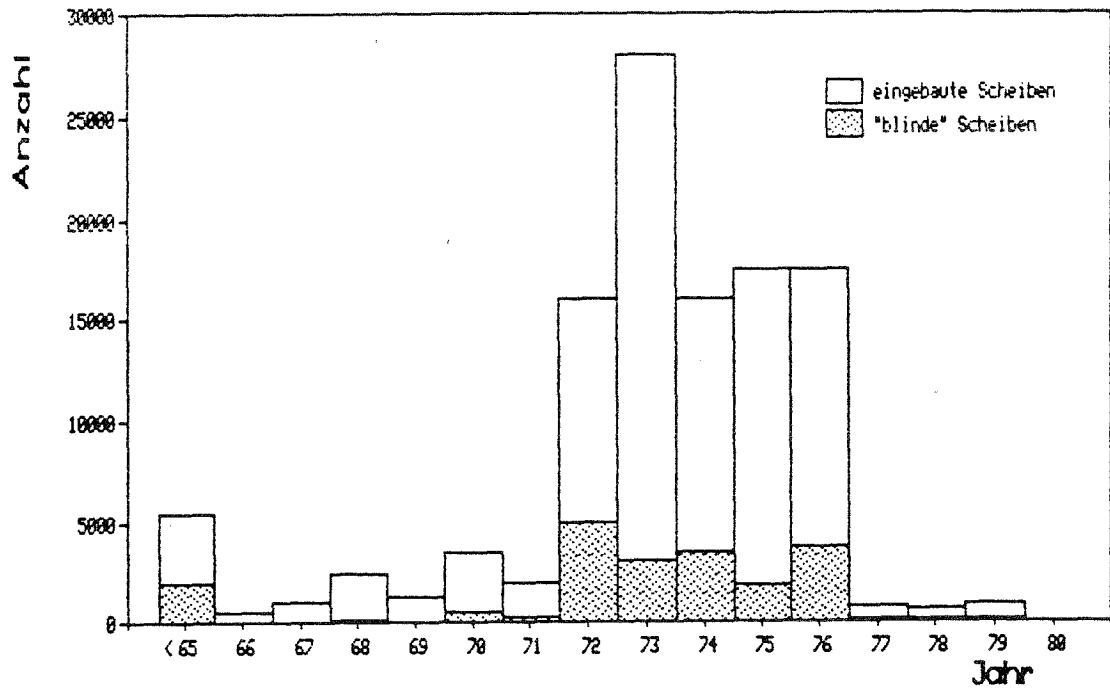


Bild 48 Anzahl der gemeldeten Scheiben mit Angabe der Schadensfälle in Abhängigkeit des Einbaujahres

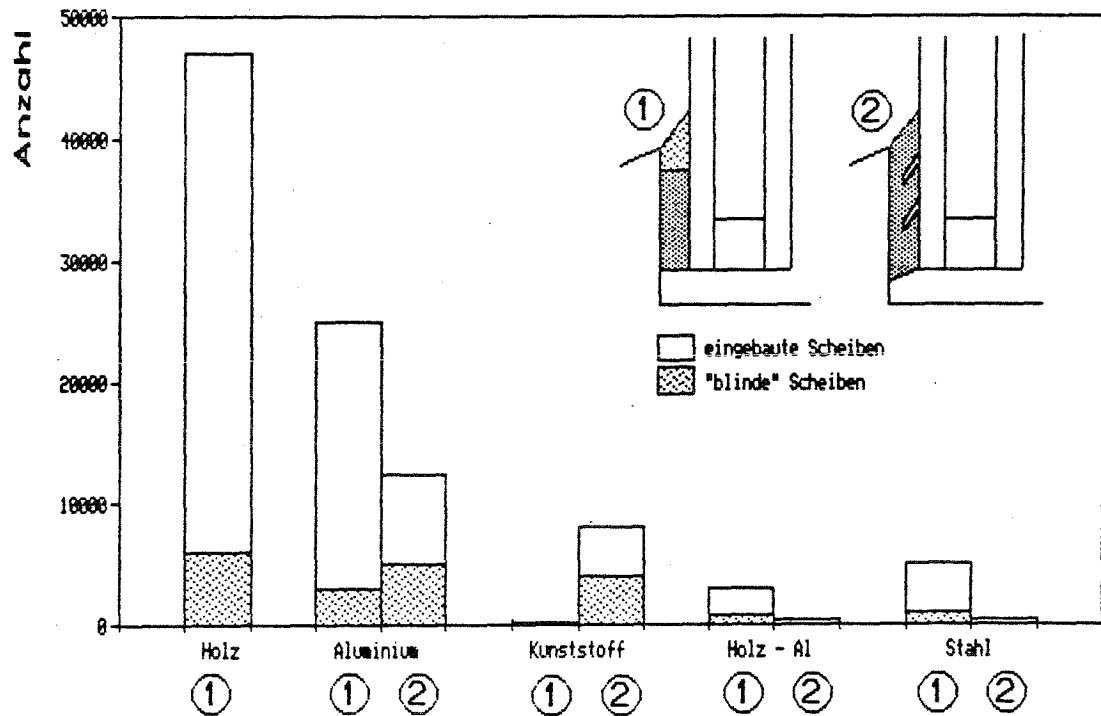


Bild 49 Anzahl der eingebauten Scheiben der gemeldeten Objekte in Abhängigkeit der Rahmenwerkstoffe und der Abdichtungsart
 1 Verglasung mit Dichtungstoff
 2 Verglasung mit Dichtprofil

Auch die Auswertung nach den Rahmenwerkstoffen und den Verglasungssystemen gibt interessante Aufschlüsse, die sowohl auf das Mehrscheiben-Isolierglas als auch auf die Verglasungssysteme hinweisen. Wenn man die Häufung der Schäden in den Jahren 1972-1976 mit in die Betrachtung einbezieht, so ist dieses Ergebnis wie folgt zu erklären:

- In diesem Zeitraum wurden neue, aus heutiger Sicht nicht ausreichend erprobte Systeme des Randverbundes eingesetzt und die Menge des Trocknungsmittels bei verschiedenen Herstellern aufgrund von rechnerischen Vorbestimmungen der Nutzungsdauer minimiert.
- Die Verglasungssysteme mit ausgefülltem Falzraum hatten auch bei Aluminiumfenstern noch einen hohen Anteil.
- Die Verglasungen mit vorgefertigten Profilen und dichtstofffreien Falzgrund wurden nach heutigen Kenntnissen ungünstig konstruiert und ausgeführt. Insbesondere wurde der Öffnung des Glasfalzes nicht die notwendige Bedeutung beigemessen.

In Bild 50 ist die Häufigkeit der schadhafte Scheiben qualitativ nach einer Nutzungsdauer von 1 Jahr sowie 2, 4, 5 und 8 Jahren aufgetragen. Zum Verständnis ist die Entwicklung der Produktion für den gleichen Betrachtungszeitraum in Bild 50/6 dargestellt. Auch hier zeigt sich, daß trotz eines stetigen Anstieges der Produktion bis 1980 die Schäden ab dem Herstellungs- und Einbaujahr 1976 stark zurückgehen. Die Scheiben, bei denen die Nutzungsdauer bereits nach einem Jahr zu Ende war (Bild 50/1), sind in der Regel Scheiben mit Fehlstellen im Randverbund, also Produktionsmängel in Form von Kanälen, die eine durchgehende Verbindung vom Außenklima zum Scheibenzwischenraum herstellen. Damit kann feuchte Luft in den Scheibenzwischenraum eindringen deren Feuchtigkeit von Trocknungsmittel gebunden werden muß.

Bei den Scheiben, deren Nutzungsdauer im zweiten Jahr bis zum achten Jahr beendet war, ergab die stichprobenartige Nachprüfung durch Rückfragen oder Besichtigung, daß zum großen Teil Ablösungen im Randverbund aufgetreten sind, deren Ursache sowohl im Randverbund als auch in der Verglasung liegen kann.

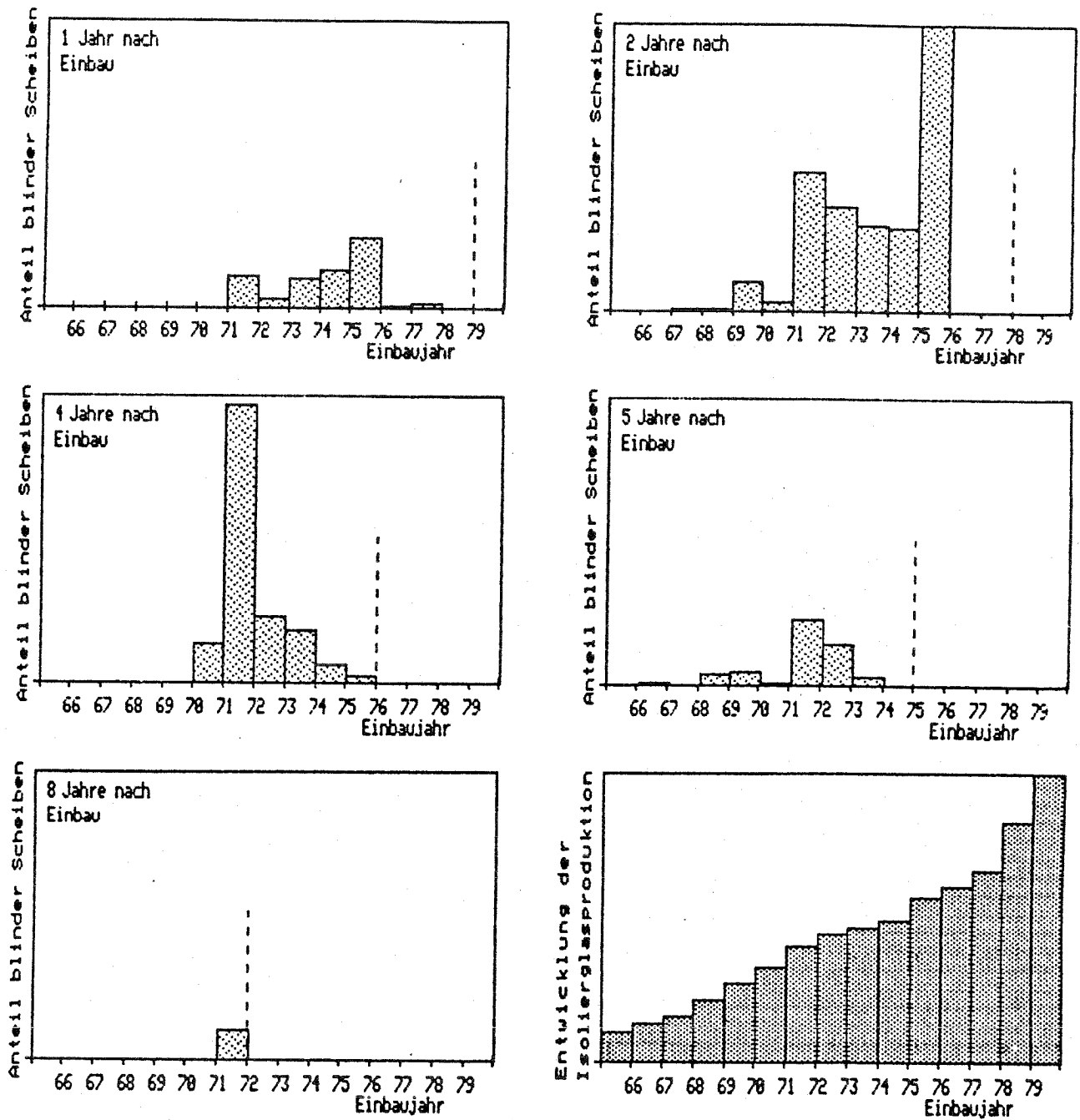


Bild 50 Anteil der blinden Scheiben in Abhängigkeit der Einbauzeit, im Vergleich zur Entwicklung der Produktion von Mehrscheiben-Isolierglas

In vielen Fällen muß aber auch eine Überlagerung eingetreten sein. Bei Scheiben mit einer Nutzungsdauer von 4 Jahren wurden auch Produkte festgestellt, bei denen trotz intakten Randverbundes die Trocknungsmittel erschöpft waren, d.h. daß die Trocknungsmittelmenge für dieses System zu gering bemessen war.

Interessant ist, daß ab dem Einbaujahr 1976 vor allem bei 2-jähriger Nutzungsdauer der Anteil der beanstandeten Scheiben sehr stark zurückging. Fehlinformationen über die Fragebogen können hier ausgeschlossen werden, weil gerade in den Jahren nach 1976 die "Schadenswelle Mehrscheiben-Isolierglas" sehr breit diskutiert wurde [85, 86, 87, 88] .

Zusammenfassend ist nach Auswertung der Schadenserfassung festzustellen, daß ganz offensichtlich das Jahr 1976 eine wesentliche Änderung bei Mehrscheiben-Isolierglas und bei der Verglasung gebracht hat. Die Schadensanfälligkeit ist danach bei Beachtung der technischen Erkenntnisse gesunken.

8. Tatsächliche Belastungen an Mehrscheiben-Isolierglas

8.1 Allgemeines

Die bisherigen Recherchen haben gezeigt, daß die Grundlagen zur Abschätzung der Beanspruchung an Mehrscheiben-Isolierglas und an Verglasungen fehlen. Alle bisherigen Arbeiten gehen deshalb nur von Erfahrungswerten aus, die aus dem Verhalten abgeleitet sind, oder es liegen theoretische Überlegungen zugrunde.

Es fehlen Unterlagen über die tatsächlich zu erwartenden Belastungen aus Klima- und sonstigen Umgebungseinwirkungen. Diese Unterlagen sind erforderlich für die technische Weiterentwicklung sowie die Abgrenzung der Nutzungserwartung von Mehrscheiben-Isolierglas und der zugehörigen Verglasungssysteme. Dies war auch der Grund, weshalb im Rahmen dieses Vorhabens umfangreiche Messungen am Fenster selbst durchgeführt wurden. Diese Messungen sollten Aufschluß geben über

- Temperaturbelastung
- Feuchtigkeitsbelastung

am Mehrscheiben-Isolierglas und an der zugehörigen Verglasung. Daraus sollten die mögliche Nutzungserwartung und Grundlagen für die weitere Entwicklung abgeleitet werden.

Bei der Verglasung wurden die bisherigen Erkenntnisse [10, 74] aus dem Einbau mit dichtstofffreiem Falzgrund berücksichtigt.

Das Versuchsprogramm gliedert sich in Versuche

- an verglasten Fenstern unter Einwirkung des Umgebungsklimas
- an Mehrscheiben-Isolierglas nach Beanspruchung im Labor.

Zur Prüfung an den verglasten Fenstern wurden Systeme des Mehrscheiben-Isolierglases eingesetzt, die auch im Labor geprüft wurden. Die Laborprüfung selbst umfaßte noch weitere Systeme.

8.2 Versuchsprogramm

8.2.1 Verglaste Fenster

Zur Überprüfung der Beanspruchung aus der Einwirkung des Umgebungsklimas und deren Auswirkungen auf das Mehrscheiben-Isolierglas wurden Fenster aus

- Holz im deckend weißen Anstrich und dunklem Lasuranstrich
- Aluminium in naturton eloxiert und dunkel eloxiert
- PVC in weißem Farbton

hergestellt und auf dem Dach des Institutsgebäudes so eingebaut, daß ein Teil der Fenster nach Süden, nach Westen und nach Norden ausgerichtet waren. Bild 51 zeigt den Aufbau und läßt erkennen, daß das Freiluftklima ungehindert auf die Fenster einwirken konnte.



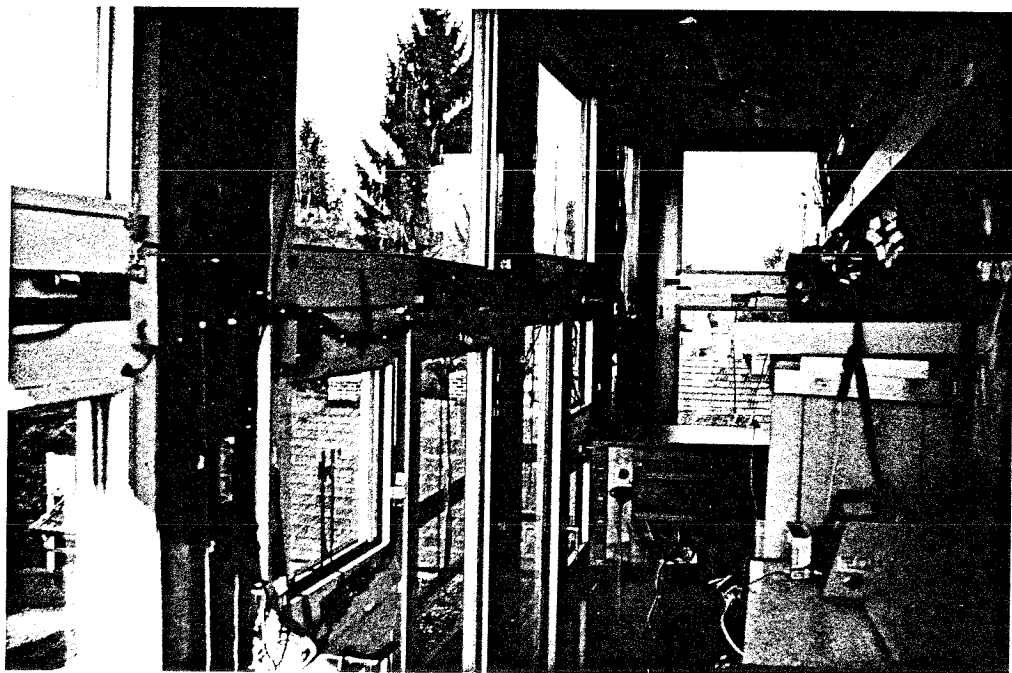
Bild 51 Aufbau der Versuchsfenster zur Freibewitterung

Die Übersicht im Bild 54 zeigt die Aufteilung der Fenster sowie die Einbaurichtung für die verschiedenen Rahmenstoffe. Jedes der Fensterelemente hat die Außenabmessung von $1,55 \times 2,50 \text{ m}^2$. Die kleinen Kippflügel können jeweils das Prüfformat des Mehrscheiben-Isolierglases nach DIN 52 344 aufnehmen. Der Innenraum, der sich durch den Aufbau der Fenster ergibt, wurde zur Erreichung eines Wohnraumklimas beheizt und befeuchtet.

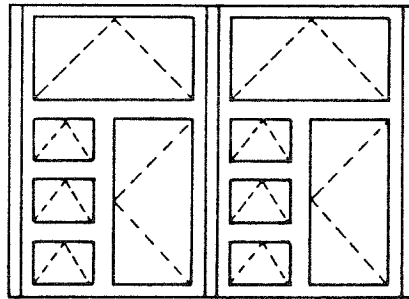


Bild 52
Versuchsfenster Nr.7 und
Nr. 8 auf der Südseite

Bild 53
Blick in den Innenraum

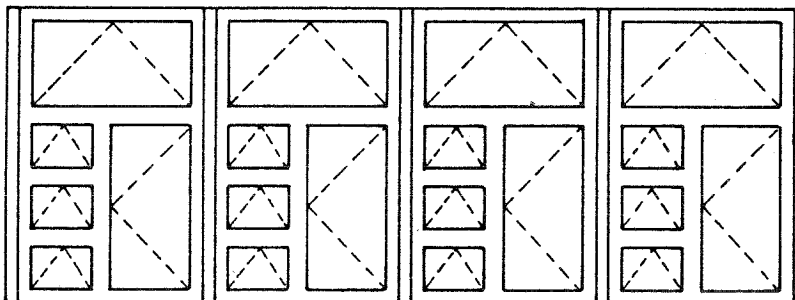


NORD - SEITE



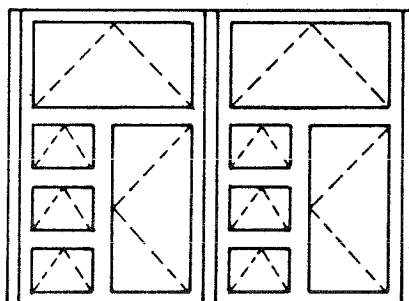
① PVC weiß ② ALU hell

WEST - SEITE



③ ALU dunkel ④ ALU hell ⑤ PVC weiß ⑥ HOLZ weiß

SÜD - SEITE



⑦ HOLZ dunkel ⑧ ALU dunkel

Bild 54 Fensterübersichtsplan

In den nachstehenden Bildern werden die 8 Versuchsfenster konstruktiv beschrieben. Neben der Profilbildung ist auch die Verglasung im Detail dargestellt.

Die Anordnung der Temperaturmeßstellen ist durch einen einheitlichen Nummernschlüssel gekennzeichnet.

Beispiel: 104 bedeutet: Fenster Nr. 1 mit Meßstelle Nr. 04

Jedes Fenster wurde mit 25 Temperaturmeßstellen bestückt.

Die Temperaturen wurden mit Thermoelementen aus Kupfer/Konstantan gemessen. Als Vergleichstemperatur wurde Eiswasser verwendet.

Die Messung der relativen Luftfeuchte erfolgt über Valvo-Feuchtfühler, welche durch die kleine Baugröße (12 mm Durchmesser, 5 mm Dicke) direkt in den Glasfalzraum eingebracht werden können. Das Meßprinzip beruht auf einer Kapazitätsänderung des Meßaufnehmers, bestehend aus einer definierten Goldfolie. Jeder Meßfühler muß eigens geeicht werden. Aus dem Eichdiagramm läßt sich dann direkt die relative Luftfeuchte ablesen. Der Fühler besitzt im Meßbereich zwischen 20 % und 90 % eine Genauigkeit von $\pm 5\%$.

Über einen Meßstellenumschalter wurden die Meßwerte für die Temperaturen und die Feuchtigkeit abgerufen und in einer Datenverarbeitungsanlage gespeichert. Von allen Meßstellen liegen in Intervallen von jeweils 30 Minuten Meßwerte vor.

Das Versuchshaus wurde im Sommer/Herbst 1980 aufgebaut.

Der Aufbau der Meßstelle erfolgte im Herbst 1980 und im Frühjahr 1981, so daß ab ca. April 1981 Einzelmessungen und für den Zeitraum Dezember 1981 bis Oktober 1982 kontinuierliche Temperatur- und Feuchtemessungen vorliegen.

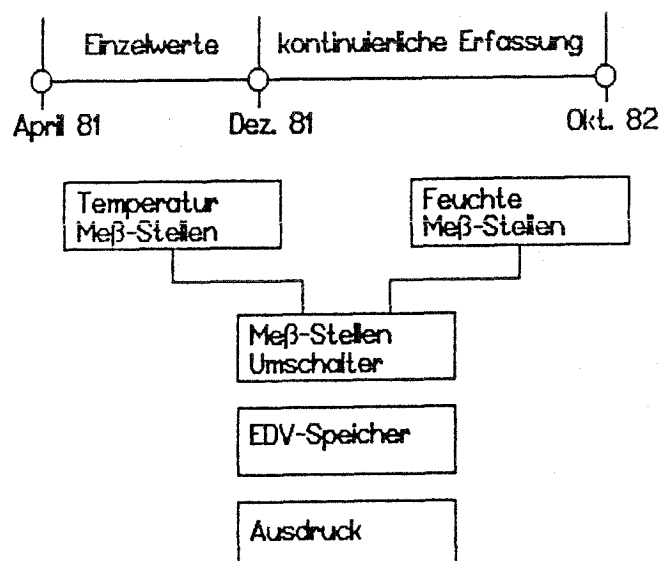
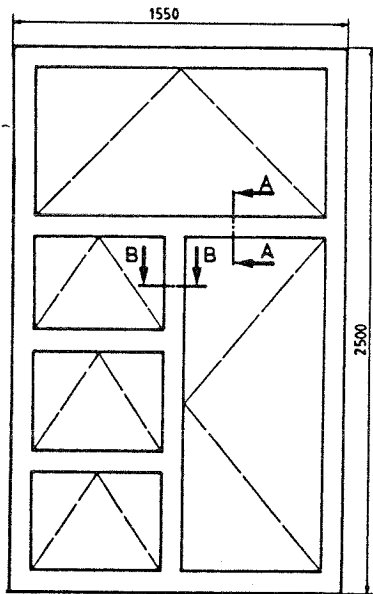
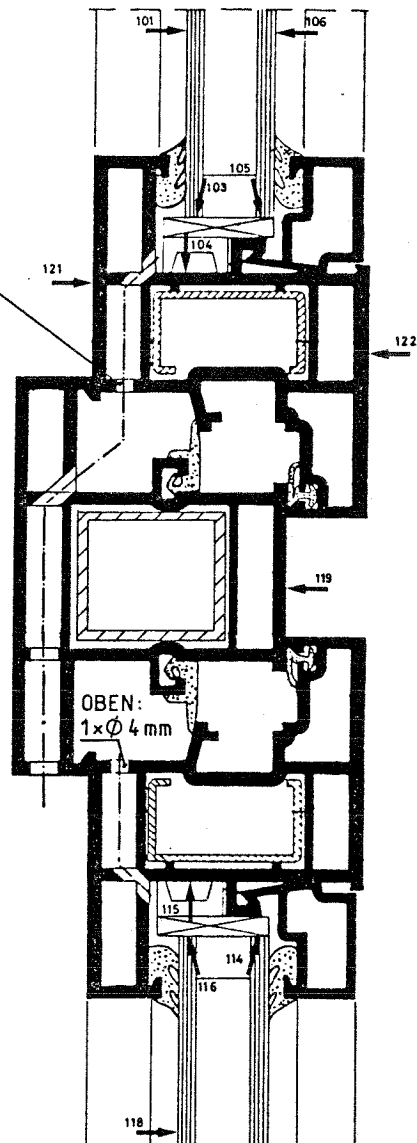


Bild 55 Meßwertaufnahme



SCHNITT: A-A

UNTEN:
2 x 25/4 mm



FENSTER NR.: 1
 MATERIAL : PVC
 OBERFLÄCHE : WEISS
 RICHTUNG : NORD
 SYSTEM : TROCAL 400
 GLASABDICHTUNG : PROFIL
 ECKAUSBILDUNG

- AUSSEN : AUF GEHRUNG STUMPF GESTOSEN; MIT KLEBER ZUSÄTZLICH ABGEDICHTET
- INNEN : STUMPF ZWISCHENGE - SCHNITTEN

DICHTPROFIL : INNEN + AUSSEN GLEICH

SCHNITT: B-B

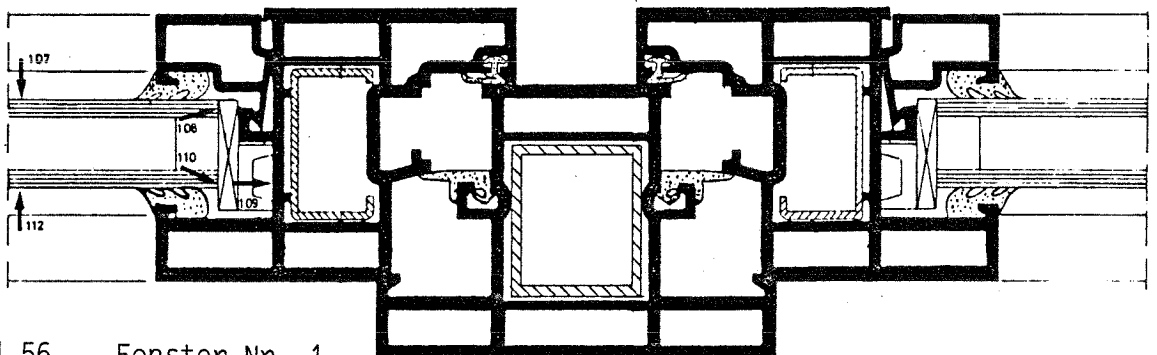
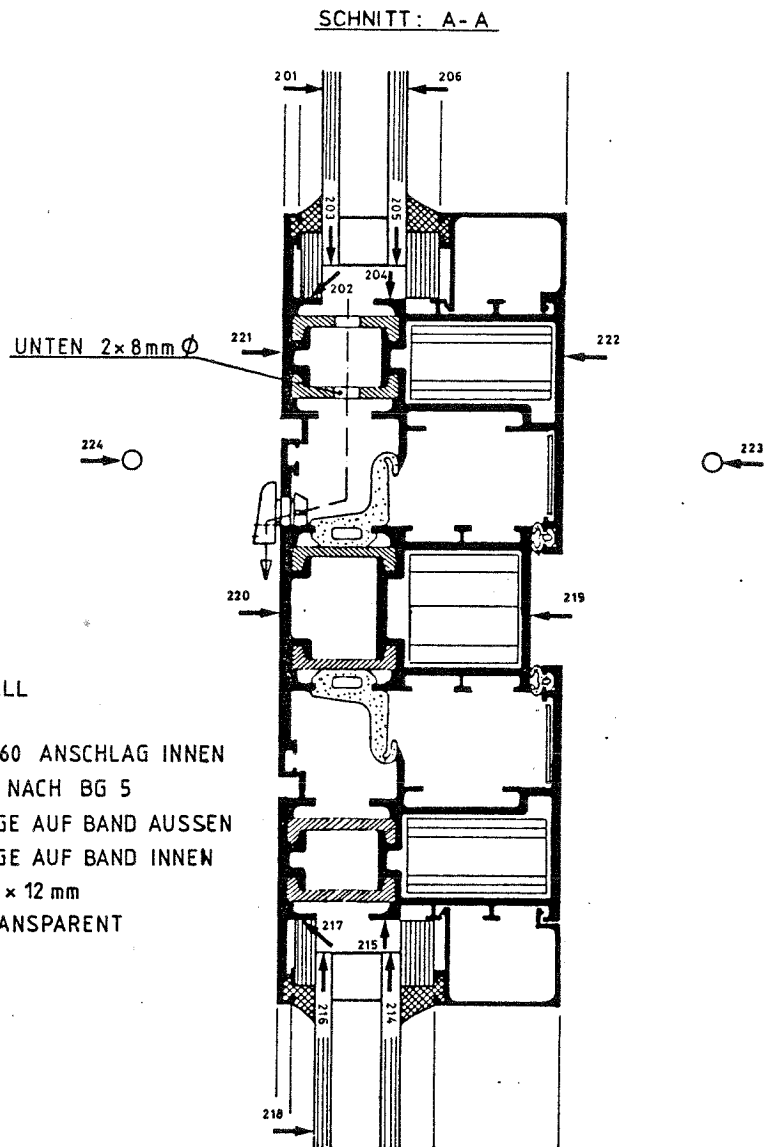
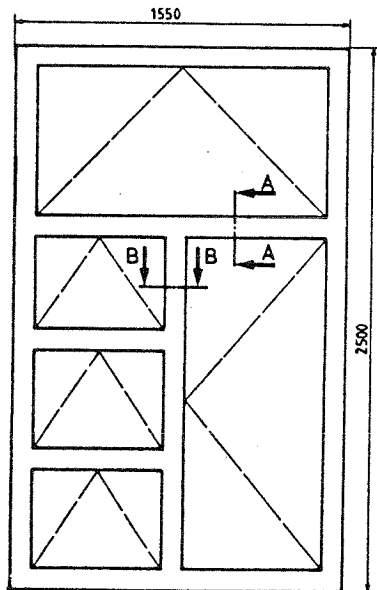


