Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 82 (1964)
Heft: 11

Artikel: Fundationsprobleme bei Brückenbauten: Vortrag
Autor: Schnitter, G.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-67458

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: 10.01.2026

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

ORGAN DES SCHWEIZERISCHEN INGENIEUR- UND ARCHITEKTEN-VEREINS S.I.A. UND DER GESELLSCHAFT EHEMALIGER STUDIERENDER DER EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE G.E.P.

Fundationsprobleme bei Brückenbauten

DK 624.15:624.21

Von Prof. **G. Schnitter**, ETH, Zürich

Vortrag, gehalten am 9. November 1963 vor der S.I.A.-Fachgruppe für Brückenbau und Hochbau (FGBH)

Einleitung

Die Lage der Brückenaxe ist in den meisten Fällen durch Anforderungen der Verkehrswege, durch vorhandene Siedlungen usw. im voraus festgelegt. Damit sind einer Verschiebung derselben mit Rücksicht auf die Baugrundverhältnisse sehr enge Grenzen gezogen. Ist dies ausnahmsweise aber nicht der Fall, so muss bei der endgültigen Wahl der Brückenaxe der Untergrund zu den zu berücksichtigenden Faktoren hinzukommen und dürfte oft einen entscheidenden Einfluss haben. Nach der Wahl der Brückenaxe wird die Brücke entworfen. Brückentyp, statisches System, Aufteilung der Spannweiten, d. h. Lage der Pfeiler, hängen weitgehend ab von den vorhandenen Untergrundverhältnissen, denn erst das Ganze: Brückenoberbau, Widerlager und Pfeiler, deren Gründung und der Baugrund selbst bilden das Brückenbauwerk. Die Berücksichtigung der gegenseitigen Abhängigkeit von Gründung und Ueberbau gehört heute zur selbstverständlichen Grundlage jedes gut durchdachten Entwurfes. Die Forderungen, welche an jede Brücke zu stellen sind, lauten: Sicherheit, Erfüllung der Verkehrsbedürfnisse, gute ästhetische Wirkung und Wirtschaftlichkeit. Sie verlangen notwendigerweise die Mitberücksichtigung der Gründungsverhältnisse. Jede Gründung hängt dabei wiederum ab vom vorhandenen Baugrund, der Lage des Wasserspiegels (Grundwasser oder Tagwasser) und in sehr starkem Masse von den Ausführungsmöglichkeiten und den Baumethoden, d. h. die Gestaltung der Pfeiler und der Widerlager einer Brücke und ihrer Gründung sind nicht nur beeinflusst von ihrer zukünftigen Zweckerfüllung, also von ihrem Endzustand, sondern ebenfalls von der Methode der Ausführung. Der Mannigfaltigkeit dieser Möglichkeiten entspricht die Reichhaltigkeit der gewählten Lösungen, von denen im folgenden nur einige typische erwähnt werden können.

Vorarbeiten

Jedem Brückenbau haben seiner Bedeutung entsprechende Baugrunduntersuchungen voranzugehen. Darüber wird hier nicht eingehender gesprochen. Nur folgendes möge erwähnt werden. Bei wichtigeren Bauten darf nicht nur in der Brückenaxe sondiert werden. Richtig ist es, in den Pfeileraxen links und rechts der Brückenaxe im Abstand von 10 bis 20 m zu sondieren, oder gar ungefähr in den voraussichtlichen vier Eckpunkten des Gründungsgrundrisses. Die Nichtbefolgung dieser Regel kann zu unliebsamen Ueberraschungen führen, besonders in unseren stark heterogenen Böden. Die Bohrungen oder fallweise die Schächte sollen nicht nur bis zur zukünftigen Fundamentsohle oder knapp darunter reichen, sondern müssen wesentlich tiefer liegende Schichten erfassen. Als Regel dürfte gelten, dass bis zu 2 bis 3 mal b unterhalb Fundamentunterkante oder unterhalb Pfahlspitze gegangen werden soll, wenn b die kleinere Breite der Gründungsfläche bedeutet. So selbstverständlich diese Forderung erscheint, sobald man an das Gesetz der Lastausbreitung unter einer Flach- oder Pfahlgründung denkt, so oft wird dagegen verstossen. Der Durchmesser einer Bohrung darf dabei nicht zu klein gewählt werden. Seine Grösse hängt vom gewählten Bohrverfahren ab, Schlag- oder Rotationskernbohrung. Wenn irgend möglich, sollte nur noch letztere Bohrart verwendet werden. Wird das Bohrgut auch dazu benützt, dem Unternehmer Angaben zu machen über die genaue Kornzusammensetzung des bis Fundamentunterkante angetroffenen Materials (z. B. zwecks Bestimmung des Aushubpreises), so muss der Bohrlochdurchmesser dem Bodenmaterial angepasst oder sonst auf andere Art die genaue Kornzusammensetzung bestimmt werden. In den oberen Schichten kann letzteres auch von Interesse sein, um bei einem Flusspfeiler den voraussichtlichen Kolk abzuschätzen. Bei Gründungen im Grundwasser sind die Grundwasserstände und ihre Schwankungen im Laufe der Zeit durch Ablesungen in Piezometern zu verfolgen. Die Angabe des Grundwasserstandes nur im Zeitpunkt der Bohrung ist ungenügend. Bei Gründungen in Bächen und Flüssen sind sämtliche vorhandenen Unterlagen über minimale, mittlere und maximale Wasserstände und Wasserdurchflüsse zu sammeln bzw. mit anderen verfügbaren zu korrelieren. Angaben über Geschwindigkeiten können daraus und aus einer Aufnahme des Flussquerschnittes ermittelt werden. Ein spezieller Hinweis gilt dem Vorkommen von unterirdischen Hohlräumen, die bei uns nicht häufig, trotzdem aber in gewissen Fällen, z. B. im Jurakalk (unterirdische Höhlen) oder in der Nähe von Salzlagerstätten, die ausgebeutet werden oder ausgebeutet werden könnten, zu beachten sind.

Belastungen

Aus dem Ueberbau ergeben sich die Belastungen, die lotrecht und waagrecht wirken. Dabei ist mit Rücksicht auf die Setzungsberechnung zwischen dauernd und vorübergehend wirkenden Belastungen zu unterscheiden. Zu den bekannten Belastungen aus ständiger Last, Verkehr und Wind treten für die Pfeiler und die Gründung einer Brücke in einem Gewässer die *Wasserdrücke, Erddrücke* und der *Wellenschlag* hinzu, letzterer wohl meist vernachlässigbar, aber nicht immer, z. B. nicht bei einem grösseren See, der *Eisstoss* und evtl. der *Schiffsstoss*.

In einem stehenden Gewässer hängt die Höhe der sich infolge Wind bildenden Wellen von der Windgeschwindigkeit und der Streichlänge ab. In der Literatur werden zahlreiche entsprechende Formeln angegeben. Ist die Wellenhöhe h bekannt, so kann daraus die Belastung berechnet werden, wofür ebenfalls verschiedene Formeln entwickelt wurden. Am einfachsten wird eine spezifische Belastung von $\gamma \cdot h$ angenommen (γ = spez. Gewicht des Wassers).

