

**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 65 (1947)  
**Heft:** 22

**Artikel:** Die Schwellzemente und ihre selbsttätige Spannung des Betons  
**Autor:** Lossier, Henri  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-55886>

### **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:** 14.01.2026

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

## Die Schwellzemente und die selbsttätige Spannung des Betons

Von Ing. HENRI LOSSIER, Paris

DK 624.012.47  
(Schluss von Seite 283)

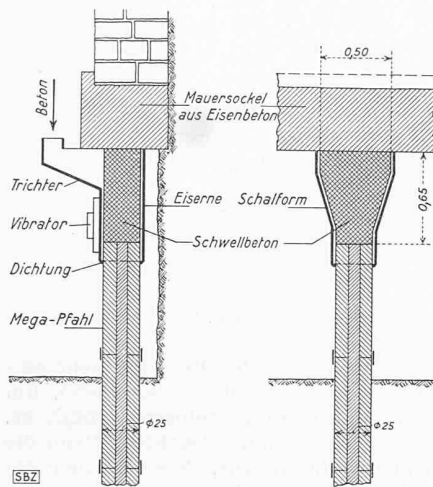
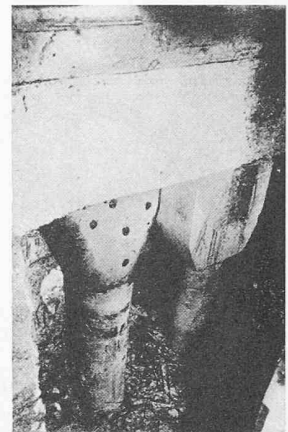
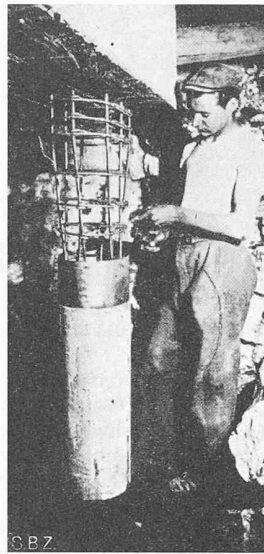


Bild 15. Unterfangung des Rihour-Palastes in Lille



Bilder 16 bis 18. Armierung, Betonieren (Vibrieren) und fertige Pfahlköpfe beim Rihour-Palast

Es gelingt dies in der Regel mit Hilfe eines U-förmigen Elementes, einer Schraubenwinde und Keilen, sowie durch Unterstopfen des Unterzuges mit einem Schlägel. Die Verwendung von Schwellzement gestaltete jedoch das Verfahren viel einfacher. Auf den Kopf des letzten Elementes eines jeden «Mega»-Pfahles (Bild 15) wurde eine auseinandernehmbare, mit einem Trichter für das Einbringen des Betons und einem Vibrator versehene Metallform aufgesetzt. In die Form wurde vorerst eine leichte Armierung eingesetzt, worauf sie mit Beton gefüllt und dieser vibriert wurde, bis die Zementmilch zwischen der Form und dem Balken austrat. Nachdem der Beton erhärtet und die Form entfernt war, wurde das so gegossene Stück während den paar Tagen, die nötig waren, um den Anfangsdruck unter der Mauer von etwa 20 t pro Pfahl zu erzeugen, feucht gehalten. Im Vergleich zum erstgenannten Verfahren gewährte dieses sowohl einen bessern Zusammenhang zwischen Pfahlkopf und Pfahl, wie auch eine Einsparung von etwa 20 kg Eisen pro Element, dessen Armierung sowieso viel Arbeit kostete. Die Bilder 16, 17 und 18 zeigen die verschiedenen Phasen des Verfahrens. Die Löcher, die im Bild 18 sichtbar sind, sollen dem Wasser, das zur Befeuchtung notwendig ist, gestatten, in das Innere des Schwellbetonkörpers einzudringen. Das Schwellen tritt nämlich nur ein, wenn man mit der Durchfeuchtung einige Stunden nach dem Abbinden des Zementes beginnt. Stellt man dieses Wässern während des Schwellens plötzlich ein, so kommt dieses nach 24 bis 48 Stunden endgültig zum Stillstand, nachdem die im Augenblick der Einstellung erreichte Ausdehnung noch um 10 bis 15 % — je nach der Mischung — zugenommen hat. Durch Einstellen der Wässerung kann somit das *Schwellen auf der Baustelle* auf einfache und wirksame Weise geregelt werden.

Erwähnt sei nebenbei die Möglichkeit zahlreicher, wichtiger Anwendungen im Bergbau, sowie bei der Hintermauerung von Gewölben in Stollen und Tunneln. Es werden gegenwärtig wichtige Versuche in dieser Richtung durchgeführt.

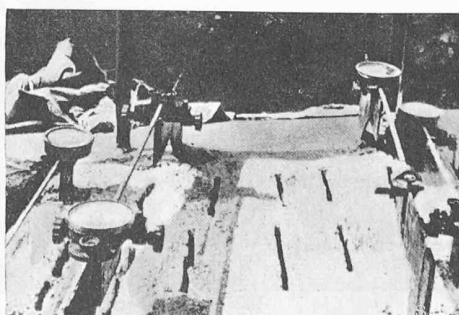
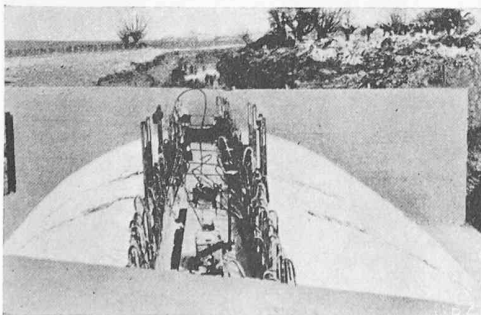
b) Abheben von den Lehrbögen und Schliessen von Bögen aus Mauerwerk und Beton

Jeder kennt das klassische Verfahren des Abhebens eines Bogens von seinem Lehrgerüst durch Winden, die man im Bogenscheitel anbringt und mit einer Kraft wirken lässt, die gleich oder um wenigstens grösser ist als der Horizontalschub des Bogens im Augenblick, wo das Verfahren angewendet wird. Dieses Verfahren erfolgt in vier Hauptphasen: Anpassen der Winden, Einbringen von Beton zwischen diesen, Entfernen der Winden nach genügender Erhärtung dieses Betons, Einbringen von Beton in die für die Winden ausgesparten Lücken. Bei Anwendung von Schwellbeton dagegen wird das Verfahren in eine Phase zusammengefasst: Es genügt, im Scheitel eine Aussparung zu lassen und sie nach Erhärtung des Bogenkörpers mit einem Schlussstück aus Schwellbeton auszufüllen, das die Rolle einer in der Masse des Mauerwerkes selber eingebetteten Schraubenwinde spielt, und das gestattet, die elastischen Verkürzungen, die infolge des Eigengewichtes eintreten, zu kompensieren, ferner auch ganz oder teilweise jene, die der Beton mit der Zeit durch das Schwinden und durch die plastischen Formänderungen erfährt, schliesslich auch ganz oder teilweise die durch die beweglichen Lasten hervorgerufenen. Bei grossen Bauwerken können mehrere expansive Bogenelemente vorgesehen werden, die ihre Wirkung in vorbestimmter Weise auf die ganze Länge des Bogens verteilen.

