

ZEMENT-KALK-GIPS

FORSCHUNG · HERSTELLUNG · VERWENDUNG

ZKG

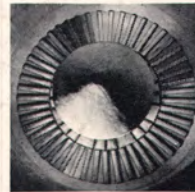
Februar 1973 · 26. Jahrgang
(62. Jahrgang »Zement«)

Arch.

Haver

Homogenisieren. Aber „ohne“.

Belegexemplar



Homogenisieren im Durchlauf.

Daher keine Chargen. Geringere Energiekosten.

Homogenisieren mit Doppelkegel.

Daher kein Gasstau. Entlüftung nicht nötig.

Für eine schnelle und restlose Silo-Entleerung von Staubgut oder feinkörnigen Schüttgütern mit Staubgehalt hat Möller den nach dem Doppelkegel-Prinzip arbeitenden Kegelkammer-Silo entwickelt – ein Ergebnis intensiver Möller-Forschung. Ein ringsum geschlossener Doppelkegel über dem Siloauslauf verhindert – im Gegensatz zur unten offenen Hutform – von vornherein jegliche Gasblasenbildung im Silo. Das macht eine zusätzliche, kostspielige Entlüftung überflüssig. Im Möller-Kegelkammer-Silo nimmt daher der gesamte Inhalt an der Ausflußbildung teil. Durch Prozeßsteuerung nach dem Möller-Synchrotor-Verfahren wird gleichzeitig eine starke Mischwirkung beim Durchlauf erzielt. Bei diesem Verfahren wird der Siloboden je nach Größe in ein Zentralfeld und mehrere konzentrisch darum gelagerte Ringzonen unterteilt. Die in sich noch einmal unterteilten Ringzonen werden – von innen nach außen – von einem rotierenden Verteiler mit Luft versorgt, die in das Schüttgut eindringt und es fluidisiert. Es bilden sich keine Brücken, das Gut wird nicht verdichtet und kann abfließen. Optimale Wirkung wird erreicht, wenn bei dieser Prozeßsteuerung der Silo über eine Spinne mit mehreren pneumatischen Förderrinnen befüllt wird.



Maschinen- und Apparatebau

Johannes Möller - 2 Hamburg 50 - Schillerstr. 435 - Postf. 50 10 69 - Tel. (04 11) 39 14 81 - FS 02 12 302
Büro West: 43 Essen - Am Mühlenbach 14 - Telefon (0 21 41) 77 71 10 - Fernschreiber 08 579 048

Temperaturbeeinflussung der Elastizität und Festigkeit von Kunststoff-Betonen

Influence of temperature on the elasticity and strength of resin concretes

Influence de la température sur l' "élasticité et la résistance des bétons plastiques"

Von **R. Bareš**, Institut für Theoretische und Angewandte Mechanik der Tschechoslowakischen Akademie der Wissenschaften, Prag/ČSSR

In früher veröffentlichten Berichten^{1,2)} führte der Autor einige Ergebnisse der im Institut für Theoretische und Angewandte Mechanik der Tschechoslowakischen Akademie der Wissenschaften ausgeführten Untersuchungen der Kunststoff-Betone an. Die vorliegende Arbeit bringt weitere Untersuchungen über den Einfluß verschiedener Temperaturen auf das Verformungsverhalten und die Festigkeit des Furan-Kunststoffbetons (Berols). Wie schon früher nachgewiesen, sind die gefundenen Abhängigkeiten qualitativ auch für jede beliebige andere Sorte des Kunststoff-Betons gültig.

1. Einleitung

In einem früheren Bericht²⁾ wurden Angaben über die Verformung von Kunststoff-Betonen im Verlauf ihrer Belastung als wichtige Unterlagen für ihre konstruktive Nutzung gemacht. Für ihre Verwendung unter praktischen Bedingungen ist allerdings auch die Kenntnis des Einflusses der Temperatur auf den Verformungscharakter von Bedeutung. Dieser Einfluß ist bei Kompositmaterialien mit einer von Plast gebildeten Phase merklich stärker als bei traditionellen Werkstoffen. Die Abhängigkeiten zwischen Spannung, Verformung, Temperatur und Zeit bilden daher in ihrer Zusammenfassung eine Grundbedingung für das Verständnis des Verformungsverhaltens dieser Materialien sowie für jede erfolgreiche praktische Verwendung, so daß manche der veröffentlichten Erkenntnisse zu diesem Zweck gute Dienste leisten können.

2. Einfluß der Temperatur auf das Arbeitsdiagramm

Zur Bestimmung des Einflusses der Temperatur auf den Verformungscharakter des Kunststoff-Betons bei mechanischer Außenbeanspruchung wurde ein ausgedehnter Versuch durchgeführt, und zwar durch Untersuchung von Probekörpern, die aus fünf verschiedenen Gemischen (gemäß dem Verhältnis des Bindemittels zum Füllstoff) bei neun verschiedenen Temperaturen (-20° , -10° , 0° , 10° , 20° , 40° , 60° , 80° und 100° C) hergestellt wurden. Zusammensetzung der Gemische: 10 Gewichtsteile Furfurylalkohol, 1 Gewichtsteil Furfurylaldehyd, 1 Gewichtsteil Härter, Sand bis 7 mm 50-80-100-150-200 Gewichtsteile (Bezeichnung 1, 2, 3, 4, 5). Herstellung bei 19 bis 21° C und 35 bis 46% relativer Feuchtigkeit. Behandlung bei der Erhärtung: 60° C, 20% relative Feuchtigkeit. Alter bei der Prüfung: 2 Monate; Größe der Pro-

ben: $4 \times 4 \times 16$ cm. Beanspruchungsart: durch fließend anwachsenden Druck. Die Längs- sowie Querverformungen wurden durch Dehnungsmeßstreifen inmitten der Höhe des Prismas ermittelt; die Abtastung der Angaben wurde durch zwei Brücken gleichzeitig bei den einzelnen Belastungsstufen ausgeführt.

Die Prüfung verlief in einem besonderen Temperierschrank mit einer durch Ultrathermostat mittels Öl (positive Temperaturen) und unterkühlten Alkohols (negative Temperaturen) geregelten Temperatur, in der Belastungsmaschine Schopper 10 t. Die Temperatur im Temperierschrank wurde überdies unmittelbar durch ein eingelegtes Thermometer kontrolliert. Die Belastung wurde kontinuierlich bis zum Bruch erhöht. Die Anordnung der Prüfung ist in Bild 1 dargestellt.

Die experimentell ermittelten Arbeitsdiagramme bei verschiedenen Temperaturen sind für die einzelnen Gemische (bei einem Gewichtsverhältnis des Bindemittels zum Füllstoff von 1:5, 1:8, 1:10, 1:15, 1:20) in den Bildern 2 bis 6 angeführt. Auf der waagerechten Achse sind die ermittelten Längs- oder Querverformungen bzw. die aus ihnen gemäß der Bezeichnung $\varepsilon_v = \varepsilon_{\text{längs}} + 2 \varepsilon_{\text{quer}}$ berechneten Volumendeformationen und der Verlauf des Poissonschen Koeffizienten μ (< 1) aufgetragen, auf der senkrechten Achse die durch das Verhältnis der wirklichen Spannung zur festgestellten Prismafestigkeit gegebene relative Druckspannung. Die durchschnittlichen absoluten Festigkeitswerte sind in diesen Bildern zusammen mit dem schematischen Bruchcharakter angeführt.

