

Schlussbericht

zur Bekanntmachung

HighTechMatBau

Zuwendungsempfänger: Sto SE & Co KGaA

Verbundnamen: Intelligentes multifunktionales Verstärkungs- und Schutzsystem aus textildbewehrtem Hochleistungsmörtel für Brückenbauwerke

Teilvorhaben: Erarbeitung von Hochleistungsmörtel unter Berücksichtigung der Anforderungen von SMART-DECK

Förderkennzeichen: 13N13103

Schlagworte zum Verbund:

Bauwerkssicherheit, Brückenbelag, Dauerhaftigkeit, Kathodischer Korrosionsschutz, Monitoring, Textile Bewehrung, Hochleistungsmörtel, Verkehrsbehinderungsreduzierung, Verstärkung

Inhalt

1 Kurze Darstellung	3
1.1 Aufgabenstellung	3
1.2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde	4
1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens	4
1.4 Wissenschaftlicher und technischer Stand zu Beginn des Vorhabens	8
1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen.	9
2 Eingehende Darstellung	9
2.1 Verwendung der Zuwendung und erzielte Ergebnisse	9
2.1.1 AP 2 – Erarbeitung Mörtelsystem	11
2.1.2 AP 6 – AS 6.1 „Klein“-Demonstrator	23
2.1.3 AP 6 – AS 6.3 „Groß“-Demonstrator	24
2.2 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises	25
2.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der Arbeit	25
2.4 Voraussichtlicher Nutzen der Ergebnisse und fortgeschriebener Verwertungsplan	25
2.5 Darstellung des während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordenen Fortschritts auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen	25
2.6 Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses	26
4 Kurzfassung (Berichtsheft)	27

1 Kurze Darstellung

1.1 Aufgabenstellung

Das Thema der nachhaltigen Mobilität steht aufgrund der sehr großen Verkehrsinfrastruktur in Kombination mit einem stetig wachsenden Verkehrsaufkommen in Deutschland kontinuierlich im Fokus von Wirtschaft, Politik und Forschung. SMART-DECK soll ein innovativer, multifunktionaler Brückenbelag für den Neubau sowie die Instandsetzung von Straßenbrücken bieten. Die Lebensdauer der Bauwerke soll maßgeblich erhöht und gleichzeitig volkswirtschaftliche Schäden aus Verkehrsbehinderungen infolge umfangreicher Instandsetzungsarbeiten oder Ersatzbauten signifikant zu reduzieren werden.

Im Rahmen des geplanten Verbundforschungsvorhabens – Intelligenter multifunktionaler Brückenbelag aus Textilbeton, soll SMART-DECK eine innovative, multifunktionale und dünne (ca. 30 mm) Zwischenschicht entwickelt werden, welche sowohl für den Neubau als auch für Bestandsbauwerke einen Fortschritt gegenüber dem heutigen Stand der Technik bietet.

SMART-DECK basiert auf dem innovativen Werkstoff Textilbeton und soll gleich drei Funktionalitäten bieten: Das System soll erstmals ein vollflächiges Echtzeit-Feuchtemonitoring, einen abschnittsweise steuerbaren präventiven kathodischen Korrosionsschutz (pKKS) sowie eine konstruktive Verstärkung von Bestandsbauwerken mit einer zu geringen Tragfähigkeit erlauben. Das Monitoring ermöglicht ein frühzeitiges Erkennen von Schäden in der Abdichtungsebene und in Kombination mit dem pKKS das Vermeiden von Verkehrsbehinderungen, da eine Erneuerung des Brückenbelages mit einhergehender Baustelleneinrichtung nicht zeitnah erforderlich ist, sondern über Jahre hinaus in verkehrsgünstige Perioden verschoben werden kann. Sowohl das Monitoring, der pKKS als auch die verstärkende Wirkung sollen mit Hilfe textiler Carbonbewehrung in Kombination mit einem Hochleistungsmörtel realisiert werden.

Die Aufgabe der Fa. Sto besteht mittelbar im Zusammenhang mit der Erarbeitung eines mineralischen Mörtels, der als Systemkomponente im Gesamtsystem SMART DECK zur Anwendung kommen soll. Die wesentlichen Fragestellungen bei den Forschungsaufgaben liegen in der Formulierung des mineralischen Mörtels, der Verträglichkeit des Mörtels mit den mittelbar angrenzenden Werkstoffen Beton und Abdichtung sowie zu den systemgehörigen Werkstoff Textilbewehrung. Darüber hinaus muss sichergestellt werden, dass die physikalisch chemischen Prozesse, hier vor allem das Verfahren - präventiver kathodischer Korrosionsschutz (pKKS) – gesamthaft zum Tragen kommen kann. Darüber hinaus sind die Erkenntnisse aus der Mörtelcharakterisierung entscheidende Merkmale für die Projektpartner in der Festlegung der Systemmerkmale.

Das genannte Teilvorhaben ist im Rahmen des Verbundforschungsvorhabens von zentraler Bedeutung, da ohne die Arbeiten des Teilvorhabens SMART-DECK nicht realisiert werden kann. Und die zuvor genannten Forschungsfragestellungen nicht von einem anderen Partner bearbeitet werden können.

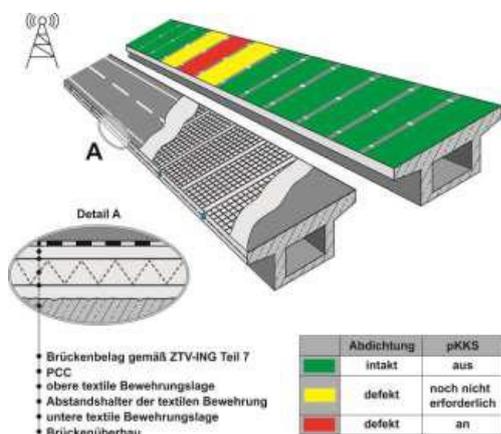


Abbildung 1: Übersicht der Funktionalität von SMART-DECK und den Zustand der Abdichtung

Die Funktionalitäten von SMART-DECK sind modular aufgebaut und können je nach Anforderung des jeweiligen Bauwerks ebenfalls modular eingesetzt werden. Sollte z.B. kein Tragfähigkeitsdefizit vorliegen, könnte auf eine Erhöhung der Tragfähigkeit verzichtet werden, um einen Teil der Carbonbewehrung einzusparen und die Wirtschaftlichkeit des Gesamtsystems zu erhöhen. Eine Übersicht über sinnvolle Kombinationen ist in Abbildung 2 dargestellt.

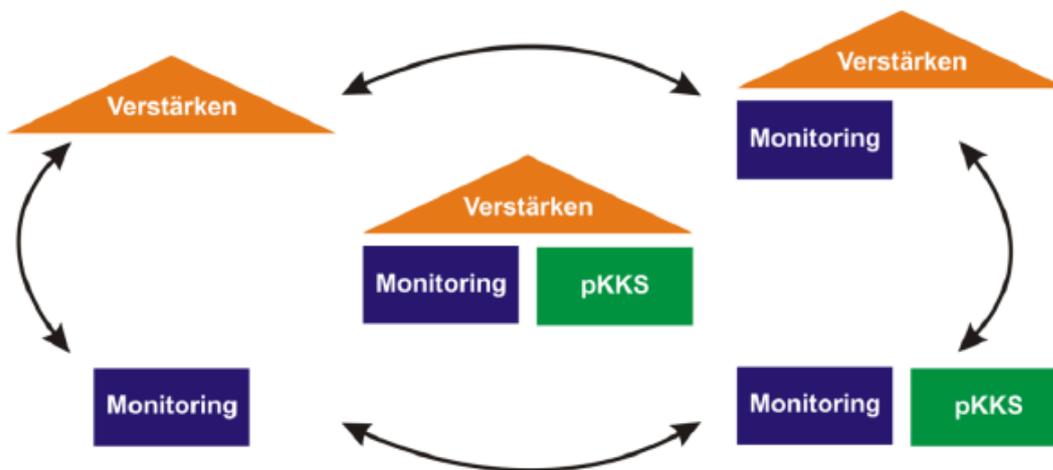


Abbildung 2: Übersicht über die modularen Funktionalitäten von SMART-DECK

1.2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Die Fa. Sto ist im Bereich der Produkte für den Schutz und die Instandsetzung von Betonbauwerken einer der Technologieführer und kann, aufgrund der Erfahrung in der Produktentwicklung, anwendungsspezifische Produkte für die großtechnische Anwendung entwickeln. Der Gesamtprozess, welcher sich im Rahmen des Projektes als Aufgabenstellung darstellt begann mit der der Festlegung des Lastenheftes an den Hochleistungsmörtel. Dieses wurde im weiteren internen Ablauf in die Entwicklung weitergeleitet und wiederholend im Prozess durch die Einbindung der Messtechnik wie auch der Anwendungstechnik abgeglichen. Die Festlegung der Qualitätskriterien im Prüflabor und das Upscaling in der Produktion schließen den Entwicklungsprozess ab.

