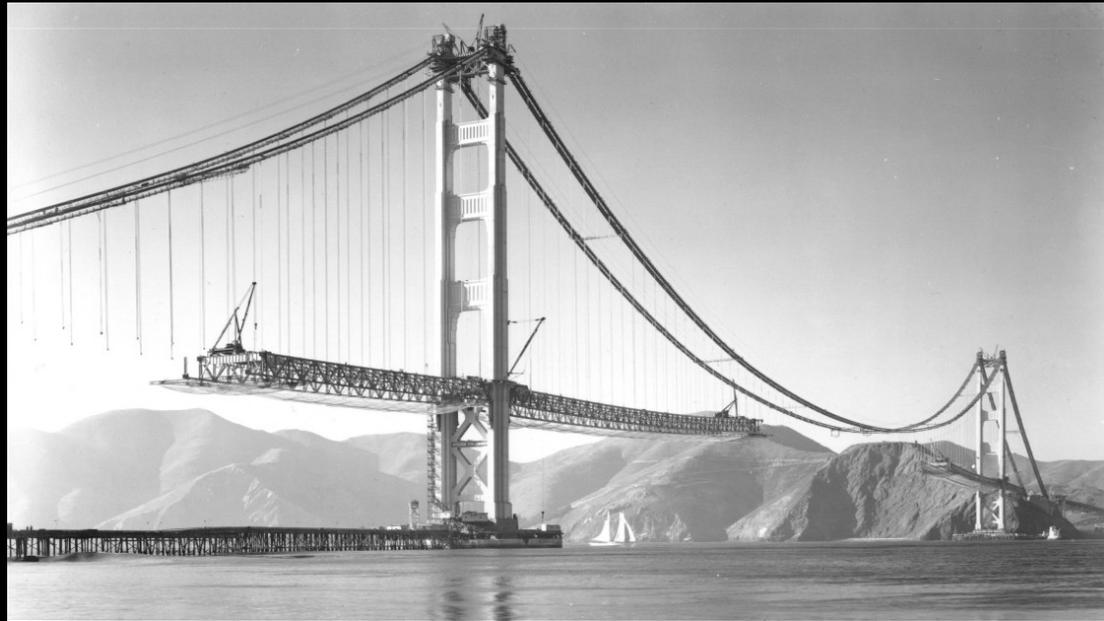


Institut für Massivbau | Fakultät Bauingenieurwesen | Technische Universität Dresden

# Wege zu einem ressourceneffizienten und nachhaltigen Bauen – Paradigmenwechsel im Bauwesen jetzt

Birgit Beckmann, Manfred Curbach

# Faszination des Bauens



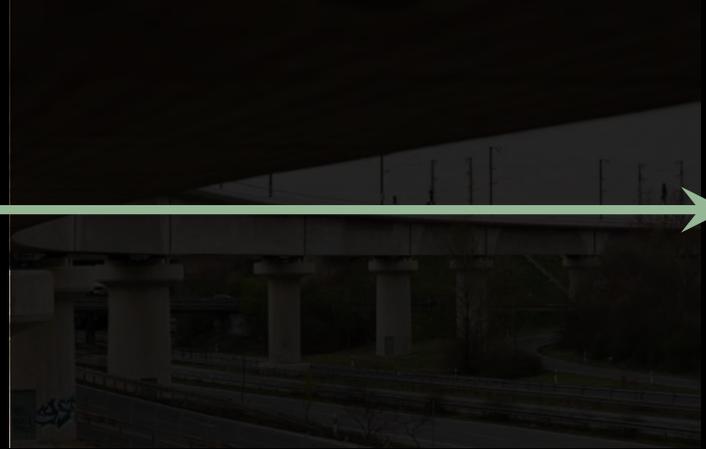
# Faszination des Bauens



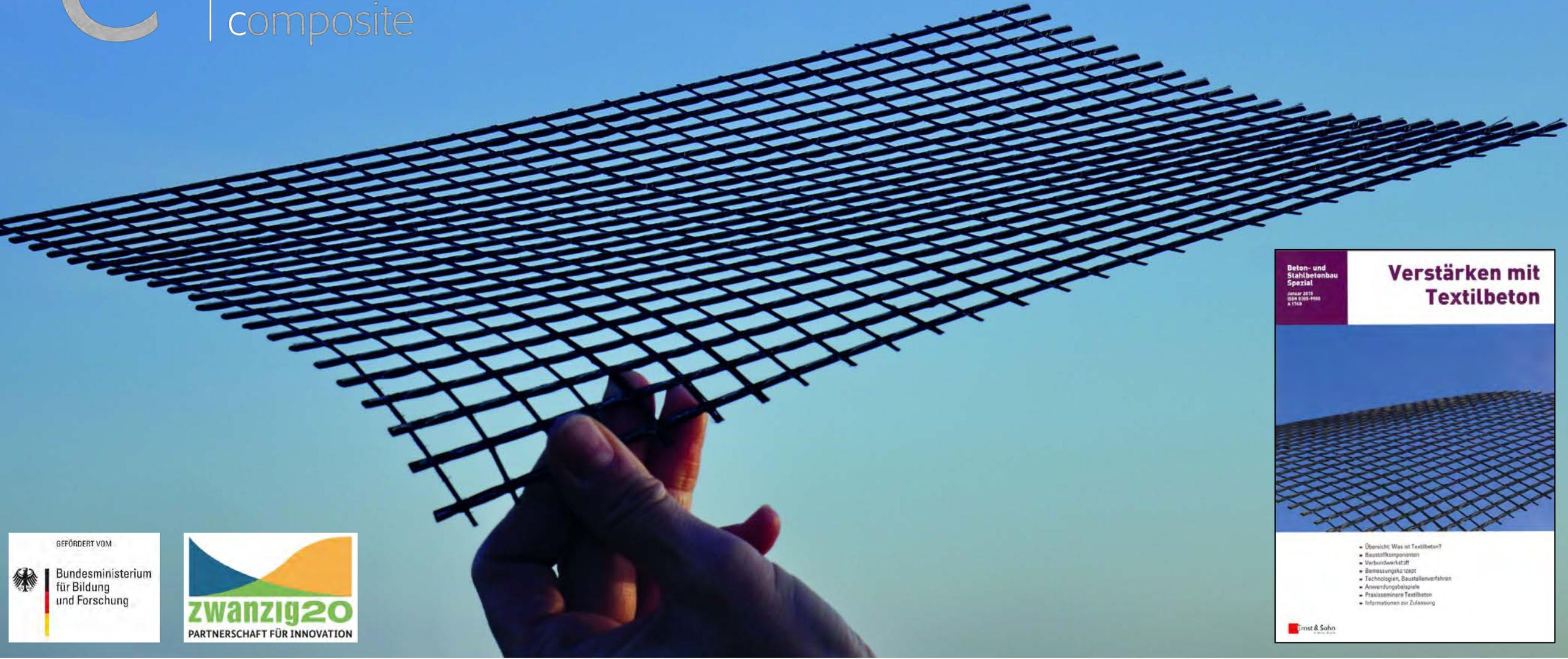
# Faszination des Bauens?



# Beginn einer neuen Ära



# C<sup>3</sup> | carbon concrete composite



**Beton- und Stahlbetonbau Spezial**  
Januar 2018  
ISSN 0931-1100  
A 1164

## Verstärken mit Textilbeton



- Übersicht: Was ist Textilbeton?
- Baustoffkomponenten
- Verbundwerkstoff
- Bemessungskriterien
- Technologien, Baustellenverfahren
- Anwendungsbeispiele
- Praxisseminare Textilbeton
- Informationen zur Zulassung

