

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

Band: 2 (1936)

Artikel: Zugfestigkeit des Betons in Eisenbetonkonstruktionen

Autor: Colonnetti, G

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-2682>

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: 28.01.2026

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

II b 2

Zugfestigkeit des Betons in Eisenbetonkonstruktionen.

Sur la résistance des pièces tendues dans les constructions en béton armé.

The Tensile Strength of Stressed Parts in Reinforced Concrete.

G. Colonnetti,

Professeur à l'Ecole Royale Supérieure d'ingénieurs de Turin.

Alle Experimentalforscher sind sich darüber einig, daß bei gleichem Querschnitt der Eiseneinlagen die Zugfestigkeit der Konstruktionen aus Eisenbeton im selben Verhältnis zunimmt — und die Rißbildung demgemäß abnimmt — je größer die Anzahl und je geringer daher der Durchmesser der verwendeten Eisenstäbe wird.

Wenn aber diese Tatsache durch den Versuch in einwandfreier Weise dargetan ist, so wird die Deutung, die ihr die einzelnen Fachleute geben, dadurch in keiner Weise klarer.

Von geringem Nutzen ist in der Tat der übliche Hinweis darauf, daß bei abnehmendem Durchmesser der Einlagen das Verhältnis ihres am geraden Querschnitt gemessenen Umfanges zum Flächeninhalt zunimmt, woraus bessere Verhältnisse hinsichtlich der Adhäsion zwischen Eisen und Beton folgen, wenn die versuchsmäßige Feststellung sich offenkundig auf Fälle wie der des einfacher Biegung ausgesetzten Brückenbogens bezieht, bei dem die Adhäsion theoretisch keinen Grund hätte, in Tätigkeit zu treten.

In Wirklichkeit gewinnt dieser Hinweis einen Wert — und, wie wir bald sehen werden, einen wohlumrissenen und genauen Wert — nur dann, wenn wir beim Versuch, dasjenige zu zergliedern, was wirklich in einer auf Zug beanspruchten Konstruktion vor sich geht, die äußerst einfältigen und nicht selten einander widersprechenden Ansichten beseitigen, zu denen wir bei unseren statischen Berechnungen unsere Zuflucht zu nehmen gezwungen sind.

Bei diesen Berechnungen pflegen wir bekanntlich jegliche Teilnahme des Betons an der Zugfestigkeit zu verneinen, indem wir annehmen, daß das Eisen allein die Beanspruchung voll und ganz aufnimmt, wenn diese Berechnungen lediglich den Zweck haben, den Nachweis der Festigkeit der Baustoffe zu erbringen; im Gegensatz hierzu bringen wir diese Teilnahme voll in Ansatz und nehmen an, daß sich die inneren Spannungen zwischen Eisen und Beton im Verhältnis der entsprechenden Elastizitätsmodule verteilen, so oft wir Formänderungen errechnen wollen, sei es, daß diese von unmittelbarer Wichtigkeit sind, sei es, daß sie zur Berechnung etwaiger Unbekannten bei statisch unbestimmten Konstruktionen dienen sollen.

Wie wir wohl wissen, ist die Wahrheit die, daß es in der Praxis weder das eine noch das andere gibt oder daß, um es genauer zu fassen, beide Hypothesen nur ausnahmsweise, im Falle ganz besonderer Querschnitte, zutreffen, und daß zwischen beiden Grenzfällen eine Reihe statischer Zwischenzustände liegen, in denen der Beton einen Teil, aber auch nur einen Teil der ihm zustehenden Beanspruchung auf sich nimmt.

Es soll hinzugefügt werden, daß es zwecklos wäre, zu versuchen, diese Teilbeanspruchung des Betons an der Festigkeit der Konstruktion bei diesen Berechnungen zum Ausdruck zu bringen, und dies zwar aus dem Grunde, daß eine solche Teilbelastung in hohem Maße von Fall zu Fall wechselt, ja sogar in jedem Einzelfalle von einem Punkte zum anderen, je nachdem der Beton in verschiedenem Maße homogen ist, je nachdem die Adhäsion mit dem Eisen mehr oder weniger vollkommen ist, und vor allem, je nach der Anzahl und der Lage gewisser, sehr kleiner und unmerklicher Risse, die die verschiedensten Ursachen bewirkt haben können.

