

Bildung einer Grundlage für den Einsatz von Faserbetontübbingen in Österreich

1. Zielerreichung und Projektstatus	1
2. Durchgeführte Arbeiten im Berichtszeitraum	2
2.1. Projektmanagement	2
2.2. wissenschaftliche Leitung	2
2.3. Einflusses von Fasern auf die Frisch- & Festbetoneigenschaften	3
2.4. Tübbinggroßversuche	5
2.5. Korrelation zwischen Probenkörpern und Tübbingen	8
2.6. Konzept zur Bemessung und Qualitätssicherung von Faserbetontübbingen	9
3. Erläuterung von wesentlichen Änderungen bei den Kosten	9
4. Beitrag der Projektergebnisse zur Nachhaltigkeit	9

1. Zielerreichung und Projektstatus

Das Forschungsprojekt zur Entwicklung von Faserbeton-Tübbingen konnte seine Ziele vollständig erreichen und wurde erfolgreich abgeschlossen. Die geplanten Versuchsserien wurden erfolgreich durchgeführt, sodass die gewonnenen Erkenntnisse als Basis für den Einsatz von Faserbeton im Bauwesen in Österreich dienen können. Ein besonderes Augenmerk lag auf der engen Zusammenarbeit mit den wirtschaftlichen Projektpartnern, wodurch sichergestellt wurde, dass die erzielten Ergebnisse auch eine hohe Marktrelevanz besitzen. Auf Grundlage des Projektberichts werden über den Rahmen dieses Projekts hinaus weitere Dokumente, wie Sachstandsberichte, erstellt, um die Anwendung von Faserbeton in Richtlinien vorzubereiten.

Die Verlängerung der Projektlaufzeit, die kostenneutral umgesetzt wurde, ermöglichte eine gründliche Nachbereitung der experimentellen Arbeiten. Diese zusätzliche Zeit trug maßgeblich dazu bei, die Versuchsergebnisse zu optimieren und entsprechende Empfehlungen zur analytischen Bemessung sowie zur Qualitätssicherung abzuleiten. Dies stellt einen wesentlichen Schritt zur breiteren Anwendung von Faserbeton dar.

Im Rahmen des Projektmanagements konnten alle Arbeitsschritte planmäßig durchgeführt werden. Die terminliche und kaufmännische Koordination, die Kommunikation zwischen den Partnern aus Wirtschaft und Wissenschaft sowie das Vertrags- und Kostenmanagement verliefen ohne nennenswerte Probleme. Mit einem Projektfortschritt von 100 % wurde das Projekt im Rahmen der festgelegten Zeit und ohne signifikante Abweichungen von den ursprünglichen Planungen abgeschlossen.

Die wissenschaftliche Leitung des Projekts konnte ebenfalls alle Arbeitspakete ohne wesentliche Veränderungen umsetzen. Besonders hervorzuheben ist die Erweiterung der Versuchsserie, die aufgrund neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse und vielversprechender Zwischenergebnisse ergänzt wurde. Diese zusätzlichen Versuche konnten erfolgreich in den bestehenden Plan integriert werden, sodass das Arbeitspaket vollständig und zufriedenstellend abgeschlossen wurde.

Ein zentraler Aspekt des Projekts war die Untersuchung des Einflusses von Fasern auf die Frisch- und Festbetoneigenschaften. Hier zeigten die Versuche, dass der Faseranteil die Fließfähigkeit des Frischbetons maßgeblich beeinflusst. Die Druckfestigkeit des Betons wurde hingegen nur geringfügig vom Fasergehalt beeinflusst, während die Biegezugfestigkeit nach dem Erstriss je nach Fasertyp signifikant variierte. Diese Erkenntnisse tragen maßgeblich zur Optimierung der Rezepturen und zur Sicherstellung der Qualität von Faserbeton bei.

Ein weiteres bedeutendes Arbeitspaket umfasste die Tübbinggroßversuche, bei denen das Tragverhalten von faserverstärkten Tübbingen unter verschiedenen Belastungsbedingungen untersucht wurde. Hierbei zeigte sich, dass Stahlfasertübbinge eine höhere Tragfähigkeit aufweisen, während Kunststoffasertübbinge eine größere Verformung und Duktilität ermöglichen. Die Versuche umfassten verschiedene Belastungskonfigurationen, bei denen sowohl Druck- als auch Biegebeanspruchungen getestet wurden. Die

gewonnenen Daten lieferten wertvolle Erkenntnisse zur Verbesserung der Tragfähigkeit und zur Entwicklung analytischer Bemessungsregeln.

Auch die Korrelation zwischen den im Labor untersuchten Probenkörpern und den tatsächlichen Tübbingen konnte erfolgreich hergestellt werden. Bei Kunststofffasern gab es eine gute Übereinstimmung zwischen den Laborproben und den realen Bauteilen, während bei Stahlfasern aufgrund einer inhomogenen Faserverteilung in den Tübbingen Unterschiede festgestellt wurden. Diese Erkenntnisse sind entscheidend für die zukünftige Anwendung von Faserbeton im Tunnelbau, da sie die Übertragbarkeit von Laborergebnissen auf reale Bauteile verbessern.

