

**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 68 (1950)  
**Heft:** 11

**Artikel:** Vorgespannte Ziegelkonstruktionen  
**Autor:** Birkenmaier, Max  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-57983>

### **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:** 30.01.2025

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

den Erwartungen, die in ihn gesetzt wurden, voll entsprechen. Die Anschaffungskosten dürften angenähert gleich sein wie die der bisherigen Konstruktion. Dagegen sind im

Betrieb wesentliche Einsparungen, und zwar dank besserer Manövrierfähigkeit und kleinerer Lade- und Entladezeiten zu erwarten.

## Vorgespannte Ziegelkonstruktionen

Von Dipl. Bau-Ing. MAX BIRKENMAIER, Zürich

DK 624.012.25

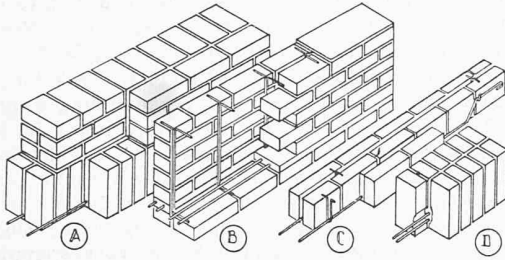


Bild 1. Armierter Ziegelbalken

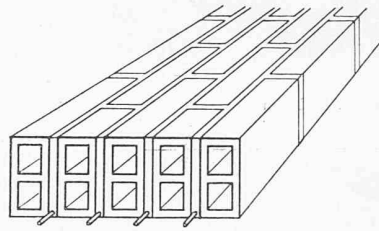


Bild 2. Steineisendecke

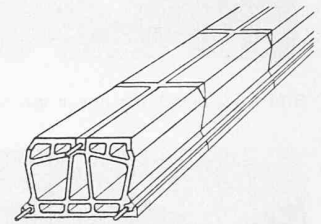


Bild 3. Armierter Ziegelbalken

1. Der seit Jahrtausenden bewährte Ziegel- oder Backstein wurde bei uns fast ausschliesslich zu Wänden, Pfeilern oder seltener zu Gewölben vermauert, während biegebeanspruchte Bauteile wie Platten und Balken als armierte Ziegelbalken nur selten ausgeführt wurden. Für solche Bauteile hat der Eisen-

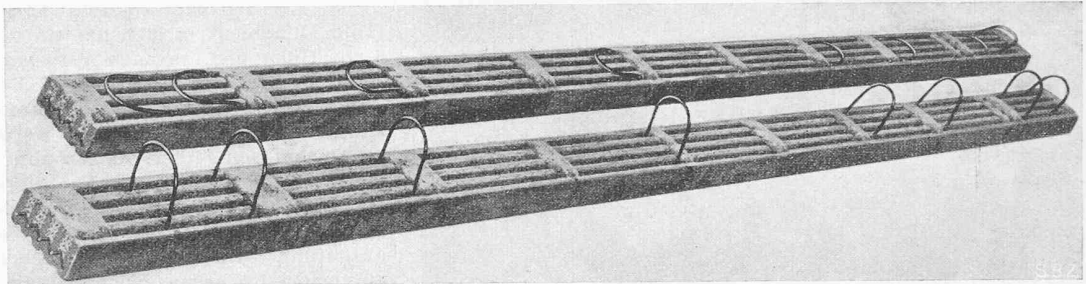


Bild 4. Vorgespannte Stahltonbretter 6/15 cm

beton infolge seines unbeschränkten Gestaltungsvermögens die führende Rolle übernommen. Ein Blick in die Baugeschichte zeigt aber, dass schon rund ein halbes Jahrhundert bevor Monier seine armierten Betonteile zum Patent angemeldet hatte, der Engländer Brunel 1825 beim Bau des Themsetunnels das Prinzip einer armierten Ziegelkonstruktion erfolgreich angewendet hat. Eine zusammenfassende Darstellung der Geschichte solcher armierter Ziegelkonstruktionen enthält die Arbeit von Prof. Granholm: «Armerade Tegelkonstruktioner»<sup>1)</sup>. Man ersieht daraus, dass solche Konstruktionen in einzelnen Ländern weite Verbreitung gefunden

haben. Beispielsweise zeigt Bild 1 armierte Ziegelbalken, wie sie in Schweden ausgeführt wurden, Bild 2 einen Querschnitt durch die in Deutschland bekannte Steineisendecke, Bild 3 armierte Deckenbalken, wie sie in Italien sehr gebräuchlich sind. Solche armierte Ziegelkonstruktionen sind in gewissen Belangen dem Eisenbeton überlegen, wenn man sich der bekannten technischen Eigenschaften von Ziegelsteinen erinnert: hohe Druckfestigkeit, niederes Raumgewicht, Raumbeständigkeit, Wärme- und Schallisolierung, Feuer- und Wetterbeständigkeit.

