

10. Jahrestagung und 62. Forschungskolloquium des DAfStb

26. und 27. September 2023, Aachen

Innovative Bauwerkserhaltung als Beitrag zur Nachhaltigkeit

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Michael Raupach

Institut für Baustoffforschung (ibac)



- Aktuelle Themen des TA SIB
- Potenziale der CO₂-Reduktion bei Neubau und Erhaltung
- Nachhaltige Produkte und Systeme – Beispiel: Ersatz von EP durch Geopolymer
- Nachhaltige Produkte und Systeme – Beispiel: Neue Technologien
- Nutzung von BIM und Digitalisierung
- Schlussfolgerungen und Ausblick

DAfStb - Technischer Ausschuss: Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen

“Instandhaltungsrichtlinie“: Heft 638 des DAfStb



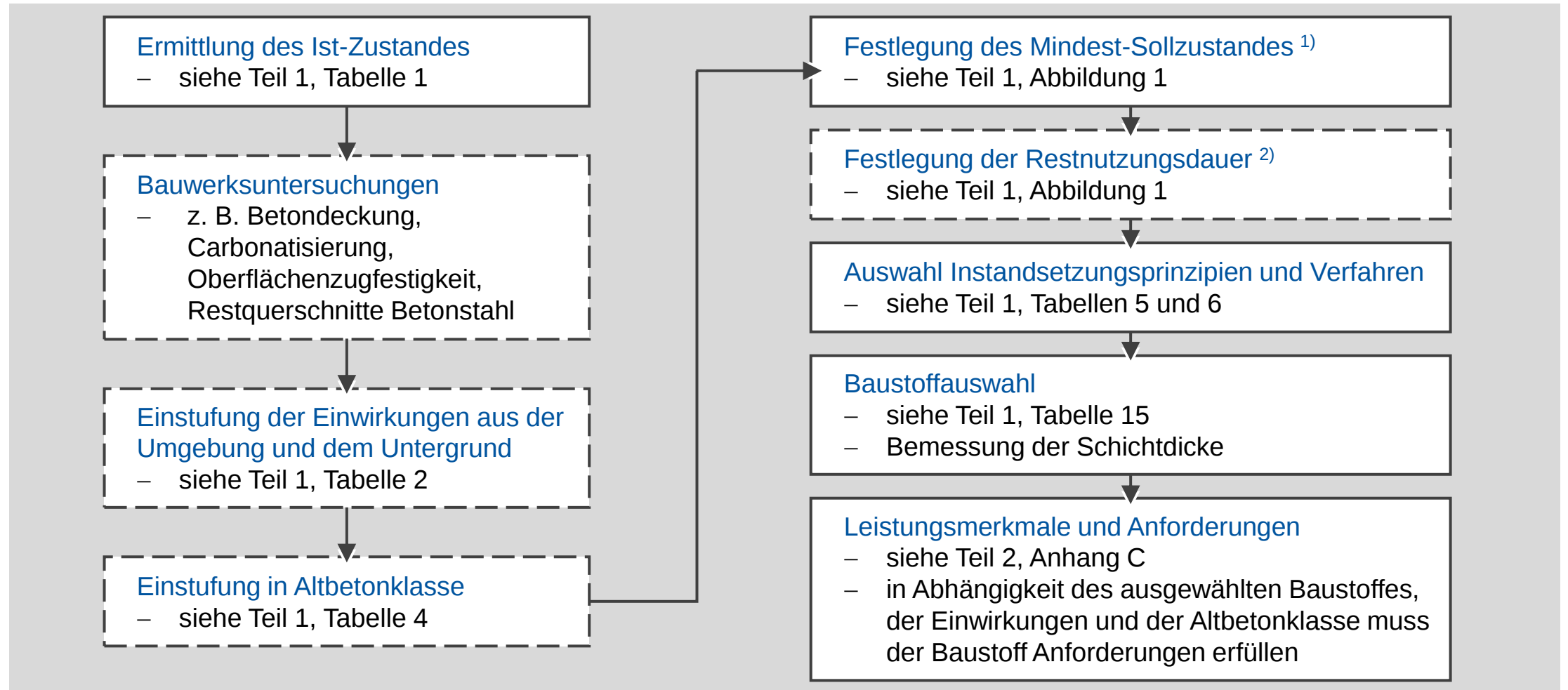
PUBLICATION | DAFSTB-HEFT 638 | 2022-09

Anwendungshilfe zur Technischen Regel Instandhaltung von Betonbauwerken des DIBt (TR IH) in Verbindung mit der DAfStb Richtlinie Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen (RL SIB)

Publisher: DAfStb

Suitable for mobile devices

TR IH – Teil 1, Abbildung 3: Vorgehensweise bei der Planung und Ausführung ...



TR-IH, Teil 1, Tabelle 5 (Schäden im Beton): Auswahl geeigneter Produktklassen

Tabelle 5: Prinzipien und Verfahren zum Schutz oder zur Instandsetzung von Schäden im Beton

Prinzip	Geregelte Verfahren, die auf den Prinzipien beruhen	Anwendbarkeit	Anforderungen an die Produkte/Systeme bei Anwendung des Prinzips
1	2	3	4
1. Schutz gegen das Eindringen von Stoffen	1.1 Hydrophobierung ¹⁾	— Beachtung der Anforderungen nach Tabelle 12	— OS 1 (OS A) gemäß Teil 2, Anhang A, Tabelle A.3 — OS 2 (OS B) ¹⁾ gemäß Teil 2, Anhang A, Tabelle A.4 — OS 4 (OS C) gemäß Teil 2, Anhang A, Tabelle A.5 — OS 5a (OS DII), OS 5b (OS DI) gemäß Teil 2, Anhang A, Tabelle A.6 — OS 8 gemäß Teil 2, Anhang A, Tabelle A.7 — OS 11a (OS F a), OS 11 b (OS F b) gemäß Teil 2, Anhang A, Tabelle A.8 — OS 14 gemäß Teil 2, Anhang A, Tabelle A.9
	1.3 Beschichtung ²⁾		— OS 11a (OS F a), OS 11 b (OS F b) gemäß Teil 2, Anhang A, Tabelle A.8 — OS 14 gemäß Teil 2, Anhang A, Tabelle A.9
	1.4 Lokale Abdeckung von Rissen (Bandagen)		— OS 11a (OS F a), OS 11 b (OS F b) gemäß Teil 2, Anhang A, Tabelle A.8 — OS 14 gemäß Teil 2, Anhang A, Tabelle A.9
	1.5 Füllen von Rissen oder Hohlräumen ³⁾		— F-I (P), F-V (P) gemäß Teil 2, Anhang B, Tabelle B.1 — F-I (H), F-V (H) gemäß Teil 2, Anhang B, Tabelle B.2 — D-I (P) gemäß Teil 2, Anhang B, Tabelle B.3
	2.1 Hydrophobierung ¹⁾	— Beachtung der Anforderungen nach Tabelle 12	— OS 1 (OS A) gemäß Teil 2, Tabelle A.3 — OS 2 (OS B) ¹⁾ gemäß Teil 2, Anhang A, Tabelle A.4 — OS 4 (OS C) gemäß Teil 2, Anhang A, Tabelle A.5 — OS 5a (OS DII), OS 5b (OS DI) gemäß Teil 2, Anhang A, Tabelle A.6 — OS 8 gemäß Teil 2, Anhang A, Tabelle A.7 — OS 11a (OS F a), OS 11 b (OS F b) gemäß Teil 2, Anhang A, Tabelle A.8 — OS 14 gemäß Teil 2, Anhang A, Tabelle A.9
2. Regulierung des Wasserhaushaltes des Betons	2.3 Beschichtung ¹⁾		— OS 1 (OS A) gemäß Teil 2, Tabelle A.3 — OS 2 (OS B) ¹⁾ gemäß Teil 2, Anhang A, Tabelle A.4 — OS 4 (OS C) gemäß Teil 2, Anhang A, Tabelle A.5 — OS 5a (OS DII), OS 5b (OS DI) gemäß Teil 2, Anhang A, Tabelle A.6 — OS 8 gemäß Teil 2, Anhang A, Tabelle A.7 — OS 11a (OS F a), OS 11 b (OS F b) gemäß Teil 2, Anhang A, Tabelle A.8 — OS 14 gemäß Teil 2, Anhang A, Tabelle A.9
	2.6 Füllen von Rissen oder Hohlräumen ³⁾		— F-I (P) gemäß Teil 2, Anhang B, Tabelle B.1 — F-I (H) gemäß Teil 2, Anhang B, Tabelle B.2 — D-I (P) gemäß Teil 2, Anhang B, Tabelle B.3
	3.1 Kleinfächiger Handauftrag	— Beachtung der Anforderungen nach Tabelle 15	— RM, RC gemäß Teil 2, Anhang C, Tabelle C.2 — PRM, PRC ¹⁰⁾ gemäß Teil 2, Anhang C, Tabelle C.4 — Beton nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 (ggf. als Trockenbeton) — Vergussbeton/-mörtel nach Vergussbetonrichtlinie des DAfStb und gemäß DAfStb-RL SIB, Berichtigung 3 — RM, RC gemäß Teil 2, Anhang C, Tabelle C.2 — PRM, PRC ¹¹⁾ gemäß Teil 2, Anhang C, Tabelle C.4
	3.2 Betonieren oder Vergießen		— Spritzbeton nach DIN EN 14487 / DIN 18551 — Spritzmörtel mit Anforderungen nach DIN EN 14487 / DIN 18551 — SRM, SRC gemäß Teil 2, Anhang C, Tabelle C.3
	3.3 Spritzauftrag		— Nach DIN EN 1992-1-1
	3.4 Auswechseln von Bauteilen		— Beton nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 (ggf. als Trockenbeton) — RM, RC gemäß Teil 2, Anhang C, Tabelle C.2 — Spritzbeton nach DIN EN 14487 und DIN 18551 — SRM, SRC gemäß Teil 2, Anhang C, Tabelle C.3
3. Reprofilierung oder Querschnittsergänzung	4.1 Zufügen und Auswechseln von eingebetteten Bewehrungsstäben	— Beachtung der Anforderungen nach Tabelle 15	— Beton nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 (ggf. als Trockenbeton) — RM, RC gemäß Teil 2, Anhang C, Tabelle C.2 — Spritzbeton nach DIN EN 14487 und DIN 18551 — SRM, SRC gemäß Teil 2, Anhang C, Tabelle C.3
	4.3 Verstärkung durch geklebte Bewehrung		— Beachtung der DAfStb-Richtlinie "Verstärken von Betonbauteilen mit geklebter Bewehrung" — Beton nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 (ggf. als Trockenbeton) — RM, RC gemäß Teil 2, Anhang C, Tabelle C.2 — Spritzbeton nach DIN EN 14487 und DIN 18551 — SRM, SRC gemäß Teil 2, Anhang C, Tabelle C.3
	4.4 Querschnittsergänzung durch Mörtel oder Beton		— F-I (P), F-V (P) gemäß Teil 2, Anhang B, Tabelle B.1 — F-I (H), F-V (H) gemäß Teil 2, Anhang B, Tabelle B.2
	4.5 Füllen von Rissen ¹³⁾ oder Hohlräumen ¹⁴⁾		— F-I (P), F-V (P) gemäß Teil 2, Anhang B, Tabelle B.1 — F-I (H), F-V (H) gemäß Teil 2, Anhang B, Tabelle B.2
	4.6 Auswechseln von Bauteilen		

