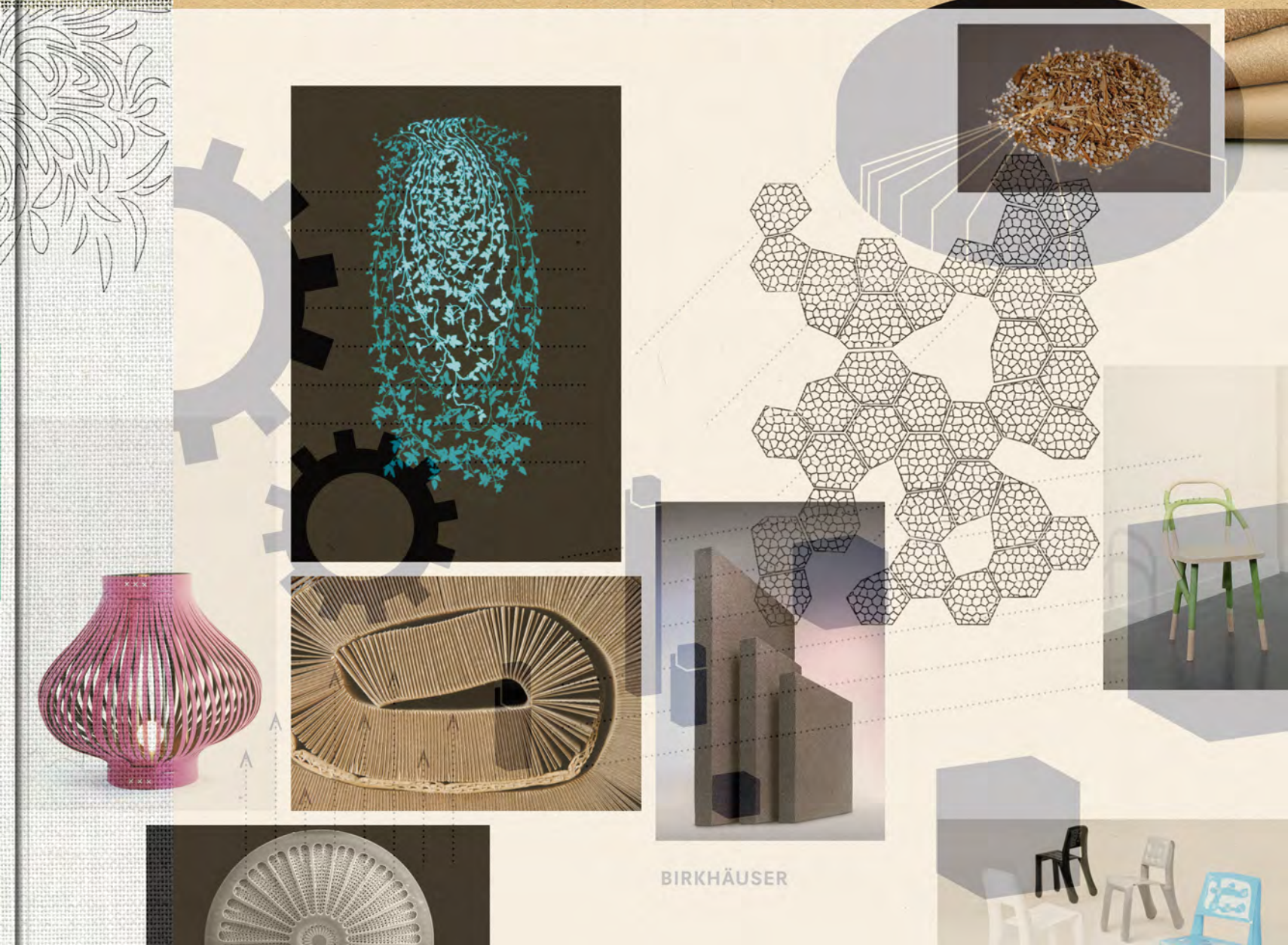
SASCHA PETERS

MATERIALREVOLUTION

NACHHALTIGE UND MULTIFUNKTIONALE MATERIALIEN FÜR DESIGN UND ARCHITEKTUR



BIRKHÄUSER

INHALT

I
EINLEITUNG

Nachhaltige und multifunktionale Werkstoffe – Die Revolution der Materie…006 — Die Bedeutung von professionellen Kreativen für technische Innovationsprozesse…012

II
MATERIALIEN

Biobasierte Materialien…030 — Biologisch abbaubare Materialien…060 — Recycling-Materialien…068 — Leichtbaumaterialien und Dämmwerkstoffe…092 — Formverändernde Materialien…122 — Multifunktionsmaterialien…140 — Energie erzeugende und Licht beeinflussende Materialien…160 — Nachhaltige Produktionsverfahren…178

V
ANHANG

Index…000 — Über den Autor…000 — Dank…000 — Bibliographie…000 — Weiterführende Informationen…000 — Impressum…000

1
BIOBASIERTE MATERIALIEN

Biokunststoffe auf Basis von Polymilchsäure…034 — Biokunststoffe auf Basis von Polyhydroxybuttersäure…035 — Biokunststoffe auf Basis thermoplastischer Stärke…037 — Biokunststoffe auf Basis von Zellulose…038 — Biokunststoffe auf Basis von Pflanzenölen…040 — Biokunststoffe auf Basis von Lignin…041 — Biokunststoffe auf Basis von Algen…041 — Biokunststoffe auf tierischer Basis…042 — Acrylglas auf Basis von Zucker…043 — Naturgummi…043 — Holz-Polymer-Werkstoffe (WPC)…044 — Kokosholzverbunde…046 — Bambus…047 — Thermisch vergütete Naturhölzer…048 — Thermo-hygro-mechanisch verdichtetes Holz…049 — Kork-Polymer-Werkstoffe (CPC)…050 — Mandel-Polymer-Werkstoffe (ACP)…052 — Algenbasierte Materialien…053 — Pilzbasierte Materialien…054 — Naturfaserkomposite (NFK)…055 — Linoleum…057 — Rindentuchwerkstoffe…058 — Maize Cob Board (MCB)…059

2
BIOLOGISCH ABBAUBARE MATERIALIEN

Wasserlöslicher Polyvinylalkohol…064 — Laugenlösliche Kunststoffe…065 — Polycaprolactone…066

3
RECYCLING-MATERIALIEN

Recyclingkunststoffe…072 — Recyclingelastomere…074 — Recyclingstahl…075 — Recyclingkupfer…076 — Recyclingaluminium…077 — Recyclingglas…078 — Schaumglas (Blähglas)…080 — Recyclingmineralwerkstoffe…082 — Recyclingtextilien…083 — Lederfaserstoffe…085 — Holzverbundmaterialien…085 — Holzbeton…087 — Papier aus organischen Abfällen…088 — Recyclingpapier…089

4
LEICHTBAUMATERIALIEN UND DÄMMWERKSTOFFE

Wabenstrukturen…096 — Doppelstegpaneele…097 — Edelstahlmikrosandwich…098 — Karbonfaserstein (CFS)…099 — Ultrahochfestbeton…099 — Basaltfaserverstärkte Werkstoffe…101 — Mineralpartikeloptimierte Kunststoffe…102 — Keramikschaum…103 — Metallschaum…104 — Holzschaum…105 — Papierschaum…106 — Zelluloseflocken…106 — Naturfaserdämmung…108 — Polyurethan-Hartschaum…110 — Vakuumisolationspaneele…110 — Aerogel…111 — Hohlkugelstrukturen…113 — Technische Textilien…114 — Abstandstextilien…115 — Membrantextilien…117 — Nanotextilien…118 — Kohlenstoffnanoröhren (CNT)…120 — Eigenverstärkte Thermoplaste…121

5
FORMVERÄNDERNDE MATERIALIEN

Formgedächtnislegierungen (FGL)…126 — Formgedächtniskunststoffe (SMP)…127 — Thermobimetalle…128 — Piezoelektrische Keramiken (PEK)…128 — Piezoelektrische Kunststoffe (PEP)…129 — Elektroaktive Polymere (EAP)…130 — Bucky Paper…131 — Hydrogel…132

6
MULTIFUNKTIONS-MATERIALIEN

Biomimetische Materialien…144 — Farb- und transparenzverändernde Materialien…145 — Schmutzabweisende Oberflächen…146 — Elektro- und magnetorheologische Flüssigkeiten…147 — Phasenwechselmaterialien (PCM)…148 — Lehm…150 — Moos…150 — Zeolithe…152 — CO_2-speichernde Materialien…153 — Duftmikrokapseln…154 — Nanotitandioxid…154 — Nanosiliziumdioxid…155 — Nanosilber…156 — Nanogold…157 — Nanopapier…158 — Selbstheilende Materialien…159

7
ENERGIE ERZEUGENDE UND LICHT BEEINFLUSSENDE MATERIALIEN

Fotovoltaische Materialien…164 — Dünnschichtsolarzellen…165 — Mehrfachsolarzellen…166 — Black Silicon…166 — Grünalgen…167 — Thermoelektrische Materialien…168 — Ferroelektrische Polymere…169 — Licht emittierende und nachleuchtende Materialien…170 — Leuchtdioden (LED)…172 — Organische Leuchtdioden (OLED)…173 — Multitouchfolien…174— Retroreflektierende Materialien…174 — Lichtdurchlässige Materialien…175 — Metamaterialien…176

8
NACHHALTIGE PRODUKTIONSVERFAHREN

Mehrkomponentenspritzgießen…182 — InMold-Techniken…182 — Metal Injection Molding…183 — Inkrementelle Blechumformung (IBU)…184 — Freie Innenhochdruckumforung (FIDU)…185 — Laserstrahlumformung…186 — Wölbfacettierung…186 — Additive Formgebung…187 — Laserstrukturieren…187 — 3D-Wasserstrahlschneiden…188 — Mehrfunktionales Anodisieren…189 — Trockenzerspanung…189 — Kleberfreies Fügen…191

NACHHALTIGE UND MULTIFUNKTIONALE WERKSTOFFE – DIE REVOLUTION DER MATERIE

Blumenvasen aus Algenfasern, Handyschalen aus Baumrinde, Särge aus Mandelschalen, Mosaike aus Kokosnüssen oder Fahrradrahmen aus Bambus: So lauten einige der prominentesten Indizien für eine Entwicklung, die in der nächsten Zeit einen revolutionären Charakter haben wird. Naturmaterialien, Recyclingwerkstoffe und ressourcenschonende Produktkonzepte sind im Vormarsch. Die Welt scheint im Umbruch, so machen uns die von den Unternehmen für die zunehmenden Umweltprobleme angebotenen umweltverträglichen biobasierten Lösungen weis. Materialien sollen natürlicher, gesünder und nachhaltiger werden. Es geht um nicht weniger als um die Rettung unseres Klimas, die Sicherung unseres Lebensstandards und die Schaffung einer Lebensgrundlage für nachfolgende Generationen.

