

ZEMENT-KALK-GIPS

FORSCHUNG · HERSTELLUNG · VERWENDUNG

ZKG

10 Oktober 1969 · 58. Jahrgang »ZEMENT«

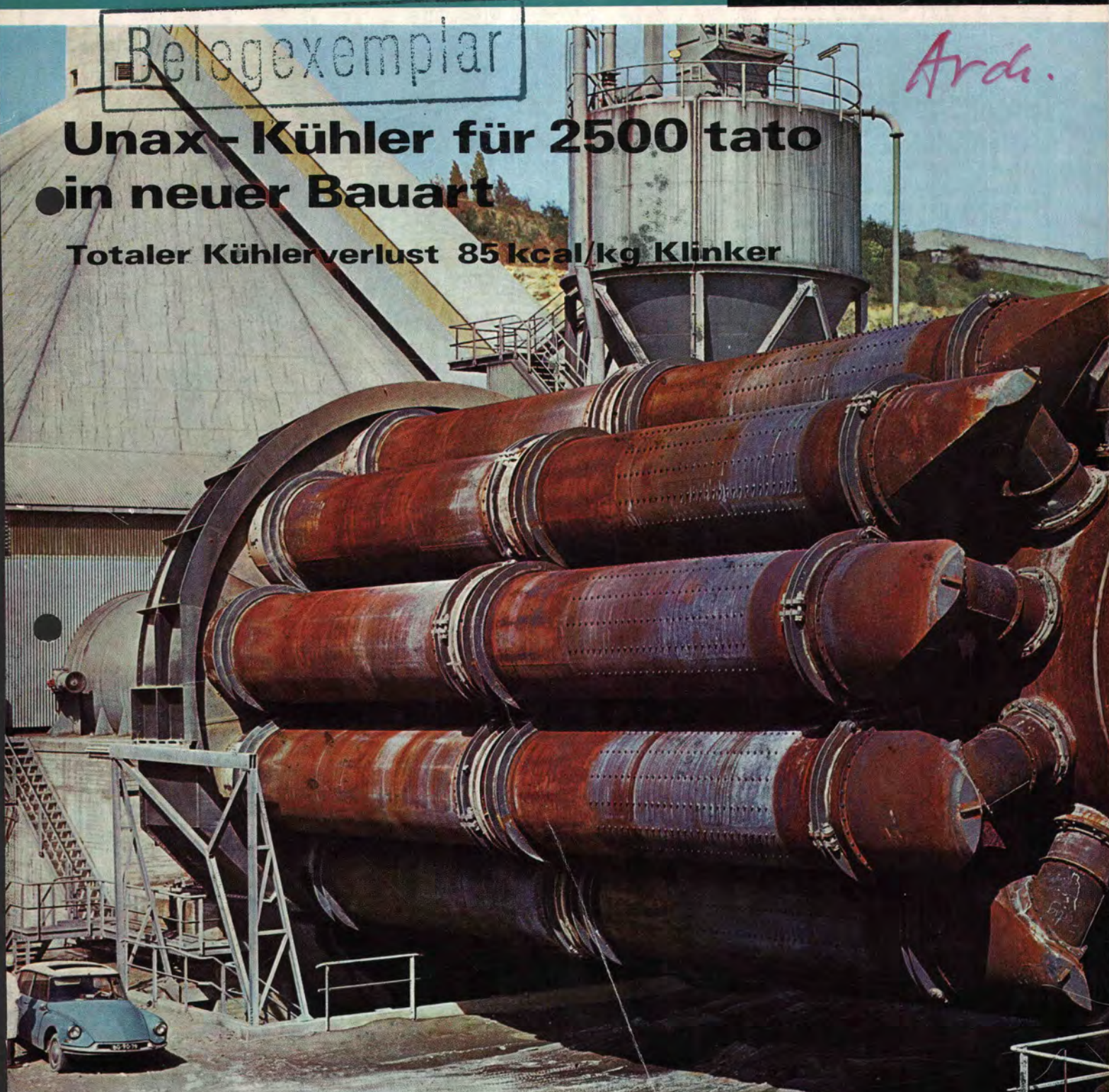


Belegexemplar

Arde.

Unax-Kühler für 2500 tato in neuer Bauart

Totaler Kühlerverlust 85 kcal/kg Klinker



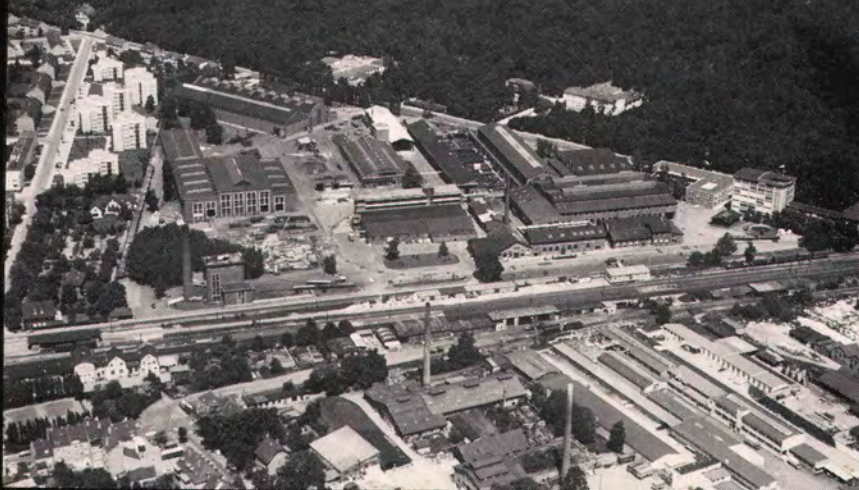
E. I. Smidth & Co. A/s

Dieser Rost dient als Austragsorgan eines Klinker-Gegenstromkühlers. Er wird hinter einem 500 tato Ofen installiert. Unsere Garantie über den üblichen maschinentechnischen Rahmen hinaus lautet: $\eta_{\text{therm}} = 85\%$. Dieser Wirkungsgrad bedeutet bei einer Klinker-Einlauftemperatur von 1370° einen garantierten Wärmerückgewinn von **300 kcal/kg Klinker**. Hat man Ihnen beim Kauf Ihres Klinkerkühlers einen thermischen Wirkungsgrad garantiert? Wenn ja, welchen?

Unsere Garantie bedeutet gegenüber dem üblichen Wirkungsgrad eines konventionellen, gut arbeitenden Querstromrostkühlers von 70% einen zusätzlichen Rückgewinn von **53 kcal/kg Klinker**. Der Wärmerückgewinn geht in Abhängigkeit von den Luftverhältnissen mit einem Faktor größer 1 in die Wärmebilanz des Ofens ein. Für die wärmetechnische Rechnung setzen wir nur die lt. unseren Versuchen untere Begrenzung dieses Faktors $F = 1,3$ ein, d. h. die reale Wärmersparnis beim Ofenprozeß beträgt **69 kcal/kg Klinker**. Der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung legen wir einen Wärmepreis von DM 9,40 Gcal für den aufbereiteten Brennstoff frei Düse zu Grunde. Danach werden durch den Einsatz unseres Kühlers gegenüber Kühlern herkömmlicher thermischer Wirkungsgrade pro Tonne Klinker DM 0,65 gespart.

Bei einer Produktion von nur 500 tato und 340 Betriebstagen ergibt sich eine jährliche Ersparnis von DM 110.000,- gegenüber der bisherigen verfahrenstechnischen Ausführung. Diese Zahlen sollten bei Ihren Überlegungen Berücksichtigung finden.

Werksanlage der Walther + Cie



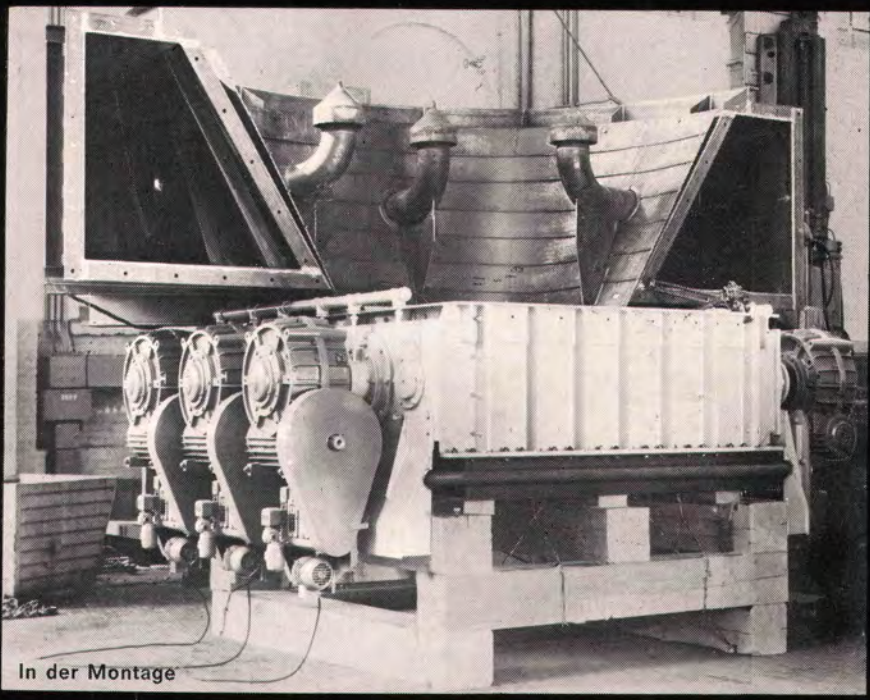
WALTHER-BERATHERM KLINKER-GEGENSTROM-KÜHLER



Gehäuse

Weiter sollte die mögliche Leistungssteigerung des Ofens bedacht werden, die wir in Abhängigkeit von den örtlichen Verhältnissen angeben. Auch die leidige Entstaubungsfrage der Kühlerabluft von Querstrom-Rostkühlern ist für uns kein Problem, da die gesamte Kühlluft dem Ofen als Verbrennungsluft dient.

Nach der erfolgreichen Erprobung unseres Prototyps von 110 tato vergrößern wir gleich um das 5fache. Die Inbetriebnahme unserer 550 tato Anlage erfolgt im Oktober 1969. Wir informieren Sie weiter.



