

BAWMerkblatt

Bestimmung der adiabatischen Temperaturerhöhung von Beton (MATB)

Ausgabe 2024

EU-Notifizierung Nr. xxx

Hinweis:

Notifiziert gemäß der Richtlinie (EU) 2015/1535 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 9. September 2015 über ein Informationsverfahren auf dem Gebiet der technischen Vorschriften und der Vorschriften für die Dienste der Informationsgesellschaft (ABl. L 241 vom 17.9.2015, S. 1)

BAW-Merkblätter, -Empfehlungen und -Richtlinien

Herausgeber

Bundesanstalt für Wasserbau (BAW)
Kußmaulstraße 17
76187 Karlsruhe

Postfach 21 02 53
76152 Karlsruhe

Tel.: 0721 9726-0

info@baw.de
www.baw.de

Copyright: Creative Commons BY-ND 4.0

<https://creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0/>

Soweit nicht anders angegeben, liegen alle Bildrechte bei der BAW.

Inhaltsverzeichnis		Seite
1	Verweisungen auf Normen, Literatur und sonstige technische Regelwerke	1
2	Anwendungsbereich	2
3	Adiabatische Temperaturerhöhung nach DIN EN 12390-15 (Referenzverfahren)	2
4	Bestimmung der quasiadiabatischen Temperaturerhöhung am großformatigen Betonblock im Praxisversuch	2
5	Rechnerische Abschätzung der adiabatischen Temperaturerhöhung von Beton	3

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Betonblock mit Anordnung der Temperaturfühler	3
--------------	---	---

Anlagenverzeichnis

A.1	Hinweise zu den Verfahren	5
A.1.1	Allgemeines	5
A.1.2	Adiabatische Temperaturerhöhung nach Abschnitt 3	5
A.1.3	Quasiadiabatische Temperaturerhöhung nach Abschnitt 4	5
A.1.4	Rechnerische Abschätzung der adiabatischen Temperaturerhöhung nach Abschnitt 5	6

Vorbemerkung

Die adiabatische Temperaturerhöhung von Beton stellt eine Betoneigenschaft dar, welche Auswirkungen auf den frühen Zwang und die Entstehung von Eigenspannungen in Betonbauteilen hat sowie das Risiko hinsichtlich sekundärer Etringitbildung in Betonbauteilen beeinflussen kann.

Die adiabatische Temperaturerhöhung von Beton stellt einen Eingangsparameter zur Ermittlung der Zwangsbewehrung infolge frühem Zwang nach BAW-MRZ dar.

Das BAW-MATB beschreibt Methoden, welche eine Bestimmung bzw. Abschätzung der adiabatischen Temperaturerhöhung von Beton ermöglicht.

Waren, die rechtmäßig in einem anderen Mitgliedstaat der Europäischen Union oder in der Türkei in Verkehr gebracht werden oder die ihren Ursprung in einem EFTA-Staat haben, der Vertragspartei des Abkommens über den Europäischen Wirtschaftsraum ist, und dort rechtmäßig in Verkehr gebracht werden, gelten als mit dieser Maßnahme vereinbar. Die Anwendung dieser Maßnahme unterliegt der Verordnung (EG) Nr. 764/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 9. Juli 2008 zur Festlegung von Verfahren im Zusammenhang mit der Anwendung bestimmter nationaler technischer Vorschriften für Produkte, die in einem anderen Mitgliedstaat rechtmäßig in den Verkehr gebracht worden sind, und zur Aufhebung der Entscheidung Nr. 3052/95/EG (ABl. L 218 vom 13.8.2008, S. 21).

