

# Die Anwendungen mässiger Vorspannung beim Kulturwehr Kehl/Strassburg: Entwurfsgrundlagen

Autor(en): **Gaiser, Herbert**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **97 (1979)**

Heft 40

PDF erstellt am: **26.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-85547>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# Die Anwendung mässiger Vorspannung beim Kulturwehr Kehl/Strassburg

## Entwurfsgrundlagen

Von Herbert Gaiser, München

Beim Kulturwehr Kehl/Strassburg wurde erstmalig die mässige Vorspannung an einem Bauwerk des konstruktiven Wasserbaus angewandt. Es wurde gezeigt, dass sich damit anfällige Dehnfugen vermeiden und dennoch Trennrisse infolge Temperaturänderung aus Hydrationswärme und Schwinden verhüten lassen. Die «mässige Vorspannung» als wirkungsvolles Mittel zur Rissebeschränkung bzw. -verhütung sollte als Bauart in die künftige DIN 4227 mit eingebaut werden, um für weitere Anwendungen klare, allgemein gültige Bemessungsgrundlagen festzulegen. Diese müssten auf den bereits vorliegenden Ergebnissen und Erfahrungen aufbauen.

Im Rahmen des *Oberrhinausbaus* wird z. Z. bei Rhein-km 290, 300, das ist etwa südlich von Strassburg, das Kulturwehr Kehl/Strassburg im Auftrag der Bundesrepublik Deutschland errichtet. Dieses Bauvorhaben steht nicht im Zusammenhang mit dem Ausbau des Oberrheins und dient, wie der Name bereits aussagt, landeskulturellen Zwecken.

Durch das Wehr besteht die Möglichkeit, den Oberrhein um 4 bis 10 m aufzustauen und dadurch den abgesunkenen Grundwasserspiegel ringsum wieder anzuheben und eine Hochwasserrückhaltung vorzunehmen. Das Bauwerk ist rund 56 m lang und 240 m breit und erhält durch die Aufteilung in zwei Bauabschnitte eine Raumfuge in der Mitte. Wie aus Bild 1 ersichtlich, besteht die Anlage aus zwei uferseitigen Staubalkenwehren mit je drei Öffnungen von 20 m lichter Weite und einem festen Mittelteil, der als Überfallwehr ausgebildet ist (Bild 2 und 3). Die Betonkubatur beträgt ca. 40 000 m<sup>3</sup>. Aufgrund eines Sondervorschlags, der mit der Ingenieurgesellschaft Leonhardt u. Andrä ausgearbeitet wurde, erhielt eine Arbeitsgemeinschaft aus den Firmen Ed. Züblin, Alfred Kunz und Bilfinger + Berger im Dezember 1976 den Bauauftrag.

Das wichtigste Merkmal dieses Sonderentwurfs besteht in der Anwendung der sogenannten «mässigen Vorspannung» anstelle der konventionellen, schlaffen Bewehrung mit Betonstahl. Wie noch später ausgeführt wird, wurde dieses Verfahren bereits früher vereinzelt angewendet, jedoch hier erstmalig im Wasserbau.

## Grundgedanken zur Anwendung

### Konstruktive Überlegungen

Die Idee ist schon vor Jahren durch Prof. Leonhardt konzipiert und veröffentlicht worden. Der Grundgedanke des Verfahrens ist, die in massigen Betonbauteilen verhältnismässig niedrigen Betonzugspannungen aus den Lastfällen und aus Temperatur- und Schwinddifferenzen durch eine mässige Vorspannung zu überbrücken und so ohne schlaffe Bewehrung grobe Risse, insbesondere Trennrisse, zu verhüten. Die Spann-

Stauwänden in Wasserkraftwerken, Schleusenwänden, also bei «massigen Bauteilen», die im Hinblick auf die Rissegefahr einer besonders sorgfältigen Betrachtung bedürfen, d. h. bei Bauwerken, bei denen aus statischen Gründen auf eine schlaffe Bewehrung verzichtet werden könnte und diese nur aus Gründen der Rissebeschränkung erforderlich würde. Diese «massigen Bauteile» würden aus den Lasten im Zustand I also rissefrei bleiben, kämen nicht erschwerend zusätzliche Spannungen aus Temperatur und Schwinden hinzu.

