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

Band: 2 (1936)

Artikel: Anwendung des Stahles im Wasserbau, feste Anlagen

Autor: Agatz, A.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-2751

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 16.07.2025

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

VII b 1

Anwendung des Stahles im Wasserbau, feste Anlagen.

Application de l'acier en construction hydraulique, installations fixes.

Use of Steel in Hydraulic Structures, Fixed Plants.

Dr. Ing. A. Agatz,
Professor an der Technischen Hochschule Berlin.

Die Behandlung des Themas „Stahl im Wasserbau" auf einem Internationalen Kongreß für Brückenbau und Hochbau mag zunächst etwas befremden. Überlegt man sich jedoch, daß der Baustoff Stahl bei der Gründung von Brücken und Hochbauten eine bedeutende Rolle spielt, so ist es verständlich, daß sich der Kongreß auch mit diesen Fragen befassen muß. In erster Linie sind es die in meinem Referat behandelten festen Anlagen, die in unmittelbarem Zusammenhang mit Brücken und Hochbauten stehen, und zwar vor allem Spundwände als modernes Universalmittel zur Herstellung von Pfeiler- und anderen Gründungen, sodann aber auch die anschließend beschriebenen Stahlpfähle sowie die anderen Grundkörper. Da jedoch die Erfahrungen, die mit Stützbauwerken aus Stahl gemacht worden sind, bedeutend zahlreicher und interessanter sind als die an Pfeilern festgestellten Beobachtungen, wird im Folgenden häufig von Stützbauwerken die Rede sein. Jedoch kann darauf hingewiesen werden, daß die Übertragung der Beobachtungen und Erfahrungen an diesen Bauwerken auf Pfeiler- und andere Grundkörper aus Stahl unschwer vollzogen werden kann.

1. *Das physikalische und chemische Verhalten des Baustoffes Stahl.*

Da die Baustoffe Holz und Eisenbeton bei ihrer Verwendung für Wasserbauten nicht in allen Fällen die erforderliche physikalische und chemische Widerstandsfähigkeit aufweisen, ging man in Deutschland vor etwa 30 Jahren erst zögernd, dann seit 1920 in immer stärkerem Maße dazu über, den Stahl heranzuziehen. Man glaubte, mit dem Einsatz dieses Baustoffes die auftretenden Angriffe in erheblichem Maße verringert und damit dem Wasserbau einen Baustoff gegeben zu haben, der wie kein anderer für dessen Zwecke geeignet ist. Man übersah jedoch noch nicht, in welchem Umfange auch der Stahl in der Luft, im Wasserwechsel, im Wasser und im Boden physikalischen und chemischen Angriffen unterliegt.

Nachdem nun die Erfahrungen fast eines Menschenalters vorliegen, ist es an der Zeit, die theoretischen Überlegungen und die Erfahrungen in den Ver-

suchsanstalten mit den Beobachtungen an fertigen Bauwerken zu vergleichen und daraus Schlüsse über die weitere Verwendungsfähigkeit und Verbesserung des Baustoffes zu ziehen. Die Schwierigkeit in den gestellten Anforderungen liegt auch für den Stahl darin, daß der Baustoff in den meisten Fällen vier verschiedene Zonen durchstößt, von denen jede ihre eigenen physikalischen und chemischen Angriffskräfte birgt, und darin, daß die verschiedenen Stahlsorten sich je nach der Zusammensetzung des Bodens und des Wassers verschieden verhalten. Es ist aber zu fordern, daß der Baustoff sich nach Möglichkeit in sämtlichen Abschnitten (Luft, Wasserwechsel, Wasser und Boden) in gleicher Weise widerstandsfähig erweist. Die Beobachtungen zeigen jedoch, daß dieses Ziel bisher noch nicht erreicht worden ist. Es erscheint bislang grundsätzlich noch nicht die Möglichkeit zu bestehen, ein und denselben Baustoff den verschiedenen Verhältnissen in den vier Zonen völlig anzupassen.

In der Luft wirken vorwiegend Sauerstoff, gegebenenfalls industrielle Gase und atmosphärische Einflüsse. Der Angriff auf den Baustoff vollzieht sich vorwiegend in der Form von Korrosion.

Im Wasserwechsel findet eine verstärkte Korrosion durch den hier erheblich stärkeren Anteil der Feuchtigkeit und die im freien Wasser vorhandenen angriffsfähigen Stoffe statt. Durch den Wasserwechsel und Wellenschlag wird der Sauerstoff in größerem Maße an den Baustoff herangeführt und dadurch die Reaktion bedeutend verstärkt. Dazu kommen mechanische Beanspruchungen durch den Schiffsverkehr, Eis u. a. m.

Zu beachten ist der Unterschied zwischen einem Wasserwechsel im Seewasser und Binnenwasser. Der Wasserwechsel im Seewasser weist umfangreichere Zerstörungen auf, weil er sich in dauernden, kurzen Abständen vollzieht (Gezeiten), der Wellenschlag intensiver ist, und der Salzgehalt des Seewassers sich ungünstig auswirkt. In den heißen Zonen spielt außerdem die Erwärmung des Wassers und des Baustoffes noch eine wesentliche Rolle.

