Erfassung der Grösse und des zeitlichen Verlaufes der Kriech- und Schwindverformung von Beton - Auswertung der Messungen an Bauwerken unter Einbezug von Laborergebnissen

Autor(en): **Jungwirth, Dieter**

Objekttyp: **Article**

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

Band (Jahr): **5 (1970)**

PDF erstellt am: **22.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-6907

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Erfassung der Grösse und des zeitlichen Verlaufes der Kriech- und Schwindverformung von Beton — Auswertung der Messungen an Bauwerken unter Einbezug von Laborergebnissen

Determination of Time-varying Creep and Shrinkage Deformations — An Evaluation of Field Tests and Laboratory Results

Etude pour le béton de la déformation due au fluage et au retrait en foction du temps — Analyse des mesures effectuées sur des ouvrages en considération des essais de laboratoire

DIETER JUNGWIRTH
Dr.-Ing.
Fa. Dyckerhoff & Widmann KG
Deutschland

1. Aufgabenstellung

Im Ingenieurbau kann neben der Größe der Kriech- und Schwindverformung des Betons auch deren zeitlicher Verlauf eine wesentliche Rolle spielen. Ein Beispiel dafür ist das Gebiet der Überhöhungsberechnung bei abschnittsweiser Herstellung von Brückenüberbauten. Wurde durch den Bauablauf ein Zwang auf das System ausgeübt, interessiert z.B. dessen Restgröße bei Verkehrsübergabe. Oft ist auch von Bedeutung, welcher Effekt durch befristetes Offenhalten von Schwindfugen erzielt werden kann.

An Hand einer großen Zahl von Verformungsbeobachtungen wird versucht, zutreffende Aussagen über den zeitlichen Verlauf der Kriech- und Schwindverformung zu machen. Außerdem wird überprüft, inwieweit die Angaben nach den CEB-Richtlinien [4] über die Größe von Kriechzahl und Schwindmaß mit den Beobachtungen übereinstimmen.

2. Derzeitiger Stand der Kenntnisse

Über die Größe der Kriechverformung, ausgedrückt durch die Kriechzahl φ ($\varphi = \varepsilon_{plast.} / \varepsilon_{elast.}$ = Kriechverformung/elastische Verformung) und über die Größe des Schwindmaßes ε_s liegen eine Vielzahl von Beobachtungen und Abhängigkeiten vor, die sich vorwiegend auf Laborversuche stützen, z.B.[1,2,3,4]. Mit unterschiedlicher Genauigkeit erfassen sie den Einfluß des Belastungsalters, der Körpergröße, des Klimas und der Betonzusammensetzung. Neuere Forschungsergebnisse stellen die Trennung von Kriech- und Schwindverformung in Frage. Die zeitabhängige Verformung ist demnach eine Funktion der Gesamtspannung aus äusserer Last und Schwindspannung. Die Untersuchungen sind derzeit für eine praktische Handhabung noch nicht genügend ausgereift.

Der zeitliche Verlauf von Kriech- und Schwindverformung wird vielfach empirisch durch Exponential- und hyperbolische Funktionen (z.B.[5]) angenähert. Durch Studien an rheologischen Modellen gelangt man zu gleichartigen Funktionen (z.B.[6]).

Die CEB-Vorschläge[4] über Größe und zeitlichen Ablauf von Kriechen und Schwinden stützen sich vor allem auf Beobachtungen an relativ k l e i n e n Laborproben unter konstanter Temperatur und Luftfeuchtigkeit. Vergleiche mit Beobachtungen an ausgeführten Bauwerken zeigen, daß sich die zeitabhängigen Verformungen bei g r o s s e n Abmessungen über einen längeren Zeitraum erstrecken. Die jahreszeitlich schwankenden klimatischen Bedingungen führen außerdem zu einem Verformungsverlauf, der um einen gedachten, stetig verlaufenden Mittelwert alterniert (Bild 1). Die Verformungsgeschwindigkeit liegt im Frühjahr am höchsten.

