

## Schlussbericht



Adhäsive Verbindungen für  
punktuelle Befestigungssysteme  
in Fassaden und Glastragwerken

Teilvorhaben 2  
Konzeptentwicklung für punktuelle Befestigungssysteme

Förderkennzeichen 03IPT603C  
Berichtszeitraum 01.04.13 bis 31.01.16



Gefördert vom

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.



© 2016

GWT-TUD  
Blasewitzer Str. 43  
01307 Dresden

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

## I Kurzdarstellung

### I.1 Aufgabenstellung

Ziel des beantragten Forschungsvorhabens bildete die Entwicklung von prinzipiellen Lösungen und Verfahren zur Anwendung der Klebtechnik für Glasfassaden und Glastragwerke. Dabei sollte der Schwerpunkt der theoretischen und experimentellen Untersuchungen auf punktuellen Klebungen von Glas und metallischen Befestigungsmitteln liegen. Durch die Bündelung der wirtschaftlichen und wissenschaftlichen Kompetenz auf dem Gebiet des Glas- und Fassadenbaus in der Region, sollten ein Wettbewerbsvorteil für die beteiligten Unternehmen generiert und die wesentlichen strukturbildenden Maßnahmen aus dem vorangegangenen InnoProfile-Vorhaben GLASKONNEX nachhaltig weitergeführt werden.

Geklebte Punkthalterssysteme und Beschläge stellen eine vorteilhafte Alternative zu bisher üblichen Lochleibungsverbindungen dar. Der Wegfall von Bohrungen führt neben einer Kostenersparnis beim Glas vor allem zu konstruktiven Erleichterungen. Generell entstehen bei geklebten Punkthaltern homogenere Spannungsverteilungen im Lasteinleitungsbereich. Weitere Vorteile geklebter punktueller Befestigungselemente bilden die Reduzierung von Verbindungselementen, die damit verbundene höherwertige Ästhetik und die Zunahme an gestalterischer Freiheit bei der Fassadenkonstruktion.

Das Verbundvorhaben verfolgt das Ziel durch konsequente Umsetzung der Grundlagenergebnisse eine neue Qualität beim Einsatz adhäsiven Verbindungen in der Fassade und in Glastragwerken zu erreichen. Mit Bezug auf die punktuellen Befestigungssysteme sollen konstruktive Lösungen bzw. Verfahren erprobt und angepasst werden. Nachfolgende wissenschaftliche und technische Arbeitsziele werden durch das Teilvorhaben Konzeptentwicklung für punktuelle Befestigungssysteme verfolgt:

- Konzeption der globalen Befestigungssysteme und der hierfür notwendigen Teilfunktionen
- Analyse und Bewertung eines Spektrums an geeigneten metallischen Fügmaterialien
- Überprüfung der Gestaltungsprinzipien hinsichtlich der funktionalen Zusammenhänge mithilfe von Visualisierungen, numerischen Strukturanalysen und Baumodellen
- Dauerhafte und langzeitstabile Oberflächenvorbehandlung für metallische Oberfläche

Mithilfe des Teilvorhabens sollen Gestaltungsprinzipien für lastabtragende Klebverbindungen entwickelt werden. Im Vordergrund steht dabei die lebensdauersichere und schadenstolerante Gestaltung der Klebverbindung. Dies schließt die Entwicklung der globalen Befestigungssysteme und die Konzeption hierfür notwendiger Teilfunktionen ein.

Zuerst sind auf der übergeordneten Ebene – beispielsweise der Brüstung

oder der Fassade – anwendungsbezogene Wirk- und Funktionsprinzipien zu definieren. Dies betrifft technologische Gesichtspunkte wie die absturzsichernde Funktion oder die biegemomentenfreien Lagerung der Elemente. Eine schadenstolerante Gestaltung kann durch Analyse unterschiedlicher Ausfallszenarien berücksichtigt werden.

Auf der Ebene des punktuellen Befestigungssystems sind Gestaltungsprinzipien abzuleiten, die sich auf den Wirk- und Funktionsprinzipien der übergeordneten Ebene stützen. Ein wesentliches Arbeitsziel bildet die Ausbildung einer homogenen Spannungsverteilung mit geringen Spannungen am Klebschichtrand, um eine lebensdauersichere Gestaltung zu erreichen. Hierfür sollen insbesondere bewegliche, zwängungsarme Verbindungen ausgebildet werden und eine parametrisierte Geometriefindung (einschließlich der Klebfugengeometrie) mittels numerischer Strukturanalysen durchgeführt werden. Weitere zu berücksichtigende Teilfunktionen stellen die Rückhalte-, Dämpfer- sowie Dichtungssysteme dar.

Ein Rückhaltesystem ermöglicht zusätzlich die Erfüllung erhöhter baurechtlicher Anforderungen bei kritischen Anwendungen. Das Rückhaltesystem ist ein Bestandteil der schadenstoleranten Gestaltung der übergeordneten Ebene. Hierfür sind verklebte oder mechanisch gehaltene Metallteile über eine, mit Schlupf eingebaute, mechanische Gleitverbindung in das Befestigungssystem zu integrieren. Eine Aktivierung des Lastabtrages normal zur Elementebene erfolgt erst im Schadensfall und dient dann der Erhöhung der Redundanz.

Die Notwendigkeit einer Dämpfung hängt vom verwendeten Klebstoff und von der zu erwartenden mechanischen Beanspruchung ab. Die Dämpfersysteme sollen die stoßartigen Einwirkungen bei absturzsichernden Verglasung und windinduzierter Schwingungen bei leichten Außenbauteilen vermindern. Das Teilvorhaben beschränkt sich hierbei im Wesentlichen auf die funktionale Integration dieser anwendungsabhängigen Dämpfersysteme.

Die Gestaltungsprinzipien sollen anhand anwendungsbezogene Konzepte mithilfe von Visualisierungen, numerischen Strukturanalysen und durch Umsetzung in Baumodelle überprüft werden. Dabei sind sowohl die globalen Konzepte als auch die notwendigen Teilfunktionen wissenschaftlich zu untersuchen. Aus den Ergebnissen und Erkenntnissen sollen funktionale, technologische und konstruktiv-gestalterische Zusammenhänge abgeleitet und in verallgemeinerte Prinziplösungen für lastabtragende Klebverbindungen überführt werden.

Auf Basis des gemeinsam mit den Verbundpartnern erarbeiteten Anforderungsprofils soll ein Spektrum an Metallwerkstoffen für die Nutzung in bauliche Anlagen zusammengestellt werden. Hierfür sind bauaufsichtlich genehmigungsfähige Metallwerkstoffe – beispielsweise nichtrostende Stähle nach allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung – auszuwählen und auf ihre klebtechnische Eignung zu überprüfen. Als Parameter für eine Bewertung sollen die Oberflächenenergie der Materialien im gereinigten Zustand sowie die Haftfestigkeit der Klebverbindung genutzt werden.

Darüber hinaus sind weitere technologische und ökonomische Kriterien, wie etwa die mechanische Bearbeitbarkeit der Werkstoffe, zu berücksichtigen. Die Ergebnisse sollen systematisch zusammengestellt und im Rahmen des Gesamtvorhabens genutzt werden.

