

# ANSCHLUSSPROJEKTE

## SFB/Transregio 280 zu Konstruktionsstrategien für Carbonbeton | CRC/Transregio 280 on design strategies for carbon reinforced concrete

► Silke Scheerer<sup>1</sup>, Birgit Beckmann<sup>1</sup>, Jan Bielak<sup>2</sup>, Sven Bosbach<sup>2</sup>, Christopher Schmidt<sup>2</sup>, Josef Hegger<sup>2</sup>, Manfred Curbach<sup>1</sup>

► <sup>1</sup> Institut für Massivbau, TU Dresden

► <sup>2</sup> Institut für Massivbau, RWTH Aachen University

### 1 Intention

Ein Blick in die Baugeschichte zeigt, dass sich in Abhängigkeit der vorhandenen Baumaterialien jeweils typische, sinnvolle Konstruktionsformen herausgebildet haben. Bereits vor mehr als 10.000 Jahren errichtete man Gebäude aus Ziegelmauerwerk [1]. Im antiken Rom erlebte der opus caementitium seine Glanzzeit [2]. Beide Materialien sind sehr druck-, aber wenig zugfest. Folglich findet man hauptsächlich druckbeanspruchte Strukturen wie Wände oder Kuppeln, für Decken wurde beispielsweise Holz genutzt. Für Naturbrücken aus zugfesten Pflanzenmaterialien hingegen sind Hängekonstruktionen prädestiniert. Mit Stahl und bewehrtem Beton können auch biegebeanspruchte Konstruktionen realisiert werden. Allerdings nimmt man hierbei in der Regel in vielen Tragwerksbereichen eine mangelhafte Materialausnutzung in Kauf.

Carbonbeton wird in Deutschland seit nunmehr fast 30 Jahren intensiv erforscht, zahlreiche Praxisprojekte wurden verwirklicht [3]. Dennoch muss man konstatieren, dass wir nun zwar filigraner bauen können, uns aber grundsätzlich sehr eng an die bewährten Konstruktionsweisen des Stahlbetonbaus halten. Dies hat zur Folge, dass das Potential des neuartigen Komposits nicht wirklich gut ausgenutzt wird. Um dieses Manko zu beheben, wurde gemeinsam von TU Dresden und RWTH Aachen University der Sonderforschungsbereich/Transregio 280 initiiert [4], [5]. Losgelöst von etablierten Denkmustern und basierend auf dem strukturme-

### 1 Intention

A look at the construction history shows that typical, sensible forms of construction have developed depending on the building materials available. More than 10,000 years ago, buildings were already made of brickwork [1]. In ancient Rome, the opus caementitium experienced its heyday [2]. Both materials were very resistant to pressure, but had little tensile strength. Consequently, one mainly finds structures subject to compressive stress such as walls or cupolas; for ceilings, for example, wood was used. For natural bridges made of tension-resistant plant materials, on the other hand, suspended structures are predestined. With steel and reinforced concrete, structural elements subject to bending stress can also be realised. However, in many areas of such structures, insufficient utilisation of the material is accepted.

Carbon reinforced concrete has been intensively researched in Germany for almost 30 years now; numerous practical projects have also been realised in the meantime [3]. Nevertheless, it must be stated that although we can now build more filigree, we basically stick very closely to the approved construction methods of steel reinforced concrete construction. As a result, the potential of the new type of composite is not really well exploited. To remedy this shortcoming, the Collaborative Research Centre/Transregio 280 was initiated jointly by TU Dresden and RWTH Aachen University [4], [5]. Detached from established thought patterns and based on the structur-

chanischen Verhalten neuartiger, mineralisch basierter Komposite sollen die Grundlagen für neue Leichtbau-Konstruktionsstrategien für ein zukunftsfähiges Bauen mit Beton geschaffen werden. Von der Nutzung innovativer Werkstoffkombinationen erwarten wir einen reduzierten Ressourcen- und Energieverbrauch bei gleichzeitig hoher Gebrauchstauglichkeit, Tragsicherheit und Dauerhaftigkeit. Zudem wird eine erhöhte Formenvielfalt einen ästhetischen Mehrwert im Sinne einer neuen Baukultur leisten.