Schließlich wurde ein umfassendes Konzept zur Bemessung und Qualitätssicherung von Faserbetontübbingen entwickelt. Dieses Konzept stellt sicher, dass die mechanischen Eigenschaften, wie die Nachrisszugfestigkeit und das Rissverhalten, zuverlässig erreicht und optimiert werden können. Die Qualitätssicherung umfasst standardisierte Prüfverfahren sowie Maßnahmen zur Optimierung der Faserverteilung und -orientierung, um eine gleichmäßige und qualitativ hochwertige Produktion zu gewährleisten.

Insgesamt war das Projekt ein Erfolg. Es lieferte nicht nur fundierte wissenschaftliche Erkenntnisse zur Anwendung von Faserbeton, sondern ebnet auch den Weg für weitere Arbeiten hin zu Regelwerken damit diese Fasermaterialien im Tunnelbau eingesetzt werden können. Die Projektergebnisse können auch zur ökologischen und wirtschaftlichen Nachhaltigkeit beitragen, indem sie einen effizienteren Materialeinsatz und damit eine Reduktion von CO₂-Emissionen ermöglichen. Die gewonnenen Daten und entwickelten Konzepte sollen zukünftig in Richtlinien und Praxisanwendungen einfließen und so zu einer nachhaltigen Bauweise mit Faserbeton beitragen.

2. Durchgeführte Arbeiten im Berichtszeitraum

2.1. Projektmanagement

Fertigstellungsgrad: 100%

Neben der Vertretung gegenüber der FFG wurden während der Projektlaufzeit die terminliche und kaufmännische Projektkoordination, die Organisation von Projektmeetings, die Koordination der Kommunikation zwischen den ProjektpartnerInnen, die Partnerkommunikation (Wirtschaft und Wissenschaft) sowie das Vertrags- und Kostenmanagement abgewickelt.

Die Arbeitsschritte konnten gemäß Plan erarbeitet werden.

Es gab keine wesentlichen Abweichungen oder Veränderungen.

Der Projektfortschritt liegt mit 100% im Plan, bezogen auf die Gesamtprojektlaufzeit.

2.2. wissenschaftliche Leitung

Fertigstellungsgrad: 100%

Die Arbeitsschritte konnten gemäß dem ursprünglichen Plan erarbeitet werden. Die strukturierten Versuchsserienabläufe und Methoden wurden beibehalten, um sicherzustellen, dass die geplanten Ziele erreicht werden.

Eine Erweiterung der Versuchsserie wurde während der Projektdauer vorgeschlagen und umgesetzt, welche aufgrund von Zwischenergebnissen und neuen wissenschaftlichen Erkenntnissen als vielversprechend identifiziert werden konnte. Die zusätzlichen Versuche konnten dank bereits vorzeitig erfolgreich abgeschlossener Ergebnisse kostenneutral ergänzt werden.

Die Versuchsergebnisse und Auswertung sind zufriedenstellend Abgeschlossen, weshalb auch dieses Arbeitspaket mit 100 % Fertigstellung angesehen wird.

2.3. Einflusses von Fasern auf die Frisch- & Festbetoneigenschaften

Fertigstellungsgrad: 100%

Die Arbeitsschritte konnten gemäß dem Plan erfolgreich erarbeitet werden.

Die Umsetzung der im Labor entwickelten Rezepturen auf einer großen Mischanlage des Industriepartners konnten erfolgreich realisiert werden, wobei Untersuchungen aufgrund einer gering homogenen Faserverteilung notwendig wurden. Wesentliche Abweichungen oder Veränderungen traten trotzdem nicht auf, sodass keine signifikanten Anpassungen der Planung erforderlich waren. Die Auswertungen der Faserverteilung und -orientierung anhand von Bohrkernen aus den Versuchstübbingungen sowie zusätzlichen Betonkörpern zur Untersuchung der Ursachen von inhomogener Faserverteilung konnten erfolgreich abgeschlossen sowie der maßgebende Einfluss bestimmt werden. Abbildung 2.3.1 und 2.3.1 zeigt beispielhaft Aufnahmen mittels Computertomographen der Stahlfaserverteilung im Tübbing über einzelne Bohrkern.

