

# Beurteilung der Festigkeitsentwicklung des erhärtenden Betons im Bauteil

Der Arbeitsablauf im Betonbau wird in vielen Fällen durch die Entwicklung der Eigenschaften des Betons in der Frühphase der Erhärtung bestimmt. Die Kenntnis der Festigkeitsentwicklung des Betons hat für eine Vielzahl von Bauaufgaben eine besondere Bedeutung. Beispielsweise sind die Entscheidungen über das Ausschalen der Bauteile, die Dauer der Nachbehandlung, das Aufbringen von Bauzeitenbelastungen, die Einhaltung von Mindestfestigkeiten vor dem Gefrieren an die Kenntnis der zum Zeitpunkt vorhandenen Festigkeit im Bauteil gebunden. In den Normen bestehen dazu Festlegungen in Form von einem notwendigen relativen Festigkeitskennwert oder der Einhaltung einer Zeitdauer, bei der das Erreichen einer bestimmten Festigkeit unterstellt wird. Die Kenntnis des Festigkeitszustandes kann aber auch wichtig sein, um die Gefahr der Rissbildung infolge der Herausbildung von Zwangsspannungen im jungen Alter beurteilen zu können.

## 1 Bedingungen und Möglichkeiten zur Feststellung der frühen Festigkeitsentwicklung

Zur Beurteilung der Festigkeit des erhärtenden Betons können verschiedene Methoden eingesetzt werden, die aber alle Vor- und Nachteile besitzen. Die Oberflächenprüfung mit dem Schmidhammer ist bei geringen Festigkeiten ungenau, kann bei geschalteten Flächen nicht angewandt werden und erfasst nicht die Festigkeitsentwicklung im Kern des Bauteiles. Die Lagerung

von Würfelprüfkörpern neben oder auf dem Bauteil entspricht nicht den Erhärtungsbedingungen im Bauteil und ergibt mit zunehmender Bauteildicke immer stärker abweichende Festigkeitswerte; die zum Zeitpunkt vorliegenden Festigkeiten werden beträchtlich unterschätzt. Die Steuerung der Lagerungs- und damit Erhärtungstemperatur von Probewürfeln in einer sogenannten Thermo- oder Klimatrübe entsprechend der im Bauteil gemessenen Temperaturdaten sichert identische Erhärtungsbedingungen (Abb. 1 und Abb. 2), verlangt keine Vorkennntnis der Festigkeitsentwicklung des verwendeten Betons, ist aber auf relativ wenige Prüfkörper beschränkt.

Da ein Zeitpunkt zur Feststellung der Festigkeit in der Regel nicht vorbestimmt werden kann, ist eine kontinuierliche Verfolgung der Kenngröße oder zumindest eine zeitlich gestaffelte Prüfung wünschenswert. Bei der sogenannten Reife-Methode oder Methode des äquivalenten Alters wird eine rechnerische Verknüpfung der laufend gemessenen Bauteiltemperatur mit der unter Normbedingungen ermittelten Festigkeitsentwicklung vorgenommen und ermöglicht eine Prognose der zu einem bestimmten Zeitpunkt vorhandenen Erhärtungsdruckfestigkeit. Eine Voraussetzung für die bautechnische Anwendung ist ein eindeutiger Zusammenhang zwischen der Erhärtungstemperatur und der zeitlichen Entwicklung der Eigenschaften. Eine weitere Bedingung ist der zeitliche Verlauf der Festigkeitsentwicklung des jeweiligen Betons unter Normbedingungen, der bekannt ist oder durch Vorermittlungen festgestellt werden muss. Durch vergleichende Untersuchungen ist nachgewiesen, dass die Festigkeitswerte an Pro-

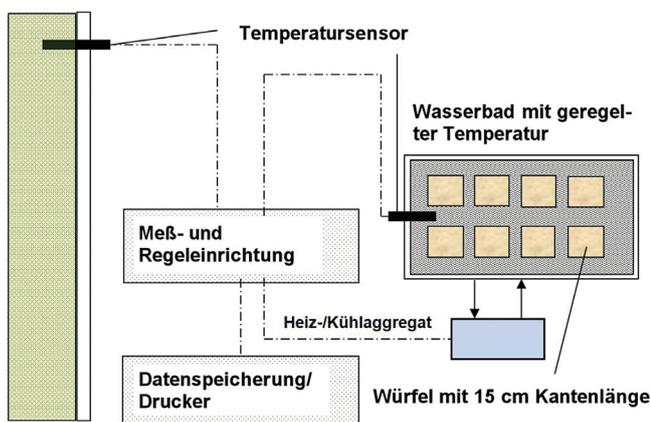


Abb. 1: Schematische Darstellung einer Anlage zur temperaturgesteuerten Erhärtung von Prüfkörpern (TEP-Anlage)



Abb. 2: Einsatz der Klimatrübe auf der Baustelle, Ansteuerung durch die Bauteiltemperatur [Eng]