Erwartungsgemäß weisen das sprödeste Verhalten, mit steilstem Arbeitsdiagramm (gemäß den linearen Deformationen) alle Gemische bei niedrigen Temperaturen

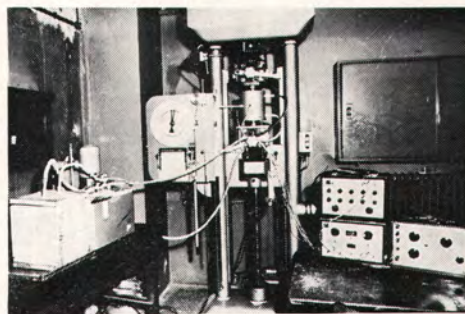


Bild 1: Anordnung der Druckprobe von Berolprismen bei verschiedenen Temperaturen

auf. Die Unterschiede im Temperaturbereich -20°C bis $+20^{\circ}\text{C}$ sind dabei verhältnismäßig gering. Besonders kleine Unterschiede kann man in diesem Sinne bei Gemischen mit kleiner Bindemittelmenge (im Bereich mit kommunizierender Porosität) feststellen. Ein plastischeres Verhalten weist der Kunststoff-Beton bei höheren Temperaturen (40° bis 100°C) auf, und zwar um so mehr, je größer die enthaltene Bindemittelmenge ist. Einen markanten Einfluß auf die Form sowie die absoluten Abmessungen der Arbeitsdiagramme hat bei allen Gemischen erst eine Temperatur von 60°C an (d. h. 60° , 80° , 100°). Man kann andererseits beobachten, daß bei allen Temperaturen das Arbeitsdiagramm von Gemischen mit nicht kommunizierender oder nur teilweise kommunizierender Porosität (d. h. von Gemischen 1 bis 3) eine sehr ähnliche Form sowie sehr ähnliche absolute Werte aufweist.

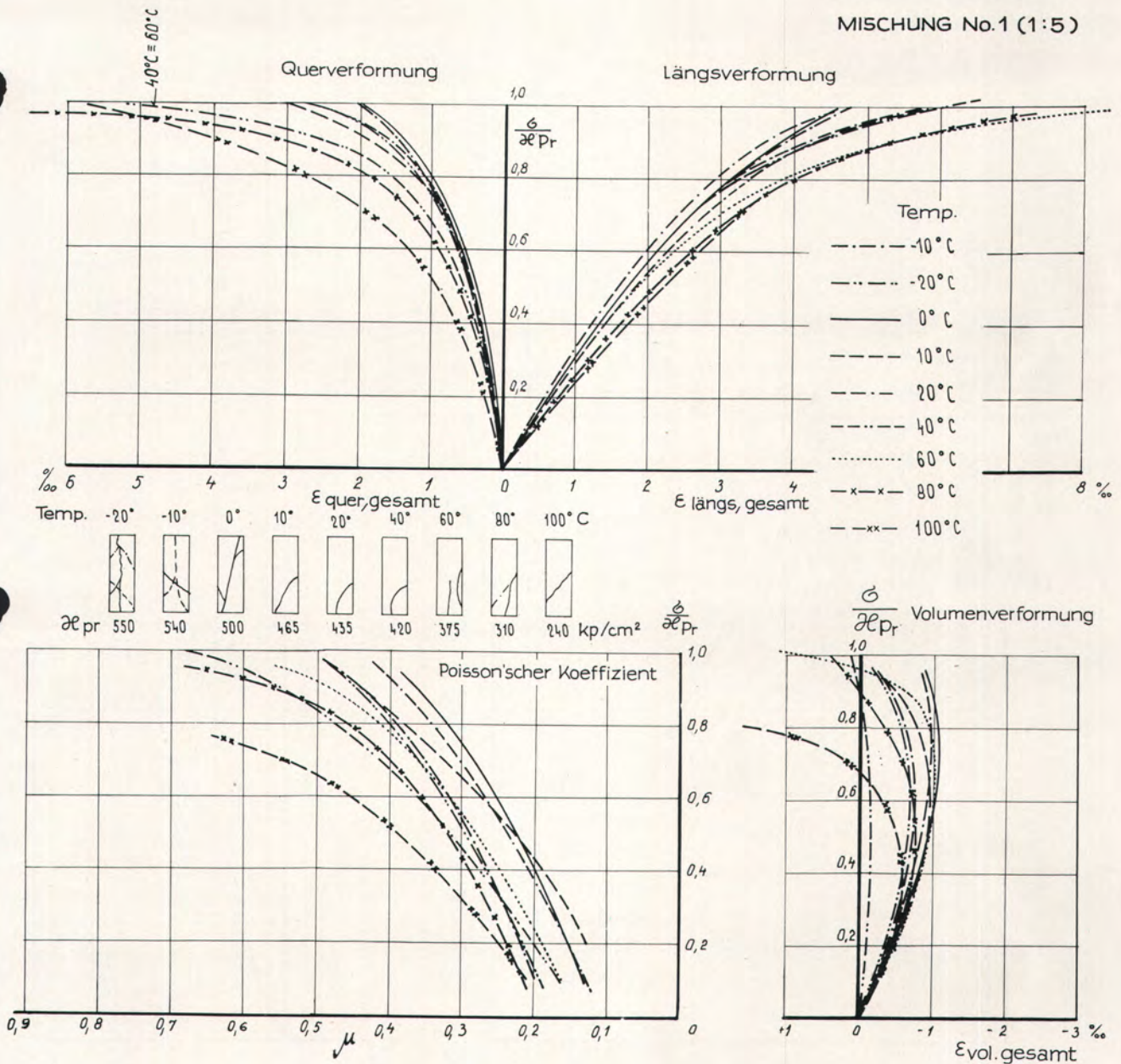
Wie schon in einem früheren Aufsatz²⁾ gezeigt wurde, kommt es von einer bestimmten Beanspruchung an bei den Gemischen 1 und 2 zu einer Vergrößerung des Volu-

mens mit ansteigendem Druck; sie tritt um so mehr und um so eher ein, je größer die Temperatur ist. Dieser Temperatureinfluß ist auch bei den übrigen Gemischen klar erkennbar. Im Hinblick auf die Verformung bei Beanspruchung ist also eine Erhöhung der Bindemittelmenge im System in seinen Folgen gleichwertig mit einer Erhöhung der Temperatur.

In Übereinstimmung mit der angeführten Beobachtung steht auch der Verlauf des Poissonschen Koeffizienten μ . Er erreicht die größten Werte für Gemische mit größerer Bindemittelmenge und bei höheren Temperaturen.

3. Temperatureinfluß auf die Grenzdeformationen

Eine eingehendere Analyse verdient der Verlauf der Grenzdeformationen als wichtiger Charakteristik des Materials. Es zeigte sich, daß sich die Längsgrenzdeformationen bei allen Gemischen kontinuierlich mit wachsender Temperatur vergrößern (Bild 7). Die Quergrenz-



Bilder 2—6: Arbeitsdiagramme des Berols bei Zusammensetzungen von 1:5, 1:8, 1:10, 1:15 und 1:20 bei verschiedenen Temperaturen

deformationen ändern sich gleichfalls kontinuierlich, sie wachsen jedoch erst nach anfänglichem schwachem Absinken annähernd von 0° C an (Bild 8). Den größten Einfluß auf die Grenzdeformationen hat in Übereinstimmung mit den beiden letzten Diagrammen eine Temperaturänderung bei Gemischen mit größeren Bindemittelgehalten.