In der Montage

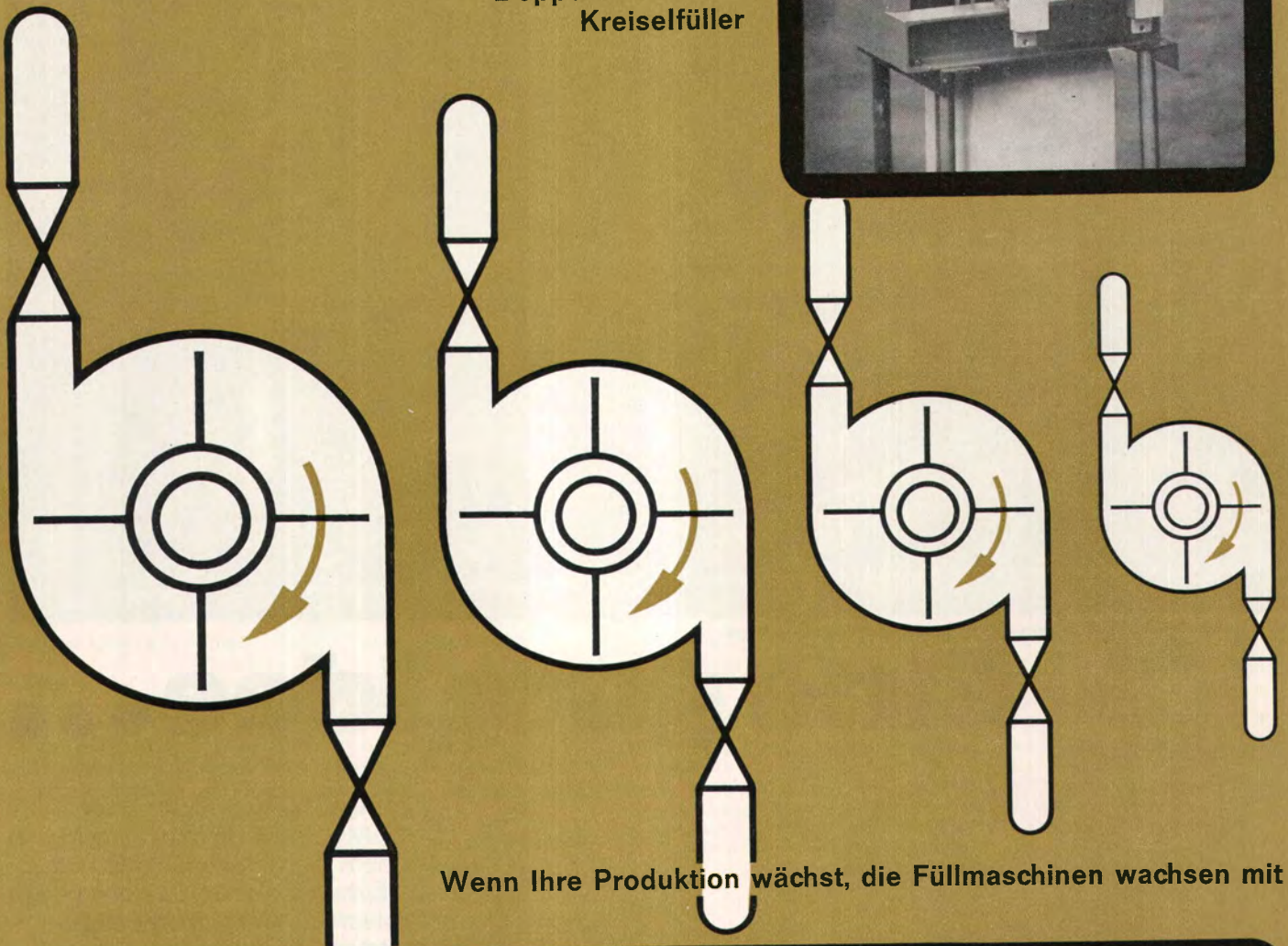
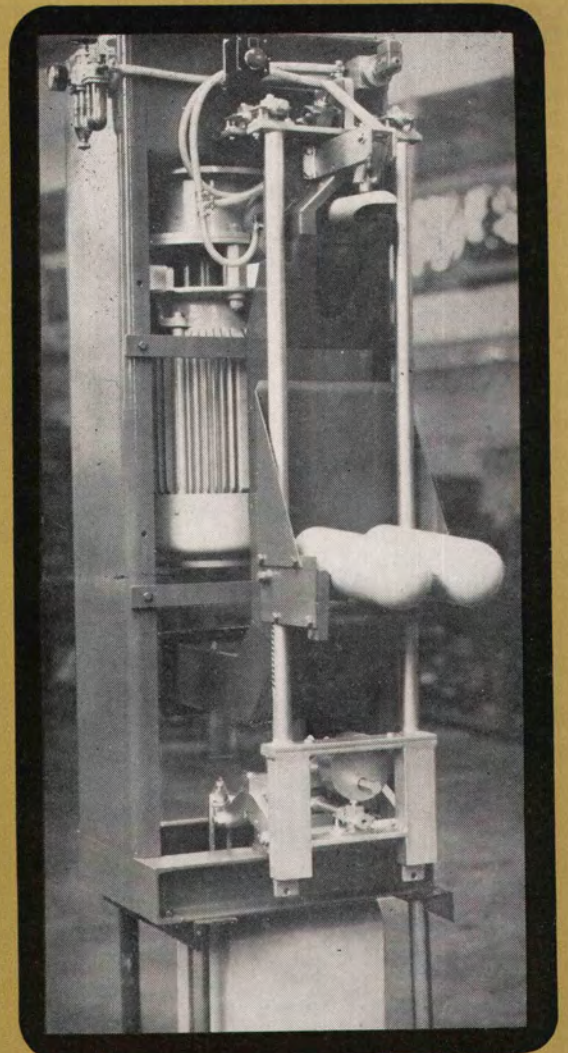
Walther-Beratherm GmbH · 5000 Köln-Dellbrück



WALTHER-BERATHERM- FÜLLMASCHINEN

nach neuartigem Prinzip
einfach und robust
in der Konstruktion -
umfassend und folgerichtig
im Typenaufbau -
erweiterungsfähig wie ein Baukasten

Wir bauen
Einzelfüller
Reihenfüller
Doppelreihenfüller
Kreiselfüller



Wenn Ihre Produktion wächst, die Füllmaschinen wachsen mit

Walther-Beratherm GmbH · 5000 Köln-Dellbrück

Über Elastizität und Festigkeit von Kunststoff-Betonen

Concerning the elasticity and strength of resin concretes

De l'élasticité et de la résistance des bétons de résine

Von R. Bareš, Institut für theoretische und angewandte Mechanik der Tschechoslowakischen Akademie der Wissenschaften, Prag/Tschechoslowakei

In einigen früheren Berichten^{1,2)} führte der Autor einen Teil der Ergebnisse seiner die Kunststoff-Betone betreffenden Forschungen an. Es wurden durchweg Fragen technischer Natur behandelt, und die größte Aufmerksamkeit wurde den Furan-Kunststoff-Betonen zugewendet. Im vorliegenden Artikel wird über die Elastizität und Festigkeit von Kunststoff-Betonen, insbesondere Furan-Kunststoff-Betonen, sowie über ihre Abhängigkeiten so referiert, wie sie im Verlauf der vergangenen Jahre im Institut für theoretische und angewandte Mechanik ermittelt wurden*).

1. Einleitung

Ein wichtiger Faktor für die konstruktive Nutzung der Kunststoff-Betone ist ihre Elastizität als Summe der Abhängigkeiten zwischen der Spannung und der Verformung unter verschiedenen Bedingungen — der Zusammensetzung, Einflüsse der Umgebung — bei kurzfristiger mechanischer Beanspruchung. Der Kunststoff-Beton besteht aus steifen Teilchen mit verhältnismäßig hohem Elastizitätsmodul und aus dem Bindemittel, in dem sich eine Menge von geschlossenen oder offenen, freies Wasser sowie Gase enthaltenden Poren befindet. Die Elastizität der Kunststoff-Betone ist derart das Ergebnis nicht nur der mechanischen Verformung der einzelnen Bestandteile, sondern

auch der wirksamen Interaktion zwischen ihnen, wobei sich auch physikalische und physikalisch-chemische Erscheinungen in bedeutendem Maß geltend machen, insbesondere in Hinsicht auf das Milieu. Das Bindemittel hat in der Regel einen geringeren Elastizitätsmodul als die Füllmasse. Das führt zu einer beträchtlichen Umverteilung der Spannungen in der Struktur bei ihrer mechanischen Beanspruchung sowie dazu, daß bedeutsame Zustände der Zusammenpressung — Raumspannung —, insbesondere beim Bindemittel, hervorgerufen werden. Dadurch gewinnt auch die mit der Beanspruchung verbundene Umwandlung des Elastizitätsmoduls, die die Verformung des ganzen Systems beträchtlich beeinflusst, an Bedeutung: anfänglich, bei kleinen Spannungen wird das Bindemittel elastisch verformt, später kommt die plastische Verformung hinzu; dadurch beginnt sich ein komplizierter Spannungszustand noch bedeutender geltend zu machen, der aus der Zusammenpressung des Bindemittels hervorgeht und die seinen Modul erhöht. Bei weiterer Beanspruchung tritt schrittweise eine mechanische Zerstörung des Bindemittels oder seiner mit dem Füllstoff in Kontakt befindlichen Zone ein, und der Modul sinkt bis zur völligen Zerstörung, zum Bruch des Materials.

