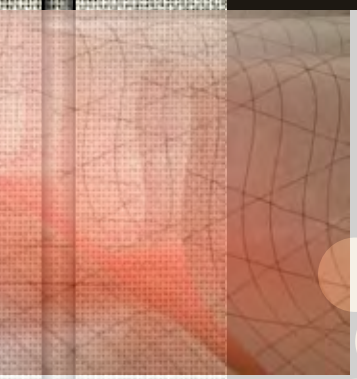
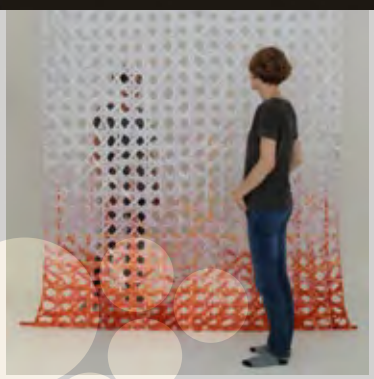
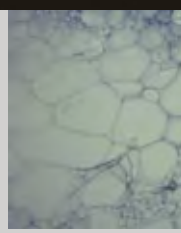
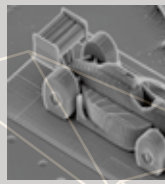
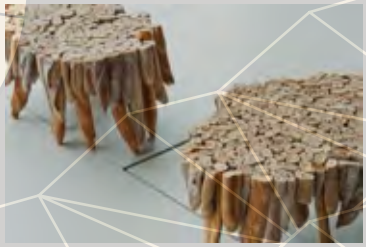
SASCHA PETERS

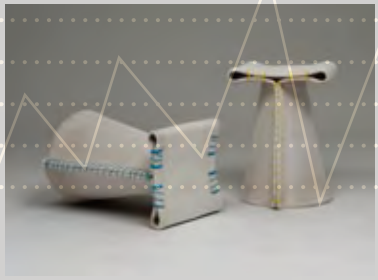
MATERIALREVOLUTION II

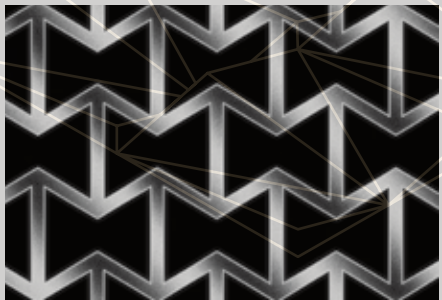
NEUE NACHHALTIGE UND MULTIFUNKTIONALE MATERIALIEN FÜR DESIGN UND ARCHITEKTUR







BIRKHÄUSER

INHALT

I
EINLEITUNG

Die Zukunft nachhaltiger Produktentwicklung…006 — Natürlich wachsend und biologisch abbaubar…006 — Auf Basis von Reststoffen…009 — Leicht und ressourcenschonend…011 — Smart und energetisch…013 — Additive Generation…015

II
MATERIALIEN

Biokunststoffe und biobasierte Bindemittel…034 — Natürliche Werkstoffe und organische Abfallmaterialien…062 — Recyclingmaterialien…088 — Leichtbaumaterialien…102 — Multifunktionswerkstoffe…122 — Lichtbeeinflussende und -emittierende Materialien…152 — Energetische Materialien und innovative Dämmstoffe…168 — Innovative und nachhaltige Produktionsverfahren…186

III
ANHANG

Der Autor…211 — Index…212 — Ausgewählte Publikationen des Autors…222 — Ausgewählte Vorträge des Autors…223

1
BIOKUNSTSTOFFE UND BIOBASIERTE BINDEMITTEL

Potenziale und Produktionsprozesse…038 — Biobasiertes Polyethylentherephthalat (Bio-PET)…039 — Biobasiertes Polyurethan (Bio-PUR)…040 — Biobasierte Polyamide…041 — Polyhydroxyfettsäuren (PHF)…042 — Bakterienzellulose…043 — Gelatine…045 — Keratine…046 — Milchproteinfasern…047 — Glykoproteine…048 — Spinnseidenproteine…048 — Sojaproteinfasern…049 — Algenbasierte Kunststoffe…050 — Kohlendioxid Polymere…051 — Stärkekleber…052 — Glutinleime…054 — Kaseinkleber…055 — Sojaklebstoff…055 — Muschelkleber…056 — Lignin…057 — Biobasierte Harze…058 — Schellack…058 — Natürliche Wachse…059 — Hefekulturen für formbaren Stein…060 — Biobitumen…061

2
NATÜRLICHE WERKSTOFFE UND ORGANISCHE ABFALLMATERIALIEN

Naturfaserkomposite und ungewöhnliche organische Fasern…066 — Strohwerkstoffe…068 — Rohrkolbenwerkstoffe…070 — Hirsematerialien…071 — Wasserhyazinthefasern…072 — Brennnesselfasern…073 — Flachsfaserkomposite…074 — Ungewöhnliche organische Partikel…075 — Horn…077 — Kaffeesatzwerkstoffe…078 — Fischschuppenkunststoff…080 — Alginat…081 — Bagasse…081 — Rapskerzen…082 — Naturbelassenes Leder…083 — Essbare Verpackungen…084 — Essbares Design…086 — Biologische Elektronik…087

3
RECYCLING-MATERIALIEN

Altmetallwerkstoffe…092 — Altkunststoffmaterialien…093 — Alttextilwerkstoffe…094 — Altpapiermaterialien…096 — Altholzmaterialien…098 — Materialien auf Basis von Recyclingkeramiken und -glas…099 — Baustoffe auf Basis von Abfällen…100

4
LEICHTBAU-MATERIALIEN

Leichtbaustahl…106 — Organobleche…107 — Gewichtsoptimierte Holzwerkstoffe und Ersatzmaterialien…108 — Gewichtsoptimierte Struktur- und Wabenkonstruktionen…109 — Faltleichtbau…111 — Fadengelege-Strukturen…112 — Infraleichtbeton…114 — Faserbeton…115 — CNT-verstärkte Materialien…116 — Nanozellulose…117 — Bio-Schaumstoffe…118 — Biomimetischer Leichtbau…119 — Pneumatische Textilien…120 — Aerographit…121

5
MULTIFUNKTIONS-WERKSTOFFE

Farbverändernde Materialien und Oberflächen…126 — Antigraffiti-Beschichtungen…127 — Funktionelle Organosilane…128 — Antibakterielle Fasern und entzündungshemmende Oberflächen…129 — Funktionale Enzyme…130 — Luftreinigende Oberflächen…131 — Textilintegrierte Elektronik…133 — Heiz- und Kühltextilien…134 — CNT-Heizbeschichtung…136 — Graphen…136 — Abschirmmaterialien…137 — Selbstheilende und langlebige Materialien…138 — Metallische Gläser…140 — Wassersammelnde Oberflächen…141 — Akustikmaterialien…142 — Dilatante Flüssigkeiten…143 — Elektroaktive Elastomere…144 — Expancel-Mikrosphären…145 — Auxetische Materialien…146 — Thermoplastisches Polyurethan (TPU) mit Formgedächtnis…147 — Nanoporöses Gold…148 — Gradientenwerkstoffe…148 — Metamaterialien…150

6
LICHTBEEINFLUSSENDE UND -EMITTIERENDE MATERIALIEN

Optische Textilien…156 — Polymere optische Fasern (POF)…157 — Transparenzverändernde Materialien…157 — Lichtlenkende Materialien…159 — Lichtreflektierende Metallring- und Schuppengeflechte…160 — Antireflexionsschichten…161 — LED Medienmaterialien…162 — Elektrolumineszierende Materialien…163 — Interaktives Licht…164 — Lichtemittierende elektrochemische Zellen (LEC)…166 — Biologisches Licht…166

7
ENERGETISCHE MATERIALIEN UND INNOVATIVE DÄMMSTOFFE

Gedruckte Elektronik…172 — Elektrophoretische Tinte (E-Ink)…173 — Organische Photovoltaik (OPV)…174 — Farbstoffsolarzellen…176 — Energetische Textilien…177 — Biologische Energie…178 — Solarpapier…179 — Thermoelektrische Kunststoffe…180 — Natürliche Dämmstoffe mit hoher Wärmespeicherkapazität…181 — Aero-Dämmstoffe…182 — Eisbärfell-Dämmsystem…183 — Hochleistungsmaterialien für Energieleiter…184 — Gebäudeintegrierte Photobioreaktoren (PBR)…185

8
INNOVATIVE UND NACHHALTIGE PRODUKTIONSVERFAHREN

Solarsintern Rapid Manufacturing mit Sonnenlicht…190 — Generative Fertigung mit Recyclingmaterial…191 — 3D-Drucken im Miniaturformat…192 — Kontinuierliches 3D-Drucken…192 — Neue Materialien für generative Techniken…193 — Bioprinting…194 — Laserschäumen…195 — Holzvergüten durch Wachsimprägnierung…196 — Dreidimensionales Faserformen…197 — Biogene Keramiken…198 — Woodcoating…198 — Grafischer Beton…199 — Reibnieten…200 — Tensidbasiertes Stoff-Trennverfahren…201

DIE ZUKUNFT NACHHALTIGER PRODUKTENTWICKLUNG

Unsere Ressourcen verschwendende Produktkultur scheint überholt. Mit dem Anwachsen der Weltbevölkerung auf mittlerweile 7,1 Milliarden Menschen und den gestiegenen Konsumwünschen in den Schwellenländern, in Indien, in China, wird mehr als deutlich, dass die Ressourcen auf der Erde knapp werden. Im Jahr 2010 gab es nach dem Ende der Wirtschaftskrise und der Konjunkturbelebung bereits erste Engpässe bei der Beschaffung von Werkstoffen. Hochleistungskunststoffe für den Fahrzeugbau waren ebenso schwer zu bekommen wie Seltene Erden für Hochtechnologieentwicklungen im Bereich der für die Energiewende so wichtigen erneuerbaren Energietechnologien.

Wissenschaftler gehen mittlerweile davon aus, dass wir bei unserem heutigen Konsumverhalten und der derzeitigen Produktkultur bereits 2030 zwei Planeten benötigen würden, um den Ressourcenbedarf zu decken. Als Folge wird dem Recycling von Werkstoffen eine immer stärkere Bedeutung beigemessen. Unter dem Begriff „Urban Mining“ werden dicht besiedelte Städte inzwischen als Rohstoffminen verstanden. Die Kreislauffähigkeit von Produkten und Materialien erhält eine immer größere Wichtigkeit. Aufgerüttelt durch Meldungen über Kunststoffabfälle in den Weltmeeren, durch Analysen zu Ausdünstungen von Holzwerkstoffen in unseren Wohnungen und Weichmachern in Polymerwerkstoffen orientieren sich die Kundenwünsche immer häufiger an Produktkonzepten auf Basis biologischer Materialien. Der Faktor „Nachhaltigkeit” ist heutzutage mehr als ein Verkaufsargument. Rapide verändern sich die Vorzeichen für unsere Industriekultur.

