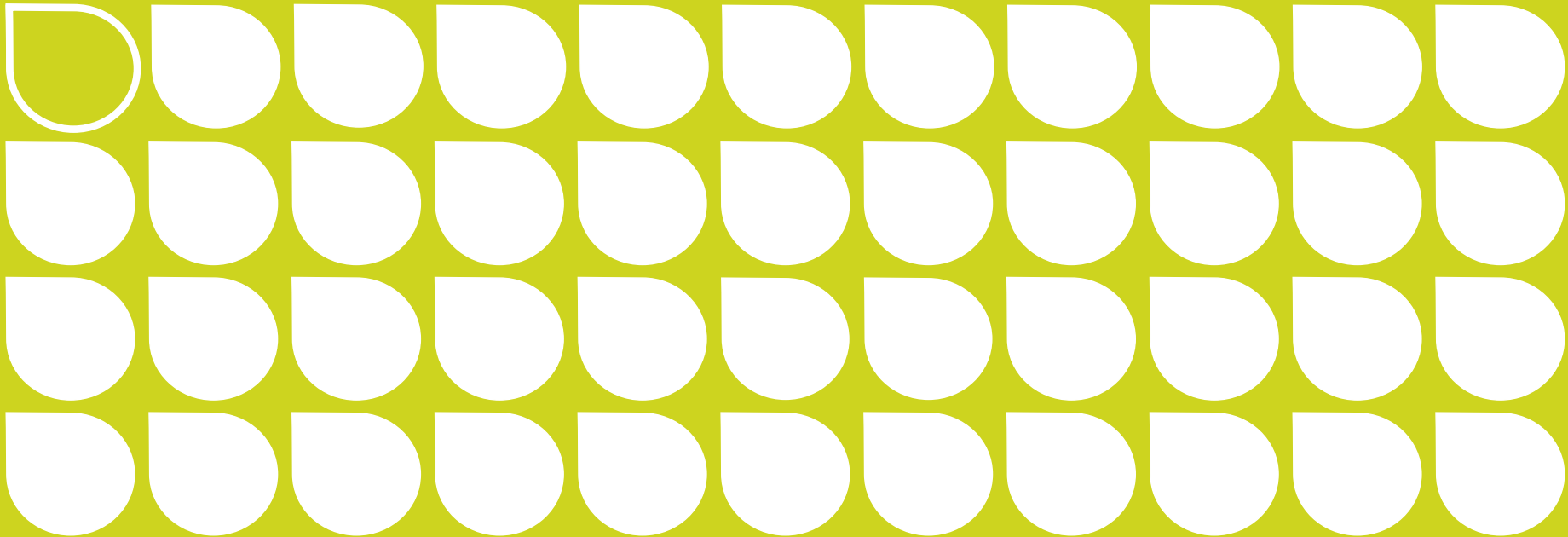


**Symposium MehrWerkstoffe**  
Fachhochschule Frankfurt am Main



## **VORWORT**

Prof. Claudia Lüling **1**

## **FUNKTIONSWERKSTOFFE**

PROF. WERNER LORKE, HFG OFFENBACH **3**

Phase Changing Materials (BASF AG) **4**

Metallschäume (M-Pore GmbH) **6**

CIS-Dünnschichtmodule (Würth Solar GmbH & Co.KG) **8**

Organische LED's (IAPP Dresden) **10**

## **NACHHALTIGE WERKSTOFFE**

PROF. NICOLA STATTMANN, UNI WEIMAR **13**

Zellulosewerkstoffe (Omodo GmbH) **15**

BioVerbundwerkstoffe (Dt. Zentrum f. Luft- u. Raumfahrt/Burg Giebichenstein) **17**

Holz in Hochform (Universität Dresden) **20**

Bastfasern, Chancen und Nutzen (Universität Halle) **23**

## **RECYCLINGWERKSTOFFE**

CHRISTIAN SAUER, UDK BERLIN **26**

Blähglas (Poraver GmbH) **28**

Gaborit (Gaborit GmbH & Co.KG) **29**

DSD (Duales System Deutschland AG) **30**

## **VORTRAG**

2012 ARCHITEKTEN (NL) **32**

## VORWORT

**Professor Claudia Lüling**  
Fachhochschule Frankfurt am Main

Die vorliegende Broschüre dokumentiert die Beiträge des Symposiums „MehrWerkstoffe“ vom 9.11.2005 an der FH Frankfurt.

Das Symposium ist Bestandteil des FuE-Projektes „MehrWerkstoffe“. Ermöglicht wurde das Symposium durch Mittel aus dem JuniorInnenprogramm der FH Frankfurt, aus Mitteln des Hessischen Ministeriums für Umwelt, ländlicher Raum und Verbraucherschutz, durch eine Spende der Würth Solar GmbH und Co.KG sowie durch die Unterstützung der Firmen, die auf eine Vergütung ihrer Vorträge verzichtet haben.

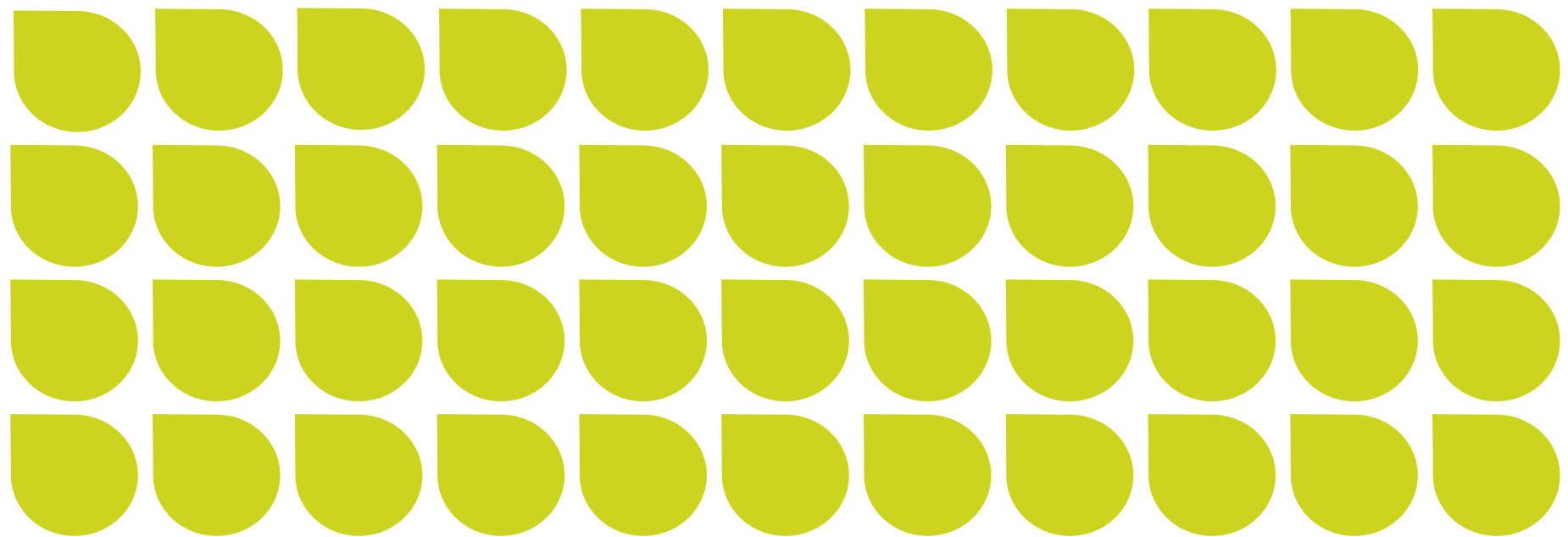
MehrWerkstoffe diskutiert neue Entwicklungen im Bereich Material-Technologie-Gestaltung und wendete sich an Designer, Architekten und Ingenieure. Vertreter von Firmen und Forschungsinstitutionen stellten Werkstoffe aus dem Bauwesen vor die einen „Mehrwert“ haben, weil sie entweder wenig Herstellungsenergie benötigen, zur Energieeinsparung beitragen oder selber Energie produzieren und zusätzlich über gestalterisches Potential verfügen. Entsprechend war das Symposium in drei Themenkreise gegliedert:

Nachhaltige Werkstoffe, Recyclingwerkstoffe und Funktionswerkstoffe

Moderiert wurden die Themenkreise von Prof. Nicola Stattmann, selbstständige Produktdesignerin und Herausgeberin u.a. von "Ultralight-Superstrong" und "Handbuch Material Technologie", Dipl. Ing. Christiane Sauer, selbstständige Architektin, Gründerin von "Formade" und Managing Partnerin von "Architonic" sowie Prof. Dipl. Phys. Werner Lorke vom Fachbereich Produktgestaltung an der HFG Offenbach und Partner von "Interdisziplinäre Objekte".



**Funktionswerkstoffe**  
Professor Werner Lorke, HFG Offenbach



## FUNKTIONSWERKSTOFFE

Professor Werner Lorke, HfG Offenbach  
 IO Objekte | Robert-Mayer-Strasse 49 | D-60486 Frankfurt  
 www.io-objekte.de

Unter Funktionswerkstoffen versteht man heute eine Klasse von Materialien, deren komplexe Struktur den internen Ablauf von Prozessen ermöglicht, für die bisher – wenn überhaupt - ein mehr oder weniger großer apparativer Aufwand erforderlich war. Diese funktionelle Verdichtung im Werkstoff selbst spart nicht nur viel Platz, sondern ermöglicht auch den effektiveren Einsatz physikalisch oder chemisch gebundener Energie. Umwandlungen von einer Energieform in eine andere sind stets verlustbehaftet. Dieser Anteil wächst, je mehr Zwischenstufen dabei durchlaufen werden. Deshalb arbeiten konventionelle technische Verfahren bevorzugt mit Trägerstoffen, die Energie in hoher Konzentration beinhalten.

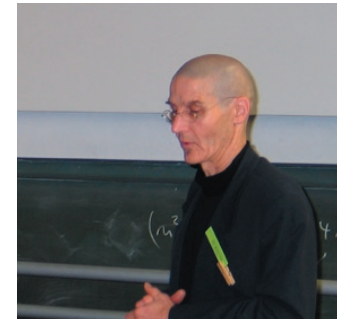
Im Vergleich zu der von der industrialisierten Welt „verheizten“ Energie steht Energie aus regenerativen Quellen in wesentlich geringeren Konzentrationen zur Verfügung. Deren wirtschaftlich sinnvolle Nutzung setzt deshalb deutlich verlustärmere Umwandlungs- und Speicherprozesse voraus als die bisher üblichen. Die Funktionswerkstoffe bilden hierfür eine vielversprechende Grundlage, denn der Einsatz verlustarmer Energieumwandlungsprozesse ist essentiell für eine nachhaltige globale Entwicklung.

Von besonderem Interesse für die Architektur sind daher Funktionswerkstoffe, die auf direkte Weise elektrischen Strom in sichtbares Licht, und umgekehrt, Sonnenlicht in Strom überführen. Darüber hinaus ist die reversible, passive Speicherung von Wärme ein probates Mittel, den im Tages- und Jahresgang stark schwankenden Energieeintrag in ein Gebäude verlustmini-

miert zu verwerten und Jahresschwankungen auszugleichen.

Im Labormaßstab lassen sich dabei wichtige Eigenschaften funktionaler Werkstoffe durch Beeinflussung der mikro- und submikroskopischen Struktur immer präziser einstellen. Erst durch Herstellungsverfahren im industriellen Maßstab können aber daraus kostengünstige Produkte entstehen. Da solch ein Schritt wiederum von Nachfrage und Preis abhängt, verharren viele der „Neuen Werkstoffe“ in einem charakteristischen Schwebezustand zwischen scheinbar erfolgreicher Entwicklung und fehlender Anwendung. Bei den meisten dieser vielversprechenden Materialien gilt es auf dem Weg zum einsatzfähigen Produkt, neben der kostengünstigen Fertigung, vor allem einen dauerhaften, gleichbleibend hohen Wirkungsgrad sicherzustellen. Baustoffe sind während ihres Lebenszyklus Umwelteinflüssen ausgesetzt, die zu einer fortschreitenden Verschlechterung von Materialeigenschaften beitragen. Aufgrund der - im Vergleich zu konventionellen Baustoffen - viel höheren Komplexität sind Funktionswerkstoffe hier aber viel empfindlicher. Deswegen ist der möglichst permanente Schutz vor äußeren physikalischen und chemischen Einwirkungen eine besonders wichtige Optimierungsaufgabe für den Praxiseinsatz.

Die nachfolgende Auswahl vermag das breite Einsatzpotential funktionaler Werkstoffe nur anzudeuten. Gleichwohl können die Entwicklungsbeispiele Anregungen geben, die vielfältigen Möglichkeiten dieser neuartigen Materialien bei der zukünftigen Planungsarbeit kreativ zu berücksichtigen.



## PHASE CHANGING MATERIALS

Dr. Martin Schmidt  
 BASF Aktiengesellschaft | D-67056 Ludwigshafen  
 www.basf.com

Mit Phase Change Materialien lassen sich keine spektakulären optischen Effekte erzielen, genaugenommen überhaupt keine optischen oder ästhetischen Effekte. Phase Change Materialien sind wie unsichtbare kleine Helfer, die man nur anhand ihres Wirkens bemerkt – das aber ist beträchtlich. Sie verleihen anderen Materialien, in die sie integriert werden, ein physikalisches Verhalten, als ob sie über eine große thermische Masse verfügten. Das stellt gewissermaßen die Gesetze der Bauphysik, die sich so humorlos in den Betrieb eines Gebäudes einmischen, auf den Kopf.

### Latentwärmespeicher

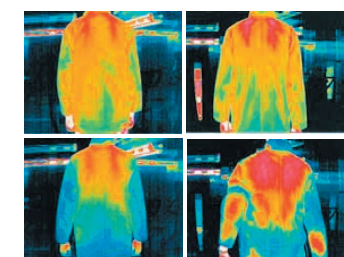
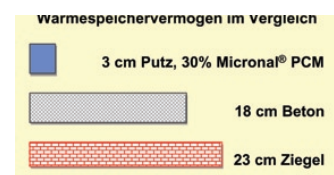
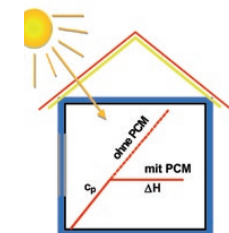
Gute Arbeitsergebnisse und das Wohlbefinden in den eigenen vier Wänden haben eines gemein: Sie hängen stark von den klimatischen Bedingungen der benutzten Räumlichkeiten ab. So werden sowohl zu niedrige als auch zu hohe Temperaturen als störend empfunden. Phase Change Materials (PCM) bzw. Latentwärmespeicher können dabei eine große Rolle spielen, weil sie helfen, Temperaturschwankungen wie die sommerliche Überhitzung von Gebäuden zu glätten bzw. den passiven sommerlichen Wärmeschutz zu verbessern, ohne die Masse eines Gebäudes wesentlich zu erhöhen.