Tabelle 5: Prinzipien und Verfahren zum Schutz oder zur Instandsetzung von Schäden im Beton (Fortsetzung und Schluss)

Prinzip	Geregelte Verfahren, die auf den Prinzipien beruhen	Anwendbarkeit	Anforderungen an die Produkte/Systeme bei Anwendung des Prinzips
1	2	3	4
5. Erhöhung des physikalischen Widerstandes	5.1 Beschichtung ¹⁵⁾	— Beachtung der Anforderungen nach Tabelle 12	— OS 8 gemäß Teil 2, Anhang A, Tabelle A.7 — OS 14 gemäß Teil 2, Anhang A, Tabelle A.9
	5.3 Mörtel- oder Betonauftrag ¹⁶⁾	— Beachtung der Anforderungen nach Tabelle 15 — Es sind die Verfahren 3.1, 3.2 oder 3.3 anwendbar	— Beton nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 (ggf. als Trockenbeton) — RM, RC gemäß Teil 2, Anhang C, Tabelle C.2 — Spritzbeton nach DIN EN 14487 und DIN 18551 ¹⁷⁾ — SRM, SRC gemäß Teil 2, Anhang C, Tabelle C.3 ¹⁷⁾
6. Erhöhung des Widerstandes gegen chemischen Angriff	6.1 Beschichtung ¹⁸⁾	— Beachtung der Anforderungen nach Tabelle 12	— OS 4 (OS C) gemäß Teil 2, Anhang A, Tabelle A.5 — OS 5a (OS DII), OS 5b (OS DI) gemäß Teil 2, Anhang A, Tabelle A.6 — OS 8 gemäß Teil 2, Anhang A, Tabelle A.7 — OS 11a (OS F a), OS 11 b (OS F b) gemäß Teil 2, Anhang A, Tabelle A.8 — OS 14 gemäß Teil 2, Anhang A, Tabelle A.9
	6.3 Mörtel- oder Betonauftrag ¹⁹⁾	— Anwendung unter Beachtung der Anforderungen nach Tabelle 15 — Es sind die Verfahren 3.2 oder 3.3 anwendbar	— Beton nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 (ggf. als Trockenbeton) — RM, RC gemäß Teil 2, Anhang C, Tabelle C.2 — Spritzbeton nach DIN EN 14487 und DIN 18551 — SRM, SRC gemäß Teil 2, Anhang C, Tabelle C.3

- ¹⁾ Die Wirksamkeit, Leistungsfähigkeit und Dauerhaftigkeit von Hydrophobierungen sind vom tiefenabhängigen Wirkstoffgehalt bezogen auf den Beton und der Eindringtiefe abhängig. Die Eindringtiefe von Hydrophobierungen wird wesentlich durch den Feuchtegehalt und die Porosität des Betons bestimmt.
- ²⁾ Beschichtungen zum Schutz gegen das Eindringen von Kohlenstoffdioxid und Chlorid sind in Verfahren 7.7 geregelt.
- ³⁾ Bei OS 2 ist die Wirksamkeit von der Menge und Größe von Poren an der Betonoberfläche abhängig. OS 2 ist nur bedingt gegen Chlorideindringen einsetzbar.
- ⁴⁾ Das Verfahren dient nicht dazu, die Bauteilstärke eines ungerissenen Bauteils zu erreichen. Dieses Ziel wird bei Verfahren 4.5 verfolgt.
- ⁵⁾ Abschnitt 6.6.1 des Teils 2 der DAfStb-RL SIB wird gestrichen. Anstelle der Tränkung wird die Füllart Vergießen (V) von Rissen geregelt.
- ⁶⁾ bei ungerissenen Bauteilen
- ⁷⁾ Beschichtungssysteme mit der Wasserdampfdurchlässigkeit der Klasse II und III, gemäß Teil 2, Anhang A, dürfen nur verwendet werden, wenn der Beton bereits vor Auftrag der Beschichtung ausreichend ausgetrocknet ist.
- ⁸⁾ Für die Instandsetzung von Betonbauteilen, die durch eine Alkali-Kieselsäure-Reaktion geschädigt wurden, müssen OS 5-Systeme mit einer wasser-dampfdiffusionsäquivalenten Luftschichtdicke $s_0 \leq 2,5$ m verwendet werden.
- ⁹⁾ Verfahren gegenüber DIN EN 1504-9 neu eingeführt
- ¹⁰⁾ PRM und PRC dürfen nur angewendet werden, wenn andere zementgebundene Betonerersatzsysteme ausgeschlossen werden müssen (z. B. aus Zeitgründen und bei zu geringer Schichtdicke). Bei Anwendung von PRM/PRC ist die Auswirkung auf den Brandschutz zu beurteilen.
- ¹¹⁾ PRM/PRC sind nicht für den großflächigen Einsatz (> 1 m²) vorgesehen
- ¹²⁾ auch zur Erhöhung der Tragfähigkeit gegenüber dem Ist-Zustand
- ¹³⁾ in der Regel zur Erhöhung der Bauteilstärke
- ¹⁴⁾ Beinhaltet Verfahren 4.6 gemäß DIN EN 1504-9
- ¹⁵⁾ Die erforderliche Schichtdicke des Oberflächenschutzsystems ist gemäß Teil 2, Anhang A.2 (6) den Angaben zur Ausführung zu entnehmen. Bei UV-Belastung ist die Beständigkeit nachzuweisen.
- ¹⁶⁾ Ein ausreichender Widerstand gegen mechanischen Angriff für die Einwirkung XM1 gilt durch Einhaltung der in DIN EN 206-1 in Verbindung mit DIN 1045-2 festgelegten Anforderungen als nachgewiesen.
- ¹⁷⁾ Nicht anwendbar auf waagerechten und schwach geneigten Flächen, die von oben gespritzt werden müssen
- ¹⁸⁾ mit entsprechendem Nachweis des Widerstands gegen chemischen Angriff
- ¹⁹⁾ Ein ausreichender Widerstand gegen chemischen Angriff für die Einwirkungen XA1 und XA2 gilt durch Einhaltung der in DIN EN 206-1 in Verbindung mit DIN 1045-2 festgelegten Anforderungen als nachgewiesen. Alternativ kann ein ausreichender Widerstand gegen chemischen Angriff durch ein spezifisches Prüfverfahren nachgewiesen werden (vgl. DIN 19573).

TR-IH, Teil 1, Tabelle 6 (Bewehrungskorrosion): Auswahl geeigneter Produktklassen

Tabelle 6: Prinzipien und Verfahren zum Schutz oder zur Instandsetzung von Bewehrungskorrosion

Prinzip	Geregelte Verfahren, die auf den Prinzipien beruhen	Anwendbarkeit	Anforderungen an die Produkte/Systeme bei Anwendung des Prinzips
1	2	3	4
7. Erhalt oder Wiederherstellung der Passivität	7.1 Erhöhung bzw. Teilersatz der Betondeckung mit zusätzlichem Mörtel oder Beton	– Anwendung unter Beachtung der Anforderungen nach Tabelle 15 – Es sind die Verfahren 3.1, 3.2 oder 3.3 anwendbar	– Beton nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 (ggf. als Trockenbeton) – Vergussbeton/-mörtel nach Vergussbetonrichtlinie des DAfStb und gemäß DAfStb-RL S18, Berichtigung 3 – RM, RC gemäß Teil 2, Anhang C, Tabelle C.2, – Spritzbeton nach DIN EN 14487 und DIN 18551, – SRM, SRC gemäß Teil 2, Anhang C, Tabelle C.3
	7.2 Ersatz von chloridhaltigem oder carbonatisiertem Beton		– Beton nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 (ggf. als Trockenbeton) – Vergussbeton/-mörtel nach Vergussbetonrichtlinie des DAfStb und gemäß DAfStb-RL S18, Berichtigung 3 – RM, RC gemäß Teil 2, Anhang C, Tabelle C.2, – Spritzbeton nach DIN EN 14487 und DIN 18551, – SRM, SRC gemäß Teil 2, Anhang C, Tabelle C.3
	7.4 Realkalisierung von carbonatisiertem Beton durch Diffusion		– Beton nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 (ggf. als Trockenbeton) – Vergussbeton/-mörtel nach Vergussbetonrichtlinie des DAfStb und gemäß DAfStb-RL S18, Berichtigung 3 – RM, RC gemäß Teil 2, Anhang C, Tabelle C.2, – Spritzbeton nach DIN EN 14487 und DIN 18551, – SRM, SRC gemäß Teil 2, Anhang C, Tabelle C.3
	7.6 Füllen von Rissen oder Hohlräumen ¹⁾	– Beachtung der Anforderungen nach Tabellen 13 und 14	– F-I (P), F-V (P) gemäß Teil 2, Anhang B, Tabelle B.1, – F-I (H), F-V (H) gemäß Teil 2, Anhang B, Tabelle B.2, – D-I (P) gemäß Teil 2, Anhang B, Tabelle B.3
	7.7 Beschichtung ¹⁾	– Beachtung der Anforderungen nach Tabelle 12	– OS 2 (OS B) ¹⁾ gemäß Teil 2, Anhang A, Tabelle A.4, – OS 4 (OS C) gemäß Teil 2, Anhang A, Tabelle A.5, – OS 5a (OS DII), OS 5b (OS DI) gemäß Teil 2, Anhang A, Tabelle A.6, – OS 8 gemäß Teil 2, Anhang A, Tabelle A.7, – OS 11a (OS F a), OS 11 b (OS F b) gemäß Teil 2, Anhang A, Tabelle A.8, – OS 14 gemäß Teil 2, Anhang A, Tabelle A.9
	7.8 Lokale Abdeckung von Rissen (Bandagen) ¹⁾		– OS 11a (OS F a), OS 11 b (OS F b) gemäß Teil 2, Anhang A, Tabelle A.8, – OS 14 gemäß Teil 2, Anhang A, Tabelle A.9
8. Erhöhung des elektrischen Widerstandes	8.1 Hydrophobierung ¹⁾	– Beachtung der Anforderungen nach Tabelle 12	– OS 1 (OS A) ¹⁾ gemäß Teil 2, Tabelle A.3 – OS 2 (OS B) ¹⁾ gemäß Teil 2, Anhang A, Tabelle A.4, – OS 4 (OS C) gemäß Teil 2, Anhang A, Tabelle A.5, – OS 5a (OS DII), OS 5b (OS DI) gemäß Teil 2, Anhang A, Tabelle A.6, – OS 8 gemäß Teil 2, Anhang A, Tabelle A.7, – OS 11a (OS F a), OS 11 b (OS F b) gemäß Teil 2, Anhang A, Tabelle A.8, – OS 14 gemäß Teil 2, Anhang A, Tabelle A.9
	8.3 Beschichtung ¹⁾		– OS 1 (OS A) ¹⁾ gemäß Teil 2, Tabelle A.3 – OS 2 (OS B) ¹⁾ gemäß Teil 2, Anhang A, Tabelle A.4, – OS 4 (OS C) gemäß Teil 2, Anhang A, Tabelle A.5, – OS 5a (OS DII), OS 5b (OS DI) gemäß Teil 2, Anhang A, Tabelle A.6, – OS 8 gemäß Teil 2, Anhang A, Tabelle A.7, – OS 11a (OS F a), OS 11 b (OS F b) gemäß Teil 2, Anhang A, Tabelle A.8, – OS 14 gemäß Teil 2, Anhang A, Tabelle A.9
10. Kathodischer Schutz	10.1 Anlegen eines elektrischen Potentials ¹⁾	– Anwendung unter Beachtung der Anforderungen nach Tabelle 15	– RM, RC gemäß Teil 2, Anhang C, Tabelle C.2, – SRM, SRC gemäß Teil 2, Anhang C, Tabelle C.3

- ¹⁾ Verfahren gegenüber DIN EN 1504-9 neu eingeführt.
²⁾ Abschnitt 6.6.1 des Teils 2 der DAfStb-RL S18 wird gestrichen. Anstelle der Tränkung wird die Füllart Vergießen (V) von Rissen geregelt.
³⁾ Bei OS 2 ist die Wirksamkeit von der Menge und Größe von Poren an der Betonoberfläche abhängig. OS 2 ist nur bedingt gegen Chlorideinträgen einsetzbar.
⁴⁾ Das Verfahren 8.1 darf nicht bei den Expositionsklassen XD, XS angewendet werden. Kontrollmessungen zur Wirksamkeit sind im Instandhaltungsplan zu berücksichtigen.
⁵⁾ Die Wirksamkeit, Leistungsfähigkeit und Dauerhaftigkeit von Hydrophobierungen sind vom tiefenabhängigen Wirkstoffgehalt bezogen auf den Beton und der Eindringtiefe abhängig. Die Eindringtiefe von Hydrophobierungen wird wesentlich durch den Feuchtegehalt und die Porosität des Betons bestimmt.

