



e-COVER

Entwicklung multifunktionaler
Bauelemente als energetisches
Verbundsystem PV-integrierter
Fassaden für thermisches
Kühlen und Heizen

VORWORT

Die Publikationsreihe **BLUE GLOBE REPORT** macht die Kompetenz und Vielfalt, mit der die österreichische Industrie und Forschung für die Lösung der zentralen Zukunftsaufgaben arbeiten, sichtbar. Strategie des Klima- und Energiefonds ist, mit langfristig ausgerichteten Förderprogrammen gezielt Impulse zu setzen. Impulse, die heimischen Unternehmen und Institutionen im internationalen Wettbewerb eine ausgezeichnete Ausgangsposition verschaffen.

Jährlich stehen dem Klima- und Energiefonds bis zu 150 Mio. Euro für die Förderung von nachhaltigen Energie- und Verkehrsprojekten im Sinne des Klimaschutzes zur Verfügung. Mit diesem Geld unterstützt der Klima- und Energiefonds Ideen, Konzepte und Projekte in den Bereichen Forschung, Mobilität und Marktdurchdringung.

Mit dem **BLUE GLOBE REPORT** informiert der Klima- und Energiefonds über Projektergebnisse und unterstützt so die Anwendungen von Innovation in der Praxis. Neben technologischen Innovationen im Energie- und Verkehrsbereich werden gesellschaftliche Fragestellung und wissenschaftliche Grundlagen für politische Planungsprozesse präsentiert. Der **BLUE GLOBE REPORT** wird der interessierten Öffentlichkeit über die Homepage www.klimafonds.gv.at zugänglich gemacht und lädt zur kritischen Diskussion ein.

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Forschungs- und Technologieprogramm „Neue Energien 2020“. Mit diesem Programm verfolgt der Klima- und Energiefonds das Ziel, durch Innovationen und technischen Fortschritt den Übergang zu einem nachhaltigen Energiesystem voranzutreiben.

Wer die nachhaltige Zukunft mitgestalten will, ist bei uns richtig: Der Klima- und Energiefonds fördert innovative Lösungen für die Zukunft!

A handwritten signature in black ink, reading 'Theresia Vogel'.

Theresia Vogel
Geschäftsführerin, Klima- und Energiefonds

A handwritten signature in black ink, reading 'Ingmar Höbarth'.

Ingmar Höbarth
Geschäftsführer, Klima- und Energiefonds

Inhalt

Kurzfassung	2
Abstract	3
1. Einleitung	4
2. Inhaltliche Darstellung	5
3. Ergebnisse und Schlussfolgerungen	11
4. Ausblick und Empfehlungen	14
5. Abbildungsverzeichnis	15
6. Literaturverzeichnis	15

Kurzfassung

Ausgangssituation:

Die Motivation unseres Projektes entstand aus der Idee, optisch ansprechende Fassadenplatten (Fibre-C Platten aus Glasfaserbeton) zur Verfügung zu stellen, welche PV-Module zur Energiegewinnung enthalten.

Inhalte und Zielsetzungen:

Dieses Fassaden-Element soll schlussendlich als fix fertiges Bauteil verkauft werden können. Die Idee für dieses Projekt kommt vor allem auch von der planerischen, architektonischen Seite, da bisher kein kombinierter Bauteil von Fassaden-Element und PV-Modul zur Verfügung steht.

Methodische Vorgehensweise (Auszug): Warmlaminationen

- Kaltaminationen
- Tests zu Platteneigenschaften
- Hinterschnitt Auszugsversuch
- Funktions-Analyse und Testreihe
- Außenwand, Verlegung der Elektroinstallationen hinter den Fassadenplatten...
- Haft-Zug-Versuche
- Verklebungsversuche
- Verklebungen mit Dünnschichtmodulen
- statische Berechnungen
- Klimakammertests
- UV-Tests

Ergebnisse:

Eine normale Warm- oder Kaltamination ist ohne aufwändige Vorbehandlung der Platten nicht möglich. Bei Anwendung eines Silikons als Verbindungsmittel zwischen Fibre-C-Platte und Glasplatte kam es zu Problemen bei der anschließenden Prüfung im Klimaschrank und beim UV-Test.