Phase Change – was meint das eigentlich? Bei der Erwärmung von Eis tritt am Phasenübergang zu flüssigem Wasser ein Haltepunkt in der Temperaturerhöhung ein. Solange zwei Phasen (fest – flüssig) gleichzeitig vorliegen, steigt die Temperatur nicht an, sondern die einströmende Energie wird für den Phasenübergang verbraucht. Der Effekt ist bekannt von den Eiswürfeln

im Getränk. Wenn die Energieaufnahme ohne fühlbare Temperaturerhöhung stattfindet, wird sie als „latent“ bezeichnet. In heißem Wasser wird die Energie dagegen „sensibel“, also in Form von fühlbarer Erwärmung gespeichert. Interessant sind dabei die Energiemengen, die in einem Phasenübergang gespeichert sind: Wenn man ein Kilogramm Eis bei 0°C zu einem Kilogramm Wasser bei 0°C schmelzen will, benötigt man die Energiemenge von 333 Kilojoule. Mit derselben Energiemenge kann man aber auch ein Kilogramm Wasser von 0°C auf ca. 80°C erwärmen.

### Für Bauzwecke Wachse statt Wasser

Im Baubereich wird mit microverkapselten Wachsen gearbeitet, deren Schmelzpunkt flexibel auf den Einsatzbereich abgestimmt wird. Durch die Verkapselung wird das Wachs zudem in seiner hochreinen Form geschützt, wodurch die hohe Wärmespeicherkapazität von 110 kJ/kg dauerhaft gewährleistet ist. Dies wurde durch Messungen am Fraunhoferinstitut für Solare Energiesysteme (ISE) in Freiburg bestätigt. Prinzipiell ist jede gewünschte Schalttemperatur herstellbar. Das BASF-Produkt Micronal® DS 5000 X nimmt die Wärmeenergie der Umgebung bei ca. 26 °C auf. Dies ist die durch Computersimulationen bestätigte optimale Temperatur, wenn es um passiven sommerlichen Wärmeschutz in Gebäuden geht. Auch Material mit einer Schalttemperatur von 23 °C ist erhältlich, wenn PCM als Komponente in einem Klimatisierungskonzept zum Einsatz kommen soll.



in Textilgewebe eingebettetes PCM; thermographischer Vergleich einer Jacke mit und ohne eingebettete PCMs

### Herstellung, Anwendungen

Bei der Herstellung erhält man ein flüssiges Produkt, in dem die Mikrokapselformen in Wasser dispergiert sind. Alle Anwendungen, in denen die flüssige Form verwendet werden kann, greifen auf diesen Rohstoff zurück. So braucht Gips für die Abbindung ohnehin Wasser, welches durch die PCM-Dispersion gleich mitgebracht wird. Verlangt die Anwendung jedoch nach einem pulverförmigen Rohstoff, so kann durch zusätzliche Sprühtrocknung das Wasser entfernt werden. Dies ist z. B. der Fall bei trockenen Fertigmischungen in Gips- oder Zementmörteln (Werk trockenmörteln), welche in Säcken oder im Silo geliefert werden mit 23°C oder 26°C. Die BASF ist damit in der Lage, formaldehydfreie, mikroverkapselte Latentwärmespeicher in großen Mengen zu Verfügung stellen kann.

Gemeinsam mit Industriepartnern wird der Rohstoff PCM in verarbeitungsfertige Endprodukte formuliert, denn es wird jeweils ein Trägermaterial benötigt, damit sie am Bau eingesetzt werden können. Dies können Putze, Bauplatten, Spachtelmassen bzw. zementäre Mischungen oder auch Holzwerkstoffe sein.

Die Firma maxit in Merdingen bietet z.B. den PCM-Gipsputz maxit „Clima“ an, der genau wie ein normaler Gipsputz angewendet wird. Zusätzlich zu den Aufgaben eines Putzes liefert dieses Produkt auch eine Klimafunktion zum Temperaturmanagement in Innenräumen. Der „intelligente“ Putz wurde erstmals im neuen Verwaltungsgebäude des badischen Energieversorgungsunternehmens Badenova in Offenburg eingesetzt.

Ebenso erhältlich sind z.B. Micronal PCM Gipsbauplatten, 23°C oder 26°C

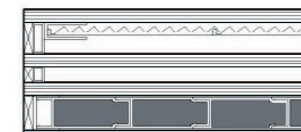
(Länge 2,00 m x Breite 1,25 m x Dicke 15 mm, Gewicht 11,5 kg/qm, PCM-Gehalt ca. 3 kg dry/qm, Wärmespeicherkap. ca. 330 kJ/m<sup>2</sup>)

### Nutzen

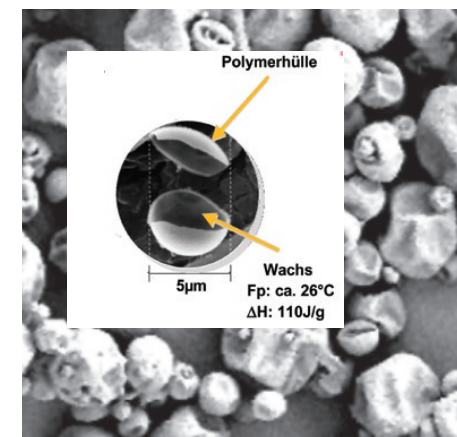
Durch die Verlagerung von Temperaturspitzen in die Nacht werden Komfort und Kosteneinsparungen ermöglicht. Klimaanlage können vermieden bzw. mit kleinerer Spitzenlast ausgelegt werden, aufwendige Betonkernaktivierung können minimiert werden, zumal der Latentwärmespeicher wesentlich schneller auf Temperaturspitzen anspricht als der träge Beton. Es entsteht ein Gewinn an Nettogeschossfläche, nutzbare Grundfläche im Inneren wird gewonnen wird. – ein direkter Kostenvorteil bei der Erstellung und in der Vermietung.

So kann ein Putz mit ca. 3cm Stärke und 30% PCM in etwa die Speichermasse einer 18 cm dicken Betonwand ersetzen (oder 23 cm Ziegelwand). Latentwärmespeicher der BASF sind eine Zukunftstechnologie, die eine neue Klasse von Baustoffen ermöglicht. Architekten und Planer bekommen damit ein Werkzeug in die Hand, das mehr Gestaltungsfreiraum im Gebäudedesign, eine bessere Energieeffizienz und mehr Komfort ermöglicht. – ein unsichtbarer Beitrag - mit sichtbarem Erfolg!

(weitere innovative Werkstoffe der BASF: Neopor, Basotect, Belmadur etc.)



„Power Glass“; Vertikalschnitt: 4-fach Verglasung mit 6 mm Prismenglas im äußeren und 8 mm starken, PCM-gefüllten Kunststoffprofilen im inneren Scheibenzwischenraum, [www.glassX.ch](http://www.glassX.ch)



## METALLSCHÄUME

Dr. Dieter Girlich

M. PORE GmbH | Enderstraße 94 | D-01277 Dresden

www.m-pore.de

Aus dem Prinzip Überflüssiges wegzulassen entsteht mit dem offenporigen Metallschaum eine neue Klasse funktionaler Werkstoffen. Die offenporigen Metallschäume werden durch ein modifiziertes Feingussverfahren hergestellt mit dem Vorteil, hinsichtlich Legierungsauswahl, Geometrie, Dichte und Zellstruktur gezielt auf die Anwendung abgestimmte Bauteile herstellen zu können.

### Eigenschaften offenporiger Metallschäume

Offenporige Metallschäume sind vom Konstruktionsprinzip natürlichem Knochengewebe nachempfunden. Material und Struktur vereinen bei geringem Gewicht hohe mechanische Festigkeit und bieten durchströmenden Medien eine hohe innere Oberfläche bei geringem Strömungswiderstand. Die Dichte von offenporigem Metallschaum liegt bei ca. 10% des Ausgangsmaterials. Die hohe Stabilität und extreme Leichtigkeit ergibt sich, indem das dreidimensional vernetzte Gefüge wie ein Ganzes reagiert. Die Belastung wird über eine große Fläche verteilt. Die Bauteile können mechanisch durch sägen, fräsen oder drehen nachbearbeitet werden und sind zu 100% recyclebar.

### Charakterisiert werden offenporige Metallschäume

durch die Anzahl der Poren per inch (ppi), die von 10ppi bis 45ppi reichen. Die Poren können idealisiert als Pentagondodekaeder beschrieben werden, deren Kanten die Stege der Gitterstruktur bilden. Das Verhältnis von großem zu kleinem Durchmesser eines Pentagondodekaeders ist theoretisch 1,6. Für

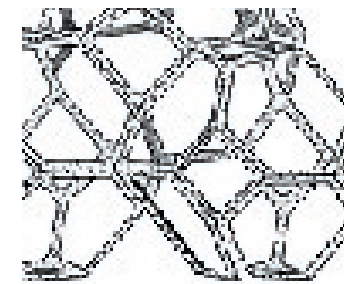
die Gitterstruktur der offenporigen Metallschäume variiert der große Durchmesser von ca. 4.5mm (10ppi) – ca.1mm (45ppi) und der kleine Durchmesser von ca. 1,5mm (10ppi) – 0,5mm (45ppi). Der Druckverlust bei der Durchströmung ist bei niedrigen Strömungsgeschwindigkeiten proportional zur Strömungsgeschwindigkeit und der durchströmten Länge.

### Umsetzung in Produkte

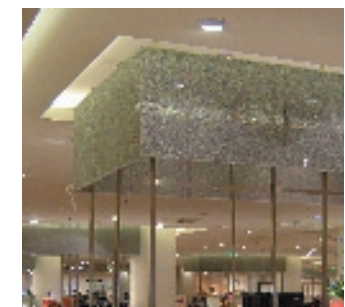
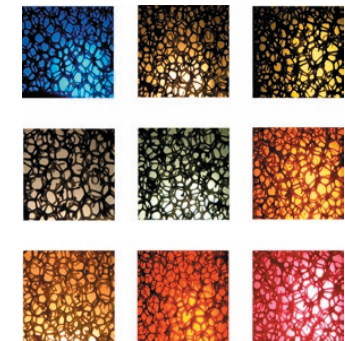
Das geringe Gewicht und die hohe Oberfläche ermöglichen den Austausch von Energie bei Wärmetauscher/Explosionsschutz, da die Wärmeenergie schnell in oder aus einem Prozess geleitet werden kann (Kühler, Sorptionswärmespeicher). Überall wo Massen bewegt werden, kann durch den geringeren Antriebsaufwand Energie eingespart werden. Als Leichtbauelement mit Hohlraum und als Konstruktionselement ergeben sich Einsatzmöglichkeiten im Maschinenbau, der Luft- und Raumfahrttechnik und Architektur. Die hohe mechanische Festigkeit ermöglicht es, viel Energie in Form von Dämpfungs- oder Crashelement zu absorbieren. Die offenzellige Struktur erlaubt das Infiltrieren von Materialien zur Strukturverstärkung, z. B. Kunststoffteile zu stabilisieren. Die hohe Oberfläche beeinflusst den Ablauf chemischer Reaktionen bei entsprechender katalytischer Beschichtung. Die Gitterstruktur wirkt als statischer Mischer und unterstützt den Reaktionsablauf.

### Anwendungen

**Latentspeicher** arbeiten auf Basis des Phasenwechsels geeigneter Speichermedien (PCM Phase Change Material; z.B. Wasser, Paraffin). Nachteilig



Loch als Bauprinzip





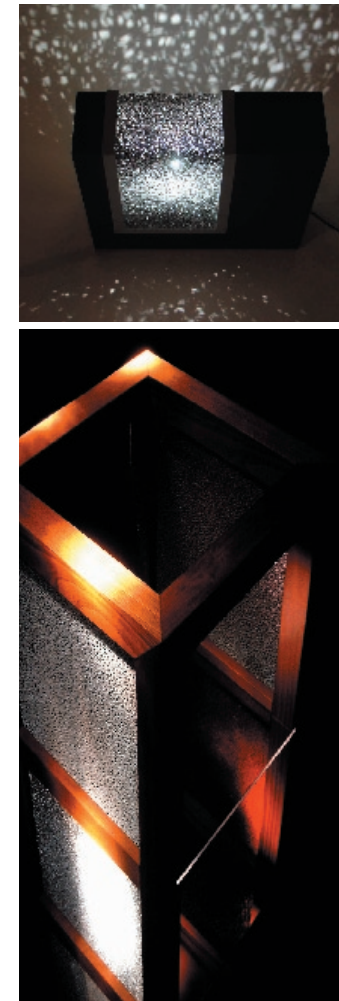
sind die geringen Wärmeleitfähigkeiten dieser Speichermedien. Dadurch sind die zumeist aufwendigen Konstruktionen und Technologien heute dadurch bestimmt, diesen Nachteil zu kompensieren. So ist im Wesentlichen auf Kosten der zur Verfügung stehenden Volumina die Dimensionierung der Wärmeübertrager in den Speichern durch die schlechte Wärmeleitfähigkeit der Trägermaterialien bestimmt. Im Ergebnis müssen die Volumina mit dem reinen PCM sehr klein gewählt werden. Offenporige Aluminiumschäume sind aufgrund ihrer Struktur ideal für den Einsatz in Latentspeichern.

Die Wärmeleitfähigkeit des Basismaterials, meist Aluminium, ermöglicht den Aufbau von **Wärmetauschern**, die aufgrund der geringen Masse und der großen Oberfläche sehr schnell große Wärmemengen transportieren. Am Beispiel von explosionshemmenden Matten wurde der Nachweis geführt, dass Gas- und Staubexplosionen im Ansatz unterdrückt werden können. Die praktikablen Anwendungsmöglichkeiten durchströmter Metallschäume für die wärmetechnische Anwendung sind maßgebend durch die Bewertung des Druckverlustes und der Wärmeübertragungs-/Wärmeleiteigenschaften bestimmt. Je dichter der Metallschaum (steigende Porendichte) umso besser werden die Wärmeleiteigenschaften aber umso höher wird auch der Druckverlust. Ein gutes Optimum für die Wärmeübertragung auf Luft / bzw. Gas sind Metallschäume mit einer Porendichte bis zu 20ppi und einer Zylinderstegform, die mit einer Geschwindigkeit zwischen 0,1 bis maximal 3 m/s angeströmt werden. Eine weitere gute Alternative sind Metallschäume mit einer Porendichte von 10ppi und einer Kreuzstegform. Für einen maximalen Wärmeübergang wird der Einsatz einer Metallschaumhöhe von ca. 20 mm über der Wärmekontaktfläche empfohlen.