Fahrradrahmen aus Bambus (Quelle: Craig Calfee) → S. 000

Spätestens seitdem klar ist, dass die Ressourcen an fossilen Energieträgern in den kommenden Jahrzehnten zur Neige gehen und viele Rohstoffe nur noch in begrenztem Rahmen zur Verfügung stehen werden, wird intensiv an Alternativen gearbeitet. Die werkstofflichen Errungenschaften des 20. Jahrhunderts, die wir vor allem dem Erdöl als Ressource zu verdanken hatten, werden in einigen Jahren schon ihre Bedeutung verloren haben. Bakelit® (ein duroplastisches Phenolharz) als Gehäusewerkstoff der ersten Elektrogeräte in den 1930ern, Polyvinylchlorid (PVC) für Schallplatten in den 1950ern, sich dem Körper anschmiegende Skischuhe aus Polyurethan in den 1970ern oder glasfaserverstärkte Kunststoffe für Stabhochsprungstäbe: Materialinnovationen mit neuen mechanischen Eigenschaften und funktionalen Qualitäten ermöglichten neue Produktlösungen.

Handyschale aus Rindentuch (Quelle: Barktex) → S. 000

Der bevorstehende Innovationssprung im Bereich der Materialien wird aber nicht mehr fokussiert sein auf die Entwicklung neuer Funktionalitäten. Es geht vielmehr um das Hervorbringen von Werkstoffen, die ressourcenschonend und materialeffizient eingesetzt werden können und keine Gefahren für den Menschen darstellen. Das Bewusstsein für den umweltverträglichen Umgang mit Werkstoffen und das Denken in Materialkreisläufen ist beim Konsumenten angekommen, so dass sich Investitionen in nachhaltige Produkte inzwischen lohnen. Die Verwendung umweltverträglicher Materialien mit multifunktionalen Eigenschaften und die Nutzung nachhaltiger Produktionsverfahren werden vom Kunden in vielen Bereichen sogar bereits vorausgesetzt.

Skischuh mit einem Schaft aus dem Biokunststoff „Hytrel“ (Quelle: DuPont) → S. 000

Die Herausforderungen scheinen mittlerweile so groß, dass politische Maßnahmen getroffen werden müssen, um den Wandel zu beschleunigen. Zwar ist der Klimagipfel von Kopenhagen 2010 an dem Widerstand der Schwellenländer gescheitert, doch sehen die westlichen Industriestaaten, insbesondere Europa, eine Chance gekommen, die umweltpolitischen Notwendigkeiten mit den wirtschaftlichen Herausforderungen zur Sicherung der Innovationsfähigkeit zu kombinieren. Die Europäische Union hat daher das Klimaschutzpaket 20-20-20 aufgesetzt, mit dem bis 2020 Energieverbrauch und Emissionen um 20 Prozent gesenkt werden sollen und gleichzeitig der Anteil der regenerativen Energien am Gesamtverbrauch um ein Fünftel erhöht werden soll.

Behältnisse aus Zellulosekunststoffen (Quelle: Biowert) → S. 000

Unternehmen bietet sich die Gelegenheit, sich mit neuen Angeboten zu profilieren. So verspricht der Markt der auf nachwachsenden Rohstoffen, wie Maisstärke oder Zellulose, basierenden Biokunststoffe in den nächsten Jahren ein Wachstum von jährlich 25–30 Prozent.

Zahlreiche Angebote wurden von den Chemiegrößen und der mittelständischen Industrie bereits entwickelt und ständig werden es mehr. Doch ob die biobasierten und/oder bioabbaubaren Werkstoffe wirklich klimaneutral sind, ist noch nicht abschließend geklärt. Es fehlen meist Aussagen dazu, wie viele Ressourcen, welche Wasser- und Energiemenge über die gesamte Produktlebensdauer von der Produktion über den Transport und Gebrauch bis hin zur Entsorgung benötigt werden. Nur langsam entwickeln sich Normen und Messgrößen, um eine objektive Vergleichbarkeit zu ermöglichen. Der „Ökologische Rucksack“ hat sich zur Darstellung der Menge aller benötigten Ressourcen bei der Herstellung, dem Gebrauch und der Entsorgung eines Produkts bewährt. Er wird bei der Erstellung einer Ökobilanz meist ebenso herangezogen wie der „Carbon Footprint“, unter dem die Summe aller Treibhausgasemissionen über den Lebenszyklus zusammengefasst werden, oder das „Virtuelle Wasser“, also die Menge Wasser, die zur Erzeugung eines Produkts aufgewendet werden muss. Typische Werte für den „Ökologischen Rucksack“ von Materialien sind ein Faktor 5 für Polymerwerkstoffe, was bedeutet, dass für die Herstellung von einem Kilogramm Kunststoff rund fünf Kilogramm Ressourcen benötigt werden. Da für die Erzeugung von Aluminium rund 85 Kilogramm und für Kupfer gar 500 Kilogramm Ressourcen notwendig sind, kann auf das Recycling insbesondere dieser Massenmaterialien nicht mehr verzichtet werden. Doch bis für die wichtigsten Werkstoffe und Materialien gesichertes Datenmaterial erstellt ist, wird wohl noch Zeit vergehen.

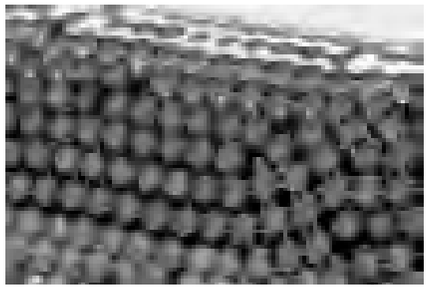
Plattenmaterial aus 100 Prozent recyceltem Glas (Quelle: Coverings Etc) → S. 000

Bis wir es mit Materialien zu tun haben, die keine negativen Auswirkungen mehr auf Klima und Umwelt haben, gilt es vor allem, die vorhandenen Ressourcen bestmöglich zu verwenden und ideal auf den Einsatzzweck auszurichten. Die Steigerung der Materialeffizienz ist daher eines der wichtigsten Ziele aktueller Forschungsaktivitäten. So wurden Beschichtungssysteme in Nano- oder Mikrodimensionen entwickelt, die die Materialeigenschaften optimieren, sie über einen längeren Zeitraum gewährleisten und Zusatzfunktionen (wie hohe Kratzfestigkeit oder easy-to-clean Eigenschaften) ermöglichen.

Auch die Entwicklung von Materialien auf Basis von recycelten Rohstoffen wurde in der letzten Zeit von einigen Herstellern forciert. So sind mittlerweile Angebote in nahezu allen Werkstoffklassen erhältlich, die die Nutzungsdauer der Rohstoffe erheblich verlängern. Metalle, Kunststoffe oder Papier aus recycelten Rohstoffen sind dabei fast schon als Klassiker zu bezeichnen. Jüngst hinzugekommen sind neue Materialien aus recyceltem Glas, recycelten Textilien oder Mineralwerkstoffen samt Sammelsystem.

Pilzbasierter Hartschaum für Verpackungen (Quelle: ecovative design) → S. 000

Neue Produktionsverfahren, die sich von natürlichen Wachstumsprozessen ableiten und die Materialentstehung als biologischen Vorgang verstehen, werden erforscht. In anderen Entwicklungen dienen landwirtschaftliche Abfallprodukte dazu, konventionelle Komponenten in Werkstoffverbunden zu ersetzen und somit den Ressourcenverbrauch zu reduzieren. Mittlerweile ist es gar gesellschaftlicher Konsens Materialien nachzufragen, die nach Beendigung der Lebensdauer eines Produkts nicht auf einer Deponie entsorgt werden müssen, sondern Ausgangspunkt für die Verwendung in einem neuen Produkt sein können.



Leichtbaustruktur auf Basis metallischer Hohlkugeln (Quelle: hollomet) → S. 000

Aufgrund der großen Distanzen, die Produkte und Materialien heute zwischen Herstellung und Gebrauch hinter sich bringen, nimmt die Bedeutung von Werkstoffen und Verbundmaterialien mit einem geringen Gewicht immer weiter zu. Sie sorgen für einen geringeren Energieverbrauch beim Transport auf der Straße sowie in der Luft und haben positive Effekte auf Montage und Handling. In der Architektur lässt sich durch Verwendung von Leichtbaumaterialien auch der Aufwand der Baukonstruktion verringern, so dass Gebäude mit einem geringeren Materialaufwand realisiert werden können.