Die *Wirkung des Eises* äussert sich auf doppelte Art. Bei Eisgang in fliessendem Gewässer können Pfeilereinbauten zu einer totalen Verstopfung des Durchflussprofiles führen oder wenigstens zu einer beachtlichen Verringerung des Durchflussquerschnittes. In beiden Fällen sind wesentliche Erhöhungen der Wasserspiegellagen oberhalb des Hindernisses und Ueberschwemmungen zu befürchten. Ausserdem werden durch das Eis wesentliche Horizontalkräfte auf die Pfeiler und damit auf deren Gründung ausgeübt. Diese Kräfte betragen mehrere Tonnen je m² und damit je nach der Eisschichtstärke mehrere Tonnen pro m getroffenen Pfeilerumfanges.

In diesem Zusammenhang muss auch kurz auf die *Kolkwirkung* eingegangen werden. Pfeiler in strömenden Gewässern müssen genügend tief unter der Flussohle gründen, um jeder Kolkwirkung im Ober- und im Unterwasser mit Sicherheit gewachsen zu sein. Obschon diese Forderung längst bekannt ist, sind Unterwaschungen von Pfeilerfundamenten mit anschliessender Schiefstellung derselben nicht selten.

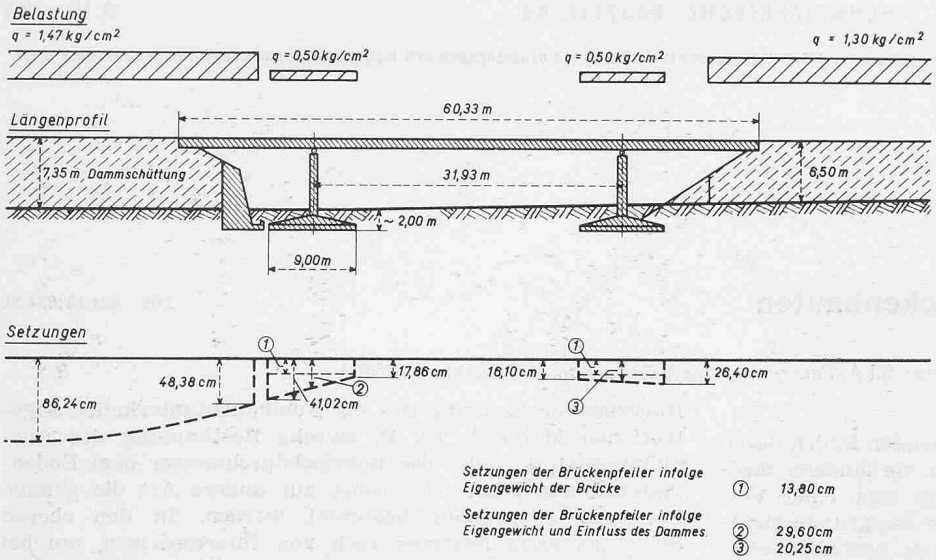


Bild 1. Einfluss der Setzungen eines nachträglich geschütteten Anschluss-Dammes auf die Setzungen der Pfeiler einer Balkenbrücke

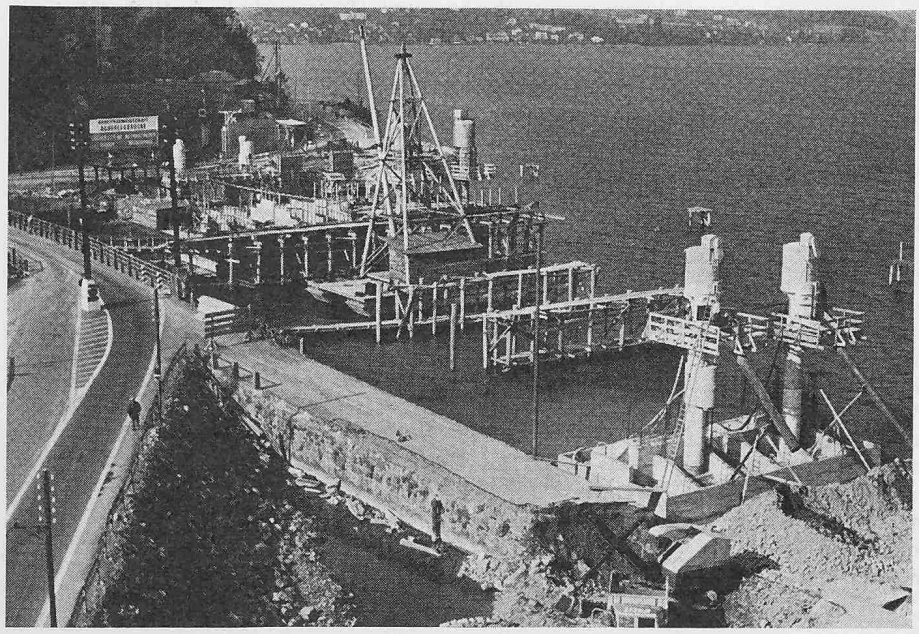


Bild 2. Achereggbrücke. Uebersicht über die Baustelle, vom rechten Ufer aus gesehen

Bild 3. Achereggbrücke. Ufercaisson mit je zwei aufgesetzten Schleusen

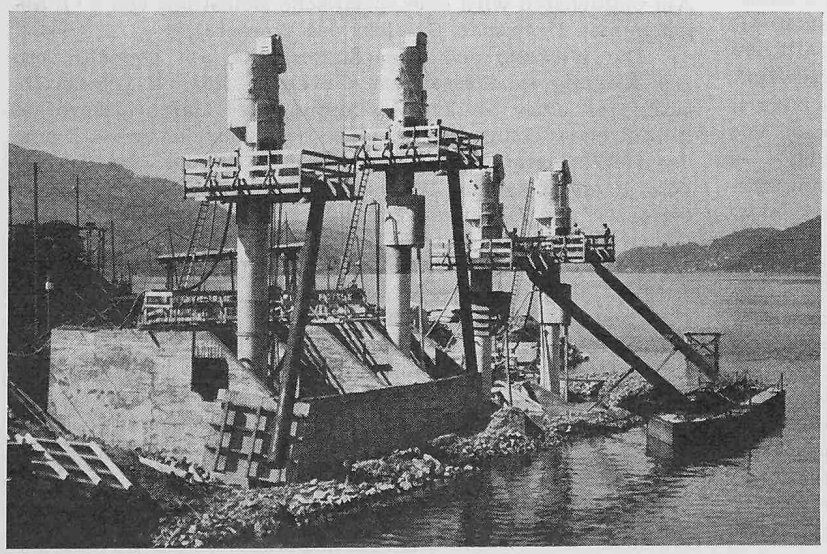
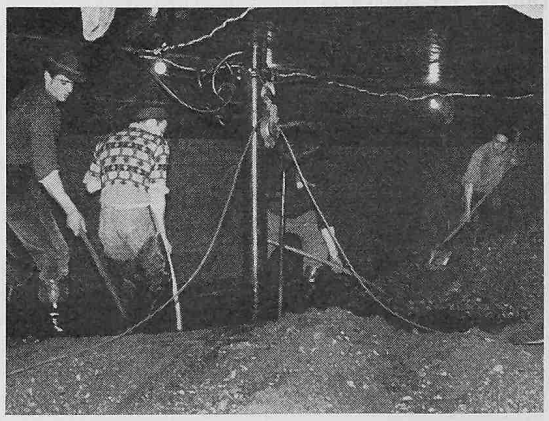


Bild 4. Achereggbrücke. Aushub in der Arbeitskammer von Hand und Förderung mit der Mammutpumpe. Bilder 2 bis 5 Photos von Ing. Hubert Meier



