



NEUE MATERIALIEN IM BAUWESEN



Kurzberichte zu den Verbundforschungsvorhaben aus den Förderinitiativen
HighTechMatBau und KMU-innovativ

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Neue Materialien im Bauwesen

Kurzberichte zu den Verbundforschungsvorhaben aus den Förderinitiativen

HighTechMatbau und KMU-innovativ

Neue Materialien im Bauwesen

Kurzberichte zu den Verbundforschungsvorhaben aus den
Förderinitiativen HighTechMatbau und KMU-innovativ



Liane Horst

Leiterin des Referats 523

Werkstoffinnovationen, Batterie

Bundesministerium für Bildung und Forschung



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



**HighTech
MatBau** 
Neue Werkstoffe für urbane Infrastrukturen

Die Konferenz für
Neue Materialien im Bauwesen

31. Januar 2018

Vorwort

Auf Forschung: Bauen!

Die besondere Bedeutung des Baugewerbes in unserer Volkswirtschaft lässt sich sehr anschaulich anhand von zwei Zahlen belegen: Fast zwei Millionen Beschäftigte erwirtschafteten im Jahr 2019 ein nominales Bauvolumen von knapp 400 Milliarden Euro. Das Baugewerbe ist dabei mit vielen anderen Branchen und Handwerkszweigen eng verknüpft. Aktuelle wirtschaftspolitische Themenbereiche wie Energie & Klima, Digitalisierung und Fachkräftebedarf betreffen die Bauwirtschaft zudem unmittelbar. Die wachsende Nachfrage im Bauwesen erfordert hierbei neuartige Baustoffe und optimierte Materialien bei gleichzeitig steigenden Anforderungen an Nachhaltigkeit und Energieeffizienz.

Das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) hat diese Entwicklungen zum Anlass genommen, mit den beiden Förderinitiativen »HighTechMatBau – Neue Werkstoffe für urbane Infrastrukturen« und »KMU-innovativ: Materialforschung (ProMat_KMU)« die Entwicklung innovativer Materialien im Bauwesen zu unterstützen. Der Förderschwerpunkt knüpft damit an den Erfolg der vorausgehenden Förderinitiative »Nanotechnologie im Bauwesen – NanoTecture« an. »HighTechMatBau« ist Teil des Rahmenprogramms »Vom Material zur Innovation« und damit Bestandteil der Hightech-Strategie der Bundesregierung. Diese verfolgt das Ziel, mit Hilfe von Schlüsseltechnologien Innovationen zu fördern und Lösungsbeiträge zu den globalen und gesellschaftlichen Herausforderungen zu leisten. Die seit 2014 mit den beiden Initiativen geförderten 23 Verbundforschungsvorhaben aus dem Bauwesen sind mittlerweile weitgehend abgeschlossen.

Dieser zusammenfassende Berichtsband wurde durch das wissenschaftliche Begleitprojekt »Wissenstransfer im Bauwesen (WiTraBau)« in Kooperation mit den Koordinatoren der einzelnen Verbundforschungsvorhaben erstellt. Ziel des Begleitprojekts war die Unterstützung beim Transfer der Forschungsergebnisse in die Praxis. Mit individuell konzipierten Verwertungsstrategien, die aus projektbezogenen Verwertungsaktivitäten sowie Themenkolloquien und Konferenzen und der Unterstützung der Forschenden bei Veröffentlichungen, Vorträgen, Messeauftritten und Filmbeiträgen bestand, hat das WiTraBau-Konsortium gezeigt, dass mit einem starken Team und dazugehörigen Netzwerken ein Wissenstransfer in der Breite und Tiefe erreicht werden kann.

Beeindruckend waren für mich an dieser Stelle die interdisziplinär aufgestellten Forschungskonsortien, die gemeinsam Lösungen erarbeiten und auf diese Weise neue Wege bei der Werkstoffentwicklung für das Bauwesen einschlagen. Besonders erfolgreich war hierbei das Verbundprojekt »EcoSphere«, welches als innovatives Verfahren und Material zur mineralischen Wärmedämmung von Gebäuden für den Zukunftspreis 2020 nominiert wurde. Ich bin mir sicher, dass Sie beim Lesen der folgenden Kurzbeiträge interessante Einblicke in die spannende Welt der Materialforschung erlangen können, welche Ihre Berufspraxis bereichern. Ich bedanke mich dafür bei allen Beteiligten und Forschenden und wünsche Ihnen viel Spaß bei der Lektüre!

Ihre
Liane Horst

Inhaltsverzeichnis

WiTraBau – Wissenstransfer im Bauwesen _____	1
<i>Mirsada Omercic und Udo Wiens für den Verbundkoordinator DAfStb e.V.</i>	
AeroBasalt – Plattendämmstoff aus faserverstärktem Aerogel Entwicklung und Herstellung von plattenförmigen Dämmstoffen auf Basis von Aerogelen _____	14
<i>WiTraBau-Verwertungskordinator: Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP</i>	
AeroPutz – Kostengünstige Aerogele für Putzanwendungen Entwicklung eines Herstellungsverfahrens für kostengünstige Aerogele _____	18
<i>WiTraBau-Verwertungskordinator: Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP</i>	
AMUPE – Herstellung eines neuen polymeren Hochleistungswerkstoffs _____	22
<i>WiTraBau-Verwertungskordinator: Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E.V. (DBV)</i>	
CFC-SYS – CFK-vorgespannte Fußgängerbrücken aus Carbonbeton in Systembauweise _____	26
<i>WiTraBau-Verwertungskordinator: Deutscher Ausschuss für Stahlbeton e.V. (DAfStb)</i>	
ECWin2.0 – Smart Windows der 2. Generation _____	30
EcoSphere – Mineralische Spritzdämmung mit Mikrohohlglaskugeln Entwicklung und Herstellung einer neuartigen Spritzdämmung auf zementärer Basis mit Dämmfüllung _____	34
<i>WiTraBau-Verwertungskordinator: Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP</i>	
FunktionalFaser – Funktionalisierte Fasern für zementgebundene Werkstoffe _____	38
<i>WiTraBau-Verwertungskordinator: Forschungsgemeinschaft Transportbeton e.V. (FTB)</i>	
HESTER – Hybrides Ertüchtigungssystem für die Straßenerhaltung unter Einsatz neuartiger Werkstoffe _____	42
<i>WiTraBau-Verwertungskordinator: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V. (FGSV)</i>	
INNO-PAVE – Grundlegende Erforschung polymerer Werkstoffe sowie innovativer Herstellungs- und Einbautechnologien für Straßendeckschichtsysteme _____	46
<i>WiTraBau-Verwertungskordinator: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V. (FGSV)</i>	
MultiLC – Multifunktionale Leichtbetonbauteile mit inhomogenen Eigenschaften _____	50
<i>WiTraBau-Verwertungskordinator: Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E.V. (DBV)</i>	
NaHiTAs – Nachhaltiger HighTech-Asphalt: Schadstoff- und lärmindernd mit neuer Materialverarbeitung und -überwachung _____	54
<i>WiTraBau-Verwertungskordinator: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V. (FGSV)</i>	

NAPOS – Nanoporöser druckfester Porenbetonstein hergestellt unter Einsatz von Calciumsilikat-Binder _____	58
<i>WiTraBau-Verwertungskoordinator: VDZ Technology gGmbH (VDZ)</i>	
PureBau – Untersuchung von Werkstoffsystemen für photokatalytisch hocheffiziente Baustoffe _____	62
<i>WiTraBau-Verwertungskoordinator: Deutscher Ausschuss für Stahlbeton e.V. (DAfStb)</i>	
R-Beton	
Ressourcenschonender Beton – Werkstoff der nächsten GenerationR _____	66
<i>WiTraBau-Verwertungskoordinator: Forschungsgemeinschaft Transportbeton e.V. (FTB)</i>	
Schwelle2020 – Biblock-Bahnschwellen aus Kunststoff-Rezyklaten _____	72
<i>Verwertungskoordinator: Deutscher Ausschuss für Stahlbeton e.V. (DAfStb)</i>	
SEDA – Untersuchung multifunktionaler Straßenbaumaterialien und Verbundwerkstoffe zur Nutzung solarer Energie und Verbesserung der Dauerhaftigkeit _____	76
<i>WiTraBau-Verwertungskoordinator: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V. (FGSV)</i>	
SMART-DECK – Intelligentes multifunktionales Verstärkungs- und Schutzsystem aus textilbewehrtem Hochleistungsmörtel für Brückenbauwerke _____	80
<i>WiTraBau-Verwertungskoordinator: Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E.V. (DBV)</i>	
SULFOAM – Schaumgips mit vielen Anwendungsmöglichkeiten	
Entwicklung und Herstellung eines neuartigen geschäumten Baustoffs auf Basis von Calciumsulfat _____	84
<i>WiTraBau-Verwertungskoordinator: Fraunhofer-Institut für Bauforschung IBP</i>	
THELMA – Thermisch Wirksame Bauelemente für das Mauerwerk _____	88
<i>WiTraBau-Verwertungskoordinator: Deutscher Bau- und Bautechnik-Verein E.V. (DBV)</i>	

WiTraBau

HighTech MatBau



Stb-Richtlinie
stverdichtender Beton
(-Richtlinie)
September 2012
für Ausgabe November 2003; bisherige Vertriebsnummer 65034
Ergänzungen und Änderungen zu DIN EN 1992-1-1 und
Ergänzungen und Änderungen zu DIN EN 206-1, DIN EN 206-9 und
DIN 1045-2
Ergänzungen und Änderungen zu DIN EN 13670 und DIN 1045-3
Richtungen aus der Richtlinie 98/34/EG des Europäischen Parlaments und
auf Produkte oder Prüfverfahren beziehen, gilt, dass auch die
für die Dienste der Informationsgesellschaft (ABl. L 204 vom 21. Juli
in Artikel 26 Absatz 2 der Verordnung (EU) Nr. 1025/2012 des Europ
am 25. Oktober 2012 (ABl. L 316 vom 14.11.2012, S. 12), sind
in der in dieser Richtlinie genannten Normen, anderen Unter
auf Produkte oder Prüfverfahren beziehen, gilt, dass auch die
für die Dienste der Informationsgesellschaft (ABl. L 204 vom 21. Juli
in Artikel 26 Absatz 2 der Verordnung (EU) Nr. 1025/2012 des Europ
am 25. Oktober 2012 (ABl. L 316 vom 14.11.2012, S. 12), sind
in der in dieser Richtlinie genannten Normen, anderen Unter
auf Produkte oder Prüfverfahren beziehen, gilt, dass auch die
für die Dienste der Informationsgesellschaft (ABl. L 204 vom 21. Juli
in Artikel 26 Absatz 2 der Verordnung (EU) Nr. 1025/2012 des Europ
am 25. Oktober 2012 (ABl. L 316 vom 14.11.2012, S. 12), sind

Verleitet:
Ausschuss für Stahlbeton e. V. – DASt
der Straße 31
Berlin
030 2693-1320
stb.de

WiTraBau

Wissenstransfer im Bauwesen

Mirsada Omercic und Udo Wiens für den Verbundkoordinator DAfStb e.V.

Abstract: Sieben Partner aus den Bereichen Forschung, Industrie und Regelwerksetzung haben sich zusammengeschlossen, um den Transfer neuer innovativer Werkstoffe vom Labor in die Praxis voranzutreiben. Im Rahmen des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Projekts WiTraBau wurde die Verwertung der Forschungsergebnisse aus den parallel laufenden Projekten der Bekanntmachung »HighTechMatBau – Neue Werkstoffe für urbane Infrastrukturen« und »KMU-innovativ« sowie aus den bereits abgeschlossenen Projekten aus »NanoTecture – Nanotechnologie im Bauwesen« begleitet. In diesen Bekanntmachungen wurden Projekte mit dem Ziel gefördert, neue innovative Werkstoffe und Materialien im Bauwesen zu entwickeln. Jeder Forschungsverbund legte bereits bei der Antragstellung seine eigenen Verwertungspläne vor, die nach Abschluss des Vorhabens verfolgt werden sollten. Diese Pläne wurden zunächst aus der Perspektive des Forschungsverbundes heraus formuliert. WiTraBau verfolgte das Ziel, den Blickwinkel für die Nutzbarmachung der Forschungsergebnisse zu erweitern und dadurch zusätzliche Verwertungsmöglichkeiten zu schaffen. In einem ersten Schritt haben die Partner in WiTraBau eine Strategie entwickelt, um die Vielzahl der Forschungsergebnisse zu systematisieren und kategorisieren und damit möglichst effizient zu verwerten. Zur Umsetzung dieser Strategie wurde ein Datenbanksystem aufgebaut, in dem einzelnen Forschungsergebnissen Erkenntnisstufen, Verwertungsoptionen und Verwertungsaktivitäten zugeordnet wurden. Der Mehrwert dieser Datenbank lag in der Dokumentation der Verwertung von Ergebnissen aus Verbundforschungsvorhaben durch das Netzwerk der WiTraBau-Verbundpartner. Die Ergebnisse der Verbundforschungsvorhaben wurden beispielsweise in den Gremien der WiTraBau-Partner diskutiert und damit einer breiteren Wahrnehmung und Anwendung zugeführt.

1 Ziel des Begleitvorhabens

Der Deutsche Ausschuss für Stahlbeton hat sich mit sechs Partnern aus den Bereichen Forschung, Industrie und Regelwerksetzung zusammengeschlossen, um den Transfer neuer innovativer Werkstoffe vom Labor in die Praxis zu beschleunigen. In dem Verbundforschungsvorhaben WiTraBau wurde die Verwertung von Forschungsergebnissen aus den insgesamt 33 Verbundforschungsvorhaben der BMBF-Förderinitiativen »HighTechMatBau – Neue Werkstoffe für urbane Infrastrukturen (16 Vorhaben)« und »KMU-innovativ (6 Vorhaben)« sowie aus den bei Projektstart von WiTraBau bereits abgeschlossenen Forschungsvorhaben aus der BMBF-Bekanntmachung »NanoTecture – Nanotechnologie im Bauwesen (11 Vorhaben)« über einen Zeitraum von 2014 bis 2020 begleitet. Mit den BMBF-Förderinitiativen wurden Verbundforschungsprojekte im Bereich des

Bauwesens mit dem Ziel gefördert, Grundlagen für die Entwicklung neuer innovativer Werkstoffe und Materialien mit zum Teil neuen Funktionalitäten zu schaffen. Das Projektkonsortium von WiTraBau setzte sich aus den folgenden Partnern zusammen:

- Deutscher Ausschuss für Stahlbeton e. V. (DAfStb, Koordinator),
- Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E.V. (DBV),
- Forschungsgemeinschaft Transportbeton e.V. (FTB),
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V. (FGSV),
- Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB,
- Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP und
- VDZ Technology gGmbH (VDZ).

Gemeinsam mit allen Partnern von WiTraBau sollten die forschenden Stellen bei der Entwicklung von Verwertungsstrategien sowie bei deren Umsetzung beraten und unterstützt werden.

2 Technisch-wissenschaftliche Ergebnisverwertung

Intensive Gespräche mit Koordinatoren und Vertretern der Verbundforschungsvorhaben sowie Veröffentlichungen und Berichte bildeten den Startpunkt für WiTraBau. Im Einzelnen wurden folgende Maßnahmen zur Optimierung des Technologietransfers verfolgt:

- Begleitung der 33 Vorhaben im Verwertungsprozess (Identifikation von Ergebnissen zur Verwertung, Aufbau einer eigenen Verwertungsstrategie mit Festlegung von Verwertungsoptionen und -aktivitäten),
- adressatengerechte Veröffentlichung der Ergebnisse (z. B. durch **Fraunhofer IRB**, in Fachzeitschriften oder auf Veranstaltungen der WiTraBau-Partner),
- Beratung von Ergebnissen in Fachgremien der WiTraBau-Partner,
- Einbringen geeigneter Ergebnisse in Regelwerke der WiTraBau-Partner oder in die Normung,
- Ausrichten von speziellen Informationsveranstaltungen durch die WiTraBau-Partner (Tagungen, Themenkolloquien, Messeauftritte).

Jedem Verbundforschungsvorhaben wurde entsprechend der fachlichen Kompetenzen aus dem WiTraBau-Konsortium ein Ansprechpartner zugeordnet

(sog. Verwertungs Koordinator). Um zunächst vorrangig den Marktzugang der bereits abgeschlossenen Projekte aus NanoTecture zu optimieren, wurde in den ersten ca. eineinhalb Jahren der Projektlaufzeit durch den **VDZ** in Zusammenarbeit mit den WiTraBau-Partnern ein webbasiertes, technisch-wissenschaftliches Expertensystem für die eigene Verwertungsstrategie aufgebaut. Dieses sah vor, dass verwertbare Projektergebnisse zunächst identifiziert und mit einer Kurzbeschreibung im Expertensystem dokumentiert werden. Grundlagen für die Eintragungen waren die Abschlussberichte, Veröffentlichungen und Interviews mit den jeweiligen Projektkoordinatoren und Partnern der einzelnen Forschungsverbünde aus NanoTecture. Jedem identifizierten Projektergebnis wurde zunächst **genau eine** Erkenntnisstufe nach Tabelle 1 zugeordnet und entsprechend im online-System eingetragen. Die aus dem Technologie-Reifegrad (TRL) zur Bewertung des Entwicklungsstandes von neuen Technologien für diese Forschung im Bauwesen abgeleiteten Erkenntnisstufen dienen dazu, den Grad der Praxistauglichkeit der Forschungsergebnisse zu systematisieren. Nach Vergabe der Erkenntnisstufe erfolgte die Zuordnung der einzelnen Ergebnisse zu einer oder mehreren der in Tabelle 2 festgelegten Verwertungsoptionen und einem oder mehreren Partnern im WiTraBau-Konsortium, die für die Verwertung verantwortlich sind. Bei den Verwertungsoptionen handelte es sich um eine Liste von **möglichen Verwertungen**, aus denen dann konkrete Verwertungsaktivitäten der WiTraBau-Partner folgten. Nicht aus jeder Verwertungsoption folgte auch eine Aktivität.

Tabelle 1 Für die Zuordnung der identifizierten Ergebnisse entwickelte Erkenntnisstufen

Nr.	Erkenntnisstufen (ES)
1	Grundlagenuntersuchung als Basis für weitere anwendungsbezogene Forschung
2	Breit angelegte anwendungsbezogene Forschung, die Eingang z. B. in Merkblätter, Richtlinien und Normen finden kann
3	Beispielhafte anwendungsbezogene Forschung, die die Grundlage für eine bauordnungsrechtliche Umsetzung bildet
4	Anwendungsbezogene Forschung als Basis für die weitere Produktentwicklung

Tabelle 2 Verwertungsoptionen als Basis für eine breite Verwertung

Nr.	Verwertungsoptionen (VO)
0	Eingang in nachfolgende Forschungsprojekte
1	Fachspezifische Veröffentlichungen, Vorträge und Fachzeitschriften
2	Vorlesungen an Hochschulen, Fachhochschulen etc.
3	Leitfäden und Lehrmaterialien für Industrie und Gewerbe

Nr.	Verwertungsoptionen (VO)
4	Sachstandsberichte als Vorstufe zur Regelwerksetzung
5	Merkblätter mit Branchenbezug
6	Regelwerke
6.1	Regelwerke der Verbundpartner; Aufnahme in bestehende oder neue Regelwerke
6.2	Allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen (abZ)
6.3	Einbringen in Normenausschüsse des DIN (NABau)
7	Anwendungsbezogene Entwicklung
8	Verwertungsvorschläge der Zuwendungsempfänger

Erkenntnisstufen und Verwertungsoptionen erleichterten somit die systematische Auswertung der Verbundvorhaben bis hinunter auf die Ebene von Einzelergebnissen (siehe Bild 1). Den einzelnen WiTraBau-Partnern wurde damit die Möglichkeit eröffnet, eine umfassende Verwertungsstrategie für jedes einzelne Ergebnis zu entwickeln. Dies konnte zum Beispiel bedeuten, dass ein Ergebnis von einem WiTraBau-Partner in einem Arbeitsausschuss des Normenausschusses Bauwesen (NABau) vorgestellt wurde (Erkenntnisstufe ES 2) und so zur Anpassung einer Norm führte (Verwertungsoption VO 6.3), wodurch ein umfassender Marktzugang für ein Produkt erreicht werden konnte. Dasselbe Ergebnis konnte parallel durch einen anderen WiTraBau-Partner Eingang in Veröffentlichungen (VO 1), Merkblätter (VO 5) oder Lehrmaterialien (VO 3) finden, wodurch Studierende und fachkundige Personen auf die neuen Technologien und deren Anwendungsmöglichkeiten hingewiesen wurden.

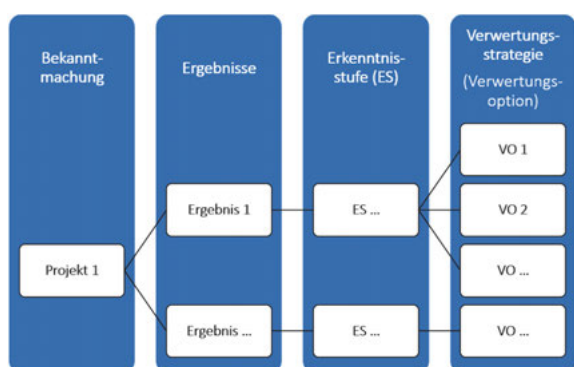


Bild 1 Entwickelte Systematik zur Ableitung einer Verwertungsstrategie im Verbundforschungsvorhaben WiTraBau

3 Netzwerke von WiTraBau

Von großer Bedeutung für den Transfer von Forschungsergebnissen ist das »Networking«. Für die Umsetzung der entwickelten Verwertungsstrategien wurden die weitreichenden Netzwerke der WiTraBau-Partner genutzt, die aus Architekten, Planern, Auftraggebern, Verbänden der Baustoffindustrie und des Baugewerbes, Produktherstellern, Bauausführenden, Prüfinstituten, Einrichtungen der Wissenschaft und Verwaltungen bestehen. Dadurch konnten alle Beteiligten in der Wertschöpfungskette des Bauwesens von der Planung bis zum fertigen Gebäude erreicht und über die Ergebnisse aus den Verbundforschungsprojekten informiert werden. Das WiTraBau-Konsortium wurde bereits bei der Antragstellung anhand der ausgeschriebenen Forschungscluster so zusammengesetzt, dass die Themenvielfalt der zu begleitenden Verbundvorhaben mit der erforderlichen Expertise abgebildet werden konnte.

4 Unterstützung abgeschlossener Projekte aus der Bekanntmachung »NanoTecture«

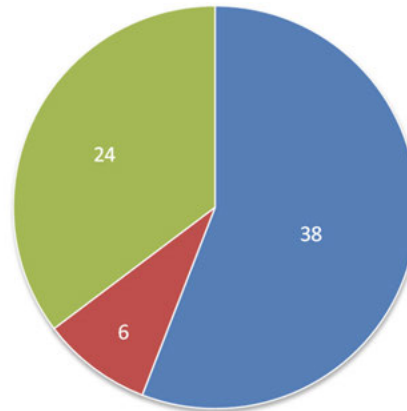
Zwischen 2009 und 2012 hat das BMBF als Beitrag zur Hightech-Strategie der Bundesregierung insgesamt 11 Verbundforschungsprojekte zum Thema »Nanotechnologie im Bauwesen - NanoTecture« gefördert. Im Zentrum der Fördermaßnahme standen nanotechnologische Verfahren und Nanomaterialien, die zu einer deutlichen Einsparung von Energie im Bauwesen beitragen können. Das Ziel bestand darin, neue oder deutlich verbesserte Baustoffe, Materialien, Produkte sowie Verfahren durch die Anwendung von Nanotechnologien zu entwickeln. Hier-

durch sollte die Innovationskraft der deutschen Baustoffindustrie gestärkt werden. Im Vordergrund standen dabei die Themen:

- Erhöhung der Haltbarkeit von Gebäudeelementen (z. B. Fassade, Fenster, Türen, Dächer),
- Reduzierung des Energiebedarfs durch nanotechnologische Effekte,
- Verbesserung von Raumklima, Wohnkomfort und Sicherheit,
- Verbesserung der Energieeffizienz und Langlebigkeit zementgebundener Werkstoffe,
- Verbesserung der Beständigkeit von Straßenbelägen.

Um eine möglichst objektive und umfassende Verwertung zu ermöglichen, hat sich das WiTraBau-Projektkonsortium bei den NanoTecture-Vorhaben für eine Evaluierung in Anlehnung an die »Delphi-Methodik« entschieden (benannt nach dem Orakel von Delphi). Hierzu wurden die Abschlussberichte von jedem Projekt durch zwei WiTraBau-Verbundpartner unabhängig voneinander gesichtet, in Einzelergebnisse aufgegliedert, Kurzfassungen erstellt sowie Erkenntnisstufen und Optionen, wie in Abschnitt 3 beschrieben, für die weitergehende Verwertung festgelegt. Aus diesen beiden »Gutachten« wurde von beiden Verbundpartnern gemeinsam ein abschließender Vorschlag erarbeitet und in das webbasierte Expertensystem eingetragen. Entsprechende Eingabemasken halfen dabei, eine einheitliche Evaluierungsstruktur zu gewährleisten.

Es hat sich gezeigt, dass die Aufteilung in Einzelergebnisse bei den beiden unabhängigen Gutachten größtenteils übereinstimmte, bei der Wahl der Verwertungsoptionen jedoch unterschiedliche Aspekte aufgeführt wurden und so teilweise zu unterschiedlichen Vorschlägen der beiden Experten führten. In allen Fällen konnten über das zweistufige Vorgehen einvernehmliche Verwertungsvorschläge erarbeitet werden, die mit den Partnern der jeweiligen Verbundforschungsvorhaben intensiv beraten wurden. Insgesamt wurden in den 11 begleiteten Verbundvorhaben aus »NanoTecture« 68 Einzelergebnisse identifiziert und jeweils einer geeigneten Erkenntnisstufe zugeordnet. In Bild 2 ist die Verteilung der gewählten Erkenntnisstufen dargestellt. Über die Hälfte der Ergebnisse wurden dem Bereich der Grundlagenuntersuchungen zugeordnet, die Basis für weitere Forschungsaktivitäten sein können. Etwas mehr als ein Drittel der Ergebnisse wurden als geeignet angesehen, um eine weitere Produktentwicklung anzustoßen, was letztendlich im Ermessen der Hersteller liegt.



■ Grundlagenuntersuchung als Basis für weitere Forschung (ES 1)

■ Beispielhafte anwendungsbezogene Forschung als Grundlage für eine bauordnungsrechtliche Umsetzung (ES 3)

■ Anwendungsbezogene Forschung als Basis für weitere Produktentwicklung (ES 4)

Bild 2 Anzahlverteilung der zugeordneten Erkenntnisstufen für die begleiteten Projekte aus der Bekanntmachung »NanoTecture«

Alle Ergebnisse wurden entsprechend ihrem grundsätzlichen Charakter zugeordnet und bilden über die Verwertungsoptionen eine breitere Verwertung ab als dies die Erkenntnisstufen zunächst vermuten lassen. Die ausgeprägte Ausrichtung an der Erkenntnisstufe »Grundlagenuntersuchungen« spiegelt sich auch in der Auswertung der 268 Verwertungsoptionen wider, die aus den 68 Ergebnissen abgeleitet wurden (hier nicht dargestellt).

Von den 268 identifizierten Verwertungsoptionen konnten 47 % den beiden Möglichkeiten 0 »Eingang in nachfolgende Forschungsprojekte« und 1 »Veröffentlichungen« zugeordnet werden, was den Charakter der Ergebnisse als »Grundlagenforschung für weitere Forschung (ES 1)« unterstreicht. Dies ist dadurch begründet, dass sich die Förderlinie mit einem völlig neuen Forschungsfeld befasst. Die verbliebenen 53 % der Verwertungsoptionen sind ungefähr gleichmäßig auf die anderen Verwertungsoptionen verteilt. 25 Ergebnisse boten sich nach Ansicht des WiTraBau-Konsortiums für eine anschließende anwendungsbezogene Entwicklung an (VO 7).

Nachdem die Verwertungsstrategien festgelegt wurden, haben die WiTraBau-Partner die Transferaktivitäten initiiert, indem die Ergebnisse in die entsprechenden Kreise, wie z. B. in die eigenen Netzwerke oder in Fachgremien, eingeflossen sind. Die Entscheidungen über die Verwertung der Ergebnisse, z. B. in Regelwerken oder Berichten, erfolgt individuell in den entsprechenden Gremien und liegt nicht mehr in

der Verantwortung der WiTraBau-Partner. Der Transfer der Ergebnisse aus NanoTecture wird in [1] und [2] am Beispiel des Ultrahochfesten Betons erläutert.

In diesem Abschlussband werden zusammenfassende Berichte der WiTraBau-Partner als jeweiliger Verwertungs Koordinator aus den Förderlinien »HighTechMatBau« und »KMU-innovativ« dargestellt. Die Beiträge wurden im Vorfeld mit den Koordinatoren der jeweiligen Verbundvorhaben abgestimmt.

Der zuvor anhand von NanoTecture-Vorhaben, in diesem Abschlussband nicht weiter betrachtet werden, stark vereinfacht dargelegte Begleitprozess wird in den nachfolgenden Abschnitten für die Vorhaben der beiden anderen Förderlinien detailliert beschrieben.

5 Begleitung von Verbundvorhaben aus den Bekanntmachungen »HighTechMatBau« und »KMU-innovativ«

Neue Werkstoffe sind ein zentraler Baustein zur Lösung von Fragen der Energieeffizienz und des Klimaschutzes, aber auch für eine nachhaltige Mobilität und Versorgungssicherheit. Mit der Bekanntmachung »HighTechMat-Bau« des BMBF sollten wesentliche Ziele der »Hightech-Strategie« der Bundesregierung erreicht werden. Es galt, mit neuen Werkstoffen unsere Städte auch in und für die Zukunft lebenswert und komfortabel zu gestalten und zugleich Innovationen zur Stärkung der deutschen Wirtschaft zu unterstützen. Mit neuen Werkstoffen sollen Innovationspotenziale für:

- eine intelligente Gebäudetechnik (z. B. neuartige Wärmedämmstoffe),
- nachhaltige Verkehrswege (z. B. langlebige Straßenbeläge) und
- intelligente Instandhaltungskonzepte (z. B. mit Fokus auf die Dauerhaftigkeit gegen korrosive Einwirkungen und die Recyclingfähigkeit)

erschlossen werden. Insgesamt wurden neben WiTraBau 16 weitere HTMB-Verbundforschungsvorhaben aus den drei Clustern gefördert. Mit Forschungsvorhaben aus der Förderinitiative »KMU-innovativ« des BMBF wurde der Begleitprozess auf weitere 6 Vorhaben ausgedehnt. Zur Beschleunigung des Verwertungsprozesses sollte das Projekt-konsortium WiTraBau die Forschungsvorhaben begleiten. Dazu wurde eine vergleichbare Vorgehensweise wie bei den NanoTecture-Vorhaben verfolgt.

Die Verwendung der Delphi-Methode schied allerdings aus, da der Begleitprozess parallel zu der laufenden Verbundforschung stattfand und erst einmal keine Abschlussberichte zur Verwertung vorlagen.

Gemeinsam mit den Zuwendungsempfängern wurden anhand des Arbeitsplans die zu erwartenden Ergebnisse identifiziert und geeigneten Erkenntnisstufen und Verwertungsoptionen zugeordnet. Hierzu haben sich die WiTraBau-Partner mit den Projekt-konsortien abgestimmt und eine gemeinsame Verwertungsstrategie erarbeitet. Insbesondere die Konsortien, die eine breit angelegte Verwertung der Ergebnisse, z. B. in der Normung anstrebten, haben das Netzwerk von WiTraBau intensiv genutzt. Bild 3 zeigt die Zuordnung der insgesamt 118 identifizierten Einzelergebnisse zu Erkenntnisstufen.

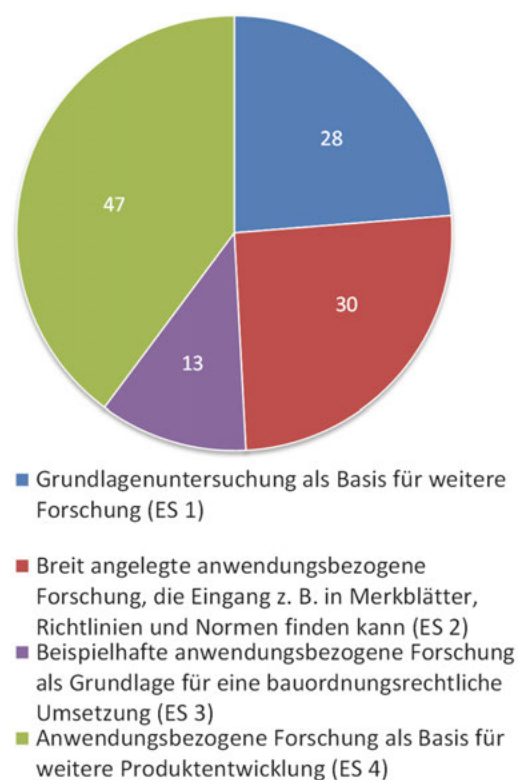


Bild 3 Anzahlverteilung der zugeordneten Erkenntnisstufen für die begleiteten Projekte aus den Bekanntmachungen »HighTechMatBau« und »KMU-innovativ«

Rund 24 % bzw. 25 % der Einzelergebnisse ließen sich den Erkenntnisstufen Grundlagenuntersuchungen als Basis für weitere Forschung (ES 1) bzw. der breit angelegten anwendungsbezogenen Forschung mit möglichem Eingang in Merkblätter oder Regelwerke (ES 2) zuordnen. Für 11 % der Ergebnisse konnte ein möglicher Eingang in bauordnungsrechtliche Verfahren festgestellt werden (z. B. allgemeine bauaufsichtliche Zulassung; Beispiel CFC-SYS

(s. Seite 26), Nachweiskonzepte und Entwurfsregeln für vorgespannte Carbonbetonbauteile). Knapp 40 % der Ergebnisse bildeten die Grundlage für eine weitere Produktentwicklung im Anschluss an das Verbundforschungsvorhaben. Dieser hohe Anteil an Ergebnissen zeigt die große Motivation der Verbundpartner an der Produktentwicklung, die dadurch verstärkt wurde, dass stets ein Industriepartner die Leitung des Verbundes innehatte.

Den 118 Einzelergebnissen konnten schließlich insgesamt 414 Verwertungsoptionen zugeordnet werden (s. Bild 4). In 177 Fällen (43 %) wurde die Option VO 1 »fachspezifische Veröffentlichungen, Vorträge, Fachbeiträge« gewählt. Option VO 6 »Regelwerke«

als Summe aus VO 6.1, 6.2 und 6.3 wurde insgesamt 57-mal vergeben (rd. 14 %). Mit rd. 11 % bzw. 10 % folgten die Optionen VO 7 bzw. VO 0. Alle weiteren Optionen lagen unter 10 %, zum größeren Teil auch unter 5 % der Nennungen. Die hohe Anzahl an Nennungen für VO 1 ist im Wesentlichen darauf zurückzuführen, dass neben Veröffentlichungen und Vorträgen durch WiTraBau-Partner alle Abschlussberichte (und damit auch alle Einzelergebnisse des Verwertungsprozesses) im online-System in der Regel auch dem IRB als Plattform für Veröffentlichungen wissenschaftlicher Ergebnisse zugeordnet wurden (s. a. Abschnitt 7).

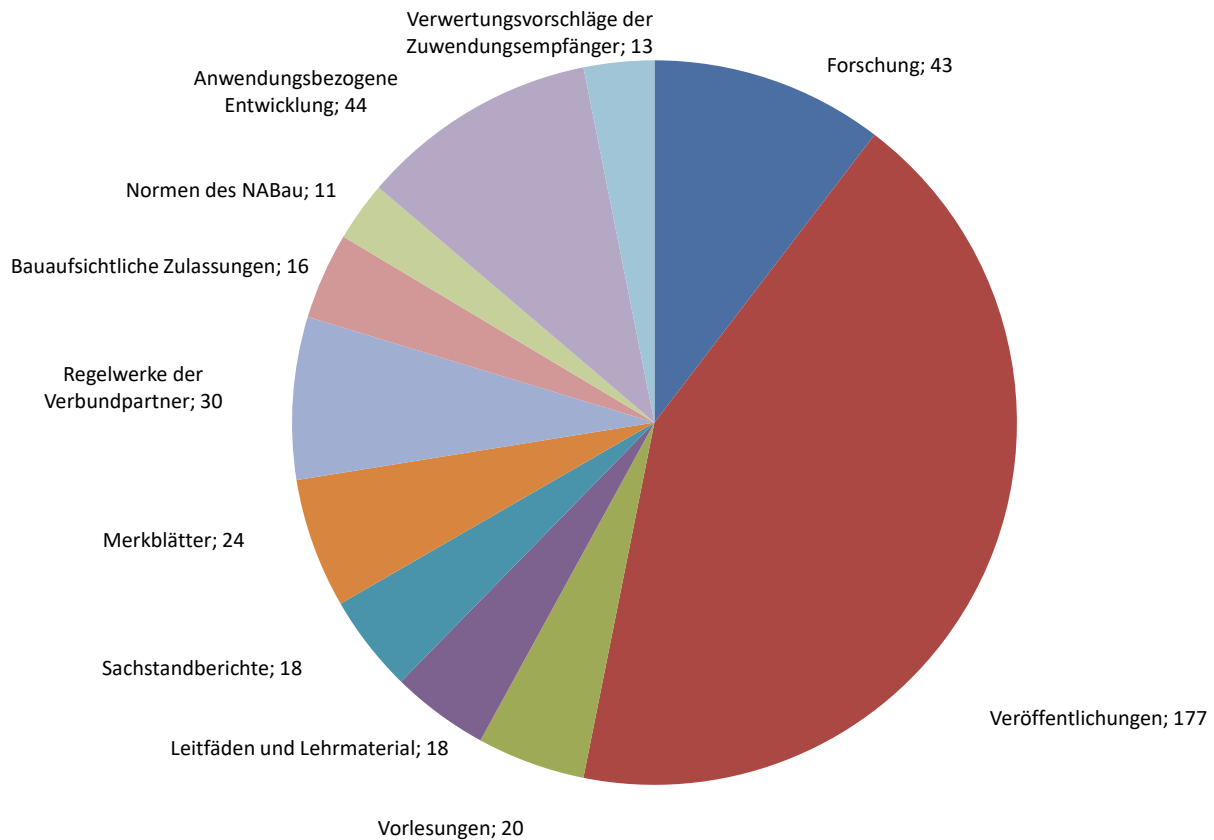


Bild 4 Verteilung der den Einzelergebnissen zugeordneten Verwertungsoptionen für die begleiteten Projekte aus den Förderlinien »HighTechMatBau« und »KMU-innovativ«

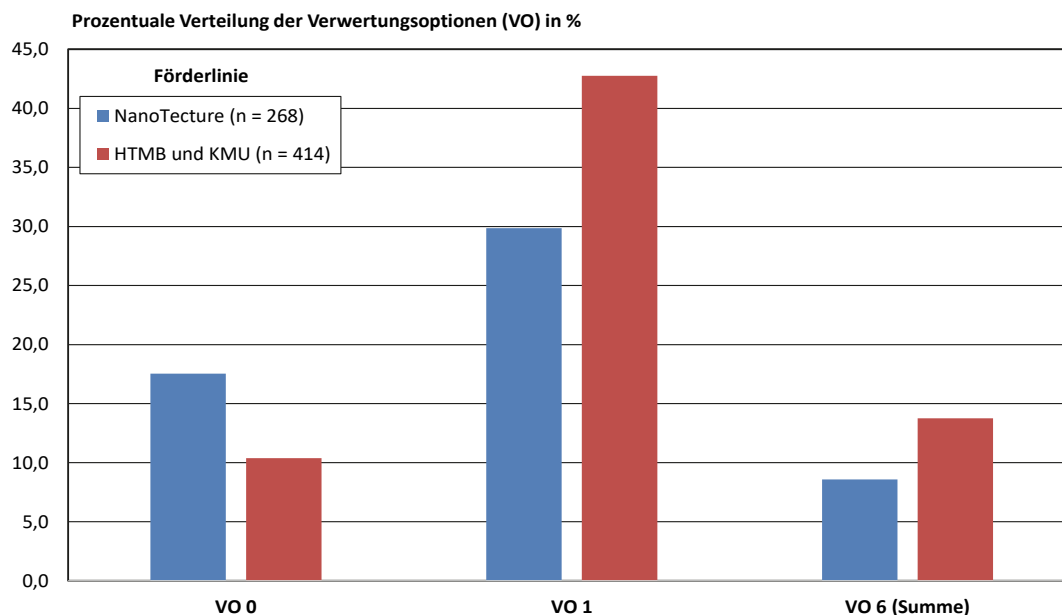


Bild 5 Prozentuale Verteilung der Verwertungsoptionen für die Förderlinien »NanoTecture«, »HighTechMatBau« und »KMU-innovativ«

Die Verwertungsoption VO 0 »Eingang in nachfolgende Forschungsprojekte« wurde eingerichtet, um Forschungsbedarfe zu erkennen, die nach Abschluss der Vorhaben zu Anschlussprojekten führen oder die zur Entwicklung von Forschungsclustern für neue BMBF-Bekanntmachungen genutzt werden können. Bild 5 verdeutlicht, dass bei NanoTecture mit rd. 17,5 % gegenüber rd. 10,4 % bei den beiden anderen Förderlinien mehr Ergebnisse in der Option VO 0 zu finden waren, da der Fokus stärker auf Grundlagenuntersuchungen lag (s. a. Bild 2). Der stärkere Praxisbezug von HTMB- und KMU-innovativ-Vorhaben spiegelt sich auch in der im Vergleich zu Nano-Tecture-Vorhaben stärkeren Ausprägung der Option VO 6 »Einbringen in Regelwerke« wider (Summe aus V 6.1 bis V 6.3 in Bild 5).

