

# ENDBERICHT

<b>FFG Projektnummer</b>	FO999887033	<b>FörderungsnehmerIn</b>	Österreichische Bautechnik Veranstaltungs GmbH
<b>Bericht Nr.</b>	2	<b>Berichtszeitraum</b>	1.3.2021-31.3.2022
<b>Bericht erstellt von</b>	Michael Pauser, Nguyen Viet Tue, Bernhard Freytag, Michael Huß, Joachim Juhart, Roland Waldenhofer, Norbert Randl, Philipp Preinstorfer, Johannes Berger		

**Richtwert für den Umfang: 10-20 Seiten**

## 1. Ziele und Ergebnisse

Die antragsgemäßen Ziele sind das Schließen folgender Lücken:

- A Normative Regelungen bezüglich Materialherstellung und Bemessungsmodelle
- B Angebot an UHPC-Sorten in garantierter Qualität und die dafür notwendige Mischtechnologie
- C Know-How der Planer zur UHPC-gerechten Konstruktion von Bauwerken
- D Erfahrung der Bauunternehmer betreffend Kostenermittlung, Bauverfahren und Qualitätssicherung

Um die Ziele entsprechend A zu verfolgen, wurde im zweiten Forschungsjahr an der Bestimmung der Streuung der Nachrisszugfestigkeit im AP3 und an der Weiterentwicklung der im ersten Forschungsjahr erarbeiteten einfachen Ingenieurmodelle zur Bemessung im AP 4 gearbeitet. Die gesteckten Ziele wurden erreicht. Aus den ermittelten Streuungen wurden entsprechende Teilsicherheitsbeiwerte für die Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit abgeleitet. Diese berücksichtigen nicht nur die material-inhärenten Streuungen sondern auch jene Unschärfen, die sich aus der jeweils angewandten Methode zur Bestimmung der Faserorientierung im Bauteil ergeben. Neben der Detaillierung jener Bemessungsmodelle die im ersten Forschungsjahr erarbeitet wurden (Biegung + Längskraft bei kombinierter Bewehrung aus Fasern und Stabstahl, Ermüdung von gerissenem Faser-UHPC unter Zug, Torsion bei Trockenfugen und Verbund zwischen UHPC und Normalbeton) wurde im 2. Forschungsjahr der Fokus auf Rissbreiten, Verformungen, Faserorientierungszustände, Konstruktive Bewehrungs-Regeln und die Querkrafttragfähigkeit gelegt. Mit einer weiteren Serie an Ermüdungsversuchen, konnte die signifikante Abhängigkeit der Ermüdungsfestigkeit (Zug) von der Rissbreite des Initialrisses gezeigt und quantifiziert werden.

Um die Ziele entsprechend B zu verfolgen, wurden die im ersten Jahr begonnenen Mischversuche im Industrie-Maßstab fortgesetzt und finalisiert (AP6). Die evaluierten Ergebnisse der 5 untersuchten Mischsysteme (Mischertypen) sind die Basis für Herstellempfehlungen im Beton- bzw. Fertigteilwerk. Für die zur Qualitätssicherung erforderlichen Prüfverfahren wurden sinnvolle Werte für die Prüfhäufigkeit für unterschiedliche Bauszenarien festgelegt (AP7)

Um die Ziele entsprechend C zu verfolgen, wurde die im ersten Jahr begonnene prototypische Herstellung ausgewählter Bauteile der festgelegten Anwendungsbereiche in AP5 fortgesetzt und um 3 Prototypen erweitert. Somit sind in Summe 8 Herstellungsversuche geplant und durchgeführt worden, was die ursprünglich gesetzten Ziele sogar übertrifft.

Um die Ziele entsprechend D zu verfolgen, wurden die Misch- und Herstellungsversuche (AP5 und AP6) in nun bereits gewohnt enger Kooperation zwischen Uni- und Industriepartnern durchgeführt. Im Bereich der UHPC-Erzeugnisse wurde ein Ausblick in Richtung Kunststofffasern getätigt, während in einem Widerlager-Sanierungsprojekt mit stahlfaserbewehrtem UHPC die Abhängigkeit zwischen Mischkapazität bzw. –Qualität und dem Einbauergebnis klar demonstriert wurde. Darüber hinaus konnten bei diesen Versuchen wichtige Konsistenzparameter zur Erzielung eines gewünschten Einbauergebnisses (Faserverteilung und –Orientierung) validiert werden (AP7).

## 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**

AP Nr.	Arbeitspaket Bezeichnung	Fertigstellungsgrad	Basistermin		Aktuell		Erreichte Ergebnisse / Abweichungen
			Anfang	Ende	Anfang	Ende	
1	Projektmanagement und wissenschaftliche Leitung	100%	07/19	09/21	07/19	03/22	-Die kaufmännische Koordination unter den Projektpartnern wurde durchgeführt. -Organisation und Abwicklung der Zwischenberichte -Organisation und Abwicklung des Endberichts
2	UHPC Anwendungen	100%	07/19	12/20	05/20	06/21	- Gruppierung und Festlegung der UHPC Anwendungen - Definition der herstellungstechnischen und werkstoffliche Anforderungen - Ableitung von Konstruktionsprinzipien
3	UHPC Sorten	100%	07/19	09/20	07/19	06/21	- Überarbeitung der Definition von UHPC Sorten - Entwicklung, Festlegung und Anwendung der Prüfmethode (Frisch- und Festbeton) - Sammlung von Daten zur Streuung von Festigkeitswerten - Bestimmung von Dauerhaftigkeitskennwerten für UHPC
4	Bemessungsmodelle	100%	10/19	06/21	10/19	03/22	- Sicherheitskonzept - Erstellen von Werkstoffgesetzen - Modell zur Bestimmung von Faserorientierungszustände - Bemessungskonzept für ULS und SLS Nachweise (überwiegende Druckbeanspruchung, Biegung, Schub, Ermüdung, Schubfuge, Torsion bei klaffender Trockenfuge, Rissbreitenberechnung) -Auswertung der Verifikationsversuche zu den zuvor genannten Bemessungsmodellen -Verbund: Erstellung einer Datenbank mit Versuchen aus der Literatur inkl. Durchführung ergänzender Versuche mit Fokus adhäsiver Verbund
5	Herstellungstechnologie	100%	1/20	12/20	01/20	03/22	- Durchführung und Auswertung der Herstellungsversuche (UHPC Aufbeton mit Gleitschalungsfertiger, Widerlagersanierung im Gießverfahren, Flachdach, Pumpversuch, Schalungsdruckversuch, Entwässerungsrinnen,

							Ankerplatten und Einlaufgitter)
6	Misch- und Fördertechnik	100%	04/20	12/20	01/20	06/21	- Auswertung der im 1. Projektjahr durchgeführten Mischversuche
7	QS-System	100%	07/20	06/21	01/20	06/21	- Zusammenstellung und Entwicklung erforderlicher Maßnahmen für ein QS-System und deren Umfang sowie Tests im Labor - Formulierung von Ausschreibungshinweise
8	Auswertung und Empfehlung	100%	10/20	06/21	01/20	03/22	- Zusammenstellung der umfassenden Ergebnisse in einem fachlichen Endbericht

Ergänzend zu Tabelle 1 ist nachstehend der Zeitplan des gesamten Projekts dargestellt. Darin sind die durch COVID-19 entstandenen Verzögerungen (Q4 2020 und Q1 2021) ersichtlich.

**Tabelle 2: Zeitplan für das Gesamtprojekt**

AP Nr.	Arbeitspaket Bezeichnung	Q3 2019	Q4 2019	Q1 2020	Q2 2020	Q3 2020	Q4 2020	Q1 2021	Q2 2021	Q3 2021	Q4 2021	Q1 2022
1	Projektmanagement und wissenschaftliche Leitung											
2	UHPC Anwendungen											
3	UHPC Sorten											
4	Bemessungsmodelle											
5	Herstellungstechnologie											
6	Misch- und Fördertechnik											
7	QS-System											
8	Auswertung und Empfehlung											

- Gibt es (abseits der oben dargestellten Terminalsituation) Veränderungen im Arbeitsplan oder in der Methodik?

x	NEIN	Bedingt durch COVID-19 kam es lediglich zu einem verzögerten Projektstart des 2. Forschungsjahres.
	JA	

**2.2 Beschreibung der im Berichtszeitraum durchgeführten Arbeiten**

**AP 1 Projektmanagement**

Im gegenständlichen Projektzeitraum wurden das Kick-Off Meeting, die Kurzberichte für die ÖBV-Vorstandssitzungen, die kaufmännische Koordination und die Zwischensitzungen des Projektkonsortiums kontinuierlich abgehalten und entsprechend kommuniziert. Des Weiteren wurde das Projekt intern, wissenschaftlich, inhaltlich und terminlich koordiniert, das Projektcontrolling vorgenommen, sowie das Berichtsmanagement ohne Abweichungen umgesetzt.

**AP 2 Definition funktionaler und herstellungstechnischer Anforderungen neuer UHPC Anwendungen**

Die im 1. Forschungsjahr ausgearbeiteten Anwendungsgruppen wurden mit den Forschungspartnern

diskutiert. Das Konsortium einigte sich schlussendlich auf folgende drei Anwendungsgruppen, die mit UHPC besonders effizient umgesetzt werden können.

- UHPC Erzeugnisse
- Konstruktive Bauteile
- Verbundbauweise

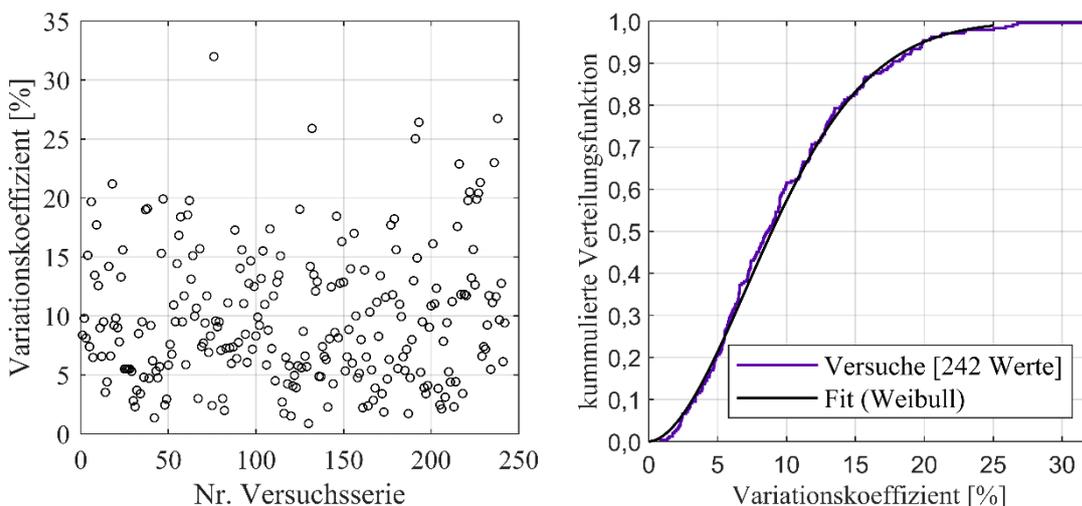
Für die jeweiligen Gruppen wurden daraufhin weitere Recherchen zu beispielhaften Anwendungen durchgeführt. Daraus wurden herstellungstechnische und werkstoffliche Anforderungen sowie Konstruktionsprinzipien abgeleitet. Die daraus entstehenden Empfehlungen wurden parallel zum Forschungsvorhaben in die neue UHPC Richtlinie eingearbeitet.

