

NanoDialog
der Bundesregierung

Chancen und Risiken der Anwendung von Nanotechnologien im Baubereich

Hintergrunddokument

7. November 2016

Autoren: Antonia Reihlen & Dirk Jepsen

Impressum:

ÖKOPOL GmbH
Institut für Ökologie und Politik

Nernstweg 32-34
D – 22765 Hamburg

www.oekopol.de
info@oekopol.de

Tel.: ++ 49-40-39 100 2 0
Fax: ++ 49-40-39 100 2 33

Inhalt

1	Die FachDialogreihe	4
1.1	<i>Themenstellung und Zielsetzung des FachDialogs</i>	4
1.2	<i>Geplanter Ablauf</i>	5
2	Grundlagen für den FachDialog	6
2.1	<i>EU-Bauproduktenverordnung</i>	6
2.2	<i>Normung und Technische Bewertung</i>	7
2.3	<i>Anforderungen an „Stoffe in Bauprodukten“</i>	8
3	Zusammenfassungen der Vorträge	10
3.1	<i>Regulierung und ihre Umsetzung</i>	10
3.1.1	<i>Bauproduktenverordnung und Normung</i>	10
3.1.2	<i>Zulassung nicht genormter Bauprodukte</i>	11
3.2	<i>Arbeitsschutz, Umweltschutz und Lebenszyklusaspekte</i>	11
3.2.1	<i>Risiken und Schutzmaßnahmen im Umgang mit Bauprodukten: Nano-Bauprodukte auf dem Markt und Informationsvermittlung</i>	11
3.2.2	<i>Nanohouse – Lebenszyklusaspekte in der Anwendung von Fassadenfarben</i>	12
3.2.3	<i>Expositionen aus der Abfallbehandlung – Recycling von Carbonbeton</i>	13
3.3	<i>Anwendungsbeispiele</i>	14
3.3.1	<i>Überblick über die Anwendungen von Nanomaterialien im Baubereich</i>	14
3.3.2	<i>Nanooptimierter Hochleistungsbeton</i>	15
3.3.3	<i>Der Einsatz von Nano-Silber-System-Technologien in Wand- und Fassadenfarben: Vorteile - Anwendungsmöglichkeiten - Grenzen</i>	16
3.3.4	<i>Multifunktionale Beschichtungen mit photokatalytischer Wirkung</i>	17
3.3.5	<i>Anwendung von nanoskaligen Trübstoffen in Dämmstoffen</i>	18
3.3.6	<i>Nanopartikel-Schichten für dimmbare Verglasung</i>	19
3.4	<i>Ausblick</i>	19
3.4.1	<i>Von der Forschung in die Praxis – Verwertungsergebnisse aus der Bekanntmachung NanoTecture</i>	19
3.4.2	<i>Aspekte der Materialforschung des BMBF im Baubereich</i>	20

1 Die FachDialogreihe

Der FachDialog „Nanotechnologien im Baubereich“ wird vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) im Rahmen der 5. Phase des NanoDialogs¹ ausgerichtet. Es werden ca. 40 Teilnehmende aus verschiedenen Stakeholdergruppen sowie aus Ressorts und Behörden erwartet. Der Schwerpunkt des FachDialogs liegt auf der gesellschaftspolitischen Einordnung der Anwendung von Nanotechnologien in Produkten der Bauwirtschaft.

Die Diskussionsergebnisse werden in einer Zusammenfassung dokumentiert, mit den Teilnehmenden abgestimmt und im Internet veröffentlicht. Sie werden zudem in einen ausführlicheren thematischen Bericht des BMUB integriert.

Dieses Hintergrunddokument erläutert einige regulatorische Grundlagen für Produkte, die in der Bauwirtschaft verwendet werden. Zudem sind im Kapitel 3 Zusammenfassungen der Vorträge zusammengestellt, die beim FachDialog gehalten werden. Teilweise enthalten diese Links auf weiterführende Quellen.

Das Hintergrunddokument dient der Vorbereitung und Fokussierung des FachDialogs. Eine Diskussion dieses Dokuments ist beim FachDialog nicht vorgesehen.

1.1 Themenstellung und Zielsetzung des FachDialogs

Der FachDialog soll die Anwendung von Nanotechnologien, insbesondere den Einsatz von Nanomaterialien in Produkten der Bauwirtschaft, thematisieren. Grundsätzlich sind hierbei alle Arten von Produkten und Anwendungsbereichen im Bausektor, vom Straßenbau bis hin zur Verwendung von Farben im Innenraum, eingeschlossen.

Der FachDialog soll:

- eine Einführung in die rechtlichen Regelungen im Baubereich geben und eine Diskussion darüber anstoßen, ob mögliche Risiken durch die Verwendung von Nanomaterialien durch diese Vorgaben (ausreichend) adressiert werden;

¹ Die Dokumentation der vorhergehenden Veranstaltungen des NanoDialogs finden Sie auf den Internetseiten des BMUB: <http://www.bmub.bund.de/themen/gesundheit-chemikalien/nanotechnologie/nanodialog/>

- dazu dienen, eine Einschätzung zu (Wahrnehmungen der) möglichen Chancen und Risiken der Anwendung von Nanomaterialien im Baubereich zu bekommen, einschließlich Ökobilanzaspekten von Nanoprodukten (z. B. Ressourcen- und Energiesparpotenziale, Abfall);
- einen Überblick über aktuelle und mögliche zukünftige Anwendungen von Nanomaterialien im Baubereich geben;
- den Akteuren aus den unterschiedlichen gesellschaftlichen Gruppen die Möglichkeit zum Austausch über die Bewertung der Anwendungen geben sowie ggf. Empfehlungen und Forschungsbedarf ableiten.

1.2 Geplanter Ablauf

Zu Beginn des FachDialogs werden Vertreterinnen und Vertreter verschiedener Akteursgruppen schlaglichtartig ihre Sicht auf das Thema darstellen. Danach werden, als regulatorische Grundlage für die Diskussion, die EU-Bauproduktenverordnung und die dazugehörige Normungsarbeit sowie das deutsche Zulassungsverfahren für Bauprodukte vorgestellt und diskutiert. Im letzten Diskussionsblock des Tages werden Aspekte des Arbeitnehmerschutzes bei der Verarbeitung von Nanobauprodukten sowie Ergebnisse einer umfassenden Untersuchung von Fassadenfarben und eines Projektes zur Behandlung von Betonabfällen vorgestellt.