Allen diesen armierten Bauelementen mit Ziegeln ist gemeinsam, dass bei Biegebeanspruchung die Druckspannungen durch Ziegelsteine und die Zugspannungen durch schlaffe

<sup>1)</sup> Transaction of Chalmers University of Technology Gothenburg. Sweden; 1943, Nr. 16.

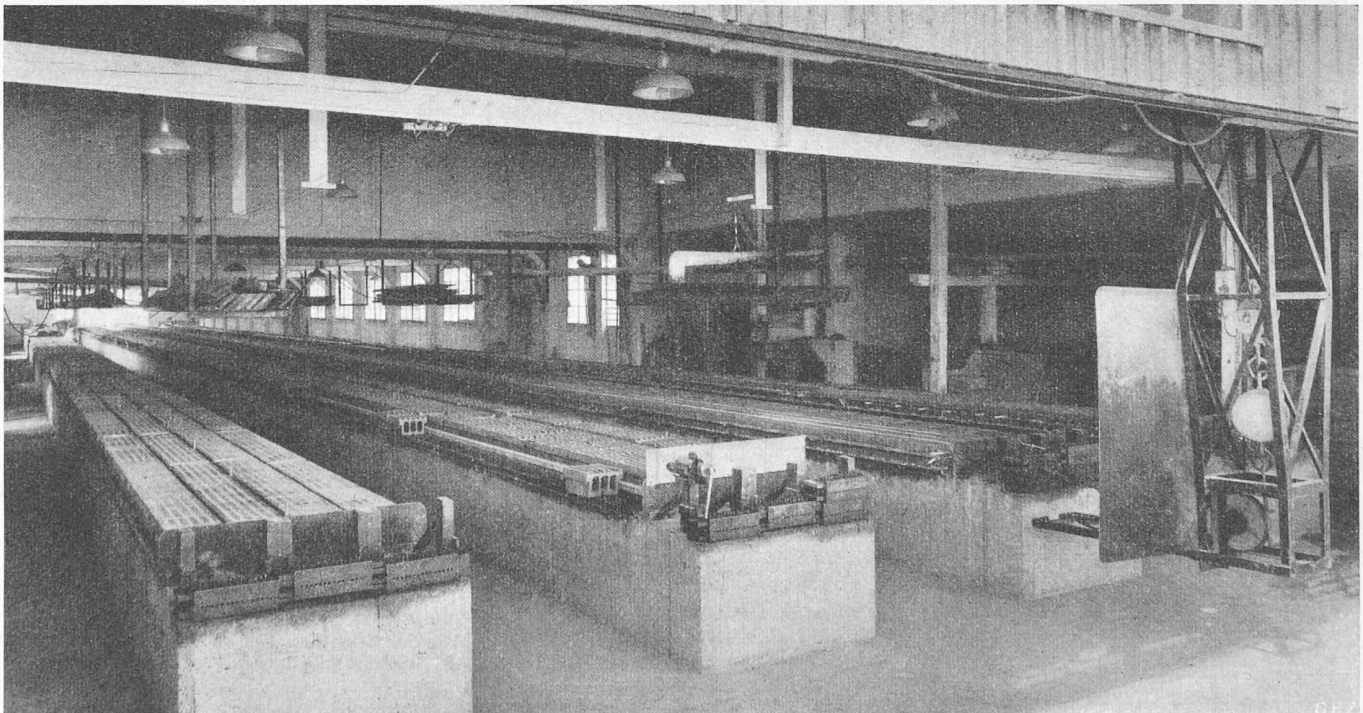


Bild 5. Fabrikhalle für vorgespannte Ziegelbauteile in Frick, Kanton Aargau

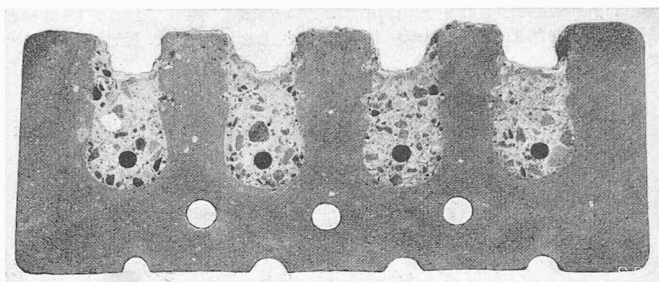


Bild 6. Querschnitt durch ein Stahltonbrett 6/15 cm

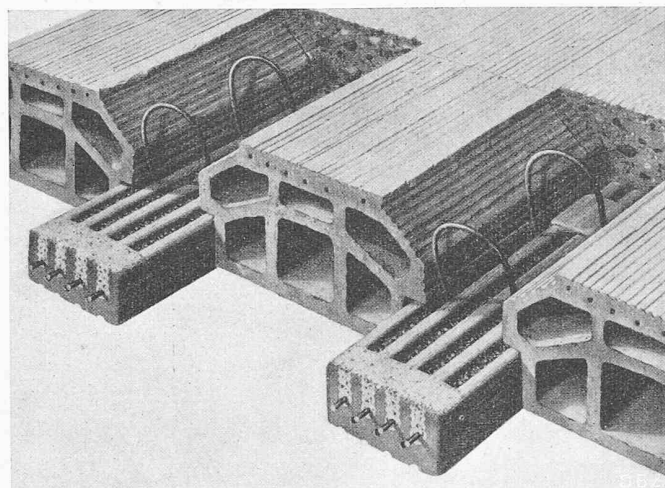


Bild 7. Stahltondecke d = 16 cm

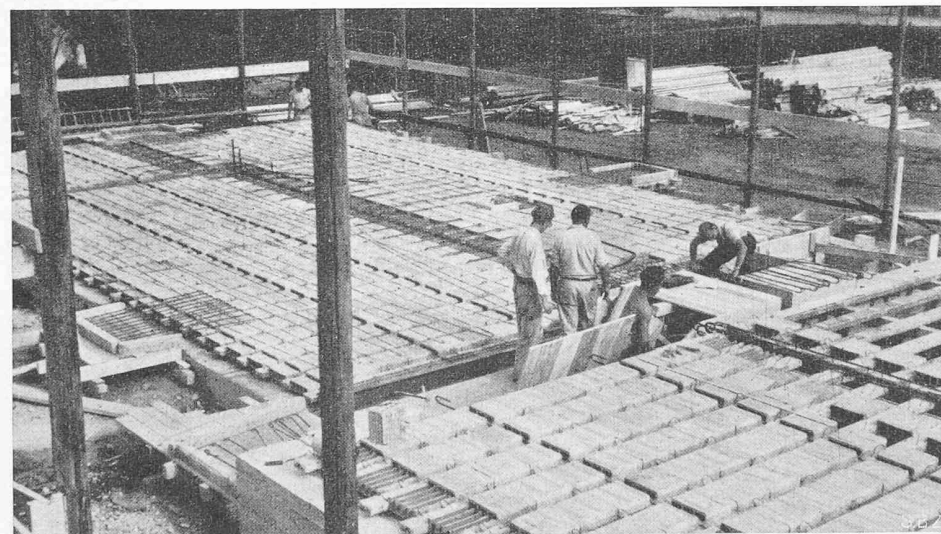


Bild 8. Eine Stahltondecke beim Verlegen