**AP 3 Definition von UHPC-Sorten und deren Werkstoffanforderungen**

Der Großteil der Arbeiten dieses Arbeitspakets konnte schon im 1. Projektjahr fertiggestellt werden. Dazu zählt die Evaluierung internationaler Normen und Richtlinien, die Entwicklung, Festlegung und Anwendung der Prüfmethode (Frisch- und Festbeton) und die experimentelle Ermittlung der Faserorientierung in den Prüfkörpern.

**Streuung der Materialeigenschaften:**

Im 2. Projektjahr wurde, die bereits im 1. Jahr begonnenen, Sammlung von Daten zur Streuung von Festigkeitswerten fortgesetzt sowie die gesammelten Erkenntnisse dieses Arbeitspakets in einen überarbeiteten Vorschlag für die UHPC-Sorteneinteilung eingearbeitet. In Abbildung 1 ist die erstellte Datenbank zur Streuung des Nachrisszugtragverhaltens dargestellt. Dabei sind insgesamt 242 Versuchsserien hinsichtlich der Streuungen (Variationskoeffizient) innerhalb der Versuchsserie ausgewertet worden. Der Mittelwert der Streuungen (50% Quantil) liegt bei ca. 9%. Die erstellte Datenbank stellt eine wertvolle Datenbasis für die Entwicklung des Sicherheitskonzepts in AP4 dar.



**Abbildung 1: Datenbank zur Streuung der Nachrisszugfestigkeit innerhalb der Versuchsserie**

**UHPC Sorten:**

Basierend auf der Ausarbeitung von AP2 sowie den ergänzenden experimentellen Untersuchungen innerhalb des Forschungsvorhabens wurde der Vorschlag für die UHPC Sorteneinteilung überarbeitet. In Tabelle 3 ist die Sorteneinteilung hinsichtlich der Nachrisszugfestigkeit sowie die Mindestwerte für Druckfestigkeit und

Elastizitätsmodul angeführt.

**Tabelle 3: UHPC Sorten**

UHPC Sorte	UHPC 0	UHPC 3	UHPC 6	UHPC 8
Charakt. Nachrisszugfestigkeit $f_{ctfk, test}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	-	3	6	8
Mittelwert der Nachrisszugfestigkeit $f_{ctfm}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	-	3.6	7.2	9.6
Charakt. Druckfestigkeit $f_{ck}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	>130	>130	>130	>130
Elastizitätsmodul $E_{cm}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	>42.000	>42.000	>42.000	>42.000

**Dauerhaftigkeit:**

Es wurden **Dauerhaftigkeitskennwerte** der UHPC Sorten im Vergleich zu Normalbeton (NSC) und Hochleistungsbeton (HPC) ergänzend untersucht. Die Ergebnisse zeigen ein **sehr hohes Dauerhaftigkeitspotential von UHPC** auf (siehe Tabelle 4). Zum Beispiel haben die untersuchten UHPC eine Wassereindringtiefe von 0 mm im Gegensatz zu üblichen 10-20 mm von (hochwertigem) Normalbeton. Es wurde bisher nach einem Jahr bei den beschleunigten Prüfungen in der CO<sub>2</sub>-Kammer keine Karbonatisierung festgestellt. Die kapillare Wasseraufnahme von Normalbeton ist etwa 20x größer, der Chloriddiffusionskoeffizient 50x größer als jene/jener von UHPC. Insgesamt ist der Widerstand von UHPC gegen Umweltexpositionen in Bezug auf verschiedene Dauerhaftigkeitsparameter mindestens 4 Mal so hoch wie jener von typischem HPC und 22 Mal so hoch wie jener von hochwertigem Normalbeton.

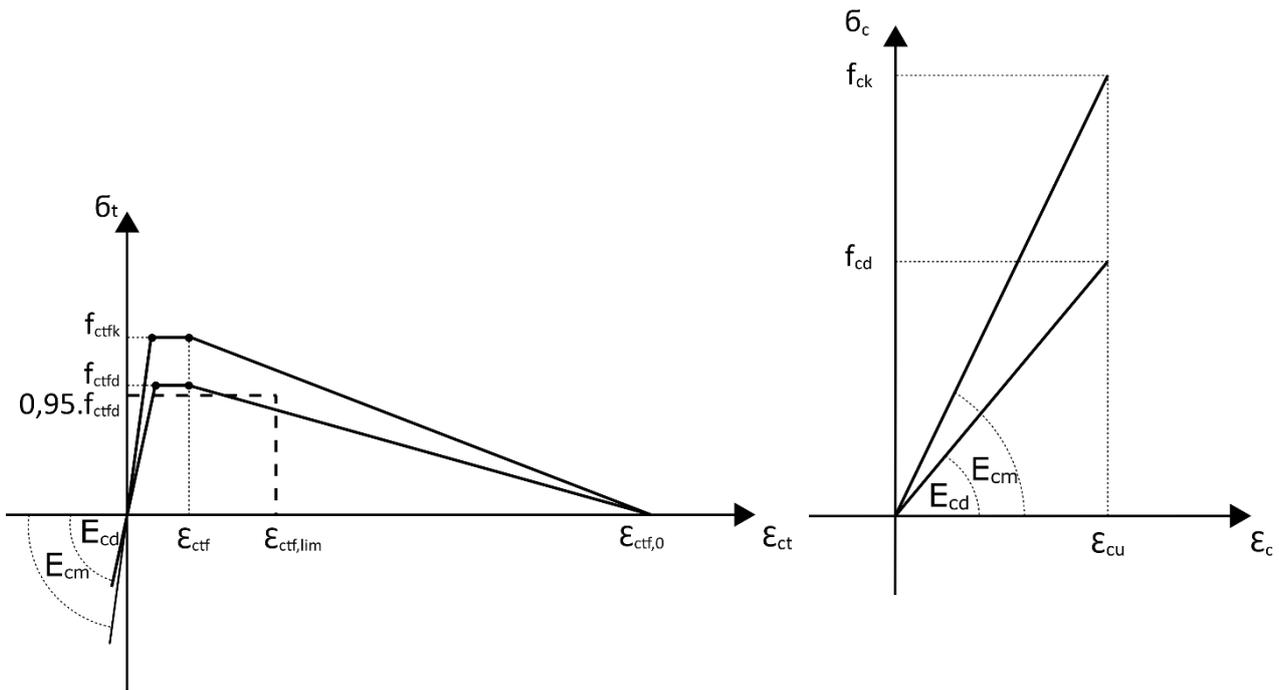
**Tabelle 4: Vergleich Dauerhaftigkeitskennwerte**

	Einheit	NSC	HPC	UHPC	NSC/UHPC	HPC/UHPC
Luft-Permeabilitäts-Koeffizient	x10 <sup>-16</sup> m <sup>2</sup>	0.022	-	0.0002	110	-
Wassereindringtiefe	mm	15	<11	0	(∞)	(∞)
Kapillare Wasseraufnahme	g/(m <sup>2</sup> .h <sup>0.5</sup> )	910	160	50.0	22	4
Beschleunigte Karbonatisierung – Tiefe nach 28d Auslagerung (Normalbeton) und 270 Tagen Auslagerung UHPC	mm	6.5	1	0	(∞)	(∞)
Chlorid-Diffuionskoeffizient	x10 <sup>-12</sup> m <sup>2</sup> /s	7	0.53	0.13	54	4

**AP 4 Bemessung von UHPC-Bauteilen**

**Sicherheitskonzept**

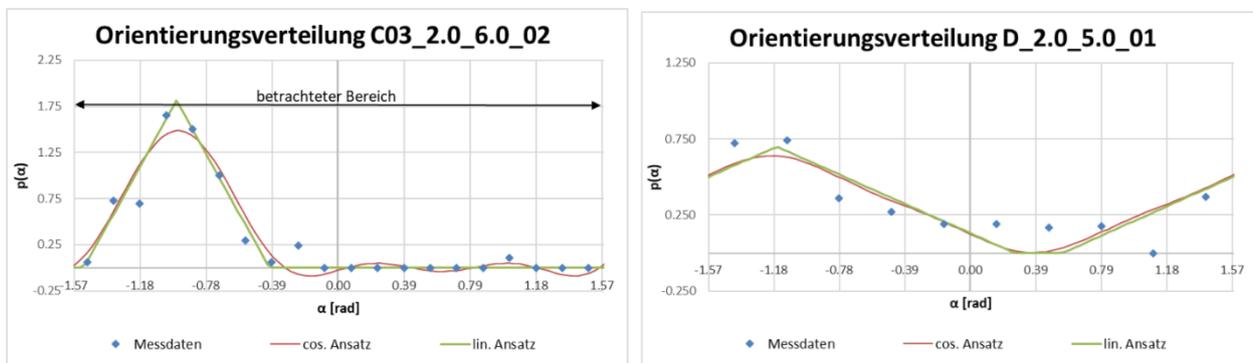
Im Zuge der Ausarbeitung des Sicherheitskonzepts wurden Arbeitslinien für den Werkstoff, Teilsicherheitsbeiwerte in Abhängigkeit der Streuungen der Materialfestigkeiten und Prüfkriterien für den Nachweis der Materialeigenschaften erstellt. In Abbildung 2 sind, repräsentativ dafür, die Arbeitslinien für Zug- und Druckbeanspruchung des UHPC dargestellt.



**Abbildung 2: Arbeitslinie für Zug (links) und Druck (rechts)**

Faserorientierung

Um die bemessungsrelevanten Faserorientierungszustände in Bauteilen möglichst realistisch prognostizieren zu können, wurden die theoretischen Grundlagen zu diesem Thema in drei Schritten aufgearbeitet. Im ersten Schritt wurden bereits existierende, eigene theoretische Ergebnisse dahingehend untersucht, wie genau diese reale Faserorientierungszustände beschreiben. Dabei wurden die Messdaten von 25 Proben (Schnittbildauswertung) einer zielgerichteten Auswertung unterzogen. Es zeigt sich, dass der lineare Ansatz für die Verteilfunktion die inhomogenen Faserorientierungszustände sehr genau beschreibt. Bei homogenen Faserorientierungszuständen ließ sich aufgrund der geringen Probenanzahl keine eindeutige Aussage finden. Abgesehen davon wird festgestellt, dass wenn die Faserorientierungsbeiwerte in den Hauptrichtungen bekannt sind, die Wahl des Ansatzes keine Rolle spielt, um den Faserorientierungsbeiwert für beliebige andere Richtungen realitätsnah berechnen zu können.