1. weiße Flecken vom Rand herein, welche nach Abkühlung größtenteils zurückgehen
2. schwach gelbe Verfärbungen bei UVA-Belastung - stark gelbe Verfärbungen des Silikons bei UVB-Belastung

Die Verklebungsversuche mit Epoxydharz, sowie die Verklebungsversuche der Dünnschichtmodule bringen optisch ansprechende Ergebnisse. Es folgen Klimakammer und UV-Tests zur weiteren Abklärung.

Abstract

description

From this setting the overall objective is derived, which is the research and development of an energetically optimized pre-fabricated system of façade components made of innovative glass fiber reinforced concrete parts to integrate exterior photovoltaic with special consideration of architectural design, conceptual acceptance and commercially maintainable utilization. This objective requires the development of multi-functional façade components by integrating existing photovoltaic technologies into thin-walled glass fiber reinforced concrete parts in order to use them as a basic construction for the façade.

methods (examples)

- | | |
|--|-------------------------------------|
| • laminations | installations behind façade... |
| • high-performanche vacuum laminations | • adherence tests |
| • tensile tests | • adherence with Thinfilm Laminates |
| • testing of thin-walled glass fiber reinforced concrete parts | • statical calculations |
| • testing undercut anchor | • climatic chamber |
| • function analysis exterior wall, electrical | • UV-tests |

results

Ordinary laminations are not possible without complex preprocessing.

The bonding with silicone caused problems in the climatic chamber tests and UV-tests. The usage of silicone also caused problems in the following tests.

- white stains on the edges, which disappear mostly after the refrigeration
- mild yellow discolorations in the UVA-test – intense yellow discolorations in the UVB-test

The adherence of the components with Epoxyd and the adherence of the Thinfilm Laminates showed good results. We will continue our examinations by tests in the climatic chamber.

1. Einleitung

Das vorliegende Projekt adressiert mehrere Problembereiche im Bereich der effizienten Nutzung erneuerbarer Energien. Die intelligente, architektonisch und technisch anspruchsvolle Integration solarer Energiegewinnung in die Gebäudehülle ist eine wichtige Herausforderung, deren Lösung zur weiteren Akzeptanz des Stärkefeldes Photovoltaik wesentlich beitragen wird.

Die Motivation unseres Projektes entstand aus der Idee, optisch ansprechende Fassadenplatten zur Verfügung zu stellen, welche PV-Module zur Energiegewinnung enthalten. Diese Fassaden-Elemente sollen schlussendlich als fix fertiges Bauteil verkauft werden können.

Die Idee für dieses Projekt kommt vor allem auch von der planerischen, architektonischen Seite, da bisher kein kombinierter Bauteil von Fassaden-Element und PV-Modul zur Verfügung steht. Vielmehr bestehen die vorhandenen Gebäudeintegrierten Photovoltaik-Fassadenelemente (GIPV) aus mehreren Einzelkomponenten, welche auf der Baustelle einzeln montiert und zusammengefügt werden müssen. Auch die optischen Ansprüche bestehender GIPV-Elemente lassen zu wünschen übrig. Deshalb schrecken vielen Architekten, Planer und Bauherren vor dem Einsatz von GIPV-Elementen zurück.

Aus dieser Problemstellung leitet sich das überstehende Projekt-Ziel ab. Dies ist die Erforschung und Entwicklung eines energetisch optimierten Gesamtsystems von Fassadenelementen aus neuartigen Glasfaserbetonfertigteilen zur intelligenten Integration von Photovoltaik bereits in der Vorfertigung. Dies unter besonderer Berücksichtigung der architektonischen Freiheit, der planerischen Akzeptanz und wirtschaftlich vertretbarer Umsetzung. Diese Zielsetzung erfordert die Entwicklung multifunktionaler Fassadenelemente durch Integration existenter Photovoltaik-Technologien direkt in dünnwandige Glasfaserbetonelemente, um diese als Grundkonstruktion für den Fassadenbau zu nutzen.