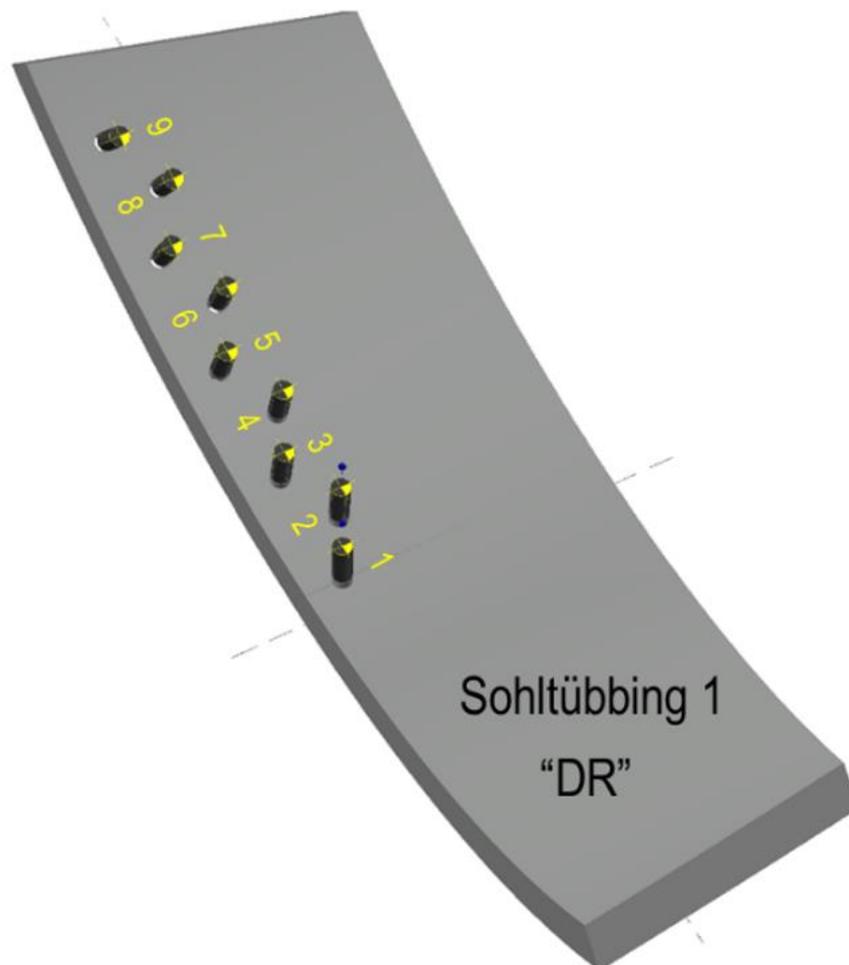


Abbildung 2.3.1: Positionierung der Kernbohrungen sowie Faserorientierung

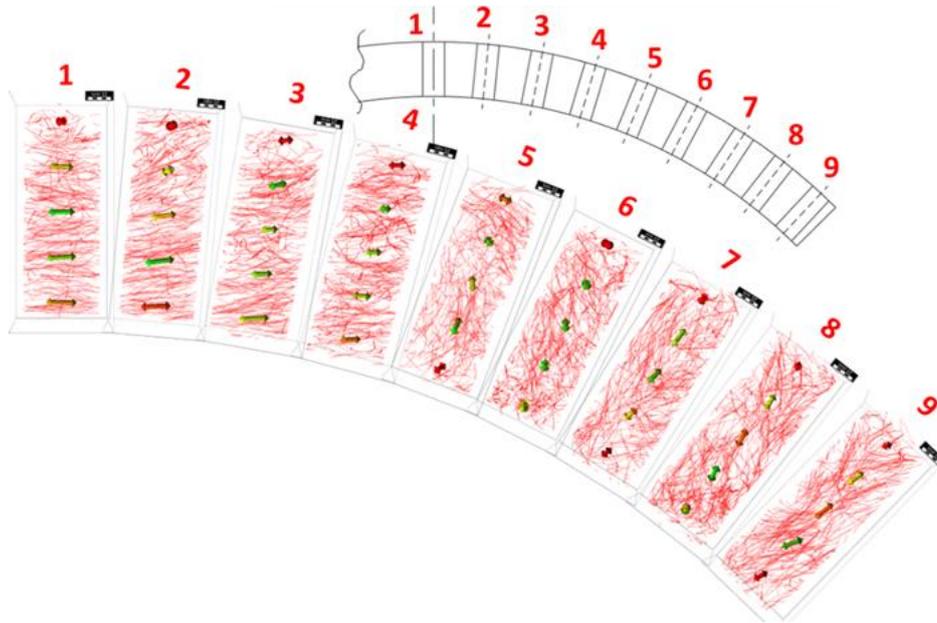


Abbildung 2.3.2: Positionierung der Kernbohrungen sowie Faserorientierung

Beispielhaft sind in Abbildung 2.3.3 Ergebnisse der Festbetonuntersuchungen mit unterschiedlichen Fasergehalten sowie den ausgewählten Fasermaterialien, Stahl- sowie Kunststofffasern, gegenübergestellt. Aus diesen residuellen Biegezugfestigkeiten sowie aus weiteren Untersuchungen, wie etwa zur Druckfestigkeit, der Spaltzugfestigkeit und dem Nachrisszugverhalten, konnte der ideale Fasergehalt gewählt und für die Großversuche im Tübbing festgelegt werden.

