Bemessungsvorschrift für Tragwerke in Stahlbetonrahmen

Referenznummer NP 007-2025

Leistungsempfänger:

Ministerium für Entwicklung, öffentliche Arbeiten und Verwaltung

Dezember 2024

Bei diesem Dokument handelt es sich um den zweiten Entwurf der technischen Vorschrift NP 007, die im Anschluss an die im Rahmen der öffentlichen Konsultation, der öffentlichen Anhörung und der Billigungssitzung der Fachausschüsse eingegangenen Bemerkungen überarbeitet wurde.

Der zweite Entwurf, der von den Fachausschüssen des rumänischen Ministeriums für Entwicklung, öffentliche Arbeiten und Verwaltung (MDLPA) genehmigt wurde, unterliegt dem Notifizierungsverfahren bei der Europäischen Kommission gemäß den Bestimmungen des Regierungsbeschlusses Nr. 1016/2004.

Der dritte Entwurf des Dokuments wird dem Allgemeinen Technischen Koordinierungsausschuss des Auftraggebers zur Genehmigung vorgelegt und auf Anordnung des Ministers für Entwicklung, öffentliche Arbeiten und Verwaltung im Amtsblatt Rumäniens zur Genehmigung der technischen Vorschrift veröffentlicht.

Inhalt:

1. Allgemeine Information 3
1.1. Zweck und Anwendungsbereich 3
1.2. Aufbau der technischen Vorschrift 3
1.3. Begriffsbestimmungen 4
1.4. Maßeinheiten 6
1.5. Symbole 6
1.6. Normative Referenzdokumente 7
2. Grundlegende Anforderungen 9
3. Seismische Bemessung 10
3.1. Allgemeine Informationen 10
3.1.1. Bauteile 10
3.1.2. Duktilitätsklassen 11
3.2. Kriterien für die Zusammensetzung von Tragwerken 11
3.2.1. Konfiguration des Haupttragwerks 11
3.2.2. Regelmäßigkeit des Tragwerks 12
3.2.2.1. Horizontale Regelmäßigkeit 13
3.2.2.2. Vertikale Regelmäßigkeit 13
3.2.3. Gesamttorsionssteifigkeit 13
3.2.4. Redundanz des Tragwerks 13
3.2.5. Abstände zwischen Gebäuden 13
3.2.6. Deckenscheiben 13
3.2.7. Konventioneller Verankerungsbereich 14
3.2.8. Optimaler plastischer Mechanismus 16
3.2.9. Sekundäre tragende Bauteile 19
3.2.10. Nichttragende Bauteile 20
3.3. Seismische Leistungskriterien für das Haupttragwerk 21
3.3.1. Grenzzustand der Tragfähigkeit 21
3.3.1.1. Festigkeit 21
3.3.1.2. Begrenzung relativer Geschossverschiebungen 24
3.3.1.3. Begrenzung von Verformungen der Hauptbauteile 27
3.3.1.4. Stabilität 28
3.3.2. Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit: Begrenzung relativer Geschossbewegungen 29
3.4. Berechnung des Tragwerks 30

3.4.1. Berechnungsmethoden 30
3.4.2. Modellierung für die Berechnung 31
3.4.2.1. Statische lineare Berechnung 31
3.4.2.2. Nichtlineare statische Berechnung 33
4. Bemessungswerte für Spannungen 34
4.1. Gebäude, die für die Duktilitätsklasse DCH oder DCM ausgelegt sind 34
4.1.1. Träger 34
4.1.1.1. Biegemomente 34
4.1.1.2. Querkräfte 35
4.1.2. Stützen. 37
4.1.2.1. Axialkräfte 37
4.1.2.2. Biegemomente 38
4.1.2.3. Querkräfte 39
4.1.3. Verbindungen 42
4.1.4. Deckenscheiben 43
4.1.5. Infrastrukturen und Fundamente 43
4.1.6. Spannungsumverteilung 43
4.1.7. Nichtlineare statische Berechnungsmethode 44
4.2. Für die Duktilitätsklasse DCL ausgelegte Gebäude 45
5. Festigkeitskapazität 46
5.1. Träger 46
5.1.1. Biegemoment 46
5.1.1.2. Querkraft 47
5.1.2. Pfeiler 47
5.1.2.1. Biegemoment und Axialkraft 47
5.1.2.2. Querkraft 47
5.1.3. Träger-Stützen-Verbindungen 48
6. Zusammensetzung und Bewehrung 51
6.1. Qualität der Materialien 51
6.1.1. Beton 51
6.1.2. Stahl 51
6.2. Betonquerschnitt 52
6.2.1. Träger 52
6.2.2. Pfeiler 53
6.2.3. Träger-Stützen-Verbindungen 55

6.2.4. Deckenscheiben 55
6.2.5. Infrastrukturen und Fundamente 55
6.3. Bewehrung 56
6.3.1. Träger 56
6.3.1.2. Längsbewehrung 56
6.3.1.3. Querbewehrung 57
6.3.2. Pfeiler 59
6.3.2.2. Längsbewehrung 60
6.3.2.3. Querbewehrung 61
6.3.3. Träger-Stützen-Verbindungen 63
6.3.4. Verankerung und Befestigung der Bewehrung 65
6.3.5. Infrastrukturen und Fundamente 70
6.3.5.1. Fundamente 70
6.3.5.2. Kellerwände 70
6.3.5.3. Infrastrukturböden 71
6.3.6. Sonstige Bestimmungen 71
7. Fertigteilkonstruktionen 71

1. Allgemeine Information

1.1. Zweck und Anwendungsbereich

(1) Diese technische Vorschrift enthält Bestimmungen für die Planung von Gebäuden mit Stahlbetonrahmenkonstruktion, spezifisch für die Qualitätsanforderung „Festigkeit, Mechanik und Stabilität“, festgelegt durch das Gesetz Nr. 10/1995 über die Qualität im Bauwesen, neu veröffentlicht, mit späteren Änderungen und Ergänzungen.

(2) Die Bestimmungen dieser technischen Vorschrift gelten für die Bemessung von Stahlbetonrahmenkonstruktionen für Neubauten.

(3) Die Bestimmungen dieser technischen Vorschrift gelten auch für die Planung von Eingriffen an bestehenden Bauwerken, die durchgeführt werden, um die Schadensanfälligkeit bei verschiedenen Arten von Einwirkungen, einschließlich der Verwendung von Stahlbetonbauwänden, zu verringern.

(4) Die in der technischen Vorschrift festgelegten Bemessungsregeln gelten für die Bemessung von Trägern, Stützen, Träger-Stützen-Verbindungen, Infrastrukturen und Böden, die als Deckenscheiben in Stahlbetonrahmenkonstruktionen dienen, die nicht mit seismischen Vorrichtungen im Sinne der technischen Vorschrift P 100-1 ausgestattet sind.

(5) Die Bestimmungen dieser technischen Vorschrift dürfen auf die Planung von Sicherheitsarbeiten für Bauwerke, die als historische Denkmäler eingestuft sind, nur angewandt werden, wenn sie nicht im Widerspruch zu den Konzepten, Ansätzen und Verfahren stehen, die in den für diese Gebäudekategorie spezifischen normativen Dokumenten enthalten sind.

(6) Bei den Bestimmungen dieser technischen Regelungen handelt es sich um Mindestanfordernungen. Der Planer kann ein Qualitätsniveau anstreben, das höher ist als die Mindestanforderungen dieser technischen Vorschrift.

(7) Die Bestimmungen dieser technischen Vorschrift richten sich an alle Faktoren, die gemäß Gesetz 10/1995 in der geänderten und ergänzten Fassung am Qualitätssicherungssystem im Bauwesen beteiligt sind und deren Tätigkeit direkt oder indirekt die Art und Weise beeinflusst, in der die Grundanforderung „mechanische Festigkeit und Stabilität“ erzielt und aufrechterhalten wird.

(8) Die Bestimmungen dieser technischen Vorschrift spiegeln den Wissensstand zum Zeitpunkt ihrer Ausarbeitung in Bezug auf die Maßnahmen, Grundsätze und Regeln der Berechnung und Zusammensetzung von Konstruktionen sowie die Leistung und Anforderungen an Konstruktionen und verwendete Bauprodukte wider.

