

Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 97 (1979)
Heft: 40

Artikel: Die Anwendungen mässiger Vorspannung beim Kulturwehr
Kehl/Strassburg: praktischer Teil
Autor: Missel, Anton
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-85548>

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: 23.02.2026

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

stes durch den Verformungswiderstand des Baugrundes wird der Baugrund als elastisch isotroper Halbraum unter Berücksichtigung der geologischen Vorbelaufung idealisiert angenommen. Über die dafür zu treffenden Annahmen wird nach Auswertung von Messungen der BAW Karlsruhe später berichtet werden.

Das grosse Bauwerk konnte natürlich nicht fugenlos in einem Zug betoniert und zweiachsig vorgespannt werden. Um günstige Voraussetzungen für den Bauablauf zu schaffen, wurden die Bodenplatten des Tosbeckens, des Wehr-

abfallbodens und der Wehrschwelle in 6 bis 8 m breite Streifen in Flussrichtung unterteilt mit jeweils 1 m breiten Fugenzwischenräumen (Bild 7), die erst nach Fertigstellung aller dieser Längsstreifen und deren Längsvorspannung ausbetoniert werden. Unmittelbar nach dem Einbringen des Fugenstreifenbetons wird dann das Wehr auf die Breite des Bauabschnittes, also auf rund 120 m Breite quer zusammengespannt. Damit entsteht ein fugenloses Betontragwerk mit einer Grundfläche von 120 auf 56 m, das anschliessend im zweiten Bauabschnitt um die gleich grosse Fläche erweitert wird.

Schrifttum:

F. Leonhardt: «Massige, grosse Betontragwerke ohne schlafte Bewehrung, gesichert durch massive Vorspannung». Bet. u. Stahlbet. 5/73: 128-133

F. Leonhardt: «Vorlesungen über Massivbau», Vierter Teil, Springer-Verlag, 1975

F. Leonhardt: «Rissebeschränkung: Bet. u. Stahlbeton 1/76: 14-20

Falkner: Schriftenreihe des D. A. f. St. 1969, Heft 208

CEB-FIP: Internat. Richtlinien 1970

Adresse des Verfassers: H. Gaiser, dipl. Ing., Geschäftsführer, Alfred Kunz GmbH & Co., Postfach 151140, D-8 München 15.

Praktischer Teil

Von Anton Missel, Karlsruhe

Allgemeines zum Bauablauf

Die Arbeiten werden gemäss dem Sondervorschlag der Arbeitsgemeinschaft in zwei Bauabschnitten durchgeführt. Die Trennlinie liegt in Flussmitte (Bild 1 und 2).

Als Bauabschnitt 1 wurde die französische Seite ausgeführt, da der Rhein nach Errichten der halbseitigen Baugrubenumschliessung einen grösseren Durchflussquerschnitt auf der deutschen Hälfte aufwies.

Bevor auf die eigentlichen Betonarbeiten eingegangen wird, sollen die wichtigsten Bauarbeiten genannt werden, die vorher durchzuführen waren: Zunächst wurden Erddämme als Baugrubenumschliessung geschüttet. In die Dämme wurde dann im Schlitzwandverfahren eine Dichtwand eingebracht. Sie bindet ringsum in eine nahezu horizontale Schluffschicht ein, die in etwa 21 m Tiefe unter der Flussohle ansteht und die horizontale Abdichtung der Baugrube bildet. Oberwasserseitig und in Flussmitte war durch Einstellen von Spundbohlen in die Stützflüssigkeit in die Dichtwand auch noch eine Spundwand eingebaut, um die Baugrube an diesen Seiten bis an die Dichtwand hinausheben zu können.

