

BAW's adfærdskodeks

Bestemmelse af den adiabatisk temperaturstigning i beton (MATB)

2025-udgaven

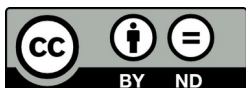
EU-notifikation nr. 2025/0251/DE

Bemærk:

Notificeret i overensstemmelse med Europa-Parlamentets og Rådets direktiv (EU) 2015/1535 af 9. september 2015 om en informationsprocedure med hensyn til tekniske forskrifter samt forskrifter for informationssamfundets tjenester (EUT L 241 af 17.9.2015, s. 1).

BAW's foldere, anbefalinger og retningslinjer Udgiver

Det Føderale Institut for Vandvejsingeniørvidenskab og Forskning (BAW)
Kußmaulstraße 17, 76187 Karlsruhe
telefonnummer: +49 721 9726-0
E-mail: info@baw.de
www.baw.de



creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0/

Medmindre andet er angivet, er indholdet af artiklerne licenseret under Creative Commons Licens BY-ND 4.0 (Attribution - No Derivative Works 4.0 International). Medmindre andet er angivet, er det pågældende indhold ophavsretligt beskyttet og må ikke genbruges.

Indhold

1	Henvisninger til standarder, litteratur og andre tekniske forskrifter	1
2	Anvendelsesområde	1
3	Adiabatisk temperaturstigning i henhold til DIN EN 12390-15 (referencemetode)	2
4	Bestemmelse af den kvasi-adiabatisk temperaturstigning på betonblokken i stort format i en praktisk prøvning	2
5	Beregningsmæssig estimering af adiabatisk temperaturstigning i beton	3

Figurer

Figur 1: Betonblok med placering af temperaturfølere	3
--	---

Bilag

A.1.	Bemærkninger til proceduren	5
A.1.1.	Generelt	5
A.1.2.	Adiabatisk temperaturstigning i overensstemmelse med afsnit 3	5
A.1.3.	Kvasiadiabatisk temperaturstigning i henhold til punkt 4	5
A.1.4.	Beregningsmæssig estimering af adiabatisk temperaturstigning i henhold til afsnit 5	6

Indledende bemærkning

Den adiabatisk temperaturstigning i beton er en betonejendom, som har indflydelse på tidlig tvang og dannelse af selvstresser i betonkomponenter og kan påvirke risikoen for sekundær ettringitdannelse i betonkomponenter.

Den adiabatisk temperaturstigning i beton er et inputparameter til bestemmelse af den tvungne forstærkning på grund af tidlig tvang i henhold til BAW-MRZ.

BAW-MATB beskriver metoder, der gør det muligt at bestemme eller estimere den adiabatisk stigning i betonens temperatur.

Varer, der markedsføres lovligt i en anden medlemsstat i Den Europæiske Union eller i Tyrkiet, eller med oprindelse og lovlig markedsføring i en EFTA-stat, der er kontraherende part i EØS-aftalen, formodes at være forenelige med denne foranstaltning. Anvendelse af denne foranstaltning er underlagt Europa-Parlamentets og Rådets forordning (EF) nr. 764/2008 af 9. juli 2008 om procedurer for anvendelsen af visse nationale tekniske forskrifter på produkter, der markedsføres lovligt i en anden medlemsstat, og om ophævelse af beslutning nr. 3052/95/EF (EUT L 218 af 13.8.2008, s. 21).

1 Henvisninger til standarder, litteratur og andre tekniske forskrifter

BAW-MRZ	Føderale Institut for Hydrauliktechnik [Ed.] (2025) BAWMerkblatt Rissbreitenberenzung für Zwang in massive Wasserbauwerke (MRZ) [BAW-brochure om begrænsning af revnebredde for begrænsninger i massive hydrauliske strukturer]. Karlsruhe: Forbundsintitutet for hydrauliktechnik (BAW-foldere, anbefalinger og retningslinjer).
DIN EN 196-8	DIN EN 196-8:2010-07 Prøvningsmetoder for cement — Del 8: Hydrationsvarme — Opløsningsmetode; den tyske udgave EN 196-8:2010
DIN EN 196-9	DIN EN 196-9:2010-07 Prøvningsmetoder for cement — Del 9: Vandingsvarme — deladiabatisk metode; tysk version EN 196-9:2010
DIN EN 196-11	DIN EN 196-11:2019-03 Prøvningsmetoder for cement — Del 11: Hydrationsvarme — Isotherm heat flux calorimetri; tysk version EN 196-11:2018
DIN EN 12390-15	DIN EN 12390-15: 2019-10 Prøvning af fast beton — Del 15: Adiabatisk metode til bestemmelse af den varme, der frigives under hærtningsprocessen i beton; tysk version EN 12390-15:2019.
ZTV-W LB 215	Forbundsministeriet for transport [ed.] (2025) ZTV-W LB 215: Yderligere tekniske kontraktbetingelser - hydrauliske konstruktioner (ZTV-W), der vedrører hydrauliske konstruktioner i beton og armeret beton (serviceområde 215).