**Abbildung 3: Gegenüberstellung Theorie-Messdaten, links inhomogener, rechts homogener Zustand**

Für den zweiten Schritt wurde davon ausgegangen, dass der lineare Ansatz alle möglichen

Faserorientierungszustände genau genug beschreibt und mit dieser Theorie der Zusammenhang zwischen den 3 Hauptfaserorientierungsbeiwerte ermittelt. Der gefundene Zusammenhang lässt sich graphisch darstellen (Abbildung 4) und lässt sich in dieser Form direkt für die Bemessungsarbeit verwenden. Untermuert wird dieser Zusammenhang durch Messergebnisse mittels eines induktiven Messverfahrens.

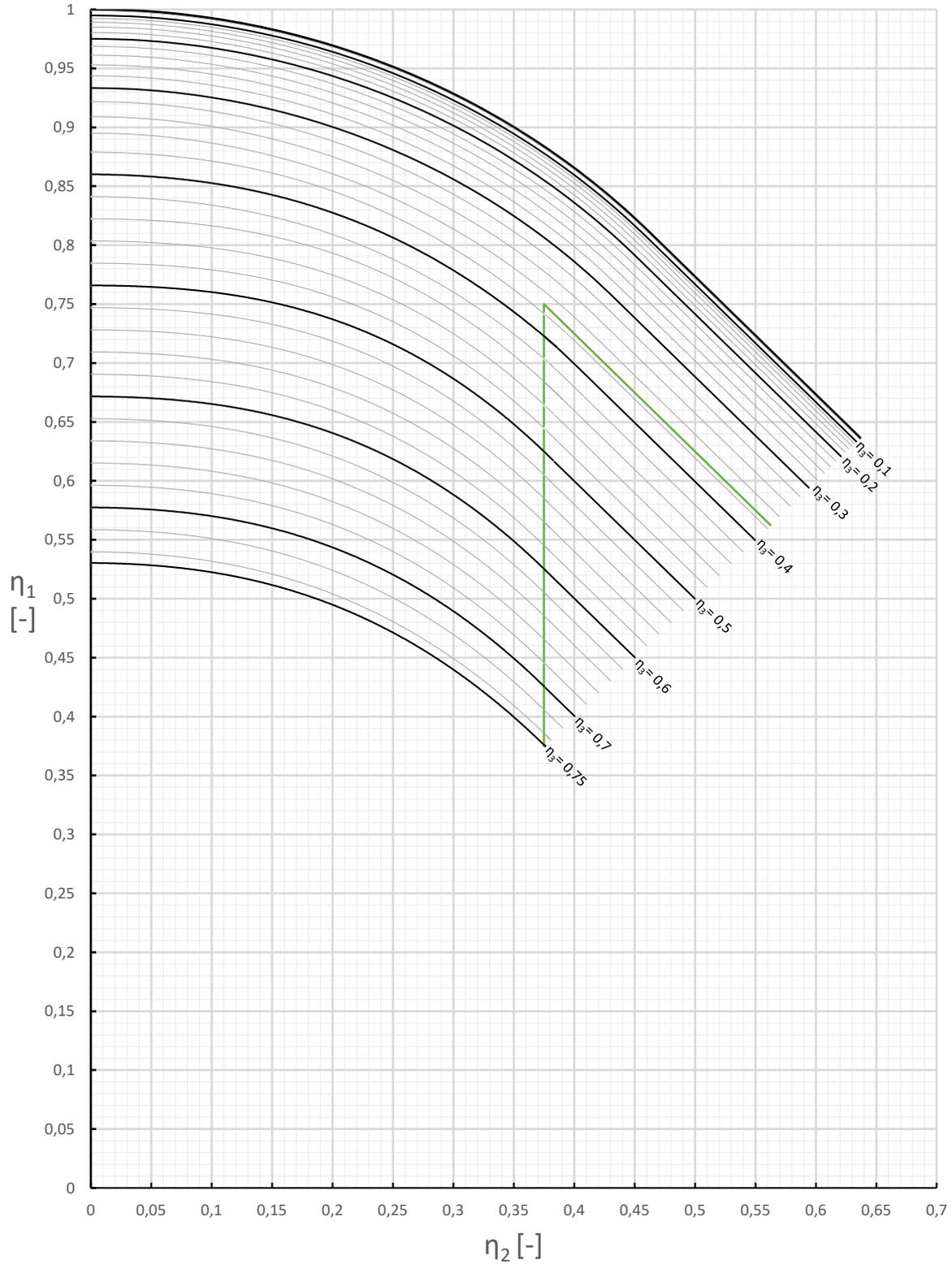


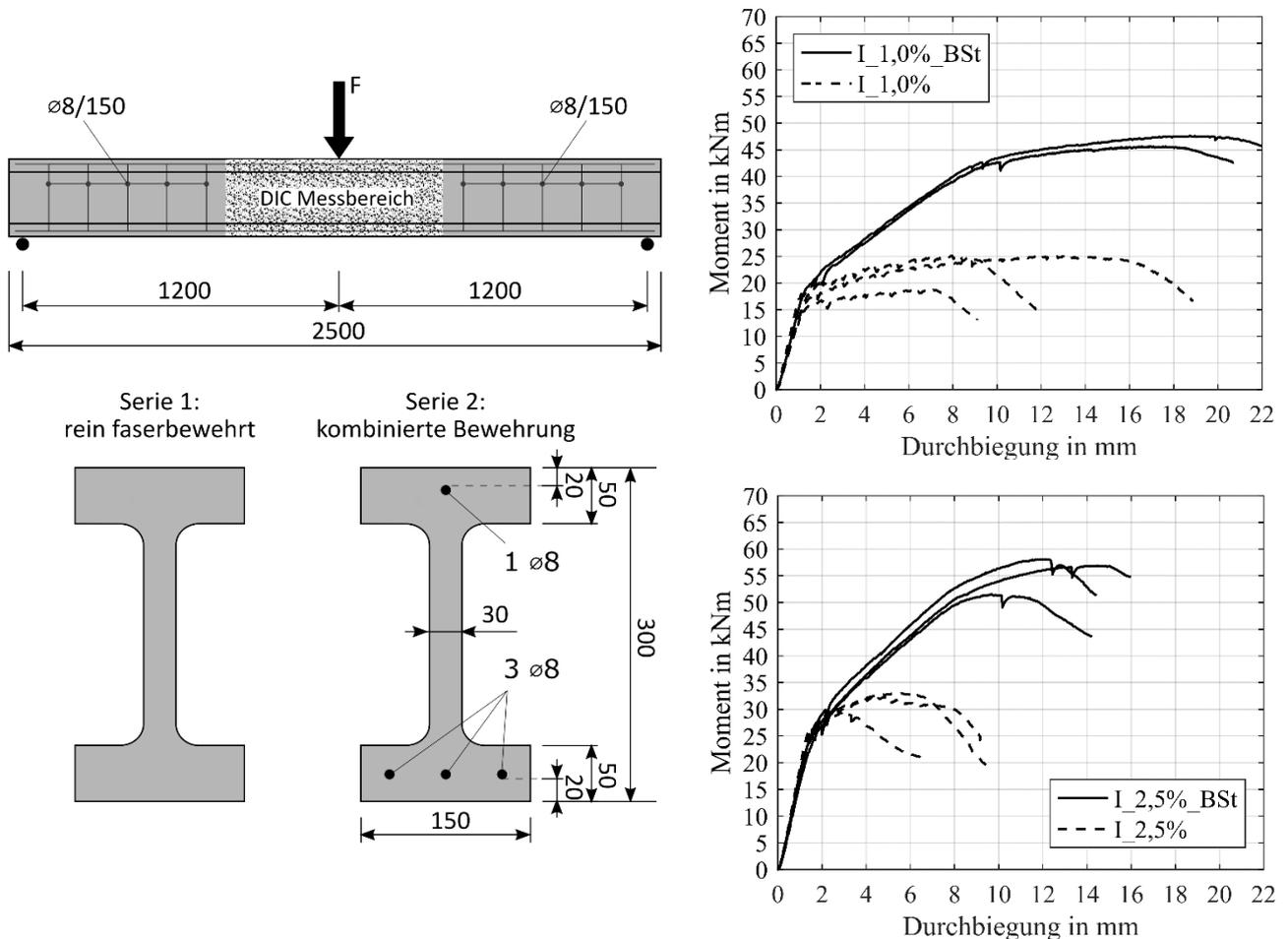
Abbildung 4: Zusammenhang der Hauptfaserorientierungswerte

Im dritten Schritt wurde eine bereits existierende, empirisch gefundene Gleichung zu Berechnung des Hauptfaserorientierungsbeiwerts in Dickenrichtung des Bauteils in Abhängigkeit von Fasergeometrie und Bauteildicke mittels theoretischen Ansatzes hergeleitet und bestätigt. Für die Bestimmung eines weiteren Hauptorientierungsbeiwerts in Abhängigkeit von der Konsistenz und dem Einbauvorgang wurde eine Datenbank diverser Herstellungsversuche mit faserbewehrtem UHPC erstellt.

**Biegung (Faserbewehrung und kombinierte Bewehrung)**

Zur Verifikation der Zugarbeitslinien sowie der Modelle für Biegung und Rissbreitenberechnung wurden Biegezugversuche an kleinformatischen Platten und I-Träger durchgeführt. Für die Versuche wurden Fasergehalte von 1 und 2,5 Vol.-% verwendet. Dafür sind sowohl Probekörper mit reiner Faserbewehrung (I\_1,0% und I\_2,5%) als auch mit kombinierter Bewehrung (I\_1,0%\_BSt und I\_2,5%\_BSt), also Faserbewehrung mit Betonstahl, geprüft worden.

In Abbildung 5 ist für die Versuche an I-Trägern der Versuchsaufbau sowie das Tragverhalten in Abhängigkeit der Mittendurchbiegung dargestellt. Zusätzlich zur Kraft- und Verformungsmessung wurde mittels digitaler Bildkorrelation (DIC) der Bereich unter der Last mittels hochauflösender Kameras aufgezeichnet, sodass die Verformungen und Dehnungen des Probekörpers über die Bauteilhöhe ermittelt werden können. Damit konnten für jeden Zeitpunkt des Versuchs die Dehnungsebene sowie zugehörige Rissbreiten bestimmt werden und mit den Modellen abgeglichen werden.