Den Verlauf der Volumengrenzdeformation zeigt das weitere Bild 9. Man sieht, daß es zu einer größeren Beeinflussung nur bei den Gemischen 1 und 2, d. h. im ersten Bereich mit nichtkommunizierender Porosität kommt. Beim Gemisch 1 kommt es bei Druckspannung schon bei Temperaturen von 20° C an zu einem Aufquellen, zur Vergrößerung des ursprünglichen Volumens. Man kann hinzufügen, daß eine Verringerung der Längs- sowie der Quergrenzdeformationen mit dem Abnehmen

des Bindemittels im System, wie es bereits früher²⁾ festgestellt wurde, und zwar bei allen Temperaturen, eintritt.

4. Einfluß der Temperatur auf die Festigkeit

Die mit der Temperatur zusammenhängende Festigkeitsänderung für verschiedene Gemische zeigt Bild 10. Der Kurvenverlauf weist auf die Verwandtschaft der Mischungen 1:10, 1:15, 1:20 hin. Die größte Festigkeit zeigen diese Gemische in der Umgebung der Temperatur von 60° C (schraffierter Teil A), bei der die Aushärtung verlief. Natürlicherweise ist der die Festigkeit stark beeinflussende innere Spannungszustand des Materials am günstigsten bei einer Temperatur, bei der das Material erhärtete (Wärmedilatation Null). Die weiteren zwei Gemische 1:5 und 1:8 haben praktisch gleiche Festigkeiten

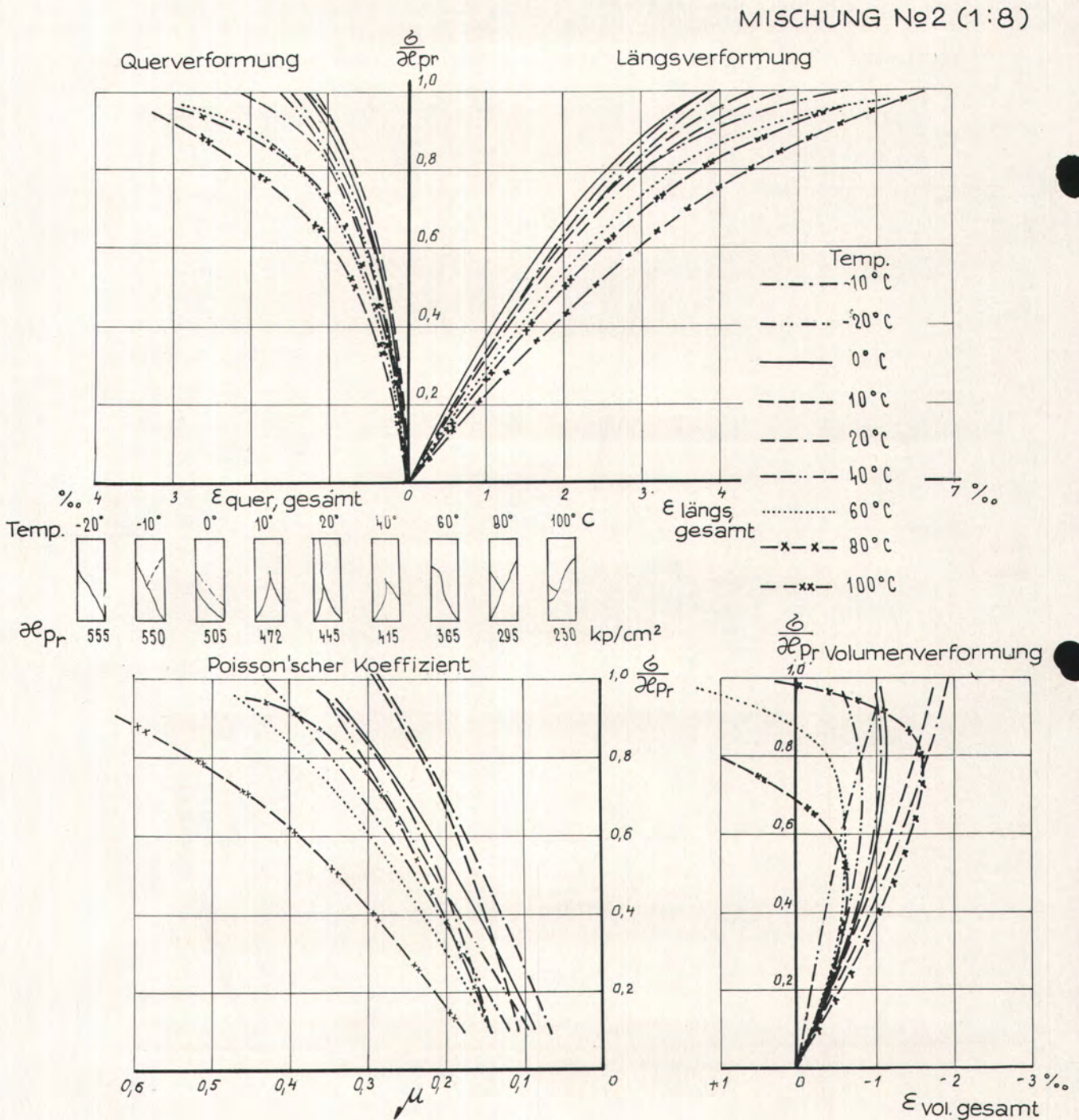


Bild 3

und einen gleichen Verlauf bei Temperaturänderung: bei kleiner Beeinflussung in der Umgebung der Temperatur von 40 bis 60° C sinkt die Festigkeit fast kontinuierlich mit dem Anwachsen der Temperatur. Die Druckfestigkeit des reinen Bindemittels (Furol-Fural-Harz) vergrößert sich offensichtlich mit dem Absinken der Temperatur unter die normale Zimmertemperatur. Demgegenüber ersieht man aus den Kurven der Gemische 1:10, 1:15, 1:20, daß der Temperaturabfall bis zu negativen Werten die Festigkeit auch bei Vorhandensein einer kommunizierenden Porosität des Systems nur unmerklich verringert.

5. Temperatureinfluß auf das Kriechen

Eine vom Konstruktionsstandpunkt aus wichtige Frage ist der Temperatureinfluß auf das Verhalten des Kunststoff-Betons bei Langzeitbelastung. Zu diesem Zweck wurden langfristig die Durchbiegungen gebogener Prismen von $2 \times 2 \times 10$ cm beobachtet, die in der Mitte der Spannweite (9 cm) durch eine Einzellast mittels Hebelsystem, bei Temperaturen der Umgebung von -10°, 25°, 40°, 60° und 100° C, belastet wurden.

Die Lasten wurden so gewählt, daß sie eine maximale

Biegungsspannung in der Höhe von 30 % der kurzzeitigen Biegefestigkeit ausübten. Die Prüfkörper waren aus fünf gleichen Gemischen mit Verhältnis des aktiven Bindemittels zum Füllstoff von 1:5, 1:8, 1:10, 1:15 und 1:20 (Bezeichnung 1, 2, 3, 4, 5) hergestellt. Die Körper wurden ein halbes Jahr vor dem Beginn des Experiments, dessen Anordnung Bild 11 zeigt, angefertigt. Die kurzzeitige Biegezugfestigkeit und das Volumgewicht der Körper sind in Tabelle 1 angegeben.