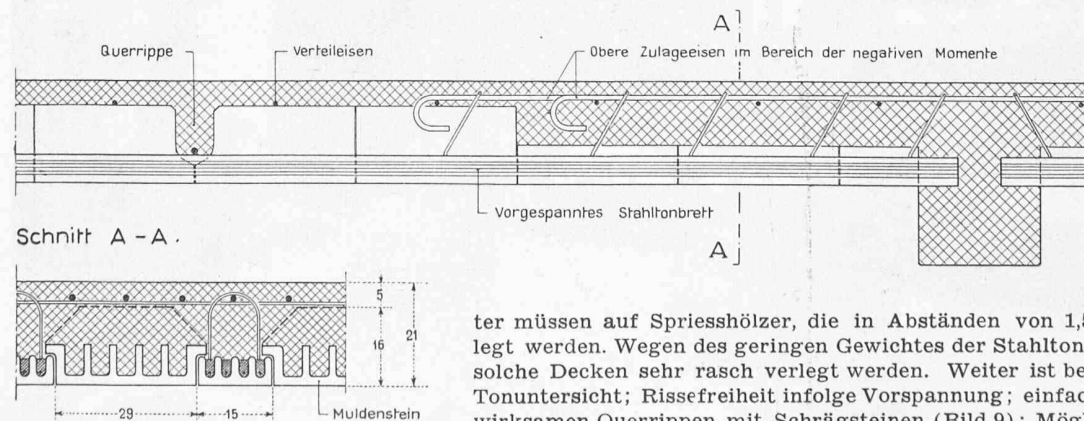


Bild 9. Kontinuierliche Stahltondecke, 1:15

Eiseneinlagen aufgenommen werden. Die Haftung zwischen Eisen und Ziegelstein wird durch Zementmörtel gewährleistet. Eine ausgesprochen schwache Stelle solcher armierter Ziegelbalken bilden die Fugen zwischen den einzelnen Ziegelsteinen, denn sie sind in ihrer Wirkung mit Rissen zu vergleichen. In der Umgebung solcher Risse treten bedeutende zusätzliche Haftspannungen auf, die ein Loslösen der Rundeisen begünstigen. Auch ist häufig die Uebertragung der Querkräfte in solchen Fugen nicht einwandfrei. Weiter ist bei solchen Konstruktionen oft die Rostsicherheit nicht voll gewährleistet.