In kurzen Strömungskanälen sollen **Gleichrichter** und Siebe die Vergleichmäßigung der Strömungsverhältnisse über den Querschnitt verbessern. Während die Gleichrichter die Querkomponenten einer Strömung abbauen (z.B. die Drallströmung), helfen Siebe, die Strömung über den Querschnitt zu verteilen. Aufgrund seiner Struktur kann der Metallschaum beide Eigenschaften in sich vereinigen. Strömungsvergleichmäßigung durch Metallschaum

#### Praxisrelevante Bewertungen:

- Akustische Untersuchungen haben gezeigt, dass der Metallschaum selbst keine guten schallabsorbierenden Eigenschaften besitzt, aber der Metallschaum beeinflusst die Schallausbreitung im Raum, was z.B. für ein positives Klangempfinden genutzt werden kann.
- Der Metallschaum eignet sich hervorragend für die Gestaltung spezieller Designgegenstände im Sinne der architektonischen Gestaltung von Räumen. Das gilt auch für das Erzielen spezieller Licht- und Schalleffekte!
- Des Weiteren können Metallschaumkonstruktionen Magnetfelder derart beeinflussen, dass z.B. die Anforderungen der elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV) solcher Bauelemente erfüllt werden.
- Metallschäume sind sehr gute Energieabsorber und deshalb für das Design so genannter Crash gefährdeter Bauteile geeignet.
- Die nachträgliche Integrierung von festen Sorbentien, z. B. zur Entfeuchtung, in die Metallschaumstruktur ist möglich. Die Beschichtung mit katalytisch aktivem Material zum Abbau von Geruch- oder Schadstoffen ist möglich.



## CIS-DÜNNSCHICHTMODULE

Erich Köhle

Würth Solar GmbH & Co.KG | Alfred-Leikam-Str. 2 | D-74523 Schwäbisch Hall

www.wuerth-solar.de

Kristallines Silizium (c-Si) ist das mit weitem Abstand wichtigste und in der Produktion am weitesten fortgeschrittene Material in der Photovoltaik. Im Jahre 2004 lag der Anteil für c-Si bei weit über 90% des Weltmarktes.

Dünnschichtmaterialien wie amorphes Silizium und die polykristallinen Verbindungshalbleiter CdTe und Cu(In,Ga)Se<sub>2</sub> (CIS) entwickeln sich gut, die Produktionstechnologien sind jedoch noch nicht so weit fortgeschritten. Unter diesen 3 wichtigsten Dünnschichtmaterialien ragt CIS wegen seiner hervorragenden Eigenschaften als interessantester Kandidat für den Wettbewerb mit c-Si heraus. Ein Hauptfaktor für niedrige Modulkosten ist das Erreichen eines hohen Modulwirkungsgrades bei hoher Prozessausbeute und hohen Durchsätzen. Der langfristig entscheidende Faktor werden die Materialkosten sein. CIS erfüllt alle diese Bedingungen hervorragend, zudem können bei CIS in Zukunft sowohl beim Wirkungsgrad als auch bei den Materialkosten noch erheblich Potenziale ausgeschöpft werden.

### Modulproduktion

Die Firma Würth Solar wurde im Jahre 1999 in Marbach am Neckar gegründet. Ausgangspunkt waren die Vorarbeiten an der Universität und des Zentrums für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung (ZSW) Stuttgart mit Modulwirkungsgraden auf 30cm x 30cm Glassubstraten bis 12%.

Die Standardmodulgröße ist 60cm x 120cm. Aus Abbildung 1 lässt sich die vollständige Prozessabfolge ableiten. Die Produktion bei Würth Solar

beginnt mit der Reinigung von standardmäßig 3 mm dicken Fenstergläsern (Natronkalkglas) der Größe 60cm x 120cm. Der Rückkontakt aus ca. 0,5 µm dickem Molybdän wird mittels DC-Magnetron-Sputtern hergestellt. Nach dem ersten Strukturierungsschritt (Festlegung des Moduldesigns in Zahl und Größe der Einzelzellen) mittels Lasertechnik wird die CIS-Schicht in einer Dicke von 2 µm abgeschieden. Danach erfolgen die Abscheidungen von Zwischenschichten, und weitere Strukturierungen, die die automatische serielle Verschaltung der Zellen ergibt.

Diese Rohmodule werden nun an den beiden äußersten Zellen mit Metallbändchen, die auf die Modulrückseite zur Anschlussdose geführt werden, kontaktiert. Schließlich wird mit einer zweiten Glasscheibe, die nach Einsatzanforderungen in Dicke und Art variabel ist, und einer transparenten Klebefolie eine Verbundglas hergestellt, das die Langlebigkeit des CIS-Moduls gewährleistet. In /2/ und /3/ sind weitere Details der Herstellprozesse zu finden. Alle Beschichtungen werden ganzflächig im kontinuierlichen Durchlaufverfahren ausgeführt.

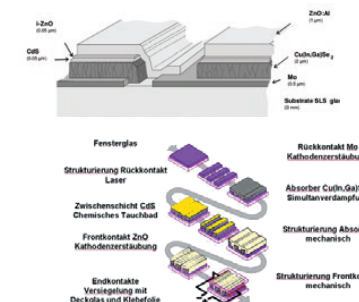
### Zuverlässigkeit

#### Zertifizierung

Nach gezielten Prozess- und Materialoptimierungen mit dem Ziel einer möglichst langen Lebensdauer bei gleichbleibender Modulqualität wurden Standardmodule der Würth Solar beim TÜV Rheinland gemäß EN61464 (beschleunigte Alterung) getestet und Anfang 2004 erfolgreich zertifiziert.



Schematischer Aufbau der CIS-Zelle und die integrierte Serienschaltung zweier Einzelzellen im Modul.



Damit ist eine stabile Modulfunktion im Feld über mindestens 20 bis 25 Jahre zu erwarten.

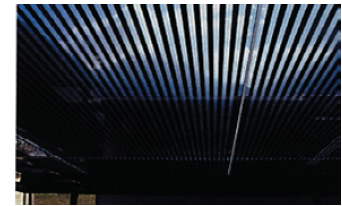
### Anwendungen

Vorteile der CIS-Module sind neben einer hohen Qualität auch die große Flexibilität in Größe, Form und elektrische Parameter. Das Produktportfolio der Würth Solar umfasst neben dem Standardmodul der Größe 60cm x 120cm auch größere Module und eine Vielzahl von meist kleiner Spezialmodulen, die an die Anforderungen des Kunden in Größe und elektrische Parameter für eine Produktintegration angepasst sind. CIS-Module bieten eine große Flexibilität, da einerseits Größe, Zuschnittsform sowie Transparenz wählbar sind, andererseits auch das materialbedingte, homogen mattschwarze Aussehen variiert werden kann.

Durch das farbige Hinterlegen transparenter Module ebenso wie durch farbig mit Siebdruck getaltete Deckgläsern lassen sich Überlagerungs- und Farbchangierungen erreichen. Für die gebäudeintegrierte Anwendung hat Würth Solar zahlreiche Variationen wie Semitransparenz, Isolierglasmodule und farbliche Gestaltung zu bieten.

### Zusammenfassung

CIS-Module zeichnen sich nach erfolgreicher Zertifizierung nach EN41646 und sehr guten Ergebnissen im Einsatz durch eine hohe Zuverlässigkeit aus. Sie eignen sich mit ihren sehr vielfältigen optischen und elektrischen Gestaltungsmöglichkeiten von der Produktintegration im Inselbetrieb bis hin zu architektonisch hochwertigen Gebäudeintegration im netzgekoppelten Betrieb.



## ORGANISCHE LED'S

Dr. Martin Pfeiffer

Institut für Angewandte Photophysik TU Dresden | George-Bähr-Straße 1 | D-01062 Dresden  
www.iapp.de

Leuchtdioden aus anorganischen Halbleitermaterialien als intensive, mehr oder weniger punktförmige Lichtquellen verschiedener Farbe sind schon heute weit verbreitet in verschiedenen elektrischen Geräten, insbesondere in der Unterhaltungselektronik und im Automobil-Innenraum. Zunehmend findet man sie auch im Bereich Leuchten, (Anmerk. der Redaktion), wo sie beginnen aufgrund ihrer Langlebigkeit mit bis zu 100.000 Betriebsstunden traditionellen Leuchtmitteln den Rang abzulaufen.

### Elektrolumineszenz organischer Materialien

Die Elektrolumineszenz organischer Materialien ist seit den 60er Jahren bekannt, benötigte aber zunächst angelegte Spannungen im Kilovolt-Bereich. Im Jahr 1987 wurde von C.W. Tang (Kodak) erstmals eine Leuchtdiode auf der Basis hauchdünner organischer Aufdampfschichten realisiert, die schon bei ca. 5V helles grünes Licht emittiert.

### OLED

Seither hat das Gebiet eine rasante Entwicklung erlebt, so dass heute effiziente organische Leuchtdioden (OLED) in allen Farben zur Verfügung stehen. Meilensteine auf dem Weg zu höheren Effizienzen setzte dabei die Universität Princeton mit der Einführung von Phosphoreszenzemittern und die TU Dresden durch OLED mit gezielt dotierten Ladungsträgertransportschichten. Den Effizienzrekord von über 100 lm/W hält derzeit die TU Dresden zusammen mit ihrer Ausgründung Novaled GmbH mit einer grünen OLED, die damit sogar die besten anorganischen grünen Leuchtdioden übertrifft. Für

weiße OLED sind Effizienzen um 50-70 lm/W angepeilt, was deutlich über der Effizienz von Glühlampen und Halogenlampen, aber noch etwas unterhalb der Effizienz der besten Fluoreszenzlampen (Leuchtstoffröhren) liegt.

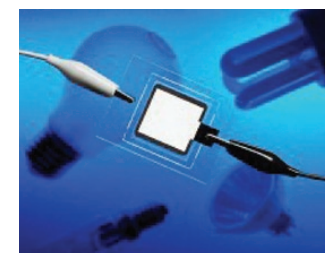
Grüne und rote OLED erreichen heute Lebensdauern von über 200 000h. Probleme gibt es aber noch mit der Lebensdauer tief blauer Emitter – insbesondere bei den hocheffizienten Phosphoreszenzemittern - und mit der Farbstabilität weißer OLED im Dauerbetrieb.

### Flächenleuchtmittel

OLED können im Gegensatz zu anorganischen LEDs problemlos auf großen Flächen und auf kostengünstigen, flexiblen Substraten wie Metall- oder Plastikfolie abgeschieden werden. Am Fraunhofer-Institut für Photonische Mikrosysteme (IPMS) in Dresden wird derzeit z.B. eine Inline-Produktion auf 30x40cm große Substrate erprobt. Versuche zur Roll-to-Roll-Produktion auf Folie sind in Planung. Bei großen Produktionsvolumina könnten damit Preise in der Größenordnung von 100 pro Quadratmeter leuchtender Folie mittelfristig erreicht werden. Der Markteintritt wird aber zunächst nicht über den Preis oder die Effizienz angestrebt, sondern über neue Gestaltungsmöglichkeiten für die Innenarchitektur: Neben der Flexibilität, der Flächigkeit und der geringen Dicke sind OLED auch dadurch attraktiv, dass sie es ermöglichen, die Farbtemperatur (kaltes oder warmes Weiß) je nach Wunsch und Tageszeit einzustellen.



LED Light Emitting Diodes



OLED Organic Light Emitting Diodes

### Einsatzmöglichkeiten

Während erste OLED-Displays für Mobiltelefone, Digitalkameras und Autoradios bereits auf dem Markt sind, sind großflächige, flexible OLED für Beleuchtungszwecke bisher noch nicht erhältlich. Aus Japan gibt es aber Ankündigungen für erste Produkte evtl. schon im nächsten Jahr. Auf Grund der Schwierigkeiten bei der Verkapselung werden dies aber zunächst Lichtkacheln, und noch keine flexiblen Lichtfolien sein. In Europa arbeitet seit letztem Jahr ein von der EU gefördertes hochkarätiges Konsortium unter Beteiligung großer Firmen wie Philips, Siemens, Osram, und Merck zusammen mit verschiedenen Forschungseinrichtungen dran, die OLED-Technologie für Beleuchtungszwecke voranzutreiben. Daran beteiligt sind auch die Gruppen aus Dresden, das sich mit dem IAPP der TU Dresden, seiner Ausgründung Novaled und dem Fraunhofer IPMS inzwischen zur europäischen OLED-Hochburg entwickelt hat.

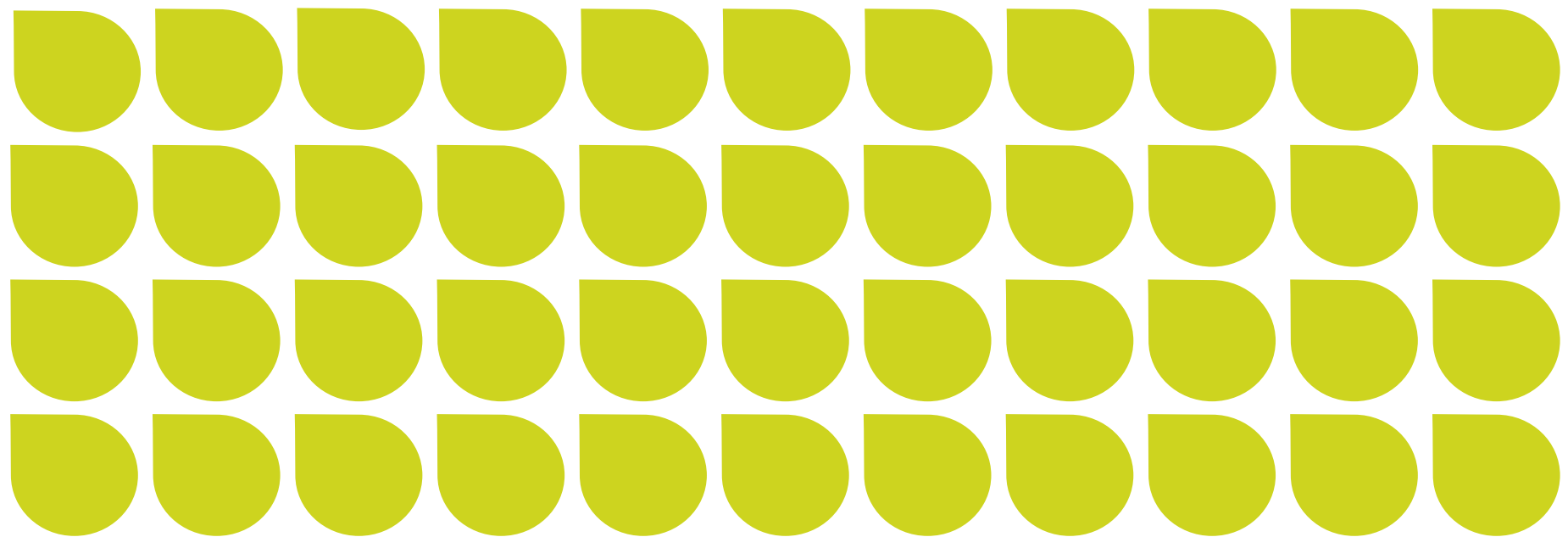
Am IAPP wird darüber hinaus intensiv an dem Umkehrprozess weißer OLED geforscht, nämlich an flexiblen organischen Dünnschichtsolarzellen, die aus weißem Licht elektrischen Strom gewinnen sollen.