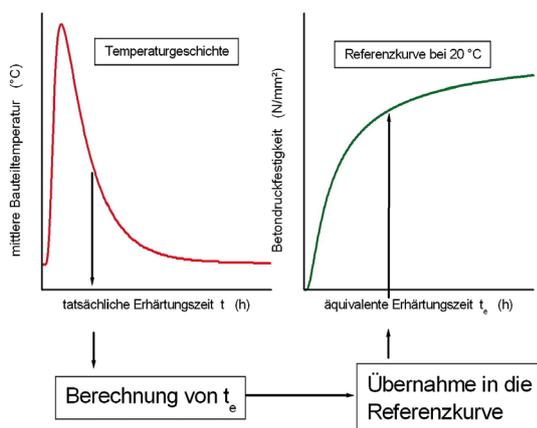
bekörpern in der Thermotruhe mit den prognostizierten nach der Reife-Methode übereinstimmen. Die Reife-Methode hat sich bei einer Vielzahl von Baustellen bewährt.

Einige Anwendungsbedingungen und Zusammenhänge, auf die nachfolgend eingegangen wird, sind jedoch unbedingt zu berücksichtigen. Zu beachten ist auch, dass die Temperatur im Bauteil nicht nur die Erhärtungsprozesse beeinflusst, sondern auch die Endfestigkeit des Betons. Bei Bauvorhaben mit besonderen Anforderungen können die vorgenannten Würfelprüfungen zur Nachweisführung durchgeführt werden, nachdem der interessierende Zeitpunkt mit der Reife-Methode bestimmt worden ist.

Für Betone gleicher Zusammensetzung werden Unterschiede in der Festigkeitsentwicklung nur durch die Lagerungsbedingungen (Feuchte, Temperatur) hervorgerufen. Wird eine ausreichende Nachbehandlung durchgeführt, bestimmt die Temperatur allein den Erhärtungsfortschritt. Ausgangspunkt einer Abschätzung des Zustandes der Festigkeitsbildung war dabei immer die Überlegung, dass Betone gleicher Zusammensetzung zu einem bestimmten Zeitpunkt dann eine übereinstimmende Festigkeit aufweisen müssten, wenn eine vergleichbare Temperaturgeschichte während der Erhärtung und damit eine übereinstimmende »Reife« des Betons vorlag.

## 2 Grundlagen der Methode des äquivalenten Alters

Die Temperatur beeinflusst die Hydratationsgeschwindigkeit und damit die zeitliche Entwicklung der Wärmefreisetzung und Strukturbildung. Die Bewertung des Einflusses der Temperaturhöhe auf die Geschwindigkeit der Festigkeitsentwicklung des Betons erfolgt über sogenannte Temperatur-Zeit-Beziehungen, mit denen die tatsächliche in eine wirksame bzw. äquivalente Erhärtungszeit transformiert wird. Dabei wird der prinzipielle Verlauf der Eigenschaftsentwicklung als unverändert zugrunde gelegt und nur als durch die Temperatur verschoben angesehen. Festlegungen in den Normen gibt es dazu nicht. Das Prinzip ist in Abb. 3 dargestellt.



**Abb. 3:** Ermittlung der temperaturbeeinflussten Festigkeit des erhärtenden Betons nach dem Prinzip der Reife

### 2.1 Ermittlung der äquivalenten Erhärtungszeit

Grundsätzlich kann auf zwei Wegen vorgegangen werden. Zum einen kann die tatsächliche Erhärtungszeit entsprechend der herrschenden Temperatur mit der Temperatur-Zeit-Beziehung korrigiert und eine mit der Lagerung bei 20°C vergleichbare,

d. h. äquivalente bzw. effektive Erhärtungszeit  $t_e$  ermittelt werden. Dafür wird auch der Begriff des wirksamen Betonalters (z. B. im Model Code 90) verwendet. Bei sich verändernden Temperaturen wird in Zeitschritte  $\Delta t_i$  unterteilt, abschnittsweise korrigiert und zur gesamten Erhärtungszeit summiert.

$$(1) \quad t_e = \sum \Delta t_i \cdot k(T)$$

$k(T)$  ist der Geschwindigkeitsfaktor (in der Reaktionskinetik als Geschwindigkeitskonstante bezeichnet).

Im zweiten Fall wird eine Reifesumme aus der Multiplikation von korrigierter Zeit und Temperatur gebildet [°C h], international auch als Maturity, M, bezeichnet. Auf eine weitere Methode der gewichteten Reife nach [Vre] soll hier nur hingewiesen werden.

Üblich geworden ist für Gleichung (1) die Anwendung des von Arrhenius gefundenen Zusammenhanges, der bezogen auf die Standardtemperatur von 293 K für die Geschwindigkeitskonstante der Reaktion den Ausdruck besitzt:

$$(2) \quad k(T) = \exp \left[ \frac{E_A}{R} \left( \frac{1}{293} - \frac{1}{273 + T} \right) \right]$$

$E_A$  = Aktivierungsenergie [kJ/mol]

$R$  = Universelle Gaskonstante [0,008314 kJ/(mol K)]

$T$  = Temperatur [°C].

