

Europäische Kommission Forschungsprogramm des Forschungsfonds für Kohle und Stahl

INNOSEIS

Valorisierung innovativer Erdbebenschutzeinrichtungen

Arbeitspaket 3 – Projektergebnis 3.2 Bericht mit vor-normativen Bemessungsleitfäden für innovative Erdbebenschutzsysteme

Koordinator: Nationale Technische Universität Athen - NTUA, Griechenland

Projektpartner: Universitatea Politehnica Timisoara - UPT, Rumänien

Politecnico di Milano - POLIMI, Italien

Universita Degli Studi di Napoli Federico II - UNINA, Italien

Universita di Pisa - UNIPI, Italien

Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen - RWTH, Deutschland

Instituto Superior Tecnico - IST, Portugal

Universitet po Architektura Stroitelstvo i Geodezija - UACEG, Bulgarien

Universiteit Hasselt - UHasselt, Belgien

Maurer Sohne Engineering GmbH & CO KG - MSE, Deutschland

Convention Europeenne de la Construction Metallique ASBL - ECCS, Belgien

Grant Agreement Number: 709434

20/07/2017

Disclaimer

This document provides recommended criteria for the design of innovative steel lateral-load-resisting systems to resist the effects of earthquakes. These recommendations were developed by practicing and research engineers, based on professional judgment and experience, and by a program of laboratory, field and analytical research. Still, this is not a consensus document nor does it necessarily reflect the views and policies of the Research Fund for Coal and Steel, or the European Commission. It is primarily intended as a resource document for the development of future design standards and building code provisions. No warranty is offered, with regard to the recommendations contained herein. No legal liability or responsibility is assumed for the accuracy, completeness, or usefulness of any of the information, products or processes included in this publication. Users of information contained in this report assume all liability arising from its use.

Bericht mit normativen Bemessungsleitfäden für 9 innovative Erdbebenvorrichtungen | I AUTOREN

AUTOREN

NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS (NTUA) Institut für Stahlkonstruktionen EL-15780 Athen, Griechenland Kapitel 1, 4 Autoren: Ioannis Vayas, Pavlos Thanopoulos, Panagiotis Tsarpalis, Danai Dimakogianni

HASSELT UNIVERSITY Forschungsgruppe Ingenieurbau Campus Diepenbeek, Agoralaan building H, BE3590 Diepenbeek, Belgien Kapitel 2 Autoren: Jose Henriques, Herve Degee

RHEINISCH-WESTFAELISCHE TECHNISCHE HOCHSCHULE AACHEN (RWTH) Institut für Stahlbau 52074 Aachen, Deutschland Kapitel 3 Autoren: Benno Hoffmeister, Marius Pinkawa

POLITECNICO DI MILANO (POLIMI) Fakultät für Architektur, Raumplanung und Ingenieurbau Piazza Leonardo da Vinci, 32, 20133 Mailand, Italien Kapitel 5 Autoren: Carlo Andrea Castiglioni, Amin Alavi, Giovanni Brambilla

INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO (IST) Fakultät für Bauingenieurwesen, Architektur und Georessourcen Av. Rovisco Pais, 1049-001 Lissabon, Portugal Kapitel 6 Autoren: Luís Calado, Jorge M. Proença, João Sio

POLITEHNICA UNIVERSITY OF TIMISOARA (UPT) Fakultät für Stahlkonstruktionen Strukturmechanik Strada Ioan Curea 1, Timisoara, Rumänien Kapitel 7, 8 Autoren von Kapitel 7: Adriana Chesoan, Aurel Stratan, Dan Dubina Autoren von Kapitel 8: Calin Neagu, Florea Dinu, Dan Dubina Bericht mit normativen Bemessungsleitfäden für 9 innovative Erdbebenvorrichtungen | II AUTOREN

UNIVERSITET PO ARCHITEKTURA STROITELSTVO I GEODEZIJA (UACEG) Fakultät für Stahl- und Holzkonstruktionen 1 Hr. Smirnenski blvd. 1046 Sofia, Bulgarien Kapitel 9 Autoren: Tzvetan Georgiev, Lora Raycheva, Dimo Zhelev, Nikolaj Rangelov

Bericht mit normativen Bemessungsleitfäden für 9 innovative Erdbebenvorrichtungen III
INHALT

INHALT

A	utore	n	I
11	NHAL	т	III
1	Ein	leitung	1
2	INE	ERD Bolzenverbindungen	1
	2.1 2.2 2.3 2.4 2.5	ERGÄNZUNGEN ZU ABS. 6.3.1 TRAGWERKSTYPEN ERGÄNZUNGEN ZU ABS. 6.3.2, TABELLE 6.2 VERHALTENSBEIWERTE ERGÄNZUNGEN ZU 6.5.3, AUSLEGUNGSREGELN FÜR AUF DRUCK ODER BIEGUNG BEANSPRUCHTE DISSIPATIVE BAUTEILE ERGÄNZUNGEN ZU 6.5.5, AUSLEGUNGSREGELN FÜR VERBINDUNGEN IN DISSIPATIVEN BEREICHEN ERGÄNZUNGEN ZU ABS. 6.7 REGELN FÜR DIE AUSLEGUNG UND BAULICHE DRUCHBILDUNG	1 1 2
•		VON RAHMEN MIT KONZENTRISCHEN VERBÄNDEN	2
3	3.1 3.2 3.3	ERGÄNZUNGEN ZU ABS. 6.3.1 TRAGWERKSTYPEN ERGÄNZUNGEN ZU ABS. 6.3.2, TABELLE 6.2 VERHALTENSBEIWERTE ERGÄNZUNGEN ZU ABS. 6.12 (NEU) REGELN FÜR DIE AUSLEGUNG UND BAULICHE DRUCHBILDUNG VON RAHMEN MIT U-VERBINDUNGEN	7 7 8
4	FU	SEIS Trägerverbinder	. 11
	4.1 4.2 4.3	ERGÄNZUNGEN ZU ABS. 6.3.1 TRAGWERKSTYPEN ERGÄNZUNGEN ZU ABS. 6.3.2, TABELLE 6.2 VERHALTENSBEIWERTE ERGÄNGZUNGEN ZU 6.5.3, AUSLEGUNGSREGELN FÜR AUF DRUCK ODER BIEGUNG BEANSPRUCHTE DISSIPATIVE BAUTEILE	11 12 12
	4.4	ERGANZUNGEN ZU ABS. 6.12 (NEU) REGELN FUR DIE AUSLEGUNG UND BAULICHE DRUCHBILDUNG VON RAHMEN MIT FUSEIS TRÄGERVERBINDERN	13
5	FU	SEIS Bolzenverbinder	. 18
	5.1 5.2	ERGÄNZUNGEN ZU ABS. 6.3.1 TRAGWERKSTYPEN ERGÄNZUNGEN ZU ABS. 6.3.2, TABELLE 6.2 VERHALTENSBEIWERTE ERGÄNZUNGEN ZU ABS. 6.5.3. AUST SCHNESPECELN FÜR AUF DRUCK ODER BISCHNE	18 19
	5.4	ERGÄNZUNGEN ZU ABS. 6.3.3, AUSLEGUNGSREGELN FÜR AUF DRÜCK ÜDER BIEGUNG BEANSPRUCHTE DISSIPATIVE BAUTEILE ERGÄNZUNGEN ZU ABS. 6.12 (NEU) REGELN FÜR DIE AUSLEGUNG UND BAULICHE	19
_		DRUCHBILDUNG VON RAHMEN MIT FUSEIS BOLZENVERBINDERN	20
6	FU	SEIS geschraubte Trägerstöße	. 27
	6.1 6.2	BEMESSUNGSLEITFÄDEN ZUR AUFNAHME IN KAPITEL 7 DER EN1998-1-1 GRUNDSÄTZE: BEMESSUNGSVERFAHREN ZUR UNTERSTÜTZUNG DER LEITFÄDEN ZUR AUFNAHME IN EN1998-1-1	27 30
7	FU	SEIS geschweißte Trägerstöße	. 33

	Bericht mit normativen Bemessungsleitfäden für 9 innovative Erdbebenvorrichtunge IN	en IV IHALT
71		33
7.2	Grundsätze: Bemessungsverfahren zur Unterstützung der Aufnahme der	
	LEITFÄDEN IN EN1998-1-1	35
8 Au	stauschbare geschraubte Verbinder	38
8.1	ERGÄNZUNGEN ZU 6.3.1 TRAGWERKSTYPEN	38
8.2	ERGÄNZUNGEN ZU 6.3.2 VERHALTENSBEIWERTE	38
8.3	ERGÄNZUNGEN ZU 6.8.1 AUSLEGUNGSKRITERIEN	38
8.4	ERGÄNZUNGEN ZU 6.8.4 ANSCHLÜSSE VON SEISMISCHEN VERBINDERN	39
8.5	ERGÄNZUNGEN ZU 6.10.2 BIEGESTEIFE RAHMEN, KOMBINIERT MIT DIAGONALVERBÄNDEN.	40
8.6	ERGÄNZUNGEN ZU KAPITEL 6 SPEZIFISCHE REGELN FÜR STAHLGEBÄUDE	41
9 Au	stauschbare Schubbleche	46
9.1	ERGÄNZUNGEN ZU ABS. 6.3.1 TRAGWERKSTYPEN	46
9.2	ERGÄNZUNGEN ZU ABS. 6.3.2, TABELLE 6.2 VERHALTENSBEIWERTE	47
9.3	ERGÄNZUNGEN ZU ABS. 6.10, AUSLEGUNGSKRITERIEN FÜR STAHLTRAGWERKE MIT	
	BETONKERNEN ODER BETONWÄNDEN UND FÜR AUSGEFACHTE ODER MIT	
	DIAGONALVERBÄNDEN KOMBINIERTE BIEGESTEIFE RAHMEN	47
9.4	ERGÄNZUNGEN ZU KAPITEL 6 BESONDERE REGELN FÜR STAHLBAUTEN	48
10 Ko	nzentrisch ausgesteifter Rahmen mit modifizierten Diagonalstrebe	en
(C	BF-MB)	55
10 1	FRGÄNZUNGEN ZU ARS 631 TRAGWERKSTYPEN	55
10.1		00
10.2	ERGÄNZUNGEN ZU ABS 6.3.2 TABELLE 6.2 VERHALTENSBEIWERTE	56
10.2 10.3	ERGÄNZUNGEN ZU ABS. 6.3.2, TABELLE 6.2 VERHALTENSBEIWERTE ERGÄNGZUNGEN ZU ABS. 6.12 (NEU) REGELN FÜR DIE AUSLEGUNG UND BAULICHE	56

Bericht mit normativen Bemessungsleitfäden für 9 innovative Erdbebenvorrichtungen 1
EINLEITUNG

1 Einleitung

Dieser Bericht stellt relevante Bemessungsleitfäden für 9 innovative Erdbebenschutzeinrichtungen vor, welche ergänzende Bestimmungen zur EN 1998-1 in ihrer jetzigen Version, Mai 2004, umfassen. Es wird Bezug zu den Bestimmungen dieser Fassung genommen wobei die Nummerierung der Abbildungen, Tabellen und Gleichungen indikativ erfolgt. Die betrachteten Systeme sind dissipative Anschlüsse, dissipative Verbinder, dissipative Trägerstöße, austauschbare Schubverbinder sowie Schubwände und modifizierte Diagonalstreben. Bericht mit normativen Bemessungsleitfäden für 9 innovative Erdbebenvorrichtungen | 1 INERD BOLZENVERBINDUNGEN

2 INERD BOLZENVERBINDUNGEN

2.1 ERGÄNZUNGEN ZU ABS. 6.3.1 TRAGWERKSTYPEN

(1) <u>Rahmen mit zentrisch angeschlossenen Diagonalstreben und dissipativen Verbindungen</u> sind solche, in welchen die Verbindungen der Diagonalstreben zu angrenzenden Elementen dissipativ sind und im Vergleich zu der Diagonalstrebe eine geringere Festigkeit aufweisen, sodass in den Anschlüssen Energie dissipiert werden kann, während die Diagonalstreben und andere Bauteile vor Knicken und Fließen geschützt sind. Der Anschluss wird als ein Bolzen ausgeführt, der durch zwei außenliegende Platten geführt wird, welche mit den Rahmenstützen/-trägern verbunden sind (Abb. 6.1), und einer oder zwei innenliegenden Platten, welche an die Diagonalstreben angeschlossen sind. Die Bolzenverbindungen können an einer oder an beiden Enden der Diagonalen angesetzt werden.



Abb. 6.1: Mögliche Konfigurationen der INERD Bolzenverbindung

2.2 ERGÄNZUNGEN ZU ABS. 6.3.2, TABELLE 6.2 VERHALTENSBEIWERTE

Tabelle 6.2: Höchstbeträge für Referenzwerte der Verhaltensbeiwerte für im Aufriss regelmäßige Tragwerke

Tragworkstyp	Duktilitätsklasse						
Tragwerkstyp	DCM	DCH					
INERD Bolzenverbindungen							
An beiden Enden der Diagonalstrebe	3,0	4,0					
An einem Ende der Diagonalstrebe	2,0	3,0					

Bericht mit normativen Bemessungsleitfäden für 9 innovative Erdbebenvorrichtungen | 2 INERD BOLZENVERBINDUNGEN

2.3 ERGÄNZUNGEN ZU 6.5.3, AUSLEGUNGSREGELN FÜR AUF DRUCK ODER BIEGUNG BEANSPRUCHTE DISSIPATIVE BAUTEILE

(3) Um zu gewährleisten, dass die dissipativen Bolzen primär unter Biegung belastet werden, bestimmt sich ihre Länge wie folgt:

$$a \ge h$$
 GI. (6.1)

- h die Höhe des Bolzens
 - *a* der lichte Abstand zwischen den innen- und außenliegenden Platten

2.4 ERGÄNZUNGEN ZU 6.5.5, AUSLEGUNGSREGELN FÜR VERBINDUNGEN IN DISSIPATIVEN BEREICHEN

(8) Der Widerstand R_d der Schweißnähte oder Schrauben der dissipativen Bolzenverbindung sollte das folgende Kriterium erfüllen:

 $R_d \geq 1.1 \cdot \gamma_{ov} \cdot P_{u,Rd}$

mit

Gl. (6.2)

mit $P_{u,Rd}$ ist der maximale Widerstand der betrachteten Bolzenverbindung $\gamma_{ov} = 1,25$ ist der empfohlene Überfestigkeitsbeiwert

Für geschraubte Verbindungen sollten hochfeste vorgespannte Schrauben verwendet werden (Kategorien B, C oder E gemäß EN1993-1-8).

2.5 ERGÄNZUNGEN ZU ABS. 6.7 REGELN FÜR DIE AUSLEGUNG UND BAULI-CHE DRUCHBILDUNG VON RAHMEN MIT KONZENTRISCHEN VERBÄN-DEN

6.7.1 Auslegungskriterien

(4)P Durch konzentrische Verbände ausgesteifte Rahmen mit dissipativen Bolzenverbindungen sind so auszulegen, dass unter Biegung die Plastizierung der Bolzen vor einem Knicken der Diagonalstreben oder einem Plastizieren der angrenzenden Elemente und Bauteile auftritt.

6.7.2 Berechnung

(2)P – In Rahmen mit dissipativen Bolzenverbindungen sind sowohl die Zug- als auch die Druckdiagonalen zu berücksichtigen. Die Bolzenverbindung kann als eine axiale Feder mit folgender Federkonstante modelliert werden: Bericht mit normativen Bemessungsleitfäden für 9 innovative Erdbebenvorrichtungen | 3 INERD BOLZENVERBINDUNGEN

Bei einer innenliegenden Platte:

$$K_{pin} = \frac{32 \cdot EI}{\ell^3}$$
Gl. (6.3)

• Bei zwei innenliegenden Platten:

$$K_{pin} = \frac{8 \cdot EI}{\boldsymbol{a} \cdot \ell^2 \cdot \boldsymbol{\alpha} \cdot (3 - 4 \cdot \boldsymbol{\alpha})}$$
Gl. (6.4)

mit

EI die Biegesteifigkeit des Bolzens ℓ der axiale Abstand der außenliegenden Platten α = a / ℓ



Abb. 6.2: Geometrische Eigenschaften der dissipativen Bolzenverbindungen

6.7.3 Diagonalstreben

(10) Dissipative Bolzen werden in der seismischen Bemessungssituation für die größten Diagonalstrebenkräfte wie folgt bemessen:

$$P_{Ed} \leq P_{u,Rd}$$
 GI. (6.5)

mit P_{Ed} die axiale Bemessungskraft der Diagonalstrebe und der Verbindung $P_{u,Rd}$ der maximale Widerstand der Verbindung

Der Widerstand der Verbindung infolge Biegung und Schub des Bolzens sind jeweils in Gleichung (6.6a) bzw. (6.6b) definiert. Der Beiwert β_{III} definiert den prozentualen Anteil des Bolzens, der einer signifikanten plastischen Verformung an jeder Seite unterworfen wurde, mit $0 \le \beta_{III} \le 0.5$. Der maximale Widerstand der Verbindung wird mittels eines iterativen Prozesses durch Änderung des Beiwerts β_{III} gefunden, sodass die zwei Werte der Gleichungen (6.6a) sowie (6.6b) gleich werden.

$$P_{u,M,Rd} = k_{pin} \cdot \frac{4 \cdot M_u}{a_{red,III} \cdot \gamma_{pu}}$$
GI. (6.6a)

$$P_{u,V,Rd} = k_{pin} \cdot \frac{2 \cdot b \cdot (1 - 2 \cdot \theta_{III}) \cdot h \cdot f_{y}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{pu}}$$
GI. (6.6b)

mit

$$\begin{split} M_{u} &= W_{u,pl} \cdot f_{mid} \text{ der maximale plastische Widerstand des Bolzens} \\ f_{mid} &= f_{y} + \left(f_{u} - f_{y}\right) \cdot \lambda_{f} / 2 \text{ die maximale Normalspannung des Bolzens} \\ \lambda_{f} &= \left(\frac{a-h}{2 \cdot h}\right)^{2} \text{ ein Beiwert für den Einfluss des Schubs mit } 0 \leq \lambda_{f} \leq 1 \\ W_{u,pl} &= b \cdot h^{2} \cdot \left[\beta_{III} - \beta_{III}^{2} + \chi \cdot \left(0.5 - \beta_{III}\right)^{2}\right] \text{ das plastische Widerstandsmoment des Bolzens, wobei die Reduktion infolge der Schubspannungen berücksichtigt wird.} \\ \chi &= \sqrt{1 - \left(f_{v} / f_{mid}\right)^{2}} \end{split}$$

(11) Die Überfestigkeit eines Bolzens i wird durch den folgenden Ausdruck definiert:

$$\Omega_{i} = \frac{P_{u,Rd,i}}{P_{Ed,i}}$$
GI. (6.7)

Die Abmessungen des Bolzens sollten derart gewählt werden, dass der Wert von Ω_i nahe 1 ist.

