

ENDBERICHT

Projektnummer oder Projekttitel: 886265, Bildung einer Grundlage für den Einsatz von Faserbetontübbing in Österreich
Richtwert für den Umfang: 10 bis 20 Seiten

1 ZIELE UND ERGEBNISSE

- Vergleichen Sie die erreichten Ergebnisse mit den Zielen, die dem Förderungsvertrag zugrunde liegen. Wurden die Ziele erreicht?
- Beschreiben Sie „Highlights“ und aufgetretene Probleme bei der Zielerreichung.

Die in AP1 (Projektmanagement) und AP2 (wissenschaftliche Leitung) durchgeführten Arbeiten und Ziele konnten erreicht werden. So ist es gelungen, in regelmäßigen Meetings den Informationsaustausch mit den Projektpartnern zu gewährleisten und auf die Fragen und Anmerkungen der Forschungspartner rasch reagieren zu können.

Die im AP 3 verankerte Fragestellung zu Dauerhaftigkeit von Faserbeton wurde aufgerollt und diskutiert. Dazu wurde von der wissenschaftlichen Seite mit Unterstützung von Experten eine präzise Darstellung des aktuellen Standes des Wissens dargelegt.

Die bei den Laborversuchen erprobte Rezeptur ist bei der Tübbingbetonage in der großen Mischanlage des Industriepartners erfolgreich zur Anwendung gekommen. Es konnten damit sowohl die Stahlfaser- als auch Kunststofffaserbetonproben hergestellt werden.

Um auf die Homogenität der Faserverteilung schließen zu können ist einerseits die Bruchfläche nach den erfolgten Tübbingversuchen untersucht worden. So erfolgte eine detaillierte Fotodokumentation, Faserzählung und es wurden Bohrkerne aus den Versuchstübbing entnommen. Diese wurden anschließend an der Montanuniversität Leoben, Lehrstuhl Reservoir Engineering, einer Computer Tomographie unterzogen.

Im Zuge des AP4 konnte der erste Versuchstübbing aus Stahlfaserbeton im April'22 das Mischwerk verlassen. Ab diesem Zeitpunkt erfolgte in regelmäßigen Abständen die Betonage der Tübbinge, welche in ebenso regelmäßigen Abständen nach Niklasdorf zum Tübbingprüfstand der Montanuniversität transportiert wurden. In Summe wurden so bis Mitte Oktober sechs Stahlfaser- und sechs Kunststofffaserbetontübbinge hergestellt. Parallel zur Tübbingproduktion erfolgte

auch die Herstellung der begleitenden Prüfkörper und mittelgroßen Biegebalken, welche im Labor an der TU-Graz geprüft wurden.

AP5 umfasst die Tübbinggroßversuche, welche Mitte November erfolgreich abgeschlossen werden konnten. Um diese Versuche durchführen zu können, wurde zu Beginn ein Versuchsprogramm ausgearbeitet und entsprechende Messtechnik beschafft. So wurden drei der sechs Stahlfasertübbinge mit einer konstanten Horizontalkraft von 500kN beaufschlagt und dabei die Vertikalbelastung bis zum Bruch gesteigert. Die übrigen drei Tübbinge wurden in horizontaler Richtung mit einer konstanten Horizontalkraft von 1,0MN beaufschlagt und wiederum vertikal bis zum Bruch belastet. Dieselbe Vorgehensweise erfolgte auch für die Kunststofffaserbetontübbinge. Aus den Versuchsergebnissen ist mitunter der Einfluss der Normalkraft auf die Tragfähigkeit ersichtlich. Die Messtechnik liefert umfangreiche Daten zu den Verformungen, Krafteinleitungen aber auch einer Digital Image Control (DIC) an der Tübbingstirnseite. Dadurch kann die Rissentwicklung (Rissbreite und -höhe) im gesamten Versuchsablauf erfasst werden.

Die Standardbiegebalken und mittelgroßen Biegebalken wurden an der TU-Graz geprüft. Die mittelgroßen Balken wurden dabei einem 4-Punkt Biegeversuch unterzogen und dabei wurde ebenso wie bei den Tübbinggroßversuchen die Rissbreite bzw. -höhe mittels DIC erfasst.

Die Auswertung der Ergebnisse ist fast vollständig abgeschlossen und wurde dem Konsortium präsentiert. Die Detailergebnisse aus der DIC dienen dazu, eine Korrelation mit den Standardprobekörpern und -versuchen herzustellen. Diese Tätigkeit wird noch einige Zeit in Anspruch nehmen.

AP6 erfolgt im Zuge der Auswertungen des AP5. Erste Ergebnisse sind bereits vorhanden. Detailreiche Analysen zum umfänglichen Verständnis der vorhandenen Versuchsergebnisse sind jedoch noch erforderlich. Dahingehende Tätigkeiten stehen aktuell im Fokus.

Das im AP7 zu erstellende Konzept zur Bemessung und Qualitätssicherung von Faserbetontübbingen wird im folgenden Forschungsjahr bearbeitet. Dafür werden die umfangreichen Ergebnisse und Erkenntnisse der vorangegangenen Arbeitspakete die Basis bilden.

2 ARBEITSPAKETE UND MEILENSTEINE

2.1 Übersicht

Geben Sie in den folgenden Tabellen den Projektfortschritt je Arbeitspaket (bezogen auf den Förderzeitraum) und je Meilenstein an und führen Sie stichwortartig an, wo es zu Abweichungen gekommen ist.

Eine ausführlichere Beschreibung ist unter Punkt 2.2 möglich.