Insbesondere Werkstoffe mit CO_2 speichernder Wirkung werden mit Blick auf die zunehmende Klimaerwärmung in Zukunft mehr an Bedeutung gewinnen. Da rund 40 Prozent des Endenergieverbrauchs

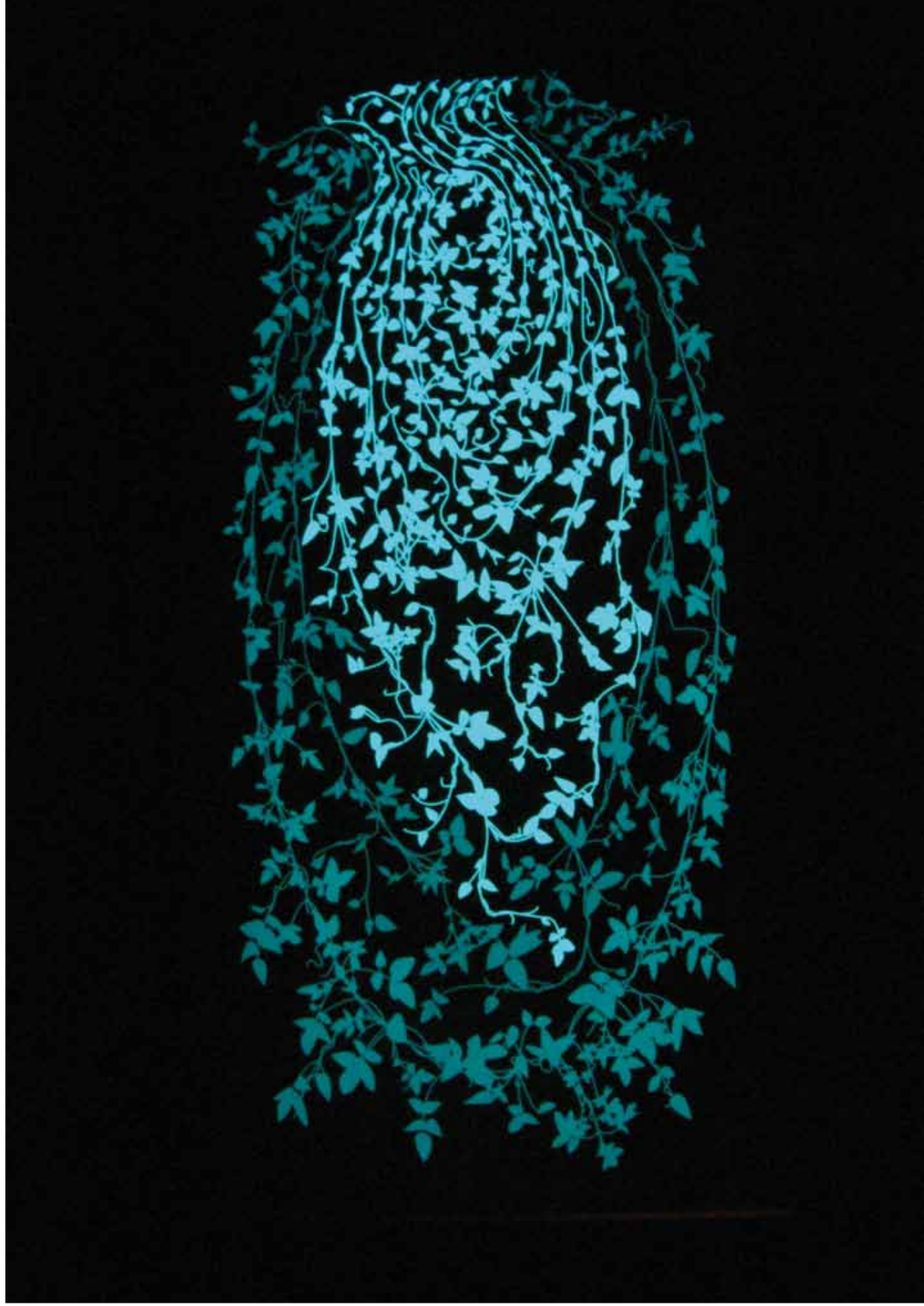
der Welt auf den Bau und Betrieb von Gebäuden zurückgeht, sind die Einsparpotenziale im Baugewerbe besonders groß. Der Optimierung der Wärmedämmung wird eine immer größer werdende Bedeutung beigemessen. Für Designer und Architekten sind in diesem Zusammenhang Werkstoffe von Interesse, die Sonnenstrahlen direkt in Strom überführen, Wärme und Feuchtigkeit speichern können und zu einer natürlichen Klimatisierung beitragen. Dass unter Einsatz innovativer Materialien und neuer Konstruktionstechniken ungeahnte Möglichkeiten erschlossen werden können, zeigte die TU Darmstadt mit ihren Beiträgen zum Solar Decathlon 2009 und 2007. Unter Verwendung von Vakuumisolationspaneelen, modernster Solartechnik und klimabeeinflussender Phasenwechselmaterialien erzeugten die Teilnehmer um Prof. Hegger mehr Energie, als das Gebäude verbrauchte, und gewannen den Wettbewerb in Washington.

Team Germany,
Solar Decathlon 2009
(Quelle: TU Darmstadt)
→ S. 000

Versprechen sich einige Hersteller, durch Einsatz nachwachsender und natürlicher Rohstoffe die von ihren Angeboten ausgehende Umweltbelastung zu reduzieren, gehen andere Produzenten einen ganz anderen Weg. Sie entwickeln Materialien, die neben ihrer mechanischen Funktion weitere Qualitäten aufweisen, beispielsweise durch Farb- und Formveränderung auf Einflüsse der Umgebung reagieren, bei stets trockener Oberfläche Wasser speichern können oder Verunreinigungen abweisende Oberflächen besitzen. Insbesondere formverändernde Materialien, die bei Überschreiten eines bestimmten Temperaturniveaus selbsttätig in ihre Ausgangsgeometrie zurückgehen, haben in der jüngeren Vergangenheit das Interesse vieler Gestalter gefunden. Nicht zu vergessen sind die Möglichkeiten, die sich durch Materialoberflächen ergeben, die beispielsweise die Luft vor schädlichen Abgasen und Gerüchen befreien können, eine antibakterielle Wirkung aufweisen oder Antireflexionseigenschaften haben.

Das klassische mechanisierte Verständnis von Materialität scheint also einer neuen Werkstoffkultur zu weichen. In dieser zeigen Materialien multifunktionelle Potenziale, kommen mal leichtgewichtig, mal schmutzabweisend, mal farbverändernd oder retroreflektierend daher und dienen vor allem einem Zweck: dem verantwortungsvollen Umgang mit den Ressourcen dieser Welt.

„Lo Glo“ von Jürgen Mayer H. für Vitra Edition
Licht emittierende und nachleuchtende
Materialien// Energie erzeugende und Licht beeinflussende Materialien
→ S. 166



DigitalDawn von Loop.pH
Licht emittierende und nachleuchtende Materialien// Energie erzeugende
und Licht beeinflussende Materialien
→ S. 167

Mehrwerk designlabor Becher aus Barkloth
Rindentuchwerkstoffe // Biobasierte Materialien
→ S. 059

Pulp Collection von Jo Meesters
Recyclingpapier // Recycling Materialien
→ S. 091

Installation „Time of Moss“ von Makoto Azuma
Moos // Multifunktionsmaterialien
→ S. 147

Badeschiff in Berlin aus einem doppelwandigen
PVC-Membran Membrantextilien // Leichtbaumaterialien
und Dämmwerkstoffe
→ S. 119

Installation „Time of Moss“ von Makoto Azuma
Moos // Multifunktionsmaterialien
→ S. 147

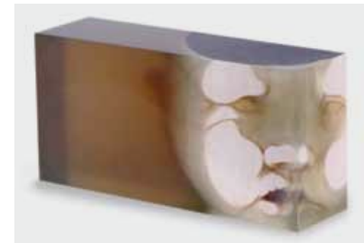
BIOBASIERTE
MATERIALEN

Biokunststoffe auf Basis von Polymilchsäure…000 — Biokunststoffe auf Basis von Polyhydroxybuttersäure…000 — Biokunststoffe auf Basis von thermoplastischer Stärke…000 — Biokunststoffe auf Basis von Zellulose…000 — Biokunststoffe auf Basis von Pflanzenölen…000 — Biokunststoffe auf Basis von Lignin…000 — Biokunststoffe auf Basis von Algen…000 — Biokunststoffe auf tierischer Basis…000 — Acrylglas auf Basis von Zucker…000 — Naturgummi…000 — Holz-Polymer Werkstoffe (WPC)…000 — Kokosholzverbunde…000 — Bambus…000 — Thermisch vergütete Naturhölzer…000 — Thermo-hygro-mechanisch verdichtetes Holz…000 — Kork-Polymer Werkstoffe (CPC)…000 — Mandel-Polymer Werkstoffe (ACP)…000 — Algenbasierte Materialien…000 — Pilzbasierte Materialien…000 — Naturfaserkomposite…000 — Linoleum…000 — Rindentuchwerkstoffe…000 — Maize Cob Board (MCB)…000

Schaumstoffe auf Basis von Rizinusöl, Einweggeschirr aus Kartoffelstärke oder Kunststoffe mit Karottenfaserverstärkung: Wohlklingende Beispiele für Anwendungen von Biowerkstoffen. Einer Gruppe von Werkstoffen also, die in letzter Zeit eine sehr positive Entwicklung genommen hat. Sie bestehen vollständig oder zu mindestens 20 Prozent aus nachwachsenden Rohstoffen. In Folge dieser Entwicklung wird in den nächsten Jahren vor allem das Erdöl als Grundlage für die Herstellung von Kunststoffen seine Bedeutung zum Teil einbüßen. Bis zum Jahr 2020 rechnet man alleine bei den Biokunststoffen mit jährlichen Zuwachsraten von 25 bis 30 Prozent und einer Steigerung der Produktionskapazitäten auf ca. 3 Mio. Tonnen (heute 350.000 t).

Vor allem im Verpackungsbereich sollen die petrochemisch hergestellten Thermoplaste wie Polystyrol, Polyethylen oder Polypropylen mittelfristig durch Biopolymere ersetzt werden. Ausgangsrohstoffe bei den vielfältigen Entwicklungen sind natürliche Polymere wie Stärke, Kautschuk oder Zucker. Thermoplastische Stärke hat heute den größten Anteil (80 Prozent). Aber auch Stoffe wie Lignin, Zellulose, Chitin, Casein, Gelatine oder Pflanzenöle werden zur Herstellung von Biokunststoffen verwendet. Polylactid und Polyhydroxybuttersäure werden aus natürlichen Polymeren gewonnen und schon jetzt in ganz unterschiedlichen Bereichen eingesetzt.