Bild 56 Fenster Nr. 1



- FENSTER NR.: 2
 MATERIAL : ALUMINIUM
 OBERFLÄCHE : ELOXAL HELL
 RICHTUNG : NORD
 SYSTEM : SYSTHERM® 60 ANSCHLAG INNEN
 GLASABDICHTUNG : DICHTSTOFF NACH BG 5
 4mm VORLAGE AUF BAND AUSSEN
 5mm VORLAGE AUF BAND INNEN
 VORLEGE BAND : 4 x 12 mm / 5 x 12 mm
 VERSIEGELUNG : SILICON TRANSPARENT

SCHNITT: B-B

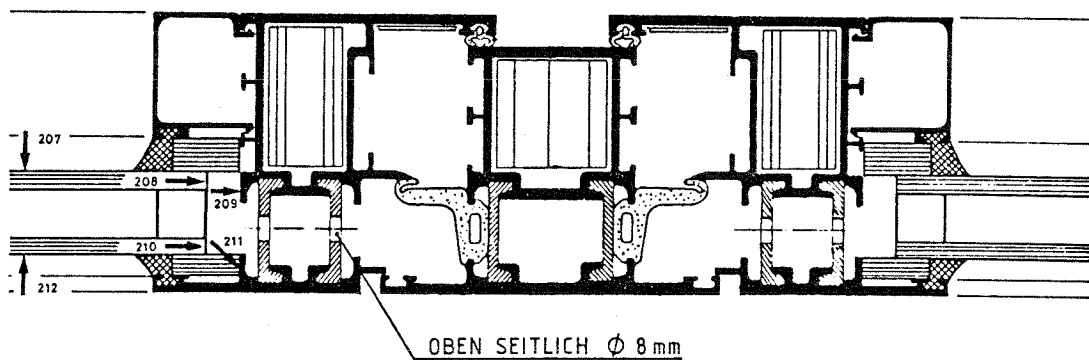
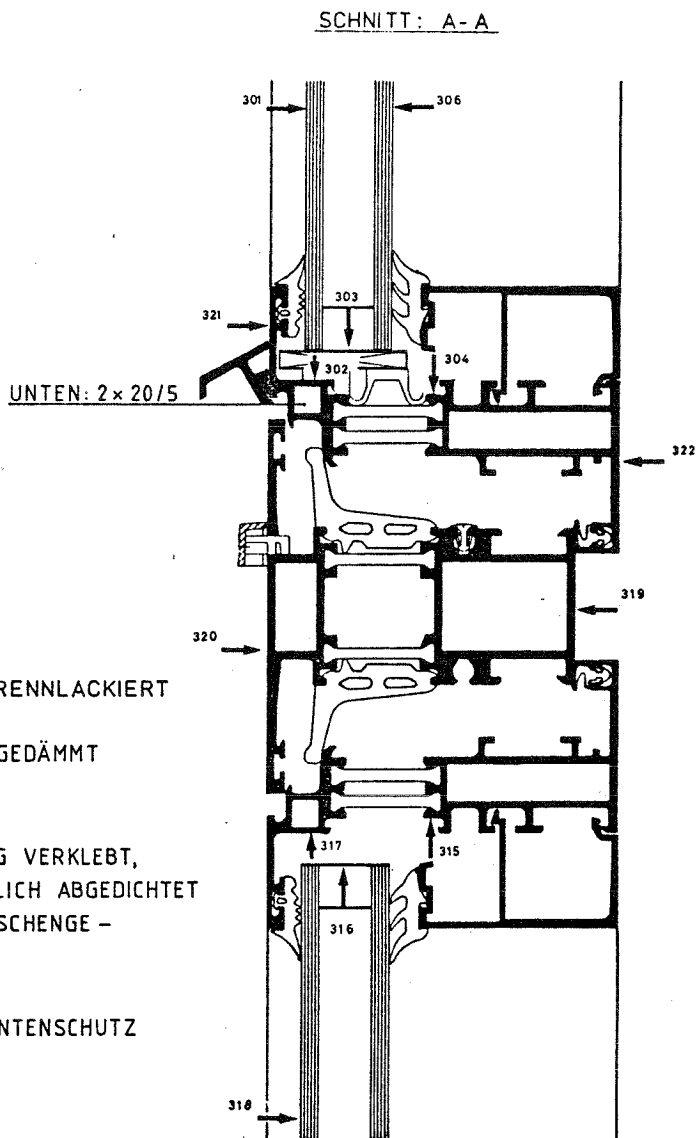
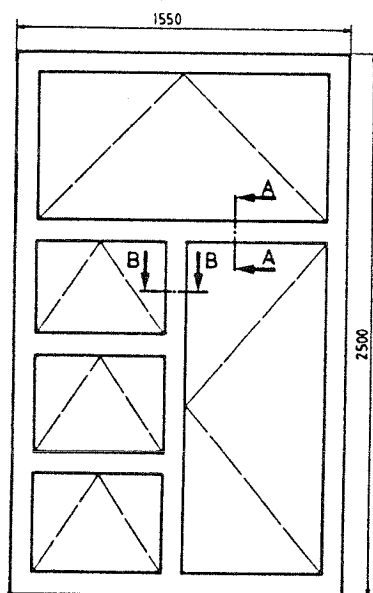


Bild 57 Fenster Nr. 2



- FENSTER NR.: 3
 MATERIAL : ALUMINIUM
 OBERFLÄCHE : BRAUN EINBRENNLACKIERT
 RICHTUNG : WEST
 SYSTEM : W 21.2 WÄRMEGEDÄMT
 GLASABDICHTUNG : PROFIL
 ECKAUSBILDUNG :
 - AUSSEN : AUF GEHRUNG VERKLEBT,
 UND ZUSÄTZLICH ABGEDICHTET
 - INNEN : STUMPF ZWISCHENGE -
 SCHNITTEN
 MEHRSCHEIBEN -
 ISOLIERGLAS : ALLE MIT KANTENSCHUTZ

SCHNITT: B-B

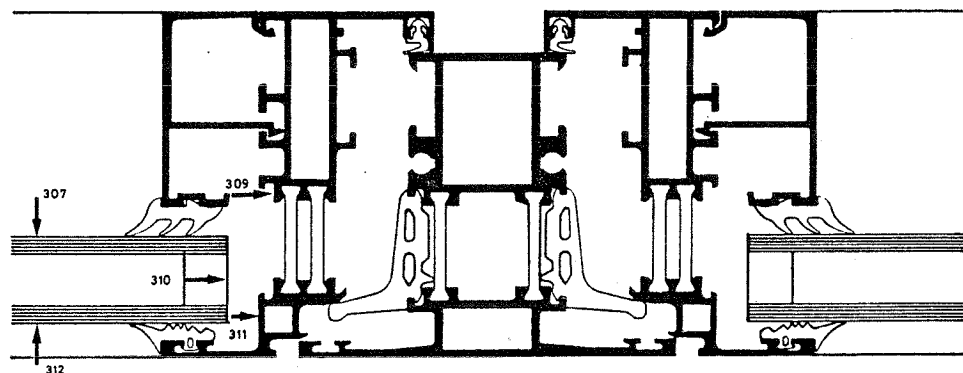
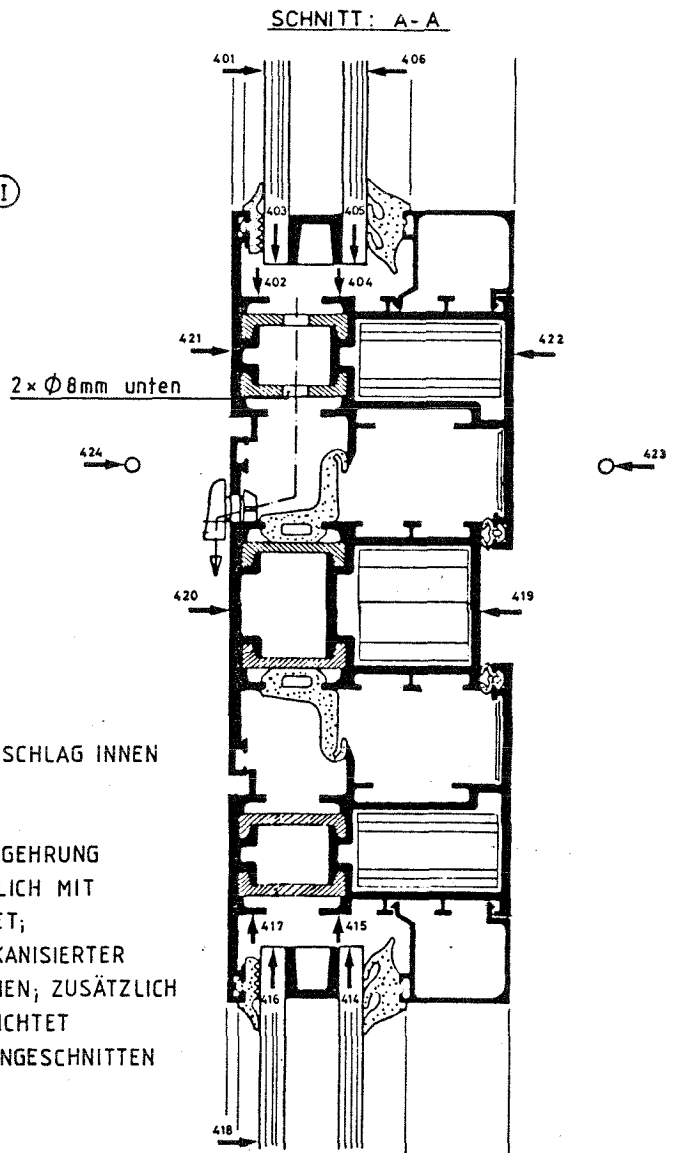
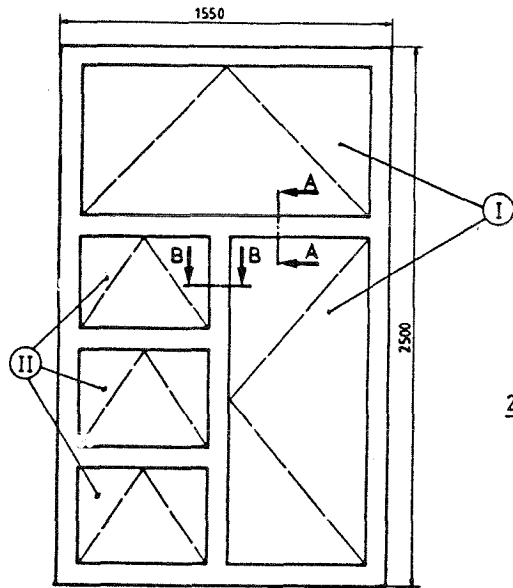


Bild 58 Fenster Nr. 3



FENSTER NR.: 4
 MATERIAL : ALUMINIUM
 OBERFLÄCHE : ELOXAL NATUR
 RICHTUNG : WEST
 SYSTEM : SYSTHERM[®] 60 ANSCHLAG INNEN
 GLASABDICHTUNG : DICHTPROFIL
 ECKAUSBILDUNG

- AUSSEN : FLÜGEL ① : AUF GEHRUNG
 GEKLEBT; ZUSÄTZLICH MIT
 KLEBER GEDICHTET;
 FLÜGEL ② : VULKANISierter
 DICHTPROFILRAHMEN; ZUSÄTZLICH
 MIT KLEBER GEDICHTET
- INNEN : STUMPF ZWISCHENGESCHNITTEN

SCHNITT: B-B

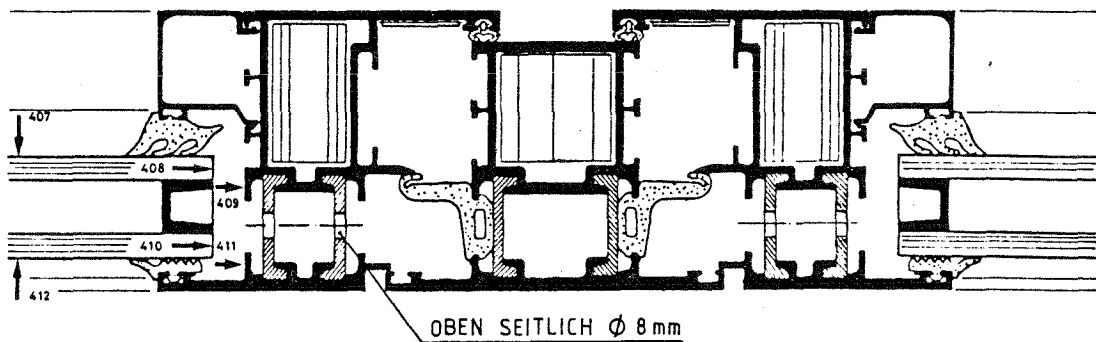
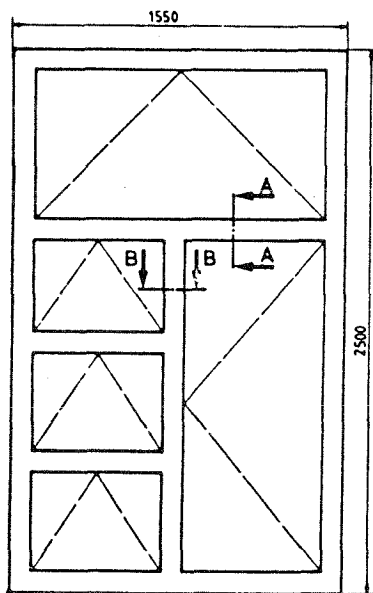


Bild 59 Fenster Nr. 4



- FENSTER NR.: 5
 MATERIAL : PVC
 OBERFLÄCHE : WEISS
 RICHTUNG : WEST
 SYSTEM : TROCAL 400
 GLASABDICHTUNG : DICHTPROFIL AUSSEN
 UND INNEN GLEICH;
 ECKAUSBILDUNG
 - AUSSEN : AUF GEHRUNG STUMPF
 GESTOßEN; ZUSÄTZLICH
 MIT KLEBER GEDICHTET;
 - INNEN : STUMPF ZWISCHENGE-
 SCHNITTEN;

SCHNITT: B - B

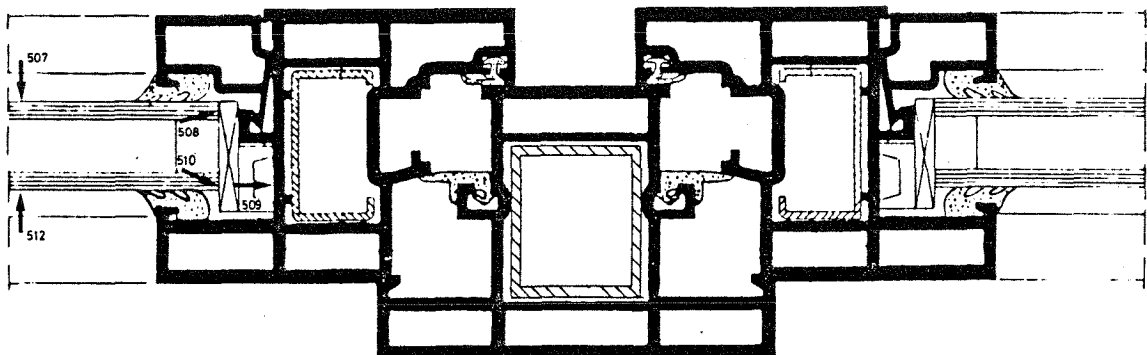
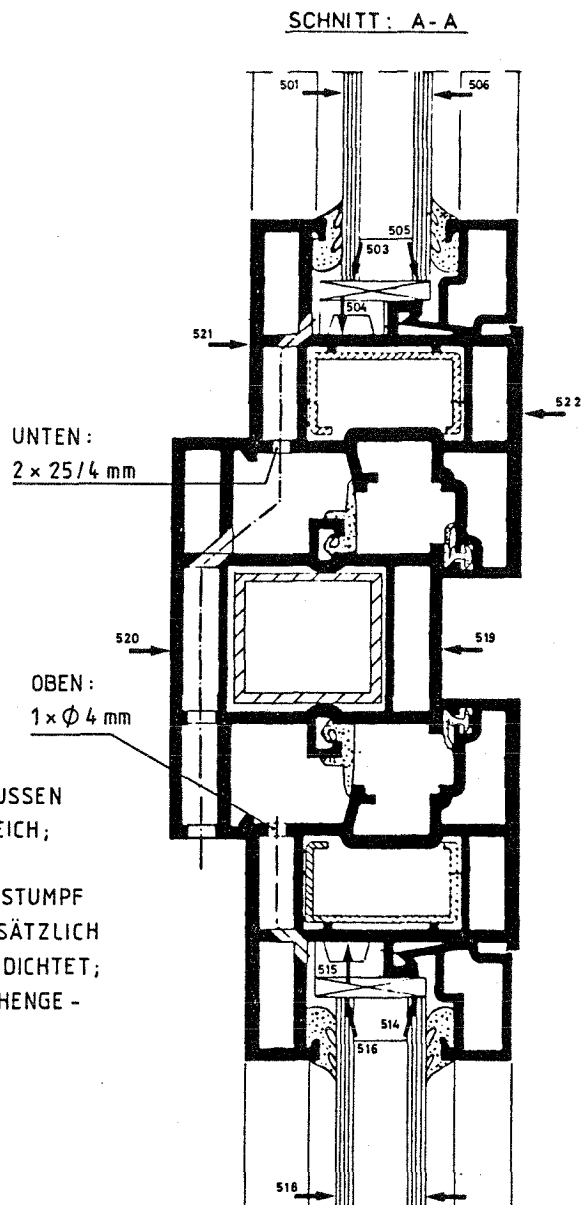
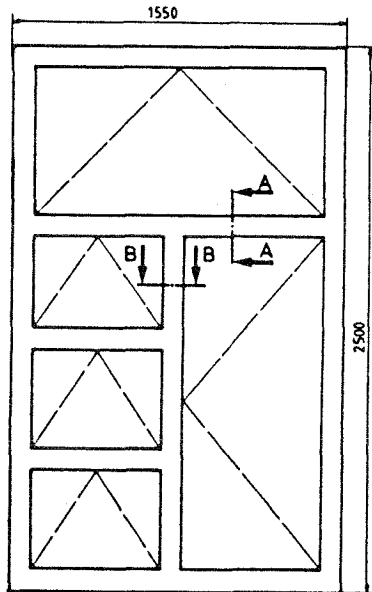


Bild 60 Fenster Nr. 5



- FENSTER NR.: 6
 MATERIAL : HOLZ
 OBERFLÄCHE : ANSTRICH WEISS
 RICHTUNG : WEST
 SYSTEM : JV 56
 GLASABDICHTUNG : DICHTSTOFF NACH BG 5
 DICHTSTOFF-FREIER FALZGRUND
 AUSSEN + INNEN :
 4 mm DICHTSTOFFVORLAGE
 AUF BAND;
 VORLEGE BAND : 4 x 12 mm
 VERSIEGELUNG : SILICON TRANSPARENT
 VERKLOTZUNG : KLOTZBRÜCKEN

SCHNITT: B - B

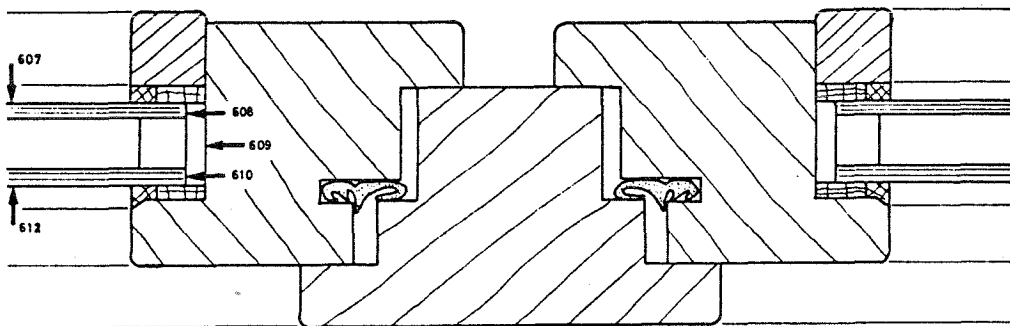
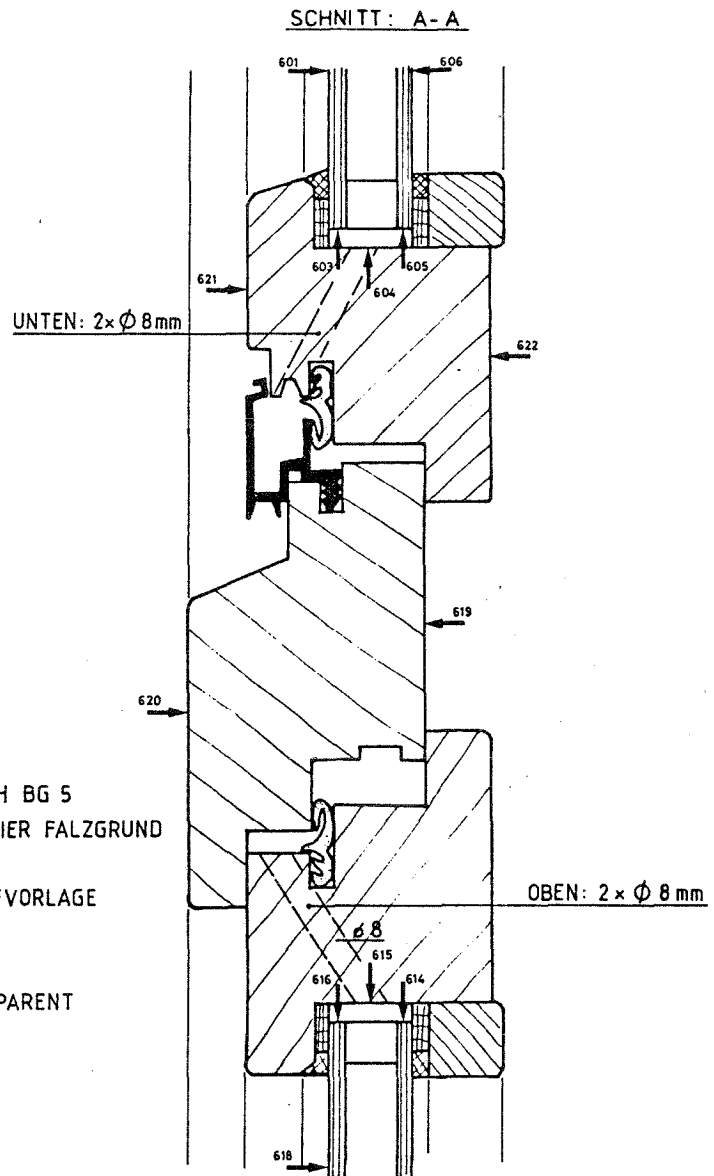
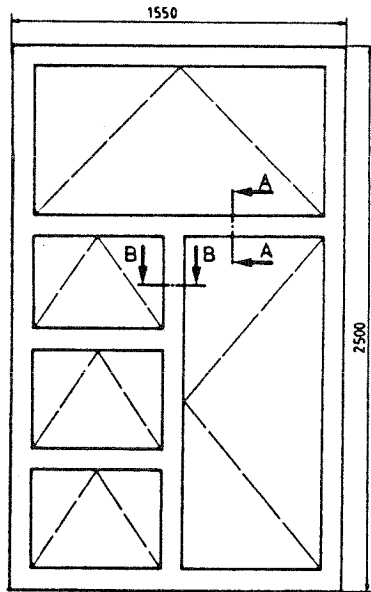


Bild 61 Fenster Nr. 6



FENSTER NR.: 7
 MATERIAL : HOLZ
 OBERFLÄCHE : LASUR DUNKEL
 RICHTUNG : SÜD
 SYSTEM : JV 56
 GLASABDICHTUNG : DICHTSTOFF NACH BG 5
 DICHTSTOFF-FREIER FALZ-
 GRUND;
 AUSSEN + INNEN :
 4 mm DICHTSTOFFVORLAGE
 AUF BAND;
 VORLEGE BAND : 4 x 12 mm
 VERSIEGELUNG : SILICON TRANSPARENT
 VERKLOTZUNG : KLOTZBRÜCKEN

SCHNITT: B - B

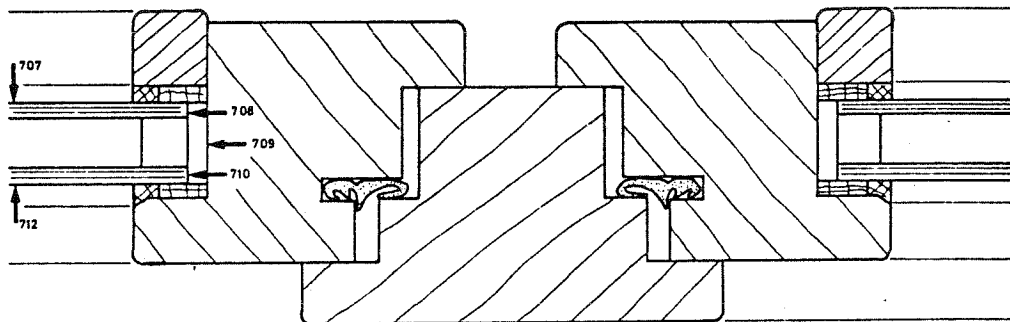
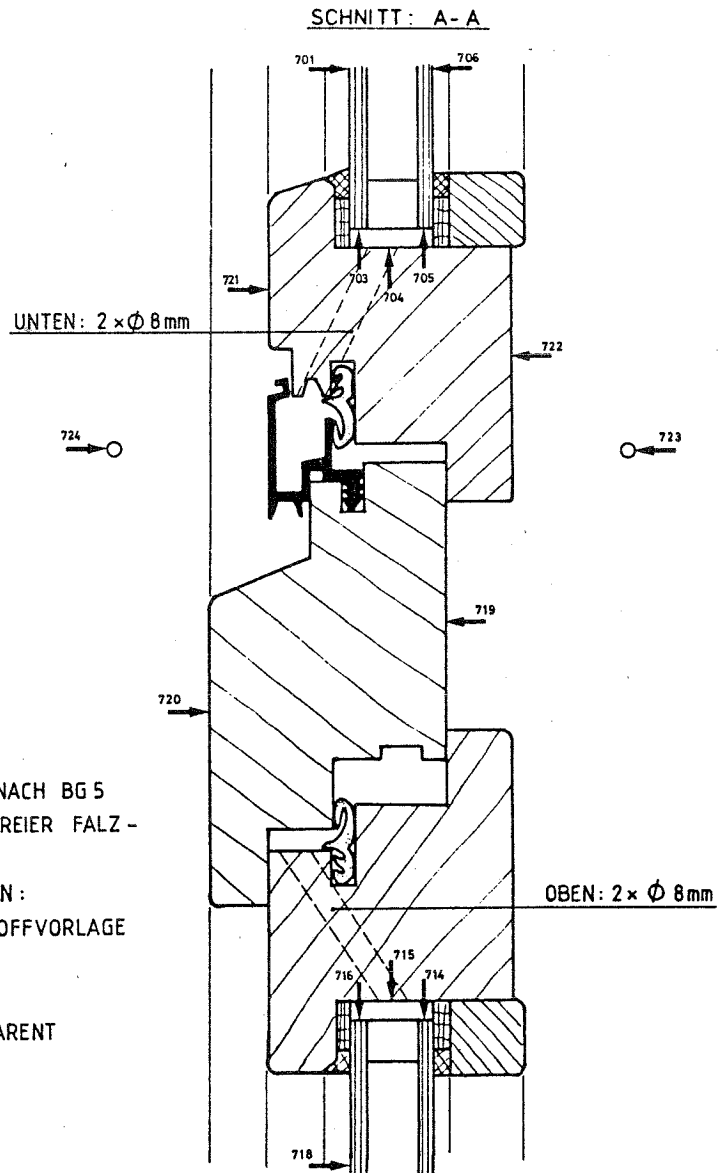
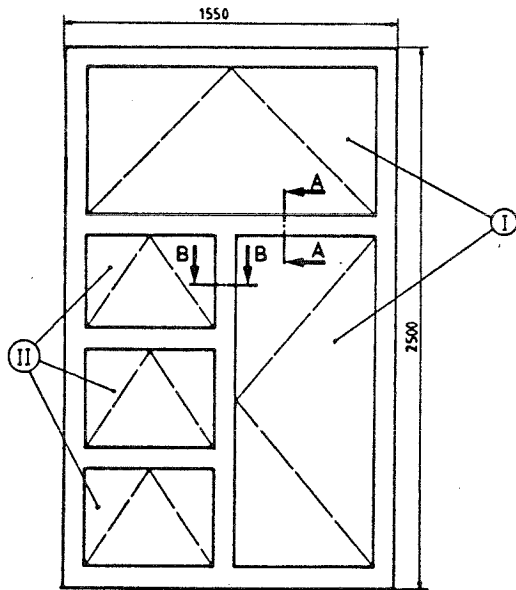


Bild 62 Fenster Nr. 7



FENSTER NR.: 8
 MATERIAL : ALUMINIUM
 OBERFLÄCHE : ELOXAL DUNKEL
 RICHTUNG : SÜD
 SYSTEM : SYSTHERM® 60 ANSCHLAG INNEN
 GLASABDICHTUNG : DICHTPROFIL
 ECKAUSBILDUNG AUSSEN : FLÜGEL ① : VULKANISIERTER
 DICHTPROFILRAHMEN;
 FLÜGEL II : AUF GEHRUNG
 GEKLEBT;
 ZUSÄTZLICH MIT KLEBER
 GEDICHTET;
 ECKAUSBILDUNG INNEN : STUMPF ZWISCHENGESCHNITTEN;

SCHNITT: B - B

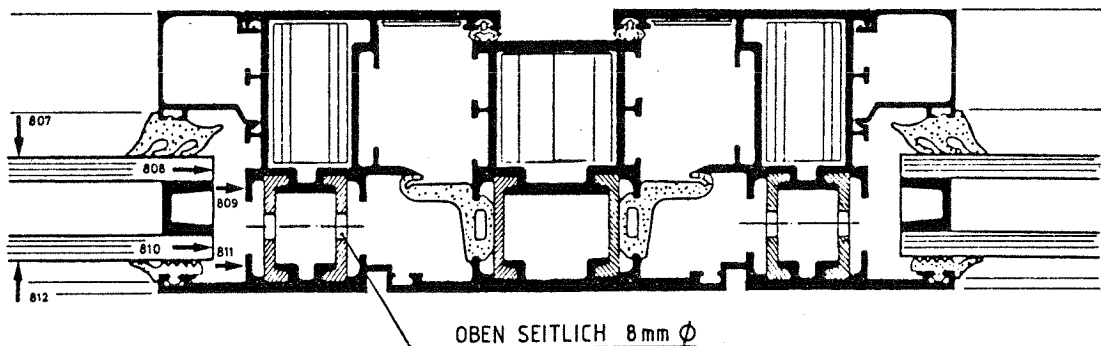
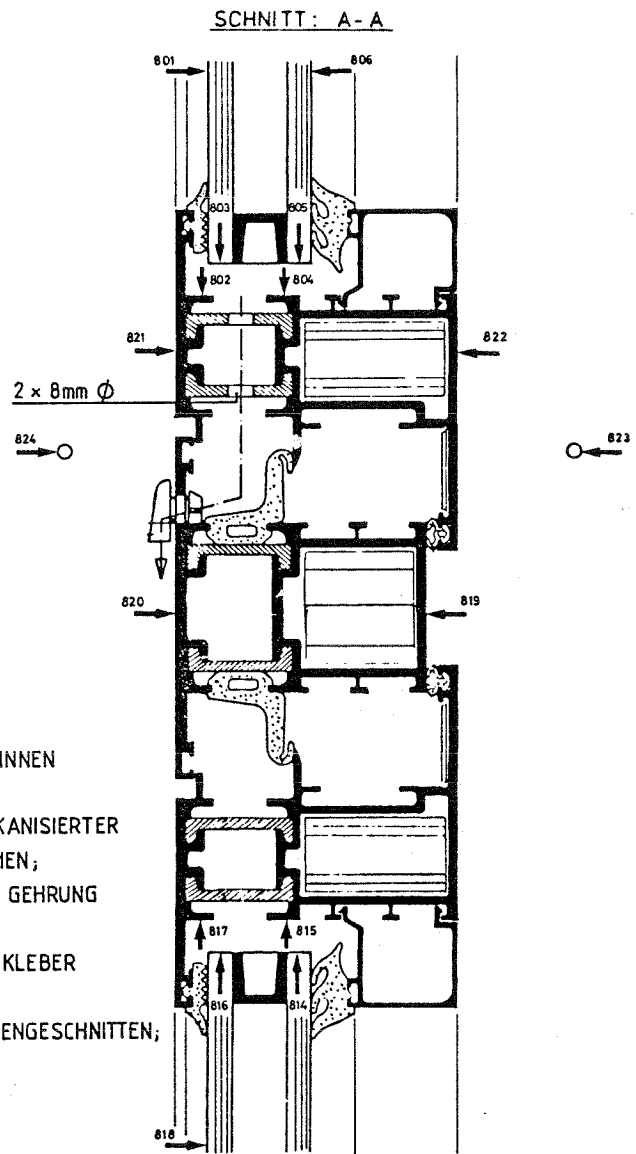


Bild 63 Fenster Nr. 8

Um eine Aussage über die auftretenden Belastungen zu erhalten, wurden die Beurteilungskriterien nach Tabelle 15 meßtechnisch bzw. visuell ermittelt.

