



Fachverband Konstruktiver Glasbau e.V.

Arbeitskreis Nachhaltigkeit

**Wiederverwendung („Re-Use“)
von ausgebauten Verglasungen**

Aktuelle Arbeiten und Untersuchungen

Zwischenbericht 09/2023

Stand: 09/2023

Fachverband Konstruktiver Glasbau e.V.
Wüllner Straße 113 | 50931 Köln | Tel.: +49 (0) 221 94887 14 | Fax: +49 (0) 221 94887 15

www.glas-fkg.org | info@glas-fkg.org

Inhaltsverzeichnis

1	Allgemeines	3
2	Untersuchungskonzept R-Glas	4
2.1	Ausbau und Dokumentation	5
2.2	Weiterverarbeitung von R-Glas und deren Bewertung	5
2.2.1	Visuelle Bewertung	5
2.2.2	Glasbearbeitung	5
2.2.3	Mechanische Festigkeit.....	6
2.2.4	Verbundsicherheitsglas (VSG).....	6
2.2.5	Thermisches Vorspannen	7
2.2.6	Bedrucken und Beschichten	7
2.2.7	Isolierglas – Randverbund kleben/dichten	7
3	Bisherige Arbeiten – Versuchsserie 1 (VSG aus R-Glas)	8
3.1	Auftrennung Isolierglas und Zuschnitt der Einzelscheiben	8
3.2	Lamination: VSG aus R-Glas	11
3.3	Untersuchungsergebnisse.....	11
3.4	Schlussfolgerungen.....	13
4	Zukünftige Untersuchungen – Versuchsserie 2 ff.	14
4.1	Ausbau weiterer Verglasungen	14
4.2	Vorschläge für Untersuchungen.....	14
5	Schlussbemerkungen	15
6	Literatur	15

1 Allgemeines

Ziel des Arbeitskreises Nachhaltigkeit ist unter anderem die Erarbeitung von technischen Grundlagen, um die Weiterverwendung von in Fenstern und Fassaden bereits verbauten Einfach- oder Mehrscheiben-Isolierverglasungen in neuen Bauelementen wie z.B. Fenster, Türen, Fassaden oder anderen Anwendungen zu ermöglichen. Bereits verbaute und wieder ausgebaute Verglasungen werden teilweise auch als **Bestandsglas** oder „**R-Glas**“ bezeichnet, wobei das „R“ auf die Verwendung im Re-Use, Re-Manufacturing oder Recycling hindeutet.

Dies deckt sich im Grundsatz mit der Europäischen Bauproduktenverordnung, die im Teil 7 der Grundanforderungen eine nachhaltige Verwendung der natürlichen Ressourcen fordert:

„Das Bauwerk muss derart entworfen, errichtet und abgerissen werden, dass die natürlichen Ressourcen nachhaltig genutzt werden und insbesondere Folgendes gewährleistet ist:

- a) Das Bauwerk, seine Baustoffe und Teile müssen nach dem Abriss wiederverwendet oder recycelt werden können;
- b) das Bauwerk muss dauerhaft sein;
- c) für das Bauwerk müssen umweltverträgliche Rohstoffe und Sekundärbaustoffe verwendet werden.“

Aktuell gibt es keine normativen oder technischen Grundlagen, die den Planern und Ausführenden als Richtlinie oder Orientierung dienen können, um dieses Glas für neue Anwendungen zu qualifizieren [1]. Deshalb wird untersucht, ob die gültigen technischen Regelwerke Verwendung finden können, oder ob ggf. abgestufte Qualitätsanforderungen definiert werden müssen.

In erster Linie werden nicht vorgespannte (Float) Glasscheiben untersucht, die als monolithische Verglasung, laminiertes Einfachglas oder als Mehrscheibenisolierverglasung verwendet wurden. Der Vorteil von nicht vorgespannten Gläsern ist, dass diese noch geschnitten und weiterverarbeitet werden können. Dies gilt sowohl für einzelne Glasscheiben als auch für Verbundglas. Aber auch die Weiterverwendung von vorgespannten Glasscheiben ist denkbar, wenn diese im selben Format weiterverarbeitet werden sollen (z.B. zu Verbundsicherheits- oder Isolierglas).

Es werden **drei Stufen für die Weiterverwendung** unterschieden:

1. **Re-Use:** Direkte Wiederverwendung wie z.B. der Einbau eines ausgebauten Isolierglases an anderer Stelle. Dafür müssen ggf. die für den Einsatzzweck notwendigen Produkteigenschaften wie U-Wert oder Festigkeit des ausgebauten Glases bewertet werden.
2. **Re-Manufacturing:** Indirekte Wiederverwendung, bei der das ausgebaute Glas ertüchtigt (z.B. Wiederbefüllung Isolierglas) oder in einzelne Komponenten zerlegt und zu einem neuen Produkt zusammengebaut wird (z.B. Herstellung eines neuen Isolierglases mit ausgebauten sowie neu beschichteten Einzelscheiben). Dafür müssen die Produkteigenschaften der Einzelkomponenten sowie die Eignung zur Weiterverarbeitung / Veredelung bewertet werden.
3. **Recycling:** Das ausgebaute Glas wird in Scherbenform in den Stoffkreislauf zurückgeführt, idealerweise für Flachglas.

