

Temperaturspannungen in Spannbetonbrücken

Autor(en): **Bosshart, H.**

Objektyp: **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: **09.08.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-7765>

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.

Temperaturspannungen in Spannbetonbrücken

Thermal Stresses in Prestressed Concrete Bridges

Contraintes thermiques dans des ponts en béton précontraint

H. BOSSHART
Dipl.-Ing.
Brückenbau SBB
Bern, Schweiz

1. Vorbemerkungen

Die Temperatureinflüsse auf Tragwerke des Brückenbaues sind ausserordentlich manigfaltiger Natur. Die jahreszeitlichen grossen Temperaturschwankungen beeinflussen eine Brücke gleichmässig über den Querschnitt und erzeugen Beanspruchungen nur soweit die freie Längenänderung behindert ist. Von grösserer Bedeutung sind die relativen momentanen Temperaturunterschiede innerhalb eines Brückenquerschnittes. Solche Temperaturdifferenzen treten in einer Spannbetonbrücke zunächst beim Abbinde- und Erhärtungsprozess des Betons auf, wobei auch nach dem teilweisen Abbau durch Kriechvorgänge Eigenspannungen im Tragwerk zurückbleiben, I 1 I. Dann beginnen die täglichen, durch die Witterung bedingten Temperatureinflüsse, welche zu nichtlinearen Temperaturdifferenzen innerhalb des Tragwerkes führen. Ihre täglich wechselnde Wirksamkeit gefährdet besonders das noch junge Bauwerk durch bedeutende zusätzliche Beanspruchungen sowohl in Quer- wie in Längsrichtung, je nach den Auflagerbedingungen und der Querschnittsgestaltung.

Beim Entwurf von Spannbetonbrücken ist es üblich, in einem zweiten Berechnungsgang für die Zusatzlasten solche Temperaturwirkungen zu berücksichtigen. Dabei werden je nach den klimatischen Verhältnissen vereinfachte Annahmen getroffen, etwa, dass bei einem Kastenquerschnitt in der obersten, gegenüber der untersten Faser der Fahrbahnplatte eine Temperaturdifferenz von $\pm 10^{\circ}$ C auftreten kann. Diese Annahmen können aber je nach der Ausbildung der Brückenoberfläche ganz erheblich von der Realität abweichen, wie an einem Beispiel gezeigt werden soll.

2. Messungen an der Schanzenstrassenbrücke in Bern

Diese 1959-60 gebaute Brücke weist einen dunklen Asphaltbetonbelag von 6 cm Stärke auf, der direkt auf dem Beton liegt. Sie weist ein nach Süden gerichtetes Gefälle von 5,5 ‰ auf (Bild 1). Gemessen wurde in 4 repräsentativen Punkten eines Querschnittes mittels elektrischer Widerstandstemperaturgeber (Bild 2a). Die täglichen Schwankungen unter dem Einfluss der Sonnenstrahlung und der nächtlichen Wärmeabstrahlung in den 4 Messpunkten wurde kontinuierlich über mehrere Monate aufgezeichnet, ebenso die Lufttemperatur (Bilder 3 und 4). Trotz der geringen Anzahl Messpunkte ergibt sich ein instruktiver Aufschluss über die im täglichen Rhythmus besonders bei klarem Wetter auftretenden Temperaturunterschiede innerhalb der Fahrbahnplatte und gegenüber dem Steg des Kastenquerschnittes. Es wird ein Zeitpunkt ausgeprägter momentaner Temperaturdifferenzen herausgegriffen.