## **I.2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde**

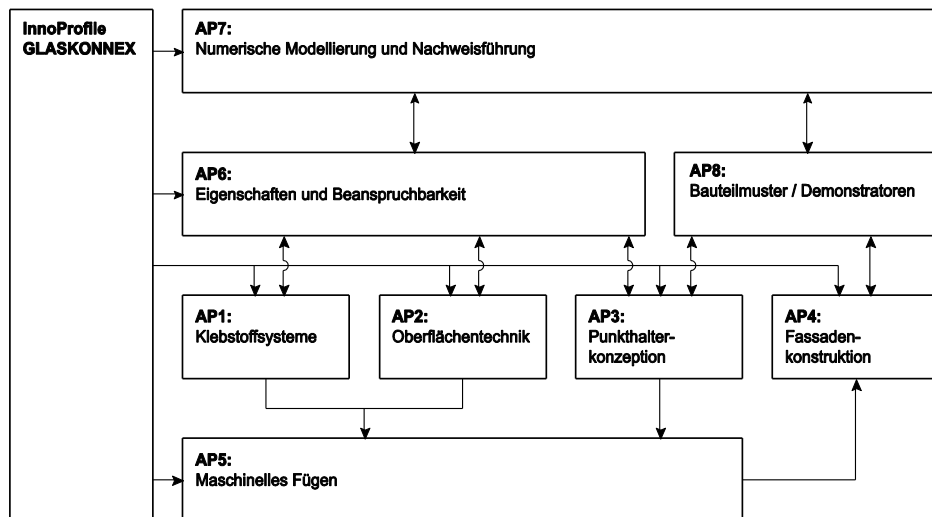
Die GWT-TUD GmbH (GWT) ist ein Dienstleistungsunternehmen auf dem Gebiet des Wissens- und Technologietransfers und übernimmt die Lösung konkreter Probleme und Fragestellungen für Kunden aus der Industrie für nahezu alle Branchen und Unternehmensgrößen. Das Angebot umfasst Beratungsleistungen von der Forschung und Entwicklung, dem Management und der Organisation bis zur Fertigung sowie der Implementierung von technologischen Lösungen in die Unternehmen. Die GWT realisiert Innovationen über die gesamte Wertschöpfungskette und arbeitet dabei eng mit Wissenschaftlern von Universitäten, Hochschulen und anderen außeruniversitären Forschungseinrichtungen zusammen. Die GWT ist heute erfolgreich an der Schnittstelle zwischen öffentlichen Forschungseinrichtungen des Freistaates Sachsen und der Industrie tätig. Die Gesellschaft hat sich am Markt etabliert und ist mit einem Jahresumsatz von 18 Mio. Euro eine der größten Technologietransfergesellschaften in Deutschland.

Für die professionelle Abwicklung Ihrer Aufträge ist die GWT in verschiedene Fachbereiche gegliedert, deren fachliche Leitung stets ein Projektleiter mit fundierten wissenschaftlichen Kenntnissen und Kompetenzen des jeweiligen Arbeitsgebietes inne hat.

## **I.3 Planung und Ablauf des Vorhabens**

Die Gesamtlaufzeit der IP-Initiative GLASKONNEX betrug 36 Monate. Die Arbeiten der GWT wurden im Zeitraum vom 01.04.2013 bis 31.01.2016 realisiert. Die wissenschaftlich-technische Zielstellung sowie die detaillierte Arbeitsplanung wurden mit den Unternehmen der Region im Rahmen der zweistufigen Antragstellung intensiv abgestimmt und resultierten in der Gesamt- und den fünf einzelnen Teilvorhabensbeschreibungen. Die wissenschaftlich-technischen Arbeiten wurden in insgesamt acht Arbeitspakete folgendermaßen untergliedert.

- AP 1: Klebstoffsysteme
- AP 2: Oberflächentechnik
- AP 3: Punkthalterkonzeption
- AP 4: Fassadenkonstruktion
- AP 5: Maschinelles Fügen
- AP 6: Eigenschaften und Beanspruchbarkeit
- AP 7: Numerische Modellierung und Nachweisführung
- AP 8: Bauteilmuster / Demonstratoren



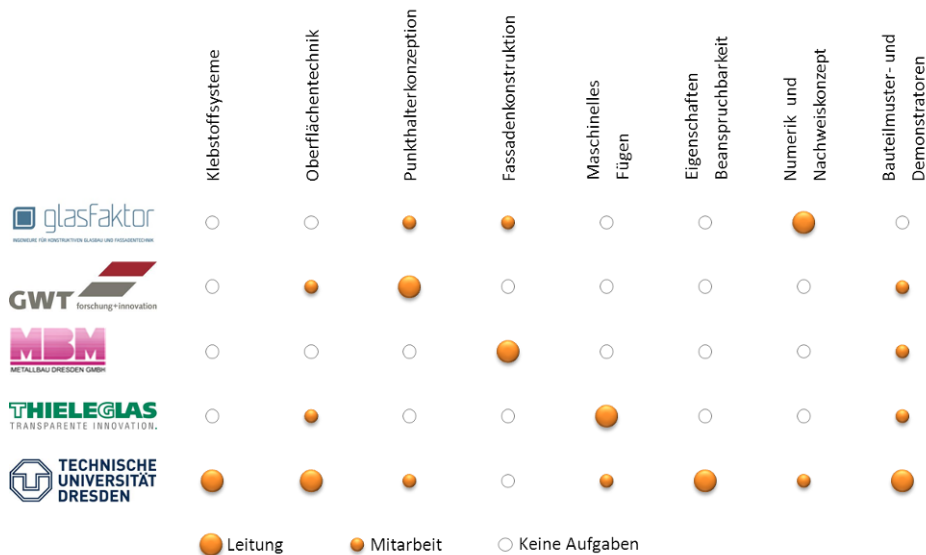
**Bild 1** Verknüpfung der Arbeitspakete

Bild 1 zeigt die Verknüpfung der einzelnen Arbeitspakete innerhalb dieses Forschungsvorhabens. Dabei konnte bei der Bearbeitung der einzelnen Arbeitspakete auf die Ergebnisse des Vorgängerprojektes zurückgegriffen werden. Die Arbeitspakete 1 bis 3 umfassten dabei die grundlegenden Untersuchungen zu den Klebstoffen, den zu verklebenden Oberflächen und den eingesetzten Fügepartmaterialien, sowie die Konzeption der Punkthalter. Ziel war eine effizientere Ausführung und Gestaltung der punktförmigen adhäsiven Verbindung. Dazu gehörten, neben der Beschreibung eines geeigneten Klebstoffsystems, die Untersuchung des Einflusses einer Oberflächenvorbereitung auf die Hafteigenschaften und die Dauerhaftigkeit sowie die Entwicklung und Gestaltung eines funktionalen und optisch ansprechenden Punkthalters. Das Arbeitspaket 6 diente während des gesamten Entwicklungsprozesses als Instrument der Erfolgskontrolle hinsichtlich der mechanischen und thermischen Eigenschaften der Klebstoffe, der Wirksamkeit der Oberflächenbehandlung und der Eignung der Punkthalter bezüglich des Lastabtrags, sowie der Beanspruchbarkeit und Dauerhaftigkeit der erarbeiteten Ergebnisse aus den Arbeitspaketen 1 bis 3.

Diese Untersuchungen waren Voraussetzung über eine Überführung des unter Laborbedingungen durchgeführten Herstellungsverfahrens in einen maschinellen Fertigungsprozess beim Glasveredler und flossen in das Arbeitspaket 5 ein. Mit den resultierenden Ergebnissen konnten im Arbeitspaket 4 geeignete Fassadenkonstruktionen entwickelt werden sowie die Herstellung und die experimentellen Untersuchungen der Bauteilmuster und Demonstratoren in Arbeitspaket 8 erfolgen.

Dabei wurden nicht alle Arbeitspakete zu gleichen Teilen von allen beteiligten Projektpartnern bearbeitet, wie in Bild 2 zu erkennen ist. Für jedes Arbeitspaket gab es Verantwortlichkeiten hinsichtlich der Leitung und der Mitarbeit, um die Kompetenzen der eingebundenen Unternehmen optimal nutzen zu können.

**Bild 2** Aufgabenverteilung nach Partnern und Arbeitspaketen



Durch einen über den gesamten Projektzeitraum stattfindenden Austausch unter allen Projektpartnern konnten anwendungsspezifische Planungsempfehlungen ausgesprochen werden und der Wissenstransfer von Wissenschaft und Wirtschaft gefördert und intensiviert werden.

