Zeitschrift: IABSE reports of the working commissions = Rapports des commissions de travail AIPC = IVBH Berichte der Arbeitskommissionen

Band: 19 (1974)

Artikel: Spannbetondruckgefäss mit heisser Dichthaut und Beton erhöhter Temperatur

Autor: Nesitka, A. / Német, J.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-17518

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: 04.12.2025

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

IABSE
AIPC
IVBH

SEMINAR on:
«CONCRETE STRUCTURES SUBJECTED TO TRIAXIAL STRESSES»
17th-19th MAY, 1974 - ISMES - BERGAMO (ITALY)

Spannbetondruckgefäss mit Heisser Dichthaut und Beton Erhöhter Temperatur

Prestressed concrete pressure vessel with hot liner and concrete of elevated temperature

Caisson en béton précontraint avec peau d'étenchéité chaude et béton à température élevée

A. NESITKA J. NÉMET
Reaktorbau Forschungs- und Baugesellschaft
A-2444 Seibersdorf, Österreich

1. Einleitung, Konstruktion

Der Bau eines Spannbetonbehälters zur Prüfung von Komponenten von Kernreaktoren am Forschungszentrum Seibersdorf der Österreichischen Studiengesellschaft für Atomenergie durch eine Gruppe österreichischer Industriefirmen ist der Anlaß zu diesem Bericht [1]. Die Beanspruchungen in vielen Bereichen des Behälters sind mehrachsial. Verformungsmessungen unter diesen Beanspruchungen werden durchgeführt. Über Konstruktion, Berechnung, Überlegungen, die mehrachsialen Beanspruchungen betreffend, soll berichtet werden.

Die Bauart des Behälters ist so, daß sowohl Versuche für gasgekühlte Reaktoren durchgeführt, als auch die Zustände bei wassergekühlten Reaktoren geprüft werden können.

Aus der Übersicht in BILD 1 können die Hauptabmessungen und die wesentlichen Konstruktionsteile ersehen werden.

Von anderen Spannbetondruckgefäßen unterscheidet sich das hier beschriebene dadurch, daß die Dichthaut durch keine Wärmeisolierung geschützt ist und der vollen Temperatur des Kühlmittels ausgesetzt wird. Dies ist auch ein Weg, Spannbetondruckgefäße für wassergekühlte Reaktoren zur Anwendung zu bringen.

Die Temperatur des Kühlmittels, ca. 300° C, führt zu Zwängspannungen in der gegen den Beton unverschieblich gehaltenen Dichthaut. Um diese

Zwängung zu verringern, wird die Temperatur im Beton auf 1oo bis 12o° gebracht. Der Innendruck wurde mit 1oo bar angesetzt. Er entlastet die Dichthaut von Temperaturzwängung und den Beton von den Druckbeanspruchungen des Lastfalles Vorspannung. In BILD 2 sind Temperaturverlauf und Druck für die berechneten Lastfälle dargestellt.

Die hohe Temperatur im Beton bringt eine wesentliche Verstärkung und Beschleunigung der Kriechvorgänge in diesem mit sich. Es soll vermieden werden, aus diesen Verformungen größere Druckbeanspruchungen in die Dichthaut zu bringen. Zu diesem Zweck wird vor kraftschlüssiger Verbindung zwischen Dichthaut und Isolierbeton einerseits und Spannbeton andererseits dieser einem Kriechvorgang unter voller Vorspannung und einer dem Betriebszustand entsprechenden Temperatur unterworfen.

Dieses Vorkriechen dauert ca. 1oo Tage. In dieser Zeit sollten ca. 6o % der Kriechverformung nach $1o^4$ Tagen unter Temperatur und Vorspannung erreicht worden sein. BILD 3 zeigt den Verlauf der Kriechkurve für versiegelte Probekörper unter der angegebenen Temperatur, extrapoliert bis $1o^4$ Tage. Eingetragen ist die Zeit des Vorkriechens. Nach Kraftschluß, durch Füllen der Fuge durchgeführt, wird vorerst die Temperatur auf Raumtemperatur bleiben, die Vorspannung kleiner sein als während des Vorkriechens, da durch teilweises Nachlassen und Wiederaufbringen der Vorspannung ein Teil von ihr in Isolierbeton und Dichthaut gebracht wird. Wenn in dieser Zeit Kriechen eintritt, so nur in geringem Ausmaß. Nach Inbetriebnahme wird die Temperatur wieder erhöht, der Innendruck jedoch verringert die Beanspruchung im Spannbeton auf Bruchteile. Die Messungen werden zeigen, ob geringes weiteres Kriechen oder ein Rückkriechen einsetzt.