Der FKG konzentriert sich auf die ersten beiden Stufen (Re-Use und Re-Manufacturing). Dieser Zwischenbericht gibt einen Überblick über das bisher entwickelte Untersuchungskonzept und den aktuellen Stand der Arbeiten. Die Ergebnisse dieser Arbeit fließen zukünftig in einen Leitfaden „Handlungsempfehlungen R-Glas“, der dann genauer die Voraussetzungen und notwendigen Maßnahmen für die Wiederverwendung von Bestandsglas beschreiben sowie die Thematik der baurechtlichen Einordnung diskutieren wird.

Die Stufe Recycling wird zurzeit intensiv von verschiedenen Floatglas-Herstellern unter dem Stichwort „low carbon glass“ o.ä. vorangetrieben.

Eine baurechtliche Bewertung ist nicht Teil dieses Zwischenberichtes. Für die Wiederverwendung von R-Glas ist in Deutschland in den meisten Fällen ein Verwendbarkeitsnachweise wie eine vorhabenbezogene Bauartgenehmigung (vBG) oder eine Zustimmung im Einzelfall (ZIE) für Bauprodukte erforderlich. Eine frühzeitige Abstimmung mit den zuständigen Baubehörden wird nachdrücklich empfohlen.

2 Untersuchungskonzept R-Glas

Um R-Glas weiter verwenden zu können, können folgende Aspekte bewertet werden, wobei der genaue Umfang abhängig ist von der beabsichtigten Verwendung.

Für die **direkte Wiederverwendung (Re-Use)**:

- Visuelle Qualität
- Mechanische Festigkeit
- Schallschutz
- Bauphysikalische Bewertung für Isolierglas
 - U-Wert
 - g-Wert
 - Dichtigkeit / verbleibende Lebensdauer

Für die **indirekte Wiederverwendung (Re-Manufacturing)**:

- Sicherheitsanforderung VSG
 - Haftung
 - Durchstoßsicherheit
- Eignung zur Glasveredelung
 - Auftrennen von Isolierglas in die Einzelscheiben (Aufschneiden Randverbund)
 - Zuschnitt (Monolithisches Glas und VG/VSG)
 - Lamination
 - Thermisches Vorspannen
 - Bedrucken
 - Beschichten
 - Bohren, Fräsen, Schleifen und Polieren
- Eignung zur Erneuerung des Isolierglases
 - Randverbund (Trockenmittel und Dichtigkeit)
 - Wiederbefüllung vom Scheibenzwischenraum mit Edelgas
- Upgrade von einem bestehenden Isolierglas durch Wiederbefüllung mit Argon bei bestehendem Randverbund und Upgrade/Ergänzung des Trockenmittels
- Upgrade von einem bestehenden Isolierglas durch Wiederbefüllung mit Argon bei bestehendem Randverbund und Upgrade/Ergänzung des Trockenmittels und Ergänzung einer Schicht zur Dreifachverglasung; ggf. Kombination mit Vakuumisolierglas
- Beschichtungen
 - noch intakt?
 - Wie entfernen oder erneuern?

Theoretisch wäre es auch denkbar, nicht nur das Glas, sondern das gesamte Fenster- oder Fassadensystem wieder oder weiter zu verwenden. Aus praktischen Gründen wird dieser Aspekt an dieser Stelle jedoch zurückgestellt. Erste Ideen dazu wurden bereits in [2] veröffentlicht.

2.1 Ausbau und Dokumentation

Um die im obigen Abschnitt skizzierten Aspekte zu untersuchen, werden vom FKG ältere Glasscheiben im Rahmen von Abriss- oder Renovierungsprojekten ausgebaut. Diese stehen dann für weitere Untersuchungen zur Verfügung. Erste Untersuchungen sind bereits abgeschlossen; siehe folgende Abschnitte. Der Ausbau der Verglasungen wird zweckmäßig dokumentiert. Die Dokumentation und Bestandsaufnahme orientiert sich an der DIN SPEC 91484 „Bewertung der Wiederverwendbarkeit von Baumaterialien vor Abbruch- und Renovierungsarbeiten“. Entsprechende Vorlagen stehen auf Nachfrage zur Verfügung.

2.2 Weiterverarbeitung von R-Glas und deren Bewertung

Im Folgenden werden Maßnahmen und Arbeitsschritte für die Weiterverarbeitung und Bewertung von R-Glas vorgeschlagen. Das genaue Versuchsprogramm ist abhängig von den zur Verfügung stehenden R-Gläsern und der geplanten Verwendung und wird im Einzelfall festgelegt.

2.2.1 Visuelle Bewertung

Nach Ausbau der Scheiben werden diese zunächst visuell bewertet. Basis ist einerseits die **BF-Richtlinie 006/2019 „Richtlinie zur Beurteilung der visuellen Qualität von Glas für das Bauwesen“** („Hadamard-Richtlinie“). Diese Richtlinie beschreibt eine Glas-Qualität mit einem akzeptablen und bewährten Kosten-Nutzen-Verhältnis.