Die folgenden zwei Bilder beziehen sich auf den Eisenbetonbogen einer Brücke, die für die Verwaltung der Ponts et Chaussées des französischen Departementes Eure-et-Loir ausgeführt wurde. Bild 19 zeigt die Aussparung im Scheitel für die Aufnahme des Schlussstückes aus Schwellbeton. Die Armierungseisen sind provisorisch zurückgebogen. In Bild 20 sieht man das expansive Schlussstück von oben und die darin angeordneten Rinnen für dessen Wässerung, sowie die Manet-Rabut-Apparate zum Messen der Expansion.

Ein typisches Beispiel ist die Wiederherstellung des Via-

duktes von Poix der doppelspurigen Eisenbahnlinie Rouen-Amiens. Dieses Bauwerk besteht aus zwölf Halbkreisbögen auf hohen Pfeilern mit einem Axabstand von 18,50 m (Bild 21). Die Gewölbe haben eine Scheitelstärke von 0,90 m. Da vier Bögen zerstört waren, wurde diese Brücke im Jahre 1940 durch die Unternehmung Edmond Coignet repariert. Im Jahre 1944 drang dann anlässlich eines Raids der alliierten Flugwaffe eine Bombe durch den Bogen der fünften Oeffnung in



Bilder 19 und 20. Scheitel der Brücke im Departement Eure-et-Loir

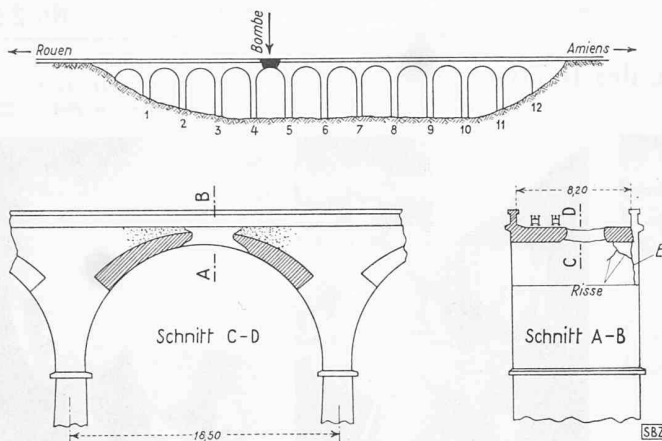


Bild 21. Viadukt von Poix, Gesamtansicht; Schnitte 1 : 500

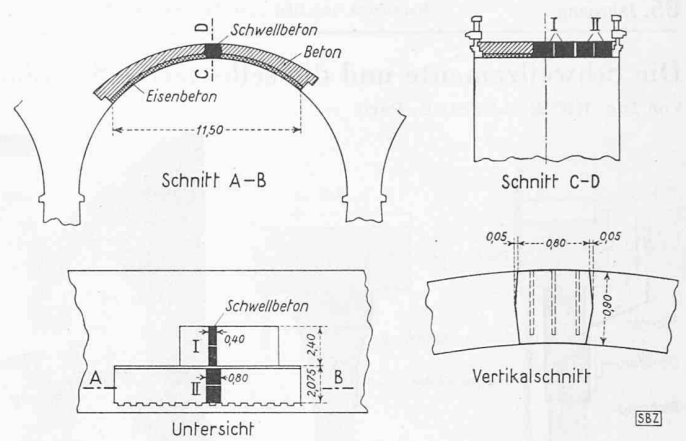


Bild 22. Viadukt von Poix, Einzelheiten 1 : 450

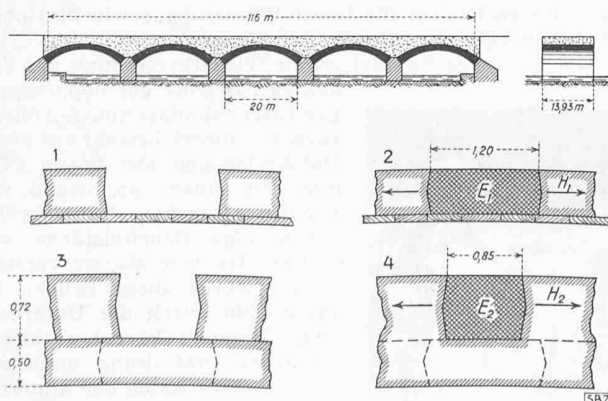
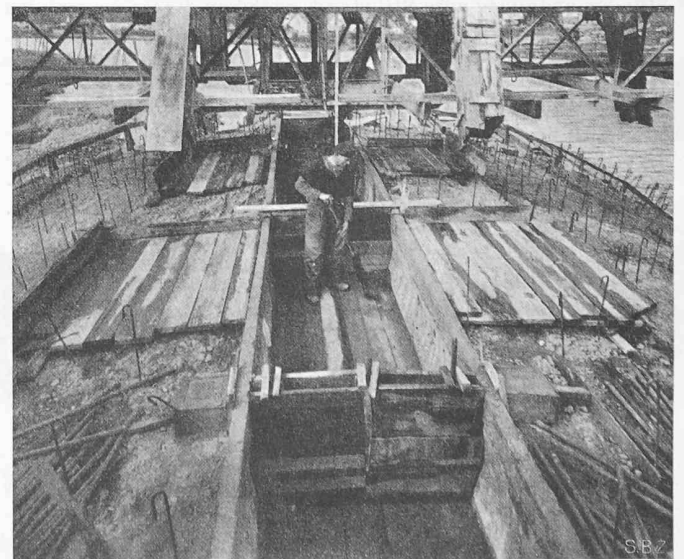
der Nähe des Scheitels und zwar exzentrisch in der Querrichtung. Nachdem durch kräftige Stahlträger ein einspuriger Verkehr an der beschädigten Stelle vorbei wieder möglich gemacht worden war, wurde deren Reparatur folgendermassen durchgeführt (Bild 22). Unter den verletzten Bogen wurde ein gewöhnliches Lehrgerüst aufgestellt. Die Ränder der Bresche wurden sodann bearbeitet, um die gelockerten Mauerwerkteile zu entfernen und um gleichzeitig für die beiden neu zu erstellenden Ringstücke von ungleicher Länge und ungefähr 2 m Breite ordentliche Stützflächen zu schaffen. Jedes der beiden Ringstücke erhielt ungefähr in seiner Mitte eine Aussparung, deren Länge etwa  $\frac{1}{14}$  von jener des Ringstückes betrug. In diese Aussparungen wurde das expansive Schlussstück betoniert, dessen Zweck war, den Ring in der Bresche vorzuspannen, um ihm künstlich eine Spannung zu erteilen, die derjenigen der übrigen Teile des Gewölbebogens entsprach. Mit andern Worten, die durch das Schwinden entwickelte Kraft musste dazu beitragen, das Schwinden beim Erhärten und mit der Zeit das Kriechen der Ringstücke zu kompensieren und zugleich die Druckspannungen des Eigengewichts auf die ganze Breite des Gewölbes zu verteilen. Der Hauptteil der Ringstücke wurde in Beton aus gewöhnlichem Portlandzement ausgeführt mit einer leichten Armierung der innern Leibung, um ihr das äussere Aussehen des beschädigten Gewölbes zu belassen. — Bei unsern neueren Ausführungen wird in der Regel zum Ausbetonieren der Breschen sogen. «schwindfreier Zement» verwendet, d. h. Zement, dessen Schwellen beim Erhärten das spätere Schwinden kompensiert (vgl. Bild 7).

