

ENDBERICHT

FFG Projektnummer	846989	eCall Antragsnummer	2950576
Kurztitel	Hochfester Aufbeton	FörderungsnehmerIn	öbv
Bericht Nr.	1	Berichtszeitraum	1.8.2014-31.7.2015
Bericht erstellt von	Dr. Martin Peyerl, Prof.(FH) Dr. Norbert Randl, DI Martin Steiner		

Richtwert für den Umfang: 10-20 Seiten

1. Ziele und Ergebnisse

- Wurden die dem Förderungsvertrag zugrunde liegenden Ziele erreicht?
Sind diese Ziele noch aktuell bzw. realistisch?
Achtung: Änderungen von Zielen erfordern eine Genehmigung durch die FFG.
- Vergleichen Sie die Ziele mit den erreichten Ergebnissen.
- Beschreiben Sie „Highlights“ und aufgetretene Probleme bei der Zielerreichung.

Im Folgenden werden die Ergebnisse überblicksmäßig pro AP dargestellt. Die detaillierten Zusammenstellungen der Versuchsergebnisse sind dem noch folgenden Forschungsbericht (Teilbericht des ersten Projektjahres, Fertigstellung Juli 2015) zu entnehmen.

Im Zuge des Arbeitspakets 2, d.h. der Rezepturenentwicklung gemeinsam mit einem Lieferbetonwerk, kam es zu gewissen zeitlichen Verzögerungen aufgrund der Schwierigkeit, eine praxistaugliche und gleichzeitig hochwertige Rezeptur zu fixieren. Diese führten dann in weiterer Konsequenz auch zu leichten Verschiebungen bei den darauf aufbauenden weiteren Arbeitspaketen, wobei dennoch aufgrund der Intensivierung des Ressourceneinsatzes seit dem Frühjahr 2015 die definierten Leistungen zeitgerecht zum geplanten Projektabschluss (1. Jahr) erbracht werden. Die inhaltliche Zielerreichung kann wie folgt dokumentiert werden:

AP 1: Statistische Analyse und detaillierte Programmerstellung

Dieses Arbeitspaket umfasst die Sichtung und Evaluation der relevanten Literatur zu den Themenbereichen Prüfverfahren zur Verbundprüfung sowie zur Oberflächencharakterisierung sowie eine Zusammenstellung der bisher durchgeführten Untersuchungen zur Verbundwirkung zufolge Adhäsion, Reibung und Verdübelung. Des Weiteren wurden verfügbare Forschungsdokumentationen zur Anwendung von Hochleistungsbeton als Aufbeton erfasst. Betreffend die statistische Bewertung der verfügbaren Versuchsdaten aus der Literatur erfolgt eine enge Anlehnung an den DIBt-Forschungsbericht von *Zilch* und *Müller* [1], der auf normalfesten Aufbeton fokussiert. Die bis dato bereits erfassten, allerdings nur begrenzt verfügbaren Ergebnisse für höherfeste Aufbetone werden tabellarisch aufbereitet und darauf aufbauend bewertet.

Ein reibungsloser Ablauf des Projektes konnte durch die detaillierte Programmerstellung erreicht werden. Es erfolgte die Planung des detaillierten Versuchsprogrammes inkl. Festlegung der Variationsparameter für die durchgeführten Kleinkörperversuche.

AP 2: Planung und Herstellung der Kleinkörperversuche

Inhalt dieses Arbeitspaketes war die Planung und Herstellung der Kleinkörperversuche. Primäres Ziel der Versuche war, zu zeigen welche Verbundkennwerte prüftechnisch mit Hilfe unterschiedlicher Untersuchungsmethoden für eine typische Brückenverstärkung

(Tragwerksbeton B5 und Hochleistungs-Aufbeton) erzielt werden können.

Eine Herausforderung stellte die Entwicklung einer Rezeptur für den Hochleistungsbeton dar, da eine entsprechend hohe Betongüte mit regionalen Betonausgangsstoffen realisiert werden sollte. Dies war erforderlich, um im zweiten Forschungsjahr die gleichen Betonrezepturen für die Großkörper, die nicht mit Labormischern hergestellt werden können, zur Verfügung zu haben. Ziel war, einen C90/105 (oberste Betonfestigkeitsklasse gemäß Eurocode) herzustellen. Hierbei wurden, auf Basis der in den Werken im Raum Villach vorrätigen Betonausgangsstoffe, Rezepturen mit unterschiedlichen Zementen und Mikrosilica hergestellt und die Normenfestigkeit nach 28 Tagen ermittelt. Weitgehend unabhängig von der Zementart konnten mit den zur Verfügung stehenden Gesteinskörnungen jedoch nur Festigkeiten von knapp 90 N/mm² erreicht werden. Dies entspricht nicht zur Gänze den vorab definierten Zielen, ist aber aufgrund der österreichweiten Verfügbarkeit von Betonzusammensetzungen durchaus praxisrelevant.

Im Rahmen der Probekörperherstellung erfolgte zur genauen Charakterisierung der Eigenschaften der einzelnen Betonsorten die Ermittlung der wesentlichen Frisch- und Festbetonkennwerte. Folgende, in Tabelle 1 zusammengefasste Versuchsvariationen wurden durchgeführt:

Tabelle 1: Variation der hergestellten Kleinversuchskörper

Betonsorten	Oberfläche	Behandlung
C30/37/F45/GK16/B5 als Tragwerksbeton	„glatt“	mattfeucht
C60/75/F45/GK16/HL-B als Aufbeton	„rau“	feucht
	„verzahnt“	nass
	„monolithisch B5“	
	„monolithisch HL-B“	
	„nass in nass“ HL-B B5 mit Oberflächenbehandlung	
	„nass in nass“ HL-B B5 ohne Oberflächenbehandlung	

Abbildung 1 zeigt einen Teil der hergestellten Versuchskörper.



Abbildung 1: Versuchskörper nach Einbringen des Aufbetons

Eines der Ziele bestand auch darin, vom Ablauf her eine praxisnahe zeitliche Vorgangsweise zu realisieren und auch die Aufrauung entsprechend technischer Gepflogenheiten und Normvorgaben von einer erfahrenen Firma durchführen zu lassen. Das erreichte Ergebnis entsprach diesem Ziel: Vom Ablauf her wurden zunächst die normalfesten Versuchskörperhälften hergestellt und nach rund 2 Wochen Aushärtung hochdruckwassergestrahlt („HDW“). Dabei wurden 3 Rauigkeitskategorien „verzahnt“, „rau“ und „glatt“ nach der Definition im Eurocode 2 realisiert. Das Anbetonieren der höherfesten Versuchskörperhälften erfolgte dann zeitnah 1 Woche später. An diesem Tag wurden parallel Versuchskörper „Nass-in Nass“ produziert, wo am selben Tag mit einem baupraxisgerechten dazwischenliegenden Zeitfenster von 3h normal- und höherfeste Prüfkörperhälften betoniert wurden. Die bewusst nur schwache Aufrauung erfolgte hierbei, ebenso mit Fokus auf die praktische Anwendung, mit einem Rechen.