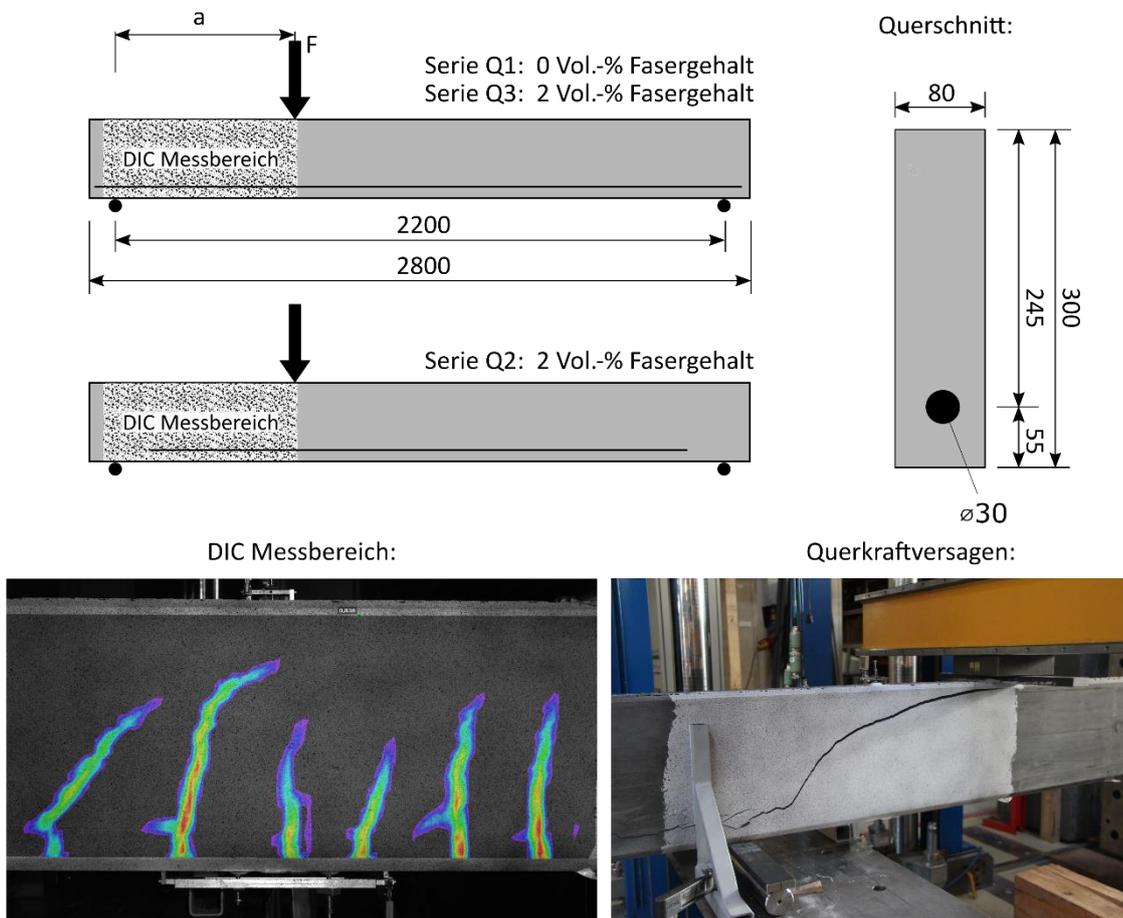
**Abbildung 5: Biegezugversuche an I-Trägern**

**Querkraft**

Zur Beurteilung der Quertragfähigkeit wurde eine Datenbank mit Versuchsergebnissen erstellt die sowohl Versuchskörper aus UHPC- als auch aus HPC und Normalbeton berücksichtigt. Zusätzlich wurden im Zuge des Forschungsvorhabens ergänzende, eigene Versuche an Balken mit Rechteckquerschnitt durchgeführt (siehe Abbildung 6). Zur Ermittlung der Traganteile der Querkrafttragfähigkeit ( $V_{rd,c}$  und  $V_{rd,f}$ ) wurden verschiedene Probekörperkonfigurationen untersucht:

- Serie Q1: Längsbewehrung ohne Faserbewehrung zur Ermittlung von  $V_{rd,c}$
- Serie Q2: Verkürzte Längsbewehrung ohne Verankerung über Auflager mit Faserbewehrung (2.Vol.-%) zur Ermittlung von  $V_{rd,f}$
- Serie Q3: Längsbewehrung mit Faserbewehrung (2 Vol.%) zur Ermittlung von  $V_{rd,c} + V_{rd,f}$

$V_{rd,c}$  entspricht dem Querkraftwiderstand ohne Faser- und Querkraftbewehrung und  $V_{rd,f}$  entspricht dem Querkraftwiderstand der der Faserbewehrung zu zuschreiben ist. Des Weiteren wurden für jede Serie verschiedene Schubslankheiten ( $a/d$ ) geprüft.



**Abbildung 6: Querkraftversuche**

In Abbildung 7 sind die Ergebnisse der Querkraftversuche dargestellt. Darin ist die maximale Querkraft bei Schubrisslast dargestellt. Anzumerken ist, dass für Serie Q3 vor Eintreten der Schubrisslast ein Biegeversagen unter der Krafteinleitung festgestellt wurde, sodass die angeführten Werte als ein Mindestmaß der Querkrafttragfähigkeit zu verstehen sind.

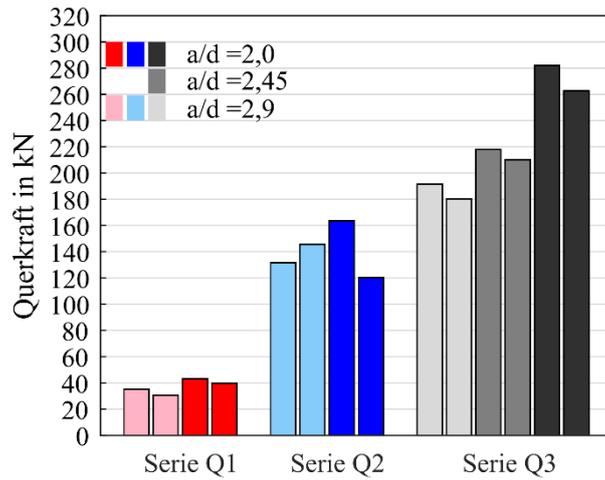


Abbildung 7: Ergebnisse der Querlastversuche

Ermüdung im gerissenen Zustand

Zur Untersuchung des Ermüdungsverhaltens von UHPFR im gerissenen Zustand wurden Ermüdungsversuche an vorgedehnten (gerissenen) Probekörpern durchgeführt. Das Ziel der experimentellen Untersuchungen war es, einerseits die Ermüdungsfestigkeit von UHPFR unter Zugschwellbeanspruchung zu bestimmen, sowie andererseits den Einfluss der Größe der Vordehnung auf das Ermüdungsverhalten von UHPFRC zu untersuchen. Die Versuchskörper wurden als ungekerbte prismatische Plattenstreifen mit zur Mitte hin sich verjüngendem Querschnitt konzipiert (siehe Abbildung 8 links). Bei der Versuchsdurchführung wurde darauf geachtet, eine rein axiale Beanspruchung aufzubringen (siehe Abbildung 8 rechts). Es wurden zwei unterschiedliche Betonrezepturen (Serie FM und FH) verwendet, die sich im Wesentlichen durch ihren Fasergehalt unterscheiden. Serie FM entspricht der Sorte UHPC 6 und Serie FH entspricht der Sorte UHPC 8 gemäß Tabelle 3. Serie FH weist planmäßig ein strain-hardening Verhalten auf.

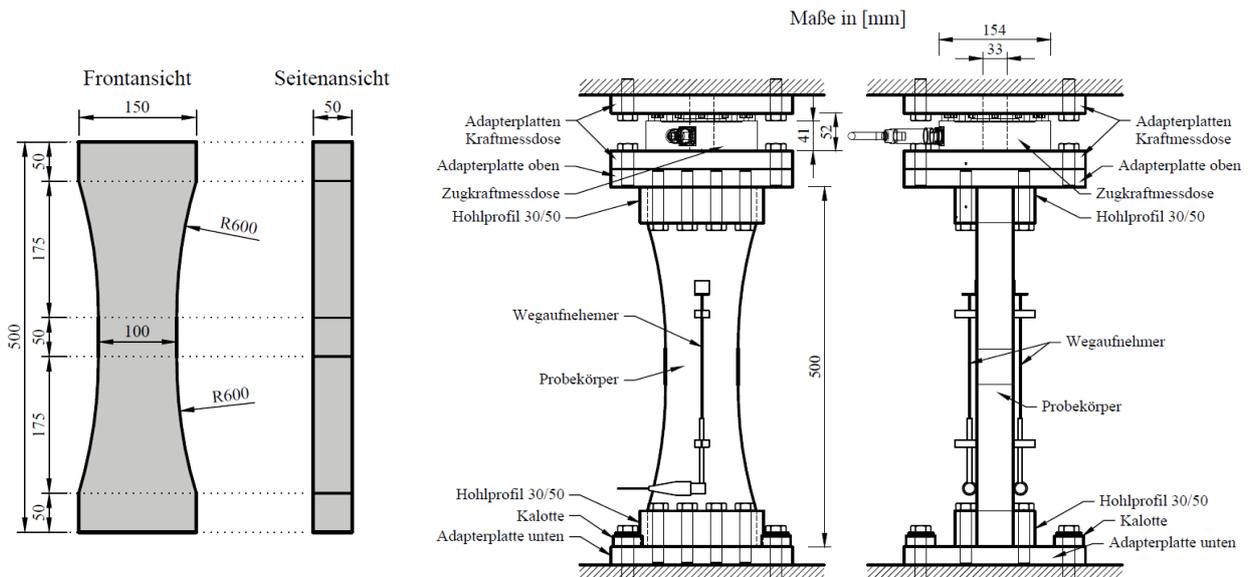


Abbildung 8: Versuchskörperabmessungen (links) und Versuchsaufbau (rechts).