Aus den 414 Verwertungsmöglichkeiten erfolgten schließlich Aktivitäten der WiTraBau-Partner, die in **projektspezifische** und **ergebnisspezifische** Verwertungsaktivitäten unterteilt wurden. Eine **projektspezifische** Verwertungsaktivität lag zum Beispiel vor, wenn die Vorstellung eines Verbundvorhabens durch einen Filmbeitrag oder auf einer Messe erfolgte (z. B. Multi-LC, s. a. Abschnitt 7). Die projektspezifischen Ergebnisaktivitäten teilten sich auf in:

- 177 Vorträge oder Publikationen über die Verbundvorhaben der beiden Förderlinien auf Veranstaltungen der WiTraBau-Partner,

- 87 Aktivitäten, bei denen die Vorhaben auf Messen (z. B. Bau 2019 in München, Betontage 2019 in Ulm, Bautechnik-Tag 2019 in Stuttgart, BauMesse NRW 2019), Image-Filmen, der High-TechMatBau-Konferenz 2018 etc. vorgestellt wurden (s. Abschnitt 7),
- 36 Aktivitäten zur Vorstellung von WiTraBau bei Statustreffen der Forschungsverbünde und
- 32 sonstige Aktivitäten.

Ein Auszug aus der Datenbank mit beispielhaften **ergebnisspezifischen** Verwertungsaktivitäten für 5 ausgewählte HTMB-Vorhaben ist in den Tabellen 3a und 3b enthalten. Die Systematik soll hier anhand eines Beispiels erläutert werden: Durch das IBP wurde bei der Begleitung des HTMB-Vorhabens EcoSphere, in dem der Einsatz von Mikrohohlglaskugeln in sprühfähigen mineralischen Dämmsystemen untersucht wurde, die Verbesserung der effektiven Wärmeleitfähigkeit des Dämmsystems als ein wesentliches Ergebnis identifiziert. Darauf aufbauend wurde durch das IBP ein Verfahrensvorschlag zur Berücksichtigung der dynamischen Wärmeleitfähigkeit aufgrund von Bauteilfeuchte entwickelt, wofür die hygrothermischen Eigenschaften des Produktes gemessen, in die IBP-Datenbank (VO 1) eingepflegt und an den Hersteller in dem EcoSphere-Konsortium übergeben wurden.

Tabelle 3a Beispielhafte Zusammenstellung der Verwertungsstrategie anhand von Verbundforschungsvorhaben aus der Förderlinie »HighTechMatBau«

Verbund- forschungs- vorhaben	Verwertungs- koordinator in WiTraBau	Wesentliche Zielsetzung des Vorhabens	Einzelergebnis	Erkennt- nisstufe (ES)	Verwertungs- optionen mit Verwertungs- stelle in Klammern
EcoSphere, Kurzbericht auf S. 34	IBP	Einsatz von Mikrohohlglaskugeln in sprühfähigen mineralischen Dämmsystemen	Verbesserung der effektiven Wärmeleitfähigkeit des Dämmsystems	3	1 (IRB), 5 (IBP), 6.3 (IBP)
SMART-DECK, Kurzbericht auf S. 80	DBV	Multifunktionales Verstärkungssystem zum vollflächigen Echtzeit- Feuchtemonitoring mit abschnittsweise steuerbarem präventiven kathodischem Korrosionsschutz (pKKS)	pKKS als Chloridbarriere (geringere Stromdichten)	2	1 (DBV), (IRB) 4 (DAfStb), 5 (DBV), 6.1 (DAfStb, DBV)
CFC-SYS, Kurzbericht auf S. 26	DAfStb	CFK-vorgespannte Fußgängerbrücken aus Carbonbeton in Systembauweise	Vorgespannte Carbonstäbe	3	1 (IRB), 2 (DAfStb), 4 (DAfStb), 6.1 (DAfStb), 7 (DAfStb)
R-Beton, Kurzbericht auf S. 66	FTB	Entwicklung Ressourcen schonender Betone und Zemente	Verwendung feiner RC- Gesteinskörnung (Brechsand) in der Zementherstellung	4	1 (IRB, VDZ), 3 (VDZ), 7 (VDZ)
HESTER, Kurzbericht auf S. 42	FGSV	Ertüchtigungssystem für die Straßenerhaltung unter Einsatz neuartiger Werkstoffe	Maschinen- und Einbautechnik zur Verlegung der Fertigteile	4	1 (IRB), 7 (FGSV)

Tabelle 3b Beispielhafte Zusammenstellung der Verwertungsstrategie anhand von Verbundforschungsvorhaben aus der Förderlinie »HighTechMatBau« (Fortsetzung und Schluss)

Verbund-forschungs-vorhaben	Ergebnisbezogene Verwertungsaktivität	Verwertungs-stelle	Verwertungsergebnis (mit Verwertungsoption)
EcoSphere, Kurzbericht auf S. 34	a) Entwicklung eines Verfahrens zur Berücksichtigung der dynamischen Wärmeleitfähigkeit aufgrund von Bauteilfeuchte; b) Messung der hygrothermischen Eigenschaften des entwickelten Baustoffs als Basis für Normungsansinnen	IBP IBP	a) Eintragung der hygrothermischen Messergebnisse des Produktes in die IBP-Datenbank und Übergabe an Hersteller (VO 1; Status: abgeschlossen) b) Übergabe des entwickelten Verfahrens an Mitglied des DIN EN ISO 10456 (VO 6.3; Status: begonnen)
SMART-DECK, Kurzbericht auf S. 80	a) Vortrag von Dr. Till Büttner und Beratung von SMART-DECK am 6. Juni 2016 auf einer Sondersitzung des DBV-Hauptausschusses Forschung (HAF) und des DBV-Hauptausschusses Baustofftechnik (HABT); b) Vortrags von Dr. Till Büttner und Beratung von SMART-DECK am 29. Juni 2016 auf der Sitzung des DBV-Arbeitskreises »Brückenbau« – Gruppe 3	DBV	Einbindung der Erkenntnisse aus SMART-DECK ins DBV-Merkblatt »Brückenmonitoring – Planung, Ausschreibung, Umsetzung« (VO 1; Status: abgeschlossen)
CFC-SYS, Kurzbericht auf S. 26	Beratung im Unterausschuss Nichtmetallische Bewehrung (Sachstandbericht) – DAfStb-Richtlinie	DAfStb	VO 6.1; Status: in Planung
R-Beton, Kurzbericht auf S. 66	Forschung zur Verwendung feiner RC-Gesteinskörnung (Brechsand) in der Zementherstellung	VDZ	feine RC-Gesteinskörnung (Ziegelbrechsand) in der Zementherstellung (VO 0; Status: abgeschlossen)
HESTER, Kurzbericht auf S. 42		DBV	Veröffentlichung »Erfolgreicher Bau eines In-situ-Demonstrators bei HESTER« im DBV-Rundschreiben 255 Dezember 2017 (VO 1; Status: abgeschlossen)

6 Meilensteine der Öffentlichkeitsarbeit

Um die Vielfalt der Verbundforschungsvorhaben in der Außendarstellung begleiten zu können, wurde durch den VDZ mit dem Aufbau und der Pflege der Homepage:

www.hightechmatbau.de

ein professioneller Internetauftritt geschaffen, auf dem alle Verbundforschungsvorhaben in gebündelter Form vorgestellt und über aktuelle Veranstaltungen berichtet wurde.

Die Kick-Off-Veranstaltung fand am 28. September 2015 in den Räumlichkeiten der VDZ gGmbH (VDZ) in Düsseldorf statt. Die Zielsetzungen und Arbeitspläne der zu der Zeit bewilligten Verbundforschungsvorhaben aus der Förderlinie »HighTechMatBau« wurden vorgestellt. Im Fokus stand der gemeinsame Austausch zwischen den Teilnehmern sowie den Verbundprojekten aus »NanoTexture« und »HighTechMatBau« zu möglichen Verwertungsstrategien bestehender und zukünftiger Projektergebnisse. Die Teilnehmer, die sich aus Vertretern des Bundesministeriums (Referat 511; Neue Materialien und Werkstoffe; KIT; HZG), dem Projektträger (VDI Tech-

nologiezentrum GmbH), aus Behörden und Verbandsvertretern sowie den forschenden Stellen zusammensetzten, bekamen einen umfassenden Überblick über die geförderten Forschungsvorhaben. In den Pausen haben die Teilnehmer die Gelegenheit genutzt, sich in fachlichen Gesprächen persönlich auszutauschen und sich weiter zu vernetzen.

Neben den rd. 40 durch WiTraBau organisierten Veranstaltungen (Themenkolloquien, Messeauftritte etc.) begeisterte die große HighTechMatBau-Konferenz am 31. Januar 2018 im bcc Berlin Congress Center das Fachpublikum in besonderer Weise (s. Bild 6). Die Vertreter der verschiedenen Verbundforschungsvorhaben gaben vor mehr als 400 Konferenzteilnehmerinnen und -teilnehmern einen umfassenden Einblick in ihre bisher erzielten Forschungsergebnisse aus den Förderlinien »HighTechMatBau« und »KMU-innovativ«. Durch eine sehenswerte Demonstratoren-Ausstellung konnten viele Forschungsergebnisse auch im wahrsten Sinne des Wortes »fassbar« gemacht werden (s. Bild 7). Die Erstellung des Konferenzbandes erfolgte über den Fraunhofer IRB Verlag. Er ist unter

<https://www.hightechmatbau.de/konferenz2018/tagungsband/aufrufbar>.



Bild 6 Gruppenfoto der Teilnehmer an der HighTechMatBau-Konferenz am 31. Januar 2018 im bcc Berlin Congress Center



Bild 7 Demonstrator des Verbundvorhabens »HESTER« anlässlich der HighTechMatBau-Konferenz am 31. Januar 2018 im bcc Berlin Congress Center

Unter

<https://www.hightechmatbau.de/wissenstransfer/veroeffentlichungen/>

wurde eine Liste mit 124 Eintragungen eingerichtet, die alle Veröffentlichungen des WiTraBau-Projektes umfasst, darunter 84 Publikationen in Form von Beiträgen (online oder Zeitschrift), Postern oder Regelwerken. Daneben enthält die Zusammenstellung auch 40 Eintragungen zu Veranstaltungen, wie z. B. Messeauftritte, Konferenzen oder Themenkolloquien (s. Tabelle 4). Verschiedene Pressemitteilungen zu den Veranstaltungen und Aktivitäten runden das Bild insgesamt ab.

Mit filmischen Mitteln lassen sich Forschungsergebnisse auf ansprechende Weise einem breiten Publikum vermitteln und können zum Transfer in die Fachöffentlichkeit und darüber hinaus beitragen. Daher wurde für die HTMB-Konferenz am 31. Januar 2018 ein Film über ausgewählte Verbundvorhaben (HESTER, SmartDeck, EC-Win 2.0, Multi-LC, WiTraBau, R-Beton) erstellt, der zur Vorstellung der Förderinitiative »HighTechMatBau« diente. Der Film ist unter folgendem Link abrufbar:

<https://youtu.be/Q8Q58uKnqds>



Analog sind in den nachfolgenden Kurzbeiträgen Filmsequenzen weiterer Forschungsverbünde über QR-Codes aufrufbar.

Produziert wurde der Film durch die Basiliscus Film GbR unter der Federführung von VDZ und DAFStb und unter Einbindung der weiteren WiTraBau-Partner.

Da dieser Film in der Fachwelt sehr positiv aufgenommen wurde, entstand im Laufe des Jahres 2018 die Idee, weitere Ergebnisse und Forschungsansätze der HTMB- und KMU-innovativ-Verbundvorhaben für die Fachwelt und den »technisch interessierten Laien« filmisch aufzubereiten. So konnten Mitte April 2019 drei weitere Filme auf einem hierfür eingerichteten YouTube-Kanal hochgeladen werden:

1. »HighTechMatBau – Innovative Bauweisen für Straßen«, produziert durch die Basiliscus Film GbR mit Unterstützung durch FGSV, siehe <http://youtu.be/mMGUx6ExFWU>, vorgestellte Vorhaben: HESTER, SMART-DECK, NaHiTAs, INNO-PAVE;
2. »HighTechMatBau – Ressourceneffizienz und Recyclierbarkeit im Bauwesen«, produziert durch die Basiliscus Film GbR mit Unterstützung durch VDZ, siehe <https://youtu.be/8hKvtlohCI8>, vorgestellte Vorhaben: R-Beton, Schwelle 2020;
3. »HighTechMatBau – Energieeffizienz und Umweltschutz«, produziert durch die Basiliscus Film GbR mit Unterstützung durch IBP, siehe <https://youtu.be/KvgOOYDWoy8>, vorgestellte Vorhaben: Multi-LC, SULFOAM, PureBau, EcoSphere.

Tabelle 4 Beispielhafte Zusammenstellung von Veranstaltungen, die durch das WiTraBau-Konsortium organisiert wurden

Veranstaltung	Datum	Organisiert durch WiTraBau-Partner
Messestand auf der BAU 2017	16.–21.01.2017	IRB, FGSV, VDZ und DAfStb
Tag der Forschung	13.10.2017	DBV
Deutscher Straßen- und Verkehrskongress	12.–14.09.2018	FGSV
Fachsymposium für Dämmstoffe und Dämmsysteme in Stuttgart	25.10.2018	IBP, IRB
Messestand auf der BAU 2019	14.–19.01.2019	DAfStb, IRB, FGSV, IBP
R-Beton Stelle mit Demonstratoren auf dem Gemeinschaftsstand der InformationsZentrum Beton GmbH im Rahmen der BAU 2019	14.–19.01.2019	FTB
Messestand und Vortrag auf den 63. Betontagen in Ulm	18.–21.02.2019	DAfStb, IBP, FTB
Baumesse NRW in Dortmund	22.03.2019	IRB, VDZ, DAfStb
Bautechnik-Tag in Stuttgart	07.–08.03.2019	DBV, DAfStb
Forschungsforum der Transportbetonindustrie	12.09.2019	FTB
Research goes Public	17.09.2019	IRB, IBP
Themenkolloquium TiO ₂ in Düsseldorf	08.10.2019	VDZ, DAfStb

In dem digitalen Informationsdienst »Bauforschung aktuell« des Fraunhofer IRB und seinem verbundenen Twitter-Kanal wurden zudem Informationen einzelner Teilprojekte der begleiteten Forschungslinien aufgenommen oder zu ihnen verlinkt. Das Begleitprojekt WiTraBau wurde im allgemeinen Newsletter des Fraunhofer IRB sowie in den Jahresberichten vorgestellt.

7 Langzeitarchivierung und Auffindbarkeit der Forschungsergebnisse durch Fraunhofer IRB

Innerhalb von WiTraBau zeichnete das Fraunhofer IRB für die Dokumentation, Langzeitarchivierung und den Zugang zu den frei gegebenen Forschungsergebnissen verantwortlich. Es nutzte seine vielfältigen Möglichkeiten in seinen Datenbanken zum Wissenstransfer und zur Forschungsdokumentation sowie über den Fraunhofer IRB Verlag, Ergebnisse der Fachöffentlichkeit zugänglich zu machen.

Hierzu wurden die Projektbeschreibungen aus Nano-Tecture, HighTechMatBau und KMU-Innovativ für die Forschungsprojektdatenbank BAUFO® erfasst. Die Teilvorhabenbeschreibungen innerhalb des jeweiligen Verbundes wurden untereinander und mit der Projektseite von WiTraBau (www.hightechmatbau.de) verlinkt. Abgeschlossene Projekte, zu denen ein Abschlussbericht für die Publikation freigegeben wurde, wurden in die Literaturdatenbank RSWB®plus – die umfassendste Datenbank zu allen baurelevanten Themenfeldern – aufgenommen und deren Ergebnisse über das Portal www.baufachinformation.de im Open Access zugänglich gemacht. Auf gleichem Wege wurden die WiTraBau-Tagungsbände zur Kick-off-Veranstaltung im September 2015 und zur Konferenz im Januar 2018 sowie dieser Abschlussband mit Kurzberichten und eine Langfassung mit einer ausführlichen Darstellung der Verwertungen des WiTraBau-Konsortiums in RSWB®plus erfasst und zum Download zugänglich gemacht.

8 Zusammenfassung und Fazit

Eine Verwertung von Ergebnissen ist ein wesentlicher Baustein für den Erfolg eines Forschungsprojektes sowie des zugrundeliegenden Förderprogramms. In dem Verbundforschungsvorhaben WiTraBau wurde eine technisch-wissenschaftliche Verwertungsstrategie entwickelt, die es möglich macht, Verbundforschungsvorhaben bei der Ergebnisverwertung zu unterstützen. Die Erkenntnisse aus dem WiTraBau-Vorhaben lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Die Zuordnung von Ergebnissen zu Erkenntnisstufen und Verwertungsoptionen bietet einen systematischen Rahmen, um daraus eine intelligente Verwertungsstrategie abzuleiten und dabei möglichst viele Aspekte zu berücksichtigen.

Durch die verschiedenen projektspezifischen Verwertungsaktivitäten der WiTraBau-Partner konnten die Forschungsergebnisse in Breite und Tiefe sowohl der interessierten Öffentlichkeit als auch den Fachexperten in anschaulicher Weise nähergebracht werden.

Das Herunterbrechen von Verbundvorhaben auf wesentliche (Einzel-)Ergebnisse ermöglicht eine zielgerichtete Verwertung für die unterschiedlichen interessierten Kreise der gesamten Wertschöpfungskette Bau. Durch die entwickelte Systematik aus dem Dreiklang »Erkenntnisstufen«, »Verwertungsoptionen« und »Aktivitäten« konnte eine effiziente Nutzung der Ergebnisse erreicht werden.

Für alle 33 begleiteten Verbundforschungsvorhaben mit den insgesamt zugehörigen 213 Teilvorhaben (davon 106 Teilvorhaben aus den Förderprogrammen »HTMB« und »KMU-Innovativ« und 107 Teilvorhaben aus »NanoTecture«) konnte anhand der vorgestellten Systematik eine Verwertungsstrategie abgeleitet werden.

Die durch das WiTraBau-Konsortium gewählte Verwertungsstrategie hat den Transfer von Ergebnissen in die Praxis messbar vorangebracht. Der Fokus auf einem individuellen und einem breit angelegten Fahrplan für die Nutzbarmachung der Ergebnisse half den forschenden Stellen auch dabei, mit kleinen Anpassungen ihrer Arbeitspläne eine breitere Verwertung zu erreichen.

9 Danksagung

Das BMBF geht den wichtigen Weg, die Entwicklung innovativer Technologien ganzheitlich zu unterstützen. Hierbei stehen nicht nur die Forschungsaktivitäten an Werkstoffen und Technologien im Fokus der Förderer, sondern auch die aktive Unterstützung des Technologietransfers in die Praxis. Die Autoren danken dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) für die Förderung, der VDI Technologiezentrum GmbH, die mit der Beratung und Umsetzung der Förderrichtlinien betraut wurden sowie allen Projektpartnern.

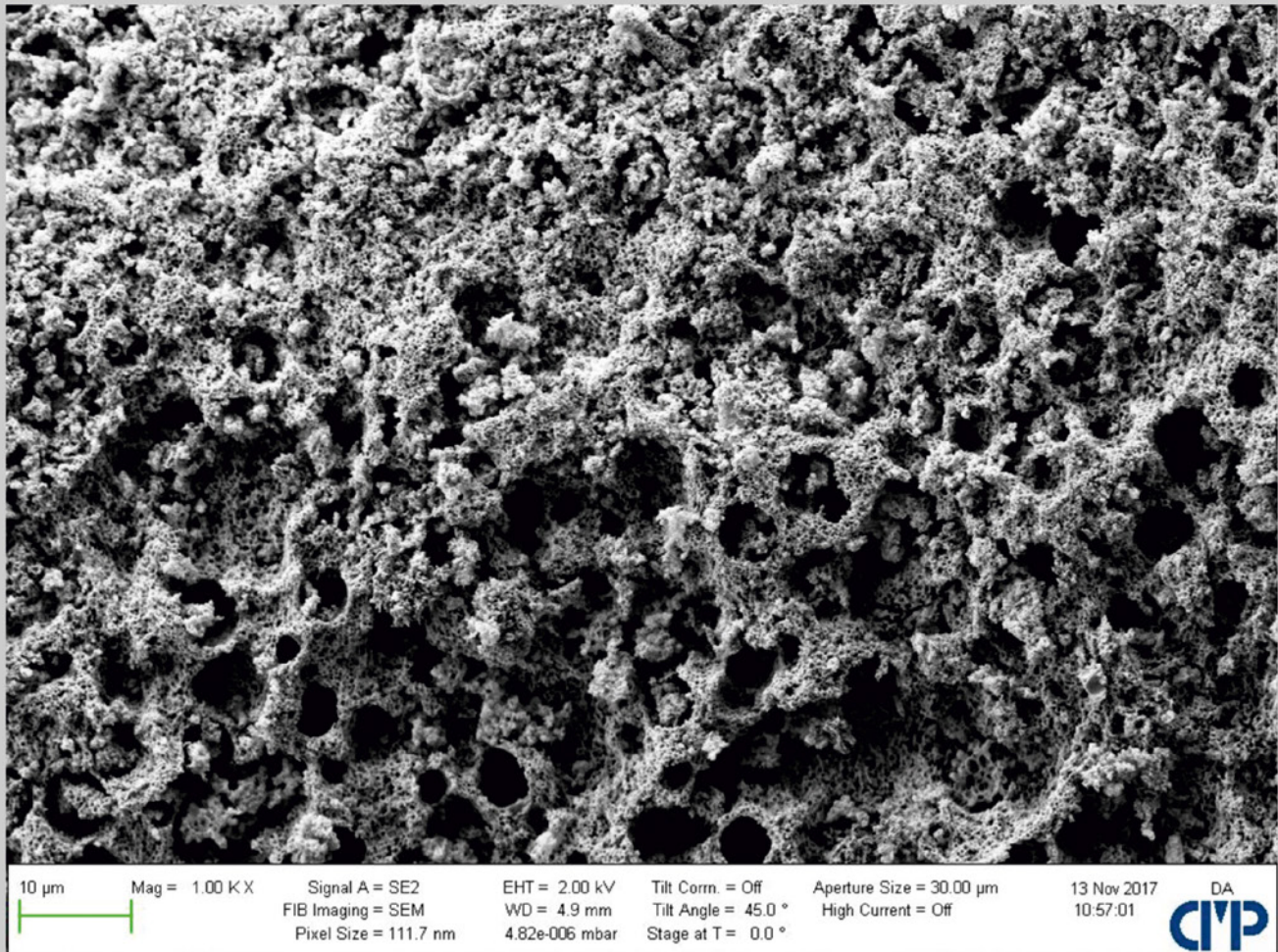
Unser Dank gilt auch dem Begleitgremium, das den WiTraBau-Partnern beratend zur Seite stand und aus den folgenden Institutionen und Verbänden bestand:

- Deutsches Institut für Bautechnik,
- Bundesanstalt für Straßenwesen,
- Deutsche Bauchemie e.V.,
- Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e.V.,
- Zentralverband des Deutschen Baugewerbes e.V.,
- Bundesvereinigung Mittelständischer Bauunternehmen e.V.,
- VDI Gesellschaft Bauen und Gebäudetechnik.

Das diesem Beitrag zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des BMBF unter den Förderkennzeichen 13N13540 bis 13N13546 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

10 Literaturverzeichnis

- [1] K. Reichling und P. Schäffel, »WiTraBau – Neue Werkstofftechnologien für Hochleistungsbetone in die Praxis gebracht«, in 61. Betontage, Neu-Ulm, 2017.
- [2] P. Schäffel und C. Müller, »Transfer of innovative research results into German Cement Industry«, in fib Symposium, Where Technology and Engineering Meet, Maas-tricht, Netherlands, 2017.



Institut für
Textiltechnik und
Lehrstuhl für
Textilmaschinenbau

RWTHAACHEN
UNIVERSITY

GETA
Interieur®

AeroBasalt – Plattendämmstoff aus faserverstärktem Aerogel

Entwicklung und Herstellung von plattenförmigen Dämmstoffen auf Basis von Aerogelen

WiTraBau-Verwertungskordinator: Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP

Abstract: Im Verbundprojekt AeroBasalt wurde unter der Leitung der GETA mbH eine monolithische Aerogel-Dämmplatte mit Faserverstärkung aus Basaltfasern entwickelt. Die Zielsetzung des Projektes bestand darin, eine aus Aerogel hergestellte Dämmplatte zu entwickeln, welche preislich mit marktgängigen Dämmprodukten im Bauwesen konkurrieren kann.

Keywords: Aerogel, Faserverstärkung, Dämmstoff, Verbundmaterial, Textiltechnik

1 Kostengünstige Synthese von Aerogel

Um einen preislich konkurrenzfähigen Aerogel-Plattendämmstoff mit den folgenden Produkteigenschaften

- rein aus mineralisch-anorganischen Bestandteilen aufgebaut und vollständig recyclingfähig
- Brandschutzklasse mindestens B1 mit dem Zielwert A2
- Wärmeleitfähigkeit $<0,025 \text{ W/mK}$
- Handhabung wie konventionelle Plattendämmstoffe

zu entwickeln, muss die Herstellung der Aerogel-Monolithen im Hinblick auf Material- und Zeiteinsatz optimiert sowie auf Fertigungsprozesse zurückgegriffen werden, welche einen möglichst kontinuierlichen Produktionsprozess ermöglichen. Deshalb wurden zu Beginn des Projektes verschiedene Synthesewege für die kosteneffiziente Herstellung des Aerogels im Sol-Gel-Verfahren sowie dessen Trocknung untersucht. Insbesondere wurden die Prozessparameter

- Trocknung (Vakuumtrocknung, Gefriertrocknung, Trocknung mit überkritischem CO_2 , Ofentrocknung und Mikrowellentrocknung)
- Säurekatalyse
- Lösungsmittelaustausch

vergleichend bewertet.

Dabei erwiesen sich die folgenden Vorgehensweisen als zielführend:

- Ofen- oder Mikrowellentrocknung bei Normaldruck da diese Trocknungsprozesse im Gegensatz zu Gefriertrocknung oder Vakuumtrocknung kostengünstiger sind und sich besser kontinuierlich umsetzen lassen.
- Verwendung einer Precursor-Mischung aus MTES (Triethoxymethylsilan) und TEOS (Tetraethoxysilan) aus Brandschutzgründen zur Gelherstellung.
- Verkürzung der Reaktionszeit und des notwendigen Reifeprozesses des Gels von 24 auf 6,5 h durch Säurekatalyse z. B. mit Oxalsäure.
- Verzicht auf den Lösungsmittelaustausch, welcher ansonsten bis zu dreimal durchgeführt wird und rund 2,5 Tage dauert.

2 Faserverstärkung Aerogel

Nachdem der Herstellungsprozess der Aerogel-Monolithen unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten optimiert war, erfolgten die Untersuchungen zur Einbringung der Faserverstärkung.

In einer ersten Versuchsreihe wurde untersucht, wie sich verschiedene Fasergewebe aus Basalt im Verbund mit Aerogel verhalten. Hierfür wurden Gewebe

und Gewebegitter unterschiedlicher Lochung verwendet. Dabei konnte festgestellt werden, dass zwischen Fasergewebe und Aerogel, weder im Ursprungszustand noch mit chemisch oder physikalisch-chemisch aktivierter Oberfläche (Behandlung durch Säuren und Basen, Corona-Behandlung, Flammenbehandlung und Silikatverfahren), keine chemische Verbindung zustande kommt. Die Prüfkörper brachen alle an der Grenzfläche zwischen Aerogel und Gewebe (siehe Bild 1).

Versuche zur Verwendung von speziellen, innerhalb des Projektes hergestellten, texturierten Kurzfasern aus Basalt lieferten deutlich bessere Ergebnisse. Hier kam zwar auch keine chemische Verbindung zustande, aber eine intensive Verkrallung zwischen Aerogel und Basaltfasern. Dadurch konnten die Fasern die mechanischen Eigenschaften der Aerogel-Monolithe deutlich verbessern. Im Dreipunktbiegeversuch in Anlehnung an DIN EN ISO 14125 konnte die maximale Biegespannung gegenüber einem Referenzprüfkörper ohne Fasern um 500 % auf 0,05 MPa gesteigert werden, wobei es selten zum Bruch der faserverstärkten Prüfkörper kam, sondern das Materialversagen meist aufgrund einer plastischen Deformation auftrat.

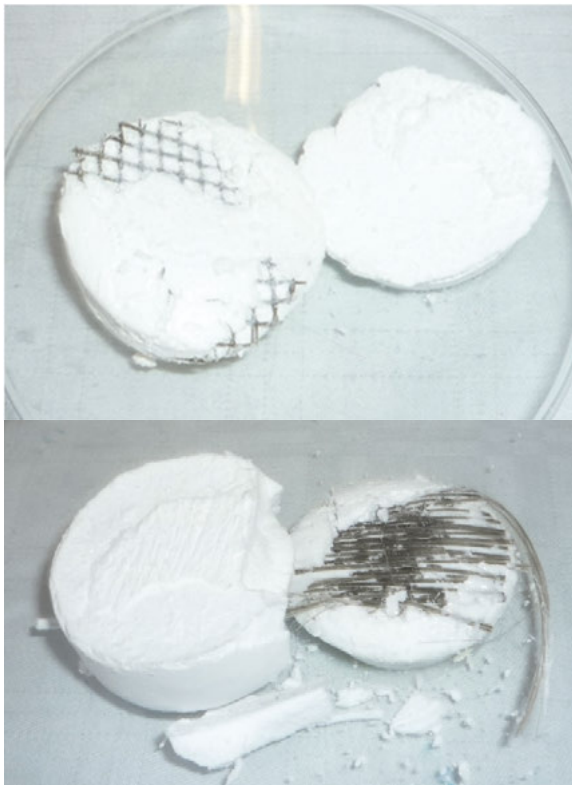


Bild 1 Bruchkanten an der Grenzfläche zwischen Basaltgewebe und Aerogel [Quelle: GETA mbH]

Die Wirksamkeit der Faserbewehrung (6,4 Masse-% des Sols) des Aerogel-Monolithen zeigte sich bei der Herstellung größerer Platten (38 × 22 cm). Während die unbewehrte Platte bei der Trocknung aufgrund der Schwindvorgänge zersprang (siehe Bild 2), blieb die faserbewehrte Platte an einem Stück.

Es war jedoch schwierig, die texturierten Fasern gleichmäßig in der Platte zu verteilen, was dazu führte, dass die Oberfläche der Platten nicht eben war und es an Stellen mit wenig Fasern zu kleineren Schwindrissen kam.



Bild 2 Bild einer unbewehrten Aerogelplatte nach der Trocknung (oben) und einer bewehrten Platte (unten) [Quelle: GETA mbH]

Um eine Gleichverteilung der Fasern sicherzustellen, wurden schließlich unvernadelte Basaltfaservliese verwendet, welche die Erstellung von gleichmäßig faserverstärkten Platten ermöglichte (siehe Bild 3). Zur Unterbindung der Staubentwicklung der Platten bei der Handhabung, wurden diese nach der Trocknung mit Lithiumwasserglas imprägniert.

3 Brandtests Aerogel-Dämmplatten

An den hergestellten Prüfkörpern wurden auch erste Indikations-Brandtests durchgeführt. Dabei wurden die Prüfkörper 15 Sekunden lang mit der Flamme einer 50 mm entfernt stehenden Lötlampe beaufschlagt. Nach einer Wartezeit von zwei Minuten erfolgte eine erneute Flammenbeaufschlagung für eine Dauer von einer Minute. Nach einer Minute Flammen-Beaufschlagung begannen die Prüfkörper zu glühen und zu rauchen. Die Rauchentwicklung hielt nach Entfernen der Flamme auch noch an und der Prüfkörper wurde heiß und verfärbte sich auch auf der flammenabgewandten Seite dunkel. Ursache für die Rauchentwicklung und die exotherme Zersetzungsreaktion ist wahrscheinlich die Methylgruppe des Precursors, weshalb dieser zur Reduktion des Gehalts an Kohlenwasserstoffen umgestellt wurde. Nach der Umstellung auf eine Precursor-Mischung aus MTES und TEOS konnte keine exotherme Zersetzungsreaktion und Rauchentwicklung mehr beobachtet werden.



Bild 3 Unvernaedeltes Basaltfaservlies (oben) und Aerogel-Dämmplatte mit unvernaadeltem Basaltfaservlies als Bewehrung nach der Trocknung (unten).
[Quelle: GETA mbH]

4 Zusammenfassung der Projektergebnisse

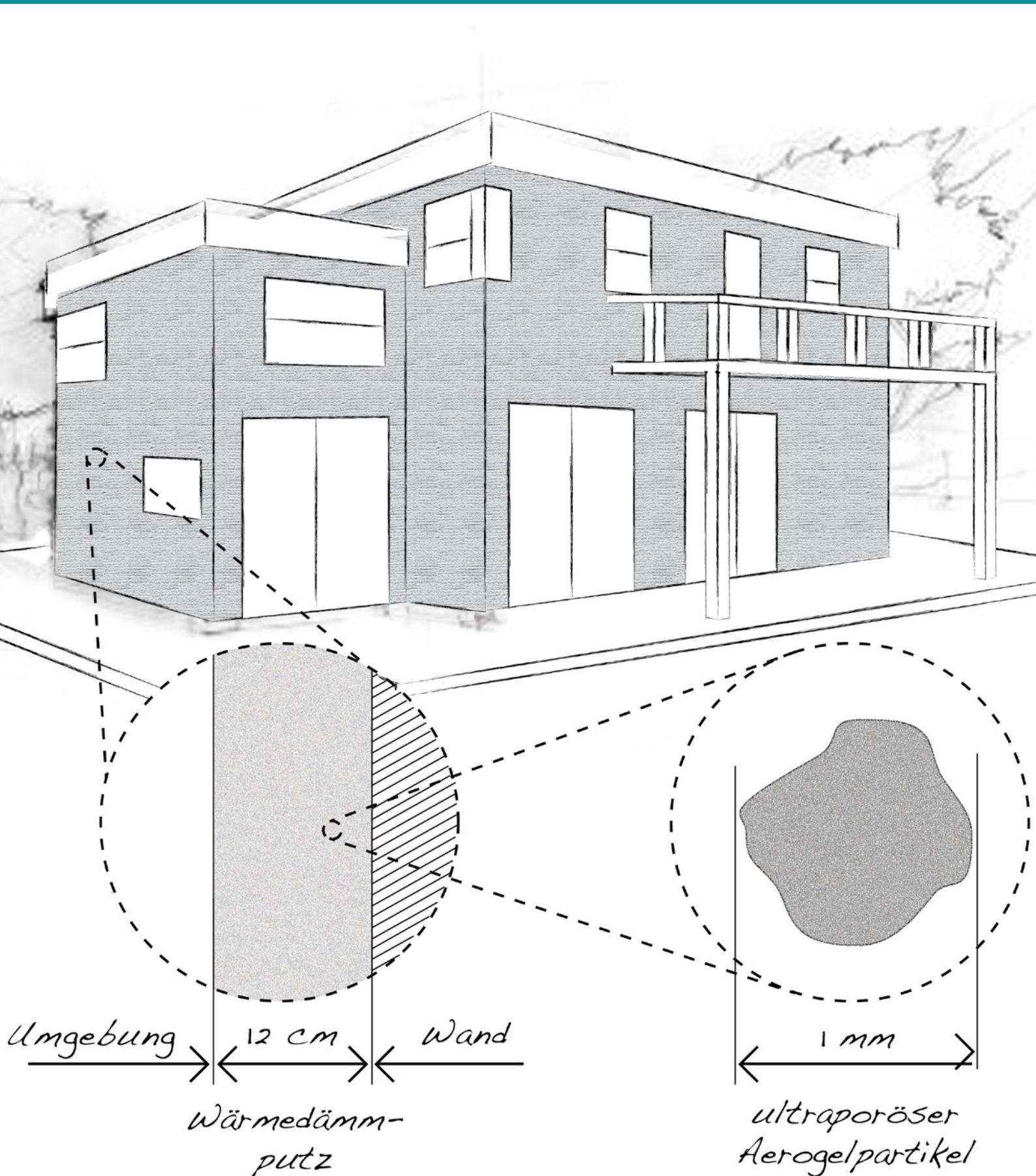
Für die mit unvernaadeltem Basaltfaservlies hergestellten Platten wurde eine Wärmeleitfähigkeit von 0,037 W/mK ermittelt. Durch eine weitere Reduktion des Faseranteils von derzeit rund 5,5 % und weitere Optimierungsansätze könnte die Wärmeleitfähigkeit noch weiter reduziert werden. Dies war im Projektrahmen aber noch nicht möglich. Der vereinfacht durchgeführte Brandtest zeigte bei der Verwendung der Precursor-Mischung aus MTES und TEOS für die Aerogel-Monolithe mit unvernaadeltem Basaltfaservlies ein Brandverhalten, das möglicherweise sogar die Brandklasse A1 erreichen lässt. Abschließende Ergebnisse hierzu liegen aber noch nicht vor.

Somit ist es dem Projekt AeroBasalt gelungen, einen plattenförmigen Dämmstoff aus basaltfaserverstärktem Aerogel herzustellen, welcher ein gutes Brandverhalten aufweist und im Bereich der Wärmeleitfähigkeit mit herkömmlichen Plattendämmstoffen konkurrenzfähig ist.

5 Verwertung durch WiTraBau

Das KMU-innovativ-Verbundprojekt AeroBasalt wurde durch WiTraBau-Konsortium bei der Kommunikation der Forschungsergebnisse in die interessierte Fachöffentlichkeit unterstützt. Darüber hinaus erhielt das Projekt die Möglichkeit die Forschungs- und Entwicklungsergebnisse an einem Symposium zu Dämmstoffen und Dämmstoffsystemen zu beteiligen. Außerdem wurde die messtechnische Erfassung und anschließende Implementierung des neu entwickelten Dämmstoffs in eine einschlägige Datenbank zur hygrothermischen Simulation angeboten. Auf Basis der Ergebnisse stand eine Beratung für die optimierte Vorgehensweise bei der Zulassung des Produktes im Hinblick auf die Feuchtezuschläge der Wärmeleitfähigkeit zur Verfügung.

Aeroputz



AeroPutz – Kostengünstige Aerogele für Putzanwendungen

Entwicklung eines Herstellungsverfahrens für kostengünstige Aerogele

WiTraBau-Verwertungskordinator: Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP

Abstract: Im Verbundprojekt AeroPutz wurde unter der Leitung der PROCERAM GmbH & Co. KG ein Herstellungsverfahren für Aerogele zur Anwendung in mineralischen Wärmedämmputzen entwickelt. Dadurch sollen Wärmedämmputze auf Aerogelbasis wirtschaftlich konkurrenzfähig zu konventionellen Dämmsystemen werden.

Keywords: Aerogel, Wärmedämmputz, Aerogelputz, Wärmeleitfähigkeit, W-Wert, S_d -Wert

1 Projektziel

Das Projektkonsortium setzte sich zu Beginn des Forschungsprojektes die folgenden Ziele:

- Entwicklung eines Verfahrens zur kostengünstigen, kontinuierlichen und einfachen Herstellung von Aerogelen für Putzanwendungen.
- Entwicklung eines voll funktionsfähigen Systemaufbaus auf Basis der kontinuierlich hergestellten Aerogele. Dabei sind Zielparameter für die Bewertungsgrößen Wärmeleitfähigkeit ($< 0,035 \text{ W/mK}$), Wasserdampfdiffusionswiderstand ($\mu < 20$), Wasseraufnahmekoeffizient ($w < 0,5 \text{ kg/m}^2\text{h}^{0,5}$), Brandstoffklasse (A1) sowie für die Biozidfreiheit und Recyclebarkeit einzuhalten.
- Entwicklung von verschiedenen Aerogeldämmputz-Varianten.

1.1 Kostengünstige Herstellung von Aerogelen für Putzanwendungen

Aktuell werden Aerogele in kostenintensiven Batchprozessen hergestellt, weshalb die Kosten für aerogelbasierte Dämmprodukte bei gleicher Dämmwirkung um den Faktor drei bis fünf höher liegen. Um die Herstellungskosten und -zeit zu reduzieren, wurde im Rahmen des Projekts eine Anlage im Technikumsmaßstab installiert, in welchem Aerogele auf

Kieselsäurebasis kontinuierlich hergestellt werden können. Dazu wird die Kieselsäurelösung kontinuierlich vertropft und die Gelierung durch den Kontakt mit verdichtetem CO_2 und der damit einhergehenden pH-Wert-Verschiebung ausgelöst. Durch die nachgeschaltete Trocknung werden die Hydrogele kontinuierlich in Aerogele überführt. Die aufgrund des Herstellungsprozesses entstandenen Aerogel-Kugeln (siehe Bild 1) haben dank ihrer Form eine höhere Stabilität und ermöglichen einen höheren Füllgrad des Aerogeldämmputzes. Die Eigenschaften der hergestellten Aerogele wurden analysiert und waren vergleichbar mit jenen der Referenz-aerogele, wobei Wärmeleitfähigkeiten von $0,014 \text{ W/mK}$ und Porositäten von 97 % erreicht wurden.



Bild 1 Kontinuierlich hergestellte Aerogel-Kugeln für die Anwendung in Aerogeldämmputzen. (Quelle: PROCERAM GmbH & CO. KG)

1.2 Entwicklung des Dämmputzsystems

Parallel zu den Arbeiten am Herstellungsverfahren wurde die Entwicklung des Dämmputzsystems vorangetrieben. Dabei erfolgte die aufeinander abgestimmte Entwicklung aller Komponenten des Putzsystems (Grundierung, Dämmputz, Armierung, Oberputz und Schlussbeschichtung) wie in Bild 2 dargestellt. Die entwickelte Grundierung dient der Egalisierung des Untergrundes, schafft einen Haftverbund und verhindert einen zu schnellen Wasserentzug aus der Dämmputzschicht. Diese wurde so entwickelt, dass das Rohmaterial lagerstabil und in einem Arbeitsgang mit verschiedenen Putzmaschinen bis zu einer Schichtstärke von 8 cm verarbeitet werden kann. Die erforderliche Putzarmierung wurde so ausgewählt, dass sie das Putzsystem nicht schädigt, über eine entsprechende Reißfestigkeit verfügt und gegen alkalischen Angriff resistent ist. Der Oberputz wurde u. a. im Hinblick auf Diffusionsfähigkeit, Wasseraufnahme und CO₂-Durchlässigkeit entwickelt. Die abschließende Beschichtung wurde entwickelt, um die Wasseraufnahme zu reduzieren ohne dabei die Offenporigkeit und Atmungsaktivität des diffusionsoffenen Aerogeldämmputzes einzuschränken.



