

<b>Zeitschrift:</b>	Schweizerische Bauzeitung
<b>Herausgeber:</b>	Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
<b>Band:</b>	69/70 (1917)
<b>Heft:</b>	6
<b>Artikel:</b>	Der mehrfache Rahmen mit horizontal verschiebbarem und mit unverschiebbarem Balken
<b>Autor:</b>	Gsell-Heldt, Robert
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-33924">https://doi.org/10.5169/seals-33924</a>

### 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:** 21.02.2026

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

**INHALT:** Der mehrfache Rahmen mit horizontal verschiebbarem und mit unverschieblichem Balken. — Die Bündner Heilstätte in Arosa. — Schweizerische Maschinen-Industrie im Jahre 1916. — Walliser Anthrazit. — Miscellanea: Eidgenössische Technische Hochschule. Ausnutzung der Wasserkräfte des Kantons St. Gallen. Ein Drehstrommotor von 15000 PS. Ecole Centrale des Arts et Manufactures, Paris.

Reformationsdenkmal in Stuttgart. Elektrizitätswerke in Holland. — Konkurrenz: Bezirksschule auf dem Liebenfels in Baden. Evangelisch-reformierte Kirche in Solothurn. — Literatur. — Vereinsnachrichten: Gesellschaft ehemaliger Studierender der Eidgen. Technischen Hochschule; Stellenvermittlung. Tafeln 7 und 8: Die Bündner Heilstätte in Arosa.

## Band 70.

Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet.

Nr. 6.

## Der mehrfache Rahmen mit horizontal verschiebbarem und mit unverschieblichem Balken.

Von Ing. Robert Gsell-Heldt, z. Z. in Zürich.

Der kontinuierliche Balken mit den ihn stützenden und meist starr mit ihm verbundenen elastischen Pfeilern, wie sie die Eisenbetonbauweise als charakteristische Eigentümlichkeit mit sich bringt, wird bei bedeutenderen Konstruktionen oft als ein mehrfaches Rahmensystem konstruiert und berechnet. Werden die Endpfeiler — elastische Drehbarkeit vorausgesetzt — ebenfalls mit dem Balken in starre Verbindung gebracht, so entsteht der eigentliche mehrfache Rahmen, dessen Balken bzw. seine mit den Pfeilern gemeinsamen Verbindungspunkte unter dem Einflusse bestimmter vertikaler sowie horizontaler Belastungen infolge des elastischen Verhaltens der Pfeiler horizontal verschoben werden, wodurch Spannungen entstehen, die sich ebenfalls auf die ganze Konstruktion erstrecken. Die durch die Normalkräfte bedingten Längenänderungen der einzelnen Rahmenstäbe werden infolge ihres geringen Einflusses gewöhnlich vernachlässigt, sodass für die oben genannten Verbindungspunkte nur horizontale Verschiebungen in Betracht kommen.

Des öfteren sind nun die Endpfeiler (Brückenwiderlager) so beschaffen, dass von einem in unserem Sinne elastischen Verhalten nicht mehr gesprochen werden kann, und es wird dann in Rücksicht auf die Schwinderscheinungen des Betons sowie auf die durch einen Temperaturwechsel entstehenden Längenänderungen des Balkens von einer starren Verbindung desselben mit den Endstützpunkten abgesehen. Hier wird nun vielfach die dem einfachen Balken zugrunde liegende Lagerung angewandt, in der Art, dass die eine Endfeldlagerung als *festes*, die andere als *bewegliches Lager* konstruiert wird. Dies ist mit dem einerseits günstigen Umstand verbunden, dass jede äussere oder innere am Balken wirkende Horizontalkraft direkt von demselben in das feste Lager geleitet wird, sodass der Balken und mit ihm die Verbindungspunkte oder Pfeilerköpfe keinen Verschiebungen ausgesetzt sind, demnach also keine Biegungsspannungen infolge dieser in der Balkenaxe wirkenden Kraft erzeugt werden. Dem gegenüber hat aber das Schwinden<sup>1)</sup> sowie eine Umtemperierung des Balkens hier einen weit grösseren Einfluss auf die Biegmomente, als es beim mehrfachen Rahmen mit verschieblichem (nicht festgehaltenem) Balken der Fall ist; denn während die beim ersten System mit *einem festen Endauflager* entstehende Längenänderung des Balkens sich nach einer Richtung vollzieht — gleichmässige Umtemperierung vorausgesetzt — geschieht dies beim mehrfachen Rahmen mit *beidseitig frei beweglichen Endauflagern* oder elastischen Endpfeilern vom Bereich der Balkenmitte aus nach beiden Seiten, was eine relativ geringere Verschiebung der Pfeilerköpfe bedingt, wodurch kleinere Biegemomente infolge dieser Längenänderungen entstehen.

Da das Schwinden des Betons dem Einflusse einer Temperaturabnahme gleichkommt, so soll im Folgenden nur noch der Begriff Temperaturänderung beibehalten werden.