Der Ausdruck  $E_A/R$  wird auch als Aktivierungstemperatur [K] bezeichnet. Aus Versuchen abgeleitet sind auch vereinfachende Formulierungen im Gebrauch, z. B. nach [Röh]:

$$(3) \quad k(T) = \left[ \frac{(T + 15)}{35} \right]^m$$

$m = 2$  für CEM I,  $m = 2,5$  für CEM III/B

Die Aktivierungsenergie  $E_A$  ist abhängig von der Zementart, Mahlfineinheit des Zementes, Zumahlstoffen, Zusatzmitteln (Erstarrungsverzögerer oder -beschleuniger, Plastifikatoren) und dem Wasserzementwert, darüber hinaus von der Temperatur selbst und, oft unterschätzt, vom Reaktionsfortschritt bzw. Reaktionsmechanismus bei der Umsetzung des Zementes. Die Aktivierungsenergie ist für die Geschwindigkeit der Hydratation und Festigkeitsbildung entscheidend; wenn keine verlässlichen Angaben vorliegen, muss eine experimentelle Ermittlung vorgenommen werden.

Abb. 4 zeigt den Verlauf des Geschwindigkeitsfaktors  $k(T)$  für die Aktivierungstemperaturen verschiedener Zementsorten nach Gleichung (2), gestrichelte Linien. Wie nachgewiesen, werden hüttensandhaltige, langsam erhärtende Zemente durch höhere Bauteiltemperaturen besonders reaktiv und besitzen demzufolge, wie in Abb. 4 angegeben, auch eine höhere Aktivierungstemperatur. Die Unterschiede zwischen den Zementsorten nehmen mit steigender Erhärtungstemperatur zu und auch die Fehleinschätzung der zu einem Zeitpunkt vorhandenen Festigkeit, wenn der Faktor  $k(T)$  nicht hinreichend genau bekannt ist. Eine Übersicht zu Literaturangaben über die Aktivierungstemperatur  $E_A/R$  für verschiedene Zementsorten ist in [Röh] zu finden. Eine Überprüfung der Auswirkungen ungenauer Daten auf die Abschätzung der Festigkeitsentwicklung zeigt jedoch eine relativ geringe Streuung. Aus Abb. 5 ergibt sich bei einer Variation  $E_A/R = 4000 - 5000$  K lediglich eine Abweichung der Würfeldruckfestigkeit von  $\pm 5\%$ . Selbst eine größere Abweichung

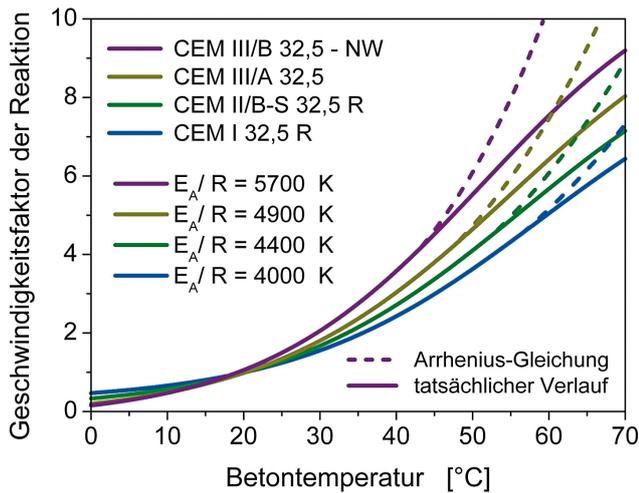


Abb. 4: Geschwindigkeitsfaktor  $k(T)$  in Abhängigkeit von der Beton- und Aktivierungstemperatur  $E_A/R$  mit Korrektur der Arrhenius-Beziehung nach [Sch10]

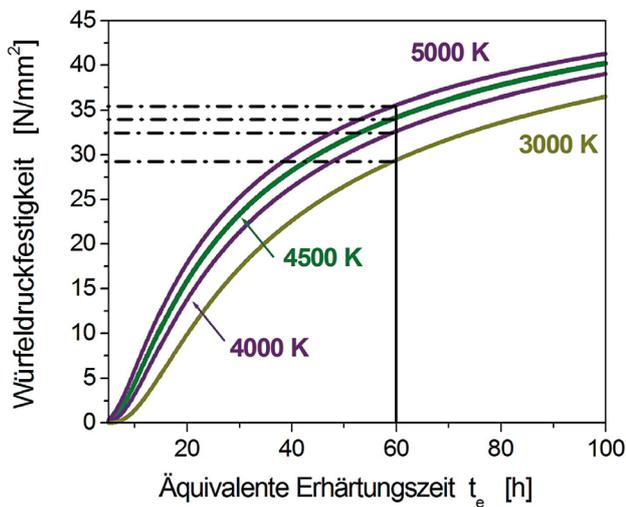


Abb. 5: Auswirkungen unterschiedlicher Annahmen für die Aktivierungstemperatur  $E_A/R$  auf die Festigkeitsentwicklung bei einer Erhärtungstemperatur von 40 °C.

mit  $E_A/R = 3000$  K weicht vom Mittelwert nur um 14 % ab. Insofern beeinträchtigen nicht genau bekannte Werte das Ergebnis nicht wesentlich.