Bild 2 Schichtaufbau des entwickelten Aerogel-Dämmsystems (Quelle: PROCERAM GmbH & CO. KG)

2 Formulierungen des Aerogeldämmputzes

Außerdem wurden verschiedene Formulierungen des Aerogeldämmputzes entwickelt, um dessen Eigenschaften auf das Anwendungsprofil anzupassen. So wurde auf Kosten der Wärmeleitfähigkeit ein Aerogel-Dämmputz mit hoher Druckfestigkeit entwickelt. Außerdem erfolgte die Entwicklung einer hochdämmenden Variante mit einem Aerogelfüllgrad von 85 % und einer Wärmeleitfähigkeit von 0,028 W/mK, einer hydrophobierten Variante mit dauerhaft reduzierter Wasseraufnahme sowie eine Variante für den Innenbereich zur Aufnahme von Feuchtigkeit aus dem Mauerwerk.

3 Qualitätsprüfung der entwickelten Putze

Im Forschungsprojekt wurde die Qualitätsprüfung der entwickelten Aerogeldämmputze durchgeführt. Der Feuchteschutz des Putzsystems ist für dessen Anwendung besonders wichtig, weshalb Analysen zur Bestimmung der kapillaren Wasseraufnahme durchgeführt wurden. Dabei erfolgte die Analyse mit und ohne abschließender Fassadenbeschichtung. Ohne eine abschließende Fassadenbeschichtung wie z.B. eine Fassadenfarbe oder einer weiteren Putzschicht, wurde eine zu hohe kapillare Wasseraufnahme festgestellt. Ursächlich dafür sind die im Putzsystem eingesetzten Kalk- und Zementbinder und die vorhandene Porenstruktur. Wird der entwickelte Aerogeldämmputz zusammen mit einer geeigneten Fassadenfarbe ausgeführt, kann die kapillare Wasseraufnahme auf Werte kleiner 0,1 kg/m²h^{0,5} gesenkt werden. Für den speziell für den Sockelbereich entwickelten hydrophobierten Aerogeldämmputz konnte eine kapillare Wasseraufnahme von 0,45 kg/m²h^{0,5} (ohne Fassadenbeschichtung) erreicht werden, was einer Reduzierung um den Faktor 10 gegenüber der Referenzformulierung gleichkommt.

Die durchgeführten Wärmeleitfähigkeitsmessungen an den verschiedenen Putzformulierungen konnten das Ziel von <0,035 W/mK erreichen. Lediglich die mit Perlit verstärkte Variante (Light) weist eine höhere Wärmeleitfähigkeit auf.

Aerogeldämmputze sind druckempfindlich. Um diesen Umstand schon während der Entwicklung zu berücksichtigen, wurden fortlaufend Druckfestigkeitsbestimmungen an Putz-Würfeln durchgeführt. In der entwickelten Light-Variante des Aerogeldämmputzes für den Sockelbereich konnten durch den Zusatz von Perliten Druckfestigkeiten von $1,4 \text{ N/mm}^2$ erreicht werden. Die hydrophobierte Variante mit Zusätzen an Methylalkoxysilanen, Silanolen und Silikonharzemulsionen, welche eine Nachvernetzung des Putzsystems bewirkten, erreichte eine Druckfestigkeit von rund $1,0 \text{ N/mm}^2$ ($0,65 \text{ N/mm}^2$ ohne Nachvernetzung).

4 Zusammenfassung

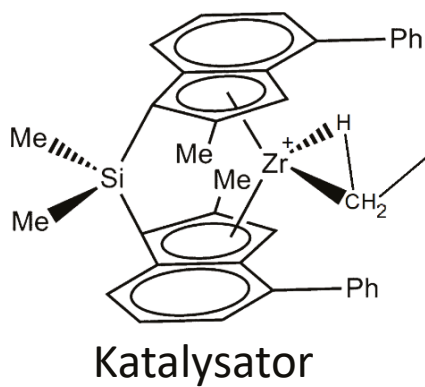
Durch das Projekt AeroPutz steht nun ein neues, kostengünstiges Herstellungsverfahren für in Dämmputzen verwendbare Aerogele im Technikumsmaßstab zur Verfügung. Diese können in dem entwickelten Dämmputzsystem mit den verschiedenen verfügbaren Dämmputzvarianten kombiniert werden, um ein zu herkömmlichen WDVS preislich konkurrenzfähiges Dämmsystem mit breiten Einsatzmöglichkeiten zu erhalten. Die Einsatzmöglichkeiten wurden durch das Projekt erweitert auf Sockelbereiche, sowohl in einer Variante mit Hydrophobierung und einer Variante mit erhöhter Druckfestigkeit.

5 Verwertung durch WiTraBau

Durch WiTraBau standen dem Projekt AeroPutz verschiedene Möglichkeiten zur Verfügung der Öffentlichkeit die Forschungsergebnisse vorzustellen. Darüber hinaus wurde das Projekt in zwei wesentlichen Bereichen unterstützt:

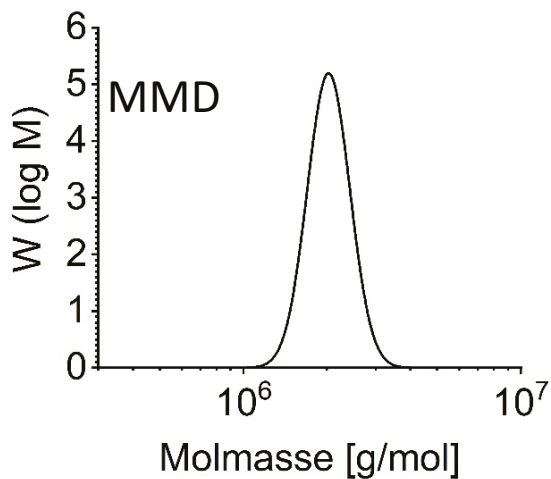
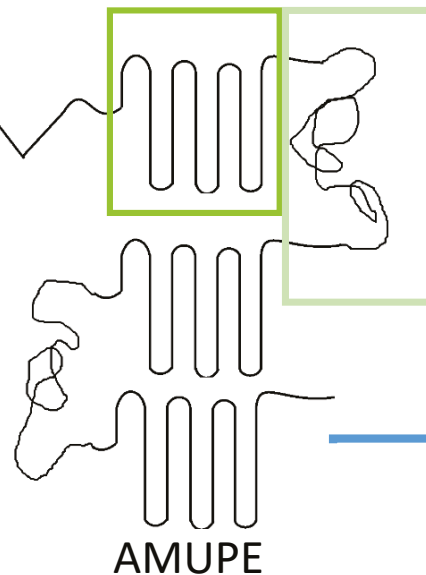
1. Die Hersteller mineralischer Dämmstoffe fühlen sich durch die Art der Bestimmung des feuchte-technischen Aufschlags auf die Wärmeleitfähigkeit nach DIN EN ISO 10456 gegenüber den Herstellern konventioneller Dämmstoffe benachteiligt. Deshalb entwickelte das Fraunhofer IBP im Sinne der Verbundprojekte eine Methodik, welche die dynamische Berechnung der Wärmeleitfähigkeit ermöglicht und dabei die speziellen Trocknungseigenschaften der entwickelten Dämmstoffe berücksichtigen kann. Mit der Berechnungsmethodik konnte tatsächlich ein positiver Einfluss der dynamischen Betrachtung auf die Wärmeleitfähigkeit der mineralischen Dämmstoffe festgestellt werden. Nun wird versucht, dass entwickelte Verfahren in die Normung zu tragen bzw. über weitere Forschung soweit zu verfeinern und die Datenbasis zu verbreitern, dass alle Grundlagen für einen Normungsprozess vorhanden sind.
2. Aufgrund der geringen Wärmeleitfähigkeit von Aerogel-Dämmputzen und der damit verbundenen geringen notwendigen Dämmstärken werden diese häufig bei der Sanierung denkmalgeschützter Gebäude eingesetzt. Da historische Mauerwerke durch die Sanierung keinen unkalkulierbaren Risiken durch Feuchteschäden ausgesetzt werden sollen, besonders im Hinblick auf die darin häufig gelagerten wertvollen Güter, wurde im Rahmen von WiTraBau die hygrothermische Charakterisierung des entwickelten Baustoffs durchgeführt. Dadurch kann für die Planer und Verwender eine höhere Sicherheit der Schadensfreiheit ermöglicht werden, da nun hygrothermische Berechnungen in Programmen wie z. B. WUFI oder DELPHIN möglich sind.

Synthese



Kristallit

Amorpher
Anteil



Charakterisierung der
Molekulargewichtsverteilung

Sinterpresse



Charakterisierung der
Verarbeitungseigenschaften

AMUPE

Herstellung eines neuen polymeren Hochleistungswerkstoffs

WiTraBau-Verwertungskordinator: Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E.V. (DBV)

Abstract: Ausgangspunkt des Projektes ist die Hypothese, dass Polyethylen (PE) mit enger Molmassenverteilung geringere Abriebverluste aufweisen kann als ein Polyethylen mit breiter Molmassenverteilung. Die ohnehin attraktiven Eigenschaften von ultrahochmolekularem Polyethylen (UHMWPE) könnten dann noch übertroffen werden. Daher scheint die Herstellung eines abrasionsminimierten ultra-hochmolekularen Polyethylens (AMUPE) als neuartiges Material attraktiv für diesbezügliche Anwendungen zu sein. Ein potenzielles Einsatzgebiet könnte zukünftig im Brückenbau liegen, wenn AMUPE in modernen Kalottenlagern Verwendung findet.

Keywords: Polyethylen, Molmassenverteilung, Brückenlager, Sinterpresse, Dauerhaftigkeit, Abrieb

1 Projektziel

Die Dauerhaftigkeit von Brückenbauwerken wird nicht zuletzt von der Beschaffenheit der vorhandenen Lagerung beeinflusst. Moderne Kalottenlager im Brückenbau beruhen auf dem Prinzip einer möglichst reibungsarmen Verformung. Sie sind umso langlebiger, je fester der eingesetzte Gleitwerkstoff gegen Abrieb ist. Ein hierfür als potenziell geeignet einzustufendes Material ist ultra-hochmolekulares Polyethylen (UHMWPE), ein Polyethylen mit mittleren Molmassen von über 1.000 kg/mol bis zu 9.000 kg/mol.

Marktbestimmende UHMWPE weisen eine relativ breite Molmassenverteilung auf, enthalten also noch einen relativ hohen Anteil an abrasionsanfälligen, kurzkettigen Makromolekülen. UHMWPE mit enger Molmassenverteilung, also geringem Anteil an kurzkettigen Makromolekülen, ist bisher nur in sehr kleinen Mengen mit verhältnismäßig hohen Kosten herstellbar. Seine Materialeigenschaften wurden deshalb auch noch nicht umfassend untersucht.

Durch die gezielte Einstellung der Molekulargewichtsverteilung ist dies aber durchaus behebbar. Im Projekt AMUPE wurden dazu lebende Übergangsmetallkatalysatoren eingesetzt, um UHMWPE mit enger Molmassenverteilung und steuerbaren mittleren

Molmassen herzustellen. Die ersten Messungen an diesem sintergepressten, abrasionsminimierten ultrahochmolekularen Polyethylen (AMUPE) bestätigen bereits, dass die (theoretisch voraussagbare) Widerstandsfähigkeit gegen Abrieb deutlich zunimmt.

Dabei konnte davon ausgegangen werden, dass andere wertvolle Eigenschaften des Polyethylens, wie z. B. die guten Gleiteigenschaften und die exzellente Chemikalienbeständigkeit, nicht verloren gehen.

Das vorrangige Anliegen des Forschungsvorhabens war es deshalb, AMUPE in ausreichender Menge herstellen zu können, sodass Untersuchungen der wesentlichen Materialeigenschaften möglich sind.

2 Projektergebnisse

Dem Ziel entsprechend wurden durch die Polymer Reactor Technology GmbH eine optimale Reaktionstechnik im Labormaßstab sowie Ansätze zur verfahrenstechnischen Maßstabsübertragung entwickelt und durch PROFILAN die Verarbeitung durch Sinterpressen (Bild 1) sowie die materialtechnische Charakterisierung untersucht.



Bild 1 Industrierinterpresse

Weiterhin erfolgte projektbegleitend die Erarbeitung von neuartigen analytischen Methoden zur Messung der Molekulargewichtsverteilung im ultra-hochmolekularen Bereich. Hierzu setzte das Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF die weltweit einzige Hochtemperatur-Feld-flow-Fraktionierung ein. Die gemessenen Molmassenverteilungen konnten dann mit den Materialeigenschaften korreliert werden.

Zur materialtechnischen Prüfung wurden Mikromethoden für die Messung der Gleit- und Haftreibung, des Abriebs sowie der Zug- und Schlagfestigkeit entwickelt und zur Selektion der aussichtsreichsten Materialproben eingesetzt. Die gefundenen Ergebnisse wurden dann durch eine molekulare Charakterisierung untermauert.

3 Verwertung durch die Projektpartner

Am Ende des Projektes wurde gezeigt, dass die erzeugte Menge des optimierten Materials ausreicht, um eine Brückenlagerkalotte herstellen zu können. Diese könnte dann einem Praxistest und dem Nachweis einer deutlich gesteigerten Lebensdauer zugeführt werden.

Noch gibt es jedoch keinen Markt, der auf sintergepresstes AMUPE zurückgreift. Für einen schnell wachsenden Markt sind alle Methoden entwickelt und einsatzbereit. Sollte ein Bedarf an Kalotten aus AMUPE generiert werden, kann sehr schnell reagiert werden.

4 Verwertung durch WiTraBau

Die WiTraBau-Verbundpartner unterstützten die forschenden Stellen beim Transfer ihrer Ergebnisse in die Praxis. Dies erfolgte basierend auf den vorab vom WiTraBau-Konsortium definierten Verwertungsoptionen und Erkenntnisstufen.

Vom WiTraBau-Konsortium wurden die folgenden Projektergebnisse definiert:

- Reaktionstechnik zur Herstellung großer Materialmengen
- Methoden zur Messung der Molekulargewichtsverteilung
- Methoden zur Messung der Gleit- und Haftreibung, des Abriebs sowie der Zug- und Schlagfestigkeit
- molekulare Materialcharakterisierung
- Herstellung Brückenlagerkalotte

Diese Projektergebnisse wurden den in Bild 2 dargestellten Erkenntnisstufen zugeordnet. Bild 2 verdeutlicht, dass es sich bei AMUPE vorwiegend um Grundlagenuntersuchungen als Basis für weitere anwendungsbezogene Forschung und aufbauend hierzu um anwendungsbezogene Forschung als Basis für eine weitere Produktentwicklung handelt.

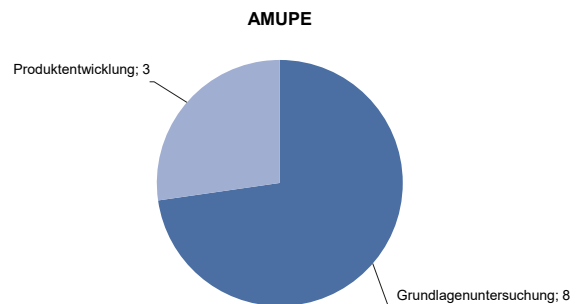


Bild 2 Erkenntnisstufen von AMUPE

Ferner identifizierte das WiTraBau-Konsortium für die o. g. Projektergebnisse die in Bild 3 aufgezeigten Verwertungsoptionen. Im Fokus der Verwertung sah das WiTraBau-Konsortium u. a. fachspezifische Veröffentlichungen, Vorträge und Fachzeitschriften sowie eine Umsetzung der Produktentwicklung durch Unterstützung in bauaufsichtliche Zulassungen.

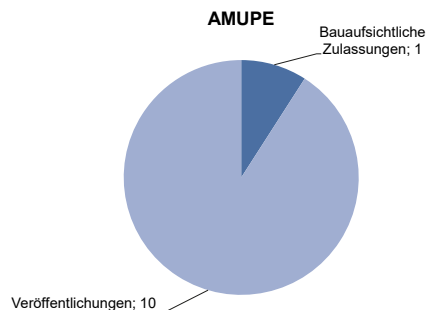


Bild 3 Verwertungsoptionen von AMUPE

5 Projektergebnisse

Vom Verwertungskordinator des Projektes AMUPE, dem Deutschen Beton- und Bautechnik-Verein E.V.; wurden die folgenden Verwertungsaktivitäten durchgeführt:

- Kontakt mit Hr. Dr. Günter Weickert (Polymer Reactor Technology GmbH) zur Erstellung des Erhebungsbogens für den Eintrag auf der HTBM-Homepage
- Kontakt mit Hr. Marco Hilbring (PROFILAN) zur Erstellung des Erhebungsbogens für den Eintrag auf der HTBM-Homepage
- Teilnahme am AMUPE-Verbundtreffen am 25. September 2018 zur Abstimmung der Verwertungsoptionen
- Beratung zu Zulassungsgrundsätzen für Brückenlager in Deutschland
- Erarbeitung der Veröffentlichung „Langlebigere Brückenlager mit AMUPE“ im DBV-Rundschreiben 258 – September 2018

Allgemein werden Kalottenlager in DIN EN 1337-7 (Lager im Bauwesen – Teil 7: Kalotten- und Zylinderlager mit PTFE) und deren Gleiteile in DIN EN 1337-2 (Lager im Bauwesen – Teil 2: Gleiteile) geregelt, sofern PTFE verwendet wird. In allen anderen Fällen wird eine Zulassung benötigt. Für Kalottenlager auf Basis von UHMWPE gibt es bereits ein EAD (europäisches Bewertungsdokument), welches die Grundlage für eine ETA (europäische technische Bewertung) ist. Das zunächst produktunabhängige EAD beschreibt die erforderlichen Prüfungen, die in der produktspezifischen ETA dann in Bezug genommen werden. Um AMUPE in Kalottenlagern verwenden zu können, müssen die gleichen oder ähnliche Zulassungsversuche durchgeführt werden.

Von den anderen WiTraBau-Verbundpartnern erfolgten darüber hinaus die folgenden Verwertungsaktivitäten:

- Aufnahme in die Forschungsprojektdatenbank BAUFO
- Ermöglichung eines Ausstellungsstandes auf der HTMB-Konferenz am 31. Januar 2018

6 Weiterführende Informationen

Weiterführende Informationen können den Schlussberichten der Teilvorhaben entnommen werden:

- [1] Polymer Reactor Technology GmbH (PRT): AMUPE: Herstellung eines neuen polymeren Hochleistungswerkstoffs, Teilvorhaben: Synthese und Reaktionstechnik, Abschlussbericht 13XP5040A.
- [2] PROFILAN Kunststoffwerk GmbH & Co. KG: AMUPE: Herstellung eines neuen polymeren Hochleistungswerkstoffs, Teilvorhaben: Sinterpressen und Materialcharakterisierung, Abschlussbericht 13XP5040B.
- [3] Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF: AMUPE: Herstellung eines neuen polymeren Hochleistungswerkstoffs, Teilvorhaben: Molekulare Charakterisierung, Abschlussbericht 13XP5040C.
- [4] Weickert, G.; Lindorf, A.: Langlebigere Brückenlager mit AMUPE, DBV-Rundschreiben 258 – September 2018, S. 12–13

CFC-SYS



CFC-SYS

CFK-vorgespannte Fußgängerbrücken aus Carbonbeton in Systembauweise

WiTraBau-Verwertungskoordinator: Deutscher Ausschuss für Stahlbeton e.V. (DAfStb)

Abstract: Bei Betonbrücken treten Korrosionsschäden an der Betonstahl- und Spannstahlbewehrung auf. Die damit verbundenen Tragfähigkeitsverluste sowie die optischen und ästhetischen Mängel erfordern aufwändige Sanierungen oder Neubauten. Durch die Entwicklung eines modularen Fußgängerbrückensystems mit ausschließlich nicht-metallischer Bewehrung sollen die Voraussetzungen für dauerhafte und wirtschaftliche Fußgängerbrücken geschaffen werden. Der Einsatz einer Bewehrung aus korrosionsbeständigem carbonfaserverstärktem Kunststoff (CFK) ermöglicht die Herstellung schlanker und langlebiger Bauteile. Um die Dauerhaftigkeit zu erhöhen und Kosten zu senken, wird ein gefügedichter, hochfester Beton verwendet, sodass auf zusätzliche Straßenbeläge verzichtet werden kann. Mit einer modularen Systembauweise aus vorgespannten Fertigteilen können eine schnelle Montage und Demontage der Fußgängerbrücken umgesetzt werden.

Keywords: Textilbeton; CFK; Vorspannung mit sofortigem Verbund; Fußgängerbrücken

1 Projektziel

Fußgängerbrücken aus Beton mit einer Kombination aus alkaliresistenten Glas-Textilien und vorgespannten Stahlmonolitzen als Bewehrung wurden in der Vergangenheit bereits realisiert [1], führten allerdings zu verhältnismäßig großen Stegbreiten der Brücke und einer nicht optimalen Ausnutzung der Spannbewehrung. Durch das Vorhaben CFC-SYS wurde ein neuer Weg begangen. Es wurde untersucht, ob Fußgängerbrücken in Modulbauweise unter Verwendung ausschließlich nichtmetallischer Bewehrung realisiert werden können. Der nicht korrodierende und höher ausnutzbare carbonfaserverstärkte Kunststoff (CFK), der in der Automobilbranche und der Luft- und Raumfahrttechnik bereits seit langen Jahren breite Anwendung findet, erlaubt es, entweder die Stegbreite oder die Steganzahl einer Brücke zu reduzieren. Dadurch lassen sich Material und CO₂-Emissionen reduzieren und gleichzeitig architektonisch anspruchsvolle Entwürfe umsetzen, die für Betonkonstruktionen zu nicht erwarteten Schlankheiten führen. Ein weiterer Vorteil der neuen Bauweise liegt in der feinkörnigen Betonmatrix mit hoher Dichte und Dauerhaftigkeit, sodass auf zusätzliche Straßenbeläge verzichtet werden kann.

2 Projektergebnisse

CFC-SYS gliederte sich wie folgt in insgesamt 8 Arbeitspakete:

- Anforderungskataloge (AP1)
- Erforschung, Herstellung und Prüfung der Materialien (AP2)
- Erforschung der CFK-Verankerung (AP3)
- Untersuchungen zum Verbundverhalten der CFK-Spannbewehrung (AP4)
- Tragfähigkeitsuntersuchungen (AP5)
- Demonstratoren: Herstellung und Bauteilprüfung (AP6)
- Entwurfsregeln (AP7)
- Erarbeitung der Systembauweise (AP8)

Im AP1 wurden die Anforderungen an vorgespannte Fußgängerbrücken aus nicht korrodierenden Materialien in Bezug auf die Parameter Brückenquerschnitt, Spannweite (12 bis 30 m, s. Bild 1), Vorspanngrad und anzusetzende Belastungen nach Norm festgelegt. Aus den erstellten Anforderungskatalogen wurden in AP2 die Hochleistungsmaterialien Carbonbewehrung, Carbonspannbewehrung und selbstverdichtender Beton (SVB) hergestellt und geprüft, u. a. Zylinderdruckfestigkeit sowie Dehnkörperversuche

zum Verbundverhalten zwischen CFK und Beton. Weiterhin wurde das Tragverhalten von Übergreifungsstößen des Textils mit Dehnkörpern und Biege-

platten untersucht, um so die erforderliche Übergreifungslänge in Stößen der Carbonbewehrung festzulegen.

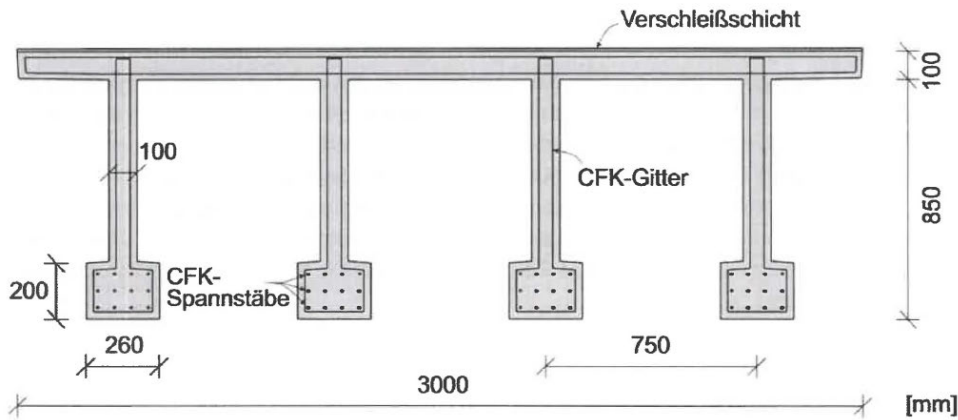


Bild 1 Schlanker Brückenquerschnitt mit CFK für eine Spannweite von 25 m

Eine große Herausforderung stellte die Entwicklung einer wiederverwendbaren Vorspanntechnik für die Carbonspannbewehrung dar, die in AP3 vorangetrieben wurde (Bild 2).

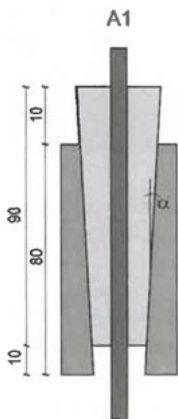


Bild 2 gewählte Verankerungsform A1 für den CFK-Spannstab

Zum Nachweis der Eignung der entwickelten Verankerungsformen wurden auch entsprechende Dauerstandversuche durchgeführt. Mit den Erkenntnissen aus Verbunduntersuchungen an vorgespannten Carbonstäben im AP4 konnten das CFK-Material und die Vorspanntechnik weiterentwickelt werden. Parallel zu den Untersuchungen in AP2 bis AP4 wurden alle Materialien im AP5 auf ihre kombinierte Anwendung und Leistungsfähigkeit (Tragfähigkeit) im Kompositwerkstoff CFK-vorgespannter Carbonbeton in Bauteiluntersuchungen geprüft. Mit zwei vorgespannten Balkendemonstratoren mit 2,0 und 5,0 m Länge konnte die grundsätzliche Eignung der Systembauweise mit Carbonbeton nachgewiesen werden (AP6).

Die Arbeitspakete AP7 und AP8 waren eng miteinander verbunden. Zunächst wurden auf Grundlage der in den Arbeitspaketen AP1 bis AP6 gewonnenen Erkenntnisse am IMB und ibac Konzepte zum Nachweis der Tragfähigkeit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit entwickelt. Parallel dazu wurden gemeinsam mit den Projektpartnern Entwurfs- und Montageregeln für CFK-vorgespannte Fußgängerbrücken aus Carbonbeton hergeleitet. Die Nachweiskonzepte und Entwurfsregeln wurden dabei soweit wie möglich an im Massivbau bekannten und anerkannten Regeln angelehnt, um die Anwendung von CFC-SYS zu vereinfachen und die Akzeptanz in der Praxis zu erleichtern. Die erarbeiteten Konzepte sowie Entwurfs- und Montageregeln wurden in einem Handbuch zusammengestellt, dessen Aufbau sich am aktuellen Eurocode 2 für Stahlbeton orientiert. Die beiden im Rahmen der Vorbemessung (AP1) entwickelten Querschnittskonzepte wurden anhand der entwickelten Bemessungskonzepte überprüft und optimiert und in das Handbuch aufgenommen, um dem Tragwerksplaner die Erstanwendung zu erleichtern. Weiterhin wird in der Anlage des Handbuchs eine detaillierte Vorspannanleitung bereitgestellt, um eine Umsetzung in der Praxis zu ermöglichen.

3 Fazit der Forscher

Im Verbundforschungsvorhaben CFC-SYS wurde das Ziel verfolgt ein Fußgängerbrückensystem mit CFK-Vorspannung zu entwickeln, das durch seine nachhaltige Bauweise einen wesentlichen Beitrag zu modernen Verkehrssystemen liefern soll. Das Ziel wurde mit der Entwicklung und Bereitstellung geeigneter Bemessungskonzepte für den Grenzzustand der

Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit sowie der Bestimmung der erforderlichen Materialkennwerte für die Bemessung erreicht. Die Materialkennwerte, die Bemessungskonzepte und die Konstruktionsregeln sowie zwei exemplarische Brückenquerschnitte wurden in einem Handbuch zusammengefasst, um die Anwendung für den Tragwerksplaner zu erleichtern. Die Möglichkeit der baupraktischen Umsetzung von vorgespannter Carbonbewehrung in Fußgängerbrücken und der Herstellung im Fertigteilwerk konnte im Rahmen des Forschungsvorhabens anhand von zwei Demonstratoren (vorgespannte Balken mit 2,0 und 5,0 m Länge) belegt werden. Auf Basis der umgesetzten Demonstratoren kann eine Weiterentwicklung von CFC-SYS mit allen beteiligten Projektpartnern zu einem marktreifen System stattfinden. Die Ergebnisse des Vorhabens wurden und werden in verschiedenen wissenschaftlichen Publikationen aufbereitet [2], [3]. Darüber hinaus wurden Ergebnisse aus CFC-SYS auf zahlreichen Konferenzen und Anwendertagen wie z.B. der CICE 2018 oder den Ulmer BetonTagen (Europas größter Fachkongress der Betonfertigteilindustrie) präsentiert. Dadurch sind die neuen Werkstoffe und Konstruktionsformen zukünftigen Bauingenieuren bereits zu Beginn ihrer beruflichen Karriere bekannt, sodass die innovative Bauweise zunehmend Anwendung und Akzeptanz bei Bauherren, Planern und Ausführenden finden wird.

4 Verwertung durch WiTraBau

Der DAfStb konnte als Verwertungskordinator insgesamt 14 Projektergebnisse identifizieren, die 55 Verwertungsoptionen zugeordnet wurden. Jeweils 5 der 14 Ergebnisse wurden den Erkenntnisstufen »Breit angelegte anwendungsbezogene Forschung, die Eingang z. B. in Merkblätter, Richtlinien und Normen finden kann (ES2)« und »Anwendungsbezogene Forschung als Basis für weitere Produktentwicklung (ES4)« zugeordnet. Entsprechend können die Einzelergebnisse zum Temperatureinfluss auf das Tragverhalten und die Dauerstandeigenschaften, die entwickelten Prüfverfahren für vorgespannte Carbonstäbe, die Erkenntnisse aus den Dehnkörperversuchen und Biegeplatten mit unterschiedlichen Textilien (Verbund, Verankerung in Übergreifungsstößen) und zum Verbundverhalten der CFK-Spannbewehrung sowie die Tragfähigkeitsuntersuchungen (Biegung und Querkraft) und die Nachweiskonzepte und Entwurfsregeln bei der geplanten DAfStb-Richtlinie »Betonbauteile mit nichtmetallischer Bewehrung« (Verwertungsoption VO 6.1) oder bei allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen (Verwertungsoption VO 6.2) verwendet

werden. Hierzu wurden die Ergebnisse bereits auf Sitzungen des DAfStb-Unterausschusses »Nichtmetallische Bewehrung« vorgestellt und werden bei der Erstellung von entsprechenden Arbeitspapieren Berücksichtigung finden, die in einem anderen BMBF-Forschungsverbund »C³ – Carbon Concrete Composite« des Förderprogramms »Zwanzig20 – Partnerschaft für Innovation« entwickelt werden. Der DAfStb übernimmt nach Abschluss der C³-Vorhaben die Aufgabe, die Arbeitspapiere zu der genannten Richtlinie weiterzubearbeiten. Durch die Richtlinie wird der Marktzugang der neuen Carbonbetonbauweise absehbar erleichtert werden.

Neben den zuvor genannten ergebnisspezifischen Verwertungsaktivitäten wurden die Verwertungsstrategien des WiTraBau-Verbundvorhabens auch auf Projekttagungen von CFC-SYS vorgestellt und daraus gemeinsame Aktivitäten entwickelt.

Anlässlich des DAfStb-Fachkolloquiums »Entwicklungen bei metallischer und nichtmetallischer Bewehrung« am 20. April 2017 erhielt die Firma Solidian, die auch Partner im CFC-SYS-Konsortium ist, Gelegenheit, die vielfältigen Möglichkeiten im Bereich der nichtmetallischen Bewehrung vorzustellen, sowohl bezüglich der Formgebung als auch bezüglich der Materialkombinationen. Das Potential der Hochleistungsbewehrungen wurde durch praktische Anwendungen im Hochbau, für die zum Teil schon Zulassungen beantragt wurden als auch durch einige innovative Beispiele aus dem Bereich des Brückenbaus aufgezeigt.

Das Vorhaben CFC-SYS wurde u. a. durch Kleindeonstratoren anlässlich der BAU 2019 und zu den BetonTagen 2019 präsentiert.

5 Literatur

- [1] Hegger, J., Goralski C., Kulas, C.: Schlanke Fußgängerbrücke aus Textilbeton. Beton und Stahlbetonbau, 106 (2011), Nr. 2, S. 64–71
- [2] Kueres, S., Will, N., Hegger, J.: Flexural design of a modular footbridge system with pre-tensioned CFRP reinforcement. Structural Concrete, 2019 (<https://doi.org/10.1002/suco.201900047>)
- [3] Kueres, S., Will, N., Hegger, J.: Shear strength of prestressed FRP reinforced concrete beams with shear reinforcement. Engineering Structures 206, 2020 (<https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2019.110088>)

ECWin2.0





ECWin2.0 – Smart Windows der 2. Generation

EControl-Glas GmbH & Co. KG, Plauen; Universität Würzburg, Institut für Chemische Technologie der Materialsynthese, Würzburg; Fraunhofer-Institut für Silicatforschung ISC, Würzburg; GfE-Fremat GmbH, Freiberg; Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik IST, Braunschweig; KS Kunststoffbau GmbH, Groß Kienitz

Kurzfassung: Mit schaltbaren Gläsern kann der Energieeintrag von der Sonne in ein Gebäude gesteuert werden. Dies führt zu deutlichen Einsparungen bei der Gebäudekühlung bis zur Abschaffung von Klimaanlage, erspart einen außenliegenden Sonnenschutz und führt zur Verbesserung des Wohnkomforts. Das Ziel des Projektes ECWin2.0 ist die Schaffung der materialtechnischen Voraussetzungen für die Herstellung eines neuen Typs preiswerter, dimmbarer Verglasungen mit verbesserten Eigenschaften gegenüber dem Stand der Technik. Gleichzeitig wird die Wertschöpfungskette von den Rohstoffen bis zur fertigen Verglasung aufgebaut. Zur Erreichung des Zieles werden neue innovative Beschichtungsmaterialien sowie Verfahren zur Herstellung dieser Beschichtungen demonstriert. Diese neuartigen Materialien werden über spezielle Abscheidetechniken auf Glasscheiben aufgebracht, die in Kombination mit einem polymerbasierten Elektrolyten zu einem Verbundglas und weiter zu Isolierglas veredelt werden. Das Zusammenwirken der unterschiedlichen Materialien wird in ihrer Funktion und Wirkung erforscht und getestet.

Stichworte: Schaltbares Glas, Elektrochromie, Energieeffizienz in Gebäuden, Metallo-Polyelektrolyte, Preußisch Blau, Hochvakuumbeschichtung

1 Einleitung

Das Projekt »Smart Windows der 2. Generation« (ECWin2.0) forscht an der Etablierung einer elektrochromen Verglasung der 2. Generation für den Architekturbereich.

Dem gegenüber steht eine 1. Generation schaltbarer Gläser, die bereits am Markt etabliert ist. Ein wesentlicher Nachteil dieser 1. Generation ist im derzeitigen Marktpreis zu sehen (vor allem bedingt durch die Rohstoffpreise und hohe Prozesskosten). Darüber hinaus zeigen die bisher verwendeten Materialien eine eingeschränkte Lichtmodulation.

Bei einer durch schaltbare Gläser technisch erreichbaren Gesamtenergietransmission von 12 % (im gefärbten Zustand) ergeben Berechnungen, dass auf eine Klimatisierung komplett verzichtet werden kann [1]. Neben den Einsparungen an Kühlenergie in den Sommermonaten erlaubt das neue Konzept, den Energie-Transmissionsgrad (g-Wert) im hellen Zustand von heute 40 % (Stand der Technik, 1. Generation) um 10 %-Punkte auf ca. 50 % zu erhöhen.

Die Innovation in diesem Vorhaben besteht in der Erforschung neuartiger metallo-polymerer Schichten in Verbindung mit Schichten auf Basis von Preußisch Blau (PB) und neuartiger binärer und/oder ternärer metalloxidischer Schichten.

2 MEPE/PB Verbundgläser

In dem Projekt »Smart Windows der 2. Generation (ECWin2.0)« sollen elektrochrome Glaselemente auf der Basis neuartiger Materialien, sog. metallo-supramolekularer Polyelektrolyte (MEPE), getestet werden, die sich für einen Einsatz in elektrisch schaltbaren Architekturverglasungen eignen könnten. MEPE weisen hohe Färbefeffizienzen sowie kurze Schaltzeiten auf und können mittels einfacher nasschemischer Herstellungsprozesse (z. B. Tauchbeschichtung) hergestellt werden [2]. Durch Variation des Metall-Zentrums und/oder des Liganden lässt sich die Farbe der MEPE variieren [3].

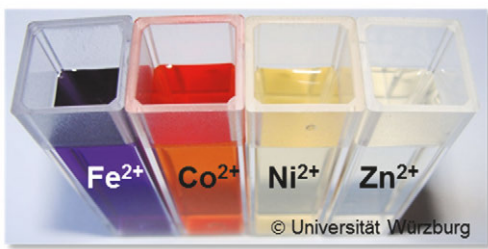


Bild 1 Farbvariation der MEPE durch Austausch des Metall-Ions.

Ausgehend von Fe-MEPE, das reversibel von blau nach farblos schaltet, sollen in Kooperation mit der Universität Würzburg neue MEPE-Systeme sowie geeignete Gegenelektroden entwickelt und getestet werden. Ein interessantes Material für den Einsatz als Gegenelektrode in MEPE-basierten elektrochromen Elementen ist PB, das als Farbpigment bekannt ist und komplementär zu Fe-MEPE schaltet. Wie in Bild 2 zu sehen ist, bestehen elektrochrome Glaselemente im Allgemeinen aus einer Arbeitselektrode (z. B. Fe-MEPE), einer Gegenelektrode (z. B. PB) und einem ionenleitenden, elektrisch isolierenden Elektrolyten. Die beiden Elektroden sind über einen metallischen Kontakt mit einer externen Spannungsquelle verbunden und können so geschaltet werden. Die Gegenelektrode kann entweder als reine Ionen-speicherschicht fungieren oder, wie im Falle von PB, ebenfalls elektrochrome Eigenschaften aufweisen. Die in diesem Projekt eingesetzten MEPE- und PB-Elektroden werden am Fraunhofer ISC mittels geeigneter Beschichtungsverfahren auf transparente, leitfähige Gläser aufgebracht und schließlich in Kombination mit einem polymerbasierten Elektrolyten von EControl-Glas zu Verbundgläsern verbaut.

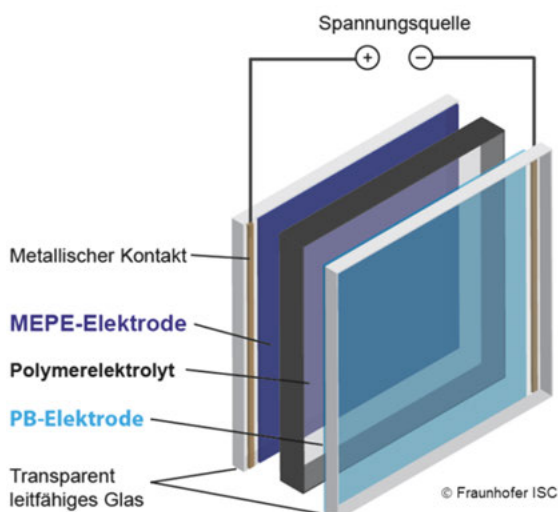


Bild 2 Schematischer Aufbau eines MEPE-basierten elektrochromen Glaselements.

Dabei steht vor allem das Zusammenwirken der unterschiedlichen Materialien im Fokus der optischen und elektrochemischen Untersuchungen, die im Rahmen des Projekts an kleinen ($10 \times 10 \text{ cm}^2$) bis mittelgroßen Demonstratoren (bis $40 \times 60 \text{ cm}^2$) durchgeführt werden.

Die bisher hergestellten MEPE/PB-Verbundgläser weisen eine sehr hohe Schichthomogenität ($\Delta E < 2$) und Transparenz ($\text{Haze} < 1 \%$) auf. Bei Anlegen einer externen Spannung von etwa 2,5 V ändert sich die Farbe der Verbundgläser von tiefblau nach farblos. Je nach eingesetzten MEPE- und PB-Elektroden lassen sich visuelle Transmissionsunterschiede $\Delta \tau_v > 55 \%$ erzielen, wobei die Schaltdauer nur wenige Minuten beträgt (bei einer Größe von $30 \times 40 \text{ cm}^2$). Die Ein- und Entfärbvorgänge verlaufen aufgrund der geringen Ionenleitfähigkeit des Polymerelektrolyten sehr gleichmäßig (kein »Vorhang-Effekt«).

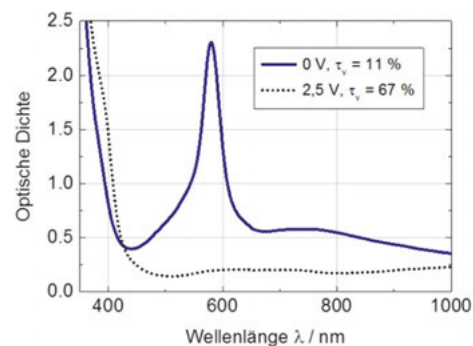


Bild 3 Schaltverhalten eines MEPE/PB Verbundglases mit Polymerelektrolyt.

Nach den ersten erfolgreichen Zyklenstabilitätstests sind im weiteren Projektverlauf zudem beschleunigter Alterungstests geplant, die zeigen werden, ob diese neuartigen elektrochromen Materialien für schaltbare Verglasungen geeignet sind.

