

ANSCHLUSSPROJEKTE

Herstellung von biomimetischen und biologisch inspirierten (modularen) Strukturen | Fabrication of biomimetic and biologically inspired (modular) structures

- ▶ Daria Kovaleva, Oliver Gericke, Werner Sobek
- ▶ Institut für Leichtbau Entwerfen und Konstruieren, Universität Stuttgart

Die Potentiale der gefrorenen Sandschalung für den Entwurf und die Herstellung funktional gradierter Betonbauteile (siehe Projekte Sobek et al. und Garrecht et al. des SPP 1542, S. 642 ff. und S. 250 ff.) wurden im Rahmen des Teilprojekts B04: *Herstellung biomimetischer und biologisch inspirierter (modularer) Strukturen für die Bauindustrie* des Sonderforschungsbereichs/Transregio 141 *Biologischer Entwurf und integrative Strukturen – Analyse, Simulation und Umsetzung in der Architektur* weiter untersucht.

Die Hauptaufgabe in diesem Projekt bestand darin, die Prinzipien der strukturellen Organisation von biologischen, tragenden Strukturen zu untersuchen und auf die Eigenschaften von funktional gradierten Betonstrukturen zu übertragen. Gewöhnlich weisen solche porösen oder faserigen Gewebe charakteristische Strukturen variabler Dichte auf, die entlang der Belastungstrajektorien häufig vorherrschender Lastszenarien orientiert sind. Diese Prinzipien wurden abstrahiert und mit Hilfe der Sandschalung in Form poröser Betonbauteile nachgebildet. Hierfür wurde zunächst die Betonstruktur als räumliches Strebenmodell mit variabler Strebendicke modelliert, um den erforderlichen Volumenanteil pro Flächeneinheit zu erreichen. Die Schalungsstruktur stellte somit ein topologisch identisches, aber inverses Modell dar, bei dem die Strebendicken der Sandstruktur umgekehrt proportional zu der Dicke der Betonstreben sind (Bild 1).

Für die Herstellung der Schalungen wurde das *Hydroplotting*-Verfahren verwendet, bei dem Wasser in trockenen Sand entlang definierter

Potentials of frozen sand formwork technology were further investigated in design and production of functionally graded concrete components (see also the projects Sobek et al. and Garrecht et al. of SPP 1542, pages 642 resp. 250 et seq.) in the subproject B04: *Fabrication of biomimetic and biologically inspired (modular) structures for use in the construction industry* in the framework of the Collaborative Research Centre/Transregio 141 *Biological Design and Integrative Structures – Analysis, Simulation and Implementation in Architecture*.

The main task in this project was to study the principles of structural organization of biological load-bearing tissues and their transfer to the properties of concrete structures adapted to loading profile, i.e. functionally graded. Usually such porous or fibrous tissues exhibit characteristic structures of variable density oriented along the stress trajectories under the given load. Such principles were abstracted and reproduced in spatial porous concrete components, produced with sand formwork methods. For this, at first, a concrete structure was modelled as a spatial strut model with variable struts thickness to achieve the needed volume fraction per unit area. The formwork structure thus represented topologically identical but inverse model with the strut thicknesses inversely proportional to the concrete one (Fig. 1).

The *hydroplotting* production method was used to produce such formworks, by injecting the water into the volume of dry sand along the trajectories representing the centreline of the strut with subsequent curing of formwork. The variation of strut diameter was achieved by adjusting