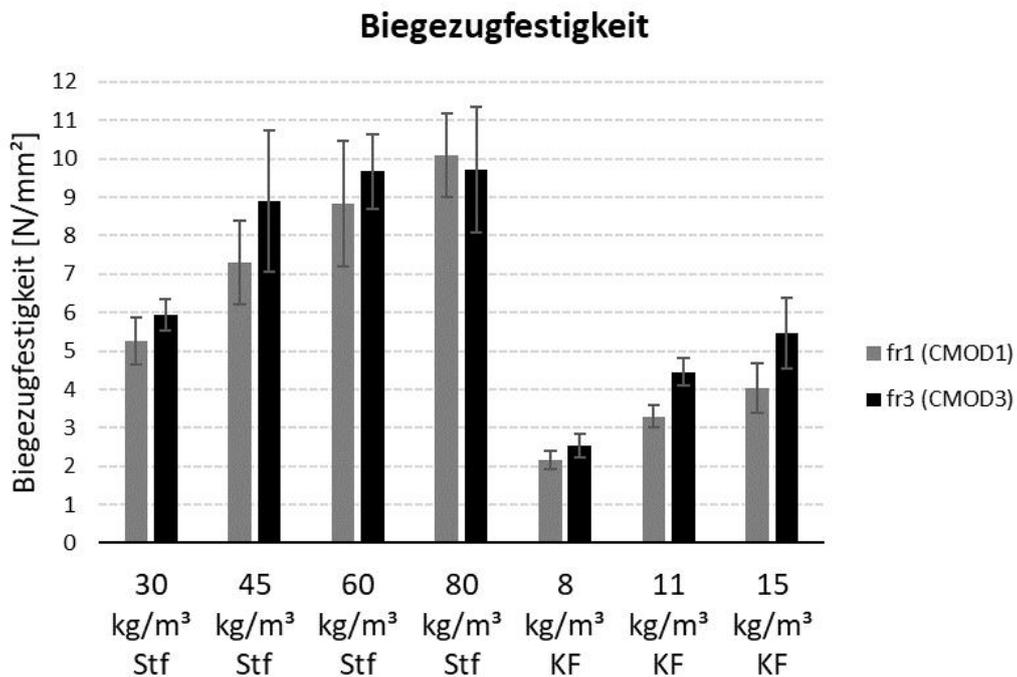


Abbildung 2.3.3: Mittelwerte der residuellen Biegezugfestigkeiten mit Standardabweichung bei δ_{r1} (CMOD1) und δ_{r3} (CMOD3)

Zusammenfassung

Bei den **Frischbetoneigenschaften** zeigt sich, dass der Fasergehalt insbesondere die Fließfähigkeit des Frischbetons beeinflusst. Mit zunehmendem Faseranteil nimmt die Fließfähigkeit ab, was vor allem bei Kunststofffasern deutlich wird. Bei Stahlfasern kann dieser Effekt durch eine angepasste Grundrezeptur (GR2) gemildert werden, während dies bei Kunststofffasern schwieriger zu erreichen ist. Zudem wurde keine eindeutige Korrelation zwischen dem Fasergehalt und dem Luftporengehalt festgestellt, jedoch zeigten sich Unterschiede zwischen den verschiedenen Grundrezepturen.

Hinsichtlich der **Festbetoneigenschaften** hat der Fasergehalt nur einen geringen Einfluss auf die Druckfestigkeit des Betons. Sowohl Stahl- als auch Kunststofffasern führen zu ähnlichen Druckfestigkeitswerten. Ein wesentlicher Unterschied zeigt sich jedoch in der Biegezugfestigkeit nach dem Erstriss, die bei Kunststofffasern stärker abnimmt als bei Stahlfasern. Generell führt eine höhere Faserdosierung zu einer Zunahme der Biegezugfestigkeit, allerdings nicht proportional, da Wechselwirkungen zwischen den Fasern zu unerwünschten Effekten, wie der Bildung von Faseragglomeraten, führen können. Dabei erzielen Stahlfasern eine höhere Biegezugfestigkeit als Kunststofffasern.

Ein weiterer wichtiger Aspekt betrifft das **Kriechverhalten** von gerissenem Beton. Hier zeigt sich, dass Kunststofffasern im Vergleich zu Stahlfasern ein stärker ausgeprägtes Kriechverhalten aufweisen, was die Dauerhaftigkeit des Betons beeinträchtigen kann. Obwohl Kunststofffasern Vorteile in Bezug auf chemische Beständigkeit und Brandverhalten bieten, zeigen Stahlfasern in mechanischer Hinsicht meist bessere Eigenschaften, insbesondere bei der Erhöhung der Duktilität und Verbesserung des Nachrissverhaltens. Insgesamt tragen Fasern erheblich zur Verbesserung der mechanischen Eigenschaften von Beton bei, insbesondere hinsichtlich der Duktilität und der Festigkeit nach dem Erstriss.