Es ist gesagt worden, daß es kaum Bauwerke aus Eisenbeton gibt, die bei genügend scharfer Prüfung nicht das Vorhandensein irgendeiner dieser unmerklichen Rißbildung aufweisen, deren Ursache gemeinhin in den inneren Spannungszuständen gesucht wird, die beim Schwinden des Betons oder unter der Wirkung von Temperaturschwankungen entstehen.

Sicher ist, daß, wenn solche Risse vorhanden sind, die gegebenenfalls auftretenden Zugbeanspruchungen dadurch gänzlich vom Eisen aufgenommen werden müssen. Aber in den unmittelbar benachbarten Querschnitten, wo das Eisen in eine gesunde, kompakte Masse gebadet ist, die gut haftet, nimmt der Beton, der gezwungen ist, die Formänderungen mitzumachen, einen aktiven Teil an der Festigkeit, und entlastet das Eisen um einen mehr oder weniger beträchtlichen Teil der Beanspruchungen, die es wegen der Risse aufnimmt.

In diesen abwechselnden Übergängen der Beanspruchung vom Eisen auf den Beton und vom Beton auf das Eisen, Übergängen, die bei den statischen Beanspruchungen nicht vorgesehen werden und nicht vorgesehen werden können, entstehen nun gerade in der Betonmasse Tangentialkräfte, die mit denen nichts zu tun haben, die vom Vorhandensein etwaiger Abscherungskräfte abhängen.

Gerade diese Spannungen aber können, wenn sie die Festigkeitsgrenzen der Baustoffe überschreiten, bestehende Risse erweitern und neue hervorrufen.

Es ist somit die Frage, zu wissen ob und in welcher Weise diese Teilnahme der unversehrten Betonmasse an der Festigkeit der Baukonstruktion wirksamer und unmittelbarer gestaltet werden kann, wobei die Zonen, in denen diese nachgeben kann, tunlichst eingeschränkt werden, ohne daß diese Tangentialkräfte die besagten Grenzen überschreiten und die Standfestigkeit des gesamten Bauwerkes in Frage stellen.

Aber in einer andern Hinsicht noch muß die übliche theoretische Annahme einer strengen und sachlichen Kritik unterzogen werden.

Es ist in der Tat bekannt, daß eine der Grundvoraussetzungen, auf denen die übliche statische Theorie der Bauwerke aus Eisenbeton ruht, in der Unabhängigkeit der Verteilung der inneren Spannungen von der Sonderart der Anlegung der äußeren Beanspruchung besteht.

Ist einmal die auf einen bestimmten Querschnitt des Bauwerkes einwirkende Beanspruchung gegeben, so nimmt man mit *de Saint-Venant* an, daß das Gesetz, nach welchem sich die inneren Spannungen in demselben Querschnitt verteilen, ein einziges und wohl bestimmtes ist, wie auch immer die Kräfte angelegt sein mögen, die diese Beanspruchung hervorrufen.

In Wirklichkeit aber übt diese Art der Anlegung einen Einfluß aus, der nicht vernachlässigbar ist und der im Sonderfall des Eisenbetonbalkens sogar bedeutend werden kann, weil sich die Betonmassen und die entsprechenden Eisen-einlagen in der Praxis sehr verschieden in Bezug auf die angelegten Kräfte verhalten können.

Der Fall, in dem die äußere Beanspruchung sich sofort nach ihrer Anlegung auf Eisen und Beton in solchem Verhältnis verteilt, daß die Formänderungen längs der betreffenden, in Berührung stehenden Flächen die gleiche ist, wodurch die Annahme der Aufrechterhaltung der flachen Querschnitte bekräftigt wird, ist in der Tat als unbedingte Ausnahme zu betrachten.