Um ein gleichmäßiges globales Dissipationsverhalten des Tragwerks zu erreichen, sollte überprüft werden, dass das maximale Überfestigkeitsverhältnis Ω_{max} über das gesamte Tragwerk um nicht mehr als 25 % vom Minimalwert Ω_{min} abweicht:

$$\frac{\Omega_{max}}{\Omega_{min}} \le 1.25$$
 GI. (6.8)

(12) Die Diagonalstreben sollten hinsichtlich Plastizierung und Knicken verifiziert werden, wobei die Ausschöpfung der Kapazität der Bolzen an ihren Enden angenommen wird:

$$N_{Ed} = \Omega_{\max} \cdot P_{u,Rd}$$
 Gl. (6.9)

mit Ω_{max} ist der Maximalwert aller angeschlossenen Verbindungen der Diagonalstreben Bericht mit normativen Bemessungsleitfäden für 9 innovative Erdbebenvorrichtungen | 5 INERD BOLZENVERBINDUNGEN

6.7.4 Riegel und Stützen

Riegel und Stützen, die an Diagonalstreben mit flexiblen INERD-Verbindungen angeschlossen sind, sollten die folgende Anforderung an den minimalen Widerstand erfüllen:

$$N_{pl,Rd}(M_{Ed}) \ge N_{Ed,G} + 1.1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega \cdot N_{Ed,E}$$
Gl. (6.10)

mit $N_{pl,Rd}$ (M_{Ed}) ist der axiale Bemessungswiderstand des Rahmenelements gemäß EN 1993, wobei die Interaktion mit dem Biegemoment M_{Ed} berücksichtigt wird $N_{Ed,G}$ ist die Normalkraft des Rahmenelements infolge nichtseismischer Einwirkungen, die in der Kombination für die Erdbeben-Bemessungssituation enthalten sind $N_{Ed,E}$ ist die Normalkraft des Rahmenelements infolge der seismischen Einwirkung der Erdbeben-Bemessungskombination Ω_{min} ist der Minimalwert aller angeschlossenen Verbindungen der Diagonalen

Diese Anforderung kann in der folgenden Bestimmung ausgedrückt werden:

(4) Träger und Stützen, die an Diagonalstreben mit dissipativen Bolzenverbindungen angeschlossen sind, können gemäß 6.7.4 (1) verifiziert werden, wobei Ω der Minimalwert aller angeschlossenen Verbindungen der Diagonalen ist.

Der gesamte Vergrößerungsbeiwert $(1, 1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega)$ kann nicht den Wert des Verhaltensbeiwerts *q* übersteigen, welcher in der Berechnung verwendet wurde. Die tatsächliche maximale Fließspannung des Bolzenstahls sollte so nah wie möglich an dessen Nennwert liegen, um eine wirtschaftliche Bemessung zu erzielen. Dies kann erreicht werden, wenn der Stahl des Bolzens mit den Bedingungen aus 6.2 (3)a oder 6.2 (3)c übereinstimmt.

6.7.5 Bolzenmodellierung für nichtlineare statische (Pushover) Berechnungen

Die dissipative Bolzenverbindung kann durch eine nichtlineare axiale Feder am Ende der Diagonalstrebe mit den in Abb. 3 dargestellten Eigenschaften abgebildet werden. Die charakteristischen Punkte, welche die axialen Federeigenschaften definieren, sind in Tabelle 1 gegeben.



Abb. 6.3: Nichtlineare Eigenschaften dissipativer Bolzenverbindungen und Leistungsniveaus

6.7.6 Bolzenmodellierung für nichtlineare dynamische Berechnungen

(1) Das statische nichtlineare Gesetz der dissipativen Bolzen, das in 6.7.5 beschrieben wird, kann erweitert werden, um ein angemessenes hysteretisches Verhalten abzubilden. Ein typisches hysteretisches Verhalten ist in Abb. 6.4 dargestellt, wobei zu sehen ist, dass besondere Aufmerksamkeit notwendig ist, um das während der zyklischen Belastung beobachtete Einschnüren ("Pinching") zu modellieren.



0.8·a

Abb. 6.4: Hysteretisches Verhalten der dissipativen nichtlinearen Bolzenverbindungsfeder

(2) Bei Durchführung einer nichtlinearen dynamischen Berechnung, sollte eine Schädigung des Bolzens infolge Kurzzeitermüdung untersucht werden. Die folgende Schadenskurve sollte für dissipative Bolzen berücksichtigt werden:

$$\log N = 6 - 3 \cdot \log S$$

CP

Gl. (6.11)

Der Schadensindex kann über die Spannungs-Belastungsgeschichte der Bolzenverbindung gemäß Anhang A der EN1993-1-9 bestimmt werden. Bericht mit normativen Bemessungsleitfäden für 9 innovative Erdbebenvorrichtungen | 7 INERD U-VERBINDUNGEN

3 INERD U-VERBINDUNGEN

3.1 ERGÄNZUNGEN ZU ABS. 6.3.1 TRAGWERKSTYPEN

- (2) <u>Die U-Verbindung</u> stellt eine geeignete Lösung für mit konzentrischen Verbänden ausgesteifte Rahmen dar (Abb. 3.1). Die U-Verbindung besteht aus einer oder zwei gebogenen, U-förmigen dicken Platten (Abb. 3.2), die die Diagonalstrebe mit dem angrenzenden Bauteil verbindet. Die Verbindung der Strebe mit der U-Vorrichtung kann parallel oder senkrecht ausgebildet sein (Abb. 3.3).
- (3) Die U-Verbindung wird als dissipative Verbindung ausgebildet.
- (4) Die U-Verbindung ist f
 ür Tragwerke geeignet, die nicht zu empfindlich gegen
 über großen Verschiebungen sind. Im Fall von mehrstöckigen Geb
 äuden betr
 ägt die maximale Stockwerksanzahl 6.



Abb. 3.1: Rahmentyp für den Einbau einer U-Verbindung: Mit konzentrischen Verbänden ausgesteifte Rahmen



Abb. 3.2: U-Vorrichtung



Tabelle 6.2: Höchstbeträge für Referenzwerte der Verhaltensbeiwerte für im Aufriss regelmäßige Tragwerke

3.2 ERGÄNZUNGEN ZU ABS. 6.3.2, TABELLE 6.2 VERHALTENSBEIWERTE

Abb. 3.3: Typologie der Verbindung U-Vorrichtung zu Diagonalstrebe

U-Verbindung	3,0

b) Last senkrecht zur U-Verbindung

3.3 ERGÄNZUNGEN ZU ABS. 6.12 (NEU) REGELN FÜR DIE AUSLEGUNG UND BAULICHE DRUCHBILDUNG VON RAHMEN MIT U-VERBINDUNGEN

6.12.1 Berechnung

a) Last parallel zur U-Verbindung

Die U-Verbindungen können wie folgend beschrieben modelliert werden:

- Mittels Balkenelementen: Die Anzahl an Elementen muss ausreichend sein, um die Krümmung der Vorrichtung nachzubilden. Die Verbindung zwischen den U-Verbindungselementen und den Bauteilen (Stützen und Diagonalstreben) wird starr (durchgehend) ausgebildet.
- Mittels einer äquivalenten Feder: Im Strukturmodell wird die Verbindung zwischen den Elementen (Stützen und Diagonalstreben) unter Verwendung eines Federelements ausgeführt. Das Verhalten des Federelements bildet das Verhalten der U-Verbindung nach.

Träger-Stützenverbindungen sowie Stützenfüße werden gelenkig ausgebildet.

Bericht mit normativen Bemessungsleitfäden für 9 innovative Erdbebenvorrichtungen 9
INERD U-VERBINDUNGEN

6.12.2 U-Verbindungen

U-Verbindungen sollten hinsichtlich der Bemessungsnormalkraft in den Diagonalstreben verifiziert werden:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{U,Rd}} \le 1.0$$
 GI. (3.1)

mit:

 N_{Ed} ist die Bemessungsnormalkraft in der Diagonalstrebe $N_{U,Rd}$ ist der Bemessungswiderstand der U-Verbindung

Die Überfestigkeit einer U-Verbindung wird durch den folgenden Ausdruck definiert:

$$\Omega = \frac{N_{pl,U,Rd}}{N_{Ed}}$$
GI. (3.2)

Die Abmessungen der U-Verbindung sollten so gewählt sein, dass der Wert von Ω nahe 1 liegt.

Um ein globales dissipatives Verhalten des Rahmens zu erreichen, sollte nachgewiesen werden, dass die maximalen Verhältniswerte Ω über das gesamte Tragwerk um nicht mehr als 25 % vom Minimalwert Ω abweichen.

$$\frac{max\Omega}{min\Omega} \le 1.25$$
 GI. (3.3)

6.12.3 Stützen und Diagonalstreben in ausgesteiften Rahmen mit U-Verbindunten

Die Stützen und Diagonalstreben, die mittels der U-Verbindungsvorrichtung verbunden sind, sollten wie folgt verifiziert werden, um den Auswirkungen der Kapazitätsbemessungseinwirkung standzuhalten:

Stützen des Systems, welche mittels Bolzenverbindern verbunden werden, sowie Aufnahmeträger sollten wie folgt verifiziert werden, um den Auswirkungen der Kapazitätsbemessungseinwirkung standzuhalten:

$$N_{Col,Ed} = N_{Ed,G} + 1, 1 \cdot \gamma_{Ov} \cdot \Omega \cdot N_{Ed,E}$$
GI. (3.4)

$$N_{Brac,Ed} = 1, 1 \cdot \gamma_{OV} \cdot \Omega \cdot N_{Ed,E}$$
GI. (3.5)

mit:

 $N_{Ed,G}$ sind die Normalkräfte infolge nichtseismischer Einwirkungen, die in der Kombination für die Erdbeben-Bemessungssituation enthalten sind,

N_{Ed,E} sind die Normalkräfte infolge seismischer Bemessungseinwirkungen,

$$\Omega = \min\Omega_i = \min\left\{\frac{M_{pl,pin,Rd,i}}{M_{Ed,i}}\right\} \quad \Omega = \min\Omega_i = \min\left\{\frac{N_{U,Rd,i}}{N_{Ed,i}}\right\} \text{ ist der minimale Überfestig-}$$

keitsbeiwert für alle U-Verbindungen im Gebäude, siehe Gleichung (1.2) und γ_{ov} =1,25 ist der Materialüberfestigkeitsbeiwert.

Der gesamte Vergrößerungsfaktor für seismische Kräfte kann nicht den Wert des Verhaltensbeiwerts *q* übersteigen, der in der Berechnung verwendet wurde. Die tatsächliche Fließspannung des Stahls sollte so nah wie möglich an ihrem Nennwert liegen, um eine wirtschaftliche Bemessung zu erreichen.

6.12.4 U-Verbindungsmodellierung für eine nichtlineare statische (Pushover) Berechnung

Das Strukturmodell, welches für eine nichtlineare statische Pushover-Berechnung verwendet wird, muss die Reaktion der Bauelemente und Verbindungen über den elastischen Zustand hinaus beinhalten. Abhängig vom der für die U-Verbindung genutzten Modellierungsvariante, sollte folgendes verwendet werden:

- Balkenelement: Das Materialmodell sollte auf einem ideal-elasto-plastischen oder elasto-plastischen konstitutiven Gesetz mit Materialverfestigung beruhen;
- Federelement: Das Federelement sollte nichtlinear sein und das Verhalten das post-elastische Verhalten der Vorrichtung nachbilden. Eine Annäherung an das reale Verhalten kann mittels eines multi-linearen Gesetzes erfolgen.

6.12.5 U-Verbindungsmodellierung für eine nichtlineare dynamische Berechnung

Das Strukturmodell, welches für eine nichtlineare dynamische Berechnung verwendet wurde, muss die Reaktion der Bauelemente und der Verbindungen über den elastischen Zustand hinaus und unter zyklischer Belastung beinhalten. Abhängig vom der für die U-Verbindung genutzten Modellierungsvariante, sollte folgendes verwendet werden:

- Balkenelement: Das Materialmodell sollte auf einem zyklischen Gesetz (mit kinematischer Verfestigung) beruhen;
- Federelement: Das Federelement sollte nichtlinear sein und das Verhalten sollte das hysteretische Verhalten der Vorrichtung abbilden.

4 FUSEIS TRÄGERVERBINDER

4.1 ERGÄNZUNGEN ZU ABS. 6.3.1 TRAGWERKSTYPEN

h) <u>FUSEIS Trägersysteme</u> bestehen aus zwei eng beieinanderstehenden, starken Stützen, die durch mehrere Träger biegesteif miteinander verbunden sind. Die Trägerverbinder verlaufen von Stütze zu Stütze und können verschiedene Querschnittstypen haben, wie beispielsweise RHS, SHS, CHS Profile oder I-Profile. Das FUSEIS Trägerverbindersystem widersteht seitlichen Kräften als vertikaler Vierendeelträger und wirkt als seismische Lasten aufnehmendes System in einem Rahmen (Abb. 1.1).

(6) Die horizontalen Träger des FUSEIS Trägerverbindersystems sind die dissipativen Zonen, in welchen sich die Fähigkeit zur Energiedissipation hauptsächlich befindet. Es werden geschwächte Trägerquerschnitte (englisch: reduced beam sections, RBS) empfohlen, um die dissipativen Zonen eindeutig festzulegen (Abb. 1.2). Geschwächte Trägerquerschnitte sollten gemäß EN 1998-3 bemessen werden. Die Anschlüsse zwischen Stockwerksträgern und Stützen können gelenkig oder halbstarr ausgebildet werden. Halbstarre Anschlüsse werden bevorzugt, um ein nahezu selbstzentrierendes System mit geringeren bleibenden Verschiebungen zu erzielen. Die Stützen können eingespannt oder gelenkig ausgeführt werden.



Abb. 4.1: FUSEIS Trägerverbindersystem (links) und verschiedene in einem Gebäude platzierten Systeme (rechts)



Abb. 4.2: Dissipative Bereiche in FUSEIS Trägerverbindern durch Verwendung geschwächter Trägerquerschnitte (RBS)

4.2 ERGÄNZUNGEN ZU ABS. 6.3.2, TABELLE 6.2 VERHALTENSBEIWERTE

Tabelle 6.2: Höchstbeträge für Referenzwerte der Verhaltensbeiwerte für im Aufriss regelmä-ßige Tragwerke

TDACWEDKSTVD	Duktilitätsklasse			
IRAGWERROTTF	DCM	DCH		
h) FUSEIS Trägerverbinder	3	5		

4.3 ERGÄNGZUNGEN ZU 6.5.3, AUSLEGUNGSREGELN FÜR AUF DRUCK O-DER BIEGUNG BEANSPRUCHTE DISSIPATIVE BAUTEILE

(3) Im Falle von FUSEIS Trägersystemen sollte die folgende Gleichung erfüllt werden, um eine wesentliche Interaktion zwischen Schub- und Momenteneinwirkung zu vermeiden:

$$l_{RBS} > \frac{2 \cdot M_{pl,RBS,Rd}}{V_{b,pl,Rd}} = \frac{4 \cdot W_{pl,RBS}}{A_v / \sqrt{3}}$$
Gl. (6.1)

Mit:

 l_{RBS} = axialer Abstand zwischen den geschwächten Trägerquerschnitten (RBS)

 $M_{pl,RBS,Rd} = W_{pl,RBS} \cdot f_y$ ist der Bemessungsmomentenwiderstand des geschwächten Trägerquerschnitts (RBS), wobei $W_{pl,RBS}$ das korrespondierende plastische Querschnittswiderstandsmoment und f_v die Fließfestigkeit ist

V_{b,pl,Rd} = Bemessungsschubwiderstand des Trägerquerschnitts

A_v = Schubfläche des Trägerquerschnitts

Bericht mit normativen Bemessungsleitfäden für 9 innovative Erdbebenvorrichtungen 13	
FUSEIS TRÄGERVERBINDER	

4.4 ERGÄNZUNGEN ZU ABS. 6.12 (NEU) REGELN FÜR DIE AUSLEGUNG UND BAULICHE DRUCHBILDUNG VON RAHMEN MIT FUSEIS TRÄGERVERBIN-DERN

6.12.1 Berechnung



Abb. 4.3: Numerische Modellierung des FUSEIS Trägerverbinders

FUSEIS Trägerverbindersysteme müssen mittels geeigneter Balken-Stützen-FE-Elemente dargestellt werden. Die Nettolänge des Trägers sollte in 5 Bereiche unterteilt werden, wie es in Abb. 1.3 gezeigt ist. Diese Bereiche sollen die vollen sowie die geschwächten Trägerquerschnitte (englisch: reduced beam section, RBS) wiedergeben. Die Geschossträger-Stützenverbindungen werden wie die Stützenfußpunkte starr, halbstarr oder gelenkig gemäß der Anschlussdetaillierung ausgebildet. Starre Bereiche werden von den Stützenachsen bis zu den Stützenaußenkanten vorgesehen, um nicht-existierende Trägerflexibilitäten auszuschließen.