Tabelle 1: Fortschritt der Arbeitspakete (AP)

AP	Bezeichnung	Fort-schritt	Ergebnisse, Abweichungen, Verzögerungen
1	Projektmanagement	66 %	<p>Die kaufmännische Koordination unter den Projektpartnern wurde durchgeführt.</p> <p>Organisation und Abwicklung der Zwischenberichte.</p> <p>Organisation und Abwicklung des Endberichts für das zweite Forschungsjahr.</p>
2	Wissenschaftliche Leitung	66 %	<p>Das Projekt wurde intern, wissenschaftlich, inhaltlich und terminlich koordiniert.</p> <p>Präsentation im Rahmen der Zwischenberichte und Projektfortschritte.</p> <p>Präsentation im Rahmen des Endberichts.</p>

AP	Bezeichnung	Fortschritt	Ergebnisse, Abweichungen, Verzögerungen
3	Einfluss von Fasern auf die Frisch- & Festbetoneigenschaften sowie Entwicklung von Versuchsmethoden	90 %	<p>Erfolgreiche Umsetzung der erprobten Laborrezepturen auf einer großen Mischanlage des Industriepartners.</p> <p>Erzielung einer homogenen Faserverteilung und Dosierung auf der Mischanlage des Industriepartners.</p> <p>Ermittlung der Faserverteilung und Faserorientierung anhand von Bohrkernen aus den Versuchskörpern; Auswertung noch nicht vollständig aufgrund der großen Datenmenge.</p> <p>Die Dauerhaftigkeit des Faserbetons unter Verwendung von Stahl- und Kunststofffasern wurde auf Basis von bestehenden Daten und unter Zugrundelegung von Experteninterviews abgearbeitet.</p> <p>Die Möglichkeiten zur Beurteilung der Dauerhaftigkeit, insbesondere jener von Makro-Kunststofffasern hinsichtlich ihrer Kriecheigenschaften wurden mit dem <i>Institut für Werkstoffprüfung der Kunststoffe</i> der Montanuniversität Leoben intensiv diskutiert. Die Erkenntnis ist, dass eine Aussage zu den Kriecheigenschaften von Kunststoffmakrofasern über einen Zeitraum von zumindest 100 Jahren bis dato unerforscht ist und ein eigenes Forschungsprogramm dazu ausgearbeitet werden müsste. Aus den Experteninterviews hat sich ergeben, dass seitens der Kunststoffindustrie an der Frage der Dauerhaftigkeit international bereits seit einigen Jahren verschiedenste Langzeitversuche dazu durchgeführt.</p>

AP	Bezeichnung	Fortschritt	Ergebnisse, Abweichungen, Verzögerungen
4	Herstellen von und Tübbing im Labormaßstab mit ausgewählten Fasertypen	80 %	<p>Erstellung eines Versuchsplans für AP4.</p> <p>Vorbereitungen und erforderliche Ergänzungen an der Schalung für die Betonage.</p> <p>Erfolgreiche Betonage aller Versuchstübbinge im Fertigteilwerk des Industriepartners.</p> <p>Erfolgreiche Herstellung von gegenüber dem ursprünglich vorgesehenen Forschungsprogramm 36 zusätzlichen mittelgroßen Probekörpern im Mischwerk.</p> <p>Entsprechend der ursprünglich angedachten Vorgangsweise wurden entlang der Abarbeitung der anstehenden Forschungsfrage sukzessive Tübbinge im Maßstab 1:1 hergestellt (und nicht, wie es aus rein ökonomischer Sicht aufs Erste erscheinen mag, eine Großserie am Beginn des Projektes herstellt. Bis dato wurden daher 12 Tübbinge in einem Tübbingwerk eines Forschungspartners (und nicht im Labor) hergestellt. Nur dadurch konnte sichergestellt werden, dass die Qualität der Tübbinge auch tatsächlich einer realen Qualität entspricht. Im 3. Forschungsjahr ist die Herstellung von weiteren Tübbingungen geplant.</p>

AP	Bezeichnung	Fortschritt	Ergebnisse, Abweichungen, Verzögerungen
5	Tübbinggroßversuche	90 %	<p>Transport der Tübbinge und Versuchskörper vom Mischwerk zu den Versuchsstätten in Niklasdorf und Graz.</p> <p>Durchführung aller Tübbinggroßversuche.</p> <p>Dokumentation der Ergebnisse, Auswerten von umfangreichen Messdaten.</p> <p>Präsentation der Ergebnisse bei regelmäßigen Projektmeetings.</p> <p>Detailauswertungen sind im Gange zur Erstellung der Korrelation mit den Kleinversuchen.</p>
6	Korrelation zwischen Probekörpern und Tübbing	50 %	<p>Detailauswertungen sind im Gange.</p> <p>Erste Abschätzungen zur Korrelation von Großversuchen konnten erfolgreich hergestellt werden.</p> <p>Weitere Detailuntersuchung sind jedoch noch erforderlich.</p>

AP	Bezeichnung	Fortschritt	Ergebnisse, Abweichungen, Verzögerungen
7	Konzept zur Bemessung und Qualitätssicherung von Faserbetontübbingen	10 %	<p>Erstellung von zwei fiktiven Beispielen für typisch österreichische Gebirgsverhältnisse.</p> <p>Start zur Ermittlung von Zugarbeitslinien aus den Versuchen, welche für die Bemessung von Faserbetontübbingen von Nöten sind.</p> <p>Da sich die Bearbeitung der aktuellen Forschungsfragen in den voranstehenden APs als derartig umfangreich herausgestellt hat, und in Abstimmung mit den Konsortialpartnern das Hauptaugenmerk auf das Berechnungskonzept für Faserbetontübbinge zu legen ist, kann eine Untersuchung zur Frage der Kriechströme im Rahmen dieses Forschungsprojektes nicht umgesetzt werden.</p>

Tabelle 2: Meilensteine (MS, falls definiert)

MS	Bezeichnung	bisheriger Termin	Ergebnisse, Abweichungen, Verzögerungen
1	Start der Betonage von Tübbingen und den mittelgroßen Biegebalken	06/2022	Alle erforderlichen Vorbereitungen zur Herstellung der großen Probekörper wurden erfolgreich abgeschlossen und der erste Versuchstübbing und Balken im Mischwerk hergestellt.
2	Abschluss der Tübbingversuche im Forschungsjahr 2	11/2022	Durchführung aller im Forschungsjahr 2 geplanten Tübbingversuche und Versuche an allen mittelgroßen Biegebalken. Weitere Tübbingversuche sind im Forschungsjahr 3 geplant.
3	2. Endbericht	03/2023	Erstellung des Endberichts für das Forschungsjahr 2.