AP 3: Durchführung der Kleinkörperversuche zum Haftverbund

Nach vollständiger Aushärtung aller Versuchskörper über einen Zeitraum von 4 Wochen nach Einbringung des Aufbetons wurde mit der Durchführung der Kleinkörperversuche begonnen. Die experimentellen Studien zum Haftverbund beinhalten zwei wesentliche Untersuchungen:

- Genaue Charakterisierung der Oberflächeneigenschaften mit herkömmlichen und alternativen Methoden

Werden zwei Betonwerkstoffe aneinander gefügt, so ist zur Erzielung eines möglichst guten Verbundes die Oberflächenbeschaffenheit der unteren, bestehenden Betonschicht von entscheidender Bedeutung. Um eine ausreichende Verbundwirkung zu gewährleisten, werden in RVS 15.02.24 zur Bemessung und Ausführung von Aufbeton auf Fahrbahnplatten Anforderungen an die Oberflächenbeschaffenheit definiert. Als Anforderung an die Oberflächeneigenschaften wird eine mittlere Rautiefe $\geq 3,0$ mm, bestimmt mit dem Sandflächenverfahren gemäß EN 1766, gefordert. Bei der Prüfung der Rautiefe mit dem Sandflächenverfahren nach Kaufmann wird eine definierte Menge (V) eines feinen Stoffes (Normensand) auf eine trockene, saubere Oberfläche kegelförmig aufgeschüttet und mit einer runden Scheibe durch Drehbewegungen verteilt. Die Rautiefe wird schlussendlich definiert als Höhe des gedachten zylindrischen Körpers mit dem so gemessenen Kreisdurchmesser (siehe Abbildung 2) und dem Volumen des aufgetragenen Stoffes. Dies ist ein sehr einfaches Prüfverfahren welches nur eine sehr grobe Charakterisierung der Oberflächeneigenschaften zulässt.

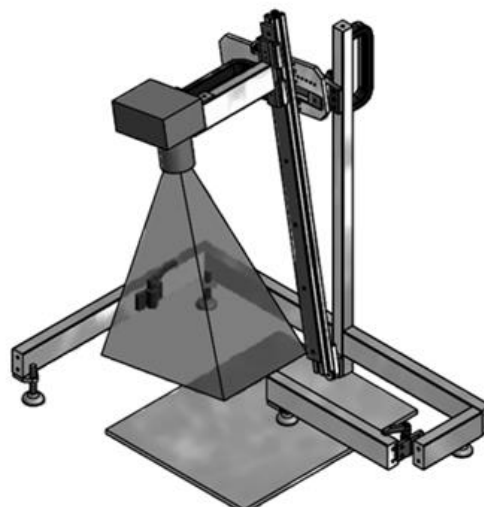
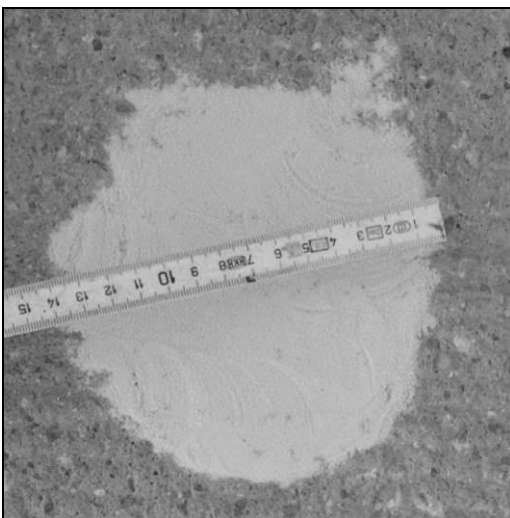


Abbildung 2: Bestimmung der Rautiefe sowie Ermittlung der Oberflächeneigenschaften mit stereoskopischen Verfahren

Um vertiefende Aussagen über die Oberflächeneigenschaften zu erhalten, erfolgte die Analyse der Oberflächeneigenschaften mit einem stereoskopischen Verfahren. Dabei wird anhand von mehreren, in unterschiedlichen Kippwinkeln aufgenommenen Bildern ein digitales Oberflächenmodell (DOM) generiert.

Zur Auswertung der mit diesem Verfahren ermittelten Oberflächeneigenschaften stehen drei Analysetools zur Verfügung:

- **Profilanalyse**

Die Profilanalyse berechnet unterschiedliche Parameter anhand einer auf der Probe frei definierbaren Linie und stellt diese grafisch dar.

- **Flächenanalyse**

Die Flächenanalyse berechnet unterschiedliche Parameter anhand einer auf der Probe definierten Fläche und stellt diese grafisch dar.

- **Volumenanalyse**

Die Volumenanalyse analysiert die gesamte Oberfläche des zu untersuchenden Werkstoffes und bietet die Möglichkeit, ein fiktives Netz auf die Baustoffoberfläche zu legen und Volumina zwischen der Baustoffoberfläche und der fiktiv eingezogenen Ebene zu berechnen.



Abbildung 3: Oberflächenmodell der glatten (links), rauhen (Mitte) und verzahnten (rechts) Oberfläche

- **Charakterisierung der Verbundeigenschaften**

Die Ermittlung der Verbundeigenschaften erfolgte durch Bestimmung der Haftzugfestigkeit sowie durch Ermittlung der bruchmechanischen Kennwerte mit der Keilspaltmethode. Bei der Prüfung der Haftzugfestigkeit gemäß ONR 23303 wird mit einem Kernbohrgerät (Innendurchmesser 50 mm) über die gesamte Dicke der Aufbetonschicht und darüber hinaus etwa 2 cm in die Unterbetonschicht gebohrt. Es erfolgt das Aufkleben von Stahlstempeln und die Bestimmung der Haftzugfestigkeit durch zentrales Abziehen des Stahlstempels unter konstanter Belastungsgeschwindigkeit.

Die Bestimmung der Kerb-Spaltzugfestigkeit und der spezifischen Bruchenergie erfolgte gemäß ÖNORM B 3592. Hierzu wurden Proben mit einer Seitenlänge von 10 cm aus den Versuchsplatten geschnitten. Nach der Probenvorbereitung (Schneiden der Starterkerbe, Aufkleben der Lasteinleitungsplatten) werden die Probekörper in einer Prüfvorrichtung belastet. Im Zuge der Prüfung erfolgt die Aufzeichnung eines Last-Verschiebungsdiagramms bis zum vollkommenen Aufspalten der Probe.

Abbildung 4 zeigt schematisch die Prüfung der Haftzugfestigkeit sowie die Bestimmung der bruchmechanischen Kennwerte an einer gekerbten Probe.

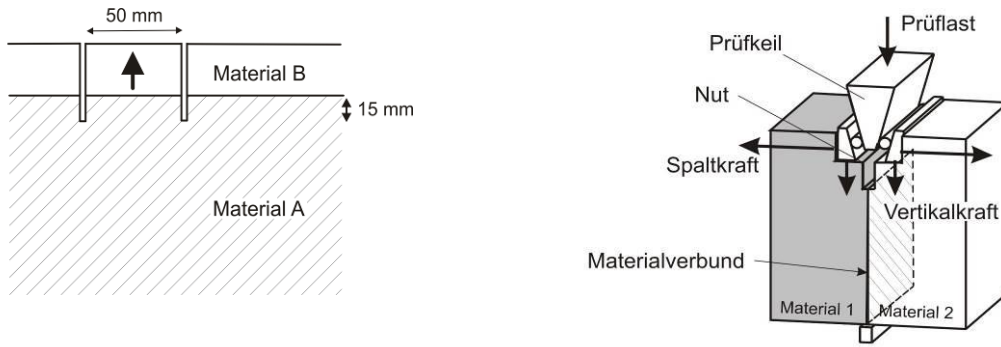
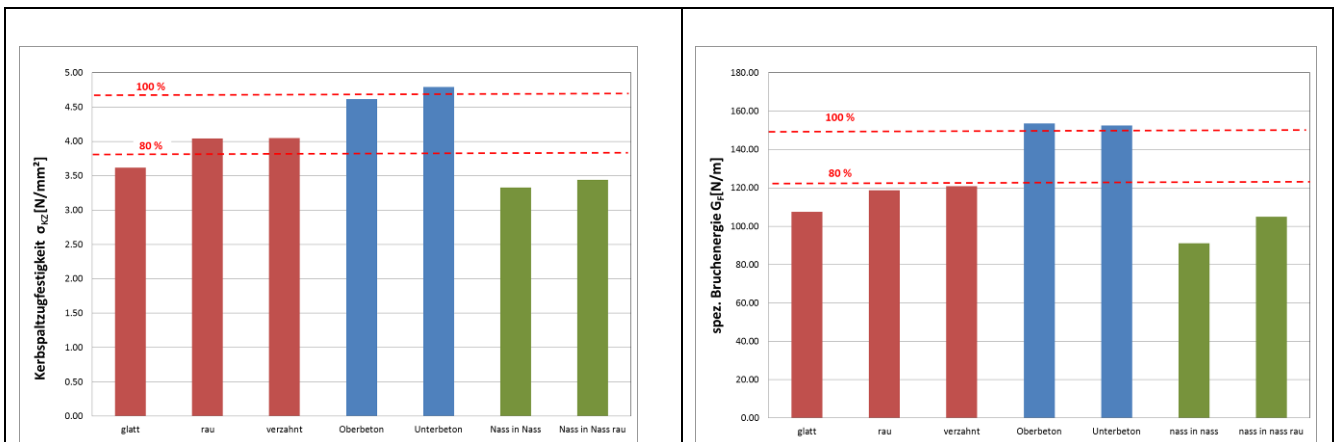


