

FORSCHUNGSBERICHTE DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN

Nr. 2273

Herausgegeben im Auftrage des Ministerpräsidenten Heinz Kühn
vom Minister für Wissenschaft und Forschung Johannes Rau

Professor Dr. -Ing. Karlhans Wesche
Dr. -Ing. Alois Boes

Institut für Bauforschung
der Rhein. -Westf. Techn. Hochschule
Aachen

Über das Kriechen von Zementstein,
Mörtel und Beton



Westdeutscher Verlag Opladen 1973

ISBN-13: 978-3-531-02273-4 e-ISBN-13: 978-3-322-88110-6
DOI: 10.1007/978-3-322-88110-6

© 1973 by Westdeutscher Verlag, Opladen
Gesamtherstellung: Westdeutscher Verlag

Inhalt

1. Einleitung	7
1.1 Überblick über Verformungen von Beton	7
1.2 Ziel der Arbeit	11
2. Literaturlauswertung	11
2.1 Definition des Kriechens	12
2.2 Kriechtheorien	13
2.2.1 Kristallines Fließen oder plastische Verformung	13
2.2.2 "Seepage" - Theorie	14
2.2.3 Viskoses Fließen des Zementsteins	14
2.2.4 Verzögerte Elastizität	14
2.3 Allgemeine Kriechformeln	15
2.4 Rheologische Modelle	17
2.4.1 Grundelemente	18
2.4.1.1 Ideal-elastische Feder	18
2.4.1.2 Der ideale Dämpfer	18
2.4.1.3 Ideales Friktionselement oder St. Venant- Körper	18
2.4.2 Grundmodelle	18
2.4.2.1 Maxwell-Modell	18
2.4.2.2 Kelvin-Modell	19
2.4.2.3 Hooke-St.-Venant-Modell	19
2.4.2.4 Bingham-Körper	20
2.4.3 Zusammengesetzte Grundmodelle	20
2.4.3.1 Burgers-Modell	20
2.4.3.2 Reihenschaltung von Maxwell-Modellen	20
2.4.3.3 Modelldarstellungen des allgemeinen, linear visko-elastischen Festkörpers	21
2.4.4 In der Literatur vorgeschlagene, zusamme- gesetzte rheologische Modelle zur Beschreibung des Kriechens von Zementstein, Mörtel und Beton	21
2.4.4.1 Modifiziertes Burgers-Modell nach Hansen	21
2.4.4.2 Modelle von Flüge	22
2.4.4.3 Modell von Ross	22
2.4.4.4 Modell von Cowan	23
2.4.4.5 Modell von Freudenthal	23
2.4.4.6 Modell von Trost	25
2.4.4.7 Weitere Modellvorstellungen	26
2.5 Kriechzahl φ	26
2.6 Einflüsse auf das Kriechen von Mörtel und Beton	27
2.6.1 Zementsteinstruktur und Grundkriechen	27
2.6.2 Wichtige Einflußfaktoren auf das Kriechen von Beton	28
2.6.2.1 Zementmahlfeinheit	29
2.6.2.2 Zuschlagart	29
2.6.2.3 Korngröße	30
2.6.2.4 Zementleim- bzw. Zuschlaganteil	30
2.6.2.5 Wasser/Zement-Wert	33
2.6.2.6 Nachbehandlung vor dem Belasten und Feuchtig- keitsgehalt	33