Die Baugrube wurde mit Brunnen leergepumpt, die im unterwasserseitigen Erddamm angeordnet waren. Sie konnte durch den Betrieb von nur drei Brunnern trockengehalten werden, die eine maximale Leistung von 170 l/s (bei höchstem Hochwasser) hatten. Für eine Baugrube von 11 000 m² mitten im Rhein und mit einer Wasserspiegeldifferenz von 10 m ist diese Sickerwassermenge ausserordentlich gering. Nach dem Rammen der MV-Pfähle, die als Auftriebssicherung der Tosbeckenplatte erforderlich waren, konnten die Betonarbeiten beginnen.

Bau des Wehres

Der Ablauf und die Reihenfolge der Arbeiten wurden bestimmt durch Zahl und Grösse der Betonierabschnitte. Die Tosbeckenplatte, der Wehrabfallboden und die Wehrschwelle waren in schmale, parallel zur Flussachse verlaufende Streifen aufgeteilt und ergaben ideale

Betonierabschnitte (Bild 3 und 4). Der sogenannte *kritische Weg* für den Bauablauf führte über die Pfeiler und die darauf aufgesetzten Staubalken.

Bei den 53 m langen Wehrpfeilern (Bild 5) wurde auf eine vertikale Fuge verzichtet. Aus der Kletterschalung ergaben sich Betonierabschnitte von 4 m Höhe. In den Pfeilerköpfen sind Treppenhaus und Maschinenräume unterge-