Die Gewölbeelemente aus Schwellbeton hatten, wie Bild 22 zeigt, im Querschnitt die Form eines unregelmässigen Sechsecks. Sie wurden am 17. Mai 1944 in Teilstücken von rd. 1 m Breite ausgeführt, die durch schmale Fugen getrennt waren, um ihrer Querausdehnung Rechnung zu tragen. In der Nähe der Berührungsflächen waren einige Armierungsseisen von kleinem Durchmesser in zwei Richtungen einbetoniert. Die Kräfte, die das Schwellen entwickeln sollten, um dem vorgesehenen Zweck zu entsprechen, waren berechnet und das Mass des Schwellens durch Versuche mit Hilfe des oben beschriebenen Faury-Apparates bestimmt worden. Wie ich be-

reits ausführte, kann das Mass des Schwellens auf sehr einfache Weise an Ort und Stelle geregelt werden; denn, um das Schwellen dieser Speziallemente auszulösen, genügt es, sie gleich nach ihrem Abbinden zu durchfeuchten. Wenn die Durchfeuchtung während des Schwellens, dessen Dauer gewöhnlich 5 bis 15 Tage beträgt, eingestellt wird, so verlangsamt sich das Schwinden nach einem bekannten Gesetz und bleibt nach ungefähr 48 Stunden stehen. Unter diesen Umständen regelt man die Expansion an Ort und Stelle, indem man einfach die Durchfeuchtung einstellt, sobald das notwendige Mass der Schwellung erreicht ist, wobei man für die Stabilisierung noch einen kleinen Spielraum einrechnen muss.

Beim Viadukt von Poix waren in den Gewölbeelementen aus Schwellbeton Löcher von 25 mm Durchmesser in Abständen von 0,25 bis 0,30 m, in beiden Richtungen gemessen, angeordnet, die bis auf einige Millimeter an die innere Leibung hinabreichten. Ein kleiner Wulst aus Gips umgab jedes dieser Elemente auf seiner äusseren Leibung und gestattete, die zur Durchfeuchtung notwendige Wasserfläche zu bilden. Um die Durchfeuchtung zu unterbrechen, genügte es, den dünnen Boden der Löcher an der Innenleibung mit einer Eisenstange zu durchstossen oder die Löcher durch einen Syphon zu entleeren. Wie vorgesehen war, wurde die Durchfeuchtung nach fünf Tagen eingestellt, da, wie die Manet-Rabut-Apparate zeigten, die Ausdehnung von 2,7 mm/m an der äusseren Leibung nach dieser Zeit erreicht war.

Ein weiteres Beispiel für die Wiederherstellung von beschädigten Gewölben ist die *Brücke von Epinay-sur-Seine* bei Paris. Dieses Objekt einer doppelspurigen Eisenbahnlinie hat drei Mauerwerkbogen von 38,50 m Lichtweite und einer Scheitelstärke von 1,35 m. Bei den Luftbombardementen von 1944-45 wurde diese Brücke mehrmals getroffen. Neben einigen Schäden, deren Behebung keine besonderen Massnahmen erforderte, war die erste Öffnung am linken Ufer von einer Bombe durchschlagen worden, wobei der Durch-

Bild 25. Viadukt von Laroche.  
Reihenfolge des Betonierens;  $E_1$  und  $E_2$  = SchwellbetonBild 26. Viadukt von Laroche, Schalung für  $E_1$



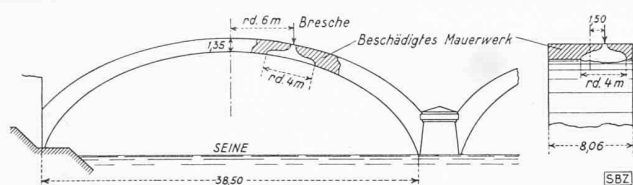
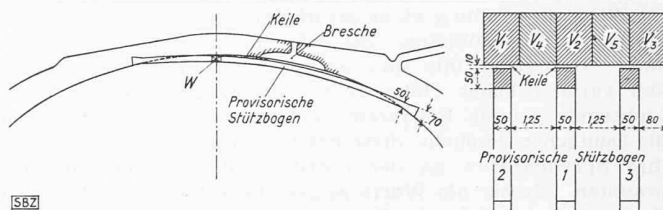


Bild 23. Viadukt von Epinay-sur-Seine, 1 : 750

schlagpunkt in der Längsrichtung der Brücke etwa 6 m vom Scheitel gegen Epinay zu und in der Querrichtung etwa 1,50 m flussaufwärts von der Brückenaxe entfernt war (Bild 23). In der äusseren Leibung war das Loch nur klein; es erweiterte sich aber gegen die innere Leibung, wo es einen Durchmesser von ungefähr 4 m hatte. Die ganze gelockerte Zone erstreckte sich ungefähr über die flussabwärts gelegenen zwei Drittel der Breite des Gewölbes. Aus örtlichen Gründen war ein Lehrgerüst in der Seine ausgeschlossen. Es musste deshalb ein Hängegerüst auf die äussere Leibung abgestützt werden, an dem der Arbeitsboden aufgehängt wurde. Es entstanden so zwei Probleme: Das eine betraf die Stabilität des Gewölbes während der Rekonstruktion, das andere die Behebung des Schadens.

Die Stabilität des Gewölbes: Die Lösung, die darin bestand, sich auf ein Gewölbe zu stützen, das auf  $\frac{2}{3}$  seiner Breite durchbrochen war, war riskiert. Ich schlug daher vor, vor allem die statische Kontinuität des Gewölbes im durchbrochenen Bezirk durch drei provisorische Stützbogen aus Eisenbeton wieder herzustellen, die an der unteren Seite des Gewölbes angebracht und vorgespannt waren. Auf beiden Seiten der Bresche übertrugen sie ihren Schub auf das Gewölbe. Wie aus Bild 24 ersichtlich, waren diese Bogen Korb-bogen und hatten einen Axabstand von 1,75 m. Sie hatten eine Länge von 22 m, eine Breite von 0,50 m und eine Stärke 0,50 m in ihrem Hauptteil und von 0,70 m an ihren in das Gewölbe eingelassenen Enden. Um Raum für die Schalung und die Keile zu belassen, wurden sie auf der Länge der Bresche um 0,10 m tiefer als die zu erstellende innere Leibung verlegt, während sie an ihren Enden, dank ihrer Form, allmählich in das Gewölbe eindrangen. Es musste auf mögliche, durch die Vorspannung hervorgerufene Schübe ins Leere hinaus Rücksicht genommen werden, weshalb auf der Länge der Bresche die Armierung verstärkt wurde. In der Längsrichtung verhinderten biegsame Bewehrungen das seitliche Ausknicken dieser Bogen. Die Belastung der Bogen, die während der Arbeit Veränderungen erfahren konnte, erfolgte mit Hilfe einer Stockwinde W mit einer Minimalkraft von 100 t, die in der Nähe des Gewölbescheitels wirkte und dort bis zum Schlusse der Wiederherstellungsarbeiten verkehrt blieb. Wäre die zu wirkende Druckspannung konstant gewesen, so wäre die Verwendung von Schwellzement die einfachste Lösung gewesen.

