Bauforschung

Anwendung eines vereinfachten Verfahrens zur statistischen Absicherung der Bestimmung von q-Faktoren

T 2642

Fraunhofer IRB Verlag

T 2642

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstelungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Die Originalmanuskripte wurden reprotechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprotechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag
Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69
70504 Stuttgart

Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00
Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

16.91.18

Anwendung eines vereinfachten Verfahrens zur statistischen Absicherung der Bestimmung von q-Faktoren

im Auftrag des Deutschen Instituts für Bautechnik
AZ Nr.: IV 1 - 5 - 716 / 93

Lehrstuhl für Stahlbau, RWTH Aachen
Prof. Dr.-Ing. G. Sedlacek und Dipl.-Ing. J. Kuck

Aachen, den 29.7.1994

Kurzfassung

Bei der Bemessung erdbebenbelasteter Strukturen wird aus wirtschaftlichen Gründen angestrebt, einen großen Teil der durch das Erdbeben eingetragenen Energie durch plastische Verformungen in den dafür vorgesehenen Bauteilen zu dissipieren. Hieraus ergeben sich folgende Anforderungen an die Konstruktion:

1. Die besonderen für die Energiedissipation vorgesehenen Bauteile müssen mit genügender Zuverlässigkeit ausreichende Fließverformungen erleiden können, ohne daß unplanmäßige Fließverformungen oder Brüche in den umgebenden Bauteilen entstehen.
2. Infolge Fließverformungen der dissipierenden Bauteile dürfen keine übermäßigen seitlichen Verschiebungen auftreten, die zu instabilem Versagen des Bauwerks führen.
3. In den dissipierenden Bauteilen müssen alternierende Plastizierungsverformungen ohne Bruch aufgenommen werden können.

Das Ziel dieser Arbeit ist es, eine wirtschaftliche und damit praxisgerechte Methode zur zuverlässigen Erfüllung der Anforderungen 2. und 3. zu liefern. Die Erfüllung der Anforderung 1. erfolgt durch die sogenannte Kapazitätsbemessung.

Für eine statistische Erfassung der Auswirkungen von Erdbeben sind Zeitverlaufsberechnungen erforderlich, die auf der Basis einer großen Anzahl von Beschleunigungszeitverläufen durchgeführt werden müssen. Die üblichen Zeitschrittverfahren mit F-E-Methoden kommen wegen des großen Aufwands nicht in Frage, deshalb wurde basierend auf der Arbeit von Wörner ein Näherungsverfahren in Form des 'dynamischen Fließgelenkverfahrens' entwickelt, mit dem schnell ausreichend genaue Ergebnisse erzielt werden können, die sich statistisch auswerten lassen.

Um einen Überblick über die Auswirkung verschiedener Konstruktionsmerkmale bei unterschiedlichen Gebäudetopologien zu erzielen, wurden die Gebäude- und Konstruktionsmerkmale in wenigen Parameter kondensiert, die das dynamische Last-Verformungsverhalten solcher Konstruktionen charakterisieren.

Die Ergebnisse der Untersuchungen wurden hinsichtlich der verschiedenen Parameter ausgewertet und Normenvorschläge für eine vereinfachte und sichere Vorgehensweise für die Bemessung von Stahlbauten in Erdbebengebieten gemacht.

Inhaltsverzeichnis:

1 Einleitung 1
1.1 Grenzzustände für erdbebenbelastete Stahlbaukonstruktionen 1
1.2 Berechnungsverfahren zur Bestimmung von Erdbebenreaktionen 1
1.3 Vorgehensweise bei der Untersuchung der Grenzzustände mit Hilfe des 'dynamischen Fließgelenkverfahrens' 2

2 Algorithmen des dynamischen Fließgelenkverfahrens zur Bestimmung der Erdbebenreaktionen 5
2.1 'Dynamische Kennlinie' 7
2.1.1 Generierung eines elastischen Initialsystems 8
2.1.2 Modale Untersuchung des elastischen Initialsystems 9
2.1.3 Berechnung der 'dynamischen Kennlinie' nach dem Modalverfahren 10
2.1.3.1 Berechnung der statischen Ruhelage 11
2.1.3.2 Bestimmung der elastischen Grenze des Systems 12
2.1.3.3 Schrittweise Erhöhung der modalen Belastung . . . 12
2.1.3.4 Bestimmung der generalisierten Größen für die 'dynamische Kennlinie' 14
2.1.4 Berechnung der dynamischen Kennlinie nach dem statischen Verfahren 15
2.1.5 Bestimmung systemspezifischer Parameter auf der Basis der 'dynamischen Kennlinie' 16
2.1.5.1 Erfassung der Effekte aus Theorie II. Ordnung durch den Parameter δ_m 16
2.1.5.2 Erfassung der Völligkeit durch die Parameter v_a und v_d 17
2.1.6 Vergleich der mit modalem und statischem Verfahren ermittelten 'dynamischen Kennlinie' 19
2.2 Beschleunigungszeitverläufe für die dynamische Berechnung 21
2.2.1 Generierung künstlicher Beschleunigungszeitverläufe 22

2.3 Zeitschrittberechnung an generalisierten Einmassenschwingern 24
2.3.1 Dämpfungsbeiwert *C(t)* 25
2.3.2 Federsteifigkeit 26
2.3.3 Ideelle Auslenkung aus Belastungsgeschichte 30
2.4 Ableitung ausgewählter Einzelreaktionen aus den Ergebnissen der Erdbebensimulation 30
2.5 Statistische Auswertung von Simulationsergebnissen unter Verwendung mehrerer gleichwertiger Bebenzeitverläufe 32
2.6 Genauigkeit des dynamischen Fließgelenkverfahrens 33
2.6.1 Einfluß der Generalisierung auf einen dynamischen Freiheitsgrad 33
2.6.2 Einfluß der 'dynamischen Kennlinie' auf die Ergebnisse 33