Es kann vielmehr in manchem Fall vorkommen, daß die Beanspruchung eines bestimmten Balkens über in geeigneter Weise hergestellte Verbindungen zwischen den Einlagen der einzelnen Teile des Bauwerkes direkt an dessen Bewehrung angreift. In einem solchen Falle wird diese Bewehrung Formänderung erleiden unter der Wirkung der Beanspruchung und dadurch wird auch die Form der Betonmasse geändert, in die die Bewehrung eingebettet ist, so daß diese mehr oder weniger aktiv an der Festigkeit teilnehmen muß. Aber es leuchtet ein, daß dieser Kräfteübergang vom Eisen auf den Beton nur stattfinden kann vermöge der Adhäsion und vermöge der daraus folgenden Ausbildung eines Systems tangentialer Kräfte, die ihre Erklärung nicht in der auf sich selbst betrachteten Beanspruchung, sondern lediglich in der Sonderart ihrer Anlegung finden.

Häufiger wird der entgegengesetzte Fall eintreten: die äußeren Kräfte, die die Beanspruchung bestimmen, werden in der Tat meistens in Gestalt von Oberflächendruck an die Betonmasse angelegt. Und dann ist es der Beton, der dadurch, daß er seine Form ändert, auch die Form der zwischenliegenden Einlagen ändert und diese zum Mitwirken zwingt, d. h. sie zwingt, einen bestimmten Teil der inneren Spannungen auf sich zu nehmen, wobei der Beton in höherem Maße entlastet wird als es nach der Theorie der Fall sein müßte. Abermals kann aber der Kräfteübergang vom Beton auf die Einlagen nicht vor sich gehen, ohne daß sich gewisse Systeme von Tangentialkräften ausbilden, die die Beanspruchung an sich nicht erklären kann und deren Ursache gerade und ausschließlich in der Tatsache liegt, daß der wirkliche Gleichgewichtszustand nicht der durch die Theorie bedingte ist.

Diese behält ihren ganzen Wert als Grenztheorie, die dazu bestimmt ist, in jenen Querschnitten des Brückenbogens zu gelten, die genügend von den Punkten entfernt sind, wo die äußeren Kräfte angreifen. Das will schlechthin besagen, daß bei den üblichen Belastungsverhältnissen der Brückenbögen einer gewöhnlichen Konstruktion aus Eisenbeton der Theorie niemals streng Genüge getan wird.

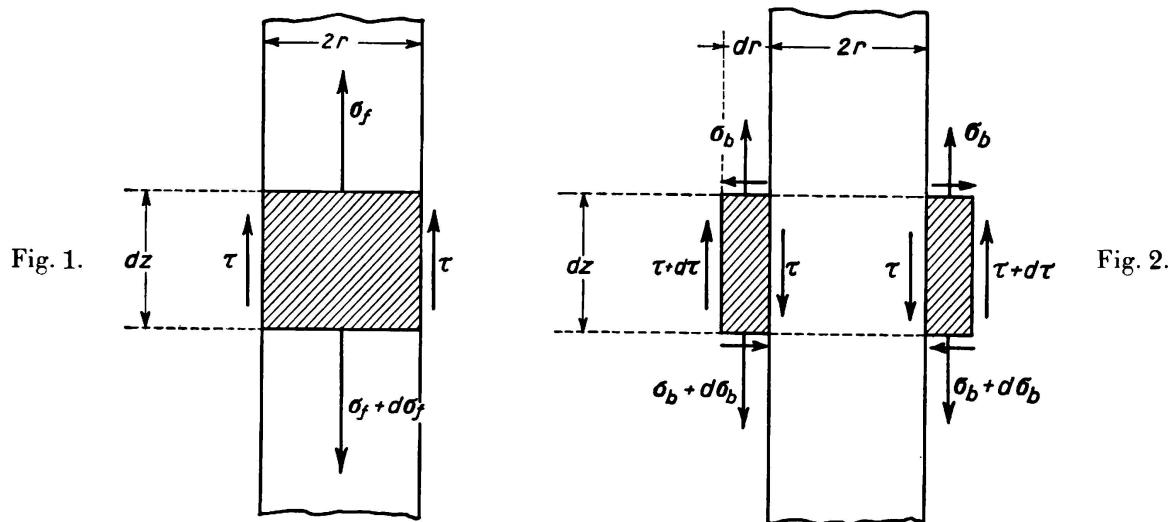
Es ist daher in der Praxis nicht leicht, die Tatsache unberücksichtigt zu lassen, daß bei den angedeuteten Belastungsverhältnissen die inneren Spannungen im Beton in der Nähe der Punkte, wo die Belastung angreift, Werte erreichen können