Gefährlich sind hier die *Eigen- und Zwangspannungen*, die unmittelbar nach dem Betoniervorgang durch die Hydrationswärme entstehen, wenn diese «dicken Bauteile» der Abkühlung ausgesetzt sind. Die Rissegefahr kann zwar durch die Anwendung von Zementen mit langsamer Entwicklung der Hydrationswärme gemindert, jedoch nicht verhindert werden. Es gibt keinen rissefreien Beton. Wichtig ist allein, dass sich die an der Oberflächen beginnenden, unvermeidlichen *Haarrisse* nicht in das Querschnittsinnere fortsetzen und sich dabei unzulässig öffnen. Dies kann durch Anordnung von Fugen und Unterteilung in übliche Betonierabschnitte von 10 bis 20 m allein nicht verhindert werden, da diese Risse selbst bei Fugenabständen von nur 5 m noch entstehen würden.

Die bei massigen Bauteilen bisher übliche Bewehrung mit Stäben  $\varnothing$  26 mm im Abstand von 20 bis 30 cm kann solche Risse nicht verhindern. Es kommt zu grossen Rissabständen, grossen Rissbreiten und in der Folge zu Rissen, die weit in und sogar durch die ganze Kon-

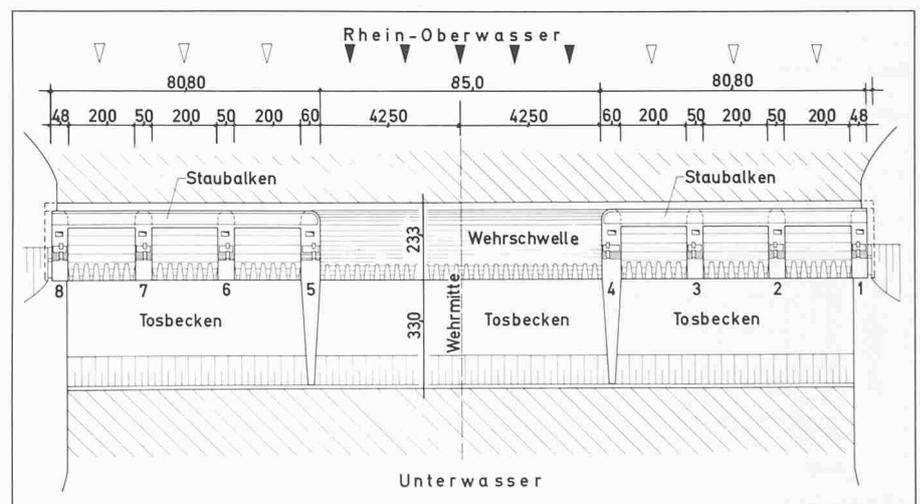


Bild 1. Draufsicht

gen treten schon in den ersten Tagen im wesentlichen durch die *Hydrationswärme* auf und bedingen eine frühzeitige Vorspannung im Bereich von 0,5 bis 1,5 N/mm<sup>2</sup>. Dieses Verfahren kommt in Frage bei *dicken Fundamentplatten*,

struktion gehen und die Bewehrung durch Korrosion gefährden.

Aus den Forschungsarbeiten, die aus vielen Ländern, insbesondere auch aus Deutschland vorliegen, weiss man heute, dass Risse nur klein gehalten werden

können, z. B. unter 0,3 mm, wenn relativ viel Bewehrung mit hohem Verbundwert verlegt wird. Dies erfordert profilierte Stäbe mit kleinen Durchmessern, die in engem Abstand verlegt sein müssen. Dies ist sehr teuer und für die Ausführung von massigen Bauteilen keine befriedigende Lösung. Viel besser geeignet als schlaaffe Beweh-

rung ist in diesem Fall dagegen die *Vorspannung*. Dabei muss allerdings vorausgesetzt werden können, dass der jeweilige Baukörper sich infolge Vorspannung verkürzen kann. Für die Abdeckung der Spannungen aus Temperatur und Schwinden allein genügt bereits eine Vorspannung von ca. 0,6 N/mm<sup>2</sup>, wobei *unschädliche*