(9) Diese technische Vorschrift wird in Verbindung mit anderen technischen Vorschriften im Bauwesen verwendet.

1.2. Aufbau der technischen Vorschrift

(10) Diese technische Vorschrift enthält grundlegende Anforderungen, Leistungsanforderungen und verbindliche Anforderungen an die Bemessung von Stahlbetonrahmenkonstruktionen.

(11) Gebäude, die gemäß dieser technischen Vorschrift errichtet werden, müssen allen Bestimmungen ihrer Kapitel entsprechen. Die Anforderungen, die die Strukturen erfüllen müssen, sind in Gegenwartsform formuliert.

(12) Abweichend von (11) enthält diese Verordnung auch Bestimmungen mit Empfehlungscharakter, die sich durch die Verwendung des Ausdrucks „wird empfohlen“ auszeichnen. Der Planer kann von Fall zu Fall einen anderen technischen Ansatz in Übereinstimmung mit allen anderen verbindlichen Bestimmungen beschließen.

(13) Bei der Auslegung der Bestimmungen deutet die Verwendung der Konjunktion „und“ darauf hin, dass alle Bedingungen, Anforderungen, Artikel, Gegenstände oder Ereignisse gelten. Die Verwendung der Konjunktion „oder“ weist darauf hin, dass eine der Anforderungen, Bedingungen, Gegenstände, Objekte oder Ereignisse gilt. Die Verwendung der zusammengesetzten Konjunktion „und/oder“ bedeutet, dass eine oder mehrere der Anforderungen, Bedingungen, Artikel, Objekte oder Ereignisse gelten. Die Verwendung des Verbs „können“ in der unpersönlichen Form „kann“ oder „ist möglich“ deutet darauf hin, dass der Planer die Möglichkeit hat, die vorgeschriebene Lösung in einer Bestimmung zu verwenden, ohne sie obligatorisch zu machen.

(14) Im Zusammenhang mit dieser technischen Vorschrift wird wie folgt zitiert:

(a) Verweise auf Bestimmungen desselben Absatzes erfolgen unter Angabe der Nummer des Absatzes, des Berechnungsverhältnisses, der Zahl oder der Tabelle;

(b) Verweise auf Bestimmungen in anderen Absätzen dieser technischen Vorschrift erfolgen unter Angabe der Nummer des Absatzes und des Unterabsatzes, des Berechnungsverhältnisses, der Zahl oder der Tabelle.

(c) Verweise auf Bestimmungen anderer technischer Vorschriften erfolgen unter Angabe des Bezeichners dieser technischen Vorschrift.

(15) Die technische Vorschrift NP 007 ist wie folgt aufgebaut:

1. Allgemeine Informationen
2. Grundlegende Anforderungen
3. Seismische Bemessung
4. Bemessungswerte für Spannungen
5. Festigkeitskapazität
6. Zusammensetzung und Bewehrung
7. Fertigteilkonstruktionen

(16) Die Kapitel 1 bis 7 haben normativen Charakter.

1.3. Begriffsbestimmungen

(17) Die in dieser technischen Vorschrift verwendeten Begriffsbestimmungen für Stahlbetonrahmenkonstruktionen lauten wie folgt:

Rahmen: strukturelle Unterbaugruppe aus Trägern und Stützen, die starr in Verbindungen verbunden sind (Verbindungen, die die relative Drehung der Träger und Stützen in den an die Verbindung angrenzenden Abschnitten einschränken). Für die Zwecke dieser Begriffsbestimmung haben Stützen eine vertikale Längsachse oder, im Falle von Abweichungen, beträgt der Winkel, der durch die Achse der Stütze mit der Vertikalen gebildet wird, weniger als 0,1 rad.

Gebäude: oberirdischer und gegebenenfalls unterirdischer Bau, der dazu dient, Personen, Materialien, Maschinen oder Ausrüstung usw. zu beherbergen.

Bauteil: unbeweglicher Teil des tragenden, architektonischen oder anlagentechnischen Systems;

Tragendes Bauteil: ein Bauteil eines Gebäudes, das den Ausgleich der Kräfte, die durch verschiedene Arten von Einwirkungen auf das Bauteil oder andere Bauteile verursacht werden, gewährleistet.

Nichttragendes Bauteil: ein Bauteil eines Gebäudes, das an dem Tragwerk befestigt ist und nur eine architektonische oder funktionale Rolle spielt.

Hauptbauteil: ein Bauteil eines Tragwerks, das dazu bestimmt ist, die Kräfte auszugleichen, die durch seismische Belastungen verursacht werden, die auf alle Kategorien von Bauteilen wirken.

Sekundäres Bauteil: ein Bauteil eines Tragwerks, das so konstruiert ist, dass es Kräften standhält, die durch andere Einwirkungen als seismische Einwirkungen verursacht werden und alle Kategorien von Bauteilen betreffen.

Inhalt: entfernbare Gegenstände im Gebäude, die von den Nutzern hineingebracht wurden.

Liegenschaft: ein oder mehrere benachbarte Grundstücke, mit oder ohne Gebäude, die demselben Eigentümer gehören.

Reversible plastische Verformungen: plastische Verformungen, die durch wechselnde zyklische Belastungen auftreten, wobei die plastischen Verformungen, die durch Belastung in einer Richtung auftreten, größtenteils oder vollständig durch Belastung in der entgegengesetzten Richtung ausgeglichen werden, sodass die Akkumulationsrate von einem Zyklus zum anderen gering ist.

Horizontale Membran: tragendes Element, das die koordinierte, stabile Einbindung der vertikalen Elemente bei der Aufnahme der horizontalen seismischen Kräfte gewährleistet.

Indirekte Wirkung: Variation der axialen Kraft in einem tragenden vertikalen Element, das durch starre horizontale Elemente verbunden ist und aufgrund horizontaler Einwirkungen gegen andere tragende vertikale Elemente beständig ist.

Träger: Tragendes Bauteil aus Stahlbeton, das in erster Linie einem Biegemoment und einer Querkraft ausgesetzt ist, wobei die durchschnittliche normalisierte Axialkraft weniger als 0,10 beträgt und das Verhältnis zwischen der Spannweite und der Querschnittshöhe größer als 3 ist.

Lücken: Hohlräume jeglicher Form in einem strukturellen oder nicht strukturellen Element.

Verbindung: der Bereich der Verbindung zwischen den Stützen und Trägern der Tragwerke, der zwischen den Querschnitten an den Enden dieser Elemente, die sie abgrenzen, liegt.

Endverbindung: eine Verbindung, in die ein einzelner Träger in Berechnungsrichtung eintritt.

Redundanz: die Eigenschaft eines Tragwerks, zwei oder mehr Wege zum Ausgleich der seismischen Trägheitskräfte zu haben, sodass die Stabilität der Tragwerks im Falle des Versagens eines tragenden Elements erhalten bleibt.

Rahmenartiges Tragwerksystem: ein Tragwerksystem, bei dem sowohl vertikale als auch horizontale Lasten in erster Linie von räumlichen Rahmen getragen werden, wobei der Beitrag der Stützen zur Querkraft auf der Ebene der konventionellen Verankerung 65 % der Grundquerkraft übersteigt.

Stütze: ein vertikales oder annähernd vertikales Bauteil, das Gravitationslasten überwiegend durch axiale Kompression trägt, mit einem Verhältnis von lichter Höhe zu Querschnittshöhe größer als 2 in beiden horizontalen Richtungen.

Tragwerk: die Gesamtheit der tragenden Bauteile und der Verbindungen zwischen ihnen, die die Stabilität des Gebäudes bei verschiedenen Arten von Einwirkungen gewährleisten.

Haupttragwerk: die Gesamtheit der wichtigsten seismischen Bauteile und der Verbindungen zwischen ihnen, die die Stabilität von Gebäuden bei verschiedenen Arten von Einwirkungen gewährleisten.

Konventioneller Verankerungsbereich: der Bereich, von dem aus die horizontale seismische Einwirkung auf das Tragwerk übertragen wird.

Torsionsweiche Struktur: Struktur mit unzureichender Gesamtsteifigkeit und Torsionssteifigkeit.

Kritischer Bereich: Bereich eines Hauptbauteils, in dem plastische Verformungen infolge seismischer Einwirkung auftreten können.

