

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

**Band:** 5 (1970)

**Artikel:** Langzeitmessungen an temperaturbeanspruchten Stahlbeton- und Spannbetonkonstruktionen und ihre rechnerische Auswertung

**Autor:** Rickenstorf, Günther

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-6913>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **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. [Voir Informations légales.](#)

### **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. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 15.10.2024

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

## Langzeitmessungen an temperaturbeanspruchten Stahlbeton- und Spannbetonkonstruktionen und ihre rechnerische Auswertung

Long-term Measurement and Theoretical Analysis of Thermal Effects in Prestressed and Reinforced Concrete Structures

Mesure et analyse numérique d'essais d'endurance sur des constructions en béton précontraint soumises à des influences thermiques

GÜNTHER RICKENSTORF  
DDR

Zur Erforschung des Einflusses der zeitabhängig plastischen Formänderungen des Betons auf die Schnittgrößen, die Formänderungen und die Spannungsverteilung temperaturbeanspruchter Beton- und Stahlbetonbauteile werden von der Technischen Universität Dresden seit etwa 8 Jahren Langzeitmessungen durchgeführt. Ausgangspunkt war ein umfangreiches Versuchsprogramm für Messungen an 81 temperaturbeanspruchten Stahlbetonplatten und 4 Spannbetonplatten. Sie waren 200 bzw. 400 mm dick, 500 mm breit und 2400 mm lang. Der Bewehrungsprozentsatz der Zugbewehrung wurde zwischen 3,2 % und 15,5 % variiert. Es kam Portlandzementbeton der Güte B 300 mit normalen Kieszuschlägen und einem Wasserzementfaktor von 0,43 zur Verwendung. Die Platten waren zweiseitig verdrehungsbehindert jedoch längsbeweglich gelagert. Sie wurden auf ihrer Unterseite langfristig einer konstanten Gastemperatur im Bereich bis 300 °C ausgesetzt. Die Aufheizgeschwindigkeit betrug 20 grd/h. In einigen Fällen wurde mit 5 grd/h und 100 grd/h aufgeheizt. Schließlich wurde auch der mehrfach unterbrochene Heizbetrieb im Versuch nachgebildet.

Das Meßprogramm sah Langzeitmessungen folgender Formänderungs- und physikalischer Größen vor:

- Dehnungen und Dehnungsänderungen der Zug- und Druckbewehrung,
- Längenänderung und Durchbiegung des Meßbereiches,
- Änderung der Einspannmomente an den Auflagern,
- Änderung der Vorspannkräfte,
- zeitliche Veränderungen der Rißweiten und der Rißabstände,
- Temperaturverteilung und Feuchtigkeitsverteilung im Versuchskörper,
- Temperatur, Feuchtigkeit und Geschwindigkeit der Heizgase,
- Temperatur und Luftfeuchtigkeit in der Versuchshalle,
- Baustoffkenngrößen des Betons (Kaldruckfestigkeit, Biegezugfestigkeit, Elastizitätsmodul, Spannungs-Dehnungs-Linie, Wärmedehnzahl, Wärmeleitfähigkeit) und
- Baustoffkenngrößen des Stahles (Fließgrenze, Bruchfestigkeit, Elastizitätsmodul, Wärmedehnzahl).

Parallel zu den vorstehend beschriebenen Großversuchen wurden im Labor Kriech- und Relaxationsversuche an temperaturbeanspruchten Betonprismen durchgeführt. Schließlich fanden die umfangreichen Untersuchungen eine wertvolle Abrundung durch Langzeitmessungen an temperaturbeanspruchten Bauwerken im Betriebszustand. Hier seien vor allem die Messungen an den drei futterlosen Stahlbeton-Experimental-Schornsteinen in der DDR erwähnt (Bild 1).

