Die Auswirkungen von Temperaturänderungen auf die Verformung stabförmiger Tragwerke

Autor(en): **Uherkovich, Igor**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **IABSE reports of the working commissions = Rapports des commissions de travail AIPC = IVBH Berichte der Arbeitskommissionen**

Band (Jahr): **6 (1970)**

PDF erstellt am: **25.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-7810

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Die Auswirkungen von Temperaturänderungen auf die Verformung stabförmiger Tragwerke

Temperature Effects in Framed Structures

Les effets des changements de température sur les déformations des cadres

IGOR UHERKOVICH
Schweiz

Das klassiche Ingenieurdenken, das sich hauptsächlich auf den Endzustand konzentriert, nämlich die Dauerstandsicherheit des Bauwerkes zu beurteilen, und den vorübergehenden Zuständen nicht allzu viele Aufmerksamkeit schenkt, ist noch sehr ausgeprägt. Von drei, auch von diesem Symposium behandelten Einflüssen : Schwinden, Kriechen und Temperatur, kommt letztere weitaus zu kurz. Die meisten Theoretiker wie auch Praktiker tragen der Tatsache zu wenig Rechnung, dass die im Freien sich befindlichen Bauten einer ständig sich ändernden Temperatur der Umgebung ausgesetzt sind, dass sie von der Sonneneinstrahlung oder anderen Wärmequellen direkt beeinflusst werden, dass sie aber diesen unregelmässigen Wärmewellen, wegen der verhältnismässig geringen Wärmeleitzahl des Betons, nicht ganz folgen können. Jeder Punkt eines Baukörpers erhält innerhalb einer gewissen Zeit eine von anderen Punkten verschiedene Temperaturänderung. Als Folge dessen treten am Baukörper Formänderungen und Spannungen auf. Es nützt wenig, Ratschläge für Massnahmen zur Verringerung des Temperatureinflusses zu geben, wenn der überwiegenden Zahl der Ingenieure der ganze Temperaturmechanismus in Baukörpern nicht ganz klar ist. Hinzu kommt ein weiteres. Es gibt heute eine Reihe von Bauverfahren, bei denen die Beherrschung des Deformationsmechanismus der im Bau sich befindenden Konstruktion für die Endform ausschlaggebend ist. So muss man zum Beispiel beim Freivorbau von Brücken den jeweiligen Bauabschnitt so einstellen, dass die Konstruktion nach Aufbringen der ständigen Last und nach Abklingen von Schwinden und Kriechen die vorgesehene Höhenlage einnimmt. Die verlangte Genauigkeit ist dabei ziemlich gross. Ein späterer Ausgleich fordert als Preis meist eine erhöhte ständige Last, die man kaum noch als Nutzlast betrachten kann, die ferner eine Reduktion der Spannungsreserven bewirkt und die häufig ein grösseres Kriechen verursacht. Die durch die sich ständig ändernden Temperatureinflüsse bewirkte Forminstabilität der Konstruktion erschwert aber diese Aufgabe derart, dass sie nicht mehr mit einfachen Mitteln zu bewältigen ist. Es wird daher notwendig, dem Problem eine grössere Aufmerksamkeit zu widmen und zu versuchen, auf Grund einer Analyse den ganzen Vorgang besser kennenzulernen und zu beherrschen.

Als Ausgangspunkt muss man sich der physikalischen Kenntnisse über die Wärmetechnik bedienen und erst nachher die daraus ermit-

telten Wärmeeinflüsse von unserem bautechnischen Standpunkt aus prüfen. Die Wärme als Energie ist hier einer Last gleichzustellen. Zuerst ist daher die Grösse und Verteilung dieser "Last" zu bestimmen.