Die Zerstörung des Baustoffes unter Wasser sollte in geringerem Maße zu erwarten sein. Das ist aber allgemein erst von einer gewissen Tiefe unterhalb des Wasserwechsels ab der Fall. Etwa die ersten 1 — 2 m unterhalb der Zone des Wasserwechsels weisen teilweise dagegen noch stärkere Zerstörungen auf als darüber und hier wiederum mehr in den heißen als in den gemäßigten Zonen.

Im Boden ist die Haltbarkeit des Baustoffes abhängig von der chemischen Angriffsfähigkeit des Bodens und des Grundwassers. Es gibt Bodenarten, in denen der Baustoff so gut wie gar nicht angegriffen wird. Ebenso kann es aber auch der Fall sein, daß Zerstörungen auftreten, deren umfassende Feststellung allerdings daran scheitert, daß man nur selten Gelegenheit hat, Spundwände nach langer Zeit wieder herauszuziehen.

2. *Die Zerstörungserscheinungen des Stahles und deren Abminderung.*

Eine mechanische Zerstörung derjenigen Stahlbauwerke, die in den Boden hineingetrieben werden, wie Spundwände und Pfähle, wird immer dann eintreten, wenn das gewählte Profil nicht im richtigen Verhältnis zu der Lagerungsdichte des Bodens und zu der gewünschten Rammtiefe steht. In solchen Fällen treten Zerstörungen am Kopf und am Fuß dieser Bauteile auf, die bis zu einer Zerstörung des Zusammenhanges der Wand führen können. Während die

im Boden befindlichen Teile der Pfähle und Spundwände dem Auge unsichtbar bleiben, kann der am Kopf auftretende Schaden durch Abbrennen beseitigt werden. Diese Maßnahme kann aber nur bis zu einer gewissen Grenze wiederholt werden, da sonst die erforderliche Rammtiefe nicht erreicht wird. Die Rammung kann an der Zerstörung des Stahles im Grund- und Wasserbau einen erheblich größeren Anteil haben als der endgültige Betriebszustand, wenn das obige Grundgesetz nicht beachtet wird.

Zur mechanischen Zerstörung gehört noch die Abnutzung infolge der Bewegung des Wassers. Stahlbauwerke, die in stehenden Gewässern errichtet sind, werden eine größere Lebensdauer zeigen als solche, die in fließendem Wasser stehen, wo die Strömung Sink- und Schwimmstoffe mit sich führt. Eine Zerstörung durch Quarzsandanteile wird z. B. frühzeitig eintreten. Wir kennen Fälle, wo bereits innerhalb von sieben Jahren Stahlspundwände in Höhe des Bodens an den am stärksten ausgesetzten Stellen durchgeschlissen sind. Der Sandschliff ist wohl der stärkste mechanische Angriff auf den Stahl, demgegenüber die Beanspruchung durch Eis- und Wasserschlag als geringfügig zu betrachten ist.

Die Abnutzung infolge des Verkehrs durch Schiffsstöße, durch An- und Ablegen der Fahrzeuge hängt in sehr starkem Maße von der Durchbiegung des Bauwerkes im Betriebszustand und dessen Schutz durch Fender usw. ab. Es ist kein Fall bekannt geworden, wo diese Abnutzung eine Größe erreicht hat, die eine Erneuerung der Anlage oder ihrer Einzelglieder erforderte. Jedoch soll man sich über diese Beanspruchung vorher Klarheit verschaffen und die Konstruktion so anordnen, daß weichere Baustoffe wie beispielsweise Holz, Rohr oder Faschinenbündel als Fender zum Auffangen größerer schädlicher Kräfte angeordnet werden.

Zerstörungen infolge der Witterung (Niederschläge und hohe Temperaturunterschiede) kommen in unseren Gegenden weniger in Betracht.

Für die Lebensdauer der Stahlbauwerke gefährlicher sind die chemischen Zerstörungen, insbesondere die Korrosion in den einzelnen Zonen. Die bislang in Deutschland gemachten Erfahrungen weichen so stark voneinander ab, daß es bisher noch nicht gelungen ist, alle Erscheinungen auf einen einheitlichen Nenner zu bringen, obwohl gerade die Korrosion auf Tagungen und in Veröffentlichungen sehr ausführlich behandelt worden ist, und sich eine sehr ausgedehnte Literatur über diese Frage vorfindet. Ich kann es mir daher versagen, auf diesen Gegenstand näher einzugehen, möchte jedoch darauf hinweisen, daß es wegen der Korrosion auch heute noch unmöglich ist, mit Sicherheit die Lebensdauer von Stahlbauwerken anzugeben, da die Abrostungsziffern, die gelegentlich von einzelnen Werken der Öffentlichkeit zugänglich gemacht werden, sehr starke Unterschiede aufweisen. Das ist nicht zu verwundern, da die Bauwerke unter den verschiedensten Verhältnissen beobachtet worden sind, und gerade die Korrosion in sehr starkem Maße von der Zusammensetzung des Wassers, der Luft und des Bodens sowie von der Temperatur abhängig ist. Es gibt Gegenden in Deutschland, die deswegen eine raschere Zerstörung des Stahles begünstigen, während an anderen Stellen ohne allzu ersichtliche und chemisch feststellbare Unterschiede in der Zusammensetzung des Wassers die Lebensdauer des Stahles ein Vielfaches von dem dortigen Maß beträgt.