Der Trend zu nachhaltiger Produktentwicklung und sustainable Design wird vor allem von den Industriedesignern und Architekten aufgenommen und weiterentwickelt. Dabei nutzen die Kreativen immer häufiger Ergebnisse aus der Wissenschaft, um dem Wunsch nach einer nachhaltigen Produktkultur zu entsprechen. Diese wird in der interdisziplinären Auseinandersetzung zwischen Forschung, Technologisierung und Design stattfinden und zusehends materialgetrieben sein.

NATÜRLICH WACHSEND UND BIOLOGISCH ABBAUBAR

Designer kreieren derzeit eine neue Logik für Produktion und Herstellung. Sie orientieren sich an den Prinzipien pflanzlichen Wachstums und erheben die biologische Abbaubarkeit und natürliche Kreislauffähigkeit zu den wichtigsten Qualitäten für neue Materialien.

Gewachsene Faserstrukturen mit schwarzer Erdbeere
(Quelle: Carole Collet)

Die britische Designerin Carole Collet sieht die Zukunft textiler Schmuckstücke in der Verwendung von Wurzeln und Trieben für die Gestaltung von Schmuckstücken aus Textilien und testet zurzeit die Potenziale pflanzlichen Wachstums für das Design aus. Beispiele ihrer Kreationen sind Arbeiten auf Basis von schwarzen Erdbeerwurzeln oder den roten Trieben der Tomatenpflanze.

Bio-Light
(Quelle: Philips Design)
→ S. 166

Die Philips Designer Clive van Heerden und Jack Mama haben Ende 2011 die Möglichkeiten zur Ausnutzung des Phänomens natürlicher Biolumineszenz für Leuchtkörper im Haushalt getestet und als Bio-Light auf der Dutch Design Week präsentiert. Mundgeblasene Glaskörper dienten zur Aufnahme einer Leuchtbakterien enthaltenen Flüssigkeit. Über Silikonschläuche wurde die Nährstoffversorgung gewährleistet, die für die biologische Lumineszenz in leichtem Grün unablässig ist. Als Nährstoffe kamen kompostierbare Reststoffe direkt aus der Küche zum Einsatz.

Chair Farm (Design: Werner Aisslinger)

Nachdem die Idee des Urban Farmings in den Metropolen der Welt immer mehr Anhänger findet, beschreibt der Berliner Designer Werner Aisslinger mit einem revolutionären Produktionsprinzip die Zukunft des Möbeldesigns. In seiner Chair Farm benutzt er Verschalungen aus Lochblechen, um Stühle durch das Hineinwachsen von Bambustrieben herzustellen. Das Pflanzenwachstum kann dabei in seiner Richtung beeinflusst werden. Denn dieses orientiert sich bei Bambuspflanzen unter anderem an der Erdanziehungskraft.

Hocker „Xylinum“ mit Beschichtung aus Bakterienzellulose (Design: Jannis Huelsen) → S. 044

Der Hocker „Xylinum“ ist ein Möbelentwurf des Industriedesigners Jannis Huelsen, in dem er in Zusammenarbeit mit der Jenpolymers Ltd. ein zu 100 Prozent biologisch abbaubares Beschichtungssystem für Holzbauteile entwickelte. Verwendung fand die Bakterienkultur Xylinum, in der in einem flüssigen Nährstoffbad auf rein biologische Weise Zellulosefäden wachsen. Sie verbinden sich zu einer hochvernetzten Fadenstruktur und bilden nach Trocknung eine lederartige Beschichtung mit organischer Ästhetik.

Hocker mit Biomasse aus Mycelpilzen (Quelle: Phil Ross)

Der kalifornische Künstler Phil Ross aus San Francisco hat im Jahr 2012 die Qualität pilzbasierter Werkstoffe soweit optimiert, dass er Sitzflächen und Blöcke für architektonische Strukturen erzeugen konnte. Als Vorbild diente das New Yorker Unternehmen Ecovative Design, das in den letzten Jahren einen Schaumstoff auf Basis organischer Reststoffe und Mycelpilze entwickelt hat.

Cookie Cup (Design: Enrique Luis Sarde) → S. 084

Cookie Cup ist eine essbare Espressotasse des Designers Enrique Luis Sarde, die er in Zusammenarbeit mit dem Patissier Cataldo Parisi entwickelt hat. Der Entwurf zeigt den Trend hin zu weniger Verpackung, weniger Behälter, weniger Ressourcen beim Konsum von Nahrungsmitteln unter Verwendung biologisch abbaubarer Stoffe. Der Kaffeegenuss wird durch Verzehr der Mürbeteigtasse um ein weiteres Geschmackserlebnis erweitert. Der Teig ist innen mit einer isolierenden Zuckerglasur versehen, um die Tasse temporär flüssigkeitsunempfindlich zu machen.

Struktur aus Fluid-Solids® (Quelle: Beat Karrer)

Der Architekt Beat Karrer aus Zürich setzt in seinem Material FluidSolids auf die Haftkraft eines proteinbasierten Bindemittels, um die natürlichen Fasermaterialien aus industriellen Abfällen zu einem Werkstoff für den Messebau und die Möbelindustrie zu verarbeiten. Dieses lässt sich mit den klassischen formgebenden Produktionstechniken wie Spritzgießen und Extrudieren bei hoher Abformgenauigkeit verwenden. Sowohl bei der Herstellung als auch der Bearbeitung des emissionsfreien Materials haben die Entwickler einen im Vergleich zu konventionellen Werkstoffen geringeren Energieverbrauch quantifiziert.

AUF BASIS VON RESTSTOFFEN

Lampen aus Kaffeesatz, Möbel aus Papierpulpe oder Wegwerfsandalen aus Palmrinde: Natürliche Reststoffe stehen derzeit hoch im Kurs bei den Produkt- und Möbeldesignern. Beflügelt von der Sehnsucht nach einer sauberen und ökologischen Welt, scheint der Bio-Trend gegenwärtig vom Supermarkt auf die Kreativbranche überzuspringen. Neben der Verwendung biologischer Abfallmaterialien sind Designer und Architekten zurzeit mit der Entwicklung von Plattenwerkstoffen beschäftigt, die als Holzersatzwerkstoffe Verwendung finden können und nach Möglichkeit vollständig biologisch abbaubar sind.

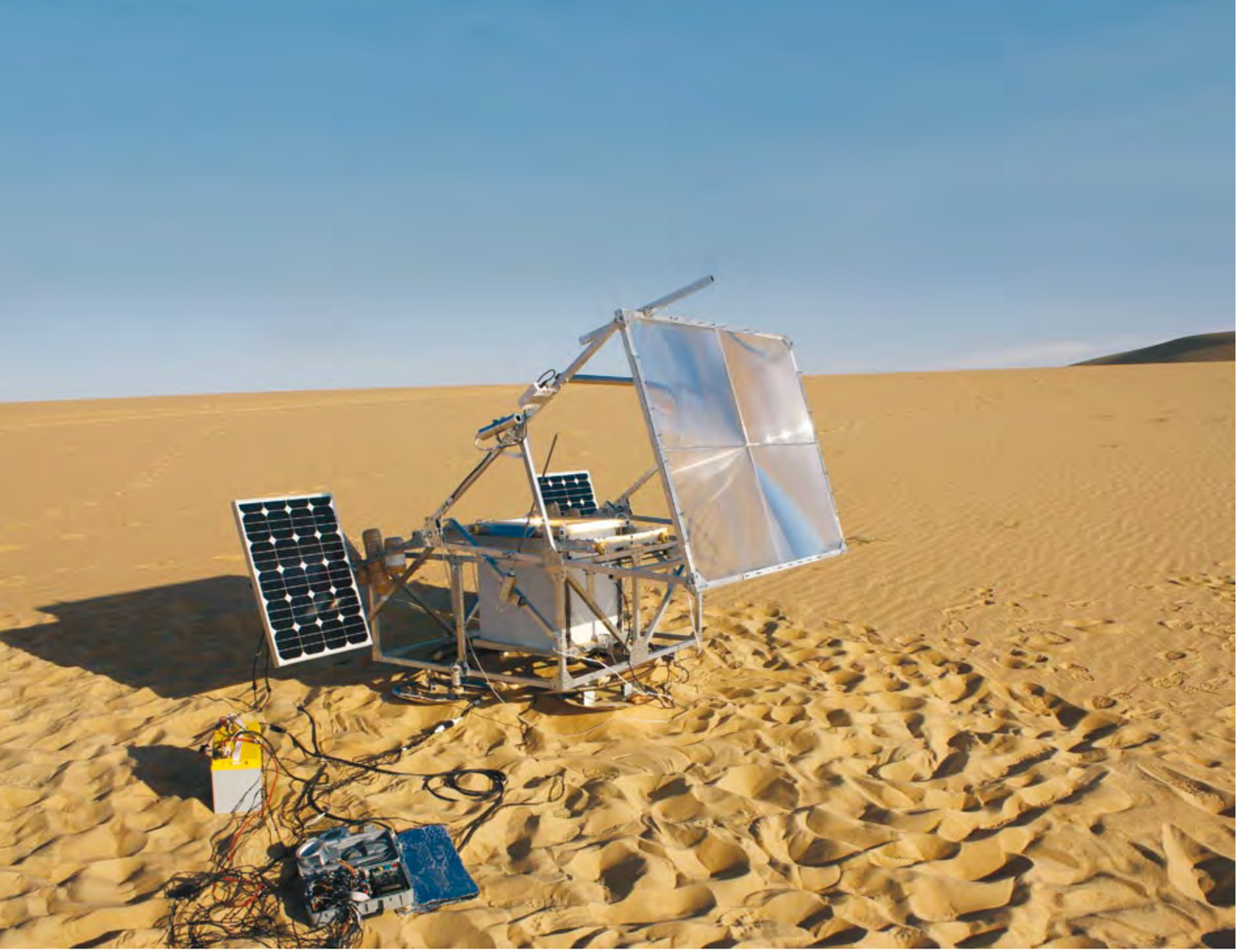
EcoSystem Naturfaserplatte aus 100 Prozent nachwachsenden Rohstoffen (Design: UDK Berlin) → S. 108