und sie auch wirklich erreichen, die höher liegen, als die aus der Theorie abgeleiteten, wobei außerdem diese Spannungen desto höher und ihre Zonen im Balken desto größer sind, als der beschriebene Vorgang des Kräfteübergangs vom Beton auf das Eisen ein langsamerer ist.

Und somit taucht aufs neue und unter Umständen in neuer Gewandung dieselbe Frage auf: zu wissen, nämlich, ob und in welcher Weise dieser Übergang wirksamer und unmittelbarer gestaltet werden kann, ohne daß die dadurch bedingten Tangentialkräfte die Grenzen der Materialfestigkeit übersteigen, wodurch die Zonen, in denen die anormale Kräfteverteilung auftritt, eingeschränkt und der Unterschied zwischen dieser Verteilung und der rechnerisch ermittelten herabgemindert wird.

Wir wollen nun zeigen, wie diese Frage einer Lösung zugeführt werden kann, indem man bekannte und elementarste Berechnungsweisen wieder aufnimmt und sie auf den vorliegenden Fall anwendet.

Nehmen wir der Einfachheit halber einen Rundstab aus Eisen, dessen Durchmesser wir mit $2r$ bezeichnen wollen und dessen einer, gerader Querschnitt mit einer Normalspannung σ_f beansprucht wird, wobei ein benachbarter, in der Entfernung dz des vorhergehenden Querschnittes liegender Querschnitt mit einer ähnlichen Spannung $\sigma_f + d\sigma_f$ beansprucht wird (Fig. 1).



Zum Gleichgewicht des zwischen diesen Querschnitten liegenden Eisenteiles ist offenbar Bedingung, daß auf dessen zylindrische Seitenfläche eine (durch die Adhäsion des Betons ermöglichte) Tangentialspannung ausgeübt wird, deren mittlerer Wert τ der Beziehung genügen muß:

$$d\sigma_f \cdot \pi r^2 = \tau \cdot 2\pi r \cdot dz$$

aus der man erhält:

$$\frac{d\sigma_f}{dz} = 2 \frac{\tau}{r} \quad (1)$$

Betrachten wir nunmehr den Hohlzylinder aus Beton, der um diese Eiseninlage liegt.

Es sei dr die äußerst geringe Wandstärke dieses Zylinders, σ_b die Normalspannung, die diese Wand an der Stelle des zuerst betrachteten geraden Querschnittes aushält, $\sigma_b + d\sigma_b$ die ähnliche Spannung auf dem anderen geraden Querschnitt, der gemäß unserer Annahme in der Entfernung dz vom ersten liegt (Fig. 2).

Dieselben Betrachtungen über das Gleichgewicht, die wir soeben für den Fall des Eisens angestellt haben, führen, wenn wir sie auf diesen Betonzyylinder beziehen, zu einer neuen Bedingungsgleichung:

$$d\sigma_b [\pi(r+dr)^2 - \pi r^2] = (\tau + d\tau) 2\pi(r+dr) dz - r \cdot 2\pi r \cdot dz$$

in der wir natürlich mit $\tau + d\tau$ den mittleren Einheitswert der Tangentialspannung bezeichnet haben, die die Betonteile, welche den betrachteten Zylinder umgeben, auf dessen äußeren Mantel ausüben.