Neben den Biokunststoffen bilden Biokomposite weitere Schwerpunkte unter den Biowerkstoffen. Zu diesen zählen vor allem naturfaserverstärkte Kunststoffe oder Holz-Kunststoff-Verbunde (WPC, wood-plastic-composites). Zum Beispiel haben Kork-Polymer-Komposite mit ihrer besonderen Oberflächenstruktur und den schall- bzw. schwingungsdämpfenden Eigenschaften Anwendungsmöglichkeiten bei Sportartikeln und im Innenausbau gefunden.



Skulptur „Fragmente" unter Verwendung von Bioharz (Quelle: Galerie Adler; Künstler: Gregor Gaida)

Wegwerfbecher auf PLA-Basis (Quelle: Natureworks)

Verarbeitung von Folien aus Biokunststoffen (Quelle: alesco)

Übersicht Biokunststoffe
Einteilung der Biokunststoffe nach Herkunft
NWR = nachwachsenden Rohstoffen

aus NWR, jedoch nicht Rohstoffen aber nicht abbaubar z.B. aus Rizinusöl	aus NWR und biologisch abbaubar	aus Fosilen biologisch abbaubar z.B. Polyvinylalkohol
Mikroorganischer Ursprung z.B. Polymilchsäure	Pflanzlicher Ursprung	Tierischer Ursprung z.B. Chitin
Zellulose	Lignin	Stärke

Prognostizierte Entwicklung
von Biokunststoffen bis 2020

	VERPACKUNGS- UND LEBENS-MITTELINDUSTRIE	AGRAINDUSTRIE, GARTEN- UND LANDSCHAFTSBAU	KONSUMGÜTERINDUSTRIE	AUTOMOBILINDUSTRIE
Gesamtmarkt 2005	3,5 Mio. t Kunststoffverpackungen 1,8 Mio t kurzlebige Produkte	230.000 t Gesamtmarkt Landwirtschaft. Davon ca. 30.000 t besonders geeignet für Substitution (bgfS)	1,8 bis 2,7 Mio. t. Konsumgüter aus Kunststoff	800.000 t Gesamtmenge Kunststoff in Fahrzeugen ca. 400.000 t Kunststoff als Fahrzeuginnenteile
Biokunststoffe (in t)	2005: < 15.000 t Prognose 2010: 110.000 t (5 % der kurzlebigen Kunststoffe) Prognose 2020: 520.000 t (20 % der kurzlebigen Kunststoffe)	2005: < 100 t Prognose 2010: 3.500 t (10 % der bgfS) Prognose 2020: 130.000 t (30 % der bgfS)	2005: < 100 t Prognose 2010: 24.000 t (1 % des Gesamtmarktes) Prognose 2020: 290.000 t (10 % des Gesamtmarktes)	2005: < 10 t Prognose 2010: 48.000 t (10 % der Fahrzeuginnenteile) Prognose 2020: 230.000 t (40 % der Fahrzeuginnenteile)
Biokunststoffe (in Euro)	2005: < 45 Mio. Euro 2010: 165 Mio. Euro 2020: 780 Mio. Euro	2005: < 300.000 Euro 2010: 5 Mio. Euro 2020: 20 Mio. Euro	2005: < 300.000 Euro 2010: 35 Mio. Euro 2020: 440 Mio. Euro	2005: < 30.000 Euro 2010: 72 Mio. Euro 2020: 350 Mio. Euro
Marktwachstum (in % p.a.)	2005-2010: > 30 % 2010-2020: ca. 16 %	2005-2010: > 70 % 2010-2020: ca. 15 %	2005-2010: > 160 % 2010-2020: ca. 29 %	2005-2010: > 380 % 2010-2020: ca. 17 %

Eigenschaften ähnliches Eigenschaftsprofil wie PET // geringe Durchlässigkeit für Gase // wasserabweisende Oberfläche // transparent // relativ geringe Wärmeformbeständigkeit von knapp über 60 °C

Nachhaltigkeitsaspekte auf Basis // nachwachsender Rohstoffe // recyclingfähig // in industriellen Anlagen // kompostierbar

BIOKUNSTSTOFFE AUF BASIS VON POLYMILCHSÄURE

Die Polymilchsäure (PLA) zählt zu einem der wichtigsten Bio-Rohkunststoffe der aktuellen Nachhaltigkeitsdiskussion, da ihre Eigenschaften mit denen von PET vergleichbar sind. Bio-Rohkunststoffe sind in aller Regel nicht direkt gebrauchsfertig, sondern werden erst durch Compoundierung, also durch Beimischung von Zuschlagstoffen und Additiven auf den jeweiligen Anwendungsfall ausgerichtet. Obwohl das Material bereits in den 1930er Jahren entdeckt wurde, startete erst NatureWorks die großtechnische Produktion.

MATERIALKONZEPT UND EIGENSCHAFTEN

PLA wird entweder durch Vergärung **dickflüssigen Zuckersirups** oder **bakterielle Fermentation** von Stärke oder jeder Art von Zucker erzeugt. Der Rohstoff ist farblos glänzend und erinnert an Polystyrol. Er kann auf natürlichem Weg abgebaut werden. Das geringe Migrationsverhalten für Sauerstoff oder Wasserdampf macht PLA vor allem für Lebensmittelverpackungen interessant. Nachteilig wirkt sich aus, dass manche Polylactide im Vergleich zu anderen alternativen Kunststoffen bei sehr niedrigen Temperaturen erweichen. Vor allem die mechanische Festigkeit kann durch Beimischen von Fasern verbessert werden. PLA-Oberflächen sind wasserabweisend. Das Material kann je nach Zusammensetzung sowohl schnell biologisch abbaubar sein als auch eine über mehrere Jahre reichende Stabilität aufweisen. Auch wenn PLA aus nachwachsenden Rohstoffen gewonnen wird, ist der **CO_2-Footprint** bei der Herstellung relativ hoch. Der benötigte Energieaufwand liegt auf einem ähnlichen Niveau wie bei Polypropylen. Im Vergleich zu den typischen Massenkunststoffen ist die Herstellung von PLA immer noch sehr kostenintensiv, der Preis liegt über dem von PET.

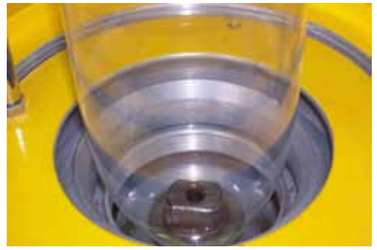
VERWENDUNG UND VERARBEITUNG

Biokunststoffe haben sich in jüngster Zeit vor allem im Bereich der Verpackungsindustrie z.B. für Folien oder Joghurtbecher einen Platz erobert. Aufgrund der PET-ähnlichen Eigenschaften ist zu erwarten, dass Polylactide mittelfristig ihre Bedeutung für Verpackungssysteme weiter ausbauen werden. Zudem zeigen Unternehmen der Automobil- und Unterhaltungsindustrie großes Interesse an ihrem Einsatz. Die Möglichkeit der biologischen Abbaubarkeit macht das Material für Anwendungen in **Geotextilien** für den Agrarsektor oder den Landschaftsbau interessant. Auch die Verwendung in technischen Produkten scheint durch die Möglichkeit zur Faserverstärkung gegeben. Biokompatible Qualitäten macht PLA auch für medizintechnische Produkte geeignet. Es wird in der Schönheitschirurgie zur Unterfütterung von Falten verwendet. Die geringe Dichte ist ein ausschlaggebendes Kriterium für Leichtbauanwendungen. PLA-Blends lassen sich mit den üblichen Techniken wie Spritzgießen, Thermoformen oder Blasformen formgebend verarbeiten (Temperaturen: 170–210 °C). Folien werden extrudiert, Fügeverbindungen durch Schweißen oder Kleben erzeugt. PLA-Halbzeuge können mit den üblichen Techniken der Holz- und Metallverarbeitung bearbeitet werden.

Schutzhülle für Mobiltelefone aus PLA-Biokunststoffen (Quelle: Natureworks)

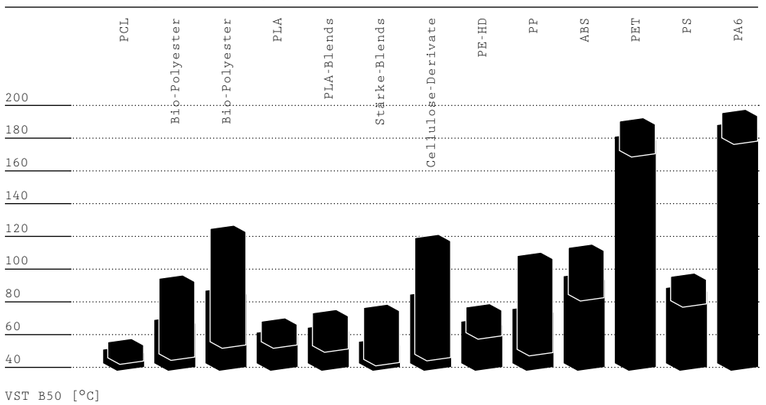
Verwendungsbeispiel von PLA (Quelle: NatureWorks)

Verwendungsbeispiel von PLA (Quelle: NatureWorks)



Folienherstellung durch Blasextrusion (Quelle: FKuR)

Wärmeformbeständigkeit von Biopolymeren



Tab. Vicat-Temperatur verschiedener Polymere im Vergleich zu konventionellen Kunststoffen (Werte für konventionelle Kunststoffe u.a. nach [7], [29], [97])

PRODUKTE

NatureWorks®-Polymer
Seit 2002 ist NatureWorks weltweit der größte Produzent für den Bio-Rohkunststoff Polymilchsäure (PLA). Das Unternehmen hat ein Verfahren entwickelt, natürlichen Pflanzenzucker in ein patentiertes Polylactid-Polymer zu überführen, das unter den Marken NatureWorks®-Polymer und Ingeo™-Fasern vertrieben wird.