Behebung des Schadens: Nachdem die drei provisorischen Bogen nacheinander erstellt und belastet waren, erfolgte die



SBZ

Bild 24. Viadukt von Epinay-sur-Seine, Ansicht der provisorischen Stützbogen und Querschnitt der Reparaturstelle.

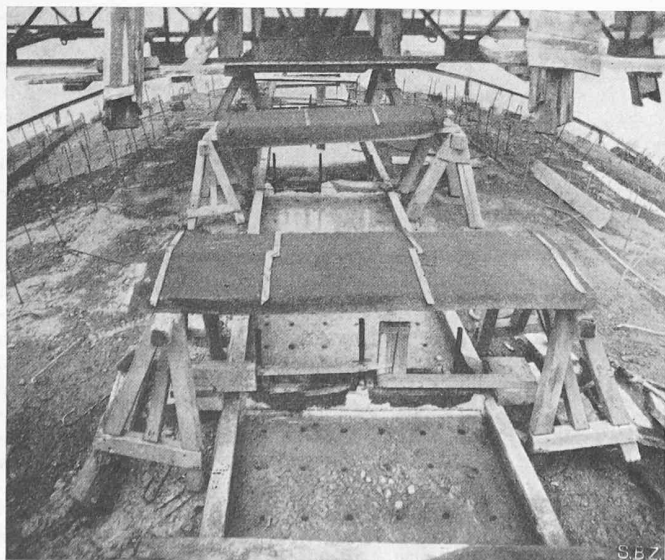
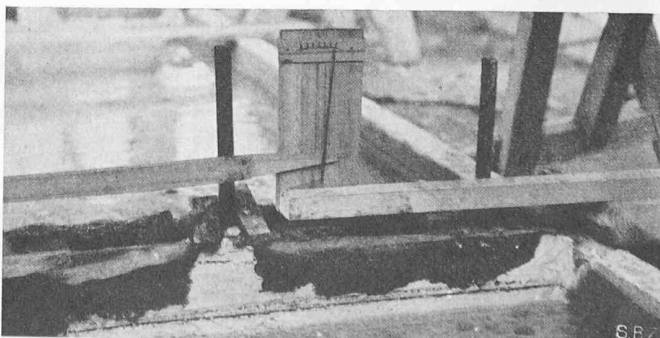
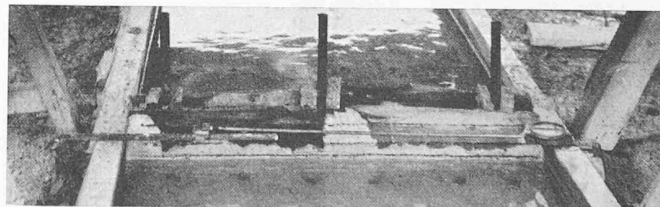
V<sub>1</sub> bis V<sub>5</sub> = Schwellbeton im endgültigen Bauwerk

Reparatur der Bresche im Prinzip nach meinem schon beim Viadukt von Poix angewandten und bereits beschriebenen Verfahren, d. h. durch sukzessive Herstellung von fünf Ringen von je 1 m Breite in der durch ihre Numerierung in Bild 24 angegebenen Reihenfolge. Die Gewölbeelemente aus Schwellbeton von 0,60 bis 0,70 m Länge waren durch provisorische Fugen von etwa 10 mm Stärke von einander getrennt. Die Ringe selbst dagegen waren ohne Trennungsfugen. (In Bd. 127, S. 7 der SBZ ist das Bogenelement aus Schwellbeton und die Anordnung für dessen Durchfeuchtung im Längsschnitt dargestellt.)

Neben der teilweisen Wiederherstellung beschädigter Bauwerke wollen wir auch den vollständigen Wiederaufbau der Gewölbe der Brücke von Laroche der vierspurigen Linie Paris-Dijon erwähnen. Diese Brücke hat fünf Öffnungen von 20 m Lichtweite, deren Stichgewölbe aus unarmiertem Beton ein Pfeilverhältnis von 1:4,5 haben. Ihre Stärke ist 1,22 m im Scheitel und 1,80 m im Kämpfer. Aus Gründen der Ausführung wurde jedes der Gewölbe in zwei Ringen von 0,50 bzw. 0,72 m Stärke ausgeführt. Im Einverständnis mit den Organen der SNCF wurde die Arbeit in vier Arbeitsgängen durchgeführt, die in Bild 25 dargestellt sind: 1. Betonieren des ersten Ringes eines jeden Gewölbes, wobei im Scheitel eine Aussparung von 1,20 m Länge gelassen wurde, um das Schlusselement aus Schwellbeton aufzunehmen. 2. Einbringen des Schlusstückes E<sub>1</sub> aus Schwellbeton nach gewöhnlichem Verfahren. Dieses erste Schlusstück wurde für eine Expansion von 2,5 mm reguliert. 3. Nach Beendigung des ersten Ringes aller Gewölbe, Betonieren des zweiten Ringes auf den ersten, unter Belassung einer Aussparung von 0,85 m Länge für das zweite expansive Schlusstück. 4. Ausführung des zweiten Schlusstückes E<sub>2</sub> eines jeden Gewölbes. Das Schwellen der obern Schlusstücke E<sub>2</sub> wurde so reguliert, dass es ungefähr  $\frac{3}{10}$  dessen des untern Schlusstückes E<sub>1</sub> betrug, also 0,7 mm. Alle Schlusstücke enthielten 600 kg Schwellzement pro m<sup>3</sup>. Die Bilder 26 bis 29 zeigen diese Arbeitsgänge, die von mehreren ausländischen Persönlichkeiten verfolgt wurden.

c. Wiederherstellung zerstörter Bauwerke aus Eisenbeton

Die doppelspurige Eisenbahnbrücke, genannt Pont de Moscou, bei Montereau ist ein bemerkenswertes Beispiel für