6.12.2 Verifikation der dissipativen Elemente

Die dissipativen Elemente des Systems, d.h. Trägerverbinder, sollten verifiziert werden, um den Schnittkräften und -momenten standzuhalten, wie sie aus der Strukturberechnung bestimmt wurden. Trägerverbinder sollten unter Annahme der Fließgelenkbildung im geschwächten Trägerquerschnitt (RBS) geprüft werden.

(1) Die Momentenkapazität im geschwächten Trägerquerschnitt (RBS) sollte wie folgt verifiziert werden:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{pl,RBS,Rd}} \le 1,0$$
 Gl. (6.2)

mit:

 M_{Ed} = Bemessungsbiegemoment

 $M_{pl,RBS,Rd}$ = plastisches Widerstandsmoment des geschwächten Trägerquerschnitts (RBS)

Bericht mit normativen Bemessungsleitfäden für 9 innovative Erdbebenvorrichtungen 14
FUSEIS TRÄGERVERBINDER

(2) Der Schubwiderstand sollte in Übereinstimmung mit der folgenden Gleichung verifiziert werden:

$$\frac{V_{CD,Ed}}{V_{b,pl,Rd}} \le 1,0$$
 Gl. (6.3)

Mit:

$$V_{CD,Ed} = \frac{2 \cdot M_{pl,RBS,Rd}}{l_{RBS}}$$
GI. (6.4)

 $V_{CD,Ed}$ = Kapazitätsbemessungsschubkraft

 $V_{b,pl,Rd}$ = Bemessungsschubwiderstand des Trägerquerschnitts

Wenn 6.5.3 (3) erfüllt wird, ist die Erfüllung von Gleichung 6.3 ebenfalls gewährleistet.

(3) Das Widerstandsmoment am Trägerende sollte wie folgt verifiziert werden:

$$\frac{M_{CD,Ed}}{M_{b,pl,Rd}} \le 1,0$$
 GI. (6.5)

Mit:

 $M_{CD,Ed} = \frac{l_b}{l_{RRS}} \cdot M_{pl,RBS,Rd}$ = Kapazitätsbemessungsmoment, wobei gilt:

 l_b = Nettolänge des Trägers

 l_{RBS} = Achsabstand der geschwächten Trägerquerschnitte (RBS)

 $M_{b,pl,Rd}$ = Bemessungsmomentenwiderstand des geschwächten Trägerquerschnitts (RBS)

(4) Verifikationen des Biegedrillknickens für FUSEIS Trägerverbinder sind im Allgemeinen aufgrund ihrer geringen Länge nicht notwendig.

6.12.3 Verifikation der starken Stützen des FUSEIS Trägersystems

(1) Die FUSEIS Stützen sollten wie folgt verifiziert werden, um den Kapazitätsbemessungseinwirkungen standzuhalten:

$$N_{CD,ED} = N_{Ed,G} + 1,1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega \cdot N_{Ed,E}$$

$$M_{CD,ED} = M_{Ed,G} + 1,1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega \cdot M_{Ed,E}$$
Gl. (6.6)
Gl. (6.7)

$$V_{CD,ED} = V_{Ed,G} + 1,1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega \cdot V_{Ed,E}$$
GI. (6.8)

Mit:

 $N_{Ed,G}$, $V_{Ed,G}$, $M_{Ed,G}$ = jeweils Normalkräfte, Schubkräfte und Biegemomente in den Stützen infolge nichtseismischer Einwirkungen, die in der Kombination für die Erdbeben-Bemessungssituation enthalten sind



 $N_{Ed,E}$, $V_{Ed,E}$, $M_{Ed,E}$ = Normalkräfte, Schubkräfte und Biegemomente in den Stützen infolge seismischer Bemessungseinwirkungen

 $\Omega = \min \Omega_i = \min \{ M_{pl,RBS,Rd,i} / M_{Ed,i} \}$ = Minimalwert der relevanten Verhältnisse für alle FUSEIS Trägerverbinder in einer Gebäuderichtung

6.12.4 Verifikation der Anschlüsse

Die Anschlüsse zwischen FUSEIS Trägerverbindern und Stützen sollten mit den folgenden Kapazitätsbemessungseinwirkungen verifiziert werden:

(1) Wenn geschwächte Trägerquerschnitte verwendet werden, sollte das Kapazitätsbemessungsmoment wie folgt bestimmt werden:

$$M_{CD,con,Ed} = max\{M_1, M_2\}$$
 GI. (6.9)

Mit

$$M_1 = 1, 1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \frac{l_b}{l_{RBS}} \cdot M_{pl, RBS, Rd}$$
GI. (6.10)

$$M_2 = 1,1 \cdot \gamma_{ov} \cdot M_{u,b}$$
GI. (6.11)

Mit

$$M_{u,b} = W_{pl,b} \cdot f_u \tag{6.12}$$

 $\gamma_{ov} = f_{y,act}/f_y$ wenn die tatsächliche Fließgrenze des Trägers bekannt ist, andernfalls $\gamma_{ov} = 1,25$

 l_b = Nettolänge des Trägers

 l_{RBS} = Achsabstand der geschwächten Trägerquerschnitte (RBS)

 $f_{y,act}$ = tatsächliche Fließgrenze des Trägers

 f_u = maximale Festigkeit des Trägers

 $W_{pl,b}$ = plastisches Widerstandsmoment des Trägerquerschnitts am Trägerende

Die Bemessungsschubkraft der Verbindung kann wie folgt berechnet werden:

$$V_{CD,con,Ed} = 1,1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \frac{2 \cdot M_{pl,RBS,Rd}}{l_{RBS}}$$
Gl. (6.13)

(2) Wenn keine geschwächten Trägerquerschnitte (RBS) verwendet werden und der Anschlussbereich alternativ mittels zusätzlicher Platten verstärkt wird (Abb. 1.4), sollte der verstärkte Bereich sowie der Anschluss ein Kapazitätsbemessungsmoment aufweisen von:

$$M_{CD,con,Ed} = \frac{l_b}{l_{net}} \cdot M_{u,b}$$
GI. (6.14)

Mit

 l_b = Nettolänge des Trägers

 l_{net} = Nettolänge des nicht verstärkten Trägers

$$M_{u,b} = W_{pl,b} \cdot f_u$$

Die Bemessungsschubkraft der Verbindung kann wie folgt berechnet werden:

$$V_{con,CD} = \frac{2 \cdot M_{CD,con,Ed}}{l_b}$$
GI. (6.15)



Abb. 4.4: Plastische Gelenke bei geschwächten Trägerquerschnitten (RBS) und Endverstärkung der Träger

6.12.5 Fließgelenkmodellierung für nichtlineare statische (Pushover) Berechnungen

Für die dissipativen Elemente, bei welchen es sich um die geschwächten Trägerquerschnitte (RBS) handelt, können die nichtlinearen Gelenkeigenschaften in Abb. 1.5 in Übereinstimmung mit einem multi-linearen plastischen kinematischen Modell verwendet werden.

FLIEßGELENKEIGENSCHAFTEN (α _{pi} = Formbeiwert)							$\Lambda_{\rm pl}$	t	•
	IF	PE	Sł	IS	C	HS	4/h		С
Punkt	M/M _{pl}	Φ/Φ_{pl}	M/M _{pl}	Φ/Φ_{pl}	M/M _{pl}	Φ/Φ_{pl}		В	
Α	0	0	0	0	0	0			
±Β	±1	0	±0.6	0	±1	0			DE
±C	$\pm \alpha_{\text{pl}}$	±40	$\pm \alpha_{pl}$	±25	$\pm \alpha_{\text{pl}}$	±25		Δ	
±D	±0.6	±40	±0.4	±25	±0.2	±25	.	11	
±Ε	±0.6	±45	±0.4	±30	±0.2	±30			$\theta/\theta_{\rm pl}$

Abb. 1.5: Nichtlineare Gelenkeigenschaften für IPE-, SHS- und CHS-Profile, welche für das multi-lineare Modell verwendet werden können

Während nichtlinearer Simulationen kann das Verhalten durch Überprüfung der in Abb. 1.6 gegebenen Akzeptanzkriterien beurteilt werden. Es werden drei verschiedene Leistungsniveaus klassifiziert: Schadensbegrenzung (DL – Damage Limitation), Signifikanter Schaden (SD – Signifcant Damage) und Nahe Versagen (NC – Near Collapse). Leistungsniveaus werden durch Rotationsverhältnisse für IPE-, SHS- und CHS-Profile definiert.

AKZEPTANZKRITERIEN (Φ/Φ _{pl})							
IPE SHS CHS							
DL	15	5	6				
SD	25	12	10				
NC	35	18	16				



Abb. 1.6: Definition der Grenzzustände für Fließgelenke in FUSEIS Trägerverbindern

5 FUSEIS Bolzenverbinder

5.1 ERGÄNZUNGEN ZU ABS. 6.3.1 TRAGWERKSTYPEN

h) <u>Rahmen mit FUSEIS Bolzenverbindern</u> sind solche, in welchen den horizontalen Kräften hauptsächlich durch eine Reihe an Bolzenverbindern widerstanden wird, welche biegesteif mit starken Stützen verbunden sind (Abb. 3.1). Jeder Bolzenverbinder besteht aus zwei Aufnahmeträgern, welche mittels eines kurzen Stahlbolzens (Abb. 2a) verbunden sind. Alternativ werden die Aufnahmeträger ausgelassen, wobei die Bolzen an ihren Enden mit Gewinden in verschiedene Richtungen (eins linksdrehend, eins rechtsdrehend) ausgestattet und unmittelbar an die Kopfplatten geschraubt werden, welche mit den Stützenflanschen verbunden sind (Abb. 2b). Die Anschlüsse zwischen den Geschossträgern und den Stützen können gelenkig oder halbstarr ausgeführt werden.

(6) In Rahmen mit FUSEIS Bolzenverbindern befinden sich die dissipativen Zonen im mittleren Abschnitt der Bolzen, wo der Bolzenquerschnitt geschwächt ist, sodass Energie mittels zyklischer Biegung der Bolzen dissipiert wird. Die Auslegungskriterien für dissipative Tragwerke, welche in Abs. 6.5.2 aufgeführt werden, gelten für die Bolzen.



FUSEIS Bolzenverbindersystem

Abb. 5.1: FUSEIS Bolzenverbindersystem in einem Gebäude

Bericht mit normativen Bemessungsleitfäden für 9 innovative Erdbebenvorrichtungen | 19 FUSEIS BOLZENVERBINDER Voller Voller Voller Geschwächter Voller Geschwächter Teil Bolzen-Teil Bolzen-Bolzen-Bolzenquerschnitt querschnitt querschnitt querschnitt Aufnahmeträger pin.w I_{pin,w}

Abb. 5.2: FUSEIS Bolzenverbinder a) mit Aufnahmeträger, b) ohne Aufnahmeträger

5.2 ERGÄNZUNGEN ZU ABS. 6.3.2, TABELLE 6.2 VERHALTENSBEIWERTE

Tabelle 6.2: Höchstbeträge für Referenzwerte der Verhaltensbeiwerte für im Aufriss regelmä-ßige Tragwerke

TDACWEDKSTVD	Duktilitätsklasse	
TRAGWERROTTF	DCM	DCH
FUSEIS Bolzenverbinder	2,5	3,0
Bedingung	$I_{pin,w} < 6 \cdot M_{pl,pin} / V_{pl,pin}$	$I_{pin,w} \geq 6 \cdot M_{pl,pin} / V_{pl,pin}$

Kopfplatte

mit:

Ipin,w ist die Länge des geschwächten Abschnitts des Bolzens

$$M_{pl,pin} = W_{pl,pin} \cdot f_{y}$$

Kopfplatte

 $M_{pl,pin}$ ist das plastische Biegemoment des geschwächten Bolzenquerschnitts $W_{pl,pin}$ ist das plastische Widerstandsmoment des Querschnitts des geschwächten Abschnitts des Bolzens

 f_{γ} ist die Fließspannung des Bolzens

$$V_{pl,pin} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3}}$$
 und A_v ist die Fläche des geschwächten Abschnitts des Bolzens

 $V_{pl,pin}$ ist der plastische Schubwiderstand des geschwächten Querschnitts des Bolzens

Av ist die Schubfläche des geschwächten Teils des Bolzens

5.3 ERGÄNZUNGEN ZU ABS. 6.5.3, AUSLEGUNGSREGELN FÜR AUF DRUCK ODER BIEGUNG BEANSPRUCHTE DISSIPATIVE BAUTEILE

(3) Die Länge des geschwächten Teils der Bolzen sollte folgende Gleichung erfüllen:

Ber	icht mit normativen Bemessungsleitfäden für 9 innovative Erdbebenvorrichtungen 20
	FUSEIS BOLZENVERBINDER

 $I_{pin,w} \geq 4 \cdot M_{pl,pin} / V_{pl,pin}$

Gl. (5.1)

um die Entwicklung eines Biegemechanismus für den Bolzen zu gewährleisten.

5.4 ERGÄNZUNGEN ZU ABS. 6.12 (NEU) REGELN FÜR DIE AUSLEGUNG UND BAULICHE DRUCHBILDUNG VON RAHMEN MIT FUSEIS BOLZENVERBIN-DERN

6.12.1 Berechnung

Bolzenverbinder können durch Balkenelemente modelliert werden, welche in drei Teile mit verschiedenen Querschnitten wie folgt unterteilt sind.

- Verbinder mit Aufnahmeträgern Die Querschnitte der Aufnahmeträger an beiden Enden und der geschwächte Bolzen in der Mitte.
- Verbinder ohne Aufnahmeträger Der volle Bolzenquerschnitt an beiden Enden und der geschwächte Abschnitt in der Mitte.

Die Anschlüsse zwischen den Aufnahmeträgern und den Systemstützen werden als starr simuliert. Von den Stützenachsen bis zu den Stützenaußenkanten sollten starre Zonen vorgesehen werden, um die lichte Länge in der Berechnung zu berücksichtigen und somit nicht-existierende Trägerflexibilitäten auszuschließen.

Anschlüsse zwischen Geschossträgern und Systemstützen werden gelenkig ausgebildet. Dessen ungeachtet entwickelt sich für Verbundtragwerke aufgrund des Vorhandenseins einer Deckenbewehrung ein gewisser Grad an Halbstarrheit. Die Stützenfüße können sowohl gelenkig als auch eingespannt ausgeführt werden.

6.12.2 Bolzenverbinder

Bolzenverbinder werden unter Annahme einer Fließgelenkbildung an den Enden ihres geschwächten Querschnitts verifiziert. Das in der seismischen Bemessungssituation am meisten belastete Ende sollte wie folgt verifiziert werden:

$\frac{M_{Ed}}{M_{pl,pin,Rd}} \le 1$	Gl. (5.2)
$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,pin,Rd}} \le 1$	Gl. (5.3)

Bericht mit normativen Bemessungsleitfäden für 9 innovative Erdbebenvorrichtungen 21
FUSEIS BOLZENVERBINDER

mit:

M_{Ed} ist das Bemessungsbiegemoment

N_{Ed} ist die Bemessungsnormalkraft

 $M_{pl,pin,Rd}$ ist der plastische Bemessungsmomentenwiderstand des geschwächten Bolzenquerschnitts

*N*_{*pl,pin,Rd*} ist der Bemessungsnormalkraftwiderstand des geschwächten Bolzenquerschnitts.

Bolzensehnendrehwinkel innerhalb der geschwächten Länge sollten gemäß der folgenden Bedingung begrenzt werden:

$$\theta_{gl}$$
 θ_{pin} θ_{pi

 $\theta_{\text{pin}} \leq \theta_{\text{pin}}$ = 0.14 radians

Abb. 5.3: Bolzensehnendrehwinkel

Die Überfestigkeit eines Bolzenverbinders wird durch den folgenden Ausdruck definiert:

$$\Omega = \frac{M_{pl,pin,Rd}}{M_{Ed}}$$
Gl. (5.5)

Die Wahl der Bolzenabmessungen sollte derart gewählt werden, dass sich der Wert von Ω nahe 1 ergibt.