Beurteilungskriterien	Ort	Intervall	Hinweise
Temperatur	Oberfläche Rahmen innen/außen Oberfläche Glas innen/außen Glasrand innen/außen Glasfalz (bei WGP Außen- +Innenschale Raumluft Außenluft	alle 30 min	Thermoelemente Cu/Ko
Feuchtigkeit	im Glasfalzraum	alle 30 min	Valvo - Feuchtefühler
Taupunkt MSI	in Scheibenmitte	2x jährlich	nach DIN 52 345
Tauwasser- verhalten	im Glasfalzraum	nach Bedarf	Endoskop
Verhalten bei Schlagregen	im Glasfalzraum	nach Bedarf	Endoskop
Glasabdichtung	außenseitig und innenseitig	nach Bedarf	visuell

Tabelle 15 Beurteilungskriterien

8.2.2 Laborprüfung

Laborprüfungen haben den Vorteil, daß die Prüfbedingungen definiert hergestellt werden können und damit in relativ kurzer Zeit Prüfergebnisse vorliegen, die wiederholbar sind. Insofern muß es das Ziel aller Untersuchungen sein, Aussagen über die Gebrauchstauglichkeit von Bauteilen aus Laborprüfungen die in der Regel Kurzzeitprüfungen sind, zu erhalten. Die Schwierigkeit besteht im allgemeinen in der Übertragbarkeit der Ergebnisse aus Kurzzeitprüfung auf das tatsächliche Verhalten im praktischen Einsatz. Aus diesem Grunde wurden in das Versuchsprogramm sowohl Labor- als auch Freilanduntersuchungen aufgenommen, die jeweils an den gleichen Systemen durchgeführt wurden. Der Laborprüfung lag als Basis DIN 52 344 Klimawechselprüfung zugrunde, wobei neben

- der Bestimmung der Beladung des Trocknungsmittels (DIN 52 294)
- der Bestimmung der Taupunkttemperatur (DIN 52 345)

auch Veränderungen im Randverbund beobachtet wurden.

Insgesamt wurden 78 Systeme mit dem Prüfumfang nach DIN 1286 Teil 1 in die Auswertung mit einbezogen und an verschiedenen Systemen weitergehende Prüfungen durchgeführt mit folgenden Parametern:

- Erhöhung der Anzahl der Prüf-Zyklen nach DIN 1286
- Definierter Einbau von Fehlstellen in dem Randverbund

Die Ergebnisse der Prüfungen wurden mit den Ergebnissen an den verglasten Fenstern verglichen.

Die 3 Systeme der Prüfscheiben sind wie folgt beschrieben:

Bezeichnung	A	B	C
Aufbau	4/12/4	4/12/4	4/12/4
Kantenschutz	-	-	-
Randverbund	zweistufig	zweistufig	zweistufig
Dichtstoff innen	Butyl	Butyl	Butyl
Dichtstoff außen	Polysulfid	Polysulfid	PUR
Abstandhalter	Stahl	Stahl	Stahl
Eckverbindung	Kunststoff	Metall	Kunststoff
Trocknungsmittel	Molekularsieb	Molekularsieb	Molekularsieb
Füllung	ca 45 gr	ca 45 gr	ca 45 gr
allg. Beurteilung	gut	gut	gut

Tabelle 16 Technische Daten des eingebauten Mehrscheiben-Isolierglases

8.3 Ergebnis aus der Freilandprüfung

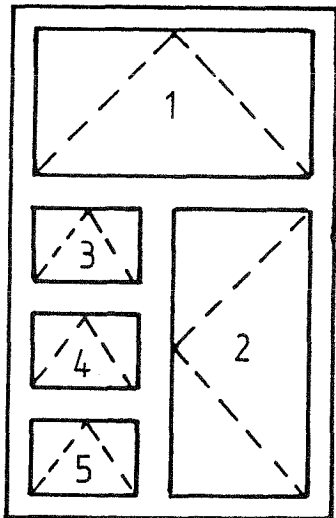
8.3.1 Beladungszunahme

Die Überprüfung der Beladungszunahme des Trocknungsmittels im Mehrscheiben-Isolierglas ist eine zerstörende Prüfung. Sie ist dennoch erforderlich wenn man die Veränderung der Nutzungserwartung quantitativ ermitteln will. Die Taupunkttemperatur ist hierfür nicht ausreichend. Aus diesem Grunde konnten die Scheiben aus der Freilandprüfung erst zum Ende der Belastungszeit untersucht werden. Scheiben gleichen Typs und aus gleicher Fertigung wurden auch im Labor überprüft, so daß die Ausgangsbeladung bekannt war.

Nach einer Einbau- und Belastungszeit von 27 Monaten ergaben sich Beladungszunahmen zwischen 0,5 und 1,0 %. Die Einzelwerte sind in der Tabelle 17 angegeben. Weitere Angaben über die Lage der Prüfscheiben in den Fenstern sind aus Bild 64 ersichtlich.

Fenster Nr Werkstoff	Scheibe 3	4	5
	Beladungszunahme nach 27 Monaten Δb^*		
1 PVC hell	(A) 0,5 %	(B) 0,7 %	(C) 0,8%
2 WGP hell	(C) 0,9%	(A) 0,6 %	(B) 0,9 %
3 WGP dunkel	-	-	-
4 WGP hell	(C) 0,7 %	(B) 0,7 %	(A) 0,5 %
5 PVC hell	(B) 0,8 %	(C) 0,7 %	(A) 0,7 %
6 Holz weiß	(A) 0,7 %	(B) 0,7 %	(C) 1,0 %
7 Holz dunkel	(B) 0,8 %	(A) 0,6 %	(C) 1,0 %
8 WGP dunkel	(A) 0,5 %	(C) 0,9 %	(B) 0,9 %

Tabelle 17 Ergebnis der Beladungszunahme Δb^* , nach 27 Monaten Belastung im Fenster



1...5 Scheibennummern

A...C System des Mehrscheiben-Isolierglases

Δb^* = Beladungszunahme nach einer Nutzungsdauer von 27 Monaten

Bild 64 Scheibenkennzeichnung

Die Beobachtungen an den Scheiben 1 und 2 werden in dem noch laufenden Versuch fortgeführt, die Scheiben 3 bis 5 werden durch Mehrscheiben-Isolierglas mit infrarotreflektierender Beschichtung ersetzt. Diese Scheiben sind nach DIN 4108 als Sondergläser eingestuft. Wegen der kurzen Nutzungsdauer erschien eine Überprüfung der Beladung dieser Scheiben zum augenblicklichen Zeitpunkt nicht sinnvoll.

Die Beladungszunahme aus der Orientierung der Scheiben war im:

Fenster 1 und 2; nach Norden; Beladungszunahme 0,5 bis 0,9 %

Fenster 3 bis 6; nach Westen; Beladungszunahme 0,5 bis 1,0 %

Fenster 7 und 8; nach Süden; Beladungszunahme 0,5 bis 1,0 %

Eine Auswertung dieser Ergebnisse, die wegen des geringen Probenumfangs nur mit Einschränkung möglich ist, führt zu folgenden Erkenntnissen:

- in der Beladungszunahme konnten innerhalb des Versuchszeitraumes keine gesicherten Unterschiede in Abhängigkeit der Einbaurichtung festgestellt werden.
- Unterschiede in der Beladungszunahme ergaben sich nicht zwischen den Systemen A bis C des eingesetzten Mehrscheiben-Isolierglases.
- Auch zwischen den verschiedenen Rahmenwerkstoffen und den unterschiedlichen Verglasungssystemen sind keine gesicherten Unterschiede erkennbar.

Während der Belastungszeit wurden die Verglasungen laufend überprüft, so daß Einflüsse aus undichter Verglasung nicht vorliegen.

8.3.2 Temperaturbelastung

Während des Versuchszeitraumes Dezember 1981 bis November 1982 wurden die Temperaturen am Glasrand, am Rahmen und in Scheibenmitte erfaßt und ausgewertet. Von Interesse sind dabei die Temperaturen

- am Glasrand der äußeren Scheibe, weil sie die größte Temperaturbelastung des Glasrandes bestimmen
- in Scheibenmitte, weil sie auf Temperaturdifferenzen in der Scheibe schließen läßt
- an der äußeren Oberfläche des Rahmens um den Einfluß der Farbgebung und des Rahmenmaterials abzugrenzen.

Die Auswertung der Temperatur am unteren Glasrand der äußeren Scheibe zeigt, daß hier die höchsten Glastemperaturen auftreten. Der Vergleich für einen ausgewählten Zeitraum im August/September 1982 ergibt, daß die Glasrandtemperatur vom Rahmenwerkstoff und der Verglasungsart nur unwesentlich beeinflußt werden. So ist aus Bild 65 zu erkennen, daß die Temperaturkurven am unteren Glasrand für die an der Südseite eingebauten Fenster aus Aluminium und Holz in jeweils dunklem Farbton, deckungsgleich sind, d.h. daß gleiche Temperaturen auftreten. Die gleiche Feststellung gilt im wesentlichen auch für die Glasrandtemperatur am Holz-, Aluminium- und Kunststoff-Fenster auf der Westseite (Bild 66). Hier liegen nur beim Kunststoff-Fenster die Maximalwerte 4-5°C höher. Trotzdem ist die Aussage zu vertreten, daß bei Normalglas die Glasrandtemperatur weitgehend unabhängig vom Rahmenmaterial ist. Es ist deshalb ausreichend, wenn für weitere Betrachtungen ein Fenster ausgewählt wird. Aus diesem Grund ist das Ergebnis der Messungen am Fenster Nr. 8 für die verschiedenen Jahreszeiten in den Bildern 67, 68, 69 dargestellt. Diese Darstellung zeigt, daß über das ganze Jahr, wenn auch mit unterschiedlicher Häufigkeit, bei Sonneneinstrahlung mit Temperaturspitzen um 60°C zu rechnen ist.

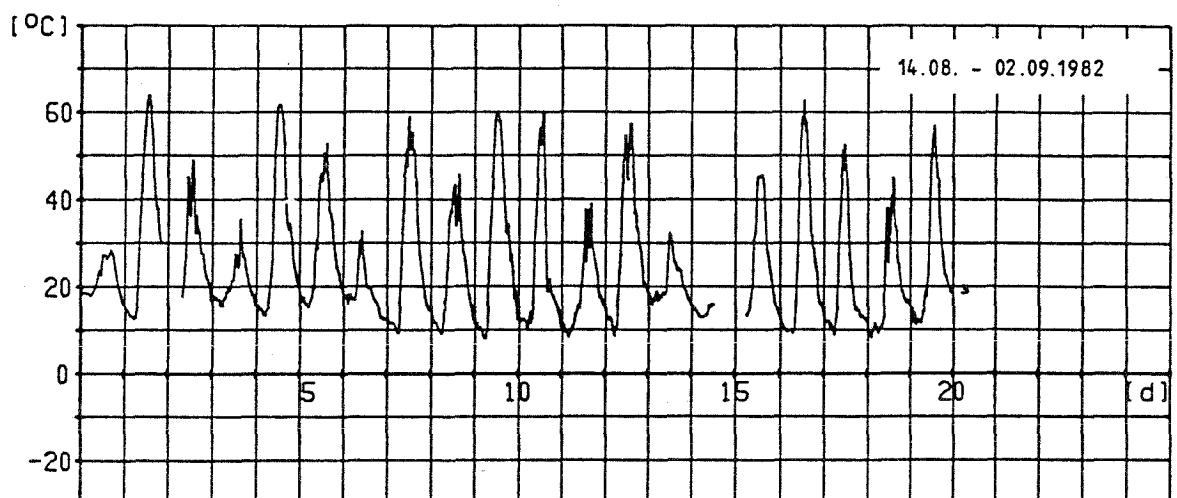
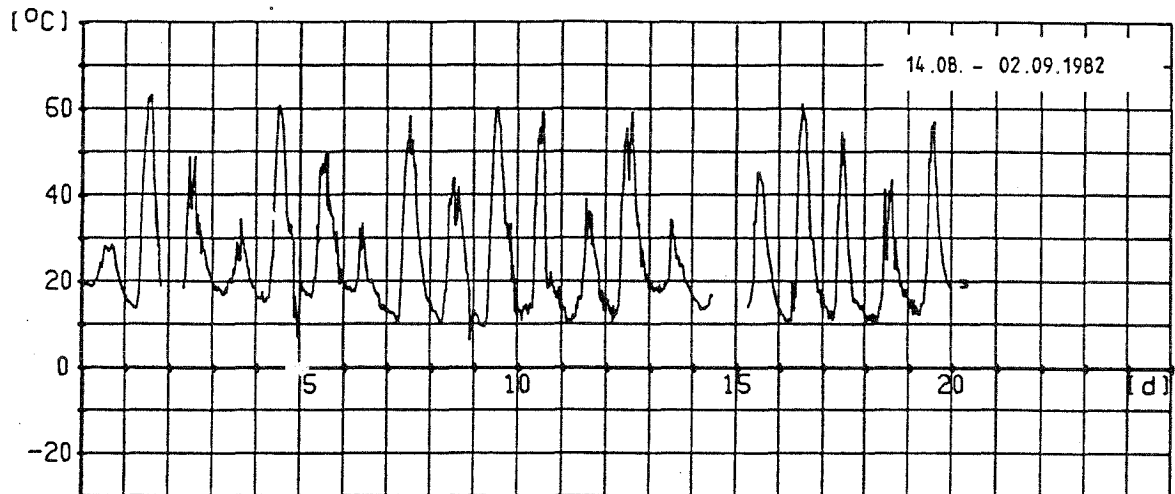


Bild 65 Verlauf der Glasrandtemperaturen von Fenstern der Südseite; Messung vom 14.8.1982 bis 2.9.1982;
untere Darstellung: Lasuranstrich dunkel Holzfenster Nr. 7
obere Darstellung: Eloxal dunkel Aluminiumfenster Nr. 8

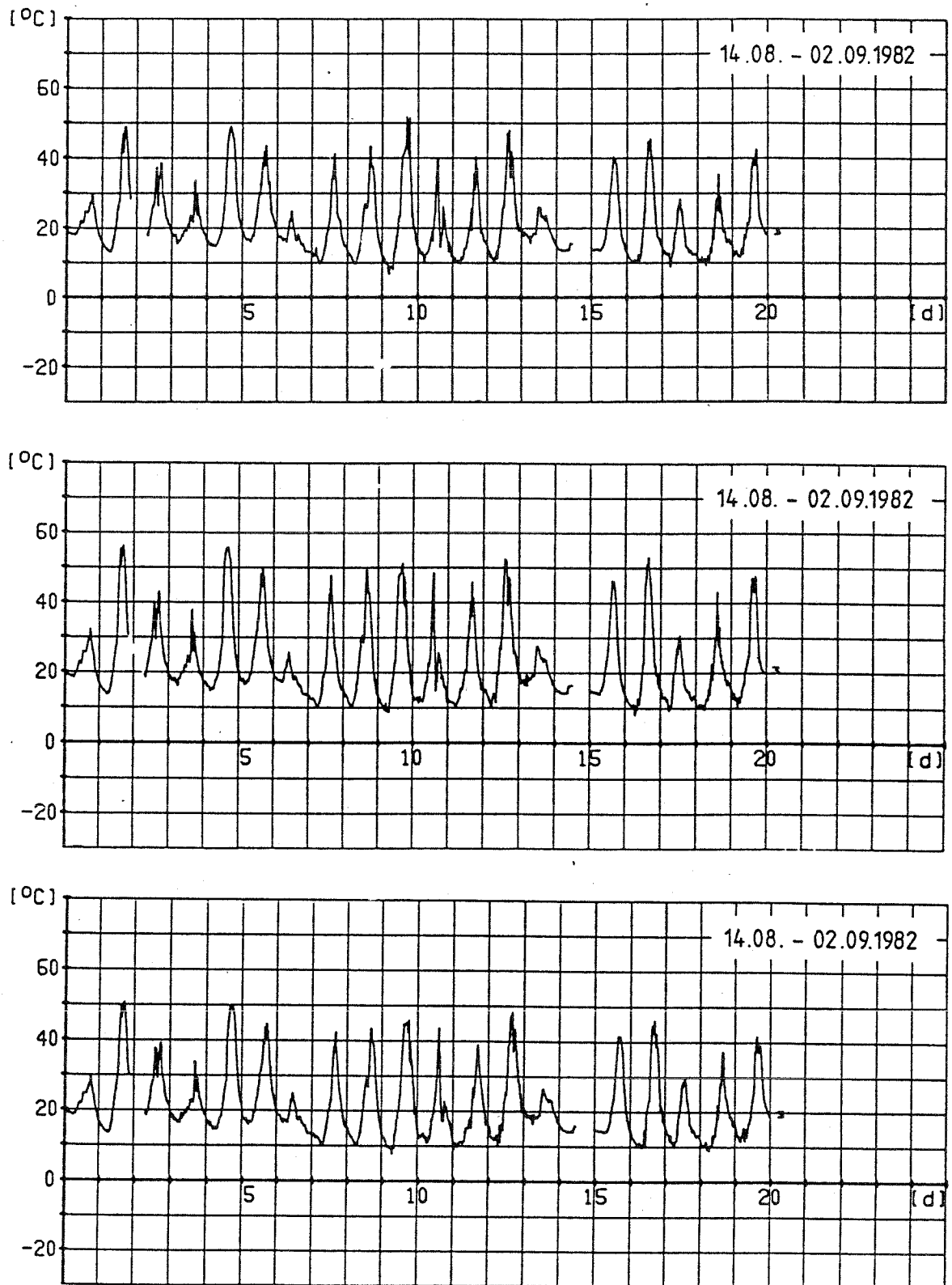


Bild 66 Verlauf der Glasrandtemperaturen von Fenstern der Westseite; Messung vom 14.8.1982 bis 2.9.1982;
obere Darstellung: Alufenster im Naturton Nr. 4
mittlere Darstellung: weißes PVC-Fenster Nr. 5
untere Darstellung: weißes Holzfenster Nr. 6

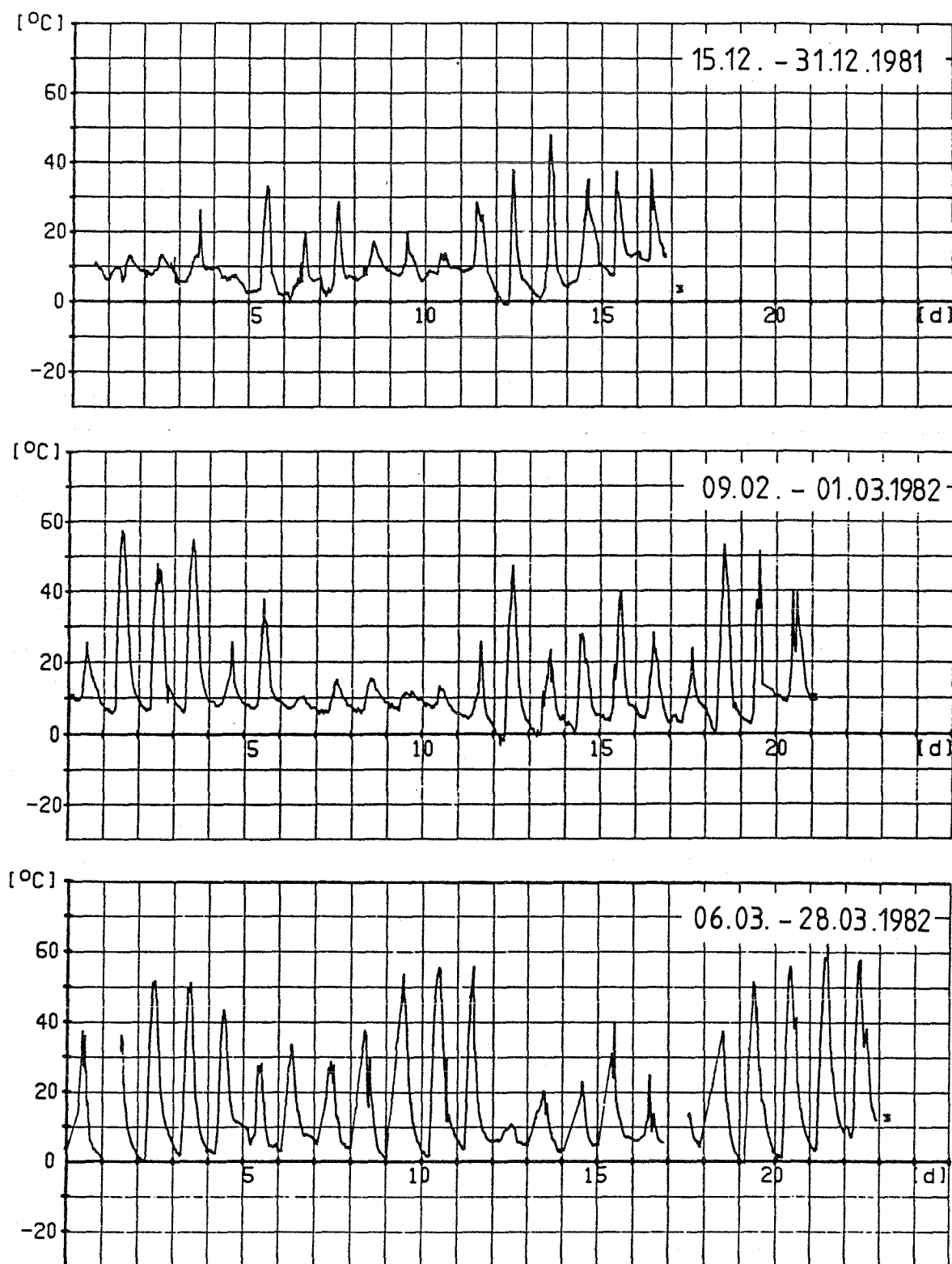


Bild 67.1 Verlauf der äußeren Glasrandtemperaturen am Fenster Nr. 8 im Zeitraum von Dezember 1981 bis März 1982

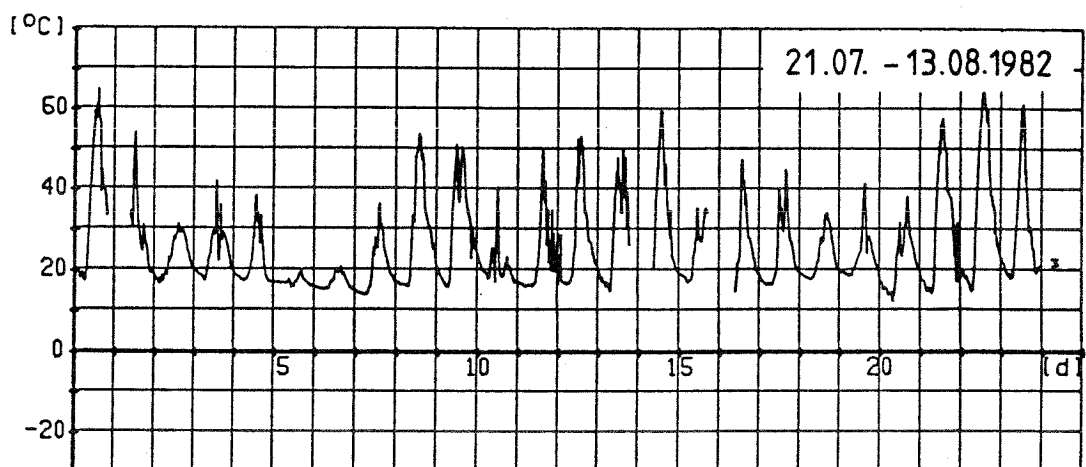
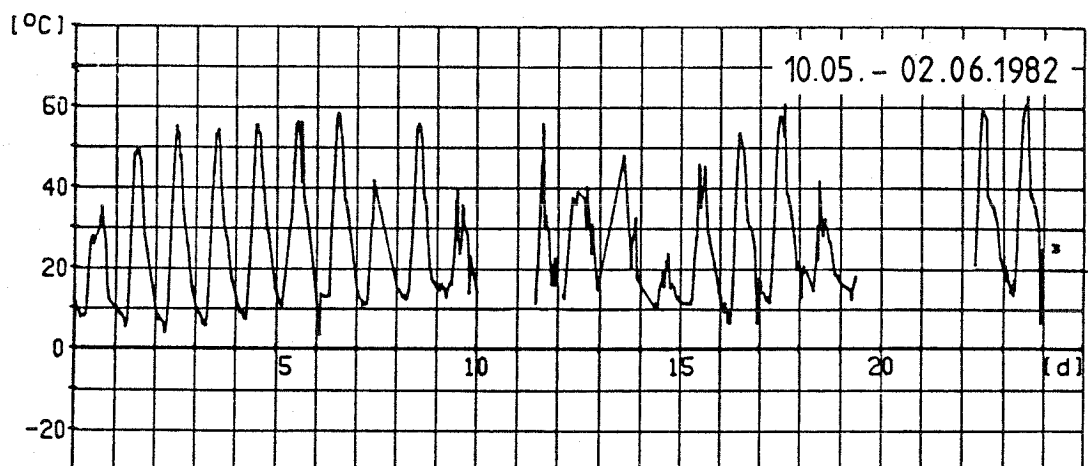
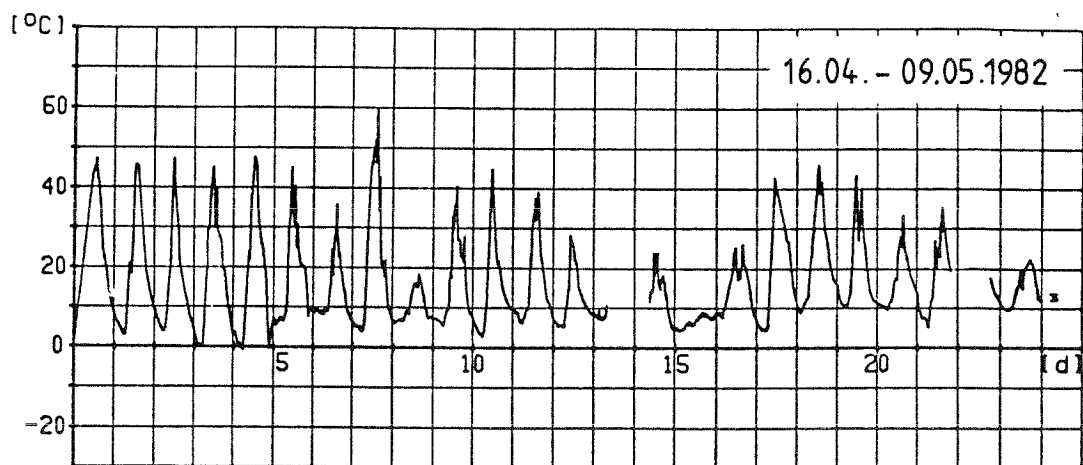


Bild 67.2 Verlauf der äußeren Glasrandtemperaturen am Fenster Nr. 8 im Zeitraum von April 1982 bis August 1982