Die mit der Zeit veränderliche Temperaturerhöhung T eines dreidimensionalen Körpers an der Stelle m(x,y,z) ist allgemein durch die Fourierische partielle Differential-Gleichung definiert :

$$\frac{\delta T}{\delta t} = a^2\left(\frac{\delta^2 T}{\delta x^2} + \frac{\delta^2 T}{\delta y^2} + \frac{\delta^2 T}{\delta z^2}\right) \qquad [1]$$

wobei $a^2 = \frac{\lambda}{c \cdot \gamma}$

eine physikalische, ausschliesslich durch die Materialeigenschaften gegebene Konstante darstellt (λ = Wärmeleitzahl, c = spezifische Wärme, γ = Rohdichte). Man muss dabei berücksichtigen, dass die Wärmezufuhr in den Körper nicht nur durch Wärmeströmung von der umschliessenden Umgebung, die durch die Wärmeübergangsformel definiert ist, sondern auch durch die Absorbierung der Wärmestrahlung erfolgt.

Auch wenn die Lösung dieser Aufgabe für komplizierte Baukörper nicht eben als einfach angesehen werden kann, ist sie dank der heutigen Mittel der Rechentechnik doch meist möglich. Um die Randbedingungen zu erfassen und zu formulieren, muss sich aber der Ingenieur bereits auch mit meteorologischen Messungen befassen. Es ist also möglich, das Temperaturfeld eines bestimmten Baukörpers, genauer gesagt die Aenderungen dieses Temperaturfeldes, aus vorgegebenen Temperatureinflüssen rechnerisch herzuleiten.

Die weitere Lösung des Problems ist schon einfacher, wenn auch mit rechnerischem Aufwand verbunden. Die elastische Dehnung des stabförmigen Tragwerkes in Richtung seiner Längsachse x ist zum Zeitpunkt t definiert (wenn y,z die Querschnittskoordinanten sind) :

$$\varepsilon_x = \frac{dx}{ds} = \alpha \frac{1}{F_{yz}} \int_{yz} \Delta T^t_{(y,z)} \cdot df_{(y,z)} \qquad [2]$$

Die Krümmung der Längeneinheit des Stabes ist :

$$\varphi'_{(y)} = \frac{d\varphi_{(y)}}{ds} = \alpha \frac{1}{I_y} \int \Delta T^t_{(y,z)} \cdot y \cdot df_{(y,z)} \qquad [3]$$

$$\varphi'_{(z)} = \frac{d\varphi_{(z)}}{ds} = \alpha \frac{1}{I_z} \int \Delta T^t_{(y,z)} \cdot z \cdot df_{(y,z)} \qquad [4]$$

An der Stelle m(y,z) des Querschnittes bleiben daher Restspannungen, die wegen des Ebenbleibens der Querschnitte in keine Verformung transformiert werden können :

$$\sigma_{T(m)} = E \cdot \alpha \left[\Delta T^{t}_{(m)} - \frac{1}{F} \int \Delta T^{t} df - \frac{y_m}{I_y} \int \Delta T^{t} y \, df - \frac{z_m}{I_z} \int \Delta T \, z \, df \right] \quad [5]$$

Selbstverständlich haben diese Formel nur Gültigkeit bei unbehinderter Verformung des Baukörpers. Trifft das nicht zu, so treten Zwängungsspannungen auf, die dem behinderten Teil der Verformung entsprechen. Bei veränderlichem Querschnitt oder ungleichem Wärmeeinfluss längs der x-Koordinate sind die Ausdrücke der zu integrierenden Glieder um die veränderliche x noch zu erweitern.

Die Grössenordnung der von Temperaturänderungen verursachten Verformungen und Spannungen will ich an einem Beispiel veranschaulichen. Der durch einen Temperaturunterschied in der Luft von +10° C innert 5 Stunden und eine kurzzeitige intensive Sonneneinstrahlung verursachte Temperaturanstieg verschiedener Messpunkte eines vereinfachten Brückenquerschnittes ist aus Bild 1 ersichtlich.