TABELLE 1
Biegezugfestigkeiten und Volumgewichte der Prüfkörper

Gemisch	Raumgewicht kg/m³	Biegezugfestigkeit kp/cm²	Langzeitige Biegebeanspruchung kp/cm²
1	2020	126,3	37,9
2	2010	120,5	36,2
3	1920	127,5	38,2
4	1800	104,5	31,4
5	1775	80,3	24,1

Bei einer Temperatur von 100° C trat der Bruch nach ca. sechs Wochen ein, nachdem es im Verlauf dieser Zeit

MISCHUNG № 3 (1:10)

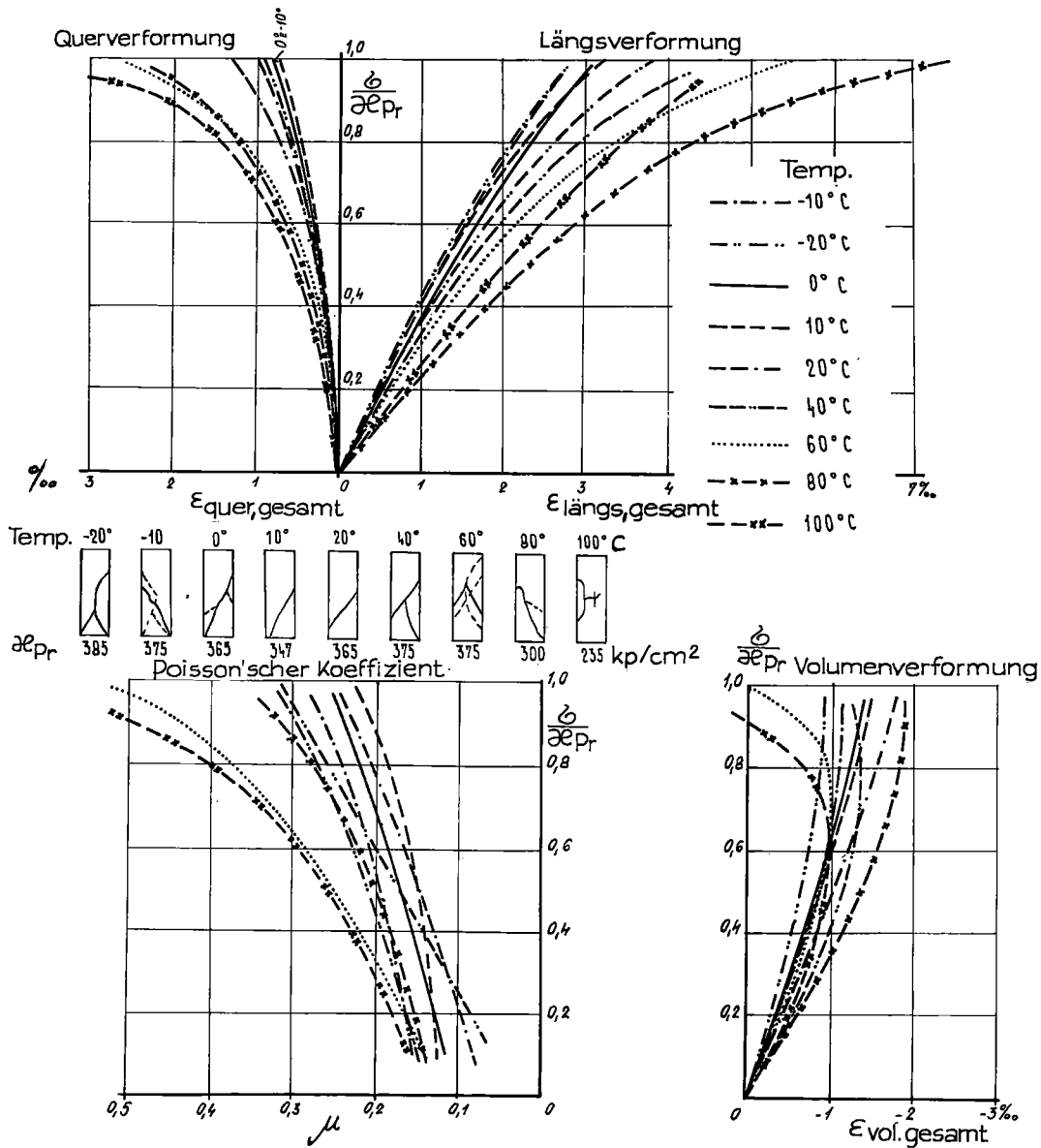


Bild 4

dreimal zu einer Erhöhung der Temperatur auf 180°C auf die Dauer einiger Stunden kam. Bei einer Temperatur von -10°C kam es zum Bruch nach 50 bis 100 Tagen bei Gemischen mit kommunizierender Porosität, wobei die Kühlkammer zum Zweck des Auftauens abgeschaltet war und eine bedeutende Erhöhung der relativen Feuchtigkeit eintrat. Die Messungsergebnisse auf eine Dauer von ca. 1,5 Jahren sind in Bild 12 angeführt. Als Ausgangswert diente dabei die Deformation nach 24 Stunden seit Belastungsbeginn. Aus diesem Bild ersieht man, daß keine Unterschiede in der Kriechverformung verschiedener Gemische bei jeder beliebigen Temperatur bestehen. Bei größerer Bindemittelmenge kommt es natürlich zu einer etwas größeren Kriechverformung. Es ist interessant, daß alle Gemische die kleinsten Kriech-Werte bei einer Temperatur von 60°C, also bei einer Temperatur aufwiesen, bei der die Probekörper ausgehärtet wurden. Je mehr sich die Temperatur von dieser „Mutter“-Temperatur entfernt (mit Ausnahme des Bereiches negativer Temperaturen), um so größere Kriech-Werte werden beobachtet. Temperaturen, die absolut höher sind als die

Mutter-Temperaturen, haben natürlich einen größeren Einfluß als absolut niedrigere Temperaturen.

Die Erklärung dieser Erscheinung kann man im inneren Spannungszustand des Materials finden: ein minimaler innerer Spannungszustand liegt zweifellos bei der Entstehungstemperatur vor. Es verursacht also erst die Summe der von der Außenbeanspruchung herrührenden Spannung und des von der Temperaturänderung herrührenden inneren Spannungszustandes eine langzeitige Struktur—Umgruppierung mit resultierendem äußerem Effekt — mit erhöhter Kriechverformung. Bei negativen Temperaturen ist die Kriechverformung sehr klein, obgleich der Unterschied von der Entstehungstemperatur hoch ist: hier spielt offenbar die allgemein geringe Tendenz des Makromolekularsystems zu irgendwelcher Bewegung bei erniedrigten Temperaturen eine wichtige Rolle und bei porösen Systemen überdies die mögliche Verstärkung ihrer Struktur durch gefrorenes Wasser in der Form einer kommunizierenden steifen Phase. Diese Experimente bestätigten die bedeutende Rolle der