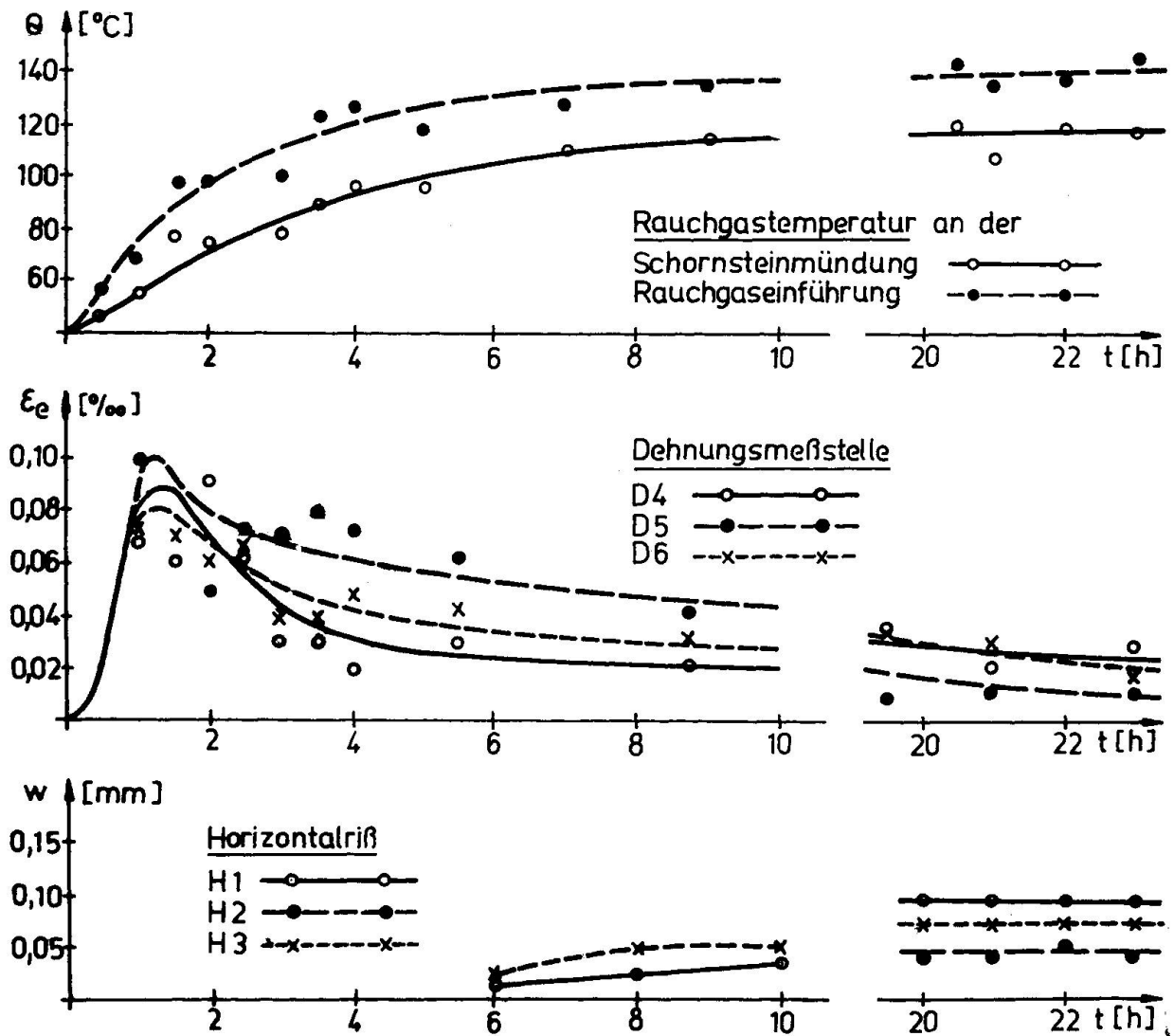


Bild 1: Beanspruchung eines Stahlbetonschornsteinmantels mit  $d = 150 \text{ mm}$  und  $\mu_z = 0,5 \%$  bei erstmaliger Aufheizung

