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

**Band:** 2 (1936)

**Artikel:** Neuere Gesichtspunkte für den Bau grosser Eisenbeton-Bauwerke

**Autor:** Parvopassu, C.

**DOI:** https://doi.org/10.5169/seals-2723

**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:** 16.12.2025

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

# IVb 6

## Neuere Gesichtspunkte für den Bau großer Eisenbeton-Bauwerke.[1]

## Tendances actuelles dans les grands ouvrages en béton armé.

## Present-day Tendencies in Large-sized Reinforced Concrete Constructions.

Dr. Ing. C. Parvopassu,
Professeur à l'Ecole Royale d'Ingénieurs de Padoue.

*Einführung.*

Der Stoff, über den vor dieser Versammlung hervorragender Ingenieure kurz zu berichten mir der ehrenvolle Auftrag zugedacht wurde, ist schwierig; denn seine Behandlung bedingt die umfassende Kenntnis eines Gebietes, auf dem die kühnsten Leistungen der neuzeitlichen Technik der Baukonstruktionen zu verzeichnen sind.

Um sich dieser Aufgabe glänzend entledigen zu können, müßte man eine tiefe und langjährige Kenntnis der heikelsten Einzelheiten eines der am meisten verwickelten und fortgeschrittenen Gebiete der Wissenschaft und Praxis des Bauens besitzen. Ich werde mich damit zufrieden geben, wenn es mir gelingt, mich in nicht unwürdiger Form auszudrücken, indem ich die Erfahrung von mehr als dreißig Jahren Arbeit verwerte, die ich mit heißer Leidenschaft im theoretischen und experimentellen Unterricht und auf dem Bauplatze, dem Studium und den Anwendungen des Betons und Eisenbetons besonders bei großen Bauwerken widmete.

*Berechtigung, Vorzüge und Möglichkeiten des Eisenbetons.*

Bauwerke aus Eisenbeton von einiger Bedeutung gibt es erst seit weniger als fünfzig Jahren, und zwar von dem Augenblick an, in dem ihre Ausführung nach Überwindung der Bedenken und der Kritik, die alle Neuerungen auch in der Welt anerkannter Fachleute hervorrufen, ermöglicht wurde durch die Fortschritte in der industriellen Erzeugung langsam bindenden, natürlichen und künstlichen Zementes und die Kenntnis seines Verhaltens im Beton, und durch die genaue Ermittlung der physikalischen Eigenschaften, die es möglich machen, daß Beton und Eisen harmonisch zusammenwirken im Widerstande gegen die verwickelte Beanspruchung durch Zug, Druck und Schub in Bauteilen, die Biegung, Ab-

[1] Die Fußnoten sind Bemerkungen des Übersetzers.

scherung und Verdrehung ausgesetzt sind, sowie gegen reine Druck- und Zugbeanspruchungen.

Die ungewohnte Kühnheit ließ in der ersten Zeit solche Bauwerke als nicht den Anforderungen der Sicherheit entsprechend erscheinen, Anforderungen die mit Recht der schnellen und wirtschaftlichen Bauausführung vorangestellt werden. Es schien dies aber nur so; denn bald wurden in der ganzen Welt bedeutende Fortschritte im Umfang der großen Bauwerke, vor allem bei Straßenbrücken und -Überführungen, erzielt.

Auch in Italien entstanden bereits in den ersten Jahren unseres Jahrhunderts bedeutende Bauten nach der neuen Bauweise, Bauwerke mittleren und größeren Umfanges, die mit Recht als Pionierarbeiten gelten konnten, weil sie Merkmale des Ungewohnten aufwiesen. Heute ist die tüchtige Schar italienischer Techniker in der Lage, vermöge ihrer zähen Arbeit und der überlegenen Eigenschaften ihrer Heimstoffe noch weit kühnere und nützlichere Bauten zu erstellen; sie verfügt über gewöhnliche und hochwertige Zemente als Bindemittel, über ausgezeichnete Zuschlagstoffe und über geeignetes Bewehrungseisen.

Der Eisenbetonbau hat sich nunmehr als geeignet erwiesen, um sicher, formschön, mit geringen Abmessungen, schnell und ohne handwerkliche Schwierigkeiten zu bauen.