Andererseits kann die Oberflächenbeschaffenheit teilautomatisiert durch einen **Scanner** untersucht werden (Lage, Anzahl und Tiefe der Kratzer); die Kombination mit einer Farbeindringprüfung (PT-Prüfung analog zum Schweißen) könnte ebenfalls untersucht werden. Die teilautomatisierte Bewertung der Oberflächenqualität ist Gegenstand aktueller Forschungsarbeiten. Der Scanner am LSL in Kissing ist auf eine Glasgröße von maximal 2000 x 3000 [mm] beschränkt; für die Handhabung werden 750 x 1500 [mm] empfohlen. Ähnliche Randbedingungen gelten für den Linescanner am GCC in Darmstadt.

Es bleibt zu diskutieren, ob für die visuelle Qualität und die Oberflächenbeschaffenheit von R-Glasscheiben **abgestufte Qualitätsanforderungen** zu formulieren sind (vgl. **DIN 572** für **Floatglas**).

Mögliche Beschädigungen (Falzzone, Randzone, Hauptzone):

- Kratzer und Fehler in der Oberfläche
- Kantenbeschädigungen
- Korrosion der Glasoberfläche
- Korrosion der Beschichtung

Das Ergebnis der Prüfung hat Einfluss auf die Lage der im Folgenden skizzierten Probekörper: Für die verschiedenen Prüfungen werden Bereiche mit unterschiedlichen Oberflächen-Schädigungsgraden ausgewählt, um beispielsweise den Einfluss der Schädigung auf die Haftung (VSG) beurteilen zu können.

2.2.2 Glasbearbeitung

Die bisherigen Untersuchungen haben gezeigt, dass nicht vorgespanntes Glas (Float) vergleichsweise problemlos weiterbearbeitet werden kann:

- Schneiden
- Schleifen / Polieren
- Bohren
- Fräsen

Für die Herstellung der Probekörper (siehe folgende Abschnitte) werden diese Verfahren zwangsläufig angewendet. Im Moment geht der FKG davon aus, dass der Schneidprozess der kritischste sein könnte

(ggf. bricht das Altglas unkontrollierter je nach Tiefe und Größe der Kratzer). Bei den bisherigen Untersuchungen hat das Schneiden jedoch sehr gut funktioniert, so dass Bohren, Fräsen und Schleifen auch möglich sein sollten.

Darüber hinaus kann geprüft werden, inwieweit Kanten- und Oberflächenkratzer durch Schleifen / Polieren / Laser / Trockeneis entfernt werden können. Ziel ist dabei – falls notwendig – die Herstellung einer „frischen“ Glasoberfläche, die voraussichtlich für Beschichtungen oder Klebungen notwendig sein wird. Ob sich dieser Aufwand energetisch lohnt, ist jedoch zweifelhaft und bleibt zu untersuchen.

2.2.3 Mechanische Festigkeit

Die Ermittlung der mechanischen Festigkeit erfolgt nach DIN EN ISO 1288:

- DIN EN 1288-2: Doppelringbiegeversuch mit großer Prüffläche (Flächenfestigkeit)
 - Prüfkörper 1000 x 1000 mm
 - Belastung bis zum Bruch
 - Umrechnung der Bruchkraft in Bruchspannung
- DIN EN 1288-3: Vierpunktbiegeversuch (Kantenfestigkeit)
 - Prüfkörper 1100 x 360 mm
 - Belastung bis zum Bruch
 - Umrechnung der Bruchkraft in Bruchspannung
- DIN EN 1288-5: Doppelringbiegeversuch mit kleiner Prüffläche (Flächenfestigkeit)
 - Prüfkörper 200 mm x 200 mm (oder abweichend nach Schula)
 - Belastung bis zum Bruch
 - Umrechnung der Bruchkraft in Bruchspannung / Bruchspiegelanalyse

Aufgrund der zu erwartenden Streuungen sollten die Probekörperanzahl ausreichend hoch gewählt werden (i.d.R. Prüfkörperanzahl 15 bis 20 Stück). Aufgrund des Einflusses der Kantenfestigkeit bei Floatglas werden zunächst **Doppelringbiegeversuche** nach DIN EN 1288-5 empfohlen, um die Flächenfestigkeit zu ermitteln (beschädigte und verkratzte Oberfläche im Zugbereich).

In diesem Kontext sei darauf hingewiesen, dass es bereits zahlreiche Untersuchungen, z.B. vom GCC Darmstadt oder von der TU Delft, zum Zusammenhang zwischen Oberflächenqualität und Festigkeit gibt [3]–[6].

2.2.4 Verbundsicherheitsglas (VSG)

Beim VSG ist zu unterscheiden zwischen

- Bestands-VSG,
- **neu laminiertes VSG aus R-Glas** und
- neu laminiertes VSG aus neuen Glasscheiben (für Vergleichswerte).