2.2 Beschreibung der durchgeführten Arbeiten

- Beschreiben Sie die im Berichtszeitraum durchgeführten Arbeiten aller beteiligten Partner, strukturiert nach den Arbeitspaketen.

- Konnten die Arbeitsschritte und -pakete gemäß Plan erarbeitet werden? Wo gab es wesentliche Abweichungen?

AP1: Projektmanagement

Im gegenständlichen Projektzeitraum wurden regelmäßig Meetings, die Kurzberichte für die ÖBV-Vorstandssitzungen, die kaufmännische Koordination und die Zwischensitzungen des Projektkonsortiums kontinuierlich abgehalten und entsprechend kommuniziert. Zu jedem Meeting sind Besprechungsprotokolle angefertigt und an das gesamte Konsortium zur Verfügung gestellt worden.

AP2: Wissenschaftliche Leitung

Das Projekt wurde intern, wissenschaftlich, inhaltlich und terminlich koordiniert, das Projektcontrolling vorgenommen, sowie das Berichtsmanagement ohne Abweichungen umgesetzt.

AP3: Einfluss von Fasern auf die Frisch- & Festbetoneigenschaften sowie Entwicklung von Versuchsmethoden

Anhand der Ergebnisse der im Labormaßstab hergestellten Probekörper wurde je eine Stahlfaserbeton- und eine Kunststofffaserbetonmischung für die Herstellung der Tübbinge ausgewählt. Diese erfolgte in einem vom Konsortialpartner zur Verfügung gestellten und gemeinsam bestimmten Fertigteilwerk. Die Basis für die Versuchsrezeptur im Labor und bei der Tübbingherstellung wurde an jene des Mischwerks angelehnt, da für die praxisgerechte Umsetzung die Verwendung der Ausgangsstoffe des Tübbingwerks erforderlich sind. Zusätzlich sind die Gesteinskörnungen und Zemente in den Silos im Werk vorgehalten, wodurch die vollumfängliche Funktion der Mischanlage inkl. der automatischen Dosiereinrichtungen für die Versuche genutzt werden kann. Die Labormischungen konnten auch an der großen Mischanlage reproduziert werden, lediglich bei der Stahlfasermischung musste etwas an Fließmittel zurückgehalten werden, da sonst übermäßiges Bluten aufgetreten wäre. Dies hat jedoch keinen Einfluss auf die Endfestigkeit der Probekörper, sondern auf die Frischbetoneigenschaften beim Einbau des Betons in die Schalung.

Die Zugfestigkeitsentwicklung an den Probekörpern wurde sowohl an Spaltzug- als auch Biegezugversuchen untersucht und in der Dokumentation der Arbeiten des AP3 festgehalten. Dieses Dokument ist bereits an alle Partner versendet worden.

Nach der Durchführung der Großversuche wurden aus den untersuchten Tübbingen Bohrkerne entnommen und mittels CT tomographiert. Die Ergebnisse aus diesen Untersuchungen sind noch in Bearbeitung und sollen bis Ende Q1 im 3. Forschungsjahr abgeschlossen sein.

In Hinblick auf die Dauerhaftigkeit der Stahl- sowie Kunststofffasern ist eine Auswertung bestehender Unterlagen im Gange, worin der aktuelle Forschungsstand zum Langzeitverhalten dargelegt wird. Zusätzliche Versuche sind aufgrund der ausreichend vorhandenen Unterlagen nicht vorgesehen.

Die Problematik der Pressekräfteeinleitung und Übertragung der Kräfte in der Längsfuge sowie darauf aufbauende Empfehlungen sind aktuell in Bearbeitung. Bevor etwaige Versuche geplant werden können, ist aus Sicht der bearbeitenden Universitäten ein tiefergehendes Verständnis der mechanischen Zusammenhänge erforderlich, weshalb vorerst ein Berechnungsmodell erstellt wird.

AP4: Herstellung von Tübbing und Probenkörpern im Labormaßstab mit ausgewählten Fasertypen

Aus den in den Kleinversuchen gewonnenen Erkenntnissen wurde je Faserwerkstoff eine repräsentative Faserdosierung ausgewählt. So wurden für die Großversuche sechs Stahlfaserbetontübbinge mit einem Gehalt von 45 kg/m^3 und sechs Kunststofffaserbetontübbinge mit 11 kg/m^3 Faserbewehrung hergestellt. Zusätzlich erfolgte zu den Tübbing auch die Herstellung unterschiedlicher Biegebalken, welche in Abbildung 1 ersichtlich sind.