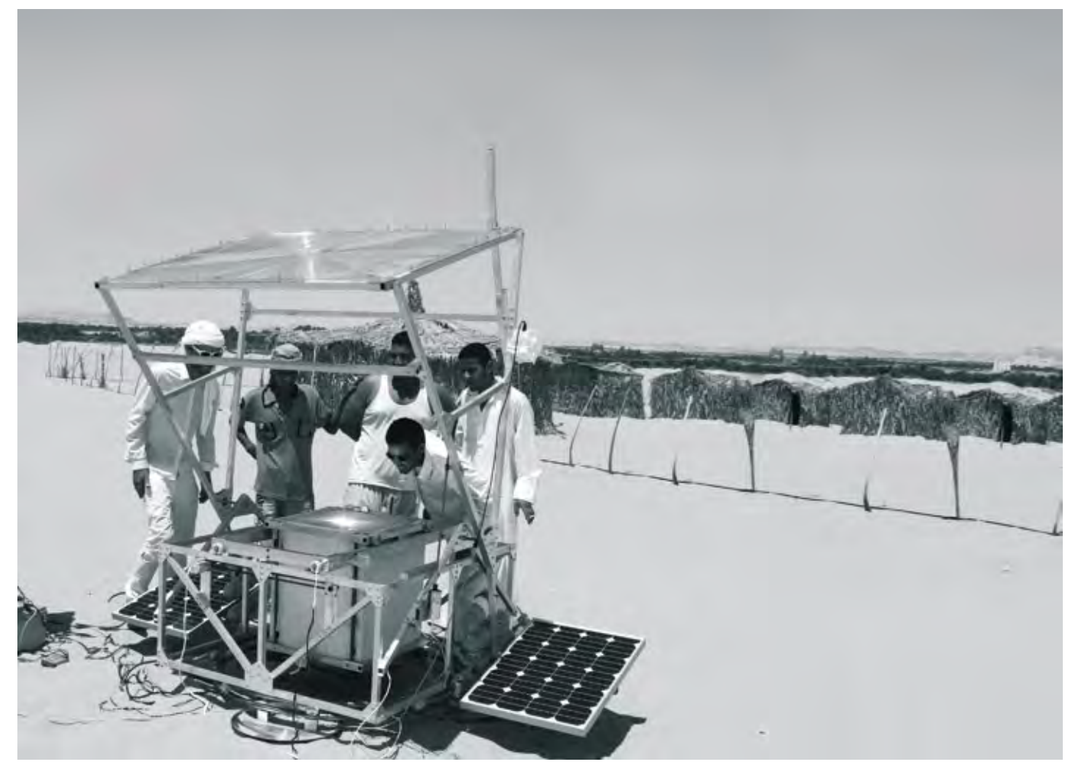
Ein Beispiel ist die von Designern der UdK Berlin entwickelte Naturfaserplatte EcoSystem. Sie basiert zu 100 Prozent auf nachwachsenden Rohstoffen aus Agrarabfällen und wird, anderes als bei konventionellen Holzwerkstoffen üblich, mit einem Bindemittel auf Basis eines Biokunststoffs zusammengehalten. Die Faserplatte kann recycelt werden, ist biologisch abbaubar und kommt ohne Beschichtung oder bedenkliche Klebstoffe, Lacke und Deckmaterialien aus.

Paravent „And A And Be And Not“ aus dichroitischen Gläsern
(Quelle: Camilla Richter)
Lichtlenkende Materialien // Lichtbeeinflussende und -emitterende Materialien
→ S. 159

Bewegliche Lichtinstallation unter Verwendung von lasergeschnittenen EL-Folien
aus Interaktion zwischen Mensch und Technik (Quelle: CAAD, Manuel Kretzer)
Elektrolumineszierende Materialien // Lichtbeeinflussende und -emitterende Materialien
→ S. 164

Bio-Light mit Leuchtbakterien, die mit Methan und organischem Kompost
gefüttert werden (Quelle: Philips Design)
Biologisches Licht // Lichtbeeinflussende und -emitterende Materialien
→ S. 167





Solarsintern in der Wüste Ägyptens
(Quelle: Markus Kayser,
Foto (oben rechts): Wendelin Schulz-Pruss)
Solarsintern Rapid Manufacturing mit Sonnenlicht //
Produktionsverfahren
→ S. 190

Gravity Stool
(Design: Jólan van der Wiel)
Einleitung
→ S. 015

Eigenschaften tierischer Ursprung // thermoplastische Eigenschaften // Qualitätsveränderung durch Zusätze möglich // hohe Elastizität // Gleiteigenschaften

Nachhaltigkeitsaspekte auf Basis nachwachsender Rohstoffe // biologische Abbaubarkeit

GLUTINLEIME

Neben pflanzenbasierten Naturklebern existieren auch biologische Bindemittel, die von tierischen Quellen stammen. Zu diesen zählen Knochen-, Fisch- und Hautleime. Sie werden nach ihrem Hauptbestandteil Glutin, dem Eiweiß der Gelatine, als Glutinleime bezeichnet.

MATERIALKONZEPT UND EIGENSCHAFTEN

Glutinleime gewinnt man durch Auskochen tierischer Abfälle wie **Fischgräten** oder -schuppen, Schwimmblasen, Knorpel, **Knochen, Tierhäute** oder Kaninchenfell. Dabei entsteht eine zähflüssige Masse, die nach Abkühlen aushärtet. Glutinleime reagieren thermoplastisch, werden unter Wärmeeinfluss weich und können verformt werden. Die Stärke der Abbindung lässt sich unter Druck verbessern. Die Verarbeitungsdauer ist in der Regel relativ kurz. Zusätze können die Verarbeitungseigenschaften und die Klebkraft verändern. **Gerbsäure** oder **Alaun** machen Glutinleime wasserunlöslich, **Alkohol** lässt sie besser in Poren eindringen. Während **Essigsäure** die Schmelztemperatur verringert und die Bindekräfte um bis zu 20 Prozent erhöht, können dem Leim durch Beimischung von Glycerin elastische Eigenschaften gegeben werden. **Zinksulfat** findet als Konservierungsmittel Verwendung.

VERWENDUNG

Glutinleime gewinnen im Kontext der Entwicklung biologisch abbaubarer Bauteile unter Designern wieder an Bedeutung. Sie werden industriell als Bindemittel in der Holz- und Papierindustrie eingesetzt. Auch im Baugewerbe gibt es einige wenige Anwendungen. So eignen sich Glutinleime beispielsweise als Verzögerungsmittel in Stuckgipsen und sind vor allem für die Denkmalpflege von großem Nutzen. Zudem finden sie Anwendung in Farben und Fotopapier. Ein weiteres typisches Einsatzgebiet von Glutinleimen ist der Instrumentenbau.

Knochenleim

Der überwiegend zur Restaurierung alter Möbel eingesetzte Knochenleim wird entweder durch auskochen oder dämpfen tierischer Knochen und Knorpel gewonnen. Beim Verkleben von Holz entsteht eine glasklare Klebeschicht. Er war früher als **Tischlerleim** bekannt und wurde in drei Helligkeitsstufen angeboten. **Knochenleime** riechen nur leicht und kommen heute noch im Kunstbereich, für die Herstellung antiker Bilderrahmen oder zum **Furnieren** zur Anwendung.

Hautleim

Hautleime kommen heute überall da zum Einsatz, wo in einem handwerklichen Prozess eine leicht elastische Fügeverbindung erzielt werden soll. Beispiele sind das **Buchbinden** oder die **Leinwandgrundierung.** Die Elastizität des Klebers lässt Holzinstrumente freier vibrieren und wirkt sich positiv auf die **Klangausbildung** aus. Hautleim wurde früher auch auf den Rückseiten von **Briefmarken** verwendet. Er wird heute meist auf Basis von **Rinderhäuten** hergestellt und in Form von Grieß oder Perlen vertrieben.

Fischleim

Dieser Naturleim entsteht nach Auskochen von **Fischhäuten** und festen **Fischabfällen.** Bei Raumtemperatur liegt er in flüssiger Form vor. Auffällig im Vergleich zu anderen Glutinleimen ist die hohe Haftkraft auf metallischen und keramischen Oberflächen. Meist beklagen Nutzer einen unangenehmen Geruch. **Fischleime** werden auch für den Instrumentenbau, das Verkleben von Holzteilen eingesetzt oder als Inlays in Möbeloberflächen verwendet. Im Designbereich besonders bekannt geworden, ist der Fischschuppenkunststoff des Designers Erik de Laurens, der auf die Bindekräfte von Fischproteinen zurückgeht. Einen qualitativ hochwertigen Fischleim erhält man bei der Verwendung der **Schwimmblase** des **Hausefisches** als Ausgangsstoff.

Möbel Inlays mit Fischschuppen
(Quelle: Erik de Laurens)

Eigenschaften auf Basis von Milchproteinen // hohe Klebkraft // feuchtefest // kalte Verarbeitung

Nachhaltigkeitsaspekte auf Basis nachwachsender Rohstoffe // biologische Abbaubarkeit

KASEINKLEBER

Kasein ist ein Mischstoff aus den Proteinen der Milch. Es dient Jungtieren zur Versorgung mit wichtigen Stoffen für das Wachstum wie Phosphor und Calcium. In Käse und Quark bildet Kasein den Hauptteil der Proteine und ist Grund für die Gerinnung zu einem Feststoff. Daher findet Kasein auch als Grundlage für Klebstoffe Verwendung. Bis in die 30er Jahre wurde aus Kasein der Kunststoff Galalith gewonnen.

MATERIALKONZEPT UND EIGENSCHAFTEN

Die Bedeutung von **Kaseinleimen** zur Anwendung bei Möbeln geht bis in die Antike zurück. Für die Herstellung muss der Leim in Wasser aufgequollen und mit alkalischen Verbindungen wie **Kalk** oder **Borax** aufgeschlossen werden. Grund ist das im Kasein enthaltene **Phosphor,** das ihm wasserunlösliche Eigenschaften verleiht. Für die handwerkliche Verwendung kann Kaseinkleber mit **Quark** und Kalk im Volumenverhältnis fünf zu eins erzeugt werden. Nach dem Aufschluss weisen Kaseinleime eine hohe Klebkraft auf, können kalt verarbeitet werden und sind feuchtefest.

VERWENDUNG

Wurden früher Kaseinkleber als Bindemittel in **Mörtel** oder **Holzwerkstoffen** verwendet, haben sie ihre frühere Bedeutung mit dem Aufkommen synthetischer Kleber in vielen Bereichen verloren. Heute finden sie nach wie vor als Binder in Farbstoffen oder als **Etikettenkleber** Verwendung oder werden zum Verkleben von **Linoleum,** einem hoch widerstandsfähigen Belag für Fußböden und Tischplatten, genutzt. Dieser geht vollständig auf natürliche Ausgangsstoffe wie **Leinöl, Naturharze,** Holz- und **Kalkmehl** zurück, was in Kombination mit dem Bio-Klebstoff die mögliche biologische Abbaubarkeit gewährleistet.

Eigenschaften proteinbasiert // normalerweise wasserlöslich // wasserunempfindliche Modifikation durch Auffalten der Proteinmoleküle

Nachhaltigkeitsaspekte auf Basis von nachwachsenden Rohstoffen // formaldehydfrei // biologisch abbaubar // günstige CO_2-Bilanz

SOJAKLEBSTOFF

Die in der Sojapflanze enthaltenen Proteine lassen sich nutzen, um einen biologischen Klebstoff mit hoher Haftkraft zu erzeugen.

MATERIALKONZEPT UND EIGENSCHAFTEN

Sojaklebstoffe sind formaldehydfrei sowie biologisch abbaubar und stellen damit eine natürliche Alternative zu synthetischen Klebstoffen dar. Hinzu kommt die im Vergleich zu petrochemischen Bindemitteln günstigere **CO_2-Bilanz**, die auch besser ausfällt als bei **Kaseinklebern.** Problematisch für das Anwendungspotenzial wirkt sich allerdings, wie auch bei anderen biobasierten Klebstoffen, die Wasserlöslichkeit aus. Aus diesem Grund haben Wissenschaftler eine wasserabweisende Modifikation entwickelt. Dabei werden die **Proteinmoleküle** in einer Art aufgefalten, dass sich die hydrophoben Aminosäuren nach außen orientieren.

