

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 66 (1948)
Heft: 11

Artikel: Behälter aus vorgespanntem Beton in USA
Autor: Roš, M.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-56686>

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: 22.02.2026

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

Zwei Jahrzehnte Strömungstechnik in der Schweiz

Prof. Dr. J. Ackeret, E. T. H. Zürich, feiert dieser Tage seinen fünfzigsten Geburtstag. Wenn wir die grosse Zahl interessanter Forschungsarbeiten überblicken, die seit seiner Rückkehr aus Göttingen vor 20 Jahren und seiner Habilitation an der Eidg. Technischen Hochschule in Zürich erschienen sind und die Entwicklung des Turbomaschinenbaues in unserem Lande massgebend beeinflusst haben, so erscheint in unserer schnellebenden Zeit als Gratulation und Ausdruck der Wertschätzung ein kurzer Rückblick sehr wohl angezeigt. Wir haben daher zwei seiner ältesten Mitarbeiter ersucht, einige wesentliche Züge seines Schaffens zu skizzieren, so weit es ausserhalb seiner Lehrtätigkeit für Aerodynamik und Flugwesen liegt, um es auch dem Fernerstehenden bekannt zu machen.

Das Kennzeichnende in den Arbeiten Ackerets sind das klare Erfassen und deutliche Herausarbeiten des Wesentlichen, die Klärung der Grundphänomene, nicht um ihrer selbst willen, sondern stets im Hinblick auf ihre Anwendung in der Technik, und sein Verständnis für die Aufgaben und Bedürfnisse der Industrie. So bleibt er nicht bei theoretischen Betrachtungen und grundsätzlichen Anregungen stehen, sondern kümmert sich auch um die konstruktive Durchbildung und die praktische Ausführbarkeit. Im Laufe der Jahre hat sich denn auch eine natürliche, zwanglose Zusammenarbeit zwischen ihm und verschiedenen führenden Unternehmungen der Maschinenindustrie herausgebildet, die Hochschule und Praxis gleichermaßen befruchtet. Dieses glückliche Verhältnis besteht bemerkenswerterweise ohne eine besondere Organisation. Es beruht lediglich auf der Aufgeschlossenheit und dem praktischen Sinn des nun Fünfzigjährigen, welche Qualitäten sich auf seine Mitarbeiter und seine in der Industrie tätigen ehemaligen Schüler übertragen hat. An seinem Zustandekommen ist aber auch die Industrie in hohem Masse mitbeteiligt, indem sie angebotene Anregungen mit Weitblick aufgriff und grosszügig weiter entwickeln liess. Dies hat wesentlich dazu beigetragen, dass die schweizerische Industrie ihre führende Stellung im Grossmaschinenbau hat erhalten können.

Die erste massgebende Veröffentlichung Ackerets erschien im grossen Handbuch der Physik, das von H. Geiger und K. Scheel 1928 herausgegeben wurde und bei Springer in Berlin erschien und dessen Band VII der Gasdynamik gewidmet ist. Ungefähr zur selben Zeit untersuchte Ackeret als erster systematisch die Kavitationserscheinungen, die namentlich beim Bau von Kaplanturbinen von entscheidender Bedeutung waren, und hat so dieser Turbinenart mit zum Durchbruch verholfen. An dieser Stelle ist auch die grundlegende und vielbeachtete Arbeit «Ueber Luftkräfte bei sehr grossen Geschwindigkeiten» zu erwähnen, die in «Helvetica physica acta» (1928) Bd. 1, Heft 5 erschienen ist. Die weitere Beschäftigung mit diesen Fragen führte später zum Bau eines Ueberschall-Windkanals im aerodynamischen Institut der E. T. H., zu einer Zeit, da es noch kaum irgendwo in der Welt derartige Versuchseinrichtungen gab.