Technische Lösungsvorschläge für eine brauchbare Verbindungs- und Befestigungstechnologie, die Integration in die Fassadenelemente, die Modularisierung der PV-Elemente und für die Standardisierung des Systems müssen gefunden und realisiert werden. Das Projekt basiert somit auf Experimenteller Entwicklung im Bereich der Materialtechnologie und Systemintegration.

2. Inhaltliche Darstellung

Die durchgeführten Arbeiten bezogen sich vor allem auf die Entwicklung einer Konstruktion mit geeigneten Verbindungselementen und dem Erforschen eines möglichen Produktionsprozesses (Zusammenfügen der Komponenten). Da bei den einzelnen Aufbauformen verschiedene Probleme auftraten mussten immer wieder neue Komponentenzusammensetzungen und Produktionsprozesse entwickelt werden.

Versuchsergebnis Warmlamination:

- Platten mit kleinen Blasen zwischen Glas und Fibre-C Platte über die gesamte Platte verteilt
- diese Art der Blasenbildung ist ein Anzeichen von ausdiffundierender Feuchtigkeit; eventuell ist noch Restfeuchtigkeit in der Fibre-C-Platte vorhanden
- Lamination löst sich, da sich die Platte an den Ecken nach oben biegt
- keine optimale Vernetzung an den Plattenecken bei unbeschichteten und beschichteten Platten
- kleine Flächen mit einer optimalen Vernetzung sichtbar bei unbeschichteten und beschichteten Platten
- eine kürzere Vakuumzeit und Laminierzeit verbessert die Vernetzung
- Die Rissstruktur der Fibre-C-Platte ist nach der Lamination sichtbar.



Abb.1: Platte nach Lamination, Foto: Bartl Hilber GmbH

Test zur Rissthematik Fibre-C Platte:

Hier wurde getestet, ob die Risse die bei einer beschädigten Beschichtung sichtbar werden, wenn sie Feuchtigkeit aufnehmen, durch erneutes auftragen der Beschichtung vermieden

werden können.

Doch hier konnte leider kein positives Ergebnis erzielt werden, da die Risse die Beschichtung zwar aufnehmen doch dadurch eine sichtbare, etwas dunkel erscheinende Linie an den Rissen entsteht.

Hinterschnitt Auszugsversuch:

- Hinterschnitt Auszugsversuch Farbe AN 8mm mit Keil HSA-Anker
- Setztiefe 4,0 mm
- Paneelrückseite glatt wellenfrei,
- HSA-Maschine Nummer 2 Rieder BST
- Bohrgeometrie an 16.0, 16.1, 16.2 mit Setzmaß überprüft und innerhalb geforderter Toleranzen
- Hinterschnittanker wurden in die gereinigten Bohrlöcher entsprechend der Keil-Montageanleitung gesetzt
- Position zusätzlich mit Setzlehre geprüft
- Belastungsgeschwindigkeit 300N/s
- Prüfung Enelemente ergab bei zentrischen Zugversuchen ein Versagen der Anker von Versuch 16.0=332 N, 16.1=355 N, 16.2=344 N
- Auch Versuchsserie 16 mit den 4,0mm Hinterschnittankern brachte keine erfolversprechenden Ergebnisse in Hinblick auf die Befestigung der Elemente mit Al-Rahmen und HSA-Ankern



Abb.2: Hinterschnitt Auszugsversuch 16.0



Abb.3: Hinterschnitt Auszugsversuch 16.1



Abb.4: Hinterschnitt Auszugsversuch 16.2

Kaltlaminationen:

Beschreibung des Verfahrens:¹

Vorrichtung zum Evakuieren und Verbund-Presslaminieren von Doppelglasmodulen. Das extrem schnelle Verfahren ist sowohl für Zellen-, Folien- wie Dünnglastechnologien geeignet und funktioniert ohne Verschleißmembran. In der Regel ist nachfolgend kein herkömmlicher Autoklavenprozess mehr nötig. Es erfolgt lediglich ein Thermoprozess, der auf die schnelle Taktzeit der VPL keinen Einfluss hat.