- Europäische Normung - Überarbeitung des Mandates M/128 für Instandsetzungsprodukte (Umsetzung der Bauproduktenverordnung) ➡ Umweltproduktdeklarationen nach DIN EN 15804 und A2

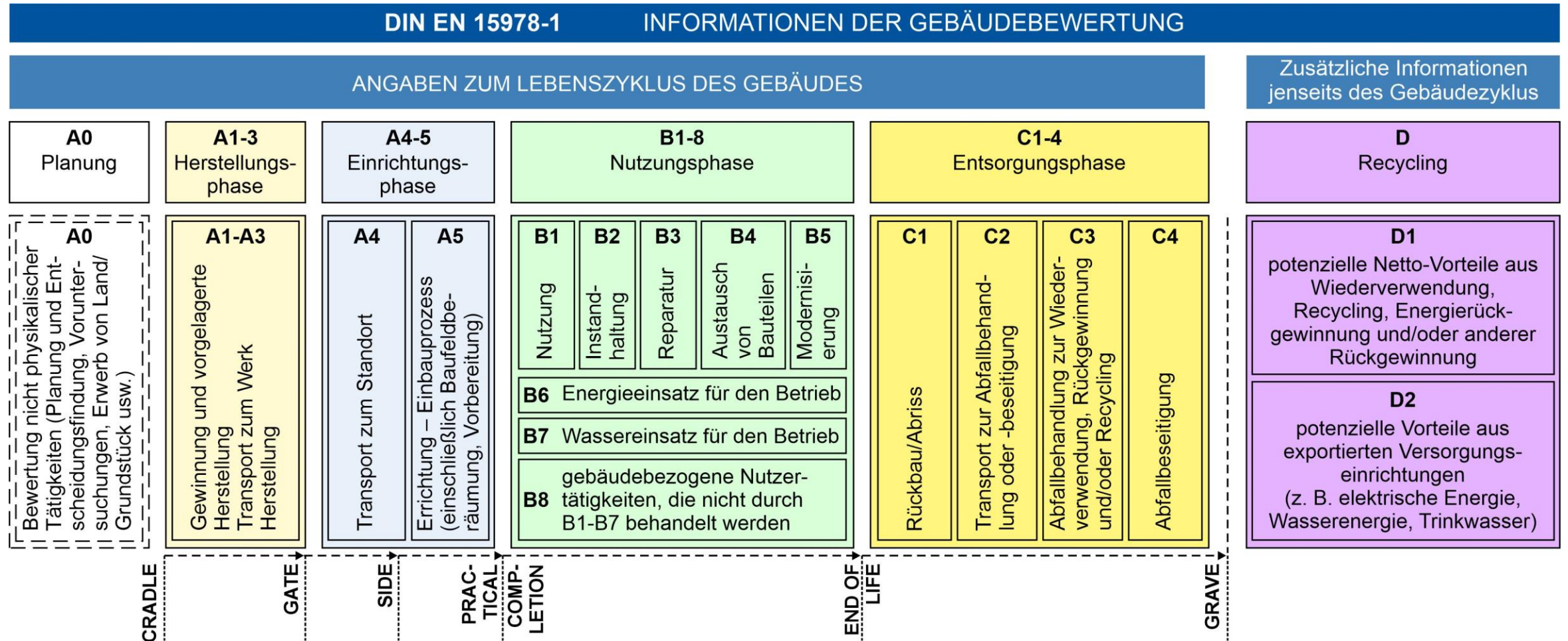
DEUTSCHE NORM		März 2022
	DIN EN 15804	
ICS 91.010.99; 91.040.01	Ersatz für DIN EN 15804:2020-03	
Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen – Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte; Deutsche Fassung EN 15804:2012+A2:2019 + AC:2021		
Sustainability of construction works – Environmental product declarations – Core rules for the product category of construction products; German version EN 15804:2012+A2:2019 + AC:2021		
Contribution des ouvrages de construction au développement durable – Déclarations environnementales sur les produits – Règles régissant les catégories de produits de construction; Version allemande EN 15804:2012+A2:2019 + AC:2021		

TA-SIB: aktuelle Themen der 16. Sitzung vom 6.9.2023

- Richtlinie: Bestimmung des Verschleißwiderstandes von OS-Systemen mit dem Parking Abrasion Test
- Richtlinie: Korrosionsmonitoring von Betonbauteilen (Anleitung für die Anwendung mit DGZfP-MB B3)
- Richtlinie: Flächige Instandsetzung mit carbonbewehrten Mörtel- und Betonschichten (Hochbau)?
- “Erhaltungsrichtlinie”: Rahmendokument zur Umsetzung des informativen Anhangs I des neuen EC2 DAfStb - TA BK - UA “Bewertung von Bestandsbauwerken“
- Heft: Anwendung der laserinduzierten Plasmaspektroskopie (LIBS) im Betonbau zu MB DGZfP
- Unterausschuss: BIM-gestützte Instandhaltung von Betonbauwerken?

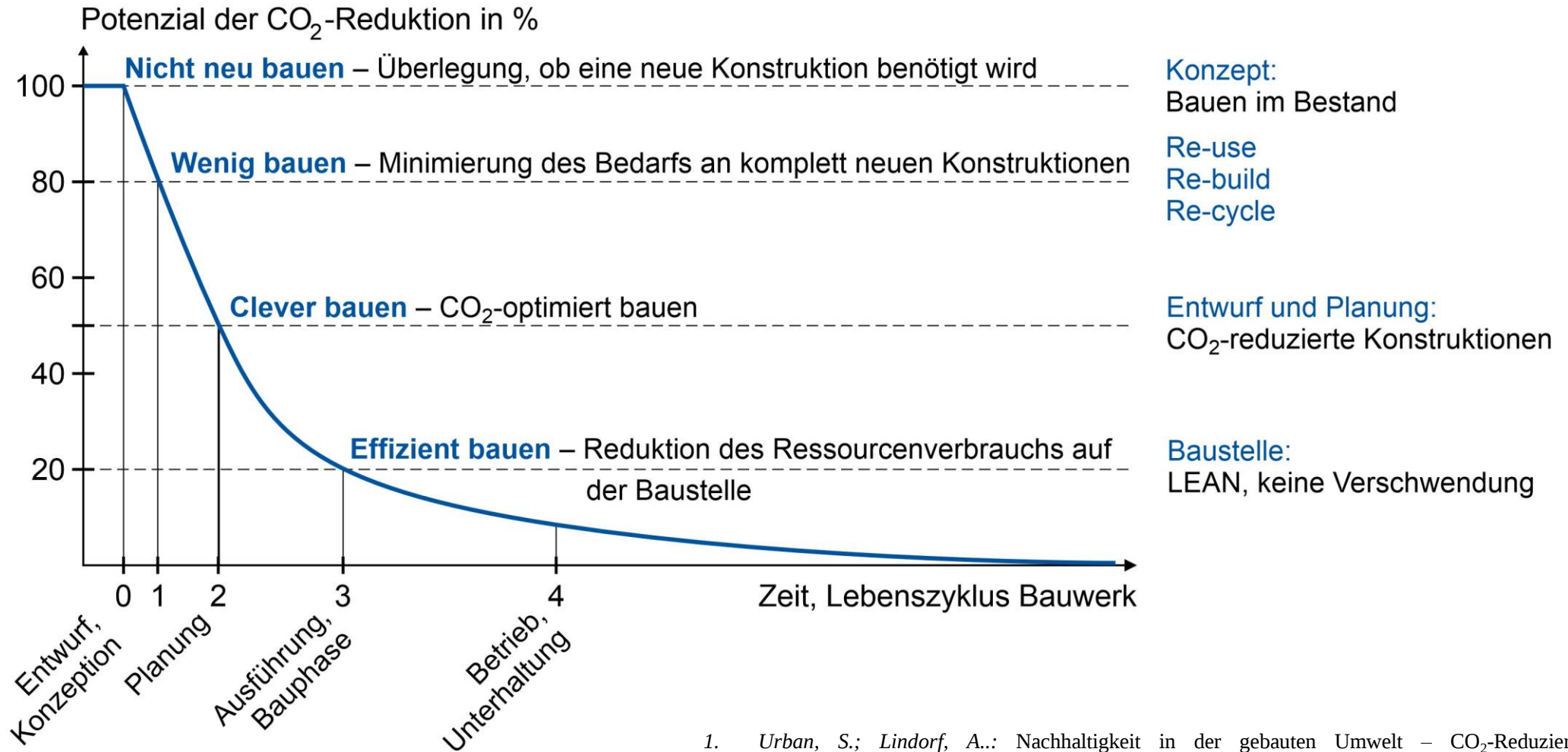
Potenziale der CO₂-Reduktion bei Neubau und Erhaltung

Phasen der Gebäudebewertung nach DIN EN 15978-1:2021-09 /1/



- Urban, Susanne; Lindorf, Alexander: Nachhaltigkeit in der gebauten Umwelt – CO₂-Reduzierung bei Geschossdecken. In: DBV-Rundschreiben 276 – Digitalisierung im Betonbau, (Juli 2023), S. 11-18.

Potenzial der CO₂-Reduktion nach /1/



1. Urban, S.; Lindorf, A.: Nachhaltigkeit in der gebauten Umwelt – CO₂-Reduzierung bei Geschossdecken. In: DBV-Rundschreiben 276 – Digitalisierung im Betonbau, (Juli 2023), S. 11-18.