*Randzonenrisse* in Kauf genommen werden können, da sie sich nie weit öffnen wegen der unter Druck stehenden inneren Zonen und sich auch wieder schliessen. Dazu kommt, dass durch die grossmaschige Anordnung der Spannglieder längs und quer im Abstand von ca. 1,50 m nicht nur ein wirtschaftlicheres Betonieren möglich ist, sondern auch die *Betonqualität verbessert* wird, was wiederum zu einer geringeren Rissanfälligkeit führt. Es besteht auch keinerlei Korrosionsgefahr, da die Vorspannkabel viel tiefer im Querschnittinneren liegen als eine vergleichbare schlaaffe Bewehrung. Dies ist besonders im Hinblick auf den Gebrauchszustand des Bauwerks von grosser Bedeutung, da hier ja auch mit Abrieb durch Geschiebe gerechnet werden muss.

**Anwendung bei früheren ähnlichen Projekten**

Wie bereits eingangs erwähnt, wurde dieses Verfahren schon bei ähnlichen massigen Bauwerken angewendet, und der dabei erzielte Erfolg erleichterte im vorliegenden Falle den Entschluss zur Anwendung.

Zunächst beim *Pumpspeicherwerk Glems*, wo im Jahre 1961 das rund 80 m lange und 36 m breite Krafthaus mit seiner 5 bis 10 m dicken Fundamentplatte und seinen 2 bis 7 m dicken Wänden fugenlos «mässig vorgespannt» wurde. Die Vorspannung wurde so gewählt, dass längs eine mittige Druckspannung von 0,8 bis 1,0 N/mm<sup>2</sup> entstand.

Im Jahre 1973 folgte dann die *Fundamentplatte* für das *Kernkraftwerk Kalckar (Schneller Brüter)*. Sie hatte die Abmessungen 92 auf 52 m mit einer Stärke von 3 m und wurde zweiachsig vorgespannt, wobei eine Druckspannung von 1,5 N/mm<sup>2</sup> gewählt wurde, weil die Platte erhebliche Spannweiten zwischen den lastbringenden Wänden zu überbrücken hat. Auch hier war diese Lösung wirtschaftlicher als die übliche schlaaffe Bewehrung.

**Sonderentwurf beim Kulturwehr Kehl/Strassburg.**

**Baubeschreibung**

Bei der Anwendung der mässigen Vorspannung am Kulturwehr Kehl wurde an den geometrischen Abmessungen des Wehres, die aus hydraulischen Gründen vorgegeben waren, nichts geändert. Zu erfassen waren als Baukörper also der Wehrabfallboden (Bild 4), die Wehrschwelle mit etwa 23 m Länge in Fliessrichtung einschliesslich der Wehrpfeiler und die daran anschliessende 1 m starke und 33 m lange Tosbeckenplatte, die durch MV-Pfähle gegen Auftrieb gesichert ist. Eine beson-