Die Eigenschaften von VSG werden nach DIN EN ISO 12543 bewertet:

- DIN EN ISO 12543-2:2022 Verbund-Sicherheitsglas
 - Prüfkörper 300 mm x 300 mm
 - Prüfung bei hoher Temperatur: Lagerung bei 100°C in einem Ofen für zwei bzw. 16 Stunden
 - parallel: Prüfung in der Feuchte: Zweiwöchige Lagerung bei 50°C und 85 %-rF
 - Bestrahlungsprüfung: 2.000-stündige Einwirkung von simulierter Sonnenstrahlung bei 45°C
 - Erhöhte Anforderungen an die Zwischenschichtfolie für VSG (statt VG)
 - Insbesondere die Kantenstabilität wird vermutlich von Interesse sein
- DIN EN 12600:2003: Pendelschlagversuch - Stoßprüfung und Klassifizierung
 - Verhalten im Stoß unterscheidet VG von VSG
- Scherprüfung CSS (Haftung)

- Proben 300 mm x 300 mm geschnitten aus VSG
- Pummel-Test (Haftung)
 - Prüfkörper i.d.R. 300 mm x 300 mm

2.2.5 Thermisches Vorspannen

Das Vorspannen von Bestands-Floatglas ist möglich (TVG nach DIN EN 1863 und ESG nach DIN EN 12150). Es bleibt jedoch zu untersuchen, inwieweit sich größere Oberflächendefekte beim Vorspannen auswirken (technisch und visuell).

2.2.6 Bedrucken und Beschichten

Zum Bedrucken (z.B. mit Siebdruck oder Digitaldruck) sowie Beschichten (z.B. mit Sputtering-Verfahren) von R-Glas und deren möglichen Vielfalt an gealterten Oberflächen liegen mit dem FKG bisher keine Erfahrungen vor.

Theoretisch könnte man die gealterte Oberfläche in einem maschinellen Prozess schleifen und polieren, um eine neuwertige und vergleichbare Oberflächenqualität zu erreichen. Dieser Prozess ist aufwendig.

Gleiches gilt voraussichtlich auch für eine denkbare Entschichtung von R-Glas (chemisch ätzen oder mechanisch polieren).

2.2.7 Isolierglas – Randverbund kleben/dichten

Die Herstellung und Prüfung von Isolierglas erfolgt nach der Normenreihe EN 1279. Bei einem „Structural Glazing“ Randverbund erfolgt die Ausführung nach ETAG 002 bzw. EAD 090010-00-0404:

- DIN EN 1279-2:2018: Mehrscheiben-Isolierglas - Teil 2: Langzeitprüfverfahren und Anforderungen bezüglich Feuchtigkeitsaufnahme
- DIN EN 1279-3:2018: Mehrscheiben-Isolierglas - Teil 3: Langzeitprüfverfahren und Anforderungen bezüglich Gasverlustrate und Grenzabweichungen für die Gaskonzentration
 - Prüfkörper Isolierglas i.d.R. 4-12-4 mit der Abmessung 500 mm x 350 mm
- ETAG 002-1:1998: Geklebte Glaskonstruktionen
 - Untersuchung der Adhäsionseigenschaften von SG- und WS-Silikon auf alten und frisch polierten Oberflächen und Kanten (nass versiegeln mit WS, Randverbund Isolierglas, SG-Klebung).
- EAD 090010-00-0404 European Assessment Document for Bonded glazing kits and bonding sealants, September 2018

Wenn auf alte Oberflächen neu versiegelt werden soll, dann müssen Rückstände entfernt und gereinigt werden. Theoretisch wäre es auch hier denkbar, den alten Randverbund mechanisch zu entfernen und die Oberfläche zu schleifen. Dies wird z.B. im Video [7] inkl. einer robotergestützten Trennung von Isolierglas dargestellt, erscheint jedoch aufwendig zu sein:



3 Bisherige Arbeiten – Versuchsserie 1 (VSG aus R-Glas)

Für die ersten Vorversuche („Versuchsserie 1“) wurden dem FKG zwei Isoliergläser aus einem Bauvorhaben in Regensburg zur Verfügung gestellt. Die ca. 30 Jahren alten Isoliergläser wurden getrennt, die Randbereiche mit Dichtstoffresten weggeschnitten und die Prüfkörper hergestellt. Anschließend wurden die Einzelscheiben den beiden Folienherstellern Kuraray und Everlam für die Herstellung von VSG zur Verfügung gestellt.

3.1 Auftrennung Isolierglas und Zuschnitt der Einzelscheiben

Die folgenden Fotos dokumentieren den Ablauf der manuellen Arbeiten für die Herstellung der Einzelscheiben. Es gibt bereits automatisierte Verfahren zum Auftrennen von Isoliergläsern [8].

