

Zeitschrift: Cementbulletin
Herausgeber: Technische Forschung und Beratung für Zement und Beton (TFB AG)
Band: 22-23 (1954-1955)
Heft: 4

Artikel: Der Einfluss der Temperatur auf die Erhärtung des Betons
Autor: [s.n.]
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-153309>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 01.04.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

CEMENTBULLETIN

APRIL 1954

JAHRGANG 22

NUMMER 4

Der Einfluss der Temperatur auf die Erhärtung des Betons

Die Beurteilung der Festigkeit von Beton, z. B. anlässlich der Ausschalung, geschieht in erster Linie auf Grund des Alters der Betonierung. Die herrschende Temperatur wird erst in Extremfällen mitberücksichtigt, wobei eine genauere Kenntnis des Wärmeeinflusses erforderlich ist.

Begriffsbestimmungen

1) Temperatureinwirkung

Nach allgemeinem Naturgesetz beschleunigt eine Temperaturerhöhung die chemischen Reaktionen. Betrachtet man den Fortschritt einer solchen stofflichen Umsetzung als «Reife», so gilt:

$\frac{\text{Reife}}{\text{Zeit}} = f(\text{Temp.})$, d. h. die Reaktionsgeschwindigkeit ist eine

Funktion der Temperatur. Physikalische Begründung: Die Wärme bedeutet vermehrte Bewegung, erhöhte Schwingung und Anregung der Moleküle. Als anschauliches Beispiel hierzu diene das Auflösen von Zucker in Wasser, ein Vorgang, der durch eine Temperaturerhöhung sichtbar beschleunigt wird. Die durch Wärme verursachte erhöhte Schwingung der Moleküle schwächt den Zusammenhalt des Zuckerkristalls (der ja bei noch grösserer Hitze schmelzen würde) und vermehrt die Angriffslust der Wasserteilchen. Ein ähnlicher Vorgang spielt sich beim Abbinden und Erhärten von Cement ab.

2) Erhärtung von Cement (s. CB 1949/21 und 1951/13)

Die Erhärtung des Cements beginnt mit dem Angriff des Wassers auf das Klinkerkorn und in der Folge mit der Bildung einer zusammenhängenden Gelschicht in den wässerigen Zwischenräumen (Abbindebeginn).

Die Gelschicht, anfänglich noch weich, versteift sich nach und nach, je mehr Wasser weiter in das Klinkerkorn eindringt (Abbindeende). Nur ein kleiner Teil des Anmachwassers ist in diesem Stadium chemisch gebunden. Bei der eigentlichen Erhärtung, die sich, immer weniger zunehmend, über Monate und Jahre erstreckt, breitet sich das Wasser gleichmässig in den Cementkörnern und den Zwischenräumen aus und wird fest gebunden (Hydratation der Cementmineralien).

Der Temperatureinfluss auf die Erhärtung

Die Festigkeit, als Hauptbegriff für die Güte eines Cementes oder einer Betonierung, steht in direktem Zusammenhang mit der Erhärtung, dem Fortschritt der chemischen Wasserbindung oder der **Reife**. Danach und gemäss der obenstehenden Gleichung gilt also:

Festigkeit = Funktion der Reife

Reife = Funktion von Temperatur \times Zeit

d. h. die Festigkeit ist in gleicher Weise von der **Temperatur** und von der **Zeit** abhängig. Diese beiden Faktoren sind deshalb auch in den Normenvorschriften für die Festigkeitsprüfung mit 18° C und 28 Tagen genau festgelegt. (Ferner wird dort aus bekannten Gründen eine Wasser- oder Feuchtlagerung verlangt. Eine solche ist für alle weiter unten verwendeten Versuchsergebnisse vorausgesetzt.)

