Zeitschrift: Wasser- und Energiewirtschaft = Cours d'eau et énergie
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 41 (1949)
Heft: 8-9

Artikel: Druckluft- und Senkkastenfundationen im französischen Wasserbau
Autor: Spaeni, A.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-920883

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: 12.07.2025

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

Druckluft- und Senkkastenfundationen im französischen Wasserbau

Von *A. Spaeni,* Dipl.-Ing. SIA, Zürich

Der Verfasser dieses Aufsatzes hatte während eines zweimonatigen Aufenthaltes anfangs dieses Jahres Gelegenheit, in Frankreich zahlreiche Hafen- und Brükkenbauten zu besichtigen. Dank dem Entgegenkommen der massgebenden Stellen der Direction des travaux maritimes im Marineministerium, der SNCF und verschiedener Bauunternehmungen war es ihm möglich, Einblick in die sehr interessanten und im Vergleich mit schweizerischen Verhältnissen sehr umfangreichen Fundationsarbeiten zu erhalten. Die folgende kleine, im Sinne einer Bildreportage aufzufassende Zusammenstellung möchte einen Eindruck vermitteln von den grossen Anstrengungen, die Frankreich für den Wiederaufbau seiner Verkehrswege unternimmt.

I. Allgemeines

Im Verlaufe des letzten Weltkrieges wurden die französischen Bahn- und Hafenanlagen durch die alliierten Bombardierungen und durch die Zerstörungen beim Rückzug der deutschen Truppen aus Frankreich in grossem Umfang zerstört. Als Beispiel sei der Hafen von Le Havre erwähnt, in dem von den 25 km langen Quaianlagen 21 km zerstört waren und von den 210 Hafenkranen ein einziger intakt blieb.

Bei den umfangreichen Wiederherstellungsarbeiten mussten teilweise bei sehr grossen Wassertiefen die Trümmer der zerstörten Quaimauern, Pfeiler, Stahlträger usw. entfernt werden, bevor mit den eigentlichen Aufbauarbeiten begonnen werden konnte. Bei diesen schwierigen Fundationsverhältnissen erfolgte die Anwendung der einzig sicheren Methode der Druckluftfundationen; in einigen Spezialfällen sind Senkkasten und Fangdämme verwendet worden. Als erschwerender Umstand trat bei den Hafenbauten hinzu, dass diese Bauarbeiten am Meer bei wechselnden Wasserständen von Flut und Ebbe auszuführen waren, wobei die Niveauunterschiede in wenigen Stunden bis zu 6 und 7 Meter betragen.

II. Die Wiederaufbauarbeiten im Hafen von Brest

Der Kriegshafen von Brest, im äussersten Westen des europäischen Festlandes gelegen, war, wie zahlreiche andere französische Flottenstützpunkte, im Verlaufe der Kriegshandlungen schwer zerstört worden. Kilometerweit sind die Quaianlagen für Kriegsschiffe und Öltanker gesprengt, und die zwei grossen Trockendocks liegen in Trümmern.

1. Die Quaimauer des Arsénal de la marine nationale.

Im Jahre 1948 wurde mit dem Neubau dieser Quaianlagen in einer ersten Etappe begonnen, um den grössten französischen Panzerschiffen «Jean Bart» und «Richelieu» von je 45 000 Brutto-Registertonnen die erforderlichen Anlagestellen zu schaffen. Die sehr interessanten Arbeiten werden für diese erste Etappe von etwa 300 m Länge im Verlaufe dieses Jahres zu einem vorläufigen Abschluss gelangen. Es handelt sich bei diesen Fundationsarbeiten um eine Kombination von Druckluft- und Senkkastenmethode.

Die Quaimauer besteht aus einzelnen Eisenbetonsenkkasten von 12 m Breite, 22 m Länge und etwa 12 m Höhe, die durch Schliessen der 50 cm breiten Fugen zu einem durchgehenden Mauerfundament verbunden sind. Der Arbeitsvorgang für diese Fundationen, die gegenwärtig in Ausführung begriffen sind, ist folgender:

