



**Nanotechnik
und Bionik**

Hightech in der Bauwirtschaft



RKW
Kompetenz-
zentrum

Nanotechnik und Bionik – Hightech in der Bauwirtschaft

Dokumentation

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Technologie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



BAU 2011

Nanotechnik und Bionik – Hightech in der Bauwirtschaft

Dokumentation

Impressum

Nanotechnik und Bionik – Hightech in der Bauwirtschaft

Dokumentation zur Veranstaltung
des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie

in Kooperation mit
dem Bayerischen Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie,
der Rationalisierungs-Gemeinschaft Bauwesen im RKW-Kompetenzzentrum
und der Messe München GmbH auf der BAU 2011

Partner:

Bayerischer Bauindustrieverband e.V.
Landesverband Bayerische Bauinnungen
Bauindustrieverband Hessen-Thüringen e.V.
Bauindustrieverband Niedersachsen-Bremen e.V.
Bauindustrieverband Nordrhein Westfalen e.V.

Herausgeber

Rationalisierungs-Gemeinschaft Bauwesen im RKW-Kompetenzzentrum

Projektleitung und Fachredaktion

Ute Juschkus
Rationalisierungs-Gemeinschaft Bauwesen im RKW-Kompetenzzentrum
Düsseldorfer Straße 40, 65760 Eschborn / Deutschland
T +49.6196.495.3505
F +49.6196.495.4501
eMail juschkus@rkw.de

Das Projekt wurde durch einen Beirat unterstützt. In ihm wirkten mit:

Karlheinz Brömer	Bauunternehmen Brömer & Sohn
Andreas Demharter	Landesverband Bayerische Bauinnungen
Dr. Helmut Greinke	Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie Referat IV A 4 Bauwirtschaft
Ralf Hanemann	BIW Bau Hessen-Thüringen e.V.
Mareile Kästner	BAU 2011, Messe München GmbH
Dr. Dietmar Kopp	Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie Referat IV B 4, Chemische und pharmazeutische Industrie, Chemikaliensicherheit Messe München GmbH
Johannes Manger	Rationalisierungs-Gemeinschaft Bauwesen im RKW-Kompetenzzentrum
Erwin W. Marsch	Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie Referat IV A 4, Bauwirtschaft
Michaela Mischak	IRB Fraunhofer Informationszentrum Raum und Bau
Thomas H. Morszeck	Bay. Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie
Dr. Andrea Niedzela-Schmutte	Hans Stiglocher Hoch Tiefbau e.K.
Hans Stiglocher	Deutsche Bauchemie e.V.
Norbert Schröter	Kölner Labor Baumaschinen, FH Köln
Prof. Alfred Ulrich	

Layout und Druck: KlarmannDruck GmbH

© 2011 Alle Rechte vorbehalten

Rationalisierungs- und Innovationszentrum der Deutschen Wirtschaft e.V.

Sitz des RKW e.V.: Eschborn

Amtsgericht: Frankfurt am Main VR 4170

Inhalt

Vorwort	5
Teil 1 Nanotechnik und Bionik – Hightech in der Bauwirtschaft.....	7
Mit Hightech in Zukunft Bauen – gebündeltes Know-how für innovative Lösungen	7
Nano ist überall – Forschung und Technik in der Welt des Allerkleinsten	11
Bionik- Lernen von der Natur	17
Teil 2 Nanotechnik und Bionik – Anwendungen in der Bauwirtschaft	21
Nanooptimierte Hochleistungsbetone	21
Innovative Oberflächen	27
Neue Funktionalitäten durch Titandioxidmodifikation	33
Energieeffizienz und Klimaschutz	36
Lernen von der Natur – Bauen und Bionik.....	42
Teil 3 Hightech in der Bauwirtschaft – Aktivitäten zur Förderung von Forschung,	
Entwicklung und Technologietransfer	49
Innovationen, Norm und Markt	49
Die Ausstellung Nanotechnik und Bionik – Neues Bauen zum Begreifen.....	56
„ Wir malen das Haus der Zukunft“ - Malwettbewerb zur BAU 2011	58
Anhang	59
Nanotechnik und Bionik – Hightech in der Bauwirtschaft Veranstaltung des	
Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie im Rahmen der Bau 2011	61
Quellen und weiterführende Literatur.....	66
Nanotechnologie.....	66
Bionik	67
Bildnachweise	68

Vorwort



Der Bausektor ist allein mit rund 1 Millionen Mitarbeitern und baurelevanten Umsätzen von 251 Mrd. €* die größte Branche der deutschen Volkswirtschaft. Nur über den kontinuierlichen Innovationsvorsprung durch die systematische Entwicklung und Nutzung neuer Produkte und Bauverfahren werden heimische Bauunternehmen die Herausforderungen komplexer Bauaufgaben meistern und im harten Wettbewerb langfristig bestehen können.

Innovative Technologien, wie Nanotechnologie und Bionik bieten für die Bauwirtschaft erhebliche Geschäftspotenziale. Das Spektrum der Anwendungen dieser Querschnittstechnologien reicht von funktionalen Fassadenoberflächen, verbesserten Baustoffen und Isolationsmaterialien, neuartigen Beleuchtungstechniken und effizienteren Solar- und Brennstoffzellen bis zu von der Natur abgeschauten effizienten Konstruktionen für Bauwerke und Baumaschinen. Und damit ist die technologische Entwicklung erst am Anfang.

Der Anwendung dieser Innovationen in der Praxis stehen noch zahlreiche Hemmnisse entgegen. Angesichts des hohen Kostendruckes im Bauwesen werden Preisaufschläge und lange Entwicklungszeiten für innovative Technologien auf der Kundenseite kaum akzeptiert. Darüber hinaus bestehen hohe Anforderungen hinsichtlich der Haltbarkeitsgarantien und Qualitätszertifikate.

Um Innovationen in der Bauwirtschaft auf breiter Basis voran zu bringen, ist es daher notwendig, Entwickler und Anwender, Architekten, Fachplaner, Baustoffproduzenten und bauausführende Unternehmen, aber auch die interessierte Öffentlichkeit und künftige Bauherren zu vernetzen. Durch regelmäßigen Wissenstransfer muss Hightech in der Bauwirtschaft in den Köpfen der Menschen und auf der Baustelle etabliert werden.

Die Rationalisierungs-Gemeinschaft Bauwesen im RKW Kompetenzzentrum leistet mit der vorliegenden Broschüre als Ergebnis des gleichnamigen Projektes und der Veranstaltung „Nanotechnik und Bionik - Hightech in der Bauwirtschaft“ des Bundesministerium für Wirtschaft- und Technologie (BMWi) auf der BAU 2011 einen Beitrag zur Stärkung der Innovationskraft der Baubranche.

Als Querschnittstechnologien werden Nanotechnologie und Bionik in Zukunft nicht mehr von der Baustelle wegzudenken sein.

Ich wünsche Ihnen eine anregende Lektüre.

Prof. Dr.-Ing. Hans-Jörg Bullinger
Präsident der Fraunhofer-Gesellschaft
Vorsitzender des Verwaltungsrates des RKW Rationalisierungs- und Innovationszentrums der Deutschen Wirtschaft e.V.

*Vgl. Institut der deutschen Wirtschaft Köln Consult GmbH in: Analyse der volkswirtschaftlichen Bedeutung der Wertschöpfungskette Bau, Forschungsvorhaben 10.08.17.7-07.23, Kurzfassung des Endberichtes für das Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung, Köln 2008.

Teil 1

Nanotechnik und Bionik – Hightech in der Bauwirtschaft

Mit Hightech in Zukunft Bauen – gebündeltes Know-how für innovative Lösungen

Die Bauwirtschaft ist eine Branche mit hohem Innovationspotenzial. Allerdings ist der Weg von Bauinnovationen von der Idee bis zur Ausführung auf der Baustelle auf Grund besonderer Anforderungen an die Sicherheit und Dauerhaftigkeit von Bauprodukten und -verfahren besonders lang und „steinig“. Gleichzeitig spiegelt das Image der Bauwirtschaft nach wie vor nicht die Leistungsfähigkeit und Innovationskraft der Branche angemessen wieder. Viele hochinteressante und zukunftssträchtige Technologieentwicklungen im Baubereich werden in der Öffentlichkeit nur unzureichend wahrgenommen. Zum Teil sind sie auch innerhalb der Branche noch zu wenig bekannt. Querschnittstechnologien wie Nanotechnik und Bionik bieten jedoch Erfolg versprechende Ansätze für die Entwicklung „wirklicher Bauinnovationen“, welche der Bauwirtschaft völlig neue Perspektiven eröffnen können.

Mit der Veranstaltungsreihe „Nanotechnik und Bionik – Hightech in der Bauwirtschaft“ im Rahmenprogramm der BAU 2011 in München griff das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie diese Problematik auf. Durch die Vorstellung prägnanter Beispiele aus Forschung und Baupraxis wurde die Leistungsfähigkeit und Innovationskraft des Baubereichs herausgestellt. Auftakt der Veranstaltungsreihe war der Kongress im Internationalen Congress Center München (ICM). Renommee Experten aus Nanotechnologie, Bionik und Bauforschung stellten den Teilnehmern ihre spannenden Fachgebiete und Forschungsergebnisse vor und zeigten die Vielfalt der Anwendungsmöglichkeiten beider Querschnittstechnologien für die Bauwirtschaft auf.

Doch zunächst lenkte Prof. Dr.-Ing. habil. Hans-Jörg Bullinger, Präsident der Fraunhofer-Gesell-

schaft in seinem Impulsvortrag „Mit Hightech in Zukunft bauen - gebündeltes Know-how für innovative Lösungen“ den Blick der Teilnehmer auf die Herausforderungen der Zukunft, denen sich die Bauwirtschaft mit großen Innovationsanstrengungen stellen muss.¹

Die aktuelle Situation der Bauwirtschaft ist nicht einfach. Jedoch ist die Branche mit einem Jahresumsatz von rund 82 Mrd. EUR und etwa 700.000 Beschäftigten von zentraler Bedeutung für die deutsche Volkswirtschaft. Gleichzeitig steht die Branche unter hohem nationalen und internationalen Wettbewerbs- und damit auch unter starkem Innovationsdruck. Um Bauinnovationen in Deutschland voranzutreiben haben 16 Fraunhofer-Institute ihr Know-how in der Fraunhofer-Allianz Bau gebündelt. Im Rahmen eines Forschungsvolumens von 240 Mio. EUR befasst sich die Fraunhofer-Allianz Bau insbesondere mit folgenden Themen:

- Energieeffizienz von Gebäuden,
- Nachhaltigkeit und Ressourcenschonung,
- Gesundheitsverträglichkeit des Bauens und Wohnens,
- Produkt-, System- und Prozessoptimierung,
- Material- und Werkstoffentwicklung für Bauanwendungen.

Wesentlich für die inhaltliche Ausrichtung der Bauforschung ist es, die Herausforderungen für die Zukunft bereits heute zu erkennen. Hierzu ist es notwendig, sich die globalen Megatrends vor Augen zu halten. Welche Auswirkungen haben Megatrends wie das globale Bevölkerungswachstum, der gesellschaftliche Wandel, die zunehmende Urbanisierung, wachsende Mobilitätsanforderungen, sowie die Themen Energie- und Ressourceneffizienz, Klima- und Umweltschutz auf das Bauen der Zukunft? Welche Schlüsselinnovationen sind für das Bauen zu erwarten, welche neuen Potenziale lassen sich daraus erschließen

¹ Die folgenden Ausführungen basieren auf den Inhalten des Vortrages „Mit Hightech in Zukunft bauen - gebündeltes Know-how für innovative Lösungen“, den Prof. Dr.-Ing. habil. Hans-Jörg Bullinger anlässlich des BMWi-Kongresses „Nanotechnik und Bionik – Hightech in der Bauwirtschaft“ in München als Impulsreferat gehalten hat, wurden jedoch redaktionell bearbeitet und teilweise ergänzt. Zu den Vorträgen vgl. auch den Anhang dieser Broschüre.



Prof. Dr.-Ing. Hans-Jörg Bullinger gibt mit seinem Vortrag wichtige Impulse für den Kongress „Nanotechnik und Bionik – Hightech in der Bauwirtschaft“.

und welche Maßnahmen müssen wir heute bereits einleiten?

Wie sieht beispielsweise das Gebäude der Zukunft aus? Schon heute zeichnet sich ab: Nachhaltiges Bauen wird Standard! Das Gebäude der Zukunft

- Ist flexibel gegenüber unterschiedlichster Nutzung,
- Ist besonders Ressourcen schonend gebaut,
- Besteht aus recycelten Werkstoffen und ist selbst recycelbar,
- Weist ein hohes Maß an Qualität und Präzision auf,
- Ist ein energieautarker Selbstversorger,
- Hat intelligente Belüftungs- und Beleuchtungssysteme,
- Und ist flexibel erweiterbar/ umrüstbar.

Auch die Städte der Zukunft werden große Herausforderungen meistern müssen. Prof. Dr.-Ing. habil. Hans-Jörg Bullinger nannte hier exemplarisch die Anpassungsfähigkeit urbaner Technologien (z.B. Verkehrswege und Versorgungsinfrastruktur), welche auf Grund langer Lebenszyklen besonders innovativ und vorausschauend errichtet werden sollten. An einigen praktischen Beispielen zeigte Prof. Dr.-Ing. habil. Hans-Jörg Bullinger anschließend, wie sich die Bauforschung diesen Herausforderungen heute schon stellt.

Im Fraunhofer-inHaus-Zentrum mit seinen 2 Häusern in Duisburg werden die Potenziale von z.Z. sieben Fraunhofer-Instituten und 96 Wirtschafts-

partnern gebündelt, um neue Lösungen für Räume und Gebäude zu entwickeln, zu testen, zu demonstrieren und in den Markt zu bringen. Ziel ist es u.a., Systemlösungen für die Modernisierung im Wohnumfeld aber auch innovative Systemlösungen für alle Arten von Gebäude- und Bauanwendungen von der Idee bis zum Markterfolg zu führen. Darüber hinaus werden Technologien für Gebäudebetrieb und Facility Management und spezifische Lösungen für die Bereiche Health und Care, Hotel und Veranstaltung sowie Office und Service entwickelt und erprobt.

Innovationsbeispiele aus dem Fraunhofer-inHaus-Zentrum sind u.a.

- Der virtuelle inHaus2-Entwurf, der auch das Baustellendesign umfasst,
- Die intelligente Baustelle, auf der Qualitätsoptimierung im Bauprozess durch IT und Elektronik unterstützt wird,
- Die inHaus-SmartHome-Control, eine intelligente Steuerung für die Haustechnik und mehr, bedienbar über den Fernschirmschirm,
- Das inHaus-RWE-Energiecockpit SmartMetering, welches die aktuellen Energieverbrauchsdaten über Fernschirmschirm oder PDA zum Abruf bereitstellt,
- Die Erprobung neuer und aktiver Materialien und innovativer Technik wie z.B. hochwirksame Dämmstoffe, thermisch und akustisch hochwirksame Fertigbausteine, intelligente Fassaden, akustische Wellenbrecher im thermisch aktiven Beton, LED-Lichtschränke, intelligente Fußböden, die die Bewegung des Bewohners detektieren, dezentrale Pumpen für Heizsysteme, antibakterielle Ausstattung von häufig berührten Oberflächen oder die Sensortransponderanwendung für Bauteilaktivierung.

An zahlreichen Forschungsbeispielen aus der Arbeit einzelner Fraunhofer-Institute zeigte Prof. Dr.-Ing. habil. Hans-Jörg Bullinger Innovationstrends für die Baubranche auf. So forscht das Fraunhofer-Institut für Bauphysik an innovativen Fassaden, in die Photovoltaikmodule integriert sind. Das Fraunhofer-Institut für Holzforschung - Wilhelm-Klauditz-Institut (WKI) hat einen Klebstoff entwickelt, mit dem Holzbauteile von Gebäuden verklebt werden können und nicht mehr geschraubt werden müssen. Diese Technik setzt voraus, dass der Klebstoff eine besonders hohe

Temperaturfestigkeit aufweist. Kleben eröffnet Architekten neue Freiräume für flexiblere und kompliziertere Konstruktionen im Vergleich zu mechanischen Verbindungen. Dies ist auch einer der Gründe, warum man Bauteile aus Ultrahochleistungsbeton (UHPC) ebenfalls durch Kleben verbindet (vgl. hier in Teil 2 den Abschnitt „Nanooptimierte Hochleistungsbetone“).

Im Projekt Virtual Architecture Engineering wird der gesamte Planungs- und Bauprozess durch Einsatz modernster VR-Technik² für Architektur und Fachplanung unterstützt. Die Technologie ermöglicht die Visualisierung und Simulation des Gebäu-

des, der Umgebung und auch der Innenräume. Viele Vorteile eröffnet der Einsatz von Leuchtdioden (LED's) in der Licht- und Displaytechnologie. Im Projekt LightFusion werden u.a. dynamische, adaptive Lichtsysteme für Arbeitsplätze unter Einsatz dieser innovativen und in höchstem Maße energieeffizient arbeitenden Technologie entwickelt. Weit darüber hinaus geht die Idee von OFFICE 21®. Ziel des Projektes ist es u.a., ökologische und ökonomische Potenziale nachhaltiger Arbeits- und Bürokonzepte zu erforschen. Gerade im Handlungsfeld Green Building sind die Ergebnisse auch Innovationstreiber für die Bauwirtschaft.



Welche Herausforderungen bringt die Zukunft für unsere Städte? Dieser Frage geht Prof. Dr.-Ing. Hans-Jörg Bullinger in seinem Vortrag auf dem Kongress „Nanotechnik und Bionik – Hightech in der Bauwirtschaft“ nach.

² VR: virtual reality (deutsch: virtuelle Realität).

Wohin entwickelt sich die Bauwirtschaft? Welche Technologien und Prozesse werden wir einsetzen und welche Konsequenzen ergeben sich aus den globalen Megatrends in Bezug auf Bauerstellung und Immobilien? Zu diesen Fragen bündeln im Innovationsnetzwerk FUCON® renommierte Unternehmen aus verschiedenen Bereichen der Baubranche unter der wissenschaftlichen Leitung des Fraunhofer IAO ihre Kompetenzen. Das durch die Forschungsinitiative Zukunft BAU geförderte Innovationsnetzwerk hat sich intensiv mit den globalen Megatrends auseinandergesetzt und diese in einer gründlichen Analyse auf das Umfeld Bau mit den vier Aspekten Technologien zu Bauerstellung, Bauprozesse und Projektorganisation, Branche und Wettbewerb sowie Bauprodukte/-systeme und Immobilie bezogen. Sieben hieraus abgeleitete Rohszenarien wurden qualitativ in einem Szenario-Raum mit den drei Dimensionen „Nutzung & Immobilie“, „Umwelt & Energie“ und „Prozesse & Technologien“ eingeordnet und drei Schwerpunktszenarien ausgewählt, die wahrscheinlich die Zukunft der Baubranche prägen werden:

Das Szenario **„Craftmanship 2020“** geht von einer Renaissance des Handwerks aus. Der enorme Sanierungsbedarf im Gebäudebestand ist für kleinere eher handwerklich orientierte Bauunternehmen ein riesiger Markt. Erwartet werden aber auch in diesem Bereich die Optimierung von Prozessen und Projektorganisation und die zunehmende Vernetzung und Kollaboration dieser Betriebe. Die Möglichkeiten für den Einsatz von IT sind jedoch begrenzt und ein gewisser Bruch zwischen Ausführung und Planung bleibt weiter bestehen.

Das Szenario **„Industrialized Construction 2020“** oder „Mass Production“ prognostiziert die zunehmende Industrialisierung des Planungs- und Ausführungsprozesses. Wie in der stationären Industrie werden hohe Effizienzsteigerungen durch die weitgehende Standardisierung von Prozessschritten, die Verwendung von Systembaukästen oder zentrales Datenmanagement erreicht. Skaleneffekte durch hohe Abnahmemengen, schnelle Innovationszyklen und Life Cycle Systeme können auf diesem Weg auch in der Bauwirtschaft erreicht werden.

Das Szenario **„Parametric Age 2020“** setzt auf die effiziente Anfertigung hochwertiger und individueller Systeme durch Parametrisierung.³ Wesentliche Kennzeichen sind die Digitalisierung der gesamten Prozesskette beginnend mit dem Einsatz computerbasierter Techniken im Entwurf. So können hohe Qualität und hohe Flexibilität gleichzeitig gewährleistet werden. Auch individuelle hochwertige Solitäre entstehen so kostengünstiger mittels automatisierter Fertigungsprozesse.

„Wir sollten darüber nachdenken, Gebäude genauso zu bauen wie Autos!“. Mit diesem Zitat von Patrick MacLeamy, Chairman IAI International umriss Prof. Dr.-Ing. habil. Hans-Jörg Bullinger abschließend seine Vision für die Bauindustrie. Der Paradigmenwechsel sei in vielen Branchen bereits fortgeschritten und die Baubranche adaptiere bereits bewährte Methoden und Werkzeuge. Viele neue Werkzeuge (VR, Internet, Simulationen) sind schon entwickelt und kurzfristig einsetzbar. Immer öfter bestimmt nicht der Preis, sondern Innovation und Qualität den Wettbewerb. Die Erhöhung der Produktivität und die Generierung neuer Ideen in der Gebäudetechnik setzen neue strategische Impulse für die gesamte Bauwirtschaft. Die rechtlichen Rahmenbedingungen müssten jedoch an die sich verändernden Prozesse angepasst werden. Das generelle Motto der Bauindustrie muss lauten:

**„Wir bauen mit innovativer Technik
ökologisch und ökonomisch für und
mit Menschen.“**

³ Der Einsatz computerbasierter Techniken (Digitales Entwerfen) erweitert den Handlungsspielraum des Architekten wesentlich gegenüber den Möglichkeiten der tradierten zweidimensionalen Darstellung. Bei assoziativen Geometriemodellen werden beispielsweise Objekte als parametrische Geometrien definiert, die direkt vom Prozess ihres Entstehens abhängig sind. Es wird nicht nur die Form des Objekts festgelegt, sondern auch die möglichen Reaktionen auf Kräfte und Veränderungen, eben alle Parameter der künftigen Form. Noch ein Stück weiter gehen regelbasierte Systeme, bei denen der Entwerfer zuerst den Prozess plant und dann beginnt, die vom Computer erzeugten Varianten zu optimieren und zu selektieren. Auf der Grundlage einfacher überschaubarer Regeln können so eine unendliche Formenvielfalt und eine enorme Komplexität hervorgebracht werden.

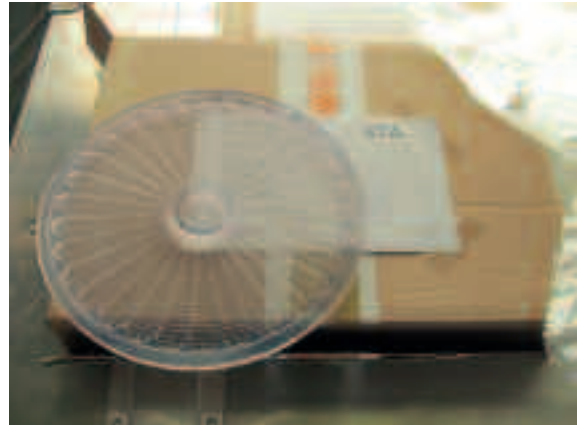
Nano ist überall – Forschung und Technik in der Welt des Allerkleinsten

Nanotechnologie gilt als die Schlüsseltechnologie des 21. Jahrhunderts. Sie stößt in die unvorstellbar kleine Dimension von Atomen und Molekülen vor. Nanotechnologie ist die gezielte Konstruktion in atomaren Dimensionen. Sie beschäftigt sich mit der Herstellung von winzigen Partikeln und Strukturen, der Erforschung der Eigenschaften dieser Nanopartikel und -strukturen sowie dem Einfluss von Nanopartikeln und -strukturen auf makroskopische Systeme, z.B. auf Werkstoffe, welche mit Nanopartikeln modifiziert wurden. Der Begriff „Nano“ kommt aus dem Griechischen und bedeutet übersetzt Zwerg. Auf einer Länge von einem Nanometer ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m} = 1 \text{ Milliardstel Meter}$) lassen sich ungefähr 5 bis 10 Atome unterbringen. Ein Nanometer ist im Verhältnis zu einem Millimeter ungefähr so groß wie eine Haselnuss im Vergleich zur Erdkugel. Nanopartikel sind maximal einige 100 nm groß.⁴

Die Erfindung des Rastertunnelmikroskopes im Jahre 1981 war die Voraussetzung für das Entstehen der Nanotechnologie. Erst durch die hierauf aufbauende Entwicklung der Nanostrukturanalytik weiß man, dass die Natur sich schon seit Jahrmillionen Strukturen im Mikro- und Nanometerbereich zu Nutze macht. Mit dem Auge sehen wir sie nicht, aber deren Wirkung – oft überraschend und unerklärlich – bemerken wir wohl. So schützen sich manche Pflanzen vor Pilzbefall durch



Der Lotuseffekt funktioniert auch auf dem Blatt der Kapuzinerkresse.



Ein Kieselalgenmodell für die Ausstellung „Nanotechnik und Bionik – Neues Bauen zum Begreifen“ wird ausgepackt.

eine raffinierte Schutzschicht, inzwischen gut unter dem Begriff „Lotuseffekt“ bekannt. Geckos laufen nahezu problemlos an Wänden und Decken, manche Falter schillern metallisch und der Sandskink bzw. Sandfisch, eine kleine Eidechsenart, schwimmt im Sand der Sahara wie ein Fisch im Wasser ohne großen Widerstand. Kieselalgen gibt es in unglaublicher Vielfalt, aber allen gemein ist ihre hohe Stabilität, mit der sie sich vor ihren Fressfeinden schützen. Das Seeohr, eine Meerwasserschnecke, bildet eine stabile, seewasserbeständige Schicht aus Kalk, die so attraktiv schillert, dass sie als Schmuck begehrt ist: Perlmutter. Das Erfolgsgeheimnis liegt bei all diesen Beispielen in unvorstellbar kleinen Strukturen – weniger als Tausendstel Millimeter groß.⁵

Auch der Mensch nutzt Nanoeffekte bereits seit Langem. Die Materialeigenschaften vieler Werkstoffe, z.B. von Ton, Lehm aber auch Beton basieren u.a. auf dem Anteil von nanoskaligen Partikeln und Nanostrukturen. Die Höhlenmalerei unserer frühen Vorfahren besteht aus kleinsten Ruß-Partikeln im Nanometerbereich. Für die Färbung von rubinrotem Fensterglas in Kirchen sind Goldnanopartikel verantwortlich und mittelalterliches Blattgold genügt heute ebenfalls der gültigen Definition von Nanotechnologie.⁶

Nanopartikel und -strukturen sind anders als mikroskopische und makroskopische Strukturen, denn je kleiner die Partikel werden, desto größer ist ihre reaktionsfähige Oberfläche. Bei einem ku-

⁴ Vgl. u.a. Juschkus, Ute: Zwerge auf dem Bau? – Nanotechnologie als Zukunftstechnologie in der Bauwirtschaft, ibi 1 (März) 2008, S. 17-18.

⁵ Vgl. auch nano! Nutzen und Visionen einer neuen Technologie, Wanderausstellung des TECHNOSEUMS in Mannheim.

⁶ Vgl. u.a. Ottersbach et.al.: Von der Höhlenmalerei zur Schlüsseltechnologie, in: Chem. Unserer Zeit, 2005, 39, S. 54-59.



Prof.-Dr. Wolfgang M. Heckl, Generaldirektor des Deutschen Museums München entführte die Teilnehmer des Kongresses „Nanotechnik und Bionik – Hightech in der Bauwirtschaft“ in die „Welt der Zwerge“.

gelförmigen Partikel mit einem Durchmesser von 1 nm befinden sich ca. 60% aller Atome an der Partikeloberfläche. Bei einem 10 nm großen Partikel sind es nur noch 6%, bei einem Durchmesser von 100 nm lediglich noch 0,6%. Mit bloßem Auge wahrnehmbar werden Feststoffe erst ab einer Partikelgröße von 100 μm (100.000 nm). Dann befinden sich nur die wenigsten Atome oder Moleküle an der Oberfläche des Partikels. Doch nur die äußeren Atome oder Moleküle können mit ihrer Umgebung chemisch oder physikalisch

wechselwirken. Und genau deshalb verhalten sich Nanopartikel chemisch und physikalisch oft ganz anders als die gleiche chemische Verbindung in größeren Aggregaten oder auch in Lösung. Sie sind wesentlich reaktionsfähiger. Chemische und physikalische Eigenschaften werden verstärkt oder sogar in ihr Gegenteil verkehrt, Nichtleiter werden leitfähig, Wärmeleiter wirken isolierend u.v.a.m. Darüber hinaus passen Nanopartikel in kleinste Lücken im Stoffgemisch und können dort ihre ganz besondere Wirkung entfalten. Allerdings sind Nanomaterialien wegen ihrer hohen Reaktivität auch sehr instabil. Sie neigen dazu, sich zu größeren Partikeln zusammenzuballen (Agglomeration) und verlieren hierdurch ihre besonderen Eigenschaften. Der Umgang mit Nanomaterialien erfordert schon deshalb eine besondere Sorgfalt.⁷

Was ist also der Stand der Forschung und welche Anwendungen finden Nanopartikel bereits heute in der Industrie? Nanotechnologie ist eine Querschnittstechnologie. Das bedeutet einerseits, dass für die Forschung und Entwicklung Wissen und Methoden verschiedenster Wis-

sensgebiete miteinander verbunden werden. Chemiker, Physiker und Biologen, Pharmazeuten und Mediziner, Materialwissenschaftler, Messtechniker, Elektroniker u.v.a. leisten ihre Beiträge zum Fortschritt in der Nanotechnologie und profitieren von den Fortschritten. Entsprechend vielfältig sind die Anwendungsmöglichkeiten von Nanotechnologie.

Eine gute Ideenquelle für spannende Nanoanwendungen ist die Natur. Kleben und Haften, Photosynthese oder Lotuseffekt, die Nanobiotechnologie hat speziell die Entwicklung bioinspirierter und biomimetischer Verfahren, die Nutzung biologischer Bausteine und Systeme, die Herstellung biokompatibler Materialien und Bauelemente und die

⁷ Vgl. auch nano! Nutzen und Visionen einer neuen Technologie, Wanderausstellung des TECHNOSEUMS in Mannheim.

Nutzung von Nanotechnologien zur Unterstützung biotechnologischer Prozesse zum Gegenstand. Auch die Nanomedizin schaut sich ihre Ideen vorzugsweise bei der Natur ab. Körpereigene Substanzen tragen zum Beispiel Nährstoffe oder Antikörper genau an den Ort im Körper, an dem der Stoff benötigt wird. In neuen, mit Hilfe von Nanotechnologie hergestellten Medikamenten sollen biologisch wirksame Substanzen ebenfalls genau an den Ort im Körper bzw. in der Zelle getragen werden, an dem sie wirken müssen, und erst an „Ort und Stelle“ gibt der Träger (z.B. ein synthetisches Polymer) den Wirkstoff (z.B. ein Zellgift) kontrolliert ab. Eine solche medikamentöse Therapie betrifft, nach den Vorstellungen der Forscher, künftig nur noch die kranke Zelle. Nebenwirkungen werden wesentlich seltener und weniger intensiv auftreten.⁸



Siliziumdioxid (Sand) kann in Abhängigkeit von der Größe der Partikel ganz unterschiedliche Eigenschaften haben. Links im Bild Kiesel und Sand, rechts ist ein Flasche mit Mikro-SiO₂. Dieses mikrofeine Pulver verhält sich bereits ähnlich wie eine milchige Flüssigkeit.

Nanotechnologie wird darüber hinaus zur Verbesserung physikalisch-technischer Verfahren verwendet. Im Fokus der Öffentlichkeit steht vor allem die weitere Miniaturisierung von elektronischen Bauteilen. Noch kleinere Chips, noch kleinere Datenspeicher können mit Hilfe von EUV-Lithografie und Interferenzlithografie hergestellt werden. Dies sind nur zwei der innovativen Verfahren, mit denen sich Strukturen im Nanometerbereich auf Oberflächen erzeugen lassen. Ebenfalls von großem Interesse ist es, elektronische Funktionen auf unterschiedlichsten Trägermaterialien aufzubringen, so zum Beispiel Schaltkreise auf Papier oder Folie zu drucken oder neuartige Displays oder Be-

leuchtungssysteme auf Basis organisch-chemischer Materialien (OLED's) zu entwickeln.

Neue Funktionen, Energieeffizienz und die Entwicklung von alternativen, billigeren und umweltschonenderen Materialien sind ebenfalls Ziel der Forschung und Entwicklung. Gerade im Bereich der Materialforschung kann man durch bewussten Zusatz von Nanomaterialien oder durch gezielte Beschichtungen viele spannende Anwendungsmöglichkeiten erschließen. Ultrahochleistungsbeton, extrem stabile Kunststoffe für Sportgeräte oder Beschichtungen, die antibakteriell, selbstreinigend oder sogar selbstheilend⁹ wirken, nutzen die Erkenntnisse der Nanotechnologie.

Dabei wirken die Nanos meist nicht allein. Nanopartikel und -strukturen stehen fast immer im Verbund mit konventionellen Materialien und verleihen diesen zusätzliche Eigenschaften, ohne die ursprünglichen Materialeigenschaften der Werkstoffe zu beeinträchtigen. Ein großer Vorteil der Nanotechnologie ist gerade, dass die Effekte oft durch den Einsatz minimaler Mengen der entsprechenden Chemikalie erzielt werden können.