1 Verweisungen auf Normen, Literatur und sonstige technische Regelwerke

BAW-MRZ	Bundesanstalt für Wasserbau [Hrsg.] (2025) BAWMerkblatt Rissbreitenbegrenzung für Zwang in massiven Wasserbauwerken (MRZ). Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau (BAWMerkblätter, -Empfehlungen und -Richtlinien).
DIN EN 196-8	DIN EN 196-8:2010-07 Prüfverfahren für Zement - Teil 8: Hydratationswärme - Lösungsverfahren; Deutsche Fassung EN 196-8:2010
DIN EN 196-9	DIN EN 196-9:2010-07 Prüfverfahren für Zement - Teil 9: Hydratationswärme - Teiladiabatisches Verfahren; Deutsche Fassung EN 196-9:2010
DIN EN 196-11	DIN EN 196-11:2019-03 Prüfverfahren für Zement - Teil 11: Hydratationswärme - Isotherme Wärmeflusskalorimetrie-Verfahren; Deutsche Fassung EN 196-11:2018
DIN EN 12390-15	DIN EN 12390-15:2019-10 Prüfung von Festbeton - Teil 15: Adiabatisches Verfahren zur Bestimmung der Wärme, die während des Erhärtungsprozesses von Beton freigesetzt wird; Deutsche Fassung EN 12390-15:2019.
ZTV-W LB 215	Bundesministerium für Digitales und Verkehr [Hrsg.] (2025) ZTV-W LB 215: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen - Wasserbau (ZTV-W) für Wasserbauwerke aus Beton und Stahlbeton (Leistungsbereich 215).

2 Anwendungsbereich

- (1) Das BAW-MATB beschreibt zwei Prüfverfahren sowie eine Rechenmethode zur Bestimmung bzw. Abschätzung der adiabatischen Temperaturerhöhung von Beton.
- (2) Hinweise zu den Prüfverfahren und Rechenmethoden finden sich in Anlage 1.

3 Adiabatische Temperaturerhöhung nach DIN EN 12390-15 (Referenzverfahren)

- (1) Die Ermittlung der adiabatischen Temperaturerhöhung des Betons erfolgt nach DIN EN 12390-15. Die Prüfdauer beträgt 7 Tage.
- (2) Von der im Versuch eingesetzten Zementcharge ist die Hydratationswärme nach DIN EN 196-8 oder DIN EN 196-11 zu bestimmen und eine Rückstellprobe an den Auftraggeber zu übergeben.
- (3) Die Untersuchungen sind in einem Prüfbericht mit den Angaben nach DIN EN 12390-15, 8, a) bis t) zu dokumentieren. Folgende Angaben sind ergänzend im Prüfbericht aufzunehmen:
 - Frischbetontemperatur nach Betonherstellung in °C.
 - das Verhältnis C_{cal}/C_{con} und Abgleich mit Normanforderung.
 - Hydratationswärme nach DIN EN 196-8 oder DIN EN 196-11 der verwendeten Zementcharge in J/g.
 - Datum und Protokoll der letzten Kalibrierung des Kalorimeters nach DIN 12390-15, Anhang A.
 - Angabe der Temperaturbereiche in denen die ermittelten Werte der Abweichung von der Adiabasie (α) zur Bestimmung von $\Delta T_c^*(t)$ verwendet werden.
 - die Temperaturen $T_{con}(t)$, $T_{cal}(t)$, $\Delta T_c^*(t)$, $q(t)$ in tabellarischer und grafischer Form.

4 Bestimmung der quasiadiabatischen Temperaturerhöhung am großformatigen Betonblock im Praxisversuch

- (1) Je Beton ist ein großformatiger Betonblock (2,0 m x 2,0 m x 2,0 m) gemäß Leistungsbeschreibung herzustellen (Bild 1). Dabei sind folgende Randbedingungen zu berücksichtigen:
 - Von der im Beton verwendeten Zementcharge ist die Hydratationswärme nach DIN EN 196-8 oder DIN EN 196-11 zu bestimmen und eine Rückstellprobe an den Auftraggeber zu übergeben.
 - Der Block ist allseitig mit einer Wärmedämmung ($d \geq 360$ mm; Wärmeleitgruppe 040 oder geringer; ausreichende Druckfestigkeit) zu versehen.
 - Ein Durchankern ist nicht zulässig.
 - Die Frischbetontemperatur beim Einbau darf 15 °C, die Temperatur der umgebenden Luft während der Versuchsdurchführung (Messdauer: 168 Stunden) 5 °C nicht unterschreiten.
 - Im Zentrum des Blockes sind zwei Temperaturfühler (Abstand 5 cm) anzuordnen. Je zwei weitere Temperaturfühler sind auf einer gedachten Linie zwischen dem Zentrum des

Blockes und der Mitte einer Seitenfläche bzw. der Mitte der Oberseite im Abstand von 5 cm und von 50 cm von der Oberfläche anzuordnen (siehe Abbildung 1).