Bedenken, daß Festigkeit und Dauerhaftigkeit bei Eisenbetonbauten davon abhängen, wie der Beton verarbeitet wird, wie die Bewehrung verlegt wird und daß sie während des Betonierens in der vorgeschriebenen Lage verbleibt, haben keine größere Bedeutung als ähnliche Bedenken hinsichtlich der Empfindlichkeit der Stahlbauten, die auf den Eigenschaften der Spezialstähle beruht, aus denen Platten, Profileisen, Nieten, Schrauben, Hängeseile und Lager hergestellt werden, wobei dann noch die Ausführung von Nietung und Schweißung eine Rolle spielt.

Erfahrung, Gewissenhaftigkeit und Ehrlichkeit des Bauausführenden müssen als selbstverständlich vorausgesetzt werden, so daß nur Mitarbeiter mit erprobter wissenschaftlicher, technischer und schulmäßiger Bildung mit dem Entwurf und der Durchführung sowohl der großen wie der kleinen Bauwerke betraut werden. Es soll auch bei allen beteiligten Handwerkern die Liebe zur eigenen Kunst und ein hoher Korpsgeist vorhanden sein und schließlich darf während der Bauarbeiten nicht versäumt werden, die verwendeten Baustoffe und das Entstehen des Bauwerkes peinlich zu überwachen.

Werden solche Vorkehrungen getroffen, so sollte man keine Bedenken mehr haben, für die Ausführung der immer bedeutender werdenden Bauwerke, die unsere Zeit von der Technik der Baukonstruktionen erwartet, die Eisenbeton-Bauweise zu wählen. Da diese außerdem im allgemeinen wirtschaftlich überlegen ist, kann es nicht ausbleiben, daß geniale Baukünstler für die Betonbauweise einen Stil entwickeln werden, der den Gesetzen der Formschönheit entspricht.

Wenn von großen Eisenbetonbauwerken die Rede ist, so meint man vorzüglich solche aus dem Straßenbau, nämlich Brücken und Viadukte, Stützmauern und Gründungen, aber man versteht natürlich darunter auch größere Hochbauten, besonders erdbebensichere, wie die großen Skelettbauten, Rahmen- und Kragbauten, die großen Hallen- und Kuppelbauten, Hochhäuser, Silos, Türme, besonders Glockentürme, Masten für Freileitungen und Antennen, nicht zuletzt

Wasser- und Meerbauten, wie Gewölbestaumauern, Wassertürme, Wasserfassungen, Rohrleitungen größeren Durchmessers, Schiffsschleusen, Trockendocks, Wellenbrecher und Landungsbrücken und so manche Nebenbauten der großen Industrieanlagen.

Bei diesem ausgedehnten Anwendunggebiet ist es ein Leichtes, bereits jetzt vorauszusagen, daß die Berechnungsweise, die Güte der Baustoffe, die Baustelleneinrichtung und die Bauverfahren, die der Technik heute zu Gebote stehen, und die noch verbessert werden können, dazu führen werden, daß in einer nahen Zukunft Bauwerke von überraschender Größe und Formschönheit entstehen.

*Entwicklung der großen Eisenbetonbauwerke.*

Um die neuzeitlichen Bestrebungen in der Berechnung und Durchführung großer Bauwerke aus Eisenbeton besser verstehen zu können, dürfte ein kurzer Überblick über die Entwicklung dieser Bauten während der letzten dreißig Jahre angebracht sein, denn, wie bereits erwähnt, sind schon im Anfang dieser Zeitspanne kühne Bauwerke entstanden, die noch heute die Bewunderung der Techniker erheischen und zu weit kühneren Entwürfen in naher Zukunft berechtigen.

Aus dem Jahre 1906 stammt die Brücke von Pinzano über den Tagliamento, mit drei großen Bögen von je 48 m lichter Weite und 24 m Pfeilhöhe, sie enthält insgesamt 1800 $m^3$ Beton und besitzt eine selbsttragende Bewehrung aus Profil-Flußeisen in Fachwerkbauart. Die Bögen sind an den Enden eingespannt und haben nur im Scheitel Gelenke;[2] trotzdem könnten sie, weil ihre Mittellinie so geformt ist, daß eine mögliche Stützlinie nur wenig von ihr abweicht, als statisch bestimmte Systeme, wie Dreigelenkbögen berechnet werden. Die Fahrbahn, die auf flachen Viaduktbögen ruht, ist 6 m breit.

