

# Umwelttechnik in Baden-Württemberg



## Frei formbare Halbzeuge aus vorwiegend nachwachsenden Rohstoffen für die Anwendung in Innen- und Außenräumen

Abschlussbericht zum Förderprogramm  
"EFRE Umwelttechnik"  
des Ministeriums für Umwelt, Klima und  
Energiewirtschaft Baden-Württemberg



Europäische Union  
Europäischer Fonds für regionale Entwicklung

investition in  
Ihre Zukunft!



Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT

# Umwelttechnik in Baden-Württemberg

## Autoren:

Jan Knippers, Carmen Köhler  
Universität Stuttgart, Institut für Tragkonstruktionen und  
Konstruktives Entwerfen (ITKE)

Klaus Fischer  
Universität Stuttgart, Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte- und Abfallwirtschaft

Eberhard Kappler  
spek DESIGN GbR, Stuttgart

Lars Ziegler, Michael Schweizer  
TECNARO GmbH, Ilsfeld-Auenstein

Frank Braun, Hans-Peter Braun  
BAUER THERMOFORMING GmbH & Co. KG, Talheim

Förderkennzeichen: UT 400 - 405

Laufzeit: 20.12.2011 – 30.11.2013

Das Projekt wurde je zur Hälfte mit Mitteln des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) im Rahmen des Operationellen Programms für das Ziel „Regionale Wettbewerbsfähigkeit und Beschäftigung“ und mit Mitteln des Landes Baden-Württemberg gefördert.

April 2014



Europäische Union  
Europäischer Fonds für regionale Entwicklung

investition in  
Ihre Zukunft!



Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT

## Kurzfassung

Im Forschungsprojekt '*Frei formbare Halbzeuge aus vorwiegend nachwachsenden Rohstoffen für die Anwendung in Innen- und Außenräumen*' wurde der Prototyp einer thermoplastischen Biokunststoffplatte entwickelt, die zur Fassaden- und Innenwandbekleidung eingesetzt werden könnte.

In der Zusammenarbeit von Materialentwicklern, Architekten, Produktdesignern, Fertigungs- und Umwelttechnikern entstand ein neuer thermoplastischer Werkstoff für Fassadenbekleidungen, der zu über 90 % aus nachwachsenden Rohstoffen besteht. Das vom Projektpartner TECNARO im Rahmen des Projektes weiterentwickelte Biokunststoffgranulat ARBOBLEND® lässt sich zu Platten extrudieren, die dann beliebig weiterbearbeitet werden können. Mittels Bohren, Bedrucken, Laminieren, Lasern, CNC-Fräsen oder Tiefziehen können unterschiedliche Oberflächenqualitäten, Strukturen und Formteile erzielt werden. Die Halbzeuge dienen dann zur Bekleidung ebener oder frei geformter Innen- und Außenwände.

Der Werkstoff kann weiterhin recycelt werden und erfüllt die üblichen hohen Anforderungen, die hinsichtlich Dauerhaftigkeit und Flammenschutz an Baustoffe gestellt werden. Projektziel war es, ein möglichst nachhaltiges und dennoch langlebiges Baumaterial zu entwickeln. Dabei galt es den Anteil erdölbasierter Komponenten und Additive gering zu halten. Die ökobilanzielle Bewertung erfolgte durch den Projektpartner Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte- und Abfallwirtschaft (ISWA). Des Weiteren wurde die Beständigkeit gegenüber mikrobiellen Abbau eruiert.

Die Anwendbarkeit wurde beispielhaft an einer mit Moos bestückten Formteilmwand, sowie weiteren Demonstratoren geprüft und veranschaulicht. Der zu Projektende im Oktober 2013 realisierte Fassaden-Mock-Up *ArboSkin* demonstriert eine mögliche architektonische und bautechnische Anwendung der im Projekt entwickelten Biokunststoffe.

# Inhaltsverzeichnis

<b>Kurzfassung .....</b>	<b>2</b>
<b>Inhaltsverzeichnis .....</b>	<b>3</b>
<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>4</b>
<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>5</b>
<b>Problemstellung – Anlass für das Vorhaben.....</b>	<b>6</b>
1.1 Die Projektpartner .....	7
<b>2 Ziel des Vorhabens .....</b>	<b>8</b>
<b>3 Innovativer Charakter des Forschungsprojektes.....</b>	<b>9</b>
<b>4 Stand der Technik .....</b>	<b>10</b>
4.1 Technologische Entwicklung - Abgrenzung .....	10
<b>5 Vorgehen.....</b>	<b>11</b>
5.1 Anforderungen (AP A) .....	12
5.2 Materialentwicklung (AP B) .....	13
5.2.1 Brandversuche .....	13
5.2.2 Freibewitterung nach DIN 877 .....	14
5.2.3 Künstliche Bewitterung nach DIN EN ISO 4892.....	14
5.2.4 Herstellung des ausgewählten modifizierten Compounds.....	16
5.2.5 Datenblatt des modifizierten Biokunststoffes .....	16
5.3 Halbzeugentwicklung (AP C) .....	17
5.4 Produktentwicklung (AP D).....	19
5.5 Demonstratoren (AP E) .....	19
5.5.1 Mooswand.....	19
5.5.2 Ausstellungstheke - Thekenfront .....	23
5.5.3 Trapezwellen-Paneele.....	25
5.5.4 Fassaden-Mock-Up <i>ArboSkin</i> .....	28
5.6 Ökologische Bewertung.....	36
5.7 Ökonomische Bewertung .....	38
<b>6 Ergebnisse und Nutzen.....</b>	<b>39</b>
<b>7 Verwertungspläne .....</b>	<b>40</b>
7.1 Veröffentlichungen .....	40
<b>8 Ausblick .....</b>	<b>42</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1 Schemata Vorgehen .....	11
Abb. 2 Schemata Projektaufbau.....	12
Abb. 3 Brandversuche auf Materialebene nach UL94-V.....	13
Abb. 4 Freibewitterung.....	14
Abb. 5 Prüfstab der finalen Rezeptur und Stäbe nach 315h, 629h, 944h und 1259h Bestrahlung.....	15
Abb. 6 Strang vor dem Granulieren.....	
Abb. 7 Granulierung .....	16
Abb. 8 Plattenextrusion ©spek DESIGN .....	
Abb. 9 Folienkaschierung spek DESIGN.....	17
Abb. 10 Begutachtung der extrudierten Platten hinsichtlich Oberflächenqualität ©spek DESIGN.....	17
Abb. 11 und Abb. 12 Platte CNC-gefräst und hinterleuchtet ©ITKE Uni Stuttgart.....	18
Abb. 13 Tiefzieh-Werkzeugplatten für Versuche zur Herstellung von Strukturen oder Verformungen innerhalb einer ebenen Platte ©ITKE.....	18
Abb. 14 Fassaden-Moos-Modul ©ITKE, Y. Domuzov.....	19
Abb. 15 Je nach Orientierung können unterschiedliche Strukturen erzielt werden ©ITKE.....	20
Abb. 16 Tiefziehwerkzeug .....	
Abb. 17 Biokunststoffplatte im Tiefziehrahmen ©BAUER THERMOFORMING .....	21
Abb. 18 Tiefziehen .....	
Abb. 19 Tiefgezogenes Formteil ©BAUER THERMOFORMING .....	21
Abb. 20 Entfernen des Tiefziehrandes mittels CNC-Fräsen ©BAUER THERMOFORMING .....	
Abb. 21 Fräsabfälle ©BAUER THERMOFORMING.....	22
Abb. 22 Formteile ohne Tiefziehrand ©BAUER THERMOFORMING .....	22
Abb. 23 Exemplarische Mooswand als Ausstellungsobjekt auf dem Gemeinschaftsstand Baden Württemberg der Leitmesse GreenTech auch der Hannover Messe 2013 ©ITKE .....	22
Abb. 24 Gemeinschaftsstand Baden-Württemberg auf der Hannover Messe 2013 ©ITKE Abb. 25 Besuch des Ministerpräsidenten W. Kretschmann am Gemeinschaftsstand .....	23
Abb. 26 und Abb. 27 CNC-Konturfräsen @ITKE .....	23
Abb. 28 unterschiedliche Fräspfade auf das gleiche Formteil angewendet ©ITKE .....	24
Abb. 29 Konturgefräste Biokunststoff-Formteile wurden miteinander verschweißt ©ITKE.....	24
Abb. 30 Ausstellungstheke auf der Hannover Messe 2013.....	25
Abb. 31 und Abb. 32 Steckverbinder Trapezwellen-Paneele und Montage ©spek DESIGN.....	25
Abb. 33 Trapezwellen-Profile beim Arch-Fest 2013 der Uni Stuttgart ©Studenten WS 12/13.....	26

<i>Abb. 34 Trapezwellen-Profile als Medienwand auf dem BIOPRO-Stand der Biotechnika 2013 ©spek DESIGN.....</i>	<i>26</i>
<i>Abb. 35 Trapezwellen-Profile auf der Einweihung des Mock-Ups ArboSkin am 17.10.13 ©spek DESIGN.....</i>	<i>27</i>
<i>Abb. 36 Wand mit Trapezwellen-Profilen im Hintergrund: Einweihung ArboSkin am 17.10.13 unter Beisein von Minister Franz Untersteller MdL ©KD Busch.....</i>	<i>27</i>
<i>Abb. 37 Trapez-Wellen-Profil als Akustik-Paneel .....</i>	<i>28</i>
<i>Abb. 38 Rendering Mock-Up ©ITKE.....</i>	<i>28</i>
<i>Abb. 39 Plattenextrusion ©spek .....</i>	<i>28</i>
<i>Abb. 40 Tiefziehwerkzeug ©BAUER THERMOFORMING Abb. 41 Tiefziehvorgang ©BAUER THERMOFORMING.....</i>	<i>29</i>
<i>Abb. 42 Pyramidenformteil mit Tiefziehrand</i>	
<i>Abb. 43 grobes Entfernen des Randes ©BAUER THERMOFORMING .....</i>	<i>29</i>
<i>Abb. 44 Konturfräsen des Pyramidenformteils im Opferbett ©BAUER THERMOFORMING .....</i>	<i>29</i>
<i>Abb. 45 und Abb. 46 Plattenabfälle ©BAUER THERMOFORMING.....</i>	<i>30</i>
<i>Abb. 47 Shreddern der Plattenabfälle</i>	
<i>Abb. 48 Regranulierung ©BAUER THERMOFORMING.....</i>	<i>30</i>
<i>Abb. 49 Prinzip-Skizze: Realisierung von Freiformflächen aus gleichen Tiefziehformteilen, die durch unterschiedliche Fräspfade ungleich beschnitten werden ©M. Loucka.....</i>	<i>30</i>
<i>Abb. 50 Fertigungskonzept © C. Köhler .....</i>	<i>31</i>
<i>Abb. 51 Unterkonstruktion.....</i>	<i>31</i>
<i>Abb. 52 Aufbau des Mock-Up.....</i>	<i>32</i>
<i>Abb. 53 Detail ArboSkin .....</i>	<i>32</i>
<i>Abb. 54 Beleuchtung ArboSkin © M.R.Hammer .....</i>	<i>32</i>
<i>Abb. 55 FE-Modell Wind- und Schneelasten ©T. Fildhuth.....</i>	<i>34</i>
<i>Abb. 56 und Abb. 57 Biokunststoff-Mock-Up ©Roland Halbe .....</i>	<i>35</i>
<i>Abb. 58 Biokunststoff-Mock-Up ©Roland Halbe .....</i>	<i>35</i>
<i>Abb. 59 Biokunststoff-Mock-Up ©Roland Halbe .....</i>	<i>36</i>
<i>Abb. 60 Vergleich des Energiebedarfs beim Lebenszyklus verschiedener Baustoffe .</i>	<i>37</i>
<i>Abb. 61 Vergleich des Energiebedarfs beim Lebenszyklus verschiedener Baustoffe .</i>	<i>38</i>
<i>Abb. 62 Qualitätszeichen DIN geprüft, gibt den biobasierten Anteil des Produktes an ©TÜVRheinland.....</i>	<i>42</i>

## **Tabellenverzeichnis**

<i>Tabelle 1 Vergleich des Energiebedarfs beim Lebenszyklus verschiedener Baustoffe</i>	<i>36</i>
<i>Tabelle 2 Vergleich des Treibhauspotentials beim Lebenszyklus verschiedener Baustoffe .....</i>	<i>37</i>
<i>Tabelle 3 Gewicht und Dicke verschiedener Baustoffplatten .....</i>	<i>37</i>

## **Problemstellung – Anlass für das Vorhaben**

Das Institut für Tragkonstruktionen und Konstruktives Entwerfen (ITKE) befasst sich in Forschung und Lehre seit vielen Jahren mit der Planung, Simulation und Fertigung komplex geformter Gebäudehüllen. Zur Eindeckung solcher Fassaden werden bislang meist Elemente aus erdölbasierten Kunststoffen, Glas oder Metall verwendet. Die gegenwärtige Architektur wendet sich generell aufgrund der Möglichkeiten digitaler Planung und Fertigung verstärkt frei geformten Gebäudehüllen zu.