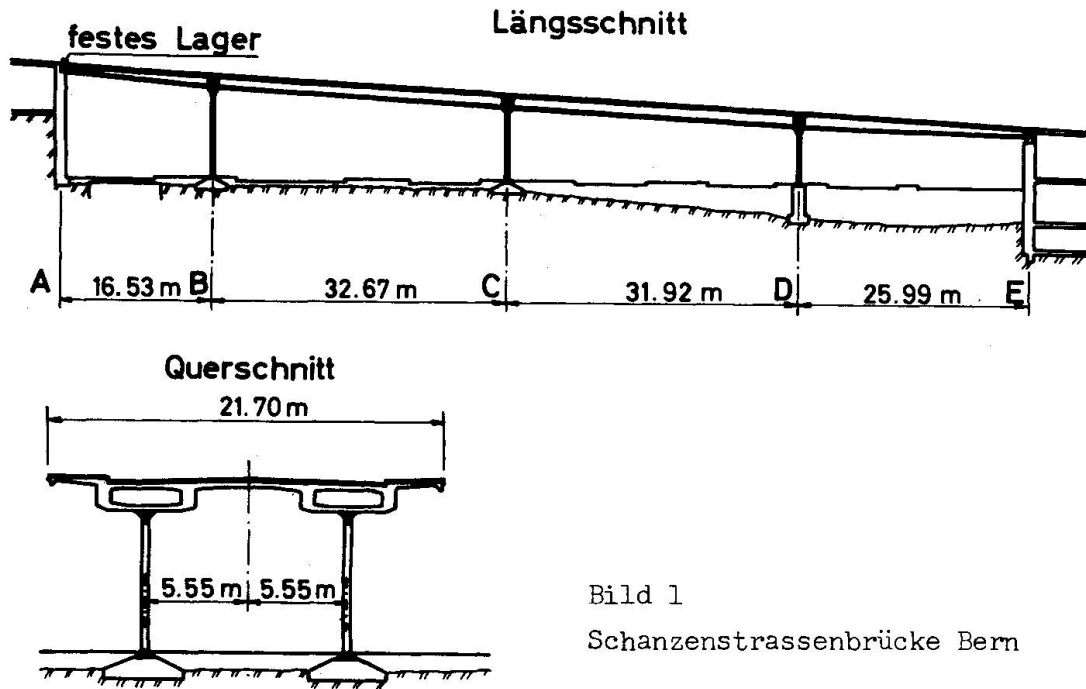


Bild 1

Schanzenstrassenbrücke Bern

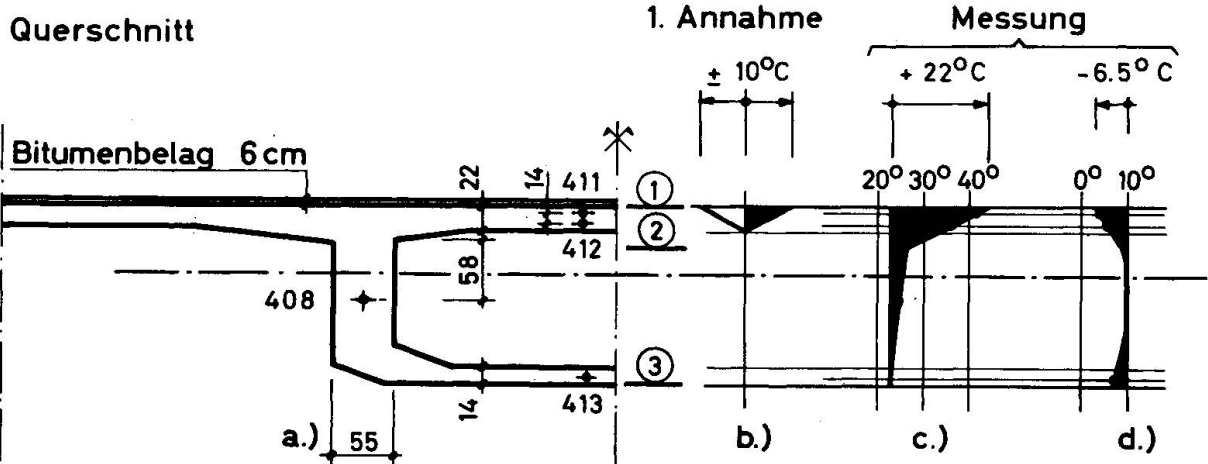


Bild 2 a. Anordnung der Temperaturmessgeber 411, 412, 408, 413
 b. Angenommene Temperaturdifferenz für stat. Berechnung
 c. Gemessene Temperaturverteilung am 22. Juni 1960 (Bild 3)
 d. Gemessene Temperaturdifferenz am 13. April 1960 (Bild 4)

etwa am 22. Juni 1960. Aufgrund der relativ kurzen Beobachtungsdauer dürfte es sich noch nicht um einen absoluten Extremfall handeln. Es stellt sich aber dabei heraus, dass bei Sonneneinstrahlung erhebliche grössere Werte erreicht werden, als der ursprünglichen statischen Berechnung zu Grunde gelegt wurden. Linear extrapoliert erstreckt sich das Temperaturgefälle von ca. $0,5^{\circ}\text{C}/\text{cm}$ bis in den Steg unterhalb des Ansatzes der Vouten und erreicht über den ganzen Querschnitt insgesamt 22°C (Bild 2c), während der grösste Unterschied der Lufttemperatur an jenem Tage 14°C betrug. Die infolge Abkühlung gemessenen Temperaturunterschiede, z.B. am 13. April 1960 erreichen nicht so grosse absolute Werte und liegen wohl etwa im Rahmen der ursprünglichen Annahme von -10°C .