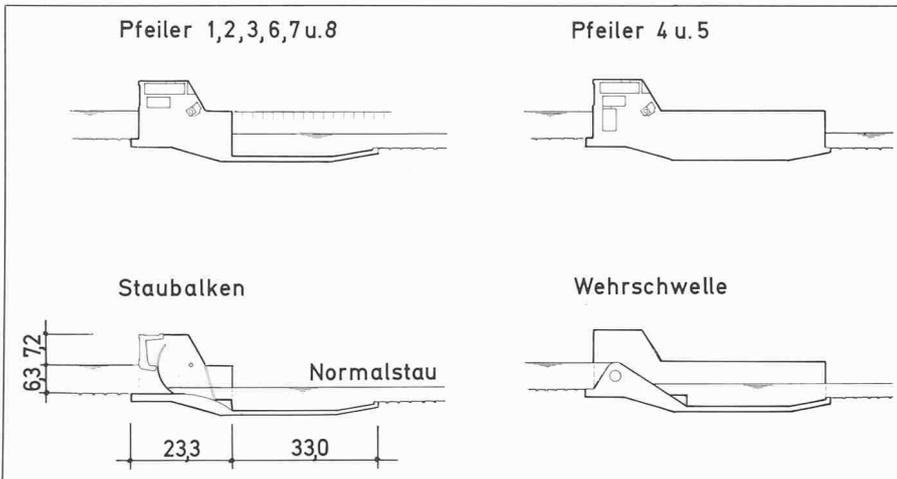


Bild 2. Schnitte

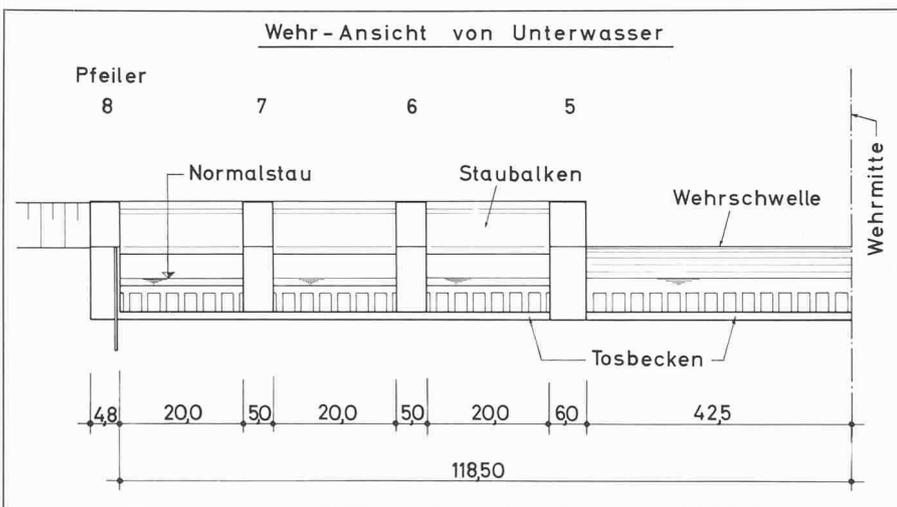


Bild 3. Ansicht von Unterwasser

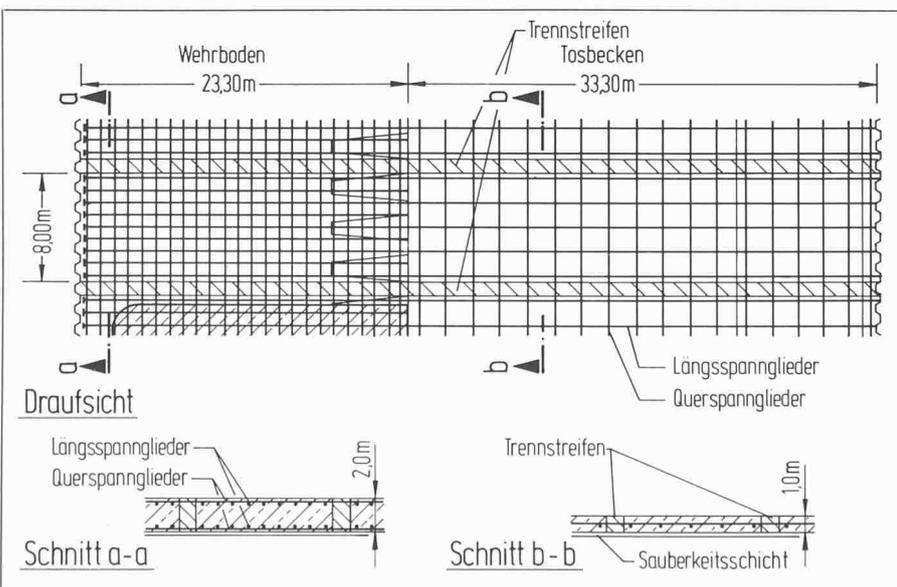


Bild 4. Lage der Spannglieder im Wehrboden und in der Tosbeckenplatte

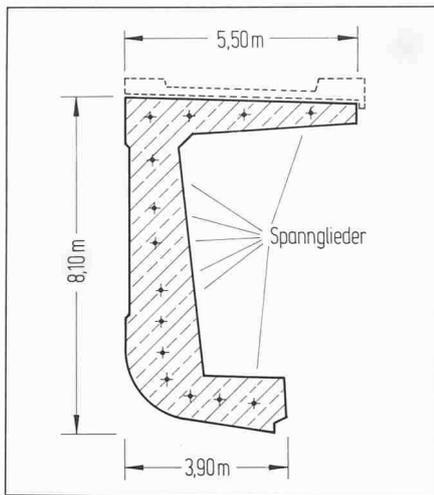


Bild 5. Querschnitt des Staubbalkens

dere Schwierigkeit stellte der *Staubbalken* (Bild 5) dar, der über die drei Öffnungen hinweg monolithisch mit den Pfeilern (Bild 6) verbunden wurde. Der Bemessung lag auch hier die Idee des Sonderentwurfs zugrunde, nämlich Dehnfugen zu vermeiden, weitgehend auf schlaffe Bewehrung zu verzichten und die massigen Betonbauteile so stark vorzuspannen, dass schädliche Trennrisse unmöglich würden.

**Berechnungs- und Bemessungsgrundlagen**

Die Bemessung eines derartigen Bauwerks hat neben der Standsicherheit vor allem dessen Gebrauchsfähigkeit und Dauerhaftigkeit zu gewährleisten. Die dafür anzusetzenden Kriterien können wegen der mässigen Vorspannung nicht direkt den einschlägigen Vorschriften, DIN 1045 und DIN 4227, entnommen werden, sondern müssen in Anlehnung an diese Normen festgelegt werden. Dabei unterscheidet man zwei Fälle:

- das Bauwerk bleibt im Zustand I oder
- der Beton wird ohne Zugfestigkeit angesetzt, d. h. die Bemessung erfolgt für den Zustand II.

Für die Ermittlung der Schnittkräfte wird die Steifigkeit der Bauteile bei ungerissenem Beton im Zustand I angesetzt, was bei den vorliegenden Abmessungen besonders für die Temperaturbeanspruchung zu den grösstmöglichen Schnittkräften führt. Dies setzt voraus, dass durch geeignete Massnahmen auf der Baustelle der Beton auf Dauer in der Lage