Angeregt durch die Eindrücke aus der Göttingerzeit und durch den persönlichen Kontakt mit Prof. L. Prandtl, bemühten sich Ackeret und seine Mitarbeiter, die Ergebnisse der Hydro- und Aerodynamik auf Dampf- und Gasturbinen zu übertragen und so die Strömungsforschung gewissermassen auf einen gemeinsamen, vom Medium unabhängigen Nenner zu bringen. Das bedeutete eine Rationalisierung der Forschung und zugleich eine Erhöhung der Sicherheit. Die grundlegenden Arbeiten über die Verwendung von Luft als Untersuchungsmittel für Probleme des Dampfturbinenbaues, die wie viele andere Arbeiten aus dem aerodynamischen Institut hier veröffentlicht wurden¹⁾, haben internationale Anerkennung gefunden und werden heute allgemein angewendet.

Unter seiner Leitung entstanden auf Grund von Modellversuchen, die im aerodynamischen Institut an der E. T. H. an Verstellpropellern für Schiffe und Flugzeuge durchgeführt worden waren, während des Krieges der schweizerische hydraulisch betätigtes Flugzeug-Verstellpropeller, der als erster die Landebremse verwirklichte. Eine parallel-

laufende Entwicklung auf dem Gebiet des Schiffspropellers steht gegenwärtig vor dem Abschluss.

Weitere Arbeiten im aerodynamischen Institut und in Forschungslaboren der Maschinenindustrie betrafen Verbesserungen an Axialgebläsen, durch die diese Maschinenart weiter vervollkommen werden konnte. Sie hat heute besonders in Verbindung mit Gasturbinen höchste Bedeutung erlangt.

Im Jahre 1935 entstand aus einer Gemeinschaftsarbeit zusammen mit Dr. C. Keller der Vorschlag einer mit Luft in geschlossenem Kreislauf arbeitenden Kraftmaschine, die nach eingehender theoretischer und praktischer Durchforschung nun im Begriffe steht, neben der Verbrennungsgasturbine und der Dampfturbine in thermischen Kraftwerken sich einzuführen. Der geschlossene Kreislauf bietet im Hinblick auf die Ausnutzung der Atomkernenergie interessante Möglichkeiten.

Schon vor dem Kriege sind die technischen Möglichkeiten des Raketenantriebes sowie allgemeine Untersuchungen über maschinenbau- und flugtechnische Probleme in Gegenwart und Zukunft untersucht worden, worüber hier in Bd. 112, S. 1*, berichtet worden ist. Im Institut an der E. T. H. sind auch sehr bemerkenswerte Messinstrumente für die experimentelle Untersuchung von Strömungsphänomenen entwickelt worden. Als Beispiel aus neuerer Zeit sei die Schlierenkinematographie erwähnt.

Im aerodynamischen Institut der E. T. H. werden immer wieder neue Probleme, die den in der Praxis stehenden Ingenieur interessieren oder in späteren Jahren praktische Bedeutung erlangen können, abgeklärt. Hier sind zu nennen Studien über Strömungsphänomene bei sehr hohen Geschwindigkeiten, über Verdichtungsstöße im Ueberschallgebiet und deren Zusammenhänge mit den Grenzschichtvorgängen, über Flügelschwingungen bei hohen Fluggeschwindigkeiten infolge periodischer Ablösungen, über Grenzschichtabsaugung — hierauf bezügliche Patente sind bereits abgelaufen, während dieses Problem erst heute praktische Bedeutung erlangt, ein Beweis für die weite Voraussicht! —, ferner über die Windkraftmaschine und die Wirkung der Luftkräfte auf Bauwerke. So haben z. B. Ackerets originelle Erklärungen über die Ursachen des Einsturzes der Tacoma-Brücke²⁾ in den USA viel Beachtung gefunden, und seine Untersuchungen über die Wirkung der Windkräfte auf grosse Behälter und Hochbauten ermöglichen eine verfeinerte Berechnung solcher Bauwerke, wodurch zweckmässigere Konstruktionen und höhere Sicherheiten erreicht werden.

Neben dieser reichen Tätigkeit liebt es Ackeret auch, aus der Geschichte des Maschinenbaues Anregungen zu schöpfen. So hat er z. B. die Heissluftmaschine von Ericsson und das Eulersche Wasserrad (1754) mit modernen Methoden untersucht und daraus Erkenntnisse gewonnen, die auch heute weiter von Nutzen sind.