Am zweiten Tag des FachDialogs wird zunächst ein Überblick über die unterschiedlichen Verwendungsbereiche von Nanomaterialien im Baubereich gegeben. Anhand der Vorstellung konkreter Produkte aus den Bereichen „Beton“, „Oberflächenbeschichtungen“, „Dämmstoffe“ und „Glas“ sollen dann mögliche Chancen und Risiken der Anwendung von Nanomaterialien im Baubereich vertiefend diskutiert werden. Zum Abschluss des FachDialogs werden Schwierigkeiten in der Vermarktung von Produktinnovationen dargestellt und ein Überblick über laufende Forschungsaktivitäten gegeben.

2 Grundlagen für den FachDialog

2.1 EU-Bauproduktenverordnung

Die EU-Bauproduktenverordnung (BauPVO)² soll EU-weit harmonisierte Bedingungen für das Inverkehrbringen von Bauprodukten sicherstellen und eine nachhaltige Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen der Bauwirtschaft fördern. Die harmonisierten Bedingungen beziehen sich auch auf Prüfvorschriften zum Schutz von Mensch und Umwelt. Grob vereinfacht funktioniert die BauPVO wie folgt:

- Die Bauproduktenverordnung gestattet, dass alle Bauwerke bestimmte Grundanforderungen an die Sicherheit, die Gestaltung sowie den Schutz von Umwelt und Gesundheit erfüllen müssen, sofern ein Mitgliedstaat dies fordert.
- Es wird davon ausgegangen, dass ein Bauwerk die Grundanforderungen nur dann erfüllen kann, wenn die zu seiner Erstellung genutzten Produkte die dazu benötigten Leistungen erfüllen. Die entsprechende Leistung von Produkten wird anhand bestimmter, sogenannter wesentlicher Merkmale³, geprüft und beschrieben.
- Die Prüfungen oder Berechnungsverfahren, die zur Bewertung der Leistung von Bauprodukten erforderlich sind, werden in harmonisierten Normen festgelegt. Diese harmonisierten Normen werden auf europäischer Ebene in technischen Ausschüssen entwickelt und vereinbart. Welche der wesentlichen Merkmale hierbei adressiert werden, richtet sich nach dem jeweiligen Produkt, da nicht immer alle Merkmale relevant sind. Auf Basis dieser harmonisierten Normen wird die Leistungserklärung erstellt, die erforderlich ist, wenn ein Bauprodukt in Verkehr gebracht wird.
- Neben vielen produktbezogenen Normen existieren auch Normen, die z. B. bestimmte Methoden für die Produktprüfung beschreiben. Hier sind unter anderem die Normen zur Bestimmung der Freisetzung von Stoffen aus Bauprodukten zu nennen, die für diesen FachDialog relevant sind.
- Existieren für ein Bauprodukt keine harmonisierten Normen, so kann der Produkthersteller eine „Europäische Technische Bewertung (ETA)“

² VERORDNUNG (EU) Nr. 305/2011 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 9. März 2011 zur Festlegung harmonisierter Bedingungen für die Vermarktung von Bauprodukten und zur Aufhebung der Richtlinie 89/106/EWG des Rates; <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:088:0005:0043:DE:PDF>

³ Mechanische Festigkeit und Standsicherheit; Brandschutz; Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz; Sicherheit und Barrierefreiheit bei der Nutzung; Schallschutz; Energieeinsparung und Wärmeschutz; Nachhaltige Nutzung der natürlichen Ressourcen. Die Aspekte „Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz“ sowie „Nachhaltige Ressourcennutzung“ sind für den FachDialog besonders relevant.

beantragen. Für bereits erteilte ETA existieren europäische Bewertungsdokumente, die den Prüfumfang für die Produkte enthalten.

- Der Hersteller darf sein Bauprodukt mit der CE-Kennzeichnung erst etikettieren, wenn er für das Produkt eine Leistungserklärung nach einer harmonisierten Norm (hEN) oder „Europäischen Technischen Bewertung (ETA)“ erstellt hat. Mit der CE-Kennzeichnung bestätigt der Hersteller, dass das Produkt die erklärten Leistungen einhält.
- Für Produkte, die nicht durch die EU-weit harmonisierte Normung abgedeckt sind, können auf Ebene der Mitgliedstaaten nationale Verwendbarkeitsnachweise verlangt werden. Aufgrund eines Urteils des Europäischen Gerichtshofes sind allerdings nationale Kennzeichnungen neben der CE-Kennzeichnung nicht mehr möglich.
- Um sicherzustellen, dass EU-weit alle Akteure das gleiche Verständnis von den (in den Normen sowie Leistungserklärungen verwendeten) technischen Begriffen und Anforderungen haben, definiert die Bauproduktenverordnung zentrale Termini und schreibt ihre Verwendung verbindlich vor.

Der Regulierungsansatz der Bauproduktenverordnung erfasst Nanomaterialien als Bestandteile von Bauprodukten. Nanomaterialien werden nicht separat geregelt oder definiert. Nanomaterialien können in Bezug auf die Leistung eines Bauprodukts relevant sein, weil sie die technische Leistung verbessern / erhöhen (z. B. Stabilität, Wärmeschutz) oder weil sie bestimmte Auswirkungen auf Umwelt und Gesundheit haben, z. B. in Bezug auf Schutzstandards für Umwelt und Gesundheit (mögliche Freisetzungen) und die Nutzung von Ressourcen.

2.2 Normung und Technische Bewertung

Nach Angaben der EU-Kommission⁴ gibt es derzeit 457 harmonisierte Normen und mehr als 2000 begleitende Normen, die 75 bis 80 % aller Bauprodukte abdecken. Hierbei sind Normen zu unterscheiden, die vor, und solche, die erst nach Verabschiedung der BauPVO entstanden sind. Während erstere konkrete Anforderungen an die zu normierenden Produkte enthalten, legen letztere lediglich Verfahren und Kriterien für die Leistungsbewertung fest.

⁴ Europäische Kommission (2016): „BERICHT DER KOMMISSION AN DAS EUROPÄISCHE PARLAMENT UND DEN RAT über die Durchführung der Verordnung (EU) Nr. 305/2011 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 9. März 2011 zur Festlegung harmonisierter Bedingungen für die Vermarktung von Bauprodukten und zur Aufhebung der Richtlinie 89/106/EWG des Rates“, COM(2016) 445 final, Brüssel 2016

Viele bestehende Normen entsprechen nicht mehr dem Stand der Technik und/oder berücksichtigen nicht alle der wesentlichen Merkmale, die in der BauPVO definiert sind. Daher läuft seit einiger Zeit ein Anpassungsprozess der existierenden Normen.