Bild 27. Viadukt von Laroche, E<sub>1</sub> betoniert und in Wässerung

Bilder 28 und 29. Einzelheiten der Dehnungsmesser von Bild 27

die Wiederherstellung einer zerstörten Eisenbetonbrücke mit Hilfe von Schwellbeton. Sie ist eine zweigleisige Brücke einer Normalspurlinie und ist als kontinuierlicher Balken von veränderlicher Höhe über vier Oeffnungen von 26 m Lichtweite gebaut. Bei ihrem Rückzug im Jahre 1944 hatten die Deutschen versucht, diese Brücke zu zerstören, indem sie ihre Sprengkörper an der oberen Seite der Fahrbahn anbrachten. Besser als Worte zeigen die Bilder 30 und 31 den Zustand der Brücke im Zeitpunkt, da uns ihre Wiederherstellung übertragen wurde. Nachdem die Breschen bearbeitet und Ersatzarmierungen zwischen die unwirksam gewordenen eingelegt worden waren (Bild 32), musste dafür gesorgt werden, dass in den neu herzustellenden Teilen wieder der frühere Spannungszustand herrsche. Hätte man sich damit begnügt, die fehlenden Teile durch gewöhnlichen Beton zu ersetzen, so hätte dessen Schwinden die Reparatur zum Teil unwirksam werden lassen, indem es den Zusammenhang mit dem alten Beton gelöst hätte. Die ersetzten Teile hätten ihre Aufgabe nur erfüllt, wenn die Beanspruchung so hoch geworden wäre, dass die elastischen und plastischen Verkürzungen des Betons das Schwinden übertroffen hätten. Deshalb ersetzten wir überall, wo es anging, die ausgebrochenen Teile durch Beton, der mit stark schwellendem Zement angemacht war, und der durch die Wirkung des Schwellens allseitig unter Druck gesetzt wurde. Dadurch wurde wenigstens teilweise der innere Spannungszustand des Bauwerkes wieder hergestellt. Bevor man sie wieder dem Betrieb übergab, wurde die Brücke schlüssigen Proben unterworfen, und heute zeigt sie keine Spur ihrer Verletzungen mehr.

#### d. Verschiedene Anwendungen des Schwellzementes

Die dynamische Energie der Schwellzemente kommt bei jedem Hindernis zur Geltung, das ihrem Schwellen entgegen gesetzt wird. Solche Hindernisse sind in der Regel äussere oder eingebettete Metallarmierungen oder Stossflächen von Mauerwerk oder Böden. Dabei entstehen *automatisch*:

Im Falle von Armierungen Zugspannungen in diesen und entsprechende Druckspannungen im Beton, die eine Funktion der Verteilung und der Menge der Armierungen sind;

im Falle, wo es sich um Mauerwerk oder Böden handelt, Druckspannungen gegen diese und im Beton selbst.

Was die Armierungen anbelangt, so gestattet uns die gegenwärtig erreichte Zementqualität noch nicht, im Stahl Zugspannungen zu erzeugen, die mit denen verglichen werden können, die durch mechanische Vorspannung erreichbar

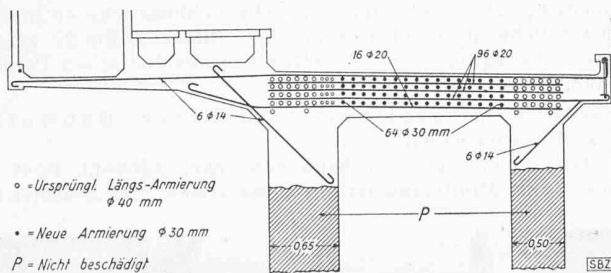


Bild 32. Pont de Moscou, Querschnitt 1 : 70

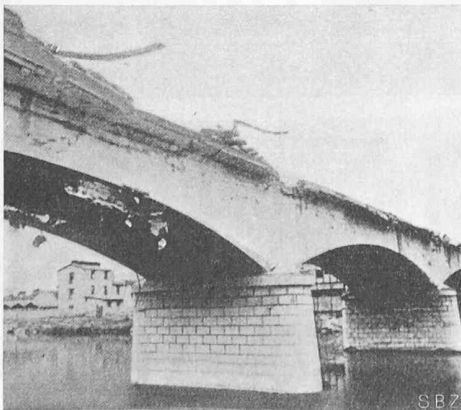


Bild 30. Schäden am Pont de Moscou

Bild 31 (rechts). Zerstörte Hauptarmierung

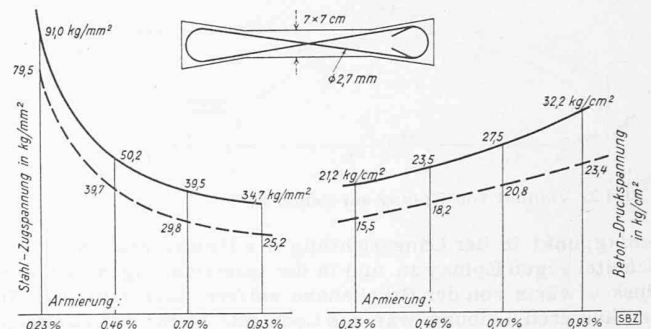
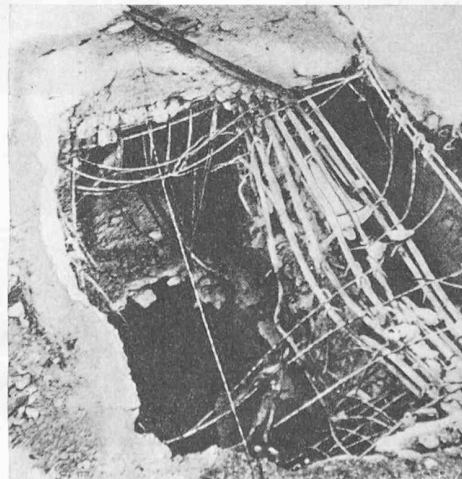


Bild 33. Stahl- und Beton-Spannungen in Versuchskörpern aus Schwellbeton

sind. Wir führen gegenwärtig Versuche durch mit dem Zweck, diese Wirkung sowohl durch die Qualität des Bindemittels, wie auch durch die Art der Betonzubereitung zu verbessern. Bild 33 zeigt die Versuchsergebnisse mit Prismen aus Beton mit 550 kg Schwellzement pro  $\text{m}^3$ , die jeweils mit 1, 2, 3 oder 4 Schleifen aus Stahldraht von 2,7 mm Durchmesser armiert waren, dessen Elastizitätsgrenze über  $100 \text{ kg/mm}^2$  bzw.  $10\,000 \text{ kg/cm}^2$  lag.

Stau mauern. Dadurch, dass sie die Wirkung des Schwindens kompensieren, werden die schwach schwellenden Zemente die Rissbildung und das Auftreten parasitärer innerer Spannungen, die mitunter eine verhältnismässig grosse Bedeutung erhalten, verhindern. In den Bogenstau mauern werden vertikale, stark expansive Bogenelemente eine günstige Vorspannung in der Richtung der Leitlinie bewirken. In den Gewichtstau mauern wird die Ausführung der Fugen vereinfacht und deren Wirkung verbessert.