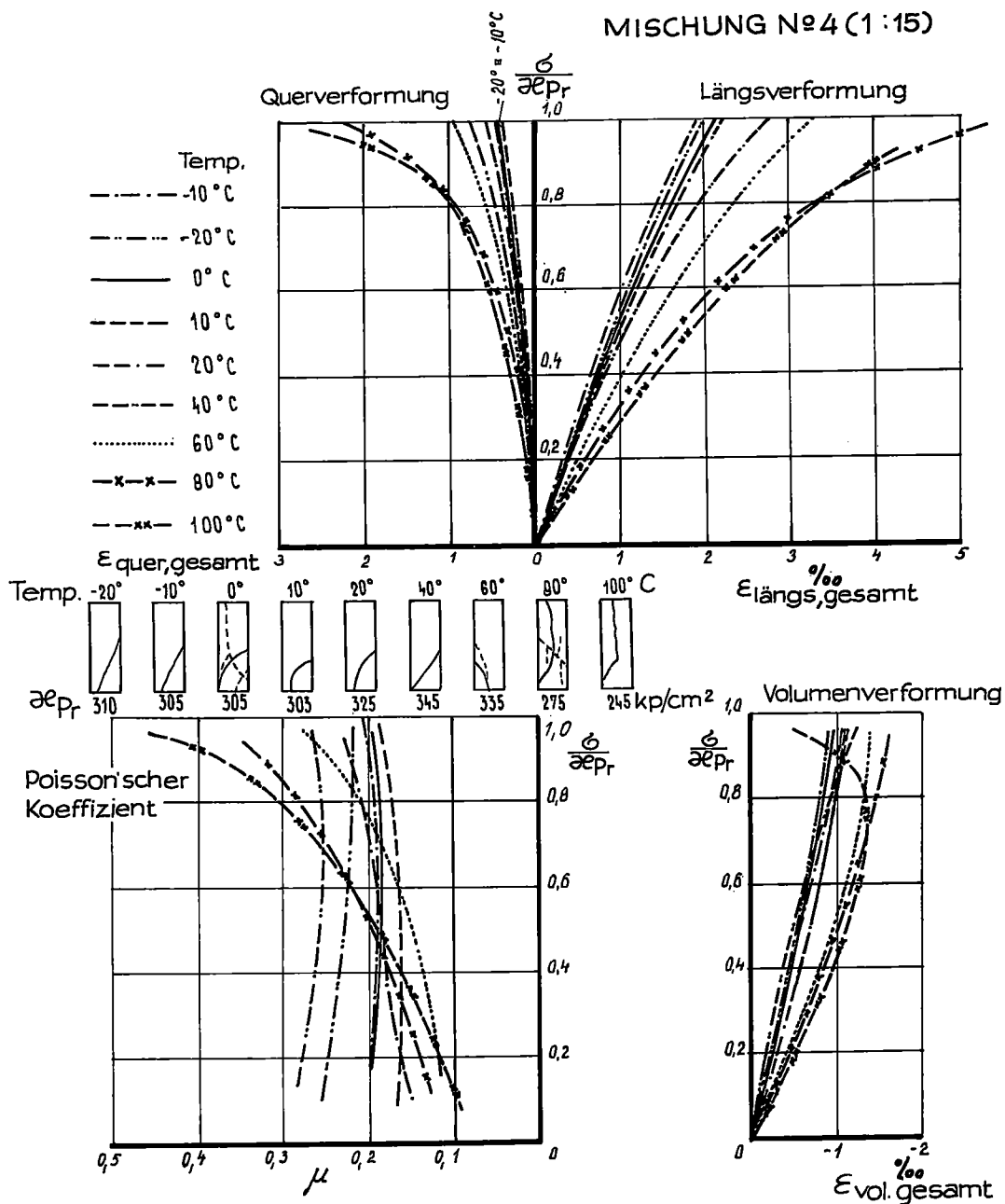


Bild 5

„Historie der Materialien“ für den weiteren Verformungsprozeß.

6. Schlußfolgerung

Die beschriebenen Abhängigkeiten der Elastizität, Festigkeit und Kriechverformung von der Temperatur sind, obgleich sie durch Experimente mit Furan-Kunststoffbeton (Berol) ermittelt wurden, qualitativ auch für Kunststoff-Betone anderer Art gültig. Dies wurde übrigens schon früher^{1,2)} nachgewiesen. Es geht vor allem daraus hervor, daß die Kunststoff-Betone ein Bestandteil einer großen Gruppe nichthomogener Materialien sind, deren Eigenschaften in erster Linie die strukturellen Charakteristiken des Systems und erst im weiteren die physikalisch-chemischen Eigenschaften der Komponenten angeben. Die bei allen Kunststoff-Betonen überwiegende Komponente des Struktursystems — der Füllstoff — ist die gleiche, und die physikalischen Eigenschaften (Festigkeit, Elastizität, Kriechen usw.) der zweiten Komponente — des Bindemittels — unterscheiden sich voneinander nicht allzusehr. Die Verformungseigenschaften, die durch äußere Umstände (Temperatur, Feuchtigkeit u. ä.) beein-

flußt werden, müssen daher notwendig ähnlich sein. Die absoluten Werte der Festigkeit und einiger anderen Eigenschaften können bei den einzelnen Kunststoff-Betonen in gewissen Grenzen verschieden sein; das hängt vor allem vom Wert der Kontaktspannung zwischen Bindemittel und Füllstoff ab, eventuell vom Vorhandensein chemischer Bindungen zwischen den beiden Systemkomponenten.

Zusammenfassung

Der Autor legte weitere Ergebnisse seiner Untersuchungen von Kunststoff-Betonen vor, die somit seine vorhergehenden Berichte ergänzen.

Für die konstruktive Nutzung eines jeden Materials, also auch der Kunststoff-Betone, kommt einer realen Vorstellung über die Beeinflussung ihrer Elastizität, Festigkeit und Kriechverformung durch Temperaturänderung große Bedeutung zu. Dieser Beitrag bringt gemäß den Versuchen mit Furan-Kunststoff-Beton (Berol) als einem Modell nichthomogener (Komposit-) Materialien mit sehr unterschiedlichen Eigenschaften der festen Phase prak-