Ich darf dabei auf die Erfahrung hinweisen, daß durchgehende Stahlwände weniger dem Abrosten unterliegen als einzelne im Wasser stehende Pfähle. Bei diesen ist z. B. an einer Stelle der Nordseeküste innerhalb von 20 Jahren eine Zerstörung des Stahles eingetreten, während eine danebenstehende Wand gleichen Querschnitts nach derselben Zeit eine zwar etwas verstärkte Abrostung zeigt, ohne daß die Konstruktion aber als baufällig zu bezeichnen ist.

Ohne Zweifel spielt die Zusammensetzung des Stahles eine wesentliche, aber noch nicht völlig geklärte Rolle.

Auf Grund der Untersuchungen einzelner Behörden kann man die *unterste* Grenze der Lebensdauer von Stahlpfählen und -spundwänden unter dem Einfluß der Korrosion bei normalen Verhältnissen auf mindestens 60 Jahre schätzen, ein Maß, das in Anbetracht der verkehrswirtschaftlichen Lebensdauer derartiger Anlagen in jeder Beziehung als ausreichend angesehen werden muß. Ich darf jedoch darauf hinweisen, daß die obere Schätzungsgrenze sich bis auf mehrere hundert Jahre erstreckt, ein Maß, das natürlich einer wissenschaftlichen Prüfung nicht standhalten kann.

Nachprüfungen an einer verkehrswasserbaulichen Anlage an der Wesermündung ergaben nach achtjährigem Betrieb eine Abrostung der Stahlspundwand von 0,2 mm.

Eine Art von Zerstörung, die nicht zu gering eingeschätzt werden darf, ist die Elektrolyse. Die Vorbedingung für das Entstehen elektrolytischer Vorgänge im Stahlbau ist die Verwendung von Baustoffen verschiedener Zusammensetzung (es kann gegebenenfalls die Verwendung verschiedener Stahlsorten genügen, nicht etwa verschiedener Metalle) unter Hinzutreten von Feuchtigkeit. Dieses Gebiet wird in Zukunft noch sehr weitgehend bearbeitet werden müssen, damit man vor Schäden geschützt ist.

Wie bereits in der Einleitung angedeutet ist, lassen sich über die Häufigkeit des Auftretens der Zerstörungen nur bedingt Angaben machen. Jedoch wird gewöhnlich der Sitz der Zerstörung entweder in der Zone des Wasserwechsels oder einige Meter darunter zu suchen sein. Von den Zerstörungserscheinungen sind die Korrosion und die Rammbeschädigung die häufigsten und gefährlichsten.

Die Ursachen größerer Zerstörungen lassen sich aus dem vorher Gesagten leicht ableiten. Ihre Bedingungen lassen sich bislang durch menschliche Maßnahmen noch nicht genügend beeinflussen. Sie müssen vorerst als gegeben hingenommen werden, und das Bestreben des Ingenieurs muß darauf hinauslaufen, eine Verminderung der Zerstörungen auf anderem Wege zu erzielen.

Hier ist zunächst das Vorhandensein oder die Entfernung der Walzhaut von Bedeutung. Die Walzhaut ist ein unvermeidbarer Übelstand des Walzvorganges, da sie keine zuverlässige Verbindung mit dem darunter liegenden Stahl mehr besitzt. Sie neigt daher leicht zum Abspringen, sobald ein Keil zwischen sie und den Baustoff tritt. Man hat die Möglichkeit, sie durch Sandstrahlgebläse zu entfernen. Jedoch wird man sich im Wasserbau in der vorwiegenden Zahl von Fällen damit abfinden, die Walzhaut an dem Baustoff zu belassen.

Die Maßnahmen, die gegen die geschilderten Zerstörungen ergriffen werden können, liegen in der Zusammensetzung des Stahles, im äußeren Anstrich, in Metallüberzügen, in Einbetten in Beton und in der äußeren Formgebung. Von allen sollte man den bisher mit Erfolg beschrittenen Weg der inneren Ver-

besserung des Baustoffes bevorzugen. Auch wenn mit dem Zusatz von Kupfer die ursprünglich auf Grund von Laboratoriumserfahrungen gehegte Hoffnung sich in der Praxis nicht überall gleich erfüllt hat, ist doch in vielen Fällen durch die richtige Bemessung des Zusatzes eine größere Widerstandsfähigkeit des Stahles erzielt worden, die sich zum mindesten beim Rammen günstig auswirkt. Die Erfahrungen, die man mit hochwertigen Stählen im Betriebszustand gemacht hat, weisen allerdings nicht überall auf eine uneingeschränkte Zweckmäßigkeit dieser Beimengungen hin.

Die Erfahrungen sind in Deutschland sowohl wie in England unter sich sehr uneinheitliche. Während man in England an einer Stelle festgestellt hat, daß gewöhnlicher Stahl am stärksten bei völligem Eintauchen in sehr salzigem Wasser und am wenigsten beim völligen Eintauchen in Brackwasser korrodiert, rostet Chromstahl leichter über Wasser als unter Wasser. Er zeigte sich jedoch im ganzen als überlegen. An einer anderen Stelle stellte man dagegen sehr starke örtliche Anfressungen beim Chrom-Nickel-Stahl fest und mußte die Erfahrung machen, daß durch Kupfer keine Verbesserung erzielt werden konnte.