#### I.4 Wissenschaftlich-technische Ausgangssituation

Im Bauwesen werden im Konstruktiven Glasbau sowie im Beton-, Stahl-, Holz-, Kunststoff- und Gleisbau lastabtragende Klebverbindungen teilweise erfolgreich eingesetzt. Hierbei weisen vor allem Epoxidharzklebstoffe eine große Anwendungsbreite auf, da deren besondere Vorteile in einer hohen mechanischen Festigkeit und einer geringen Schrumpfung während der Aushärtung liegen. Daneben eignen sich auch Polyurethanklebstoffe aufgrund ihres Eigenschaftsspektrums für strukturelle Klebungen. So umfassen die mechanischen Eigenschaften der Polyurethanklebstoffe einen Bereich von sehr flexibel bis zäh elastisch, so dass Belastungen durch Stoß oder Temperaturschwankungen durch die Klebung sehr gut aufgenommen werden können.

Stand der Technik für geklebte Glasanwendungen sind momentan Structural-Sealant-Glazing (SSG) Systeme, wobei sich im Sinne der europäischen Leitlinie ETAG Nr. 002 die Auswahl möglicher Klebstoffe auf Silikone beschränkt. Diese weisen eine sehr gute Haftung auf der Glasoberfläche und eine hohe Beständigkeit gegenüber Umwelteinflüssen auf. Daher wurden diese Klebstoffe auch auf ihre Eignung für geklebte Punkthalter hin überprüft. Die geringe Steifigkeit, die niedrige Bruchfestigkeit sowie die schwarze Färbung des Klebstoffes wirkten sich jedoch nachteilig auf diese aus. Die übertragbaren Kräfte sind baupraktisch zu gering beziehungsweise es werden sehr große Tellerflächen erforderlich, die aus gestalterischen Gründen nicht akzeptabel sind. Damit rückten höherfeste Klebstoffformulierungen auf Basis von Epoxidharzen, Polyurethanen oder Acrylaten in den Fokus aktueller Forschung im Fassaden- und Glasbau.

Verglasungen können auf vielfältige Art und Weise miteinander oder mit

einer tragenden Unterkonstruktion verbunden werden. Gebohrte oder geklemmte Punkthalter zählen zum Stand der Befestigungstechnik im Glas- und Fassadenbau. Als mechanisches Verbindungsmittel sind Tellerhalter am Markt weit verbreitet. Diese bestehen aus zwei Tellern und einem Verbindungsbolzen aus Metall, der durch ein Bohrloch in der Glasscheibe geführt wird. Die Kraftübertragung zwischen Glas und Halter kann sowohl über die Klemmwirkung der Teller als auch über den Bolzen und die Lochleibung erreicht werden. Zum jetzigen Zeitpunkt gibt es kein geklebtes, am Markt verfügbares Beschlagsystem für die biegemomentenfreie Lagerung von Fassaden- und Dachelementen im Außenbereich, das alle Anforderungen hinsichtlich Lastabtrag, Toleranzausgleich und Witterungsschutz der Klebfuge erfüllt. Nur vereinzelt wurden bisher Glaskonstruktionen und Fassaden mit geklebtem Punkthaltern ausgeführt. Es handelt es sich dabei um Einzelanfertigungen der Punkthalter, die die Möglichkeiten dieser Konstruktionsvariante nicht ausschöpfen.

Gerade die Anwendung adhäsiver Verbindungen im konstruktiver Glasbau und in der Fassadentechnik ist fast ausschließlich über eine bauaufsichtliche Genehmigung mittels einer Zustimmung im Einzelfall (ZiE) möglich und führt daher zu erheblichem administrativem Aufwand sowie üblicherweise zu umfangreichen experimentellen Untersuchungen. Auch aus diesen Gründen ist die Technologie des adhäsiven Verbindens mittels geklebter Punkthaltern nach wie vor wenig verbreitet. Dies bezieht sich insbesondere auf den Stand der Technik hinsichtlich anwendungs- und prozesstechnischer Gesichtspunkte. Dahingegen existieren zwar umfangreiche Erkenntnisse zum adhäsiven Verbinden in den Bereichen Maschinenwesen, Luft- und Raumfahrt sowie Materialwissenschaften. Allerdings beschäftigten sich diese nur selten mit dem Fügen des Werkstoffes Glas und berücksichtigten in keinem Fall die Besonderheiten des Bauwesens. Dies betrifft insbesondere die lange Nutzungsdauer der Bauteile, die Witterungseinflüsse und die Belastungssituation.

## **I.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen**

Die Ausführung der geplanten Forschungs- und Entwicklungsarbeiten erfolgte in Kooperation mit einer Forschungseinrichtung und klein- und mittelständischen Unternehmen der Region Dresden. Während der Projektlaufzeit wurde intensiv mit den folgenden Partnern zusammengearbeitet:

- Technische Universität Dresden (TUD)
- Glasfaktor Ingenieure GmbH (GFI)
- MBM Metallbau Dresden GmbH (MBM)
- Thiele Glas Werk GmbH (TGW)



## **II Detaildarstellung**

### **II.1 Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses**

#### **II.1.1 Allgemeines**

Das Aufgabengebiet der GWT-TUD GmbH im Gesamtvorhaben war in die Arbeitspakete 2 Oberflächentechnik, 3 Punkthalterkonzeption und 8 Bauteilmuster und Demonstratoren eingeordnet. Für das Arbeitspakete 3 war die GWT-TUD-GmbH federführend verantwortlich.

#### **II.1.2 Arbeitspaket 2 – Oberflächentechnik**

Folgende Unterpunkte wurden durch die GWT bearbeitet:

- AP 2.4 Parameterstudie zur Dauerhaftigkeit
- AP 2.5 Auswahl geeigneter Verfahren
- AP 2.6 Empfehlungen zur Qualitätssicherung

#### **II.1.3 AP 2.4 Parameterstudie zur Dauerhaftigkeit**

##### **Ziel**

Analyse von Schutzmöglichkeiten der vorbehandelten Oberflächen im Lager- bzw. Transportfall.

##### **Ergebnisse**

Der Schutz der vorbehandelten Oberflächen wird wesentlich durch die verwendete Transport- und Fertigungstechnologie der Glasveredlungsunternehmen bestimmt.

In AP 2.5 hat sich gezeigt, dass eine längere Lagerung von vorbehandelten Glasscheiben hinsichtlich der Gewährleistung guter Klebeigenschaften auf kurze Zeit zu begrenzen ist. Die Gläser sollten vorzugsweise im Fertigungsprozess verbleiben und nicht gelagert oder extern transportiert werden.

#### **II.1.4 AP 2.5 Auswahl geeigneter Verfahren und AP 2.6 Empfehlungen zur Qualitätssicherung**

##### **Ziel**

Auswahl geeigneter Oberflächenreinigungs- und Oberflächenvorbehandlungsverfahren unter Berücksichtigung mechanischer, ökonomischer und prozesstechnischer Aspekte.

Empfehlung zur konstruktions- und beanspruchungsgerechten Anwendung der unterschiedlichen Oberflächenvorbehandlungsverfahren in Abhängigkeit

von den Füge­teilen sowie von den Klebstoffen und unter Berücksichtigung der Ergebnisse aus AP 7.

## **Ergebnisse**

Aus den Versuchsergebnissen der TUD ergibt sich ein Gesamtergebnis mit sehr material- und klebstoffspezifischen Wirkungsweisen der einzelnen Oberflächenvorbehandlungen. Zur Steigerung der Klebwirkung ist eine Oberflächenvorbehandlung mit vorangegangener Reinigung erforderlich. Die Analyse möglicher Reinigungsverfahren hat ergeben, dass eine manuell ausgeführte wässrige, tensidhaltige Reinigung sehr wirkungsvoll, kostengünstig und hinsichtlich des Arbeitsschutzes unbedenklich ist. Hinsichtlich dem Oberflächenvorbehandlungsverfahren wird seitens TUD die Flammensilikatisierung mittels Pyrolyse empfohlen. Beide Verfahren sind grundsätzlich auch für eine industrielle Anwendung geeignet. Im Hinblick auf eine hohe Qualitätssteigerung durch die Oberflächenvorbehandlung ist ein kontinuierlicher Fertigungsprozess unter Vermeidung von Lagerungszeiten oder externen Transporten außerhalb der Fertigungsstrecke notwendig.

