**Zeitschrift:** IABSE reports of the working commissions = Rapports des

commissions de travail AIPC = IVBH Berichte der Arbeitskommissionen

**Band:** 22 (1975)

**Artikel:** Das Einwirkungen der Brandtemperatur auf eine

Stahlträgerverbundkonstruktion

Autor: Czarnowski, Kazimierz / Duc, Edward / Dyczkowski, Jacek

**DOI:** https://doi.org/10.5169/seals-19388

### Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

### **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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

#### 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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

**Download PDF: 23.10.2025** 

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

## Das Einwirken der Brandtemperatur auf eine Stahlträgerverbundkonstruktion

The Influence of the Fire Temperature on a Composite Steel Structure

L'influence de la température d'incendie sur une structure mixte en acier

Kazimierz CZARNOWSKI

**Edward DUC** Doz. Dr. habil. Ing. Mgr. Ing.

Polytechnische Hochschule Wroclaw/Polen

Jacek DYCZKOWSKI Mgr. Ing

## 1. Einleitung

Die Bestimmung einer Wirksamen Sicherung gegen Wärmeeinfluss auf eine Baukonstruktion, insbesondere eine Feuerwiderstandsermittlung, beruht auf wärmetechnischen und statischen Berechnungen. Die wärmetechnischen Berechnungen ergeben den richtigen Temperaturzustand in einem Bauteil, und sie bestimmen die Zeit, in welcher die kritische Temperatur tk erreicht wird. Zu diesem Zeitpunkt wird die Feuerwiderstandsgrenze erreicht. Aus den Beobachtungen der Temperaturfelder geht hervor, dass die kritische peratur nur an einer Stelle erreicht wird. Aus den näheren trachtungen der Temperaturfelder und des kritischen Zeitpunktes, in welchem eine Baukonstruktion unter einer zulässigen Last dem Angriff von Feuer bzw. technologischer Wärme standhält, kann man einige Schlussfolgerungen über einen wirksamen bautechnischen Brandschutz ziehen. Man kann sogar eine Feuerwiderstandsklasse der Baukonstruktion auf grund der Brandlast bestimmen (Brandraumtemperatur-Zeit-Kurve).

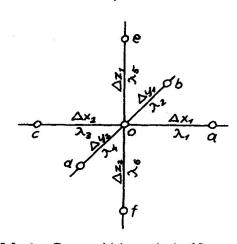
In den Baukonstruktionen geht der Wärmedurchfluss meistens in drei Richtungen vor sich. Mit der Temperatur ändern sich u.a. die Wärmeleitzahl ), die spezifische Wärme C und der Festigkeitswert der Baustoffe. Die Temperaturkurven verlaufen auf der Oberfläche der Baukonstruktion nicht linear. Sie sind von einer Reihe thermodynamischen Einflussfaktoren abhängig.

## 2. Numerische Methode zur Lösung der nichtstationären Wärmeleistung

Auf Grund der elementaren Wärmebilanzmethode kan man die Lösung der nichtstationären Wärmeleitung am besten durchführen. Die Wärmezunahme  $\Delta Q$  einer elementare Zelle der Grösse  $\Delta x$ ,  $\Delta y$ , Az ist gleich der Summe des Wärmezuflusses  $\Sigma_i Q_i$  in der Zeit  $\tau$  im Gitterpunkt der Zelle. Legt man dann fest, dass acht Zellen einen gemeinsamen Gitterpunkt haben (das ergibt sich aus der Raumgittereinteilung, Bild 1), und dass die Baufaktoren mit der Zeit geändert werden, so ist die Wärmebilanzgleichung wie folgt:

$$\Delta Q = (t_0, \tau + \Delta \tau - t_0, \tau) \cdot 0.125(c_1 \Delta x_1 \Delta y_1 \Delta z_1 + c_2 \Delta x_2 \Delta y_1 \Delta z_1 + c_3 \Delta x_2 \Delta y_2 \Delta z_1 + c_4 \Delta x_1 \Delta y_2 \Delta z_1 + c_5 \Delta x_1 \Delta y_1 \Delta z_2 + c_6 \Delta x_2 \Delta y_1 \Delta z_2 + c_7 \Delta x_2 \Delta y_2 \Delta z_2 + c_8 \Delta x_1 \Delta y_2 \Delta z_2)$$
(1)

wobei AQ - die Wärmezunahme im betrachteten Gitterpunkt bei Zeitänderung Az ist und die Temperatur von to.Z bis to. T+47 betrachtet wird.