Die Kolktiefe hängt ab vom Bodenmaterial, dessen Lagerungsdichte, Kornzusammensetzung, Scherfestigkeit usw., von der Pfeilerform, den hydraulischen Bedingungen, Wassertiefe, Geschwindigkeit, Anströmungswinkel und vom Feststofftransport. Durch die Pfeilereinbauten wird der Durchflussquerschnitt verkleinert und damit neben dem Pfeilerstau die Durchflussgeschwindigkeit erhöht. Dies trifft um so mehr zu für schräg zum Stromstrich eingebaute Pfeiler. Bei diesen ist der Kolk besonders gefährlich, die schräg gestellten Einbauten haben eine starke Geschwindigkeitserhöhung zur Folge und werden zudem ungünstig angeströmt, was beides zusammen zu ganz wesentlich erhöhten, stark unsymmetrischen Kolken führt. Bei wichtigeren Objekten in Flüssen mit stark wechselnden Wasserführungen kann nur der Hydraulische Modellversuch zuverlässige Angaben über die zu erwartenden Kolke vermitteln, die sehr von den Zuströmverhältnissen im Oberwasser abhängen. Schutz durch tief genug reichende Umspundungen oder durch Blockschüttungen sind bewährte Mittel zur Kolkbekämpfung. Oft wird ein Kolk bei abnehmendem Hochwasser wieder ganz oder teilweise ausgefüllt, was seine rechtzeitige Feststellung erschwert. Auch wenn die Kolkbildung nicht zu sichtbaren Schäden zu führen braucht, ergibt sich daraus eine verminderte Sicherheit gegen statischen Grundbruch, indem der seitliche Ueberlagerungsdruck wesentlich herabgesetzt wird.

Berechnung

Die Berechnung der Gründung einer Brücke erfolgt ähnlich jener jedes Bauwerkes, nur verdienen dabei einige Faktoren besonders erwähnt zu werden (Vergleiche dazu meine Ausführungen vor dem selben Gremium am 30. Juni 1962, siehe SBZ 1962, H. 34, S. 587.

Formänderung in der Gründungssohle. Bei einer Balkenbrücke kann

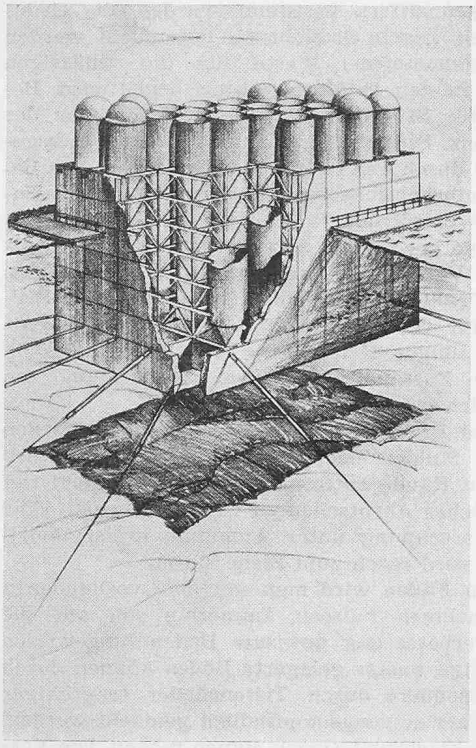


Bild 6. Tajobrücke, Pfeilergründung: Stahlcaisson eingeschwemmt und verankert

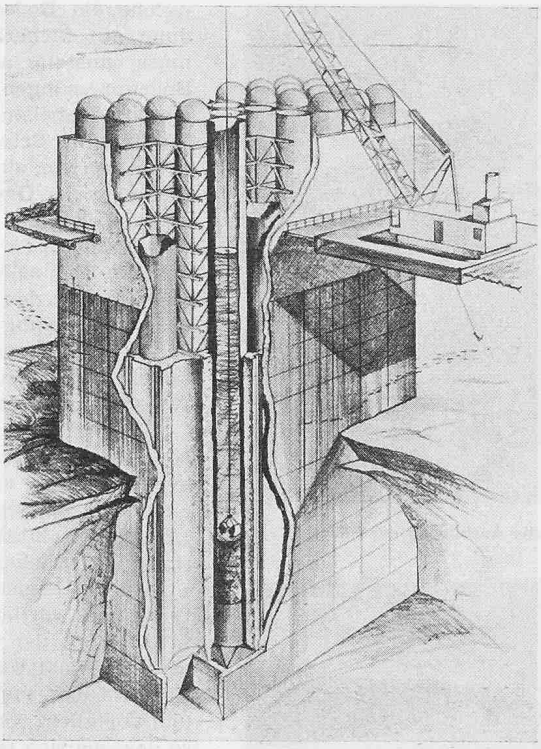


Bild 7. Tajobrücke: Aushub unter Wasser mit Greifer in den einzelnen zylindrischen Brunnen und dadurch Absenken des Pfeilers

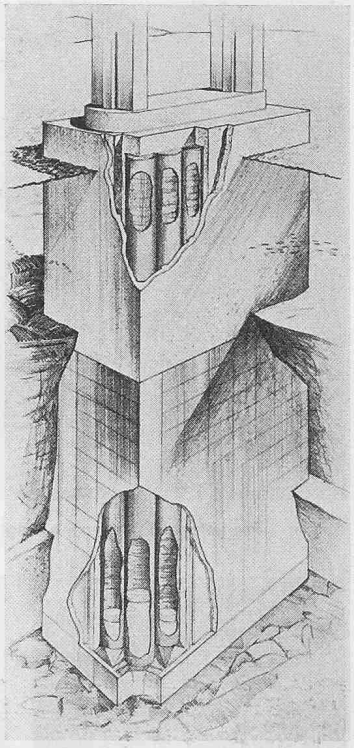


Bild 8. Tajobrücke, Pfeiler abgesenkt

Bilder 6, 7, 8 aus «Engineering News Record»

sich die Berechnung auf die lotrechten Verschiebungen (Setzungen) des Grundkörpers beschränken, wobei aber infolge der meist nicht gleichmässig, sondern trapezoidal verteilten Bodenpressungen die daraus entstehende Drehung zu berücksichtigen ist. Zur Berechnung der Setzungen ist bei nicht bindigen Böden, ausser den ständig wirkenden Lasten, auch ein Teil der vorübergehend auftretenden Lasten in Rechnung zu stellen, während bei bindigen Böden die vorübergehend auftretenden Belastungen unberücksichtigt bleiben können. Dank deren kurzen Wirkungsdauer ist ihr Einfluss auf die Setzungen der langsam reagierenden bindigen Böden (Abfliessen des Porenwassers) klein. Wie gross der Anteil der vorübergehend wirkenden Belastungen bei nicht bindigen Böden sein soll, ist eine Frage des Ermessens; meines Erachtens genügt es, die halbe Belastung in Rechnung zu setzen.

Bei einer Bogenbrücke oder bei Rahmentragwerken, welche auf horizontale Verschiebungen ihrer Auflager empfindlich sind, müssen auch die aus den lotrechten und waagrechten Kräften entstehenden horizontalen Verschiebungen ermittelt werden. Dazu stehen zur Zeit schon einige Hilfsmittel zur Verfügung, welche die Rechenarbeit erleichtern und abkürzen. Die Schwierigkeit bei allen Setzungsberechnungen liegt, wie seinerzeit ausgeführt, in der richtigen Wahl des Zusammendrückungsmoduls. Die Versuche mit kleinkalibrigen Geräten in Fundamentgruben oder gar in der Ebene der Pfahlspitzen sind nach meiner Ansicht unzuverlässig und in keiner Weise repräsentativ. Soweit es irgendwie geht, sind Oedometerversuche an repräsentativen, ungestörten Bodenproben durchzuführen. Wo dies wegen der Unmöglichkeit von zuverlässigen Entnahmen nicht mehr geht, ist die Abschätzung auf Grund von Erfahrung bei ähnlichen Fällen vorzunehmen.