Mit unseren Geburtstagsgratulationen verbinden wir den Wunsch, es möchte Ackerets praktisch gerichteter Sinn in Verbindung mit seinen weit umfassenden theoretischen Kenntnissen den schweizerischen Ingenieuren auch weiterhin Anregung und Hilfe sein. Nach Angaben von Dr. C. Keller

¹⁾ SBZ Bd. 117, S. 137* (29. März 1941) und 1947, Nr. 20, S. 262*.

Behälter aus vorgespanntem Beton in USA

Von Dipl. Ing. M. R. ROŠ, Zürich

DK 624.92.012.47 : 725.36

Die industrielle Herstellung von Balken in vorgespanntem Beton hat bis heute in USA im Gegensatz zu Europa keinen Eingang gefunden. Zwar haben die Professoren Roy W. Carlson¹⁾ und Karl P. Billner²⁾ eine thermo-elektrische Vorspannmethode entwickelt. Darnach wird ein Bewehrungsstab in eine Schwefelverbindung eingetaucht und dann einbetoniert. Nach Erhärtung des Betons wird der Stab elektrisch erwärmt und in ausgedehnter Lage vermittelst Ankerplatten an seinen Enden festgehalten. Durch Erwärmung allein lässt sich jedoch nur eine ungenügende Dehnung des Stabes erzielen. An diesem Umstand sind auch weitere Verfahren, z. B. die von Ruml, gescheitert.

¹⁾ Bekannt durch seine Messungen an Talsperren.

²⁾ Erfinder neuer Anwendungen des Vakuumbetons, s. Seite 153.

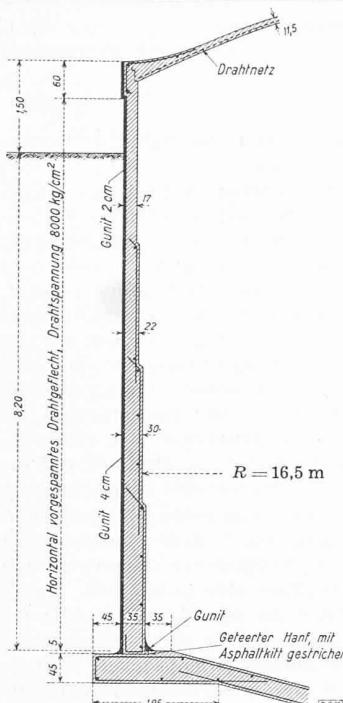


Bild 1. Schnitt 1 : 120 durch die Wand eines Behälters

Ein chemischer Angriff der verwendeten Schwefelverbindung auf Stahl oder Beton ist nicht zu befürchten.

Hermann Schorer hat seit 1939 eine originelle Armierung entwickelt, die aus einem Stahlstab als Kern und einer Anzahl darum herum geflochener Stahldrähte besteht. Die Stahldrähte werden angespannt und gegen den Stahlstab abgestützt, der durch die umschliessenden Stahldrähte am Ausknicken gehindert wird. Nun betonierte man die derart zusammengestellte Armierung ein und entfernt nach genügender Erhärtung des Betons die Abstützung der Stahldrähte auf dem Stahlstab. Auf diese Weise lässt sich der Beton vorspannen, während der Stahlstab selbst zurückgewonnen wird.

Die von H. Schorer entwickelte Armierung ist der von Chalos erdachten sehr verwandt. Chalos verwendet an Stelle des Stahlstabes eine druckfeste Gelenkkette, wodurch die vorgespannte Armierung fast beliebig abgebogen werden kann (vgl. SEZ 1947, Nr. 21, S. 279*).

Bis heute haben jedoch für das Bauwesen in USA nur vorgespannte Rohre und vorgespannte Behälter Bedeutung erlangt. Die fertig betonierten Rohre werden mit unter Spannung stehendem Draht umwickelt — ähnlich wie dies Vianini schon vor vielen Jahren ausgeführt hat — und dann mit einem Gunit-Ueberzug versehen.