- Als Temperaturfühler sind Widerstandsfühler mit einer zulässigen Abweichung von ± 1 K einzusetzen. Die Messkette (Temperaturfühler, Datenlogger, Spannungsversorgung) muss für die Temperaturgangaufzeichnung eine Genauigkeit von ± 1 K haben.
- Der Temperaturverlauf im Betonblock sowie die Temperatur der umgebenden Luft sind über einen Zeitraum von mindestens 168 Stunden (7 Tage) kontinuierlich in einer Frequenz von 30 Minuten aufzuzeichnen.
- Die Untersuchungen sind mit folgenden Angaben in einem Prüfbericht zu dokumentieren:
 - Hydratationswärme nach DIN EN 196-8 oder DIN EN 196-11 der verwendeten Zementcharge in J/g.
 - Typ, Bezeichnung und Messgenauigkeit der Sensoren und Messkette.
 - Dokumentation der Messkette (Datenblätter, Konfiguration des Datenloggers, Datenaufbereitung).
 - Frischbetontemperatur T_{Beton} zum Einbauzeitpunkt in $^{\circ}\text{C}$.
 - Gemessene Temperatur $T_{\text{Beton}}(t)$ in tabellarischer und grafischer Form in $^{\circ}\text{C}$.
 - $\Delta T_{\text{qadiab}}(t)$ in tabellarischer und grafischer Form in K.

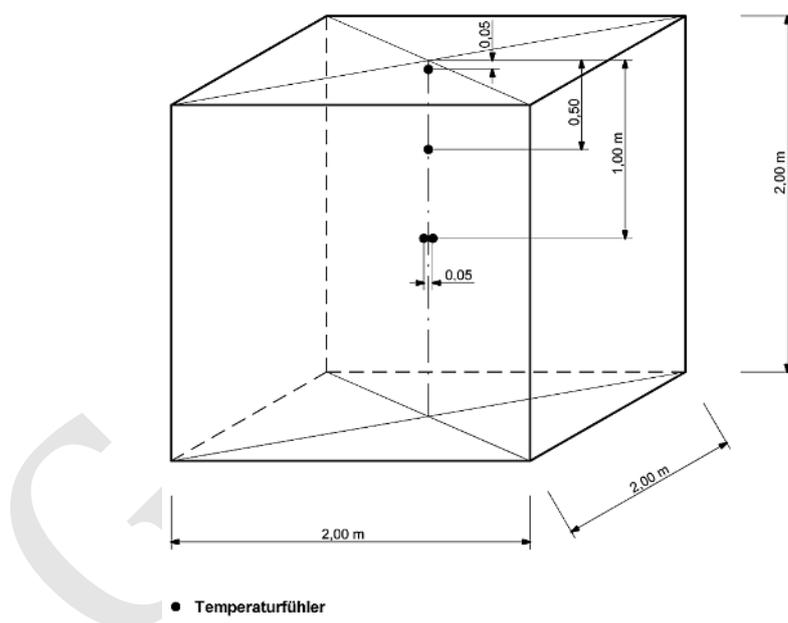


Abbildung 1: Betonblock mit Anordnung der Temperaturfühler

5 Rechnerische Abschätzung der adiabatischen Temperaturerhöhung von Beton

- (1) Eine rechnerische Abschätzung der adiabatischen Temperaturerhöhung des Betons erfolgt nach Formel (1).