### **II.1.5 AP 3.1 Gestaltung und Auslegung**

#### **Ziel**

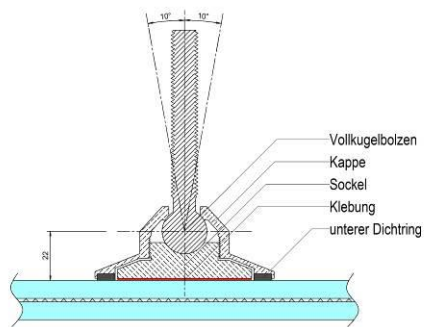
Die Machbarkeitsstudie des IP Glaskonnex liefert ein grundlegendes Konzept für einen gelenkigen punktuell geklebten Beschlag. Da für verschiedene Einbausituationen nicht alle Anforderungen (etwa Zwängungsfreiheit bei der Innenanwendung) gleichbedeutend sind, ist eine detaillierte Anforderungsanalyse mit Wichtung der Anforderungen und Risikobewertung für drei unterschiedliche konstruktive Vorzugsvarianten (horizontale und vertikale Verglasungen in der Gebäudehülle, absturzsichernde Brüstungselemente) voranzustellen. Dabei sind Anforderungen hinsichtlich Lastabtrag, Beweglichkeit und Klebtechnik zu beschreiben. Darauf aufbauend sind notwendige Teilfunktionen festzulegen und Wirkprinzipien abzuleiten. Anschließend können konstruktive Lösungsvorschläge erarbeitet und erprobt werden.

#### **Ergebnisse**

Bereits in ersten Arbeitstreffen wurden die allgemeinen Leistungsparameter der geklebten Punkthalter zusammengetragen. Grundlage dafür bildete eine umfassende Patentrecherche geklebter Beschläge und konventioneller Punkthalter im Bereich des Bauwesens und der Fahrzeugtechnik. Auf dieser Basis wurden die globalen Anforderungen zusammengestellt. Sie umfassen Geometrie, statisches System, Verbindung zur Unterkonstruktion, Herstellungstechnologie und Glasart.

Die Geometrie­anforderungen umfassen dabei neben der Klärung des Eigengewichtsabtrags und der Sogsicherung über mechanische Hilfsmittel oder die Klebfuge auch die Gelenkausbildung über Kugel oder Elastomer.

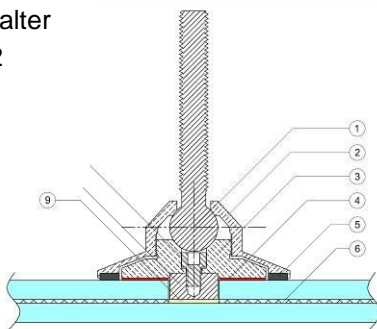
Eine Vielzahl von Varianten wurden entwickelt und zeichnerisch dargestellt.



**Bild 3** Basis-Vorzugsvariante des geklebten Punkthalter mit Gelenk

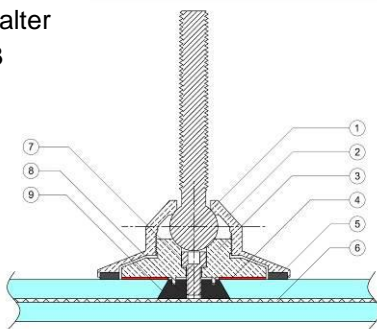
Die Abbildung Bild 3 stellt dabei die Basis-Vorzugsvariante des geklebten Punkthalter mit Gelenk dar, welche in der Projektbearbeitung weiterentwickelt und optimiert wurde. Wesentliche Elemente des Punkthalter bestehen in dieser Basis-Vorzugsvariante aus Edelstahl.

Punkthalter  
Typ G2

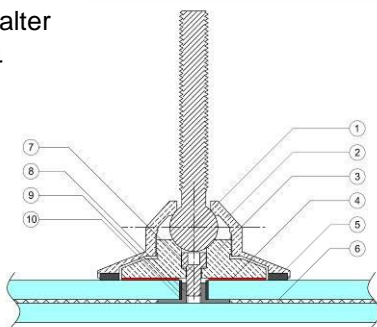


**Bild 4** Varianten möglicher Sicherungssysteme für den Abtrag von Eigengewicht und Windlasten aus der Verglasung bei einem Ausfall der Primärklebung

Punkthalter  
Typ G3



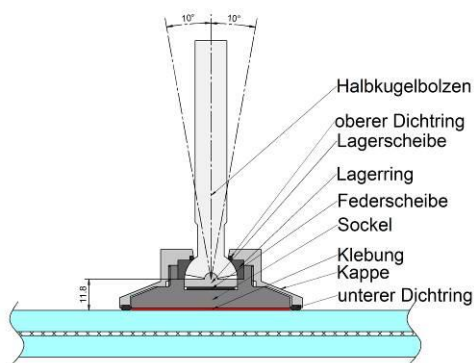
Punkthalter  
Typ G4



Unterschiedliche grundsätzliche Vorzugsvarianten zur Sicherstellung des Eigengewichtsabtrags und der Sogsicherung sind in Bild 4 dargestellt. Allen Varianten ist gleich, dass die Glasschicht auf der der Punkthalter verklebt wird eine Bohrung (gerade oder konisch) benötigt, über welche ein Nothalter über eine Sekundärklebung oder im Laminierung einbracht werden kann.

Durch die Projektpartner wurden Versuchskörper 200 mm x 200 mm aus VSG aus TVG oder ESG hergestellt und die Steigerung des Resttragvermögens im Rahmen einer Vorabserie untersucht. Dabei hat sich herausgestellt, dass auch unter Abwägung der produktionstechnischen Rahmenbedingungen und der erzielten Versuchsergebnisse der PunktPu haltertyp G2 (eingeklebter zylindrischer Nothalter) eher ungeeignet ist. Erfolgversprechende Ergebnisse wurden bei den ersten Versuchen am Punkthaltertyp G3 (einlaminiertes Kegelstumpf) erzielt. Mit den Ergebnissen der Vorversuche ist es möglich, im Bedarfsfall bei Forderung einer zusätzlichen Sogsicherung bzw. eines mechanischen Eigenlastabtrages prinzipiell geeignete Konstruktionen detailliert zu entwickeln.

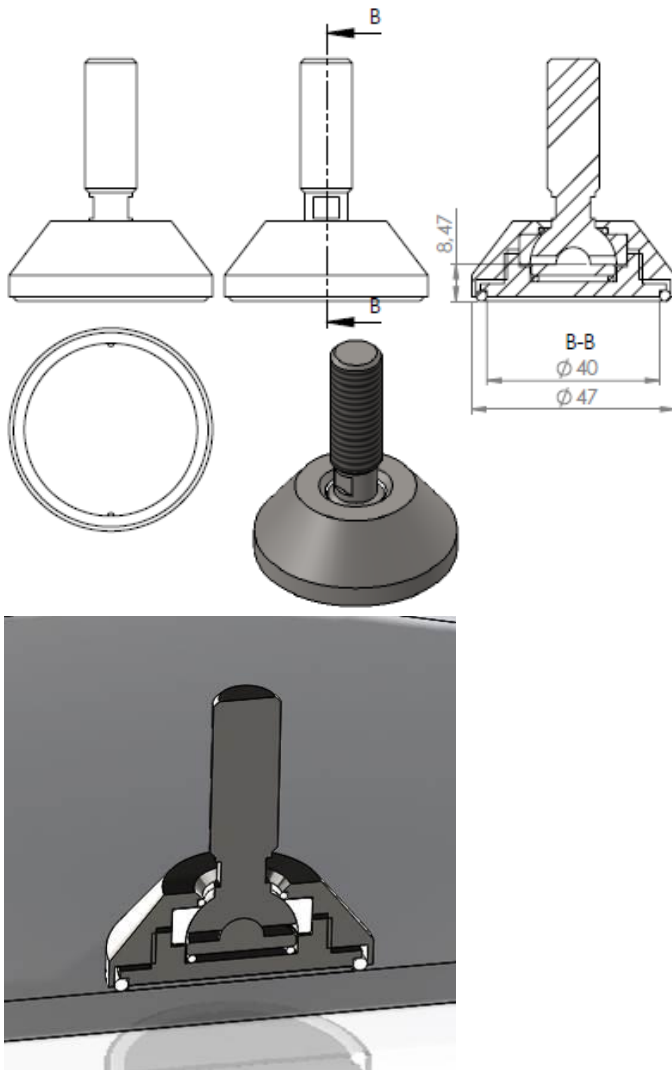
Die Ergebnisse der Untersuchungen mit dem ersten Punkthalterentwurf zeigten Optimierungsbedarf auf. Vor allem hinsichtlich dauerhafter Funktion der Gelenkwirkung und Bauhöhe des Punkthalters wurden durch die Optimierung Verbesserungen erzielt. So konnte durch Verwendung von Halb- anstelle von Vollkugelgelenken der Abstand des Gelenkdrehpunktes von der Glasscheibenoberfläche halbiert werden. Dies reduzierte die Höhe des Punkthalters von anfänglich 32 mm auf 22 mm. Der überarbeitete Punkthalter beinhaltet weiterhin ein Federelement, das ein Blockieren des Kugelgelenkes, wie es bei den Untersuchungen mehrfach festgestellt wurde, dauerhaft verhindert.