Des Weiteren wird auch in der Baubranche der Ruf nach umweltfreundlichen Baustoffen immer lauter. Auf dem Markt sind keine Bauprodukte verfügbar, die die nachhaltige Materialisierung von frei geformten Gebäudehüllen im Innen- und Außenraum erlauben. Hier setzt das Projekt *„Frei formbare Halbzeuge aus vorwiegend nachwachsenden Rohstoffen für die Anwendung in Innen- und Außenräumen“* an.

Halbzeuge aus thermoplastischen Biokunststoffen, die sich umformen lassen, könnten somit eine nachhaltige und rohstoffeffiziente Alternative für Verkleidungen in Fassaden- und Innenausbau darstellen.

Biobasierte Kunststoffe und Composite verknüpfen die Vorteile der freien Formbarkeit von Kunststoffen mit den ökologischen Vorteilen von Materialien, die aus vorwiegend nachwachsenden Rohstoffen bestehen.

Zudem wird es mit Hilfe von Bioraffinerien in den nächsten Jahren möglich sein, aus Biomasseabfällen der Agrar- und Landwirtschaft, der Lebensmittel- und Kosmetikindustrie in kontinuierlich hohen Mengen hochwertige Rohstoffe zur Verfügung stellen, die vor ihrer thermischen Verwertung oder Kompostierung zur werkstofflichen Nutzung eingesetzt werden können (Kaskadennutzung). In Anbetracht unserer Rohstoffsituation ist es sinnvoll, frühzeitig High-Tech-Werkstoffe zu entwickeln, die aus nahezu unbegrenzt verfügbarer Biomasse hergestellt werden können.

## 1.1 Die Projektpartner

Das Konsortium besteht aus zwei Instituten der Universität Stuttgart und 3 Klein- und Mittelständischen Unternehmen (KMUs) aus Baden Württemberg:

<b>Projektleitung</b>	Institut für Tragkonstruktionen und Konstruktives Entwerfen (ITKE), Universität Stuttgart,	 Universität Stuttgart	
<b>Forschung Material + Architektur Anwendungen</b>	Institutsleitung Prof. Dr.-Ing. Jan Knippers, Projektleitung Dipl.-Ing. Carmen Köhler, c.koehler@itke.uni-stuttgart.de		
<b>Umwelttechnik + Ökobilanzierung</b>	Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte- und Abfallwirtschaft, Universität Stuttgart, Dr.-Ing. Klaus Fischer, Klaus.Fischer@iswa.uni-stuttgart.de	 Universität Stuttgart	
			
<b>Produktgestaltung + Anwendungen</b>	spek DESIGN GbR, Schopenhauerstr. 39, 70565 Stuttgart, Dipl.-Ing. Eberhard Kappler, e.kappler@spek-design.de, Tel. 0711/745431 34		
<b>Materialentwicklung</b>	TECNARO GmbH, Burgweg 5, 74360 Ilsfeld-Auenstein Dr. Lars Ziegler, Dr. Michael Schweizer, info@tecnaro.de ,Tel. 07062/ 9178902		
<b>Fertigungstechnik</b>	BAUER THERMOFORMING GmbH & Co. KG, Heilbronner Straße 8, 74388 Talheim, Frank Braun, Hans-Peter Braun f.braun@bauer-thermoforming.de, 07133/987650		



## 2 Ziel des Vorhabens

Das Vorhaben soll einen Beitrag zum Themenschwerpunkt *Green Products* leisten. Dieser umfasst die Entwicklung umweltfreundlicher, nachhaltiger Zwischen-, Halb- und Endprodukte, die sich durch ein ökologisches Design, eine gute Rezyklierbarkeit, die Vermeidung und Verminderung umweltschädigender Materialien sowie eine energie- und emissionsarme Herstellung auszeichnen.

Ziel des Vorhabens ist der Prototyp eines frei formbaren Halbzeuges, das als Bekleidungs-element in Innen- und Außenräumen eingesetzt werden kann. Das Umformen wird mittels Tiefziehen erreicht werden.

Das Halbzeug soll zu einem möglichst hohen Anteil auf der Basis nachwachsender Rohstoffe bestehen.

Bei der Entwicklung der Platten sollen die Anforderungen bei Außenanwendung von Gebäuden berücksichtigt werden:

Um alle Gebäudeklassen bedienen zu können, sollten Bauteile aus biobasierten Werkstoffen schwer entflammbar sein (DIN EN 13501-1 B oder C). Normal entflammbare Materialien können in Gebäuden mit maximal sieben Meter Höhe und höchstens zwei Nutzungseinheiten, die kleiner als 400m<sup>2</sup> sind eingesetzt werden.

Außenwandbekleidungen sollten Grenztemperaturen von -20°C und +80°C standhalten können<sup>1</sup>. Eine Wärmeformbeständigkeit von 80°C wird daher angestrebt.

Des Weiteren muss die Standsicherheit über einen wirtschaftlich angemessenen Zeitraum – das sind bei Fassadenbekleidungen durchschnittlich 30 Jahre, gewährleistet werden. Die thermoplastisch verformbare Platte muss daher dauerhaft witterungsbeständig und langzeitstabil sein.

Neben technischen Anforderungen müssen Bauteile für Architekturanwendungen auch optische und haptische Qualitäten erfüllen. Diese sind daher auch Gegenstand des Projektes.

### **3 Innovativer Charakter des Forschungsprojektes**

Im Rahmen des Projektes wurden erstmals Biokunststoffplatten aus vorwiegend nachwachsenden Rohstoffen entwickelt, die sich frei verformen lassen und zudem auf die Anwendung im Baubereich einschließlich Außenraum zugeschnitten sind. Diese waren zu Projektbeginn nicht auf dem Markt verfügbar. Die Konzeption als schwerentflammbares Plattenmaterial zielt in gleicher Weise auf die Innenraumanwendung ab. Mit dieser Neuentwicklung kann zeitnah ein Produkt angeboten werden, das zwei Tendenzen aufgreift:

- Steigende Nachfrage an Ressourcen schonenden und nachhaltigen Baustoffen
- Zunehmende Planung und Realisierung von Gebäuden mit freier Geometrie und ebenen Fassadenplatten mit 3D-Effekten (Reliefs)

## **4 Stand der Technik**

Biokunststoffplatten aus vorwiegend nachwachsenden Rohstoffen, die sich frei verformen lassen und zudem hinsichtlich Brandverhalten und Dauerhaftigkeit auf die Anwendung im Außenraum von Gebäuden zugeschnitten sind, sind bisher nicht auf dem Markt verfügbar.

Holzfaserkunststoffe, so genannte WPCs (Wood Polymer Composites) mit einem Holzfaserteil von bis zu 80 Gewichtsprozent werden bereits in Fassaden (z.B. von Kosche, UPM Kymmene) eingesetzt. Als aktuelles Beispiel kann die Fassadenbekleidung des finnischen Pavillons auf der EXPO 2010 in Shanghai genannt werden. Sie greifen jedoch auf ein erdölbasiertes Bindemittel zurück. In einem von der DBU bereits geförderten Projekt wurden bereits thermoplastische Bio-Kunststoffe aus nachwachsenden Rohstoffen mit langer Funktionsdauer am Beispiel von Tierkennzeichnungs-Ohrmarken von der Firma Hauptner & Richard Herberholz GmbH & Co. KG entwickelt und als BIO -TAG® vermarktet. Diese Ohrmarken sind über die gesamte Lebenszeit des Tieres Wind und Wetter, dem Angriff chemischer und mikrobieller Verbindungen sowie vom Tier verursachten mechanischen Beanspruchungen ausgesetzt.

Wasserflaschen, Kosmetikflakons oder Gießkannen aus Polylactid oder PHA demonstrieren die Wasserbeständigkeit von biobasierten Kunststoffen. Die mit Flammenschutz ausgerüsteten Polylactid-Typen der SUPLA Material Technology Co. Ltd. zeigen bei transluzenter Erscheinung eine Wärmeformbeständigkeit von ca. 130°C. Der vertikale Flammversuch nach UL94 V zeigt, dass dieses Material nach weniger als 10 Sekunden nach Wegnahme der Flamme selbst verlischt und nicht brennend abtropft (V0). Es existiert jedoch kein Vertrieb in Europa.

Durch die Zugabe von halogenfreien Flammschutzmitteln konnte die Firma NEC ebenfalls einen schwer entflammaren Werkstoff aus Polylactid und Kenaf Fasern entwickeln, der in Handygehäusen Anwendung findet. Hier konnte auch gezeigt werden, dass die Zugabe von Naturfasern auch die Gebrauchstemperatur erhöhen kann, da die Fasern als Keimbildner wirken, die die Kristallisation des Polymers verbessern. Hier wurde die UV-Beständigkeit nicht berücksichtigt.

### **4.1 Technologische Entwicklung - Abgrenzung**

Im Vorhaben Biokunststoff-Fassade gilt es einen geeignete(n) Biokunststoff(e) zu eruiieren und diese an die Anforderungen bei Architekturanwendungen anzupassen.

Halbzeuge aus thermoplastischen, biobasierten Kunststoffen, die hinsichtlich ihres Brandverhaltens und ihrer Dauerhaftigkeit für Außenanwendungen an Gebäuden optimiert wurden, sind bisher nicht auf dem Markt verfügbar.

## 5 Vorgehen

Zunächst werden die Anforderungen eruiert, die das Biokunststoffmaterial (Granulat) und das daraus resultierende Halbzeug aufweisen müssen. Im ersten Meilenstein wird ein Anforderungskatalog vorgelegt. Unter Berücksichtigung des Lastenheftes werden vorhandene Biokunststoffe und Biokunststoff-Blends mit Hilfe von Additiven optimiert um erforderliche Eigenschaften hinsichtlich Brandverhalten oder Dauerhaftigkeit zu erreichen. In verschiedenen Versuchsreihen werden Prüfkörper unterschiedlichen Materialprüfungen wie Zugprüfungen, Künstliche Alterung oder die Ermittlung der Wärmeformbeständigkeit ausgesetzt. Konnte dann nach erfolgreichen Prüfergebnissen eine Rezeptur gefunden werden, erfolgt die Plattenextrusion.

Anschließend wird getestet, ob sich das entwickelte Material tiefziehen lässt. Weiterbearbeitungsmöglichkeiten wie CNC-Fräsen, Folien kaschieren, bohren und schneiden werden getestet. Es werden Vorschläge für die Anwendungsmöglichkeiten des ebenen Halbzeugs sowie Formbeispiele zur Weiterbearbeitung gemacht (Anwendungskatalog).

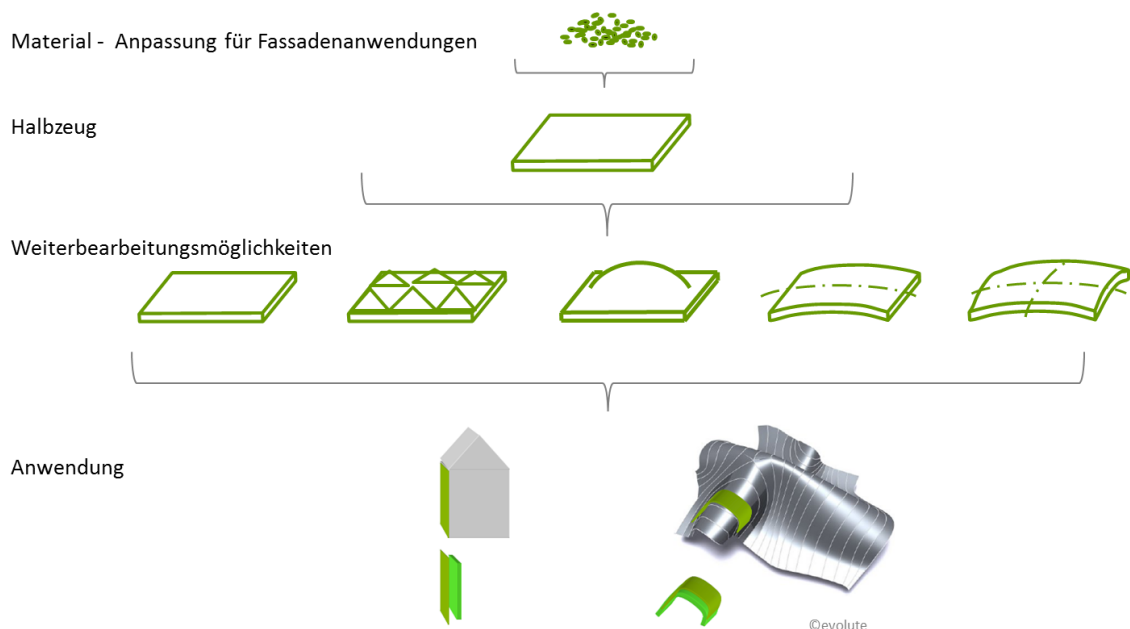


Abb. 1 Schemata Vorgehen

Aus nahezu allen Arbeitspaketen können Produkte oder Dienstleistungen resultieren, die später vermarktet werden können. Das entwickelte Granulat, wäre auch für andere Außenanwendungen einsetzbar. Das thermoplastische Halbzeug lässt sich direkt, also auch für die Fassadenbekleidung von konventionellen Gebäuden einsetzen. Zum anderen lässt sich die Biokunststoffplatte nachbearbeiten durch Tiefziehen, fräsen, laminieren etc. Der Projektpartner BAUER THERMOFORMING ist bisher das einzige Unternehmen, das das Umformen von Kunststoffplatten aus nachwachsenden Rohstoffen anbietet. Spek Design (Innenraum) wie auch das ITKE (Außenraum) können hinsichtlich der Adaption des Halbzeuges zu bestimmten Geometrien behilflich sein (Dienstleistung).

