Der mehrfache Rahmen mit horizontal verschiebbarem und mit unverschiebbarem Balken

Autor(en): **Gsell-Heldt, Robert**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **69/70 (1917)**

Heft 6

PDF erstellt am: **26.04.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-33924

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

INHALT: Der mehrfache Rahmen mit horizontal verschiebbarem und mit unverschiebbarem 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. — Konkurrenzen: 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 unverschiebbarem 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 charakteristiche 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 bezw. 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[1]) sowie eine Umtemperierung des Balkens hier einen weit grösseren Einfluss auf die Biegungsmomente, als es beim mehrfachen Rahmen mit verschiebbarem (nicht festgehaltenen) 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 Biegungs-Momente 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 Balkenstützen-Momente 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 verschiebbarem (nicht festgehaltenem) Balken betragen. Oft treten nun keine wesentlichen, den Rahmen in seiner Längsrichtung angreifenden äussern Kräfte auf, wie z. B. bei Strassenbalkenbrücken, und es ist in solchen Fällen in Anbetracht der Temperatureinflüsse das Rahmensystem mit auf *beiden* Seiten *beweglichen* End-Auflagern 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 Zusatz-Momente 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° C.

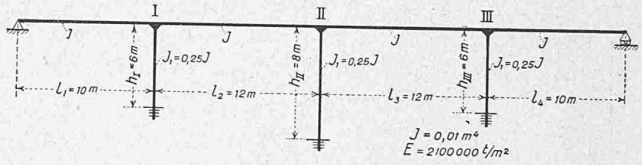

Abbildung 1.

Diese Verhältnisse sollen nun an einem seinerzeit von Dr. Ing. Max Ritter in Zürich[2]) 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° C dargelegt werden.

I. Ermittelung 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

[1]) Infolge der heute immer mehr platzgreifenden Verwendung des flüssigen Betons eine stets bemerkenswerter werdende Erscheinung.

[2]) Vergl. Dr. Ing. *Max Ritter*: «Der kontinuierliche Balken auf elastisch drehbahren Stützen», Schweiz. Bauzeitung, Band LVII, Seite 47 (28. Januar 1911).

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

$$\alpha_1' = \alpha_2 \qquad \alpha_2' = \alpha_3 \qquad \alpha_3' = \alpha_4$$
$$\beta_{\mathrm{I}}^k = \alpha_2 \qquad \beta_{\mathrm{II}}^k = \alpha_3 \qquad \beta_{\mathrm{III}}^k = \alpha_4$$

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 $\frac{1}{E \cdot J}$ fachen Momentenfläche belasteten Balkens. Die noch unbekannten Momentenflächen am Rahmen mit ihren Maximalordinaten M_1', M_2, M_1^f, M_1^k, ... 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 $^1/_3$ der Höhe h befindet; demnach ist allgemein:

$$M^f = -\frac{1}{2} M^k$$

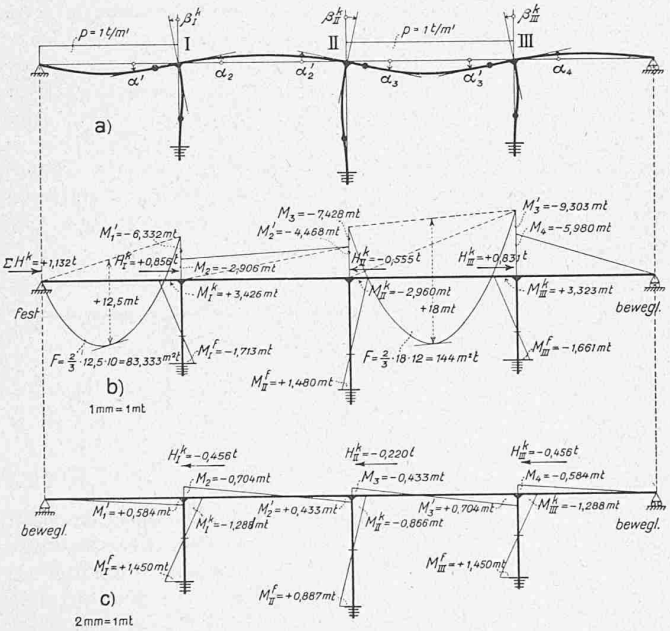

Abb. 2. a) Belastungsfall A; b) Momente und Horizontalschübe am Rahmen mit festgehaltenem Balken; c) Zusatz-Momente und -Schübe am Rahmen mit verschiebbarem Balken infolge der horizontalen Verschiebungskraft $H = -1{,}132\ t$.