Plastischer Bereich: Bereich eines Hauptbauteils, in dem sich durch seismische Einwirkung plastische Verformungen gemäß der Konfiguration des plastischen Mechanismus entwickeln.

1.4. Maßeinheiten

(18) Es werden Einheiten des Internationalen Systems verwendet.

(19) Für Berechnungen sind folgende Maßeinheiten zu empfehlen:

- Abmessungen, Abstände: m, mm;
- Kräfte und Lasten: kN, kNm, kN/m, kN/m^2;
- Kräfte insgesamt: N/mm^2
- Masse: kg;
- Spezifische Masse (Dichte): kg/m^3;
- Spezifisches Gewicht: kN/m^3;
- Geschwindigkeiten: m/s;
- Beschleunigung: m/s^2;

1.5. Symbole

(20) Die in dieser technischen Vorschrift verwendeten Symbole sind bei der betreffenden Formel aufgeführt.

1.6. Normative Referenzdokumente

(21) Die normativen Referenzdokumente sind in Tabelle 1.1 und Tabelle 1.2 enthalten.

Tabelul 1.1 Technische Referenzvorschriften

Ref. Nr.	Regelung
1.	Bemessungsvorschrift. Bauplanungsgrundlagen, Referenz CR 0-2012, genehmigt durch die Verordnung Nr. 1530/2012 des Ministers für regionale Entwicklung und Tourismus und ergänzt durch die Verordnung Nr. 2411/2013 des Ministers für regionale Entwicklung und öffentliche Verwaltung, nachstehend in diesem Dokument als Bemessungsvorschrift CR 0 bezeichnet
2	Seismische Bemessungsvorschrift, Teil I, Bemessungsbestimmungen für Gebäude, Referenz P 100-1
3	Vorschrift für die Bemessung von Gebäuden mit Stahlbetonbauwänden, Referenznummer CR2-1-1.1/2022, genehmigt durch die Verordnung Nr. 171/2023 des Ministers für Entwicklung, öffentliche Arbeiten und Verwaltung, im Folgenden in diesem normativen Dokument als CR2-1-1.1 bezeichnet
4	Regeln für die Herstellung und Ausführung von Bauwerken aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Teil 1: Herstellung von Beton, Referenznummer NE 012/1-2022, genehmigt durch die Verordnung Nr. 30/2023 des Ministers für Entwicklung, öffentliche Arbeiten und Verwaltung, im Folgenden in diesem Dokument als Regel NE 012/1 bezeichnet
5	Regeln für die Herstellung und Ausführung von Bauwerken aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Teil 2: Ausführung von Betonarbeiten, Referenznummer NE 012/2-2022, genehmigt durch die Verordnung Nr. 28/2023 des Ministers für Entwicklung, öffentliche Arbeiten und Verwaltung, im Folgenden in diesem normativen Dokument als NE 012/2 bezeichnet
6.	Vorschriften über die Gestaltung von Oberflächenfundamenten, Referenz NP 112-2014, genehmigt durch die Verordnung Nr. 2352/2014 des Ministers für Verkehr, Bau und Tourismus, nachstehend in diesem normativen Dokument NP 112 genannt

Tabelul 1.2 Rumänische Referenzstandards:

Aktuelle Nr.	**Norm**	**Bezeichnung**
1.	SR EN 1992-1-1:2004	Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken. Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau
2.	SR EN 1998-1:2004	Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben. Teil 1: Grundlagen, Erdbebeneinwirkungen und Regeln für Hochbauten
3.	SR EN 1998-3:2004	Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben. Teil 3: Beurteilung und Ertüchtigung von Gebäuden

(22) Die in dieser technischen Vorschrift enthaltene Liste der technischen Bezugsvorschriften ist zusammen mit der von den zuständigen Regulierungsbehörden veröffentlichten Liste der geltenden Regulierungsdokumente zu konsultieren.

(23) Die neuesten Ausgaben der rumänischen Bezugsnormen sind zu verwenden, gegebenenfalls zusammen mit den nationalen Anhängen, Änderungen und Errata, die von der nationalen Normungsorganisation veröffentlicht wurden.

(24) Werden in einer bestimmten Bemessungssituation gesonderte Bestimmungen in dieser technischen Vorschrift oder in den anwendbaren normativen Referenzdokumenten festgelegt, so führen die Bestimmungen zu dem höchsten Leistungsniveau in Bezug auf die grundlegenden Bemessungsanforderungen gemäß Kapitel 2..

2. Grundlegende Anforderungen

(25) Diese technische Vorschrift enthält Bestimmungen für die Bemessung von Tragwerken in Stahlbetonrahmen, um die Grundanforderung „mechanische Festigkeit und Stabilität“ zu erfüllen.

(26) Die grundlegenden Anforderungen an die seismische Bemessung von Gebäuden mit Betonrahmenkonstruktionen und die damit verbundenen Grenzzustände sind im der Bemessungsvorschrift P 100-1 definiert.

(27) Um der Grundanforderung „mechanische Festigkeit und Stabilität“ gerecht zu werden, gelten die spezifischen technischen Vorschriften zusammen mit den zusätzlichen Bestimmungen dieser technischen Vorschrift.

(28) Tragwerke in Stahlbetonrahmen müssen so ausgelegt sein, dass sie alle Einwirkungen während der Ausführung und des Betriebs für Grenzzustände und Betriebsgrenzzustände gemäß den Bestimmungen der Bemessungsvorschrift. CR 0 übernehmen.

(29) Die spezifischen Gewichte von Baumaterialien und gelagerten Materialien, die Eigengewichte der Gebäudeelemente und die Arbeitslasten für Gebäude sind nach SR EN 1991-1-1 zu bestimmen.

(30) Die Schneelasten sind gemäß den Bestimmungen von dem Konstruktionscode CR 1-1-3 zu bestimmen.

(31) Die Windlasten werden nach den Bestimmungen des Entwurfskodex CR 1-1-4 ermittelt.

(32) Die Bemessung von Stahlbetonkonstruktionen für die Auswirkungen von Schwerkraft und Windeinwirkung erfolgt gemäß den Bestimmungen der SR EN 1992-1-1.

(33) Die seismische Bemessung von tragenden Bauteilen ist gemäß den Bestimmungen der technischen Vorschrift P 100-1 und der technischen Vorschrift NP 007 durchzuführen. Die seismische Bemessung von nichttragenden Bauteilen ist gemäß den Bestimmungen der technischen Vorschrift P 100-1 durchzuführen.

(34) Die Bemessung der seismischen Einwirkung ist gemäß den Bestimmungen der technischen Vorschrift P 100-1 durchzuführen.

(35) Bei der Bemessung von Infrastrukturen und Fundamenten werden die Bestimmungen der technischen Vorschriften NP 112 und P 100-1 zusammen mit den zusätzlichen Bestimmungen dieser technischen Vorschrift angewandt.

(36) Um die grundlegenden Anforderungen an die seismische Bemessung von Gebäuden in Stahlbetonrahmen zu erfüllen, müssen spezifische Qualitätsanforderungen gemäß den Bestimmungen der Kapitel 3.-7. erfüllt werden.

3. Seismische Bemessung

3.1. Allgemeine Informationen

(37) Seismische Leistungskriterien für Gebäude mit Betonrahmenkonstruktionen werden gemäß den Bestimmungen von P 100-1 sowie den zusätzlichen Bestimmungen dieser technischen Vorschrift festgelegt.

3.1.1. Bauteile

(38) Die wichtigsten tragenden Bauteile eines Tragwerks in Stahlbetonrahmen sind:

(d) Träger, Stützen und Träger-Stützen-Verbindungen sowie Platten von Deckenscheiben, die den Überbau bilden und sich über dem konventionellen Verankerungsbereich befinden;

(e) Träger, Stützen, Träger-Stützen-Verbindungen, Wände und Betonfundamente, die die Infrastruktur bilden, befinden sich unterhalb des konventionellen Verankerungsbereichs.

(39) Die sekundären tragenden Bauteile einer Stahlbetonrahmenkonstruktion können Platten, Stützen, Träger und Träger-Stützen-Verbindungen oder andere Arten von tragenden Bauteilen sein, die dazu dienen, andere Lasten als seismische Lasten auf den Boden zu übertragen, ohne Teil des Haupttragwerks zu sein.