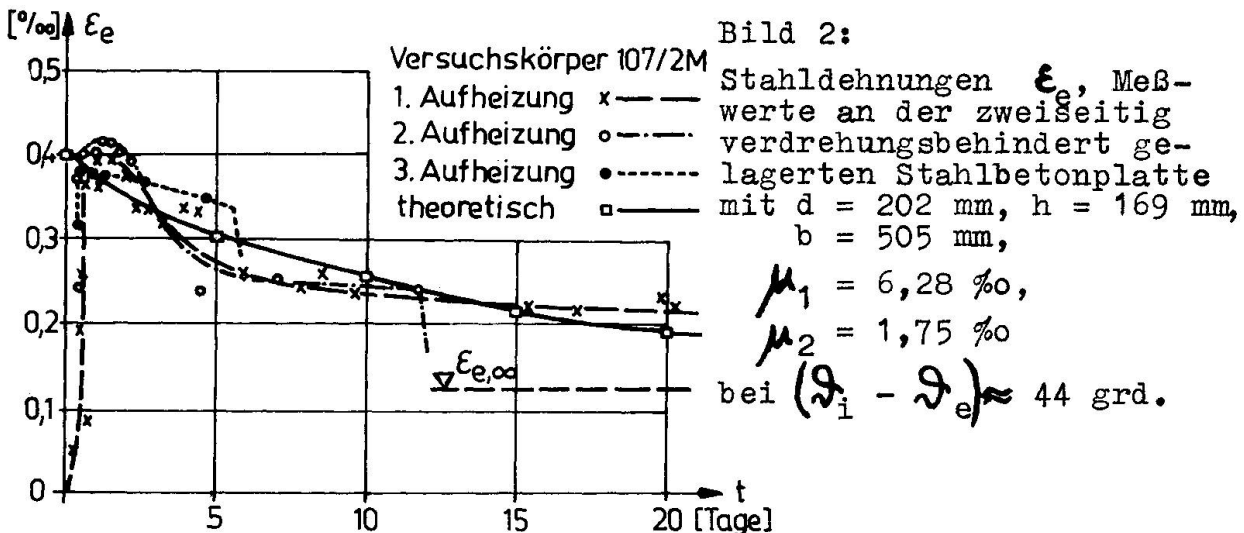
- Rauchgastemperatur  $\Theta$ ,
- Stahldehnung  $\epsilon_e$  in der Längsbewehrung und
- Rißweiten  $w$  der Horizontalrisse.

Über die Versuchsergebnisse und ihre theoretische Auswertung wurde in der Fachliteratur berichtet [1] [2] [3]. Nachfolgend eine kurze Zusammenfassung des gegenwärtigen Erkenntnisstandes verbunden mit Schlußfolgerungen für die praktische Nutzung der Ergebnisse:

- Jedes Beton- und Stahlbetontragwerk, das erstmalig einer wesentlichen Temperaturbeanspruchung ausgesetzt wird, weist plastische Formänderungen in Form des Schwindens oder Schrumpfens auf. Je nach Belastung und Lagerungsart werden zusätzlich

Kriechformänderungen wirksam. Im Vergleich mit den Formänderungen und Kräfteumlagerungen unter normalen atmosphärischen Bedingungen machen sich unter Temperatureinfluß die Schwind- und Kriecheinflüsse bedeutend schneller und in größerem Umfange bemerkbar.

- 2) Die zeitabhängigen plastischen Formänderungen des Betons haben einen bestimmenden Einfluß auf die Größe und den zeitlichen Verlauf der Schnittgrößen (Biegemomente, Normalkräfte) und Baustoffbeanspruchungen (Normalspannungen im Beton und im Bewehrungsstahl). Bei gleichbleibender statischer und thermischer Belastung nimmt die Stauchung der Betondruckzone ständig zu. Hierdurch werden die Zwängungsverformungen und damit sowohl die elastischen Betonstauchungen  $\epsilon_p$ , elastischen Stahldehnungen  $\epsilon_e$  (Bild 2) wie auch die Schnittgrößen abgebaut (Bild 3). Von besonderem Interesse ist hierbei, daß auch noch bei sehr alten Betonen und bei Betonen, die bereits wiederholt einer Temperaturbeanspruchung ausgesetzt worden waren, die plastische Verformungswilligkeit erhalten bleibt.



- 3) Die Größe der zeitabhängigen Schnittkraft- und Spannungsumlagerungen wird in Stahlbetonkonstruktionen erstrangig von der Höhe der Temperaturbeanspruchung, von den Querschnittsabmessungen und vom Bewehrungsgrad beeinflusst. Bei den untersuchten Portlandzementbetonen mit mineralischen Zuschlägen übten im Temperaturbereich bis etwa  $300^\circ\text{C}$  die betontechnologischen Einflußfaktoren (Zementmenge, Art der Zuschlagstoffe,...) und die Länge der Schonzeit nur einen untergeordneten Einfluß aus.
- 4) Im Verlauf von etwa 18 Versuchstagen wurden bei gleichbleibender thermischer Beanspruchung ein Abbau der Stahlspannungen um etwa 30 bis 50 % bezogen auf die gemessenen Maximalwerte festgestellt. Im gleichen Zeitraum verminderten sich die Schnittgrößen sogar um etwa 50 bis 80 % bezogen auf die gemessenen Maximalwerte. Dieser Tatbestand kann durch die zunehmende Plastifizierung der Betondruckzone und der hiermit verbundenen Abnahme des Hebelarmes der inneren Kräfte erläutert werden. Bei Versuchsende - nach etwa 20 Tagen - waren die Relaxationserscheinungen noch nicht zum Stillstand gekommen. Die zeitlichen Änderungen der Meßgrößen waren jedoch - vor allem bei hohen Temperaturbeanspruchungen - nur noch gering.

