

**Zeitschrift:** IABSE congress report = Rapport du congrès AIPC = IVBH  
Kongressbericht

**Band:** 2 (1936)

**Artikel:** Temperaturerhöhung in Betonstaumauern

**Autor:** Davey, N.

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-2860>

### **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:** 18.05.2025

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

## VI 4

### Temperaturerhöhung in Betonstaumauern.

### L'échauffement dans les barrages en béton.

### Temperature Rise in Concrete Dams.

N. Davey,

Ph. D., B. Sc., M. Inst. C. E., Garston.

In massigen Betonbauten, wie z. B. in Staumauern, verlieren die inneren Teile ihre Wärme nur sehr langsam, so daß der Beton nahezu unter adiabatischen Verhältnissen erhärtet; die Folge davon ist, daß sehr hohe Temperaturen entstehen. Die Temperaturerhöhung hängt ab von der Art des verwendeten Zementes (vgl. Tafel 1), vom Mischungsverhältnis, von der Höhe des einzelnen Betonblockes, der Art des Betonierens, der durch die Schalung bedingten Wärmedämmung und von den Witterungsverhältnissen.

Tafel 1.

Erwärmung bei verschiedenen Zementarten.

Art des Zements	Zahl der Probekörper	Entwickelte Wärme in Gramm-Cal je Gramm nach		
		1 Tag	2 Tagen	3 Tagen
Gewöhnlicher Portlandzement . . . . .	13	23—42	42—65	47—75
Hochwertiger Portlandzement . . . . .	13	35—71	45—89	51—94
Hütten-Zement . . . . .	6	18—28	30—51	33—67
Tonerde-Zement . . . . .	3	77—93	78—94	78—95

In der Building Research Station hat man den Einfluß der Wärmeentwicklung auf die Festigkeit und andere Eigenschaften des Betons verfolgt. Dabei hat sich ergeben, daß die Festigkeit in den inneren Teilen eines Betonblockes, wo die Temperatur höher ist, rascher anwächst als an den Kanten. In einem Block mit den Abmessungen 91 cm  $\times$  122 cm  $\times$  46 cm, dessen Beton aus 1 Teil hochwertigem Zement, 2 Teilen Flußsand, 4 Teilen Kies bei einem Wasser-Zement-Verhältnis nach Gewicht von 0,6 bestand, betrug nach 3 Tagen die Betonfestigkeit im Innern über 50 % mehr als an den Ecken, wo der Wärmeverlust durch die Schalung größer war.

Weil das Schwinden und Kriechen von der Festigkeit beeinflußt werden, muß man folglich annehmen, daß beide Größen an verschiedenen Stellen einer Betonmasse verschieden sind. Außerdem muß man berücksichtigen, daß zu der Schwindwirkung die Zusammenziehung infolge der Abkühlung hinzutritt. Wenn

große Blöcke in Beton, der zu einer Zeit erhärtet ist, in der die Temperatur infolge der inneren Wärmeentwicklung beträchtlich war, sich später auf die gewöhnliche Temperatur abkühlten, was manchmal viele Monate, oder sogar Jahre dauert, tritt bekanntlich eine Volumenverkleinerung ein.

Es kommt besonders darauf an, diese Temperaturwirkungen in großen Betonmassen durch Wahl eines geeigneten Zementes und zweckmäßigen Aufbau des Betons möglichst einzuschränken und es sollte möglich sein, auf Grund von Laboratoriumsversuchen mit Zement, die Temperaturen voraussagen zu können, die in Betonmassen, die mit diesen Zementen hergestellt sind, entstehen. Zu diesem Zweck hat die Building Research Station<sup>1</sup> die Temperaturen in drei großen Staumauern verfolgt und diese Beobachtungen mit den Temperatur-Zeitkurven verglichen, die im Laboratorium mit den für diese Staumauern verwendeten Zementen gefunden wurden. Wenngleich noch weitere Versuche notwendig sind, um eine genaue Beziehung aufzustellen, können doch jetzt schon näherungsweise Beziehungen angegeben werden, mit deren Hilfe es möglich ist, die Temperaturen vorauszusagen, die in großen Betonmassen mit einem bestimmten Zement entstehen werden.