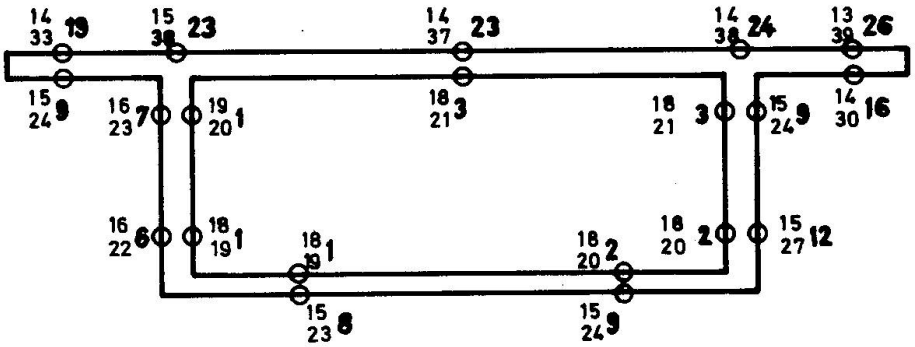

Bild 1 **Zwei nacheinander folgende Temperaturmessungen und die Differenzen in °C an einem Brückenquerschnitt**

1m 1m

Unter der Annahme, dass sich dieses Bild in allen (immer gleichen) Querschnitten eines 40 m langen Kragarmes wiederholt, ergibt sich aus Gl.[3] für die Durchbiegung am Ende des Kragarmes ein Wert von 23 mm, was einer elastischen Durchbiegung unter einer am Kragarmende angreifenden Einzellast von 55 Mp oder einer gleichmässig über die ganze Brückenplatte verteilten Last von 300 kp/m^2 entspricht. Wie ersichtlich, können die Verformungen die rein auf im Laufe eines Vormittags sich veränderten klimatischen Verhältnissen zurückzuführen sind gleich gross sein, wie etwa die vom Gewicht eines 3 m langen Betonierabschnittes! Diese berrechneten Werte stimmen mit auf der Baustelle gemessenen gut überein.

Zu den Verformungen kommen noch Restspannungen (Gl.[5]), wie sie in Bild 2 dargestellt sind. Sie wurden an verschiedenen Punkten des Querschnittes ermittelt. Die Grösse dieser Spannungen ist so beträchtlich, dass man sie nicht vernachlässigen sollte.