**Nachhaltige Werkstoffe**

Professor Nicola Stattmann, Universität Weimar



## NACHHALTIGE WERKSTOFFE

Professor Nicola Stattmann, Universität Weimar  
Teichstrasse 5 | D-60594 Frankfurt/Main  
www.nicolastattmann.com

Die Entwicklung neuer Werkstoffe und Technologien zählt zu den wichtigsten Themen in der Forschungslandschaft Europas, Japans und der USA. Im Bereich der Werkstoffwissenschaften wird weltweit an der Entwicklung intelligenter Funktionswerkstoffe gearbeitet. Man beschäftigt sich mit Werkstoffen, die neue Möglichkeiten für die Miniaturisierung und den Leichtbau von Produkten und Gebäuden bieten. Und es werden hochwertige technische Materialien aus nachwachsenden Rohstoffen entwickelt, welche umweltschädliche Werkstoffe substituieren können. Dabei werden Forschungsergebnisse nicht innerhalb der Wissenschafts-Communities von Forschern für Forscher, sondern interdisziplinär kommuniziert werden - denn zukünftige Märkte werden durch Ingenieure, Produktentwickler, Produktdesigner und Architekten gemeinsam erschlossen.

### Nachhaltigkeit

Betrachtet man das Feld der nachhaltigen Werkstoffe im Produktdesign und in der Architektur gibt es folgende Zielsetzungen:

- weniger Volumen durch Miniaturisierung / Reduzierung
- weniger Gewicht durch Leichtbau
- weniger Werkstoffe durch Trennung / Recycling
- weniger Produktionsschritte durch Reduzierung von Materialeinsatz
- weniger Komponenten durch Trennung / Recycling
- weniger Transport durch Reduzierung Energieverbrauch und Emissionen
- Verwendung von mehr nachwachsenden Rohstoffen, d.h. Substituierung

Für die Substituierung von hightech Werkstoffen durch nachwachsende Rohstoffen gibt es zunehmend Beispiele, die momentan vor allem in der Automobil- und Flugzeugindustrie Anwendung finden, z.B.:

- Extrudiertes Holz
- Spritzguss mit Holzfaser-verstärkten Kunststoffen
- „Tiefgezogene“ Furniere
- Kunststoff aus Mais
- Geschäumtes Holz
- Biegbare Spanplatte hergestellt PUR und Holzspänen
- Schaumstoff hergestellt aus Sonnenblumenöl
- Spanplatte hergestellt aus Flachfasern
- Verbundwerkstoff aus nachwachsenden Pflanzenfasern
- Seegrass als Dämmatten

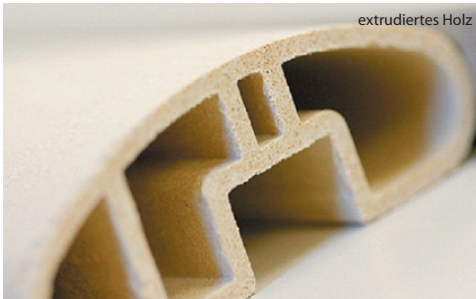
### Das Maximale-Minimale

Minimales Gewicht, aber maximale Statik - minimaler Material-, Energie-, und Produktionsaufwand aber maximale Funktionsintegration sind Ziele sowohl für Wissenschaftler als auch Designer. Dabei bedeuten Adaptronik, Polytronik, Sandwichkonstruktionen, Funktionswerkstoffe, Miniaturisierung, aktive Oberflächen, nachwachsende Speichermedien etc. nicht nur interessante Anwendungen für elektronische sensorische, optische und medizinische Anwendungen, sondern können auch neue Ansätze für Autos, Gebäude, Leuchten, Sport, Küchengeräte oder Möbel bedeuten.

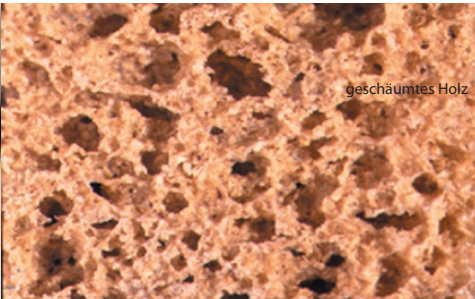




„tiefgezogenes“ Furnier



extrudiertes Holz



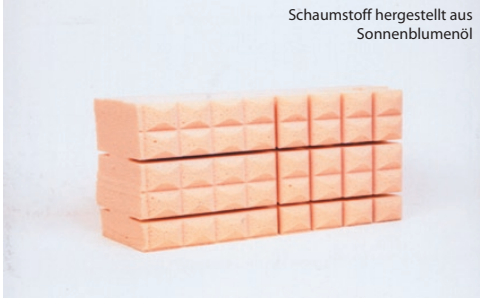
geschäumtes Holz



Spanplatte hergestellt aus Flachfasern



Spritzguss mit Holzfaser-verstärkten Kunststoffen



Schaumstoff hergestellt aus Sonnenblumenöl



Kunststoff aus Mais



Seegrass als Dämmmatte



## ZELLULOSEWERKSTOFFE

Richard Hurdig | Martin Erdegg  
 Omodo GmbH | Samariterstrasse 25 | D-10247 Berlin  
 www.omodo.org

Das Konzept der Omodo GmbH ist die Maximierung der Verwendung des patentierten organischen Materials „Zelfo“. Dazu gestaltet und produziert Omodo hochwertige Designermöbel, Lampen und Lifestyle-Produkte aus nachwachsenden Rohstoffen.

### WENARO'S

Die Einsatzpotentiale neuer innovativer Werkstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen - kurz WENAROs - liegen einerseits in der Substitution herkömmlicher Werkstoffe in bereits existierenden Produkten und andererseits in der Erschließung neuer innovativer Anwendungen. In die erste Gruppe fällt beispielsweise die Substitution von metallischen Werkstoffen und Kunststoffen durch Holz als Konstruktionswerkstoff im Bauwesen und in der Möbelindustrie, ebenso wie der Einsatz neuer WENAROs anstelle von Kunststoffen mit fossiler Rohstoffbasis. Die zweitgenannte Gruppe basiert auf der Nutzung ihrer strukturellen und funktionalen Eigenschaftspotentiale u.a. nach Vorbildern in der Natur (z.B. Wabe der Vespa Orientalis).

### Klassifizierung

WENAROs lassen sich in folgende Hauptgruppen klassifizieren:

- Direkte WENAROs: unmodifizierte WENAROs, wie z.B. Holz, Schilf, Stroh, Kokosnußschalen, Naturkautschuk usw.
- Indirekte WENAROs: modifizierte, vollständig auf nachwachsenden Rohstoffen basierende WENAROs. Typische Vertreter dieser Klasse sind z.B. die Werkstoffe Zelfo (Zellform GmbH, Prambachkirchen, A), Fasal (Interuniver-

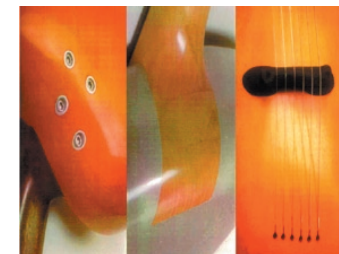
sitäres Forschungsinstitut für Agrarbiotechnologie, Tulln, A) und Bioplast (Biologische Naturverpackungen GmbH, Emmerich, D).

- Abgewandelte WENAROs: mit mineralischen und fossilen Rohstoffen hergestellte Produkte bzw. modifizierte WENAROs, z.B. Cellulosepolymere (CA, CAB, CTA), Gummi, Papier, Karton usw.
- Zusatz- und Hilfsstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen für Werkstoffe: Füllstoffe (Holzmehl, Holzspäne usw.), Verstärkungsstoffe (Fasern aus Hanf, Sisal, Flachs, Kokos usw.), diverse Additive (z.B. Vitamin E als UV-Stabilisator, Naturkautschuk und Leinöl als Hydrophobierungsmittel). Zu den Hilfsstoffen gehören: Klebstoffe, Lacke sowie Imprägnierungsmittel zum Oberflächenschutz/-veredelung (z.B. natürliche Harze, Naturkautschuk).

### Zelfo

„Zelfo“ ist ein marktfähiges, patentiertes und vollständig abbaubares Material mit herausragenden Produkteigenschaften. Es ist robust, gießfähig, passgenau und biegsam. Hergestellt aus erneuerbaren bzw. wiederaufbereiteten, zellulosehaltigen Materialien (z.B. Flachs, Hanf, Altpapier), sind während der Produktion keine synthetischen Zusatzstoffe vonnöten. Das Produkt löst keine Allergien aus und ist vollständig biologisch abbaubar.

Zelfo gehört zur Gruppe der Indirekten WENARO'S. Hier steht der Vergleich mit konventionellen, aus fossilen Rohstoffen hergestellten Kunststoffen im Vordergrund. Diese Schwerpunktsetzung ist in der guten Verarbeitbarkeit von Kunststoffen zu komplexen Halbzeugen und Fertigteilen begründet,



Herstellungsverfahren, Farbpalette



aus der u.a. die hohen Wettbewerbsvorteile von Kunststoffprodukten und deren Einsatz in einer Vielzahl von Bauteilen resultieren. Für indirekte und neue abgewandelte WENAROs besteht über geeignete Prozeßtechnologien prinzipiell ebenfalls die Möglichkeit der Herstellung komplexer Halbzeuge und Fertigteile. Obwohl mittlerweile eine Reihe von Werkstoffkandidaten kommerziell verfügbar sind bzw. sich im Entwicklungsstadium befinden, gibt es zu diesen Materialien keine umfassenden und vergleichbaren Datensätze für physikalische und technische Werkstoffkennwerte.

#### Verarbeitung

Die innere Werkstoffstruktur von Zelfo basiert auf Zellulosemolekülen, welche durch eine innovative Aufbereitungs- und Vermahlungstechnologie biogener Rohstoffe zu einem besonderem Gefüge zusammengefügt werden. Hinsichtlich der chemischen Zusammensetzung ist Zelfo mit dem klassischen Zellulosewerkstoff HOLZ vergleichbar. Entsprechend können die gleichen Verarbeitungstechnologien wie Sägen, Schleifen und Polieren angewandt werden. Eine kraftschlüssige Verbindung von Holz und Zelfo mittels Leims ist ebenfalls möglich. Durch die für Zelfo typische innere Faserstruktur ist Zelfo eher mit Holzfasernplatten vergleichbar als mit klassischem Vollholz.

Das Produktionsverfahren (Vermahlung) von Zelfo baut auf Technologien auf, welche in der Papierindustrie Verwendung finden. Dadurch entstehen in der Zelfo-Werkstoffmatrix auch Strukturen, welche einen Vergleich zu Papier und Pappe nahe legen. Zum Unterschied zu Zelfo werden in der Papier und Pappeproduktion allerdings eine Vielzahl von Bindemittel (Leimen) speziellen Zuschlagsstoffen eingesetzt, damit ganz bestimmte Eigenschaften zB. Bedruckbarkeit, Wasserfestigkeit etc. erzielt werden können. Sowohl

die Rezeptur als auch die Verfahrenstechnik von Papier ist vor allem auf die Realisierung einer sehr geringen Werkstoffdicke ausgelegt, welche für Zelfo praktisch unbedeutend sind. Dennoch besteht zwischen Zelfo und Papier bzw. Pappe im Prinzip aufgrund der Anwendung ähnlicher Vermahlungstechniken eine Werkstoff-Verwandtschaft.

#### Potential

Aus "Zelfo" lassen sich sowohl zwei - als auch dreidimensionalen Produkte herstellen, d.h. Laminat-Plattenmaterial ebenso wie gespritzte oder gegossene 3D Formen. Erreichbar sind Oberflächen wie bei Keramik oder Metall, aber auch durchscheinende Farboberflächen. Das Material ist widerstandsfähig, belastbar, vielseitig, gießbar, passgenau. Verbindungen können mechanisch oder mit Klebstoff erfolgen, Materialstärken liegen bei 3mm bis 25mm, Oberflächen gibt es von rau, matt, glatt bis poliert

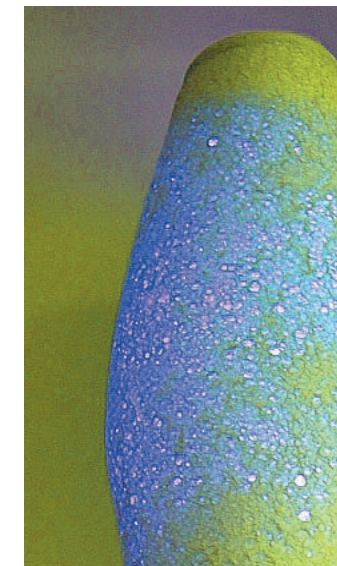
Ausgehend von unterschiedlichsten Prototypen und kleineren Produktionsdurchläufen zeigt sich, dass "Zelfo" eine außergewöhnliche Alternative zu Produkten aus Plastik und industriell hergestellten Holzprodukten darstellt. Formen, Oberflächen und technische Ausführung erhalten zudem durch die Verwendung von ungiftigen Pigmenten ein grosses Spektrum an Farben und unterschiedlichsten Oberflächenstrukturen

Zelfo wurde bis 2003 von der Zellform GesmbH (Österreich) entwickelt., Designpreise:

Ecodesign – competition 1993, Wien, product design category.  
Produkt: „Bureau butler“ (Design: Stephan M. Dösinger)

BDO Auxilia Umweltpreis 2000//2001  
Für Ideen, die sich ökologisch und ökonomisch rechnen.

Staatspreis für experimentelles Design 2003 Monocon-Sarg (Design: Florian Gsottbauer)



## BIOVERBUNDWERKSTOFFE

Enrico Wilde Stefan Oßwald

Hochschule für Kunst und Design | Neuwerk 7 | D-06108 Halle

www.burg-halle.de

Naturfasern bzw. daraus entwickelte intelligente Werkstoffe konnten sich in den letzten Jahren angesichts der Knappheit fossiler Ressourcen sowie staatlicher Restriktionen zugunsten der Umwelt zunehmend Beachtung verschaffen. Die energetische Faserverwertung ist recht weit fortgeschritten, wohingegen es an Lösungen im Konsumgüterbereich zu mangeln scheint.