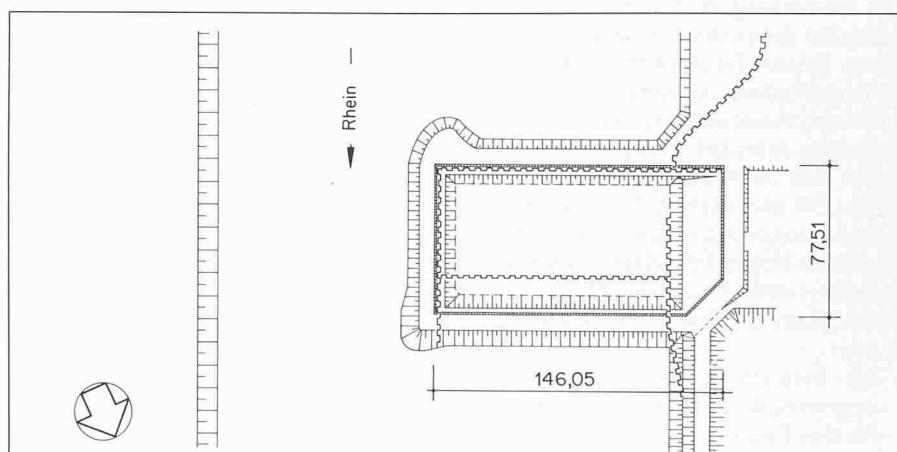


Bild 1. Lageplan mit Baugrube, 1. Bauabschnitt

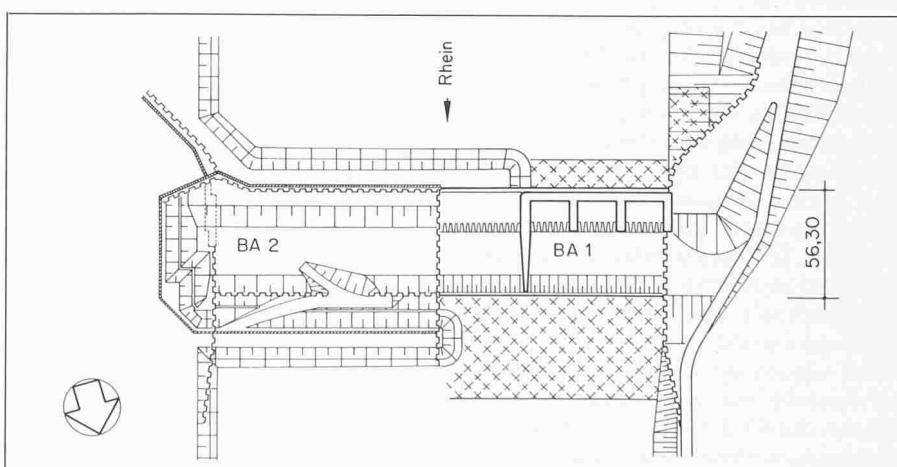


Bild 2. Lageplan mit Baugrube, 2. Bauabschnitt

bracht, die Herstellung ist deshalb entsprechend zeitraubend. Auch die *Staubalken* wurden durch horizontale Arbeitsfugen in Betonierabschnitte eingeteilt. Sie erstreckten sich jeweils über ein Feld. Um das Rahmensystem Staubalken/Wehrpfeiler unmittelbar nach dem Betonieren von Temperaturspannungen freizuhalten, durfte der Staubalken zunächst nur mit einem Pfeiler verbunden werden (Bild 6).

In sämtlichen Arbeitsfugen musste das Korngerüst des Betons zu 80 Prozent der Oberfläche freigelegt werden. Bei den vertikalen, geschalten Flächen wurde Waschbetonpaste auf der Schalung aufgetragen und sechs Stunden nach dem Betonieren ausgeschalt und abgespritzt; die horizontalen Flächen wurden frühzeitig abgespritzt.

Die überwiegende Mehrzahl der Betonierabschnitte hatte ein Volumen von 200–500 m³ Beton. Mit 40 m³/Std. Betonierleistung waren diese Blöcke in einer Schicht zu betonieren. In den drei letzten Betonierphasen wurden die 1 m breiten Trennstreifen zwischen den Blöcken mit insgesamt 1500 m³ Beton geschlossen.

Beton

An den Massenbeton des Bauwerks wurden durch die Anwendung der mässigen Vorspannung *besondere Anforderungen* gestellt. So war u. a. die *Entwicklung der Abbindewärme* und das *Schwinden möglichst klein zu halten*.

Wir erreichten dies durch

- die Wahl eines geeigneten Zements, eines *Hochfenzements NWHS*,
- die *Verminderung der Zementmenge auf 240 kg/m³* und
- die Wahl von möglichst groben *Zuschlägen*.

*Betonzuschlag mit Durchmesser 125 mm stand im Einzugsgebiet nicht zur Verfügung und hätte nur durch grosse Mehrkosten beschafft werden können. Wir beschränkten uns deshalb auf die Verwendung von Grösstkorn mit 63 mm Durchmesser und erreichten so eine Sieblinie nahe der A-Kurve im besonders guten Bereich. Durch die Wahl dieser Kornverteilung bei den Zuschlägen erreichten wir gleichzeitig die Voraussetzung für eine hohe Festigkeit des Betons. Da nahezu 80 Prozent des Betonzuschlags grösser als 4 mm ist, ergibt sich ein geringer Mörtelanteil und eine kleine Wasserzugabe. Damit ist der Beton sehr schwindarm. Die Konsistenz lag zwischen K 1 und K 2; es handelte sich also um einen sehr steifen Beton. Das Verdichtungsmaß lag zwischen 1,17 und 1,23. Ein weiterer Faktor für die Festigkeitsentwicklung war die Zugabe eines *Abbindeverzögerers*. Verzögert wurde die Abbindezeit auf 6–10 Stunden mit einer Zugabe von 0,4 Prozent vom Zementgewicht.*

