*(1) Bei unzureichender Nachbehandlung des eingebrachten Betons können u. a. Risse entstehen.*

# Alter und Schönheit

## Wie die Lebensdauer eines Betonbauwerks erreicht und verlängert werden kann

**Die Lebensdauer eines Bauwerks wird geprägt durch seine Nutzung sowie die Belastungen durch die Umwelt. Diese können je nach Standort sehr unterschiedlich sein. Durch die richtige Auswahl und Verarbeitung kann die geplante Nutzungsdauer jedoch überschritten werden.** ■

Eines der ältesten Betonbauwerke ist das Pantheon in Rom (Fertigstellung um 120 n. Chr.), das aufgrund seiner Kuppelkonstruktion u. a. die Vorlage für viele weitere imposante Bauwerke war und heute noch bewundert werden kann. Damit ist ersichtlich, dass Bauwerke eine hohe Lebensdauer haben können und dauerhaft sind.

Die Abb. 2 und 3 zeigen Aufnahmen der Wände einer Anlage aus dem 1. Jhd. n. Chr. in Karthago (Tunesien) mit dem damals verwendeten „Beton". Dieser wird als opus caementitium bezeichnet, heißt umgangssprachlich „Römer Beton" und gilt als „Revolution in der Baugeschichte".[1] Als Bindemittel wurde Kalk verwendet, der bei einer Temperatur von 1.000 °C gebrannt wurde.

Die Lebens- bzw. Nutzungsdauer von Bauwerken wurde durch die Baumeister abhängig davon bemessen, wie lange das Bauwerk gegenüber den klimatischen Bedingungen halten sollte und wie lange darin gelebt werden würde. Wenn die Nutzung beeinträchtigt worden war, wurde soweit möglich auch ausgebessert.

1 Lamprecht, H.-O.: Opus Caementitium. Beton Verlag, Düsseldorf 1996

*(2) Wandausschnitt aus opus caementitium*

Hieraus ist schon ein wesentlicher Zusammenhang zwischen Dauerhaftigkeit und Gebrauch ersichtlich – auch wenn das System „Beton" hinsichtlich seiner Zusammensetzung immer komplexer wurde. So gab es zunächst nur ein „Drei-Stoff-System", das aufgrund der Vielzahl der existierenden

Regelwerke bei den unterschiedlichen Bauwerken inzwischen zu einem „Sechs-Stoff-System“ wurde.

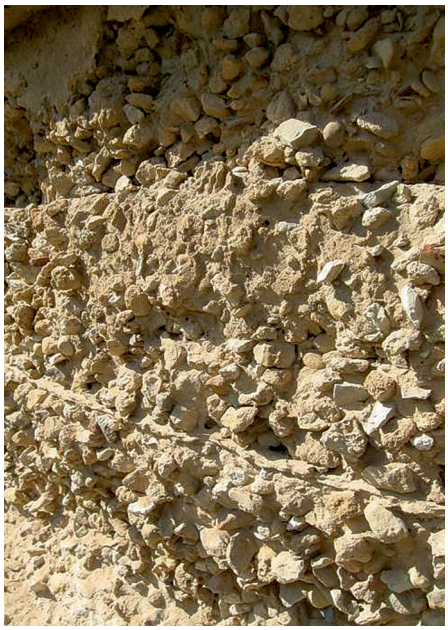

Bild: © ibh Ingenieurbüro Helm

*(3) Detail aus dem Wandelement*

## Was heißt dauerhaft?

Die Dauerhaftigkeit wird als Fähigkeit des Bauwerks beschrieben, die die Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit während der gesamten Nutzungsdauer sicherstellt. Die Dauerhaftigkeit von Betonbauwerken bedeutet, dass Bauwerke den Beanspruchungen standhalten, die aus Nutzung und Umwelt auf sie einwirken. Deshalb ist die Gebrauchstauglichkeit auch stets an die Dauerhaftigkeit gekoppelt.