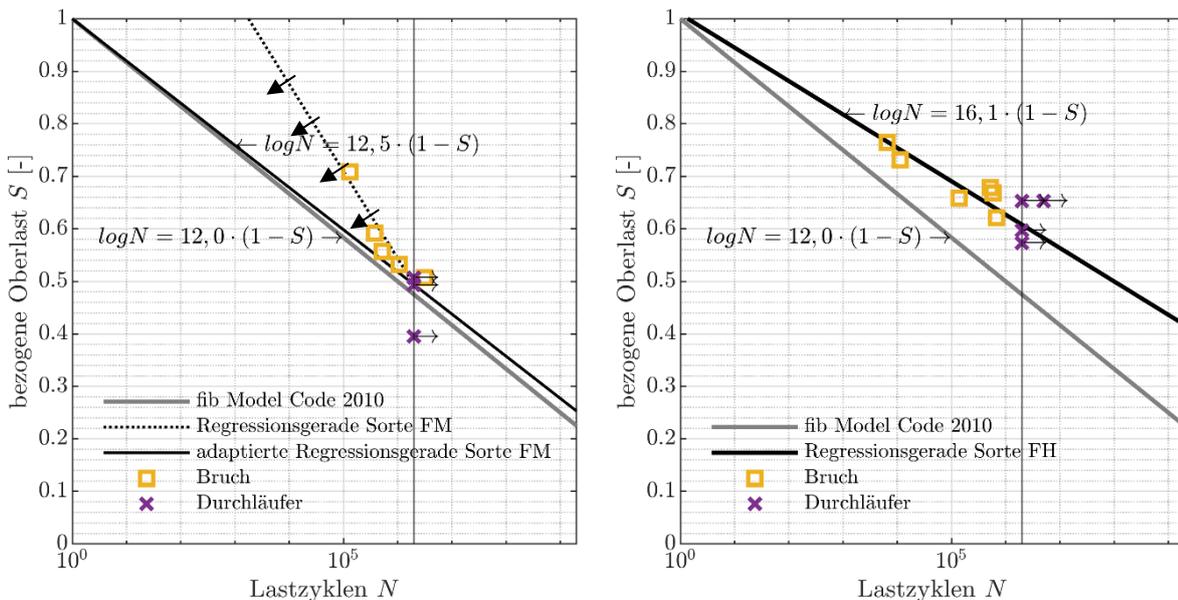
Im Folgenden werden die Ergebnisse Zug an jeweils 10 Versuchskörpern der Serie FM und FH in N-S Diagrammen (halblogarithmische Darstellung) eingetragen. Zwischen den beiden Sorten sind Unterschiede

erkennbar. Für eine definierte Lastwechselobergrenze von  $2 \cdot 10^6$  Schwingspielen ( $2 \cdot 10^6 | S_D$ ) ergibt sich für Sorte FM eine Dauerschwingfestigkeit  $S_{D,FM} = 0,50$ . Bei Sorte FH hingegen konnten eine Dauerschwingfestigkeit von  $S_{D,FH} = 0,625$  beobachtet werden (siehe Abbildung 9). Ausgehend aus den Versuchsdaten wird eine Regressionsgerade mit der Methode der kleinsten Fehler-Quadrate bestimmt. Für die Sorte FM ergibt sich die Zeitfestigkeitsgerade zu:

$$\log N = 12,5 (1 - S) \tag{1}$$

Die Zeitfestigkeitsgerade der Sorte FH ist etwas flacher und ergibt sich zu:

$$\log N = 16,1 (1 - S) \tag{2}$$



**Abbildung 9: Versuchsergebnisse und daraus abgeleitete Zeitfestigkeitsgerade**

Für die Beurteilung des Einflusses einer Vordehnung auf das Ermüdungsverhalten wurden je Rezeptur fünf weitere Ermüdungsversuche durchgeführt. Es wurde ein nicht zu vernachlässigender Einfluss der Vordehnung auf das Ermüdungsverhalten von vorgerissenen UHPC-Probekörpern erkannt. Mit den gewonnenen Erkenntnissen aus den experimentellen Untersuchungen wurde ein Modell zur Berücksichtigung des Einflusses der Vordehnung auf das Ermüdungsverhalten von gerissenen UHPFRC Probekörpern abgeleitet. Dieses beinhaltet die folgenden grundlegenden Erkenntnisse und Annahmen:

- Die Rissöffnungsrate  $d_r/d_N$  unter Ermüdungsbeanspruchung ist abhängig von der bezogenen Oberspannung. Eine allfällige Vorschädigung (Vordehnung) hat keinen Einfluss auf die Rissöffnungsrate.
- die Abminderungsrate für die bezogene Oberspannung bei unterschiedlichen initialen Vordehnungen ist unabhängig von der Rissöffnungsrate (Parallelverschiebung der Wöhlerkurve)
- Der Übergang von Phase II (stabiles Risswachstum) zu Phase III (instabiles Risswachstum) findet statt, sobald die max. Dehnung im Probekörper jene Dehnung erreicht, die den Übergang in den Strain-Softening Bereich markiert.
- Eine allfällige Resttragfähigkeit während des progressiven Risswachstums in der Phase III wird vernachlässigt

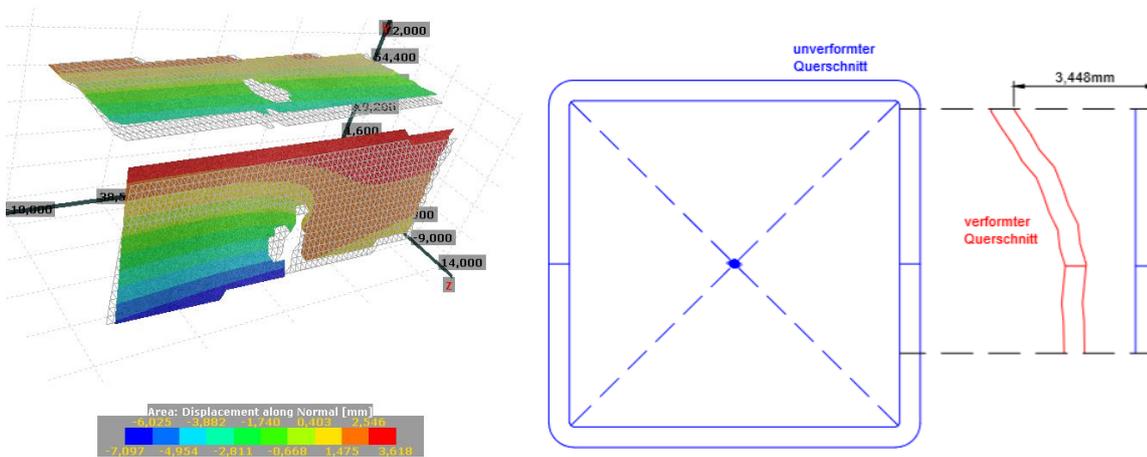
Damit kann die Abminderungsrate für unterschiedliche initiale Vordehnungen über die Differenz der bezogenen Oberspannung bei unterschiedlicher Vordehnung berechnet werden:

$$\Delta S = - \frac{\log_{10} \left( \frac{\varepsilon_{ps,2}}{\varepsilon_{ps,1}} \right)}{16,1} \tag{3}$$

**Torsion bei Trockenfugen**

Um die Tragfähigkeit von Trockenfugen, insbesondere unter Torsionsbeanspruchungen, wenn die Fuge aufgrund von Biegemomenten teilweise geöffnet ist, besser zu verstehen, wurden theoretische Studien (hauptsächlich numerische Simulationen) und kleinmaßstäbliche Verifikationsversuche durchgeführt. Ergänzend wurden Ergebnisse aus einem früher durchgeführten Torsions-Großversuch (FFG-Projekt Quickway) für die Studie herangezogen.

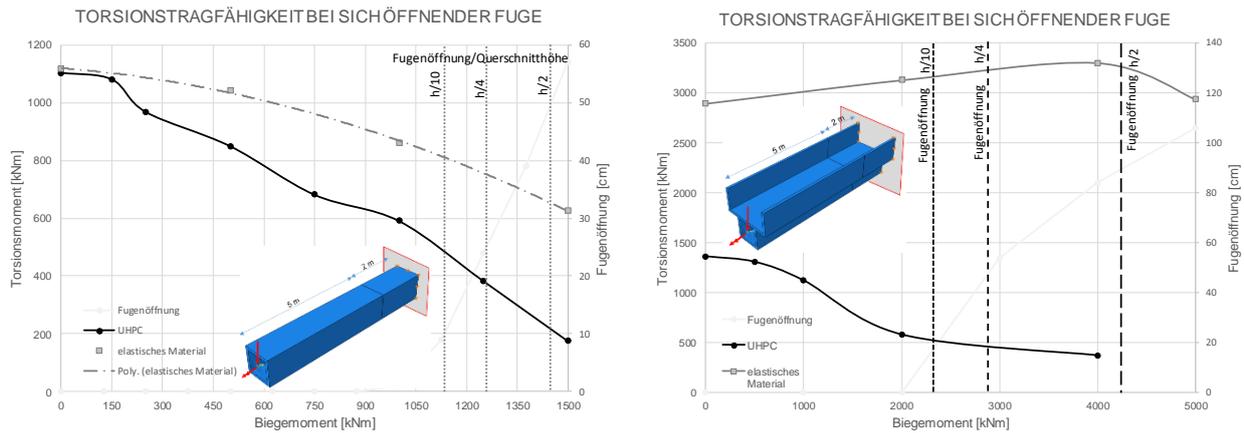
Der Einfluss des Öffnens der Fuge auf die generelle Art der Torsionsabtragung über die Fuge wurde anhand eines Torsionsversuchs an einem quadratischen Formrohr mit flächenhafter, berührungsloser Verzerrungsmessung untersucht. Nach dem Referenzversuch wurde ein Schlitz in das Rohr gesägt, um im zweiten Versuch den Zustand bei teilgeöffneter Fuge analysieren zu können. Der Versuch bestätigte die numerischen Ergebnisse hinsichtlich der Tragmechanismen Umlauf torsion versus Wölbkraft torsion und der hinsichtlich der Länge des durch die Fugenklaffung gestörten Bereichs.



**Abbildung 10: Versuchsergebnisse Torsionsversuch an Formrohr mit Schlitz**

Die durchgeführten materiell und geometrisch nichtlinearen, numerischen Analysen an UHPC-typischen Querschnitten mit teilgeöffneter Fuge führen zum Ergebnis, dass im allgemeinen ein Versagen im fugennahen UHPC maßgebend für die Höhe des übertragbaren Torsionsmoments wird. Dieses Versagen kann drei Ursachen haben: (i) Schub-Druck-Bruch in der Druckzone, (ii) Hauptzug-Versagen im Bereich der neutralen Faser und (iii) Querbiegeversagen aufgrund der Profilverformung. Die numerischen Ergebnisse für (i) und (ii) hängen natürlich von der in der FE-Software gewählten Fließkurve im Zug-Druck-Bereich ab. In wie weit diese das Verhalten von faserbewehrtem UHPC gut beschreibt ist noch nicht endgültig geklärt. Mit weiteren Tastversuchen wurde versucht, ein Materialversagen vor dem Reibungsversagen zu produzieren. Dies ist nur in einem Fall, mit besonders großer Fugenöffnung und damit sehr kleiner Druckzone gelungen.