Der Schluß, den man aus den in England gemachten Erfahrungen ziehen kann, läuft darauf hinaus, daß der Kohlenstoffstahl anscheinend in der Luft der überlegene ist, während der "wrought iron" (Schmiedestahl) im Wasserwechsel und unter Wasser den größeren Widerstand geleistet hat. Merkwürdigerweise bringt ein Zusatz von Kupfer zwar größeren Widerstand gegen Luft- und Süßwasserkorrosion, aber nicht gegen Korrosion im Wasserwechsel und unter Wasser an der See. Das Gleiche kann auch von Chromstahl und Nickelstahl gesagt werden.

Interessant sind die Auswirkungen der Elektrolyse beim Zusammenbringen verschiedener Stahlsorten im Seewasser. Die hierbei auftretenden Vorgänge schützen den Stahl 37 auf Kosten von Schmiedestahl und den Chrom- bezw. Nickelstahl auf Kosten des Kohlenstoffstahls. Es wird also jeweils der Baustoff größerer Güte auf Kosten des Baustoffes geringwertigerer Zusammensetzung geschützt.

Die Verwendung äußerer Anstriche zum Schutz von Stahlbauten[1] kann sich eigentlich nur auf den der Luft zugekehrten Teil beziehen. Für Teile, die unter Zwang in den Boden hineingepreßt werden, sollte der Anstrich abgelehnt werden, da er beim Einrammen bestimmt teilweise zerstört wird. Man muß sich ferner darüber klar sein, daß der äußere Anstrich einer laufenden Unterhaltung bedarf. Die hier aufgewendeten Kosten sind zu der verkehrswirtschaftlichen Lebensdauer der Anlage in Beziehung zu bringen. Einen vollkommenen Schutz ohne weitere laufende Unterhaltung bietet kein einziger zurzeit auf dem Markt befindlicher Anstrich. Die Behauptung der Hersteller, daß es möglich sei, auch bei Rammung durch scharfen Sand den Anstrich unbeschädigt in den Untergrund einzubringen, kann nur als theoretische Feststellung gewertet werden.

Hingegen sind die Metallüberzüge (Zink oder Blei) von außerordentlichem Wert und lassen eine Abnutzung durch Korrosion nicht in Erscheinung treten. Da diese Überzüge aber sehr teuer sind, kommen sie nur für Einzelkonstruk-

[1] Vgl. auch die Ausführungen von Herrn Ministerialrat *Burkowitz*.

tionsteile wie Steigeleitern, Haltekreuze, Halteringe, Kantenschutzeisen usw. in Frage, aber nicht für Spundwände und Pfähle.

Auch das nur schwache Einbetonieren von Stahlpfählen und Spundwänden bietet keinen dauerhaften Schutz, weil bekanntermaßen der Beton an Eisen mit großen Flächen nur schwer haftet.

Die äußere Formgebung der Wände kann bei dem Angriff von Wellenschlag, Strömungen und Sandschliff wesentlich zur Verminderung der Schäden beitragen. Es sind daher Profile ausgebildet worden, die eine möglichst ebene Fläche gewährleisten, um Wirbelbildungen und damit auftretende Reibungsflächen zu vermeiden.

Es fragt sich nun, wieweit die geschilderten Maßnahmen zur Verringerung der Zerstörungen dazu beitragen, im Wasserbau die vorhandenen Stahlquerschnitte voll in Rechnung setzen zu können, d. h. wieweit es gerechtfertigt ist, beim Entwurf des Bauwerkes die vorhandenen Abmessungen der Stahlteile der Berechnung zugrunde zu legen. Hierüber lassen sich einheitliche Regeln nicht geben. Man wird nicht immer ohne Abzüge für das Abrosten des Bauwerkes auskommen, besonders wenn an der betreffenden Örtlichkeit Erfahrungen über verstärkte Angriffe auf den Stahl vorliegen. In Deutschland sind dies allerdings bislang erfreulicherweise nur vereinzelte Stellen, und zwar hauptsächlich an der Küste. In allen übrigen Fällen sollte meines Erachtens keine Veranlassung bestehen, beim Baustoff Stahl mit verminderten Beanspruchungen zu rechnen, um die Lebensdauer des Stahles anscheinend dadurch heraufzusetzen. Ich würde dieses sogar als eine nutzlose Verschwendung von Baustoff bezeichnen.

3. *Die Entwicklung der Anwendung des Stahles im Wasserbau.*

Wenn man berücksichtigt, daß der Baustoff Stahl vor 30 Jahren in Deutschland für unbewegliche Anlagen hauptsächlich nur für Ausrüstungsteile von verkehrswasserbaulichen Anlagen wie Poller, Steigeleitern, Haltekreuze, Halteringe, Kantenschutz, Anker u. a. m. verwendet wurde, so hat heute die Anwendung des Stahles in Gestalt von Spundwänden in solchem Maße zugenommen, daß für derartige Bauten mehr Stahl als Holz und Eisenbeton verwendet wird. Die Erzeugung ist in Deutschland auf schätzungsweise mehr als rd. 200000 t im Jahr gestiegen. Folgende Umsatzzahlen eines großen deutschen Werkes geben einen Anhalt für die zunehmende Verwendung von Stahl für Wasserbauten (bezogen auf den Wert in *RM*):

1910: 100	1925: 196	1928: 1183	1932: 373
1915: 130	1927: 855	1930: 790	1934: 1150

Auch Rammstahlpfähle beginnen sich in den letzten fünf Jahren Eingang zu verschaffen und werden meines Erachtens noch weiter vordringen und Pfähle aus Holz und Eisenbeton zurückdrängen, wenn nicht der Eisenbeton für diese Anwendungsgebiete ebenfalls neue Wege geht.

