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

Band: 2 (1936)

Artikel: La résistance du béton et du béton armé soumis à des efforts permanents et répétés

Autor: Graf, O.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-2919

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: 02.07.2025

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

IIa2

La résistance du béton et du béton armé soumis à des efforts permanents et répétés.

Festigkeit des Betons und des Eisenbetons bei dauernder und bei oftmals wiederholter Belastung.

The Strength of Concrete and Reinforced Concrete under Sustained and Frequently Repeated Loading.

O. Graf,
Professor an der Technischen Hochschule, Stuttgart.

La recherche de la résistance à la fatigue du béton exige des essais vastes et de longue durée. En effet: la résistance du béton dépend de son âge; le traitement du béton n'est pas sans influence (humidité et température au moment des essais ainsi qu'à l'état primitif, avec et sans tensions de retrait); le développement de la résistance du béton est influencé par les propriétés du ciment; la résistance dépend aussi de la composition granulométrique du béton; la participation de l'armature à la transmission des efforts dépend largement de la résistance aux déformations du béton, qui varie dans une proportion importante avec la durée de l'application de la surcharge, la grandeur de la sollicitation, le degré d'humidité du béton, etc.

Il ne faut pas oublier encore les nombreuses influences que nous connaissons déjà par les essais ordinaires sur le béton et le béton armé (dosage en ciment, rapport entre la quantité d'eau et celle de ciment, composition granulométrique, nature du gravier, mode de préparation, etc.). Il faut encore déterminer si ces influences sont les mêmes sur la résistance à la fatigue et sur la résistance ordinaire.

Nous employons ici le terme: résistance à la fatigue dans un sens tout-à-fait général. Dans les applications techniques il faut déterminer et distinguer le genre de résistance à la fatigue (compression, traction, efforts alternés, flexion, cisaillement, flambage) ainsi que le mode de surcharge (immobile seulement, répétée seulement, partiellement immobile et partiellement répétée, etc.).

Nous allons résumer brièvement les connaissances actuelles sur la résistance à la fatigue du béton et du béton armé. Nous pourrons en conclure, ainsi que nous l'avons souvent démontré dans les milieux professionnels, que pour un progrès systématique, il est encore bien des questions à mettre au point.

1° *Résistance à la fatigue du béton comprimé.*

Les chiffres que nous donnerons dans ce qui suit sont valables pour du béton âgé du plus de six mois lors des essais et conservé dans les locaux de travail après avoir été maintenu humide au début.

a) Résistance à la fatigue du béton comprimé par une surcharge immobile (stabilité à la fatigue).

Nous ne connaissons pas encore de résultats d'essais sur la résistance du béton soumis à une surcharge permanente immobile. Il existe cependant quelques observations dont nous tiendrons compte au cours de nos essais. Il s'agit des essais groupés sous b) et c) d'après lesquels on peut dire que la stabilité à la fatigue du béton sera les $^4/_5$èmes de la résistance lors des essais de compression ordinaires.[1]

b) Résistance à la fatigue du béton soumis à une compression souvent répétée (résistance aux efforts répétés non alternés).

Citons les essais de *Joly, Hatt, Ornum*[2] et *Mehmel*[2] ainsi que les essais plus récents de *Graf* et *Brenner*[3] qui furent exécutés pour la Commission allemande du béton armé. Il résulte de ces essais que la résistance à la compression due à des efforts répétés non alternés de poteaux en béton de différentes compositions, en particulier de différents pourcentages de ciment et de différentes compositions granulométriques, est à peu près 0,6 fois la résistance des primes utilisés dans les essais ordinaires de rupture. La composition du béton n'a qu'une importance restreinte; la valeur du rapport décroît en général pour une résistance croissante.

Le nombre d'oscillations de la charge se montait à environ 260 à la minute; le nombre total d'oscillations pour lequel on détermina la résistance aux efforts répétés non alternés était de deux millions.

Le nombre d'oscillations entrainant la rupture croit avec une fréquence croissante (au cours des essais on admit des fréquences de 10 à 450 oscillations à la minute). La résistance aux efforts répétés non alternés était un peu plus grande pour une fréquence plus grande.

c) Résistance à la fatigue du béton comprimé en même temps par une surcharge immobile et une surcharge souvent répétée.