1. *Belastungsfall A (Abbildung 2a).*

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

$$-\frac{1}{EJ}\left[\frac{83{,}333}{2} + \frac{2}{3}\cdot\frac{1}{2}\cdot 10\, M_1'\right] = \frac{1}{EJ}\left[\frac{2}{3}\cdot\frac{1}{2}\cdot 12\, M_2 + \frac{1}{3}\cdot\frac{1}{2}\cdot 12\, M_2'\right];$$

$$-\frac{1}{EJ_1}\left[\frac{2}{3}\cdot\frac{1}{2}\cdot 6\, M_1^k + \frac{1}{3}\cdot\frac{1}{2}\cdot 6\left(-\frac{1}{2} M_1^k\right)\right] = \frac{1}{EJ}\left[4\, M_2 + 2\, M_2'\right];$$

$$-\frac{1}{EJ}\left[2\, M_2 + 4\, M_2'\right] = \frac{1}{EJ}\left[\frac{144}{2} + 4\, M_3 + 2\, M_3'\right];$$

$$-\frac{1}{EJ_1}\cdot\frac{1}{4}\cdot 8\, M_{\mathrm{II}}^k = \frac{1}{EJ}\left[\frac{144}{2} + 4\, M_3 + 2\, M_3'\right].$$

$$-\frac{1}{EJ}\left[\frac{144}{2} + 2\, M_3 + 4\, M_3'\right] = \frac{1}{EJ}\cdot\frac{10}{3} M_4;$$

$$-\frac{1}{EJ_1}\cdot\frac{1}{4}\cdot 6\, M_{\mathrm{III}}^k = \frac{1}{EJ}\cdot\frac{10}{3} M_4.$$

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

$$M_1' + M_1^k = M_2; \qquad M_2' + M_{\mathrm{II}}^k = M_3; \qquad M_3' + M_{\mathrm{III}}^k = M_4,$$

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

$$5\, M_1' + 6\, M_2 + 3\, M_2' = -62{,}5$$
$$M_1' - \frac{5}{3} M_2 - \frac{1}{3} M_2' = 0$$
$$M_2 + 2\, M_2' + 2\, M_3 + M_3' = -36$$
$$M_2' - \frac{3}{2} M_3 - \frac{1}{4} M_3' = +9$$
$$2\, M_3 + 4\, M_3' + \frac{10}{3} M_4 = -72$$
$$M_3' - \frac{14}{9} M_4 = 0$$

Die Auflösung ergibt:

$M_1' = -6{,}332\ mt$; $M_2' = -4{,}468\ mt$; $M_3' = -9{,}303\ mt$;
$M_2 = -2{,}906\ mt$; $M_3 = -7{,}428\ mt$; $M_4 = -5{,}980\ mt$;

und daraus als Pfeilerkopf- und Pfeilerfuss-Momente:

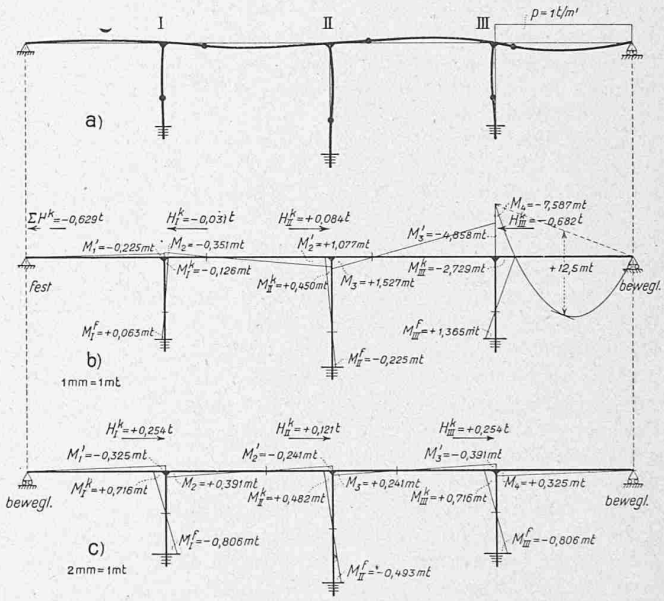

Abb. 3. a) Belastungsfall B; b) Momente und Horizontalschübe am Rahmen mit festgehaltenem Balken; c) Zusatz-Momente und -Schübe am Rahmen mit verschiebbarem Balken infolge der horizontalen Verschiebungskraft $H = +0{,}629\ t$.

$M_{\mathrm{I}}^k = +3{,}426\ mt$; $M_{\mathrm{II}}^k = -2{,}960\ mt$; $M_{\mathrm{III}}^k = +3{,}323\ mt$
$M_{\mathrm{I}}^f = -1{,}713\ mt$; $M_{\mathrm{II}}^f = +1{,}480\ mt$; $M_{\mathrm{III}}^f = -1{,}661\ mt$

Ermittelung 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 Pfeilerkopfe angreifenden Biegungsmomente M^k verursachten Reaktion (Horizontalschub) H^k nach dem Satze von der Neigung der elastischen Linie zu

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

Hiermit erhält man den an jedem Pfeilerkopf wirkenden Horizontalschub:

$H_{\mathrm{I}}^k = +0{,}856\ t$; $H_{\mathrm{II}}^k = -0{,}555\ t$; $H_{\mathrm{III}}^k = +0{,}831\ t$;

und den vom Balken zu übertragenden Gesamthorizontalschub (Reaktion) $\Sigma H^k = +1{,}132\ t$. Die Horizontalschübe H^f an den Pfeilerfüssen sind gleich den Horizontalschüben H^k 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:

$$\begin{aligned} 5\,M_1' + 6\,M_2 + 3\,M_2' &= 0 \\ M_1' - \tfrac{5}{3}M_2 - \tfrac{1}{3}M_2' &= 0 \\ M_2 + 2\,M_2' + 2\,M_3 + M_3' &= 0 \\ M_2' - \tfrac{3}{2}M_3 - \tfrac{1}{4}M_3' &= 0 \\ 3\,M_3 + 6\,M_3' + 5\,M_4 &= -62{,}5 \\ 9\,M_3' - 14\,M_4 &= +62{,}5 \end{aligned}$$

Die Auflösung führt zu

$M_1' = -0{,}225\ mt;\quad M_2' = +1{,}077\ mt;\quad M_3' = -4{,}858\ mt;$
$M_2 = -0{,}351\ mt;\quad M_3 = +1{,}527\ mt;\quad M_4 = -7{,}587\ mt;$

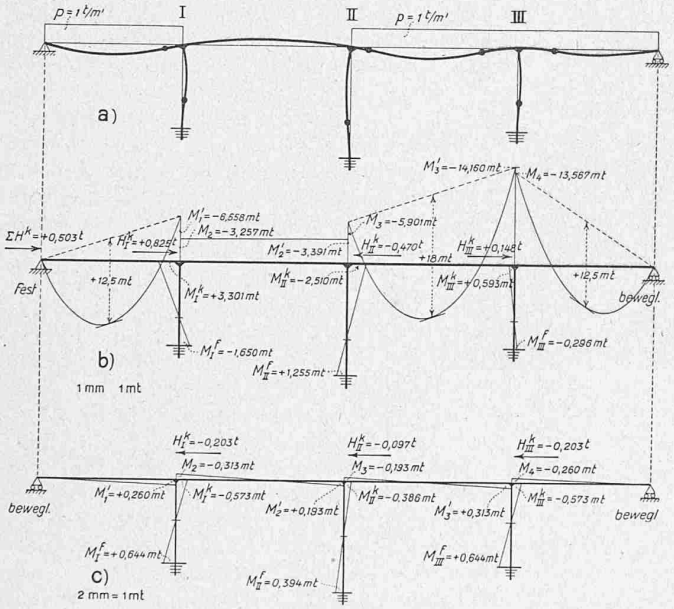

Abb. 4. a) Belastungsfall C; b) Momente und Horizontalschübe am Rahmen mit festgehaltenem Balken; c) Zusatz-Momente und -Schübe am Rahmen mit verschiebbarem Balken infolge der horizontalen Verschiebungskraft $H = -0{,}503\ t$.