4. *Die Anwendungsmöglichkeiten.*

Den vorwiegenden Anteil der Verwendung des Stahles im Grund- und Wasserbau bilden beim heutigen Stand der Dinge die Spundwandbauwerke, deren Verbreitung noch ständig zunimmt, da sie neben fertigen Bauwerken auch für

Bauausführungen z. B. als Abstützung von Baugruben Verwendung finden. Sie treten nicht nur in Wettbewerb mit dem Pfahlrost-, sondern auch mit dem massiv gegründeten Bauwerk (Druckluft- und Brunnengründungen).

Ihr Vorteil liegt in der Wirtschaftlichkeit, Bequemlichkeit und Schnelligkeit der Herstellung des Bauwerkes. Das Rammen bringt eine Ersparnis an Bodenaushub und Wasserhaltung mit sich. Dafür werden allerdings an die Spundwandstähle besondere Anforderungen gestellt, die man kurz zusammenfaßt als hohe Werte der Streckgrenze, Dehnung, Kerbzähigkeit, des Korrosionswiderstandes und des Verschleißwiderstandes bezeichnen kann. Diese Werte weichen bei den verschiedenen handelsüblichen Stahlsorten voneinander ab, lassen sich jedoch für ein und dieselbe Stahlsorte durchaus nebeneinander entwickeln. Von den verschiedenen Spundwandwerken sind Sonderstähle geliefert worden, die alle in sich ähnlich und wohl als gleichwertig zu bezeichnen sind.

Man wird auf diese hochwertigen Stahlsorten jedoch nur in Ausnahmefällen zurückgreifen und im allgemeinen sich mit der Anwendung des normalen Baustahles begnügen. Dadurch, daß bei seiner Verwendung die Profile stärker ausfallen als bei der Wahl hochwertiger Stahlsorten mit größeren zulässigen Beanspruchungen, weist das Spundwandbauwerk eine geringere Durchbiegung auf. Ferner wird die für manche Fälle größere Anfälligkeit gegen Korrosion zum Teil dadurch wieder ausgeglichen, daß bei der größeren Stahlmenge des Bauwerkes eine Abrostung von 1—2 mm das Profil prozentual doch in geringerem Maße schwächt, als dies bei den dünnwandigen Profilen des hochwertigen Stahles der Fall ist. Ferner kann ein größeres Trägheitsmoment bei langen Spundwänden für den Rammvorgang von Vorteil sein, da die auftretenden Spannungen beim Einbringen in den Boden, insbesondere die Knickkräfte und Schwingungen verringert werden. Manchmal wird es sich trotzdem nicht umgehen lassen, von hochwertigen Stahlsorten Gebrauch zu machen, insbesondere wenn der Baustoff sehr stark auf Kerben beim Rammen und auf einen starken Verschleiß beansprucht wird.

Aus den im zweiten Abschnitt dargestellten Überlegungen geht hervor, daß über die zweckmäßige Zusammensetzung hochwertigen Stahles das letzte Wort noch nicht gesprochen ist. Vom wirtschaftlichen Standpunkt aus läßt sich überdies eine eindeutige allgemeine Entscheidung über den Vorzug des normalen oder hochwertigen Stahles nicht fällen.

Die Anforderungen an das Spundwandprofil sind folgende:

Ein hohes Widerstandsmoment bei geringem Gewicht, d. h. eine hohe Güteziffer. Eine geringe Durchbiegung, bedingt durch große Profilhöhe. Dichtigkeit der Wand, die im wesentlichen durch die Schloßform und die Schloßlage erzielt wird. Eine gute Schloßführung und eine geringe Verkantung und Drehung der Wand beim Rammen.

Betrachtet man die Verbreitung der einzelnen Spundwandprofile, so stellt sich heraus, daß die einschlossige und einwandige Wand rein zahlenmäßig den Markt beherrscht. Die einschlossige, zweiwandige Wand (Kastenprofil) und die zweischlossige, zweiwandige Wand (Peiner Profile) kommen nur für Bauwerke mit größeren Abmessungen in Frage, die aber bei den wachsenden Verkehrsanforderungen der letzten Jahre immer häufiger auftreten.

Der Vorteil der Wellenprofile gegenüber den zweiwandigen Profilen ist eine leichtere Anschlußmöglichkeit für die Konstruktionsteile und ein leichteres Rammen, da die Bodenverdrängung geringer ist und Hindernisse bis zu einem gewissen Grade umrammt werden können. Man wird daher bei Bauwerken wie Fangedämmen, die eine sehr starke innere Verstrebung und Versteifung erfordern, nach Möglichkeit versuchen, mit Wellenprofilen auszukommen, wenn man nicht auf den statisch klareren einwandigen Fangedamm zurückgreifen will, für den allerdings dann die doppelschlossige, zweiwandige Wand Vorteile bietet.