(40) Unter Berücksichtigung der geringen Steifigkeit gegenüber horizontalen Einwirkungen von Rahmenstrukturen, die durch Wechselwirkung mit sekundären tragenden Bauteilen wesentlich verändert werden können, wird empfohlen, die Anzahl der sekundären Bauteile gering zu halten. In Tragwerken mit Stahlbetonrahmen werden sekundäre tragende Bauteile hauptsächlich in Form von Sekundärträgern mit Sekundärstützen verwendet, die dazu dienen, die Öffnungen der Platten zu reduzieren, um Steifigkeit und Festigkeit unter Gravitationseinwirkungen zu gewährleisten.

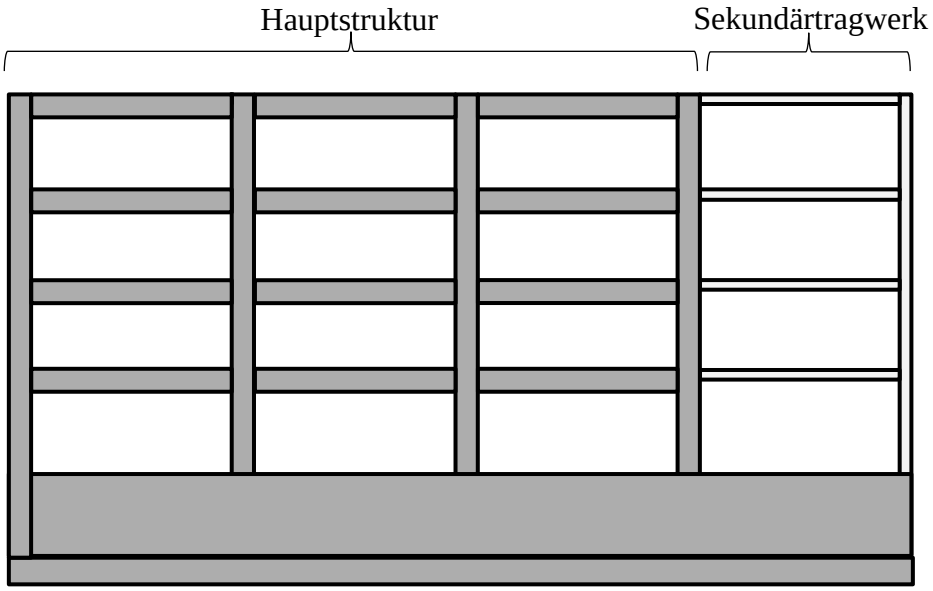


Abbildung 3.1 Veranschaulichende Darstellung der Verteilung von tragenden Haupt- und Sekundär.

3.1.2. Duktilitätsklassen

(41) Bei der Bestimmung der Duktilitätsklasse gelten die Bestimmungen der Bemessungsvorschrift P 100-1 zusammen mit den zusätzlichen Bestimmungen dieses Absatzes.

(42) Gebäude mit Tragwerken in Stahlbetonrahmen können gemäß den spezifischen Bestimmungen für jede der in der technischen Vorschrift P 100-1 vorgesehenen Duktilitätsklassen ausgelegt werden.

(43) Unter Berücksichtigung der geometrischen Proportionen der Stützen und Träger und des vorherrschenden Zustands der Biegespannung, mit oder ohne Axialkraft, haben die Tragwerke in Stahlbetonrahmen eine hohe Kapazität für plastische Verformung und Ableitung seismischer Energie.

(44) Es wird empfohlen, Gebäude mit Tragwerken in Stahlbetonrahmen für die Duktilitätsklasse DCM oder DCH zu entwerfen, unabhängig vom Standort.

3.2. Kriterien für die Zusammensetzung von Tragwerken

3.2.1. Konfiguration des Haupttragwerks

(45) Bei der Festlegung der Konfiguration des Tragwerks sind die Bestimmungen der Bemessungsvorschrift P 100-1 zusammen mit den zusätzlichen Bestimmungen dieses Absatzes anzuwenden.

(46) Rahmenartige Tragwerksysteme können in folgender Zusammensetzung verwendet werden:

(f) flach, wobei das rahmenartige Tragwerksystem nur in einer Hauptrichtung des Gebäudes verwendet wird,

oder

(g) räumlich, wobei das rahmenartige Tragwerksystem in beiden Hauptrichtungen des Gebäudes verwendet wird.

(47) In Gebäuden, die für die Duktilitätsklasse DCH mit einem räumlichen Rahmentragwerksystem ausgelegt sind, müssen die vertikalen Ebenen der Rahmen parallel zu zwei horizontalen orthogonalen Hauptrichtungen angeordnet sein.

(48) In Gebäuden, die für die Duktilitätsklasse DCM mit einem räumlichen Rahmentragwerksystem ausgelegt sind, wird empfohlen, dass die vertikalen Ebenen der Rahmen parallel zu zwei orthogonalen horizontalen Hauptrichtungen verlaufen.

(49) In Gebäuden, die für die Duktilitätsklasse DCM oder DCH ausgelegt sind, müssen die als Hauptbauteile konzipierten Stützen auf allen Ebenen horizontal so angeordnet sein, dass sie sich vertikal überlappen.

(50) Bei Rahmentragwerken, die für die Duktilitätsklasse DCH ausgelegt sind, müssen Träger, die als Hauptbauteile ausgelegt sind, direkt auf den Stützen aufliegen. Das Abstützen von Trägern, die als Hauptbauteile konzipiert sind, auf Trägern oder Halterungen an einem oder beiden Enden ist nicht zulässig.

(51) Bei Rahmentragwerken, die für die Duktilitätsklasse DCH oder DCM ausgelegt sind, wird empfohlen, Stützen, die als sekundäre tragende Bauteile ausgelegt sind, auf Rahmenträgern, die Hauptbauteile sind, zu vermeiden. Falls unvermeidbar, muss die betreffende Stütze außerhalb der kritischen Bereiche der Träger und in einem Abstand von mindestens $1{,}50\,h_w$ von den Enden des Trägers angebracht werden, wobei h_w die Höhe des Querschnitts des Trägers ist.

(52) Es ist nicht gestattet, Gebäude zu errichten, in denen das Tragwerk in einer oder beiden Hauptrichtungen ausschließlich aus Stützen und Platten ohne Träger besteht. Bei der Bemessung kann nicht davon ausgegangen werden, dass die Betonplatte des Bodens die Träger der Rahmen ersetzt.

(53) In Gebäuden, die für die Duktilitätsklasse DCH mit einem räumlichen Rahmentragwerksystem ausgelegt sind, sind die Stützen der Betonrahmen in geraden Reihen angeordnet, die nach den orthogonalen Hauptrichtungen ausgerichtet sind. Die Rahmenträger sind parallel zu den orthogonalen Hauptrichtungen angeordnet. Die Träger verbinden alle Enden der Stützen auf jeder Ebene, in jeder Hauptrichtung. Stützen sind an den Schnittpunkten der Begrenzungsrahmen in zwei Richtungen angeordnet.

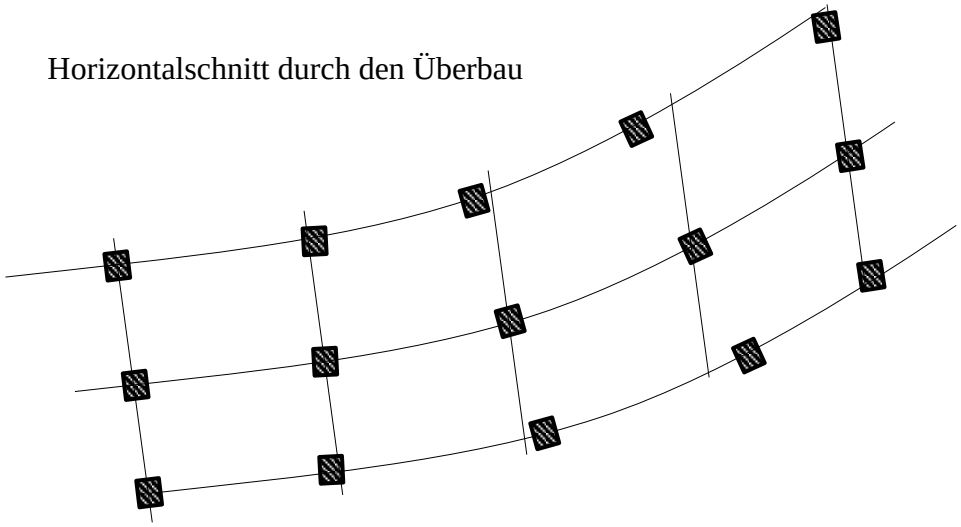


Abbildung 3.1 Veranschaulichende Darstellung der Nichteinhaltung der Bestimmungen von (53)

(54) Im Falle von Gebäuden, die für die Duktilitätsklasse DCM oder DCH ausgelegt sind, mit einem Tragwerksystem des flachen Rahmentyps, bei dem die Rahmen parallel zu nur einer der orthogonalen Hauptrichtungen angeordnet sind, können die folgenden Arten von Tragwerksystemen in senkrechter Richtung verwendet werden:

(h) Wandartiges Tragwerksystem mit gedämmten Wänden;

(i) Wandartiges Tragwerksystem mit gekoppelten Wänden;

(j) Doppeltes Tragwerksystem mit vorherrschenden Wänden;

(k) Doppeltes Tragwerksystem mit vorherrschenden Rahmen;

(l) Tragwerksystem mit Kragstützen.