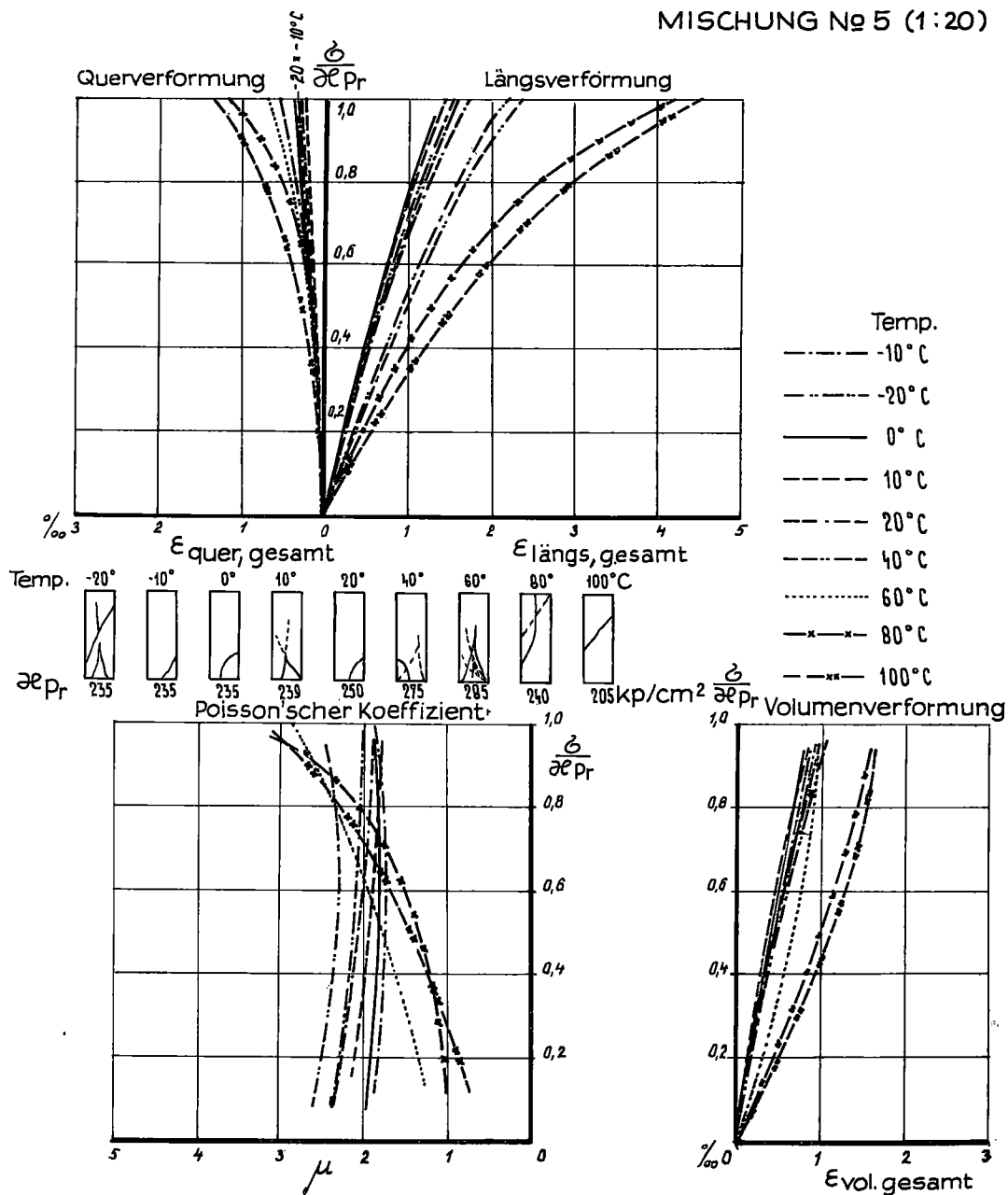


Bild 6

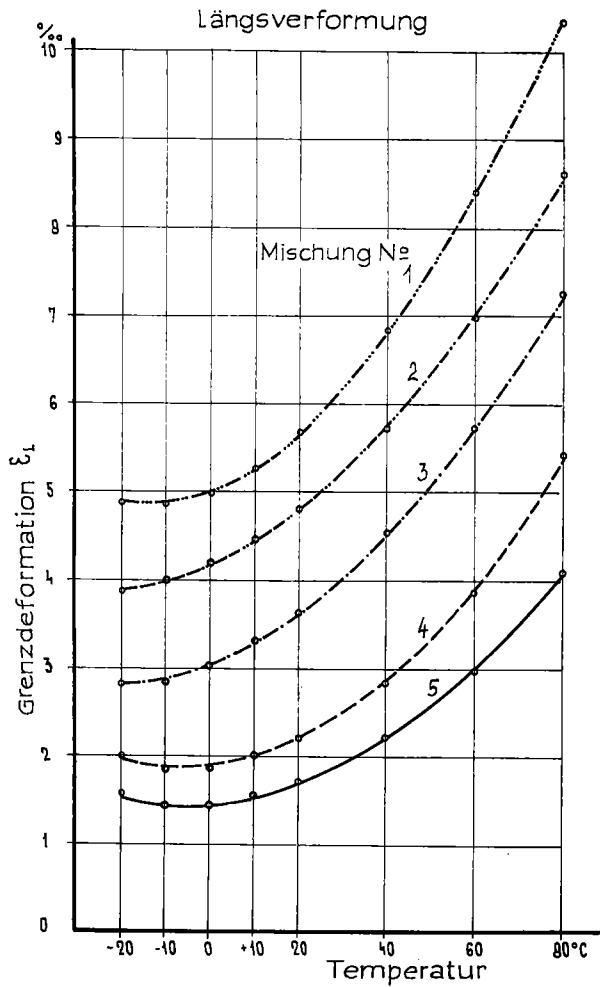


Bild 7: Abhängigkeit der Längsgrenzdeformationen des Berois von der Temperatur bei verschiedener Zusammensetzung des Gemischs

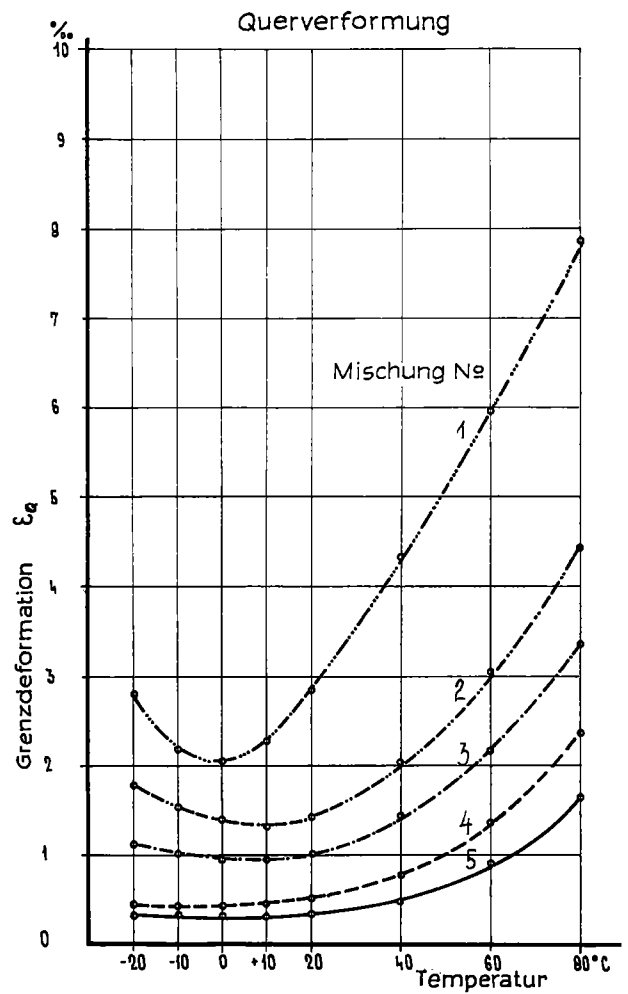


Bild 8: Abhängigkeit der Quergrenzdeformationen des Berois von der Temperatur bei verschiedener Zusammensetzung des Gemischs

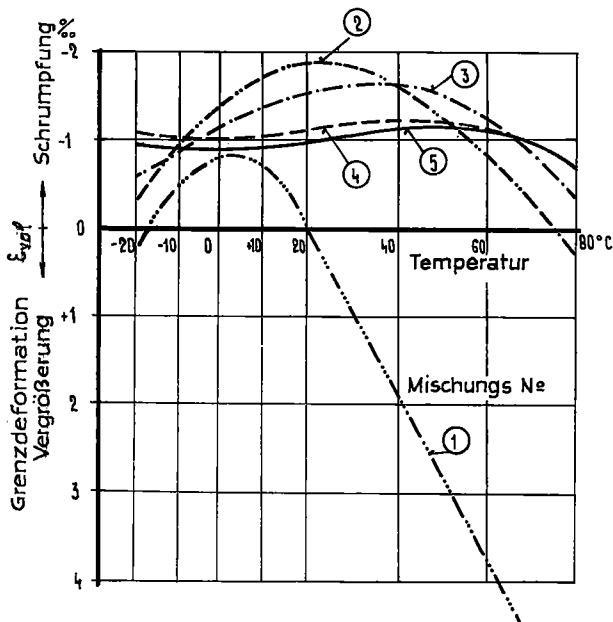


Bild 9: Abhängigkeit der Volumengrenzdeformationen des Berois von der Temperatur bei verschiedener Zusammensetzung des Gemischs