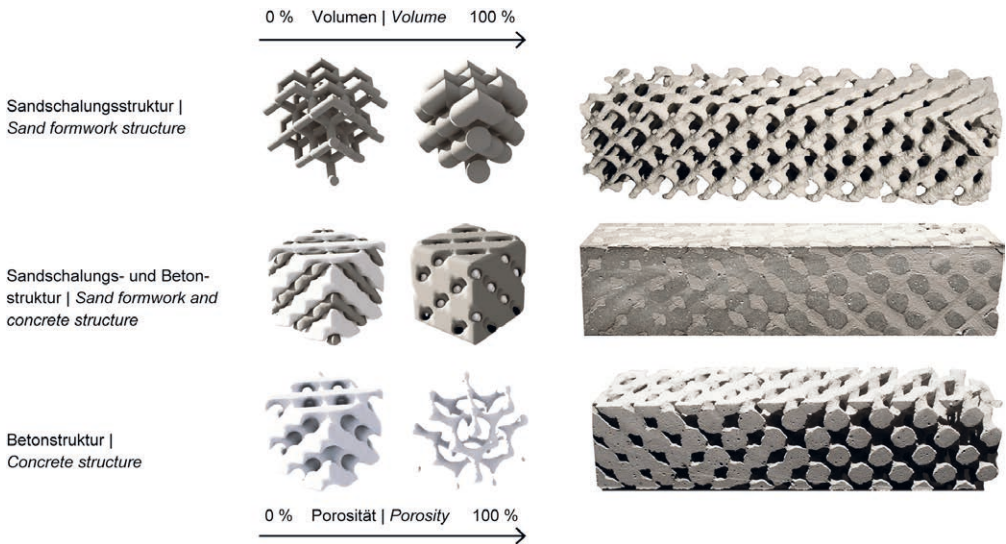


Bild 1: Modellierung von räumlichen Rahmenkonstruktionen aus Sand (Schalung) und Beton und produzierte Proben aus Sand (Schalung) und Beton | **Fig. 1:** Modelling of sand (formwork) and concrete spatial frame structures and produced sand (formwork) and concrete graded specimens | Source: Daria Kovaleva

Trajektorien injiziert wird. Die feuchten Bereiche härten aus und bilden die Streben. Die Variation des Strebendurchmessers wurde durch die Anpassung der Produktionsparameter, wie z. B. die Geschwindigkeit der Nadelbewegung und des Wasserflusses, erreicht.

Um die Anwendbarkeit der Methode für tragende Betonbauteile zu untersuchen, wurde sie an der Herstellung eines Einfeldträgers aus Beton getestet. Der Prozess der Modellierung und Herstellung eines solchen Balkens ist in Bild 2 dargestellt.

Zunächst wurden eine Strukturanalyse des Bauteils unter gegebenen Stütz- und Lastbedingungen durchgeführt und daran die Größen und die Richtungen der vorherrschenden Hauptspannungen bestimmt. Diese Informationen wurden extrahiert und zur Modellierung des räumlichen Strebenmodells verwendet, wobei die Strebe entlang der Richtung der Spannungen ausgerichtet und ihre Dicken proportional zur Größe der Spannungen eingestellt wurden. Dann wurde eine inverse Schalungsstruktur modelliert und hergestellt. Dem folgte, wie oben beschrieben, das Betonieren und schluss-

production parameters, such as speed of needle movement and the water flow.

To explore the applicability of the method for concrete load-bearing components, it was tested on the production of a single-span concrete beam. The process of modelling and fabrication of such a beam is presented in Fig. 2.

First, the structural analysis of the component under given support and loading conditions was performed to determine the magnitudes and directions of principal stresses. These information were extracted and used to model a spatial strut model, where the struts were oriented along the direction of the stresses and their thicknesses were setup proportional to the magnitude of stresses. Then, an inverse formwork structure was created, modelled and produced, as described above, by concreting and regaining the sand for further production cycles.

The research results have shown that water-soluble sand formwork technique have great potential for creating spatial structures of high complexity when other systems can no longer be applied. At the same time, production character-