**Bild 5** Weiterentwicklung des Punkthalters mit Gelenk und einer Klebfläche Ø60 mm, optimierte Wanddicken des Deckels, Verwendung eines Halbkugelbolzens um die Bauhöhe des Punkthalters zu reduzieren, Lagerschalen und Federscheiben aus Kunststoff

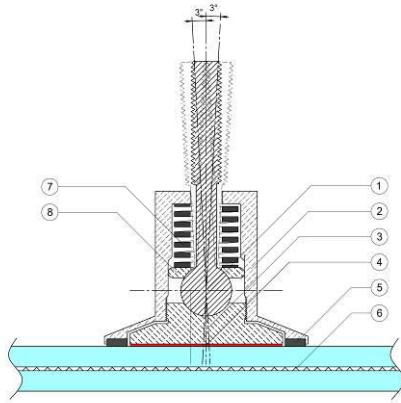
Im Zuge der Planung der Musterfassaden in Arbeitspaket 8 wurde der Punkthalter auf Grundlage der Versuchsergebnisse der TUD noch einmal hinsichtlich Klebflächengröße zur finalen Variante optimiert. Die Klebfläche konnte von Ø60 mm auf Ø40 mm reduziert werden, die Materialdicken des aufgeklebten Sockelteils wurden ebenfalls noch einem reduziert.

**Bild 6** Finale Variante des Punkthalters mit Gelenk



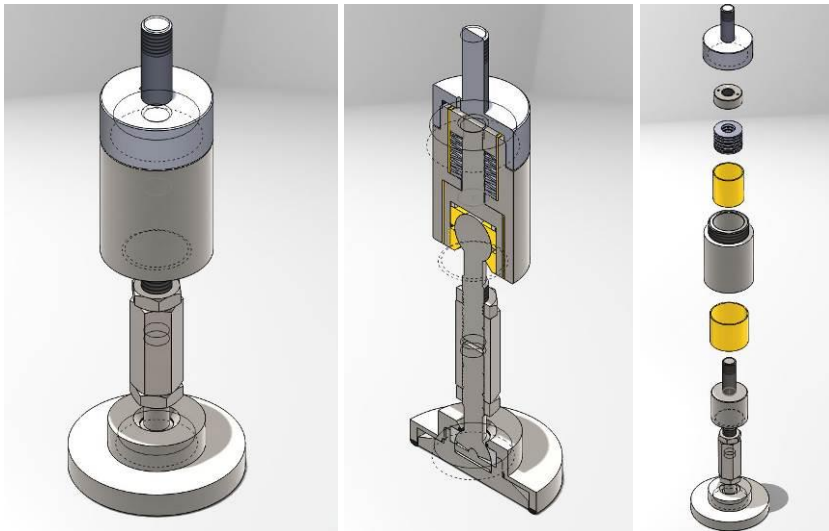
Bauteilversuche in AP 8.3 haben gezeigt, dass bei stoßartiger Belastung der Glasscheiben hohe kurzzeitige Beanspruchungen der Klebfuge entstehen.

Zur Reduzierung von Spannungen im Glas und in der Klebfuge aufgrund von kurzzeitigen Stoßbeanspruchungen wurden unterschiedliche Federsysteme entworfen. Allen gemein ist die Idee, die hohen Beanspruchungen aus stoßartiger Belastung durch Integration eines Federsystems im Punkthalter oder der Punkthalteraufnahmen zu verringern. Die in Bild 7 und Bild 8 dargestellten Entwürfe zeigen Lösungen, bei denen durch eine variable Anordnung von Tellerfedern unterschiedliche Federkennlinien und somit bedarfsbezogene, unterschiedliche Nachgiebigkeiten des Punkthalters eingestellt werden können.



**Bild 7** Entwurf eines Punkthalters mit Gelenk und integriertem Federsystem

Eine Realisierung des Dämpfersystems als modulares Ergänzungselement für das Punkthalter/Spider-System (vergleiche AP 8.3) wurde erfolgreich umgesetzt.



**Bild 8** Entwurf eines Punkthalters mit Gelenk und einem in der Punkthalteraufnahme integrierten Federsystem

## II.1.6 AP 3.2 Material

### Ziel

Die bisherige Materialauswahl (IP GLASKONNE) beruht im Wesentlichen auf technologischen Gesichtspunkten wie der klebtechnischen Eignung. Hierfür wurden verschiedene Metalle (Aluminium, Edelstahl V2A und Messing) untersucht. Aufgrund der baurechtlichen Rahmenbedingungen kommen nur nichtrostende Stähle in die nähere Auswahl. Andere Metalllegierungen oder etwa gegossene nichtrostende Stähle besitzen in Deutschland derzeit nur eine geringe Genehmigungsfähigkeit. Ziel der Untersuchungen ist es technologisch sinnvolle metallische Werkstoffe für Innen- bzw. Außenanwendungen zu identifizieren und ihre Eignung zu überprüfen. Unter Berücksichtigung der Ergebnisse des Teilvorhabens 5 sind zwei unterschiedlich korrosionsbeständige Werkstoffe für weitere Untersuchungen auszuwählen.

## **Ergebnisse**

Anhand von Materialdatenblättern und Produktzulassungen wurde eine umfangreiche Matrix über im Bauwesen verwendbare rostfreie Stähle erstellt. Die Matrix umfasst Angaben zur Zusammensetzung, der Materialfestigkeit, dem Korrosionswiderstand, der Zerspanbarkeit, der Verfügbarkeit und dem Materialpreis. Anhand der Matrix wurden zusammen mit dem Projektpartner TUD vier Legierungen für eine Bemusterung ausgewählt und beschafft. Für Untersuchungen zur Oberflächenbenetzbarkeit wurden Prüfkörper hergestellt und der TUD übergeben.

Es erfolgten mit den vier ausgewählten Legierungen (1.4301, 1.4404, 1.4541, 1.4571) Versuche zur spanenden Bearbeitung mit einer CNC-Fräse und auf einer Drehmaschine. Dabei konnten keine nachteiligen und nicht lösbaren Auswirkungen aus der Bearbeitbarkeit oder der Oberflächenqualität festgestellt werden. Eine grundsätzliche Eignung hinsichtlich der Bearbeitbarkeit und erreichter Oberflächenqualität ist gegeben, wodurch die Ergebnisse hinsichtlich Klebeignung (AP5) maßgeblich werden.