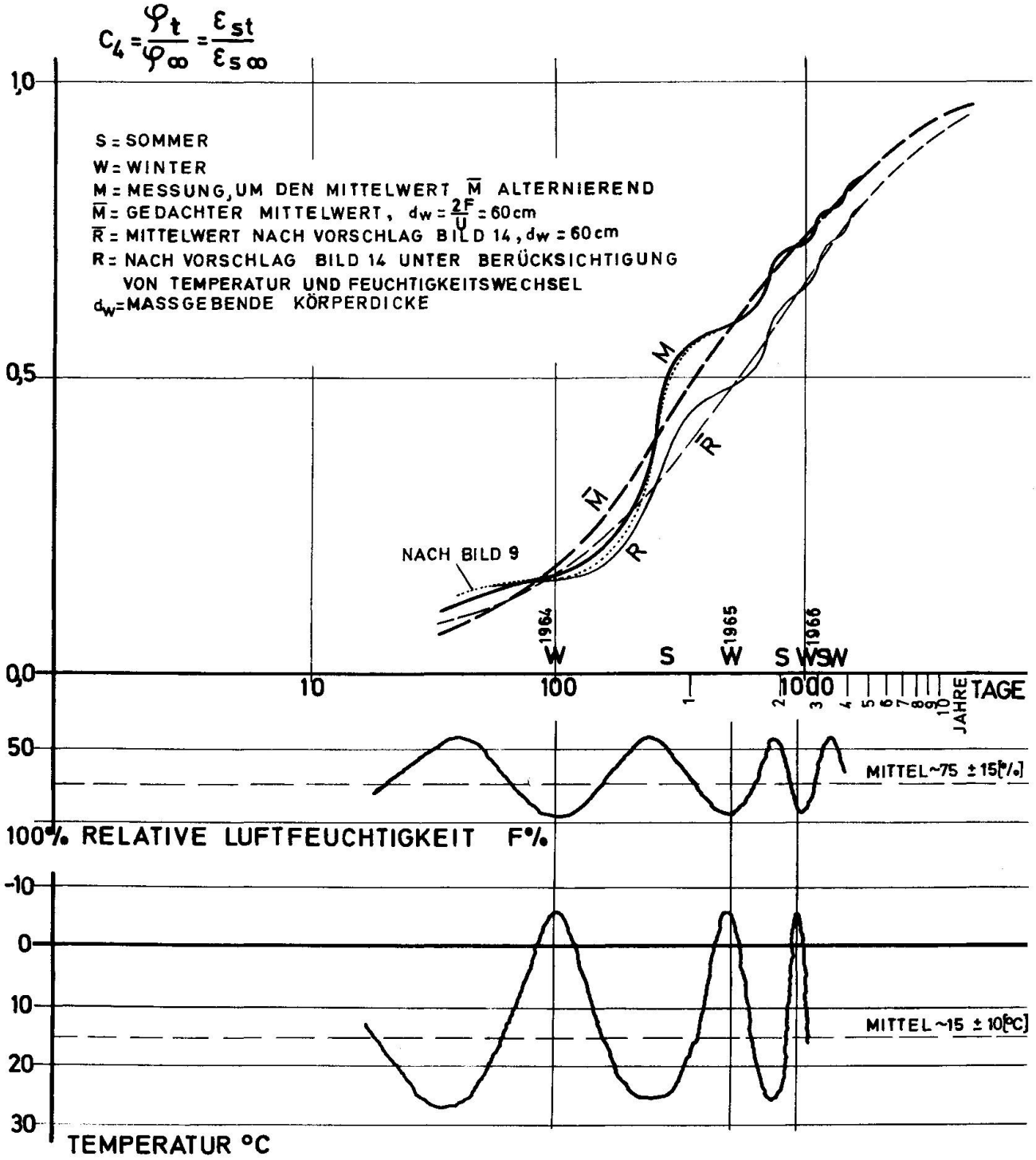


Bild 1: Jahreszeitliche Abhängigkeit des Kriech- und Schwindablaufes

Um diesen Mangel an Übereinstimmung zu beheben, wurde unter Leitung von Rüsch eine internationale Rundfrage mit dem Ziel veranstaltet, möglichst viele Ergebnisse von an Bauwerken durchgeführten Beobachtungen zu sammeln und auszuwerten. Darüber soll im folgenden berichtet werden.

3. Praktische Durchführung der Bauwerksbeobachtungen

Es bieten sich zwei Arten der Beobachtungen an, die Messung der Biegelinie mit Feinnivellements oder Dehnungs- bzw. Stauchungsmessungen am Tragwerk.

3.1 Beobachtung der Biegelinie

Diese Methode vermittelt einen direkten Eindruck über das Verformungsverhalten. Die Ablesegenauigkeit beträgt bei Feinnivellements etwa ± o,o5 bis o,2 mm. Nachdem die Kontinuität der Meßreihe vom Baubeginn bis zum letzten Ablesetermin erhalten bleiben soll, sind die Meßbolzen sorgfältig zu sichern.

3.2 Verformungsbeobachtungen über Dehnungs- bzw. Stauchungsmessungen

Von einer direkten Messung auf der Betonoberfläche mit kurzen Meßlängen wird abgeraten, da Oberflächeneffekte und die Inhomogenität des Betons die Meßwerte verfälschen. Man muß größere Meßstrecken in Bereichen mit eindeutig definierten Spannungen wählen.

Als vorteilhaft hat sich ein mehrere Meter langer Meßstab geg. aus Invar erwiesen, der, an einem Ende fixiert, mit geringem Reibungswiderstand in einem Hüllrohr lagert. Am anderen Ende wird die Verformung über einen Hebelarm auf einer geeichten Skala abgelesen (Bild 2).

Es ist zweckmäßig, den Meßstab in eine der sog. "Kriechfasern" zu legen. Nach Busemann [7] versteht man darunter zwei bestimmte Querschnittsfasern, die sich gegenseitig nicht beeinflussen. Bei einsträngiger Vorspannung können dadurch die Folgen einer

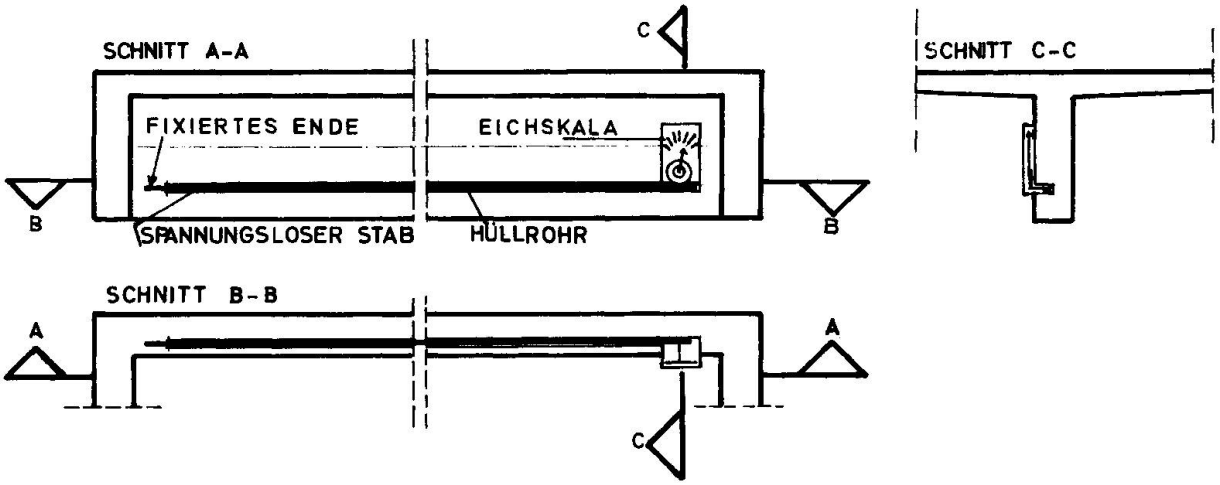


Bild 2: Verformungsmessung mit Meßstab

Spannungsumlagerung aus Kriechen und Schwinden auf die Meßwerte umgangen werden. Bei mehrsträngiger Vorspannung wird die Beeinflussung eines Stranges durch die anderen eliminiert. Die Auswertung der Messungen wird so erheblich einfacher und das Ergebnis genauer.