2 Anvendelsesområde

- (1) BAW-MATB beskriver to prøvningsmetoder samt en beregningsmetode til bestemmelse eller estimering af den adiabatisk temperaturstigning i beton.
- (2) Oplysninger om prøvningsprocedurer og beregningsmetoder findes i bilag 1.

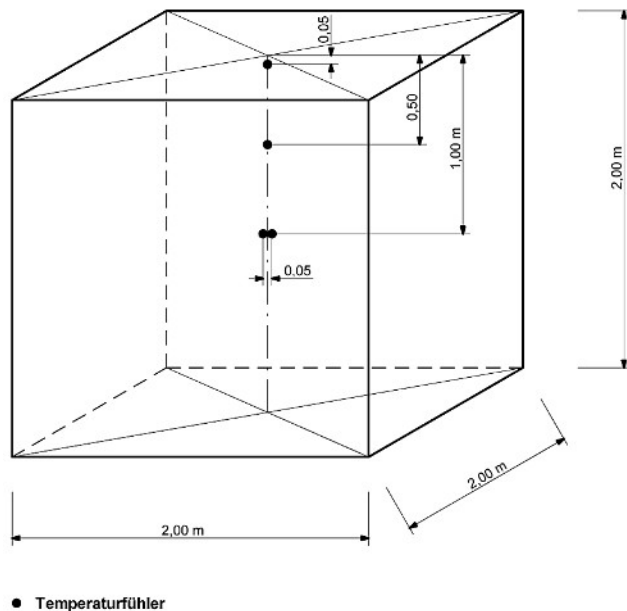
3 Adiabatisk temperaturstigning i henhold til DIN EN 12390-15 (referencemetode)

- (1) Den adiabatisk temperaturstigning i betonen bestemmes i overensstemmelse med DIN EN 12390-15. Testperioden er 7 dage.
- (2) Af den cementbatch, der anvendes i forsøget, bestemmes hydreringsvarmen i overensstemmelse med DIN EN 196-8 eller DIN EN 196-11, og en reserveprøve afleveres til den ordregivende myndighed.
- (3) Prøvningerne skal dokumenteres i en prøvningsrapport, der indeholder oplysningerne i overensstemmelse med DIN EN 12390-15, 8, litra a)-t). Følgende yderligere oplysninger medtages i prøvningsrapporten:
 - Frisk betontemperatur efter betonproduktion i °C.
 - forholdet C_{cal}/C_{con} og sammenligning med Norman-kravet.
 - Hydreringsvarme i henhold til DIN EN 196-8 eller DIN EN 196-11 i cementbatchen anvendt i J/g.
 - Dato og protokol for den sidste kalibrering af kalorimeteret i henhold til DIN 12390-15, bilag A.
 - Angivelse af de temperaturintervaller, inden for hvilke de bestemte værdier for afvigelse fra adiabasi (α) anvendes til at bestemme $T_c^*(t)$.
 - temperaturerne $T_{con}(t)$, $T_{cal}(t)$, $T_c^*(t)$, $q(t)$ i tabelform og grafisk form.

4 Bestemmelse af den kvasi-adiabatisk temperaturstigning på betonblokken i stort format i en praktisk prøvning

- (1) Der skal fremstilles en stor betonblok (2,0 m x 2,0 m x 2,0 m) pr. beton i overensstemmelse med specifikationerne (figur 1). I den forbindelse skal der tages hensyn til følgende grænsebetingelser:
 - Af den cementbatch, der anvendes i betonen, bestemmes hydreringsvarmen i overensstemmelse med DIN EN 196-8 eller DIN EN 196-11, og en reserveprøve afleveres til den ordregivende myndighed.
 - Blokken skal være forsynet med varmeisolering på alle sider ($d \geq 360$ mm, varmeledningsevne gruppe 040 eller lavere, tilstrækkelig trykstyrke).
 - Forankring er ikke tilladt.
 - Den friske betontemperatur under installationen kan være 15 °C, temperaturen af den omgivende luft under prøvningen (måletid: 168 timer) må ikke falde til under 5 °C.