Nanomaterialien mit ihren ultragroßen Oberflächen sind prädestiniert für effiziente Katalysatoren in Industrie und Kraftfahrzeugen. Ein Beispiel: Brennstoffzellenantriebe gelten durch die direkte Umwandlung von chemischer in elektrische Energie als besonders wirkungsvoll und umweltfreundlich. Mit Hilfe der Nanotechnologie kann die Wirtschaftlichkeit von Brennstoffzellen weiter verbessert und mit der platzsparenden und sicheren Speicherung von Wasserstoff eine der größten Hürden für die Verwendung in Autos überwunden werden.

Solarzellen mit nanokristallinem Farbstoff eröffnen neue Anwendungsmöglichkeiten: Die sich am Prinzip der natürlichen Photosynthese orientierende Methode ermöglicht durchsichtige, beispielsweise in Fensterscheiben integrierbare Solarmodule. Die Stärke organischer Solarzellen ist ihre mechanische Flexibilität, die völlig neue Einsatzgebiete eröffnet. Beiden Anwendungen gemeinsam sind prinzipiell niedrigere Herstellungskosten gegenüber der Silizium-Photovoltaik. Auf diesem Wege leistet die Nanotechnologie einen

⁸ Vgl. u.a. Juschkus, Ute: Zwerge auf dem Bau? – Nanotechnologie als Zukunftstechnologie in der Bauwirtschaft, ibi 1 (März) 2008, S. 17-18.

⁹ Die Nanokapseln in der galvanischen Schicht enthalten eine Flüssigkeit. Wird die Schicht zerkratzt, platzen die Kapseln auf, die Flüssigkeit tritt aus und repariert die Kratzer (Ein Projekt der Fraunhofer IPA mit der Universität Duisburg-Essen. Quelle: nanotimes 09-15, S. 26, (<http://www.nano-times.com>).

wichtigen Beitrag zum Schutz von Natur und Umwelt.

Wichtige technisch genutzte Nanopartikel sind Siliziumdioxid (SiO_2), Titandioxid (TiO_2), Silber (Ag), Zinkoxid, Carbon Black (Industrieruß), Kohlenstoff-Nanoröhrchen (CNT), Eisen und Eisenoxide sowie Ceroxid. In Produkten für die Bauwirtschaft finden vor allem die folgenden 4 Nanopartikel Anwendung. Deshalb sollen ihre Eigenschaften auch kurz beschrieben werden.¹⁰

Siliziumdioxid (SiO_2) sorgt als Nano- oder Mikropartikelzusatz

- für verbesserte Rieselfähigkeit, Sämigkeit und verringerte Haftfähigkeit in Lebensmitteln wie Salz, Käseprodukten und Ketchup (von der Lebensmittelindustrie teilweise bestritten),
- für geringere Abnutzung beim Waschen in Textilien,
- für erhöhte Stabilität und Altersbeständigkeit, Feuerfestigkeit sowie Isolation durch hohe Dichte und geringes Gewicht in Baumaterialien, Füllmaterialien und Verbundwerkstoffen im Fahrzeugbau,
- und Selbstreinigung sowie öl- und wasserabweisende Beschichtungen in Glasfenstern, Anti-Graffiti-Beschichtungen, wasserabweisende Versiegelungen, Reinigungsmittelzusätze und Imprägnierungen.

Titandioxid (TiO_2) wird in herkömmlicher Form als Weißpigment für Farben, Lacke, Textilien, Kunststoffe und Papier eingesetzt. Es dient ebenfalls als Nahrungsmittelzusatz sowie Zusatz in Medikamenten, Zahncremes und vielen anderen Alltagsprodukten (E 171). Als Nanomaterial findet es als durchsichtiger und effektiver UV-Filter in Sonnencremes und anderen Produkten, z.B. Textilfasern oder Holzschutzmitteln Verwendung. Durch seine Fähigkeit, Energie aus dem Sonnenlicht (UV-Licht) zu absorbieren (Photokatalysator), ist auch der Einsatz in Solarzellen oder als Minikatalysator zum Abbau von organischem Schmutz und als Bestandteil von selbstreinigenden Oberflächen möglich.

Silberionen (Ag^+) wirken antimikrobiell, töten also Mikroorganismen ab und hemmen daher auch Geruchsentwicklung. Diese Wirkung ist schon lange bekannt und wird z.B. bei Versorgung von Wunden mit Silbernitrat schon seit dem 18. Jahrhundert genutzt. Silber als Nanoteilchen, sogenanntes kolloidales Silber mit einer Partikelgröße von ca. 7-9 nm wurde erstmals 1889 erwähnt und ist in Wasserfiltern für die Trinkwasseraufbereitung oder bei Schwimmbädern schon jahrzehntelang im Einsatz. Weitere Einsatzmöglichkeiten werden im medizinischen Bereich zur Beschichtung von Oberflächen gegen Keime und in zahlreichen Alltagsprodukten wie Kleidung, Bettwaren, Kosmetika und Körperpflegeprodukten, Beschichtung von Lebensmittelbehältern und Küchengeräten sowie in Farben und Lacken und als Waschmittelzusatz gesehen.¹¹

Kohlenstoff-Nanoröhrchen (Carbon-Nanotubes - CNT) sind eine röhrenförmig aufgerollte Schicht von in Sechsecken angeordneten Kohlenstoffatomen mit wenigen Nanometern Durchmesser und bis zu einigen Millimetern Länge. Sie neigen allerdings dazu, sich aufgrund schwacher Anziehungskräfte zwischen Atomen und Molekülen zu größeren Bündeln zusammen zu lagern (Agglomeration) und verlieren dadurch leicht die typischen Eigenschaften von Nanopartikeln. Das erschwert die Entwicklung und Herstellung von innovativen Materialien mit CNT, verhindert aber auch den dauerhaften Austrag in die natürliche Umwelt. Kohlenstoffnanoröhrchen haben eine sehr hohe Zugfestigkeit, ca. 50mal so groß wie die von Stahl. Sie sind je nach Art der Herstellung isolierend, halbleitend oder elektrisch leitfähig und haben eine sehr hohe Wärmeleitfähigkeit. Der Einsatz erfolgt beispielsweise in Transistoren (zukünftig), zur Verbesserung von Kunststoffen oder für die Messtechnik. Künftig sollen CNT's auch für die Herstellung innovativer Betone eingesetzt werden.¹²

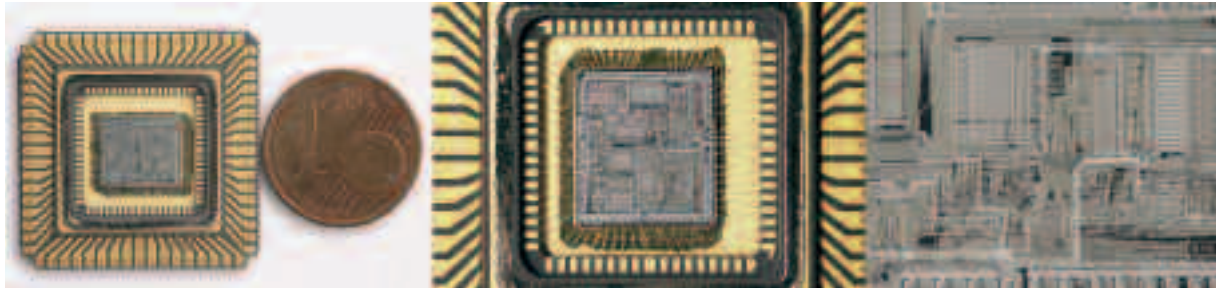
Darüber hinaus werden auch andere Kohlenstoffmoleküle intensiv beforscht und teilweise schon angewandt. Genannt werden sollen hier die Fullere,¹³ Kohlenstoff-Nanofasern (carbon nano-fibers CNF's) und Graphen. Graphene sind

¹⁰ Vgl. im Folgenden auch www.nanopartikel.info.

¹¹ Vgl. u.a.: 120 Years of nanosilver, History: Implications for Policy Makers, Bernd Nowack, Harald Krug, Murray Height, in: Environ Sci Technol, 2011, DOI: 10.1021/es103316q, Download: <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es103316q>.

¹² 2009 nahm Bayer die industrielle Produktion von CNT's nach einem neuen kostengünstigen Verfahren auf. Geplant ist der Ausbau der Kapazitäten von damals 6 t/a auf bis zu 3.000 t/a. (vgl. CHEManager 3/2009, S.22.).

¹³ Fullere sind fast kugelförmige Moleküle, die nur aus Kohlenstoff bestehen. Sie sind neben Diamant und Graphit eine der Modifikationen des Kohlenstoffs. Es gibt Fullere mit den Formeln C_{60} , C_{70} , C_{76} , C_{78} und C_{84} , sowie einige andere.



Mikroprozessor, Größenvergleich und Nahaufnahme

zweidimensionale (flache) Kohlenstoffmoleküle. Die erste kommerzielle Anwendung wurde gerade vom Hersteller bekannt gegeben.¹⁴ Es handelt sich um graphenbasierte Superkondensatoren, die sich durch eine ultrahohe Energiedichte auszeichnen, das bedeutet, dass sie besonders viel elektrische Energie speichern können, und sie können wesentlich schneller be- und entladen werden als konventionelle Batterien.

Über einige ganz aktuelle und spannende Forschungsergebnisse bzw. Technologieentwicklungen aus der Nanotechnologie soll an dieser Stelle noch kurz berichtet werden:

- Die McGill Universität Kanada arbeitet an einem billigen transportablen papierbasierten Filter, der mit Silber-Nanopartikeln beschichtet ist und im Falle von Naturkatastrophen, z.B. Überschwemmungen, zur Verhinderung von Epidemien durch Reinigung von Trinkwasser eingesetzt werden kann.¹⁵
- Wissenschaftler des Berkely Lab in den USA haben ein neues Kompositmaterial zur Wasserstoffspeicherung erfunden. Dieses besteht aus einer Polymethylmethacrylat-Matrix¹⁶, in welcher Magnesium-Nanopartikel eingebettet sind. Die Vorteile dieses ungewöhnlichen Nanokomposits: Das normalerweise leichtentzündliche Magnesium ist an der Luft stabil und man erhält einen sehr schnellen Wasserstoffspeicher mit hoher Speicherkapazität, der ohne den Einsatz von Schwermetallkatalysatoren auskommt.¹⁷
- Prof. Jason Reese von der Universität Strathclyde in Großbritannien schlägt vor, bei der Meerwasserentsalzungs Membranen aus Kohlenstoff-Nanoröhrchen einzusetzen. Dieses

Verfahren erlaubt voraussichtlich einen 20-fach besseren Wassertransport als die modernen Umkehrosmose-Techniken, ist energiesparend und hocheffizient. Das zeigt zumindest das Computermodell.¹⁸

- Im Rahmen des internationalen Großprojektes AtMol (Atomic Scale and Single Molecule Logic Gate Technologies) arbeiten die Forscher an einem Verfahren zur Herstellung eines kompletten Mikrochips, dessen Herzstück ein einzelnes Molekül ist. „Die Idee des Projektes ist, die quantenmechanischen Eigenschaften der Materialien zu nutzen“, erklärte Francesca Morosco vom Institut für Werkstoffwissenschaft der Technischen Universität Dresden im Interview mit presstext. Mithilfe eines Tieftemperatur-Rastertunnelmikroskops werden die Wissenschaftler atomare Drähte, die weniger als einen Milliardstel Meter breit sind, Atom für Atom aufbauen und mit einzelnen Molekülen verbinden. Eintausend solcher molekularer Chips passen auf die Fläche eines heute üblichen Mikrochips.¹⁹

Auch für den Einsatz von Nanopartikeln in Baumaterialien und auf Oberflächen gibt es vielfältige Möglichkeiten. Ziel ist es grundsätzlich, verbesserte Materialeigenschaften und zusätzliche Funktionalitäten zu erzeugen. Die untenstehende Abbildung zeigt einige Beispiele für Anwendungsmöglichkeiten der Nanotechnologie in der Bauwirtschaft und erklärt schematisch die Wirkung der Nanopartikel oder nanoskaligen Strukturen. Viele spannende Forschungs- und Anwendungsbeispiele werden in den folgenden Abschnitten (Teil 2) dieser Broschüre ausführlicher dargestellt.

¹⁴ Vgl. Meldung der Angstrom Materials Inc., in: nanotimes 11-05, Mai/ Juni 2011 (<http://www.nano-times.com>).

¹⁵ Vgl. nanotimes 11-02/04, Febr./ März 2011 (www.nanotimes.com).

¹⁶ Polymethylmethacrylat ist ein glasähnliches Polymer, auch bekannt unter dem Namen Plexiglas.

¹⁷ Vgl. nanotimes 11-02/04, Febr./ März 2011 (www.nanotimes.com).

¹⁸ Vgl. www.presstext.com/print/20110603003 vom 06.06.2011.

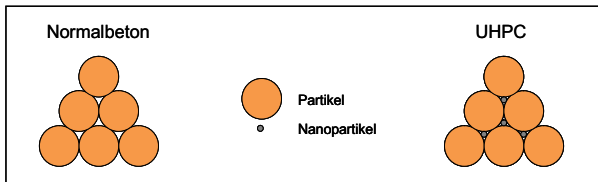
¹⁹ Vgl. www.presstext.com/print/20110603011 vom 06.06.2011.

Nanotechnik

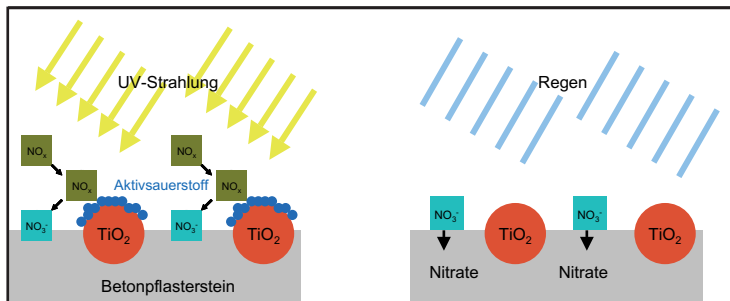
umfasst Herstellung und Erforschung der Eigenschaften von winzigen Partikeln und Strukturen um die 100 nm ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$) sowie die Untersuchung des Einflusses von Nanopartikeln und -strukturen auf die Eigenschaften makroskopischer Systeme (z.B. Baustoffe.)

Technische Anwendungen in der Bauwirtschaft

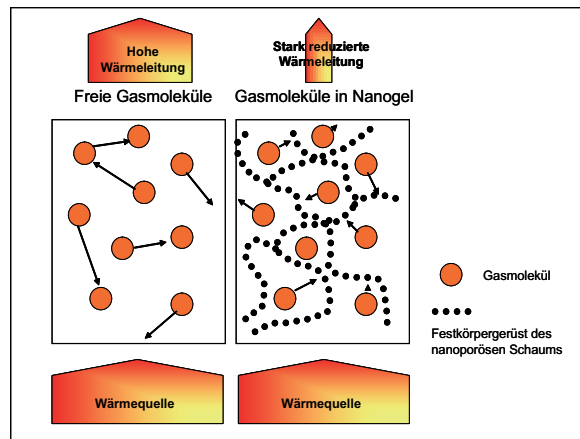
Ultrahochleistungsbeton (UHPC)



Luftreinigende Pflastersteine (Grundlage: Photokatalyse)



Vakuumisulationspaneelen (VIP)



UHPC

Gebaute Beispiele

VIP

Nanotechnik – Hightech in der Bauwirtschaft

Bionik – Lernen von der Natur

Die Ursprünge der Bionik als Querschnittstechnologie zwischen Biologie und Technik liegen schon im 16. Jahrhundert. Leonardo da Vinci hatte den Flügelschlag der Vögel untersucht und danach – mit den Mitteln seiner Zeit – Schlagflügel vorgeschlagen. Flugpionier Otto Lilienthal wählte Storchflügel zum Vorbild eines Gleitflugzeugs. Die Kuppel des Londoner Kristallpalastes wurde 1850 nach dem Prinzip der Riesenseerose konstruiert. Ein weiteres historisches Beispiel ist der Eiffelturm in Paris. Aus der fachlichen Beurteilung des 19. Jahrhunderts heraus galt dieser Turm als ein statisches Wunder. Heute weiß man, dass die Konstruktion bionischen Prinzipien folgt.



Der Eiffelturm in Paris

Unter Bionik, einem Kunstwort, dass 1960 erstmalig geprägt wurde, versteht man heute die technische Umsetzung und Anwendung von Konstruktions-, Verfahrens- und Entwicklungsprinzipien biologischer Systeme,²⁰ kurz: „Lernen von der Natur für

die Technik“. Hierbei ist es wichtig, dass der Ingenieur die Natur nicht einfach nur kopiert. Die wissenschaftliche Grundlage für Bionik, die Technische Biologie untersucht biologische Systeme mit den Mitteln der technischen Wissenschaften. Die Bionik überführt diese Erkenntnisse in technische Anwendungen.²¹

Die Natur hat in den Jahrmillionen der Evolution unzählige Konstruktionen und Verfahren optimiert. Die heute existierenden Arten sind an ihre Lebensräume und Lebensweise gut angepasst. Knappe Güter (z.B. Wasser in der Wüste) werden mit höchster Effizienz genutzt. Aus diesem Grunde scheint es schlau, einerseits Konstruktionen und Verfahren, die in der Natur existieren, auch für eine technische Nutzung in Erwägung zu ziehen und andererseits die Innovationsstrategie der Natur für entsprechende Anwendungsmöglichkeiten zu nutzen.



Anmutiger Leichtbau – Glasflügelfalter, auch Waldgeist genannt

Evolution á la Darwin in der Technik hat sich als hervorragende Grundlage für die Entwicklung von Optimierungsverfahren herausgestellt. Evolutionsstrategien werden zunehmend von Ingenieuren und Informatikern als universelles Entwicklungswerkzeug eingesetzt. Digitales Planen und Entwerfen, die Formoptimierung technischer Bauteile, das Projektieren elektronischer Schaltungen und sogar Managementaufgaben, wie die Optimierung von Produktionsprozessen oder der Unternehmensorganisation können mit Evolutionsstrategien gelöst werden.

²⁰ Definition nach Prof. W. Nachtigall.

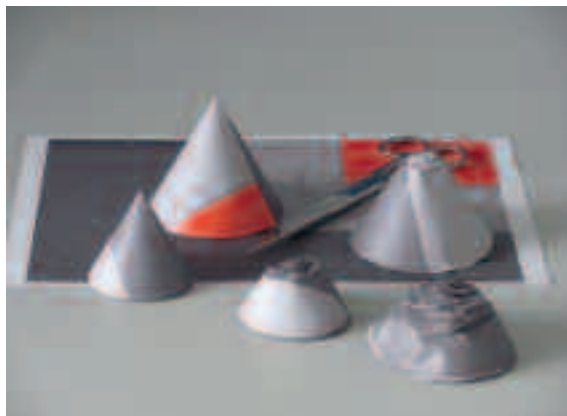
²¹ Vgl. u.a. Ute Juschkus: Bionikanwendungen in der Bauwirtschaft, ibz 2 (Juni) 2010, S. 17.

Die Evolution beginnt ihre Optimierungsprozesse grundsätzlich nicht bei Null, sondern sie entwickelt das Gute weiter. Durch Mutationen gehen in der Natur sogar meist mehrere Varianten zur Lösung eines Problems an den Start. Der große Vorteil von Evolutionsstrategien ist es, dass auch sehr komplexe Probleme gut bearbeitet werden können und der Ingenieur dabei vielleicht nicht die bestmögliche, aber bestimmt eine wesentlich bessere Lösung als die Ausgangsvariante finden kann. Je komplexer ein System ist, desto unwirtschaftlicher ist oft die konventionelle technische Lösung. Ihre Optimierung ist eindeutig ein Fall für Evolutionsstrategien. Mit den heute verfügbaren Computern kann man solche Aufgaben auch etwas schneller lösen, als die Natur es uns in der Vergangenheit vorgemacht hat.²²

Konstruktionen in der Natur sind im höchsten Maße effizient. Sie erfüllen mit minimalem Einsatz von Material den gewünschten Zweck, z.B. Stabilität und Standfestigkeit. Ein gutes Beispiel ist das Wachstum von Knochen. Sie beherrschen die Gesetze der Biomechanik hervorragend. Knochenmaterial wird nur dort angelagert, wo es benötigt wird und sogar dort abgebaut, wo es nicht notwendig ist. Aus diesem Grunde können auch nach einem Bruch falsch zusammengewachsene Knochen ganz von allein zu einer optimalen Form finden. Ähnlich „arbeiten“ Bäume beim Wachsen. „Schieflagen“ werden durch zusätzliches Holzwachstum an der richtigen Stelle geschickt ausgeglichen. Nadelbäume bilden hierzu auf der Stammunterseite sogenanntes Druckholz und schieben sich hoch, Laubbäume verwenden die alternative Strategie, nämlich Zugholz auf der Stammoberseite wachsen zu lassen, welches sich wie ein Gummiband zusammenzieht und damit auch den Baum wieder aufrichtet.²³

Falten, Waben, Spiralen u.ä. sind ebenfalls Tricks der Natur, die auf technische Konstruktionen übertragen werden können. Faltstrukturen erfüllen in der Natur die unterschiedlichsten Aufgaben. Meist helfen sie Platz sparen. Manchmal sollen sie aber auch Platz schaffen, etwa für Wachstum oder Bewegung. Sie können darüber hinaus auch schützen oder festigen. Unter Nutzung des Prinzips der Selbstorganisation aus der Natur, z.B. durch sogenanntes Wölbstrukturieren, läuft der Verformungsprozess viel einfacher und material-

schonender ab, als mit technischen Biegewerkzeugen. Nahezu berührungsfrei entstehen mehrdimensionale, z.B. wabenförmige Wölbstrukturen (vgl. auch Teil 2 dieser Broschüre), die dem Werkstoff eine beträchtliche, nach allen Seiten wirkende Festigkeitssteigerung verleihen. Der Prozess lässt sich für eine Vielzahl von Materialien wie Metalle, Pappe, Papier oder Kunststoffe einsetzen. Neben Gewicht wird auf diese Weise auch Material und Energie eingespart.



Faltkegel basteln und Selbstorganisation im Experiment erkunden. Der Kreis wird aus- und bis zur Mitte eingeschnitten, daraus ein Hütchen kleben und mit einem flachen schweren Gegenstand plattdrücken. Es bilden sich immer die gleichen Faltenformen heraus. Die gefalteten Kegel sind sehr stabil.

Das gilt auch für Leichtbaukonstruktionen die mit Hilfe von Seifenhautmodellen entwickelt wurden. In der Ausstellung „Nanotechnik und Bionik – Neues Bauen zum Begreifen“ konnten die Besucher im Experiment ausprobieren, wie sich über ein Metallgestell immer die gleichen Minimalflä-

²² Vgl. u.a. Bionik: Natur als Vorbild, Umweltstiftung WWF Deutschland (Hrsg.), München 1993.

²³ Vgl. u.a. Claus Mattheck in: Stupsi erklärt den Baum, 3. erweiterte Auflage, Karlsruhe 1999, S. 9 - 10.



Bionik im Experiment – die Besucher der Ausstellung „Nanotechnik und Bionik – Neues Bauen zum Begreifen“ können Seifenhautmodelle selbst erzeugen.

chen aus Seifenhaut schmiegen. Diese Methode der Formfindung ist u.a. auch für Architekten von Interesse, denn die sich bildenden Hüllen sind nicht nur materialeffizient sondern auch optisch ansprechend. Viele zeltartige Gebäude basieren auf einer Formensprache, die mit Seifenhautmodellen gefunden werden kann.

Einige wichtige Anwendungsgebiete für den bionischen Ansatz seien hier noch kurz angerissen. Viele Bioniker befassen sich mit Fortbewegung. Gehen, Laufen, Springen, Schwimmen und vor allem auch das Fliegen werden gründlich untersucht, um Anregungen für technische Lösungen zu suchen. Auch ist die Natur ein meisterhafter Werkzeugmacher. Sowohl die Form als auch die Funktionsweise und die Materialeigenschaften von tierischen und pflanzlichen „Werkzeugen“, Zähnen, Krallen, Rüssel u.v.a.m. sind hervorragend für die jeweilige Anwendung optimiert. Oft sind sie selbst schärfend oder nachwachsend und damit ein Leben lang funktionstüchtig. Darüber hinaus hat die Natur z.B. mit der Photosynthese, der Osmose, dem Schwitzen und anderen Methoden zum Schutz vor Wärme oder Kälte, zur Energieerzeugung, zur Stofftrennung oder z.B. zur Orientierung zahlreiche Verfahren hervorgebracht, die auch in unserer heutigen Hightech-Welt noch immer sehr innovativ erscheinen.

Viele aktuelle Beispiele aus der Bionik-Forschung kann der interessierte Leser auf den Seiten von BIOKON, dem Bionik Kompetenznetz kennen lernen.²⁴ So meldeten die Forscher der schwedischen Lund University im Juni 2011, dass das Orientierungssystem von Delfinen durch Ultraschallsignale noch viel raffinierter funktioniert, als bisher bekannt. Die Tiere senden zwei gleichzeitige Ultra-

schallsignale aus um einen dreidimensionalen Höreindruck zu erhalten. Die beiden Sonarstrahlen haben unterschiedliche Frequenzen und können in verschiedene Richtungen ausgesandt werden. Dadurch können die Tiere Objekte sehr fein lokalisieren.

Forscher der Universitäten Bonn, Karlsruhe und Rostock haben den Trick entschlüsselt, wie sich Schwimmfarne unter Wasser in ein hauchdünnes Kleid aus Luft hüllen und dies monatelang festhalten können: Auf der Oberfläche sitzen winzig kleine schneebesenartige Härchen. Sie sind hydrophob (wasserabweisend) und halten das Wasser in der Umgebung auf Distanz. Das Neue: „Die äußersten Spitzen dieser Schneebesen sind hydrophil, also wasserliebend“, erklärte Prof. Wilhelm Barthlott von der Universität Bonn gegenüber BIOKON. Einige Möglichkeiten, biologische Oberflächeneffekte auch für die Bauwirtschaft zeigte er auch in seinem Vortrag im Fachforum „Innovative Oberflächen“ auf der BAU 2011 (vgl. Teil 2 dieser Broschüre).

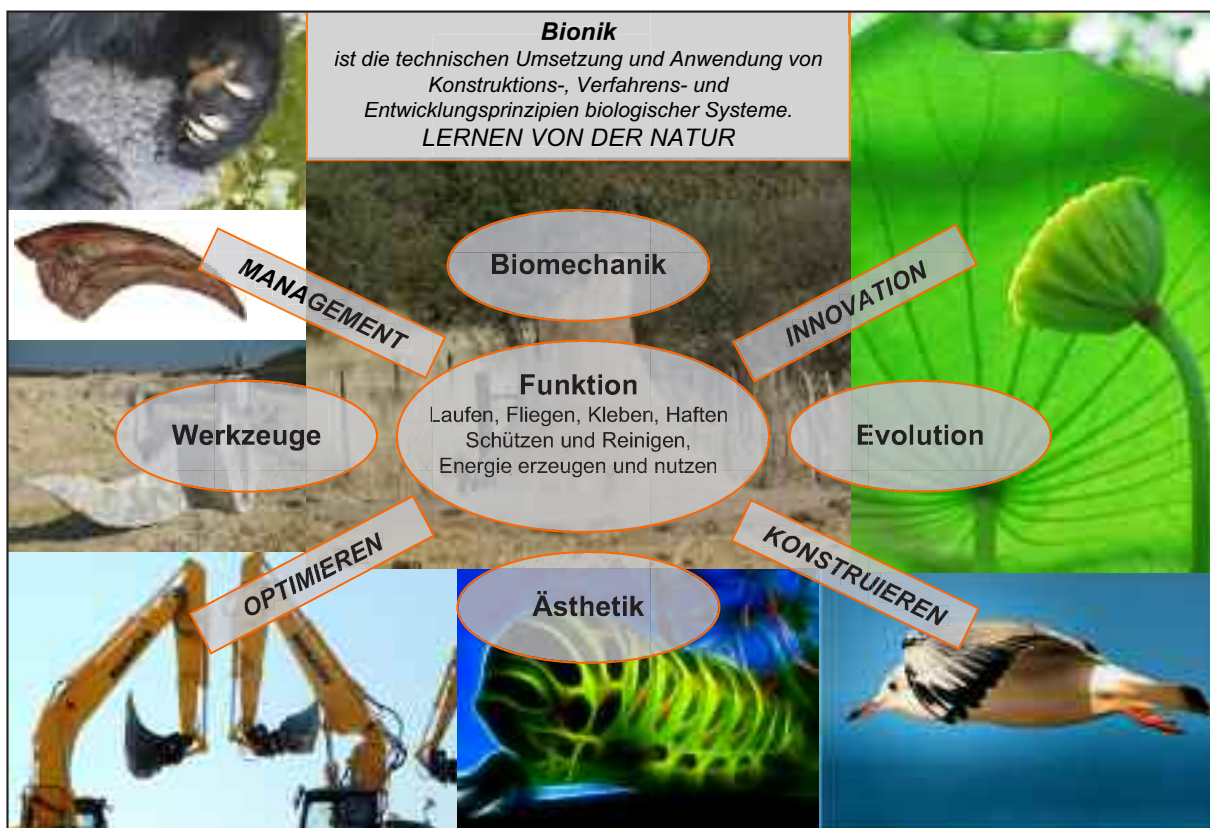
Das letzte Beispiel ist nicht nur technisch interessant. „Das Ameisen-Floß“ bietet darüber hinaus auch die Möglichkeit, über den Nutzen von Kooperationen, gerade in Krisenzeiten nachzudenken: Feuerameisen haben eine ungewöhnliche Strategie entwickelt, um trotz ihrer eher mäßigen Schwimmkünste die regelmäßigen Überschwemmungen in ihrer Heimat unbeschadet zu überstehen. Sie bilden ein lebendes Floß aus Tausenden einzelner Tiere, das monatelang auf dem Wasser herumdümpeln kann. Die Tiere verhaken sich mit ihren Kiefern und Füßen ineinander und bilden so eine Art wasserabweisendes Gewebe, in das zusätzlich Luftblasen eingeschlossen sind, um den

²⁴ Für die folgenden drei Beispiele vgl. www.biokon.net/news/forschungsnews.shtml (Download: 24.06.2011).

Auftrieb zu erhöhen. So schaffen es die winzigen Insekten, weder unterzugehen noch zu ertrinken, das haben US-Forscher herausgefunden.

Im Bereich Bionik gibt es ebenfalls zahlreiche Innovationen, die für die Bauwirtschaft von hohem Interesse sein können. Schon immer haben Bauleute, bewusst oder unbewusst von der Natur gelernt. Das Wachstum der Bäume und die Bauwerke von Tieren (Netze, Nester, Termitenbau usw.) sind ein Quell guter Ideen. Von leichten materialsparenden Konstruktionen über die natürliche Klimatisierung von Gebäuden bis hin zu innovativen Gebäude- und Stadtkonzepten lernen heute Bau-

ingenieure, Architekten und auch Stadtplaner von der Natur. Zur Entwicklung von Baustoffen und Baumaterialien finden sich ebenfalls viele gute Beispiele in der Pflanzen- und Tierwelt. Allein mit der Manipulation von Oberflächen nach den Vorbildern von Lotusblättern oder Haifischhaut lassen sich die Funktion und Pflege von Möbeloberflächen, Fassadenverglasung oder auch Abwasserrohren wesentlich verbessern. Und gute Ideen zur Optimierung von Werkzeugen für Baumaschinen sucht der findige Ingenieur ebenfalls in der Natur. (Ein Beispiel finden Sie ebenfalls in Teil 2 dieser Broschüre.)



Bionik – Hightech in der Bauwirtschaft

Teil 2

Nanotechnik und Bionik – Anwendungen in der Bauwirtschaft

Nanooptimierte Hochleistungsbetone

Kassel, 4. März 2008: Auf dem Campus der Universität wird es international. Über 250 Fachleute aus mehr als 20 Ländern, nicht nur aus Deutschland und Europa, sondern u.a. auch aus den USA, Japan, Korea, Australien und dem Iran treffen allmählich ein, um in den folgenden drei Tagen am 2. Internationalen UHPC - Symposium teilzunehmen. Doch zunächst wird rege die Möglichkeit ge-

nutzt, die Gärtnerplatzbrücke über die Fulda zu besichtigen.²⁵

Was macht diese auf den ersten Blick nicht besonders bemerkenswert scheinende Fußgängerbrücke zur wissenschaftlichen Attraktion? Die Gärtnerplatzbrücke ist die erste größere Brücke in Deutschland, für deren vorgefertigte Betonbauteile ultrahochfester Beton (UHPC) verwendet wurde. Die nur 8-12 cm dicken Fahrbahnplatten und die filigranen Obergurte aus vorgespanntem faserhaltigen UHPC wurden bei der Firma ELO-



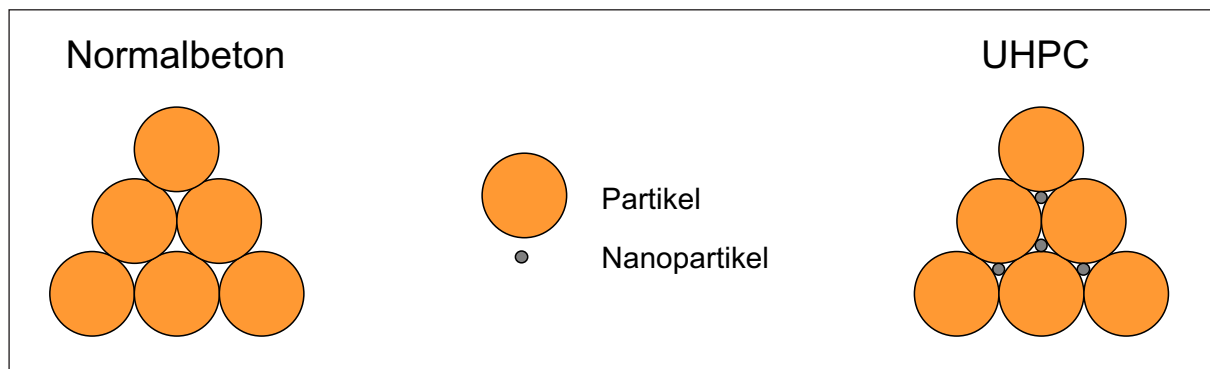
Teilnehmer des UHPC – Symposiums 2008 besichtigen die Gärtnerplatzbrücke über die Fulda

²⁵ Vgl. im Folgenden u.a. Juschkus, Ute: „Zwerge im Beton“ – Nanotechnologie und Ultra High Performance Concrete (UHPC) ibr 2 (Juni) 2008, S. 18-20.