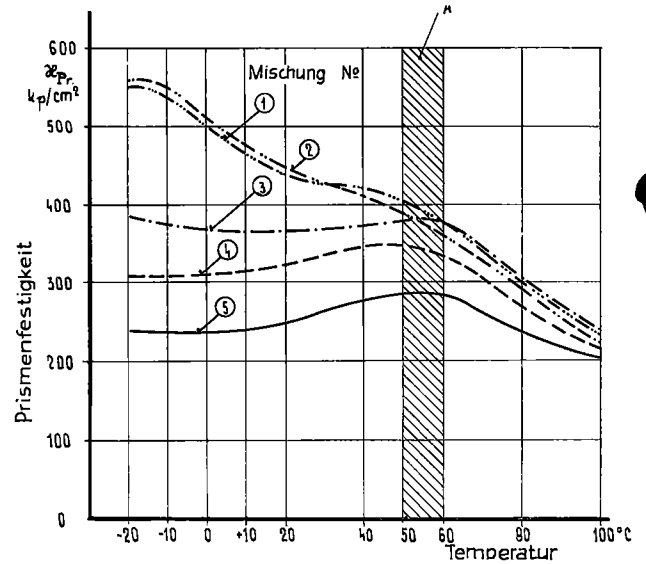


Bild 10: Abhängigkeit der Prismenfestigkeit des Berois von der Temperatur bei verschiedener Zusammensetzung des Gemischs

tische Angaben über den Temperatureinfluß auf den Verlauf der Arbeitsdiagramme (und damit auf die Elastizität in allen Beanspruchungsphasen), über den Temperatur-

einfluß auf die Grenzdeformationen und über den Temperatureinfluß auf die Festigkeit. Es werden ferner einige Ergebnisse über den Temperatureinfluß auf die Kriechverformung desselben Materials bei langzeitiger Biegebbeanspruchung angeführt.

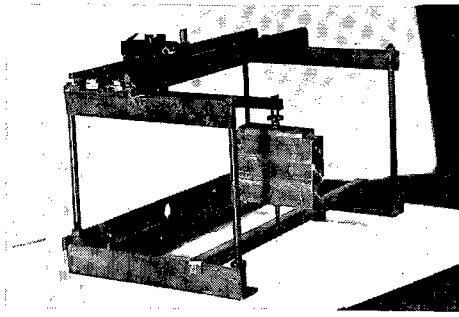


Bild 11: Anordnung der Prüfung auf langzeitige Biegungsbeanspruchung von Berolprismen bei verschiedenen Temperaturen

Summary

The author presents some further results of his research on resin concretes, this information being complementary to that contained in his previous article.

For the structural utilisation of any material, including resin concretes, it is very important to have a realistic conception of how its elasticity, strength and creep deformation are effected by temperature changes. With reference to tests with furane-resin concrete (Berol) as a model of non-homogeneous (composite) materials with widely differing properties of the solid phases, this article gives practical information concerning the effect of temperature on the shape of the work diagrams (and thus on the elasticity in all stages of stress action upon the material), on the limit deformation and on the strength. Furthermore, some results concerning temperature influence on the creep deformation of the same material under long-term flexural loading are reported.

Résumé

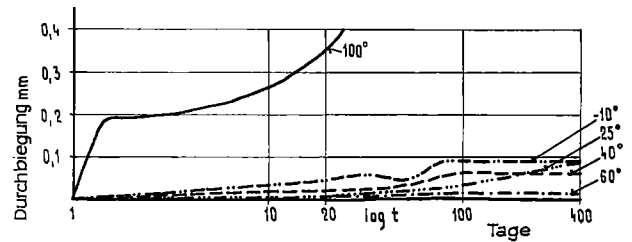
L'auteur présente de nouveaux résultats de ses recherches concernant les bétons plastiques. Ils viennent ainsi compléter ses travaux précédents.

Il est de la plus haute importance de pouvoir se représenter de manière la plus réelle possible l'influence exercée par les variations de température sur l'élasticité, la résistance et les déformations de fluage de tout matériau utilisé dans la construction, donc également des bétons plastiques. A partir d'une série d'essais avec du béton plastique au furfurol (Berol) dans une maquette de matériaux non homogènes (composites) ayant des propriétés de phases solides très diversifiées, le présent travail apporte des indications pratiques concernant l'influence de la température sur les tracés de diagrammes de travail (donc sur l'élasticité dans toutes les phases de contrainte), l'influence de la température sur les déformations marginales, enfin l'influence de la température sur la résistance. En outre, quelques informations sont données concernant l'influence de la température sur la déformation de fluage du même matériau soumis pendant une longue durée à une contrainte de flexion.

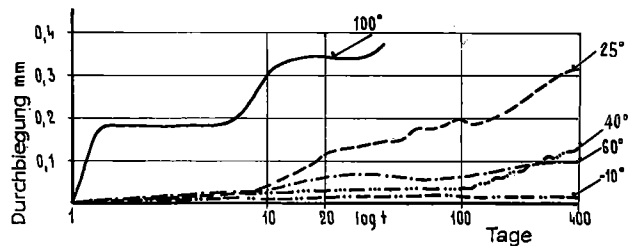
Schrifttum

- 1) Bareš, R.: Über die Technologie der Kunststoff-Betone, Zement-Kalk-Gips 20, (1967), 47.
- 2) Bareš, R.: Über Elastizität und Festigkeit von Kunststoff-Betonen, Zement-Kalk-Gips 22 (1969), 462.

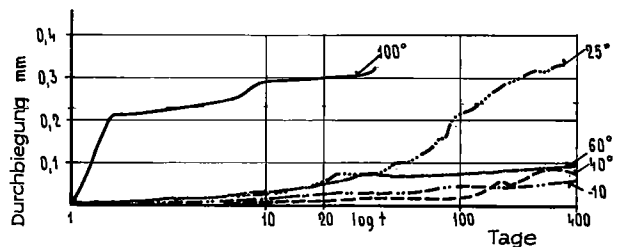
Mischung № ① (1:5)



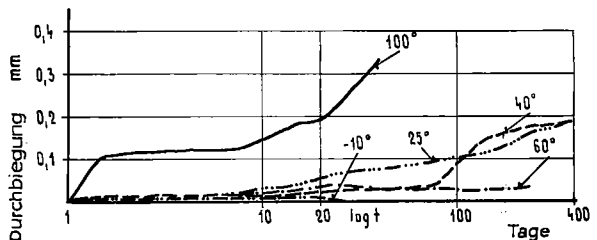
Mischung № ② (1:8)



Mischung № ③ (1:10)



Mischung № ④ (1:15)



Mischung № ⑤ (1:20)

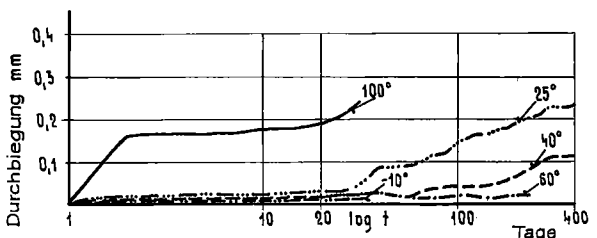


Bild 12: Änderung der Zeitdurchbiegung von Berolkörpern für verschiedene Gemische und bei verschiedenen Temperaturen

Korrosions-Inhibitoren für den Stahl in Beton*)

Corrosion inhibitors for steel in concrete

Inhibiteurs de corrosion pour les aciers noyés dans le béton

Von D. Briesemann, Eichenau bei München

1. Einleitung

Schäden an einigen Stahl- und Spannbetonbauteilen in den letzten Jahren infolge Korrosion der einbetonierten Stähle haben dazu geführt, daß man sich in Deutschland intensiv mit den Fragen der Korrosion der Bewehrung im Beton befaßte. Ein Ergebnis dieser Bemühungen waren verschärfte Korrosionsschutzbestimmungen (Chloridverbot, Korrosionserlaß, DIN 1045 neu), die die Herstellungskosten für Stahl- und Spannbetonbauteile z. T. spürbar beeinflussen. Es lag daher nahe, Möglichkeiten des Korrosionsschutzes von Stahl in Beton zu prüfen, die diesen Schutz außer durch den Beton gleichzeitig durch andere Maßnahmen sicherstellen.