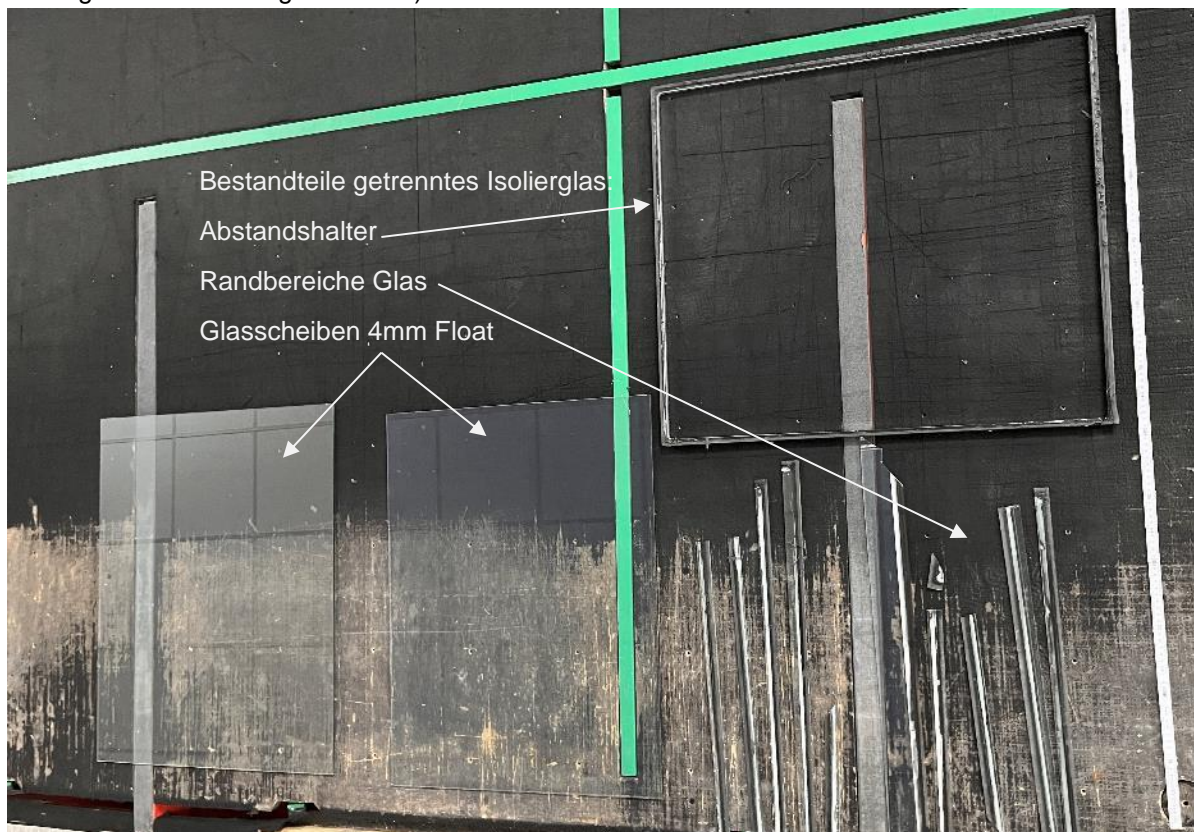
Manuelles Aufschneiden vom Randverbund:



Wegschneiden Randbereiche mit Klebreste vom Randverbund:



Getrennte Isolierglas-Komponenten einer Isolierglasscheibe (es wurden insgesamt zwei Isolierglasscheiben aufgeschnitten):



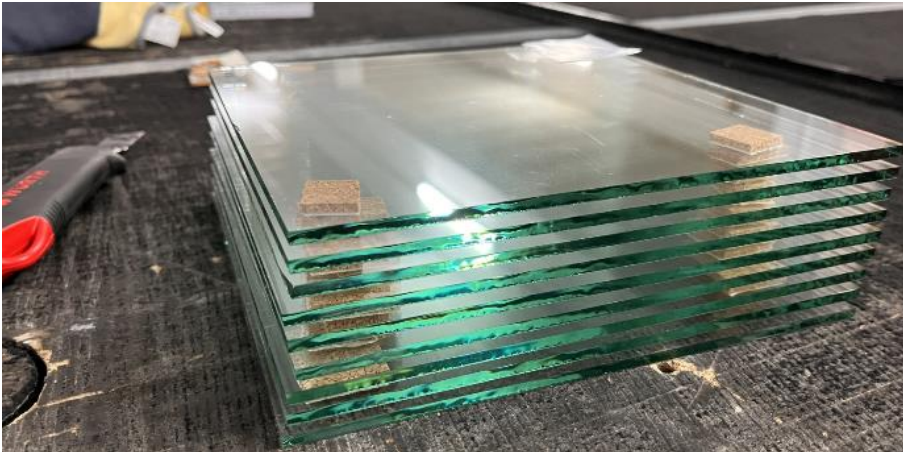
Randverbund: „FLACHGLAS AG 3 08 91 SZR 16“ (Messgerät misst 15):



Anschließend wurden die Einzelscheiben in kleinformatige Scheiben 200 x 200 mm gebrochen:



Ein Paket mit neun Scheiben (insgesamt 4 x 9 Scheiben, davon die Hälfte Beschichtung):



Aus den beiden Isoliergläsern mit dem Aufbau von 4-16-4 wurden insgesamt 4 x 9 = 36 Einzelscheiben Float (davon die Hälfte mit Beschichtung) mit einer Dicke von 4 mm geschnitten. Die Isoliergläser mit einer Beschichtung auf Position #3 waren baugleich, aber an verschiedenen Positionen im Gebäude eingebaut.

Die Bezeichnung der Positionen entspricht der üblichen Praxis:

Äußere Scheibe vom Isolierglas:

- #1 = bewitterte Außenseite der äußeren Scheibe
- #2 = SZR-Seite der äußeren Scheibe

Innere Scheibe vom Isolierglas:

- #3 = SZR-Seite der inneren Scheibe mit Beschichtung
- #4 = dem Raumklima ausgesetzte Außenseite der inneren Scheibe

Ein Isolierglas war an der Außenseite deutlich mehr korrodiert und fühlte sich „rauer“ an als das andere.