¹ Vgl. <http://www.lisec.com/Maschinen/PV-Modul-Kapselung/Laminieren/VPL>, Download vom 05.07.2010
Blue Globe Report – Klima- und Energiefonds

Highlights:

- Kürzeste Taktzeiten, alle 30 Sek. ein Modul
- Keine Verschleissmembran
- Für alle Zelltechnologien geeignet
- Geringer Energiebedarf durch konstante Innentemperatur

Abb.5: VPL Laminieren (Quelle: <http://www.lisec.com/Maschinen/PV-Modul-Kapselung/Laminieren/VPL>, Download vom 05.07.2010)

Bei der Kaltlamination stellten sich jedoch unerwartet ähnliche Probleme ein, wie bei der Warmlamination.

Funktions-Analyse und Testreihe Außenwand:

Für die Testreihe wurde ein mobiles Equipment, bestehend aus Trägerplatten mit aufgeklebten Laminaten, Laminaten ohne Trägerplatten und Wechselrichtern mit mobilem Anschluss konzipiert. Die Verbundplatten und die Lamine wurden mit Winkeln an den Außenwänden des Versuchsobjektes nebeneinander montiert und der erzielte Ertrag über die Wechselrichter verglichen. Mit dieser Methode wurde das Verhalten der Verbundplatte zum Laminat in allen Ausrichtungen um das Versuchsobjekt verglichen.

Das energietechnische Umwandlungsverhalten der aufgeklebten PV-Lamine auf den Trägerplatten zeigt Unterschiede zu den Laminaten. Das verändert Verhalten in positiver

und negativer Sicht ist auf die Änderung des Wärmeübergangs vom Laminat auf die Umgebung zurückzuführen.

Negativ auf den Ertrag wirkt sich der verzögerte Kühleffekt und die Wärmekapazität der Trägerplatte im Sommer aus, Positiv ist der Effekt in der Übergangszeit und im Winter wenn die kalte Trägerplatte das Laminat und damit die Zellen länger kühl hält und damit den Ertrag steigert.

Aus den Versuchsreihen lässt sich abschätzen, dass sich die nachteiligen Auswirkungen im Sommer, in unseren Breiten, in vertretbaren Grenzen halten werden.

Langzeitmessungen:

Auf Grund der aufgezeigten Probleme mit der Funktionalität der bisher verwendeten Methoden Lamination Warm/Kalt und Kleber, war es bisher nicht möglich einen entsprechend beständigen Versuchsaufbau für die Langzeitmessung der unterschiedlichen Ertragsverhalten des Verbundsystems gegenüber dem reinen Laminat und Standard PV-Fassadenelementen zu errichten. Die Planung dafür ist abgeschlossen, die Durchführung erfolgt nach bestandener Prüfung der aktuellen Klebeverbindung in der Klimakammer in Folge.

Verklebungsversuch mit neuartigem neutral vernetzendem Silikon :

Das neuartige, neutral vernetzende Silikon erzeugt keine Spaltprodukte. Normalerweise kommt es zur Bildung von giftigen Spaltprodukten.

Verklebungstest mit transparentem Epoxy:

Der Kleber wurde gleichmäßig aufgetragen und konnte in die Poren der fibre-C Platte einziehen. Somit konnte nach Auflegen der Glasplatte ein gleichmäßiges Ergebnis ohne Blasen erzielt werden. Die Versuche wurden auch mit kristallinen, transparenten Laminaten durchgeführt. Optisch konnte ein sehr gutes Ergebnis erzielt werden.

Haft-Zug-Versuche:

- fibre-C Platten (300,00 mm * 200,00 mm)
- Platte und Laminat mit transp. Epoxy verklebt
- Dauerzugtest mit 1200 kg