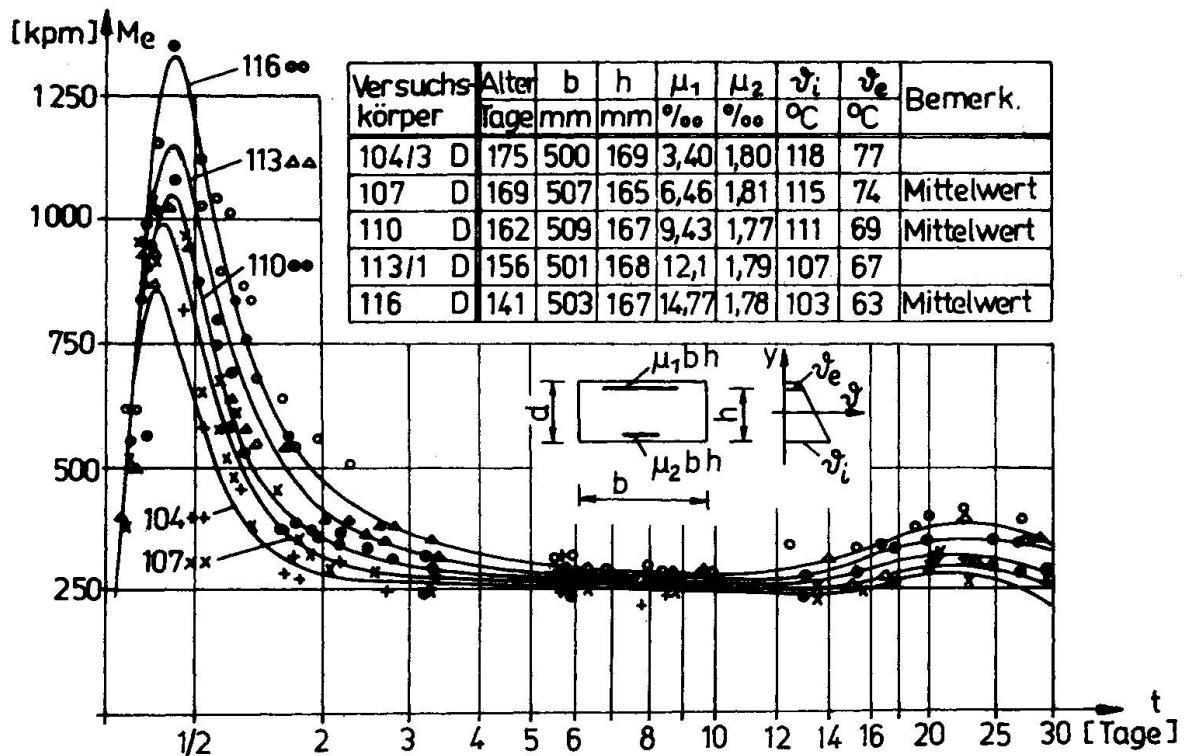


Bild 3: Einspannmomente  $M_e$  einer zweiseitig verdrehungsbehindert gelagerten Stahlbetonplatte bei erstmaliger Aufheizung in Abhängigkeit von der Zeit  $t$  und dem Bewehrungsgrad (Zugbewehrung), Aufheizgeschwindigkeit 20 grd/h.

- 5) Die Extremwerte der Zwängungsbeanspruchungen (Schnittgrößen und Spannungen) treten bei der erstmaligen Aufheizung und etwa zu dem Zeitpunkt auf, zu dem der Stahlbetonquerschnitt praktisch den stationären Zustand erreicht hat (für eine 200 mm dicke Betonplatte bei einachsiger Wärmeströmung etwa nach 15 bis 30 Stunden). Bei allen weiteren Aufheizvorgängen werden unter gleicher thermischer Beanspruchung kleinere Extremwerte der Schnittgrößen und Normalspannungen gemessen. Sie nähern sich asymptotisch einem Endwert. Die negativen Momentenordinaten des erkalteten Zustandes nehmen eine Größe von 10 bis 50 % der Biegemomente an, die bei langfristig stationären Temperatureinfluß auftreten. Für Spannbetontragwerke muß sogar mit einem Anwachsen der negativen Momente bis zur gleichen Größe der positiven Momente des warmen Zustandes gerechnet werden. Im Bild 4 wird dieser für die Bemessung der Stahlbetonkonstruktionen bedeutsame Zusammenhang anhand von Meßergebnissen veranschaulicht.
- 6) Das Ribbild einer thermisch beanspruchten Stahlbetonkonstruktion wird nach Ribzahl und Ribabstand im wesentlichen von der Maximalbeanspruchung des ersten Aufheizvorganges bestimmt. Im wiedererfalteten Zustand schließen sich die Biegerisse der Zugzone immer dann nahezu vollständig, wenn kein unterbewehrter Querschnitt vorliegt. Die größten Ribweiten treten gleichzeitig mit den Extremwerten der Stahldehnungen auf. Sie nehmen an Stahlbetontragwerken bei unterbrochener thermischer Beanspruchung mit jeder Aufheizung zu und nähern sich asymptotisch einem Endwert.