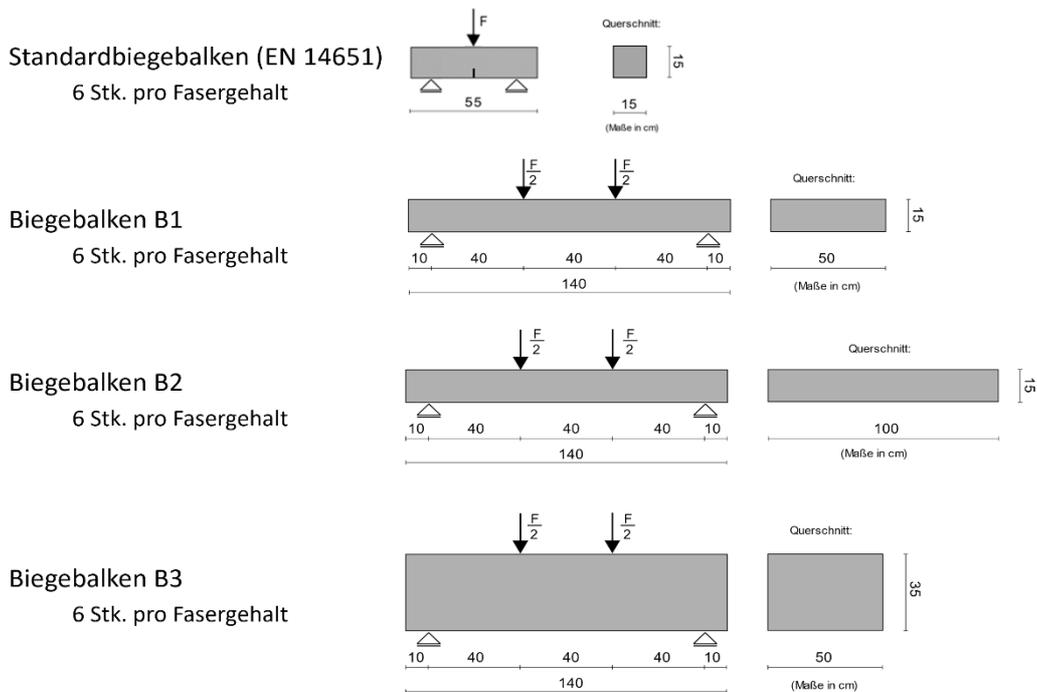


Abbildung 1: Hergestellte Biegebalken für Großversuche

Zur Herstellung der Tübbinge fungierte eine gebrauchte Schalung, welche von der Art und Größe jene eines modernen eingleisigen Eisenbahntunnels mit 8 m Innendurchmesser und einer Ringteilung von 6+0 Segmenten entspricht. Der einzelne Tübbing weist dabei einen Öffnungswinkel von 60° , eine Sehnenlänge von circa 4750 mm, eine mittlere Breite von 1900 mm und Stärke von 350 mm auf. Der Schalungsdeckel musste etwas adaptiert werden, um für die im Fertigteilwerk realisierten, stehenden Fertigungsprozess eingesetzt werden zu können. Die Tübbingschalung wurde im Betonfertigteilwerk positioniert und mit den aus den Kleinversuchen ausgewählten Betonmischungen beschickt. Auf eine laufende Qualitätskontrolle der Frischbetoneigenschaften wurde stets geachtet. Die

Bezeichnung der Tübbinge setzt sich aus der Kurzbezeichnung der verwendeten Mischung aus den Laborversuchen, der Abkürzung „T“ stellvertretend für Tübbing und einer fortlaufenden Nummerierung zusammen. Bei allen Betonrezepturen wurden wiederum die $1,6 \text{ kg/m}^3$ Polypropylen Brandschutzfasern beigemischt, um vergleichbare Frischbetoneigenschaften zu erhalten. In Abbildung 2 ist die bereits für die Betonage vorbereitete und mit Trennmittel eingelassene Schalung ersichtlich.



Abbildung 2: Schalung für die Herstellung der Versuchstübbinge

Nach der Betonage verblieb der Tübbing für circa 24h in der Schalung, bevor dieser abgehoben wurde. Zu diesem Zweck wurden 4 Kugelkopfanke an der Tübbingoberseite mit einbetoniert. Die Position dieser Anker wurde vorab vom Statiker, welcher dem Projektkonsortium angehört, berechnet und festgelegt.

Auch der Transport zum Tübbingprüfstand erfolgte mittels eines speziellen Holzuntergestells. Zusätzlich wurde darauf geachtet, dass die Tübbinge erst unmittelbar vor Versuchsstart zum Prüfstand verbracht wurden, um die Risiken eines Transportschadens möglichst hinten zu halten.

Neben den 12 Tübbingungen wurden im AP4 zusätzlich 48, unterschiedlich große Biegebalken geprüft, um eine ausreichende Datenlage zur Klärung der Forschungsfragen zu schaffen. Als wesentliches Ziel der Tübbingversuche wurde die Erfassung der Korrelation zwischen Kleinproben, mittelgroßen Balken und den Tübbingversuchen festgelegt. Zusätzlich soll das Tragverhalten im Zusammenhang mit einer Normalkraft und der entstehenden Rissbildung untersucht werden. Anhand der insgesamt 60 Biegeversuche ist das Ziel nach Ansicht der bearbeitenden Universitäten gewahrt. Eine Herstellung von zusätzlichen, für die offenen Forschungsfragen noch erforderlichen Tübbingungen wird im Zuge der Arbeiten zur Qualitätssicherung im 3. Forschungsjahr bearbeitet.