Von Interesse sind die vorgespannten Behälter, Bild 1, der Preload Corporation in New York, die in vielen hundert Exemplaren ausgeführt worden sind und sich in jeder Hinsicht bewährt haben. Neben Wasser, Öl, Benzin, werden in ihnen auch Säuren und heiße Flüssigkeiten aufbewahrt. Sie zeichnen sich durch absolute Rissfreiheit aus. Hierzu wird die Behälterwand horizontal in Ringrichtung und vertikal in Richtung der Erzeugenden vorgespannt. Für Behälter von 2000 bis 30 000 m³ Inhalt und Flüssigkeiten normaler Temperatur muss die vertikale Vorspannung 7 bis 14 kg/cm² für freistehende Behälter und 4 bis 8 kg/cm² für versenkte Behälter, Bild 2, betragen. Die horizontale (Ring-)Vorspannung liegt bei 50 bis 70 kg/cm².

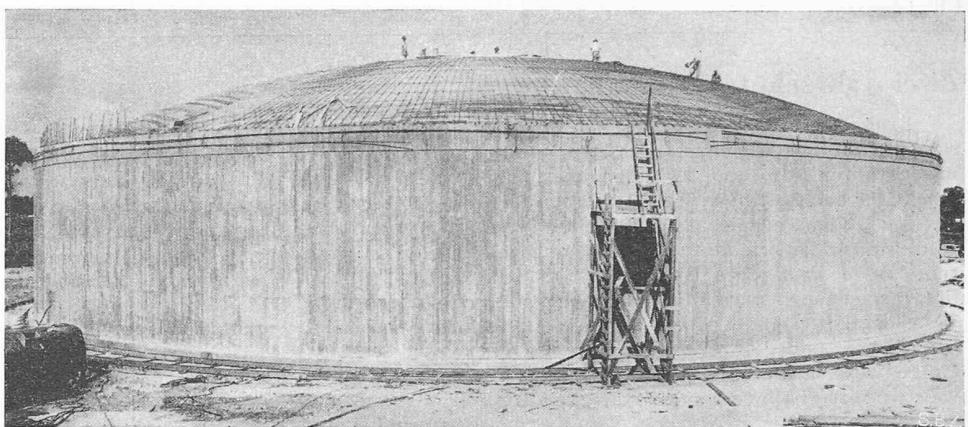


Bild 3. Behälter Bild 4 im Bau, Wand betoniert, aber noch nicht vorgespannt, Kuppel eingeschalt, provisorisches oberes Zugband in Montage. Man beachte die mit Muttern versehenen, oben aus der Zylinderwand herausragenden vertikalen Armierungseisen

Es ist natürlich möglich, die thermo-elektrische Vorspannung in gewissen Zeitabständen zu wiederholen und damit die Spannungsverluste infolge Schwindens und Kriechens unschädlich zu machen, jedoch ist dies kostspielig. Ein chemischer Angriff der verwendeten Schwefelverbindung auf Stahl oder Beton ist nicht zu befürchten.

Bis zum Jahre 1935 wurde versucht, diese Vorspannung durch Verwendung von Rundstahl mit Spannschlössern zu erzielen. Der Stahl wies eine Streckgrenze von 3500 bis 4200 kg/cm² auf und wurde auf 2200 bis 2800 kg/cm² vorgespannt. Die Erfahrung zeigte jedoch, dass bei diesem Verfahren Vorspannungsverluste infolge Schwinden und Kriechen von etwa 2000 kg/cm² entstanden, sodass die übrigbleibende Vorspannung ungenügend war. In der Folge wurde die Ringarmierung durch hochwertigen Stahldraht von 3 bis 4 mm Durchmesser ersetzt, der folgende Werte aufwies:

Zugfestigkeit	15 500 kg/cm ²
Streckgrenze	13 000 kg/cm ²
Mechanische Vorspannung	10 500 kg/cm ²
Effektive Vorspannung	7 500 kg/cm ²