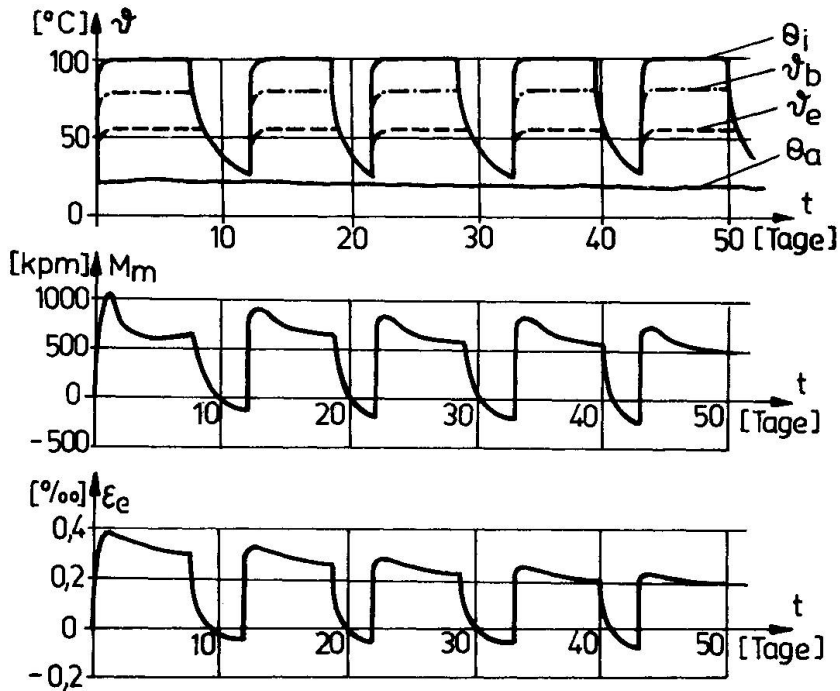


Bild 4:

Einspannmomente  $M_m$  und Stahldehnungen  $\epsilon_e$  einer zwei-seitig verdrehungs-behindert gelagerten Stahlbetonplatte bei unterbrochener Temperaturbeanspruchung,