- Der skal være anbragt to temperaturfølere (afstand 5 cm) i midten af blokken. To yderligere temperatursensorer anbringes på en imaginær linje mellem blokkens centrum og midten af en sideoverflade eller midten af den øverste overflade i en afstand af 5 cm og 50 cm fra overfladen (se figur Figur 1).
- Modstandssensorer med en tilladt afvigelse på ± 1 K anvendes som temperatursensorer. Målekæden (temperaturføler, datalogger, strømforsyning) skal have en nøjagtighed på ± 1 K til registrering af temperaturområde.
- Temperaturprofilen i betonblokken og temperaturen i den omgivende luft registreres kontinuerligt med en hyppighed på 30 minutter over en periode på mindst 168 timer (7 dage).
- Prøvningerne skal dokumenteres i en prøvningsrapport med følgende oplysninger:
 - Hydreringsvarme i henhold til DIN EN 196-8 eller DIN EN 196-11 i cementbatchen anvendt i J/g.
 - Sensorernes og målekædens type, betegnelse og målenøjagtighed
 - Dokumentation af målekæden (datablade, konfiguration af datalogger, dataforberedelse)
 - Frisk betontemperatur T_{Beton} på installationstidspunktet i $^{\circ}\text{C}$
 - Målt temperatur $T_{\text{Beton}}(t)$ i tabelform og grafisk form i $^{\circ}\text{C}$
 - $T_{\text{qadiab}}(t)$ i tabelform og grafisk form i K



Temperaturfühler

1,00 m

2,00 m

Temperaturfühler

1,00 m

2,00 m

Figur 1: Betonblok med placering af temperaturfølere

5 Beregningsmæssig estimering af adiabatisk temperaturstigning i beton

- (1) Der foretages en matematisk beregning af betonens adiabatisk temperaturstigning i henhold til formel (1).
- (2) Beregningen baseres på hydreringsvarmen for den cement, der leveres i betonen, på grundlag af en aktuel prøvningsværdi Q_{iso} .

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

$\Delta T_{ad, 7d, cal}$ Beregnet adiabatisk temperaturstigning i betonen i K

Q_{iso} Hydreringsvarme i cementen i henhold til DIN EN 196-8 (reference) eller DIN EN 196-11 i J/g. Alternativt kan den hydreringsvarme, der er bestemt i overensstemmelse med DIN EN 196-9, anvendes. Værdien for Q_{iso} er derefter 80 % af resultatet ifølge DIN EN 196-9 efter 168 timers måling.

$Q_{adiab.}$ Hydreringsvarme af cementen under adiabatisk betingelser i J/g

$Q_{iso}/Q_{adiab.}$ Forholdet mellem hydreringsvarme isothermisk Q_{iso} ved 20 °C og adiabatisk hydreringsvarme Q_{adiab} efter 7 dage:

Uden at bestemme det faktiske forhold kan følgende værdier anvendes, når

CEM III LH: 0,75

CEM II/A, CEM II/B og CEM III: 0,80

CEM I 0,90

c_c, c_{ad}, c_a Specifik varme af cementen, tilsætningsstoffet og stenkernerne. Medmindre der foreligger særskilte oplysninger: 0,84 J/(g*K)

c_w Specifik varme af vandet i prøven. Medmindre der foreligger særskilte oplysninger: 3,76 J/(g*K) i henhold til DIN EN 12390-15

z, f, g Cementindhold, tilsætningsstofindhold, stenkornindhold i kg/m³

w Vandindhold i kg/m³

- (3) Prøvningerne skal dokumenteres i en prøvningsrapport med angivelse af de anvendte parametre.

- Q_{iso} som prøvningsværdi i J/g ledsaget af prøvningsrapporten
- det antagne forhold Q_{iso}/Q_{adiab}
- Cementindhold, tilsætningsstofindhold, vandindhold, indhold af stenkorn i beton i kg/m³
- c_c, c_{ad}, c_a, c_w
- $\Delta T_{ad, 7d, cal}$ i K

A.1. Bemærkninger til proceduren

A.1.1. Generelt

- (1) I det følgende gives der oplysninger om de tre metoder, der skal tages i betragtning ved evalueringen af resultaterne.
- (2) Betonens hydreringsvarme påvirkes hovedsagelig af cementegenskaberne og cementindholdet.
- (3) I det væsentlige kan produktionsudsving i cementegenskaberne føre til, at forskellige adiabatisk temperaturstigninger bestemmes med samme betonsammensætning, men med et andet parti cement. For at klassificere den adiabatisk temperaturstigning i betonen, der er bestemt i overensstemmelse med afsnit 3 og 4, er det derfor absolut nødvendigt at bestemme hydreringsvarmen i den cementbatch, der anvendes i forsøget, i overensstemmelse med DIN EN 196-8 eller DIN EN 196-11.
- (4) For betonsammensætningen kan forventede udsving i betonens adiabatisk temperaturstigning estimeres ud fra kendskabet til produktionsudsvingene i cementens hydreringsvarme.