Betrachtet man den Einfluss der beiden Hauptfaktoren näher, indem bei Versuchen bald der eine, bald der andere verändert wird, erkennt man, dass Temperatur und Zeit verschieden stark auf den Festigkeitsanstieg einwirken, je nach den Zuständen, die sie selber erzeugen:

Zustand des Betons	Stärke des Einflusses	
	der Temperatur	der Zeit
Kalt (wenig über 0° C)	gross	klein
Warm (z. B. 50° C)	klein	gross
frischer Beton	gross	klein
älterer Beton	klein	gross.

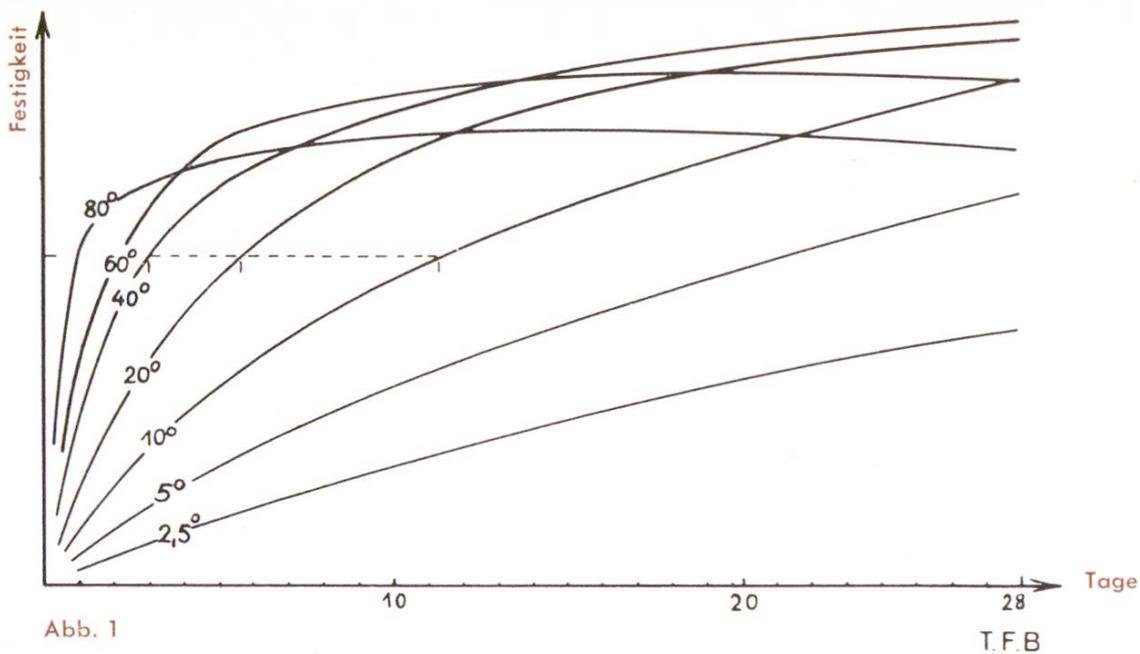


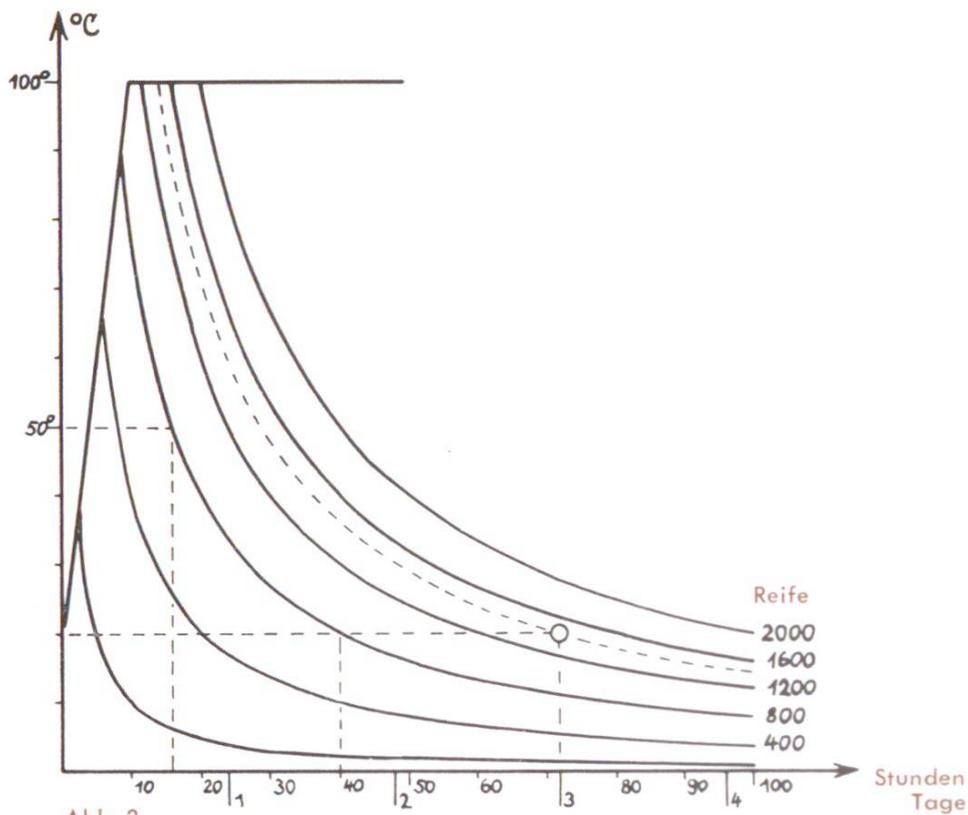
Abb. 1

T.F.B

Die Zusammenstellung zeigt, dass beispielsweise beim Betonieren bei kalter Witterung eine Erwärmung von wenigen Graden schon beträchtlich die Erhärtung beschleunigt, oder dass die weitere Festigkeitsentwicklung von älterem Beton durch die herrschende Temperatur kaum mehr beeinflusst wird. Es hat demnach keinen grossen Sinn, den Temperatureinfluss auf die Erhärtung von Wochen altem Beton in der Praxis zu berücksichtigen.

Die Veränderungen der Festigkeit in Abhängigkeit von der Temperatur und der Zeit können gut graphisch dargestellt werden. Abbildung 1 ist ein solches Kurvenbild, das den Erhärtungsverlauf irgend eines Betons bei verschiedenen Temperaturen wiedergibt. Bei 40° C z. B. erreicht man nach 3 Tagen schon diejenige Festigkeit, die bei 20° C erst nach 6, bei 10° C erst nach ungefähr 12 Tagen zu verzeichnen ist. Die Intensität des Wärmeeinflusses ist aus den Neigungen der Kurven ersichtlich. In den ersten Tagen sind diese gross und