Die Dauerhaftigkeit ist kein Messwert. Sie kann von einer Vielzahl von Eigenschaften beschrieben werden. Ausführungen dazu sind u. a. bei Stark und Wicht zu finden.[2] So ist die Druckfestigkeit nicht das alleinige Kriterium für die Dauerhaftigkeit eines Bauwerks, obwohl sie in Begutachtungen oft vorrangig herangezogen wird. Dies ist meines Erachtens zurückzuführen auf die Betonnormen vor 2001, wo das entscheidende Kriterium für die Widerstandsfähigkeit eines Betons an der Druckfestigkeit gemessen wurde; zum anderen ist der Nachweis dieser Eigenschaft einfach.

2 Stark, J., Wicht, B.: Dauerhaftigkeit von Beton. Springer Verlag, Berlin Heidelberg 2013

## Betonschäden sind keine Neuheit

Schon Frontinus, ein bekannter Baumeister und u. a. Direktor der Wasserwerke Roms (im 1. Jhd. n. Chr.) greift das Thema „Pfusch am Bau“ auf. Dabei erwähnt er:

*„Kein anderer Bau erfordert … größere Sorgfalt in seiner Ausführung als einer, der dem Wasser standhalten soll. Daher ist für einen solchen Bau in allen Einzelheiten Gewissenhaftigkeit vonnöten – ganz im Sinne der Regeln, die zwar jeder kennt, aber nur wenige befolgen.“*[3]

Sicher kommt dem einen oder anderen diese Aussage bekannt vor. Viele Schäden werden zwar erfasst; ob es aber tatsächlich Schäden sind, hängt meist von der Betrachtungsweise der verschiedenen Parteien ab. Nach vielen Auswertungen und meinen Erfahrungen kann ich feststellen, dass die meisten Schäden an Bauwerken auf mangelhafte Planung oder unzureichende Bauausführung zurückzuführen sind.

## Wie die Lebensdauer von Betonbauwerken heute bemessen wird

Nach den heutigen Betonregelwerken wird von der Nutzungsdauer gesprochen. Diese beschreibt die Zeitspanne, während der die Eigenschaften des Betons im Bauwerk auf einem Niveau erhalten bleiben, das mit der Erfüllung der Leistungsanforderungen an das Bauwerk verträglich ist, vorausgesetzt, dass dieses in geeigneter Weise instand gehalten wird. Des Weiteren wird im DIN Fachbericht 100 für Beton[4] angegeben, dass für die Anforderungen eine beabsichtigte Nutzungsdauer von mindestens 50 Jahren unter den vorausgesetzten Instandhaltungsbedingungen angenommen wird.

Die Anforderungen werden mit Expositionsklassen beschrieben, die vom Planer zu wählen sind. Sie klassifizieren die chemischen und physikalischen Umgebungsbedingungen, denen der Beton ausgesetzt ist und die auf den Beton, die Bewehrung oder metallische Einbauteile einwirken können und die nicht als Lastannahmen in die Tragwerksplanung eingehen. Die Expositionsklassen bilden die Grundlage für

- die Festlegung der Grenzwerte der Betonzusammensetzung,
- das Ableiten der Mindestdruckfestigkeitsklassen,
- die Festlegung der rechnerischen Rissbreite,
- die Betondeckung sowie
- die Festlegung der Überwachungsklassen des Betons.

Für eine kürzere oder längere Nutzungsdauer können weniger einschränkende oder strengere Grenzwerte erforderlich sein. Diese Fälle mit besonderen Betonzusammensetzungen oder Korrosionsschutzanforderungen an die Betondeckung der Bewehrung (z. B. bei einer geringeren Betondeckung als in DIN EN 1992-1-1 für den Korrosionsschutz gefordert) sollten durch besondere Überlegungen des Planers für eine bestimmte Baustelle oder werden schon durch entsprechende Vorschriften berücksichtigt. In den Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen für Ingenieurbauten (ZTV-ING), für den Wasserbau (ZTV-W) und den Straßenbau (ZTV Beton-Stb) wird dies z. B. bereits berücksichtigt.