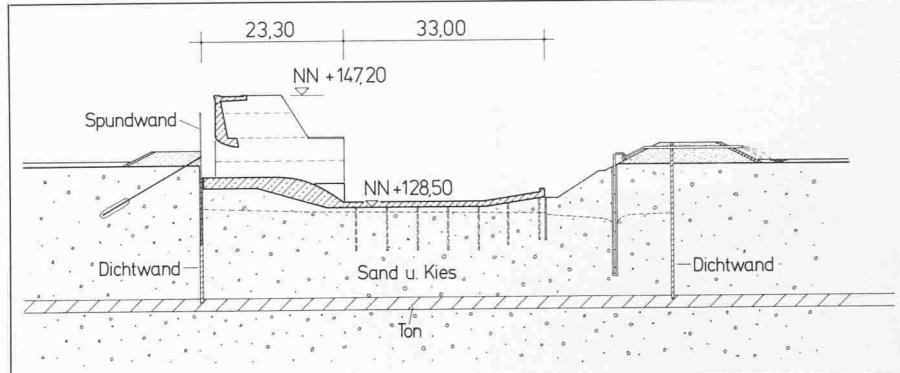


Bild 3. Schnitt durch das Staubalkenwehr



Bild 4. Blick in die Baugrube des 1. Bauabschnittes mit der Wehrsohle

Der so zusammengesetzte Beton reagierte wegen des geringen Mörtelanteils auf Schwankungen in der Wasserzugabe sehr empfindlich und war *nicht pumpbar*. Durchgeführte Pumpversuche blieben trotz allen Bemühungen der Pumpenhersteller ohne Erfolg. Hinderlich waren verständlicherweise das grobe Korn und der geringe Mörtelanteil. So verblieb als Lösung nur der Einbau mit Kübeln von 1,5 m³ Inhalt, die motorisch geöffnet und geschlossen wur-

den. Das Entleeren wurde durch Elektroaußenrüttler unterstützt. Bei den Betonierabschnitten mit grosser Schütt Höhe wurde ein Entmischen des Betons durch Einsatz von Schüttrohren verhindert. Der Beton wurde in Lagen von 50 cm Stärke eingebaut und mit Elektroinnenrüttlern Durchmesser 80 mm verdichtet. Diese Geräte hatten sich in einem Grossversuch als besonders geeignet herausgestellt. Unmittelbar nach dem Betonieren wur-