**Ernst & Sohn**  
© Ernst & Sohn

GEFÖRDERT VOM

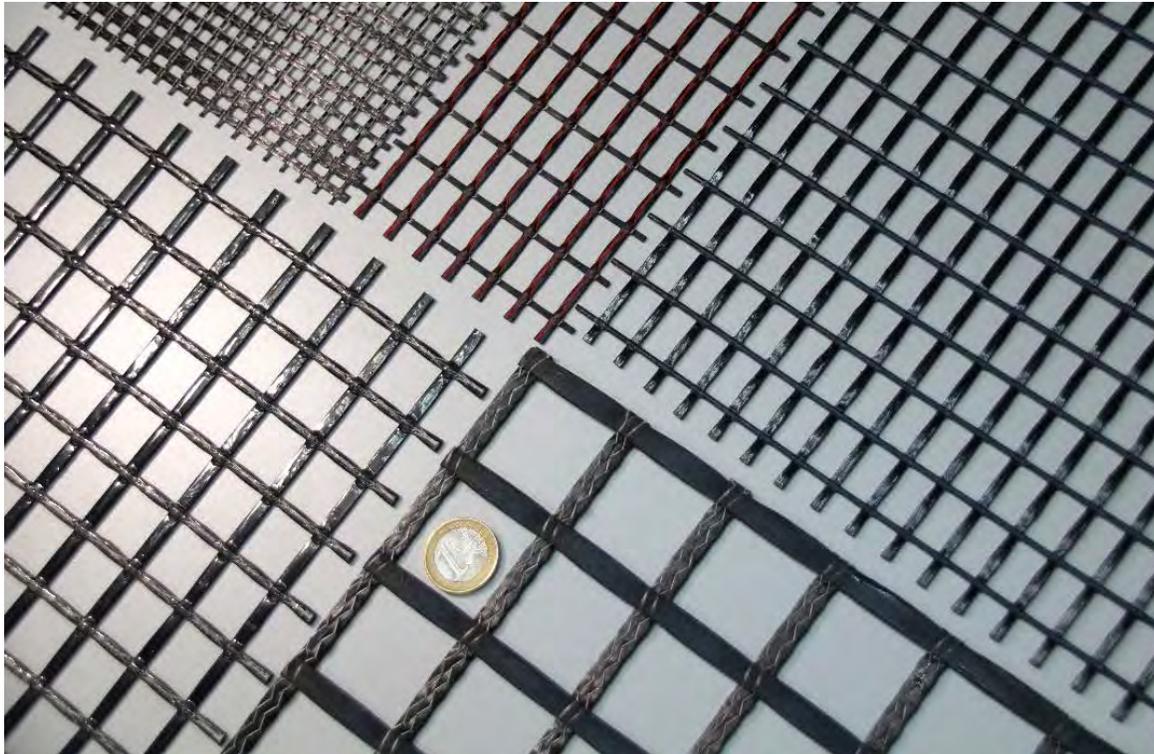


Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung



# Carbonbewehrungen

Gelege

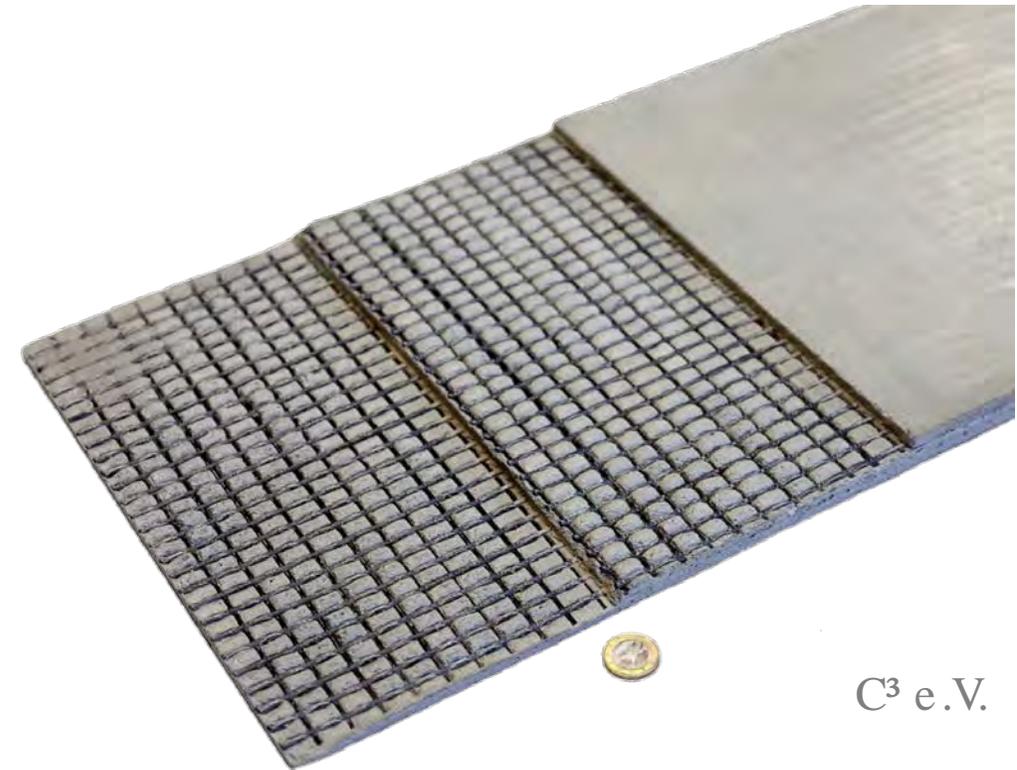


Stäbe



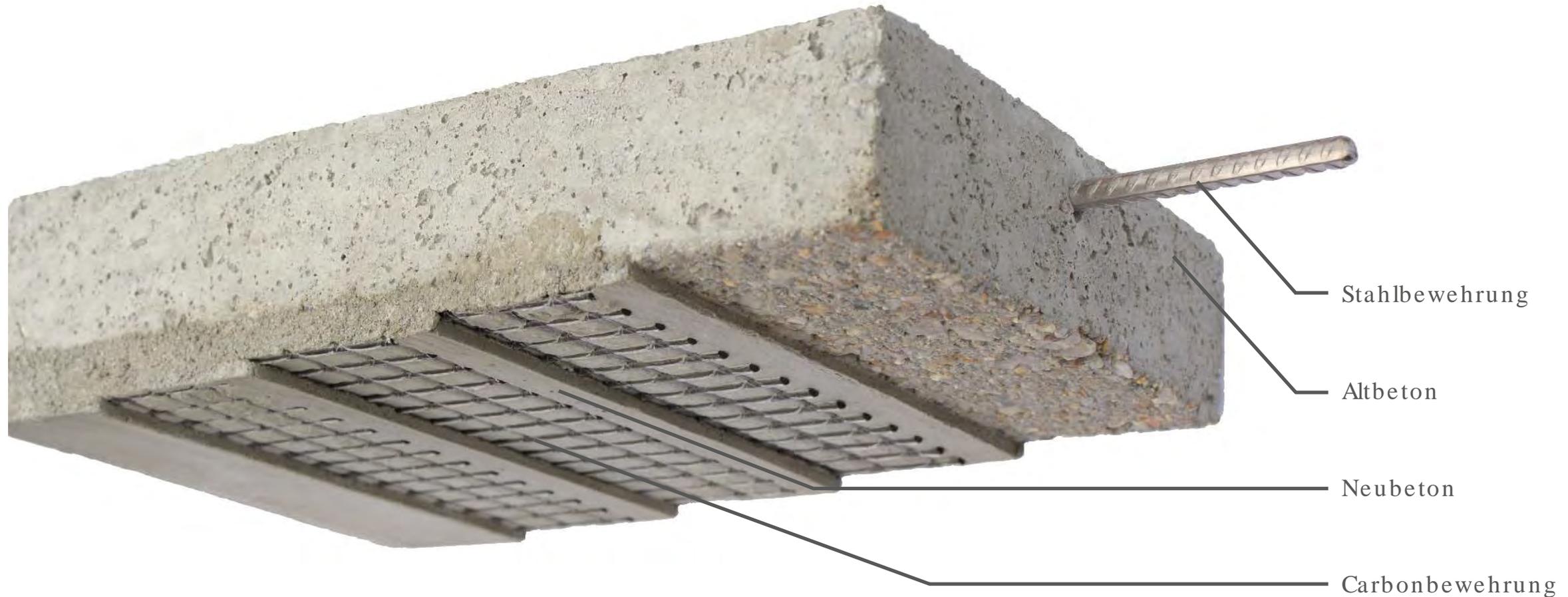
# Carbonbeton

Feinbetonmatrix + nichtmetallische Bewehrung (Carbongelege, Carbonstäbe, AR-Glas, ...)



C<sup>3</sup> e.V.