Beton in Eichenzell gefertigt. Die Obergurte im Mittelelement der Brücke wurden während der Montage nachträglich gebogen und so der Form des darunterliegenden Stahlrohrfachwerkelements angepasst. Die UHPC-Bauteile wurden ausschließlich durch Kleben mit Sikadur-30, einem lösungsmittelfreien, thixotropen, zweikomponentigen Epoxidharzmörtel zusammengefügt.

Der verwendete Beton wurde zuvor bereits an fünf kleineren, im Fertigteilwerk vorgefertigten Brücken mit einer Spannweite von bis zu 18 m getestet. Aber mit einer Spannweite von 133 m und dem innovativen Klebverfahren ist die Brücke über die Fulda etwas ganz Besonderes.²⁶ Schon deshalb war und ist Kassel für viele Bauingenieure und Baustoffchemiker, Vertreter von Uni-

Wenn gleichgroße runde Teilchen oder Partikel möglichst platzsparend „gestapelt“ werden sollen, entsteht die sogenannte dichteste Kugelpackung (orange Partikel in der Abbildung). Zwischen den Partikeln bleiben jedoch Lücken, in denen sich die Teilchen nicht berühren und beim Erhärten des Zements auch nicht miteinander reagieren. Je größer die Lücken zwischen den Partikeln sind, desto poröser ist am Ende der Beton. Porosität aber bedeutet geringere Druckfestigkeit und größere Angriffsflächen für betonschädigende Substanzen. Füllt man die Poren mit kleineren Partikeln, so erhöht sich die Oberfläche der miteinander reagierenden Teilchen. Dieses Prinzip wurde auch in der Ausstellung „Nanotechnik und Bionik – Neues Bauen zum Begreifen mit einem Modell (vgl. folgende Abbildung) veranschaulicht.



Prinzip des UHPC

versitäten, Forschungsinstituten sowie Baustoffherstellern eine Reise wert.²⁷ Darüber hinaus war das Internationale UHPC-Symposium in Kassel international die bis dahin einzige Plattform für den wissenschaftlichen Erfahrungsaustausch über ultrahochfesten Beton. Wie kam es dazu?

1998 griffen Prof. Dr.-Ing. Michael Schmidt und Prof. Dr.-Ing. Ekkehard Fehling eine schon lange diskutierte Idee²⁸ auf: Durch Zusatz feinsten Partikel mit Korngrößen im Nanometerbereich sollte man die „letzten Löcher“ im Betongefüge „stopfen“ können. Das Ergebnis wäre ein Beton mit einer Druckfestigkeit, die alle bisher bekannten Werte²⁹ weit übersteigt. Die Grundidee veranschaulicht die obenstehende Abbildung.

Durch den Zusatz von SiO_2 -Nanopartikeln entstehen beim Aushärten der Betonmischung weniger Poren, der Beton wird dichter und härter. Ein Problem ist allerdings, dass mit dem Zusatz von Nanopartikeln auch weniger Platz für Wassermoleküle in der Betonmischung bleibt. Weniger Wasser bedeutet wiederum schlechtere Verarbeitbarkeit. Dem soll durch den Zusatz von neuartigen Fließmitteln in Form von Polymeren auf der Basis von Polycarboxylaten entgegengewirkt werden. Darüber hinaus wird durch den Zusatz von Stahlfasern die Zugfestigkeit von UHPC verbessert. UHPC hat teilweise Eigenschaften wie Stahl, aber er rostet nicht.

²⁶ Das längste Einzelsegment ist 36 m lang. (Anmerkung von Dr.-Ing. Thomas Teichmann, Fa. g.tecz, Kassel)

²⁷ Vgl. u.a. M. Schmidt, R. Krelaus: Kleben von UHPC-Bauteilen bei der Gärtnerplatzbrücke in Kassel, in: BFT 10/2007.

²⁸ Die Entwicklung reicht bis in das 19. Jahrhundert (siehe Fuller und Andreassen) zurück. In den 1980er Jahren hat sich das Team um Prof. Richards sehr intensiv damit beschäftigt und den sogenannten RPC etabliert. Im Jahr 1998 wurde eine Diplomarbeit unter der Leitung von Prof. Fehling und Dr. Middendorf (nunmehr Prof. in Dortmund) zu diesem Thema verfasst, die wiederum zu einem Forschungsthema, gefördert durch die DFG führte. (Anmerkung von Dr.-Ing. Thomas Teichmann, Fa. g.tecz, Kassel).

²⁹ Normalbeton: Druckfestigkeit 10 – 60 N/mm².



Prinzip des UHPC im Modell: Beide Zylinder enthalten die gleiche Menge Normalbeton-Mischung (große weiße Kugeln) und die gleiche Menge Wasser (unten). Im rechten Zylinder befinden sich zwischen den Partikeln der Normalbetonmischung noch Nanopartikel (SiO_2). Dreht man die Zylinder um 180° so verteilt sich im linken Zylinder das Wasser vollständig zwischen den Feststoffpartikeln. Im rechten Zylinder ist der Wasserspiegel ca. 2 cm höher. Dieses Volumen entspricht dem Volumen der von den Nanopartikeln ausgefüllten Hohlräume in der UHPC-Mischung.

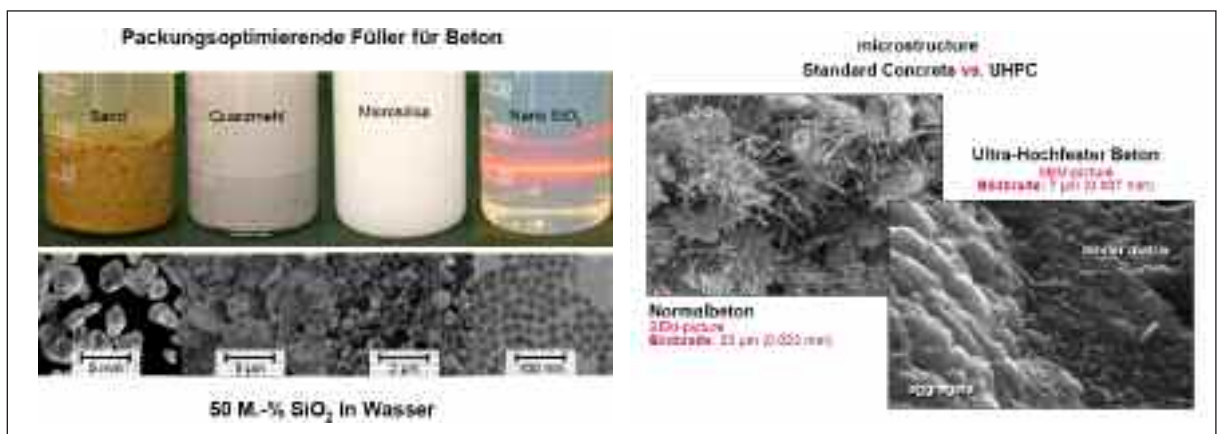
Die Optimierung der Korngrößenverteilung zur Verbesserung der Materialeigenschaften ist für Zement und Beton nicht die neueste Idee. Betonzuschläge werden schon lange in Bezug auf die Korngrößenverteilung optimiert. Ebenso untersuchte man in der Vergangenheit die Größe der Zementpartikel bis in den Mikrometerbereich und vermutete auch kleinere Partikel im Zement bzw. in Betonzusatzstoffen wie Silica-Fume, Flugaschen und Puzzolanen, mit denen man die Festigkeit, Wasserundurchlässigkeit und Dauerhaftigkeit von Beton verbessern kann.

Aber erst mit der Entwicklung der Nanotechnologie entstanden analytische Verfahren zur Bestimmung von Partikelgrößen im Nanometerbereich und zur Untersuchung von Nanostrukturen. Inzwischen ist man in der Lage, die Wirkzusammenhänge zwischen der Zusammensetzung einer Betonmischung und dem Mikrogefüge des Betons genau zu verfolgen.

Der erste Schritt auf diesem Weg in Kassel war im Rahmen eines ersten DFG - Projektes die Entwicklung und Erprobung der sogenannten Kasseler Mischung von 2000 bis 2004. Dieser auch für die Gärtnerplatzbrücke verwendete Beton besteht aus folgenden Bestandteilen (vgl. Tabelle und Abbildung auf S.24).

Seit 2005 gibt es ein DFG – Schwerpunktprogramm „Nachhaltiges Bauen mit ultrahochfestem Beton“ in dem in der ersten Förderperiode bis Oktober 2007 21 Forschungsthemen und in der jetzigen 2. Förderperiode weitere 22 Projekte an verschiedenen deutschen Universitäten, Hochschulen und Forschungsinstituten gefördert werden. Ziel dieser Forschung ist es, die Materialeigenschaften des Baustoffs UHPC gründlich zu erforschen und der Fachöffentlichkeit zur Verfügung zu stellen. Darüber hinaus fördert das Bundesministerium für Bildung und Forschung mehrere Projekte im Rahmen von WING (vgl. auch Teil 3 dieser Broschüre).

Eine Innovation wird sich jedoch nur dann durchsetzen, wenn dafür ein (zahlungskräftiger und zahlungswilliger) Bedarf entsteht. Es müssen Anwendungsmöglichkeiten gefunden und Pilotprojekte errichtet werden. Für einen innovativen Baustoff wie UHPC benötigt man hierzu Bauprojekte mit einem innovationsfreudigen Bauherren, der die notwendige wissenschaftliche Begleitung und Ma-



SiO_2 in unterschiedlichen Partikelgrößen und die Unterschiede im Mikrogefüge von Normalbeton und UHPC

UHPC	Menge	Eigenschaften des UHPC
Zement	733 kg/m ³	Wasser-Zement-Verhältnis (w/z) 0,24 Wasser-Feststoff-Verhältnis (w/f) 0,19 Druckfestigkeit mit 1 Vol.-% Stahlfasern 179 N/mm ² Biegezugfestigkeit 19,6 N/mm ²
Basaltsand 0/2,5 mm	1.091 kg/m ³	
Silikastaub	230 kg/m ³	
Stahlfasern (0,99 Vol.-%)	78 kg/m ³	
Quarzmehl	183 kg/m ³	
Fließmittel	28,6 kg/m ³	
Wasser	161 l/m ³	

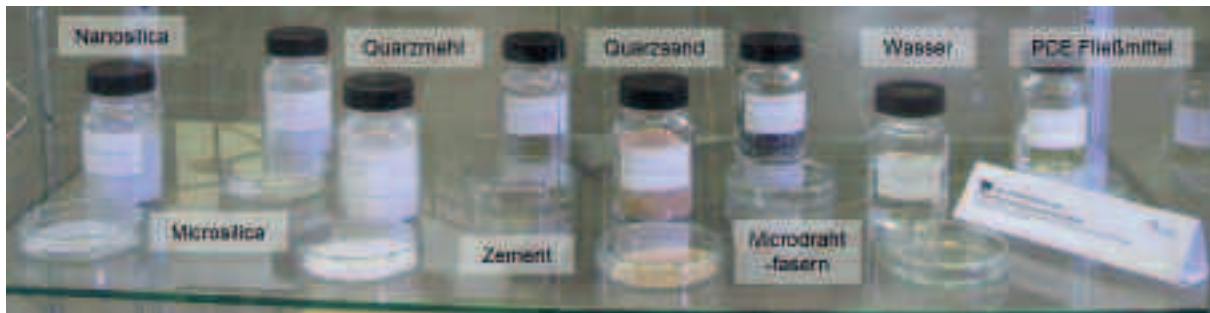
Zusammensetzung und Eigenschaften des Kasseler UHPC

[vgl. u.a. M. Schmidt, R. Krelaus: Kleben von UHPC-Bauteilen bei der Gärtnerplatzbrücke in Kassel, in: BFT 10/2007]

terialtests toleriert und darüber hinaus auch eine Baubehörde, die neuen Technologien aufgeschlossen gegenüber steht und die notwendigen Genehmigungen im Einzelfall mutig erteilt. Wie steht es also um die Anwendung von UHPC in der Praxis?

die Gesamt-CO₂-Bilanz des Bauprojektes verbessert.

Seit 2007 wird auch eine zweite Idee aus Kassel erfolgreich in der Praxis umgesetzt. Die Inhaber



Bestandteile des UHPC, Leihgabe des TECHNOSEUM Mannheim für die Ausstellung „Nanotechnik und Bionik – Neues Bauen zum Begreifen“

Weltweit wurden seit 1999 eine ganze Reihe von Brückenbauwerken mit verschiedenen UHPC-Mischungen³⁰ errichtet. Durch die hohe Festigkeit und Dichte von UHPC kann man hier besonders leichte und filigrane Konstruktionen umsetzen und benötigt im Allgemeinen weniger Beton. Kleinere Brücken aus und Brückensanierungen mit UHPC sind oft sogar preiswerter als konventionelle Brückenbauwerke, da bspw. alte weniger tragfähige Fundamente wiederverwendet werden können. Darüber hinaus trägt die Einsparung von Beton zum Klimaschutz bei, denn es wird auch

der Kasseler Firma g.tecz (German Technologies and Engineering Concept) Dr. Thomas Teichmann und Dr. Gregor Zimmermann entwickeln zusammen mit ihrem Team für Kunden individuelle UHPC Rezepturen auf Basis lokal vorhandener Rohstoffe und spezifisch für die Produktionsanlagen des Auftraggebers. Die Ingenieure von g.tecz beraten und begleiten ihre Kunden ganzheitlich bei der Entwicklung von Materialien und Produkten aus nanooptimierten, zementbasierten Rohstoffen, bis hin zur Beratung zum effizienten und materialgerechten Materialeinsatz, beglei-

³⁰ In den USA, Australien und Asien vorwiegend unter Verwendung von Ductal® der Firma Lafarge, welche seit 1999 mit UHPC am Markt bzw. in Pilotprojekten aktiv ist. Die Zusammensetzung von Ductal® ist patentiert. In Deutschland kann man neben der Kasseler Mischung mit Nanodur® der Fa. Dyckerhoff den ersten kommerziellen UHPC-Zement erwerben.

tende Produktionsanalysen oder gar der Planung einer Produktionsanlage auf der grünen Wiese.

Die vielfältigen Möglichkeiten, die sich aus der Grundidee Ultra-Hochleistungsbeton ergeben, stellte Dr. Gregor Zimmermann im Fachforum „Form und Festigkeit“ im Rahmen der Veranstaltung „Nanotechnik und Bionik – Hightech in der Bauwirtschaft“ in seinem Vortrag vor. Gezeigt wurden filigrane Bauteile und Bauwerke z.B. für Fassaden und andere Design-Objekte, die aus dem Material Quantz®, dem zementgebundenen High-Tech Werkstoff von g.tecz, hergestellt sind. Hierzu wurde das Material mit zusätzlichen mechanischen und bauphysikalischen Funktionen ausgestattet, um dessen besondere Leistungsfähigkeit zu nutzen.³¹ Ebenso zeigte Dr. Zimmermann die neuesten UHPC Entwicklungen seines Kollegen Dr. Teichmann, ein Material mit der Bezeichnung C500 mit 500 N/mm² Druckfestigkeit. Dieser zementbasierte Werkstoff wird von Industriepartnern im Bereich des Maschinenbaus eingesetzt. An diesem Beispiel ist ersichtlich, dass der Hightech-

Werkstoff von g.tecz auch in anderen Industriezweigen Einzug hält und dort altbekannte Materialien ablösen kann, da er mechanische Vorteile mit sich bringt aber auch erheblich kostengünstiger ist.

Prof. Michael Schmidt von der Universität Kassel sprach in seinem Vortrag auf dem Kongress „Nanotechnik und Bionik – Hightech in der Bauwirtschaft“ deshalb auch von multifunktionalen „smart materials“ durch welche das Bauen und die Bauwerke nachhaltiger werden.³²

Nur einige Möglichkeiten seien hier genannt:

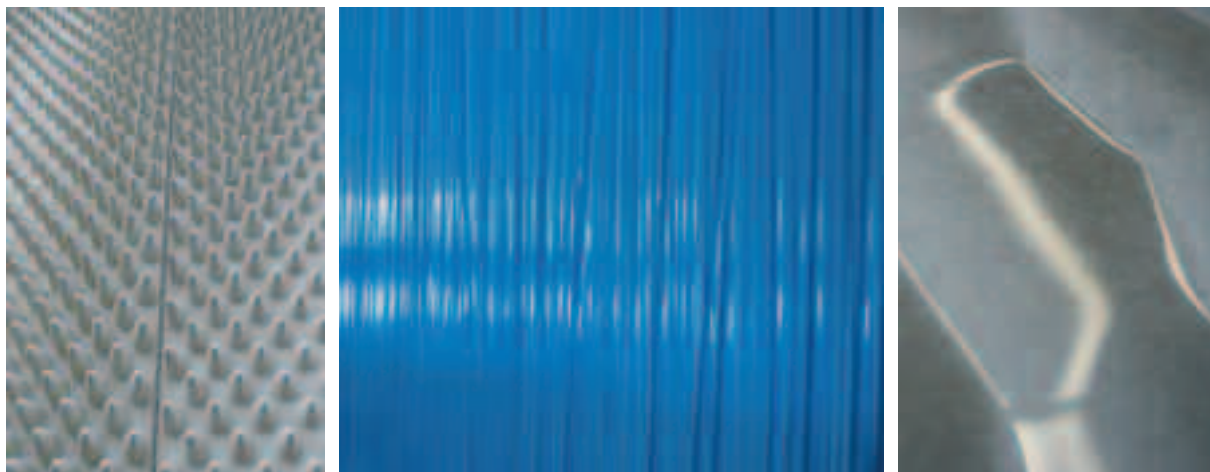
- Materialeffizienz und neue architektonische Konzepte durch dünnere und leichtere tragende Betonbauteile,
- Schöne, dauerhafte und pflegeleichte Fassaden und Innenwände,
- Fahrbahnen mit zusätzlichen Funktionen (z.B. dauerhafte Markierungen, Lärmschutz, luftreinigende Wirkung)



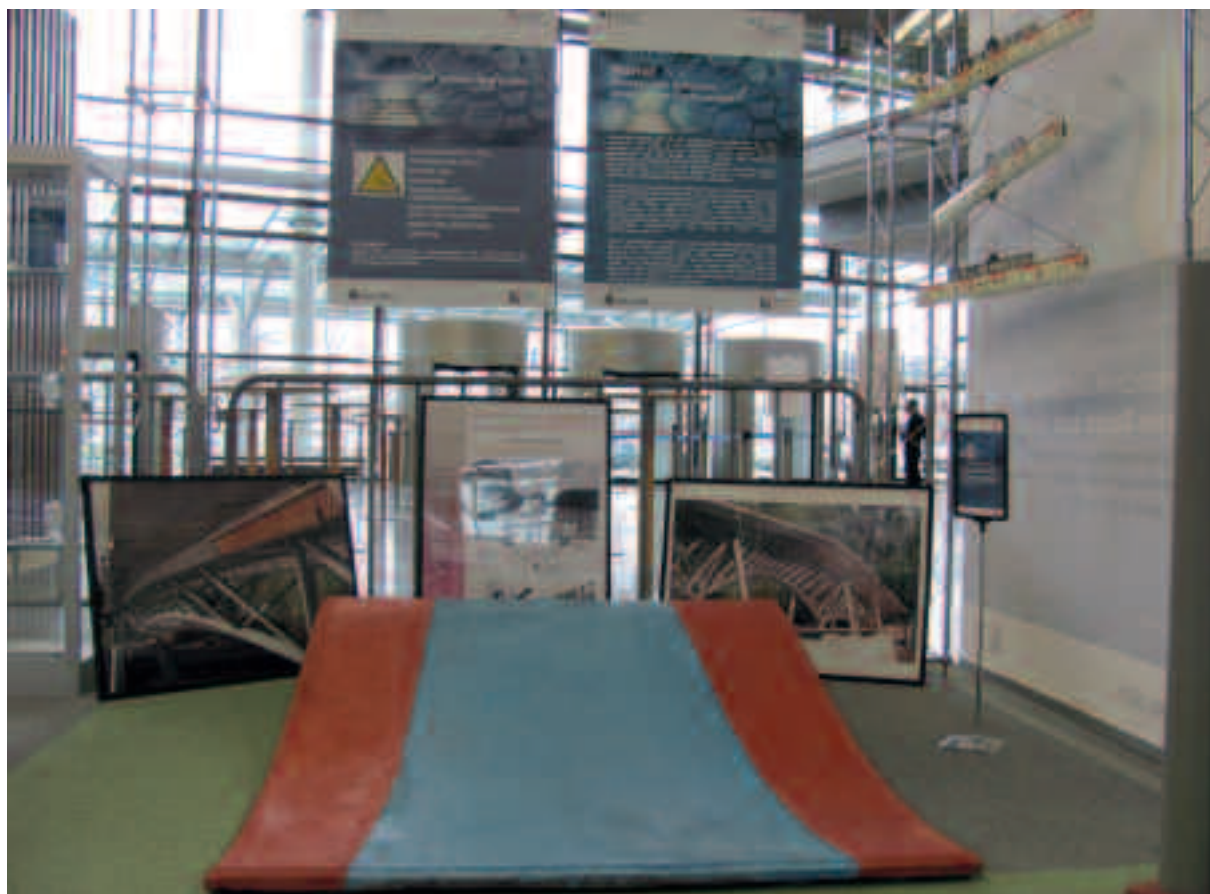
Anwendungen von UHPC in der Praxis: Ultraleichte monolithische UHPC-Fahrradbrücke (Gooisebrug, Utrecht) der Firma Romein Beton aus Holland, hergestellt mit einer individuell von g.tecz entwickelten C150 UHPC Rezeptur.

³¹ Vgl. auch Dr.-Ing. Gregor Zimmermann: Quantz - Die nächste Generation der Ultrahochfesten Betone – Neue Möglichkeiten für innovative Ingenieure, Architekten und Designer, Vortrag auf der Bau 2011.

³² Vgl. auch Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Michael Schmidt: Nanotechnik - Hightech in der Bauwirtschaft - Nanooptimierte Hochleistungsbetone und multifunktionale „smart materials“ für nachhaltige Bauwerke, Vortrag auf der Bau 2011.



Oberflächen von Fassadenelementen, hergestellt aus Quantz®. Links: Fassade für die Kunststiftung Sachsen Anhalt, Mitte: Fassadenelement der Firma TAKTL® - nicht lackiert. Rechts: Verschiedene Oberflächen mit Quantz®.



Diese kleine Brücke aus UHPC, ein Exponat der Universität Kassel in der Ausstellung „Nanotechnik und Bionik – Neues Bauen zum Begreifen“ kann eine ganze Schulklasse tragen.

Darüber hinaus eröffnen sich durch UHPC auch völlig neue Einsatzmöglichkeiten für zementbasierte Werkstoffe. Ein Beispiel ist das Forschungsergebnis der Firma BAUER Spezialtiefbau GmbH und der TU München, das Dr. Karsten Beckhaus im Fachforum „Form und Festigkeit“ im Rahmen

der Veranstaltung „Nanotechnik und Bionik – Hightech in der Bauwirtschaft“ mit einem Vortrag vorstellte. Der Bereich Spezialtiefbau des Unternehmens führt weltweit Gründungen, Baugruben, Dichtwände und Baugrundverbesserung aus. Darüber hinaus entwickelt und fertigt die BAUER Ma-



Bohrspitzen aus UHPC, ein Exponat der BAUER Spezialtiefbau GmbH in der Ausstellung „Nanotechnik und Bionik – Neues Bauen zum Begreifen“

schinen GmbH mit ihren Tochterfirmen Maschinen und Werkzeuge für Spezialtiefbau und Mining. Zur Herstellung von Betonpfählen zur Gründung von Bauwerken muss zunächst ein tiefes Loch gebohrt werden, in welches dann Beton eingebracht wird. Ein Verfahren ist das FDP-Verfahren (Full Displacement Pile).

Eine Variante zum Standardverfahren ist das Lost bit-Verfahren, bei dem die Bohrspitze vollflächig abstoßbar ist und im Bohrloch verbleibt. Dieses Verfahren ist u.a. bei weicheren Böden vorteilhaft. Allerdings geht die teure Stahlbohrspitze regelmäßig verloren, was bei stetig steigenden Stahlpreisen ein enormer Kostenfaktor ist. Aus diesem Grunde wurden im BMBF-Forschungsprojekt „Erforschung des Nanowerkstoffes UHPC für die Anwendung im Spezialtiefbau unter Berücksichtigung ökonomischer und ökologischer Aspekte“ Bohrspitzen aus UHPC entwickelt und mit großem Erfolg erprobt.

Die Bohrspitze für das FDP-Verfahren „Lost bit“ ist ein erstes potenzielles UHPC-Produkt im Spezialtiefbau. Die UHPC-Spitze bietet hohe Ausführungsqualität und -sicherheit und ist im Vergleich zur Stahlspitze technisch mindestens gleichwertig, aber umweltfreundlicher (insbesondere in der Herstellung) und bei hohen Stückzahlen auch wirtschaftlicher als Stahl. Inzwischen wurde die UHPC-Spitze für das FDP-Verfahren „Lost bit“ aus dem Forschungsprojekt „UHPC im Spezialtiefbau“ herausgelöst und soll kurzfristig zur Marktreife geführt werden.

Innovative Oberflächen

Architekten unterscheiden zwei grundsätzliche Entwurfshaltungen. Die erste, Materialehrlichkeit genannt, bevorzugt es, die verwendeten Baumaterialien wie Holz und Naturstein, aber auch Stahl und Beton sichtbar zu lassen und optisch zu betonen: „What you see is what you get!“. Die zweite Entwurfshaltung verwendet gern künstliche Oberflächen, die z.B. natürliche Materialien imitieren, sogenannte Fakes. Mit dem augenscheinlich wichtigsten Einsatzgebiet von Nanotechnologie am Bau, den innovativen Oberflächen, gewinnen Architekten eine dritte Gestaltungsoption. Oberflächen am und im Bauwerk können durch ultradünne transparente bzw. unsichtbare nanotechnologische Beschichtungen oder die Beimengung von Nanopartikeln in Baustoffen (Nanokomposite) zusätzliche Funktionen übernehmen. Der Nutzer bekommt zu dem was er sieht noch einen „unsichtbaren“ Zusatznutzen.

Das Fraunhofer-Institut für Silicatforschung (ISC) in Würzburg befasst sich im Rahmen zweier Geschäftsfelder (Oberflächentechnik sowie Umwelt und Bau) und innerhalb der Allianz Nanotechnologie der Fraunhofer-Gesellschaft intensiv mit diesem Thema. Deshalb konnte Dr. Karl-Heinz Haas in seinem Vortrag im Fachforum „Innovative Oberflächen“ auf der BAU 2011 einen guten Überblick über den aktuellen Stand von Forschung und Technik geben.³³

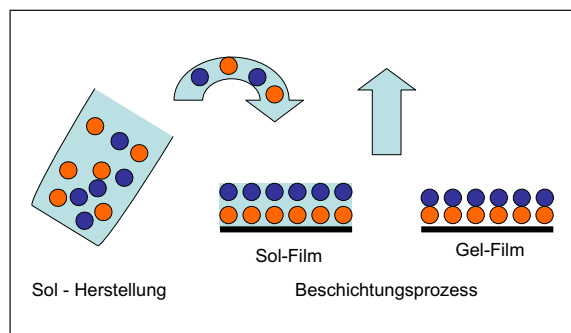
Für den Einsatz von Nanoschichten gibt es mehrere sehr gute Gründe: Nanoschichten sind sehr dünn (5-5.000 nm). Deshalb werden die bisherigen Substrateigenschaften (z.B. bei der Easy-to-Clean-Beschichtung einer Edelstahl- oder Keramikoberfläche), wie das Aussehen und die mechanischen Eigenschaften, kaum beeinträchtigt. Der minimale Materialeinsatz ist darüber hinaus ein wichtiger Beitrag zur Ressourceneffizienz. Teure und seltene Chemikalien müssen nur in geringsten Mengen verarbeitet werden. Darüber hinaus gelangen Nanobeschichtungen gut bis in das Innere von Baustoffen (z.B. beim Bautenschutz in die Poren des Betons) und die große reaktive Oberfläche ermöglicht eine besonders hohe Wechselwirkung mit der Umgebung. Die gewünschten Effekte, wie z.B. Photokatalyse oder eine biozide Wirkung sind besonders intensiv.

³³ Die folgenden Ausführungen basieren im Wesentlichen auf dem Vortrag von Dr. Haas und werden an den gekennzeichneten Stellen durch weitere Vorträge auf der BAU 2011 und eigenen Recherche ergänzt und redaktionell bearbeitet.

Zur Erzeugung von Nanoschichten gibt es verschiedene Verfahren. Das Lackiervorgang ist für die Bauwirtschaft das Bekannteste. Allerdings ist im Vergleich zu konventionellen Lacken, die aufgestrichen oder aufgespritzt werden, der Lack selbst ein nanotechnologisch optimiertes Produkt. Vier Varianten unterschied Dr. Haas in seinem Vortrag:

1. Beschichtungen die nur wenige Nanometer dick sind,
2. Herkömmliche Lacke, die durch den Zusatz von Nanopartikeln modifiziert wurden (Nanofüllstoffe),
3. Hybridpolymere, auch in-situ Nanofüller genannt und
4. Beschichtungen die eine nanoskalige Strukturierung aufweisen (z.B. Beschichtungen mit Lotuseffekt).

Das zweite Verfahren, das Sol-Gel-Verfahren, stammt aus der chemischen Nanotechnologie und dient ebenfalls der Beschichtung von Glas- oder Keramiksubstraten. Die für die gewünschte Funktion benötigten Nanopartikel werden hierbei mit einer Flüssigkeit, der Beschichtungslösung vermischt (dispergiert). Anschließend wird diese Dispersion als dünne Schicht, die Sol-Schicht auf ein Trägermaterial aufgebracht, z.B. durch Eintauchen des Trägers. Die Sol-Schicht trocknet zu einer Gel-Schicht und härtet dann aus. Aufgrund ihrer chemischen Eigenschaften ordnen sich die Nanopartikel in der gewünschten Art und Weise an. Die untenstehende Abbildung stellt das Prinzip des Sol-Gel-Verfahrens schematisch dar.



Sol-Gel-Technologie, schematische Darstellung

Einmal gestrichen und für immer schön, das ist für viele Architekten und Bauherren eine faszinierende Vorstellung. Die Realität ist eine andere. Fassaden, die kurz nach Bauabnahme noch in elegantem Weiß oder in fröhlichen Farben glänzen, werden schon in kurzer Zeit alt und grau. Funkelnde Glasfassaden werden staubig und matt und die regelmäßige Reinigung ist ein nicht unerheblicher Kostenfaktor. Die Möglichkeiten der Nanotechnologie treffen hier auf einen großen Bedarf.

Selbstreinigung beruht auf verschiedenen Wirkprinzipien. Prinzip Nummer 1 ist der Lotuseffekt, der bekannteste Nanoeffekt überhaupt. Durch eine nanometergroße „Noppen“-Struktur³⁴ wird hierbei verhindert, dass Wassertröpfchen auf der Oberfläche Halt finden. Es handelt sich im Sprachgebrauch der Wissenschaftler um hydrophobe, genauer gesagt sogar superhydrophobe Oberflächen. Schmutzpartikel liegen ebenfalls nur mit wenigen Spitzen auf der Oberfläche und werden daher leicht von dem glatt ablaufenden Wasser mitgerissen und abgespült. Voraussetzung für die Wirksamkeit einer Beschichtung mit Lotuseffekt ist die regelmäßige Wassereinwirkung (Abspülen oder Beregnen lassen).