Nachhaltige Produkte und Systeme

Beispiel: Ersatz von EP durch Geopolymer

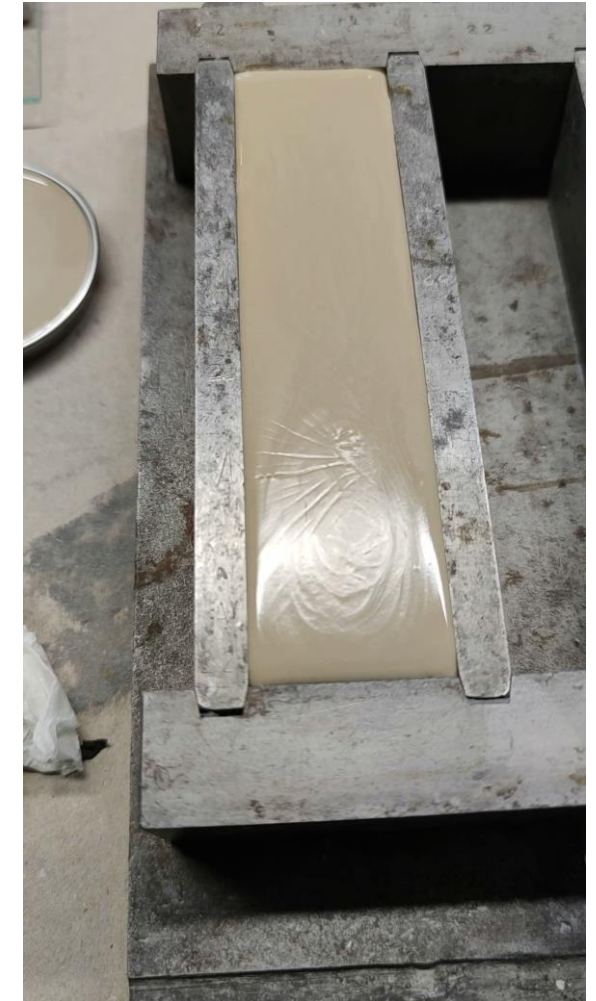
Geopolymere als Ersatz für Epoxidharz, z.B. für Spaltausgleichsmassen bei Windkraftanlagen

Zusammensetzung

- Bindemittel / Leim
 - Wasserglas
 - Natronlauge
 - Metakaolin
- mineralische Additive
 - Feinzuschläge
 - Reststoffe aus industriellen Prozessen
 - ggf. Fasern



➡ Additive beeinflussen (rheologische) Eigenschaften stark



Quelle: Diamant Polymer GmbH

Herstellung und Versuchsprogramm

■ Herstellung

- flüssige Komponenten 1 min mischen
- feste Komponenten hinzufügen
- 1 min mischen
- keine Nachbehandlung, 21 °C / 65 % RH

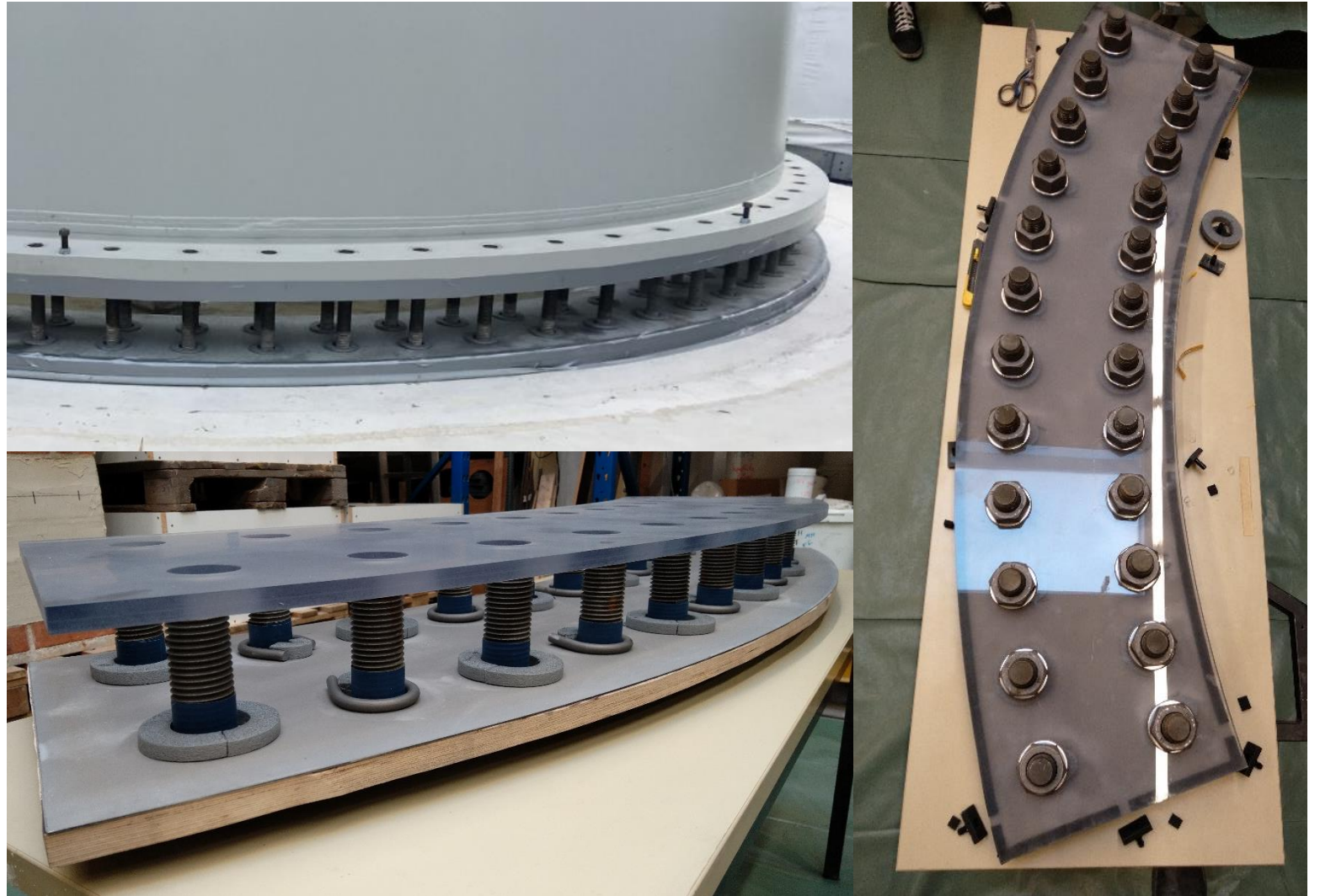
■ Versuchsprogramm

- Mechanische Eigenschaften
- Verarbeitbarkeit / Injizierbarkeit
- Hochtemperaturverhalten
- Vorspannung
- Aufschäumen

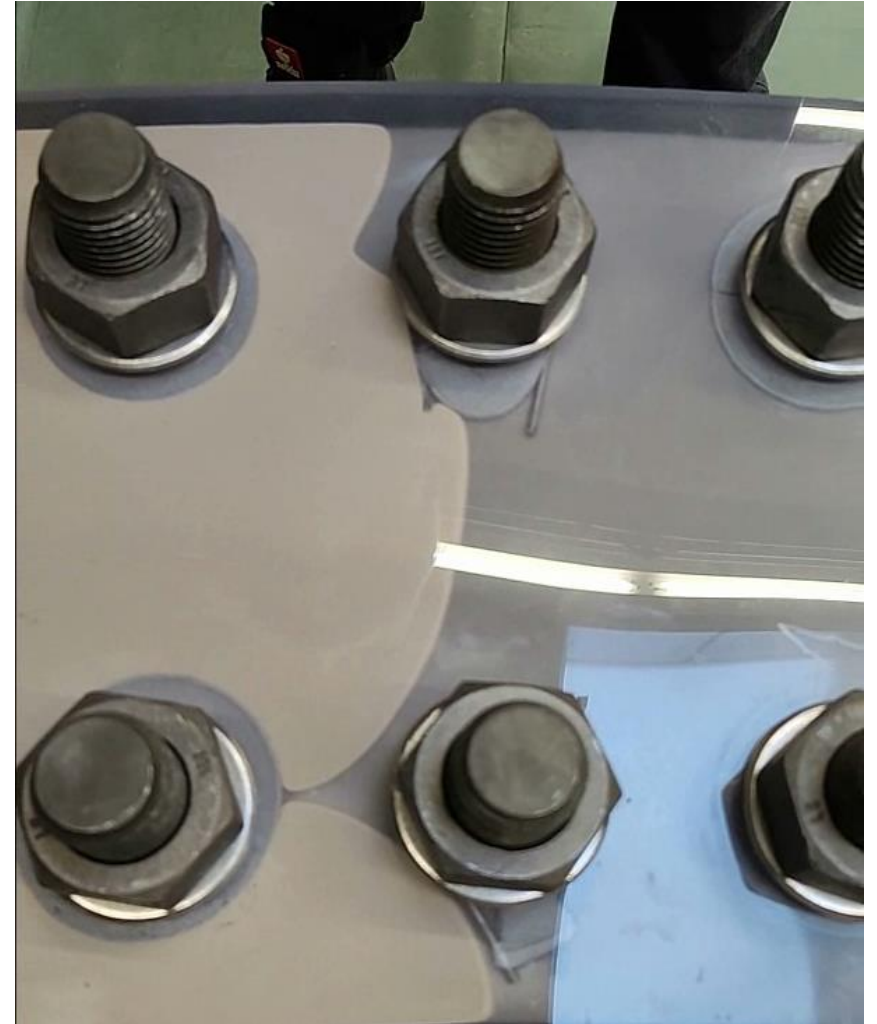
Rezeptur	Alter	Dichte	Druckfestigkeit	Biegezugfestigkeit
-	d	kg/m ³	N/mm ²	
Leim	2	1450	26.7	2.8
	90	1280	26.8	5.0
Leim + 20 M.-% Additiv "P"	> 28	1470	64.2	6.0

■ Prüfstand für Anwendungsfall

- 45°-Segment
- Maßstab 1:1
- Injektion über Ventile
- Spaltbreite einstellbar
- transparente Makrolonplatte