Abbildung 4: Bestimmung der Haftzugfestigkeit (links) sowie der bruchmechanischen Kennwerte mit der Keilspaltmethode (rechts)

Abbildung 5 zeigt ausgewählte Ergebnisse der Zusammenhänge zwischen den Oberflächen- und Verbundeigenschaften. Dabei sind die bruchmechanischen Kennwerte Kerbspaltzugfestigkeit σ_{KZ} (entspricht der maximal aufnehmbaren Kraft bei Mode 1 Beanspruchung) und Bruchenergie G_F (entspricht der Gesamtenergie zum Aufspalten der Probe) für die Oberflächenzustände glatt, rau und verzahnt aufgetragen. Die ermittelten bruchmechanischen Kennwerte Kerbspaltzugfestigkeit und spezifische Bruchenergie zeigen, dass die höchsten Prüfwerte bei der aufgerauten und verzahnten Verbundfuge festgestellt wurden. Bei diesen Oberflächen können etwa 80 % der Festigkeitswerte von homogenem Beton erreicht werden. Der Einbau nass in nass zeigt deutlich geringere Festigkeiten als die durch Hochdruckwasserstrahlen behandelten Verbundfugen mit Altbeton. Dies dürfte darauf zurückzuführen sein, dass durch die Wartezeit von knapp zwei Stunden bereits oberflächlich ein Austrocknungsprozess gestartet ist und dies zu einer Störungszone (Sollbruchstelle) in den oberflächennahen Schichten des Unterbetons führte.

Im Rahmen der Gegenüberstellung von Oberflächen- und Verbundkennwerten aus dem digitalen Oberflächenmodell zeigte sich, dass ausgewählte Parameter der Flächenanalyse sehr gut mit den bruchmechanischen Kennwerten Kerb-Spaltzugfestigkeit und spezifische Bruchenergie korreliert werden können. Abbildung 5 unten zeigt die Korrelation des Parameters Sdr (Verhältnis wahre zu projizierte Fläche) mit den Verbundkennwerten. Bei steigendem Parameter Sdr steigen auch Verbundfestigkeiten.



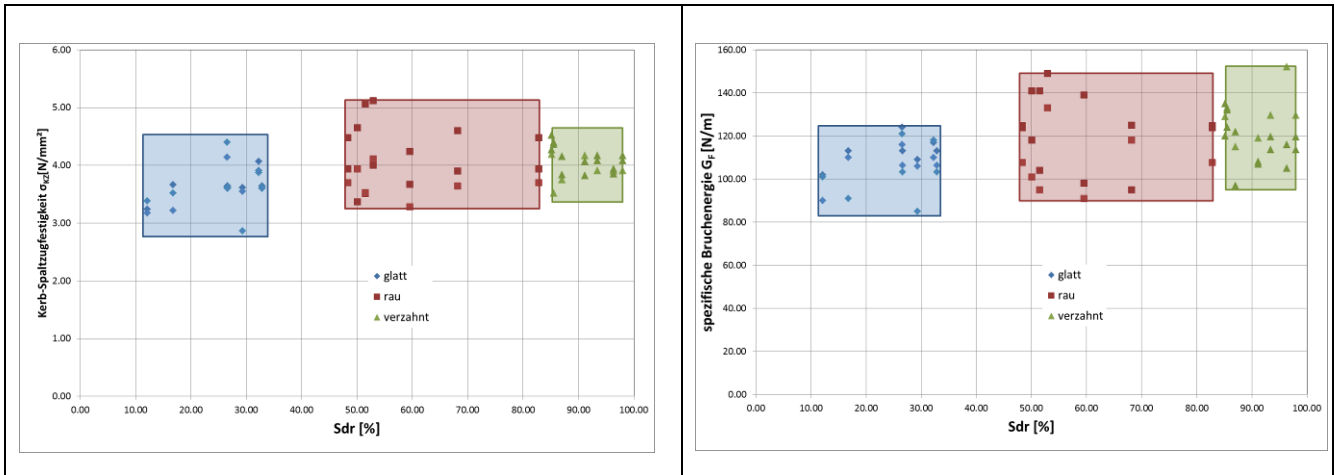


Abbildung 5: Zusammenhänge zwischen den bruchmechanischen Kennwerten σ_{KZ} und G_F und den Oberflächenzuständen sowie σ_{KZ} und G_F in Relation zum Oberflächenparameter Sdr.

Der generelle Trend der Versuchsergebnisse zeigt, dass die bruchmechanischen Kennwerte mit Abnahme der Oberflächenrauheit abnehmen. Dies wird bei der Gegenüberstellung der Oberflächeneigenschaften mit Sdr mit den ermittelten Verbundkennwerten deutlich. Aufgrund der Ergebnisse kann zusammengefasst werden, dass der Parameter Sdr zur Erreichung von guten Verbundkennwerten zumindest 50 Prozent bzw. die aus dem Oberflächenmodell errechnete Rautiefe zumindest 1,5 mm betragen sollte. Dies entspricht der Oberflächeneigenschaft rau. Bei den Oberflächen rau und verzahnt können 70 Prozent der Kerbspaltzugfestigkeit bzw. knapp 90 Prozent der spezifischen Bruchenergie von vergleichbarem homogenen Beton erreicht werden.

AP 4 Durchführung der Kleinkörperversuche mit/ohne Reibungsanteil bzw. Normalkraft

Während in AP3 die Haftzugfestigkeit und Beanspruchung auf Zug (Haftzug- und Keilspaltversuche) in der Verbundfuge im Fokus steht, wird im AP4 die für die Bemessung und Ableitung von Verbundkennwerten besonders relevante Schubbeanspruchung in den Vordergrund gestellt. Zu diesem Zweck werden die Verbundeigenschaften in sogenannten „Push-Out“ Tests (Abbildung 6) und in „Slant Shear“ Tests (Abbildung 6) an prismenartigen Kleinkörpern untersucht. Generell besteht zwischen Haftzug- und Haftschubfestigkeit ein Zusammenhang, der im gegenständlichen Projekt ebenso erkundet werden soll (siehe dazu [2]). Hauptziel dieses APs ist es, konsistente Nachweise für die zu erwartende relativ hohe Verbundschubfestigkeit zu erbringen und dadurch bestmögliche und wirtschaftliche Nutzbarkeit zu erreichen.

Nachfolgend werden die 2 unterschiedlichen Prüfverfahren inkl. der variierten Parameter kurz beschrieben:

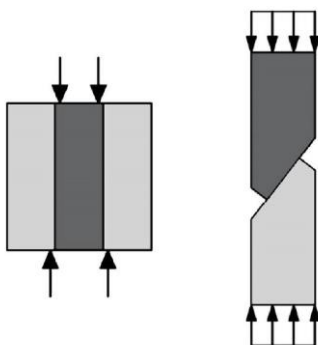


Abbildung 6: Versuchskörper Typ I („Push Out“) und Typ II („Slant-Shear“)

Die Altbetonbauteile sind in den Abbildungen in einem hellen und die Neubetonbauteile in einem dunklen Grauton gekennzeichnet.