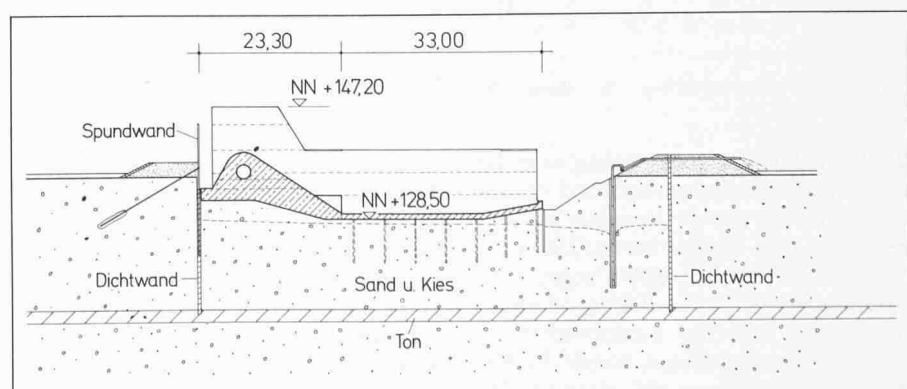


Bild 5. Schnitt durch den mittleren Teil des Wehres mit fester Wehrschwelle

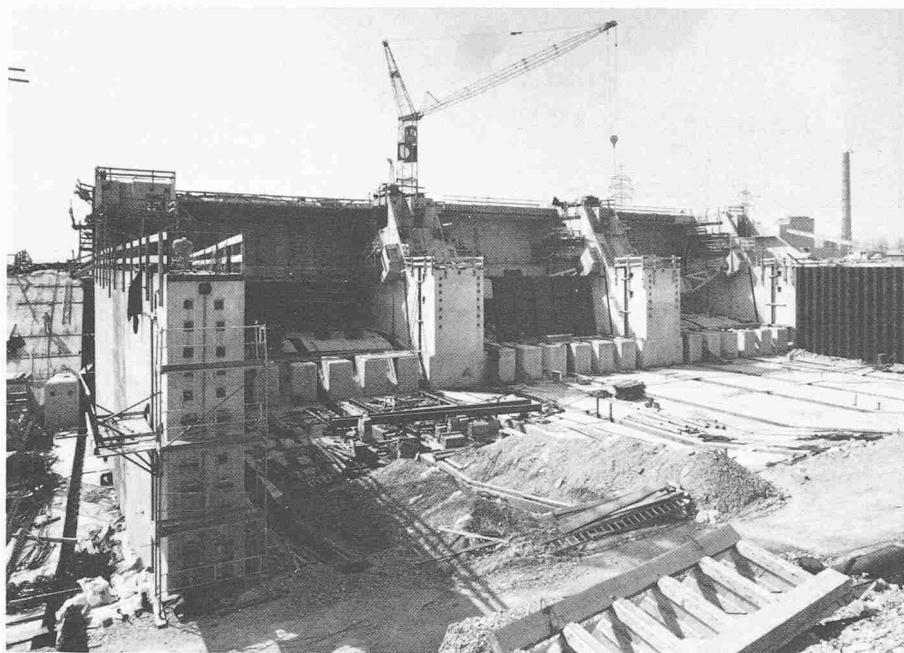


Bild 6. Ansicht des Staubalkenwehres, 1. Bauabschnitt

de der Block mit einer Folie überspannt, um Feuchtigkeitsverluste zu verhindern. Die obere Seite des Betons wurde mit 4 mm starken Wärmedämmplatten abgedeckt, um ein rasches Abkühlen an den Außenflächen zu verhindern, denn grössere Temperaturunterschiede führen im jungen Beton zu grossen Spannungen und Rissen. Auch an den Seitenflächen der Blöcke wurden Folien angebracht, um eine Abkühlung infolge von Luftzug zu verhindern.

Messungen der Betontemperatur mit Temperaturfühlern am oberen Rand, in halber Höhe und am unteren Rand eines Tosbeckenblocks ergaben die im Bild 7 gezeigte Temperaturverteilung. Infolge der Abbindewärme steigt die Betontemperatur um 25 °C. Durch die

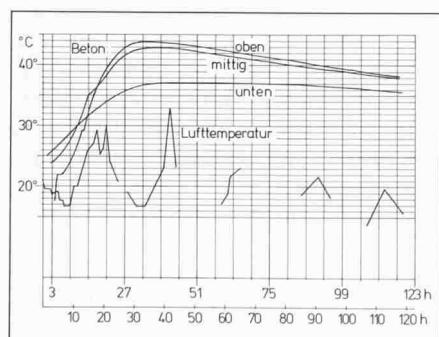


Bild 7. Temperaturrentwicklung im Beton der Wehrsohle

Wirkung der Wärmedämmung wird die Betontemperatur oben während der ersten vier Tage nahezu konstant bei 40° gehalten. Das Temperaturgefälle vom oberen zum unteren Rand zeigt, dass Abbindewärme in den Baugrund abgeflossen ist. Um die Betontemperatur nach oben zu begrenzen, wurde die Betoneinbautemperatur auf maximal 25° beschränkt. Dies erforderte an heißen

einem Durchmesser von 30 mm verwendet, die senkrecht in Aussparungen in der 10 cm starken Sauberkeitsschicht einbetoniert und auf plamässiger Höhe verschweisst wurden. In Betonierabschnitten mit grösserer Höhe wurden diagonal und horizontal ausgesteifte Stützgerüste aus Winkelstahl bis zu Profil 100/100 errichtet. Bei Betonierabschnitten übereinander wurden diese Stützgerüste in Höhe der Arbeitsfuge gestossen.

