

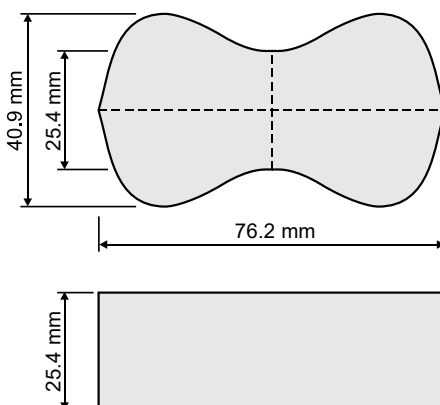
## Kurzbericht

### **Entwicklung eines Performanceprüfverfahrens zur Bestimmung des Sulfatwiderstands von Beton nach DIN EN 206-1 / DIN 1045-2**

*Förderkennzeichen:* AiF 19251 N  
*Bearbeitungszeitraum:* 01.11.2016 bis 31.12.2019  
*Projektpartner:* FEhS – Institut für Baustoff-Forschung e.V.  
 Institut für Bauforschung, Aachen (ibac)  
 der RWTH Aachen, Lehrstuhl für Baustoffkunde

Das FEhS-Institut hat das seit November 2016 gemeinsam mit dem Institut für Baustoffforschung (ibac) der RWTH Aachen bearbeitete AiF-Forschungsvorhaben Nr. 19251 „Entwicklung eines Performanceprüfverfahrens zur Bestimmung des Sulfatwiderstands von Beton“ Ende 2019 abgeschlossen. Es konnte ein performanceorientiertes Prüfverfahren entwickelt und kalibriert werden, mit dem in einem angemessenen Prüfzeitraum zielsicher und trennscharf der Sulfatwiderstand eines Betons bestimmt werden kann.

Basierend auf statistischen Verfahren zur Planung und Auswertung von Versuchen wurden in einem ersten Schritt umfangreiche Parameterstudien an Feinbetonen mit einem Größtkorn von 8 mm durchgeführt. So konnte einerseits gezeigt werden, dass die Schädigung des Betons infolge eines Sulfatangriffs am besten mit der Zugfestigkeit von ASTM-Brikettprüfkörpern (Bild 1) charakterisiert werden kann.



*Bild 1: Prüfkörper zur Bestimmung der Zugfestigkeit nach ASTM C307-03*

Zur Bewertung des Sulfatwiderstands unterschiedlicher Betone wurde die Zugfestigkeit normiert, d.h., sie wurde auf die Zugfestigkeit des gleichaltrigen, unbeanspruchten Betons bezogen. Hierfür wurde die Reifformel des fib-Model-Codes adaptiert und nachgewiesen, dass mit ihr die Zugfestigkeit eines ungeschädigten Betons im Prüfzeitraum hinreichend genau prognostiziert werden kann. Im Gegensatz zum bekannten Vorgehen, als Bezugsgröße die Festigkeit von gleichaltrigen, in gesättigter  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -Lösung gelagerten Probe-

körpern zu verwenden, verringern sich sowohl die Prüfstreuungen als auch der notwendige Prüfaufwand signifikant.

Mit den Parameterstudien konnten sowohl die Prüfparameter, die das Prüfergebn signifikant und artefaktfrei beeinflussen, als auch deren Einstellung für eine prüfbeschleunigende Wirkung definiert werden. Als Ergebnis wurde ein Prüfverfahren beschrieben, dessen Grundzüge in Tabelle 1 zusammengefasst sind.

Tabelle 1: Definition des performanceorientierten, praxisnahen Prüfverfahrens zur Bewertung des Sulfatwiderstands von Beton

<b>Betonzusammensetzung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Feinbeton mit Größtkorn 8 mm</li> <li>• <math>w/z_{eq}</math>-Wert 10 % größer als bei geplanter Betonrezeptur</li> <li>• Bindemittelgehalt frei wählbar</li> </ul>
<b>Probekörper</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Brikettprüfkörper gemäß ASTM C307-03 aus einer einzigen Betoncharge</li> </ul>
<b>Vorlagerung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 28 d in gesättigter <math>Ca(OH)_2</math> bei 20 °C</li> </ul>
<b>Prüfbedingungen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Prüfmedium: <math>Na_2SO_4</math></li> <li>• <math>SO_4^{2-}</math>-Konzentration: 6.000 mg/l</li> <li>• Lagerungstemperatur: 5 °C</li> <li>• Prüfdauer: 273 Tage</li> </ul>
<b>Prüfgrößen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• rel. Zugfestigkeit <math>f_t / f_{tm}</math></li> <li>• <math>f_t</math>: gemessene Zugfestigkeit zum Prüfzeitpunkt</li> <li>• <math>f_{tm}</math>: Zugfestigkeit zum Prüfzeitpunkt, ermittelt mit Reifefunktion in Anlehnung an fib Model Code)</li> <li>• visuelle Begutachtung (Risse, Abplatzungen, etc.)</li> </ul>

Eine weitere Aufgabe des Forschungsvorhabens war es, ein Abnahmekriterium für die sichere Bewertung des Sulfatwiderstands eines Betons vorzuschlagen. Hierzu wurden mit dem Prüfverfahren 23 Betone mit unterschiedlichen Zementen und Zement-Flugasche-Kombinationen verschiedener Hersteller geprüft und die relative Zugfestigkeit nach 119, 182 und 273 Tagen bestimmt. Dabei zeigte sich, dass nach 119 Tagen Lagerung noch keine zuverlässige Aussage hinsichtlich des Sulfatwiderstands getroffen werden kann. Die relativen Zugfestigkeiten der 23 Betone nach 182 und 273 Tagen Sulfatlagerung sind in Bild 2 dargestellt.