3 Neuartige Gegenelektroden

Für den klassischen Aufbau elektrochromer schaltbarer Verglasungen werden bei EControl-Glas an Stelle von organischen Elektroden anorganische Materialien verwendet. Als Aktivschicht wird Wolframoxid (WO_3) und als Gegenelektrode werden andere

Mischoxide verwendet. Durch Anlegen einer Spannung werden Lithium-Ionen in die Aktivschicht eingelagert, wobei sie sich dunkel färbt (sog. kathodisches Schaltverhalten). Durch Umpolen der Spannung diffundieren die Lithium-Ionen aus der Aktivschicht über den Elektrolyten in die Gegenelektrode. Hierbei hellt sich die Aktivschicht wieder auf. Idealerweise zeigt die Gegenelektrode ein gegenläufiges, anodisches Schaltverhalten, d. h. Aufhellung bei Lithium-Einlagerung und umgekehrt. Ein derartiges anodisches Schaltverhalten ist nur für eine Reihe von Oxiden der Übergangsmetalle bekannt: Cr, Co, Mn, Ni, V, Ir, Fe und Ru [4]. Hierbei scheiden Iridium und Ruthenium aus Kostengründen für einen großflächigen Einsatz aus. Iridiumoxid (IrO_2) kommt z. B. nur auf kleiner Fläche in schaltbaren Autospiegeln zum Einsatz. Weitere Randbedingungen sind der erreichbare optische Kontrast, die Zyklenstabilität, der Farbeindruck und Gesundheitsaspekte der Materialien. In dem Verbundprojekt »ECWin2.0« werden gemeinsam mit den Projektpartnern EControl-Glas und GFE Fremat als zweite Projekttroute neuartige Gegenelektroden entwickelt. Hierbei wird der Ansatz verfolgt, die bestehende Gegenelektrode aus einem binärem Mischoxid (MNO_x) durch Zusatz oben genannten Materialien zu modifizieren, wodurch insbesondere das Schaltverhalten und der Farbeindruck (derzeit leicht gelb) verbessert werden soll. Die neuen Mischoxide werden am Fraunhofer IST mittels reaktivem Ko-Sputtern von drei Sputterquellen hergestellt.

Die Beurteilung der Lithiumaufnahme-fähigkeit erfolgt mittels Zyklovoltammetrie. Parallel dazu werden die visuelle Transmission und deren Änderung während des Redoxvorgangs gemessen. Nach ersten orientierenden Abscheidungen der reinen Oxide, z. B. Chromoxid (Bild 4), wurden unterschiedlichste Mischungen realisiert.



Bild 4 Gegenelektrode, Aufbau: Glas/transparente leitfähige Schicht/Metalloxid.

Die erfolgreichste Mischung zeigt dabei über weite Bereiche das gewünschte anodische Schaltverhalten (Bild 5).

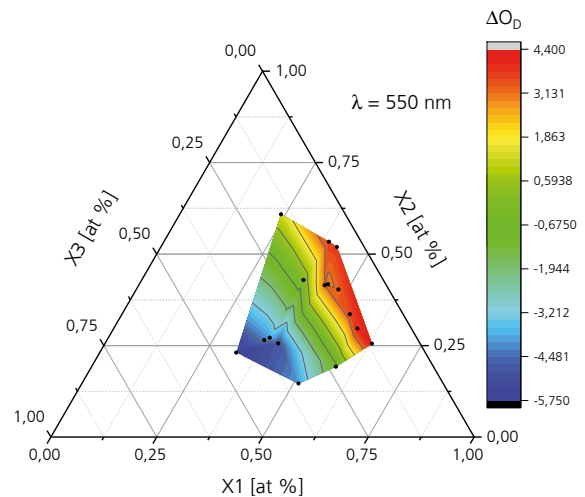


Bild 5 Änderung der optischen Dichte (ΔOD) in Abhängigkeit von der Zusammensetzung der metallischen Bestandteile der Gegenelektrode.

Die optische Dichte (OD) nimmt bei Lithium Einlagerung ab ($\Delta OD < 0$), d. h. die Schicht hellt auf. Gleichzeitig weisen die Schichten eine ausreichende Lithium-Aufnahmefähigkeit auf.

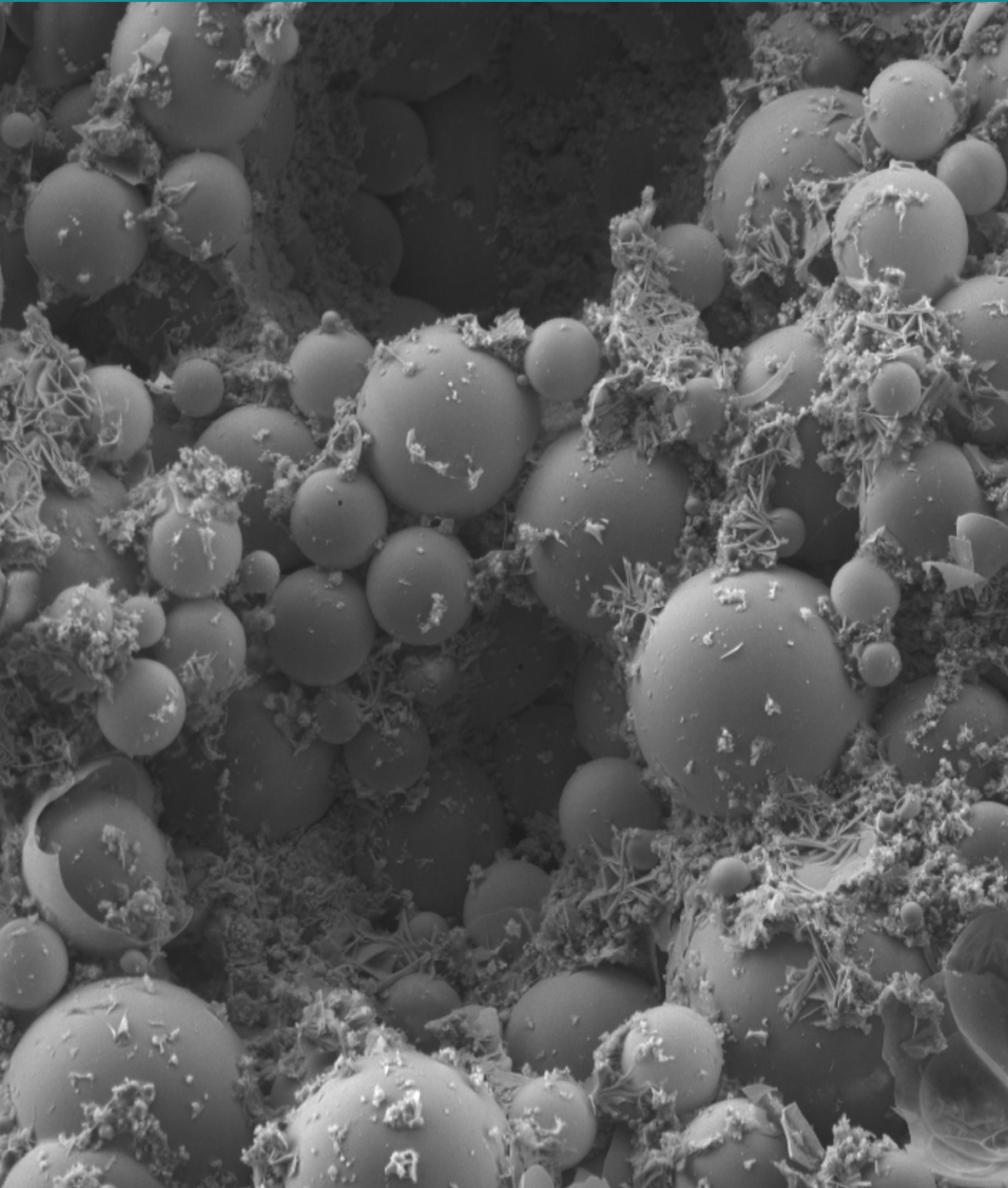
Derzeit werden die erfolgreichsten Mischoxide hinsichtlich ihrer Zyklenbeständigkeit untersucht und im Verbund mit der WO_3 getestet. Weiterhin sind Tests auf größerer Fläche im Technikumsmaßstab $30 \times 40 \text{ cm}^2$ geplant.

4 Literaturverzeichnis

- [1] S. Schlitzberger, Ch. Kempke: Durchführung von Simulationsrechnungen zur vergleichenden Bewertung der dimmbaren Verglasung ECONTROL, Projektbericht Ing. Büro Prof. Dr. Hauser GmbH, 02/2012.
- [2] M. Schott, H. Lorrman, W. Szczerba, M. Beck, D. G. Kurth: State-of-the-art electrochromic materials based on metallo-supramolecular polymers. *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 126 (2014), 68–73.
- [3] F. S. Han, M. Higuchi, D. G. Kurth: Metallo-Supramolecular Polymers Based on Functionalized Bis-terpyridines as Novel Electrochromic Materials. *Advanced Materials*, 19 (2007), 3928–3931.
- [4] C. G. Granqvist: Electrochromics for smart windows: oxide-based thin films and devices, *Thin Solid Films* 564 (2014), 1–38.

Das diesem Beitrag zugrundeliegende Vorhaben wird mit Mitteln des BMBF unter den FKZ 13N13372 bis 13N13376 und 13N13651 gefördert.

EcoSphere



EcoSphere – Mineralische Spritzdämmung mit Mikrohohlglaskugeln

Entwicklung und Herstellung einer neuartigen Spritzdämmung auf zementärer Basis mit Dämmfüllung

WiTraBau-Verwertungskordinator: Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP

Abstract: Im Verbundprojekt EcoSphere wurde unter der Leitung der Franken Maxit Mauermörtel GmbH eine spritzbare Wärmedämmung für den Innen- und Außenbereich entwickelt. Außerdem wurden Mikrohohlglaskugel-haltige Polymere und die Funktionalisierung von Mikrohohlglaskugeln untersucht.

Keywords: Wärmedämmung, Mikrohohlglaskugeln, energetische Sanierung, spritzfähiges Dämmsystem

1 Projektziel

Das zu Beginn des Projektes definierte Ziel bestand in der Rezeptur einer neuen Generation von mineralischen Spritzdämmungen mit den folgenden Eigenschaften:

- geringe Wärmeleitfähigkeit in Verbindung mit höherer Wärmespeicherfähigkeit im Vergleich zu konventionellen Dämmstoffen,
- nicht brennbar (Baustoffklasse A1),
- offenporige Struktur für ein gutes Feuchtemanagement und Austrocknungsverhalten,
- hohe Haftung auf unterschiedlichen, typischen Untergründen,
- hohe Recyclierbarkeit, Volumenstabilität und Dauerhaftigkeit.

Für eine erfolgreiche Markteinführung war es wichtig, dass eine rationelle Verarbeitung des neuen spritzbaren Dämmstoffs ohne die Notwendigkeit einer besonderen Applikationstechnik und mit branchenüblichen Putzmaschinen erfolgen kann. Dafür war es notwendig, die Rezeptur aus zementärem Bindemittel, Mikrohohlglaskugeln (MHGK) als Leichtzuschlag und Additiven der spritzbaren Dämmung so anzupassen, dass die Konsistenz die Verarbeitung mit gewöhnlichen Putzmaschinen erlaubt. Hierbei erwies sich der hohe Füllgrad an Mikrohohlglaskugeln von 60 % (siehe Bild 1) als vorteilhaft, da durch

deren nahezu ideale Kugelform ein »Kugellagereffekt« auftritt, welcher das Verpumpen und Aufsprühen nachhaltig verbessert.

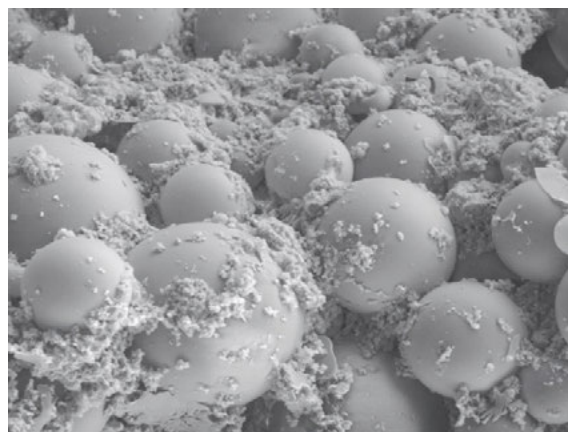


Bild 1 Mikroskopische Aufnahme der Verbindung zwischen Bindemittel und Mikrohohlglaskugeln
[Quelle: Franken Maxit Mauermörtel GmbH]

Trotz der guten Pump- und Spritzeigenschaften gelang nach Angaben der Entwickler eine praxisgerechte, spritzbare Innen- und Außendämmung, welche durch das Ansprühen einen festen Verbund mit dem Mauerwerk eingeht (siehe Bild 2) und auch bei mehrschichtigem Auftrag keine Ablösungs- oder Entmischungerscheinungen zeigt. Deshalb kann eine

Auftragsstärke von 20 bis 100 mm ohne Putzträger realisiert werden. Auftragsstärken über 100 mm sind mit Putzträger möglich.



Bild 2 Aufspritzen der ersten Lage der neu entwickelten Dämmung [Quelle: Franken Maxit Mauermörtel GmbH]

Die Herstellung der neuartigen spritzbaren innen- bzw. Außendämmung erfolgt auf der Baustelle klassisch mit der Putzmaschine oder der Silomischpumpe. Nach erfolgter Vorbehandlung des Mauerwerks (Schritt 1 – sofern erforderlich) werden zuerst 10 mm der spritzbaren Dämmung aufgebracht (Schritt 2). Die weitere Verarbeitung erfolgt »frisch in frisch« in Schichtdicken von ca. 30 mm (Schritt 3). Der fertige Schichtaufbau auf einer Ziegelwand ist in Bild 3 dargestellt. Bei Putzdicken größer 100 mm bis 150 mm muss ein Putzträger aufgebracht werden. In den nachfolgenden Schritten erfolgt dann das Aufbringen einer Armierungsschicht, des Oberputzes und gegebenenfalls einer Farbbeschichtung. Videoaufnahmen einer Applikation der spritzbaren Dämmung an einem Einfamilienhaus können über den QR-Code in Bild 4 oder in [1] angesehen werden.

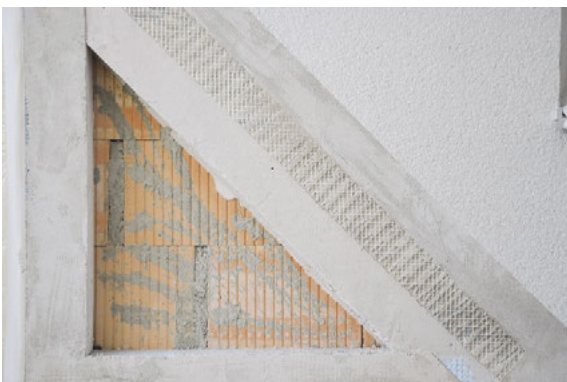


Bild 3 Schichtaufbau einer Ziegelwand mit applizierter Spritzdämmung und Oberputz. [Quelle: Franken Maxit Mauermörtel GmbH]



Bild 4 QR-Code zum Video über einer Applikation der spritzbaren Dämmung an einem Einfamilienhaus [Quelle: HighTechMatBau.de]

2 MHGK-haltige Polymere

Die Reduzierung der Wärmeleitfähigkeit durch den Einsatz von Mikrohohlglaskugeln als Füllstoff für Polypropylen (PP) ermöglicht die Reduzierung der Wärmebrücken z. B. bei Dämmplattendübeln. Durch den Einsatz von Mikrohohlglaskugeln konnte die Wärmeleitfähigkeit in PP-Matrizen um bis zu 20 % gesenkt werden.

Die Zugabe der MHGK beeinflusst die mechanische Stabilität des Polypropylen, weshalb eine Verbesserung der Anbindung durch einen Haftvermittler als auch eine Silanisierung der Kugeloberfläche notwendig wurde, um eine stabile chemische Verbindung zwischen Füllstoff und Matrix zu erreichen. Dadurch konnte eine Zugfestigkeit der Composite aus Polypropylen und bis zu 40 Vol-% Mikrohohlglaskugeln dieselbe Größe erreichen wie reine PP-Prüfkörper.

Die durch die Optimierung des Compoundierungsprozesses erzielten geringen Bruchraten der Mikrohohlglaskugeln und der gute Haftverbund auch bei hohen Füllgraden, erlaubte die Extrusion von PP-Rohren (Außendurchmesser 2,9 cm) mit 35 Vol-% Mikrohohlglaskugeln. Dieses Demonstrator-Rohr wies im Vergleich zu einem ungefüllten PP-Rohr eine um 22 % geringere Dichte und 24 % geringere Wärmeleitfähigkeit auf.

3 Funktionalisierung von Mikrohohlglaskugeln

Im Projekt wurde zusätzlich zu der bereits erwähnten Silanisierung der Kugeloberflächen auch Untersuchungen zur Beschichtung der Kugeln zur Verbesserung des Reflexionsverhaltens durchgeführt. Das Ziel

bestand darin die reflektierend beschichteten Mikrohohlglaskugeln für wärmestrahlungsreflektierende Wandfarben einsetzen zu können. Zur Verbesserung der Recycelbarkeit dieser Wandfarben wurde im Projekt eine Beschichtung mit Aluminium durchgeführt. Mittels Aluminium Physical Vapor Deposition konnten homogene Schichtdicken von bis zu 275 nm auf der MHGK-Oberfläche abgeschieden werden, wodurch ein Reflexionsgrad von rund 30 % im relevanten Wellenlängenspektrum erreicht werden konnte.

4 Zusammenfassung der Projektergebnisse

Im Projekt EcoSphere wurden zwei verschiedene MHGK-haltige Baustoffe entwickelt:

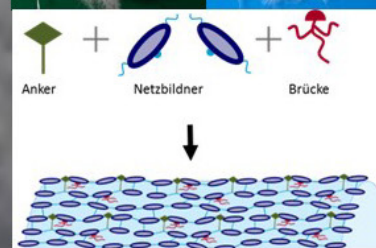
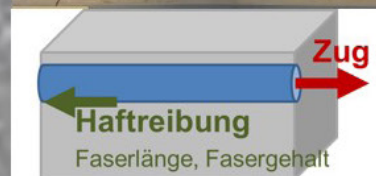
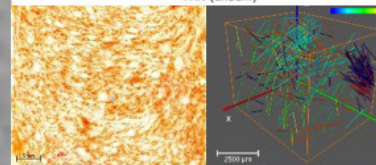
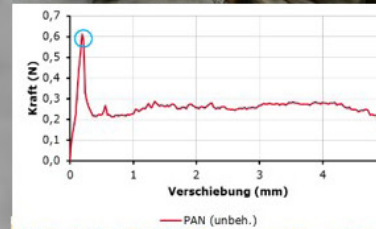
1. MHGK-haltige Polymere:
PP-Dübel z. B. für EPS-Dämmplatten konnten durch die Herstellung aus MHGK-PP-Kompositen mit verbesserten mechanischen Eigenschaften und einer um 20 % niedrigeren Wärmeleitfähigkeit des Komposits hergestellt werden. Auch bei der Herstellung von PP-Rohren lassen sich die MHGK-PP-Komposite vielversprechend einsetzen.
2. Spritzbare Wärmedämmung
Durch den hohen Füllgrad mit Mikrohohlglaskugeln erreicht die mineralische Spritzdämmung eine Trockenwärmeleitfähigkeit von 0,04 W/mK und ist somit vergleichbar mit anderen nicht brennbaren Dämmstoffen wie z. B. Mineralwolle und Glasschaum. Die geringe Feuchteaufnahme aus der Luft und das gute Austrocknungsverhalten der spritzbaren Dämmung wirkt sich positiv auf eine mögliche Algenproblematik aus. Darüber hinaus verzögert und dämpft die im Vergleich zu Polystyrol oder PU-Schäumen sehr viel höhere Wärmekapazität die Temperaturschwankungen, wodurch die thermische Behaglichkeit im Gebäude verbessert werden kann.

5 Verwertung durch WiTraBau

Zusätzlich zu mehreren durch WiTraBau initiierten Veranstaltungen an denen das Projekt EcoSphere sich vorstellen bzw. die Ergebnisse durch WiTraBau präsentiert wurden, erhielt das Projekt in drei wesentlichen Bereichen eine Unterstützung durch WiTraBau.

1. Bei der Rezeptierung der im Projekt entwickelten und auf Mikrohohlglaskugeln basierenden Spritzdämmung wurde konsequent auf ein gutes feuchtetechnisches Verhalten geachtet. Dies schlägt sich in einer geringen Feuchteaufnahme aus der Luft und einem guten Austrocknungsverhalten nieder. Durch die aktuelle Art der Bestimmung des feuchtetechnischen Aufschlags auf die Wärmeleitfähigkeit nach DIN EN ISO 10456 können solche Produkteigenschaften nicht vollständig abgebildet werden. Deshalb wurde im Rahmen von WiTraBau eine Methodik entwickelt, welche die dynamische Berechnung der Wärmeleitfähigkeit ermöglicht und dabei die speziellen Trocknungseigenschaften des entwickelten Dämmstoffes berücksichtigen kann. Das im Rahmen von WiTraBau entwickelte Verfahren wurde im Umfeld der DIN EN ISO 10456 diskutiert und soll nun die Grundlage für ein separates Forschungsprojekt bilden, welches die noch notwendigen Grundlagen für die Aufnahme des Verfahrens in die Normung erarbeiten soll.
2. Innerhalb des Projektes wurden zwei Arten der spritzbaren Dämmung entwickelt. Zusätzlich zur Außendämmung wurde noch eine Innendämmungsvariante entwickelt. Neuartige Innendämmungen werden vom Markt anfänglich meist eher kritisch betrachtet. Um den Planern und Verwendern der im Projekt entwickelten spritzbaren Innendämmung eine höhere Planungssicherheit zu ermöglichen, wurden im Rahmen von WiTraBau die notwendigen Messungen für die Integration des Produktes in hygrothermische Simulationsprogramme wie z. B. WUFI durchgeführt.
3. Durch die Funktionalisierung der Kugeloberflächen der Mikrohohlglaskugeln mit einer Aluminiumschicht, können diese Kugeln Wärmestrahlung reflektieren. Durch deren Beimischung in entsprechend konfektionierten Innenwandfarben können diese die Wärmestrahlung zurückreflektieren, wodurch eine eventuell kalte Wand nicht mehr als solche wahrgenommen wird. Dadurch wird der Effekt kalter, schlecht gedämmter Wände auf die thermische Behaglichkeit gemindert und die Behaglichkeitseinbußen müssen nicht mehr wie sonst über eine erhöhte Raumlufttemperatur ausgeglichen werden, welche zu einem höheren Heizwärmeverbrauch geführt hätte. Somit lässt sich durch die Applikation von wärmestrahlungsreflektierenden Wandfarben auf kalten, schlecht gedämmten Wänden Energie sparen. Innerhalb von WiTraBau wurde deshalb versucht, die wärmestrahlungsreflektierenden Wandfarben in die DIN V 18599 zu integrieren.

Funktional- faser



FunktionalFaser

Funktionalisierte Fasern für zementgebundene Werkstoffe

WiTraBau-Verwertungskordinator: Forschungsgemeinschaft Transportbeton e.V. (FTB)

Abstract: Ein wesentlicher Nachteil von zementgebundenen Werkstoffen ist ihre geringe Zugfestigkeit. Zu hohe Zugspannungen führen zu ungewünschten Rissbildungen. Eine Möglichkeit besteht darin, Fasern einzuarbeiten, um dieser Beeinträchtigung entgegen zu wirken. In der Regel werden dabei Stahlfasern verwendet. Als Alternative stehen jedoch auch synthetische Polymerfasern zur Verfügung. Auf der einen Seite sind diese Polymerfasern meist beständiger gegenüber chemischen Angriffen, auf der anderen Seite weist diese Art von Fasern meist einen schwächeren Haftverbund. Dieser ist durch die hydrophobe (wasserabstoßend) Oberfläche begründet. Um nun die gleiche Faserwirkung wie bei Stahlfasern zu erzielen, muss unter Umständen eine höhere Menge bzw. längere Polymerfasern eingesetzt werden. Der Forschungsansatz dieses Forschungsvorhabens liegt daher darin, die Faseroberfläche der Polymerfasern zu modifizieren, um den Haftverbund zu erhöhen, aber ohne dabei die mechanischen Eigenschaften zu verschlechtern.

Keywords: zementgebundene Baustoffe, Polymerfasern, Oberflächenmodifikation, Funktionalisierung, mechanische Wirksamkeit

1 Problemstellung

Zementgebundene Werkstoffe kommen im Bauwesen in unterschiedlichen Anwendungen zum Einsatz. Ein großer Nachteil ist dabei die geringe Zugfestigkeit von zementgebundenen Werkstoffen. Um diesen Nachteil zu umgehen, können diese Werkstoffe als Verbundbaustoffe eingesetzt werden. In der Praxis wird beispielsweise daher der Beton mit einer Bewehrung aus Stabstählen oder Stahlmatten verbaut. Alternativ kommen Faserbetone mit Fasern aus Stahl, Kunststoff oder Glas zum Einsatz. Der Einsatz von Kunststofffasern in einem Faserbeton bietet sich besonders für schmale und filigrane Bauteile an, bei denen die für den Korrosionsschutz der Stahlfasern erforderliche Betondeckung nicht einzuhalten ist, und auch für Bauteile, die einem ständigen Wechsel zwischen Nass und Trocken ausgesetzt sind. Kunststofffasern werden in verschiedenen Qualitäten und aus verschiedenen Materialien angeboten. Unterschieden wird zwischen Polypropylen- und Polymerfasern. Im Gegensatz zu den Polypropylenfasern können die Polymerfasern auch als statisch relevante Bewehrung genutzt werden. Praktisch ba-

siert die Wirkung der Polymerfaser auf einer Dissipation (lat. für »Zerstreuung«) der Bruchenergie, bedingt durch die Haftreibung zwischen hydrophober Polymerfaser und der hydrophilen Zementsteinmatrix. Aufgrund der unterschiedlichen physikalischen Eigenschaften (hydrophob vs. hydrophil) ist eine chemische Anbindung zwischen Polymerfaser und Zementsteinmatrix nicht gegeben. Um nun eine geforderte Faserwirkung zu erreichen, muss eine gewisse Fasermenge bzw. -länge eingesetzt werden. Dies kann jedoch bei geringen Bauteilabmessungen oder hohen Anforderungen an die Festigkeit zu technischen Einschränkungen beispielsweise in der Verarbeitung führen.

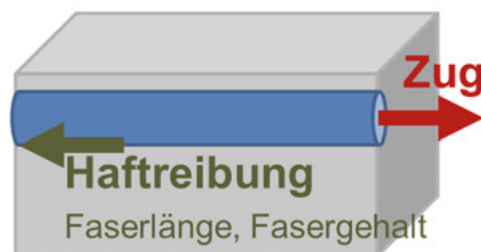


Bild 1 Wirkungsweise von Fasern [Quelle: IONYS AG]

2 Projektziel

Zielsetzung des Forschungsvorhabens war es deshalb, über eine zusätzliche chemische Bindung der Fasern an die mineralische Zementsteinmatrix eine Steigerung der mechanischen Eigenschaften des zementgebundenen Werkstoffes zu erreichen. Dadurch können Fasermengen und -längen reduziert werden, um trotzdem die gleiche Faserwirkung zu erzielen.

3 Forschungsansatz

In diesem Projekt werden daher, basierend auf eigens dafür erarbeiteten chemischen Grundlagen, spezielle Copolymere entwickelt, welche eine physikalisch-chemische Anbindung funktioneller Beschichtungen sowohl an Faseroberflächen aus verschiedenen Polymertypen (Polyacrylnitril-Fasern (PAN), Polypropylen-Fasern (PP), Carbonfasern) als auch eine physikalisch-chemische Anbindung an die Zementsteinmatrix erlauben. Die Stärke der physikalisch-chemischen Anbindung kann durch die Variierung der Zusammensetzung des Copolymers dabei in einer gewissen Bandbreite eingestellt werden (»tunable materials«).

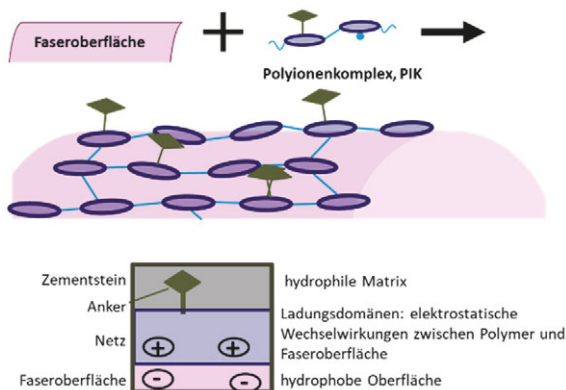


Bild 2 Vorbereitung und Prinzip einer funktionalisierten PAN-Faser [Quelle: IONYS AG]

4 Ablauf des Projektes

Das Projekt [1] wurde im Rahmen eines Verbundvorhabens durchgeführt. Die Arbeitspakete wurden dabei zwischen den Organisationen IONYS AG und Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) aufgeteilt: Das Teilvorhaben der IONYS AG fokussierte sich auf molekulare Ebene auf die Faserausrüstung; das Teilvorhaben der BAM untersuchte auf Bauteilebene die Performance der Fasern.



Bild 3 Projektpartner und ihre Aufgaben im Projekt [Quelle: IONYS AG]

5 Projektergebnisse

5.1 Einfluss von Fasern auf die Frischmörteleigenschaften

Die von der IYONS AG zur Verfügung gestellten Fasern wurden durch die BAM an Frischmörtelproben untersucht. Zur Beurteilung der Verarbeitbarkeit der Fasern wurden die Ausbreitmaße nach DIN EN 1015-3 bestimmt. Dabei wurden folgende Ergebnisse festgestellt:

- Mit steigendem Anteil an Fasern erhöht sich die Viskosität des Mörtels.
- Je nach Art der Faser ist der Einfluss auf das Ausbreitmaß unterschiedlich ausgeprägt: PAN-Fasern haben eine höhere Ausprägung als Polypropylenfasern (PP). Carbonfasern wirkten sich am negativsten auf das Ausbreitmaß aus.
- Durch Fließmittelzugabe erhöht sich das Ausbreitmaß planmäßig.
- Die Art der Funktionalisierung (feuchte vs. trockene Behandlung) hat keinen Einfluss auf das Ausbreitmaß.

5.2 Faserverteilung in der Matrix

Zur Beurteilung der Faserverteilung in der Mörtelmatrix wurden folgende Untersuchungsmethoden verwendet:

- Lichtmikroskopie für die mit PAN-Fasern ausgerüsteten Mörtel unter UV-Licht
- Ermittlung der räumlichen Faserverteilung mit 3D-Computertomographie

Dabei wurden folgende Ergebnisse festgestellt:

- Ein Einfluss der Oberflächenmodifizierung von Fasern konnte lichtmikroskopisch nicht nachgewiesen werden.
- Die 3D-Computertomographie an Bohrkernen zeigte eine gute Verteilung der PAN- und PP-Fasern über den Mörtelquerschnitt.
- Aufgrund der geringen Dichteunterschiede zwischen Carbonfasern und Zementsteinmatrix konnte keine Differenzierung festgestellt werden.
- Zur sicheren, quantifizierbaren Beurteilung des Einflusses der Oberflächenmodifikation auf die Faserdistribution sind weitere Auswertungen notwendig.

5.3 Mechanische Wirksamkeit der Fasern

5.3.1 Erhöhung der Nachrissbiegezugfestigkeit

Die Nachrissbiegezugfestigkeit ist der Biegezugfestigkeit entsprechender Wert des Querschnittswiderstandes bei Biegung nach Ausbildung von Rissen. Eine erhöhte Nachrissbiegezugfestigkeit führt zu einer kleineren Verformung. Die Untersuchungen an PAN- und PP-Fasern haben gezeigt, dass eine Oberflächenmodifikation nicht zu einer Erhöhung der Nachrissbiegezugfestigkeit führt. Es wird vermutet, dass die Querkontraktion der elastischen Fasern unter Zugbeanspruchung zu einer Auflösung des chemischen Verbundes zwischen Faseroberfläche und Zementsteinmatrix führt. Hingegen konnte eine Erhöhung der Nachrissbiegezugfestigkeit bei der Oberflächenmodifikation von Carbonfasern festgestellt werden.

5.3.2 Reduktion des Schwindverhaltens

Als Schwinden wird die Volumenabnahme des zementgebundenen Baustoffs bezeichnet, resultierend aus der Volumenverminderung durch chemische Reaktion oder Feuchtigkeitsabgabe. Das Schwindverhalten übt einen Einfluss auf die Bildung von Rissen und Verformungen von Bauteil aus. Die Untersuchungen zum Schwindverhalten erfolgten in Anlehnung an den »Prüfplan für die Zulassungsprüfung von Polymerfasern zur Verwendung in Beton nach DIN EN 206-1 in Verbindung mit DIN 1045-2 mit nachgewiesener Wirksamkeit« des Deutschen Instituts für Bautechnik. Im Ergebnis konnte die Wirkung

der Funktionalisierung auf die Reduktion des Schwindverhaltens an PAN- und Carbonfasern nachgewiesen werden, wenn die Faserzugabe entsprechend auf 0,05 Vol.-% bzw. 0,025 Vol.-% reduziert wurde.

6 Verwertung durch WiTraBau

6.1 HighTechMatBau-Konferenz 2018

Auf der HighTechMatBau-Konferenz am 31. Januar 2018 im Berlin Congress Center am Alexanderplatz informierten die IONYS AG und BAM vor mehr als 400 Konferenzteilnehmerinnen und -teilnehmern über einen Messestand, in Form eines Fachvortrages sowie im Tagungsband [2] über das Forschungsprojekt »Funktionalfaser«.

6.2 Deutscher Bautechniktage 2019

Am 7. und 8. März 2019 präsentierten die Projektpartner im Rahmen der Veranstaltung »Deutscher Bautechniktage 2019« in Stuttgart über das Forschungsprojekt. Die Präsentation erfolgte über einen Messestand sowie einem Arenavortrag.

6.3 FTB-Forschungsforum 2019

Die Transportbeton-Tage in Leipzig boten am 12. September 2019 den Rahmen für das erste Forschungsforum der Transportbetonindustrie. Die IONYS AG informierte in Leipzig über die Ergebnisse des Forschungsprojektes.

[Film zur Veranstaltung ↗](#)

7 Literatur

- [1] Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung: Abschlussbericht - Funktionalisierte Fasern für zementgebundene Baustoffe; Teilvorhaben: Mechanische Kenngrößen und Faserperformance; FKZ: 13N13306, 2019
- [2] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton e.V. (DAfStb): HighTechMatBau; Tagungsband mit Beiträgen zur Konferenz vom 31. Januar 2018 in Berlin, Dezember 2017

HESTER

HighTech
MatBau 1





HESTER

Hybrides Ertüchtigungssystem für die Straßenerhaltung unter Einsatz neuartiger Werkstoffe

WiTraBau-Verwertungskordinator: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V. (FGSV)

Abstract: Mit ständiger Zunahme des Verkehrsaufkommens wird die Verfügbarkeit von Straßenverkehrsflächen zunehmend wichtiger. Dies betrifft insbesondere die überregionalen Verkehrsverbindungen und die Stadtstraßen. Erhaltungssysteme, die einerseits qualitativ hochwertig und dauerhaft sind und andererseits in kürzester Bauzeit ausgeführt werden können, stehen daher im Fokus. Mit dem Projekt HESTER wurde ein Fertigteilbasiertes Oberbau-/Sanierungssystem aufgestellt, das in der Lage ist, die genannten Anforderungen optimal zu erfüllen. Bei der Erforschung wurde großen Wert auf eine systematische Vorgehensweise, beginnend mit der Erarbeitung der theoretischen Grundlagen bis hin zur Herstellung eines Praxisdemonstrators, gelegt.

Keywords: Hybrides Ertüchtigungssystem; Fertigteilbauweise; dauerhafte Straßeninfrastruktur; Verfügbarkeit

1 Projektziel

Das übergeordnete Ziel des Projekts »HESTER« bestand darin, ein modulares und somit schnell ausführbares Fertigteilsystem zur Erneuerung von Straßenbefestigungen zu erforschen. Angestrebt wurde eine wesentliche Verkürzung von Sperrzeiten und dadurch eine schnellere Wiederverfügbarkeit der Fahrbahnen. Auf diese Weise sollten eine deutliche Reduzierung der baustellenbedingten Behinderungen im Stadtverkehr erreicht und der Verkehr bereits nach kurzer Zeit wieder vollständig freigegeben werden können (Bild 1).



Bild 1 Erneuerte Bushaltestelle mit Fertigteilenelementen aus Beton [1]

Unter Verwendung neuartiger Betone lassen sich Fertigteilenelemente von gleichbleibend hoher Qualität zielsicher im Werk herstellen. Im Forschungsvorhaben wurden daher neue Rezepturen erprobt und im Hinblick auf den Transport und Einbau der Fertigteilenelemente geeignete Kopplungs- und Justierelemente erarbeitet. Das neue Fertigteilsystem soll künftig ermöglichen, größere Abschnitte der Infrastruktur innerhalb kurzer Sperrzeiten und dabei gleichzeitig ressourceneffizient zu ertüchtigen.

2 Projektergebnisse

Im Rahmen des Projekts ging es schwerpunktmäßig um die Erarbeitung eines innovativen Fertigteilsystems aus Beton, mit dem innerstädtische Fahrbahnbereiche innerhalb kürzester Zeit erneuert werden können. Die Arbeiten dafür wurden in verschiedene Arbeitspakete aufgeteilt, die Fragestellungen sowohl zu den baustofftechnischen als auch zu den konstruktiven Aspekten des zu entwerfenden Fertigteilsystems umfassten.

Zu Beginn des Projekts wurden 9 neuartige Betonrezepturen konzipiert, mit dem Ziel, die Materialfestigkeit der Betone maßgebend zu erhöhen. Anhand ei-

nes intensiven Materialscreenings sowie erster Laborversuche konnten Vorzugsgemische für den Einsatz als Fertigteillement ermittelt werden. Diese zeichneten sich zum einen durch ihre hohen Frühfestigkeiten aus, um ggf. den Beanspruchungen im Zuge eines Transport- und Einbauvorgangs Rechnung tragen zu können. Zum anderen konnten auch hohe Endfestigkeiten erreicht werden, um somit die verkehrlichen und klimatischen Beanspruchungen nach der Verlegung der Betonplatten zu ertragen.

Für die konstruktive Umsetzung des Fertigteilsystems wurden daraufhin Untersuchungen hinsichtlich des Einbauverfahrens durchgeführt. Im Zuge des Forschungsvorhabens konnte seitens der Forschungspartner insbesondere das Höhenjustiersystem »HESTER-Kombi« erarbeitet werden, das erstmals ermöglichte, die Funktionen als Transportanker, als Höhenjustierelement und als Injektionskanal im Betonfertigteilssystem zu kombinieren.

Im Ergebnis konnte das Forschungsvorhaben ein modulares Betonfertigteilssystem für eine schnelle, qualitativ hochwertige und weitestgehend witterungsunabhängige Durchführung von Instandsetzungsmaßnahmen in Betonverkehrsflächen konzipieren.

3 Fazit der Forscher

Basierend auf den Erkenntnissen aus theoretischen und labortechnischen Untersuchungen erfolgte auf dem duraBASt-Gelände (Demonstrations-, Untersuchungs- und Referenzareal in Köln) ein Großversuch, bei dem die Fertigteile auf einer Fläche von rd. 20 m Länge und 3,90 m Breite als Demonstrator umgesetzt wurden. Dieser Demonstrator sollte zur Bewertung der erarbeiteten Konzepte dienen und das Einbauverfahren im Realmaßstab erproben. Insgesamt wurden im Großversuch 8 Fertigteilplatten mit den Abmessungen von 2,47 m × 3,90 m × 0,24 m und einem Gewicht von 5,8 t je Fertigteil eingebaut.

Im Ergebnis konnte mit dem Praxisversuch bestätigt werden, dass sich die Fertigteile ohne größere Probleme einsetzen ließen und die Verlegearbeiten bereits nach kurzer Zeit abgeschlossen werden konnten (Bild 2). Dabei zeigte sich, dass alle Kopplungsvarianten sich für den Einsatz auf der Baustelle als praktikabel herausstellten und das konzipierte Höhenjustiersystem »HESTER-Kombi« für seine vorgesehenen Aufgaben einwandfrei funktionierte.

Die Ergebnisse des Vorhabens HESTER wurden auf zahlreichen Konferenzen und Anwendertagungen wie z.B. die Betonstraßentagung 2019 und der Bau-technik-Tag 2019 präsentiert.



Bild 2 Verlegung eines Betonfertigteillements [1, 2]

4 Verwertung durch WiTraBau

Fünf wesentliche Ergebnisse des Forschungsvorhabens »HESTER« wurden durch das WiTraBau-Konsortium identifiziert und 5 verschiedenen Erkenntnisstufen sowie 19 Verwertungsoptionen zugeordnet. Diese werden zur weiteren Verwertung sowohl mit den Projektpartnern von »HESTER« als auch in den Gremien des WiTraBau-Konsortiums diskutiert.

Ergebnis »Erforschung geeigneter Rezepturen und Herstellung für Betonfertigteile«

Auf Grundlage eines Materialscreenings und erster Tastversuche konnten verschiedene Betongrundrezepturen definiert und jeweils für den potenziellen Einsatz als Fertigteillement modifiziert werden. Aus den Betonrezepturen wurden dann entsprechende Prüfkörper hergestellt und dabei die straßenbautypischen Materialkennwerte (Spaltzugfestigkeit, Druckfestigkeit, Frost-Taumittelbeständigkeit etc.) ermittelt. Basierend auf den Ergebnissen konnte seitens der Forschungsnehmer schließlich eine geeignete Betonrezeptur festgelegt werden.

Das hier entworfene Fertigteilssystem wurde im Rahmen des Projekts auf verschiedenen Veranstaltungen vorgestellt. In Form eines Demonstrationsobjekts waren daran die wesentlichen Details der erzielten Forschungsergebnisse aufgeführt (s. Bild 3).



Bild 3 Darstellung des erarbeiteten Fertigteillements als Demonstrationsobjekt

Ergebnis »Entwicklung eines Kombinationssystems im Betonfertigteile«

Für das konzipierte Fertigteilsystem wurde im Projektverlauf ein geeignetes Einbauverfahren erarbeitet, bei dem die Betonfertigteile gezielt und dauerhaft verlegt werden konnten.