Ergänzend dem dargestellten Forschungsprozess an dem Mörtelsystem wurde der Verpackung und der maschinellen Verarbeitung eine hohe Bedeutung zugemessen. Die Teilschritte definierten sich auf die Schwerpunkte

- S Silo
- M Mischen
- F Fördern
- A Applizieren

Neben den wirtschaftlichen Vorteilen in der Verarbeitung bzw. Applikation wird durch einen deutlich erhöhten Automatisierungsgrad eine gleichbleibend hohe Qualität im Mörtelsystem und im Einbau sichergestellt.

1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Tabelle 1 zeigt die Arbeitspakete (AP) und den zeitlichen Verlauf des Forschungsvorhabens SMARTDECK. Basierend auf den in AP 1 erstellten Anforderungskatalogen wurden in den Arbeitspaketen 2 bis 4 die einzelnen Komponenten; Mörtelsystem, textile Bewehrungen und Sensornetzwerk erarbeitet, die anschließend in AP 5 am Verbundsystem untersucht wurden. Die Herstellung von zwei Demonstratoren (AP 6) stellte sowohl bei der Erarbeitung als auch beim

Wissenstransfer während und nach der Projektlaufzeit zentrale Elemente dar. Der Abschluss des ersten Kleindemonstrators nach der Hälfte der Projektlaufzeit war gleichzeitig der zentrale Meilenstein des Projektes. In AP 7 erfolgte schließlich die Berichterstattung mit Erarbeitung von Entwurfsregeln für SMART-DECK, um einen reibungslosen Transfer der Forschungserkenntnisse in die Praxis sicherzustellen. Die Fa. Sto wirkte an den Arbeitspaketen 1, 2 und 6 mit.

Arbeitspaket (AP) / Arbeitsschritte (AS)	
2	Erarbeitung Mörtelsystem
	AS 2.1 Konzeptionierung Mörtelsystem
	AS 2.2 Erarbeitung Applikationstechnik
	AS 2.3 Mörtelcharakterisierung (mechanisch, Labor)
	AS 2.4 Mörtelcharakterisierung (mechanisch, Baustelle)
6	Herstellung Demonstratoren
	AS 6.1 „Klein“-Demonstrator
	AS 6.3 „Groß“-Demonstrator
7	Erstellung von Entwurfsregeln

Tabelle 1: Auflistung der geplanten Arbeitspakete der Fa. Sto für das Projekt „SMART-DECK“ – Auszug aus dem Projektantrag

Die nachfolgenden Abschnitte geben die ursprünglich geplanten Inhalte der relevanten Arbeitspakete der Fa. Sto wieder.

Arbeitspaket 1

Arbeitspaket (AP) / Arbeitsschritte (AS)		Beteiligte
1	Anforderungskatalog	
	AS 1.1 Definition der Anforderungen an SMART-DECK	BAST, ibac, IMB
	AS 1.2 Definition der Belastungen	BAST, IMB
	AS 1.3 Definition der Anforderungen an den Mörtel und die Bewehrung	BAST, ibac, IMB

Zu Beginn des Projektes wurden die Anforderungen an SMART-DECK basierend auf den drei Funktionalitäten – Monitoring, pKKS und Verstärken – definiert. SMART-DECK soll uneingeschränkt für alle Brückenklassen eingesetzt werden können. Ferner soll das System sowohl mit dem bewährten Brückenbelag nach ZTV-ING als auch innovativen Belägen, wie White Topping und VOPA (kurze Erklärung - Eurovia), kompatibel sein wie auf Abbildung 3 dargestellt.

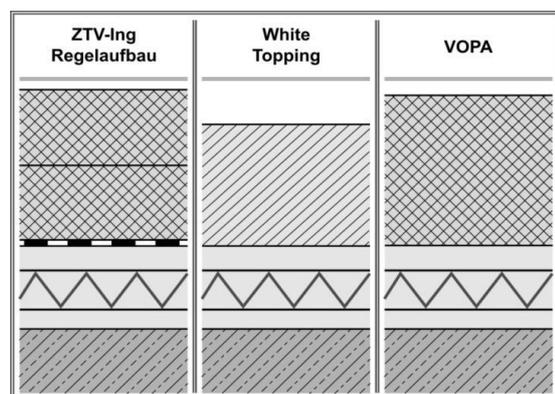


Abbildung 3: Schematische Darstellung möglicher Beläge oberhalb von SMART-DECK

Die Definition der Belastungen erfolgte unter Berücksichtigung der Anwendung von SMART-DECK bei Neu- oder Bestandsbauten. Während für Neubauten grundsätzlich das Lastmodell 1 nach EC1 zugrunde gelegt werden soll, werden für Bestandsbrücken in Abhängigkeit des Bauwerkszustandes und der Restnutzungsdauer gegebenenfalls abweichende Ziellastniveaus zur Einstufung in die gewünschte Brückenklasse definiert.

Arbeitspaket 2

Arbeitspaket (AP) / Arbeitsschritte (AS)		Beteiligte	
2	Entwicklung Mörtelsysteme		
	AS 2.1	Mörtelentwicklung	Sto, ibac,
	AS 2.2	Applikationstechnik	Sto, Eurovia, Massenberg
	AS 2.3	Mörtelcharakterisierung (Labor)	Sto, ibac,
	AS 2.4	Mörtelcharakterisierung (Baustelle)	Sto, Eurovia, ibac

Basierend auf den in AP 1 definierten Anforderungen erfolgte die Entwicklung eines für SMART-DECK geeigneten Mörtels. Der Mörtel muss neben einer ausreichend hohen Druck- und Zugfestigkeit sowie einem kraftschlüssigen Verbund zum Untergrund und der textilen Carbonbewehrung ebenfalls für das Monitoring und das pKKS geeignete elektrische Eigenschaften aufweisen.

Der Widerstand des Mörtels sollte über min. 2 Lagen der textilen Bewehrung mittels Wechselstrommessung bestimmt werden, um anhand geeigneter Kalibrierkurven den Wassergehalt des Mörtels zu berechnen. Hohe Widerstände korrespondieren mit einem geringen Wassergehalt und geringe Widerstände somit mit einer Undichtigkeit innerhalb der Abdichtungsebene. Um ein möglichst fein abgestuftes Feuchte-Monitoring zu ermöglichen, muss der elektrische Widerstand des Mörtels ferner eine hohe Feuchtesensitivität aufweisen. Das pKKS erforderte, aufgrund der Sicherstellung eines ausreichenden Schutzstromes bei möglichst geringer Spannung, allerdings einen möglichst geringen elektrischen Widerstand des Mörtels. Dies kann beispielsweise durch einen hohen Anteil an Kapillarporen mit geringer Tortuosität und Konstriktivität erreicht werden. Zusätzlich zu den genannten Randbedingungen, sind bei der Konzeptionierung des Mörtels die maximale Schichtdicke, der Abstand und die Maschenweite der Carbonbewehrung zu berücksichtigen.

Die Grundlage für die Mörtelentwicklung stellten Produkte aus dem Portfolio der Fa. Sto dar, wobei die Anforderungen zurzeit ausschließlich von separaten Produkten – PCC I, KKS-Anodenmörtel sowie Verlaufmörtel – erfüllt werden und nicht von einem einzelnen Produkt. Es musste daher eine Kombination entwickelt und umfassend charakterisiert werden. Die Mörtelentwicklung der Fa. Sto wurde von dem ibac wissenschaftlich begleitet, um iterativ alle gestellten Anforderungen zielgerichtet zu erfüllen. Die Untersuchungen erfolgten nicht nur im Labormaßstab (AS 2.3), sondern zusätzlich unter Baustellenbedingungen (AS 2.4), um Einflüsse aus der Applikation quantifizieren und bei der Entwicklung berücksichtigen zu können.

Parallel zu der Mörtelentwicklung wurde die Applikationstechnik für den Einbau des Mörtels unter realen Bedingungen entwickelt. Dabei sind sowohl ein maschineller Einbau (z.B. mittels Pumpe), händischer Einbau sowie der Einbau mittels Fertiger prinzipiell denkbar. Die Randbedingungen der Applikationstechnik definieren sich allerdings nicht nur aus dem Arbeitspaket „Entwicklung Mörtelsystem“, sondern auch aus dem Arbeitspaket „Entwicklung textile Bewehrungen“, denn der Einbau der Bewehrung quer zur Fahrbahn kann nicht mit den zurzeit erhältlichen Verfahren erfolgen.

