

Technische Universität Berlin  
FG Entwerfen und Konstruieren – Verbundstrukturen  
Institut für Bauingenieurwesen

# **TIB-Pavillon – innovatives Verbundfassadensystem aus Purenit und PUR-Spritzelastomer**

Abschlussbericht über ein Forschungs- und Experimentalprojekt,  
gefördert unter dem Az: 28905 von der  
Deutschen Bundesstiftung Umwelt

von

Prof. Dr. Ing Volker Schmid & Dipl. Ing. Stefan Behring

Berlin

Mai 2013

**Technische Universität Berlin**  
**Fachgebiet Entwerfen und Konstruieren-Verbundstrukturen**

Sekretariat TIB1- B 11  
Gustav-Meyer-Allee 25  
13355 Berlin

**Prof. Dr.-Ing. Volker Schmid**

Sekretariat  
Tel +49 (0)30 314 72162  
Fax+49 (0)30 314 72160  
[sekretariat@ek-verbundstrukturen.tu-berlin.de](mailto:sekretariat@ek-verbundstrukturen.tu-berlin.de)  
[www.ek-verbundstrukturen.tu-berlin.de](http://www.ek-verbundstrukturen.tu-berlin.de)



# Inhalt

Inhalt .....	1
Abbildungsverzeichnis.....	3
1. Zusammenfassung .....	4
2. Einleitung .....	4
3. Integrale Planung und Ausführung .....	6
4. Architektonisches Konzept und Konstruktion .....	7
4.1 Architektonisches Konzept .....	7
4.2 Konstruktion .....	8
4.2.1 Allgemeines.....	8
4.2.2 Statisches Konzept .....	9
4.2.3 Fassaden- und Entwässerungskonzept.....	10
4.2.4 Türen mit Öffnungswinkel von 270° .....	12
5. Einsatz neuer Materialien.....	13
6. Einsatz von Purenit .....	13
6.1 Erstmaliger Einsatz von upcyclierten Polyurethan-Pressplatten für witterungsresistente Fassaden im Hochbau .....	13
6.2 Erstmaliger Einsatz von upcyclierten Polyurethan-Pressplatten in einer Holzkonstruktion ...	14
6.3 Bearbeitung der Purenit-Platten .....	14
6.3.1 Plattenzuschnitt .....	14
6.3.2 Fräsen .....	14
6.3.3 Schleifen.....	15
6.3.4 Bohren .....	16
6.3.5 Einsatz von Stemmwerkzeugen .....	16
6.3.6 Verarbeitung selbstbohrender Holzschrauben .....	16
6.4 Bearbeitungs- und Materialeigenschaften von Purenit .....	16
6.4.1 Werkzeugverschleiß.....	16
6.4.2 Schnittkanten und Kantenschutz.....	16
6.4.3 Oberflächenbeschaffenheit und -behandlung.....	19
6.4.4 Lichtechtheit .....	19
6.4.5 Gefährdung des Personals bei der Werkstoffverarbeitung.....	19
6.5 Tragfähigkeit und Festigkeitseigenschaften von Purenit .....	20
6.5.1 Verbindungsmittel .....	20
6.5.1.1 Abscheren .....	20
6.5.1.2 Kopfdurchziehen.....	21
7. Polyurethan-Spritzbeschichtung.....	24
7.1 Ausführung neuartiger Details mithilfe der PUR-Beschichtung .....	24
7.2 Vorbereitung des zu beschichtenden Purenit-Platten .....	25

7.3	Dokumentation der ausgeführten Details .....	28
7.3.1	Attika .....	28
7.3.2	Gebäudeecken .....	30
7.3.3	Regenablaufrinne .....	31
7.3.4	Oberflächenfehler .....	32
7.3.5	Vergleich von PUR-Dickfilmbeschichtungen mit üblichen Dünnschichtbeschichtungen .....	32
8.	Fazit .....	33
9.	Danksagung .....	33
Literatur .....		34

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	TIB-Pavillon zur Eröffnungsfeier .....	5
Abbildung 2	TIB-Pavillon im geschlossenen Zustand .....	6
Abbildung 3	TIB-Pavillon im geschlossenen Zustand .....	7
Abbildung 4	TIB-Pavillon im geöffneten Zustand.....	7
Abbildung 5	Explosionszeichnung des TIB-Pavillons.....	8
Abbildung 6	Grundriss des TIP-Pavillons.....	8
Abbildung 7	Horizontalschnitt A-A.....	9
Abbildung 8	Aussteifende Wände.....	9
Abbildung 9	Statisches Ersatzsystem .....	10
Abbildung 10	Stoß zwischen zwei Elementen.....	10
Abbildung 11	Entwässerungsrinne im Stoß zwischen zwei Elementen.....	11
Abbildung 12	Tranzuzente Lamellen.....	11
Abbildung 13	Türscharnier .....	12
Abbildung 14	Funktionsweise der Türen .....	12
Abbildung 15	Verriegelungssystem und beschichtete Schließbleche .....	15
Abbildung 16	Kante mit Schleifpapier gebrochen und zugehöriges Schleifpapier.....	15
Abbildung 17	Kante auf der Seite des austretenden / eintretenden Sägeblattes.....	17
Abbildung 18	Abgeplatzte Kante im Eckbereich .....	17
Abbildung 19	Kantenschutz (Theorie und Praxis) .....	18
Abbildung 20	Scher-Lochleibungsprüfung .....	20
Abbildung 21	Kraft-Weg-Diagramm.....	21
Abbildung 22	Modifizierter Aufbau aus [3] / Versuchsaufbau nach DIN EN 1383 .....	21
Abbildung 23	Modifizierte Werkstückaufnahme und eingebauter Prüfkörper.....	22
Abbildung 24	Probekörper nach Versuchsdurchführung .....	23
Abbildung 25	Aufbringen der Beschichtung .....	24
Abbildung 26	Detail integrierte Wasserablaufrinne am Elementstoß.....	24
Abbildung 27	Attika und Wasserablaufrinne nach der Beschichtung .....	25
Abbildung 28	Overspray am Außeneck (links scharfe Kante, rechts gerundete Kante).....	25
Abbildung 29	Fugenausführungen am TIB-Pavillon.....	26
Abbildung 30	Fugen an Plattenstößen mit handelsüblichem Klebeband abgeklebt.....	27
Abbildung 31	Aufwölbung der Beschichtung im Bereich der Dehnfugen im Dach .....	27
Abbildung 32	Fertigungsungenauigkeiten im Bereich der Wasserablaufrinne vor / nach dem Verspachteln .....	28
Abbildung 33	Attika mit Bruchstelle unmittelbar vor dem Beschichten .....	28
Abbildung 34	Attika mit Bruchstelle zwei Wochen nach dem Beschichten .....	29
Abbildung 35	Attika mit Bruchstelle zwei Jahre nach dem Beschichten (Stand April 2013).....	29
Abbildung 36	Attika an Gebäudeecke vor und nach Verspachteln .....	29
Abbildung 37	Attika an der Gebäudeecke nach zweijähriger Standzeit.....	30
Abbildung 38	Schaden an der Gebäudeecke .....	30
Abbildung 39	Regenablaufrinne am Übergang Dach/Fassade vor der Beschichtung .....	31
Abbildung 40	Regenablaufrinne vor der Beschichtung .....	31
Abbildung 41	Regenablaufrinne nach der Beschichtung Stand April 2013 .....	31
Abbildung 42	Blasen in der Beschichtung.....	32
Abbildung 43	Oberfläche der Sitzmöbel des TIB-Pavillons .....	32

## 1. Zusammenfassung

Ziel des kombinierten Forschungs- und Lehrprojektes war die nachhaltige Kombination von Holz mit neuen ressourcenschonenden Materialien und die Demonstration der daraus folgenden, erweiterten technischen und architektonischen Möglichkeiten im Bauen mit Holz. Dazu wurde an einem von Studierenden der Technischen Universität Berlin entworfenen und anschließend selbst gebauten Holz-Pavillon ein neuartiges Fassadensystem mit ungewöhnlichem Entwässerungskonzept erprobt. Die Oberfläche der Fassade besteht aus Upcycling-Polyurethan-Pressplatten, welche mit einer 2-3 mm starken, hochelastischen Polyurethan-Spritzbeschichtung versehen sind.

Der Pavillon dient in den Sommermonaten als Veranstaltungsort und Studententreff. Gleichzeitig wird er von den Wissenschaftlern des Fachgebietes „Entwerfen und Konstruieren – Verbundstrukturen“ für die Evaluation des neuen Fassadensystems genutzt [1].

Der vorliegende Bericht umfasst die Darstellung des architektonischen Konzeptes sowie den Einsatz und die Bearbeitbarkeit der eingesetzten neuen Materialien. Da die verarbeiteten Materialien und deren Kombinationen im konstruktiven Ingenieurbau bisher bauaufsichtlich nicht zugelassen sind, mussten im Vorfeld der statischen Berechnungen und Bauarbeiten Tastversuche zur Abschätzung der Materialeigenschaften durchgeführt werden.

Obwohl durch die laienhafte Ausführung der Studenten keine Industriequalität beim Bau des TIB-Pavillons zu erreichen war, konnte durch die außerordentliche Leistungsfähigkeit der eingesetzten Materialien Purenit in Verbindung mit einer Polyurethan-Spritzbeschichtung ein funktionelles Holzbauwerk mit einer außerordentlichen Wetterbeständigkeit erstellt werden. Insbesondere die Fähigkeit der Polyurethan-Beschichtung Risse und Fertigungsungenauigkeiten von bis zu 3 mm zu überbrücken, erwies sich als sehr hilfreich.

An die Errichtung des TIB-Pavillons schloss sich eine zweijährige Evaluationsphase an, deren Ergebnisse sind Teil des vorliegenden Berichtes.

Der Forschungsbau des TIB-Pavillon wurde von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt unter dem Aktenzeichen 28905-25 gefördert

## 2. Einleitung

Im Jahr 2001 fand der Umzug des Instituts für Bauingenieurwesen der TU Berlin in die, zum Technologie- und Innovationspark Berlin (TIB) umgestaltete, ehemalige Produktionsstätte der AEG Werke statt. Seit dieser Zeit fehlte den Studenten, Professoren und Mitarbeitern des Instituts auf dem neuen Campusgelände ein Cafe o.ä. als informalem Treffpunkt.

Das durchgeführte Projekt basierte auf einer studentischen Initiative die diesen Misstand beheben wollte. In einem Kooperationsprojekt zwischen Studenten des Bauingenieurwesens und der Architektur wurde ein innovativer Pavillon entworfen, geplant, detailliert und von den Studenten anschließend auch selbst gebaut.

Der ca. 34 m<sup>2</sup> große Pavillon nutzt eine Freifläche auf dem weitläufigen und von denkmalgeschützten Industriebauten umgebenen Innenhof des TIB. Mit seinen zwei großen Brückenkrananlagen ist der ebenfalls denkmalgeschützte Innenhof von seiner ursprünglichen Nutzung als Verladeort riesiger Turbinen geprägt. Heute sind viele private Firmen und mehrere Fachgebiete der Technischen Universität Berlin auf dem Gelände angesiedelt, sodass sich der Innenhof an schönen Tagen als Treffpunkt und als Ort zum Verbringen der Pausen hervorragend eignet. Es sollte also ein Gebäude entworfen werden, welches einerseits zum Verweilen einlädt, andererseits aber die strengen Auflagen des Denkmalschutzes erfüllt. Der Pavillon ist ein offener Bau ohne Heizung und damit verbunden ohne Wärmedämmung, der keine luft- und wasserdichte Konstruktion erfordert. Trotzdem musste der ganzjährig Regen, Wind, Sonne, Schnee und Eis ausgesetzte Pavillon absolut

witterungsbeständig geplant und konstruiert werden um eine mehrjährige Standzeit zu gewährleisten.

Der Pavillon wurde so konzipiert, dass er sich im geschlossenen Zustand gegenüber den Backsteinfassaden der umgebenden Gebäude bescheiden zurücknimmt. Im geöffneten Zustand hingegen lädt er, durch das leuchtende Grün des Innenraums, seine Besucher schon von weitem ein. Auf Abbildung 1 ist der Pavillon am Tage seiner Eröffnungsfeier am 15. Juni 2011 zu sehen.



**Abbildung 1** TIB-Pavillon zur Eröffnungsfeier

Aus Gründen der Nachhaltigkeit, der Kosten und der einfachen Bearbeitbarkeit wurde die Verwendung von Holz und Holzwerkstoffen für die Tragkonstruktion favorisiert. Eine umweltschonende Kombination von Holz mit neuen Werkstoffen und die damit ausführbaren neuen architektonischen und technischen Lösungen, waren Ziel des Projektes. Besonderes Augenmerk ist bei Holzkonstruktionen auf den konstruktiven Witterungsschutz zu legen. Dieses Problem wurde beim TIB Pavillon mit einem neuartigen Fassaden- und Entwässerungskonzept gelöst. Mithilfe eines Upcycling-Werkstoffes aus Resten der PUR-Dämmstoffherstellung und einer fugenlosen 2-3 mm dicken Polyurethan-Spritzbeschichtung sollte die Konstruktion dauerhaft vor Witterungseinflüssen geschützt werden. Durch die Beschichtung war es möglich, vollständig auf teure und fehleranfällige Verblechungen im Bereich des Daches zu verzichten.