Nach BauPVO können für Bauprodukte, die nicht (vollständig) durch harmonisierte Normen abgedeckt sind, „Europäische Technische Bewertungen (ETA)“ ausgestellt werden. Dies erfolgt anhand europäischer Bewertungsdokumente, die seitens einer technischen Bewertungsstelle erstellt werden. In Deutschland ist das Deutsche Institut für Bautechnik (DIBt) die technische Bewertungsstelle. Die nach der „alten“ EU-Bauproduktenrichtlinie erarbeiteten Leitlinien sollen in Form von europäischen Bewertungsdokumenten für die Erstellung „Europäischer Technischer Bewertungen“ weiterhin verwendet werden können.

2.3 Anforderungen an „Stoffe in Bauprodukten“

Die BauPVO fordert, Informationen nach REACH Art. 31 und 33 mit der Leistungserklärung weiterzugeben. Das heißt, für chemikalienrechtlich als gefährlich eingestufte Stoffe oder Gemische ist ein Sicherheitsdatenblatt bereitzustellen. Für Erzeugnisse, die Stoffe mit besonders besorgniserregenden Eigenschaften (SVHC⁵) in Konzentrationen oberhalb von 0,1 % enthalten, sind Informationen zur sicheren Verwendung des Erzeugnisses weiterzugeben, mindestens jedoch der Name des Stoffes. Die explizite Anforderung der BauPVO, Informationen aus REACH für Bauprodukte verfügbar zu machen, soll sicherstellen, dass die Anwender alle Informationen zur sicheren Verwendung dieser Produkte bekommen.

Nanomaterialien können SVHC-Eigenschaften haben oder aufgrund anderer Eigenschaften als gefährlich eingestuft sein. Somit deckt diese Anforderung der BauPVO auch Nanomaterialien grundsätzlich ab.

Die BauPVO definiert im Anhang I verschiedene Anforderungen an Bauwerke. Die Anforderungen, welche in Bezug auf mögliche Nutzen oder Risiken der Verwendung von Nanomaterialien in Bauprodukten relevant sein können, sind im Folgenden zitiert.

3. Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz

Das Bauwerk muss derart entworfen und ausgeführt sein, dass es während seines gesamten Lebenszyklus weder die Hygiene noch die Gesundheit und Sicherheit von Arbeitnehmern, Bewohnern oder Anwohnern gefährdet und sich über seine gesamte Lebensdauer hinweg weder bei Errichtung noch bei

⁵ Substances of very high concern nach REACH Artikel 57

Nutzung oder Abriss insbesondere durch folgende Einflüsse übermäßig stark auf die Umweltqualität oder das Klima auswirkt:

- a) Freisetzung giftiger Gase;*
- b) Emission von gefährlichen Stoffen, flüchtigen organischen Verbindungen, Treibhausgasen oder gefährlichen Partikeln in die Innen- oder Außenluft;*
- c) Emission gefährlicher Strahlen;*
- d) Freisetzung gefährlicher Stoffe in Grundwasser, Meeressgewässer, Oberflächengewässer oder Boden;*
- e) Freisetzung gefährlicher Stoffe in das Trinkwasser oder von Stoffen, die sich auf andere Weise negativ auf das Trinkwasser auswirken;*

[...]

6. Energieeinsparung und Wärmeschutz

Das Bauwerk und seine Anlagen und Einrichtungen für Heizung, Kühlung, Beleuchtung und Lüftung müssen derart entworfen und ausgeführt sein, dass unter Berücksichtigung der Nutzer und der klimatischen Gegebenheiten des Standortes, der Energieverbrauch bei seiner Nutzung gering gehalten wird. Das Bauwerk muss außerdem energieeffizient sein und während seines Auf- und Rückbaus möglichst wenig Energie verbrauchen.

7. Nachhaltige Nutzung der natürlichen Ressourcen

Das Bauwerk muss derart entworfen, errichtet und abgerissen werden, dass die natürlichen Ressourcen nachhaltig genutzt werden und insbesondere Folgendes gewährleistet ist:

- a) Das Bauwerk, seine Baustoffe und Teile müssen nach dem Abriss wiederverwendet oder recycelt werden können;*
- b) das Bauwerk muss dauerhaft sein;*
- c) für das Bauwerk müssen umweltverträgliche Rohstoffe und Sekundärbaustoffe verwendet werden.*

Weitere Informationen finden Sie unter anderem in den FAQ des DIBt zur EU-Bauproduktenverordnung

https://www.dibt.de/de/Fachbereiche/Referat_P3_FAQ_BauPVO.html.

3 Zusammenfassungen der Vorträge

In diesem Kapitel werden kurze Einleitungen zu den Vorträgen des FachDialogs gegeben. Die Aussagen der folgenden Beiträge liegen in der Verantwortung der jeweiligen Referentinnen und Referenten. Eventuelle Widersprüche in den Inhalten können im FachDialog angesprochen und diskutiert werden.

3.1 Regulierung und ihre Umsetzung

3.1.1 Bauproduktenverordnung und Normung

Otti Ilvonen, Umweltbundesamt

Seit Juli 2013 gilt in der EU für Bauprodukte die Verordnung (EU) Nr. 305/2011 (EU-BauPVO), die harmonisierte Bedingungen für die Vermarktung von Bauprodukten festlegt. Die Zielsetzung der EU-BauPVO ist dieselbe wie schon in der Richtlinie 89/106/EWG, die sie ersetzt: den freien Verkehr mit Bauprodukten auf dem Binnenmarkt und ihre uneingeschränkte Verwendung zu fördern.

Nach der Kompetenzverteilung zwischen der EU und den Mitgliedstaaten sind die Mitgliedstaaten weiterhin für die Sicherheit ihrer Bauwerke zuständig. Die an Bauwerke gestellten Sicherheitsanforderungen sollten sich angemessen in der Vermarktung der Bauprodukte im Binnenmarkt widerspiegeln. Die Leistungserklärung und die CE-Kennzeichnung von Bauprodukten sollten also genau zu denjenigen Produkteigenschaften Angaben machen, die die Mitgliedstaaten brauchen, um die Sicherheit ihrer Bauwerke gewährleisten zu können. Dazu gehört zum Beispiel das wesentliche Merkmal *Emissionen von flüchtigen organischen Verbindungen*, das zur Umsetzung der Bauwerksanforderung *gesunde Innenraumluft* bei Bauprodukten für den Innenausbau erforderlich ist.