A.1.2. Adiabatisk temperaturstigning i overensstemmelse med afsnit 3

- (1) Bestemmelse af den adiabatisk temperaturstigning i overensstemmelse med punkt 3 er referencemetoden til bestemmelse af den adiabatisk temperaturstigning.
- (2) I laboratorieprøvningen under definerede rammebetingelser og under hensyntagen til varmetabet i betonkaorimeteret bestemmes den adiabatisk temperaturstigning i betonen under hensyntagen til alle egenskaberne ved den beton, der testes med de betoninputbatcher, der anvendes deri.
- (3) Det er påvist, at en vis adiabatisk temperaturstigning i betonen kan opretholdes med den undersøgte betonsammensætning.

A.1.3. Kvasiadiabatisk temperaturstigning i henhold til punkt 4

- (1) I byggepladsprøvningen bestemmes den kvasiadiabatisk temperaturstigning i betonen under hensyntagen til alle egenskaberne af den undersøgte beton med de partier af betonråmaterialer, der anvendes deri, hvis prøvningen udføres korrekt.
- (2) Den kvasiadiabatisk temperaturstigning, der er bestemt i byggepladsprøvningen, repræsenterer et lavere skøn over den adiabatisk temperaturstigning i betonen, da uundgåelige varmetab ikke tages i betragtning afhængigt af de ændrede miljøforhold. Større intervaller for den friske betontemperatur samt større udsving i betonsammensætningen, der forventes i betonanlægget som følge af produktionen sammenlignet med laboratorieprøvningen, kan også forventes at resultere i større udsving i resultaterne.
- (3) Ud over bestemmelsen af betonens kvasiadiabatisk temperaturstigning kan andre betonegenskaber undersøges under produktionen af blokken, i modsætning til laboratorieprøvningen, såsom pumpbarheden og luftporestabiliteten under praktiske konstruktionsforhold.

- (4) Det er påvist, at en vis adiabatisk temperaturstigning i betonen kan opretholdes med den undersøgte betonsammensætning. Resultaterne er mindre, men tilstrækkelige på den sikre side end med den adiabatiske test, der er omhandlet i afsnit 3.

A.1.4. Beregningsmæssig estimering af adiabatisk temperaturstigning i henhold til afsnit 5

- (1) Ved hjælp af en beregningsmetode anslås den adiabatiske temperaturstigning i beton ud fra en antagelse om en frisk betontemperatur på 20 °C, idet der tages hensyn til antagelser om parametre fra litteraturreferencer samt en hydreringsvarme i cementen, der bestemmes ved prøvning.
- (2) Det er muligt at bestemme cementets hydreringsvarme ved hjælp af tre forskellige standardiserede prøvningsmetoder (DIN EN 196-8, DIN EN 196-9, DIN EN 196-11), hvis egentlige formål er at bestemme cementets LH-egenskab. Prøveresultaterne for disse tre procedurer er underlagt visse udsving på grund af proceduren. Resultaterne af to korrekt udførte prøvninger, der udføres af to laboratorier, kan afvige i overensstemmelse med de præcisionsspecifikationer, der er specificeret i standarderne i henhold til DIN EN 196-8 op til 50 J/g, i henhold til DIN EN 196-9 op til 42 J/g og i henhold til DIN EN 196-11 op til 37 J/g.
- (3) De afvigelser, der er nævnt i stk. 2, kan resultere i afvigelser på ca. 5 K af den beregnede adiabatiske temperaturstigning i betonen alene på grundlag af cementens hydreringsvarme med ellers uændrede parametre.
- (4) Afvigelser på 0,05 af det faktiske forhold Q_{iso}/Q_{ad} fra det beregnede forhold kan repræsentere en forskel på ca. 3 K i den beregnede adiabatiske temperaturstigning i betonen.
- (5) Ved anvendelse af beregningsmetoden med de unøjagtigheder, der er nævnt i (3) og (4), skal der tages nøje hensyn til en enkel metode til estimering af den adiabatiske temperaturstigning og mulige virkninger på den pågældende struktur/komponent. Hvis betonen befinder sig på den øvre grænse af den tilladte maksimale komponenttemperatur, indebærer den procedure, der er beskrevet i afsnit 5, en risiko på grund af faren for skader som følge af sekundær ettringitdannelse. For så vidt angår baselignende komponenter, der arbejder ved den øvre grænse for den tilladte adiabatiske temperaturstigning, indebærer den metode, der er beskrevet i punkt 5, en risiko på grund af ugunstig overlejring af påførte spændinger og restspændinger.