

Concrete 3D Printed Reinforced Objects

1. Zielerreichung und Projektstatus	1
2. Durchgeführte Arbeiten im Berichtszeitraum	2
2.1. Projektleitung	2
2.2. Wissenschaftliche Leitung	3
2.3. Berechnung und Bemessung von ressourceneffizienten, biegebeanspruchten additiv gefertigten Bauteilen	4
2.4. Bewehrungsführung bei additiv gefertigten Bauteilen und Integration im Herstellungsprozess	6
2.5. Digitale Planung und Fertigung von stabförmigen Tragelementen	8
2.6. Bewertung der Funktionalität durch Bauteilversuche	9
2.7. Nachhaltigkeitsanalyse: Vergleichsdarstellungen zu konventionellen Bauweisen	10
3. Erläuterung von wesentlichen Änderungen bei den Kosten	11
4. Beitrag der Projektergebnisse zur Nachhaltigkeit	11

1. Zielerreichung und Projektstatus

Wurden die Ziele erreicht?

Erklärtes Hauptziel des Forschungsprojektes ist es, die Grundlagen für eine breite Anwendung von additiv gefertigten bewehrten biegebeanspruchten Betonbauteilen in der österreichischen Bauindustrie zu legen, und die entsprechenden Grundlagen der gesamten heimischen Branche zugänglich zu machen. Um dieses ehrgeizige Ziel zu erreichen, wird das vorhandene interdisziplinäre Know-How des Konsortiums genutzt und gezielte Entwicklungsschwerpunkte im Bereich der Automatisierung gesetzt:

- Z1: Anwendungspotentiale für die automatisierte Herstellung von Teilfertigteilen für die österreichische Baubranche identifizieren.

-> *siehe Ergebnisse AP1*

- Kontakt/Austausch mit Branche (Kickoff & halbjährlich) – fortlaufend

- Z2: Grundlagen zur Berechnung und Bemessung des Tragverhaltens von additiv gefertigten, ressourceneffizienten biegebeanspruchten Bauteilen schaffen.

-> *siehe Ergebnisse AP3, AP4 fortlaufende Bearbeitung*

1. Entwicklung klinkerarme Druckmörtelmischung mit Standardzementen

Es wurde ein Druckmörtelmischung (GK2) mit Standardzementen entwickelt und umfassend charakterisiert:

- - Materialprüfung Druck (einachsig; Würfel, Zylinder) – erfüllt
 - Materialprüfung Zug (Spaltzug, Biegezug) – erfüllt
 - Einflusses der Druckstrangorientierung – fast erfüllt

Aus diesen Untersuchungen ergab sich offene Fragestellungen zu (a) einem einheitlichen Prüfprogramm für Druckmörtel (b) hinsichtlich der Reproduzierbarkeit in unterschiedlichen Laboren und (c) der Bedeutung der Poren auf die Festigkeit, welche im nächsten Forschungsjahr bearbeitet wird:

- - Reproduzierbarkeit in unterschiedlichen Laboren – begonnen
 - Auswertung und Analyse von Porengehalten auf die Festigkeit – fortgeschritten
 - Materialprüfung E-Modul- offen

1. Bauverfahren

Für das automatisiertes Bauverfahren wurde ein vielversprechendes Konzept hinsichtlich Baurichtung, Lagenorientierung, Segmentierung für (teil)vorgefertigte, stabförmige Tragelemente gefunden. Die Grundlagen für die Ermittlung der übertragbaren Kräfte in einer Fuge zwischen Druck- und Ortbeton wurden gewonnen und werden im kommenden Jahr optimiert. Ebenso wurde eine materialoptimierte, aufgelöste Struktur algorithmisch ermittelt (Fachwerk) und bereits in einem Belastungsversuch getestet.

- - Ortbetonergänzung – fortgeschritten
 - Optimierung der Struktur in Längsrichtung - begonnen
- Z3: Identifikation automatisierter Bewehrungsstrategien und zugehörigen Fertigungsketten für materialoptimierte, additiv hergestellte, stabförmige Tragelementen.
-> *Ergebnisse AP3, AP4, fortlaufende Bearbeitung*

1. Bewehrungsstrategie

Es wurde ein Konzept einer liegenden Produktion gewählt, welche sowohl mit konventioneller Stahlbewehrung als auch FVK-Bewehrung für 1.44 m lange Balken realisiert wurde und in Bauteiltests bestätigt wurde.