Bisher fehlen die für den Umwelt- und Gesundheitsschutz benötigten Angaben in den Leistungserklärungen und CE-Kennzeichnungen fast komplett. Die dazu benötigten Prüfmethode hat die Europäische Kommission im Jahr 2005 beauftragt. Ein Teil der mandatierten Methoden liegen inzwischen als CEN/TS (Technische Spezifikation) vor (siehe Published Standards des CEN/TC 351). Jedoch wird es voraussichtlich noch fünf bis zehn Jahre dauern, bis die benötigten harmonisierten Angaben zu gefährlichen Stoffen in der Leistungserklärung und CE-Kennzeichnung eine Selbstverständlichkeit sind. Zu Nanomaterialien gab es noch kein Normungsmandat im Kontext der EU-BauPVO. Dies liegt daran, dass die Mitgliedstaaten hier bisher keine verbindlichen Anforderungen an die Europäische Kommission mitgeteilt haben, die eine Normungsarbeit ausgelöst hätten.

3.1.2 Zulassung nicht genormter Bauprodukte

Brigitte Strathmann, Deutsches Institut für Bautechnik

Allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen werden für solche Bauprodukte und Bauarten im Anwendungsbereich der Landesbauordnungen erteilt, für die es allgemein anerkannte Regeln der Technik, insbesondere DIN-Normen, nicht gibt oder die von diesen wesentlich abweichen. Sie sind zuverlässige Verwendbarkeitsnachweise von Bauprodukten bzw. Anwendbarkeitsnachweise von Bauarten im Hinblick auf bautechnische Anforderungen an Bauwerke. Europäische technische Bewertungen werden für Bauprodukte im Anwendungsbereich der EU-Bauproduktenverordnung erteilt; sie bewerten die Leistung eines Bauproduktes.

Im Rahmen der Erteilung allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassungen werden für bestimmte Bauprodukte und Bauarten die Anforderungen des Gesundheits- und Umweltschutzes gemäß § 3 der Musterbauordnung geprüft und bewertet. Hierfür werden die „Grundsätze zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten in Innenräumen (Stand Oktober 2010)“ und die „Grundsätze zur Bewertung der Auswirkungen von Bauprodukten auf Boden und Grundwasser (Fassung 2011)“ herangezogen. Beiden Grundsätzen liegt eine Erfassung und Bewertung der Inhaltsstoffe anhand einer dem DIBt gegenüber vertraulich offenzulegenden Rezeptur zugrunde. Im Rahmen der Rezepturdurchsicht findet derzeit keine Bewertung von Nanomaterialien statt, da hierfür eine solide Risikobewertung der Auswirkung auf die menschliche Gesundheit und die Umwelt bei der Freisetzung in die Gebäudeumgebung notwendig wäre.

3.2 Arbeitsschutz, Umweltschutz und Lebenszyklusaspekte

3.2.1 Risiken und Schutzmaßnahmen im Umgang mit Bauprodukten: Nano-Bauprodukte auf dem Markt und Informationsvermittlung

Corinne Ziegler, Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft Prävention, Bereich Gefahrstoffe

Bei einigen Bauprodukten wird auf dem Gebinde, in der Werbung oder im technischen Merkblatt auf „Nano“ oder neuartige, verbesserte Eigenschaften (wie z. B. antibakterielle Wirkung, erhöhte Kratzfestigkeit oder photokatalytische Eigenschaft) hingewiesen. Die Nano-Liste der BG BAU gibt Aufschluss darüber, ob diese Produkte auch tatsächlich Nanomaterialien enthalten. Die Angaben der Nano-Liste wurden bei den jeweiligen Herstellern ermittelt. Die Liste ist nicht vollständig und wird laufend aktualisiert.

Basierend auf der Nano-Liste bietet das „Nanorama Bau“ – ein neuartiges E-Learning Tool - Einblicke in die Anwendungen und den Umgang mit Nanomaterialien in der Bauwirtschaft. Der Nutzer bewegt sich auf einer virtuellen Baustelle und soll nanomaterialhaltige Produkte finden und Fragen zu einer möglichen Exposition und zu Schutzmaßnahmen beantworten. Das „Nanorama Bau“ ist Bestandteil des DGUV Nano-Portals „Sicheres Arbeiten mit Nanomaterialien“. Das Portal ist das Ergebnis eines Projekts, das von der DGUV unterstützt wird und von der Innovationsgesellschaft St. Gallen erstellt wurde.

Nach dem heutigen Stand der Erkenntnisse sind bei der Verarbeitung von nanomaterialhaltigen Bauprodukten die Schutzmaßnahmen, die aufgrund der weiteren Inhaltsstoffe und des Verarbeitungsverfahrens zu treffen sind, ausreichend. Allerdings ist dies kontinuierlich zu überprüfen, da laufend neue Nanoprodukte auf den Markt kommen.

Links:

Nano-Liste der BG BAU: www.bgbau.de > Webcode 3056845

Nano-Portal „Sicheres Arbeiten mit Nanomaterialien“ der DGUV: <http://nano.dguv.de/home/>

Nanorama Bau: <http://nano.dguv.de/nanorama/bgbau/>

3.2.2 Nanohouse – Lebenszyklusaspekte in der Anwendung von Fassadenfarben

Claudia Som, EMPA

Im EU-Projekt „NanoHouse“ wurde zusammen mit Industrie- und Forschungspartnern untersucht, unter welchen Bedingungen welche Mengen und Formen von Nanopartikeln aus den Fassaden freigesetzt werden. Dabei wurde auch zum ersten Mal erforscht, wie sich „gealterte“ und freigesetzte Nanopartikel auf Gesundheit und Umwelt auswirken können. Es wurden Farben untersucht, die entweder Silber- oder Titandioxid- oder Siliziumdioxid-Nanopartikel enthielten. Basierend auf dem Konzept „Produkt-Lebenszyklusperspektive“ wurde zuerst eine Umfrage bei Produzenten von Nanomaterialien und von Farben über mögliche Chancen und Risiken der Fassadenfarben mit Nanopartikeln durchgeführt. Mit der Methode der Lebenszyklusanalyse (Ökobilanz) wurden diese Farben hinsichtlich ihrer Umweltperformance mit konventionellen Farben verglichen. Zudem wurden in Laborexperimenten die Freisetzung, das Verhalten der Nanopartikel aus Fassadenfarben in der Umwelt und die möglichen Wirkungen auf die Gesundheit untersucht.