- (2) Für die Berechnung ist die Hydratationswärme des im Beton vorgesehenen Zementes Q_{iso} als Mittelwert aus mindestens drei aktuellen Werten der werkseigenen Produktionskontrolle des Zementherstellers zu Grunde zu legen.

$$\Delta T_{\text{ad},7\text{d},\text{cal}} = \frac{Q_{\text{iso}} \cdot z}{Q_{\text{adiab.}} \cdot (c_c \cdot z + c_{\text{ad}} \cdot f + c_a \cdot g + c_w \cdot w)} \quad (1)$$

$\Delta T_{\text{ad},7\text{d},\text{cal}}$	Rechnerisch ermittelte adiabatische Temperaturerhöhung des Betons in K
Q_{iso}	Hydratationswärme des Zementes nach DIN EN 196-8 (Referenz) oder DIN EN 196-11 in J/g. Bei Nutzung von Prüfergebnissen nach DIN EN 196-9 wird für LH-Zemente nicht der normative Auswertzeitpunkt von 41 Stunden, sondern der Wert von 80 % der Hydratationswärme nach 168 Stunden verwendet.
$Q_{\text{adiab.}}$	Hydratationswärme des Zementes unter adiabatischen Bedingungen in J/g
$Q_{\text{iso}}/Q_{\text{adiab.}}$	Verhältnis Hydratationswärme isotherm Q_{iso} bei 20 °C zur adiabatischen Hydratationswärme Q_{adiab} nach 7 Tagen: Ohne Bestimmung des tatsächlichen Verhältnisses können die folgenden Werte eingesetzt werden bei Verwendung von CEM III LH: 0,75 CEM II/A, CEM II/B, CEM III: 0,80 CEM I: 0,90
c_c, c_{ad}, c_a	Spezifische Wärme des Zementes, des Zusatzstoffes und der Gesteinskörnung. Sofern keine gesonderten Informationen vorliegen: 0,84 J/(g*K)
c_w	Spezifische Wärme des in der Probe enthaltenen Wassers. Sofern keine gesonderten Informationen vorliegen: 3,76 J/(g*K)
z, f, g	Zementgehalt, Zusatzstoffgehalt, Gesteinskörnungsgehalt in kg/m ³
w	Wassergehalt in kg/m ³

- (3) Die Untersuchungen sind in einem Prüfbericht unter Angabe der eingesetzten Parameter zu dokumentieren.

- Q_{iso} als Mittelwert unter Beifügung der Prüfprotokolle der Einzelwerte der werkseigenen Produktionskontrolle oder geprüfte Werte in J/g
- das angesetzte Verhältnis $Q_{\text{iso}}/Q_{\text{adiab}}$
- Zementgehalt, Zusatzstoffgehalt, Wassergehalt, Gesteinskörnungsgehalt des Betons in kg/m³
- $c_c, c_{\text{ad}}, c_a, c_w$
- $\Delta T_{\text{ad},7\text{d},\text{cal}}$ in K

A.1 Hinweise zu den Verfahren

A.1.1 Allgemeines

- (1) Im Folgenden werden Hinweise zu den drei Methoden gegeben, welche bei der Ergebnisbewertung zu berücksichtigen sind.
- (2) Die Hydratationswärme des Betons wird im Wesentlichen durch die Zementeigenschaften und den Zementgehalt beeinflusst.
- (3) Im Wesentlichen können die Produktionsschwankungen der Zementeigenschaften dazu führen, dass mit der gleichen Betonzusammensetzung, aber anderer Zementcharge unterschiedliche adiabatische Temperaturerhöhungen ermittelt werden. Zur Einordnung der nach Abschnitt 3 und 4 ermittelten adiabatischen Temperaturerhöhung des Betons ist es daher unbedingt erforderlich, die Hydratationswärme der im Versuch verwendeten Zementcharge nach DIN EN 196-8 oder DIN EN 196-11 zu ermitteln.
- (4) Für die Betonzusammensetzung erwartbare Schwankungen der adiabatischen Temperaturerhöhung des Betons können durch die Kenntnis der Produktionsschwankung der Hydratationswärme des Zementes eingeschätzt werden.

A.1.2 Adiabatische Temperaturerhöhung nach Abschnitt 3

- (1) Die Ermittlung der adiabatischen Temperaturerhöhung nach Abschnitt 3 stellt das Referenzverfahren zur Ermittlung der adiabatischen Temperaturerhöhung dar.
- (2) Im Laborversuch unter definierten Randbedingungen wird bei Berücksichtigung der Wärmeverluste im Betonkalorimeter die adiabatische Temperaturerhöhung des Betons unter Berücksichtigung aller Eigenschaften des untersuchten Betons mit den darin eingesetzten Betonausgangsstoffchargen ermittelt.
- (3) Es wird nachgewiesen, dass mit der untersuchten Betonzusammensetzung eine bestimmte adiabatische Temperaturerhöhung des Betons eingehalten werden kann.