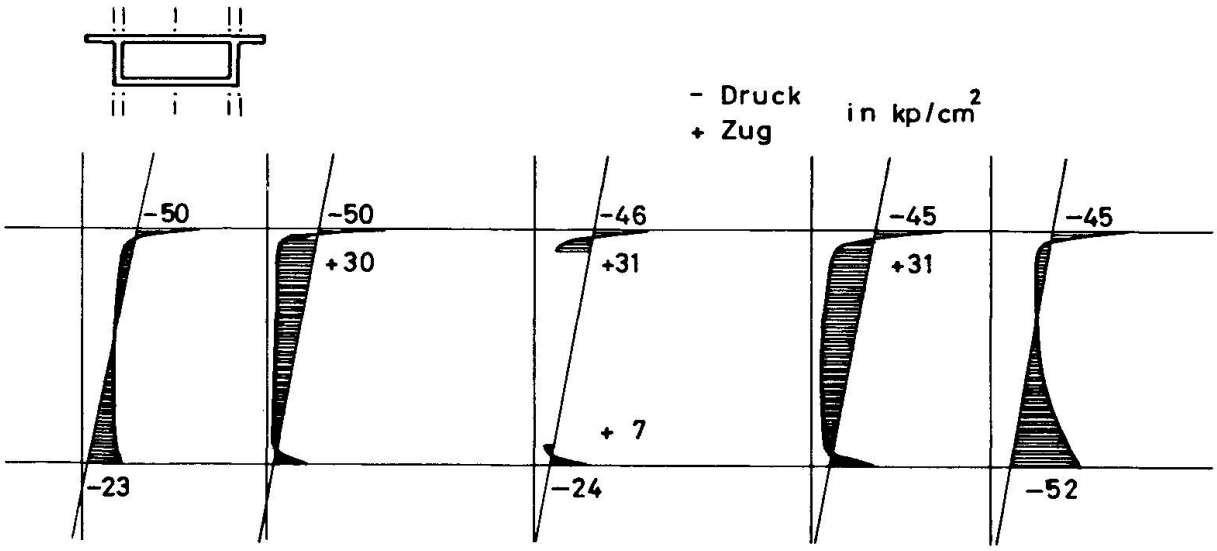

Bild 2 **Temperaturspannungen in Folge einer Erwärmung nach Bild 1 an frei verformbarem Stab, bei Annahme E=400'000kp/cm²**

Die praktische Ermittlung der Auswirkungen von Temperatureinflüssen ist auf drei Wegen möglich :

1. Eine rein theoretische, rechnerische Lösung, welche wie erwähnt die Aufstellung eines klimatischen Modells erfordert und zu komplizierten, mathematischen Ausdrücken (Gl. **[1]**) führt. Dieser Weg ist nur mit entsprechenden Computern zu bewältigen, ist aber allein imstande, schon bei der Projektierung ein Bild über diese Einflüsse zu schaffen.

2. Durch die Temperaturmessung an schon ausgeführten Bauabschnitten einer im Bau befindlichen Konstruktion. Mit diesen gemessenen Werten führt man gemäss Gl.[2] - [5] die Verformungs- und Spannungsberechnung durch. Bei Trägern mit veränderlichem Querschnitt wird dabei ein Tischcomputer von höchstem Nutzen sein.

3. Die direkte Verformungsmessung. Da man bei normalen Nivelliermethoden wegen des grossen Zeitaufwandes zu spät Resultate erhält, möchte ich dazu eine feste Installation vorschlagen, bei der eine Polaroid-Camera montiert an einem selbstjustierenden Nivelliergerät von einer festen Messstelle aus Messlineale fotografiert, die am Bauwerk unverrückbar befestigt sind. Dies ermöglicht in wenigen Minuten Resultate vorliegen zu haben, mit denen Höhenkorrekturen vorgenommen werden können.

Am besten wäre es, an ausgewählten Bauobjekten alle drei Methoden zu erproben, um vergleichen zu können.

Ueber das Thema Temperatureinflüsse auf Betonbauten liegen viele wertvolle Resultate vor, Messungen und theoretische Arbeiten auf

den Gebieten Bautenbrandschutz, Kaminbau, Betonfahrbahnen, Talsperren. Es ist eine unserer Aufgaben, auf diesen Erkenntnissen weiterzubauen, um auch dem Ingenieur, der auf anderen Gebieten des Bauwesens tätig ist und sich mit diesem Problem noch nicht beschäftigt hat, den Blick dafür zu öffnen.

ZUSAMMENFASSUNG

Bei im Freien stehenden Beton-Konstruktionen können unter Einwirkung von Aussentemperatur und Sonneneinstrahlung Formänderungen und Eigenspannungen beträchtlicher Grösse auftreten. Die Temperaturverteilung in der Konstruktion ist durch Lösung der Fourierschen Differentialgleichung erfassbar. Bei bekannten Temperaturfeldern sind dann die Verformungen und Spannungen leicht zu ermitteln.

SUMMARY

The influence of external temperature and solar irradiation on open-air concrete structures can create large internal deformations and stresses. The temperature distribution in a structure can be determined by solving the Fourier differential equation. With the temperature fields known, it is a simple matter to determine the resulting deformations and stresses.

RESUME

L'influence de la température extérieure et du rayonnement solaire direct sur les constructions en béton peut donner des déformations et des contraintes internes très grandes. En résolvant l'équation différentielle de Fourier, on obtiendra la distribution de la température dans la construction; ensuite, on calculera facilement les déformations et les contraintes.

Leere Seite
Blank page
Page vide