Ecovio®
Ecovio® ist der erste Kunststoff-Blend von BASF, der auf Basis nachwachsender Rohstoffe hergestellt wird und sich biologisch abbauen lässt. Hauptbestandteil mit einem Anteil von 45 Prozent ist Polymilchsäure (PLA). Aufgrund seiner besonderen Eigenschaften ist der Kunststoff vor allem für Verpackungen geeignet. Er kann achtfarbig bedruckt werden und besitzt eine hohe mechanische Festigkeit. Besondere Modifikationen können im Spritzgießverfahren verarbeitet oder tiefgezogen werden.

Bioflex®
Bioflex® ist ein PLA-basiertes Copolyesterblend, das je nach benötigtem Eigenschaftsprofil fast vollständig aus nachwachsenden Rohstoffen besteht. Es ist insbesondere für die Herstellung dünnwandiger Folien mit hoher Reißfestigkeit geeignet und weist ähnliche Eigenschaften wie die klassischen Verpackungskunststoffe PE, PP oder PS auf. Bioflex® kann eingefärbt und bedruckt werden, ist für den Lebensmittelkontakt zugelassen und lässt sich in seiner Dehnbarkeit sehr flexibel einstellen.

Ecogehr®PLA
Seit Sommer 2008 ist das GEHR Kunststoffwerk weltweit der erste Hersteller technischer Halbzeuge aus Biopolymeren. Unter der Marke Ecogehr®PLA werden alle Werkstoffe zusammengefasst, die auf Polymilchsäure basieren. Für verschiedene Anforderungen befinden sich Mischungen aus Polylactiden mit Lignin oder Holzfasern mit unterschiedlichen Qualitäten im Programm. Die Materialien sind physiologisch unbedenklich und können kompostiert bzw. verbrannt werden.

Ingeo™
Als einer der ersten Hersteller für Sportbekleidung hat Salewa eine Outdoorbekleidung aus PLA-Fasern von NatureWorks auf den Markt gebracht, die sich auf natürliche Weise abbauen lässt. Die Stoffe haben zudem gegenüber konventionellen Polyesterfasern den Vorteil, Schweiß nicht bloß aufzusaugen sondern vom Körper wegzutransportieren.

Kunststoffhalbzeuge aus Ecogehr®PLA (Quelle: GEHR Kunststoffwerk)

Nature Works®-Polymer-Schutzhelm unter Verwendung PLA-Fasermaterial (Quelle: Natureworks)

BIOKUNSTSTOFFE AUF BASIS VON POLYHYDROXYBUTTERSÄURE

Das zweite Schwergewicht unter den Bio-Rohkunststoffen ist Polyhydroxybuttersäure (PHB), da sein Eigenschaftsprofil dem des Massenkunststoffs Polypropylen (PP) ähnelt. In Frankreich vor knapp 90 Jahren entdeckt, wird das Polyester in nahezu jedem lebenden Organismus aus Zucker, Stärke oder Ölen erzeugt. Es ist der bedeutendste Vertreter der Polyhydroxyalkanoate (PHA).

Derzeit verhindern die hohen Produktionskosten noch den massenhaften Einsatz des Biokunststoffs. Es werden jedoch unterschiedliche Ansätze verfolgt, diese zu senken. Vor allem Unternehmen der südamerikanischen Zuckerindustrie steigen verstärkt in die industrielle Herstellung von PHB ein. Schätzungen gehen davon aus, dass Mikroben drei Kilogramm Zucker in ein Kilogramm Biokunststoff verwandeln können.

Eigenschaften ähnliches Eigenschaftsprofil wie PP // geringe Sauerstoffdurchlässigkeit // UV-stabil // biokompatible Qualitäten // hohe Bruchanfälligkeit // PHB schmilzt oberhalb von 130 °C

Nachhaltigkeitsaspekte auf Basis nachwachsender Rohstoffe // biologische Abbaubarkeit ohne schädliche Rückstände

MATERIALKONZEPT UND EIGENSCHAFTEN

Polyhydroxybuttersäure ist ein nicht transparentes **Biopolymer**. Vor allem seine Zugfestigkeit ist vergleichbar mit der von Polypropylen. PHB ist ein Thermoplast und schmilzt in einem Bereich zwischen 170 und 180 °C, was ihn mit den üblichen Produktionsverfahren der Kunststoffindustrie verarbeitbar macht. Stabile Eigenschaften hat der Werkstoff bei Temperaturen zwischen -30 und +120 °C. Polyhydroxybuttersäure ist unlöslich für Lösungsmittel oder Wasser und reagiert stabil auf UV-Licht. Die Durchlässigkeit für Sauerstoff ist sehr niedrig. Aufgrund seiner biokompatiblen Eigenschaften lassen sich mit PHB auch medizintechnische Produkte herstellen. Nachteilig im Vergleich zu Polypropylen ist die hohe Bruchanfälligkeit. Zur Optimierung der mechanischen Eigenschaften wird PHB mit anderen Bestandteilen wie **Zelluloseacetat**, **Kork** oder anorganischen Materialien zu Blends vermischt.

VERWENDUNG UND VERARBEITUNG

Für die nächsten Jahre ist eine Substitution von Polypropylen durch PHB in einigen Bereichen zu erwarten. Große Einsatzmöglichkeiten sieht man vor allem im Automobilbereich, in der Konsumgüterindustrie sowie im Verpackungsbereich. Je nach Mischungsverhältnis können PHB-Blends auch als Kleber bzw. Hartgummi verwendet werden. PHB lässt sich mit den für die Kunststoffindustrie typischen Techniken verarbeiten. Dazu zählen insbesondere das Spritzgießen oder die Extrusion. Wegen der Gefahr der Depolymerisation sollte die Verarbeitungstemperatur einen Wert von 195 °C nicht überschreiten. Durch den scharfen Übergang zwischen flüssig und fest sind sehr schnelle Verarbeitungsgeschwindigkeiten möglich. Die umformende Bearbeitung ist aufgrund der großen Sprödigkeit schwierig.

Raketenkörper aus PHB
(Quelle: Biomer)

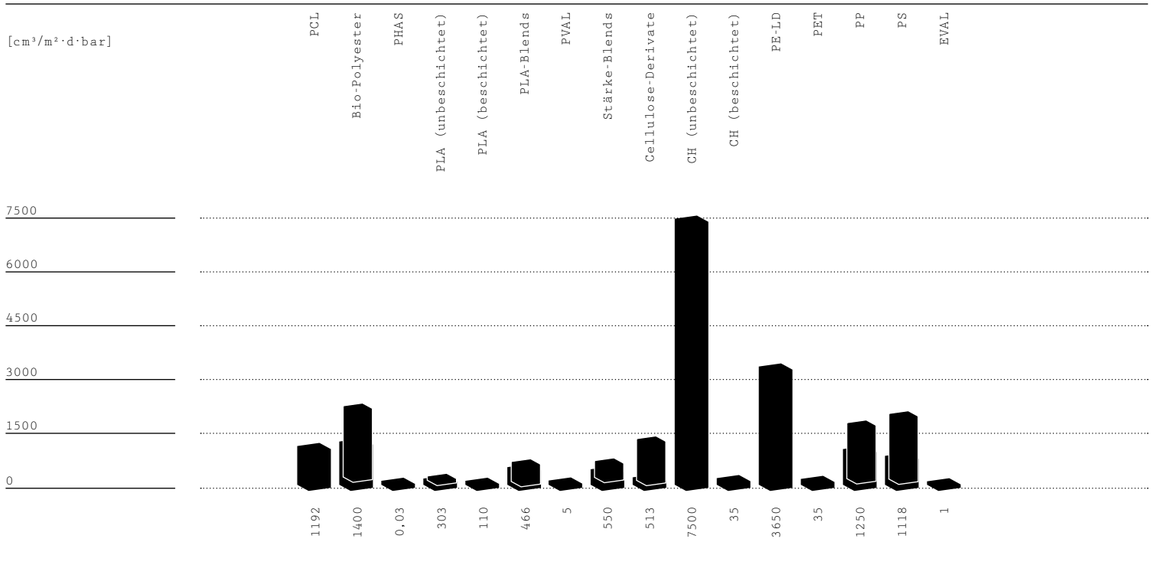
Immunostick für medizinische Anwendung aus PHB (Quelle: Biomer)

PRODUKTE

Biomer®
Biomer® Thermoplaste sind Polyester auf Basis von Polyhydroxybuttersäure. Bauteile aus dem Material sind wärmebeständig, wasserfest und biologisch vollständig abbaubar. Die Granulate können auf konventionellen Maschinen verarbeitet und in dünnwandige Teile mit komplexer Geometrie überführt werden.

Natureplast®
Der französische Hersteller hat sich auf die Produktion von Biokunststoffen wie Polylactid und Polyhydroxybuttersäure konzentriert. Neben PLA und PHA werden auch Polymere auf Basis thermoplastischer Stärke (TPS) angeboten.

Sauerstoffdurchlässigkeit nach DIN 53380,
ISO 15105-2 bei 23°C, 0-5 % relativer Feuchte, Dicke der Folie: 50 µm



Sauerstoffdurchlässigkeit von Biopolymeren

Eigenschaften Fähigkeit zur Aufnahme von Flüssigkeiten // gutes Preis-/Leistungsverhältnis // mechanische Qualitäten zwischen LDPE und PS // ausgezeichnete Gasbarriereeigenschaften // energieeffiziente Herstellung

Nachhaltigkeitsaspekte auf Basis nachwachsender Rohstoffe // gute biologische Abbaubarkeit // geringer Energiebedarf bei Herstellung

BIOKUNSTSTOFFE AUF BASIS THERMOPLASTISCHER STÄRKE

Den größten Anteil an der weltweiten Biokunststoffproduktion (knapp 80 Prozent) haben Polymere auf Basis thermoplastischer Stärke (TPS). Sie ist überall verfügbar, hat ein gutes Preis-/Leistungsverhältnis und wird aus Mais, Getreide oder Kartoffeln gewonnen.