AP5: Tübbinggroßversuche

Die Tübbing wurden vom Fertigteilwerk nach Niklasdorf transportiert, für den Versuch vorbereitet und mit der entsprechenden Messtechnik ausgestattet. Zur Erfassung von Deformationen und Risse am Tübbing während des Großversuchs sind mehrere Sensoren und Messsysteme installiert. Für das Messen von großen Deformationen sind in Summe 10 Seilzugsensoren am Intrados des Tübbings angebracht. Zwei lineare variable Differential Transformatoren (LVDT), welche zur Messung von Längen bis 400mm zum Einsatz kommen, wurden ebenfalls im Scheitel an der Tübbingunterseite angebracht. Damit können Verformungen sehr genau über den Bereich des maximalen Biegemoments aufgezeichnet werden. Zur Detektion der Dehnungen und Erfassung der Erstrissbildung sind zusätzlich mehrere Dehnmessstreifen am Intrados des Tübbings appliziert. Der in Abbildung 3 dargestellte Plan zeigt beispielhaft die Position der Messensorik an der Tübbingunterseite.

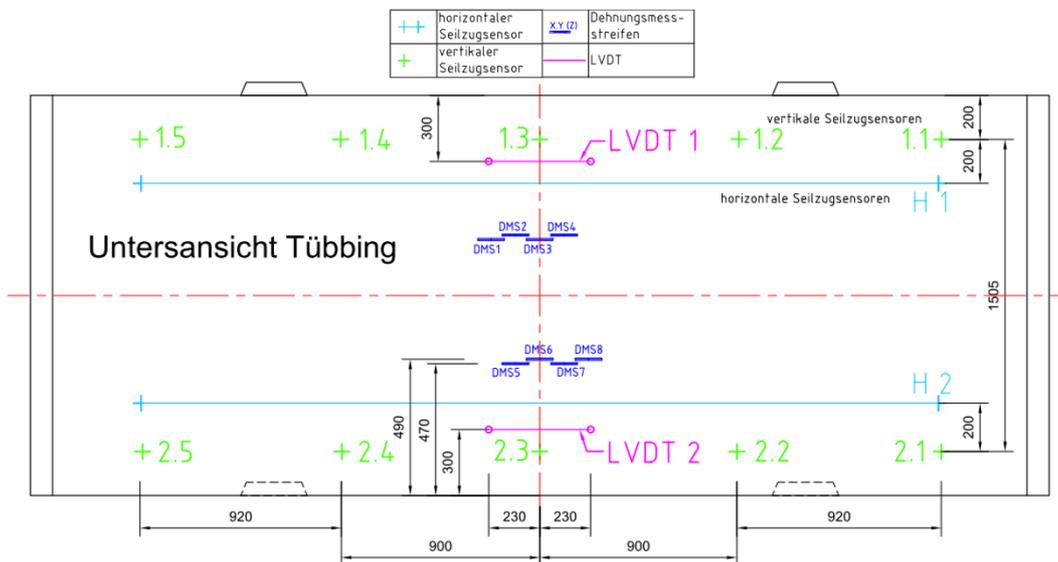


Abbildung 3: Untersicht eines Tübbings mit Positionen der Messensorik

Als ergänzendes Messequipment befindet sich an der Tübbingstirnseite ein Kamerasystem zur Detektion von auftretenden Rissen. Mittels anschließendem Postprocessing der daraus gewonnenen Daten ist es möglich, die Rissbreite sowie dessen Fortschritt in Tübbingdicke während des Versuchsablaufs zu ermitteln. Dieses Messprinzip ist auch besser als digital Image Control bekannt (DIC). Diese Daten werden im anschließenden AP6 benötigt, um eine Korrelation mit den mittelgroßen und Standardbiegebalken herstellen zu können.

An der TU-Graz wurden parallel zu den Tübbingversuchen in Niklasdorf die mittelgroßen Biegebalken einem 4-Punkt Biegeversuch unterzogen. Ident zu der Vorgehensweise bei den Tübbing, wurde auch in Graz ein Kamerasystem zur

Erfassung der Rissentstehung, sowie dessen Breite und Wachstum eingesetzt. In Abbildung 4 ist der Messaufbau mit dem Kamerasystem zu erkennen.



Abbildung 4: 4-Punkt Biegeversuch mit DIC zur Risserfassung

Im Anschluss nach der Versuchsdurchführung wurde bei einigen Bruchflächen auch eine Faserzählung vorgenommen. Mit Hilfe dieser umfangreichen Daten soll das anschließende AP6 bewerkstelligt werden können.

Die Versuchsdurchführung wurde mit zwei unterschiedlichen Lastkonfigurationen durchgeführt, wobei die Größe der Normalkraft variiert. Für die Durchführung am Prüfstand der Montanuniversität bedeutet dies, dass die Normalkraft im Tübbing durch das Aufbringen einer horizontalen Belastung (FHZ in Abbildung 5) erreicht wird. Eine schematische Skizze des Tübbings mit den angreifenden Kräften unter Berücksichtigung der Symmetrie ist in Abbildung 5 dargestellt. Die Auflagerkräfte sind dabei nicht eingezeichnet.