Ab einer gewissen Temperatur folgt der Verlauf nur noch sehr eingeschränkt der Arrhenius-Beziehung, weil der Reaktionsmechanismus eine weitere Beschleunigung unterbindet (durchgezogene Linien). Aus Abb. 4 ergäbe sich eine Begrenzung der Anwendung ohne weitere Korrektur lediglich bis zu einer Erhärtungstemperatur von etwa 50 °C für Zemente CEM III und bis 60 °C, maximal 70 °C, für Zemente CEM I.

## 2.2 Bestimmung des Geschwindigkeitsfaktors $k(T)$

Die Aktivierungstemperatur  $E_A$  lässt sich verhältnismäßig einfach ermitteln. Dazu werden Temperaturmessungen unter definierten Bedingungen durchgeführt, entweder isotherm an Zementleim oder semi-adiabatisch an Mörtelproben bzw. adiabatisch an Betonen. Eine Transformation auf isotherme Bedingungen ist erforderlich [Röh]. Aus den Temperaturverläufen werden die Raten der Wärmeentwicklung  $dQ/dt$  abgeleitet, wie in Abb. 6 für einen CEM I 32,5 R angegeben. Die Reaktionsgeschwindigkeiten

für verschiedene, aber mindestens zwei Temperaturen an einem bestimmten Stand der Reaktion, charakterisiert durch den Hydratationsgrad  $a_H$  oder die freigesetzte Hydratationswärme  $Q$  [J/g], werden ins Verhältnis gesetzt, und zwar wie aus der Umstellung der Gleichung (2) folgt:

$$(4) \quad \frac{E_A}{R} = \ln \left( \frac{d\alpha_1 / dt}{d\alpha_2 / dt} \right) \cdot \frac{(T_1 + 273) \cdot (T_2 + 273)}{T_1 - T_2}$$

Mit der isotherm ermittelten Wärmeentwicklung und der daraus abgeleiteten Wärmerate nach Abb. 6 ergibt sich die Geschwindigkeitskonstante  $k(T)$  nach Abb. 7. Zweckmäßig ist, den Zustand der maximalen Wärmerate zu wählen, da hier die messbare Festigkeitsentwicklung und die Phase des jungen Betons beginnen. In der Frühphase der Erhärtung ist die Aktivierungstemperatur noch relativ konstant, unabhängig von der Temperatur sowie vom Grad der Umsetzung des Zementes und der anderen reaktiven Bestandteile.

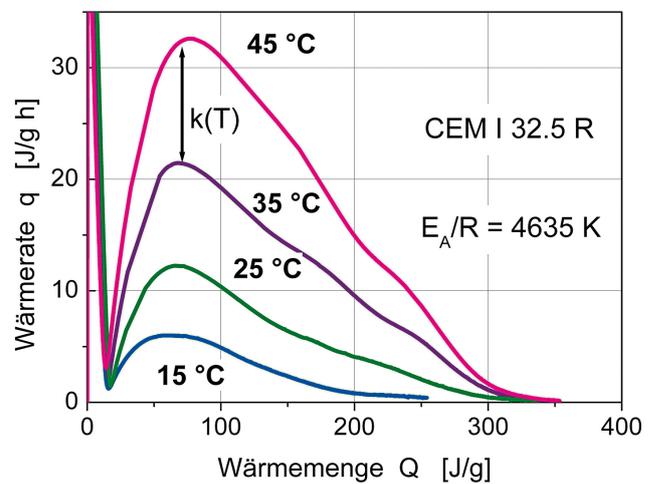


Abb. 6: Wärmeentwicklungsrate eines Zementes CEM I 32,5 R bei verschiedenen isothermen Erhärtungstemperaturen (DCA-Analyse)

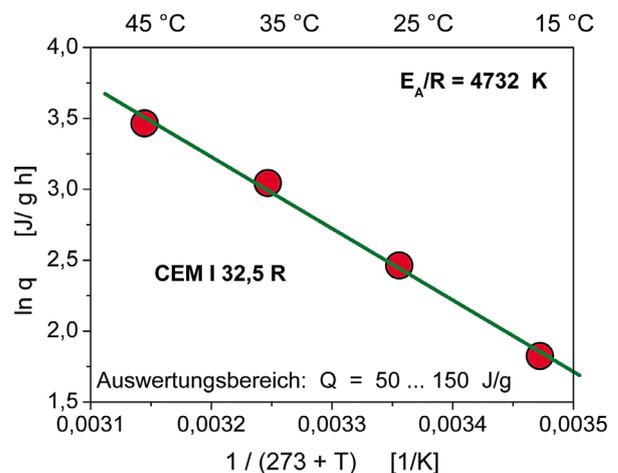


Abb. 7: Bestimmung der Aktivierungstemperatur  $E_A/R$  aus den Versuchsdaten in Abb. 6