# Carbonbeton zur Verstärkung bestehender Beton-Bauwerke



# Beyer-Bau, Dresden



# Beyer-Bau, Dresden



# Magdeburger Schale von Ulrich Mütter



# Magdeburger Schale von Ulrich Müther

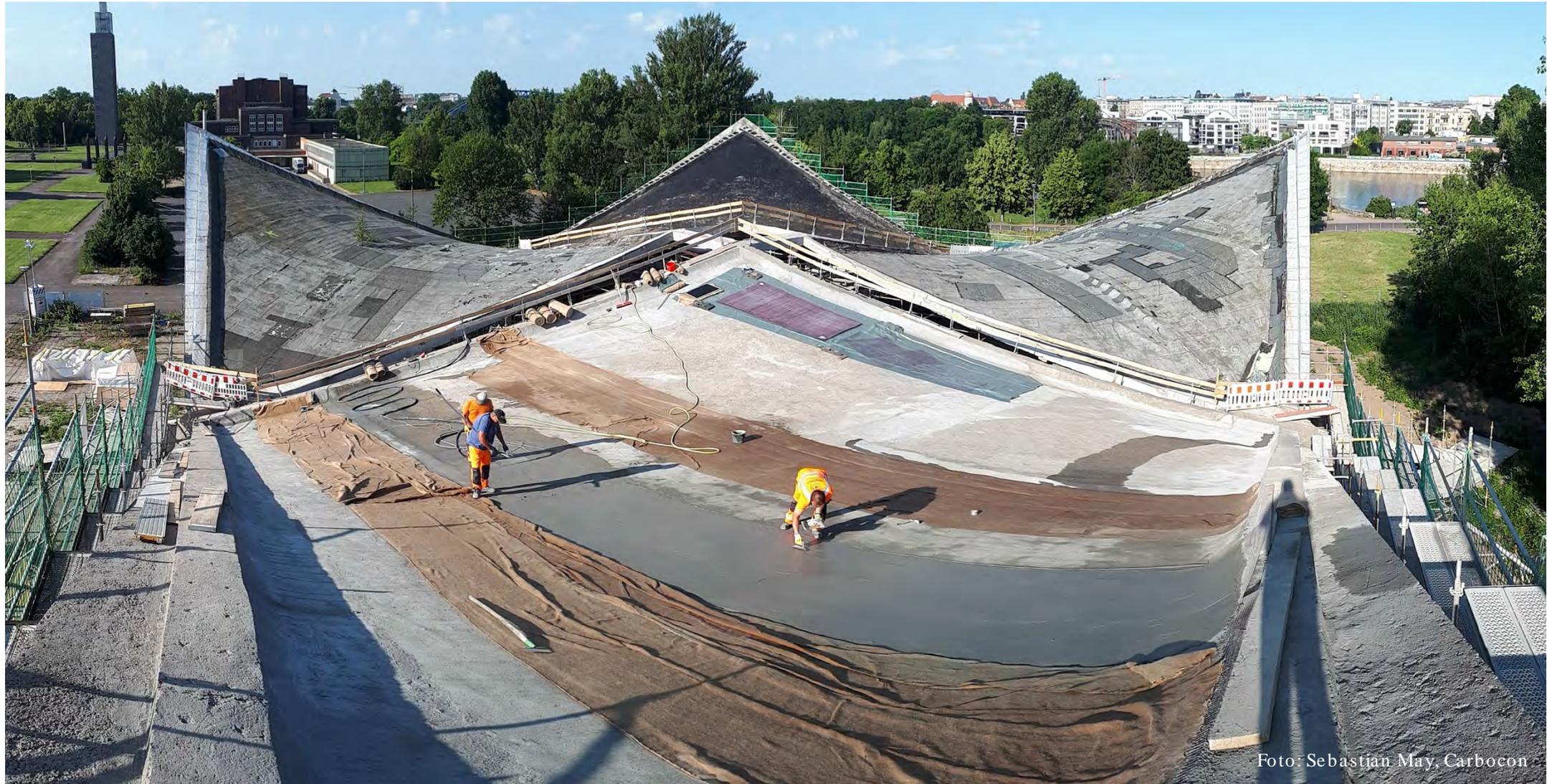


Foto: Sebastian May, Carbocon

# Magdeburger Schale von Ulrich Mütter



Entwurf  
Meinhard von Gerkan und Stephan Schütz mit Christian  
Hellmund

# Anwendungen für Carbonbeton



Erhaltung  
Instandsetzung/Modernisierung/Verstärkung



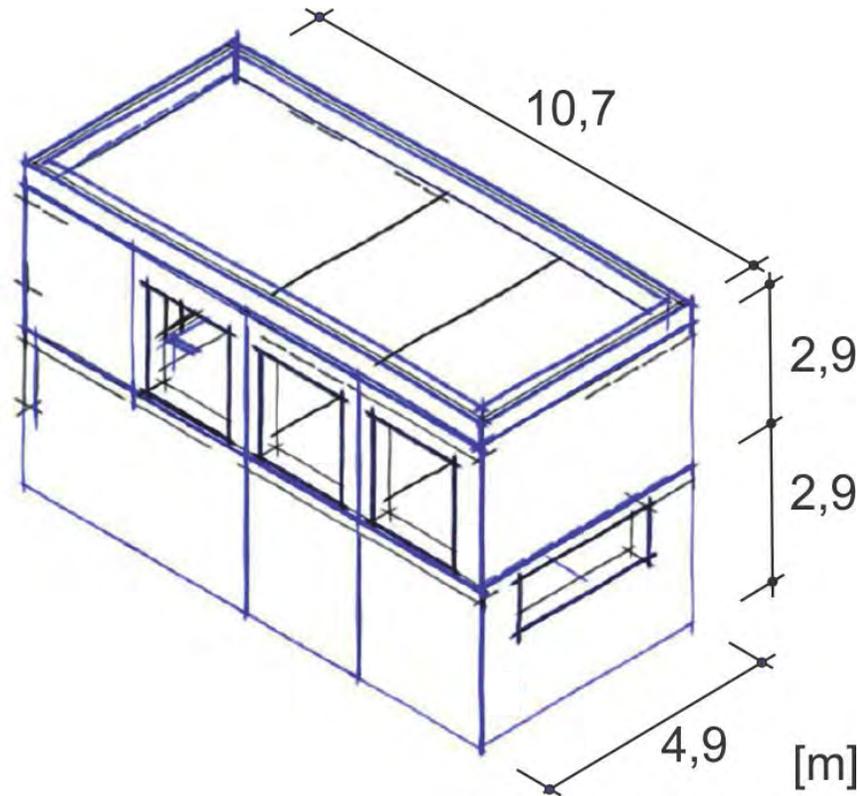
Neubau

# CUBE



**HE  
NN**

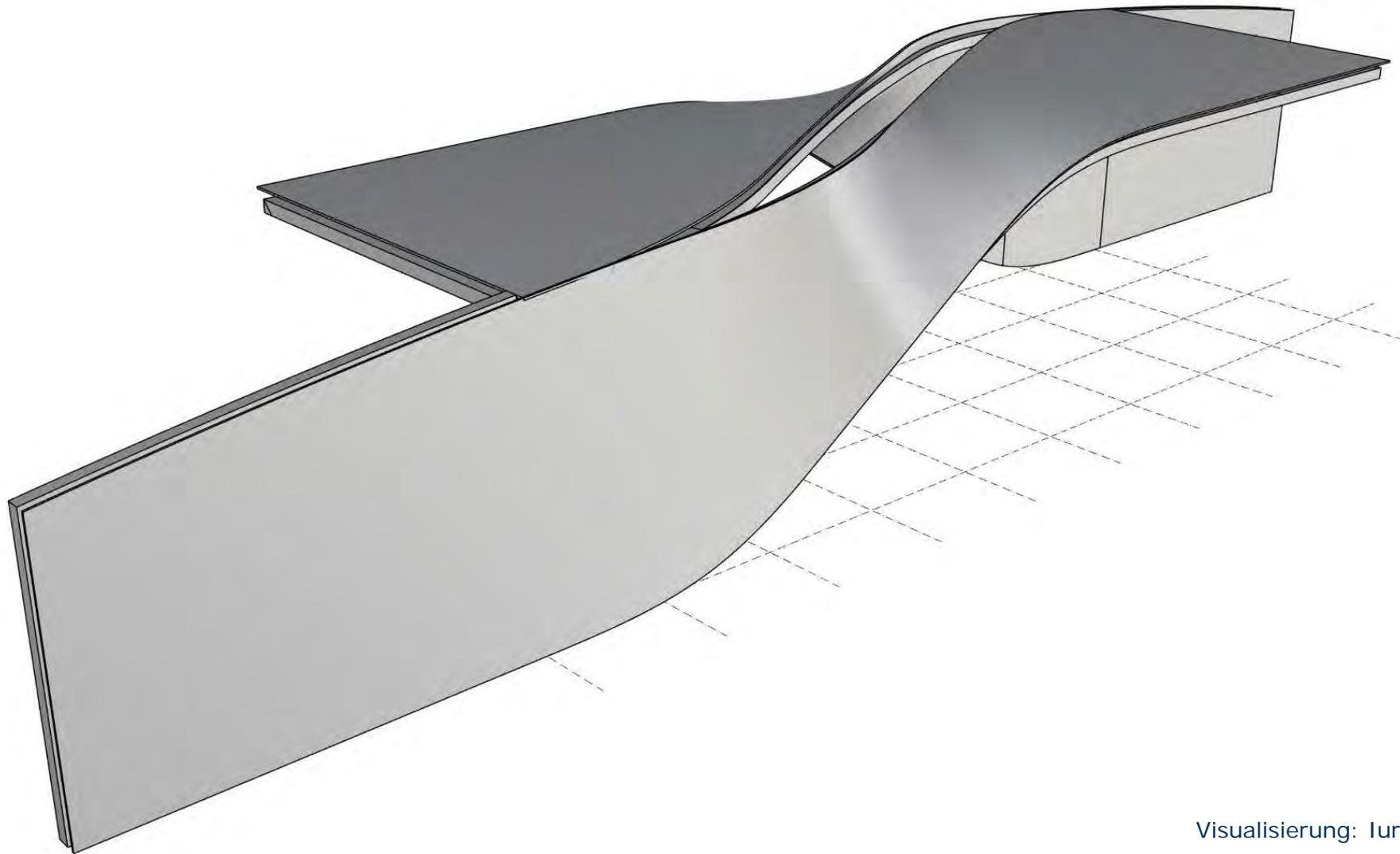
# CUBE



Zeichnung: Bärbel Sprenger, Betonwerk Oschatz

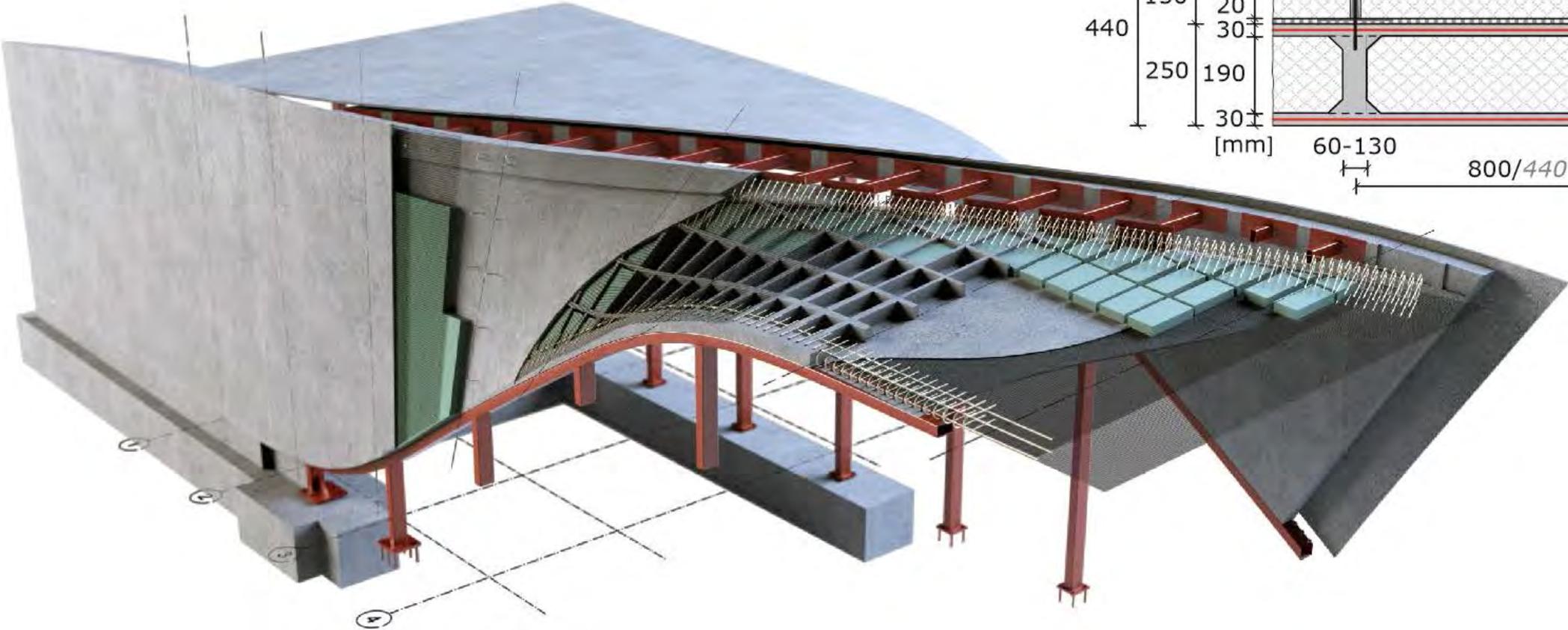


# CUBE



Visualisierung: Iurii Vakaliuk, TU Dresden

# CUBE



# CUBE



Foto: Stefan Gröschel

# CUBE



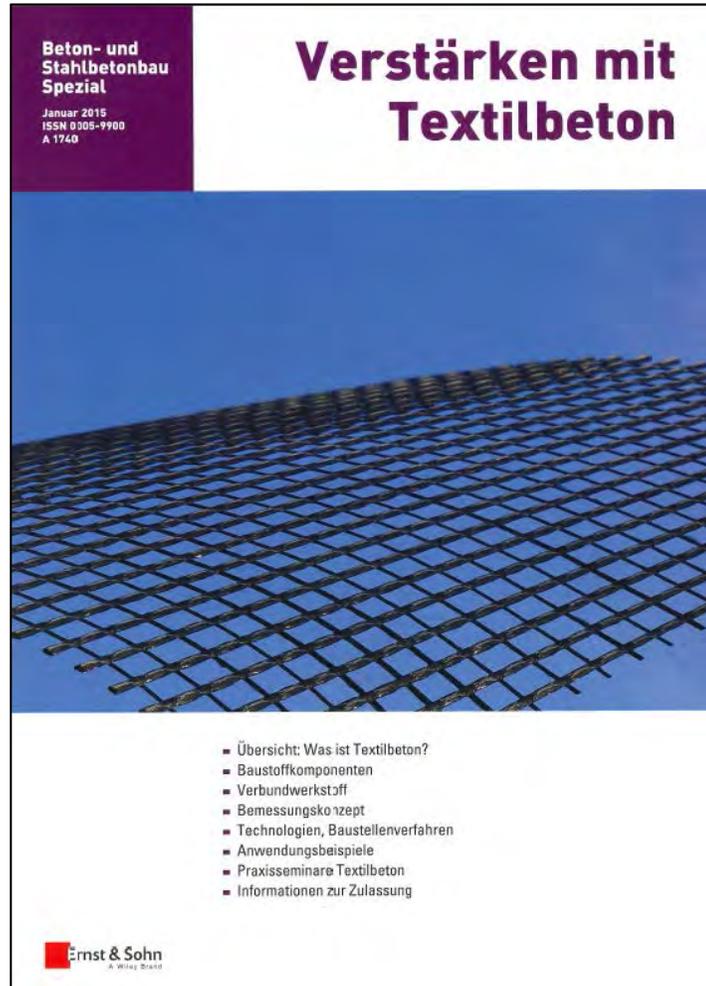
Foto: Stefan Gröschel

# CUBE



Foto: Stefan Gröschel

# Carbonbeton



2015



2023

# Ergebnis

## Handbuch Carbonbeton

Einsatz nichtmetallischer Bewehrung



Manfred Curbach, Josef Hegger, Frank Schladitz,  
Matthias Tietze, Matthias Lieboldt  
(Hrsg.)

 **Ernst & Sohn**  
A Wiley Brand



Foto:  
Baldauf & Baldauf





Foto:  
Baldauf & Baldauf



Foto:  
Baldauf & Baldauf



Foto:  
Stefan  
Gröschel

# Stoffkreislauf inklusive Recycling



Abb. 1 bis Abb. 3: Abbruch von Bauwerken aus Carbonbeton

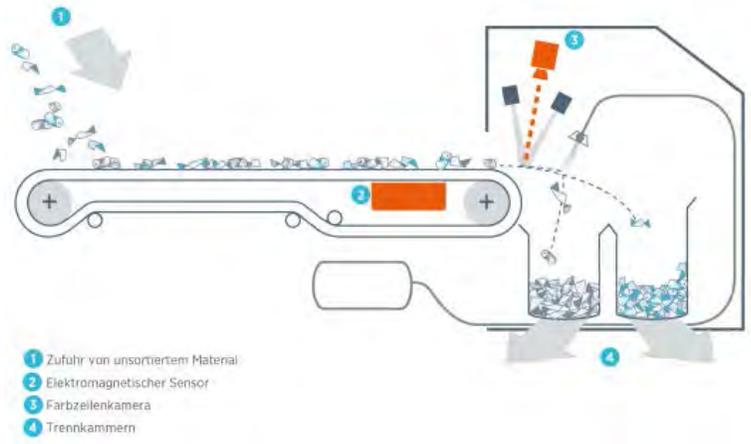


Abb. 4 bis Abb. 6: Sortierung von carbonbetonhaltigen Bruchmaterialien bzw. sekundären Wertstoffen

Abb. 1 bis Abb. 3: TU Dresden (Jan Kortmann) | Abb. 4 bis Abb. 6: TU Dresden (Jan Kortmann), Tomra Sorting GmbH

# Stoffkreislauf inklusive Recycling



## Partner des Projektes WIRreFa

in der Bundesrepublik Deutschland  
Stand Januar 2023

Anzahl der Partner  
je Bundesland



Anzahl der Partner  
je Ort



© Zenobasis-DF / nvG 2023 (Daten verändert)