Wen man ein regelmassiges Raumgitter

$$\Delta x_1 = \Delta x_2 = \Delta y_1 = \Delta y_2 = \Delta z_1 =$$

$$= \Delta z_2 = \Delta x$$

verwendet, so ergibt sich für den Mitteltemperaturzuwachs in einem Gitterpunkt in der Zeit ATdie Gleichung

$$t_{0,\tau+\Delta t} - t_{0,\tau} = \frac{\sum_{i=1}^{i=6} Q_i}{0,1254x^3 \sum_{i=1}^{i=6} C_1}$$
in welcher  $Q_i = \int_{A} (t_{i,t} - t_{i,t}) dx_i$ 

in welcher 
$$Q_1 = \lambda_1(t_{\alpha,\tau} - t_{0,\tau}):\Delta x$$
;

Bild 1. Raumgittereinteilung  $Q_2 = \lambda_2(t_{b,\tau} - t_{0,\tau}):\Delta x$ ;  $Q_3 = \lambda_3(t_{c,\tau} - t_{0,\tau}):\Delta x$ ;  $Q_4 = \lambda_4(t_{d,\tau} - t_{0,\tau}):\Delta x$ ;  $Q_5 = \lambda_5(t_{e,\tau} - t_{0,\tau}):\Delta x$ ;  $Q_6 = \lambda_6(t_{f,\tau} - t_{0,\tau}):\Delta x$ .

Die Wärmeleitzahl  $\lambda_i$  und die spezifische Wärme  $C_1$  sind

Funktionen der Zeit  $\mathcal{T}$ .

Die Gleichungen (2) werden für jeden Mittelpunkt des Raumgitters aufgebaut, somit stellen die einzelnen Matritzen Daten  $(\lambda(\tau), C(\tau))$  in dem Programm dar. Als Ergebnis der wärmetechnischen Berechnungen bekommt man die Temperaturverteilung bei jedem Zeitabstand  $\Delta$  t auf den Aussen- und Innenflächen der Baukonstruktion. Aufgrund der errechneten Temperaturgrössen kann man die betreffenden Spannungen mit Hilfe der Festigkeitsanalysis bestimmen.

## 3. Theoretische Bestimmung der Festigkeit einer einseitig angewärmten Verbundkonstruktion

Bei grossen Nutzlasten werden in manchen Betrieben in den Decken Verbundstahlträger mit bewehrten Betonplatten benutzt. Die Stahlträger liegen frei auf den Raum umgebenden Ziegelmauern. Die betrachtete Platte ist eine durchlaufende Platte.

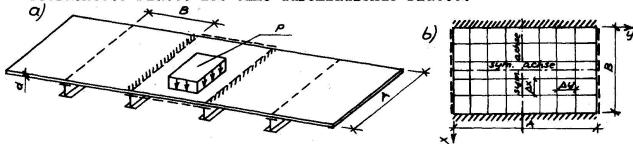


Bild.2. Stahlträgerverbunddecke. a) Ansicht, b) Schema der Auflagerung der Betonplatte und eine Gitterverteilung zur numerichen Berechnung

Infolge der Verschiedenen Wärmeleitfähigkeiten von Beton und Stahl werden bei Stahlträgerverbundkonstruktionen bei Anderung der Aussentemperatur auch Temperaturunterschiede zwischen den Beton- und Stahlteilen auftreten. Der folgenden statischen Untersuchung liegt eine starre Befestigung der Betonplatte Träger und eine freie Auflagerung auf der Mauer zugrunde. Die feste Verbindung der Betonplatte mit dem Stahlträger wird durch starre Verdübelung hergestellt. Daraus resultiert das statische Schema der Stahlträgerverbundkonstruktion, wie es Bild 3 zeigt.