Für das Absetzen der Schwimmkasten aus Eisenbeton werden mit Hilfe einer beweglichen Taucherglocke aus Stahl auf dem Meeresboden Auflageplatten aus Beton erstellt. Diese bewegliche Taucherglocke von 10,0 mal 10,6 m Grundfläche und etwa 21 m Höhe besteht aus einer Arbeitskammer mit vier aufgesetzten, zylinderförmigen Schwimm- und Regulierbehältern von 2,85 m Durchmesser (Abb. 1). Die Manövrierfähigkeit dieses Tauchapparates erweist sich in der praktischen Anwendung als sehr gut. Durch Einströmen und Ablassen von Druckluft in die vier Reservoirs kann die Auf- oder Abwärtsbewegung erreicht werden. Die Querverschiebung erfolgt mit Hilfe von Seilwinden, die auf dem Arbeitsboden montiert sind. Die Kompressorenanlage für die Erzeugung der erforderlichen Druckluft ist auf einer Schwimmbatterie installiert. Ein Reserveaggregat, bestehend aus einem Dieselmotor und einem Generator, erzeugt bei Unterbruch der elektrischen Stromzufuhr den für die Aufrechterhaltung des Caissonbetriebes erforderlichen Strom. Zwei kombinierte Schleusen dienen dem Ein- und Ausschleusen der Caissonbelegschaft und dem Abtransport des Aushubmaterials. Eingebaute Mammutpumpen fördern das schlammige Material aus der Arbeitskammer an die Meeresoberfläche. Bis Ende Januar 1949 sind mit diesem Caisson über 300 m Betonplatten in Tiefen bis zu 17 m unter dem Meeresspiegel ausgeführt worden.

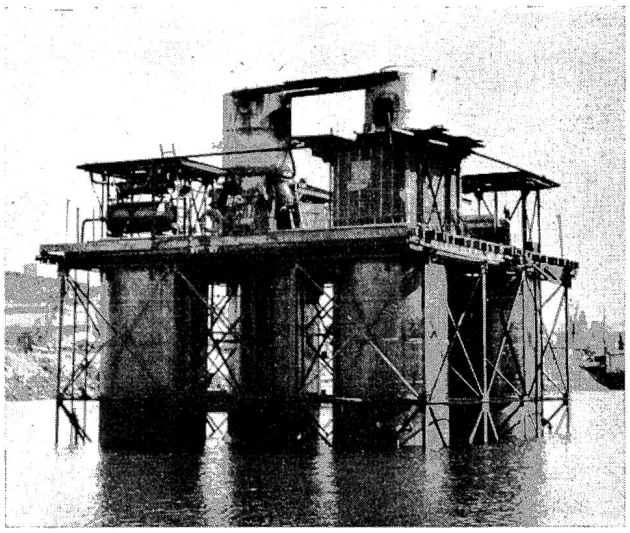

Abb. 1 Wiederaufbauarbeiten im Hafen von Brest. Taucherglocke aus Stahl für die Fundation der neuen Quaimauer.

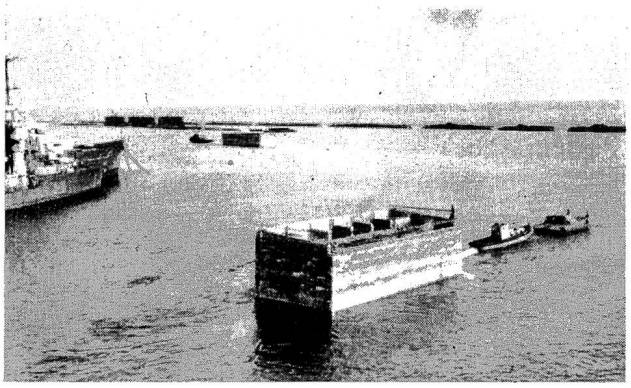

Abb. 2 Hafen von Brest. Einschwimmen der Caissons für die neue Quaimauer.

Die Erstellung der Schwimmcaissons von etwa 10 m Breite, 20 m Länge und 12 m Höhe erfolgt in den von den Deutschen errichteten Unterseeboots-Stützpunkten. Die einzelnen U-Boot-Kammern können mit Dammbalken geschlossen werden. Durch Abpumpen des Wassers bis auf die Betonsohle entsteht eine Art Trockendock, in dem drei solcher Schwimmcaissons zu gleicher Zeit erstellt werden können. Die Caissons sind als Eisenbetonkasten konstruiert; die Aussenwände weisen eine Wandstärke von 30 cm auf und sind durch Längs- und Querträger gegeneinander abgestützt, damit sie beim Einschwimmen den äusseren Wasserdruck und beim Füllen der Zellen mit Beton den Betondruck aufnehmen können. Bei Flut werden die Schwimmcaissons an die Verwendungsstelle transportiert und auf die vorbereiteten Betonplatten abgesetzt (Abb. 2). Das Einbringen des Betons in die Zellen erfolgt unter Wasser mit Hilfe von Betonpumpen. Der Aufbau der Quaimauer über Wasser wird in einem normalen Arbeitsgang bis auf die vorgesehene Mauerkrone durchgeführt.