unterschiedlich. Unter dem Einfluss von relativ hohen Temperaturen, 60 und mehr ° C, tritt nach anfänglichem steilem Festigkeitsanstieg eine leicht rückläufige Entwicklung ein. Es ist, wie wenn durch das allzu **schnelle** Erhärten eine **Schädigung** des Gefüges oder eine Störung im Ablauf der chemischen Reaktion eingetreten wäre. Tatsächlich haben Versuche gezeigt, dass diese Erscheinung solche Ursachen hat. Sie lässt sich vermeiden, indem die Wärme nicht sofort, sondern **erst einige Stunden nach dem Anmachen** einzuwirken beginnt. Die Störung geht also auf Vorgänge zurück, die während des Abbindens durch die Wärme hervorgerufen werden. Die Angelegenheit ist aber noch nicht sicher abgeklärt.

Eine andere Darstellung der Verhältnisse im Frühstadium gibt Abb. 2. Es kommt darin der Begriff der **Reife** zum Ausdruck. Die Reife eines Betons kann ziffernmässig durch das Produkt aus Tem-



peratur und Zeit ausgedrückt werden. Wir erhalten so eine Grösse in Wärmegradstunden ($^{\circ}\text{C} \times \text{h}$). Für dieselbe Betonmischung entspricht einer bestimmten Reifezahl eine bestimmte Festigkeit. Danach erreicht ein Beton dieselbe Festigkeit, wenn er z. B. 40 Std. bei 20°C oder 16 Std. bei 50°C lagert (beides Reife 800). Wird die Druckfestigkeit eines Betons beispielsweise nach 3 Tagen (72 Std.) bei 20°C mit 110 kg/cm^2 bestimmt, so kann dieselbe Festigkeit auch bei jeder anderen **Temperatur - Zeit - Kombination**, welche die gestrichelte Reifekurve «1440» angibt, erreicht werden.