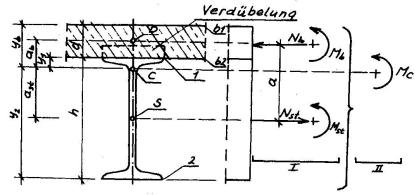


Bild 3. Stahlträgerverbundquerschnitt und Anteil der Schnittlasten

Die geometrischen Zeichen des Querschnittes stellen der Grössen dar: H; h; a<sub>b</sub>; a<sub>st</sub>; a; I<sub>st</sub>; F<sub>st</sub>; I<sub>b</sub>; F<sub>b</sub>; I<sub>c</sub> = I<sub>st</sub> + 1/n I<sub>b</sub> + F<sub>st</sub>; a<sub>st</sub> + 1/n F<sub>b</sub> a<sub>b</sub><sup>2</sup>; (n = E<sub>st</sub>/E<sub>b</sub>); F<sub>c</sub> = 1/n F<sub>b</sub> + F<sub>st</sub>; W<sub>b</sub> = I<sub>c</sub>/y<sub>b</sub> n; W<sub>1</sub> = I<sub>c</sub>/y<sub>1</sub>; W<sub>2</sub> = I<sub>c</sub>/y<sub>2</sub>; W<sub>b1</sub> = I<sub>c</sub>/y<sub>1</sub> n.

Folgende Zeichen wurden für die Festigkeits- und physikalischen Grössen verwendet: K - (Stahlgrenzspannung),  $R_b$  - (Betonabrechnungsfestigkeit);  $E_b$  =  $E_{st}$ ;  $\alpha_b$  - (Wärmeausdehnungszahl für

Beton  $\alpha_b = \alpha_{st}$ ).
Unabhänging von der Art der Belastung und der Anwärmungsgröder Stahlträgerverbundkonstruktion ist der Anteil der

Schnittlasten auf Bild 3 dargestellt.

Die Verteilungsgrössen I und II sind gleichwertig. Die Richtungen der Längskräfte Nb, Nst und der Momente Mb, Mst, Mc ändern sich nach der Belastung und der Temperaturdifferenz.

Bei der Verteilungsgrösse II ergeben sich Spannungen

Verbundquerschnitt.

$$\widetilde{G}_{b1} = \frac{M_c}{W_{b_1}}; \quad \widetilde{G}_{b2} = \frac{M_c}{W_{b_2}}; \quad \widetilde{G}_1 = \frac{M_c}{W_1}; \quad \widetilde{G}_2 = \frac{M_c}{W_2}; \quad (3)$$

Bei der Verteilungsgrösse I sind:
$$\mathcal{O}_{b_1} = \frac{N}{F_b} + \frac{M_b}{W_{b_1}}; \mathcal{O}_{b_2} = \frac{N}{F_b} + \frac{M_b}{M_{b_2}}; \mathcal{O}_{1} = \frac{N}{F_{st}} + \frac{M_{st}}{W_{1}};$$

$$\mathcal{O}_{2} = \frac{N}{F_{st}} + \frac{M_{st}}{W_{2}};$$
(4)

Aufgrund einer Wärmeanalysis wird die Anwärmung der Betonplatte (bei festgelegten Auflagerungsbedingungen) näher bestimmt. Wenn das Temperaturfeld auf der Oberfläche konstant belibt und nur eine lineare Änderung der Temperatur in der Betondicke in Frage kommt, kann man den Momenteanteil in der Platte mit Hilfe

des Differenzverfahrens bestimmen. Die Grössen werden auf Bild 4 gezeigt.

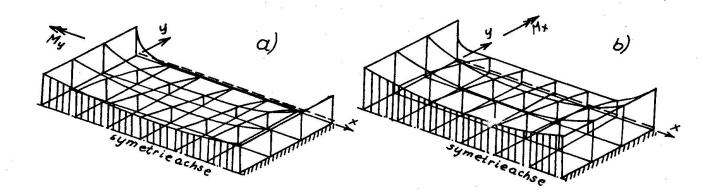


Bild 4. Biegungsmomente als Folge des Temperaturunterschiedes längs der Spannweite. a)  $M_X$  - Momente, b)  $M_y$  - Momente