Prof. Dr. Wilhelm Barthlott von der Universität Bonn befasst sich seit Jahren schwerpunktmäßig mit der Strukturanalyse biologischer Oberflächen. In seinem Vortrag im Fachforum „Innovative Oberflächen“ stellte Prof. Barthlott einige aktuelle Forschungsergebnisse vor.³⁵ Biologische Oberflächen sind selten glatt. Sie sind meist hochkomplex dreidimensional strukturiert. Die Bandbreite der Strukturen reicht von makroskopisch sichtbaren Gebilden, wie Haaren, über Mikrostrukturen, bis weit hinab in den Nanometerbereich. Dabei übernehmen die Oberflächen für den Organismus wichtige Funktionen, u.a. auch den Schutz vor Verschmutzung und vor Mikroorganismen, zwei Eigenschaften, die auf Fassaden ebenfalls sehr nützlich sind. Mit seinem Team hat Prof. Barthlott den Lotuseffekt entdeckt und gründlich untersucht. Mit der Entwicklung der Fassadenfarbe Lotusan® und weiterer Produkte unter dem Markennamen LotusEffect® wurde dieses Phänomen bereits in technische Produkte übertragen.³⁶

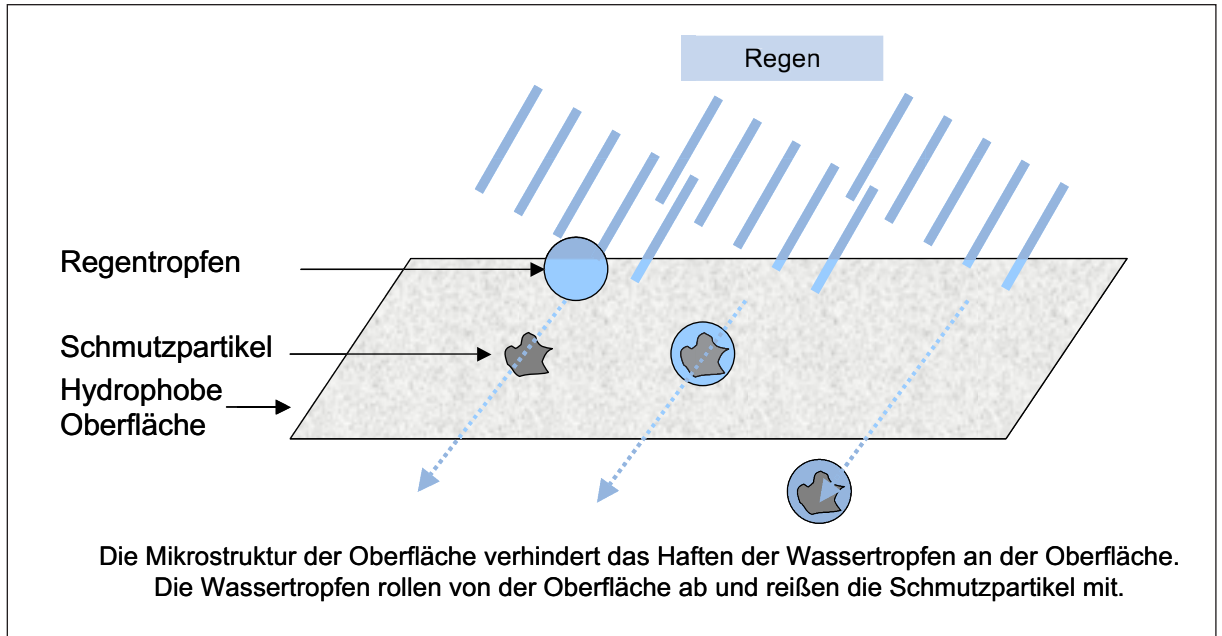
³⁴ Die Blattoberfläche der Lotuspflanze ist sogar in zweifacher Weise strukturiert. Sie besitzt eine papillöse Epidermis (äußerste Zellschicht), mit Erhebungen, die einen Abstand von 20-30 µm haben und zusätzliche eine Schicht feiner Wachskristalle, die sich in einem Abstand von 0,2 – 5 µm befinden und hydrophob (wasserabweisend) sind.

³⁵ Die folgenden Ausführungen basieren auf dem Vortrag von Prof. Barthlott und den Informationen der Internetseite des Nees-Institutes für Biodiversität der Pflanzen der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn (www.nees.uni.bonn.de), dessen Gründungsdirektor Prof. Barthlott ist, sowie www.lotus-effect.de.

³⁶ Vgl. u.a. ERLUSLOTUS® Tondachziegel unter <http://www.erlus.de/ModelleSelbstreinigend>.

Ein Problem dieser Produkte ist es jedoch die Regeneration der Funktionalität nach mechanischer Beschädigung oder nach Abdeckung der Strukturen durch feste fettige Verschmutzungen. Hiermit befassen sich die Forscher in einem aktuellen Forschungsprojekt³⁷.

chemische Zusammensetzung einer ETC-Beschichtung ist ebenfalls (zumindest an der Oberfläche) wasserabstoßend (hydrophob) aber die Oberfläche ist nicht strukturiert, sondern sehr glatt. Das Wasser bildet Tröpfchen, die auf geneigten Flächen wiederum schnell ablaufen und was-



Wirkungsweise einer Oberflächenbeschichtung mit Lotuseffekt

Eine zweite noch trickreichere Konstruktion aus der Natur, die für technische Anwendungen prädestiniert ist und im Labor von Prof. Barthlott untersucht wird, wurde bei schwimmenden unter Wasser lebenden Organismen gefunden, die strukturierte Oberflächen besitzen, mit denen effektiv und langfristig Luftschichten unter Wasser fixiert werden können. Insbesondere zwei Systeme, der Schwimmfarn und die Wasserjagdspinne, wurden eingehender untersucht. Zahlreiche Anwendungsmöglichkeiten von der Reibungsreduktion auf Schiffsrümpfen bis zur Bademode sind denkbar. Erste biomimetische Prototypen (Beschichtungen) halten die Luftschicht bereits bis zu vier Tage lang. Im Großversuch an einem Schiffsmodell konnte die Reibung um 10% reduziert werden. Hier liegt ein enormes Potenzial für Energieeinsparungen und CO₂-Reduktionen im Schiffverkehr.

Der Idee, an der Haftung von Wasser und Schmutz zu manipulieren, folgten auch die Entwickler von Easy-to-Clean-Oberflächen (ETC), Antihaft- bzw. Anti-Finger-Print-Schichten usw. Die

serlösliche Verunreinigungen mit sich reißen. Glas, Keramik und Holz aber auch Leder, Textilien und Kunststoffe können so ausgestattet werden und bleiben länger schön und sauber.

Nach einem analogen Prinzip wirken klassische organische Antihafschichten, z.B. Polysiloxane oder Fluorkomponenten, die einfach als Lacke aufgetragen werden. Hier verursacht die chemische Zusammensetzung hydrophobe und oleophobe, d.h. wasser- und fettabweisende Eigenschaften. Die Beschichtungen sind jedoch meist nicht abriebfest und/ oder nicht transparent. Mit der Entwicklung von nanoskaligen Hybridpolymeren, wie z.B. ORMOCER® konnten die Eigenschaften von organischen Polymeren, Siliconen und sogar Glas/ Keramik kombiniert werden. Hybridpolymere können als transparenter Kratzschutz oder Korrosions- und Verschleißschutz für Metalloberflächen eingesetzt werden. Sie sind transparent und abriebfest und beeinflussen die Eigenschaften des beschichteten Substrats nicht über ihre Schutzfunktion hinaus. Drei spannende

³⁷ Vgl. u.a. <http://www.nees.uni-bonn.de/grenz/regenerat.html>.

Beispiele für die raffinierte Manipulation von Materialien wurden ebenfalls im Fachforum „Innovative Oberflächen“ vorgestellt.

Dr. Ekkehard Jahns (BASF SE) titelte seinen Vortrag mit „Das Beste aus zwei Welten: Fassadenfarben mit Bindemitteln auf Basis von Nanokompositen“. Konventionelle Fassadenfarben haben einige Nachteile. Die relativ weiche Polymeroberfläche ist klebrig, verschmutzt leicht und auch die Haftung an der Oberfläche und die Kratzfestigkeit könnten durchaus besser sein. Die Natur löst diese Probleme gern durch die Symbiose von anorganischer und organischer Welt im nanoskaligen Bereich und erreicht damit einzigartige Materialeigenschaften. Analog dazu wollten die Chemiker der BASF Elastizität und Haftung organischer Beschichtungen (Acrylpolymer) mit Härte und Hydrophobie anorganischer Materialien (anorganisches Silica) verknüpfen. Die Lösung ist mit der Einbindung von winzigen SiO₂-Nanopartikeln in eine weiche organische Polymermatrix mehr als gelungen. Fassadenfarben, die mit diesem Bindemittel hergestellt wurden, haben wesentlich bessere mechanische Eigenschaften, aber vor allem verschmutzen sie kaum. Ursache hierfür ist spannender Weise eine stark wasseranziehende (superhydrophile) Oberfläche, ein Effekt der sich im Gegensatz zum Lotuseffekt mit der Zeit (ca. 1/2 Jahr) noch verstärkt³⁸.

Polycarbonatplatten (PC)³⁹ sind transparente Kunststoffplatten mit zahlreichen Anwendungsmöglichkeiten auch in der Bauwirtschaft, u.a. bei Wintergärten, für geformte Dachfenster oder Gewächshäuser. Das Material weist eine hohe Schlagzähigkeit auf, ist relativ leicht und lässt dem Architekten viele Freiheiten. Eine bessere Kratzfestigkeit und bei Außenanwendung auch eine deutliche Verbesserung der Witterungsstabilität (UV-Schutz) würden das Material jedoch noch attraktiver machen. Deshalb haben die Chemiker von Bayer Technology Services Polycarbonat ins Nanotechnologielabor mitgenommen. Aufgabe des BMBF-geförderten Forschungsprojektes „Herstellung großflächiger, transparenter, witterungsbeständiger Beschichtungen mit integriertem UV-Schutz auf Polycarbonat – Nano UV“ ist es, durch ein innovatives Verfahren Kratzschutz und UV-Schutz in Kombination zu verbessern, erklärte Dr. Rafael Oser in seinem Vortrag. Stand der Tech-

nik ist ein Zweischichtsystem, d.h. erst kommt eine relativ weiche Schicht für UV-Schutz und Haftung der zweiten Schicht, nämlich der darüber aufgetragenen Kratzschuttschicht (Hard coat). Dieses Verfahren ist neben anderen Nachteilen relativ langwierig und energieintensiv. Mit dem in Entwicklung befindlichen Plasmaverfahren zur Integration von UV- und Kratzschutz wird diese Aufgabe wesentlich schneller erledigt sein. Im Januar 2011 arbeitete bereits eine Beschichtungsanlage im Labor. Erste Tests haben ergeben, dass die Beschichtungen in puncto Kratzschutz und UV-Schutz gut mit den üblichen Lackschichten mithalten können. Nun gilt es bis Ende 2012, dass Verfahren auf eine Pilotanlage zu übertragen und die Langzeitstabilität der Beschichtungen sicherzustellen⁴⁰.

Drittes und letztes Beispiel aus dem Fachforum „Innovative Oberflächen“ auf der BAU 2011 ist ccflex®, ein flexibler, keramischer Wandbelag. Er schließt mit seinen einzigartigen Eigenschaften die Lücke zwischen Tapete und keramischer Wandfliese. Die besondere Eigenschaftskombination, resultiert aus der Einbindung von α -Aluminiumoxidpartikeln in ein Silikatnetzwerk. Dieses bildet die keramische Oberfläche, welche auf ein Trägergvlies als Trägerschicht aufgebracht wird. Durch die Zugabe von Pigmenten kann das Design beeinflusst werden. ccflex® ist eine Entwicklung des Technologie- und Innovationszentrums Creavis der Evonik Ind. AG. Es entstand als Spin-off, also als Nebenprodukt der Separator-Entwicklung für Lilonen-Batterien. Innerhalb von 2 Jahren wurden im Rahmen des Science-to-Business-Konzeptes der Creavis Prototypen hergestellt und mit Beratern und Kooperationspartnern aus der Industrie ein marktfähiges Endprodukt entwickelt.

Dazu hat die Marburger Tapetenfabrik, die das Patent inzwischen erworben und das Verfahren für die industrielle Produktion weiterentwickelt hat, den Markt genau untersucht. Welchen Nutzen kann der Kunde aus dem Produkt ziehen und für welche Zielgruppen ist es daher von Interesse. 48 aufeinander abgestimmte ccflex®-Produkte werden inzwischen vor allem für Architekten offeriert, die sich auf die Ausstattung von Räumen spezialisiert haben, für die besonders hohe hygienische und sicherheitstechnische Standards gelten. ccflex® ist damit ein Produkt der Nanotechnologie-

³⁸ Vgl. Dr. Ekkehard Jahns: Das Beste aus zwei Welten: Fassadenfarben mit Bindemitteln auf Basis von Nanokompositen, Vortrag auf den BAU 2011.

³⁹ Polycarbonat wird von Laien leicht mit Plexiglas (Polymethylmethacrylat) verwechselt.

⁴⁰ Vgl. Dr. Rafael Oser, Innovativer Beschichtungsprozess für Polycarbonat – Integration von UV- und Kratz-Schutz in einem Plasmaprozess, Vortrag auf den BAU 2011.



Nanotechnologie in der Innenarchitektur

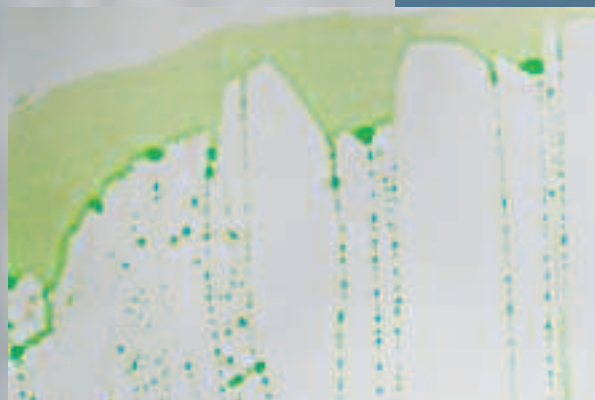
ccflex-Wandbelag

Die Keramik von der Rolle

Durch das von Evonik entwickelte Verfahren konnte ein Material hergestellt werden, dass die Vorteile von Tapeten und Keramikfliesen in sich vereint. Die keramische Oberfläche ist beständig gegen Feuchtigkeit und Chemikalien.

Design
STARDUST
Sylvia
Leydecker
100%interior

Das innovative Material wurde mit grünem Sirup besprüht. Die besonderen Oberflächeneigenschaften von ccflex lassen selbst dieser klebrigen Flüssigkeit keine Chance zu haften.



Bilder: Sylvia Leydecker, 100% interior, Fotografin Karin Hessmann



BAU 2011



RWK
Konzept
zentrum

forschung bei dem nicht nur das Material selbst, sondern auch der gewählte Weg des Technologietransfers als Best-Practice-Beispiel zu empfehlen ist.⁴¹

Doch damit sind die Angebote der Nanotechnologie für innovative Oberflächen am Bau noch nicht erschöpft: Mit Manipulation der Haftung von Wasser auf Oberflächen ist auch die Funktionsweise sogenannter Anti-Fog-Schichten zu erklären. Beschlagene Oberflächen in feuchten Räumen, z.B. Spiegel oder Glasscheiben bleiben klar, weil sich auf der wasseranziehenden (hydrophilen) Beschichtung keine Tröpfchen bilden können, sondern ein hauchdünner durchsichtiger Wasserfilm. Erst heiß duschen und dann schminken, ohne zwischendurch zu lüften und den Spiegel zu putzen, das geht heute schon mit Anti-Fog-Sprays, die jedoch nur eine vorübergehende Wirkung haben. Dauerhafte Anti-Fog-Beschichtungen sind derzeit jedoch noch weit von der Markteinführung entfernt⁴².

Sogenannte Anti-Graffiti-Beschichtungen, nanotechnologische Innovationen für den Bautenschutz, wirksam gegen Sprayer aber natürlich auch gegen betonschädigende Umwelteinflüsse, sind wiederum wasserabweisend (hydrophob). Farbsprays und andere Verschmutzungen finden keinen Halt und können leicht abgewaschen werden. Präparate zum Bautenschutz gibt es schon lange. Sie weisen jedoch einige Nachteile auf. Konventionelle Polymere, z.B. Acrylsysteme blockieren die Substratporen. Wasser kann nicht mehr rein, Feuchtigkeit aus dem Bauwerk aber auch nicht heraus, die Wand kann nicht atmen. Darüber hinaus schädigt bzw. zersetzt UV-Licht die Beschichtung, welche andererseits nicht einfach zu entfernen und auch nicht einfach zu überstreichen ist, wenn die Schutzwirkung nachlässt. Innovative Bautenschutzsysteme hingegen arbeiten mit nur 1nm kleinen Silanpartikeln. Diese dringen in die Betonporen ein und beschichten deren innere Porenoberfläche gleich mit, anstatt die Poren einfach zu verschließen. Der Beton kann atmen und ist trotzdem stark hydrophobiert und gut geschützt. Die unsichtbaren und notfalls erneuerbaren Beschichtungen halten nachweislich mindestens 10 Jahre⁴³. Simulationsrechnungen der Hersteller ergaben, dass die Schadenswahrscheinlichkeit von mit Protectosil®BHN behandeltem Beton, der regelmäßig Salzwasser ausgesetzt ist, erst nach 40

Jahren die 10% erreicht. Unbehandelter Beton ist bis dahin mit 95%iger Wahrscheinlichkeit schadhaft. Ebenso gut funktioniert der Schutz historischer Gebäude und Denkmäler⁴⁴.

Die hier ausführlicher dargestellten Anwendungen von nanotechnologisch funktionalisierten Oberflächen am Bau sind schon sehr vielfältig. Doch damit sind den Entwicklern von funktionalisierten Beschichtungen noch lange nicht die Ideen ausgegangen.

- Wasserabweisende Fassadenfarben mit wärme-reflektierenden Pigmenten bewirken, dass Gebäudeoberflächen langsamer auskühlen und sich deshalb langsamer Tauwasser darauf abscheidet. Der Befall mit Mikroorganismen (z.B. Algenbewuchs) lässt sich auf diese Art und Weise stark verzögern.
- Nanosilber in Fassadenfarben wird im Kampf gegen Schimmel eingesetzt.
- Durch die Zugabe von speziellen Zeolithen zu Baustoffen wie Sperrholz oder Spanplatten kann Formaldehyd aus der Raumluft absorbiert werden.
- Um durch Mikrorisse geschädigte Scheiben in historischen farbigen Glasfenstern zu stabilisieren kann ein neuartiger Glas-in-Glas-Festiger eingesetzt werden.
- Unter dem Oberbegriff „Smart-Windows“ wird an verschiedenen Funktionalisierungen für Glas geforscht.
- Elektrochrome Beschichtungen verändern ihre Farbe unter Zufuhr elektrischer Energie. So kann eine Glasscheibe auf Knopfdruck verdunkelt oder wieder heller werden: Sonne reinlassen oder aussperren ganz nach Wunsch.
- Photochrome Beschichtungen nehmen dem Menschen oder dem Steuerungssystem auch noch das aus dem Fenster gucken ab. In Abhängigkeit vom Einfallswinkel des Lichts verfärbt sich das Glas. Licht- und Wärmeeinfall werden so ganz leicht reguliert.
- Ein weiterer Nanoeffekt auf Glas sind Antireflexschichten.

Und auch damit sind die Einsatzmöglichkeiten für innovative Oberflächen aus der Nanotechnologie noch lange nicht ausgeschöpft.

⁴¹ Vgl. Frank Weinelt und Dieter Buhmann, ccflex – Innovative und multifunktionale Keramik von der Rolle, Vortrag auf den BAU 2011.

⁴² Vgl. u.a. Sylvia Leydecker: Nanomaterialien in Architektur, Innenarchitektur und Design, Basel 2008.

⁴³ Langzeittest von Protectosil®BHN an einer Kaimauer des Containerhafens Seebücke.

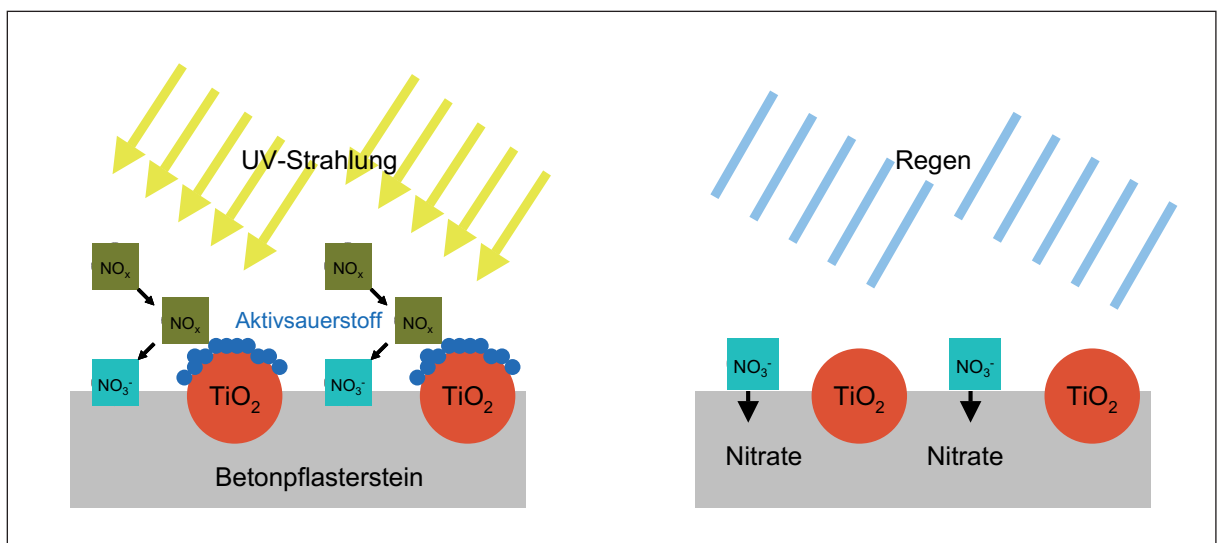
⁴⁴ Vgl. u.a. www.protectosil.com

Neue Funktionalitäten durch Titandioxidmodifikation

Titandioxid (TiO_2) mit „normaler“ Partikelgröße (0,2-0,5 μm) ist schon seit 100 Jahren bekannt. Das farblose Pulver hat einen hohen Brechungsindex und damit ein großes Färbe- und Deckvermögen. Es ist chemisch und thermisch stabil und gilt als ungiftig. Es wurde daher zum wichtigsten Weißpigment und wird hauptsächlich für Lacke, Farben und Anstrichstoffe (ca. 60%), aber auch in Kunststoffen (20%) und Papier (12%), in Kosmetika und sogar als Lebensmittelzusatzstoff (E171) verwendet.⁴⁵

TiO_2 -Nanopartikel haben gerade mal einen Durchmesser von 20 nm und in dieser Größe verstärkt sich eine besondere chemische Eigenschaft. In Abhängigkeit von der vorgesehenen Anwendung werden jedoch oftmals gezielt hergestellte aggregierte bzw. agglomerierte TiO_2 -Partikel von 200-500 nm Korngröße verwendet. Nanoskaliges TiO_2 ist ein hervorragender Photokatalysator. Unter Einwirkung von Sonnenlicht wird im Halb-

leiter TiO_2 ein sogenanntes Elektron/Loch-Paar generiert. Das freiwerdende Elektron reagiert mit dem Sauerstoff, der als O_2 an der Katalysatoroberfläche adsorbiert wird (d.h. angelagert ist). In Verbindung mit ebenfalls an der Oberfläche adsorbiertem Wasser entstehen hochreaktive O^- -Ionen⁴⁶, welche Luftschadstoffe, insbesondere Stickoxide (NO_x) aber auch organische Verbindungen (Luft- und Oberflächenverschmutzungen) durch Oxydation zersetzen. Das Wasser reagiert mit dem „Loch“, gibt also ein Elektron an die positiv geladene Fehlstelle, die sogenannten Valenzbandlücken im Katalysatormaterial zurück. Es bilden sich ebenfalls hochreaktive Hydroxylradikale ($\text{OH}\cdot + \text{O}_2^- \rightarrow \text{HO}_2\cdot + \text{O}^-$). Das $\text{OH}\cdot$ -Radikal wird auch als Waschmaschine der Atmosphäre bezeichnet. Bei vollständiger Reaktion bilden sich aus Stickoxiden wasserlösliche Nitrats und aus organischen Verunreinigungen Kohlendioxid⁴⁷ und Wasser. Superzwerg TiO_2 , der Photokatalysator, wird dabei nicht verbraucht, sondern kann diesen „Trick“ unendlich oft wiederholen.⁴⁸ Darüber hinaus sind TiO_2 -haltige Baustoffoberflächen aufgrund dieses Effektes auch superhydrophil und deshalb selbstreinigend.



Funktionsweise TiO_2 -haltiger Oberflächen. Mit Hilfe von Sonnenlicht werden schädliche Stickoxide zu wasserlöslichen Nitraten umgewandelt und vom Regenwasser abgespült. Der Photokatalysator TiO_2 wird dabei nicht verbraucht.

⁴⁵ Diese Ausführungen und das Folgende vgl. auch ibr-Informationen Bau-Rationalisierung, Eschborn 2008, insofern nicht anderes gekennzeichnet.

⁴⁶ O^- -Ionen werden häufig etwas ungenau als Aktivsauerstoff bezeichnet. Wesentlich ist, dass sie sehr reaktionsfreudig sind und daher ein hervorragendes Oxydationsmitteldarstellen.

⁴⁷ Beim Kohlendioxid handelt es sich um nicht energetisch freigesetztes Kohlendioxid. Die freigesetzten Mengen sind so gering, dass sie bei einer Kohlendioxid-Gesamt-Bilanz z.B. hinsichtlich Klimaerwärmung keine Rolle spielen.

⁴⁸ Zum Reaktionsmechanismus vgl. z.B. O. Kleinschmidt: Photokatalytische Oxidation von Alkenen und Alkanen mit Sauerstoff an belichtetem Titandioxid, Dissertation an der Universität Hannover, 2001, S. 15-16.

In den letzten Jahren sind die Emissionen von Stickoxiden ($\text{NO}_x = \text{NO} + \text{NO}_2$) aus Kraftfahrzeugen in Deutschland stark zurückgegangen. Der bei Stickoxiden insgesamt beobachtete Trend spiegelt sich allerdings bei den aktuellen Stickstoffdioxid-Belastungen nicht wieder. Vielerorts haben diese nicht oder nur geringfügig abgenommen. An über der Hälfte der an stark befahrenen Straßen befindlichen Messpunkte sind die Konzentrationen sogar angestiegen und übersteigen oft noch den von der EU-Richtlinie 1999/30/EG ab dem Jahr 2010 vorgeschriebenen Richtwert von $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ deutlich. Wesentliche Ursache ist nach wie vor der Kfz-Verkehr, und hierbei nicht nur das direkt emittierte NO_2 , sondern auch das aus dem ebenfalls mit den PKW-Abgasen freigesetzten NO , welches an der Luft zu NO_2 reagiert. Fahrzeugtechnisch werden diese Emissionen wohl erst mit der Einführung der Euro-Norm 6 im Jahr 2015 in den Folgejahren

Witterungseinflüsse nahezu identisch und somit gut vergleichbar sind. Hierdurch können photoaktive und „normale“ Baustoffe miteinander verglichen werden. Eine Emissionsquelle erzeugt entsprechende Abgase.

Auf beiden Seiten werden die Baustoffe mit NO_x -belasteter Luft für längere Zeit kontinuierlich überströmt. In Anlehnung an die 22. (39.) BImSchV werden in 3 m Höhe in jedem Canyon getrennt die resultierende NO_2 - NO - und NO_x -Belastung nach Passieren und Reagieren mit den Baustoffen gemessen. Dazu werden Wind- und Lichtverhältnisse aufgezeichnet. Ferner wird im Labor, z.B. für den Pflasterstein, die photokatalytische Aktivität des Baustoffs in Anlehnung an die ISO 22197-1 in einer Messkammer gemessen und so die Qualität der photokatalytischen Reaktion überwacht. Hier die Ergebnisse der Messungen in den Canyons:

	Messdauer		Durchschnittlich gemessene Abbauraten NO_2		Durchschnittlich gemessene Abbauraten NO	
	Stunden	Tage	%	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	%	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
Frankfurter Pfanne Titano/x ⁵¹	72	7	18,8	29	18,1	21,3
Sodalit-ME ⁵²	154	16	11,3	10,9	20,8	10,8
AirClean® ⁵³	229	29	18,1	10,9	28,7	12,4

spürbar zurückgehen.⁴⁹ Bis dahin bietet sich aber neben verkehrsregulierenden Maßnahmen auch eine bautechnische Lösung zur Verringerung der Belastung von Mensch und Umwelt an.

Durch den Einsatz photoaktiver Baustoffe könnte ein Großteil des NO_2 ganz schnell wieder entfernt werden. Doch wie sicher und wie schnell das geht, mit dieser Frage setzte sich Dr. Werner Tischer für die Initiative photoaktive Baustoffe⁵⁰ in seinem Vortrag im Fachforum „Innovative Oberflächen“ auf der BAU 2011 intensiv auseinander. Bei den F.C. Nüdling Basaltwerken & Co. haben Dr. Tischer und seine Kollegen hierzu extra eine Feldversuchsfläche eingerichtet. Auf der Fläche werden zwei parallele Straßenschluchten von jeweils 50 m Länge und 6 m Breite simuliert, die aufgrund ihrer Lage in Bezug auf Belichtung und

An einzelnen Tagen, insbesondere bei Windstille waren die Messergebnisse noch besser. Damit ist die Wirksamkeit photoaktiver Baustoffe bei der Reduktion der NO_x -Belastung eindeutig nachgewiesen. Photokatalytische Reaktionen bezogen auf den NO_x -Abbau zeigten auch die Forscher in den Leimener Laboren der HeidelbergCement AG im Experiment mit Betonsteinen und -oberflächen mit nanoskaligem TiO_2 oder Forscher der Universität Twente in den Niederlanden. Das niederländische Forscherteam konnte unter seinen Messbedingungen 30 bis 40 Prozent der Autoabgase durch Photokatalyse unschädlich machen.

Der italienische Hersteller Italicementi, Vorreiter bei der Entwicklung von TiO_2 -haltigen Zementen, konnte die Wirksamkeit von photokatalytisch akti-

⁴⁹ Vgl. u.a. Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg, www.ifeu.org.

⁵⁰ Die Initiative photoaktive Baustoffe ist ein Zusammenschluss der Unternehmen Monier Braas GmbH, F.C. Nüdling Basaltwerke GmbH & Co. KG und Keimfarben GmbH & Co. KG. Die Unternehmen produzieren u.a. photoaktive Baustoffe für Dach, Wand und Boden. Die Unternehmen fühlen sich dem nachhaltigen Bauen besonders verpflichtet. So schien der Schritt in dieses neue Marktsegment logisch. In der Initiative bündeln sie ihre Aktivitäten zur Information der Fachöffentlichkeit über die Technologie und aktuelle Forschungsergebnisse. (vgl. www.photoaktivebaustoffe.de)

⁵¹ Messhöhe ca. 20 cm über Dachfirst

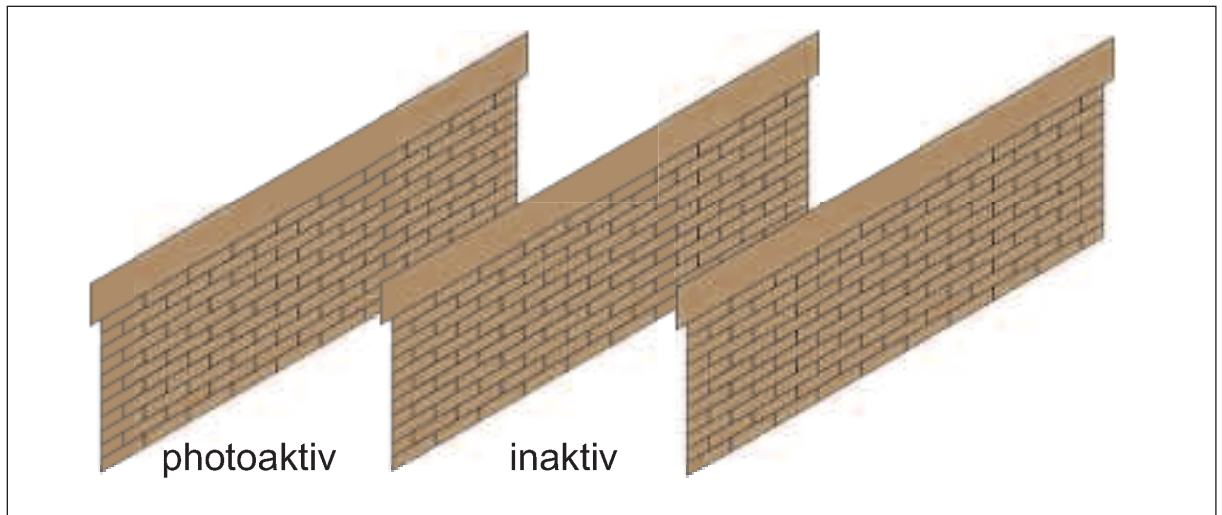
⁵² Messung in 3 m Höhe, 0,6 m vor der beschichteten Wand

⁵³ Messung in 3 m Höhe in der Canyon-Mitte

ven Pflastersteinen bereits im Herbst 2006 auch außerhalb des Labors untersuchen. 500 Meter einer langen, geraden und dicht bebauten Straße in Bergamo, in der sich die Abgase besonders hartnäckig halten, wurden mit einem photokatalytisch aktivem Betonstein gepflastert, auf weiteren 500 Meter verblieb der ursprüngliche Asphalt. Vergleichende Messungen in beiden Abschnitten ergaben, dass die Stickoxid-Belastung über dem

anwendungen sind das Pflaster der Außenanlagen eines Kindergartens in Bietigheim-Bissingen und die Dächer dreier Wohnhäuser der Evonik Wohnen GmbH.

