

Neuere Erkenntnisse über vorgespannten Beton

Autor(en): **Friedrich, Erich**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **IABSE congress report = Rapport du congrès AIPC = IVBH
Kongressbericht**

Band (Jahr): **3 (1948)**

PDF erstellt am: **21.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-4096>

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.

I Ib1

Recherches récentes sur le béton précontraint

Neuere Erkenntnisse über vorgespannten Beton

Recent research on prestressed concrete

D^r TECHN. ING. ERICH FRIEDRICH

Professor an der Technischen Hochschule, Graz

1. Einleitung

Im letzten Jahrzehnt wurden hochwertige Stähle im Stahlbetonbau immer mehr verwendet. Dabei müssen wir zwei verschiedene Anwendungsgebiete betrachten. Das erste Gebiet betrifft die Verwendung von hochwertigen Stählen im Stahlbetonbau ohne Vorspannung. In Oesterreich wird in immer grösserem Masse Torstahl verwendet, wobei man erwägt, diesen Stahl mit noch höherer Streckgrenze als bisher herauszubringen. Werden die Stahleinlagen vorgespannt, so gelingt es, Stähle mit noch wesentlich höherer Streckgrenze zu verwenden. Im Nachfolgenden wird über einige Punkte des Bemessungsverfahrens und über hierzu ausgeführte Versuche berichtet.

2. Biegebeanspruchung

Wir sind heute in der Lage im Stahlbetonbau durch Verwendung von Stahl mit hochliegender Streckgrenze und durch Verwendung von Betongütern die Bruchlast von auf Biegung beanspruchten Stahlbetonbalken sehr hoch zu steigern. Der Anwendung dieser hohen Stahlsorten stand jedoch die geringe Riss-Sicherheit dieser Balken im Wege, wodurch unter der zulässigen Belastung, wenn diese als 0,5 bis 0,45 der Bruchlast gewählt wird, bereits klaffende Risse auftreten. Im allgemeinen werden Rissbreiten bis 0,3 mm für den Bestand des Bauwerkes als nicht gefährlich angesehen. Doch ist darauf zu achten, dass wahrscheinlich durch die Haftspannungen Risse nicht Ebenen sondern gekrümmte Flächen sind, so dass Rissbreiten an der Oberfläche, wie Versuche mit Eosin-Einspritzungen zeigten, noch kein Mass für die Beanspruchung des Stahles an der Risstelle angeben. Sie

geben nur Vergleichswerte bei gleichen Stahlsorten. Durch die Vorspannung ist man in der Lage nun auch die Last, bei der die ersten Risse auftreten, beliebig hoch zu wählen. Man hat für die Bemessung von vorgespannten Systemen zwei Rechnungsgänge auszuführen:

Der erste Rechnungsgang besteht darin, die Abmessungen des Querschnittes und die Bewehrung, sowie die Höhe der Vorspannung so zu wählen, dass unter den zulässigen Lasten keine Zugspannungen im Beton oder zumindest keine Zugspannungen, die über der Zugfestigkeit des Betons liegen, auftreten. Die Berechnung erfolgt dabei nach Zustand I.

Der zweite Rechnungsgang geht von der Bruchlast aus. Die zulässige Belastung ist so zu wählen, dass bei zwei-facher bis 1,7-facher Sicherheit der Bruch des Balkens eintritt. Erst, wenn der Querschnitt beiden Forderungen genügt, ist er richtig gewählt.

Wenn in einem vorgespannten Träger keine äussere Kraft angreift, ist der Kraftangriff im unteren Kernpunkt oder nahe am unteren Kernpunkt (Lage 0). Unter der zulässigen Belastung wandert die Kraft N in den oberen Kernpunkt (Lage 1). Bei weiterer Steigerung der Last wandert die Kraft aus dem Kern heraus (Lage 2). Die Folge davon ist, dass Zugspannungen auftreten, die zu Rissen führen. Die Berechnung nach Zustand I für solche Belastungsfälle ist nicht mehr zulässig. Der Träger gleicht nun in seiner Wirkungsweise einem Träger, der durch Biegung und Längskraft bei Zustand II beansprucht wird (Bild 1). Die Bruchlasten können daher nach den Regeln für den Zustand II ermittelt werden.

Vorgespannte Systeme sind statisch ebenfalls Stahlbetonträger mit Biegung und Druckkraft. Die Bruchlast kann daher nach den Gesetzen für aussermittig beanspruchte Systeme bestimmt werden.