## TECHNISCHE REGEL ENTWURF

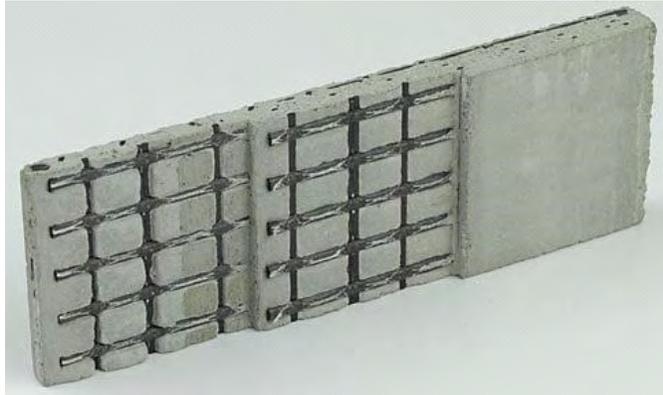
**DAfStb Betonbauteile, nichtmetallische Bewehrung**  
**DAfStb-Richtlinie - Betonbauteile mit nichtmetallischer Bewehrung; Teil 1: Bemessung und Konstruktion; Teil 2: Bewehrungsprodukte; Teil 3: Hinweise zur Bauausführung; Teil 4: Empfehlungen für Prüfverfahren; Teil 5: Hinweise zu erforderlichen Nachweisen für die Verwendbarkeit der Bauprodukte (nichtmetallische Bewehrung) und der Anwendbarkeit der Bauart**

|  |  |                            |                      |
|--|--|----------------------------|----------------------|
| AUSGABE<br>2022-11                         | FRIST ZUR<br>STELLUNGNAHME<br>bis 2023-03-31 | ORIGINALSPRACHE<br>Deutsch | PREIS<br>ab 290,20 € |
| <a href="#">→ Kaufen beim Beuth Verlag</a> |  |                            |                      |

Screenshot 5.2.2023: <https://www.din.de/de/wdc-beuth:din21:362887890>

# Carbonbeton-Forschung

1999–2011: SFB 528/532



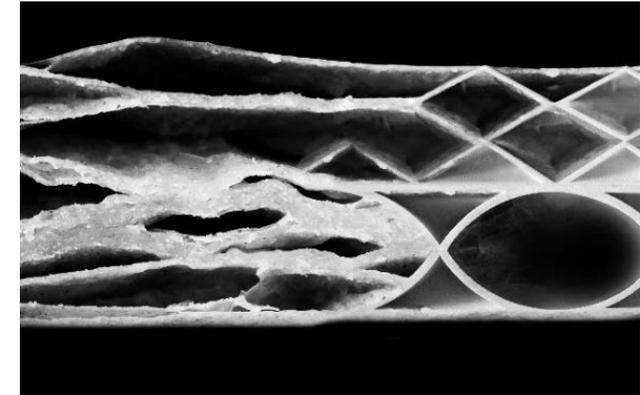
Grundlagenforschung  
Materialien und Komposit

2014–2022: C<sup>3</sup>-Projekt



Anwendungsforschung  
Materialien und Komposit

Seit 2020: SFB/TRR 280



Grundlagenforschung  
Konstruktionsstrategien

SFB 528, SFB 532  
DFG



SFB/TRR280 gefördert durch  
Deutsche Forschungsgemeinschaft  
(DFG), Projekt-ID 417002380

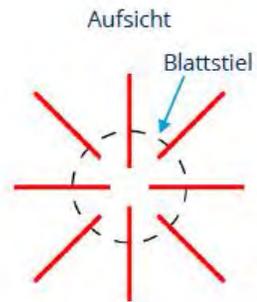
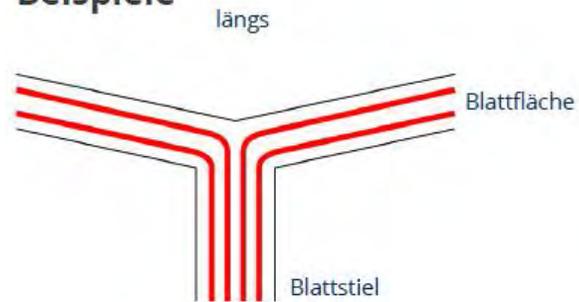
# SFB TRR 280

# Erste Ergebnisse

## Inspiration Botanik

# SFB TRR 280

### Beispiele

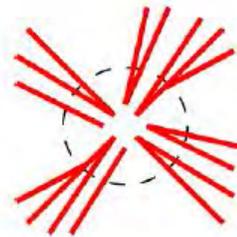
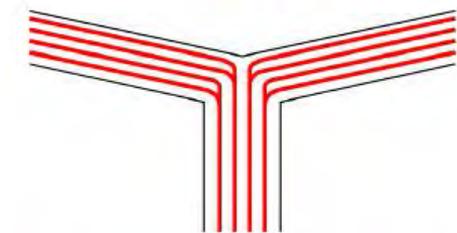


unverzweigt  
z.B. *Piper peltatum*

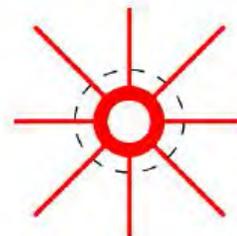
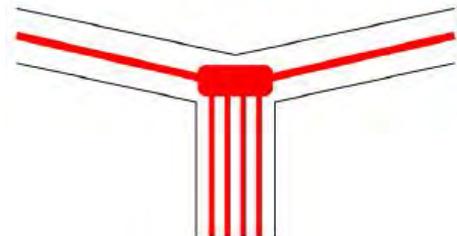
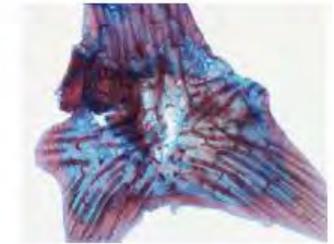
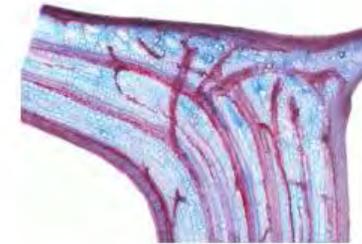
längs



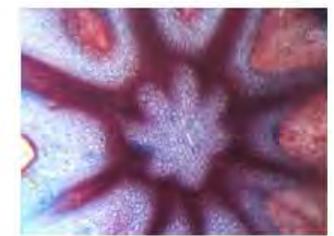
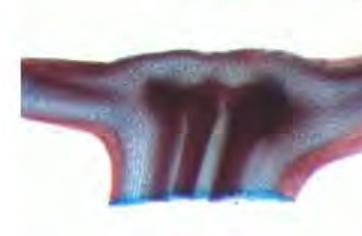
quer



monokotyle  
Verzweigungstyp  
z.B. *Colocasia esculenta*



ringartiger  
Verzweigungstyp  
z.B. *Stephania delavayi*



Prof. Christoph Neinhuis, Dr. Thea Lautenschläger, Annabell Rjosk, Bennett Pauls

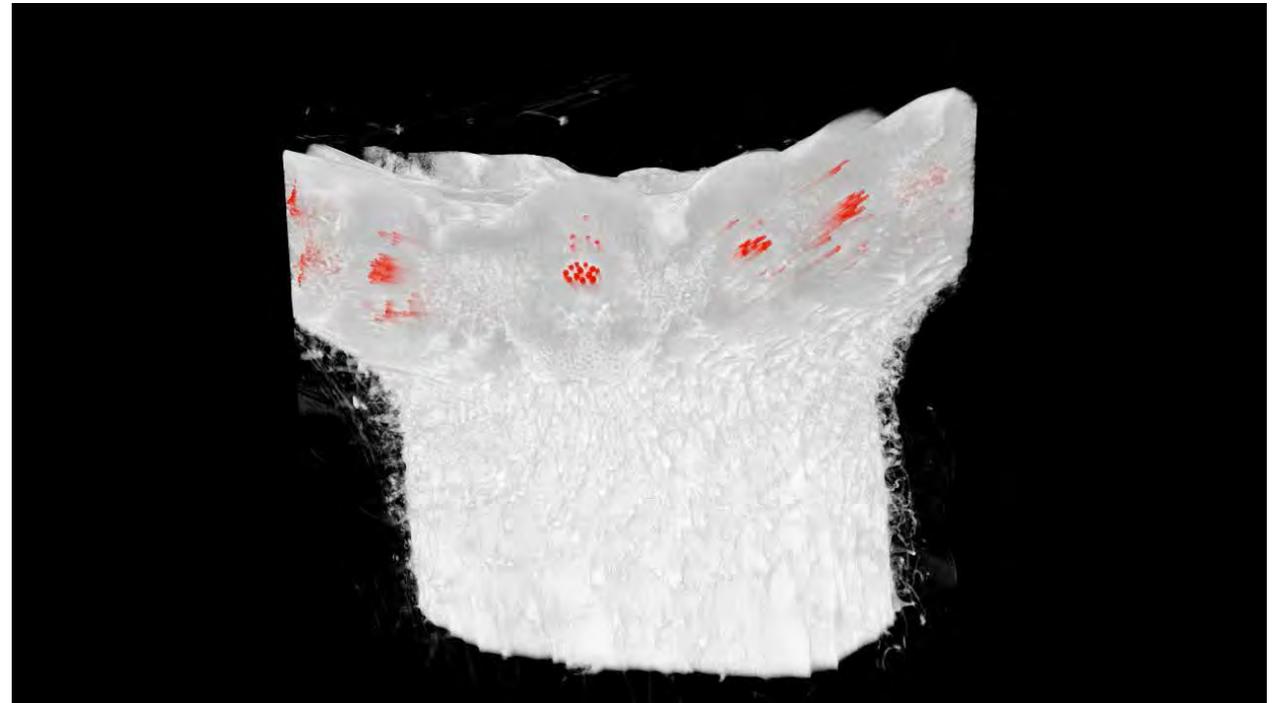
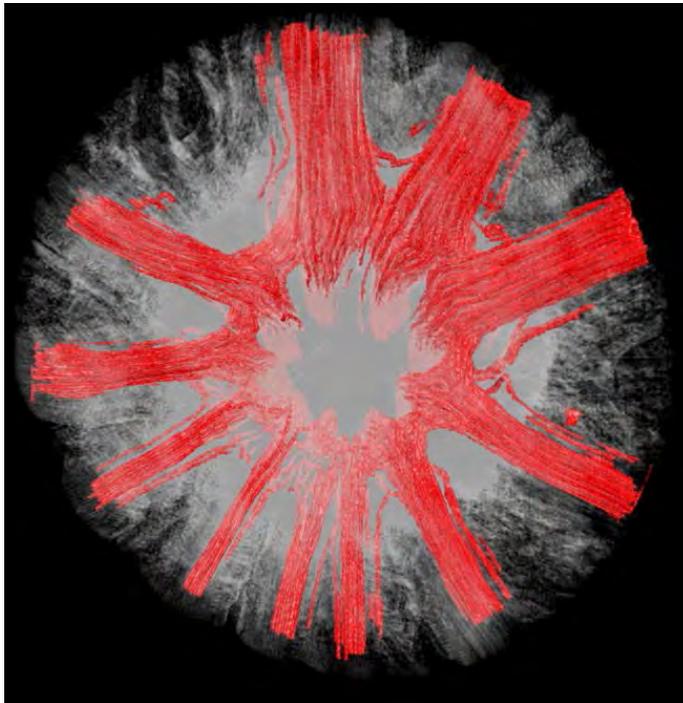
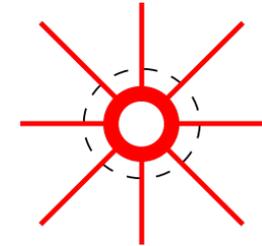
# Erste Ergebnisse

