

DEUTSCHER AUSSCHUSS FÜR STAHLBETON

Rechnerische Untersuchung der Durchbiegung von
Stahlbetonplatten unter Ansatz wirklichkeitsnaher
Steifigkeiten und Lagerungsbedingungen
und unter Berücksichtigung zeitabhängiger Verformungen

von

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Konrad Zilch
Dr.-Ing. Uli Donaubaue

Zum Trag- und Verformungsverhalten
bewehrter Betonquerschnitte
im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

von

Univ.-Prof. i. R. Dr.-Ing. habil. Wolfgang Krüger
PD Dr.-Ing. habil. Olaf Mertzsch

ULB Darmstadt



16410730

1. Auflage 2006

Herausgeber:

Deutscher Ausschuss für Stahlbeton DAfStb
Fachbereich 07 des NA Bau im DIN Deutsches Institut für Normung e. V.

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1	Einleitung 9
2	Überblick über bisherige Verfahren 9
2.1	Grenzwerte der zulässigen Verformungen 9
2.2	Überblick über vorhandene Berechnungsverfahren 10
2.3	Begrenzung der Verformung mittels Biegeschlankheiten 11
3	Material- und Rechenmodell 13
3.1	Allgemeines 13
3.2	Materialmodell für den Beton 13
3.2.1	Einachsiges Kurzzeitverhalten 13
3.2.2	Einachsiges Langzeitverhalten 19
3.2.3	Zweiachsiges Kurzzeitverhalten 27
3.2.4	Zweiachsiges Langzeitverhalten 30
3.3	Materialmodell für den Betonstahl 32
3.4	Modell für das Verbundverhalten zwischen Bewehrung und Beton 33
3.4.1	Allgemeines 33
3.4.2	Modell für das Verbundverhalten bei den Berechnungen 34
3.4.3	Abweichung zwischen Rissrichtung und Bewehrungsrichtung 36
3.5	Numerischer Algorithmus 37
4	Nachrechnung von Bauteilversuchen 39
4.1	Einachsige Versuche von <i>Jaccoud/Favre</i> 39
4.2	Zweiachsige Versuche von <i>Jaccoud/Favre</i> 41
4.3	Versuche von <i>Christiansen</i> 43
4.4	Zusammenfassung der bisherigen Untersuchungen 45
5	Numerische Untersuchungen zum Durchbiegungsverhalten von Stahlbetonplatten 45
5.1	Grundsysteme und Ausgangsdaten 46
5.1.1	Statische Systeme und Querschnittswerte 46
5.1.2	Zeitliche Entwicklung der Schnittgrößen bei zweiachsig gespannten Stahlbetonplatten 47
5.2	Materialparameter 49
5.3	Lastparameter 54
5.4	Systemparameter 60
5.5	Zusammenfassung 67
6	Vereinfachte Ansätze zur Berechnung der Durchbiegung von einachsig gespannte Stahlbetonplatten 67
6.1	Verformungen infolge Belastung unter Berücksichtigung des Betonkriechens 67
6.2	Verformungen infolge Schwinden 72
6.3	Vergleich der vereinfachten Ansätze mit den numerischen Berechnungen 75
7	Vereinfachte Ansätze zur Berechnung der Durchbiegung von zweiachsig gespannte Stahlbetonplatten 76
7.1	Bestimmung des Rissbildungszustandes und der Schnittgrößen 76
7.2	Verformungen infolge Belastung unter Berücksichtigung des Betonkriechens 77
7.3	Verformungen infolge Schwinden 78
7.4	Vergleich der vereinfachten Ansätze mit den numerischen Berechnungen 79
8	Begrenzung der Durchbiegung ohne direkte Berechnung 80
8.1	Vorschlag für ein Biegeschlankheitskriterium 80
8.2	Vergleich mit normativen Regelungen 82

	Seite
9 Zusammenfassung	82
9.1 Empfehlungen hinsichtlich der Normungsarbeit.....	82
9.2 Folgerungen für die Baupraxis.....	83
9.3 Weiterführender Forschungsbedarf.....	83
10 Literaturverzeichnis	85
11 Abbildungsverzeichnis	89
12 Tabellenverzeichnis	93
Anhang A – Einachsig gespannte Stahlbetonplatten	95
A.1 Ausgangsdaten.....	95
A.2 Materialparameter.....	96
A.3 Lastparameter.....	101
A.4 Systemparameter.....	107
Anhang B – Zweiachsig gespannte Stahlbetonplatten	111
B.1 Ausgangsdaten.....	111
B.2 Materialparameter.....	113
B.3 Lastparameter.....	118
B.4 Systemparameter.....	124