Zur Konstruktion sei noch vermerkt, daß die Spannglieder ohne Verbund sind, so daß sie zu beliebiger Zeit nachgespannt oder auch ausgewechselt werden können. Das Relaxationsverhalten des Spannstahles 16o/18o wurde untersucht. Der Verlauf ist in BILD 4 für gegebene Spannung und Temperatur dargestellt.

2. Statische Berechnung

Die statische Berechnung liefert für Bauzustand, Gebrauchs- und Ausnahmezustände Spannungsbilder, die in BILD 5 bis BILD 9 für verschiedene Stellen und Lastzustände angegeben sind.

Die Zylinderfestigkeit des Betons kann nach 9o Tagen mit β_{c9o} = 6oo kp/cm2 als gesichert angesehen werden. die erhöhte Temperatur

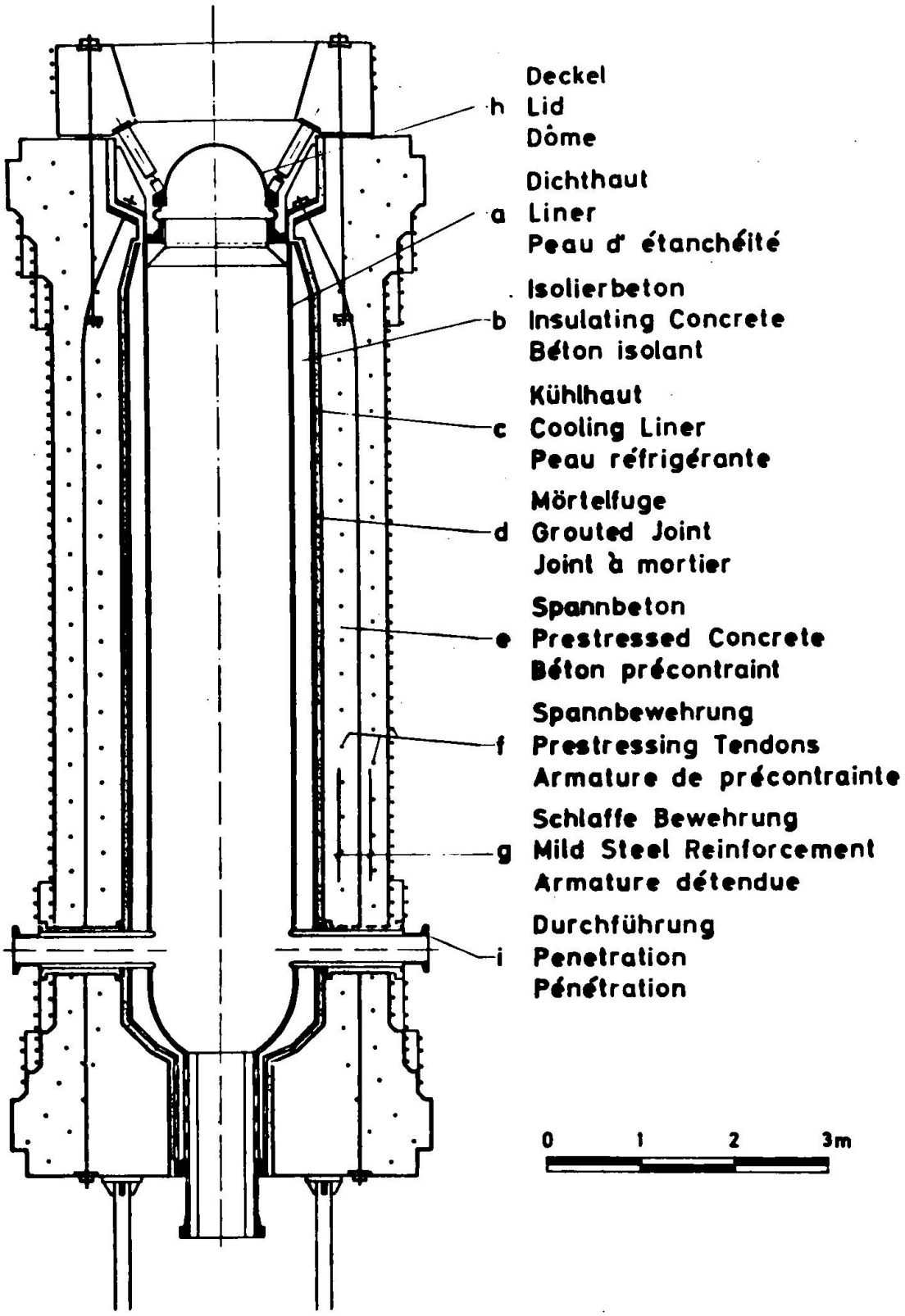

Bild 1 Spannbetonbehälter Seibersdorf
Prestressed Concrete Pressure Vessel Seibersdorf
Caisson en béton précontraint Seibersdorf

bringt einen Abfall der Festigkeit, der versuchsmäßig kontrolliert wurde. Zum Nachweis der Sicherheit wird eine Zylinderfestigkeit β_{c90} = 4oo kp/cm2 angesetzt.