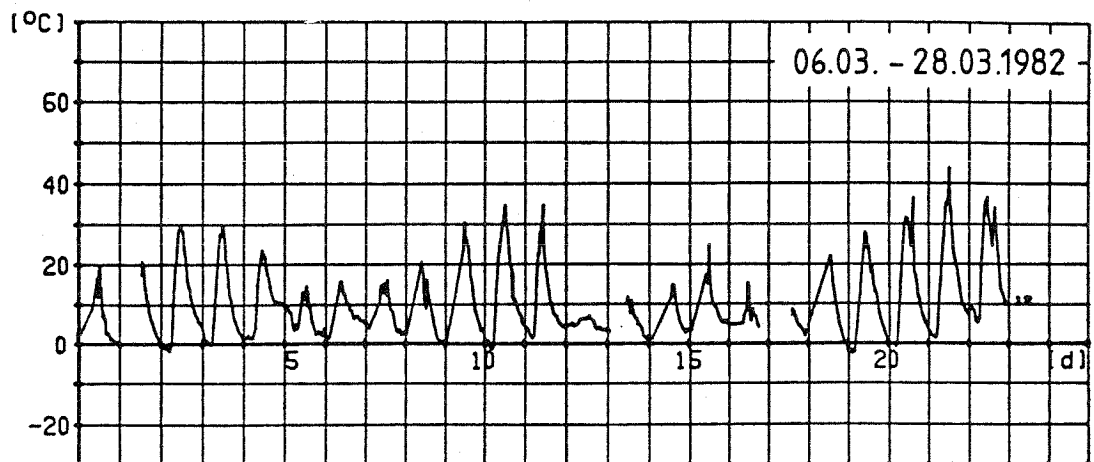
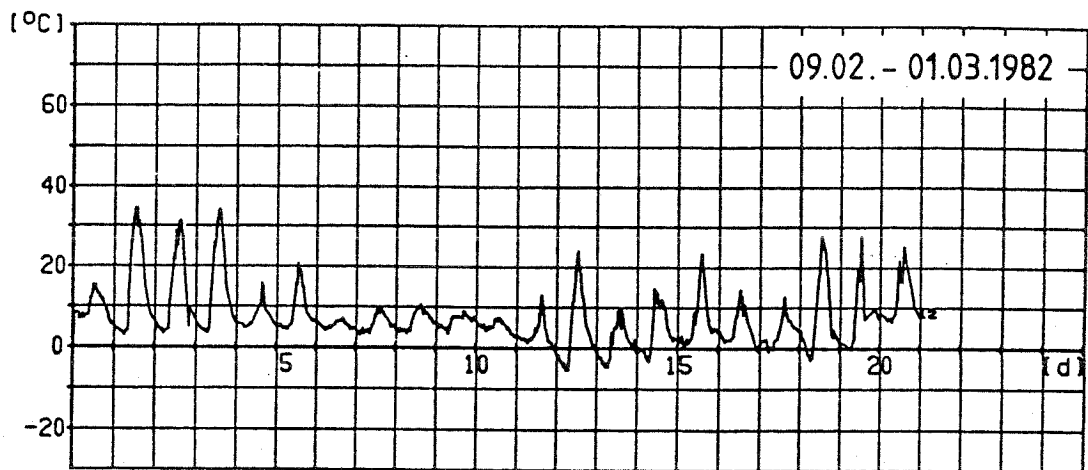
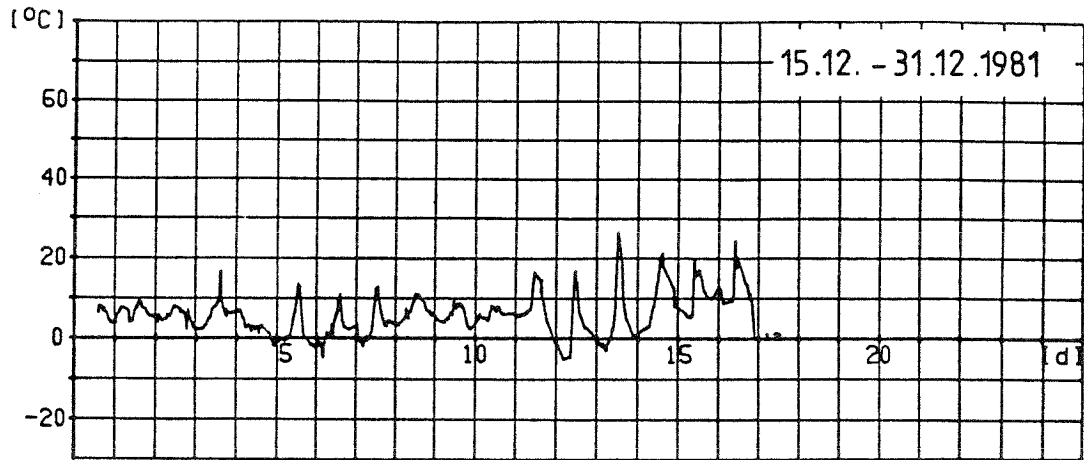


Bild 68.1 Verlauf der Oberflächentemperaturen in Scheibenmitte auf der Außenseite von Fenster Nr. 8 im Zeitraum von Dezember 1981 bis März 1982

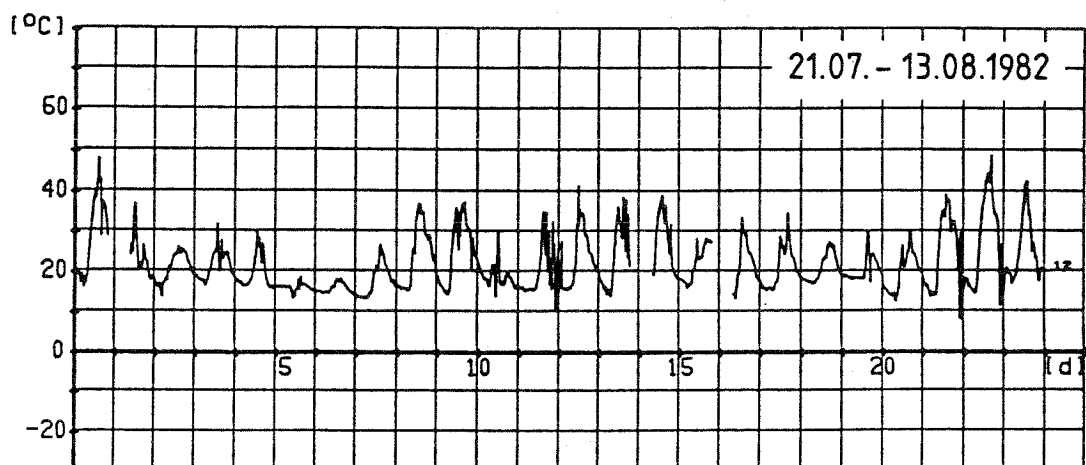
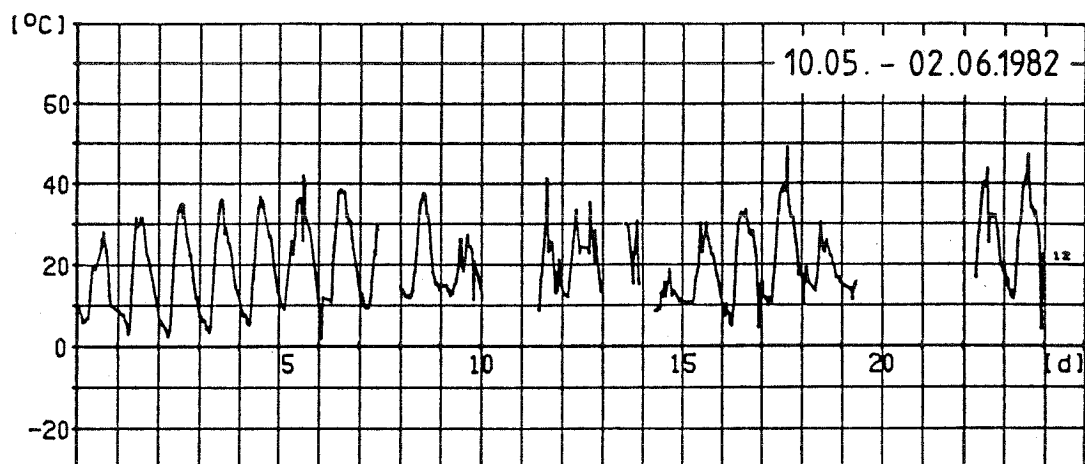
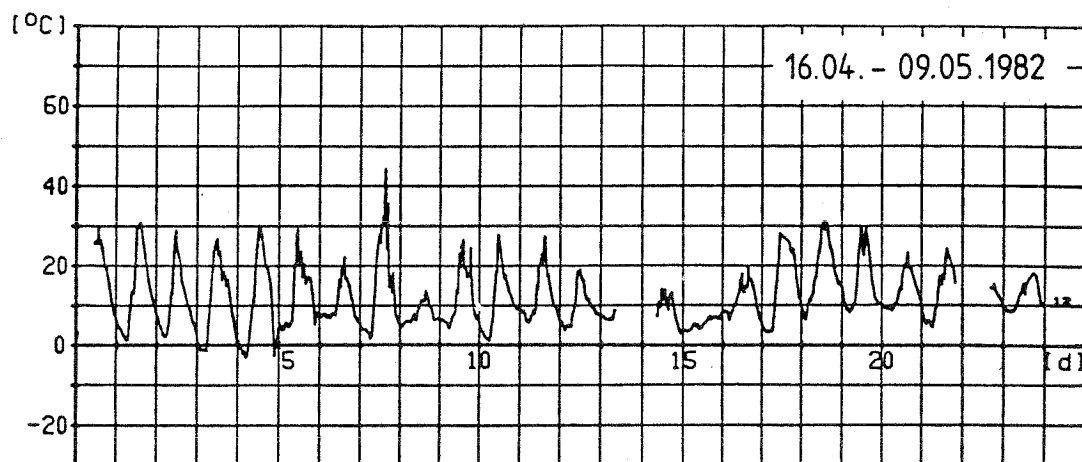


Bild 68.2 Verlauf der Oberflächentemperaturen in Scheibenmitte auf der Außenseite von Fenster Nr. 8 im Zeitraum von April 1982 bis August 1982

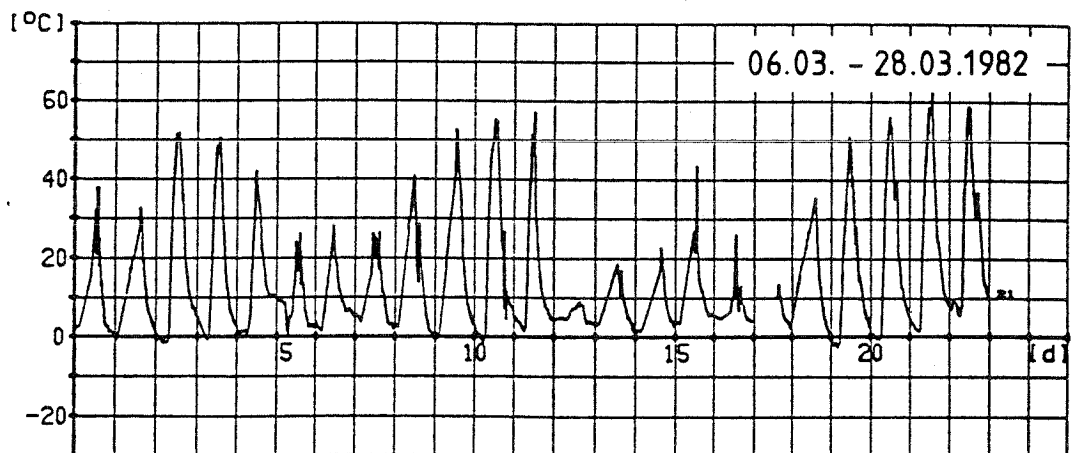
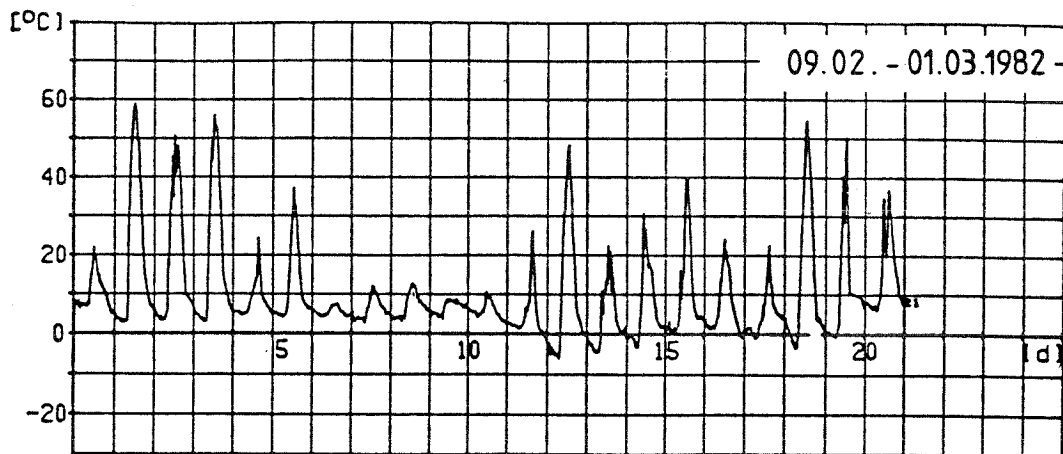
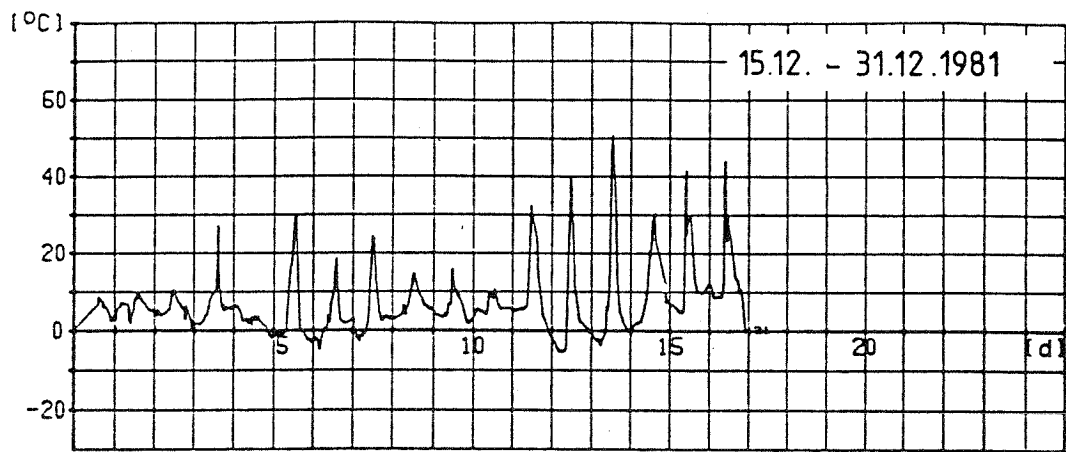


Bild 69.1 Verlauf der Oberflächentemperaturen auf der Rahmenaußenseite von Fenster Nr. 8 im Zeitraum von Dezember 1981 bis März 1982

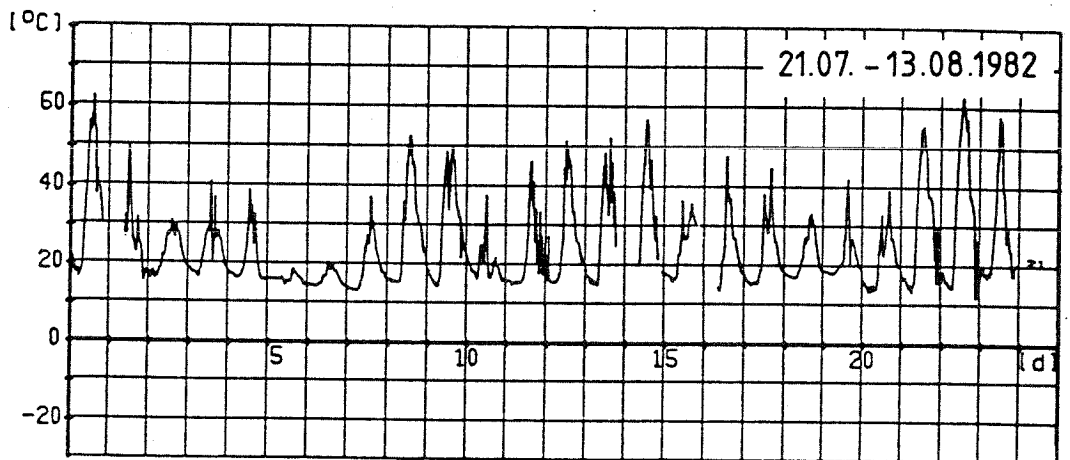
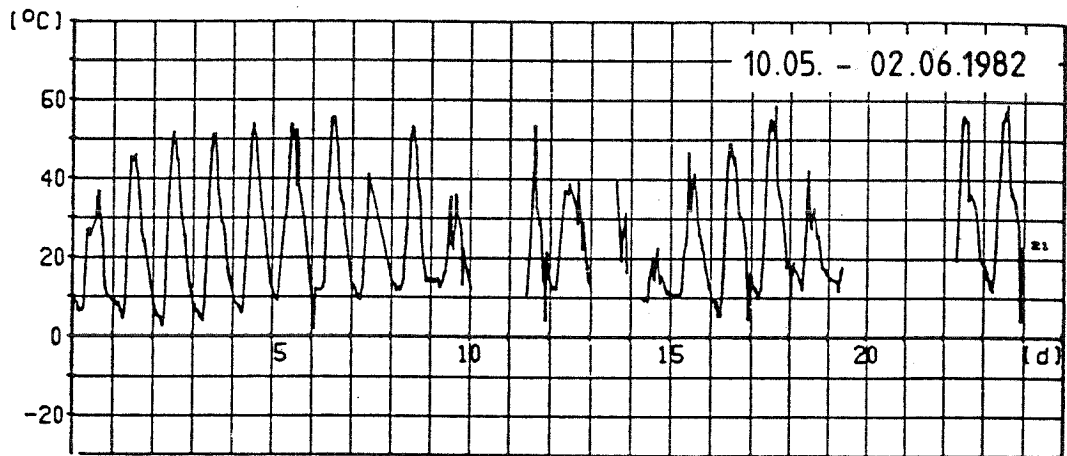
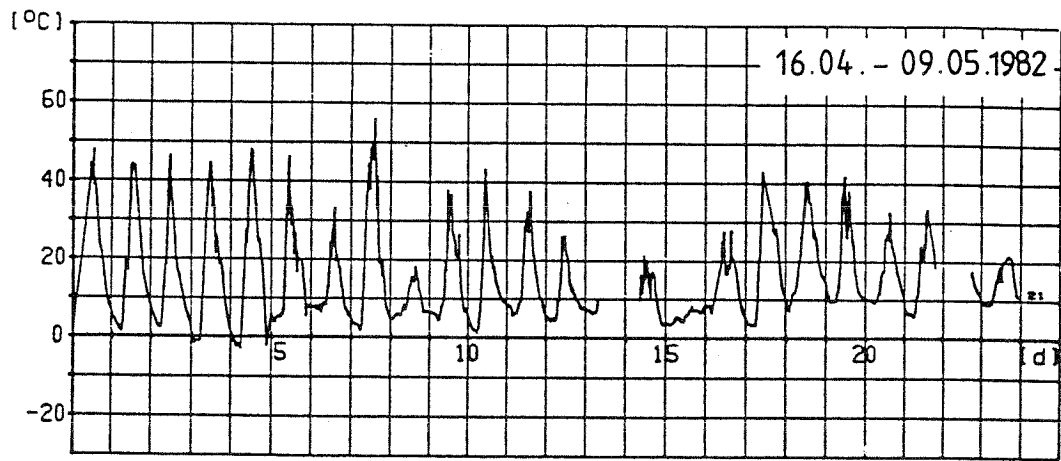


Bild 69.2 Verlauf der Oberflächentemperaturen auf der Rahmenaußenseite von Fenster Nr. 8 im Zeitraum von April 1982 bis August 1982

Eine Auswertung der Größt- und Kleinstwerte während des Meßzeitraumes ist für die Glasrandtemperatur aller Fenster - mit Ausnahme von Fenster Nr. 3 - in Bild 70 dargestellt. Sie zeigt auch den Unterschied bei den maximalen Werten in Abhängigkeit der Einbaurichtung. Die minimalen Werte sind dagegen sowohl vom Rahmen als auch von der Einbaurichtung unabhängig.

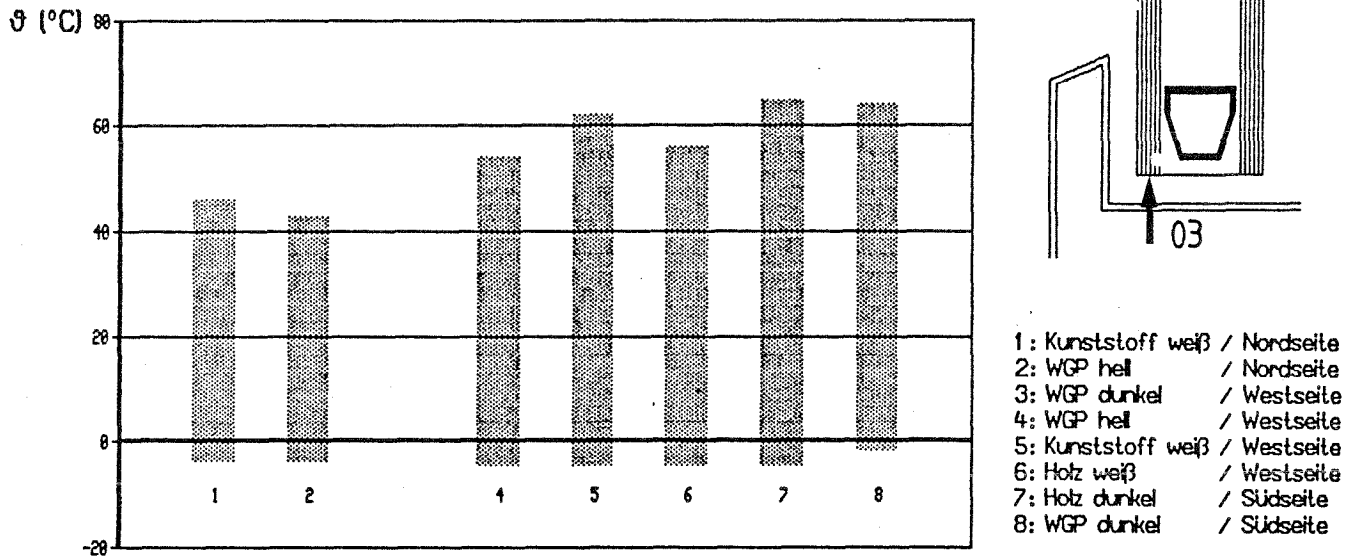


Bild 70 Verlauf der Größt- und Kleinstwerte der Temperatur am Glasrand der Außenscheibe

Die jährlichen Temperaturschwankung am Glasrand und damit auch an der Grenzfläche des Randverbundes betragen etwa 70 Kelvin. Aber auch bereits die täglichen Schwankungen gehen in den Bereich von Temperaturdifferenzen bis etwa 60 Kelvin. Die Differenz wurde am 16.3.1982 innerhalb von 6 Stunden (von Sonnenaufgang bis gegen die Mittagszeit) an einem Holzfenster in der Südfassade gemessen. Bild 71 zeigt die Temperaturen in diesem Meßzeitraum über den Querschnitt des Fensters.

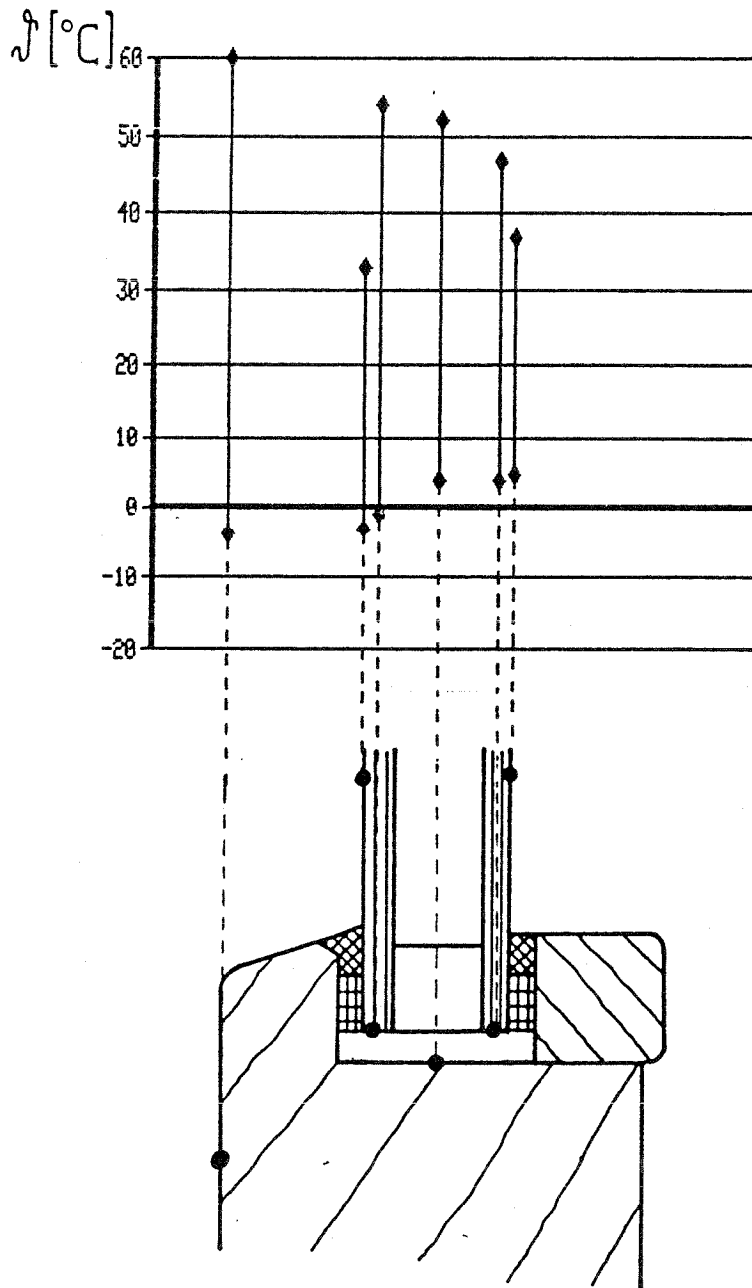


Bild 71 Maximale Temperaturschwankung am 16.3.1982

Die an dem gleichen Fenster aufgetretene Temperaturbelastung des Glasrandes zeigt in Klassenbreiten von 10 Kelvin Bild 72. Auch wenn die größte Häufigkeit im Bereich von 10 bis 20°C liegt, so ist doch der Anteil der Zeit, in der Temperaturen über 50°C mit 5,5 % und unter 0°C mit 1,7 % auftreten, beachtlich.