In das Jahr 1907 fällt die Brücke von Calvene über den Astico, mit eingespanntem Bogen, Stützweite 35 m, Pfeilhöhe 2 m; der Bogen ist starr mit den Widerlagern und dem Fahrbahnaufbau verbunden. Kurze Zeit darauf entstand die ähnliche Brücke über die Ourthe bei Lüttich, deren Bogen eine Stützweite von 55 m und eine Pfeilhöhe von 3,25 m aufweist. In der Zeit von 1909 bis 1911 überragt die äußerst kühne Brücke der Wiedergeburt über den Tiber in Rom: sie hat einen einzigen flachen Bogen mit 100 m Stützweite und 10 m Pfeilhöhe, der mit dem Fahrbahnaufbau und mit den Widerlagern starr verbunden ist; diese erstrecken sich 24 m weit in die Ufer hinein und sind wie der Fahrbahnaufbau über dem Bogen in Zellen aufgelöst. Dieses Bauwerk ragt durch Größe und Formschönheit hervor; es trägt eine 20 m breite Fahrbahn und wurde mit besonderer Sorgfalt und nach besonderen Richtlinien gebaut, die ein größtmögliches Zusammenwirken aller Teile gewährleisten sollen. Die Eiseneinlagen haben besonderen konvex-konkaven Querschnitt und sind in geeigneter Weise in der Querrichtung nach innen und nach außen versetzt angeordnet. In den Längswänden über dem Brückenbogen wurden Dehnungsfugen angeordnet, um die Schwindspannungen zu vermindern und übermäßige Spannungen durch die Temperaturschwankungen, denen das Bauwerk periodisch ausgesetzt ist, zu vermeiden.

[2] Nach Abb. 212 in Santarella, Arte e tecnica nella evoluzione dei ponti, Mailand 1930, haben die Bögen 3 Gelenke.

Im April 1910 wurde die Brücke in Auckland (Neuseeland) eingeweiht; sie hat einen einzigen eingespannten Bogen von 98 m lichter Weite und 56 m Pfeilhöhe.[3] Die Breite der Fahrbahn beträgt 12 m. Ein ähnliches Bauwerk mit 95 m lichter Weite, aber nur 20 m Pfeilhöhe, ist die Brücke über die Lavimerstraße und die Athertonstraße in Pittsburgh (Vereinigte Staaten), die ungefähr zu derselben Zeit entstand wie die vorige. In dieselbe Zeit fällt auch der Bau hoher und großer Gebäude in Eisenbeton für Wohnungs-, Büro- und Lagerzwecke in New-York und anderen Städten der Vereinigten Staaten und in Europa, ferner der Bau sehr hoher Fabrikschornsteine, die vielfach Hochbehälter mit bedeutendem Inhalt tragen, der Bau großer Saugüberfälle, wie derjenige bei Albeida für den Aragonien- und Catalogna-Kanal in Spanien, mit 4 m Innendurchmesser und 75 m Länge und einem Höchstüberdruck von 3 at, endlich der Bau wuchtiger Tribünen, Hallen und Kuppeln für Kampfbahnen, Versammlungsräume und Theater.

Vor allen anderen erwähnenswert ist die Jahrhunderthalle in Breslau, denn in diesem städtischen Bau wurden zum ersten Male die einzigartigen, zugleich technischen und architektonischen Möglichkeiten offenbar, die der Eisenbeton besitzt. Das großartige Gebäude wurde zur Feier des vor 100 Jahren über Napoleon errungenen Sieges errichtet. Es überdeckt einen kreisförmigen Grundriß, von 100 m Durchmesser durch ein Eisenbetongerippe; die Kuppel in der Mitte des Bauwerks hat eine Höhe von 42 m bei 65 m Durchmesser am Kämpfer, sie ruht auf einem Kreisring, der wieder von den vorderen Bögen der vier riesigen Apsiden getragen wird; in diesen Fußring sind die 32 großen Bogenrippen der Kuppel eingespannt. Ihre Verlängerung zur Erde hin bilden strebebogenartig die radialen Rippen über den Apsiden. Der riesige Versammlungsraum bedeckt 5500 $m^2$ und bietet Raum für 6000 Sitz- und 10000 Stehplätze.