4. Auswertung der Beobachtungen an Bauwerken

4.1 Voraussetzung

Grundvoraussetzung für eine einwandfreie Auswertung ist eine geschlossene, beim Bauzustand beginnende und mehrere Jahre erfassende Beobachtungsreihe.

Für die Deutung der Beobachtungen muß die Betonzusammensetzung (Zementart, Zementgehalt, Wasserzementwert und Zuschlagstoffe) und die Beanspruchung bekannt sein. Außerdem interessieren Angaben über das Klima (Temperatur und Luftfeuchtigkeit), die nicht nur den Meßtag sondern den ganzen Beobachtungszeitraum erfassen. Aus der statischen Berechnung lassen sich die geometrischen Werte des Systems entnehmen, weiterhin Angaben über die Belastung, Lage und Größe der Spannbewehrung und in der Regel auch Angaben über die elastischen Verformungen. Das Spannprotokoll sollte vorliegen. Zur Deutung der Verformungen während des Bauzustandes bedarf es genauer Angaben über die einzelnen Bauzustände

Von großer Wichtigkeit sind Angaben über Probebelastungen und die am Bauwerk vorgenommene Kontrolle der Geometrie und der Festigkeitswerte. Manche Unklarheit und mancher Widerspruch in den Beobachtungsergebnissen lassen sich damit klären oder ausschalten.

4.2 Rechengang

Setzt man System und Belastung, Lage und Größe der Vorspannung beim Anspannen als bekannt voraus, verbleiben zunächst als unbekannte Einflüsse auf die Verformungen - und damit bei der Nachrechnung zu berücksichtigende Faktoren - die Größe des Elastizitätsmoduls, Stützensenkungen und -verdrehungen, die Temperatur sowie Kriechen und Schwinden. Die Auswirkung von Stützensenkung, Temperatur, Kriechen und Schwinden ist, wie nachfolgend gezeigt wird, von Fall zu Fall von unterschiedlicher Bedeutung. Tafel I gibt einen Überblick.

S t ü t z e n s e n k u n g e n (Tafel I) können beim Nivellement direkt erfaßt werden. Bei Meßstäben wirken sie sich nur bei statisch unbestimmten Konstruktionen aus. Die Stützensenkung muß dann durch ein zusätzliches Nivellement festgestellt werden. S t ü t z e n v e r d r e h u n g e n können die Messungen ebenfalls beeinflussen.

Die T e m p e r a t u r v e r f o r m u n g wirkt sich je nach statischem System und Lage der Meßstelle verschieden aus (Tafel I). Für die zahlenmäßige Untersuchung ist es zweckmäßig, die Folgen aus dem Betontemperaturverlauf sowohl in Längs- als auch in Querrichtung des Überbaues in drei Anteile zu zerlegen (Bild 3):

in Eigenspannungszustand aus $\Delta\Delta T$
in Krümmungsanteil aus ΔT
in Verschiebungsanteil aus T

Da Temperaturaufzeichnungen im Querschnitt nur selten vorgesehen sind, muß der Temperaturverlauf meist über die Lufttemperatur und über die Sonneneinstrahlung abgeschätzt werden. Bei der Bearbeitung der Tafel I wurde der Verlauf vereinfachend als konstant längs des Überbaues angesetzt. Außerdem wies man dem Meßstab und den Stahleinlagen in guter Näherung die gleiche Temperatur wie den benachbarten Betonfasern zu. Dauern die Temperaturspannungen länger an, zeigen sich geringe Kriecheinflüsse.

Tafel I Beeinflussung der Meßwerte durch Stützensenkung, Temperatureinwirkung, Kriechen und Schwinden nach Ziff.4.2:

		NIVELLEMENT		MESSTAB	
		Kurzzeit	Langzeit	Kurzzeit	Langzeit
Stützensenkung	stat.best.System	ja	ja	nein	nein
	stat.unbest.System	ja	ja	ja	ja
Temperatur $\Delta\Delta T$	stat.best.System	nein	nein	nein	gering
	stat.unbest.System	nein	nein	nein	gering
Temperatur ΔT	stat.best.System	ja	ja	nein	nein
	stat.unbest.System	nein	gering	ja	ja
Temperatur T	stat.best.System	nein	nein	nein	nein
	stat.unbest.System	ja	ja	ja	ja
Schwinden	stat.best.System (Eigenspannung)	nein	ja	nein	ja
	stat.unbest.System (Eigenspannung, Zwang)	nein	ja	nein	ja
	Spannungsverlust im Spannglied	nein	ja	nein	ja
Kriechen	Umlagerung im Querschnitt	nein	ja	nein	ja
	Spannungsverlust im Spannglied	nein	ja	nein	ja

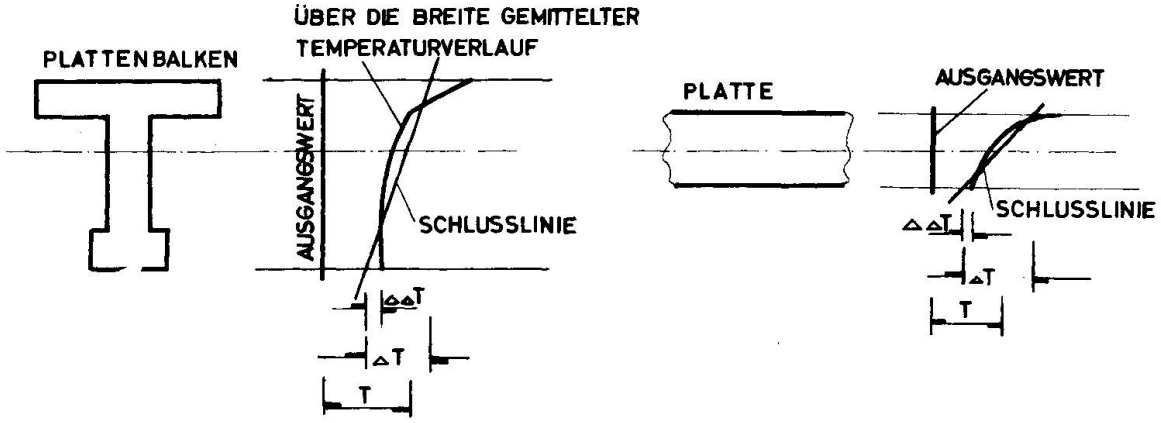


Bild 3: Beispiele für die Aufschlüsselung der Temperaturverteilung bei verschiedenen Querschnittsformen

Das S c h w i n d e n (Tafel I) kann sich in Eigenspannungen, Zwängschnittgrößen und einer Minderung der Vorspannung äussern. Zu den Beanspruchungen, wie sie auch unter Temperatur auftreten können, kommt der Eigenspannungszustand aus unterschiedlichem Verformungsverhalten zwischen Stahl und Beton hinzu. Außerdem baut das Kriechen Zwäng- und Eigenspannungen aus Schwinden stark ab.