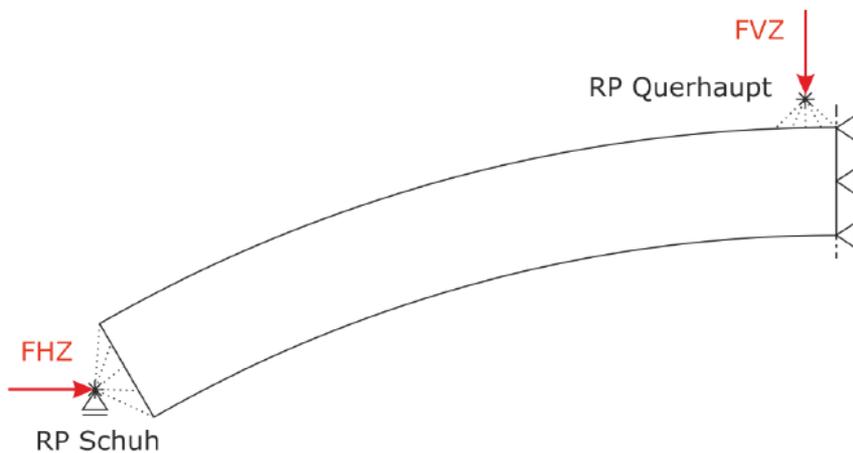


Abbildung 5: Angreifende Kräfte im Tübbingprüfstand

Für die Versuchsdurchführung am Tübbing unter Beaufschlagung von Normalkräften wurde bei Lastkonfiguration 1 eine Horizontalkraft von 500kN aufgebracht und konstant gehalten, während die Vertikalkraft bis zum Bruch gesteigert wurde. Die zweite Lastkonfiguration basierte auf derselben Art und Weise mit dem Unterschied, dass die Horizontalkraft in diesem Fall mit 1 MN konstant gehalten wurde. Eine Übersicht, welche Versuchstübbinge mit welcher Belastungsart beaufschlagt wurden, ist Tabelle 3 zu entnehmen.

Tabelle 3: Übersicht durchgeführter Tübbingversuche mit dazugehöriger Lastkonfiguration

Bezeichnung	Lastkonfig	Horizontalkraft	Vertikalkraft
M2_StF_45-T1	LK 1	FHZ = 500kN = konst.	FVZ bis zum Bruch gesteigert
M2_StF_45-T2	LK 1	FHZ = 500kN = konst.	--- II ---
M2_StF_45-T3	LK 1	FHZ = 500kN = konst.	--- II ---
M2_StF_45-T4	LK 2	FHZ = 1.000kN = konst.	--- II ---
M2_StF_45-T5	LK 2	FHZ = 1.000kN = konst.	--- II ---
M2_StF_45-T6	LK 2	FHZ = 1.000kN = konst.	--- II ---
M2_KF_11-T1	LK 1	FHZ = 500kN = konst.	--- II ---
M2_KF_11-T2	LK 1	FHZ = 500kN = konst.	--- II ---
M2_KF_11-T3	LK 1	FHZ = 500kN = konst.	--- II ---
M2_KF_11-T4	LK 2	FHZ = 1.000kN = konst.	--- II ---
M2_KF_11-T5	LK 2	FHZ = 1.000kN = konst.	--- II ---
M2_KF_11-T6	LK 2	FHZ = 1.000kN = konst.	--- II ---

An den Versuchsergebnissen ist deutlich der Einfluss der Normalkraft zu erkennen. Durch die größere eingeleitete Normalkraft können vom Tübbing größere Biegemomente aufgenommen werden. Des Weiteren kann die größere Tragfähigkeit der stahlfaserbewehrten gegenüber den kunststofffaserbewehrten Tübbing festgestellt werden. Auch das unterschiedliche Materialverhalten dieser beiden Werkstoffe spiegelt sich in den in Abbildung 6 dargestellten Ergebnissen wieder. Stahlfasern erreichen bereits bei kleinen Verformungen bzw. Rissbreiten ihre Tragkapazität, worauf ein faserauszugsbedingter Abfall der Last folgt. Kunststofffasern erreichen hingegen erst bei größeren Rissbreiten ihre maximale Traglast.

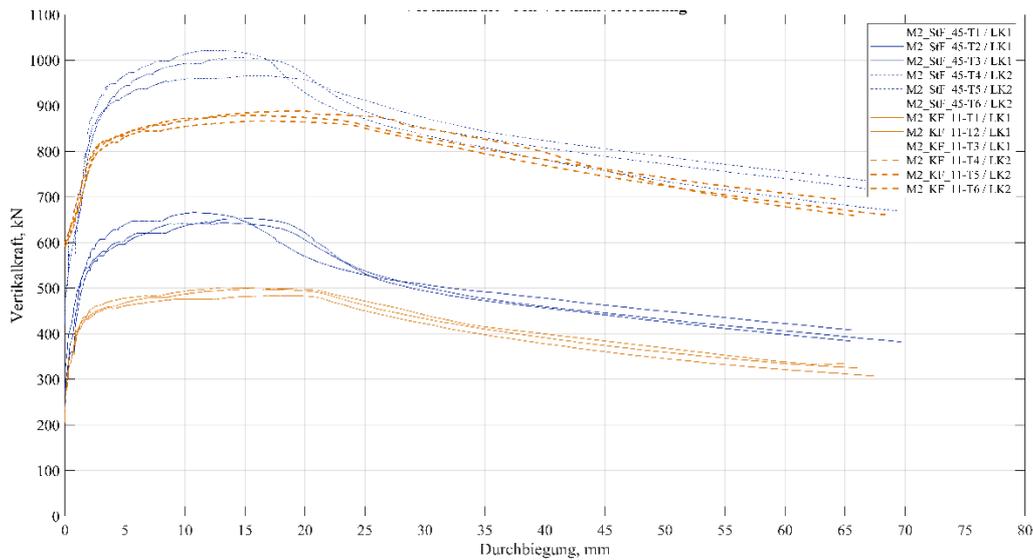


Abbildung 6: Ergebnisse der Tübbingversuche

Allgemein kann zu den Tübbingversuchen angemerkt werden, dass sich die Streuung der Ergebnisse in einem sehr geringen Maße hält.

Bei den mittelgroßen Balkenbiegeversuchen weisen die Ergebnisse ein ähnliches Verhalten auf. Die maximale Tragfähigkeit ist bei den stahlfaserbewehrten Probekörpern höher als bei jenen mit Kunststofffasern. Durch die Prüfung von unterschiedlichen Querschnitts-Geometrien können zusätzlich Größeneinflüsse untersucht werden. Die gesammelten Ergebnisse der stahlfaserbewehrten Biegebalken können Abbildung 7 in Form von äquivalenten Biegezugspannung – Durchbiegungs-Diagrammen entnommen werden. Es zeigt sich dabei, dass größere Querschnitte tendenziell geringere maximale Biegezugspannung aufweisen als kleinere. Als Erklärung dafür sind die bereits bekannten Schalungseffekte zu nennen, welche die Faserorientierung und somit die Anzahl an risskreuzenden Fasern beeinflussen.