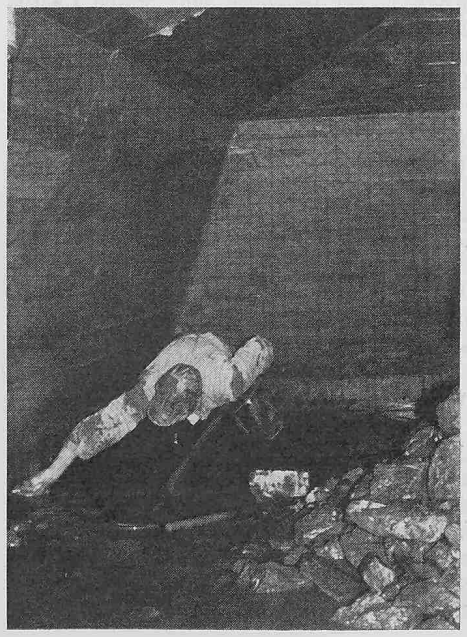


Bild 5. Achereggbrücke. Aushub unter der Schneide in der Arbeitskammer

Dabei ist zu beachten, dass es vor allem auf die Setzungsunterschiede ankommt, mehr als auf das absolute Setzungsmass, welches bei einer Brücke wegen der Anschlüsse oder des einzuhaltenden Lichtraumprofiles allerdings auch seine Bedeutung hat. Nun fällt mir auf, dass bereits sehr geringe Setzungsunterschiede unsere heutigen Brückenbauer mit Bedenken erfüllen. Bei Spannweiten von durchlaufenden Balkenbrücken von 40 m, ja 80 m, werden 1 bis 2 cm Unterschied bereits als oberste Grenze angesehen. Solche Forderungen mag wohl ein Statiker stellen, sie sollten aber niemals von einem Konstrukteur übernommen werden. Eine Brücke ist doch nicht nur das Werk des Statikers; der Konstrukteur und der Ausführende sollten auch zu Worte kommen. Bei manchen Projekten von heute fehlt diese Synthese. Ungünstigere Baugrundverhältnisse verlangen auch einen entsprechenden Aufbau und können nicht einfach nur durch eine gezielte Ausbildung der Gründung berücksichtigt werden. Was wäre aus unseren früheren Stahlbrücken und Stahlbetonbrücken geworden, hätten sie nicht eine Tragfähigkeit gehabt, die unvorhergesehene Bewegungen in den Gründungen oder Laststeigerungen in beschränktem Masse aufnehmen könnten?

Bei der Berechnung der Widerlager und der Gründung ist dem Einfluss der anschliessenden Dämme Rechnung zu tragen. Soweit möglich, sollten diese Dämme vor dem Brückenbauwerk erstellt werden. Jeder Damm hat nach Massgabe der Zusammendrückbarkeit seines Untergrundes

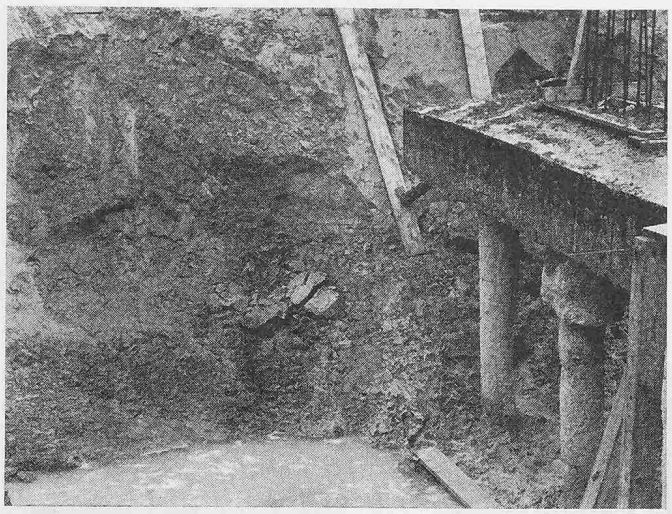


Bild 9. Freigelegte Pfahlgruppe, ungleiche Ausbildung der Pfähle, Risse

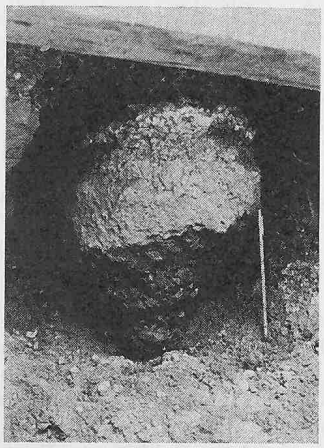


Bild 10. Freigelegter Pfahl

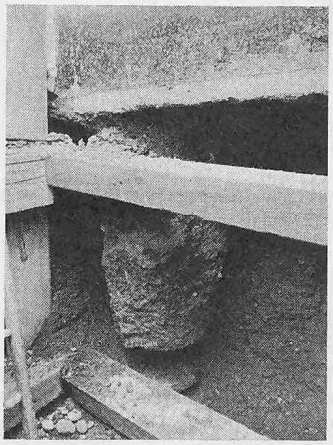


Bild 11. Oberer Teil des Pfahles fehlt überhaupt

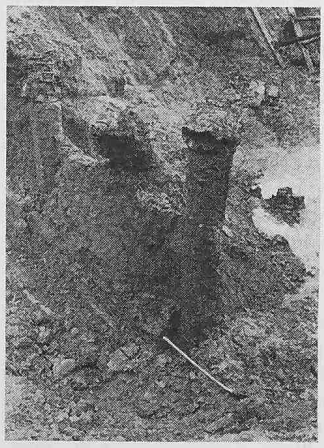


Bild 12. Vorgeschriebene Pfahllänge 6 m, vorhandene 2,50 m

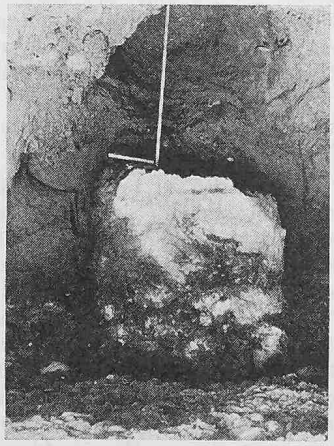


Bild 13. Spitze von Pfahl getrennt, dazwischen Hohlraum

Bilder 9 bis 13: Gründung einer Brücke auf fehlerhaft ausgeführten Ortsbetonpfählen

und der respektiven Lage und Gestaltung des Widerlagers Einfluss auf die Setzungen des Widerlagers. Gemäss dem Lastausbreitungsgesetz wirkt die Last des Dammes auch im Untergrund des Widerlagers und kann dort lotrechte Setzungen und eine Drehung des Widerlagers erzeugen (Bild 1).

Eine Beschleunigung der Setzungen kann bekanntlich in gewissen Fällen durch Anwendung von Sanddrains erfolgen.