In die Zeit von 1915 bis 1925 fällt der Bau der großen Wassertürme. Unter den größten verdient der 1924 in Padua für die städtische Wasserversorgung erbaute, erwähnt zu werden, dessen überdachtes Becken 20 m Durchmesser hat, bei einem Inhalt von 2000 $m^3$ und in einer Höhe von 40 m über Straßenniveau. Der Betonbau wurde hier mit Mauerwerk verkleidet, wodurch das Bauwerk das Aussehen eines stattlichen Turmes erhielt; unten im Turme ist eine Gedächtniskapelle eingebaut, die dem Andenken der bei den Luftangriffen auf Padua während des Weltkrieges Gefallenen gewidmet ist.

In diesem Zeitabschnitt, und zwar besonders im letzten Jahrzehnt, entstanden vor allem in Deutschland große Hochbauten, wobei die Architekten versuchten, einen neuen geeigneten Stil zu schaffen, was ihnen aber nach Ansicht des Verfassers bisher noch nicht vollständig gelungen ist.

Gleichzeitig entstanden in größerer Zahl bedeutende Brücken und Viadukte für Straßen und Eisenbahnen darunter auch zahlreiche und ansehnliche in Italien:

a) Balkenbrücken mit unten- oder obenliegender Fahrbahn, wobei eine größte lichte Weite von 140 m bei dem Fußgängersteg in Ivry bei Paris erreicht wurde;

---

[3] Nach dem Handbuch für Eisenbetonbau 3. Aufl. VII. Bd. Berlin 1921 hat der Bogen 3 Gelenke und 26 m Pfeilhöhe.

b) Bogenbrücken ohne und mit Gelenken. Die größte Spannweite wurde in der Brücke von Plougastel über den Elorn bei Brest erreicht, die nach einem kühnen Entwurf von *Freyssinet* in den Jahren 1928—1929 erbaut wurde. Sie hat drei flache Bögen mit Kastenquerschnitt von 186 m Stützweite. Es wurde hochwertiger Zement mit großer Festigkeit verwendet und der Beton dazu noch eingerüttelt. Das Ergebnis war so günstig, daß dieses Bauwerk für die zur Zeit im Bau befindliche Brücke über den Tranebergsund bei Stockholm als Vorbild diente. Diese hat zwei Bögen mit Kastenquerschnitt nebeneinander mit 6,20 m Innenabstand. Die Stützweite beträgt 181 m, die Pfeilhöhe 26,2 m. Die Gewölbe tragen eine insgesamt 27,50 m breite Fahrbahntafel mit zweigleisiger Eisenbahn und 19 m breiter Straße. Bei diesem Bauwerk wurde im Scheitel eine größte Druckbeanspruchung von 120 kg/cm² zugelassen. Der Zementgehalt im Beton betrug 300 bis 400 kg/m³.

Geringere Spannweiten, aber dennoch bis 90 m, wurden bei einer Reihe hervorragender italienischer Bauwerke erzielt: z. B. bei der Adda-Brücke für die Autobahn Mailand—Bergamo, bei den Brücken über die Brenta bei Primolano, über den Savio bei Monte Castello, über den Piave bei Belluno, über den Isonzo bei Plava, bei der Kanalüberführung über den Brembo und bei anderen mehr.

c) Bogenbrücken mit durch Zugbänder aufgehobenem Schub und mittels Hängestangen aufgehängter Fahrbahn. Die größte Spannweite[4] wurde bei der Brücke über die Oise in Conflans fin d'Oise in Frankreich erreicht. Diese hat eine lichte Spannweite von 126 m. Die Bogenrippen sind besonders leicht gehalten. Die aufgehängte Fahrbahn wirkt zugleich als Zugband. Geringere Spannweiten, jedoch über 90 m, erreichen die Brücke über die Lot bei Port d'Agrès, bei der die Hängestangen Streben eines Fachwerks bilden, und die Brücke über den Oned Mellègue in Tunesien mit Fachwerkträgern; die immerhin beträchtliche Spannweite von 74 m weist die Eisenbahnbrücke über den S. Bernardino in Intra in Italien auf.

d) Versteifte Stabbogenbrücken, bei denen ein überschlanker, tragender Bogen als Laibung starr mit der Fahrbahnabstützung und der Fahrbahntafel (die bei dieser Bauweise einen Teil des Tragwerkes bildet), sowie mit den Pfeilern und Widerlagern verbunden ist; ein Beispiel hierfür ist eine Brücke im Kanton Graubünden,[5] die durch beträchtliche Spannweite und kühne Flachheit hervorragt.