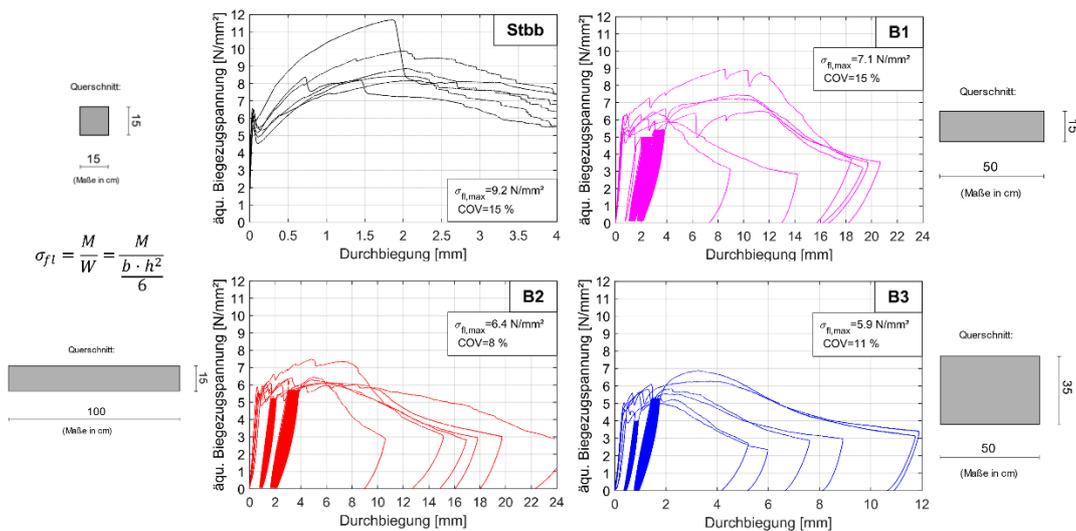


Abbildung 7: Ergebnisse der am Stahlfaserbeton durchgeführten Balkenbiegeversuche

Bei der Versuchsdurchführung an den mittelgroßen Balken wurden bei je 2 Balken mehrere Belastungsschleifen zwischen 10 und 90% der maximalen Tragfähigkeit durchlaufen. Dadurch kann das Verhalten unter schwellender Belastung und die Wirkungsweise des Rissverhaltens beobachtet werden.

Die Ergebnisse der Biegebalkenversuche an der Kunststofffasermischung sind der Abbildung 8 zu entnehmen. Ident zu den Tübbingversuchen konnte auch hier festgestellt werden, dass die Tragfähigkeit von kunststofffaserbewehrten im Vergleich zu stahlfaserbewehrten Probekörpern geringer ausfällt.

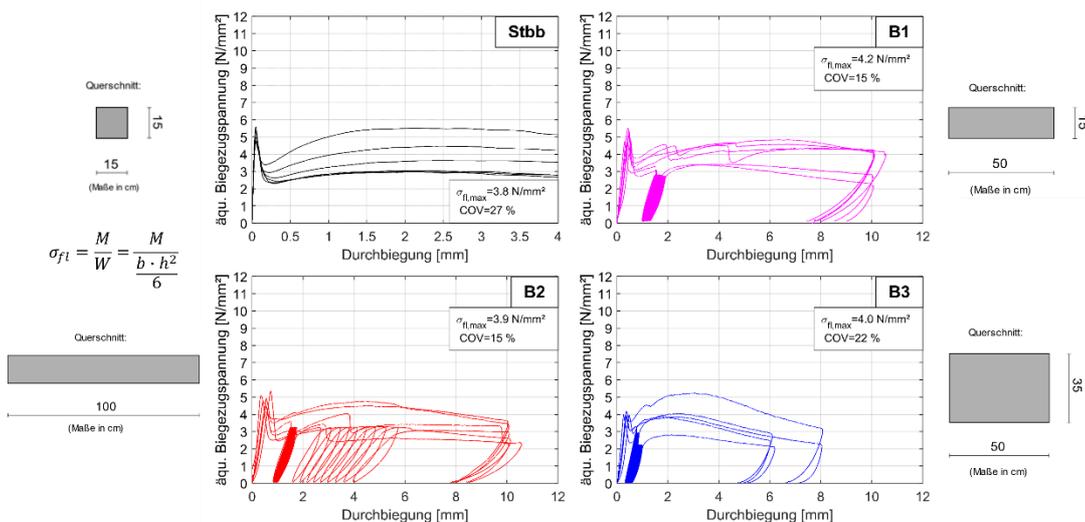


Abbildung 8: Ergebnisse der am Kunststofffaserbeton durchgeführten Balkenbiegeversuche

Bei Analyse der Ergebnisse an den Kunststofffaserbalken ist die geringe Streuung der Ergebnisse bei jedoch annähernd konstanter Tragfähigkeit über alle Querschnittsgrößen auffallend. Dies kann mit der sehr großen Anzahl an Fasern und einer guten Durchmischung erklärt werden.

AP6: Korrelation zwischen Probekörpern und Tübbing

Anstrengungen in diesem Arbeitspaket wurden bereits vorgenommen, um die Ergebnisse der Großversuche mit den in AP3 bzw. den begleitend hergestellten Biegebalken mit unterschiedlicher Querschnittsgeometrie korrelieren zu können. Durch eine Unstimmigkeit bei den Ergebnissen der Stahlfasermischung werden noch zusätzliche Untersuchungen durchgeführt. Weiterführende Tätigkeiten sind für das folgende Forschungsjahr bereits angedacht und in Umsetzung.