Bei den Versuchskörpern des Typs I handelt es sich um sogenannte „Push-Out“ Tests, bei denen ohne Aufbringen einer Fugennormalspannung der innere hochfeste Versuchskörperteil gegenüber den 2 außenliegenden abgeschert wird. Auf diese Weise soll das reine Adhäsionsversagen ohne Überlagerung durch externe Normalspannungen untersucht werden. Es wurden 9 Versuchskörper mit unterschiedlichen Rauigkeiten („glatt“, „rau“, „verzahnt“) betoniert.

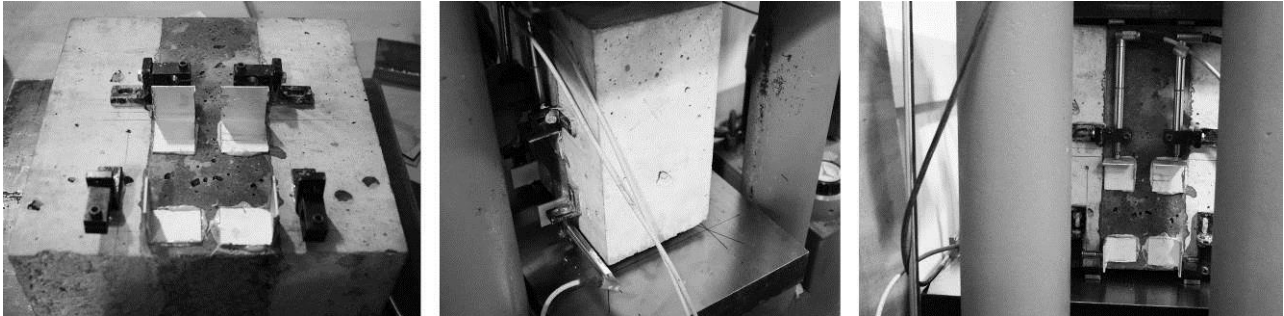


Abbildung 8: Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung Typ I

Beim Versuchskörper Typ II herrscht jeweils ein von der Fugenneigung abhängiges konstantes Verhältnis zwischen Fugennormal- und Fugenschubspannung. In den durchgeführten Versuchen wurden sowohl der Fugenwinkel als auch die Oberflächenrauigkeit variiert. Durch eine starke Oberflächenaufrauung mittels HDW-Strahlen kann zusätzlich zum adhäsiven Verbund ein Kornverzahnungseffekt, der zu einer generell hohen Schubtragfähigkeit führt, aktiviert werden.

Tabelle 2: Variierte Parameter Typ II - Hergestellte Fugenneigungen und Rautiefenbereiche

Fugenneigung	Oberflächenbehandlung	Rautiefenbereiche
65°, 70°, 75°	HDW-gestrahlt	„glatt“ ($\leq 1,5\text{mm}$) „rau“ ($\leq 3,0\text{mm}$) „verzahnt“ ($\geq 3,0\text{mm}$)

Ziel war, eine statistische Bewertung zu ermöglichen. Daher wurden die Untersuchungen mit einer statistisch relevanten Anzahl an Versuchskörpern, d.h. mindestens 3 Stück je untersuchtem Parameter wie Rauigkeitskategorie, durchgeführt. Die gesamten Rauigkeiten wurden sowohl mit dem Sandflächenverfahren als auch mit dem oben beschriebenen stereoskopischen Verfahren aufgenommen.



Abbildung 7: Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung Typ II

Die Versuchsreihe bestehend aus 9 „Push - Out“ Tests und 18 „Slant - Shear“ Tests wurde planmäßig abgeschlossen und die Ergebnisse liegen vor. Sie zeigen ein konsistentes Verhalten mit nur geringen Streuungen innerhalb einer Rauigkeitskategorie. Mit zunehmender Rauigkeit der Fuge konnte ein Ansteigen der Verbundfestigkeit festgestellt werden, wobei dieses nicht proportional verlief. Vielmehr war die Steigerung von der mittleren Rautiefe ($\leq 3,0\text{mm}$) zur großen ($\geq 3,0\text{mm}$) deutlich geringer als zwischen der Kategorie glatt ($\leq 1,5\text{mm}$) und mittlerer Rauigkeit. Insbesondere die Verbundfestigkeitswerte der mittleren und großen Rautiefen sind vielversprechend, wobei Details dem Forschungsbericht [1] zu entnehmen sind.

AP 5: Auswertung und Überlegungen zum Einfließen der Versuchsergebnisse aus AP3 und AP4 in ein erweitertes Bemessungskonzept sowie Berichtslegung Forschungsjahr 1

Ziel ist es, aufgrund des Zusammenwirkens von Oberflächen- und Verbundeigenschaften, Aussagen für die mögliche Ableitung von Bemessungswerten zu liefern. Grundsätzlich wurde in den unterschiedlichen Versuchstypen angestrebt, den auftretenden adhäsiven Verbund bei weitgehendem Verzicht auf Bewehrungselemente eindeutig zu identifizieren und somit auch für die Bemessung nutzbar zu machen. Die Kleinkörperversuche, genaue und dennoch praxisnahe Oberflächenspezifikationen und anschließend noch folgende Bauteilversuche im 2. geplanten Forschungsjahr, sollen schlussendlich die Datengrundlage für die Weiterentwicklung eines entsprechend wirtschaftlichen Bemessungskonzeptes liefern.

Prinzipiell kann gesagt werden, dass die Versuchsergebnisse konsistent sind und relativ geringe Streuungen aufweisen, was aus Sicht der Statistik die Auswertung erleichtert. Als Bemessungskonzept bietet sich jenes nach MC2010 [3, 4] an, da hierin eine klare Unterscheidung zwischen vollem adhäsiven Verbund bei gerissener Fuge, also reiner Haftschubfestigkeit, und bewehrten gerissenen Verbundfugen getroffen ist. Im gegenständlichen Fall ist Szenario 1, also sog. „rigid bond“, von Interesse und prinzipiell anwendbar. Parallel zum Forschungsprojekt wurde ein Vorschlag zur EC2-Überarbeitung in Richtung dieses Bemessungskonzeptes in die CEN/TC 250/SC 2/WG 1/TG 4 eingebracht, der auch die Anpassung und somit bessere Ausnutzung der Verbundfestigkeiten für Hochleistungs-Aufbetone ermöglichen würde.

In Abbildung 9 links sind die Bruchlasten für die Versuchskörper Typ I dargestellt. Abbildung rechts zeigt die Bruchschubspannung in Abhängigkeit der mittleren Rautiefe. Als Vergleich wurden Werte der Literatur [5] Versuchen herangezogen.

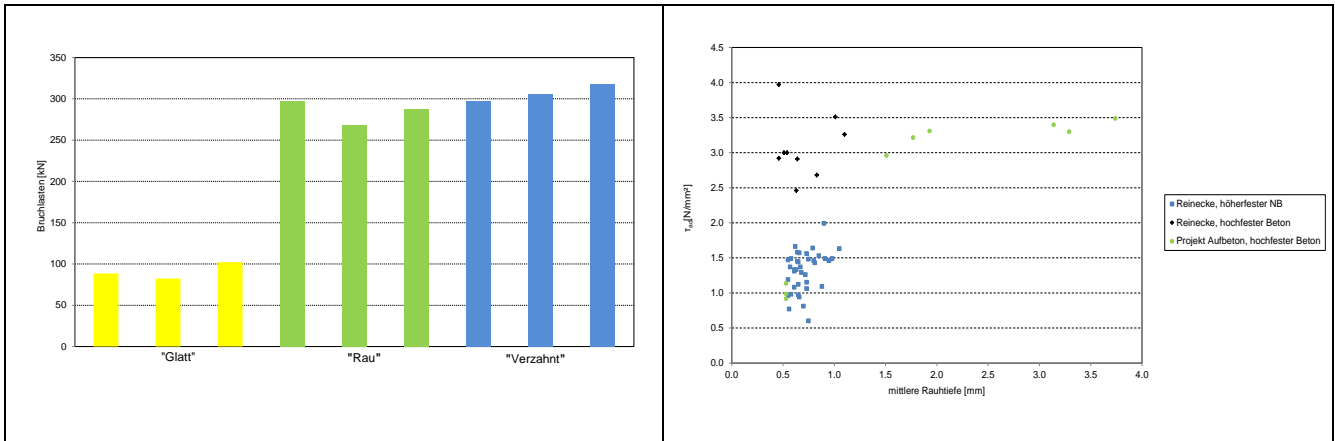


Abbildung 9: Bruchlasten und Bruchschubspannung in Abhängigkeit der Rautiefe Typ I