Da der Bau von den Studenten selbst ausgeführt werden sollte, war bei den einzelnen Bauteilen keine Industriequalität zu erwarten. Das Fassadenkonzept musste also in der Lage sein, trotz der unvermeidbar großen Herstellungstoleranzen einen Holzbau dauerhaft vor der Witterung zu schützen. Deshalb musste in einer anschließenden Evaluierung geklärt werden, ob sich die eingesetzte Materialkombination und die ausgeführten Details in der Praxis bewährt haben.

### 3. Integrale Planung und Ausführung

In Eigeninitiative der Studentenschaft entstand im Sommer 2010 ein Projekt zum Entwurf, der Planung und des Baues eines innovativen, umweltgerechten Pavillons mit ca. 34 m<sup>2</sup> Grundfläche. Der Entwurf des TIB-Pavillons ist das Ergebnis einer intensiven Kooperation von Bauingenieur- und Architekturstudenten. Unterstützt wurde die studentische Initiative seitens der Bauingenieure durch das Fachgebiet „Entwerfen und Konstruieren – Verbundstrukturen“ unter Leitung von Prof. Dr.-Ing. Volker Schmid und seitens der Architektur vom „Fachgebiet für Konstruktives Entwerfen und klimagerechtes Bauen“ unter Leitung von Prof. Rainer Hascher sowie den Assistenten der beteiligten Fachgebiete.

Während der Vorplanungsphase fand die Arbeit in Einzelgruppen mit je zwei Bauingenieuren und Architekten statt, Ziel war der Entwurf erster Studien zu einem möglichst ressourcenschonenden Pavillon unter Einsatz neuester Technologien. Diese wurden anschließend hinsichtlich der Nutzung, der Einfügung in das denkmalgeschützte Umfeld, des Innovationsgrades und der ökologischen Vorteile beurteilt. Das Ergebnis war ein außen fast völlig in Weiß gehaltener, kubischer Pavillon, welcher anschließend in einer großen interdisziplinären Arbeitsgruppe weiter bearbeitet wurde. Abbildung 2 zeigt den TIB-Pavillon kurz vor seiner Eröffnung.



**Abbildung 2** TIB-Pavillon im geschlossenen Zustand

Unter Anleitung der Professoren und wissenschaftlichen Mitarbeiter der beteiligten Fachgebiete wurden von den Studierenden alle weiteren Planungsschritte und der Bau des Pavillons durchgeführt. Zu den notwendigen Planungsschritten gehörten unter anderem die Einigung mit dem Eigentümer, die Bauantragstellung, die Beachtung der denkmalschutzrechtlichen Gesichtspunkte, das Aufstellen der Statik, die Ausführungs- und Werkstattplanung, die Bauablaufplanung und der Bau selbst sowie die Sicherstellung der Finanzierung durch Sponsoren.

Sämtliche Baumaßnahmen erfolgten durch die Studierenden selbst unter der Hilfestellung des Fachgebiets „Entwerfen und Konstruieren – Verbundstrukturen“ und des TU-internen Werkstattpersonals. Der TIB-Pavillon wurde als Tafelbau geplant, somit was es möglich die einzelnen Elemente in der großen Versuchshalle der Bauingenieure weitestgehend vorzufertigen. Lediglich die äußere Beplankung für Dach und Fassade aus Purenitplatten musste zu einem späteren Zeitpunkt auf der Baustelle montiert werden.

Die Dokumentation der Projektdurchführung und des Projektablaufs erfolgte in Form einer Bachelorarbeit [3].

## 4. Architektonisches Konzept und Konstruktion

### 4.1 Architektonisches Konzept

Anliegen der studentischen Initiative war die Schaffung eines einladenden Begegnungsortes für die Studenten, Professoren und Mitarbeiter des Instituts für Bauingenieurwesen und der im TIB angesiedelten privaten Unternehmen. Da das gesamte Areal des ehemaligen AEG Standortes als Industriedenkmal ausgewiesen ist, mussten die strengen Auflagen des Denkmalschutzes eingehalten werden.

Das architektonische Konzept sieht deshalb vor, dass sich der Pavillon im geschlossenen Zustand optisch zurück nimmt, ohne in Konkurrenz zu den umgebenden denkmalgeschützten Bauwerken aus rotem Ziegelstein zu treten.

Im geöffneten Zustand ist das Grün seines Innenraums jedoch schon von Weitem sichtbar. Speziell entwickelte Türscharniere erlauben das Öffnen der Türen bis zu einem Öffnungswinkel von 270°. Dadurch ist der Pavillon von drei Seiten begehbar und erlaubt seinen Besuchern einen Blick über den gesamten Hof.



Abbildung 3 TIB-Pavillon im geschlossenen Zustand



Abbildung 4 TIB-Pavillon im geöffneten Zustand

## 4.2 Konstruktion

### 4.2.1 Allgemeines

Neben dem architektonischen Konzept sollte die Konstruktion einen möglichst hohen Grad an Technologie und Innovation aufweisen, aber dennoch für Laienhandwerker umsetzbar sein. Wegen der einfachen Bearbeitbarkeit einer hölzernen Tragkonstruktion und der Möglichkeit der Vorfertigung wurde der Pavillon in Holztafelbauweise errichtet. Abbildung 5 zeigt eine Explosionszeichnung des Pavillons.

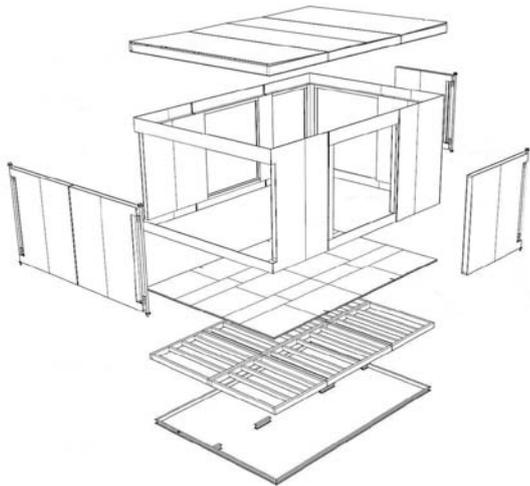


Abbildung 5 Explosionszeichnung des TIB-Pavillons

Bedingt durch den Denkmalschutz waren keine Eingriffe in den alten Pflasterbelag erlaubt. Deshalb wurde die Holzkonstruktion des Pavillons auf einem umlaufenden Rahmen aus Stahl-C-Profilen verankert. Der Stahlrahmen liegt ohne Befestigung auf einer dünnen Ausgleichsschicht aus Beton auf, welche durch eine Folie vom Pflaster getrennt ist. Die äußeren Abmessungen des Pavillons betragen 6,98m auf 4,88m bei einer Höhe von 3,09m.

Abbildung 6 zeigt den Grundriss des Pavillons mit den aussteifenden Wänden W1 bis W4.

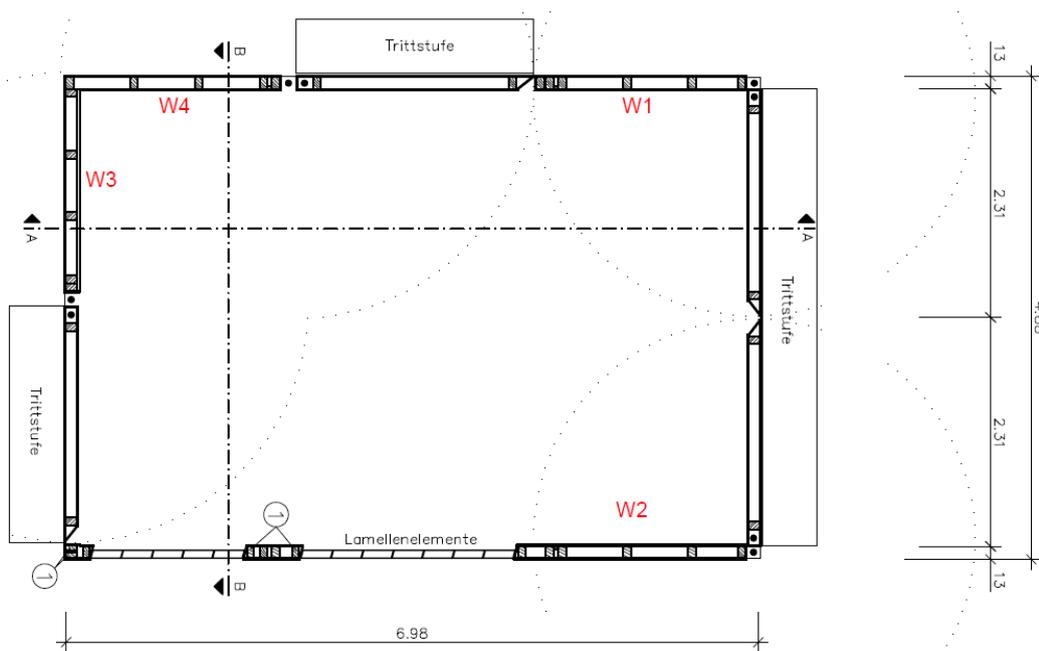


Abbildung 6 Grundriss des TIP-Pavillons

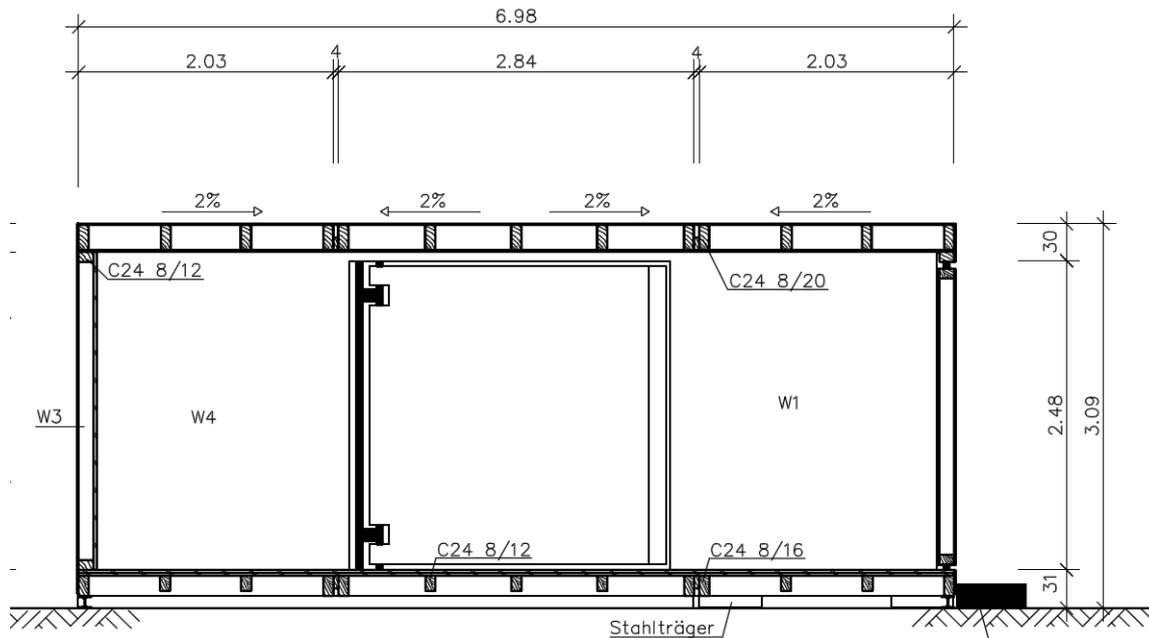


Abbildung 7 Horizontalschnitt A-A

In Abbildung 7 ist der Horizontalschnitt A-A durch den Pavillon dargestellt, es wird daraus ersichtlich, dass der Pavillon aus drei Montageabschnitten besteht. Beide äußeren Montageabschnitte besitzen die Maße 4,88m auf 2,03m und der mittlere die Maße 4,88m auf 2,84m. Die konstruktiv bedingten Bauteilfugen zwischen den einzelnen Abschnitten werden zur Entwässerung des Daches genutzt (siehe 4.2.3).

#### 4.2.2 Statisches Konzept

Die durch Windeinwirkung hervorgerufenen Horizontalkräfte müssen von den aussteifenden Wänden aufgenommen und in den Baugrund eingeleitet werden. In Abbildung 8 sind die aussteifenden Wände des Pavillons dargestellt. Bei einer Windbeanspruchung aus Richtung +/- y muss die gesamte Horizontalkraft durch die Wand W3 aufgenommen werden.