Die Umfrage hat aufgezeigt, dass durch die Anwendung von Nanopartikeln Chancen für neue Funktionen oder multifunktionelle Farben erwartet werden. Hingegen bestehen große Unsicherheiten darin, wie diese Produkte entsorgt werden sollen.

Die Lebenszyklusanalyse hat aufgezeigt, dass Fassadenbeschichtungen mit TiO₂-Nanopartikeln eine längere Lebensdauer haben könnten und damit den höheren Aufwand während der Herstellung der Fassadenbeschichtung überkompensieren könnten, sodass eine bessere Umweltperformance daraus resultiert.

In den Freisetzungsexperimenten wurden nur wenige freie Nanopartikel gefunden. Die meisten Nanopartikel wurden eingebettet in größeren Farbpartikeln freigesetzt. Generell war die Freisetzung von Nanopartikeln geringfügig im Vergleich zu der ursprünglichen Menge an Nanopartikeln in der Fassadenfarbe. Diese Resultate gelten jedoch nur für die untersuchten Farbformulierungen. So scheint die Menge des Binders in der Farbe, die Art der Nanopartikel und die Zusammensetzung der Matrix die Freisetzung zu beeinflussen.

Bezüglich der Gesundheit wurde weder für die frisch hergestellten („pristine“) noch für die gealterten Nanopartikel (Ag, TiO₂, SiO₂) eine akute Toxizität festgestellt. Es fehlen jedoch die Untersuchungen von Langzeit-Effekten.

Link:

<https://www.empa.ch/web/s506/nanohouse>

3.2.3 Expositionen aus der Abfallbehandlung – Recycling von Carbonbeton

Jan Kortmann, Technische Universität Dresden

Das im Bauwesen seit nahezu hundert Jahren am häufigsten verwendete Material ist Stahlbeton, dessen Verwendung durch die Zementherstellung insgesamt mit einem hohen Ressourcenverbrauch verbunden ist. Ein Ansatz zur Verringerung des Energieverbrauchs ist der neue Verbundbaustoff „Carbonbeton“.

Im „Carbonbeton“ wird das schwere und korrosionsempfindliche Material Stahl durch das dauerhafte, leichtere und zudem festere Material Carbonfaserverstärkter Kunststoff (CFK) substituiert. Eine Mindestbetondeckung zum Korrosionsschutz ist bei der Verwendung von Carbon als Bewehrung nicht notwendig. Carbonfasern sind viermal leichter und sechsmal zugfester als üblicher Bewehrungsstahl. Verglichen mit dem konventionellen Stahlbeton sollen sowohl der Energieverbrauch als auch der CO₂-Ausstoß bei der Herstellung und Instandsetzung unserer Bauwerke deutlich reduziert werden. Der neue Verbundbaustoff aus einer Carbonfaserbewehrung und einer speziell abgestimmten zementbasierten Bindemittelmatrix trägt die Bezeichnung Carbon Concrete Composite, kurz: C³ (sprich: „C hoch 3“ oder „c cube“) (<http://www.bauen-neu-denken.de/>).

Eine wesentliche Zielsetzung bei der Einführung von C³ als Baustoff ist die Schaffung sehr dauerhafter Bauteile und Bauwerke aus diesem Verbundbaustoff. Gleichzeitig ist in der Realität davon auszugehen, dass aus C³ entstandene Bauwerke und Bauteile im Laufe der Zeit Umbau- und Modernisierungsarbeiten sowie Rückbau bzw. Recycling erfahren werden. Dies schließt den Einsatz bspw. der Betonbohr- und Trenntechniken in der Herstellungsphase mit ein. Als oberstes Ziel gilt es die anfallenden Stoffe im Wirtschaftskreislauf zu belassen, damit dieser hochwertige Baustoff durch das Downcycling nicht verloren geht.

Aus ökonomischer und ökologischer Sicht sollte Carbonbeton daher in Zusammensetzung, Verarbeitung und Anwendung so entwickelt werden, dass im Lebenszyklus keine Brüche oder Verluste stattfinden. Zudem sind die Auswirkungen bei und während der Bearbeitung auf den Menschen sowie auf die Umwelt zwingend zu untersuchen, da die kohlenstofffaserverstärkte Kunststoffbewehrung einen neuen baustofflichen Aspekt einbringt. Eine messtechnische Erfassung der Emissionen der bei der Be- und Verarbeitung freigesetzten Stoffe sowie die analytische Bewertung werden fortlaufend durchgeführt. Das Wissen dazu wird aktuell im Forschungsvorhaben C³ V1.5 generiert und die Erkenntnisse daraus werden unmittelbar auf die Entwicklung und Anpassung der Abbruch-/Rückbau- oder Recyclingtechniken angewendet.

Die Erkenntnisse und das Know-how aus dem Forschungsvorhaben C³ V1.5 können auf den Umgang mit Nanomaterialien im Bauwesen (etwa Hochleistungsbeton) angewendet werden. Auch in konventionellen Zementsteinen sind Nanostrukturen zu finden, die bei mechanischer Behandlung (etwa beim Abbruch) freigesetzt werden können. Eine Untersuchung der Emissionen bzgl. der Be- und Verarbeitung von Nanomaterialien im Bauwesen ist daher ein notwendiger nächster Schritt.