### **II.1.7 AP 3.3 Verbindungselemente**

#### **Ziel**

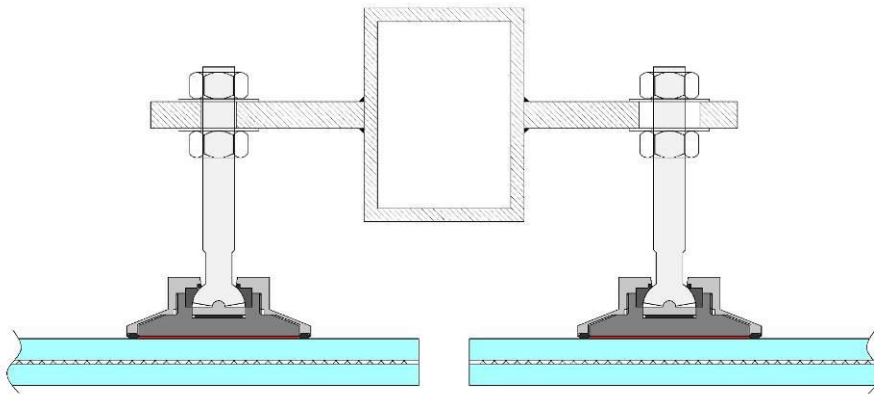
Basierend auf der bestehenden Patentrecherche und bestehenden Erfahrungswerten sollen verschiedene Verbindungselemente konzipiert und deren Funktionalität überprüft werden. Die zu untersuchenden Konstruktionsvarianten sind horizontale und vertikale Verglasungen in der Gebäudehülle sowie absturzsichernde Brüstungselemente. Die Anforderungen an die Verbindungselemente sind hinsichtlich Lastabtrag, Zwängungsfreiheit und Toleranzaufnahme zu beschreiben. Darauf basierend sind konstruktive Lösungsvorschläge zu erarbeiten. Die Ausgestaltung der Verbindungselemente erfolgt in Abhängigkeit von der Unterkonstruktion und den anzuschließenden Beschlägen.

#### **Ergebnisse**

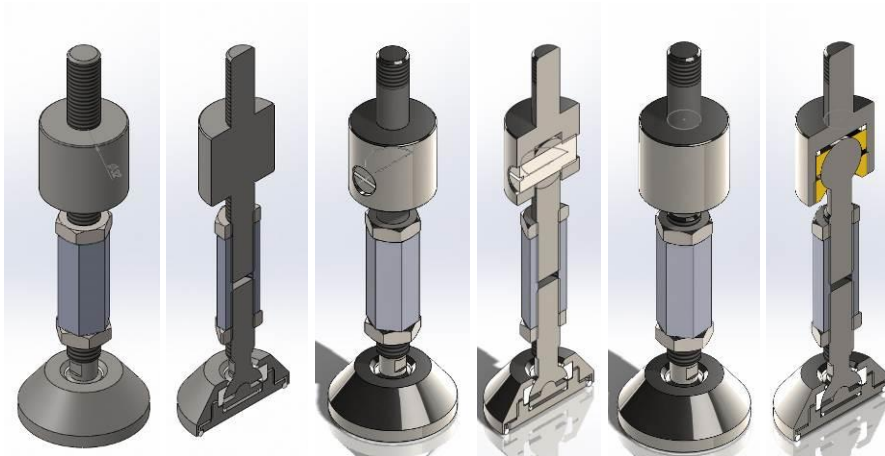
Für die Verbindung der Punkthalter mit einer tragenden Unterkonstruktion wurde der Lösungsansatz verfolgt, neben einfachen Fahnenblechanschlüssen, insbesondere die Nutzung markgängiger Spider für die Verwendung mit den im Projekt entwickelten Punkthalter zu ermöglichen. Die Recherche der gängigen Spider hat aufgezeigt, dass üblicherweise die notwendigen Verschieblichkeiten zur zwängungsfreien Lagerung der Verglasungen durch Groß-, Lang- und Passlöcher in den Spidern realisiert werden. Eigene Untersuchungen an den Bauteilmustern haben ergeben, dass für das geklebte Punkthalterssystem eine Aufhängung über Pendelstäbe hinsichtlich ihrer Wirksamkeit der zwängungsfreien Lagerung vorteilhafter ist, als Lösungen mit Lang- und Großlöchern. Aus dieser Erkenntnis heraus wurden Pendelstab-gelagerte Punkthalteraufnahmen entwickelt, die an den markgängigen Spidern angebaut werden können. Dadurch wird die Verwendung der geklebten

Punkthalter in beliebigen, marktgängigen Spidern technisch möglich. Einzig gestalterische Aspekte beeinflussen den Einsatz.

Die folgenden Bilder geben eine Bandbreite an Verbindungselementen für verschiedene Lagerungsarten wieder.



**Bild 9** Entwurf eines Anschlusses der Punkthalter an Fahnenbleche mit Pass-, Lang-, und Großlöchern



**Bild 10** Entwürfe Pendelstab-gelagerte Punkthalteraufnahmen, von links nach rechts: Festlager, einachsig bewegliches Lager, Loslager

## II.1.8 AP 3.6 Baumodelle

### Ziel

Die weitestgehend computergestützten Untersuchungen dieses Arbeitspaketes sollen durch Baumodelle ergänzt werden. Diese in Originalgröße bzw. maßstabsgerecht gefertigten Baugruppen sollen für Untersuchungen der Fertigungsprozesse (AP6) und der Montageabläufe (AP5) sowie zur Überprüfung der Funktionalitäten im Einbauzustand (AP8) genutzt werden. Die Materialfestigkeiten sind so zu wählen bzw. die Querschnitte sind so zu dimensionieren, dass sie die geplante Überhöhung der Einwirkungen für die Bauteilversuche widerstehen können. Basierend auf Werkstattplänen ist die Anfertigung von modellhaften Einzelstücken im benötigten Umfang geplant.

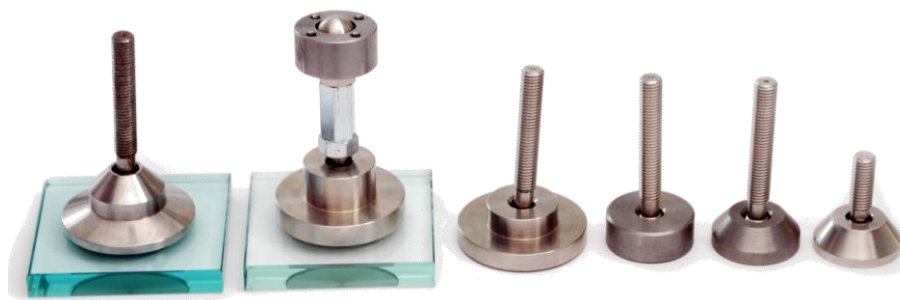
### Ergebnisse

Während der gesamten Projektlaufzeit wurden Bauteile und Baugruppen,



die für Durchführung von Untersuchungen in den AP 3 Punkthalterkonzeption, AP5 Montageabläufe, AP 6 Untersuchung der Fertigungsprozesse und AP 8 Überprüfung der Funktionalität im Einbauzustand benötigt und gefertigt. In der Regel erfolgte die Herstellung als Dreh- oder Frästeile in Edelstahl. Insbesondere für Klebuntersuchungen in AP5 und für die Fassadenmodelle in AP8 wurden große Stückzahlen der aufzuklebenden Punkthaltersockel benötigt.

Von den maßgebenden Entwicklungsstufen der Punkthalter wurden Prototypen gefertigt.



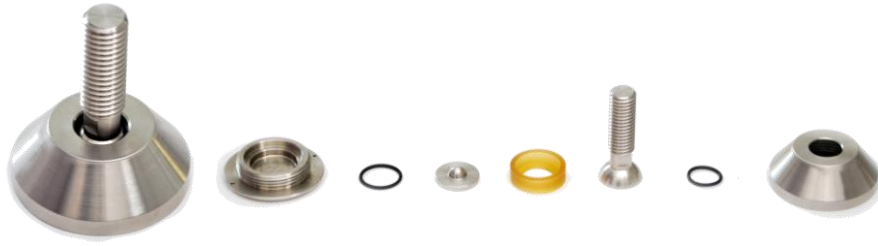
**Bild 11** Maßgebliche Entwicklungsstufen des geklebten Punkthalters mit Gelenk von links nach rechts



**Bild 12** Prototyp der Basis-Vorzugsvariante Punkthalter mit Gelenk und einer Klebfläche  $\varnothing$  60 mm



**Bild 13** Prototyp des weiterentwickelten Punkthalters mit reduzierter Bauhöhe und einer Klebfläche  $\varnothing$  60 mm



**Bild 14** Prototyp der finalen Variante des Punkthalters mit einer Klebfläche  $\varnothing 40$  mm

Der Bau eines Exponats einer geklebten Brüstung, die auf der Messe glass technology live im Rahmen der glasstec 2014 in Düsseldorf präsentiert wurde, erfolgte zusammen mit den Projektpartnern.