In den letzten Jahren hat man auch Versuche mit geschweißten Profilen verschiedenster Form gemacht, die für Bauausführung und Betrieb bei der in Deutschland hochausgebildeten Schweißtechnik den gewalzten Profilen gegenüber als vollwertig anzusehen sind. Ob sie sich Eingang verschaffen werden, wird von der Wirtschaftlichkeit abhängen. Es bleibt den Stahlwerken überlassen, hier neue Wege zu gehen.

Zu den Anforderungen an den Baustoff und an die Profile treten schließlich noch die Anforderungen an die fertige Wand. Die Ausführung eines Wasserbauwerkes in der Spundwandbauweise ist dadurch beschränkt, daß diese es gestattet, lediglich glatte Wände herzustellen, aber auch diese nur unter Zubilligung gewisser unvermeidbarer Abweichungen von der vorgesehenen Flucht. Man kann daher in dieser Bauweise nur solche Wände vorsehen, bei denen kleine Ungenauigkeiten keine große Rolle spielen. Ferner wird dadurch, daß die Wand von oben bis unten glatt durchgeht, und das nachträgliche Anbringen von Aussparungen nahezu unmöglich ist, das Bauwerk immer einen rohen blockartigen Charakter tragen. Es wird in vielen Fällen gelingen, durch Abschneiden der Spundwand über dem höchsten Wasserstand und Aufbringen einer Eisenbetonkonstruktion, deren Form feiner ausgearbeitet werden kann, einen Ausweg zu finden. Indessen wird die Spundwandbauweise Bauwerken, die eine größere Feinarbeit in ihrem Äußeren erfordern, verschlossen bleiben.

Wie vorher schon erwähnt, zeugt der gewaltige Umsatz der Stahlspundwände in Deutschland davon, daß sie bei den verschiedenartigsten Bauten Verwendung gefunden haben. Sie hier im einzelnen aufzuführen, erübrigt sich. Zu bemerken ist, daß es auf Grund der Erfahrungen bei Bauausführungen heute keine Schwierigkeit mehr bietet, Spundwände von 30—35 m Länge unter Beobachtung der erforderlichen Maßnahmen ungefährdet in den Untergrund einzutreiben. Bei den Peiner-Spundwänden haben wir Profilstärken, die theoretisch jede freie Höhe eines Geländesprunges sichern, wenn man nicht zu der aufgelösten Konstruktion einschlossiger Spundwände z. B. Stahlfangedämmen übergehen will.

Auch Versuche mit quergeschweißten Spundwänden, die unternommen wurden, um den Transport zur Baustelle zu vereinfachen, haben das gute Verhalten dieser Bohlen beim Rammen erwiesen. Hinzuweisen sei noch auf die von mir erstmalig verwendete Verstärkung von einschlossigen Spundwänden durch Aufschweißen von Flacheisenlamellen dort, wo das größte Widerstandsmoment erforderlich wird. Der bislang achtjährige Betrieb hat Nachteile noch nicht gezeigt.

Aus der Spundwandbauweise hat sich infolge der Forderung nach Aufnahme senkrechter Belastungen durch die Bohlen die Verwendung des Stahles auch für Pfähle entwickelt, nachdem man auf Grund von Belastungsversuchen von ein- und zweischlossigen Spundwänden ihre hohe Brauchbarkeit für diesen Zweck

festgestellt hatte. Die Anforderungen, die an den Stahl für Pfähle gestellt werden, sind dieselben wie die an Spundwände. Die Anforderungen an das Profil des Stahlpfahles sind folgende:

Bei Pfählen, die nicht durch Rammung, sondern durch Einschrauben in den Boden gebracht werden, muß das Profil so ausgestaltet werden, daß einmal der nötige Stützwiderstand, durch den die Tragfähigkeit des Pfahles bedingt ist, im Boden erzeugt wird, und außerdem die Pfähle beim Einbringen möglichst unempfindlich gegen Steine und andere sperrige Stoffe im Untergrund sind. Daraus ergeben sich gewisse Anforderungen an die Breite und den Gang des Gewindes. Diese Art von Stahlpfählen hat allerdings in Deutschland kaum Verwendung gefunden, da sie bei unseren Bodenverhältnissen nur einen zweifelhaften Erfolg haben würde. Sie ist dagegen in abgelegenen Gegenden wie in den Tropen häufiger anzutreffen, da hier das Heranschaffen neuzeitlicher Baugeräte mit Schwierigkeiten verknüpft ist.

Im Gegensatz zu den Schraubpfählen haben sich die Rammpfähle in Deutschland in den letzten Jahren eingeführt. Wir stehen hier noch am Anfang einer Entwicklung, denn der zahlenmäßige Verbrauch von solchen Pfählen ist bisher nur gering gewesen. Man muß von den Profilen der Rammpfähle fordern, daß sie eine große Reibung zwischen Pfahl und Erde gewährleisten, ohne daß der Rammwiderstand deswegen unüberwindlich groß wird. Ferner wird ein ausreichender Pfahlquerschnitt nötig sein, damit die Tragfähigkeit nicht durch die zulässige Beanspruchung des Baustoffes beschränkt wird. Das Profil muß über ein genügend hohes, möglichst allseitig gleiches Trägheitsmoment verfügen, damit der Pfahl sowohl beim Einbringen als im Betriebszustand die nötige Knicksicherheit aufweist. Damit der Pfahl seine vorgesehene Lage im Untergrund wenigstens annähernd erreicht, muß das Profil gegen das Abbiegen in der Erde beim Rammen genügend biegungssteif sein.