2. Der Fangdamm von Laninon in Brest.

Beim Rückzug der deutschen Truppen erfolgte die vollständige Zerstörung der zwei grossen Trockendocks.

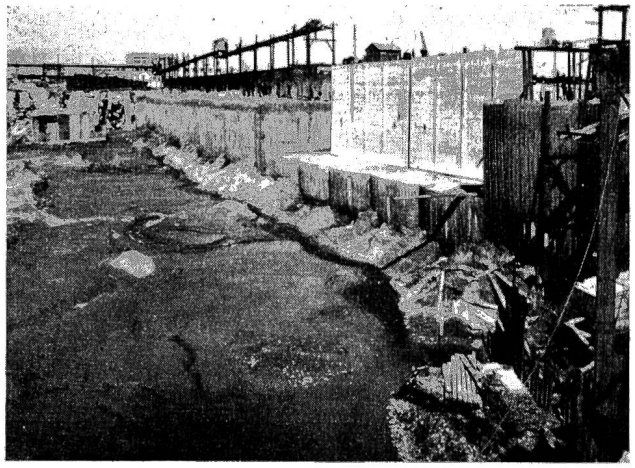

Abb. 3 Hafen von Brest. Fangdamm von Laninon. In der Mitte des Fangdammes die ungefähr 40 m breite Öffnung, welche mit vier grossen Eisenbetoncaissons abgeschlossen werden kann.

Um ihren Wiederaufbau innerhalb einer grossen Baugrube zu ermöglichen, errichtete man in den Jahren 1947/48 einen riesigen Fangdamm (Abb. 3). Im Schutze dieses Fangdammes können zugleich an den grossen französischen Panzerschiffen Revisionsarbeiten durchgeführt werden. Für das Erstellen dieses Zellen-Fangdammes rammte man Tag und Nacht mit je drei Equipen über 6700 Tonnen eiserne Spundbohlen. Mit einer Höhe von 23,5 m, einem grössten Zellendurchmesser von 30 m und der totalen Länge von etwa 300 m ist dies der grösste Fangdamm der Welt. Die Kubatur des verwendeten Füllmaterials, bestehend aus aufbereitetem Felsmaterial (Gneis) beträgt etwa 200 000 m^3; das Einbringen in die Zellen erfolgte mit Hilfe einer grossen Förderbandanlage. Die Spundbohlen sind bis in den relativ weichen Sandsteinfelsen gerammt und ermöglichen daher einen relativ wasserdichten Anschluss an die Felsunterlage und eine gute Verankerung der Zellenwände. Durch Einbringen von etwa 20 km Jutestricken und einer Dichtungsmasse, bestehend aus Sand, Schlacke und Zement, in die Spundwandschlösser der auf der Meerseite gelegenen Wände durch Taucher konnte der Wassereindrang stark vermindert werden. Nach erfolgtem Abpumpen der riesigen Baugrube zeigte sich, dass dank der ausgeführten Dichtungsarbeiten und der natürlichen Selbstdichtung das eindringende Wasser durch wenige Pumpen mit einer Förderleistung von etwa 15 m^3/min abgepumpt werden konnte.

Um das Einschwimmen der grossen Panzerschiffe zu ermöglichen, ist im Fangdamm eine 42 m breite Öffnung angeordnet, die durch vier bewegliche Eisenbetoncaissons je nach Bedarf abgeschlossen oder freigelegt werden kann. Das Herstellen dieser vier 18 m langen, 9 m breiten und 14 m hohen Caissons erfolgte ebenfalls in einer Halle des U-Boot-Stützpunktes. Als interessantes Detail ist zu erwähnen, dass die Caissons, bestehend aus einer Arbeitskammer und aufgesetzten Haussen, in vorgespanntem Eisenbeton nach System Freyssinet erstellt wurden (Abb. 4).