*Neuzeitliche Bestrebungen.* Wie bereits angedeutet, gehen die neueren Bestrebungen dahin, die lichte Weite bei Balkenbrücken mit zwei und mehr Stützpunkten, sowie bei gewöhnlichen Bogenbrücken, die einen Schub ausüben, und solchen mit aufgehobenem Schub bedeutend zu steigern.

Während manche noch vor wenigen Jahren die lichte Weite bei bogenförmigen Brückenfeldern auf wenige hundert Meter begrenzen zu müssen glaubten, kann diese lichte Weite, nach Ansicht ausgezeichneter Techniker, heute auf über

---

[4] Inzwischen durch die Brücke über die Seine bei La Roche-Guyon mit 161 m Stützweite überholt.

[5] Val Tschiel-Brücke. (Schweiz).

1000 m gebracht werden. *Freyssinet* hat 1930, auf dem Lütticher Kongreß, einen Entwurf für einen Brückenbogen von 1000 m vorgelegt; eine lichte Weite von 1400 m, d. i. ungefähr das siebenfache der bis jetzt erreichten 186 m, wurde von *H. Lossier* bei starkbewehrten Eisenbetonbögen als möglich bezeichnet, wobei er allerdings anerkennt, daß für lichte Weiten von mehr als 800 m die Verwendung von Stahl-Hängebrücken vorzuziehen sein dürfte. Für Balkenbrücken mit zwei oder mehr Stützpunkten hält *Lossier* lichte Weiten von 500 m, d. i. ungefähr das vierfache der bis jetzt erreichten größten von 126 m, für möglich.

*Lossier* spricht sich auch günstig über die gemischte Bauweise aus, bei der rostfreier Stahl für die nur auf Zug beanspruchten Gurte und Eisenbeton für Gurtungen, die auf Druck und Biegung beansprucht werden, Verwendung finden; diese Gurtungen müßten vorher hergestellt und dann am Bau verlegt und durch Autogen-Verschweißung mit herausstehenden Bewehrungsteilen verbunden werden, wonach die Verbindungsstellen mit schnell erhärtendem Zementmörtel von hoher Festigkeit geschlossen werden; solche gemischten Gebilde seien vor allem bei Hängebrücken zu empfehlen, bei denen Spannweiten bis rd. 5000 m möglich würden, d. i. etwa das fünffache der bis jetzt erreichten größten Spannweite von 1077 m, diese wurde bei der George-Washington-Hängebrücke über den Hudson in New-York erreicht, die ganz aus Stahl ist. Sie wird allerdings bereits von den 1270 m der jetzt im Bau befindlichen Brücke gleicher Art am Golden Gate über dem Meerbusen von San Francisco, übertroffen.

Es kann wohl behauptet werden, daß in dieser Richtung große Fortschritte bevorstehen.

Für Balkenbrücken und bogenförmige Tragwerke sind nach Ansicht des Verfassers *durchgehende Balken-* bzw. *Gelenkbögen mit teilweise aufgehobenem Schub* vorzuziehen.

Es herrscht Einigkeit darüber, daß bei diesen Gebilden die oben genannten Grenzen der Spannweiten trotz der unvermeidlichen Mängel der Bauausführung und der Ungewißheit bei der Berechnung infolge der Beschaffenheit und der nicht genau erfaßbaren Spannungszustände im Eisenbeton erreicht werden können. Solche Grenzwerte erscheinen vom Standpunkte des wirklich vorliegenden Bedarfs, der allein die mit den außerordentlichen Schwierigkeiten der Ausführung so großer Bauwerke verbundenen, sehr großen Geldopfer rechtfertigen könnte, etwas übertrieben, aber vom technischen Standpunkt bieten sie nichts Erschreckendes.

Wenn immer noch Einstürze vorkommen, so beruhen sie heute beinahe ausschließlich auf Fehlern in der Ausführung, und zwar schätzungsweise zu 90 % auf vorzeitiger oder unvorschriftsmäßiger Ausschalung und zu 10 % auf zufälligen Mängeln des Betons und der Eiseneinlagen, deren Festigkeit sehr hohe Werte erreichen können. Die Ungewißheiten der Berechnung können praktisch alle ausgemerzt werden, indem die Hypothesen mit der Wirklichkeit in Einklang gebracht werden, d. h. indem man die Theorie richtig deutet und die Nebenspannungen gründlich erforscht, die im allgemeinen den Bruch der auf Druck beanspruchten nicht umschnürten Teile sowie der auf Zug beanspruchten reichlich bewehrten Zonen mit zu knappem Betonquerschnitt hervorrufen.