In einem interdisziplinären Ansatz sucht die Burg Giebichenstein Hochschule für Kunst und Design Halle mit Partnern aus Wirtschaft und Forschung neue Anwendungsmöglichkeiten für BioVerbund-Werkstoffe. Dabei wurden neue und bisher so nicht in Anwendungen erprobte Werkstoffvarianten in gebrauchorientiert gestalteten Produkten untersucht. Hierfür stehen diverse Semester- und Diplomprojekte sowie die aktuelle Forschungsarbeit „Faserverstärkte Komposite für Raumausstattungen“. Hervorzuheben sind gemeinsame Anstrengungen mit dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) in Braunschweig und dem Fraunhofer Institut für Werkstoffmechanik Halle, aus denen sich spannende Impulse für die Weiterentwicklung des Materials auf beiden Seiten ergaben. Nicht nur schutzfähige Ideen wurden geboren, sondern auch Prototypen entwickelt, die auf internationalen Fachmessen Beachtung fanden und mit Preisen ausgezeichnet wurden.

### Werkstoff und Fertigungstechnologien

In BioVerbund-Werkstoffen übernehmen Naturfasern (Baumwolle, Flachs, Hanf, Jute) die Aufgabe der Verstärkung. Sonstige Pflanzenbestandteile

dienen der Verfüllung. BioVerbünde bestehen aus einem so genannten Matrixwerkstoff, in den die Faser oder die Verfüllungskomponente eingebettet wird. Solche Matrices werden vorwiegend aus nachwachsenden Rohstoffen gewonnen. Grundsätzlich lassen sich Bioverbundwerkstoffe in überwiegend industriellen, kunststoffnahen Formgebungstechnologien verarbeiten, sofern die Besonderheiten der Naturfasern wie endliche Länge, natürliche Variation und so weiter berücksichtigt werden. Solche Verfahren sind: Presstechnik, Spritzguss, Extrusion, Pultrusion, Harzinjektion oder Faserwickelverfahren.

### Nachhaltige Gestaltung

Bei der Frage der Gestaltung von Produkten zählen nicht allein die Erfüllung einer Aufgabe, die Situation am Markt, Herstellungskosten, technische Machbarkeit etc., sondern auch Energieverbrauch und Umweltverträglichkeit. Begreift man die Tatsache als Chance, ergeben sich Wettbewerbsvorteile zu Konkurrenten (besseres Image, Verbrauchergewinn, Material-/Energie-minimierung, niedrigere Abgaben und Entsorgungskosten für Abfall und Emission). Deshalb gilt es in der Verbindung von Forschung und Design Ansätze zu finden, die auf die Verlängerung des Lebenslaufes, die Schließung des Stoffkreislaufes oder die Gewährleistung sparsamer und umweltverträglicher Produktkreisläufe abzielen.

Bioverbundwerkstoffe verfügen von Haus aus über Merkmale für eine positive Umweltbilanz. Bis zu einem gewissen Grad kann die pflanzliche



Strukturvorleistung energiesparend in den Werkstoff überführt werden. So bestechen beispielsweise faserverstärkte Verbünde durch ihr geringes Leistungsgewicht. Zugfestigkeit, Steifigkeit und Bruchdehnung stehen in erfolgreicher Konkurrenz zu E-Glasfasern, weswegen sie in vielen Bereichen für den technischen Leichtbau prädestiniert sind.

In Zeiten hoher Anforderungen an Mobilität gibt es eine erhöhte Nachfrage nach solchen Produkten. Hierfür spricht Flexibilität und Handhabbarkeit für den Verbraucher und der geringe Energieverbrauch im gesamten Produktzyklus. Transporte innerhalb der Fertigungskette, zum und beim Verbraucher selbst fordern ein akzeptables Eigengewicht. Auch beim Thema Recycling stellen Bioverbünde eine umweltfreundlichere Alternative zu klassischen Verbünden dar, sei es durch die Möglichkeit der Rohstoffrückgewinnung oder einer CO<sub>2</sub>-neutralen thermischen Verwertung. Bei der stofflichen Verwertung kann darüber hinaus Methanol gewonnen werden.

#### **Substitution und Werkstoffgesicht**

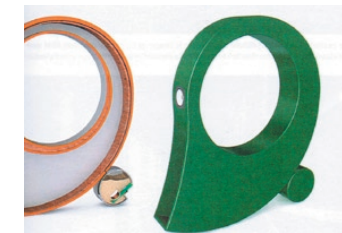
Trotz der bereits teilweise ausgereiften Technik erscheint die Verwendung von Rohstoffen aus Naturfasern in vielen Wirtschaftsbereichen noch unattraktiv. Der wohl am häufigsten zitierte Einsatzbereich für Bioverbünde ist der Automobilbau, wo mit naturfaserverstärkten Kunststoffen schon in großen Mengen erfolgreich substituiert wird. Um von Kunstfasern nicht gekannte Schwankungen der Qualität oder typischem Geruch entgegenzuwirken, dienen sie hier bislang als kaschierter und damit unsichtbarer Trägerwerkstoff und kämpfen mit einem Image als Ersatzwerkstoff.

Die neuen Werkstoffe aus BioVerbund lassen aber ein hohes Maß an Inno-

vation insbesondere dann erhoffen, wenn es gelingt, ihre speziellen Merkmale herauszuarbeiten und in sinnvolle Produktlösungen zu überführen. Vorerst vermeintlich nachteilige Eigenschaften müssen dabei auch gelten dürfen.

Es können völlig neue Anwendungsgebiete, ‚erfunden‘ werden, sofern eine gewisse Sorgfalt bei der Suche realer wirtschaftlicher, funktionaler und emotionaler Bedürfnisse verwendet wird. Diese lassen sich gerade deshalb effizient darstellen, weil sie nicht als Substitut fungieren. Auf der anderen Seite zeigt das Beispiel der Automobilindustrie, dass sich der Kommunikationsgrad der neuen Werkstoffe auf einem sehr geringen Level bewegt. Deshalb arbeiten wir daran, naturfaserverstärkten Biopolymeren neue Einsatzbereiche zu eröffnen, die ästhetische Erscheinung der Werkstoffe bewusst zur Geltung zu bringen. Bio-Verbund ist ein Zwitterwesen. Die Verarbeitungsweise und die daraus resultierende Formensprache rücken ihn in die Nähe der Kunststoffe. Bei Betrachtung seiner Materialästhetik ist er eher mit den Naturstoffen verwandt. Diese Eigenständigkeit gilt es herauszuarbeiten.

Insbesondere Oberflächen müssen sichtbar werden und über eine überzeugende Qualität verfügen. Bereits innewohnende Merkmale wie angenehme Haptik, die Interaktion des Materials mit seiner Umwelt durch Aufnahme von Feuchtigkeit sowie von Gebrauchsspuren sind so auszubauen, dass deren Herkunft aus der Natur markant wird. Mit der Kultivierung von Fehler und Zufall spiegelt sich Lebendigkeit wieder und macht den Werkstoff zu einem stark emotional erfahrbarem Erlebnis. Durch eine solche selbstbewusste Kommunikation von Materialität, sowie Transparenz angewandter Fertigungsverfahren kann der Werkstoff in seiner Bandbreite höhere Attraktivität und Akzeptanz sowie preisliche Unabhängigkeit erfahren.





### Gestaltungsbeispiele

#### h.i.p. Handfreundliches ImageProdukt

Der h.i.p ist ein Werkstoff-Imageprodukt für das DLR. Es handelt sich dabei um einen Informationsträger, der die besonderen Eigenschaften von BioVerbänden auf sinnliche Weise transportiert – ‚begreifbar‘ macht. Die Bandbreite erzeugter Oberflächen basiert auf dem Versuch, Produkt-Lebens-geschichten wirksam werden zu lassen. So wurden gezielt Patina oder Abnutzungser-scheinungen einkalkuliert. Der h.i.p. dient auf Messen als ‚Give-Away‘ für inter-essierte Besucher. Im Inneren be-findet sich eine CD-ROM, die die Werkstoff-Informationen audiovisuell in Form eines Trickfilms bündelt.

#### Klimatisiertes Möbel

Stellen Sie sich vor, man könnte, ähnlich wie das eine Klimaanlage im Auto bewerkstelligt, Möbel direkt klimatisieren. Im Sommer wäre die Oberfläche Ihres Liegestuhls angenehm kühl, im Winter ginge eine wohlige Strah-lungswärme von ihm aus. Schränke bewahren Lebensmittel kühl auf oder Regale fungierten als Flächenheizung. Es werden Strategien zur energetisch sinnvollen Klimatisierung im Wohnbereich unter-sucht. Ausgangspunkt sind hanf-schäbenverfüllte, flächenbildende Extrusionsprofile des Fraunhofer-Ins-titutes, deren Hohlkammern zum kreativen Umgang einladen.

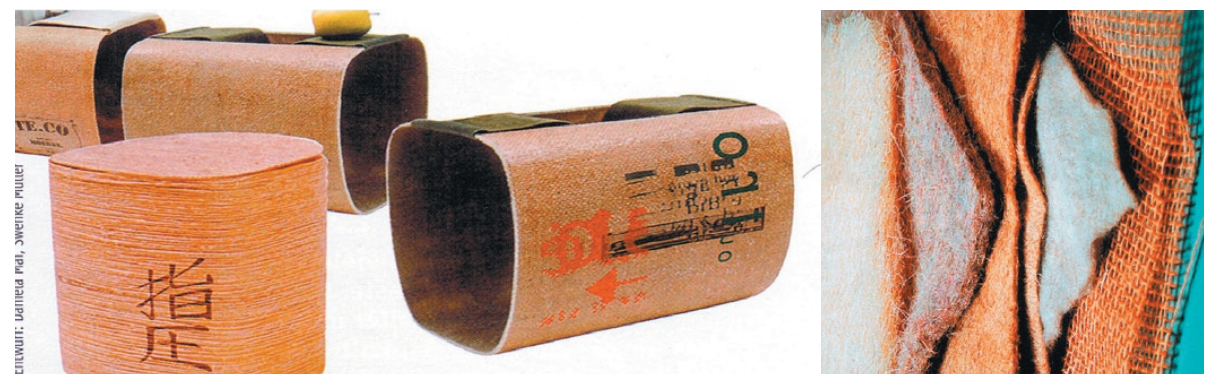
#### Verbinder für Möbelsysteme

Verbinder für neue Werkstoffe stellen eine besondere Herausforderung dar, weil sie sich an den neuen Eigenschaften zu verbindender Halbzeuge orientieren müssen. Der Elastomerniet dient zum Kontern von Winkelpro-filen, welche in flächenbildende Extrusionsprofile gesteckt, simple Möbel-strukturen wie Stühle oder Regale ermöglichen. Dieser dehnbare Niet nutzt

die Materialverjüngung bei Längung und verkeilt sich bei Entspannung. Auf diese Weise gleicht der lösbare Verbinder prozessbedingte Toleranzen des Extrusionsprofils aus.

### Bilanz

Es kommt darauf an, das Wesen der Werkstoffinnovation bei BioVerbänden auffällig und selbstbewusst darzustellen. Dabei sind insbesondere jene Eigenschaften gemeint, die sich aus der Materialität, der Verarbeitung oder dem Gebrauch möglichst in der Gestalt (Form, Funktion etc.) der Produktlö-sung niederschlagen. Teils ergeben sich diese automatisch, teils müssen sie erst herausgearbeitet, überhöht, kontrastiert und von Störfaktoren befreit werden. Bestenfalls wird ein Teil der Geschichte des Werkstoffes oder seines Entwurfes erzählt. Es kommt darauf an, einer breiten Masse von Herstellern vor dem Hintergrund ihres eigenen Firmen-Know-Hows Möglichkeiten für neue Fertigungs- und Absatzfreiräume zu eröffnen. Darüber hinaus müssen Ferti-gungstechnologien kostengünstig gestaltet werden, um die Marktchancen über einen konkurrenz-fähigen Werkstoffpreis beträchtlich zu vergrößern.



#### Literaturverzeichnis

[1] Bohr, Annemarie; Einführung in die Umweltbewußte Produktentwicklung. Hrsg. European Design Centre; Eindhoven 1994

[2] Buck, Alex; Dominanz der Oberfläche. Betrachtungen zu einer neuen Bedeutsamkeit der Gegenstände. Hrsg.: Verlag form GmbH, Frankfurt am Main 1998

[3] Schneider, Wulf; Sinn und Un-Sinn. Umwelt sinnlich erlebbar gestalten in Architektur und Design. Hrsg.: Bauverlag Wiesbaden und Berlin 1987

## HOLZ IN HOCHFORM

Prof. Dr.-Ing. Peer Haller  
 Institut für Stahl- und Holzbau Lehrgebiet Ingenieurholzbau und baukonstruktives Entwerfen TU Dresden | Helmholtzstr. 10 | D-01069 Dresden  
 www.tu-dresden.de

Den Beitrag, den Holz zu einer nachhaltigen Entwicklung leisten kann, wird entscheidend davon abhängen, in welchem Umfang unsere Aufgaben damit wirtschaftlich und qualitativ befriedigend gelöst werden können. Dazu muss er auch heutigen und künftigen Anforderungen gewachsen sein.

Der Wald ist weltweit nicht nur einer der größten, sondern auch einer der billigsten Stoffproduzenten, der auf einem Drittel der Fläche unseres Landes mit Hilfe von Sonnenenergie nachwächst, aber preislich von Materialien unterboten werden kann, zu deren Herstellung erhebliche Mengen fossiler Energie benötigt werden. Welche Nachteile der Verwendung von Holz in technischen Anwendungen müssten sich beseitigen lassen. Es sind:

1. das kleine Festigkeitsspektrum im Vergleich zu den Strukturwerkstoffen
2. die Richtungsabhängigkeit der mechanischen Eigenschaften
3. die geringe Dauerhaftigkeit gegenüber der Witterung

### Dicht, dichter, am dichtesten

Holz hat ein sehr ausgewogenes Eigenschaftsprofil, wird jedoch in nahezu allen Merkmalen von „Spezialisten“ übertroffen. Unumschränkt sind Umweltfreundlichkeit und geringer Preis. Die zentralen mechanischen Kennwerte bei tragenden Strukturen hängen weitgehend von der Dichte und Wachstumsstruktur ab. Der Vergleich von Bauholz mit faserparallelem Holz ohne Äste und Wuchsunregelmäßigkeiten fördert über den zwischen unterschiedlichen Holzarten bestehenden Unterschied nochmals beträcht-

liche Differenzen zutage. Das ungenutzte Festigkeitspotenzial beläuft sich insgesamt auf reichlich eine Größenordnung.