Nach 182 Tagen Lagerung zeichneten sich erste Unterschiede zwischen den Betonen mit verschiedenen Bindemitteln ab. Jedoch war keine zweifelsfreie Differenzierung zwischen Betonen mit bekanntermaßen hohem

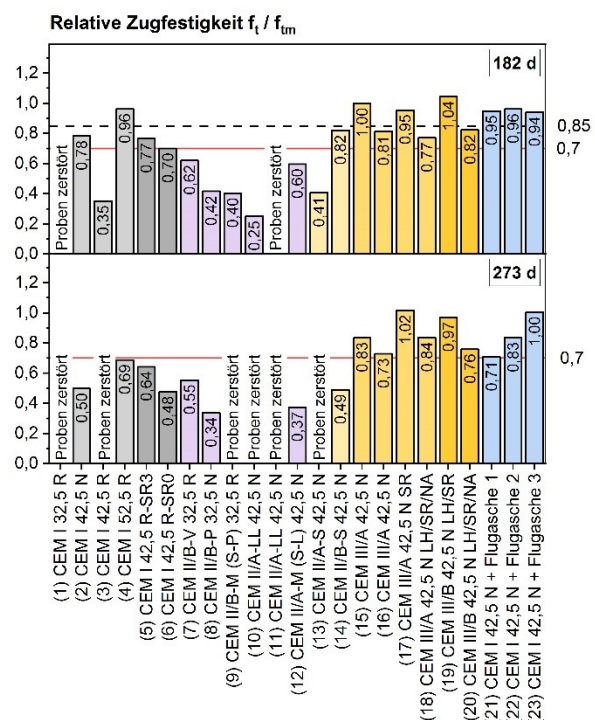


Bild 2: Rel. Zugfestigkeit  $f_t/f_{tm}$  von Beton mit 23 verschiedenen Bindemitteln nach 182 und 273 Tagen

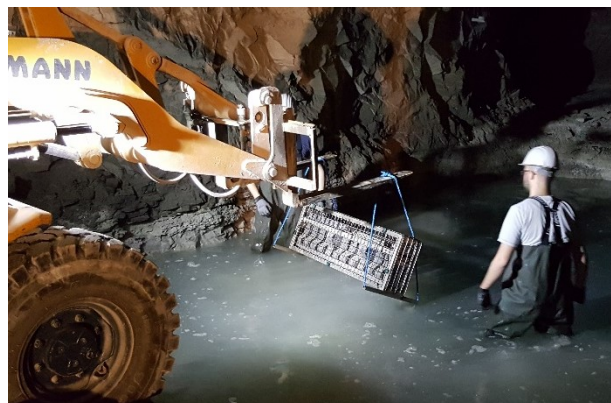
bzw. geringem Sulfatwiderstand möglich. So wiesen einige Betone mit Portlandzement ohne SR-Eigenschaft vergleichbar hohe Restzugfestigkeiten auf wie einige Hochofenzementbetone, bei denen erfahrungsgemäß auch ein hoher Sulfatwiderstand zu erwarten ist. Nach 273 Tagen (9 Monaten) Sulfatlagerung hingegen konnte trennscharf der Sulfatwiderstand der Betone bewertet werden. Betone mit den Hochofenzementen CEM III/A oder CEM III/B und Portlandzement-Flugasche-Kombinationen wiesen mit relativen Zugfestigkeiten von 0,97 bis 1,02 offensichtlich einen hohen Sulfatwiderstand auf. Hingegen wiesen Betone mit Portlandzement – auch solche mit SR-Eigenschaft – und Portlandkompositzementen geringe Restzugfestigkeiten und deutliche Schädigungen auf. Die Schädigung der Betone mit CEM I-SR-Zementen wurde auch durch weitere Prüfungen verifiziert. Der Grund ist in dem röntgenographisch nachgewiesenen  $C_3A$ -Gehalt der beiden Klinker zu sehen. Dieser ist vermutlich ausreichend hoch, um mit den Sulfationen eine schädigende Ettringitreaktion im Zementsteingefüge auszulösen.

Basierend auf den Ergebnissen und den baupraktischen Erfahrungen wurde ein Abnahmekriterium für den Sulfatwiderstand abgeleitet. Ein hoher Sulfatwiderstand wäre demnach gegeben, wenn die relative Zugfestigkeit des Betons nach 273 Tagen Sulfatlagerung einen Wert von 0,70 nicht unterschreitet. Ferner lassen sich für die Prüfung nach 182 Tagen Sulfatlagerung zwei Kriterien für einen Prüfabbruch definieren:

1. Weisen die Betone nach 182 Tagen eine relative Zugfestigkeit  $f_t/f_{tm} > 0,85$  auf kann davon ausgegangen werden, dass das vorgeschlagene Abnahmekriterium von  $f_t/f_{tm} \geq 0,70$  auch nach 273 Tagen Lagerung eingehalten wird und somit ein hoher Sulfatwiderstand des Betons gegeben ist.
2. Wenn die Betone nach 182 Tagen eine relative Zugfestigkeit  $f_t/f_{tm} < 0,70$  aufweisen, dann ist ihr Sulfatwiderstand als gering einzustufen.

Auslagerungsversuche, mit denen unter Praxisbedingungen die Laborergebnisse über längere Expositionszeiten verifiziert werden sollen (Bild 3), werden auch nach dem Projektende weiterbetreut.

Die Projektergebnisse wurden und werden in Publikationen und Vorträgen veröffentlicht und in die zuständige Gremienarbeit eingebracht.



*Bild 3: Auslagerungsstelle im Gipsbergwerk*

Das IGF-Vorhaben Nr. 19251 N der Forschungsvereinigung VDEh-Gesellschaft zur Förderung der Eisenforschung mbH wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.