Eigenschaften Leichtbaulösungen unter Naturfasereinsatz // Ersatz metallischer Bauteile durch NFK-Formpressteile // geringe Splitterneigung // gute akustische Eigenschaften // typische Wandstärken 2,5-10 mm

Nachhaltigkeitsaspekte auf Basis nachwachsender Rohstoffe // positive Ökobilanzen für die Halbzeugfertigung möglich

NATURFASERKOMPOSITE UND UNGEWÖHNLICHE ORGANISCHE FASERN

Getrieben durch den Wunsch nach leichtgewichtigen Konstruktionen und Bauteilen ersetzt vor allem die Fahrzeugindustrie immer häufiger metallische Bauteile durch faserverstärkte Kunststoffe. Insbesondere Glas- und Karbonfasern haben sich als Verstärkungsmaterialien bewährt. Im Zuge einer steigenden Bedeutung von Biomaterialien und organischen Resten als alternative Werkstoffe für die Industrie stehen Entwicklern immer häufiger auch Naturfasern zur Verfügung. Obwohl sich eine Vielzahl ökologischer, mechanischer und ökonomischer Vorteile den Produktentwicklern, Industriedesignern und Konstrukteuren aufdrängen, blieb naturfaserverstärkten Kunststoffen (NFK) der Sprung in die breite Anwendung jedoch bislang verwehrt.

MATERIALKONZEPT UND EIGENSCHAFTEN

Für die Herstellung von NFK-Bauteilen werden faserige Pflanzenbestandteile (in Deutschland vor allem **Hanf**- und **Flachsfasern**) mit Kunststoff als Matrixmaterial vermischt und anschließend in eine Form gepresst. Der Gewichtsanteil des Polymers liegt zwischen 30–50 Prozent, so dass die Teile wesentlich leichter sind als konventionell erzeugte. NFK-Bauteile auf Basis von Bast- und Blattfasern weisen eine geringe Splitterneigung auf, was vor allem für den Automobilbau Vorteile bedeuten. Auffallend sind zudem die guten akustischen Eigenschaften von NFK-Bauteilen.

VERWENDUNG UND VERARBEITUNG

In der letzten Dekade hat sich die Technologie beispielsweise für Türinnenverkleidungen und Armaturen bewährt. Vergleichbar mit anderen Verbundwerkstoffen bietet der Herstellungsprozess vielfältige Gestaltungsmöglichkeiten. Durch Wahl des Fasermaterials, des Matrixkunststoffs, des Mischungsverhältnisses sowie der Bindungsart können die Werkstoffqualitäten in einem weiten Bereich eingestellt werden. Faserformteile lassen sich in unterschiedlichen Größen erzeugen, leicht stanzen und zuschneiden. Verbunde mit anderen Materialien sind zudem durch Einlagen, Versteifungen und Kaschierungen meist unkompliziert in einem Pressvorgang realisierbar. Die erzielbaren Bauteilstärken liegen in flächigen Partien zwischen 2,5 und 10 Millimeter.

NFK-Pressteil in der Automobilindustrie
(Quelle: Grimm Schirp)

Barktex® Fluffy – Komposit aus Rindentuch mit Wolle und einem Flor aus Baumwolle
(Quelle: Barkcloth)

„Hemp Chair“ auf Basis von Hanf- und Kenaffasern mit einem Masseanteil von 75 Prozent.
(Design: Werner Aisslinger)

Bananenstaudenfasern

In Brasilien fallen jährlich Unmengen organischer Reststoffe an, die bislang nur selten genutzt werden. So zielt eine ganze Reihe von Forschungsprojekten darauf ab, pflanzliche Abfälle aus der brasilianischen Landwirtschaft der industriellen Produktion zur Verfügung zu stellen. **BananaPlac** ist Resultat eines Projekts der Universität Rio de Janeiro. Hier ist es gelungen, aus Fasermaterial von **Bananenstauden** einen thermisch formbaren Plattenwerkstoff zu erzeugen. Die Fasern werden in einen festen Verbund mit biologisch erzeugtem **Polyurethan (PUR)** als Matrixmaterial gebracht und in unterschiedlichen Farben pigmentiert.

Bambushartfasern

Materialien aus **Bambushartfasern** kommen als Ersatzmaterial für Vollholz in Frage. Die **Bambusstreifen** werden im Herstellungsprozess zerquetscht und die Fasern unter sehr hohem Druck mit **Phenolharz** (Gewichtsanteil: 20–30 Prozent) verpresst. Das entstehende Baumaterial hat eine ausreichende Festigkeit zur Verwendung als Verkleidungsmaterial in Boden, Wand und Decke. Bambushartfaser-Materialien sind in den Niederlanden auch bereits als statische Konstruktionswerkstoffe erfolgreich in die Anwendung gebracht worden.

Kokosfasern

Kokosfasern sind die einzigen fäulnisbeständigen Pflanzenfasern weltweit. Sie werden aus der Schale der **Kokosnuss** gewonnen und weisen eine hohe Reiß- und Scheuerfestigkeit auf. Bemerkenswert ist die sehr gute wärmeisolierende Eigenschaft, die auf die vielen Lufteinschlüsse zurückzuführen ist. Da sich die Fasern zudem positiv auf das Mikroklima auswirken, werden sie häufig in Matratzen verwendet. Kokosfaserplatten lassen sich auch für die **Lärmisolierung** und den **Mikrowellenschutz** einsetzen.

BananaPlac Board
(Quelle: Barkcloth)

Rohrkolbenfaser-Bauteile mit Proteinkleber
(Quelle: Naporo)

Bastfasern	Samenfasern
Hanffaser	Pappelflaum
Bambusfaser	Baumwolle aus den Samenhaaren der Frucht der Baumwollpflanze
Brennnessel	Kapok aus dem Inneren der Kapselfrucht des echten Kapokbaumes
Jute	AKON
Kenaf	
Leinen	
Hopfen	**Fruchtfasern**
Ramie	Kokosfasern aus der Fruchthülle der Kokosnuss
Abacá Hartfasern	Bananenstaudenfasern
Ananas	Hasel- und Erdnussfasern
Neptungras	
Sisal aus Agaven-Blättern	

BananaPlac
(Quelle: Barkcloth)

Technoflachs

Dieses Fasermaterial kommt aus dem Erzgebirge und wird aus geschnittenem **Flachsstroh** hergestellt. Abhängig vom Einsatzgebiet werden die Fasern gereinigt und auf eine definierte Länge gekürzt. Für die Vliesstoffindustrie und Anwendungen wie **Geotextilien**, Kfz-Innenverkleidungen oder **Trittschalldämmung** beträgt die Faserlänge 50 bis 80 Millimeter. Kurzflachsfasern werden zur Verstärkung von PP- und PLA-Spritzgießteilen eingesetzt. Im Baugewerbe werden Flachsfasern auch für die Armierung von Lehmputzen verwendet.

Rohrkolbenfasern

Der **Rohrkolben** besteht aus langen, reißfesten Fasern und einem Schwammgewebe, das in anderen Pflanzen so nicht vorkommen. Seine Fasern können als Grundlage zur Herstellung von Bauteilen eingesetzt werden. Dabei wird im Vergleich zur Zerfaserung von Holz 90 Prozent der Energie eingespart. **Wachse** und Öle, die die **Sumpfpflanze** vor Feuchtigkeit schützen, konnten von den Entwicklern von Naporo als Bindemittel aktiviert werden. Zudem hat das Unternehmen in Kooperation mit K3P Innovations einen **Proteinkleber** entwickelt, der sich durch extreme Klebkraft auszeichnet und äußerst hitzebeständig ist. Die Faserformteile haben eine sehr glatte Oberfläche und müssen nicht aufwändig gespachtelt oder zwischenlackiert werden.

Roggen- und Weizenstroh

Die Verwendung von Roggen- und Weizenstroh als Faserverstärkung ist in den letzten Jahren Gegenstand einer ganzen Reihe von Forschungsprojekten gewesen. Gute Ergebnisse konnten vor allem bei der Herstellung von Holzersatzmaterialien wie Wood-Plastic-Composites **(WPC)** erzielt werden. Auch die Erzeugung von Kompositen in Verbindung mit Polypropylen (PP) war erfolgreich. Im Baugewerbe wird der Einsatz von Stroh im Verbund mit Zement als leichter Plattenwerkstoff derzeit erforscht. Einige Plattenwerkstoffe sind mittlerweile als Holzersatzstoffe im Markt angekommen.

Eigenschaften verzehrbar // ausreichende Stabilität // Nutzen von Abfällen möglich

Nachhaltigkeitsaspekte auf Basis nachwachsender Rohstoffe // aus Lebensmittelresten // biologisch abbaubar // ungiftig

ESSBARES DESIGN

Neben der Entwicklung essbarer Verpackungen wagen sich Designer zunehmend auch an die Herstellung klassischer Designobjekte und Möbel mit Zutaten aus der Küche. So verfügt der Hard Candy coffee table beispielweise über eine Tischplatte, die aus 5,6 Kilogramm Zucker, 2,1 Liter Maissirup, 1,4 Liter Wasser und 100 Gramm Lebensmittelwachs hergestellt ist.

PRODUKTE

TOFU chair

Vor allem Vegetarier will der Designer Leonardo Talarico mit seinem jüngsten Möbelentwurf ansprechen. Denn er besteht vollständig aus **Tofublöcken,** denen er das enthaltene Wasser entzogen hat. Mit einer Wärmebehandlung hat der Designer die Tofustücke in ihren Festigkeitseigenschaften soweit optimiert, dass sie in einem Möbelstück genutzt werden können.

BAGUETTE Tische

Die Menge an Lebensmitteln, die nicht verzehrt, sondern einfach weggeworfen werden, ist immens. Im Durchschnitt kommen bei einer vierköpfigen Familie jährlich etwas sechs volle Einkaufswagen zusammen. Um auf den verschwenderischen Umgang mit Lebensmitteln in der westlichen Welt aufmerksam zu machen, haben die polnischen Designer Gosia and Tomek Rygalik eine Reihe von Tischen entwickelt, die sie aus einer Vielzahl stangenförmiger **Baguettes** zusammensetzen.

SUGAR chair

Der niederländische Designer Pieter Brenner hat mit dem SUGAR chair einen vollständig aus Zucker bestehenden Stuhl entworfen. Er ist in limitierter Auflage erhältlich und wird auf Anfrage gefertigt. Durch individuelle Wahl von Farbe und Form bei der Verarbeitung der **Zuckermasse** von rund 30 Kilogramm entstehen Unikate, die sich insbesondere durch ihren Geschmack voneinander unterscheiden.

BITE ME

Neben der Umsetzung von Möbeln und Geschirr aus essbaren Substanzen machen die Designer auch nicht vor elektrischen Produkten und Leuchten halt. So hat der amerikanische Gestalter Victor Vetterlein eine Leuchte aus einem biologisch abbaubaren Kunststoff entwickelt, die aus pflanzlichem **Glycerin** und **Agar** besteht, einer **Gelatine,** die aus den Zellwänden einer **Rotalgenart** gewonnen wird.