Die Regel trifft aber nur unter bestimmten **Voraussetzungen** zu:

- Wasser- oder Feuchtlagerung
- Keine Wärmeeinwirkung während des Abbindens
- Wasser-Cementfaktor unter 0,5
- Verwendung von Portlandcement
- Identische Betonmischungen.

Vor allem würde uns eine Formel für die Berechnung der Festigkeit aus der Reifezahl interessieren. Eine solche allgemeingültige Beziehung ist jedoch schwerlich zu finden, denn sie hängt von allen denkbaren Unterschieden zwischen den Betonmischungen ab. Grundlegend und als Ausgangspunkt für derartige Bestimmungen bleibt immer ein Versuchsergebnis (s. auch CB 1944/11). Abb. 3 gibt eine Kurve wieder, die zur **ungefähren Bestimmung** des Temperatureinflusses dienen kann. Voraussetzungen zu die-

5 Festigkeit

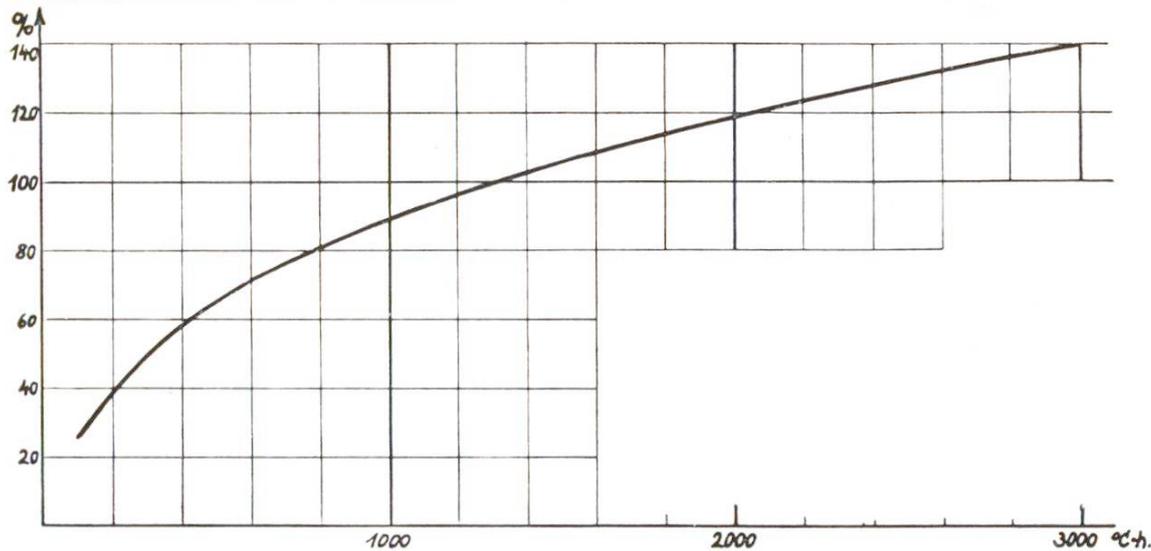


Abb. 3 normaler Portlandcement

Reifezahl T.F.B.

sem Verfahren sind die oben angeführten sowie das Ergebnis einer Festigkeitsprüfung.

Beispiele (mit normalem Portlandcement)

a) Ein Beton hat nach 3 Tagen bei 18° C die Festigkeit von 220 kg/cm². Er sollte durch Dampfhärtung schon nach 30 Stunden eine Festigkeit von 280 kg/cm² erreichen. Welche Temperatur ist anzuwenden?:

$$\text{Reife (Versuch)} = 72 \times 18 = 1300.$$

Nach Abbildung 3 entsprechen 1300 → 100 % Normalfestigkeit, 220 kg/cm² = 100 %, 280 kg/cm² somit = 127 %.