III. Die Fundationsarbeiten für den Wiederaufbau der Quaianlagen von Nantes

Nantes, ein wichtiger Handelshafen Frankreichs am Atlantik, liegt etwa 50 km landeinwärts an der Loire. Durch die deutschen Zerstörungen wurden von den 4 km langen Quaianlagen 1,3 km im August 1944 unbrauchbar gemacht. Die Stadt selbst ist durch die alliierten Bombenangriffe sehr stark zerstört worden.

In umfangreichen Bauarbeiten erfolgt der Wiederaufbau der zerstörten Hafenanlagen. Da der Meeresboden in der beträchtlichen Tiefe von etwa 15 bis 20 m unter dem mittleren Meeresspiegel liegt, sind die alten Quaianlagen auf Pfählen fundiert worden. Beim Neubau des zerstörten Quais entschloss man sich, die vordersten,

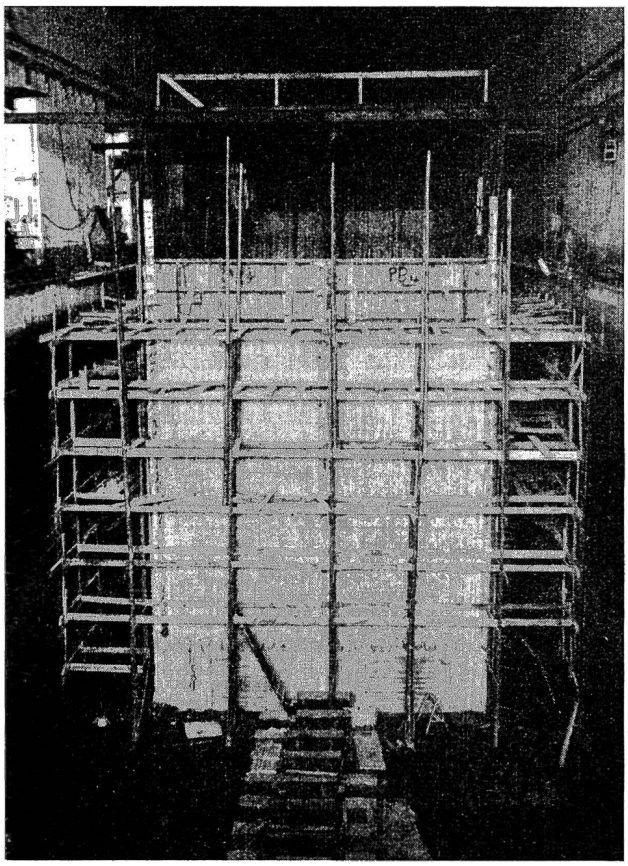

Abb. 4 Hafen von Brest. Erstellen der Caissons aus vorgespanntem Eisenbeton in einer Halle des ehemaligen deutschen U-Boot-Stützpunktes.

gänzlich unbrauchbar gemachten Pfahlreihen durch Eisenbetoncaissons zu ersetzen (Abb. 5) Das Erstellen der Caissons von 2,80×3,25 m Grundfläche erfolgt serienweise auf einem intakt gebliebenen Stück der Quaimauer. Mit Hilfe eines grossen Schwimmkrans von 100 t Tragkraft werden die Caissons an Ort und Stelle transportiert und dort auf eine durch einen Schwimmbagger vorbereitete Planie abgestellt. Das Absenken der im Vergleich zur Grundfläche sehr hohen Eisenbetoncaissons erwies sich, wie vorauszusehen war, als ausserordentlich schwierig. Trümmerstücke von Pfählen, Betonplatten, Eisenträgern usw. mussten unter der Schneide entfernt werden. Als besonders leistungsfähig erwies sich dabei ein spezieller Unterwasser-Schneidapparat einer französischen Firma, mit dem nicht nur Eisen, sondern auch Beton durchschnitten werden kann. Die Caissonpfeiler und die gerammten Pfähle werden nach beendigter Absenkung der zahlreichen Caissons durch eine Betonkonstruktion, bestehend aus Längs- und Querträgern, miteinander verbunden. Die sehr interessanten Fundationsarbeiten gelangen in den nächsten Monaten für die erste Bauetappe zu ihrem Abschluss.