Injektion eines 4-mm-Spaltes

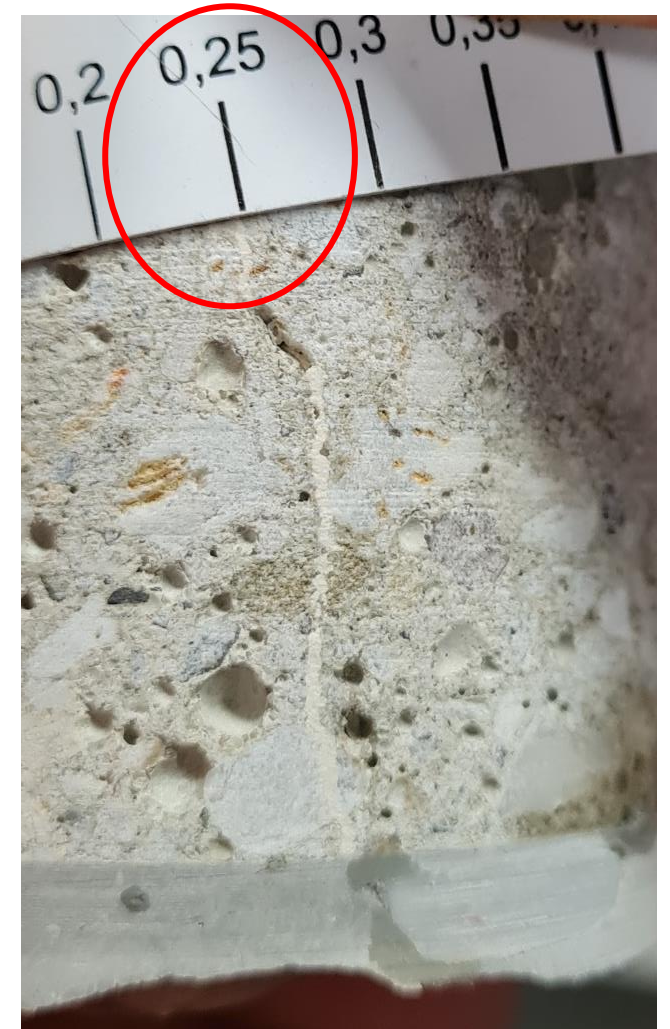


➡ Injektion über gesamte Länge (~ 1,6 m) durch ein Ventil

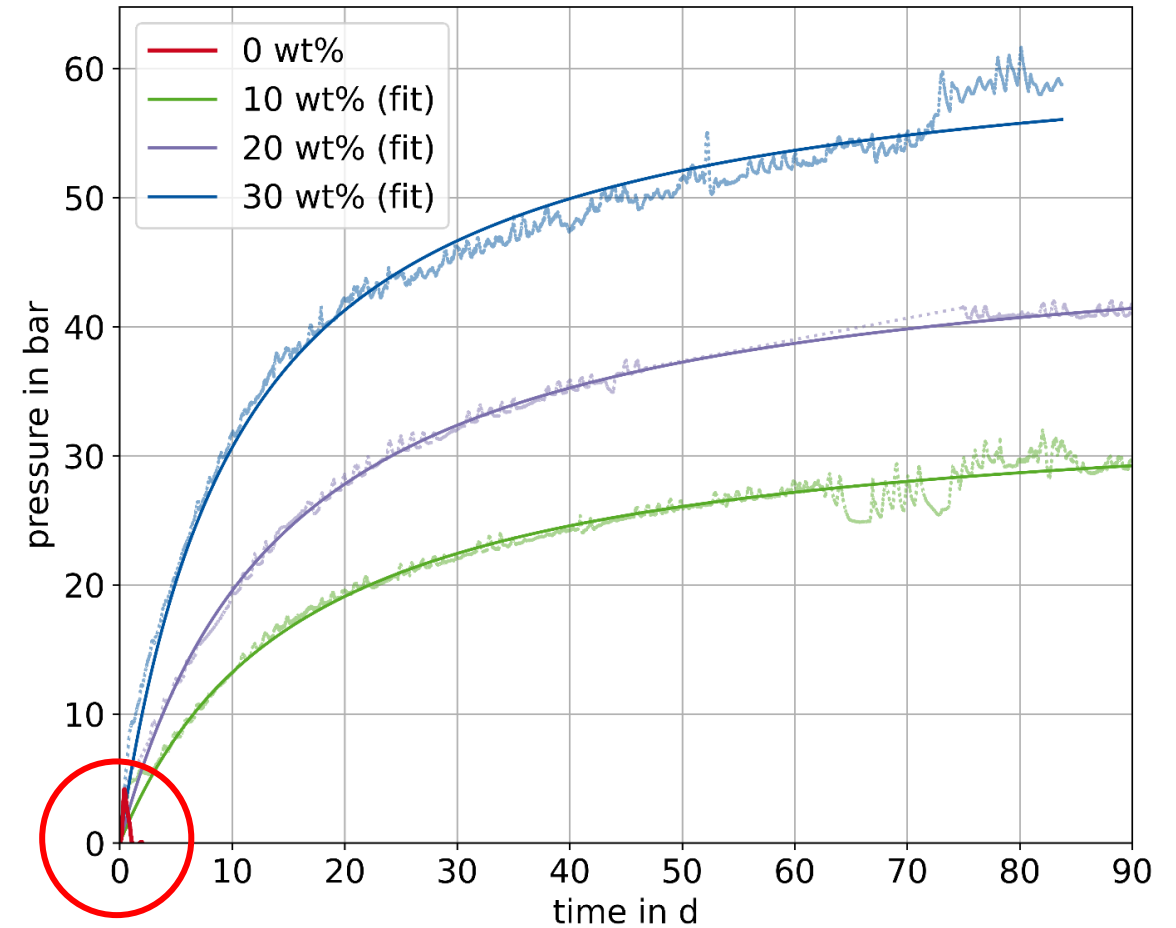
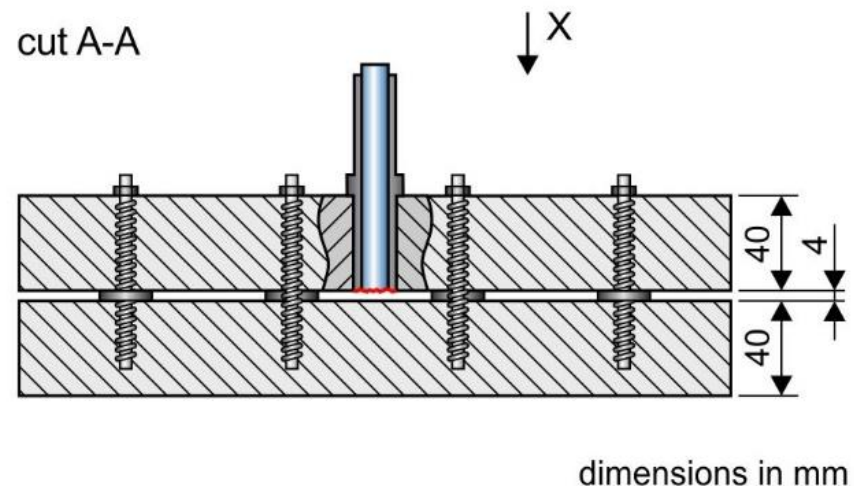
Injektion eines 1-mm-Spaltes



Injektion eines Risses in Beton

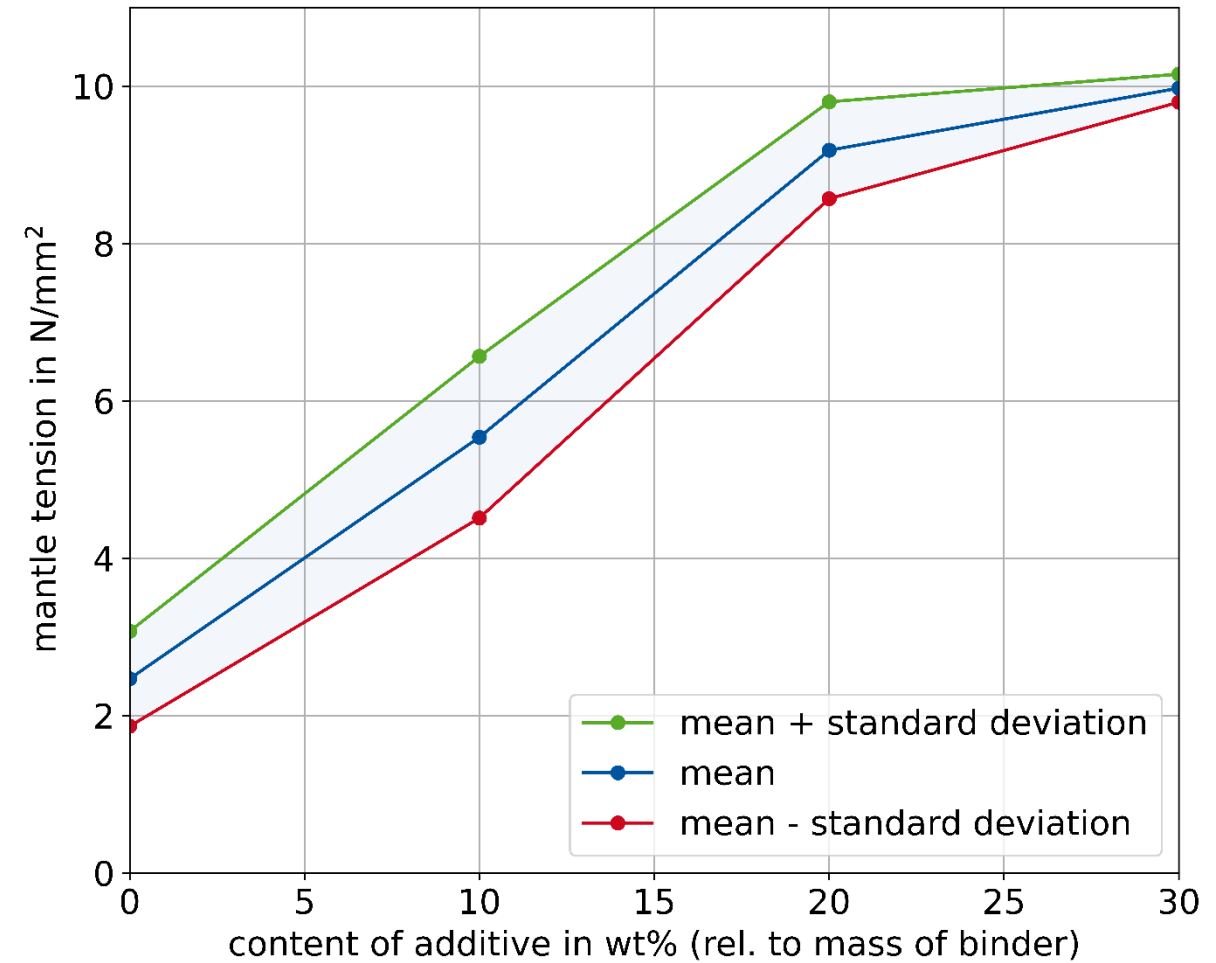
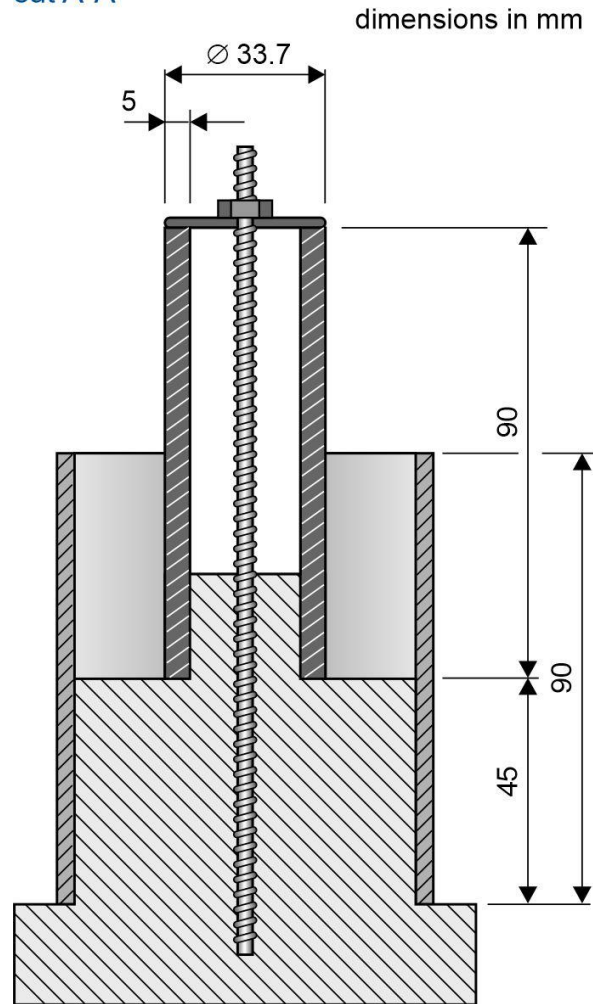


