

Dauerhaftigkeit von Beton

Jochen Stark, Bernd Wicht

und sieben Mitautoren

479 Seiten, gebunden

2. Auflage, Wiesbaden, Springer Vieweg, 2013

ISBN 978-3-642-35277-5

auch als eBook erhältlich

Wer den Biczok mit dem Titel »Betonkorrosion, Betonschutz«, seit der 6. Auflage 1968 nicht mehr aufgelegt, sein eigen nennt und sich mit der Chemie der Baustoffe, besonders mit der Chemie des Betons auseinandersetzt, suchte lange Zeit nach einem Nachfolgewerk.

Mit dem Erscheinen der 2. Auflage des Buches mit dem Titel »Dauerhaftigkeit von Beton« wird diese Lücke nicht nur gefüllt, vielmehr gelang es den Autoren den Werkstoff Beton und dessen Ausgangsstoffe aus In Hinblick auf die Dauerhaftigkeit umfassend zu beschreiben, die Grenzen der Anwendbarkeit dieses Jahrhundertwerkstoff zu begründen, die Vielfalt der Gefährdung tiefgehend zu erläutern und Wege zur Erhöhung der Dauerhaftigkeit zu skizzieren.

Grundlage dieses Buches sind die zu diesem Thema weltweit erarbeiteten Forschungsergebnisse und zu einem erheblichen Teil die am F.A. Finger-Institut für Baustoffkunde an der Bauhaus-Universität Weimar zur Problematik der Gefährdung von Beton, aus dem Inneren und von außen, erarbeiteten Untersuchungsergebnisse.

Den Autoren Jochen Stark, ausgewiesener und international bekannter Fachmann der Baustoffkunde und bis 2010 Direktor des F.A. Finger-Institutes und Bernd Wicht, wissenschaftlicher Mitarbeiter am F.A. Finger-Institutes, bekannt durch zahlreiche Forschungsarbeiten und Veröffentlichungen zur Dauerhaftigkeit von Beton sowie weitere wissenschaftliche Mitarbeiter des F.A. Finger-Institut wie Ernst Freyburg, Katrin Seyfarth, Doreen Erfurt, Colin Giebson, Bernd Möser, Frank Bellmann und Peter Nobst ist es mit diesem Buch gelungen, den aktuellen Wissens- und Forschungsstand unter Berücksichtigung der deutschen, europäischen und wo nötig anderer internationaler Normung umfassend darzustellen.

Das Werk ist in neun Kapitel gegliedert. Jedes Kapitel beginnt mit einem kurzen historischen Abriss, beschreibt die Voraussetzung der Gefährdungen des Betons bzw. Stahlbetons, geht intensiv ein auf die Wechselwirkung der Komponenten Bindemittel Zement, Zusatzstoffe, Zuschlagsstoffe und Einwirkungen von außen über den gesamten Lebenszyklus eines Betonbauwerks.

Die ausführliche thermodynamische Untermauerung der chemischen Reaktionen, die während der einzelnen Lebensphasen eines Betons auftreten, beginnend mit dem Kontakt der Ausgangskomponenten und endend bei der Zerstörung des Betonbauwerks, erhellen nicht nur die Schadensmechanismen, sondern lassen auch Prognosen zur Dauerhaftigkeit zu. Die Vielzahl graphischer Darstellungen, mikroskopischer und makroskopischer Aufnahmen, faszinierender REM-Aufnahmen, RDA-Graphiken, übersichtlicher Tabellen und die leichte Lesbarkeit macht dieses Werk zu einem Genuss und lässt das Herz eines Baustoffkündlers höher schlagen. Umfangreiche Schadensbeschreibungen und Hinweise zur Vermeidung der Schäden unter Hinweis auf die weiterführende Literatur runden jedes Kapitel ab. Die Tiefendimension der einzelnen Kapitel, basierend auf dem umfangreichen Forschungsschatz des F.A. Finger-Institutes, verrät den hohen Aufwand und die Wissens- und Erkenntnisfülle, dieses bemerkenswerten Buches, das aus den bisher bekannten Veröffentlichungen zu diesem Thema besonders herausragt.

Im ersten Kapitel gehen die Autoren auf die Voraussetzungen für die Dauerhaftigkeiten des Betons ein. Unterschieden wird nach den inneren aus den Hauptausgangsstoffen resultierenden Einflussfaktoren und nach den äußeren Einflussfaktoren. Definiert wird die Dauerhaftigkeit eines Betons als Widerstandsfähigkeit gegenüber Beanspruchungen, die von der Wasserbelastung über den Sulfatangriff bis zur Feuereinwirkung reichen. Mit diesen Beanspruchungen bzw. Angriffsarten setzen sich die nachfolgenden Kapitel auseinander.