In Abbildung 10 sind die Bruchlasten für Versuchskörper Typ II und die rückgerechneten Werte der adhäsiven Verbundschubfestigkeit entlang der Fuge dargestellt. Aufgrund der beschränkten Aussagekraft der Rautiefe auf die tatsächliche Oberflächenstruktur, wurden zusätzlich bei den eigenen Versuchen alle Oberflächen von der Partnerinstitution Smart Minerals fotografisch dokumentiert und mit einem stereoskopischen Verfahren ermittelt und verglichen. Die Werte der ermittelten Adhäsionswiderstände lagen im Mittel zwischen 7-8 N/mm².

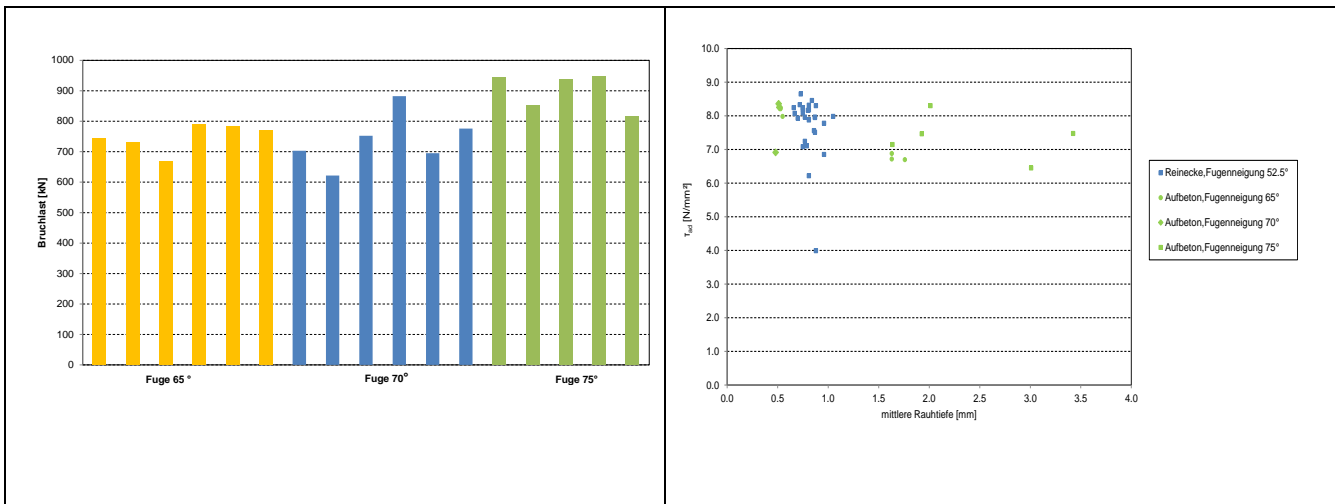


Abbildung 10: Bruchlasten und adhäsive Verbundschubspannung in Abhängigkeit der Rautiefe Typ II

AP 6: Planung der Großkörperversuche zur Untersuchung des flächigen Verbundes bzw. strukturellen Zusammenwirkens

Auf Basis der Erkenntnisse wurden bereits erste Planungen zur Herstellung der Großkörperversuche durchgeführt. Dabei sollen, zur Übertragbarkeit der Ergebnisse, die gleichen Betonsorten wie für die Kleinkörperversuche verwendet werden. Hierfür wurden schon Vorarbeiten zur Charakterisierung von verfügbaren Betonsorten im Forschungsjahr 1 geliefert.

Bei den geplanten Bauteilen handelt es sich um Plattenstreifen mit voraussichtlich etwa 3 m Spannweite. Auf eine voraussichtlich 10-15 cm starke Grundplatte aus Normalbeton, die entsprechend aufgeraut wird, soll der Hochleistungs-Aufbeton appliziert werden. Die Biegebewehrung wird so ermittelt, dass möglichst hohe Verbundbeanspruchungen im

Endfugenbereich erreicht werden. Die Versuchskörperplanung lehnt sich an Erfahrungen im Baulabor der FH Kärnten [6] an, eine Prinzipskizze ist nachfolgend dargestellt. Die genaue Detailplanung betreffend Höhe Grundplatte, Aufbetonstärke und Bewehrungslayout ist zum Zeitpunkt dieser Berichtslegung noch im Gange und wird mit dem Projektende (1. PJ) abgeschlossen.

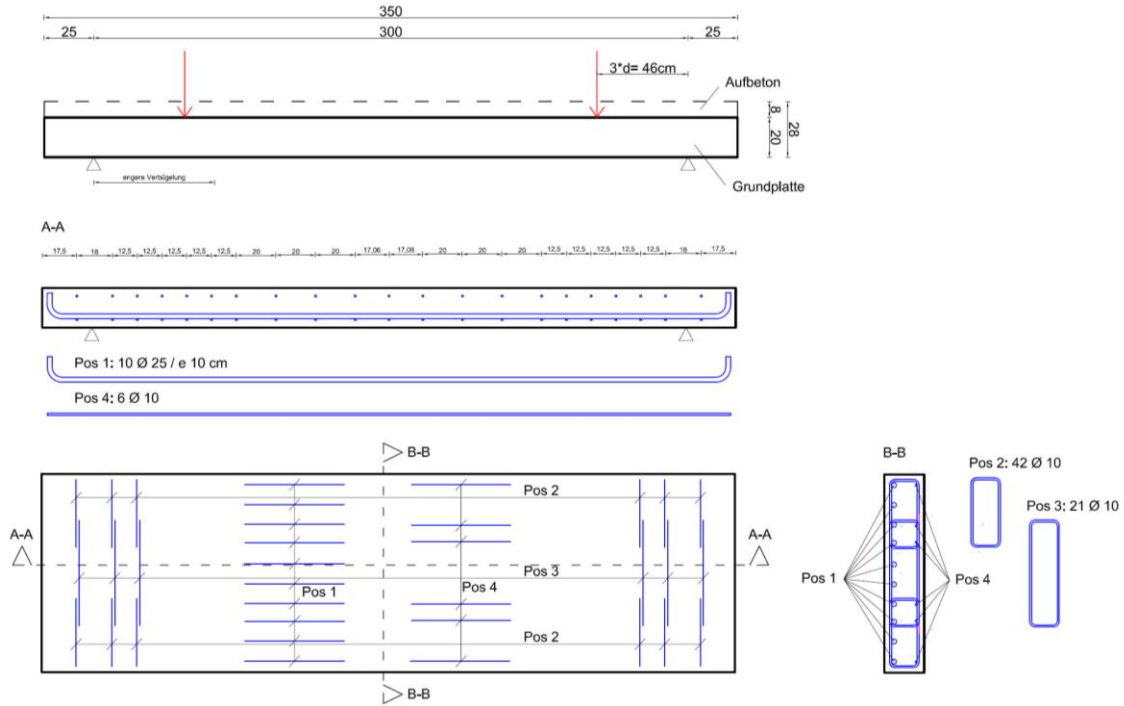


Abbildung 11: Prinzipskizze der geplanten Großkörperversuche (Entwurf) [6]

2. Arbeitspakete und Meilensteine

2.1 Übersichtstabellen

Erläuterung:

Die Tabellen sind analog zum Förderungsansuchen aufgebaut.