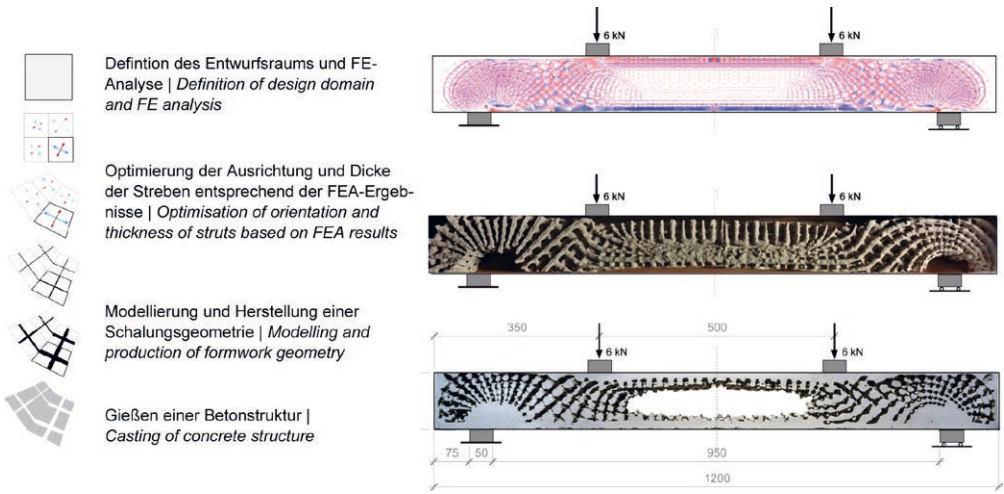


Bild 2: Modellierungs- und Fertigungsablauf für einen funktional gradierten Betonbalken | **Fig. 2:** Modelling and fabrication sequence for a functionally graded concrete beam | Source: Daria Kovaleva

endlich die Rückgewinnung des Sandes für weitere Produktionszyklen.

Die Forschungsergebnisse haben gezeigt, dass die Sandschalung ein großes Potenzial zur Herstellung räumlicher Strukturen von hoher Komplexität hat, wenn andere Systeme nicht mehr eingesetzt werden können. Gleichzeitig haben Produktionsmerkmale und -prozesse einen großen Einfluss auf die Entwurfsentscheidungen und -eigenschaften und müssen so früh wie möglich in den Entwurfsprozess integriert werden.

istics and processes have a great influence on the design decisions and characteristics and must be integrated into the design process at an earliest possible stage.

Projektdaten | Project data

Allgemeine Angaben | General information

B04: Herstellung biomimetischer und biologisch inspirierter (modularer) Strukturen für die Bauindustrie

B04: Fabrication of biomimetic and biologically inspired (modular) structures for use in the construction industry

Antragsteller Applicant:	Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Dr. h.c. Werner Sobek
Adresse Address:	Universität Stuttgart, Institut für Leichtbau Entwerfen und Konstruieren, Pfaffenwaldring 7+14, 70569 Stuttgart
Kontakt Contact:	+49 711 685-6 6226/-6 3599 werner.sobek@ilek.uni-stuttgart.de http://www.uni-stuttgart.de/ilek/
Förderer Funding:	Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) / SFB/TRR 141
Förderzeitraum Funding period:	01.10.2014–31.06.2018
Team Team:	Daria Kovaleva Oliver Gericke Walter Haase
Partner Partners:	Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen (ISW), Universität Stuttgart Deutsche Institute für Textil- und Faserforschung Denkendorf (DITF), Universität Stuttgart

Projektbezogene Publikationen | Project related publications

- Coupek, D.; Kovaleva, D.; Christof, H.; Wurst, K.-H.; Verl, A.; Sobek, W.; Haase, W.; Gresser, G. T.; Lechler, A.: Fabrication of Biomimetic and Biologically Inspired (Modular) Structures for Use in the Construction Industry. In: Knippers, J.; Nickel, K. G.; Speck, T. (Hrsg.): Biomimetic Research for Architecture and Building Construction, Cham: Springer Int. Publ., 2016, S. 319–339 – DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-46374-2_16
- Kovaleva, D.; Gericke, O.; Wulle, F.; Mindermann, P.; Sobek, W.; Verl, A.; Gresser, G. T.: Rosenstein Pavilion: a lightweight concrete shell based on principles of biological structures. In: Knippers, J.; Schmid, U.; Speck, T. (Hrsg.): Biomimetics for Architecture, Berlin, Boston: De Gruyter, 2019, S. 92–101 – DOI: <https://doi.org/10.1515/9783035617917-012>
- Wulle, F.; Kovaleva, D.; Mindermann, P.; Christof, H.; Wurst, K.-H.; Lechler, A.; Verl, A.; Sobek, W.; Haase, W.; Gresser, G. T.: Nature As Source Of Ideas For Modern Manufacturing Methods. In: Knippers, J.; Schmid, U.; Speck, T. (Hrsg.): Biomimetics for Architecture, Berlin, Boston: De Gruyter, 2019, S. 84–91 – DOI: <https://doi.org/10.1515/9783035617917-011>