Der verwendete Mörtel muss die Textilien vollumfänglich umschließen, um ein möglichst gutes Verbundverhalten zu erreichen und bei unbeschichteten Textilien die Rovings möglichst weitgehend durchtränken. Da eine geringe Verstärkungsschichtdicke (3-4 cm) angestrebt wurde, war ein kleines Größtkorn erforderlich. Das Maß war auch abhängig von der Maschenweite der Textilien.

Zusätzliche Belastungen infolge Zwangsspannungen waren zu vermeiden. Daher ist ein schwindarmer Mörtel wünschenswert. Ggf. sind Auswirkungen aus möglichem Flüssigkeitsentzug durch den trockenen Bestandsbeton zu bedenken gewesen.

Im Hinblick auf die Verstärkungswirkung von SMART DECK bezogen auf den Mörtel waren vor allem die mechanischen Eigenschaften und das Verbundverhalten mit der Textilbewehrung und in der Schubfuge von übergeordneter Bedeutung. Konkrete Zielwerte für alle einzelnen Kennwerte wie Druckfestigkeit, Biegezugfestigkeit, zentrische Zugfestigkeit oder E-Modul können durch ihre Wechselbeziehung an dieser Stelle nicht definiert werden.

Wichtig war es, dass das Bestandsbauteil und die Verstärkungsschicht ein ähnliches Dehnungsverhalten zeigten. Es war anzunehmen, dass die meisten Fahrbahnplatten im Bestand, die zur Zielgruppe SMART DECK gehören mit einem Beton hergestellt wurden, der äquivalent Festigkeitsklasse C30/37 ist. Demnach war im ersten Schritt das E-Modul für den Mörtel der Verstärkungsschicht zwischen 30.000 und 35.000 MPa anzustreben.

Der Verbund zwischen Mörtel und textilem Gewebe musste ausreichend hoch sein. Neben der Festigkeitsklasse beeinflusst auch das verwendete Textil den Verbund zwischen den beiden Materialien, sodass die geeigneten Werkstoffe für eine optimale Zusammenwirkung iterativ über Kleinkörperversuche ermittelt werden mussten. Der Verbund in der Schubfuge zwischen Bestandsbauteil und Verstärkungsschicht musste ausreichend hoch sein, um eine effektive Kraftübertragung zwischen den Schichten zu gewährleisten. Gleichzeitig war zu prüfen, ob und wo die Obergrenze liegt, ab der der Verbund hoch ist, dass sich bereits vorhandene weitere Risse der Fahrbahnplatte bei Wiederbelastung in der Verstärkungsschicht fortpflanzen konnten.

Arbeitspaket 6 und 7

Arbeitspaket (AP) / Arbeitsschritte (AS)			Beteiligte
6	Herstellung Demonstrator		
	AS 6.1	„Klein“-Demonstrator	Alle
	AS 6.2	Begleitende Überwachung	BAST, ibac, IMB
	AS 6.3	„Großdemonstrator	Alle
	AS 6.4	Begleitende Überwachung	BAST, ibac, IMB
7	Erstellung von Entwurfsregeln / Berichterstellung		Alle

Die Arbeitspakete 6 und 7 stellten sowohl bei der Erarbeitung als auch beim Wissenstransfer während und nach der Projektlaufzeit zentrale Elemente dar. Im Rahmen des Forschungsprojektes sollten zwei Demonstratoren erstellt werden. Die Fa. Sto wirkte begleitend bei der Erstellung der Demonstratoren mit und überprüfte die technische Umsetzung.

Arbeitspaket	Jahr 1				Jahr 2				Jahr 3			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1 Anforderungskatalog												
2 Erarbeitung Mörtelsysteme												
3 Erarbeitung textile Bewehrung												
4 Erarbeitung Sensornetzwerk												
5 Untersuchung Verbundsystem												
6 Herstellung Demonstratoren												
7 Erarbeitung Entwurfsregeln												

Tabelle 2: Zeitlicher Verlauf des Projektes SMART DECK gemäß Forschungsantrag

1.4 Wissenschaftlicher und technischer Stand zu Beginn des Vorhabens

Die Instandhaltung von Brückenbauwerken erfolgt durch den Rückbau der geschädigten Flächen und den Auftrag eines sogenannten Betonersatzsystems. Dabei wird ausschließlich des geschädigten Betons äquivalent ersetzt. In dem beschriebenen Verfahren wird die Anwendung für waagerechte und schwach geneigte Oberseiten, welche zusätzlich dynamisch beansprucht werden, gefordert. Die physikalisch chemischen Anforderungen bestehender polymervergüteter zementgebundener Mörtelsysteme sind definiert über eine hohe Beständigkeit bei Frost-/Tausalz-Beanspruchung, diese sind schwind- und eigenspannungsarm, verfügen über hohe eine Früh- und Endfestigkeit sowie ein gutes Wasserrückhaltevermögen.

Zwar existieren auch hier geeignete Alternativen, wie z.B. der Kathodische Korrosionsschutz (KKS), jedoch scheiden diese heutzutage im Fahrbahnbereich aus Wirtschaftlichkeitsgründen aus, da für den nachträglichen Einbau der Anoden die Fahrbahndecke ebenfalls entfernt werden müsste und die heute gängigen Fremdstromanoden aus mischoxidbeschichtetem Titan zudem vergleichsweise teuer sind. Eine Kombination aus Sensorsystem und "vorinstalliertem" KKS-System welches präventiv zugeschaltet werden kann, wie sie im Rahmen dieses Verbundforschungsprojektes erarbeitet werden soll, existiert bisher nicht.

1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Zu Beginn des Forschungsprojektes hat die Fa. Sto von den Projektpartnern Anforderungen erhalten, die der zu erarbeitende Mörtel erfüllen musste, um die Funktionalität hinsichtlich Verstärkung, Monitoring und pKKS zu gewährleisten. Dabei lieferte das ibac zusammen mit der Fa. Massenberg (Fa.Instakorr) Anforderungen bezüglich der Feuchte-Sensitivität und des spezifischen elektrischen Widerstandes. Das IMB gab Kriterien vor, die der Mörtel im Bezug zur Festigkeit, dem Verbund und dem E-Modul erfüllen musste und Eurovia die Kriterien hinsichtlich Verarbeitbarkeit und Applikation. Unter Einbeziehung dieser Kriterien erarbeitete die Fa. Sto einen prototypischen Hochleistungsmörtel und stellte diesen für die weiteren Arbeiten dem ibac, Eurovia und IMB zur Verfügung. An dem kleinen und großen Demonstrator wurden mit allen Forschungspartnern die Funktionstüchtigkeit sowohl der einzelnen Komponenten, also des Mörtels und des Gesamtsystems getestet.

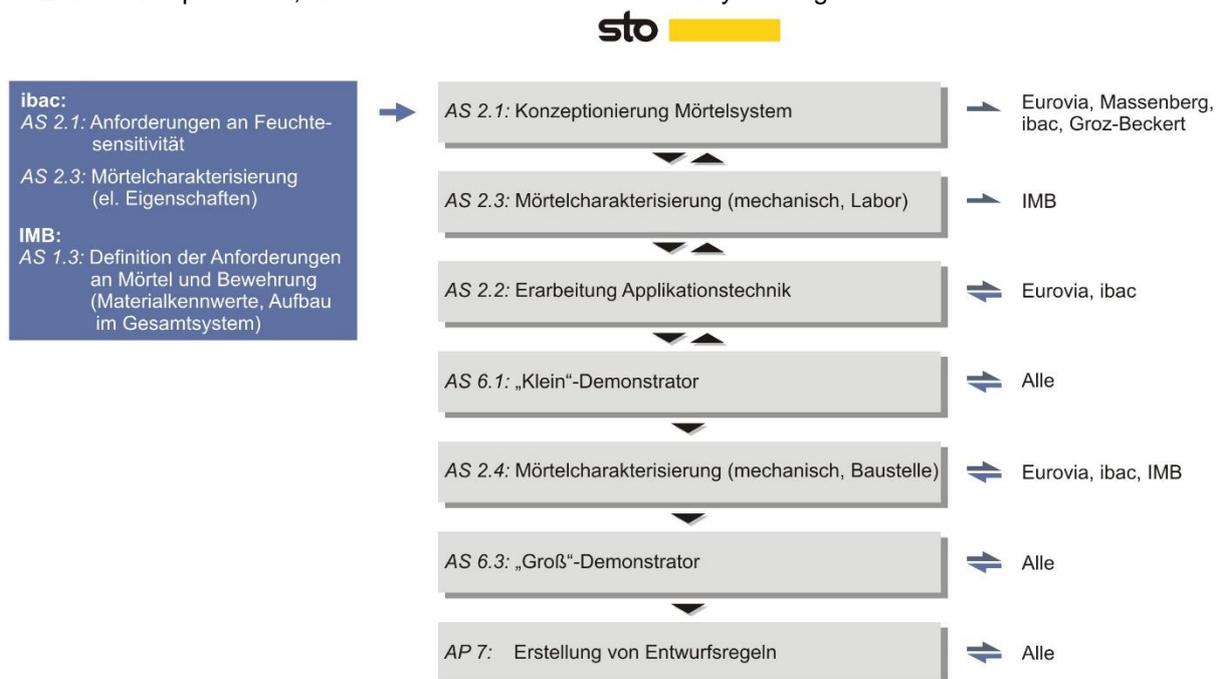


Abbildung 4: Zusammenarbeit der Fa. Sto mit den Partnern innerhalb des Projektes SMARTDECK

2. Eingehende Darstellung

2.1 Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele

In den nachfolgenden Punkten sind die Ergebnisse der Arbeitspakete enthalten, an denen Fa. Sto mitgewirkt hat. Die nachfolgende Tabelle ist ein Auszug aus dem Forschungsantrag und stellt Arbeitsschritte zusammenfassend dar.