Im allgemeinen hat eine mittlere Temperatur-Zu- oder Abnahme keinen wesentlichen Einfluss auf die maximalen Feldmomente, dagegen schon eher auf die Balkenstützenmomente und im besonderen einen oft erheblichen Einfluss auf die Pfeilerkopf- und Pfeilerfuß-Momente, letzteres in

dem Falle, dass die Pfeiler unten eingespannt sind. Diese Biegungsspannungen an den Pfeilerschäften beim mehrfachen festgehaltenen Rahmen können ein mehrfaches derjenigen unter gleichen Verhältnissen entstehenden Momente am Rahmen mit verschieblichem (nicht festgehaltenem) Balken betragen. Oft treten nun keine wesentlichen, den Rahmen in seiner Längsrichtung angreifenden äusseren Kräfte auf, wie z. B. bei Strassenbalkenbrücken, und es ist in solchen Fällen in Anbetracht der Temperatureinflüsse das Rahmensystem mit auf *beiden Seiten beweglichen* Endauflagern jenen mit *einem festen* und *einem beweglichen* Endauflager ohne weiteres vorzuziehen. Weiter wäre noch festzustellen, ob die beim verschiebbaren Rahmensystem unter den ungünstigsten Laststellungen entstehenden Zusatzmomente infolge Verschiebung der Pfeilerköpfe nicht eine Vergrösserung der unter der Annahme unverschiebbarer Pfeilerköpfe errechneten ersten Momente verursachen. Dies kann nun allerdings an einigen Punkten des Rahmens in geringem Masse zutreffen, während an anderen Stellen aber eher eine Verminderung der ersten Momente eintreten wird; jedoch sind diese Zusätze meist geringer als jene einer Temperaturänderung von z. B.  $\pm 20^\circ C$ .

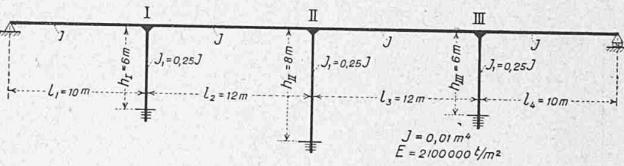


Abbildung 1.

Diese Verhältnisse sollen nun an einem seinerzeit von Dr. Ing. Max Ritter in Zürich<sup>2)</sup> mittels der Methode der Fixpunkte auf Temperaturspannungen untersuchten mehrfachen Rahmen (Abbildung 1) im folgenden für eine gleichmässige Feldbelastung von 1 t pro lfd. m und einer Temperaturänderung des Balkens von  $\pm 20^\circ C$  dargelegt werden.

### I. Ermittlung der am Rahmen mit festgehaltenem Balken entstehenden Momente und Horizontalschübe infolge einer gleichmässigen Feldbelastung von 1 t pro laufenden Meter.

Es werden zunächst die Momente und Horizontalschübe für die beiden Belastungsfälle A und B (Abbildungen 2a und 3a) untersucht und durch geeignete Zusammensetzung der gefundenen Werte die für die Belastungsfälle C und D (Abbildungen 4a und 5a) entstehenden Momente und Schübe ermittelt. Inbezug auf die Vorzeichen sei noch folgendes vorausgeschickt.

1. Ein Balkenmoment gilt als positiv, wenn es eine elastische Krümmung des Balkens nach unten und als negativ, wenn es eine solche nach oben verursacht.

2. Ein Pfeilermoment gilt als positiv, wenn es eine elastische Krümmung des Pfeilerschaftes nach rechts und als negativ, wenn es eine solche nach links verursacht.

3. Ein Horizontalschub gilt als positiv, wenn er nach rechts und als negativ, wenn er nach links gerichtet ist.

Da die Winkel der Rahmenecken infolge deren Starrheit bei der Deformation der Rahmenstäbe erhalten bleiben, gelten für unseren Rahmen nach der allgemeinen Kontinuitätsbedingung, dass der Tangentenwinkel der Biegelinie des Balkens unmittelbar vor der Stützenaxe gleich dem

<sup>2)</sup> Vergl. Dr. Ing. Max Ritter: «Der kontinuierliche Balken auf elastisch drehbaren Stützen», Schweiz. Bauzeitung, Band LVII, Seite 47 (28. Januar 1911).

<sup>1)</sup> Infolge der heute immer mehr platzgreifenden Verwendung des flüssigen Betons eine stets bemerkenswerter werdende Erscheinung.

Tangentenwinkel der Biegelinie unmittelbar nach der Stützenaxe sein muss, nachstehende Grundgleichungen:

$$\begin{aligned} a'_1 &= a_2 & a'_2 &= a_3 & a'_3 &= a_4 \\ \beta^k_1 &= a_2 & \beta^k_2 &= a_3 & \beta^k_3 &= a_4 \end{aligned}$$

Nach dem Mohrschen Satze von der Neigung der elastischen Linie ist der Biegewinkel in einem beliebigen Schnitt  $C$  eines einfachen Balkens gleich der Querkraft an dieser Stelle des mit seiner  $\frac{I}{E \cdot J}$ -fachen Momentenfläche belasteten Balkens. Die noch unbekannten Momentenflächen am Rahmen mit ihren Maximalordinaten  $M'_1, M'_2, M'_3, M'_4, \dots, M'_4$  (Abbildung 2b) können als aus Dreieckflächen bestehend gedacht werden. Die Momentenflächen der Pfeiler sind infolge deren untern Einspannung überschlagene Vierecke, und aus der Theorie des eingespannten Trägers folgt, dass der Momenten-Nullpunkt (Wendepunkt der Biegelinie) bei konstanten  $E \cdot J$  sich in  $\frac{1}{3}$  der Höhe  $h$  befindet; demnach ist allgemein:

$$M' = -\frac{I}{2} M^k$$

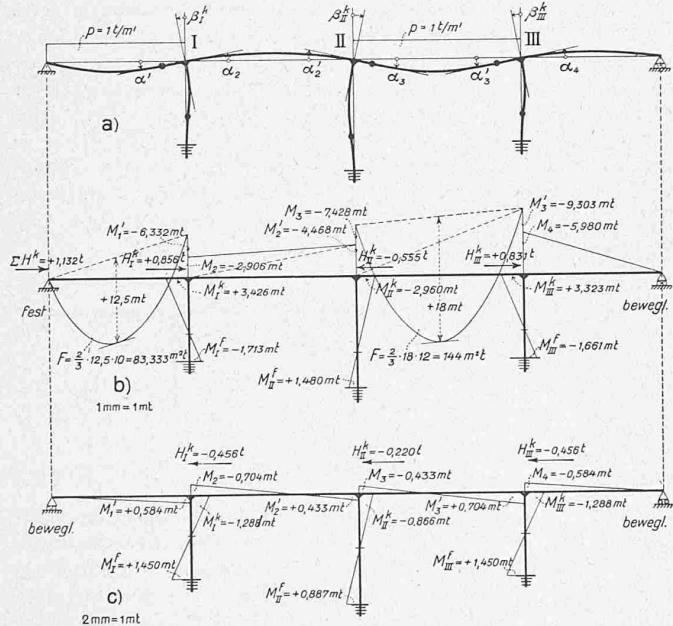


Abb. 2. a) Belastungsfall A; b) Momente und Horizontalschübe am Rahmen mit festgehaltenem Balken; c) Zusatz-Momente und -Schübe am Rahmen mit verschiebbarem Balken infolge der horizontalen Verschiebungskraft  $H = -1,132 t$ .

### I. Belastungsfall A (Abbildung 2a).

Für diesen Belastungsfall gehen die Grundgleichungen nach obigem Satze über in:

$$\begin{aligned} -\frac{I}{EJ} \left[ \frac{83,333}{2} + \frac{2}{3} \cdot \frac{1}{2} \cdot 10 M'_1 \right] &= \\ &= \frac{I}{EJ} \left[ \frac{2}{3} \cdot \frac{1}{2} \cdot 12 M_2 + \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{2} \cdot 12 M'_2 \right]; \\ -\frac{I}{EJ_1} \left[ \frac{2}{3} \cdot \frac{1}{2} \cdot 6 M'_1 + \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{2} \cdot 6 \left( -\frac{I}{2} M^k_1 \right) \right] &= \\ &= \frac{I}{EJ} \left[ 4 M_2 + 2 M'_2 \right]; \\ -\frac{I}{EJ} \left[ 2 M_2 + 4 M'_2 \right] &= \frac{I}{EJ} \left[ \frac{144}{2} + 4 M_3 + 2 M'_3 \right]; \\ -\frac{I}{EJ_1} \cdot \frac{1}{4} \cdot 8 M^k_{II} &= \frac{I}{EJ} \left[ \frac{144}{2} + 4 M_3 + 2 M'_3 \right]; \\ -\frac{I}{EJ} \left[ \frac{144}{2} + 2 M_3 + 4 M'_3 \right] &= \frac{I}{EJ} \cdot \frac{10}{3} M_4; \\ -\frac{I}{EJ_1} \cdot \frac{1}{4} \cdot 6 M^k_{III} &= \frac{I}{EJ} \cdot \frac{10}{3} M_4. \end{aligned}$$

Die Gleichgewichtsbedingung  $\Sigma M = 0$  fordert für die Knotenpunkte I bis III die Gleichungen:

$$M'_1 + M^k_1 = M_2; \quad M'_2 + M^k_{II} = M_3; \quad M'_3 + M^k_{III} = M_4;$$

die uns die Elimination der Pfeilermomente  $M^k$  aus den obigen Gleichungen gestattet, und es entstehen dann zur Ermittlung der unbekannten Balkenmomente erforderlichen sechs Bestimmungsgleichungen:

$$\begin{aligned} 5 M'_1 + 6 M_2 + 3 M'_2 &= -62,5 \\ M'_1 - \frac{5}{3} M_2 - \frac{1}{3} M'_2 &= 0 \\ M_2 + 2 M'_2 + 2 M_3 + M'_3 &= -36 \\ M'_2 - \frac{3}{2} M_3 - \frac{1}{4} M'_3 &= +9 \\ 2 M_3 + 4 M'_3 + \frac{10}{3} M_4 &= -72 \\ M'_3 - \frac{14}{9} M_4 &= 0 \end{aligned}$$

Die Auflösung ergibt:

$$\begin{aligned} M'_1 &= -6,332 \text{ mt}; \quad M'_2 = -4,468 \text{ mt}; \quad M'_3 = -9,303 \text{ mt}; \\ M_2 &= -2,906 \text{ mt}; \quad M_3 = -7,428 \text{ mt}; \quad M_4 = -5,980 \text{ mt}; \end{aligned}$$

und daraus als Pfeilerkopf- und Pfeilerfuß-Momente:

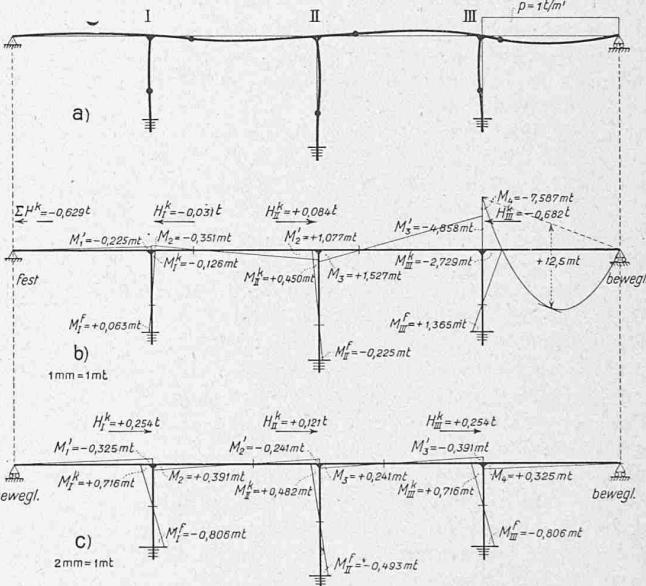


Abb. 3. a) Belastungsfall B; b) Momente und Horizontalschübe am Rahmen mit festgehaltenem Balken; c) Zusatz-Momente und -Schübe am Rahmen mit verschiebbarem Balken infolge der horizontalen Verschiebungskraft  $H = +0,629 t$ .

$$\begin{aligned} M^k_1 &= +3,426 \text{ mt}; \quad M^k_{II} = -2,960 \text{ mt}; \quad M^k_{III} = +3,323 \text{ mt} \\ M'_1 &= -1,713 \text{ mt}; \quad M'_{II} = +1,480 \text{ mt}; \quad M'_{III} = -1,661 \text{ mt} \end{aligned}$$

**Ermittlung der Horizontalschübe  $H^k$ .** Für einen am Fusse eingespannten und am Kopfe gelenkig gelagerten Pfeiler von der Höhe  $h$  und konstantem  $E \cdot J$  ermittelt sich die Gleichung zur Berechnung der von einem am Pfeilerkopf angreifenden Biegungsmomente  $M^k$  verursachten Reaktion (Horizontalschub)  $H^k$  nach dem Satze von der Neigung der elastischen Linie zu

$$H^k = \frac{3}{2h} \cdot M^k \quad \dots \quad \text{a)}$$

Hiermit erhält man den an jedem Pfeilerkopf wirkenden Horizontalschub:

$H^k_I = +0,856 t$ ;  $H^k_{II} = -0,555 t$ ;  $H^k_{III} = +0,831 t$ ; und den vom Balken zu übertragenden Gesamthorizontalschub (Reaktion)  $\Sigma H^k = +1,132 t$ . Die Horizontalschübe  $H^k$  an den Pfeilerfüßen sind gleich den Horizontalschüben  $H^F$  und entgegengesetzt gerichtet. Diese Momente und Schübe sind in Abbildung 2b dargestellt, wobei die Momentenfläche des Balkens stets an die Zugseite, bei den Pfeilern jedoch an die Druckseite angetragen wurde. Die Horizontalschübe  $H^k$  haben das gleiche Vorzeichen wie die bezüglichen Momente  $M^k$  d. h., sie sind stets nach derselben

Seite wie die mit ihnen gleichzeitig auftretenden elastischen Ausbiegungen der Pfeilerschäfte gerichtet; zur besseren Uebersicht sind jeweils die dem betreffenden Belastungsfall zustehenden Verbiegungen der Rahmenstäbe skizzenhaft eingezeichnet worden.

### 2. Belastungsfall B (Abbildung 3a).

Mit den gleichen Operationen wie unter 1. erhält man die zur Berechnung der sechs unbekannten Balken-Momente notwendigen Gleichungen:

$$5M'_1 + 6M'_2 + 3M'_3 = 0$$

$$M'_1 - \frac{5}{3}M'_2 - \frac{1}{3}M'_3 = 0$$

$$M'_2 + 2M'_3 + 2M'_4 + M'_5 = 0$$

$$M'_2 - \frac{3}{2}M'_3 - \frac{1}{4}M'_4 = 0$$

$$3M'_3 + 6M'_4 + 5M'_5 = -62,5$$

$$9M'_3 - 14M'_4 = +62,5$$

Die Auflösung führt zu

$$M'_1 = -0,225 \text{ mt}; M'_2 = +1,077 \text{ mt}; M'_3 = -4,858 \text{ mt};$$

$$M'_4 = -0,351 \text{ mt}; M'_5 = +1,527 \text{ mt}; M'_6 = -7,587 \text{ mt};$$