Eine Teilvorspannung des Betons in Flussrichtung mit 60 Prozent Spannkraft wurde anfangs nach Erreichen einer Druckfestigkeit von 20 N/mm² aufgebracht. Je nach Lufttemperatur war diese Festigkeit in drei bis fünf Tagen erreicht. In diesem Zeitpunkt erreichte die Temperatur im Beton infolge der Abbindewärme ihren Grösstwert. Später wurde die Höhe der Teilvorspannung auf 30 Prozent zurückge-

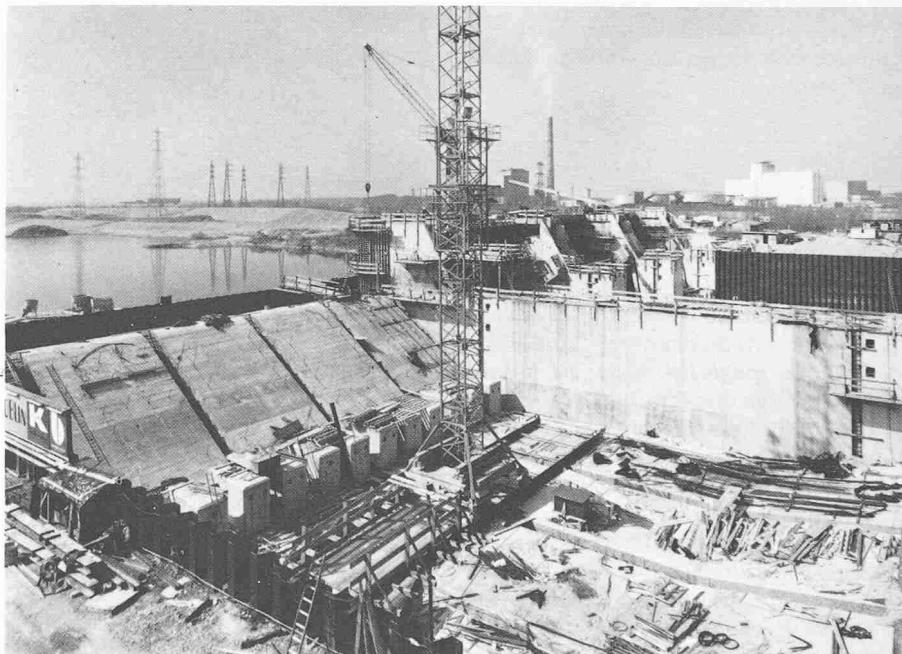


Bild 8. Ansicht der Baugrube des 1. Bauabschnittes. Bauzustand Frühjahr 1979

Sommertagen ein Betonieren in den Abend- oder Morgenstunden. Die Erhärtungsprüfungen ergaben nach drei Tagen bereits eine Druckfestigkeit von 20 N/mm², nach sieben Tagen von 25 N/mm². Die Güteprüfung ergab nach 28 Tagen eine Druckfestigkeit von 47 N/mm², bei einer geforderten Betonfestigkeitsklasse von B 25.

nommen und bereits bei einer Festigkeit von 12 N/mm² vorgespannt, um vor allem bei kühler Witterung früher vorspannen zu können. Die volle Vorspannung folgte so früh wie möglich, im allgemeinen nach drei, spätestens nach sieben Tagen.

Für die Vorspannung in Flussquerrichtung konnte der Spannstahl erst kurz vor dem Ausbetonieren der Trennstreifen eingebaut werden. Er wurde über die Gesamtlänge von 120 m eingezogen. In Querrichtung der Betonierabschnitte werden deshalb zunächst nur ausgesteifte Hüllrohrstücke eingebaut. Für die Schalungsabspannungen wurden diese sinnvoll mitbenutzt. Das Einziehen der Spannglieder erfolgte von der Mittelspundwand. Dort im letzten Block waren die Spannglieder auch zu verankern. Gespannt wurde über Aus-

Vorspannarbeiten

Die Spannglieder für die Vorspannung in Flussrichtung wurden fertig verrohrt und einschliesslich der angebauten Ankerkörper geliefert, bei Längen über 30 m auf Trommeln aufgerollt. Als Spanngliedunterstützungen wurden in der Tosbeckenplatte Rundstähle mit

sparungen in der landseitigen Spundwand. Die Überleitung von Vorspannkräften auf die Sauberkeitsschicht wurde durch längs und quer laufende Trennschnitte in derselben reduziert.