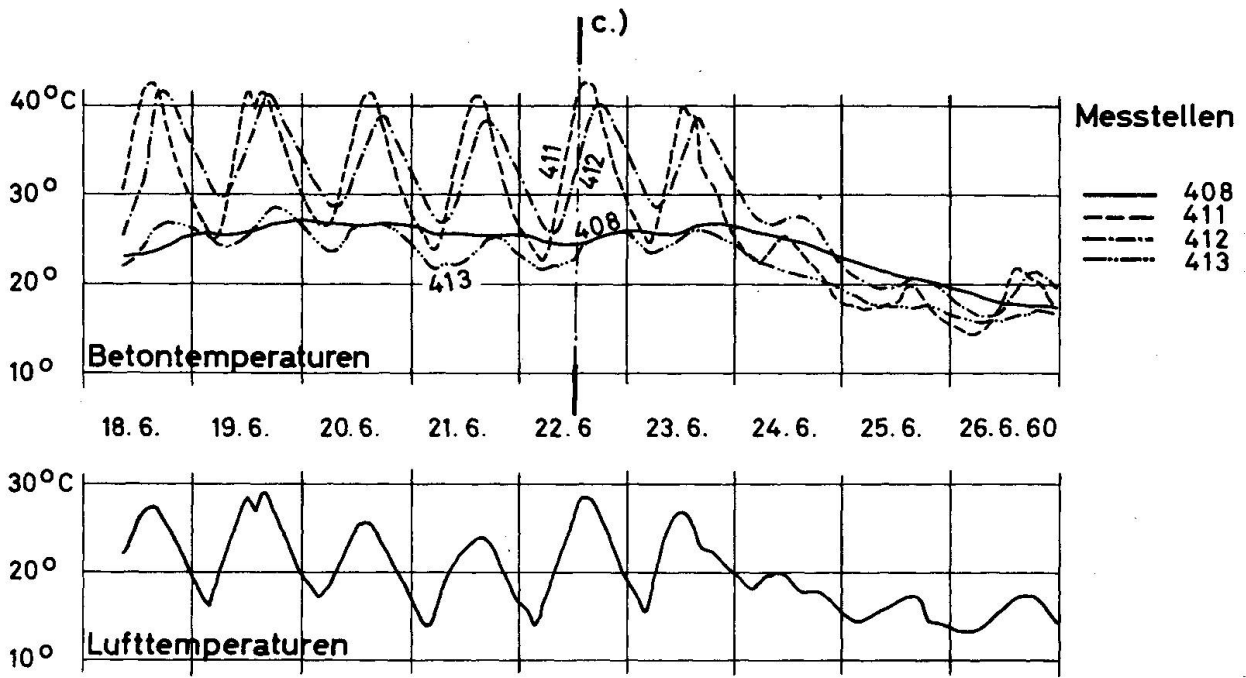


Bild 3 Beton- und Lufttemperaturen Juni 1960

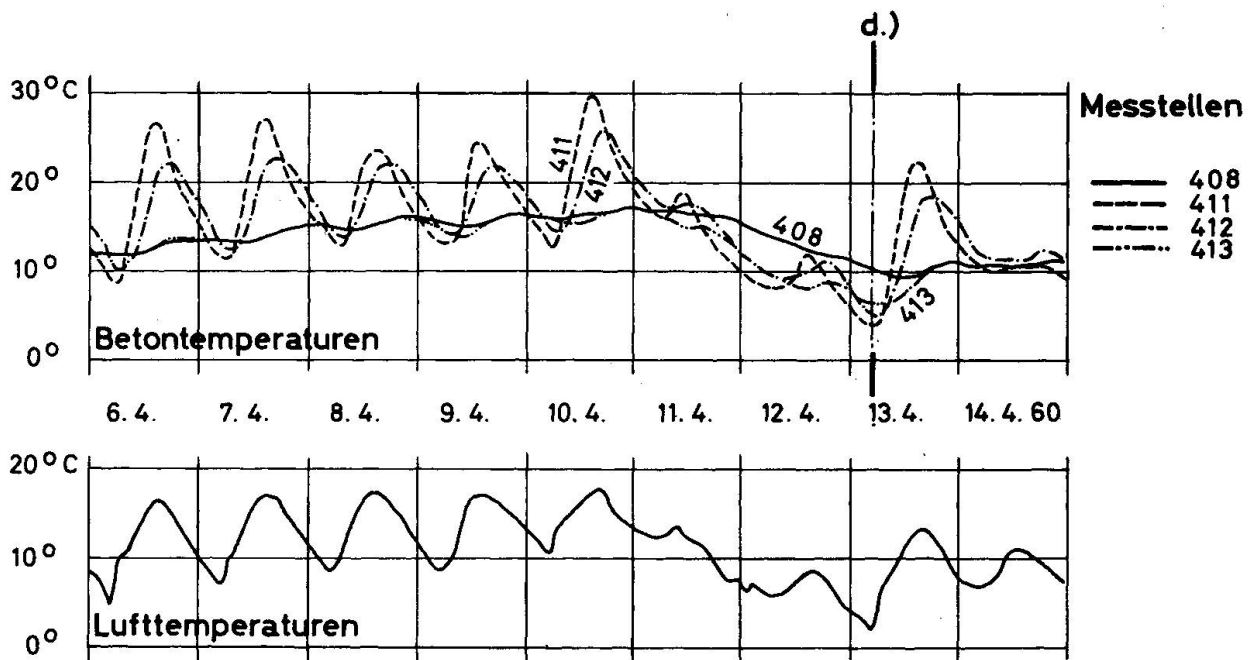


Bild 4 Beton- und Lufttemperaturen April 1960

Da sie aber in der Regel allseitig an der ganzen Querschnittsoberfläche auftreten, nicht nur vornehmlich in der Fahrbahnplatte, sind sie besonders für die Beanspruchungen in Querrichtung zur Brückenachse bedeutsam I 2 I.

3. Normalspannungen infolge Erwärmung der Brückenplatte

Die folgende Betrachtung beschränkt sich auf die Eigenspannungen, welche durch das Temperaturgefälle gemäss Bild 2c in der Brückenlängsrichtung hervorgerufen werden. Diese Eigenspannungen wurden rechnerisch ermittelt, wobei folgende vereinfachende Annahmen getroffen wurden:

- Elastizitätsmodul für kurzzeitige Belastung $E_D = 400'000 \text{ kg/cm}^2$
- Vernachlässigung der schlaffen Armierung
- Analoges Temperaturverlauf über die ganze Brückenlänge und Brückenbreite
- Vernachlässigung der Unsymmetrie infolge Trottoirkonsolen

Die Temperaturdifferenzen erzeugen durch ihren nichtlinearen Verlauf über die ganze Querschnittshöhe Zwängungen innerhalb eines Querschnittes, die sogenannten Eigenspannungen 1. Art, welche nach der von P. Lardy aufgestellten Theorie der Eigenspannungen ermittelt werden I 3 I. Ferner ergeben sich aus der äusseren statischen Unbestimmtheit des Systems positive Biegemomente über die ganze Länge des durchlaufenden Balkens (Bild 5a), welche die Eigenspannungen 2. Art ergeben.

Der Verlauf der resultierenden Eigenspannungen (1. + 2. Art) ist in Bild 5b) für 3 Fasern über die ganze Brückenlänge dargestellt.