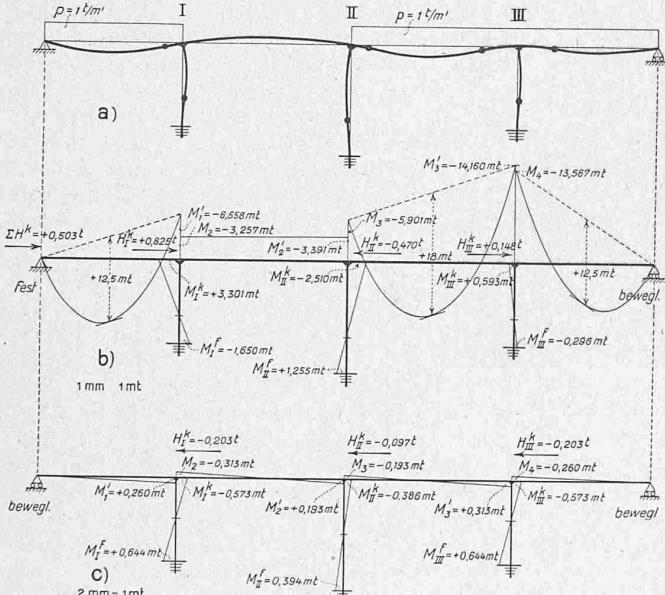


Abbildung 4. a) Belastungsfall C; b) Momente und Horizontalschübe am Rahmen mit festgehaltenem Balken; c) Zusatz-Momente und -Schübe am Rahmen mit verschiebbarem Balken infolge der horizontalen Verschiebungskraft  $H = -0,503 \text{ t}$ .

und die sich daraus ergebenden Pfeilermomente sind:

$$M'_1 = -0,126 \text{ mt}; M'_2 = +0,450 \text{ mt}; M'_3 = -2,729 \text{ mt}$$

$$M'_4 = +0,063 \text{ mt}; M'_5 = -0,225 \text{ mt}; M'_6 = +1,365 \text{ mt}$$

Die Horizontalschübe  $H^k$  (Reaktionen) betragen nach Gl. a.:

$$H'_1 = -0,031 \text{ t}$$

$$H'_2 = +0,084 \text{ t}$$

$$H'_3 = -0,682 \text{ t}$$

und deren Summe  $\sum H^k = -0,629 \text{ t}$

In Abbildung 3b sind diese Ergebnisse dargestellt.

### 3. Belastungsfall C (Abbildung 4a).

Die hierfür entstehenden Momente und Horizontalschübe erhält man durch Zusammensetzung der entsprechenden Werte der Belastungsfälle A und B; die so gefundenen Resultate sind in Abbildung 4b eingetragen.

### 4. Belastungsfall D (Abbildung 5a).

Diese Momente und Schübe werden gefunden durch Zusammensetzen der Werte des Belastungsfalles A mit den entsprechenden umgekehrten (Spiegelbild-) Werten des Belastungsfalles B; diese Resultate sind in Abbildung 5b eingetragen.

Wir kommen nun zur Berechnung der durch diese Belastungen bzw. durch deren Gesamthorizontalschübe hervorgerufenen Zusatzmomente und Zusatzschübe, die ent-

stehen, wenn der Rahmenbalken nicht einseitig festgelagert, sondern horizontal elastisch verschiebbar ist.<sup>1)</sup>

### II. Ermittlung der am Rahmen mit horizontal verschiebbarem Balken (beidseitig bewegliches Endauflager) entstehenden Momente und Horizontalschübe infolge einer in der Balkenaxe wirkenden horizontalen Verbindungs Kraft $H = 1 \text{ t}$ .

Zu diesem Zwecke denken wir uns den Balken und mit ihm sämtliche Pfeilerköpfe um die Strecke  $s = +0,01 \text{ m}$  nach rechts verschoben (Abbildung 6), wodurch infolge der zwangswise Verschiebung Momente und Horizontalschübe entstehen, die wir wie folgt ermitteln.

Aus Gründen der Symmetrie ist

$M_4 = -M'_1$ ,  $M'_3 = -M_2$ ,  $M_3 = -M'_2$  und  $H'_{III} = H'_I$  und es sind somit nur noch die unbekannten Momente und Schübe an den Knotenpunkten I und II zu bestimmen.

Die Kontinuität bedingt die Grundgleichungen:

$$\alpha'_1 = \alpha_2$$

$$\varepsilon_I + \beta_I^k = \alpha_2$$

$$\varepsilon_{II} + \beta_{II}^k = \alpha_2'$$

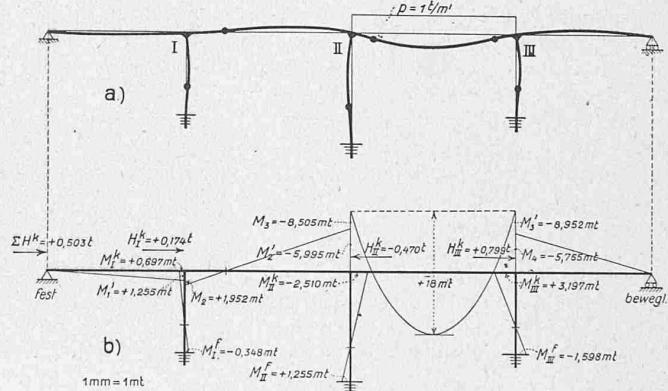


Abbildung 5. a) Belastungsfall D; b) Momente und Horizontalschübe am Rahmen mit festgehaltenem Balken.