Die Untersuchung der **elektrischen Leitfähigkeit** von Faserbeton, insbesondere von Stahlfaserbeton, ergab wichtige Erkenntnisse zum Einfluss des Fasergehalts und des Sättigungsgrades. Bei einem zunehmenden Fasergehalt erhöht sich die Leitfähigkeit des Betons, wobei die sogenannte Perkolationsgrenze eine entscheidende Rolle spielt. Diese Grenze markiert den Punkt, an dem sich ein durchleitendes Faserstrangnetzwerk im Beton ausbildet und eine deutliche Zunahme der Leitfähigkeit bewirkt. In den Versuchen wurde die Perkolationsgrenze experimentell bei einem Fasergehalt von etwa 125 kg/m^3 ermittelt, während theoretische Modelle diesen Wert niedriger prognostiziert hatten. Vor Erreichen dieser Grenze bleibt die Leitfähigkeit relativ niedrig und nimmt mit steigender Faserzugabe gleichmäßig zu. An der Perkolationsgrenze steigt die elektrische Leitfähigkeit jedoch exponentiell an, was auf die durchgehende Faserverbindung im Beton zurückzuführen ist. Ein weiterer wichtiger Einflussfaktor ist der Sättigungsgrad des Betons, da die elektrische Leitfähigkeit mit zunehmender Feuchtigkeit stark zunimmt. Bei vollgesättigtem Beton kann eine nahezu 10-fach höhere Leitfähigkeit erreicht werden, verglichen mit trockenen Proben. Zusammenfassend wurde festgestellt, dass die elektrische Leitfähigkeit stark von der Faseranzahl, dem Fasergehalt und der Feuchtigkeit des Betons abhängt. Bei der Verwendung von Stahlfaserbeton kann das Risiko einer Streustromkorrosion als gering eingestuft werden, da in realen Strukturen selten die extrem hohen Potentialunterschiede erreicht werden, die zur Korrosion führen würden.

Damit bieten faserverstärkte Betone eine vielversprechende Alternative zu konventionell bewehrtem Beton. Die Wahl des richtigen Fasertyps ist dabei entscheidend, um die gewünschten Eigenschaften im Frisch- und Festbeton zu erzielen.

Der Fertigstellungsgrad des Arbeitspakets 3 liegt bei 100 %.

2.4. Tübbinggroßversuche

Fertigstellungsgrad: 100%

Die geplanten Arbeitsschritte konnten erfolgreich umgesetzt werden.

Der Versuchsplan für die Tübbinggroßversuche wurde fristgerecht erstellt, und die Scheiteldruckversuche mit und ohne Einfluss der Normalkraft erfolgreich durchgeführt. Zusätzlich wurden zur Überprüfung von maßgebenden Belastungszuständen der Tübbinge Großversuche sowohl zur Tragfähigkeitsuntersuchung

der Längsfuge als auch zur Belastungsüberprüfung und Validierung der Materialparameter Versuche zur Einleitung der Pressenkräfte umgesetzt. Es gab keine wesentlichen Abweichungen oder Veränderungen, die eine Anpassung der Planung erforderlich gemacht hätten.

Abbildung 2.4.1 zeigt die Ergebnisse der Scheiteldruckversuche am Tübbingprüfstand und den daraus ersichtlichen Einfluss der Faserart, ob Stahl- oder Kunststofffaser, auf das Nachrisszugverhalten sowie den Einfluss der Einspannung bzw. Normalspannung im Tübbingquerschnitt.

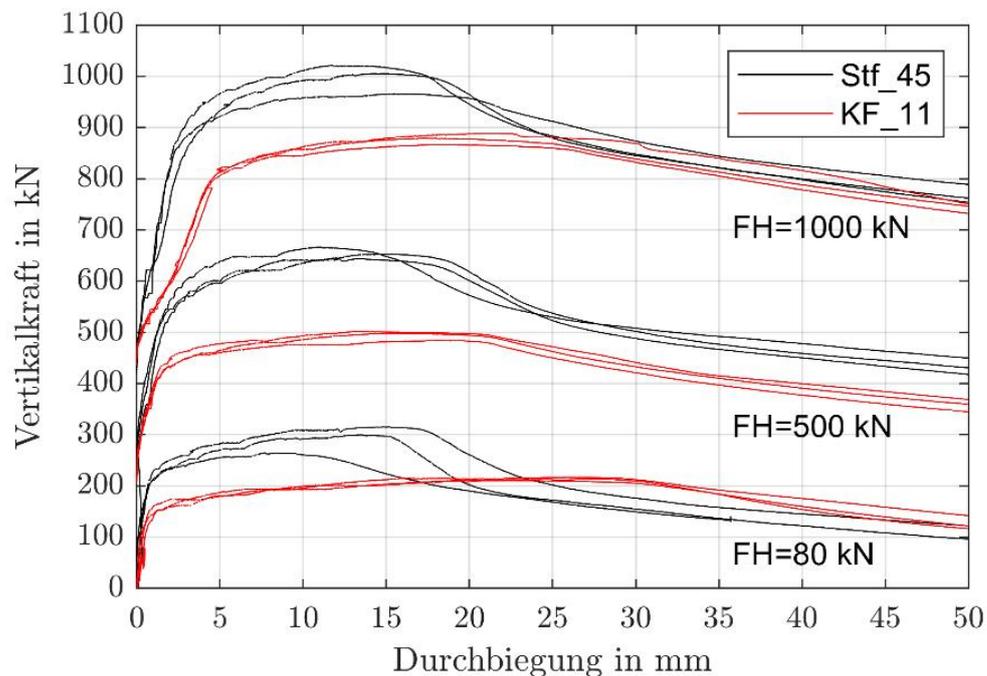


Abbildung 2.4.1: Versuchsergebnisse der Stahl- (schwarz) sowie Kunststofffaser- betontübbinge (rot) mit unterschiedlicher Lastkonfiguration

Für die Validierung der Materialparameter im Volumenmodell wurden Tübbingsegmente den hohen Pressenkräften an einer Vorrichtung der TU Graz geprüft und das Rissverhalten, wie in Abbildung 2.4.2 dargestellt, photogrammetrisch aufgenommen.