Basistermin: Termin laut Förderungsansuchen bzw. laut Vertrag gültigem Projektplan

Aktuelle Planung: Termin laut zum Zeitpunkt der Berichtslegung gültiger Planung

Tabelle 1: Arbeitspakete (aktueller Stand zum Zeitpunkt der Erstellung des Berichts)

AP Nr.	Arbeitspaket Bezeichnung	Fertigstellungsgrad Stand 10.06.2015	Basistermin		Aktuell		Erreichte Ergebnisse / Abweichungen
			Anfang	Ende	Anfang	Ende	
1	Statistische Analyse und detaillierte Programmerstellung	100	08/2014	11/2014	08/2014	10/2014	Analyse zum Stand der Technik von Aufbetonverstärkungen mit Zusammenstellung der bisherigen Publikationen bzw. der normativen Grundlagen, Erstellung des Versuchsprogrammes und Planung der Versuchsdurchführung
2	Planung und Herstellung der Kleinkörperversuche	100	09/2014	12/2014	09/2014	04/2015	Rezepturenentwicklung zur Herstellung der Kleinkörperversuche, Herstellung von Schalung, Betoneinbringung und Betonprüfung / leichte Verzögerungen im Projektablauf durch schwierige Entwicklung einer praxistauglichen Rezeptur für den Aufbeton
3	Durchführung der Kleinkörperversuche zum Haftverbund	90	12/2014	04/2015	04/2015	06/2015	Prüfung der Kleinkörperversuche zur Verifizierung der Verbundeigenschaften / leichte Verzögerung aufgrund verspätetem Abschluss von AP2
4	Durchführung der Kleinkörperversuche mit/ohne Reibungsanteil bzw. Normalkraft	90	01/2015	06/2015	03/2015	06/2015	Planung und Vorbereitung Test-Setup, Versuchsdurchführung zur Verifizierung der Verbundeigenschaften / leichte Verzögerung aufgrund verspätetem Abschluss von AP2
5	Auswertung und Überlegungen zum Einfließen der Versuchsergebnisse in ein erweitertes Bemessungskonzept	50	05/2015	07/2015	05/2015	07/2015	Auswertung der Versuchsergebnisse und erste Überlegungen für ein adaptiertes Bemessungskonzept
6	Planung der Großkörperversuche zur Untersuchung des flächigen Verbundes	40	06/2015	07/2015	06/2015	07/2015	Überlegungen zur Konzeption der Großkörperversuche hinsichtlich Abmessungen, Bewehrung und Betonsorte

Tabelle 2: Meilensteine

Meilenstein Nr.	Meilenstein Bezeichnung	Basis-termin	Aktuelle Planung	Meilenstein erreicht am	Anmerkungen zu Abweichungen
Es wurden keine Meilensteine definiert.					

2.2 Beschreibung der im Berichtszeitraum durchgeführten Arbeiten

- Beschreiben Sie die im Berichtszeitraum durchgeführten Arbeiten, strukturiert nach den Arbeitspaketen.
- Konnten die Arbeitsschritte und -pakete gemäß Plan erarbeitet werden? Gab es wesentliche Abweichungen?
- Die Beschreibung beinhaltet ebenso eine allfällige Änderung der angewandten Methodik. Achtung: Änderungen an der Methodik und wesentliche Änderungen im Arbeitsplan erfordern eine Genehmigung durch die FFG.

Im Folgenden sind die im Berichtszeitraum durchgeführten Arbeiten kurz erläutert. Eine detaillierte Zusammenstellung der Versuchsergebnisse wird dem parallel in Erstellung befindlichen Detailbericht, dessen Fertigstellung zum Ende des ersten Forschungsjahres erfolgt, zu entnehmen sein.

AP 1: Statistische Analyse und detaillierte Programmerstellung

In diesem Arbeitspaket erfolgte eine Sichtung und Bewertung der relevanten Literatur zum Stand der Technik sowie der bisherigen Bemessungsverfahren für Brückentragwerke. In Österreich bilden Eurocode 2 und die darauf aufbauende RVS 15.02.34 [7] die Grundlage für die Bemessung von Aufbetonschichten. In diesem Regelwerk werden Anforderungen an die Rauheit der Oberfläche sowie die Betongüte des Untergrundes gestellt. Vorhergehende Untersuchungen zeigten, dass die geforderten Rauheiten in vielen Fällen nicht erreicht werden können, aber auch für ausreichende Verbundwirkung nicht immer zwingend erforderlich sind [8].

Eine detaillierte Zusammenfassung weltweit verfügbarer Verbunduntersuchungen mit Fokus auf normalfesten Aufbeton findet sich in [1]. Hierin ist auch eine statistische Bewertung in Bezug auf das Bemessungskonzept nach Eurocode 2 enthalten. Darauf aufbauend wurde das Potential für bessere Ausnutzung der Verbundeigenschaften identifiziert und die Planung der Versuche gestaltet. Vergleichbare Zusammenstellungen zur Bewertung bereits verfügbarer Versuchsergebnisse werden auch im gegenständlichen Projekt angestrebt, wobei diese aufgrund der Verflechtung mit AP5 erst im Zuge der Gesamtbewertung der eigenen Ergebnisse erstellt werden.

Einen weiteren wesentlichen Punkt bildete die Programmerstellung und Versuchsplanung sowie die gegenseitige Koordinierung der Arbeiten der Projektpartner der Probekörperherstellung und Versuchsdurchführung.

Die Arbeiten dieses Arbeitspaketes konnten plangemäß abgeschlossen werden.

AP 2: Planung und Herstellung der Kleinkörperversuche

Dieses Arbeitspaket beinhaltet die Rezepturenentwicklung sowie die Herstellung der unterschiedlichen Probekörper für die Oberflächen- und Verbundcharakterisierung. Als erster Schritt wurde der Tragwerksbeton mit der Betonsortenbezeichnung C30/37/F45/GK16/B5 eingebracht. Dieser Beton ist typisch für die Ausführung von Straßenbrückentragwerken mit taumittelhaltiger Sprühnebelbelastung. In einem Betonalter von mehr als 28 Tagen erfolgte das Hochdruckwasserstrahlen der Probekörper zur Herstellung der unterschiedlichen Oberflächenprofilierungen glatt, rau und verzahnt mit jeweiligen Zielrautiefen (bestimmt mit dem Sandflächenverfahren nach Kaufmann [8]) von 0,3 -0,8 mm, 1,5 -2,0 mm sowie 3,0- 4,0 mm.

Parallel dazu startete die Entwicklung einer Rezeptur für die Hochleistungsaufbetonschicht in enger Kooperation von Smart Minerals mit der Fa. Cemex in Villach. Die Schwierigkeiten dabei waren, dass mit lokal verfügbaren Betonausgangsstoffen eine möglichst hohe Betonfestigkeit erzielt werden sollte. Durch diese Vorgaben könnten Würfeldruckfestigkeiten nach 28 Tagen von knapp unter 90 N/mm² erreicht werden, was nicht der angedachten Betondruckfestigkeitsklasse von C90/105 entspricht. Durch diesen Kompromiss war jedoch sichergestellt, dass für die im Forschungsjahr 2 anstehenden Großkörperversuche eine idente Betonrezeptur verwendet werden kann. Weiters war ein entsprechender Bezug zur Ausführungspraxis gegeben, da nur Betonsorten verwendet wurden, die auch weitgehend flächendeckend in Österreich verfügbar sind.

Durch Verzögerungen in der Rezepturentwicklung konnte dieses Arbeitspaket zeitlich gesehen nicht planmäßig abgeschlossen werden, was in der Folge auch zu leichten Verzögerungen in der Abwicklung der darauf folgenden Arbeitspakete führte.