Um gegen ein Versagen entsprechend (i) und (ii) anzukämpfen, kann der Fasergehalt erhöht werden bzw. lokale Bügel angeordnet werden. Abbildung 11 zeigt die mittels numerischer Simulation errechnete Torsionstragfähigkeit für faserbewehrten UHPC (ohne Bügel) mit Trockenfuge. Die hellgraue Linie repräsentiert ein Reibungsversagen (für den UHPC wurden unendliche hohe Festigkeiten gewählt) während die schwarze Linie jeweils das Materialversagen repräsentiert. Der Vergleich des linken mit dem rechten Bild zeigt den signifikanten Einfluss der Querschnittsform. Die Ergebnisse verdeutlichen, dass sich die Torsionskapazität der Trockenfuge (Reibungsversagen) ohne Bügelbewehrung neben der Fuge nicht ausnutzen lässt.



**Abbildung 11: FE-Ergebnisse zur Torsionstragfähigkeit versus Fugenöffnung**

**Bemessungsregeln für Verbundfugen**

Dokumentierte Versuche aus der Literatur zur Untersuchung der Schubfuge wurden in einer Datenbank zusammengefasst, die rund 270 Versuche mit hoch- und ultrahochfesten Aufbetonen (davon 45 eigene Versuche im Rahmen dieses Projektes) und 100 Versuche (davon 9 eigene Versuche im Rahmen dieses Projektes) mit normalfesten Aufbetonen auf hochfestem Untergrund beinhaltet. Für die Bestimmung des Schubwiderstandes haben sich Push-Out Probekörper (Abscherprismen mit vertikaler Fuge) und Slant Shear Probekörper (Abscherprismen mit schräger Fuge), wie sie in Abbildung 12 dargestellt sind, als zielführend erwiesen. Im 2. Forschungsjahr wurde eine ergänzende Testserie durchgeführt, welche insgesamt 12 Versuche umfasste. 6 Versuche wurden mit einer die Fuge kreuzende Bewehrung durchgeführt (Abbildung 12), wobei die bewehrte Verbundfuge nicht im Fokus dieses Forschungsprojekts steht (somit wurden mit Bewehrung nur Tastversuche durchgeführt).



**Abbildung 12: Probekörperformen und Push-Out Tests inkl. Bewehrung**

Für die Beurteilung des adhäsiven Schubwiderstandes in der Fuge wurden Versuche ohne zusätzliche Verbundbewehrung betrachtet. Wenn der adhäsive Längsschubwiderstand der Verbundfuge zur Kraftübertragung nicht ausreicht, wäre eine die Verbundfuge kreuzende Bewehrung vorzusehen. Die einzelnen Versuche wurden hinsichtlich ihrer Rauigkeit in unterschiedliche Kategorien eingeteilt. Die Rauigkeitskategorien sind in Anlehnung an EC 2 wie folgt definiert:

glatt: Oberfläche mit weniger als 3 mm Gesamtrautiefe (Profilspitze zu -tal)

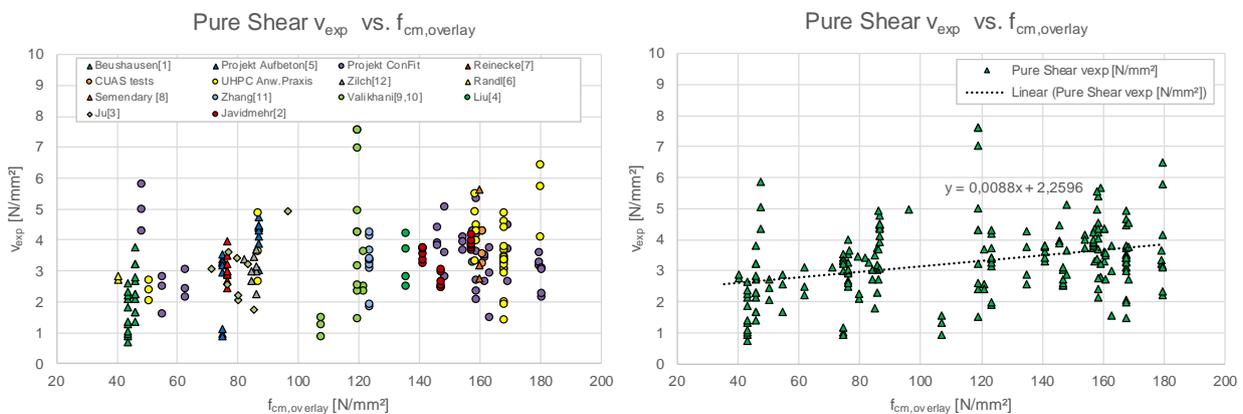
$R_t < 1,5 \text{ mm}$

rau: Oberfläche mit mind. 3 mm Gesamtrautiefe (Profilspitze zu -tal)  $R_t \geq 1,5 \text{ mm}$   
 sehr rau / verzahnt: Oberfläche mit mind. 6 mm Gesamtrautiefe (Profilspitze zu -tal)  $R_t \geq 3,0 \text{ mm}$

Die mittlere Rautiefe  $R_t$  wird gemessen mit dem Sandflächenverfahren und beträgt etwa die Hälfte der Gesamtrautiefe (Abstand Profilspitze zu -tal). Die Rauigkeitskategorie „sehr glatt“, die in der ÖNORM EN 1992-1-1 enthalten ist, wird aufgrund der relativ geringen Verbundfestigkeiten (und geringen Anzahl an Versuchen aus der Literatur) in der Auswertung nicht näher betrachtet. Eigens durchgeführte Versuche zeigten teilweise ein sehr frühzeitiges Versagen bei geringer Belastung oder sogar ein Verbundversagen bereits vor der Versuchsdurchführung. Für die Bewertung des Schubwiderstandes wurde als Ausgangsbasis das Bemessungskonzept des MC 2010 herangezogen.

**Fall 1: UHPC Aufbeton auf NSC Altbeton**

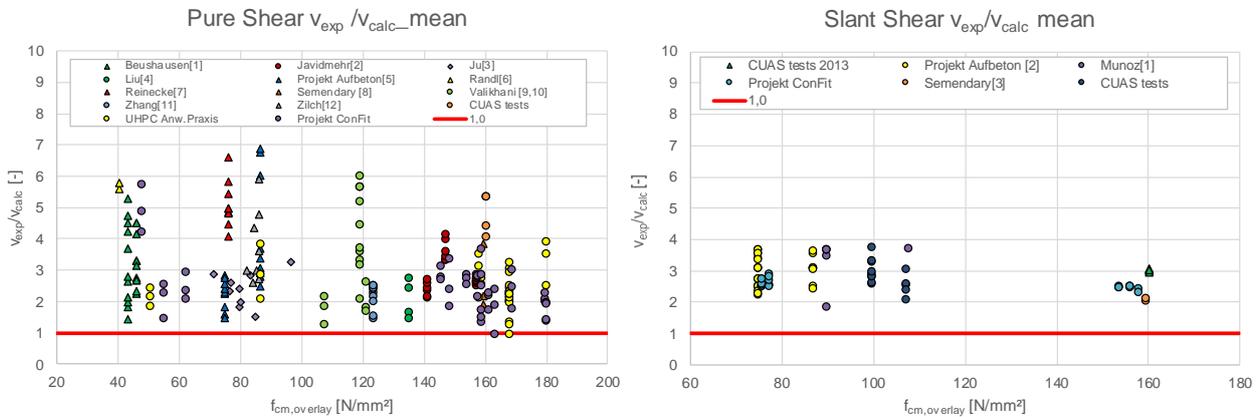
In Abbildung 13 ist die Gesamtheit der zur Evaluierung herangezogenen Versuche dargestellt. Die Grafik zeigt die experimentellen Schubspannungen ( $v_{exp}$ ) in Abhängigkeit der Aufbetonfestigkeit ( $f_{cm,overlay}$ ). Für die Umrechnung der mittleren Zylinderdruckfestigkeit auf die charakteristische Zylinderdruckfestigkeit wurde angesetzt:  $f_{cm,zyl} = f_{ck,zyl} \cdot 4 \text{ [N/mm}^2\text{]}$ . Die Umrechnung wurde aufgrund der Tatsache, dass es sich bei den Versuchen um Laborversuche handelt, entsprechend den Komformitätskriterien nach ÖNORM EN 206-1 hinterlegt. Für den Mittelwert der Zylinderdruckfestigkeit von UHPC wurde weiter festgelegt:  $f_{cm,overlay} = f_{cm,cube} - 5 \text{ [N/mm}^2\text{]}$ .



**Abbildung 13: Push-Out Versuche für die Datenanalyse (links), Push-Out Trends in Abhängigkeit der Aufbetonfestigkeit (rechts)**

In Abbildung 13 (rechts) ist die zunehmende adhäsive Verbundschubfestigkeit ( $v_{exp}$ ) mit steigender Aufbetonfestigkeit ersichtlich. In den Auswertungen hat sich gezeigt, dass der Anstieg etwa der Wurzel aus der Betondruckfestigkeit proportional ist, wobei der mittlere Wert der Betonfestigkeit aus NSC-Grundbeton und UHPC-Aufbeton die beste Korrelation zeigt. Auf Basis der mittleren Zylinderdruckfestigkeiten  $f_{cm,mean}$  (Mittelwert aus  $f_{cm,substrate}$  und  $f_{cm,overlay}$ ) wurden daher die erforderlichen charakteristischen Adhäsionsbeiwerte  $c_a$  für glatte, raue und verzahnte Oberflächen bestimmt (5% Quantile näherungsweise auf Basis von Normalverteilungen). In Abbildung 14 ist der Quotient aus experimenteller Bruchschubspannung und

rechnerisch ermitteltem charakteristischen Wert der Bruchschubspannung ( $v_{exp}/v_{calc}$ ) über die Aufbetonfestigkeit dargestellt, mit  $v_{calc} = c_a \cdot \sqrt{f_{ck,mean}}$  für die Push-Out Versuche und mit  $v_{calc} = c_a \cdot \sqrt{f_{ck,mean} + \sigma_n} \cdot \mu$  ( $\sigma_n$  ist die wirkende Druckspannung auf die Verbundfuge,  $\mu$  der Reibbeiwert abhängig von der Oberfläche der Verbundfuge) für die Slant Shear Versuche.



**Abbildung 14: Quotient aus experimentell ermittelter Bruchschubspannung ( $v_{exp}$ ) und kalkulierten Bruchschubspannung ( $v_{calc}$ ) bei Push-Out Tests (links), Slant Shear Tests (rechts)**

Zu beachten ist, dass der NSC-Untergrund in seiner reinen Scherfestigkeit eine Obergrenze für die max. erreichbaren Verbundschubfestigkeiten liefert, mit  $v_{calc,max} \approx f_{ctk,min}$ .