Eine Grundeigenschaft des elastischen Verhaltens steifer Stoffe ist die zeitliche Beständigkeit ihrer Beziehung

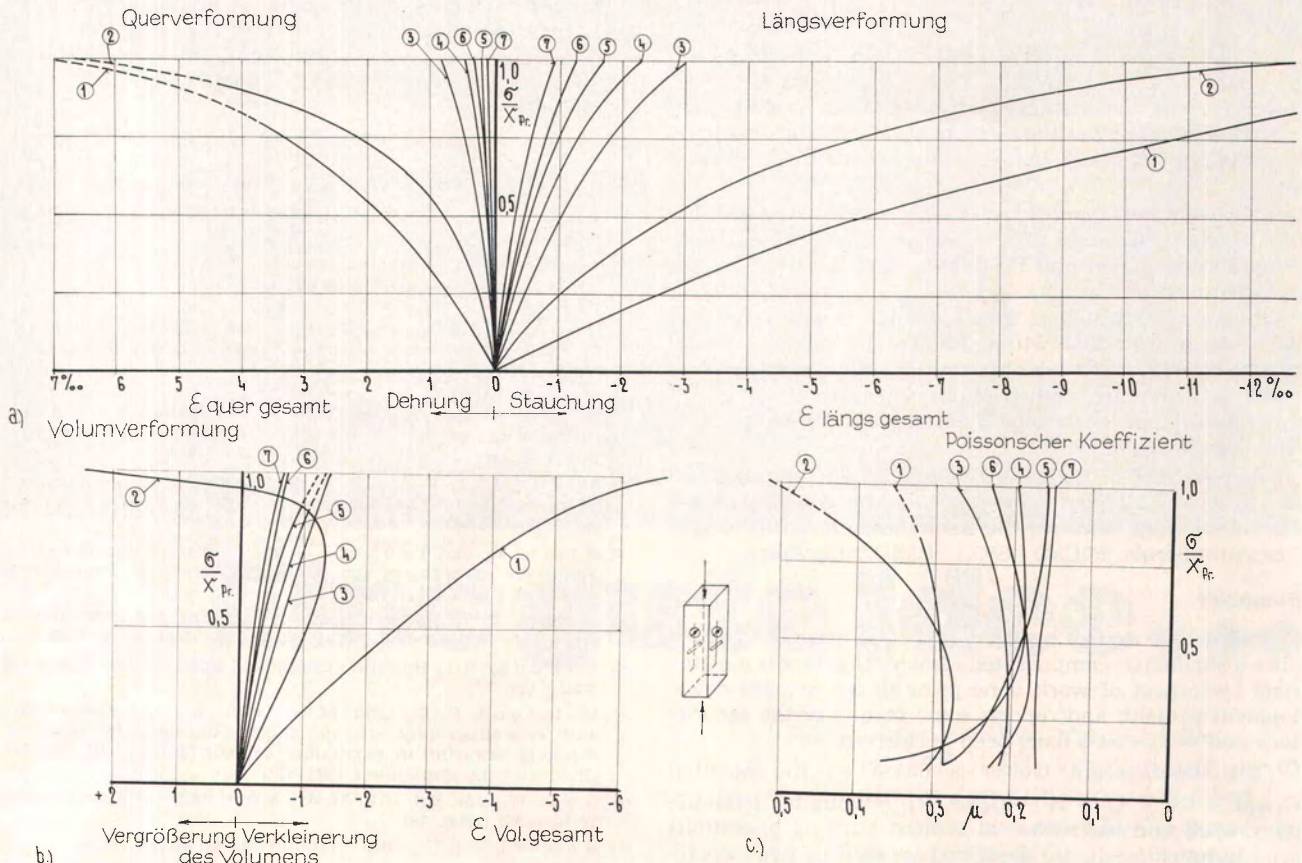


Bild 1 a, b, c: Längs-, Quer- und Volumenverformung und der Poissonsche Koeffizient des Furfurol-Furfural-Kunststoff-Betonen (Berols) in Abhängigkeit von der relativen Spannung bis zum Bruch

*) Der Inhalt dieses Artikels bildete eine der Unterlagen des Hauptreferates, des Themas 1b Colloquium RILEM International 1967.

zwischen Spannung und Verformung unter unveränderlichen äußeren Bedingungen. Diese Beständigkeit weisen einige Materialien nur in begrenzten Zeitintervallen auf. Im allgemeinen gilt, daß sich die Verformungen von Materialien unter dem Einfluß einer beständigen äußeren Spannung mit der Zeit ähnlich ändern, wie sich mit der Zeit die Spannung in Körpern mit konstanter Verformung ändert. Diese Prozesse machen sich gerade bei Kunststoffen markant geltend. Bei Systemen, in denen irgendeine Phase von einem Kunststoff gebildet wird, wie z. B. bei Kunststoff-Betonen, geben sich diese Prozesse stärker kund, und sie dürfen daher weniger vernachlässigt werden als bei traditionellen Materialien. Für die konstruktive Nutzung von Kunststoff-Betonen, d. h. für langfristig durch die Einwirkung von Belastungen oder Temperatur beanspruchte Elemente, müssen überdies die Abhängigkeiten zwischen Spannung, Verformung, Temperatur und Zeit verfolgt und erkannt werden. Dabei muß man auch die Einflüsse der Zusammensetzung des Gemisches, der Nachbehandlung, seines Alters usw. auf diese Abhängigkeiten kennen. Der Autor hofft, daß manche der im folgenden angeführten Beobachtungen für die Gewinnung einer richtigen Ansicht über diese Abhängigkeiten von Nutzen sein können.

2. Arbeitsdiagramme von Kunststoff-Betonen

Den Einfluß beider fester Phasen im System auf das Volumen (Zusammensetzung des Gemisches) und auf die Form des Arbeitsdiagramms (Abhängigkeiten der Spannung von der Verformung) des Furol-Fural-Kunststoff-

Betons (Berols) zeigt Bild 1 (Zusammensetzung des Gemisches: 10 Gewichtsteile Furfurolharz, 1 Gewichtsteil Furfural, 4 Gewichtsteile Härtungsmittel, Sand bis 7 mm 10—50—100—150—200—300—400 Gewichtsteile (Bezeichnung 1, 2, 3... 7); Nachbehandlung beim Erhärten: 50 °C, 20 % relative Feuchtigkeit, Alter zur Zeit der Prüfung: 28 Tage, Größe der Muster: 4 × 4 × 16 cm, Art der Beanspruchung: durch Druck kontinuierlich bis zum Bruch). Die dem ersten Gebiet entsprechenden Gemische 1 und 2 (mit nicht kontinuierlicher Porosität) sind sehr markant von den übrigen Gemischen im dritten Gebiet (mit kontinuierlicher Porosität) geschieden. Besondere Aufmerksamkeit erweckt die Entwicklung der Volumenverformung ε_v , die aus der bekannten Beziehung $\varepsilon_v = \varepsilon_{\text{längs}} + 2 \varepsilon_{\text{quer}}$ mit Hilfe der gemessenen Längsverformungen $\varepsilon_{\text{längs}}$ und Querverformungen $\varepsilon_{\text{quer}}$ berechnet wird, sowie der Verlauf des Poissonschen Koeffizienten μ ; interessant ist die gegenseitige Beziehung der Kurven für die einzelnen Gemische. Es zeigt sich, daß das Gemisch 2 sich bereits im zweiten Gebiet (Übergangsbereich) befindet, an dessen Beginn sich die Gespanntheit und Verformung des Systems völlig anders gestalten als in den beiden Randgebieten (dem ersten und dritten Gebiet). Bei relativer Spannung $\frac{\sigma}{\sigma_{Pr.}}$ = 0,6 bis 0,7 bleibt die Verkleinerung des Volumens bei Druck stehen, das Volumen beginnt im Gegenteil anzuwachsen, und vor dem Bruch vergrößert es sich sogar wesentlich gegenüber dem ursprünglichen Volumen.

Ähnliche Abhängigkeiten wurden auch bei weiteren Experimenten mit Furol-Fural-Kunststoff-Beton gewonnen

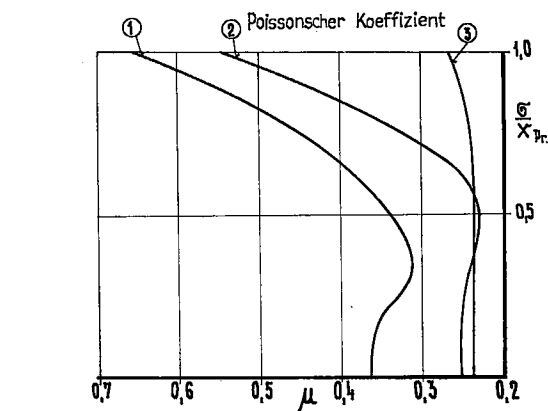
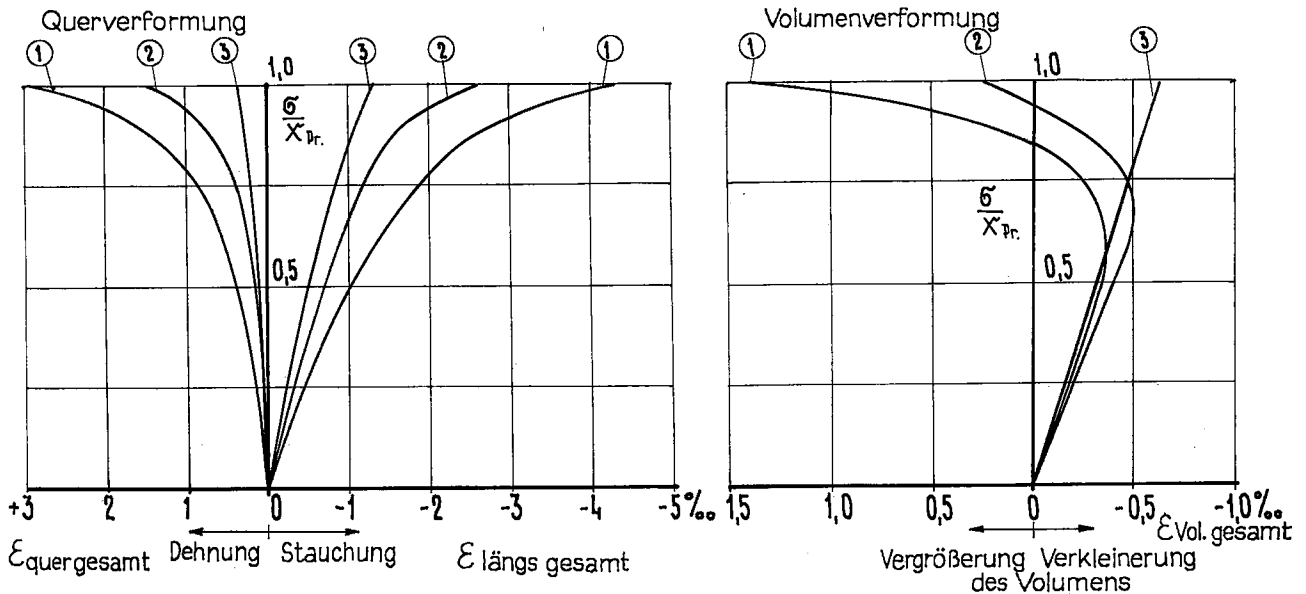


Bild 2 a, b, c: Längs-, Quer- und Volumenverformung und der Poissonsche Koeffizient des Berols in Abhängigkeit von der relativen Spannung bis zum Bruch

nen (Bild 2) [Zusammensetzung des Gemisches: 10 Gewichtsteile Furfurolharz, 2 Gewichtsteile Furfural, 4 Gewichtsteile Härtungsmittel, Sand bis 25 mm 80—150—200 Gewichtsteile (Bezeichnung 1, 2, 3); Nachbehandlung beim Erhärten: 20 °C, 60—90 % relative Feuchtigkeit; Alter zur