AP 3: Durchführung der Kleinkörperversuche zum Haftverbund

Ziel dieser Arbeiten war, Oberflächeneigenschaften der Verbundfuge in Wechselwirkung zu den Verbundeigenschaften darzustellen und so die Basis für ein angepasstes Bemessungskonzept zu liefern. Als erster Schritt erfolgte die Ermittlung der Oberflächeneigenschaften sowohl mit dem gebräuchlichen und genormten Verfahren, der Sandflächenmethode nach Kaufmann [10], als auch mit alternativen Methoden zur Erstellung eines digitalen Oberflächenmodells. Dabei wurde für jede zu untersuchende Oberfläche zwei um 5° bis 10° (je nach Oberflächenbeschaffenheit) aus der Lotrechten verkippte Bilder aufgenommen und ein digitales Oberflächenmodell erstellt. Die Auswertung der Oberflächeneigenschaften erfolgte grundsätzlich auf Basis des digitalen Oberflächenmodells (DOM) mit Oberflächenparameter gemäß EN ISO 4287 [10].

Nach Aufbringen des Aufbetons wurden im Probenalter von 28 Tagen Haftzugfestigkeiten (Einaxiale Zugfestigkeit der Verbundfuge) gemäß ONR 23303 [11] bestimmt. In diesem Probenalter erfolgte auch der Beginn der Arbeiten zur Ermittlung der bruchmechanischen Kennwerte mit der Keilspaltmethode. Im Zuge der Prüfung der Haftzugfestigkeit kann ein Versagen in der Verbundfuge nicht kontrolliert gesteuert werden, was dazu führt, dass die Probe an einem beliebigen Ort des Bohrkerns bricht. Weiters ist als Nachteil anzuführen, dass die Aussagekraft dieser Bestimmung relativ gering ist, da nur die maximal aufnehmbare Kraft (F_{\max}) und nicht die zur jeweiligen Kraft auftretende Verschiebung erfasst werden kann.

Die Bestimmung der Kerb-Spaltzugfestigkeit und der spezifischen Bruchenergie erfolgte gemäß ÖNORM B 3592 [12]. Nach der Probenvorbereitung (Schneiden der Starterkerbe, Aufkleben der Lasteinleitungsplatten) werden die Probekörper in einer Prüfvorrichtung belastet. Im Zuge der Prüfung erfolgt die Aufzeichnung eines Last-Verschiebungsdiagramms bis zum vollkommenen Aufspalten der Probe. Aus diesem Diagramm können die bruchmechanischen Kennwerte Kerb-Spaltzugfestigkeit σ_{KZ} und die spezifische Bruchenergie G_F ermittelt werden.

Der Abschluss der Arbeiten dieses Arbeitspaketes verzögerte sich leicht aufgrund der verzögerten Herstellung der Probekörper.

AP 4 Durchführung der Kleinkörperversuche mit/ohne Reibungsanteil bzw. Normalkraft

Als Vorbereitung für die Kleinkörperprüfungen und die Wahl der geeigneten Prüfeinrichtung wurden die zu erwartenden Schubtragfähigkeiten der Fugen und somit auch die Bruchlast der einzelnen Abscherkörper auf Basis der Erkenntnisse aus AP1 berechnet. Anschließend erfolgte die Detailplanung der 2 Test-Setups für die „Push-Out“ und „Slant Shear“ Versuche.

Die prismatischen Probekörper Typ I („Push Out“ Tests) wurden jeweils mit derselben Mischung ausgeführt und später durch Betonieren des mittleren Prüfkörpers verbunden. Nach Betonieren der beiden äußeren Teilkörper wurden die nach innen gewandten Oberflächenseiten aufgeraut und klassifiziert. Die Schubfugen wurden mit einem feuchten Schwamm mattfeucht vorgehäst und im Anschluss daran in vertikaler Ausrichtung betoniert. Die dabei entstandenen Fugen zwischen „Alt“- und „Neubeton“ wurden im Anschluss in einer hydraulischen Presse abgeschert.

Der Versuchsaufbau sieht vor, die beiden äußeren Prüfkörperteile an den Lasteinleitungspunkten (siehe Abbildung 6) auf 1,5cm breite Neoprenstreifen mit darunter liegenden Stahlplatten zu lagern. Die Lasteinleitungspunkte, zwei 1,5cm starke Stahlplatten, wurden direkt bei der Verbundfuge positioniert. Durch die Exzentrizität der Lasteinleitungspunkte wirkt in der Fuge ein Schnittmoment, das jedoch im Vergleich zu den wirkenden Schubkräften sehr gering ist. Die Ausstattung der Probekörper erfolgte mit Wegaufnehmern sowohl in horizontaler als auch vertikaler Fugenrichtung.

Die prismatischen Probekörper Typ II („Slant Shear Tests“) wurden stehend in einem Prüfrahmen, der mit einer hydraulischen Presse (maximale Druckkraft 2000 kN) ausgestattet ist, getestet (Siehe Abbildung 7). Die Abscherkörper wurden an der Unterseite auf einem Stahltisch mit einem Kalottenlager und an der Oberseite mittels zwei Gleitplatten aus Stahl gelagert, sodass bei einem Abscheren der Fuge der obere Prüfkörperteil weiterhin unter kontrollierter Drucklast stand. Dadurch wurde ein Kippen oder seitliches Ausweichen des oberen Prüfkörperteils, während sich die Fuge im Zustand der Rissuferverzahnung befand, verhindert. Aufgrund des erwarteten spröden Bruchversagens wurden die Kleinkörper mit Holzplatten eingehaust. Die Messinstrumente (Wegaufnehmer) wurden zum Schutz gegen Hinunterfallen mit Kletten gesichert. Die Krafteinleitung erfolgte über die Altbetonprismenhälfte (Prismenhälfte mit hellerem Grauton erkennbar). Der Versuchsaufbau war für alle achtzehn Kleinkörperversuche identisch. Die Prüfungen wurden weggesteuert durchgeführt.

AP 5: Auswertung und Überlegungen zum Einfließen der Versuchsergebnisse aus AP3 und AP 4 in ein erweitertes Bemessungskonzept sowie Berichtslegung Forschungsjahr 1

Inhalt dieses Arbeitspaketes war die Zusammenfassung und Gegenüberstellung der Versuchsergebnisse insbesondere die Korrelation von Oberflächen- und Verbundeigenschaften mit den unterschiedlichen Prüfverfahren. Zur Darlegung von Zusammenhängen von Oberflächen- und Verbundeigenschaften wurden unterschiedliche Parameter aus dem digitalen Oberflächenmodell ausgewertet und den bruchmechanischen Kennwerten gegenübergestellt.

Grundsätzlich wurde in den unterschiedlichen Versuchstypen angestrebt, den auftretenden adhäsiven Verbund bei weitgehendem Verzicht auf Bewehrungselemente eindeutig zu identifizieren und auch für die Bemessung nutzbar zu machen. Die bisher durchgeführten Kleinkörperversuche, genaue und dennoch praxisnahe Oberflächenspezifikationen und anschließend noch folgende Bauteilversuche sollen schlussendlich die Datengrundlage für die Weiterentwicklung eines entsprechend wirtschaftlichen Bemessungskonzeptes liefern.

Bisher ausgewertete Ergebnisse betreffend die Haftscherfestigkeit zeigen, dass die Verbundfestigkeiten je nach Rauigkeitskategorie schwanken. Die Streuungen waren in den bisher durchgeführten Untersuchungen erwartungsgemäß, teilweise sogar relativ gering. Damit lässt sich bereits aussagen, dass zumindest eine mittlere Rauigkeit mit Rautiefen von mind. 1,5 mm zielführend sein dürfte, um ansprechende Verbundfestigkeiten zu erreichen. Gleichzeitig scheint die Realisierung großer Rautiefen (verzahnte Oberfläche, $R_t \geq 3 \text{ mm}$) nach den bislang vorliegenden Ergebnissen im Zusammenhang mit dem verwendeten höherwertigen Beton nicht erforderlich um ausreichenden Verbund gesichert zu erreichen.

Eine detaillierte Zusammenstellung erfolgt mit Vorliegen der Gesamtergebnisse im Juli im erwähnten Forschungsbericht.