(55) Es wird empfohlen, Träger mit rechteckigem Querschnitt zu verwenden.

(56) Es wird empfohlen, Stützen mit rechteckigem oder kreisförmigem Querschnitt zu verwenden.

3.2.2. Regelmäßigkeit des Tragwerks

3.2.2.1. Horizontale Regelmäßigkeit

(57) Die horizontale Regelmäßigkeit von Gebäuden wird gemäß den Bestimmungen der technischen Vorschrift P 100-1 sowie den zusätzlichen Bestimmungen dieser technischen Vorschrift bestimmt.

(58) Gebäude mit einem räumlichen rahmenartigen Tragwerksystem, bei dem die Stützen nicht an allen Schnittstellen der Begrenzungsrahmen an den Ecken des Gebäudes angeordnet sind, die für jedes Rahmenpaar üblich sind, sind in der horizontalen Ebene unregelmäßig.

(59) Im Falle des räumlichen Rahmentragwerksystems wird empfohlen, dass die Steifigkeitsebenen des Tragwerks in jeder orthogonalen Hauptrichtung so nah wie möglich beieinander liegen.

3.2.2.2. Vertikale Regelmäßigkeit

(60) Die vertikale Regelmäßigkeit von Gebäuden wird gemäß den Bestimmungen der technischen Vorschrift P 100-1 sowie den zusätzlichen Bestimmungen dieser technischen Vorschrift bestimmt.

(61) Zusätzlich zu den Bestimmungen der technischen Vorschrift P 100-1 gelten die folgenden Gebäudetypen mit einem Tragwerk aus Stahlbetonrahmen in der vertikalen Ebene als unregelmäßig:

(m) Gebäude mit Trenn- und Umfassungswänden aus Mauerwerk jeglicher Art oder Beton, wenn im Erdgeschoss offene Gewerbeflächen oder Parkplätze eingerichtet sind;

(n) Gebäude mit unterbrochenen Stützen, die auf Trägern ruhen.

3.2.3. Gesamttorsionssteifigkeit

(62) Es gelten die Bestimmungen der technischen Vorschrift P 100-1.

3.2.4. Redundanz des Tragwerks

(63) Es gelten die Bestimmungen der technischen Vorschrift P 100-1.

3.2.5. Abstände zwischen Gebäuden

(1) Es gelten die Bestimmungen der technischen Vorschrift P 100-1.

(2) Bei Tragwerken mit Stahlbetonrahmen, die Böden in unterschiedlichen Höhen aufweisen, können Kollisionen zwischen Gebäuden und/oder Gebäudeabschnitten dazu führen, dass die Stützen aufgrund der Querkraft, die durch die Belastung der Stützen mit den Reaktionskräften zunimmt, brechen. Die Vermeidung dieser Art von Ausfall erfolgt durch Gewährleistung des Mindestabstands zwischen Gebäuden und/oder Abschnitten gemäß den Bestimmungen von P 100-1. Eine Kompensation des Abstands zwischen Gebäuden und/oder Abschnitten durch Erhöhung der Querkraftfestigkeit der Stützen ist nicht zulässig.

3.2.6. Deckenscheiben

(3) Die Berücksichtigung der Scheibensteifigkeit bei der Gesamtreaktion von Betonrahmentragwerken auf seismische Einwirkungen erfolgt gemäß den Bestimmungen der technischen Vorschrift P 100-1.

(4) Es wird empfohlen, dass die Bodenplatten aus monolithischen oder gemischten Systemplatten, Fertigteilplatten mit monolithischer Betonschicht bestehen.

(5) Bei Bodenplatten aus Fertigteilplatten sind ohne Überbetonierung Maßnahmen zu treffen, um die Unversehrtheit des Trägers und die Stabilität der Platten im Falle einer Trägerdehnung infolge der Ansammlung von plastischen Verformungen durch Biegen zu gewährleisten. Für die Verbindung der Platten mit den Stützträgern sind mechanische Systeme vorzusehen, die auf die Dehnfähigkeit der Platte in ihrer Ebene ausgelegt sind. Die Verlegung von vorgefertigten Platten auf Trägern ohne Verbindung durch mechanische Systeme ist nicht zulässig.

(6) Es wird empfohlen, die Bodenplatte auf jeder Ebene kontinuierlich so zu konstruieren, dass sie in der horizontalen Ebene auf derselben Höhe waagerecht bleibt.

(7) Bei Tragwerken mit Stahlbetonrahmen wird empfohlen, dass die Konfiguration des Tragwerks sicherstellt, dass die vertikalen Lasten, die auf die Bodenplatten aufgebracht werden, in zwei Richtungen in engen Proportionen auf die Rahmenträger übertragen werden.

(8) Die Abstände in den Böden müssen so angeordnet sein, dass in Verbindung mit der Anordnung der Böden das Steifigkeits- und Festigkeitsverhalten der Deckenscheibe nicht beeinträchtigt wird.

3.2.7. Konventioneller Verankerungsbereich

(9) Die Lage des konventionellen Verankerungsbereichs ist gemäß den Bestimmungen der technischen Vorschrift P 100-1 sowie den zusätzlichen Bestimmungen dieser technischen Vorschrift zu bestimmen.

(10) Bei Rahmentragwerken wird empfohlen, den konventionellen Verankerungsbereich wie folgt festzulegen:

(o) Bei Gebäuden ohne unterirdische Geschosse, bei denen die Fundamente unmittelbar unter dem Bodenniveau von 0,00 liegen, ist der konventionelle Verankerungsbereich auf der Ebene dieses Bodens vorzusehen.

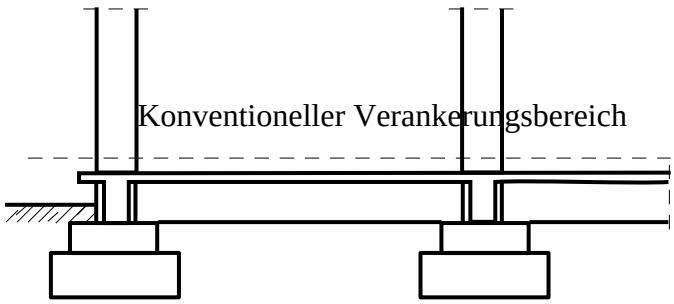


Abbildung 3.1 Veranschaulichende Darstellung der Lage des konventionellen Verankerungsbereichs in Gebäuden ohne Untergeschosse, bei denen die Fundamente unmittelbar unter dem Bodenniveau von 0,00 liegen

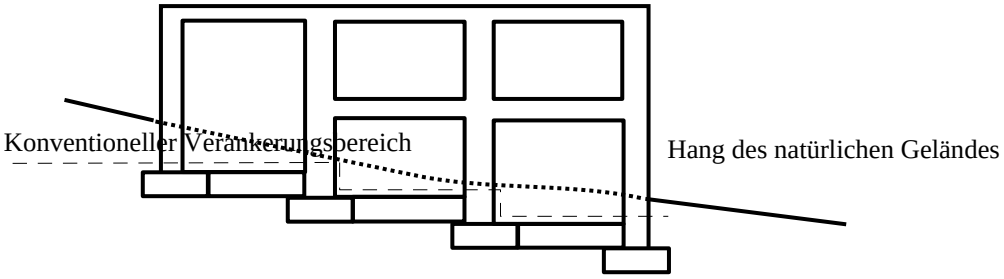


Abbildung 3.2 Veranschaulichende Darstellung der Lage des konventionellen Verankerungsbereichs in Gebäuden mit Stahlbetonrahmen auf abschüssigem Gelände mit variabler Fundamenthöhe