### 2.3 Anwendungsbereich des Reifekonzeptes

In der frühen Erhärtungsphase kann selbst in einem größeren Temperaturbereich die Festigkeitsentwicklung auf eine Erhärtung bei der Normtemperatur von 20°C transformiert werden (Abb. 8). Die parallel verlaufenden Kurventeile können durch den Faktor nach Gleichung (2) zur Deckung gebracht werden. Diese Übereinstimmung wird mit zunehmendem Erhärtungsalter vermindert, da die Hydratation unabhängig von der Temperaturhöhe einem Endwert zustrebt. Außerdem nehmen die Streuungen infolge der Temperaturwirkung auf die Festigkeit mit dem Erhärtungsalter immer stärker zu (Abb. 9). Weiterhin verändert sich der Reaktionsmechanismus, indem die anfängliche Oberflächenreaktion zunehmend durch die diffusionskontrollierte Reaktion abgelöst wird. Daraus resultiert eine deutliche Veränderung der Aktivierungsenergie (Abb. 10). Je höher die Erhärtungstemperatur, desto schmaler ist das Plateau.

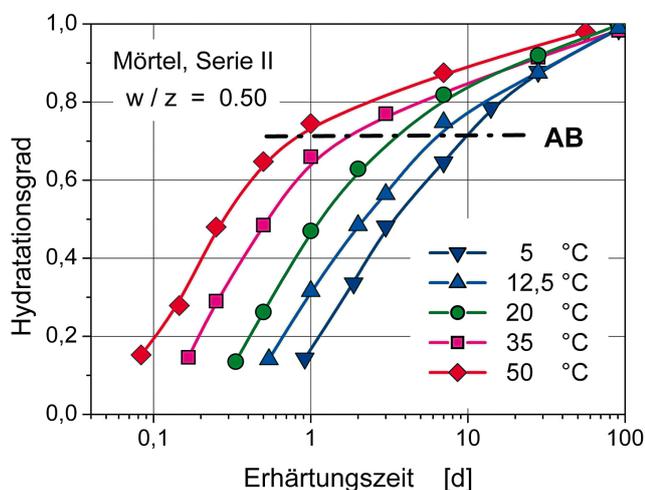


Abb. 8: Entwicklung des Hydratationsgrades in Abhängigkeit von der isothermen Erhärtungstemperatur (Nach [Kje1]). Bezugsbasis: Maximaler Hydratationsgrad in Abhängigkeit vom w/z-Wert, AB = Anwendungsbereich des Reife-Konzeptes

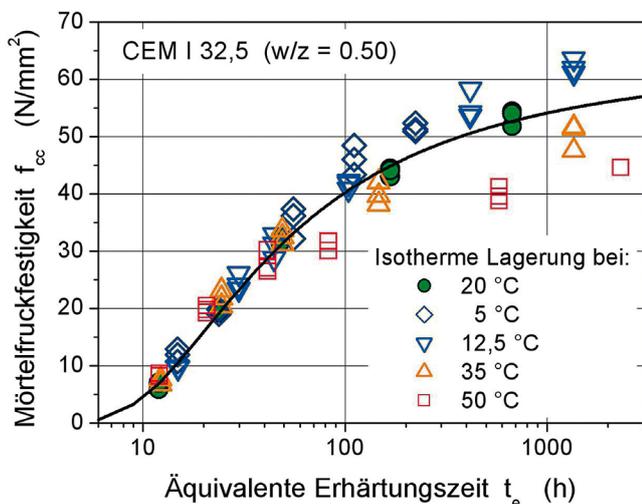


Abb. 9: Festigkeitsentwicklung erhärtender Mörtelproben bei verschiedenen Lagerungstemperaturen, mit dem Reife-Konzept auf eine Erhärtung bei 20°C transformiert (Daten aus [Kje1])

Damit ergeben sich zwangsläufig Grenzen der Anwendbarkeit des Reifekonzeptes, die beachtet werden müssen; vor allem dann, wenn das Reifekonzept in Computer implementiert werden soll. Während die Eigenschaften des jungen Betons mit hinreichender Genauigkeit erfassbar sind, ist ein späterer Erhärtungszeitraum auf diesem Wege nur mit größerer Ungenauigkeit zu beurteilen. Der Gültigkeitsbereich des Reifekonzeptes kann, wie in Abb. 8 und Abb. 10 angegeben, nicht exakt eingegrenzt werden, entspricht einer Betondruckfestigkeit bis etwa 60% des Wertes nach 28 Tagen Erhärtung unter Normbedingungen und liegt damit etwas über der Festigkeitsentwicklung in der Erhärtungsphase, die als junger Beton bezeichnet wird. Darüber hinausgehende Prognosen haben bei höheren Temperaturen, wie diese in dickeren Bauteilen auftreten, die Gefahr der Überschätzung der vorhandenen Festigkeit. Bei Temperaturen bis zu 40°C kann der Anwendungsbereich bis auf 70% der Normdruckfestigkeit ausgedehnt werden. Je mehr sich die Bauteil- und Normtemperatur nähern, desto länger kann die Festigkeitsentwicklung zutreffend verfolgt werden.