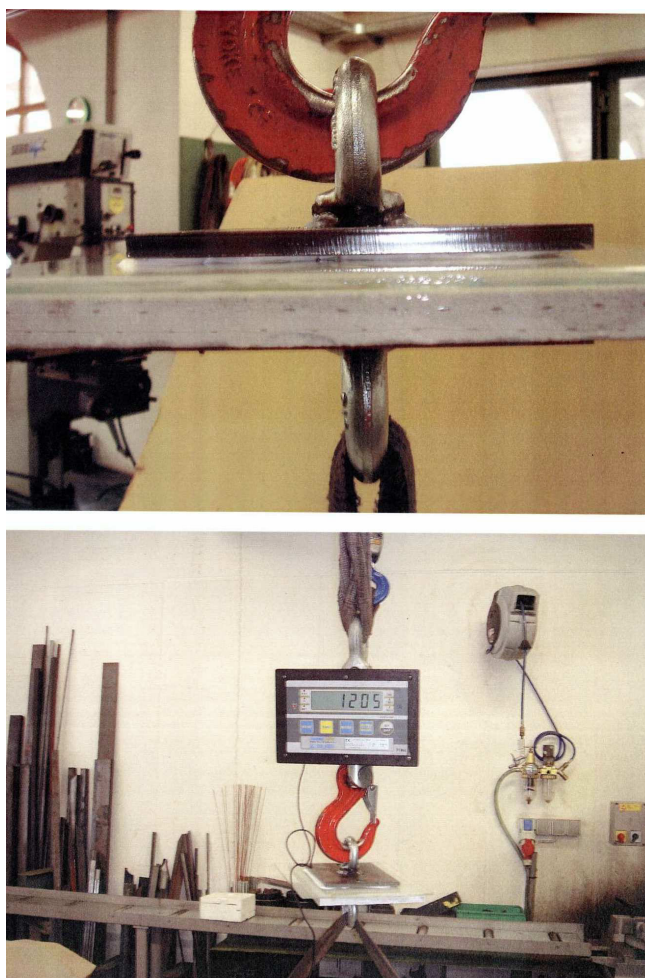


Abb.6: Haft-Zug-Versuch aus Testreihe, Foto: Hilber GmbH

Verklebungen mit flexiblen PV-Modulen:

Versuchsablauf:

- Verklebungen mit Streifen flexibler Zellen auf die Platten mit SMP.
- Der Kleber ist ein zweikomponentiges MS Polymer, welches speziell für diese Anwendung entwickelt wurde.
- Auftrag aus Kartuschen, Verteilung mit Zahnpachtel.

Die Verklebungsversuche erzielen optisch sehr gute, gleichmäßige Ergebnisse, ohne Wellenbildung. Der Kleber kann auch aus optischen Gründen eingefärbt werden.

3. Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Eine normale Warm- oder Kaltlamination ist ohne Vorbehandlung (Austrocknen-vakuumisieren über die gesamte Zeit der Produktion !!) der Platten nicht möglich. Es entstehen vielen Blasen und eine optimale Vernetzung ist nur an kleinen Stellen gegeben. Eine aufwändige Aufbereitung der Platten wäre nicht wirtschaftlich und wurde somit nicht weiter verfolgt.

Technische Schwierigkeiten bereiteten vor allem die Eigenschaften der Fibre-C-Platten bzw. der Verarbeitungsprozess der Platten. Bei Laminationen mit 150 °C der Platten mit Glas und EVA-Folie entstanden Blasen. Eine optimale Vernetzung entstand nur an wenigen Stellen, besonders an den Ecken kam es zu Ablösungen da sich die leicht gebogene Platte von der geraden Glasplatte ablöst.

Eine Erklärung für die Blasenbildung ist die Restfeuchtigkeit und Offenporigkeit in den Fibre-C-Platten. Durch zeitlich unterschiedlich gesteuerte, kürzere Vakuum- und Laminierzeiten wurde an kleinen Stellen eine Verbesserung der Vernetzung erreicht. Das Ergebnis war jedoch nicht zufriedenstellend.

Als Alternative wurde schließlich das Kaltlaminationsverfahren angewendet. Die Ergebnisse dieses Verfahres waren jedoch mit der ebenfalls starken Blasenbildung nicht zufriedenstellend.

Mögliche Ursachen für die Blasenbildung:

- Steinplatte ist luftdurchlässig und daher kann das Vakuum im Laminataufbau bis nach dem Curing nicht aufrecht erhalten werden (Luftblasen)
- Beschichtung der Steinplatte scheidet Gase beim Curingprozess (über 100°C) aus
- Steinplatte ist relativ feucht (Wasserdampfblasen)

Bei Anwendung eines neuartigen Silikons als Verbindungsmittel zwischen Fibre-C-Platte und Glasplatte kam es zu Problemen bei der anschließenden Prüfung im Klimaschrank und beim UV-Test.