Tragfähigkeit

Im Anschluss und in Ergänzung zu meinem letztjährigen Vortrag ist zu betonen, dass bei wichtigeren Objekten, für welche die Bodenkennziffern bestimmt wurden, die Gründung auf Sicherheit gegen Grundbruch untersucht werden muss, anstelle angenommener Werte für die zulässigen Bodenpressungen. In den in Vorbereitung begriffenen Bemessungstabellen für Stützmauern, die demnächst von der Vereinigung Schweiz. Strassenfachmänner (VSS) herausgegeben werden, sind durch die VAWE die Grundlagen zur Berechnung der Grundbruchsicherheit von Gründungen zusammengestellt, und zwar sowohl für lotrechte als auch schräg wirkende Lasten und horizontale sowie geneigte Fundamentflächen. Die selbe Veröffentlichung enthält auch eine eingehende, für den Praktiker bestimmte Darstellung der Erddruckberechnung für verschiedene Fälle sowie für Vorentwürfe Richtwerte einiger Kennziffern des Baugrundes in seinem natürlichen Zustand, die bei der Berechnung von Widerlagern nützlich sein können.

Widerlager und Pfeiler am Rande von topographischen oder geologischen Mulden oder von Einschnitten müssen genügend weit vom Rande entfernt sein und genügend tief einbinden, um jegliches Abrutschen zu verunmöglichen. Eine einfache Stabilitätsrechnung unter Annahme kreiszylindrischer Gleitflächen wird rasch zum Ziele führen.

In den meisten Fällen wird man mit dem vorhandenen Baugrund vorliebnehmen müssen. Immerhin soll auf die Möglichkeit der Verbesserung gewisser Böden hingewiesen werden. Nicht bindige, locker gelagerte Böden können durch Verdichtung, insbesondere durch Tiefenrüttler tragfähiger und vor allem weniger setzungsempfindlich gemacht werden, so dass sie sich für Flachfundationen eignen mögen. Die Verbesserung von nicht bindigem und felsigem Baugrund durch Injektionen soll nur erwähnt werden. Es ist eine nun erwiesene Tatsache, dass der Verformungsmodul von Felsgestein durch sachgemäss ausgeführte Zementinjektionen nicht unbeträchtlich erhöht wird.

Gestaltung

Ist tragfähiger und wenig setzungsempfindlicher Baugrund in Oberflächennähe, so wird eine *Flachgründung,* d. h. Einzelfundament oder Fundamentstreifen, zur Ausführung gelangen. Dazu soll lediglich bemerkt werden, dass vorsorglicherweise untersucht werden muss, ob nicht schlechtere, setzungsempfindliche Schichten unter den oberflächennahen guten Schichten liegen, deren Zusammendrückung unter der Last des Fundamentes doch zu unerwünschten Setzungen führen könnte. Dank der Druckausbreitung wirkt sich eine Auflast auf eine Tiefe von mindestens 2 mal der kleinsten Grundrissabmessung noch merkbar aus.

Ueber den Schutz von Pfleilerfundamenten im fliessenden Wasser wurde bei Besprechung der Kalkbildung das Wichtigste gesagt. Ein Beispiel einer solchen Ausführung stellt die Brücke bei Otterbach dar.

Leider genügen die oberflächennahen Schichten in vielen Fällen nicht zur Aufnahme der teilweise sehr hohen Lasten einer Brückengründung und zur Erfüllung der an sie gestellten Forderungen bezüglich der zulässigen Setzungsunterschiede zwischen den einzelnen Pfeilerfundamenten. *Tiefgründungen* werden notwendig, wobei in sehr vielen Fällen tief in das Grundwasser oder in das offene Wasser reichende Gründungen auszuführen sind. Früher infolge der grossen Wassertiefe oder des ungünstigen Baugrundes wegen unüberwindbar scheinende Hindernisse in einem Verkehrswege müssen und werden heute überwunden. Dabei ist die *Druckluftgründung* unter Zuhilfenahme einer verlorenen Arbeitskammer oder einer wiedergewonnenen Taucherglocke, wobei Wassertiefen bis 35 m erreicht wurden, immer noch als zuverlässige, leider aber teure Lösung zu erwähnen. Ihr unbestreitbarer Vorteil ist, dass die Gründungssohle vor dem Betonieren genau eingesehen werden kann, dass selbst Tragfähigkeitsversuche in der Kammer durchgeführt werden können, und dass diese Gründungsart innerhalb der ihr zugeordneten Grenzen immer zum Ziele führt, sofern richtig installiert, angesetzt und ausgeführt wird. Die Gründung der Pfeiler der St. Albanbrücke in Basel, die Flusspfeiler der Weinlandbrücke und die Gründung der Achereggbrücke am Lopper sind Beispiele neuerer Ausführungen. In der Acheregg wurde diese Methode gewählt, um bei dem sehr lose ge-

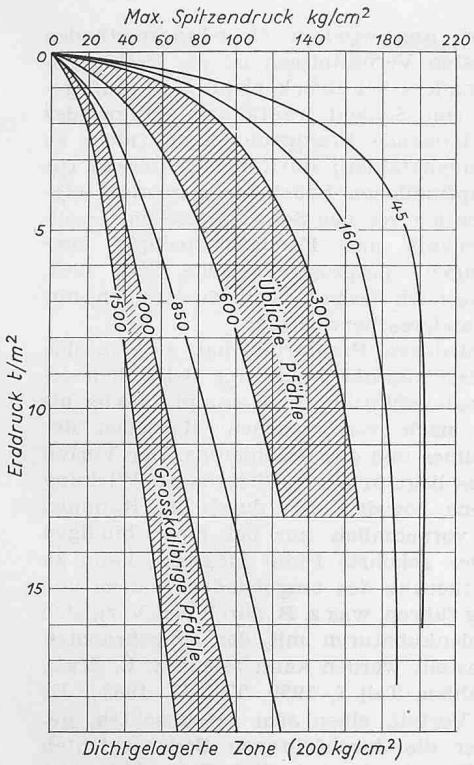


Bild 14. Abhängigkeit des spez. Spitzenwiderstandes eines Pfahles von Ueberlagerungsdruck und Durchmesser

lagerten Kies-Sand die Fundamentunterkante den angetroffenen Baugrundverhältnissen anzupassen. Die Setzungen wurden laufend gemessen. Sie zeigen ein weiteres Mal, wie selbst in einem scheinbar gleichmässigen Baugrund die Lagerungsdichte stark veränderlich sein kann, was glücklicherweise vorausgesehen wurde. Um spätere ungleichmässige Setzungen, die das vorausgesagte und durch Ueberhöhung kompensierte Mass übersteigen könnten, auszugleichen, wurden bei dieser Brücke Vorkehrungen getroffen, sie bei den Lagern zu heben. Diese Methode des nachträglichen Hebens der Stützpunkte eines Bauwerkes durch Pressen (z. B. hydraulische oder Flachkissen) wurde schon öfters mit Erfolg angewandt; sie sollte trotzdem nicht zur «Mode» werden. Der Nachteil der Druckluftgründung liegt in ihren hohen Kosten, die umso spürbarer werden, je stärker die Arbeitslöhne steigen, denn die Druckluftgründung ist ihrer Natur nach lohnintensiv; der Einsatz von Geräten zur Rationalisierung ist in den raumbeschränkten Arbeitskammern weniger wirkungsvoll. Dies hat dazu geführt, dass diese Gründungsmethode bei uns immer seltener zur Ausführung gelangt, wodurch der Nachwuchs an unter Druckluft arbeitendem Personal, Ingenieuren, Bauführern, Vorarbeitern und Arbeitern zu verschwinden droht (Bilder 2 bis 5).