Das K r i e c h e n (Tafel I) verursacht eine Verformungszunahme des beanspruchten Betons. Daraus ergeben sich Spannungsumlagerungen im Verbundquerschnitt. Die Vorspannung wird im allgemeinen abgebaut.

Die praktische Durchführung der Verformungsberechnung erfordert zunächst eine Korrektur der Meßwerte zur Berücksichtigung der Temperatur und einer eventuellen Stützensenkung nach den Gesetzen der technischen Mechanik. Gegebenenfalls ist eine ähnliche Korrektur in der Durchbiegung für Mehrgewicht oder geminderter Vorspannung vorzunehmen. So verbleiben schliesslich nur noch Kriech- und Schwindeinflüsse sowie Streuungen in der Größe des Elastizitätsmoduls (definitionsgemäß der Elastizitätsmodul nach 28 Tagen), mit denen die beobachtete Durchbiegung nun analytisch von Zeitintervall zu Zeitintervall beschrieben werden kann. Zur Bestimmung dieser drei Unbekannten bedarf es dreier Verformungsbedingungen, d.h. also dreier Meßstellen. Da das Verhältnis der Kriech- zur Schwindverformung erfahrungsgemäß nicht allzu unterschiedlich ist($\varepsilon_{s\infty}/\varphi_{\infty}$= 5 bis $10 \cdot 10^{-5}$)und der E-Modul aus dem Schrifttum oder aus Messungen meist bekannt ist, genügt auch schon eine Meßstelle, um Nachrechnungen vornehmen zu können.

Bei einer Vielzahl von Einzelbeobachtungen kann es sinnvoll sein, statistische Methoden zu benutzen und die Zuordnung von Kriechen und Schwinden durch Korrelationsfunktionen zu finden.

Zur zahlenmäßigen Untersuchung der Einflüsse aus Kriechen und Schwinden erweisen sich meist die leicht verständlichen Ansätze von Dischinger [8] als zweckmäßig. Der Einfluß des Rückkriechens von Beton bleibt in dieser Ableitung allerdings unberücksichtigt (Whitney'sche Idealkurve). Die dadurch verursachte Ungenauigkeit im Ergebnis wirkt sich nur im Falle der reinen Relaxation merklich aus, die aber in der Praxis kaum und nur in Verbindung mit anderen Lastfällen auftritt. Dann ist der Fehler, bezogen auf das Gesamtergebnis, im allgemeinen vernachlässigbar. Trost hat aber in einer neueren Arbeit [9] einen Weg zur Berücksichtigung des Rückkriechens gezeigt.

Bei Anwendung der in [4] vorgeschlagenen Methode, das Kriechen und Schwinden zu erfassen, darf nur die in Bild 4 gezeigte Art der Superposition angesetzt werden. Die Ursache dieser beschränkten Superposition liegt in den Annahmen und Näherungen, die bei der Erfassung des Einflusses des Belastungsalters und bei der Erfassung des zeitlichen Ablaufes getroffen wurden.

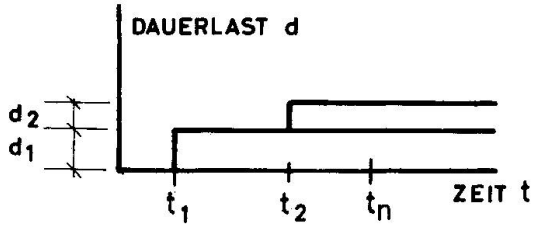


Bild 4:
Einzuhaltende Art der Superposition bei den nach [4] angesetzten Kriechbeiwerten

Der nach den vorangegangenen Gesichtspunkten durchgeführte Vergleich der Rechenergebnisse mit den Meßergebnissen für die einzelnen Zeitabschnitte führt zu einer Abschätzung der Größe und des zeitlichen Verlaufes von Kriechen und Schwinden. Die so gewonnenen Ergebnisse sind für einige Bauwerke in Bild 5 aufgetragen. Weitere, vorwiegend von der Fa.Dyckerhoff und Widmann durchgeführte Messungen [10] wurden in den Bildern 6-8 ausgewertet. Die benötigten Endwerte der Kriech-

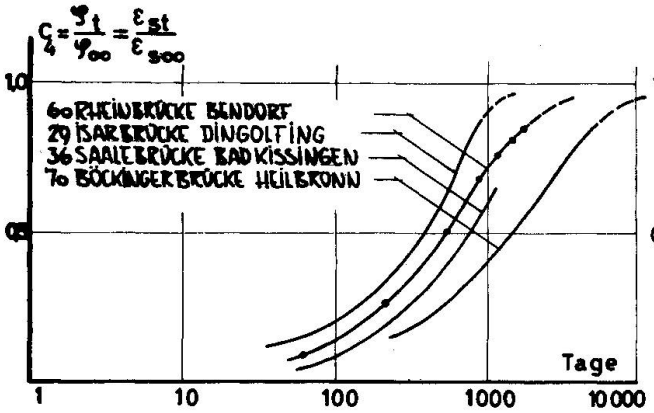


Bild 5 AUSWERTUNG VON BRÜCKENMESSUNGEN

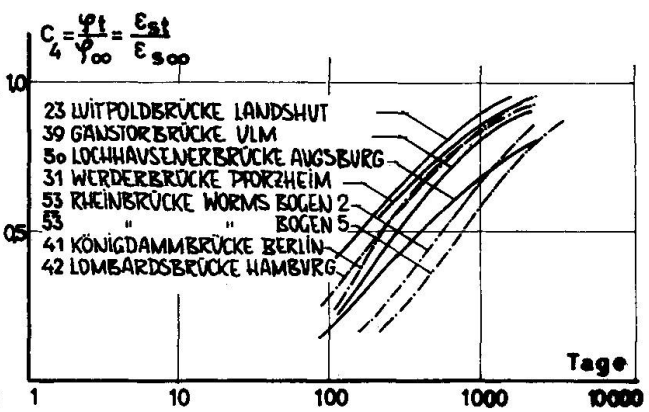


Bild 6 AUSWERTUNG VON BRÜCKENMESSUNGEN [10]