## 2 Konsortium

Der langjährige Forschungsverbund von TU Dresden und RWTH Aachen vereint exzellente Kompetenzen. Zusätzlich ist das Leibniz-Institut für Polymerforschung Dresden e. V. (ipf) eingebunden. Dem interdisziplinären Team an den zwei Standorten gehören Forschende aus den Fachgebieten Bauingenieurwesen, Botanik, Informatik, Maschinenwesen, Materialwissenschaften, Mathematik, Nachhaltigkeitsforschung, Photogrammetrie und Wissensarchitektur an.

al-mechanical behaviour of novel, mineral-based composites, the foundations for new lightweight construction strategies for building with concrete are to be created. We expect that the use of innovative material combinations will reduce resource and energy consumption while ensuring a high level of serviceability, load-bearing safety and durability at the same time. In addition, an increased variety of forms will provide aesthetic benefits in the sense of a new building culture.

## 2 Consortium

The long-standing research alliance of TU Dresden and RWTH Aachen University combines excellent competences. In addition to the two universities, the Leibniz Institute of Polymer Research Dresden e. V. (ipf) is also involved. The interdisciplinary team at the two locations includes researchers from the fields of civil engineering, botany, computer science, mechanical engineering, materials science, mathematics, sustainability research, photogrammetry and knowledge architecture.

## 3 Forschungsbereiche

Die Forschungsthemen sind in fünf Projektbereichen angesiedelt (Bild 1).

## 3 Research areas

The research topics are grouped into five project areas (Fig. 1).



**Bild 1:** Struktur des SFB/Transregio 280 | **Fig. 1:** Structure of CRC/Tranregio 280 | Graphic: Stefan Gröschel



**Bild 2:** Peltate Blätter als Vorbilder für materialeffiziente Knotenaus-bildungen und Flächentragwerke | **Fig. 2:** Peltate sheets as models for material-efficient nodes and plane load-bearing structures | Photo: Silke Scheerer

Ergebnis der Forschung in Projektbereich A – Inspiration – sind Impulse und Ideen als Basis für neuartige, carbonbetongerechte Geometrien, Konstruktionsweisen und Bauformen. Die Bandbreite reicht von botanischen „Tragwerken“ (Bild 2), über mathematische Methoden und kristallographische Gruppen bis hin zu Malerei und Science-Fiction (Bild 3).

Im Projektbereich B – Materialien – werden die einzelnen Komponenten des Werkstoffkomposits Carbonbeton weiterentwickelt. In Förderphase 1 wird (a) ein zielgerichteter Verbund zwischen Filamenten und Matrix sowohl im Hinblick auf die mechanischen als auch die Erhärtungseigenschaften angestrebt, werden (b) lastangepasste, dreidimensionale Bewehrungstechnologien entwickelt und wird (c) an umweltfreundlichen Matrixformulierungen gearbeitet.

Im Bereich C findet experimentelle und theoretische Forschung auf Bauteilebene statt. Schwerpunkte sind spezielle Eigenschaften filigraner Carbonbetonbauteile wie Rissbildung, Stabilität, Quasi-Duktilität und Resilienz sowie lastangepasste, materialeffiziente Konstruktionsformen auf Basis von Schalen und Faltwerken. Parallel zur experimentellen werden Modellierungsmethoden weiterentwickelt.

Projektbereich D adressiert grundlegende Fragen zur Herstellbarkeit gewichtsminimierter Betonkonstruktionen. In Förderphase 1 werden die generative Fertigung durch selektive Ablage

The results of the research in project area A – Inspiration – are impulses and ideas as a basis for new types of geometries, construction methods and structural types suitable for carbon reinforced concrete. The spectrum ranges from botanical load-bearing structures (Fig. 2), mathematical methods and crystallographic groups to painting and science fiction (Fig. 3).