Nach dem deutschen Normenentwurf für Reaktordruckgefäße aus Spannbeton ist die zulässige Druckspannung

$$\sigma_{zul} = \frac{4oo}{2,1} = 19o \text{ kp/cm2}$$

Diese Beanspruchung wird an den in den vorstehenden Bildern dargestellten Stellen z.T. wesentlich überschritten.

Der mehrachsige Nachweis soll hinreichende Sicherheit bestätigen.

Bei Betrachtung kann unterschieden werden zwischen linienförmig oder quasi linienförmig sich ausdehnenden Gebieten solcher Beanspruchungen und flächenförmig sich verbreiternden Bereichen. Ferner kann unterschieden werden zwischen Beanspruchungen, die nur fallweise kurzfristig, anderen, die über beschränkte Zeit, und solchen, welche während der gesamten Gebrauchszeit des Gefäßes vorhanden sind.

Auf diese Merkmale und die Frage, ob Kriechvorgänge im Beton Spannungsumlagerungen und Abbau der Zwängung bewirken können, oder ob der Spannungszustand unter unmittelbarem Einfluß einer äußeren Last praktisch nur von dieser abhängig und unveränderlich ist, sollte bei Beurteilung des Sicherheitsfaktors und der gemessenen Verformungen geachtet werden.

3. Nachweis der Sicherheit bei mehrachsiger Beanspruchung

3,1 Es sollen hier primär nicht Bruchtheorien behandelt oder verglichen werden. Die auf Versuchen basierenden Kriterien für das Eintreten des Versagens werden zum Nachweis der Sicherheit des Spannbetonbehälters angewandt.

Die an ihm noch durchzuführenden Messungen, die sich über Jahre erstrecken, können erst zu späterem Zeitpunkt in ihrer Aussage beurteilt werden. Die Sicherheitsbeiwerte, die es zu ermitteln gilt, werden mit Hilfe von Diagrammen aus dem Schrifttum bestimmt und miteinander verglichen. Aus diesem sollen Arbeiten nachstehender Autoren verwendet werden:

Yoshiji Niwa, Shoichi Kobayashi und Wataru Koyanagi speziell über Leichtbeton; [2]

V. Hansson und K. Schimmelpfennig die Kurvenscharen für beschränkte Bereiche von Spannungsverhältnissen angeben; [3]

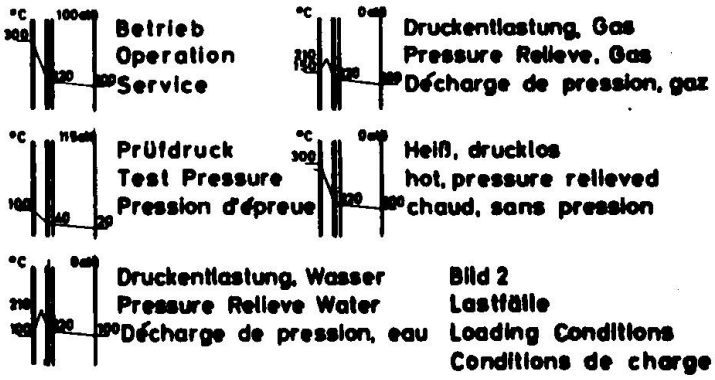

Bild 2
Lastfälle
Loading Conditions
Conditions de charge

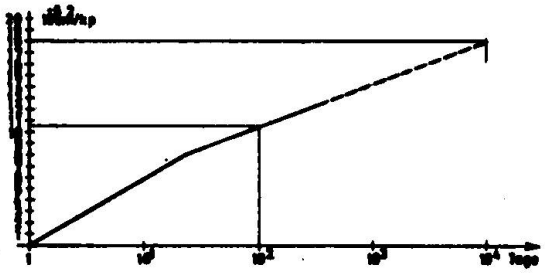

Bild 3
Kriechkurve des Betons
Creep of Concrete
Fluage du béton

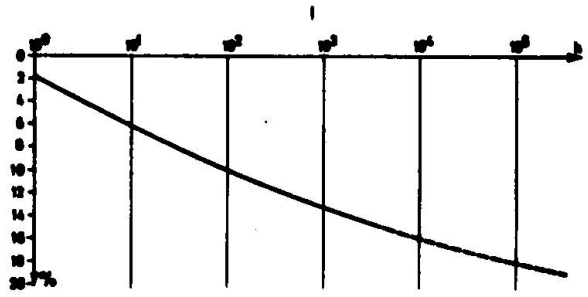

Bild 4
Relaxation des Spannstahles
Relaxation of the Tendons
Relaxation des armatures de précontrainte

J. P. Magnus und A. Audibert [4]
die eine geschlossene Form für den gesamten Bereich von Spannungsbeziehungen, Druck und Zug, veröffentlichen.