Man ist hinsichtlich der Ausbildung von Stahlpfählen zwei verschiedene Wege gegangen. Auf dem einen versucht man, die Tragfähigkeit des Pfahles weniger durch die Mantelreibung von Boden auf Stahl als durch einen großen Spitzenwiderstand zu erzielen, wobei aber wegen des großen Rohr- oder Kastenquerschnittes beim Rammen beträchtliche Bodenmengen verdrängt werden müssen, wenn man ihn nicht einspült und die dann eintretenden Nachteile in Kauf nimmt.

Auf andere Weise erzielt man die Tragfähigkeit in erster Linie durch Mantelreibung von Boden auf Boden, indem man beim Rammen den Boden künstlich so fest in die Flanschen der I-förmigen Pfähle hineinpreßt, daß dieser Druck größer ist als die Reibung von Boden auf Stahl. Diese Pfähle haben den Vorteil, daß sie im unteren Teil verhältnismäßig schmal sind und den Boden nur wenig verdrängen.

Die erstere Art von Pfählen findet sich in der Form von Rohren oder Spundwandkästen, die mit oder ohne Bodenfüllung bezw. künstlichen Spitzen gerammt werden. Da sich der Boden jedoch bereits nach kurzem in das Profil verspannt, spielt es für den Rammwiderstand kaum eine Rolle, ob der Pfahl unten einen Betonpfropfen besitzt oder nicht. Man kann also dessen Einbringen als überflüssige Vorsicht und unwirtschaftlich bezeichnen.

Lediglich bei stark aggressiven Gewässern hat man die gesamte Erdfüllung des Pfahles nachträglich ausgespritzt und durch Beton ersetzt. Man behält

beim Abrosten der Stahlteile später einen Betonpfahl übrig, in den man bei Bedarf vorher auch noch Eisen einlegen kann.

Die offenen Profile bestehen aus Doppel-T-Trägern ohne Wulst (Flacheisenspitze), die eine verhältnismäßig geringe Tragfähigkeit aufweisen. Aus diesem Grunde hat man den Doppel-T-Träger mit einem Wulst versehen, der bei richtiger Lage und Länge die Tragfähigkeit des Druck- und Zugpfahles erheblich heraufsetzen kann.

Zweckmäßiger als Doppel-T-Träger ist die Verwendung von Breitflanschprofilen mit oder ohne Wulst. Verwendet man Peiner Spundbohlen, so wird man beim Zusammenrammen mehrerer Einzelbohlen Pfähle erhalten, bei denen die Anbringung von Wulsten innerhalb sich erübrigt, da der Boden sich zwischen den einzelnen Flanschen sehr schnell einpreßt. Man erhält hier eine Zwischenkonstruktion zwischen geschlossenen und offenen Profilen.

Weitere offene Profile sind U- oder Z-Spundbohlen, die man einzeln oder zusammengesetzt rammen kann. Hier ist bisher auf die Anbringung eines Wulstes verzichtet worden, da man diese Querschnitte meist dann verwenden wird, wenn die senkrechte Beanspruchung eine Teilbeanspruchung ist, und die hauptsächlichen Kräfte wagrecht auftreten.

Geschweißte Träger sind als Stahlpfähle noch nicht in Erscheinung getreten. Jedoch scheint gerade diesen ein großes Feld der Anwendung offen zu liegen, da ihre Anpassungsfähigkeit an die besonderen Anforderungen des Rammpfahles eine sehr viel größere ist als die der gewalzten Profile.

Die Tragfähigkeit, die man bisher durch die Versuche mit den verschiedenen Pfahlarten festgestellt hat, ist im Vergleich zu den Holzpfählen sehr hoch, zu den Eisenbetonpfählen fast gleich. Dabei lassen sich große Unterschiede zwischen den offenen und geschlossenen Profilen nicht nachweisen. Die Erfahrungsmaße, die man für Druckpfähle erhalten hat, schwanken bei Sandboden zwischen 80 und 120 t, bei einer Einsenkung von max. 2—8 mm für Wulstpfähle. Die Belastung von Peiner Doppelbohlen in der Wand hat eine Tragfähigkeit von rd. 300—350 t bei 15—20 mm Eindringung ergeben. Versuche über den Widerstand von Zugpfählen liegen nur sehr spärlich vor, so daß daraus noch kein Urteil über den Zugwiderstand von Stahlpfählen gebildet werden kann. In Bremen wurden 70—80 t bei einer bleibenden Hebung von 3—4 mm festgestellt.

Die Anwendung von Stahlpfählen im Großen hat sich bisher auf Verstärkung von Kaimauern in Hamburg und Bremen erstreckt.

Die Erfahrung hat aber gezeigt, daß man offene Piers nicht aus Stahlpfählen bauen soll, da sie der Korrosion zu starke Angriffsflächen bieten. Man sollte sie daher durch eine Spundwand umschließen und mit Boden umgeben.