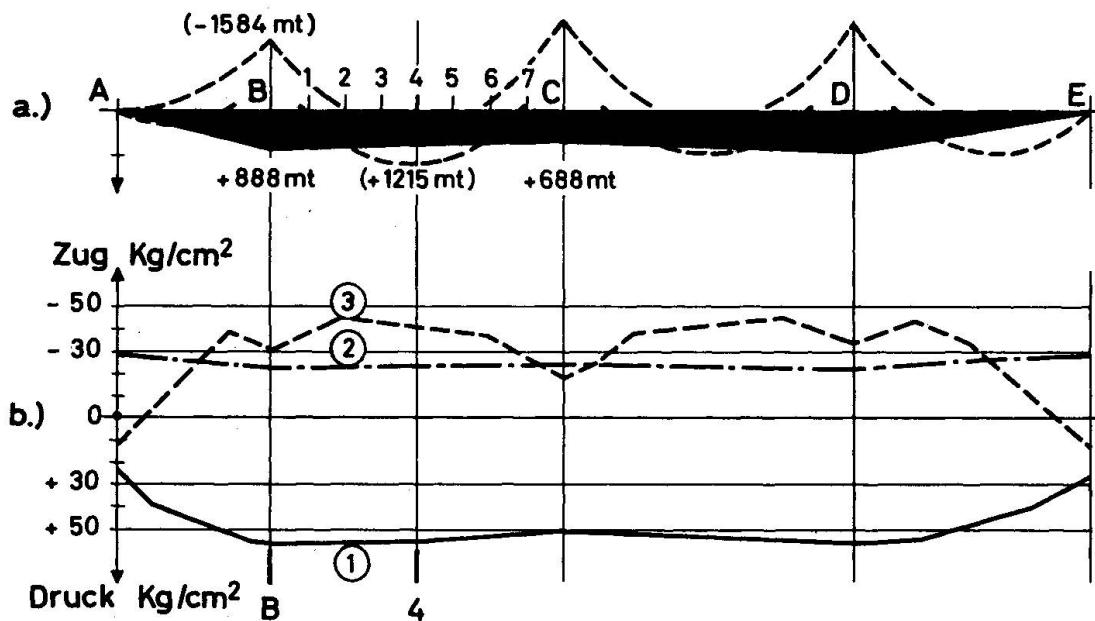


Bild 5 a) Zwängungsmomente am durchlaufenden Balken
b) Resultierende Eigenspannungen für 3 Fasern

- ① Oberste Faser der Fahrbahnplatte
- ② Faser im Steg in der Nähe des Voutenansatzes
- ③ Unterste Faser des Querschnitts

Für zwei charakteristische Querschnitte, einen Feldquerschnitt und einen Stützenquerschnitt sind in Bild 5 die Eigenspannungen 1. und 2. Art getrennt dargestellt (5a und b). Weiter sind in dieser Figur die totalen Eigenspannungen aus Temperatur (c) den Normalspannungen aus den Hauptlasten (Eigengewicht, Vorspannung $T = \infty$) und maximaler resp. minimaler Nutzlast gegenübergestellt.