Zweckmäßig werden die Beobachtungen in zwei Reihen aufgeteilt: die eine Reihe betrifft den Beton für die Tongland- und Clatterinshaws-Mauern der Galloway-Water-Power-Works und die andere Reihe den Beton der Laggan-Mauer der Lochaber-Water-Power-Works.

Die Tongland-Mauer über den Dee-Fluß in der Nähe von Kirkcudbright ist etwa 260 m lang und besteht aus einem Eisenbetonbogenabschnitt und einem Schwergewichtsabschnitt. Die Clatteringshaws-Mauer ist eine Schwergewichtsmauer und hat eine gesamte Länge von 440 m quer durch das Blackwater-Tal des Dee. Die Laggan-Mauer in der Nähe von Fort William ist etwa 210 m lang und 42 m hoch und ebenfalls eine Schwergewichtsmauer. Bei der Tongland- und Clatteringshaws-Mauer ist der Beton in Schichtdicken von 1,53 m bis 1,8 m und bei der Laggan-Mauer in Schichtdicken von etwa 1,00 m bis 1,15 m eingebracht worden.

Bei der Tongland- und Clatteringshaws-Mauer war es möglich, den Temperaturanstieg in den Betonblöcken zu beobachten. Man verwandte hierzu ein Maximum-Thermometer, das in ein in den Block einbetoniertes Rohr hineingeschoben wurde.

Jeder Block bestand aus einer in einem Zug betonierten Schicht, deren Höhe zwischen 1,53 und 1,8 m schwankte. Die Zusammensetzung betrug bei der Tongland-Mauer 152 kg Zement, 0,34 m<sup>3</sup> Gatehouse-Sand und 0,566 m<sup>3</sup> Porphyrite, bei der Clatteringshaws-Mauer waren außerdem noch 12 % Splitt beigefügt. In der Building Research Station wurden Proben des Zementes und der Zuschlagstoffe aufbewahrt, und außerdem wurde der Temperaturanstieg an vollkommen isolierten Betonproben gemessen, deren Zusammensetzung genau der im Bau verwendeten entsprach.

Bei der Laggan-Mauer wurden die Temperaturen im mittleren Teil der Mauer durch eine Reihe von „Cambridge-Widerstandthermometern“ gemessen. Der

<sup>1</sup> N. Davey: Correlation between Laboratory Tests and Observed Temperatures in Large Dams. Building Research Technical Paper Nr. 18, 1935.

Beton wurde in Schichten von etwa 106 cm Dicke eingebracht. Sein Zementgehalt betrug 220 kg/m<sup>3</sup>. Die Zusatzwassermenge der einzelnen Mischungen war recht verschieden groß und hing vom Feuchtigkeitsgehalt der Zuschlagstoffe ab. Der frische Beton war verhältnismäßig steif. Der Gehalt an Granitsplitt betrug durchschnittlich etwa 5% des Eingebauten. Die Schalung bestand aus 5 cm dicken Bohlen mit Nut und Feder und der erforderlichen Absteifung. Der frische Beton wurde unmittelbar nach dem Einbau mit schweren Kokosmatten abgedeckt. Diese Matten wurden so lange feucht gehalten, bis sie entfernt werden mußten, um die nächste Schicht einbringen zu können.

Eine Prüfung des Temperaturverlaufs im Innern der Betonschichten zeigt, daß mindestens, und zwar besonders bei den Versuchen an der Laggan-Mauer, zwei