Seit langem werden Stahlmäntel für Eisenbetonpfähle dann verwendet, wenn der Eisenbetonpfahl durch aggressive Bodenschichten hindurchgeführt werden muß, und wenn es sich um Sonderkonstruktionen wie Rohr- und Preßpfähle handelt, wo das Rohr wieder gezogen wird. Besondere Anforderungen werden hierbei an den Stahl nicht gestellt. Große Neuerungen sind auf diesem Gebiete nicht zu verzeichnen.

An Stelle von Eisenbeton und Mauerwerk verwendet man bei Brunnen ebenfalls Stahl, wenn es sich um Abtäufen durch aggressive Wasser- und Boden-

schichten handelt. Die Ausführung von Brunnen in Stahl ist jedoch außerordentlich selten gegenüber der Ausführung in Beton.

Desgleichen steht die Verwendung von Stahlcaissons hinter der von Eisenbeton zurück, da der Stahl mit Betonfüllung nur selten die genügende Wirtschaftlichkeit für diese Bauweise aufweist. Man wird ihn verwenden, wenn infolge von ungünstigem Baugrund sehr starke Beanspruchungen an den Baustoff gestellt werden, die sich vorher nicht übersehen lassen. Im Betrieb zeigen die Stahlcaissons keine Nachteile, wie die großen Bauausführungen deutscher Firmen im In- und Auslande bewiesen haben.

Zum Schluß sei noch auf einige Ausrüstungsgegenstände für Verkehrswasserbauten in Stahl hingewiesen, auf die ich vorher schon kurz eingegangen bin. Es handelt sich hier hauptsächlich um Poller, Steigeleitern, Haltekreuze, Halteringe, Kantenschutzeisen u. a. m.

Die Anforderungen an den Stahl liegen hier vor allem in einer sehr großen Verschleißfestigkeit. Da es sich stets um geringe Mengen Stahl handelt, kann man die Zusammensetzung des Baustoffes hochwertiger gestalten, als dies bei den großen Massen der anderen Wasserbauwerke der Fall ist.

Bei Eckverkleidungen ist immer darauf zu achten, daß eine möglichst einwandfreie Verankerung im Mauerwerk bezw. Beton vorhanden ist, da infolge des Schwindens des Betons und der stärkeren Ausdehnung sich zwischen Stahl und Beton eine Fuge einstellt.

5. *Entwicklungsmöglichkeiten.*

Wie die unter 3 mitgeteilten Ziffern über den Umsatz bereits gezeigt haben, hat die Verwendung von Stahl im Grund- und Wasserbau in den letzten $1^1/_2$ Jahrzehnten einen gewaltigen Aufschwung genommen. Das ist unzweifelhaft darauf zurückzuführen, daß die Werke alles daran gesetzt haben, den Baustoff zu verbessern und die Formen der Bauwerksglieder weiter zu entwickeln, um sie den verschiedenen Beanspruchungen gegenüber widerstandsfähig zu machen.

Wir müssen uns jedoch darüber klar sein, daß wir auch im Stahl noch keinen Baustoff besitzen, der alle Nachteile der Baustoffe Holz und Eisenbeton überwunden hat. Er ist besonders den Angriffen der Korrosion unterworfen, die seine Verwendungsfähigkeit noch einschränken.

Leichter als eine Verbesserung der Baustoffe wird es sein, zu einer Vergrößerung der Widerstandsmomente von Spundwänden und Pfählen zu kommen, zumal die Walztechnik erhebliche Fortschritte in der Herstellung großer Profile erzielt hat, und die Schweißtechnik uns die Möglichkeit gibt, Formen zu verwenden, die jeweils den Bedürfnissen angepaßt werden können.

Das Endziel, einen Stahl herzustellen, der die gestellten Forderungen weitgehender erfüllt, als dieses noch heute der Fall ist, kann nur durch vertrauensvolle Zusammenarbeit zwischen Physikern, Chemikern, Eisenhüttenleuten, Walzwerkern, Statikern, Konstrukteuren und Baupraktikern erreicht werden, wobei die Erfahrungen an ausgeführten und fertigen Bauwerken auch für die Zukunft eine unentbehrliche Rolle spielen.

Zusammenfassung.

Die Erfahrungen, die bisher im Grund- und Wasserbau mit dem Baustoff Stahl gemacht worden sind, werden zusammenfassend wiedergegeben. Das physikalische und chemische Verhalten des Baustoffes Stahl wird in den einzelnen Beanspruchungszonen: in der Luft, im Wasserwechsel, im Wasser und im Boden, auseinandergesetzt. Die einzelnen angreifenden Kräfte und die Mittel, deren schädlichen Einfluß möglichst gering zu halten, werden beschrieben. Die Lebensdauer von Stahlbauwerken wird erläutert. Als Gegenmaßnahmen gegen die geschilderten Zerstörungen kommen in Betracht: Zusammensetzung des Baustoffes Stahl, äußerer Anstrich, Metallüberzüge, Einbetten in Beton und äußere Formgebung der Stahlbauteile. Nach einer kurzen Betrachtung der Entwicklung der Stahlerzeugung für den Wasserbau werden die einzelnen Anwendungsmöglichkeiten geschildert, dabei stehen die Spundwandbauwerke im Vordergrund. Die Anforderungen an die Spundwandstähle und -profile werden dargelegt. Weitere Verwendungsmöglichkeiten sind Stahlpfähle, Brunnen, Senkkästen und Ausrüstungsgegenstände für Verkehrswasserbau wie Poller, Steigeleitern usw.