Gl. (5.4)

Bericht mit normativen Bemessungsleitfäden für 9 innovative Erdbebenvorrichtungen 22
 FUSEIS BOLZENVERBINDER

Um ein globales dissipatives Verhalten des Rahmens zu erzielen, sollte überprüft werden, dass die Maximalverhältnisse Ω über das gesamte Tragwerk um nicht mehr als 25 % vom Minimalwert Ω abweichen.

$$\frac{max\Omega}{min\Omega} \le 1.25$$
 GI. (5.6)

6.12.3 Mit Bolzenverbindern verbundene Stützen, Aufnahmeträger und Anschlüsse an Stützen

Mit Bolzenverbindern verbundene Systemstützen und Aufnahmeträger sollten verifiziert werden, um den Auswirkungen der Kapazitätsbemessungseinwirkungen wie folgt standzuhalten:

$$\begin{split} N_{CD,Ed} &= N_{Ed,G} + 1.1 \cdot \alpha \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega \cdot N_{Ed,E} & \text{GI. (5.7)} \\ M_{CD,Ed} &= M_{Ed,G} + 1.1 \cdot \alpha \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega \cdot M_{Ed,E} & \text{GI. (5.8)} \\ V_{CD,Ed} &= V_{Ed,G} + 1.1 \cdot \alpha \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega \cdot V_{Ed,E} & \text{GI. (5.9)} \end{split}$$

mit:

 $N_{Ed,G}$ ($V_{Ed,G}$, $M_{Ed,G}$) sind die Normalkräfte (analog Schubkräfte und Biegemomente) infolge nichtseismischer Einwirkungen, die in der Kombination für die Erdbeben-Bemessungssituation enthalten sind,

 $N_{Ed,E}$ ($V_{Ed,E}$, $M_{Ed,E}$) sind die Normalkräfte (analog Schubkräfte und Biegemomente) infolge seismischer Bemessungseinwirkungen,

$$\Omega = \min \Omega_i = \min \left\{ \frac{M_{pl,pin,Rd,i}}{M_{Ed,i}} \right\}$$
 ist der minimale Überfestigkeitsbeiwert für alle Bolzen

im Gebäude, siehe (5),

 γ_{ov} =1,25 ist der Materialüberfestigkeitsbeiwert und

 α =1,5 ist ein zusätzlicher Überfestigkeitsbeiwert des Systems.

Der gesamte Vergrößerungsfaktor der seismischen Kräfte oder Momente darf nicht den Wert des Verhaltensbeiwertes q übersteigen, welcher in der Berechnung verwendet wird. Die tatsächliche Fließspannung des Stahls sollte so nah wie möglich an deren Nennwert liegen, um eine wirtschaftliche Bemessung zu erzielen.

6.12.4 Volle Querschnitte der Bolzenverbinder

Der Momentenwiderstand der vollen Querschnitte der Bolzenverbinder sollte an deren Kontaktfläche mit den Kopfblechen der Aufnahmeträger in Übereinstimmung mit der folgenden Gleichung verifiziert werden:

$$\frac{M_{CD,Ed}}{M_{pl,Rd}} \le 1$$
GI. (5.10)

mit:

$$M_{Cd,Ed} = \frac{I_{pin}}{I_{pin,w}} \cdot M_{pl,pin,Rd}$$
GI. (5.11)

*I*_{pin} ist die Länge zwischen den Kopfplatten der Aufnahmeträger oder den Endplatten des Bolzens

 $I_{pin,w}$ ist die Länge des geschwächten Abschnitts der Bolzen und $M_{pl,Rd}$ ist der plastische Bemessungsmomentenwiderstand des vollen Bolzenquerschnitts.

6.12.5 Anschlüsse der Bolzenverbinder

Zwischen den Systemstützen und den Kopfplatten sollten Schraubenverbindungen der Kategorien B und C mit hochfesten Schrauben der Festigkeitsklassen 8.8 oder 10.9 eingesetzt werden. Die Anschlüsse sollten eine hinreichende Überfestigkeit besitzen, um zu gewährleisten, dass sie nicht versagen, wenn sich in den Bolzen Fließgelenke bilden. Sie sollten für das Kapazitätsbemessungsmoment sowie die -schubkraft bemessen werden, welche mit Gleichungen (12) und (13) bestimmt werden:

$$M_{Cd,con,Ed} = 1.1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \frac{I_{pin}}{I_{pin,w}} \cdot M_{pl,pin,Rd}$$
GI. (5.12)

$$V_{Cd,con,Ed} = 1.1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \frac{2 \cdot M_{pl,pin,Rd}}{I_{pin,w}}$$
GI. (5.13)

6.12.6 Bolzenmodellierung für nichtlineare statische (Pushover) Berechnungen

Das für elastische Berechnungen verwendete Strukturmodell muss erweitert werden, um die Reaktion der Bauelemente über den elastischen Zustand hinaus zu

Bericht mit normativen Bemessungsleitfäden für 9 innovative Erdbebenvorrichtungen 2	4
FUSEIS BOLZENVERBINDE	R

erfassen sowie erwartete plastische Mechanismen und die Schadensverteilung abzuschätzen. Die plastischen Gelenkeigenschaften der Bolzenverbinder werden an den Enden ihrer geschwächten Abschnitte eingeführt und sind in Abb. 3 dargestellt, während die Werte der Parameter in Tabelle 1 gegeben sind, wobei M die Momente und θ die Sehnendrehwinkel angegeben.



Abb. 5.4: Nichtlineare plastische Gelenkeigenschaften von Bolzenverbindern

Punkt	M/M pl,pin	θ/θ pl,pin
А	0	0
В	1	0
С	2	100
D	0,5	100
E	0,5	150

Tabelle 5.1: Werte der charakteristischen Punkte der Bolzenverbinder

Tabelle 5.2 gibt die plastischen Rotationskapazitäten der Bolzenverbinder in drei betrachteten Grenzzuständen an, welche in Abb. 4 gekennzeichnet sind.



Abb. 5.5: Grenzzustände für Bolzenverbinder

Grenz-	DL	SD	NC
zustand	(Schadensbegrenzung)	(Signifikanter Schaden)	(Nahe Versagen)
$\theta/\theta_{pl,pin}$	30	45	60

Tabelle 5.2: Plastische Verdrehungskapazitäten von Bolzenverbindern

6.12.7 Bolzenmodellierung für nichtlineare dynamische Berechnungen

• Modellierung

In nichtlinearen dynamischen Berechnungen werden die Bolzen durch multi-lineare plastische Federelemente dargestellt, welche an den Enden des geschwächten Abschnitts des Bolzens angesetzt werden. Das Verhalten der nichtlinearen Feder wird lediglich für den Verdrehfreiheitsgrad entlang der Hauptträgheitsachse definiert, während die verbleibenden Freiheitsgrade linear modelliert werden. Die angesetzten nichtlinearen Eigenschaften bestehen aus einer Momenten-Verdrehungs-Beziehung mit positiven sowie negativen Momentenkapazitäten gleich der plastischen Momentenkapazität sowie der Anfangssteifigkeit des Bolzens unter positiver sowie negativer Momentenbelastung (Tabelle 3). Der Hysteresetyp sollte demjenigen entsprechen, welcher durch das multi-lineare plastische kinematische Modell vorgegeben wird (Abb. 5).

Punkt	Moment	Verdrehung
1	-2 M _{pl,pin}	-100 θ _{pl,pin}
2	-1 Mpl,pin	-20 $\theta_{\text{pl,pin}}$
3	0	0
4	1 Mpl,pin	20 θ _{pl,pin}
5	2 Mpl,pin	100 θ _{pl,pin}

Tabelle 5.3: Multi-lineare Kraft-Verformungsdefinition



Abb. 5.6: Grenzzustände für das multi-lineare plastische kinematische Modell des Bolzenverbinders

Der verbleibende Teil wird wie folgt modelliert:

Bericht mit normativen Bemessungsleitfäden für 9 innovative Erdbebenvorrichtungen 26	5
FUSEIS BOLZENVERBINDER	ł

- Verbinder mit Aufnahmeträgern
 Der Mittelteil des Bolzens und die Aufnahmeträger werden als Balkenelemente mit den entsprechenden Querschnitten eingeführt (Abb. 6a).
- Verbinder ohne Aufnahmeträger Der Mittelteil des Bolzens wird mittels eines Balkenelements mit dem Querschnitt des geschwächten Bolzenabschnitts dargestellt, während die Endbereiche des Bolzens durch Balkenelemente mit vollem Bolzenquerschnitt wiedergegeben werden (Abb. 6b).



Abb. 5.7: Darstellung der Bolzenverbinder a) mit und b) ohne Aufnahmeträger

Kurzzeitermüdungsverifikationen

Wenn eine nichtlineare zyklische Berechnung durchgeführt wird, muss die Bolzenschädigung infolge Kurzzeitermüdung untersucht werden. Für die Bolzen gelten folgenden Schadenskurven:

mit:

 $\Delta \theta$ ist der Sehnendrehwinkelbereich und

N ist die entsprechende Anzahl an Zyklen bis zum Versagen

Der Schadensindex D kann durch das Schadensakkumulationsgesetz nach Palmgren-Miner wie folgt bestimmt werden:

$$D = \frac{n_1}{N_1} + \frac{n_2}{N_2} + \dots + \frac{n_i}{N_i} \le 1$$
 GI. (5.15)

mit:

 n_i ist die Anzahl an durchgeführten Zyklen in gleichem Spannungsbereich S_i ,

 N_{fi} ist die Anzahl an Zyklen, nach welcher im Fall konstanter Amplituden Versagen auftritt, und

i ist die Gesamtzahl an Zyklen konstanter Amplitude.

Das Histogramm der Verformungsgrade kann durch Anwendung der Reservoir-Methode bestimmt werden. Bericht mit normativen Bemessungsleitfäden für 9 innovative Erdbebenvorrichtungen | 27 FUSEIS GESCHRAUBTE TRÄGERSTÖßE

6 FUSEIS GESCHRAUBTE TRÄGERSTÖßE

6.1 BEMESSUNGSLEITFÄDEN ZUR AUFNAHME IN KAPITEL 7 IN EN1998-1-1

7.1 Allgemeines

7.1.2 Bemessungsverfahren

(5)P Am Satzende ist Folgendes hinzuzufügen: "Für biegesteife Verbundrahmen mit dissipativen Trägerstößen siehe 7.8.5".

7.3 Tragwerkstypen und Verhaltensbeiwerte

7.3.1 Tragwerkstypen

g) <u>Biegesteife Verbundrahmen mit dissipativen Trägerstößen</u>: Tragwerke mit der gleichen Definition und den gleichen Einschränkungen wie in 7.3.1(1)a angegeben, jedoch mit Trägerstößen als dissipative Verbindungen. Im dissipativen Trägerstoß werden die unterbrochenen Stahl-Beton-Verbundträger durch Stahlbleche ersetzt, welche jeweils den Steg sowie den unteren Flansch des unterbrochenen Trägers verbinden. Die Stahlbleche können an den Träger geschraubt oder geschweißt werden. Der Teil des Trägers nahe der Unterbrechung wird mit zusätzlichen Stahlbleche können an den Steg als auch an den Flansch geschweißt werden. Auch die Stütze wird dem Träger-Stützenanschluss entsprechend verstärkt. Der Spalt in der Betondecke direkt über dem dissipativen Bereich soll einen größere Verdrehungen ermöglicht werden, sodass sowohl eine Beschädigung des Betons als auch des Estrichs vermieden wird. Die Anordnung der Vorrichtung an einer typischen Träger-Stützenverbindung ist nachfolgend dargestellt.



Abb. 7.1: FUSEIS Trägerstöße mit a) geschraubten Deckblechen, b) geschweißten Deckblechen

Bericht mit normativen Bemessungsleitfäden für 9 innovative Erdbebenvorrichtungen	28
FUSEIS GESCHRAUBTE TRÄGERST	ÖßE

7.3.2 Verhaltensbeiwert

Tabelle 7.2: Höchstbeträge für Referenzwerte der Verhaltensbeiwerte für im Aufriss regelmäßige Tragwerke

	Duktilitätsklasse		
TRAGWERRSTTF	DCM	DCH	
 g) Biegesteife Verbundrahmen mit dissipativen Trägerstößen 	3,0	4,0	

7.8 Regeln für die Auslegung und bauliche Durchbildung von biegesteifen Rahmen mit dissipativen Trägerstößen

7.8.1 Besondere Kriterien

(1)P 6.6.1(1)P wird angewendet, jedoch mit sich an den Trägerstößen bildenden Fließgelenken. Die Konzentration des inelastischen Verhaltens in den dissipativen Trägerstößen soll das Ausweiten des Schadens auf die Träger und Stützen verhindern. Um zu gewährleisten, dass die nicht austauschbaren Teile unbeschädigt bleiben, sollten sie derart bemessen werden, dass sie im elastischen Bereich verbleiben, wenn der Trägerstoß seine Widerstandskapazität erreicht.

- (2)P 7.7.1(2)P wird angewendet.
- (3) Bezüglich der Lage der dissipativen Bereiche wird 7.5.2(5)P angewendet.

(4) Die erforderliche Ausbildung zur Fließgelenkbildung sollte den in 4.4.2.3, 7.8.3, 7.8.4, 7.8.5 beschriebenen Regeln folgend ermittelt werden.

7.8.2 Berechnung

(1)P 7.7.2(1)P wird angewendet.

- (2) 7.7.2(2) wird angewendet.
- (3) 7.7.2(4) wird angewendet.

7.8.3 Regeln für Träger, Stützen, Trägerstöße und Bewehrungsstahl

(1) 7.7.3(2)P wird angewendet.

(2) 6.6.2(2) wird angewendet, wobei $M_{pl,Rd}$, $N_{pl,Rd}$ und $V_{pl,Rd}$, durch $M_{FUSE,pl,Rd}$, $N_{FUSE,pl,Rd}$ und $V_{FUSE,pl,Rd}$ ersetzt werden, bei welchen es sich jeweils um den plastischen Momenten-, Normalkraft- bzw. Schubwiderstand des Trägerstoßes handelt.

Beric	ht mit normativen Bemessungsleitfäden für 9 innovative Erdbebenvorrichtungen 29
	FUSEIS GESCHRAUBTE TRÄGERSTÖßE

(3) 6.6.3(1)P wird für die Stützen angewendet, aber mit einem Überfestigkeitsbeiwert gleich dem Minimalwert von $\Omega = M_{FUSE,pl,Rd,i}/M_{Ed,i}$; wobei $M_{FUSE,pl,Rd,i}$ das plastische Moment des Trägerstoßes in Träger *i* ist.

(4) Die verstärkten Trägerquerschnitte und deren erforderliche Länge werden derart bemessen, dass der bestehende Verbundträgerbereich unmittelbar nach dem Ende der Verstärkung sowie der Abschnitt des Träger-Stützenanschlusses elastisch bleiben. Aus diesem Grund wird für die Bestimmung der einwirkenden Kräfte 6.6.3(1)P angewendet. Bezüglich der Tragsicherheitsnachweise der genannten Querschnitte sollte der elastische Widerstand betrachtet werden.

(5) Um sprödes Versagen der Schweißnähte oder der Schrauben zu vermeiden, welche die dissipativen Deckbleche mit dem Träger verbinden, sollten diese so bemessen werden, dass gewährleistet ist, dass die durch die dissipativen Elemente entwickelten Maximalspannungen zuverlässig in den Träger übertragen werden.

(6) 7.7.3(6) bis (9) werden angewendet.

(7) Um ein globales dissipatives Verhalten des Tragwerks zu gewährleisten, sollte nachgewiesen werden, dass die Maximalverhältnisse Ω über das gesamte Tragwerk um nicht mehr als 25 % vom Minimalwert Ω abweichen.

 $\frac{max\Omega}{min\Omega} \le 1.25$

Gl. (7.1)

7.8.4 Träger-Stützenanschluss

(1) 6.6.4 wird angewendet, wobei der Trägerstoß als der Anschluss betrachtet wird.

7.8.5 Bedingung zur Vernachlässigung der Verbundeigenschaft der Träger mit der Decke

(1) Da die dissipativen Trägerstöße allein aus dissipativen Elementen aus Stahl bestehen (Unterbrechung der Betondecke und durchgehende Bewehrung, welche als nicht-dissipativ bemessen wird), kann Prinzip c) für 7.5.2(2)P betrachtet werden.

(2) Diesbezüglich sollte zur Validierung der in 7.8.5(1) getroffenen Annahme die Bewehrung derart bemessen werden, dass sie im elastischen Bereich bleibt.

7.8.6 Modellierung des Trägerstoßes für nichtlineare statische und dynamische Berechnungen

(1) Das multi-lineare plastische Federmodell kann als Referenzmodell für das elastisch-plastische Verhalten der dissipativen Verbindungen verwendet werden. Das
Bericht mit normativen Bemessungsleitfäden für 9 innovative Erdbebenvorrichtungen 30
 FUSEIS GESCHRAUBTE TRÄGERSTÖßE

Verhalten der nichtlinearen Feder wird lediglich für den Verdrehfreiheitsgrad hinsichtlich der Hauptträgheitsachse festgelegt, während die verbleibenden Freiheitsgrade linear modelliert werden. Der Hysteresetyp sollte dem durch das multi-lineare plastische Drehmodell (Dowell, Seible and Wilson, 1998) vorgegebenen entsprechen.



Abb. 7.2: Multilineares plastisches Drehmodell

(2) Die Momenten-Verdrehungsbeziehung des Trägerstoßes, welche in den nichtlinearen Berechnungen angenommen wird, sollte die Asymmetrie des Verhaltens unter positiver und negativer Biegemomentenbelastung sowie das Auftreten der Versagensmechanismen aufgrund von Knicken angemessen berücksichtigen. In der folgenden Abbildung ist das schematische Verhalten der dissipativen Verbindung dargestellt.



Abb. 7.3: Schematische multi-lineare Modellierung

Anmerkung: Die Abschnitte 7.8; 7.9; 7.10; 7.11 und 7.12 der EN 1998-1:2004 werden jeweils als die Abschnitte 7.9; 7.10; 7.11; 7.12 beziehungsweise 7.13 betrachtet.

6.2 GRUNDSÄTZE: BEMESSUNGSVERFAHREN ZUR UNTERSTÜTZUNG DER LEITFÄDEN ZUR AUFNAHME IN EN1998-1-1

1) Mit dem Ziel der Vermeidung einer übermäßigen Überfestigkeit sollte das Stahlmaterial der dissipativen Elemente kontrollierte Eigenschaften besitzen. Gemäß *EN1998-1-1* sollte deren Fließgrenze einen Maximalwert haben von:

$$f_{v,\max} \leq 1.1 \cdot \gamma_{ov} \cdot f_{v}$$

Gl. (2.1)

wobei $\gamma_{ov} = 1,25$ der Überfestigkeitsbeiwert und f_y der Nennwert der Fließgrenze sind.