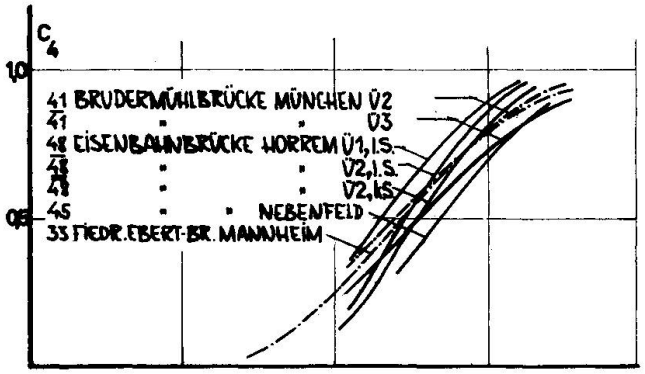


Bild 7 AUSWERTUNG VON BRÜCKENMESSUNGEN [10]

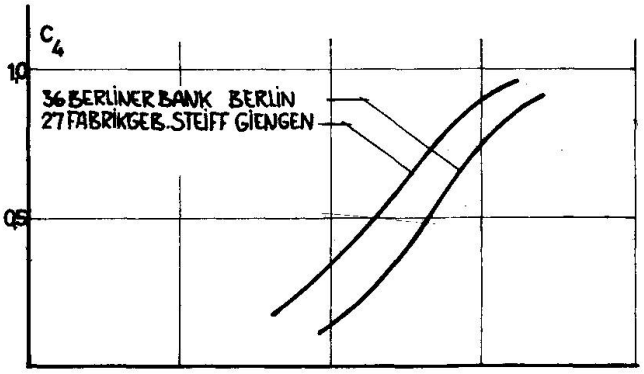


Bild 8 AUSWERTUNG VON HOCHBAUMESSUNGEN [10]

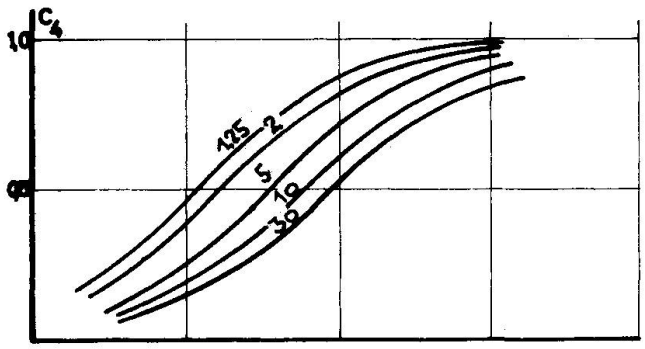


Bild 10 KRIECHMESSUNG TH. STUTTGART u. MÜNCHEN

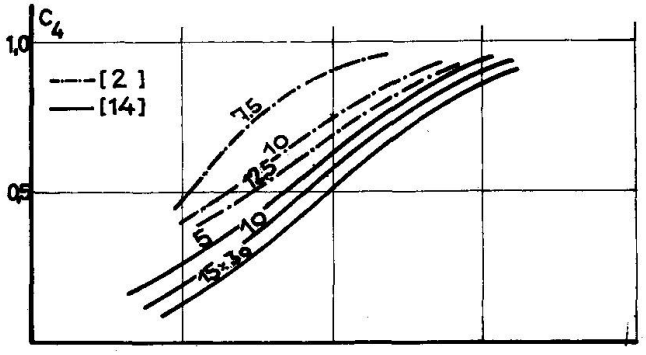


Bild 11 KRIECHMESSUNGEN NACH LIT. [2 + 14]

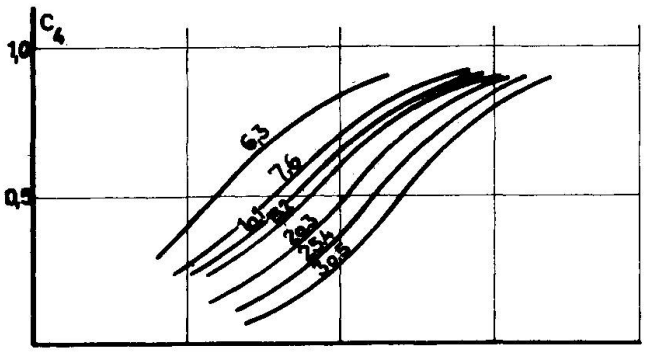


Bild 12 SCHWINDMESSUNGEN NACH LIT. [15]

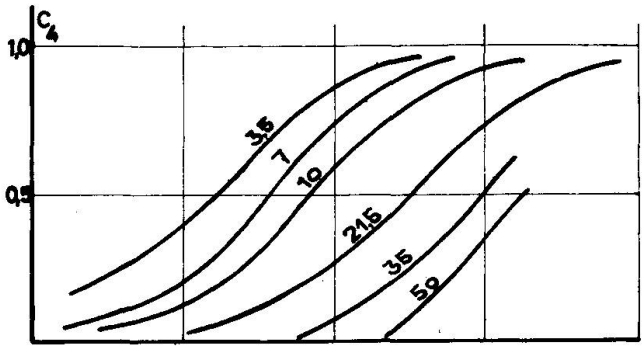


Bild 13 SCHWINDMESSUNGEN NACH LIT. [16]

Anmerkung: C_4 = Auf den Endwert bezogener zeitlicher Ablauf von Kriechen und Schwinden.
Die Zahlen neben und an den Kurven geben die wirksame Körperdicke $d_w = \frac{2F}{U}$ in cm an.

und Schwindverformungen ergaben sich durch Extrapolation nach Ross [5]. Dargestellt ist jeweils der mittlere Verlauf entsprechend Bild 1. Die jahreszeitlichen Schwankungen können den Originalmessungen in [1o] entnommen werden. Die erwähnten notwendigen Korrekturen konnten nur soweit vorgenommen werden, als durch Unterlagen belegt war.