ist, Zugspannungen aufzunehmen. Man erzielt dies durch Beschränkung der Temperaturerhöhung infolge Hydratationswärme mit Mitteln der Betontechnologie und einer frühzeitigen Aufbringung der Vorspannung sowie durch ausreichende Wärmedämmung der Bauteile, um durch langsames Abfliessen der Hydratationswärme grosse Temperaturunterschiede und damit grosse Zwangsspannung zu verhüten. Es muss damit erreicht werden, dass das

Temperaturgefälle in den Betonblöcken so klein ist, dass die Zugspannungen unter der Zugfestigkeit des Betons bleiben.

Falls jedoch die vorausgesetzte Betonzugfestigkeit trotz günstiger Vorbedingungen nicht erreicht wird, muss die Standsicherheit und Gebrauchsfähigkeit des Bauwerks auch im Zustand II gewährleistet sein. Die Bemessung erfolgt hier unter Ansetzung von Teilsicherheitsbeiwerten in Anlehnung an die CEB-Richtlinien; sie liegen für die Angriffe bei 1,3 bis 1,4. Es wird also nachgewiesen, dass auch für die Bemessung nach Zustand II ein ausreichender Spannstahlquerschnitt vorhanden ist. Eine schlaffe Bewehrung ist mit Aus-

nahme der Einleitungsbereiche der Spannkraften sowie des Staubbalken- und Pfeilerkopfbereichs nicht vorgesehen. Zusätzlich zum Nachweis der Gebrauchsfähigkeit nach Zustand I und dem Standsicherheitsnachweis nach Zustand II wird ein *Nachweis zur Beschränkung der Rissbreiten* geführt für den Fall, dass extreme Verhältnisse doch zu Rissen führen. Im Zustand II gilt diese Forderung als erfüllt, wenn die Nulllinie unter Gebrauchslast nicht weiter als  $d/5$  in den Querschnitt hineinwandert. Im Zustand II lässt sich bei der Annahme eines sinnvollen Rissabstandes die zu erwartende Rissbreite ermitteln.