Das Isolierglas mit der „rauere“ bewitterten Außenseite wurde als „schlecht“ bezeichnet. Das Isolierglas mit der „feineren“ bewitterten Außenseite wurde als „gut“ bezeichnet. Die Bezeichnungen

„gut“ und „schlecht“ sind eher unglücklich und sollten zukünftig vermieden werden, da sie keinen Bezug zu einer objektiven Qualität haben.

Zusammenfassung Prüfkörper Einzelscheiben:

- 9 x äußere Scheibe „gut“
 - #1 wenig korrodiert, Zustand „gut“
 - #2 ohne Beschichtung
- 9 x äußere Scheibe „schlecht“
 - #1 mehr korrodiert, Zustand „schlecht“
 - #2 ohne Beschichtung
- 9 x innere Scheibe „gut“
 - #3 mit Beschichtung
 - #4 normal
- 9 x innere Scheibe „schlecht“
 - #3 mit Beschichtung
 - #4 normal

3.2 Lamination: VSG aus R-Glas

Aus den Einzelscheiben wurden unabhängig von den beiden Folienherstellern Kuraray und Everlam Verbundsicherheitsgläser hergestellt. Zum Vergleich wurde jeweils ein Referenz-VSG aus neuen Floatscheiben laminiert. Alle Scheiben wurden in einem durchgehenden Prozess („eine Charge“) hergestellt, so dass beispielsweise sowohl die R-Gläser als auch die neuen Floatscheiben im selben Waschzyklus mit demineralisiertem Wasser gereinigt wurden. Die Lamination erfolgte ohne Primer und ohne gesonderte Reinigung oder Aktivierung der R-Gläser. Die Herstellung wurde dokumentiert.


3.3 Untersuchungsergebnisse

Ziel der Vorversuche ist es zu untersuchen, ob sich R-Glas mit einer guten Qualität (Haftung) neu laminieren lässt. Das Bewertungskriterium ist somit das Haftverhalten im Vergleich zu VSG aus neuem Glas. Für die Bewertung wurden im Rahmen der Versuchsserie 1 mittels des Kompressionschertests (Compressive-Shear-Sample, CSS) und des Pummeltests die Adhäsion bzw. Haftung quantifiziert.

Die Ergebnisse wurden von Teich [9] auf der Münchner Tagung „Glas im Konstruktiven Ingenieurbau“ vorgestellt. Die folgenden Abbildungen stammen aus dem Vortrag.



Re-Use von Glas


FKG Arbeitsgruppe „Re-Use“



Versuche zur Lamination

- Bewertungsverfahren CSS und Pummel
- Zwei verschiedene PVB-Folien (hohe und mittlere Haftung)



Glas und Nachhaltigkeit?!
02.03.2023, Martien Teich

Quelle:
Schuster et al., Glass Struct Eng 5, 371–396 (2020). <https://doi.org/10.1007/s40940-020-00120-y>

20

Re-Use von Glas

FKG Arbeitsgruppe „Re-Use“

Vorversuche mit Trosifol ultraclear 0,76 mm

- Neue Referenzscheiben (AT/AT)
- Bewitterte Außenseite (#1 / #1, beide Zinn)
- Innere Raumseite (#4 / #4, beide Zinn)
- SZR-Seite ohne Coating (#2 / #2, beide Luft)

Samples	CSS sample 1 average	CSS sample 2 average	Pummel 1	Pummel 2
Block 1 Luft/Luft	37,91	37,84	9	9
Block 1 Zinn/Zinn	8,94	13,34	1	2
Block 1 Referenz	28,23		9	8
Block 2 Zinn/Zinn	18,41	20,41	6	6
Block 2 Referenz	28,36		9	8
Block 3 Zinn/Zinn	16,84	17,99	Edge: 1 /center: 5	Edge: 1 /center: 5
Block 3 Referenz	27,16		9	9

Quelle:
Kuraray, Sample preparation and adhesion testing for FKG e.V. Glass Re-Use Project, Feb 2023

HM FKG Glas und Nachhaltigkeit?! 02.03.2023, Martien Teich 24

Re-Use von Glas

FKG Arbeitsgruppe „Re-Use“

Ergebnisse:

- Sehr geringe Haftung auf bewitterte Pos. #1
- Sehr hohe Haftung auf trockene Pos. #2
- Geringe Haftung auf Innenseite Pos. #4

- Ursache für schlechte Haftung auf Pos. #1:
 - Korrosion Oberfläche?
 - starke Verschmutzung?
 - Silikon-Kontamination?