IV. Der Wiederaufbau der Quaianlagen in Le Havre

Der Hafen von Le Havre ist für den Personen- und Frachtverkehr einer der leistungsfähigsten Häfen der Welt. Wie bereits erwähnt, sind im Verlaufe der Kriegshandlungen der grösste Teil der Quaianlagen samt Installationen, wie Kranen, Geleisen, Brücken, Schleusentoren usw., zerstört worden. Dank den Anstrengungen der Hafenverwaltung und der beteiligten Unternehmungen war es jedoch möglich, die Hafenanlagen so instandzustellen, dass bereits 1948 die Verkehrstonnage grösser war als vor dem Krieg. Der neue Hafenbahnhof für den Passagierverkehr nach Übersee gehört zu den schönsten und besteingerichteten Europas.

Gegenwärtig sind grosse Wiederherstellungsarbeiten für verschiedene Quaimauern im Gange. Eine interessante Fundationsmethode mit speziellen Senkkasten wird in den folgenden Ausführungen kurz geschildert. Der Hafen besitzt neben zahlreichen Hafenbecken ein grosses Becken, das sogenannte «Bassin de marée», das durch Stemmtore vom Meere abgeschlossen ist und daher den Niveauschwankungen des Meeresspiegels infolge Flut und Ebbe nicht ausgesetzt ist. Beim Rückzug aus Frankreich sprengten die deutschen Truppen die Stemmtore bei Ebbe; das Wasser strömte innerhalb kürzester Zeit aus dem Hafenbecken dem Meere zu. Dem gewaltigen Wasserüberdruck von etwa 5—6 m war die Ufermauer, bestehend aus gerammten Eisenbetonspundbohlen, nicht gewachsen; die Spundwände stürzten auf eine Länge von Hunderten von Metern ein. Bei der Projektierung der neuen Quaimauer entschloss man sich daher, eine Quaimauer zu erstellen, die allen auftretenden Belastungsfällen genügt.

Die neue Ufermauer besteht aus kreisrunden Eisenbetonsenkkasten von etwa 8 m Durchmesser. Diese Senkkasten, die mit einer kräftigen Doppelschneide versehen sind, werden serienweise auf dem Ufer erstellt. Nach genügender Erhärtungszeit erfolgt der Transport der 125 Tonnen schweren Eisenbetonzylinder mit Hilfe eines riesigen Schwimmkrans von 200 Tonnen Tragkraft an die Verwendungsstelle (Abb. 6). Hier werden sie ins Meer versenkt und auf die durch einen grossen Schwimm-

Abb. 5 Hafen von Nantes. Im Vordergrund Transport eines Caissons mit einem Schiffskran von 100 t Tragkraft. Im Hintergrund serienweises Herstellen der Eisenbetoncaissons.

bagger vorbereitete Planie abgestellt. Das Absenken der Senkkasten erfolgt durch Aushub des Materials (Sand, Kies, Schlick) unter Wasser in den zahlreichen zylinderförmigen Öffnungen von 80 cm Durchmesser, die auf dem Umfange des Kastens gleichmässig verteilt sind. Mit Hilfe eines Kleinkranes, der auf dem Senkkasten installiert ist, wird das Material mit einem speziell ausgebildeten Greifer unter der Schneide weggebaggert. Die Fundationstiefe der Senkkasten beträgt im Mittel etwa 12 m, der Abstand von Kasten zu Kasten 80 cm. Nach Erreichung der vorgeschriebenen Fundationskoten werden die einzelnen Senkkasten durch Rammen von speziellen Fugenschlußstücken aus Eisenbeton zu einer durchgehenden Fundation verbunden. Der Aufbau der eigentlichen Quaimauer über dem Wasserspiegel erfolgt auf normale Weise.

Der Vorteil der oben beschriebenen Absenkmethode besteht darin, dass lediglich das Material unter der Schneide ausgehoben wird. Der Materialkern innerhalb des zylinderförmigen Kastens bleibt bestehen und gelangt damit statisch zur Mitwirkung analog der Materialfüllung in einem Zellenfangdamm.

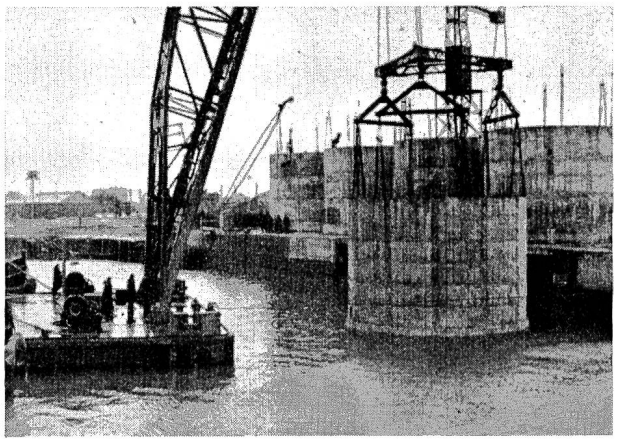

Abb. 6 Hafen von Le Havre. Transport eines Senkkastens mit einem Schiffskran von 200 t Tragkraft.