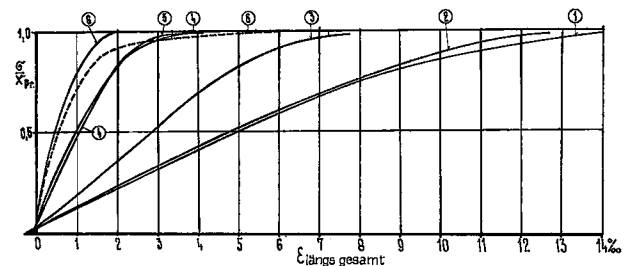


Bild 3: Längsverformung des Berols in Abhängigkeit von der relativen Spannung bis zum Bruch

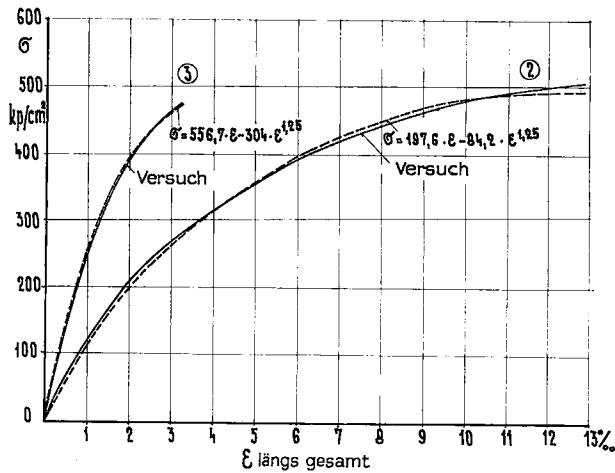


Bild 4: Vergleich der experimentellen und theoretischen Kurven der Verformungsdiagramme des Beröls

Zeit der Prüfung: 1,5 Jahre; Größe der Proben $10 \times 10 \times 50$ cm; Art der Beanspruchung: durch Druck kontinuierlich bis zum Bruch] und Bild 3 [Zusammensetzung des Gemisches: Furfuroharz 10 Gewichtsteile, Furfural 2 Gewichtsteile, 4 Gewichtsteile Härtungsmittel, Sand bis 25 mm 30—60—100—150—200—400 Gewichtsteile (Bezeichnung 1, 2, 3... 6); Nachbehandlung bei Erhärten 50°C , 20% relative Feuchtigkeit (14 Tage); Alter zur Prüfungszeit: 1 Jahr; Größe der Proben $10 \times 10 \times 30$ cm; Art der Beanspruchung: durch Druck bis zum Bruch]. Dementsprechend kann die Form des Arbeitsdiagramms dieses Materials mathematisch durch die Beziehung

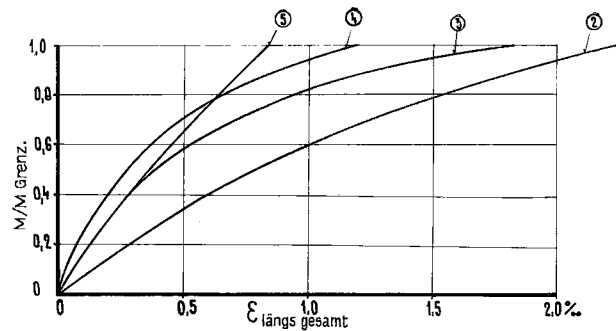


Bild 5: Verformung der gezogenen Randfasern der Berolprismen in Abhängigkeit vom relativen Biegemoment

$$\sigma = E_0 \varepsilon - (E_0 \varepsilon_{\text{grenz}} - x) \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_{\text{grenz}}} \right)^{\frac{5}{4}}$$

beschrieben werden.

Hierbei ist E_0 der Anfangsmodul der Elastizität des Systems, $\varepsilon_{\text{grenz}}$ und x sind die Grenzwerte der Verformung und Druckspannung. Für einige Fälle werden in Bild 4 die derart berechneten theoretischen und experimentell gefundenen Formen der Arbeitsdiagramme verglichen; die Übereinstimmung beider ist sichtlich gut. Es muß noch bemerkt werden, daß auch das Arbeitsdiagramm für die Zugspannung bzw. Biegezugspannung eine ähnliche Form aufweist wie für die Druckspannung, wie in Bild 5 [Zusammensetzung des Gemisches: Furfurylalkoholharz 10 Gewichtsteile, Furfural 1 Gewichtsteil, Härtungsmittel 4 Gewichtsteile, Sand bis 7 mm 50—100—120—150 Gewichtsteile (Bezeichnung 2, 3... 5); Nachbehandlung bei Erhärten 50°C , 17—20% relative Feuchtigkeit (14 Tage); Alter

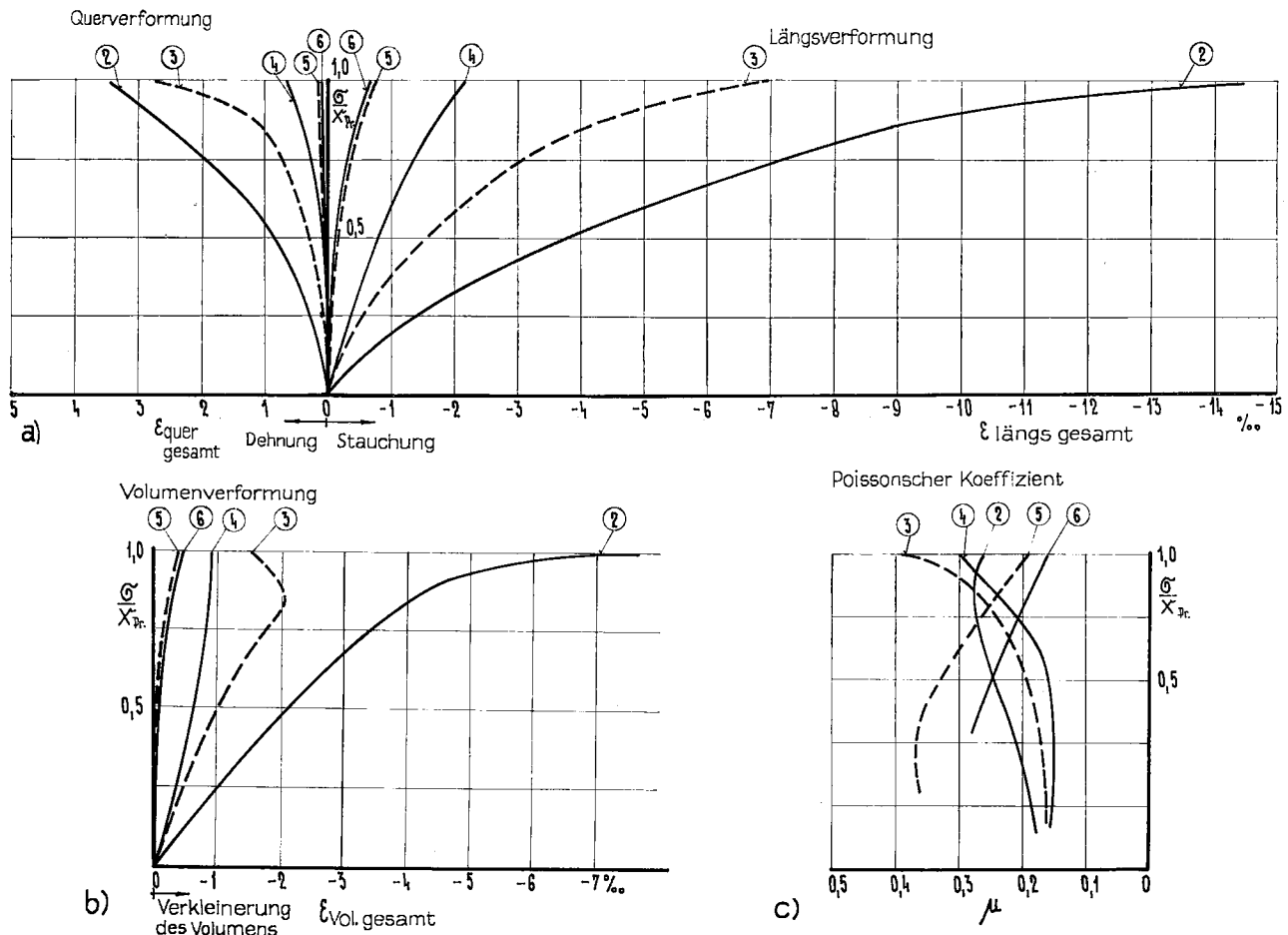


Bild 6a, b, c: Längs-, Quer- und Volumenverformung und der Poissonsche Koeffizient des Phenol-Formaldehyd-Kunststoff-Betons in Abhängigkeit von der relativen Spannung bis zum Bruch

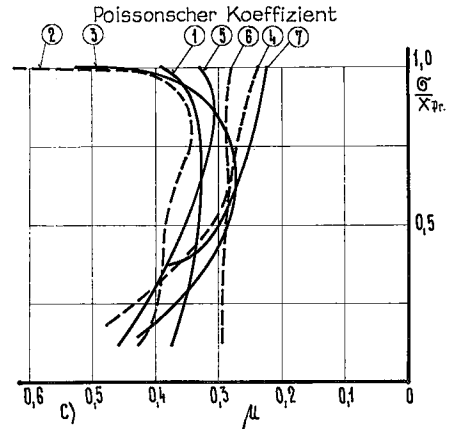
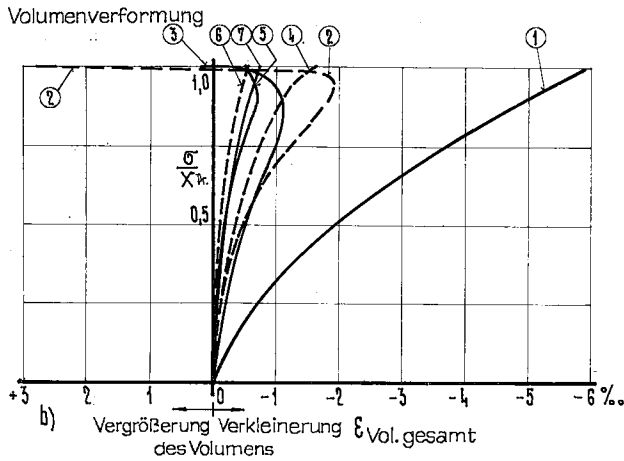
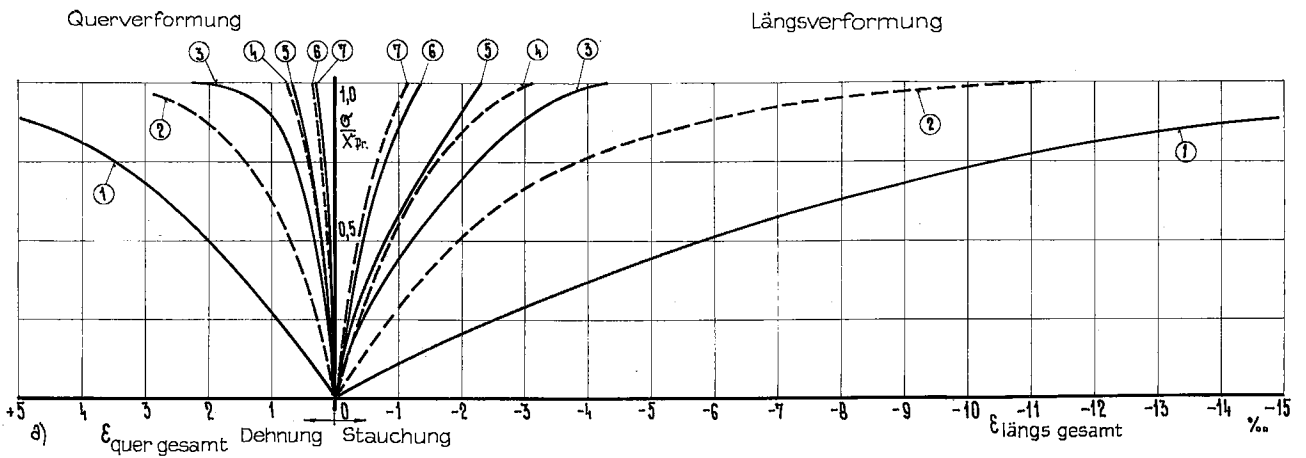