4.3 Ergebnisse

Die in den CEB-Empfehlungen [4] enthaltenen Vorschläge für die Endkriechzahl φ_∞ und das Endschwindmaß $\varepsilon_{s\infty}$ haben sich bei der Nachrechnung (Bilder 5 bis 8) mit einer Genauigkeit von ~± 15 % bestätigt. Aus Platzmangel werden die betreffenden Ergebnisse hier nicht abgedruckt. Je nach der Bedeutung von Kriechen und Schwinden bei der Standsicherheitsberechnung der zu entwerfenden Konstruktion wird man gegebenenfalls die Auswirkung der Grenzwerte untersuchen. Sie lassen sich durch die um ± 15 % veränderten Werte von φ_∞ und $\varepsilon_{s\infty}$ nach den CEB-Empfehlungen beschreiben.

Die Übereinstimmung bezüglich des zeitlichen Ablaufes ist weniger günstig. Der in den Bildern 5 bis 8 aufgetragene Ablauf der Verformung zeigt deutlich eine Abhängigkeit von der sog. "wirksamen Körperdicke $d_w = 2V/O$" (O=Oberfläche, V=Volumen). Der Wert d_w ist eine charakteristische Größe für das zeitabhängige plastische Verformungsverhalten. Er erfaßt die mit zunehmender Körpergröße anwachsende Länge des Materialtransportes bei der Kriechverformung und gibt damit einen Hinweis auf die Dauer des Kriechvorganges. Definitionsgemäß steckt in d_w außerdem das für Austrocknungs- bzw. Schwindvorgänge maßgebende Verhältnis der Oberfläche zum Betonvolumen. Die Kurven in den Bildern 5 bis 8 bestätigen, daß bei einem dicken Körper das Kriechen und Schwinden langsamer vor sich geht als bei einem dünnen Körper. Bei nicht unmittelbar der Atmosphäre ausgesetzten Flächen, wie bei Innenflächen von Kastenquerschnitten oder bei unbelüfteten, isolierten Fahrbahnflächen, ist es angebracht, nur einen Bruchteil (etwa 5o %) dieser Flächen für die Austrocknung wirksam anzusetzen.

Ist die Spannweite groß gegenüber den Flächenmaßen (z.B. bei Ingenieurbauwerken), vereinfacht sich die wirksame Körperdicke zu

$$d_w = \frac{2 \cdot V}{O} \sim \frac{2 \cdot F \cdot 1}{U \cdot 1} = \frac{2 \cdot F}{U}$$ (F=Querschnittfläche, U=Umfang).

Weitere Einflüsse auf den zeitlichen Ablauf, wie z.B. das Belastungsalter und die Zementart, konnten nicht erfaßt werden, da diese im Bereich der Rechenungenauigkeit liegen.

Der im Sommer-Winter-Wechsel um einen Mittelwert alternierende Kriech- und Schwindverlauf (Bild 1) wird auf die jahreszeitlich schwankende Temperatur und Luftfeuchtigkeit zurückgeführt. Soweit der physikalisch-chemische Vorgang des Kriech- und Schwindprozesses thermisch aktivierbar ist, kann man davon ausgehen, daß der zeitliche Ablauf unter höheren Temperaturen beschleunigt wird. Wie die Versuchsergebnisse nach Lit. [11] und [12] zeigen, kann für das Zahlenbeispiel nach Bild 1 bei einem Temperaturwechsel von 15 ± 1o °C mit einer Beschleunigung bzw. einer Verzögerung der plastischen Verformung von ± 1o % gerechnet werden (Bild 9).

Einen bedeutenderen Einfluß liefert die wechselnde Luftfeuchtigkeit. Im Winter liegt die mittlere relative Luftfeuchtigkeit über derjenigen im Sommer. Mit sinkender relativer Luftfeuchtigkeit nimmt aber das Endschwindmaß und die Endkriechzahl zu. Von mittleren Verhältnissen ausgehend (z.B. Bild 1), erscheint im zeit-

lichen Ablauf im Sommer ein um 24 % verstärktes, im Winter ein um 24 % verringertes Kriech- und Schwindverhalten (Bild 9). Dabei wurde der Einfluß der Feuchtigkeit nach [4] abgeschätzt, ohne auf die noch nicht abschließend geklärten physikalischen Zusammenhänge einzugehen.

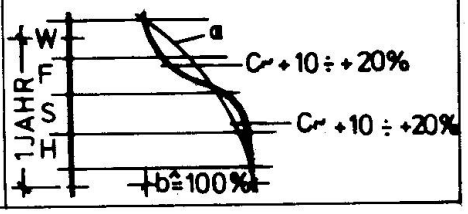
	TEMPERATUR IN °C	φ UND ε_s AUF DEN MITTELWERT DER VERFORMUNGSGESCHWINDIGKEIT BEZOGEN IN ANLEHNUNG AN [11] UND [12]	REL. LUFTFEUCHTIGKEIT IN %	φ NACH [4]	φ UND ε_s AUF DEN MITTELWERT DER VERFORMUNGSGESCHWINDIGKEIT BEZOGEN	GESAMTABWEICHUNG VON DER MITTLEREN KRIECH- UND SCHWINDVERFORMUNGSGESCHWINDIGKEIT (3) × (6)	ERLÄUTERUNG: W = WINTER; F = FRÜHLING; S = SOMMER; H = HERBST; a = MITTLERER VERLAUF; b = (φ + ε_s), VERFORMUNG / JAHR ≙ 100%; c = ABWEICHUNG VOM MITTLEREN VERLAUF
1	2	3	4	5	6	7	8
SOMMER	25	1,10	60	2,35	1,24	1,36	
MITTEL	15	1,00	75	1,9	1,0	1,0	
WINTER	5	0,90	90	1,45	0,76	0,68	

Bild 9: Im Sommer-Winter-Wechsel um einen Mittelwert alternierender Kriech- und Schwindverlauf (Rheinbrücke Bendorf)

Die maximale Abweichung vom Mittelwert, die im Sommer und im Winter auftritt, beträgt nach Bild 9 etwa ± 1o ./. 2o % der im gleichen Jahr erfolgten Kriech- und Schwindverformung. Sie kann bei genauen Untersuchungen berücksichtigt werden. Bild 1 zeigt eine auf diese Weise gewonnene gute Übereinstimmung mit den Messungen.