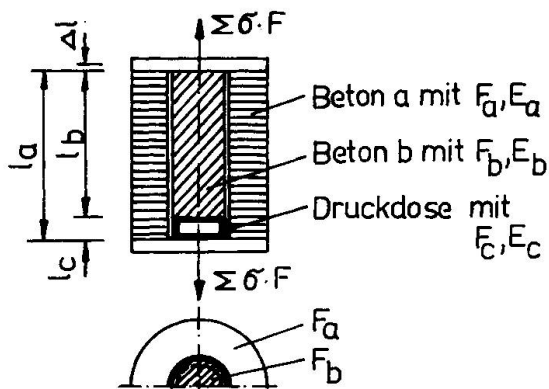
$$\mu_1 = \mu_2 = 7 \text{ ‰},$$

$$d = 200 \text{ mm}.$$

- 7) Bei unterbrochenem Betrieb tritt während der Abkühlungsphase stets die oben beschriebene Umkehrung des Vorzeichens der Schnittgrößen auf. Dies führt am wiedererkalteten Bauwerk zur Ribbildung an der ursprünglich warmen Oberfläche. Um auch diese Ribbildung bei einseitig temperaturbeanspruchten Stahlbetonbauwerken im erforderlichen Umfang nach Maßgabe der Korrosionsgefährdung und der Standfestigkeit steuern zu können, sind derartige biegebeanspruchte Bauwerke mit einer zusätzlichen Stahlbewehrung an der im Betriebszustand warmen Querschnittsseite zu versehen. Diese Forderung hat in vielen Fällen bei Stahlbeton-Schornsteinen, -Rauchgaskanälen, -Behältern, -Bunkern u.ä. Tragwerken Bedeutung.
- 8) Die zeitabhängigen plastischen Formänderungen des Betons beeinflussen bereits die Extremwerte der Schnittgrößen und Normalspannungen bei erstmaliger Aufheizung. Sie dürfen somit bei der Bemessung thermisch beanspruchter Stahlbetonkonstruktionen berücksichtigt werden. Mit ihrer Berücksichtigung können die zulässigen Temperaturbereiche der Stahlbetontragwerke bis auf ein Mehrfaches gegenüber den bisher zulässigen Beanspruchungen erhöht und damit erhebliche Baustoffeinsparungen erzielt werden. Die widerspruchsfreie Erfassung hoher Temperaturbeanspruchungen in Stahlbetontragwerken wurde erst über die Berücksichtigung der plastischen Betondeformationen ermöglicht.
- 9) Werden Bauteile und Bauwerke zur Aufnahme der Zwängungsbeanspruchung aus behinderter Temperaturformänderung bewehrt, dann ist stets ein statischer Nachweis für die Bewehrungsstäbe erforderlich. Der Beanspruchungszustand der Bewehrung kann nur dann zutreffend erfaßt werden, wenn der Nachweis unter Berücksichtigung der Ribbildung - also im Spannungszustand II - und unter Berücksichtigung der zeitabhängig plastischen Formänderungen geführt wird.
- 10) Die strenge rechnerische Erfassung der Zwängungsbeanspruchungen im Spannungszustand II unter Berücksichtigung der zeitabhängig



plastischen Formänderungen des Betons ist äußerst aufwendig und nur in wenigen Sonderfällen möglich [4]. Für die Anwendung in der Projektierungspraxis müssen geeignete Näherungsverfahren zur Verfügung gestellt werden. Die Abminderung des Elastizitätsmoduls des Betons nach Maßgabe der plastischen Betonverformungen bei gleichzeitiger Annahme eines größeren Volligkeitsgrades der Spannungsverteilung in der Betondruckzone ermöglicht z. B. sehr einfache Bemessungsansätze [5]. Für Stahlbetonschornsteine ist eine derartige Näherungsbetrachtung nach TGL 10705, Blatt 3, bauaufsichtlich bereits zugelassen.



Im Lastfall  $\Delta l = \text{const.}$  wird zum Zeitpunkt  $t_1$  mit der Kriechzahl  $\varphi_1$

$$U_1 = \frac{\sigma_{a,1}}{\sigma_{c,1}} = \frac{1}{\alpha} \cdot \frac{l_b E_a F_c}{l_a E_b F_b} \cdot e^{\varphi_1(\alpha-1)}$$

mit  $\alpha = \frac{l_b E_c F_c}{l_b E_c F_c + l_c E_b F_b}$

Bild 5: Meßanordnung mit Druckmeßdose, Prinzipskizze.

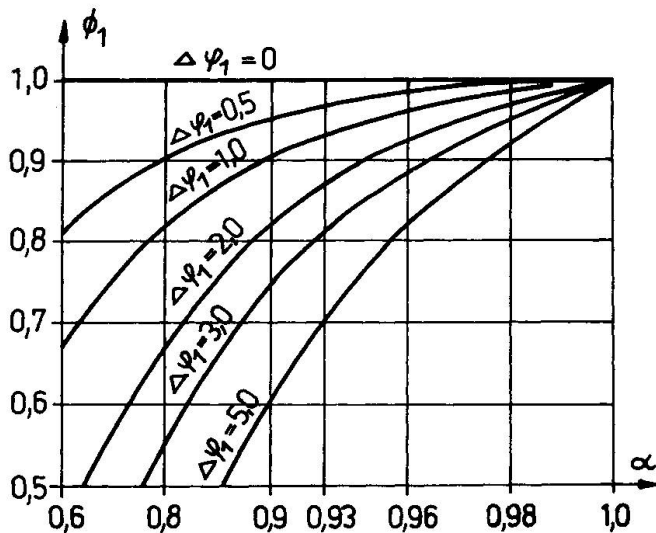


Bild 6: Fehlerfunktion  $\phi_1 = e$  infolge um  $\Delta\varphi_1$  falsch angenommener Kriechzahl  $\varphi_1$ .