L'amplitude des charges oscillantes qui peuvent être supportées deux millions de fois, décroît avec l'accroissement des charges permanentes. La fig. 1 par exemple nous montre que, pour un béton dont la résistance de prisme est de 180 kg/cm², l'amplitude S est la suivante:

pour une charge permanente	$\sigma_u =$ 6 kg/cm²,	S = 109 kg/cm²
„ „ „ „	$\sigma_u =$ 118 kg/cm²,	S = 39 kg/cm²
„ „ „ „	$\sigma_u =$ 157 kg/cm²,	S = 8 kg/cm²

[1] Lorsqu'il s'agit de relever les tensions de compression admissibles du béton, il faut remarquer que la grandeur des déformations du béton pour une surcharge permanente doit aussi être prise en ligne de compte (cf. *Graf*, „Beton und Eisen", 1934, p. 167, ainsi que *Hummel*, „Zement", 1935, p. 799).

[2] cf. *Graf*, „Die Dauerfestigkeit der Werkstoffe und der Konstruktionselemente", Springer, Berlin, p. 116, ainsi que Hatt et Mills, Bulletin 34 of the Purdue University, 1928.

[3] cf. *Cahier* 76 du „Deutschen Ausschusses für Eisenbeton". Un autre rapport paraîtra en 1936.

Chaque essai durait au moins 5 jours. Les valeurs que nous avons obtenues ainsi, nous montrent que la résistance à un effort permanent, lors d'un essai à la fatigue de 5 jours environ, est à peu près égale à la résistance de prismes, obtenue lors des essais ordinaires d'écrasement (165 kg/cm² d'effort total dans un essai à la fatigue contre 180 kg/cm² dans un essai d'écrasement).

d) Généralités sur la résistance à la fatigue du béton comprimé.

D'après les normes relatives au béton et au béton armé, la compression admissible pour des poteaux sollicités centriquement, est au plus égale au $^1/_3$ de la résistance de cubes de béton après 28 jours. Lorsque l'on admet pour les poteaux une résistance égale aux $^2/_3$ au moins de la résistance des cubes, la

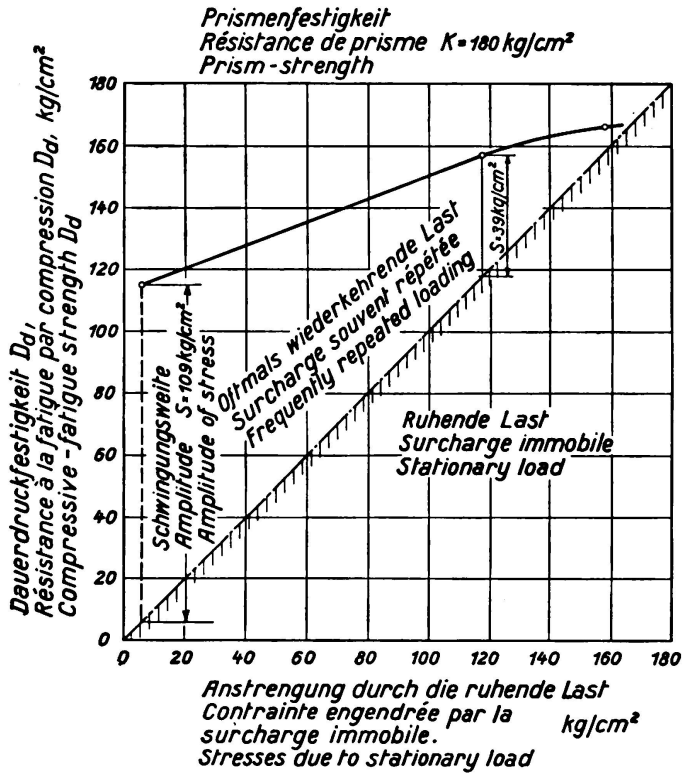

Fig. 1.

Essais à la fatigue par compression sur des prismes de béton non armé.

sollicitation admissible du béton se monte à la moitié de la résistance des poteaux.

Cette sollicitation des poteaux n'est pas beaucoup au-dessous de la capacité de résistance à une compression souvent répétée, si l'on ne tient pas compte de l'accroissement de la résistance avec l'âge. Si l'on admet une croissance nette de la résistance avec l'âge, il faudrait y adapter les sollicitations usitées en Allemagne, même lorsque seules des surcharges répétées déterminent le dimensionnement.

Dans l'avenir on pourra examiner dans quelles conditions un relèvement de la compression admissible du béton est possible quand principalement des charges immobiles déterminent le dimensionnement.

2° *Résistance à la fatigue du béton soumis à la traction.*

On a exécuté à Karlsruhe des essais de ce genre; ils ont donné des résultats semblables à ceux que nous avons sous 1a et 1b pour la compression.[4] Ces résultats n'ont pas encore été publiés.