## Zwischen den Verantwortungsbereichen gibt es Schnittstellen

Eine ausreichende Dauerhaftigkeit wird u. a. erreicht durch:

- Entwurf des Bauwerks unter Beachtung aller angreifenden Belastungen und Stoffe (Verantwortlicher: Planer)
- Richtige Auswahl der Betonausgangsstoffe und richtige Betonzusammensetzung (Verantwortlicher: Betonhersteller)
- Sach- und fachgerechten Betoneinbau sowie ausreichende Nachbehandlung (Verantwortlicher: Bauunternehmer)

Aus dieser Aufstellung ist ersichtlich, dass in den einzelnen Phasen unterschiedliche Verantwortlichkeiten auftreten – und damit auch mehrere Schnittstellen entste-

3 Lamprecht, H.-O.: Opus Caementitium. Beton Verlag, Düsseldorf 1996

4 DIN-Fachbericht 100 „Beton“ – 2010-03

hen. Diese liegen v. a. zwischen Planung (Entwurf des Bauwerks) und Bauausführung sowie zwischen Betonhersteller und Bauausführung. In den wenigsten Fällen hat der Betonhersteller einen Kontakt zum Planenden, der Bauausführende jedoch zu beiden.

Zielstellung ist, jedes Bauwerk so zu projektieren, den Beton so auszuwählen und eine fachgerechte Bauausführung so zu realisieren, dass Schäden möglichst vermieden werden können. Wie bereits erwähnt, gibt es zahlreiche Regelwerke. Um diese auszuwählen, sollte an erster Stelle folgende Fragestellung geklärt werden:

**Wo befindet sich das Bauwerk und welche Anforderungen muss es erfüllen?**

Dies bedeutet, dass die **Expositionsklassen** (X0, XC, XD, XS, XF, XM und XA), die für dieses Bauwerk zutreffend sind, in der entsprechenden Angriffsstärke genau festgelegt werden müssen. Hilfestellung liefert u. a. der Bauteilkatalog[5], in dem eine Vielzahl von Bauteilen mit unterschiedlichen Anforderungen aufgeführt ist. Dabei sollte stets auf die Machbarkeit der Kombination der Expositionsklassen geachtet werden. So sind Schäden bereits vorprogrammiert, wenn z. B. gleichzeitig Anforderungen an den Verschleiß (XM) und den Frost-Tausalz-Widerstand (XF) auftreten. Problematisch ist es dann, wenn Luftporenbildner eingesetzt werden, um den Frost-Tausalz-Widerstand des Betons zu erhöhen und gleichzeitig eine Oberflächenbearbeitung z. B. mittels Flügelglätten zur Erzielung eines Verschleißwiderstands angewendet werden soll. Durch das Flügelglätten können u. a. die Luftporen zerstört und damit der Frostwiderstand beeinträchtigt werden, was zu Oberflächenschäden wie dem Abplatzen des Betons führt.

Die richtige Auswahl der Expositionsklassen umfasst auch die Entscheidung über die **„Betonkorrosion infolge Alkali-Kieselsäurereaktion“**, dies sind die Feuchtigkeitsklassen WO, WF und WA. Diese Vorgaben

Bild: © ibh Ingenieurbüro Helm

*(4) Für eine Großbetonage vorbereitete Baustelle*

sind bereits seit der letzten Änderung der DIN 1045-2 im Jahr 2008 zu treffen, werden aber häufig vergessen. Bei diesen Expositionsklassen ergeben sich nur Anforderungen an die Zusammensetzung hinsichtlich der Verwendung von Zement und Gesteinskörnungen, die durch die anderen Expositionsklassen nicht abgedeckt sind. Die Feuchtigkeitsklasse WS, die fast ausschließlich im Betonstraßenbau anzuwenden ist, bedarf spezieller Regelungen des Straßenbaus.[6]

Zu den Festlegungen des Planers gehört weiterhin die Auswahl der **Druckfestigkeit**, die sich aus der Mindestdruckfestigkeitsklasse der einzelnen Expositionsklassen und aus der Statik ergibt. Der höchste Wert aus beiden ist stets zu wählen. Eine Unterschreitung der Mindestdruckfestigkeitsklasse ist nicht gestattet. Zu beachten ist, dass eine hohe Druckfestigkeit stets die Gefahr von Rissen bedeutet, wenn die erforderlichen Maßnahmen (Bewehrung, Nachbehandlung) nicht beachtet und durchgeführt werden.