TOFU chair
(Design / Quelle: Leonardo Talarico)

BAGUETTE Tische
(Design: Gosia and Tomek Rygalik)

SUGAR chair
(Design / Quelle: Pieter Brenner)

BITE ME – essbare Leuchte
(Design / Quelle: Victor Vetterlein)

Eigenschaften bioverträglich // Zersetzungsgeschwindigkeit beeinflussbar // Implantation in den Körper möglich

Nachhaltigkeitsaspekte auf Basis natürlicher Ausgangsstoffe // biologisch abbaubar

BIOLOGISCHE ELEKTRONIK

Elektronischer Schrott und alte elektrische Geräte stellen eine große Herausforderung in der Entsorgung dar. Problematisch sind vor allem Verbindungen zwischen Kunststoffen und Metallen, deren sortenreine Trennung bislang nur in Ansätzen gelingt. So finden sich nicht selten Altgeräte aus Europa in Afrika wieder, wo die Menschen versuchen, an kostbare Edelmetalle heranzukommen. Dabei gelangen giftige Schwermetalle in die Umgebung und belasten Böden und das Grundwasser. Vor diesem Hintergrund wird in zahlreichen Vorhaben an bioverträglicher Elektronik geforscht.

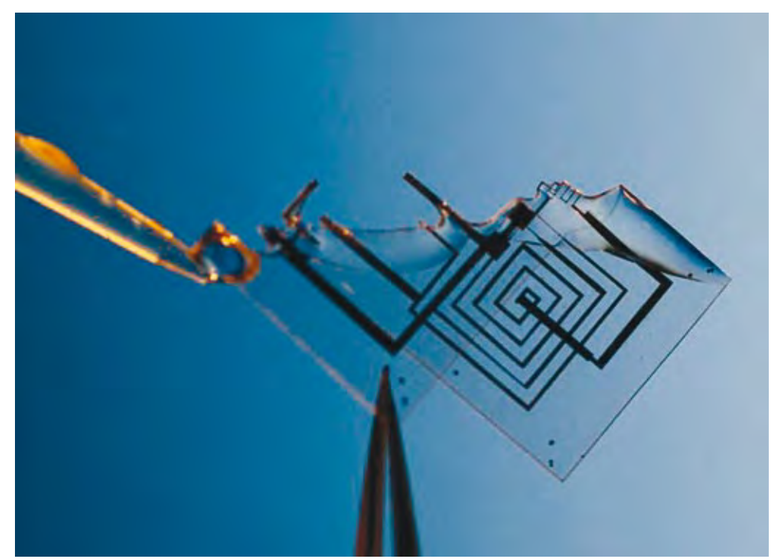
MATERIALKONZEPT UND EIGENSCHAFTEN

An der Johannes Kepler Universität (JKU) Linz wurde ein organischer Feldeffekttransistor entwickelt, der vollständig aus natürlichen Rohstoffen basiert und sogar vom menschlichen Körper abgebaut werden könnte. Ausgangsstoffe waren unter anderem **Indigo, DNA, Beta-Karotin, Koffein,** natürliche Farbstoffe und **Glucose.** Elektrisch leitende Schaltkreise aus organischem Material wurden auf eine Biokunststofffolie aufgedruckt und ermöglichten die Herstellung eines Sensors.

Wissenschaftler an der University of Illinois stellten in einem anderen Projekt biologisch zersetzbare Elektronikkomponenten wie **Solarzellen, Transistoren,** Dioden, Antennen und sogar einfache Digitalkameras aus dünnen Schichten von Silikon, Magnesium, **biokompatiblem Silizium** und **Seide** her. Die Zersetzungsgeschwindigkeit konnte über den Schichtaufbau beeinflusst werden.

VERWENDUNG

Die Wissenschaftler sehen Anwendungsmöglichkeiten biologisch abbaubarer Sensoren in der Lebensmittelindustrie, um zum Beispiel die Frische von Brot, den Reifegrad von Obst oder die Unterbrechung von Kühlketten zu überprüfen. Auch würde sich **natürliche Elektronik** hervorragend für den Spielzeugbereich eignen. Die biologische Abbaubarkeit ließe zudem die Implantation elektronischer Komponenten in den menschlichen Körper zu, um Funktionen des Organismus und Stoffwechselvorgänge zu überprüfen und Krankheitsverläufe zu dokumentieren.



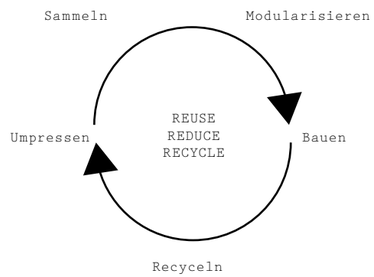
Biologisch abbaubare Elektronik
(Quelle: Beckman Institute, University of Illinois and Tufts)

auf einfache Weise realisiert werden. Zudem weisen POLLI-Bricks schall- und wärmedämmende Qualitäten auf.

Elastomerpulvermodifizierte Thermoplaste (EPMT)

Die weltweite Produktionsmenge elastomerer Kunststoffe (Gummi) liegt bei etwa 22 Millionen Tonnen. Der größte Anteil geht in die Herstellung von Reifen. Da sich Elastomere nicht unter Wärme schmelzen lassen, werden **Altgummiprodukte** am Ende ihrer Produktlebensdauer entweder energetisch verwertet oder in Form kleiner Partikel zu Fußböden oder Laufbahnen verarbeitet. Eine alternative Technologie für eine hochwertige Verwendung von Gummiabfällen kommt vom Fraunhofer UMSICHT aus Oberhausen. Hier wurden EPMT Rezepturen entwickelt, die bis zu 80 Prozent Gummireste enthalten und zu lediglich 20 Prozent aus Polypropylen bestehen. In dem patentierten Verfahren wird das Altgummi zunächst zerkleinert, mit flüssigem Stickstoff gekühlt und zu Elastomerpulver zermahlen. Dieses wird anschließend in einem Schmelzmischverfahren mit Thermoplasten und Additiven gemischt. Ergebnis ist ein hochwertiger Kunststoff, der durch Spritzgießen und Extrusion verarbeitet werden kann.

Recyclingkonzept der POLLI-Bricks
(Quelle: Miniwiz)



Jeder Bundesbürger kauft im Durchschnitt 70 neue Kleidungsstücke pro Jahr und entsorgt in gleicher Größenordnung Altkleidung. Dabei entstehen 750.000 Tonnen Alttextilien jährlich, die in unterschiedlichen Qualitäten verwertet werden können. Neben der klassischen Zweitnutzung durch die Altkleidersammlung und der stofflichen Verwertung von Textilresten in Produktionssystemen, haben Designer in den letzten Jahren einige interessante Ansätze und Geschäftsideen entwickelt, die auf der Verwertung von Alttextilien basieren.

Nachhaltigkeitsaspekte Verwendung von Alttextilien // Steigerung der Material- und Energieeffizienz

ALTTEXTILWERKSTOFFE

„Bis es mir vom Leibe fällt“
(Quelle: Elisabeth Prantner)

PRODUKTE

Stadtfund

Die Berliner Upcycling-Designer von Stadtfund reagieren mit einer bemerkenswerten Geschäftsidee auf das Problem verloren gegangener Handschuhe. Denn sie sammeln diese ein, bringen gleiche Größen wieder als Paare zusammen und vertreiben sie über das Internet. Somit machen Sie Mut zum Handschuhmix und stellen gleichzeitig die Mechanismen der Wegwerfgesellschaft in Frage.

Bis es mir vom Leibe fällt

Eine äußerst einfache Form der Textilverwertung hat Elisabeth Prantner mit ihrem **Veränderungsatelier** in Berlin entwickelt und es damit bis in die Gewinnerliste des **Bundespreises Ecodesign** 2012 geschafft. Die Kollektion „Bis es mir vom Leibe fällt” zeigt Möglichkeiten auf, wie durch ständiges Reparieren, Umgestalten und Vereinzigartigen ein Prinzip für die Modegestaltung entsteht. Dabei wird Mode kreiert, die einen besonderen Dialog zwischen dem Textil und seinem Träger herstellt.

Ungleiche Handschuhpaare
(Quelle: Stadtfund)

Möbel aus Altkleidern

Als einer der ersten kam Tobias Juratzek auf die Idee, Alttextilien für den Möbelbau einzusetzen. So besteht der Sessel „Remeber me“ lediglich aus alten Kleidern wie Hosen, T-Shirts, Hemden und Blusen, die unter hohem Druck zusammen mit einer **Harzmischung** in eine Form gepresst werden. Nach Aushärtung entsteht ein Möbelstück, das die individuellen Merkmale der Kleidungsstücke wie Löcher oder nicht zu reinigende Rotweinflecke als Erinnerung konserviert.

Auch die Textildesigner Moa Hallgren und Lisa Spengler haben in ihrer Abschlussarbeit an der Kunsthochschule Berlin Weißensee eine Kollektion **textiler Möbelobjekte** entworfen, die auf Stoffresten, Altkleidern und Möbeln aus dem **Sperrmüll** basieren. Die unter dem Namen **REMÖTIL** entstandenen Objekte, wurden in Handarbeit durch neue Verbindungen von Möbeln und Textilien geschaffen.

Textile Schalen

Die Designerin Kathrin Morawietz hat sich Techniken des traditionellen Drechslerhandwerks bedient, um aus einem Block mit Holzleim verklebter Textilien eine Serie von fünf Schalen zu fertigen. Diese überraschen beim Anfassen durch eine textile Haptik und ein besonders geringes Gewicht. Farbige Schichten durchziehen die Formteile wie Gesteinsadern einen Fels.

Sessel „Remember me” aus alten Kleidern
(Design: Tobias Juratzek)

VEIO Textile Schalen
(Design: Kathrin Morawietz)

REMÖTIL – textile Möbelobjekte
(Design: Moa Hallgren und Lisa Spengler)

Eigenschaften besonders stabile Kohlenstoffkonfiguration // sechseckige Wabenstruktur // CNT fünfmal stabiler als Stahl // doppelt so hart wie Diamant // enorme Steigerung der Festigkeit // elektrisch leitfähig // elektromagnetische Abschirmung

Nachhaltigkeitsaspekte Ressourcenschonung durch materialeffiziente Konstruktionen // Energieersparnis durch Gewichtsreduktion

CNT-VERSTÄRKTE MATERIALIEN

Diamant, Graphit, Ruß: Alle diese Materialien basieren auf Kohlenstoff. Ihre Eigenschaften sind uns schon seit Jahrhunderten bekannt. Seitdem die Wissenschaft Strukturen auf Nanoebene untersucht und beeinflussen kann, sind neue Kohlenstoff-Werkstoffe auf dem Vormarsch, die in einer ganzen Reihe von Anwendungen neue Lösungen mit hoher Langlebigkeit sowie gewichtsreduzierter Konstruktion möglich machen. Der bekannteste Vertreter ist die Kohlenstoffnanoröhre (carbon nanotubes, CNT), eine besonders stabile Konfiguration einer sechseckigen Wabenstruktur entlang einer Röhre mit einer Größe weniger Nanometer. Sie ist mechanisch hochbelastbar, theoretisch etwa fünfmal stabiler als Stahl und doppelt so hart wie ein Diamant. Die Potenziale von CNT für den Leichtbau sind offensichtlich, daher ist mittlerweile eine ganze Reihe von Leichtbauverbundsystemen mit CNT-Verstärkung auf dem Markt erschienen.