4.4 Unsicherheiten und Fehleranalyse beim Vergleich zwischen Rechenergebnis und Messung.

Nicht alle Nachrechnungen lieferten eindeutige Ergebnisse. Folgende Erklärungen lassen sich dafür geben:

Die Unsicherheiten aus der Temperatur-Korrektur sind relativ groß, da der Temperaturverlauf häufig nur geschätzt werden kann. Hinzu kommt der Fehler in der Wahl der Ausgangstemperatur. Systematische Fehler können sich auf diese Weise leicht einschleichen.

Stützendrehungen im Bau- und Endzustand führen zu Gradienten-Abweichungen, die eine elastische Verformung vortäuschen und damit z.B. falsche Ausgangswerte für die Kriechverformung liefern. Auch Ausführungsfehler durch Lehrgerüstverformungen oder Zwängungen aus Baufehlern ergeben scheinbare elastische Verformungen.

Durch die Nachgiebigkeit der Schalung wird häufig das Konstruktionsgewicht größer als vorgesehen. Auch versucht man durch Aufbeton Ausführungsfehler auszugleichen. Bleiben diese Einflüsse unberücksichtigt, ergeben sich unzutreffende rechnerische elastische Verformungen.

Da im Spannbeton entgegengesetzt gerichtete maßgebende Last-

fälle vorliegen, kann das Ergebnis schon durch kleine Abweichungen stark beeinflußt werden (Rechnen mit Differenzen großer, ungenauer Zahlen). So machen sich eine ungenaue Lage der Spannglieder, eine zu geringe Vorspannung oder ein Schlupf in der Verankerung vor dem Injizieren stark bemerkbar.

Bei jeder Verformungsuntersuchung sollte auch der Einfluß einer unbeabsichtigten Mitwirkung von Aufbauten (z.B. Gesimskappen), die Größe der Schubverformung und die Auswirkung gerissener Zonen abgeschätzt werden.

Schliesslich darf der Einfluß eines verstärkten Kriechens unter dynamischer Belastung nicht unberücksichtigt bleiben [13].

5. Laborbeobachtungen

Um die unter 4.3 angeführten Bauwerksbeobachtungen zu untermauern, werden neuere Versuche herangezogen, die den Einfluß der Körpergröße erfassen.

Es sind dabei besonders die von Neville und Meyers [14], Hansen und Mattock (PCA) [15], L'Hermite und Mamillan [16] durchgeführten Versuche zu erwähnen.

Die Messungen wurden in den Bildern 1o bis 13 zusammengestellt Der Einfluß wechselnder Temperatur und Luftfeuchtigkeit fehlt. Der Schwindeinfluß wurde vom Kriechen getrennt. An der Oberfläche verläuft nach [16] das Schwinden wesentlich schneller als im Innern des Prüfkörpers.

6. Vorschlag zur Erfassung des zeitlichen Ablaufes der Kriech- und Schwindverformung; Ergebnis und Schlußbemerkung.

Aus den bei Bauwerksbeobachtungen (Ziff.4.3) gewonnenen Ergebnissen unter Berücksichtigung der Laborbeobachtungen (Ziff.5) gelangt man zu dem in Bild 14 dargestellten Verlauf von Kriechen und Schwinden in Abhängigkeit von der wirksamen Körperdicke d_w (Anwendungsbeispiel siehe Bild 1).