Im Boden betonierte Pfähle, Fundamentkörper, Tunnel usw. Die Expansion, besonders im erweiterten Pfahlfuss (Bild 34) beeinflusst in sehr günstiger Weise die Reibung gegen den Boden und, in gewissen Fällen, auch dessen örtliche Dichtigkeit. In wasserführenden Böden erfolgt die Durchfeuchtung automatisch. Wir betonen jedoch,

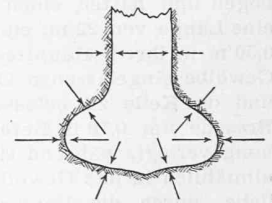


Bild 34. Pfahlfuss aus Schwellbeton

dass für unsere gegenwärtigen Qualitäten eine Immunität gegen Meer- oder Gipswasser nicht garantiert werden kann. Für Fundamentkörper oder -schächte bildet der Expansionsdruck gegen das Erdreich immer ein günstiges Element für den Widerstand gegen Senkungen. Man kann sich übrigens dabei darauf beschränken, nur Teilstücke aus Schwellbeton herzustellen, die wie Stockwinden wirken, wie wir das schon bei den Gewölben sahen. Wir prüfen gegenwärtig ein neues Verfahren, das bei Schächten mit verhältnismässig grossem Querschnitt verwendbar ist. In Tunneln und Stollen aller Art können die Schwellzemente mit Vorteil verwendet werden, einerseits für den Gewölbeschluss, andererseits für die Hinterfüllung zwischen Verkleidung und Gebirge. Es werden gegenwärtig Versuche darüber in einem bedeutenden Tunnel in Nordafrika durchgeführt. Die Sicherung von Bergwerkstollen eröffnet ein Anwendungsfeld von besonderem Interesse.

Kanalisation und Röhren. Indem man Kanalisationen und Röhren sowohl im Sinne der Erzeugenden wie auch der Leitlinien armiert, um die Expansion zu hindern, können automatisch Druckspannungen im Beton in beiden Richtungen erzeugt werden, die allerdings beim gegenwärtigen Stand weniger intensiv sind, als die, die durch mechanische Vorspannung erzeugt werden können, die aber in gewissen Fällen genügen. Eine äussere Umhüllung aus Fibro-Zement als Scha-



lung (Bild 35) erzeugt ebenfalls, ohne Armierung, diesen zweiseitigen Druckzustand. Im übrigen wird die Ueberlegenheit der Schwellzemente bezüglich Undurchlässigkeit stets ein wichtiger Faktor sein.

Verputz. Die ersten Versuche durch Faury scheinen befriedigende Resultate zu geben. Bevor ich mich jedoch darüber endgültig äussere, warte ich noch ab, wie sie sich auf die Dauer verhalten.

Beläge von Strassen und Flugpisten. Das Schwinden des Betons beim Erhärten veranlasst die Erbauer von betonierten Strassen und Pisten mehr noch als die Temperaturschwankungen, in gewissen Abständen Fugen vorzusehen, um Rissbildungen infolge von Zugspannungen zu verhüten. Diese Fugen haben jedoch, wie die Schienenstösse der Eisenbahnen, vielfache Nachteile, sowohl bezüglich der örtlichen Abnutzung der Beläge, wie bezüglich des Verschleisses der Fahrzeuge und der Unannehmlichkeit des Verkehrs. An der Fuge kann der örtliche spezifische Druck auf die Unterlage beim Durchgang einer Einzellast das Vierfache des Druckes auf der übrigen Strecke erreichen, was viele Erscheinungen erklärt (Bild 36). Bolzen oder Stahlstäbe, die angeordnet werden, um die Enden von zwei aufeinanderfolgenden Feldern des Belages in gleicher Höhe zu erhalten, erfüllen in der Regel nur die Rolle eines Halbgelenkes, sodass der Druck auf die Unterlage immer noch angenähert das Doppelte des Druckes in der zusammenhängenden Strecke beträgt. Es ist daher angezeigt, um nicht zu

besondern Fugenanordnungen seine Zuflucht nehmen zu müssen, zu versuchen, wenn nicht die Fugen ganz auszuschalten, doch deren Zahl zu vermindern. Wir erinnern daran, dass gewisse Eisenbahnverwaltungen bereits bemerkenswerte Erfolge in dieser Hinsicht bezüglich der Schienen erzielten. Unter dem Einfluss der Wärme haben diese die Tendenz, auf einander einen Druck auszuüben, den sie aushalten, vorausgesetzt, dass sowohl in horizontaler, wie in vertikaler Richtung ein Ausknicken verhindert wird. Bei den Betonbelägen ist das Problem auf die Frage des Knickens in vertikaler Richtung allein von Platten auf fester Unterlage zurückgeführt, deren Eigengewicht eine beträchtliche Gegenwirkung in vertikalem Sinne ausübt. Es muss auch berücksichtigt werden, dass unter der Einwirkung der Sonne ein Temperaturunterschied von 30 bis 35 °C zwischen der oberen und unteren Grenzfläche des Belages entstehen kann. Ich habe deshalb in Frankreich die Durchführung eines Programmes von umfassenden Versuchen begonnen, um die Möglichkeit zu prüfen, durch Ausnützung der Eigenschaften sowohl der schwach wie der stark schwellenden Zemente Strassenbeläge und Pisten mit stark verminderter Zahl von Fugen herzustellen. Dieses vom französischen Bauministerium subventionierte Programm umfasst verschiedene Versuchsreihen, zunächst an Holz- und Betonmodellen, deren Aussenflächen elektrisch heizbar sind, um die die Sonnenwirkung nachzuahmen, sodann an wirklichen Bauwerken. Diese Versuche sind jetzt im Gang, und ich werde demnächst über deren Ergebnisse in einem Vortrag in Paris berichten. Die SNCF folgt diesen Versuchen, die sie hinsichtlich des Ausknickens der Schienen interessieren und darüber hinaus mit Rücksicht auf das Studium des Problems der stossfreien Schiene.

Gemischte Anwendungen. Es gibt in der Praxis zahlreiche Fälle, in denen Schwellzemente in Verbindung mit mechanischer Vorspannung verwendet werden können. Bei Hochdruckleitungen z. B. ist die erforderliche Vorspannung in der Längsrichtung erheblich kleiner als in der Querrichtung. Man kann daher die Kerne in Schwellbeton herstellen. Einige Längsarmierungen genügen, um den Beton in der

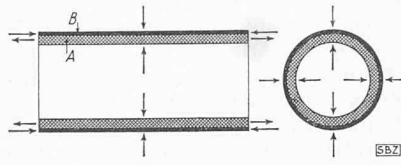


Bild 35. Rohr aus Schwellbeton (schraffiert) in einer Umhüllung

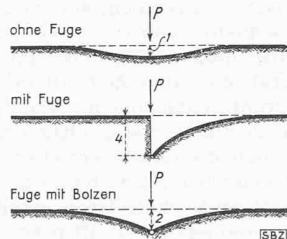


Bild 36. Einsenkung der Flugzeug-Landeabahn unter einer Einzellast

Richtung der Erzeugenden vorzuspannen. Es genügt dann, die doppelte Vorspannung durch eine äussere, durch mechanische Mittel vorgespannte, und nach gewöhnlichen Verfahren aufgebrachte Umschnürung zu bewerkstelligen. Dadurch wird die Vorspannung in der Längsrichtung überflüssig. Diesbezügliche Versuche werden gegenwärtig in Frankreich und Nordafrika durchgeführt. Bei Balken von Decken oder Brücken kann der Schwellbeton dank den Bügeln und Bindungen, die der Expansion entgegenwirken, angewendet werden, um eine Vorspannung in der Querrichtung zu erreichen, während die Längsarmierungen mechanisch vorgespannt werden.