Da die neue Generation der Betonregelwerke bereits seit 2001 eingeführt ist, sollte die Auswahl der Expositionsklassen keine Besonderheit mehr darstellen. Da auch stets die Kostenseite von Interesse ist, sei zudem angeführt, dass vorbeugende Maßnahmen stets preiswerter sind als Kosten zur Begutachtung eines Schadens einschließlich einer erforderlichen Instandsetzung.

Mit den Eigenschaften

- Expositionsklasse,
- Druckfestigkeitsklasse,
- Konsistenzklasse und
- Größtkorn

kann jeder Beton beschrieben werden, wenn keine zusätzlichen besonderen Anforderungen erforderlich sind. Diese sind bei einer Betonbestellung stets anzugeben, da ansonsten bei der Betonprojektierung nicht die speziellen Eigenschaften eingestellt werden. Zu diesen gehören z. B. eine niedrige Hydrationswärmeentwicklung des Betons oder die Pumpbarkeit.

Die Angabe eines Betons nach Eigenschaften bedeutet nicht, Betonzusammensetzungen bzw. den zu verwendenden Betonausgangsstoff an den Betonhersteller vorzugeben. Die **Verantwortlichkeit** für die Auswahl der Expositionsklasse und Druckfestigkeitsklasse ist bereits dargestellt worden. Die Angaben zum Größtkorn

5 Bundesverband der Deutschen Zementindustrie e. V.: Bauteilkatalog: Planungshilfe für dauerhafte Betonbauteile nach der neuen Normengeneration. Verlag Bau und Technik, Düsseldorf 2013

6 Siehe dazu das Allgemeine Rundschreiben Straßenbau (ARS) Nr. 04/2013 des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS)

Bild: © ibh Ingenieurbüro Helm

(5) Nachbehandlung durch Abdecken mit Folie

und zur Konsistenz werden häufig vom Bauunternehmen ergänzt, können jedoch auch auf Basis einer vertraglichen Vereinbarung vorgegeben werden. Damit wären alle wichtigen Informationen vollständig, die der Betonhersteller benötigt, um einen Beton nach Eigenschaften ausliefern zu können.

Die Schnittstellen und Verantwortlichkeiten sind in der aktuellen Betonnorm klar definiert. Zu diesem Zweck wird im Regelwerk unterschieden zwischen Beton nach Eigenschaften und Beton nach Zusammensetzung. Der Beton nach Eigenschaften ist ein Beton, für den die geforderten Eigenschaften und zusätzlichen Anforderungen dem Hersteller gegenüber festgelegt sind. Der Hersteller ist dann für die Bereitstellung eines Betons verantwortlich, der den geforderten Eigenschaften und den zusätzlichen Anforderungen entspricht.Unter Beton nach Zusammensetzung wird ein Beton verstanden, für den dem Hersteller die Zusammensetzung und die Ausgangsstoffe vorgegeben werden, die verwendet werden müssen. Der Hersteller ist für die Lieferung eines Betons mit der festgelegten Zusammensetzung verantwortlich.

Die Verantwortlichkeiten hinsichtlich der Einhaltung der Eigenschaften sind ebenso eindeutig definiert, wobei sich in der Praxis der Beton nach Eigenschaften durchgesetzt hat, bei dem die Verantwortlichkeit hinsichtlich der Eigenschaften beim Hersteller liegt. Die Eigenschaften können aber nur dann erreicht werden, wenn bei der Verarbeitung des Betons auf der Baustelle alle erforderlichen Maßnahmen (z. B. Verdichtung, Nachbehandlung) umgesetzt werden.

Dem Betonhersteller ist in vielen Fällen die letztendliche Nutzung gar nicht bekannt. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass die Frage, inwieweit ein Beton im eingebauten Zustand die vorgegebenen Eigenschaften aufweist, auch von der Frage des Einbauverfahrens und der Nachbehandlung etc. abhängig ist. Im eingebauten Zustand müssen sowohl beim Beton nach Eigenschaften als auch bei Beton nach Zusammensetzung die vorgegebenen Kennwerte aus den Planungsunterlagen nach dem Stand der Technik eingehalten werden.