Das Verdichten von Holz (siehe Abb. 1), vornehmlich Laubholz, unter Wärme und Druck ist in der Holztechnologie seit langem bekannt. Nach Erreichen der Erweichungstemperatur des Lignins kann unter einer Presse verdichtet werden. Durch diese thermomechanische Behandlung lassen sich Festigkeit und Steifigkeit proportional zur Verdichtung steigern. Die weitere Erhitzung über 200 °C bewirkt außerdem eine Zunahme der biologischen Resistenz, so dass mit der Wärme zwei wesentliche Eigenschaften, nämlich Festigkeit und Dauerhaftigkeit, tangiert werden.

### Vom Stamm zum Querschnitt

Das Sägewerk liefert einen rechteckigen Kantholzquerschnitt, der im Gegensatz zu technischen Profilen aus Metall oder Kunststoff zusammen mit dem Abfall durch Sägen eine geringe Materialeffizienz aufweist - Wettbewerbsfähigkeit geht bei der Transformation des Rohholzes in Querschnitte verloren. Es müssen daher die Möglichkeiten der Materialeinsparung bei der Querschnittsbildung ausgelotet werden.

Die Sägereitechnik ist erster Prozessschritt bei der Bereitstellung von Querschnitten und favorisiert mit Blick auf die Ausbeute „eindimensionale“ Baumarten, was im Zuge von Wiederaufforstungen den Nadelhölzern, insbesondere der Fichte, den Vorzug gegenüber standorttypischen Laubholzarten,



Abb. 1 Fichte-Kantholzquerschnitt vor und nach der Verdichtung

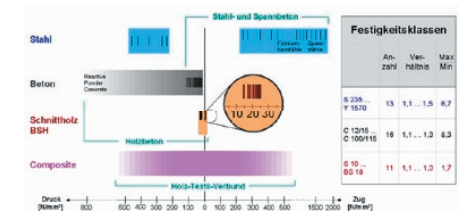


Abb. 2 Festigkeitswerte und Festigkeitsklassen heutiger Baustoffe und Baustoffentwicklungen

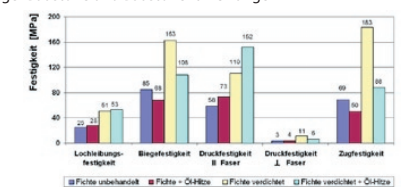


Abb. 3 Festigkeiten von faserparallelem Nadelholz, unbehandelt; ölhitzebehandelt; verdichtet; verdichtet und öl-hitzebehandelt

wie zum Beispiel Eiche oder Buche mit ihren weitverzweigten Kronen, gegeben hat. Holz gilt als leicht zu bearbeitendes Material, erfolgt die Transformation des Rohholzes zum Querschnitt doch ausschließlich durch spanende Verfahren und späteres Fügen mit synthetischen Bindemitteln. Kenntnisse der Mikrostruktur werden nicht benötigt. Hier liegen über die Querschnittsbildung hinaus Potenziale für neue Verfahren und Produkte, denen bisher in Wissenschaft und Technik wenig Aufmerksamkeit geschenkt wurde.

Intuitiv verbinden wir mit hoher Festigkeit die besondere Eignung für tragende Anwendungen. Ist ein Werkstoff nur halb so fest, verdoppeln sie dessen Querschnittsfläche - und zwar höchstens verdoppeln, denn bei den Flächenmomenten geht der Abstand des Querschnittes zur neutralen Faser in der Potenz ein. Daher lässt sich die Dimensionierung von Bauteilen auch leichter über die Abmessungen des Querschnittes als durch die Wahl der Festigkeitsklasse vornehmen. Das Selbstverständnis des runden oder rechteckigen Vollquerschnittes im Holzbau verstellt den Blick auf dessen geringe Ressourcenproduktivität. (s. Abb 5) Da das Holz nur mittelbar über den Querschnitt wirksam ist, muss es dort nach mechanischen Überlegungen optimal angeordnet werden und dabei drei Voraussetzungen erfüllen:

1. Der Querschnitt darf nicht durch die Abmessungen des Baumes in Quer- oder Längsrichtung begrenzt sein,
2. er muss effizient sein, das heißt, bei gegebenem Flächeninhalt ein großes Flächenmoment aufweisen, und
3. er muss in großen Mengen billig produziert werden können.

Das tun weder Kanthölzer noch verleimte Hölzer, Erst das in den Abbildungen 6 und 7 gezeigte Formholzprofil, dem ein neues Werkstoffverständnis zugrunde liegt, erfüllt potenziell alle drei Forderungen.

### Holz in Hochform

Technologisch gesehen beruht das Bauen mit Holz auf zwei Grundprozessen: dem Trennen – also Sägen, Hobeln, Zerfasern etc. – und dem späteren Fügen durch synthetische und metallische Binde- bzw. Verbindungsmittel, was vielfältigste konstruktiven Möglichkeiten ergibt.

Das in der Bundesrepublik vorherrschende Nadelholz weist ein Porenvolumen von ca. 60 % auf. Seine polymere Zusammensetzung gestattet bei einer Temperatur von 140 °C und einem Druck von 5 MPa eine leichte plastische Formgebung quer zur Faser. Die Querschnittsabmessung kann dabei auf etwa die Hälfte reduziert werden (siehe Abb. 1), wobei sich die Mikrostruktur des Holzes zusammenfaltet. Von nicht geringerer Bedeutung ist die Feststellung, dass die Stauchung ohne Schädigungen der Mikrostruktur bei geeignetem Prozessregime wieder nahezu vollständig rückgängig gemacht und fixiert werden kann. Der große Porenanteil führt somit zu einer völlig neuen Betrachtungsweise des Holzes als schaumstoffartiges, zelluläres Gebilde, das nun tatsächlich zu einem sehr leicht zu verarbeitenden Material wird. Auf diese Weise erhöht sich die Bruchdehnung in Faserquerrichtung von einem auf 100 %, also um zwei Größenordnungen. Nadel- und Laubhölzer sind dafür gleichermaßen geeignet.

Ausgehend von diesen Überlegungen wurden am Institut für Stahl- und Holzbau Platten aus Pressholz geleimt, deren Verdichtungsrichtung in Plattenebene verläuft. Im nachfolgenden Formprozess wird die Stauchung unter Zufuhr von Wärme und Feuchtigkeit zur Herstellung prismatischer Querschnitte genutzt, wobei die Zellen vollständig wieder auseinander gefaltet werden. Der Krümmungsradius der Umformung hängt von der

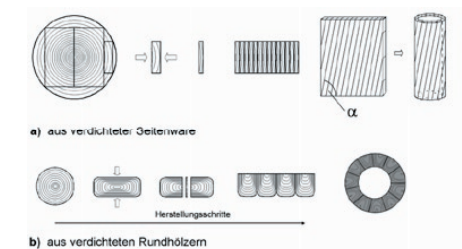


Abb. 6 Prozess zur Herstellung geformter Holzprofile aus Kant- und Rundholz  
Abb. 7 Ringförmiger Querschnitt aus verdichteten Halbrundhölzern



vorherigen Verdichtung ab. Prinzipiell sind auf diese Weise alle offenen und geschlossenen prismatischen Querschnitte in beliebiger Länge herstellbar. Nach diesem mittlerweile patentierten Verfahren wurden bereits mit Erfolg Rohre mit tragwerksnahen Abmessungen gefertigt. Abb. 6 zeigt eine Verfahrensvariante, die von Rundholz ausgeht, welches zunächst verdichtet wird. Das Auftrennen in Richtung der maximalen Dichte und das anschließende Verleimen führen zu einer massiven Platte, die auf thermo-mechanischen Wege in ein Rohr überführt werden kann. Die auf das Rundholz bezogene Materialeinsparung beläuft sich auf etwa 80 %, wobei 50 % aus der Abfallvermeidung in der Sägerei resultieren und die weitere Einsparung mit der effizienten Anordnung im Profil erzielt wird.

#### Faden begegnet Faser

Während sich die Tragfähigkeit von Holz durch Sortierung sowie thermische bzw. thermo-mechanische Verfahren verbessern lassen, begegnet man der Richtungsabhängigkeit der Festigkeit mit unterschiedlichen konstruktiven Maßnahmen.

Festigkeit und Steifigkeit können im Zuge der Querschnittsdimensionierung in Längsrichtung sehr wirksam kompensiert werden, hingegen stellen die Schub- und Querbeanspruchungen selbst erfahrene Tragwerksplaner immer wieder vor Probleme. Am Vorbild der Natur orientiert sich die Technik der faserverstärkten Kunststoffe. Im Rahmen des SFB 528 „Textile Bewehrungen zur bautechnischen Verstärkung und Instandsetzung“ werden auch die Grundlagen zur textilen Verstärkung von Holzbauteilen erarbeitet. Die interdisziplinäre Zusammenarbeit mit dem Institut für Textil- und Bekleidungstechnik ermöglicht die Verstärkung mit form- und beanspruchungsgerech-

ten textilen Bewehrungen aus Glas-, Kohle-, Aramid- und Naturfasern, die anschließend mit synthetischen Harzen aufgebracht werden. Die vollflächige Bewehrung ganzer Bauteile in Verbindung mit Oberflächenbehandlungen des Leichtbaus stellt neben der statischen Verstärkung auch einen wirksamen konstruktiven Schutz gegenüber der Witterung dar. Dies ist ein entscheidender Vorteil nicht nur bei Feuchtigkeit sondern auch in Hinblick auf korrosive Umgebungen.

#### Fazit

Mit den vorliegenden Entwicklungen werden alle Schwachstellen der gegenwärtigen technischen Verwendung von Holz aufgegriffen. Die Neuerungen betreffen alle Anwendungen, für die ein Querschnitt benötigt wird. Dies können tragende Bauteile des Bauwesens wie Stützen und Träger, sowie des Leicht- und Anlagenbaus sein, aber auch nichttragende Teile des Möbel- und Ausbaus. Darüber hinaus sind Gegenstände mit geschlossenem und offenem prismatischen Querschnitt ausführbar wie zum Beispiel Kabeltrommeln, Masten, Fässer, Behälter, Rotorblätter, Rumpfe etc..

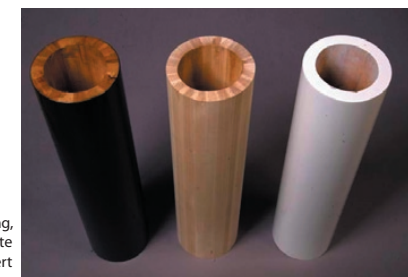


Abb. 8 Rohrquerschnitte mit textiler Bewehrung, links Kohlefaser, Mitte unbewehrt, rechts Glasfaser, lackiert



## BASTFASERN, CHANCEN UND NUTZEN

Dr. Eckhard Grimm

Institut für Acker- und Pflanzenbau Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg | Ludwig-Wucherer-Str.2 | D-06099 Halle (Saale)

www.landw.uni-halle.de

Bastfasern sind Stängelfasern, die der Pflanze oberirdisch mechanische Stabilität verleihen. Faserzellen kommen gehäuft an der Peripherie der Sprossachse vor und absorbieren an deren Flanken auftretende Streckungen und Stauchungen. Sie bleiben bei mechanischer Isolierung über gemeinsame Pektinlamellen verbunden und sind so in einem Faserbündel vereinigt. Faserzellen zeichnen sich durch stark verdickte Zellwände aus und besitzen einen zentralständigen Hohlraum (Lumen), der zur geringen Dichte des Faserbündels beiträgt. Die Verdickung geht auf zellulosehaltige Zellwandlamellen zurück. Zellulose liegt in Mikrobrillen vereinigt vor. Deren Anordnung bestimmt die Art und Weise der Kraftabsorption. In Bastfaserzellen sind die Mikrobrillen der dicksten Zellwandlamelle (S2) bezogen auf die Zelllängsachse steil gestellt. Dies korreliert mit hoher Zugbelastbarkeit.

Diese Strukturvorleistung der Pflanze kann auf technische Produkte übertragen werden. Voraussetzung ist die Gewinnung des Rohstoffs Faser in größerem Umfang. Als anbauwürdige Bastfaserpflanzen kommen für den mitteleuropäischen Raum Hanf (*Cannabis sativa* L.), Flachs (*Linum usitatissimum* L.) und auch Nessel (*Urtica dioica* L.) in Frage.

### Produktion Flachs, Hanf

Für Flachs existiert eine ausgereifte Technologie zur Erzeugung von Fasern hoher Qualität. Flachs wird in dichten Beständen angebaut, mittels Raufen geerntet und parallel im Schwad zur Tauröste auf dem Feld abgelegt. Unter Beibehaltung der Parallellage wird mehrmals gewendet. Nach Erreichen

eines mittleren Röstgrades wird das Flachsstroh in Rundballen gepresst. Die geordnete Lage der Pflanzen erlaubt nach Auflösen des Ballens und Abstreifen der Kapseln eine kopf- und fußseitige Bearbeitung des Strohs mit Schwingturbinen, wodurch es zur Trennung von Fasern und Schäben kommt. Neben kurzfasrigem Werg wird eine feine, direkt verspinnbare Langfaserfraktion gewonnen, was eine Nutzung in textilen Produktionslinien gewährleistet.

Ein Spektrum zugelassener Faserhanfsorten (THC-Gehalt in der oberirdischen Biomasse maximal 0,2%) darf von landwirtschaftlichen Unternehmen angebaut werden. Nach kurzer Entwicklungszeit bildet der Hanf dichte, schnell wachsende Bestände, die mittels Mähhäcksler oder Stufenmäherwerk geerntet werden. Das in Wirrlage abgelegte Stroh wird in der Regel einer Tauröste unterzogen, wodurch die gewinnbaren Fasern deutlich verfeinert werden. Die Faserisolierung erfolgt in Brecherlinien in Kombination mit mechanischen Verfeinerungsaggregaten (Kotonisierung) oder durch Prallaufschluss. Die so gewonnenen technischen Fasern sind grob und erfüllen nicht die Voraussetzungen für eine direkte textile Verarbeitung (Verspinnen). Sie können jedoch zu Matten und Rovings für werkstoffliche Anwendungen genutzt werden. Technologien zur Hanffaserveredelung (Dampfdruck- und Ultraschallaufschluss) sind entwickelt, aber in Deutschland nicht praktisch umgesetzt.

Nesselanbau und -verarbeitung sind derzeit noch unbedeutend.



Hanfbestand: Schnelles Wachstum und hohe Produktivität



Hanfschneidwerk: Ablage von eingekürztem Stroh zur Röste

**Mechanische Eigenschaften, Verbundwerkstoffe**

Isolierte Bastfasern zeichnen sich durch hohe Zugfestigkeiten und Steifigkeiten, geringe Dichte und ein ausgeprägtes Wasserdampfaufnahme und -abgabevermögen aus. Neben der Textilverarbeitung mit hoher Wertschöpfung kommen Fasern in Werkstoffen zum Einsatz. Hier werden bisher auch durch Verschneiden mittlere Rohstoffqualitäten genutzt. Beispiele eigener Untersuchungen zeigen, dass Fasereigenschaften durch die landwirtschaftliche Produktionstechnik und Erstverarbeitung beeinflusst werden können: Erntetermin und Röstgrad bestimmen die Faserfeinheit, die teilweise auch durch mechanische Faserisolierung verringert werden kann. Die Analyse von zahlreichen Produktionsvarianten zeigt, dass Abstufungen von Zugfestigkeit und E-Modul gegenüber der der Feinheit geringer sind.