Arbeitspakete (AP) / Arbeitsschritte (AS)		Beteiligte
1	Anforderungskataloge	
2	Erarbeitung Mörtelsystem	
	<p>AS 2.1 Konzeptionierung Mörtelsystem</p> <p>Festlegung materialbezogener Mörtelcharakteristiken (Größtkorn, Mechanische Festigkeit, Elektrochemische Kenngrößen, Rheologie, Dauerhaftigkeit und die Veränderung der Leitfähigkeit im Alterungsprozess Bereitstellung von ausreichende Labormischungen zur Herstellung von Prüflingen. Bestimmung der Einzelkenngrößen und Festlegung von Optimierungparameter. Festlegung der systembezogener Mörtelcharakterisierungen auf Basis wesentlicher Mörtelkenndaten (Mechanische Festigkeiten, Elektrochemische Kenngrößen, Rheologie, Verträglichkeit und Haftverbund). Definition der der produktionstechnischen Qualitätskriterien und Festlegung der Kenngrößen (Werkseigene Produktionskontrolle). Überprüfung der Qualitätskriterien unter Betrachtung Lagerungsdauer, Lagerungstemperatur und Transport</p>	Sto, ibac, IMB
	<p>AS 2.2 Applikationstechnik</p> <p>Festlegung des geplanten Applikationsverfahrens und der sich daraus ableitenden Rahmenbedingungen zur Ausführung. Bereitstellung Demonstrator (Labor) für erste Anwendungstechnische Versuche. Anwendungstechnische Begleitung der ersten Versuche unter festgelegtem Applikationsverfahren.</p>	Eurovia, Sto, Massenberg
	<p>AS 2.3 Mörtelcharakterisierung (Labor)</p> <p>Bestimmung der mechanischen Mörtelkenndaten anhand physikalischer Kenngrößen. Die Bestimmung erfolgt am Demonstrator aus Fertigung Produktionscharge. Die Herstellung der Prüfkörper erfolgt im Labor.</p>	Sto, ibac
	<p>AS 2.4 Mörtelcharakterisierung (Baustelle)</p> <p>Bestimmung der mechanischen Mörtelkenndaten anhand physikalischer Kenngrößen. Die Bestimmung erfolgt am Demonstrator aus Fertigung Produktionscharge. Die Herstellung der Prüfkörper erfolgt auf der Baustelle bei der Verarbeitung am „Groß“-Demonstrator.</p>	Sto, Eurovia, ibac
3	Erarbeitung textiler Bewehrungen	

4	Erarbeitung Sensornetzwerk / pKKS		
5	Untersuchung Verbundsystem		
6	Herstellung Demonstratoren		
	AS 6.1	<p>„Klein“-Demonstrator nach 18 PM</p> <p>Festlegung der Rezepturdaten. Erstellung eines Sicherheitsdatenblattes sowie Bereitstellung der Verpackung mit den sich aus dem Sicherheitsdatenblatt ableitenden Informationen zur Transportsicherheit.</p> <p>Herstellung des Demonstrators auf Technikums Anlage. Überprüfung der Mörtelkenndaten und Abgleich mit den produktionstechnischen Qualitätskriterien und Festlegung der Kenngrößen (Werkseigene Produktionskontrolle).</p>	ALLE
	AS 6.3	<p>„Groß“-Demonstrator nach 29 PM</p> <p>Herstellung des Demonstrators auf Produktionsanlage. Überprüfung der Mörtelkenndaten und Abgleich mit den produktionstechnischen Qualitätskriterien und Festlegung der Kenngrößen (Werkseigene Produktionskontrolle).</p>	ALLE
7	Erstellung von Entwurfsregeln und Berichtserstellung		ALLE

Tabelle 4: Übersicht Arbeitspakete und Arbeitsschritte

2.1.1 AP 2 Erarbeitung Mörtelsystem

Die Grundlage für die Entwicklung des Hochleistungsmörtels war der unter Arbeitspaket 1 definierte Anforderungskatalog.

Als Ausgangslage zur Konzeptionierung des Hochleistungsmörtels wurden bestehende Mörtelsysteme herangezogen. Dabei war es wichtig, dass die bestehenden Eigenschaften der Mörtel möglichst die benötigten Eigenschaften von SMART DECK (Anforderungskatalog) abdeckten. So wurden zwei Mörtel final selektiert (M-1-06 und M-2-04). Beide Ausgangsmörtel wurden zum damaligen Zeitpunkt im Segment Ingenieurbau eingesetzt. So dass eine gute Grundlage für die Erforschung eines Hochleistungsmörtels geschaffen wurde. Die ausgewählten Mörtel wurden den Forschungspartnern ibac, IMB, Eurovia und Groz Beckert zur Verfügung gestellt. Im Rahmen der Untersuchungen des IMB, des ibac sowie der EUROVIA hat sich bei dem Screening der Mörtel ergeben, dass der Mörtel M-1-06 keine ausreichende Fließfähigkeit aufweist. Ferner haben sich bei Dehnkörperversuchen deutliche Delaminationsrisse gezeigt. Schlussfolgend aus den Ergebnissen wurde die Variante M-1-06 nicht weiterverfolgt. Die Punkte Verarbeitbarkeit und Verbundverhalten konnten den Anforderungen von SMART DECK nicht entsprechen bzw. die nötigen Iterationsschritte zur Erreichung der Forschungsziele wurden für die Variante M-1-06 als hoch bewertet.

Die Variante M-2-04 eignete für die Forschung eines Hochleistungsmörtels im Vergleich zur Variante M-1-06 besser. Die Werte des Ausbreitmaßes sowie der Biegezugfestigkeit waren in einem deutlich besseren Bereich (siehe Tab. 6). Für die optimale Verarbeitungskonsistenz des Mörtels wurden seitens der Forschungspartnern eine fließfähigere Variante gefordert. So sollte gewährleistet werden, dass das Gewebe voll eingebettet wird. Der Verbund zwischen den einzelnen Materialien und des Untergrundes mussten sichergestellt werden. Um die projektspezifischen Anforderungen zu erreichen, wurde die Variante M-3-04 basierend der Variante M-2-04 erarbeitet. Mit dem Ziel die bestehende Variante

hinsichtlich ihrer Fließfähigkeit zu verbessern, aber dabei die weiteren Eigenschaften nicht maßgeblich zu verändern. Die ersten Ergebnisse der Variante M-3-04 waren positiv. Die zuvor genannten Ziele konnten erreicht werden, wie auf Bild 1 und 2 zu sehen. Bei Versuchen mit dem Forschungspartner EUROVIA wurde festgestellt, dass der Mörtel bei konventioneller Baustellenlagerung, d.h. außerhalb klimatisierter Räume, allerdings unter Folie, nach 4-6 Wochen nicht mehr die Anforderungen an die Verarbeitbarkeit erfüllte bzw. das erforderliche Ausbreitmaß nicht erzielte. Infolge der überhöhten Wassermenge, um die Fließfähigkeit zu erreichen, wurden die Festmörteleigenschaften wie mechanische Festigkeit, Porosität und Karbonatisierungswiderstand negativ beeinflusst. Im Rahmen der Laboruntersuchungen nach unterschiedlichen Lagerungsbedingungen (Lagerung bei StoCretec, Lagerung bei EUROVIA sowie Lagerung bei dem ibac) hat ergeben, dass das Zusatzmittel, welches für die Fließfähigkeit verantwortlich ist, die erforderliche Lagerungsstabilität nicht erbrachte. Basierend der Erkenntnisse zur Variante M-3-04 wurde die Variante M-4-04 erarbeitet. Die Variante M-4-04 wurde für die Herstellung des Kleindemonstrators verwendet.