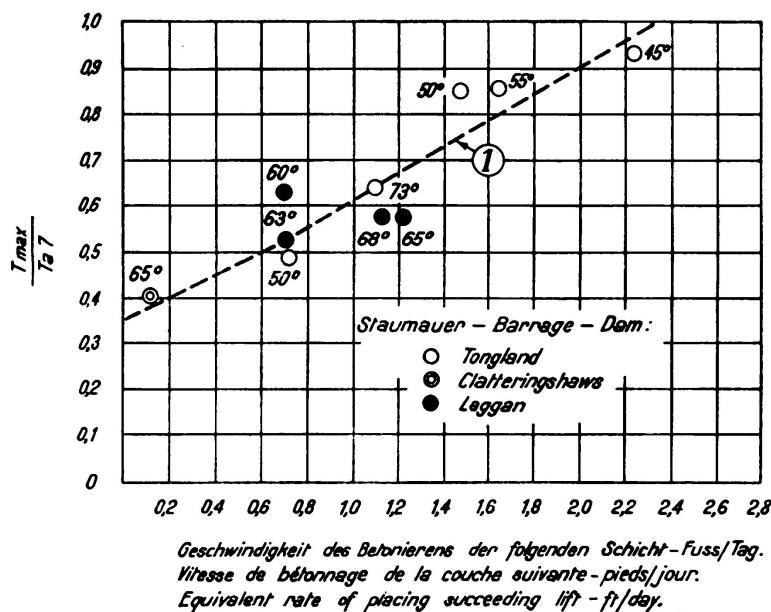


Fig. 1.

Temperaturzunahme im Beton.

(Die beim Betonieren gemessenen Temperaturen sind eingetragen.)

Scheitelpunkte vorhanden sind. Die Temperatur steigt zunächst sehr rasch an, und zwar am Bau womöglich noch schneller als bei Proben aus demselben Beton und mit derselben Anfangstemperatur, die im Laboratorium gegen Wärmeverlust geschützt gelagert werden. Dies rührt daher, daß (am Bau) die Wärme der vorhergehenden Schicht etwas zu der Temperaturerhöhung beiträgt. Auf den ersten Temperaturanstieg folgt ein weniger schneller Temperaturabfall. Dieser hört jedoch infolge der von der nachfolgenden Schicht ausstrahlenden Wärme auf und geht in einen neuen Temperaturanstieg über, der zu einem zweiten Scheitelpunkt führt.

Allgemein kann man folgendes feststellen: Wenn Beton bestimmter Zusammensetzung in Schichten von gleicher Dicke eingebracht wird, so ist der erste Temperaturgipfel jeder einzelnen Schicht vom Alter der vorhergehenden Schicht abhängig und der zweite Temperaturgipfel  $T_{max}$  von dem Zeitraum, der vergeht, bis die nächstfolgende Schicht eingebracht wird.

Fig. 1 gibt die Beziehung zwischen dem Verhältnis  $\frac{T_{\max}}{T_{a7}}$  und der entsprechenden Dicke der vorher betonierten Schicht.  $T_{a7}$  ist die Temperaturerhöhung in einem vollkommen isolierten Betonkörper nach sieben Tagen. In Fig. 2 wird die Beziehung zwischen dem Verhältnis  $\frac{T'_{\max} - T_{\max}}{T_{\max}}$  und der Dicke der nachfolgenden Schicht dargestellt. Wenn der Wert von  $T_{a7}$  bekannt ist, kann man mit ziemlicher Genauigkeit die wahrscheinlich eintretende Temperaturerhöhung in einem