**Bild 15** Exponat geklebte Glasbrüstung aus der Messe glass technology live im Rahmen der glasstec 2014

## II.1.9 AP 8.3 Tragfähigkeit der Bauteile

### Ziel

Im Rahmen von Belastungsversuche werden verschiedene Beschlagskonzepte erprobt. Ziel ist es in einem vergleichsweise kurzen Zeitraum möglichst große Anzahl an geometrischen Parametern und funktioneller Zusammenhänge experimentell zu analysieren. Außerdem sollen auch die Auswirkungen axial zur Scheibe auftretender Zwangsbeanspruchungen erprobt werden. Dadurch sollen systembedingten Grenzen definiert werden, die etwa bei nicht fachgerechter Montage zum Tragen kommen.

### Ergebnisse

Im Zusammenwirken mit den Arbeiten des AP 3.6 wurden während der Projektlaufzeit für fortwährende Untersuchungen an kleinen Baugruppen Bauteile gefertigt bzw. die Fertigung durch Fremdfirmen koordiniert.

Umfangreiche Tragfähigkeitsuntersuchungen bei stoßartiger Einwirkung wurden an einer Unterkonstruktion für punktuell gelagerte Glasbrüstungen

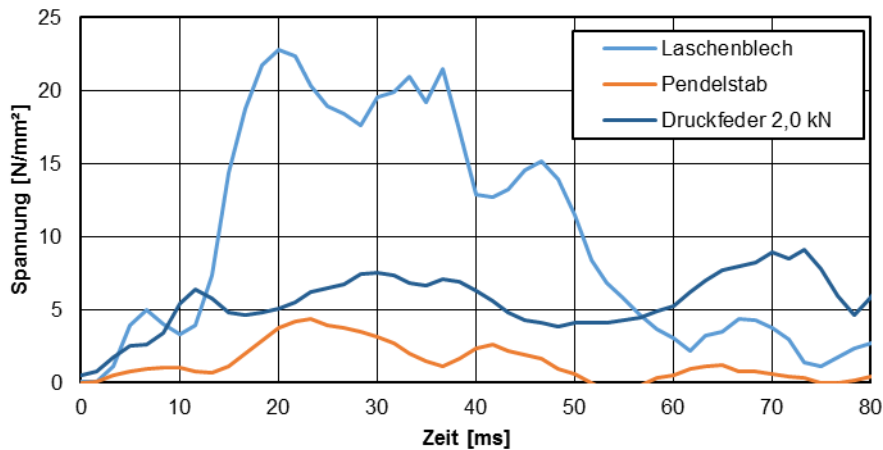
geplant und durch den Projektpartner MBM gefertigt. Weiterhin erfolgte durch die GWT die Planung und Herstellung einer Montageschablone zur Verklebung der Punkthalter auf Glasscheiben mit Abmessungen von bis zu 1,5 m x 1,5 m. Auf der Montageschablone wurde ein erster Prototyp einer Brüstungsscheibe mit geklebten Punkthaltern zusammen mit der TUD hergestellt. An diesem Prototyp erfolgten Tragfähigkeitsversuche bei stoßartiger Einwirkung. Bei den Versuchen wurden die Anpralllasten für Verglasung nach TRAV bzw. DIN 18008-4 simuliert.



**Bild 16** Versuchsaufbau zur Prüfung einer punktgehaltenen Brüstungskonstruktion mittels Pendelschlagversuch.

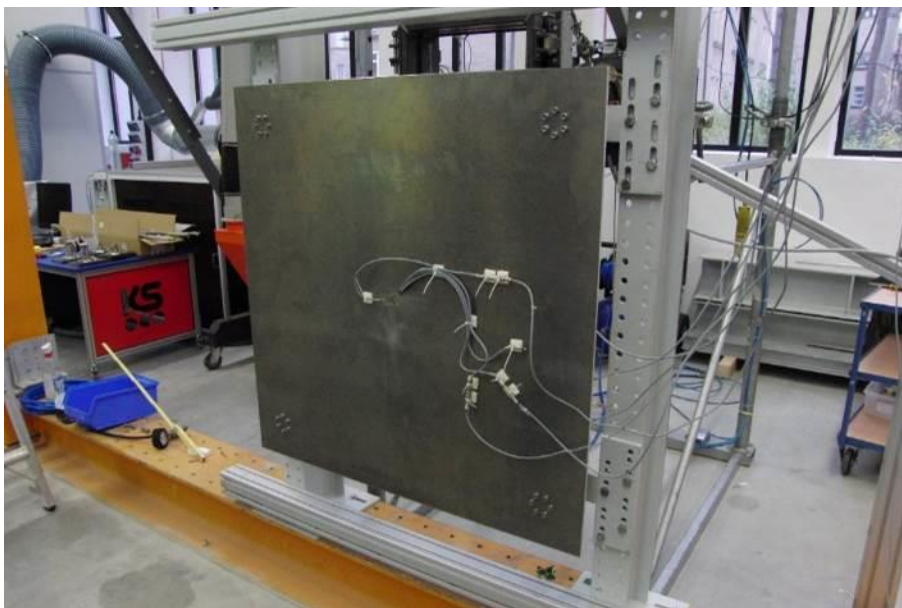
Bei Tastversuchen an Verglasungen bei denen die Punkthalter über Laschenbleche mit Pass-, Lang- und Großlöchern gelagert waren konnten nur geringe Anpralllasten übertragen werden. Ab Stoßenergien von 100 J kam es zum Ablösen der Glasscheiben von den Punkthaltern. Die festgestellten Schadensbilder zeigten, dass im Bereich der Klebungen die Glasoberflächen ausgebrochen sind, also ein Versagen im Glas eintrat. Als Ursache für dieses Versagen bei schon geringen Anpralllasten wurden Zwangsspannungen in dem geprüften System vermutet. Bei der Auswertung der Versuchsdaten bestätigte sich diese Annahme. Bei den kurzen stoßartigen Beanspruchungen ist die Beweglichkeit der Punkthalter in den Lang- und Großlöchern nicht gegeben. Die Lager verhalten sich bei Stoßbeanspruchung wie Festlager, infolge dessen hohe Schubkräfte in den Klebverbindungen hervorgerufen werden.

Durch die Verwendung Pendelstab-gelagerter Punkthalter wie in Bild 10 dargestellt, konnten die Zwangsspannungen gegenüber einer herkömmlichen Lagerung in Laschenblechen deutlich reduziert werden.



**Bild 17** Vergleich aufgezeichneter Materialspannungen im Glas im Bereich des Punkhalters bei einer Stoßbeanspruchung von 50 J und unterschiedlichen Punkthalteranschlüssen

Weiterführende Bauteilversuche am Punkthaltesystem bei denen vor allem die Anbindung des Punkhalters an die Unterkonstruktion, sowie die Auswirkungen der Gelenkigkeit, Verschieblichkeit und Dämpfung des Punkhalters untersucht wurden, erfolgten an Prüfaufbauten bei denen die Glasscheiben durch Aluminiumplatten ersetzt wurden.



**Bild 18** Verwendung einer Aluminiumplatte als Versuchskörper zur Prüfung unterschiedlicher Dämpfungssysteme mittels Pendelschlagversuch

Die Wirksamkeit von in den Punkthaltern oder den Punkthalteraufnahmen integrierten Federsystemen auf Reduzierung der Glasbeanspruchungen bei Stoßbelastung konnten durch die Bauteilversuche nicht bestätigt werden. Die Ergebnisse durchgeführter Pendelschlagversuche bei unterschiedlichen Stoßenergien zeigten für die gefederten Systeme keine nennenswerten Ergebnisverbesserungen gegenüber einer nicht gefederten Lagerung mit Pendelstab-gelagerten Punkthaltern.