Für die vertikale Vorspannung in den Pfeilern wurden Gewindestäbe verwendet, die durch Halterungen auch beim Betonieren in ihrer senkrechten Lage gehalten werden.

Um Aufschluss über die Grösse der in den Baugrund eingeleiteten und im Bauwerk verbleibenden Vorspannkräfte zu erhalten, wurden Spannungsmessungen mit Glötzl-Messdosen und Verformungsmessungen mit Setz-Dehnungsmessungen vorgenommen. Die Aussagekraft dieser Messungen war wegen der geringen Spannungen und Dehnungen im Beton jedoch nicht vollkommen überzeugend. Eine zusätzlich durchgeführte Kraftmessung lieferte wohl das zutreffendste Ergebnis. Bei diesem Versuch wurde der Betonierblock durch einen Spalt getrennt. Auf dem Blockende wurden die Vorspannkräfte aufgebracht und die am Spalt ankommende Kraft über Kraftmessdosen gemessen. Dabei wurden die Schnittufer des Spaltes mit hydraulischen Pres-

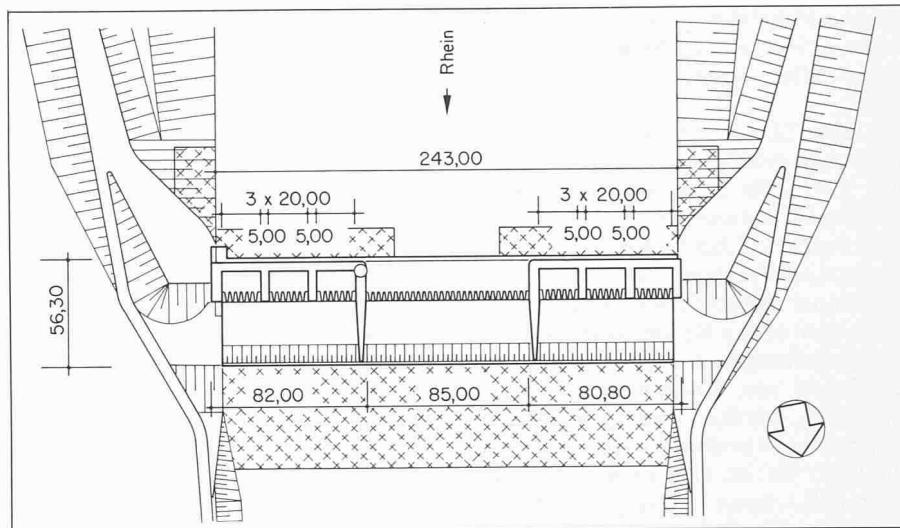


Bild 9. Lageplan des fertigen Wehres

sen auf einen konstanten Abstand gehalten.

Schlussbemerkung

Die neue Bauart beeinflusst in grössem Masse die Arbeiten auf der Baustelle und wirft eine Reihe technischer

Fragen auf. Obwohl noch keine langjährigen Erfahrungen vorliegen und eine abschliessende Antwort noch nicht gegeben werden kann, erscheint aus der Sicht der ausführenden Firmen diese neue Bauart der herkömmlichen überlegen (Bild 8 und 9).