Die unzureichende bzw. ausreichende Dauerhaftigkeit lässt sich aus dem »performance concept«, also aus den nachprüfbaren Leistungsmerkmalen ableiten. Der alleinige Kennwert, die bis heute noch für viele Bauingenieure stehende Druckfestigkeit des Betons, herrührend aus der überholten mechanistischen Denkweise, die auch den Statiker prägt, ist kein alleiniges Merkmal, das die Qualität und Dauerhaftigkeit eines Betons charakterisiert. Das Kapitel eins schließt deshalb mit der Erläuterung der Expositionsklassen ab, deren Berücksichtigung bei der Planung der Betonzusammensetzung und der Maßnahmen zur Nachbehandlung aber nicht immer vor Schäden, die bis zum Versagen der Betonkonstruktion reichen, bewahrt. Über die inneren und äußeren Einflussnahmen berichten die anschließenden Kapitel.

Kapitel zwei geht intensiv auf den wesentlichen Ausgangsstoff, den oder besser die Zemente ein. Ausgehend von der chemischen und mineralogischen Zusammensetzung des Portlandzementklinkers werden die zementtechnischen Eigenschaften der Klinkerminerale, auch unter ökologischen Aspekten, beschrieben.

Nach der Erläuterung der Sulfatträger und der Eigenschaften der Zuschlagstoffe und dem Einfluss der Mahlfineinheit der Zemente, werden die während der Hydratation auftretenden chemischen Prozesse ausführlich beschrieben, untermauert durch anschauliche Röntgenogramme und Thermographiegrafiken.

Der Einfluss des Wasser-Zementwertes, der Temperatur, der Fremdoxide, besonders der Alkalioxide auf das Kristallwachstum und die Ettringitbildung sowie auf die Zusammensetzung während der Hydratation und schließlich auf die Zusammensetzung der Porenlösung wird ausführlich, unter Beachtung des aktuellen Forschungsstandes, beschrieben, da dies für das Verständnis der anschließenden Kapitel von grundlegender Voraussetzung ist. Das zweite Kapitel schließt mit der Erläuterung der Zemente nach DIN EN 197-1. Dabei wird deutlich, dass die gegenüber der alten Zementnorm DIN 1164 neu hinzugekommenen Zementklassen CEM II »Portlandkompositzement« und CEM V »Kompositzement« Zubereitungen sind, deren genaue Zusammensetzung bzw. deren genaues Mischungsverhältnis Portlandzementklinker zu Zusatzstoff dem Planer und Anwender verborgen bleibt. Dass dies, besonders bei Verwendung des Portlandkalkstein- und Kompositzementes negative Folgen für die Prognose der Dauerhaftigkeit eines Betons haben kann, wird in den Kapiteln drei und vier deutlich.

Die im Zusammenhang mit der CO₂-zentrierten Klimadiskussion und der damit verbundenen, politisch gewollten Energiereduktion bei der Zementherstellung, haben nicht nur die Portlandkompositzemente entstehen lassen sondern auch den energieärmeren Sulfathüttenzement (SHZ) wiederbelebt. Mit der Beschreibung der Eigenschaften des SHZ und der Feinstzemente schließt das zweite Kapitel. Das hochalkalische System Frischbeton tritt nach dem Luftkontakt mit dem darin enthaltenen CO₂ in Wechselwirkung. Der Prozess dieser Wechselwirkung, dessen Reaktionsergebnisse unter anderem Kalziumcarbonat und Alkalicarbonat sind, wird gemeinhin Carbonatisation genannt.

Im dritten Kapitel widmen sich die Autoren dem Wesen der Carbonatisation, gehen auf die Phasen und deren Auswirkung wie der pH-Wertänderung und damit verbunden auf die Korrosionsgefahr der Armierung ein.