Feuchte Frost-Test/Erhitzen auf 50°C:

- weiße Flecken vom Rand herein, welche nach Abkühlung größtenteils zurückgehen
- unbeschichtete Platten weisen eine bessere Vernetzung auf

UV-Test:

- stark gelbe Verfärbungen des Silikons bei UVB-Belastung
- schwach gelbe Verfärbungen bei UVA-Belastung

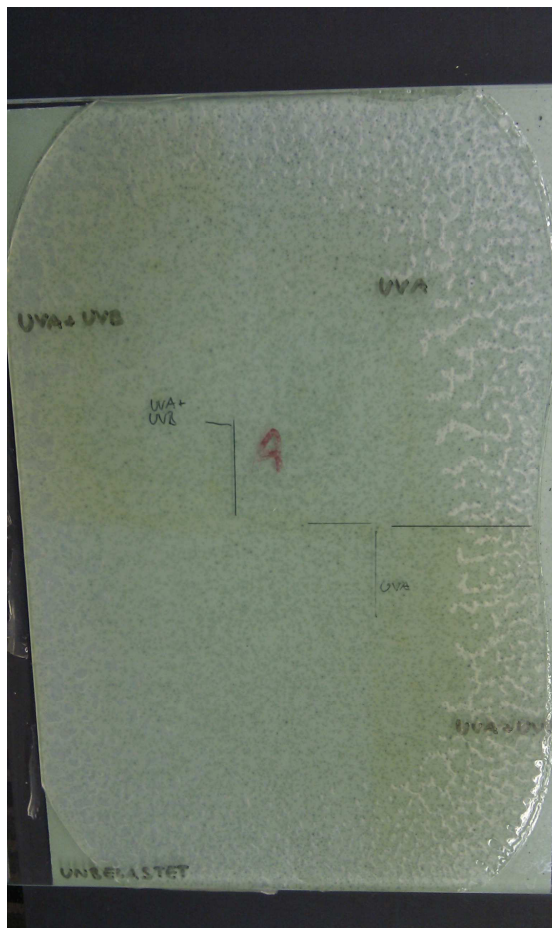


Abb.7: Platte nach UV-Test, Foto: Bartl Hilber GmbH

Die Idee, die PV-Zellen, anstelle der, bei konventioneller Technik üblichen Einbettung in Tedlar –Folien, direkt in die feuchte Betonmasse der Trägerplatte zu verlegen, scheitert an mehreren Fakten und nicht zuletzt an sicherheitstechnischen Umständen.

Die Zellen die am Markt gängig und damit zu erwerben wären erreichen nicht die mechanische Stabilität, um diese in eine feuchte Betonoberfläche einzudrücken damit diese dort fixiert werden.

Die saubere Positionierung mehrerer hochwertiger Strings nebeneinander, auf einer feuchten bis nassen Betonoberfläche, ist technisch nicht realisierbar (Aufschwimmeffekte) Die für die elektrische Verschaltung üblichen verzinkten Kupferbauteile werden vom alkalischen Beton angegriffen. Dadurch kann es neben kalten Lötstellen auch zur Auflösung der Verzinkung kommen.

Die ausgehärtete Trägerplatte ist ein Bauteil aus Beton. Beton erfüllt in keiner Weise die geforderten elektrotechnischen Isoliereigenschaften die an das Produkt gestellt werden und von der Kombination aus Tedlar- und EPV-Folie oder Glas erfüllt werden. Allein diese Problematik führt dazu, dass diese Idee zu verwerfen ist da zum Erreichen der geforderten

Isolierfestigkeit der Standardaufbau auf der Trägerplatte aufzubringen wäre. In diesem Fall erscheint die Klebelösung einfacher.

