

NV.877

Berichte aus dem  
Konstruktiven Ingenieurbau  
Technische Universität Berlin

Heft 6

# Reimund Steberl

## Berechnung stoßartig beanspruchter Stahlbetonbauteile mit endochronen Werkstoffgesetzen

AUSGESONDERT  
28. AUG. 1995  
UB Cottbus

HLuHB Darmstadt



FH 87.03.78

Hochschule für Bauwesen Cottbus  
Hochschulbibliothek

87	1180	4	001 002
----	------	---	------------



Werr

\* 87-011807+01 \*

<u>INHALTSVERZEICHNIS</u>	Seite
LITERATURVERZEICHNIS	11
BEZEICHNUNGEN	19
1. EINLEITUNG	25
1.1 Einführung in die Problematik	25
1.2 Zielsetzung der Arbeit	34
1.2.1 Allgemeines Lösungskonzept	34
1.2.2 Die wesentlichen Ziele im einzelnen	36
2. MATERIALMODELL FÜR BETONSTAHL	39
2.1 Aktueller Stand des Wissens aus Experimenten	39
2.2 Herkömmliche mechanische Modelle zur Beschreibung des strain-rate-Effektes	44
2.3 Anforderungen an ein physikalisch objektives strain-rate-sensitives Materialmodell	49
2.4 Formulierung einer hinreichend objektiven strain-rate-sensitiven Stofftheorie	51
2.4.1 Das Konzept der endochronen Theorie	51
2.4.2 Theoretische Fundierung	55
2.4.3 Explizite Berücksichtigung des strain-rate-Effektes	60
2.5 Bestimmung der Materialparameter für dehnungsver- festigenden Betonstahl BSt 420/500 RK	61
2.6 Mathematische Beschreibung des Einschnürungsbeginns bei beliebiger Dehnungsgeschwindigkeitsgeschichte (tensile stability analysis)	67
2.6.1 Problematik, Einschätzung bekannter Methoden	67
2.6.2 Endochrone Beschreibung des Einschnürungsbeginns bei beliebiger Dehnungsgeschwindigkeitsgeschichte	70
2.7 Modellierung von Entlastungs-Wiederbelastungs-Episoden (jump-kinematic-hardening-Konzept)	73
2.8 Modellierung des Einschnürungsbereichs (strain-softening)	80
2.9 Verbesserung des Übergangsbereichs	82
2.10 Weitere Fragestellungen	86
2.10.1 Rechtfertigung der Isothermieannahme	86
2.10.2 Materialantwort bei Druckbeanspruchung	87
2.10.3 Abhängigkeit der Materialeigenschaften vom Stabdurchmesser	87
2.10.4 Berücksichtigung der Materialstreuung	88

	Seite
2.11 Leistungsfähigkeit des endochronen Materialmodells	88
2.11.1 Konstante Dehnungsgeschwindigkeit	89
2.11.2 Dehnungsgeschwindigkeitsgeschichte	91
3. MATERIALMODELL FÜR BETON	97
3.1 Anforderungen an das Betonmodell	97
3.2 Ungerissener Beton	99
3.2.1 Zur Wahl des Stoffmodells	99
3.2.2 Grundzüge der endochronen Theorie des Verhaltens plastisch-spröder Stoffe	105
3.2.2.1 Grundgedanke	105
3.2.2.2 Das Konzept der Belastungsfunktionen	108
3.2.2.3 Deviatorische Materialantwort	110
3.2.2.4 Volumetrische Materialantwort	112
3.2.2.5 Schädigung der elastischen Moduln	115
3.2.2.6 Entlastung-Wiederbelastung	117
3.2.2.7 Anpassung der endochronen Theorie an einaxiale Versuchskurven	122
3.2.3 Einbeziehung des strain-rate-Effektes	127
3.2.3.1 Stand des experimentellen Wissens	127
3.2.3.2 Berücksichtigung des strain-rate- -Effektes im endochronen Betonmodell	132
3.3 Gerissener Beton	143
3.3.1 Allgemeines	143
3.3.2 Grundsätzliche Voraussetzungen	144
3.3.3 Ribbildung, Ribaktivitäten	144
3.3.4 Konstitutive Beziehungen im Rib	148
3.3.4.1 Tragverhalten normal zum Rib	148
3.3.4.2 Schubtragverhalten gerissenen Betons (Schubreduktionsfaktor)	153
3.3.5 Stoffgesetz gerissenen Betons	157
3.3.5.1 Stoffgesetz vor Ribbeginn	158
3.3.5.2 Stoffgesetz nach Ribbeginn	160
4. NUMERISCHE UMSETZUNG	169
4.1 Allgemeines	169
4.2 Numerische Umsetzung auf konstitutiver Ebene	170
4.2.1 Implementierung des Materialmodells für Betonstahl	170
4.2.2 Implementierung des endochronen Betonmodells	172

4.3	Numerische Umsetzung auf struktureller Ebene	178
4.3.1	Besondere numerische Eigenschaften der endochronen Theorie	178
4.3.2	Tangentielle Linearisierung nach De Villiers	182
4.3.3	Symmetrisierte Steifigkeitsbeziehungen	183
4.3.3.1	Einarbeitung der inelastischen Spannungsdekremete in die "rechte Seite" (Anfangsspannungsmethode)	183
4.3.3.2	Matrix-updating-Verfahren	186
4.3.4	Explizite Integration	192
5.	STRUKTURBERECHNUNGEN	201
5.1	Konzept der numerischen Berechnungen	201
5.2	Stahlbetonbalken	203
5.2.1	Zu den Stoßversuchen an Stahlbetonbalken	203
5.2.2	Diskretisierung und Materialdaten	205
5.2.2.1	Räumliche Diskretisierung	205
5.2.2.2	Zeitliche Diskretisierung	208
5.2.2.3	Materialdaten	208
5.2.3	Berechnungsergebnisse	208
5.2.3.1	Statisch beanspruchte Stahlbetonbalken	208
5.2.3.2	Stoßartig beanspruchte Stahlbetonbalken	210
5.2.3.3	Abschließende Bemerkungen zur Berechnung stoßartig beanspruchter Stahlbetonbalken	222
5.3	Stahlbetonplatten	224
5.3.1	Zu den Versuchen an Stahlbetonplatten	224
5.3.2	Diskretisierung und Materialdaten	227
5.3.2.1	Räumliche Diskretisierung	227
5.3.2.2	Zeitliche Diskretisierung	230
5.3.2.3	Materialdaten	230
5.3.3	Ergebnisse	233
5.3.3.1	Biegebewehrte Stahlbetonplatten ohne Bügelbewehrung (Versagensart: örtliches Durchstanzen)	233
5.3.3.2	Bügelbewehrte Stahlbetonplatten	243

	Seite
6. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK	255
7. ANHANG	261
Anhang 1    Hinweise zum 2.Hauptsatz der Thermodynamik	261
Anhang 2    Zur endochronen Theorie plastisch-spröder Stoffe für Beton	265
2.1    Die Materialfunktionen und -parameter	266
2.2    Kurze Beschreibung der Materialfunktionen der endochronen Theorie plastisch-spröder Stoffe	268
2.3    Leistungsfähigkeit der endochronen Theorie plastisch-spröder Stoffe	279
Anhang 3    Zur Berechnung der Materialantwort querbewehrter Betonprismen	283
Anhang 4    Zur Beschreibung der Schubsteifigkeit von gerissenem Beton	285