Tabelle 1. Materialbedarf für den Behälter Bild 1

Baustoff	Behälterteil	Vorge spanneter Beton mit Dach ²⁾	Gewöhnl. Eisen beton, oben offen ¹⁾
Beton	Boden ³⁾ . . . m ³	400	490
	Wände . . . m ³	250	850
	Dach . . . m ³	120	—
	Total m ³	770	1340
Normaler Armierungsstahl	Boden ³⁾ . . . t	18,5	50
	Wände . . . t	14	140
	Dach . . . t	3,1	—
	Total t	35,6	190
Stahldraht	Wände . . . t	10,0	—
	Dach . . . t	1,5	—
	Total t	11,5	—
Gunit	Wände . . . m ³	38	—

¹⁾ Nach Vorschlag der Stadtverwaltung. ²⁾ Vorschlag der Preload Corporation, ³⁾ mit Fundationen.

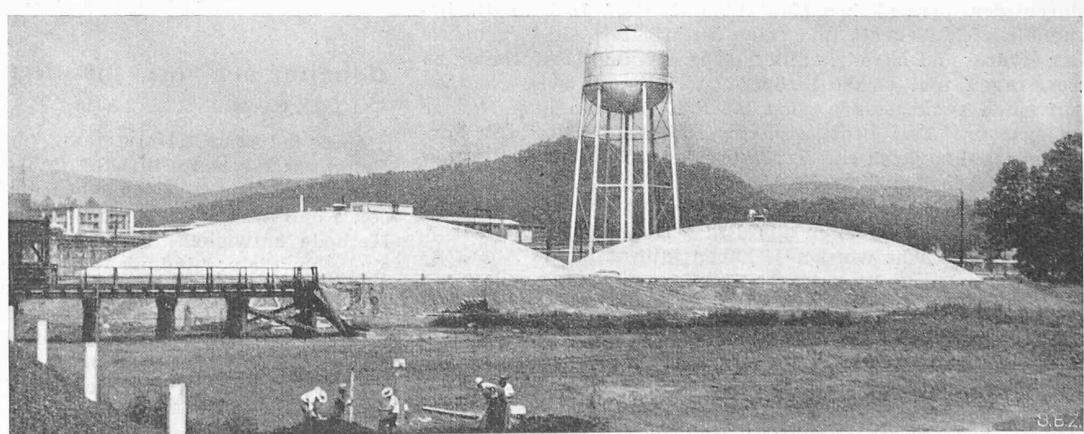


Bild 2. Versenktes Behälter (für die Papierindustrie) von je 6000 m³, Durchmesser 47,5 m

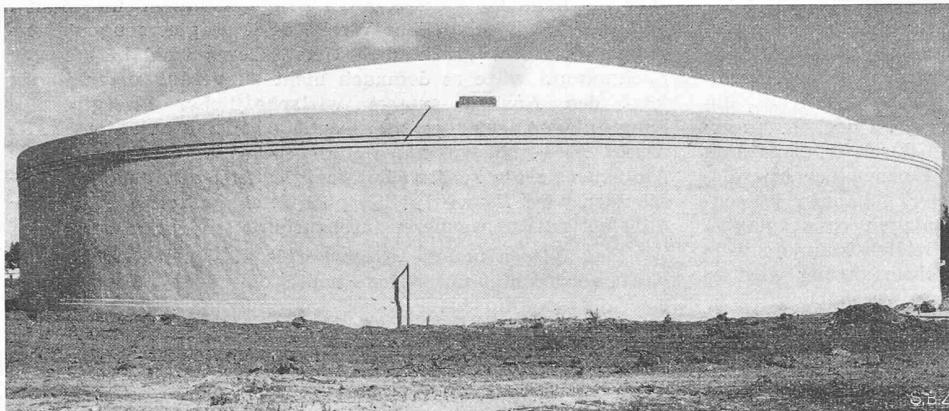


Bild 4. Wasserbehälter von 10000 m³ der Stadt Miami, Florida,
Durchmesser 43,5 m, Höhe der Zylinderwand 6,8 m

Für Schwinden, Kriechen und elastische Verkürzung wurde somit ein Spannungsabfall von 3000 kg/cm² entsprechend einem Dehnungsabfall von rd. 1,5 % in Rechnung gesetzt.