Erreicht wurde dies durch das »HESTER-Kombi«-System, das als sog. Einbauteil im Beton gemeinsam mit der Justier- und Injektionsschraube die Funktionen des Transportankers, des Höhenjustiersystems und des Injektionskanals ermöglichte. Der Vorteil dieses Systems lag somit in seiner 3-fach-Funktion, wodurch auch eine Anzahl an Öffnungen im Betonfertigteilelement reduziert werden konnte.

Ergebnis »Maschinen- und Einbautechnik zur Verlegung der Fertigteile«

Für die Einbau- und Verlegetechnik der Fertigteilelemente mussten diese in geeigneter Art und Weise an ein Hebegerät angeschlagen werden können. Hierzu kamen Geräte wie Bagger oder Mobilkrane in Frage, wobei Letztere für großflächigere und schwere Fertigteile (>4 t) dienen. Im vorliegenden Projekt wurden Mobilkrane für den Einbau des Fertigteilsystems verwendet. Die im Werk hergestellten Fertigteile konnten somit auf LKWs zur Baustelle transportiert und dort mit Hilfe des Mobilkrans direkt vom Fahrzeug aus eingebaut werden. Zum Einpassen der Fertigteile wurde auf den Einsatz von Stahlseilen und Schwertransportankern zurückgegriffen. Die Funktion der Schwerlastanker wurde durch das in die Fertigteile eingebaute System »HESTER-Kombi« übernommen (s. Bild 4, links).



Bild 4 Einbau der Betonfertigteile mit Transportankern (links) bzw. Hochleistungsgurten (rechts) [1]

Neben der Variante mit Transportankern wurde auch die Verlegung mit Hilfe von Hochleistungsgurten getestet (Bild 4, rechts). Dafür wurden werkseitig an den Unterseiten der Fertigteilelemente entsprechende Aussparungen berücksichtigt, in denen die Gurte verlaufen konnten. Es zeigte sich bei der Erprobung, dass die Verlegung anhand der Gurte prinzipiell gut funktionierte, eine nachträgliche horizontale Ausrichtung jedoch etwas erschwert war. Dennoch konnten die Fertigteile auch mit dieser Variante bei einem Demonstrator einwandfrei verlegt werden.

Ergebnis »Verfüllmaterial für Fugen und Kopplungssystemen von Betonfertigteilen«

Nach Verlegung der Fertigteile mussten diese mit einem geeigneten Verfüllmaterial unterpresst werden, um eine dauerhafte Auflagerung der Platten gewährleisten zu können. Hierfür kam ein Silikatharz zum Einsatz. Das Einbringen dieses Materials erfolgte dabei über vorgesehene Verpressöffnungen (»HESTER-Kombi«) im Betonfertigteile. Hierbei lief das Silikatharz während des Verpressens unter die Platten, wo es dann in die Fuge sowie Hohlräume der Kopplungselemente aufstieg und diese gleichmäßig verfüllen konnten. Die oberen Fugenbereiche wurden anschließend mit einem konventionellen, bitumenhaltigen Fugendichtstoff verschlossen.

Ergebnis »Sanierung von Bushaltestellen mit Betonfertigteilen«

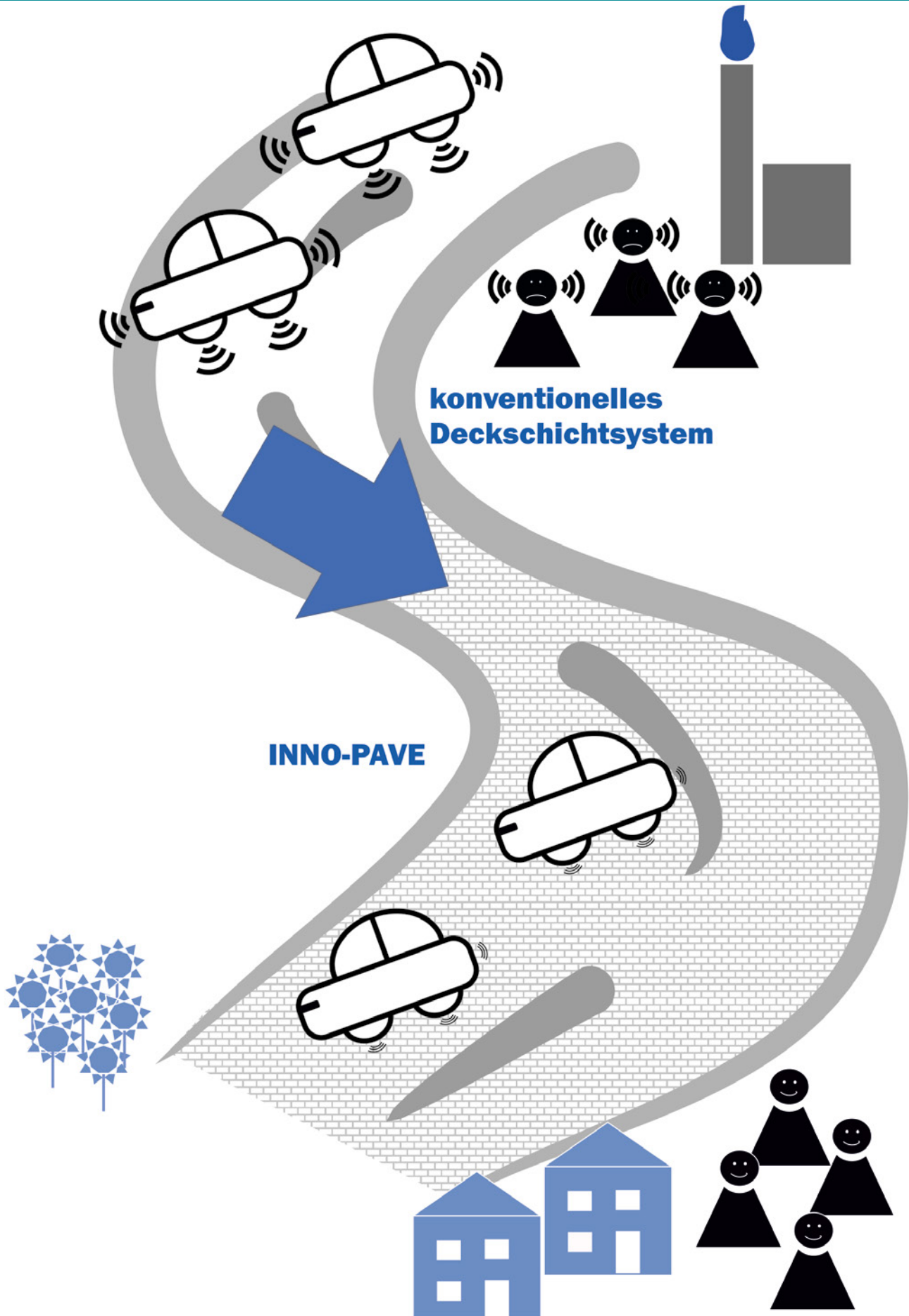
Auf Basis der erzielten Erkenntnisse wurden im Laufe des Projekts weitere Demonstratoren erstellt. Dafür wurden zu sanierende Bushaltestellen mit unterschiedlichem Schädigungsgrad in Berlin besichtigt und ausgewählt. Bei einer Bushaltestelle in Berlin-Marzahn wies die 30 m lange und 3 m breite Betonfahrbahn bereits eine Vielzahl von Rissen auf, weshalb diese mit Hilfe des im Projekt erarbeiteten Fertigteilsystems zu ersetzen war. Insgesamt wurden 14 Fertigteile für die Sanierung eingeplant. Der komplette Einbau der Fertigteile erfolgte innerhalb eines Tages, wobei zunächst alle 14 Fertigteile nacheinander verlegt sowie lage- und höhenmäßig ausgerichtet wurden (Bild 5, links). Nach erfolgter Höhenjustierung wurden die Hohlräume unter den Fertigteilen sowie die Fugenbereiche mit dem Silikatharz verpresst und verschlossen. Bild 5 (rechts) zeigt die fertiggestellte Bushaltestelle etwa zwei Monate nach der Freigabe für den Verkehr.



Bild 5 Verlegung der Fertigteile (links) und Aufnahme der fertigen Bushaltestelle (rechts) [1]

5 Literatur

- [1] Villaret Ingenieurgesellschaft mbH, HESTER Abschlussbericht 13XP5000A.
- [2] Heinz Schnorpfeil Bau GmbH, HESTER Abschlussbericht 13XP5000E.





INNO-PAVE

Grundlegende Erforschung polymerer Werkstoffe sowie innovativer Herstellungs- und Einbautechnologien für Straßendeckschichtsysteme

WiTraBau-Verwertungskordinator: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V. (FGSV)

Abstract: Das Ziel des Forschungsprojektes INNO-PAVE ist die Realisierung einer unter konstanten Bedingungen herstellbaren und mehrschichtigen Straßendeckschicht unter Verwendung polymerbasierter und textiler Werkstoffe. Dieses vollkommen neuartige Straßenbaukonzept sieht eine hochpräzise industrielle Fertigung des Straßenbelages in engsten Toleranzbereichen vor. Hierdurch kann ein qualitätsgesicherter Bau der Deckschicht unter Reduzierung von schädlichen äußeren Einflüssen realisiert werden. Die Qualität steigt! Eine Instandsetzung vorhandener Straßen ist in vergleichsweise kurzer Zeit möglich. Die Eingriffe in den Verkehr und die damit verbundenen Umwelt- und Verkehrsbeeinträchtigungen sowie die daraus resultierenden betriebs- und volkswirtschaftlichen Kosten werden vermindert.

Keywords: Straßendeckschichtsystem; polymerbasierte Werkstoffe; multifunktionale Straßenoberfläche; lärmreduzierende Straßenoberfläche; textilbewehrte Straße

1 Projektziel

Zielstellung des Projekts INNO-PAVE war die grundlegende Erforschung neuer Werkstoffe für aufrollbare Straßendeckschichten sowie der erforderlichen Einbau- und Fertigungstechnologien von Grund auf. Die Dauerhaftigkeit und Griffigkeit sowie insbesondere die akustischen Eigenschaften gebräuchlicher lärmreduzierender Straßendeckschichten sollten signifikant übertroffen werden. Angestrebt wurde dabei eine dauerhafte lärmreduzierende Wirkung von mindestens 10 dB(A) mit einer akustischen und bautechnischen Lebensdauer von mindestens 25 Jahren. Dies entspricht einer gefühlten Halbierung des Verkehrsaufkommens und einer ca. vierfach längeren akustischen Lebensdauer im Vergleich zu heute üblichen lärmreduzierenden Bauweisen. Das neuartige INNO-PAVE-Deckschichtsystem sollte in einem mehrschichtigen Aufbau konzipiert werden, um die Anforderungen an die aus Vorprojekten bereits bekannten akustischen Eigenschaften zu erfüllen (s. Bild 1). Eine obere Texturschicht reduziert die Schallentstehung, während eine darunter befindliche Absorptionsschicht zusätzlich den Lärm absorbiert. Dieses neue Deckschichtkonzept soll u. a. ermöglichen, dass die Eingriffe in den Verkehr und die damit

verbundenen Umwelt- und Verkehrsbeeinträchtigungen sowie die daraus resultierenden betriebswirtschaftlichen und volkswirtschaftlichen Kosten (Zeitverluste infolge Stau) vermindert werden. Der Baufortschritt wird beschleunigt, die Qualität steigt und Verkehrsbehinderungen werden reduziert.

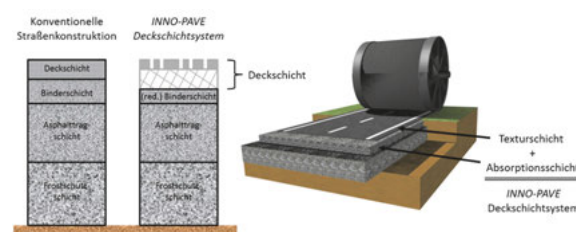


Bild 1 Konzept des INNO-PAVE-Deckschichtsystems [1]

2 Projektergebnisse

Zu Beginn des Projekts wurde eine umfassende Studie zu einem bereits entwickelten und getesteten Deckschichtsystem auf Polymerbasis aus einem Vorgängerprojekt durchgeführt. Aufbauend auf diesen Erkenntnissen wurde das zweischichtige Deckschichtsystem hinsichtlich der angestrebten Ziele neu konzipiert und weiterentwickelt.

Im Anschluss erfolgten erste Versuche zur Erforschung einer passenden Zusammensetzung der Materialien. Unter Anpassung der Mischgutzusammensetzung konnte eine geeignete Zusammensetzung für die Absorptionsschicht, bestehend aus einem Polyurethan-Gestein-Gummi-Gemisch, entwickelt werden. Für die Dimensionierung der Texturschicht wurde die bereits in einem Vorgängerprojekt untersuchte Struktur weiterentwickelt und optimiert.

Im Laufe des Projektes wurde von den Projektpartnern festgestellt, dass die Herstellung einer einzigen aufladbaren Texturschicht, aufgrund zu hoher Herstellungskosten nicht für die Umsetzung geeignet war. Daher wurden kleinere Einzelsegmente hergestellt, die schließlich zu einer gesamten Texturschicht zusammengesetzt wurden. Insgesamt konnte somit ein funktionierendes Fahrbahnsystem erarbeitet und im Realmaßstab als großflächige Teststrecke umgesetzt werden.

3 Fazit der Forscher

In der Schlussphase des Projekts wurde eine befahrbare Teststrecke mit einer Länge von 100 m sowie einer Breite von 3,5 m realisiert. Diese Teststrecke sollte die Wirkung des erarbeiteten Gesamtsystems im Realmaßstab nachweisen und das Einbauverfahren unter realen Bedingungen erproben. Dabei wurde für den Straßenaufbau ein konventioneller Oberbau verwendet. Lediglich die Deckschicht wurde durch das im Projekt neu entwickelte Deckschichtsystem substituiert. Die konzipierte Absorptionsschicht wurde mit einem sog. PU-Fertiger eingebaut. Hierfür wurde das Material für die Absorptionsschicht mittels einer entwickelten Dosieranlage vor Ort gemischt und vor dem Fertiger verteilt. Anschließend wurde die verdichtete Oberfläche maschinell geschliffen und vom Schleifgut befreit. Die Fertigung der Texturplatten erfolgte vorab in einem Technikum, die anschließend vor Ort auf der Absorptionsschicht verklebt und verbunden wurden (Bild 2). Für die Erprobung der Teststrecke wurden u. a. zeitraffende Verkehrsbelastungen und akustische Nahfeldmessungen durchgeführt.



Bild 2 Fertiggestellte Teststrecke mit Texturschicht [1]

Als Ergebnis zeigte sich, dass die Texturschichtoberfläche nach einer Überrollung von über 160.000 Zyklen den Belastungen standhielt. Es waren keine signifikanten Schädigungen bzw. Ausbrüche festzustellen. Im Bereich der Belastungen konnte lediglich der Gummiabrieb der Reifen auf der Texturschichtoberfläche beobachtet werden. Hinsichtlich der akustischen Wirksamkeit zeigte sich, dass die neue Fahrbahn eine tendenziell ähnliche Wirksamkeit wie andere lärmarme Bauweisen hatte.

4 Verwertung durch WiTraBau

Fünf wesentliche Ergebnisse des Forschungsprojekts »INNO-PAVE« wurden durch das WiTraBau-Konsortium identifiziert und 5 verschiedenen Erkenntnisstufen sowie 22 Verwertungsoptionen zugeordnet. Diese werden zur weiteren Verwertung sowohl mit den Projektpartnern von »INNO-PAVE« als auch in den Gremien des WiTraBau-Konsortiums diskutiert.

Ergebnis »Entwicklung einer porösen Absorptionsschicht«

Auf Grundlage einer detaillierten Literaturrecherche über poro-elastische Fahrbahnbeläge und eines Materialscreensings wurden im Projektverlauf gezielt Materialien zur Konzipierung der Absorptionsschicht ausgewählt. Die variierenden Materialzusammensetzungen wurden daraufhin im Labormaßstab mechanisch charakterisiert. In dieser Hinsicht erwies sich eine Materialzusammensetzung aus Gummigranulat, Gestein (Basalt und Kalkstein) und einem Polyurethan-Bindemittel als optimale Lösung.

Mit dieser neu entwickelten Zusammensetzung wurde eine erste Grundlage zur Schaffung eines neuen, dauerhaften poro-elastischen Asphalts aus Polyurethan-Asphalt geschaffen. Diese neu entwickelte Zusammensetzung sollte als Anknüpfungspunkt für weitere Forschungsarbeiten gesehen werden, um die Bauweise mit dem offenporigen polyurethanegebundenen Asphaltmischgut weiter zu entwickeln. In den entsprechenden Gremien der FGSV, wie bspw. dem Lenkungsausschuss LA 7 »Asphaltbauweisen«, soll das o. g. Ergebnis vorgestellt, diskutiert und weiterverfolgt werden.

Ergebnis »Dimensionierung der Texturschicht«

Die Dimensionierung der Texturschicht basierte auf einer Struktur, die bereits in einem Vorgängerprojekt untersucht und hinsichtlich ihrer akustischen Eigenschaften entwickelt wurde. Aufbauend auf diesen Ergebnissen wurden im Projektverlauf die mechanischen Eigenschaften der Polymermatrix und der Texturstruktur weiterentwickelt und optimiert. Die neu definierte Texturstruktur ist in Bild 3 dargestellt.

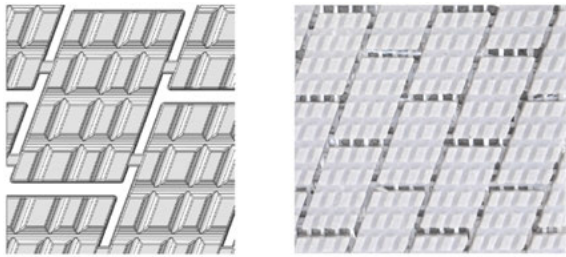


Bild 3 3D-Modell der Texturschichtplatte (links) und Aufnahme der Texturoberfläche (rechts) [1, 2]

Das Ergebnis liefert die Erweiterung einer Texturschicht, welche bereits in einem Vorgängerprojekt ausgiebig erforscht wurde. Die gewonnenen Erkenntnisse sollen als Anknüpfungspunkt für weitere Forschungsarbeiten gesehen werden, um die Bauweise der Texturschicht fortzuführen.

Ergebnis »Konstruktion einer Dosieranlage für die Mischgutzusammensetzung der Absorptionsschicht«

Für die Herstellung des Mischguts der konzipierten Absorptionsschicht wurde im Projektverlauf eine entsprechende Dosieranlage entwickelt und konstruiert, welche insbesondere eine In-situ-Herstellung des benötigten Materials ermöglichte (s. Bild 4). Diese Anlage wurde mit vier Füllstoffbehältern, einer Pumpe für das Polyurethangemisch und einer Reinigungseinrichtung ausgestattet.



Bild 4 Dosieranlage (links) und hergestelltes Mischgut (rechts) [1, 3]

Mit der Entwicklung der Dosieranlage wurde eine erste Grundlage zur In-situ-Herstellung des Mischguts der Absorptionsschicht erarbeitet. Dies sollte als Ausgangspunkt für weitere Forschungstätigkeiten dienen, um die Bautechnologie des Asphaltmischguts weiter zu entwickeln. Die Kompetenzen dafür liegen in den Gremien der FGSV, wie bspw. dem Arbeitsausschuss 7.4 »Bautechnologie«, wo das o. g. Ergebnis vorgestellt und diskutiert werden soll.

Ergebnis »Einbautechnologie für polyurethanegebundene, offene porige Absorptionsmaterialien (Absorptionsschicht)«

Für den Einbau der Absorptionsschicht wurde auf die vorliegenden Erkenntnisse der Gleitschalungstechnologie im Beton- und Asphaltbau zurückgegriffen. Hierfür wurde ein Gleitschalungsfertiger, der i. d. R. für den Einbau von Beton vorgesehen war, für die entsprechende Einbautechnologie der Absorptionsschicht aus Polyurethan (PU) modifiziert. Mit dem entwickelten PU-Fertiger wurden dann Einbauversuche und experimentelle Parameterstudien durchgeführt, um die optimalen Einstellungsparameter des PU-Fertigers bezogen auf das Einbaumaterial ermitteln zu können.

Ergebnis »Konstruktion einer Misch- und Dosieranlage für das Herstellungsverfahren der Strukturschicht«

Zur Herstellung der polymerbasierten Strukturschicht wurde seitens der Forschungsnehmer eine weitere Misch- und Dosieranlage entwickelt und konstruiert. Diese Anlage ermöglichte einen hochpräzisen Mischungsprozess bei definierter Zugabe der Mischgutanteile Zuschlagstoffe, Bindemittel und Härter (Bild 5).

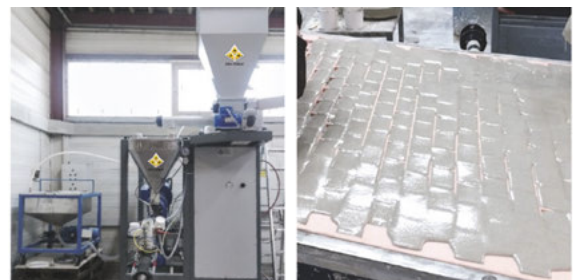


Bild 5 Dosier- und Mischanlage (links) und Herstellung der Texturschichtplatten (rechts) [1, 3]

Durch die Konstruktion einer Misch- und Dosieranlage sowie den Herstellungsprozess der Platten wurde ein erstes Konzept zur Herstellung der Texturschicht erarbeitet. In den entsprechenden Gremien der FGSV, wie bspw. dem Arbeitsausschuss 7.4 »Bautechnologie«, soll das o. g. Ergebnis vorgestellt und diskutiert werden.

5 Literatur

- [1] ISAC RWTH Aachen, INNO-PAVE Abschlussbericht 13XP5001F.
- [2] IFAM RWTH Aachen, INNO-PAVE Abschlussbericht 13XP5001F.
- [3] ADM-ISOBLOC GmbH, INNO-PAVE Abschlussbericht 13XP5001D.

MultiLC





MultiLC

Multifunktionale Leichtbetonbauteile mit inhomogenen Eigenschaften

WiTraBau-Verwertungskordinator: Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E.V. (DBV)

Abstract: Beton ist der leistungsfähigste und funktional am besten anpassbare Bauwerkstoff unserer Tage. Eine starke These im Umfeld starker Konkurrenz und gleichzeitig die beste Motivation die Weiterentwicklung dieses Werkstoffes voranzutreiben. Kein anderer Werkstoff vermag tragende und isolierende Funktionalität, gepaart mit dauerhaftem Widerstand gegen Expositionen, wie Hitze, Kälte, Regen oder sogar Ausnahmebelastungen, wie z.B. Brandfällen, bei gleichzeitiger vollständiger Rezyklierbarkeit zur Verfügung zu stellen. Genau dies war das Ziel des Verbundprojektes »Multifunktionale Leichtbetonbauteile mit inhomogenen Eigenschaften«.

Während traditionelle Wandkonstruktionen tragende und isolierende Funktionen durch einen Mix verschiedener Baustoffe realisieren, die am Ende ihrer Lebensdauer nur schwer wieder voneinander trennbar und rezyklierbar sind, sollte das Projekt MultiLC diese Eigenschaften mithilfe eines monolithischen, vollständig wieder rezyklierbaren Leichtbetonansatzes realisieren.

Ziel des Verbundprojektes war es, neuartige multifunktionale Fertigteile aus Leichtbeton zu entwickeln unter Berücksichtigung der Verbesserung bekannter Bindemittelkonzepte in Hinblick auf deren Nachhaltigkeit.

Keywords: Gebäudehülle, Energieeffizienz, Optimierung, Leichtbeton, Betonbauteil, Fassade, Wandelement, Materialforschung, Bauteil Infraleichtbeton, Hochleistungsbeton, Multifunktionalität, Festigkeitsverhalten, Wärmedämmung, Dämmeigenschaft, Photokatalyse, Bauteilaktivierung, Tragverhalten, Verformungsverhalten, Dauerhaftigkeit, Untersuchungsmethode, Demonstrationsobjekt

1 Projektziel

Die Errichtung und der Betrieb von Gebäuden sind mit sehr großen Energie- und Massenströmen verbunden. Daher sind Steigerungen der Energie- und Ressourceneffizienz sowie die Nachhaltigkeit auf diesem Gebiet besonders wichtig. Eine Möglichkeit, dies zu erreichen, bietet der Einsatz von High-Tech-Baustoffen, um so Materialien besser auszunutzen.

Ziel von MultiLC war es, neuartige multifunktionale Bauteile aus Leichtbeton zu entwickeln (siehe Bild 1). Ausgangspunkt bildete Infraleichtbeton. Dieser erlaubt es, wärmedämmende Betonwände aus nur einem Werkstoff herzustellen.

In einem multidisziplinären Team wollten konstruktive Ingenieure, Materialtechnologen, Bauphysiker und Partner aus der Industrie und Planung diese Wände mit weiteren Funktionalitäten versehen. Es sollten Wände konzipiert werden, die über den Querschnitt verteilte Festigkeits- und Wärmedäm-

meigenschaften mit Funktionen, wie Wärmespeicherung, Wandaktivierung, Vakuumisolation und Photokatalyse, kombinieren.

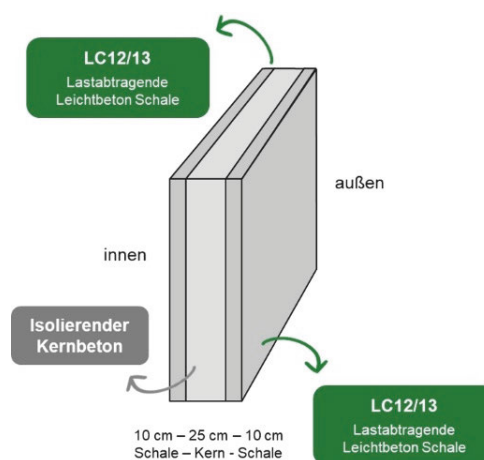


Bild 1 Wandaufbau multifunktionaler Leichtbetonausführung [6]

In den Arbeitsgruppen »Tragverhalten«, »Beton-technologie« und »Bauphysik« wurden je nach Expertise zunächst die theoretischen Grundlagen untersucht. Hierin wurden die Möglichkeiten zur Steuerung der Betoneigenschaften sowie das Tragverhalten untersucht. Außerdem wurden Ökobilanzen erstellt und Simulationen zur Bauteilaktivierung durchgeführt. Für eine baupraktische Anwendung und Marktfähigkeit wurden Überlegungen zur industriellen Herstellung, den entstehenden Kosten und konstruktiven Details angestellt. Durch das Vorhaben wurde eine ganzheitliche Lösung für eine Bauweise angestrebt, die ressourcensparend, umweltfreundlich, funktional, ästhetisch, rezyklierbar und nachhaltig ist.

2 Projektergebnisse

Multifunktionale Leichtbetonbauteile versprechen ein großes Marktpotential, da das nachhaltige Bauen von wachsender Bedeutung ist. Das liegt einerseits an der Leistungssteigerung des Betons, der dadurch als alleiniger Baustoff in einer Gebäudehülle verwendet werden kann. Durch den Wegfall komplexer, anfälliger, teurer und schwer zu entsorgender Wandaufbauten, ist der Einsatz von monolithischen Bauteilen eine attraktive Alternative. Durch dieses Vorhaben werden in 5 bis 7 Jahren neue Geschäftsfelder in allen Bereichen der Produktionskette entstehen, angefangen bei neuen Zement-Compositen (CEM VI, CSAB), über neue Betonsorten (Infra-Leichtbeton) speziell für die Herstellung von multifunktionalen Leichtbetonwänden. Die im Projekt gewonnenen Erkenntnisse können nicht nur für die Herstellung von Fertigteilen verwendet, sondern auch auf die Herstellung von Transportleichtbeton übertragen werden. Weiterhin ist der Einsatz in Kombination mit einer Aktivierung aus thermischer und energetischer Sicht sinnvoll, wenn die Vorlauftemperaturen ohne bzw. sehr geringen zusätzlichen energetischen Aufwand gewonnen werden können und somit in Energiekonzepte integriert werden können.

3 Verwertung durch die Projektpartner

Die Ergebnisse des Forschungsprojekts wurden in zahlreichen internationalen Fachzeitschriften sowie in der Ingenieurausbildung durch die Projektpartner verwertet. Weiterhin wurden die Ergebnisse des Projekts in den Kongressen ibausil 2018, 40th IABSE Symposium 2018, HighTechMatBau Konferenz am 31. Januar 2018 in Berlin und beim Deutschen Bautechnik-Tag 2019 vorgestellt.

4 Diskussion der Ergebnisse durch WiTraBau

Die WiTraBau-Verbundpartner unterstützten die forschenden Stellen beim Transfer ihrer Ergebnisse in die Praxis. Dies erfolgte basierend auf den vorab vom WiTraBau-Konsortium definierten Verwertungsoptionen und Erkenntnisstufen.

Vom WiTraBau-Konsortium wurden die folgenden mit dem Zuwendungsempfänger abgestimmten Projektergebnisse definiert:

- Betontechnologisches Verfahren zur Herstellung anisotroper Bauteile

Über Querschnitt verteilte Festigkeitseigenschaften

- Erfolgreicher Nachweis des Herstellungsverfahrens sowie der Eigenschaften an Demonstratoren
- Industrielle Herstellung: Kosten und konstruktive Details

Diese Projektergebnisse wurden den in Bild 2 dargestellten drei Erkenntnisstufen zugeordnet.

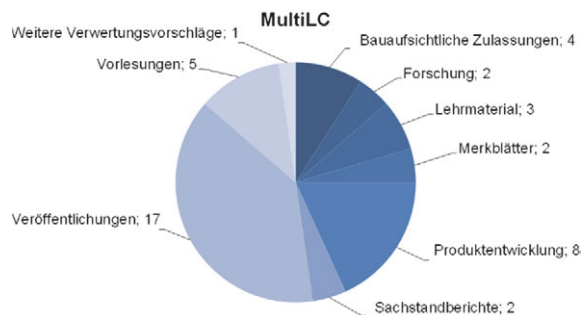


Bild 2 Verwertungsoptionen von MultiLC

Darüber hinaus identifizierte das WiTraBau-Konsortium für die o. g. Projektergebnisse die in Bild 3 aufgezeigten Verwertungsoptionen.

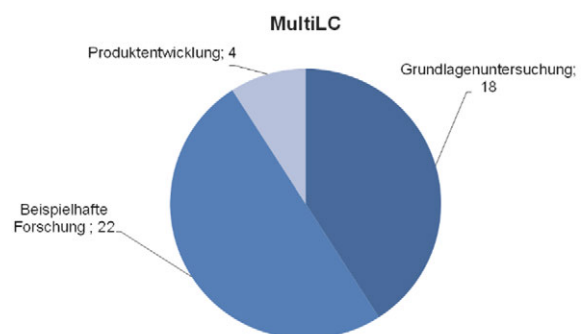


Bild 3 Erkenntnisstufen von MultiLC

5 Projektergebnisse

Vom Verwertungskoordinator, dem Deutschen Beton- und Bautechnik-Verein E.V., wurden die folgenden Verwertungsaktivitäten durchgeführt:

- Teilnahme an diversen MultiLC-Verbundtreffen u. a. zur Abstimmung und Aktualisierung des Verwertungsplans und geplanter Veröffentlichungen,
- Organisation der Veranstaltung »Tag der Forschung« am 13. Oktober 2017 in Berlin mit dem Vortrag »MultiLC – neue Entwicklungen zum Infraleichtbeton« von Herrn Professor Stephan zzgl. eines entsprechenden Fachartikels und eines Beitrags im DBV-Rundschreiben 255,
- Imagefilm »Neue Werkstoffe für urbane Infrastrukturen« mit Vorabstimmung der Filmsequenz zum Verbundvorhaben MultiLC mit der Basiliscus Film GbR, TU Berlin (Multifunktionswände aus Leichtbeton) und erstellen des Storyboards (inkl. Interviewpartner); Premiere des Imagefilms anlässlich der HTMB-Konferenz am 31.01.2018 in Berlin (bcc),
- Veröffentlichung des HighTechMatBau-Videos auf der DBV-Homepage,
- Pressemitteilung »WiTraBau – Wissenstransfer im Bauwesen« auf dem Deutschen Bautechnik-Tag 2019 in Stuttgart,
- Organisation des Vortrags »MultiLC – Multifunktionale Leichtbetonbauteile mit inhomogenen Eigenschaften« in der Arena beim Deutschen Bautechnik-Tag 2019,
- Veröffentlichung des HighTechMatBau-Videos beim Deutschen Bautechnik-Tag 2019; HighTechMatBau-Video wurde mit Ton in den Pausenzeiten im Vortragssaal und mit Untertiteln als Dauerschleife in dem Ausstellungsstand des DBV (DBV-Lounge) und in der Arena, wo Vorträge gehalten werden, abgespielt,
- Imagefilm »Energieeffizienz und Umweltschutz« und
- Veröffentlichung »Multifunktionale Leichtbetonbauteile mit inhomogenen Eigenschaften – Ergebnisse der Arbeitsgruppe Betontechnologie aus dem Verbundprojekt MultiLC« im DBV-Rundschreiben 263 Dezember 2019.

Von den anderen WiTraBau-Verbundpartnern erfolgten darüber hinaus die folgenden Verwertungsaktivitäten:

- Vorstellung des Projektes anhand von Folien und Handzetteln im Rahmen des WiTraBau-Messestandes bei der Messe BAU2017,
- Aufnahme in Forschungsprojektdatenbank BAUFO und Literaturdatenbank RSWBplus, Link

zum Abschlussbericht, Bericht auch zugänglich über www.baufachinformation.de,

- Organisation des Vortrags zum Verbundforschungsvorhaben und Beitrag im Tagungsband bei der HTMB-Konferenz am 31. Januar 2018 in Berlin,
- Präsentation von MultiLC im Rahmen der Demonstratorausstellung der HTMB Konferenz am 31. Januar 2018 in Berlin,
- Vortrag von Herrn Illner (Fraunhofer IBP) auf dem Dämmstoffsymposium 2018 in Stuttgart undp
- Vortrag von Herrn Prof. Stephan (TU Berlin) beim »Themenkolloquium TiO2« am 8. Oktober 2019 beim VDZ in Düsseldorf

6 Literaturreferenzen

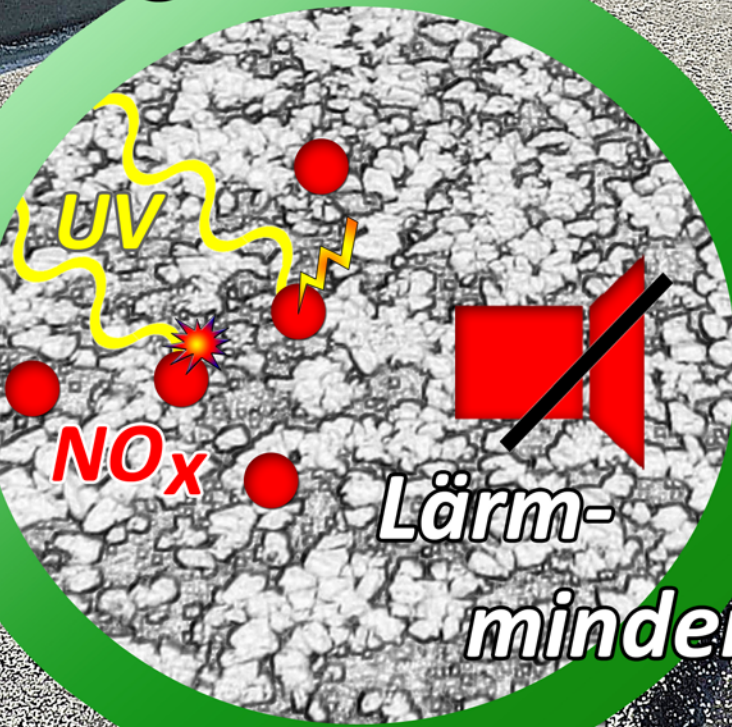
- [1] HeidelbergCement: MultiLC: Multifunktionale Leichtbetonbauteile mit inhomogenen Eigenschaften, Teilvorhaben: Verbesserung bekannter Bindemittelkonzepten im Hinblick auf Nachhaltigkeit und die Anwendung als inhomogener Leichtbeton, Abschlussbericht 13XP5010A.
- [2] TU Berlin: MultiLC: Multifunktionale Leichtbetonbauteile mit inhomogenen Eigenschaften, Teilvorhaben: Mechanische, Bauchemische und Bauphysikalische Untersuchungen, Abschlussbericht 13XP5010B.
- [3] Transsolar: MultiLC: Multifunktionale Leichtbetonbauteile mit inhomogenen Eigenschaften, Teilvorhaben: Bestimmung der energetischen Materialeigenschaften und aktiven sowie passiven Potentialen der Bauteile, Abschlussbericht 13XP5010C.
- [4] schlaich bergemann partner: MultiLC: Multifunktionale Leichtbetonbauteile mit inhomogenen Eigenschaften, Teilvorhaben: Multifunktionale Leichtbetonbauteile mit inhomogenen Eigenschaften, Abschlussbericht 13XP5010D.
- [5] Sika: MultiLC: Multifunktionale Leichtbetonbauteile mit inhomogenen Eigenschaften, Teilvorhaben: Anpassung von bauchemischen Zusatzmitteln, insbesondere Fließmitteln, Abschlussbericht 13XP5010E.
- [6] Wagner, E.; Stephan, D.; Blask, O. et al.: Multifunktionale Leichtbetonbauteile mit inhomogenen Eigenschaften – Ergebnisse der Arbeitsgruppe Betontechnologie aus dem Verbundprojekt MultiLC, DBV-Rundschreiben 263 – Dezember 2019, S. 7–10.

NaHiTAs



Nachhaltigkeit

Schadstoff-
abbau



Lärm-
minderung

Innovative
Verlegetechnik



NaHiTAs

Nachhaltiger HighTech-Asphalt: Schadstoff- und lärmindernd mit neuer Materialverarbeitung und -überwachung

WiTraBau-Verwertungskoordinator: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V. (FGSV)

Abstract: In deutschen Städten steigen aufgrund der stetig wachsenden Verkehrszahlen auch zunehmend die Belastungen auf die Umwelt und die Gesundheit des Menschen. Zwei sehr aktuelle und schwerwiegende Aspekte dieser Belastungen bilden die verkehrsbedingten hohen Stickoxidgehalte in der Luft sowie die hohe Lärmentwicklung entlang der Straßen, für die im Rahmen des NaHiTAs-Projekts Reduzierungsmaßnahmen erarbeitet werden. Das Ziel des Projekts ist die Erforschung einer nachhaltigen Fahrbahnoberfläche aus Asphalt, die sowohl stickoxid- als auch lärmindernde Eigenschaften aufweist. Zum Erreichen dieser Eigenschaften soll auf die Oberfläche der Asphaltfahrbahn eine spezielle, synthetische Gesteinskörnung aufgebracht und dauerhaft in die Deckschicht eingebunden werden.

Keywords: Asphalt; Stickoxidabbau; Photokatalyse; Lärminderung; Nachhaltigkeit; Einzelkornablage; Automatisierung und Überwachung des Asphalteinbaus

1 Projektziel

Das übergeordnete Ziel des Projekts »NaHiTAs« war die Erforschung einer nachhaltigen, multifunktionalen Fahrbahnoberfläche aus Asphalt, die zusätzlich neben den standardmäßigen Anforderungen auch stickoxid- und lärmindernde Eigenschaften aufweisen sollte. Zum Erreichen dieser Ziele sollte ein Einbaumaterial konzipiert werden, das als Besonderheit Titandioxid (TiO_2) enthält und somit als photokatalytisch aktives Material unter der Einwirkung von UV-Strahlung (Sonnenlicht) Stickoxide in der Luft abbauen kann.

Die Stickoxidreduzierung basiert dabei auf der Photokatalyse, bei der giftige Stickoxide in unschädliche Nitrate umgewandelt werden und dann an der Asphaltoberfläche verbleiben, bis diese schließlich vom Regen abgewaschen werden (Bild 1). Der Photokatalysator TiO_2 im Einbaumaterial selbst wird bei der Luftreinigung nicht verbraucht, sondern bleibt funktionsfähig und dauerhaft in der Asphaltfahrbahnoberfläche erhalten.

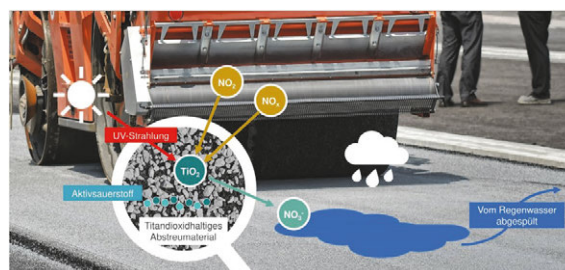


Bild 1 Funktion eines TiO_2 -haltigen Asphaltstraßenbelags [1]

Neben der stickoxidmindernden Eigenschaft sollte die Lärminderung der Fahrbahn durch die Schaffung einer geeigneten Textur erreicht werden. Für den Einbau sollte das Konzept zudem maschinentechnisch bis in die Praxis begleitet werden, sodass in Abhängigkeit des erarbeiteten Materials spezielle Einbaumaschinen entwickelt werden können. Insgesamt werden auf diese Weise zukünftig ein wesentlicher Beitrag zur Reduzierung der Schadstoffbelastung geleistet, die Lebensqualität in Bereichen mit stark befahrenen Verkehrswegen nachhaltig verbessert und die Aufrechterhaltung sowie Qualität der Verkehrsinfrastruktur optimiert.

2 Projektergebnisse

Im Rahmen des Projekts wurde schwerpunktmäßig die Entwicklung eines innovativen Einbaumaterials mit photokatalytischen Eigenschaften erforscht. Dafür wurden zunächst zwei Varianten in Betracht gezogen, zum einen die Beschichtung einer natürlichen Gesteinskörnung mit einer aktiven TiO_2 -Schicht und zum anderen die Herstellung eines synthetischen Granulats aus titandioxidhaltigem Ultrahochleistungsbeton (UHPC).