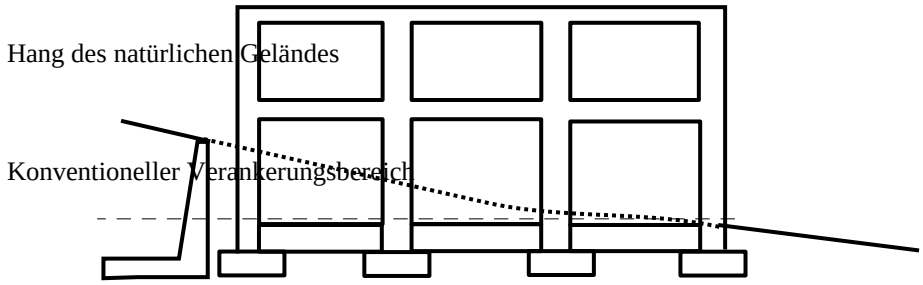


Abbildung 3.3 Veranschaulichende Darstellung der Lage des konventionellen Verankerungsbereichs in Gebäuden Stahlbetonrahmen auf abschüssigem Gelände mit einheitlicher Fundamenthöhe

(p) Bei Gebäuden ohne unterirdische Geschosse, bei denen die Fundamente in einem Abstand von der Unterseite des Bodenniveaus von 0,00 liegen, ist der konventionelle Verankerungsbereich auf der oberen Ebene des Fundamentsystems vorzusehen;

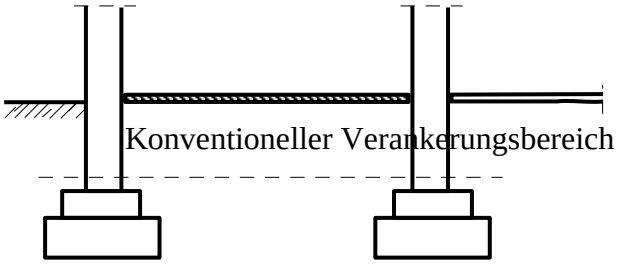


Abbildung 3.4 Veranschaulichende Darstellung der Lage des konventionellen Verankerungsbereichs in Gebäuden ohne Untergeschosse, bei denen die Fundamente in einem Abstand von der Unterseite des Bodenniveaus von 0,00 liegen

(q) Bei unterkellerten Gebäuden kann davon ausgegangen werden, dass der konventionelle Verankerungsbereich an der Oberkante des Kellers liegt, wenn der Keller mit durchgehenden Stahlbetonwänden ausgeführt ist.

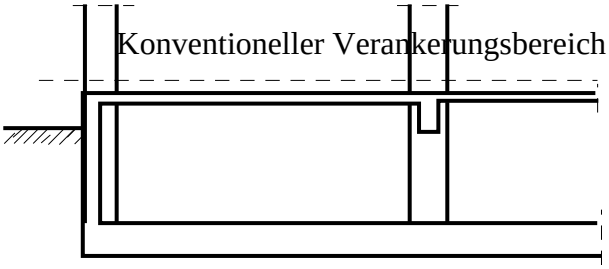


Abbildung 3.5 Veranschaulichende Darstellung der Lage des konventionellen Verankerungsbereichs in unterkellerten Gebäuden mit einer durchgehenden Begrenzungswand aus Beton

3.2.8. Optimaler plastischer Mechanismus

(1) Der optimale plastische Mechanismus wird gemäß den Bestimmungen der technischen Vorschrift P 100-1 zusammen mit den zusätzlichen Bestimmungen dieser technischen Vorschrift festgelegt.

(2) Bei Gebäuden, die für die Duktilitätsklasse DCM oder DCH ausgelegt sind, müssen die Tragwerke so ausgelegt sein, dass sie unter horizontaler seismischer Einwirkung gemäß P 100-1 einen optimalen plastischen Mechanismus entwickeln können.

(3) Der optimale plastische Mechanismus bei Betonrahmentragwerken, der eine optimale Kapazität zur Ableitung der durch horizontale seismische Einwirkungen verursachten Energie aufweist, hat die folgenden Eigenschaften:

(r) Plastische Verformungen werden durch Biegen der tragenden Elemente an der Basis der Stützen unmittelbar über dem konventionellen Verankerungsbereich und an den Enden aller Träger in jeder Öffnung erzeugt;

(s) Plastische Verformungen von tragenden Elementen sind moderat und gleichmäßig über das Haupttragwerk verteilt;

(t) Die tragenden Elemente haben eine ausreichende plastische Verformungskapazität in Bezug auf die beim Bemessungserdbeben zu erwartenden plastischen Verformungen, die dem Grenzzustand der Tragfähigkeit entsprechen, bei stabilem Hystereseverhalten;

(u) Plastische Verformungen sind umkehrbar;

(v) Tragende Elemente sind so zu konstruieren, dass jegliche Art von Brüchigkeit vermieden wird.

(4) Die Biegefestigkeiten von Trägern und Stützen sind so hierarchisiert, dass die größtmögliche Anzahl von plastischen Bereichen in den Trägern unter Einwirkung horizontaler seismischer Kräfte bis zur Bildung des gesamten plastischen Mechanismus mobilisiert wird.

(5) Der Zustand spezifischer Verformungen, die der plastischen Biegeverformung von Trägern und Stützen entsprechen, ist durch Folgendes gekennzeichnet:

(w) die spezifische Verformung der gestreckten Längsbewehrungen erfüllt die Bedingung:

$$\varepsilon_{sy} < \varepsilon_s < \varepsilon_{su} \tag{3.1}$$

(x) die spezifische Druckverformung in Beton erfüllt die Bedingung:

$$\varepsilon_c \leq \varepsilon_{cu} \tag{3.2}$$

wobei gilt:

ε_c spezifische Verformung von verdichtetem Beton;

ε_{cu} die endgültige spezifische Dehnung des Betons bei Druckbelastung;

ε_s spezifische Verformung gestreckter Längsbewehrungen;

ε_{sy} die spezifische Fließverformung des Stahls;

ε_{su} die endgültige spezifische Verformung des Stahls.

In diesem Stadium des Verhaltens ist das Reißen des Betons aufgrund von Zugspannungen zulässig.

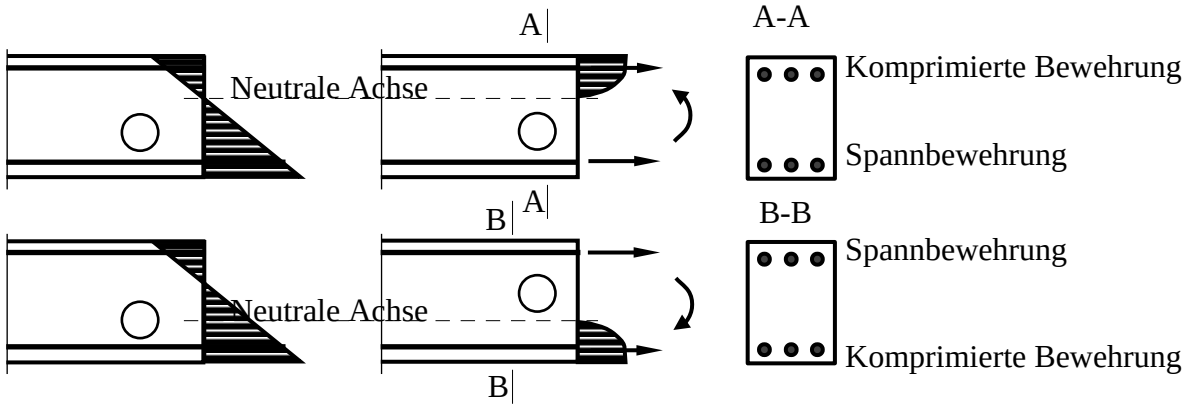


Abbildung 3.2 Veranschaulichende Darstellung: Zustand der Gesamtkräfte und der spezifischen Verformungen pro Abschnitt entsprechend dem Biegefluss

(6) Der Zustand spezifischer Verformungen, die der elastischen Biegeverformung von Träger und Stützen entsprechen, ist gekennzeichnet durch:

(y) die spezifische Verformung der gestreckten Längsbewehrungen erfüllt die Bedingung:

$$\varepsilon_s < \varepsilon_{sy} \tag{3.1}$$

wobei gilt:

ε_s spezifische Verformung gestreckter Längsbewehrungen;

ε_{sy} die spezifische Fließverformung des Stahls;

(z) Die spezifische Druckverformung in Beton erfüllt die Bedingung (3.2).