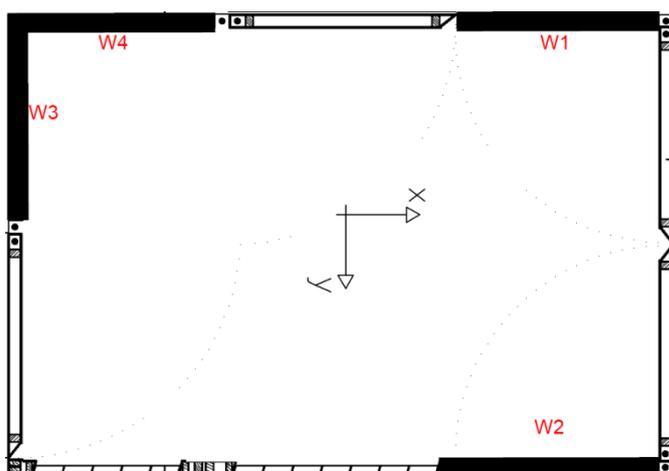
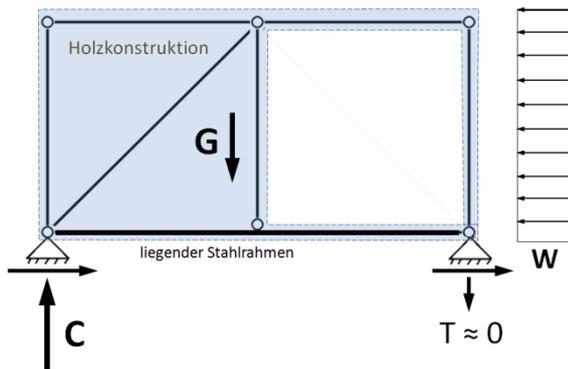


Abbildung 8 Aussteifende Wände

Durch die geringe Länge der Wand W3 sind die abhebenden Kräfte am Wandfuß sehr groß. Ohne konstruktive Maßnahmen, reicht das aktivierbare Eigengewicht der Konstruktion nicht aus, um die abhebenden Kräfte zu überdrücken, eine vertikale Verankerung wäre notwendig.

Der Denkmalschutz erlaubte keine Eingriffe in den alten Pflasterbelag. Damit war auch die Verankerung der abhebenden vertikalen Zugkräfte in einem Fundament ausgeschlossen. Aus diesem Grund wurde die Holzkonstruktion des Pavillons auf einem liegenden, umlaufenden Rahmen aus Stahl-C-Profilen aufgelagert und mit diesem verschraubt.



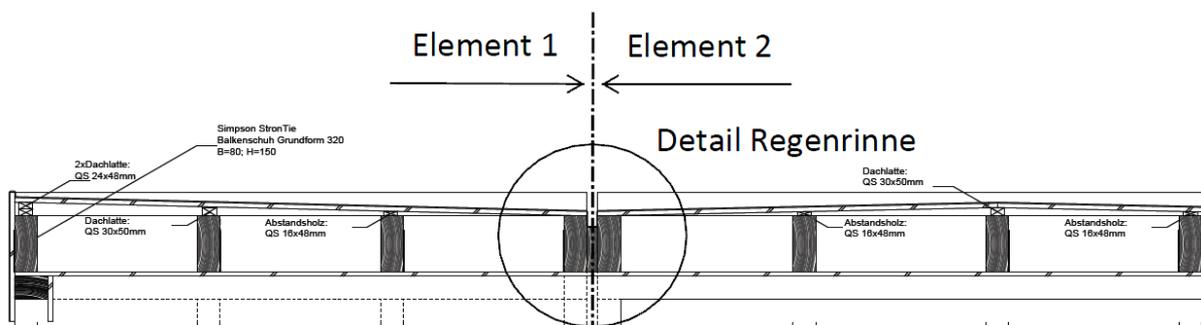
**Abbildung 9** Statisches Ersatzsystem

Die Abbildung 9 zeigt das statische Ersatzsystem für die ausgeführte Konstruktion. Die Wandscheibe überträgt die resultierenden Vertikallasten auf den Stahlträger, welcher als Biegeträger wirkt. Durch den großen Hebelarm des Biegebalkens und den gleichzeitig vergrößerten Lastenbereich kann ausreichend Eigengewicht aus der Konstruktion aktiviert werden, eine weitere Vertikalverankerung des Gesamtsystems ist damit nicht notwendig.

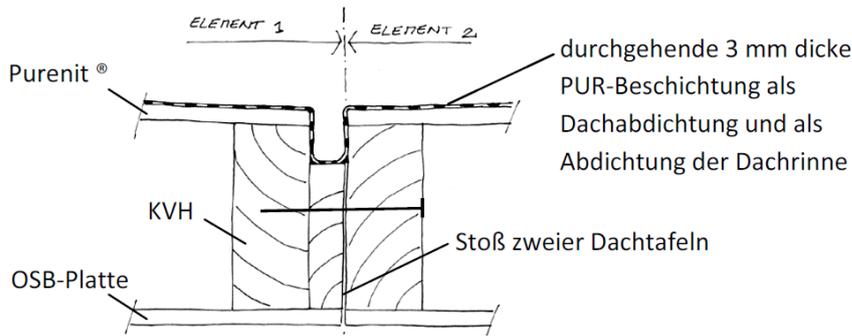
#### 4.2.3 Fassaden- und Entwässerungskonzept

Der konstruktive Holzschutz wäre aufgrund der kubischen Form des Pavillons mit herkömmlichen Mitteln nur sehr aufwändig zu realisieren gewesen. Insbesondere im Bereich des Daches und der Entwässerung hätten teure, komplizierte und fehleranfällige Verblechungen ausgeführt werden müssen. Als technisch hochwertige, aber mit den vorhandenen Mitteln sehr einfach auszuführende Lösung, erwies sich der Einsatz von wasserfesten und vorrottungsresistenten upcycling Polyurethan-Pressplatten (Purenit) siehe Absatz 6 in Kombination mit einer vollflächig haftenden Polyurethan-Spritzbeschichtung, siehe Absatz 7.

Durch die Kombination von Purenit mit einer Polyurethan-Spritzbeschichtung wurde es möglich, vollkommen auf Blechrinnen und Fallrohre zur Dachentwässerung zu verzichten. Stattdessen sind die Stoßfugen zwischen den Elementen derart ausgeführt, dass diese die Abführung des Wassers übernehmen (siehe Abbildung 10 und Abbildung 11).



**Abbildung 10** Stoß zwischen zwei Elementen



**Abbildung 11 Entwässerungsrinne im Stoß zwischen zwei Elementen**

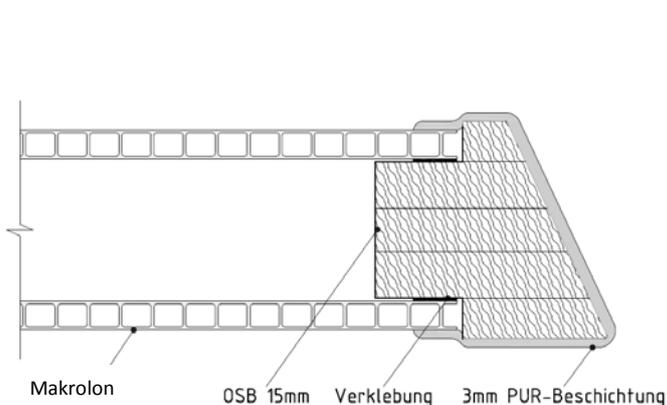
Mit der Polyurethan-Spritzbeschichtung wurde die gesamte Oberfläche des Pavillons abgedichtet, es entsteht eine vollkommen fugenlose und regendichte, aber dampfdiffusions-offene Fassade. Die Beschichtung ist rissüberbrückend, dehnfähig bis zu 300% und vollflächig haftend, dadurch können kleine Beschädigungen der Oberfläche nur zu lokal begrenzten Schäden führen.

Beschädigungen der Beschichtung im Bereich der Purenitplatten haben aufgrund der Verrotungsresistenz des Purenits keine negativen Auswirkungen auf die Tragstruktur. Auch wenn keine unmittelbaren Feuchteschäden zu erwarten sind, müssen beschädigte Oberflächen repariert werden, da der UV-Anteil des Lichtes das Polyurethan zersetzen würde.

Ein weiteres Detail das in seiner einfachen Ausführung erst durch den Einsatz der PUR-Spritzbeschichtung möglich geworden ist, sind die transluzenten Lamellen nach Abbildung 12. Die Lamellen befinden sich auf einer der Langseiten des Pavillons und dienen der Belichtung des Innenraums, sie sind an ihrer Kopf- und Fußseite drehbar gelagert.

In einen Rahmen aus OSB-Streifen wurden Polykarbonat-Doppelstegplatten (Makrolon) eingesetzt. Anschließend erfolgte die Beschichtung der Lamellen mit Polyurethan, wie in Abbildung 12 dargestellt. Durch die PUR-Spritzbeschichtung sollte ein fugenloser Übergang entstehen, welcher absolut wartungsfrei und dauerhaft dicht ist. Nach zweijähriger Standzeit sind mit dem Anschluss noch keine Probleme aufgetreten.

Die Oberfläche der Makrolon-Scheiben wurde nicht grundiert, da mit der zur Verfügung stehenden, für Holz üblichen, Grundierung keine Haftung zwischen Makrolon und PUR eintrat. Die Haftung des PUR am Makrolon ist damit beim TIB Pavillon schlechter als auf Holz oder Purenit. Die PUR-Beschichtung lässt sich mit gewissem Kraftaufwand im Ganzen von den Makrolon-Platten abziehen. Die Untersuchung von zusätzlichen Maßnahmen zur Haftverbesserung ist für die praktische Anwendung dieses Details zu empfehlen.



**Abbildung 12 Transluzente Lamellen**

#### 4.2.4 Türen mit Öffnungswinkel von 270°

Im geöffneten Zustand sollte der Pavillon von drei Seiten begehbar sein und seinen Besuchern ermöglichen, von innen den gesamten Hof zu überblicken. Dazu mussten spezielle Türscharniere entwickelt und bemessen werden, welche einen Öffnungswinkel von 270° ermöglichen und gleichzeitig die großen Eigenlasten der Türen aufnehmen können. Das Scharnier besteht aus einer Kombination zweier Rohre, die jeweils an ihren Kopf- und Fußpunkten um ihre Achse drehbar gelagert sind. Abbildung 13 zeigt die Konstruktion des Scharniers und Abbildung 14 die Funktionsweise der Türen.

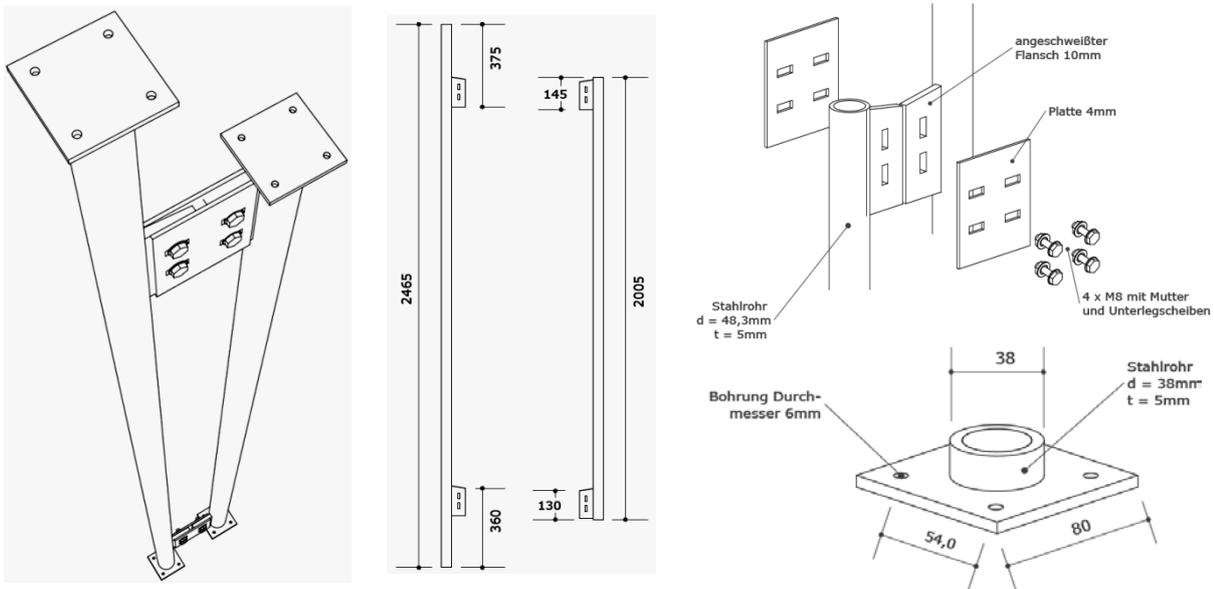


Abbildung 13 Türscharnier



Abbildung 14 Funktionsweise der Türen

## 5. Einsatz neuer Materialien

Möglich wurde der Bau des TIB-Pavillons in seiner bestehenden Form erst durch den Einsatz neuer leistungsfähiger Materialien. Neben dem bewehrten Baustoff Holz für die tragende Konstruktion wurden für die Fassade und deren Oberflächenbeschichtung Kunststoffe auf Polyurethan-Basis eingesetzt.