Die von dem Verfasser ausgeführten Versuche mit Balken mit T-Quer-

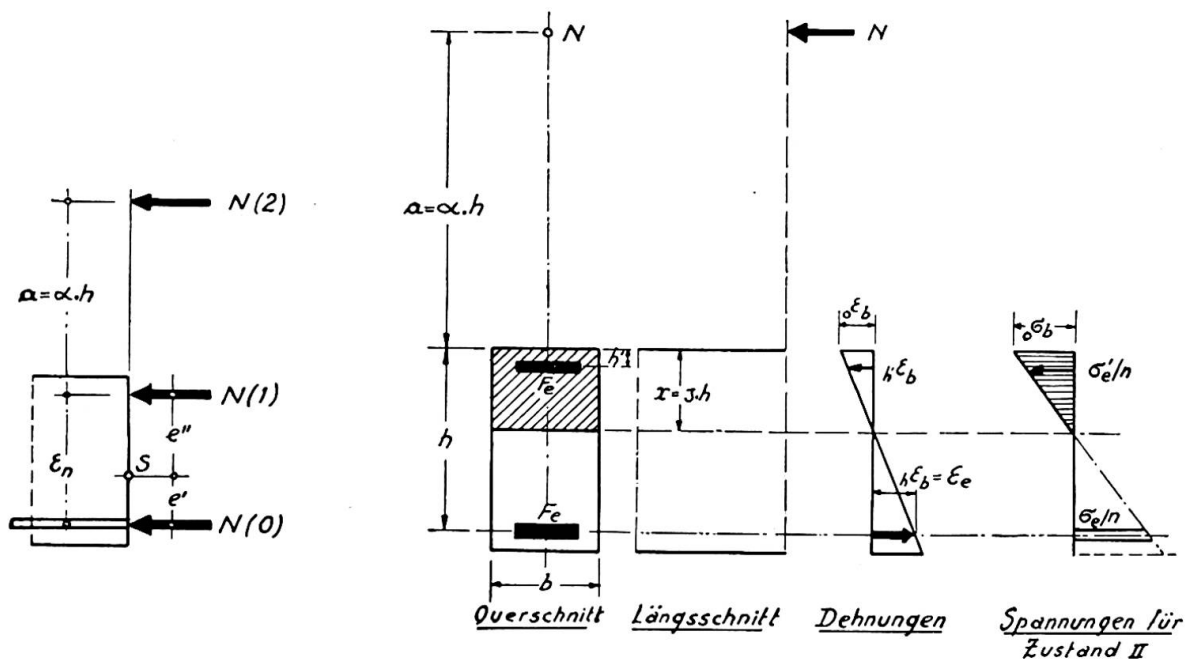


Abb. 1 und 2. Bei Wirkung der Vorspannung allein greift die Druckkraft im unteren Kernpunkt an (0). Bei Wirkung des zulässigen Biegemomentes wandert die Druckkraft in den oberen Kernpunkt (1). Bei weiterer Steigerung des Momentes tritt die Kraft aus dem Querschnitt heraus (2). Der Abstand a der Kraft N von der Druckkante beim Bruch ist ein Mass für die Bruchsicherheit.