Für die Ermittlung des *Spannkraftverlu-*

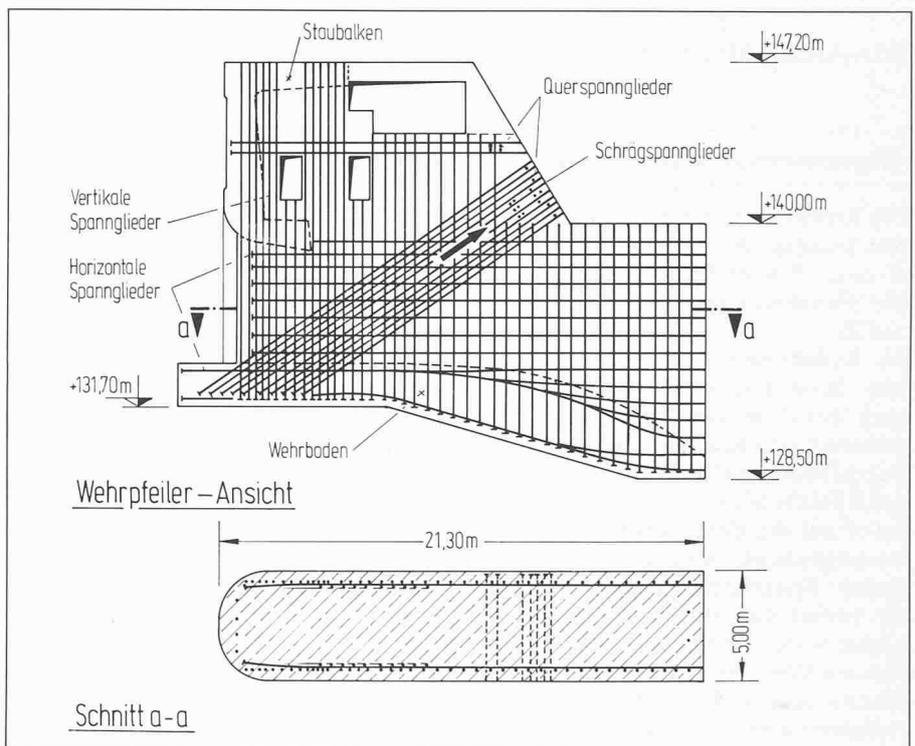


Bild 6. Lage der Spannglieder im Wehrpfeiler

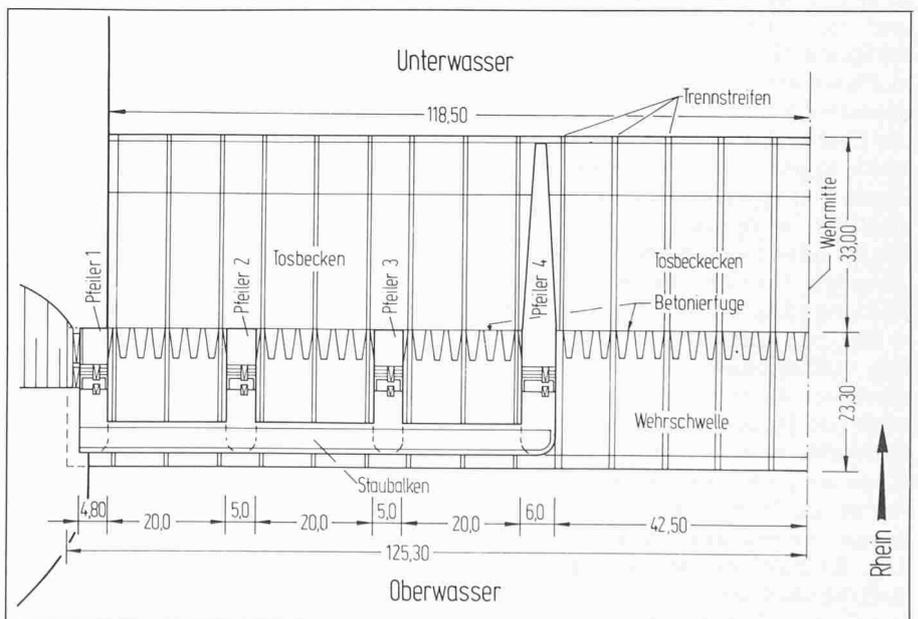


Bild 7. Unterteilung in 6 bis 8 m breite Betonierstreifen mit jeweils 1 m breiten Fugenzwischenräumen