- - Liegende Produktion (Stahlbewehrung, FVK-Bewehrung) – erfüllt
 - Verbundwirkung – größtenteils erfüllt

Die Übertragung der Bewehrungsstrategie von vollwandigen Strukturen auf aufgelöste Fachwerke konnte durch eine automatisierte Herstellung gezeigt werden, jedoch zeigten Versuche, dass die erwartete Tragfähigkeit nicht erreicht wurde. Deshalb wird die Verankerung von Bewehrungsstäben und die Knoten Tragfähigkeit weiter untersucht. Außerdem wird die Skalierung der Strategie auf einen größeren Maßstab (zwei bis dreifach) verfolgt.

- - Materialprüfung zweiachsig (Knoten) - offen
 - Modell und Einfluss von Layerzeiten auf den Verbund der Stäbe – offen
 - Skalierung Bauteilmaßstab – offen

Am Ende soll ein valider Formelapparat für das Bauteil vorhanden sein

- - Bemessungsformelapparat für bewehrtes beigebeanspruchtes Bauteil vollwandig – begonnen
 - Bemessungsformelapparat für bewehrtes beigebeanspruchtes Bauteil – offen
 - Analyse der Eignung von FE-Programmen
- Z4: Ableiten von Standards zu digitalen Frameworks für statisch-konstruktive Bauteile, in dem Produktionsprozesse und die statische Berechnung integraler Bestandteil sind. -> *Schwerpunkt Forschungsjahr 2, AP5*
 - Framework - begonnen
- Z5: Grundlagen zur ökologischen Bewertung von additiv gefertigten Bauteilen schaffen. -> *Schwerpunkt Forschungsjahr 3, AP7*
 - Sammlung Grundlagen – größtenteils erfüllt

Sind diese Ziele noch aktuell bzw. realistisch?

Die Ergebnisse sind aktuell und aufgrund der ausstehenden Projektdauer von 24 Monaten realistisch.

2. Durchgeführte Arbeiten im Berichtszeitraum

2.1. Projektleitung

Fertigstellungsgrad: 100%

Beschreibung laut Projektplan

Koordination aller am Projekt beteiligten Partner (Wirtschaft und Wissenschaft)

- Vertretung gegenüber der FFG
- Terminliche und kaufmännische Projektkoordination
- Organisation Projektmeetings
- Koordination der Kommunikation zwischen den ProjektpartnerInnen
- Partnerkommunikation (Wirtschaft und Wissenschaft)
- Vertrags- und Kostenmanagement

Fertigstellungsgrad:

- 33% (bezogen auf Gesamtlaufzeit)
- 100% (bezogen auf Forschungsjahr)

2.2. Wissenschaftliche Leitung

Fertigstellungsgrad: 100%

Beschreibung laut Projektplan

- Terminliche und fachliche Koordination der wissenschaftlichen PartnerInnen.
- Transparentes Monitoring des Arbeitsfortschritts für alle ProjektpartnerInnen, den Branchenunternehmen und dem FördergeberInnen.
- Innerhalb der wissenschaftlichen ProjektpartnerInnen eine gemeinsame Bearbeitung der fachlichen Aufgaben, Termin-, Aufgaben- und Datenkoordination ermöglichen.
- Fortlaufende Koordination mit kaufmännischer Projektleitung (ÖBV) und zwischen ForschungspartnerInnen.

Ergebnisse laut Projektplan erreicht?

- 2.1 Zwischenbericht -> abgeschlossen

AP 2.1. Terminliche und fachliche wissenschaftliche Projektkoordination

Durchgeführte Arbeitsschritte:

- Wissenschaftliches Review der Methodik und der Ergebnisse in Jour-fixe und Einzelterminen
- Aufgaben- und Terminkoordination zwischen den Partner*innen in Jour-fixe
- Fortlaufende Koordination mit Branchenvertretung (ÖBV)
- Koordination Inkindleistungen mit Branchenpartner*innen
- Erstellung Foliensätze für halbjährliche Projektmeetings mit Branche

Abweichungen:

- keine

Fertigstellungsgrad:

- 33% (bezogen auf Gesamtlaufzeit)
- 100% (bezogen auf Forschungsjahr)

AP 2.2 Organisation Projektmeetings

Durchgeführte Arbeitsschritte:

- Organisation interner Kick-off (15.09.2025)
- Organisation Jour-fixe (2025: 13.10.;10.11.;19.12.; 2026: 09.02; 09.03; 13.04.; 11.05.; 08.06.; 13.07.; 12.08.); wechselweise Ort (Online, TU Wien, Hochschule Campus Wien mit Hybridmöglichkeit)
- Abstimmungsmeeting Berichtslegung 01.09.2026

- Foliensätze (als Protokoll)

Abweichungen:

- keine

Fertigstellungsgrad:

- 33% (bezogen auf Gesamtlaufzeit)
- 100% (bezogen auf Forschungsjahr)

AP 2.3 Datenmanagement

Durchgeführte Arbeitsschritte:

- Aufsetzen einer institutionsübergreifenden One-Drive Plattform mit Ordnerstruktur laut Arbeitspaketen
- Aufsetzen eines Teams „C3PRO“ mit als Kommunikationskanal in Microsoft Teams
- Komplettierung fehlender Daten zu Jahresende

Abweichungen:

- keine

Fertigstellungsgrad:

- 33% (bezogen auf Gesamtlaufzeit)
- 100% (bezogen auf Forschungsjahr)

AP 2.4 Berichtslegung

Durchgeführte Arbeitsschritte:

- Berichtslegung 1.Zwischenbericht

Abweichungen:

- keine

Fertigstellungsgrad:

- 33% (bezogen auf Gesamtlaufzeit)
- 100% (bezogen auf Forschungsjahr)

2.3. Berechnung und Bemessung von ressourceneffizienten, biegebeanspruchten additiv gefertigten Bauteilen

Fertigstellungsgrad: 100%

Beschreibung

Es wird ein automatisiertes Bauverfahren (Baurichtung, Lagenorientierung, Segmentierung) für (teil)vorgefertigte, stabförmige Tragelemente exemplarisch entwickelt. Im Zuge dessen erfolgt die Entwicklung von 3D Druckbetonrezepturen inklusive der Senkung des Klinkergehalts über die Integration von alternativen Zementsorten und Bindemittelzusammensetzungen, sowie einer Erhöhung des Größtkorns. Außerdem werden die Grundlagen zur Berechnung des Tragverhaltens von additiv gefertigten, biegebeanspruchten Bauteilen mit 3D-Druckbetonen geschaffen. Praxisorientierte Optimierungsschritte zur Querschnittsgestaltung und Bewehrungsverlegung, Leitungsführung sowie Handhabung und Einbaubarkeit.

Ergebnisse laut Projektplan erreicht?

- 3.1 Druckbetonmischung -> erreicht
- 3.2 Bauverfahren -> 2.Forschungsjahr (planmäßig)

AP 3.1. Druckbeton und Materialcharakterisierung

Durchgeführte Arbeitsschritte:

Grundlegende Tätigkeitsbereiche lagen in der Weiterentwicklung der Druckrezeptur hinsichtlich des Einsatzes von alternativen Zementsorten mit geringeren Klinkeranteilen (CEM II B -> CEM II C) inkl. der Beobachtung und Dokumentation der veränderten Frischbeton- bzw. rheologischen Eigenschaften des Druckmaterials (Pocket Penetration Test, Shear Vane Test, Mörtelausbreitversuch), sowie die Feststellung des möglichen Verarbeitungszeitrahmens. Zur Beurteilung der Druck- und Baubarkeit wurden verschiedene Benchmark-Geometrien hergestellt und die Veränderungen hinsichtlich der Materialförderung dokumentiert (bspw. Veränderung der Druckflussmenge und des Extrusionsdrucks über die Zeit). Zur Beurteilung der Festigkeitseigenschaften wurden in Probenformen geschalte, sowie aus gedruckten Querschnitten gewonnene Proben zur Festigkeitsbestimmung gewonnen. Unterschiedliche Probenlagerungen und Nachbehandlungsmethoden konnten anhand der zu einem späteren Zeitpunkt geprüften Materialfestigkeiten auf ihre Eignung untersucht werden.

Zur Festbetoncharakterisierung sind verschiedene Druckrezepturen herangezogen und anhand ihrer Festigkeitswerte (Druck-, Spaltzug- und Biegezugfestigkeit) verglichen worden. Zusätzlich ist ein möglicher Einfluss der Probengeometrie /-Maße anhand skalierten Prüfkörperformen für Druckmaterialien mit einem Größtkorn von max. 2 mm untersucht worden. Die Einflüsse des Druckprozesses auf das Materialverhalten sind im Speziellen durch die Variation der Druckpfadabstände (Druckeinstellungen) und die wechselnde Drucklagenorientierung über die Prüfkörperhöhe untersucht worden. Die Untersuchungen bestätigen im Allgemeinen den Zusammenhang zwischen der Materialorthotropie und den gewählten Druckeinstellungen.

Sonderprüfungen sind im Sinne von Porositätsuntersuchungen an 3 relevanten Drucksettings durchgeführt worden. Besonderes Augenmerk wurde auf die Eignung von nicht-zerstörerischen Prüfungen durch den Einsatz von CT-Geräten gesetzt, um direkte Einflüsse von Interfilamenthohlräumen auf die Materialeigenschaften feststellen zu können.

Abweichungen:

- Die beschriebenen AP-Bearbeitungsschritte stimmen mit den geplanten Projektaktivitäten überein. Es sind keine wesentlichen Abweichungen zu vermerken.