und die sich daraus ergebenden Pfeilermomente sind:

$M_I^k = -0{,}126\ mt;\quad M_{II}^k = +0{,}450\ mt;\quad M_{III}^k = -2{,}729\ mt$
$M_I^f = +0{,}063\ mt;\quad M_{II}^f = -0{,}225\ mt;\quad M_{III}^f = +1{,}365\ mt$

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

$$\begin{aligned} H_I^k &= -0{,}031\ t \\ H_{II}^k &= +0{,}084\ t \\ H_{III}^k &= -0{,}682\ t \\ \Sigma\,H^k &= -0{,}629\ t \end{aligned}$$

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 bezw. durch deren Gesamthorizontalschübe hervorgerufenen Zusatzmomente und Zusatzschübe, die entstehen, wenn der Rahmenbalken nicht einseitig festgelagert, sondern horizontal elastisch verschiebbar ist.[1])

II. Ermittelung der am Rahmen mit horizontal verschiebbarem Balken (beidseitig bewegliches Endauflager) entstehenden Momente und Horizontalschübe infolge einer in der Balkenaxe wirkenden horizontalen Verbindungskraft $H = 1\ t$.

Zu diesem Zwecke denken wir uns den Balken und mit ihm sämtliche Pfeilerköpfe um die Strecke $s = +0{,}01$ m nach rechts verschoben (Abbildung 6), wodurch infolge der zwangsweisen 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 $H_{III}^k = H_I^k$

und es sind somit nur noch die unbekannten Momente und Schübe an den Knotenpunkten I und II zu bestimmen.

Die Kontinuität bedingt die Grundgleichungen:

$$\begin{aligned} \alpha_1' &= \alpha_2 \\ \varepsilon_I + \beta_I^k &= \alpha_2 \\ \varepsilon_{II} + \beta_{II}^k &= \alpha_2' \end{aligned}$$

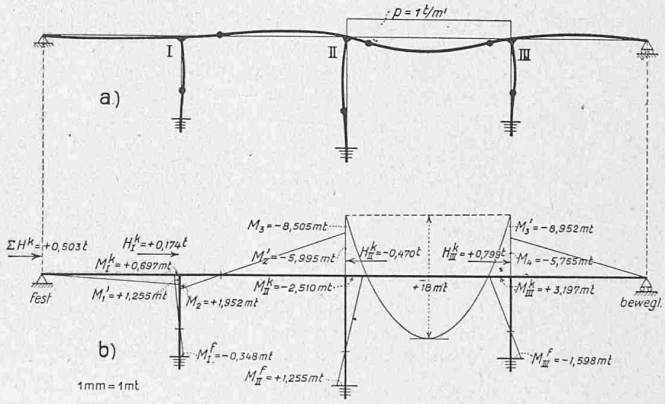

Abb. 5. a) Belastungsfall D; b) Momente und Horizontalschübe am Rahmen mit festgehaltenem Balken.