A.1.3 Quasiadiabatische Temperaturerhöhung nach Abschnitt 4

- (1) Im Baustellenversuch wird bei korrekter Durchführung der Prüfung die quasiadiabatische Temperaturerhöhung des Betons unter Berücksichtigung aller Eigenschaften des untersuchten Betons mit den darin eingesetzten Betonausgangsstoffchargen ermittelt.
- (2) Die im Baustellenversuch ermittelte quasiadiabatische Temperaturerhöhung stellt eine untere Abschätzung der adiabatischen Temperaturerhöhung des Betons dar, da unvermeidliche Wärmeverluste in Abhängigkeit der wechselnden Umgebungsbedingungen nicht berücksichtigt werden. Auch größere Bandbreiten der Frischbetontemperatur sowie im Betonwerk produktionsbedingt erwartbare größere Schwankungen der Betonzusammensetzung im Vergleich zum Laborversuch lassen größere Schwankungen der Ergebnisse erwarten.
- (3) Neben der Ermittlung der adiabatischen Temperaturerhöhung des Betons lassen sich im Zuge der Herstellung des Blockes, anders als im Laborversuch, weitere Betoneigenschaften untersuchen, wie z. B. die Pumpbarkeit und die Luftporenstabilität unter baupraktischen Randbedingungen.

- (4) Es wird nachgewiesen, dass mit der untersuchten Betonzusammensetzung eine bestimmte adiabatische Temperaturerhöhung des Betons eingehalten werden kann. Die Ergebnisse liegen weniger aber hinreichend auf der sicheren Seite als mit dem adiabatischen Versuch nach Abschnitt 3.

A.1.4 Rechnerische Abschätzung der adiabatischen Temperaturerhöhung nach Abschnitt 5

- (1) Mit einem rechnerischen Ansatz wird unter Einbeziehung von Annahmen zu Parametern aus Literaturangaben sowie einer durch Prüfung bestimmten Hydratationswärme des Zementes die adiabatische Temperaturerhöhung des Betons unter Annahme einer Frischbetontemperatur von 20 °C abgeschätzt.
- (2) Die Ermittlung der Hydratationswärme des Zementes ist mit drei verschiedenen genormten Prüfverfahren möglich (DIN EN 196-8, DIN EN 196-9, DIN EN 196-11), deren eigentlicher Zweck die Feststellung der LH-Eigenschaft des Zementes ist. Die Prüfergebnisse dieser drei Verfahren unterliegen verfahrensbedingt gewissen Schwankungen. Die Ergebnisse zweier korrekt ausgeführter Prüfungen zweier Labore können nach den in den Normen angegebenen Präzisionsangaben nach DIN EN 196-8 bis zu 50 J/g, nach DIN EN 196-9 bis zu 42 J/g und nach DIN EN 196-11 bis zu 37 J/g voneinander abweichen.
- (3) Aus den in (2) genannten Abweichungen können allein aus der Hydratationswärme des Zementes Abweichungen der rechnerisch ermittelten adiabatischen Temperaturerhöhung des Betons bei ansonsten unveränderten Parametern von etwa 5 K resultieren.
- (4) Abweichungen von 0,05 des tatsächlichen Verhältnisses $Q_{\text{iso}}/Q_{\text{ad}}$ von dem rechnerisch angesetzten Verhältnis können einen Unterschied von etwa 3 K bei der berechneten adiabatischen Temperaturerhöhung des Betons ausmachen.
- (5) Bei Anwendung des rechnerischen Ansatzes mit den in (3) und (4) genannten Ungenauigkeiten ist sorgfältig abzuwägen zwischen einer einfachen Methodik zur Abschätzung der adiabatischen Temperaturerhöhung und möglichen Auswirkungen auf das betrachtete Bauwerk/Bauteil.