Entscheidend für die Wahl der eingesetzten Plattenmaterialien Makrolon und Purenit war die Möglichkeit der einfachen Bearbeitung mithilfe von Maschinen zur Holzbearbeitung.

Da Purenit bisher für den Einsatz im konstruktiven Ingenieurbau bauaufsichtlich nicht zugelassen ist, mussten im Vorfeld Tastversuche zur Abschätzung der Tragfähigkeit durchgeführt werden.

Auch die Kombination von Purenit mit einer Polyurethan-Spritzbeschichtung unterstreicht den Experimentalcharakter des TIB-Pavillons.

## 6. Einsatz von Purenit

### 6.1 Erstmaliger Einsatz von upcycleten Polyurethan-Pressplatten für witterungsresistente Fassaden im Hochbau

Die Fassade des TIB-Pavillons wurde mit upcycleten Werkstoffplatten aus Polyurethan (Purenit) in Verbindung mit einer vollflächig haftenden Polyurethan-Spritzbeschichtung ausgeführt.

Purenit-Platten werden aus den Abfällen der Polyurethan-Dämmstoffherstellung erzeugt. Dabei werden die Abfälle gemahlen und unter Zugabe von MDI-Polyisocyanat in Verbindung mit Wasser als Bindemittel unter hohem Druck zu einzelnen Platten gepresst. Die Platten werden in Stärken von 10 bis 80 mm und einer Dichte von 300 bis 850 kg/m<sup>3</sup> hergestellt [2]. Die Plattendicke und –dichte ist abhängig vom späteren Einsatz. Heute werden Purenit-Platten wegen ihrer Feuchteunempfindlichkeit im Schiffsausbau und für Sonderanwendungen im Automobilbau eingesetzt, z. B. für die Aufbauten von Kühllastwagen, wo die Festigkeit des Materials zusammen mit dem guten Wärmedämmvermögen des Purenits genutzt wird.

Der Werkstoff Purenit zeichnet sich durch geringes Gewicht (im Mittel in etwa vergleichbar mit Nadelholz), geringe Wärmeleitfähigkeit, gute Dampfdurchlässigkeit, gute und einfache Bearbeitbarkeit, Witterungs- und Feuchtebeständigkeit aus. Selbst im Falle einer Beschädigung der Spritzbeschichtung besteht im Bereich des Purenit keine unmittelbare Gefährdung innenliegender Bauteile.

Aufgrund seiner Eigenschaften ist Purenit prinzipiell gut für den Einsatz als Fassadensystem geeignet. Nach bisherigen Erkenntnissen verfügt Purenit über relativ hohe Festigkeiten und lässt sich mit handelsüblichen Holzschrauben problemlos montieren. Da Purenit derzeit noch nicht bauaufsichtlich für tragende Konstruktionen zugelassen ist, muss die Tauglichkeit für den tragenden Einsatz im Hochbau durch entsprechende Untersuchungen nachgewiesen werden. Ein entsprechendes Forschungsprojekt in Kooperation der TU-Berlin und der Puren GmbH ist angedacht.

Für den Bau des TIB-Pavillons wurden die Purenit-Platten als nichttragend angenommen, es sind damit im Tragwerk entsprechende Tragreserven vorhanden.

## 6.2 Erstmaliger Einsatz von upcycleten Polyurethan-Pressplatten in einer Holzkonstruktion

Durch die Bearbeitbarkeit mit den gleichen Werkzeugen und Maschinen bietet sich ein kombinierter Einsatz der Werkstoffe Holz und Purenit an. Auch die Werkstoffeigenschaften lassen auf die Kombinierbarkeit der beiden Materialien schließen.

Die bauphysikalischen Eigenschaften von Holz und Purenit sind in etwa vergleichbar. Je nach Rohdichte beträgt die Wärmeleitfähigkeit des Purenit  $\lambda = 0,086 - 0,11$  [W/(m·K)] und der Richtwert der Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl  $\mu = 8 - 12$ . Nadelholz zum Vergleich besitzt eine höhere Wärmeleitfähigkeit von  $\lambda = 0,13$  [W/(m·K)] und eine höhere Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl von  $\mu = 20$  bis 50.

Infolge der geringen Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl von Purenit kann im Holz evtl. enthaltene Feuchte leicht nach außen entweichen. Derzeit bestehen aufgrund der geringen Wasseraufnahmefähigkeit des Purenit keine Bedenken gegen einen direkten Kontakt zwischen Holz und Purenit.

Durch seine Feuchtebeständigkeit kann das Purenit dazu eingesetzt werden die Holzkonstruktion vor dem Einfluss von Feuchte zu schützen. Können die entsprechenden Festigkeiten für das Purenit nachgewiesen werden, besteht auch die Möglichkeit, Holz in stark durch Feuchte beanspruchten Bereichen durch Purenit zu ersetzen, ohne dabei Einschränkungen in der Materialbearbeitung zu unterliegen.

Da beide Materialien mit Polyurethanklebern verklebbar sind, wären Holz/Purenit-Verbundkonstruktionen einfach zu realisieren. Einsatzbereiche derartiger Konstruktionen bzw. Produkte sind z.B. im Bereich der Fußschwelle im Holztafelbau oder als zusammengesetzter Träger für ein wärmebrückenreduziertes Bauen sowie als nachträgliche Verkleidung von tragenden Holzbauteilen in stark bewitterten Bereichen.

## 6.3 Bearbeitung der Purenit-Platten

Die zum Einsatz gebrachten Purenit-Platten – Upcycling-Werkstoff aus Abfällen der PUR-Dämmstoffherstellung – lassen sich problemlos mit allen Maschinen und Werkzeugen des holzverarbeitenden Gewerbes bearbeiten. Im Rahmen des Projektes wurden die im Folgenden dargestellten Arbeiten ausgeführt, es wird gleichzeitig auf die Bearbeitbarkeit des Materials eingegangen.

### 6.3.1 Plattenzuschnitt

Im Rahmen des Projektes erfolgte der Zuschnitt der Purenit-Platten mit der Plattensäge, der Formatkreissäge sowie mit Handkreissägemaschinen. Die Maschinen waren mit hartmetallbestückten Sägeblättern für die Spanplattenverarbeitung ausgestattet. Die Bearbeitung mit den genannten Maschinen erwies sich als problemlos.

Für kleinere Schneidarbeiten und das Schneiden von Installationslöchern wurde eine Stichsäge eingesetzt. Dabei wurden normale HSS-Stichsägeblätter verwendet. Auch der Einsatz von Stichsägen war ohne Einschränkungen möglich.

Aufgrund der besseren Qualität der Sägekanten ist jedoch der Zuschnitt mit Kreissägemaschinen vorzuziehen.

Prinzipiell ist auch der Einsatz von Handsägen mit entsprechend gehärteten Zähnen denkbar. Die verarbeiteten Purenit-Platten neigten nicht zum Verkleben der Sägeblätter.

### 6.3.2 Fräsen

Zum Verriegeln der Türen wurden Kantenriegel in die Türen eingebaut. Die am Boden notwendigen Schließbleche sind mit der einer Handoberfräse in das Purenit eingelassen worden. Abbildung 15 zeigt das Verriegelungssystem der Türen und die beschichteten Schließbleche auf dem Fußboden.



**Abbildung 15 Verriegelungssystem und beschichtete Schließbleche**

Die Fräse war mit einem normalen hartmetallbestückten Nutfräser zur Holzbearbeitung mit einem Durchmesser  $d = 20 \text{ mm}$  ausgerüstet.

Selbst bei höherer Rohdichte geht der Handvorschub leicht. Subjektiv wird die Bearbeitungsfähigkeit der Purenit-Platten mit der von MDF-Platten verglichen.

Aufgrund der hohen Qualität der Schnittkanten sind Fräsmaschinen hervorragend zur Bearbeitung von Purenit-Platten geeignet. Nach bisherigen Erkenntnissen sollte der Einsatz von Tischfräsmaschinen zur Bearbeitung des Purenits ohne Weiteres möglich sein.

### 6.3.3 Schleifen

Zur Vorbereitung für die Polyurethan-Beschichtung mussten die Schnittkanten der Purenit-Platten gebrochen und Fertigungsungenauigkeiten verschliffen werden. Das Brechen der Kanten erfolgte mit handelsüblichem Schleifpapier und Maschinenschleifscheiben.



**Abbildung 16 Kante mit Schleifpapier gebrochen und zugehöriges Schleifpapier**

Abbildung 16 zeigt eine mit Schleifpapier bearbeitete Kante und das zugehörige Schleifpapier (P120 geschlossene Körnung). Es ist zu erkennen, dass das Purenit nicht zum Verkleben des Schleifpapiers neigt.

Zum Verschleifen von Fertigungsungenauigkeiten wurden Exzentrerschleifer und Schleifscheiben mit 80er Körnung eingesetzt. Die Bearbeitung des Materials ist unproblematisch. Durch die Entwicklung von feinem Schleifstaub ist eine entsprechende Absaugung der Maschinen und Schutzausrüstung des Personals unerlässlich.

### **6.3.4 Bohren**

Zur Befestigung der Purenit-Platten wurden selbstbohrende Holzschrauben der Firma SPAX eingesetzt.

Durch die Sprödigkeit der Purenit-Platten musste in den Randbereichen trotz Einsatz selbstbohrender Schrauben vorgebohrt und entsprechend gesenkt werden. Zum Bohren wurden netzbetriebene Bohrmaschinen als auch akkubetriebene Geräte eingesetzt. Die Löcher wurden zum Teil mit Holzbohrern mit Zentrierspitze sowie normalen HSS-Spiralbohrern gebohrt. Beide Typen von Bohrern eignen sich ohne Einschränkung zur Bearbeitung.

Die Bohrfähigkeit des Purenits ist in etwa vergleichbar mit der von MDF-Platten.

### **6.3.5 Einsatz von Stemmwerkzeugen**

Die Schließbleche für das Verriegelungssystem der Türen hatten eine rechteckige Form, deshalb mussten die Ecken der gefrästen Vertiefungen mit einem Stecheisen nachgearbeitet werden. Das saubere Abstechen von Purenit, ist mit Stemmwerkzeugen prinzipiell möglich, stellt jedoch durch die Sprödigkeit des Materials hohe Anforderungen an das ausführende Personal.

Aus den genannten Gründen wird der Einsatz von Stemmwerkzeugen eher die Ausnahme darstellen.

### **6.3.6 Verarbeitung selbstbohrender Holzschrauben**

Der Einsatz von selbstbohrenden Holzschrauben ist in Purenit möglich. Die Ansetzbarkeit der Schrauben und die Senkfähigkeit der Schraubenköpfe sind von der Rohdichte des Purenits abhängig. In Platten mit geringer Rohdichte gestaltet sich das Ansetzen und Senken der Schrauben problemlos. Bei Platten mit höherer Rohdichte empfiehlt es sich vorzubohren, da die Gefahr des Kopfabreißen sowie des Überdrehens der Schraube besteht.

Durch die Sprödigkeit des Materials ist das Vorbohren in den Randbereichen unabhängig von der Rohdichte zu empfehlen. Bei Randabständen unter ca. 40 mm kann es ohne Vorbohren zum Brechen und Ausplatzen des Materials kommen. Eine Verschraubung auf unebenen Unterkonstruktionen, kann bei entsprechend geringen Abständen vom Plattenrand zum Bruch des Materials führen.

## **6.4 Bearbeitungs- und Materialeigenschaften von Purenit**

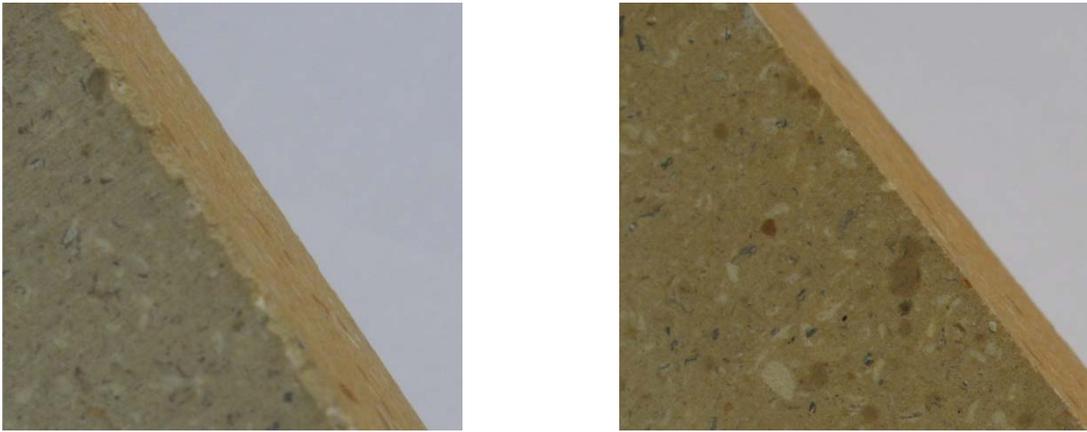
### **6.4.1 Werkzeugverschleiß**

Nach bisherigem Kenntnisstand neigt das Material nicht zum Verkleben der Schneidwerkzeuge.