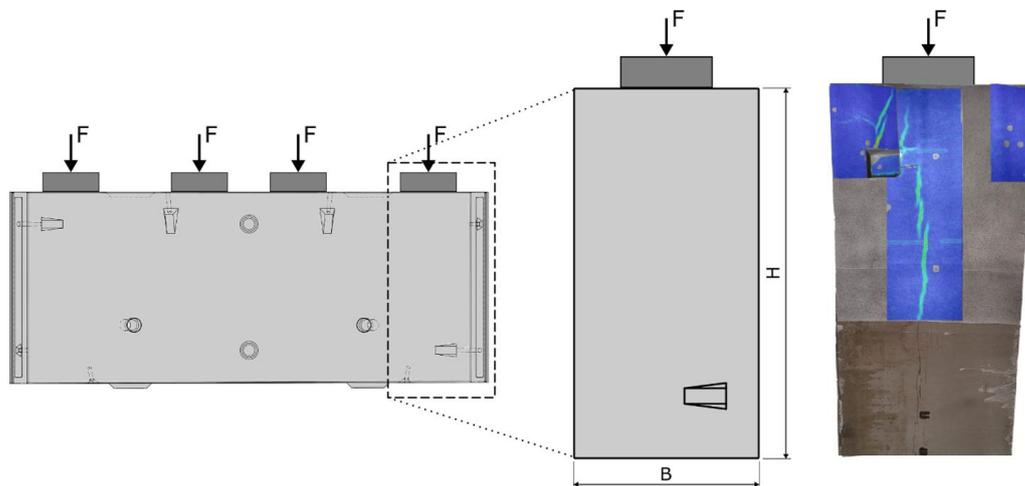


Abbildung 2.4.2: Versuchskörper und Rissverhalten der Pressenkräfteuntersuchungen

Die zeitintensive Auswertung, im Besonderen in Verbundenheit mit der Parameterstudie zur Erstellung analytischer Bemessungsregeln sowie zur Qualitätssicherung wurde in Abstimmung der wirtschaftlichen Projektpartner, zur Erhöhung der Relevanz in der Praxis, fertiggestellt.

Zusammenfassung:

Die Tübbinggroßversuche, zielten darauf ab, das Tragverhalten von faserbewehrten Tübbingungen unter verschiedenen Belastungsbedingungen zu untersuchen. Hierbei wurden sowohl Stahl- als auch Kunststofffasern als Bewehrungsmaterialien verwendet, um die Unterschiede im Verhalten dieser Fasertypen zu analysieren.

In den Versuchen wurden insgesamt 22 Tübbingungen mit unterschiedlichen Fasergehalten und Belastungskonfigurationen produziert. Dabei wurden drei Laststufen getestet: geringe Einspannung mit 80 kN, mittlere Einspannung mit 500 kN und hohe Einspannung mit 1000 kN. Für jede Faserart wurden verschiedene Konfigurationen untersucht, wobei auch spezielle Versuche an der Längsfuge durchgeführt wurden. Ziel dieser Versuche war es, die Reaktionen der Tübbingungen auf kombinierte Druck- und Biegebeanspruchung zu erfassen.

Die Ergebnisse der Versuche zeigten, dass die Stahlfasertübbingungen tendenziell eine höhere Tragfähigkeit aufweisen, jedoch auch ein steileres Risswachstum verzeichnen, sobald der Erstriss auftritt. Im Vergleich dazu konnten die Kunststofffasertübbingungen eine größere Verformung aufnehmen, bevor ein Versagen durch Rissbildung eintrat, was auf die höhere Duktilität der Kunststofffasern zurückzuführen ist. Interessanterweise konnten die Kunststofffasertübbingungen auch größere Rissbreiten erreichen, bevor es zu einem plötzlichen Risswachstum kam, was einen flacheren Kraftabfall und eine längere Tragfähigkeit zur Folge hatte.

Zusätzlich wurden kleinere, kosteneffizientere Versuche durchgeführt, um die Erkenntnisse der Tübbinggroßversuche zu validieren. Diese Versuche fanden an mittelgroßen Balken statt, die mit ähnlichen Faserarten und Geometrien wie die Tübbingungen hergestellt wurden. Mithilfe digitaler Bildkorrelation wurde der Rissfortschritt detailliert aufgezeichnet, um eine vergleichbare Analyse zu ermöglichen.

Zusammenfassend liefern die Tübbinggroßversuche wichtige Erkenntnisse zum Tragverhalten von faserbewehrten Tübbingungen. Die Wahl des Fasermaterials hat einen signifikanten Einfluss auf das Nachrissverhalten und die Verformungsfähigkeit des Betons, wobei Stahlfasern tendenziell höhere Tragfähigkeiten bieten und Kunststofffasern größere Verformungen und Duktilität ermöglichen.