Fertigstellungsgrad:

- 90% (Bezogen auf Gesamtprojekt)

AP 3.2. Materialmodell und Berechnung

Durchgeführte Arbeitsschritte:

Erste vereinfachte Anpassungen von Normalbetonmodellen sind auf Basis der vorhandenen Erkenntnisse durchgeführt worden. Die in 3.1 gewonnenen Festigkeitswerte wurden zur Definition (exkl. der noch nicht bekannten Materialparameter, bspw. E-Modul) eines Materialmodells zur Abbildung des geschichteten Aufbaus von gedruckten Betonquerschnitten herangezogen.

Vorhandene und neu gewonnene Messdaten aus Bauteilprüfungen sind mit drei Programmen zur nicht-linearen FE-Berechnung und den richtungsabhängigen Materialkennwerten simuliert und auf Übereinstimmung geprüft worden (ATENA, RFEM, Stab2dNL). Bedingt durch die unterschiedlichen Anwendungsgebiete und Auslegungen der Softwareprogramme ergeben unterschiedliche Eignungen bezogen auf die geplanten Nachrechnungen. Erste vertiefende Studien mit fachwerksartigen, 3D-gedruckten Strukturen sind mit ATENA fortgeführt worden.

Die Nachrechnungsmodelle werden begleitend zu den Bauteilprüfungen erstellt und stehen damit in direkter Abhängigkeit zueinander. Weitere Kalibrierungen werden im Zuge der Fortschritte im AP 4 (4.2) durchgeführt.

Abweichungen:

- keine

Fertigstellungsgrad:

- 10% (Bezogen auf Gesamtprojekt)

AP 3.3. Optimierungsalgorithmen

Durchgeführte Arbeitsschritte:

Im ersten Forschungsjahr wurde eine Nullserie im Sinne eines Proof of Concept zur Untersuchung der Formoptimierung in Längsrichtung umgesetzt. Im Rahmen der Konzeptentwicklung wurden zwei unterschiedliche Optimierungsalgorithmen hinsichtlich ihrer Eignung für die vorliegende Aufgabenstellung untersucht. Diese unterscheiden sich insbesondere hinsichtlich der resultierenden Strukturgeometrie, wobei ein Ansatz organisch geformte Tragstrukturen generiert, während der andere auf geradlinige, fachwerkartige Strukturen abzielt. Auf Basis des ausgewählten Plug-ins Peregrine für Rhino innerhalb der Grasshopper-Umgebung wurden anschließend drei optimierte Tragstrukturen generiert. Zwei der untersuchten Träger basieren auf einer identischen Fachwerksgeometrie, unterscheiden sich jedoch hinsichtlich der Bewehrungsführung. Diese wurden für eine effiziente Bewehrungsvorbereitung sowie für die automatisierte Bewehrungseinbringung optimiert. Der dritte Träger weist ein alternatives Tragkonzept in Form eines unterspannten Trägers auf. Die untersuchte Serie greift zudem auf die in AP 4.1 gefertigten Vollquerschnittsträger zurück, die als Referenzvarianten für die Untersuchung und Bewertung des Tragverhaltens herangezogen werden.

In der ersten Serie wurden bauphysikalische Aspekte, wie das Schwingungsverhalten, Schallschutz und Brandschutz, noch nicht berücksichtigt. Diese werden im zweiten Forschungsjahr in die Untersuchungen integriert. Darüber hinaus wird die Optimierung auf die Querschnittsebene ausgeweitet.

Abweichungen:

- keine

Fertigstellungsgrad:

- 30% abgeschlossen (Bezogen auf Gesamtprojekt)

AP 3.4. Bauverfahren und Ortbetonergänzung

Durchgeführte Arbeitsschritte:

Prüfkörperserien zur Beurteilung des Verbunds zwischen Druckbetonbauteil und Ortbetonergänzung sind in verschiedenen Varianten hinsichtlich der Betongeometrie und des Bewehrungslayouts hergestellt und statisch geprüft worden. Dabei wurde das Hauptaugenmerk einerseits auf die mögliche Schubkraftübertragung der jeweiligen Verbindungsvariante gelegt, andererseits das zugehörige Versagensverhalten dokumentiert. Ziel ist es eine im Versagensfall möglichst duktile Verbindung zu schaffen und somit ein Sprödversagen der geplanten zusammengesetzten Bauteile zu vermeiden. Weitere Entwicklungsschritte sind speziell hinsichtlich der Duktilität erforderlich. Versuche im Bauteilmaßstab sind noch ausständig, die bisherig gewonnen Ergebnisse basieren auf kleinmaßstäblichen Prüfkörpern.