Beim Nachweis wird beachtet, daß der Spannungszustand einer kritischen Grenze sich dadurch nähern kann, daß alle Hauptspannungen gleichzeitig anwachsen, oder daß dies nur bei einer Hauptspannung geschieht, was von der Art der Ursache abhängen kann.

3,2 Innenseite des Isolierbetons an der Dichthaut, vgl. Bild 5

Temperatur: 300° C, Zylinderfestigkeit β_c = 400 kp/cm2. Die Beanspruchung tritt für den Lastfall "heißer, druckloser Behälter" im ganzen Isolierbetonmantel auf. Dies ist ein Ausnahmezustand von beschränkter Dauer. Er rührt vor allem aus Zwängung durch Temperatur her, bei deren Anstieg alle drei Hauptspannungen wachsen.

Um Fig. 11 aus [2] verwenden zu können, wird gesetzt:

$\sigma_1 = \sigma_2 = -240$ kp/cm2 $\qquad \frac{\sqrt{2} \cdot \sigma_1}{\sigma_0} = 0{,}848$

$\sigma_3 = -45$ kp/cm2 $\qquad \frac{\sigma_3}{\sigma_0} = 0{,}113$

$\sigma_0 = -400$ kp/cm2

Diese Verhältnisse bestimmen auf der Bruchzustandsfläche

$\frac{\sqrt{2} \cdot \sigma_1^*}{\sigma_0} = 4{,}40$ und die vorhandene Sicherheit

$\underline{\underline{\nu}} = \frac{\sigma_1^*}{\sigma_1} = \underline{\underline{5{,}2}}$

Ebenfalls in [2] unter Fig. 13 wird das Bruchkriterium, nur abhängig von σ_1 und σ_3, also unter Außerachtlassen der mittleren Hauptnormalspannung, dargestellt. Damit folgt

$\frac{\sigma_1 + \sigma_3}{\sigma_0} = 0{,}713 \qquad \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{\sigma_0} = 0{,}488$

Diese Verhältnisse bestimmen wieder

$\frac{\sigma_1^* + \sigma_3^*}{\sigma_0} = 4$ und die vorhandene Sicherheit

$\underline{\underline{\nu}} = \frac{\sigma_1^* + \sigma_3^*}{\sigma_1 + \sigma_3} = \underline{\underline{5{,}6}}$

also von dem erstermittelten nur um 7 % abweichend.

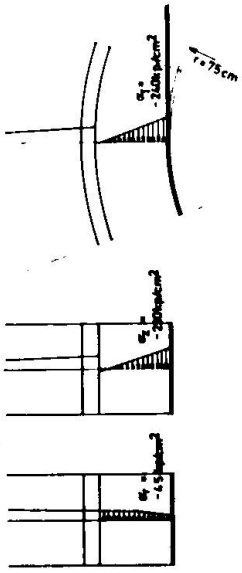

Bild 5

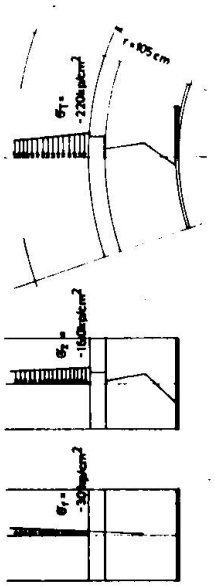

Bild 6

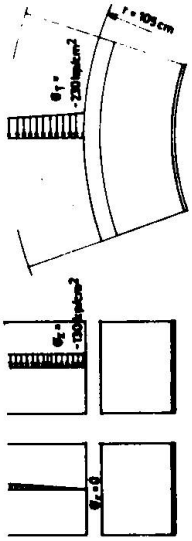

Bild 7

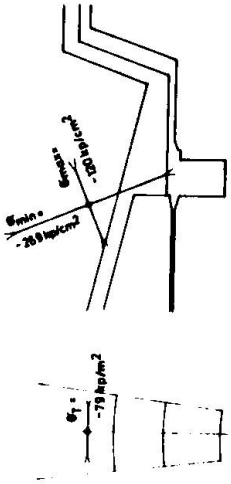

Bild 8

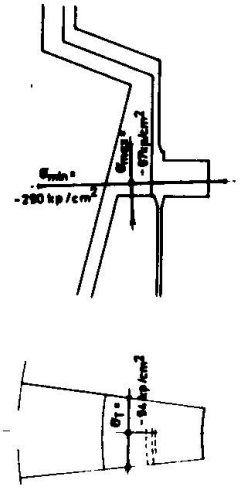

Bild 9

3,3 Innenseite des Kiesbetonmantels, vgl. Bild 6

Temperatur 12o° C, Zylinderfestigkeit β_c = 4oo kp/cm2. Die Beanspruchung tritt kurzfristig unter Druckentlastung bei wassergekühltem Gefäß im gesamten Kiesbetonmantel auf, wieder nur während beschränkter Frist. Die Spannungen rühren vor allem von der Vorspannung her.