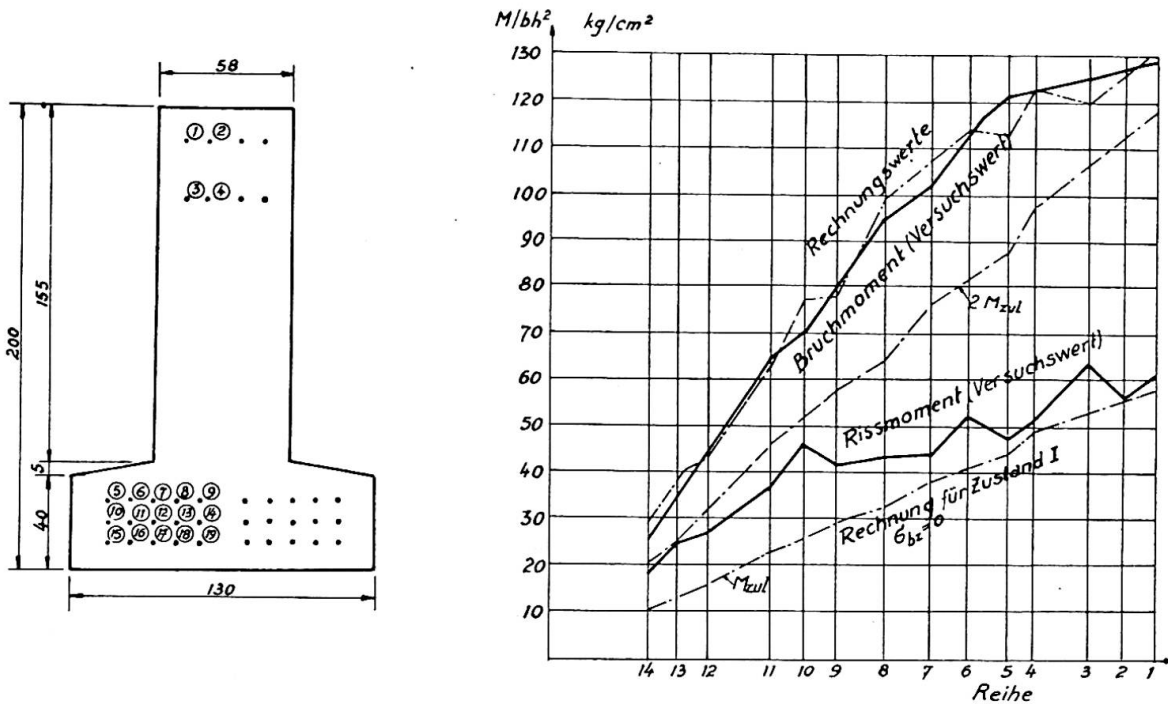


Abb. 3.

schnitt (Bild 3) dienten dazu, diesen Gedankengang zu überprüfen. Die Bewehrung bestand aus Stahlsaiten ϕ 2 mm. Dabei wurden 14 verschiedenen bewehrte Balken ausgeführt. Bei der ersten Versuchsreihe waren 38 ϕ 2 mm eingelegt worden und bei der 14. Reihe waren nur noch 6 ϕ 2 mm vorhanden. Die Tafel I gibt das Biegemoment bei Auftreten der ersten Risse, und das Bruchmoment jeweils als Mittelwert aus drei Versuchen an. Auf dem Bild 3 ist das Ergebnis aufgetragen. Als Abszisse ist dabei die Bewehrungsfläche F_c (cm^2) gewählt worden. Als Ordinate ist das Biegemoment bei Auftreten der ersten Risse und beim Bruch angegeben. Diesen Versuchswerten sind jeweils, die nach Zustand I für die Forderung, dass die Betonzugspannung gleich Null ist, und die nach Zustand II ermittelten Werte für das Rissmoment und Bruchmoment gegenübergestellt. Die Gegenüberstellung zeigt, dass das Rechnungsverfahren richtig gewählt ist und im ganzen Bereich der Rissmomentenlinie folgt. Auch die Berechnung der Bruchlast folgt der durch die Versuche bestimmten Linie. Man ersieht, dass man die zulässige Last noch höher wählen kann, indem man etwa eine Zugspannung des Betons mit $1/10$ der Würfel Festigkeit zulässt. Selbst auch dann ist die Bruchlast noch stets grösser als die 2-fache zulässige Last. In diesem Fall kann man bei der Bemessung auf den zweiten Rechnungsgang verzichten und noch an Material sparen.

3. Schubbeanspruchung

Einen erheblichen Arbeitsaufwand bei der fabrikmässigen Herstellung von vorgespannten Balken bereitet die zweckmässige Anordnung der Bügel. Da jedoch die Bügel eingelegt werden um die Hauptzugspannungen bei den üblichen Balken aufzunehmen und diese Zugspannungen bei vorgespannten Balken wesentlich kleiner sind, als bei nicht vorgespannten Systemen, ergeben theoretische Ueberlegungen, dass man auf die Bügel über-