Abweichungen:

- keine

Fertigstellungsgrad:

- 40% (Bezogen auf Gesamtprojekt)

2.4. Bewehrungsführung bei additiv gefertigten Bauteilen und Integration im Herstellungsprozess

Fertigstellungsgrad: 100%

Beschreibung

Das Ziel ist die Findung zumindest einer automatisierten Bewehrungsstrategie für materialoptimierte, additiv hergestellte, stabförmige Tragelemente und die entsprechende Konzeption einer Prozesskette in einer automatisierten Robotik-Anlage für die Integration von Bewehrung im 3D-Betondruck. Dazu müssen Grundlagen zur Berechnung der Verbundwirkung geschaffen werden.

Ergebnisse laut Projektplan:

- 4.1 Bewehrungsstrategie
Bewehrungsstrategie für Bauteile aus AP3 für die Produktion in AP5 festgelegt und Verbundverhalten für Bewehrungsstrategie charakterisiert. -> erledigt

AP 4.1: Automatisierte Bewehrungsintegration

Durchgeführte Arbeitsschritte:

Es wurden verschiedene Bewehrungsansätze in ihren Eigenschaften wie Geometrie und Material hinsichtlich ihrer Eignung zur automatisierten Einbringung für stabförmige Tragelemente analysiert.

Insgesamt wurden in dem Berichtszeitraum vier Serien, bestehend aus 20 stabförmige Balken (Länge: 1440 mm, Breite: 80 mm, Höhe: 216-240 mm), produziert, wovon sieben Biegeträger mit manueller- und acht Biegeträger mit automatisierter Bewehrungsintegration erstellt wurden (Tab. 1). Die restlichen fünf Balken wurden zur Validierung der Materialeigenschaften (AP 3.1) sowie zur Bestimmung des Verbundverhaltens (AP 4.3) herangezogen.

Zwölf dieser Biegeträger wurden vollflächig gedruckt mit lageweiser eingebrachter Bewehrung, welche bei neun Balken aus metallischer Bewehrung mit Durchmesser 4.2 mm und bei drei Balken aus nichtmetallischer Basaltbewehrung mit 9600 tex bestand.

Drei Biegeträger wurden als aufgelöste Strukturen (Fachwerke) mit metallischer Bewehrung mit Durchmesser 6.0 mm produziert, wovon einer mit manueller- und zwei mit automatisierter Bewehrungsintegration gefertigt wurden.

Tabelle : Übersicht produzierter Bauteile

Serie	Balkentyp	Material Bewehrung	Integration	Balken f. Biegeversuche (Stk.)	Balken f. Material u. Verbund (Stk.)
1	Vollflächig	Metallisch Ø4.2 mm	Manuell	6	2
2	Vollflächig	Metallisch Ø4.2 mm	Automatisiert	3	1
3	Vollflächig	Nichtmetallisch 9600 tex	Automatisiert	3	1
4	Aufgelöst	Metallisch Ø6.0 mm	Manuell	1	1
Automatisiert	2	0			
				Σ 15	Σ 5

Abweichungen:

- Die oben angeführten, absolvierten Arbeitsschritte stimmen mit den im Projektplan definierten Zielsetzungen für das erste Forschungsjahr überein. Es sind keine Abweichungen zu verzeichnen.

Fertigstellungsgrad:

- 60% (Bezogen auf Gesamtprojekt)

AP 4.2: Bewehrungslösung für Knoten

Durchgeführte Arbeitsschritte:

Es wurden drei Biegebalken (AP 4.4, Serie 4) mit topologieoptimiert aufgelöster Tragstruktur (AP 3.3) hergestellt und getestet. Konzept und Versuchsplanung für Detailuntersuchung der Knoten ist abgeschlossen.

Abweichungen:

- Dezidierte Versuche zur Ermittlung der (End-) Verankerungsmöglichkeiten für Bewehrungselemente für unterschiedliche Druckrichtungen haben bisher nicht stattgefunden. Diese werden in das zweite Forschungsjahr verschoben.

Fertigstellungsgrad:

- 5% (Bezogen auf Gesamtprojekt)

AP 4.3: Tragverhalten von Bewehrungselementen in 3D-Druckbeton

Durchgeführte Arbeitsschritte:

Das Verbundverhalten zwischen den in AP 4.1 angeführten Bewehrungselementen und dem 3D-gedruckten Beton wurde für unterschiedliche Druckrichtungen anhand von Ausziehversuch ermittelt. Insgesamt wurden 20 Versuche für die metallische Bewehrung mit Durchmesser 4.2 mm, vier Versuche für jene mit Durchmesser 6.0 mm sowie 30 Versuche für die nichtmetallische Basaltbewehrung durchgeführt.

Ausständig bleibt die Auswertung und Ableitung von Modellen zur Bemessung, welche für die kommenden Forschungsjahre angesetzt wird.