PRODUKTE

Partikelschäume mit CNT-Beimischung

CNT-Beimischungen in **Partikelschäume** (EPS, EPP) bewirken eine enorme Steigerung der Festigkeit von **Schaumstoffen.** Diese bieten verbesserte Einsatzmöglichkeiten bei Protektoren, Motorradhelmen und Stoßfängern. Entwickler testen derzeit Granulat mit zehn prozentiger CNT-Beimischung für den Schäumprozess zur Herstellung besonders feinzelliger Strukturen.

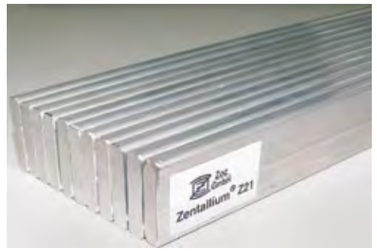
CNT-modifizierte Polymer-Komposite

Future Carbon fokussiert im Projekt Carbo Space auf die Verbesserung kohlenstofffaserverstärkter Kunststoffbauteile für Weltraumanwendungen. Es werden CNT-modifizierte Polymer-Komposit-Materialien gefertigt, die den extremen Bedingungen der Raumfahrt standhalten und Ultra-Leichtbaulösungen möglich machen. Polymerverbunde erhalten durch die Zugabe der Kohlenstoffröhren verbesserte **elektrische Leitfähigkeit** und **elektromagnetische Abschirmfunktionen.** Für die Einbindung der Kohlenstoffröhren sind insbesondere die Qualitäten des Matrixmaterials entscheidend. Hier ist es gelungen, die mechanischen Eigenschaften des Reaktivharzes auf Basis von Epoxid- oder Cyanatesterharzen grundlegend zu verbessern. Die Bruch- und Scherfestigkeit konnten um rund 50 Prozent gesteigert werden, bei deutlich höheren Einsatztemperaturen.

Stoßfänger aus Partikelschaum mit CNT-Beimischung (Quelle: Ruch Novaplast)

CNT-verstärktes Aluminium

Zentallium® ist ein CNT-verstärkter Aluminiumwerkstoff, der für die Anforderungen in der Luft- und Automobilindustrie entwickelt wurde. Er ist ein Verbundmaterial aus einem Aluminiumbasiswerkstoff und einer CNT-Verstärkung. Im Kern besteht das Material aus einer Matrix mit einem **nanostrukturierten Aluminiumgefüge,** in das **Nanoröhren** eingebettet werden. Der Werkstoff weist Festigkeiten auf, die über denen von Edelstählen liegen und das Niveau von Baustählen erreichen. Zentallium® wird unter anderem zur Entwicklung von leichtgewichtigen Konstruktionen für die **Elektromobilität** verwendet. Jüngst wurde er erfolgreich in einem Modellhubschrauber **(RC-Helikopter)** getestet.



Zentallium® – CNT-verstärktes Aluminium (Quelle: Zoz Group)

RC-Helikopter mit Zentallium® (Quelle: Zoz Group)

Eigenschaften hohe Festigkeit bezogen auf ihre Masse // ähnlich Qualitäten wie Kevlar // starke Vernetzungsneigung // extrem hohe Oberfläche // äußerst reaktiv // biologisch abbaubare Formteile möglich // Barriere gegen Sauerstoff und Wasserdampf

Nachhaltigkeitsaspekte auf Basis organischer Abfälle // Steigerung der Materialeffizienz

NANOZELLULOSE

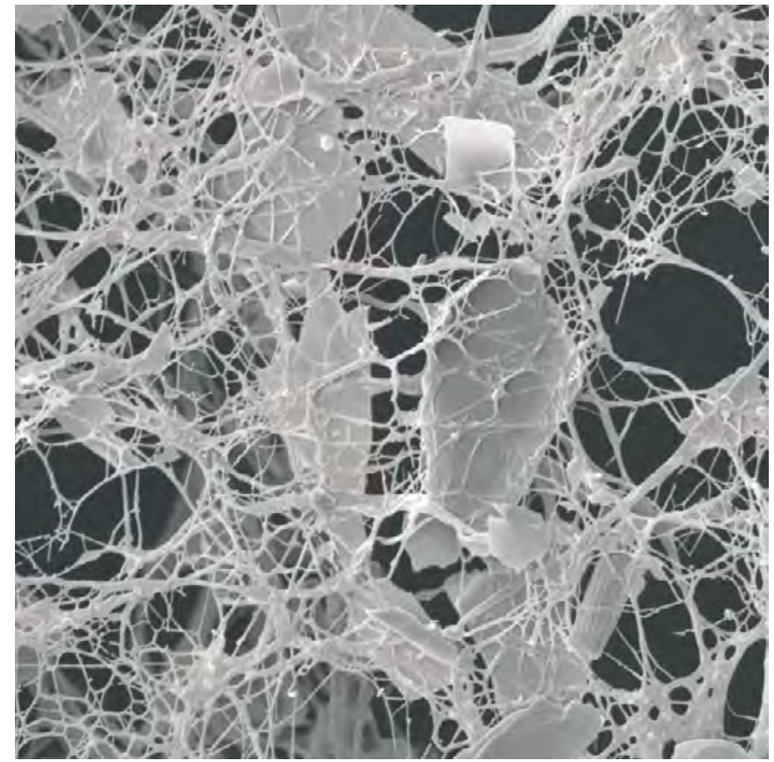
Als Biopolymer ist Zellulose in nahezu jeder pflanzlichen Struktur in den Zellwänden enthalten. Zellulosefasern sind hochfest und bieten sich somit als biobasierte Faserverstärkung in Kunststoffverbundwerkstoffen an. Forschern in den USA, Brasilien und der Schweiz ist es gelungen, Zellulosefasern in Nanodimension zu produzieren und als Pulver zu isolieren.

MATERIALKONZEPT UND EIGENSCHAFTEN

Nanozellulosefasern haben einen Durchmesser unter 100 Nanometern und eine Länge weniger Mikrometer. Die einzelnen Fasern sind bezogen auf ihre Masse hochfest und bauen untereinander starke Vernetzungen auf. Dadurch weisen sie eine extrem hohe Oberfläche auf, die sie äußerst reaktiv werden lässt. **Nanozellulose** bildet mit anorganischen, organischen und polymeren Materialien physikalisch-chemische Verbindungen aus, was sie als Verstärkungsmaterial mit ähnlichen Qualitäten wie **Kevlar** in Verbundwerkstoffen äußerst interessant werden lässt. Lediglich ein Kilogramm Nanofasern würden ausreichen, um 100 Kilogramm Verbundkunststoff zu produzieren bei deutlich reduziertem Gewicht. Wissenschaftler der Empa, einer Forschungsinstitution im Bereich der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich (ETH), konnten Nanozellulose erfolgreich auf Basis von Holz gewinnen, Forscher der Universidade Estadual Paulista (UNESP) in Brasilien nutzten für die Herstellung eines talkähnlichen Pulvers die Blätter der **Ananas** und die Stauden des **Bananenbaums.**

VERWENDUNG

Nanozellulosepulver lässt sich für die Herstellung hochfester Polymerverbunde mit ähnlichen Festigkeiten wie die von metallischen Bauteilen für die Automobilindustrie ebenso verwenden wie als Membran- oder Filtermaterial in der Biomedizin. Vor allem bietet es sich im Verbund mit Biopolymeren an, hochfeste aber dennoch biologisch abbaubare Formteile zu erzeugen. Mit Nanozellulose ließe sich auch die mechanische Qualität von Holz- und Pappwerkstoffen verbessern. In Form **nanoporöser Bioschaumstoffe** könnten konventionelle Isolationsmaterialien ersetzt werden. Zu einem dichten Papier verpresst, ließe sich ein Nanofasernetzwerk mit verteilten Tonpartikeln als Barriereschicht für **Sauerstoff** oder **Wasserdampf** in Verbundverpackungen einsetzen und das heute zur Anwendung kommende Aluminium substituieren.



Nanofasernetzwerk mit verteilten Tonpartikeln in einer rasterelektronenmikroskopischen Aufnahme (Quelle: Empa)

Eigenschaften Tarnkappe für elektromagnetische Wellen // höher aufgelöste Linsen // Umleitung seismischer Wellen // Geräuschminderung // feste Konsistenz einer Flüssigkeit in Wasser

METAMATERIALIEN

Als Metamaterialien werden Werkstoffe mit ungewöhnlichen Eigenschaften bezeichnet, die in dieser Form in der Natur nicht vorkommen. Der wohl bekannteste Effekt geht auf die Brechung des Lichts in einer besonderen Art und Weise zurück, so dass Gegenstände unsichtbar erscheinen. In den letzten Jahren hat die Forschungsintensität auf dem Gebiet der Metamaterialien enorm zugenommen, so dass sich unterschiedliche Schwerpunkte herauskristallisieren.

PRODUKTE

Elektromagnetische Metamaterialien

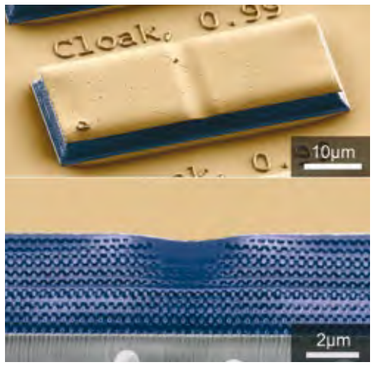
Die meisten Forschungsprojekte richten ihren Fokus auf die Arbeit mit künstlichen Materialien, die einen **negativen Brechungsindex** aufweisen und Wellen um ein Objekt herumleiten. In der Oberfläche des Materials werden dazu Strukturen erzeugt, die kleiner sind als die Wellenlänge des sichtbaren Lichts. Das Forschen im Nanometerbereich erfordert häufig neue Fertigungsverfahren. So wird am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) mit dem **direkten Laserschreiben** (DLS) ein neues Verfahren entwickelt, das die generative Erzeugung der winzigen **3D-Strukturen** ermöglichen soll. Auf diese Weise wurde eine erste **3D-Tarnkappe** für unpolarisiertes sichtbares Licht im Bereich von 700 Nanometern realisiert.

Unter Verwendung eines **plasmonischen Metamaterials** konnten im Januar 2012 auch US-Forscher in Texas eine dreidimensionale Geometrie unsichtbar erscheinen lassen. Die Wissenschaftler nutzten ein Metamaterial, das Lichtstrahlen genau entgegengesetzt zu normalen Werkstoffoberflächen streut. Die Wellen überlagern sich und löschen sich aus. Die Tarnkappe funktioniert für ein 18 Zentimeter großes Zylinderrohr bisher jedoch nur im Mikrowellenbereich.

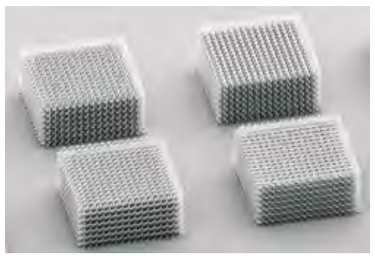
Superlinsen

Superlinsen sind optische Linsen, die keine **Auflösungsgrenzen** aufweisen. Die beste optische Auflösung ist nach dem **Abb`sche Beugungslimit** auf etwa die Hälfte der Wellenlänge des verwendeten Lichts begrenzt. Unter Ausnutzung von Nanostrukturen könnte das Reflektionsverhalten soweit verändert werden, dass wesentlich kleinere optische Sensoren und Linsen mit weitaus höherer Empfindlichkeit für die Medizin und Umwelttechnik umgesetzt werden. Superlinsen hätten dann auch keine gekrümmte, sondern eine flache Geometrie.