und nach dem Satze von der Neigung der elastischen Linie gehen diese über in

$$\begin{aligned} -\frac{1}{EJ} \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{1}{2} \cdot 10M'_1 &= \frac{1}{EJ} \left[ \frac{2}{3} \cdot \frac{1}{2} \cdot 12M_2 + \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{2} \cdot 12M'_2 \right] \\ \frac{3}{2} \cdot \frac{0,01}{8} - \frac{1}{EJ_1} \left[ \frac{2}{3} \cdot \frac{1}{2} \cdot 6M'_1 + \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{2} \cdot 6\left(-\frac{1}{2}M^k_1\right) \right] &= \\ &= \frac{1}{EJ} \left[ 4M_2 + 2M'_2 \right]; \\ \frac{3}{2} \cdot \frac{0,01}{8} - \frac{1}{EJ_1} \cdot \frac{1}{4} \cdot 8M''_1 &= -\frac{1}{EJ} \left[ 2M_2 + 4M'_2 \right]. \end{aligned}$$

Ferner verlangt die Gleichgewichtsbedingung  $\sum M = 0$  für die Knotenpunkte allgemein

$$M' + M^k = M$$

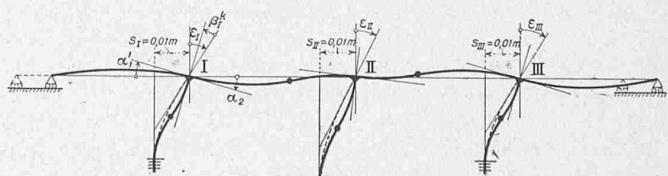


Abbildung 6.

Die Elimination der Pfeilermomente  $M^k$  führt alsdann mit Einsetzung der Werte für  $E$  und  $J$  zu:

<sup>1)</sup> Vergl. Dr. Ing. Ernst Suter: «Berechnung des kontinuierlichen Balkens mit veränderlichem Trägheitsmoment auf elastisch drehbaren Pfeilern sowie Berechnung des mehrfachen Rahmens mit geradem Balken nach der Methode der Fixpunkte (Besprochen in Band LXIX, S. 103, 3. März 1917 Red.), auch auszugsweise in der Zeitschrift «Armierter Beton» 1916, Heft 3 u. ff. erschienen.

$$\begin{aligned} 5M'_1 + 6M_2 + 3M'_2 &= 0 \\ M'_1 - \frac{5}{3}M_2 - \frac{1}{3}M'_2 &= -26,250 \\ M_2 + 10M'_2 &= -19,687; \end{aligned}$$

die Auflösung ergibt die Balkenmomente

$M'_1 = -3,171 \text{ mt}$ ;  $M_2 = +3,818 \text{ mt}$ ;  $M'_2 = -2,351 \text{ mt}$   
und die daraus resultierenden Pfeilerkopfmomente

$$M^k_1 = +6,989 \text{ mt}$$

$$M^k_2 = +4,702 \text{ mt}$$

und schliesslich hieraus die durch diese Pfeilerkopfmomente verursachten und nach Gleichung a) zu berechnenden Horizontalschübe

$$H^k_{I,m} = +1,747 t$$

$$H^k_{II,m} = +0,882 t$$

$$H^k_{III,m} = +1,747 t$$

$$\Sigma H^k_m = +4,376 t$$

Ausser diesen Schüben  $H^k_m$  wirken nun noch an den Pfeilerköpfen die die Pfeilerkopf-Verschiebungen  $s = +0,01 \text{ m}$  selbst erzeugenden Horizontalschübe  $H^k_s$ , die ebenfalls Biegungsmomente an den Pfeilerschäften hervorrufen. Betrachten wir einen Augenblick die verschobenen starren Verbindungspunkte des Balkens und der Pfeiler als aufgehoben und durch reibungslose Gelenke ersetzt, so werden die soeben gefundenen Balkenmomente  $M$ , Pfeilermomente  $M^k$  und Horizontalschübe  $H^k_m$  zu Null werden, und es verbleiben nur noch die an den Pfeilerenden (Gelenkpunkte) wirkenden Horizontalschübe (Verschiebungskräfte)  $H^k_s$ , die die unten eingespannten Pfeiler auf Biegung beanspruchen.

Die maximale Durchbiegung  $f$  eines an seinem freien Ende durch eine Einzelkraft belasteten Kragträgers kommt zum Ausdruck in

$$f = P \cdot \frac{l^3}{3EJ}$$

und daraus die zur Erzeugung einer Durchbiegung (Verschiebung des freien Stabendes) von der Grösse nötige Kraft in

$$P = f \cdot \frac{3EJ}{l^3}$$

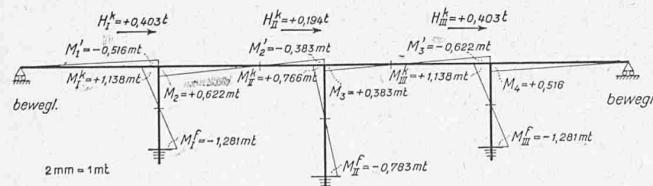


Abb. 7. Momente und Horizontalschübe infolge einer in der Balkenaxe wirkenden horizontalen Verschiebungskraft  $H = +1 t$ .