Abweichungen:

- keine

Fertigstellungsgrad:

- 50% (Bezogen auf Gesamtprojekt)

AP 4.4: Entwicklung von Roboterwerkzeugen

Durchgeführte Arbeitsschritte:

Im Zuge der Produktion aus AP 4.1 mit automatisierter Bewehrungsintegration wurden zwei Werkzeug-Prototypen in Eigenentwicklung hergestellt und deren Funktion bestätigt. Die Werkzeuge fungieren hierbei als Endelement am Arm eines Industrieroboters.

Für die metallische Bewehrung basiert das entwickelte Werkzeug auf industriellen pneumatisch aktivierbaren Magneten, für die nichtmetallische Bewehrung auf selbstentwickelten FDM-gedruckten Greifern mit Servomotoren.

Das Konzept einer Prozesskette in einer automatisierten Robotik-Anlage für die Integration während des 3D-Betondruckes wurde erfolgreich demonstriert. Eine Überarbeitung der Werkzeug-Prototypen mit Erweiterung der Funktionen sowie Verstärkung der Robustheit durch Fertigung der Bestandteile aus gefrästem Metall wird für die folgenden Forschungsjahre ausgelegt.

Abweichungen:

- keine

Fertigstellungsgrad:

- 70% (Bezogen auf Gesamtprojekt)

2.5. Digitale Planung und Fertigung von stabförmigen Tragelementen

Fertigstellungsgrad: 100%

Beschreibung

Es wird ein einheitlicher digitaler Framework entwickelt, in dem Produktionsprozesse (AP3, AP4) und die statische Berechnung und Optimierung (AP3, AP4) integriert werden und somit die Grundlagen für ein adaptives oder generatives Design geschaffen wird. Es werden Schnittstellen geschaffen, welche die gegenseitigen Informationen von Bemessung und Produktion ermöglichen. Der Funktionsnachweis des Workflows für eine Herstellmethode für materialoptimierte, 3D-gedruckte, stabförmige Bauteile mit automatisierter Bewehrungseinbringung wird im Größenmaßstab 1:1 erbracht.

Ergebnisse laut Projektplan erreicht?

- 5.1. Einheitlicher Framework -> überwiegend 2.Forschungsjahr (planmäßig)

AP 5.1. "File-to-Factory"-Prozess

Durchgeführte Arbeitsschritte:

Die Prozesskette einschließlich ihrer Anwendungsgrenzen sowie der zugrunde liegenden Parameter wurden festgelegt. Grasshopper dient als zentrale Plattform und verknüpft a) Optimierung, b) Druckpfadgenerierung, (c) Bemessung, (d) Steuerung Bewehrungsintegration.

Abweichungen:

- Die Bearbeitung der AP-Inhalte wird auf das zweite Forschungsjahr verschoben. Unter anderem sind wesentliche Eingangsgrößen durch die bisher durchgeführten Versuchsserien noch nicht ausreichend bekannt.

Fertigstellungsgrad:

5% (Bezogen auf Gesamtprojekt)

2.6. Bewertung der Funktionalität durch Bauteilversuche

Fertigstellungsgrad: 100%

Beschreibung

Das Ziel ist die Bewertung der Funktionalität (Praxistauglichkeit, Tragfähigkeit, Gebrauchstauglichkeit, Dauerhaftigkeit) von materialoptimierten, stabförmigen Tragelementen und bildet die Grundlage einer iterativen Anpassung der Planungs- und Fertigungskette (AP5).

Ergebnisse laut Projektplan erreicht?

- keine notwendig

AP 6.1: Bauteilprüfung für Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit

Durchgeführte Arbeitsschritte:

Die Tragfähigkeit sowie das Tragverhalten der insgesamt 15 stabförmigen Tragelemente, siehe Kapitel 2.4 AP 4.1, wurde jeweils mittels einem symmetrischen Drei-Punkt-Biegeversuch ermittelt und dokumentiert.

Die Aufzeichnung der Belastung erfolgt über eine Kraftmessdose und die Verformungen wurde an neun Positionen über lineare Wegaufnehmer festgehalten. Zusätzlich wurde jeder Versuch über zwei Kameras mit einem Aufnahmeintervall zwischen den Einzelbildern zwischen ein bis fünf Sekunden fotografiert. Dies ermöglicht eine nachträgliche Ermittlung von Verformungen, Rissweiten sowie Tragverhalten und Versagensform mittels digitaler Bildkorrelation.

Die Versuche wurden bereits mit Normmodellen für Biegung und Querkraft evaluiert. Eine detaillierte Auswertung der Versuche aus Serie 1-3, siehe Kapitel 2.4 AP4.1, erfolgt derzeit und mündet in eine Analyse und Bewertung der Gebrauchstauglichkeit.