Bild 7a, b, c: Längs-, Quer- und Volumenverformung und der Poissonsche Koeffizient des Epoxyd-Kunststoff-Betons in Abhängigkeit von der relativen Spannung bis zum Bruch

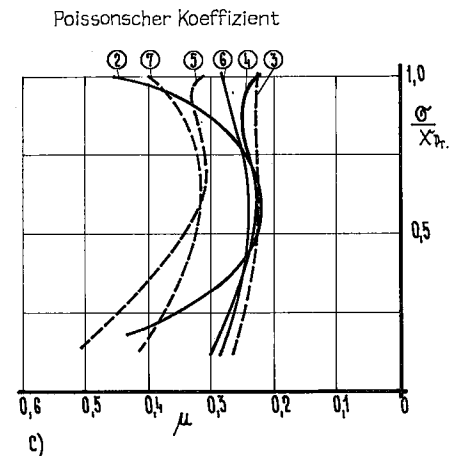
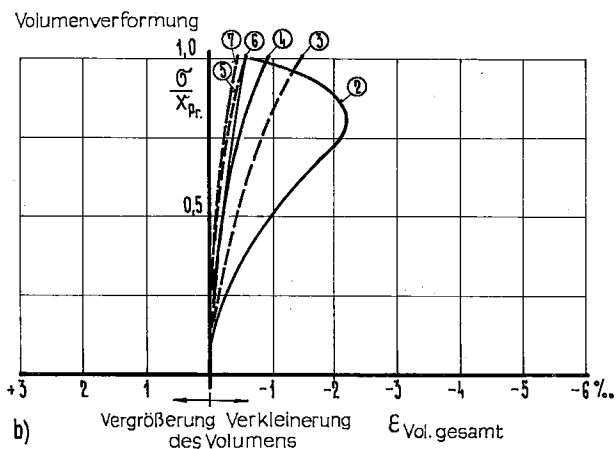
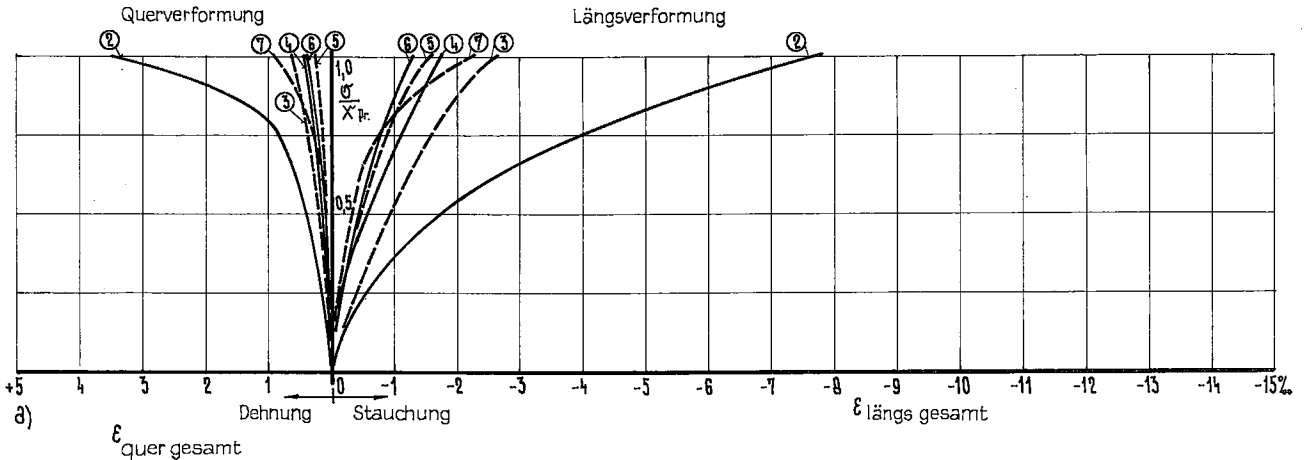


Bild 8a, b, c: Längs-, Quer- und Volumenverformung und der Poissonsche Koeffizient des Polyester-Kunststoff-Betons in Abhängigkeit von der relativen Spannung bis zum Bruch

zur Prüfungszeit: 2 Monate; Probengröße $4 \times 4 \times 16$ cm; Art der Beanspruchung: durch Biegung (2 Lasten in Drittteilen der Spannweite) kontinuierlich bis zum Bruch] gezeigt wird.

Bisher wurde der Polykondensat-Kunststoff-Beton, und zwar der Furol-Fural-Kunststoff-Beton, behandelt. Eine andere Sorte des Kunststoff-Betons, die praktisch nur unter Bedingungen eines gemäßigten Milieus benutzt werden kann, ist der Phenol-Formaldehyd-Kunststoff-Beton. Seine Arbeitsdiagramme werden in Bild 6 [Zusammensetzung des Gemisches: Phenol-Formaldehydpolykondensat in Acetonlösung 10 Gewichtsteile, Härtungsmittel (p-Toluensulfonsäure, 50% Wasserlösung) 2,5 Gewichtsteile, Sand bis 7 mm 50—100—150—200—300 Gewichtsteile (Bezeichnung 2, 3, 4, 5, 6); Nachbehandlung bei Erhärtung, Alter zur Prüfungszeit, Größe der Proben und Beanspruchungsart sind dieselben wie bei Bild 1] gezeigt.

In einer weiteren wichtigen Gruppe von Polymer-Kunststoff-Betonen sind zumindest die zwei meistverbreiteten beachtenswert: der Epoxyd- und der Polyester-Kunststoff-Beton. Die Bilder 7 [Zusammensetzung des Gemisches: Epoxydharz, (Äquivalent der Epoxydgruppen in 100 g Harz = 0,3, das Harz enthält 5 Gewichtsprozent des Dibutylphthalats), 10 Gewichtsteile, Härtungsmittel (Diäthylentriamin) 0,7 Gewichtsteile, Sand bis 7 mm 10—50—100—150—200—300—400 Gewichtsteile (Bezeichnung 1, 2 . . 7); Nachbehandlung beim Erhärten, Alter zur Prüfungszeit, Größe der Proben und Beanspruchungsart sind dieselben wie bei Bild 1] und 8 [Zusammensetzung des Gemisches: Polyesterharz, (Gehalt an ungesättigtem Polystyrol 70%, Styrol 30%), 10 Gewichtsteile, Härtungsmittel (Methylcyclohexanonperoxyd) 0,3 Gewichtsteile, Beschleuniger (Kobaltnaphtenat in Lösung mit Styrol im Gewichtsverhältnis 1:40) 0,15 Gewichtsteile. Nachbehandlung bei Erhärtung, Alter zur Prüfungszeit, Probengröße und Beanspruchungsart sind dieselben wie bei Bild 1] veranschaulichen die relativen Längs- und Volumenänderungen bei Beanspruchung bis zum Bruch.

Durch Vergleich der angeführten Abhängigkeiten (Bild 1, 6, 7, 8) gelangen wir zur Erkenntnis, daß der Verlauf der Deformationskurven bei allen Kunststoff-Betonen sehr ähnlich ist, einschließlich des anomalen Verhaltens der Gemische um das Verhältnis des Bindemittels zum Füllstoff 1:5 herum (Volumenverformung). Es scheint, daß wieder die primäre innere Spannung entscheidend ist, die beim Übergang vom System im ersten Intervall (nicht kontinuierlich porös) zum System im dritten Intervall (kontinuierlich porös) bedeutenden Veränderungen unterworfen ist.

3. Elastizitäts- und Kompressibilitätsmodul

Eine wichtige Charakteristik des Materials — der Elastizitätsmodul — hängt vor allem, jedoch keineswegs einfach, von der Zusammensetzung des Gemisches ab. Die typische Abhängigkeit des Elastizitätsmoduls, aus elastischen Verformungen, und des Kompressibilitätsmoduls, aus der Gesamtverformung, von der Zusammensetzung des Furol-Fural-Kunststoff-Betons ist in Bild 9 angeführt. Es ist interessant, daß, was die Form betrifft, die Beobachtung des Elastizitätsmoduls im Hinblick auf die Festigkeit eine ähnliche Abhängigkeit aufweist, wie in Bild 10 gezeigt wird.