AP7: Konzept zur Bemessung und Qualitätssicherung von Faserbetontübbing

Erste Überlegungen und Ansätze erfolgten im Zuge der Tübbingherstellung sowie bei der Erstellung des Versuchsprogramms für AP5. Es ist jedoch zu erwähnen, dass es bei diesem Arbeitspaket zu einer Verzögerung von einem Quartal gekommen ist. Eine vollumfängliche Bearbeitung und Intensivierung der Anstrengungen sind dahingehend für das dritte Forschungsjahr vorgesehen.

3 PROJEKTTEAM UND KOOPERATION

- Gab es wesentliche Veränderungen im Projektteam (interne Schlüsselmitarbeiter*innen und Drittleister)?
- Bei Konsortialprojekten und Forschungsk Kooperationen: Beschreiben Sie die Zusammenarbeit im Konsortium.

Da die D2 Consult International GmbH ihre Wirtschaftstätigkeit mittlerweile fast ganz eingestellt hat, hat diese gebeten nach dem 2. Forschungsjahr aus dem Projekt entlassen zu werden. DI Ulrich Horny der zuvor bei D2 Consult International GmbH beschäftigt war hat dementsprechend schon im 2. Forschungsjahr deren InKind-Leistung übernommen und wird dies auch im 3. Forschungsjahr tun.

Eine wesentliche Veränderung im Projektteam ist nicht zu vermerken.

Durch die regelmäßigen Meetings, den Präsentationen der Projektfortschritte sowie durch den Austausch der unterschiedlichen Erfahrungen der jeweiligen Partner entstehen zeitweise umfangreiche Diskussionen und weitreichende Lösungsansätze. Dies fördert jedoch die Kreativität der Gruppe und ermöglicht dadurch eine produktive Kooperation.

4 WIRTSCHAFTLICHE UND WISSENSCHAFTLICHE VERWERTUNG

- Beschreiben Sie die bisherigen Verwertungs- 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 weiterverwendet?

Die Ergebnisse aus den im AP3 durchgeführten Laborversuchen wurde in einem Dokument gesammelt, strukturiert dargestellt und an alle Projektpartner verteilt.

Eine Sammlung der Ergebnisse aus den Erkenntnissen zum Thema der Dauerhaftigkeit von Faserbeton ist noch in Ausarbeitung und wird den Partnern übermittelt.

Ein Vortrag zu den Tätigkeiten im Forschungsprojekt wird bei der internationalen Underground Construction Conference im Mai 2023 in Prag abgehalten.

Die Projektergebnisse stehen der gesamten Branche unter https://www.bautechnik.pro/Arbeitskreise/forschung#aktive_f der gesamten Branch sowie allen interessierten zur Verfügung.

5 ERLÄUTERUNG ZU KOSTEN UND FINANZIERUNG

Beschreiben und begründen Sie wesentliche aufgetretene Abweichungen vom Kostenplan.

Es sind keine wesentlichen Abweichungen zu nennen.

Da die D2 Consult International GmbH ihre Wirtschaftstätigkeit mittlerweile fast ganz eingestellt hat, hat diese gebeten nach dem 2. Forschungsjahr aus dem Projekt entlassen zu werden. DI Ulrich Horny der zuvor bei D2 Consult International GmbH beschäftigt war hat dementsprechend schon im 2. Forschungsjahr deren InKind-Leistung übernommen und wird dies auch im 3. Forschungsjahr tun.

Die wegfallende Cash-Unterstützung der D2 Consult International GmbH wird durch eine höhere InKind-Leistung der Kirchdorfer Fertigteile Holding bzw. ihrer Tochterunternehmen kompensiert, womit eine annähernd unveränderte Finanzierung sichergestellt ist.

Dies ist auch notwendig da sich bereits im 2. Forschungsjahr gezeigt hat, dass teils höhere InKind-Leistungen notwendig sind. Insofern wurde seitens der Kirchdorfer Fertigteile Holding bzw. ihrer Tochterunternehmen für das 3. Forschungsjahr ein um € 6500 höherer InKind-Beitrag zugesichert welcher unter Einhaltung der Förderbedingungen (mind. 20%Cash und max. 15% InKind) die annähernd unveränderte Fortsetzung ermöglicht.

6 PROJEKTSPEZIFISCHE SONDERBEDINGUNGEN UND AUFLAGEN

Falls im Förderungsvertrag projektspezifische Sonderbedingungen und Auflagen vereinbart wurden, gehen Sie bitte konkret auf die Erfüllung der noch offenen Sonderbedingungen und Auflagen ein. Schriftliche Nachweise können im eCall hochgeladen werden.

Die Projektergebnisse sind zu veröffentlichen. Die Veröffentlichungsschrift ist dem Endbericht beizulegen.

Die Projektergebnisse stehen unter https://www.bautechnik.pro/Arbeitskreise/forschung#aktive_f der gesamten Branch sowie allen Interessierten zur Verfügung.

7 MELDUNGSPFLICHTIGE EREIGNISSE

Gibt es besondere Ereignisse rund um das geförderte Projekt, die der FFG mitzuteilen sind? Beispielsweise

- Änderungen der rechtlichen und wirtschaftlichen Einflussmöglichkeiten bei den Fördernehmer*innen,
- Insolvenzverfahren,
- Ereignisse, die die Durchführung der geförderten Leistung verzögern oder unmöglich machen,
- Weitere Förderungen für die im Projekt abgerechneten Kosten (Mehrfachförderung).

Keine Ereignisse im abgelaufenen Projektzeitraum