Zur Bewertung der beiden Varianten wurden erste Laboruntersuchungen bezüglich ihrer Herstellbarkeit und Umsetzbarkeit als photokatalytisch aktivierte Einbaumaterialien durchgeführt. Bei der Beschichtung einer natürlichen Gesteinskörnung erwies sich diese Variante als sehr aufwendig, wodurch das Erreichen einer konstanten Qualität erheblich erschwert wurde und sich somit für die Verwendung im Straßenbau als nicht zielführend herausstellte. Daher erfolgte die Festlegung auf ein synthetisch gebrochenes Granulat aus titandioxidhaltigem UHPC. Für die praxisnahe Umsetzung des erarbeiteten Konzepts wurden im Projektverlauf dann mehrere Feldversuche auf den Versuchsgeländen der Projektpartner durchgeführt. Während der Feldversuche konnten alle relevanten Einbauparameter, wie z. B. die Einbindung des Einbaumaterials in die Asphaltdeckschicht, die Lärmabsorption sowie die photokatalytische Wirkung systematisch untersucht werden.

3 Fazit der Forscher

In der Schlussphase des Projekts wurde mit dem letzten Feldversuch eine Versuchsstrecke von etwa 50 m Länge und 2,5 m Breite umgesetzt (s. Bild 2, links). Diese Versuchsstrecke sollte zur abschließenden Bewertung der erarbeiteten Konzepte dienen und das Einbauverfahren im Realmaßstab erproben. Dabei wurde für den Einbau ein Asphaltmischgut aus Splittmastixasphalt gewählt. Darauf wurde dann das konzipierte UHPC-Granulat eingebracht und mittels Walzen in die noch heiße Asphaltoberfläche einge-
rollt (s. Bild 2, rechts).



Bild 2 50 m lange Versuchsstrecke (links) und Nahaufnahme der Oberfläche (rechts) [2]

Für die Erprobung wurden u. a. akustische Nahfeldmessungen (CPX-Methode) und Oberflächentexturmessungen durchgeführt, um die Fläche hinsichtlich ihrer lärmreduzierenden Eigenschaften zu untersuchen. Als Ergebnis zeigte sich, dass die fertiggestellte Versuchsstrecke eine Geräuschminderung von bis zu -3 dB(A) gegenüber herkömmlichen Asphaltoberflächen erzielen konnte, was für das menschliche Ohr einer Halbierung der Lautstärke entspricht.

4 Verwertung durch WiTraBau

Vier wesentliche Ergebnisse des Forschungsvorhabens »NaHiTAs« wurden durch das WiTraBau-Konsortium identifiziert und vier verschiedenen Erkenntnisstufen sowie 19 Verwertungsoptionen zugeordnet. Diese werden zur weiteren Verwertung sowohl mit den Projektpartnern von »NaHiTAs« als auch in den Gremien des WiTraBau-Konsortiums diskutiert.

Ergebnis »Konzeption eines multifunktionalen Abstreumaterials mit photokatalytischen Eigenschaften«

Grundlage für die Konzeption des multifunktionalen Abstreumaterials bildete eine synthetisch hergestellte Gesteinskörnung aus Ultrahochleistungsbeton (UHPC), bei dem photokatalytisch aktives Titandioxid (TiO_2) gleichmäßig über das gesamte Volumen verteilt war (s. Bild 3, links).

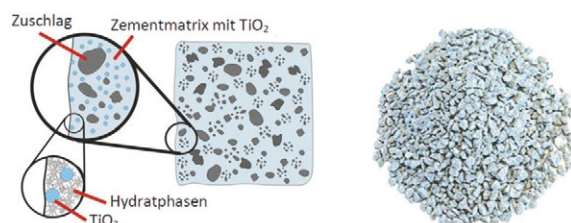


Bild 3 Aufbau des titandioxidhaltenden UHPC (links) und Darstellung als gebrochenes Granulat (rechts) [3, 4]

Das Einbaumaterial sollte dabei eine definierte Form aufweisen, um eine entsprechende Lärminderung mit der Fahrbahntextur erreichen zu können. Dafür wurden im Projektverlauf verschiedene Formansätze erprobt, wobei sich die Form als gebrochenes Granulat letztendlich bewährt hatte (s. Bild 3, rechts).

Ergebnis »Einfluss von Titandioxid auf die Bitumeneigenschaften im Asphalt«

Abgesehen von dem Abbau der Stickoxide kann eine Photokatalyse auch zur Zersetzung organischer Substanzen führen. Für das Konzept ergibt sich somit das potenzielle Risiko, dass durch die Photokatalyse das organische Bitumen im Asphalt angegriffen wird. Um

diese potenzielle Gefahr zu bewerten, wurde im Rahmen des Projekts auch der Einfluss des Titandioxids (TiO_2) auf die Bitumenalterung mithilfe umfassender physikalischer und chemischer Verfahren untersucht. Als Resultat konnten sowohl physikalisch als auch chemisch gleichbleibende bzw. nur geringere Alterungsauswirkungen im Bitumen beobachtet werden. Infolge des verwendeten TiO_2 waren somit keine negativen Auswirkungen auf die Alterung des Bitumens festzustellen.

Ergebnis »Feldmessungen im Straßencanyon zur Bewertung der photokatalytischen Aktivität«

Neben den Laboruntersuchungen wurde im Forschungsprojekt ein Erprobungsareal speziell zur Bewertung des Abbaupotentials von photokatalytisch aktivierten Asphaltoberflächen errichtet. Dafür wurden in Anlehnung an das Modell eines Straßencanyons drei parallel verlaufende Wände realisiert, die dadurch zwei nebeneinanderliegende Straßenschluchten simulierten (Bild 4, links).

Das Testareal umfasste somit zwei Teilbereiche, in denen eine photokatalytisch aktivierte Fahrbahn mit einer inaktiven Fahrbahn verglichen werden konnte. Durch ein Rohrsystem wurde in beide Straßenschluchten stickoxidbelastetes Abgas eingeleitet, das mithilfe eines entsprechenden Dieselmotors erzeugt wurde (Bild 4, rechts).



Bild 4 Straßencanyon (links) und Darstellung des Rohr-Abgases (rechts) [1, 4]

Mithilfe von umfangreichen Messreihen konnte anschließend das Abbaupotential der beiden Flächen bei kontinuierlicher Schadstoffbelastung sowie gleichen realen Witterungs- und Sonneneinstrahlungsbedingungen ermittelt werden. Als Ergebnis ließ sich bei optimalen Witterungsbedingungen eine schadstoffmindernde Wirkung des innovativen Abstreumaterials mit photokatalytischen Eigenschaften von bis zu 26 % nachweisen.

Ergebnis »Entwicklung eines fertigerintegrierten Streuers mit Innovationsbunker«

Für die Einbringung des photokatalytisch aktivierten Granulats wurde im Projektverlauf ein Einbauverfahren entwickelt, bei dem das Abstreumaterial gezielt

und dauerhaft in die Asphaltoberfläche eingearbeitet werden konnte. Erreicht wurde dies durch eine ausgiebige Marktanalyse verschiedenster Streutechnikverfahren, sodass seitens der Forschungspartner ein geeigneter Streuer konzipiert wurde, mit dem das Granulat durch eine speziell geformte Walze zielgerecht an definierten Positionen abgelegt werden konnte (s. Bild 5, links).

Damit eine verbesserte Einbindung des Abstreumaterials erfolgen kann, wurde der konzipierte Streuer hinter der Einbaubohle eines Straßenfertigers integriert. Bei diesem Einbauverfahren konnte das Abstreumaterial technisch einwandfrei auf die noch heiße Asphaltoberfläche aufgestreut und in einem Arbeitsgang mit Walzen in die frische Asphaltdeckschicht eingerollt werden.



Bild 5 Abstreuerung des photokatalytischen Granulats (links) über den fertigerintegrierten Streuer mit Innovationsbunker (rechts) [1]

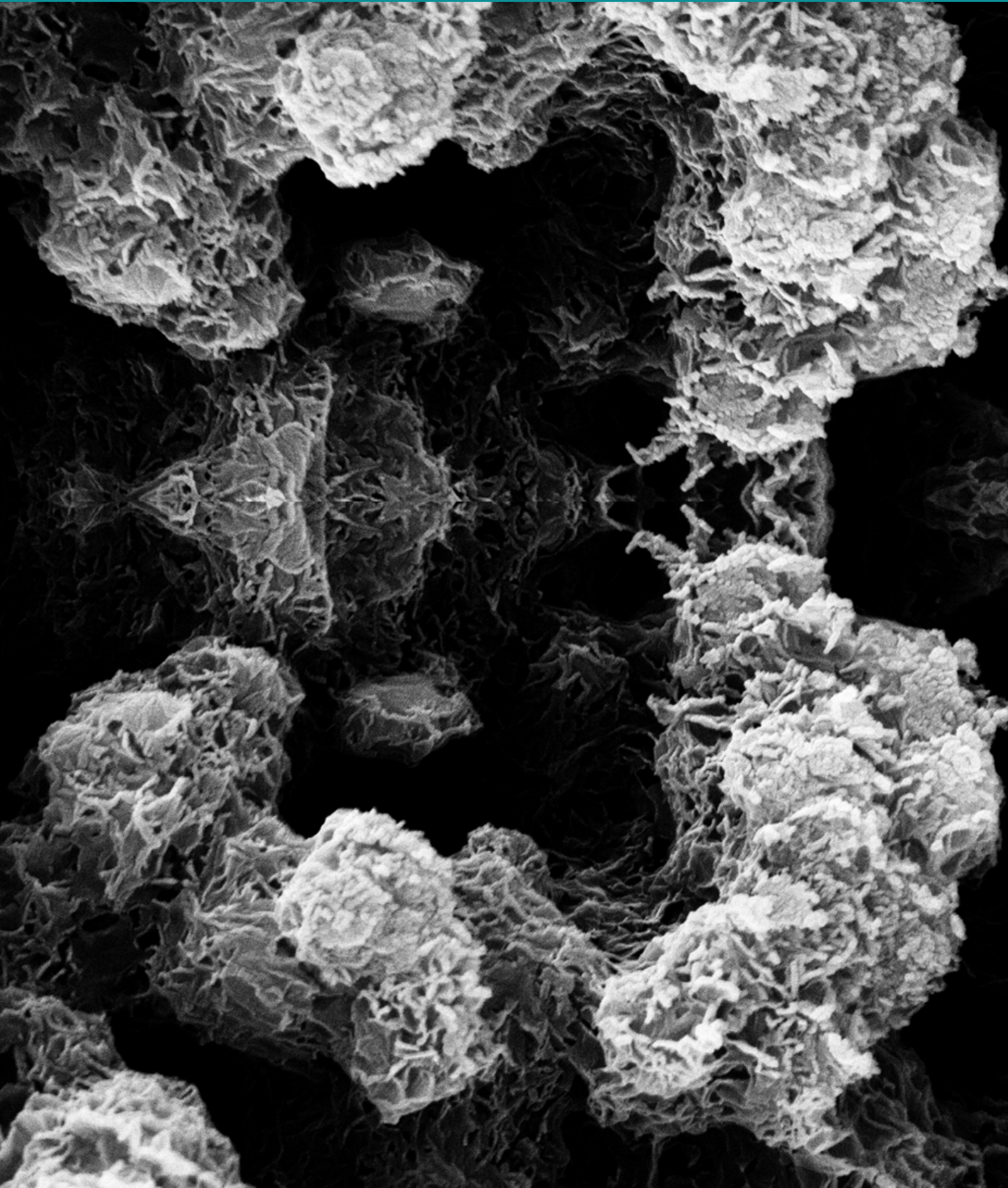
Um den fertigerintegrierten Streuer kontinuierlich und ohne Unterbrechung des Einbauprozesses mit dem erarbeiteten Abstreumaterial befüllen zu können, wurde im gleichen Zuge von den Forschungsteams ein sog. Innovationsbunker mit Beschickungskonzept realisiert (s. Bild 5, rechts). Dieser Innovationsbunker setzte sich hauptsächlich aus einem Asphalt- und einem Streumaterialbunker zusammen und mittels eines geeigneten Förderbands ließ sich das Abstreumaterial zu dem hinter der Einbaubohle integrierten Streuer fördern. Mit der Entwicklung und Konstruktion des fertigerintegrierten Streuers mit Innovationsbunker wurde eine Grundlage zum maschinellen Einbau des Abstreumaterials erarbeitet.

5 Literatur

- [1] TPA GmbH, NaHiTAs Abschlussbericht 13N13317.
- [2] Müller-BBM GmbH, NaHiTAs Abschlussbericht 13N13315.
- [3] Fachgebiet Baustoffe und Bauchemie, Technische Universität Berlin, NaHiTAs Abschlussbericht 13N13109.
- [4] F.C. Nüdling Betonelemente GmbH & Co. KG, NaHiTAs Abschlussbericht 13N13314.

NAPOS

HighTech
MatBau 1



NAPOS

Nanoporöser druckfester Porenbetonstein hergestellt unter Einsatz von Calciumsilikat-Binder

WiTraBau-Verwertungskoordinator: VDZ Technology gGmbH (VDZ)

Abstract: Im Forschungsvorhaben NAPOS sollten Porenbetonsteine entwickelt werden, die sowohl eine hohe Wärmedämmung als auch hohe Festigkeiten aufweisen und somit sowohl tragende wie auch dämmende Eigenschaften in einem Produkt vereinen. Hierzu wurden leichte Zuschläge auf Basis von Calciumsilikathydrat-Bindemitteln entwickelt. Eine erfolgreiche Produktion konnte sowohl in Labor- wie auch in Werksversuchen umgesetzt werden. Nach Projektende sind noch weitere Optimierungsschritte zu erbringen, um das Produkt zur Marktreife zu führen. Ein solches Produkt kann zukünftig ein Beitrag sowohl zum Klima- als auch zum Ressourcenschutz leisten.

Keywords: Porenbeton, Wärmedämmung, Festigkeit, Calciumsilikathydrat, leichte Gesteinskörnung

1 Projektziel

Im Lebenszyklus eines Gebäudes entfällt heute der größte Energieverbrauch auf die Nutzungsphase. Für Raumwärme bzw. Raumkühlung werden etwa 30 % des Energieverbrauchs in Deutschland aufgewendet. Eine effiziente Wärmedämmung für Wohngebäude ist daher einer der Schlüssel zur Umsetzung der Energiewende. Als Dämmtechnologie für Außenwände werden heute meist Verbünde aus Dämmstoff und tragendem Bauteil genutzt, die schwer recycelbar sind und überwiegend aus begrenzt verfügbaren Rohstoffen bestehen.

Das Ziel des Projekts NAPOS war es daher, einen massiven, homogenen und nanoporösen Baustein auf Basis von Porenbeton zu entwickeln. Dieser sollte sowohl eine vollwertige Wärmedämmfunktion und hohe Tragfähigkeit aufweisen als auch möglichst leicht und vollständig recycelbar sein.

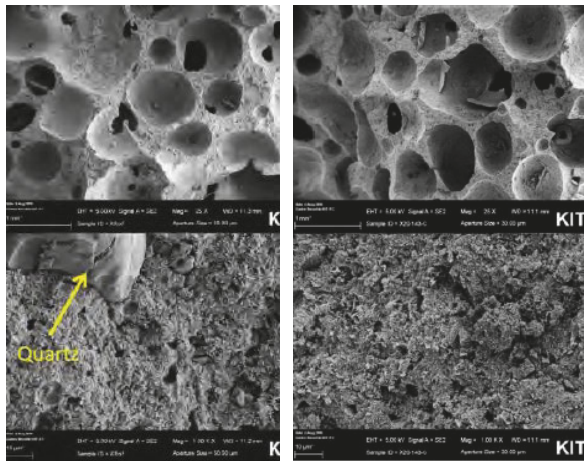
Zu diesem Zweck sollte die Wärmeleitfähigkeit der zu entwickelnden Porenbetonsteine deutlich reduziert werden. Ebenfalls soll eine leichte Gesteinskörnung entwickelt werden, die die gleiche Zusammensetzung wie die Matrix des Porenbetonsteins besitzen. Für beides wurden speziell zu entwickelnde hydraulische Calciumhydrosilikate verwendet und in Autoklaven gehärtet.

2 Projektergebnisse

Zunächst wurde ein Bindemittel mit einem reaktiven Anteil von über 70 % synthetisiert. Für den Einsatz als leichte Gesteinskörnung in Porenbeton erwiesen sich Bindemittel mit relativ geringen Gehalten an hydraulisch reaktivem Calciumhydrosilikat und damit verbundener geringer 28-Tage Festigkeit und dennoch hohen Frühfestigkeiten als optimal geeignet.

Es konnten sowohl geeignete Granalien als leichte Gesteinskörnung als auch homogene Porenbetonprobenkörper im Labormaßstab hergestellt werden. Eine geeignete Grünstandfestigkeit konnte erreicht werden.

Es wurde gezeigt, dass die Zugabe von Granalien die Ausbildung der Poren während der Herstellungsprozesse von Porenbeton nicht beeinträchtigt (Bild 1). Die Verwendung des Granulats führte zu einer Absenkung der Wärmeleitfähigkeit des Porenbetons.



Porenbeton Referenz

Porenbeton mit Einsatz von
ausgehärteten GranalienBild 1 Vergleich der Morphologie von Porenbeton mit
und ohne Zugabe von Granalien

Auch im Werksversuch konnten erfolgreich Porenbetonsteine hergestellt werden. Der NAPOS-Füller ist der erste Füllstoff, der bei Einsatzmengen von mehr als 30 % kaum negativen Auswirkungen auf das Festigkeitsniveau des Porenbetons hat. Dies stellt nach Darstellung des Zuwendungsempfängers einen Meilenstein bei der Porenbetonentwicklung dar.

In weiteren, nicht im Forschungsvorhaben bearbeiteten Entwicklungsschritten könnte die Trockenrohdichte der leichten Gesteinskörnung weiter abgesenkt werden, was mit einer weiteren Senkung der Wärmeleitfähigkeit verbunden wäre.

3 Fazit der Forscher

Mit den bei dem ersten Großversuch hergestellten Porenbetonsteinen wurde eine Wand zu Demonstrationszwecken aufgebaut. Die Steine konnten mit einem herkömmlichen Dünnbettmörtel vermauert werden.

Vor dem Hintergrund, dass das Thema Ressourceneffizienz erheblich an umwelt- und wirtschaftspolitischer Bedeutung gewonnen hat, wäre die Realisierung eines hochwärmedämmenden monolithischen Mauersteins in entsprechender Festigkeitsklasse äußerst interessant. Allerdings wäre hierzu der Gehalt an leichten Gesteinskörnungen noch deutlich zu erhöhen. NAPOS stellt somit ein Einstiegsprojekt zur weiteren Entwicklung marktgängiger Produkte dar.

4 Verwertung durch WiTraBau

WiTraBau hat auf Basis des Abschlussberichts des Verbundforschungshabens verschiedene Ergebnisse identifiziert und diese der Erkenntnisstufe »Produktentwicklung« zugeordnet. Die Projektergebnisse wurden sowohl mit den Forschern als auch mit verschiedenen weiteren Experten aus der Zement- und Betonindustrie diskutiert.

Es wurden spezielle Granalien entwickelt, mit denen Porenbetone vergleichsweise hoher Festigkeit hergestellt werden konnten. Die Wärmedämmeigenschaften sind jedoch noch zu optimieren.

Ein weiteres Ziel des Projektes war die Entwicklung eines Porenbetons, der ggf. auch ohne den Einsatz von Treibmitteln die geforderten Festbetoneigenschaften aufweist. Hierzu müssen jedoch die im Projekt verwendeten Granalien weiter optimiert werden. Es besteht daher zusätzlicher Forschungsbedarf zur Verringerung der Dichte der Granalien, zur Nutzbarmachung größerer Fraktionen sowie zur Verwendung eines möglichst hohen Anteils der Granalien im Porenbeton. Insbesondere größere Granalien zeigten in den Versuchen zum Teil deutliches Sedimentationsverhalten. Daher muss in weiteren Arbeiten die Sedimentationsstabilität des frischen Porenbetons – ggf. durch Verwendung von Sedimentationshemmern – verbessert werden.

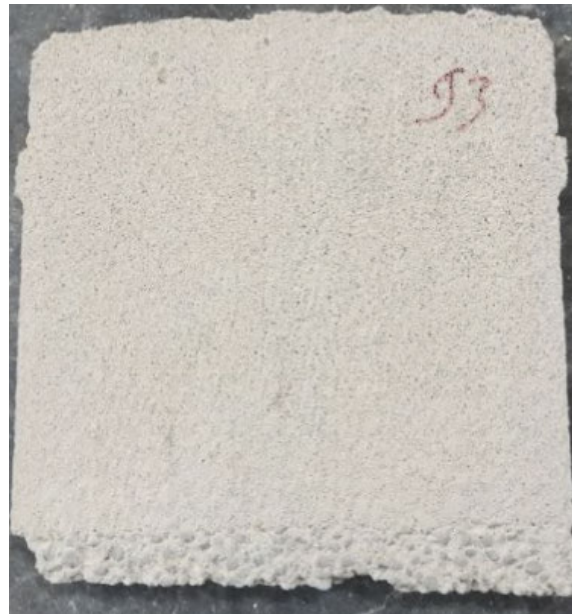
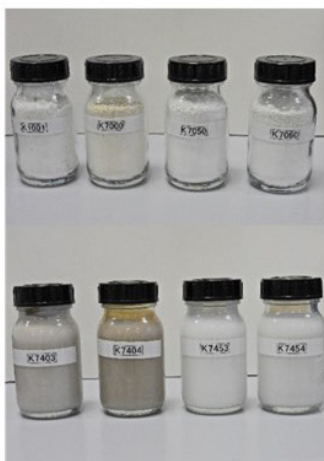


Bild 2 Sedimentation größerer Granalien (4–8 mm)

Neue Produkte, die nicht vollständig den Normen für Porenbeton entsprechen, benötigen eine bauaufsichtliche Zulassung. Diese können nach Abschluss der Entwicklungsarbeiten durch die am Forschungsvorhaben beteiligten Unternehmen beantragt werden. Entsprechende Forschungsergebnisse können auch in die zuständigen Normenausschüsse eingebracht werden.

Das Forschungsvorhaben stellt einen Einstieg in eine neue Porenbetontechnologie dar. Die Weiterentwicklung dieser Technologie nach Ende der geförderten Projektlaufzeit könnte zu Produkten führen, die in ihrer Eigenschaftskombination bisher so nicht verfügbar sind. Vergleichsweise hohe Festigkeit kann mit guten Wärmedämmeigenschaften kombiniert werden. Zudem wären solche Porenbetonsteine nach ihrem Lebensende rezyklierbar. Damit kann zukünftig ein Beitrag sowohl zum Klimawandel (Senkung des Energiebedarfs von Gebäuden) als auch zum Ressourcenschutz geleistet werden.



KRONOS®



FCN
BETONELEMENTE



ERLUS^e



Dyckerhoff



PureBau

Untersuchung von Werkstoffsystemen für photokatalytisch hocheffiziente Baustoffe

WiTrabau-Verwertungskordinator: Deutscher Ausschuss für Stahlbeton e.V. (DAfStb)

Kurzfassung: Durch das Verbundforschungsvorhaben PureBau sollte die Effektivität und Effizienz verschiedener auf dem Markt erhältlicher, photokatalytischer Baumaterialien wie z.B. Zemente, Betonpflastersteine, Fassadenfarbe und Dachziegel zum Schadstoffabbau für die praktische Anwendung gesteigert werden. Um das Verständnis für die ablaufenden Prozesse zu verbessern und die Funktion der Baumaterialien zu optimieren, wurden Zusammenhänge zwischen dem photokatalytischen Stickstoffoxidabbau und der Zusammensetzung der Baumaterialien sowie Abhängigkeiten und Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Bestandteilen gesucht. Darüber hinaus wurde aus den zuvor gewonnenen Erkenntnissen ein robustes Handmesssystem entwickelt, mit dem die photokatalytische Aktivität einer Werkstoffoberfläche sowohl im Labor als auch im Feld eindeutig und vergleichbar bestimmt werden kann.

Stichworte: Photokatalyse, Titandioxid, Luftreinigung, Selbstreinigung, Fassade, Dach, Beton, Sichtbeton, Silikatfarbe, Fassadenfarbe Betonpflasterstein

1 Projektziel

Aktuell setzt sich zum Beispiel in Mitteleuropa die Luftverunreinigung in den Städten wie folgt zusammen: 30 % Fahrzeugverkehr, 30 % Haushalte und 40 % Industrie und Energiegewinnung [1]. Dabei werden heute für alle drei Bereiche zu einem sehr großen Teil fossile Energieträger als Energiequelle eingesetzt. Zur Verringerung der Stickoxidbelastung muss aktuell weltweit zu Fahrverboten oder Fertigungsverboten gegriffen werden. Langfristig kann die Reduzierung der Luftverunreinigung nur durch einen Wechsel von fossilen Energieträgern auf andere Energieträger wie Wasserstoff, Solarenergie und Windkraft oder andere Alternativen gelingen. Bis solche Ansätze, wie zum Beispiel eine Wasserstoff basierte Mobilität oder verstärkte Elektromobilität, voll greifen, können aber gut und gerne noch 20 bis 40 Jahre ins Land gehen.

Für diese Zeit gibt es außer den Verboten mit all ihren wirtschaftlichen Nachteilen keine Lösungsansätze, die den Kommunen helfen. Städtische Räume

besitzen durch die Bebauung eine sehr große Oberfläche, die hauptsächlich durch Baustoffe (Beton, Fassadenfarbe, Dachziegel, Glas usw.) gebildet wird. Fast alle Baustoffe können potenziell durch die Ausrüstung mit Titandioxid (TiO_2) mit einer photokatalytischen Aktivität versehen werden [2], [3], [4], wodurch der Abbau von Luftschadstoffen zur Verbesserung des städtischen Klimas und die Reduzierung von Anhaftungen und Verringerung der Oberflächenverschmutzung (weniger Wartungsaufwand, längere Lebensdauer) erreicht werden können. Das Ziel von PureBau war die Steigerung des Schadstoffabbaus verschiedener bisher auf dem Markt erhältlicher, photokatalytischer Baumaterialien in Form von Zementen, Betonpflastersteinen, Fassadenfarben und auch Dachziegeln für die praktische Anwendung. Darüber hinaus sollte basierend auf den gewonnenen Erkenntnissen ein robustes Handmesssystem erarbeitet werden, um die photokatalytische Aktivität einer Werkstoffoberfläche sowohl im Labor als auch im Feld eindeutig und vergleichbar bestimmen zu können.

2 Projektergebnisse

Im Einzelnen waren drei wesentliche Forschungsschritte zur Zielerreichung erforderlich (s. a. [5]):

- Ermittlung der Wechselwirkungen zwischen dem Photokatalysator und seiner Umgebung (Umwelteinflüsse und Einbettungssysteme),
- Evaluierung der Forschungsergebnisse durch mehrere innovative Werkstoffdemonstratoren,
- Schaffung der Grundlagen für ein robustes, als Standard geeignetes Messsystem für die photokatalytische Aktivität einer Werkstoffoberfläche, um Messungen im Labor und an Objekten im Freiland eindeutig und vergleichbar zu machen.

Einen erheblichen Einfluss auf die photokatalytische Abbaurate haben die Darreichungsform und die Art des Photokatalysators, die auf das jeweilige Baumaterial abzustimmen sind. Bei Zement und Beton konnte eine Steigerung des Abbaus durch die Verwendung kleiner Korngrößen sowie von optimierten Körngrößenzusammensetzungen erreicht werden. Auch entscheidend sind der Zugabezeitpunkt des Photokatalysators und die angesetzte Mischenergie. Einen negativen Einfluss auf den photokatalytischen Schadstoffabbau an Betonoberflächen hat hingegen die Carbonatisierung. Der photokatalytische Abbau bei Betonen und Zementen ist von der Zugabe verschiedener Zusatzmittel wie Fließmittel, Verzögerer, Beschleuniger oder Luftporenbildner unabhängig. Die festgestellten Zusammenhänge wurden genutzt, um die Entwicklung neuer Photokatalysatoren sowie eine Verbesserung der Zusammensetzung und Herstellungsverfahren der verschiedenen Baumaterialien vorzunehmen. Mithilfe der im PureBau-Projekt gewonnenen Erkenntnisse wurde eine deutliche Leistungssteigerung des photokatalytischen Abbaus um Faktoren von 11,2 bis zu 16,7 für die aus dem entwickelten Zement hergestellten Betonelemente, die Betonpflastersteine, die Fassadenfarbe und die Dachziegel erreicht (s. Bild 1). Mit den hochaktiven

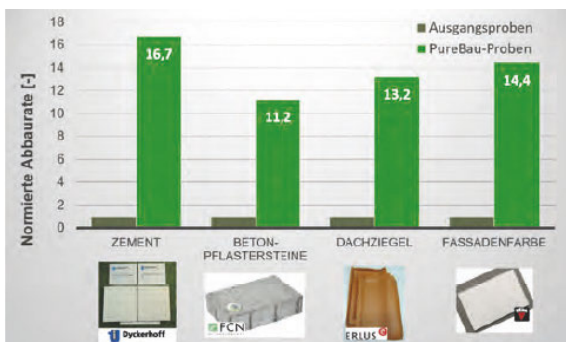


Bild 1 Steigerung der photokatalytischen Abbauraten für verschiedene Baumaterialien bestimmen

Baumaterialien wurde auf dem Gelände des Partners F.C. Nüdling in Seiferts ein Freilanddemonstrator erstellt, der in Bild 2 dargestellt ist. In diesem Freilanddemonstrator sind die Materialien den Witterungseinflüssen unmittelbar ausgesetzt, sodass durch eine regelmäßige Untersuchung und Bewertung der Baumaterialien der Einfluss der Witterung auf die Dauerhaftigkeit und das Langzeitverhalten des photokatalytischen Stickstoffoxidabbaus abgeleitet werden kann.

Zusätzlich zu der erfolgreichen Anpassung der verschiedenen Baumaterialien wurde im Rahmen des Projekts PureBau ein Handmessgerät zur Bestimmung der photokatalytischen Aktivität verschiedener Materialien entwickelt. Dieses Handmessgerät umfasst neben einer vollautomatischen Messeinheit einen Folienträger mit einem speziell entwickelten Farbstoff, der durch eine chemische Reaktion mit den photokatalytischen Radikalen der Baustoffoberfläche abgebaut wird. Als Maß für die photokatalytische Aktivität wird der Farbstoffabbau pro Zeit gemessen. Dieses Messgerät wurde innerhalb des Projektes nahezu bis zur Produktreife entwickelt. Neben dem Handmessgerät wurde im Rahmen des Projekts zudem ein Labormessgerät zur orts aufgelösten Bestimmung der photokatalytischen Aktivität einer Baustoffoberfläche erarbeitet. Bei der erfolgreichen Messung wird eine modifizierte, photokatalytisch abbaubare Farbe auf die Oberfläche des Materials gedruckt, mit einer UV-Einheit bestrahlt und die aufgelöste Abbauintensität anschließend über ein Bildaufnahmesystem und eine entsprechende Messsoftware wiedergegeben.

Durch die hohe Abbaurate und die verschiedenen Anwendungsgebiete bieten die im Rahmen des Projekts PureBau angepassten Baumaterialien eine vielversprechende Möglichkeit zur Reduzierung der Luftschadstoffe in unseren Städten. Durch die hoch-effizienten Materialien ist bei einem flächigen Einsatz mit einer merklichen Reduzierung der Stickstoffoxide in der Umgebungsluft zu rechnen. Zur Veranschaulichung der erreichbaren Abbauraten erfolgte im Nachgang zu dem Projekt eine photokatalytische Simulationsrechnung, in der ein Gebiet mit mehreren Straßenzügen und die darin erfolgende Stickstoffoxidentwicklung mit und ohne photokatalytische Materialien an den Bauwerken und Verkehrswegen modelliert wurden. Bei dieser Modellrechnung wurden sowohl an den Hauswänden als auch auf den Fahrbahnoberflächen der Hauptverkehrsstraßen photokatalytische Baumaterialien angesetzt. Dabei wurden im Modell großflächig relative Reduzierungen von bis zu 25 % erreicht.

3 Fazit der Forscher

Basierend auf den präsentierten Ergebnissen wird deutlich, dass das Projekt PureBau und die daraus gewonnenen Erkenntnisse und Materialien eine herausragende Bedeutung für viele städtische Lebensräume hat. Bei einem flächigen Einsatz der optimierten Materialien erlauben diese einen entscheidenden Beitrag zur Verbesserung der Lebensbedingungen in den urbanen Ballungsräumen. Die im Rahmen des Projekts erarbeiteten Baumaterialien sind mittlerweile kommerziell erhältlich, sodass diese durch entsprechende Beschlüsse der Stadtverwaltungen und Eigner jederzeit in bauliche Maßnahmen einfließen können.



Bild 2 Im Projekt als Freiland-Demonstrator erstellte Hausfassade mit Pultvordach.

4 Verwertung durch WiTraBau

Das WiTraBau-Konsortium hat insgesamt 7 Projektergebnisse in seine Verwertungsstrategie aufgenommen, von denen vier der Erkenntnisstufe »Anwendungsbezogene Forschung als Basis für weitere Produktentwicklung (ES4)« zugeordnet wurden. Hierzu zählen die Entwicklung

- von Photokatalysatoren und Photokatalysator-Granulate/Slurries/Pulver/Premixe
- eines Verfahrens zur Herstellung photokatalytisch modifizierter Oberflächen an Betonbauteilen, Dachziegeln und Pflastersteinen
- von photokatalytisch modifizierten Fassaden- und Innenfarben auf Silikatbasis
- eines Messverfahrens zur Ermittlung der Leistungsfähigkeit photokatalytisch wirkender Oberflächen.

Die Ergebnisse wurden durch WiTraBau projektspezifisch verwertet. Neben der Vorstellung der Ergebnisse auf den größeren WiTraBau-Veranstaltungen (HTMB Kick-Off-Tagung 2015, HTMB-Konferenz 2018,) und der Präsentation anlässlich der BAU 2017,

BAU 2019 und des Bautechnik-Tages 2019 sowie auf der Baumesse NRW mit BMBF-Bürgergespräch in 2019 wurde das Vorhaben PureBau auch anlässlich eines Themenkolloquiums zur TiO_2 -Verwendung bei verschiedenen Produktentwicklungen aus den drei Förderlinien NanoTexture, HighTechMatBau und KMU-innovativ am 08. Oktober 2019 in Düsseldorf, das durch den VDZ organisiert wurde. Der DAfStb hat in Kooperation mit dem Verlag Bau+Technik das zum Themenkolloquium korrespondierende Sonderheft 6 (2020) der Zeitschrift »beton« gestaltet, das auch einen Beitrag zu PureBau enthält [5]. Sowohl im Heft als auch auf dem Themenkolloquium wurden aktuelle Fragestellungen zur Gesundheitsgefährdung durch TiO_2 in Bauprodukten diskutiert. Die Europäische Kommission stufte Titandioxid im Jahr 2019 als Stoff mit Verdacht auf eine krebserzeugende Wirkung beim Einatmen ein. Diese Einstufung gilt für reines Titandioxidpulver und alle Pulverprodukte, die mind. 1 M.-% TiO_2 in Partikelform oder eingebunden in Partikel mit einem aerodynamischen Durchmesser $\leq 10 \mu\text{m}$ im Pulvergemisch enthalten. Für flüssige Lacke und Farben, für Zahnpasta usw. sowie für Erzeugnisse wie Tapeten, für mit titandioxidhaltiger Farbe angestrichene oder gefärbte Gegenstände, für Papier sowie für Baumaterialien mit fest im Inneren oder auf der Oberfläche gebundenen TiO_2 -Partikel gilt die Einstufung hingegen nicht.

5 Literaturverzeichnis

- [1] George Thurston, Literature Review of Air Pollution Related Health Endpoints and Concentration-Response Functions for Ozone, Nitrogen Dioxide, and Sulfur Dioxide: Results and Recommendations Surface, Industrial Economics Incorporated, Cambridge (2015)
- [2] Ulrike Diebold, The Surface Science of Titanium Dioxide, Surface Science Reports, volume 48, issues 5–8 (2003), pages 53–229
- [3] Akira Fujishima, Xintong Zhang, Donald A. Tryk, TiO_2 Photocatalysis and Related Surface Phenomena, Surface Science Reports, volume 63, issue 12 (2008), 515–582
- [4] Jun Chen, Chi-Sun Poon, Photocatalytic Construction and Building Materials: From Fundamentals to Applications, Building an Environment, volume 44, issue 9 (2009), pages 1899–1906
- [5] Horst Purwin, Michael Köther, Rainer Hövel, Leverkusen, Sandra Weigel, Michael Bruse, Roland Herzog, Thomas Koch, Norbert Bendzko, PureBau – Hocheffiziente Baumaterialien zum photokatalytischen Stickstoffoxidabbau. In: beton, Heft 6 (2020), 230–231

R-Beton



R-Beton

Ressourcenschonender Beton – Werkstoff der nächsten GenerationR

WiTraBau-Verwertungskoordinator: Forschungsgemeinschaft Transportbeton e.V. (FTB)

Abstract: Der Einsatz von Beton mit rezyklierten Gesteinskörnungen fördert die Kreislaufwirtschaft in der Betonindustrie. Einem breiten Einsatz stehen unterschiedliche Herausforderungen entgegen. Innerhalb des Verbundforschungsvorhabens »R-Beton – Ressourcen schonender Beton – Werkstoff der nächsten Generation« sollten Wege gefunden werden, bestehende Regelwerkshemmnisse nachhaltig zu beseitigen, um zukünftig mineralische Bauabfälle in der Betonherstellung in nennenswertem Ausmaß wiederzuverwenden. Im Projekt wurden dabei neben betontechnologischen Untersuchungen auch die gegenwärtigen und zukünftigen Stoffströme analysiert, die Prozesse im Recyclingunternehmen beleuchtet und alternative Verwertungszwecke von bisher nicht zulässigen, feinen rezyklierten Gesteinskörnungen gesucht. Umweltrelevante Aspekte sowie ökobilanzielle Betrachtungen waren ebenfalls Gegenstand des Verbundvorhabens. Die Ergebnisse mündeten in die Herstellung eines Großdemonstrators.

Keywords: Beton mit rezyklierten Gesteinskörnungen, R-Beton, feine und grobe Gesteinskörnung, Normung

Problemstellung

Die Bundesregierung hat sich mit dem Deutschen Ressourceneffizienzprogramms (ProgRess) zum Ziel gesetzt die Entnahme und Nutzung natürlicher Ressourcen nachhaltiger zu gestalten. Auch das Bauwesen kann dazu einen wichtigen Beitrag leisten. Mineralische Bauabfälle können nach der Aufbereitung wieder als rezyklierte Gesteinskörnungen in den Kreislauf gebracht werden, um somit die Schonung natürlicher Ressourcen zu fördern. Die Herstellung von Beton mit rezyklierter Gesteinskörnung ist in Deutschland in der DAfStb-Richtlinie [1] geregelt. Diese Richtlinie schränkt den Einsatz von rezyklierten Gesteinskörnungen ein, da beispielsweise begrenzte Einsatzmengen gegeben sind oder der Einsatz von feinen rezyklierten Gesteinskörnungen nicht zulässig ist.

1 Zielsetzung

Der Einsatz von Beton mit rezyklierten Gesteinskörnungen fördert die Kreislaufwirtschaft in der Betonindustrie. Einem breiten Einsatz stehen unterschiedliche Herausforderungen entgegen. Innerhalb des

Verbundforschungsvorhabens »R-Beton – Ressourcen schonender Beton – Werkstoff der nächsten Generation« sollten Wege gefunden werden, bestehende Regelwerkshemmnisse nachhaltig zu beseitigen, um zukünftig mineralische Bauabfälle in der Betonherstellung in nennenswertem Ausmaß wiederzuverwenden.

2 Forschungsansatz

Dabei sollten alle wesentlichen Aspekte aufgegriffen werden, die einer breiten praktischen Anwendung des Werkstoffs R-Beton gegenwärtig entgegenstehen. Im Ergebnis sollten praxisgerechte Anwendungsregelungen geschaffen werden, die sowohl für die Recyclingunternehmen als Produzenten der rezyklierten Gesteinskörnung als auch für die Transportbetonindustrie gegenüber dem Status Quo deutliche Fortschritte ermöglichen. Mit dem Vorhaben sollte eine verbesserte Grundlage geschaffen werden, den Einsatz von Beton mit rezyklierten Gesteinskörnungen zukünftig zu steigern.

3 Ablauf des Projektes

Das Projekt wurde im Rahmen eines Verbundvorhabens durchgeführt. Zu den Projektpartnern zählten die HeidelbergCement AG als Vertreter des Konsortiums, das ifeu Institut Heidelberg GmbH, die Technischen Universität Kaiserslautern, der Baustoffaufbereiter Scherer und Kohl GmbH & Co. KG, die BASF Construction Solutions GmbH, die VDZ gGmbH sowie die RWTH Aachen. Die Ziele und Inhalte der einzelnen Teilvorhaben und die verantwortlichen Partner können [2] entnommen werden.

4 Projektergebnisse

4.1 Prognose für die zukünftigen Abfallmassen

Das anthropogene Lager wies für das Jahr 2010 etwa 15,26 Mrd. Tonnen auf, davon sind rund 9,5 Mrd. Tonnen geeignet für die Produktion von rezyklierten Gesteinskörnungen (Beton, Ziegel, Kalksandstein und sonstige mineralische Fraktionen). Das Bauschutttaufkommen soll von derzeit (2014) etwa 42 Mio. Jahrestonnen in Zukunft (2050) auf etwa 100 Mio. Jahrestonnen anwachsen. Der Anteil an Altbeton soll sich dabei von rund 29% auf 34% erhöhen. Das Aufkommen, das für die Herstellung von rezyklierten Gesteinskörnung geeignet ist, lässt sich dabei auf etwa 30 Mio. Jahrestonnen abschätzen, ohne dass die bisherigen Verwertungswege als RC-Baustoff für den Wege- oder den Erdbau gefährdet werden [3]. Das entspricht rund 50% der für die Transportbetonproduktion benötigten Gesteinskörnungen im Jahr 2019 [4].