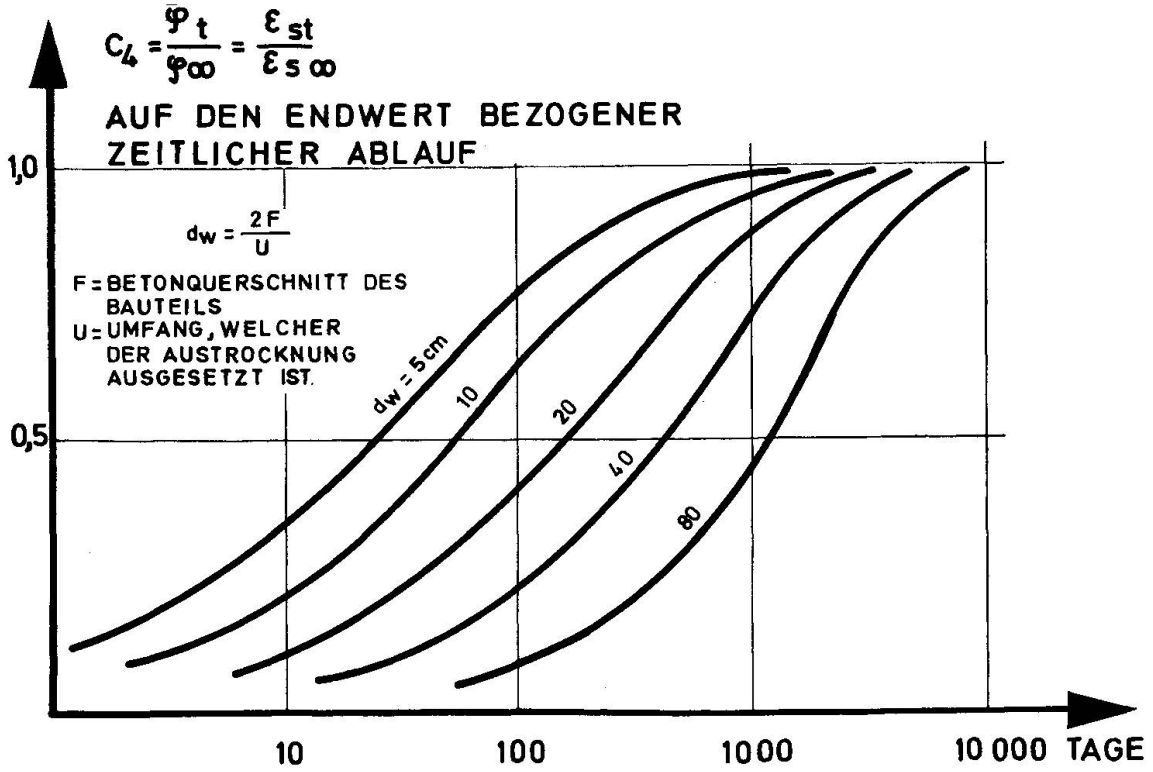


Bild 14: Zeitlicher Ablauf von Kriechen und Schwinden

Diese Kurven wurden für die verbesserten CEB-Richtlinien vorgeschlagen. Die Kurvenscharen gelten bei Normalbetonkonstruktionen sowohl für den Kriech- als auch für den Schwindverlauf, sind jedoch unterschiedlich zu interpretieren. Für das Schwinden geben sie den zeitlichen Verlauf an vom Erhärtungsbeginn bis zur Zeit $t=\infty$. Beim Kriechen beschreiben die Kurven den Verlauf vom Belastungsbeginn bis zur Zeit $t=\infty$.

Es sind weitere Beobachtungen notwendig, besonders auf dem Gebiet der Leichtbetonkonstruktionen. Die Verformungsbeobachtung durch Meßstäbe sollte bevorzugt werden. Die unter Ziff.4.1 genannten Voraussetzungen sind dabei möglichst zu erfüllen.

7. SCHRIFTTUM

1. DIN 4227 mit Erläuterungen — "Spannbeton, Richtlinien für Bemessung und Ausführung" 1953
2. Wagner, O. — "Das Kriechen unbewehrten Betons". Heft 131 des DAfStb, Berlin 1958
3. Krüger, W. — "Über Schwindmaße, Kriechzahlen und Kriechtheorien von Beton", Bauplanung und Bautechnik 1966/7
4. CEB — Commité Européen du Béton, "Empfehlungen zur Berechnung und Ausführung von Stahlbetonbauwerken" Auszug im Betonkalender 197o Teil II,W.Ernst & Sohn
5. Ross, A.D. — "Concrete Creep Data", The Structural Engineer 1937
   "Creep of Concrete under variable stress", ACJ Journal Vol 29,1958 Title 54-41
6. Trost, H. — "Spannungs-Dehnungs-Gesetz eines viskoelastischen Festkörpers wie Beton", Beton 1966/6
7. Busemann, R. — "Kriechberechnung von Verbundträgern unter Benützung von zwei Kriechfasern", Bauingenieur 195o/11
8. Dischinger, F. — "Untersuchung über die Knicksicherheit, die elastische Verformung und das Kriechen des Betons bei Bogenbrücken", Bauingenieur 1937/12
9. Trost, H. — "Auswirkungen des Superpositionsprinzips auf Kriech- und Relaxationsprobleme bei Beton und Spannbeton", Beton- und Stahlbetonbau 1967/1o,11
10. Finsterwalder, U. — "Ergebnisse von Kriech- und Schwindmessungen an Spannbetonbauwerken", Beton- und Stahlbetonbau 1958/5
11. Nasser, K.W. u.Neville, A.M. — "Creep of Concrete at elevated Temperatures",ACJ Journal Dec. 1965
12. Maréchal, J.C. — "Le fluage du béton en fonction de la température", Rilem-Symposium München 1-3 April 1968

13. Bažant, Z.P. "Langzeitige Durchbiegung von Stahlbetonbrücken infolge des Schwingkriechens unter Verkehr", Beton- und Stahlbetonbau 12/1968

14. Neville, A.M. u Meyers, B.L. "Creep of Concrete: Influencing Factors and Prediction". University of Missouri, Engineering reprint Series Nr. 67

15. Hansen, T.C. und Mattock, A.H. "Influence of size and shape of member on the shrinkage and creep of concrete", PCA Bulletin D 103, Februar 1966

16. L'Hermite, R. und Mamillan, M. "Influence de la dimension et de la forme sur le retrait des pièces de beton", Kriechsymposium in Madrid 1968

Zusammenfassung

Über eine internationale Umfrage wurden Meßergebnisse an Bauwerken gesammelt und Vergleichsrechnungen mit nach den CEB-Empfehlungen angegebenen Kriech- und Schwindansätzen durchgeführt(4).

Die Übereinstimmung bezüglich der Größe von Endkriechzahl und Endschwindmaß ist ausreichend. Für die Beschreibung des zeitlichen Ablaufes sind dagegen Kurvenscharen gemäß Bild 14, mit der wirksamen Körperdicke $d_w = \frac{2F}{U}$ als Parameter, besser geeignet (F = Betonvolumen, U = Oberfläche).

Summary

Results of field measurements on concrete structures have been gathered together by means of an international inquiry. Calculations have been made to compare these results with data on creep and shrinkage presented in the CEB Recommendations.

The comparisons show satisfactory agreement in the case of end creep and end shrinkage values. However, the set of curves presented in Fig. 14 provides a more appropriate method for evaluating the time-variation of creep and shrinkage deformations. A characteristic member thickness, $d_w = \frac{2F}{U}$, is used as parameter in these curves.
(F = volume of concrete, U = surface area)

Résumé

Une enquête internationale a permis de recueillir une série de mesures effectuées sur des ouvrages et d'établir des comparaisons avec les coefficients de fluage et de retrait indiqués dans les recommandations du CEB (4).

La convergence est suffisante pour ce qui concerne les valeurs des coefficients finaux de fluage et de retrait. Cependant, pour le développement en fonction du temps, il sera plus indiqué de se reporter aux courbes de la figure (14) dont le paramètre est l'épaisseur caractéristique d'un élément $d_w = \frac{2F}{U}$. (F = Volume de béton, U = Surface)