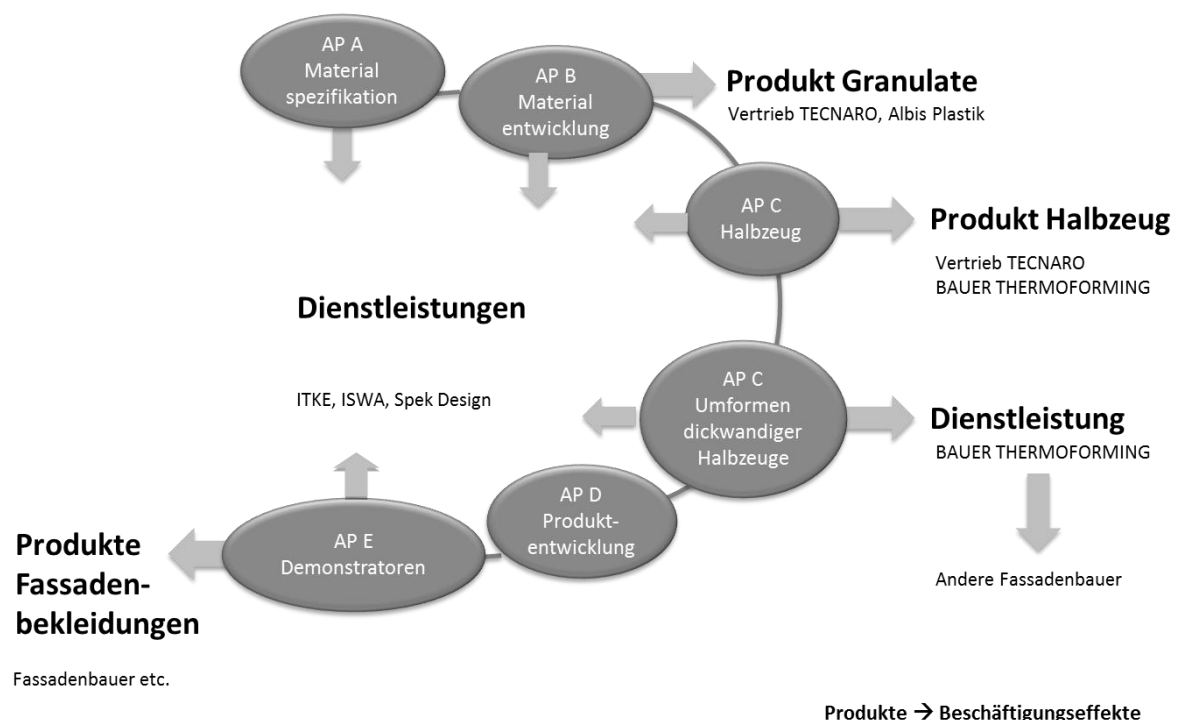


Abb. 2 Schemata Projektaufbau

## 5.1 Anforderungen (AP A)

- Bei der Modifikation vorhandener Biokunststoffprodukte von TECNARO setzt man sich folgende Ziele
  - Wärmeformbeständigkeit des Materials: 85°C
  - Außenwandbekleidungen sollten nach der DIN 18516 Grenztemperaturen von -20°C und +80°C standhalten können [2].
  - Die Brandtests auf Materialebene sollen nach der UL94-V, mit V0 abschließen

- Nach Identifikation einer geeigneten Materialrezeptur soll auf Bauteilebene folgende Baustoffklasse erreicht werden: Nach DIN EN 13501, die Euroklasse B oder C. Nach DIN 4102 die Baustoffklasse B1 oder B2.
  - Der Feuerwiderstand sollte mindestens F30 sein
  - Die UV-Beständigkeit wird mittels dem Künstlichen Bestrahlen der Kunststoffprobekörper nach DIN EN 4892 getestet. Die Proben sollen auch nach ca. 1000 Stunden Bestrahlung optisch unverändert aussehen. Die Verschlechterung der mechanischen Eigenschaften sollte im Rahmen bleiben.
- 2.) Nutzeranforderungen: Aus Nutzersicht sind Aspekte wie Wirtschaftlichkeit, Gebrauchstauglichkeit, Geruchlosigkeit oder auch die Ästhetik relevant.

## 5.2 Materialentwicklung (AP B)

Es wurden 27 unterschiedliche Materialzusammensetzungen in fünf Versuchsreihen untersucht. Insgesamt wurden über 800 Prüfkörper hergestellt, um folgendes zu testen: Brandverhalten, Wärmeformbeständigkeit, mechanische Eigenschaften vor und nach der künstlichen Alterung, Schlagzähigkeit vor und nach der künstlichen Alterung und Umweltsimulationen.

### 5.2.1 Brandversuche

Bauteile müssen als Ganzes und in ihrem Zusammenspiel mit anderen Bauteilen standsicher sein. In der Musterbauordnung werden vor allem Anforderungen an das Brandverhalten klar definiert.

Um eruieren zu können, welche Biokunststoff-Flammhemmer-Kombination erfolgsversprechend erscheint, wird zunächst nur auf Materialebene geprüft.



Abb. 3 Brandversuche auf Materialebene nach UL94-V

In verschiedenen Versuchsreihen, galt es eine Werkstoffkombination zu finden, die vor allem die Anforderungen hinsichtlich Brandverhalten und UV-Beständigkeit erfüllt.

Es konnte eine Rezeptur gefunden werden (Meilenstein 2), die die Brandklasse V0 nach UL94 V erreichen kann. Die Versuche auf Bauteilebene zur Baustoffklassifizierung nach der DIN 13501 wurden zu Projektende beauftragt, die Ergebnisse stehen noch aus.

### 5.2.2 Freibewitterung nach DIN 877

Bei der Künstlichen Alterung wird mit intensiver energiereicher Strahlung dauerhaft oder in definierten Zyklen gearbeitet. Diese Bedingungen bilden die natürliche Alterung nur bedingt nach. Daher ist es sinnvoll, Prüfkörper auch in Echtzeit altern zu lassen. Ergebnisse sind daher erst nach Projektende verfügbar.



Abb. 4 Freibewitterung

### 5.2.3 Künstliche Bewitterung nach DIN EN ISO 4892

Wie bereits in 5.2.2. beschrieben, gab es in den ersten Versuchsreihen teilweise Interaktionen des Flammenschutzmittels mit dem UV-Licht, so dass es zu unerwünschten Braunfärbungen kommt. Letztendlich konnte für einen biobasierten Thermoplast ein Flammenschutzmittel auf Phosphatbasis gefunden werden, bei welchem Verfärbungen durch UV-Licht in den ersten 2000 Stunden ausbleiben (siehe Abb.5)



Abb. 5 Prüfstab der finalen Rezeptur und Stäbe nach 315h, 629h, 944h und 1259h Bestrahlung

Eine Möglichkeit die Dauerhaftigkeit des Werkstoffes abzuschätzen ist die Ermittlung der mechanischen Eigenschaften vor und nach der Alterung durch Feuchtigkeit, Temperatur oder UV-Strahlung. In der folgenden Tabelle werden die mechanischen Eigenschaften ersten von fünf Versuchsreihen dargestellt.

WERKSTOFF		Zug E-Modul (MPa)	Bruch spannung (MPa)	Bruch dehnung (%)	Streck spannung (MPa)	Streck dehnung (%)
Prüfbedingungen		5mm/min	5mm/min	5mm/min	5mm/min	5mm/min
Arboblend SC 1816 X natur	original	1333	14,8	13,26	17,23	5,63
Arboblend SC 1817 X natur	original	1187	13,47	18,04	16,55	5,91
Arboblend SC 1816 X natur	KL	1017	14,64	13,66	16,79	5,71
Arboblend SC 1817 X natur	KL	1167	14,65	11,01	16,86	5,22
Arboblend SC 1816 X natur	TE	1049	14,88	12,39	16,89	5,55
Arboblend SC 1817 X natur	TE	1209	14,62	11,94	16,6	5,81
Arboblend SC 1816 X natur	XE	1227	17,09	4,99	17,5	3,69
Arboblend SC 1817 X natur	XE	1267	14,13	1,93	14,41	1,63

Original= nicht gealtert,

KL= 168h bei 60°C und 90%rH,

TE=Temperaturlagerung 400h bei 60°C

XE= Xenotest nach EN ISO 4892-2: 500 und 1000h bei 20%rH, ohne Beregnung



## 5.2.4 Herstellung des ausgewählten modifizierten Compounds

Zur Herstellung eines Demonstrators für das Arbeitspaket E müssen werden 4 Tonnen Granulat produziert.

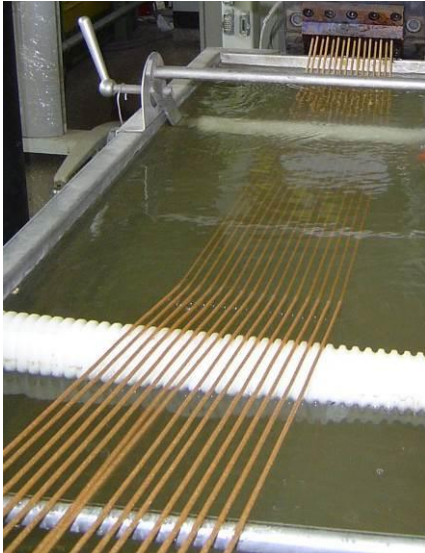


Abb. 6 Strang vor dem Granulieren



Abb. 7 Granulierung

## 5.2.5 Datenblatt des modifizierten Biokunststoffes

Materialkennwert	Modifizierter Biokunststoff (TECNARO)	Polycarbonat <sup>3</sup>	Plexiglas® XT <sup>4,5</sup>
Dichte	1,4g/cm <sup>3</sup>	1,2 g/cm <sup>3</sup>	1,2
Zug E-Modul	4093 MPa	2400 MPa	3000 MPa
Bruchspannung	50,12 MPa		
Bruchdehnung	5,11%		4,5%
Streckspannung	54,77 MPa	60 MPa	60 MPa
Streckdehnung	3,89%	6%	
Schlagzähigkeit	26,07 kJ/m <sup>2</sup>		15 kJ/m <sup>2</sup>
MVR (190°C)	4,099 cm <sup>3</sup> /10min		
MVR (200°C)	9,908 cm <sup>3</sup> /10min		
MVR (210°C)	21,843 cm <sup>3</sup> /10min		
MVR (220°C)	42,042 cm <sup>3</sup> /10min		

Die Streckspannung ist mit den in der Architektur häufig verwendeten Kunststoffen PMMA und PC vergleichbar. Die Streckdehnung ist geringer, der Werkstoff ist etwas spröder.

Die Wärmeformbeständigkeit der extrudierten Platte liegt bei 63°C. Nach einer fünfminütigen Temperierung der Platte bei 105°C resultiert eine HDT von 137°C. <sup>6</sup>

### 5.3 Halbzeugentwicklung (AP C)



Abb. 8 Plattenextrusion ©spek DESIGN



Abb. 9 Folienkaschierung spek DESIGN

Die Schmelzflussrate (MVR) des von TECNARO modifizierten ARBOBLEND®-Werkstoffes steigt mit zunehmender Verarbeitungstemperatur. Die Plattenextrusion jedoch lief erfolgreich ab. 4 Tonnen Granulat wurden zu Platten der Breite 1,5m extrudiert.