In diesem Stadium des Verhaltens ist das Reißen des Betons aufgrund von Zugspannungen zulässig.

(7) Für die beiden Richtungen der seismischen Einwirkung in einer bestimmten horizontalen Richtung werden die plastischen Zonen in denselben Positionen angeordnet, um die Reversibilität der plastischen Dehnungsverformungen der Längsbewehrung zu gewährleisten.

(8) Die Ausrichtung der Positionen der plastischen Zonen an der Spannweite eines Trägers oder an der lichten Höhe einer Stütze erfolgt durch Steuerung der Biegefestigkeitskapazitäten in Bezug auf die Kraftwerte, die sich aus der strukturellen Berechnung unter der seismischen Bemessungseinwirkung ergeben. Zu diesem Zweck kann die Längsbewehrung lokal ergänzt werden, um die Biegefestigkeit zu erhöhen, sofern sie nicht in die kritischen Bereiche der Träger und/oder Stützen eindringt.

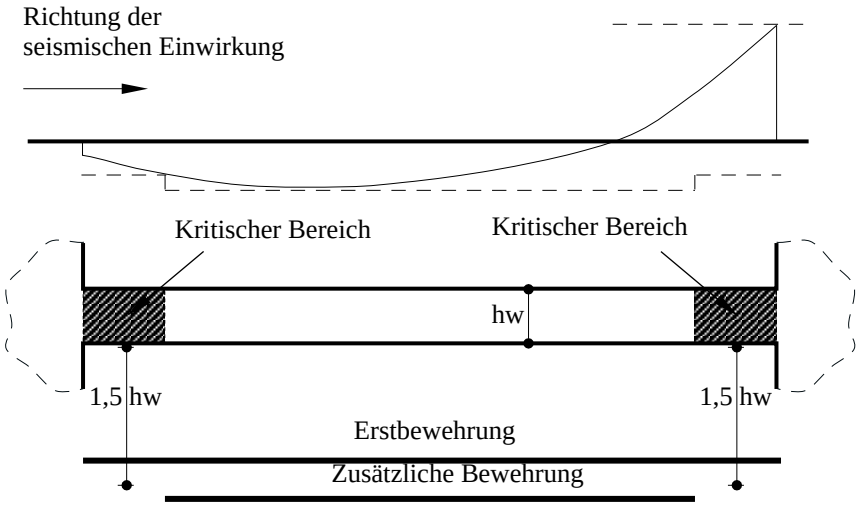


Abbildung 3.3 Veranschaulichende Darstellung der Ausrichtung der plastischen Zonen an den Enden des Trägers durch lokale Ergänzung der Längsbewehrung

(9) Bei Trägern, bei denen aufgrund der besonderen Situation der Zusammensetzung und Belastung die plastischen Zonen nicht auf die Enden gerichtet werden können, ist es zulässig, plastische Zonen in einem Abstand von den Enden des Trägers zu bilden, wenn die Drehung, die der erwarteten Bewegung im Endgrenzzustand in diesen plastischen Zonen entspricht, kleiner oder gleich 0,01 Radiant ist.

(10) Abweichend von (3) können bei eingeschossigen Bauwerken, bei denen es aufgrund der besonderen Konstruktion und der Belastungssituation des Rahmens nicht möglich ist, die plastische Verbindung auf das Ende eines oder mehrerer Träger zu richten, plastische Verbindungen an beiden Enden der entsprechenden Stützen gebildet werden.

(11) Abweichend von (3) ist in der obersten Ebene von mehrgeschossigen Bauwerken, wenn es aufgrund der besonderen Situation der Rahmenzusammensetzung und -belastung nicht möglich ist, die plastische Verbindung auf das Ende eines oder mehrerer Träger zu richten, die Bildung von plastischen Verbindungen an den oberen Enden der entsprechenden Stützen zulässig.

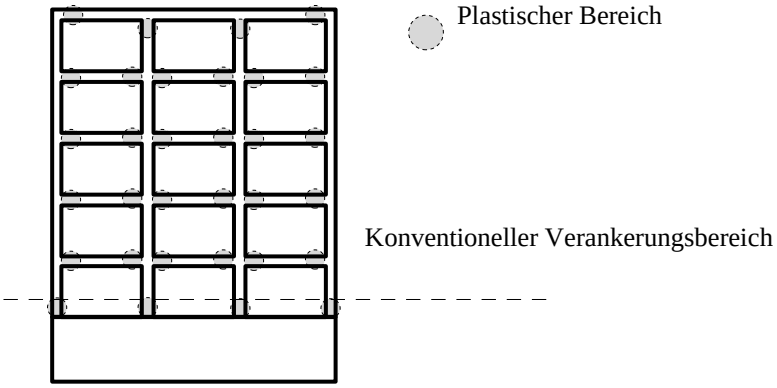


Abbildung 3.4 Veranschaulichende Darstellung eines optimalen plastischen Mechanismus: Lage der plastischen Zonen für eine mehrgeschossige Rahmenkonstruktion

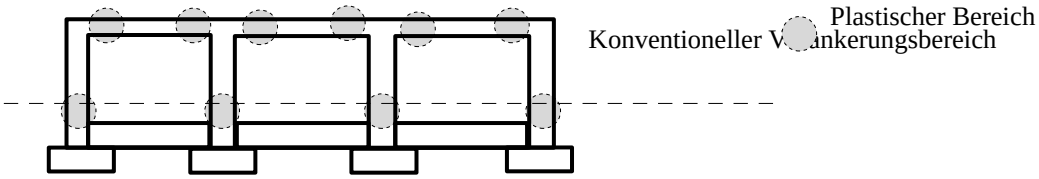


Abbildung 3.5 Veranschaulichende Darstellung eines optimalen plastischen Mechanismus: Lage der plastischen Zonen für eine eingeschossige Rahmenkonstruktion mit kleinen Öffnungen

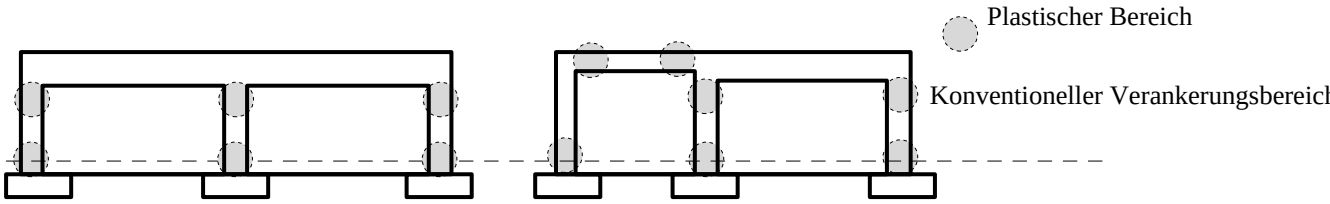


Abbildung 3.6 Veranschaulichende Darstellung eines optimalen plastischen Mechanismus: Lage der plastischen Zonen für eine eingeschossige Rahmenkonstruktion mit großen Öffnungen

(12) Die Träger-Stützen-Verbindungen des Rahmens sind so konstruiert, dass sie ausschließlich im elastischen Bereich unter der seismischen Bemessungseinwirkung entsprechend dem Grenzzustand der Tragfähigkeit reagieren.

(13) Die Böden sind so zu konstruieren, dass sie sich unter Lasten, die parallel zu ihrer Mittelebene verlaufen, ausschließlich elastisch verhalten, entsprechend der seismischen Bemessungseinwirkung, die dem Grenzzustand der Tragfähigkeit entspricht.