Bei gleichbleibender Formänderungsbehinderung und stationärer Temperaturbeanspruchung ist zu jedem Zeitpunkt  $t$  die Summe aus elastischen Kriech- und Schwinddehnungen gleich groß. Die unmittelbare Messung der Dehnungen und Stauchungen aus viskoelastischen Baustoff (Beton) mit den herkömmlichen Meßgebern (Dehnmeßstreifen, Setzdehnungsmesser, Tensometer, schwingende Saite, ...) würde auf eine gleichbleibende Betonbeanspruchung schließen lassen, obwohl die viskosen Betondeformationen wesentliche, zeitabhängige Spannungsumlagerungen (Relaxation) zur Folge haben. Kann jedoch der Meßgeber dem Abbau der elastischen Dehnungsanteile durch eine elastische Entspannungsdehnung folgen, so wird eine Anzeige der Spannungsumlagerungen aus Relaxation möglich. Im Bild 5 ist das Beispiel einer Meßanordnung mit Druckmeßdose angegeben. Durch entsprechende Wahl der Querschnittswerte  $l, F$  und  $E$

$$l_b \cdot E_c \cdot F_c \gg l_c \cdot E_b \cdot F_b$$

können Meßfehler weitgehend ausgeschaltet werden. In diesem Fall gehen die Steifigkeit  $\alpha$  und die Fehlerfunktion  $\phi_1$  infolge falsch angenommener Kriechzahl  $\varphi_1' = \varphi_1 - \Delta\varphi_1$  gegen eins (Bild 6). Der Umrechnungsfaktor  $U_1$  ist dann nur noch von den bekannten Querschnittswerten abhängig [2] [4].

Im Bild 7 sind die Ergebnisse von Relaxationsmessungen mit einer vorstehend beschriebenen Meßanordnung im Laborversuch aufgetragen.