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

$$-\frac{1}{EJ}\cdot\frac{2}{3}\cdot\frac{1}{2}\cdot 10\,M_1' = \frac{1}{EJ}\left[\frac{2}{3}\cdot\frac{1}{2}\cdot 12\,M_2 + \frac{1}{3}\cdot\frac{1}{2}\cdot 12\,M_2'\right]$$

$$\frac{3}{2}\cdot\frac{0{,}01}{6} - \frac{1}{EJ_1}\left[\frac{2}{3}\cdot\frac{1}{2}\cdot 6\,M_I^k + \frac{1}{3}\cdot\frac{1}{2}\cdot 6\left(-\frac{1}{2}\cdot M_I^k\right)\right] = \frac{1}{EJ}\left[4\,M_2 + 2\,M_2'\right];$$

$$\frac{3}{2}\cdot\frac{0{,}01}{8} - \frac{1}{EJ_1}\cdot\frac{1}{4}\cdot 8\,M_{II}^k = -\frac{1}{EJ}\left[2\,M_2 + 4\,M_2'\right].$$

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

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

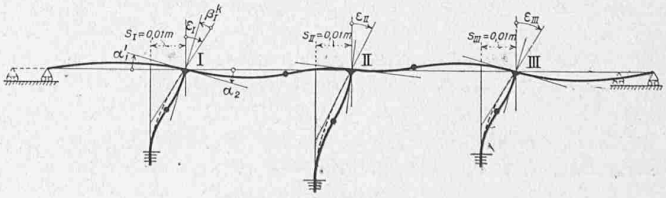

Abbildung 6.

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

[1]) 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.

$$5\,M_1' + 6\,M_2 + 3\,M_2' = 0$$
$$M_1' - \tfrac{5}{3}M_2 - \tfrac{1}{3}M_2' = -26{,}250$$
$$M_2 + 10\,M_2' = -19{,}687;$$

die Auflösung ergibt die Balkenmomente

$M_1' = -3{,}171\ mt;\ M_2 = +3{,}818\ mt;\ M_2' = -2{,}351\ mt$

und die daraus resultierenden Pfeilerkopfmomente

$$M_I^k = +6{,}989\ mt$$
$$M_{II}^k = +4{,}702\ mt$$

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

$$H_{I\,m}^k = +1{,}747\ t$$
$$H_{II\,m}^k = +0{,}882\ t$$
$$H_{III\,m}^k = +1{,}747\ t$$
$$\Sigma H_m^k = +4{,}376\ t$$

Ausser diesen Schüben H_m^k wirken nun noch an den Pfeilerköpfen die die Pfeilerkopf-Verschiebungen $s = +0{,}01\ m$ selbst erzeugenden Horizontalschübe H_s^k, 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_m^k zu Null werden, und es verbleiben nur noch die an den Pfeilerenden (Gelenkpunkte) wirkenden Horizontalschübe (Verschiebungskräfte) H_s^k, die die unten eingespannten Pfeiler auf Biegung beanspruchen.

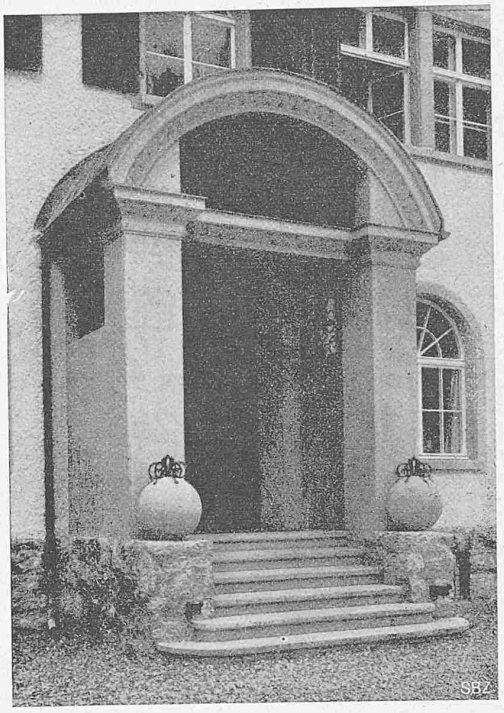

Abb. 4. Hofeingang der Heilstätte Arosa.

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

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

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

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

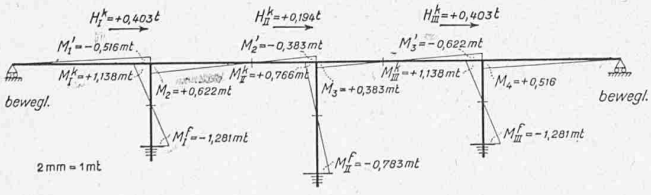

Abb. 7. Momente und Horizontalschübe infolge einer in der Balkenaxe wirkenden horizontalen Verschiebungskraft $H = +1\ t$.