Vorstellbar ist künftig die Fertigung von Straßenbelägen, von Schallschutzwänden oder auch Gebäudeoberflächen mit TiO_2 -haltigen Baustoffen. Allerdings sind vor einem stärkeren Einsatz solcher in-



Prinzipiskizze der Versuchsfläche Canyon-Street: Zwischen bzw. an den Mauern werden auf der einen Seite photoaktive und auf der anderen Seite inaktive Baustoffe (Braas Frankfurter Pfanne Titano/x, Plaster AirClean, Wandfarbe KEIM Sol-dalit-ME mit MINOX-Effekt) angebracht.

TiO_2 -haltigen Pflaster im Schnitt um 45% geringer war als über dem ursprünglichen Asphalt. Auch die mittelständischen Unternehmen der Initiative photoaktive Baustoffe bringen ihre Produkte in zunehmendem Maße auf die Baustelle. Mit der Frankfurter Pfanne Titano/x von Braas wurde z.B. ein Schuldach in Monheim gedeckt. In Bozen und Mailand gibt es mehrere Referenzgebäude mit photoaktivem Fassadenanstrich. Und AirClean®-Pflastersteine, sind in Folge des Luftreinhalteplans der Stadt Fulda aus dem Jahr 2010 inzwischen an einigen Brennpunkten in Fulda verlegt worden.

Dank einer Lizenzvereinbarung mit Italicementi bietet auch HeidelbergCement in Deutschland erste Produkte aus TiO_2 -haltigem Zement kommerziell an. Das Qualitätszeichen TXActive® garantiert die photokatalytische Wirksamkeit der Dachsteine und Pflastersteine sowie weiterer Produkte, die mit dem sogenannten TioCem® von HeidelbergCement hergestellt werden. Erste Pilot-

novativer umweltfreundlicher Baustoffe Kosten und Nutzen einer gründlichen Betrachtung zu unterziehen, denn TiO_2 und insbesondere nanoskaliertes TiO_2 ist ein teurer Rohstoff. Auch wenn durch die Nanotechnologie davon nur geringe Massen benötigt werden, kostet TioCem® zurzeit⁵⁴ ca. das Zehnfache des vergleichbaren Normzements. Darüber hinaus ist bei der Herstellung photoaktiver Baustoffe mit besonderer Sorgfalt vorzugehen. Einerseits neigen die hochreaktiven Nanopartikel zur Agglomeration und verlieren damit ihre spezifische Wirkung. Deshalb ist TiO_2 -haltiger Zement nur begrenzt baustellentauglich. Dieser Nachteil kann allerdings mit anderen Herstellverfahren, z.B. die getrennte Verarbeitung von Bindemittel und Photokatalysator, beseitigt werden. Darüber hinaus erfordert die Nutzung der Photokatalyse in Farben und Oberflächen eine besondere Einbindung des TiO_2 . Dessen Fähigkeit organische Stoffe zu zersetzen, macht aber auch vor organischen Bindemitteln nicht halt.

⁵⁴ Informationsstand 2009

Doch der Zusatz von Titandioxid-Nanopartikeln in zementbasierten Baustoffen eröffnet noch weitere spannende Möglichkeiten. Ein vom BMBF gefördertes Verbundprojekt der RWTH Aachen, dem Forschungsinstitut der Zementindustrie (FIZ), der DuraPact Gesellschaft für Faserbetontechnologie mbH, der LKT GmbH und der Bostik GmbH stellte Christian Neunzig in seinem Vortrag im Fachforum „Energieeffizienz und Klimaschutz“ auf der BAU 2011 vor. In dem Projekt werden neue Funktionalitäten von Textilbeton durch Titandioxidmodifikationen untersucht. Textilbeton ist ohnehin schon ein sehr innovatives Material, welches für relativ leichte und besonders filigrane Konstruktionen entwickelt wurde. Mit der Zugabe von TiO_2 zur Mischung sollte die Verträglichkeit beider Materialien, die üblichen Funktionalitäten des TiO_2 (Schadstoffzersetzung und Selbstreinigung), aber auch die Verbesserung der Klebeeigenschaften der entsprechenden Demonstratoren untersucht werden.

Die optimale Benetzung des Substrats durch den Klebstoff ist ein notwendiges Kriterium für die Ausbildung von Haftungskräften. Deshalb könnte die durch Titandioxidmodifikation erzeugte Superhydrophilie auch die Haltbarkeit von Klebeverbindungen verbessern, so Herr Neunzig in seinem Vortrag. Und tatsächlich scheint sich das Benetzungsverhalten der TiO_2 -haltigen Proben insbesondere nach Bestrahlung mit UV-Licht zu bessern. Es könnte also erfolversprechend sein, auf dieser Erkenntnis aufbauend einen nanobasierten, zementgebundenen Klebstoff für Betonbauteile zu entwickeln und genau das haben sich die Verbundpartner des Projektes nun vorgenommen.

Für die Entwicklung und den Einsatz Titandioxid-modifizierter zementbasierte Baustoffe gibt es vielfältige Anwendungsmöglichkeiten. Für den massiven Einsatz im Straßenbau sollte der ökologische Nutzen der Reduzierung von Stickoxiden in Ballungszentren mit starkem Verkehr allerdings auch monetär bewertet werden. Schädliche Nebeneffekte (z.B. die Bildung gesundheitsschädlicher Reaktionsprodukte aus organischen Verunreinigungen durch unvollständige Oxydation) sollten weitgehend ausgeschlossen werden. Wenn das gelingt, kann Superzwerg TiO_2 helfen, belebte Städte noch lebenswerter zu gestalten.

Energieeffizienz und Klimaschutz

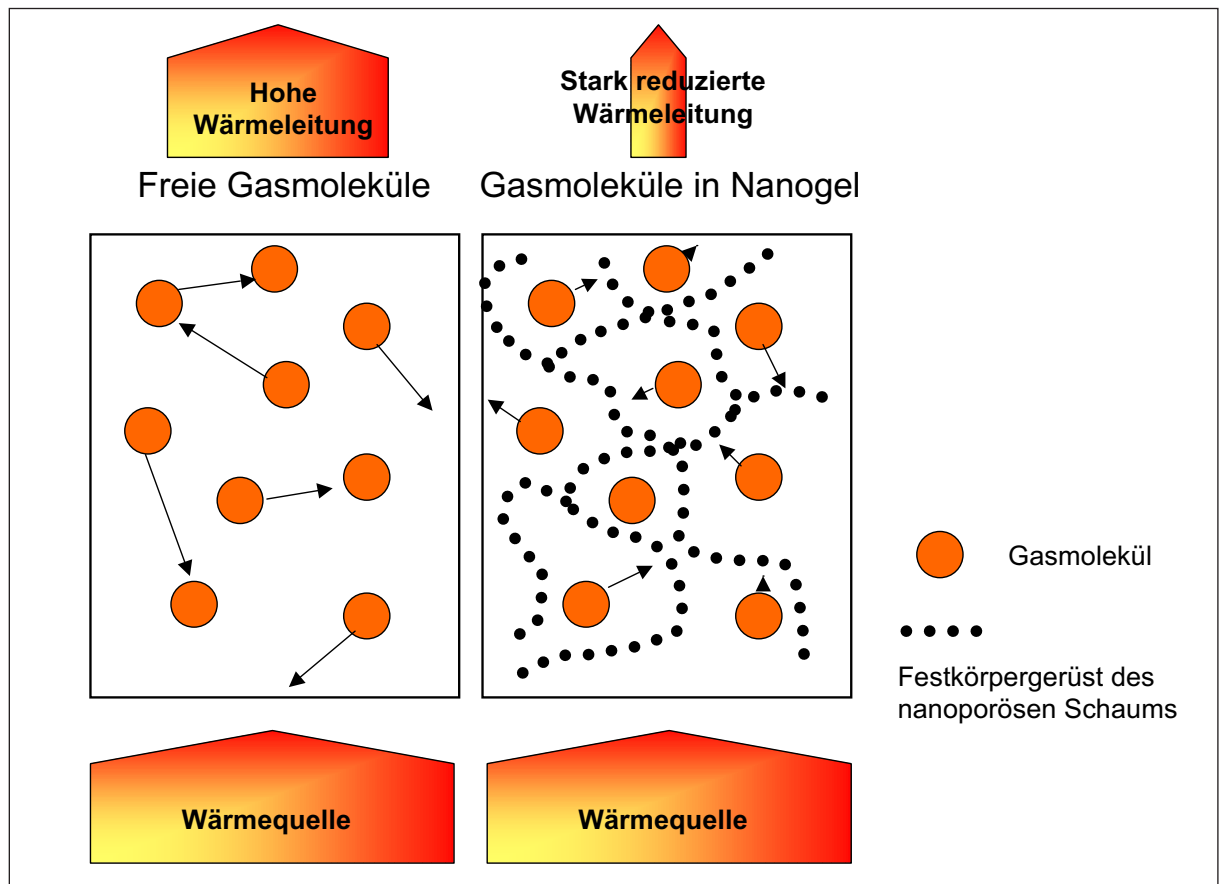
Bauinnovationen aus Nanotechnik und Bionik leisten vielfältige Beiträge zur Verbesserung der Energieeffizienz und dadurch oder darüber hinaus auch zum Klimaschutz. In den vorangegangenen Abschnitten wurden bereits einige Beispiele ausführlicher dargestellt. So ist die Herstellung von Zement außerordentlich energieintensiv und verursacht enorme CO_2 -Emissionen. Durch den Einsatz von Ultrahochleistungsbeton kann man große Mengen an Zement einsparen und damit den Energieverbrauch und die damit verbundenen CO_2 -Emissionen reduzieren. Photoaktive Oberflächen zersetzen Luftschadstoffe. Selbstreinigungseffekte erhöhen die Haltbarkeit von Anstrichen und verringern die Notwendigkeit zum Einsatz von Chemikalien gegen Verschmutzungen und Bewuchs. Eine der charmantesten Idee scheint jedoch der „Einsatz“ winzigster Poren zur effektiven Wärmedämmung an Gebäuden:

Was für Nanopartikel im Zement gilt, ist auch so beim Dämmmaterial. Noch bevor man über die geeignete Messtechnik verfügte, um die nanoskalierten Strukturen zu analysieren, verfügte man über Materialien, deren überragende Dämmeigenschaften aus eben diesen Strukturen resultieren. Die Entwicklung von porösen Dämmstoffen mit Porengrößen im 100 nm-Bereich begann in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts. In den 1930er Jahren stellte Samuel Kistler in den USA erstmalig Silica-Aerogele in einem Sol-Gel-Prozess her und demonstrierte deren hervorragendes Wärmedämmvermögen. In den 1960er Jahren wurde dann das nach Kistlers Verfahren produzierte pulverförmige Material „Santogel“ durch die preiswertere pyrogene Kieselsäure vom Markt verdrängt. Pyrogene Kieselsäure ist ein weißliches nanostrukturiertes Pulver, welches in den 1940er Jahren erstmals bei der Degussa durch Verbrennung von Tetrachlorsilan in einer Knallgasflamme hergestellt wurde und seither als Aerosil® vertrieben wird. Die Herstellung von Aerogelen wurde in den 1980er und 1990er Jahren von der BASF und Hoechst weiterentwickelt. Heute stellt die US-Firma Cabot auf der Grundlage des von Hoechst erworbenen Know-hows das Produkt Nanogel® in Granulat oder Splitterform her. Nanogel® - Schüttungen haben ebenso wie pyrogene Kieselsäure hervorragende Dämmeigenschaften und sind darüber hinaus noch lichtdurchlässig und durchsichtig. Doch woraus resultiert die geringe Wärmeleitfähigkeit dieser nanoporösen Silikate und wie kann man

diese Eigenschaften in Dämmmaterialien für die Bauwirtschaft nutzen?

Ein Schaum ist im Prinzip eine Ansammlung von mit dem Rohstoff umhüllten gashaltigen Poren. Der Wärmetransport in einer solchen porösen Dämmung setzt sich im Wesentlichen aus drei Komponenten zusammen, dem Wärmetransport über das Festkörpergerüst, dem Infrarotstrahlungstransport und der Wärmeleitung des darin enthaltenen Gases. Deshalb führen folgende Maßnahmen zur Herabsetzung der Wärmeleitfähigkeit eines porösen Materials:

Gasmoleküle finden Platz in einer Pore. Deshalb nimmt die Wärmeleitfähigkeit in einem Schaum mit kleiner werdenden Poren ab (vgl. untenstehende Abbildung). Bei nanoporösen Materialien wie pyrogener Kieselsäure oder Aerogelen ist dieser Effekt am stärksten. Durch den Übergang von Mikro- zu Nanoporen kann man ungefähr eine Halbierung der Wärmeleitfähigkeit erreichen. Auch konventionelle polymere Schäume wie z.B. Polystyrol können durch den Zusatz von Nanofüllern mit wesentlich kleineren Poren hergestellt werden.



Reduzierung des Wärmetransports über die Gasphase in nanoporösen Schäumen

Mit der **Reduktion der Porengröße**⁵⁵ eines Schaims (Die Porengrößen von Polymerschäumen liegen im Bereich $50\ \mu\text{m}$, die in Nanogel® nur noch bei ca. $20\ \text{nm}$.) kann man die Wärmeübertragung (eigentlich die Übertragung von Bewegungsenergie von einem Gasteilchen auf das nächste) stark verringern, denn nur noch wenige

Durch **Evakuieren**, also indem man das Gas aus dem Dämmschaum herauspumpt, kann man die Wärmeleitung eines porösen Dämmmaterials ebenfalls stark herabsetzen. Jedem ist dieses Prinzip von der Thermoskanne bekannt. Allerdings muss das poröse Dämmmaterial dann gasdicht umhüllt werden. Umhüllungen aus Metall sind be-

⁵⁵ Porengröße wird in diesem Aufsatz im Sinne von Porendurchmesser oder Porenweite einer einzelnen Pore verwendet. Manche Autoren bezeichnen mit Porengröße das Gesamtporenvolumen oder die gesamte Porenoberfläche in einem Schaum. Bei diesem Sprachgebrauch würden sich die Relationen von Porengröße und Wärmeleitfähigkeit anders gestalten.

sonders gasdicht, leiten aber recht gut Wärme, Kunststofffolien leiten keine Wärme, lassen aber in Abhängigkeit von Temperatur und Druckgefälle allmählich Gas und Feuchtigkeit hindurch. Das Vakuum und damit auch die Dämmwirkung werden dadurch allmählich schlechter. Die Lebensdauer eines Vakuumdämmsystems wird hierdurch mitbestimmt. Die Wärmeleitfähigkeit von evakuiertem Dämmmaterial nimmt mit „abnehmendem Vakuum“ zu. Je kleiner jedoch die Poren desto weniger Unterdruck ist notwendig um eine hervorragende Wärmedämmung zu erzielen. Also muss man in nanoporösen Materialien weniger Unterdruck erzeugen als in polymeren Schäumen um ähnliche Effekte zu erzielen. Evakuierte Dämmmaterialien weisen im Vergleich zu herkömmlichen Dämmstoffen eine um den Faktor 10 reduzierte Wärmeleitfähigkeit auf. Durch **Beimengungen von Infrarotabsorbern und Infrarotreflektoren** kann man darüber hinaus die Wärmeleitung durch Infrarotstrahlung reduzieren.

„Schlank und leistungsstark“, „Dünne Haut“ - seit einigen Jahren werden in der Baufachpresse **Vakuum-Isolationspaneelen (VIP) als innovative Bauelemente** für die Dämmung von Gebäuden beschrieben. Hohe Wärmedämmung bei geringen Dämmschichtdicken sind die großen Vorteile dieser Innovation, denn zum Dämmen eines Gebäudes auf Passivhausniveau benötigt man 20 cm dickes Styropor, mit einem Wärmedämm-Verbundsystem (WVDS) mit VIP – Kern (2 cm Dicke) ist der gleiche Effekt mit einer insgesamt nur 7 cm dicken Außendämmung zu erreichen.⁵⁶ Die Vorteile bei der energetischen Sanierung von Bestandsgebäuden und auch denkmalgeschützten Gebäuden liegen trotz höherer Kosten auf der Hand. In den bisherigen Problemzonen kann Arbeit und Geld gespart werden, die Eingriffe in erhaltenswerte Architektur werden minimiert, die Raumverluste ebenfalls.

Die VIP-Erfinder haben alle drei obigen Tricks zur Verbesserung der Dämmwirkung auf ihr Produkt angewandt. Der Kern einer VIP ist eine Pressplatte aus nanoporöser pyrogener Kieselsäure. Dem Kernmaterial wurde als Infrarotabsorber, nanoskaliges Graphit bzw. Siliziumkarbid beigemischt. Der VIP-Kern wird von einer kompliziert aufgebauten Verbundfolie (Kunststoff mit Metall, meist Aluminium) umhüllt, die ebenfalls nanotechnologisch

optimiert wurde und deshalb, wenn Sie nicht verletzt wird, das Vakuum im VIP-Kern bis zu 50 Jahre in guter Qualität aufrechterhält. So können VIP den Ansprüchen der Bauwirtschaft an Qualität und Dauerhaftigkeit gerecht werden.

Im Fachforum „Energieeffizienz und Klimaschutz“ auf der BAU 2011 beschrieb Christof Stölzel, Geschäftsführer der VARIOTEC GmbH die Anstrengungen seines Unternehmens, VIP von der Forschung auf die Baustelle zu bringen und dort dauerhaft zu etablieren.⁵⁷ Das Produkt heißt in der jetzigen zweiten Generation QASA (von Q=Wärme und CASA=Haus) und ist ein baustellensicheres Fertigteil zur Vakuumdämmung. Christof Stölzel beschrieb ausführlich den Aufbau und die Herstellung von QASA.⁵⁸ Für die komplex aufgebauten QASA-Bauteile hat sich beim Hersteller Variotec inzwischen eine ausgeklügelte Qualitätssicherung etabliert, mit der die Langzeitgebrauchstauglichkeit sichergestellt werden soll. Diese setzt bereits bei der Kontrolle der Mischung für das Pressen der VIP-Platten ein. Durch die Einstellung der Rohdichte zwischen 180 und 280 kg/m³ (je nach Einsatzzweck) wird die notwendige Druckfestigkeit von ca. 70 kN/m² bis zu max. 350 kN/m² (für Bodenplatten) erreicht. Im Kurzzeitversuch hält so eine VIP-Platte auch einer Belastung von ca. 2.500 kN/m² stand. Ebenso wichtig ist es, das Material hinreichend trocken in die nahezu gasdichte Hochbarrierefolie zu verschweißen und einen stabilen Unterdruck (Vakuum) zu garantieren. Die Messergebnisse werden auf der Ware mit einem Strichcode vermerkt. Langzeitmessungen der Wärmeleitfähigkeit kontrollieren und belegen die Dauerhaftigkeit der Dämmwirkung.

Für Vakuumisulationspaneelen gibt es, wie für viele andere Bauinnovationen, zurzeit weder in Deutschland noch in Europa eine Norm oder Vor-Norm. Für solche Produkte ist ein Verwendbarkeitsnachweis erforderlich. Dieser kann erfolgen durch

- Europäische Technische Zulassung (ETZ) bzw. European Technical Approval (ETA) mit dem CE-Zeichen,
- Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (abZ, vgl. §18 Deutsche Musterbauordnung) mit Übereinstimmungsnachweis (Ü-Zeichen),

⁵⁶ Der VIP-Kern ist lediglich 2 cm dick. Er wird jedoch für den Gebrauch auf der Baustelle zusätzlich von Schutz- und Funktionsdeckschichten umgeben, die gegen mechanische Belastungen oder Witterungseinflüsse wie z.B. Feuchtigkeit schützen und den Einbau ermöglichen.

⁵⁷ Vgl. Christof Stölzel: VIP – von der Forschung auf die Baustelle, Vortrag auf der BAU 2011.

⁵⁸ Vgl. auch www.qasa-vakuumdaemmung.de

- Allgemeines bauaufsichtliches Prüfzeugnis (abP, vgl. §19 Deutsche Musterbauordnung) mit Übereinstimmungsnachweis (Ü-Zeichen),
- Zustimmung im Einzelfall (ZiE, vgl. §20 Deutsche Musterbauordnung).

Variotec hat eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung für QASA erworben, welche hohe Auflagen für die Qualitätsprüfung mit beinhaltet.⁵⁹

Doch die Anstrengungen von Variotec, für Anwender des innovativen Produktes das Risiko zu minimieren, gehen weit über die sorgfältige Herstellung und Qualitätssicherung hinaus. Das Unternehmen bietet Planern und Bauunternehmen umfassende Planungs- und Entscheidungshilfen an. Mit den Tools auf www.qasa-vakuumbaemmung.de werden interessierte Anwender durch Empfehlungen für geeignete Einsatzfelder, mit Hinweisen für eine gründliche Wirtschaftlichkeitsbetrachtung und auch eine detaillierte Planungshilfe umfassend unterstützt. Das QASA-Planungskompandium für Architekten, Planer und Systempartner ermöglicht Zugang zu allen Planungs- und Konstruktionsde-

tails, einer Planungs- und Berechnungssoftware für Fenster, Türen und Fassaden, Muster für die Erhöhung auf gängige energetische Gebäudestandards und 129 energetische bewertete Baukörperanschlüsse aus den Bereichen Sanierung, Spezialaufgaben und Neubau.

Mit VIP ermöglicht die Nanotechnologie die „sanfte“ energetische Sanierung wertvoller Bestandsgebäude. Auch im Neubau lohnt sich der Einsatz, wenn die hierdurch gewonnene Nutzfläche zu entsprechend hohen Preisen vermarktet werden kann. Allerdings handelt es sich um ein relativ teures und auch für Planer und Bauhandwerker sehr aufwändiges Verfahren. Schließlich kann man in VIP-Dämmelemente später nicht mehr bohren oder schneiden, denn damit wird die gasdichte Umhüllung verletzt und die Dämmwirkung lässt stark nach. Deshalb sind innovative Dämmstoffe ohne zusätzliches Vakuum für viele Bauanwendungen die geeignetere Variante, auch wenn die Dämmsysteme dadurch „dicker“ werden. Ein solches System stellte Wolfgang Schreiber von Rockwool in seinem Vortrag auf der BAU 2011 vor.⁶⁰



Pilotprojekt Dämmung mit VIP; Wohn- und Geschäftshaus, Seitzstraße München – Außendämmung mit VIP spart Platz auf teurem Baugrund



Wilhelmstraße in Hofheim – straßenseitige Vakuumdämmung ermöglicht die Einhaltung der Grundstücksgrenzen

„Aerogele sind Alltag, es gibt sie seit jeher beim Bäcker unter dem Namen ‚Baiser‘. Wer das in die Hand nimmt, spürt, wie die Finger warm werden.“ Durch die in mikrofeine Bläschen eingeschlossene Luft ist das Baiser ein guter Wärmeisolator und nach dem gleichen Prinzip funktioniert auch Aerowolle®, der neue Hochleistungsdämmstoff der Rockwool, so Schreiber zu Beginn seines Vortrages (vgl. auch Abbildung weiter oben zum Wärme-

⁵⁹ Vgl. ebenfalls www.qasa-vakuumbaemmung.de

⁶⁰ Vgl. Wolfgang Schreiber: Innendämmung bis in die kleinste Nische – neuartiges Dämmsystem auf der Basis von Nanotechnologie, Vortrag auf der BAU 2011.

transport in nanoporösen Schäumen). Aerowolle ist eine formstabile Dämmplatte aus einer Kombination von Silica-Aerogel und Steinwolle. Einsatzgebiet ist auch hier vorzugsweise die Innendämmung, insbesondere in der Altbausanierung. Durch die Verwendung von Aerowolle®-Produkten kann die Dämmstärke wesentlich reduziert werden, wenn auch nicht ganz so stark wie bei VIP. Dafür ist das Material einfacher zu verarbeiten und kann problemlos gesägt oder gebohrt werden. Silica-Aerogel bietet sich übrigens auch zum Dämmen von lichtdurchlässigen Fassadenelementen an, als transluzente Füllschicht zwischen zwei Glasplatten.

Phasenwechselmaterialien (PCM) dienen nicht der Wärmedämmung aber ihr Einsatz unterstützt ein energiesparendes Temperaturmanagement in Gebäuden. „Sommerlicher Wärmeschutz in 3.000 nm“ so titelte Marco Schmidt von der BASF seinen Vortrag im Fachforum „Energieeffizienz und Klimaschutz“ auf der BAU 2011.⁶¹ Wärmedämmung verhindert Energieverluste durch die Wand im Winter. Im Sommer gibt es oft ein ganz anderes Problem, massiver Energieeintrag durch die Fenster und innere Lasten (die Abwärme von Menschen und Geräten) heizen die Gebäude auf. Behagliche Innentemperaturen müssen durch Verhinderung von Energieeinträgen (Verschattung und Dämmung) sowie Kühlung erfolgen. Klimaanlage verbrauchen Energie und schädigen das Klima durch CO₂-Emissionen und die verwendeten Kühlmittel. Das nachhaltigere Verfahren ist es, die Wärme tagsüber in der Gebäudemasse zu speichern und nachts mit kalter Nachtluft wieder aus dem Gebäude „heraus zu lüften“. Einige Baustoffe, z.B. Beton haben von vornherein eine hohe Wärmespeicherkapazität. Durch den Zusatz von Phasenwechselmaterialien kann man diese aber noch erhöhen. Und das ist sinnvoll, denn je mehr Wärme in der Decke oder Wand gespeichert wird, desto kühler bleibt die Raumluft.

Doch wie funktionieren Phasenwechselmaterialien? Beinahe jeder kennt folgendes kleines Experiment: Man fülle ein Glas mit Leitungswasser und Eiswürfeln. Solange die Eiswürfel noch nicht komplett geschmolzen sind, bleibt die Wasser-/Eismischung kalt. Die gesamte Wärmeenergie, die aus der Umgebung aufgenommen wird, wird für das



Extradünne Dämmung: Vakuumsisolationspaneele, 4 cm stark in Hochbarrierefolie (links); Aerorock® DU – Verbundplatte aus Aerowolle® (gelbliche Schicht) und vorgrundierter, weißer sowie stoßfester Gipskartonplatte (weiße Schicht)

Schmelzen aufgewendet, denn Schmelzen ist Arbeit. Andere chemische Verbindungen, z.B. Paraffine oder Salzhydrate, nehmen ebenfalls sehr viel Energie für den Phasenwechsel von fest zu flüssig auf. Sie tun das aber im Vergleich zu Wasser/ Eis bei für die Temperierung von Gebäuden günstigeren Temperaturen und sie speichern die Wärme auch viel schneller als z.B. Beton. Schwierig ist es jedoch, die Phasenwechselmaterialien möglichst fein und vorzugsweise an der Oberfläche im Baustoff, seien es Putze, Estriche oder Trockenbauplatten, zu verteilen. Mit dem Verfahren zur Herstellung von Mircronal® genannten PCM-Mikrokapseln ist das im Rahmen zweier vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie geförderter EnOB-Verbundprojekte⁶² gelungen.

Paraffin wird in heißem Wasser emulgiert. Anschließend werden Monomer und Starter für die Bildung der Polymerhülle der Mikrokapseln zugegeben. Durch Sprühtrocknung entsteht das PCM-Pulver bestehend aus winzigen Paraffinkügelchen mit einer ebenso winzigen Polymerhülle. Damit ist das Paraffin dicht verpackt und kann beim Schmelzen nicht mehr freigesetzt werden. Je kleiner die Kapseln sind, desto größer ist die reaktive Oberfläche, desto schneller reagieren also die Kapseln auf Temperaturänderungen.⁶³ Noch kleinere Kapseln, also „richtige Nanotechnologie“ im Größenbereich einiger hundert Nanometer wären in dieser Beziehung vielleicht noch besser, aber auch hier⁶⁴ ist zu prüfen, wie viel Hightech für den gewünschten Effekt nötig ist, denn „Je mehr nano, desto

⁶¹ Vgl. Marco Schmidt: Leichtes Temperaturmanagement in Gebäuden mit mikroverkapselten Latentwärmespeichern (PCM), Vortrag auf der BAU 2011.

⁶² EnOB-Forschung für Energieoptimiertes Bauen

⁶³ Zum besseren Verständnis stelle man sich einen Eiswürfel oder gecrushtes Eis aus dem berühmten Cocktail vor. Die gleiche Menge gecrushtes Eis ist unter gleichen Bedingungen schneller geschmolzen als der Eiswürfel.

⁶⁴ Ebenso wie z.B. bei der Wahl des geeigneten Dämmsystems.

teurer und komplizierter ist die Anwendung“ scheint eine gültige Übersichtsregel für eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zu sein.

Im Forschungsprojekt wurden die PCM-Mikrokapseln gründlich getestet. U.a. wurden die Kapseln im Dauertest 24 Zyklen/ Tag über 16 Monate hinweg jeweils erwärmt und abgekühlt. Die Schmelzwärme blieb konstant und die Kapseln blieben heil. Die notwendige Dauerhaftigkeit des Effektes und die für Bauprodukte notwendige Haltbarkeit konnte nachgewiesen werden. Mit einer Berechnungssoftware wurden Varianten mit und ohne PCM für bestimmte bauliche Konstruktionen (z.B. Holzleichtbau) verglichen und der Komfortgewinn an heißen Tagen nachgewiesen. Inzwischen wird Micronal® bei der BASF industriell hergestellt, als Zusatz geeigneter Baustoffe am Markt angeboten und hat sich im Praxistest (Bürogebäude Ofcom Head Office, London) bewährt.

Die enormen Innovationspotenziale der Nanotechnologie für Energieeffizienz und Klimaschutz werden an diesen Beispielen deutlich, sind aber noch lange nicht ausgeschöpft. So können konventionelle Dämmstoffe z.B. aus nachwachsenden Rohstoffen mit Nanokompositmaterial zur Verbesserung des Brandschutzes und zur Herabsetzung der Entzündbarkeit beschichtet werden. Einige Forscher träumen von Schäumen, die man zur Wärmedämmung wie eine Farbe auf die Wand auftragen kann. Nanotechnologie am Bau ist jedoch kein Traum, sondern ein starker Treiber für die Entwicklung innovativer Produkte und Verfahren.

Ebenso klug wie die Anwendung der Nanotechnologie ist es für die Bauforschung die Natur als Ideenquelle für die Entwicklung von Dämmmaterialien zu nutzen. Einige spannende Beispiele schilderte Dr. Thomas Stegmaier vom Deutschen Institut für Textil- und Faserforschung Denkendorf in seinem abschließenden Vortrag im Fachforum „Energieeffizienz und Klimaschutz“ auf der BAU 2011.⁶⁵

Wärmeaustausch funktioniert, wie bereits ausgeführt, nach drei Mechanismen, durch Konvektion (Wärmeströmung z.B. über Luftaustausch), durch Kontaktleitung und durch Strahlung. Um Wärmeaustausch zu verhindern, bedient sich die Natur

folgender Prinzipien:

- Wärmedämmung,
- Adaptive Wärmeisolation,
- Adaptiver Sonnenschutz,
- Wärmemanagement,
- Kühlung durch Wasserverdampfung,
- Temperaturzonung des Körpers (z.B. bei Fischen),
- Energiespeicher (kaum Wärmespeicher, vielmehr chemische Energiespeicher),
- Und vor allem: energiearme Funktions- und Systemintegration⁶⁶



Wespennest: Die äußere Hülle besteht aus mehrlagigen konzentrischen Schalen mit Luftfüllungen



Küchenschelle: Wärmedämmung mit lufthaltigem, watteartigem Überzug, der evtl. auch zum Schutz vor UV-Strahlung dienen könnte.

⁶⁵ Vgl. Dr. Thomas Stegmaier: BIONIK: Ideenquelle und Anregungen für Dämmmaterialien, Vortrag auf der BAU 2011.

⁶⁶ Ein extremes Beispiel ist das Faultier, der Energiesparweltmeister unter den Säugetieren. Das Faultier hat seine Ernährung auf sehr energiearme Blätter ausgerichtet. Die gibt es überall. Entsprechend gering ist der Aufwand, den es zur Nahrungsbeschaffung betreibt und auch betreiben kann. Sogar Skelett und Gelenke sind fürs „Herumhängen“ optimiert. Aus Sicht der Evolution ist das auch nicht faul, sondern einfach nur effizient. Am billigsten ist eben die Energie, die nicht gebraucht wird. Das weiß das Faultier offensichtlich auch. (Vgl. <http://www.pressetext.com/news/20110720034>, Download: 21.07.2011.)

Viele Naturstoffe eignen sich schon allein deshalb auch als Dämmstoffe für Bauwerke, weil sie in der Natur die gleiche Funktion haben, z.B. Wolle oder der Kork der Sequoia, der darüber hinaus u.a. resistent gegen Chemikalien und schwer entflammbar ist und somit eine hervorragende Gebäudehülle abgeben würde. Bei anderen natürlichen Dämmmaterialien steckt die technische Idee in der Konstruktion und Wirkungsweise, z.B. beim Federkleid von Pinguin oder Rotkehlchen, der Außenhülle eines Wespennestes oder dem lufthaltigen watteartigen Überzug der Küchenschelle.