Eine Mindestfestigkeit bis zu 1 – 2 N/mm<sup>2</sup> ist nicht zuverlässig erfassbar.

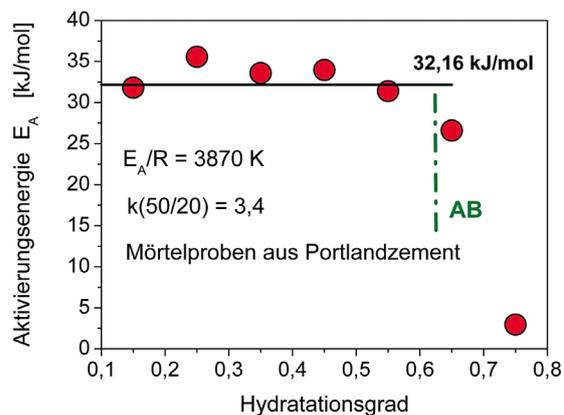


Abb. 10: Aktivierungsenergie  $E_A$  [kJ/mol] in Abhängigkeit vom Hydratationsgrad nach Versuchsergebnissen an Mörtelproben [Kje2]. Die Daten sind Mittelwerte im Temperaturbereich von 5 bis 50°C. AB = Anwendungsbereich des Reife-Konzeptes

### 3 Festigkeitsentwicklung des Betons

Die zweite wichtige Voraussetzung für die Vorhersage der Festigkeit zu einem interessierenden Zeitpunkt mit Hilfe des Reifekonzeptes ist die Kenntnis der Festigkeitsentwicklung unter Normbedingungen. Wenn Daten aus entsprechenden Laboruntersuchungen vorliegen, kann der Festigkeitsverlauf durch eine geeignete Funktion beschrieben werden [Röh], die für die Auswertung zur Verfügung steht und in den Betonrechner implementiert wird. Liegen keine Versuchsergebnisse vor, gibt DIN EN 1992-1-1, Abschnitt 3.1.2, einen Anhalt in Abhängigkeit von der eingesetzten Zementart. Die sehr einfache Beziehung geht von der Festigkeit nach 28 Tagen und der darauf bezogenen Festigkeitsrelation aus. Der Beiwert  $\beta_{cc}$  (Gleichung 3.2 der Norm) ist dabei lediglich für drei verschiedenen Zementtypen bzw. -klassen angegeben. Aus Vergleichen mit verschiedenen Zementarten folgt, dass zum Teil erhebliche Abweichungen zwischen den Messwerten und der mathematischen Beschreibung nach der Norm auftreten.

Die Differenzen sind vor allem bei den langsam erhärtenden Zementen CEM III/A und CEM III/B und zwar im gesamten Erhärtungszeitraum festzustellen. Ein Beispiel zeigt Abb. 11, bei dem

die Überschreitung nach drei Tagen Erhärtung 40% und nach sieben Tagen noch 25% beträgt. Bei Portlandzementen der Klassen R und N treten die Abweichungen im Wesentlichen in der Frühphase der Erhärtung bis zu drei Tagen auf. Die Zement- und Transportbetonwerke besitzen Prüfwerte aus der Produktionskontrolle, sodass eine Anpassung für die eigene Betonsorte vorgenommen werden kann. Oft liegen bei den bauausführenden Unternehmen auch Informationen von vergleichbaren Betonzusammensetzungen vor, sodass einzelne Laborprüfwerte zur Kalibrierung ausreichen.

Eine Ableitung der Betonzugfestigkeit kann vereinfacht nach der Beziehung in der DIN EN 1992-1-1 erfolgen. Dabei sind die bekanntlich nicht unerheblichen Streuungen zu berücksichtigen. Nach der Norm liegen diese bei etwa  $\pm 30\%$ .