Bei einer festen Verbindung My ist der Anteil der Schnittlasten im Stahlträgerverbundquerschnitt:

$$N = N_{st} = N_b = \frac{a_b F_b}{n I_c} M_{\dot{c}}; \quad M_b = \frac{\bar{I}_b}{n I_c} M_c; \quad M_{st} = \frac{\bar{I}_{st}}{I_c} M_c$$
 (5)

wobei Mc = My ist.
Die Spannungen werden nach (4) berechnet. Die Wärmeanalyse der Verbundkonstruktion zeigt, dass grosse Unterschiede zwischen der Temperatur des Stahlträgers und der Mitteltemperatur der Bauplatte auftreten. Die Temperaturverteilung im Stahlträgerverbund-querschnitt mit bewehrter Betonplatte zeigt Bild 5. Der Temperaturunterschied ruft in der Verbundkonstruktion

die Verteilungsgrössen hervor.

$$N = N_{b} = N_{st} = \mathcal{E}_{st} \frac{a_{st}F_{st}(\frac{1}{n}I_{b} + I_{st})}{a I_{c}}; \quad M_{st} = N a;$$

$$M_{b} = \mathcal{E}_{st} \frac{a_{st}F_{st} \cdot \frac{1}{n} I_{b}}{I_{c}};$$

$$Televice for  $(1 + 1)^{n}$$$

Ausser den thermischen Einflüssen werden auch die Belastungen durch die Verkehrslasten - p und das Eigengewicht - g be-

rücksichtig. Weil längs des freiliegenden Trägers das Befestigungsmoment  $(M_y\Delta t)$  und die Temperaturdifferenz  $(\Delta t_1)$  den gleichen Wert haben, treten die extremen Verteilungsgrössen in der Mitte der Spannweite auf.

Legt man einem Rechenprogramm die thermische und die statische Analyse zugrunde, dann erhält man den ausgedruckten Zeit-abstand vom Anfang der Konstruktionserwärmung bis zur Festig-keitsgrenze des verwendeten Baustoffes (Qr<sub>min</sub> bei Stahl oder R<sub>bk</sub> bei Beton). Auf diese Weise werden ausserdem die kritischen Temperaturen der Baustoffe bestimmt. Eine so durchgeführte Analyse bietet die Möglichkeit, die festgesetzten technologischen Temperaturen zu überschreiten. (Das kommt nicht selten im Falle einer

Haverie oder bei theoretischer Bestimmung des Feuerwiderstandes von Baukonstruktionen vor.).

## 4. Zahlenbeispiel

Das Rechenprogramm wurde erarbeitet und erprobt. Für folgende Daten haben wir die Berechnungen durchgeführt: A = 4,50 m; B = 3,00 m; Stahlträger, Normalprofil I 360; d = 15 cm. Rechenschnitt des Gitters in der Betonplatte Δx = Δy = Δ = 50 cm; p = 3,00 T/m; g = 0,36 T/m<sup>2</sup>.

Verwendete Baustoffe: Stahl St3SX

Qr min = 2200 kg/cm<sup>2</sup>; K = 2100 kg/cm<sup>2</sup>; E<sub>st</sub> = 2100 000 kg/cm<sup>2</sup>.

Beton B 200 (laut polnischen Normenentwurf PN/B-03264 "Beton- Stahlbeton- und Spannbetonkonstruktionen. Statische Berechnungen und Projektionen").

R<sub>bk</sub> (charakteristische Festigkeit) = 120 kg/cm<sup>2</sup>; R<sub>b</sub> = Berechnungsfestigkeit) = 95 kg/cm<sup>2</sup>;  $E_b = 240 000 \text{ kg/cm}^2$ ,  $\alpha_b = 10^{-5} 1/^{\circ}\text{C}$ , Bewehrungsstahl der Platte Klasse A-III. Bewehrungsprozente:  $M_{x}^{\text{max}} = 0,92\%, M_{y}^{\text{max}} = 0,70\%.$ 

Unter normalen Exploitationsbedingungen sieht man in der Mitte der Spannweite die Temperatur- und Spannungsverteilung im Stahlträgerverbundquerschnitt auf Bild 5.

In unserem Zahlenbeispiel untersuchen wir den Fall, bei dem die Umgebungstemperatur unter der Decke 500 °C und über der Decke nur 20 °C betrug.  $M_y$  Moment ( $\Delta$ t 18 °C) = 540 kg cm/cm.