127 % entsprechen einer Reife von 2350° C × Std.

$$\text{Die gesuchte Temperatur wäre somit } \frac{2350}{30} = 78 - 79^\circ \text{ C.}$$

b) Ein Versuch ergibt für einen Beton eine Festigkeit von 135 kg/cm² nach 55 Std. bei 12° C. Wie ist die 3-Tage-Festigkeit des Betons bei 20 und 35° C?:

$$\text{Reife (Versuch)} = 55 \times 12 = 660.$$

660 entspricht nach Abb. 3 75 % der Normalfestigkeit.

$$\text{(Versuch)} \quad 660 \rightarrow 75 \% = 135 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Reife (1. Frage)} = 72 \times 20 = 1440 \rightarrow 104 \% = \mathbf{187 \text{ kg/cm}^2}$$

$$\text{Reife (2. Frage)} = 72 \times 35 = 2520 \rightarrow 132 \% = \mathbf{238 \text{ kg/cm}^2}$$

Die Resultate, die so mit Hilfe der Abb. 3 erhalten werden, haben keine grosse Genauigkeit. Es sind bessere Abschätzungen des Temperatureinflusses. Dies schon deshalb, weil die Temperatur des Betons nicht derjenigen der umgebenden Atmosphäre entspricht und schwierig zu messen ist. Da Cement beim Erhärten eigene

6 Wärme entwickelt, wird je nach der Grösse des Betonkörpers, der Wärmeisolation der Schalung und des Cementgehaltes der Unterschied zwischen innerer und äusserer Temperatur grösser oder kleiner sein.

Praktische Schlussfolgerungen:

Bei **Kälte**, bei Temperaturen um 0° C und darunter ist jegliche Erhärtung praktisch unterbunden. Die Kalttage sind deshalb den gewöhnlichen Ausschaltungsfristen zuzuzählen. Vgl. hierzu CB 1937/12 und 1946/1.

Beim Einfluss von **natürlicher Wärme**, bei Sonnenbestrahlung oder warmer Witterung, ist vor allem darauf zu achten, dass während der Erhärtung kein Wasserverlust eintritt, der Beton nicht «verbrennt». Direkte Sonnenbestrahlung ist möglichst zu vermeiden, denn sie bewirkt ungleichmässige Erwärmung des frischen Baukörpers und damit durch ungleiche Festigkeitsentwicklung die Gefahr der Rissebildung.

Die **Dampferhärtung** hat den Zweck, durch **künstliche Erwärmung** die Festigkeitsentwicklung zu beschleunigen. Mit freiem Wasserdampf lässt sich die Wärme wirtschaftlich übertragen und gleichzeitig wird für eine gründliche Feuchthaltung gesorgt. Durch den dadurch erreichten raschen Festigkeitsanstieg werden die Ausschaltungsfristen und die Dauer der Nachbehandlung wesentlich verkürzt. Die Verfahren bleiben aber aus technischen Gründen auf die fabrikmässige Herstellung von Bauelementen beschränkt. Grundsätzlich gilt, dass durch Wärme auf die Dauer **keine höheren Festigkeiten** erreicht werden. Sie bewirkt lediglich eine grössere **Frühfestigkeit**, die gewöhnlich schon nach 10—14 Tagen durch normal gelagerten Beton eingeholt wird.

Literatur:

- R. W. Nurse, Mag. of Concr. Res. **1**, 77 [No. 2] (1949), Zement-Kalk-Gips **5**, 300 (1952).
A. G. A. Saul, Mag. of Concr. Res. **2**, 127 [No. 6] (1951), Zement-Kalk-Gips **5**, 167 (1952).
S. G. Bergström, Mag. of Concr. Res. **5**, 59 [No. 14] (1953).