Vorspannung über Additiv „FFG“ – Injektion

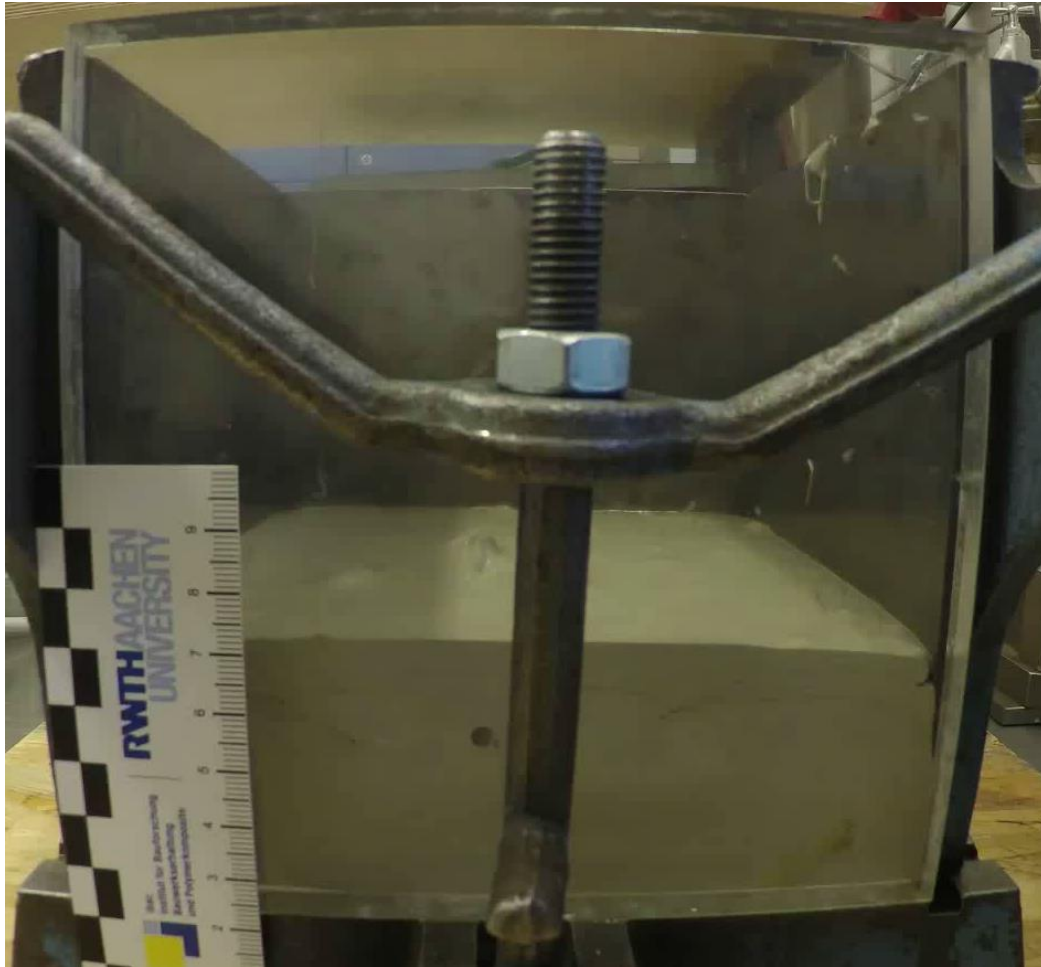


Vorspannung über Additiv „FFG“ – Verguss

cut A-A



Geopolymere als Bauschaum-Ersatz

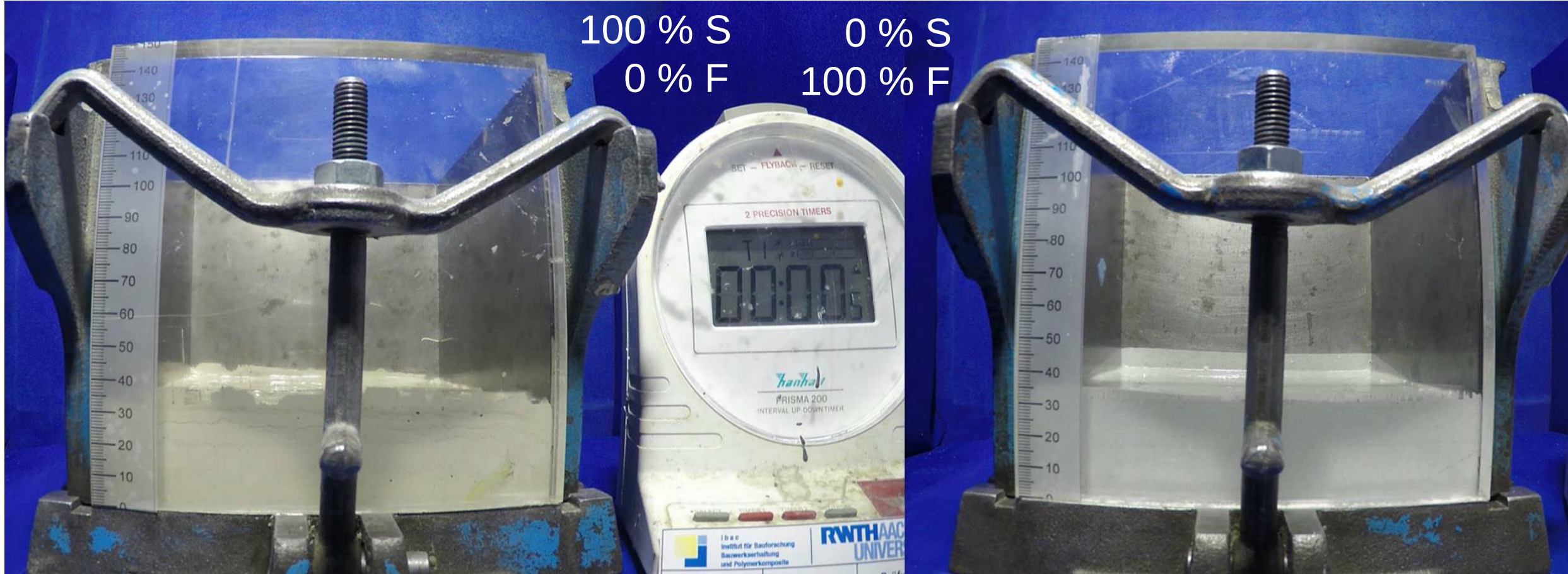


Quelle: Milena Hüging (ibac)

„S“	„F“	Volumen- zunahme (Faktor)	Dichte	Wärmeleit- fähigkeit	Druck- festigkeit
M.-% bez. auf Leim		-	kg/m ³	mW/K/m	N/mm ²
21	9	2.57	600	202.2	2.30
18	12	2.77	560	220.1	2.72
15	15	2.93	530	201.4	2.33
12	18	3.10	500	198.9	2.04

- ➡ Volumenzunahme um Faktor ~ 3
- ➡ einstellbar über zwei Komponenten

Zeitraffer des Aufschäumens

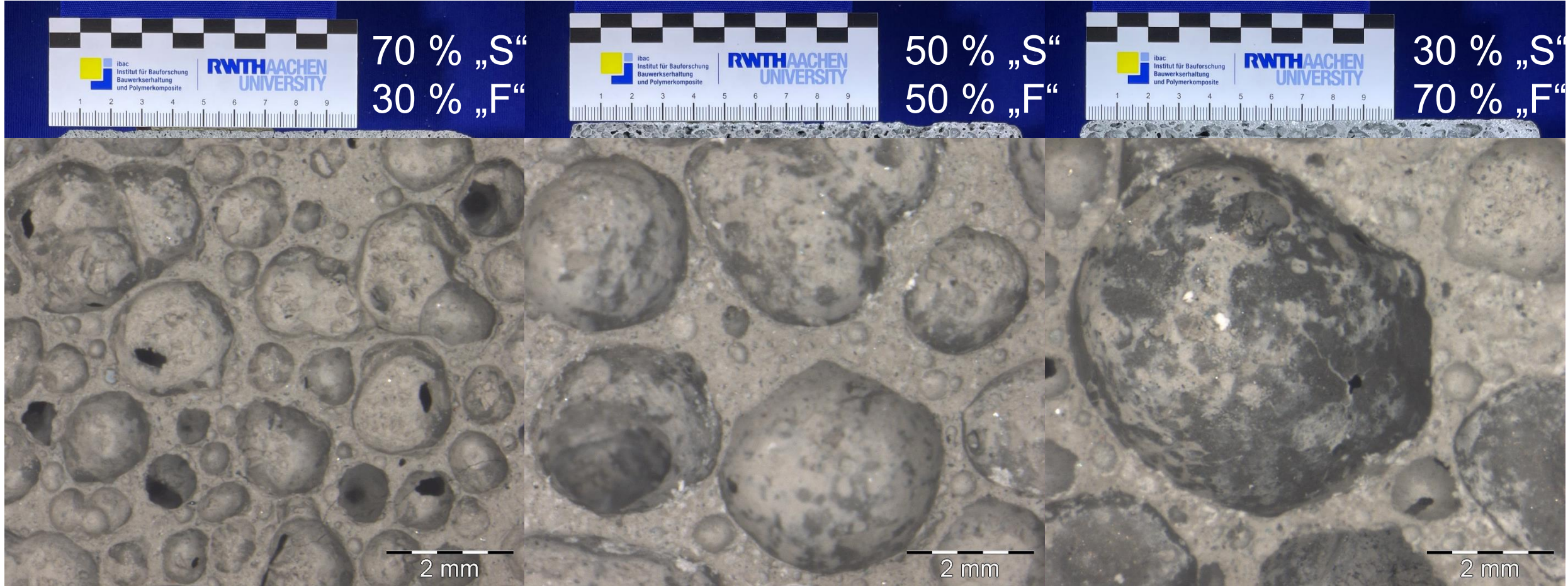


➡ „S“-Reaktion startet nach 30 min

➡ „F“-Reaktion startet nach 75 min

Quelle: Milena Hüging (ibac)

Porengröße einstellbar



➔ Porengröße nimmt mit steigendem Verhältnis von „F“ / „S“ zu

Quelle: Milena Hüging (ibac)

Nachhaltige Produkte und Systeme

Beispiel: Neue Technologien

Einbau von “Smart Deck“ für Verstärkung, Monitoring und KKS in eine Brücke



Nutzung von BIM und Digitalisierung

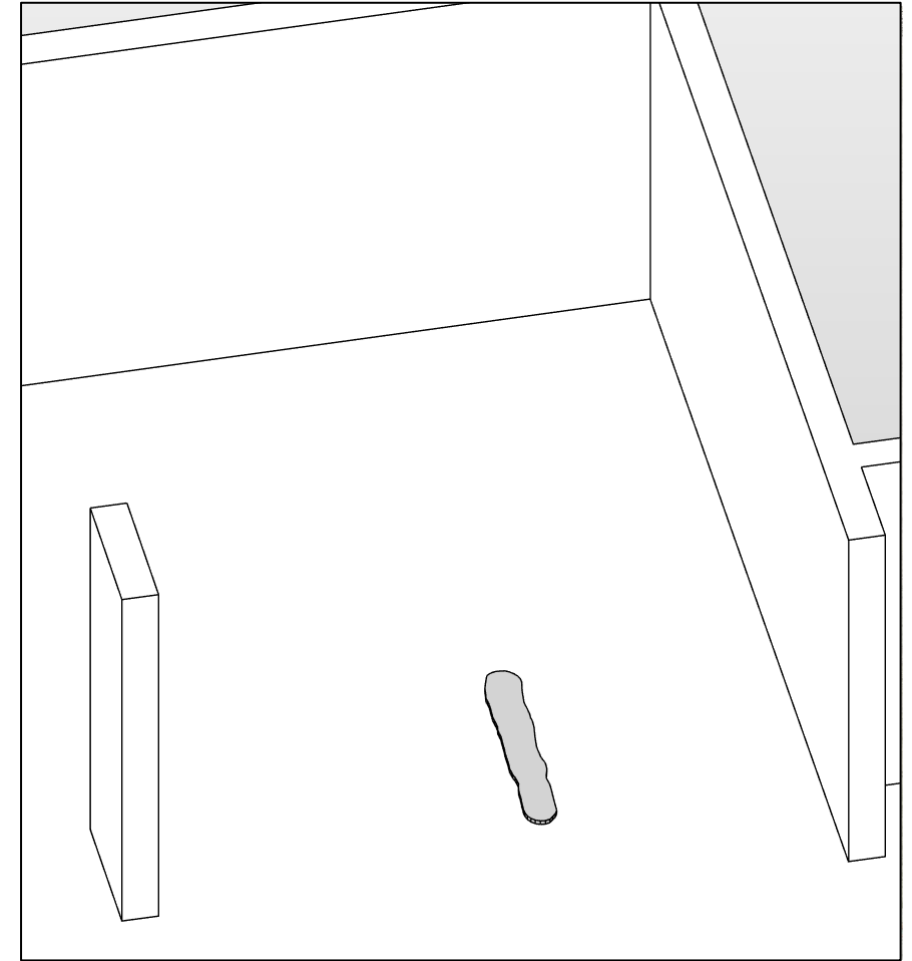
3D-Messverfahren (3)