## Inspiration Botanik

# SFB TRR 280

*Stephania japonica*

Zusammenarbeit mit Tomographie



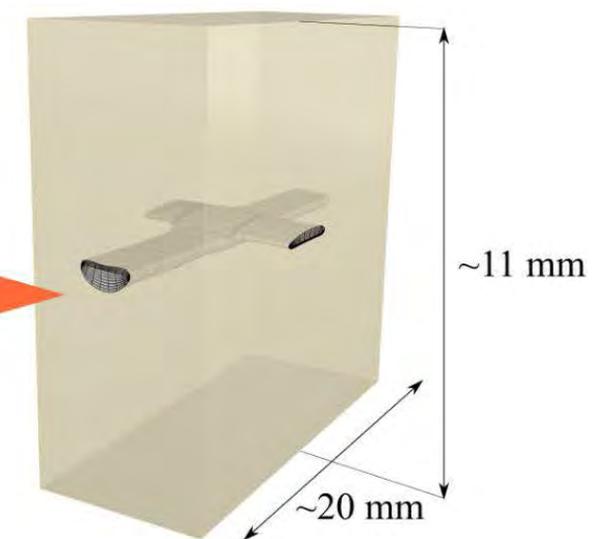
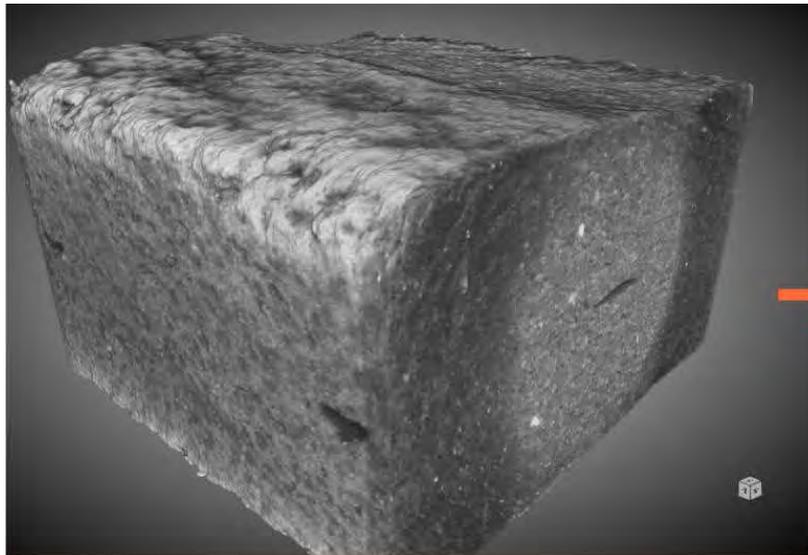
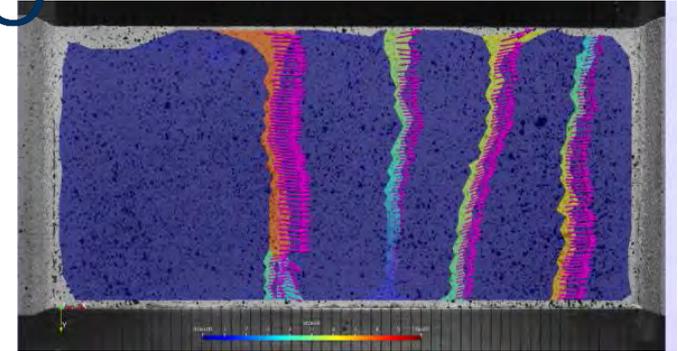
Prof. Christoph Neinhuis, Dr. Thea Lautenschläger, Annabell Rjosk, Bennett Pauls

# Erste Ergebnisse

## Tomographiedatenanalyse

# SFB TRR 280

Rissdetektion  
3D-Rekonstruktion einer Probe (ibac),  
Extrahierter Roving,  
Parametrische Oberflächenbeschreibung



Prof. Hans-Gerd Maas, Franz Wagner, Dr.-Ing. Frank Liebold;

# Erste Ergebnisse

## Extrusion von Carbonbeton

# SFB TRR 280

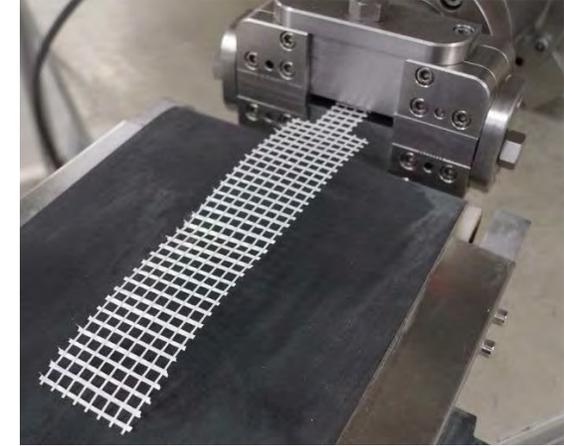


Prof. Thomas Matschei, Prof. Michael Raupach, Matthias Kalthoff

# Erste Ergebnisse

Extrusion von Carbonbeton

# SFB TRR 280

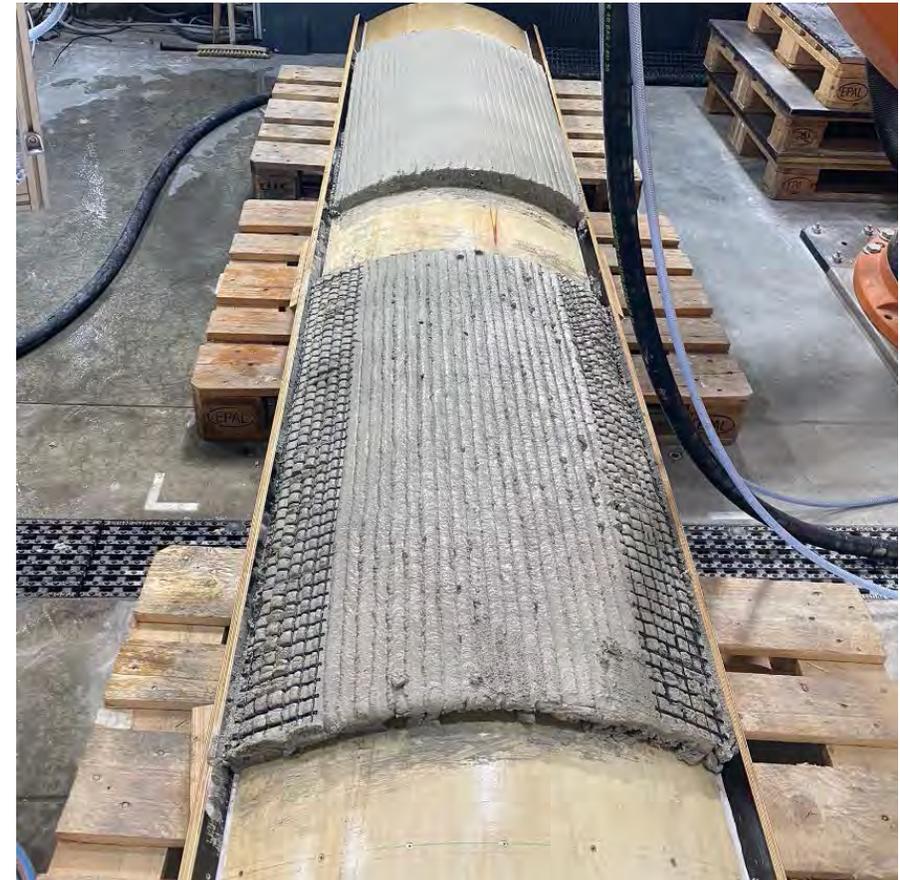


Prof. Thomas Matschei, Prof. Michael Raupach, Matthias Kalthoff

# Erste Ergebnisse

## 3D-Druck von Carbonbeton: Rezeptur, Beschleuniger, Bewehrung

# SFB TRR 280

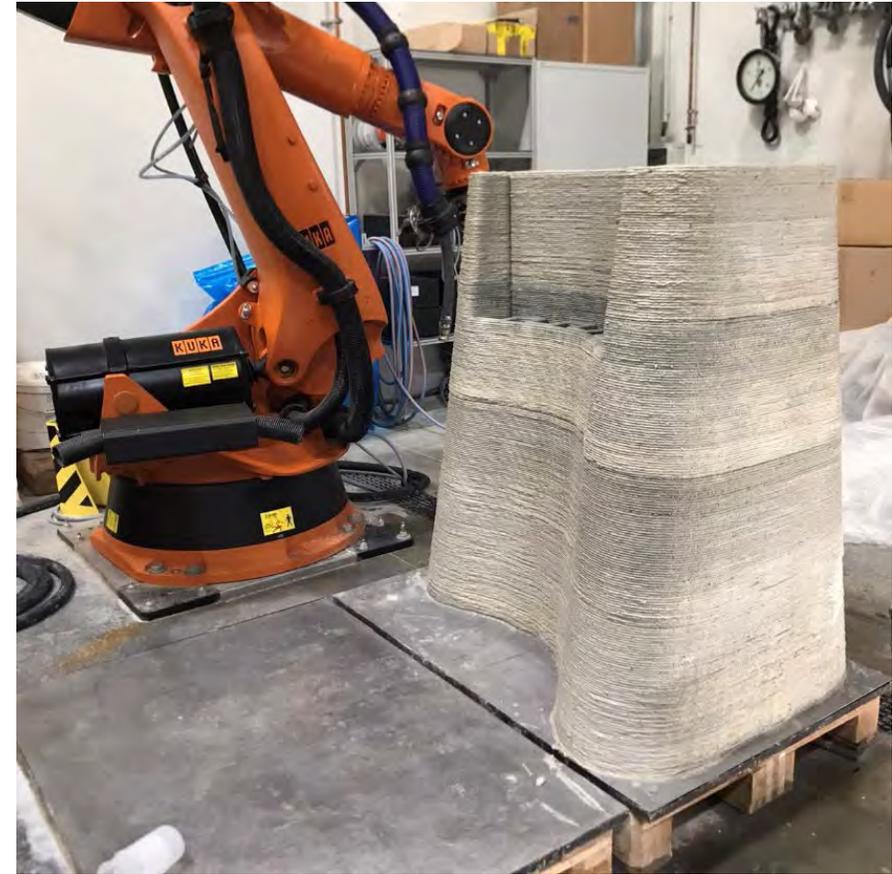


Prof. Viktor Mechtcherine, Tobias Neef

# Erste Ergebnisse

3D-Druck von Carbonbeton, 3DPC: Deko-Objekt

# SFB TRR 280



Prof. Viktor Mechtcherine, Tobias Neef

# Fünf vor Zwölf?









Photo: Manfred Curbach



# Situation heute: CO<sub>2</sub>-Emission

“According to a report by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), the building sector was responsible for 40% of the global energy consumption and contributed **a quarter** of the global total CO<sub>2</sub> emissions.”

**Bauwesen > 25 % des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes, allein Zement 7 %**

**Bauwesen 11,6 % des Bruttoinlandsprodukts**

Photo: Oliver Berg/AFP

# Situation heute: Forschungsanteil Bauwesen an der Gesamtforschung

|            |                     |
|------------|---------------------|
| Industrie: | 0,31 % <sup>1</sup> |
| Bund:      | 0,65 % <sup>2</sup> |
| BMBF:      | 0,26 % <sup>2</sup> |
| DFG:       | 1,57 % <sup>3</sup> |

<sup>1</sup> Stifterverband 05.2021

<sup>2</sup> Bundesministerium für Bildung und Forschung (2021)  
*Bildung und Forschung in Zahlen 2021 – Ausgewählte Fakten aus dem Daten-Portal des BMBF*, S. 12 f.