Nach der anschaulichen Beschreibung der Methoden zur Bestimmung der Carbonatisierungstiefe, wird die praktische Bestimmung des Carbonatisierungskoeffizienten k eines unbekannten Betons anhand nachvollziehbarer Beispiele abgeleitet. Neben dem Phänomen des Carbonatisierungsschwindens, werden die Einflussfaktoren auf die Carbonatisierung, wie die CO₂-Konzentration, die Feuchtigkeit, der W/Z-Wert, die Zuschlagstoffe, die Zusatzmittel, die Zusatzstoffe und die Zementarten eingehend erläutert. Gerade der Einfluss der Zementarten auf die Carbonatisation wird in der Praxis unterschätzt mit der Folge einer oft zu günstigen Prognose der Dauerhaftigkeit, besonders im Hinblick auf die Korrosionsgefahr. Nach einer ausführlichen thermodynamischen Betrachtung der Carbonatisierung unter Berücksichtigung der einzelnen Klinkerbestandteile und des Alkaligehaltes, schließt dieses Kapitel mit der Beschreibung der Maßnahmen und der Regelwerke zum »Schutz und der Instandsetzung gegen stahlbetongefährdende Carbonatisierung. Ergänzt wird dieses Kapitel noch durch eine kurze Beschreibung des Phänomens der »selbsteilenden Risse«.

Das vierte Kapitel hat die Folgen des Sulfatangriffs auf den Beton zum Thema. Die Einwirkung löslicher Sulfate, üblicherweise Alkali- und Erdalkalisulfate, führt entweder zu einem lösendem oder zu einem treibendem Angriff. Unterschieden wird ferner nach einem äußeren und inneren Sulfatangriff. Beim lösenden Angriff werden die calciumhaltigen Mineralphasen des Zementsteins angelöst und ausgelaugt. Unter Zersetzung der CSH-Phasen und Thaumasitbildung führt dies zum Verlust der Festigkeit.

Bei treibendem Sulfatangriff entstehen Sulfatminerale, deren Volumen größer ist als das der Ausgangsphasen. Man spricht vom Sulfattreiben. Der Sulfatangriff nimmt Einfluss auf die Mikrostruktur des Zementsteingefüges. Darauf und auf die Grenzen der Widerstandsfähigkeit des Betons gegen das Eindringen sulfathaltiger Wässer wird intensiv eingegangen. Die Autoren beschreiben dann den Angriff durch Sulfate und die Bildung der Treibminerale Ettringit, Gips und Thaumasit. Anschließend wird auf die Sulfatschäden, auch infolge der mikrobiellen Oxidation von Sulfiden in Abwasser- und Biogasanlagen eingegangen. Es wird auch nicht versäumt, auf die Gefahr der Thaumasitbildung bei Verwendung kalksteinreicher Zemente und bei Verwendung von Kalksteinmehl als Zusatzstoff zu verweisen. Nach der Beschreibung des Schädigungsverlaufs werden die Maßnahmen zur Vermeidung von Sulfatschäden beleuchtet. Diese reichen von der Verwendung geeigneter sulfatbeständiger Zemente, also C₃A-ärmer, sogenannter SR-Zemente bis zu geeigneten mineralischen Zusatzstoffen wie Steinkohlenflugasche.

Das Kapitel vier endet mit der Beschreibung der Prüfverfahren für den äußeren und inneren Angriff unter Bezug auf die deutschen, europäischen und amerikanischen Regelwerke. Die Dramatik der Folgen der Ettringitbildung ist den Autoren ein eigenes Kapitel wert.

Im Kapitel fünf wird zunächst auf die gewünschte Ettringitbildung im Frühstadium der Erhärtung eingegangen, ohne die eine normgerechte Erstarrung nicht möglich wäre. Ettringit hat aber zwei Gesichter. Bildet es sich erst später im bereits erhärteten Beton, wirkt es mit seinen 32 Kristallwasser als Treibmineral mit ungeahnten zerstörerischen Folgen. Diese schädigende Treibwirkung tritt besonders bei unsachgemäßer Wärmebehandlung von Beton und bei Anwesenheit von Alkalien auf. Dieser Problematik widmet sich vorrangig dieses Kapitel. Die thermodynamischen Berechnungen zur Ettringitbildung begründen nicht nur die Temperaturabhängigkeit sondern auch die Einflussnahme der Alkalihydroxide in der Porenlösung auf die Gips-Monohydrat- und Ettringitbildung in der Zementsteinmatrix. Auch in nicht wärmebehandelten Betonen ist bei ungünstigen Randbedingungen wie hochsommerlichem Witterungsverhalten und heißer Gesteinskörnung, bei hoher Zementtemperatur und hoher Eigenwärmeentwicklung während der Hydratation sowie bei Einwirkung hoher Temperaturen während der Nutzung, bei wechselnder Feuchtebeanspruchung und inneren Sulfatquellen, mit einer nachträglichen Ettringitbildung zu rechnen.