Der Verschleißgrad der zur Bearbeitung eingesetzten Werkzeuge ist von der verwendeten Rohdichte der Purenit-Platten abhängig. Nach bisherigen Erkenntnissen wird von einem Verschleißgrad der Werkzeuge, in etwa vergleichbar mit der Bearbeitung von unbeschichteten Spanplatten ausgegangen.

### **6.4.2 Schnittkanten und Kantenschutz**

Beim Zuschnitt der Purenit-Platten mit Kreissägemaschinen kommt es auf der Seite des austretenden Sägeblattes durch die Sprödigkeit des Materials zum Ausreißen der Schnittkanten.



**Abbildung 17** Kante auf der Seite des austretenden / eintretenden Sägeblattes

Im Rahmen des Projektes TIB-Pavillon wurden die Kanten der Platten mit Schleifpapier gebrochen, eine Notwendigkeit scharfer Schnittkanten bestand nicht. Bei höheren Anforderungen an die Beschaffenheit der Kanten muss beim Zuschnitt eine Säge mit Vorritzaggregat eingesetzt werden.

Beim Fräsen von Purenit entstehen glatte und scharfe Schnittkanten. Daher ist beim Einsatz der Purenit-Platten im Möbelbau eine Bearbeitung der Kanten mit Fräsmaschinen zu empfehlen.

Die zugeschnittenen Platten sind mit entsprechender Sorgfalt zu lagern um eine Beschädigung der bruchempfindlichen Kanten zu vermeiden.

Aufgrund der geschlossenporigen Struktur des Materials, in etwa vergleichbar mit der Struktur von MDF, ist eine entsprechende Profilierung der Kanten oder Oberfläche möglich. Da die Kanten sehr stoßempfindlich sind, ist ein sehr sorgfältiges Handling unbeschichteter Platten erforderlich, ggf. ist ein entsprechender Kantenschutz zu empfehlen. Für den Möbelbau wäre eine ABS-Sicherheitskante oder eine entsprechende HPL-Beschichtung wie für Arbeitsplatten denkbar.

Abbildung 18 zeigt eine beschädigte Kante im Eckbereich des TIB-Pavillons. Es ist nicht zu erkennen, dass die Beschädigung der Ecke infolge eines Anpralls entstanden ist. Der Riss ist vermutlich auf eine zu geringe Beschichtungsstärke an der Kante zurückzuführen.



**Abbildung 18** Abgeplatzte Kante im Eckbereich

Dieses Problem ist unter anderem im Fensterbau bekannt. Um hier eine ausreichende Filmdicke bei der Oberflächenbehandlung zu erreichen, müssen dort laut Vorschrift alle Kanten mit einem Mindestradius von  $r = 2\text{mm}$  gerundet werden. Der erforderliche Rundungsradius für eine Kombination Purenit / Polyurethanbeschichtung ist in entsprechenden Versuchen festzulegen. Nach derzeitigem Kenntnisstand wird ein Radius von mindestens  $3\text{mm}$  empfohlen.

Aufgrund der vollflächigen Haftung und hohen Weiterreißfestigkeit der Beschichtung ist mit einer signifikanten Vergrößerung des Risses nicht zu rechnen. Auch eine Schädigung der dahinter liegenden hölzernen Tragkonstruktion ist durch die geringe Feuchteaufnahme und extreme Witterungsbeständigkeit der davor liegenden Purenitplatte eher unwahrscheinlich. Da Polyurethan unter der Einwirkung von UV-Licht zersetzt wird, ist eine schnelle Reparatur jedoch zu empfehlen.

Die Reparatur kann sehr einfach mit einer zweikomponentigen Polyurethan-Spachtelmasse und einem entsprechenden UV-Schutzlack ausgeführt werden.

Auch für den Fußboden des TIB-Pavillons kamen Purenit-Platten zum Einsatz. Der Kantenschutz in den Eingangsbereichen wurde mit Stahl-Winkelprofilen realisiert. Konstruktiv hat sich der Kantenschutz hervorragend bewährt. Als Werkstoff für den Kantenschutz wird ein nichtrostendes Material wie z.B. Edelstahl oder Aluminium empfohlen. Beim TIB-Pavillon wurde aus Kostengründen für den Kantenschutz normales Stahlblech verwendet. Es war geplant, das Blech nach erstmaligem Spritz-Beschichten der Purenit-Platten nur auf die noch weiche Beschichtung aufzukleben und anschließend ohne weitere Befestigungselemente überzubeschichten.

Abbildung 19 zeigt links eine Skizze des geplanten Kantenschutz und rechts die erreichte Ausführungsqualität. Aufgrund von Mängeln bei der Fertigung liegt der vordere Schenkel des Winkelbleches nicht vollflächig an der Fußbodenvorderkante an. Eine fugenlose Beschichtung des Bleches ist somit nicht gegeben, Folge ist die Korrosion des Stahlwinkels, mit dem Resultat, dass Rostfahnen auf der Fassade zu erkennen sind. Kann eine vollständige Beschichtung des Stahlwinkels gewährleistet werden, dann ist auch der Einsatz von normalem Stahlblech unproblematisch. Das wird am besten erreicht, indem der Stahlwinkel oberflächengleich ins Purenit eingelassen wird.

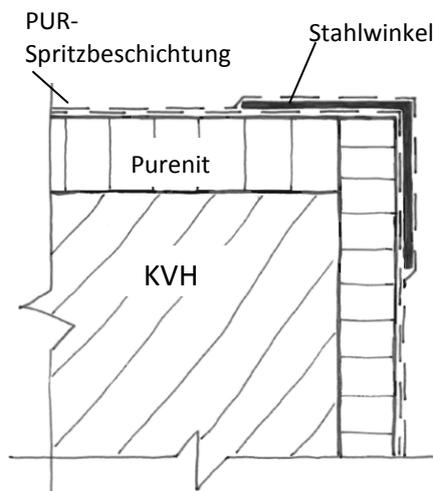


Abbildung 19 Kantenschutz (Theorie und Praxis)

### 6.4.3 Oberflächenbeschaffenheit und -behandlung

Durch den homogenen Aufbau der Purenit-Platten entsteht nach der Bearbeitung eine geschlossene Oberfläche, vergleichbar mit der Oberfläche von bearbeiteten MDF-Platten. Nach dem derzeitigen Erkenntnisstand weist Purenit dieselbe Bearbeitbarkeit wie MDF auf, mit dem Vorteil der Feuchteunempfindlichkeit.

Bei entsprechender Bearbeitung z.B. mit Fräsmaschinen und eventuellem Schleifen ist eine Lackierung ohne Spachteln oder weitere Beschichtung denkbar. Durch ihre Porosität sind die Oberflächen des Purenits stark saugend, ein mehrfaches Grundieren kann erforderlich werden. Der Einsatz von handelsüblichen Lacken ist nach derzeitigen Erkenntnissen möglich, erreicht aber nicht annähernd die gleiche Widerstandsfähigkeit wie die Polyurethan-Beschichtung, siehe Absatz 7.3.5.

Im Rahmen des Forschungsprojektes TIB-Pavillon wurde die gesamte Oberfläche mit einer 2-3 mm starken Polyurethan-Spritzbeschichtung versehen. Ein vorheriges Primern des Purenits war nicht notwendig. Die hervorragende Haftfähigkeit der PUR-Beschichtung auf dem Purenit lässt sich mit hoher Wahrscheinlichkeit auf ähnliche chemische Zusammensetzung beider Materialien zurückführen.

### 6.4.4 Lichtecktheit

Purenit ist nicht lichtecht, unter der Einwirkung von Licht dunkelt die Oberfläche nach. Inwieweit es durch die Einwirkung von Licht, insbesondere von UV-Strahlung, zu einer signifikanten Schädigung des Materials kommt, wurde im Rahmen des Projektes nicht untersucht. Diesbezüglich ist weiterer Forschungsbedarf gegeben.

Im Rahmen des Projektes TIB-Pavillon wurde die lichtzugewandte Oberfläche des Purenits beschichtet und damit vor Lichteinwirkung dauerhaft geschützt

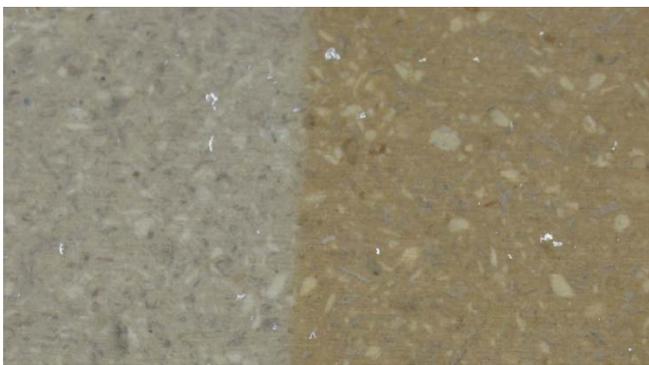


Abb. 1 Verfärbung des Purenits durch Lichteinfluss

### 6.4.5 Gefährdung des Personals bei der Werkstoffverarbeitung

Die Verarbeitung der Purenit-Platten ist vergleichbar mit der Verarbeitung von Holzwerkstoffplatten. Eine ausgeprägte Klemmwirkung wie bei der Bearbeitung von Vollholz besteht nach derzeitigen Erkenntnissen nicht.

Der entstehende Staub wird als unangenehm empfunden. Inwieweit es durch den Kontakt tatsächlich zu Hautreizungen oder Atemproblemen kommen kann, ist noch nicht bekannt. Durch die niedrigen Luftgrenzwerte an einatembaren Staub ( $2\text{g}/\text{m}^3$ ) im Holzverarbeitenden Gewerbe ist eine Gefährdung des Personals nach den derzeitigen Erkenntnissen jedoch nicht zu erwarten.

## 6.5 Tragfähigkeit und Festigkeitseigenschaften von Purenit

Infolge unbekannter Tragfähigkeiten und der fehlenden bauaufsichtlichen Zulassung durften die Purenit-Platten im durchgeführten Projekt nicht als tragend angesetzt werden. Die im Vorfeld zu Verbindungsmitteln durchgeführten Tastversuche mit selbstbohrenden Holzschrauben wiesen gute Tragfähigkeiten auf, siehe Absatz 6.5.1.

Da der konstruktive Einsatz des Werkstoffs Purenit im Bauwesen sehr vielversprechend erscheint, ist ein Forschungsvorhaben in Kooperation mit der TU-Berlin und der Puren GmbH angedacht. Zielsetzung dieses Projektes ist unter anderem die Erforschung der Tragfähigkeiten wie z.B. Normalkraft-, Biege- und Schubtragfähigkeit und des Elastizitätsmoduls. In Langzeitversuchen soll das Kriechverhalten des Materials geklärt werden. Für Plattenmaterial ist festzustellen, inwieweit sich die Steifigkeitswerte für Scheiben- und Plattenbeanspruchung unterscheiden.

### 6.5.1 Verbindungsmittel

Wie in Absatz 6.3.6 beschrieben, erfolgte die Befestigung der Purenit-Platten mit handelsüblichen selbstbohrenden Holzschrauben. Durch die exponierte Lage des Pavillons im Innenhof des TIB-Geländes ist mit großen Windsogkräften zu rechnen. Dementsprechend musste die Fassade und die Bedachung befestigt werden. Da Purenit ein derzeit bauaufsichtlich nicht zugelassener Baustoff ist, wurden im Vorfeld Versuche zur Bestimmung der Tragfähigkeiten mit Holzschrauben durchgeführt. Betrachtet wurde dabei die Tragfähigkeit auf Abscheren und auf Herausziehen der Schrauben. Die Prüfung erfolgte mit einer Instron 1196 Prüfmaschine mit einem Controller 8500R ausgestattet mit Merlin-Software Version 1.1.1.

Aufgrund der geringen Anzahl haben die durchgeführten Versuche lediglich den Charakter von Tastversuchen und sind nicht geeignet um statistisch gesicherte Aussagen über die Tragfähigkeit zu treffen. Dennoch werden die Ergebnisse als sehr vielversprechend gewertet.