3° *Résistance à la fatigue du béton soumis à la flexion.*

Clemmer[5] et plus tard *Olden*[5] ont fait des essais sur du béton soumis à la flexion. La surcharge était appliquée 40 fois à la minute. Les résultats montrent

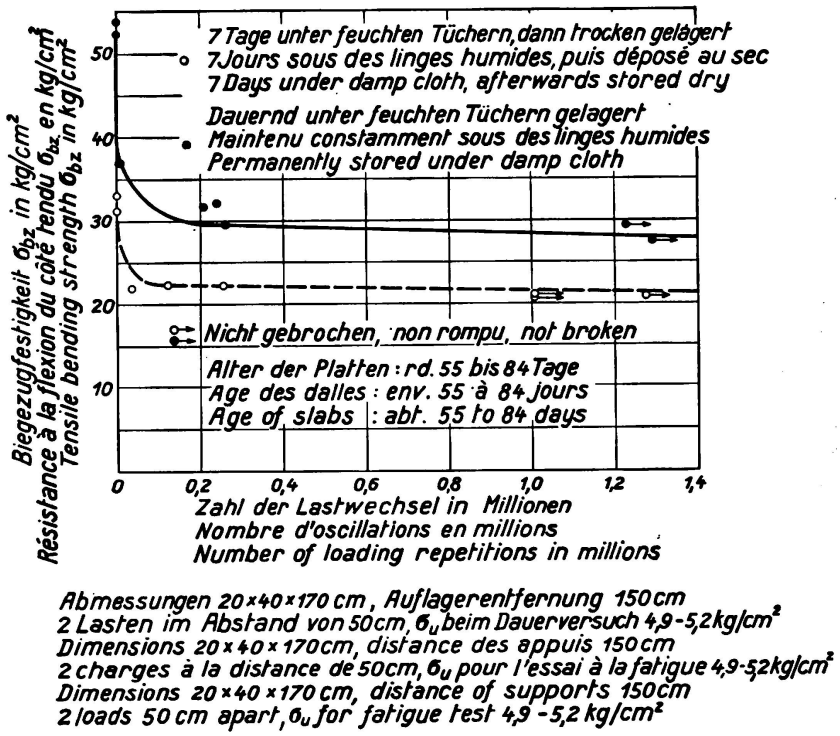

Fig. 2.

Essais à la fatigue par flexion sur des dalles de béton non armé.

que la résistance à la fatigue du béton soumis à des efforts répétés non alternés est environ la moitié de la résistance à la flexion déterminée de la façon ordinaire.

Des essais que nous avons exécutés nous-mêmes en 1935, donnés dans la fig. 2, ont fourni les résultats suivants: Des poutres maintenues constamment humides, ont montré une résistance à la fatigue de 28 kg/cm² pour des efforts répétés non alternés; la résistance normale à la flexion est de 53 kg/cm², le rapport est donc 0,53 : 1,0. Des poutres maintenues humides au début puis déposées au sec possèdaient une résistance à la fatigue de 21 kg/cm² pour des efforts répétés non alternés; la résistance ordinaire à la flexion est de 32 kg/cm², le rapport est donc dans ce cas de 0,66:1,0.

D'autres essais sont en cours.

---

[4] D'après une communication de Monsieur le prof. Dr. ing. *Kammüller*.

[5] Ces essais furent publiés en résumé dans *Graf:* „Die Dauerfestigkeit der Werkstoffe und der Konstruktionselemente", p. 117.

4° *Résistance à la fatigue de poteaux en béton armé soumis à la compression.*

Lorsque l'on veut juger de la résistance à la fatigue des poteaux en béton armé il ne faut pas oublier de remarquer ce qui suit:

a) L'élasticité de l'acier et, par conséquent, la résistance au flambage des armatures n'est pas ou que peu influencée par des charges permanentes ou par des surcharges souvent répétées.

b) La limite d'écrasement diminue avec le temps sous l'effet de charges permanentes.[6]

c) Les déformations du béton dépendent dans une forte mesure de la durée et de la grandeur de la surcharge. La participation du béton à la transmission des forces dans les poteaux en béton armé varie par conséquent avec la durée et la grandeur de la surcharge; elle dépend encore de la composition du béton ainsi que de son degré d'humidité.

Nous ne connaissons jusqu'à présent aucun résultat de recherches sur la résistance de poteaux en béton armé soumis à des charges permanentes ou souvent répétées ou encore à l'action combinée de charges permanentes et de charges souvent répétées.

5° *Résistance à la fatigue de dalles en béton armé soumises à la flexion.*

La résistance de dalles en béton armé, de construction et d'exécution courantes est déterminée par la résistance de l'acier dans la zone tendue.