Abb. 10 Begutachtung der extrudierten Platten hinsichtlich Oberflächenqualität ©spek DESIGN

## Weiterbearbeitungsmöglichkeiten und Oberflächenstudien

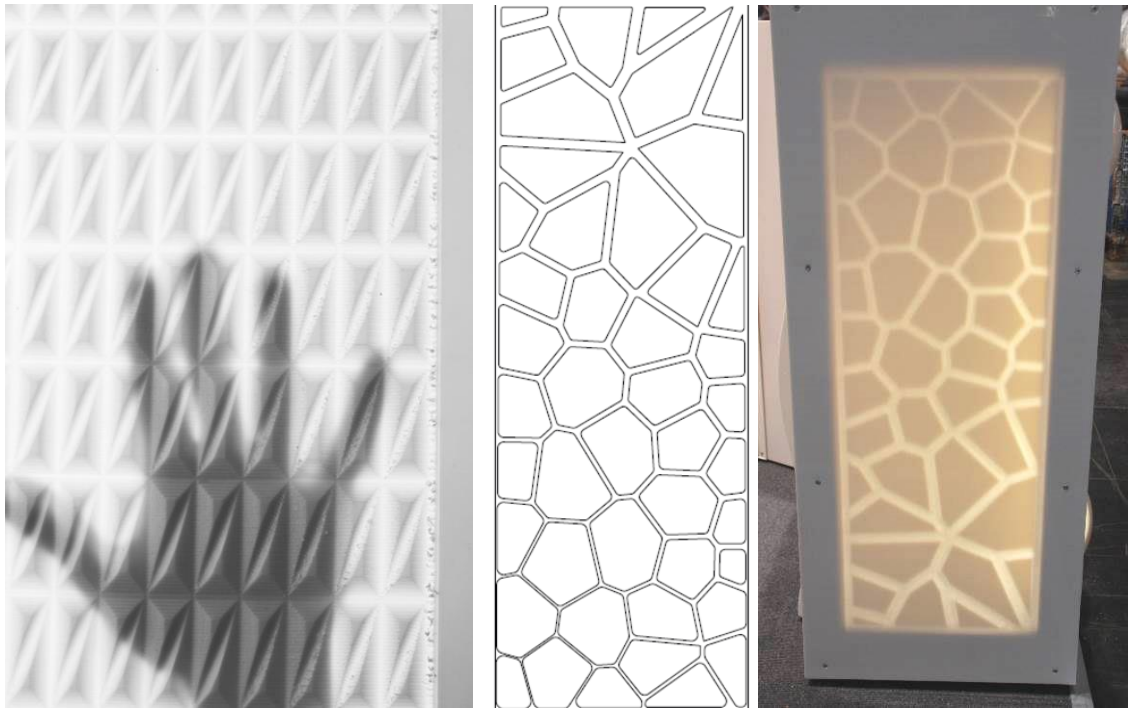


Abb. 11 und Abb. 12 Platte CNC-gefräst und hinterleuchtet ©ITKE Uni Stuttgart



Abb. 13 Tiefzieh-Werkzeugplatten für Versuche zur Herstellung von Strukturen oder Verformungen innerhalb einer ebenen Platte ©ITKE

## 5.4 Produktentwicklung (AP D)

Weiterbearbeitungsmöglichkeiten und Form-Ideen wurden von spek DESIGN und dem ITKE erarbeitet. Die Ergebnisse befinden sich im Anwendungskatalog im Anhang.

## 5.5 Demonstratoren (AP E)

Die Demonstratoren präsentieren beispielhaft die Anwendbarkeit der Biokunststoff-Platte

### 5.5.1 Mooswand

Die Möglichkeit Halbzeuge mittels Tiefziehen zu Formteilen abzuwandeln bietet auch die Chance zusätzliche Funktionen zu integrieren.

Die mit Moos bestückten Fassadenformteile aus ressourceneffizienten Biokunststoffen demonstrieren eine Anwendungsmöglichkeit thermoverformbarer Halbzeuge auf Basis nachwachsender Rohstoffe. Das dreidimensionale Element sieht Vertiefungen für das Moos vor und entsteht durch das Vakuumverformen einer Platte.



Abb. 14 Fassaden-Moos-Modul ©ITKE, Y. Domuzov

Beim Umformprozess kann an definierten Stellen eine Oberflächenstruktur realisiert werden, die einen Haftgrund für Moosvliese bildet. Moosvliese, die als Rohmatten mit eingebrachten Moosprossen oder als fertig kultivierte Matten erhältlich sind, werden mit einem pflanzenverträglichen, wasserfesten Kleber befestigt. Des Weiteren wäre eine Anspritzbegrünung mit Moosprossen möglich. Bei der Verwendung von Moosprossen erhält man nach ungefähr eineinhalb Jahren einen ca. 1,5cm hohen Moos-teppich. Je nach Ausrichtung der Moosmodule bei der Montage, können zahlreiche ornamentale Strukturen

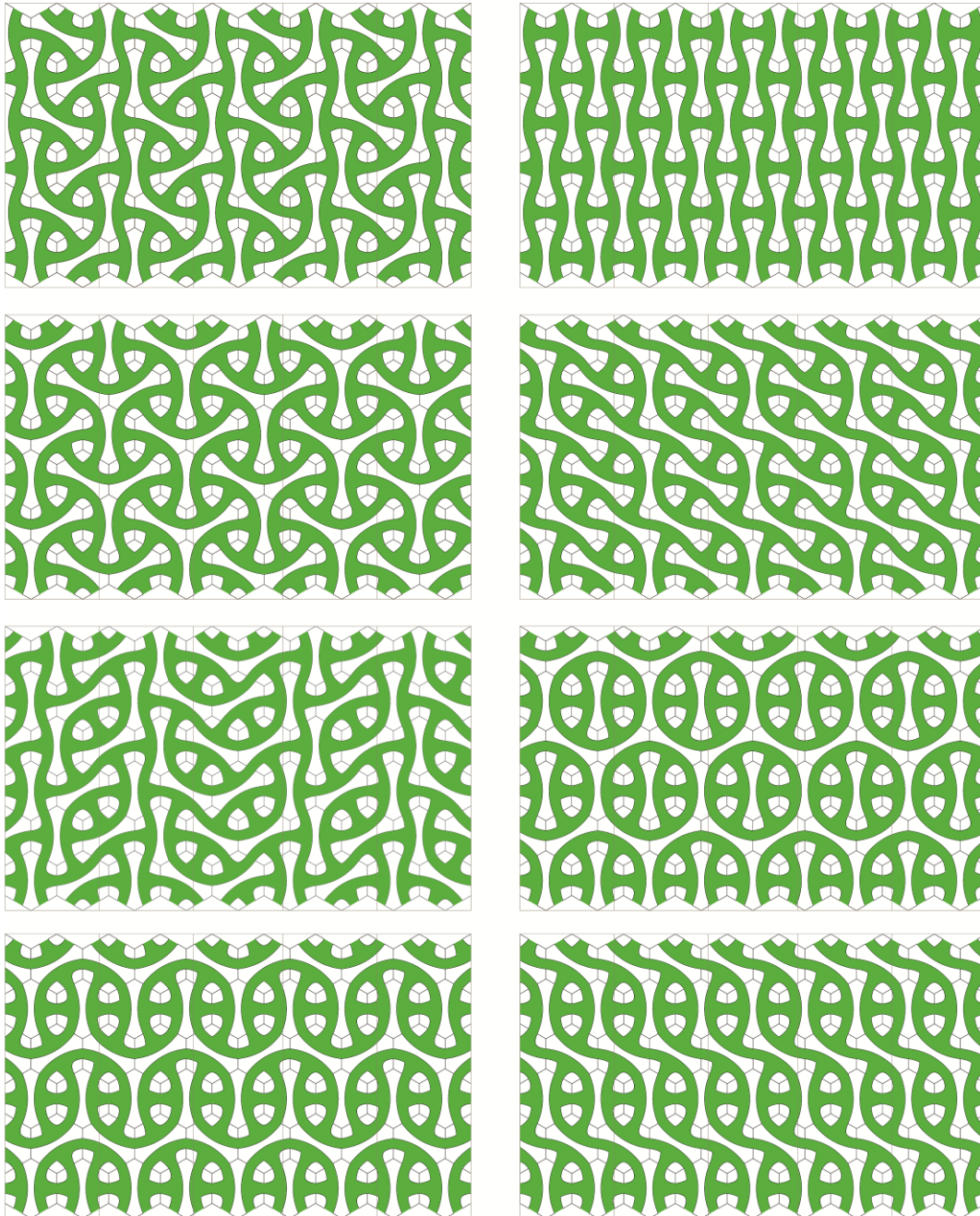


Abb. 15 Je nach Orientierung können unterschiedliche Strukturen erzielt werden ©ITKE

**Vorteile der Moos-Bestückung:**

Feinstäube, welche hauptsächlich aus Ammoniumnitrat bestehen, werden von Moos als Dünger aufgenommen und direkt in Pflanzenmasse umgesetzt.

Organische Substanzen aus Ruß und Reifenabrieb ernähren Bakterien, die auf Moosen leben. Diese Stoffwechselprodukte dienen dem Moos auch als Nahrung.

1cm<sup>3</sup> Moos weist eine Oberfläche von 0,17m<sup>2</sup> auf. Diese Oberflächenvergrößerung im Faktor 30 ermöglicht eine sehr gute Schallabsorption.

**Fertigung:**



Abb. 16 Tiefziehwerkzeug  
©BAUER THERMOFORMING



Abb. 17 Biokunststoffplatte im Tiefziehrahmen

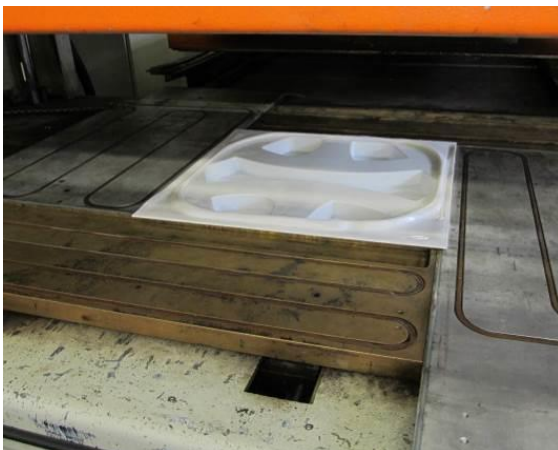


Abb. 18 Tiefziehen  
©BAUER THERMOFORMING

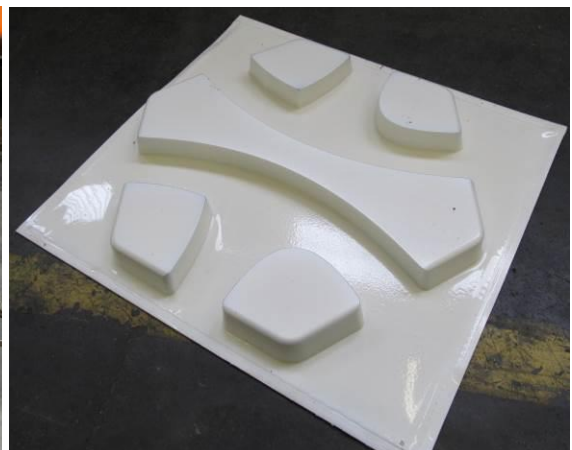


Abb. 19 Tiefgezogenes Formteil



Abb. 20 Entfernen des Tiefziehrandes mittels CNC-Fräsen ©BAUER THERMOFORMING  
Abb. 21 Fräsabfälle ©BAUER THERMOFORMING

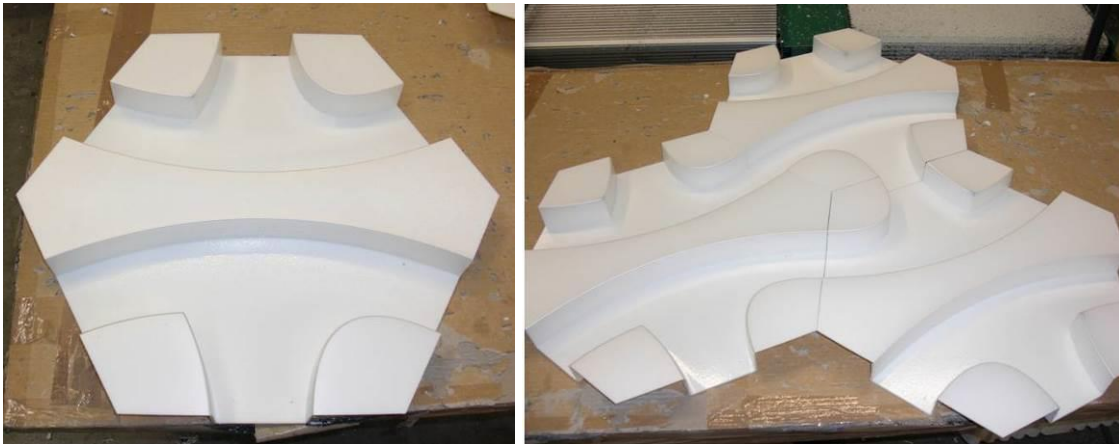


Abb. 22 Formteile ohne Tiefziehrand ©BAUER THERMOFORMING

Das Moos wurde mit einem organischen Kleber in die Vertiefungen des Moos-Moduls geklebt. Im realen Anwendungsfall könnte man anstatt vorkultivierter Moos-Matten auch Moos-Sprossen verwenden, so dass die Fassade dann an behandelten Stellen nach ca. 12 bis 18 Monaten bemoost wäre.