4. Grenzverformungen

Weitere wichtige Größen sind die Grenzverformungen. In Bild 11 wird für den Furol-Fural-Kunststoff-Beton die Veränderung sowohl der Längs- als auch der Quergrenzverformungen bei Druck- sowie Zugspannung und bei Zusammensetzung des Gemisches bei verschiedenen Experimenten gezeigt. Eine bedeutsame Veränderung der

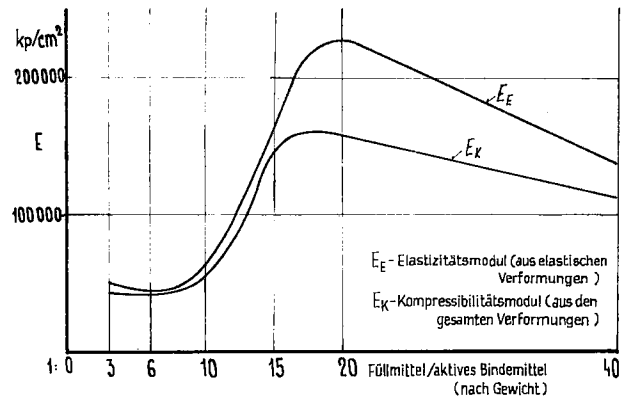


Bild 9: Änderung des Elastizitäts- und Kompressibilitätsmoduls des Betons bei der Spannung $\sigma = \nu/3$ mit der Zusammensetzung des Gemisches

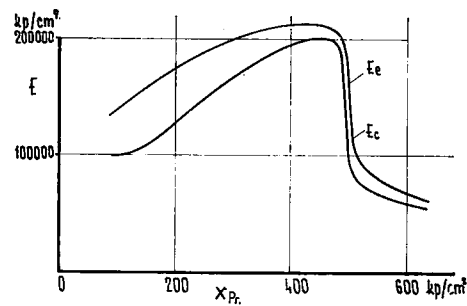


Bild 10: Abhängigkeit des Elastizitäts- und Kompressibilitätsmoduls des Betons bei der Spannung $\sigma = \nu/3$ von der Prismenfestigkeit

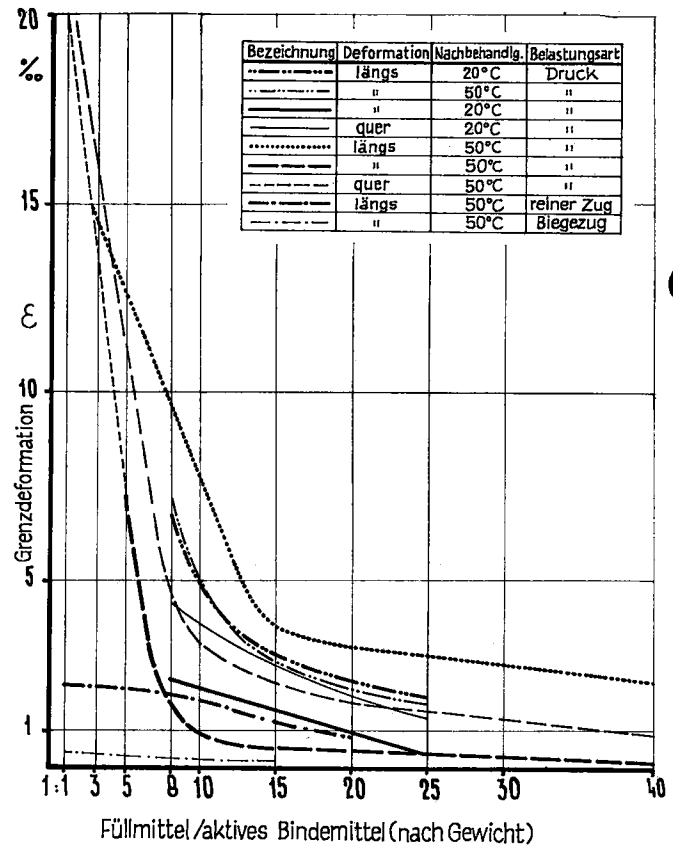


Bild 11: Abhängigkeit der Grenzverformung des Betons von der Zusammensetzung des Gemisches

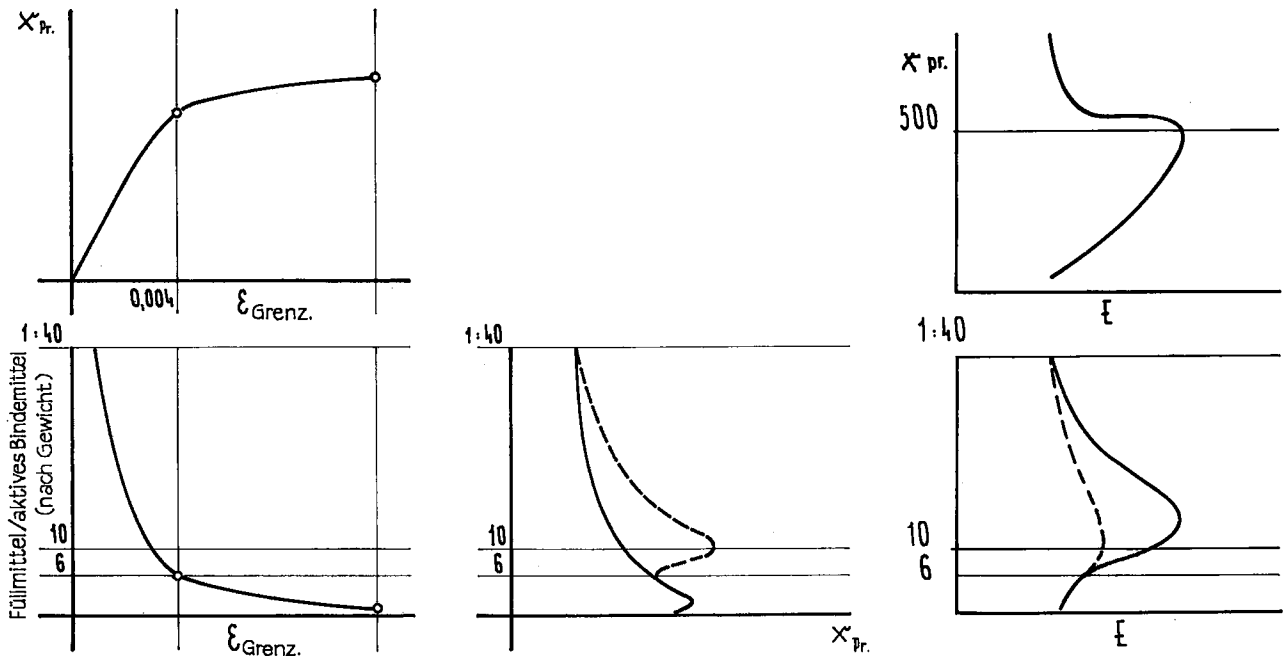


Bild 13: Schematischer Vergleich einiger Eigenschaften der Kunststoff-Betone

Richtlinie tritt im zweiten Gebiet (Übergangsgebiet) ein. Bild 12 führt hierzu für den gleichen Kunststoff-Beton die Veränderung der Grenzverformung entsprechend der Prismenfestigkeit an. Es kann festgestellt werden, daß der Charakter der Kurven ähnlich der in Bild 11 ist.

Aus der schematischen Zusammenfassung der erreichten Ergebnisse beim Furool-Fural-Kunststoff-Beton in Bild 13 ist ersichtlich, daß ein bedeutsamer Wendepunkt im Verlauf der Grenzverformung um 4‰ herum sowohl in der Abhängigkeit von der Festigkeit als auch in der Abhängigkeit von der Zusammensetzung des Gemisches eintritt. Die gleichzeitige Beobachtung der Abhängigkeiten der Grenzverformung und der Festigkeit, eventuell des Elastizitätsmoduls von der Zusammensetzung des Gemisches zeigt, daß der Wendepunkt (Bruch) der Kurve an der Stelle des Maximums der zweiten Kurve, also am Anfang des dritten Intervalls eintritt. Das deutet unzweifelhaft nicht nur auf die gegenseitige Wechselbeziehung aller erwogenen Erscheinungen, sondern hauptsächlich auf ihre gemeinsame Abhängigkeit von denselben grundlegenden Einflüssen. Unter anderem geht aus dem Vergleich beider Abhängigkeiten für die Grenzverformung mit der Abhängigkeit zwischen der Festigkeit und der Zusammensetzung des Gemisches hervor, daß irgendeine Größe existiert, die einen starken Einfluß auf die Festigkeiten

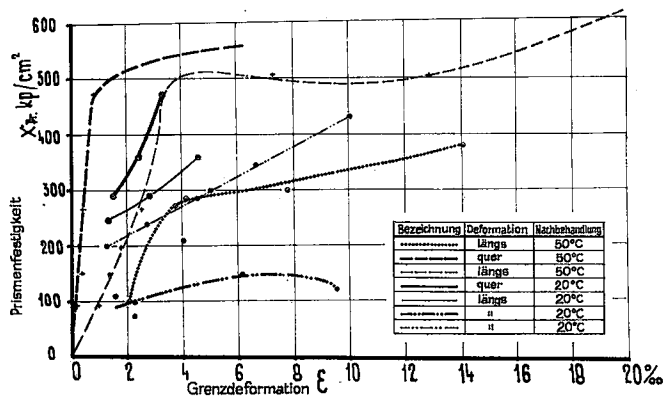


Bild 12: Verlauf der Grenzdeformationen des Betons bei Druck in Abhängigkeit von der Festigkeit

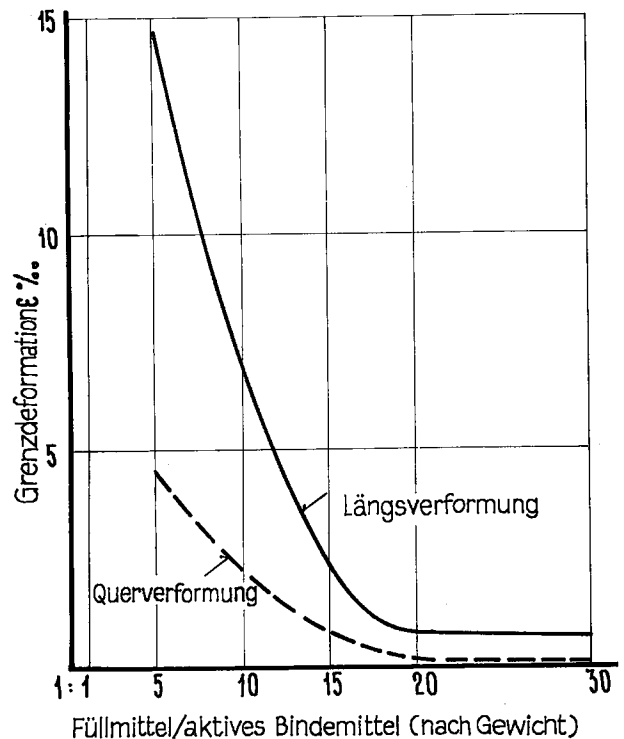


Bild 14a: Abhängigkeit der Grenzverformung des Phenol-Formaldehyd-Kunststoff-Betons von der Zusammensetzung der Mischung