La limite d'écoulement de l'acier de la zone tendue est dépassée sous l'effet de charges croissant lentement et graduellement; il en résulte, dans les conditions ordinaires, de telles déformations que la dalle apparait comme pratiquement inutilisable. La résistance des dalles dépend donc directement de la limite d'écoulement lorsque l'on a affaire à des surcharges immobiles. La limite d'écoulement est, dans le cas d'une surcharge agissant très longtemps, légèrement plus petite que lors des essais ordinaires de traction (cf. 4).

Une armature tendue, soumise à une surcharge souvent répétée (non alternée) peut, lorsqu'il s'agit de ronds ordinaires, atteindre la limite d'écoulement lorsque la surface présente un aspect normal.[7] Pour les aciers à haute limite d'écoulement, la résistance aux efforts de traction répétés non alternés, est plus petite que la limite d'ecoulement. Pour de tels aciers, la résistance aux efforts de traction répétés non alternés dépend beaucoup plus fortement de l'aspect extérieur des barres que pour les aciers ordinaires du commerce. Par ex. la rupture des armatures tendues[8] dans une dalle simple se produisit lorsque:

$\sigma_{e\,max}$ était plus grand que . . .	2900	3100	3300	2830 kg/cm²
Amplitude	2570	2640	2830	2565 kg/cm²

pour ces valeurs on obtient:

une limite d'écoulement σ_s . . .	2970	4280	4500	6150 kg/cm²
pour les aciers	37	60	Isteg	en treillis[8]

[6] cf. *Siebel* et *Pomp*, Communications du „Kaiser Wilhelm-Institut für Eisenforschung", volume X, mémoire 100.

[7] cf. par ex. „Beton und Eisen", 1934, p. 169.

[8] Pour plus de détails, cf. „Beton und Eisen", 1935, p. 149.

Il résulte de ceci, ainsi que d'autres essais exécutés à Stuttgart que l'on doit admettre que la résistance d'une armature tendue est limitée par des amplitudes d'env. 2600 kg/cm² pour des surcharges souvent répétées. Il faut encore admettre dans ce cas que l'acier présente une surface extérieure normale et la conserve.

Les aciers à haute limite d'écoulement sont susceptibles de supporter des tensions admissibles plus élevées lorsque la surcharge est immobile que lorsqu'elle est mobile. Ces aciers sont donc à employer en construction métallique pour les parties qui sont principalement soumises à des surcharges immobiles.

Dans le choix des surcharges admissibles, outre la résistance des dalles, il faut encore observer que des fissures dans le béton de la zone tendue peuvent diminuer la protection des armatures, lorsque la largeur de ces fissures est trop grande pour les conditions de l'ouvrage (par ex. en plein air).[9]

Le rapport, entre les déterminations lors des essais et l'expérience acquise sur les constructions, de la largeur admissible des fissures n'a pas encore été établi.

6° *Résistance à la fatigue de poutres en béton armé soumises à la flexion.*

Dans la discussion des conditions de résistance à la fatigue des dalles (sous 5), nous avions supposé que l'armature était suffisamment ancrée dans les conditions ordinaires et que dans ce cas les propriétés du béton n'avaient qu'une importance secondaire, pour autant que les normes alors valables étaient appliquées, c'est-à-dire pour autant que la résistance minima exigée du béton était dépassée. Ces admissions ne sont en général pas suffisantes pour des poutres, car on utilise des fers plus forts dans les poutres que dans les dalles, d'où il résulte que la compression du béton produite par les crochets est beaucoup plus forte et que les fers pliés doivent supporter de fortes compressions aux pliures. Lorsque le béton a une résistance moyenne et lorsque les fers ont un gros diamètre, ce que nous avons dit ci-dessus peut entrainer la destruction du béton, avant même que les efforts dans l'acier aient atteint la limite d'écoulement[10] (cf. fig. 3).

La résistance du béton est donc à déterminer suivant les dimensions de l'armature; en tous les cas il faut, en partant de rapports limites à déterminer, faire dépendre de l'armature la résistance nécessaire du béton.[11] Ces rapports sont beaucoup plus prononcés pour une surcharge souvent répétée que pour une surcharge immobile.

La plupart des essais de fatigue à la flexion, exécutés sur des poutres en béton armé se limitent à la détermination de l'influence des surcharges souvent répétées mais inférieures à la résistance à la fatigue, sur la charge maxima, déterminée suivant la méthode ordinaire, que peut supporter la poutre après les essais de fatigue. En se basant sur les résultats des nombreux essais de fatigue de tous genres, on pouvait prévoir que des charges souvent répétées, dépassant

---

[9] cf. „Beton und Eisen", 1935, p. 148.