	Seite
Einleitung und Zielstellung	135
Baustoffverhalten	135
Beton	135
Allgemeines	135
Betondruckfestigkeiten	136
Betonzugfestigkeiten	137
0.1 Allgemeines	137
0.2 Zentrische Zugfestigkeit.....	138
0.3 Spaltzugfestigkeit.....	138
0.4 Biegezugfestigkeit.....	139
Elastizitätsmodul	142
Spannungs-Dehnungs-Beziehungen	144
0.1 Spannungs-Dehnungs-Beziehungen bei einachsiger Druckbeanspruchung	144
0.2 Spannungs-Dehnungs-Beziehungen bei einachsiger Zugbeanspruchung.....	149
Betonlangzeitverhalten	150
0.1 Allgemeines	150
0.2 Kriechen des Betons.....	150
0.3 Schwinden des Betons	153
0.4 Allgemeine Verformungsgleichung des Betons.....	154
Beton- und Spannstahl	158
0.1 Mechanische Eigenschaften des Betonstahls	158
0.2 Verbundtragverhalten von Betonstahl	158
0.3 Mechanische Eigenschaften von Spannstählen	160
0.4 Verbundtragverhalten von Spannstählen	162
Spannungs- und Dehnungsverhalten bewehrter Betonquerschnitte unter Langzeitbeanspruchung	164
0.1 Zusammenhang zwischen Spannungs- und Dehnungs-Nulllinie	164
0.2 Berechnungen für den ungerissenen Querschnitt (Zustand I)	167
0.2.1 Berechnung auf der Grundlage der allgemeinen Verformungsgleichung	167
0.2.2 Berechnung auf der Grundlage der vereinfachten allgemeinen Verformungsgleichung	169
0.2.3 Berechnung mit Hilfe des effektiven Elastizitätsmoduls des Betons	170
0.3 Berechnungen für den gerissenen Querschnitt (Zustand II)	171
0.3.1 Berechnung auf der Grundlage der allgemeinen Verformungsgleichung	171
0.3.2 Berechnung auf der Grundlage der vereinfachten Verformungsgleichung	177
0.3.3 Bestimmung des Alterungsbeiwertes χ_k	181
0.3.4 Berechnung mit Hilfe des effektiven Elastizitätsmoduls des Betons	183
0.3.4.1 Allgemeines	183
0.3.4.2 Berechnung nach Kordina [41] und CEB-Bulletin No 235 [10]	183
0.3.4.3 Spannungszonenhöhe	186
0.3.5 Bestimmung des Beiwertes $k_{\phi,II}$	190
4 Zur Rissbildung von bewehrten Betonquerschnitten	191
0.1 Grundsätzliches	191
0.2 Zeitliche Entwicklung der Zugfestigkeit	192
0.3 Dauerstandzugfestigkeit	192
0.4 Ansatz der wirksamen Betonzugfestigkeit bei der Verformungsvorhersage	193
0.5 Rissmoment	194
0.5.1 Berechnungsansätze	194
0.5.2 Einfluss der Kriech- und Schwindverformungen	195
0.5.3 Wirksame Zugfestigkeit bewehrter Querschnitte unter kurzzeitiger Beanspruchung	196
0.5.4 Vorschlag zur wirksamen Zugfestigkeit und zur Bestimmung des Rissmomentes	199

	Seite
5	Querschnittkrümmung 201
5.1	Allgemeine Ansätze (Zustand I)..... 201
5.2	Krümmung von Stahlbetonquerschnitten im Zustand II..... 202
5.2.1	Grundlagen..... 202
5.2.2	Zugversteifung..... 202
5.2.2.1	Allgemeine Aussagen..... 202
5.2.2.2	Berechnung nach MC 90 [11]..... 203
5.2.2.3	Berechnung nach EC 2 (Anhang 2) [7]..... 205
5.2.2.4	Berechnung nach Günther (in [10]) 206
5.2.2.5	Berechnung nach Graubner [30] 206
5.2.2.6	Vorschlag zur Bestimmung der mittleren Stahldehnung..... 207
5.2.3	Mittlere Querschnittkrümmung 209
6	Ermittlung der Bauteilverformung (Biegung ohne Längskraft)..... 212
6.1	Allgemeine Annahmen..... 212
6.2	Verformungsgrößen-Ansatz 212
6.3	Numerische Integration..... 213
6.4	Näherungen auf der Grundlage der mittleren Bauteilkrümmung 214
6.4.1	Berechnungsansatz..... 214
6.4.2	Wertung des Näherungsansatzes für Einfeldträger 216
6.5	Krümmungsermittlung unter quasi-ständiger Beanspruchung..... 216
7	Vergleichsberechnungen 217
7.1	Versuche von Hajek/Nürnbergerova [37] 217
7.2	Versuche von Haddad [35]..... 219
7.3	Versuche von Washa und Fluck [88] 220
7.4	Versuche von Geistefeld [29] 222
8	Nachweise ohne direkte Berechnung 224
8.1	Unterschiedliche Ansätze 224
8.2	Vergleich mit Berechnungsergebnissen nach eigenem Ansatz 224
8.3	Erweiterter Nachweis 224
9	Nährungsansätze zur Abschätzung der Bauteilverformung..... 227
9.1	Stahlbetonbau..... 227
9.2	Spannbetonbau..... 229
10	Zusammenfassung und Ausblick..... 230
Literatur 231
Anhang	Beiwerte zur Bestimmung der Rissverteilung..... 231