■ Schadstelle automatisiert vermessen

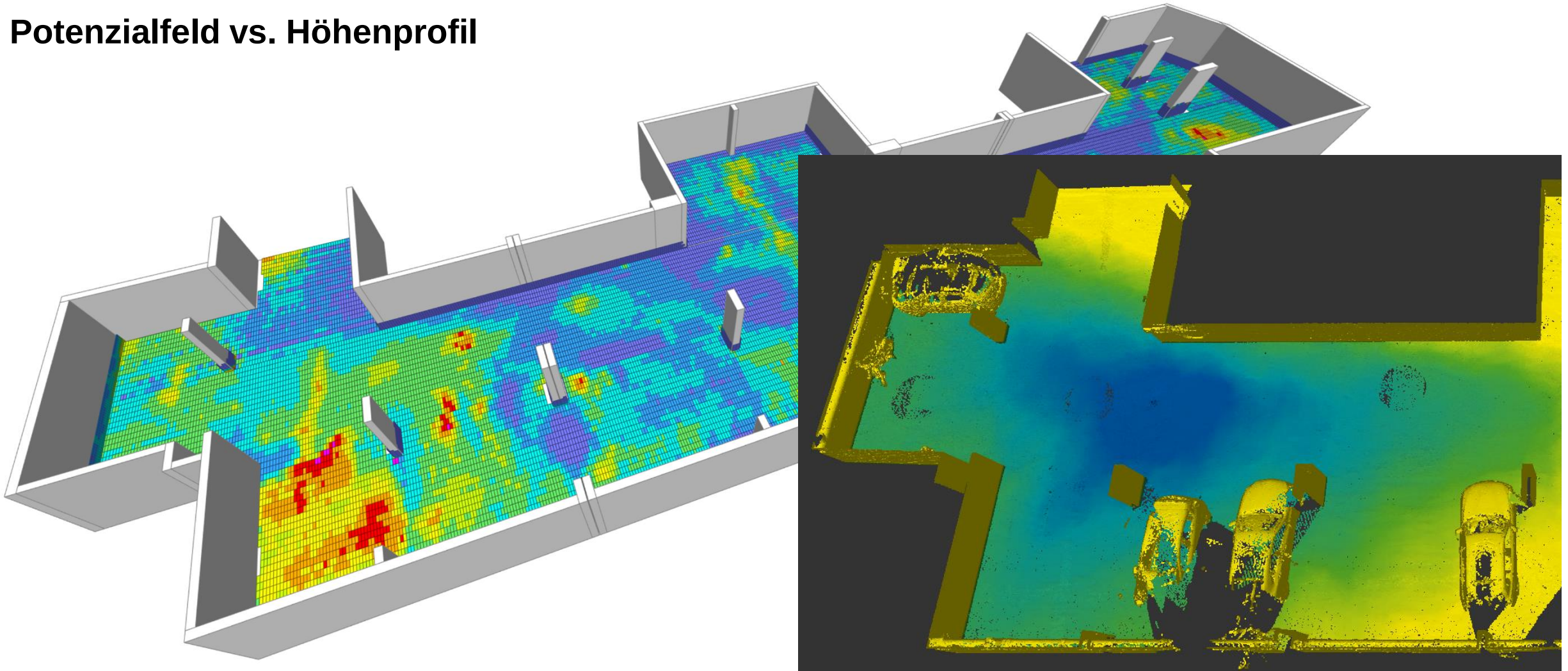
- Oberflächenvariation berechnen

➔ präzise, automatisierte Vermessung von Schadstellen

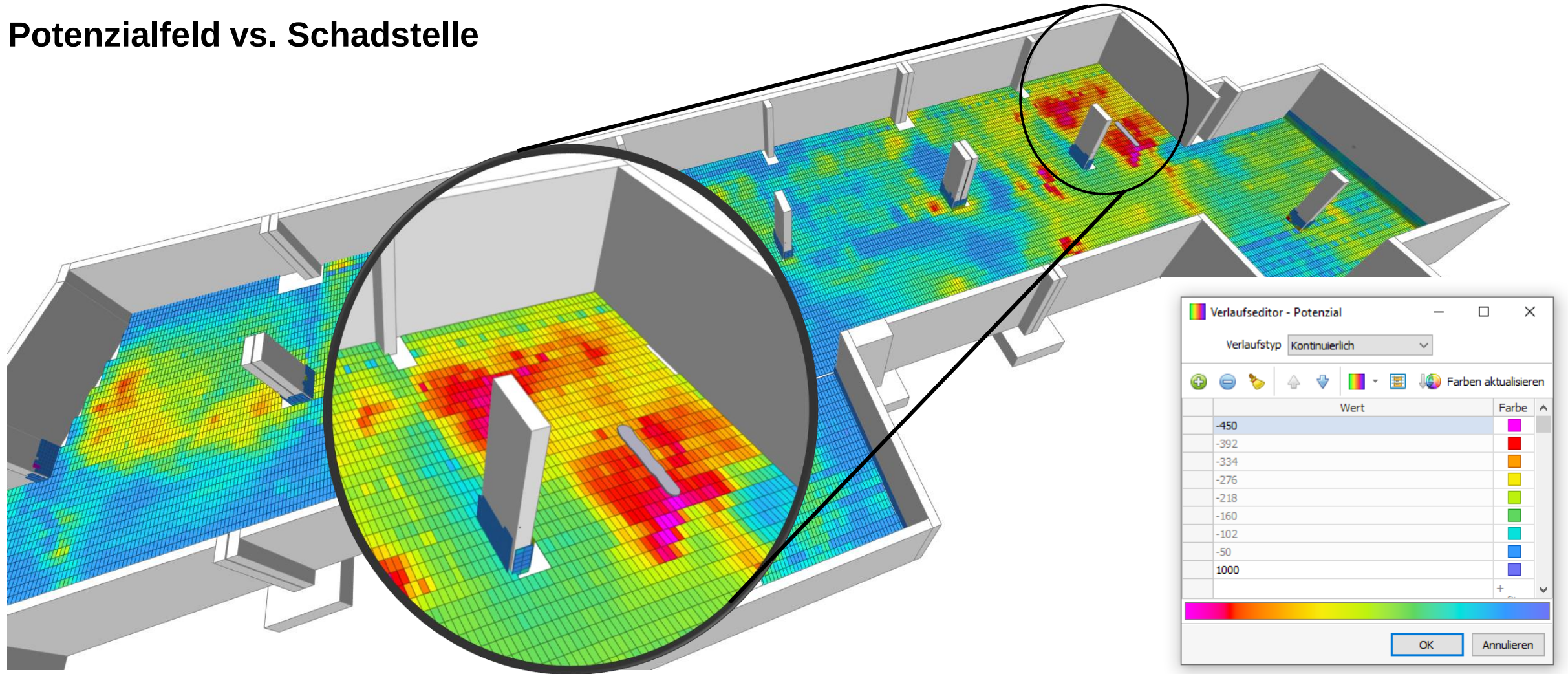
Toleranz	$V_{\min BB}$	V_{real}	$V_{\text{real}} / V_{\min BB}$
mm	cm ³		%
$z < \infty$	13.377	2529	18,9