В	ericht mit normativen Bemessungsleitfäden für 9 innovative Erdbebenvorrichtungen 31
	FUSEIS GESCHRAUBTE TRÄGERSTÖßE

2) Der Spalt in der Decke unmittelbar über dem Trägerstoß soll eine größere Beschädigung des Betons vermeiden, wobei den dissipativen Elementen größere Verformungen ermöglicht werden, ohne dass es zu Kontakt der Enden der Betondecke kommt. Die Spaltbreite im Stahlbetonteil an dem dissipativen Element kann von derjenigen in den Stahlteilen des dissipativen Elements abweichen. Die empfohlenen Werte für die Spaltbreite in der Stahlbeton- (Decke) sowie den Stahlteilen entspricht jeweils 10 % der Deckenhöhe beziehungsweise 10 % der Gesamthöhe des Verbundquerschnittes.

3) Die Bemessung des Trägerstoßes und der Bewehrung erfolgt derart, dass die Bewehrung im elastischen Bereich verbleibt. Es wird empfohlen, dass die Fläche der oberen Bewehrungslage doppelt so groß ist, wie die Flanschblechfläche des dissipativen Elements.

4) Der Widerstand der Verstärkungsbleche im Bereich des Trägerstoßes sowie der minimale Abstand von dem Träger-Stützenanschluss sollten so gewählt werden, dass der Bereich des Träger-Stützenanschlusses und der bestehende Verbundträgerquerschnitt elastisch bleiben (Abb. 2.1).



Abb. 2.1: Schematische Darstellung der geschweißten FUSEIS Trägerstöße

5) Die geschweißten oder geschraubten FUSEIS Trägerstöße sollten die folgenden Widerstandsnachweise erfüllen:

Als erstes sollte verifiziert werden, dass das volle plastische Widerstandsmoment sowie der Schubwiderstand nicht durch Druckkräfte abgemindert werden.

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,fuse,Rd}} \le 0.15$$
 GI. (2.2)

Ber	icht mit normativen Bemessungsleitfäden für 9 innovative Erdbebenvorrichtungen 32
	FUSEIS GESCHRAUBTE TRÄGERSTÖßE

Der Schubwiderstand sollte mittels Kapazitätsbemessungskriterien verifiziert werden, unter Berücksichtigung, dass an beiden Enden der Träger biegesteifer Rahmen (MRF) gleichzeitig Fließgelenke gebildet werden. Es gilt die Annahme, dass der Schubwiderstand des Trägerstoßes einzig durch die Stegbleche erzeugt wird.

$$\frac{V_{CD,Ed}}{V_{pl,fuse,Rd}} \le 1.0$$
 Gl. (2.3)

wobei $V_{CD,Ed} = 2M_{max,fuse}/L_{fuses,ij}$ die Kapazitätsbemessungsschubkraft, $M_{max,fuse}$ das maximal durch die dissipativen Elemente erzeugte Moment, $L_{fuses,ij}$ der Abstand zwischen den dissipativen Elementen desselben Trägers und $V_{pl,fuse,Rd}$ der durch die Stegbleche erzeugte Widerstand ist.

$$\frac{M_{Ed}}{M_{\max,fuse}} \le \frac{1}{\Omega} \le 1.0$$
 GI. (2.4)

wobei M_{Ed} das Bemessungsmoment, $M_{max,fuse}$ das maximale Moment der dissipativen Elemente und Ω der Überfestigkeitsbeiwert ist.

6) Um ein globales dissipatives Verhalten des Tragwerks zu erreichen, sollte nachgewiesen werden, dass die maximalen Verhältniswerte Ω über das gesamte Tragwerk um nicht mehr als 25 % vom Minimalwert Ω abweichen.

$$\frac{\max\Omega}{\min\Omega} \le 1.25$$
 Gl. (2.5)

7) Die nicht-dissipativen Elemente (Stützen, Verbundträger) sollten für erhöhte Schnittgrößenwerte kapazitätsbemessen werden, verglichen mit denen aus den Berechnungen mit der ungünstigsten seismischen Einwirkungskombination, um zu gewährleisten, dass die dissipativen Elemente als erstes versagen. Für alle Elemente gelten die folgenden Kapazitätsbemessungseinwirkungen:

$$N_{CD,Ed} = N_{Ed,G} + 1.1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega \cdot N_{Ed,E}$$
GI. (2.6)

$$M_{CD,Ed} = M_{Ed,G} + 1.1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega \cdot M_{Ed,E}$$
GI. (2.7)

$$V_{CD,Ed} = V_{Ed,G} + 1.1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega \cdot V_{Ed,E}$$
GI. (2.8)

wobei $N_{Ed,G}$, $M_{Ed,G}$ und $V_{Ed,G}$ jeweils die Normalkräfte, Schubkräfte beziehungsweise Biegemomente infolge nichtseismischer Einwirkungen sind, die in der Kombination für die Erdbeben-Bemessungssituation enthalten sind. $N_{Ed,E}$, $M_{Ed,E}$ und $V_{Ed,E}$ sind jeweils die Normalkräfte, Schubkräfte und Biegemomente infolge seismischer Bemessungseinwirkungen. $\Omega = \min \Omega_i = \min \{M_{max,fuse,i}/M_{Ed,i}\}$ ist der minimale Überfestigkeitsbeiwert für alle dissipativen Verbindungen im Gebäude, siehe Gleichung (2.4). $\gamma_{ov} = 1,25$ ist der Materialüberfestigkeitsbeiwert, siehe Gleichung (2.1).

Bericht mit normativen Bemessungsleitfäden f	ür 9 innovative Erdbebenvorrichtungen 33
	FUSEIS GESCHWEIßTE TRÄGERSTÖßE

7 FUSEIS GESCHWEIßTE TRÄGERSTÖßE

7.1 BEMESSUNGLEITFÄDEN ZUR AUFNAHME IN KAPITEL 7 DER EN1998-1-1

7.1 Allgemeines

7.1.2 Bemessungsverfahren

(5)P Am Satzende ist Folgendes hinzuzufügen: "Für biegesteife Verbundrahmen mit dissipativen Trägerstößen siehe 7.8.5."

7.2 keine Änderungen

7.3 Tragwerkstypen und Verhaltensbeiwert

7.3.1 Tragwerkstypen

g) <u>Biegesteife Verbundrahmen mit dissipativen Trägerstößen</u>: Tragwerke mit der gleichen Definition und den gleichen Einschränkungen wie in 7.3.1(1)a angegeben, jedoch mit Trägerstößen als dissipative Verbindungen.

7.3.2 Verhaltensbeiwert

Maximaler Verhaltensbeiwert für g): 3 für DCM und 4 für DCH.

7.4 keine Änderungen

7.5 keine Änderungen

7.6 keine Änderungen

7.7 keine Änderungen

7.8 Regeln für die Auslegung und bauliche Durchbildung von biegesteifen Rahmen mit dissipativen Trägerstößen

7.8.1 Besondere Kriterien

(1)P 6.6.1(1)P wird angewendet, jedoch mit sich an den Trägerstößen bildenden Fließgelenken.

(2)P 7.7.1(2)P wird angewendet.

(3) Bezüglich der Lage der dissipativen Bereiche wird 7.5.2(4) oder 7.5.2(5) angewendet.

Bericht mit normativen Bemessungsleitfäden für 9 innovative Erdbebenvorrichtungen 34
FUSEIS GESCHWEIßTE TRÄGERSTÖßE

(4) Die erforderliche Ausbildung zur Fließgelenkbildung sollte den in 4.4.2.3, 7.8.3, 7.8.4, 7.8.5 beschriebenen Regeln folgend ermittelt werden.

7.8.2 Berechnung

(1)P 7.7.2(1)P wird angewendet.

(2) 7.7.2(2) wird angewendet.

(3) 7.7.2(4) wird angewendet.

7.8.3 Regeln für Träger, Stützen, Trägerstöße und Bewehrungsstahl

(1) 7.7.3(2)P wird angewendet.

(2) 6.6.2(2) wird angewendet, wobei $M_{pl,Rd}$, $N_{pl,Rd}$ und $V_{pl,Rd}$, durch $M_{FUSE,pl,Rd}$, $N_{FUSE,pl,Rd}$ und $V_{FUSE,pl,Rd}$ ersetzt werden, bei welchen es sich jeweils um den plastischen Momenten-, Normalkraft- bzw. Schubwiderstand des Trägerstoßes handelt.

(3) 6.6.3(1)P wird für die Stützen angewendet, aber mit einem Überfestigkeitsbeiwert gleich dem Minimalwert von $\Omega = M_{FUSE,pl,Rd,i}/M_{Ed,i}$; wobei $M_{FUSE,pl,Rd,i}$ das plastische Moment des Trägerstoßes in Träger *i* ist.

(4) Die verstärkten Trägerquerschnitte und deren erforderliche Länge werden derart bemessen, dass der bestehende Verbundträgerbereich unmittelbar nach dem Ende der Verstärkung sowie der Abschnitt des Träger-Stützenanschlusses elastisch bleiben. Aus diesem Grund wird für die Bestimmung der einwirkenden Kräfte 6.6.3(1)P angewendet. Bezüglich der Tragsicherheitsnachweise der genannten Querschnitte sollte der Fließwiderstand berücksichtigt werden.

(5) 7.7.3(6) bis (9) werden angewendet.

(6) Um ein globales dissipatives Verhalten des Tragwerks zu gewährleisten, sollte nachgewiesen werden, dass die Maximalverhältnisse Ω über das gesamte Tragwerk um nicht mehr als 25 % vom Minimalwert Ω abweichen.

 $\frac{\max\Omega}{\min\Omega} \le 1.25$ Gl. (1.1)

7.8.4 Träger-Stützenanschluss

(1) 6.6.4 wird angewendet, wobei der Trägerstoß als der Anschluss betrachtet wird.

Bericht mit normativen Bemessungsleitfäden für 9 innovative Erdbebenvorrichtungen 35
FUSEIS GESCHWEIßTE TRÄGERSTÖßE

7.8.5 Bedingung zur Vernachlässigung der Verbundeigenschaft der Träger mit der Decke

(1) Da die dissipativen Trägerstöße allein aus dissipativen Elementen aus Stahl bestehen (Unterbrechung der Betondecke und durchgehende Bewehrung, welche als nicht-dissipativ bemessen wird), kann Prinzip c) für 7.5.2(2)P betrachtet werden.

(2) Diesbezüglich sollte zur Validierung der in 7.8.5(1) getroffenen Annahme die Bewehrung derart bemessen werden, dass sie im elastischen Bereich bleibt.

Die alten Abschnitte 7.8; 7.9; 7.10; 7.11 und 7.12 werden jeweils als Abschnitte 7.9; 7.10; 7.11; 7.12 und 7.13 betrachtet.

7.2 GRUNDSÄTZE: BEMESSUNGSVERFAHREN ZUR UNTERSTÜTZUNG DER AUFNAHME DER LEITFÄDEN IN EN1998-1-1

1) Mit dem Ziel der Vermeidung einer übermäßigen Überfestigkeit sollte das Stahlmaterial der dissipativen Elemente kontrollierte Eigenschaften besitzen. Gemäß *EN1998-1-1* sollte dessen Fließgrenze einen Maximalwert haben von:

 $f_{y,\max} \le 1.1 \cdot \gamma_{ov} \cdot f_y$ GI. (2.1)

wobei $\gamma_{ov} = 1,25$ der Überfestigkeitsbeiwert und f_y der Nennwert der Fließgrenze sind.

2) Der Nennwert der Fließgrenze des Flansches der Sicherungselemente sollte gering sein und möglichst nicht 235 MPa übersteigen.

3) Der Spalt in der Decke unmittelbar über dem Trägerstoß soll eine größere Beschädigung des Betons vermeiden, wobei den dissipativen Elementen größere Verformungen ermöglicht werden, ohne dass es zu Kontakt der Enden der Betondecke kommt. Die Spaltbreite im Stahlbetonteil an dem dissipativen Element kann von derjenigen in den Stahlteilen des dissipativen Elements abweichen. Die empfohlenen Werte für die Spaltbreite in der Stahlbeton- (Decke) sowie den Stahlteilen entspricht jeweils 10 % der Deckenhöhe beziehungsweise 10 % der Gesamthöhe des Verbundquerschnittes.

4) Die Bemessung des Trägerstoßes und der Bewehrung erfolgt derart, dass die Bewehrung im elastischen Bereich verbleibt. Es wird empfohlen, dass die Fläche der oberen Bewehrungslage doppelt so groß ist, wie die Flanschblechfläche des dissipativen Elements.

5) Der Widerstand der Verstärkungsbleche im Bereich des Trägerstoßes sowie der minimale Abstand von dem Träger-Stützenanschluss sollten so gewählt werden, dass der Bereich des Träger-Stützenanschlusses und der bestehende Verbundträgerquerschnitt elastisch bleiben (Abb. 2.1).





Abb. 2.1: Schematische Darstellung der geschweißten FUSEIS Trägerstöße

6) Die geschweißten FUSEIS Trägerstöße sollten die folgenden Widerstandsnachweise erfüllen:

Als erstes sollte verifiziert werden, dass das volle plastische Widerstandsmoment sowie der Schubwiderstand nicht durch Druckkräfte abgemindert werden.

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,fuse,Rd}} \le 0.15$$
 GI. (2.2)

Der Schubwiderstand sollte mittels Kapazitätsbemessungskriterien verifiziert werden, unter Berücksichtigung, dass an beiden Enden der Träger biegesteifer Rahmen (MRF) gleichzeitig Fließgelenke gebildet werden. Es gilt die Annahme, dass der Schubwiderstand des Trägerstoßes einzig durch die Stegbleche erzeugt wird.

$$\frac{V_{CD,Ed}}{V_{pl,fuse,Rd}} \le 1.0$$
 GI. (2.3)

wobei $V_{CD,Ed} = 2M_{max,fuse}/L_{fuses,ij}$ die Kapazitätsbemessungsschubkraft, $M_{max,fuse}$ das maximal durch die dissipativen Elemente erzeugte Moment, $L_{fuses,ij}$ der Abstand zwischen den dissipativen Elementen desselben Trägers und $V_{pl,fuse,Rd}$ der durch die Stegbleche erzeugte Widerstand ist.

$$\frac{M_{Ed}}{M_{\max,fuse}} \le \frac{1}{\Omega} \le 1.0$$
 GI. (2.4)

Bericht mit normativen Bemessungsleitfäden für 9 innovative Erdbebenvorrichtungen	37
FUSEIS GESCHWEIßTE TRÄGERSTÖ	3E

wobei M_{Ed} das Bemessungsmoment, $M_{max,fuse}$ das maximale Moment der dissipativen Elemente und Ω der Überfestigkeitsbeiwert ist.

7) Um ein globales dissipatives Verhalten des Tragwerks zu erreichen, sollte nachgewiesen werden, dass die maximalen Verhältniswerte Ω über das gesamte Tragwerk um nicht meht als 25 % vom Minimalwert Ω abweichen.

 $\frac{\max\Omega}{\min\Omega} \le 1.25$ GI. (2.5)

8) Verdrehungen des Sicherungselements

9) Die nicht-dissipativen Elemente (Stützen, bestehende und bewehrte Verbundträger) sollten für erhöhte Schnittgrößenwerte kapazitätsbemessen werden, verglichen mit denen aus den Berechnungen mit der ungünstigsten seismischen Einwirkungskombination, um zu gewährleisten, dass die geschweißten FUSEIS als erstes versagen. Für alle Elemente gelten die folgenden Kapazitätsbemessungseinwirkungen:

$$N_{CD,Ed} = N_{Ed,G} + 1.1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega \cdot N_{Ed,E}$$
GI. (2.6)

$$M_{CD,Ed} = M_{Ed,G} + 1.1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega \cdot M_{Ed,E}$$
GI. (2.7)

$$V_{CD,Ed} = V_{Ed,G} + 1.1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega \cdot V_{Ed,E}$$
GI. (2.8)

wobei $N_{Ed,G}$, $M_{Ed,G}$ und $V_{Ed,G}$ jeweils die Normalkräfte, Schubkräfte beziehungsweise Biegemomente infolge nichtseismischer Einwirkungen sind, die in der Kombination für die Erdbeben-Bemessungssituation enthalten sind. $N_{Ed,E}$, $M_{Ed,E}$ und $V_{Ed,E}$ sind jeweils die Normalkräfte, Schubkräfte und Biegemomente infolge seismischer Bemessungseinwirkungen. $\Omega = \min \Omega_i = \min \{M_{max,fuse,i}/M_{Ed,i}\}$ ist der minimale Überfestigkeitsbeiwert für alle geschweißten FUSEIS im Gebäude, siehe Gleichung (2.4). $\gamma_{ov} = 1,25$ ist der Materialüberfestigkeitsbeiwert, siehe Gleichung (2.1).

Bericht mit normativen Bemessungsleitfäden für 9 innovative Erdbebenvorrichtungen 38
AUSTAUSCHBARE GESCHRAUBTE VERBINDER

8 AUSTAUSCHBARE GESCHRAUBTE VERBINDER

8.1 ERGÄNZUNGEN ZU 6.3.1 TRAGWERKSTYPEN

(6) h) <u>Austauschbare geschraubte Verbindersysteme</u> sind duale Rahmen, welche durch die Kombination von biegesteifen Rahmen mit durch exzentrische Verbände ausgesteiften Rahmen mit austauschbaren Verbindern erzeugt werden. Die Verbinder sind geschraubt angeschlossen, mit der Absicht mittels zyklischem Schub Energiedissipationskapazität zur Verfügung zu stellen und austauschbar zu sein. Die flexibleren biegesteifen Rahmen sollen währenddessen elastisch verbleiben, um die erforderliche Rückstellkraft aufzubringen, das Tragwerk nach Entfernen der beschädigten Verbinder rückzuzentrieren.