Die beste Art, die Korrosion der Stähle im Beton zu verhindern, bestünde — von der Betontechnologie abgesehen — zweifellos darin, im Anmachwasser des Betons Hemmstoffe, sogenannte Inhibitoren, aufzulösen, die in der Lage sein können, die Stahlkorrosion im Beton zu hemmen oder ganz zu verhindern. Die Technik des Korrosionsschutzes von Metallen durch Inhibitoren ist in vielen Industriezweigen gebräuchlich und wird seit langem mit teilweise großem Erfolg angewendet. Zum Beispiel werden seit neuestem Korrosions-Inhibitoren im Wasser aufgelöst, das aus Brandschutzgründen den Hohlquerschnitt von Stahlstützen¹⁾ füllt.

Zum Problem der im Anmachwasser des Betons aufgelösten Inhibitoren für den Korrosionsschutz des Stahles im Beton lagen nur wenige Arbeiten vor, die zudem meist unter Laborbedingungen durchgeführt wurden und deren Ergebnisse nicht oder nur in beschränktem Maße auf praktische Verhältnisse übertragen werden konnten. Es schien daher sinnvoll, die Möglichkeiten der Anwendung der Korrosions-Inhibitoren für den Stahl in Stahl- und Spannbeton²⁾ zu untersuchen und zur Überprüfung der Wirksamkeit der wesentlichen Inhibitoren Untersuchungen unter Bedingungen durchzuführen, die der Wirklichkeit entsprechen. Über die für die Praxis interessantesten Ergebnisse des experimentellen Teiles dieser Untersuchungen soll hier kurz berichtet werden. Die Versuche wurden am Institut für Massivbau der TU München durchgeführt und von der Arbeitsgemeinschaft der Betonsteinindustrie und des Betonsteinhandwerkes, München, sowie der Obersten Baubehörde im Bayerischen Staatsministerium des Innern finanziert. Bezüglich der Versuchsdetails und einer Reihe weiterer, hier nicht behandelter Probleme sei auf die Dissertation²⁾ verwiesen.

2. Experimentelle Untersuchungen

2.1 Stahlbeton mit dauernd offenen Rissen

Die Versuchskörper sind so ausgebildet (Bild 1), daß unter natürlichen Bedingungen und in einem für Versuche angemessenen Zeitraum mit einer Stahlkorrosion im Beton zu rechnen ist. In Vorversuchen wurden dazu die Bedingungen ermittelt, um im Mittel Rißbreiten zwischen 0,10 und 0,20 mm und außerdem einen möglichst weiten Bereich der Rißbreiten zu erhalten. Die angestrebte geringe Betondruckfestigkeit ist u. a. durch die Verwendung eines Zementes mit geringer Normendruckfestigkeit erreicht worden (Tabelle 1). Das Verspannen der Stahlbetonbalken gegen die Zwischenstücke erfolgte acht Monate nach der Herstellung am jeweiligen Auslagerungsort. Gegenüber dem Zeitpunkt des Zusammenspan-

nens wurden nach einjähriger Versuchsdauer im Mittel 12 % geringere Rißbreiten an den Balken gemessen.

TABELLE 1
Versuchsdaten

Ver-suche	Beton				Stahl in Längs-richtung	Allge-meines
	Zement-menge und -art	Zuschlag-stoffe (mm) 0/3, 3/7, 7/15	W/Z	$\beta_{w,28}$ (kp/cm ²)		
Stahl-beton	270 kg/m ³ PZ 275, N ₂₈ = 332 kp/cm ²	753 kg/m ³ 565 kg/m ³ 565 kg/m ³	0,7	138—270	St III b, Ø 10 mm St II a, Ø 10 mm	Rißbreite: W _{mittel} = 0,15 mm v = 42 %
Spann-beton	300 kg/m ³ PZ 275, N ₂₈ = 598 kp/cm ²	740 kg/m ³ 582 kg/m ³ 562 kg/m ³	0,6	349—476	St 145/160, Ø 20, oval gerippt	$\sigma_{z,v}^{(0)} \sim$ 0,7 β_z

Es wird hier über die Untersuchung je eines Stahlbetonbalkens der folgenden Varianten berichtet:

- Inhibitor (1 % Na₂CrO₄, 1 % NaNO₂, 1 % Na-benzoat, jeweils auf Zementgewicht bezogen, ohne Zusatz);
- Auslagerungsort (Großstadtklima, verschmutzte Industrieluft, Seeklima, Feuchttrocken-Wechselagerung im Labor mit etwas abweichender Versuchsdauer) und
- Herstellung (mit und ohne Behandlung mittels nicht gespannten Dampfes).

Die Auswertung der im gerissenen Beton an den Längsstählen festgestellten Zahl von Roststellen (Tabelle 2, letzte Spalte) läßt erkennen, daß die Stähle im Beton der nicht mit Dampf behandelten Versuchskörper durch die Inhibitoren gegenüber den Nullversuchen keine Verbesserung im Korrosionsschutz erfahren haben. Dagegen ist bei den dampfbehandelten Stahlbetonbalken mit Inhibitoren im Vergleich zum nicht inhibierten Fall eine Korrosionsschutzwirkung zu beobachten.

NaNO₂ (Natriumnitrit) zeigt von den geprüften Inhibitoren die beste Wirkung, kann aber die Stahlkorrosion nicht vollständig unterdrücken. Die Unterschiede in den Roststellenanzahlen zwischen den im Freien und im Labor ausgelagerten Prüfkörpern dürften durch die von Bild 1 abweichende Anordnung der Versuchskörper im Labor (Rißebeine senkrecht zur Bewässerungsrichtung) bedingt sein.

In Bild 2 ist eine Auswertung der Rostintensität der Längsstähle in Abhängigkeit von der Rißbreite (gemess-

TABELLE 2

Anzahl der Roststellen an den Längsstählen (Ø 10 mm, St II a und St III b) in gerissenem Beton, unterteilt nach Inhibitor, Auslagerungsort und Dampfbehandlung

Inhibitor	Auslagerungsort (Klima)				Σ
	Groß-stadt	Indu-strie	See	Labor	
ohne Zusatz	0 / 5 *)	2 / 14	0 / 3	1 / 6	3 / 28
Na ₂ CrO ₄	9 / 2	16 / 3	12 / 11	2 / 0	39 / 16
NaNO ₂	2 / 3	3 / 4	8 / 11	1 / 0	14 / 18
Na(C ₆ H ₅ COO) Na-Benzoat	9 / 13	3 / 2	0 / 11	1 / 0	13 / 26
Σ	20 / 23	24 / 23	20 / 36	5 / 6	69 / 88

*) zweite Zahl jeweils Dampfbehandlung

*) Auszug aus einer von der Fakultät für Bauwesen der TU München genehmigten Dissertation. Referenten: Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. e. h. H. Rüsck und Prof. Dr.-Ing. G. Rehm, TU Braunschweig.