Adresse des Verfassers: A. Missel, dipl., Ing. Direktor, Ed. Züblin AG, Niederlassung Karlsruhe, An der Tagweide 18, Postfach 6908, D-7500 Karlsruhe

Erdbeben und Erdbebenregistrierung in China

Von Jean-Pierre Voiret, Thalwil

Sehr früh waren die Beamten des «rationellen» chinesischen Kaiserreichs bemüht, die Naturkräfte zu beherrschen bzw. deren Einfluss vorauszusehen, zum Beispiel mit einem Netz von Regenmessern in der Provinz oder mit einem Seismographen am Hof. Adäquate Baumethoden hatten schon vor Jahrtausenden die Möglichkeit gegeben, Zerstörungen seismischen Ursprungs an den Gebäuden in Grenzen zu halten. Der Artikel beschreibt insbesondere den Pendelseismographen des Zhang Heng (2. Jh. unserer Zeitrechnung) und behandelt einzelne Aspekte der modernen Erdbebenforschung. Les fonctionnaires de l'empire «rationnel» des chinois ont toujours essayé de maîtriser les forces de la nature – ou du moins d'en prévoir les effets: par exemple avec un réseau de pluviomètres en province et avec un sismographe à la cour. Très tôt, des modes de construction appropriés ont permis de limiter les dégâts d'origine sismique aux bâtiments. L'article décrit également en détails le sismographe à pendule de Zhang Heng (2e s. de notre ère), puis expose différents aspects de la prévision moderne des séismes.

Erdbeben liefern leider immer wieder Stoff für Schlagzeilen. So gab es z. B. in jüngster Zeit starke Erdbeben in Japan (12. Juni 1977: Sendai, ca. 300 km nördl. v. Tokio, 21 Tote, 340 Verletzte, Stärke 6,5 auf der Richterskala), in Griechenland (Saloniki, 22. Juni 1977, Stärke 6,5 auf der Richterskala, mehr als 50 Tote, weil Bauweise weniger günstig als in Japan) und im Iran (Ende September 1978 in Tabas und Umgebung, Stärke 7,7; ca. 25 000 Tote!). Das jüngste Beben an der südlichen jugoslawischen Adriaküste (15. April 1979) dürfte außerdem noch in aller Erinnerung sein.

Der Bericht über die Wahrscheinlichkeit einer seismischen Bedrohung in der Schweiz, der im ersten Halbjahr 1978 in dieser Zeitschrift (Heft 7, 1978) veröffentlicht wurde, zeigt ebenfalls, dass in bestimmten Gebieten unseres Landes (Wallis, Umgebung von Basel u. a.) auch Erderschütterungen grösseren Ausmasses vorkommen können.

Für den Menschen gibt es zwei hauptsächliche Methoden, um sich gegen solchen Katastrophen einigermaßen zu schützen: Er kann entweder Baumethoden entwerfen, die zumindest gegen schwache und mittlere Beben einen bestimmten Schutz gewährleisten, oder er

kann versuchen, die Beben rechtzeitig vorauszusehen.

Erdbeben voraussehen ist allerdings nicht einfach. Erst im letzten Drittel dieses Jahrhunderts ist es endlich gelungen, entscheidende Fortschritte auf diesem Gebiet zu erzielen. Sehr früh allerdings hat der Mensch schon probiert, die tellurische Erschütterung wenigstens zu registrieren.

Bewegte Erde, stabiles Reich

Es ist an sich nicht erstaunlich, wenn gerade China als erste Kulturnation erwähnenswerte Ergebnisse auf dem Gebiet der Erdbebenmeldung erzielt hat – und dies viel früher als manche meinen. Es gibt dafür zwei Gründe:

China liegt in einer seismisch sehr aktiven Zone unseres Planeten, so dass sich dort die Menschen viel unmittelbarer als wir vor der tellurischen Tätigkeit ausgeliefert sehen. Viel früher als bei uns hat sich China als Zentralstaat organisiert. Es hat auch versucht, die Naturkräfte zu erkennen und zu messen – was eigentlich den ersten Schritt auf dem Weg zur Beherrschung dieser Kräfte darstellt. Obwohl man heute in China viel vom einstigen «Feudalismus» spricht, um das «Ancien régime» zu diskreditieren, ist es doch tatsächlich so, dass es seit mehr als 2000 Jahren in diesem fernen Land nichts gegeben hat, dass dem wirren Lehnswesen (feudum)