Bild 1 u. 2: links: händisches Anmischen des Mörtels; rechts: Quantifizierung der Fließfähigkeit des Mörtels M-3-04

Im Rahmen der Entwicklung des Hochleistungsmörtels wurde sich mit der Erarbeitung eines angepassten Feuchte-Widerstandsverhaltens befasst, d.h. geringe Feuchteänderungen sollen eine vergleichsweise große Änderung des spezifischen Widerstands des Mörtels zur Folge haben, so dass die Detektierbarkeit von Fehlstellen mit größerer Präzision gelingt. Diese Arbeiten erfolgten in enger Zusammenarbeit mit dem ibac, dort wurden die Feuchte-Widerstands-Beziehungen an den Mörteln bestimmt sowie die begleitenden Simulationen durchgeführt.

Die Optimierung der untersuchten Mörtelrezepturen erfolgte stets unter der Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit, dem Anforderungskatalog folgend.

Basierend auf möglichen Einbauszenarien, erfolgte die Quantifizierung der Verarbeitbarkeit mittels Pumpversuchen, wie auf den Bildern 3 bis 5 zu entnehmen. Die Vorversuche wurden mit einer Mörtelmischpumpe durchgeführt. Die Untersuchungen wurden mit und ohne textile Bewehrung durchgeführt, um ausschließlich den Einfluss des Fließmittels auf die Verarbeitbarkeit zu untersuchen und nicht mehrere Einflüsse im Rahmen der Untersuchungen zu überlagern.



Bild 3-5: links: Mörtelmischmaschine; mitte: Einbau des Mörtels und Verteilen mittels Besens; rechts: Mörtel nach dem Einbau

Neben den allgemeinen und verarbeitungstechnischen Inhalten des Anforderungskatalogs hatte das AP 2 das Ziel, einen geeigneten Hochleistungsmörtel unter Berücksichtigung der Anforderungen an die chemischen und physikalischen Eigenschaften (Feuchtesensitivität, elektrische Charakterisierung und mechanische Eigenschaften) zu entwickeln. Basierend auf den in Arbeitspaket 1 definierten Anforderungen erfolgte die Entwicklung eines Mörtels, welcher für das Monitoring und den pKKS notwendigen Eigenschaften aufweist und praxistauglich hergestellt werden konnte.

Der Widerstand des Mörtels sollte über mindestens zwei Lagen textiler Bewehrung mittels Wechselstrommessung bestimmt werden, um anhand geeigneter Kalibrierkurven den Wassersättigungsgrad des Mörtels berechnen zu können. Hohe Widerstände korrespondieren mit einem geringen Wassersättigungsgrad, geringe Widerstände somit mit einer Undichtigkeit innerhalb der Abdichtungsebene. Um ein möglichst fein abgestuftes Feuchte-Monitoring zu ermöglichen, musste der elektrische Widerstand des Mörtels ferner eine hohe Feuchtesensitivität aufweisen. Dies kann durch eine geeignete Porenraumstruktur im Mörtel erreicht werden. Das pKKS erfordert zur Sicherstellung eines ausreichenden Schutzstromes bei geringer Spannung hingegen einen möglichst geringen elektrischen Widerstand des Mörtels.

Die Untersuchungen zur Verarbeitbarkeit erfolgten zunächst an kleinmaßstäblichen Versuchskörpern unter Baustellenbedingungen. Es wurden bewehrte Proben durch die Fa. Eurovia hergestellt, um den Einfluss der Konsistenz auf die Verarbeitbarkeit und die Einbindung der textilen Bewehrung in die Verbundproben zu untersuchen. Die Herstellung von unbewehrten Proben zur Quantifizierung der Verarbeitbarkeit wurde im vorherigen Iterationsschritt durchgeführt. Parallel zur Herstellung der Proben wurde das Ausbreitmaß und der LP-Gehalt des Mörtels nach der Herstellung unter baupraktischen Bedingungen bestimmt. Die Proben zur Untersuchung der Verarbeitbarkeit waren Platten mit einer Abmessung von 1 x 1 m und einer Dicke von 35 mm, die zweilagig mit der bei SMART-DECK zum Einsatz kommenden textilen Bewehrung bewehrt waren. Die Verdichtung dieser Proben erfolgte ausschließlich mittels einer Motorpatsche.

Mit Hinblick auf den Einbau des Kleindemonstrators wurde mit den Forschungspartnern die Verarbeitungstechnik für SMART DECK erarbeitet. Nach Vorversuchen der Firma EUROVIA und Sto hat sich im Rahmen der Erarbeitung möglicher Einbauszenarien ergeben, dass ein wirtschaftlicher

Einbau nur bei einer Andienung des Mörtels aus einem Silo mit angeschlossenem Mischer sinnvoll war. Eine Verarbeitung des Mörtels aus einem Zwangsmischer heraus war nicht zielführend.

Auf den Vorversuchen basierend wurde zur Verarbeitung des Kleindemonstrators die hauseigene Silotechnik verwendet, welche samt Transportfahrzeug auf Bild 6 zu sehen ist. Die zum Tragen kommende Technik setzte sich aus drei Komponenten zusammen. Zum einem das Silo welches den Mörtel als transportierbaren Behälter (Bild 6) dient. Der Durchlaufmischer, welcher an das Silo geflanscht wird. Die Funktion des Durchlaufmischers ist es, aus dem noch bis dato pulverförmigen Mörtel einen einbau- und förderfähigen Mörtel herzustellen. Prozesstechnisch fällt der Mörtel mit Hilfe des am Silo befestigten Rüttlers in das Doppelstufigemischrohr (Bild 7). Durch eine Pumpe wird Wasser hinzu gefördert. Mithilfe der Mischwelle (Bild 7) werden die Materialkomponenten gemischt. So erhält der Mörtel seine einbau- und förderfähige Konsistenz. Der entstandene Frischmörtel wird dann zur Förderpumpe weitergeleitet, welches die dritte Komponente des Silosystems abbildet. Der Frischmörtel wird so über Schläuche an den Einbauort befördert (Bild 8).

Durch die Herstellung des „Klein-Demonstrators“ unter Baustellen ähnlichen Bedingungen wurden hinsichtlich Misch- und Förderleistung wichtige Erkenntnisse gewonnen. So stellte sich heraus, dass die maximale Förderleistung des Silosystems von 25 l/min nicht den Anforderungen von SMART DECK nicht ausreichte. Sowie die Mörtelkonsistenz für die Anwendung von SMART DECK noch nicht optimal war.



Bild 6: Silo Transport



Bild 7: Doppelstufigemischrohr und Mischwelle



Bild 8: Frischmörtel Verarbeitung Kleindemonstrator

In der Verbindung mit der Mischleistung war die Einbaukonsistenz des Frischmörtels bei der Herstellung des Kleindemonstrators als verbesserungsfähig bewertet worden. Alle gewonnen Erkenntnisse wurden im anschließenden Arbeitstreffen mit den Projektpartnern in konstruktiven Gesprächen besprochen. So wurde in Bezug auf die Einbaukonsistenz und Förderleistung mit den Projektpartnern das weitere Vorgehen festgelegt. Die Überlegungen gingen dahin die einzelnen Komponenten Mischen und Fördern aus dem Silosystem zu entkoppeln. Umso die Leistung und Effektivität der Komponenten modular zu steigern. Basierend auf den anwendungstechnischen Erfahrungen der Projektpartner Eurovia und Massenbergr wurde gemeinsam ein Konzept entwickelt. Die neue kombinierte Maschinenteknik setzte sich aus folgenden Komponenten zusammen (Bild 9):

Durchlaufmischer: Förderleistung 70 l/min

Schneckenpumpe: Förderleistung 170 l/min

Freifallsilo: StoSilo 6.0

So erfolgte der erste Versuch zur kombinierten Maschinenteknik. Ziel war es für den Großdemonstrator ein geeignetes und leistungsfähiges System zu erproben. Der Versuch erfolgte auf dem Testgelände der Firma Sto. Als Ergebnis des Versuches wurde festgehalten, dass auf Grund der Oberflächenbeschaffenheit der Mischwelle des Durchlaufmischers das Aufschließen des Mörtels nicht möglich war. Die Mischwelle setzte sich mit dem Mörtel zu, sodass um die Mischwelle herum ein zylinderförmiger Körper aus Pulver und halbgemischtem Material entstand. Das Wasser, welches am unteren Bereich des Mischrohres hinzu gepumpt wurde, konnte in die pulverförmige Komponente nicht eingebunden werden. Nach mehreren Neuansetzen konnte kein verwendbarer Frischmörtel produziert werden. Das System konnte die zuvor erreichte Leistung des Kleindemonstrators nicht steigern.