Die Autoren berichten über langjährige Untersuchungen im F.A. Finger-Institut an wärmebehandelten Betonen, deren Ergebnisse die thermodynamischen Berechnungen bestätigen. Das Kapitel fünf schließt mit der Beschreibung von Nachweismethoden zur Erfassung von Betonschäden, die durch Ettringitbildung im erhärteten Beton verursacht wurden. Die Lebensdauer von Betonbauwerken wird durch den Angriff starker und schwacher Säuren erheblich reduziert.

Mit den Ursachen der säureinduzierten Betonkorrosion und geeigneten Schutzmaßnahmen setzt sich das Kapitel sechs auseinander. Das alkalische Ca(OH)₂-reiche System Beton wird durch Mineralsäuren wie Salz-, Salpeter- oder Schwefelsäure stark angegriffen. Wenn Dolomit oder Kalkstein als Zuschlag verwendet wird, ist nicht nur der Zementstein sondern das gesamte System gefährdet. Aber auch schwächere organische Säuren wie verdünnte Essig- oder Milchsäure sowie Huminsäuren greifen Beton an. Schwefel- und Salpetersäure können auch biogen, z. B. in Abwasser- und Biogasanlagen durch Mikroorganismen gebildet werden.

Im Kapitel sechs gehen die Autoren naturgemäß auch auf die seit langem bekannte Angriffsart durch kalkaggressive Kohlensäure ein. Hingewiesen wird auch auf den geradezu heimtückischen kombinierten Säure-/Sulfatangriff, wenn Beton mit sulfatsäuren, also eisensulfidhaltigen Bodenschichten in Kontakt kommt. Der Säureangriff in Kühltürmen und Wasserbauten ist für die

Planer eine ebenso große Herausforderung.

Welche Schutzmaßnahmen stehen zur Verfügung? Die Autoren unterscheiden aktive und passive Maßnahmen. Zu den aktiven Maßnahmen zählen neben konstruktiven Maßnahmen wie das Herstellen eines ausreichenden Gefälles, die Festlegung der Expositionsklasse und die Anpassung der Betonrezeptur. Dabei haben sich sogenannte ESW-Betone, also Betone mit Erhöhtem Säure-Widerstand auf der Basis Portlandzement, Silicastaub und Flugasche besonders bewährt.

Zu den passiven Maßnahmen zählen Verfahren zum dauerhaften Schutz der gefährdeten Betonoberfläche wie Anstriche, Beschichtungen und Verkleidungen.

Abschließend weisen die Autoren darauf hin, dass es bislang noch keine normative Regelung zur Prüfung von Betonen mit hohem Säurewiderstand gibt und erläutern deshalb das an der MPA Potsdam entwickelte Performance Prüfungskonzept, das eine relativ gesicherte Prognose der Nutzungsdauer eines säurebeständigen Betons erlaubt.

Die Kapitel vier bis sechs beschäftigen sich mit der Gefährdung des Betons an sich. Mit der Gefährdung der Bewehrung durch Chloride im Verbundbaustoff Stahlbeton beschäftigt sich das siebte Kapitel. Zunächst wird auf die Chloride und deren Konzentration in den Ausgangsstoffen des Betons eingegangen. Dann werden die von außen einwirkenden Quellen der Chlorideinwirkung vom Meerwasser über die Tausalze bis zum im Brandfall sich bildenden HCl-Gas aufgeführt. Nach der Erläuterung der Eindringmechanismen durch Diffusion und Konvektion, gehen die Autoren auf die Verteilungsmechanismen im Beton ein.

Welchen Einfluss der Zementgehalt, der W/Z-Wert, die Betonzusatzstoffe, die Nachbehandlung, die Gesteinskorngröße, die Carbonatisierung, die Rissweite und Ristiefe, die Oberflächenstruktur, Frost/Tauwechsel und schließlich die Betontemperatur auf den Chloridtransport haben, wird ausführlich beschrieben.

Die Chloride im Beton liegen in unterschiedlich gebundener Form vor und zwar

- chemisch gebunden
- in der Porenlösung als freie Ionen gelöst
- und physikalisch, d. h. adsorptiv als Anlagerungskomplex gebunden

Die Bewehrungskorrosion kann nur eintreten, wenn in Höhe der Stahlbewehrung ein »kritischer korrosionsauslösender Grenzwert« überschritten wird. Dieser steigt mit dem pH-Wert. Deshalb ist es wichtig, den freien und den gebundenen Chloridanteil chemisch analytisch zu bestimmen. Die Autoren widmen daher der Methodenbeschreibung großen Raum.