In project area B – Materials – the individual components of the composite carbon reinforced concrete are being further developed. In funding phase 1, (a) a targeted bond between filaments and matrix is being developed with regard to both mechanical and hardening properties, (b) load-adapted, three-dimensional reinforcement technologies are being researched and (c) environmentally friendly matrix formulations are being worked on.

In area C, experimental and theoretical research is carried out at component level. The focus is on special properties of filigree carbon reinforced concrete components such as cracking, stability, quasi-ductility and resilience as well as load-adapted, material-efficient construction designs based on shells and folded structures. In parallel to the experimental work, modelling methods are being further developed.

Project area D addresses fundamental questions about the manufacturability of weight-minimised concrete structures. In funding phase 1, gener-



**Bild 3:** Science-Fiction als Inspirationsquelle für neue Bauformen | **Fig. 3:** Science fiction as a source of inspiration for new structural designs | Photo: Stefan Gröschel, sketch: Manfred Curbach

von mineralischer Matrix und Carbonbewehrung und die Extrusion von Carbonbeton betrachtet. Als vielversprechend werden Bewehrungen angesehen, die eine Inline-Umformung und eine zweistufige Aushärtung ermöglichen. Im Projektbereich D ist des Weiteren methodische Forschung zur räumlichen Analyse der äußeren und inneren Gestalt von Carbonbetonstrukturen z. B. mittels Computertomographie angesiedelt. Hiervon erhoffen wir uns vertiefte Erkenntnisse zum inneren Aufbau (a) des Komposits und (b) ganzer Bauteile, auf deren Basis das Tragverhalten zutreffender beschrieben und die Herstellungsprozesse gezielt weiterentwickelt werden können.

Hauptziel von Projektbereich E ist die Weiterentwicklung der Nachhaltigkeitsbewertung materialminimierter Carbonbetonstrukturen. Zudem obliegt den Forscher:innen eine übergreifende Beratungsfunktion in puncto Nachhaltigkeit für den gesamten SFB/TRR 280.

Das Grundanliegen des SPP 1542 „Leicht Bauen mit Beton“ – Bauen nach dem Prinzip „*form follows force*“ – findet im SFB/TRR 280 eine direkte Fortsetzung. Exemplarisch seien drei Teilprojekte (TP) hervorgehoben, die quasi direkt auf Erkenntnissen des SPP aufbauen:

- TP A01 (Reese/Simon) – Eine neue Methodologie zur Übertragung effizienter Lastabtragsmechanismen aus der Natur auf Strukturen aus Carbonbeton – hat zum Ziel, mit Hilfe eines modularen Strukturgenerators möglichst viele in die Praxis umsetzbare Varianten von bioinspirierten Strukturen aus Carbonbeton zu liefern. Für deren Zusammenwirken wird eine Art Modulbaukasten erstellt. Mittels Substrukturtechnik werden Systeme in einzelne Module zerlegt, die dann mit Methoden der Modellreduktion analysiert werden können; materielle Anisotropie, wie sie bspw. durch variierende Faseranordnung entsteht, wird berücksichtigt.
- Aus dem Titel des TP C01 (Curbach/Scheerer) – Auflösung kompakter Bauteile mittels sich durchdringender, lastabtragender schalenförmiger Strukturen – kann das Projektziel abgelesen werden. Nachdem sich verschiedene

ative manufacturing by selective deposition of mineral matrix and carbon reinforcement and the extrusion of carbon reinforced concrete are considered. Reinforcements that allow inline forming and two-stage curing are considered promising. Project area D also includes systematic research on the spatial analysis of the external and internal shape of carbon reinforced concrete structures, e.g. by means of computer tomography. We expect this to provide in-depth knowledge of the internal structure (a) of the composite and (b) of entire components. Based on this, the load-bearing behaviour can be described more accurately and the manufacturing processes can be improved.