Reihe	Anzahl ø mm	Bewehrung Anordnung	Fe cm ²
1	38	1, 2 — 3, 4 — 5, 6, 7, 8, 9 — 10, 11, 12, 13, 14 — 15, 16, 17, 18, 19	1,192
2	36	1, 2 — 3, 4 — 5, 6, 7, 8 — 10, 11, 12, 13, 14 — 15, 16, 17, 18, 19	1,130
3	34	1, 2 — 4 — 5, 6, 7, 8, 9 — 10, 11, 12, 13 — 15, 16, 17, 18, 19	1,068
4	30	1, 2 — 4 — 5, 6, 7, 8, 9 — 10, 11, 12, 13 — 15, 16, 18,	0,942
5	28	1, 2 — 4 — 5, 6, 7, 8, 9 — 11, 13 — 15, 16, 17, 18,	0,878
6	26	1 — 3, 4 — 5 — 10, 11, 12, 13, 14 — 15, 16, 17, 19	0,816
7	24	1 — 3, 4 — 10, 11, 12, 13 — 15, 16, 17, 18, 19	0,753
8	20	1 — 3 — 5, 6, 7, 8, 9 — 15, 16, 18,	0,638
9	18	1 — 3 — 10, 13, 14 — 15, 16, 18, 19	0,565
10	16	1, 2 — 10, 13 — 15, 16, 18, 19	0,502
11	14	1 — 4 — 15, 16, 17, 18, 19	0,439
12	10	1 — 15, 16, 17, 18,	0,314
13	8	1 — 17, 18 19	0,251
14	6	1 — 15, 19	0,188

haupt verzichten kann. Man würde dann nur Bügel am Ende der Träger erhalten.

4. Die Berücksichtigung des Kriechens

Um den Spannungsverlust zu berücksichtigen, der durch das Kriechen des Betons entsteht, wurden auf Grund der zahlreichen Versuche folgende Gleichungen aufgestellt ⁽¹⁾:

⁽¹⁾ E. FREYSSINET, *Une révolution dans les techniques du béton*, Paris, 1936.

R. E. DAVIS, *Flow of concrete under sustained compression stress* (*Journ. of the Amer. Concrete Inst.*, 1928).

W. H. GLANVILLE, *Studies in reinforced concrete. The creep or flow of concrete under load* (*Technical Paper 12*, London, 1930).

R. E. DAVIS und H. E. DAVIS, *Flow of concrete under action of sustained loads* (*Journ. of the Amer. Concrete Inst.*, 1931).

R. DUTRON, *Déformations lentes du béton et du béton sous l'action des charges permanentes* (*Ann. Tr. Belg.*, Dez. 1936 bis Febr. 1937).

A. HUMMEL, *Vom Kriechen und Fliessen des erhärteten Betons und seiner praktischen Bedeutung* (*Zement*, 1935, Heft 50/51).

Schwerpkt- abstand v. oben : mm	Zul. Moment M_{zul} kgm	Rissmoment M_{Riss} Mittelwerte kgm	Bruchmoment M_B Mittelwerte kgm	Bemerkungen
147	1.020	1.051	2.546	Druckzone zerstört
146	976	982	2.463	Druckzone zerstört
151	922	1.101	2 362	Druckzone zerstört
147	850	887	2.328	Druckzone zerstört
145	760	831	2.169	Druckzone zerstört
144	718	910	2.318	Druck- u. Zugzone gleichzeitig zerstört
146	664	769	1.986	Zugzone zerstört
147	558	763	1.905	Zugzone zerstört
149	505	726	1.651	Zugzone zerstört
143	449	813	1.624	Zugzone zerstört
142	395	618	1.368	Zugzone zerstört
153	284	472	991	Zerreissen der Drähte
145	229	440	803	Zerreissen der Drähte
130	172	329	640	Zerreissen der Drähte

TABELLE I.

a) Das Kriechen η_k ist proportional der elastischen Verkürzung

$$\eta_k = k \cdot \varepsilon$$

(Withney'sches Proportionalitätsgesetz);

b) In dieser Gleichung ist k die Kriechfunktion. Für die Kriechfunktion k sind folgende drei Grössen von primärem Einfluss : das Klima, die Kriechschonzeit und die Dauer der Belastung. Das Klima wird durch die relative Luftfeuchtigkeit φ , die Kriechschonzeit durch das Verhältnis α

$$\alpha = \frac{\text{Würfelfestigkeit bei Beginn der Belastung}}{\text{Würfelfestigkeit bei 90 Tagen (Endfestigkeit)}}$$

W. GEHLER, *Hypothesen und Grundlagen für das Schwinden und Kriechen des Betons* (Bau-technik, 1938, Heft 30).

F. DISCHINGER, *Untersuchungen über die Knicksicherheit, die elastische Verformung und das Kriechen des Betons bei Bogenbrücken* (Bauingenieur, 1937, Heft 33 bis 40).