Voraussetzung für die Übertragung von Fasereigenschaften auf Verbundwerkstoffe ist eine hinreichende Wechselwirkung zwischen Matrix und Faser. Hierzu trägt neben weiteren Faktoren (Hydrophobisierung, Haftvermittlung) eine hohe spezifische Oberfläche der Fasern bei. Dies bietet Ansatzpunkte, Fasern ausgesuchter Qualität zu produzieren und gezielt in Werkstoffen zu nutzen. Bastfasern sind außerdem stark hygroskopisch. Dies begründet einerseits eine günstige raumklimatische Wirkung. Wasserdampfquellung sowie ein Memory-Effekt erfordern andererseits einen sorgfältigen Umgang mit dem Rohmaterial bei der Verarbeitung zu Compositen.

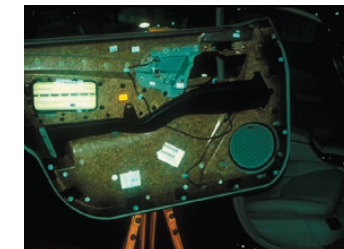
**Anwendung**

Derzeit werden in der deutschen Automobilindustrie mit steigender Tendenz jährlich etwa 18.000 t Fasern benötigt. In Composit-Werkstoffen werden sie zu 35% für duroplastische, zu 64% für thermoplastische Form-

pressteile eingesetzt. Die Spritzgießverarbeitung steht mit rund 1% an der Schwelle einer größeren praktischen Nutzung (Nova-Institut, Hürth). In Hanfanbaufläche umgerechnet, würde der o.g. Bedarf etwa 12.000 ha entsprechen, wobei tatsächlich rund 2.000 ha und weniger bei rückläufiger Tendenz in den letzten Jahren bestellt worden sind. Auch das Produktionsvolumen von Flachs ist mit unter 500 ha Anbaufläche äußerst gering (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe, Gülzow). Vorzügliche Isolationseigenschaften von Bastfasern eröffnen den Zugang zum Dämmstoffmarkt. Preisnachteile von Dämmmaterialien aus nachwachsenden Rohstoffen, darunter Bastfasern, gegenüber herkömmlichen Produkten (Steinwolle) werden derzeit durch staatliche Förderung ausgeglichen.

Eine limitierte Bereitstellung von Bastfasern als Rohstoff durch die Agrarwirtschaft ist auch angesichts wachsender Anteile landwirtschaftlich erzeugter Energieträger bisher nicht zu befürchten, so dass in absehbaren Zeiträumen das Potential für eine kontinuierliche Rohstoffverfügbarkeit besteht. Aufgrund der Kostensituation kann ein wesentlicher Durchbruch bei der Nutzung von Bastfasern nur erwartet werden, wenn es gelingt, unter Ausnutzung von Qualitätsabstufungen des Rohstoffs hochwertige Produkte zu erzeugen.

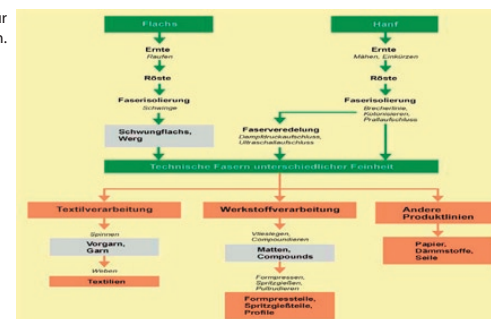
Faserformpressteil mit Pflanzenfaserverstärkung



Spritzgießgranulat mit Ölfasern



Abb. 1: Produktlinien für Lein- und Hanffasern.



**Recyclingwerkstoffe**

Christiane Sauer, Universität der Künste Berlin



## RECYCLINGWERKSTOFFE

Christiane Sauer, Universität der Künste  
Formade | Anklamerstr. 34 | D-10115 Berlin  
www.formade.com

Das rasante Wachstum im 20. Jhd. hat einen erhöhten Zugriff auf die natürlichen Ressourcen nach sich gezogen. Ein Bewohner der Industrieländer produziert ca 52 t Abfallmaterial im Laufe seines Lebens, das als Recyclingmaterial die Umweltbelastung verringern kann.

### Ästhetik und Produktidentität

Nicht immer sind sich Hersteller und Planer jedoch des Potentials dieser Recyclingmaterialien bewusst, um es gezielt für Design- oder Marketingzwecke zu nutzen. Bei der ästhetischen Vermarktung können zwei Strategien beobachtet werden. Die eine besteht in der möglichst genauen Angleichung des Sekundärproduktes an das Primärprodukt. Die andere besteht darin, den durch Recyclingprozesse veränderten Charakter des Materials hervorzuheben - Unterschiede, die z.B. bei natürlichen Baustoffen oft gewünscht sind. Dies einzusetzen ist die Aufgabe des Gestalters, sei es Designers, Innenarchitekten oder Architekten.

### Marktwirtschaftliche Kriterien

Ein Ansatz für die ökonomische Relevanz von Recyclingmaterialien ist der wiederholte marktwirtschaftliche Kreislauf mit gering gehaltenen Wiederaufbereitungskosten. Diese Kaskadennutzung zielt darauf ab, Produkte oder ihre Komponenten so lange wie möglich im Wirtschaftssystem zu nutzen. Ein Produkt durchläuft mehrere Kreisläufe, wobei die Qualität mit jedem Zyklus abnimmt. Am Ende dieses „Downcyclingprozesses“ steht die Deponierung. Dieses System wird mit dem Begriff „cradle to grave“ beschrieben.

Der Architekt William McDonough und der Chemiker Michael Braungart entwickelten daraus ein neues Modell „cradle to cradle“. Produkte werden so konzipiert, das sie nicht früher oder später zu Abfall werden, sondern selbst ständig wieder Rohmaterial werden. Wichtig ist dabei die Unterscheidung in technisches und biologisches Rohmaterial, das nicht mit weiteren Kompositen vermischt werden darf, da sie dadurch sowohl als technisches Rohmaterial für die Industrie, als auch als kompostierbares Material verloren gehen.

### Kreislauf

Recycling darf nicht notwendiges Übel sein, oder der Gewissensberuhigung dienen, sondern muss neue Möglichkeiten für die Materialentwicklung eröffnen und darüber hinaus selbst tragende Ressource im Materialkreislauf sein. Entscheidend ist dabei der Blick auf herzustellende Material - ein Sekundärmaterial zu entwickeln heisst gleichzeitig, das Primärmaterial weiterzuentwickeln.

Die Möglichkeit zum Recyceln und die damit implizierten Technologien müssen bereits bei der Entwicklung des jeweils im Kreislauf vorangehenden Materials mitbedacht werden, eine Herausforderung bis hin zur Entwicklung neuer Fabriken, die die „Demontage“ von Produkten thematisieren und entsprechende Standorte an den Infrastrukturknotenpunkten unserer Städte besetzten werden müssen und das klassische Bild unserer Industrielandschaft erweitern werden.







Bauen mit Recyclingmaterialien:

Iglu aus Kunststoffflaschen,  
 Plattenmaterial aus recycelten  
 Handys, Leuchtwand aus Recycling-  
 plastik, Häuser aus Teppichflie-  
 sen oder Altpapier (Rural Studio)  
 Häuser aus Bauabfällen (Sahrah  
 Wiggelsworth) Dachlandschaft  
 aus Recyclingglas

Re - Cycling\_Kreisläufe

## BLÄHGLAS

Karl Weinberger  
 Dennert Poraver GmbH | Mozartweg 1 | 96132 Schlüsselfeld  
 www.poraver.de

Wie viele andere Werkstoffe gewinnt auch Glas neben seinen ursprünglichen Anwendungsbereichen an technischer Bedeutung, wenn es durch geeignete Verfahren gelingt, eine Glasmatrix mit definierten Hohlräumen zu versehen. Es wird Material eingespart und das Raumgewicht erheblich gesenkt, ausserdem die Bearbeitbarkeit erleichtert und das Isolationsvermögen erhöht. Ein neuer Werkstoff mit zum Teil unerwarteten Eigenschaften und Anwendungsgebieten entsteht.

### Herstellung von Schaumglasgranulat

Die verfahrenstechnische Grundlage jeder der zur Zeit großtechnisch betriebenen Anlagen zur Schaumglasherstellung ist die Zerkleinerung des Glases durch Mahlen, die Mischung mit den restlichen Rohstoff Komponenten und anschließend die Herstellung eines Rohgranulats. Dieses Rohgranulat wird in geeigneten Öfen, z.B. Drehrohren, aufgeschäumt und nach dem Abkühlvorgang in die gewünschten Korngrößen getrennt.

### Rohstoffbasis: Altglas, Binde- und Schäummittel

Der Hauptrohstoff Altglas sind farblich nicht getrennte Scherben aus dem Recycling der Behälterglasindustrie, die jedoch hinsichtlich Scherbengröße und Aufbereitungsgrad nicht annähernd so hohe Qualitätsanforderungen als für die Behälterglasschmelze erfordern. Zusammenarbeit mit Glasrecyclern bezüglich Nachaufbereitung des KSP-Überlaufs und des Feinstanteils sind ein Teil der Rohstoffbasis und verringern zugleich die deponierbaren Restmengen aus der Altglasaufbereitung.

Zur Verfestigung des Rohgranulats eignen sich sowohl organische als auch anorganische Binder. Da es sich bei Schaumglas um ein Produkt mit sehr hohen Umweltansprüchen handelt ist, es sinnvoll, anorganische Bindemittel einzusetzen, die ohne schädliche Reaktionsprodukte im Schaumglas umgesetzt und eingebaut werden. Die Schäummittel, als Hauptträger der Hohlraumbildung sind Substanzen die sich im Verlauf der Temperatursteigerung durch Zersetzung oder andere Reaktionen bilden.

### Anwendung

Produktion von Formteilen: Zur Produktion von Formteilen bzw. Platten wird die Rohmischung entweder in Formen gefüllt und nach dem Schäumvorgang durch Sägen in die gewünschte Form gebracht, oder das bereits geschäumte Granulat wird unter Zumischung einer Binderkomponente in entsprechenden Formen erneut erhitzt, versintert und angekühlt. Grundsätzlich ist Schaumglasgranulat ein Baustoff der als Zuschlagstoff chamäleonartig in unterschiedlichen Bauelementen Form annimmt:

- Leichtbetone (Bsp. Massivtreppen Veit Dennert KG mit bis zu 40% Gewichtsersparnis), und Leichtestriche
- Wandbausteine (Bsp. Calimax - Superdämmstein mit maximalen Dampfdiffusionseigenschaften, Schallschutzwerten und Tragfähigkeiten)
- Leichtmörtel und Leichtputze (Bsp. Quick-Mix),
- Wandspachtelmassen (Bsp. Servo- Art von Kiesel Bauchemie mit hervorragenden Schallabsorptions- und Wärmedämmwerten),
- Akustik-Paneele (z.B. in Zusammenarbeit mit STO) usw.

Ausserdem sind Einsatzgebiete von PORAVER in der Automobiltechnik, der Schleifkörperherstellung und bei Farben Lacken und Kunstharzen.



## GABORIT

Dr. Karin Lönnecke

Gabor Entsorgung und Recycling GmbH & Co.KG | Gewerbering 9 | D-08451 Crimmitschau  
www.gaborit.de

Die Firma Gabor Entsorgung und Recycling GmbH & Co. KG betreibt seit 1991 werkstoffliche Wiederverwertung mit dem Ziel, marktgerechte Produkte aus Sekundärmaterial herzustellen. Auf der Grundlage eines am IMA Dresden entwickeltes Verfahrens werden energiesparend Platten für den Möbelbau, Garten und Landschaftsbau sowie für Stallungen hergestellt. In einer werkseigenen Versuchsanlage werden Neuentwicklungen durchgeführt. neue Materialien und Mischungen getestet und marktgerechte Produkte entwickelt und für kundenspezifische Anwendunge hergestellt.

### Verfahrensbeschreibung

Wesentliche Anlagenteile der Formschmelzanlage sind die Befüllstation, der Schmelzturm, eine Kühlstrecke, die Entnahmestation und Transportstrecken zur Verknüpfung der einzelnen Funktionen. Kernstück des Verfahrens ist der Formschmelzturm. Die verwendeten Kunststoffe aus der PE und PP-Flaschenfraktion durchlaufen verschiedene Wärmezonen bis auf 230°C. Das Kunststoffgranulat erweicht und wird unter dem durch das Eigengewicht der Werkzeuge erzeugten Eigendruck in einem geschlossenen Kreislauf und ohne Verwendung hydraulischer Pressen energiesparend und umweltschonend gesintert.

Durch das Festlegen einer geeigneten Rezeptur können die physikalischen Eigenschaften und die optischen Merkmale beeinflusst werden. In den verschiedenen Heizzonen sintern die Kunststoffe unter Druck zu festen Plattenmaterial zusammen. Dazu wird weder Kleber noch Bindemittel

verwendet. Die eingesetzten Werkzeuge haben eine Abmessung von 1400 x 1600 mm und können in Dicken von 5 – 60 mm variiert werden. Bis zu dieser Größe können auch die Formate der Kunststoffplatten gefertigt werden.




### Produkte und Anwendungen

Unter dem Markenzeichen Gaborit werden zahlreiche Produkte hergestellt und vertrieben:

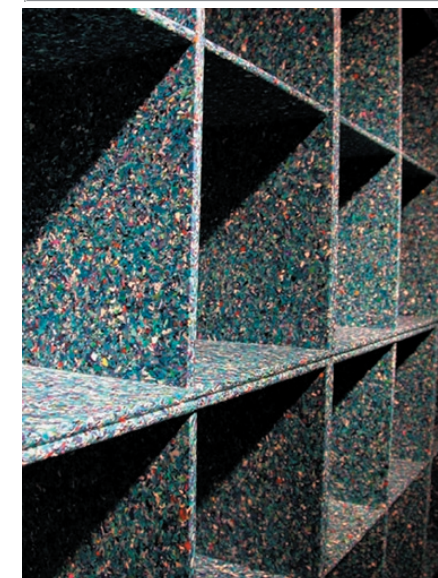
- Hochwertige Platten für den Boden-, Möbel- und Messebau
- Möbel
- Abgrenzungen, Zäune im Außenbereich, Garten und Landschaftsbau
- Konstruktionsmaterial, Kinderspielplätze
- Kommunalmöbel, Fahrrad-Safes, Wurzelschutz bis Schalungsmaterial

Prinzipielle Eigenschaften von Gaborit-Produkten sind positive Farbgestaltung (konfettibunt bis steingrau), Biege-, Druck-, Schlagzähigkeit, ökolog. Verträglichkeit, (mehrfach recycelbar), gute Bearbeitbarkeit durch Schweißen, Kleben, verrottungssicher, wasserfest, kein Insektenfraß, reduzierte Pilzansiedlung, der Preis beträgt ca. 1/3 von neuem Kunststoff.