Aus dem ersten Versuch konnte entnommen werden, dass die Verarbeitung von M-4-04 mit gewöhnlichen Durchlaufmischern nicht ermöglicht werden konnte, da die benötigte Mischleistung nicht erbracht werden konnte. Es benötigte einen Mischer, welcher es schafft, durch intensives Mischen den Mörtel aufzuschließen, umso die im Mörtel vorhandenen Additive zu aktivieren. Dadurch sollte es gelingen die Einbaukonsistenz des Mörtels zu optimieren.



Bild 9: kombinierte Maschinenteknik



Bild 10: geöffneter Durchlaufmischer

Nach Rücksprache und Austausch mit den Projektpartnern sowie durch die gewonnenen Erkenntnisse aus den Versuchen zuvor und intensiven Recherchen konnte ein System eruiert werden. Die Überlegungen verdichteten sich dahingehend, dass das neue System in der Lage sein musste den

Mörtel durch intensives Mischen aufzuschließen, um die Einbaukonsistenz zu erreichen. Darüber hinaus musste das System eine hohe Fördermenge leisten.

Am 30.09.2016 fand der zweite Versuch in Neuenburg auf dem Firmengelände der Fa. M-tec statt. Die Firma m-tec bietet mit ihrer Zwei-Kammer-Mischpumpe SMP II eine Siloanlage an, welche Mischen und Fördern kann. Das System ist speziell für Mörtel geeignet, welches intensives Mischen erfordert.

Zur Verarbeitung konnte festgehalten werden, dass der Hochleistungsmörtel mit der Silotechnik des Herstellers m-tec intensiv aufgemischt wurde. Dies wurde durch zwei getrennte Mischzonen (siehe Bild 11) der Mischwelle (siehe Bild 12) erreicht. Nach Einstellen des w/f-Wertes wurde eine gleichbleibende Mörtelkonsistenz erreicht. Das Versuchsziel konnte erreicht werden. Dabei wurde eine messbar hohe Förderleistung sowie für SMART DECK geeignete Rheologie des Hochleistungsmörtels erzielt. Im nächsten Versuch wurden alle relevanten Werte ermittelt und dokumentiert.



Bild 11: Zwei-Kammer Mischsystem



Bild 12: Mischwelle

Nach den positiven Ergebnissen der Silotechnik (siehe Bild 13 - 14) des Herstellers m-tec wurden in einem größeren Rahmen die Versuche zur Verarbeitung des M-4-04 weitergeführt. Mit Hinblick auf die Verarbeitung des „Groß-Demonstrators“ und schlussendlichen Verwertung von SMART DECK war das Ziel dieses Versuches alle relevanten Werte zu ermitteln und dokumentieren. So wurde im Vorfeld mit allen Projektpartnern eine Tabelle erarbeitet. Darin enthalten sind alle mit relevanten Eigenschaften für die Verarbeitung der Variante M-4-04 (siehe Tabelle 7).



Bild 13 - 14: m-tec Zwei-Kammer Mischpumpe SMP II

Die Versuche fanden am 15.11.2016 in Grimmelshofen auf dem Testgelände der Firma Sto statt. Dazu wurde im Vorfeld eine ca. 30m² große Betonfläche Feststoff gestrahlt. Der Forschungspartner fta lieferte im Vorfeld die letzte Version des Karbongewebes. Somit konnten die Versuche praxisnah umgesetzt werden. Nach dem Einstellen des w/f-Wertes wurde das mit Karbongewebe in der Fläche fixiert und mit dem Hochleistungsmörtel verarbeitet (siehe Bild 15). Die Variante M-4-04 konnte in und unter das Karbongewebe gelangen. Zum Nivellieren der Fläche wurde geringfügig mit einer Rakel nachgezogen. Der M-4-04 konnte mit der m-tec SMP II sehr gute aufgeschlossen werden, dabei bildete sich eine gleichbleibend homogene Mörtelqualität. Durch das intensive Aufmischen des M-4-04 wurden die rheologischen Eigenschaften positiv beeinflusst, da die vorhanden Additive im Material besser aufgemischt wurden. Die Förderleistung mit 71 l/min wurde im Vergleich zur Verarbeitung der „Klein-Demonstrators“ deutlich gesteigert. Bei der Verarbeitung des „Klein-Demonstrators“ lag die Förderleistung bei 25 l/min. Im Weiteren wurde die Standfestigkeit und damit verbunden, das maximal herzustellende Gefälle ermittelt, welches sich bei 5% einstellte. Zum Ausstreichverhalten des M-4-04 kann festgehalten werden, dass es gut weiterverarbeitet werden konnte und es zu keiner Rissbildung in der Schicht kam (Bild 12 -13). Ferner wurde aus der Verarbeitung des M-4-04 Versuchskörper gefertigt, um weitere Eigenschaften, die in Tabelle 7 hinterlegt sind zu ermitteln. Die Förderung des Mörtels M-4-04 erfolgte ohne Komplikationen.



Bild 15: Verarbeitung M-4-04



Bild 16: Einbindung des Carbonegewebes

Nach umfangreichen Versuchen und Erarbeitung des Hochleistungsmörtels im Berichtszeitraum 2016 wurde seitens der Projektpartner die noch nicht optimale Verarbeitungseigenschaft festgestellt. Dabei ging es hauptsächlich um die Thixotropie und Fließeigenschaft des Mörtels. Dazu wurde im Vorfeld auf dem Gelände der Eurovia Versuche durchgeführt und Prüfkörper hergestellt. Die Prüfkörper wurden nach dem Aushärten vom IMB getestet und ausgewertet. Die Organisation bezüglich der Siloanlage wurde durch StoCretec übernommen.

In weitergehenden Diskussionen wurden die Möglichkeiten zur Optimierung des Hochleistungsmörtels besprochen. Eine Möglichkeit, die zur Diskussion stand, war die Nachdosierung des Fleißmittels. Diese Möglichkeit wurde verworfen und ausgeschlossen. Da eine Nachdosierung andere Mörtel­eigenschaften negativ beeinflussen und die Iterationsschleife unnötig verlängern würde. Die nächste Möglichkeit, die zur Diskussion stand, war die Reduktion des Fasergehaltes. Diese Möglichkeit wurde forciert, da das Weglassen der PP-Fasern des Hochleistungsmörtels für SMART DECK keine negativen Auswirkungen hat. Da die PP-Fasern die Brandeigenschaften des Mörtels positiv beeinflusst und für SMART DECK keine vordergründige Relevanz besitzt. Nach Beschluss wurden im Labor verschiedene Ansätze getestet. Bei den Ansätzen mit reduziertem PP-Fasergehalt wurden keine signifikanten Änderungen erzielt, sodass positive Eigenschaften erkannt wurden. Das beste Ergebnis wurde mit dem Ansatz ohne PP-Faser ermittelt. Dieser Ansatz wurde auch weiterverfolgt. Als Mittel zum Vergleich wurde das Ausbreitmaß nach EN 1015-3 herangezogen. Auf Bild 17 und 19 zu sehen, wie sich der Hochleistungsmörtel nach anheben des Trichters verhält, ohne Energieeinfluss und im Nachgang mit Energieeinfluss in Form von Hubschlägen. Der Hochleistungsmörtel mit PP-Fasern war nach anheben des Trichters im Hinblick auf das Fließverhalten sehr träge. Zum Vergleich die Variante ohne PP-Fasern sehr aktiv.

Durch die Änderung der Rezeptur konnte die Rheologie des Hochleistungsmörtels deutlich verbessert werden. Dabei wurde der w/f-Wert bei 0,13 gehalten, umso keine Eigenschaften des Mörtels nachteilig

zu beeinflussen. Ferner wurde die Druckfestigkeit signifikant verbessert und der dynamische E-Modul positiv beeinflusst. Dadurch bietet das Material genügend Toleranzen gegenüber dem praktischen Einbau. Nachfolgend der Vergleich zwischen den Mörtelvarianten M4-04 und M5-04 in Tabelle 8 zusammengefasst.