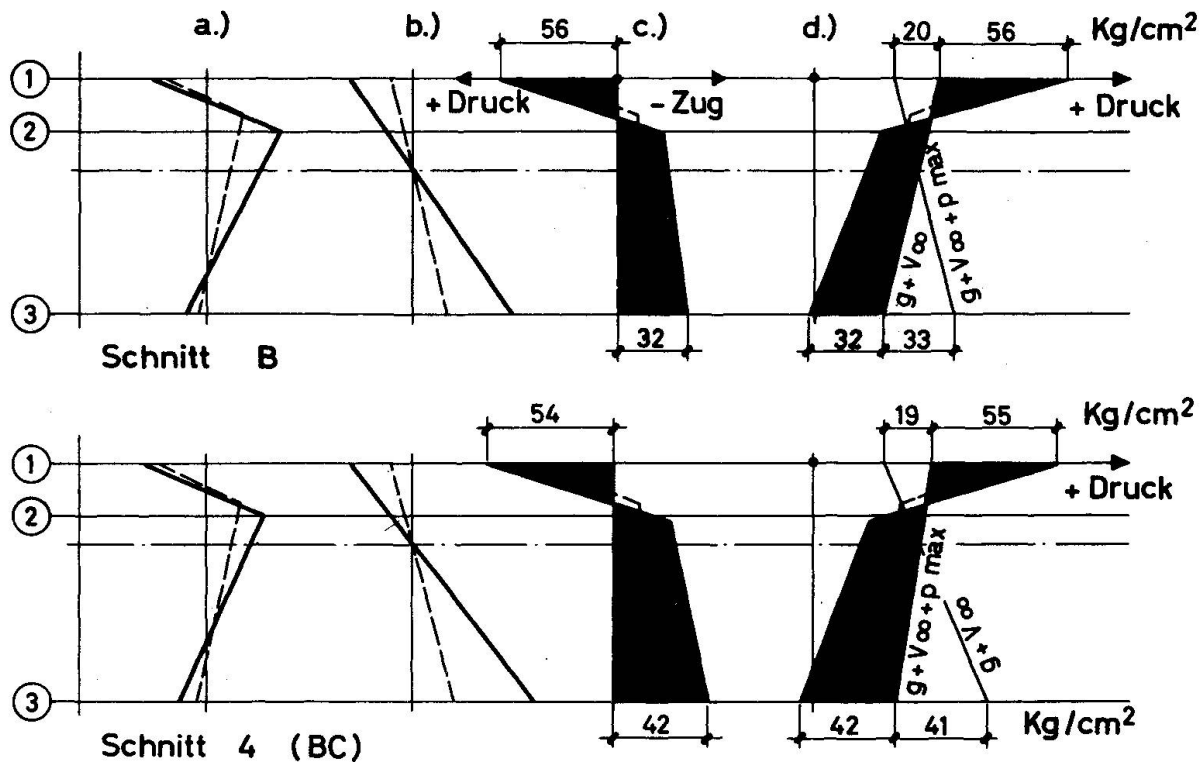


Bild 6 a) Eigenspannungen 1. Art
 b) Eigenspannungen 2. Art
 c) Resultierende Temperaturspannungen 1. und 2. Art
 d) Zusammenstellung mit den Spannungen aus Hauptlasten

Im Feldquerschnitt 4 (BC) treten infolge der gemessenen Temperaturdifferenzen Zugspannungen von rund 42 kg/cm^2 auf, gegenüber 41 kg/cm^2 aus maximaler Nutzlast. In der obersten Faser erreichen die Temperaturspannungen fast den dreifachen Wert des Nutzlasteinflusses, nämlich 55 kg/cm^2 .

Im Querschnitt B über der Stütze ist der untersuchte Temperatureinfluss von der gleichen absoluten Grössenordnung wirkt jedoch dem Einfluss der Nutzlast und des Eigengewichtes entgegen, und zwar soweit, dass in der untersten Faser Zugspannungen entstehen können.

Im Steg des Kastenquerschnittes rufen die beobachteten Temperaturunterschiede Zugspannungen in der Grössenordnung von 20 - 25 kg/cm^2 hervor, wodurch in der Stützennähe die schrägen Hauptzugspannungen ungünstig beeinflusst werden.

Im betrachteten Bauwerk tritt aus den unerwartet hohen Temperaturbeanspruchungen keine Gefährdung ein, weil aus konstruktiven Gründen die Dimensionen reichlich gewählt wurden und daher die zulässigen Spannungen nicht voll ausgenutzt werden konnten. Ferner tritt die rechnerische Nutzlast sehr selten auf und kaum gleichzeitig mit den extremalen Temperaturdifferenzen. Es wurden keine Risse beobachtet.

Bei Tragwerken mit voller Materialausnützung und besonders wenn im Sinne neuerer Empfehlungen auf volle Vorspannung verzichtet wird, dürfte es ratsam sein, vorsichtige Annahmen hinsichtlich der Temperatureinflüsse zu treffen und diese so weit möglich auf Messwerte zu begründen. Es mag daher von Interesse sein, zur Ergänzung der vorstehenden Ausführungen die Resultate ähnlicher Temperaturmessungen an einer Eisenbahnbrücke bekanntzugeben.

4. Temperaturmessungen an der Verbindungsbrücke bei Brugg

Der Querschnitt der untersuchten Spannbetonbrücke ist auf Bild 7a dargestellt. Die vor dem Aufbringen des Schotterbettes gemessenen Temperaturverhältnisse zeigen, dass die festgestellten Differenzen im Beton etwas geringer sind als bei der Schanzenbrücke, obwohl die klimatischen Verhältnisse weitgehend die gleichen waren. Dies dürfte darauf zurückzuführen sein, dass die helle Betonoberfläche weniger Wärmestrahlung absorbierte als der Schwarzbelag der Schanzenbrücke. Der Temperaturverlauf über mehrere Tage ist im Bild 8 aufgetragen.