3,31 Prüfung nach [3], Fig. 5

σ_1 = - 3o kp/cm2 $\qquad \frac{\sigma_1}{\sigma_3}$ = o,136

σ_2 = - 16o kp/cm2 $\qquad \frac{\sigma_2}{\sigma_3}$ = o,727

σ_3 = - 22o kp/cm2 $\qquad \frac{\sigma_3}{\beta_c}$ = o,55

Aus der Kurventafel folgt

$\frac{\beta_{r3}}{\beta_c}$ = 3,6o und die vorhandene Sicherheit

$\underline{\underline{\nu}} = \frac{\beta_{r3}}{\sigma_3} = \underline{\underline{6,55}}$

3,32 Prüfung nach [4], Fig. 21

σ_1 = 22o kp/cm2 $\qquad k = \frac{\sigma_2}{\sigma_1}$ = o,73

σ_2 = 16o kp/cm2

σ_3 = 3o kp/cm2 $\qquad \frac{\sigma_1}{\sigma_o'}$ = o,55o

σ_o' = 4oo kp/cm2 $\qquad \frac{\sigma_3}{\sigma_o'}$ = o,o75

Es wird angenähert die Kurve k = o,75 verwendet. Sie ergibt

$\frac{\sigma_1^*}{\sigma_o'}$ = 5 und die vorhandene Sicherheit

$\underline{\underline{\nu}} = \frac{\sigma_1^*}{\sigma_1} = \underline{\underline{9,1}}$

einen Wert, der wesentlich höher liegt als bei 3,31.

3,4 Innenseite des Kiesbetonmantels, vgl. Bild 7

Temperatur 12o° C, Zylinderfestigkeit β_c = 4oo kp/cm2. Die Beanspruchung tritt während der Zeit des Vorkriechens, d.h. ca. 1oo Tagen, an der gesamten Innenfläche des Kiesbetons auf. Die Spannungen kommen aus Vorspannkräften.

3,41 Prüfung nach [7], Fig. 5

$\sigma_1 = 0$ $\qquad \frac{\sigma_1}{\sigma_3} = 0$

$\sigma_2 = -130$ kp/cm2 $\qquad \frac{\sigma_2}{\sigma_3} = 0{,}565$

$\sigma_3 = -230$ kp/cm2 $\qquad \frac{\sigma_3}{\beta_c} = 0{,}575$

Aus der Kurventafel folgt

$\frac{\beta_{r3}}{\beta_c} = 1{,}16$ und die vorhandene Sicherheit

$\underline{\underline{\nu}} = \frac{\beta_{r3}}{\sigma_3} = \underline{\underline{2{,}02}}$

3,42 Prüfung nach [4], Fig. 21 (Bezeichnungen wie dort)

$\sigma_1 = 230$ kp/cm2 $\qquad k = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = 0$

$\sigma_2 = 0$ $\qquad \frac{\sigma_1}{\sigma_0'} = 0{,}575$

$\sigma_3 = 130$ kp/cm2 $\qquad \frac{\sigma_3}{\sigma_0'} = 0{,}325$

$\sigma_0' = 400$ kp/cm2

Aus Kurve $k = 0$ folgt

$\frac{\sigma_1}{\sigma_0'} = 2{,}3$ und die vorhandene Sicherheit

$\underline{\underline{\nu}} = \frac{\sigma_1^*}{\sigma_1} = \underline{\underline{4{,}0}}$

ein Wert, der fast doppelt so groß ist wie bei 3,41.

3,5 Innenseite des Kiesbetons hinter Dichthautabschluß, Bild 8

Temperatur 120° C, Zylinderfestigkeit $\beta_c = 400$ kp/cm2. Die Beanspruchung tritt langdauernd bei normalem Betrieb auf. Eine Erhöhung der Temperatur des Dichthautflansches vergrößert vor allem die etwa radial wirkende Spannung, es soll daher nur ihr Anwachsen beurteilt werden.