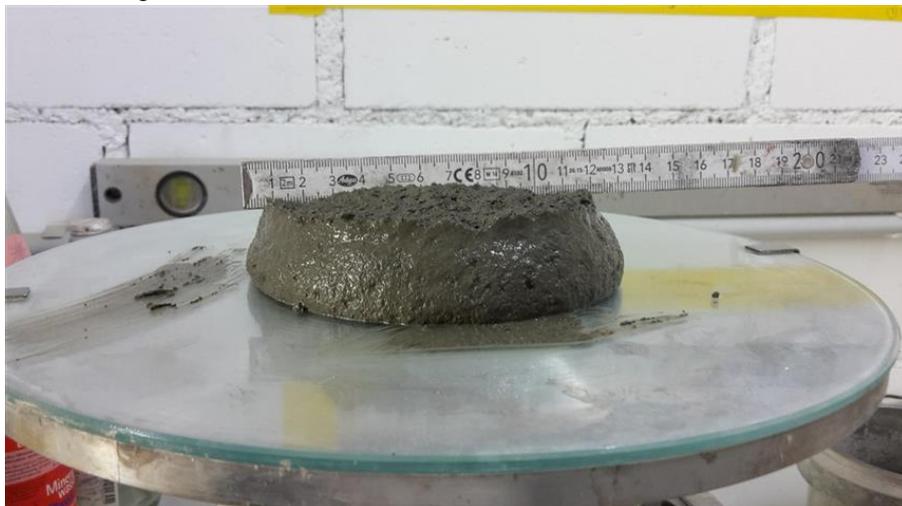


Bild 17: Mit PP-Fasern Ausbreitmaß nach anheben des Trichters

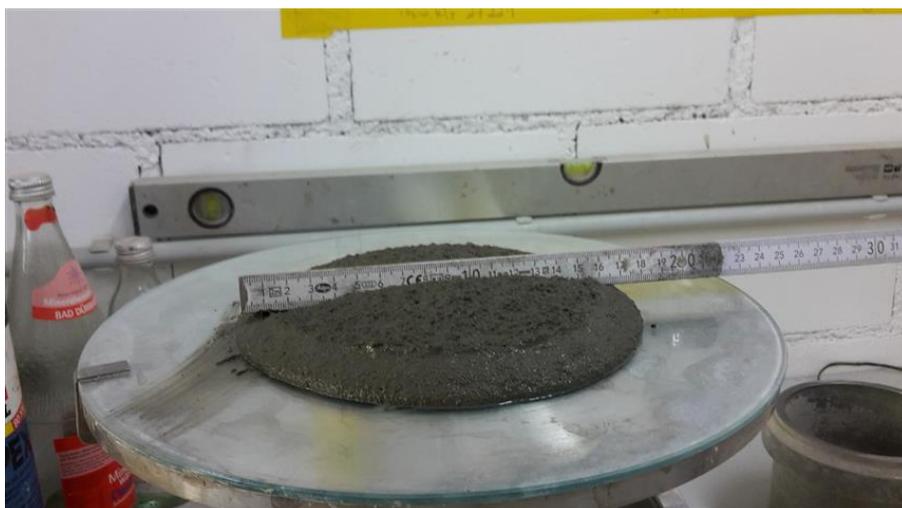


Bild 18: Mit PP-Fasern Ausbreitmaß nach der Prüfung



Bild 19: Ohne PP-Fasern Ausbreitmaß nach anheben des Trichters

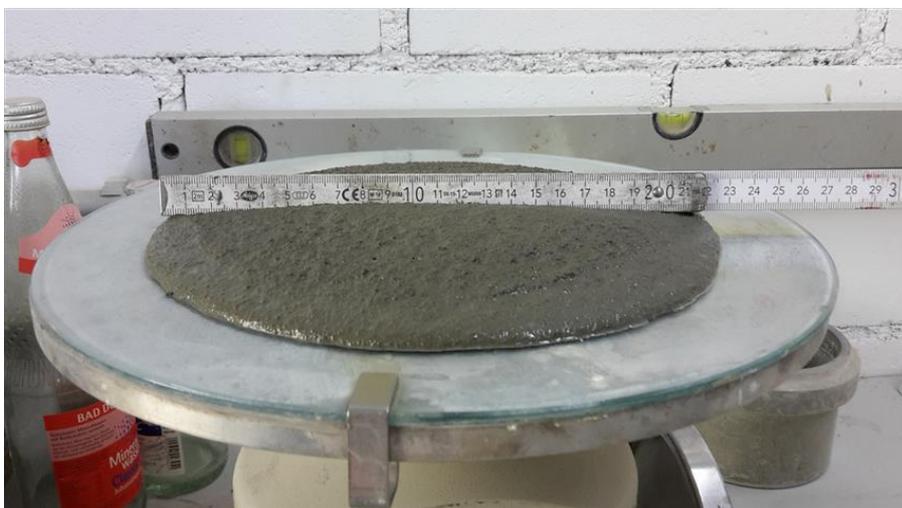


Bild 20: Ohne PP-Fasern Ausbreitmaß nach der Prüfung

2.1.2 Kleindemonstrator

Der Kleindemonstrator wurde auf dem Verwaltungsgelände der BAST erstellt. Für den Kleindemonstrator wurde die Variante M-3-04 wendet. Dabei wurde die Sto eigene Silo Misch und Fördertechnik eingesetzt wie auf Bild 21 zu sehen. Die Verarbeitung des Kleindemonstrator wurde von der Fa. Sto anwendungstechnisch begleitet. Im Vorfeld fanden Vorversuche zur Maschienteknik der Siloanlage statt. Während der Ausführung wurde ebenfalls die Maschienteknik durch die Fa. Sto gesteuert. Bei nachfolgender Bestimmung der Festigkeiten des Hochleistungsmörtels konnte eine schnell Frühfestigkeitsentwicklung festgestellt werden. Aus der Herstellung des Kleindemonstrator konnten wichtige Erkenntnisse für den Großdemonstrator gewonnen werden. Die Mörtelkonsistenz und Förderleistung der Maschienteknik sollte optimiert werden.



Bild 21: StoMidiComb 6.0

2.1.3 Großdemonstrator

Der Großdemonstrator wurde in Bergisch Gladbach in der Ritterstraße erstellt. Vor der Erstellung des Großdemonstrator konnte aus den zuvor gewonnen Erkenntnissen profitiert werden. Der Großdemonstrator wurde in zwei Abschnitten erstellt. Der erste Abschnitt wurde im spät Herbst 2018 erstellt (Bild 22). Der zweite Abschnitt im Sommer 2019 (Bild 23). Die transporttechnische Abwicklung zum Silo und die Silo Steuerung wurde die Fa. Sto durchgeführt. Der Großdemonstrator konnte erstellt werden, sodass alle Funktionalitäten erfüllt wurden. Bei der Förderung des Hochleistungsmörtel konnte festgestellt werden das bei Unterbrechungen der Förderung es zu einem erstarren des bzw. anziehen des Mörtels kam. Die kontinuierliche Förderung führte schlussendlich dazu das der Mörtel die optimale Verarbeitungskonsistenz erreichte.



Bild 22: Großdemonstrator 1. Bauabschnitt



Bild 23: Großdemonstrator 2. Bauabschnitt

2.2 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Der zahlenmäßige Nachweis wurde gesondert übermittelt.

2.3. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeiten

Die Notwendigkeit für die geleisteten Arbeiten bestand darin alle Eigenschaften von SMART DECK mit einem Hochleistungsmörtel abbilden zu können. Die Kombination aller Eigenschaften war am Markt nicht vorhanden. Die Technologien, die bei SMART DECK zusammenlaufen können von der Fa. Sto allein nicht abgebildet werden. So konnte nur in Zusammenarbeit der beteiligten Partner das

Verbundforschungsvorhaben abgebildet werden. So konnte die Forschung an einem Hochleistungsmörtel nur durch staatlich Förderung erfolgen.

2.4. Voraussichtlicher Nutzen der Ergebnisse und fortgeschriebener Verwertungsplan

Ein unmittelbarer unternehmerischer Nutzen wie Umsatzsteigerung oder Erhöhung der Marktanteile wird sich aus den Ergebnissen des Teilvorhabens für die Fa. Sto zunächst nicht ergeben. Die wissenschaftlichen Erkenntnisse aus den verschiedenen Werkstoffen wird sicherlich in der Zukunft größeren Einfluss auf das Baugeschehen nehmen. Die Ergebnisse ermöglichen der Fa. Sto den Mörtel weiterzuentwickeln und auch in weiteren Bausegmenten in Verbindung mit der Technologie KKS einzusetzen.