<sup>3</sup> Deutsche Forschungsgemeinschaft, Jahresbericht 2019



# Transfer in die Praxis

- Frühzeitige Einbindung von Unternehmen
- Bildung von Niederlassungen von Firmen aus ganz Europa
- Gemeinsame Forschung
- Schnelle Zertifizierung
- Unternehmensgründungen
- Produktion vor Ort
- Transfer durch Köpfe
- Aus- und Weiterbildung
- Schaffung von Arbeitsplätzen

⇒ **Strukturwandel**



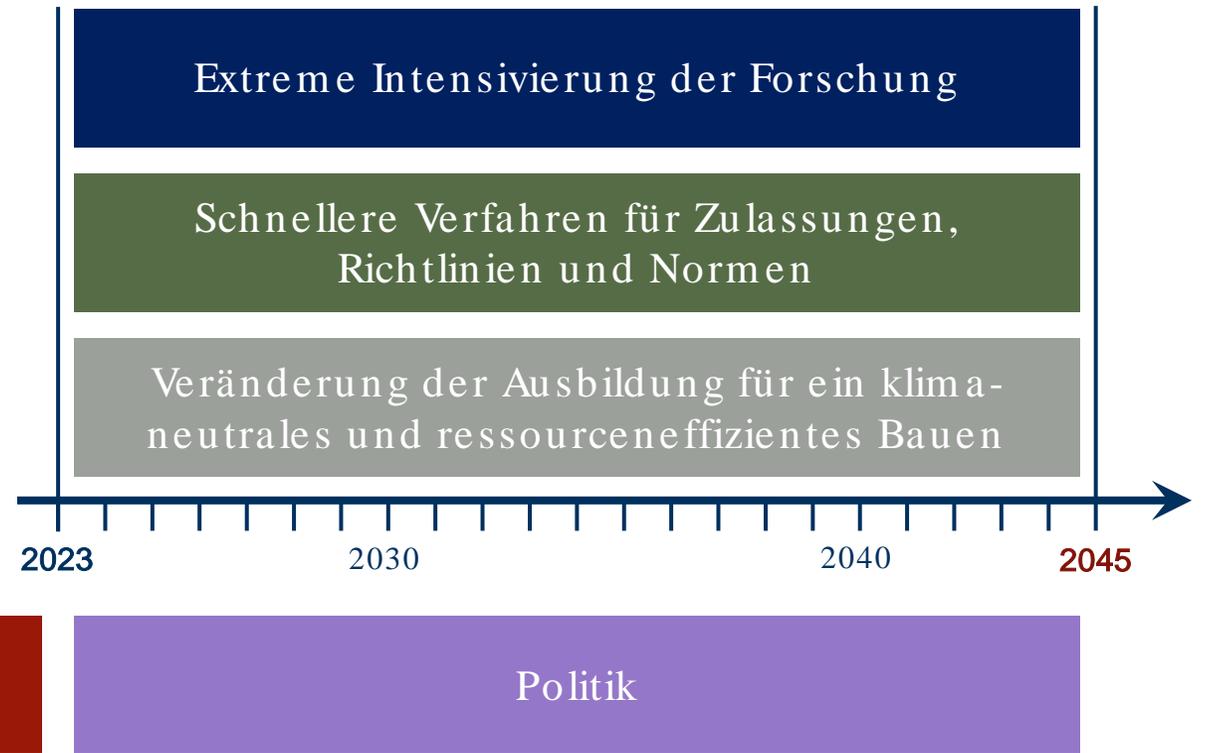
mind the gap

# Herausforderung – Die Größe der Aufgabe

Wir brauchen Hunderte von Ideen und Lösungen

Beschleunigung von Zulassungen (heute 10 Jahre)  
und Normung (heute 20 Jahre und mehr)

Änderung der Studienordnungen und  
Weiterbildung der aktiven Bauingenieure



# LAB

Lausitz  
Art of  
Building

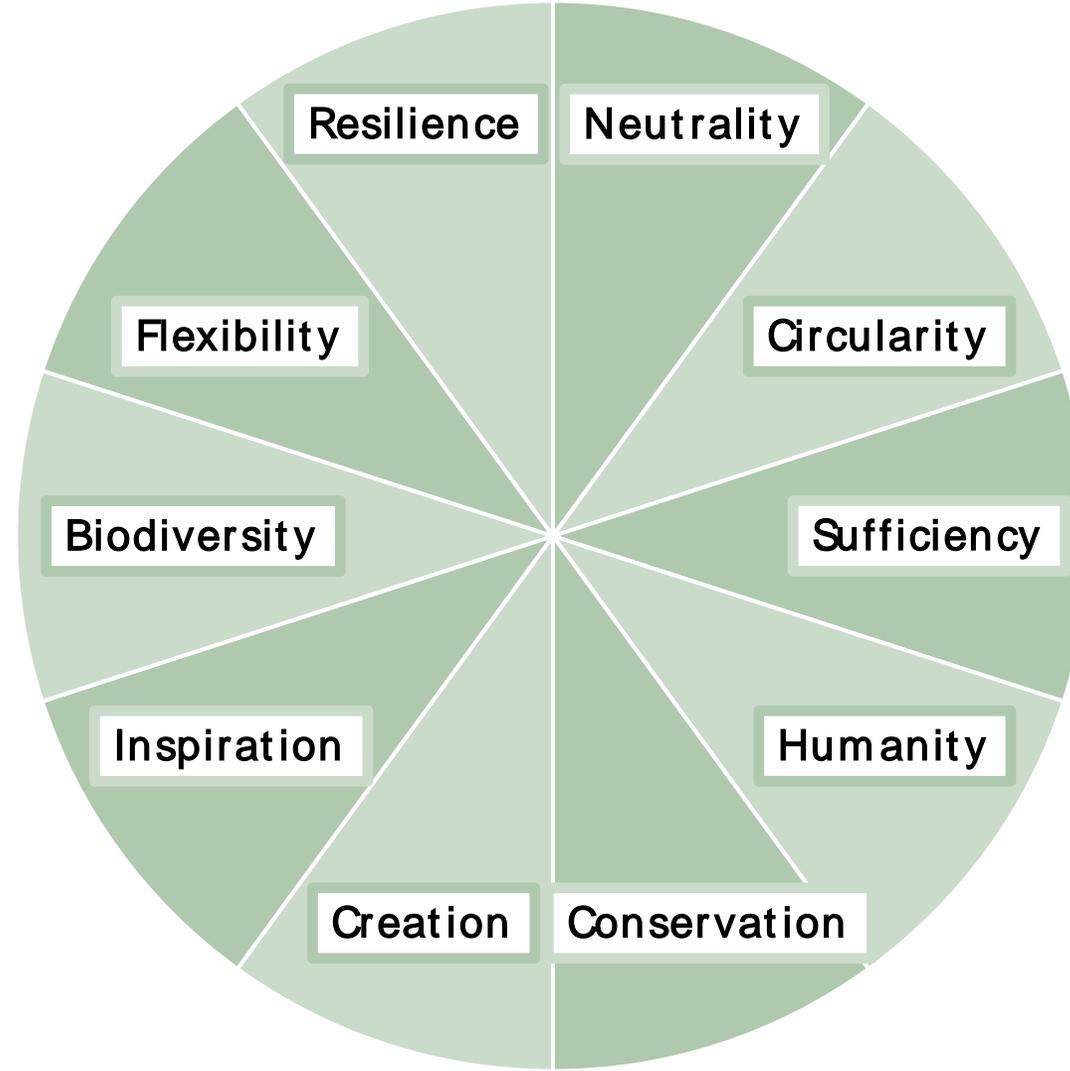
Paradigmenwechsel

Bauen ohne Nebenwirkungen

Schaffung von Perspektiven

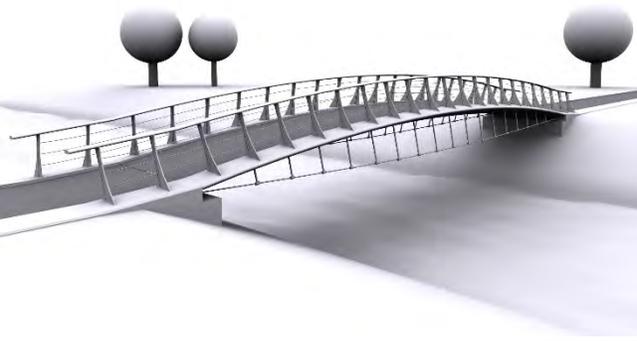
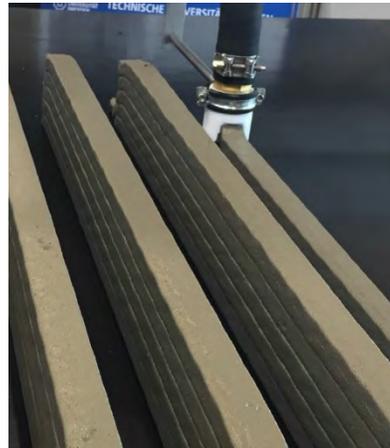
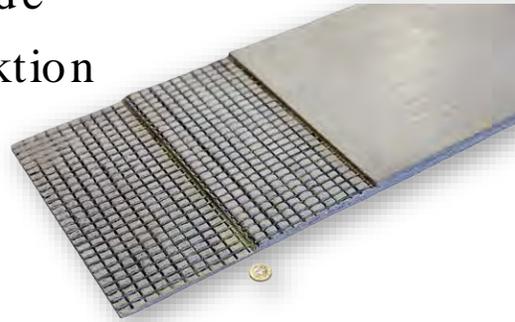
# A Holistic Approach: Value-based Research

Concept of Research  
over 30 Years



# Grundlagenforschung

- Material und Materialverbünde
- Konstruktion und Dekonstruktion
- Herstellung inkl. robotischer Produktion
- Digitalisierung, KI
- Transport
- Erhalt und Ertüchtigung
- Zirkuläre Wertschöpfung
- Energie, Gebäudetechnik und allgemeiner Ausbau



|   |   |  |  |
|---|---|--|--|
| Material  | Bindemittel   |  |  |
|   | Zusatzstoffe  |  |  |
|   | Zusatzmittel  |  |  |
|   | gebundene Wertstoffe  |  |  |
|   | (Ultra)Hochfester Wertstoff   |  |  |
|   | Hochleistungsleichtwertstoff  |  |  |
|   | Infraleichtwertstoff  |  |  |
|   | R-Wertstoff   |  |  |
|   | Carbon  |  |  |
|   | Carbonfasertränkungen   |  |  |
|   | Lignin  |  |  |
|   | CO <sub>2</sub>   |  |  |
|   | Biomaterialien  |  |  |
|   | Holz  |  |  |
|   | Formholz  |  |  |
|   | Stahl   |  |  |
|   | hochfester Stahl  |  |  |
|   | Glas  |  |  |
|   | Bewehrung (1D)  |  |  |
|   | Scheiben (2D)   |  |  |
| Schalen (3D)  |   |  |  |
| Basalt (auch Mond)  |   |  |  |
| Mauerwerk   |   |  |  |
| Naturstein  |   |  |  |
| Lehm  |   |  |  |
| Stroh   |   |  |  |
| Sisal   |   |  |  |
| Kunststoffe jedweder Art, z.B. recycliertes Material                                |   |  |  |
| Regolith (Mond und Mars), silikatisches Material                                    |   |  |  |
| Andesite, Tuffite (Mars) <small>siehe geologische Übersichtskarte des Mars</small>  |   |  |  |
| recycelte Wertstoffe anderer Branchen   |   |  |  |
| phantasmagorische Surrogate   |   |  |  |
| <b>bisher ungedachte Materialien</b>  |   |  |  |
| .....   |   |  |  |
| Materialkombinationen   | Carbonwertstoff   |  |  |
|   | vorgespannter Carbonwertstoff   |  |  |
|   | Beton-Holz-Verbünde   |  |  |
|   | Beton-Glas-Verbünde   |  |  |
|   | Basaltwertstoff   |  |  |
| ..... <i>hab mir erspart, jetzt alle möglichen Kombinationen hinzuschreiben ...</i> |   |  |  |
| <b>bisher ungedachte Kombinationen</b>  |   |  |  |
| .....   |   |  |  |
| Konstruktion/Dekonstruktion   | alle Themen des Entwurfs  |  |  |
|   | Leichtbau   |  |  |
|   | Dynamik im Leichtbau und Entwerfen für dynamische Einwirkungen (Ermüdung, Dämpfung, Komfort)  |  |  |
|   | integrale Bauwerke  |  |  |
|   | Recycling/Kreislaufwirtschaft   |  |  |
|   | Adaptive, wandelbare und multifunktionale Tragwerke (Sensorik, Aktuatorik, Dynamik, Ermüdung) |  |  |
|   | Werkstoffgerechtes Entwerfen und Konstruieren mit neuen Materialien                           |  |  |
|   | landschaftlich orientiertes Bauen   |  |  |
|   | handwerklich orientiertes Bauen   |  |  |
|   | kulturell orientiertes Bauen (Regionen, Länder, Kontinente)                                   |  |  |
| Konstruktionen für Mond und Mars  |   |  |  |
| Brandschutz   |   |  |  |
| <b>bisher ungedachte Konstruktionsarten</b>   |   |  |  |