Die Horizontalschübe  $H^k_s$  betragen hiernach für eine Verschiebung der Pfeilerköpfe um die Strecke  $s = 0,01 \text{ m}$

$$H^k_{I,s} = +0,729 t$$

$$H^k_{II,s} = +0,308 t$$

$$H^k_{III,s} = +0,729 t$$

$$\Sigma H^k_s = +1,766 t$$

und sodann die Pfeilerfußmomente nach der Gleichung

$$M' = -h(H^k_m + H^k_s) + M^k$$

$$M'_1 = M'_{II} = -7,869 \text{ mt}$$

$$M'_{II} = -4,812 \text{ mt}$$

Durch Multiplikation der für die Verschiebung  $s = +0,01 \text{ m}$  gefundenen Werte  $M$ ,  $M^k$ ,  $M'$  und  $H^k$  mit

$$\frac{1}{\sum (H^k_m + H^k_s)} = \frac{1}{6,142}$$

entstehen sodann die in Abb. 7 eingetragenen Momente und Horizontalschübe infolge einer in der Balkenaxe wirkenden horizontalen Verschiebungskraft  $H = +1 t$ .

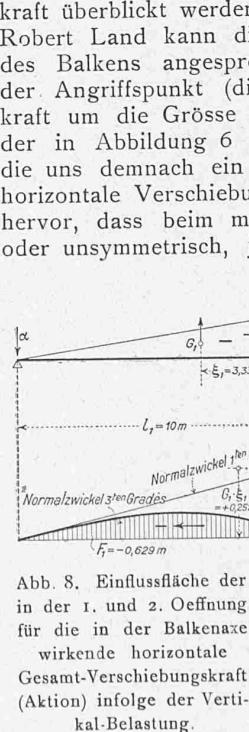
Die Zusatzmomente und Zusatzschübe für jeden einzelnen Belastungsfall  $A$  bis  $D$  erhält man nun einfach durch

Multiplikation der für die Verschiebungskraft  $H = +1 t$  gefundenen Werte mit dem dem betreffenden Belastungsfall entsprechenden und mit umgekehrtem Vorzeichen versehenen Gesamthorizontalschub. Die so gewonnenen Ergebnisse (Zusatzmomente und Zusatzschübe) sind für die Belastungsfälle  $A$ ,  $B$  und  $C$  in den Abbildungen 2c, 3c und 4c eingetragen. Für den Belastungsfall  $D$  gelten dieselben Zusätze wie beim Belastungsfall  $C$  Abbildung 4c, da die Reaktion  $\sum H^k$  ebenso gross und gleichfalls nach rechts gerichtet ist. Die beiden symmetrisch zur Rahmenmitte belasteten Endfelder (Fall C) haben nämlich keinen Einfluss auf die Zusätze, da ihre einzelnen Wirkungen in bezug auf die Verschiebung des Rahmenbalkens gleich gross und einander entgegengesetzt gerichtet sind, sich demnach also aufheben.

Die von einer gegebenen vertikalen Balkenbelastung verursachte, in der Balkenaxe wirkende Gesamtverschiebungskraft (Aktion) kann in bezug auf deren Grösse und Richtung am besten anhand der Einflusslinie für diese Verschiebungskraft überblickt werden.<sup>1)</sup> Nach dem Satze von Professor Robert Land kann diese Einflusslinie als die Biegelinie des Balkens angesprochen werden, die entsteht, wenn der Angriffspunkt (die Pfeilerköpfe) der Verschiebungskraft um die Grösse 1 horizontal verschoben wird. Aus der in Abbildung 6 skizzierten Biegelinie des Balkens, die uns demnach ein Bild von der Einflusslinie für die horizontale Verschiebungskraft (Aktion) gibt, geht somit hervor, dass beim mehrfachen Rahmen, ob symmetrisch oder unsymmetrisch, jede Mittelloffnung einen bestimmten,



Abb. 4. Hofeingang der Heilstätte Arosa.



nur von den Rahmenabmessungen abhängigen Punkt aufweist (Ordinaten-Nullpunkt der Biegelinie), an dem eine vertikale Last  $+P$  keinen Einfluss auf die Pfeilerkopf-Verschiebungen ausübt. In Abbildung 8 ist diese Biegelinie für die infolge Vertikalbelastung in

<sup>1)</sup> Vergl. Fussnote auf Seite 65.

der Balkenaxe wirkende Verschiebungskraft (Aktion) der ersten und der zweiten Oeffnung — nach dem von Ing. Dr. Arnold Moser in Zürich aufgestellten Verfahren<sup>1)</sup> berechnet und konstruiert — dargestellt. Aus der Symmetrie des Rahmens ergibt sich, dass die Einflussfläche der dritten und vierten Oeffnung sinngemäss gleich der der beiden ersten ist. (Schluss folgt.)



Abb. 2. Südfront, aus Südost gesehen, im Winter.

## Die Bündner Heilstätte in Arosa.

Von Arch. *Otto Manz* in Chur.  
(Mit Tafeln 7 und 8.)

Im Jahre 1896 organisierte sich im Kanton Graubünden ein „Verein zur Bekämpfung der Tuberkulose“, der sich zum Ziele setzte, unbemittelte Lungenkranke zu unterstützen und für sie eine eigene Heilstätte zu errichten. Unter der tatkräftigen Leitung des Präsidenten, Herrn Dr. med. Th. Lardelli in Chur, und dank vieler Unterstützungen durch Private, Kanton und Vereine war es möglich, im Verlauf von 20 Jahren dieses Ziel zu erreichen. Im Jahre 1907 gelangte der Verein durch Entgegenkommen des Bürgerrates von Chur und durch die hochherzige Schenkung eines Privaten in den Besitz eines idealen Bauplatzes in Arosa, worauf im Jahre 1909/10 ein Wettbewerb unter Bündner Architekten ausgeschrieben wurde.<sup>2)</sup> Aber erst mit der Eröffnung der Chur-Arosa-Bahn und nachdem durch die Hilfe der Kantonalbank die vollständige Finanzierung gesichert worden war, konnte 1915 an die Ausführung des Baues geschritten werden. Seit November 1916 ist die Heilstätte eröffnet.