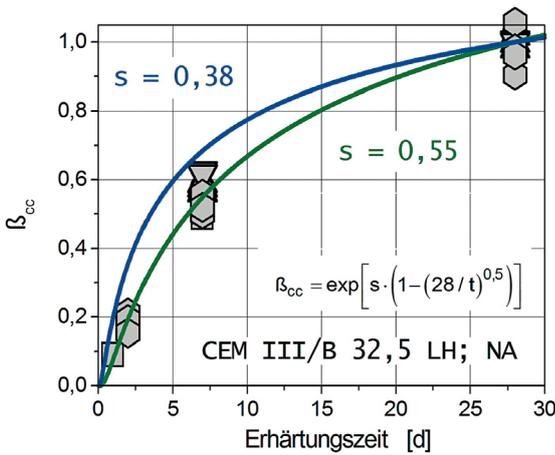


Abb. 11: Relationale Festigkeitsentwicklung für einen langsam erhärtenden Zement der Klasse L anhand von Laborprüfergebnissen (8 Datensätze) und der funktionalen Beschreibung nach DIN EN 1992-1-1 mit dem Beiwert s nach Norm und Korrektur

#### 4 Praktische Anwendung der Reife-Methode

Die äquivalente Erhärtungszeit kann bei einfachen Bauaufgaben tabellarisch von Hand abgeschätzt oder bei mehreren Messstellen und elektronischer Erfassung der Temperatur mit Hilfe von Computern berechnet werden. Ein Beispiel für die schrittweise Berechnung ist in Abb. 12 / Abb. 13 dargestellt.

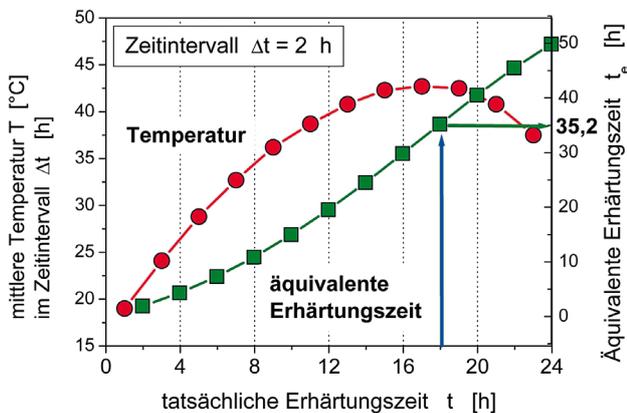


Abb. 12: Temperaturverlauf und Berechnung der äquivalenten Erhärtungszeit nach Gleichung (2) mit  $E_a/R = 4030\text{ K}$

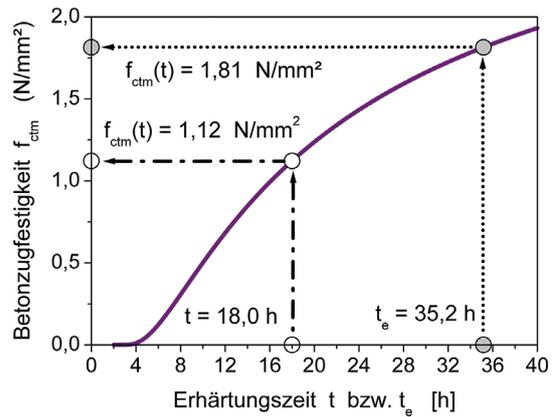


Abb. 13: Ableitung der aktuell vorhandenen Zugfestigkeit nach einer Erhärtungszeit von  $t = 18\text{ h}$  aus der Referenzkurve der Festigkeitsentwicklung

Zur laufenden Verfolgung der Erhärtung des Betons im Bauteil und zur Simulation der Auswirkungen verschiedener Erhärtungsbedingungen werden Computer, auch sogenannte Reife-Computer oder Maturity-Meter, eingesetzt, die mit den Reife-Funktionen programmiert sind. Die Temperatur des Bauteiles wird über einbetonierte Thermoelemente oder wiederverwendbare Temperaturfühler festgestellt (Abb. 14) und rechnerintern verarbeitet (Abb. 15). Die Berechnungsergebnisse sind ablesbar oder werden per Funk übermittelt; bei Erreichen eines bestimmten Temperatur- und Festigkeitswertes kann auch ein Signal ausgelöst werden.



Abb. 14: Einbau der Messfühler in die Schalung und Befestigung an der Bewehrung (Aufnahme: [Engl])



Abb. 15: Betonrechner BR 2000 [IEB]

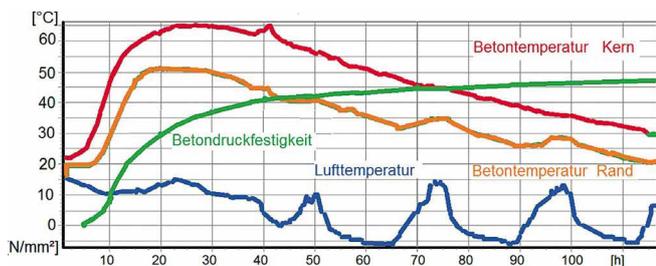


Abb. 16: Beispiel für die Verfolgung der Temperatur- und Festigkeitsentwicklung (Angaben von [Eng1]).

Der Vorteil ist augenscheinlich, wenn die Differenzen, die bei der Erhärtungsprüfung unterschiedlich gelagerter Prüfkörper und die Zeitdauer bis zum Vorliegen der Ergebnisse bedacht werden. Eine Korrektur der Messwerte ist erforderlich, um den Einfluss der Temperaturhöhe auf die Festigkeit zu berücksichtigen. Die mit Reife-Messgeräten erzielbare Genauigkeit wird mit einer Streuung von 5 % bis zu maximal 10 % angegeben.