3 Vorgehensweise bei der Bestimmung von q-Faktoren unter Verwendung des dyn. Fließgelenkverfahrens 38
3.1 Definition des q-Faktors 38
3.2 Bestimmung des q-Faktors aus dem Grenzzustand der dynamischen Stabilität 39
3.2.1 Beurteilung der dynamischen Stabilität nach Ballio 39
3.2.2 Modifizierte Bestimmung des q-Faktors 41
3.2.3 Schlußfolgerung 43
3.3 Bestimmung des q-Faktors aus dem Grenzzustand infolge alternierender Plastizierung 44
3.3.1 Versuchsprogramm, Ballio 44
3.3.1.1 Darstellung der Versuchsergebnisse 45
3.3.1.2 Auswertung über ideelle Spannungen 47
3.3.1.3 Auswertung über den Rotationswinkel 48
3.3.1.4 Interpretation der Ergebnisse 51
3.3.2 Vorgehensweise bei der Bestimmung des Grenzzustandes 51
3.3.3 Schlußfolgerungen 53
3.4 Vorgehensweise bei der statistischen Auswertung zur Bestimmung der q-Faktoren 54

4 Parameterstudie zur Bestimmung von q-Faktoren für den Grenzzustand der dynamischen Stabilität 56
4.1 Verwendete Eingangsgrößen für die Parameterstudie 57
4.1.1 Erdbebenzeitverläufe 57
4.1.2 Wahl der 'dynamischen Kennlinien' 58
4.1.3 Normierter Beschleunigungsfaktor q_a 62
4.2 Voruntersuchungen zur Eingrenzung der Berechnungen 62
4.2.1 Reduzierung von t_s und f_I auf den Parameter n 62
4.2.2 Beeinflussung der dynamischen Stabilität durch das Antwortspektrum 67
4.2.3 Untersuchung zu den erforderlichen Fraktilen der q-Faktoren . . 72
4.3 Auswertung der Ergebnisse zur Bestimmung der q-Faktoren 76
4.3.1 Einfluß von k auf den Verhaltensfaktor q 76
4.3.2 Einfluß von v_a auf die dynamische Stabilität 79
4.3.3 Einfluß von v_d auf die dynamische Stabilität 83
4.3.4 Vorschlag zur Wahl der q-Faktoren 86
4.3.5 Vergleich der q-Faktoren mit nach anderen Verfahren ermittelten Werten 89
4.4 Auswertung zur Bestimmung der Mindestanzahl benötigter Bebenzeitverläufe bei Anwendung des dynamischen Fließgelenkverfahrens 91

5 Untersuchungen zur Bestimmung von q-Faktoren unter zusätzlicher Berücksichtigung alternierender Plastizierung 96
5.1 Erdbebenberechnungen nach dem dynamischen Fließgelenkverfahren . . 97
5.1.1 Erdbebenzeitverläufe 97
5.1.2 Bestimmung der 'dynamischen Kennlinien' 97
5.1.2.1 Generierung der elastischen Initialsysteme 97
5.1.2.2 Modale Untersuchungen der elastischen Initialsysteme 98
5.1.2.3 Berechungen der 'dynamischen Kennlinien' nach dem Modalverfahren 98
5.1.2.4 Bestimmung systemspezifischer Parameter auf der Basis der 'dynamischen Kennlinien' 100

5.2 Auswertung der Berechungen 100
5.2.1 Grenzzustand infolge alternierender Plastizierung 101
5.2.1.1 Rotationswöhlerlinie 101
5.2.1.2 Ermittlung von Summenhäufigkeitskurven für den Schädigungsindex S_i 102
5.2.1.3 Auswertung für verschiedene Fraktilenwerte . . . 104
5.2.2 Grenzzustand infolge dynamischer Instabilität 106
5.2.2.1 Ermittlung von Summenhäufigkeitskurven für q_d 106
5.2.2.2 Auswertung für verschiedene Fraktilenwerte . . . 109
5.2.3 Vergleich der Ergebnisse beider Grenzzustände 111
5.2.3.1 Darstellung der Kurvenverläufe S_i und q_a/q_d im Vergleich 111
5.2.3.2 Bestimmung der resultierenden q-Faktoren 116
5.3 Vereinfachter Nachweis für den Grenzzustand infolge alternierender Plastizierung 118
5.3.1 Parameter der Rotationskapazität 119
5.3.2 Rotationsanforderung 119
5.3.2.1 Vorschlag zur Wahl der Bemessungszyklenzahl N_{erf} 119
5.3.2.2 Vorschlag zur Bestimmung der Rotationsanforderung aus statischer Berechnung $\Delta\varphi_{pl,erf}$ 121
5.3.2.3 Vorschlag zur Bestimmung des normierten seismischen Vergrößerungsfaktors λ_q 123
5.3.3 Schlußfolgerungen 124

6 Schlußfolgerung für die Normung 125
6.1 Zur Verwendung des 'dynamischen Fließgelenkverfahrens' zur Bestimmung der Bauwerksantwort ebener Rahmensysteme unter Erdbeben . . 125
6.2 Zur Festlegung von q-Faktoren für das Antwortspektrumverfahren . . . 126

7 Zusammenfassung 129

Literaturverzeichnis 130

Anhang A Übersicht der Ergebnisse der Parameterstudie zur Untersuchung der dynamischen Stabilität

Anhang B Verforumgszeitverläufe aus 'dynamischem Fließgelenkverfahren' im Vergleich zu denen aus FE-Berechungen