Abb. 6.10: Mögliche Anordnung der austauschbaren geschraubten Verbindersysteme

8.2 ERGÄNZUNGEN ZU 6.3.2 VERHALTENSBEIWERTE

Tabelle 6.2: Höchstbeträge für Referenzwerte der Verhaltensbeiwerte für im Aufriss regelmä-
ßige Tragwerke

TRAGWERKSTYP	Duktilitätsklasse	
	DCM	DCH
h) Austauschbare ver- schraubte Verbindersys- teme	2,5	4

8.3 ERGÄNZUNGEN ZU 6.8.1 AUSLEGUNGSKRITERIEN

(4)P Mit exzentrischen Verbänden ausgesteifte Rahmen mit austauschbaren Verbindern sollten derart bemessen werden, dass bestimmte Elemente oder Elementabschnitte, welche als seismische Verbinder bezeichnet werden, austauschbar (geschraubt) und durch die Bildung von plastischen Schubmechanismen in der Lage sind, Energie zu dissipieren (kurze Verbinder). Bericht mit normativen Bemessungsleitfäden für 9 innovative Erdbebenvorrichtungen | 39 AUSTAUSCHBARE GESCHRAUBTE VERBINDER

8.4 ERGÄNZUNGEN ZU 6.8.4 ANSCHLÜSSE VON SEISMISCHEN VERBINDERN

(4) Wenn seismische Verbinder so ausgelegt werden, entfernbar und austauschbar zu sein, sollten sie geschraubt werden. Die Kontaktflächen sollten Klasse B entsprechen (kugel- oder sandgestrahlt mit Zinkfarbe), wobei ein Reibungskoeffizient von mindestens 0,4 eingehalten werden sollte und Schrauben vorgespannt werden sollten.

(5) Es sollten bündige Kopfplattenanschlüsse zwischen Verbinder und Träger verwendet werden, wobei diese elastisch gehalten werden sollten. Aus diesem Grund sollte die Verbindung eine Bemessungsschubkraft $V_{j,Ed}$ und ein Bemessungsbiegemoment $M_{j,Ed}$ entsprechend einem voll fließenden und materialverfestigten Verbinder aufweisen:

$$V_{j,Ed} = \gamma_{sh} \cdot \gamma_{ov} \cdot V_{p,link}$$
 GI. (6.32)

$$M_{j,Ed} = \frac{V_{j,Ed}e}{2}$$
 GI. (6.33)

mit:

 γ_{sh} ist der Materialverfestigungsbeiwert.

ANMERKUNG 1 Der empfohlene Wert beträgt γ_{sh} = 1,8 für DCH und γ_{sh} = 1,5 für DCM.

(5) Um die Überfestigkeit der Verbindung zu erreichen, ist es möglicherweise notwendig, sehr kurze dissipative Elemente einzubauen (mit Länge e entsprechend $0.8M_{p,link}/V_{p,link}$).

(6) Die Flexibilität der geschraubten Verbindungen der Verbinder sollte in der globalen Berechnung berücksichtigt werden.

ANMERKUNG 1 Wenn ein bündiger Kopfplattenanschluss mit vorgespannten Schrauben verwendet wird, sollte dieser als unendlich starr betrachtet werden.

Bericht mit normativen Bemessungsleitfäden für 9 innovative Erdbebenvorrichtungen 40
AUSTAUSCHBARE GESCHRAUBTE VERBINDER

(7) Eine Abschätzung des seismischen Verhaltens der geschraubten Trägerverbinderanschlüsse unter zyklischer Belastung sollte durch experimentelle Belege unterstützt werden.

(8) Ein experimenteller Beleg kann auf existierenden Daten basieren. Andernfalls sollten Versuche durchgeführt werden.

8.5 ERGÄNZUNGEN ZU 6.10.2 BIEGESTEIFE RAHMEN, KOMBINIERT MIT DIA-GONALVERBÄNDEN

(6) In dualen Rahmen, welche durch Kombination von biegesteifen Rahmen mit ausgesteiften Rahmen gewonnen werden, sollte das schwächere, flexiblere Teilsystem (der biegesteife Rahmen) eine minimale Festigkeit des Tragwerks aufweisen. Daher sollte die Dualität des Tragwerks überprüft werden, indem verifiziert wird, dass die biegesteifen Rahmen in der Lage sind, mindestens 25 % der seismischen Gesamtkraft standzuhalten:

$$F_y^{MRF} \ge 0.25 \cdot (F_y^{MRF} + F_y^{BF})$$
Gl. (6.34)

$$F_{y} \frac{MRF}{H} = \frac{4M_{pl,b}}{H}$$
GI. (6.35)

mit:

 F_{y}^{MRF} ist die Fließgrenze der biegesteifen Rahmen;

 F_{y}^{BF} ist die Fließgrenze der ausgesteiften Rahmen;

- *L* ist die Rahmenspannweite (siehe Abb. 6.15);
- *H* ist die Rahmenstockwerkshöhe (siehe Abb. 6.15);
- *M*_{pl,b} ist der Bemessungswert des plastischen Momentenwiderstands des Trägerendes eines biegesteifen Rahmens gemäß EN 1993.
- (7) Die Fließgrenze von Rahmen mit exzentrischen Aussteifungen sollte wie folgt berechnet werden:

$$F_{y}^{EBF} = \frac{L}{H} \cdot V_{p,link}$$
GI. (6.36)

Ber	icht mit normativen Bemessungsleitfäden für 9 innovative Erdbebenvorrichtungen 41
	AUSTAUSCHBARE GESCHRAUBTE VERBINDER

mit:

 $V_{p,link}$ ist der Bemessungswert des Schubwiderstandes des seismischen Verbinders (siehe 6.8.2).



Abb. 6.15: Allgemeiner einstöckiger Rahmen mit exzentrischen Aussteifungen und biegesteifem Rahmen

8.6 ERGÄNZUNGEN ZU KAPITEL 6 SPEZIFISCHE REGELN FÜR STAHLGE-BÄUDE

6.12 Regeln für die Auslegung und bauliche Durchbildung von Rahmen mit Schubwänden aus Stahl – siehe Kapitel 8

6.13 Fähigkeit zur Rückzentrierung von dualen Rahmen aus Stahl

(1) Die Fähigkeit zur Rückzentrierung von dualen Systemen sollte verifiziert werden, indem in biegesteifen Rahmen Fließen bis zum Erreichen der maximalen Verformungskapazität in den dissipativen Rahmen vermieden wird. Dies kann durch eine Begrenzung der maximalen Verschiebung der dissipativen Rahmen (im Grenzzustand der Tragfähigkeit) auf einen kleineren Wert als die Fließverschiebung der elastischen Rahmen (biegesteife Rahmen) erreicht werden:

$$\delta_u^{DIS} < \delta_y^{MRF}$$
 GI. (6.37)

mit:

Bericht mit normativen Bemessungsleitfäden für 9 innovative Erdbebenvorrichtungen 42
AUSTAUSCHBARE GESCHRAUBTE VERBINDER

 $\delta_{u^{\text{DIS}}}$ ist die maximale Verschiebung der dissipativen Rahmen im Grenzzustand der Tragfähigkeit;

 $\delta_{y^{MRF}}$ ist die Fließverschiebung der biegesteifen Rahmen;

6.13.1 Fähigkeit zur Rückzentrierung von austauschbaren geschraubten Verbindersystemen

6.13.1.1 Analytischer Nachweis

(1) Dissipative Rahmen in austauschbaren geschraubten Verbindersystemen sind die Rahmen mit exzentrischen Aussteifungen. Deren maximale Verschiebung stimmt mit dem Erreichen der plastischen Verformungskapazität der Verbinder überein und kann wie folgt berechnet werden:

$$\delta_{u}{}^{EBF} = \delta_{y}{}^{EBF} + \delta_{pl}{}^{EBF} = \frac{F_{y}{}^{EBF}}{\kappa^{EBF}} + \frac{e}{L \cdot e} \quad H \cdot \gamma_{pl,u} < \delta_{y}{}^{MRF} = \frac{F_{y}{}^{MRF}}{\kappa^{MRF}} \qquad \text{GI. (6.38)}$$

$$\kappa^{EBF} = \frac{\kappa_{link}}{\kappa_{link}} \frac{\kappa_{br}}{\kappa_{br}} \frac{\kappa_{br}}{\kappa_{br}}$$
GI. (6.39)

$$K link \frac{EBF}{H^2} = \frac{L}{H^2} \cdot (L \cdot e) \cdot \frac{G \cdot A_s}{e}$$
GI. (6.40)

$$\kappa^{MRF} = \frac{4}{H^2 \cdot \left(\frac{L}{6 \cdot E \cdot I_b} + \frac{H}{12 \cdot E \cdot I_c}\right)}$$
GI. (6.42)

mit:

 $\delta_{u^{\text{EBF}}}$ ist die maximale Verschiebung von Rahmen mit exzentrischen Aussteifungen im Grenzzustand der Tragfähigkeit;

Bericht mit normativen Bemessungsleitfäden für 9 innovative Erdbebenvorrichtu	ngen 43
AUSTAUSCHBARE GESCHRAUBTE VE	RBINDER

$\delta_{y^{EBF}}$	ist die Fließverschiebung der Rahmen mit exzentrischen Aussteifun-
gen;	
$oldsymbol{\delta}_{pl}^{EBF}$	ist die plastische Verschiebung von Rahmen mit exzentrischen Aus-
steifungen;	
K^{EBF}	ist die Steifigkeit von Rahmen mit exzentrischen Aussteifungen;
е	ist die Länge des Verbinders (siehe Abb. 6.15);
∕ pl,u	ist die plastische Verformungskapazität des Verbinders;
K ^{MRF}	ist die Steifigkeit der biegesteifen Rahmen;
K_{link}^{EBF}	ist die Steifigkeit des Verbinders;
$K_{ m br}^{ m EBF}$	ist die Steifigkeit der Diagonalstrebe;
G	ist der Schubmodul;
As	ist die Schubfläche des Verbinders;
E	ist der Elastizitätsmodul;
A	ist die Querschnittsfläche der Diagonalstrebe;
<i>I</i> br	ist die Länge der Diagonalstrebe;
α	ist der Neigungswinkel der Diagonalstrebe;
<i>I</i> b	ist das Flächenträgheitsmoment des Trägers;
lc	ist das Flächenträgheitsmoment der Stütze.

(2) Das analytische Vorgehen sollte als eine Vorbemessung für die Fähigkeit zur Rückzentrierung genutzt werden.

ANMERKUNG 1 Es kann nur verwendet werden, um die Fähigkeit des Systems zur Rückzentrierung von niedrigen Tragwerken zu überprüfen, bei welchen die seitliche Verformung des Tragwerks durch eine Reaktion vom Schub-Typ beherrscht wird.

ANMERKUNG 2 Zur Überprüfung der Fähigkeit zur Rückzentrierung von mittelhohen und hohen Gebäuden (in welchen ein globales Biegeverhalten im Aufriss auftreten kann) wird zudem die Verwendung nichtlinearer statischer und/oder dynamischer Berechnungen sehr empfohlen.

(3) Da die Verwendung der Formeln einen annäherungsweisen und vereinfachten Ansatz darstellt, werden für alle Tragwerke nichtlineare statische und/oder dynamische Berechnungen empfohlen, um die Fähigkeit zur Rückzentrierung zu überprüfen.

Bericht mit normativen Bemessungsleitfäden	für 9 innovative Erdbebenvorrichtungen 44
AUSTA	USCHBARE GESCHRAUBTE VERBINDER

6.13.1.2 Verbindermodellierung für nichtlineare statische Berechnungen

(1) Das nichtlineare Verhalten kurzer geschraubter Verbinder unter Schub sollte durch die folgende Hysterese-Umhüllende beschrieben werden:



Link shear deformation [rad]

Abb. 6.16: Nichtlineares Verhalten der Schubverbinder

mit:

- *K*₁ ist die Anfangssteifigkeit des Verbinders;
- V_y ist der Fließwiderstand des Verbinders ($V_{p,link}$);
- *V*_u ist der maximale Widerstand des Verbinders;

ANMERKUNG 1 Für eine DCH wird die Verwendung von $1,8V_y$ und im Falle einer DCM $1,5V_y$ empfohlen.

 γ_{u} ist die maximale Schubverdrehung des Verbinders;

ANMERKUNG 1 Für DCH wird die Verwendung von 0,15 rad und für DCM von 0,10 rad empfohlen.

 $\gamma_{\rm f}$ ist die Versagensschubverdrehung des Verbinders;

ANMERKUNG 1 Für DCH wird die Verwendung von 0,17 rad und für DCM von 0,11 rad empfohlen.

6.13.1.3 Verbindermodellierung für nichtlineare dynamische Berechnungen

(1) Das hysteretische Verhalten geschraubter Schubverbinder sollte berücksichtigt werden. Die Hystereseschleife sollte mit Regeln für Steifigkeits- und Festigkeitsverlust sowie Einschnüren ("Pinching") beschrieben werden. Die in Tabelle 6.4 angegebenen Parameter für Hystereseregeln können verwendet werden. Bericht mit normativen Bemessungsleitfäden für 9 innovative Erdbebenvorrichtungen | 45 AUSTAUSCHBARE GESCHRAUBTE VERBINDER

Spezifischer Parameter	Wert
Parameter der Steifigkeitsminderung	20
Parameter des duktilitätsbasierten Festigkeitsabfalles	0,001
Parameter des hysteretischen energiebasierten Festigkeitsabfalles	0,001
Parameter der Weichheit des elastischen Fließ-Überganges	10
Parameter für die Entlastungsform	0,5
Schlupflängenparameter	0
Schlupfschärfeparameter	100
Parameter für das mittlere Momentenniveau bei Schlupf	0
Exponent der Kontaktfeder	10
Parameter der Kontaktkrümmung	1000
Koeffizient der Kontaktsteifigkeit	1

Tabelle 6.4: Parameter für hysteretisches Verhalten geschraubter Schubverbinder

Bericht mit normativen Bemessungsleitfä	den für 9 innovative Erdbebenvorrichtungen 46
	AUSTAUSCHBARE SCHUBBLECHE

9 AUSTAUSCHBARE SCHUBBLECHE

9.1 ERGÄNZUNGEN ZU ABS. 6.3.1 TRAGWERKSTYPEN

(8) <u>Rahmen mit austauschbaren dünnwandigen Schubblechen aus Stahl</u> sind solche, in welchen den horizontalen Kräften hauptsächlich durch schubbelastete Bauteile widerstanden wird.

Biegesteife Rahmen kombiniert mit austauschbaren dünnwandigen Schubwänden aus Stahl.

(6) In Rahmen mit austauschbaren Schubblechen, sollten sich die dissipativen Bereiche hauptsächlich in den Blechen befinden.



Abb. 6.10: Rahmen mit austauschbaren dünnwandigen Schubblechen aus Stahl (dissipative Bereiche lediglich in austauschbaren Schubblechen). Standardwerte für α_u/α_1 (siehe 6.3.2(3) und Tabelle 6.2).



Abb. 6.11: Biegesteife Rahmen kombiniert mit Schubblechen aus Stahl (dissipative Bereiche in Biege- und Schubblechen). Standardwert für α_u/α_1 (siehe 6.3.2(3) und Tabelle 6.2)

Bericht mit normativen Bemessungsleitfäden für 9 innovative Erdbebenvorrichtungen 47	
AUSTAUSCHBARE SCHUBBLECHE	

9.2 ERGÄNZUNGEN ZU ABS. 6.3.2, TABELLE 6.2 VERHALTENSBEIWERTE

Tabelle 6.2: Höchstbeträge für Referenzwerte der Verhaltensbeiwerte für im Aufriss regelmäßige Tragwerke

TRAGWERKSTYP	Duktilitätsklasse	
	DCM	DCH
h) Rahmen mit Schub- blechen aus Stahl	4	5 α _u / α ₁
Biegesteife Rahmen mit Schubblechen aus Stahl	4	5 α _u / α ₁

9.3 ERGÄNZUNGEN ZU ABS. 6.10, AUSLEGUNGSKRITERIEN FÜR STAHL-TRAGWERKE MIT BETONKERNEN ODER BETONWÄNDEN UND FÜR AUS-GEFACHTE ODER MIT DIAGONALVERBÄNDEN KOMBINIERTE BIEGE-STEIFE RAHMEN

6.10.4 Biegesteife Rahmen kombiniert mit austauschbaren dünnwandigen Schubblechen aus Stahl

(1) Duale Tragwerke mit sowohl biegesteifen als auch ausgesteiften Rahmen, die in derselben Richtung wirken, sollten unter Verwendung eines einzigen q-Faktors bemessen werden. Die horizontalen Kräfte sollten zwischen den verschiedenen Rahmen entsprechend ihrer elastischen Steifigkeit aufgeteilt werden.

(2) Die biegesteifen und die ausgesteiften Rahmen sollten mit 6.6 und 6.12 übereinstimmen.