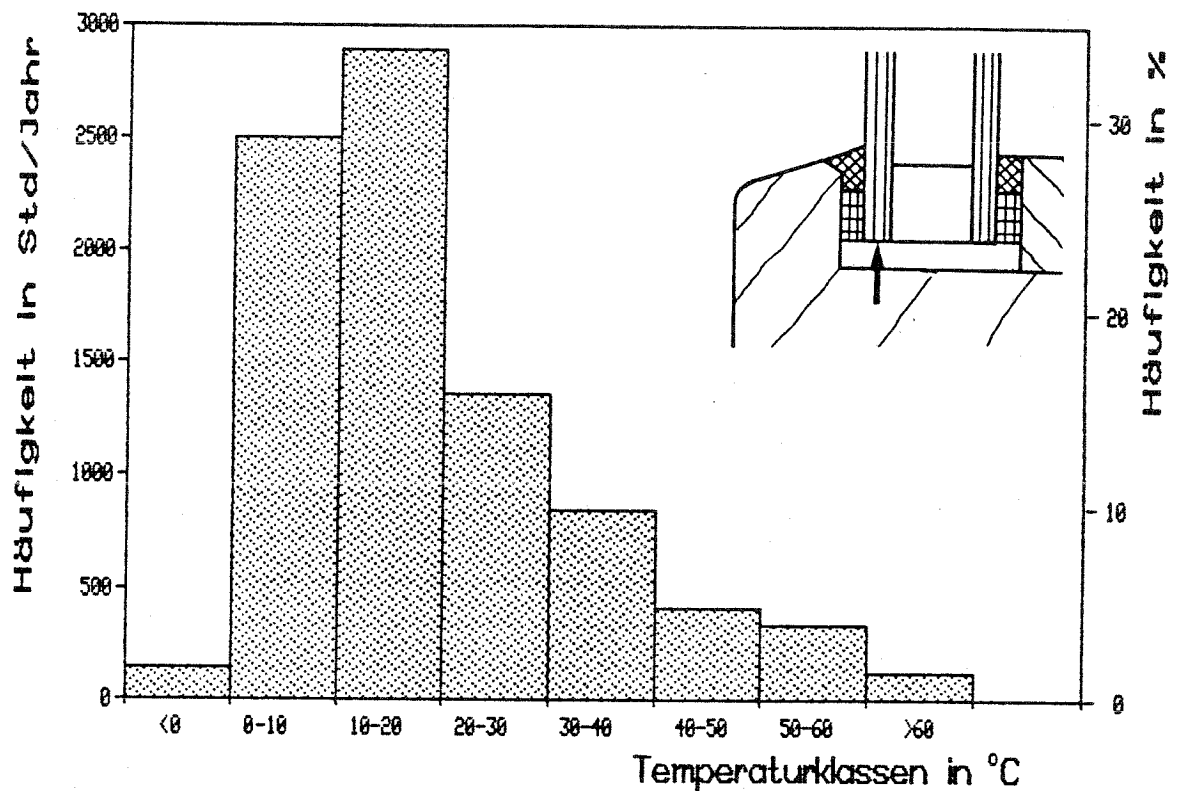
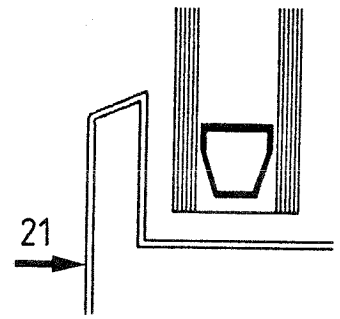
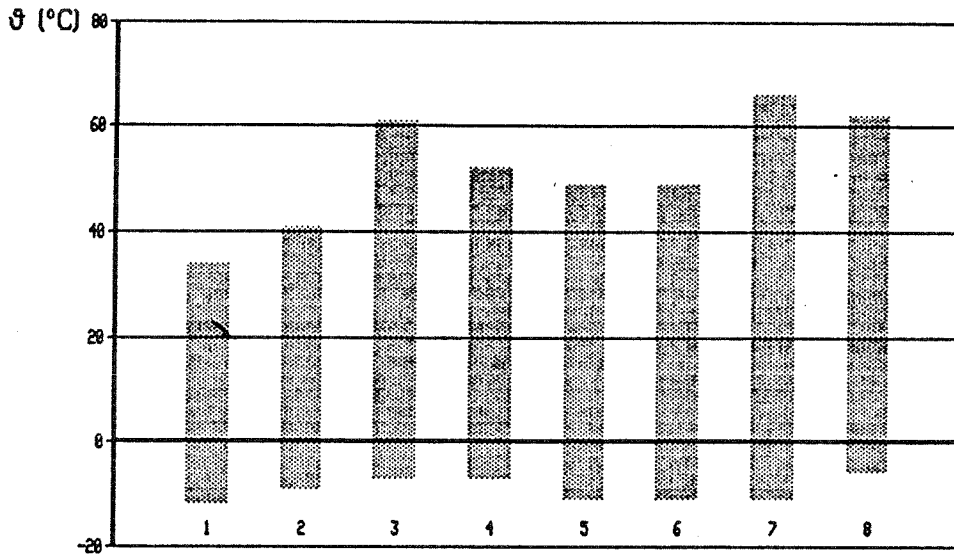
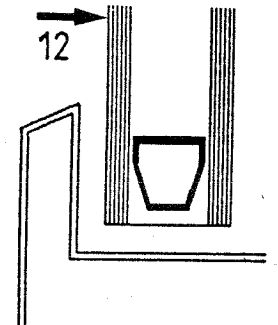
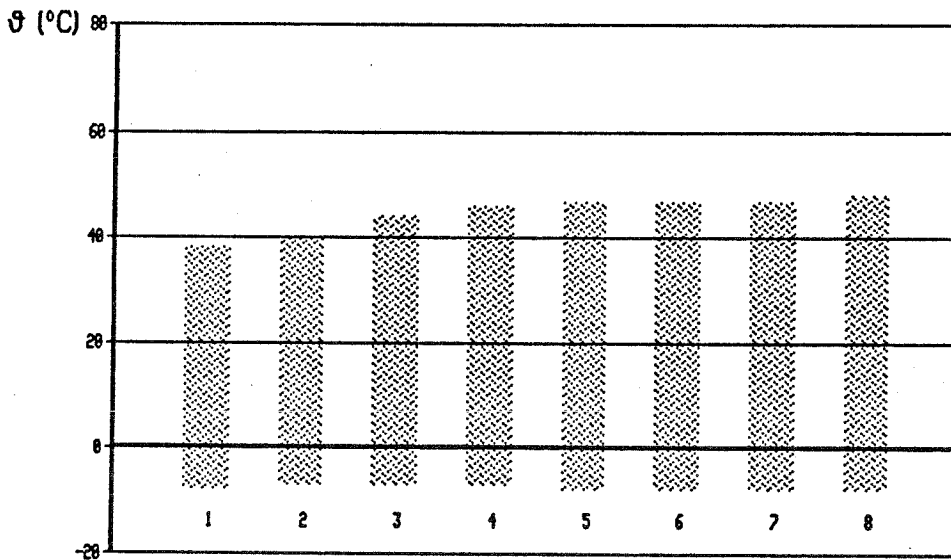


Bild 72 Häufigkeitsverteilung der Temperaturen am Glasrand

Die Streubreite der Temperaturen an der Glasoberfläche -gemessen in der Mitte der äußeren Scheibe- und an der Außenseite der Rahmen zeigt Bild 73. Bei der Temperatur in der Scheibenmitte ist von der Einbau- richtung her nur zwischen der Nordfassade und der Süd- bzw. Westfassade ein deutlicher Unterschied bei den maximalen Temperaturen festzustellen. Diese Temperaturen liegen aber deutlich unter den maximalen Temperaturen am Scheibenrand.



- 1: Kunststoff weiß / Nordseite
- 2: WGP hell / Nordseite
- 3: WGP dunkel / Westseite
- 4: WGP hell / Westseite
- 5: Kunststoff weiß / Westseite
- 6: Holz weiß / Westseite
- 7: Holz dunkel / Südseite
- 8: WGP dunkel / Südseite



- 1: Kunststoff weiß / Nordseite
- 2: WGP hell / Nordseite
- 3: WGP dunkel / Westseite
- 4: WGP hell / Westseite
- 5: Kunststoff weiß / Westseite
- 6: Holz weiß / Westseite
- 7: Holz dunkel / Südseite
- 8: WGP dunkel / Südseite

Bild 73 Verlauf der Größt- und Kleinstwerte der Temperatur am Rahmen (obere Darstellung) und an der Scheibenmitte (untere Darstellung)

8.3.3 Feuchtigkeitsbelastung

Die Einwirkung von Feuchtigkeit auf das Mehrscheiben-Isolierglas über den Randverbund ist die für die Nutzungserwartung wesentlichste Beanspruchung. Durch konstruktive Maßnahmen und dem Einsatz geeigneter Werkstoffe ist die Feuchtigkeitsbelastung auf den Randverbund auf einem Minimum zu halten.

In der vorliegenden Arbeit wurde die Temperatur und die relative Luftfeuchtigkeit gemessen und über die physikalischen Zusammenhänge der Wasserdampfdruck der Luft errechnet.

Die Verglasung war mit dichtstofffreiem Falzraum ausgeführt und die Öffnungen zur Außenseite nach den Erkenntnissen früherer Arbeiten [10, 74] vorgenommen. Nur am Flügel des Fensters Nr. 7 wurden zeitweise die Öffnungen abgedichtet um die Auswirkungen des geschlossenen Falzes auf die Feuchtigkeitsbelastung abzugrenzen.

Bild 74 zeigt für einen ausgewählten Zeitraum die relative Luftfeuchtigkeit im Glasfalz von Fenstern aus Holz, PVC und Aluminium. Aus diesen Aufzeichnungen ist zu erkennen, daß zwischen den Rahmenwerkstoffen Unterschiede bestehen. So sind bei Aluminium- und PVC-Fenstern ausgeprägte Spitzen der Größt- und Kleinstwerte vorhanden, die beim Holzfenster nicht auftreten. Diese Feststellung wurde auch in früheren Arbeiten gefunden [90] und ist dadurch zu erklären, daß das Holz auch bei ausreichendem anstrichtechnischem Schutz im Glasfalz aufgrund seiner hygrothermischen Eigenschaften als Feuchtigkeitspuffer wirkt. Im Vergleich zwischen Holzfenstern mit und ohne Öffnung des Glasfalzes zeigt sich (Bild 75), daß die Veränderungen der relativen Luftfeuchtigkeit genau gegenläufig sind. Bei nicht geöffnetem Falz steigt die relative Luftfeuchtigkeit mit der Temperatur während beim offenen Falz die relative Luftfeuchtigkeit mit steigender Temperatur sinkt, was, wenn keine weitere Feuchtigkeit zugeführt wird zu erwarten ist. Noch ausgeprägter zeigt sich der Einfluß der Glasfalzöffnung, wenn der Wasserdampfdruck der beiden Systeme gegenübergestellt wird (Bild 76).

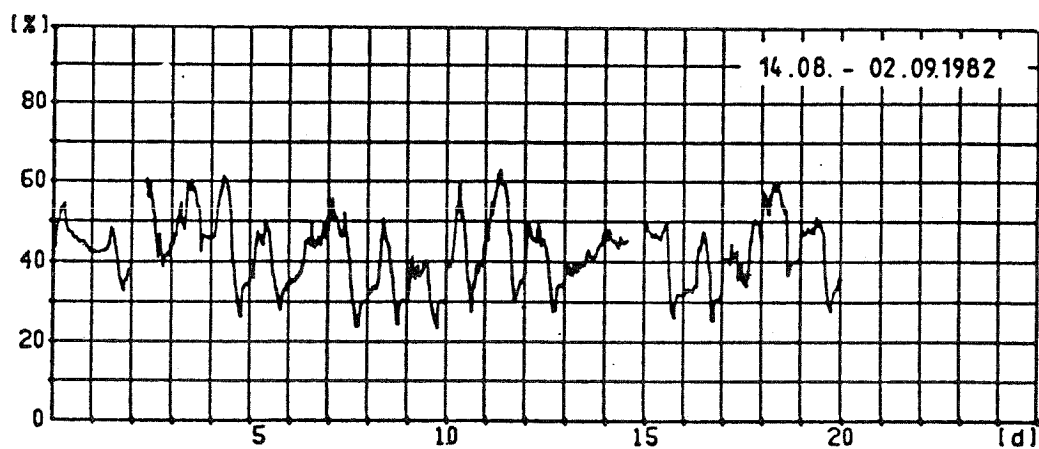
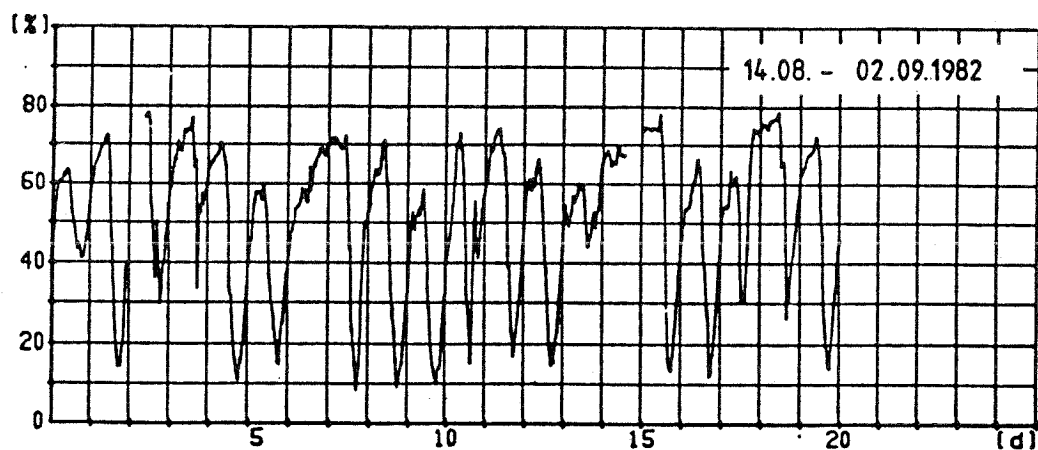
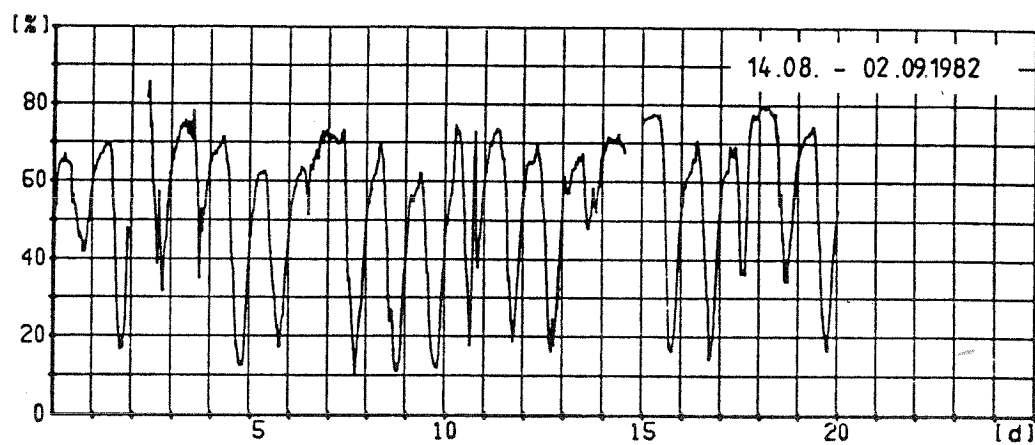


Bild 74 Verlauf der relativen Luftfeuchtigkeit im Glasfalz für die Messung vom 14. August 1982 bis 2. September 1982
 obere Darstellung Fenster Nr. 4 Alu hell
 mittlere Darstellung Fenster Nr. 5 PVC weiß
 untere Darstellung Fenster Nr. 6 Holz weiß

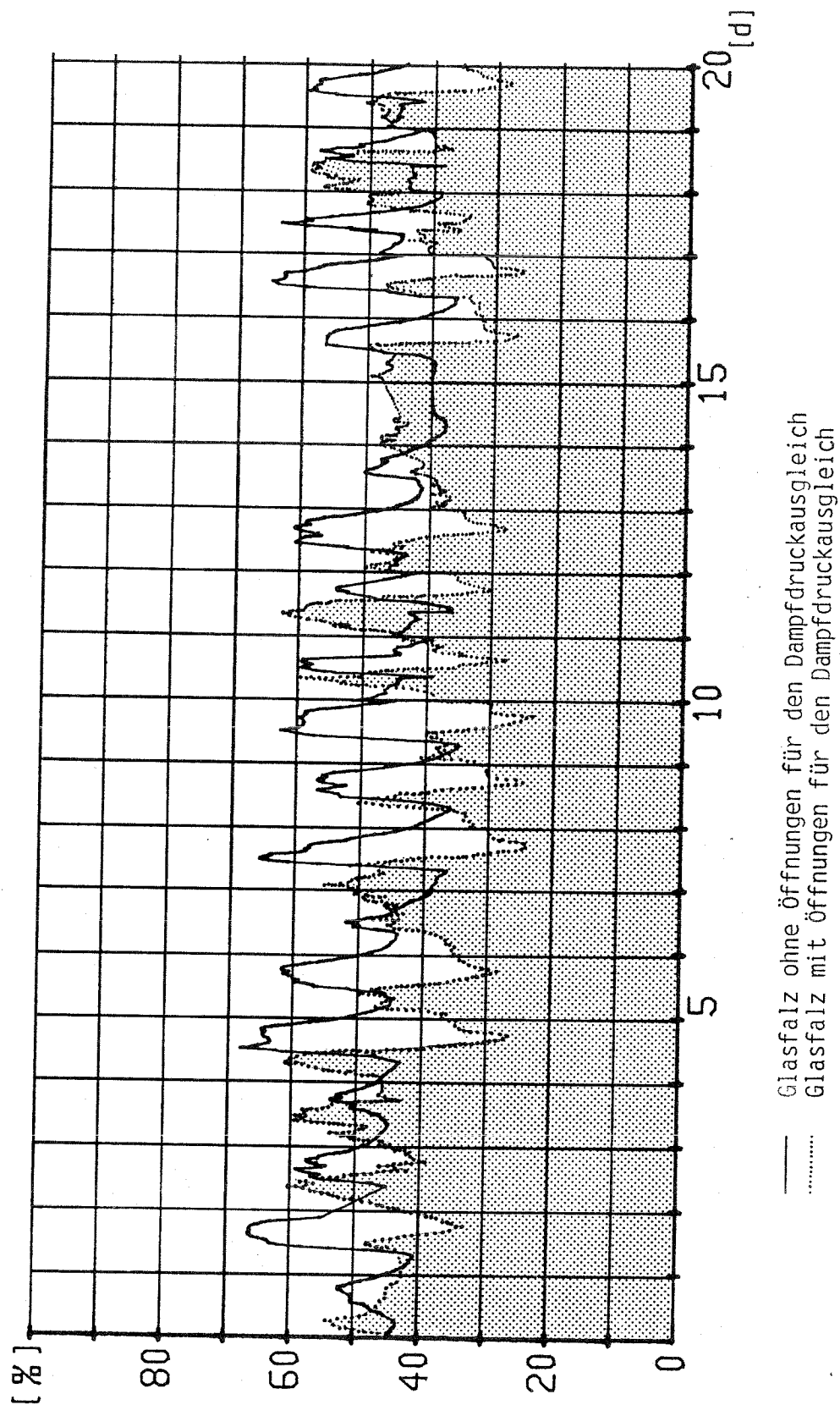


Bild 75

Verlauf der relativen Luftfeuchtigkeit im Glasfalz eines Holzfensters mit geschlossenem Glasfalz (ohne Öffnungen) und mit vorschriftsmäßigen Glasfalzöffnungen

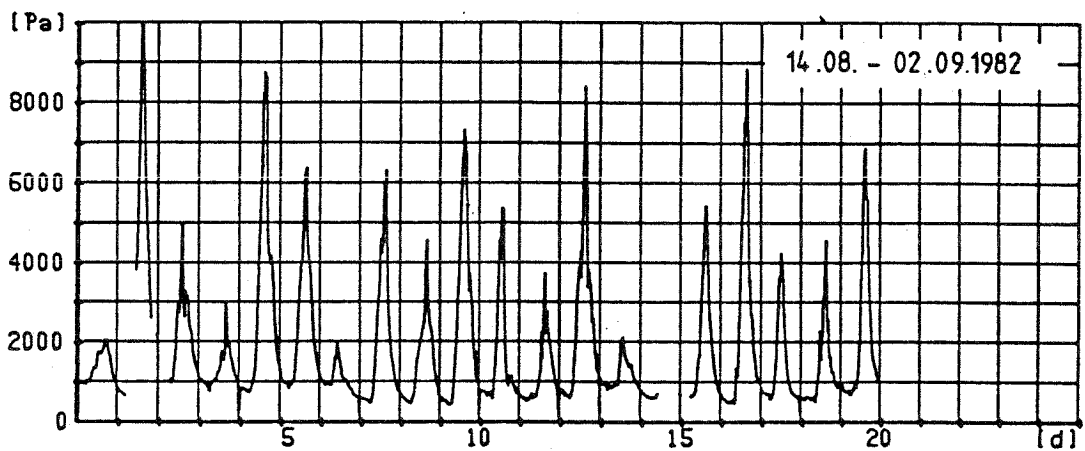
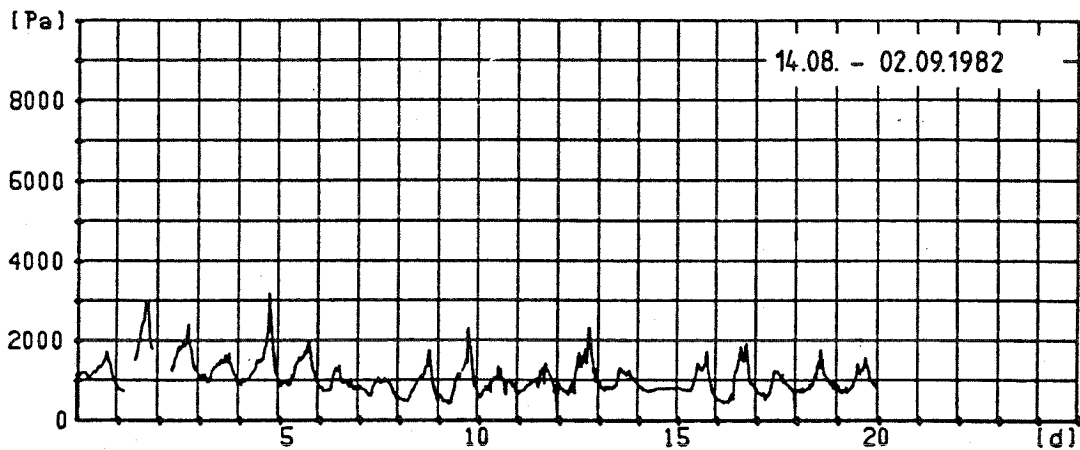
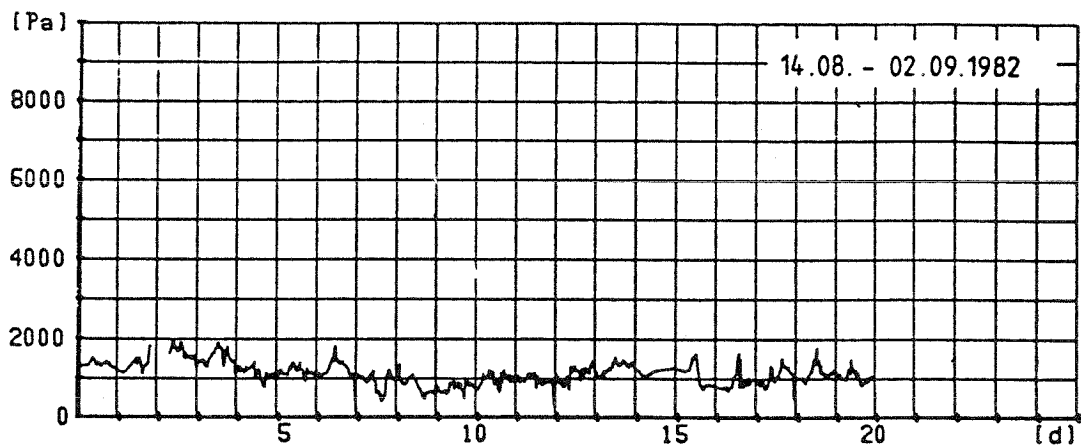


Bild 76 Verlauf des Wasserdampfteildruckes im Glasfalz für den Zeitraum 14. August 1982 bis 2. September 1982. obere Darstellung zeigt ein PVC-Fenster (Nr. 5) mit Glasfalzöffnungen; mittlere Darstellung zeigt ein Holzfenster (Nr. 6) mit Glasfalzöffnungen; untere Darstellung zeigt ein Holzfenster (Nr. 7) ohne Glasfalzöffnungen.

Bild 77 zeigt die Momentaufnahme eines Regentages. Daraus könnte angenommen werden, daß ein geschlossenes System sich günstiger verhält, als ein offenes System, weil beim geschlossenen System an diesem Tag die Luftfeuchtigkeit nicht ansteigt, während sie sich beim offenen System der höhere Feuchtigkeit des Außenklimas anpaßt.

Die Betrachtung eines Sonnentages in Bild 78 zeigt aber bereits das umgekehrte Verhalten, daß die Öffnung des Glasfalzes die geringere Feuchtigkeitsbelastung für den Glasfalz und damit für den Randverbund des Mehrscheiben-Isolierglases bringt.

Da es sich jeweils um Aufzeichnungen aus Einwirkungen des Freiluftklimas handelt, ist für eine Wertung verschiedener konstruktiver Randbedingungen jeweils der gleiche Zeitraum heranzuziehen.

Von Interesse für die Bewertung der Einwirkungen von Feuchtigkeit auf den Randverbund ist der jahreszeitliche Einfluß. Aus diesem Grunde sind in Bild 79 verschiedene für die Jahreszeit jeweils typische Zeiträume ausgewählt und der Wasserdampfteildruck aufgetragen.

Der Vergleich zeigt, daß die Feuchtigkeitsbelastung des Randverbundes im Winter am geringsten und im Sommer am größten ist. Dies ist auch zu klären durch den absoluten Wassergehalt der Luft, der im Sommer auch ein Vielfaches gegenüber dem Winter beträgt.

Diese Feststellungen gelten für Verglasungen mit dichtstofffreiem Falzraum und der Öffnung dieses Falzraumes zur Außenseite bei ausreichender Dichtheit gegenüber dem Eindringen von Niederschlag und Reinigungswassers.

Der Vergleich des Wasserdampfdruckes im belüfteten Glasfalz in Abhängigkeit der jahreszeitlichen Belastungen zeigt Bild 79.1. Während im Winter ein relativ niedriger Wasserdampfdruck auftritt, sind im Sommer größere Schwankungen bei höherem Niveau zu erkennen. Von wesentlichem Einfluß auf die Lebenserwartung des Mehrscheiben-Isolierglases ist deshalb die Wasserdampfdruckbelastung des Randverbundes im Sommer und zum Teil im Frühjahr und Herbst.

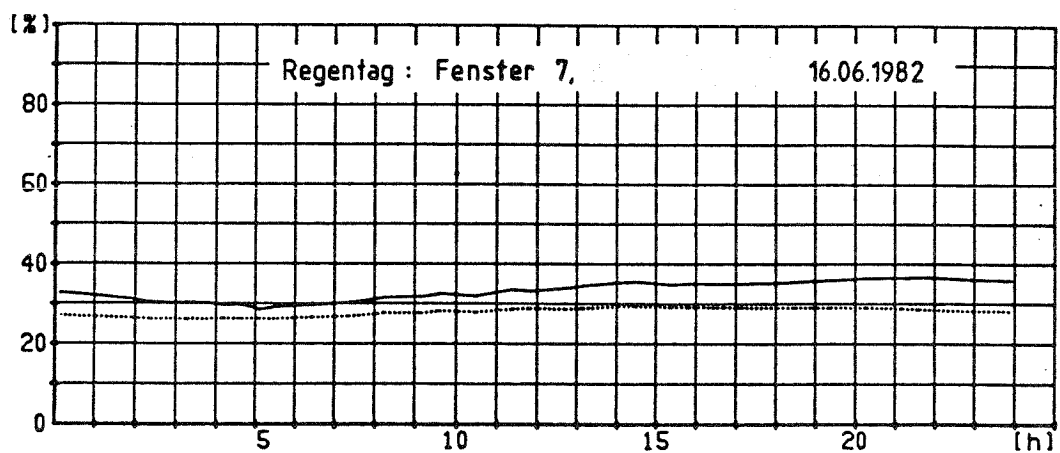
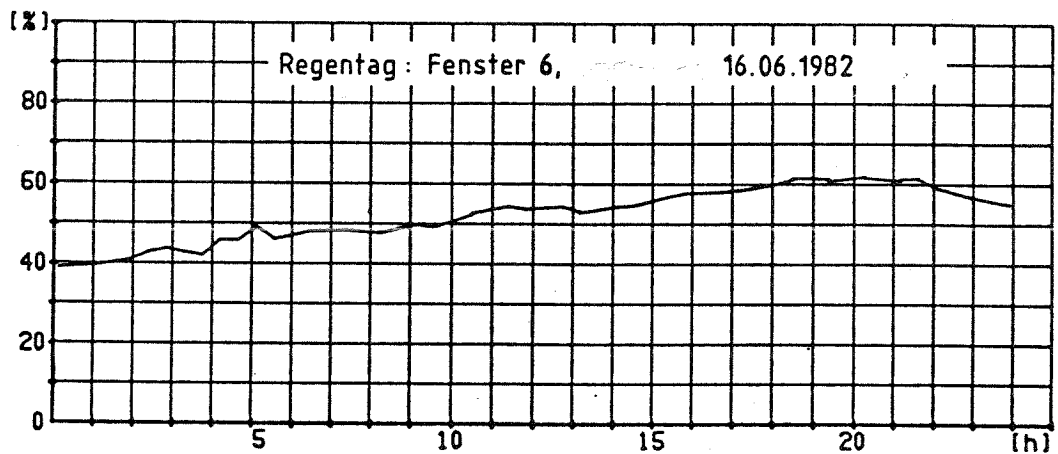
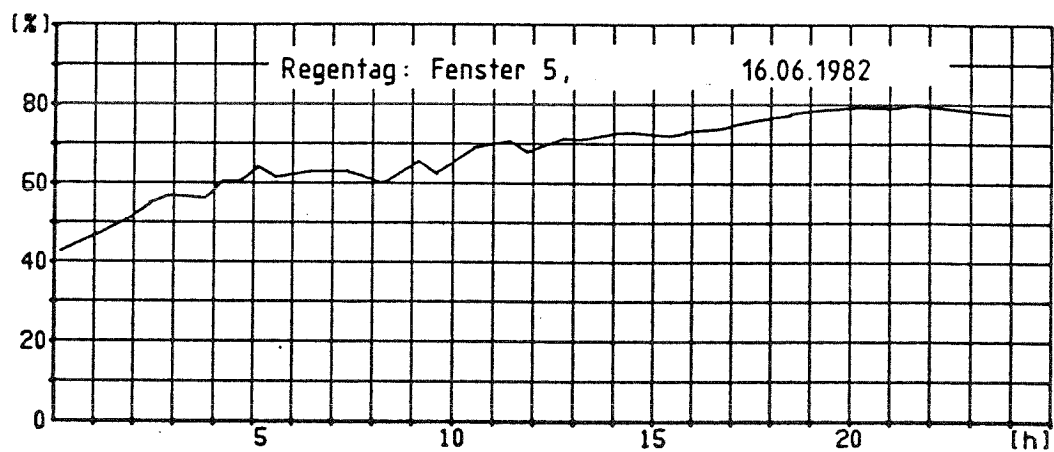


Bild 77 Verlauf der relativen Luftfeuchtigkeit im Glasfalz an einem Regentag (16. Juni 1982).
 obere Darstellung zeigt ein PVC-Fenster (Nr. 5) mit Glasfalzöffnungen; mittlere Darstellung zeigt ein Holzfenster (Nr. 6) mit Glasfalzöffnungen; untere Darstellung zeigt ein Holzfenster (Nr. 7) ohne Glasfalzöffnungen