4.2 Einsatz feiner rezyklierter Gesteinskörnungen ($GK \leq 2 \text{ mm}$)

Die Untersuchungen im Teilvorhaben 3 [5] haben gezeigt, dass auch mit vollständigem Ersatz der Gesteinskörnung durch rezyklierte Gesteinskörnungen des Typs 1, d.h. inkl. feinem Material, eine problemlose Einhaltung von Zielfestigkeiten und Zielkonsistenzen möglich ist. Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass ein erhöhter Fließmittelbedarf möglicherweise notwendig ist, um die definierte Konsistenz zielsicher zu erreichen. Weitere Tests zum Schwindverhalten bestätigen, dass der Einsatz von feiner rezyklierter Gesteinskörnung technisch unproblematisch ist. Ein Änderungsvorschlag der aktuellen Regelwerke wurde erarbeitet und durch die zuständigen Gremien in den aktuellen Entwurf der neuen DIN 1045-

2 übernommen. Der Änderungsvorschlag sieht in besonderen Fällen eine Nutzung von bisher ausgeschlossenen GK vor (feine GK < 2 mm).

4.3 Einsatz grober rezyklierter Gesteinskörnungen ($GK > 2 \text{ mm}$) bis zu einem Anteil von 100%

Die Untersuchungen [5] haben gezeigt, dass die Verwendung von groben rezyklierten Gesteinskörnungen >2 mm bis zu einem Anteil von 100 % sowohl für Typ 1 als auch Typ 2 unproblematisch ist. In den Versuchsreihen wurde für die Fraktion $\leq 2 \text{ mm}$ natürlicher Rheinsand 0/2 mm verwendet. Entsprechend wurde nur der Anteil GK >2 mm durch rezyklierte Gesteinskörnungen stufenweise ausgetauscht und dabei die Auswirkungen auf die Frischbetoneigenschaften und Festbetoneigenschaften untersucht (Druck- und Zugfestigkeiten, E-Moduli, Verformungseigenschaften, Dauerhaftigkeiten). Ein Änderungsvorschlag der aktuellen Regelwerke wurde erarbeitet und durch die zuständigen Gremien in den aktuellen Entwurf der neuen DIN 1045-2 übernommen. Der Änderungsvorschlag sieht, abgängig vom Anwendungsbereich, einen höheren zulässigen Anteil an rezyklierten Gesteinskörnungen >2 mm vor.

4.4 Verwendung feiner rezyklierter Gesteinskörnung (Brechsand) in der Zementherstellung

Feine, rezyklierte Gesteinskörnungen, sogenannter Brechsand (<2 mm), darf nach der aktuellen DAfStb-Richtlinie [1] nicht zur Herstellung von Beton verwendet werden. Daher wurde die Verwendung von Brechsand in der Zementherstellung als möglichen Verwertungszweck untersucht. Zur Herstellung von Zement mit gemahlenem Brechsand wurden unterschiedliche Qualitäten von Brechsanden genutzt – Brechsand aus: Betonbruch, Mauerwerksbruch, Dachziegelbruch, Gleisschotter und Bahnschwellen. Diese Zemente sind nicht in der DIN EN 197-1 [6] gelistet sind, sodass die Verwendung nur mit bauaufsichtlicher Zulassung möglich ist. Im Ergebnis [7] erfüllten die Zemente mit bis zu 10 M.-% Brechsand folgende zulassungsrelevanten Kriterien

- Karbonatisierungswiderstand
- Chlorideindringwiderstand
- Frost- und Frost-Tausalz-widerstand

Zusätzlich konnten die Kriterien des Würfelverfahrens für den Frostwiderstand von Beton auch mit bis zu 30 M.-% eingehalten werden. Umweltrelevante Aspekte gemäß der DIN 4226-101 [8] sind ebenfalls

eingehalten worden. Die untersuchten Zemente entsprachen dabei den Festigkeitsklassen 42,5 N bis 52,5 R. Zusammenfassend wurde festgestellt, dass Zemente mit bis zu 30 M.-% Recyclingbrechsand für den Einsatz von Betonen für Innenbauteile zielsicher eingesetzt werden könnten.

4.5 Ökologische Bewertung der neuen R-Zemente

Im Vorhaben wurde eine ökobilanzielle Betrachtung zwischen einem Portlandzement CEM I und dem neuen R-Zement durchgeführt [7]. Dabei wurde das Szenario »Zement mit 10 M.-% Brechsand« betrachtet, d.h. 10 M.-% des ursprünglichen CEM I entfallen. Berücksichtigt wurde auch der Transport von der Aufbereitungsanlage ins Zementwerk, sowie unterschiedliche Aufbereitungsszenarien. Im Ergebnis konnten durch die Verwendung von Brechsand je t Zement bis zu 8 % kg CO₂-Äq. eingespart werden. Die zusätzlichen Aufwände bedingt durch die Wahl der Aufbereitungsszenarios, den angenommenen Transportweg von 100 km sowie den Mehraufwand für die Mahlenenergie haben eine geringe Auswirkung auf das Treibhauspotenzial. Zu beachten ist jedoch, dass sich aufgrund der zusätzlichen Mahlenenergie der Primärenergiebedarf erhöhen kann.

4.6 Ökobilanzierung Beton mit rezyklierten Gesteinskörnungen

Im Vorhaben wurde eine Ökobilanz für den Beton mit rezyklierten Gesteinskörnungen hergestellt und der Ökobilanz eines mit Beton mit natürlichen Gesteinskörnungen gegenüberstellt [7]. Die Ergebnisse zeigen, dass die Gewinnung von Kies mit rund 1,5% zum Gesamttreibhauspotenzial zur Herstellung von Beton beiträgt. Folglich ist das Potenzial zur Reduzierung des CO₂-Ausstoßes über den Einsatz von rezyklierter Gesteinskörnung gering. Der Einsatz von rezyklierten Gesteinskörnungen trägt jedoch zur Schonung natürlicher Ressourcen bei.

4.7 Herstellung eines Großdemonstrators

Die auf Laborebene ermittelten Erkenntnisse mündeten in den Bau des Demonstratorgebäudes »Small House III« auf dem Campus der Technischen Universität Kaiserslautern. Dabei wurden alle Betonbauteile des Demonstrators unter Verwendung von rezyklierten Gesteinskörnungen hergestellt [9].

5 Wissenstransfer

Das Forschungsprojekt »R-Beton« wurde durch das Begleitvorhaben »WiTraBau« begleitet und hinsichtlich ihrer Verwertungsaktivitäten unterstützt.

5.1 Fachsymposium »R-Beton« 2017

Das Fachsymposium R-Beton, organisiert vom Fachgebiet Werkstoffe im Bauwesen der Technischen Universität Kaiserslautern und mitveranstaltet und unterstützt von BMBF-Projekt WiTraBau, fand als eine von insgesamt sieben Parallelveranstaltungen unter dem Dach der 5. Jahrestagung des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton in Kaiserslautern statt. Über 100 Vertreterinnen und Vertreter aus den Ländern und Kommunen, aus verschiedenen Verbänden, der Industrie, aus Planungsbüros, der Bauausführung und der Betonherstellung sowie der Wissenschaft informierten sich auf der 2-tägigen Veranstaltung über den Baustoff »R-Beton« [10].

5.2 HighTechMatBau-Konferenz 2018

Auf der HighTechMatBau-Konferenz am 31. Januar 2018 im Berlin Congress Center am Alexanderplatz informierten Forschungsnehmer des R-Beton Projektes vor mehr als 400 Konferenzteilnehmerinnen und -teilnehmern über einen Messestand, in Form eines Fachvortrages sowie im Tagungsband [11] über das Forschungsprojekt »R-Beton«.

5.3 Deutscher Bautechniktag 2019

Am 7. und 8. März 2019 präsentierten die Projektpartner im Rahmen der Veranstaltung »Deutscher Bautechniktag 2019« in Stuttgart über das Forschungsprojekt. Die Präsentation erfolgte über einen Messestand sowie einem Arenavortrages.

5.4 Grüne Schriftenreihe des DAfStb

Die FTB koordiniert und unterstützt bei der Überführung der Abschlussberichte in die Grüne Schriftenreihe des DAfStb. Die »grünen Hefte« führen wissenschaftliche Grundlagen und praxisorientierte Beiträge zusammen. Sie spricht gleichermaßen alle Bauentscheidungssträger und am Bau beteiligten Gruppen des privaten und öffentlichen Bereiches an. Es entstehen in der Summe drei Sachstandsberichte zu den Schwerpunktthemen: »Konzeptionierung der neuen Werkstoffe«, »Praxisanforderungen an die neuen Werkstoffe« sowie »Ökobilanz, Praxistest und Transfer«.

5.5 Imagefilme

Im Rahmen des Begleitvorhabens »WiTraBau« wurde ein Imagefilme für das Forschungsprojekt R-Beton produziert. Dieser ist unter nachfolgenden QR-Codes abrufbar.



Bild 1 HighTechMatBau – Ressourceneffizienz und Recyclierbarkeit im Bauwesen



Bild 2 HighTechMatBau – Neue Werkstoffe für urbane Infrastrukturen

Literatur

- [1] DAfStb-Richtlinie »Beton nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 mit rezyklierten Gesteinskörnungen nach DIN EN 1260, Ausgabe September 2010
- [2] www.r-beton.de (Stand: 29.09.2020)
- [3] Knappe, Florian; Rheinhardt, Joachim; Theis, Stefanie: Abschlussbericht, R-Beton, Teilvorhaben 1: Ermittlung praxisrelevanter Stoffströme unter Berücksichtigung des prognostizierten Aufkommens und Ökobilanzierung im Bereich der Betonanwendung sowie der RC-Gesteinskörnungsherstellung, 2018
- [4] Jahresbericht 2020 des Bundesverbands der Deutschen Transportbetonindustrie e.V., August 2020
- [5] Breit, Wolfgang; Pancic, Aleksandar; Scheidt, Julia; Schnell, Jürgen: Abschlussbericht, R-Beton, Teilvorhaben 3: Aufweitung der vorhandenen Anwendungsbeschränkungen für Beton mit rezyklierter feiner und grober Gesteinskörnungen, 2018
- [6] DIN EN 197-1:2011-11: Zement – Teil 1: Zusammensetzung, Anforderungen und Konformitätskriterien von Normalzement, November 2011
- [7] Verein Deutscher Zementwerke: Abschlussbericht, R-Beton, Teilvorhaben 5: RC-Gesteinskörnung – Anwendung im Zement, Ökobilanzierung der Zement- und Betonherstellung, Bewertung der Alkaliempfindlichkeit, 2018
- [8] DIN 4226-101:2017-08: Rezyklierte Gesteinskörnungen für Beton nach DIN EN 12620 – Teil 101: Typen und geregelte gefährliche Substanzen, August 2017
- [9] Breit, Wolfgang; Scheidt, Julia: Herstellung von R-Beton im Transportbetonwerk, beton 04/2020, 2020, S. 120
- [10] InformationsZentrum Beton GmbH: Beiträge zum DAfStb-Fachsymposium Beton am 20./21. September 2017 an der TU Kaiserslautern, Oktober 2017
- [11] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton e. V. (DAfStb): HighTechMatBau; Tagungsband mit Beiträgen zur Konferenz vom 31. Januar 2018 in Berlin, Dezember 2017

Schwelle 2020





Schwelle2020

Biblock-Bahnschwellen aus Kunststoff-Rezyklaten

WiTraBau-Verwertungskoordinator: Deutscher Ausschuss für Stahlbeton e.V. (DAfStb)¹

Kurzfassung: Das Projekt Schwelle2020 zielte auf die Herstellung einer zweigeteilten Bahnschwelle aus Kunststoffrezyklaten für den Einsatz als Streckenschwelle in Bahnnetzen. Das Kunststoffrezyklat wurde anhand der gemessenen mechanischen Eigenschaften und der simulierten Festigkeiten im Schwellenmodell ausgewählt. Bei der Entwicklung der Schwellenblöcke wurde neben der geforderten Festigkeit die Machbarkeit der Fertigung im Spritzgussverfahren berücksichtigt. Anschließend wurde das Spritzgusswerkzeug gefertigt und getestet. Die dabei hergestellten Schwellen-Demonstratoren mit zwei unterschiedlichen Materialrezepturen wurden nach Vorgaben des Eisenbahnbundesamtes verschiedenen Eignungsprüfungen unterzogen (Schienenbefestigung, Prüfungen auf Biegung, Torsion und Schlagbeanspruchung sowie Prüfungen mit Temperaturlastwechsel in der Klimakammer und Dauerschwingversuche im Schotterkasten). Durch eine Lebenszykluskostenanalyse konnten die Kosten der Schwelle für die Herstellung, Nutzung und den Rückbau über die gesamte Lebensdauer vergleichend zu einer Betonmonoblockschwelle bewertet werden.

Stichworte: Gleisschwelle, Biblockschwelle, Spritzguss, FEM-Simulationen, Moldflow-Berechnungen, Lebenszykluskosten, DURCRET

1 Projektziel

Das Vorhaben Schwelle2020 zielte auf die Herstellung einer zweigeteilten Bahnschwelle aus Kunststoffrezyklaten für den Einsatz als Streckenschwelle in Bahnnetzen. Dazu sollten neue Werkstoffkombinationen und Verfahren für oberbauoptimierte Biblock-Bahnschwellen aus Kunststoffrezyklaten entwickelt werden. Mit der Materialauswahl, dem anwendungsgerechten Design, der Muster-Herstellung sowie der Prüfung von Demonstratoren zur Ermittlung der Lebensdauer und der Berechnung der Lebenszykluskosten wurden sämtliche Schritte der Wertschöpfungskette berücksichtigt. Zentraler Punkt des Vorhabens war die Kombination aus Werkstoffentwicklung für die Schwellenblöcke und die Systementwicklung zur Biblockschwelle. Im Zuge der

Optimierung konnten Werkstoffvorteile wie die Schallabsorption und Witterungsbeständigkeit mit Bauteilvorteilen (Ressourceneinsparung durch geringere Massen sowie Rezyklateinsatz, Funktionalitätszuwachs im Vergleich zu konventionellen Stabschwellen, ressourcenminimiertes Oberbaukonzept) kombiniert werden. Im Projekt wurden die Vorteile des Materials Kunststoff mit den Vorteilen der zweigeteilten Bauform kombiniert, wobei die Vorteile durch die spezielle patentierte DURCRET-Form [1, 2] noch erhöht wurden:

- Die zweiteilige Bauform mit großem Auflagerbereich und das Material sorgen für einen erhöhten Querverschiebe- und Schienendurchschubwiderstand und somit für eine verbesserte Lagestabilität und eine Schonung des Schwellen- und Gleiskörpers.

¹ Dieser Beitrag wurde durch den DAfStb als Verwertungskoordinator erstellt, um das Vorhaben mit seinen Ergebnissen noch einmal in kompakter Form vorzustellen. Die Ausführungen in den Abschnitten 1 bis 3 dieses Beitrages wurden in gekürzter Form dem Abschlussbericht des Forschungskonsortiums entnommen und mit den Autoren abgestimmt. Unser Dank gilt daher den Autoren des Schlussberichtes, namentlich Gerhard Linde, Dieter Kästingschäfer, Reinhard Lorenz, Jörg Frenzel, Gudrun Gräbe, Michael Dieterle, Andreas Stolzenberg.

- Material und Bauform bewirken eine verringerte Schallabstrahlung, d. h. eine Schalldämmung im Vergleich zu Mono-Betonschwellen [3].
- Durch das spezielle Design kann der Verlegeabstand erhöht werden wodurch Material- und Verlegeaufwand verringert werden. Die Verwendung von Kunststoffrezylaten erhöht zusätzlich die Ressourceneffizienz.

Prinzipiell kann die Schwelle2020 überall eingesetzt werden. Aktuell wird zunächst der Einsatz auf der Strecke anvisiert.

2 Projektergebnisse

Für die Materialentwicklung wurden aufbereitete, hochwertige und sortenreine Kunststoffe aus dem Ge- und Verbrauch verschiedener Kunststoffprodukte gewählt. Für alle Rezepturen wurden Zug- und Biegefestigkeiten, Kerbschlagzähigkeit, Wärmeformbeständigkeit und Fließeigenschaften bestimmt. Parallel dazu wurde ein Computer-Modell des Schwellendesigns angefertigt. Mit den gemessenen Festigkeitskennwerten wurden Berechnungen nach der Finite-Elemente-Methode (FEM) durchgeführt. Bild 1 zeigt die verschieden stark belasteten Bereiche im Schwellenblock in der FEM-Analyse. Im Bereich der Lasteinleitung sowie an den Lagern werden die höchsten Belastungen erreicht. Die Schwellenblöcke bestehen jeweils aus einem Ober- und einem Unterteil. Bei der Fertigung wird die Verbindungsstange zwischen Ober- und Unterteil eingelegt und diese anschließend miteinander verschweißt.

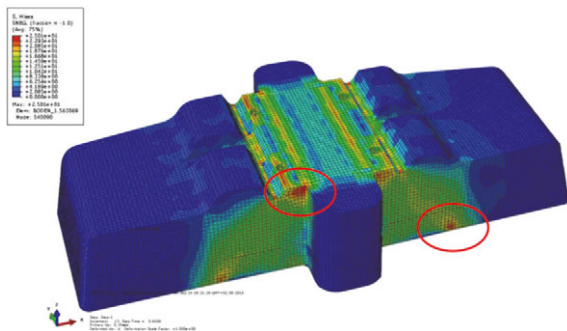


Bild 1 Ergebnisse der FEM-Simulation der 3-Punkt-Biegebelastung eines Schwellenblocks. Rot: stark belastete Bereiche. (Quelle: KIT-FAST)

Die Position der Verbindungsstange wird durch einen Querriegel im Schwellenblock fixiert. Um die Anzahl und die Lage der Schmelzezuführungen festzulegen, wurden vor der Herstellung der beiden Spritzgusswerkzeuge (je eines für Ober- und Unterteil) mit

einer Spritzgießsoftware sogenannte Moldflow-Berechnungen durchgeführt. Bei diesen Berechnungen wird der Fluss des geschmolzenen Kunststoffcompounds in die Spritzgussform nachgestellt. Da es sich um Versuchswerkzeuge handelt, die die Möglichkeit zu Änderungen und Anpassungen ermöglichen sollte, wurde es zum Teil aus Aluminium hergestellt. Mit dem Werkzeug wurden Ober- (Bild 2) und Unterteile hergestellt. An den Einzelteilen sowie an ganzen Schwellenblöcken wurden unter anderem Versuche zur Biegedruckfestigkeit durchgeführt. Außerdem wurde an der Technischen Universität München (TUM) die Auszugskraft der Schwellenschrauben ermittelt. Nach diesen ersten orientierenden Prüfversuchen wurden die endgültige Materialrezeptur festgelegt und weitere Demonstratoren hergestellt. Um sicherzustellen, dass die Schwellendemonstratoren (40 an der Zahl) den notwendigen Belastungen im Gleis standhalten, wurden weitere, mit dem Eisenbahnbundesamt festgelegte, Versuche an der TUM durchgeführt.

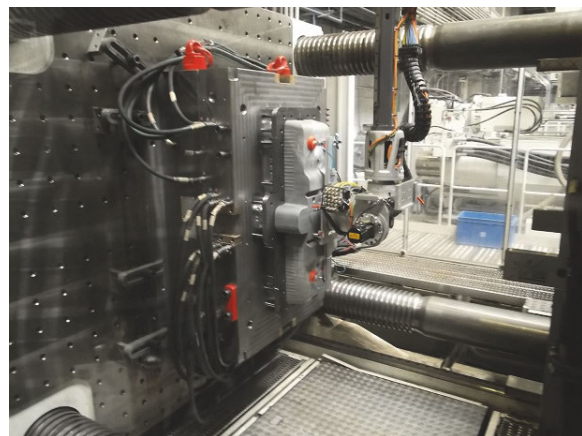


Bild 2 Blick in die Spritzgussanlage während des Auswurfs eines Oberteils (Quelle: Georg Utz GmbH)

Dort wurden unter anderem Eignungsversuche zur Schienenbefestigung, Prüfungen auf Biegung, Torsion und Schlagbeanspruchung sowie Prüfungen mit Temperaturlastwechsel in der Klimakammer und Dauerschwingversuche im Schotterkasten durchgeführt. Dabei konnte die grundsätzliche Eignung des neuen Biblocksystems nachgewiesen werden.

Mit der Lebenszykluskostenanalyse konnte darüber hinaus gezeigt werden, dass sich Biblockbahnschwellen in besonderem Maße für die Installation in Fahrbahnssystemen eignen, bei denen für die üblichen Betonmonoblockschwellen ergänzende lärmreduzierende Systeme zu installieren sind. Hier lassen sich Kostenreduktionspotentiale von bis zu 32 % erschließen.

3 Fazit der Forscher

Polymercompounds als Werkstoff für Bahnschwellen gibt es auf dem Markt seit etlichen Jahren. Mittlerweile hat die Deutsche Bahn begonnen, sich mit dem Material auseinanderzusetzen, was sich in den neuen technischen Anforderungen an Bahnschwellen bezüglich der Längenkonstanz und der Belastbarkeit bei höheren Temperaturen zeigt. Ein Markt für die DURCRET Schwelle2020 als zweigeteilte Schwelle ist vor allem in den Ländern zu sehen, die bereits traditionell Biblockschwellen einsetzen, wie beispielsweise Frankreich, oder die sich vermehrt mit dem Einsatz von Kunststoffschwellen auseinandersetzen, wie z. B. Australien, Niederlande. Zum Ende des Forschungsvorhabens Schwelle2020 lag leider keine vermarktbare Schwelle vor. Dies lag vor allem an der Insolvenz eines Projektpartners. Dadurch konnten die notwendigen Änderungen am Werkzeug auch zur Verbesserung der Messwerte für den Schraubenauszug nicht mehr durchgeführt werden. Um abschließend bewerten zu können, ob die Änderungen den gewünschten Effekt erzielen, müsste zur Vervollständigung noch eine Überprüfung dieser Änderung durchgeführt werden.

4 Verwertung durch WiTraBau

WiTraBau hat sich bei dem Vorhaben Schwelle2020 auf projektspezifische Verwertungsaktivitäten fokussiert. So wurde das Vorhaben auf der BAU 2017 und der HTMB-Tagung am 31. Januar 2018 in Berlin vorgestellt (Vortrag, Publikation und Schwellendemonstrator). Darüber hinaus hat das Verbundvorhaben Schwelle2020 Eingang in den Image-Film »Resourceneffizienz und Recyclierbarkeit im Bauwesen« gefunden (s. <https://youtu.be/8hKvtlohCl8>).

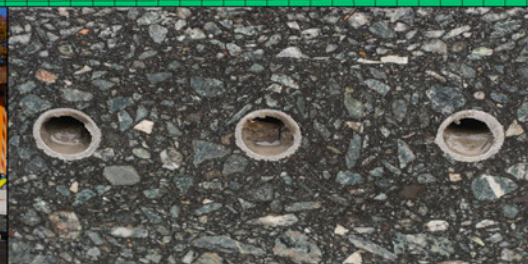
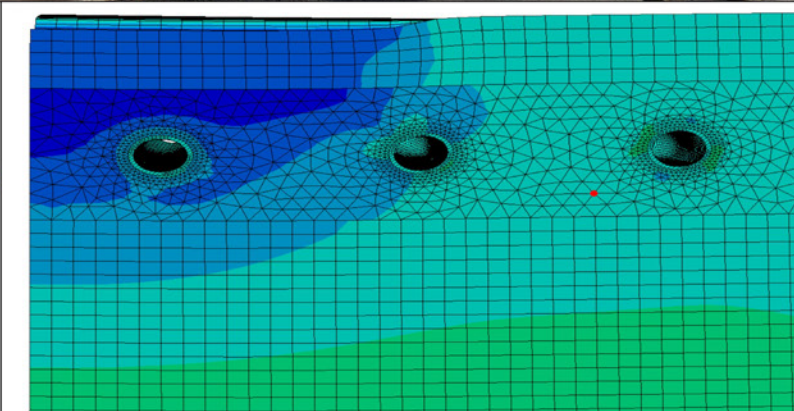
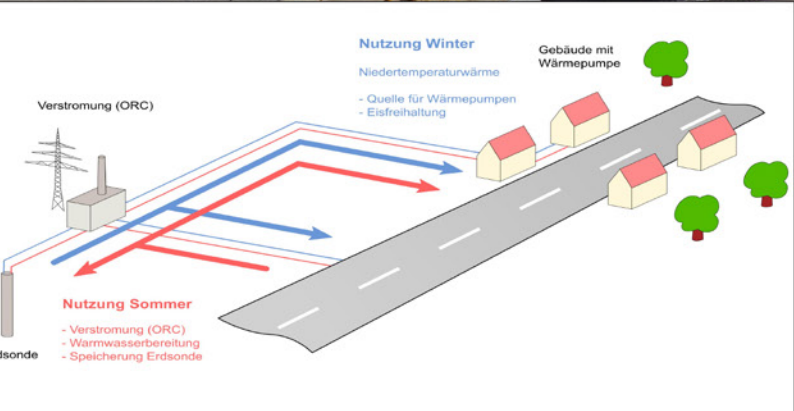
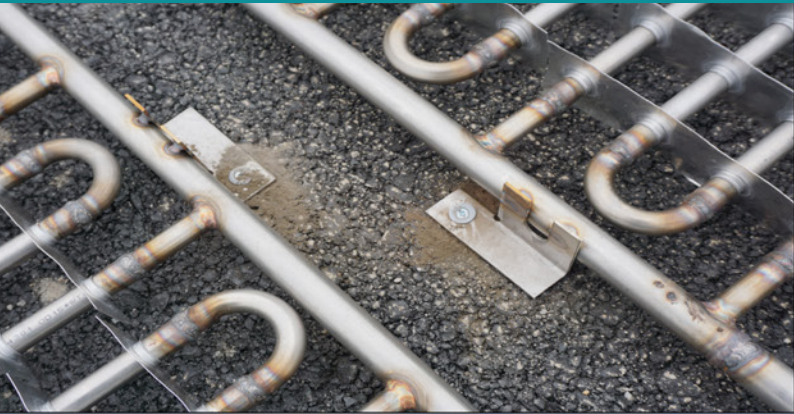
Durch die Insolvenz eines Projektpartners konnte die zur Verbesserung des Systems der Biblockschwelle erforderliche Optimierung des Formenwerkzeugs leider nicht mehr umgesetzt werden. Die zusätzlichen Demonstratoren für das Testgleis konnten nicht mehr gefertigt werden. Der DAfStb hat durch Kontaktaufnahme mit der Firma HYPERION, die die Werkzeugformen aus der Insolvenzmasse übernommen hat, versucht, trotz der fehlenden Anpassung der Spritzgussformen, ein Demonstratorvorhaben (Teststrecke) auf den Weg zu bringen. Hierzu hatte der DAfStb auch seine Kontakte zum Eisenbahnbundesamt genutzt.

5 Literatur

- [1] MSB-Management, 2006: Bahnschwelle. EP 1897992B1. 10.11.2010
- [2] Frenzel, Jörg, Mayerhöfer, Jan, Frenzel, Jürgen: Neuartige Flügelschwelle in Bi-Block-Ausführung. Der EI-Eisenbahningenieur, 61 (2010), Nr. 3, S. 24
- [3] Hecht, Markus: Entstehung und Zusammensetzung des Lärms beim Schienenverkehr; Lärmreduzierungsmöglichkeiten. Vortrag auf dem VPI-Symposium Hamburg, 14.01.2014

SEDA

HighTech MatBau 1



SEDA

Untersuchung multifunktionaler Straßenbaumaterialien und Verbundwerkstoffe zur Nutzung solarer Energie und Verbesserung der Dauerhaftigkeit

WiTraBau-Verwertungskordinator: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V. (FGSV)

Abstract: Im Forschungsprojekt SEDA soll der Entzug der solaren Wärme mittels Kollektorsystemen aus Asphaltbefestigungen betrachtet werden. Als Kollektoren sind Rohrsysteme, Gittersysteme (Rohre mit querliegenden Lamellen) und offene porige Schichten denkbar. Die entzogene Wärme soll mittels ORC-Prozess verstromt werden und zur ökologischen Energiegewinnung beitragen. Der erzielte Wegfall der Temperaturspitzen kann außerdem zu einer Verbesserung der Dauerhaftigkeit führen. Eine Nutzung des Systems zur Eisfreihaltung im Winter ist denkbar.

Keywords: Asphalt; Kollektor; Wärmenutzung; Dauerhaftigkeit; Nachhaltigkeit; Straßenbau

1 Projektziel

Das Ziel des Projektes SEDA bestand darin, das Potential von Straßenbefestigungen als Energiequelle zu erforschen. Hierbei lagen der Fokus und die Innovation des Vorhabens sowohl auf dem Verstromungspotential der in der Straße durch Sonneneinstrahlung gespeicherten thermischen Energie als auch in einer erhöhten Dauerhaftigkeit der Straßenkonstruktion durch Abfuhr der Wärme. Im Projekt sollten daher neue multifunktionale Verbundwerkstoffe – wie beispielsweise Asphalt mit eingebetteten Wärmeleitstrukturen – hinsichtlich ihrer technologischen Einbaumöglichkeiten und der Anwendbarkeit als neuartige Solarkollektorvariante untersucht werden.

Um ein ganzheitliches Konzept zur Energienutzung zu erarbeiten und zu realisieren, sollten dabei Aspekte einer späteren Anwendung im urbanen Gebiet berücksichtigt werden (s. Bild 1). Die entzogene Energie soll primär in Form von elektrischer Energie (Verstromung) zur Verfügung gestellt werden und zur ökologischen Energiegewinnung beitragen.

Der aus dem Energieentzug resultierende Wegfall der Temperaturspitzen könne zusätzlich eine Verlängerung der Nutzungsdauer der Straßenbefestigung

bewirken. Im Sommer bleibt der Asphalt durch die abgeführte Wärme kühler und kann dadurch nicht mehr fließen (keine Spurrinnen), während im Winter eine Erwärmung der Temperatur die Bildung von Eis an der Oberfläche verhindert. Somit wäre es denkbar, die Fahrbahn den ganzen Winter ohne Auftausalz eisfrei zu halten. Die nicht transformierbaren Wärmemengen sollen im urbanen Bereich den anliegenden Verbrauchern zur Verfügung bzw. bereitgestellt werden. Dadurch lassen sich dann die Energie- und CO₂-Bilanzen von Siedlungsräumen wesentlich verbessern.



Bild 1 Nutzungsszenario zur Temperierung von Straßen im urbanen Gebiet [1]

2 Projektergebnisse

Im Zuge des Forschungsprojektes wurde schwerpunktmäßig der Entzug der solaren Wärme mittels Kollektorsystemen aus Asphaltbefestigungen untersucht. Als Kollektortypen kamen u. a. Rohrsysteme, Gittersysteme (Rohre mit querliegenden Lamellen) und offenporige Schichten in Betracht (s. Bild 2).

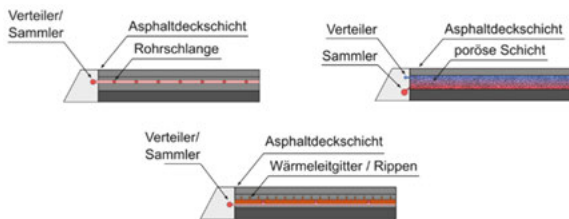


Bild 2 Schematische Darstellung der einzelnen Kollektorvarianten [1]

Mit geeigneten Simulationsrechnungen erfolgte zunächst die Untersuchung des thermischen und mechanischen Verhaltens der verschiedenen Asphaltso-larkollektoren. Ein Vorteil der Modellierung war die einfache Möglichkeit zur Durchführung von Parametervariationen, um den Einfluss einzelner Faktoren gezielt zu untersuchen. Aufbauend auf den Simulationsergebnissen wurden dann erste Kollektorvarianten entwickelt und konstruiert.

In ersten Probeflächen wurden die Kollektorvarianten verbaut und hinsichtlich ihrer Einbau- und Verarbeitungsmöglichkeiten getestet. Dabei sind verschiedene Bettungsschichten (Dünne Asphaltdeckschichten in Kaltbauweise (DSK), Gussasphalt und Walzasphalt), unterschiedliche Rohrsysteme (Polyethylen, Kupfer und Edelstahl) sowie ein Gittersystem untersucht worden. Es zeigte sich, dass sämtliche Rohre bei dem Einbau der Asphaltschichten unbeschädigt blieben. Dazu wurden durchgehend Schnittaufnahmen der Probeflächen in verschiedenen Quer- und Längsschnitten erstellt. Das Gittersystem wies in Verbindung mit der DSK-Bettungsschicht einen deutlichen Bewehrungseffekt auf.

3 Fazit der Forscher

Basierend auf den Ergebnissen der Probeflächen wurde im weiteren Projektverlauf eine 95 m lange und 5,5 m breite Teststrecke errichtet. Die Teststrecke sollte unter realen Bedingungen betrieben und dabei messtechnisch begleitet werden. Zur Bewertung der Funktionalität wurden sowohl die Kollektorsysteme als auch die Asphaltschichten variiert. Als Ergebnis zeigte sich, dass lediglich die Asphaltdeckschicht Verformungen aufwies. Die Bettungsschicht

wies keine Verformungen auf, sodass auch die Rohre vermutlich nicht verformt wurden. Somit könnte die Deckschicht in einem späteren Fall gefräst und erneuert werden, ohne die Bettungsschicht des Rohrsystems zu beschädigen. Die Ergebnisse des Vorhabens SEDA wurden auf zahlreichen Konferenzen und Anwendertagungen wie z. B. der Bautechnik-Tag 2019 präsentiert.

4 Verwertung durch WiTraBau

Drei wesentliche Ergebnisse des Forschungsvorhabens »SEDA« wurden durch das WiTraBau-Konsortium identifiziert und 3 verschiedenen Erkenntnisstufen sowie 10 Verwertungsoptionen zugeordnet. Diese werden zur weiteren Verwertung sowohl mit den Projektpartnern von »SEDA« als auch in den Gremien des WiTraBau-Konsortiums diskutiert.

Ergebnis »Entwicklung von Simulationsmodellen zur Konzeptionierung der Asphaltkollektoren«

Im Projekt wurden zunächst das thermische und mechanische Verhalten verschiedener Asphalt-Verbundwerkstoffe und Bauarten von Asphaltso-larkollektoren mithilfe geeigneter Simulationsrechnungen untersucht. Für die Simulation der Asphaltkollektoren wurden u. a. die geometrischen, thermischen und materialspezifischen Randbedingungen untersucht. Es erfolgte dabei die Erarbeitung eines Lastenheftes zur Spezifizierung des Anforderungsbildes an das Kollektorsystem. Auf dieser Grundlage wurde dann die technische Auslegung einer Kollektorvariante abgeleitet.

Das Ergebnis der Simulationsmodelle kann als Anknüpfungspunkt für zukünftige Forschungsarbeiten gesehen werden, um die Erarbeitung von Asphaltkollektoren weiter zu entwickeln.

Ergebnis »Konzeptionierung eines multifunktionalen Asphaltkollektors mit Gittersystem«

Aufbauend auf den Simulationsergebnissen wurde im Projektverlauf u. a. ein Kollektor mit Gittersystem entwickelt und konstruiert. Im Wesentlichen setzte sich das Gittersystem aus Kernrohren ($\varnothing 15 \times 0,5$) mit querliegenden Lamellen ($s = 0,3 \text{ mm}$) aus Aluminium zusammen. Im Rahmen eines Einbringtest wurde der Kollektor zusammen mit weiteren Kollektorvarianten untersucht. Hierbei zeigte sich bereits, dass das Gittersystem besonders in Verbindung mit der DSK-Bettungsschicht einen deutlichen Bewehrungseffekt aufwies.

Aufbauend auf den gewonnenen Erkenntnissen erfolgten weitere konstruktive Anpassungen für den Einbau auf der Teststrecke (Bild 3). Für den Einbau wurden die Kollektoren segmentiert vorgefertigt und

als Bauteile angeliefert, die Verbindung des Gittersystems wurde dann mittels transportablem Orbital-schweißgerät vor Ort durchgeführt.



Bild 3 Eingebauter Kollektor mit Gittersystem [2]

Insgesamt stellte sich die Herstellung bzw. Einbaumöglichkeit des Asphalts als positiv heraus. Im Winter gab es Temperaturen knapp unter 0 °C und Schneefall auf dem Untersuchungsgebiet. Es bildete sich dabei eine geschlossene Schneedecke (s. Bild 4, links). Zu diesem Zeitpunkt war die Zentraleinheit zum Beheizen des Systems noch in Betrieb. Die Pumpen zur Durchströmung des Gittersystems selbst funktionierten jedoch, sodass nach kurzer Zeit der Schnee bereits auftaute (s. Bild 4, rechts).

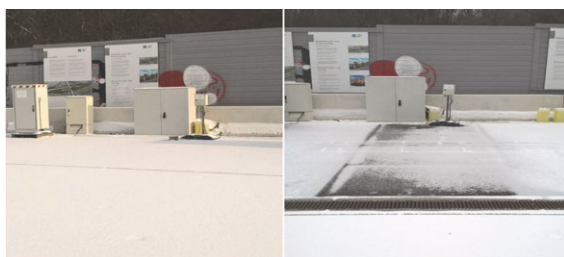


Bild 4 Geschlossene Schneedecke (links) und Auftauen des Teilabschnitts mit Gittersystem (rechts) [3]

Anhand der Ergebnisse kann festgehalten werden, dass die gewonnenen Erkenntnisse hinsichtlich einer zielgerichteten Umsetzung eines Wärmekollektorsystems vielversprechende Ansätze für die Praxis liefern und daher für weitere Forschungstätigkeiten in Betracht gezogen werden sollten. In den entsprechenden Arbeitskreisen und Arbeitsausschüssen der FGSV (z. B. der Lenkungsausschuss LA 7 »Asphaltbauweisen«) sollen die o. g. Ergebnisse vorgestellt und diskutiert werden.

Ergebnis »Konzeptionierung eines multifunktionalen Asphaltkollektors mit Rohrsystem«

Als weitere Variante wurde im Projektverlauf ein Asphaltkollektor mit Rohrsystem konzipiert. Hierbei handelte es sich um ein Metall-Kunststoff-Verbundrohr aus hochdruckvernetztem Polyethylen (PE-Xa).

Für die Verlegung war ein fester Untergrund nötig, um die Lage des Rohrsystems fixieren zu können. Eine Änderung des Asphaltaufbaues war durch die Einbringung der Rohre nicht notwendig. Anhand von Querschnittsbildern der Einbauflächen konnte beobachtet werden, dass das Rohrsystem vollständig vom Asphalt ummantelt wurde und somit keine nachteiligen Lunker entstanden sind. Für den Einbau in Asphaltschichten erwies sich das System demnach prinzipiell als gut geeignet (s. Bild 5).



Bild 5 Einbau des Asphalts mit Rohrsystem [4]

Im Anschluss an die Herstellung der Teststrecke wurde u. a. ein zeitraffender Verkehrsbelastungstest durchgeführt. Als Ergebnis zeigte sich, dass die im Asphalt eingebauten Kollektorsysteme durch die simulierten Verkehrsbelastungen nicht beschädigt bzw. verformt wurden. Ein Betrieb der Anlagen zur Stromerzeugung bzw. zum Kühlen oder Heizen der Teststrecke konnte aufgrund von unvorhergesehenen Störungen und Lieferengpässen innerhalb des Projektzeitraums nicht abschließend umgesetzt werden. Es kann jedoch festgehalten werden, dass die gewonnenen Erkenntnisse hinsichtlich einer zielgerichteten Umsetzung eines weiteren Wärmekollektorsystems vielversprechende Ansätze für die Praxis liefern. In den entsprechenden Gremien der FGSV, wie bspw. dem Lenkungsausschuss LA 7 »Asphaltbauweisen«, sollen die o. g. Ergebnisse präsentiert und diskutiert werden.

5 Literatur

- [1] Professur für Straßenbau und Professur für Technische Thermodynamik, Technische Universität Dresden, SEDA Abschlussbericht 13N13610.
- [2] WätaS Wärmetauscher Sachsen GmbH, SEDA Abschlussbericht 13N13608.
- [3] Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), SEDA Abschlussbericht 13N13609.
- [4] F. Winkler GmbH & Co. KG Bauunternehmen, SEDA Abschlussbericht 13N13605.

SMART- DECK

HighTech
MatBau





SMART-DECK

Intelligentes multifunktionales Verstärkungs- und Schutzsystem aus textilbewehrtem Hochleistungsmörtel für Brückenbauwerke

WiTraBau-Verwertungskoordinator: Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E.V. (DBV)

Abstract: Eine nachhaltige und effiziente Mobilität steht aufgrund der sehr großen Verkehrsinfrastruktur in Kombination mit einem stetig wachsenden Verkehrsaufkommen in Deutschland kontinuierlich im Fokus von Wirtschaft, Politik und Forschung. Im Rahmen des geplanten Verbundforschungsvorhabens SMART-DECK sollte ein innovativer, multifunktionaler Brückenbelag für den Neubau sowie für die Instandsetzung von Straßenbrücken erarbeitet werden, um deren Lebensdauer maßgeblich zu erhöhen und gleichzeitig volkswirtschaftliche Schäden aus Verkehrsbehinderungen infolge umfangreicher Instandsetzungsarbeiten oder Ersatzbauten signifikant zu reduzieren.

Keywords: Dauerhaftigkeit, Brückenbauwerke, Abdichtung, Feuchtigkeit, Chloride, präventiver Kathodischer Korrosionsschutz

1 Projektziel

Die Dauerhaftigkeit von Straßenbrücken hängt insb. von der Qualität ihrer Abdichtung ab. Diese soll den Eintritt von Feuchtigkeit und den Eintrag von Chloriden in den Beton verhindern. Eine nicht mehr voll funktionstüchtige Abdichtung der Brücke auf der Oberseite wird in der Regel aber erst bemerkt, wenn bereits größere Schäden, wie Bewehrungskorrosion oder Betonabplatzungen, auf der Unterseite sichtbar werden. Ferner führt bei einigen Bestandsbrücken die stetig zunehmende Verkehrsbelastung dazu, dass insb. in Brückenquerrichtung Maßnahmen zur Verstärkung ergriffen werden müssen.

SMART-DECK knüpft genau hier an. Das Ziel des Projektes bestand in der Entwicklung und Erprobung eines Systems, welches die gesamte Fahrbahnplatte auf ihren Feuchtegehalt überwacht, mittels präventiven Kathodischen Korrosionsschutzes (pKKS) schützt und zusätzlich die Tragfähigkeit der Brücke erhöht. Durch den Einsatz von SMART-DECK sind niedrigere Bauwerksinstandhaltungskosten als und geringere Verkehrsbeeinträchtigungen zu erwarten.