Abweichungen:

- keine

Fertigstellungsgrad:

- 40% (Bezogen auf Gesamtprojekt)

AP 6.2: Materialprüfserie zur Dauerhaftigkeit

Durchgeführte Arbeitsschritte:

Erste Untersuchung zur Dauerhaftigkeit sind an Kleinprüfkörpern speziell im Zusammenhang mit dem Karbonatisierungswiderstand von 3D gedrucktem Beton angestellt worden. In einem beschleunigten Karbonatisierungsverfahren mit erhöhter CO₂ Konzentration (bis zu 20 % CO₂ in der Probenatmosphäre) ist das Druckmaterial selbst (GK < 2,0 mm) auf das Fortschreiten der CO₂-Eindringung im Vergleich zu Normalbeton geprüft worden. Grundsätzlich wird ein im Sinne der Dauerhaftigkeit günstiges Karbonatisierungsverhalten aus den Vor-Prüfungen festgehalten. Weitere Untersuchungen fanden an zusammengesetzten Prüfkörpern aus 3D-Druckmaterial und Normalbeton unter besonderer Beobachtung der entstehenden Fuge statt.

Das Druckmaterial (GK < 2,0 mm) weist nach aktuellem Entwicklungsstand ein erhöhtes Schwindverhalten auf, wodurch vermehrte Rissbildung mit evtl. einhergehenden Einschränkungen in der Dauerhaftigkeit zu erwarten sind.

Es haben derzeit nur Vorversuche zum Karbonatisierungsverhalten an Kleinprüfkörpern im beschleunigten Verfahren mittels CO₂-Reaktors stattgefunden. Diese werden im zweiten Forschungsjahr vertieft und entsprechend der Prüfbauteile systematisiert.

Abweichungen:

- keine

Fertigstellungsgrad:

- 20% (Bezogen auf Gesamtprojekt)

2.7. Nachhaltigkeitsanalyse: Vergleichsdarstellungen zu konventionellen Bauweisen

Fertigstellungsgrad: 100%

Beschreibung

Es wird das ökologische Potential im Vergleich zu funktional gleichwertigen konventionellen Bauweisen festgestellt. Dabei werden die Grundlagen zur Nachhaltigkeitsbewertung von 3D-gedruckten Bauteilen geschaffen und das Recyclingpotenzials von additiv gefertigten Betonbauteilen in Abhängigkeit der Betonrezeptur in Kombination mit dem gewählten Bewehrungssystem erprobt und dargestellt. Außerdem erfolgt die Erprobung von Recyclingbeton aus Bruchstücken der im AP6 getesteten Versuchskörper.

Ergebnisse laut Projektplan erreicht?

- keine notwendig

AP 7.1. Grundlagen für die ökologische Bewertung

Durchgeführte Arbeitsschritte:

Es wurden erste Nachhaltigkeitsanalysen für die eigens entwickelte Betonrezeptur sowie für die eingesetzte Anlage durchgeführt. Die aktuellen Betrachtungen beschränken sich auf die Herstellungsphase (Module A1–A3) und umfassen die Materialzusammensetzung sowie den Herstellungsprozess im Labor. Hierfür wurden ausschließlich öffentlich zugängliche Datenquellen (z. B. Umweltproduktdeklarationen und Literaturwerte) herangezogen. Die vorliegende Basisanalyse dient als Orientierung und wird im kommenden Forschungsjahr durch eine erweiterte Datengrundlage spezifiziert und vertieft.

Die Untersuchungen umfassen zudem die Fertigung ressourcenoptimierter, aufgelöster Träger, die anhand identischer Außenabmessungen mit Vollquerschnittsträgern verglichen wurden. Die Optimierung als Fachwerkträger führte zu Einsparungen von etwa 50 % des Eigengewichts. In der ersten Serie konnte jedoch die ausreichende Tragfähigkeit nur bei einem von drei Trägern nachgewiesen werden, da sich bei aufgelösten Strukturen neue Herausforderungen, wie die Verankerung der Bewehrungsstäbe ergeben (siehe AP 4.2).

Es wurden somit bereits Grundlagen zur Nachhaltigkeitsbewertung von 3D-gedruckten Bauteilen geschaffen und das ökologische Potential eingeschätzt. Eine detailliertere Analyse sowie die Bewertung der Rezyklierbarkeit und die Erprobung von Recyclingbeton aus Bruchstücken wurden noch nicht behandelt. Diese Versuche werden in den kommenden Forschungsjahren erfolgen.