Weiterhin wurden zusammen mit der TUD Traglastversuche an Verglasungen mit geklebten Punkthaltern durchgeführt und die Ergebnisse für die Validierung mit numerischen Berechnungsmodellen des Projektpartners GFI aufbereitet.

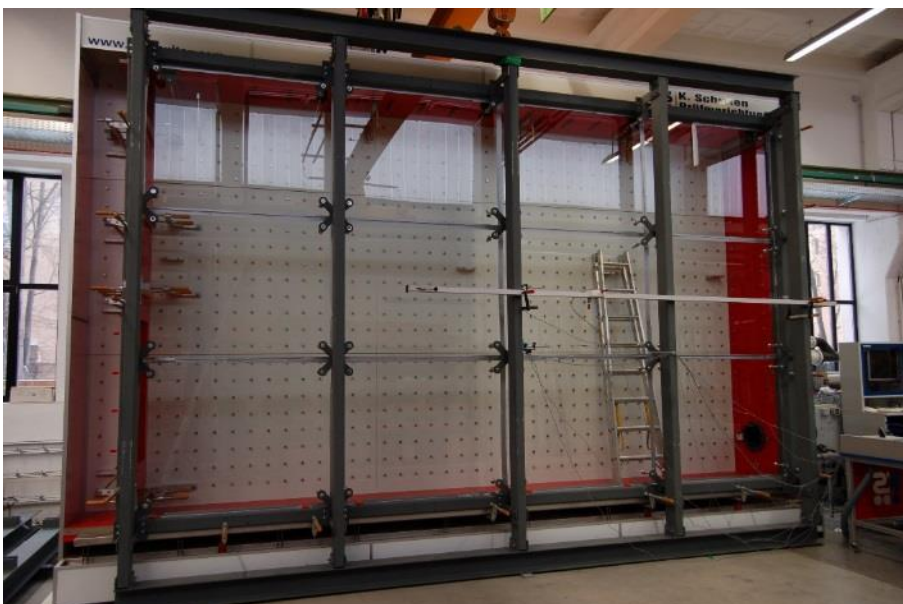




**Bild 19** Versuchsaufbau zur Prüfung eines Fassadenausschnitts durch Beaufschlagung mit Winddruck- sowie Windsoglasten.

Zum Abschluss des Forschungsprojektes wurden zwei Fassadenmuster für die Untersuchung im Fassadenprüfstand der TUD hergestellt und geprüft. Dabei handelte es sich um eine Pfosten-Riegel-Konstruktion sowie eine Seilnetzfassade in Abmessungen von jeweils 3,4 x 6,0 m bestehend aus insgesamt 12 Verglasungen 1462 mm x 1153 mm VSG aus 2x6 ESG. Jede Verglasung ist über vier Punkthalter mit der Unterkonstruktion verbunden.

Die GWT war für die Planung und Herstellung der Baugruppen Punkthalter und Verbindungselemente verantwortlich und hat zusammen mit dem Projektpartnern TUD und MBM Metallbau Dresden GmbH den Aufbau und Montage, sowie die Belastungsversuche durchgeführt.



**Bild 20** Versuchsaufbau einer starren Fassadenkonstruktion (Pfosten-Riegel-Fassade) zur Prüfung von Winddruck- und Windsoglasten.



**Bild 21** Punkthalteranschlüsse starres Fassadenmuster (Pfosten-Riegel-Fassade) - Mittelknoten



**Bild 22** Punkthalteranschlüsse starres Fassadenmuster (Pfosten-Riegel-Fassade) - Randknoten



**Bild 23** Versuchsaufbau einer Seilnetzfassadenkonstruktion zur Prüfung von Winddruck- und Windsoglasten.



**Bild 24** Punkthalter-  
anschlüsse  
Seilnetzfassaden-  
konstruktion, Randknoten

Im Zuge der Planung, Herstellung und Errichtung der beiden Musterfassaden, Pfosten-Riegel-Fassade und Seilnetzfassade konnten die entwickelten Komponenten der punkthaltenen, geklebten Glasfassade erfolgreich erprobt werden. Die bei der Montageplanung vorgesehenen Arbeitsschritte von der Herstellung der Komponenten, über die Verklebung der Metallteile mit dem Glas bis zur Endmontage der Gläser in der Tragkonstruktion wurden bis auf geringe Anpassungen umgesetzt. Bei den Belastungsversuchen wurden Flächenlasten bis  $2 \text{ kN/m}^2$  in beide Lastrichtungen schadensfrei aufgebracht. Mit diesen beiden Demonstratoren konnte die Praxistauglichkeit der entwickelten Punkthalter- und Verbindungssysteme auch im Großformat nachgewiesen werden.

## **II.2 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises**

Die Einzelpositionen des zahlenmäßigen Verwendungsnachweises halten die Grenzen der Angaben des Förderantrags ein. Für die Bearbeitung des Projektes waren geringfügig geringere Aufwendungen nötig. Die Personalausgaben für wissenschaftliche Mitarbeiter entsprechen etwa 98 Prozent der Gesamtausgaben.

Folgende Ausgabepositionen bestehen:

Personalkosten i. H. v. 101.805,88 €

Materialkosten i. H. v. 1.260,00 €

Innerhalb des Verbundvorhabens wurden mehrfach Arbeitstreffen bei den beteiligten Unternehmen und der TUD durchgeführt. In Zusammenarbeit mit den beteiligten Unternehmen stellte die IPT-Initiative im Jahr 2014 ein Exponat auf der Fachmesse glasstec in Düsseldorf aus.

## **II.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit**

Die detailliert im Forschungsantrag dargelegten Planungen bildeten die Grundlage der erfolgreich durchgeführten Arbeiten. Die Projektdurchführung folgte der gesteckten Arbeits-, Zeit- und Meilensteinplanung. Die aufgewendeten Ressourcen waren für die Durchführung des Vorhabens notwendig und der geleisteten Arbeit angemessen. Der gesteckte Kostenrahmen wurde eingehalten. Die zur Verfügung stehenden Mittel wurden sparsam und zielorientiert aufgewendet.

#### **II.4 Voraussichtliche Nutzung und Verwertbarkeit des Ergebnisses**

Die Firma GWT-TUD GmbH hat durch das abgeschlossene Forschungsprojekt einen deutlichen Erfahrungszuwachs auf dem Gebiet der Beschlagtechnik für adhäsive Verbindungen erlangt. Damit besteht ein solides Potential für zukünftige Produktentwicklungen auf diesem Gebiet. Das Netzwerk mit regionalen Kooperationspartnern konnte etabliert werden. Die Zusammenarbeit hat sich über die Projektzeit intensiviert. Die gewonnenen Erfahrungen können von den Verbundpartnern auf zukünftige innovative Projekte sowie für eigenständige Prozess- und Produktentwicklungen übertragen werden.

Zur Verbreitung der Ergebnisse wurde ein Exponat (Brüstungselement) bei der glass technology live im Rahmen der Messe glasstec 2014 in Düsseldorf ausgestellt.

Mit Abschluss des Projektes bestehen die im Antrag benannten Verwertungsziele fort. Die entwickelten Beschläge und Baumuster sind – mit möglichen gestalterischen Veränderungen – praxistauglich – wie dies in den Fassadendemonstratoren nachgewiesen wurden.

Eine detaillierte Fortschreibung des Verwertungsplanes ist dem Erfolgskontrollbericht zu entnehmen.

#### **II.5 Fortschritte bei anderen Stellen**

Innerhalb der Projektlaufzeit wurden in den durch die GWT TUD GmbH bearbeiteten Arbeitspaketen keine neuen Erkenntnisse durch andere Stellen im Rahmen von Publikationen oder Vorträgen bekannt.

#### **II.6 Veröffentlichungen**

Durch die GWT-TUD GmbH als Firmenpartner wurden keine Veröffentlichungen publiziert. Der wissenschaftliche Partner TUD hat während der Projektlaufzeit eine Vielzahl von Veröffentlichungen zum Forschungsthema platziert.