Verbindungsbrücke in Brugg Temperaturverteilung

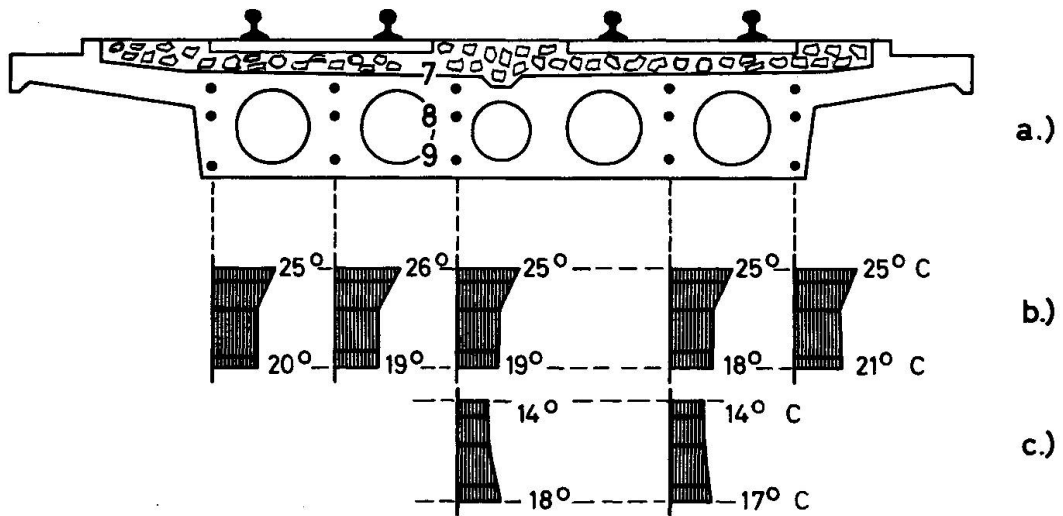


Bild 7 Verteilung der Temperatur im Betonquerschnitt

Verbindungsbrücke in Brugg ohne Schotterbett

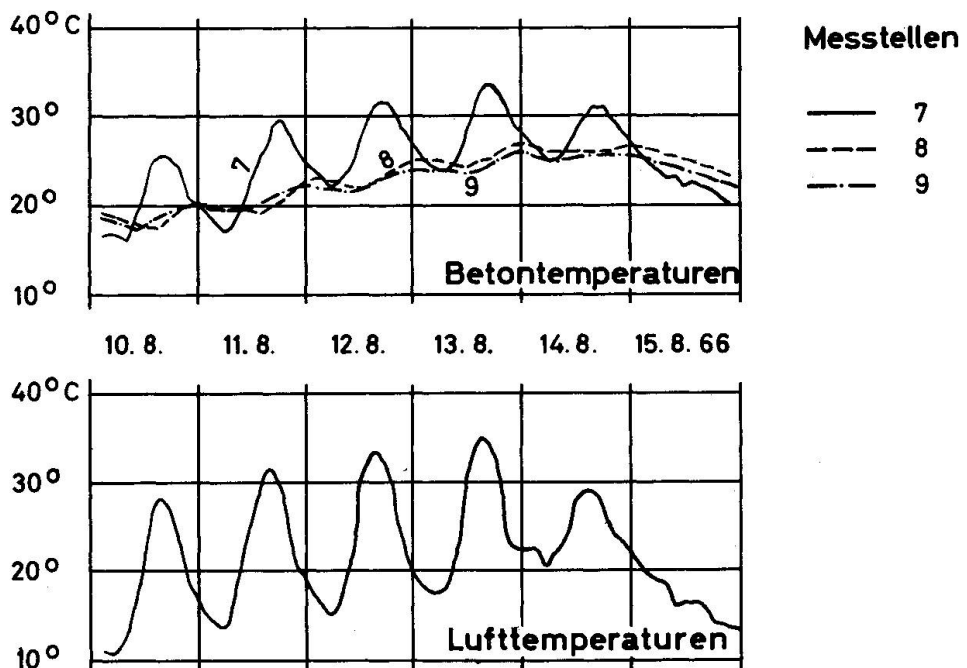


Bild 8 Beton- und Lufttemperaturen im August 1966. Brücke ohne Schotterbett

Die Verteilung der Temperaturen über den Brückenquerschnitt ist aus dem Bild 7b ersichtlich. Die Lufttemperatur an diesem sonnigen Tage stieg von 11°C am frühen Morgen bis auf 28°C am frühen Nachmittag. Es wurde also ein Temperaturunterschied von 17°C erreicht. Die grösste Temperaturdifferenz zwischen der obersten und untersten Messtelle im Beton betrug am Nachmittag maximal 8°C .

Nach Aufbringen des Schotterbetts auf der Brücke wurden die gleichen Messungen an einem sonnigen Tage mit vergleichbaren Verhältnissen durchgeführt. Den Verlauf über mehrere Tage zeigt Bild 9. Obwohl die Temperaturänderungen der Luft im gleichen Rahmen liegen wie bei der ersten Messung nämlich $\Delta t = 17,5^{\circ}\text{C}$ beträgt die Temperaturdifferenz im Beton bei der mit Schotter bedeckten Brücke nur noch $4,5^{\circ}\text{C}$. Es ist bemerkenswert, dass in diesem Falle die höchste Betontemperatur im untern Teil des Querschnitts auftritt. Die Wärmeisolation, die durch das Schotterbett erreicht wird, bewirkt also, dass die Temperaturen an der untern Fläche der Brücke stärker ändernd direkt unter dem Schotter an der obern Fläche der Betonplatte (Bild 7c).