#### Berechnung der Schwellwirkung

Betrachten wir den einfachsten Fall, wo zwei Prismen von kleiner Stärke an ihren Enden fest verbunden und infolgedessen gezwungen sind, die gleiche Länge zu bewahren, wenn eines von ihnen unter dem Einfluss der Schwellkraft das Bestreben hat, sich zu strecken (Bild 37). Es sei

- A = Prisma aus Schwellbeton,
- B = Prisma aus gewöhnlichem Beton
- $\Delta_0$  = Verlängerung, die A erfahren würde, wenn es frei von jeglicher Verbindung mit dem Prisma B wäre,
- $\Delta_R$  = Verlängerung, die die beiden Prismen A und B miteinander erfahren,
- $\Omega_a$  und  $\Omega_b$  = Querschnitte der beiden Prismen,
- $E_b$  = Elastizitätsmodul des Betons von Prisma B,
- H = Kraft, die die beiden Prismen verbinden muss,
- R = Druckspannung des Prismas A bewirkt durch H.

Dann haben wir die Relationen:

$$\Delta_R = \frac{H}{\Omega_b E_b} \quad \text{und} \quad R = \frac{H}{\Omega_a}$$

woraus:

$$\frac{\Delta_R}{R} = \frac{\Omega_a}{\Omega_b E_a}$$

Dieses Verhältnis charakterisiert das System.

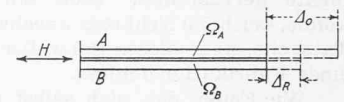


Bild 37

Wenn sich das expansive Prisma A elastisch verhalten würde, so würde das Verhältnis  $\frac{\Delta_R}{R}$  konstant gleich  $\frac{1}{E_a}$ , wobei  $E_a$  = Elastizitätsmodul des Prismas A. Dieses Verhältnis ist aber infolge der plastischen Formänderung des Betons während seiner behinderten Expansion eine veränderliche Grösse, deren Kurve, die *dynamisch-expansive Kurve*, für jeden Beton experimentell bestimmt werden muss, was sich mit dem Apparat von Faury leicht bewerkstelligen lässt. Nehmen wir an, diese Kurve sei für einen bestimmten Beton bekannt (Bild 38), und die Verlängerung  $\Delta_R$  sei als Ordinate, die entsprechende Druckspannung R als Abszisse aufgetragen.

Indem man den Strahl ON zieht, derart, dass  $\tan \alpha = \frac{\Delta_R}{R}$ , erhält man den wirklichen Wert von  $\Delta_R$  und R für den betrachteten Beton.

Wenn es sich darum handelt (Bild 39), für den einen oder andern dieser Ausdrücke einen bestimmten Zahlenwert für  $\Delta_{R0}$  oder  $R_0$  zu erhalten, so müssen eine Anzahl Kurven aufgezeichnet werden, von denen jede einem besonderen Mischungsverhältnis entspricht. Dies erlaubt die zu verwendende Betonqualität zu wählen. In unserem Bild sind die Kurven der dynamischen Expansion für vier verschiedene Betonmischungen aufgezeichnet, die von 1 bis 4 numeriert sind.

Wenn die beiden Prismen A und B, die wir betrachtet haben, eine Stärke haben, die nicht vernachlässigt werden

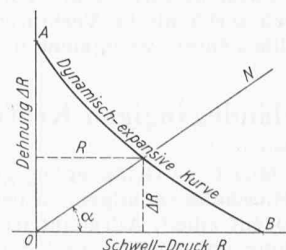


Bild 38. Dynamisch-expansive Kurve. A = freie Dehnung, B = grösster Schwelldruck

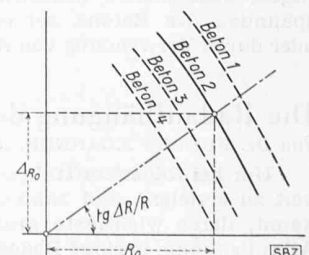


Bild 39. Dynamisch-expansive Kurven verschiedener Beton-sorten

kann, so muss selbstverständlich die Berechnung der Biegeungsdeformation Rechnung tragen. Wenn sie auf ihrer ganzen Länge festverbunden sind, müssen überdies die Krümmungen gleich sein. Aber, wie auch der Fall liegt, immer muss die Charakteristik  $\Delta R : R$  des Systems in Betracht gezogen werden.

#### Schlussfolgerungen

Ganz allgemein weisen alle Zemente neben wertvollen Eigenschaften zwei Nachteile auf, nämlich: geringe Zugfestigkeit und Schwinden beim Erhärten an der Luft.

Der erstgenannte Nachteil ist durch die hochwertigen Zemente im Laufe der letzten Jahre etwas gemildert worden; aber der absolute Wert der Zugfestigkeit wuchs in einem kleinern Verhältnis als der ihrer Druckfestigkeit. Die Sprödigkeit der Zemente nahm also noch zu. Dadurch wird der praktische Wert dieser Fortschritte vermindert. Was das Schwinden bei der Lufterhärtung anbelangt, das die Ursache so vieler sekundärer Spannungen und Risse ist, so ist es durch verschiedene Verfahren gelungen, es etwas zu vermindern, aber nicht es zum Verschwinden zu bringen.

Die Schwellzemente heben das Schwinden in Wirklichkeit nicht auf, aber sie *kompensieren* es, indem sie am Anfang eine Ausdehnung erfahren, die gleich oder grösser ist, als das spätere Schwinden.

Wenn ich, wenigstens so viel ich weiss, auch als erster die Möglichkeit ins Auge fasste, die räumliche Spannung des Betons durch Ausnützung der Expansivkraft von Spezialzementen zu bewirken, so wäre meine Idee doch ohne Folgen geblieben, wenn nicht hervorragende Chemiker, deren Verdienste ich voll anerkenne, sich für meine Auffassung interessiert hätten, und es ihnen gelungen wäre, diese Zemente herzustellen. Dass ein Zement hergestellt werden könne, der beim Erhärten anschwillt, war eine schon bekannte Tatsache, aber dieses Schwellen war meistens nur die Folge eines Fabrikationsfehlers.

Wie Feuer, das, sich selbst überlassen, verheerend wirkt, andererseits auch wohltuend sein kann, wenn es bezähmt wird, so konnte das Schwellen eines Zementes nur ausgenützt werden, nachdem es *regulierbar* und *stabil* gemacht worden war. Die Stabilität konnte ausserdem nur nach Beobachtung während mehrerer Jahre als sicher angenommen werden. Es war mir deshalb daran gelegen, zahlreiche Versuche durchzuführen, bevor ich zur praktischen Anwendung schritt, obschon meine erste Mitteilung am Internationalen Kongress für Brücken- und Hochbau im Jahre 1936 nun schon 10 Jahre zurückliegt.