Das Arbeitspaket 4 und 5 ist zu 100 % abgeschlossen.

2.5. Korrelation zwischen Probenkörpern und Tübbing

Fertigstellungsgrad: 100%

Die Arbeitsschritte konnten ohne wesentliche Abweichungen oder Veränderungen durchgeführt werden.

Die Ergebnisse der Korrelation der Laborversuche, mittelgroßen Biegebalken sowie Großversuche liegen vor. Detailuntersuchungen zur Bestimmung der jeweiligen Biegezugfestigkeiten bis hin zur Auszugsfestigkeit der einzelnen Stahl- bzw. Kunststofffasern konnten ergänzend Aufschluss über die Übereinstimmung von Korrelationsannahmen Aufschluss geben.

Beispielhaft ist die Korrelation der Nachrisszugspannungen zur Rissbreite der unterschiedlichen Faserbetonprobengrößen in Abbildung 2.5.1 dargestellt. Die hier verwendeten Betonkörper im Labormaßstab, die mittelgroßen Biegebalken sowie die Tübbinge aus Kunststofffaserbeton korrelieren sehr gut überein.

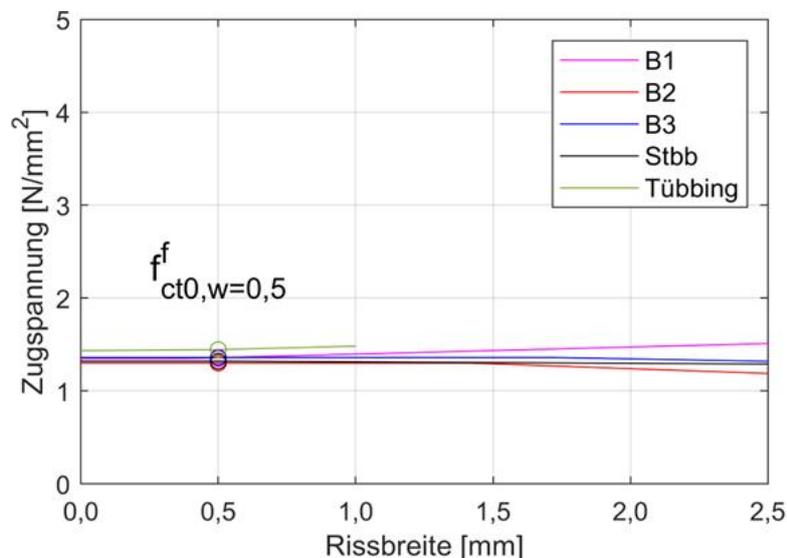


Abbildung 2.5.1: Mittelwerte der Zugspannungs-Rissöffnungs-Beziehungen der Standardbiegebalken Stbb, den mittelgroßen Balkentypen B1-B3 und Tübbing

Zusammenfassung:

Die Untersuchung der Korrelation zwischen Standardprobenkörpern und Tübbing zeigte, dass es bei Kunststofffasern eine relativ gute Übereinstimmung der mechanischen Eigenschaften, insbesondere der Nachrisszugfestigkeit, gibt. Die Ergebnisse von Standardprobenkörpern können hier gut auf die Tübbing übertragen werden.

Bei Stahlfasern hingegen wurden deutliche Unterschiede festgestellt. Die Hauptursache dafür liegt in der ungleichmäßigen Faserverteilung und -orientierung innerhalb der Tübbing. Besonders in den oberen und unteren Bereichen der Tübbing war die Faserverteilung weniger homogen, was zu einer größeren Streuung der Ergebnisse führte. Dies beeinflusste vor allem das Rissverhalten, sodass die Ergebnisse der Standardproben nicht direkt auf die Tübbing übertragbar waren.

Insgesamt zeigt sich, dass bei Stahlfaserbeton die Ergebnisse von Laborproben nur bedingt auf reale Bauteile wie Tübbing übertragbar sind, während bei Kunststofffasern eine bessere Übereinstimmung besteht. Die Faserverteilung und -orientierung spielen hierbei eine entscheidende Rolle.

Diese Arbeitspaket ist zu 100 % abgeschlossen.

2.6. Konzept zur Bemessung und Qualitätssicherung von Faserbetontübbingungen

Fertigstellungsgrad: 100%

Die Arbeitsschritte wurden ohne signifikante Änderungen oder Abweichungen erfolgreich umgesetzt.

Durch die Verlängerung der vorgesehenen Bearbeitungszeit von AP5 (Tübbinggroßversuche) konnten die vollständigen Versuchsserien vollständig in die Qualitätssicherung mitaufgenommen werden. Zusätzlich konnten aufgrund der umfangreichen Datenlage, welche von den Frisch- und Festbetoneigenschaften über die Laborversuche mit Betonbiegebalken, bis hin zu den unterschiedlichen Tübbingversuchen mit jeweiligen Belastungszuständen reichen, die entsprechend notwendigen Konzepte zur Bemessung und Qualitätssicherung von Faserbetontübbingungen erstellt werden.