Abb. 23 Exemplarische Mooswand als Ausstellungsobjekt auf dem Gemeinschaftsstand Baden Württemberg der Leitmesse GreenTech auch der Hannover Messe 2013 ©ITKE

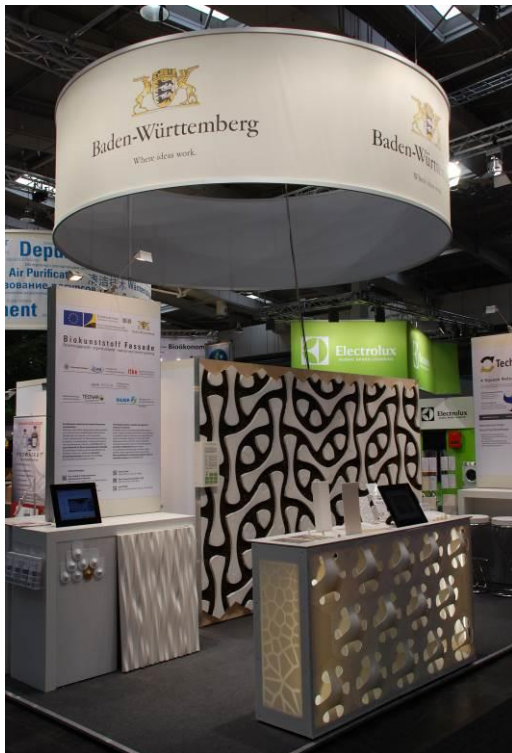


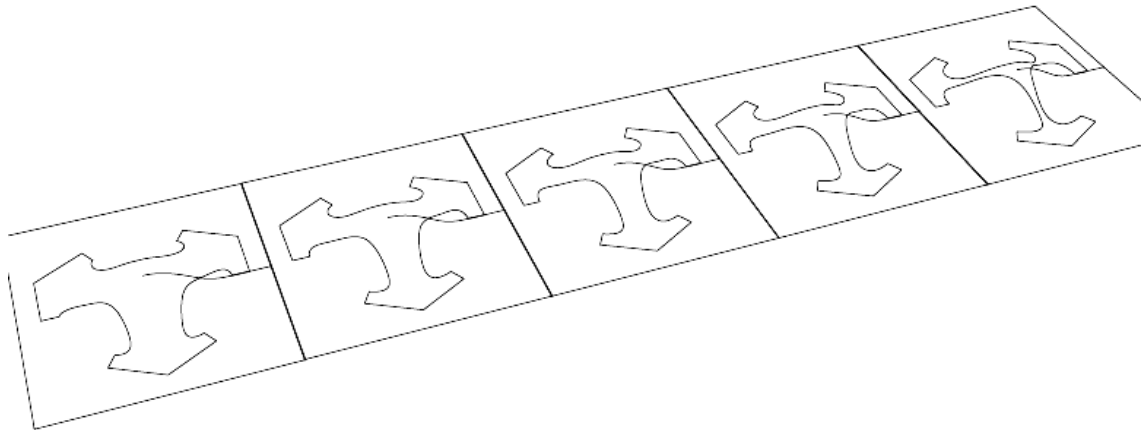
Abb. 24 Gemeinschaftsstand Baden-Württemberg auf der Hannover Messe 2013 ©ITKE  
 Abb. 25 Besuch des Ministerpräsidenten W. Kretschmann am Gemeinschaftsstand

### 5.5.2 Ausstellungstheke - Thekenfront



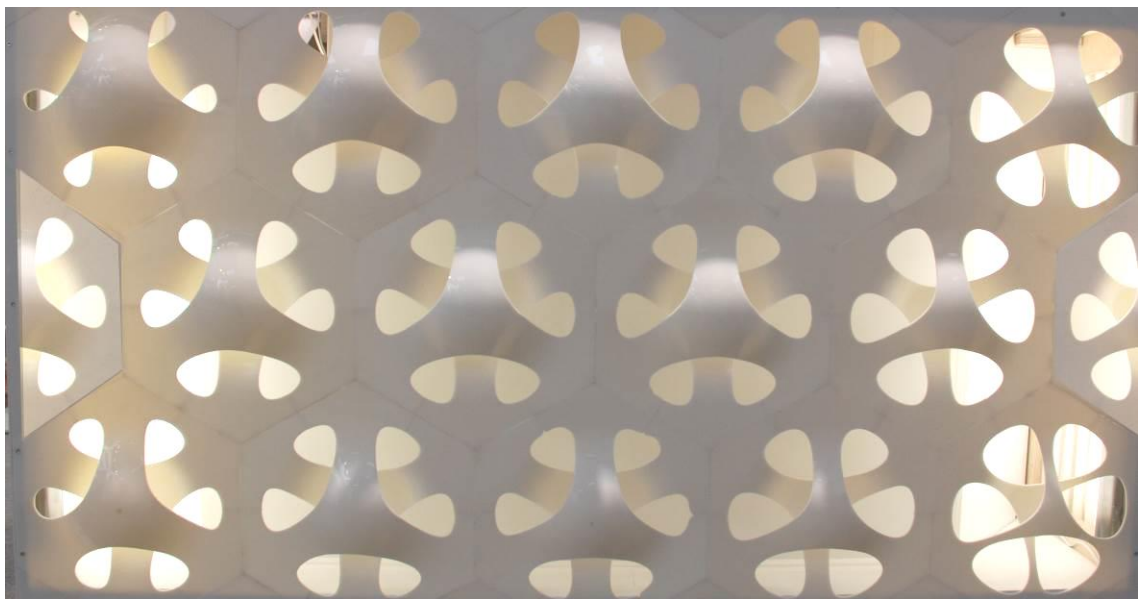
Abb. 26 und Abb. 27 CNC-Konturfräsen @ITKE





*Abb. 28 unterschiedliche Fräspfade auf das gleiche Formteil angewendet ©ITKE*

Das notwendige Nachbearbeiten durch CNC-Fräsen ermöglicht Formteilvariationen durch Verwendung unterschiedlicher Fräspfade bei gleichen Formteilen.



*Abb. 29 Konturfräste Biokunststoff-Formteile wurden miteinander verschweißt ©ITKE*



*Abb. 30 Ausstellungstheke auf der Hannover Messe 2013*

### **5.5.3 Trapezwellen-Paneele**



*Abb. 31 und Abb. 32 Steckverbinder Trapezwellen-Paneele und Montage ©spek DESIGN*

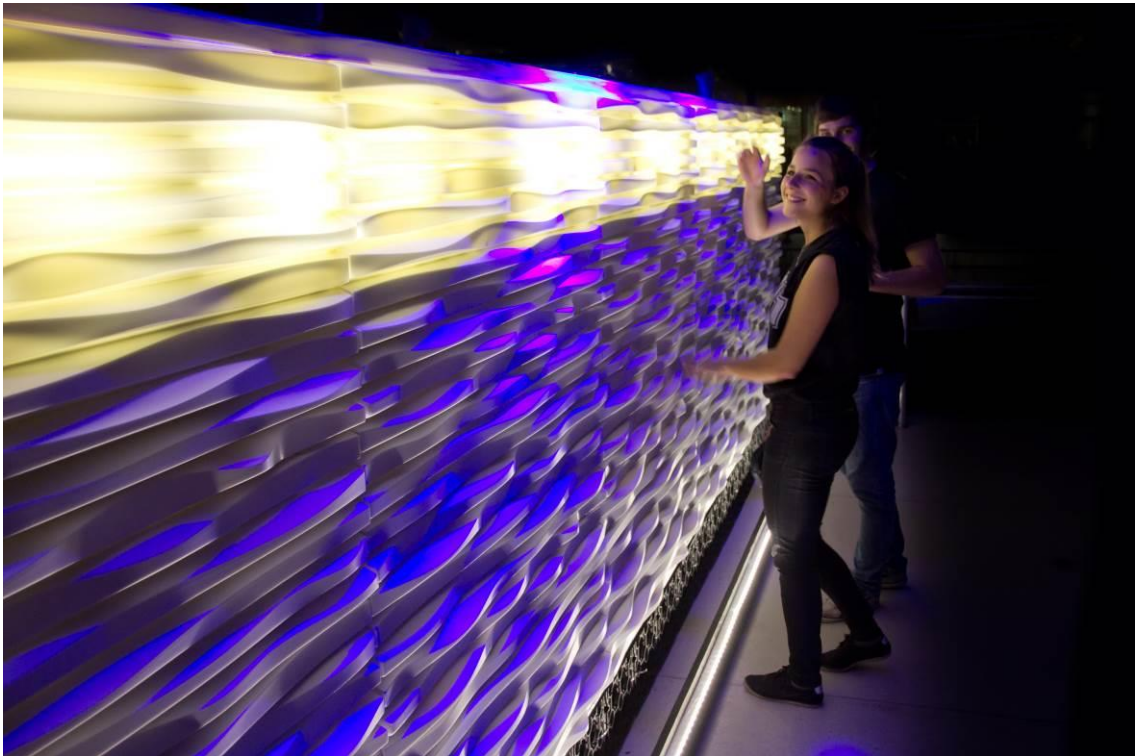


Abb. 33 Trapezwellen-Profile beim Arch-Fest 2013 der Uni Stuttgart ©Studenten WS 12/13



Abb. 34 Trapezwellen-Profile als Medienwand auf dem BIOPRO-Stand der Biotechnika 2013 ©spek DESIGN



*Abb. 35 Trapezwellen-Profile auf der Einweihung des Mock-Ups ArboSkin am 17.10.13 ©spek DESIGN*



*Abb. 36 Wand mit Trapezwellen-Profilen im Hintergrund: Einweihung ArboSkin am 17.10.13 unter Beisein von Minister Franz Untersteller MdL ©KD Busch*

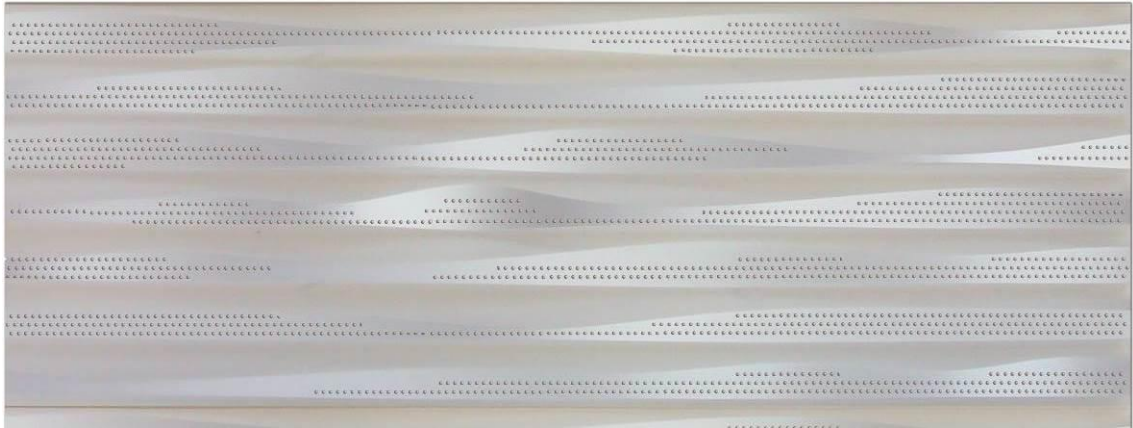


Abb. 37 Trapez-Wellen-Profil als Akustik-Paneel

#### 5.5.4 Fassaden-Mock-Up ArboSkin

Im Forschungsprojekt *'Frei formbare Halbzeuge aus vorwiegend nachwachsenden Rohstoffen für die Anwendung in Innen- und Außenräumen'* soll der Prototyp einer tiefziehbaren Biokunststoff-Platte entstehen, der zur nachhaltigen Materialisierung von Freiformflächen eingesetzt werden kann.

Dass dies im Projekt gelungen ist, wollte man mit dem Biokunststoff-Fassaden Mock-Up *ArboSkin* demonstrieren. Der Fassaden Mock-Up kann aus einem Tiefziehwerkzeug hergestellt werden. Die Anwendung unterschiedlicher Fräspfade beim Konturfräsen der pyramidalen Formteile ermöglicht die Bekleidung einer doppelt gekrümmten Geometrie mit 388 unterschiedlichen Pyramiden. Es wurde ein bestehendes Gebäude auf dem Universitäts-Campus in Stuttgart Stadtmitte eingekleidet.