Verbindungsbrücke in Brugg mit Schotterbett

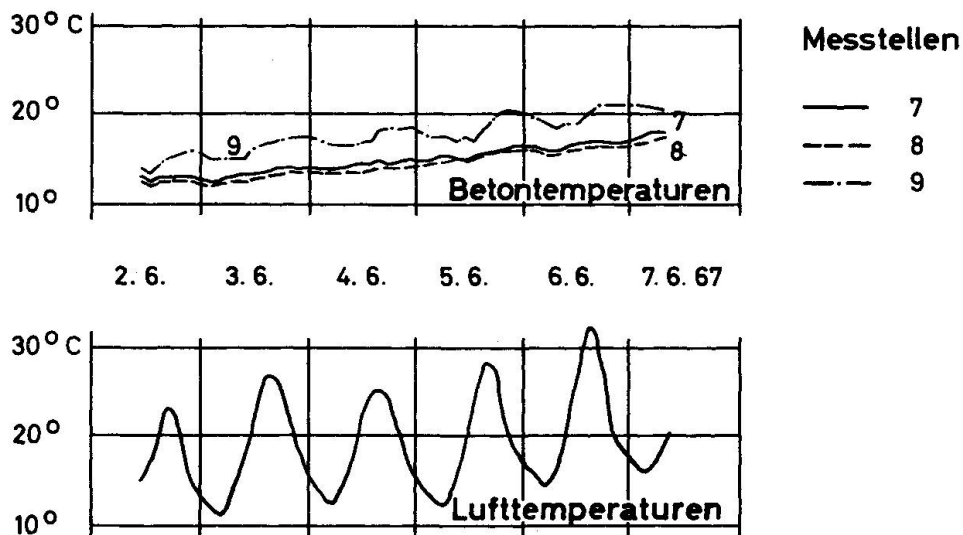


Bild 9 Beton- und Lufttemperaturen im Juni 1967. Brücke mit Schotterbett

Wie aus diesen Untersuchungen hervorgeht, schützt das Schotterbett die Brückenüberbauten wirksam gegen die klimatisch bedingte Wärmeeinstrahlung und vermindert damit wesentlich die zusätzlichen Beanspruchungen, welche durch die Temperaturdifferenzen in der Brückenplatte verursacht werden.

Literatur:

- 1 Schreck Ph: Risse im Spannbeton und deren Ursache. Die Bautechnik 40 (1963) H. 8.
- 2 Leonhardt/Kolbe/Jörg: Temperaturunterschiede gefährden Spannbetonbrücke, Beton- und Stahlbetonbau, 60 (1965) H.7.
- 3 Lardy, P.: Eigenspannungen und vorgespannter Beton, Schweiz. Bauzeitung 121 (1943) S. 51.

ZUSAMMENFASSUNG

Im vorliegenden Diskussionsbeitrag wird über einige Temperaturmessungen in Querschnitten von Spannbetonbrücken berichtet. Für eine Strassenbrücke mit Schwarzbelag werden die täglichen Temperaturschwankungen dargestellt, woraus die grösste momentane Temperaturdifferenz zwischen der obersten Faser der Brückenplatte und dem Steg des Hohlquerschnittes entnommen wird. Für diesen Zustand werden die Resultate der Eigenspannungsberechnung in einzelnen Querschnitten des durchlaufenden Trägers dargestellt und gezeigt, dass dieselben den Einfluss der Nutzlast übertreffen können.

SUMMARY

This paper, which is intended as a contribution to the discussion, informs the reader about some results of temperature investigations that have been made in cross sections of prestressed concrete bridges. The daily fluctuations in temperature as they occur in a highway bridge with bituminous coating are plotted, from which the biggest difference in temperature between the top fibre of bridge plate and the web of the hollow section is taken. The calculations of the corresponding residual stresses in characteristic cross sections of the continuous girder appears, that their values preponderate the effect of the live load.

RESUME

L'auteur relate quelques mesures de température effectuées dans des sections de ponts en béton précontraint. Il considère un pont routier à revêtement bitumineux où, à partir des variations journalières de température, il détermine la plus grande différence momentanée entre la fibre supérieure du tablier et l'âme de la poutre caisson continue. Un calcul des contraintes propres correspondantes fait ressortir que celles-ci dépassent largement les valeurs attendues et, dans différentes sections, prédominent sur l'influence de la charge utile.