Quelle:
Kuraray, Sample preparation and adhesion testing for FKG e.V. Glass Re-Use Project, 2023

HM FKG Glas und Nachhaltigkeit?! 02.03.2023, Martien Teich 25

Re-Use von Glas

FKG Arbeitsgruppe „Re-Use“

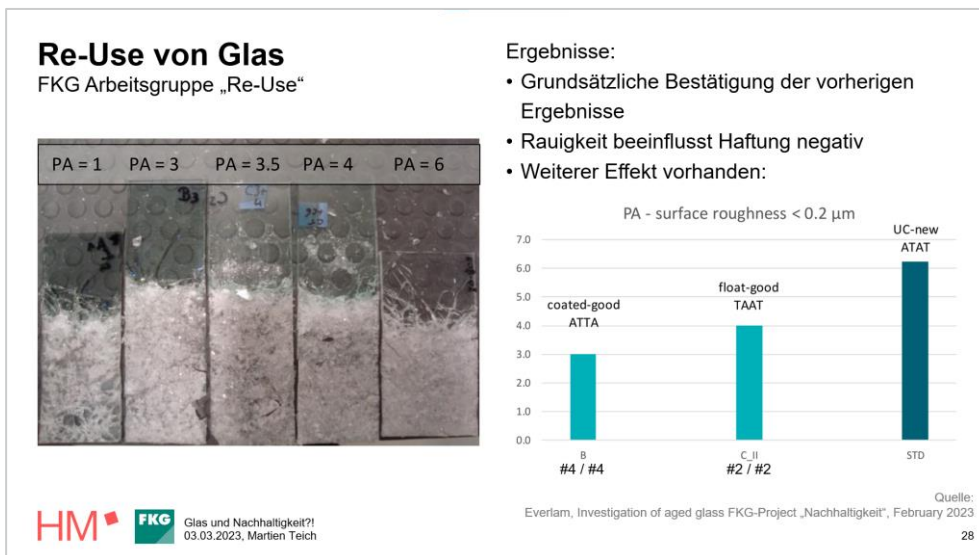
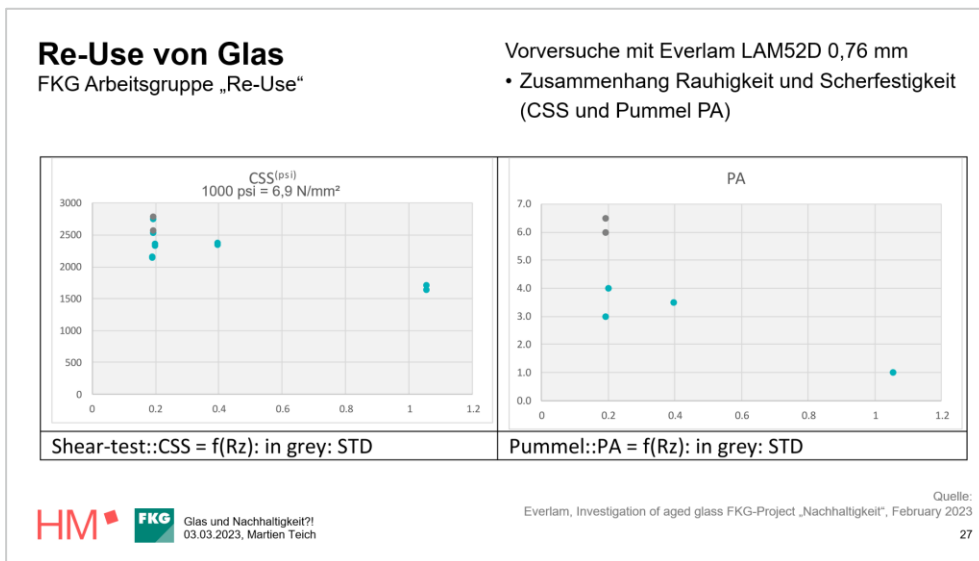
Vorversuche mit Everlam LAM52D 0,76 mm

- Folie mit mittlerer Haftung
- Untersuchung der Rz-Rauigkeit

Surface 1 / Surface 2	Coated/ "bad" :: A	Coated/ "good" :: B	Float/ "bad" :: C_I	Float/ "good" :: C_II	Standard UC :: Std
Rz / μm	1.0539	0.1893	0.3949	0.1982	0.19

Quelle:
Everlam, Investigation of aged glass FKG-Project „Nachhaltigkeit“, February 2023

HM FKG Glas und Nachhaltigkeit?! 03.03.2023, Martien Teich 26



3.4 Schlussfolgerungen

Die oben dargestellten Ergebnisse zeigen, dass die Haftung auf Position #1 nicht den VSG-Standards entspricht. Allerdings waren die Isoliergläser nicht trocken eingeglast, sondern etwa 30 Jahre nass versiegelt. Es wird davon ausgegangen, dass eine deutliche Dichtstoff-Kontamination v.a. der bewitterten Oberfläche stattgefunden hat.

In einer zweiten Versuchsserie sollten folgende Aspekte berücksichtigt und angepasst werden:

- Die Abmessung der VSG-PK war mit 200 x 200 mm auch zu klein und sollte mindestens auf 300 x 300 mm vergrößert werden, um den Einfluss der Randbereiche zu minimieren.
- Möglichst Scheiben aus einem trocken verglasten System verwenden.
- Bei einer möglichen Dichtstoff-Kontamination (meist Silikon) ggf. zweistufigen Waschprozess oder andere Reinigungsverfahren der Oberfläche testen.
- Die Rauigkeit der Einzelscheiben könnte maschinell mittels Scanner am GCC oder LSL untersucht werden. Ob die Scanner dafür geeignet sind, muss noch untersucht werden.