Darüber hinaus spielt cleveres Wärmemanagement in der Natur eine wichtige Rolle. Silbrige, haarige Oberflächen auf Pflanzen können Licht verschiedener Wellenlängen reflektieren und so Überhitzung verhindern. Ein raffinierter Trick, z.B. von *Leucadendron argenteum*⁶⁷ (englisch: Silver tree) aus Südafrika ist es, den Haaranstellwinkel gemäß der Jahreszeit im Sommer flach und im Winter steiler auszurichten und dadurch den Lichtdurchlass zu steuern. Der Eisbär hingegen muss die Wärmeabgabe minimieren und die Wärmeaufnahme maximieren. Seine Haut erwärmt sich in der Sonne durch das Fell hindurch rasch um 10°C, Wärmeverluste gibt es hingegen nur durch Augen und Rachen. Der Trick dabei ist, dass das Fell des Eisbären viel Sonnenlicht durchlässt (opak ist) die Haut jedoch schwarz. So kann minimale Sonneneinstrahlung effizient genutzt werden. Fell und vor allem die Fettschicht lassen die Wärme jedoch nicht mehr heraus. Sie unterbinden sogar effektiv die Wärmeabstrahlung.

Mit einem Projekt zur Entwicklung einer bionisch inspirierten transparenten Wärmedämmung auf textiler Basis wurde diese Idee aufgegriffen. Anwendungsmöglichkeiten bestehen z.B. beim Bau von Flachkollektoren für die Solarthermie. Eine größere Herausforderung ist die Konstruktion energieunabhängiger Gebäude. Ziel eines solchen Forschungsprojektes mit dem Namen „Eisbärbauten“ ist es, multifunktionale Wand- und Zirkulationssysteme mit faserbasierten Materialien zu entwickeln, die ein Langzeit-Wärmespeichersystem darstellen, effizient die Sonnenenergie nutzen und das Energiemanagement übernehmen. Dieses Projekt wird von der Europäischen Union und dem Land Baden-Württemberg gefördert.

Lernen von der Natur – Bauen und Bionik

Das Standardwerk zur „Bau-Bionik“ ist zumindest in Deutschland nach wie vor das gleichnamige Buch von Prof. Werner Nachtigall. Von 1969 bis 2002 Professor und Direktor des Zoologischen Instituts der Universität des Saarlandes, gilt er als der Pionier der Bionik in Deutschland und hat mit seinen wissenschaftlichen Arbeiten und populärwissenschaftlichen Publikationen, der Einführung des Studienprogramms „Technische Biologie und Bionik“ sowie mit der Vernetzung der Bioniker⁶⁸ einen großen Beitrag zur Etablierung der Bionik in Deutschland geleistet.

Viele Bereiche der Bionik sind für Innovationen am Bau relevant. Die Ergebnisse von Material- bzw. Werkstoffbionik können zur Entwicklung neuer Baustoffe und Bauteile sowie zur Oberflächenveredlung angewandt werden. Die Verbesserung der Materialien für Baumaschinen und Werkzeuge sowie die Verwendung natürlicher Baustoffe gehören in diesen Bereich. Konstruktions- bzw. Strukturbionik kommen im Bereich der Architektur mit Leichtbaukonstruktionen für Hallen, Brücken, Türme u.ä. zum Einsatz. Für die Architekten liegen hier vielfältige Möglichkeiten, für Statiker und Bauämter entstehen neue Herausforderungen. Für die Entwicklung von Bauteilen (z.B. Fassadenkonstruktionen) und auch zur Optimierung von Baumaschinen und Werkzeugen können die Instrumentarien bionischen Konstruierens ebenfalls verwendet werden.

Klima- und Energetobionik sind die Grundlage für die Entwicklung effizienter Systeme für passive Lüftung, Kühlung und Beheizung von Gebäuden. Tierbauten und ursprüngliche menschliche Baukultur sind hier die Ideengeber. In modernen Bürogebäuden mit hohem energetischem Standard werden diese Erkenntnisse bereits erfolgreich eingesetzt. Im Bereich der Prozessbionik werden biologische Prozesse wie die Photosynthese in technische Produkte wie Photovoltaikanlagen und luftreinigende Pflastersteine übertragen. Oft sind Nanopartikel und nanoskalige Strukturen die Träger der aus der Natur abgeleiteten zusätzlichen Funktion eines Baustoffes. Einige Beispiele hierzu wurden in den vorangegangenen Abschnitten bereits ausführlicher dargestellt.

⁶⁷ *Leucadendron argenteum* (englisch: Silver tree, deutsch: Silberbaum, afrikans: witteboom oder silwerboom) ist ein relativ kurzlebiger max. 7-10 m hoch werdender Baum, der nur an wenigen Standorten in Südafrika vorkommt. *Leucadendron argenteum* steht unter Naturschutz, denn er ist in seinem Bestand extrem bedroht.

⁶⁸ Bionik-Kompetenznetzwerk BIONIKON.

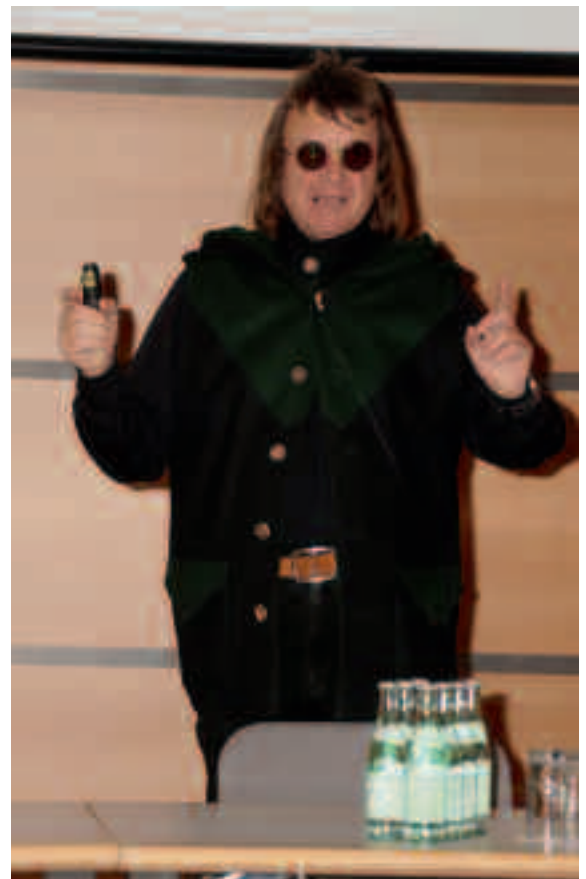
Evolutions- und Organisationsbionik liefern alternative und effiziente Strategien und Vorgehensweisen zum Verständnis komplexer Systeme und Prozesse. Für das Management von Innovationen aber vielleicht auch für das Projektmanagement in großen Bauprojekten können die Erkenntnisse aus diesem Bereich der Bionik von großem Interesse sein.

Die Potenziale der Bionik für Innovationen in der Bauwirtschaft sind enorm. Die Veranstaltung „Nanotechnik und Bionik – Hightech in der Bauwirtschaft“ auf der BAU 2011 hat einige davon bekannter gemacht. Diese werden im Folgenden zusammenfassend erläutert.⁶⁹

Bionik heißt „Lernen von der Natur“ („nicht einfach abschreiben!“). Es gilt, die Analogien zur technischen Anwendung zu suchen und zu nutzen. Mit diesem Ziel geht Prof. Claus Mattheck, Physiker, Materialforscher und Baumsachverständiger in den Wald, um von den Bäumen zu lernen. Aber auch Knochen, Kreidefelsen oder Sandhaufen sind die Quellen der von ihm in seinem Vortrag vorgestellten „Denkwerkzeuge der Natur“. Wie auch in seinem gleichnamigen Buch, leitete Prof. Mattheck darin eine formelfreie, gesprochene Bruchmechanik her, mit deren Hilfe die komplexe Software zur Optimierung von Bauteilen zumindest für einfachere Fälle durch schlichte grafische Methoden ersetzt werden kann.

Im Teil 1 dieser Broschüre wurde bereits beschrieben, wie Bäume geschickt „Schieflagen“ durch zusätzliches Wachstum ausgleichen. Grundsätzlich unterliegt das Wachstum der Bäume dem Axiom konstanter Spannung. Dort wo die Last am größten ist, wächst auch das meiste Holz, die Jahresringe werden z.B. dicker. Deshalb sind Stämme am Fuß auch vorzugsweise breiter als zur Krone hin. Dadurch wird die Zunahme des Windbiegemomentes nach unten hin abgefangen. Haben Bäume jedoch nicht genügend Platz für eine hinreichend große Krone, werden sie am Stammfuß zu schlank, eine gefährliche Schwachstelle, Schlankheit wird zum Risiko, so Prof. Mattheck.

Bei technischen Bauteilen sind Kerben ebensolche Schwachstellen, denn gerade an den Kerben reißen diese Bauteile besonders häufig ein. Noch kritischer wird es, wenn verschiedene Kerben ineinander verschachtelt wurden. Kann man nun für die Konstruktion von Kerben das Axiom konstanter Spannung von den Bäumen übertragen? Ja, das kann man und das zeigt auch hervorragende Ergebnisse. Die Kerben von Knochenschrauben für die Chirurgie wurden z.B. mit der CAO-Methode⁷⁰ so in ihrer Form optimiert, dass die Kerbspannung minimal wurde. Die Lebensdauer stieg auf das 20fache. Die SKO-Methode (Soft Kill Option) ist ebenfalls eine Methode zur computergestützten Simulation von Bauteilen. Ähnlich wie beim Knochenwachstum wird an den Stellen Material entfernt, an denen es für die Stabilität der Konstruktion nicht gebraucht wird.⁷¹

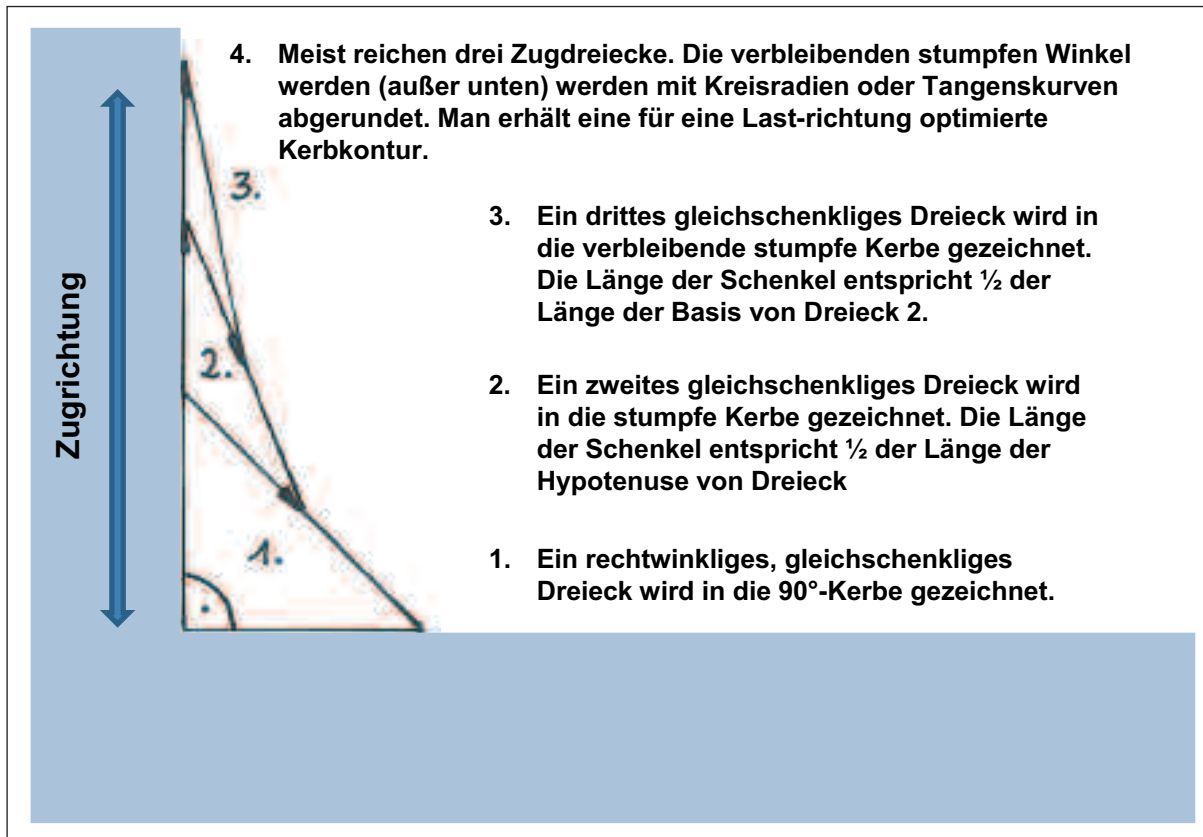


Prof. Mattheck bei seinem Vortrag auf der BAU 2011.

⁶⁹ Vgl. für folgende Texte auch Prof. Dr. Claus Mattheck: Denkwerkzeuge nach der Natur; Prof. Dr. Jan Knippers: Bionik – Hightech in der Bauwirtschaft: Wandelbarer Leichtbau in der Architektur, Vorträge auf dem Kongress „Nanotechnik und Bionik – Hightech in der Bauwirtschaft“ im Rahmen der BAU 2011 in München. vgl. auch Florian Sontheim: Die Krallen des Ameisenbären als Vorbild – Strukturoptimierung hochbeanspruchter Arbeitswerkzeuge in der Rohstoffgewinnung; Dr. Tom Masselter: Bauteiloptimierung nach dem Vorbild verzweigter baumförmiger Pflanzen; Prof. Dr. Frank Mirtsch: Vom Schildkrötenpanzer zum Leichtbauelement - Effektivere Formbildung versteifender dünner Wände durch kontrollierte Selbstorganisation. Wölbstrukturen. Vorträge auf der BAU 2011.

⁷⁰ Die CAO-Methode (Computer Aided Optimization) berechnet Kerbformen ohne Kerbspannung durch Simulation von lastadaptivem Wachstum biologischer Lastträger. An höher belasteten Bereichen wird Material angelagert und an weniger belasteten Bereichen Material entfernt bis eine ausreichend gleichverteilte Spannung auf der Bauteiloberfläche erreicht ist. (vgl. auch <http://www.biokon.net/bionik/beispiele.html>, Download: 13.07.2011).

⁷¹ Prof. Mattheck spricht gern von „Faulpelzen“, die es zu entfernen gilt.



Methode der Zugdreiecke

Aber den Computer müssen die Konstrukteure nicht immer bemühen. Durch drei essentielle Methoden wird künftig die Qualität der Formfindung auf einfache Weise erhöht:

- Die Methode der Schubvierecke,
- Die Methode der Zugdreiecke,
- Die Methode der Kraftkegel.

Mit diesen drei Methoden lässt sich die Entstehung von Rissen, Brüchen oder ähnlichen Schäden gut erklären. Beherzigt man diese einfachen Zusammenhänge so, wie es die Natur grundsätzlich tut, dann erhöht sich die Haltbarkeit technischer Konstruktionen wesentlich. Der Nachweis ist leicht geführt. Die Stabilität vieler „natürlicher Konstruktionen“ kann man mit einer dieser drei Methoden leicht erklären.

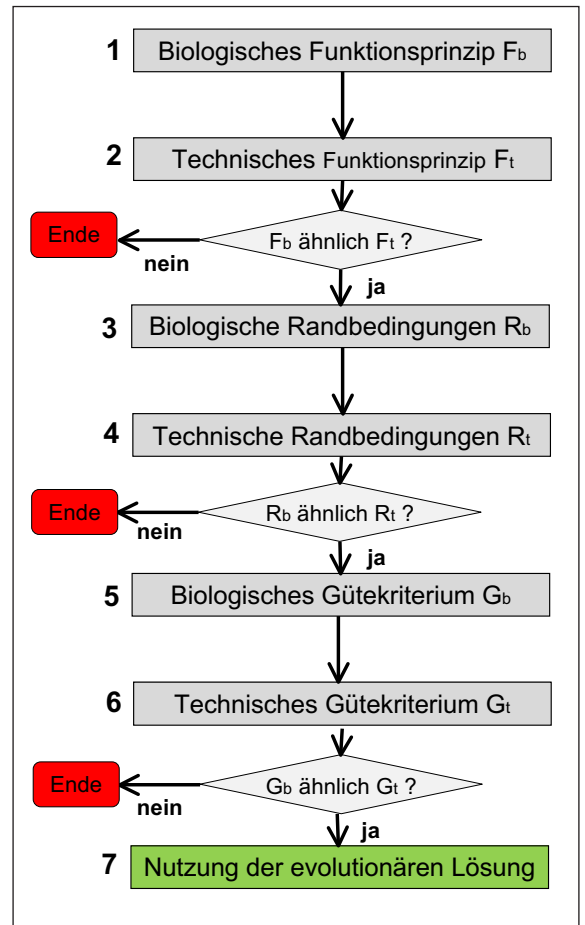
Erdhaufen, Steinhaufen aber auch Häufchen aus Mehl, Salz oder Zucker haben immer einen Böschungswinkel von ca. 45°. Das kann durch Schubvierecke erklärt werden. Von den Schubvierecken wurde die Methode der Zugdreiecke abgeleitet, mit der man gefährliche Kerbspannungen

abbauen kann, aber auch „Faulpelzecken vom Bauteil abknabbern“, so Prof. Mattheck in seinem Vortrag. Durch Zugdreiecke optimierte Formen finden sich ebenfalls überall in der Natur. Die Natur kennt keine 90°-Kerben. In Abhängigkeit von der Belastungsrichtung (Zugrichtung) wird die Kerbe abgeflacht, also zusätzliches Material hineingegeben und die Kerbspannung zu minimieren. Die Methode der Zugdreiecke, die CAO-Methode und Baumeisterin Natur kommen hierbei zu ähnlichen Ergebnissen. Stammfüße, Baumgabeln, Hirschgeweihgabeln, die Füße von Felsen und sogar die abgerundeten Enden von im Fluss glattgewaschenen Steinen haben alle eine ähnliche abgerundete Form, die sich mit Zugdreiecken gut nachbilden lässt. Prof. Mattheck hat hier eine Universalform der Natur entdeckt, die sich in Jahrmillionen als stabile Form bewährt hat. Deshalb sollte die Methode der Zugdreiecke auch im Handwerkszeug der Bauleute einen Ehrenplatz finden.

Ende 2009 entwickelte das Team von Prof. Mattheck eine dritte Methode, die Methode der Kraftkegel, mit der einige Mängel der ersten zwei Methoden abgestellt werden konnten. Die Idee ist, dass in einer großen elastischen Ebene eine

Einzelkraft einen 90°-Zugkegel hinter sich herzieht. Zieht man eine Rolle Alufolie über eine Tischkante und leitet mit einem Gummipropfen einen lokalen Gegenzug ein, so kann man den rechtwinkligen Zugkegel an den größten Falten ganz gut erkennen. Das Experiment funktioniert auch mit einem feuchten Abwaschlappen, einem Fensterbrett und dem kräftigen Zeigefinger der Autorin. Blattadern, Baumwurzeln und die Äste der Baumkronen tragen nach diesem Prinzip effektiv Last ab. Hierdurch wird beispielsweise verhindert, dass das Gewicht der Blätter die Äste nach unten reißt oder dass das Gewicht des Baumes den Stamm im Erdboden versinken lässt. Spannend für Konstrukteure wird diese Methode bei beweglichen Bauteilen (Beispiel: Torsionsanker). Doch lässt sich mit diesen praktischen Denkwerkzeugen wahrscheinlich auch die Tragfähigkeit einer künstlerisch ambitionierten Bauwerkskonstruktion hervorragend abschätzen. Ob künftig Architekten ihre ersten Skizzen mit Schubvierecken und Zugkegeln versehen?

Mit den Methoden von Prof. Mattheck arbeitet Florian Sontheim, wissenschaftlicher Mitarbeiter im Kölner Labor für Baumaschinen (KLB) am Institut für Landmaschinentechnik und regenerativ Energien der Fachhochschule Köln. Gleichzeitig kann man an dem von ihm in seinem Vortrag vorgestellten Projekt auch gut die Herangehensweise eines Bionikers zur Lösung eines konkreten technischen Problems gut nachvollziehen. Ziel des Projektes ist die Strukturoptimierung hochbeanspruchter Arbeitswerkzeuge in der Rohstoffgewinnung, konkret die eines Reißzahns für Hydraulikbagger im Steinbruch. Dieser kommt immer dann zum Einsatz, wenn Sprengungen nicht möglich oder auch nicht sinnvoll sind. Doch die Arbeit des Reißzahns ist hart und immer wieder kommt es zu Brüchen. Bei 2.800 kg Stahl und den aktuellen Stahlpreisen am Weltmarkt ist der ökonomische Anreiz hoch, die Lebensdauer dieses Bauteils zu erhöhen. Zunächst hat Florian Sontheim die aktuelle Form des Reißzahns einer Strukturanalyse unterzogen und die Spannungsverteilung an der Außenkontur bestimmt. Der nächste Schritt des Bioniker ist der Formvergleich mit ähnlichen Werkzeugen aus der Natur. Doch eigentlich sind es sieben Schritte, die „Sieben Denkschritte der Bionik“: „Die Evolution kann nur dann für den Ingenieur sinnvolle Vorarbeit geleistet haben, wenn sie an derselben Funktion unter denselben Randbedingungen nach demselben Gütekriterium gearbeitet hat. Wer eine



Die 7 Denkschritte der Bionik

biologische Leistung bewundert und daraus technischen Nutzen ziehen möchte sollte die 7 Denkschritte der Bionik (vgl. Abbildung) befragen.“ Wer bei **nein** landet sollte Acht geben. „Möglicherweise ist die biologisch-technische Analogie unsinnig.“⁷²

Diesem Schema folgend wurden Krallen und Zähne verschiedener Tierarten auf ihre Vergleichbarkeit hin untersucht. Die Krallen von Tiger, Hund, Maulwurf und Ameisenbär, der Adlerschnabel, der Zahn des Tigerhais und das Mandibel, die Mundwerkzeuge der Ameise, haben ähnliche Konturen, die der Gleichung einer logarithmischen Spirale folgen. Der Reißvorgang eines Hydraulikbaggers ähnelt allerdings am stärksten der Arbeit, die der Ameisenbär mit seiner Kralle verrichtet. Dies ergaben Verhaltensuntersuchungen im Dortmunder Zoo. Deswegen fiel die Wahl der Kölner Forscher letztendlich auf die Ameisenbärenkrallen. Diese wurde nun ebenfalls einer Konturenanalyse

⁷² Vgl. Prof. Ingo Rechenberg: Vorlesung Bionik I, <http://www.bionik.tu-berlin.de/institut/skript/vorlb1.htm> (Download: 14.07.2011).



Grabender Ameisenbär



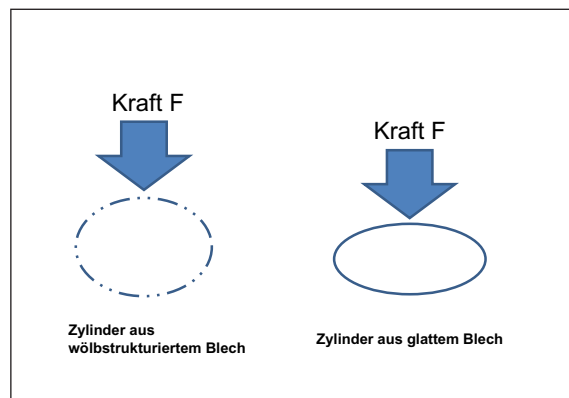
Modell des Bionischen Aufreißzahns

unterzogen und mit dem Reißzahn in Bezug auf die Spannungsverteilung verglichen. Hieraus ergaben sich die Parameter für die Berechnung der optimierten Reißzahnkontur nach der Gleichung für eine logarithmische Spirale. Das Ergebnis des Optimierungsprozesses, der „Bionische Aufreißzahn“ hat folgende Vorteile:

1. Die Reduzierung des Volumens um 7%.
Damit wird auch der Materialeinsatz geringer.
2. Die Reduzierung der maximalen Spannungen an der Außenkontur um 12,2%.

3. Die Reduzierung der Spannungen an der Bruchstelle um 18,2%.

Neben der Formoptimierung nach Vorbildern der Natur nutzt Prof. Dr. Frank Mirtsch für die Herstellung seiner innovativen Produkte aus wölbstrukturierten Materialien, auch den Effekt der Selbstorganisation, mit dem in der Natur raffinierte Konstruktionen entstehen. „Vom Schildkrötenpanzer zum Leichtbauelement – Effektivere Formenbildung versteifender dünner Wände durch kontrollierte Selbstorganisation“ titelte sein Vortrag im Fachforum „Form und Festigkeit“ auf der BAU 2011. Sein Anliegen ist nachhaltiges Wirtschaften durch effizienten Ressourceneinsatz zu fördern. Auf diesem Gebiet ist die Natur der Technik oft ein ganzes Stück voraus. In über 200 Mio. Jahren der Evolution hat sie zum Beispiel den Panzer der Schildkröte von der Urform zur heutigen superstabilen Leichtbaukonstruktion mit der typischen Wölbstruktur fortentwickelt.



Höhere Stabilität durch Wölbstrukturierung

Prof. Mirtsch und sein Team haben nun ein Verfahren zur technischen Evolution von Wölb- und 3D-Fasettenstrukturen entwickelt. Als Stützwerkzeug wird eine Spirale verwendet. Diese wird in einem dünnwandigen Zylinder platziert. Der Zylinder wird abgedichtet und in einer Kammer höherem Druck ausgesetzt. Hierdurch bilden sich selbstorganisiert versetzt-viereckige Strukturen auf dem Zylinder. Kleiner Effekt – große Wirkung, denn wölbstrukturierte Bauteile sind wesentlich stabiler als glatte Bauteile aus gleichem Material bei gleicher Stärke. So verformt sich ein Zylinder aus wölbstrukturiertem Blech unter der Einwirkung einer Kraft F weniger stark als ein Zylinder aus glattem Material.

Mit dem innovativen Verfahren der Dr. Mirtsch GmbH lassen sich Bleche und Folien ohne komplizierte Umformmaschinen material- und oberflächenschonend versteifen, indem sie sich unter minimaler äußerer Druckbelastung aus einer Krümmung heraus, quasi von selbst in die „dritte Dimension“ verformen. So entsteht eine optimale Biege- und Beulsteifigkeit bei geringem Bauteilgewicht. Durch diesen bionischen „Plopp-Effekt“ stellen sich durch Weiterentwicklung des Verfahrens inzwischen ohne jeglichen flächigen Werkzeugeingriff und mit geringstem Energieeintrag auch gleichmäßige sechseckige, wabenförmige oder 3D-facettenförmige Strukturen ein. Sogar die veredelte Oberflächengüte eines Ausgangsmaterials bleibt erhalten. Das ist wirtschaftlich und schont die Umwelt, so Prof. Mirtsch in seinem Vortrag.

Wölbstrukturierte Materialien finden inzwischen auch in der Architektur erste Anwendungen. Ein Beispiel sind die 6.000 m² Dach des Sportpalastes in Odessa. Die dort verbauten Aluminiumbänder wurden bereits vor dem Wölbstrukturieren lackiert. Die Verwendung des innovativen Materials führte zu einer Gewichtseinsparung von ca. 30%. Weitere Vorteile sind reduziertes Dröhnen und Scheppern sowie eine diffuse, blendarme Lichtreflexion. Kratzer und kleine Beschädigungen sind kaum sichtbar, denn sie werden von der Struktur optisch kaschiert.

Dr. Tom Masselter von der Plant Biomechanics Group am Botanischen Garten der Universität Freiburg i. Br. stellte in seinem Vortrag auf der BAU 2011 ein weiteres beeindruckendes Bionikprojekt vor. Auch hierbei geht es um Bauteiloptimierung nach dem Vorbild verzweigter baumförmiger Pflanzen. Ziel ist es u.a., die gewonnenen Erkenntnisse auf verzweigte Tragstrukturen in der Architektur anzuwenden.

In der Natur findet man Y- und T-förmige Verzweigungen. Diese sind durch die Evolution optimiert und kommen daher mit minimalem Materialeinsatz aus. Sie sind gegenüber statischen (Eigenmasse, Schnee u.ä.) und dynamischen Belastungen (z.B. Wind) extrem robust. Neben der Geometrie interessierte die Freiburger Forscher auch die innere Struktur der natürlichen Materialien. Die gewählten biologischen Vorbilder (Monokotyledonen, z.B. Drachenbäume bzw. Kakteen) bestehen im Inneren aus Strukturen von Faserbündeln, einer verzweigten Faserverbundstruktur. Die



Prof. Knippers bei seinem Vortrag auf der BAU 2011

Form der Verzweigung und die Anbindung der Faserbündel von Stamm und Zweig sind in der Natur sehr unterschiedlich. Die genaue biomechanische Charakterisierung der biologischen Ideengeber war die Grundlage für die technische Produktentwicklung. Auf Grundlage dieser Erkenntnisse der Freiburger Biologen stellte das ITV Denckendorf erste verzweigte Faserverbundstrukturen durch maschinelles Flechten textiler oder technischer Fasern her. Die nächsten Schritte sind die weitere Optimierung und das Upscaling des Herstellungsverfahrens. Die Vision der Freiburger Forscher ist es, in Zukunft auch Stahlträger durch verzweigte Faserverbundstrukturen zu ersetzen.

Bei Architekten gehörte es schon immer zum Handwerkszeug, Formen und Konstruktionen aus der Natur abzuschauen. Blumenornamente oder filigrane Säulen an alten Bauwerken berichten davon. Bionik heißt jedoch nicht, lediglich die äußere Optik nachzuempfinden. Am Lehrstuhl von Prof. Dr.-Ing. Jan Knippers werden natürliche Formen morphologisch analysiert, der Form-Funktionszusammenhang quantitativ charakterisiert, die Geometrie digital erfasst und die mechanischen Eigenschaften numerisch simuliert. Auf dieser wissenschaftlichen Grundlage entstehen Konzepte zur konstruktiven Umsetzung und architektonischen Implementierung von Leichtbauelementen für Bauwerke. Mit der Entwicklung der Flectofin[®]-Fassade wurde getestet ob sich der Top Down-Ansatz der Bionik als Entwurfsmethode eignet.

Das Forschungsvorhaben heißt „Biegsame Flächentragwerke“. Gegenstand ist die Untersuchung elastischer Verformungsprinzipien auf der Grundlage pflanzlicher Bewegungsmechanismen und deren technische Umsetzung in bioinspirierte, wandelbare Konstruktionen für die Architektur. Zu den biologischen Vorbildern zählt die Paradiesvogelblume (*Strelitzia reginae*). Die Strelitzie bietet bestäubenden nektarsuchenden Vögeln eine Sitzstange aus zwei verwachsenen Blütenblättern zum Landen an. Durch das Gewicht des Vogels biegen diese sich herunter. Dadurch wird gleichzeitig die die Staubblätter umschließende Blattschicht nach außen geklappt. Die Pollen gelangen an den Vogel und dieser trägt sie zur nächsten Blüte. Das erstaunliche an diesem Klappmechanismus ist seine Robustheit. Bis zu 3.000 Landungen des für die Blüte wirklich schweren Vögelchens übersetzt die Konstruktion von Mutter Natur in minimale Blattbewegungen, ohne große Schäden, eine „hochgradig repetitive, reversible Deformation“, die die Untersuchung der funktionellen Morphologie für die Forscher interessant macht.

Technische Umsetzung der Ergebnisse ist Flectofin®, ein gelenkloser Klappmechanismus, bei dem die Ausrichtung eines flächigen Bauteils (Lamelle) graduell und stufenlos verändert werden kann, eine hervorragende Fähigkeit für Verschattungssysteme in der Architektur. Flectofin® ist, stark vereinfacht, eine Lamelle mit Rückrad, an dem die Lamelle gebogen werden kann. Die Lamelle besteht aus einem glasfaserverstärkten Kunststoff mit einem Polymergrundgefüge, der eine hochelastische Deformationsfähigkeit aufweist. Das Seitwärtsbiegen der Lamelle wird dabei durch das Herunterklappen eines angeschlossenen Stabes angestoßen.⁷³ Weiterentwicklungen wie „Doppelflectofin®“ (2 Lamellen mit einem Rückrad) oder Flectofin®-Schirme basieren auf diesem Grundprinzip. Die Möglichkeiten, das Prinzip in Architektur umzusetzen sind vielfältig. Frei geformte Flächen mit gekrümmten Biegekanten bergen in sich die Möglichkeit zur Anpassung an beliebig gekrümmte Flächen (parametrische Skalierbarkeit). Die Entwicklungen der Forscher um Prof. Knippers leisten einen großen Beitrag dazu, dass die Zukunft des Bauens in Bezug auf einige Vorstellungen von Prof. Bullinger (vgl. Teil 1 dieser Broschüre) schon in naher Zukunft Realität wird.



Paradiesvogelblume (*Strelitzia reginae*)

⁷³ Vgl. auch PresseInfo des Kompetenznetzes Biomimetik vom 9.06.2011 über die Verleihung des „Techtextil Innovationprize 2011 – Architecture“.