MATERIALKONZEPT UND EIGENSCHAFTEN

Da thermoplastische Stärke die ungünstige Eigenschaft aufweist, Wasser aufzunehmen (**Hygroskopie**), bildet sie nur eine Komponente bei der Kunststoffproduktion. Die andere ist ein biologisch abbaubares Polymer wie **Polyvinylalkohol** oder **Polyester**, das den wasserunlöslichen Anteil im **Kunststoffblend** bildet. Die jeweilige Zusammensetzung der Mischung wird für den spezifischen Anwendungsfall entwickelt. So haben **TPS-Blends** ein breites Verwendungsspektrum. Zur Steigerung der Plastifizierbarkeit während der Verarbeitung wird beispielsweise das natürliche **Glycerin** beigemischt.

VERWENDUNG UND VERARBEITUNG

Die Qualität thermoplastischer Stärke, flüssige Substanzen aufnehmen zu können, wird vor allem im Pharmabereich für die Herstellung von Medikamentenkapseln genutzt. Darüber hinaus liegen die Einsatzmöglichkeiten in den für Biokunststoffe typischen Bereichen der Verpackungsindustrie und bei Hygieneartikeln. Produktbeispiele sind Wegwerfbesteck, Verpackungsfolien, Joghurtbecher, Pflanzentöpfe, Kunststofftaschen oder beschichtete Pappen. TPS-Blends lassen sich wie gewöhnliche Kunststoffe spritzgießen, extrudieren und tiefziehen (Verarbeitungstemperatur: 120–180 °C). Zur Bedruckung und Beschichtung stehen die üblichen Bearbeitungstechniken der Kunststoffindustrie zur Verfügung.

PRODUKTE

Biomax®TPS
An der Verwendung von Biokunststoffen in technischen Konstruktionen arbeiten vor allem die Entwickler bei DuPont in Neu-Isenburg. So eignet sich Biomax® TPS, eine auf Basis biologischer Rohstoffe hergestellte thermoplastische Stärke, für den Verpackungsbereich sowie zur Herstellung von Behältern und anderen Formteilen für den Kunststoffspritzguss. Auch Tiefziehfolien sind verfügbar.

Sorona®
Sorona® ist ein auf **Maisstärke** basierender Kunststoff, dessen Eigenschaften denen des technischen Kunststoffs **PBT** ähneln. Neben der hohen Festigkeit und Steifigkeit sind es vor allem die verbesserte Oberflächenqualität, der hohe Glanz und die gute Dimensionsstabilität, die das Material für eine Vielzahl von Industrie- und Konsumgütern sowie elektronische Komponenten attraktiv macht.

Biopar®
Dieser zu 100 Prozent natürlich abbaubare Thermoplast wird aus Kartoffelstärke erzeugt. Mit seinen Eigenschaften tritt er in Konkurrenz zu Polyethylen, Polypropylen und PVC. Die besonderen Barriereeigenschaften für Gase machen ihn speziell für den Verpackungsbereich geeignet. Er kann auf Folienblas- und Spritzgussanlagen verarbeitet werden. Im Vergleich zu herkömmlichen Kunststoffen wird bei Herstellung und Verarbeitung nur 1/3 der Energie benötigt.

BioplastTPS®
Das Unternehmen Bioplast aus Frankreich hat sich auf die Entwicklung thermoplastischer Kunststoffe aus **Kartoffelstärke** spezialisiert. Diese sind essbar, lösen sich in Wasser und sind vollständig biologisch abbaubar. BioplastTPS® besitzt zudem eine sehr gute Durchlässigkeit für Wasserdampf und bietet gleichzeitig hervorragende Sperreigenschaften gegenüber Sauerstoff und Kohlendioxid. Somit eignet sich der Biokunststoff als Umverpackung für Lebensmittel und wird zu Schalen für Fast-Food-Verpackungen geschäumt oder zu wasserlöslichen Folien weiterverarbeitet. Der Werkstoff ist als Granulat erhältlich und lässt sich sowohl rein als auch als Blendkomponente zusammen mit anderen Polymeren verarbeiten.

Biopar®

Biomax®TPS

Eigenschaften gute mechanische Eigenschaften (wie PS) // optische Transparenz // selbstpolierende Eigenschaften // guter thermischer Widerstand // Weichmacher meist notwendig für die Verarbeitung

Nachhaltigkeitsaspekte auf Basis nachwachsender Rohstoffe // recyclingfähig aber nicht biologisch abbaubar

BIOKUNSTSTOFFE AUF BASIS VON ZELLULOSE

Zellulose ist die am häufigsten vorkommende organische Verbindung der Welt, da sie in den Zellwänden jeder Pflanze zu finden ist. Wie Stärke ist sie ein natürliches Biopolymer, das sich zur Herstellung von thermoplastischen Biokunststoffen für lichtdurchlässige Bauteile hervorragend eignet. Die wichtigsten Vertreter sind Zelluloseacetat (CA) und Zellulosetriacetat (CTA).

MATERIALKONZEPT UND EIGENSCHAFTEN

Auf Zellulose basierende Kunststoffe können eine Lichtdurchlässigkeit von bis zu 90 Prozent aufweisen. Bereits vor 90 Jahren wurde Zelluloseacetat erstmalig verarbeitet. Vor allem die selbsttätig polierende Oberfläche, der seidene Glanz und die gute Einfärbbarkeit machen Zellulosekunststoffe seit jeher interessant für die Herstellung einer Vielzahl von Produkten. Sie sind allerdings nicht für den Kontakt mit Lebensmitteln zugelassen. Durch Mischung mit anderen Kunststoffen sind Polymerblends mit vielfältigen Eigenschaften möglich.

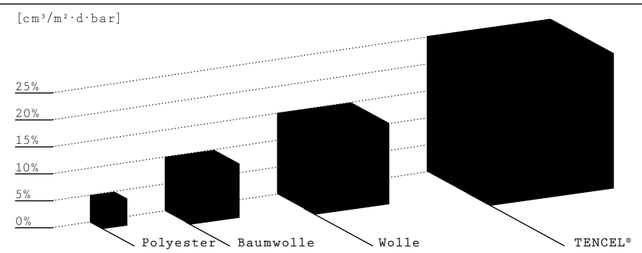
VERWENDUNG UND VERARBEITUNG

Typische Verwendungsbeispiele von **Zelluloseestern** sind Griffe von Schreibgeräten und Regenschirmen, Brillenfassungen, Zigarettenfilter, Taucherbrillen, Kfz-Lenkradummantelungen, Lampenschirme, Zahnbürstenstiele, Spielzeuge und Werkzeuggriffe. Da sie nur schwer entflammbar sind, lassen sich interessante Sicherheitsanwendungen realisieren. **CA-Folien** kommen in Flachbildschirmen und Displays zum Einsatz. Im Textilbereich ersetzen sie **Naturseiden**. Da das Zellulosemolekül sehr steif ist, richtet sich die Verarbeitbarkeit nach der Menge der beigefügten Weichmacher. Grundsätzlich lassen sich CA und CAB vor allem sehr gut spritzgießen, extrudieren und strangpressen. Die Verarbeitungstemperaturen liegen zwischen 190 und 240 °C. Zur Veredelung können Zelluloseesteroberflächen bedruckt, lackiert oder metallisiert werden.

PRODUKTE

Moniflex®
Bereits vor mehr als 60 Jahren wurden Dämmplatten aus Zellulose das erste Mal in skandinavischen Eisenbahnwaggons zur Isolierung verbaut. Seitdem bildet das Leichtbaumaterial den Kern von Einschalungselementen in Waggonkonstruktionen. Moniflex® ist lichtdurchlässig, biegesteif, hat eine lange Lebensdauer und ist auf natürliche Weise abbaubar. Es lässt sich mit den üblichen Techniken verarbeiten.

Feuchtigkeitsaufnahmen im Vergleich



Zelfo®
Dieser Werkstoff geht vollständig auf Zellulosefasern pflanzlicher Herkunft (z.B. Hanf, Flachs, Altpapier) zurück. Sie werden durch physikalische Aufbereitung unter Zugabe von Wasser und ohne Verwendung von Bindemitteln in eine formbare Masse umgewandelt und können durch Spritzgießen, Extrudieren oder Formpressen verarbeitet werden. Hergestellt werden aus dem Material bereits Musikinstrumente, Lampen, Möbel und Einrichtungsgegenstände.

Biograde®
Dieser thermoplastische Biokunststoff wurde insbesondere für die Verarbeitung auf Spritzgieß- und Tiefziehanlagen entwickelt. Er besteht zu einem Großteil aus Zellulose, weist eine hervorragende Wärmeformsteifigkeit bis zu einer Temperatur von 122 °C auf und hat ähnliche Eigenschaften wie Polystyrol. Außerdem ist er beständig bei Kontakt mit Lebensmitteln.

AgriPlastBW
In Brensbach/Odenwald betreibt die Biowert Industrie GmbH eine Grasveredelungsanlage, die auf den Prinzipien der „Grünen Bioraffinerie“ basiert und feuchte, faserhaltige Biomasse ohne chemische Zusätze und Lösungsmittel zu einem spritzgießfähigen Verbundstoffgranulat verarbeitet. Dieses besteht zu 50 bis 75 Prozent aus Zellulosefasern und zu 25 bis 50 Prozent aus Polyethylen bzw. Polypropylen. Aus AgriPlastBW hergestellte Bauteile haben im Vergleich zu PP-Bauteilen ein um 20 Prozent geringeres Gewicht. Das Unternehmen bietet auch das Dämmmaterial AgriCellBM auf Basis natürlicher Biomasse an.