stes durch den Verformungswiderstand des Baugrundes wird der Baugrund als elastisch isotroper Halbraum unter Berücksichtigung der geologischen Vorbelastung 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 schlaffe Bewehrung, gesichert durch mässige 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 Flusssohle ansteht und die horizontale Abdichtung der Baugrube bildet. Oberwasserseitig und in Flussmitte war durch Einstellen von Spundbohlen in die Dichtwand auch noch eine Spundwand eingebaut, um die Baugrube an diesen Seiten bis an die Dichtwand hin ausheben zu können.

Die Baugrube wurde mit Brunnen leerpumpert, die im unterwasserseitigen Erddamm angeordnet waren. Sie konnten durch den Betrieb von nur drei Brunnen trockengehalten werden, die eine maximale Leistung von 170 l/s (bei höchstem Hochwasser) hatten. Für eine Baugrube von 11 000 m<sup>2</sup> 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-

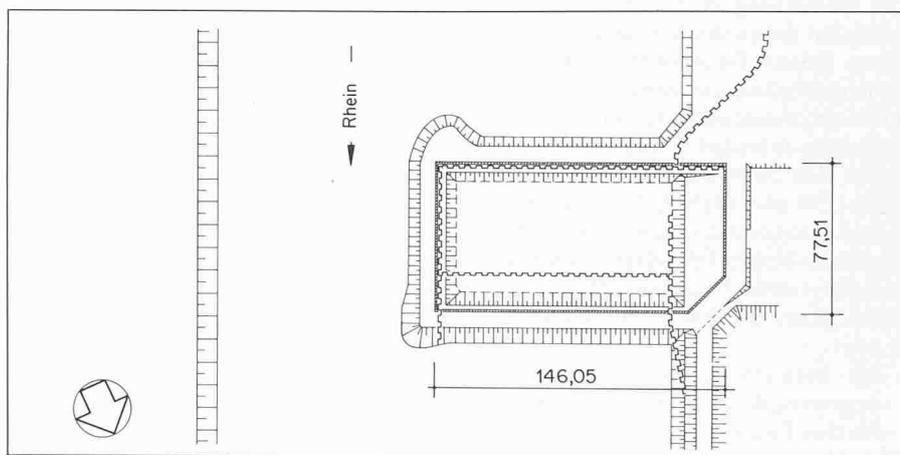


Bild 1. Lageplan mit Baugrube, 1. Bauabschnitt

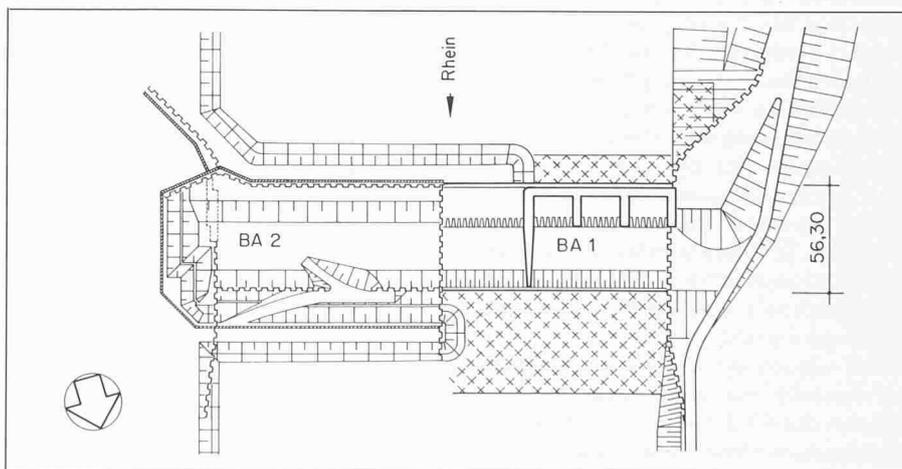


Bild 2. Lageplan mit Baugrube, 2. Bauabschnitt