## Vorbereiten und Nachbehandeln sind das A und O der Ausführung

Wie bereits ausgeführt, ist ein Großteil der auftretenden Schäden auch im Bereich der Bauausführung zu finden. Einige Schäden werden durch hohen Termin- und Kostendruck mitverursacht.

Eine gute **Vorbereitung der Betonage** ist immer wichtig. Dies beginnt u. a. mit

- der frühzeitigen Bestellung beim Betonlieferanten unter Beachtung der Witterungsbedingungen,
- der Reinigung der Schalung sowie
- dem Entfernen von Verunreinigung zwischen der Bewehrung.

Besonders zu beachten sind die **Witterungsbedingungen** bei allen Baumaßnahmen. Gebaut wird Sommer wie Winter, also bei Temperaturen im Minusbereich oder im Sommer bei Temperaturen wesentlich über 30 °C. In vielen Bauablaufplanungen wird vergessen, dass aufgrund langen Zeiträumen mit sehr niedrigen Temperaturen unter 0 °C oder bei extremen Temperaturen über 30 °C teilweise Unterbrechungen erforderlich sind.

Die Frischbetontemperatur sollte zwischen 5 und 30 °C liegen. Vorgesehen ist, dass eine Frischbetontemperatur von 30 °C nicht überschritten wird, sofern nicht auf der Baustelle geeignete Maßnahmen eingeleitet werden. Dies bedeutet, dass der Beton noch intensiver als bei Temperaturen unterhalb von 30 °C gegen das Austrocknen der Betonoberfläche geschützt werden muss. Der Betonhersteller hat zwar die Möglichkeit, die Frischbetontemperatur unterhalb dieser 30 °C zu senken, jedoch bedeutet dies erhöhte Kosten zum Kühlen des Betons.

Gefriert frischer Beton vor dem Einsetzen der Erhärtung, kann dies zu Schäden führen. Er muss deshalb geschützt werden. Wenn eine Betonage nicht verschiebbar ist, sollten einige Dinge beachtet werden. Wird bei Lufttemperaturen unter -3 °C gearbeitet, hat die Frischbetontemperatur beim Einbringen mindestens 10 °C aufzuweisen. Diese Betontemperatur sollte anschließend wenigstens 3 Tage auf dieser Temperatur gehalten und das Bauteil so lange geschützt werden, bis eine ausreichende Festigkeit erreicht ist. Diese ist im Mittel bei 5 MPa (N/mm²) gegeben. Werden Schalungen verwendet, so sind diese z. B. vor Eindringen von Wasser zu schützen und, wenn erforderlich, vorzuheizen. Die Nach-