Prüfung nach 3 , Fig. 5

$\sigma_1 = -79$ kp/cm2

$\sigma_2 = -120$ kp/cm2

$\sigma_3 = -269$ kp/cm2

Durch probeweise Wahl von ν wird gefunden

$$\nu = 3{,}48$$

dafür ist

$$\frac{\sigma_1}{\nu \cdot \sigma_3} = 0{,}084, \qquad \frac{\sigma_2}{\nu \cdot \sigma_3} = 0{,}128 \text{ und}$$

$$\frac{\beta_{r3}}{\beta_c} = 2{,}34 = \frac{\nu \cdot \sigma_3}{\beta_c}$$

3,6 Verpreßte Fuge hinter Dichthautabschluß, Bild 9

Temperatur 12o° C, Zylinderfestigkeit β_c = 4oo kp/cm2. Die Beanspruchung entspricht der im Kiesbeton nach 3,5. Wie dort wird nachgewiesen:

σ_1 = - 67 kp/cm2
σ_2 = - 94 kp/cm2
σ_3 = - 29o kp/cm2

Durch probeweise Wahl von ν wird gefunden

$$\nu = 3{,}0$$

3,7 Diskussion der Nachweise

3,71 Leichtbeton (3,2)

Der Umstand, daß die mittlere Hauptnormalspannung ohne Einfluß zu sein scheint, kann an der anderen Art des Leichtbetons - im Gegensatz zum Kiesbeton - liegen, Kräfte aufzunehmen bzw. zu Bruch zu gehen [5] . In der Zellenstruktur der Feinmörtelmatrix brechen zuerst jene Zellenwände, die in ungünstiger Richtung zu den äußeren Kräften liegen. Solche Elemente für sich betrachtet sind in Querrichtung nur mit der Korneigenfestigkeit des Leichtzuschlages belastbar. Diese liegt bei 14o bis 32o kp/cm2 [6]. D Verhältnis der Spannungen zueinander im Element ist anders und ungünstiger als im Gesamtkörper und führt so zu früherem Bruch als bei Kiesbeton. Die Spannungen nach BILD 5 würden, nach [3]. Fig. 5, also einem für Kiesbeton sicheren Kriterium beurteilt, eine Sicherheit von etwa 7,5 aufweisen.

Es beweist sich hier offenbar eine Einschränkung der Laststeigerung unter mehrachsiger Beanspruchung, welche u.a. auch dazu führt, daß umschnürte Säulen aus Leichtbeton nicht zugelassen sind oder auch, daß bei Leichtbeton Würfel- und Zylinderfestigkeit in vielen Fällen praktisch gleich groß sind.

Es zeigt sich hier wieder der Einfluß der Eigenfestigkeit der Zuschlagskörner des Leichtbetons auf dessen Festigkeit, im Gegensatz zum normalen Kiesbeton, bei welchem die Festigkeit vorwiegend vom Wasserzementfaktor abhängig ist.

3,72 Regelteil des Zylindermantels

3,721 Innenseite Kiesbeton bei Druckentlastung (3,3)

Auffallend ist der beachtliche Unterschied zwischen den nach zwei verschiedenen Kriterien ermittelten Sicherheiten.
Bei Betrachtung von [3], Bild F 7, wird deutlich, daß der auf den ersten Blick nicht entscheidend verschiedene Verlauf der Bruchzustandsfläche durch den flachen Schnitt mit einer aus dem Ursprung kommenden Geraden wesentlich andere Werte ν geben muß.
Es werden dabei die Kurven nach [7] nach den dort veröffentlichten Versuchsergebnissen mit denen nach [4] als gleich vorausgesetzt, da sie auf denselben Versuchen aufgebaut sind. Von Bedeutung mag die Lastaufbringung sein, geschmierte starre Stahlplatten bei [7], Bürstenplatten bei [8], welche Versuche den Bereich in der Nähe der biaxialen Beanspruchung bei [3] wesentlich mitbestimmt haben.
Die wesentliche Bedeutung der Größe der kleinsten Hauptnormalspannung bei Spannungszuständen in der Nähe des biaxialen wird besonders deutlich.

3,722 Innendruck bei Vorkriechen (3,4)

Hier, beim zweiachsigen Spannungszustand, wird der Unterschied der beiden ermittelten Sicherheiten noch wesentlich stärker. Es gelten die Ausführungen von oben.

3,73 Bereich des Dichthautabschlusses

3,731 Innenseite Kiesbeton (3,5)

Der gewählte Vorgang, nur die größte der Hauptnormalspannungen anwachsen zu lassen, um die Sicherheit zu beurteilen, ist ein Grenzfall. Tatsächlich wird auch die mittlere Hauptnormalspannung durch die behinderte Querdehnung wachsen, was in etwas geringerem Maß auch für die kleinste Hauptnormalspannung gilt.

Es kann notwendig werden, mit steigender Last durch eine Reihe von Rechengängen die Änderung des Spannungszustandes zu verfolgen, um die Sicherheit zutreffend beurteilen zu können.