Wege zu einem ressourceneffizienten und nach

# Biogenes Carbon

Algen

CO<sub>2</sub> → PAN

Carbon

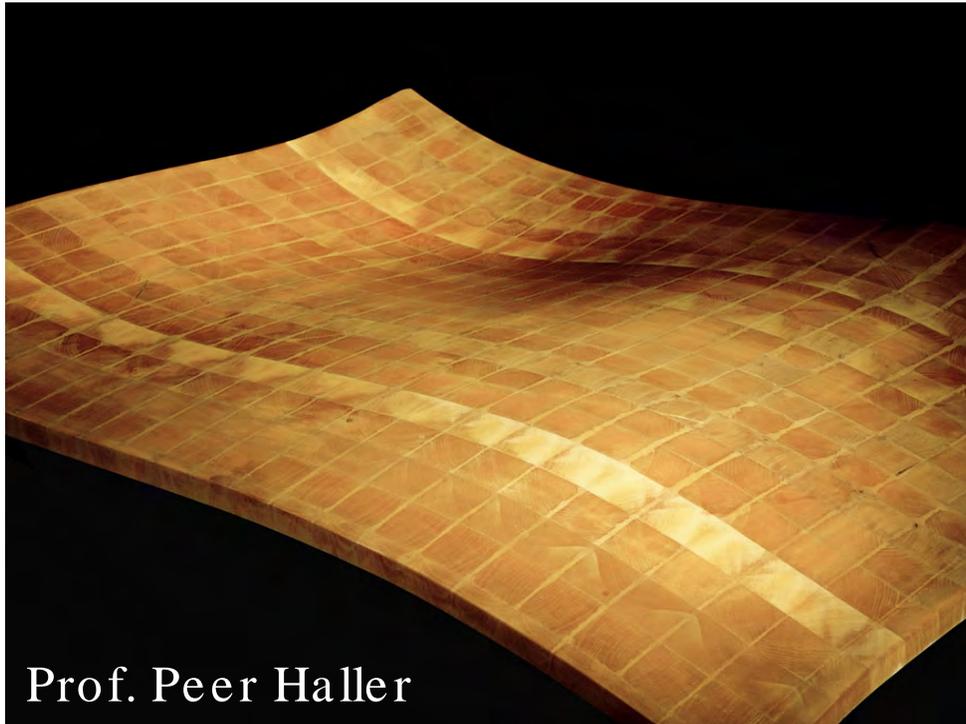
Industrielle relevante CO<sub>2</sub>-Senke

Prof. Thomas Brück



# High-tech für effiziente Holzkonstruktionen

- Wechsel vom Massivholz zum zellulären Polymer
- thermo-hygro-mechanische (THM) Behandlung
- vierfache strukturelle Festigkeit
- ein Achtel des Materials
- Hochleistungsstrukturen auf Holzbasis.

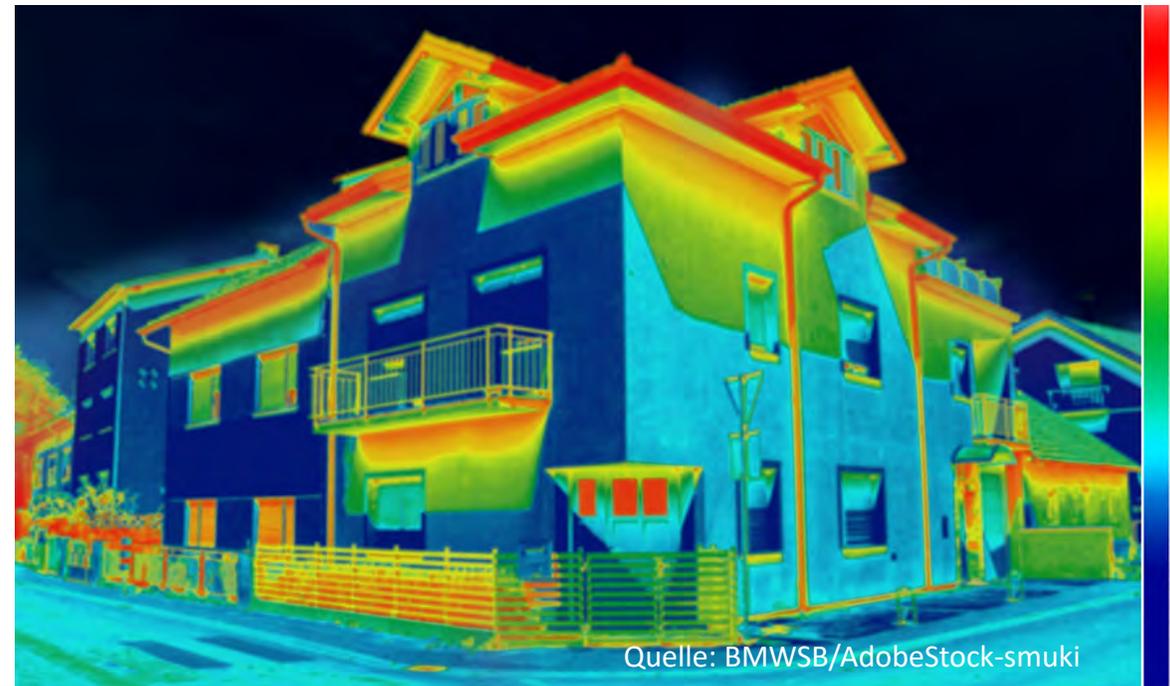


# Resilient Energy Concepts in Building Quarters

Recent decisions of German government, July 13<sup>th</sup>, 2022

1. Novelle des Gebäudeenergiegesetzes (GEG)
2. Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG)
3. Richtlinie für die Förderung von Pilotprojekten der Seriellen Sanierung und flankierenden Maßnahmen (Bundesförderung Serielle Sanierung)
4. Initiative öffentliche Gebäude
5. Sanierung kommunaler Einrichtungen in den Bereichen Sport, Jugend und Kultur
6. Zukunft Bau - Modellvorhaben für Innovation im Gebäudebereich
7. Bundesförderung für effiziente Wärmenetze (BEW)
8. Gesetz für kommunale Wärmeplanung
9. Aufbauprogramm und Qualifikationsoffensive Wärmepumpe
10. Optimierung bestehender Heizungssysteme
11. Energieeffizienzgesetz (EnEfG)

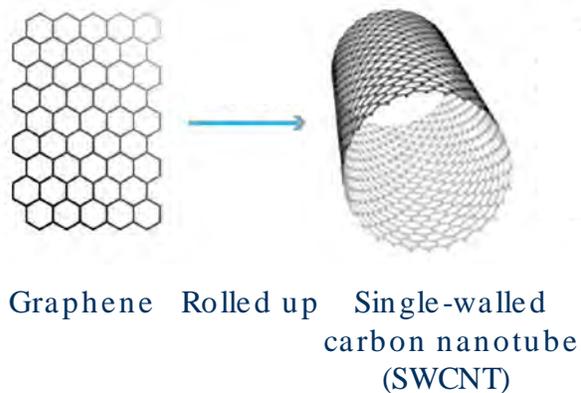
**Mainly** focused on the operation of buildings,  
rather than the construction of buildings



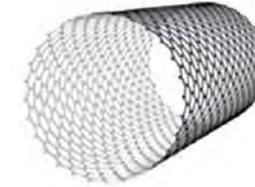
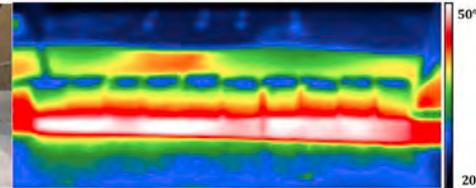
# Small Materials – Big Effects: Nanotechnology and Concrete

Adding nanomaterials to concrete leads to:

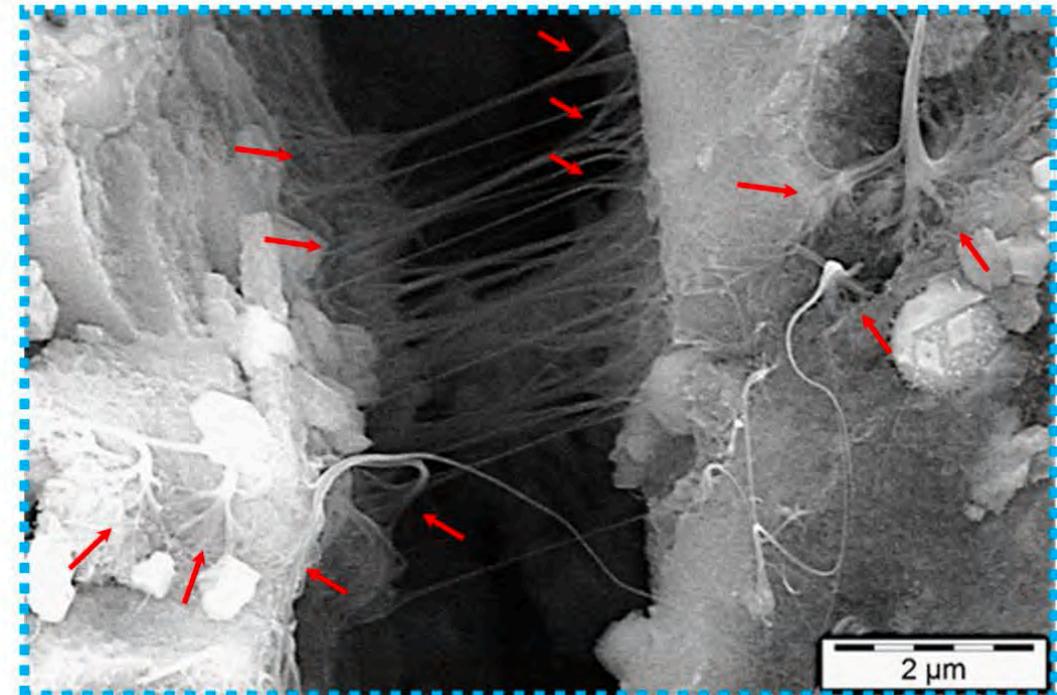
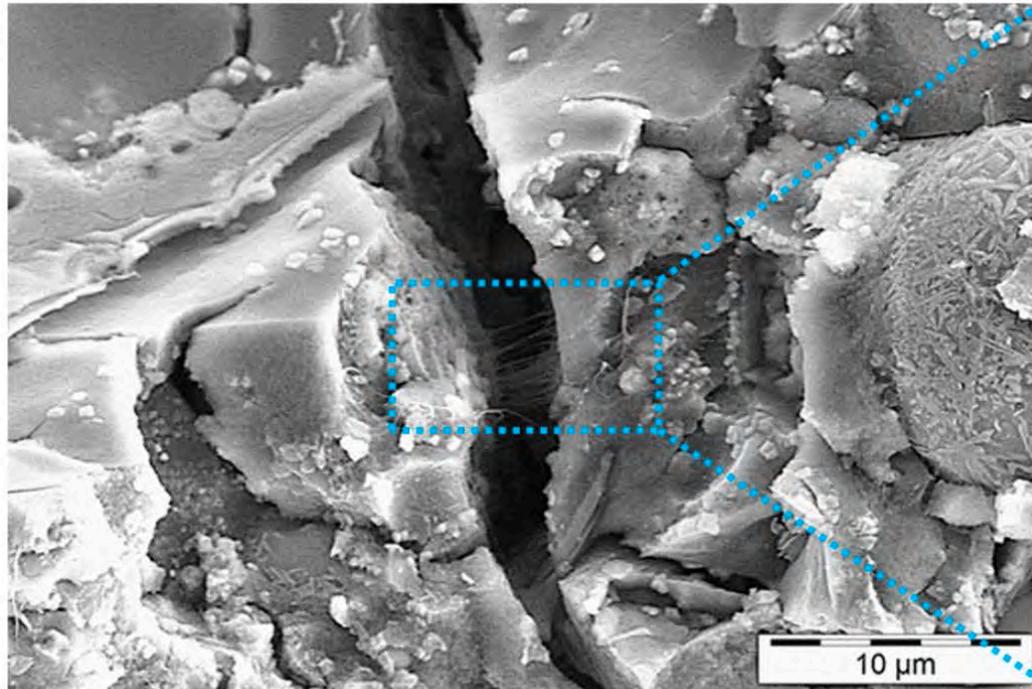
- Stronger and lighter structures
- Reduced material usage and carbon footprint
- Increased durability
- Improved handling and processes
- Self-healing and self-cleaning properties
- **Novel functionalities: sensing and energy harvesting**