Abweichungen:

- keine

Fertigstellungsgrad:

- 15% (Bezogen auf Gesamtprojekt)

3. Erläuterung von wesentlichen Änderungen bei den Kosten

Keine wesentlichen Abweichungen. Die erhaltenen Inkindleistungen übersteigen wertmäßig, die in der Antragsphase zugesagten Summe (LOI; siehe Tab.2)

Tabelle : Übersicht erhaltener Inkindleistungen

Unternehmen	erhaltene Leistung	
Swietelsky	€ 810.00	
DataB	€ 4 008.80	
AVI	€ 3 428.20	
BCR	€ 1 026.00	
Kalczyk und Kreihansel	€ 540.00	
Uniquim	€ 1 117.60	
IBBS	€ 1 026.00	
KOB	€ 1 026.00	
Gmundner Fertigteile	€ 1 674.00	
Holcim	€ 3 168.00	
Fiber Elements	€ 4 914.00	
Makkon	€ 4 978.00	
€ 26 500.00	€ 27 716,60	€ 1 216.60
SOLL (Antrag)	IST	Saldo

4. Beitrag der Projektergebnisse zur Nachhaltigkeit

(SDG12.2) Nachhaltige Konsum- und Produktionsmuster sicherstellen

Das Projekt zielt darauf ab, den CO₂-Fußabdruck von biegebeanspruchten Bauteilen (Träger, Decken) aus Stahlbeton zu reduzieren, was durch das Auflösen von vollwandigen Strukturen in ein statisch äquivalentes Stabsystem mit weniger Betonmenge ermöglicht wird. Durch die Mengeneinsparung wird gleichermaßen der Verbrauch von ressourcenintensivem Zement reduziert.

Messung: Ressourcenvergleich der entwickelten Bauteile über den Lebenszyklus und im Grenzzustand der Klimaverträglichkeit.

Ergebnisse 1. Projektjahr:

1. Optimierter Fachwerksträger produziert (50% Materialeinsparung gegenüber Vollwandträger, bei gleicher Tragfähigkeit),
2. Klinkeranteil im Druckmörtel wurde reduziert (50% Klinkeranteil gegenüber reinem Portlandzement; mit ca. 760 kg/m³)

Kombiniert kann also mit den beiden Ansätzen: 380 kg/m³ gedrucktes, aufgelöstes Bauteil im Projekt mit branchenspitzenwerten 300 kg/m³-Standardbeton Vollwandträger bereits mithalten

Eine Erhöhung des Größtkorns und eine Analyse der Dauerhaftigkeit über den Lebenszyklus steht noch aus.

(SDG 8.5) Menschenwürdige Arbeit mit gleicher Bezahlung

Historisch gesehen war die Baubranche stark von männlichen Arbeitskräften dominiert. Laut einer Statistik der WKO liegt der Frauenanteil in der Baubranche österreichweit momentan bei 13,1% [54]. Es besteht jedoch ein wachsendes Bewusstsein für die Notwendigkeit, Frauen in dieser Branche zu fördern und Chancengleichheit zu gewährleisten. Dies ist auch aufgrund der erschwerten Arbeitsbedingungen in der Baubranche hinsichtlich physischer Arbeit und Gesundheitsschutz bedingt. Vollautomatisierte Ansätze in der Produktion von Stahlbetonbauteilen haben hier großes Potential zu Verbesserung dieser Situation.

Messung: Genderaspekte in der Teamzusammensetzung

Ergebnisse 1. Projektjahr:

1. 2 Projektmitarbeiterinnen (von 6; 33%)
2. 1 Diplomandin (von 2; 50%)

(SDG8.2) Produktivität durch Diversifizierung, technologische Modernisierung, Innovation erhöhen

Die Baubranche zeichnet sich für rund 6% der heimischen Bruttowertschöpfung aus [55]. Das Projekt zeigt Wege zur Automatisierung der Stahl- und Spannbetonarbeiten. Dies umfasst die besonders arbeitsintensiven Prozesse: dem (Sonder-)Schalungsbau, der Produktion von Bewehrungskörben (Eisenbiegerei) und dem Betoniervorgang.

(SDG9.4) Infrastruktur und Industrien modernisieren (Effizienz steigern, umweltverträgliche Technologien)

Die Bauindustrie ist geprägt von integralen Planungsprozessen, die aber häufig über konsequente Schnittstellen mit der Produktion auf der Baustelle verbunden sind. Digitale Workflows („File-to-factory“, BIM), die den architektonischen und den statisch-konstruktiven Entwurf mit der späteren Produktion des Bauwerks verknüpfen, tragen zu einer Effizienzsteigerung bei, da Hürden in der praktischen Umsetzung bereits in einer frühen Planungsphase erkannt werden und so zeitgerecht adaptiert und optimiert werden können.

Messung: Wirtschaftlicher Vergleich in der Entwicklungsstufe nicht möglich. Jedoch abschätzende Kostenrechnung bei Lebenszyklusbetrachtungen in AP7

noch offen; 3 Projektjahr