[10] cf. „Beton und Eisen", 1935, p. 147.

[11] Les nouvelles normes allemandes relatives au béton armé contiennent des prescriptions dans ce sens.

nettement la surcharge admissible, mais non la résistance à la fatigue, n'influenceraient pas ou que peu la résistance à la rupture ordinaire.[12] C'est pourquoi l'on ne peut fixer la résistance à la fatigue par flexion de poutres en béton armé qu'après avoir déterminé les surcharges souvent répétées qui ne provoque juste pas la rupture mais qui l'entraînent pour un faible accroissement.

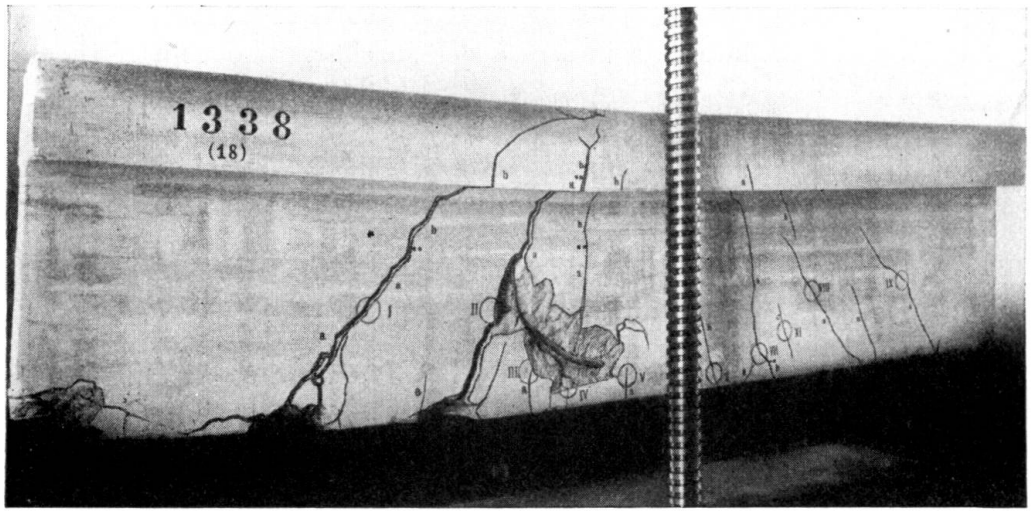

Fig. 3.

Poutre de béton armé ayant subi une flexion souvent répétée.

Nous proposons d'autre part de faire dépendre la charge admissible, d'une plus grande largeur admissible des fissures; si l'on veut le faire, il faut spécialement remarquer que dans des poutres, la largeur des fissures atteint des valeurs maxima dans les régions où l'armature est variable, principalement à l'endroit des pliures. Il faut encore ajouter que dans des conditions identiques, la largeur des fissures dépend de la distance de ces dernières. A part cela les remarques que nous avons faites à la fin de 5° sont valables ici.

Résumé.

Les essais exécutés jusqu'à présent montrent que la résistance du béton aux efforts souvent répétés (efforts répétés non alternés) de compression, de traction et de flexion atteint au moins la moitié de la résistance obtenue lors des essais ordinaires de rupture. Lorsqu'en plus des efforts souvent répétés on a encore des charges immobiles, les limites des charges oscillantes, qui peuvent être supportées un nombre infini de fois, deviennent plus petites. La résistance aux surcharges immobiles peut être évaluée au moins aux $^4/_5$ de la résistance obtenue lors d'un essai ordinaire de rupture.

Quant à la résistance à la fatigue du béton armé, seuls des essais sur des dalles et des poutres ont été effectués. Les résultats relatifs aux armatures

[12] cf. „Handbuch für Eisenbetonbau", 1er volume, 4ème édition. p. 46 et suivantes, ainsi que les sources qui y sont indiquées.

concordent avec les données connues de la résistance à la fatigue de l'acier. Les aciers à haute limite d'écoulement sont à employer lorsqu'on a principalement affaire à des surcharges immobiles. Dans les poutres qui doivent supporter des efforts souvent répétés, la résistance du béton sera dépassée aux endroits des pliures et des crochets des barres lorsque l'armature est disposée suivant les méthodes ordinaires. C'est pourquoi la Commission allemande du béton armé fait exécuter en ce moment de plus vastes essais sur la résistance au glissement et sur l'ancrage des armatures soumises à des surcharges souvent répétées.