Im folgenden werden einige armierte Ziegelkonstruktionen beschrieben, bei welchen das Prinzip der Vorspannung angewendet wird. Erst durch Verwendung der Vorspannung ist es möglich, die guten Festigkeitseigenschaften der Ziegelsteine einwandfrei auch für biegebeanspruchte Bauteile auszunützen. Die vorgespannte Armierung presst die einzelnen Ziegelsteine derart zusammen, dass bei Biegebeanspruchung keine Zugspannungen in den Steinfugen auftreten. Solche vorgespannte Ziegelbalken verhalten sich daher unter Gebrauchslast wie homogene Körper.

2. Bei den fabrikmässig hergestellten Stahltonbrettern (Bild 4) handelt es sich um ein vorgespanntes Element von 6 cm Höhe und, je nach Verwendungszweck, verschiedenen Breiten von 10, 12, 15, 20, 25 cm. Dieses Element besteht aus einzelnen Ziegelsteinen, die kammartige Längsrinnen besitzen. In diese Längsrinnen werden hochwertig gekerbte Stahlträger eingelegt, vorgespannt und in Ankerblöcken an den Enden der Vorspannbahn festgeklemmt. Hierauf werden die Rinnen sowie die Fugen zwischen den einzelnen Steinen mit einem hochwertigen, durch Vibration eingebrachten Mörtel ausgefüllt. Allenfalls notwendige Bügel können gleichzeitig eingemörtelt werden. Nach genügendem Erhärten des Mörtels werden die Stahlträger von den Ankerblöcken gelöst, wobei in den Stahltonbrettern eine zentrische Druckvorspannung entsteht. Solche Stahltonbretter werden in modern eingerichteten Fabrikhallen (Bild 5) auf sehr

rationaler Art hergestellt. Die Fabrikation erfolgt auf 50 bis 70 m langen Betontischen in mehreren Lagen übereinander. Laufende Kontrollen garantieren die gleichmässige Qualität der verwendeten Materialien.

Bild 6 zeigt einen Querschnitt durch ein Stahltonbrett. Die innige Verbindung der drei hochwertigen Materialien — Ziegelstein (Druckfestigkeit 400 bis 500 kg/cm<sup>2</sup>), Mörtel ( $\beta_{d28} = 600 \text{ kg/cm}^2$ ) und Stahlträger ( $\beta_z = 18000 \text{ kg/cm}^2$ ) — geht aus diesem Bild deutlich hervor. Die in den Stahlträgern vorhandene Vorspannung von rd. 10000 kg/cm<sup>2</sup> erzeugt im Stahltonbrett eine zentrische Druckvorspannung von max. 100 kg/cm<sup>2</sup>. Ein Stahltonbrett ist also in der Lage, bedeutende Zugkräfte aufzunehmen, ohne dass Risse entstehen.

3. Mit solchen Stahltonbrettern können nun auf einfachste Art schalungsfreie Hohlkörperdecken mit vorgespannter Zugzone gebaut werden. Zwischen Stahltonbretter 6/15 cm werden Hohlkörper aus gebranntem Ton eingelegt und hierauf ein Rippen- und eventuell ein Ueberbeton P 300 aufgebracht (Bilder 7 und 8). Die Stahltonbretter

müssen auf Spriesshölzer, die in Abständen von 1,5 m angeordnet sind, verlegt werden. Wegen des geringen Gewichtes der Stahltonbretter (16 kg/m<sup>2</sup>) können solche Decken sehr rasch verlegt werden. Weiter ist bemerkenswert: einheitliche Tonuntersicht; Rissfreiheit infolge Vorspannung; einfache Erstellung von statisch wirksamen Querrippen mit Schrägsteinen (Bild 9); Möglichkeit der Erstellung von kontinuierlichen Deckenplatten mit besonderen Muldensteinen und obren Zulage-

eisen im Bereich der negativen Momente (Bild 9). Durch einfaches Nebeneinanderlegen von Stahltonbrettern und Aufbringen eines Betons können dünne Platten mit vorgespannter Zugzone erstellt werden.

Wird auf einem Stahltonbrett eine Uebermauerung mit Normalsteinen in P.-C.-Mörtel ausgeführt, so entsteht ein armierter Ziegelbalken, bei welchem das vorgespannte Stahltonbrett die Funktion einer Armierung übernimmt. Solche Ziegelbalken haben weite Verbreitung als Sturzkonstruktionen im Hochbau gefunden (Bild 10).