Bei Vernachlässigung der unendlich kleinen Glieder höherer als zweiter Ordnung, nimmt die Gleichung die Gestalt an:

$$d\sigma_b \cdot 2\pi r \cdot dr = \tau \cdot 2\pi dr \cdot dz + d\tau \cdot 2\pi r \cdot dz$$

oder auch:

$$\frac{d\sigma_b}{dz} = \frac{\tau}{r} + \frac{d\tau}{dr} \quad (2)$$

Wenn man aber will, daß dieser Betonzyylinder in vollkommener Weise an den Einlagen haftet, die er umschließt, so muß man notwendigerweise annehmen, daß die Formänderungen der beiden Baustoffe auf der Berührungsfläche dieselben sind.

Infolgedessen, wenn E_f der normale Elastizitätsmodul des Eisens und E_b derjenige des Betons ist, so muß sein:

$$\frac{\sigma_f}{E_f} = \frac{\sigma_b}{E_b} \quad \frac{d\sigma_f}{E_f} = \frac{d\sigma_b}{E_b}$$

Unter diesen Umständen leitet man sofort aus den beiden soeben geschriebenen und zu gleicher Zeit geltenden Gleichgewichtsgleichungen ab:

$$\frac{d\tau}{dr} = \frac{2E_b - E_f}{E_f} \cdot \frac{\tau}{r} \quad (3)$$

worin der Koeffizient:

$$\frac{2E_b - E_f}{E_f}$$

stets negativ ist.

Wenn man annimmt, wie es in der Praxis üblich ist, daß:

$$E_f = 10 E_b$$

so nimmt dieser Koeffizient den Wert: $-\frac{4}{5}$ an.

Auf alle Fälle kann man durchaus allgemein behaupten, daß die Tangentialspannungen im Beton sehr schnell abnehmen, sobald man sich von der Eisenoberfläche entfernt, und zwar desto schneller als das Verhältnis $\frac{\tau}{r}$ des Höchstwertes, den diese Tangentialspannungen auf besagter Oberfläche erreichen, zum Radius derselben ein größeres ist.

Indessen gemahnt uns die erste von uns niedergeschriebene Gleichgewichtsgleichung daran, daß von dem Werte des Verhältnisses $\frac{\tau}{r}$ auch die Geschwindigkeit abhängt, mit der die σ_f (und also auch die σ_b) sich in Funktion von z ändern.

Wir sehen uns somit veranlaßt, daraus zu schließen, daß zwei Bedingungen erfüllt werden müssen, wenn man will, daß der Übergang der Kräfte vom Eisen auf den Beton (oder vom Beton auf das Eisen) in einer entweder im Längs- oder im Quersinne sehr begrenzten Zone von statthen geht:

1. ein hoher Wert von τ bedeutet gute Adhäsion zwischen beiden Werkstoffen,
2. ein geringer Wert von r , d. h. eine Aufteilung des Eisenquerschnittes in zahlreiche Einlagen geringen Durchmessers.

Die erste Bedingung ist selbstverständlich und sofort einleuchtend, während die zweite direkt jene Versuchsergebnisse bestätigt, deren wir beim Anfang dieses Berichtes gedacht haben und die uns in den Stand setzen, den doppelten Vorteil genauer zu fassen, den die Verwendung von Eiseneinlagen geringen Durchmessers zu erzielen gestattet und der sich je nach Lage des Falles so wiedergeben läßt, daß bei gleichen tangentialen Höchstspannungen der Übergang der Kräfte vom Eisen auf den Beton (oder vom Beton auf das Eisen) sich innerhalb einer entweder im Längssinne oder im Quersinne engeren Zone vollzieht, oder so, daß bei Gleichheit der anderen Verhältnisse dieser Übergang der Kräfte geringere Tangentialspannungen hervorruft.

Zusammenfassung.

Der Verfasser beschreibt die Unvollkommenheit der üblichen Annahmen bei der Berechnung von Eisenbetonquerschnitten. Er untersucht, wie die Übertragung der Tangentialspannungen vor sich geht und verbessert werden kann. Durch die Rechnung wird die bekannte Tatsache bewiesen, daß viele dünne Eisen wenigen dicken vorzuziehen seien.