Anschließend werden die elektrochemischen Grundlagen der chloridinduzierten Korrosion, gestützt durch anschauliche Graphiken, detailliert beschrieben. Dabei wird auf die Vielzahl von Parametern, die auf den Korrosionsvorgang Einfluss nehmen wie Risse, Überdeckung, Dichtheit der Betondeckung, um nur einige zu nennen, hingewiesen. Das Kapitel sieben mündet dann in der Beschreibung von Schutz- und Instandsetzungsmaßnahmen, die vom aktiven über passiven Korrosionsschutz und Korrosionsüberwachungssysteme bis zum elektrochemischen Chloridentzug reichen.

Spektakuläre Betonschäden an nur wenige Jahre alten Autobahnen in Mitteldeutschland in den 2000er Jahren, als deren Ursachen u. a. die Alkali-Kieselsäure-Reaktion(AKR) am Zuschlag Grauwacke ermittelt werden konnte, haben dieses Schadensphänomen wieder in den Mittelpunkt der Dauerhaftigkeitsforschung besonders am F.A. Finger-Institut gerückt. Dies schlägt sich im Kapitel acht, das sich mit der AKR auseinandersetzt, durch seinen Umfang von knapp hundert Seiten nieder. Neben dem aus der Vergangenheit bekannten Forschungsstand, berichten die Autoren ausführlich über die am F.A. Finger-Institut erforschten Schadensmechanismen und geben praxisnahe Hinweise zur Vermeidung von AKR-induzierten Schäden.

Zunächst wird auf die Voraussetzung der AKR, einer heimtückischen Treibreaktion, eingegangen.

Unterschieden wird nach der

- Alkali-Silica-Reaktion
- Alkali-Silicat-Reaktion und der
- Alkali-Carbonat-Reaktion

Das Ergebnis ist meist die Bildung amorpher oder schlecht kristallisierter Kieselsäure. *»Ablauf und Ausmaß der Reaktion hängen von der Art und Menge der alkaliempfindlichen Gesteinskörnung, ihrer Größe und Verteilung, dem Alkalihydroxidgehalt in der Porenlösung sowie dem Feuchtigkeits- und Temperaturbedingungen des erhärteten Betons ab«.*

Da die Schadenscharakteristik nicht immer spezifisch ist, bedarf es des Erkennens makroskopischer Merkmale wie netzartige Risse auf der Betonoberfläche, der Abscheidung von Geltropfen und Ausbrüchen an der Oberfläche, sogenannter pop outs als Voraussetzung für die Schadenszuordnung.

Die Autoren erläutern die Bestimmung der Alkalien in der Porenlösung, beschreiben die alkalireaktiven Gesteinskörnungen und unterscheiden nach schnell reagierenden Gesteinen wie Opal oder Flint und sehr langsam reagierenden Gesteinen wie Grauwacke oder Quarziten sowie recycelten Gesteinskörnungen.

Nach der Beleuchtung des AKR-Gefährdungspotentials von Mineralien und Gesteinen wird auch das Gefährdungspotential sogenannter technischer Produkte, die im Beton Verwendung finden wie SiC-Hartstoff, Glas, Schaumglasgranulien, Glasfasern und glasfaserverstärkte Kunststoffstäbe im Hinblick auf ihre meist geringe Alkalibeständigkeit beschrieben.

Großer Raum wird den Mechanismen der AKR gewidmet. Ausgehend von der Beschreibung der dabei auftretenden chemischen Reaktionen und der Lösungsprozesse des SiO_2 über die Beschreibung osmotischer Vorgänge wird dann auf die Zusammensetzung des AKR-Gels eingegangen. Anschließend werden die makroskopischen und mikroskopischen Merkmale, gestützt durch anschauliche Abbildungen, beschrieben. Bei der nun folgenden Beschreibung der die Alkali-Kieselsäure-Reaktion beeinflussenden Faktoren wie Alkaligehalt des Zements, Zementgehalt des Betons, der Menge an alkaliempfindlichen Gesteinskörnungen, der Temperatur und Feuchtigkeit und der Permeabilität des Betons, ist die Alkalizufuhr von außen hervorzuheben. Nicht nur das NaCl in den konventionellen Taumitteln sondern auch die seit einigen Jahren, zunächst auf amerikanischen Militärflughafenanlagen eingesetzten Kalium- und Natriumacetate sowie Formiate begünstigen die AKR.