Aus diesen Gründen werden die Ansätze mit Verklebungen mit transp. Epoxy, sowie die Verklebungen mit Dünnschichtmodulen und SMP Kleber weiterentwickelt und verfolgt, wie auch im folgenden Absatz beschrieben.

4. Ausblick und Empfehlungen

Die Entwicklung einer Fassadenkonstruktion mit den vorliegenden Komponenten (Fibre-C-Platte, PV-Zellen, Kleber...) bzw. das Zusammenspiel dieser Komponenten stellt eine interessante Forschungstätigkeit, jedoch auch eine große Herausforderung dar.

Die Reaktionen der Komponenten im Verarbeitungsprozess konnte nur schwer vorausgesagt werden.

Zum einen ist die Lamination der Fibre-C-Platte auf Grund der Platteneigenschaften schwierig. Das Kaltlaminationsverfahren bietet dabei auch keine besseren Ergebnisse.

Als nächsten Schritt haben wir daher einen Kleber als Verbindungselement zwischen der Platte und dem PV-Modul-Element eingesetzt, was schon vorher angedacht wurde.

Zunächst wurde dabei ein neuartiges Silikon eingesetzt. Dieses Silikon hielt jedoch dem Klimakammer- bzw. UV-Test nicht stand und musste somit ausgeschieden werden. Als Alternativ-Klebstoff kommt nun ein transparentes Epoxidharz zum Einsatz.

Die Verbindung von transparentem Epoxy mit der Fibre-C-Platte und einer Glasplatte mit PV-Elementen, sowie die Verklebungen mit Dünnschichtmodulen mit SMP Kleber sehen optisch sehr vielversprechend aus. Die ersten Haft-Zugversuche zum transparentem Epoxy sehen ebenfalls sehr vielversprechend aus. Es sind durch entsprechende Auftragung des Epoxidharzes weder Blasenbildungen noch Ablösungen erkennbar.

Der nächste Schritt wird die Anwendung von Testverfahren (Klimatest, UV-Test) sein, um die Verwertbarkeit dieses Verfahrens bestimmen zu können. Sollten die weiteren Tests positiv verlaufen, kann dieses Verfahren durch vorgefertigte, optisch ansprechende Fassaden-Elemente mit PV-Elementen neuen architektonischen Ansprüchen genügen und zur Marktreife gelangen. Voraussetzung dafür wird die Produktion von komplett fertigen Fassaden-Elementen sein, welche in einem wirtschaftlichen Produktionsprozess hergestellt werden.

5. Abbildungsverzeichnis

Abb.1: Platte nach Lamination, Foto: Bartl Hilber GmbH.....	3
Abb.2: Hinterschnitt Auszugsversuch 16.0	4
Abb.3: Hinterschnitt Auszugsversuch 16.1	5
Abb.4: Hinterschnitt Auszugsversuch 16.2	5
Abb.5: VPL-Laminieren.....	6
Abb.6: Haft-Zug-Versuch aus Testreihe, Foto: Hilber GmbH	8
Abb.7: Platte nach UV-Test, Foto: Bartl Hilber GmbH.....	10

6. Literaturverzeichnis

Lisec Group, (2010): <http://www.lisec.com/Maschinen/PV-Modul-Kapselung/Laminieren/VPL>, (Download vom 05.07.2010)

IMPRESSUM

Verfasser

Rieder Smart Elements GmbH

Mühlenweg 22, 5751 Maishofen

Tel: +49 / (0)8031 / 90167-0

Fax: +49 / (0)8031 / 90167-169

E-Mail: office@rieder.cc

Web: www.rieder.cc

Projektpartner

Bartl Hilber GmbH

Hilber GmbH

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber

Klima- und Energiefonds

Gumpendorfer Straße 5/22

1060 Wien

office@klimafonds.gv.at

www.klimafonds.gv.at

Disclaimer

Die Autoren tragen die alleinige Verantwortung für den Inhalt dieses Berichts. Er spiegelt nicht notwendigerweise die Meinung des Klima- und Energiefonds wider.

Der Klima- und Energiefonds ist nicht für die Weiternutzung der hier enthaltenen Informationen verantwortlich.

Gestaltung des Deckblattes

ZS communication + art GmbH