F. DISCHINGER, *Elastische und plastische Verformungen der Eisenbetontragwerke und insbesondere der Bogenbrücken* (Bauingenieur, 1939, Heft 5/6 u.f.).

Lagerungsart	$a = \frac{W_{bt}}{W_{b90}}$ (¹)	Belastungsdauer		
		5,6 (1 Woche)	14 (2 Wochen)	36 (1 Monat)
Aeusserst feuchte Luft (z.B. Bauten an Meer) I. 80 % bis 100 % relat. Feuchigk. Mittelw. $\varphi_m = 90$ %	1,00	0,20	0,25	0,315
	0,90	0,25	0,315	0,40
	0,80	0,315	0,40	0,50
	0,71	0,40	0,50	0,63
Sehr feuchte Luft (z.B. Bäder) II. 63 % bis 80 % $\varphi_m = 71$ %	1,00	0,25	0,315	0,40
	0,90	0,315	0,40	0,50
	0,80	0,40	0,50	0,63
	0,71	0,50	0,63	0,80
Feuchte Luft (z.B. Flusstäler) III. 50 % bis 63 % $\varphi_m = 56$ %	1,00	0,315	0,40	0,50
	0,90	0,40	0,50	0,63
	0,80	0,50	0,63	0,80
	0,71	0,63	0,80	1,00
Trockene Luft (z.B. Bauten im Freien) IV. 40 % bis 50 % $\varphi_m = 45$ %	1,00	0,40	0,50	0,63
	0,90	0,50	0,63	0,80
	0,80	0,63	0,80	1,00
	0,71	0,80	1,00	1,25
Sehr trockene Luft (z. B. trockene Innenräume) V. 32 % bis 40 % $\varphi_m = 36$ %	1,00	0,50	0,63	0,80
	0,90	0,63	0,80	1,00
	0,80	0,80	1,00	1,25
	0,71	1,00	1,25	1,60

und die Zeitdauer t in Tagen ausgedrückt. Aus den Versuchen kann man die Beziehung ableiten :

$$K = 0,71 \cdot \sqrt[4]{\frac{t}{1.400}} \text{ für } t \leq 1.400 \text{ Tage (rund 4 Jahre)}$$

$$K = K_{\max} = \frac{0,71}{\alpha^2 \cdot \varphi} \text{ für } t = 1.400 \text{ Tage (rund 4 Jahre) .}$$

Für die praktische Rechnung dient die aufgeführte Tafel II, wobei die Zahlenwerte aus den obigen Gleichungen berechnet sind. Damit ist das Kriechmass auf eine elastische Formänderung zurückgeführt, so dass die Berücksichtigung in der Rechnung keine Schwierigkeit bereitet.

5. Anwendungsbeispiele

Die Hauptanwendungsgebiete vorgespannter Betonbauteile sind in drei Gruppen einzuteilen :

a) Massenherstellung : Träger für den Wohnungsbau, Schwellen für Eisenbahnschienen und ähnl. Bei diesen Trägern liegt der Vorteil der Vor-

in Tagen			
90 (1/4 Jahr)	224 (7 Monate)	560 (1 1/2 Jahre)	1.400 (?) (4 Jahre)
0,40	0,50	0,63	0,80
0,50	0,63	0,80	1,00
0,63	0,80	1,00	1,25
0,80	1,00	1,25	1,60
0,50	0,63	0,80	1,00
0,63	0,80	1,00	1,25
0,80	1,00	1,25	1,60
1,00	1,25	1,60	2,00
0,63	0,80	1,00	1,25
0,80	1,00	1,25	1,60
1,00	1,25	1,60	2,00
1,25	1,60	2,00	2,50
0,80	1,00	1,25	1,60
1,00	1,25	1,60	2,00
1,25	1,60	2,00	2,50
1,60	2,00	2,50	3,15
1,00	1,25	1,60	2,00
1,25	1,60	2,00	2,50
1,60	2,00	2,50	3,15
2,00	2,50	3,15	4,00

(1) W_{bt} = Würfelfestigkeit zur Zeit des Aufbringens der Belastung auf den Beton ;