Teil 3

Hightech in der Bauwirtschaft – Aktivitäten zur Förderung von Forschung, Entwicklung und Technologietransfer

Innovationen, Norm und Markt

Bauwerke sollen nicht nur schön, nützlich, innovativ und energieeffizient sein. Sie müssen auch über eine sehr lange Nutzungsdauer stabil und sicher sein und sie dürfen weder im Betrieb noch beim Abriss Gesundheit und Umwelt gefährden. Deshalb sind an Produktinnovationen in der Bauwirtschaft besonders hohe Anforderungen zu stellen. Die Eignung innovativer Bauprodukte wird durch Normung, Zulassung durch die Bauaufsicht oder eine Genehmigung im Einzelfall bestätigt. Darüber hinaus gelangen Bauinnovationen nur dann auf die Baustelle, wenn nicht nur Wissenschaftler und Produzenten, sondern auch Bauherr, Architekt und Bauausführende von der Nützlichkeit einer Erfindung überzeugt sind, die Technologie handhaben können und der Genehmigungsbehörde die Eignung und Sicherheit des Verfahrens nachweisen. Mit den Beiträgen im Fachforum 4 „Innovationen, Norm und Markt“ wurden die Möglichkeiten und Aktivitäten zur Förderung von Forschung und Technologietransfer intensiv diskutiert.

Forschungsförderung durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung

Das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) fördert die Forschung für den Bereich Werkstoff- und Nanotechnologien innerhalb des Rahmenprogramms „Werkstoffinnovationen für Industrie und Gesellschaft - WING“. Eingebettet in die ressortübergreifende Hightech-Strategie der Bundesregierung, werden im Rahmen dieses Programms in den zentralen Bedarfsfeldern Gesundheit und Ernährung, Klima und Energie, Sicherheit, Mobilität und Kommunikation innovative Lösungen der Werkstoff- und Nanotechnologien mit mittelfristigem marktwirtschaftlichem Umsetzungshorizont gefördert. Zentrales Förderinstrument sind industrie-orientierte Projekte der Verbundfor-

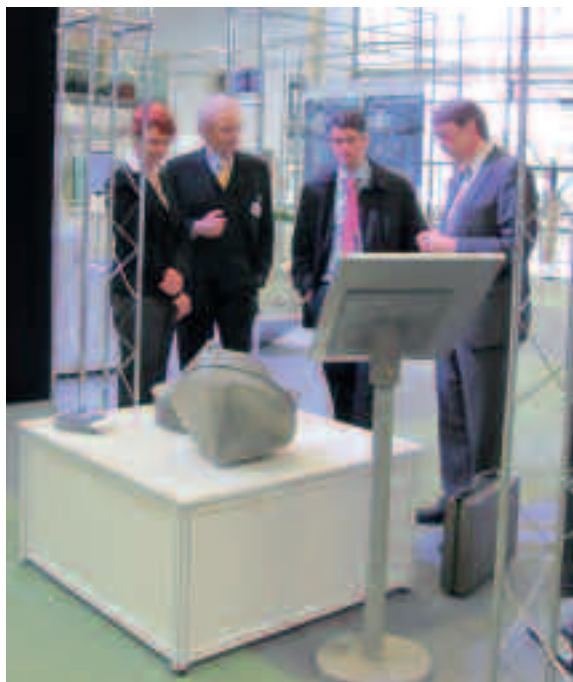
schung auch für die Bauwirtschaft. Ein gutes Beispiel ist das Projekt „Multifunktionale Fahrbahn aus nanooptimiertem Ultra-Hochleistungsbeton“ unter der Federführung der Fa. Müller-BBM GmbH, in dem Verfahren für eine hoch tragfähige, lärmarme, ressourcensparende und dauerhafte Betonfahrbahn erarbeitet werden. Hierbei wird Ultra-hochleistungsbeton (UHPC) erstmals im Straßenbau eingesetzt. Erste Ergebnisse konnten bereits in der begleitenden Ausstellung „Nanotechnik und Bionik – Neues Bauen zum Begreifen“ auf zwei Postern präsentiert werden.

Innovationsförderung durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie

Mit dem Zentralen Innovationsprogramm Mittelstand (ZIM) fördert das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie Innovationen der mittelständischen Wirtschaft in Deutschland. Unter dem Motto „Impulse für Wachstum“ soll die Innovationskraft der kleinen und mittleren Unternehmen nachhaltig unterstützt und ein Beitrag für deren Wachstum und Wettbewerbsfähigkeit geleistet werden. ZIM unterstützt KMU bei der Bildung von FuE-Kooperationen und innovativen Netzwerken und bei der zügigen Überführung von FuE-Ergebnissen in marktwirksame Innovationen.

Prof. Heike Klusmann stellte in ihrem Vortrag „Bau Kunst Erfinden“ das ZIM-Projekt Bling-Crete/Reflexbeton als Beispiel einer erfolgreichen Kooperation vor. Seit 2009 leiten die Künstlerin Heike Klusmann und der Architekt Thorsten Klooster die Arbeitsgruppe „BlingCrete“ an der Universität Kassel. Untersuchungsgegenstand ist der von ihnen konzipierte innovative Baustoff BlingCrete™, ein lichtreflektierender Beton. Die retroreflektierende Oberfläche des Materials wirft einfallendes Licht (Sonnenstrahlung oder Kunstlicht) präzise in Richtung der Lichtquelle zurück. Das optische Phänomen wird durch Mikrogaskugeln erzeugt, die in das Trägermaterial Beton eingebettet werden. Die BlingCrete™-Oberfläche wird durch Licht in Abhängigkeit von der Position der Oberfläche, der Lichtquelle und des Rezipienten aktiviert. In einem bestimmten Moment kann die Reflexionswirkung wahrgenommen werden.⁷⁴ Der Beton wechselt optisch von einem passiven in einen aktiven, hell glänzend leuchtenden Zustand. Dabei ist es unerheblich, ob es sich um das Tageslicht oder um gezielt positioniertes Kunstlicht handelt.

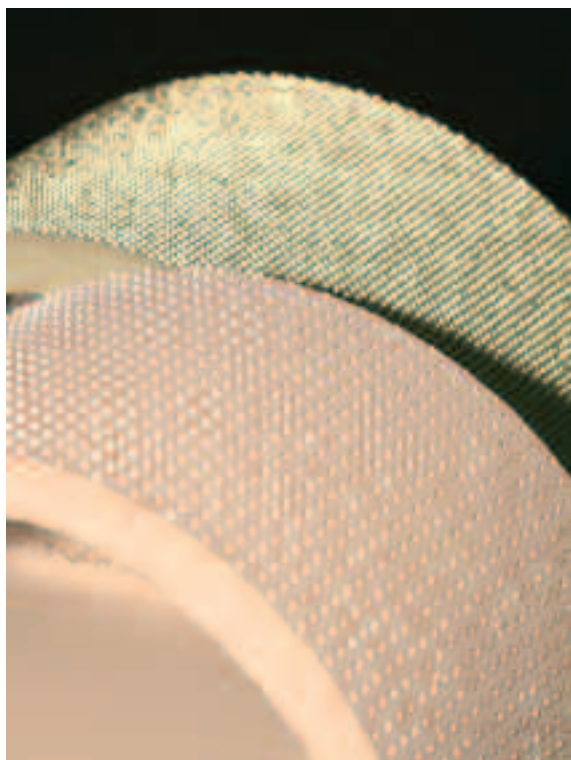
⁷⁴ Und wo „arbeiten die Zwerge“ im BlingCrete-Projekt? Für BlingCrete-Bauteile wird mit Ultrahochleistungsbeton (UHPC) ein nanooptimierter Baustoff verwendet. Darüber hinaus experimentieren die Kasseler Forscher mit dem sogenannten magnetic positioning, einem Verfahren, dass zur Anordnung von Strukturen die Einwirkung magnetischer Felder einsetzt. Dieses Verfahren haben die Kasseler Forscher den Nanotechnologen abgesehen, die auf diesem Weg einzelne Atome und Moleküle manipulieren.



Dr. Ingo Höllein (2.v.r.), Referat Neue Werkstoffe und Nanotechnologie im BMBF, besichtigt nach seinem Vortrag die Exponate aus BMBF-geförderten Forschungsprojekten, hier mit Beate Altreuther (Müller-BBM), Dr. Dietmar Stephan (Universität Kassel) und Dr. Ralf Feltenberg (VDI TZ GmbH) vor zwei UHPC-Bohrspitzen für den Tiefbau, ausgestellt von BAUER Spezialtiefbau.

So kann beispielsweise die Wahrnehmung von Hinweisen und Informationen explizit gesteuert werden. Nur mit den in der Ausstellung bereits installierten Lampen ausgeleuchtet, führten ein 2,20 Meter langes Mock-Up und eine Auswahl kleinerer Beispielobjekte den Besuchern der Ausstellung Gelegenheit, die Wirkungsweise des Materials überzeugend vor Augen. BlingCrete™ wurde am 25. Mai 2011 in Frankfurt vom Rat für Formgebung mit dem Design Plus Award für besonders innovative Materialien ausgezeichnet und ist für den Designpreis Deutschland 2012 nominiert.

Kooperationspartner der Universität Kassel in diesem Projekt ist ein mittelständisches Unternehmen aus der Baubranche, die Firma Hering Bau GmbH & Co. KG. Hering Bau übernimmt als erfahrener Hersteller von Betonfertigteilen, die Produktion von Bauteilen aus BlingCrete™. Einsatzgebiete sind z.B. die dauerhafte baulich sicherheitstechnische Kennzeichnung von Gefahrenstellen (Treppeinstufen, Bordsteine, Bahnkanten), sowie die Gestaltung baulich integrierter Leitsysteme und neuartiger Flächenbauteile (Fassade, Boden, Decke). Aufgrund seiner Haptik kann BlingCrete™ auch für taktile Blindenleitsysteme genutzt werden.



„BlingCrete – Licht reflektierender Beton“





BlingCrete in der Ausstellung „Nanotechnik und Bionik - Neues Bauen zum Begreifen“, Prof. Heike Klusmann im Gespräch mit einem Besucher.

Hering Bau wurde übrigens am Donnerstag, 3. Februar 2011 im Hotel Intercontinental in Düsseldorf als Preisträger des Axia Awards 2010 – Ideenschmiede Mittelstand – in Nordrhein-Westfalen geehrt. Das Unternehmen erhielt den Preis in der Kategorie „Innovationskultur – Erfolgsfaktor im Mittelstand“. Darüber hinaus wurde das Projekt von der Firma G.tecz - German Technologies and Engineering Conceptz als Entwicklungs- und Forschungsdienstleister auf zementgebundene Hightech-Materialien unterstützt.

Sicherheit im Umgang mit Nanomaterialien - Risikoforschung

Viele Effekte der Nanotechnologie basieren auf der hohen chemischen Reaktivität von Nanopartikeln, die in Baumaterialien und Beschichtungen enthalten sind. Doch was passiert, wenn diese Partikel von der Oberfläche oder aus dem Baustoff herausgelöst werden? Können freie Nanopartikel in die Umwelt gelangen oder gar in den menschlichen Körper? Sind sie giftig?

Aus vorangegangenen Technikdebatten ist bekannt: Die Akzeptanz und der Erfolg von technischen Innovationen am Markt ist abhängig von der Risiko-Wahrnehmung in der Öffentlichkeit. Diese wird einerseits bestimmt durch die tatsächlich messbaren Risiken, die Toxizität und Exposition (also wie giftig oder schädlich ist eine Technik und wie stark sind Mensch und Umwelt dieser Substanz ausgesetzt) und andererseits durch die öffentliche Diskussion. Mit Projekten wie NanoCare fördert die Bundesregierung bereits seit 2006 zahlreiche Projekte zur Gewährleistung des Schutzes von Umwelt und Gesundheit im Bereich der Nanotechnologie. Dr. Katja Nau vom Karlsruher Institut für Technologie (KIT) stellte in ihrem Vortrag aktuelle Ergebnisse aus diesen Projekten vor.⁷⁵ „Alle Ding' sind Gift und nichts ist ohn' Gift; allein die Dosis macht, dass ein Ding' kein Gift ist.“⁷⁶ Dieser alte Grundsatz der Toxikologie ist ganz besonders bei der Betrachtung der Aus- und Wechselwirkungen von Nanomaterialien auf den Menschen zu beherzigen, denn auf der Nanoebene

⁷⁵ Vgl. Dr. Katja Nau: NanoCare und Co. – Projekte zur Gewährleistung des Schutzes von Umwelt und Gesundheit, Vortrag auf der BAU 2011.

⁷⁶ Ausspruch von Phillippus Theophrastus Aureolus Bombast von Hohenheim, genannt Paracelsus (1493-1541)



Dr. Katja Nau (KIT) erklärt die besonderen Eigenschaften von Nanomaterialien

ändern sich sowohl physikalische als auch chemische Eigenschaften von Materialien dramatisch. Deshalb werden auch die am Markt erhältlichen Nanomaterialien im Rahmen dieser Projekte untersucht. Die Partikel werden synthetisiert und toxikologisch untersucht. Gefährdungspotenziale werden durch in vitro⁷⁷ - und in vivo⁷⁸ -Untersuchungen sowie Arbeitsplatzmodelle identifiziert.

Das Projekt DaNa dient ausschließlich der Erfassung, Bewertung und breitenwirksamen Darstellung von gesellschaftlich relevanten Daten und Erkenntnissen zu Nanomaterialien. Unter www.nanopartikel.info kann sich der Verbraucher sehr gut über die Ergebnisse der Risikoforschung zur Nanotechnologie informieren. Im Menüpunkt „Wissensbasis“ sind zur Zeit 19 der gängigen, wichtigen Nanomaterialien aufgelistet. Die Seite beschreibt allgemein verständlich die Herstellung, die Eigenschaften und die technischen Anwendungen der Nanopartikel. Darüber hinaus wird erklärt, auf welchem Wege die Substanzen in den

menschlichen Körper oder in die Umwelt gelangen können und welche Auswirkungen das auf Mensch und Umwelt haben kann.

Das bis 2009 vom BMBF geförderte Projekt NanoCare hat in Europa Maßstäbe gesetzt. Erstmals haben Wissenschaftler in großem Umfang reproduzierbare Ergebnisse zur biologischen Wirkung von Nanomaterialien erarbeitet. Doch Wissen und Nichtwissen liegen eng beieinander. Immer mehr Wissen lässt uns zugleich ahnen, was wir nicht wissen. Deshalb wird NanoCare in zahlreichen Folgeprojekten fortgeführt. In der Risikoforschung zur Nanotechnologie nimmt Deutschland damit international eine Vorreiterrolle ein.⁷⁹

Mit interdisziplinärer Kooperation von der Entdeckung zu innovativen Produkten

Ebenfalls Vorreiter und zwar auf vielen Gebieten der Bauforschung sind die Forscher, Ingenieure und Architekten, die in der Natur eine nahezu unerschöpfliche Quelle für technische Innovationen

⁷⁷ Tests an Zellen

⁷⁸ Tests an lebenden Organismen (z.B. Tierversuche)

⁷⁹ Vgl. Konsortium des Projektes NanoCare: Gesundheitsrelevante Aspekte synthetischer Nanomaterialien, Frankfurt/ Main 2009, S. 18.

sehen, denn die Bionik hat auch der Bauforschung vieles zu bieten. Bionik überwindet die Grenzen traditioneller Wissenschaftsdisziplinen (Biologie und Technik), sie verlangt aber auch den intensiven interdisziplinären Dialog und hohe Kooperationsbereitschaft. Das BIONIKON-Forschungsgemeinschaft Bionik Kompetenznetz⁸⁰ wurde 2001 gegründet und hat inzwischen ca. 90 Mitglieder, Universitäten, Forschungsinstitute, Unternehmen und auch Einzelpersonen, die sich für die Bionik engagieren. Ziel von BIONIKON ist es, Expertenwissen zu bündeln und zu vernetzen, FuE-Vorhaben zu begleiten oder auch selbst durchzuführen, Aus- und Weiterbildung, Wissenstransfer und Öffentlichkeitsarbeit voranzutreiben, sowie Interessenvertretung und Impulsgeber zu sein. BIONIKON ist auf nationaler Ebene die zentrale Anlaufstelle zur Bionik. Darüber hinaus sind die Bioniker mit der Gründung von BIONIKON international e.V. seit 2009 auch über die Landesgrenzen hinaus sehr gut vernetzt.



Dr. Sabine Wortmann, BIONIKON international bei ihrem Vortrag auf der BAU 2011

„Uns als Bionikern geht es vor allem darum, dass unsere Ergebnisse nicht im Elfenbeinturm der Wissenschaft verbleiben. Wir tragen mit wert- und nachhaltigen Lösungen und Produkten dazu bei, die Herausforderungen unserer Industriegesellschaft besser zu meistern und wir werden auch zukünftig das Spektrum des technisch Möglichen durch Innovationen nach dem Vorbild der Natur erweitern.“⁸¹ Einige dieser Ergebnisse beschrieb Dr. Sabine Wortmann in ihrem Vortrag. Einige Forscherteams waren auch mit Vorträgen in den anderen Fachforen und in der begleitenden Ausstellung präsent und konnten am Rande der BAU 2011 viele neue Kontakte zur Bauwirtschaft knüpfen.

Im Rahmen der Hightech-Strategie wird auch die bionische Forschung durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung finanziell gefördert. Ziel des Programms BIONA – Bionische Innovationen für nachhaltige Produkte und Technologien ist es, die Umsetzung innovativer bionischer Ansätze in Prototypen und Demonstrationsmodellen als Wegbereitung für eine industrielle und wirtschaftliche Anwendung zu unterstützen und so den Technologietransfer in die Wirtschaft zu beschleunigen.

Innovation und Norm

Der DIN Deutsches Institut für Normung e.V. ist als privatwirtschaftlich getragener gemeinnütziger Verein laut Vertrag mit der Bundesrepublik Deutschland die zuständige deutsche Normungsorganisation für die europäische und internationale Normung. Dr. Karlhans Gindele, Abteilungsleiter im DIN erläuterte in seinem Vortrag, dass Normung und Standardisierung einen hohen volkswirtschaftlichen Nutzen haben und einen wesentlichen Beitrag zum Technologietransfer und zur Erschließung von Märkten für innovative Produkte leisten. Normen tragen zur Vermeidung von Handelshemmnissen bei und sichern das Zusammenwirken von Produkten und Systemen untereinander. Sie bieten den Unternehmen Planungs- und Investitionssicherheit bei FuE-Prozessen und eröffnen den Zugang zu globalen Märkten. Durch Normung wird die Übereinstimmung des Produktes und der Produktion mit der Europäischen Gesetzgebung sowie den Anforderungen von Zertifizierung und Konformitätsbewertung sichergestellt und die Qualitätssicherung unterstützt.

⁸⁰ Das BIONIKON Forschungsgemeinschaft Bionik – Kompetenznetz e.V. hat seit 2004 den Status eines gemeinnützigen Vereins.

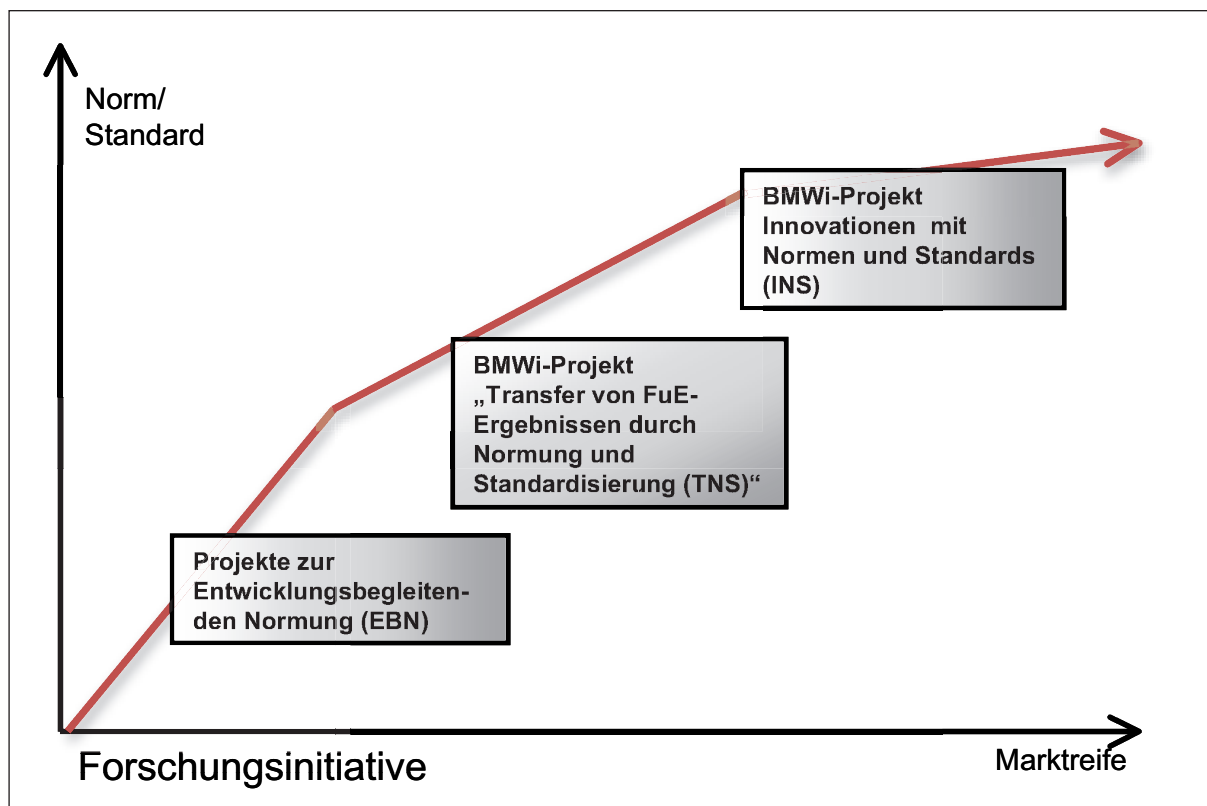
⁸¹ Dr. Erb (Das BIONIKON Forschungsgemeinschaft Bionik – Kompetenznetz e.V.) in einem Interview anlässlich des Kongresses „International Industrial Convention on Biomimetics 2011“ am 16. Und 17. März 2011 in Berlin. (Download unter www.presetext.de/pteprint.mc?pte=110322022 , 22.03.2011)

Dies ist für die meisten Unternehmen mit einer Kostenreduzierung und einer Verringerung des Haftungsrisikos verbunden.

Darüber hinaus sieht der DIN seine Aufgabe auch in der frühzeitigen Besetzung zukünftig relevanter Normungsfelder und der Sicherung der Vorreiterrolle bei Zukunftstechnologien. Er will die Vernetzung der relevanten Akteure vorantreiben und so zur Stärkung der deutschen Wirtschaft im internationalen Vergleich beitragen. Auch das normungspolitische Konzept der Bundesregierung⁸² formuliert als „Ziel 2: Die Bundesregierung nutzt Normung und Standardisierung zur Unterstützung der Umsetzung und Verbreitung von Innovationen und Forschungsergebnissen“.

Innovationsförderung durch Normung und Standardisierung ist in der Praxis abhängig von der Marktreife der Innovation. Drei relevante Projekte stellte Dr. Gindele in seinem Vortrag vor. Im Projekt Entwicklungsbegleitende Normung (EBN) wird die frühzeitige Integration von Normung und Standardisierung in FuE-Projekte angestrebt. Dieses Vorgehen zeigt die Normungs-

potenziale laufender Innovationen frühzeitig auf, integriert systematisch Praktiker sowie Experten aus Forschung und Entwicklung in die Normung und überführt normungsrelevante Projekteinhalte in öffentlich verfügbare Standards. Unter www.ebn.din.de sind aktuelle und abgeschlossene Projekte aufgelistet. Ein aktuelles Projekt aus dem Bereich Nanotechnologie ist NaPolyNet. Es bringt auf europäischer Ebene Experten für die Charakterisierung von nanostrukturierten Polymeren zusammen und soll die Lücke zwischen theoretischen und anwendungsbezogenen Ansätzen schließen. Das Projekt wird damit helfen, die Gebrauchseigenschaften nanostrukturierter Polymere für Anwendungen im Textil-, Membran- und Verpackungsbereich zu verbessern. Bereits abgeschlossen ist das Projekt NANO-STRAND, welches Roadmaps für die zukünftige Normungs- und Standardisierungsarbeit in Europa und die damit zusammenhängende pränormative Forschung erarbeitet hat.⁸³ Im Rahmen des seit 2006 bestehenden Förderprogramms „Innovationen mit Normen und Standards (INS)“ fördert das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) aktuell zwei Projekte aus dem Bereich Nanotechnologie,



Innovationsförderung durch Normung und Standardisierung

⁸² Vgl. Normungspolitisches Konzept der Bundesregierung, Teil 1, September 2009, S.5.

⁸³ Vgl.: www.ebn.din.de, Download: 4.04.2011

vier weitere Projekte sind bereits beendet. Insbesondere durch die Standardisierung von Mess- und Nachweisverfahren für Nanopartikel kann auch die Bauforschung stark profitieren.

Mit dem Projekt „Transfer von FuE-Ergebnissen durch Normung und Standardisierung (TNS)“ unterstützt das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) Vorhaben, die neueste Erkenntnisse der Forschung in Normen und Standards überführen. Gefördert werden Projekte, die z.B. folgende Inhalte und Zielstellungen verfolgen:

- Erarbeitung und Umsetzung von Konzepten für den Ergebnistransfer mittels Normung und Standardisierung,
- Durchführung von Veranstaltungen,
- Durchführung gezielter Maßnahmen zur entwicklungs- bzw. forschungsbegleitenden Normung und Standardisierung,
- Berücksichtigung von Normung und Standardisierung im Hinblick auf Technologiekonvergenz,
- Vorbereitung der Initiierung neuer Normungs- und Standardisierungsvorhaben auf nationaler (DIN/DKE), europäischer (CEN/CENELEC) oder internationaler (ISO/IEC) Ebene,
- Vorbereitung der Einbringung, Vorstellung und Vertretung von Forschungsergebnissen in bereits existierenden sowie neu zu gründenden Normungs- und Standardisierungsgremien unter Berücksichtigung der deutschen Interessen.

Ziel ist es, Normungs- und Standardisierungsaspekte frühzeitig im Forschungsprozess zu berücksichtigen und so den sukzessiven Transfer von Forschungsergebnissen in die Unternehmen zu gewährleisten.⁸⁴

Am 11. Juni 2010 wurde das Projekt „Entwicklung des ersten technischen Regelwerkes für den Transfer bionischer Forschungs- und Entwicklungsergebnisse in ökologisch vorteilhafte industrielle und technische Anwendungen“ abgeschlossen. In einem gemeinsamen Projekt der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU), dem Zentrum für Umweltkommunikation der DBU (ZUK) und der

VDI-Gesellschaft Technologies of Life Sciences (VDI-TLS) wurden seit 2007 VDI-Richtlinien erarbeitet, die die Umsetzung bionischer Entwicklungen in die technische Anwendung ermöglichen und erleichtern. Zudem hatte die VDI-TLS den Auftrag, die Bionik in solchen Ingenieurbereichen vorzustellen, in denen die Bionik noch nicht oder selten genutzt wird. Die Durchführung von Tagungen, Workshops und Seminaren sollte diesen Austausch unterstützen. Zur Förderung des Nachwuchses wird alle zwei Jahre der internationale Bionic-Award für herausragende Dissertationen oder Habilitationen ausgeschrieben.

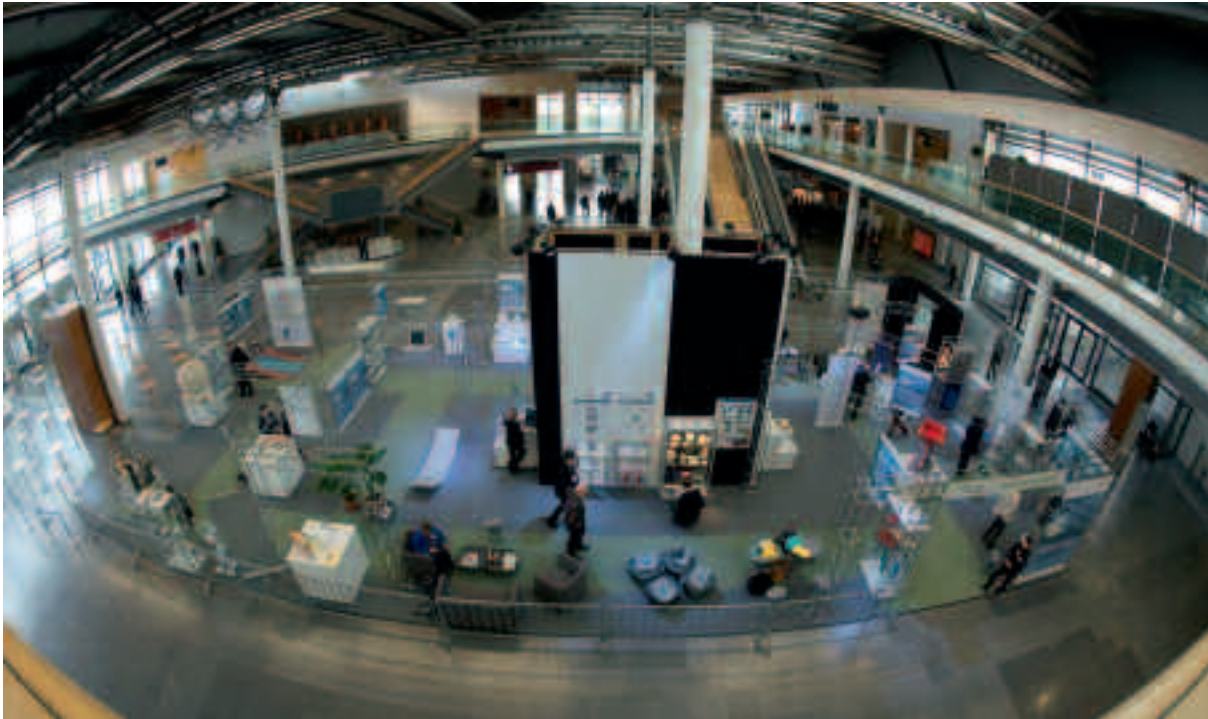
Der Transfer bionischer Erkenntnisse durch internationale Normung ist das Ziel des hierauf aufbauenden TNS-Projektes ISOBIONIK, ein Projekt des VDI mit dem DIN, gefördert durch das BMWi. Im Rahmen des Forschungs- und Entwicklungsvorhabens „Transfer bionischer Erkenntnisse durch internationale Normung: Einrichtung eines ISO/TC zur internationalen Normung von bionischen Lösungsstrategien für die Anwendung in Unternehmen (ISOBIONIK)“ soll die Einrichtung eines internationalen Technischen Komitees (ISO/TC) zur internationalen Normung bionischer Methoden und Herangehensweisen vorbereitet und umgesetzt werden und die neuesten Ergebnisse aus Forschungs- und Entwicklungs-Projekten (z. B. BIONA) effektiv und effizient in die internationale Normung übertragen werden. U.a. soll der gut etablierte deutsche Standpunkt auf der Basis englischsprachiger VDI-Richtlinien international gefestigt werden. Am 18.03.2011 fand die Auftaktveranstaltung im DIN in Berlin statt.

„Für ein innovatives Unternehmen ist die Teilnahme an der Normung eine strategische Aufgabe. Die Kernaufgabe der Normung ist in den letzten Jahren durch schnelle Innovation deutlich erweitert worden. Über die Marktfähigkeit von Innovationen muss aber früh nachgedacht und zielgerichtet gehandelt werden. Das gilt für innovative Technik und innovative Dienstleistungen gleichermaßen. Die positiven Impulse für den Transfer von Wissen zum Markt durch rechtzeitige Normung und Standardisierung sollten genutzt werden.“⁸⁵

⁸⁴ Vgl.: <http://www.foerderdatenbank.de/FoerderDB/Navigation/Foerderrecherche/suche.html?get=4aa561e46fff16fb87d819d09c769842;views=document&doc=10664>, Download: 4.04.2011

⁸⁵ Vgl.: <http://www.ebn.din.de/cmd?level=tpl-bereich&menuid=61465&cmsareaid=61465&languageid=de>, Download: 4.04.2011.

Die Ausstellung Nanotechnik und Bionik – Neues Bauen zum Begreifen



Begleitende Ausstellung „Nanotechnik und Bionik – Neues Bauen zum Begreifen“ im Foyer des ICM

Nanotechnik und Bionik – Neues Bauen zum Begreifen“, dieser Titel ist Konzept. Ziel der begleitenden Ausstellung zur Veranstaltung Nanotechnik und Bionik – Hightech in der Bauwirtschaft, die vom 17.- 21.01.2011 im Foyer des ICM München stattfand, war es, den Besuchern beide Schlüsseltechnologien und ihre spannenden Anwendungen für die Bauwirtschaft anschaulich vor Augen zur führen. Die Besucher konnten viele Exponate im wahrsten Sinne des Wortes begreifen und durch kleine Experimente selbst wichtige Wirkprinzipien ausprobieren.

Drei Zugänge zur 250 qm großen Ausstellungsfläche führten aus drei unterschiedlichen Blickwinkeln an das Thema heran. Unter dem Motto „Zwerge auf dem Bau“ wurden zunächst die grundlegenden Prinzipien der Nanotechnologie, die Eigenschaften wichtiger Nanomaterialien und die Chancen und Risiken dieser Technologie veranschaulicht.

Ein riesiger Nanopartikel und kleine Experimente erklärten, warum Nanopartikel und Strukturen sich in ihren chemischen und physikalischen Eigenschaften oft von ihren „grobkörnigen Geschwistern“ stark unterscheiden und hoch reaktiv sind.