3,732 Fugenmörtel (3,6)
Für diesen Punkt gilt was oben gesagt wurde mit dem Zusatz, da die kleinste Hauptnormalspannung überwiegend Temperaturzwängung als Ursache hat. Ein Anwachsen der Temperatur wird auch sie anheben.

3,733 Es sei für beide Punkte, 3,5 und 3,6, noch vermerkt, daß die Temperaturzwängung, welche die überwiegende Ursache der Spannungen ist, keine nachdrängende Last darstellt, daher Relaxation aus örtlich verstärktem, nicht mehr lastproportionalem Kriechen eintreten kann.

3,74 "Sicherheit"

Der Faktor ν wurde in den vorangegangenen Punkten als "Sicherheit" bezeichnet. Er wurde unter Bedachtnahme auf die Art der La ermittelt, stellt aber in jedem Fall das Verhältnis einer Bruchspannung zu einer Gebrauchsspannung dar. Als Sicherheit könnte m ebensogut auch das Verhältnis von Bruchlast zu Gebrauchslast bezeichnen, was nicht immer, insbesondere nicht bei Spannbeton, gleichbedeutend mit dem Spannungsverhältnis sein muß.

Die Ursachen eines Spannungszustandes sind meist vielfältig, im vorliegenden Fall können es sein Eigengewicht, Vorspannkräfte, Innendruck, Temperatur. Die beiden erstgenannten bleiben nach Erbauung des Behälters konstant oder nehmen mit der Zeit ab, die letztgenannten unterliegen u.U. mancherlei Änderung und Lastzyklen. Es müssen hier Fragen der Werkstoffermüdung mitüberlegt werden [4] bzw. das Langzeitverhalten betrachtet werden. Es ist, wi eingangs schon erwähnt, zu überlegen, ob bei wachsender Beanspruchung durch Kriechen begrenzter Bereiche Lastumlagerungen eintreten können, um die "nachdrängenden" Lasten nach Abbau von Spannungsspitzen in breiterem Bereich zu tragen bzw. um "nicht nachdrängende" Zwänglasten abzubauen.

Die gefundenen Werte ν sind, wenn man vom Bauzustand 3,4 absieht für die untersuchten Stellen als etwa gleichwertig zu beurteilen berücksichtigt man die örtliche Ausdehnung der Spannungszustände

4. Methoden der Spannungs- und Verformungsmessung

4,1 Um das Verhalten von Beton und Dichthaut bei mechanischer und thermischer Belastung zu erfassen, werden folgende Geber und Meßeinrichtungen eingebaut:

a) Widerstands-Dehnmeßgeber (12o Ohm) in Viertelbrückenschaltung mit eingebautem Thermoelement Cu-Constantan im Isolierbeton.

b) Saiten-Dehnungsmeßgeber im Spannbeton, die Empfängerspule als Widerstandsthermometer verwendet.

c) Widerstands-Dehnmesser (Freigitter-DMS zur Flame-Spray-Montage, 5oo Ohm) in Viertelbrückenschaltung auf Dichthaut und Deckel mit eingebautem Ni-CrNi-Thermoelement.

d) Mechanische Meßeinrichtungen, radiale Invarstäbe zur integralen Prüfung der Veränderung der Dicke des Isolierbeton- bzw. Kiesbetonmantels.

e) Hydraulische Meßgeber zur unmittelbaren Spannungsmessung im Kiesbeton, an spannungsgleichen Stellen mit den Saitendehnungsgebern angeordnet.

f) Thermoelemente vom Typ Cu-Constantan zur Prüfung des Temperaturverlaufes.

g) Meßpunkte für Setzdehnungsmessungen an der Oberfläche und an der Innenseite der Dichthaut.

h) Dynamometer zur laufenden Prüfung der Spannkraft an den Ankerstellen einer Anzahl von Spanngliedern.

i) Vorkehrungen für die geodätische Vermessung des Behälters an diesem, dem Fundament und in der Umgebung.

4,2 Die im Isolierbeton und Kiesbeton angesetzten Geber nach 4,1a, b und e sind in dichter Anordnung in jenem Bereich des zylindrischen Teiles eingebaut, der durch seine geometrische Form und das Fehlen von Störstellen eine möglichst gute Vergleichbarkeit von Berechnung und Messung erwarten läßt. Gruppen von Meßgebern liegen dort jeweils an mehreren Punkten, auf einem Radius angeordnet, so daß zu den Spannungsbildern entsprechende Verformungszustände in drei Achsrichtungen bestimmt bzw. die Spannungen überprüft werden können. Die Gruppen von Gebern bilden entweder Achskreuze, oder, wo irgend möglich, Tetraeder, so daß jeweils je Achsrichtung eine Mehrzahl von Messungen vorliegt.