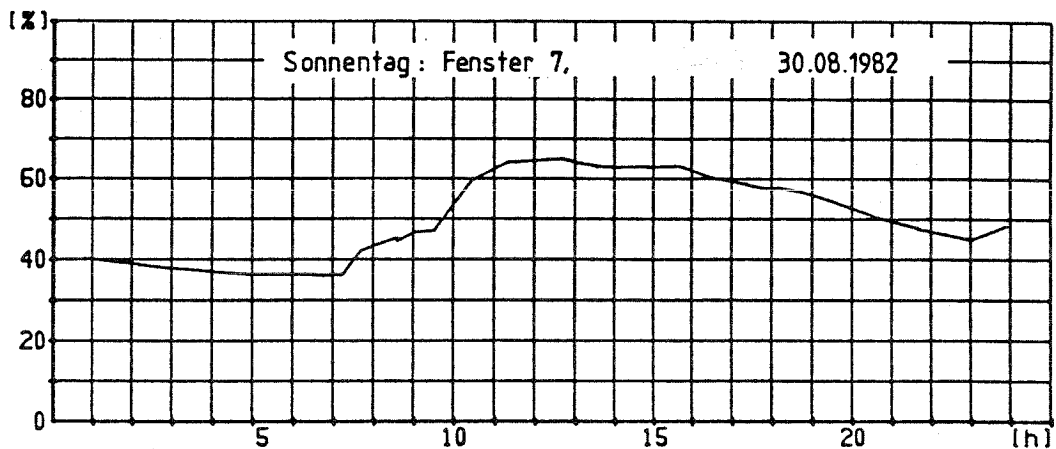
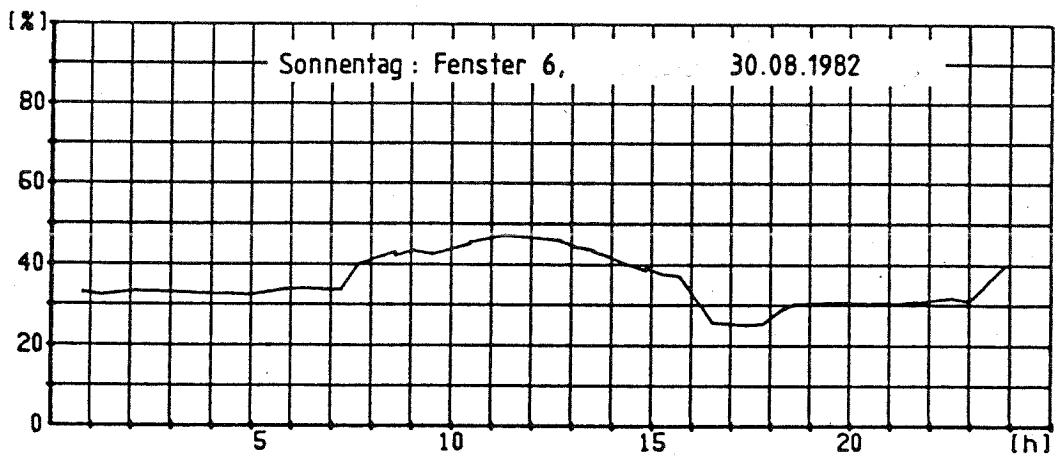
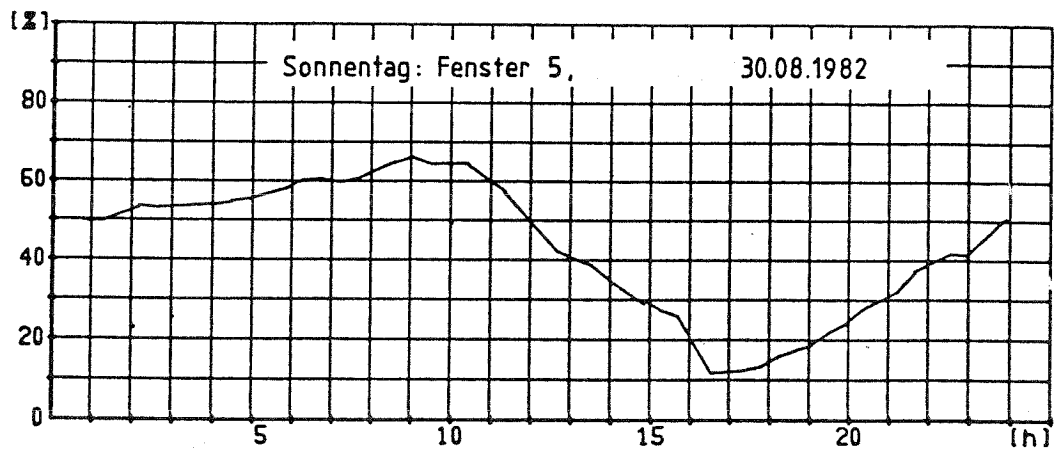


Bild 78 Verlauf der relativen Luftfeuchtigkeit im Glasfalz an einem Sonntag (30. August 1982). obere Darstellung zeigt ein PVC-Fenster (Nr. 5) mit Glasfalzöffnungen; mittlere Darstellung zeigt ein Holzfenster (Nr. 6) mit Glasfalzöffnungen; untere Darstellung zeigt ein Holzfenster (Nr. 7) ohne Glasfalzöffnungen

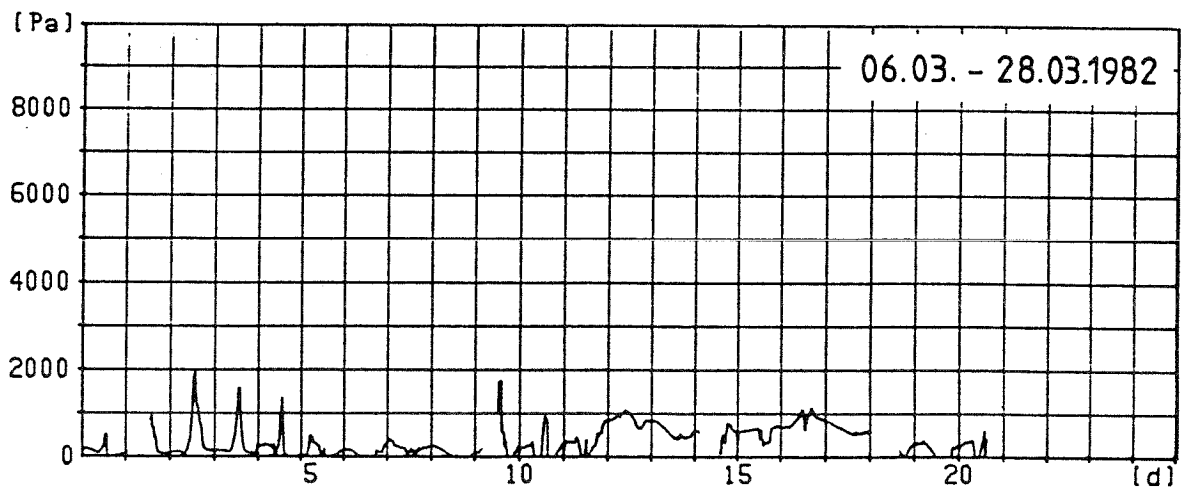
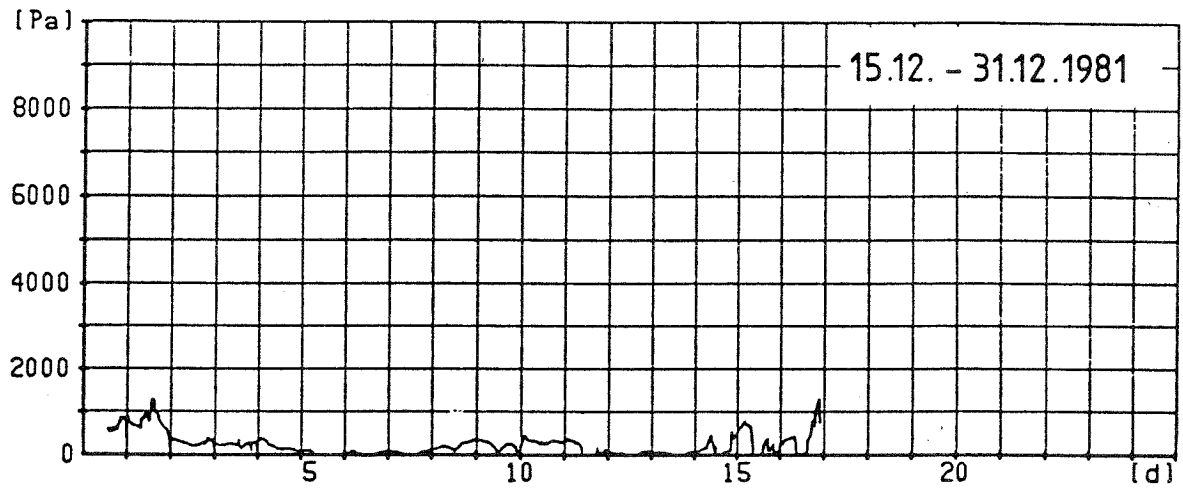


Bild 79.1 Verlauf des Wasserdampfteildruckes im geöffneten Glasfalz in Abhängigkeit der jahreszeitlichen Belastungen für den Zeitraum von Dezember 1981 bis März 1982

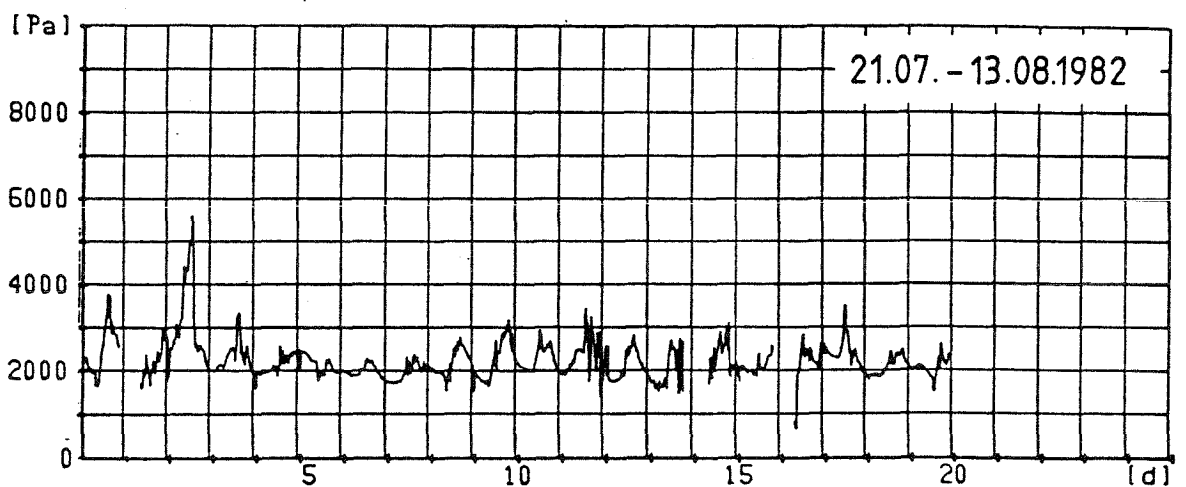
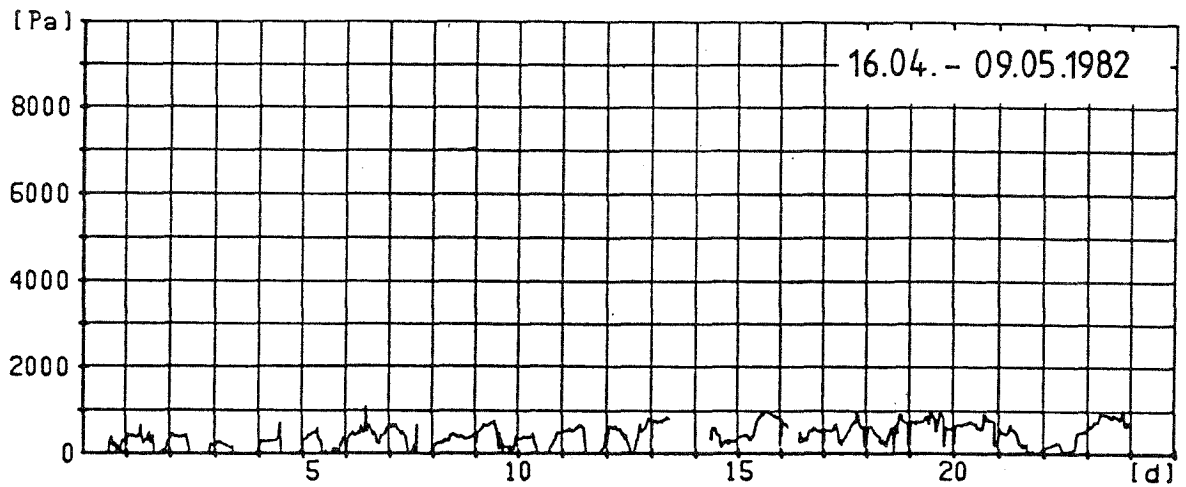


Bild 79.2 Verlauf des Wasserdampfteildruckes im geöffneten Glasfalz in Abhängigkeit der jahreszeitlichen Belastungen für den Zeitraum von April 1982 bis August 1982

8.4 Ergebnisse aus der Laborprüfung

8.4.1 Beladungszunahme

Nach den in DIN 1286 vorgegebenen Prüfzyklen wurden 78 Systeme geprüft und ausgewertet, wobei als Kriterium der Auswertung die Zunahme der Beladung des Trocknungsmittels mit Wasser angesetzt wird. DIN 1286 sieht dabei die prozentuale Zunahme der Beladung vor, so daß neben der im Prüfzeitraum eindiffundierenden Wassermenge auch die Menge des Trocknungsmittels eingeht. Bild 80 zeigt die Unterschiede in der Bewertung an einem Beispiel, bei dem Prüfscheiben mit sonst gleichem Aufbau aber mit unterschiedlicher Menge des Trocknungsmittels ausgewertet wurden. Dem gegenübergestellt ist die Auswertung der gleichen Scheiben nach den verschiedenen Prüfzyklen über die eindiffundierende Wassermenge.

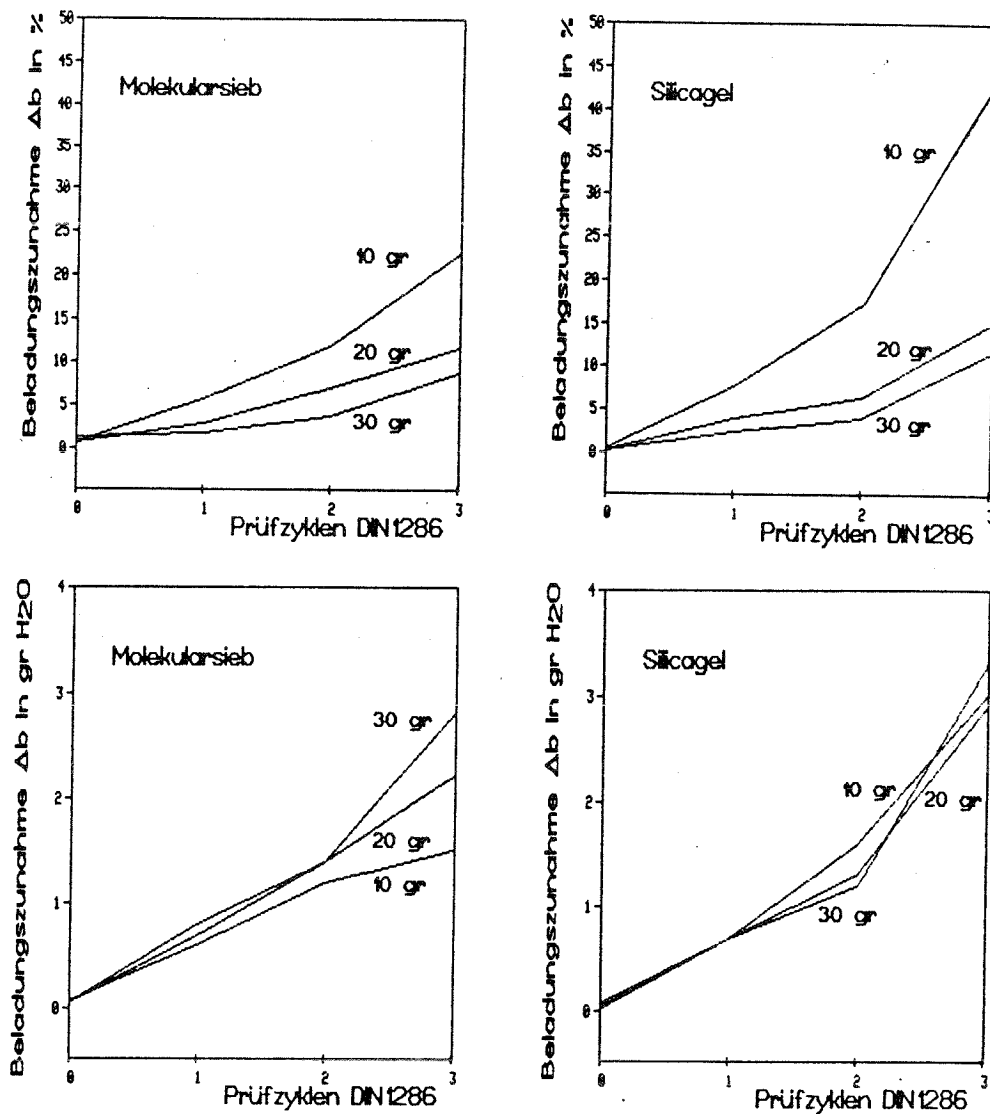


Bild 80 Verlauf der Beladungszunahme in % und g H₂O für Molekularsieb und Silicagel in Abhängigkeit von Prüfzyklen nach DIN 1286

Diese Gegenüberstellung erscheint zwar trivial, sie sollte aber dennoch zu der Überlegung führen, ob nicht die absolute Wassermenge (in Gramm) für die Bewertung des Randverbundes günstiger ist als die prozentuale Zunahme der Beladung.

Die Füllmenge der Prüfscheiben mit Trocknungsmittel hat, wie Bild 81 zeigt, eine sehr große Bandbreite die nicht nur von der Geometrie des Steges sondern auch von der Herstellung beeinflusst wird.

Wenn man die beiden Möglichkeiten der Auswertung gegenüberstellt, so ergibt sich wie die Bilder 82, 83 zeigen eine zum Teil unterschiedliche Verteilung, die nicht zwangsläufig zu einer falschen Bewertung der Systeme führen muß. In Grenzfällen kann aber durchaus die Situation auftreten, daß nicht die Eigenschaften des Systems, sondern die Fertigkeit des Verarbeiters und die Kenntnis der Zusammenhänge von Seiten des Herstellers für eine Gut- oder Schlecht-Bewertung maßgebend sind.

Füllmenge des Trocknungsmittels bei 12 mm SZR

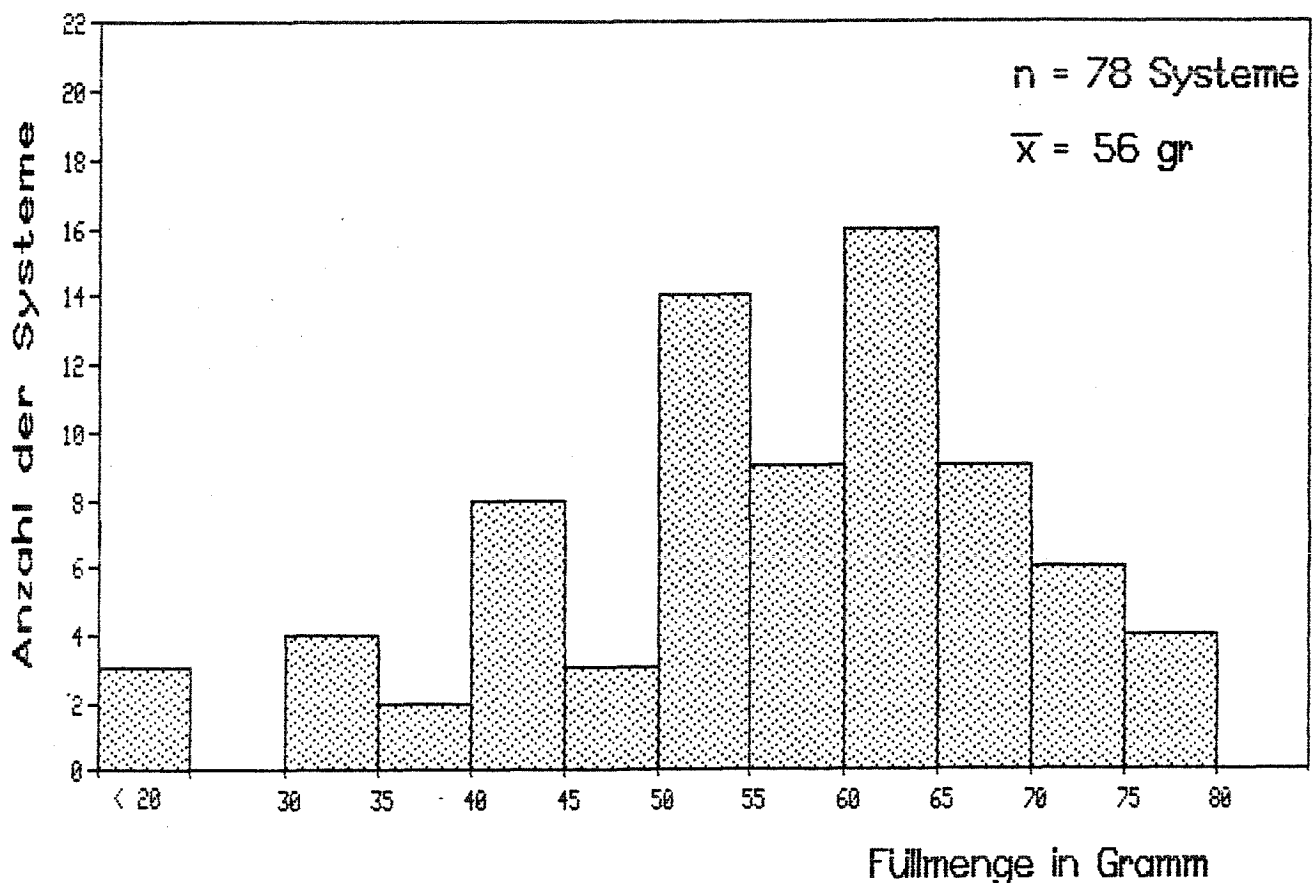


Bild 81 Füllmenge des Trocknungsmittels von Prüfscheiben aus 78 Mehrscheiben-Isolierglassystemen mit 4/12/4 mm Aufbau und Abmessungen mit 500x350 mm²

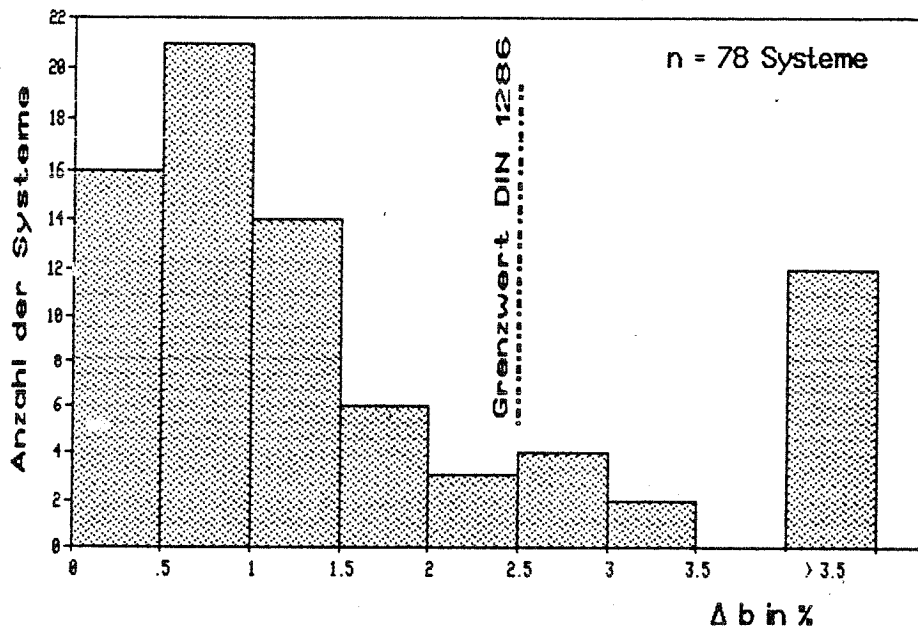


Bild 82 Beladungszunahme in % von 78 geprüften Mehrscheiben-Isolierglassystemen nach DIN 1286

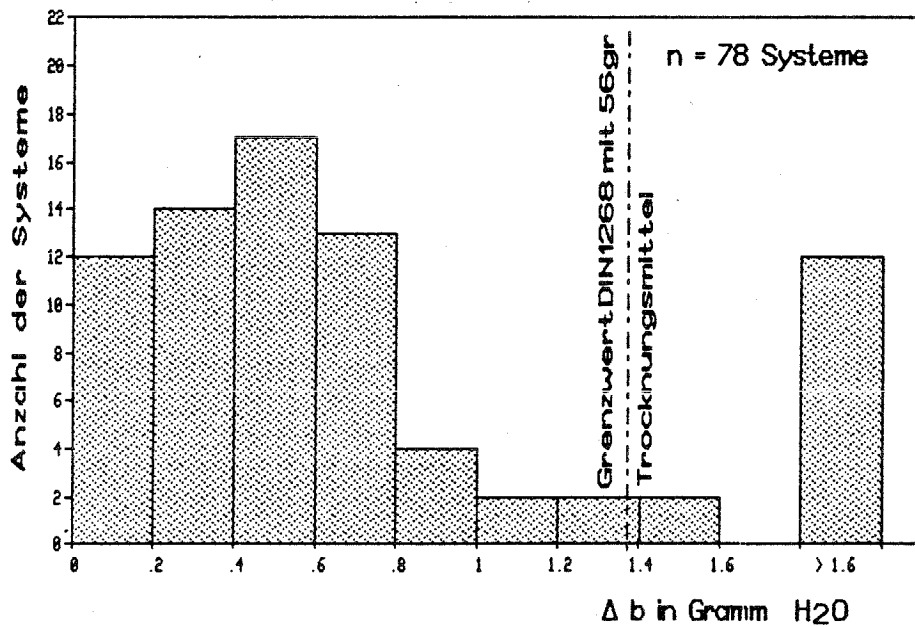


Bild 83 Beladungszunahme in g H₂O von 78 geprüften Mehrscheiben-Isolierglassystemen nach DIN 1286

Eine weitere Auswertung der Prüfung nach DIN 1286 für einstufige Systeme und für zweistufige Systeme bei der Verwendung von elastomeren Dichtstoffen für die Randabdichtung zeigt Bild 84. Die Auswertung zeigt deutlich das bessere Verhalten der zweistufigen Systeme. Die Analyse der zweistufigen Systeme, die mit zu hoher Beladung ausgeschieden sind, ergab, daß für die Überschreitung des Grenzwertes nach DIN 1286 von Ausnahmen abgesehen entweder Fehlstellen im Randverbund oder ungünstige Umgebungsverhältnisse - wie in Abschnitt 5.2 beschrieben - bei der Herstellung verantwortlich waren.

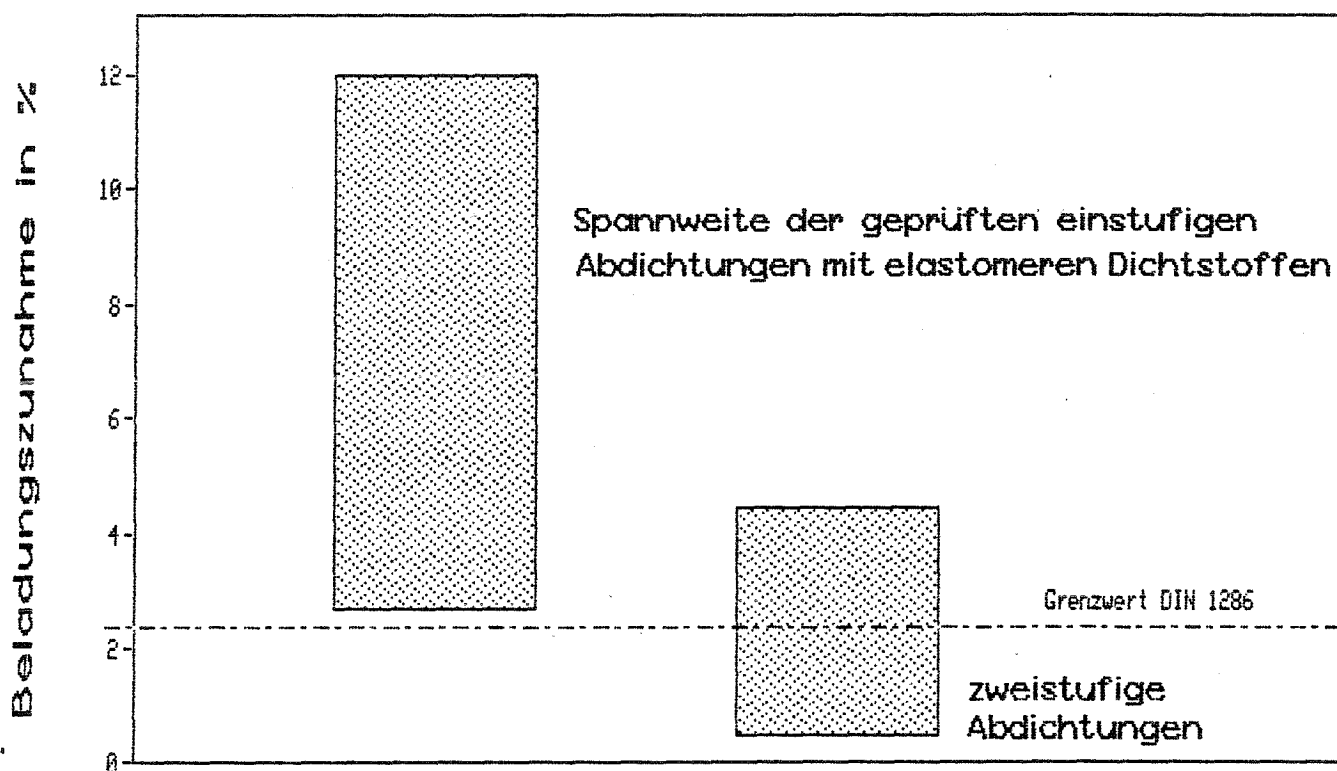


Bild 84 Vergleich von Beladungszunahmen nach Prüfung DIN 1286 von einstufigen und zweistufigen Systemen mit elastomeren Dichtstoffen

Zusammenfassend ist demnach festzustellen, daß einstufige Systeme mit elastomeren Dichtstoffen die DIN-Prüfung kaum erfüllen und als Folgerung aus dieser Feststellung auch für den praktischen Einsatz als problematisch zu betrachten sind.

8.4.2 Grenzflächenverhalten

Die Prüfung des Mehrscheiben-Isolierglases nach DIN 1286 bringt mit der Bewertung der Beladung eine für die Praxis brauchbare pauschale Beurteilung des Systems, wobei alle Fehler und Schwachpunkte des Randverbundes miteingehen. Für die Weiterentwicklung und die Beurteilung neuer Systeme ist die Beladungsmessung alleine nicht ausreichend. Abgeleitet aus den häufigsten Schadensformen bei Mehrscheiben-Isolierglas, dem Lösen der Grenzflächen, Glas/Dichtstoff wäre von Bedeutung, wie sich diese Grenzfläche durch natürliche Alterung verändert und wie diese Veränderungen durch Kurzzeitprüfungen nachvollzogen und erkannt werden können.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit konnten hierzu nur Vorversuche gemacht werden, die aber zeigen, daß es durchaus gangbare Wege gibt. Überprüfungen der Grenzflächen vor und nach der Klimabelastung mit:

- Ultraschall
- Indikatoren
- Reflexionsgradmessungen

lassen Veränderungen an den Grenzflächen im Stadium vor der völligen Ablösung nicht erkennen. Untersuchungen mit dem Verfahren der Benetzbarkeit nach Zorll [91] und nach der Punktkontaktmethode [96] wurden im Rahmen dieser Arbeit nicht durchgeführt. Betrachtungen des Grenzflächenbereiches im Auflichtmikroskop lassen aber eine Beurteilung zu, so daß eine Verfolgung dieses Weges für die Entwicklungsarbeit interessant sein dürfte.