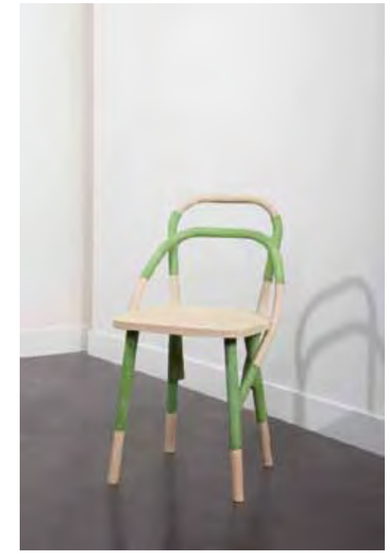
Tencel®
Tencel® ist eine Textilfaser auf Basis von Zellulose mit einer besonders starken Feuchtigkeitsaufnahme für optimale klimatische Bedingungen. Die hydrophile Qualität resultiert aus einer neuartigen Nanostruktur, so dass Tencel®-Textilien um 50 Prozent mehr Feuchtigkeit aufnehmen können als vergleichbare Baumwolle-Produkte. Die Zellulose stammt von **Eukalyptus-Hölzern**.

Arboform®
Der thermoplastische Biokunststoff Arboform® wurde bereits 1998 entwickelt und besteht in der Hauptsache aus Lignin und Zellulose. Dieses stammt von Reststoffen der Papierindustrie. In der Produktion werden weitere Naturfasern wie Hanf, Flachs und **Chinaschilfgras** beigemischt sowie natürliche Additive ergänzt. Der Biokunststoff kann durch Spritzguss und Extrusion formgebend verarbeitet werden und ist recyclingfähig.

ARBOFORM®
Behältnisse aus dem Zellulose enthaltenen Arboblend (Quelle: Tecnaro)

BIOGRADE®
Aufbewahrungsboxen aus Zellulosekunststoffen
(Quelle: Biowert)

ZELFO
Lampenschirm aus Zelfo
(Quelle: TheGreenFactory)



ZELFO
Stuhl „Liga“ aus Zelfo
(Quelle: Elise Gabriel & TheGreenFactory)

BIOGRADE®
Becher aus Zellulosekunststoffen
(Quelle: Biowert)

Biomimetische Materialien…000 — Farbigkeit und Transparenz verändernde Materialien…000 — Schmutz abweisende Oberflächen…000 — Elektro- und magnetorheologische Flüssigkeiten…000 — Phasenwechselmaterialien (PCM)…000 — Lehm…000 — Moos…000 — Zeolithe…000 — CO^2-speichernde Materialien…000 — Duftmikrokapseln…000 — Nanotitandioxid…000 — Nanosiliziumdioxid…000 — Nanosilber…000 — Nanogold…000 — Nanopapier…000 — Selbstheilende Materialien…000

—

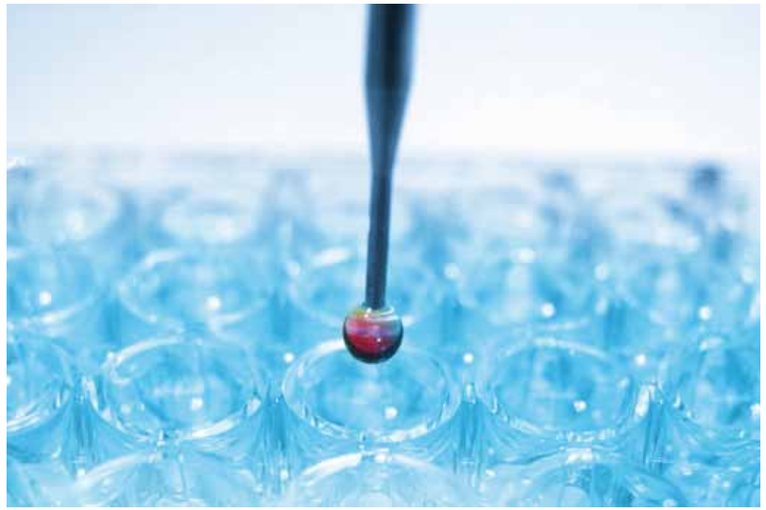
06

—

Bakterien abtötende Oberflächen für medizinische Anwendungen, klimabeeinflussende Phasenwechselmaterialien, auf Körperwärme reagierende Textilien oder Transparenz verändernde Glasscheiben: Schon in den vergangenen Jahren war zu beobachten, dass die Neuentwicklungen der Materialhersteller und Wissenschaftler, neben der materiellen Komponente nach dem traditionellen mechanischen Verständnis auch immer eine virtuelle, weil intelligente, eine reaktive Seite aufweisen. Vorangetrieben durch die Nanotechnologie und die Bionik werden Materialien mit einer ganzen Reihe funktionaler Mehrwerte möglich, die das bisherige Verständnis von Materialität nachhaltig verändern.

Multifunktionsmaterialien ersetzen dabei altbewährte Lösungen, die nur mit hohem konstruktivem Aufwand oder großem Energieeinsatz möglich waren. Die Größe von Klimaanlagen, die konstruktive Komplexität eines Fitnessgeräts oder die Notwendigkeit zur Installation eines Küchenabzugs wird sich durch diese neue Materialgruppe maßgeblich verändern. Erste Anwendungen, die sich vor allem durch einen geringen Werkstoff- und Energiebedarf auszeichnen, sind bereits am Markt erhältlich. Auf Oberflächen applizierte Nanotitandioxide oder Moose sind bei der Luftreinigung behilflich, andere Funktionsmaterialien haben wiederum die Eigenschaft, das Treibhausgas Kohlendioxid langfristig zu speichern. Wissenschaftler treiben heute gar ein Thema voran, das vor einigen Jahren noch undenkbar gewesen wäre: Die Entwicklung selbstheilender Materialien.

Auf Feuchtigkeit reagierende Betonoberfläche
(Quelle: Solid Poetry)



Antibakterielle Beschichtung für medizinische Anwendungen
(Quelle: Möller Medical)Albayrak)

Eigenschaften Leichtbaupotenziale // poröse Materialstruktur // extreme Festigkeiten // korrosionsbeständig

Nachhaltigkeitsaspekte Leichtbauaspekte // optimal auf den Einsatzfall ausgelegte Materialqualitäten

BIOMIMETISCHE MATERIALIEN

Im Forschungszweig der Bionik bemühen sich Forscher weltweit seit den 1990er Jahren biologische Strukturen auf technische Anwendungen zu übertragen und als Vorlage für Konstruktionswerkstoffe zu verwenden. Sind moderne Hochleistungsmaterialien oft auf ein oder wenige Eigenschaften optimiert, weisen biomimetische Materialien meist multifunktionelle Qualitäten auf.

MATERIALKONZEPTE UND VERWENDUNG

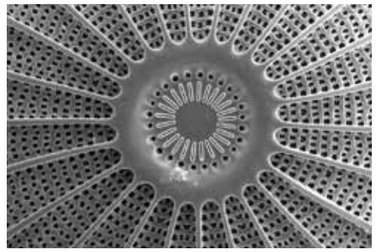
Vorbild: Kieselalge

Mal sind sie kugelförmig mit gleichmäßig verteilten Öffnungen, mal bestimmt eine strahlenförmige Struktur ihre Geometrie: **Kieselalgen**. Man kennt heute einige Tausend Arten. Allen gemein ist die Leichtbauweise und gleichzeitig hohe Festigkeit der Schale, die sie vor Feinden schützt und dem Gewicht der **Wassersäule** entgegenwirkt. Die Struktur muss im Wasser schweben können, um die in das Meerwasser eintreffenden Lichtstrahlen für die **Photosynthese** nutzen zu können. So sind in dem gerade einmal ein zwanzigstel Millimeter großen Panzer, dessen Aufbau für technische Anwendungen hochinteressant ist, Poren, Rippen und Waben enthalten. Das enorme Verhältnis zwischen geringem Gewicht bei gleichzeitig hoher Festigkeit begeistert die Wissenschaft seit einigen Jahren. Am Alfred-Wegener-Institut in Bremerhaven haben Forscher beispielsweise die Struktur erfolgreich auf eine **Autofelge** übertragen, die bei einer hohen Stabilität wesentlich leichter ist als eine herkömmliche Felge und eine bessere Straßenlage realisieren soll. In einem weiteren Projekt wird ein Gipsersatz zur Therapie von Knochenbrüchen entwickelt. Dieser wird wesentlich leichter als die bisherige Lösung sein und Öffnungen haben, durch die der Arzt Muskeln stimulieren und den Rehabilitationsprozess beschleunigen kann.

Vorbild: Perlmutt

Perlmutt ist eine optisch sehr auffällige, äußerst zähe und korrosionsbeständige Schicht auf der Innenseite einer Vielzahl von **Muscheln** und **Schnecken**. Sie ist ein Verbundmaterial aus **Kalziumkarbonat** (**Aragonitplättchen**) und einem geringen Anteil organischer Moleküle. Diese sind zwischen den Mineralschichten angeordnet und wirken wie ein flexibler Kitt, der die harten aber brüchigen Kalkplättchen zusammenhält. Die Ausbildung von Rissen wird behindert. Bislang ist es der Wissenschaft noch nicht gelungen, den Perlmuttaufbau künstlich herzustellen. Dabei würde sich die Schicht für vielfältige technische Anwendungen eignen. Diese reichen von **kratzfesten Autolacken**, über **Knochenersatzmaterialien** bis hin zu Beschichtungen für Gebäudekonstruktionen im Offshore-Bereich.

Die nach dem Vorbild von Arachnoidiscus konstruierte Felge zeichnet sich trotz Leichtbauweise durch hohe Festigkeit aus, entwickelt für Faserverbundwerkstoffe wie CFK und GFK, nur 4000 cm³ bei 17 Zoll.



Vorbild Kieselage Arachnoidiscus japonicus mit radiären und konzentrischen Versteifungen, (Quelle: Jan Michels, Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung, Foto: L. Friedrichs)

Antarktische Diatomeen.
(Quelle: Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung)

Die besondere Optik einer Perlmuttoberfläche
(Quelle: Universität Ulm)

Vorbild: Knochen

Vor allem der Aufbau von **Knochen**, mit seiner an manchen Stellen sehr festen und kompakten und in anderen Bereichen porösen, schwammartigen Struktur, bietet für den Leichtbau erhebliche Potenziale. Denn Knochen sind besonders leicht und halten extremen Belastungen stand. Am Fraunhofer IFAM wurde ein Simulationsprogramm entwickelt, das die innere Struktur und die Dichteverteilung des Knochenmaterials berechnet und die Materialstruktur für ein Bauteil ableitet. Anschließend wird dieses mit einer additiven Technologie, dem **Lasersintern**, Schicht für Schicht aus **Metallpulver** aufgebaut.