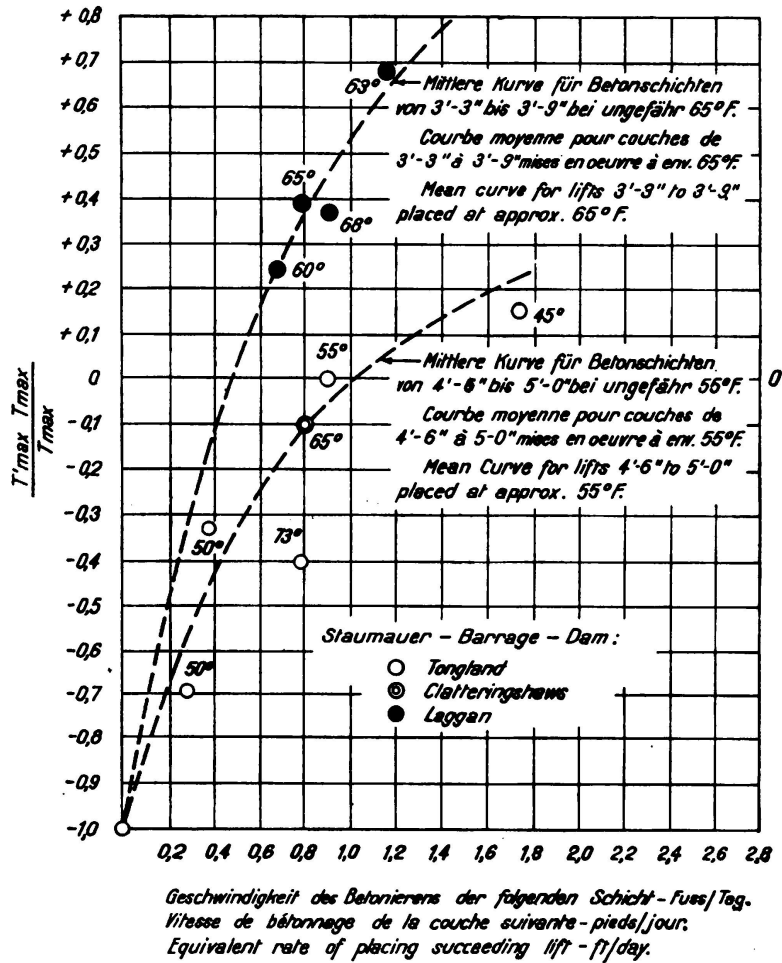


Fig. 2.

Temperaturzunahme im Beton.

(Die beim Betonieren gemessenen Temperaturen sind eingetragen.)

in gleicher Dicke und unter denselben Temperaturbedingungen, wie sie hier beschrieben wurden, hergestellten Betonblock bestimmen.

Infolge der hohen Temperaturen im Innern der Mauer bei einer viel niedrigeren an der Oberfläche ergeben sich hohe Spannungen nahe an der Oberfläche. Deshalb ist die Frage besonders wichtig, wie groß die Temperaturerhöhung sein darf, ohne daß dadurch Risse entstehen. Beobachtungen an der Laggan-Mauer haben in dieser Hinsicht wertvolle Hinweise gegeben. Der Zeitpunkt, in dem der

größte Temperaturunterschied zwischen dem Beton im Inneren und an der Oberfläche eintrat, wurde gemessen. Er entsprach der Zeit, in welcher der Beton im Inneren seine zweite Höchsttemperatur ( $T'_{max}$ ) erreichte. In dem südlich der Staumauer gelegenen Block IV trat dieser Zeitpunkt vier bis fünf Wochen nach der Betonierung des Blockinnern ein.

Eine Prüfung der in der Zeit vom 27. Juli bis 6. August 1933 gemessenen Temperaturen bei den Punkten 3, 4 und 5, bzw. 13,10 m, 6,7 m und 0,92 m von der Wasserseite der Staumauer entfernt, zeigt, wie rasch sich die Temperatur nahe der Oberfläche ändert.

	Thermometer-Nr.			Luft-Temperatur
	3	4	5	
27. 7. 33	109° F = 42,7° C	106,5° F = 41,4° C	108° F = 42,2° C	62° F = 16,7° C
29. 7. 33	109 = 42,7	107 = 41,6	97 = 36,1	54 = 12,2
31. 7. 33	198,5 = 42,5	107 = 41,6	90 = 32,2	60 = 15,5
2. 8. 33	108 = 42,2	107 = 41,6	88 = 31,1	54 = 12,2
4. 8. 33	108,5 = 42,5	108 = 42,2	84 = 28,9	55 = 12,8
6. 8. 33	108,5 = 42,5	108 = 42,2	83 = 28,4	55 = 12,8

Die am 6. August beobachtete Temperaturkurve ist in Fig. 3 wiedergegeben. An einer Stelle, die 3,5 m von der Außenfläche entfernt ist, wurden 10° gemessen. Der Temperaturunterschied zwischen dem Innern der Staumauer und