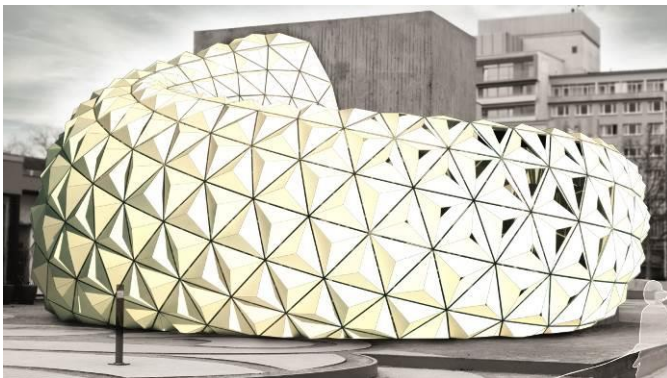


Abb. 38 Rendering Mock-Up ©ITKE



Abb. 39 Plattenextrusion ©spek

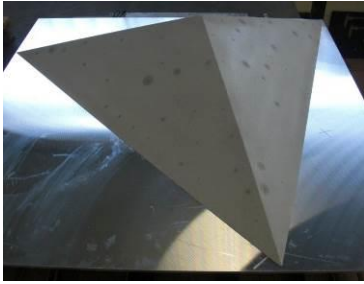


Abb. 40 Tiefziehwerkzeug ©BAUER THERMOFORMING

Abb. 41 Tiefziehvorgang ©BAUER THERMOFORMING

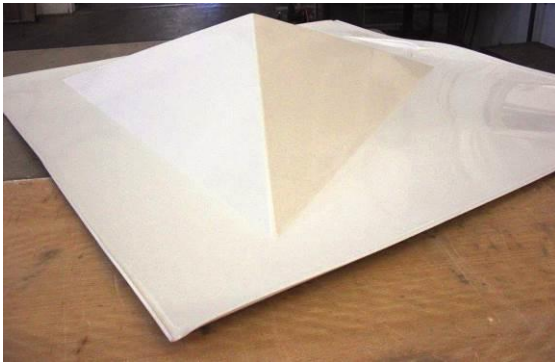


Abb. 42 Pyramidenformteil mit Tiefziehrand  
©BAUER THERMOFORMING

Abb. 43 grobes Entfernen des Randes

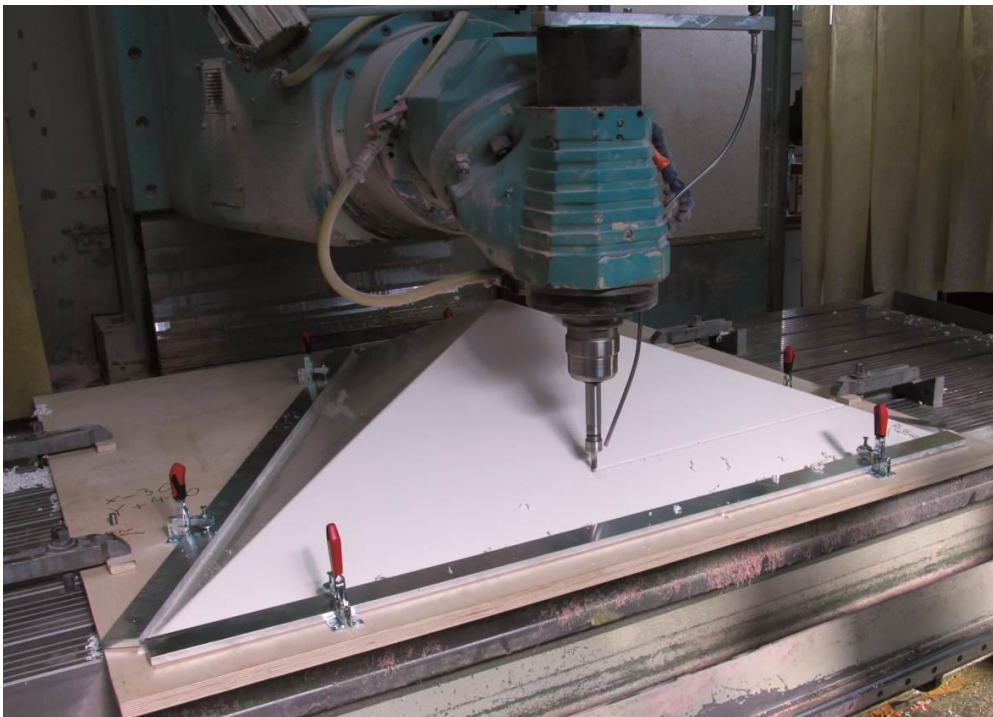


Abb. 44 Konturfräsen des Pyramidenformteils im Opferbett ©BAUER THERMOFORMING



Abb. 45 und Abb. 46 Plattenabfälle ©BAUER THERMOFORMING



Abb. 47 Shreddern der Plattenabfälle    Abb. 48 Regranulierung ©BAUER THERMOFORMING

### Fertigungskonzept

Extrudierte Platten aus den von TECNARO im Projekt entwickelten Biokunststoffen werden zunächst zu gleichen pyramidalen Formteilen tiefgezogen. Der Projektpartner BAUER THERMOFORMING ist Experte beim Tiefziehen dickwandiger Biokunststoffplatten. Das ohnehin notwendige Konturfräsen der Formteile ermöglicht zahlreiche Formteilvariationen, indem gleiche Tiefziehteile durch unterschiedliche CNC-Fräspfade ungleich beschnitten werden. Dadurch wird die Bekleidung einer beliebigen Freiformfläche mit einem einzigen Formteil möglich. Die Kunststoffabfälle, die bei der CNC-Nachbearbeitung entstehen, werden regranuliert und gehen direkt wieder in die Plattenextrusion ein. Am Ende der Nutzungsdauer können die Fasadensplatten nahezu CO<sub>2</sub>-neutral verwertet oder kompostiert werden.

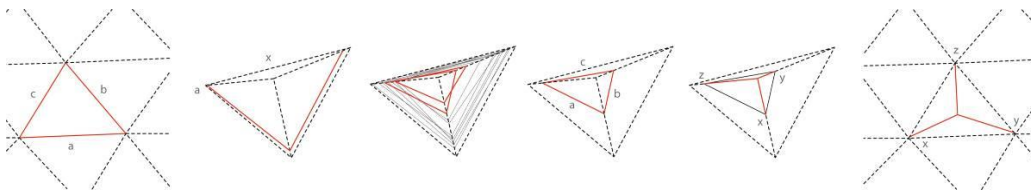


Abb. 49 Prinzip-Skizze: Realisierung von Freiformflächen aus gleichen Tiefziehformteilen, die durch unterschiedliche Fräspfade ungleich beschnitten werden ©M. Loucka

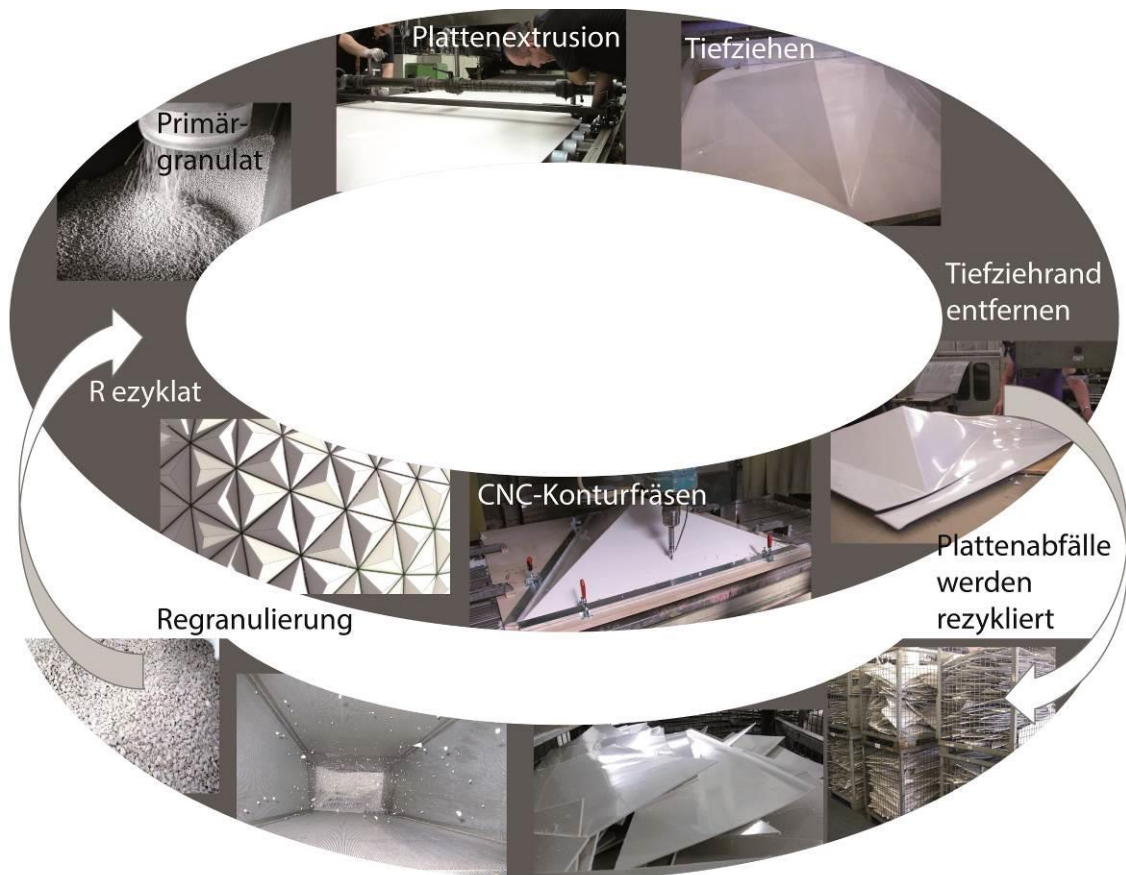


Abb. 50 Fertigungskonzept © C. Köhler



Abb. 51 Unterkonstruktion





Abb. 52 Aufbau des Mock-Up

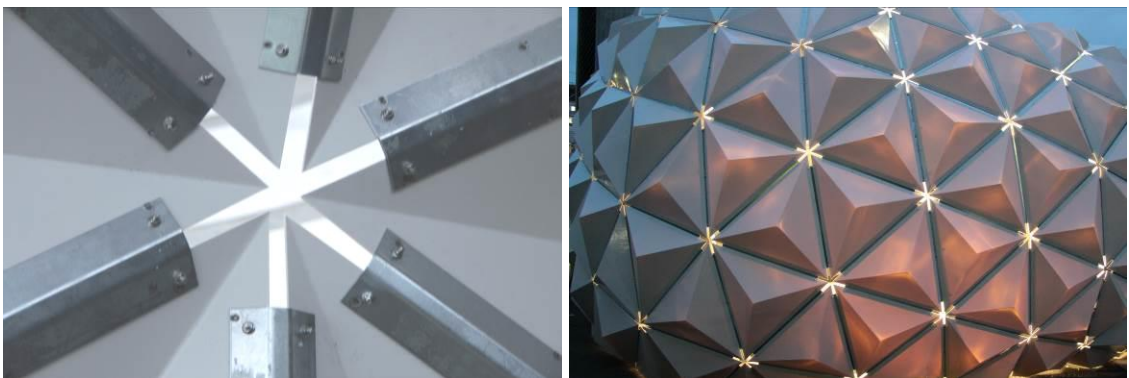


Abb. 53 Detail ArboSkin

Abb. 54 Beleuchtung ArboSkin © M.R.Hammer

### Tragkonstruktion und Statische Berechnungen <sup>7</sup>

Die frei geformte Biokunststoff-Elementfassade funktioniert insgesamt als ein Plattenschalen-Tragwerk mit zusätzlichen lastabtragenden und versteifenden Randring- und Zwischenträgern. Im Gegensatz zu üblichen, nicht-tragenden Fassadenkonstruktionen ist im vorliegenden Fall die Schalentragwirkung der doppelt gekrümmten Haut aus miteinander gekoppelten, 3,5mm dicken Biokunststoff-Pyramiden zu Mittragwirkung und zur Aussteifung des Gesamtsystems herangezogen worden. Diese innovative Maßnahme zeigt zum einen das Potential des modifizierten Biokunststoffes als steifes (bis  $E \approx 4000 \text{ N/mm}^2$ ) Material mit geringer Eigengewichtslast ( $13 \text{ kN/m}^3$ ) für Außenanwendungen, zum anderen ermöglicht dies eine Fassadenkonstruktion mit einer minimierten Zahl von Auflagerpunkten bzw. Festhaltungen am dahinterliegenden Rohbau. Die versteifende Fassaden-Unterkonstruktion besteht aus zwei horizontalen Randringträgern aus Stahlrohren ( $d=48.3 \text{ mm}$ ,  $t=2.9 \text{ mm}$ ), an welchen in regelmäßigen Abständen dreidimensional gekrümmte, Fassaden-Zwischenrohrträger ( $d=48.3 \text{ mm}$ ,  $t=2.9 \text{ mm}$ ) exzentrisch mittels Gerüstverbindern angeschlossen sind. Die Gerüstverbinder erlauben un-

behinderte Rotation nur um die Achse orthogonal zu beiden verbundenen Rohren; alle anderen Translationen und Rotationen (letztere allerdings mit Drehfederwirkung) werden übertragen. Die beschriebene Fassaden-Unterkonstruktion wird am bestehenden Fluchttreppenhaus befestigt, wo vor allem horizontale Auflagerkräfte aus Windlasten und zum Teil aus Schnee und Eigengewicht aufgenommen werden müssen. Vertikale Auflagerkräfte werden überwiegend direkt in den Boden geführt; einige allerdings auch über das Dach und die Attika in das Treppenhaus.