Strukturaufbau eines Knochens (Fraunhofer IFAM)

Ultraleichter, permeabler medizinischer Stützverband Cellfix (Armschiene: 62g, Beinschiene: 165g) (Quelle Alfred-

Eigenschaften sich selbst anpassende Lichtdurchlässigkeit // reagieren auf Licht, Wärme oder elektrische Spannung // Anzeichenfunktion

Nachhaltigkeitsaspekte Verbesserung klimatischer Bedingungen ohne Energieaufwand // Einsparen aufwendiger Steuerungssysteme

FARB- UND TRANSPARENZVERÄNDERNDE MATERIALIEN

Glasfassaden, die bei Sonneneinstrahlung ihre Transparenz und Lichtdurchlässigkeit verändern; Tapeten, die nach Handauflegen die Farbe wechseln oder Sitzgelegenheiten, die das Gesäß nach Gebrauch exakt erkennbar machen. In den letzten Jahren haben Werkstoffe und Materialoberflächen Einzug in unsere Produktwelt gefunden, die auf Umgebungseinflüsse reagieren und eine „smarte" weil „intelligente" Qualität offenbaren.

MATERIALKONZEPT UND EIGENSCHAFTEN

Ausgestattet mit **photo**-, **thermo**- oder **elektrochromen Pigmenten**, **Lacken** oder **Gelen** können Materialien auf **Licht**, **Wärme** und **elektrische Spannung** reagieren. Zu den typischen Materialien mit thermochromen Eigenschaften zählen anorganische Metalloxide (z.B. **Zinkoxid**, **Vanadiumoxid**), **Polymerblends** oder **Flüssigkristalle**, die beim Erwärmen nicht direkt vom kristallinen in den flüssigen Zustand übergehen. Vor allem **thermotrop schaltende Hydrogele** für den Sonnenschutz sind Gegenstand aktueller Forschungsprojekte. Lacksysteme und Pigmente mit thermochrom wirkenden Qualitäten sind schon seit längerem am Markt verfügbar. Sie sind in Pulverform oder flüssig erhältlich und können leicht auf die meisten Werkstoffoberflächen aufgetragen werden.

VERWENDUNG

Die Anwendungsmöglichkeiten Farb- und transparenzverändernder Materialien liegen in der Gestaltung von Mode, Tapeten, Magazinen oder Möbeloberflächen. Thermochrome Glasbeschichtungen verändern unter Einfluss von Licht die Durchlässigkeit für Sonnenstrahlung und stellen sich selbsttätig auf klimatische Bedingungen ein. Eingebracht in Verpackungsfolien können thermochrome Pigmente Kühlmängel bei Lebensmitteltransporten nachweisen.

PRODUKTE

Chromicolor®

Dies sind Pigmente, Lacke und Harze mit thermosensitiven Eigenschaften. Unter Einwirkung von Wärme wird das Material transparent. Die Reaktionstemperatur lässt sich einstellen. Thermochrome Harze können mit den üblichen Formmassen vermischt und zu Kunststoffbauteilen verarbeiten werden. Der Effekt bleibt auch unter Einwirkung von UV-Strahlung stabil.
↳ www.matsui-color.com/chromicolor_molding/

LCR HallcrestTM

Flüssigkristalle sind chemische Verbindungen mit den mechanischen Qualitäten von Flüssigkeiten und den optischen Eigenschaften von Festkörpern. Sie können bei Veränderung der Temperatur ihre Farbe wechseln (Thermochrom Liquid Crystal Technology). Der Hersteller hat sich auf die Formulierung und Mikroverkapselung von Flüssigkristallmischungen und die Entwicklung thermosensitiver Produkte, Pigmente, Tinten und Farben spezialisiert. Typisch ist eine Farbveränderung von Schwarz unterhalb der Reaktionstemperatur, durch die Farben des Regenbogens beginnend mit Bräunlich-Rot bis hin zu Blau. Unter UV-Licht kann die Wirkung instabil werden. ↳ www.davisliquidcrystals.com

Auf Wärme reagierende Möbel
(Quelle: Jürgen Mayer H.)

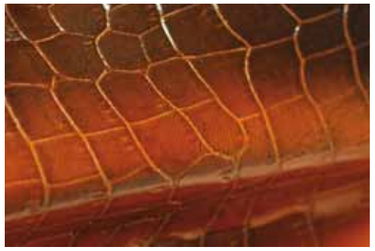
ReversacolTM

Photochrome Farbstoffe reagieren auf UV-Strahlung und verändern reversibel ihre Farbe. Unter der Marke ReversacolTM wird eine breite Produktpalette mit 20 Standardfarben für Produkte wie Sonnenbrillen, Nagellack, Sportbekleidung oder transparenten Sonnenschutz vertrieben.
↳ www.photochromics.co.uk

Dines®

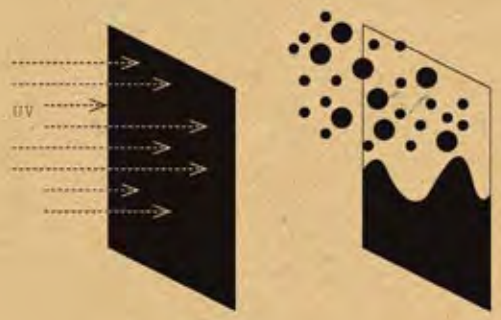
Kunstleder von Dines® wechselt bei Dehnung seine Farbe. Solche Werkstoffe sind unter dem Begriff mechanochrome Materialien bekannt.
↳ www.dines-france.com

thermosensitive Tapete
(Quelle: Prof. Zane Berzina)



Kunstleder, das unter Dehnung die Farbe verändert (Quelle: Dines France)

Biobasierte Materialien // Biokunststoffe auf Basis von Polymilchsäure / Biokunststoffe auf Basis von Polyhydroxybuttersäure / Biokunststoffe auf Basis thermoplastischer Stärke / Biokunststoffe auf Basis von Zellulose /Biokunststoffe auf Basis von Pflanzenölen / Biokunststoffe auf Basis von Lignin / Biokunststoffe auf Basis von Algen / Biokunststoffe auf tierischer Basis / Acrylglas auf Basis von Zucker / Naturgummi / Holz-Polymer-Werkstoffe (WPC) / Kokosholzverbunde / Bambus / Thermisch vergütete Naturhölzer / Thermo-hygro-mechanisch verdichtetes Holz / Kork-Polymer-Werkstoffe (CPC) / Mandel-Polymer-Werkstoffe (ACP) / Algenbasierte Materialien / Pilzbasierte Materialien / Naturfaserkomposite (NFK) / Linoleum / Bindentuchwerkstoffe / Maize Cob Board (MCB) /// Biologisch abbaubare Materialien // Wasserlöslicher Polyvinylalkohol / Laugenlösliche Kunststoffe / Polycaprolactone /// Recyclingmaterialien // Recyclingkunststoffe / Recyclingelastomere / Recyclingstahl */ Recyclingkupfer / Recyclingaluminium / Recyclingglas / Schaumglas (Blähglas) / Recyclingmineralwerkstoffe / Recyclingtextilien / Lederfaserstoffe / Holzverbundmaterialien / Holzbeton / Papier aus organischen Abfällen / Recyclingpapier /// Leichtbaumaterialien und Dämmwerkstoffe // Wabenstrukturen / Doppelstegpaneele / Edelstahlmikrosandwich / Karbonfaserstein (CFS) / Ultrahochfestbeton / Basaltfaserverstärkte Werkstoffe / Mineralpartikeloptimierte Kunststoffe / Keramikschaum / Metallschaum / Holzschaum / Papierschaum / Zellulosefloccken / Naturfaserdämmung / Polyurethan-Hartschaum / Vakuumisolationspaneele / Aerogel / Hohlkugelstrukturen / Technische Textilien / Eigenverstärkte Thermoplaste // Abstandstextilien / Membrantextilien / Nanotextilien / Kohlenstoffnanoröhren (CNT) /// Formveränderende Materialien // Formgedächtnislegierungen (FGL) / Formgedächtniskunststoffe (SMP) / Thermobimetalle / Piezoelektrische Keramiken (PEK) / Piezoelektrische Kunststoffe (PEP) / Elektroaktive Polymere (EAP) / Bucky Paper / Hydrogel /// Multifunktions-materialien // Biomimetische Materialien / Farb- und transparenzverändernde Materialien / Schmutzabweisende Oberflächen / Elektro- und magnetorheologische Flüssigkeiten / Phasenwechselmaterialien (PCM) / Lehm / Moos / Zeolithe / CO2-speichernde Materialien / Duftmikrokapseln / Nanotitandioxid / Nanosiliziumdioxid / Nanosilber / Nanogold / Nanopapier / Selbstheilende Materialien /// Energie erzeugende und Licht beeinflussende Materialien // Fotovoltaische Materialien / Dünnschichtsolarzellen / Mehrfachsolarzellen / Black Silicon / Grünalgen / Thermoelektrische Materialien / Ferroelektrische Polymere / Licht emittierende und nachleuchtende Materialien / Leuchtdioden (LED) / Organische Leuchtdioden (OLED) / Multitouchfolien / Retroreflektierende Materialien / Lichtdurchlässige Materialien / Metamaterialien /// Nachhaltige Produktionsverfahren // Mehrkomponentenspritzgießen / InMold-Techniken / Metal Injection Molding / Inkrementelle Blechumformung (IBU) / Freie Innenhochdruckumformung (FIDU) / Laserstrahlumformung / Wälbfacettierung / Additive Formgebung / Laserstrukturieren / 3D-Wasserstrahlschneiden / Mehrfunktionales Anodisieren / Trockenzerspanung / Kleberfreies Fügen



ISBN 978-3-0346-0575-5
WWW.BIRKHAUSER-ARCHITECTURE.COM