(3)P Die Dualität des Tragwerks sollte überprüft werden, indem verifiziert wird, dass die biegesteifen Rahmen in der Lage sind mindestens 25 % der gesamten seismischen Kraft standzuhalten:

$$F_{y}^{MRF} \geq 0.25 \cdot (F_{y}^{MRF} + F_{y}^{SPSW})$$
GI. (6.34)

mit:

 F_{y}^{MRF} ist die Fließgrenze der biegesteifen Rahmen;

 F_{y}^{SPSW} ist die Fließgrenze des Rahmens mit austauschbaren dünnwandigen Schubblechen aus Stahl.

Bericht mit normativen Bemessungsleitfäden für 9 inno	ovative Erdbebenvorrichtungen 48
AL	JSTAUSCHBARE SCHUBBLECHE

9.4 ERGÄNZUNGEN ZU KAPITEL 6 BESONDERE REGELN FÜR STAHLBAU-TEN

6.12 Regeln für die Auslegung und bauliche Durchbildung von Rahmen mit austauschbaren Schubblechen

6.12.1 Auslegungskriterien

(1)P Rahmen mit Schubblechen sollten derart bemessen werden, dass ein Fließen der Schubbleche aus Stahl infolge Schub vor einem Versagen der Anschlüsse und vor einem Fließen oder Knicken der Träger oder Stützen stattfindet.

(2)P Das Tragwerkssystem sollte derart ausgelegt werden, dass ein gleichmäßiges dissipatives Verhalten des gesamten Systems von Schubblechen aus Stahl umgesetzt wird.

(3) Die Anwendung der Schubbleche aus Stahl sollte auf Schubwände mit einem Seitenverhältnis von 0,8 < L/h < 2,5 begrenzt werden.

ANMERKUNG Die Leistung von Schubwänden mit anderen Seitenverhältnissen sollte experimentell verifiziert werden.

6.12.2 Berechnung

(1)P Für die Abtragung der Schwerkraftlasten sollten nur Träger und Stützen berücksichtigt werden, ohne die Schubbleche aus Stahl in Rechnung zu stellen.

(2) Für eine vorläufige Bemessung kann die Größe der Schubbleche aus Stahl und der Grenzelemente (Träger und Stützen) durch Abbilden der Stahlschubbleche mit Zugdiagonalen bestimmt werden (Abb. 6.12).



Abb. 6.12: Abbildung der Schubbleche aus Stahl durch Zugdiagonalen

Bericht mit normativen Bemessungsleitfäden für 9 innovative Erdbebenvorrichtungen 49
AUSTAUSCHBARE SCHUBBLECHE

(3)P Der Rahmen mit Zugdiagonalen sollte in Übereinstimmung mit den in 6.7 gegebenen Kriterien und Regeln für Rahmen mit konzentrischen Verbänden ausgelegt werden.

6.12.3 Horizontale und vertikale Grenzelemente

(1)P Die horizontalen und vertikalen Grenzelemente sollten derart bemessen werden, um den Maximalkräften standhalten, welche sich unter der Einwirkung eines Zugfeldes der vollständig plastizierten Schubbleche entwickeln.

(2)P Die vertikalen Grenzelemente sollten Flächenträgheitsmomente I_c um eine Achse senkrecht aus der Stegebene haben, die nicht kleiner sind als:

$$I_c \ge \frac{0.00307 \cdot t_w \cdot h^4}{L}$$
 GI. (6.32)

mit:

tw ist die Dicke des Schubblechs aus Stahl;

h ist die Höhe des Schubblechs aus Stahl, zwischen den Achsen der horizontalen Grenzelemente;

L ist die Breite des Schubblechs aus Stahl, zwischen den Achsen der vertikalen Grenzelemente;

ANMERKUNG Wenn für die vertikalen Grenzelemente verschiedene Querschnitte verwendet werden, dann können die Mittelwerte der Flächenträgheitsmomente in der Berechnung verwendet werden.

(3)P Die horizontalen Grenzelemente sollten Flächenträgheitsmomente I_b um eine Achse senkrecht aus der Stegebene haben, die nicht kleiner sind als:

$$I_{b} \geq 0.0031 \cdot \frac{\Delta t_{w} \cdot L^{4}}{L} h$$
 GI. (6.33)

mit

 Δt_w ist die Differenz der Dicken der Stahlschubbleche über und unter dem horizontalen Grenzelement;

6.12.4 Schubbleche aus Stahl

(1) Die Dicke der Schubbleche aus Stahl kann unter Verwendung der Querschnittsfläche der Zugdiagonalen (siehe **6.12.2**) mit dem folgenden Ausdruck berechnet werden:

$$t_w = \frac{2 \cdot A_{brace} \cdot \Omega \cdot \sin \theta}{L \cdot \sin 2\alpha}$$

mit:

Abrace ist die Querschnittsfläche der Zugdiagonalen;

 Ω ist der Überfestigkeitsbeiwert, welcher in 6.7.4 (1) definiert ist;

 θ ist der Neigungswinkel zwischen der vertikalen und der Längsachse der Zugdiagonalen;

 α ist der Neigungswinkel des Zugfeldes der Schubbleche, gemessen von der vertikalen; er kann zu 40° angenommen oder mit der folgenden Gleichung (6.35) berechnet werden:

$$\tan^{4} \alpha = \frac{1 + \frac{t_{w} \cdot L}{2 \cdot A_{c}}}{1 + t_{w} \cdot h \cdot \left(\frac{1}{A_{b}} + \frac{h^{3}}{360 \cdot I_{c} \cdot L}\right)}$$
Gl. (6.35)

mit:

*l*_c ist das Flächenträgheitsmoment der Stütze;

*t*_w ist die Dicke des Stahlschubblechs;

Ac ist die Querschnittsfläche der Stütze;

A_b ist die Querschnittsfläche der Träger;

*I*_c ist das Flächenträgheitsmoment des vertikalen Grenzelements; es kann als Mittelwert zwischen beiden vertikalen Grenzelementen angenommen werden.

(2) Die plastische Schubfestigkeit eines Stahlschubblechs kann mit Gleichung (6.34) berechnet werden, basierend auf der Annahme, dass jedes Schubblech durch eine Reihe an geneigten Streifen mit gelenkigen Enden modelliert werden kann (siehe **6.12.6**):

$$V_n = 0.42 F_v t_w L_{cf} \sin 2\alpha$$

mit:

 L_{cf} ist der lichte Abstand zwischen den Flanschen der vertikalen Grenzelemente; F_y ist die Fließgrenze des Schubblechs aus Stahl;

6.12.5 Anschluss zwischen horizontalen und vertikalen Grenzelementen

(1)P Für Rahmen mit Schubblechen aus Stahl sollte der plastische Widerstand Rd der angeschlossenen dissipativen Elemente, welcher nach **6.5.5** berechnet wird, die aus der Fließgrenze resultierende Schubkraft unter Zug des diagonalen Fließens der Schubwand berücksichtigen.

GI.(6.34)

Gl. (6.34)

Be	richt mit normativen Bemessungsleitfäden für 9 innovative Erdbebenvorrichtungen 51
	AUSTAUSCHBARE SCHUBBLECHE

6.12.6 Anschluss zwischen Schubblech und Grenzelement

(1)P Die erforderliche Festigkeit der Schubblechverbindung zu den umliegenden Grenzelementen sollte gleich der erwarteten Fließfestigkeit des Schubblechs unter Zug sein.

(2) Zwei typische Anschlussdetails der Schubbleche aus Stahl zu den Grenzträgern und -stützen können verwendet werden, siehe 6.13.



Abb. 6.13: Anschluss zwischen Schubblech und Grenzelementen

(3)P Die geschweißte Verbindung sollte derart bemessen werden, dass die Laschen und Schweißnähte die Schubfestigkeit des Schubblechs gewährleisten.

(4) Wenn die Fähigkeit zur Rückzentrierung erforderlich ist, sind geschraubte Verbindungen empfehlenswert. Die Schrauben sollten reibungsschlüssig und in der Lage sein, die Schubfestigkeit der Schubbleche zu gewährleisten.

(5) Es wird erwartet, dass während der zyklischen Belastung der Schubbleche aus Stahl, die Schrauben vor dem Fließen des Zugfeldes gleiten. Aus diesem Grund sollte auch der Bemessungsschub- und -biegewiderstand nach EN 1993-1-8 verifiziert werden.

(6) Im Fall von sehr dünnen Schubblechen aus Stahl, können geschweißte Verstärkungsbleche verwendet werden, um die Tragfähigkeit zu erhöhen.

6.13 Fähigkeit zur Rückzentrierung von dualen Stahlrahmen

(1)P Die Fähigkeit zur Rückzentrierung von dualen Tragwerken sollte durch die Vermeidung von Plastizierungen in den biegesteifen Rahmen bis zum Erreichen der maximalen Verformungskapazität in den dissipativen Rahmen verifiziert werden. Dies kann durch Begrenzung der maximalen Verschiebung der dissipativen Rahmen (im Grenzzustand der Tragfähigkeit) auf Werte geringer als die Fließverschiebung der elastischen Rahmen (biegesteife Rahmen) erreicht werden:

Bericht mit normativen Bemessungsleitfäden für 9 innovative Erdbebenvorrichtungen 52
 AUSTAUSCHBARE SCHUBBLECHE

 $\delta^{\text{DIS}} < \delta^{\text{MRF}}$

Gl. (6.35)

mit:

 δ_u^{DIS} ist die maximale Verschiebung der dissipativen Rahmen im Grenzzustand der Tragfähigkeit;

 δ_y^{MRF} ist die Fließverschiebung der biegesteifen Rahmen;

6.13.2 Fähigkeit zur Rückzentrierung von dualen Stahlrahmen mit austauschbaren Schubblechen

(1) Nichtlineare statische und/oder dynamische Berechnungen werden für alle Tragwerke empfohlen, um die Fähigkeit zur Rückzentrierung zu überprüfen.

6.13.1.1 Modellierung der Schubbleche für nichtlineare statische (Pushover) Berechnungen

(1) Die Schubbleche können durch mindestens 10 geneigte Streifenelemente abgebildet werden, die an den Enden gelenkig sind und nur Zugkräfte aufnehmen, sowie einen auf die Vertikale bezogenen Winkel besitzen, in derselben Richtung ausgerichtet wie die Hauptzugspannungen in der Schubwand (Streifenmodell), siehe Abb. 6.15. In Tabelle 6.4 und 6.5 sind charakteristische Punkte gegeben, die die Streifeneigenschaften definieren.



Abb. 6.15: Streifenmodell für eine statische nichtlineare Berechnung

Gelenk	A	В	С	D	E
P/P _y	0	0,8	1,4	1,4	1,2
Δ/Δ_y	0	0	14	20	27

Tabelle 6.4: Nichtlineare Eigenschaften der Zug-Streifen





Abb. 6.16: Nichtlineare Eigenschaften der Zug-Streifen

Tabelle 6.5: Akzeptanzkriterien

Kriterien	10	LS	CP
Δ / Δ_y	0,5	13	19

(2) Die Fläche der Streifen kann unter Verwendung von Gleichung 6.32 berechnet werden:

$$A_{s} = (L \cdot \sin \alpha + h \cdot \cos \alpha) / n$$
 Gl. (6.32)

mit:

n ist die Anzahl an Streifen je Schubblech;

6.13.1.1 Modellierung der Schubwand für nichtlineare dynamische Berechnungen

(1) Das Schubblech kann durch mindestens 10 Streifen ersetzt werden, welche in beide Richtungen ausgerichtet sind (duales Streifenmodell), wobei diese die in Abs. **6.13.1.1** beschriebenen Eigenschaften aufweisen, siehe Abb. 6.17.



Abb. 6.17: Streifenmodell für eine dynamische nichtlineare Berechnung

(2) Das Hystereseverhalten dissipativer Schubbleche ist in Abb. 6.18 dargestellt. Eine besondere Aufmerksamkeit ist der Modellierung des Einschnürens ("Pinching") zu widmen, dass während zyklischer Belastung auftritt. Bericht mit normativen Bemessungsleitfäden für 9 innovative Erdbebenvorrichtungen | 54 AUSTAUSCHBARE SCHUBBLECHE



Abb. 6.18: Hysteretisches Verhalten vom Takeda-Typ

10 KONZENTRISCH AUSGESTEIFTER RAHMEN MIT MODIFI-ZIERTEN DIAGONALSTREBEN (CBF-MB)

10.1 ERGÄNZUNGEN ZU ABS. 6.3.1 TRAGWERKSTYPEN

(9) <u>Konzentrisch ausgesteifte Rahmen mit modifizierten Diagonalstreben (CBF-MB)</u> sind solche Systeme, welche die folgenden Anforderungen erfüllen:

- Die Diagonalstreben der Aussteifung werden durch einen Trennbalken unterbrochen (Abb.1.1);

- Jede Diagonale besitzt einen variablen H-förmig gefertigten Querschnitt (Abb. 1.2);

- Die Anschlüsse der Diagonalstreben an die Stütze sind gelenkig, während der Trennbalken-Stützen-Anschluss starr ist;

- Die Verbindungen zwischen Träger und Stütze können gelenkig oder halbstarr ausgebildet sein.





Abb. 10.1: CBF-MB System



Länge /d (Bolzen zu Bolzen) Legende: MS – modifizierter Abschnitt SS – starker Abschnitt RS – geschwächter Abschnitt TS – Übergangsbereich / – Länge des Abschnitts (z.B. I_{RS} – Länge des geschwächten Abschnitts)

Abb. 10.2: Darstellung der modifizierten Diagonalstrebe

- (3) In CBF-MB sollten sich die dissipativen Bereiche überwiegend in den Diagonalstreben befinden. Der CBF-MB lässt sich in die folgende Kategorie einordnen:
 – aktive Zug-Diagonalverbände, in welchen den horizontalen Kräften nur durch die Zugdiagonalen standgehalten wird, wobei die Druckdiagonalen vernachlässigt werden. Der Schnittpunkt dieser Diagonalen liegt in einem horizontalen Element (Trennbalken), welcher durchgehend ausgeführt werden soll.
- (7) In CBF-MB befinden sich die dissipativen Bereiche in den Diagonalstreben. Sie sollten derart ausgelegt werden, dass die Bereiche, welche unter Zug fließen, von denen getrennt sind, in welchen unter Druckbelastung nach Knicken plastische Dehnungen auftreten. Die in Abs. 6.5.2 aufgeführten Bemessungskriterien für dissipative Bereiche gelten für modifizierte Diagonalstreben.

10.2 ERGÄNZUNGEN ZU ABS. 6.3.2, TABELLE 6.2 VERHALTENSBEIWERTE

Tabelle 6.2: Höchstbeträge für Referenzwerte der Verhaltensbeiwerte für im Aufriss regelmä-ßige Tragwerke

Tragwerkstyp	Duktilitätsklasse			
Пауменкатур	DCM	DCH		
CBF-MB	4,0	5,0		
Anforderung nach 6.12.4	<i>ρ</i> =1,00	ρ =1,15		

10.3 ERGÄNGZUNGEN ZU ABS. 6.12 (NEU) REGELN FÜR DIE AUSLEGUNG UND BAULICHE DURCHBILDUNG VON RAHMEN MIT MODIFIZIERTEN DI-AGONALSTREBEN (CBF-MB)

6.12.1 Berechnung

Mit den folgenden besonderen Anforderungen kann eine elastische multimodale Berechnung basierend auf 6.7.2(1) und (2) durchgeführt werden.

Die modifizierten Diagonalstreben sollten durch einen konstanten H-förmigen Querschnitt mit den Besonderheiten des geschwächten Abschnitts RS definiert sowie mit gelenkigen Verbindungen an den Rahmen angeschlossen sein. Die Stützen sollten über alle Stockwerke durchgehend sein. Anschlüsse zwischen Stützen und Geschossträgern sowie Stützenfüße können als gelenkig oder halbstarr modelliert werden. In Abb. 1.3 ist die allgemeine Ausführung dargestellt.



a)

b)

Abb. 1.3: a) Mittelachse-zu-Mittelachse-Modell für eine elastische Berechnung; b) Anschluss-Versatzmodell

6.12.2 Bemessung der modifizierten Diagonalstreben

• Länge des MS, RS und TS (Abb. 1.2)

Die Länge I_d der modifizierten Diagonalstrebe sollte (0,375-0,4)/ betragen, wobei / die Systemlänge der Diagonale ist.

Die Länge des modifizierten Abschnitts I_{MS} sollte mit Gleichung (1.1) bestimmt werden. Die Länge des geschwächten Abschnitts (RS) I_{RS} sollte so lang wie möglich gestaltet werden, um die erforderliche Länge für einen gleichmäßigen Übergang (TS) vom geschwächten Abschnitt (RS) zum starken Abschnitt (SS) zu gewährleisten. Eine vorläufige Abschätzung kann mit Gleichung (1.2) erfolgen.

$$I_{MS} = (0.067 \div 0.085) \cdot I_d$$
 GI. (1.1)
 $I_{RS} \approx (0.3) \cdot I_d$ GI. (1.2)

• Verhältnis der Querschnittsflächen Die Fläche des geschwächten Abschnitts (RS) sollte 6.7.3(5) genügen. Zusätzlich sollten die folgenden Anforderungen erfüllt werden:

$$A_{MS}/A_{RS} \ge 1.4$$
 GI. (1.3)

Mit:

A_{MS} ist die Fläche des modifizierten Abschnitts,

A_{RS} ist die Fläche des geschwächten Abschnitts.

Die Abmessungen und die Querschnittsfläche des starken Abschnitts (SS) sollten so gewählt werden, um ein vollständig elastisches Verhalten im Nettoquerschnitt an der Bolzenverbindung zu gewährleisten sowie die Nachweise der Schrauben zu erfüllen.