W_{b90} = Würfelfestigkeit im Alter von 90 Tagen (Endfestigkeit)

$$\tau_t = k \cdot \varepsilon$$

$$k = 0,71 \sqrt[4]{\frac{t}{1.400}}$$

$$k = \frac{0,71}{a^2 \varphi}$$

(2) Endkriechmass

TABELLE II : *Tafel zur bestimmung*

des Kriechmasses $K = \frac{\tau_{lt}}{\varepsilon}$

spannung insbesondere im kleinen Gewicht der Träger. Die Bauteile müssen so geformt werden, dass die Herstellung in Strassen von rd. 100 m Länge möglich ist, wobei auf die leichte Entformung Rücksicht genommen werden muss. Die Herstellung von Eisenbahnschwellen aus Stahlbeton ist ein Gebiet, das nicht nur in Oesterreich sondern auch in der Schweiz eingehend bearbeitet wird ;

b) Für Bauteile mit grosser Spannweite. Für viele Bauteile, wo der übliche Stahlbeton praktisch nicht mehr verwendet werden kann, liegt ebenfalls ein Anwendungsgebiet des vorgespannten Betons. Hier handelt es sich meist um Einzelanfertigungen. Die Geräte, die zur Aufbringung der Vorspannung auf der Baustelle dienen, sind zum grossen Teil entwickelt ;

c) In vielen Fällen sind jedoch auch Bauteile zu konstruieren, bei denen es nicht darauf ankommt, eine hohe Tragfähigkeit zu erzielen, sondern viel mehr darauf, grosse Formänderungen ohne Risse aufzunehmen. Eine solche Anwendung ist z.B. die Anordnung einer vorgespannten Dichtungswand in Speicherdämmen (Bild 4). Die Aufgabe dieser Dichtungswand besteht darin, den Damm abzudichten. Eine Stahlbetonwand üblicher Konstruktion ist nicht geeignet, da sie durch die im Inneren der Dämme auftretenden Bewegungen bricht. Durch die Vorspannung der Wand ist sie in der Lage, die grossen Formänderungen aufzunehmen.

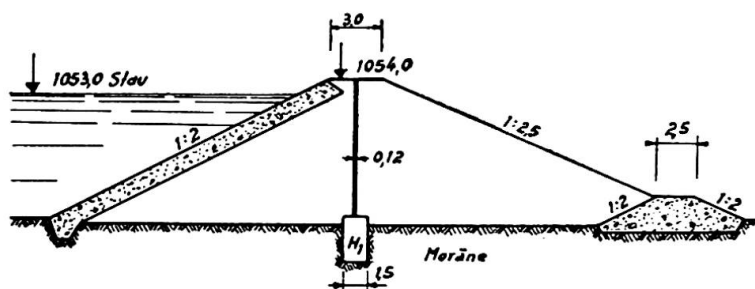


Abb. 4.

Sehr vorteilhaft lassen sich aus vorgespannten Beton Schalungsplatten herstellen. Die Schalungskörper werden hinterfüllt und verbleiben als verlorene Schalung am Betonkörper. Sowohl beim Bau von tunnelförmigen Körpern, wie auch beim Bau von Massivbauwerken, wie z.B. bei Stau-mauern ist diese Methode sehr vorteilhaft. Auch im Brückenbau ergeben sich hier für die Vorspannung neue Anwendungsgebiete.

Résumé

Pour les constructions précontraintes, il faut considérer deux cas de charges pour la détermination des charges admissibles. Le premier cas est la charge de fissuration; elle dépend principalement de la valeur de la précontrainte. Le deuxième cas est la charge de rupture dépendant des qualités des matériaux.

Ce mémoire relate des essais établissant une liaison entre ces deux cas et indique les procédés de mesure.

Zusammenfassung

Bei vorgespannten Systemen sind für die Festlegung der zulässigen Belastung zwei verschiedene Laststufen zu berücksichtigen. Die erste Laststufe ist die Risslast. Sie hängt wesentlich von der Höhe der Vorspannkraft ab. Die zweite Laststufe ist die Bruchlast, die von den Baustoff-Festigkeits abhängt.

Im Bericht werden Versuche angegeben, die den Zusammenhang der beiden Laststufen darlegen und Bemessungsverfahren angezeigt.

Summary

With prestressed systems two varying load-stages have to be taken into consideration when laying down a permissible load. The first stage is the projection load. This depend mainly on the extent of the prestressing. The second stage is the rupture load, which depends upon the strength of the building material.

In the report mention will be made of tests which show the connection between the two load stages and measuring processes.