Der in Bild 4 gezeigte Behälter wurde in folgender Weise hergestellt. Der geplante Boden erhielt ein Sandkissen als Unterlage für ein 30 cm starkes Steinbett, das mit Walzen von 12 t verdichtet und eingeschwemmt wurde. Darüber kam eine 12,5 cm starke, kreuzweise armierte Betonschicht, die gegen das Steinbett durch ein bituminisiertes Papier isoliert war, um Feuchtigkeitsverluste des Betons während der Erhärtung zu verhindern. Der kegelförmig ausgebildete Boden wurde in Vierteln betoniert und der frisch eingebrachte Beton auf der Oberseite mit einer die Feuchtigkeit zurückhaltenden Flüssigkeit bespritzt. Dieses Verfahren ist in den trockenen Gebieten der USA vor allem im Straßenbau sehr beliebt.

Für einen Teil des Zylinders stellte man anschliessend die äussere Schalung auf, die gleichzeitig die vertikale Armierung aufrechterhielt, deren Drähte im Abstand von 30 cm voneinander angeordnet sind. Sodann wurde Gunit von innen gegen die Schalung gespritzt. Die mit einer bituminösen Umhüllung versehenen Stahlstäbe der vertikalen Armierung spannte man nachher mit Gewinde und Ankerplatten vor.

Die Zylinderwandstärke betrug unten 30 cm, oben 15 cm. Die 10 cm dicke Kuppel wurde anschliessend montiert, wobei ein am oberen Behälterrands angebrachtes Zugband den Horizontalenschub der Kuppel aufnahm; Bild 4.

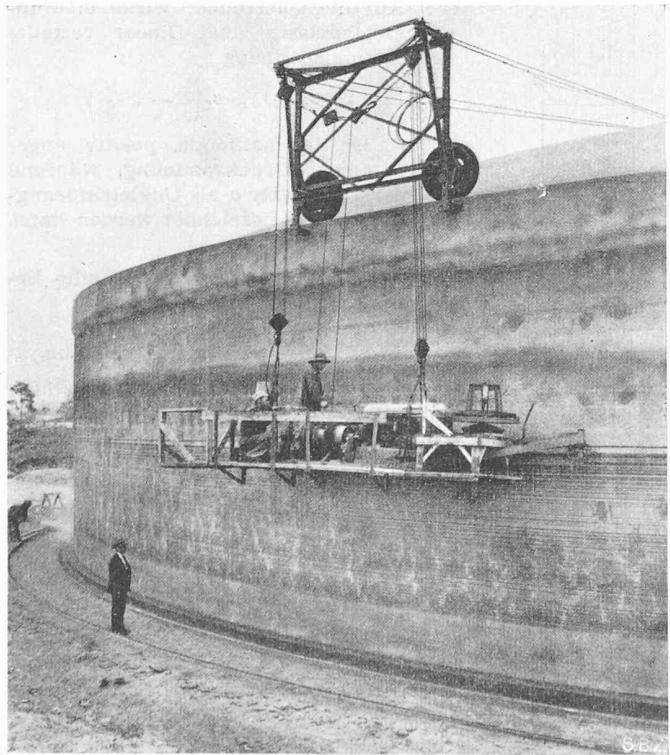


Bild 5. Vorspannmaschine der Preload Corp., links Gunitierung

Die auf Bild 5 dargestellte Laufbühne, die sich an einem endlosen Seil mit 5 km/h Geschwindigkeit vorarbeitet,wickelt den Ringarmierungsdräht unter einer auf gleicher Höhe eingehaltenen Spannung auf den Behälter auf. Die Drähte sind hierbei mit einer 7,5 cm dicken, mit Stahldrahtgewebe bewehrten Gunit-Schutzschicht bedeckt, während normalerweise Schutzschichten von 2,5 bis 3,5 cm angewendet werden.