Nachdem sich gezeigt hatte, daß der Markt zusätzlich zu den farbigen und bunten Platten neue Ideen und Materialien verlangt, wurde das Press-Sinterverfahren auch auf holzgefüllte Ausgangsmaterialien ausgedehnt. Diese Entwicklungen befinden sich noch in der Anfangsphase.

Produktvorschau			
Werkstoff	HDPE/PP	HDPE/LDPE	HDPE
Biegefestigkeit	25 MPa	29 MPa	25 MPa
E-Modul Biegung	900 MPa	950 MPa	900 MPa
Druckfestigkeit	20 MPa	22 MPa	21 MPa
Schlagzähigkeit	36 kJ/m <sup>2</sup>	41 kJ/m <sup>2</sup>	38 kJ/m <sup>2</sup>
Dichte	920 kg/m <sup>3</sup>	930 kg/m <sup>3</sup>	920 kg/m <sup>3</sup>
Wärmeleitfähigkeit	0,263 W/m <sup>2</sup> K	0,271 W/m <sup>2</sup> K	0,268 W/m <sup>2</sup> K

GABORIT - Produkte bestehen aus hochwertigen aufbereiteten Materialien. Farbschwankungen sind bei Recycling-Produkten möglich. Hier ausdrucken oder drücken Sie das Druckersymbol in Ihrem Browser.





## DUALES SYSTEM DEUTSCHLAND

Matthias Kugelgen

Der Grüne Punkt – Duales System Deutschland GmbH | Frankfurter Straße 720-726 | D-51145 Köln/Porz-Eil

www.gruener-punkt.de

Die Duales System Deutschland AG „Grüner Punkt“ wurde am 28.9.1990 gegründet als Non-Profit-Unternehmen im Vorgriff auf die 1991 in Kraft getretene Verpackungsverordnung.

### Verpackungsverordnung

Die Verpackungsverordnung verpflichtet Verpackungshersteller, –abfüller sowie den Handel dazu, die von ihnen in den Verkehr gebrachten Verpackungen zurückzunehmen und zu verwerten. Dabei kann die Wahrnehmung der Rücknahmepflicht an ein System abgetreten werden, das die flächendeckende Sammlung/Verwertung der Verpackungen organisiert. So entstand als Selbsthilfeorganisation der Wirtschaft der „Grüner Punkt“ (Duales System). Der grüne Punkt zeigt als Lizenzzeichen an, daß die Unternehmen ihre Rücknahmepflicht an das Duale System übertragen haben und sich an der Finanzierung der Verpackungsverwertung beteiligen. Die Garantiegeber sind für bestimmte Mindestverwertungsquoten des werkstoffliches Recyclings im Bereich Glas, Weißblech, Papier/Pappe/Karton, Getränkekartons, Kunststoffen verantwortlich. Der Rest kann in rohstoffliche oder energetische Verwertungsverfahren gehen, wobei im Rahmen der Wirtschaftlichkeit die ökologisch günstigeren Verfahren den Vortritt haben sollen.

### Recycling

Werkstoffliches Recycling z.B. im Bereich der Deutschen Kunststoffrecycling DKR bedeutet, dass aus einer gebrauchten Kunststoffverpackung wieder ein neues Kunststoffprodukt entsteht. Mittels Nahinfrarot-Technologie

lassen sich die gebrauchten Verpackungen nach Kunststoffarten sortieren. Sortierzentrifugen trennen Kunststoffe sortenrein nach ihrer Dichte. Bei der rohstofflichen Verwertung werden gebrauchte Kunststoffe in ihre gasförmigen Bestandteile aufgespalten werden, um natürliche Rohstoffe wie Erdöl oder Kohle bei der Herstellung von z.B. Roheisen zu ersetzen. Energetische Verwertungsverfahren nutzen den Energiehaushalt der Kunststoffabfälle zur Erzeugung von Prozesswärme oder Strom.

### Bilanz

Jedes Jahr muss die Menge der Verwertungen dem grünen Punkt gegenüber belegt werden. Im Mengenstromnachweis sind die Verwertungswege genau dokumentiert. So sieht die Umweltbilanz aus:

- Abfallvermeidung: Der Pro-Kopf-Verbrauch an Verkaufsverpackungen sank seit Einführung des Grünen Punktes um 14 Prozent von 95,6 auf 82,5 kg
- Sammlung: Jeder Bundesbürger hat 2003 im Durchschnitt 72,6 kg zu den Sammelbehältern des Dualen Systems gebracht (27,5 kg Glas, 27,1 kg Leichtverpackungen, 18,0 kg )
- Verwertung: Knapp 5 Millionen Tonnen Verpackungen werden jährlich über das Duale System verwertet
- Energieeinsparung: 64,1 Milliarden Megajoule Energie wurden 2003 durch das Recycling der Verkaufsverpackungen eingespart, 2004 waren es 73,2 Milliarden Megajoule Energie
- Klimaschutz: 1,32 Millionen Tonnen Treibhausgase wurden 2002 durch das Recycling vermieden



**Verwertung gebrauchter Verpackungen 2004**

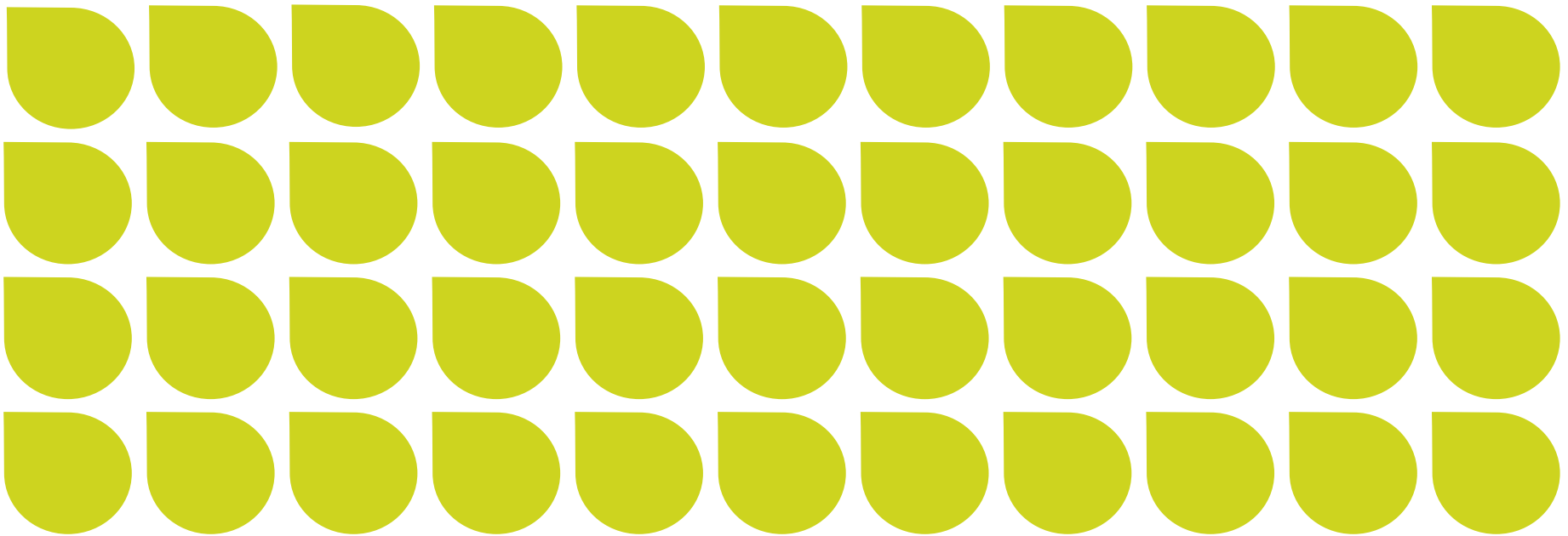
Material	Lizenzierte Menge	Verwertete Menge	Erreichte + Verwertungsmenge
Glas	2.133.458 t	2.084.188 t	98% 75%
Papier, Pappe, Karton	857.174 t	949.439 t	111% 70%
Weißblech	262.623 t	258.243 t	98% 70%
Aluminium	27.563 t	43.047 t	156% 60%
Verbunde	384.837 t	271.441 t	71% 60%
Kunststoffe	635.885 t	521.730 t	82% 60%
Gesamt	4.301.540 t	4.128.088 t	**Vorgabe der VerpackV

Quelle: Duales System Deutschland AG, Mai 2005





Vortrag  
2012 Architekten, Rotterdam



## CONCEPT AND TOOLS FOR REUSE OF WASTE IN ARCHITECTURE

Césaire Peeren

2012 Architects | Gerard Scholtenstraat 100 | NL-3035 SR Rotterdam

www.2012architecten.nl

Das Rotterdamer Büro 2012 Architekten hat sich auf Gestaltung unter der Maxime Wiederverwenden von Abfallprodukten spezialisiert.

2012 sieht sich hierbei als Netzwerk von Architekten, welches das kontextbezogene Potential der verwendeten Materialien als elementaren Bestandteil des Entwerfens nutzt. Dieses spezifische Potential kann sowohl in der bestehenden Umgebung als auch in ungenutzten Energiereserven oder diverser Abfallmaterialien stecken. Wenn 2012 von Abfall reden ist nicht dabei nicht nur „Müll“ an sich gemeint, sondern auch ungenutzte öffentliche Räume oder ganze Gebäude.

### Re-Use

2012 Architekten sind Césaire Peeren, Jan Jongert and Jeroen Bergsma. Ihre Arbeit berührt Architektur aber auch andere Gebiete des Designs, wie Möbelbau, Inneneinrichtung und die Realisierung von Kunstinstallationen. Mit dem Konzept des Re-use gebrauchter Materialien aus der unmittelbaren Umgebung versuchen sie die Qualitäten der verwendeten Materialien durch das Einarbeiten in ein neues Produkt nicht nur zu erhalten sondern diese auch noch deutlich zu steigern. In der Modebranche ist diese Art des Arbeitens spätestens seit dem die Gerbrüder FREITAG mit Ihren Taschen aus gebrauchten LKW-Planen für Furore sorgten längst etabliert. Firmen wie Airbag produzieren Jahr für Jahr tausende von Taschen und Accessoires aus gebrauchten Luftmatratzen, wobei das Dessin des fertigen Produktes immer das Muster der ursprünglichen Matratze als Grundlage hat.

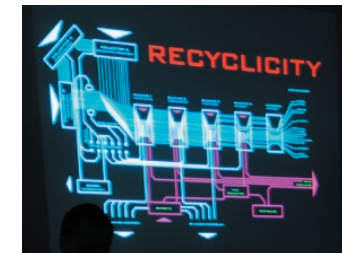
### Beispiele

Wie sieht die Umsetzung solcher Konzepte in der Architektur aus? Ein erstes realisiertes Projekt welches zu 90% aus Abfallmaterialien wie etwa aussortierten Windschutzscheiben oder Holzresten aus einer nahe gelegenen Fensterfabrik besteht ist das 2004 eröffnete Schuhgeschäft „DUCHI“ im holländischen Scheveningen.

In der Mitte des rund 70qm großen Ladens platzieren 2012 Architekten eine zweigeteilte Sitzinsel, welche sie in wochenlanger Eigenarbeit aus zusammengeleimten Resten der Fensterfabrik errichtet haben. Diese Sitzskulptur besteht aus über 1500 Leisten von 10 verschiedenen Holzarten mit jeweils 2 cm Stärke und 40 cm Länge. Um ein ehemaliges Kassentransportband, welches jetzt als Testlaufläche der neuen Schuhe genutzt wird, gruppieren sich so zwei Sitzflächen mit den entsprechenden Rückenlehnen und bieten ausreichend Platz zum An- und Ausziehen diverser Schuhmodelle. Diese sind direkt in kreisförmiger Anordnung um die Skulptur in nicht weniger spektakulären Regalen gelagert. Das runde Stahlgerüst ist mit Böden aus 130 Autoscheiben vom Typ „Audi 100“ versehen, die in einer nahe gelegenen Lagerhalle günstig aufgekauft wurden.

### Recyclicity

Neben der praktischen Umsetzung von architektonischen Aufgaben mit Recyclingwerkstoffen arbeiten 2012 auch an theoretischen Konzepten zum Umgang mit dem Recycling.



So kritisieren sie in ihrer Internet-Plattform „Recyclicity.net“, daß Recycling in der Regel das Sortieren und Zerkleinern von Müll bedeutet um diesen wiederum unter Beigabe von Energie beim Einschmelzen als Grundlage für Recyclingwerkstoffe zu nehmen. Dieser Prozess stellt aber erstens meist ein klassisches „downcyclen“ dar. Er negiert die spezifischen Eigenschaften der Abfälle, wie z.B. deren Form, Farbe, Gebrauchsspuren und Patina, anstatt diese charakteristischen Züge als Grundlage des Entwurfs zu nehmen. Über den ökologischen Mehrwert kann dies zur Generierung neuer Formen und unerwarteter Designs führen.

#### „Abfall“

Grundlage dieser Arbeit ist das Vorhandensein von „Abfällen“ - möglichst in nächster Nähe, um Energie für Transport und Verarbeitung zu reduzieren. „Recyclicity.net“ bietet dazu als Plattform eine lokale Secondhand-Baustoff-Börse, in der Anbieter Ihre gebrauchten Rohstoffe posten können und Planer erfahren, welche Werkstoffe in dem zu bearbeitenden Gebiet zur Verfügung stehen. Die Nutzung der lokal vorgefundenen Materialien führt zu einer neuen architektonischen Praxis, in der der Entwurfprozess eine Phase in einem ständigen Kreislauf von Nutzen und Wiederbenutzen ist, und seine Linearität durch teils zufällig vorhandene bzw. zur Verfügung stehende Materialien verliert.

Die ‚gefundenen‘ Materialien werden zum Generator der jeweiligen Entwurfsaufgabe - vom Spielmöbel über Dachaufbauten bis zu ganzen Häusern zeigt 2012, wie Selbstbeschränkung zu kreativsten Gestaltungsergebnissen führen kann.

Inzwischen hat 2012 Architekten mehrere neue Projekte realisiert und wurde für das Projekt WORM vom Niederländischen Architekturinstitut NAI in Rotterdam für den NAI Preis nominiert.