Neben den Meßstellen im Regularteil sind solche noch an Punkten mit Abweichungen von der Zylinderform, etwa bei den seitlichen Durchbrüchen, vorhanden.

Was die Aufnahme und Verwertung der Meßdaten betrifft, wird auf [1] verwiesen.

4,3 Erfahrungen über das Langzeitverhalten solcher Meßgeber konnten an einem vorweg hergestellten Versuchsring, einem 1 m hohen Schuß des Zylindermantels, [1], gesammelt werden, die wesentlich über das hinausgingen, was an kleinen Probekörpern festgestellt werden konnte.

Die hohe Temperatur, das feuchte Milieu mit dem dieser Temperatur entsprechenden Dampfdruck, das chemische Verhalten des Betons gegen Kunststoff, machten zusätzliche Schutzmaßnahmen an diesen Gebern erforderlich, die mit beachtlichem Aufwand verbunden waren. Der erwartete Erfolg muß sich erst beweisen, es kann daher auch an dieser Stelle bzw. zu diesem Zeitpunkt darüber noch nicht berichtet werden.

4,4 Parallel zu den Messungen am Versuchsbehälter laufen im Labor solche an Probekörpern aus Bauwerksbeton, an welchen die Entwicklung der Festigkeit, des statischen und dynamischen E-Moduls und der Querdehnzahl, das Schwinden und Kriechen bei Last und Temperatur, wie sie dem Zustand im Bauwerk entsprechen, gemessen werden.

5. Ergebnis der Messungen

Hier kann vorerst nur über solche berichtet werden, die am Versuchsring gefunden wurden. Sie zeigen, überraschend, trotz der späteren Ausfälle und Versuche der Reaktivierung, brauchbare bis gute Übereinstimmung, wobei diese durch Variationen von E-Modul und Querdehnzahl, entsprechend kurzfristigen Kriechvorgängen, wesentlich verbessert wurden.

6. Schrifttum

[1] Berichte der Österreichischen Studiengesellschaft für Atomenergie Ges.m.b.H.
Erster bis vierter Zwischenbericht zum Gemeinschaftsprojekt Spannbetonbehälter-Heliumversuchsstand (beschränkte Verbreitung)

[1] Yoshiji Niwa, Shoichi Kobayashi and Wataru Koyanagi
Failure Criterion of Lightweight Aggregate Concrete
Subjected to Triaxial Compression
Memoirs of Faculty of Engineering,
Kyoto University, Japan
Vol XXIX, Part II, April 1967

[3] V. Hansson und K. Schimmelpfennig
Concrete Strength in Multiaxial Stress States.
American Concrete Institute Seminar
Concrete for Nuclear Reactors, Berlin 1970

[4] J. P. Magnas et A. Audibert
Critères de résistance du béton sous sollicitations multiaxiales
Annales de l'institut technique du bâtiment et des travaux publics
Supplément à No 287 Novembre 1971

[5] G. Wischers und M. Lusche
Einfluß der inneren Spannungsverteilung auf das Tragverhalten
von druckbeanspruchtem Normal- und Leichtbeton
beton 8/72

[6] H. Weigler und S. Karl
Stahlleichtbeton
Bauverlag, Wiesbaden und Berlin, 1971

[7] P. Launay, H. Gachon, P. Poitevin
Deformation et résistance ultime du béton sous étreintes triaxial
Sixième Congrès International de la Précontrainte
Prag 1970

[8] H. Kupfer, H. K. Hilsdorf, H. Rüsch
Behavior of Concrete under Biaxial Stresses
ACI Journal August 1969

Zusammenfassung

Es wird über den Entwurf und den Bau eines Spannbetondruckbehälters mit heißer Dichthaut und Beton von erhöhter Temperatur zur Prüfung von Reaktorkomponenten berichtet. Für die aus der statischen Berechnung folgenden mehrachsigen Spannungszustände wird die Sicherheit gegen Bruch ermittelt und diskutiert. Die eingebauten Vorrichtungen zur Spannungs- und Verformungsmessung werden beschrieben.

Summary

There ist given a report on the design and construction of a presresse concrete pressure vessel with hot liner and concrete of elevated temperature for testing components of nuclear reactors. The state of stresses resulting from the structural analysis is multiaxial. The factor of security against failure is calculated and dicussed. The devices, installed for measuring stresses and strains are described.

Resumée

Un caisson en béton précontraint avec une peau d'étanchéité chaude et béton à température élevée, pour éprouver des composantes des réacteurs nucléaires est décrit. L'état d'étreinte, resultant du calcul statique, est multiaxiale. Les facteurs de sécurité sont calculés et discutés. Les indicateurs pour mesurer les étreintes et les déformations sont décrits.