

Aktuelle Erkenntnisse zum Thema »Recyclingfähigkeit und Gesundheitsschutz bei der Carbonbetonbauweise «

Jan Kortmann
TU Dresden – Institut für Baubetriebswesen
Projektleiter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Peter Jehle

Dessau, 20. September 2019

BAUEN-NEU-DENKEN.DE

initiiert von



gegründet von



unterstützt von



Carbonbetonbauweise | Motivation



Urbanisierung



Ressourcenverbrauch



Korrosion der Stahlbewehrung



CO₂-Emission

Carbonbetonbauweise | Lösung



schlanke Bauweise



Ressourceneffizienz

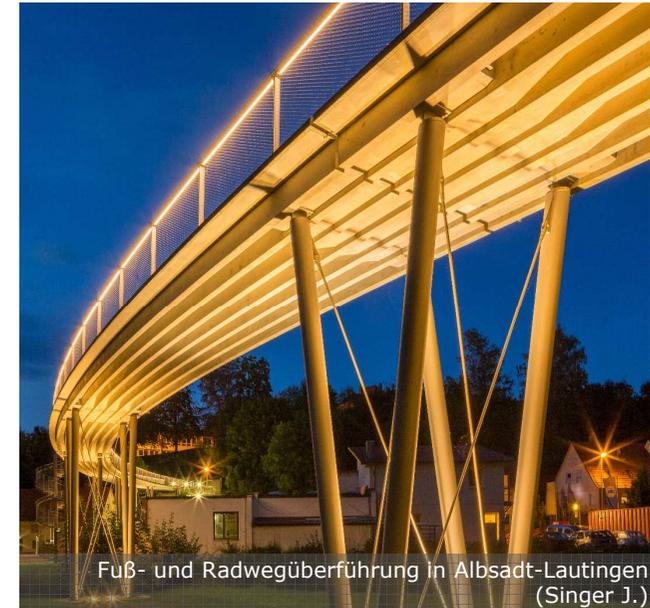


nicht-korrosive Baumaterialien



CO₂-Reduktion

Carbonbetonbauweise | Referenzen - Neubau



Carbonbetonbauweise | Referenzen - Verstärkung



Carbonbetonbauweise | Herausforderung

Was unterscheidet Carbonbeton von CFK-Bauteilen?

- »CFK« sind Kohlenstofffasern mit Kunststoffummantelung
- »Carbonbeton« zusätzlich mineralische Komponente Beton



CFK-Bauteil [Homepage CC e.V.]



Carbonbetonbauteil [IBB, TU Dresden]

Forschung C3-V1.5 | Zielstellung im Teilprojekt

Ausschluss potenzieller Markteintrittsbarrieren

- hinsichtlich des Gesundheitsschutzes und
- hinsichtlich der Recyclingfähigkeit mit dem Verbleib des C³-Baustoffes im Wirtschaftskreislauf



Institut für Massivbau (TU Dresden)

Ressourcensparender Baustoff und
neuartige Bauweisen



Institut für Baubetriebswesen (TU Dresden)

Recycling von Carbonbetonbauteilen



ITM (TU Dresden)