Danach werden erprobte Maßnahmen zur Vorbeugung oder Reduzierung der AKR aufgezeigt. Diese reichen von der Verwendung latent hydraulischer Stoffe wie Hüttensand über puzzolanische Stoffe wie Steinkohlenflugasche, Silicastaub, Metakaolin und Reisschalenasche bis zu feingemahlenem Altglas und Ölschieferabbrand. Abschließend werden ausführlich die nationalen und in-

ternationalen Normen und Richtlinien, besonders unter dem Gesichtspunkt der Prüfverfahren, ergänzt um institutseigene Prüfergebnisse, beschrieben.

Wer nun glaubt, dass es zur Problematik des Frost- und Frost-Tausalz-Widerstandes des Betons keines Forschungsaufwandes mehr bedarf, weil die normativen Vorgaben ausreichend sind, wird im abschließenden neunten Kapitel rasch eines besseren belehrt. Die Autoren betonen, dass bis heute noch keine einheitliche Auffassung über die wesentlichen Zerstörungsmechanismen existiert. Aber 60 Jahre Grundlagenforschung, besonders die Erkenntnisse der letzten Dekade, eröffnen nun Möglichkeiten, basierend auf dem performance concept, genaue Herstellungsregeln für FTW bzw. FTSW vorlegen zu können und zu begründen.

Zunächst gehen die Autoren auf die Gefriermechanismen der Porenlösung im Zementstein ein. Dabei wird der rechnerische Ansatz der Kapillarradius-Gefrierpunktserniedrigung und des Unterkühlungseffekts den Schadensbildern gegenübergestellt. Die Schadensmechanismen werden in makroskopische und mikroskopische Mechanismen unterteilt.

Zu den makroskopischen Mechanismen zählen ungleiche Ausdehnungskoeffizienten der Betonbestandteile Zementstein und Gesteinskörnung, schichtenweises Gefrieren, das sich in der Praxis meist als Abwittern der dünnen Oberflächenschichten vom unversehrt gebliebenen Gefüge zeigt und der Temperatursturz in der Betonrandzone, verbunden mit Zugspannungen nach dem Eindringen von Taumittellösung.

Zu den mikroskopischen Schadensursachen zählen der entstehende hydraulische Druck des gefrierenden Wassers, die Kapillarität und die Diffusion sowie der Kristallisationsdruck.

Zur Erklärung des anomalen Verhaltens von Wasser beim Gefrieren im porösen System des Zementsteins, wird das auf einem thermodynamischen Ansatz basierenden, von Setzer 1999/2000 entwickelte Modell der »Mikroislinsenbildung und der Mikroislinsenpumpe« ausführlich vorgestellt. Dieses Modell erlaubt eine vollständige Deutung der beim Gefrieren des Porenwassers auftretenden Vorgänge.

Zur Optimierung der Rezepturen eines FTW bzw. FTSW-Betons muss der Einfluss der Betonzusammensetzung bekannt sein. Ausschlaggebend für die Widerstandsfähigkeit ist im Wesentlichen das sich bildende Porensystem. Dies hängt vom W/Z-Wert, den Zusatzstoffen und den Randbedingungen wie der Nachbehandlung ab. Beleuchtet wird darüber hinaus der Einfluss der Gesteinskörnung, das Einbringen künstlicher Luftporen, die Art des Zementes, die Verdichtungsart und die Oberflächenschutzmaßnahmen.

Zu den äußeren Einflüssen zählen die Temperaturwechsel, die Anzahl der Frost/Tauwechsel, die Abkühlgeschwindigkeit, das Feuchtigkeitsangebot und die Beaufschlagung durch Taumittel. Die Autoren gehen dann auf die verschiedenen Frost-Taumittel-Widerstandsprüfverfahren ein und bewerten die Vergleichbarkeit sowie Praktikabilität.

Das Kapitel neun schließt mit baupraktischen Hinweisen, die über die normativen Vorgaben hinausgehen, wie z. B. der Berechnung des spezifischen Zementgehaltes eines LP-Betons.

Dieses Buch ist ein Meilenstein in der Baustoffkunde. Es darf in keiner Fachbibliothek fehlen. Für den Forscher und Sachverständigen bietet es eine Fülle von Informationen, deren Anwendung zur Vermeidung von Betonschäden und zur Erhöhung der Dauerhaftigkeit des unentbehrlichen Baustoffs Beton umfassend beitragen.

Dr. Horst Reul Rezension erschienen in Der Bausachverständige 2/2013

für weitere Informationen und Bestellungen klicken Sie bitte hier: [Dauerhaftigkeit von Beton](#)