Weiter können solche vorgespannte Stahltonbretter als Armierung oder Versteifung schlanker Mauern Verwendung finden. Hochkant gestellte Stahltonbretter dienen auch als Schürzen für Rolladenkasten.

4. Das Tragverhalten der beschriebenen Konstruktionen mit vorgespannten Stahltonbrettern soll beispielsweise für eine Deckenkonstruktion genauer untersucht werden. Auf den in Bild 11 dargestellten Deckenquerschnitt wirke ein äusseres Biegemoment, das von Null bis zum Bruch anwache. Dabei sind drei Phasen der Beanspruchung (Stahlspannung  $\sigma_e$ , Betonspannung  $\sigma_o$ , untere Randspannung  $\sigma_u$ ) zu unterscheiden. Bis zur Ueberwindung der Vorspannung im Stahltonbrett verhält sich der Querschnitt homogen, d. h. die Spannungen können mit den elementaren Formeln für homogene Körper berechnet werden. Sobald Zugspannungen am unteren Rand auftreten, können Risse im Stahltonbrett entstehen. Diese Rissebildung muss bei der Spannungsrechnung berücksichtigt werden. Die Spannungen nehmen in dieser Phase etwas rascher zu als in der ersten Phase. Nach vollständiger Rissebildung im Stahltonbrett wachsen die Spannungen rasch an, bis das Bruchmoment  $M_{Br}$ , die Zugfestigkeit der Stahldrähte, erreicht wird. Bei der Berechnung der Spannungen in dieser Phase muss mit vollständiger Rissebildung gerechnet werden, wobei allerdings die Wirkung der in der Armierung vorhandenen Vorspannkraft zu berücksichtigen ist.

Der in Bild 11 dargestellte Verlauf der Spannungen zeigt nun deutlich, dass trotz den hier getroffenen üblichen Annahmen (Hook'sches Gesetz und Ebenbleiben der Querschnitte) kein linearer Zusammenhang zwischen Spannungen und Biegemoment besteht. Beachtenswert ist besonders, dass die Stahlspannung über einen weiten Bereich (rd.  $2 \times M_{zul}$ ) praktisch konstant bleibt und dass auch die Betonspannungen in diesem Bereich nur langsam anwachsen, was in auffallendem Gegensatz zum Verhalten nicht vorgespannter Eisenbetonbalken steht. Auch der in Bild 11 dargestellte Verlauf der Biegesteifigkeit  $EJ$  zeigt das typische Verhalten solcher vorgespannter Konstruktionen. Selbst in der Nähe des Bruches ist  $J = \text{rd. } 2000 \text{ cm}^4$  dank der Vorspannung noch bedeutend höher als ein gleicher Querschnitt ohne Vorspannung ( $J = n \cdot 0,9 \cdot F_e \cdot h^2 = 700 \text{ cm}^4$ ). Für die praktische Bemessung solcher Konstruktionen kann man sich auf den Nachweis beschränken, dass bei  $M_{zul}$  keine Zugspannungen am unteren Rand auftreten und dass die übliche zulässige Betonspannung am oberen Rand eingehalten wird. Ausserdem soll eine mindestens 2,5 fache Sicherheit gegen Bruch,