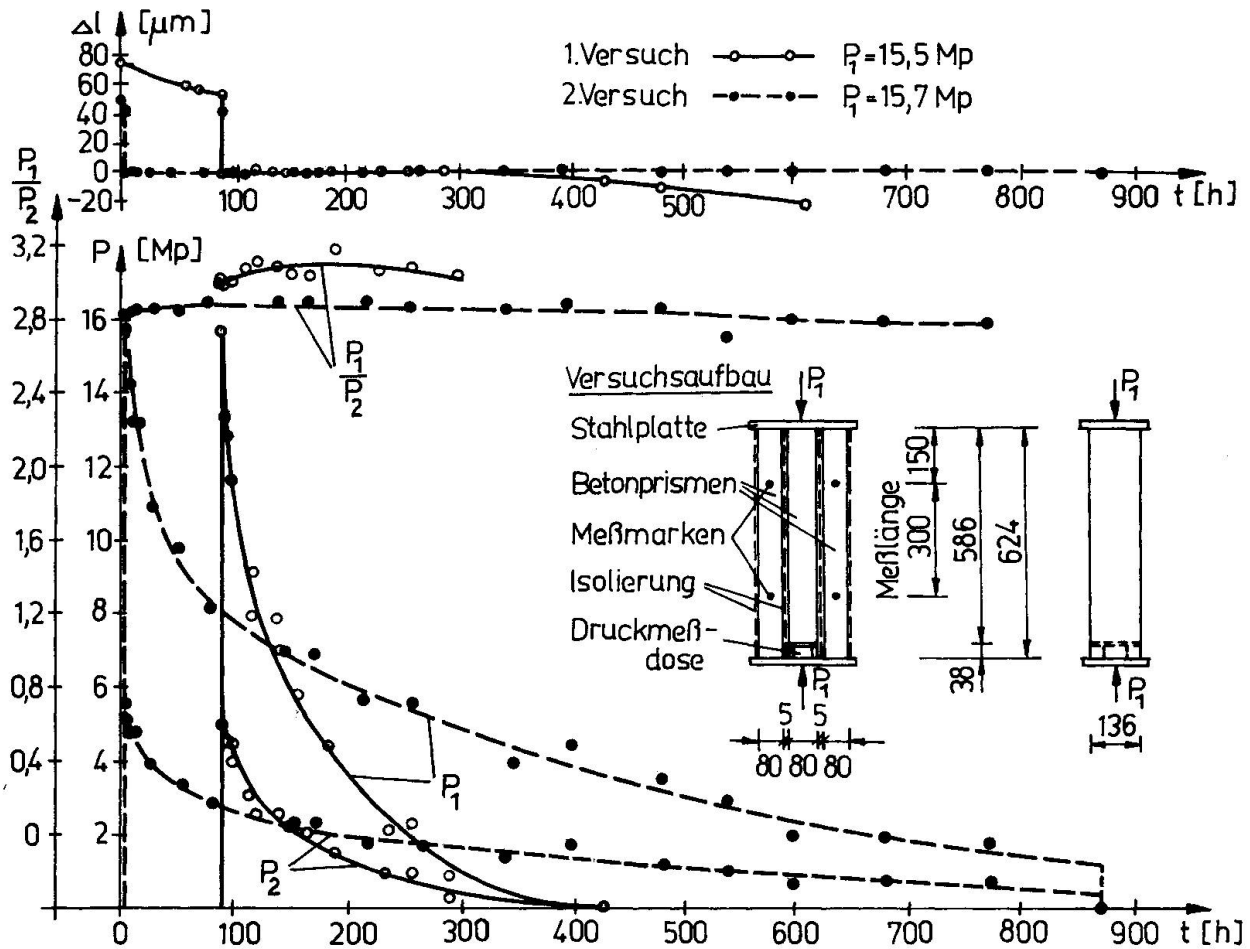


Bild 7: Relaxationsmessungen mit Druckmeßdose; Laborversuch bei  $30^{\circ}\text{C}$ ;  $F_1$  und  $P_1$  Querschnittsfläche bzw. Kraft in allen drei Betonprismen;  $F_2$  und  $P_2$  entsprechend im mittleren Betonprisma allein.

#### Literatur

- [1] Rickenstorf, G.: Temperature stresses in reinforced concrete members; Research apparatus for long-term measurement. RILEM-Bulletin, Paris, Nr. 26, März 1965, Seiten 84 bis 91.
- [2] Rickenstorf, G.: Langzeitmessungen an thermisch beanspruchten Stahlbetonkonstruktionen. Proceedings Conference on Experimental Methods of Investigating Stress and Strain in Structures, Prag 1965, Seiten 773 bis 782.
- [3] Rickenstorf, G.; Conrad, G. und Kolb, G.: Measurements on reinforced concrete experimental chimney without lining. Bericht des IASS-Symposiums Bratislava 1966, Paper Nr. 52, Seiten 1 bis 17.
- [4] Rickenstorf, G.: Rheologische Probleme temperaturbeanspruchter Stahlbetonbauteile (Zustand II). VEB Verlag für Bauwesen, Berlin 1967.
- [5] Mlosch, P.: Betontaschenbuch, Band II, Berechnung und Bemessung, Abschnitt 6.1 "Wärmespannungen". VEB Verlag für Bauwesen, Berlin 1964, 2. Auflage.



### Zusammenfassung

Es wird über die Ergebnisse von Formänderungs-, Schnittkraft- und Spannungsmessungen an Stahlbetonschornsteinen und Stahlbeton- bzw. Spannbetonplatten unter einseitiger-einachsiger Temperaturbeanspruchung berichtet. Es ergibt sich eine ausgeprägte zeitliche Abhängigkeit von den viskosen Formänderungen des Betons (Kriechen und Schwinden). Eine für die Erfassung von Relaxationsvorgängen in massiven Beton- und Stahlbetonbauwerken geeignete Meßvorrichtung wird beschrieben. Für die rechnerische Erfassung der zeitabhängigen Zwängungsbeanspruchungen in temperaturbeanspruchten Betonkonstruktionen werden Hinweise gegeben.

### Summary

Results are presented of measurements of deformations, internal forces and stresses in reinforced concrete chimneys and in reinforced concrete and prestressed concrete plates subjected to single faced, one dimensional temperature stresses. A distinct time variation results from the viscous deformation of concrete (creep and shrinkage). A device for measuring the relaxation process in massive concrete and reinforced concrete structures is described. Suggestions are given for the mathematical determination of time-dependent stresses in thermally stressed concrete structures.

### Résumé

L'article rapporte les mesures de déformation, de réaction de coupe et de tension apparaissant dans des pièces telles que cheminées en béton armé, dalles de béton armé ou de béton précontraint, soumises à des sollicitations unilatérales et uniaxiales de température. Il en résulte que les déformations visqueuses du béton (fluage et retrait) sont fortement dépendantes du temps. On décrit un dispositif de détection et de mesurage des processus de relaxation dans des constructions massives de béton et de béton armé. On donne aussi des indications pour l'évaluation numérique de sollicitations forcées dépendantes du temps dans des constructions en béton soumises à des influences thermiques.