#### 6.5.1.1 Abscheren

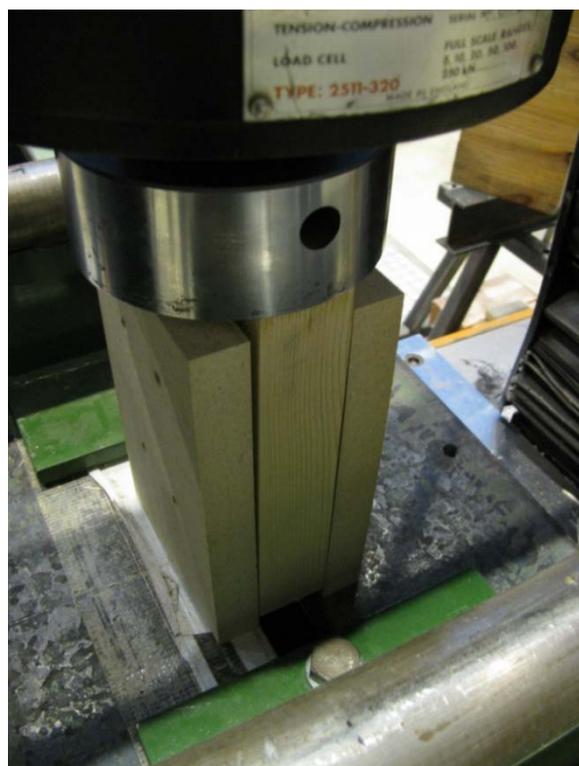
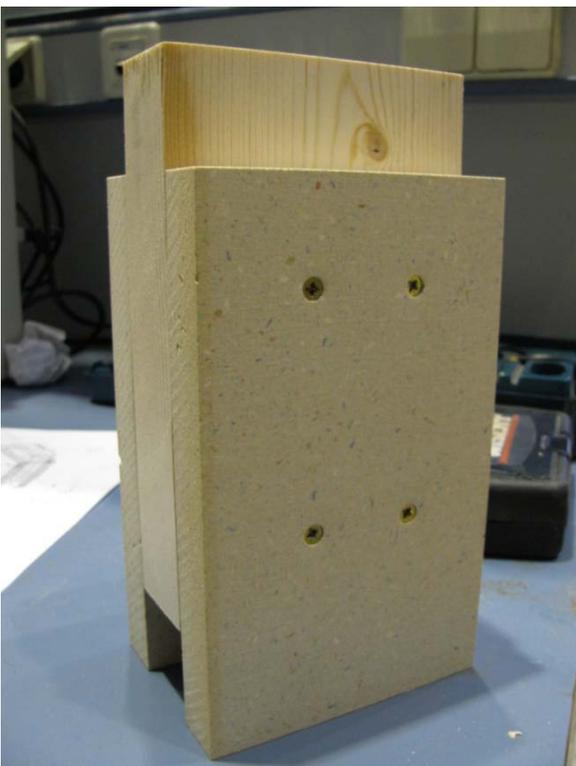


Abbildung 20 Scher-Lochleibungsprüfung

In Anlehnung an DIN EN 1380 wurde mit dem in Abbildung 20 dargestellten Probekörper eine Scher-Lochleibungsprüfung durchgeführt. Der Probekörper wurde bis zum Bruch belastet. Abbildung 21 zeigt das zugehörige Kraft-Weg-Diagramm. Es ist zu erkennen, dass sich die maximale Tragkraft von 10764 N bei einer Relativverschiebung von 15 mm einstellt.

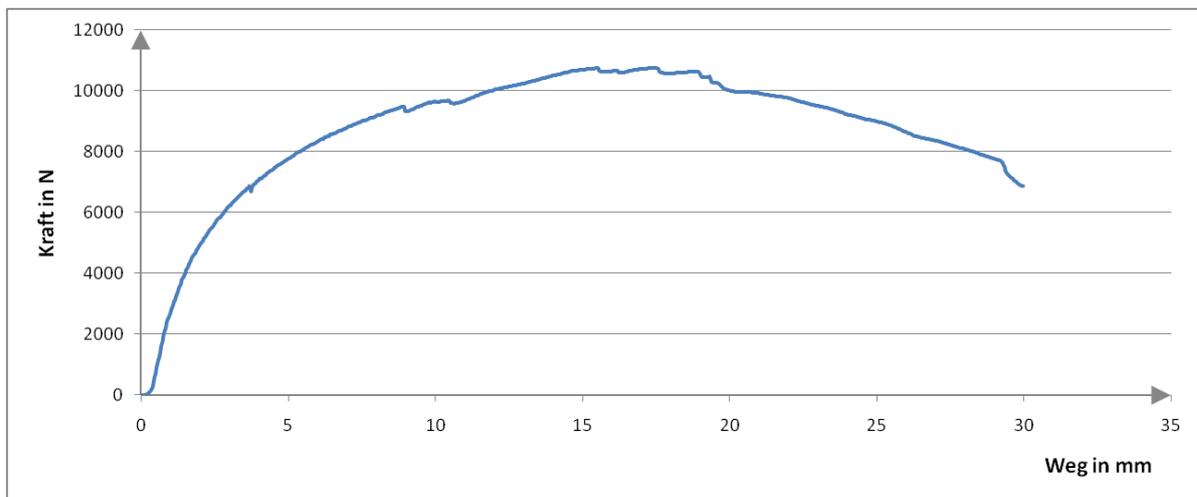


Abbildung 21 Kraft-Weg-Diagramm

Die Verbindung besteht aus insgesamt 8 Teilgewindeschrauben der Demension 4,0x50, damit ergibt sich als Mittelwert eine Traglast von 1345 N je Schraube.

Da insgesamt nur ein Versuch durchgeführt wurde, ist es nicht möglich eine gesicherte Aussage über das Tragverhalten bei Scher-Lochleibungsbeanspruchung zu treffen. Aus diesem Grund wurde die äußere Beplankung bestehend aus Purenit-Platten statisch nicht berücksichtigt, dennoch dürften durch die äußere Beplankung erhebliche Reserven im Tragwerk vorhanden sein.

### 6.5.1.2 Kopfdurchziehen

Die Prüfung auf Kopfdurchziehen erfolgte in Anlehnung an DIN EN 1383. Entsprechend den technischen Möglichkeiten zur Versuchsdurchführung wurde die Prüfanordnung modifiziert. Abbildung 22 links zeigt den modifizierten Versuchsaufbau, in Abbildung 22 rechts ist der Versuchsaufbau nach DIN EN 1383 dargestellt.

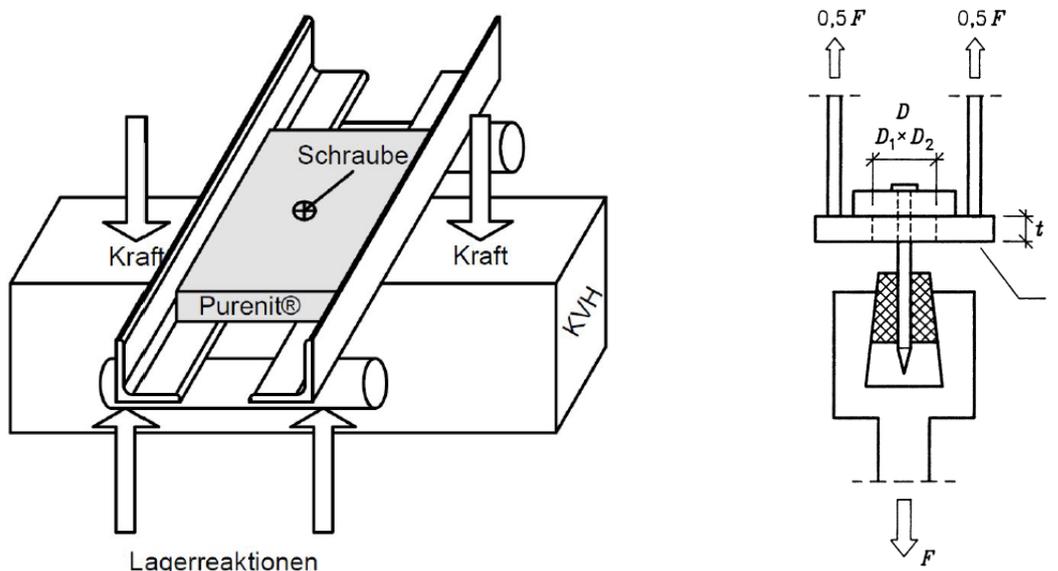


Abbildung 22 Modifizierter Aufbau aus [3] / Versuchsaufbau nach DIN EN 1383



Abbildung 23 Modifizierte Werkstückaufnahme und eingebauter Prüfkörper

Bei Schrauben fordert DIN EN 1383 zur Aufnahme des Prüfkörpers eine Stahlplatte mit rundem Loch mit einem Durchmesser  $\varnothing$  ( $2t + \text{Kopfdurchmesser}$  des Verbindungsmittels). Unter den vorliegenden Bedingungen hätte sich damit ein Lochdurchmesser von 56 mm ergeben. Um den Herstellungsaufwand zu reduzieren wurde ein Versuchsaufbau mit quadratischer Öffnung mit einer Kantenlänge von 56 mm gewählt, siehe Abbildung 23. Da die Spannungsverteilung im Prüfkörper bei einer quadratischen Öffnung ungünstiger ist als bei einer runden Öffnung, liefert der ausgeführte Versuchsaufbau Ergebnisse auf der sicheren Seite.

Tabelle 1 zeigt eine Übersicht über die verschiedenen Probekörper. Die Platten vom Typ MD 650 weisen eine Stärke von 24mm und die Platten vom Typ MD 550 eine Stärke von 16 mm auf. Zur Prüfung auf Kopfdurchziehen wurden als Verbindungsmittel Schrauben der Firma SPAX mit Teilgewinde (T) nach bauaufsichtlicher Zulassung Z-9.1-235 verwendet. Zum Vergleich wurde eine Versuchsserie mit Vollgewindeschrauben (V) durchgeführt.

Für eine ausführliche Dokumentation der Versuche siehe [3].

Name	Purenit®-Typ	Dichte	Schraubentyp	Durchziehparameter $f_c$
PKD I	MD 650	$650 \text{ kg/m}^3$	4,0x80T	$43,68 \text{ N/mm}^2$
PKD III	MD 550	$550 \text{ kg/m}^3$	4,0x60T	$24,09 \text{ N/mm}^2$
PKD IV	MD 550	$550 \text{ kg/m}^3$	4,0x60V	$23,22 \text{ N/mm}^2$
PKD VIII	MD 650	$650 \text{ kg/m}^3$	4,0x60T	kein Wert <sup>3</sup>

Tabelle 1 Übersicht Versuchskörper und Werte für charakteristische Durchziehparameter  $f_c$  aus [3]

Abbildung 24 zeigt zwei Probekörper nach der Versuchsdurchführung. Deutlich zu erkennen sind die Ausbrüche auf der Rückseite der Purenit-Platten. Bei Schraubenlänge von 80 mm kommt es im Bruchzustand zum vollkommenen Durchziehen des Schraubenkopfes durch das Purenit MD 650. Ebenso bei Schraubenlängen von 60 mm in Purenit MD 550. Für die Versuchsreihe PKD VIII mit Teilgewindeschrauben von 60 mm und Purenit der der höheren Festigkeitsklasse MD 650 konnte kein Kopfdurchziehen beobachtet werden, da bei dieser Versuchsserie alle Schrauben aus dem Holz auf der Einspannseite ausgezogen wurden.

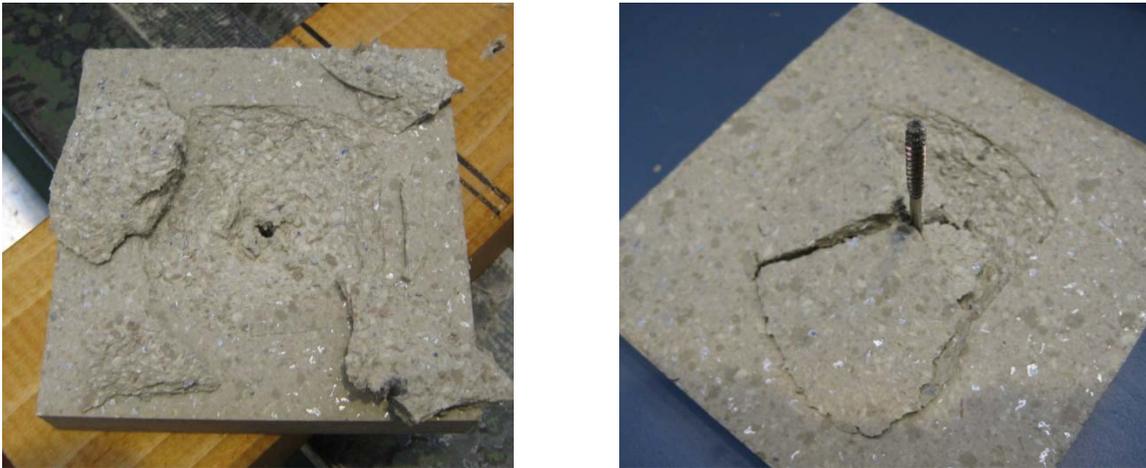


Abbildung 24 Probekörper nach Versuchsdurchführung

In jeder Versuchserie wurden fünf Probekörper bis zum Bruch belastet, aus den gemessenen Maximalkräften wurden nach EN 14358 die charakteristischen Werte des Kopfdurchziehparameters  $f_c$  (siehe Tabelle 1) bestimmt.