Die Stahlrohrkonstruktion ist an sich allerdings weder hinreichend ausgesteift, noch sind die Dimensionen der Rohre ausreichend, um alleine tragen zu können. Daher werden die Felder zwischen den Zwischenträgern durch die Hüllkonstruktion aus dreieckigen Kunststoffpyramiden in der doppelt gekrümmten Hüllfläche ausgesteift. Dabei wird außerdem noch das Schalentrageverhalten der doppelt gekrümmten Kunststoffhülle ausgenutzt. Die Kunststoffpyramiden sind über angeschraubte Verbindungsbleche ( $t=1.5\text{mm}$ ) miteinander linear verbunden; die Eckpunkte bleiben ausgespart. Im FE-Modelle des Tragwerks ist diese Verbindung, die eine begrenzte Biegesteifigkeit aufweist, mit entsprechenden, exzentrischen Schalenelementen modelliert worden. Die Steifigkeit der Bleche ist, wo nötig, lokal durch eine Aufdopplung erhöht. Die linearen Blechverbinder werden je Fügekante mit drei kurzen, stabartigen Verbindern (Gewindestangen / Schrauben) über Rohrschellen an den vertikalen Fassadenträgern und den horizontalen Ringprofilen am Rand befestigt. Die Rohrschelle wird dabei mit einer Einspannung in das Vertikalrohr modelliert, wohingegen ihr Anschluss an die Hüllflächen-Verbinderbleche gelenkig angenommen ist. Diese Konstruktionsweise bietet sowohl die nötige Steifigkeit des Anschlusses der Hüllschale an die Stahlrohre darunter als auch die für die bauliche Umsetzung notwendige Flexibilität für die auftretenden Toleranzen. Hierbei tritt auch Schlupf auf, der in der detaillierten FE-Modellierung durch die angesetzten Fügehypthesen berücksichtigt ist. Die Krümmung der Fassade muss stets einen ausreichender Stich bieten, der auch durch Schlupf beziehungsweise Konstruktionstoleranzen nicht verschwinden darf, um eine abschnittsweise der Planarität der Fassade zu vermeiden.

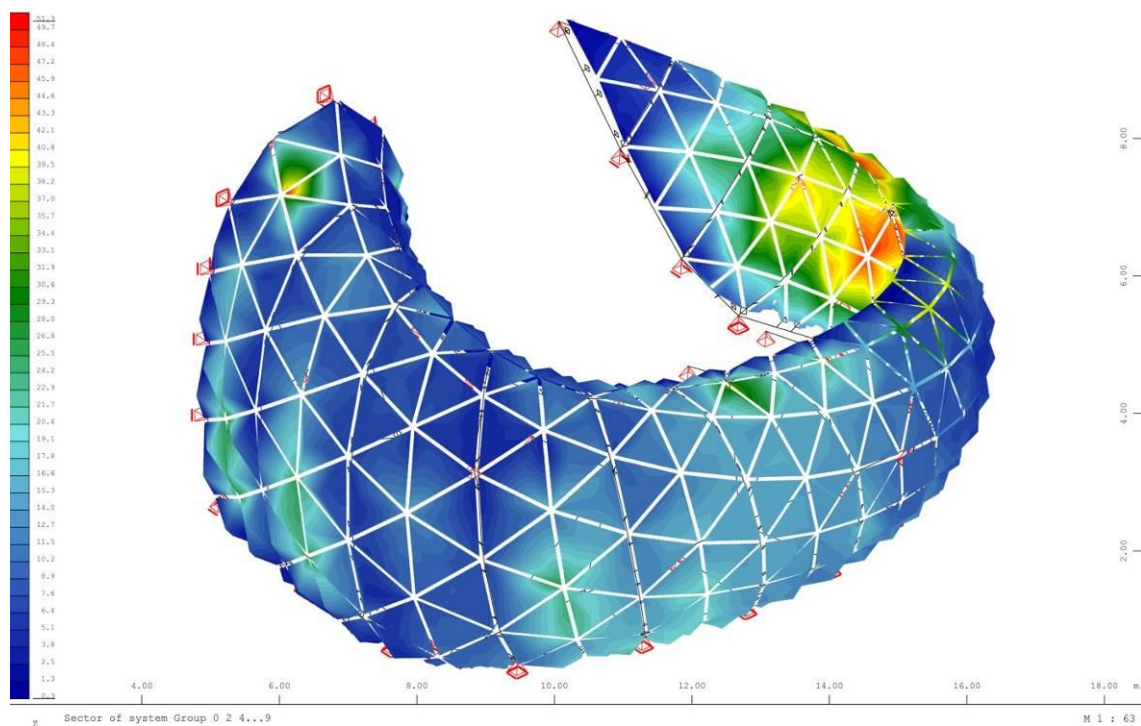


Abb. 55 FE-Modell Wind- und Schneelasten ©T. Fildhuth

### Daten Mock-Up:

Standort:	Keplerstr. 11-17/ Unicampus Stadtmitte
Fertigstellung:	Oktober 2013
Standzeit:	17.10.2013 – 31.03.2014
Fassadenfläche:	144m <sup>2</sup>
Material:	Biobasierter, mit Flammschutz ausgerüsteter Thermoplast aus >90% nachwachsenden Rohstoffen
Bestandsgebäude:	Fluchttreppenhaus des Hörsaals M17.02



Abb. 56 und Abb. 57 Biokunststoff-Mock-Up ©Roland Halbe

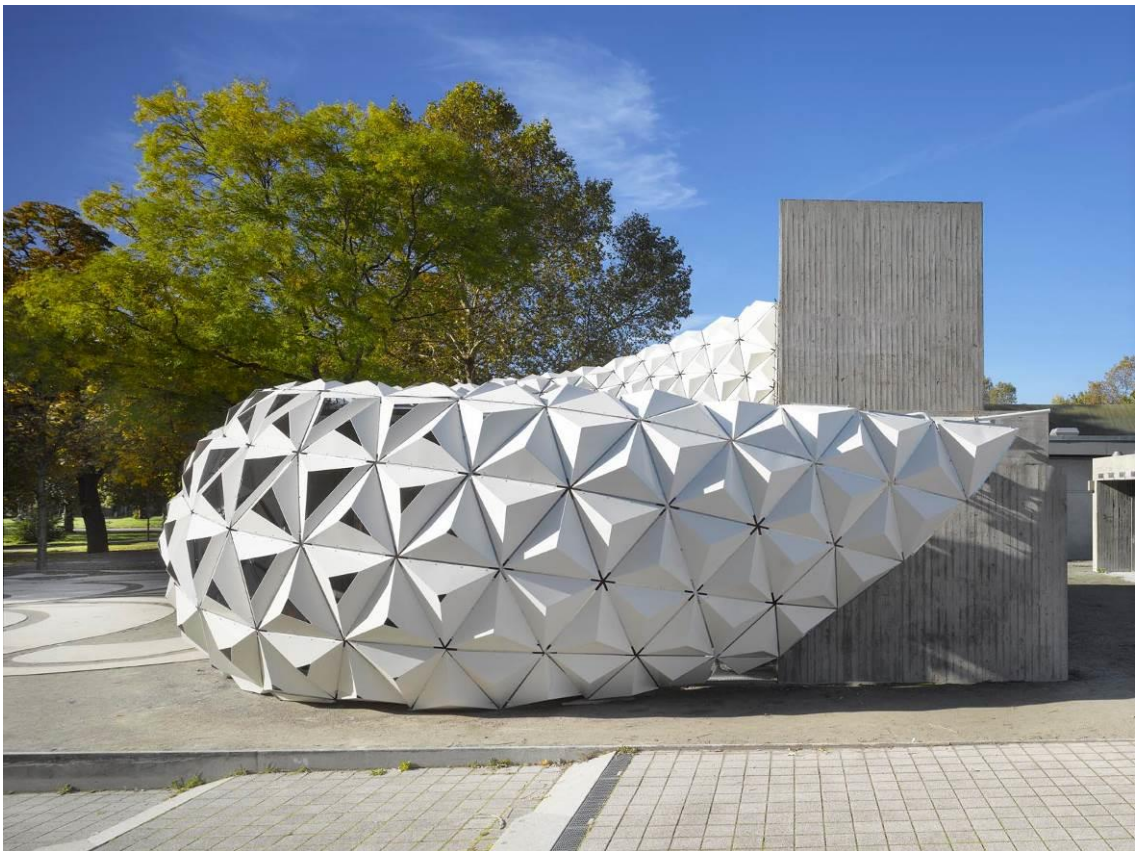


Abb. 58 Biokunststoff-Mock-Up ©Roland Halbe



Abb. 59 Biokunststoff-Mock-Up ©Roland Halbe

## 5.6 Ökologische Bewertung

Bei der Herstellung des im Projekt modifizierten Biokunststoffes wird pro 100 Quadratmeter eines 3mm dicken Halbzeuges 56MJ nicht regenerierbare energetische Rohstoffe benötigt. Für die Herstellung von 100 Quadratmeter Plexiglas (PMMA) sind 1122 MJ erforderlich - zur Fabrikation der gleichen Menge Faserzement das 200-fache.

Nicht regenerierbare energetische Ressourcen (MJ/ 100 m <sup>2</sup> )	Herstellung	Verpackung	Transport	Nachpflege	Recycling/ Beseitigung	Total Energie
Polycarbonat	1020	551	22	36	5	1634
Plexiglas	1122	505	20	36	4	1686
Biokunststoff	56	551	22	36	5	669
Holzplatte	71	311	12	36	3	433
Faserzement	12724	1400	55	36	5	14220
Aluminium	3323	1145	45	36	-1887	2662

Tabelle 1 Vergleich des Energiebedarfs beim Lebenszyklus verschiedener Baustoffe <sup>8</sup>

Das Treibhausgaspotential für die Herstellung von 100 Quadratmeter Biokunststoffplatte (3mm) beträgt 823Kg CO<sub>2</sub> Äquivalent. Für die Beseitigung 108Kg CO<sub>2</sub> Äquivalent. Bei der Herstellung von 100m<sup>2</sup> Polycarbonat wird doppelt so viel CO<sub>2</sub> freigesetzt. Die Beseitigung schlägt mit einer zehnfach höheren Emissionsmenge zu buche.

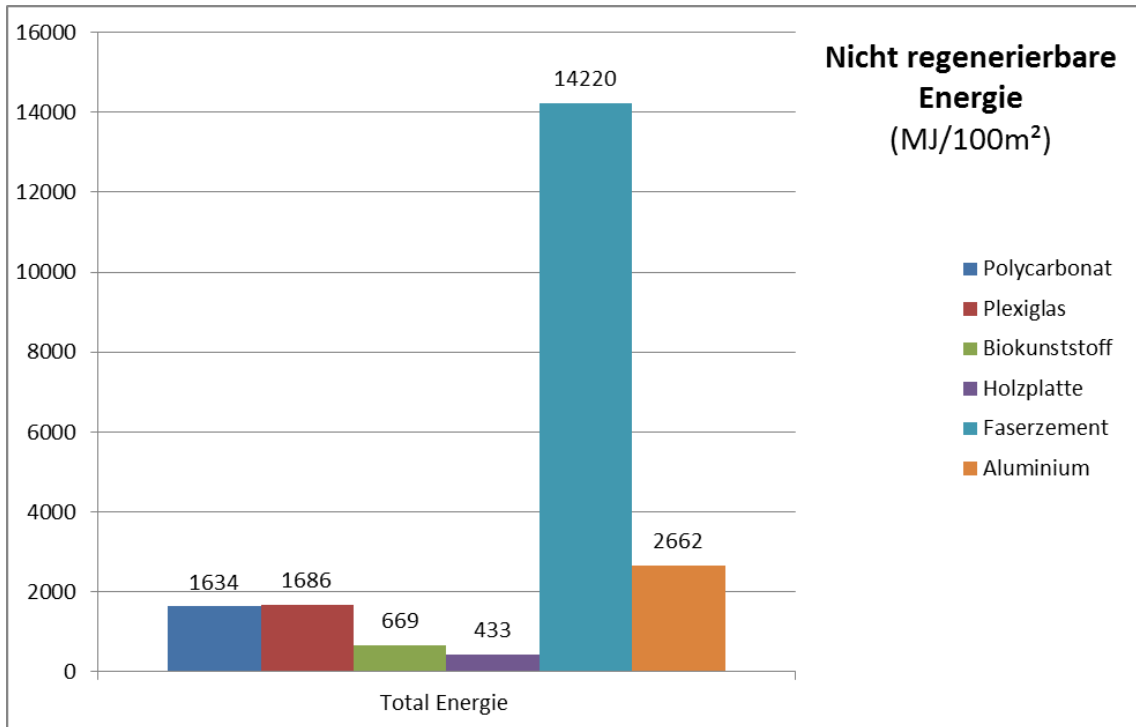


Abb. 60 Vergleich des Energiebedarfs beim Lebenszyklus verschiedener Baustoffe <sup>9</sup>

Die Ergebnisse beziehen sich auf 100m<sup>2</sup> Plattenware mit einer Materialstärke von 3mm.