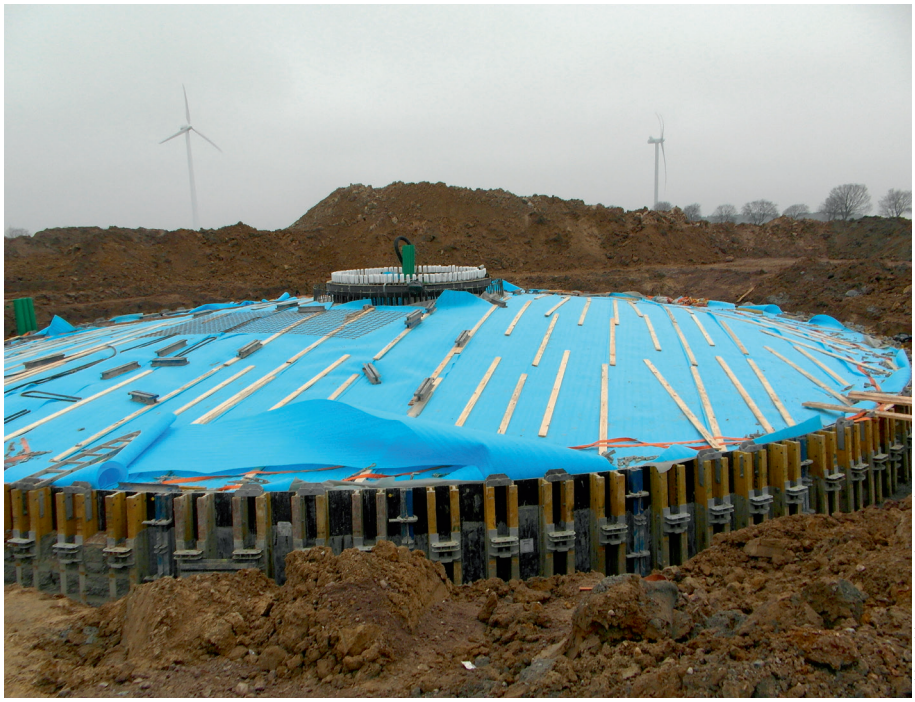

Bild: © ibh Ingenieurbüro Helm

*(6) Eingepacktes Bauteil bei Temperaturen um den Nullpunkt*

behandlung hat wesentlich länger und intensiver zu erfolgen. Zum Schutz werden wärmedämmende Folien empfohlen.

In den bisherigen Ausführungen ist mehrfach die Nachbehandlung erwähnt worden. Der Begriff „**Nachbehandlung**" enthält bereits den Hinweis, wann dies durchgeführt werden muss – ohne Zeitverzug nach und unmittelbar im Anschluss an den Betoneinbau. Mit der Nachbehandlung soll

- Frühschwinden gering gehalten,
- ausreichende Festigkeit und Dauerhaftigkeit der Betonrandzone sichergestellt,
- das Gefrieren verhindert sowie
- schädliche Erschütterungen und Stoß oder Beschädigung vermieden werden.

Dazu sind u. a. folgende Nachbehandlungsmethoden möglich:

- Belassen in der Schalung
- Abdecken der Betonoberfläche mit Folien
- Auflegen von wasserspeichernden Abdeckungen
- Anwendung von flüssigen Nachbehandlungsmitteln
- kontinuierliches Besprühen mit Wasser
- Unterwasserlagerung
- Kombination dieser Verfahren

Abbildung 6 zeigt eine praktische Nachbehandlung durch das Abdecken mit Folie, jedoch hat die Sicherung der Folie nicht ausgereicht, um den Beton vor Wind und Sonneneinstrahlung zu schützen. Mangelnde Nachbehandlung hat zur Folge, dass u. a. die Dauerhaftigkeit des Betons beeinträchtigt wird. Häufig anzutreffen sind Risse infolge des Schwindens (in Abb. 1 ist dies in dem Bereich zu sehen, in dem die Folie nicht mehr gewirkt hat).

Sach- und fachgerechte Bauausführung kann solche und ähnliche Schäden vermeiden.

## Zusammenfassung

Der Beitrag hat einen kleinen Überblick gegeben, wo Ansatzpunkte sind, um Schäden zu vermeiden. Bauwerke können eine hohe Lebensdauer und Dauerhaftigkeit auch über ihre geplante Nutzungsdauer hinaus aufweisen. Dazu sind die Grundsteine bereits in der Projektierung des Bauwerks zu legen, werden fortgesetzt durch eine auf das Bauwerk abgestimmte Betontechnologie bis hin zur qualitätsgerechten Bauausführung.

Im Hinblick auf die Dauerhaftigkeit sind alle maßgebenden Anforderungen für ein Bauwerk vor Beginn genau festzulegen. Nachträgliche Anforderungen können zu erheblichen Problemen führen und sind meist nicht mehr umzusetzen und wenn, dann nur mit erheblichen Kostenaufwendungen. ■

## Literatur


[1] Helm, M.; Rohr-Suchalla, K.: Grenzen zwischen „Beton nach Eigenschaften" und „Beton nach Zusammensetzung" aus technischer Sicht und Haftungsfragen, in: Beton 59 (2009), Heft 5, S. 186 – 193

[2] Stark, J.; Wicht, B.: Dauerhaftigkeit von Beton. Springer Verlag, Berlin Heidelberg 2013


## Zur Person

**Dr.-Ing. Monika Helm**

seit 2003 selbstständig im ibh Ingenierbüro Helm für baustoffliche Aufgabenstellungen und Qualitätsmanagementsysteme – das Betonbüro

Seit 2013 öffentlich bestellte und vereidigte Sachverständige

Mitglied mehrerer Ausschüsse beim DAfStB und BTB – Bundesverband der Transportbetonindustrie

**Kontakt:**
www.betonbuero.de