Zusammenfassung:

Das Konzept zur **Bemessung und Qualitätssicherung von Faserbetontübbingungen** umfasst verschiedene Aspekte, die darauf abzielen, die sichere und effiziente Nutzung von faserbewehrtem Beton in Tübbingungen zu gewährleisten.

Bemessungskonzept: Für die Bemessung von Faserbetontübbingungen spielen die Nachrisszugfestigkeit und die Rissbreitenentwicklung eine zentrale Rolle. Es wird zwischen der Nachrisszugfestigkeit für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (SLS) und für den Grenzzustand der Tragfähigkeit (ULS) unterschieden. Die Festlegung der Materialeigenschaften erfolgt in der Regel durch Biegezugprüfungen (wie Drei- oder Vierpunktbiegeversuche), aus denen Spannungs-Verformungs-Diagramme erstellt werden. Diese Diagramme dienen als Grundlage für die Bemessung und die Bestimmung der Tragfähigkeitsreserven der Tübbingungen. Unterschiedliche Fasertypen (z. B. Stahl- und Kunststofffasern) führen zu verschiedenen Nachrissverhalten, die in der Bemessung berücksichtigt werden müssen.

Qualitätssicherung: Zur Sicherstellung der Qualität werden standardisierte Prüfverfahren eingesetzt, wie z. B. Biegezugversuche an Probekörpern. Diese Verfahren helfen dabei, die Materialeigenschaften des Faserbetons, wie die Faserverteilung und Faserorientierung, sowie die Frisch- und Festbetoneigenschaften zu überwachen. Es ist wichtig, eine gleichmäßige Verteilung der Fasern im Beton sicherzustellen, um optimale mechanische Eigenschaften zu gewährleisten. Eine ungleichmäßige Verteilung könnte die Tragfähigkeit und das Rissverhalten der Tübbingungen negativ beeinflussen.

Darüber hinaus werden in der Qualitätssicherung auch Verfahren zur Überwachung des Mischvorgangs und der Herstellung der Tübbingungen entwickelt, um eine konsistente Betonqualität zu gewährleisten. Hierzu gehört auch die Überprüfung der Fasersedimentation und die Festlegung geeigneter Toleranzgrenzen für die Abweichungen bei der Faserverteilung.

Insgesamt zielt das Konzept darauf ab, sowohl durch Prüfverfahren als auch durch gezielte Produktionskontrollen die Langlebigkeit und Sicherheit von Faserbetontübbingungen sicherzustellen.

Der Fertigstellungsgrad dieses Arbeitspakets liegt bei 100 %.

3. Erläuterung von wesentlichen Änderungen bei den Kosten

Keine wesentlichen Änderungen an der Kostenstruktur eingetroffen. Die Projektverlängerung wurde kostenneutral angenommen.

4. Beitrag der Projektergebnisse zur Nachhaltigkeit

Die Projektergebnisse tragen entscheidend zu einer nachhaltigen Entwicklung bei, indem sie die Anwendung von Faserbeton durch eine Datenbasis und damit Grundlage zur Aufnahme von Faserbeton in Richtlinien für Tübbingungen ermöglicht. Faserbeton bietet sowohl ökologische als auch wirtschaftliche Vorteile, da durch dessen Einsatz der Bedarf an herkömmlichem Stahl in Betonbauten reduziert werden kann, was zu einer

signifikanten Verringerung der CO₂-Emissionen führt. Zudem entfallen kostenintensive Fertigungsschritte, welche zusätzliche Ressourcen schonen können.

Faserbeton wird in der Bauindustrie bereits heute als nachhaltigere Alternative zum Stabstahlbeton eingesetzt. In den kommenden fünf Jahren nach Projektabschluss sollen diese maßgeblichen Nachhaltigkeitseffekte auch im Tunnelbau sichtbar eingesetzt werden. Im speziellen Fall von Tübbingen werden mit Faserbeton eine Reduktion von CO₂-Emissionen um etwa 10 % erwartet [1]. Ausschlaggebend ist zusätzlich die erwartete höhere Lebensdauer von Faserbetonbauwerken, wodurch der Bedarf an Neubauten und damit verbundenen Ressourcenaufwendungen weiter reduziert wird. Diese liegt im Tunnelbau mit 100 bis 150 Jahren besonders hoch und erreicht daher beispielsweise in einer Prognose eine über die gesamte Lebensdauer betrachtet 300 % umweltfreundlichere Bewertung [2].

Das Projekt trägt durch CO₂-Reduktion und effizienteren Materialeinsatz maßgeblich zur Abschwächung des Klimawandels bei und fördert die Anpassung an dessen Auswirkungen, indem widerstandsfähigere Bauwerke entstehen.

Quellen

- 1 M. Kühbacher, 2024, Faserbeton im Tunnelbau, Dissertation, Leoben: Montanuniversität Leoben.: 1
- 2 S. Wallis, 2022, A leap forward for SFRC segmental linings in France, TunnelTECH: TunnelTalk - Direct by Design: 2