*Konstruktionsnormen und Berechnungsverfahren.* Strenge Auswahl und sorgfältige Überwachung der Eigenschaften der Zuschlagstoffe, der Bindemittel und

der Eiseneinlagen und, andererseits, sachkundige Maßnahmen an den Baustellen beim Zusammensetzen und Verarbeiten des Betons, zu seinem Schutze während des Abbindens und Erhärtens und beim Ausschalen der einzelnen tragenden Bauteile werden in beinahe vollkommener Weise gewährleisten, daß das Bauwerk entwurfsgemäß ausfällt und fähig ist, die höchsten, statischen oder dynamischen Beanspruchungen, die ihm im Betriebe zugemutet werden können, mit voller Sicherheit aufzunehmen. Nach Ansicht des Verfassers könnten diese als Druckspannungen im Beton 250 bis 300 kg/cm² und als Zugspannungen im Eisen das Zehnfache dieser Werte erreichen.

Heute werden in allen Industrieländern Zemente mit sehr hoher Festigkeit hergestellt, mit denen es möglich ist, wenn die Beschaffenheit und Körnung des Kieses, des Splitts und des Sandes, das Mischungsverhältnis und der Wasserzusatz zweckmäßig gewählt werden, und besonders wenn der Beton durch Rütteln verdichtet wird, im laufenden Betriebe Würfel-Bruchfestigkeiten des Betons von 400, 500, 600 und mehr kg/cm² und beachtliche Zugfestigkeiten nach wenigen Wochen des Erhärtens zu erzielen. Solcher Beton hat ausgezeichnete elastische Eigenschaften bis zu den höchsten Druckbeanspruchungen, sodaß sich wechselnde Formänderungen sehr schnell einstellen und besitzt, falls die Eiseneinlagen gut verteilt sind, reichliches Ausdehnungsvermögen, ohne daß Risse entstehen. Für diese Eiseneinlagen verfügt man in allen Ländern über lange Stäbe aus nichtrostendem Stahl, dessen Bruchzugfestigkeit 52 bis 56 kg/mm² beträgt, bei Elastizitätsgrenzen über 30 kg/mm², Streckgrenzen über 40 kg/mm², Bruchdehnungen von 30 und 35 % und Einschnürungen von 60 und 70 %.

Solche Baustoffe ermöglichen, wenn sie mit den oben angegebenen Vorsichtsmaßnahmen angewendet werden, noch bedeutende Fortschritte in der Verminderung des Bewehrungsverhältnisses, in der Erhöhung der spezifischen Leichtigkeit (Verhältnis der Festigkeit zum Gewicht) des Betons, und infolgedessen, in der Vergrößerung der Hauptabmessungen der Tragkonstruktionen, woraus sich für die hohen Werte des Elastizitätsmoduls des Betons und des Stahles, eine stark erhöhte Starrheit und folglich eine Verminderung der Formänderungen aus Eigengewicht und Nutzlast ergibt. Die Berechnung der großen Eisenbetonbauten, bei denen die Schlankheit der Einzelteile im Widerspruch zur wirklichen Tragfähigkeit des Ganzen zu stehen scheint, geht heute zwangsläufig immer mehr unmittelbar und ausschließlich auf die theoretischen Grundsätze und auf die Versuchsergebnisse zurück, die aus den neueren Forschungen über das Gleichgewicht starrer Körper und Systeme und über das elastische Verhalten formänderungsfähiger Körper und Systeme, die statisch bestimmt oder überbestimmt gestützt sind, gewonnen wurden. Dabei wurden diese Körper oder Systeme statischen oder dynamischen Beanspruchungen und fortschreitenden oder periodischen Temperaturänderungen ausgesetzt, wobei sich ihr Spannungs- und Formänderungszustand nach mehr oder weniger bestimmten Gesetzen ändert.