Durch die Anwendung von Nanotechnologie werden daher natürliche Ressourcen wesentlich effizienter eingesetzt und teilweise auch völlig neue Wirkungen erzielt.



Blick in den Themenbereich Nanotechnologie – Winzige Partikel, große Wirkung, im Mittelpunkt ein riesiges Modell eines idealen Nanopartikels.

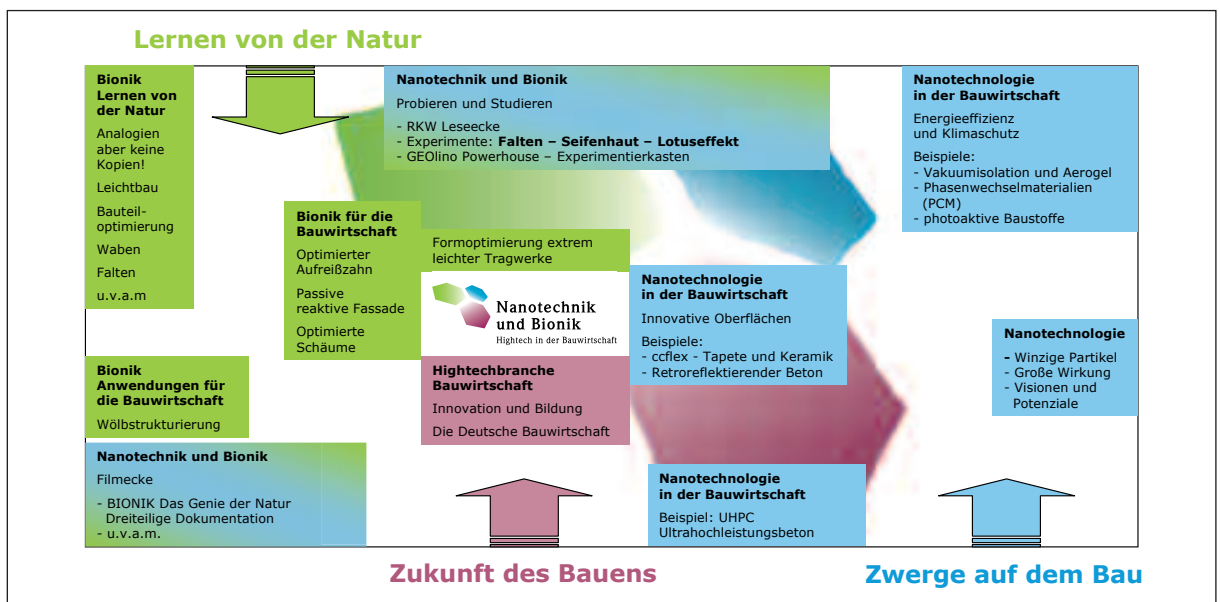
Die Besucher der Ausstellung konnten anschließend verschiedene Anwendungen der Nanotechnologie für die Bauwirtschaft näher erkunden. Ausgehend von der Herstellung von Ultrahochleistungsbeton (UHPC) wurden viele Anwendungs-

beispiele dieses innovativen Materials von der Brücke der Universität Kassel bis zum Bohrkopf der Firma BAUER Spezialtiefbau gezeigt. Durch seine außerordentlichen Materialeigenschaften, insbesondere die enorme Druckfestigkeit kann man mit UHPC viel Beton einsparen und „ultra-leichte Konstruktionen“ ausführen. Das spart Energie und reduziert die CO₂-Emissionen. Andere Anwendungen der Nanotechnologie am Bau tragen noch viel unmittelbarer zum Klimaschutz bei, seien es beispielsweise Vakuumisulationspaneele, Aerogelanwendungen oder Phasenwechsellmaterialien, welche die Gebäudeenergieeffizienz verbessern helfen oder Baustoffe mit photoaktivem Titandioxid, das luftreinigende und selbstreinigende Effekte bewirkt.

Mit dem bekanntesten Nanoeffekt, dem Lotuseffekt, hier gezeigt am Beispiel der Taropflanze, begab sich der Besucher bereits in den Bereich der Nanobionik. Das Motto „Lernen von der Natur“ gilt eben nicht nur im Großen, sondern auch in der Welt der Zwerge. An dieser Stelle treffen sich die zwei Querschnittstechnologien, die nicht nur das enorme Innovationspotenzial für die Bauwirtschaft gemeinsam haben. Und an dieser Stelle lud auch eine gemütliche Leseecke zum Verweilen, zum Lesen der ausgelegten Bücher und

Unterlagen und zum Diskutieren mit anderen Besuchern ein. Gleich daneben konnte man nochmals experimentieren, Minimalflächen mit Seifenhäuten erforschen und Selbstorganisation und Leichtbauprinzipien beim Basteln von Faltsiegeln ausprobieren. Die geschickte Übertragung von Wirkmechanismen und Konstruktionsprinzipien aus der Natur auf technische Lösungen konnten die Besucher dann bei vielfältigen Bauanwendungen der Bionik bewundern. Insbesondere Leichtbau und Bauteiloptimierung für Gebäude und Baumaschinen, aber auch ein Fassadenmodell, dessen Funktion einem Blätterdach ähnelt, wurden in der Ausstellung gezeigt.

Unter dem Motto „Zukunft des Bauens“ dokumentierte die deutsche Bauwirtschaft, vertreten durch die Bauindustrieverbände aus Bayern, Hessen-Thüringen, Niedersachsen-Bremen und Nordrhein Westfalen sowie den Landesverband Bayerischer Bauinnungen ihre Unterstützung für das Projekt. Die Baubranche präsentierte sich der interessierten Fachöffentlichkeit als Hightech-Branche mit hohem Innovationspotenzial. Mit einer qualifizierten Aus- und Weiterbildung in den Bildungszentren der Verbände werden die Beschäftigten für aktuelle und künftige spannende Bauaufgaben gut vorbereitet.



Themenplan der Ausstellung „Nanotechnik und Bionik – Neues Bauen zum Begreifen“. Grün hinterlegt sind die Ausstellungsflächen zur Bionik, blau die zur Nanotechnik und rot die Flächen, auf der sich die innovative Bauwirtschaft präsentierte. Mit farbigen Pfeilen sind die themenbezogenen Zugänge symbolisiert.

Wir malen das Haus der Zukunft Malwettbewerb zur BAU 2011

Der Kindermalwettbewerb „Wir malen das Haus der Zukunft“ wurde anlässlich der BAU 2011 vom Verband des Bayerischen Baugewerbes und dem Bayerischen Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie unter der Schirmherrschaft von Staatssekretärin Katja Hessel ausgelobt. Angeregt wurde der Wettbewerb vom Vorbereitungsteam der Veranstaltung „Nanotechnik und Bionik – Hightech in der Bauwirtschaft“. Mit dem Malwettbewerb wurden auch Kinder in die Aktivitäten im Rahmen der BAU 2011 einbezogen, ihnen einen Einblick in die Bauwirtschaft als innovative Hightech-Branche ermöglicht und ein kleiner Beitrag zur Sicherung des künftigen Fachkräftepotenzials geleistet.

Am Malwettbewerb beteiligten sich ca. 15 Münchner Grundschulen mit ca. 250 Bildern. In der Jurysitzung am 9.11.2010 wurden insgesamt 14 Bilder für einen Kalender für das Jahr 2011 ausgewählt und insgesamt 4 Preisträger bestimmt. Den ersten Preis erhielt das Gemeinschaftsprojekt „Gefühls-Haus-Stadt“ der Klasse 4 der Rennertschule München/ Neuperlach. Für diese Klasse organisierte das RKW Kompetenzzentrum, welches den Wettbewerb angeregt und begleitet hat, eine spannende Führung im Deutschen Museum. Die Kinder verbrachten am 26.01.2011 einen spannenden Tag mit einer Führung durch den Bereich Raumfahrt und anschließend Imbiss im Museumskaffee.

Der zweite Preis wurde für die Arbeit von Daisy Böhmler aus der Klasse 4a der Grundschule am Gärtnerplatz vergeben. Zwei dritte Preise gingen an Sebastian aus der Klasse 4b der Grundschule Haldenbergstraße und Daniela Diehl, Klasse 4b in der Grundschule Oselstraße. Dr. Andrea Niedzela-Schmutte, Ministerialdirigentin im Bayerischen Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie und Andreas Demharter, Hauptgeschäftsführer des Landesverbandes Bayerischer Bauinnungen überreichten den Preisträgern je einen Experimentierkasten „GEOLino PowerHouse“. Mit dem vom Kosmos-Verlag zur Verfügung gestellte Experimentierkasten können die Kinder ihr eigenes Forscherhaus errichten und herausfinden, wie Energiegewinnung aus Sonne, Wind und Wärme funktioniert und wie man Energie effektiv nutzt. Vieles ist übertragbar auf die eigenen vier Wände.

Pünktlich zur BAU 2011 war der Kalender mit den Bildern der Preisträger und weiteren 10 hervorragenden Zeichnungen gedruckt und konnte in der Ausstellung „Nanotechnik und Bionik – Neues Bauen zum Begreifen“ und am Messestand des RKW Kompetenzzentrums an die Besucher verteilt werden. Darüber hinaus besuchten zwei sehr interessierte Schulklassen die begleitende Ausstellung. Sie testeten gründlich die Tragfähigkeit der Brücke aus Ultrahochleistungsbeton, einer Leihgabe der Universität Kassel und lernten, warum dieser Beton so superfest ist und mit kleinen Experimenten die „technischen Tricks“ der Natur.



Erster Preis - Gemeinschaftsprojekt „Gefühls-Haus-Stadt“ der Klasse 4 der Rennertschule München/ Neuperlach

Anhang

Nanotechnik und Bionik – Hightech in der Bauwirtschaft Veranstaltung des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie im Rahmen der Bau 2011

Die Bauwirtschaft ist eine Branche mit hohem Innovationspotenzial. Allerdings ist der Weg von Bauinnovationen von der Idee bis zur Ausführung auf der Baustelle auf Grund besonderer Anforderungen an die Sicherheit und Dauerhaftigkeit von Bauprodukten und -verfahren besonders lang und „steinig“. Gleichzeitig spiegelt das Image der Bauwirtschaft nach wie vor nicht die Leistungsfähigkeit und Innovationskraft der Branche angemessen wieder. Viele hochinteressante und zukunftssträchtige Technologieentwicklungen im Baubereich werden in der Öffentlichkeit nur unzureichend wahrgenommen. Zum Teil sind sie auch innerhalb der Branche noch zu wenig bekannt. Querschnittstechnologien wie Nanotechnik und Bionik bieten jedoch Erfolg versprechende Ansätze für die Entwicklung „wirklicher Bauinnovationen“, welche der Bauwirtschaft völlig neue Perspektiven eröffnen können.

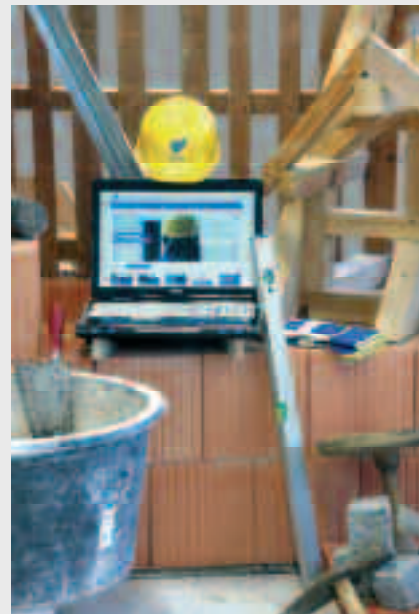
Mit der Veranstaltungsreihe „Nanotechnik und Bionik – Hightech in der Bauwirtschaft“ im Rahmenprogramm der BAU 2011 in München griff das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie diese Problematik auf. Durch die Vorstellung prägnanter Beispiele aus Forschung und Baupraxis wurde die Leistungsfähigkeit und Innovationskraft des Baubereichs herausgestellt. Allen am Bau(en) Interessierten bot diese Veranstaltung mit ihren drei Teilen, dem Kongress am 18.01.2011, den vier Fachforen am 18. und 19.01.2011 und der begleitenden Ausstellung im Foyer des Internationalen Congress Center München (ICM) die Möglichkeit, die Baubranche als innovative Hightech-Branche zu erleben.

Auftakt der Veranstaltungsreihe war der Kongress im ICM. Renommiertere Experten aus Nanotechnologie, Bionik und Bauforschung stellten den Teilnehmern ihre spannenden Fachgebiete und Forschungsergebnisse vor und zeigten die Vielfalt der Anwendungsmöglichkeiten beider Querschnittstechnologien für die Bauwirtschaft auf. In den sich anschließenden vier Fachforen ging es dann stärker in die konkrete Anwendungspraxis. Zahlreiche Forschungsgruppen und Unternehmen

hatten sich bereitgefunden, ihre Ergebnisse und innovativen Produkte knapp und verständlich zu präsentieren. Dabei wurden Verbindungen zu den aktuellen Themen wie Klimaschutz sowie Energie- und Ressourceneffizienz hergestellt. Aber auch Aspekte wie die Sicherheit von Mensch und Umwelt beim Umgang mit Nanomaterialien oder die Schwierigkeiten bei der Markteinführung innovativer Produkte wurden in den Vorträgen diskutiert.

Die begleitende Ausstellung „Nanotechnik und Bionik – Neues Bauen zum Begreifen“ war im Foyer des ICM angesiedelt. Somit war sie nicht nur den Fachbesuchern der BAU 2011 zugänglich, sondern lud auch die Münchner und ihre Familien sowie Schulklassen aus der Region zu einem Besuch ein. Der Besucher der Ausstellung konnten Nanotechnik und Bionik durch anschauliche Exponate im ursprünglichen Sinn „begreifen“. Die Ausstellung schlug zudem eine Brücke zu den in den Fachforen vorgestellten innovativen Bauprojekten und -produkten. Auf diesem Wege haben Veranstalter, Organisatoren und Förderer der Ausstellung das Anliegen, die Bauwirtschaft als innovative Hightech-Branche zu präsentieren, über die Fachöffentlichkeit hinaus auch in die Region getragen.

Zukunft des Bauens



BAUINDUSTRIE
BAYERN
BAUINDUSTRIEVERBAND
HESSEN-THÜRINGEN E.V.
DIE BAUINDUSTRIE
NIEDERSACHSEN-BREMEN
DIE BAUINDUSTRIE
NORDRHEIN-WESTFALEN





Bundesministerium
für Wirtschaft
und Technologie



**Nanotechnik
und Bionik**
Hightech in der Bauwirtschaft

17. – 21.01.2011
Tägl. 9:30 Uhr – 18:30 Uhr

Nanotechnik und Bionik –
Neues Bauen zum Begreifen
Begleitende Ausstellung im Foyer des ICM (EG)

Nanotechnik und Bionik – Hightech in der Bauwirtschaft

18.01.2011

10:30 Uhr Kongress
Nanotechnik und Bionik –
Hightech in der Bauwirtschaft

ICM Saal
14 c

15:15 Uhr Fachforum 1
Innovative Oberflächen

ICM Saal 2

15:15 Uhr Fachforum 2
Form und Festigkeit

ICM Saal 3

19.01.2011

15:00 Uhr Fachforum 3
Energieeffizienz und Klimaschutz

ICM Saal 2

15:00 Uhr Fachforum 4
Innovationen, Norm und Markt

ICM Saal 3



Die Vorträge

Kongress "Nanotechnik und Bionik - Hightech in der Bauwirtschaft 18. Januar 2011

- 10:30 Eröffnung**
Jochen Homann | Staatssekretär im Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie
- 10:50 Impulsvortrag**
MIT HIGHTECH IN ZUKUNFT BAUEN – gebündeltes Know-how für innovative Lösungen
Prof. Dr.-Ing. Hans-Jörg Bullinger | Präsident | Fraunhofer-Gesellschaft
- 11:20 Nano ist überall – Forschung und Technik in der Welt des Allerkleinsten**
Prof. Dr. rer. nat. Wolfgang M. Heckl | Generaldirektor | Deutsches Museum München
- 12:45 Denkwerkzeuge nach der Natur**
Prof. Dr. Claus Mattheck | Forschungszentrum Karlsruhe
- 13:25 Nanotechnik– Hightech in der Bauwirtschaft**
Nanooptimierte Hochleistungsbetone und multifunktionale „smart materials“ für nachhaltige Bauwerke
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Michael Schmidt | Universität Kassel
- 13:55 Bionik – Hightech in der Bauwirtschaft**
Wandelbarer Leichtbau in der Architektur
Prof. Dr.-Ing. Jan Knippers | Institut für Tragkonstruktion und konstruktives Entwerfen | Fakultät für Architektur | Universität Stuttgart,
- 14:25 Schlusswort**
Katja Hessel | Staatssekretärin im Bayerischen Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie



Nanotechnik und Bionik

Hightech in der Bauwirtschaft

Fachforum 1 – Innovative Oberflächen

Moderation

Dr. Karl-Heinz Haas | Fraunhofer-Institut für Silicatforschung | Würzburg

15:25 Bautenschutz – innovative Ansätze durch Nanotechnologie

Dr. Karl-Heinz Haas | Fraunhofer-Institut für Silicatforschung | Würzburg

15:45 Innovativer Beschichtungsprozess für Polycarbonat – Integration von UV- und Kratzschutz in einen Plasmaprozess

Dr. Rafael Oser | Bayer Material Science

16:05 Ccflex – Innovative und multifunktionale Keramik von der Rolle

Dieter Buhmann | Marburger Tapetenfabrik J. B. Schaefer GmbH & Co. KG und Dr. Frank Weinelt | smart coatings | Evonik Degussa GmbH

16:45 Funktionale Oberflächen – Lernen von der Natur

Prof. Dr. Wilhelm Barthlott | Universität Bonn

17:05 Praxiserfahrungen mit photoaktiven Baustoffen für Dach, Wand und Boden

Dr. Werner Tischer, Initiative photoaktive Bausstoffe | F.C. Nüdling Basaltwerke GmbH & Co. KG

17:25 Das Beste aus zwei Welten: Fassadenfarben mit Bindemitteln auf Basis von Nanokompositen

Dr. Ekkehard Jahns | BASF SE | Ludwigshafen

Fachforum 2 – Form und Festigkeit

Moderation

Dr. rer. nat. Dietmar Stephan | Universität Kassel

15:25 Die Kralle des Ameisenbären als Vorbild – Strukturoptimierung hochbeanspruchter Arbeitswerkzeuge in der Rohstoffgewinnung

Dipl.-Ing. (FH) Florian Sontheim | Kölner Labor für Baumaschinen | FH Köln

15:55 Bauteiloptimierung nach dem Vorbild verzweigter baumförmiger Pflanzen

Dr. Tom Masselter | Plant Biomechanics Group | Universität Freiburg

16:45 Vom Schildkrötenpanzer zum Leichtbauelement -Effektivere Formenbildung versteifender dünner Wände durch kontrollierte Selbstorganisation – Wölbstrukturen

Prof. Dr. Frank Mirtsch | Dr. Mirtsch GmbH | Stahnsdorf

17:05 Quantz - Die nächste Generation der Ultrahochfesten Betone – Neue Möglichkeiten für innovative Ingenieure, Architekten und Designer

Dr.-Ing. Gregor Zimmermann | G.tecz German technologies and engineering conceptz | Kassel

17:25 Bohrspitzen aus UHPC – umweltschonend und preisgünstig

Dr.-Ing. Karsten Beckhaus | BAUER Spezialtiefbau GmbH

Fachforum 3 – Energieeffizienz und Klimaschutz

Moderation

Dipl.-Ing. Sylvia Leydecker | 100% Interior | Innenarchitektur für Unternehmen | Köln“

15:15 Innendämmung bis in die kleinste Nische - neuartiges Dämmsystem auf der Basis von Nanotechnologie

Wolfgang Schreiber | Deutsche Rockwool Mineralwoll GmbH Co. OHG | Gladbeck

15:35 VIP – von der Forschung auf die Baustelle

Christof Stölzel | VARIOTEC GmbH | Neumark i.d.Opf.

15:55 Fassadentechnik: CIS-Photovoltaik mit WärmeDämmVerbundSystem

Prof. Dr.-Ing. Bernhard Weller | Technische Universität Dresden

16:45 Leichtes Temperaturmanagement in Gebäuden mit mikroverkapselten Latentwärmespeichern (PCM)

Dipl.-Ing. (FH) Marco Schmidt | BASF | Ludwigshafen

17:05 BIONIK: Ideenquelle und Anregungen für Dämmmaterialien

Dr.-Ing. Thomas Stegmaier | Institut für Textil- und Verfahrenstechnik | Denkendorf

17:25 TiO₂TRC – Neue Funktionalitäten von Textilbeton durch Titandioxidmodifikationen

Dipl.-Ing. Christian Neunzig | Institut für Bauforschung | RWTH Aachen

Fachforum 4 – Innovationen, Norm und Markt

Moderation

Dr. Ralf Fellenberg | VDI Technologiezentrum GmbH | Düsseldorf

15:15 Hightechforschung für die Bauwirtschaft – Förderprogramme des BMBF

Ingo Höllein | Bundesministerium für Bildung und Forschung |
Ref. 511, Neue Werkstoffe, Nanotechnologie

15:35 Bau Kunst Erfinden | Das ZIM-Projekt BlingCrete/Reflexbeton – Beispiel einer erfolgreichen Kollaboration

Prof. Heike Klusmann und Dipl.-Ing. Arch. Thorsten Klooster | Universität Kassel

16:00 NanoCare und Co. – Projekte zur Gewährleistung des Schutzes von Umwelt und Gesundheit

Dr. Katja Nau | Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

16:55 Bionik – mit interdisziplinärer Kooperation von der Entdeckung zu innovativen Produkten

Dr. Rainer Erb | Geschäftsführer | BIONIKON-Forschungsgemeinschaft Bionik Kompetenznetz e.V.

17:20 Innovation und Norm

Dr. Karlhanns Gindele | DIN Deutsches Institut für Normung e.V.

Viele dieser Vorträge stehen unter

<http://www.bmwi.de/BMWi/Navigation/Service/Veranstaltungen/dokumentationen,did=379474.html>
zum Download zu Verfügung.

Quellen und weiterführende Literatur

Nanotechnologie

Nano! - Nutzen und Visionen einer neuen Technologie: Katalog zur gleichnamigen Sonderausstellung, TECHNOSEUM Mannheim, 2010.

Nano- und Biotechnologie im Zentrum Neue Technologien, Katalog Deutsches Museum, München 2009.

Sylvia Leydecker: Nanomaterialien in Architektur, Innenarchitektur und Design, Basel, Boston, Berlin (2008).

Luther, Zweck: Anwendungen der Nanotechnologie in Architektur und Bauwesen, Ergebnisse der Fachtagung am 24.01.2006 im VDI in Düsseldorf.

Einsatz von Nanotechnologien in Architektur und Bauwesen, Band 7 der Schriftenreihe der Aktionslinie Hessen-Nanotech des Hessischen Ministeriums für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung, 2. Auflage, Wiesbaden (2008).

Material formt Produkt – Innovations- und Marktchancen erhöhen mit professionellen Kreativen, Band 18 der Schriftenreihe der Aktionslinie Hessen-Nanotech des Hessischen Ministeriums für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung, Wiesbaden (2010).

Einsatz von Nanotechnologien im Energiesektor, Band 9 der Schriftenreihe der Aktionslinie Hessen-Nanotech des Hessischen Ministeriums für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung, Wiesbaden (2008).

Hessen-Nanotech NEWS, Aktionslinie Hessen-Nanotech des Hessischen Ministeriums für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung, Wiesbaden (Hrsg.), www.hessen-nanotech.de

Ute Juschkus: „Nanotechnologie am Bau“ RKW-Fachinfo 2010/01, Download unter http://www.rkw-kompetenzzentrum.de/uploads/media/2010_MA_Nano-am-Bau.pdf.

Ute Juschkus: Zwerge auf dem Bau – Sicher für Mensch und Umwelt, in: Informationen Bau-Rationalisierung, Magazin der RG-Bau im RKW Kompetenzzentrum, Eschborn (Dezember 2010), S. 22-23.

Zimmer, Hertel, Böhl (Hrsg.): Wahrnehmung der Nanotechnologie in der Bevölkerung-Repräsentativerhebung und morphologisch-psychologische Grundlagenstudie, Bundesinstitut für Risikobewertung, Berlin (2008)

Zimmer, Hertel, Böhl (Hrsg.): BfR-Verbraucherkonferenz zur Nanotechnologie, Bundesinstitut für Risikobewertung, Berlin (2008)

Gesundheitsrelevante Aspekte synthetischer Nanomaterialien, Konsortium des Projekts NanoCare, gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung/ DECHEMA e.V. (Hrsg.) Frankfurt/ Main (2009).

Uwe Hartmann: Nanobiotechnologie – Eine Basistechnologie des 21. Jahrhunderts, NanoBioNet Saarland-Rheinhausen-Pfalz e.V., Saarbrücken (2003).

Matthias Schulenburg: Nanotechnologie-Innovationen für die Welt von morgen, Bundesministerium für Bildung und Forschung (Hrsg.), Berlin (2006).

Sextl, Haas: Maßgeschneiderte Nanomaterialien/ -Partikel als Schlüssel für innovative Bauwerkstoffe, Vortrag auf dem Symposium „Nanooptimierte Hightech-Baustoffe“, Kassel, 09.05.2007.

Tagungsband der 3. Fachtagung, VIP-Bau Vakuum-Isolationspaneele, Evakuierte Dämmungen im Bauwesen, Download: www.vip-bau.de.

Kleinhempel: Innovative Dämmstoffe im Bauwesen, Forschungsstand und Marktübersicht, Download: www.vip-bau.de.

Manara, Ebert: Ansätze der Nanotechnologie für hocheffiziente Wärmedämmungen, Vortrag zum Fachgespräch „Nanotechnologie und Bauwesen“ 05.12.06, Düsseldorf.

www.nanotimes.com

Bionik

Bionik: Natur als Vorbild. von Umweltverband WWF von pro futura, München, 1993

Rainer Bappert u.a.: Bionik: Zukunfts-Technik lernt von der Natur, Katalog zur gemeinsamen Wanderausstellung des SiemensForums München/Berlin und des Landesmuseum für Arbeit und Technik in Mannheim, (2003).

Werner Nachtigall: Bionik als Wissenschaft: Erkennen - Abstrahieren - Umsetzen
Berlin (2010)

Werner Nachtigall: Bau-Bionik: Natur – Analogien – Technik, Heidelberg (2003).

Claus Mattheck: Denkwerkzeuge nach der Natur, Karlsruher Institut für Technologie (2010).

Ute Juschkus: Bionik – Anwendungen in der Bauwirtschaft, in: ibr-Magazin Bau-Rationalisierung, Magazin der RG-Bau im RKW Rationalisierungs- und Innovationszentrum der Deutschen Bauwirtschaft e.V., Eschborn (Juni 2010), S. 17.

Florina Sontheim: Analogieuntersuchung zwischen Aufreißzahn und tigerkralle zur Optimierung der Strukturfestigkeit, in: ibr-Magazin Bau-Rationalisierung, Magazin der RG-Bau im RKW Rationalisierungs- und Innovationszentrum der Deutschen Bauwirtschaft e.V., Eschborn (Juni 2010), S. 18,19.

Frank Mirtsch, Ute Juschkus: Nanotechnik und Bionik – Hightech in der Bauwirtschaft, in: ibr-Magazin Bau-Rationalisierung, Magazin der RG-Bau im RKW Rationalisierungs- und Innovationszentrum der Deutschen Bauwirtschaft e.V., Eschborn (August 2010), S. 33,34.

Knippers, Lienhard, Schleicher: Architektur und Bionik – Wandelbarkeit ohne Gelenke, in: ibr-Magazin Bau-Rationalisierung, Magazin der RG-Bau im RKW Rationalisierungs- und Innovationszentrum der Deutschen Bauwirtschaft e.V., Eschborn (Oktober 2010), S. 24,25.

Bildnachweise

- S. 5 Foto: Fraunhofer,
S. 8 Foto: Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, 2011,
S. 9 Foto: Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, 2011,
S. 11 Fotos: Ute Juschkus, RKW Kompetenzzentrum; Das Kieselalgenmodell ist eine Leihgabe des TECHNOSEUMS in Mannheim,
S. 12 Foto: Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, 2011,
S. 13 Abbildung: Ute Juschkus, RKW Kompetenzzentrum,
S. 15 Abbildung und Fotos: Harry Hautuumm / pixelio.de,
S. 16 Abbildung und Fotos (Gärtnerplatzbrücke Kassel und Wohn- und Geschäftshaus in München): Ute Juschkus, RKW Kompetenzzentrum,
S. 17 Foto (Eiffelturm): 1A-Phoenix/ pixelio.de, Foto (Glasflügelfalter): peashooter/ pixelio.de,
S. 18 Fotos: Ute Juschkus, RKW Kompetenzzentrum,
S. 19 Fotos: Bundesministerium für Wirtschaft u. Technologie und Ute Juschkus, RKW Kompetenzzentrum 2011,
S. 20 Abbildung: Ute Juschkus RKW Kompetenzzentrum mit Fotos von: Dieter Schütz (Termitenhügel), Frank Hollenbach (Raupe), Romana Schaile (Lotus), Engelbert Hosner (Bagger) schubalu (Möwe), FH Köln (Baggerzahn, Bärenatze und Bärenkrallen),
S. 21 Foto: Universität Kassel, 2008,
S. 22 Abbildung: Ute Juschkus, RKW Kompetenzzentrum,
S. 23 Foto oben links: Ute Juschkus, RKW Kompetenzzentrum, Modell: Leihgabe des TECHNOSEUM Mannheim für die Ausstellung „Nanotechnik und Bionik – Neues Bauen zum Begreifen“, Abbildung unten: Prof. Michael Schmidt in: Träume werden Wirklichkeit, Hochleistungsbeton et.al., Vortrag auf dem 4. Nanotechnologieforum Hessen – Forum 2: NanoBuilding, 22.11.2007, Frankfurt/Main,
S. 24 Foto: Ute Juschkus, RKW Kompetenzzentrum,
S. 25 Foto: G.tecz
S. 26 Fotos oben: G.tecz,
S. 26 Foto unten: Ute Juschkus, RKW Kompetenzzentrum,
S. 27 Foto: Ute Juschkus, RKW Kompetenzzentrum,
S. 28 Abbildung: Ute Juschkus, RKW Kompetenzzentrum,
S. 29 Abbildung: Ute Juschkus, RKW Kompetenzzentrum,
S. 31 Abbildung: Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie und Ute Juschkus, RKW Kompetenzzentrum mit Fotos „ccflex als Wandbelag“ und „ccflex mit Sirup bespritzt“ von Sylvia Leydecker 100% interior (Fotografin Karin Hessmann),
S. 33 Abbildung: Ute Juschkus, RKW Kompetenzzentrum,
S. 35 Abbildung: Ute Juschkus, RKW Kompetenzzentrum,
S. 37 Abbildung: Ute Juschkus, RKW Kompetenzzentrum,
S. 39 Foto links: Ute Juschkus, RKW Kompetenzzentrum, Architekt: Martin Pool, Foto rechts: Ute Juschkus, RKW Kompetenzzentrum,
S. 40 Foto: Ute Juschkus, RKW Kompetenzzentrum,
S. 41 Foto Wespennest: magicpen/ pixelio.de, Foto Küchenschelle: Erich Keppler/ pixelio.de,
S. 43 Foto: Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, 2011,
S. 44 Abbildung: Ute Juschkus, RKW Kompetenzzentrum nach C. Mattheck: Denkwerkzeuge nach der Natur, S. 57, Karlsruhe 2010.
S. 45 Abbildung: Ute Juschkus, RKW Kompetenzzentrum nach Prof. Ingo Rechenberg in: Vorlesung Bionik I, vgl. <http://www.bionik.tu-berlin.de/institut/skript/vorlb1.htm> (Download: 14.07.2011),
S. 46 Fotos: Florian Sontheim, Kölner Labor für Baumaschinen KLB; Abbildung: Ute Juschkus, RKW Kompetenzzentrum nach einem Exponat der Dauerausstellung Bionik im TECHNOSEUM Mannheim,
S. 47 Foto: Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, 2011,
S. 48 Foto: Angelina Ströbel/ pixelio.de
S. 50 Foto oben: Ute Juschkus, RKW Kompetenzzentrum, Fotos unten: Prof. Heike Klusmann, Universität Kassel,
S. 51 Foto: Ute Juschkus, RKW Kompetenzzentrum,
S. 52 Foto: Ute Juschkus, RKW Kompetenzzentrum,
S. 53 Foto: Ute Juschkus, RKW Kompetenzzentrum,
S. 54 Eigene Darstellung nach K. Gindele in: Innovation und Markt, in: Nanotechnik und Bionik – Hightech in der Bauwirtschaft, Fachforum 4 - Innovationen, Norm und Markt, Vortrag auf der BAU 2011,
S. 56 Foto: Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, 2011,
S. 56 Foto: Ute Juschkus, RKW Kompetenzzentrum; Modell des Nanopartikels: Leihgabe des TECHNOSEUM Mannheim,
S. 57 Abbildung: Ute Juschkus, RKW Kompetenzzentrum,
S. 58 Foto: Ute Juschkus, RKW Kompetenzzentrum
S. 61 Abbildung: Ute Juschkus, RKW Kompetenzzentrum,
S. 62 Abbildung: Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie und Ute Juschkus, RKW Kompetenzzentrum
S. 63 Abbildung: Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie und RKW Kompetenzzentrum