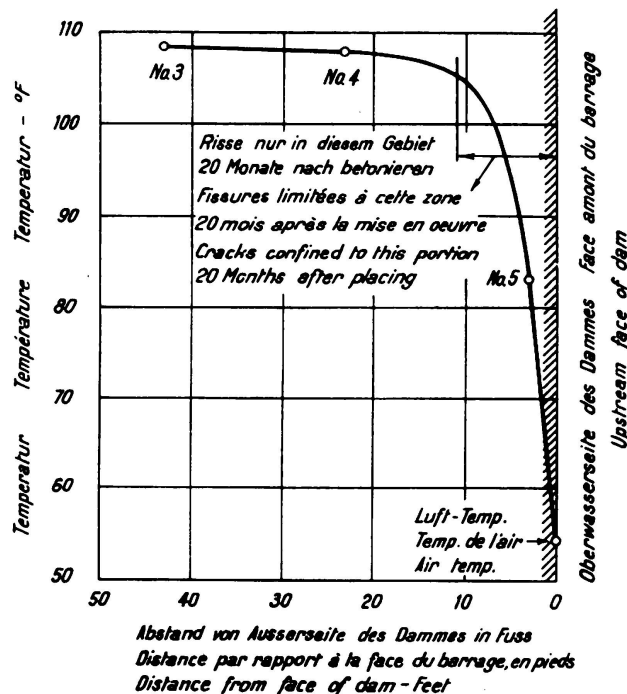


Fig. 3.

Temperaturkurve in der Laggan-Staumauer, 6. August 1933.

der Luft an der Oberfläche beträgt  $55^{\circ} F = 12,8^{\circ} C$ . Diese Differenz hatte ihre Ursache nicht allein in der Abbindewärme des Betons (angenähert  $7^{\circ} C$ ), sondern

auch im Sinken der durchschnittlichen Lufttemperatur um  $5^{\circ}\text{C}$ . Am Ende des Monats wurden Risse im Beton sichtbar, aber die Risse erreichten nach zwanzig Monaten noch nicht den Beobachtungsgang, der 2,44 m bis 3,8 m von der Wasserseite der Staumauer entfernt liegt. Die Risse bleiben also nur auf die Oberfläche beschränkt und können wohl endgültig auf das scharfe Temperaturgefälle in diesem Abschnitt zurückgeführt werden. Bei Annahme eines wirksamen<sup>2</sup> Elastizitätsmoduls von  $70\,300\text{ kg/cm}^2$  für den Beton mit einer durchschnittlichen Druckfestigkeit von  $W_b = 197\text{ kg/cm}^2$  und einem Wärmeausdehnungskoeffizienten von  $0,000012^{\circ}\text{C}$  würde die Zugbeanspruchung infolge des Temperaturgefälles allein  $21\text{ kg/cm}^2$  wahrscheinlich überschreiten. Dieser Wert ist zu groß und würde Risse herbeiführen. Wenn die Gefahr der Rissebildung auf vernünftige Grenzen beschränkt werden soll, darf die Zugspannung im Beton (infolge Temperatur)  $10,55\text{ kg/cm}^2$  nicht überschreiten. Das bedeutet weiterhin, daß der Temperaturunterschied zwischen dem Innern und der Oberfläche eines Blockes  $12^{\circ}\text{C}$  nicht übersteigen darf. Um diese Bedingung zu erfüllen, muß die Dicke einer betonierten Schicht von gleicher Zusammensetzung und bei gleicher Temperatur wie bei der Laggan-Mauer mit einem Zement, der 65 cal pro g in sieben Tagen entwickelt, auf 15 cm pro Tag beschränkt werden, das bedeutet: Schichten von 1,07 m Dicke innerhalb von sieben Tagen. In der Abbildung wird angenommen, daß die durchschnittliche Lufttemperatur während der Zeit des Betonierens bis zur Erreichung der maximalen Temperaturerhöhung sich nicht wesentlich ändert. Jahreszeitliche Temperaturschwankungen bedingen Zunahme oder Abnahme des Temperaturgefälles innerhalb der Mauer. Bei ansteigender Lufttemperatur würde die Temperaturkurve weniger steil sein, und das Umgekehrte würde eintreten, wenn die Lufttemperatur beständig fällt. Wenn Zement verwendet würde, der nur 55 cal je g nach sieben Tagen entwickelt, so könnte die Betonierungsgeschwindigkeit um 20% gesteigert werden, ohne daß dadurch die Gefahr der Rissebildung erhöht würde.

Die Untersuchungen haben natürlich keine abschließenden Ergebnisse erbracht, denn um diese zu erhalten, müßte man noch andere Versuche als die mit der Laggan- und Galloway-Mauer machen.

---

<sup>2</sup> Elastizitätsmodul nach Berücksichtigung des Kriechens.