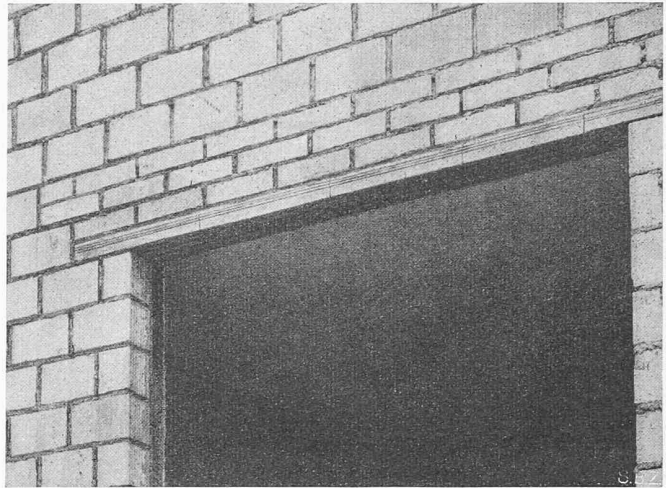


Bild 10. Stahlton-Fenstersturz

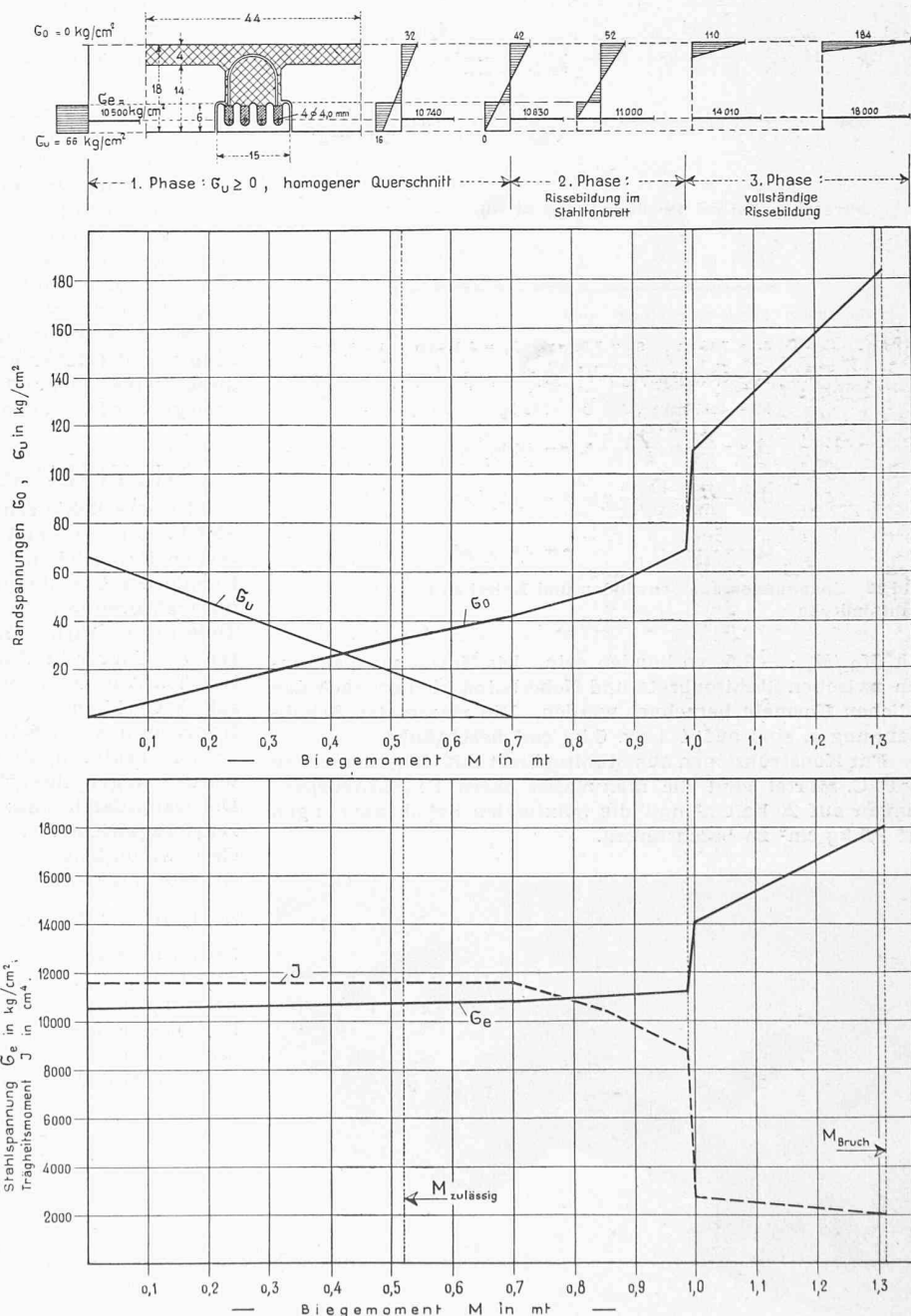
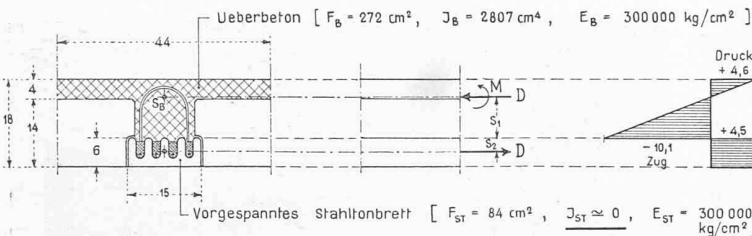


Bild 11. Spannungen in der Stahltondecke für ein von Null bis zum Bruch anwachsendes Biegemoment



M = Biegemoment im Ueberbeton aus Schwinden und Kriechen  
 D = Normalkraft im Ueberbeton respektive Stahltonbrett aus Schwinden u. Kriechen  
 $\epsilon_k$  = Kriechmass des Ueberbetons  
 $\epsilon_s = \beta \cdot \epsilon_k$  = Schwindmass des Ueberbetons