The main objective of project area E is the further development of the sustainability assessment of material-minimised carbon reinforced concrete structures. In addition, the researchers have an overarching advisory function with regard to sustainability for the entire CRC/Transregio 280.

The basic concern of SPP 1542 – building according to the principle “*form follows force*” – finds a direct continuation in SFB/TRR 280. Three sub-projects (SP) are highlighted as examples, which are quasi directly based on the findings of the SPP:

- SP A01 (Reese/Simon) – A new methodology to transfer efficient mechanisms of load transmission from nature to structures made of carbon reinforced concrete – aims to use a modular structure generator to deliver as many variants of bio-inspired structures made of carbon reinforced concrete as possible that can be implemented in practice. A kind of modular construction kit is being created for their interaction. Using substructure technology, systems are divided into individual modules that can then be analysed using model reduction methods; material anisotropy, e.g. caused by varying fibre arrangement, is taken into account.
- The goal of SP C01 (Curbach/Scheerer) – Use of pervading internal shell-type substructures to dissolve compact components – can be read from the title. After several research groups in SPP 1542 have already worked on various methods of cross-section grading (see, for example, the SPP projects Curbach (2D), Sobek as well

Forscher:innen im SPP 1542 bereits mit diversen Methoden der Querschnittsgradierung beschäftigt haben (s. z. B. die SPP-Projekte Curbach (2D), Sobek sowie Sobek bzw. Garrecht et al.), wollen wir im SFB nun noch einen Schritt weiter gehen und im Bauteilinneren nicht nur Gewicht sparen, sondern dieses Innere gezielt durch effiziente, lastabtragende Strukturen gestalten (Bild 4). Im Vergleich zu Balken und Rahmentragwerken, bei denen mit steigender Spannweite die Biegebeanspruchung infolge Eigengewichts überproportional zunimmt, können räumlich gekrümmte Schalenträgerwerke mit minimalem Materialaufwand deutlich größere Spannweiten bewältigen. Im Idealfall herrschen in den dünnwandigen Strukturen ausschließlich Membranspannungen; statisch und bezüglich der Materialausnutzung ungünstige Biegespannungen werden vermieden. Diese Grundsätze sollen nun eine Skala kleiner im Inneren von Bauteilen zur Anwendung kommen.

- In TP C04 (Chudoba/Schladitz) – Stabilität und Quasiduktilität von dünnwandigen Carbonbetonbauteilen – wird unter anderem die im SPP 1542 an der RWTH Aachen entwickelte Oricrete-Methode (SPP-Projekt Chudoba/Hegger) weiterentwickelt. Neu ist die Idee, mittels Faltungen gezielt Umlagerungseffekte so zu nutzen, dass eine Quasiduktilität der (globalen) Struktur entsteht.

Angestrebt ist für den SFB/TRR 280 eine Laufzeit von zwölf Jahren. Perspektivisch wird sich der Forschungsfokus mit der Zeit in Richtung der Herstellung von Bauteilen verlagern. Auch werden wir zukünftig über die Bauteilebene hinaus auf Baustrukturen fokussieren, um einen klaren Schritt hin zu einer adäquaten architektonischen Formensprache zu gehen. Die Ideen aus Phase I sind Grundlage für die Entwicklung eines architektonischen Gesamtkonzeptes, das über rein bauliche/bautechnologische Aspekte hinaus auch die Auswirkungen des Bauens auf Umwelt und Gesellschaft berücksichtigt.

as Sobek and Garrecht et al.), we now want to go one step further. We not only want to save weight; we want to design the component's interior specifically with efficient, load-bearing structures (Fig. 4). Compared to beams and frame structures, in which the bending stress due to dead weight increases disproportionately with increasing span, spatially curved shell structures can cope with significantly larger spans requiring a minimum of material. Ideally, only membrane stresses prevail in the thin-walled structures; bending stresses that are unfavourable statically and in terms of material utilisation are avoided. These principles are now to be applied one scale smaller inside components.