Die Beurteilung beruht auf einem visuellen Vergleich von gekennzeichneten Stellen mit definierten Merkmalen. So deuten z.B. Aufhellungen in der Grenzfläche auf Adhäsionsverluste des Dichtstoffes zum Glas hin.

Zur Beurteilung der Verbindung Glas/Dichtstoff ist zum Verständnis der Zusammenhänge die Kenntnis der unterschiedlichen Mechanismen der Bindung notwendig.

Floatglas besitzt eine "permanente Wasserhaut" (Dicke 1 bis 10 nm) und eine "temporäre Wasserhaut", die im Gleichgewicht mit der Luftfeuchtigkeit der Umgebung steht und bis 100 nm dick sein kann [92]. Dieser Zustand und die physikalischen Bindungsverhältnisse lassen somit Einlagerungen von Wassermolekülschichten in der Grenzfläche zu [94]. Physikalische Bindungen des Dichtstoffes mit der Glasoberfläche sind bei der Butylabdichtung gegeben.

Dieser Zustand kann teilweise auch bei einer Abdichtung mit Polysulfid auftreten, obwohl vorwiegend chemische Bindungen vorliegen [36]. Zwischen den langkettigen Molekülen sind jedoch physikalische Bindungen zwischengelagert [94]. Werden chemische Bindungen durch irgendwelche Reaktionen aufgebrochen, sind diese irreparabel.

Eine nicht hydrolysierte, ideale Glasoberfläche hat die größte Oberflächenspannung und entwickelt dabei auch die höchsten Bindungskräfte. In der adhärierenden Grenzschicht auf der "Luftseite" des Glases treten die höchsten Bindungskräfte auf, während an der sehr dünnen "chemisch" vorgespannten Oberflächenschicht auf der "Badseite" die Bindungskraft um den Faktor 0,6 kleiner ist [92, 94].

Durch folgende Einflußfaktoren können diese Bindungskräfte herabgesetzt werden:

- durch steigende Temperatur, da die chemischen Bindungen schwächer und die Adsorption geringer wird
- mit zunehmender Luftfeuchtigkeit, da sich die Belagdicke der adsorbierten Wassermoleküle auf der Glasoberfläche bei gleichzeitiger starker Oberflächenspannungsabnahme vergrößert
- durch Oberflächenverunreinigungen, da diese als Trennungsschicht wirken.

Desweiteren können unter dem Einfluß von Feuchtigkeit und Temperatur in Verbindung mit den Alkaliionen des Glases die Silicium-Bindungen des Dichtstoffes zum Glas unter Wasserabspaltung aufbrechen [93, 94, 95]. Weiter können die sich auf der Grenzfläche befindlichen fertigungsbedingten Lunkerstellen, die in der Regel nur unter dem Mikroskop sichtbar sind, durch den Einfluß von Temperatur und den dadurch ansteigenden Dampfdruck haftungsmindernd auswirken.

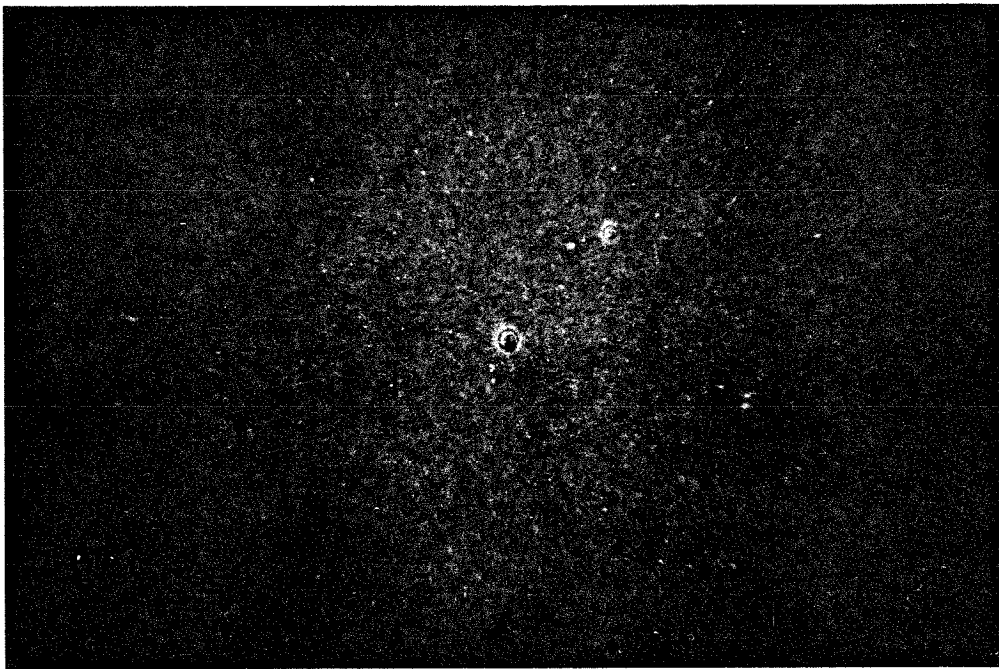


Bild 87 Ausschnitt ($1,3 \times 0,8 \text{ mm}^2$) aus einer Polysulfid-Randabdichtung vor der Klimawechselprüfung

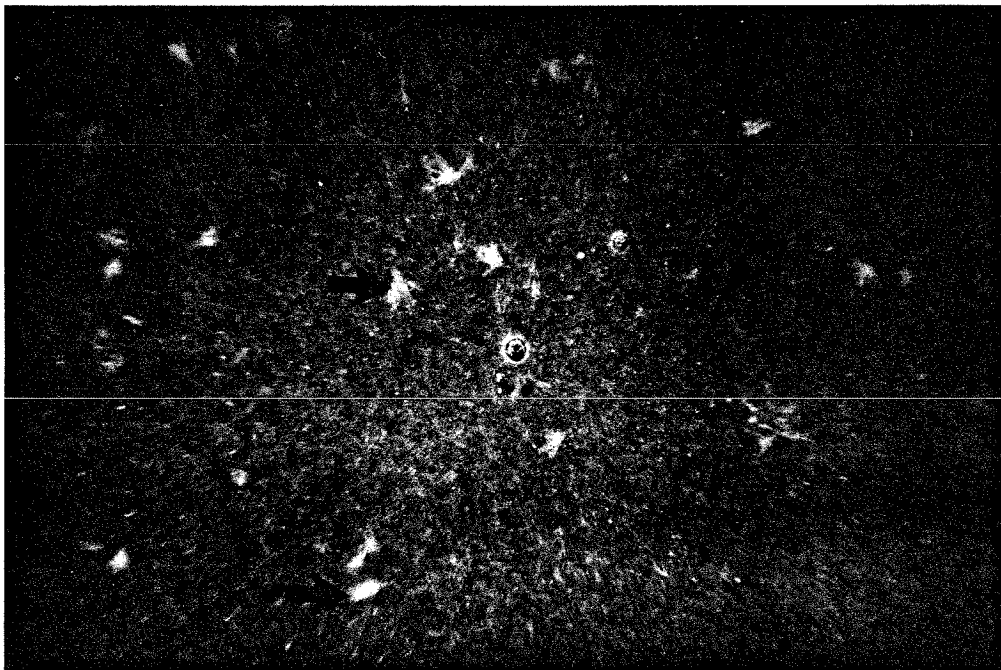


Bild 88 Gleicher Ausschnitt wie Bild 87 jedoch nach der Klimawechselprüfung. Der Anteil von Aufhellungen in der Grenzfläche hat sich verstärkt.

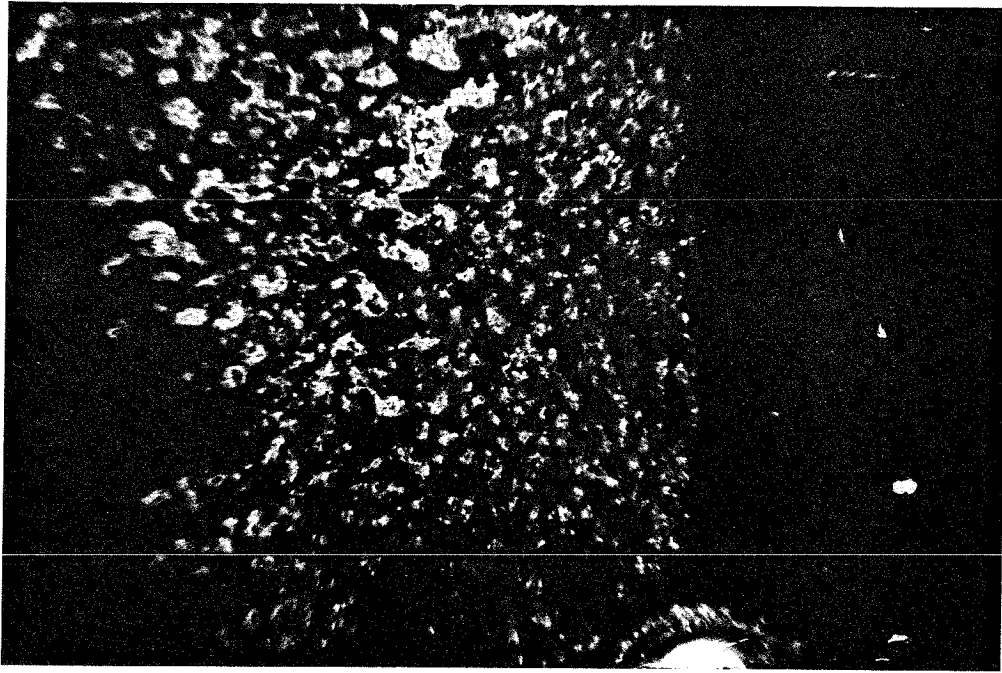


Bild 85 Aufhellungen im Butyl im Übergangsbereich von Butyl zum Polysulfid sind Ablösungen von der Glasfläche; das Bild zeigt die Vergrößerung einer Fläche von $1,3 \times 0,8 \text{ mm}^2$.

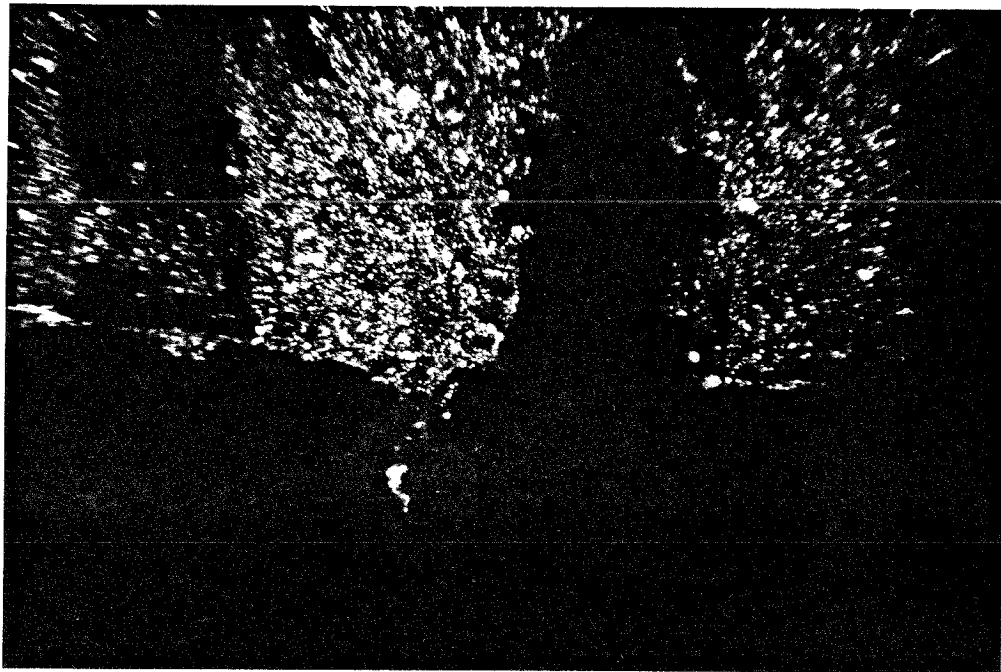


Bild 86 Aufhellung der Fläche durch Ablösen von Polysulfid vom Glas; Größe: $1,3 \times 0,8 \text{ mm}^2$.

9. Auswertung

9.1 Schadensanalyse

Durch die Umfrage über Schäden am Mehrscheiben-Isolierglas wurden Bauherrn, Bauplaner sowie Hersteller von Fenstern und Mehrscheiben-Isolierglas angesprochen und von allen Beteiligten wurden Schäden gemeldet. Wenn man diese Schäden nach dem Einbaujahr des Mehrscheiben-Isolierglases auswertet, zeigt sich eine Konzentration auf die Jahre zwischen 1970 und 1976. Trotz des Anstieges der hergestellten Scheiben bis 1980 gehen die gemeldeten Schäden nach 1976 sprunghaft zurück. Wenn davon ausgegangen wird, daß in der Zeit von 1976 bis 1981 vor allem in der Tagespresse aber auch in der Fachpresse die Schäden an Mehrscheiben-Isolierglas durch "Erblinden" sehr ausführlich diskutiert wurde, kann unterstellt werden, daß, wenn Schäden in größerem Umfang nach 1976 aufgetreten wären diese in jedem Falle genannt worden wären (die Fragebögen wurden 1980/81 ausgegeben). Die Folgerung, daß beim Mehrscheiben-Isolierglas eine für den Verbraucher nicht zumutbare Schadensquote vorliegt, kann in keinem Falle für die nach 1976 hergestellten Scheiben gelten.

Für die Ursache der Schäden vor 1976 müssen überlagerte Einflüsse aus dem Mehrscheiben-Isolierglas, der Verglasung und der Instandhaltung genannt werden.

Nach dieser Auswertung, die unterstützt wird auch durch Beobachtungen nach 1981, sollte man die Diskussion über Schäden an Mehrscheiben-Isolierglas aus der Zeit von 1970 bis 1976 abschließen und sich auf die Weiterentwicklung konzentrieren.

9.2 Scheibenzwischenraum und Scheibenformate

Das System Mehrscheiben-Isolierglas schließt ein Gasvolumen ein und unterbindet einen Ausgleich des Gases mit der Umgebung. Bei Änderung der Klimaverhältnisse im Vergleich zum Klima bei der Herstellung gelten für Einflüsse aus Temperatur und Luftdruck die allgemeinen Gasgesetze. Änderungen der Temperatur aus Sonneneinstrahlung und Umgebungstemperatur so wie Änderungen des Luftdruckes aus der Wetterlage und aus dem Unterschied zwischen Herstellhöhe und Einbauhöhe führen zu einer Zustandsänderung des Gases, die sich in einer Änderung des Druckes des eingeschlossenen Volumens und in einer Verformung der Glasflächen zeigt. Diese Einflüsse sind systembedingt und lassen sich zwar teilweise in ihren Auswirkungen mindern, nicht aber vermeiden. Weiter werden noch Einflüsse aus der Feuchtigkeit der eingeschlossenen Luft und aus der Gasbindung durch das Trocknungsmittel überlagert.

Aus diesen physikalischen Gesetzmäßigkeiten folgt, daß je nach Änderung der Umgebungsbedingungen sich die Planheit der Scheiben ändert und sich das Spiegelbild verzerrt. Bei kleinen Scheibenformaten ist wegen der relativ hohen Plattensteifigkeit das Absolutmaß der Verformung und damit auch die Volumensänderung geringer, so daß eine höhere Druckdifferenz zwischen dem eingeschlossenen Volumen und der Umgebung verbleibt, welche zu einem Anstieg der Biegespannung im Glas und zu einer Erhöhung der mechanischen Belastung des Randverbundes führt. Mit der Vergrößerung des Scheibenzwischenraumes erhöhen sich diese Belastungen.

Kleinformatige Scheiben, wie sie die heutige Architektur zum Teil wünscht, sind damit höher belastet als großformatige Scheiben, wobei eine Vergrößerung des Scheibenzwischenraums die Belastung noch erhöht. In ungünstigen Fällen kann es auch zum Glasbruch kommen.

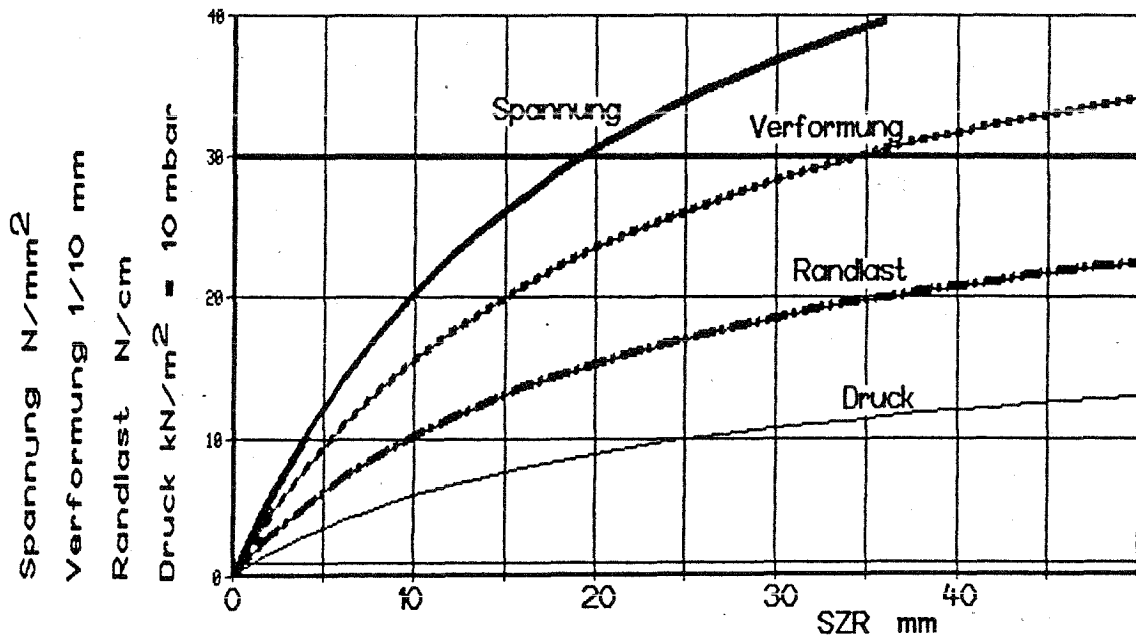


Bild 89

Belastung einer Prüfscheibe in Abhängigkeit vom Scheibenzwischenraum (350x500 mm², 4/SZR/4, Herstellung: Ortshöhe: 100 m, 1030 hPa (NN), 15°C, 30 %, Prüfung: Ortshöhe: 400 m, 1010 hPa (NN), 55°C)

9.3 Umgebungseinwirkungen und Nutzungserwartung

9.3.1 Allgemeines

Die Tauwasserfreiheit im Scheibenzwischenraum ist eine zugesicherte Eigenschaft und sie bestimmt im Regelfall auch die Nutzungsdauer des Mehrscheiben-Isolierglases. Das Ende der Nutzungsdauer ist erreicht, wenn die in den Scheibenzwischenraum eingedrungene Feuchtigkeit vom Trocknungsmittel nicht mehr in ausreichendem Umfang gebunden werden kann. Daraus ist zu folgern, daß eine geringe Feuchtigkeitsbelastung eine höhere Nutzungserwartung bringt. Diese Feststellung gilt nicht für Mehrscheiben-Isolierglas mit glasverschweißtem Randverbund und sie gilt nur bedingt für den Randverbund aus Bleistegen. Für den geklebten Randverbund ist die Feuchtigkeitsbelastung dagegen die für die Nutzungserwartung wesentliche Größe.

Da auch die Umgebungsluft Feuchtigkeit enthält und durch den Glaseinbau eine hermetische Trennung von der Umgebungsluft nicht möglich ist, wird der Randverbund permanent mit Feuchtigkeit belastet. Aufgrund dieser unvermeidbaren Belastung ergibt sich auch ohne weitere Einflüsse eine endliche Nutzungserwartung des Mehrscheiben-Isolierglases.

9.3.2 Verglasung

Um eine größtmögliche Nutzungserwartung zu erhalten muß jede vermeidbare Feuchtigkeitsbelastung ausgeschlossen werden. Eine wesentliche Maßnahme hierzu ist der Einbau und die Abdichtung des Mehrscheiben-Isolierglases im Rahmen. Die Möglichkeiten, die hier zur Verfügung stehen sind bei

- Aluminiumfenster
- Holz- Aluminiumfenster
- Kunststofffenster
- Stahlfenster

Verglasungen mit spritzbarem Dichtstoff oder mit vorgefertigten Profilen bei dichtstoff-freiem Falzgrund,

- Holzfenster

Verglasungen mit spritzbarem Dichtstoff bei dichtstoff-freiem Falzgrund und ausgefülltem Falzgrund.

Für die Verglasung mit vorgefertigten Profilen ist bei Holzfenstern für die Abdichtung auf der Witterungsseite die Entwicklungs- und Erprobungsphase noch nicht abgeschlossen.

Die Entwicklung bei der Verglasung von Holzfenstern geht zum dichtstoff-freien Falzgrund und nur in den Fällen, in denen eine funktionsfähige Öffnung des Glasfalzes nicht möglich ist, wird die Verglasung mit ausgefülltem Falzraum eingesetzt.

Bei der Verglasung mit vorgefertigten Profilen müssen die Profilstöße in den Ecken abgedichtet sein, da auch für dieses System die Forderung nach einer Minimierung der Feuchtigkeitsbelastung des Randverbundes gilt.

Die durchgeführten Versuche haben gezeigt, daß die in

- DIN 18 545 Abdichten von Verglasungen mit Dichtstoffen
- Tabelle Beanspruchungsgruppen zur Verglasung von Fenstern
- Einbaurichtlinien verschiedener Hersteller von Mehrscheiben-Isolierglas

festgelegten Öffnungen des Glasfalzes eine unnötige Belastung des Randverbundes vermeiden. Wegen des Temperaturgefälles von der Raumseite zur Außenseite während der Heizperiode muß, zur Vermeidung der Zufuhr von Feuchtigkeit von der Raumseite in den Glasfalz, die Öffnung zum Außenklima erfolgen.

Um auch den Außenstehenden verständlich zu machen, daß diese Öffnungen weder

- zur Abführung von Wasser geeignet sind, noch
- durch größere Luftströmungen der Wärmeschutz beeinträchtigt wird

wurde auch in DIN 18 545 die Bezeichnung "Öffnung zum Dampfdruckausgleich" festgelegt.

Die Öffnungen sind entweder als Schlitz mit mindestens 5 mm Breite und 20 mm Länge oder als Bohrungen mit einem Mindestdurchmesser von 8 mm auszubilden. Die Öffnung des Falzraumes ist jedoch auch im oberen Bereich zu empfehlen. Bei Holzfenstern bis zu einer Flügelbreite von 1,20 m sind zwei Öffnungen im unteren Bereich ausreichend. Bei Räumen mit Klimaanlage und dergleichen sind die Öffnungen auch oben anzubringen. Auf die Abdichtung zur Raumseite ist bei solchen Räumen besonders zu achten.

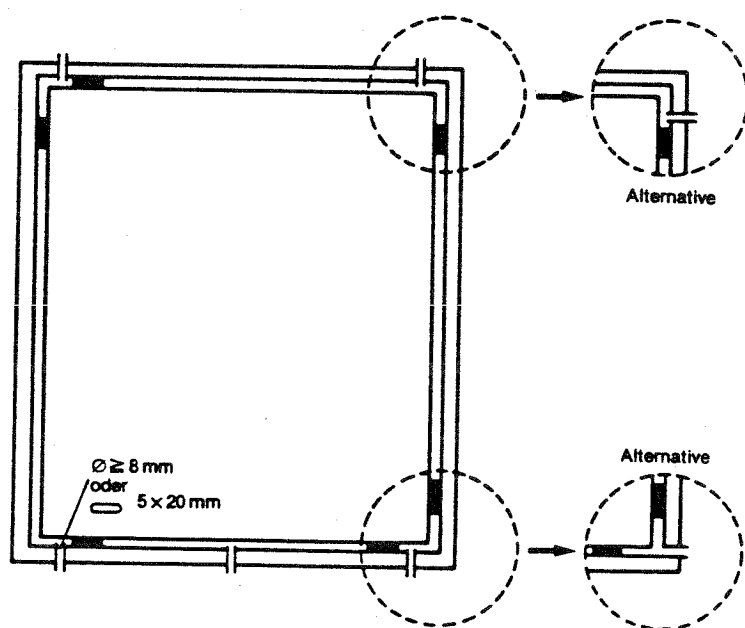


Bild 90 Anordnung der Öffnungen für den Dampfdruckausgleich

Durch die Verklotzung darf der Falzraum in der Länge nicht unterbrochen werden. Bei profiliertem Falzgrund müssen im Bereich der Öffnungen die tiefer liegenden Bereiche miteinander verbunden werden.

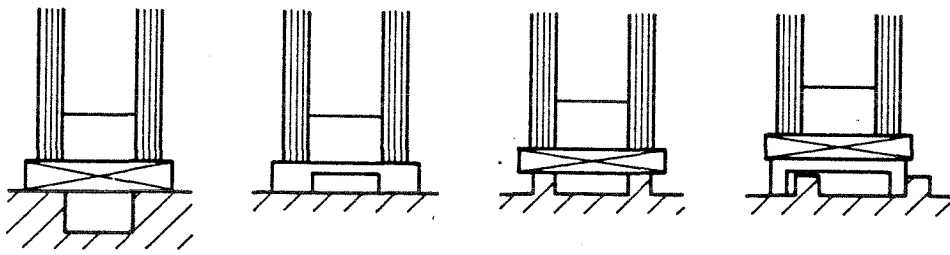


Bild 91 Einbau der Verklotzung

Die Ergebnisse von Vergleichsversuchen zwischen den vorstehend beschriebenen Öffnungen (Fenster 1) und der Öffnung des Glasfalzes zur Außenseite bei nur zwei Bohrungen im unteren Bereich des Glasfalzes mit 6 mm Durchmessern (Fenster 2) zeigen die Bilder 92 und 93. Die Auswertung zeigt den Wasserdampfteildruck im Glasfalz über der Zeit und den Wasserdampfsättigungsdruck, der aus der Temperatur am Glasrand folgt, aufgetragen. Bereiche in denen beide Aufzeichnungen deckungsgleich sind bedeuten, daß dort für die Luft im Falzraum die Sättigung erreicht wird und am Rand des Mehrscheiben-Isolierglases Tauwasser anfällt. Während am Fenster Nr.1 im ausgewählten Zeitraum Tauwasser nicht auftritt, ist beim Fenster Nr.2 in den Morgenstunden und Abendstunden mit Tauwasser zu rechnen. Diese Tage sind mit einem Pfeil in Bild 93 gekennzeichnet.

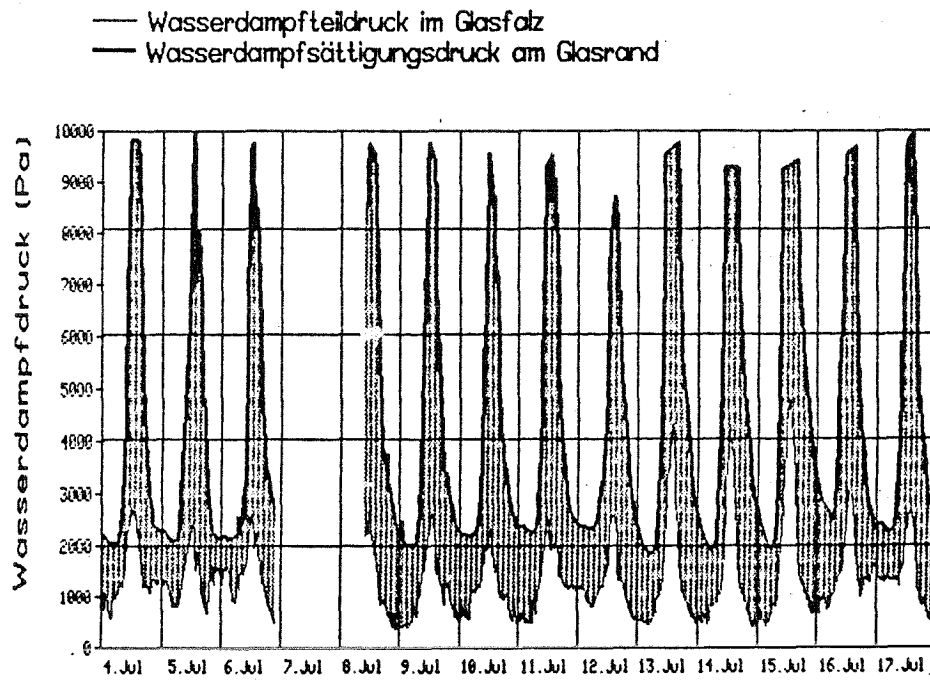


Bild 92 Verlauf des Wasserdampfteildruckes und des Wasserdampfsättigungsdruckes im Glasfalz für Fenster Nr.1

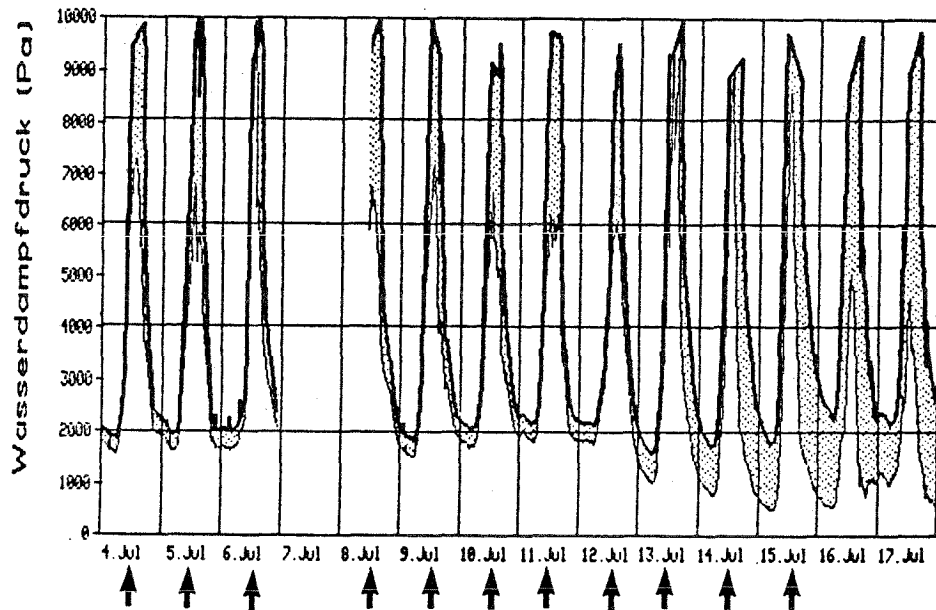


Bild 93 Verlauf des Wasserdampfteildruckes und des Wasserdampfsättigungsdruckes im Glasfalz für Fenster Nr.2

9.3.3 Mehrscheiben-Isolierglas

Bei der Abschätzung der Nutzungserwartung vom Mehrscheiben-Isolierglas ist zu unterscheiden in das Ende des Nutzungsvorrates als Folge der Beladung des Trockenmittels aus

- Diffusion von Feuchtigkeit über den Randverbund ohne Schädigung der Abdichtung
- Diffusion und Eindringen von Feuchtigkeit über gelöste Grenzflächen zwischen Glas und Dichtstoff.