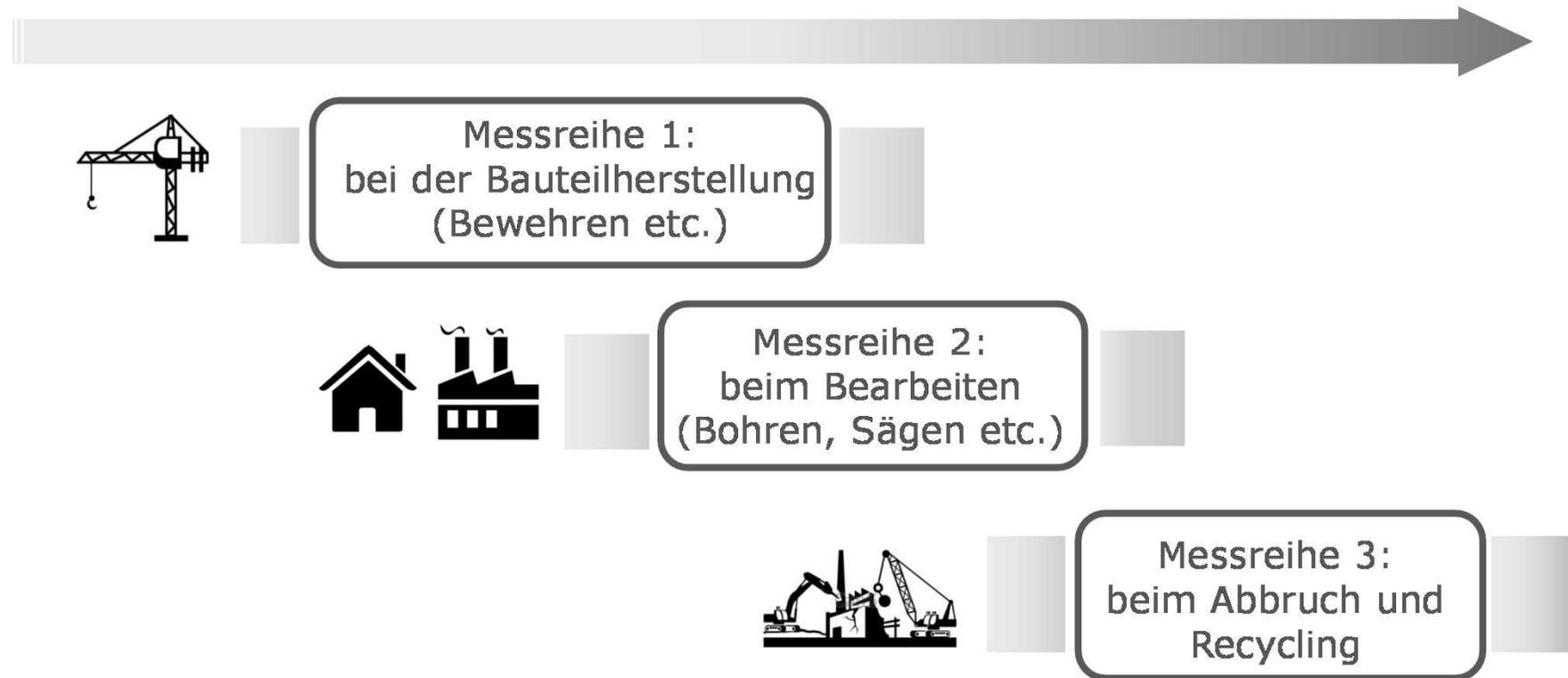
Stoffliche Verwertung
Carbonfasern

Gesundheitsschutz

Ergebnisse aus der Forschung

Arbeits- und Gesundheitsschutz

Durchführung von mehrstufigen Expositionsmessungen



Arbeits- und Gesundheitsschutz

Durchführung von mehrstufigen Expositionsmessungen

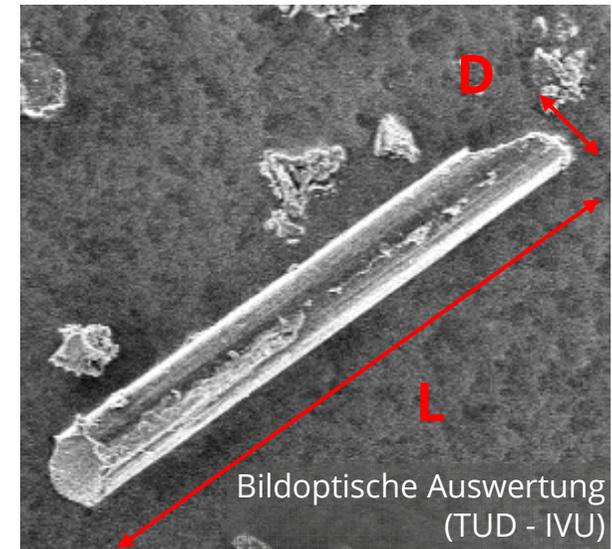
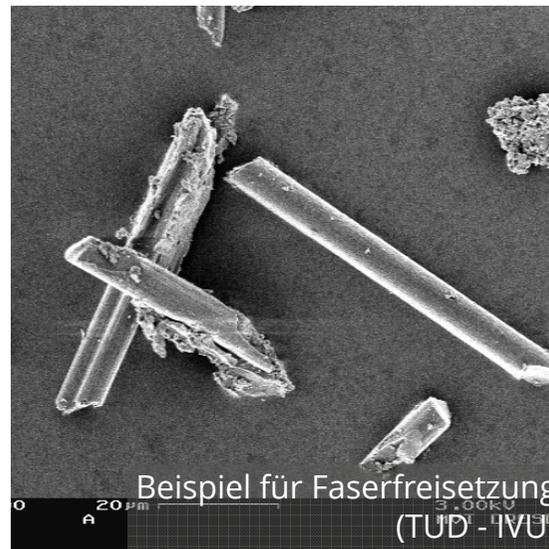
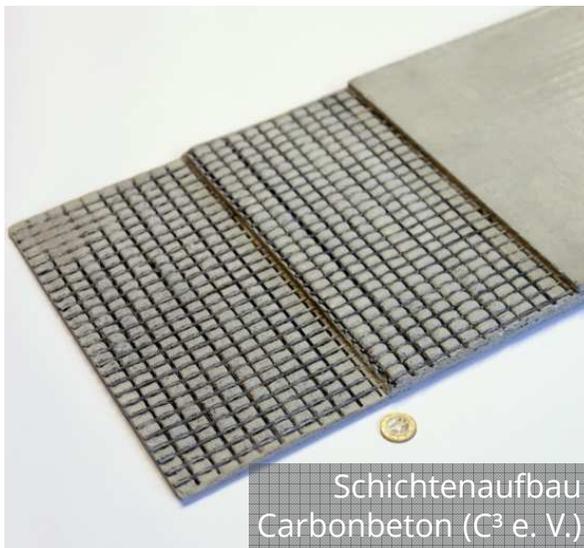
- bei der Herstellung von Bauteilen aus Carbonbeton,
- bei der Bearbeitung von Bauteilen aus Carbonbeton und
- beim Abbruch und Recycling von Bauteilen aus Carbonbeton.



Arbeits- und Gesundheitsschutz

Ergebnisse der Expositionsmessungen | Teile 1 bis 3

lungengängige Fasern nach WHO-Definition: Länge $L > 5 \mu\text{m}$
Durchmesser $D < 3 \mu\text{m}$
Verhältnis $L/D > 3$



Arbeits- und Gesundheitsschutz

Ergebnisse der Expositionsmessungen | Teile 1 bis 3

→ keine Anzeichen für Faserfreisetzungen nach WHO-Definition
(Grundlage: PAN-basierte Fasern, mechanische Bearbeitung)



Roving-Reststück mit anhaftenden Matrixbestandteilen, glatte Filamentbrüche (40 µm) (TUD – IFB)

Filament-Bruchstücke ohne anhaftende Matrixbestandteile, glatte Filamentbrüche (5 µm) (TUD – IFB)

sehr kleines Filament-Bruchstück, glatte Filamentbrüche (TUD – IFB)

Recyclingfähigkeit

Ergebnisse aus der Forschung

Carbonfasern | Nachweis der Recyclingfähigkeit

Durchführung von Abbruchversuchen - kleinmaßstäblich

- verfahrenstechnische Aussagen zum Umgang mit C³ im Abbruch
- Erkenntnisse zur Freilegung von C³-Bewehrungsstrukturen