2.5. Darstellung des während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordenen Fortschritts auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

In Bezug auf SMART-DECK sind die folgenden Arbeiten Dritter, die nicht an dem Forschungsprojekt beteiligt waren, hinsichtlich des Themengebiets von SMART-DECK zu nennen – die folgenden Punkte stellen einen Auszug aus dem Bericht der RWTH Aachen dar – hier sind auch die entsprechenden Literaturstellen zitiert und können dem Bericht der RWTH Aachen entnommen werden:

- KKS mit Carbonbewehrungen – Fa. Koch, Kreuztal, www.betonbeschichtung.net – bei der Anwendung der Fa. Koch handelt es sich im Gegensatz zu SMART-DECK allerdings um eine ausschließliche KKS-Anwendung und nicht um ein Monitoring in Kombination mit einem präventiven KKS, so dass sich die Systeme im Rahmen des Systemlayouts sowie der verwendeten Elektronik deutlich voneinander unterscheiden und beide für unterschiedlichen Anwendungen ein Markt besteht. Ferner erfolgt die Anwendung des KKS-Systems der Fa. Koch schwerpunktmäßig bei Parkbauten und nicht bei Infrastrukturbauwerken, wie SMART-DECK, so dass auch die Anforderungen an die einzelnen Komponenten sich voneinander unterscheiden.
- Im Zuge des SFB 528 an der TU Dresden wurden verschiedene Untersuchungen hinsichtlich der Verstärkungswirkung einer Textilbetonergänzungsschicht für Stahlbetonplatten durchgeführt (z.B. [Moe04; Wei; Wei09a]). Auch im Anschluss wurde das Thema an der TU Dresden weiter beforscht [Erh15; Sch17; Sch19a; Sch19b], wobei die Tragfähigkeitsuntersuchungen stets auf Biegung beschränkt waren. Der Einfluss einer Textilbetonverstärkungsschicht auf die Querkrafttragfähigkeit von Stahlbetonbauteilen wurde und wird zwar auch untersucht (z. B. [Bru06; Bru08b; Bru11a; May19]). Hier erfolgt die Anwendung jedoch für Stegflächen mit Querkraftbewehrung. Das Querkrafttragverhalten der Stege unterscheidet sich wesentlich von dem bei Platten und der Einfluss der Textilbetonergänzung verstärkt diese Abweichungen wesentlich. Eine Übertragung der Erkenntnisse auf die Untersuchungen zur Querkrafttragfähigkeit von mit SMART-DECK verstärkten Platten ist daher nicht möglich.
- Der Einsatz von Textilbeton zur Verstärkung von Stahlbetonfahrbahnplatten wurde im Rahmen eines Vorhabens an der Universität Innsbruck untersucht [Han14; Han15]. Der Fokus der Untersuchungen lag hierbei einerseits auf zyklischen Beanspruchungen. Andererseits war es das Ziel, eine direkt befahrbare Betonoberfläche zu entwickeln, weshalb sich im Vergleich zu SMARTDECK deutliche Unterschiede hinsichtlich der Anforderungen an den Feinbeton ergaben. Die Tragfähigkeitsuntersuchungen waren auf Biegung ausgelegt, wobei die Funktionalität des Systems bei ermüdungswirksamer Beanspruchung bewiesen werden konnte. Im Zuge des Verbundvorhabens waren lediglich zwei zyklische Tastversuche vorgesehen, sodass eine tiefergehende Untersuchung dieser Fragestellung nicht möglich war. Die Untersuchungen aus Innsbruck lassen den Rückschluss zu, dass die Wirksamkeit der Verstärkung von SMART-DECK auch bei zyklischen Lasten gegeben sein kann.

- Das Thema Plattenverstärkung bei Brücken durch Querschnittsergänzung auf der Plattenoberseite für die beiden maßgebenden Lastfälle Biegung und Querkraft wurde nach dem Kenntnisstand der Bearbeitenden des Verbundprojekts lediglich im Rahmen von Forschungsarbeiten an der EPFL (Lausanne, Schweiz) adressiert (z. B. [Bru05]). Hierbei wurde die Verstärkung allerdings nicht mit Textilbeton, sondern mit UHPFRC (Ultra High Performance Fibre Reinforced Concrete, z.B. [Kaz10; Bru08a; Tal13]) realisiert. In Bezug auf das Tragverhalten, das u. a. in [Nos14; Nos10; Oes09] beschrieben wird, kann der Lastfall Biegung über eine übliche Querschnittbemessung rechnerisch erfasst werden und ist somit im weitesten Sinne vergleichbar mit SMARTDECK. Bei Querkraft stellen sich aber andere Mechanismen ein, sodass hier wesentliche Unterschiede vorliegen.

- Die Pilotanwendung war eine Verstärkungsmaßnahme am Viaduct de Chillon [Bru15; Zwi15]. Zur Herstellung der UHPFRC-Verstärkungsschicht wurde ein Fertiger entwickelt. Wegen des Betons liegen wesentliche Unterschiede in Bezug auf die Anforderungen an den Fertiger im Vergleich zu SMART-DECK vor. Durch den hohen Fasergehalt des UHPFRC ergeben sich z. B. stark abweichende rheologische Eigenschaften. Dadurch liegt hier nach Ansicht der am Verbundvorhaben Beteiligten eine deutliche Abgrenzung zu SMART-DECK vor.

Neben den hier genannten Arbeiten Dritter, die nicht an dem Verbundforschungsvorhaben beteiligt waren, wurde der Werkstoff „Textilbeton“ insbesondere an den beteiligten Instituten der RWTH Aachen Institut für Massivbau und Institut für Bauforschung kontinuierlich weiterentwickelt. Die Arbeiten sind in dem Bericht der RWTH Aachen ausführlich dokumentiert.

2.6. Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses

Im Rahmen der Ingenieurbauschulung 2020 wurde SMART DECK Fachverarbeiter und Planern vorgestellt. Die Schulungsserie wurde durch Covid 19 unterbrochen und wird sofern Schulungen in naher Zukunft möglich sind fortgesetzt.

4. Kurzfassung (Berichtsblatt)

Das Thema der nachhaltigen 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 Verbundforschungsvorhabens SMART-DECK wird ein innovativer, multifunktionaler Brückenbelag für den Neubau sowie die Instandsetzung von Straßenbrücken entwickelt. Dabei wird die Lebensdauer der Brückenbauwerke maßgeblich erhöht und gleichzeitig volkswirtschaftliche Schäden aus Verkehrsbehinderungen infolge umfangreicher Instandsetzungsarbeiten oder Ersatzbauten signifikant reduziert.

Im Rahmen des Verbundforschungsvorhabens – Intelligenter multifunktionaler Brückenbelag aus Textilbeton, wird mit SMART DECK eine innovative, multifunktionale und dünne (ca. 30 mm) Zwischenschicht erstellt, welche sowohl für den Neubau als auch für Bestandsbauwerke einen Fortschritt gegenüber dem heutigen Stand der Technik bietet.

SMART-DECK basiert auf dem innovativen Werkstoff Textilbeton und bietet gleich drei Funktionalitäten: Das System kann erstmals ein vollflächiges Echtzeit-Feuchtemonitoring, einen abschnittsweise steuerbaren präventiven kathodischen Korrosionsschutz (pKKS) sowie eine konstruktive Verstärkung von Bestandsbauwerken mit einer zu geringen Tragfähigkeit realisieren. Das Monitoring ermöglicht das frühzeitige Detektieren von Schäden in der Abdichtungsebene und in Kombination mit dem pKKS das Vermeiden von Verkehrsbehinderungen, da eine Erneuerung des Brückenbelages mit einhergehender Baustelleneinrichtung nicht zeitnah erforderlich ist, sondern über Jahre hinaus in verkehrsgünstige Perioden verschoben werden kann. Sowohl das Monitoring, der pKKS als auch die verstärkende Wirkung werden mit Hilfe textiler Carbonbewehrung in Kombination mit einem dem Hochleistungsmörtel realisiert.

Die Aufgabe der Fa. Sto bestand mittelbar im Zusammenhang mit der Erarbeitung eines mineralischen Mörtels, der als Systemkomponente im Gesamtsystem SMART DECK zur Anwendung kommt. Die wesentlichen Fragestellungen bei den Forschungsaufgaben lagen in der Formulierung des mineralischen Mörtels, der Verträglichkeit des Mörtels mit den mittelbar angrenzenden Werkstoffen Beton und Abdichtung sowie zu dem systemgehörigen Werkstoff der Textilbewehrung. Darüber hinaus musste sichergestellt werden, dass die physikalisch chemischen Prozesse, hier vor allem das Verfahren präventiver kathodischer Korrosionsschutz (pKKS) gesamthaft zum Tragen kommen konnte. Darüber hinaus waren die Erkenntnisse aus der Mörtelcharakterisierung entscheidende Merkmale für die Projektpartner in der Festlegung der Systemmerkmale.

Das genannte Teilvorhaben ist im Rahmen des Verbundforschungsvorhabens von zentraler Bedeutung, da ohne die Arbeiten des Teilvorhabens SMART-DECK nicht realisiert werden konnte. Und die zuvor genannten Forschungsfragestellungen nicht von einem anderen Partner bearbeitet werden können.