Fall 2: NSC Aufbeton auf UHPC Altbeton

Bei der Variante NSC auf vorgefertigtem UHPC besteht die Besonderheit, dass aufgrund der feinen Kornstruktur des UHPC-Untergrundes ähnliche Rauigkeiten wie im umgekehrten Fall bei nachträglicher Aufrauung in der Regel nicht erreichbar sind. Zudem ist eine unbearbeitete oder nur sehr schwach profilierte UHPC-Oberfläche per se sehr glatt und daher nicht empfehlenswert als Untergrund für NSC-Aufbeton. Aus den vorliegenden Untersuchungen ist eine mittleren Rautiefe von mindestens 0,5 mm in jedem Fall (d.h. für die Kategorie „glatt“) mindestens anzustreben. Weiter gilt, dass eine Vorprofilierung der Oberfläche zur Erzielung der Kategorie „sehr rau / verzahnt“ mindestens etwa den Abmessungen einer trapezförmigen Verzahnung nach ÖNORM EN 1992-1-1 (Abschnitt Schubkraftübertragung in Verbundfugen) entsprechen sollte, vor allem was den Eingriff der Verzahnung betrifft.

Bei den Verbundwerten fällt auf, dass diese bei gleicher Rauigkeitskategorie deutlich geringer sind als im umgekehrten Fall (UHPC auf NSC). Das Vorgehen bei der Datenanalyse im Fall 2 erfolgte prinzipiell in gleicher Weise wie in Fall 1. Die Basis zur rechnerischen Ermittlung der adhäsiven Verbundschubfestigkeiten bildet in diesem Fall  $f_{cm,min}$  (Minimalwert aus  $f_{cm,substrate}$  und  $f_{cm,overlay}$ ), da für die Ermittlung der adhäsiven Verbundschubfestigkeit auf Basis von  $f_{cm,mean}$  die in der Norm festgelegten Adhäsionsbeiwerte  $c_a$  für NSC-Aufbeton auf NSC nicht erreicht werden können. Somit ergeben sich insgesamt mit NSC-Aufbeton auf (U)HPC ähnliche Verbundwerte wie normativ bereits für NSC auf NSC festgelegt.

Das abgeleitete Bemessungskonzept orientiert sich an der bestehenden ÖNORM EN 1992-1-1 und am aktuellen Entwurf der neuen EN 1992-1-1 (Stand 2021 mit Korrekturen 2022) sowie am MC 2010. Demensprechend wurden Bemessungsformeln für die beiden oben beschriebenen Varianten abgeleitet.

**Bemessung UHPC Aufbeton auf NSC Untergrund**

Unter bestimmten Voraussetzungen kann bei einer UHPC-Aufbetonschicht auf der Bauteiloberseite ein monolithisches Verhalten ohne weiteren Nachweis angenommen werden. Ansonsten wird ein Nachweis der Längsschubtragfähigkeit auf Basis der mittleren Festigkeit von Auf- und Altbeton wie folgt empfohlen (Werte  $c_v$  und  $\mu_v$  entsprechend dem aktuellen Entwurf der neuen EN 1992-1-1):

$$\tau_{Rd} = c_{v1} \cdot \frac{\sqrt{f_{ck,mean}}}{\gamma_c} + \mu_v \cdot \sigma_d \quad \text{wobei} \quad c_{v1} \cdot \frac{\sqrt{f_{ck,mean}}}{\gamma_c} \leq f_{ctd,min}$$

**Bemessung NSC-Aufbeton auf UHPC-Untergrund**

Für den Nachweis der Längsschubtragfähigkeit der Verbundfuge kann in Abhängigkeit der Oberflächenrauigkeit der Altbetonoberfläche der adhäsive Verbundwiderstand wie folgt errechnet werden (Werte  $c_v$  und  $\mu_v$  entsprechend dem aktuellen Entwurf der neuen EN 1992-1-1):

$$\tau_{Rd} = c_{v1} \cdot \frac{\sqrt{f_{ck,min}}}{\gamma_c} + \mu_v \cdot \sigma_d$$

In allen Fällen, wo trotz sorgfältiger Oberflächenvorbereitung der erforderliche Verbund rechnerisch auf Basis der adhäsiven Festigkeit nicht nachgewiesen werden kann, ist eine Verbundbewehrung anzuordnen. Hierzu wird auf ÖNORM EN 1992-1-1 verwiesen, unter Ansatz der Festigkeit des schwächeren Betons.

**AP 5 Herstellungstechnologie für UHPC-Konstruktionen**

Zur Untersuchung der herstellungsbedingten Anforderungen an den UHPC wurden umfangreiche anwendungsspezifische Pilotversuche durchgeführt. Einen Überblick dazu gibt Tabelle 5. Ein großes Augenmerk wurde auf die Verarbeitbarkeit bzw. die erforderlichen Konsistenzgrenzen des UHPC gelegt, da diese von großer Bedeutung für einen erfolgreichen UHPC-Einbau sind. Ein erfolgreicher Einbau ist gekennzeichnet durch das Erreichen der planmäßigen Faserverteilung und -orientierung bzw. der Einbaudicke und des Einbauefalles.

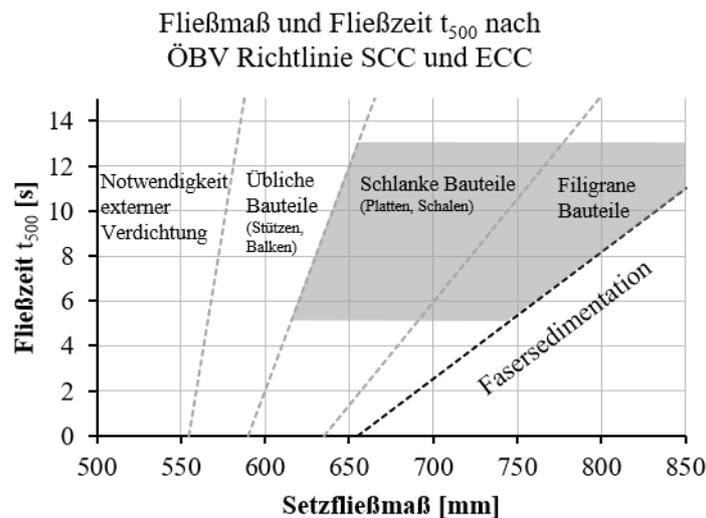
Des Weiteren dienen die Herstellungsversuche der Erprobung diverser Schal-, Einbau und Nachbehandlungsprozesse mit faserbewehrtem UHPC. Daraus entstehende Erkenntnisse wurden hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die gewünschten Eigenschaften im Bauwerk/Bauteil (Faserverteilung, Faserorientierung, Sedimentationsstabilität, Oberflächenqualität, optisches Erscheinungsbild und Schwindverhalten) ausgewertet.

**Tabelle 5: Testprogramm der Herstellungsversuche**

Herstellungsversuch	Projektpartner	Ziel, Thema
UHPC Aufbeton	Porr	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ermittlung der Konsistenzgrenzen für den Einbau im Gefälle mittels Gleitschalungsfertiger</li> </ul>
Widerlagersanierung	Strabag	<ul style="list-style-type: none"> <li>Herstellung einer dauerhaften, vertikalen, großflächigen Oberflächensanierung im Gießverfahren</li> </ul>
Versuchsdach	Mandlbauer	<ul style="list-style-type: none"> <li>Wasserdichtigkeit einer dünnen UHPC Schicht</li> </ul>

Flachdachprototyp	Mandlbauer	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ermittlung der Konsistenzgrenze für den Einbau im Gefälle im Hochbau mit händisch geführter Rüttelbohle</li> <li>Herstellung von wasserdichten Hochzügen</li> <li>Faserorientierung in Abhängigkeit des Einbauverfahrens</li> </ul>
Pumpversuch/ Pfeilerbetonage	WIG Beton, Mandlbauer	<ul style="list-style-type: none"> <li>Einfluss der Schalhaut auf die Oberfläche</li> <li>Faserorientierung durch Pumpförderung</li> <li>Faserorientierung bei großer Fallhöhe nach Pumpförderung</li> </ul>
Schalungsdruckversuch	Oberndorfer	<ul style="list-style-type: none"> <li>Anforderungen an den Schalungsbau hinsichtlich Schalungsdruck</li> <li>Faserorientierung bei großer Fallhöhe</li> </ul>
Entwässerungsrinne/ Ankerplatte	BG Graspöntner	<ul style="list-style-type: none"> <li>Schalungs- und Gießtechnik für faserbewehrte UHPC Erzeugnisse (ohne Stabstahl)</li> </ul>
Einlaufgitter	SW Umwelttechnik	<ul style="list-style-type: none"> <li>Schalungs- und Gießtechnik für faserbewehrte UHPC Erzeugnisse mit hohem Stabstahlgehalt, Tastversuch mit Kunststofffasern</li> </ul>

Die Herstellungsversuche wurden dokumentiert und hinsichtlich des individuellen Schwerpunktes analysiert. Aus den gewonnenen Erkenntnissen wurden Empfehlungen für die praktische Anwendung von UHPC ausgearbeitet. Beispielhaft dafür, ist in Abbildung 15 der empfohlene Konsistenzbereich für selbstverdichtenden UHPC dargestellt.



**Abbildung 15: Empfohlene Konsistenz für selbstverdichtenden UHPC**

**AP 6 Misch- und Fördertechnik**

Dieses Arbeitspaketes diente dem zusätzlichen Erkenntnisgewinn für kaum erprobte Bereiche der Misch- und Fördertechnik von UHPC. Dazu zählt das Mischen von UHPC in großen konventionellen Mischanlagen und die Förderung von UHPC mittels herkömmlicher Betonpumpenwagen.

Um UHPC-Eigenschaften abhängig vom Mischvorgang zu vergleichen wurden Versuche mit unterschiedlichen Mischertypen, aber gleichbleibender Rezeptur, durchgeführt. Weiters sollte die generelle Eignung ausgewählter Mischersysteme von in Österreich ansässigen Betonfertigteil- und Transportbetonfirmen in Hinblick auf die UHPC-Erzeugung festgestellt werden. Um die Streuung der UHPC Frisch- und Festbetoneigenschaften in Abhängigkeit der unterschiedlichen Mischersysteme mit möglichst geringen Ausgangsabweichungen zu validieren wurden Premixes in je 2 Big-Bags (eine Bindemittelpremix und eine Kornpremix) hergestellt und den beteiligten Firmen vereinheitlicht zur Verfügung gestellt. Bei diesen Premixes wird dabei zwischen Grobkorn (GK 8mm) und Feinkorn UHPC (GK 1mm) unterschieden. Infolge dieser einheitlichen Rohstoffzugabe konnte der Einfluss des Mischsystems auf die Frischbetoneigenschaften über den benötigten Fließmittelbedarf zum Erreichen einer einheitlichen Zielkonsistenz bestimmt werden. Der für die Festigkeit maßgebende W/B Wert bleibt dabei annähernd unverändert. Ausschlaggebend für die Druckfestigkeit ist somit das Mischsystem selbst.

In Tabelle 6 sind die beteiligten Projektpartner sowie Informationen zu deren Mischsystemen angeführt.