Zur Theorie des gepanzerten Druckschachtes

Von Dr. Ing. *Hermann Kastner*, Innsbruck

1. Voraussetzungen der bisher vorliegenden Berechnungsweisen

Die bisher bekanntgewordenen theoretischen Untersuchungen über die Ausbildung der Querschnitte gepanzerter Druckschächte [1, 2, 3] sind auf den folgenden Voraussetzungen aufgebaut:

a) Als wesentlichste Voraussetzung gilt, dass die Beanspruchungen aller Teile des wirksamen Druckschachtquerschnittes, also der Panzerung, des Bettungsbetons und des Gebirges, im *elastischen Bereich* verbleiben.

b) Als weitere Voraussetzung der Berechnungen wird das Vorhandensein eines *vollkommenen Kontaktes* zwischen der Panzerung und dem Beton einerseits und zwischen dem Beton und dem Gebirge anderseits angenommen. Diese Bedingung kann aber mit voller Strenge nicht erfüllt werden; Temperaturwirkungen, das Schwinden und Kriechen des Betons, unvermeidbare Herstellungsmängel und die Grenzen der Ausführbarkeit von Zementeinpressungen sind die Ursachen, dass sich in den Berührungsflächen der Auskleidungsschichten Hohlräume vorfinden werden. Ebenso bedeutungsvoll ist die Voraussetzung, dass in dem den Druckschacht umgebenden Gebirgsbereich keine offenen Klüfte, sonstigen Hohlräume oder Schwachstellen (Auflockerungshof, verursacht durch Sprengarbeiten) vorhanden sind. Störungen solcher Art müssen durch entsprechende Baumassnahmen beseitigt oder zumindest gemildert werden.

c) Ferner wird angenommen, dass der Überlagerungsdruck des Gebirges ausser Betracht bleiben darf. Dies ist aber für die Beurteilung der im Gebirge auftretenden Anstrengungen nicht zulässig, weil der Überlagerungsdruck bei den üblichen Tiefenlagen der Druckschächte unter der Geländeoberfläche den durch den Wasserdruck hervorgerufenen Beanspruchungen grössenordnungsmässig gleichkommt[4].

Bei *Vernachlässigung des Überlagerungsdruckes* würde in den Spannungen im Gebirge Rotationssymmetrie bestehen. In Wirklichkeit tritt aber eine starke Abweichung davon auf, weil die durch die Gewichtsauflast hervorgerufenen waagrechten Seitenpressungen im ungestörten Gebirge nur einen Bruchteil der lotrechten Pressungen ausmachen.

d) Die Untersuchungen führen wegen Vernachlässigung des Überlagerungsdruckes zu dem Ergebnis, dass das Gebirge in weitem Umkreis tangentiale Zugspannungen erfährt, und man ist daher genötigt, eine *zulässige Zugbeanspruchung des Gebirges* festzusetzen. Wenn auch gutes, kluftfreies Gestein Zugfestigkeit besitzt, so wird die Angabe einer zulässigen Grenze für die Zugbeanspruchungen des Gebirges immer Schwierigkeiten bereiten. Auch bei Berücksichtigung des Über-

[1] Siehe vor allem *Mühlhofer L.:* Die Berechnung kreisförmiger Druckschachtprofile unter Zugrundelegung eines elastisch nachgiebigen Gebirges. Zeitschr. des Österr. Ing. u. Arch. Vereines 1921, H. 15, 24/25 und 26/27; ferner vom selben Autor: Theoretische Betrachtungen zum Problem des Druckschachtbaues. Schweiz. Bauzeitung 1921, H. 21.

[2] *Büchi J:* Zur Berechnung von Druckschächten. Schweiz. Bauzeitung 1921, H. 6—8.

[3] *Frey-Baer O.:* Die Berechnung der Betonauskleidung von Druckstollen. Schweiz. Bauzeitung 1944, H. 14 und 15.

[4] *Redlich, Terzaghi, Kampe:* Ingenieurgeologie. Springer-Verlag, Wien und Berlin 1929.