3.3 Anwendungsbeispiele

3.3.1 Überblick über die Anwendungen von Nanomaterialien im Baubereich

Prof. Dr. Dietmar Stephan, Technische Universität Berlin

Nanotechnologische Verfahren bieten vielfältige Möglichkeiten zur Aufklärung der komplexen, meist auf nano- und mikroskopischer Ebene ablaufenden chemisch-physikalischen Zusammenhänge mineralischer Bindemittel und daraus hergestellter Baustoffe. Daraus ergeben sich auch neue Möglichkeiten steuernd in diese Prozesse einzugreifen, um die Leistungsfähigkeit weiter zu erhöhen. Zudem ist es möglich, konstruktiven Baustoffen neben ihrer eigentlichen tragenden und/oder schützenden Aufgabe weitere Funktionen zuzuweisen und sie so zu „smart materials“ zu machen. Voraussetzung dafür ist es, die physikalischen und chemischen Besonderheiten der

„Nanowelt“ zu kennen und zu beherrschen. Hochleistungsbetone, wie z. B. ultrahochfester Beton, werden heute schon mit mikroskaligem Silikastaub und anderen Feinststoffen hergestellt, die zu einer sehr dichten Kornpackung kombiniert werden. Eine weitere Leistungssteigerung ist u. a. möglich, wenn Nanosilika mit gezielter Korngrößenverteilung verwendet wird. Damit und mit weiterentwickelten Herstelltechnologien sind sogar kalt hergestellte Hochleistungskeramiken aus mineralischen Bindemitteln denkbar. Nanoskaliges Titandioxid kann „herkömmliche“ Baustoffe zu einem „smart material“ machen. Als dünne, transparente Schicht aufgebracht werden die Oberflächen nicht nur selbstreinigend, sondern sie wirken auch als Katalysator für den Abbau von Schadstoffen.

Es besteht noch ein erheblicher Forschungs- und Entwicklungsbedarf, um die Chancen und Möglichkeiten, die die Nanotechnologie für mineralische und andere Werkstoffe im Bauwesen bietet, zu erkennen und in praktische Lösungen umzusetzen. Gleichzeitig bietet sie aber auch die dazu erforderlichen verfahrenstechnische Möglichkeiten, die schon jetzt einen wesentlich tieferen Einblick in die „Nanowelt“ der Baustoffe ermöglichen.

3.3.2 Nanooptimierter Hochleistungsbeton

Thomas Deuse, Dyckerhoff GmbH, Wiesbaden

Ultrahochleistungsbetone (UHPC) sind Baustoffe mit extrem dichtem Gefüge, die in ihrem Eigenschaftsbild Stahl sehr ähnlich sind. Dyckerhoff hat mit NANODUR® Compound 5941 ein Bindemittel entwickelt, das neben Zement- und Feinstzementkomponenten aus der Mikrodur-Technologie Puzzolane auf Basis nanostrukturierter synthetischer Kieselsäuren zur Hydratationssteuerung enthält. In Verbindung mit Quarzmehl entsteht daraus das Bindemittel NANODUR® Compound 5941 zur Herstellung von UHPC mit üblicher Gesteinskörnung in konventionellen Betonmischanlagen (1).

Das vom BMBF geförderte Projekt **OLAF** – „Nanotechnisch **O**ptimierter **L**anglebiger, energieeffizienter und insbesondere **A**nwendungs**F**reundlicher Hochleistungsbeton“ untersuchte Steuerungsmöglichkeiten durch nanostrukturierte Oxide, Energieeffizienz und Anwendungsmöglichkeiten des Bindemittelkonzepts (2).

Dauerhaftigkeit

Die Betone auf Basis der Bindemittelcompounds Nanodur und OLAF wurden an der Universität Weimar mit Klimawechsellagerung geprüft, wobei auch kritische Gesteinskörnungen wie Granodiorit keine schädigenden Reaktionen zeigten (3).

Nachhaltigkeit

Das OLAF Bindemittelkonzept mit weniger als 50 % Portlandzementklinker ist beim Carbon Footprint ohne Berücksichtigung der Masseneinsparung mit konventionellem Stahlbeton vergleichbar – legt man eine rund dreifache Leistungsfähigkeit zugrunde, so stellt sich eine beachtliche CO₂ Reduzierung ein.

Anwendung

Mit Nanodur und OLAF kann UHPC in jeder Betonanlage mit konventionellen Rohstoffen hergestellt werden – im einfachsten Fall nur mit Sand 0/2 mm, Wasser und Fließmittel.

Perspektiven

Nanodurbeton hat sich inzwischen in der Nischenanwendung Maschinenbau etabliert, wo insbesondere eine hohe Zugfestigkeit und ein gutes Dämpfungsvermögen gefragt sind (4).

Hochleistungsbetone weisen darüber hinaus eine sehr hohe Oberflächenfestigkeit auf und sind grundsätzlich auch für konstruktive Verklebungen geeignet. Hier gibt es einen ersten industriellen Einsatz bei der Herstellung von doppelstöckigen Fischzuchtanlagen (5).

Literatur:

- (1) Deuse, T.; Hornung, D.; Möllmann, M., Von der Mikrodur- zur Nanodur- Technologie, BFT International, 05/2009
- (2) OLAF „Hochleistungsbeton für Alle“: Nanotechnologisch Optimierter, Langlebiger, energieeffizienter und insbesondere AnwendungsFreundlicher Hochleistungsbeton, WING – Jahrbuch 2009, Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF
- (3) Müller, M.; Ludwig, H.-M., OLAF II - Betonuntersuchungen, Bauhaus Universität Weimar, 2012, unveröffentlicht
- (4) Sagmeister, B.; Deuse, T., Anwendungen von UHPC auf Basis eines Spezialbindemittels in Bautechnik und Maschinenbau, BWI 1/2012
- (5) Deuse, T.; Drössler, C., Drössler, T.; Ritter, W., Hochleistungsbeton mit Klebeverbindung, BWI 6/2014

3.3.3 Der Einsatz von Nano-Silber-System-Technologien in Wand- und Fassadenfarben: Vorteile - Anwendungsmöglichkeiten - Grenzen

Sven Knoll (BIONI CS GmbH)

Schimmelpilze sind ein wichtiger und natürlicher Teil unserer belebten Umwelt. Treten sie jedoch in Innenräumen auf, stellen sie ein nicht zu unterschätzendes hygienisches Problem dar und können sich negativ auf die Gesundheit der Bewohner auswirken.

Um Schimmelpilze von Anstrichoberflächen fernzuhalten, setzt die Farbenindustrie seit Jahrzehnten auf den Einsatz sogenannte Filmkonservierer. Der Nachteil solcher Biozide und Fungizide: Die meisten dieser Stoffe sind umweltschädlich oder humantoxisch und damit raumlufthygienisch bedenklich. Denn ihr Funktionsprinzip basiert auf der Abgabe von Wirksubstanzen, was die Raumluft belastet und gleichzeitig dazu führt, dass der Schutzmechanismus zum Teil schon nach kurzer Zeit endet.