Bild 1 zeigt einen der neuesten für die Stadtverwaltung von Philadelphia ausgeführten Behälter. Anstelle der Gunitwände sind solche aus Beton vorgesehen. Für diesen Behälter sind auf Tabelle 1 die Materialmengen einander gegenübergestellt, die für eine bisher übliche Eisenbetonkonstruktion und für die vorgespannte Ausführungsform gemäss amerikanischen Berechnungsgrundlagen benötigt wurden.

Neben der Materialersparnis ergibt das neue Verfahren eine beträchtliche Verkürzung der Arbeitszeit.

Für die Ueberlassung der Unterlagen sei Herrn Dobell, Vizepräsident der Preload Corporation, sowie Chef-Ingenieur M. F. Fornerod, Dipl. Ing. E. T. H., an dieser Stelle herzlich gedankt.

Die gegenwärtigen Aussichten der Energiesversorgung durch Uranspaltung

DK 539.17:621.499.4

Von Dr. sc. techn. WERNER DUBS, Dipl.-Masch.-Ing., Zürich

Seit der Veröffentlichung des offiziellen Berichtes¹⁾ des U.S.-Kriegsministeriums über die Entwicklung der Atomenergie und ihrer Verwendung im Kriege, hat sich die Forschung auf dem Gebiete der Uranspaltung wieder hinter den Schleier des Geheimnisses zurückgezogen. Wohl erscheinen in einzelnen Fachzeitschriften immer wieder Veröffentlichungen, aber meistens stellen sie bereits Bekanntes in anderer Form dar; in ihrem Inhalt gehen sie aber nicht über den oben erwähnten Bericht hinaus. So stösst die Durchführung technischer Rechnungen sofort auf die Schwierigkeit, dass für Uran z. Zt. wichtige Stoffkonstanten und Festigkeitswerte nicht bekanntgegeben werden. Infolgedessen lässt sich z. B. nicht beurteilen, welche maximale Wärmeleistung pro Volumeneinheit mit Rücksicht auf die Wärmespannungen in den Uranstäben ausgebeutet werden kann.

Da sich die Politik der Erkenntnisse dieses speziellen Wissenszweiges in hohem Grade bemächtigt hat, kann ein Laie, der nicht über ein ausserordentliches Quellenmaterial verfügt und im Besitz einer umfangreicher eigener Kenntnisse ist, sich nur schwer ein Bild von den wirklichen Verhältnissen machen. Wie immer in solchen Fällen, werden Ansichten verbreitet, die zu Widersprüchen führen. Einmal werden die Verhältnisse so dargestellt, als ob die Gewinnung elektrischer Energie aus der Uranspaltung unmittelbar bevorstehen würde, dann wiederum werden die noch zu überwindenden grossen technischen Schwierigkeiten in den Vordergrund gerückt und Atomkraftwerke in eine fernere Zukunft verwiesen. Ebenso werden über die Wirtschaftlichkeit solcher Anlagen die abweichendsten Auffassungen vertreten.

Von besonderem Interesse ist deshalb in diesem Zusammenhang eine Denkschrift, die an der vom 2. bis 9. September 1947 im den Haag tagenden Weltkraftkonferenz eingereicht wurde²⁾. Sie enthält die Auffassung von Experten, die in der Atomenenergieforschung in vorderster Front stehen, und ein massgebendes Urteil besitzen.

So betont der Leiter der englischen Atomenergielokomission, die gegenwärtig die Didcot-Werke an der Themse erstellt, Prof. J. D. Cockcroft, speziell die zahlreichen

¹⁾ H. D. Smyth: «Atomic Energy». A General Account of the Development of Method of Using Atomic Energy for Military Purposes under the Auspices of the United States Government 1940–1945. Published in the United States of America by the Government Printing Office 1945. Hinsichtlich deutscher Uebersetzung s. S. 156 dieser Nummer.

²⁾ SBZ 1947, Nr. 24, S. 324; Nr. 36, S. 508; Nr. 40, S. 541.