Verfahren "Stemmen" und
„Kernbohren“



Freigelegte Bewehrungsstrukturen



Schnittbild an einer hochfesten C³-
Platte inkl. Bewehrungsverlauf

Carbonfasern | Nachweis der Recyclingfähigkeit

Ergebnisse der Versuche zum Abbruch und Rückbau

- Carbonbewehrungsstrukturen lassen sich mit geringerem Aufwand durchtrennen als Stahl-Bewehrungsstrukturen.
- Carbonbewehrungsstrukturen lassen sich sehr gut von der Betonmatrix trennen
→ Voraussetzung für Recyclingfähigkeit ist prinzipiell gegeben.
- Die Separierung der CFK-Bewehrungsfragmente von der gebrochenen Betonmatrix ist im Projektverlauf zu untersuchen.

Carbonfasern | Nachweis der Recyclingfähigkeit

Herstellung großmaßstäblicher Versuchsbauteile

- Herstellung von Wandbauteilen und TT-Decken aus Carbonbeton
- Gesamtmasse 22 t, Beton C60/75
- ca. 210 kg verbauter Carbon-Bewehrung



Institut für Baubetriebswesen (TU Dresden)

Produktion der C³-Wandbauteile



Institut für Baubetriebswesen (TU Dresden)

C³-Wände und -Decken Transport zur Montage

Carbonfasern | Nachweis der Recyclingfähigkeit

Durchführung von Abbruchversuchen - im Maßstab 1:1

- verfahrenstechnische Aussagen zum Umgang mit C³ im Abbruch
- Erkenntnisse zur Freilegung von C³-Bewehrungsstrukturen



Institut für Baubetriebswesen
(TU Dresden)

Tür- und
Fensterausschnitt



Institut für Baubetriebswesen (TU Dresden)

Abbruchverfahren „Pressschneiden“



Institut für Baubetriebswesen (TU Dresden)

Totalabbruch beider Demonstratoren

Carbonfasern | Nachweis der Recyclingfähigkeit

Durchführung von Recyclingversuchen - im Maßstab 1:1

- Großversuche zum Abbruch, Rückbau und Recycling
- Untersuchungen zu Auswirkungen von C³-Bauteile auf Abbruch-/Rückbau- und Recyclingtechnologien



Institut für Baubetriebswesen (TU Dresden)
Aufgabe des C³-Materials in den
Backenbrecher



Institut für Baubetriebswesen (TU Dresden)
C³-Material im Backenbrecher



Institut für Baubetriebswesen (TU Dresden)
C³-Betonrezyklat

Carbonfasern | Nachweis der Recyclingfähigkeit

Ergebnisse zum Materialaufschluss - im Maßstab 1:1

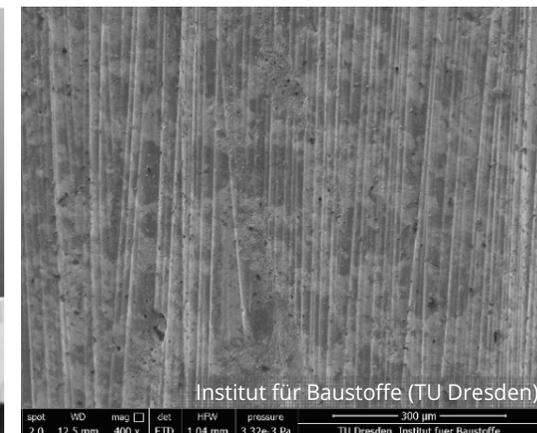
- großtechnisch erzeugter Aufschlussgrad von > 99 %
- ausgeprägte Grenzschicht zwischen C³-Bewehrung und Betonmatrix