Mithilfe der Nanotechnologie können Bautenfarben formuliert werden, bei denen auf den Einsatz herkömmlicher Biozide und Fungizide als Konservierungsstoff verzichtet werden kann. Insbesondere mithilfe speziell entwickelter Nano-Silber-System-Technologien lassen sich so Oberflächen dauerhaft gegen die Ansiedlung von Schimmelpilzen und Bakterien im Innenbereich sowie Algen und Moos im Außenbereich schützen.

Der Vortrag gibt Einblick in den technologischen Hintergrund sowie die zweckmäßigen Verwendungsbereiche Nano-Silber-basierter Wand- und Fassadenbeschichtungen und beschreibt die Vorteile gegenüber herkömmlichen Konzepten anhand von Untersuchungen und Praxisbeispielen. Dabei werden auch die technischen Grenzen der Anwendung, insbesondere im Rahmen von Schimmelpilzsanierungen näher beleuchtet sowie Markthindernisse beim Einsatz von Nanomaterialien im Baubereich aufgezeigt.

3.3.4 Multifunktionale Beschichtungen mit photokatalytischer Wirkung

Waldemar Walczok (SICC GmbH), Christian Oehr, Michaela Müller (Fraunhofer IGB)

Die Gesundheit und unser Wohlbefinden werden in Innenräumen negativ durch anwesende Schadstoffe beeinflusst. Schadstoffe sind beispielsweise ausgasende Verbindungen aus Möbeln und Teppichen oder eine Belastung der Atemluft mit Sporen aus vorhandenem Schimmel. Im Rahmen des EU-Projektes OSIRYS (<http://www.osirysproject.eu>) entwickelt die SICC GmbH in Kooperation mit dem Fraunhofer IGB eine photokatalytisch aktive Innenraumfarbe, die vorhandene Schadstoffe entfernen soll. Entsprechende Farben für Außenanwendungen sind bereits mit Titandioxid als aktivem Material etabliert, eine Herausforderung ist jedoch die Wirkung auch mit Kunstlicht zu erzielen. Durch Verwendung einer speziellen TiO₂-Kristallmodifikation in einer neu formulierten Farbe konnte ein Coating für Innenräume realisiert werden, das bei Bestrahlung mit Norm-Büroleuchten beispielsweise *Aspergillus niger*, dem Verursacher des schwarzen Schimmels, abtötet. Die Wirkung beruht auf der Bildung aktiver Sauerstoff-Spezies bei Bestrahlung mit Licht, die organische Verbindungen chemisch angreifen. Die gebildete Menge der aktiven Spezies vergrößert sich mit zunehmender Oberflächengröße, weshalb Nanopartikel hier besonders effektiv sind. Aufgrund der

einzigartigen Synthese einer Polyacrylat-Dispersion mit thermokeramischen Microspheres (Hohlkugelchen) entsteht nach dem Auftragen der Beschichtung eine endothermische Membran, die bei einer um das 150fache vergrößerten Oberfläche eine bessere Temperaturverteilung und Feuchteregulierung, sicherstellt und somit das Raumklima zusätzlich positiv beeinflusst. TiO₂-Nanopartikel werden bereits breit eingesetzt, beispielsweise in Lebensmitteln und Kosmetika. Die Toxizität war daher bereits Gegenstand zahlreicher Untersuchungen [1-4], ist aber noch nicht abschließend geklärt. Im vorliegenden Produkt liegen, falls überhaupt, nur beim Umgang mit dem reinen Pulver während der Coating-Herstellung Nanopartikel vor. Entsprechende Schutzvorkehrungen, wie Atemschutzmasken FFP1, zeigten sich als ausreichend. Im späteren Produkt sind die Nanopartikel eingebettet und liegen als größere Agglomerate vor, weshalb von keiner Gefahr ausgegangen wird. Lediglich beim An- oder Abschleifen des Coatings ist eine PSA (Persönliche Schutzausrüstung) einzusetzen.

Literatur:

- [1] S. Wagner, R. Dillert, D. Bahnemann, C. Kasper, Untersuchungen zur Toxizität von TiO₂, Labor&more 5/2012, 40-43: <http://www.laborundmore.com/archive/237098/Untersuchungen-zur-Toxizitaet-von-TiO2.html>
- [2] A. Wyrwoll, H. Maes, H. Hollert, A. Schaeffer, A. Meister-Werner, R. Petto, Umweltgefährdung durch ausgewählte TiO₂ Nanomaterialien unter Beachtung relevanter Expositionsszenarien, 2014: http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte_72_2014_kurzfassung.pdf
- [3] <http://www.nano-sicherheit.de/toxikologie>
- [4] <http://www.nanotechnology.basf.com/group/corporate/nanotechnology/de/microsites/nanotechnology/safety/safety-research>

3.3.5 Anwendung von nanoskaligen Trübstoffen in Dämmstoffen

Dr. Jochen Manara, Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung

Ein wesentlicher Beitrag des Primärenergieverbrauchs der Bundesrepublik Deutschland fällt auf die Bereitstellung von Raumwärme und Warmwasser. Dabei benötigt der Gebäudebestand, welcher vor der 1. Wärmeschutzverordnung errichtet worden ist und mit 85 % einen überwiegenden Anteil der vorhandenen Bausubstanz darstellt, 95 % des Gesamtheizwärmebedarfs. Hier ist also ein enormes Energieeinsparpotenzial vorhanden, welches sich durch effiziente Wärmedämmungen erschließen lässt.

Die Entwicklung neuer Materialien und Materialkombinationen für Dämmstoffe mit hoher Dämmwirkung ist daher ein Gebiet, das auch zukünftig von Bedeutung sein wird. Eine Möglichkeit zur Erhöhung der Dämmwirkung (bzw. zur Verminderung der Wärmeleitfähigkeit) stellt die Zugabe von Infrarot-Trübungsmitteln dar. Diese werden bereits in einigen Dämmstoffen eingesetzt und reduzieren die Wärmeleitfähigkeit

durch eine Verminderung des Wärmedurchgangs über Wärmestrahlung (bzw. Infrarot-Strahlung). Durch eine Verwendung nanoskaliger Hochleistung-Trübungsmitteln anstelle der bisherigen Trübungsmittel lassen sich einerseits die Wärmeleitfähigkeiten weiter reduzieren und andererseits auch eine größere Anzahl von Dämmstoffen ausrüsten.