# Integrating Novel Functionalities by Adding Nanostructures



→ single-walled carbon nanotubes (diameter ~1.6 nm)



- Improved structural load-bearing
- Enhanced electrical conductivity

➤ Energy harvesting: thermoelectric response when exposed to a thermal gradient

M. Davoodabadi *et al.*, *Nanomaterials* **11**, 1095 (2021)

# Inspiration

Examples of Research Topics in general in the long run:

Inspiration Mining and Invention Engineering

Analysis of homage, history and forgotten structures

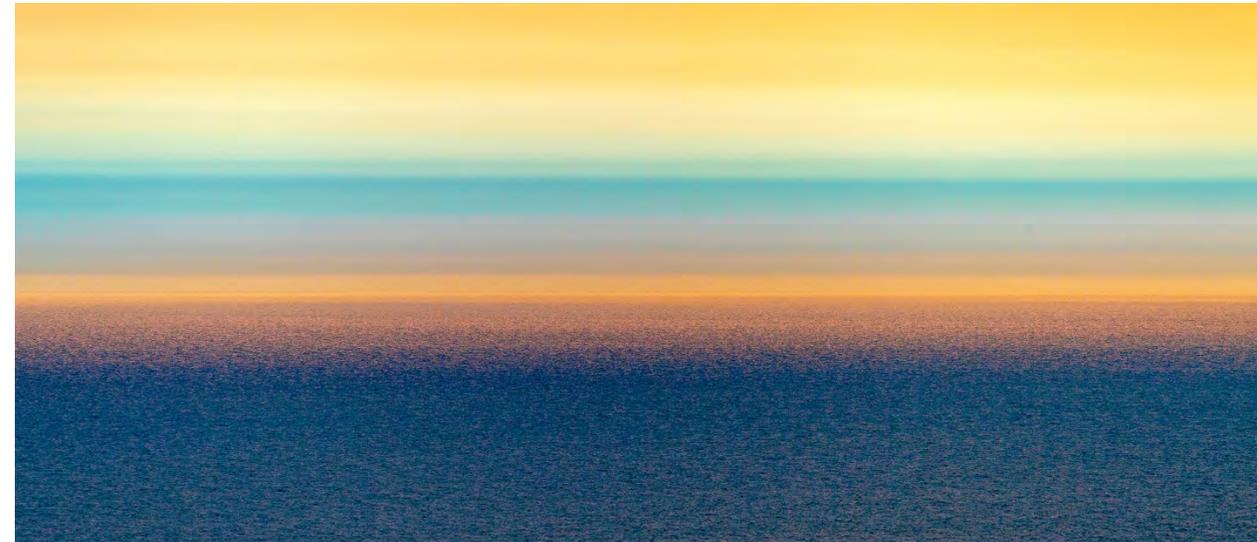
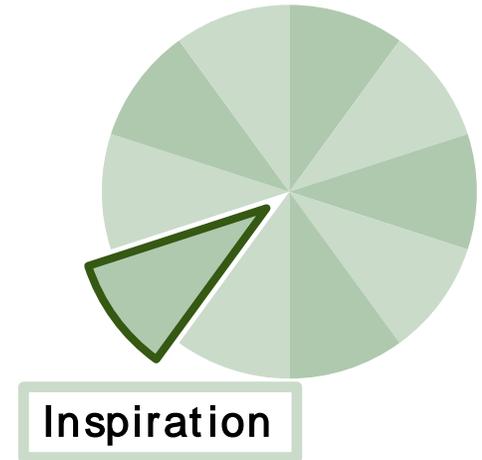
Analysis of success and failure

Building on Moon and Mars

Building in the deep sea

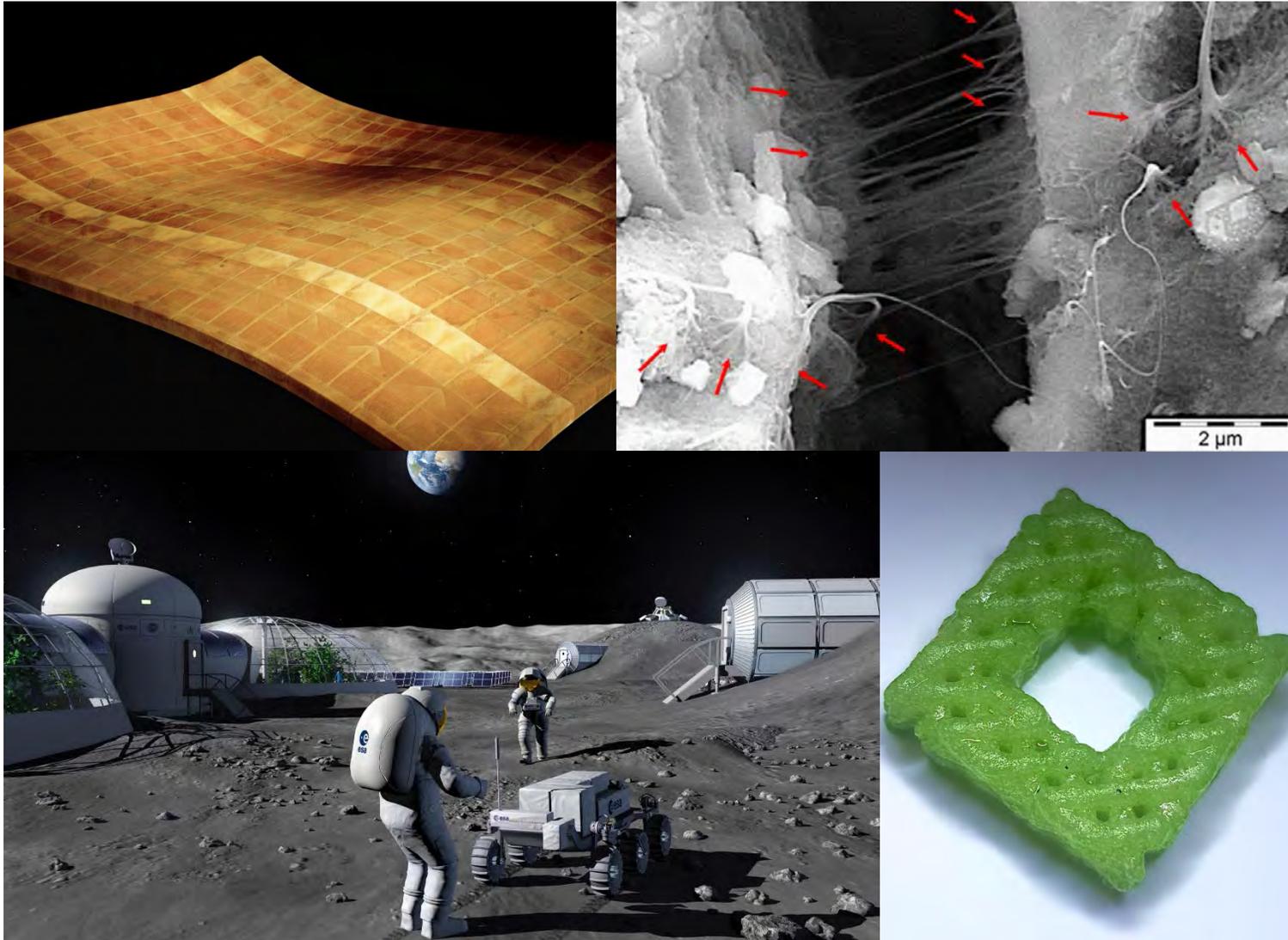
Examples of Interdisciplinary Research Units

Rethinking Construction History



# Disruptive Entwicklung unserer Konstruktionen

$$CLS_{BM} = \frac{\gamma_{GWP,eco} \cdot GWP_{eco,BM} / t_{sl,eco,BM}}{GWP_{ref,BM} / t_{sl,design,BM}} \leq \alpha_{GWP}$$



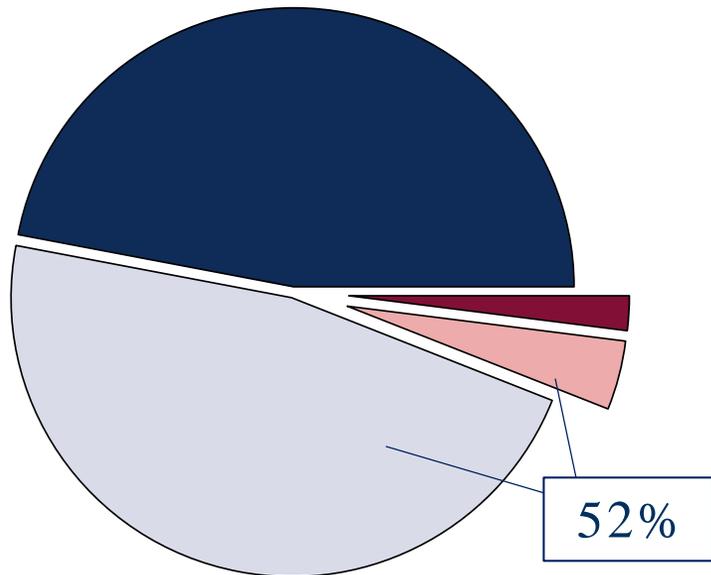


# Ressourcen- und Emissionseinsparung

## Einsparpotential durch Carbonbeton

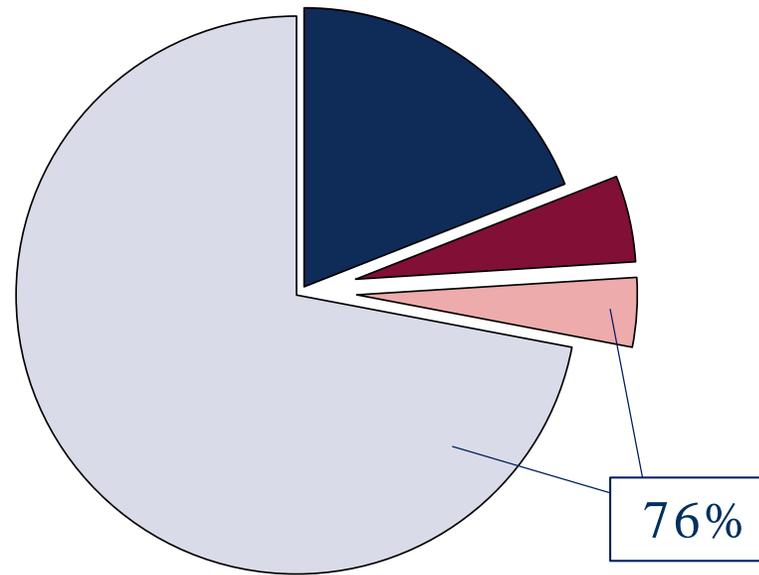
### Ressourcen

2.933 Mio. t Carbonbeton  
3.177 Mio. t Einsparung



### CO<sub>2</sub>-Emissionen

727 Mio. t CO<sub>2</sub>  
2.331 Mio. t CO<sub>2</sub> Einsparung



- C<sup>3</sup> - Beton
- Carbonbewehrung
- Einsparung Beton
- Einsparung Bewehrung

Quelle: Wiebke Seifert