Aus den praktischen Erfahrungen ist festzustellen, daß gelöste Grenzflächen die häufigsten Schadensursachen sind. Ausgelöst wird dieser Schaden durch die Alterung des Dichtstoffes, die durch Feuchtigkeit und Lichteinwirkung beschleunigt wird, wobei grenzflächenaktive Stoffe z.B. aus Reinigungsmittel, Atmosphärien die Entwicklung begünstigen. Eine Abschätzung der Nutzungserwartung aus diesen Einflüssen ist kaum möglich. Hier kann nur die Empfehlung gegeben werden, durch konstruktive Voraussetzungen und fachgerechte Verarbeitung, die Belastung auf ein Minimum zu beschränken und ungünstige Scheibenformate sowie große Scheibenzwischenräume zu vermeiden. Bild 94 zeigt den Kreislauf der äußeren Einflüsse auf die Nutzungserwartung von Mehrscheiben-Isolierglas.

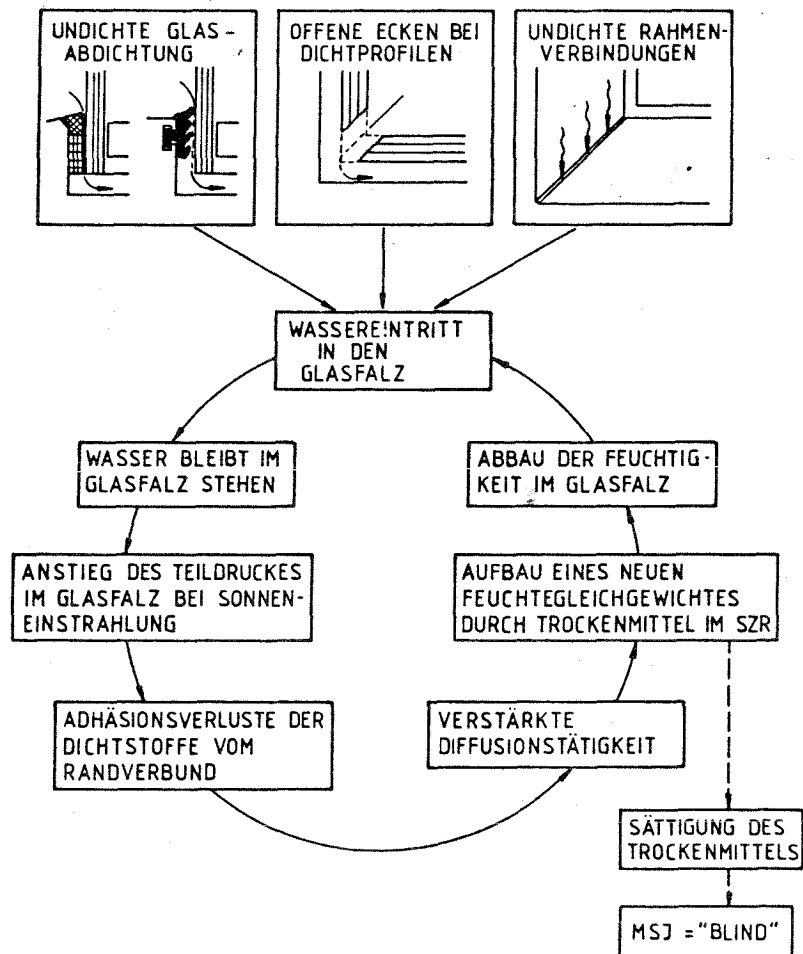


Bild 94 Kreislauf der äußeren Einflüsse auf den Randverbund

Das Ende der Nutzungserwartung bei intaktem Randverbund läßt sich leichter abschätzen. Auch wenn die Gegenüberstellung der verschiedenen Ansätze den Eindruck entstehen läßt, daß solche Abschätzungen keine praktische Bedeutung haben, so ist doch unbestritten, daß sie in Verbindung mit Laborprüfungen ein unentbehrliches Hilfsmittel für die Entwicklung sind. Die Laborprüfung ist als Ergänzung zum theoretischen Ansatz zumindest im Augenblick unentbehrlich, weil Schwachpunkte des Systems z.B. die Eckausbildung mit erfaßt werden. Als weiterer Unsicherheitsfaktor bleibt die Fertigung, deren Einflüsse nur durch eine Qualitätssicherung unter Kontrolle gehalten werden können.

Wie bei allen theoretischen Ansätzen und Kurzprüfungen ist es aber schwierig, die Ergebnisse auf das Langzeitverhalten zu übertragen. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden deshalb sowohl Laborprüfungen als auch Freilandversuche am gleichen System durchgeführt, deren Ergebnisse im Abschnitt 8 aufgezeigt sind. Die Auswertung dieser Ergebnisse ermöglicht eine Verknüpfung zwischen der Prüfung nach DIN 1286 und den Freilandversuchen und zwar über

- die Beladung der Trocknungsmittel und
- die Summierung der Feuchtigkeitsbeanspruchung.

Im Freilandversuch ergaben sich nach einer Nutzungsdauer von 27 Monaten Beladungszunahmen für das Trocknungsmittel von

$$\Delta b^* = 0,5 \dots \underline{0,74} \dots 1,0 \%$$

Eine Rückrechnung auf die Nutzungsdauer von einem Jahr, die, wie die Versuche zeigten, in diesem Bereich linear erfolgen kann, ergibt eine Beladungszunahme von

$$\Delta b(1) = 0,22 \dots \underline{0,33} \dots 0,44 \%$$
 je Jahr.

In der Laborprüfung nach DIN 1286 Teil 1 ergab sich eine Beladungszunahme von

$$\Delta b = 0,7 \dots \underline{1,2} \dots 1,5 \%$$

Die Beladungszunahme aus der Prüfung nach DIN 1286 entspricht damit einem Zeitraum der praktischen Nutzung von 3 bis 4 Jahren.

Aus der Summierung der Feuchtigkeitsbeanspruchung ergibt sich für die Jahre 1982/83 eine Belastung von

$$5,9 \times 10^6 \text{ Pah/Jahr} \quad (\text{Pascal-Stunden je Jahr})$$

Die Jahre 82/83 können als typische Jahre angesehen werden. Aus der Prüfung nach DIN 1286 Teil 1 folgt eine Feuchtigkeitsbelastung von ca.

$$18 \times 10^6 \text{ Pah.}$$

Auch aus dieser Betrachtung ergibt sich, daß die Belastung der Prüfung nach DIN 1286 Teil 1 einer praktischen Nutzung von

3 bis 4 Jahren

entspricht. Die Ermittlung dieser Belastung im praktischen Einsatz gilt für Verglasungssysteme, die den heutigen technischen Erkenntnissen entsprechen und damit dicht sind gegenüber Niederschlags- und Reinigungswasser und eine ausreichende Öffnung zur Außenseite haben.

Wenn diese Voraussetzungen nicht erfüllt sind steigt, wie die Versuche zeigten, die Feuchtigkeitsbelastung im Glasfalz stark an. Mit diesem Anstieg erhöht sich auch die Belastung des Randverbundes und es steigt die Gefahr, daß eine Enthaftung an den Grenzflächen zwischen Glas und Dichtstoff eintritt.

Unter der Annahme, daß die Nutzungsdauer des Mehrscheiben-Isolierglases durch die Enthaftung an den Grenzflächen nicht beeinträchtigt wird, bestimmt die Diffusionsfähigkeit des Randverbundes und die eingeschlossene Menge an Trocknungsmittel das Verhalten des Mehrscheiben-Isolierglases.

Neben den Diffusionskoeffizienten des eingesetzten Dichtstoffes wird die Wasserdampfdurchlässigkeit des Randverbundes bestimmt von

- der Geometrie der Abdichtung
- der Umgebungstemperatur
- systemspezifischen Schwachpunkten und Verarbeitungseinflüssen.

Der Einfluß der Geometrie und der Temperatur ist nicht linear. Gesicherte Unterlagen in der Literatur konnten nur für einzelne Werkstoffe gefunden werden.

Wenn die Wasserdampfdurchlässigkeit als Systemkonstante angenommen wird, bleibt zur Beeinflussung der Nutzungserwartung die Art und Menge des Trocknungsmittels.

Die vom Trocknungsmittel zu bindende Feuchtigkeitsmenge wird

- von der Feuchtigkeit des bei der Herstellung eingeschlossenen Luftvolumens sowie,
- dem Scheibenaufbau bestimmt, und
- ist in der Folgezeit neben dem Einfluß aus den Ecken direkt proportional zur Länge des Randverbundes.

Die Menge des erforderlichen Trocknungsmittels wird nicht von der Scheibenfläche sondern von der Länge des Randverbundes und vom Scheibenaufbau bestimmt.

10. Zusammenfassung

Mit der Entwicklung der Bautechnik und der Architektur gab es auch für Fenster in den Jahren nach 1950 eine sehr steile Entwicklung. Diese Entwicklung war auch geprägt von großflächigen Fenstern und Verglasungen, die eine höhere Belastung der Glasabdichtung zur Folge hatten. Parallel hierzu kam die Entwicklung des Mehrscheiben-Isolierglases und es war nicht möglich, praktische Erfahrungen weder für die großflächige Verglasung noch für Mehrscheiben-Isolierglas zu sammeln.

Die Schäden an Fenstern und an Mehrscheiben-Isolierglas blieben nicht aus. Aus heutiger Sicht waren dafür neben der Konstruktion des Fensters die Glasabdichtung und die Empfindlichkeit des Randverbundes des Mehrscheiben-Isolierglases gegenüber Feuchtigkeit verantwortlich. Die Konsequenzen daraus waren, daß die Verglasungssysteme heute dahingehend ausgebildet werden, daß sich im Bereich des Randverbundes keine anhaltende Feuchtigkeit ansammelt und der Randverbund sowohl hinsichtlich der eingesetzten Werkstoffe als auch der Verarbeitung verbessert wurde.

Nicht nur bei den Verglasungen mußten neue Erkenntnisse zur Schadensvermeidung gewonnen werden sondern auch bei Mehrscheiben-Isolierglas brachte die Entwicklung in den Jahren ab 1976 einen Rückgang der Schäden und man kann heute davon ausgehen, daß bei Beachtung des derzeitigen Kenntnisstandes die praktische Nutzungsdauer des Mehrscheiben-Isolierglases mit 20 bis 30 Jahren als realistisch angenommen werden kann. Die Entwicklung der Architektur zu kleinformatigen Scheiben und das Bemühen verschiedener Hersteller durch größere Scheibenzwischenräume den Wärme- und Schallschutz zu verbessern, bringen neben einem Anstieg der Kosten für das Bauteil Fenster neue Probleme für die Nutzungserwartung. Diese Entwicklung sollte aus technischer und wirtschaftlicher Sicht kritisch verfolgt werden.

Die im Rahmen dieser Arbeit untersuchten Belastungen waren zwar in ihrer Art, nicht aber in der festgestellten Größe bekannt. Dies gilt für die Glasrandtemperaturen, die unabhängig von der Jahreszeit und der Rahmenwerkstoffe bereits bei Normalglas auf Werte von über 60°C ansteigen. Der Einfluß der Glasfalzöffnung auf die Feuchtigkeitsbelastung war aus früheren Arbeiten bekannt. Der starke Unterschied zwischen geschlossenem Glasfalz bzw. unzureichend geöffnetem Glasfalz und einer ausreichenden Öffnung wie sie in der Tabelle "Beanspruchungsgruppen zur Verglasung von Fenstern" beschrieben ist, bestätigte die notwendigen Bemühungen zur Durchsetzung dieser Kenntnis. Die stärkste Feuchtigkeitsbelastung des Randverbundes wurde bei geöffnetem Falz nicht im Winter sondern im Sommer ermittelt.

Die Überprüfung verschiedener Systeme von Mehrscheiben-Isolierglas auf ihre Nutzungserwartung wurde sowohl im Freilandversuch als auch im Laborversuch nach DIN 1286 Teil 1 vorgenommen. Die Auswertung zeigte, daß die Prüfung nach DIN 1286 Teil 1 etwa 3 bis 4 Jahren praktischer Nutzungsdauer entspricht. Diese Aussage ist aber nur dann zu verallgemeinern, wenn ein funktionsfähiges Verglasungssystem vorliegt. Hochgerechnet ergibt sich daraus eine Nutzungserwartung für das Mehrscheiben-Isolierglas von 40 bis 50 Jahren, die sich aber wegen der in den Prüfungen nicht erfaßten Alterungsvorgänge auf 20 bis 30 Jahre reduziert.

Die vergangenen Jahre haben zwar sowohl in der Verglasungstechnik als auch in der Qualität des Mehrscheiben-Isolierglases Fortschritte gebracht. Dennoch kann die Entwicklung nicht als abgeschlossen betrachtet werden, wobei es gilt, neben der Verbesserung der Systeme auch ungünstige Einflüsse der Fertigung auszuschalten.

Literaturnachweis

- [1] Schmid,J.:
Die Verwendung handelsüblicher Leinölkitte für die Verglasung von Holzfenstern.
Forschungsbericht des Instituts für Fenstertechnik e.V., Rosenheim 1973, Az.: I 6 - 80 01 70 - 24
Auftraggeber: Bundesministerium für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau, Bonn
- [2] Seifert,E.:
Technische Probleme im Fensterbau.
Institut für Fenstertechnik e.V., Rosenheim 1969
- [3] Scholer,K.:
Von der Kittfase zur Druckverglasung.
Bau + Möbelschreiner 77 (1981) Heft 1, Seite 99, 100 und Heft 2, Seite 46 bis 48
- [4] Seifert,E.; Schmid,J.; Hofmann,S.:
Schäden an Holzfenstern.
Institut für Fenstertechnik e.V., Rosenheim 1968
- [5] N.N.:
Mechanisch überforderte Kittfasen.
Bau + Möbelschreiner 71 (1975) Heft 10, Seite 100
- [6] Seifert,E.:
Schäden an Isolierglas.
glas + rahmen (1980) Heft 12, Seite 670 bis 678
- [7] N.N.:
Isoliergläser: Mehr als nur ein Durchblick.
der deutsche schreiner 76 (1976) Heft 9, Seite 52 bis 55, 100, 101
- [8] Seifert,E.:
Seminar 2 Fenster.
Institut für Fenstertechnik e.V., Rosenheim 1973
- [9] Seifert,E.:
Prüfverfahren für Bauteile aus Holz, Kunststoff und Aluminium.
Glaswelt 23 (1970) Heft 6, Seite 358 bis 368
- [10] Schmid,J.; Stiell,W.:
Einbau von Isolierglaseinheiten.
Fenster und Fassade 5 (1978) Heft 4, Seite 98 bis 104
-

Alterung von Mehrscheiben-Isolierglas

- [11] Jüptner, W.:
Elastomer-Dichtprofile im Fenster- und Fassadenbau.
Der Deutsche Tischlermeister 78 (1978) Heft 2
- [12] Timm Dr., T; Glang, S.:
Elastomere als Profildichtungen im Baubereich.
Das Bauzentrum (1975) Heft 1
- [13] Scholer, K.:
Druckverglasung.
Glaswelt 31 (1978) Heft 5, Seite 380 bis 386
- [14] Hugentobler, P.:
Druckverglasung.
Glaswelt 23 (1970) Heft 2, Seite 61 bis 72
- [15] Dirla, M.:
Trockenverglasung bei Kunststoff-Fenstern.
Bau + Möbelschreiner 74 (1978) Heft 2, Seite 44, 45
- [16] Vetter, R.:
Zeitgemäße Druckverglasung im Fensterbau.
Glaswelt 24 (1971) Heft 6, Seite 388 bis 390
- [17] Ortmanns Dr.:
Rahmensysteme, Einbaubedingungen.
glasforum 28 (1978) Heft 3, Seite 39 bis 41
- [18] Hansmann, J.:
Dichtungen - von der Plastischen Masse zum elastischen Profil.
Adhäsion 23 (1979) Heft 8, Seite 244 bis 251
- [19] Klink, E.:
Dichtstoffe und Dichtprofile für den Fensterbau und die Verglasung.
Glaswelt 29 (1976) Heft 2, Seite 80 bis 86
- [20] Süsser, H.:
Dichtprofile für die Trockenverglasung.
Bau + Möbelschreiner 71 (1975) Heft 5, Seite 150 bis 153
- [21] Prüfung von Verglasungssystemen mit vorgefertigten Profilen.
Richtlinie (Entwurf) des Instituts für Fenstertechnik e.V.,
Rosenheim 1983
-

Alterung von Mehrscheiben-Isolierglas

- [22] Messner, W.:
Was ist bei Verglasungen in Holzfensterrahmen zu beachten?
Glaswelt 30 (1977) Heft 9, Seite 578 bis 582
- [23] Beye, F.:
Historische Entwicklung der Isolierglassysteme.
Forum "Isolierglas heute mit Blick in die Zukunft", Frankfurt 1982
- [24] Mertens Dr., H.:
50 Jahre Mehrscheibenisoliertglas.
Glaswelt 24 (1971) Heft 3, Seite 128 bis 132
- [25] Köhne, K.H.:
Herstellung von Doppelglasscheiben.
Glas-Email-Keramo-Technik 8 (1957) Heft 3, Seite 74 bis 78 und Heft 4, Seite 121 bis 124
- [26] Henrich, K.:
Isolierglas - bedeutender Werkstoff im Wandel der Bautechnik.
Sprechsaal 104, Seite 1042 bis 1044
- [27] GADO-Ganzglas-Isolierscheiben.
Konstruktionsmappe, Flachglas AG Delog-Detag
- [28] N.N.:
Mehrscheiben-Isoliergläser.
Glaswelt 26 (1973) Heft 4, Seite 293, 294
- [29] Krings, A.:
Thermopane-Mehrscheiben-Isolierglas.
Industrie-Spiegel (1961) Heft 5
- [30] Wulle, K.:
Die Entfeuchtung der Luft im Zwischenraum von Mehrscheiben-
isoliertglas.
Österreichische Glaserzeitung 18 (1965) Heft 4, Seite 9
- [31] Marusch Dr., H.:
Herstellung und Eigenschaften von Thermoscheiben.
Informationstag über Thermoscheiben, Aken/Elbe 1966
- [32] Henrich, K.:
Qualitative Betrachtungen zum Thema Isolierglas.
Glaswelt 34 (1981) Heft 6, Seite 506 bis 510 und Heft 7, Seite 592
bis 598
-

Alterung von Mehrscheiben-Isolierglas

- [33] Bergmann Dr.:
25 Jahre Thiokol im Isolierglas.
glas + rahmen (1979) Heft 3, Seite 120 bis 122
- [34] Wilhelm Dr.,G.:
Das Polymer, das sie zusammenhält.
glas + rahmen (1977) Heft 20, Seite 772 bis 774
- [35] van Santen:
Dubbelglas - De Beproeving van geprefabriceerd Dubbelglas.
Mikronik (1978) Heft 5, Seite 114 bis 117
- [36] Rocholl Dr.,M.:
Vom selbsthaftenden Dichtstoff zur Isolierglasscheibe.
glas + rahmen (1982) Heft 7, Seite 374 bis 379
- [37] Bergmann,G.:
Berechnung des zeitlichen Taupunktverhaltens in Thermoscheiben mit
organischer Randabdichtung.
Silikattechnik 25 (1974) Heft 1, Seite 13 bis 15
- [38] Mann.D.:
Adsorptionsmittel in der Isolierglasindustrie.
Glaswelt 21 (1968) Heft 10, Seite 438 bis 444
- [39] Rauschenbach,L.:
Lufttrocknung in Mehrscheiben-Isolierglas.
Glaswelt 23 (1970) Heft 4, Seite 208 bis 212
- [40] Meißner:
Kriterien für die Auswahl des Trockenmittels in Isolierglas-
elementen.
Glaswelt 8 (1982), Seite 648
- [41] N.N.:
Einblick in die hohe Kunst der Isolierglas-Herstellung.
der deutsche schreiner 80 (1980) Heft 9, Seite 32 bis 34
- [42] Kästner,E.:
Die Isolierglasproduktion in der Bundesrepublik von 1973 bis 1982.
gracette 5 (1982) Heft 9
- [43] Jacobs,H.:
Gebrauchswert stranggepreßter Abstandhalter aus Aluminium.
glas + rahmen (1981) Heft 19, Seite 1170
-

Alterung von Mehrscheiben-Isolierglas

- [44] N.N.:
Bedeutung des Abstandhalters für die Isolierglasherstellung.
Dissertation der Metallgesellschaft AG, (1978)
- [45] N.N.:
Vom Umgang mit den Adsorptionsmittel.
Isolierglas-Info Teroson, (1981)
- [46] Brook, H.:
Grundlegende Empfehlungen für die Fertigung von Isoliergläsern.
glas + rahmen (1982) Heft 1
- [47] Penot, J.; Eckold:
Molekularsiebe in gasgefüllten Isoliergläsern.
Glaswelt 33 (1980) Heft 11, Seite 1066
- [48] N.N.:
Sicherheit ist eine runde Sache.
glas + rahmen (1980) Heft 20, Seite 902
- [49] Puppe Dr.:
Molekularsiebe.
Ullmanns Encyclopädie der technischen Chemie, 4. Auflage,
Weinheim 1979
- [50] Reiss, G.:
Die Verwendung von Molekularsieb-Zeolithen in der Adsorptions-
technik.
Periodica Polytechnica, Budapest 1975
- [51] Kilthau Dr., F.:
Ein- und Ausbauchung einer Isolierglasscheibe.
Glaswelt 34 (1981) Heft 6, Seite 514
- [52] N.N.:
Molekularsiebe, Eigenschaften und Anwendung.
Fa. Grace
- [53] Wolter, R.:
Vermeidbarkeit von Ein- und Ausbauchungen an Mehrscheiben-
Isolierglas.
Glaswelt 36 (1983) Heft 5, Seite 323
- [54] N.N.:
Terostat-Qualitätsdichtstoffe für die Isolierglasherstellung.
Bauelemente Bau 5 (1980) Heft 11, Seite 21
-

Alterung von Mehrscheiben-Isolierglas

- [55] Beye, F.:
Prüfung von Kleb- und Dichtstoffen für die
Isolierglasherstellung.
gracette 3 (1980) Heft 5
- [56] Rocholl Dr., M.:
"Neues Prüfen und Bewährtes bewahren!" - auch in der Isolier-
glasherstellung.
Glaswelt 33 (1980) Heft 6, Seite 509 bis 512
- [57] Dilger Dr., W.:
Voraussetzungen für die Qualität von Isolierglas-Dichtstoffen.
Isolierglas-Forum, Frankfurt 1982
- [58] Beye F.:
Prüfung von Kleb- und Dichtstoffen für die
Isolierglasherstellung.
Glaswelt 33 (1980) Heft 6, Seite 520 bis 522
- [59] Hockenberger Dr., L.:
Warum elastischer Randverbund?
Isolierglas-Forum Frankfurt 1982
- [60] Zimmermann, W.:
Dichtstoffe für die Isolierglas-Erzeugung - Bewährungskriterien
und Prüfungen.
Glaswelt 32 (1979) Heft 4, Seite 285
- [61] N.N.:
Temperaturverhalten bei der Aushärtung von Terostat-Polysulfid-
dichtstoffen.
Isolierglas-Info der Firma Teroson
- [62] Bergengruen, M.:
Isolierglasversiegelung mit Hot Melt Butyl Novatherm 415.
glas + rahmen (1978) Heft 18
- [63] N.N.:
Isolierglas-Randverbund mit Hotmelt optimalisiert.
glas + rahmen (1977) Heft 20, Seite 789
- [64] N.N.:
Gesamtbericht über den Isolierglasmarkt.
Battelle Forschungszentrum, Genf 1981
-

Alterung von Mehrscheiben-Isolierglas

- [65] Böttcher,W.; Hartmann,H.; Schmid,J.:
Verbundfenster.
Forschungsbericht des Instituts für Fenstertechnik e.V.,
Rosenheim 1981, Az.: 3656 - VIII/4d - 52340
Mit Unterstützung des Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft
und Verkehr, München
- [66] Dolezel,B.:
Die Beständigkeit von Kunststoffen und Gummi.
1. Auflage: Carl Hanser Verlag, München Wien 1978
- [67] Termath Dr.:
Problematik der Verglasung.
gracette 2 (1979) Heft 4
- [68] Feldmeier Dr.,F.:
Belastung von Isoliergläsern durch Klimaschwankungen
Fenster + Fassade 11 (1984) Heft 2
- [69] Brook, H.:
Spannungen im Isolierglas.
Glas + Rahmen 24/82, Seite 1349 bis 1352
- [70] Schönbrunn Dr.,G.:
Normen und Gütesicherung von Mehrscheiben-Isolierglas.
Technische Akademie Esslingen 1984
- [71] N.N.:
Klotzungsrichtlinien für ebene Glasscheiben.
Richtlinie des Instituts des Glaserhandwerks, Hadamar 1979
- [72] Schmid,J.; Stiell,W.:
Die neue Tabelle: "Beanspruchungsgruppen zur Verglasung von
Fenstern".
glas + rahmen (1983) Heft 7, Seite 340
- [73] Schmid,J.:
Verglasung von Fenstern.
Bundes Baublatt 32 (1983) Heft 5, Seite 294 bis 300
- [74] Schmid,J.:
Glasabdichtung am Holzfenster.
Forschungsbericht des Instituts für Fenstertechnik e.V.,
Rosenheim 1981, Az.: B II 5 - 80 01 76 - 106
Auftraggeber: Bundesministerium für Raumordnung, Bauwesen und
Städtebau
-

Alterung von Mehrscheiben-Isolierglas

- [75] N.N.:
Verglasung von Holzfenstern ohne Vorlegeband.
Richtlinie des Instituts für Fenstertechnik e.V., Rosenheim
- [76] Grunau Dr., E.:
Lebenserwartung von Dichtstoffen.
Forschungsbericht des Instituts für Baustoff-Forschung, Erfstadt
1975
Auftraggeber: Bundesminister für Raumordnung, Bauwesen und
Städtebau, Bonn-Bad Godesberg
- [77] Barth Dr., H.:
Fenster- und Türdichtungen aus Weich-PVC?
Kunststoffe im Bau 17 (1982) Heft 4, Seite 183 bis 187
- [78] Balazs, M.:
Problem Zivotnosti Izolacnich Skel.
Sklar a Keramik (1975)
- [79] N.N.:
U.E.A.t.c.-Richtlinien für die Erteilung von Agreements für
Isoliergläser.
Paris 1983
- [80] Stern, J.:
A 5-Minute Insulating Glass Seminar.
Glass Digest 53 (1974) Seite 58, 59
- [81] Mazzoni, R.; King, L.:
Performance of Double-Glazed Units in Accelerated and Service
Tests.
Materials Research & Standards 5 (1965) Heft 10
- [82] Backman, H.:
The Relationship of Moisture Vapor Transmission to the
Durability of Sealed Insulating Glass Units.
- [83] Michaels, N.; Stucker, N.:
The Importance of the Moisture Barrier Characteristics of
Insulated Window Sealants.
Houston, Texas 1972
- [84] Pacella, V.:
il disidratante nelle vetrate isolanti.
-

Alterung von Mehrscheiben-Isolierglas

- [85] N.N.:
Isolierglasfenster nicht empfehlenswert.
Stuttgarter Zeitung Nr. 42 (1981)
- [86] N.N.:
"Isolierglasfenster nicht empfehlenswert?"
Glaswelt 34 (1981) Heft 3, Seite 156
- [87] N.N.:
Eine klare Antwort an die Verbraucherverbände.
Bauelemente Bau 5 (1981) Heft 3, Seite 16
- [88] N.N.:
Plädoyer für Isolierglasfenster.
Glaswelt 34 (1981) Heft 5, Seite 342 bis 346
- [89] Medicus, G.:
Prüflösung zur Bestimmung der oberflächlichen Zinnionen-
konzentration von Floatglas.
Patentschrift Nr. 149264 Amt für Erfindungs- und Patent-
wesen, DDR 1980
- [90] Hepp, B.:
Verhalten des Glasfalzes von Fenstern unter natürlichen
Bedingungen Diplomarbeit an der Fachhochschule Rosenheim 1982
- [91] Zorll Dr., U.:
Benetzbarkeitskontrollen als Vorstufe zur Bewertung des
Haftvermögens.
Adhäsion 25 (1981) Heft 2, Seite 122 bis 127
- [92] Jebesen-Marwedel, H.; Brückner, R.:
Glastechnische Fabrikationsfehler.
3. Auflage, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York 1980
- [93] Dunken Dr., H.:
Physikalische Chemie der Glasoberfläche.
VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig
- [94] Scholze, H.:
Glas.
2. Auflage, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York 1970
-

Alterung von Mehrscheiben-Isolierglas

- [95] Zorll Dr.,U.:
Grenzflächenbedingte Einflüsse auf die Kohäsion von
Schichtverbundsystemen.
Adhäsion 25 (1981) Heft 7/8, Seite 278 bis 285
- [96] Aslanowa,M.:
Einfluß der chemischen Zusammensetzung des Glases auf die
Adhäsion von Polymeren.
Glastechnische Berichte 32 (1959) Heft 11, Seite 459 bis 463