Im Rahmen der Präsentation wird das Potenzial nanoskaliger Trübungsmittel zur Verbesserung der Wärmedämmung vorgestellt, zusammen mit einer kurzen Beschreibung der physikalischen und materialtechnischen Zusammenhänge. Darüber hinaus wird anhand von Beispielen erläutert, wie die Trübungsmittel in Dämmstoffe eingebracht werden können, um die gewünschte Wirkung zu erzielen.

3.3.6 Nanopartikel-Schichten für dimmbare Verglasung

Dr. Hartmut Wittkopf, EControl-Glas GmbH & Co. KG, Plauen

Beschichtungen auf Floatglas für die Anwendung Fenster, Fassade und Dachverglasung haben in den letzten Jahrzehnten immer wieder neuer Perspektiven für Glas im Bauwesen eröffnet. So konnte der Dämmwert von Verglasungen um Größenordnungen gesteigert werden. Sonnenschutz- und Energiegewinneigenschaften sowie Farbgebung und dekorative Effekte können sehr breit variiert werden.

Einmal definiert und produziert, sind jedoch energietechnische Daten und optisches Verhalten fixiert für den gesamten Lebenszyklus der Verglasung, und das bei sich täglich und jahreszeitlich verändernden Umweltbedingungen.

Mit einer elektrochromen Verglasung auf der Basis nanostrukturierter Dünnschichten auf Glas ist es erstmals möglich, die energietechnischen Daten von Verglasungen in Abhängigkeit von Umwelt- und Nutzersituation zu variieren. Der Beitrag geht auf die Grundlagen und Wirkungsweise einer solchen dimmbaren Verglasung am Beispiel ECONTROL ein und präsentiert exemplarisch realisierte Anwendungsfälle.

3.4 Ausblick

3.4.1 Von der Forschung in die Praxis – Verwertungsergebnisse aus der Bekanntmachung NanoTecture

Dr.-Ing. Udo Wiens, Dr.-Ing. Kenji Reichling, Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (DAfStb)

Neue Werkstoffe sind ein zentraler Baustein zur Lösung von Fragen der Energieeffizienz und des Klimaschutzes, aber auch für eine nachhaltige Mobilität und Versorgungssicherheit im Bauwesen. Im Rahmen des seit Dezember 2014 vom

BMBF geförderten Projekts „WiTraBau – Wissenstransfer im Bauwesen“ wird die Verwertung von Forschungsergebnissen aus Projekten der Bekanntmachungen „HighTechMatBau“ (parallel laufend) und „NanoTecture – Nanotechnologie im Bauwesen“ (bereits abgeschlossen) begleitet. In beiden Bekanntmachungen werden Projekte gefördert, die zu neuen innovativen Werkstoffen und Materialien für baupraktische Anwendungen führen.

Von den 11 Verbundforschungsvorhaben aus der Förderbekanntmachung „NanoTecture“ haben sich vier mit der Erforschung von Bauteilen aus „Ultrahochfestem Beton (UHFB)“ beschäftigt. UHFB ist ein sehr gefügedichter, fein- oder grobkörniger Beton mit einer sehr hohen Druckfestigkeit, die je nach Zusammensetzung und Herstellverfahren zwischen rd. 150 und 250 N/mm² erreicht.

Derzeit wird vom Deutschen Ausschuss für Stahlbeton (DAfStb) eine erste Richtlinie erarbeitet, um UHFB flächendeckend zur Anwendung zu bringen. Im Prinzip der Regelwerksetzung fest verankert ist die (bauaufsichtliche) Forderung nach der Aufbereitung und Bereitstellung von praktischen Erfahrungen mit der Anwendung eines neuen Werkstoffes anhand ausgeführter Bauteile. So muss die Richtlinie Antworten auf die Frage geben, mit welchen Zementarten die Herstellung von Bauteilen aus UHFB möglich und praxiserprobt ist. Durch eine systematische Aufbereitung der Forschungsergebnisse im Rahmen von WiTraBau konnten die vier NanoTecture-Vorhaben dazu beigetragen, dass eine Auswahl geeigneter Zementarten aus dem Gesamtangebot möglicher Zemente in den Entwurf der Richtlinie aufgenommen werden konnten.

Diese Erfolge der Materialforschung verdeutlichen, dass die rund 6 Millionen Euro Förderung für die vier Verbundprojekte richtig eingesetzt wurden. Zusätzlich wird durch die Verwertungsaktivitäten des BMBF der Transfer von Produktinnovationen in eine breitere Anwendung gezielt beschleunigt. Die DAfStb-Richtlinie zum UHFB wird voraussichtlich im Jahr 2018 erscheinen.

Weitere Informationen:

www.hightechmatbau.de

3.4.2 Aspekte der Materialforschung des BMBF im Baubereich

Dr. Ralf Fellenberg, VDI Technologiezentrum

Energiewende, Rohstoffknappheit, Urbanisierung und demografische Entwicklung stellen Politik, Gesellschaft und Industrie in Deutschland vor neue Herausforderungen. Das schließt selbstverständlich das Bauwesen, das traditionell sehr materialintensiv ist, mit ein. Damit ist das Fachgebiet der Materialwissenschaft und Werkstofftechnik nach wie vor ein entscheidender Innovationstreiber.

Das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) fördert auf der Grundlage des Rahmenprogramms „Vom Material zur Innovation“ (www.bmbf.de/pub/Vom_Material_zur_Innovation.pdf) Forschungsprojekte zum Thema "Neue Werkstoffe für urbane Infrastrukturen - HighTechMatBau". Im Zentrum stehen die Erforschung und Erarbeitung neuer Werkstoffe für den Einsatz in urbanen Infrastrukturen wie intelligente Gebäudetechnik, nachhaltige Verkehrswege und intelligente Instandhaltungskonzepte. Dies schließt nanotechnologische Aspekte der Arbeiten mit ein, beschränkt sich jedoch nicht darauf. Eine Projektübersicht ist unter www.hightechmatbau.de zu finden. Im „Aktionsplan Nanotechnologie 2020“ (www.bmbf.de/pub/Aktionsplan_Nanotechnologie.pdf) ist der Baubereich ebenfalls angesprochen worden, spielen doch wichtige Themen, wie nanostrukturierte Oberflächen oder spezielle Zusätze, eine große Rolle.