4 Zukünftige Untersuchungen – Versuchsserie 2 ff.

4.1 Ausbau weiterer Verglasungen

Am 24.03.2023 wurden von Elstner und Teich weitere Isoliergläser verschiedener Größe und Glasdicken aus einem Bauvorhaben in Regensburg ausgebaut. Die folgenden Fotos zeigen einen Teil der Arbeiten und Verglasungen.



4.2 Vorschläge für Untersuchungen

Im ersten Schritt werden die Produkteigenschaften der ausgebauten Isoliergläser ermittelt werden, z.B.

- Gasgehalt
- Wärmedurchgangskoeffizient U_g -Wert
- Randverbund (Festigkeit, Steifigkeit, shore-Härte, Sättigung Trockenmittel)
- Sekundärdichtstoff (IR)
- Emissionsgrad (Emissivität)
- Zinn- und Luftseite

Anschließend wird der AK festzulegen, welche Untersuchungen mit den Scheiben durchgeführt werden soll. Die Versuchsserie „VSG aus R-Glas“ wird weitergeführt. Dabei spielt auch die Ertüchtigung von ausgebauten Isoliergläsern eine Rolle (z.B. Wiederbefüllung, Erneuerung Randverbund, oder Ergänzung mit einer modernen beschichteten Scheibe). Auch das Scannen der Oberflächen und deren Rauigkeit / Qualität ist von Interesse.

5 Schlussbemerkungen

Dieser Zwischenbericht spiegelt einen Zwischenstand der aktuellen Tätigkeiten und Untersuchungen des FKG im Bereich der Nachhaltigkeit. Der FKG erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit oder Fehlerfreiheit. Die Untersuchungen dienen vor allem dazu, Erfahrungen im wenig erforschten Bereich der Wiederverwendung von Gläsern zu gewinnen und diese der interessierten Öffentlichkeit zur Verfügung zu stellen. Der Umfang der Untersuchungen ist nicht repräsentativ. Offene Fragen im Bereich des Baurechts werden noch an anderer Stelle diskutiert.

Der FKG ist bestrebt, die Untersuchungen transparent darzustellen und Zwischenergebnisse zu kommunizieren, so dass alle Interessierten gemeinsam schneller lernen und einen kleinen Beitrag zur notwendigen Transformation der Baubranche leisten können. Die Wiederverwendung von Baustoffen ist ein Teil davon. Die größeren Hebel werden vermutlich die zukünftige klimaneutrale Gewinnung von Rohstoffen sowie die klimaneutrale Herstellung, Transport und Montage der Produkte sein.

Die Untersuchungen sind noch nicht abgeschlossen und weitere Berichte folgen. Anregungen, Hinweise und Ergänzung von den LeserInnen sind erwünscht und werden gerne entgegengenommen.

Bitte wenden sie sich per Email (info@glas-fkg.org) an den FKG oder direkt an die Arbeitsgruppenleiter des FKG: Michael Elstner, Martien Teich und Stefan Göddertz.

6 Literatur

- [1] G. DeBrincat und E. Babic, „Re-thinking the life-cycle of architectural glass“. ARUP, 2018. [Online]. Verfügbar unter: <file:///C:/Users/Teich/Downloads/Rethinkingthelifecycleofarchitecturalglass2018-1.pdf>
- [2] R. Hartwell und M. Overend, „Unlocking the Re-use Potential of Glass Façade Systems“, Juni 2019.
- [3] I. Sofokleous, „Methodology for the prediction of the strength of naturally aged glass based on surface flaw characterization“, 2022, Zugegriffen: 7. Juli 2023. [Online]. Verfügbar unter: <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid%3Ab6ad7619-da9c-448c-aaf4-10cd065bbe14>
- [4] S. Müller-Braun, *Risssystem und Festigkeit der geschnittenen Kante von Floatglas*, Bd. 64. in *Mechanik, Werkstoffe und Konstruktion im Bauwesen*, vol. 64. Wiesbaden: Springer Fachmedien, 2022. doi: 10.1007/978-3-658-36791-6.
- [5] S. Müller-Braun, M. Seel, M. König, P. Hof, J. Schneider, und M. Oechsner, „Cut edge of annealed float glass: crack system and possibilities to increase the edge strength by adjusting the cutting process“, *Glass Struct Eng*, Bd. 5, Nr. 1, S. 3–25, März 2020, doi: 10.1007/s40940-019-00108-3.
- [6] S. Schula, *Charakterisierung der Kratzanfälligkeit von Gläsern im Bauwesen: Characterisation of the scratch sensitivity of glasses in civil engineering*. Berlin, Heidelberg: Springer, 2015. doi: 10.1007/978-3-662-47782-3.
- [7] *Robotically Recycling Insulated Glass Units*, (19. August 2021). Zugegriffen: 7. Juli 2023. [Online Video]. Verfügbar unter: <https://www.youtube.com/watch?v=72Oxh2OvNwk>
- [8] „Hegla | AGC - Mehrwert aus alten Isoliergläsern“, *Glaswelt*, Bd. 12, 2022, Zugegriffen: 7. Juli 2023. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.glaswelt.de/top-thema/hegla-agc-mehrwert-aus-alten-isolierglaesern>
- [9] M. Teich, „Glas und Nachhaltigkeit“, in *Glas im Konstruktiven Ingenieurbau 2023*, München: Hochschule München, März 2023.