- In SP C04 (Chudoba/Schladitz) – Stability and quasi-ductility of carbon reinforced concrete structural members – the Oricrete method developed in SPP 1542 at RWTH Aachen University (SPP project Chudoba/Hegger) is being further developed. The idea of using redistribution effects by means of folding in such a way that a quasi-ductility of the (global) structure is created is new.

The CRC/Transregio 280 is planned to run for twelve years. In perspective, the research focus will shift over time towards the production of building components. In the future, we will also focus beyond the component level to building structures in order to take a clear step towards an adequate architectural design language. The ideas from Phase I are the basis for the development of an overall architectural concept that goes beyond purely structural/building technology aspects and also takes into account the effects of building on the environment and society.



**Bild 4:** Idee für die innere Auflösung flächiger Bauteile mittels Schalenstrukturen | **Fig. 4:** Idea for the internal weight reduction of cross sections of planar components by shells structures | Photo: Sylke Scholz, Dresden

## Literatur | References

- [1] Heinle, E.; Schlaich, J.: Kuppeln aller Zeiten, aller Kulturen. Stuttgart: DVA, 1996
- [2] Lamprecht, H.-O.: Opus Caementitium: Bautechnik der Römer. 5., verb. Aufl., Düsseldorf: Beton-Verlag, 1996
- [3] Scheerer, S.; Schladitz, F.; Curbach, M.: Textile reinforced Concrete – from the idea to a high performance material. In: Brameshuber, W. (Hrsg.): Proc. of FERRO-11 and 3<sup>rd</sup> ICTRC (PRO 98), 07.-10.06.2015 in Aachen, Bagnoux: RILEM Publ. S.A.R.L., 2015, S. 15–33
- [4] Homepage des SFB/TRR 280: <https://www.sfbtrr280.de/>. (02.03.2022)
- [5] Beckmann, B.; Bielak, J.; Bosbach, S.; Scheerer, S.; Schmidt, Chr.; Hegger, J.; Curbach, M.: Collaborative research on carbon reinforced concrete structures in the CRC/TRR 280 project. Civil Engineering Design 3 (2021) 3, S. 99–109 – DOI: 10.1002/cend.202100017

## Projektdaten | Project data

### Allgemeine Angaben | General information

SFB/Transregio 280: Konstruktionsstrategien für materialminimierte Carbonbetonstrukturen – Grundlagen für eine neue Art zu bauen

CRC/Transregio 280: Design strategies for material-minimised carbon reinforced concrete structures – Principles of a new approach to construction

Sprecher   Speaker:	Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach
Adresse   Address:	TU Dresden, Institut für Massivbau, 01062 Dresden
Kontakt   Contact:	+49 351 463-37660   <a href="mailto:manfred.curbach@tu-dresden.de">manfred.curbach@tu-dresden.de</a>   <a href="https://tu-dresden.de/bu/bauingenieurwesen/imb">https://tu-dresden.de/bu/bauingenieurwesen/imb</a>
Stellvertretender Sprecher   Deputy speaker:	Prof. Dr.-Ing. Josef Hegger
Adresse   Address:	RWTH Aachen University, Lehrstuhl und Institut für Massivbau Mies-van-der-Rohe-Str. 1, 51074 Aachen
Kontakt   Contact:	+49 241 80 25170   <a href="mailto:jhegger@imb.rwth-aachen.de">jhegger@imb.rwth-aachen.de</a>   <a href="https://www.imb.rwth-aachen.de/">https://www.imb.rwth-aachen.de/</a>
Förderer   Funding:	Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) / SFB/TRR 280
Förderzeitraum   Period:	seit   since: 01.07.2020
Partner   Partner:	Leibniz-Institut für Polymerforschung Dresden e. V.
Homepage   Website:	<a href="https://www.sfbtrr280.de/">https://www.sfbtrr280.de/</a>