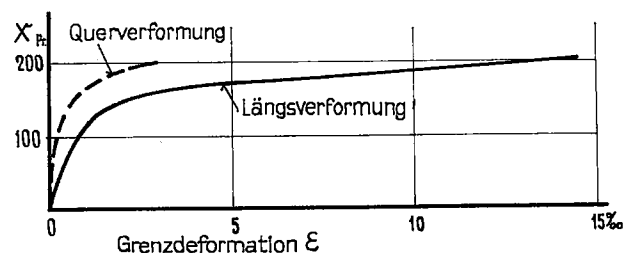


Bild 14b: Verlauf der Grenzdeformationen des Phenol-Formaldehyd-Kunststoff-Betons bei Druck in Abhängigkeit von der Festigkeit

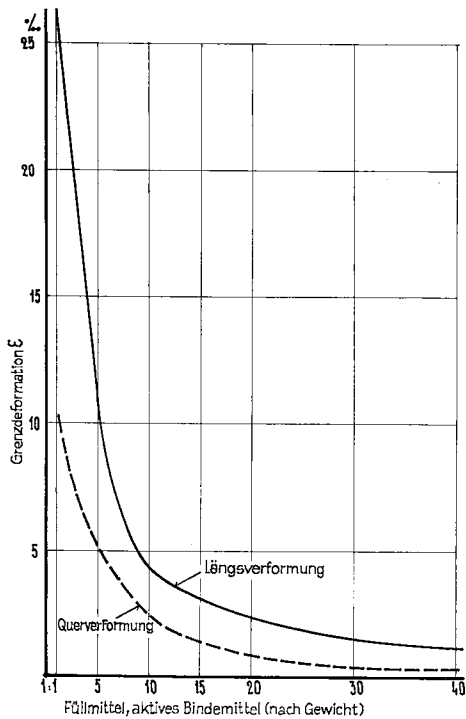


Bild 15 a: Abhängigkeit der Grenzverformung des Epoxyd-Kunststoff-Betons von der Zusammensetzung der Mischung

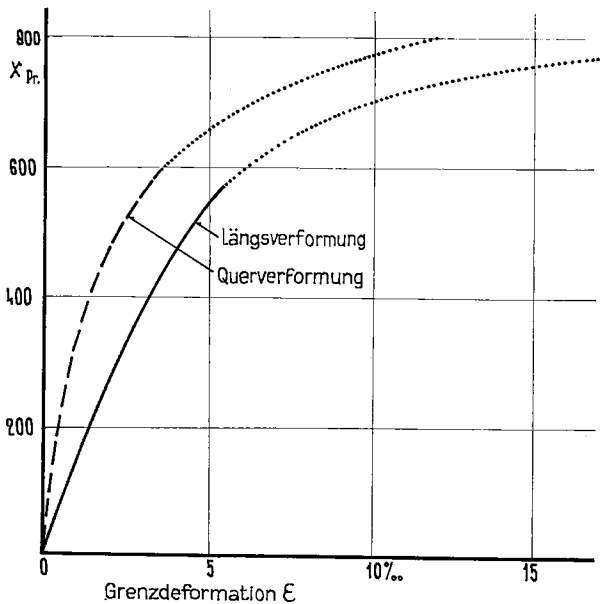


Bild 15 b: Verlauf der Grenzdeformationen des Epoxyd-Kunststoff-Betons in Abhängigkeit von der Druckfestigkeit

(oder den Elastizitätsmodul) und einen vernachlässigbaren Einfluß auf die Grenzverformung hat. Aus den schon veröffentlichten Ergebnissen und Erwägungen³⁾ geht hervor, daß diese Größe offensichtlich die Feuchtigkeit oder der Sättigungsgrad der Kunststoffbetone (im zweiten und dritten Gebiet) mit Wasserdampf ist. In den Bildern 14, 15 und 16 sind noch der Vollständigkeit halber die Abhängigkeiten angeführt, die die Veränderung der Grenzverformung mit Bezug auf die Zusammensetzung der Festigkeiten bei den anderen untersuchten Kunststoffbetonen beschreiben. Es ist ersichtlich, daß der Charakter der Abhängigkeiten in allen Fällen ähnlich ist; es ändert sich nur die Größe der Verformung, bei der ein Bruch der Kurven eintritt.

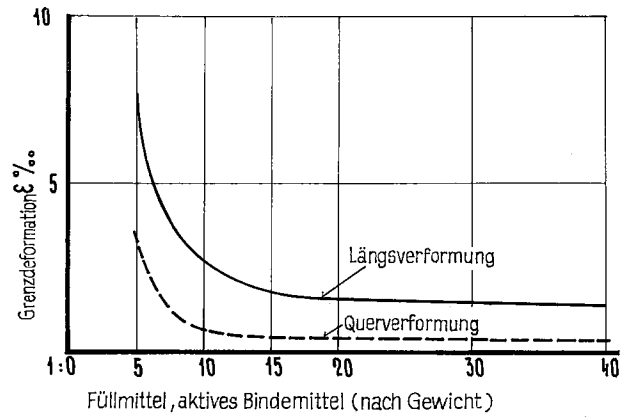


Bild 16 a: Abhängigkeit der Grenzverformung des Polyester-Kunststoff-Betons von der Zusammensetzung der Mischung

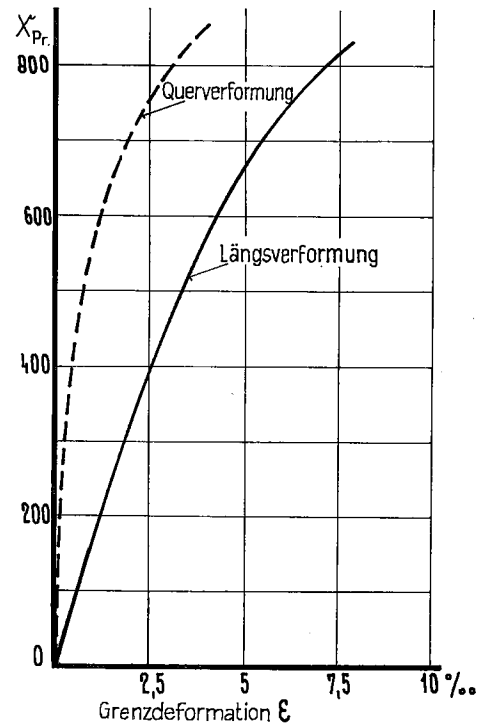


Bild 16 b: Verlauf der Grenzdeformationen des Polyester-Kunststoff-Betons in Abhängigkeit von der Druckfestigkeit

5. Kriechverformung

Wie bereits bemerkt wurde, sind nicht weniger wichtig als die Deformationscharakteristiken bei kurzfristiger Beanspruchung auch die Deformations Eigenschaften der Materialien bei langfristiger Beanspruchung. Die Gewinnung ausreichender Experimentaldaten erfordert allerdings viel Zeit. Die bisherigen Ergebnisse zeigen, daß das Kriechen der Kunststoff-Betone bei mechanischer Beanspruchung wesentlich größer ist als bei den üblichen Baustoffen. Erwartungsgemäß macht sich hier der ungünstige Charakter einer der festen Phasen im System — des Kunststoffes — wirksam geltend. Es darf offensichtlich nicht damit gerechnet werden, daß die Konstruktionsteile der Kunststoff-Betone auf mehr als 30—40% ihrer kurzfristigen Festigkeit dauernd beansprucht werden können.

Das Kriechen der Kunststoff-Betone verläuft nämlich in zyklischen Phasen der Beruhigung und Beschleunigung, wie z. B. Bild 17 [Zusammensetzung des Gemisches: Furfurylalkohol 10 Gewichtsteile, Fural 2 Gewichtsteile, Härtungsmittel 3 Gewichtsteile, Sand bis 25 mm 150 Gewichtsteile; Nachbehandlung bei Erhärtung 50—60 °C, 30% re-

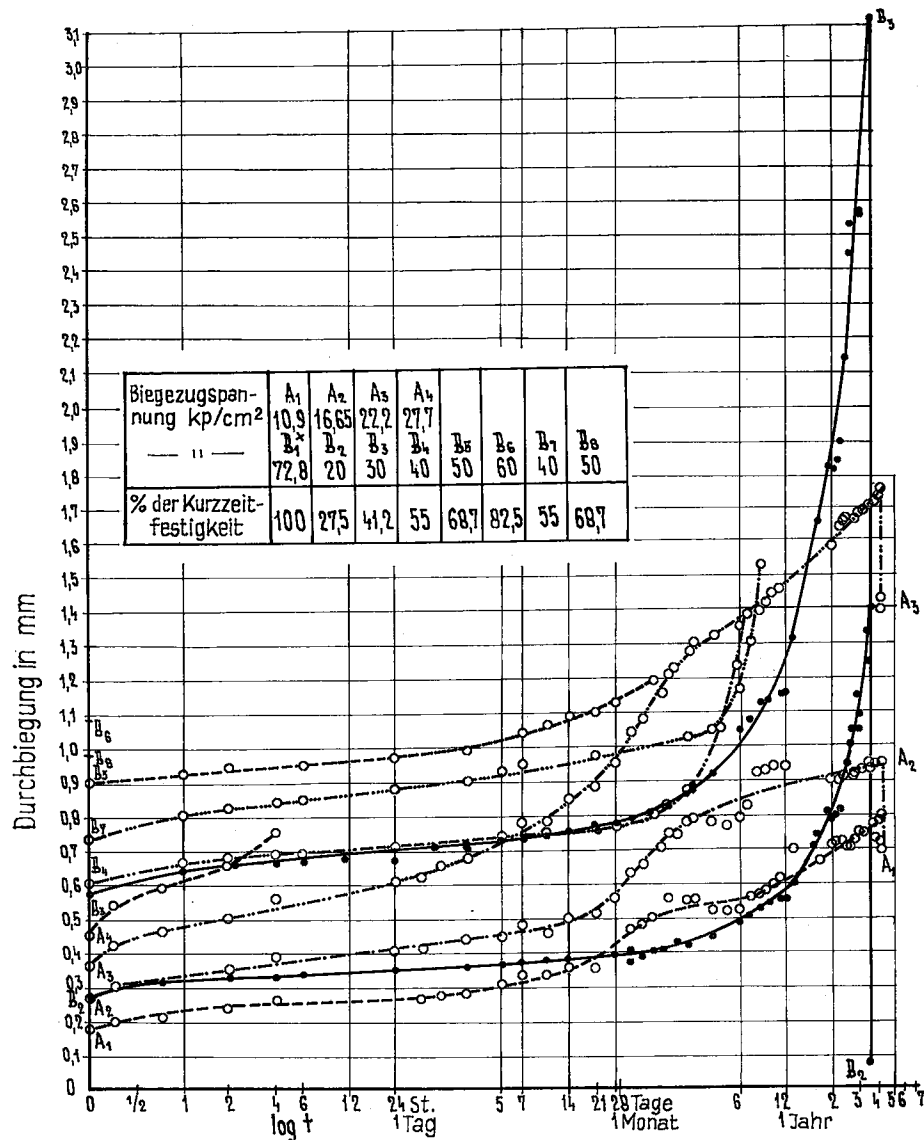


Bild 17: Veränderung der Durchbiegungen von Berol-Trägern mit der Zeit

relative Feuchtigkeit; Alter zur Prüfungszeit 14 Tage; Größe der Proben 10 × 10 × 80 cm; Beanspruchungsart: durch Biegung (zwei Lasten in Dritteln der Spannweite) bei der langfristigen Prüfung des Furol-Fural-Kunststoff-Betons bei Biegezug zeigt. Es ist ersichtlich, daß nur bei einer Be-

anspruchung, die kleiner ist als 40 % der Festigkeit, mit der Zeit eine Beruhigung und ein allmählicher Stillstand des Kriechens eintritt.