Bruchmaterial Größe 0/56,
vollständiger Aufschluss



C³-Bruchmaterial



Trennfläche der Betonmatrix stark
vergrößert, keine Filamentreste
nachweisbar

Carbonfasern | Nachweis der Recyclingfähigkeit

Versuche Separation Phase 1 - im Maßstab 1:1

- 2-stufige Windsichtung (mobil und stationär),
- Ziel: Separation der Carbonbewehrungsreste



1. Durchgang „Brechen“ und „Windsichten“ mobile Anlage: Material auf 0/45 gebrochen



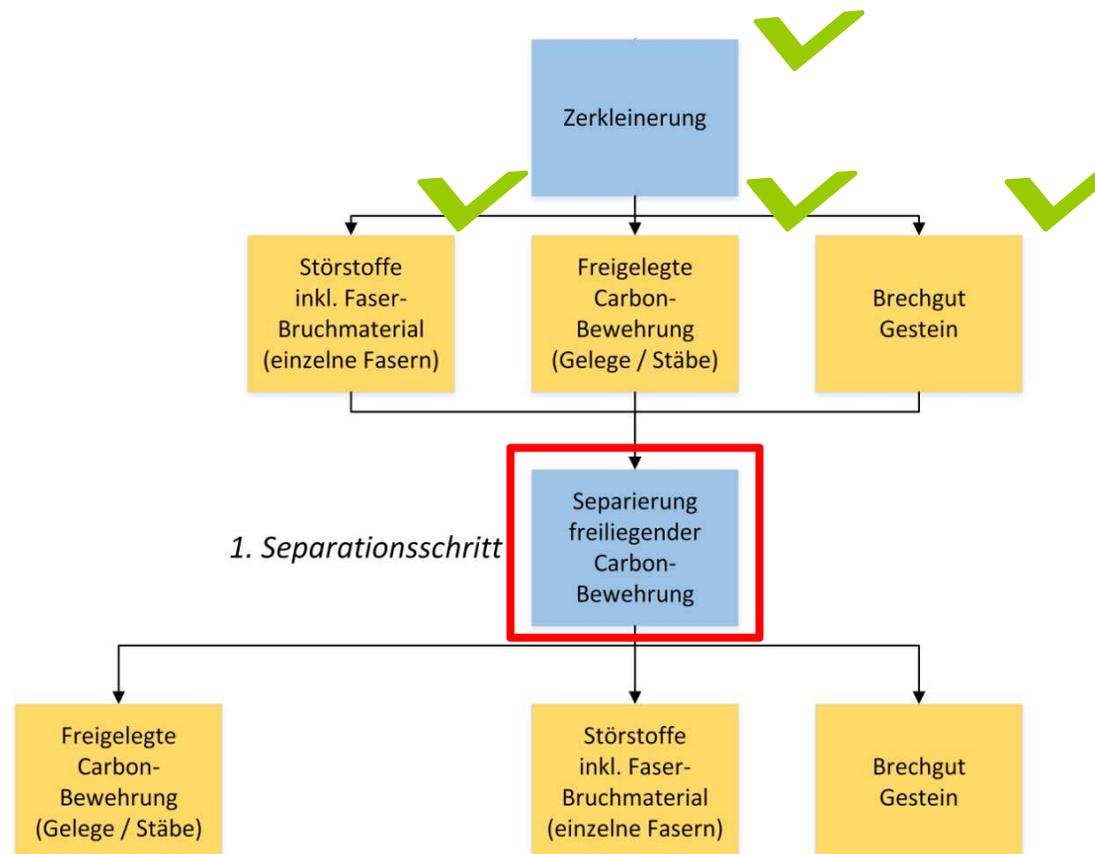
2. Durchgang „Brechen“ und „Windsichten“ stationäre Anlage: Material auf 0/16 gebrochen