Gesamte Dehnung einer Faser im Zeitintervall dt :

$$d\epsilon = \frac{d\sigma}{E} + \sigma \cdot d\epsilon_k + \beta \cdot d\epsilon_s$$

Ueberbeton und Stahltonbrett müssen in Berührungsfläche gleiche Dehnung

haben .  $\frac{dM \cdot s_1}{E_b \cdot J_b} - \frac{dD}{E_b \cdot F_b} + \frac{M \cdot s_1}{J_b} \cdot d\epsilon_k - \frac{D}{F_b} \cdot d\epsilon_k + \beta \cdot d\epsilon_s = \frac{dD}{E_{st} \cdot F_{st}}$

mit  $D = -\frac{M}{s_1 + s_2}$  erhält man folgende Differentialgleichung

$$\frac{dM}{J_b \left( \frac{s_1}{J_b} + \frac{1}{(s_1 + s_2) \cdot F_b} \right) + \beta} = - \frac{d\epsilon_k}{\frac{s_1}{E_b \cdot J_b} + \frac{1}{E_b (s_1 + s_2) \cdot F_b} + \frac{1}{E_{st} (s_1 + s_2) \cdot F_{st}}}$$

oder  $\frac{J_b \cdot dM}{M (s_1 + \lambda_1) + J_b \cdot \beta} = - \frac{E_b \cdot J_b}{(s_1 + \lambda_1 + \lambda_2)} \cdot d\epsilon_k$  ;  $\lambda_1 = \frac{J_b}{(s_1 + s_2) \cdot F_b}$   
 $\lambda_2 = \frac{J_b}{(s_1 + s_2) \cdot \frac{E_{st}}{E_b} \cdot F_{st}}$

Intregation gibt mit Randbedingung  $M = 0, \epsilon_k = 0$  :

$$M = \beta \cdot \frac{J_b}{s_1 + \lambda_1} \left( 1 - e^{-\frac{s_1 + \lambda_1}{s_1 + \lambda_1 + \lambda_2} \cdot E_b \cdot \epsilon_k} \right)$$

für obigen Deckenquerschnitt wird :

$s_1 = 7,88 \text{ cm}, s_2 = 3,00 \text{ cm}, \lambda_1 = 0,949 \text{ cm}, \lambda = 3,07 \text{ cm},$   
 mit  $\epsilon_k = 0,000015 \text{ cm}^2/\text{kg}, \epsilon_s = 0,0002, \beta = 13,3$  ;  
 $M = 4087 \text{ cmkg}, D = -376 \text{ kg}$   
 $\sigma_{bo} = -\frac{376}{272} + \frac{4087}{2807} \cdot 4,12 = + 4,6 \text{ kg/cm}^2$   
 $\sigma_{bu} = -\frac{376}{272} - \frac{4087}{2807} \cdot 7,88 = - 10,1 \text{ kg/cm}^2$   
 $\sigma_{st} = + \frac{376}{84} = + 4,5 \text{ kg/cm}^2$

Bild 12. Spannungen aus Schwinden und Kriechen in einer Stahltondecke

d. h.  $M_{Br}/M_{zul} = 2,5$ , vorhanden sein. Die Haftschubspannungen zwischen Stahltonbrett und Ueberbeton können nach den üblichen Formeln berechnet werden. Die maximalen Schubspannungen sind auf 4 bzw. 5 kg/cm<sup>2</sup> beschränkt.

Für Konstruktionen aus Stahltonbrett mit Uebermauerung in P.-C.-Mörtel sind die maximalen obere Druckrandspannungen auf 20 kg/cm<sup>2</sup> und die maximalen Schubspannungen auf 2,5 kg/cm<sup>2</sup> zu beschränken.