Als derartige Systeme kommen besonders in Frage Tragwerke mit vollwandigen oder kastenförmigen Querschnitten, mit oder ohne Gelenke, und zwar Balken und Bögen, die einen Schub ausüben und solche, deren Schub durch an Drahtseilen aufgehängte Zugbänder aufgehoben ist, nicht zuletzt die mehrfachen

Rahmen, die mit den Stützen starr verbundenen, durchgehenden Bögen, die zylindrischen, kegeligen, kugelförmigen, ellipsoidischen, paraboloidischen usw. Schalen, aus denen Decken, Wände und Gewölbe gebildet werden, die Abstufungen und die verschiedenen Arten der Auflagen mit Gelenken oder durch Einspannung.

Die Versuche nahmen ihren Ausgang von den heute noch sehr entwicklungsfähigen Forschungen über die physikalischen und mechanischen Eigenschaften der hydraulischen Bindemittel, der gebrochenen und natürlichen Zuschlagstoffe, des Betons, der Bewehrung und des Eisenbetons. Abgesehen vom Bindemittel erstreckten sich diese Forschungen auf die Körnung der Zuschläge, auf das Mischungsverhältnis, den Gehalt an Bindemittel und Wasser und das Bewehrungsverhältnis, auf die Verfahren beim Verarbeiten des Betons, mit dem Ziele, möglichst dichten Beton mit verhältnismäßig hohem Raumgewicht zu erhalten, der während des Abbindens und Erhärtens wenig schwindet, hohen Elastizitätsmodul und hohe Druckfestigkeit erlangt, beträchtliches Haften der Eisen ergibt und bis zu hohen Zugbeanspruchungen mit der Bewehrung zusammenwirkt, ohne daß Risse entstehen. Man ist immer mehr bestrebt, diesen Forschungen wegen ihrer ausschlaggebenden Bedeutung solche anzugliedern, die sich mit dem elastischen Verhalten, insbesondere unter der Einwirkung großer beweglicher Lasten, von Bauwerken befassen, die bereits einige Jahrzehnte in Gebrauch sind und mit den seinerzeit für Beton und Bewehrung verfügbaren Baustoffen hergestellt wurden, sowie von neueren Bauwerken, mit kühneren Formen und Abmessungen, für die bereits die höherwertigen Baustoffe verwendet wurden, über die wir heute verfügen.

Die Vervollkommnung der Methoden zur theoretischen Vorausbestimmung der Spannungs- und Formänderungsverhältnisse und die daraus folgenden Entwurfsberechnungen und Ausführungen von Eisenbetonbauten stützen sich auf die Entwicklung der Theorien der verwickeltsten und schwierigsten Gebiete der Elastizität und der Festigkeit der Baustoffe.

Da es sich um nicht homogene und, wegen der physikalischen und mechanischen Eigenschaften der Baustoffe, noch weniger um isotrope Gebilde handelt, sind die Schwierigkeiten, die der Festlegung einer befriedigenden Berechnungstheorie, insbesondere bezgl. des Verhaltens der statisch unbestimmten Gebilde entgegenstehen, immer noch sehr groß und verzögern unvermeidlich den Fortschritt, aber die Anstrengungen zur Überwindung dieser Schwierigkeiten sind fruchtbringend.

Der ausgesprochene Mangel an Homogenität und Isotropie, beim Beton, der die Anwendbarkeit der Elastizitätslehre auf die Festigkeitsberechnungen in Frage stellt, läßt sich z. T. dadurch beheben, daß man geeignete Bindemittel und Zuschlagstoffe nimmt und daß man die Körnung der Gemische von Kies und Steinschlag mit Sand, ihr Mischungsverhältnis und den Gehalt an Bindemittel und Wasser zweckmäßig wählt und dadurch auch die Dichte des Betons günstig beeinflußt. Es kommt besonders darauf an, Kies oder Steinschlag mit solcher Körnung zu wählen, daß die Hohlräume auf ein Mindestmaß herabgesetzt werden, sodaß auch das Volumen des Zementmörtels vermindert wird, das erforderlich ist, um das Steinmaterial zu binden und die Hohlräume auszufüllen. Auf diese Weise erzielt man eine Verminderung des Mörtelanteils im

Verhältnis zum Steingerüst und zur gesamten Betonmasse, woraus eine Erhöhung der Bruchfestigkeit und des mittleren Elastizitätsmoduls bei Druck und Zug folgt, weil diese Eigenschaften mehr denen der harten Gesteine der Zuschlagsstoffe nahe kommen, als denen des mehr oder weniger plastischen Zementmörtels, der sie verbindet.