2.6.2.7	Kriechspannung und Festigkeit des Betons	33
2.6.2.8	Belastungsdauer	33
2.6.2.9	Lagerungstemperatur und -feuchtigkeit	34
2.6.2.10	Schwinden	34
2.6.2.11	Form und Größe der Prüfkörper	35
2.6.2.12	Belastungsalter	36
3.	Problemstellung	36
3.1	Verzögert-elastische Rückverformung oder Rückkriechen	37
3.2	Viskose oder zeitabhängige bleibende Verformung	37
3.2.1	Burgers-Modell mit $\eta_M = \text{const.}$	38
3.2.2	Burgers-Modell nach Hansen mit $\eta_M = t/c$	38
3.2.3	Vereinfachtes Modell von Flügge	38
3.2.4	Burgers-Modell mit $\eta_M = k \cdot t^n$ (Formel 1 des Autors)	38
3.2.5	Burgers-Modell mit $\eta_M = a + b \cdot (t_1 - t_0)$ (Formel 2 des Autors)	39
3.3	Weitere Formeln und Modelle	40
3.3.1	Formel von Dischinger	40
3.3.2	Allgemeines Doppel-Kelvin-Modell	40
3.3.3	Modell von Cowan	40
3.3.4	Erweitertes Modell von Cowan	40
3.3.5	Allgemeines Doppel-Kelvin-Maxwell-Modell	41
3.3.6	Modellvorschlag von Trost	41
3.3.7	Formel von Ross	41
3.3.8	Vom Autor modifizierte Formel von Shank	41
4.	Versuchsplan, Ausgangsstoffe und Mischungsverhältnisse	41
4.1	Vorversuche	41
4.2	Hauptversuche	42
4.3	Ausgangsstoffe und Mischungsverhältnisse	43
4.3.1	Zuschlagart	43
4.3.2	Kornzusammensetzung	44
4.3.3	Zemente	44
4.3.4	Wasser	44
4.3.5	Mischungsverhältnisse	44
5.	Versuchsdurchführung	45
5.1	Mischen	45
5.2	Versuchskörperform	45
5.3	Herstellverfahren für die Zementstein- und Mörtelkörper	45
5.3.1	Beschreibung des Herstellverfahrens	45
5.4	Lagerung	45
5.5	Resonanzfrequenzmessungen	46
5.6	Höchstlast für Druckfestigkeit	46
5.7	Schwind- und Schrumpfmessungen	46
5.8	Lastverformungswerte für statischen E-Modul ..	46
5.9	Kriechverformungsmessungen	46
5.9.1	Kriechstände	46
5.9.2	Vorbereitung und Einbau der Versuchskörper ...	47
5.9.3	Be- und Entlastung der Kriechkörper	47
5.9.4	Messung der Kriechverformung und Kriechdauer .	48
5.10.	Probenzahl	48
5.10.1	Druckfestigkeit und dynamischer E-Modul	48
5.10.2	Statischer E-Modul	49
5.10.3	Kriechversuche	49
5.10.4	Schwindmessungen	49

6.	Versuchsergebnisse	49
6.1	Einzelwerte	49
6.2	Mittelwerte und statistische Kenngrößen	49
6.3	Zementstein- und Mörtelkennwerte	50
6.4	Druckfestigkeiten	51
6.5	Dynamischer E-Modul	52
6.6	Statischer E-Modul	52
6.7	Schwinden und Schrumpfen	53
6.8	Kriechergebnisse	53
7.	Auswertung der Kriechversuche	55
7.1	Verzögert-elastische Rückverformung oder Rückkriechen	55
7.2	Viskose oder zeitabhängige bleibende Verformung	60
7.2.1	Viskosität bei Versuchsende nach rd. vier Monaten Belastung (Burgers-Modell mit $\eta_M = \text{const.}$)	60
7.2.2	Verschiedene Ansätze für den zeitlichen Verlauf der Viskosität	61
7.2.2.1	Viskosität $\eta_M = \text{const.}$ für den Maxwell-Dämpfer	61
7.2.2.2	Lineare Viskositätszunahme $\eta_M = a \cdot t$ gemäß Ansatz von Hansen	61
7.2.2.3	Viskosität gemäß Ansatz von Flügge, $\eta_{M1} = \text{const.}$ und $\eta_{M2} = B_4 \cdot t^2$	64
7.2.2.4	Viskosität $\eta_M = k \cdot t^n$ nach Formel 1 des Autors	66
7.2.2.5	Viskosität $\eta_M = A_2 + B_2 \cdot t$ nach Formel 2 des Autors	67
7.3	Auswertung der Versuchsergebnisse nach weiteren Formeln und Modellvorstellungen	70
7.3.1	Gleichung von Dischinger (Kelvin-Modell)	70
7.3.2	Allgemeines Doppel-Kelvin-Modell	70
7.3.3	Dreifach-Kelvin-Modell nach Trost	71
7.3.4	Allgemeines Doppel-Kelvin-Maxwell-Modell	71
7.3.5	Doppel-Kelvin-Modell von Cowan	71
7.3.6	Erweitertes Doppel-Kelvin-Maxwell-Modell nach Cowan	72
7.3.7	Formel von Ross	72
7.3.8	Modifizierte Formel von Shank	72
7.4	Vergleichende Betrachtung der für die Auswertung verwendeten Formeln und Modelle	75
7.5	Ausblick für weitere Untersuchungen	78
8.	Zusammenfassung	79
9.	Literaturverzeichnis	82
10.	Zusammenstellung der wichtigsten benutzten Formelzeichen und Abkürzungen	86
11.	Zusammenstellung der untersuchten Formeln und Modelle	90
 <u>Anhang</u>		
a)	Tabellen	92
b)	Abbildungen	139

Anhang A Versuchsergebnisse
- Einzelwerte -

Anhang B Versuchsergebnisse
- statistische Werte und Auswertungen -

Anmerkung

Die angeführten Anhänge A und B sind in der vorliegenden Fassung nicht enthalten, sie können in der Bibliothek des Instituts für Bauforschung der Technischen Hochschule Aachen eingesehen werden.