Treibhausgaspotenzial (Kg CO <sub>2</sub> Äqv/100m <sup>2</sup> )	Herstellung	Verpackung	Transport	Nachpflege	Recycling/Beseitigung	Total Emissionen CO <sub>2</sub> Äqv.
Polycarbonat	1673	86	2	2	1080	2843
Plexiglas	3002	79	1	2	785	3870
Biokunststoff	823	86	2	2	108	1020
Holzplatte	190	48	1	2	61	302
Faserzement	1134	218	4	2	12,9	1370
Aluminium	9639	178	3	2	-6666	3156

Tabelle 2 Vergleich des Treibhauspotentials beim Lebenszyklus verschiedener Baustoffe <sup>10</sup>

Stoffe	PC	PMMA	Faserzement	Aluminium	Biokunststoff	MDF
Gewicht Platte (Kg/m <sup>2</sup> )	3,9	3,6	9,9	8,1	3,9	2,2
Dicke (mm)	3	3	6	3	3	3

Tabelle 3 Gewicht und Dicke verschiedener Baustoffplatten <sup>11</sup>

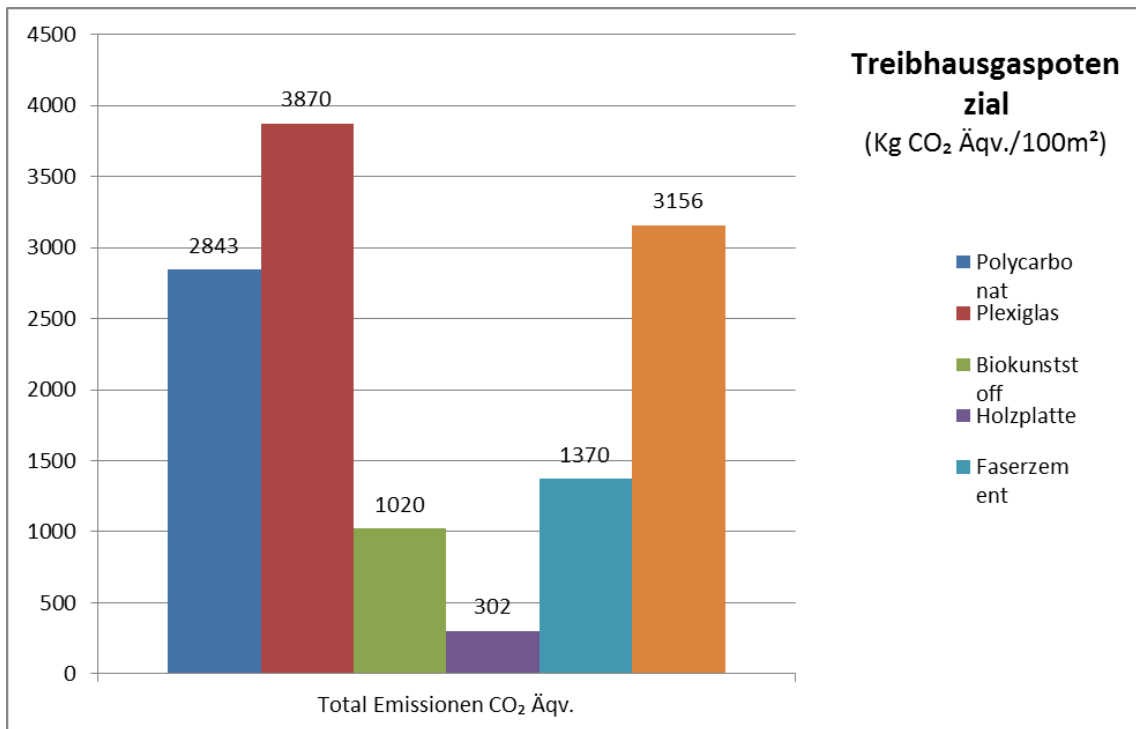


Abb. 61 Vergleich des Energiebedarfs beim Lebenszyklus verschiedener Baustoffe <sup>12</sup>

## 5.7 Ökonomische Bewertung

Der modifizierte Biokunststoff kann zu konkurrenzfähigen Preisen produziert werden und lässt sich auf konventionellen Maschinen der Kunststoff verarbeitenden Industrie zu Platten extrudieren.

## 6 Ergebnisse und Nutzen

Das Ziel, prototypische Halbzeuge zu produzieren, die sich umformen lassen, konnte erreicht werden. Das Compound besteht zu über 90% aus nachwachsenden oder mineralischen Rohstoffen, die nicht erdölbasiert sind. Der Werkstoff ließe sich abzüglich rohölbasierter Komponenten CO<sub>2</sub>-neutral verwerten. Die bevorzugte Entsorgung ist der biologische Abbau in Industrie-Kompostierungsanlagen. Durch Verwendung eines umweltfreundlichen Flammschutzmittels bleiben keine toxischen Rückstände zurück.

Es konnte gezeigt werden, dass Plattenabfälle, die beim Entfernen des Tiefziehrandes anfallen, regranuliert und zu Platten extrudiert werden können.

Da zur Herstellung des Biokunststoff-Fassaden-Mock-Ups vier Tonnen Kunststoffgranulat auf großen Maschinen zu Platten extrudiert wurde, ist die Übertragbarkeit in einen kontinuierlichen Fertigungsprozess gegeben (kein Laborextruder). Durch den Aufbau des Demonstrators *ArboSkin* mit einer Fassadenfläche von 144m<sup>2</sup> konnte gezeigt werden, dass die Fassadenbekleidung von Gebäuden mit dem entwickelten Prototyp möglich wäre.

Das von TECNARO modifizierte Granulat lässt sich auch für andere Außenanwendungen einsetzen. Des Weiteren ist gewiss auch ein Einsatz im Innenraum möglich. Vor allem in öffentlichen Gebäuden gelten verschärfte Brandschutzanforderungen.

Angewendet werden könnte die Platte

- Direkt, ohne Weiterbearbeitung
- Als ebene Platte mit tiefgezogenen Oberflächenstrukturen für konventionelle Gebäude mit ebenen Wänden im Innen- oder Außenraum
- Als einfach oder doppelt gekrümmte Formteile zur Innen- oder Außenwandbekleidung

Durch die vielfältigen Einsatzmöglichkeiten könnte sich auch ein größerer Absatzmarkt ergeben.



## 7 Verwertungspläne

Die Partner TECNARO und BAUER THERMOFORMING werden die Markteinführung der prototypischen Platte zur Markteinführung vorantreiben und noch notwendige Materialprüfungen durchführen (lassen).

TECNARO wird vornehmlich die Granulate, gegebenenfalls auch Platten und BAUER THERMOFORMING die Platten vertreiben, sowie die Dienstleistung des Tiefziehens dickwandiger Platten aus vorwiegend biobasierten Kunststoffen anbieten.

Das ISWA spek DESIGN und das ITKE sind weiterhin forschend und beratend in anderen Forschungsprojekten tätig.

### 7.1 Veröffentlichungen

Die Inhalte und Ergebnisse des Forschungsprojektes wurden und werden auch weiterhin von allen Partnern auf Messen und anderen Veranstaltungen präsentiert.

#### **Messeauftritt Hannover Messe April 2013**

<http://www.umwelttechnik-bw.de/industrialgreentec-2013-aussteller.html>

<http://wip-kunststoffe.de/wip/nachrichten/967538-biokunststoff-fassaden-fuer-saubere-luft-in-innenstaedten/>

<http://www.nachhaltige-produktion.de/umwelt-schutz/articles/399669/>

#### **Biotechnika Oktober 2013**

Medienwand aus Biokunststoffen: Trapezwellenprofil von spek design

#### **Einweihung Fassaden-Mock-Up Arboskin Oktober 2013**

<http://www.detail.de/architektur/news/freie-form-brennt-schwer-biokunststoff-fassadenelemente-022107.html>

<http://www.stuttgarter-zeitung.de/inhalt.nachhaltigkeit-kompostierbare-haeuserhuellen.62acadc4-c944-43ec-aa6e-1176e8ef0a13.html>

<http://idw-online.de/pages/de/news557149>

<http://www.stuttgarter-nachrichten.de/inhalt.universitaet-stuttgart-fassade-fuer-die-biotonne.a4a15a0d-6a73-4099-b98e-4a32eda04ad7.html>

<http://www.schwarzwaelder-bote.de/inhalt.lokales-haeuserfassaden-fuer-den-kompost.f1b54537-0896-46b5-8807-8c911ebdda2d.html>

<http://www.kreativ.region->

[stutt-](http://www.kreativ.region-)

[gart.de/termine/detail/calendar/2013/10/17/event/tx\\_cal\\_phpicalendar/Biokunststoff\\_Fassade\\_Einweihung\\_des\\_Mock\\_ups/](http://www.kreativ.region-stutt-gart.de/termine/detail/calendar/2013/10/17/event/tx_cal_phpicalendar/Biokunststoff_Fassade_Einweihung_des_Mock_ups/)

<http://www.bausubstanz.de/news/?id=160>

<http://www.arcade-xxl.de/index.php?news=17503>

<http://bio-based.eu/news/arboskin-fassaden-mock-aus-dauerhaften-und-rezyklierfa%CC%88higen-biokunststoffen/>

<http://www.aktiv-verzeichnis.de/news/150157.html>

**Preisauszeichnung: „Ausgezeichneter Ort im Land der Ideen“ Oktober 2013**

<http://www.land-der-ideen.de/ausgezeichnete-orte/preistraeger/biokunststoff-fassade>

**Video Clip: Aufbau des Biokunststoff-Fassaden Mock-Ups Oktober 2013**

<http://vimeo.com/78329141>

**Veröffentlichung Magazin April 2013**

Carmen Köhler: Biobased plastics for exterior facades. Bioplastics Magazine 04/2013, p. 12-14, ISSN 1862-5258.

**Lehrveranstaltungen**

Push the envelope SS2013 und WS 2013/14

<http://www.itke.uni-stuttgart.de/lehre.php?id=533>

## 8 Ausblick

Bisher sind nach wie vor keine Bauprodukte aus thermoplastischen, biobasierten Kunststoffen auf dem Markt, die hinsichtlich Brandverhalten und Dauerhaftigkeit an die Anforderungen bei Fassadenanwendungen optimiert wurden.

Gegenwärtig stehen noch die Ergebnisse der Brandversuche zur Baustoffklassifizierung aus. Versuche zum Feuerwiderstand konnten aus Zeit- und Budgetgründen nicht mehr durchgeführt werden.

Die Ergebnisse der Brandversuche durch eine Materialprüfanstalt sind unter anderem notwendiger Bestandteil für die Bauaufsichtliche Zulassung als Bauprodukt durch das Deutsche Institut für Bautechnik (DIBT).

Für die spätere Vermarktung des Bauproduktes „Biokunststoff-Platte“ wäre zudem eine Zertifizierung hilfreich. Der TÜV- Rheinland DIN CERTCO vergibt Siegel, die anzeigen, wie hoch der biobasierte Anteil im Produkt ist. Anerkannte Prüflaboratorien müssen vorher den gesamtorganischen Kohlenstoffanteil, sowie den Anteil an C<sub>14</sub> bestimmen.<sup>13</sup>



Abb. 5 Qualitätszeichen DIN geprüft, gibt den biobasierten Anteil des Produktes an ©TÜVRheinland

---

<sup>1</sup> Deutsche Norm, DIN 18516-1, Juni 2010: Außenwandbekleidungen, hinterlüftet - Teil 1: Anforderungen und Prüfungsgrundsätze, 5.2.2. Temperatureinwirkungen, Quellen und Schwinden.

<sup>2</sup> Deutsche Norm, DIN 18516-1, Juni 2010: Außenwandbekleidungen, hinterlüftet - Teil 1: Anforderungen und Prüfungsgrundsätze, 5.2.2. Temperatureinwirkungen, Quellen und Schwinden.

<sup>3</sup> [www.sheet.bayerpolymers.com/index.php/fuseaction/download/lrn\\_file/mf0107\\_d\\_131014.pdf](http://www.sheet.bayerpolymers.com/index.php/fuseaction/download/lrn_file/mf0107_d_131014.pdf)

<sup>4</sup> [www.plexiglas.de/sites/dc/Downloadcenter/Evonik/Product/PLEXIGLAS-Sheet/PLEXIGLAS/211-1-PLEXIGLAS-GS-XT-de.pdf](http://www.plexiglas.de/sites/dc/Downloadcenter/Evonik/Product/PLEXIGLAS-Sheet/PLEXIGLAS/211-1-PLEXIGLAS-GS-XT-de.pdf)

<sup>5</sup> [www.auer-kunststofftechnik.de/pdf/Datenblatt%20PMMA%20XT,%20transp..pdf](http://www.auer-kunststofftechnik.de/pdf/Datenblatt%20PMMA%20XT,%20transp..pdf)

<sup>6</sup> Dr. Michael Schweizer, TECNARO GmbH

---

<sup>7</sup> Dipl.-Ing. Thiemo Fildhuth

<sup>8</sup> Michaela Berechet, Universität Stuttgart, Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte- und Abfallwirtschaft (ISWA)

<sup>9</sup> Michaela Berechet, Universität Stuttgart, Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte- und Abfallwirtschaft (ISWA)

<sup>10</sup> Michaela Berechet, Universität Stuttgart, Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte- und Abfallwirtschaft (ISWA)

<sup>11</sup> Michaela Berechet, Universität Stuttgart, Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte- und Abfallwirtschaft (ISWA)

<sup>12</sup> Michaela Berechet, Universität Stuttgart, Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte- und Abfallwirtschaft (ISWA)

<sup>13</sup> [www.dincertco.de/de/din\\_geprueft\\_biobasiert\\_fuer\\_mehr\\_nachhaltigkeit.html](http://www.dincertco.de/de/din_geprueft_biobasiert_fuer_mehr_nachhaltigkeit.html)