Potenzialfeld vs. Höhenprofil

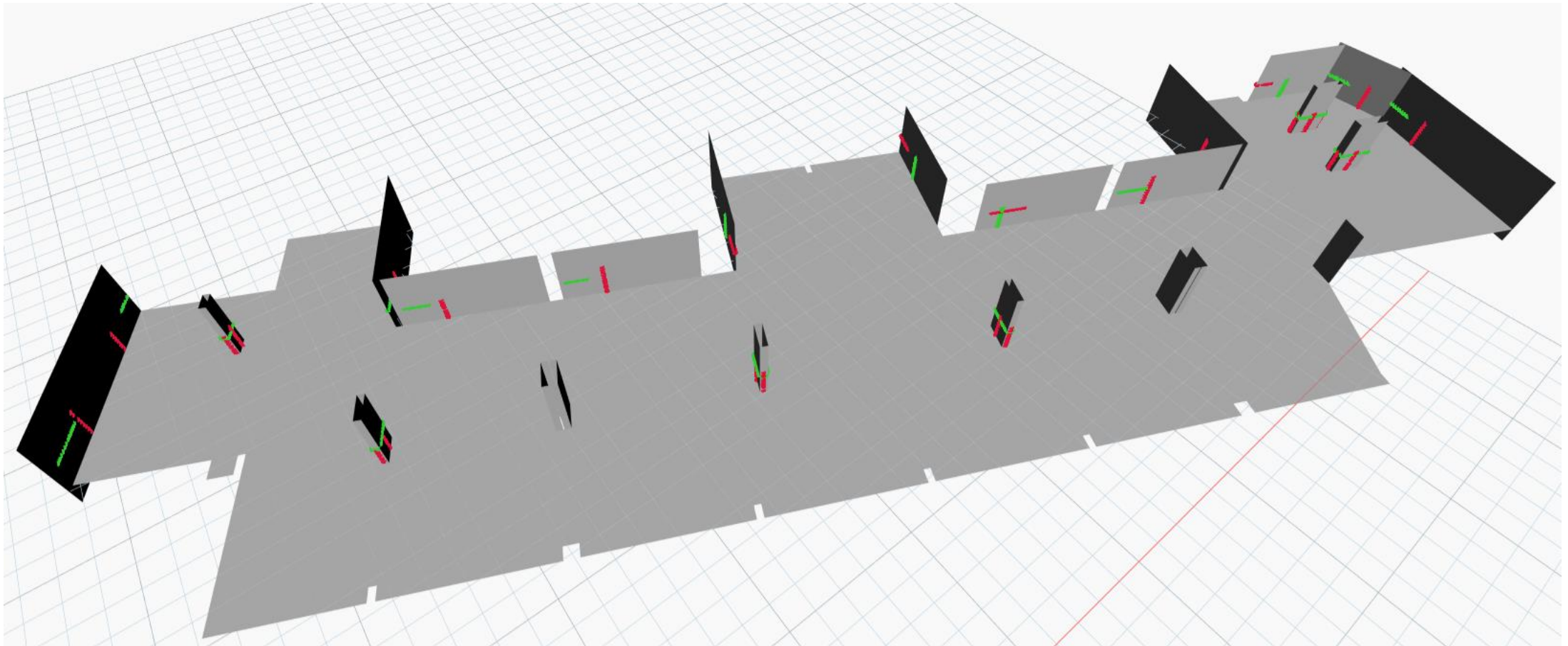


Potenzialfeld vs. Schadstelle



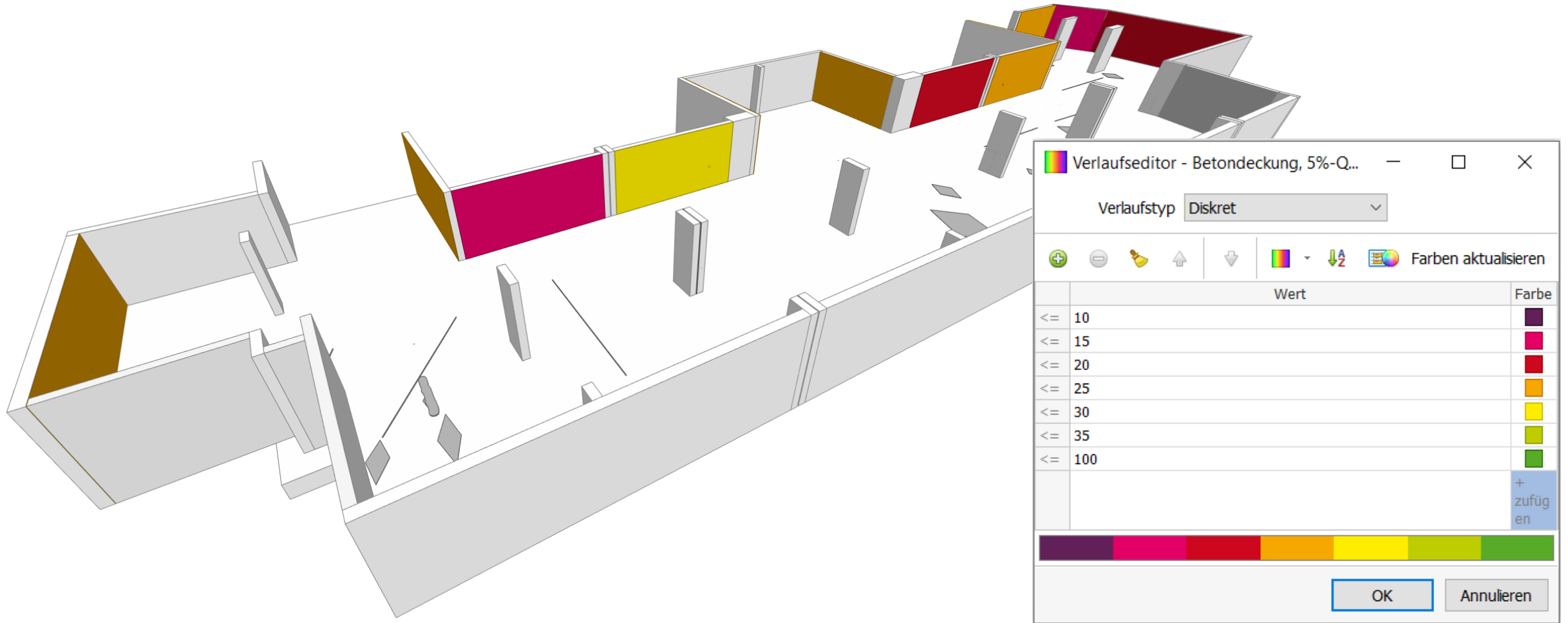
3D-kontextualisierte Diagnosedaten und Auswertungen (1)

Betondeckung und Bewehrungslage maschinenlesbar hinterlegt



Visualisierung im BIM-Modell (1)

5-%-Quantil der Betondeckung der vorderen Bewehrungslage in mm



Auswertung der implementierten Diagnosedaten (2)

Anwendungsbedingungen

- 5-%-Quantil der Betondeckung
- 90-%-Quantil der Carbonatisierung
- Tiefe des krit. Chloridgehaltes

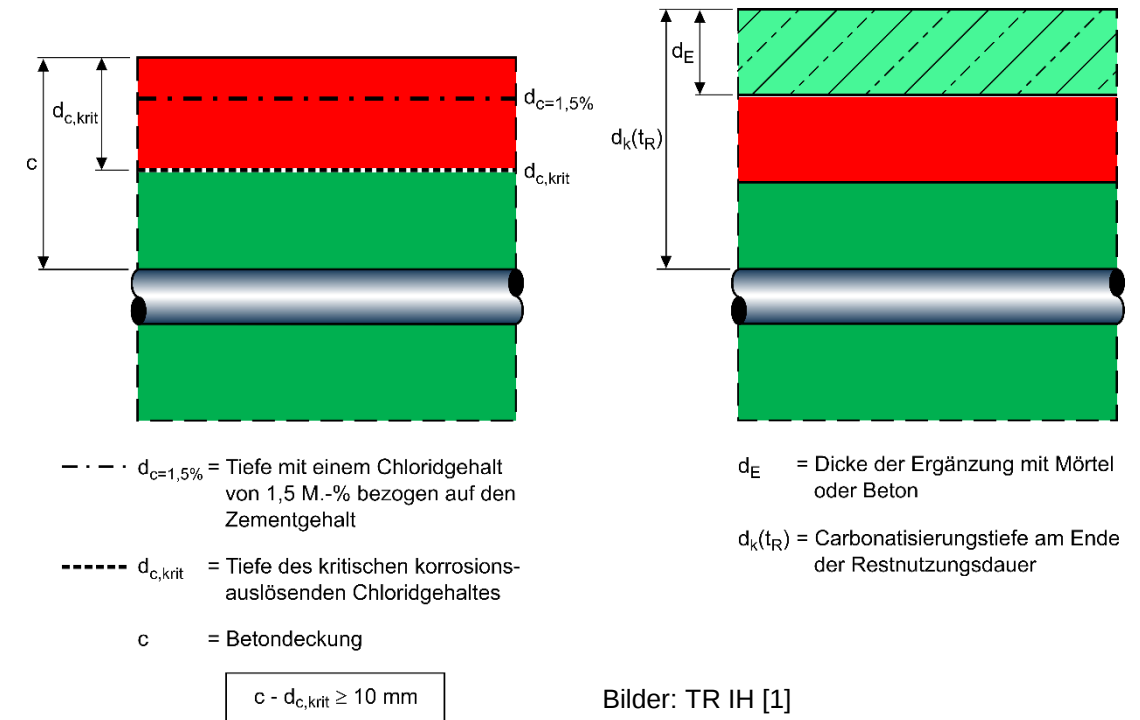
Bemessungsregeln

- Ausmaß des Betonabtrags
- Prognose über Restnutzungsdauer
- Schichtdicke des BES

➔ lokal aufgelöste Instandsetzungsplanung

➔ Berechnung jeweils für Gegenwart und Zukunft

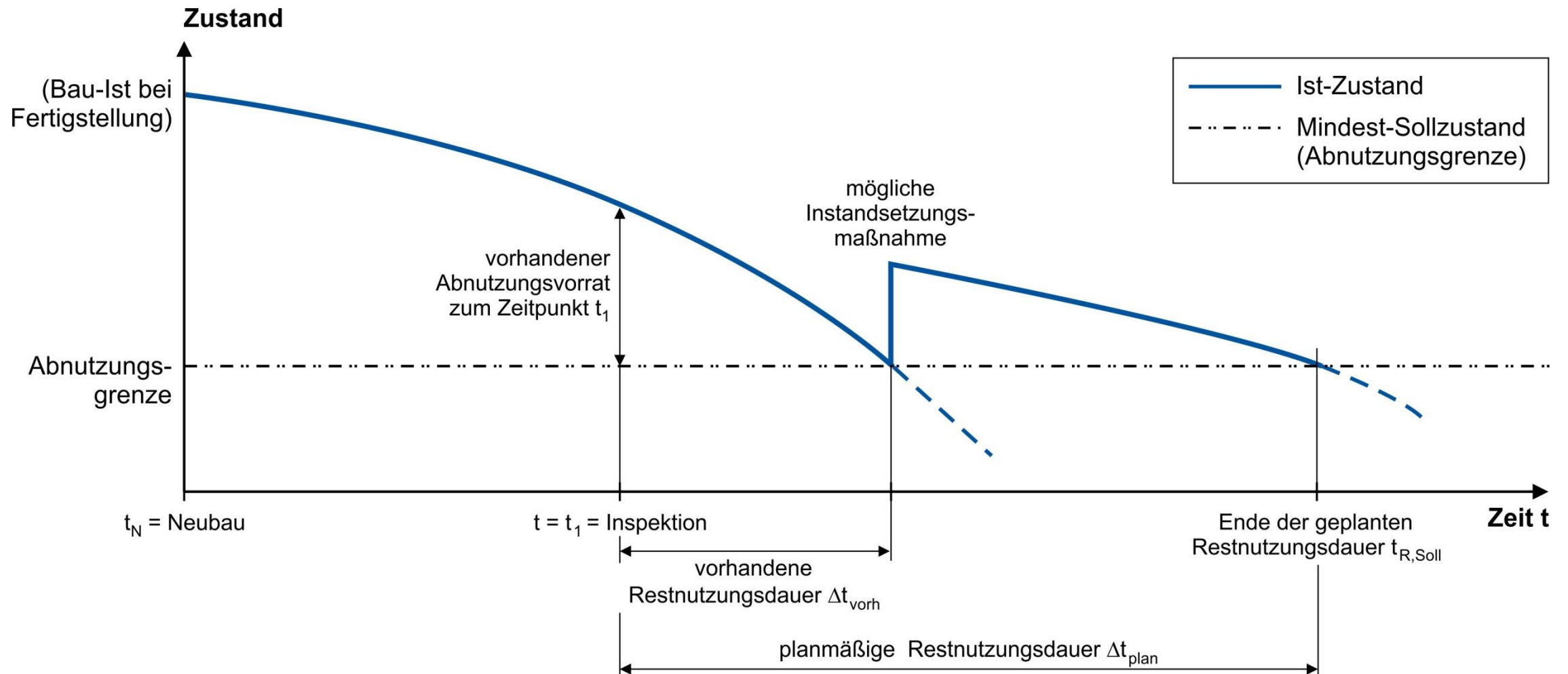
Verfahren 7.1



Beispiel für eine Einteilung von Erhaltungsmaßnahmen in sinnvolle Teilflächen



Instandsetzungszyklus während der Lebensdauer eines Tragwerks..., nach /3/



Schlussfolgerungen und Ausblick

- Die Bedeutung der Nachhaltigkeit wird auch in der Bauwerkserhaltung weiter zunehmen: Bauproduktenverordnung, Umweltproduktdeklarationen, etc.
- Die Bewertung der Nachhaltigkeit erfolgt über die vergleichende Betrachtung der Lebenszyklusphasen: Datenbasis wächst!
- Bei der Bauwerkserhaltung gibt es insbesondere in der Planungsphase große Potenziale zur Verbesserung der Nachhaltigkeit:
 - Optimierung des Umfanges der Arbeiten, z.B. Einteilung in Teilflächen
 - Optimierung des Zeitpunktes der Maßnahmen
 - Auswahl nachhaltiger Verfahren
 - Auswahl nachhaltiger Produkte

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Michael Raupach

Telefon: +49 241 80 95 104

Mail: raupach@ibac.rwth-aachen.de

Website: www.ibac-cp.rwth-aachen.de