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

$$H_{I\,s}^k = +0{,}729\ t$$
$$H_{II\,s}^k = +0{,}308\ t$$
$$H_{III\,s}^k = +0{,}729\ t$$
$$\Sigma H_s^k = +1{,}766\ t$$

und sodann die Pfeilerfussmomente nach der Gleichung

$$M^f = -h\,(H_m^k + H_s^k) + M^k$$
$$M_I^f = M_{III}^f = -7{,}869\ mt$$
$$M_{II}^f = -4{,}812\ mt$$

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

$$\frac{1}{\Sigma\,(H_m^k + H_s^k)} = \frac{1}{6{,}142}$$

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 ΣH^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 inbezug 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 inbezug auf deren Grösse und Richtung am besten anhand der Einflusslinie für diese Verschiebungskraft überblickt werden.[1]) 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 Mittelöffnung einen bestimmten,

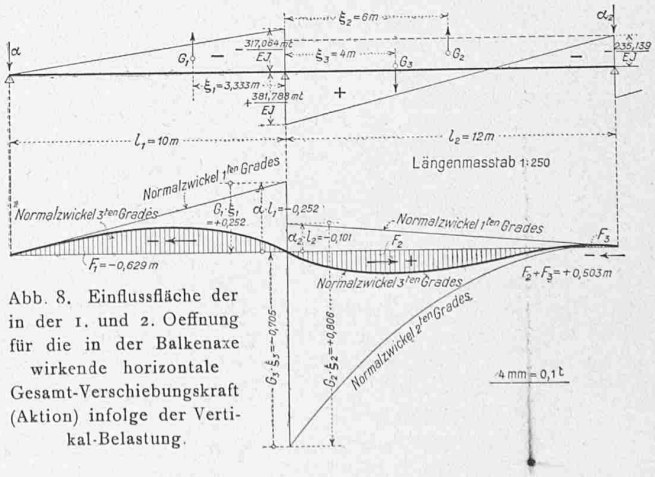

Abb. 8. Einflussfläche der in der 1. und 2. Oeffnung für die in der Balkenaxe wirkende horizontale Gesamt-Verschiebungskraft (Aktion) infolge der Vertikal-Belastung.

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

[1]) 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[1]) 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.)

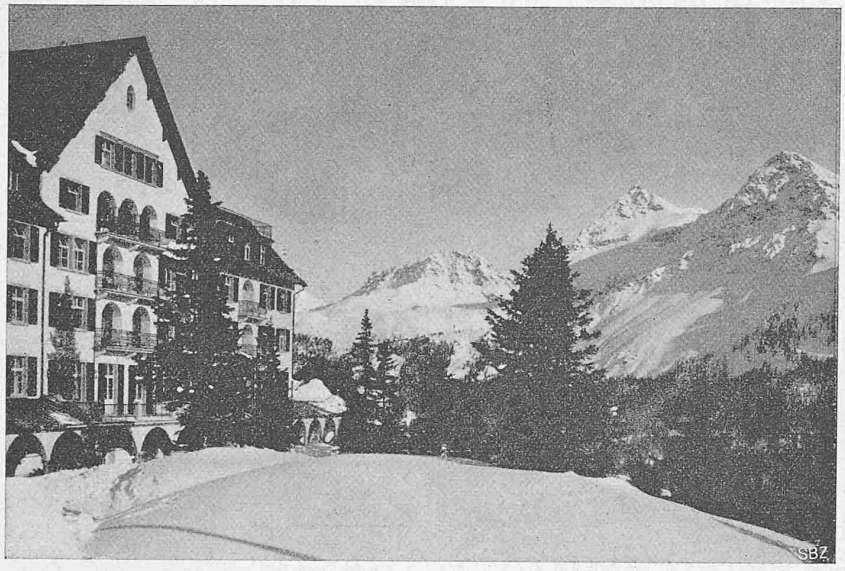

Abb. 2. Südfront, aus Südost gesehen, im Winter.