Neben der klassischen Bauweise der Gründung im Schutze von Spundwänden oder Fangdämmen mit offener Wasserhaltung oder Aushub unter Wasser ohne Wasserhaltung und Einbringen einer dichten Sohle aus Unterwasserbeton hat sich deshalb die *Brunnengründung* stark durchgesetzt. In der einfachsten Ausführungsform wird dabei ein unten und oben offener Senkkasten mit den Grundrissabmessungen des Grundkörpers im Schutze einer Spundwandumschliessung auf einer geschütteten Insel erstellt (oder am Lande hergestellt und schwimmend herangebracht) und durch Aushub unter Wasser dank seines Gewichtes abgesenkt. Mit Unterwasserbeton wird der unterste Teil des Kastens ausgefüllt, worauf nach der notwendigen Zeit für das Erhärten der Brunnen ausgepumpt wird und der Weiterbau im Trockenen vor sich geht. Die neuesten Brücken im St. Galler Rheintal über den Rhein z. B. wurden auf diese Art gegründet. Diese Methode eignet sich besonders für bindige Böden, bei welchen im Trockenen ausgehoben wird, da kaum ein hydraulischer Grundbruch erfolgen kann. Auf die Möglichkeit eines statischen Grundbruches muss aber geachtet werden, indem durch Ueberschreiten des Scherwiderstandes der Boden von aussen in das Innere gequetscht werden kann.

Die Methode eignet sich aber auch in nicht bindigen, insbesondere sandigen Böden, sofern keine grösseren Blöcke das ordnungsgemässe Absenken erschweren oder gar verunmöglichen. In letzteren Fällen lassen sich ständige Sprengungen und das Aufladen von Zusatzlasten nicht umgehen. Im schlimmsten Falle muss durch Einziehen einer Zwischen-

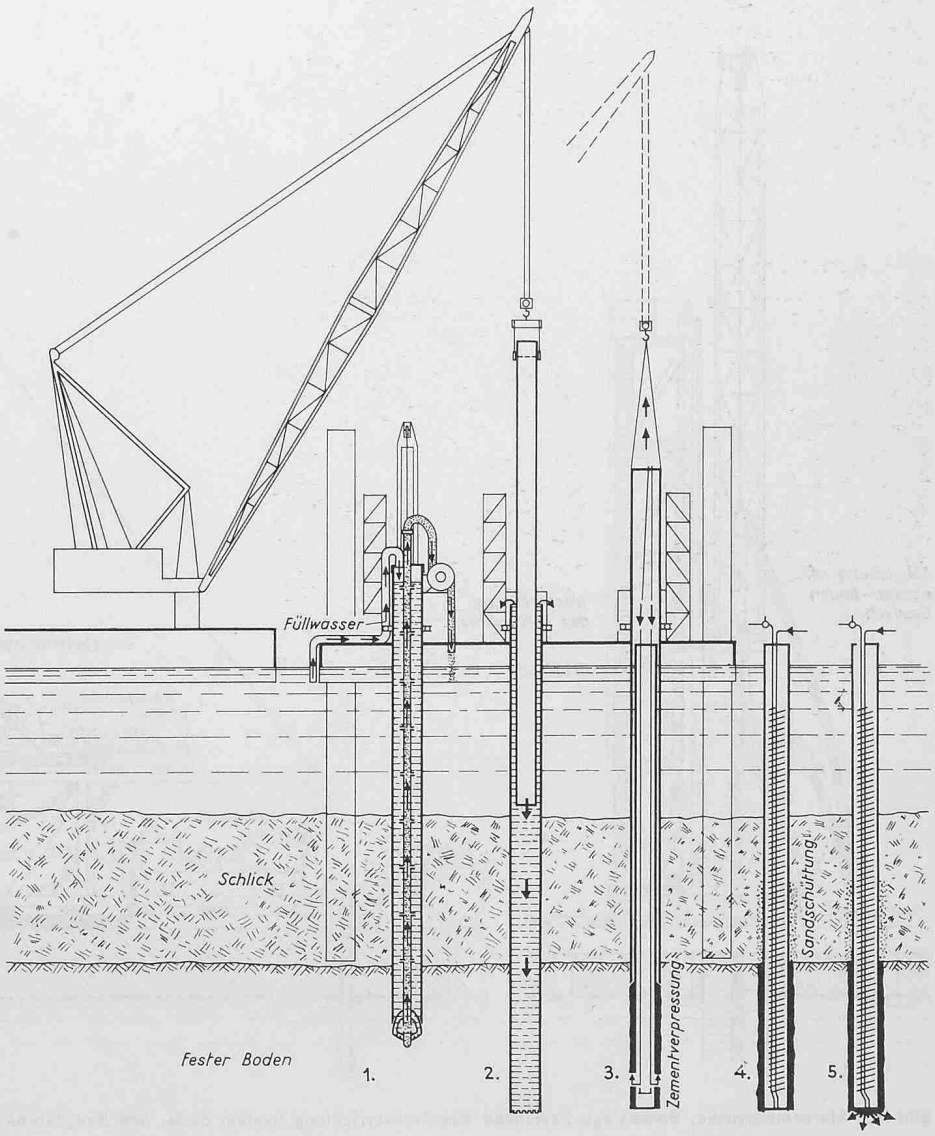


Bild 15. Maracaibobrücke, Schema der Bohrpfahlgründung. Bohrdurchmesser 1,50 Meter; Durchmesser des eingesetzten Pfahles 1,35 m; Länge maximal 57 m; zulässige Traglast 750 bis 800 Tonnen. Bilder 15 und 16 aus der Publikation «Die Brücke über den Maracaibo-See in Venezuela», herausgegeben vom ausführenden Baukonsortium (Federführung Julius Berger AG., Wiesbaden)

decke und Einbau von Kaminen und Schleusen auf Druckluftgründung umgestellt werden.

In den USA, wo die Druckluftgründung des hohen Lohnanteils wegen nie recht heimisch wurde, hat sich die Senkkastengründung zu grosser Vollkommenheit entwickelt; mehrere der grossen Brücken wurden auf diese Art gegründet. Bekannt und richtungweisend wurde die Gründung der Pfeiler der Oakland-Bay-Brücke in San Franzisko (SBZ 1935, Bd. 105, Nr. 17, S. 195). In der selben Weise werden zur Zeit die Pfeiler der Tajo-Brücke bei Lissabon durch die amerikanische Bauunternehmung Morrison-Knudsen gegründet. Die Grundkörper der Hauptpfeiler haben die Abmessungen 18,00 x 40,00 m bzw. 24,00 x 40,00 m, und der tiefste muss rund 80 m unter den Wasserspiegel abgesenkt werden (Vergleichsweise haben die mit einer ähnlichen Methode abgesenkten zwei Kasten der Hauptpfeiler der Narrows-Brücke in New York 40,00 x 70,00 m und müssen 40,00 bzw. 60,00 m unter dem Wasserspiegel abgestellt werden; s. SBZ 1961, H. 12, S. 186 und 1962, H. 3, S. 48.) Der Senkkasten ist aus Stahl und wiegt 900 t. Er enthält 28 zylindrische Hohlbrunnen von 5,00 m Durchmesser, welche das Ausbaggern mit Spezialgreifern des sandigen Untergrundes gestatten (Bilder 6 bis 8). Rings um die Brunnen wird nach Massgabe der Absenkungsnotwendigkeit Beton eingefüllt. Besondere Erwähnung verdient folgender Kunstgriff, der bei der erwähnten Oakland-Brücke (siehe z. B. «Civil Engineering», Februar 1935) erstmalig angewandt wurde: Einzelne der Brunnen sind nämlich mit oberen Kappen abgeschlossen. In diese kann Druckluft eingeblasen werden, womit das Anschwimmen der schweren Kasten erleichtert wird und während des Absenkvorganges die Möglichkeit einer gewissen Regulierung besteht.