Ein Anwendungsbeispiel ist in Abb. 16 dargestellt. Durch die kontinuierliche Beobachtung der Festigkeitsentwicklung, im Bild nur für eine Messstelle dargestellt, konnte die Nachbehandlungsdauer und der Ausschaltermin problemlos eingehalten werden.

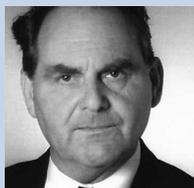
## 5 Literaturnachweis

- [Alo] D'Aloia, L.: Early age kinetics: Activation energy, maturity and early age. In: RILEM Report 25 – Early age cracking in cementitious systems. E & FN Spon, London 2003
- [Eng] Aufnahmen von R. Engelhardt, Überwachungsgesellschaft mbH ZERT Plus, Bitterfeld 2007
- [IEB] Ingenieurelektronik Benad (IEB) – Betonrechner BR 2000 (V 2.0) Königsbrück
- [Kje1] Kjellsen, K.O.: Physical and mathematical modelling of hydration and hardening of Portland cement concrete as a function of time and curing temperature. Dissertation, Norwegian Institute of Technology, Trondheim 1990

### Die Autoren

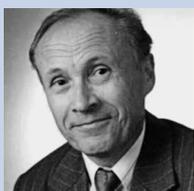
#### Prof. Dr.-Ing. habil. Stefan Röhling

Studium Bauingenieurwesen und anschließende langjährige Tätigkeit in der Bauindustrie; Professur für Beton- und Fertigteilbau an der ehem. Technischen Hochschule Leipzig; seit 1993 in der Projektsteuerung größerer Vorhaben, als Autor und Sachverständiger tätig  
Spitzwegstraße 12, 04425 Taucha  
Tel. 034298/666 89, stefan.c.roehling@t-online.de



#### Dr.-Ing. Heinz Meichsner

Ehem. Abteilungsleiter für Massivbau in Forschung und Materialprüfung der Materialforschungs- und Prüfungsanstalt für Bauwesen Leipzig; seit 2001 als Sachverständiger für Beton, Stahlbeton und Spannbetonbau tätig  
Hauptstraße 27, 04828 Altenbach  
Tel. 03425/81 15 83, Fax 03425/85 12 23, heinz.meichsner@t-online.de



- [Kje2] Kjellsen, K.O.; Detwiler, R.J.: Research kinetics of Portland Cement mortar hydrated at different temperatures. Cement and Concrete Research 22 (1992) pp. 112 - 120
- [Röh] Röhling, S.: Zwangsspannungen infolge Hydratationswärme. 2., durchges. und erw. Aufl. Düsseldorf: Verlag Bau + Technik, 2009
- [Vre] De Vree, R.; Tegelaar, R.: Gewichtete Reife des Betons. beton 48 (1998) Nr. 11, S. 674 - 678

## DAS BUCH ZUM THEMA



## Rissbildungen im Stahlbetonbau

Ursachen – Auswirkungen – Maßnahmen

Stefan Röhling, Heinz Meichsner  
2016, ca. 300 Seiten, Gebunden, zahlr. farb. Abb. u. Tab.  
ISBN (Print): 978-3-8167-9645-9  
€ ca. 65,- \*

erscheint im Herbst 2016

Risse gehören zu den unvermeidbaren Erscheinungen im Stahlbetonbau. Ihre wesentlichste Kenngröße, die Rissbreite, ist seit einigen Jahren mit einem genormten Berechnungsverfahren Bestandteil der europäischen Stahlbetonnormen.

Das Buch befasst sich mit Fragen der Zuverlässigkeit von Rissbreitenberechnungen und-messungen, den Ursachen von Rissen, der Begrenzung der Rissbreiten durch Bewehrung, dem Einfluss von Rissen auf die Dauerhaftigkeit von Stahlbetonkonstruktionen und der Rissproblematik bei wasserundurchlässigen Betonbauwerken.

Es berücksichtigt den aktuellen Normenstand und vermittelt Hintergrundwissen zum Verständnis der Vorgänge bei der Rissentstehung. Gleichzeitig sollen aber auch die Grenzen aufgezeigt werden, die einer Vermeidung der Rissbildung und einer Rissbreitenbegrenzung durch die Bewehrung gezogen sind.

### Bestellung:

Tel. 0711 970-2500 | Fax 0711 970-2508

E-Mail: [irb@irb.fraunhofer.de](mailto:irb@irb.fraunhofer.de)

\*Die angegebenen Euro-Preise gelten für Deutschland. Für Österreich und die Schweiz gelten die Preise als unverbindliche Preisempfehlung.

**Fraunhofer IRB Verlag**

Der Fachverlag zum Planen und Bauen  
[www.baufachinformation.de](http://www.baufachinformation.de)