Obwohl für die Herstellung von Kunststoff-Betonen vorwiegend geheizte Formen verwendet werden, ist ihr Kriechen bei unterschiedlichen Temperaturen verschieden, wie z. B. Bild 18 [Zusammensetzung der Mischung: Furfurylalkohol 10 Gewichtsteile, Fural 1 Gewichtsteil, Härtungsmittel 4 Gewichtsteile, Sand bis 4 mm 100 Gewichtsteile; Nachbehandlung bei Erhärtung 50–60° C, 20 % relative Feuchtigkeit; Alter zur Prüfungszeit 1 Jahr; Größe der Proben 2 × 2 × 10 cm; Beanspruchungsart: durch Biegung (1 Last inmitten der Spannweite)] im Furol-Fural-Kunststoff-Beton bei einem Gewichtsverhältnis des Bindemittels zum Füllstoff 1:10 zeigt. Es ist interessant, daß eine geringe Durchbiegung bei einer Temperatur von 60° C eintritt, bei der die Aushärtung des Probemusters vor sich ging. Außer negativen Temperaturen, in diesem Fall bei -10° C, sind die Durchbiegungen um so größer, je weiter die Temperatur der Umgebung von der Temperatur der Aushärtung, und zwar in beiden Richtungen, entfernt ist.

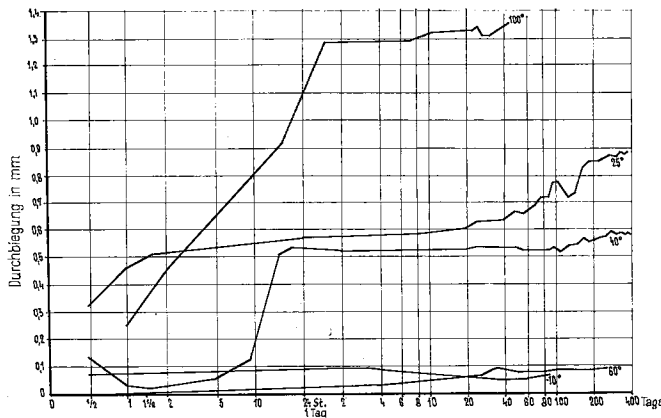


Bild 18: Veränderung der Durchbiegungen des Berols mit der Zeit bei Zusammensetzung des Gemisches 1:10 und bei verschiedenen Temperaturen

6. Langfristige Festigkeit

Die langfristige Festigkeit überschreitet, wie Bild 19 (Zusammensetzung wie bei Bild 17) veranschaulicht, nicht

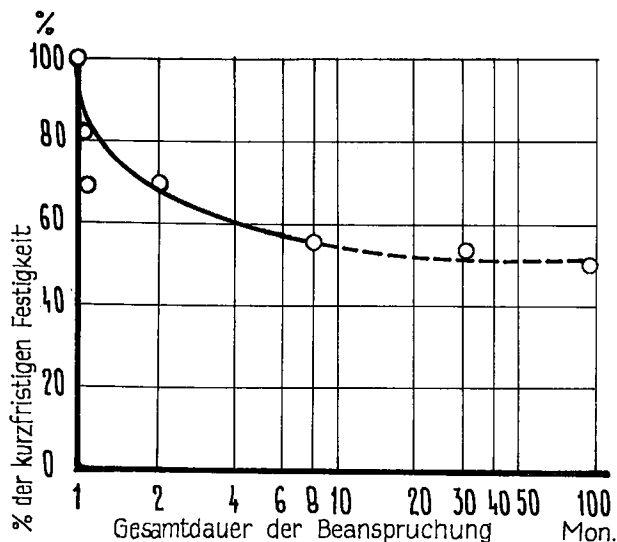


Bild 19: Veränderung der Festigkeit des Betons bei Zug unter Biegung mit der Zeit der Beanspruchung

einmal bei Einsatz einiger spezieller technologischer Eingriffe 50 % ihres kurzfristigen Wertes, womit beim Entwurf von Konstruktionsteilen aus Kunststoff-Beton gerechnet werden muß.

7. Abschluß

Eine ganze Reihe von weiteren Experimenten, die die übrigen physikalischen Eigenschaften der Kunststoff-Betone klarlegen, von denen einige bei anderer Gelegenheit (z. B. Volumenveränderungen im Verlauf der Erhärtung, Volumenveränderungen ausgehärteter Kunststoff-Betone durch den Einfluß von Temperatur und Feuchtigkeit, Kohäsion der Kunststoff-Betone mit der Bewehrung, Adhäsion der Kunststoff-Betone am Beton, Widerstandsfähigkeit der Kunststoff-Betone in verschiedenen Milieus usw.) beschrieben werden, bewies, daß die Kunststoff-Betone ohne Zweifel ein Baumaterial mit vielseitiger Verwendungsmöglichkeit und hoher Dauerhaftigkeit sein können. Bei ihrer Verwendung ist es allerdings unerlässlich, von der Kenntnis der grundlegenden Eigenschaften, Abhängigkeiten und den beeinflussenden Bedingungen der einzelnen Kunststoff-Betonarten sowie der Kunststoff-Betone im allgemeinen als einer gewissen Klasse stark inhomogener Materialien auszugehen.

Zusammenfassung

Im Zusammenhang mit den früheren Beiträgen werden weitere Ergebnisse über das Verhalten der Kunststoff-Betone vorgelegt.

Ein wichtiger Faktor für die Verwendung der Kunststoff-Betone in Konstruktionen ist ihre Elastizität als eine Summe von Beziehungen zwischen Spannung und Verformung bei kurzzeitiger Belastung bis zum Bruch und bei verschiedenen äußeren Bedingungen.

Dieser Beitrag bringt vor allem Spannungs-Dehnungs-Diagramme für Längs-, Quer- und Volumenverformungen sowie Änderungen der Querdehnungszahl bei verschieden zusammengesetzten Kunststoff-Betonen. Weiter wird eine mathematische Beziehung vorgelegt, die das Spannungs-Dehnungs-Diagramm der Kunststoff-Betone beschreibt. Den Grenzverformungen wurde besondere Aufmerksamkeit gewidmet; eine graphische Darstellung ihrer Beziehung zu der Zusammensetzung des Gemisches und zu den Prismenfestigkeiten erweist ein einheitliches Verhalten bei allen Kunststoffbetonarten; es wird auch auf den wechselseitigen Zusammenhang der betrachteten Erscheinungen verwiesen.

Ebenso wichtig sind für die praktische Verwendung auch die Verformungseigenschaften der Kunststoff-Betone unter Dauerbeanspruchungen aller Art. So wird das Kriechen unter verschiedenen Temperaturen bei Dauerbelastungen und in Verbindung damit auch die Dauerfestigkeit untersucht.

Summary

Further to earlier articles by the same author, some additional information on the behaviour of plastics resin concretes is presented.

An important factor favouring the use of these concretes in structures is their elasticity, as a sum of relations between stress and strain under short-term loading up to failure and under various external conditions.

This article is more particularly concerned with stress-strain diagrams for longitudinal, transverse and volumetric strains and for changes in Poisson's ratio of variously composed resin concretes. Furthermore, the author presents a mathematical relation for the stress-strain diagrams of resin concretes. Particular attention is paid to limit strains. A graphic representation of their interrelation with the mix composition and with the prism strengths reveals uniform behavior for all types of resin concretes. The reciprocal connection between the phenomena under consideration is pointed out.

Equally important with regard to practical use are the deformation properties of resin concretes under longterm loading conditions. Creep under sustained loading at various temperatures and, in connection with this, also the sustained load strength were investigated.

Résumé

En se reportant à ses contributions précédentes, l'auteur présente des résultats supplémentaires concernant le comportement des bétons de résine.

L'élasticité des bétons de résine, considérée comme la somme des relations entre contrainte et déformation sous charge de courte durée allant jusqu'à la rupture dans des conditions extérieures variées, représente un important facteur d'utilisation de ces bétons dans la construction.

Le présent travail montre notamment des diagrammes de contraintes-déformations longitudinales, latérales et de volume, ainsi que des modifications du coefficient de Poisson pour des bétons de résine de différentes compositions. Une relation mathématique représentant le diagramme de contraintes-déformations des bétons de résine est ensuite introduite. Les déformations limites reçoivent une attention particulière; une représentation graphique de leur relation avec la composition du mélange et avec les résistances des prismes montre un comportement homogène de toutes les sortes de béton de résine. L'auteur attire également l'attention sur les rapports réciproques entre les phénomènes observés.

Pour la mise en oeuvre des bétons de résine, leurs caractéristiques de déformation sous charges permanentes de toutes natures représentent un paramètre aussi important. Ainsi, le fluage sous charge permanente à différentes températures est-il examiné en relation avec la résistance à la fatigue.

Schrifttum

- 1) Bareš, R.: Über die Technologie der Kunststoff-Betone. Zement-Kalk-Gips 20 (1967), 47.
- 2) Bareš, R., und Navrátil, J.: Some physical properties of resin concretes. Colloquium RILEM International 1967.
- 3) Bareš, R., Navrátil, J., Berka, L., und Javornický, J.: Practical application of synthetic constructive materials as a result of exact definition of material properties. Symposium RILEM International 1964.