<sup>1)</sup> Vergl. Ing. Dr. Arnold Moser: Das Zwickelverfahren, Zeitschrift «Armierter Beton» 1914, Heft 7 u. ff.; auch als Sonderabdruck erschienen (Besprochen auf S. 85 von Band LXVI, 14. Aug. 1915. Red.)

<sup>2)</sup> Band LIV, S. 218; Band LV, S. 109 und 187.

von Maran hin gebaut, und zwar ist ein Teil davon dadurch bereits im Rohbau angelegt worden, dass im Tracé dieser Strasse die Baumaterialien für den Neubau (Bruchstein, Sand und Kies) gewonnen wurden.

Der Bau ist mit der Hauptfront nach Süden orientiert; in einem Seitenflügel sind Speisesaal und Küche, sowie Arzt- und Verwalter-Wohnung und die Diensträume unter-

der Wohnung und die Diensträume untergebracht (vergl. Grundrisse und Schnitt, Abbildungen 5 bis 10, Seite 69). Die Beschaffenheit des Bauplatzes ermöglichte es, die Liegehalle im Untergeschoss anzurichten, wo sie die dahinterliegenden Räume nicht beeinträchtigen kann (Tafel 7).

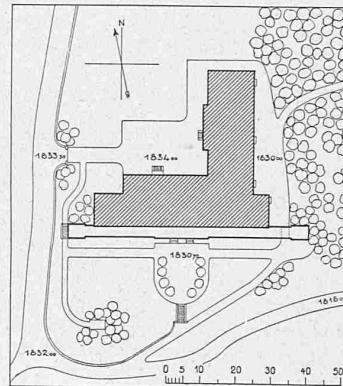


Abb. 1. Lageplan 1 : 2000.

Auf diese Weise ist in den oberen Stockwerken die ganze Südfront für die Krankenzimmer frei, ohne vorgebaute Liegehallen, derart, dass Licht und Luftzutritt für diese in keiner Weise gehemmt ist. Der Hauptverkehr wickelt sich im Hofe auf der Nordseite ab (Abbildung 3, S. 68).

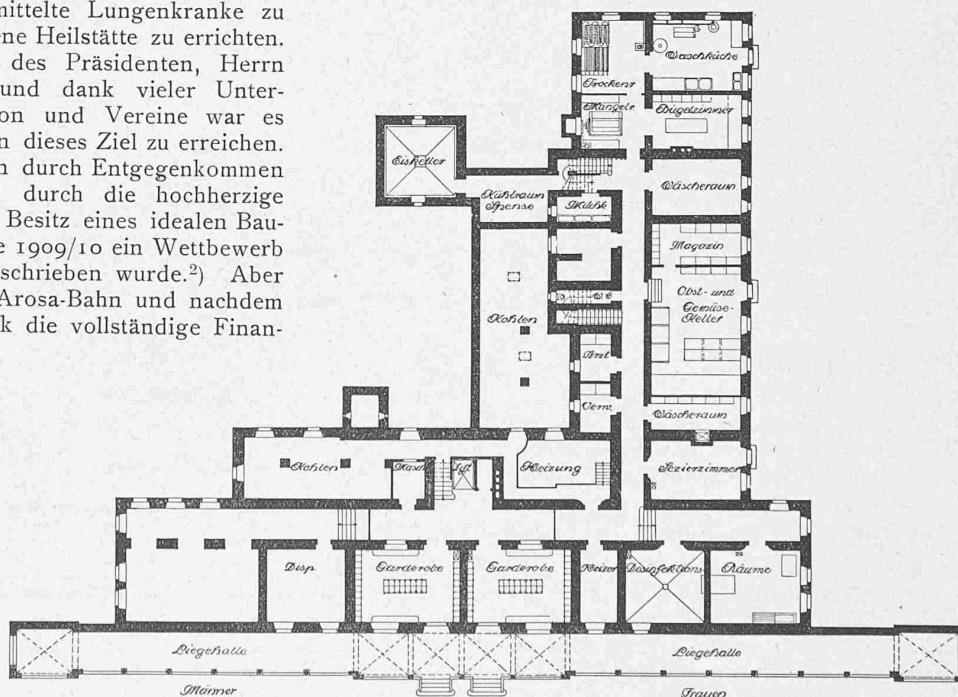


Abb. 5. Grundriss vom Untergeschoß. — Maßstab 1:500.

Dort befinden sich der Haupteingang (Abbildung 4) und der Nebeneingang, der für die Lieferanten und als besonderer Zugang zu Arzt- und Verwalter-Wohnung dient. Dadurch sind die Liegehalle und die Gartenanlagen davor frei von jeder Störung und allein für die Patienten zugänglich. Ein im Treppenhaus eingebauter elektrisch betriebener Fahr-