2 Projektergebnisse

Das intelligente multifunktionale Verstärkungs- und Schutzsystem aus textilbewehrtem Hochleistungsmörtel für Brückenbauwerke »SMART-DECK« wird als Querschnittsergänzung auf der Oberseite der Brückenfahrbahnplatte direkt auf den Konstruktionsbeton aufgebracht. Das System besteht aus einer dünnen Mörtelschicht, die durch zwei epoxidharzgetränkte Carbongelege bewehrt ist. Die zwei Bewehrungsmatten werden durch spezielle Abstandhalter aus Kunststoff fixiert und so voneinander elektrisch getrennt. Eine elektrische Verbindung der beiden Bewehrungslagen erfolgt durch im Porensystem des Mörtels enthaltenes Wasser. Oberhalb der Mörtelschicht können die Brückenabdichtung sowie der Fahrbahnbelag in üblicher Weise appliziert werden. Um die durchfeuchteten, in der Regel nicht sichtbaren Bereiche, welche durch undichte Stellen in der Abdichtung entstehen, besser eingrenzen zu können, teilt SMART-DECK die ausgeführte Fläche (i. d. R. der gesamte Brückenüberbau) in bis zu 20 Quadratmeter große Felder ein. Jedes Feld entspricht einem separat angesteuerten, einzelnen Sensor. Anhand

des elektrischen Widerstandes zwischen den Bewehrungslagen kann der Feuchtegehalt der Mörtelschicht gemessen werden. Sobald der Wassergehalt des Mörtels infolge einer undichten Stelle in der Abdichtung ansteigt, wird dies in einem merklichen Abfall des Widerstandes deutlich. Mithilfe einer entsprechenden Zustandsanzeige kann so ein Feuchtemonitoring der Brücke in Echtzeit, z. B. über Mobilfunk oder Internet, vorgenommen werden.

Ist eine Instandsetzung der Brückenabdichtung kurzfristig nicht möglich, kann die Aktivierung des pKKS helfen, die erforderlichen Maßnahmen zu verzögern bzw. einen Planungsvorlauf zu schaffen. Die Aktivierung des pKKS erfolgt nur in kritischen Bereichen, d. h. feldweise, so dass alle anderen Brückenbereiche weiter überwacht werden können.

Neben der vollflächigen Überwachung des Bauwerks hinsichtlich der Dichtigkeit der Abdichtungsebene und der Möglichkeit, die Bewehrung eines Brückenüberbaus präventiv kathodisch zu schützen, bietet SMART-DECK auch die Funktionalität einer Verstärkung der Brücke. Die maßgebende Verstärkung erfolgt dabei in Brückenquerrichtung im Bereich der Kragarme, die bei vielen Bestandsbauwerken für die aktuellen Anpralllasten nicht ausreichend bewehrt sind und eine Verstärkung dieses Bereiches erforderlich ist. Gegenüber der konventionellen Verstärkung mittels eingeschalteter Bewehrung bietet SMART-DECK den Vorteil, dass kein Eingriff in den Brückenüberbau erforderlich ist.

3 Verwertung durch die Projektpartner

Im April 2016 wurde auf dem Gelände der Bundesanstalt für Straßenwesen in Bergisch Gladbach eine Versuchsfläche mit einer Größe von etwa 100 m² hergestellt. Ziel war es, das Gesamtsystem nicht nur bei Laborbedingungen, sondern auch unter baustellenähnlichen Verhältnissen zu erproben. Am 18. Juli 2019 konnte dann im Zuge des Neubaus der Niersbrücke Ritterstraße in Mönchengladbach die Fertigstellung der zweiten und abschließenden Bauphase des SMART-DECK-Großdemonstrators stattfinden.

4 Diskussion der Ergebnisse durch WiTraBau

Das WiTraBau-Verbundkonsortium unterstützten die forschenden Stellen beim Transfer ihrer Ergebnisse in die Praxis. Dies erfolgte basierend auf den vorab vom WiTraBau-Konsortium definierten Verwertungsoptionen und Erkenntnisstufen.

Vom WiTraBau-Konsortium wurden die folgenden 14 Projektergebnisse definiert und mit den Zuwendungsempfängern abgestimmt:

- Entwicklung bei Carbongelege: Optimierung der Stöße und Abstandhalter,
- Verwendung von Carbongelege als Fremdstromanode bei KKS,
- Querleitfähigkeit der Carbonbewehrung,
- Monitoring,
- Evaluierung einer optimalen Treibspannung (pKKS, Bewehrungsgrad),
- Baupraktischer Einbau (Lagesicherung, Oberflächenvorbereitung, Stöße),
- Entwicklung Fertiger/Rüttelbohle,
- Elektrische Anschlüsse an Carbongelege,
- Messtechnik und Software,
- Verstärkung von Tragwerken,
- Demonstratoren,
- Wirtschaftlichkeitsbetrachtung,
- Mörtelentwicklung und
- pKKS als Chloridbarriere (geringe Stromdichten).

Diese 14 Projektergebnisse wurden den in Bild 2 dargestellten vier Erkenntnisstufen zugeordnet.

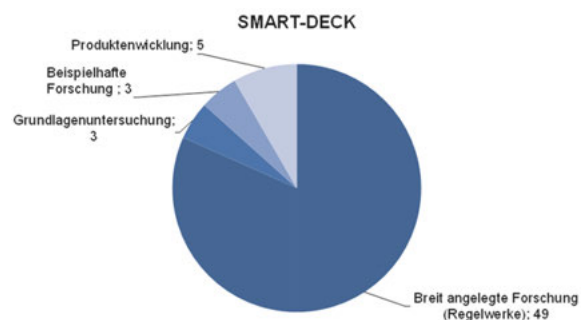


Bild 1 Erkenntnisstufen von SMART-DECK

Darüber identifizierte das WiTraBau-Konsortium für die o. g. Projektergebnisse die in Bild 3 aufgeführten Verwertungsoptionen.

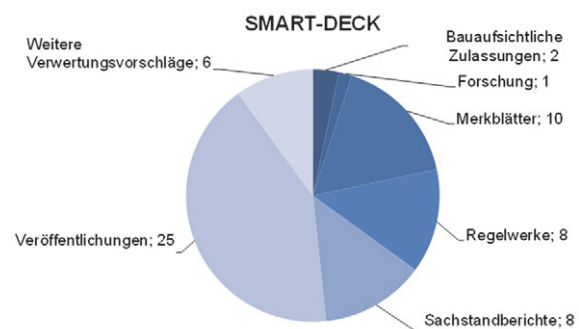


Bild 2 Verwertungsoptionen von SMART-DECK

5 Projektergebnisse

Der Deutsche Beton- und Bautechnik-Verein E.V. führte als Verbundkoordinator von SMART-DECK die folgenden Verwertungsaktivitäten durch:

- Organisation diverser Vorträge von Dr. Till Büttner (bis 08/2018: EUROVIA, ab 09/2018: Massenbergl) mit Diskussion im Expertenkreis, u. a. auf einer Sondersitzung der DBV-Hauptausschüsse Forschung und Baustofftechnik sowie Sitzung des DBV-Arbeitskreises »Brückenbau« Gruppe 3
- Bekanntmachung diverser Veröffentlichungen und Fachvorträge,
- Übernahme von Erkenntnissen aus SMART-DECK als Chloridbarriere ins DBV-Merkblatt »Parkhäuser und Tiefgaragen«,
- Erarbeitung von Veröffentlichungen im DBV-Rundschreiben 257 und 262
- Einbindung der Erkenntnisse aus SMART-DECK ins DBV-Merkblatt »Brückenmonitoring – Planung, Ausschreibung, Umsetzung«
- Veröffentlichung des HighTechMatBau-Videos auf der DBV-Homepage
- Diverse Kurzvorträge zu SMART-DECK durch Prof. Fingerloos, wie bspw. auf 63. BetonTagen in Neu-Ulm, beim Weiterbildungsprogramm Tragwerksplaner und verschiedenen DBV-Arbeitstagungen »Parkhäuser und Tiefgaragen«
- Pressemitteilung »WiTraBau – Wissenstransfer im Bauwesen« auf dem Deutschen Bautechnik-Tag 2019 in Stuttgart
- Ermöglichung der Vorträge »SMART-DECK – Konzept und aktueller Entwicklungsstand« von Univ.-Prof. Dr. Raupach und »SMART-DECK – Realisierung der Idee in der Praxis« von Dr. Till Büttner in Arena vom Deutschen Bautechnik-Tag 2019
- Ermöglichung des Ausstellungsstandes »SMART-DECK« beim Deutschen Bautechnik-Tag 2019
- Mitwirkung bei Erstellung und Veröffentlichung des HighTechMatBau-Videos beim Deutschen Bautechnik-Tag 2019

Von den anderen WiTraBau-Verbundpartnern erfolgten darüber hinaus die folgenden Verwertungsaktivitäten:

- Vortrag, Beitrag zum Tagungsband, Posterausstellung im Rahmen der HighTechMatBau Kick-Off-Tagung 28. September 2015,
- Vorstellung des Projektes im Rahmen des WiTraBau-Messestandes bei der Messe BAU2017, BAU 2019 und der Messe der Betontage 2019,
- Vortrag zu »Hightech-Materialien am Bau« durch den DAfStb bei der Messe BAU2017,

- Aufnahme in Forschungsprojektdatenbank BAUFO und
- Organisation des Vortrags und Beitrags im Tagungsband und Präsentation von SMART-DECK auf Demonstratorausstellung bei der HTMB-Konferenz am 31. Januar 2018 in Berlin.

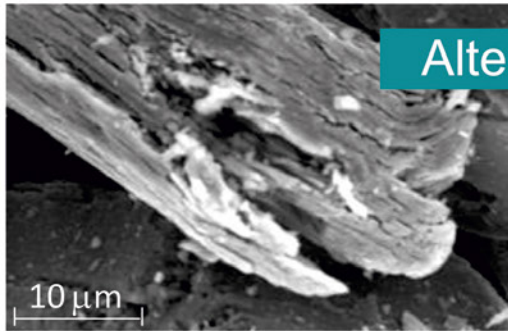
6 Literaturreferenzen

- [1] Eurovia: SMART-DECK: Intelligentes multifunktionales Verstärkungs- und Schutzsystem aus textilbewehrtem Hochleistungsmörtel für Brückenbauwerke, Teilvorhaben: Implementierung in den Bauablauf und Realisierung von SMART-DECK, Abschlussbericht 13N13103.
- [2] Massenbergl: SMART-DECK: Intelligentes multifunktionales Verstärkungs- und Schutzsystem aus textilbewehrtem Hochleistungsmörtel für Brückenbauwerke, Teilvorhaben: Herstellung der elektrischen Anschlüsse zur Realisierung des vollflächigen Feuchtemonitorings und pKKS von SMART-DECK, Abschlussbericht 13XP5010B.
- [3] solidian: SMART-DECK: Intelligentes multifunktionales Verstärkungs- und Schutzsystem aus textilbewehrtem Hochleistungsmörtel für Brückenbauwerke, Teilvorhaben: Erarbeitung von technischen multifunktionalen Hochleistungstextilien, Abschlussbericht 13XP5010C.
- [4] Sto: SMART-DECK: Intelligentes multifunktionales Verstärkungs- und Schutzsystem aus textilbewehrtem Hochleistungsmörtel für Brückenbauwerke, Teilvorhaben: Multifunktionale Leichtbetonbauteile mit inhomogenen Eigenschaften, Abschlussbericht 13XP5010D.
- [5] BAST: SMART-DECK: Intelligentes multifunktionales Verstärkungs- und Schutzsystem aus textilbewehrtem Hochleistungsmörtel für Brückenbauwerke, Teilvorhaben: Anforderungen und Beurteilung des präventiven Erhaltungskonzepts SMART-DECK, Abschlussbericht 13XP5010D.
- [5] ibac: SMART-DECK: Intelligentes multifunktionales Verstärkungs- und Schutzsystem aus textilbewehrtem Hochleistungsmörtel für Brückenbauwerke, Teilvorhaben: Konzeptionierung und Validierung des Monitoring- und pKKS-Systems für SMART-DECK, Abschlussbericht 13XP5010E.
- [6] Lindorf, A.: SMART-DECK: Intelligentes Verstärkungs- und Schutzsystem für Brückenbauwerke, pDBV-Rundschreiben 262 – Sept. 2019, S. 19

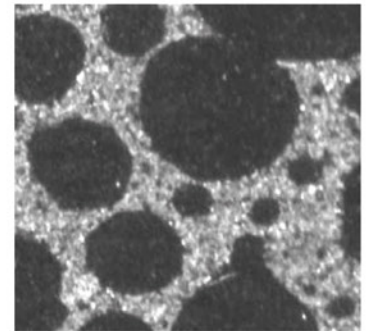
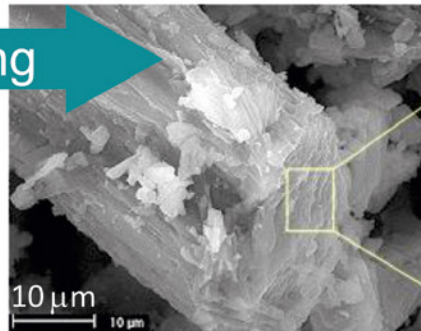
Darüber hinaus wird das Projekt SMART-DECK auch im Film vorgestellt:

- SmartDeck1:
<https://youtu.be/mMGUx6ExFWU?t=139>
- SmartDeck2:
<https://youtu.be/Q8Q58uKnqds?t=221>

Sulfoam

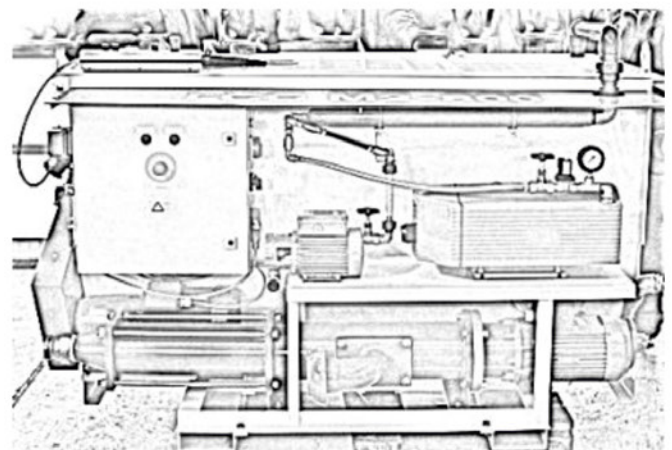
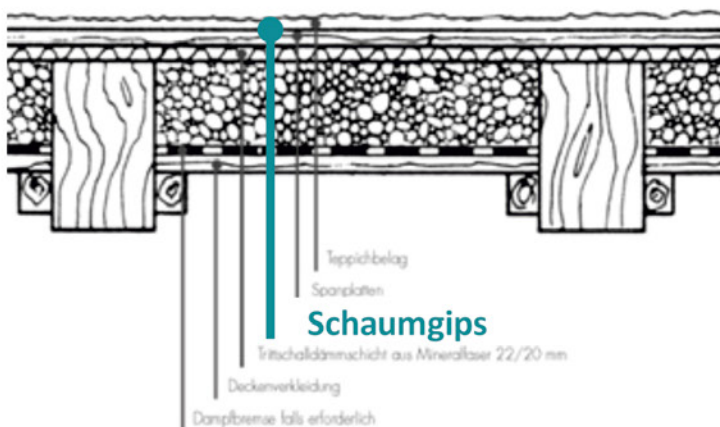


Alterung



CASEA

IM AUFTRAG DER ZUKUNFT



SULFOAM – Schaumgips mit vielen Anwendungsmöglichkeiten

Entwicklung und Herstellung eines neuartigen geschäumten Baustoffs auf Basis von Calciumsulfat

WiTraBau-Verwertungskordinator: Fraunhofer-Institut für Bauforschung IBP

Abstract: Im Projekt SULFOAM wurde unter der Leitung der Casea GmbH ein geschäumter Baustoff auf Calciumsulfatbasis entwickelt, welcher sich unter anderem für die Verbesserung des Brand- und Wärmeschutzes, zur baustoffverträglichen Sanierung und als Ausgleichs- und Einbettungs- und Dämmschicht einsetzen lässt.

Keywords: Schaumgips, Brandschutz, Wärmedämmung, Ausgleichsmasse, Gipsmauerwerk, Alterung

1 Projektziele und Anwendungsgebiete von Schaumgips

Das zu Projektbeginn definierte Ziel war die Entwicklung von maßgeschneiderten Schaumgipsrezepturen für folgende Anwendungen:

- Erhöhung des Brand- und Wärmeschutzes bei der Ertüchtigung von Holzbalkendecken in Altbauten,
- materialverträgliche Sanierung sulfathaltiger Bauwerke und Bauteile (insbesondere zur Verfüllung mehrschaliger Mauerwerke),
- Verwendung als Ausgleichs-, Einbettungs- und Dämmschicht unter Calciumsulfat-Fließestrich.

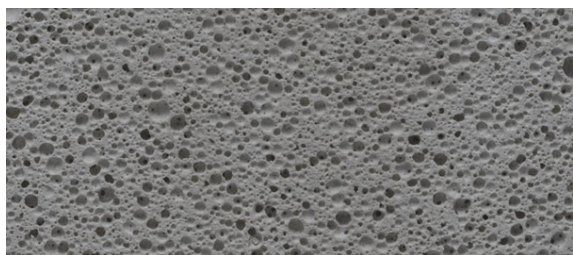


Bild 1 Porenstruktur des entwickelten Schaumgipses
(Quelle: CASEA GmbH)

1.1 Horizontale Anwendung von Schaumgips

Für die erfolgreiche Verwendung des Schaumgipses in der horizontalen Anwendung wie z.B. Ausgleichs-, Einbettungs- und Dämmschicht unter Calciumsulfat-Fließestrich sowie Hohlraumbefüllung in Holzbalkendecken (vgl. Bild 2) muss ein leichtes Einbringen durch eine pumpfähige, selbstnivellierende Konsistenz erreicht werden, ohne große Wassermengen in das Gebäude einzutragen. Darüber hinaus sind die wärmedämmenden Eigenschaften und die Erfüllung an Begeh- und Belegbarkeit innerhalb bauprozess-relevanter Zeiträume entscheidend.



Bild 2 Ausbringen des Schaumgipses im Technikum zur Hohlraumbefüllung in Holzbalkendecken mit unterschiedlichen Einlagematerialien (Quelle: CASEA pGmbH)

1.2 Vertikale Anwendung von Schaumgips

In der vertikalen Anwendung (Verfüllung von sulfathaltigem Mauerwerk in Bild 3) muss die Schaumgipsrezeptur trotz der notwendigen Minimierung der Wasserzugabe eine fließfähige Konsistenz, eine homogene Verteilung im Mauerwerk, eine hohe Sedimentationsstabilität, einen guten Haftverbund mit dem umliegenden Bestandsmauerwerk und die Formstabilität bei längerer Durchfeuchtung sicherstellen.



Bild 3 Im Technikum versuchsweise verfülltes zweischaliges Mauerwerk mit Einbringungsbohrung (Quelle: CASEA GmbH)

2 Alterung von Stuckgips

Die erforderliche gute Pumpfähigkeit bei gleichzeitig niedrigen Wassergehalten kann zum einen durch den Einsatz von werksgemischten Calciumsulfat-Fließestrichcompounds auf Basis von thermischen Anhydrit oder alpha Halbhydrat erreicht werden. Zum anderen wurde im Projekt mit der gezielten künstlichen Alterung von Stuckgips ein vollkommen neuer Ansatz entwickelt. Der entwickelte Alterungsprozess kann momentan mit einer Technikumspilotanlage realisiert werden. Die großtechnische Herstellung wird zukünftig ebenso möglich sein. Durch die künstliche Alterung des Bindemittels in Kombination mit hochwirksamen PCE-Fließmitteln ermöglicht ein Wasser/Bindemittel-Verhältnis (W/B Wert) von 0,35. Gegenüber den ansonsten üblichen W/B-Werten zwischen 0,6 und 0,8 wird so ein erheblicher Vorteil im Trocknungsverhalten erreicht, ohne dabei die fließfähige Arbeitskonsistenz des selbstnivellierenden Mörtels zu verlieren.

3 Herstellung und Verarbeitung

Die Herstellung des Schaumgipsbaustoffes erfolgt auf der Baustelle durch die Herstellung des Binderleims aus dem vorkonfektionierten Trockenmörtel (Schritt 1), der Herstellung des Tensidschaums mit einem Schaumgenerator (Schritt 2) und dem Vermischen der beiden Komponenten zum fertigen Gips-schaummörtel (Schritt 3 – siehe Bild 4), wobei für große Baustellen auch die Verlegung per Mixmobil möglich ist. Anschließend kann der Schaumgipsbaustoff verpumpt und eingebaut werden. Aufnahmen einer beispielhaften Anwendung bei der Verfüllung von Hohlräumen einer Holzbalkendecke können als Video über den QR-Code in Bild 5 oder in [1] angesehen werden. Die notwendige Maschinenteknik (Schaumgenerator, Schaumgipsmaschine und dazugehörige Verfüll- und Applikationstechnik) wurde im Projekt entwickelt. Dabei wurden die einzelnen Komponenten systematisch aufeinander abgestimmt. Der Schaumgenerator ist so ausgelegt, dass dieser einen stabilen, feinporigen Schaum liefert, während die speziell entwickelte Mischwelle der Schaumgipsmaschine diesen sanft untermischt. Die Verfüll- und Applikationstechnik erlaubt die praxisgerechte, schnelle und schonende Verarbeitung des Schaumgipses auf der Baustelle.



Bild 4 Frisch angemischter Gipsschaummörtel in der speziell entwickelten Mischkammer (Quelle: CASEA GmbH)

Je nach Verwendungszweck können die Eigenschaften des Schaumgipses u.a. auch über den Schaumanteil und damit über die Trockenrohichte variiert werden. In einer Spanne von 400 bis 800 kg/m³ können so Druckfestigkeiten von 0,5 bis 5 N/mm² und Wärmeleitfähigkeiten von 0,11 bis 0,26 W/mK eingestellt werden.



Bild 5 QR-Code zum Video über die beispielhafte Anwendung des Schaumgipses bei der Verfüllung von Hohlräumen einer Holzbalkendecke (Quelle: HighTech-MatBau.de)

4 Zusammenfassung

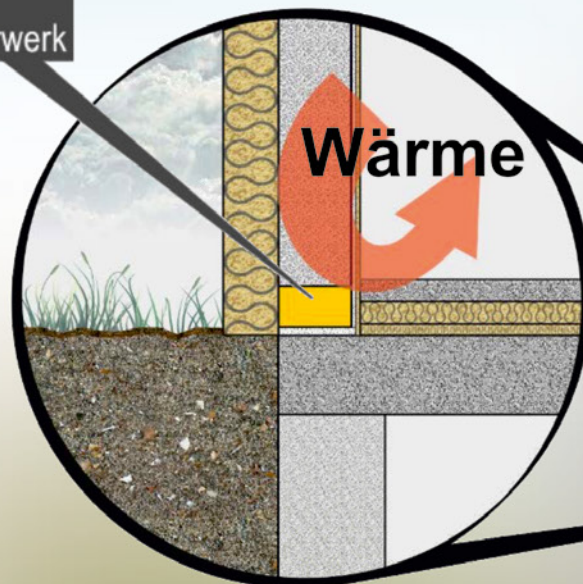
Durch das Projekt SULFOAM steht ein emissionsarmer neuartiger Dämm-, Ausgleichs- und Verfüllbaustoff auf Basis von Calciumsulfat zur Verfügung, welcher durch die maschinelle Verarbeitung und die selbstnivellierenden Eigenschaften bei der Verwendung in Holzbalkendecken, sulfathaltigem Mauerwerk und unter Calciumsulfat-Fließestrichen schnell und einfach verbaut werden kann. Insbesondere kann als Projektergebnis auch die entwickelte Alterung für Stuckgips hervorgehoben werden.

Eine besonders positive Eigenschaft des neu entwickelten Baustoffes ist die hervorragende Recyclierfähigkeit. Der Baustoff kann leicht von anderen Konstruktionen getrennt und separiert werden. Danach ist er zu 100 % recycelbar. Die dafür notwendigen Anlagen stehen jetzt schon zur Verfügung.

5 Unterstützung durch WiTraBau

Zusätzlich zu den verschiedenen Möglichkeiten, welche durch WiTraBau initiiert wurden, für das Projekt seine Forschungsergebnisse vorzustellen, erfolgte durch WiTraBau die Unterstützung des Projekts SULFOAM in zwei wesentlichen Bereichen:

1. An dem für die Verfüllung von historischem Mauerwerk vorgesehenen Schaumgips wurden hygrothermische Messungen vorgenommen, um den neuen Baustoff in Verbindung mit dem historischen Mauerwerk berechnen zu können und dessen Austrocknungs- bzw. Auffeuchtungsverhalten bewerten zu können. Dies ist insbesondere wichtig an den Schnittstellen zwischen Mauerwerksbauteilen und Holzbauteilen.
Aber auch für die Anwendung als Hohlraumbefüllung von Holzbalkendecken sowie bei der Verwendung als horizontale Ausgleichsschicht ist die Kenntnis der hygrothermischen Einflüsse des Baustoffes auf angrenzende Bauteile entscheidend, weshalb die im Rahmen von WiTraBau eine hygrothermische Charakterisierung an zwei Varianten des entwickelten Baustoffes durchgeführt wurden, welche wichtig für dessen breiten Einsatz sind.
2. Um die Anwendung des Schaumgipses als Hohlraumbefüllung im Bereich des Schallschutzes zu vereinfachen, wurde die Integration der Konstruktion in den Bauteilkatalog der DIN 4109-33 angestrebt, von wo aus Planer dann die Kennwerte der Holzbalkendecke mit Gipsschaum für den rechnerischen Nachweis des Schallschutzes entnehmen könnten. Dadurch könnte die Nachweisführung stark vereinfacht werden und so die Einsatzhäufigkeit der Konstruktion erhöhen. Anhand der im Projekt SULFOAM durchgeführten Schallschutzmessungen an einer beispielhaften Holzbalkendecke wurde durch WiTraBau der zuständige Arbeitskreis der DIN 4109-33 kontaktiert und mit ihm die Möglichkeit der Integration der Konstruktion in die Norm diskutiert. Der Arbeitskreis diskutierte anschließend über eine Aufnahme der Konstruktion mit Schaumgips in den Bauteilkatalog der Norm. Allerdings wurde der Aufnahme nicht zugestimmt.



THELMA

Thermisch Wirksame Bauelemente für das Mauerwerk

WiTraBau-Verwertungskoordinator: Deutscher Bau- und Bautechnik-Verein E.V. (DBV)

Abstract: Ein zentrales Element intelligenter Gebäudetechnik sind Bauelemente, die eine hohe Wärmedämmung bei gleichzeitig hoher Tragfähigkeit aufweisen und durch ihre herausragenden bauphysikalischen Eigenschaften einer Durchfeuchtung des Bauteils und einer daraus resultierenden Schimmelbildung entgegenwirken. Von besonderer Bedeutung ist in diesem Zusammenhang der Sockelbereich von Gebäuden, d. h. der Bereich unmittelbar über der Boden- bzw. Kellerplatte eines Bauwerks. Aufgrund der geometrischen Verhältnisse im Bereich dieser Bauteile müssen diese eine weit über die Dämmwirkung eines normalen Wandbauteils hinausgehende Dämmwirkung aufweisen. Gleichzeitig sind Sockelbereiche insbesondere während des Bauzustands aber auch während der Nutzung einer von außen kommenden Wasserbeaufschlagung ausgesetzt, die zu einer Durchfeuchtung des Bauteils und damit zum Verlust der Wärmedämmung führen kann.

Um das zu erreichen wird ein grundlegender Ansatz verfolgt, dessen Ziel es ist, zunächst das Wärmetransportverhalten in Beton auf der Mikrostrukturebene durch mineralogische Veränderungen zu verbessern. Aufbauend darauf soll durch eine gezielte, in ihrer Struktur definierte und reproduzierbare Porosierung der Zementsteinmatrix die Wärmeleitfähigkeit von Beton weiter reduziert werden. Auf der Grundlage dieser Betone erfolgt dann die Entwicklung von Bauteilen, deren Wärmeleitung durch Einbau zusätzlicher Wärmedämmkammern weiter reduziert werden. Auf der Grundlage dieser Betone erfolgt dann die Entwicklung von Bauteilen, deren Wärmeleitung durch Einbau zusätzlicher Wärmedämmkammern weiter reduziert wird. Abschließend sind geeignete Fertigungstechniken zu entwickeln, die eine Übertragung der im Labor erzielten Techniken der Beeinflussung der Wärmeleitfähigkeit, der Porosierung und der Bauteilfertigung auf eine großtechnische Produktion erlaubt.

Keywords: Bauelemente, Mauerwerksstein, Hochleistungsbeton, Fertigteile, Wärmetransport, Dämmung

1 Projektziel

Zielsetzung des Projekts war es, vorgefertigte, überwiegend aus mineralischen Rohstoffen bestehende Bauelemente für Sockelkonstruktionen von Bauwerken zu entwickeln. Diese Bauelemente sollten eine stark verbesserte Wärmedämmwirkung gegenüber herkömmlichen Sockelaufbauten aufweisen, in ihrer Wärmedämmwirkung unempfindlich auf ein äußeres Feuchteangebot reagieren, witterungsbeständig, dauerhaft und rezyklierbar sein und darüber hinaus eine hohe statische Tragwirkung aufweisen (siehe Bild 1). Auf der Grundlage dieser Betone sollten anschließend neuartige Bauteilgeometrien entwickelt werden. Neben einer hohen statischen Tragfähigkeit dieser Bauteile sollte die Isolationswirkung durch die

Anordnung von Wärmedämmkammern im Fokus der Untersuchungen stehen.

Die Aufgabenstellung des Vorhabens leitete sich dabei aus der politisch wie auch ökologisch bedingten Verpflichtung zur Reduktion des Primärenergiebedarfs und insbesondere des Energieaufwands für die winterliche Beheizung von Gebäuden ab. Dieser Herausforderung wurde in den vergangenen Jahren durch eine zunehmende Verschärfung der geltenden Regelwerke zur wärmetechnischen Isolierung von Gebäuden Rechnung getragen. Bislang fehlten jedoch technologische Lösungen, die diese gestiegenen Anforderungen erfüllen.

Die bauliche Umsetzung dieser Anforderungen ist heute durch die Verwendung großer Schichtdicken polymerer Dämmstoffe geprägt. Diese Wandaufbauten sind insbesondere im Sockelbereich von Gebäu-

den aus wärmetechnischer Sicht nur bedingt zielführend. Zum einen stellen Sockelbereiche infolge der dort vorliegenden geometrischen Randbedingungen grundsätzlich eine Wärmebrücke dar und erfordern daher eine gegenüber einfachen Wandquerschnitten verstärkte Wärmedämmung. Gleichzeitig ist durch die in diesen Bereichen eines Gebäudes nahezu unvermeidliche Durchfeuchtung des Dämmstoffes mit ausgeprägten Einbußen bei der Wärmedämmwirkung der Isoliermaterialien zu rechnen. Dem bislang existierenden Verbundansatz, d. h. der Aufteilung der Funktionen der Wärmedämmwirkung und der statischen Tragwirkung auf unterschiedliche Werkstoffe, sind daher physikalische Grenzen gesetzt. Fortschritte in Sachen Wärmedämmung können daher nur durch neuartige, weitgehend monolithischen Bauelementen gemacht werden. Dies erfordert neben statischen und geometrischen Optimierungen auch eine grundlagenorientierte Betrachtung der Wärmetransportmechanismen im Hinblick auf die Entwicklung eines innovativen Werkstoffs. Dieser Randbedingung wurde im vorliegenden Projekt Rechnung getragen.

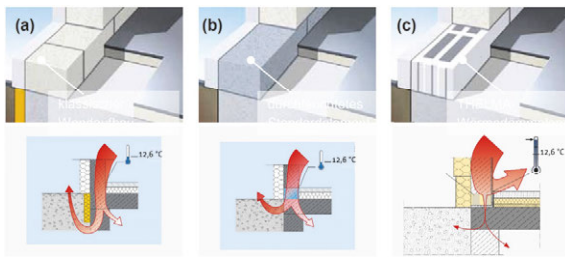


Bild 1 Wärmetechnisches Problem im Sockelbereich eines Gebäudes bei einer üblichen Wärmedämmung mittels WDVS (a), bei Verwendung von wassersaugenden und damit feuchtebeladenen Standard-Sockelelementen (b) und durch Verwendung der im Projekt zu entwickelnden THELMA-Bauelemente (c); die Pfeilgröße symbolisiert die Größe des Wärmestroms [1],[2],[3],[4]

2 Projektergebnisse

Als Ergebnis des Forschungsvorhabens liegen nun die Grundlagen vor, um ein deutlich verbessertes Bauelement zur Wärmedämmung des Gebäudesockels auf den Markt bringen zu können. Hierbei kann die Optimierung in einer deutlich verbesserten Dämmwirkung bei ähnlichen Festigkeitseigenschaften aktueller Produkte liegen oder alternativ in einer erhöhten Festigkeit bei mäßig verbesserten Dämmeigenschaften aber gleichzeitiger Nichtbrennbarkeit und bester Rezyklierbarkeit.

3 Verwertung durch die Projektpartner

Die erzielten Forschungsergebnisse wurden auf der HighTechMatBau-Konferenz 2018 vorgestellt. Weiterhin sind aus dem Projekt eine Reihe von Veröffentlichungen geplant. Die Bauteilentwicklung soll in einer nationalen Fachzeitschrift vorgestellt werden. Für die Entwicklung des Leichtbetons auf der Grundlage der Phononenstreuung ist zum Zeitpunkt der Berichtsverfassung eine internationale Publikation in Vorbereitung.

4 Verwertung durch WiTraBau

Die WiTraBau-Verbundpartner versuchten, die forschenden Stellen beim Transfer ihrer Ergebnisse in die Praxis zu unterstützen. Dies sollte basierend auf den vorab vom WiTraBau-Konsortium definierten Verwertungsoptionen und Erkenntnisstufen erfolgen. Der DBV erstellte hierfür folglich einen Verwertungsplan im Entwurf.

Vom WiTraBau-Konsortium wurden die folgenden mit dem Zuwendungsempfänger abgestimmten Projektergebnisse definiert:

- Methoden zur Steuerung des Phononentransports zur Reduzierung der Wärmeleitfähigkeit,
- Porositätssteuerung durch Schaum-/Luftporenbildner als Zusatzmittel,
- Massehydrophobierung zur Verringerung der kapillaren Saugfähigkeit,
- Zusatzmittelcompounds,
- Optimierung von Bauteil- bzw. Mauerwerksteingeometrien zur Reduzierung von Wärmebrücken bzw. Wärmeleitfähigkeit mit zugleich hohem Lastabtrag,
- Demonstratoren und
- Fertigungstechniken zur großtechnischen Produktion.

Diese sieben Projektergebnisse wurden den in Bild 2 dargestellten drei Erkenntnisstufen zugeordnet. Bild 2 verdeutlicht, dass es sich bei dem Projekt THELMA vorwiegend um breit angelegte anwendungsbezogene Forschung handelt, die Eingang in Merkblätter, Richtlinien und Normen, etc. finden kann. Ferner ordnete das WiTraBau-Konsortium das Forschungsvorhaben THELMA untergeordnet den Erkenntnisstufen »Grundlagenuntersuchungen als Basis für weitere anwendungsbezogene Forschung« und »anwendungsbezogene Forschung als Basis für eine weitere Produktentwicklung« zu.

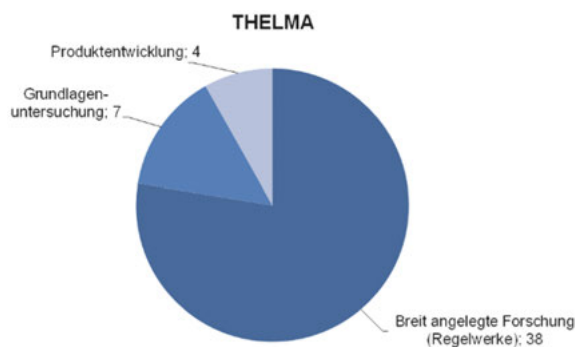


Bild 2 Erkenntnisstufen von THELMA

Darüber hinaus identifizierte das WiTraBau-Konsortium für die o. g. Projektergebnisse die in Bild 3 aufgeführten Verwertungsoptionen. Im Fokus der Verwertung sah das WiTraBau-Konsortium folglich u. a. fachspezifische Veröffentlichungen, Vorträge und Fachzeitschriften, die Aufnahme in Regelwerke und die Erstellung allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassungen.

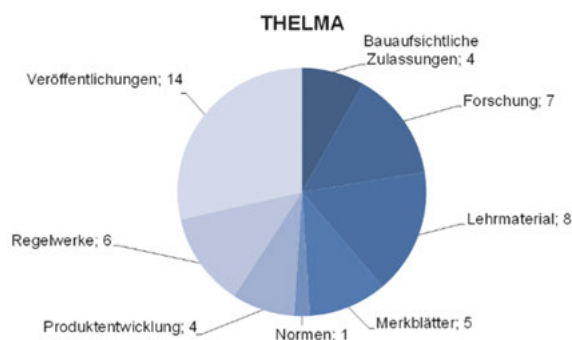


Bild 3 Verwertungsoptionen von THELMA

5 Projektergebnisse

Der innerhalb des WiTraBau-Konsortiums abgestimmte Verwertungsplan konnte aufgrund der ablehnenden Haltung der beteiligten Forscher trotz mehrfacher Kontaktversuche nicht bestätigt werden. Auch im weiteren Projektverlauf wurde der WiTraBau-Verwertungsplan, sprich der DBV, weder zu Projekttreffen eingeladen noch über Ergebnisse des Forschungsvorhabens informiert. Vom Verwertungsplan konnten daher keine Verwertungsaktivitäten umgesetzt werden. Vom Zuwendungsempfänger war keine Unterstützung gewünscht.

Von den anderen WiTraBau-Verbundpartnern konnten jedoch die folgenden Verwertungsaktivitäten umgesetzt werden:

- Organisation der HighTechMatBau Kick-Off-Tagung am 28. September 2015 mit Vortrag, Beitrag zum Tagungsband, Posterausstellung durch THELMA,
- Teilnahme des Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP) am Projekttreffen des THELMA-Verbundes bei Schöck Bauteile GmbH in Baden-Baden,
- Aufnahme des Forschungsvorhabens in Forschungsprojektdatenbank BAUFO,
- Aufnahme in Literaturdatenbank RSWBplus, Link zum Abschlussbericht, Bericht zugänglich auch über www.baufachinformation.de,
- Organisation eines Vortrags zum Verbundforschungsvorhaben und Beitrag im Tagungsband bei der HTMB-Konferenz am 31. Januar 2018 in Berlin,
- Präsentation von THELMA im Rahmen der Demonstratorausstellung der HTMB Konferenz am 31. Januar 2018 in Berlin,
- Organisation eines Vortrags beim Dämmstoffsymposium 2018 in Stuttgart und
- Veröffentlichung der Projektergebnisse durch das Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP) in der Zeitschrift bauen+ Ausgabe 6 2020 im November 2020.

6 Literaturreferenzen

- [1] Schöck: THELMA: Thermisch Wirksame Bauelemente für das Mauerwerk, Teilvorhaben: THELMA-Produktion: Innovative Fertigungsverfahren für das THELMA-Bauelement, Definition des Anforderungskatalogs, Abschlussbericht 13N13281.
- [2] Hydroment: THELMA: Thermisch Wirksame Bauelemente für das Mauerwerk, Teilvorhaben: THELMA-Porenbeton: Minimierung der Wärmeleitfähigkeit von Beton durch gezielte Steuerung des Porensystems in der Zementsteinmatrix, Abschlussbericht 13N13282.
- [3] Büro für Baukonstruktionen: THELMA: Thermisch Wirksame Bauelemente für das Mauerwerk, Teilvorhaben: THELMA-Design: Statische Bemessung und konstruktive Ausbildung des THELMA Bauelemente, Abschlussbericht 13N13283.
- [4] KIT IMB: THELMA: Thermisch Wirksame Bauelemente für das Mauerwerk, Teilvorhaben: THELMA-Crete: Minimierung der Wärmeleitfähigkeit von Beton durch gezielte Steuerung des Photonentransports, Abschlussbericht 13N13284.

Impressum

Herausgeber:
Deutscher Ausschuss für Stahlbeton e.V. (DAfStb)
Budapester Straße 31
10787 Berlin
info@dafstb.de
www.dafstb.de
Prof. Dr.-Ing. Udo Wiens

Herzlichen Dank

Fördergeber: **Bundesministerium für Bildung und Forschung**
Projektträger: **VDI Technologiezentrum**

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über www.dnb.de abrufbar.

ISBN (Print): 978-3-7388-0555-0
ISBN (E-Book): 978-3-7388-0556-7

1. Auflage 500 Exemplare

Stand: April 2021

Redaktion: Mirsada Omercic | DAfStb
Udo Wiens | DAfStb

Umschlaggestaltung: Sabine Paulischkis | DAfStb

Herstellung: Gabriele Wicker | Fraunhofer IRB
Druck und Bindung: Offizin Scheufele Druck und Medien GmbH & Co. KG

Alle Rechte vorbehalten

Dieses Werk ist einschließlich aller seiner Teile urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die über die engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes hinausgeht, ist ohne schriftliche Zustimmung des Fraunhofer IRB Verlages unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen sowie die Speicherung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen und Handelsnamen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, dass solche Bezeichnungen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und deshalb von jedermann benutzt werden dürften.

Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien (z. B. DIN, VDI, VDE) Bezug genommen oder aus ihnen zitiert werden, kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.

© by Fraunhofer IRB Verlag, 2021
Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB
Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart
Telefon +49 711 970-2500
Telefax +49 711 970-2508
irb@irb.fraunhofer.de
www.baufachinformation.de



Organisation
WiTraBau-
Wissenstransfer im Bauwesen



Projektkoordination
Deutscher Ausschuss für Stahlbeton e. V.



ISBN 978-3-7388-0555-0



9 783738 805550