An der Technischen Universität (TU) und der Ludwig-Maximilians-Universität (LMU) München arbeiten Wissenschaftler an einer Superlinse aus DNA-Molekülen. Diese ordnen sich selbsttätig entlang einer Spirale an und werden zur Beeinflussung von Lichtstrahlen mit **Nanogoldpartikeln** verbunden. Mit dem Metafluid konnte grünes Licht unabhängig von der Richtung der Strahlung vollständig gefiltert werden. Damit ist es den Wissenschaftlern nun möglich, nano-optische Werkstoffe mit exakt spezifizierbaren Qualitäten herzustellen. Das Metafluid hat langfristig das Potenzial zur Umsetzung einer „perfekten Linse“ und steht im Kontext zur Umsetzung von Tarnkappen.



Elektronenmikroskopische Aufnahme einer Tarnkappenstruktur für 3D-Strukturen (Quelle: KIT)



Durch Direktes Laserschneiden erzeugte Strukturen (Quelle: KIT)

Seismische Metamaterialien

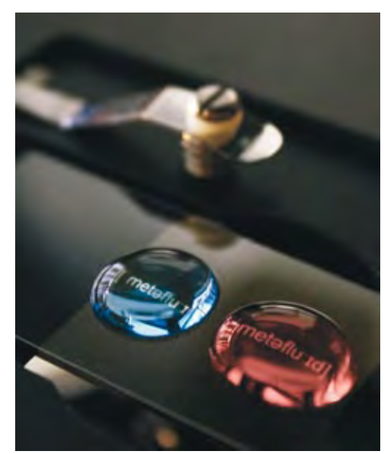
Ziel der Entwicklung von **seismischem Metamaterialien** ist die Reduzierung von Schwingungen, die durch Erdbeben ausgelöst werden. Mit einem Wall am Boden verankerter Ringe sollen die für die größten Zerstörungen verantwortlichen **Oberflächenwellen** um Gebäude herumgeführt werden. Die **Tarnkappe,** die am Institut Fresnel in Marseille entwickelt wird, besteht beispielsweise aus mindestens zehn Ringen, die zusammen ein Metamaterial bilden. Trifft eine seismische Oberflächenwelle auf den ersten Ring, hat dies eine bestimmte Interaktion des Rings mit der Welle zur Folge. Der Ring verbiegt sich und führt eine Gegenbewegung aus, die die Welle umleitet. Die einzelnen Ringe sind auf unterschiedliche Frequenzen der Oberflächenwelle ausgelegt, so dass Wellen in einem weiten Bereich beeinflusst werden können.

Akustische Metamaterialien

Eine Lösung für ein akustisch wirkendes Metamaterial kommt von der University of Illinois, die sich auch für Objekte in größeren Dimensionen nutzen ließe. Ein metallischer Ring mit einem Durchmesser von 10 Zentimetern und 16 **konzentrischen Ringstrukturen** führt dazu, dass Wellen im Ultraschallbereich zwischen 40 und 80 Kilohertz (zum Beispiel Sonarwellen) nicht wahrgenommen werden. Die Geschwindigkeit der Schallwellen wird an der Geometrie der Ringe verändert. Sie breiten sich in der **Hohlkammerstruktur** aus, werden abgebremst und verschluckt. Erste Anwendungen sehen die Forscher für militärische oder medizinische Zwecke. So könnte die Ringstruktur in U-Booten bei starkem Wellengang vorteilhaft angewendet werden. Auch Ölplattformen ließen sich vor Naturgewalten schützen. Und Konzerthallen beziehungsweise Fahrzeuge, von denen keine Geräuschbelastung mehr ausgeht, rücken in den Bereich des Möglichen.

Metaflüssigkeiten

Mit der Herstellung einer standfesten kristallinen **Metaflüssigkeit,** einem **Pentamode-Metamaterial,** gelang es Wissenschaflern am KIT, eine neue Materialklasse zu entwickeln. Sie werden durch neue Methoden der **Nanostrukturierung** erzeugt und können alle denkbaren mechanischen Eigenschaften einnehmen. Der Idealzustand eines Pentamode-Metamaterials entspricht den Kenngrößen von Wasser. Dieses lässt sich in einem Zylinder kaum zusammenpressen, aber mit einem Gegenstand verrühren. Das mechanische Verhalten der Metaflüssigkeit wird darüber bestimmt, wie spitz und lang die einzelnen hutförmigen Elemente in der diamantenartigen Molekularstruktur ausgebildet sind. Die Materialmasse nimmt nur rund ein Prozent des Körpervolumens ein.

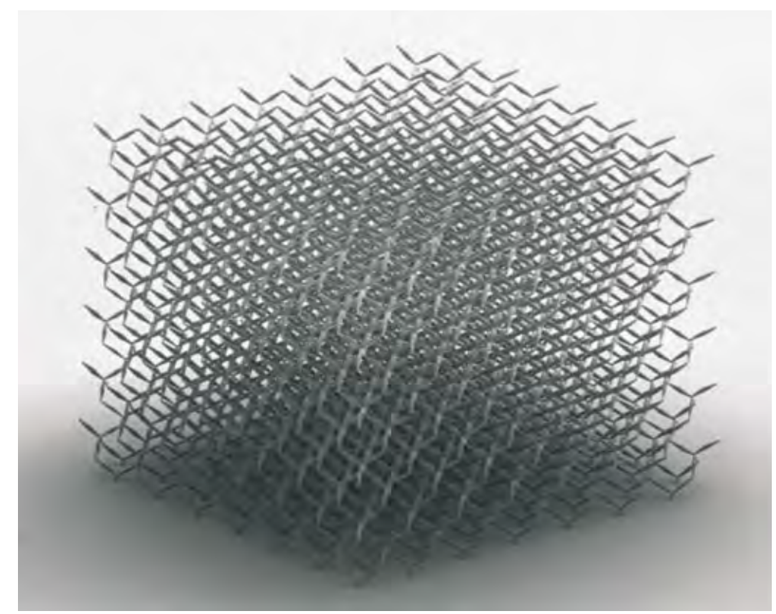


Dichroismus von DNA-Linsen – zwei Tropfen mit den optisch aktiven DNA-Gold-Molekülen absorbieren polarisiertes Licht unterschiedlich stark. (Quelle: TU/LMU München)

Organische Metamaterialien

Ende 2012 wurde von US-Forschern der Cornell University ein neues Phänomen eines Metamaterials publiziert. Den Wissenschaftlern gelang es unter Verwendung organischer Substanzen, ein Material zu erzeugen, dass im Trockenen flüssig ist und in einer Flüssigkeit eine feste Konsistenz zeigt. Aufgebaut wurde das Material aus **Desoxyribonukleinsäuren** DNA in der dreidimensionalen Netzwerkstruktur eines **Hydrogels** mit stark wasserspeichernden Eigenschaften. Ein Anwendungsfall für das organische Material wären auf Wasser reagierende elektrische Schalter.

Eine zu einem Metamaterial strukturierte Aluminiumscheibe kann Ultraschallwellen um den zentralen freien Bereich brechen (Foto: L. Brian Stauffer, University of Illinois)



Pentamode-Metamaterialien verhalten sich näherungsweise wie Flüssigkeiten (Quelle: CFN, KIT)

Eigenschaften Verschmelzen von Sandpartikeln // Bündelung der Energie von Sonnenstrahlung // schichtweiser Aufbau // Hinterschnitte nur bedingt möglich

Nachhaltigkeitsaspekte keine zusätzliche Energie notwendig // Rohstoff Sand im Übermaß vorhanden // regionale Produktion

SOLARSINTERN RAPID MANUFACTURING MIT SONNENLICHT

Das Lasersintern gilt als eine der wichtigen Techniken zur generativen Herstellung von Bauteilgeometrien. Es wird seit Ende der 90er Jahre eingesetzt, um hochwertige technische Prototypen aus Keramiken, Kunststoffen oder Metallen zu fertigen. Nahezu jeder pulverförmig vorliegende Werkstoff lässt sich mittlerweile verarbeiten. Vor allem die Möglichkeit zur Herstellung von Formteilen aus Metall hat das Verfahren für die direkte Herstellung von Werkzeugen (Rapid Tooling) und sogar für die individuelle Produktion (Rapid Manufacturing) qualifiziert. In der Wüste Ägyptens zeigt der deutsche Designer Markus Kayser, wie der nächste große Entwicklungsschritt aussehen könnte. Denn er nutzt für die Herstellung von Glasteilen lediglich das Sonnenlicht und Sand.

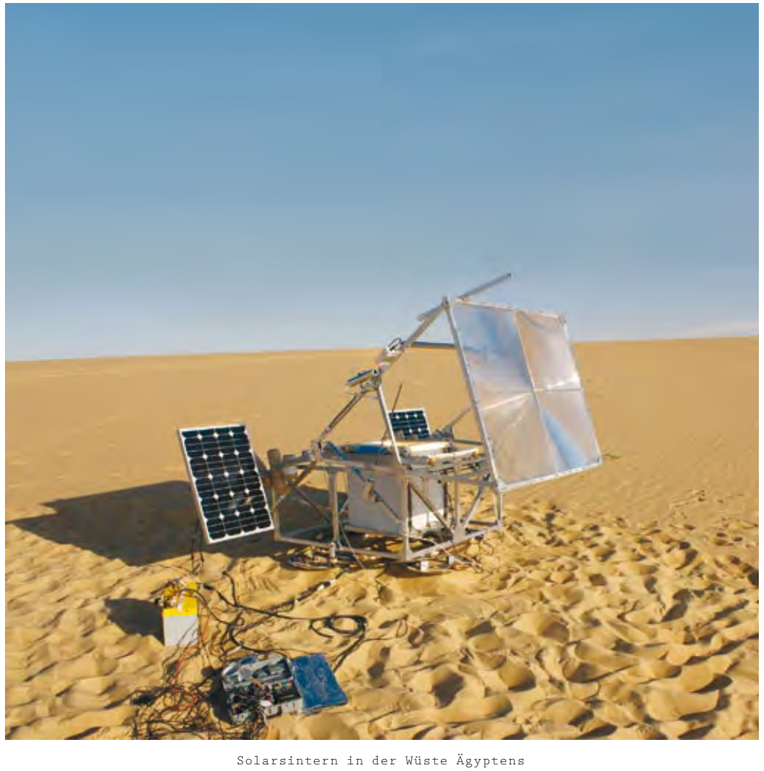
VERFAHRENSPRINZIP

Möglich macht dies die eigens von dem Designer entwickelte Solarsinter-Anlage. Mit einer Optik aus **Fresnel-Linsen** wird die Sonnenstrahlung auf einen Punkt im **Sandbett** fokussiert. Die entstehende Wärmemenge reicht aus, um die **Silikatpartikel** miteinander zu verschmelzen und als Glas abzukühlen. Eine selbstgebaute und mit **Solarenergie** betriebene 3D-Printereinrichtung sorgt für das Absenken der Bauteilschicht und das Aufbringen einer neuen Sandschicht. Der Vorgang wird dann solange wiederholt, bis das gewünschte Formteil vollständig aufgebaut ist.