• Verhältnis der plastischen Widerstandsmomente

Um sicherzustellen, dass der modifizierte Abschnitt (MS) eine niedrigere Biegemomentenkapazität als der geschwächte Querschnitt (RS) besitzt, auch unter Berücksichtigung hoher plastischer Dehnungen sowie der Materialverfestigung, sollte Gleichung (1.4) erfüllt sein:

$$W_{pl,RS}/W_{pl,MS} \ge 2.0$$
 GI. (1.4)

Mit:

 $W_{pl,RS}$ ist das Widerstandsmoment des reduzierten Abschnitts (RS), $W_{pl,MS}$ ist das Widerstandsmoment des modifizierten Abschnitts (MS).

• Knicklänge der modifizierten Diagonalstrebe

Aufgrund des modifizierten Abschnitts in der Mitte, ist die wahre Knicklänge $I_{cr} = \mu I_d$ länger als I_d . Die effektive Länge I_{cr} kann mit Hilfe einer elastischen FE-Stabilitätsanalyse oder mit Gleichung (1.5) bestimmt werden,

$$\mu = I_{cr} / I_{d} = 0.88 \cdot K_{L}^{(0.033)} \cdot K_{I}^{(0.11n(K_{L})-0.36)}$$

Mit:

 $K_L = I_{RS} / I_{MS}$ ist das Verhältnis der Abschnittslängen, I_{MS} ist die Länge des modifizierten Abschnitts, I_{RS} ist die Länge des geschwächten Abschnitts, $K_I = I_{MS} / I_{RS}$ ist das Verhältnis der Flächenträgheitsmomente, I_{MS} ist das Flächenträgheitsmomente des modifizierten Abschnitts, I_{RS} ist das Flächenträgheitsmomente des geschwächten Abschnitts, μ ist der Knicklängenparameter.

• Begrenzung der Schlankheit

Die dimensionslose Schlankheit der modifizierten Diagonalstrebe sollte basierend auf der Knicklänge berechnet werden und in Übereinstimmung mit 6.7.3 (1) sein.

• Fließwiderstand der modifizierten Diagonalstrebe

Der Fließwiderstand $N_{pl,Rd}$ der modifizierten Diagonalstrebe sollte 6.7.3 (5) befolgen und mit Gleichung (1.6) berechnet werden.

$$N_{pl,Rd} = A_{RS} \cdot f_{y} / \gamma_{M0}$$
GI. (1.6)

• Anschlüsse der modifizierten Diagonalstrebe

Die Anschlüsse der modifizierten Diagonalstrebe an die Geschossträger und Trennbalken sollte den Auslegungsregeln in 6.5.5 (3) genügen.

6.12.3 Bemessung der Trennbalken

Die Ausbildung zweier Typen von plastischen Stockwerksmechanismen ist in CBF-MB möglich, nämlich günstige und ungünstige (Abb. 1.4). Der günstige Mechanismus ist gegeben, wenn paarweise beide Druckdiagonalen knicken und sich plastische Dehnungen in beiden Zugdiagonalen bilden. Der ungünstige Mechanismus ist gegeben, wenn nur eine der beiden Druckdiagonalen knickt und sich zusätzlich Fließgelenke im Trennbalken oder sogar in den Stützen bilden (Abb. 1.4 b), c)). Der ungünstige Mechanismus ist durch eine angemessene Bemessung des Trennbalkens zu vermeiden, indem ausreichend Widerstand und Biegesteifigkeit gewährleistet wird.



Abb. 1.4: Plastische Mechanismen: a) Günstig; b) Schwacher Trennbalken; c) Schwache Stützen

b)

Der Trennbalken in CBF-MB sollte biegesteif an die Stützen angeschlossen sein um einen H-förmigen Rahmen zu erhalten. Trennbalken und Stützen sind nicht-dissipative Elemente und sollten bis zum Erreichen des Grenzzustands der Tragfähigkeit (ULS, signifikanter Schaden) elastisch bleiben.

C)

• Übergangszustand

a)

Der Zustand, in welchem der H-förmige Rahmen ausreichend elastische Steifigkeit bietet und somit die nicht geknickten Diagonalen zum Knicken zwingt, ist in Abb. 1.5 dargestellt und wird als Übergangszustand ("Kurz vor dem Knicken") bezeichnet. In diesem Zustand treten unausgeglichene Horizontal- und Vertikalkräfte auf. Diese könne mit Hilfe von Gleichung (1.7) und (1.8) bestimmt werden, wobei $N_{b,Rd}$ (Gleichung (1.9)) der Knickwiderstand der Diagonale entsprechend EN 1993-1-1 ist.



Abb. 1.5: a) Übergangszustand; b) Nicht im Gleichgewicht befindliche Kräfte; c) Momentenverlauf (MUNB) infolge der unausgeglichenen Kräfte (Lastfall UNB)

$$V_{UNB} = N_{b,Rd} \cdot \sin \alpha \qquad \text{Gl. (1.7)}$$

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A_{RS} \cdot f_{y} / \gamma_{M1}$$
Gl. (1.9)

Der Übergangszustand ist durch zusätzliche Biegemomente und Normalkräfte (Lastfall UNB) gekennzeichnet, welche innerhalb des H-Rahmens auftreten (Abb. 1.5 c). Dieser Effekt muss bei der Bemessung berücksichtigt werden. Er kann in dem Tragwerksmodell für elastische Berechnungen abgebildet werden, indem unausgeglichene Kräfte entweder in jedem Stockwerk einzeln, wie in Abb. 1.5 c) gezeigt, oder integral in allen Stockwerken gleichzeitig angesetzt werden.

• Zusätzliche Anforderungen an Trennbalken

Der Trennbalken sollte mit Erfüllung von Gleichung (1.10) gegen Biegedrillknicken bemessen werden.

$$\overline{\lambda}_{LT} \leq 0.40$$
 GI. (1.10)

Die Querschnittsfläche des Trennbalkens sollte so gewählt werden, um Gleichung (1.11) in Übereinstimmung mit 4.4.2.3 (4) zu erfüllen.

$$2.M_{Bc} \ge 1.3 \cdot M_{Bb}$$
 GI. (1.11)

Mit:

 M_{Rc} ist der entsprechende Bemessungsbiegewiderstand der Stütze ($M_{y,Rd}$ oder $M_{z,Rd}$) welche an den Trennbalken angeschlossen ist, M_{Rb} ist Bemessungsbiegewiderstand des Trennbalkens.

6.12.4 Auslegung nicht-dissipativer Elemente

Die nicht-dissipativen Elemente des CFB-MB sind die Stützen, Geschossträger und die Trennbalken.

Diese sollten unter Berücksichtigung der Schnittgrößen aus der Gravitationslast in der seismischen Bemessungssituation und der Schnittgrößen einschließlich Effekten aus Theorie II. Ordnung M_E , V_E und N_E aus den Erdbebenlastfällen ausgelegt werden. Die Schnittgrößen sollten mit Hilfe einer elastischen Berechnung mit nur Zugdiagonalen bestimmt und mit dem Kapazitätsfaktor 1,1. γ_{ov} . Ω_{MIN} . ρ angepasst werden.

Mit:

 γ_{ov} ist der Materialüberfestigkeitsfaktor entsprechend 6.2 (3),

 $\Omega_{MIN} = min \left\{ \frac{N_{pl,Rd,i}}{N_{Ed,i}} \right\}$ ist der minimale Überfestigkeitsfaktor für die modifizierten Dia-

gonalstreben über die gesamte Gebäudehöhe und

 ρ ist ein Faktor, welcher die vorhandene Überfestigkeit des Systems und die möglichen höheren vorhandenen Knickwiderstände der Diagonalen berücksichtigt. Der Wert ρ hängt von der angewandten Duktilitätsklasse ab (Tabelle 6.2).

Die Auslegung nicht-dissipativer Elemente sollte die zusätzlichen Schnittgrößen M_{UNB} , V_{UNB} und N_{UNB} infolge der nicht im Gleichgewicht stehenden Kräfte, welche im Übergangszustand entstehen (6.12.3), berücksichtigen.

• Stützen

Die Stützen sollten verifiziert werden um Gleichung (1.11) zu erfüllen und den Bemessungslasten nach Gleichungen (1.12) bis (1.14) standzuhalten:

$$N_{col,Ed} = N_{Ed,G} + 1, 1 \cdot \gamma_{OV} \cdot \Omega_{\min} \cdot \rho \cdot (N_E + N_{UNB})$$
GI. (1.12)

$$M_{col,Ed} = M_{Ed,G} + 1,1 \cdot \gamma_{OV} \cdot \Omega_{\min} \cdot \rho \cdot (M_E + M_{UNB})$$
GI. (1.13)

$$V_{col,Ed} = V_{Ed,G} + 1, 1 \cdot \gamma_{OV} \cdot \Omega_{\min} \cdot \rho \cdot (V_E + V_{UNB})$$
GI. (1.14)

• Trennbalken

Die Trennbalken sollten verifiziert werden um die Gleichungen (1.10) und (1.11) zu erfüllen und den Bemessungslasten nach Gleichungen (1.15) bis (1.17) standzuhalten:

$$N_{sb,Ed} = N_{Ed,G} + 1, 1 \cdot \gamma_{OV} \cdot \Omega_{\min} \cdot \rho \cdot (N_E + N_{UNB})$$
GI. (1.15)

$$M_{sb,Ed} = M_{Ed,G} + 1, 1 \cdot \gamma_{OV} \cdot \Omega_{\min} \cdot \rho \cdot (M_E + M_{UNB})$$
GI. (1.16)

$$V_{sb,Ed} = V_{Ed,G} + 1, 1 \cdot \gamma_{OV} \cdot \Omega_{\min} \cdot \rho \cdot \leq (V_E + V_{UNB})$$
GI. (1.17)

• Geschossträger

Geschossträger sollten verifiziert werden um den Bemessungslasten nach Gleichungen (1.18) bis (1.20) standzuhalten:

$$N_{b,Ed} = N_{Ed,G} + 1, 1 \cdot \gamma_{OV} \cdot \Omega_{\min} \cdot \rho \cdot (N_E + N_{UNB})$$
GI. (1.18)

$$M_{b,Ed} = M_{Ed,G} + 1, 1 \cdot \gamma_{OV} \cdot \Omega_{\min} \cdot \rho \cdot (M_E + M_{UNB})$$
GI. (1.19)

$$V_{b,Ed} = V_{Ed,G} + 1, 1 \cdot \gamma_{OV} \cdot \Omega_{\min} \cdot \rho \cdot (V_E + V_{UNB})$$
GI. (1.20)

6.12.5 Modellierung der modifizierten Diagonalstreben für nichtlineare statische (Pushover) Berechnungen

Es sollte das Anschluss-Versatzmodell entsprechend Abb. 1.3 verwendet werden. Die Verteilung der seitlichen Lasten sollte 4.3.3.4.2.2. entsprechen. Plastische Gelenke sind in der Mitte aller modifizierten Diagonalstreben zu modellieren. Die Hysterese-Umhüllenden sind in Abb. 1.6 dargestellt während die Parameter in Tabelle 1.1 gegeben sind.



axial displacement, d/dy; d/dc



Dunkt	Zug		Dunkt	Druck		
FUIK	Kraft	Verschiebung	FUIK	Kraft	Verschiebung	
А	0	0	А	0	0	
В	$F_y = A_{RS} f_y$	δy	В	N _{b,Rd}	δc	
С	F _{SH}	16.5 <i>∂y</i>	С	0,5 <i>N_{b,Rd}</i>	Збс	
D	0,8 <i>F</i> y	19 <i>δy</i>	D	0,3 <i>N_{b,Rd}</i>	8 <i>δc</i>	
E	0,8 <i>F</i> y	20 <i>б</i> у	E	0,2 <i>N</i> _{b,Rd}	$20\delta y$	

Tabelle 1.1: Charakteristische Punkte der Hysterese-Umhüllenden

Die folgenden Gleichungen (1.21) bis (1.25) sollten für die Definition der charakteristischen Punkte verwendet werden. $N_{b,Rd}$ ist der Knickwiderstand der Diagonalstrebe und χ ist der Abminderungsfaktor entsprechend EN 1993-1-1.

$$\delta_{y} = f_{y} \cdot I/E$$
 GI. (1.21)

$$\begin{aligned} F_{y} &= A_{RS} \cdot f_{y} & \text{GI. (1.22)} \\ F_{SH} &= F_{y} + \left(F_{y} / \delta_{y} \ 0.005\right) \cdot \left(16.5 \cdot \delta_{y}\right) & \text{GI. (1.23)} \\ N_{b,Rd} &= \chi \cdot A_{RS} \cdot f_{y} & \text{GI. (1.24)} \\ \delta_{C} &= N_{b,Rd} \cdot \delta_{y} / F_{y} & \text{GI. (1.25)} \end{aligned}$$

Tabelle 1.2 enthält die axialen Verformungskapazitäten der modifizierten Diagonalstreben unter Druck und Zug für die 3 betrachteten Grenzzustände, welche in Abb. 1.7 gekennzeichnet sind.

Tabelle 1.2: Axiale Verformungskapazitäten der modifizierten Diagonalstreben unter Druck und Zug

EN 1998-1	GdG (SLS)	GdT (ULS)	
Grenzzustände			
Grenzzustand	DL (Schadens-	SD (signifikanter	NC (Nahe
	begrenzung)	Schaden)	Versagen)
δ / δ _y (Zug)	+2.5	+9.5	+16
$\boldsymbol{\delta}$ / $\boldsymbol{\delta}_c$ (Druck)	-2.5бy	-9.5δy	-16 <i>δy</i>



axial displacement, $\delta/\delta y$; $\delta/\delta c$

Abb. 10.7: Grenzzustände für modifizierte Diagonalstreben

6.12.6 Modellierung der modifizierten Diagonalstreben für nichtlineare dynamische Berechnungen

In nichtlinearen dynamischen Berechnungen (NDA) sollten die modifizierten Diagonalstreben (MB) mit multi-linearen plastischen Federelementen mit "Pivot"-Hysterese abgebildet werden. Das Federelement sollte in die Diagonalen mit Anschluss-Versatz eingesetzt werden – Abb. 1.8 a). Die nichtlineare Feder sollte anhand der Parameter α_1 , α_2 , β_1 und β_2 definiert werden, welche in Tabelle 1.3 und Abb. 1.8. b) enthalten sind. Der Parameter α_1 definiert den Punkt für Lastumkehr zu null ausgehend von positiver Kraft, α_2 den Punkt für Lastumkehr zu null ausgehend von negativer Kraft, β_1 definiert den Punkt für die entgegengesetzte Belastung von null hin zu positiver Kraft. Das Verhalten der nichtlinearen Feder sollte nur für den Freiheitsgrad bezüglich der Längsdehnung/-verkürzung festgelegt werden, während alle übrigen Freiheitsgrade als linear modelliert werden.

Tabelle 1.3: Beschreibung der "Pivot"-Punkte

"Pivot"-Punkt Parameter	α_{l}	$\alpha_{_2}$	β_1	β_{2}	η
Wert	100	0.1	0.02	0.4	0.0

Für eine angemessene Beschreibung des Hystereseverhaltens, benötigt das multilineare plastische Federelement die Definition einer Hysterese-Umhüllenden. Tabelle 1.4 fasst die charakteristischen Punkte der Hysterese-Umhüllenden zusammen. Abb. 1.8 b) stellt die Hysterese-Umhüllende dar, wobei der zyklische Festigkeitsabfalls in einer Höhe von 15% angesetzt wurde.

		•				
Punkt	Zug		Punkt	Druck		
	Kraft	Verschiebung		Kraft	Verschiebung	
Α	0	0	Α	0	0	
В	$F_y = A_{RS} f_y$	δy	В	N _{b,Rd}	δς	
С	0,85 <i>F</i> _y	Збу	С	0,5 <i>N_{b,Rd}</i>	3 <i>δ</i> c	
D	0,85 <i>F</i> _y	16.5 <i>δy</i>	D	0,3 <i>N_{b,Rd}</i>	8 <i>∂</i> c	
			E	0,2 <i>N</i> _{b.Rd}	16.5 <i>δy</i>	

Tabelle 1.4: Charakteristische Punkte der Hysterese-Umhüllenden

Die maßgeblichen Normalkräfte und Verschiebungen sind entsprechend Gleichungen (1.21) bis (1.25) definiert. $N_{b,Rd}$ ist der Knickwiderstand der Diagonalstrebe entsprechend EN 1993-1-1.




Abb. 1.8: CBF-MB Modell für nichtlineare dynamische Berechnungen (NDA): a) Multi-lineare plastische Feder; b) Hysterese-Umhüllende

6.12.7 Kurzzeitermüdung

Wenn nichtlineare zyklische Berechnungen durchgeführt werden, sollte der akkumulierte Schaden in der modifizierten Diagonalstrebe in Hinsicht auf Kurzzeitermüdung untersucht werden. Die maßgebliche Beziehung zwischen der Amplitude der Längsverformung der modifizierten Diagonalstrebe, δ , und der Anzahl an Zyklen bis zum Versagen, *N*, ist in Gleichung (1.26) gegeben.

$$\delta(N) = 110 - 52 \cdot \log(N)$$
 GI. (10.26)

Der Schadensindex D kann anhand des Palmgren–Miner Gesetzes der Schadensakkumulation, Gleichung (1.27), wie folgt bestimmt werden:

$$D = \frac{n_1}{N_1} + \frac{n_2}{N_2} + \dots + \frac{n_i}{N_i} \le 1$$
GI. (10.27)

Mit:

 n_i ist die Anzahl der Zyklen, welche mit der gleichen axialen Verformungsamplitude δ_i durchgeführt werden,

 N_i ist die Anzahl der Zyklen, bei welcher Versagen im Falle konstanter axialer Verformungsamplituden auftritt und

i ist die Gesamtanzahl an Zyklen konstanter Amplituden.