Insgesamt konnten für die Purenit-Platten recht hohe Werte für den charakteristischen Durchziehparameter erreicht werden. Für Platten mit einer Rohdichte von  $650 \text{ kg/m}^3$  wurde ein charakteristischer Wert des Durchziehparameters  $f_c$  von  $43,68 \text{ N/mm}^2$  und für eine Rohdichte von  $550 \text{ kg/m}^3$  ein  $f_c$  von  $24,09 \text{ N/mm}^2$  bestimmt. Zum Vergleich darf für die eingesetzten Schrauben nach bauaufsichtlicher Zulassung Z-9.1-235 für Holzwerkstoffplatten ein charakteristischer Wert des Kopfdurchziehparameters von  $8,0 \text{ N/mm}^2$  angesetzt werden.

Aufgrund der geringen Anzahl von Proben besitzen die Versuchsreihen nur den Charakter von Tastversuchen, dennoch zeigen sie das große Potential des Werkstoffes Purenit. Um statistisch gesicherte Aussagen über das Tragverhalten treffen zu können, sind weitere Versuche notwendig.

## 7. Polyurethan-Spritzbeschichtung

Abgedichtet wurde die Purenit-Fassade des TIB-Pavillons mit einer 2-3 mm starken Polyurethan-Spritzbeschichtung. Nach einer Standzeit des Pavillons von fast zwei Jahren hat sich die als sehr hoch angenommene Haftfestigkeit der PUR-Beschichtung auf dem Purenit bestätigt. Bis auf zwei minimale, durch mangelnde Oberflächenvorbereitung und fehlerhafte Ausführung bedingte Schäden haben sich die mithilfe der Beschichtung ausgeführten Details hervorragend bewährt.

Für die Ausführung der Beschichtungsarbeiten auf der Baustelle ist zu beachten, dass ein Beschichten von feuchten Oberflächen wegen der Gefahr des Aufschäumens des Polyurethans beim Abbinden nicht möglich ist. Selbst bei großer Luftfeuchtigkeit unmittelbar vor oder nach Regenereignissen können keine Beschichtungsarbeiten durchgeführt werden. Zur Kontrolle benutzen die Beschichter Luftfeuchtemessgeräte und folgen den Anweisungen aus einem Regelblatt, das die zulässigen klimatischen Randbedingungen definiert. Damit ist die Ausführung von Beschichtungen direkt auf der Baustelle, je nach Witterung, häufig auf die Zeit von ca. März bis ca. Oktober begrenzt. Die Beschichtung großer vorgefertigter Fertigteile im Werk ist deshalb vorteilhafter und ermöglicht zudem eine bessere Qualitätssicherung.



Abbildung 25 Aufbringen der Beschichtung

### 7.1 Ausführung neuartiger Details mithilfe der PUR-Beschichtung

Bei sorgfältiger Ausführung der Polyurethan-Beschichtung wird es möglich, für die Abdichtung von Dächern vollkommen auf kosten- und arbeitsintensive sowie fehleranfällige Verblechungen zu verzichten. So wurde beim TIB-Pavillon mithilfe der Polyurethan-Beschichtung ein Flachdach mit Attika und integrierter Wasserablauffrinne ausgeführt (Abbildung 26).

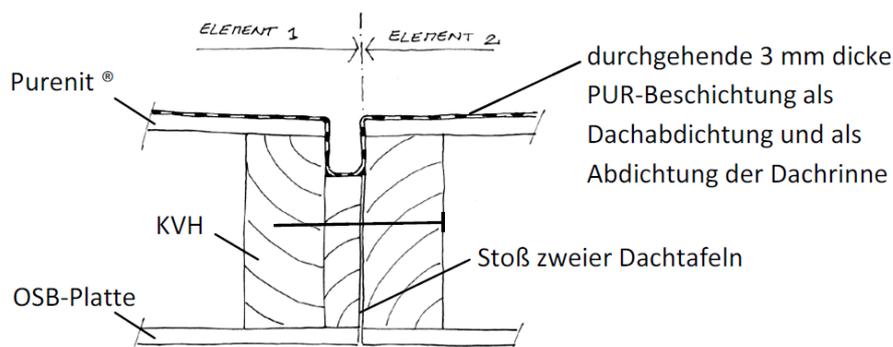


Abbildung 26 Detail integrierte Wasserablauffrinne am Elementstoß



**Abbildung 27 Attika und Wasserablauftrinne nach der Beschichtung**

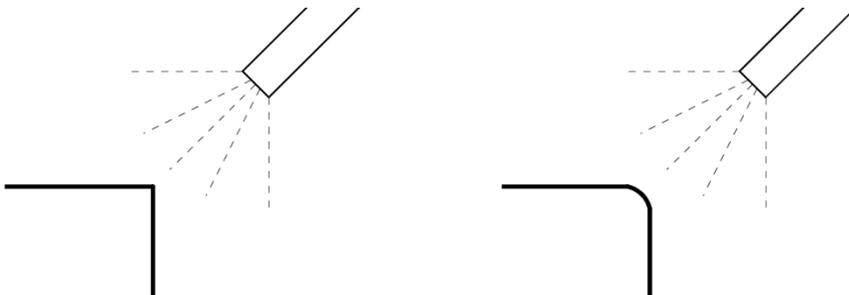
In Abbildung 27 sind Attika und Wasserablauftrinne nach der Beschichtung dargestellt. Die Abdichtung der Attika und der Wasserablauftrinne wird ausschließlich durch die Polyurethan-Beschichtung erreicht.

Nach einer zweijährigen Standzeit können die ausgeführten Details in ihrer Funktionalität überzeugen, somit erscheint eine breite Anwendung bei der Ausführung von Flachdächern als sinnvoll. Aus Gründen der einfacheren und schnelleren Montierbarkeit sowie der Qualitätssicherung beim Beschichten wäre es vorteilhaft, industriell vorgefertigte Systemlösungen zu entwickeln. Insbesondere an Stellen an denen mit großen Verformungen zu rechnen ist, wie z.B. Gebäudeecken, sollten mithilfe industriell gefertigter Systemlösungen ausgeprägte Dehnungsbereiche ausgeführt werden. Im Bereich von Fugen konnten mit handelsüblichen Klebebändern, siehe Abschnitt 7.2 Abbildung 31, gute Ergebnisse erzielt werden.

## 7.2 Vorbereitung des zu beschichtenden Purenit-Platten

Mit großer Wahrscheinlichkeit ist der hervorragende Haftverbund zwischen Polyurethan-Beschichtung und Purenit auf die ähnliche chemische Zusammensetzung beider Materialien zurückzuführen. Ein Primern vor dem Beschichten des Purenits ist nicht notwendig.

Während der Evaluationsphase des TIB-Pavillons wurde deutlich, dass die Robustheit der Oberfläche in höchstem Maße von der Einhaltung, der vom Hersteller geforderten Mindestbeschichtungsdicke abhängig ist. Insbesondere Kanten erwiesen sich als kritische Bereiche (vgl. Abbildung 18). Durch den Effekt des Overspray, nach Abbildung 28, entsteht gerade an Außenecken die Gefahr zu geringer Beschichtungsdicken.



**Abbildung 28 Overspray am Außeneck (links scharfe Kante, rechts gerundete Kante)**

Um die Gefahr des Overspray am Außeneck zu minimieren und an den Kanten eine gleichmäßige Filmstärke beim Beschichten zu gewährleisten, wird vorgeschlagen alle Kanten wie in Abbildung 28 rechts gezeigt mit einem Radius von mindestens 3 mm zu runden.

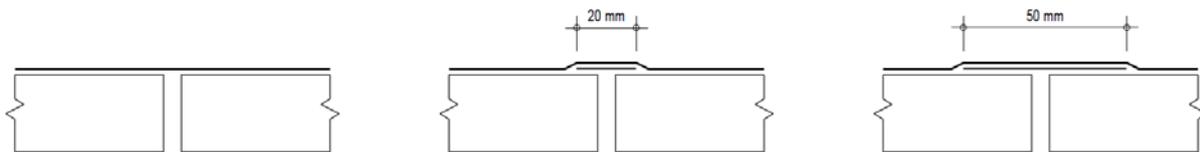
Die Kanten beim TIB-Pavillon wurden aus arbeitstechnischen Gründen nicht gerundet, sondern nur mit einer Fase versehen.

Wie in Abbildung 18 rechts deutlich zu erkennen ist, weist die Beschichtung an der Stelle des Risses lediglich eine Stärke von 1 mm auf. Die vom Hersteller geforderte Mindestdicke für die Beschichtung beträgt allerdings 2-3 mm. Vermutlich infolge der ungleichmäßigen Filmdicke kam es dann in einer der hochbeanspruchten Eckbereiche zum Aufreißen der Beschichtung. Andererseits könnte die geringere Schichtdicke auch auf Ausführungsfehler bei der Beschichtung im Randbereich der Fassadenelemente zurückzuführen sein.

Die Beschichtungsdicke in den Eckbereichen ist für die Qualitätssicherung immer kritisch. Mit gerundeten Kanten wäre eine gleichmäßige Filmdicke besser zu gewährleisten als bei gefasteten Kanten. Mit einem entsprechenden Halbfertigteil als Eckprofil, welches vor dem Beschichten montiert wird, könnte die Stoßsicherheit der Kanten erhöht und die Gefahr einer reduzierten Beschichtungsdicke im Eckbereich verringert werden. Gleichzeitig entfielen das arbeitsintensive Runden der Kanten. Allerdings kann durch aufgesetzte Profile die gestalterische Qualität des Eckdetails leiden im Gegensatz zum Rundschleifen der Ecken.

Der dargestellte Schaden wird aufgrund der extremen Weiterreißfestigkeit der Polyurethan-Beschichtung und der Verrottungsresistenz der Purenit-Platten nicht zu einer Schädigung des darunter liegenden Holztragwerkes führen. Eine Reparatur ist mit einer entsprechenden Polyurethan-Spachtelmasse leicht auszuführen und wird deshalb empfohlen.

Weiterer Teil der Oberflächenvorbereitung ist das Verschließen aller Fugen größer als 2 mm, die sich zum Beispiel im Bereich der Plattenstöße ergeben können. Im Rahmen des Projektes wurden die in Abbildung 29 dargestellten drei unterschiedlichen Fugenausführungen untersucht.



**Abbildung 29** Fugenausführungen am TIB-Pavillon

Ein Teil der Fugen wurde stumpf und ohne weitere Behandlung, ein Teil mit dünnem und ca. 20 mm breitem sowie mit dickem und 50 mm breitem Klebeband ausgeführt. Zum Abkleben der Fugen wurde handelsübliches Gewebeklebeband verwendet. Abbildung 30 zeigt die abgeklebten Fugen

Die Ausführung mit abgeklebten Fugen hat den Vorteil, dass die Beschichtung im Bereich der Abklebung keinen Kontakt zum Untergrund hat. Die Breite des Klebestreifens entspricht damit der freien Dehnlänge der Beschichtung im Bereich der Fuge. Damit entsteht eine ausgeprägte Dehnfuge, welche allerdings zu optischen Beeinträchtigungen der Oberfläche führen kann, siehe Abbildung 31.

Da diese Aufwölbungen der Beschichtung über abgeklebten Fugen bisher nur im Bereich des Daches aufgetreten sind, wird davon ausgegangen, dass sich das Klebeband unter Temperatureinwirkung von der Oberfläche ablöst und sich die Beschichtung deshalb aufwölbt. Auch nach zweijähriger Standzeit sind im Bereich der Aufwölbungen keinerlei Risse zu erkennen. Aus technischer Sicht zeichnet sich deshalb kein Mangel ab. Da beim TIB-Pavillon im Bereich der Fugen keine großen Dehnungen stattfinden, wäre eine Ausführung mit stumpfen Fugen vollkommen ausreichend gewesen.



Abbildung 30 Fugen an Plattenstößen mit handelsüblichem Klebeband abgeklebt



Abbildung 31 Aufwölbung der Beschichtung im Bereich der Dehnfugen im Dach

Der TIB-Pavillon wurde von den Studenten des Instituts für Bauingenieurwesen in Eigenarbeit und ohne größere professionelle Hilfe gebaut. Durch die laienhafte Bauausführung und das Fehlen entsprechender Montageeinrichtungen konnte für die einzelnen Tafелеlemente keine Industriequalität erreicht werden. Die entstandenen Fertigungsungenauigkeiten im Bereich der Attika und der Dachrinne wurden vor dem Aufbringen der Spritzbeschichtung mit einer Polyurethan-Spachtelmasse verschlossen. Aufgrund ihrer enormen Dehnfähigkeit (ca. 200-300%) ist die Polyurethan-Spritzbeschichtung ohne weiteres in der Lage die in Abbildung 32 gezeigten Spalten zu überbrücken. Das Verspachteln der Fugen dient lediglich dazu, eine ebene Oberfläche zu schaffen, um eine gleichmäßige Schichtdicke beim Aufbringen der Beschichtung sicher zu stellen.