ANWENDUNG

Mit dem **Solarsintern** bringt Markus Kayser Hightech unter Verwendung einfacher und vor allem regionaler Materialien in Entwicklungs- und Schwellenländer. Somit können auch hier die Vorteile generativer Fertigungsverfahren genutzt und weiterentwickelt werden.

Mit Sonnenstrahlung gesinterte Schale
(Quelle: Markus Kayser)



Solarsintern in der Wüste Ägyptens
(Quelle: Markus Kayser)

Eigenschaften Verschmelzen von Altkunststoffen und Holzresten // schichtweiser Aufbau // Hinterschnitte nur bedingt möglich

Nachhaltigkeitsaspekte Verwendung von Abfallmaterialien // materialeffizienter Bauteilaufbau

GENERATIVE FERTIGUNG MIT RECYCLINGMATERIAL

Ein Ansatz zur Verbesserung der Materialeffizienz unserer Produktkultur ist die Verwendung von Reststoffen und recycelten Abfallmaterialien im Produktionsprozess. Dies ist vor allem mit thermoplastischen Kunststoffabfällen möglich, die sich bei niedrigen Temperaturen schmelzen lassen. Die Verwendung von Abfallmaterialien bei der generativen Fertigung ist 2011 dem niederländischen Designer Dirk Vander Kooij gelungen.

VERFAHRENSPRINZIP

Er präsentierte ein dem **Fused Deposition Modeling** ähnliches Produktionsverfahren für Möbel unter Verwendung geschredderter Kunststoffabfälle von **Kühlschränken** und eines Roboterarms. Die Kunststoffpartikel werden in einem Behältnis aufgeschmolzen, bis eine zähfließende Masse entsteht. Der **Roboterarm** fährt die Kontur einer Bauteilschicht ab und bringt den Kunststoff mit einer Düse linienartig auf. Anschließend kühlt das Material ab und erstarrt in der gewünschten Kontur. Bauteile entstehen sukzessive durch Verschmelzen der jeweiligen Schichten. Die Schichtdicke wird dabei durch die Glättung mit der Düse bestimmt, wobei Hinterschneidungen nur bedingt erzeugt werden können.

Mittlerweile ist man auch in der Lage, Holzfasern als Reststoffe mit Bindemitteln zu dreidimensionalen Formteilen generativ aufzubauen. In einer bei Rael San Fratello Architects in Kalifornien entwickelten Technologie werden Holz- und Zellulosefasern in einem Druckprozess verbunden und zu Formteilen überführt.

ANWENDUNG

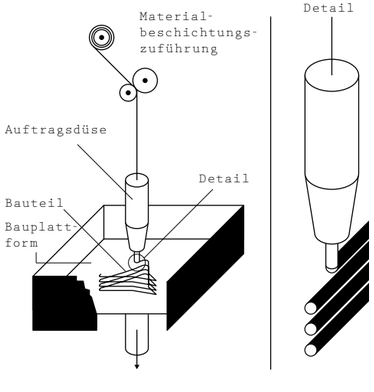
Dirk Vander Kooij hat den Produktionsprozess für die Herstellung einer eigenen Möbelkollektion entworfen. Individuelle Wünsche und Farbvariationen lassen sich auf einfache Weise realisieren. Das Verfahrensprinzip könnte auch auf andere Bereiche für die Erzeugung von Kunststoffteilen übertragen werden.

Generative Möbelproduktion mit einem Roboterarm (Quelle: Dirk Vander Kooij)

Farbvariationen im schichtweisen Aufbau
(Quelle: Dirk Vander Kooij)

Bevel Bowl – aus Holzfasern gedruckte Schale (Design: Rael San Fratello Architects)

Prinzip des FDM-Verfahren
(Quelle: Handbuch für technisches Produktdesign, Heidelberg 2011)



3D-Drucker 192
3D-Strukturen 150
3D-Tarnkappe 150
3D-Textil 141

—
A
—

Abb'sche Beugungslimit 150
Abfallströme 201
Abformmasse 81
ABS 11
Abschirmfarben 137
Abschirmfolien 137
Abschirmfunktion 137
Abschirmgewebe 137, 138
Abschirmvliese 137
Absorbermaterial 174, 175
Absorptionsgrad 142
Abstandsgewebe 115, 197
Abstandstextil 115
ACCC 184
ACCR 184
Acetaldehyd (Ethanal) 39
Acetobacter Xylinum 43
Acrylat 136
Acrylnitril-Butadiene-Styrene 11
adaptive Kunststofffaser 144
Aequorea victoria 167
Aerogel 121, 149, 182
Aerographit 121
Agar 86
Agavenpflanzen 68
Agrarabfälle 9, 109
Akkuschrauberwettbewerb 11
Akustikdecke 142, 156
Akustikvliese 109
akustische Metamaterialien 151
Alaun 54
Alfagras 68
Algen 185
Algenextrakte 85
Algenfassade 185
Algenöl 51
Algenwirkstoffe 129
Alginat 81, 85, 127
Alkohol 40, 54
Altglasabfälle 201
Altgummiprodukte 94
Altkleidung 94
Altpapier 96, 109, 197
Alttextilien 94
Aluminium 106
Aluminiumoxidfasern mit Aluminiumdraht-Ummantelung 184
Aluminium-Waben 110
Aminenhärter 52
Aminosäure 47
Aminosäure-Dihydroxy-phenylalanin (Dopa) 56
Ammoniak 58
amorphe Struktur 140
Animal Coffin 10
antibakterielle Oberflächen 129
Antifouling-Spray 129
Antigraffiti 127
antimikrobielle Oberfläche 131
Antireflexionsschichten 161
Aramid 107, 115
Areca Palme 11, 84
Artenschutz 84
Asphalt 61
Atlasbindung 107
aufblasbarer Pneu 197
Aufdampfen 174
Auflegieren 106
Auflösung 193
Auflösungsgrenze 150
Aufschäumen 195
Aufschleuderverfahren 174
Augensteuerung 165
augmented reality 165
auxetische Materialien 146
auxetische Verbände 146

—
B
—

Bagasse 85
Baguette 86
Bakterien 178
Bakterienkultur Xylinum 8
Bakterienstamm 43
Bakterienzellulose 43
Bakteriophage 178
Bambus 72, 115, 119
Bambusbeton 115
Bambushartfaser 67
Bambusrohrstücke 13
Bambusstreifen 67
Bambustriebe 7
BananaPlac 67
Bananenbaum 117
Bananenblätter 142
Bananenstauden 67
Barrique-Weinfässer 99
Bastfasern 73
Batterien 172
Batteriesystem 180, 201
Baumharz 196
Baumwollfasern 73
beheizbare Operations-decke 135
Belland 194
Bernstein 58
Berührungsimpulse 165
berührungssensitive Betonoberfläche 164
Beta-Karotin 87
Betonbaustein 159
Betonfassadenplatten 115
Betontapete 115
Bewässerungssystem 141
bewerteter Schall-absorptionsgrad 142
Bienenwachs 82
Bimetalle 145
Bimssteine 130
Bindemittel 197
bioabbaubare Kunststoffe 38
bioabbaubare Polymere 182
bioadaptive Fassadenelemente 185
Bio-Alkohol 40
Biobitumen 61
Biodiesel 42
Bioethanol 38, 53, 71

Biofilme 178
Biogasanlage 83, 120
biogene Keramiken 198
biogene Reste 15
Bio-Intelligenzquotient 185
Biokompatibilität 56
biokompatibles Silizium 87
Biokomposit 197
Biokunststoff 9, 109, 118
Biolaser 167
Bio-Leder 83
Bio-Light 7, 27, 167
biologische Abbaubarkeit 6
biologisches Bauen 137
Biolumineszenz 7, 166
Biolumineszenz-erscheinungen 154
bioluminesziernde Lichtquellen 166
Bioniker 119
bionische Forschung 198
bionische Innenstruktur 11
Bio-PA 39
Bio-PE 38
Biopolymer 38, 39, 57
Bio-PP 39
Bioprinting 195
Bio-PUR 39, 40
Bioreaktivität 181
Bioreaktor 185, 194
Bio-Spanplatte 109
Biotinte 194
bio-verträgliche Elektronik 87
biozide Wirkung 129
BIQ 185
Birkensperrholz 112
Bismuttellurid-Legierungen 180
Bisphenol A 39
Bitumen 61
Blähton 114
Blattgrün 176
Bleichen 130
Blindenschrift 195
Bodenbakterium 41
Borax 55, 58
Botryococcus braunii 51
Brandschutz 69
Braunalgen 81, 129
Brechungseigenschaft 195
Brechungsindex 157
Brennnessel 73
Brennnesselfasern 73
Brennnesselstoffe 73
Brennnesselwurzel 73
Brennstoffzellen 92
Briefmarken 54
Bronze 161
Buchbinden 54
Bucky Balls 136
Büffelhorn 78
Bugwellenmeeresleuchten 167
Bundespreis Ecodesign 95

—
C
—

Cadmium-Tellurit 201
Calciumalginat 81
Calciumhydrosilikate 100
Carbocrete 12
Carbonfaserverstärkungen 74
carbon nanotubes (CNT) 116, 136
Carnaubawachs 43
Cellulase 130
Chair Farm 7
Chemolumineszenz 167
Chitin 39, 141
Chitosan 85
chlorophyllhaltige Pflanze 53
Chrom 83
Chromsalze 83
Climasan 132
CNT siehe carbon nanotubes
CNT-Heizbeschichtung 136
CO_2-Abdruck 38
CO_2-Bilanz 41, 55
CO_2-Emission 100
Collagen 45
Cracker 85

—
D
—

Dacheindeckung 101
Datenspeicher 172
Dauerhaftigkeit 196
Deckmaterialien 109
Defibrillator 135
Desorptionszeit 129
Desoxyribonukleinsäure 151
Diamant 116
Diaminopentan 41
dichroitische Gläser 160
Dichtungsmittel 139
dilatante Flüssigkeit 143
Dinoflagellaten-Algen 167
direkte Fermentation 39
direktes Laserschreiben 150
Disulfidbrücken 46
DNA 87
Donorschicht 129
Doppelmembran-Tragluft-dächer 121
Drahtseilnetz 120
Dreifachisolierglas 158
druckbare Polymere 175
Druckkammer 196
Druckschleuse 120
DSSC 176
Duktilität 115
Düngemittel 73
Dünnfilm-Transistor 174
Dünnschicht-Photovoltaik 175
Dünnschicht-PV-Modul 201
Dünnschichtsolarzellen 177
DuraPulp 96
duroplastische Matrix 107
Dylan 81
Dysprosium 92

—
E
—

Edelstahl 161
Edelstahlgewebe 162
Eichenholz 98, 99
Eierschalenhäutchen 48
Einblasdämmstoff 70
E-Ink 173
Einschneideverfahren 111
Eisbär-Dämmsystem 183