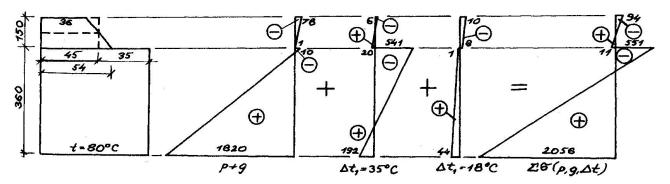


Bild 5. Temperatur und Spannungsverteilung im Benutzungszustand in der Mitte der Spannweite. (+) - Zugspannungen in kg/cm<sup>2</sup>, peraturgrösse in <sup>O</sup>C

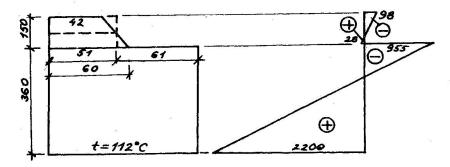


Bild 6. Temperatur und Gesamtspannungsverteilung in der Mitte der Spannweite bei Erreichung der Festigkeitsgrenze des Baustoffes

Die Tragfähigkeitsgrenze wird laut elektronischer Datenauswertung in der Zeit von  $\Delta \tau = 25$  Minuten erreicht. Die Temperatur und Gesamtspannungsverteilung wird auf Bild 6 dargestellt.

## 5. Schlussbemerkungen

5.1. Die Verwendung des Gitterverfahrens kann einer Untersuchung der Wärmedurchgenge durch ein Bauteil im räumlichen und quasistationaren Zustand mit dem Zeitparameter zu einer genaueren Berechnungsmethode des Temperaturwiderstandes von Baukonstruktionen führen.

5.2. In der vorgeführten Berechnungsmethode sieht man eine Analogie zwischen Temperatur- und Feuerwiderstand. So erscheint es möglich den Zeitpunkt At für das Erreichen des Feuerwider-

standsgrenze zu erforschen. 5.3. Bei statischen Berechnungen der Verbundträger es erforderlich, die Biegungsmomente, die Beanspruchung der Beteinblatte infolge eines Temperaturunterschiedes im Bereich de Dicke zu Berücksichtigen. Diese Einflüsse vergrössen die Zugspannungen im Stahl um ca. 25% der gesamten thermischen Spannungen in der Stahlträgerverbundkonstruktion.

5.4. Mit Rücksicht auf einem wirksamen thermischen Widerstand der Dekke muss man eine gute Wärmeisolierung der Beton-platte und der Stahlträger vornehmen, wenn eine Stahlträgerver-

bunddecke hergestellt wird.

# Literaturverzeichnis

Clebčuk W. R., Artykraev E. T., Ognezaščita metalličeskich konstrukcji zdanij. Strojizdat, Moskva 1973. [1]

Koreleski J., Zespolone konstrukcje mostowe. PAN, Warszawa [2]

Kraków 1967. Sattler K., Theorie der Verbundkonstruktionen Spannbeton Stahlträger in Verbund mit Beton. Berlin 1959. 3

Streletsky N. N., Stalezelezobetonnyje mosty. Moskva 1965. 4

### **ZUSAMMENFASSUNG**

In dieser Arbeit betrachten wir speziell eine Stahlträgerverbundkonstruktion in einem Chemiebetrieb, in dem technologische heisse Prozesse ablaufen. Die Schlussbemerkungen, die den Einfluss technologischer Anwärme betreffen, kann man auch auf die Brandlast beziehen. Zur numerischen Methode der Festigkeits- und Wärmeanalysis wird das Differenzverfahren angewendet.

SUMMARY

In this paper, a case of a composite structure at chemical plants applying hot processes was analyzed. The conclusions concerning the determination of the conditions of the technological perheating can be extended to the fire conditions. The method of contraction differences was adapted to the digital analysis of the thermal and resistance problems.

#### RESUME

Dans cette étude nous avons analysé la structure mixte d'un établissement chimique utilisant des procédés thermiques. Les conclusions concernant la determination des conditions du chauffage technologique peuvent être appliquées par analogie aux conditions de l'incendie. Pour l'analyse numérique des problèmes thermiques et de résistance, on a appliqué la méthode des différences finies.