Ergebnis: C³-Betonrezyklat 0/16 mit Carbonfasern

Carbonfasern | Nachweis der Recyclingfähigkeit

Versuche Separation Phase 1 - im Maßstab 1:1



Carbonfasern | Nachweis der Recyclingfähigkeit

Versuche Separation Phase 2 - im Maßstab 1:1

- Parameter: Reinheit, Qualität, technische Umsetzbarkeit, Wirtschaftlichkeit



3. Durchgang „Brechen“ und „Windsichten“
stationäre Anlage - C³ Material auf 0/10 gebrochen

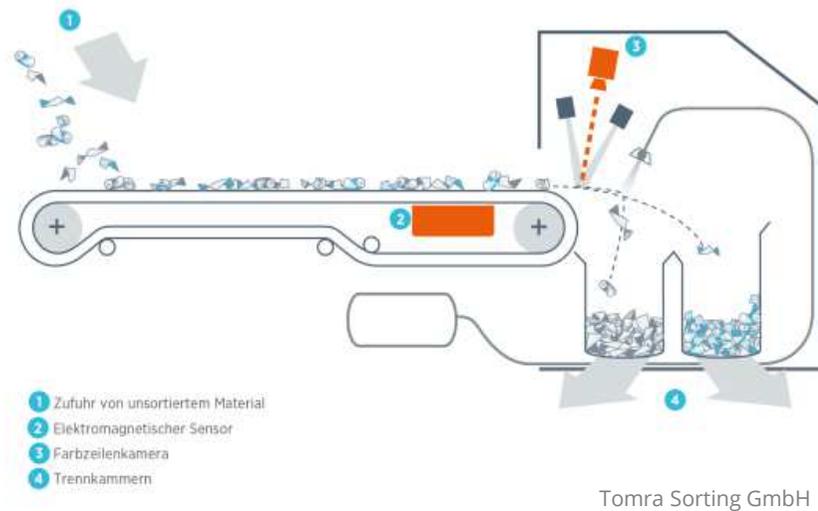


Manuell separierte Carbonfasern

Carbonfasern | Nachweis der Recyclingfähigkeit

Wie erfolgt die sortenreine Trennung?

- Separation der Carbonbewehrung mittels kamerabasierter Einzelkorn-Sortierung



Nahezu sortenreines Outputmaterial
Beton 0/56 und Carbonbewehrung

Carbonfasern | Nachweis der Recyclingfähigkeit

Ergebnis der Separation mittels kamerabasierter Sortierung

- keine Anpassung der Maschinenteknik erfolgt
→ dennoch sehr gutes Ergebnis
- Leistung im Versuch 6 t/h → bis 10 t/h sofort umsetzbar

Ausbringung Carbonbewehrung	97,7 %
Reinheit der Carbonbewehrung (inklusive dem Betonfeinanteil → Abscheiden mittels Siebung)	60 %
Betonverlust	0,3 %
Reinheit Beton	99,98 %

Carbonfasern | Nachweis der Recyclingfähigkeit

Verwertung der Fraktionen

sortenrein separierte Betonfraktion:

- Die RC-Betonfraktion kann als Betonrezyklat über die bekannten Wege stofflich verwertet werden.

sortenrein separierte Carbonfaserfraktion:

- RC-Faserfraktion kann zur Herstellung von Recycling-Carbonfasern (rCF) z. B. für neue Carbonbewehrungen, stofflich verwertet werden.
- RC-Faserfraktion kann zur Herstellung von RC-Vliesen, stofflich verwertet werden.
- Ggf. energetische Verwertung/stoffliche Verwertung des Kohlenstoffs im Hochofen (Stahlherstellung) oder im Drehofen (Zementherstellung) möglich.

Carbonfasern | Stoffliche Verwertung Textiltechnik

Projekt C3-VI.13 „Recycling von Carbonfasern“

- Versuche zu Aufbereitungstechnologien a) Pyrolyse b) Solvolyse
- Charakterisierung der aufbereiteten Carbonfasern
- Herstellung erster C³-Bewehrungsprototypen



Materialprobe aus der Separation



Einzelprobe nach der Pyrolyse
bei 550°C



Bewehrung aus recycelten
Carbonfasern