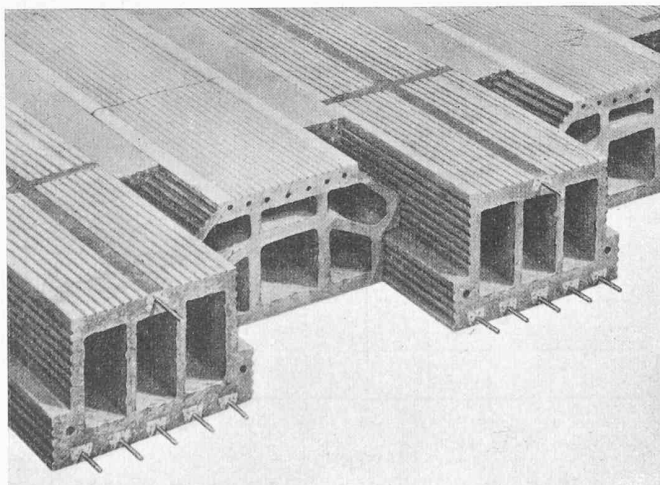


Bild 13. Stahlton-Balkendecke

Bei Konstruktionen aus Stahltonbrettern mit Ueberbeton treten infolge Schwinden und Kriechen des Ueberbetons innere Spannungen auf. In Bild 12 sind diese Spannungen für einen Deckenquerschnitt berechnet. Es zeigt sich, dass diese Spannungen nur geringe Werte annehmen. Zusätzliche Schubspannungen zwischen Stahltonbrett und Ueberbeton infolge Schwinden und Kriechen treten nur an den Balkenenden auf (Einleitung der Kraft D, Bild 12), erreichen sehr geringe Werte und sind ausserdem entgegengesetzt den aus äusseren Lasten entstehenden Schubspannungen gerichtet.

5. Neben Stahltonbrettern sind auch vorgespante Deckenbalken gemäss Bild 13 entwickelt worden. Solche Stahltonbalken werden ebenfalls auf Spanntischen durch Hintereinanderreihen von Ziegelhohlsteinen hergestellt. In die Rinnen dieser Steinreihe werden hochwertige Stahldrähte eingelegt, vorgespannt und durch Ankerblöcke an den Tischen festgehalten. Hierauf wird ein hochwertiger Mörtel in diese Rinnen eingefüllt und vibriert. Nach dem Erhärten des Mörtels werden die Stahldrähte entspannt, wobei in den Balken eine exzentrische Druckvorspannung entsteht. Bei der Herstellung der Balken können auch quergelochte Steine eingelegt werden, welche die Durchführung einer Querarmierung erlauben. Die Fugen zwischen den einzelnen Steinen solcher Balken sind vermörtelt.

Die Vorspannung ist bei diesen Stahltonbalken so gewählt, dass unter Nutzlast keine Zugspannungen im Balken auftreten (Bild 14). Der aus einzelnen Steinen zusammengesetzte Balken verhält sich daher unter Nutzlast wie ein homogener Körper. Bei der Bemessung solcher Balken wird eine Sicherheit gegen Bruch von 2,5 sowie das Einhalten der zulässigen Kantenpressung von max. 70 kg/cm<sup>2</sup> und einer Hauptzugspannung von 6 bis 8 kg/cm<sup>2</sup> verlangt.

Solche Stahltonbalken werden als Deckenbalken für Wohnräume und Dächer verwendet. Dank der Vorspannung sind diese Balken sehr steif, so dass sie ohne Untersperrung verlegt werden können. (Schluss folgt)

### MITTEILUNGEN

**Diesel-elektrische Einheitstraktoren von 150 PS der SNCF.** Um die im Verschiebedienst unwirtschaftlich arbeitenden Dampflokotiven zu ersetzen, hat die Société Nationale des Chemins de Fer Français 64 mittelschwere Rangiertraktoren in Auftrag gegeben, und zwar die mechanischen Teile an die Firma Baudet, Donon, Roussel, die Dieselmotoren an Saurer in Suresnes und Renault, während die elektrischen Ausrüstungen von 30 Traktoren von der Maschinenfabrik Oerlikon und die der restlichen 34 Traktoren von der französischen Société Oerlikon in Orlans gebaut werden. Die ersten Traktoren stehen seit einiger Zeit im Betrieb und werden wegen ihrer leichten Bedienbarkeit sehr geschätzt. Die Hauptdaten sind:

Betriebsgewicht . . . . .	32 t
Geschwindigkeit . . . . .	20 60 km/h
Grösste Zugkraft . . . . .	8000 2700 kg
Zugkraft, einstündig	
bei 9,2 km/h . . . . .	3300 kg
bei 27,6 km/h . . . . .	1100 kg
Länge über Puffer . . . . .	8300 mm
Radstand . . . . .	3540 mm
Raddurchmesser . . . . .	1050 mm

Der Dieselmotor hat eine Nennleistung von 160 PS bei 1500 U pro min. Die Füllung ist auf 90 % der Nennleistung begrenzt, um den Motor zu schonen. Nach Abzug der Leistung für

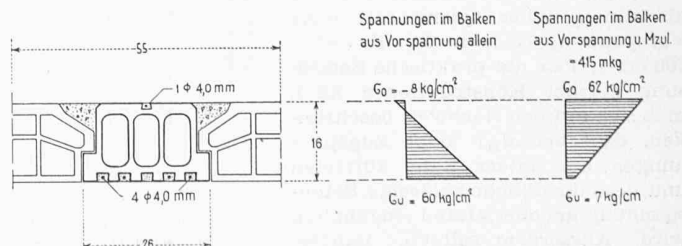


Bild 14. Spannungen in der Stahltonbalkendecke