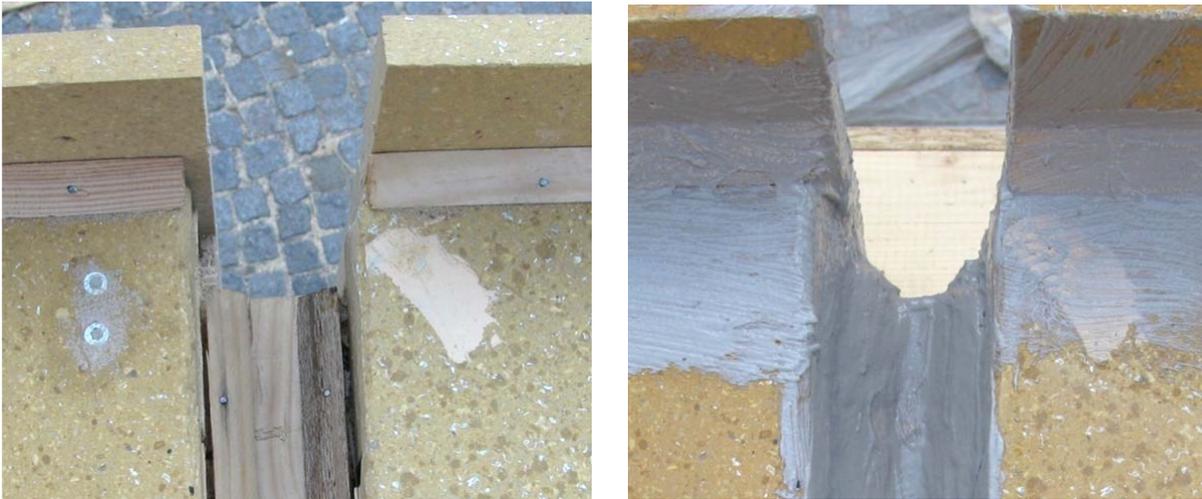


Abbildung 32 Fertigungsungenauigkeiten im Bereich der Wasserablaufrinne vor / nach dem Verspachteln

### 7.3 Dokumentation der ausgeführten Details

Nach zweijähriger Standzeit haben sich die ausgeführten Details in ihrer Funktionalität bewährt. Lediglich zwei Bereiche weisen Schäden auf. Diese Schäden sind minimal und nur lokal begrenzt, in beiden Fällen wurde die vom Hersteller geforderte Mindestdicke der Polyurethan-Beschichtung von 2mm nicht erreicht. Deshalb werden die Schäden auf Mängel in der Ausführung zurückgeführt.

Nach bisherigem Kenntnisstand können Holzbauwerke mithilfe der Polyurethan-Beschichtung dauerhaft und kostengünstig vor Witterungseinflüssen geschützt werden.

#### 7.3.1 Attika

Abbildung 33 bis Abbildung 35 zeigen die Attika direkt an der Dachrinne. Es ist zu erkennen, dass aus der Purenit-Platte infolge unsachgemäßer Fertigung ein Dreieck mit einer Kantenlänge von ca. 15 cm abgebrochen ist. Die abgebrochene Ecke wurde mit einer Schraube fixiert und anschließend überbeschichtet. Nach zweijähriger Standzeit zeigen sich keine Einschränkungen in Funktionalität und Haltbarkeit.



Abbildung 33 Attika mit Bruchstelle unmittelbar vor dem Beschichten



**Abbildung 34** Attika mit Bruchstelle zwei Wochen nach dem Beschichten



**Abbildung 35** Attika mit Bruchstelle zwei Jahre nach dem Beschichten (Stand April 2013)

Der in Abbildung 36 gezeigte Eckbereich der Attika wurde nach dem Verspachteln mit handelsüblichen Klebeband abgeklebt. Ziel dieser Maßnahme war die Schaffung eines ausgeprägten Dehnungsbereiches, vergleichbar Abbildung 30, um eventuelle Bewegung im Eck ohne eine Beschädigung der Beschichtung aufnehmen zu können.

Nach zweijähriger Standzeit hat sich an der in Abbildung 37 gezeigten Ecke ein Riss gebildet. Dieser Riss weist eine Länge von ca. 25 mm und eine maximale Breite von ca. 3mm auf. Da ausschließlich diese Gebäudeecke ein entsprechendes Schadensbild aufweist und die Beschichtungsdicke hier nur ca. 1 mm beträgt, wird der Schaden auf mangelhafte Ausführung zurückgeführt.



**Abbildung 36** Attika an Gebäudeecke vor und nach Verspachteln



**Abbildung 37** Attika an der Gebäudeecke nach zweijähriger Standzeit

Der Schaden lässt vermuten, dass die Ablösung von Ecken und insbesondere von Innenecken die Ausbildung von Rissen begünstigt. Zudem haftet die Beschichtung infolge des Klebandes im Eckbereich nicht vollflächig an der Oberfläche des Purenit an. Eindringendes Wasser kann deshalb unter die Beschichtung gelangen von wo es über die Stoßfugen der Purenit-Platten unkontrolliert in die Konstruktion eindringen kann. Eine Reparatur mit einer Polyurethan-Spachtelmasse wird daher dringend empfohlen.

Derartige Schäden im Eckbereich könnten evtl. durch den Einsatz von Halbfertigteilen, welche nach ihrer Montage mit überbeschichtet werden, reduziert werden. Gleichzeitig bietet der Einsatz solcher Halbfertigteile den Vorteil definierter Oberflächenqualitäten.

### 7.3.2 Gebäudeecken

Die Gebäudeecken weisen bis auf den in Abbildung 38 gezeigten Riss keine weiteren Mängel auf, daher kann davon ausgegangen werden, dass die Beschädigung der Oberfläche auf eine zu geringe Beschichtungsdicke zurückzuführen ist, siehe Abschnitt 7.2.



**Abbildung 38** Schaden an der Gebäudeecke

### 7.3.3 Regenablaufrinne

Die in Abschnitt 7.2 als Prinzipskizze dargestellte Regenablaufrinne hat sich in ihrer Ausführung über den Beobachtungszeitraum von zwei Jahren vollständig bewährt. In den folgenden Abbildungen ist die Rinne vor der Beschichtung und nach der Beschichtung (Stand April 2013) dargestellt.

Mit einem entsprechenden u-förmigen Halbfertigteil, welches nach der Montage mit überbeschichtet wird, könnte unter Umständen der Arbeitsaufwand verringert werden.



Abbildung 39 Regenablaufrinne am Übergang Dach/Fassade vor der Beschichtung



Abbildung 40 Regenablaufrinne vor der Beschichtung



Abbildung 41 Regenablaufrinne nach der Beschichtung Stand April 2013

### 7.3.4 Oberflächenfehler

Abbildung 42 zeigt zwei Vertiefungen. Sie sind Reste von kleinen Blasen die während des Abbindevorgangs entstanden und aufgeplatzt sind. Blasen unter der Beschichtung können z. B. durch Wassertropfen auf der zu beschichtenden Oberfläche entstehen, aus diesem Grund sind die Arbeiten bei einsetzendem Regen sofort zu unterbrechen.

Da die dargestellten Vertiefungen sich über den Beobachtungszeitraum weder vergrößert haben noch Risse in der Oberfläche aufweisen, liegt hier nur ein optischer Mangel vor.



Abbildung 42 Blasen in der Beschichtung

### 7.3.5 Vergleich von PUR-Dickfilmbeschichtungen mit üblichen Dünnsfilmbeschichtungen

Zur Demonstration der Leistungsfähigkeit der Polyurethan-Beschichtung ist der Vergleich mit den Oberfläche der Sitzmöbel des Pavillons nach Abbildung 43 hilfreich. Die quaderförmigen Sitzmöbel wurden aus Purenit-Platten gefertigt und anschließend mit handelsüblichem Lack überlackiert. Die Sitzmöbel stehen die meiste Zeit im Inneren des Pavillons sind aber auch dort u.U. dem Regen ausgesetzt. Sie zeigten an der Oberfläche innerhalb kürzester Zeit deutliche Risse und Schäden. Vor allem entlang der Plattenstöße. Grund ist die zu geringe Risseüberbrückungsfähigkeit üblicher Beschichtungssysteme, die nach dem Reissen der Beschichtung im Fugenbereich den Wassereintritt nicht mehr verhindern können.



Abbildung 43 Oberfläche der Sitzmöbel des TIB-Pavillons

## 8. Fazit

Obwohl durch die laienhafte Ausführung der Studenten keine Industriequalität beim Bau des TIB-Pavillons zu erreichen war, konnte durch die außerordentliche Leistungsfähigkeit der eingesetzten Materialien Purenit in Verbindung mit einer 2-3 mm dicken Polyurethan-Spritzbeschichtung ein funktionelles Bauwerk mit außerordentlicher Wetterbeständigkeit erstellt werden. Insbesondere die Fähigkeit der Polyurethan-Beschichtung Risse und Fertigungsungenauigkeiten von bis zu 3 mm zu überbrücken, erwies sich als sehr hilfreich. Die Materialkombination Purenit mit einer Polyurethan-Spritzbeschichtung hat sich in der zweijährigen Standzeit des Pavillons bestens bewährt. Auch die in Absatz 7.1 vorgestellten innovativen architektonischen und konstruktiven Details konnten in ihrer Funktionsfähigkeit vollständig überzeugen.

## 9. Danksagung

Die Durchführung des Forschungsprojekts und der Bau des Studentenpavillons war nur möglich dank der Forschungsgelder aus Mitteln der Deutschen Bundesstiftung Umwelt und der Unterstützung durch Material und Geld von Firmen und privaten Spendern.

Die Purenit-Platten wurden von der Firma Puren zur Verfügung gestellt. Die Firma Reaku übernahm kostenfrei die Beschichtungsarbeiten mit dem Polyurethanmaterial der AB-Polymerchemie und von Bayer, die ebenfalls das Makrolon zur Verfügung stellte.

Außerdem wurden Befestigungsmittel und Schrauben von der Firma Spax und weitere Verbindungsmittel von der Fa. Strong-Tie bereitgestellt, Zement von HeidelbergCement und Anschlusssteile durch Hamann Metallbau. Die Gesellschaft der Freunde der TU Berlin, die Fachschaft Baulnx, der VBI Berlin-Brandenburg, die Baukammer Berlin, das Institut für Bauingenieurwesen und die Berliner Ingenieurbüros Triconcept, Krone Hamann Reinke, HHP Berlin, Nixdorf Consult und Arup unterstützten das Projekt mit Geldspenden und Know-how.

## Literatur

- [1] Schmid, V.; Zauft, D.: Verbundfassade aus Upcycling-PUR-Pressplatten und Holz für einen Lehr- und Forschungspavillon in Berlin. In Bautechnik 89 (2012), 68-72.
- [2] Rasshofer, W.: Recycling von Polyurethan-Kunststoffen. Klebpressen von Polyurethanreststoffen aus dem Bau- und Industriebereich. Heidelberg 1994.
- [3] Neß, L.: Dokumentation des TIB-Pavillons und experimentelle Untersuchungen zum Werkstoff Purenit. Bachelorarbeit Fachgebiet E&K-Verbundstrukturen TU Berlin 2012.

### Weitere Veröffentlichungen zum TIB-Pavillon

Studierende des Projektteams: Studieren, Bauen, Forschen - Der Weiße Pavillon. BK 3/2011 Baukammer Berlin, Zeitschrift für die im Bauwesen tätigen Ingenieure, CB-Verlag Carl Boldt, Berlin 2011, S. 23-26

Zauft, D.; Schmid, V.: Composite System of up-cycled PUR panels and timber for façade structures. Proceedings IABSE Symposium, London 2011

Kaltenbach, F.: »Grüne« Hülle aus Plastik? TIB-Pavillon erforscht Upcycling-Materialien. Detail 6/2012, S. 604; Institut für internationale Architekturdokumentation, München 2012

Dörbaum, M.: Der weiße Pavillon, Vortrag und Poster beim YES -Young Engineers' Symposium 2012 in Luzern, IVBH, Schweiz 2012. [http://www.ivbh.ch/cms/upload/Rueckblick/YES2012/Doerbaum Marie - Der\\_weiße\\_Pavillon.pdf](http://www.ivbh.ch/cms/upload/Rueckblick/YES2012/Doerbaum%20Marie%20-%20Der_wei%C3%9F_Pavillon.pdf)

Ness, L.: Experimentelle Untersuchungen zum Werkstoff Purenit – im Rahmen des Projekts "Der weiße Pavillon"; Poster beim YES - Young Engineers' Symposium 2012 in Luzern, IVBH, Schweiz 2012. [http://www.ivbh.ch/cms/upload/Rueckblick/YES2012/Ness\\_Levin\\_yes2012\\_Praesentation\\_TU Berlin.pdf](http://www.ivbh.ch/cms/upload/Rueckblick/YES2012/Ness_Levin_yes2012_Praesentation_TU%20Berlin.pdf)

DETAIL inspiration, TIB-Pavillon, TU Berlin: <http://www.detail.de/inspiration/tib-pavillon-tu-berlin-106092.html>

N.N.: Research at your fingertips - New ways of using PU in a composite panel. Plastics 1/46, Heidelberg Business Media GmbH, Heidelberg 2013. <http://plastics.gl/article.php?&aid=99q&prv=1>