Pfahlgründung

Eine der häufigst angewandten Gründungsmethoden unter den verschiedensten Verhältnissen ist die Pfahlgründung. Dabei wird besonders bei Brückenbauten darauf geachtet, die Pfähle auf eine Schicht tragfähigen Baugrundes zu stellen. Rein schwimmende Pfahlgründungen (nicht zu verwechseln mit Reibungspfählen) dürften sich gerade für die auf Setzungen empfindlichen Brückenbauten nicht eignen. Vor 3 Jahren habe ich vor der Schweizerischen Gesellschaft für Bodenmechanik und Fundationstechnik über «Neuere Pfahlgründungen» gesprochen (siehe SBZ 1961, H. 2, S. 13) und möchte mich deshalb nicht wiederholen, nur einiges ergänzen und anderes hervorheben.

Unter den verschiedenen Pfahlarten hat sich in den letzten Jahren der *Ortsbetonpfahl* besonderer Beliebtheit erfreut. Er wird in Normalausführung als Rammpfahl oder als Bohrpfahl ausgeführt nach verschiedenen Methoden der Schaffung des Hohlraumes und des Betonierens. Der Vorteil des gerammten Pfahles liegt in der verdichtenden Wirkung des umgebenden Bodens, soweit dieser durch das Rammen verdichtbar ist, was vornehmlich nur bei nicht bindigen Böden der Fall ist. Der gebohrte Pfahl hingegen kann zu einer leichteren Auflockerung des umgebenden Bodens und zu dessen Entspannung führen, was z. B. durch den Vergleich der entnommenen Bodenkubaturen mit den eingebrachten Betonkubaturen festgestellt werden kann (siehe z. B. *Muhs* Versuche mit Bohrpfählen, Teil I, 1959, Teil II, 1963). Er besitzt hingegen den Vorteil, einen sehr erwünschten, genauen Aufschluss über die durchfahrenen Bodenschichten zu liefern. Doch die Hauptsache bei allen Ortspfählen ist ausser einem gutüberdachten Entwurf (Beachtung allfälliger Biegebeanspruchungen und negativer Mantelreibung) die ge-

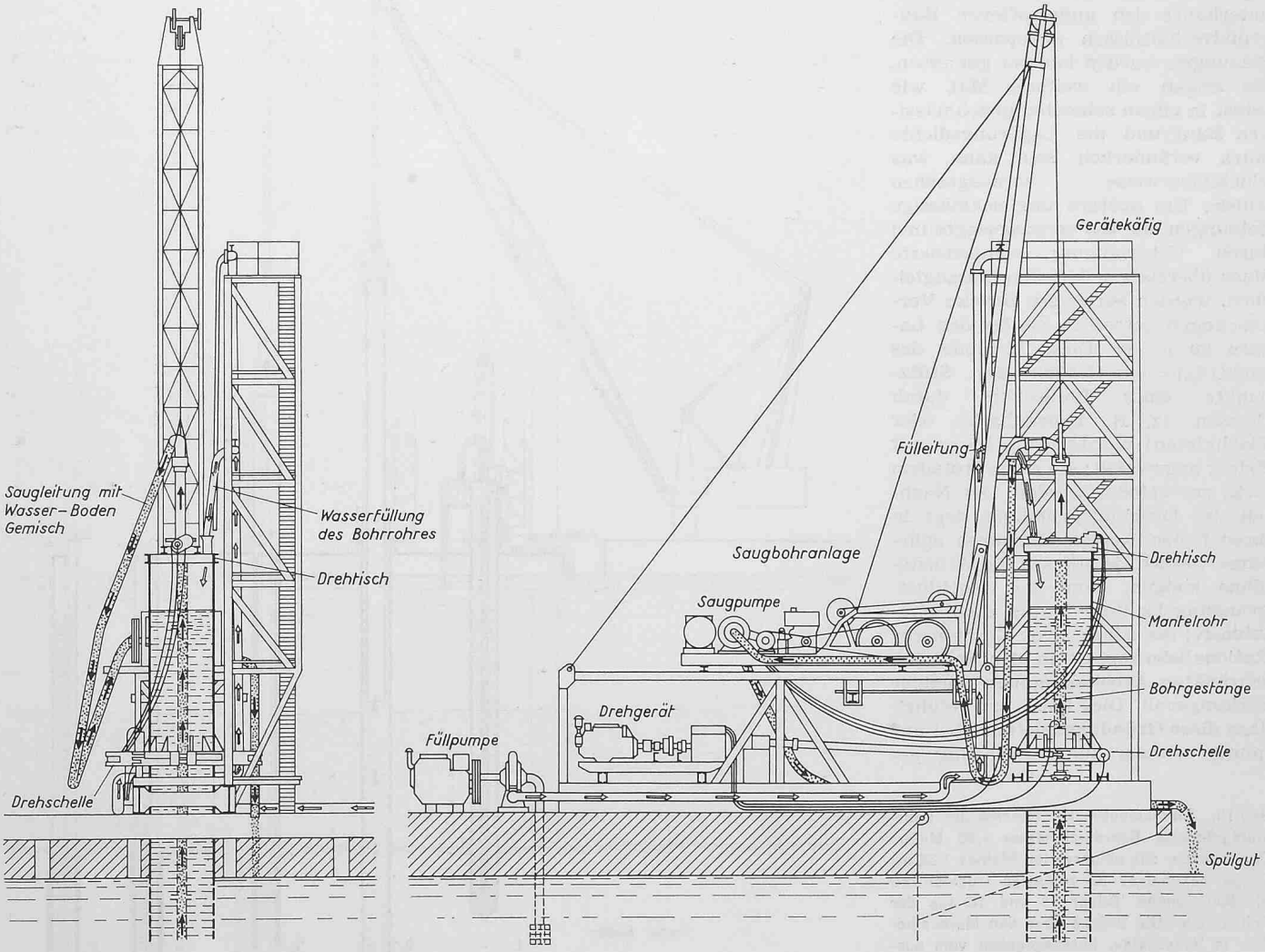


Bild 16. Maracaibobrücke. Bohranlage bestehend aus Drehvorrichtung System Bade und Saugbohrer für Aushub System Salzgitter

wissenhafte, sorgfältige Ausführung, um zu verhindern, dass im Pfahle Unstetigkeiten, Risse, Einschnürungen, ja Unterbrüche entstehen, die jede sichere Uebertragung von Lasten illusorisch werden lässt. Die Bilder 9 bis 13, eine kürzlich erstellte Pfahlgründung betreffend, legen kommentarlos Zeugnis ab von dem Gesagten und könnten leider durch andere Beispiele erweitert werden. Bei Pfahlgruppen, insbesondere dann, wenn die Pfähle nahe beieinander liegen, ist bei Rammpfählen auf das Hochsteigen bereits fertiger Pfähle durch das Rammen der neuen Pfähle zu achten. In solchen Fällen, wie vorsichtshalber übrigens bei allen Ortspfählen, sind Bewehrungen unbedingt notwendig. Je nach den Verhältnissen sind dabei überhaupt keine Ramm-, sondern nur Bohrpfähle zu verwenden.