AP 6: Planung der Großkörperversuche zur Untersuchung des flächigen Verbundes bzw. strukturellen Zusammenwirkens

Auf Basis von vorangegangenen Untersuchungen bestehen Erfahrungen mit der Durchführung entsprechender Bauteilversuche [6]. Vom Layout her sollen Plattenstreifen (oder evtl., wenn die erreichbaren Schubbeanspruchungen rechnerisch auch nicht annähernd in den Bereich der Haftscherfestigkeit kommen, auch T-förmige Elemente) hergestellt werden.

Die Aufgaben der statisch-konstruktiven Versuchskörperplanung umfassen insbesondere folgende Punkte:

- Definition der Prüfkörper und des Test-Setups hinsichtlich maximaler Querkraftbeanspruchung
- Dimensionierung Prüfkörper und Verbundquerschnitt Alt-/Neubeton mit dem Ziel hoher Beanspruchungen in der Verbundfuge
- Praxisnahes Bewehrungslayout mit dem Ziel, frühzeitiges Biegeversagen möglichst zu vermeiden
- Berücksichtigung der erforderlichen Schritte Altbeton – Aufrauhung – Aufbeton im konstruktiven Zusammenhang und im Herstellungsablauf in Kooperation mit externen Partnern (Fertigteilwerk)

Referenzen

- [1] Konrad Zilch, Andreas Müller, DIBt-Forschungsbericht April 2007, Grundlagen und Anwendungsregeln der Bemessung von Fugen nach EN 1992-1-1
- [2] Ariel D. Espeche, Javier León, Estimation of bond strength envelopes for old-to-new concrete interfaces based on a cylinder splitting test, *Construction and Building Materials* 25 (2011), pp. 1222-1235
- [3] fib Model Code for Concrete Structures 2010, Verlag Ernst & Sohn, October 2013
- [4] Norbert Randl, Design recommendations for interface shear transfer in fib Model Code 2010, *Structural Concrete* 14 (2013) No.3, pp. 230-241
- [5] Reinecke, R.: Haftverbund und Rissverzahnung in unbewehrten Betonschubfugen. Dissertation, Lehrstuhl für Massivbau, Technische Universität München, 2004
- [6] Norbert Randl, Csaba Simon, Static and dynamic testing of RC-slabs with high strength concrete overlay, *Proceedings of the 1st International Conference on Construction Materials and Structures* (2014), pp. 980-988
- [7] RVS 15.02.34, Bemessung und Ausführung von Aufbeton auf Fahrbahnplatten, Österreichische Forschungsgemeinschaft Straße und Verkehr, 01.06.2011
- [8] Peyerl, M.: Bruchmechanische und stereoskopische Charakterisierung von Interfaces zementgebundener Werkstoffe, Dissertation TU Wien 2012
- [9] ÖNORM EN 1766: Produkte und Systeme für den Schutz und die Instandsetzung von Betontragwerken – Prüfverfahren, Österreichisches Normungsinstitut 01.07.2000
- [10] EN ISO 4287: Geometrische Produktspezifikation (GPS) – Oberflächenbeschaffenheit: Tastschnittverfahren – Benennungen, Definition und Kenngrößen der Oberflächenbeschaffenheit, Österreichisches Normungsinstitut, 2008
- [11] ONR 23303: Prüfverfahren Beton (PVB) – Nationale Anwendung der Prüfnormen für Beton und seiner Ausgangsstoffe, Österreichisches Normungsinstitut, 01.09.2010
- [12] ÖNORM B 3592: Bestimmung der Kerb-Spaltzugfestigkeit und der spezifischen Bruchenergie von Baustoffen, Baustoffverbindungen und Verbundwerkstoffen, Österreichisches Normungsinstitut 2011

3. Projektteam und Kooperationen

- Gibt es wesentliche Veränderungen im Projektteam (interne SchlüsselmitarbeiterInnen und externe Partner/Dritteleister)?
- Gehen Sie auf Änderungen in der Arbeitsaufteilung ein.
Gibt es Auswirkungen auf die Kosten- / Finanzierungsstruktur und die Zielsetzung?

Im Projektteam gibt es keine wesentlichen Änderungen. Seitens Smart Minerals ist Frau Dr. Gmainer seit Oktober 2014 in Karenz. Die Projektleitung seitens des Partners Smart Minerals wurde von Herrn Dr. Peyerl übernommen. Weitere zusätzliche Tätigkeiten wurden von Hrn. DI Dillig übernommen.

4. Wirtschaftliche und wissenschaftliche Verwertung

- Beschreiben Sie die bisherigen Verwertungs- und / bzw. Weiterverbreitungsaktivitäten. Ist eine Verwertung möglich?
- Listen Sie Publikationen, Dissertationen, Diplomarbeiten sowie etwaige Patentmeldungen, die aus dem Projekt entstanden sind, auf.
- Welche weiterführenden F&E-Aktivitäten sind geplant?
- Wie werden die im Projekt geschaffenen Prototypen weiter verwendet?

Zielgruppe der Ergebnisse dieses Forschungsvorhabens sind primär Bauherren, Infrastrukturbetreiber und die Bauindustrie. Durch die Umsetzung der Projektergebnisse können Brückentragwerke wirtschaftlich dimensioniert und dauerhaft ausgeführt werden. Einerseits ergeben sich Vorteile für den Bauherren bzw. Infrastrukturbetreiber, da Brückentragwerke durch die Ausnutzung hoher Verbundfestigkeiten wirtschaftlicher und durch die robuste Deckschicht dauerhafter ausgeführt werden; andererseits profitieren auch die ausführenden Firmen, da eine zielsichere und damit weniger fehleranfällige Ausführung möglich ist.

Folgende Publikationen sind auf Basis der Erkenntnisse des 1. Projektjahres geplant:

- Einreichung zur ICCS16 - 2nd International Conference on Concrete Sustainability (Abstract in Ausarbeitung)
- Einreichung zum fib Symposium „Performance-based approaches for concrete structures“ (Abstract in Ausarbeitung)

Im 2. Projektjahr werden weiterführende F&E-Aktivitäten zur Fragestellung der Übertragung auf Bauteilgröße, des Einflusses von Erschütterungen sowie generell höherer Festigkeitsklassen auf das Verbundverhalten durchgeführt. Weitere Publikationen sind nach Vorliegen der gesamten Projektergebnisse in unterschiedlichen nationalen und internationalen Plattformen geplant.

5. Erläuterungen zu Kosten & Finanzierung

- Die Abrechnung ist als eigene Datei im Excel-Format hochzuladen. Die Verwendung der im eCall zur Verfügung gestellten Vorlage ist verpflichtend. Beachten Sie den FFG Kostenleitfaden (www.ffg.at/kostenleitfaden) bzw. Ausschreibungsdokumente.
- Abweichungen vom Kostenplan sind an dieser Stelle zu beschreiben und zu begründen.

Allfällige Ergänzungen erfolgen mit der Schlussabrechnung für das 1. Forschungsjahr.

6. Projektspezifische Sonderbedingungen und Auflagen

- Gehen Sie auf projektspezifische Sonderbedingungen und Auflagen (laut §6 des Förderungsvertrags) ein, sofern diese im Förderungs- bzw. Werkvertrag vereinbart wurden.

Die Projektergebnisse sind zu veröffentlichen und die Ergebnisse sind dem Endbericht beizulegen. Bisher eingereichte Beiträge sind Pkt. 4 dieses Berichtes zu entnehmen.

7. Meldungspflichtige Ereignisse

Gibt es besondere Ereignisse rund um das geförderte Projekt, die der FFG mitzuteilen sind (siehe auch

Richtlinien – Anhang zu 5.3., 5.3.5), z.B.

- Änderungen der rechtlichen und wirtschaftlichen Einflussmöglichkeiten bei dem/der Förderungsnehmer/in
- Insolvenzverfahren
- Ereignissen, die die Durchführung der geförderten Leistung verzögern oder unmöglich machen
- Weitere Förderungen für dieses Projekt

keine