Infolge ihrer Undurchlässigkeit und Dichtigkeit, die für die Erhaltung der Armierungen und die Wetterbeständigkeit günstig sind, scheinen die Schwellzemente dazu bestimmt zu sein, für viele Anwendungen die andern Zemente nach und nach zu verdrängen. Die *schwach schwellenden Sorten*, bei denen hauptsächlich das Schwinden kompensiert werden soll, werden besonders für Arbeiten laufender Art Verwendung finden. Die *stark schwellenden Sorten* dagegen werden für Sonderfälle Verwendung finden, bei denen die Expansivkraft dieser Bindemittel ausgenützt wird. Aber die Idee steht noch am Anfang ihrer praktischen Entwicklung, und man muss einen gewaltigen Aufschwung in den kommenden Jahren gewärtigen. Neben den ersten Schwellzementen, die den Weg bahnten, werden noch andere entstehen. Ich werde mich über ihren Fortschritt freuen, woher sie auch kommen mögen.

\* \* \*

Wir schliessen mit einem Gesamtüberblick und versuchen dabei festzustellen, wo wir in der Geschichte der Baukunst insbesondere des Eisenbetonbaues, stehen. Ist es möglich zu sagen, dass unsere neuzeitlichen Ideen betreffend die Vorspannung des Betons, sei es durch mechanische Verfahren oder durch Verwendung von Schwellzementen, wenigstens der

Anfang dessen sind, was die *endgültigen Formen* des Eisenbetons der Zukunft sein werden? Trotz der diesbezüglichen — übrigens vertretbaren — Ansicht gewisser Techniker, habe ich diese Gewissheit nicht. Wie ich bereits an anderer Stelle sagte, glaube ich vielmehr, dass diese Ideen ein Durchgangsstadium in der Geschichte des Eisenbetons sein werden — in Anbetracht der ausgeführten Werke vielleicht sogar ein sehr glänzendes — aber doch nur ein Zwischenstadium. Der Beton, den wir kennen, ist nicht ein reiches Material, wie Stahl. Obschon ein künstliches, ist es doch ein armes Material, dessen Anwendung durch seine gegenüber verschiedenen Beanspruchungen auch verschiedenen Festigkeiten begrenzt ist, wenn es nicht durch andere Elemente unterstützt wird. Die Armierungen, die das erste Stadium des Eisenbetons bestimmten, gestatteten seit mehr als einem halben Jahrhundert dessen Verwendung auf den verschiedensten Gebieten. Wie gross auch unser berechtigter Wunsch ist, ihn durch andere Verfahren zu ersetzen, so muss doch anerkannt werden, dass diejenigen seiner Anwendungen, die in jeder Beziehung rationell ausgeführt wurden, die Hoffnungen gerechtfertigt haben, die man auf ihn setzte. Die Erfahrung während längerer Zeit hat in der Tat gewisse übertriebene Befürchtungen betreffend die Rissbildung und die dynamischen Einwirkungen nicht gerechtfertigt. Daher muss auch, nach meiner Ansicht, der klassische Eisenbeton, nötigenfalls vervollkommenet, neben unsern neuen Verfahren weiterleben.

Diese neuzeitlichen Verfahren, die die Idee von Doebling wieder aufnahmen, sie erweiterten und ergänzten, haben den Eisenbeton von der Rissbildung befreit, während sie gleichzeitig dessen möglichst umfangreiche Verwendung gestatten. Erfahrung und Zeit allein werden über ihren Wert in der Zukunft entscheiden. Wir stehen ihnen noch zu nahe, um darüber selber endgültig urteilen zu können. Welchen Wert werden die damit erzielten Einsparungen etwa haben? Es ist schwierig, dies heute zu bestimmen. Wenn man nach den heutigen Verhältnissen urteilt, die eine Ausnahme bilden und anormal sind, so läuft man tatsächlich Gefahr, eine Psychose zu schaffen, die darin bestehen würde, die augenblicklichen Schwierigkeiten auf die Zukunft zu übertragen.

\* \* \*

Sei dem wie ihm wolle, unsere alten und neuen Ideen können keinen andern Zweck verfolgen, als den Mängeln eines unvollkommenen Materials, das heute der Beton ist, zu begegnen. Wir binden, heften und umschnüren ihn wie einen kranken Organismus. Wer weiss — so sehe ich die Zukunft voraus — ob es unsern Nachfolgern nicht gelingen wird, den Eisenbeton von seinen Uebeln zu heilen? Wenn es einmal gelingt, Bindemittel — ich sage nicht mehr Zemente — herzustellen, die einerseits wirtschaftlich sind, aber andererseits von den Mängeln, die den aus Stein hergestellten Materialien anhaften, befreit sind, dann wird das Problem zwar noch nicht vollständig gelöst sein, aber es wird ein wichtiger Schritt in dieser Richtung getan sein. Die schweizerische Industrie nimmt in der Zementfabrikation, sowohl durch ihre Gleichmässigkeit, wie durch die hohen charakteristischen Eigenschaften ihrer Produkte, einen unbestrittenen Ehrenplatz ein. Ich habe in Frankreich meine ersten Arbeiten, die eine rasche Erhärtung erforderten, mit einem schweizerischen Zement — Holderbank — ausgeführt. Aber trotz dieser Vorzugstellung ist das Werk der Zementfabrikanten noch lange nicht vollendet. Ihre Studien müssen noch intensiver darauf ausgehen, Zemente zu finden, die weniger spröde und trotzdem in bezug auf rasches Erhärten und expansive Energie hochwertig sind, ohne mit prohibitiven Gesteinskosten belastet zu sein.

Ich begrüsse im voraus den schweizerischen Chemiker, der uns, so will ich hoffen, den vollkommenen Zement der Zukunft bringen wird!

## Die Radaufhängung des geländegängigen Kraftfahrzeuges

Von Dr. RUDOLF KLANNER, Dipl. Ing., Wien

DK 629.113.012.857

Um bei Räderkraftfahrzeugen eine hohe Geländegängigkeit zu erzielen, sind zahlreiche Massnahmen allgemein bekannt, deren wichtigste grosse Bodenfreiheit, Allradantrieb, Allradlenkung, geringe Bodenpressung und ein Laufwerk mit spurender Radanordnung sind. Wenig beachtet wurde bisher, dass auch die Ausbildung der Radaufhängung die Fahreigenschaften im Gelände wesentlich beeinflusst. Da sich weder

in den zahlreichen Ausführungsformen noch im Schrifttum Ansätze zu einheitlichen Gestaltungsrichtlinien erkennen lassen, erscheint die vorliegende Untersuchung gerechtfertigt, deren Ziel eine Wertung der verschiedenen Radaufhängungen hinsichtlich ihrer Eignung für geländegängige Kraftfahrzeuge ist.