**Tabelle 6: Testprogramm der Mischversuche**

<i>Mischsystem</i>	<i>Projekt-partner</i>	<i>Fassungs-vermögen/ Nennfüll-volumen</i>	<i>Werkzeug-geschwindig-keit [m/s]</i>	<i>Leistung [kW]</i>	<i>Beschick-ung</i>	<i>Faser-zugabe</i>
Doppelwellen-mischer	Schwarzl	2500 l	1,5 m/s	55	Förder-band	Im laufenden Mischer
Ringtrog mit Wirblern	Habau	1500 l	2m/s	45	händisch	Im laufenden Mischer
Planetenmischer	Oberndorfer	2250 l	4 m/s	75	Kübelauf-zug	Stufenweis e im stehenden Mischer
Konusmischer mit exzentrischem Wirtler	TU Graz	750 l	9 m/s	22	Big Bags direkt in Mischer	Vereinzelt im laufenden Mischer
Geneigter Teller mit exzentrischem Wirtler (Erich)	BG Graspöckner	240 l	10m/s	22	händisch/ Einzelroh-stoffe automatisiert	Faserdosie ranlage

Ziel der Pumpversuche war einerseits die tatsächliche Pumpbarkeit von faserbewehrten UHPC in herkömmlichen Betonpumpenwagen darzulegen und andererseits den Einfluss des Pumpvorgangs auf die Faserorientierung bei unterschiedlichen Fasergeometrien festzustellen.

Im Zuge des Pumpversuchs konnte festgestellt werden, dass bei geeigneter Vorbereitung das Pumpen von selbstverdichtenden UHPC problemlos funktioniert. Der Pumpvorgang konnte mit einer Betonmindestmenge von rund 600l UHPC bei einer Autobetonpumpe der Firma WIG Beton mit einer Mastlänge von 28m erfolgreich durchgeführt werden. Durch den Einsatz von Mikrostahtfasern kann jedoch die herkömmliche

Vorgehensweise nicht angewendet werden. Das zur Gleitfilmbildung am Beginn zugegeben „Anpumpwasser“ führt zu einer Entmischung der Fasern im Zugabetrichter und folglich zu einer Verstopfung der Pumpe. Zur Lösung dieses Problems wurde von der Firma WIG Beton komplett auf dieses Anpumpwasser verzichtet. Der Gleitfilm wurde hierbei bereits vor Zugabe des UHPC bei einem Vorpumpvorgang mit Zementleim gebildet.

**AP 7 QS-System**

Das im ersten Forschungsjahr vorgestellte Konzept der Qualitätssicherung wurde mit den Forschungspartnern diskutiert und in einigen Punkten angepasst. Um der Begrifflichkeit der ÖNROM B 4710- und der ÖBV-Richtlinien i.A. zu entsprechen, wurden folgende Begriffe eingeführt und die Vorgangsweise detailliert erläutert:

- (1) Festlegung von UHPC für Ortbetonanwendungen: Eignungsprüfung, Einbauprüfung von UHPC (bzw. Prüfung der objektspezifischen Eignung), Betonkonzept mit QS-Plan
- (2) Festlegung von UHPC für Fertigteile und UHPC-Erzeugnisse
- (3) Periodische Qualitätsüberwachung (einschließlich Konformitätsprüfungen) mit der Unterscheidung ob sie (a) durch den Hersteller des UHPC, Fertigteilerhersteller oder Hersteller von UHPC-Erzeugnissen durchgeführt wird oder (b) durch den Verwender des UHPC bzw. das ausführende Unternehmen

Zudem wurden der Umfang und die Prüfhäufigkeit der Qualitätsüberwachung diskutiert und Vorschläge für eine Festlegung erarbeitet sowie Hinweise zur Identitätsprüfung gegeben.

**AP 8 Auswertung und Beurteilung mit Empfehlungen für die Praxis**

Alle Projekt-Ergebnisse wurden in einem fachlichen Endbericht gesammelt dokumentiert. Parallel zum Forschungsvorhaben wurden Modelle und Empfehlungen, welche bereits evaluiert und validiert wurden, von den wissenschaftlichen Partnern in ein Dokument mit Regelwerkcharakter eingepflegt.

**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?

Bei JA: Beschreiben und begründen Sie die Änderungen und die eingeleiteten Maßnahmen

x	NEIN	
	JA	

**4. Wirtschaftliche und wissenschaftliche Verwertung**

- Beschreiben Sie die bisherigen Verwertungs- und / bzw. Weiterverbreitungsaktivitäten.

Ist eine Verwertung möglich?

Die umfangreichen Erkenntnisse aus dem Forschungsvorhaben werden in gebündelter und praxistauglicher Form in ein Regelwerk eingearbeitet, sodass eine breite Anwendung von UHPC in Österreich ermöglicht wird. Es ist geplant, dieses Regelwerk beim 5. Grazer Betonkolloquium (1. bis 2. Sept. 2022) in der Branche zu publizieren.

- Listen Sie Publikationen, Dissertationen, Diplomarbeiten sowie etwaige Patentmeldungen, die aus dem Projekt entstanden sind, auf.

#### Publikationen und Beiträge zu Fachkonferenzen:

Huß, M., Kim, H.H., Tue, N.V.: Austrian UHPFRC – from mix design to applications, Proceedings of HiPerMat 2020 5th International Symposium on Ultra-High Performance Concrete and High Performance Construction Materials, Kassel, 2020

Mayer, M., Huß, M., Kim, H.H., Tue, N.V.: UHPFRC for jointless transition structures of integral bridges, Proceedings of HiPerMat 2020 5th International Symposium on Ultra-High Performance Concrete and High Performance Construction Materials, Kassel, 2020

Mayer, M., Huß, M., Kim, H.H., Tue, N.V.: Übergangskonstruktionen aus UHPFRC für den Integralbrückenbau. Beton- und Stahlbetonbau, 117: 78-89, 2022

Randl, N., Ofner, S., Pack, R.: Investigating the Interfacial Bond Strength gain with Ultra-high Performance Concrete Overlays in Various Small Scale Test Setups, Proceedings of the fib Symposium 2021: Concrete Structures: New Trends for Eco-Efficiency and Performance, Juni 2021, S. 515-523

Preinstorfer, P.: Fatigue performance of UHPFRC under consideration of a pre-strain. (Arbeitstitel), in Ausarbeitung

Huß, M., Waldenhofer, R., Freytag, B., Tue, N.V.: Zusammenwirken von Faser- und Betonstahlbewehrung bei biegebeanspruchten UHPC-Bauteilen (Arbeitstitel), in Ausarbeitung

#### Masterarbeiten:

Prusiyski, N.S.: Entwicklung eines Prüfkonzepts zur Bestimmung des Biegetragverhaltens von UHPFRC, Masterarbeit, Technische Universität Graz, 2021

M. Heinzlreiter: Untersuchungen zum Ermüdungsverhalten von Ultrahochleistungsfaserbetonen unter Zugschwellbeanspruchung; Betreuer/in(nen): P. Preinstorfer, J. Kollegger; Institut für Tragkonstruktionen, 2020; Abschlussprüfung: 27.11.2020. <https://doi.org/10.34726>

A. Shima: Untersuchung des Einflusses der Rissbreite auf das Ermüdungsverhalten von Ultrahochleistungsfaserbetonen unter Zugschwellbeanspruchung; Betreuer/in(nen): P. Preinstorfer, J. Kollegger; Institut für Tragkonstruktionen, 2021; Abschlussprüfung: 26.11.2021. <https://doi.org/10.34726>

#### Dissertationen:

Huß, M.: Bestimmung von Bemessungswerten von faserbewehrtem ultrahochfestem Beton (Arbeitstitel), in Ausarbeitung

- Welche weiterführenden F&E-Aktivitäten sind geplant?

Im FFG-Basisprogramm hat die TU-Graz gemeinsam mit der Maba-Fertigteileindustrie einen Projektantrag mit dem Titel „Faltragwerk UHPC“ ausgearbeitet und eingereicht. Das Projekt wurde als förderungswürdig beurteilt und wird sobald wie möglich starten. Der wissenschaftliche Schwerpunkt liegt auf versuchsgestützter Bemessung von neuartigen, vorgespannten Faltragwerken aus Fertigteilen mit Trockenfugen. Ziel ist es, Konstruktionsdetails zu entwickeln, die es erlauben, derartige UHPC-Faltragwerke als Sheddach-Konstruktion ohne zusätzliche Dachhaut einsetzen zu können.

Des Weiteren sind von der FH Kärnten Untersuchungen zur Rissbildung in Randzonen von UHPC-Aufbetonen geplant.

- Wie werden die im Projekt geschaffenen Prototypen weiterverwendet?

Die hergestellten Prototypen dienen dem Erkenntnisgewinn zum Herstellungsprozedere oder der individuellen Eigenschaft des UHPC-Probekörpers (z.B. Faserorientierung, Oberflächenqualität, Tragverhalten). Sie wurden nach der Herstellung oder durch die Prüfungen zerstört. Lediglich die hergestellten Bauteile der Pilotanwendung zur Widerlagersanierung und Flachdach bleiben zur Langzeitbeobachtung erhalten.

## 5. Erläuterungen zu Kosten & Finanzierung

- Die Abrechnung erfolgt direkt im eCall bzw. bei bis Sept. 2015 eingereichten Projekten via Excel. Im eCall wird Ihnen automatisch die für Sie richtige Variante präsentiert.
- Beachten Sie den FFG Kostenleitfaden ([www.ffg.at/kostenleitfaden](http://www.ffg.at/kostenleitfaden)) und Ausschreibungsdokumente.
- Abweichungen vom Kostenplan sind an dieser Stelle zu beschreiben und zu begründen.

Wie nachstehend dargestellt sind die Abweichungen nur geringfügiger Natur und haben sich zum größten Teil aus einer notwendigen Anpassung der InKind-Kosten ergeben. Die dadurch höheren Kosten wurden von den Partnern übernommen.

	Genehmigt lt. Vertrag	IST-Kosten	IST / genehmigt
Personalkosten	24 300	24 600	101%
F&E- Infrastrukturnutzung	0	0	
Sach- und Materialkosten	0	0	
Drittkosten	456 936	462 991	101%
Reisekosten	0	0	
<b>GESAMT</b>	<b>481 236</b>	<b>487 591</b>	<b>101%</b>

- Ist mit maßgeblichen Änderungen am Kostenplan bis zum Projektende zu rechnen?  
Wenn ja, erläutern Sie diese inhaltlich und betragsmäßig.  
Achtung: Größere Änderungen sind genehmigungspflichtig.

## 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. Die Veröffentlichungsschrift ist dem Endbericht beizulegen. Sämtliche Berichte sind auf der Website der ÖBV ([www.bautechnik.pro](http://www.bautechnik.pro)) frei zum Download erhältlich. Veröffentlichungsschriften wurden im e-call hochgeladen.

## 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

x	NEIN	
	JA	