Die Betonmasse wird dadurch gegenüber Druckbeanspruchungen praktisch zu einer elastischen, homogenen und isotropen Masse, die Eiseneinlagen hauptsächlich zur Aufnahme von Zugbeanspruchungen enthalten kann; eine Erhöhung der Druckfestigkeit kann man durch Spiralumschnürung erzielen; angemessene Festigkeit gegen Zug-, Biegungs- und Scheerbeanspruchungen läßt sich durch Einlegen von Bewehrungsstäben in ausgezeichneten Richtungen erzielen, und zwar in *eine* Richtung für die schlanken Balken, in *zwei* zueinander senkrechten Richtungen für dünne, ebene oder gekrümmte Platten, in drei zueinander senkrechte Richtungen, die möglichst mit den Tangenten der wahrscheinlichen Spannungstrajektoren zusammenfallen, für Gebilde, die sich nach allen Richtungen des Raumes erstrecken und beansprucht werden.

Die ungleichmäßigen Temperaturdehnungen und -schrumpfungen, die auf mögliche, starke Temperaturerhöhungen im Innern des Betons während des Abbindens und auf die allmähliche Abkühlung unter nicht genau erfaßbaren Verhältnissen zurückzuführen sind, erzeugen unbestimmte innere Vorspannungen, die zurückbleiben und im Beton und in den Eiseneinlagen verborgene ansehnlich hohe Zug- und Druckbeanspruchungen bewirken können.

Derlei Wirkungen kann man teilweise dadurch abhelfen, daß man wenig Wärme entwickelnde Bindemittel wählt, wie sie die amtlichen Bestimmungen bereits in einigen Ländern vorschreiben, und daß man nicht mehr Bindemittel verwendet, als für die geforderte Festigkeit des Betons nötig ist. Gegebenenfalls können sehr große Betonmassen mittels Fugen in Blöcke unterteilt werden und, sobald der Temperaturausgleich eingetreten ist, können die Fugen geschlossen werden. Auch das Schwinden des Betons während des Abbindens und Erhärtens, eine Erscheinung, die vor allem auf die Ausscheidung des überschüssigen, nicht gebundenen Anmachwassers zurückgeht, führt dazu, daß unbestimmte, verborgene Spannungen im Beton und den Eiseneinlagen zurückbleiben; diese Spannungen können im unbewehrten Beton als Zugspannungen 20 bis 30 kg/cm$^2$ erreichen und sogar überschreiten, und außerdem mit Druckspannungen abwechseln, die noch viel beträchtlicher sind. Beim Eisenbeton, dessen Schwinden durch die Einwirkung der Eiseneinlagen geringer ausfällt, können ihnen im Beton Zugbeanspruchungen von der Größenordnung von 5 bis 15 und mehr kg/cm$^2$ entsprechen (umso größere, je größer das Bewehrungsverhältnis ist). Diesen Beanspruchungen halten Druckkräfte in den Eiseneinlagen das Gleichgewicht, die hundert- bis zwanzigmal größer sind (sie sind umso größer, je kleiner das Bewehrungsverhältnis ist).

Auch diesen Auswirkungen kann man teilweise abhelfen, indem man das Bewehrungsverhältnis möglichst klein annimmt, geeignete Schwindfugen anordnet und Beton mit nicht übermäßigem Zementgehalt wählt, und ihn mit möglichst wenig Wasser anmacht, wobei indessen genügend Wasser vorhanden sein muß, damit der durchgerüttelte oder weniger stark verdichtete Beton hinreichend beweglich wird, um die Verschalung satt auszufüllen und die Eisen-

einlagen vollständig zu umhüllen; endlich, indem man den fertigen Beton mittels geeigneter Berieselung während des Erhärtens und bis zur Ausschalung genügend feucht hält.

## Zusammenfassung.

Der Verfasser gibt einen kurzen Umriß der Entwicklung der Technik großer Eisenbeton-Bauwerke und erläutert anschließend die gegenwärtigen Bestrebungen, für deren Berechnung und Ausführung, wobei er die dem Stoffgebiet eigentümlichen Schwierigkeiten und Ungewißheiten beleuchtet und die Maßnahmen erwähnt, durch die diese beseitigt oder vermindert werden können.