Zur Uebertragung grösserer Lasten und bei Vorhandensein gut tragfähiger Schichten wird in immer weitgehenderem Ausmass der grosskalibrige Pfahl verwendet. Bis zu einem gewissen Gewicht und sofern das notwendige grosse Rammgerät mit einem 15-t- bis 20-t-Bär vorhanden ist, können solche Pfähle aus hohlen, vorgespannten Stahlbetonzylindern hergestellt werden, wie ausländische Ausführungen zeigen. Meist wird aber zu *grosskalibrigen Bohrpfählen* gegriffen, wobei die Bohrlochwandungen entweder mit einem Stahlrohr verkleidet oder durch die Wirkung einer thixotropen Flüssigkeit im Bohrloch vor dem Einstürzen bewahrt werden. Im engeren Brückenbau wurde diese Gründungsart in grösserem Umfange nach dem Kriege meines Wissens durch die Entreprises Boussiron bei der Strassen- und Bahnbrücke in Abidjan zum ersten Male angewandt.

Wie hoch darf solch ein Pfahl belastet werden? Die strenge Beantwortung dieser wichtigen Frage ist heute noch nicht möglich, man wird, vorläufig wenigstens, mit den aus der Bodenmechanik bekannten Methoden rechnen müssen, wie sie kurz zusammengefasst in meinem oben zitierten Vortrag und auch in jenem vom Jahr 1962 dargestellt wurden. Dabei muss, wie damals schon, auf einen wichtigen und oft nicht beachteten Umstand hingewiesen werden, der durch die neuesten Untersuchungen von Prof. M. Kérisel (siehe «Annales de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics», 1962) voll bestätigt wird. Eingehende Versuche im Laboratorium und im Felde zeigen, dass der spezifische Spitzenwiderstand in einem nicht bindigen Boden mit zunehmender Grösse des Pfahlquerschnittes stark abnimmt. Auf Bild 14 ist der spezifische Spitzenwiderstand in kg/cm² als Funktion des Ueberlagerungsdruckes in t/m² aufgetragen, und als Parameter sind die Durchmesser der Pfähle eingeführt. Daraus ist aber auch umgekehrt zu schliessen, dass aus den an kleinen Versuchsgeräten, wie sie unter den verschiedensten Namen gebraucht werden, gemessenen Spitzenwiderständen keinesfalls auf den bei der Grossausführung auftretenden Widerstand geschlossen werden darf, es sei denn, es liege eine genügend grosse Zahl von Vergleichswerten, tatsächlich gemessenen, vor, die eine zutreffende Korrelation erlauben.

Die Pfahlprobebelastung bleibt, vorläufig wenigstens, die einzige zuverlässige Grundlage zur Bestimmung der Tragfähigkeit eines Einzelpfahles und muss deshalb trotz des erheblichen Kostenaufwandes bei jeder wichtigen Pfahlgründung verlangt werden. Pfeiler und Widerlager benötigen fast immer mehrere Pfähle. Es ist bekannt, dass die Tragfähigkeit einer Pfahlgruppe oder besser gesagt die Sicherheit gegen zu grosse Setzungen meist kleiner ist als die Summe der Tragfähigkeiten der Einzelpfähle. Minimale Pfahlabstände vom dreifachen Pfahldurchmesser sind zu fordern und trotzdem ist mit einer Abminderung zu rechnen, für deren Abschätzung heute noch keine zuverlässigen Unterlagen vorliegen. Die Abminderung wird kleiner mit zunehmendem Pfahlabstand, sie ist ebenfalls kleiner in nicht bindigen als in bindigen Böden.

Als Beispiel für eine Gründung mit 1,50 bzw. 1,35 m im Durchmesser betragenden Bohrpfählen mit einer maximalen Länge von 57 m (Gewicht 110 t) im Sand und einer Belastung von rund 750 ÷ 800 t pro Pfahl soll als Abschluss meiner Ausführungen die Brücke über den See von Maracaibo gezeigt werden, die letztes Jahr dem Verkehr übergeben wurde. Eine Beschreibung der Brücke wurde durch Ing. H. Hofacker in der SBZ 1960, H. 42, S. 670, gegeben. Die Bilder 15 und 16 sind der sehr schönen Publikation «Die Brücke über den Maracaibo-See in Venezuela» entnommen, welche das ausführende Baukonsortium (unter der Federführung der Julius Berger AG., Wiesbaden) veröffentlicht hat.

Untersuchungen an einem Abluftsystem

DK 625.712.35:628.83

Ein Beitrag zur Aerodynamik der Tunnellüftung

Von **Jacques Kempf**, dipl. Masch.-Ing. ETH, Elektro-Watt, Zürich[1])

Einleitung

Der vorliegende Beitrag umfasst eine theoretische und experimentelle Untersuchung des Abluftsystems eines Autotunnels. Insbesondere wurde die strömungstechnische und konstruktive Ausführung der Absaugöffnungen bei einem Abluftkanal von konstantem Querschnitt und deren Einfluss auf die Druckverteilung im Kanal näher untersucht.

Durch die Absaugöffnungen, deren gegenseitiger Abstand l_a konstant ist, wird die verunreinigte Luft aus dem Verkehrsraum in den Abluftkanal übergeführt. Dabei werden alle Oeffnungen mit den gleichen Dimensionen hergestellt und mit einer Drosseleinrichtung versehen, die so einzustellen ist, dass über die ganze Lüftungsstrecke jede Oeffnung eine gleich grosse Luftmenge q_a absaugt. Es sind zwei Drosseleinrichtungen im Modell experimentell untersucht worden, nämlich eine erste nach Bild 3, wobei der Abluftstrahl unter einem Einströmwinkel $\alpha = 45°$ in den Kanal eingeleitet wird, und eine zweite nach Bild 4, bei der die Drosselung durch eine Haube mit verstellbarem Deckel zustandekommt und der Einströmwinkel α gleich null ist.

Die analytische Auswertung der Ergebnisse wird zeigen, dass für den gleichen Eintrittsquerschnitt f_a der Absaugöffnung die Drosselung mit Haube sich günstiger auswirkt, sowohl auf die Drosselverluste als auch auf den Druckverlauf im Abluftkanal.

In Anlehnung an den Expertenbericht [1] und die Arbeit von *A. Haerter* [2] wird der Druckverlauf für einen langen Abluftkanal mit vielen Absaugöffnungen, welche mit einer der beiden Drosselvorrichtungen versehen sind, neu untersucht. Aus einer theoretischen und experimentellen Untersuchung des Druckumsetzungskoeffizienten k_a geht hervor, dass die Differentialgleichung für den Druckverlauf im Abluftkanal nach Expertenbericht [1] weiterhin anwendbar ist. Schliesslich werden für die beiden Ausführungsvarianten der Absaugöffnungen die notwendigen Berechnungsgrundlagen für die Einstellung der Drosselquerschnitte f_a^*/f_a längs der Lüftungsstrecke geschaffen.

Bezeichnungen

Strömungsgrössen:

ρ	Luftdichte	kg · s²/m⁴
ν	kinematische Zähigkeit	m²/s

Abluftkanal:

F_a	Querschnitt des Abluftkanals	m²
L_a	Länge des Abluftkanals	m
x	laufende Koordinate	m
ξ	dimensionslose Koordinate $\xi = x/L_a$	

[1]) Die vorliegenden Untersuchungen wurden vom Verfasser am Institut für Aerodynamik der ETH durchgeführt.