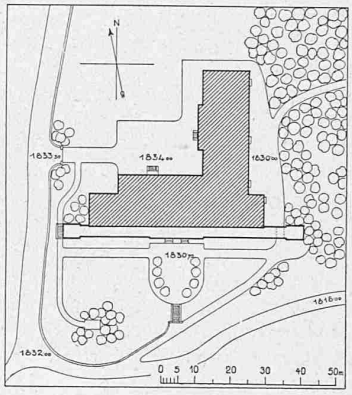

Abb. 1. Lageplan 1 : 2000.

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.[2]) 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.

Der Bauplatz befindet sich in bester Lage von Arosa auf ungefähr 1834 *m* Höhe (Abb. 1). Er ist sonnig und hat eine freie, unverbaubare Aussicht nach Süden und Osten; gegen Westen und Norden schützen ihn Hänge vor den Winden. Unmittelbar anschliessend ist der prächtige Tannenwald vorhanden, von dem ein grösserer Teil als Parkanlage für die Heilstätte gepachtet ist. Eine neue Strasse wird nach dem Bahnhof und nach der Gegend 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 untergebracht (vergl. Grundrisse und Schnitt, Abbildungen 5 bis 10, Seite 69). Die Beschaffenheit des Bauplatzes ermöglichte es, die Liegehalle im Untergeschoss anzuordnen, wo sie die dahinterliegenden Räume nicht beeinträchtigen kann (Tafel 7).

Auf diese Weise ist in den obern 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).

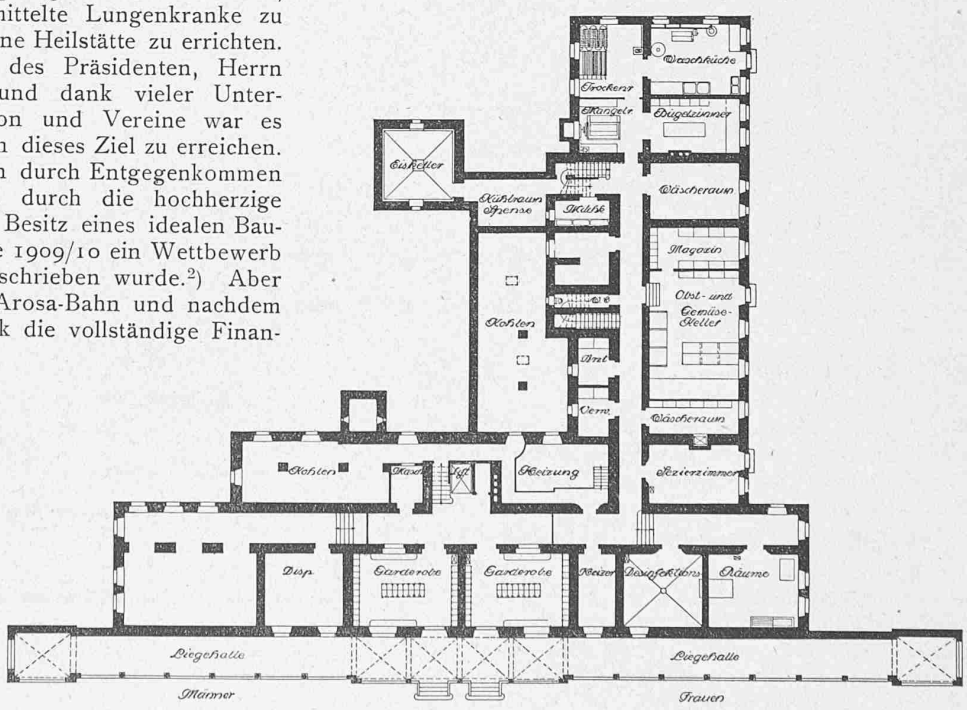

Abb. 5. Grundriss vom Untergeschoss. — Masstab 1 : 500.

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-

[1]) 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.*)

[2]) Band LIV, S. 218; Band LV, S. 109 und 187.