(14) Die Infrastruktur und die Fundamente sind für eine ausschließlich elastische Reaktion auf die Einwirkung des Bemessungserdbebens im Zusammenhang mit dem Grenzzustand der Tragfähigkeit ausgelegt.

3.2.9. Sekundäre tragende Bauteile

(15) Die sekundären tragenden Bauteile entsprechen den Bestimmungen der technischen Vorschrift P 100-1 sowie den zusätzlichen Bestimmungen dieser technischen Vorschrift.

(16) Sekundäre tragende Bauteile ruhen auf Stützen oder Trägern.

(17) Liegen die Sekundärträger auf den Hauptstützen in ihrer lichten Höhe auf, befindet sich der Schnittstellenbereich außerhalb der kritischen Bereiche der Stützen in den beiden horizontalen Richtungen.

(18) Liegen die Sekundärträger auf den Hauptträgern auf, so muss sich der Schnittstellenbereich zwischen ihnen außerhalb der kritischen Bereiche der Hauptträger befinden und in einem Abstand von mehr als $1{,}50\,h_w$ von den Enden der Hauptträger, wobei h_w die Höhe des Hauptträgerquerschnitts ist.

(19) Wenn Konsolen von den Hauptstützen ausgehen, befindet sich der Schnittstellenbereich zwischen diesen Elementen außerhalb der kritischen Bereiche der Stützen in den beiden horizontalen Richtungen.

(20) In mehrgeschossigen Gebäuden, die für die Duktilitätsklasse DCH ausgelegt sind, müssen die sekundären tragenden Bauteile der Treppen so beschaffen sein, dass sie die lichte Höhe der Hauptstützen nicht verringern und bei Einwirkung des Bemessungserdbebens, die dem Grenzzustand der Trägfähigkeit entspricht, keine horizontalen Stützen für sie darstellen.

(21) In mehrgeschossigen Gebäuden, die für die Duktilitätsklasse DCM ausgelegt sind, kann die Wechselwirkung zwischen sekundären tragenden Bauteilen von Treppen und Hauptstützen über die lichte Höhe eines Geschosses zulässig sein, wenn:

(aa) die Bemessungswerte der Querkräfte in der Hauptstütze unter Berücksichtigung des horizontalen Stützpotenzials, das die sekundären tragenden Bauteile der Treppe durch Verringerung der lichten Höhe der Stütze darstellen, berechnet werden;

(bb) über die gesamte lichte Höhe der Stütze auf jeder Ebene, auf der die Wechselwirkung auftritt, die Anordnung der Querbewehrung gemäß den für den kritischen Bereich geltenden Bestimmungen bestimmt wird.

(22) Bei Tragwerken, die für die Duktilitätsklasse DCH oder DCM ausgelegt sind, müssen die Stützen, wenn sie in direktem Kontakt mit starren Beton- oder Mauerwerksbrüstungen stehen, in ihrer über den Brüstungen gemessenen lichten Höhe die Bedingung in 6.2.2., (181) erfüllen.

3.2.10. Nichttragende Bauteile

(23) Bei Gebäuden in Rahmenbauweise, die für die Duktilitätsklasse DCH oder DCM ausgelegt sind, wird empfohlen, die nichttragenden Bauteile der Umschließung und der ebenen Trennelemente aus leichten Materialien mit geringer Steifigkeit bei Einwirkungen parallel zu ihrer Mittelebene und mit ausreichender Verformungskapazität herzustellen.

(24) Bei Umschließungs- und Trennwänden aus starren und festen Materialien (z. B. Mauerwerk) ist vorgesehen, dass die Zusammensetzung (Maße, Lage und Größe der Hohlräume) und die Art der Befestigung an den tragenden Elementen ungünstige Wechselwirkungen vermeiden und sicherstellen muss, dass der Abbau in diesen Wänden gemäß den Bestimmungen der Bemessungsvorschrift P 100-1 begrenzt wird.

(25) Anlagenkomponenten und Ausrüstungen mit unterschiedlichen Verwendungszwecken sowie ihre tragenden Befestigungen müssen so beschaffen

sein, dass ihre Stabilität gewährleistet ist und die durch die Wechselwirkung zwischen ihnen und anderen Bauteilen des Gebäudes verursachten nachteiligen Auswirkungen beherrscht werden.

3.3. Seismische Leistungskriterien für das Haupttragwerk

3.3.1. Grenzzustand der Tragfähigkeit

3.3.1.1. Festigkeit

(26) Das Tragwerk ist so auszulegen, dass die Widerstandsfähigkeit des gesamten Gebäudes gegen horizontale Einwirkungen in jeder horizontalen Richtung größer oder gleich der nach der technischen Vorschrift P 100-1 ermittelten Grundquerkraft ist. Für diese Überprüfung entspricht die Festigkeit der Konstruktion als Ganzes für horizontale Einwirkungen den Bemessungswerten der Festigkeiten der Materialien und der Wirkung der statisch angewandten horizontalen Kräfte, verteilt nach den Ergebnissen der Modalanalyse für den grundlegenden Schwingungsmodus in jeder betrachteten Richtung.

(27) Die Hauptbauteile sind so zu konstruieren, dass sie die folgende Bedingung erfüllen:

$$E_d \leq R_d \tag{3.1}$$

ausgedrückt in Bezug auf die Stärke, wobei:

E_d Bemessungswert der Belastung unter der seismischen Bemessungskombination, wobei auch die Auswirkungen zweiter Ordnung berücksichtigt werden, sofern sie signifikant sind;

R_d korrespondierender Wert des fähigen Aufwands, berechnet mit den Bemessungswerten der Festigkeiten der Materialien, basierend auf den mechanischen Modellen, die für den Typ des Bauteils spezifisch sind.

(28) Die Bedingung nach (27) ist für alle tragenden Elemente über ihre gesamte Länge erfüllt.

(29) Bei Stützen und Trägern von Tragwerken in Stahlbetonrahmen gilt der Zustand (3.1) als erfüllt, wenn:

$$M_{Rd} \geq M_{Ed} \tag{3.2}$$

$$V_{Rd} \geq V_{Ed} \tag{3.3}$$

wobei gilt:

M_{Rd} der Bemessungswert der Biegefestigkeit;

M_{Ed} der Bemessungswert des Biegemoments;

V_{Rd} der Bemessungswert der Festigkeit gegenüber der Querkraft;

V_{Ed} der Bemessungswert der Querkraft.

(30) Die Träger der Rahmen sind so konstruiert, dass ihr Querschnitt nicht bei Biegung durch den Druck des Betons vor dem Nachgeben der Längsbewehrung versagt.

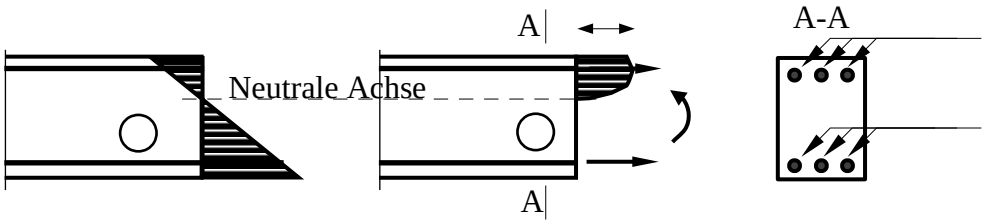


Abbildung 3.2 Veranschaulichende Darstellung: Zustand der Einheitsspannungen und spezifische Verformungen an dem Abschnitt, der dem Biegeversagen eines Trägers entspricht

(31) Bei Stützen ist der Bemessungswert der Biegemomententragfähigkeit unter Berücksichtigung des Bemessungswerts der Axialkraft zu bestimmen. Die Bewertung ist für jede Richtung und jede Art seismischer Einwirkung getrennt vorzunehmen.

(32) Rahmenartige Tragwerksysteme in Gebäuden, die für die Duktilitätsklasse DCH oder DCM ausgelegt sind, sind so zu konstruieren, dass die Stützen in der Höhe unmittelbar über dem konventionellen Verankerungsbereich im Falle der Entstehung des optimalen plastischen Mechanismus einer exzentrischen Kompression unterliegen.

(33) Die Stützen müssen so konstruiert sein, dass die Abschnitte unter exzentrischer Kompression durch den Druck des Betons vor dem Fließen der gestreckten Längsbewehrungen am Ende des Querschnitts versagen.

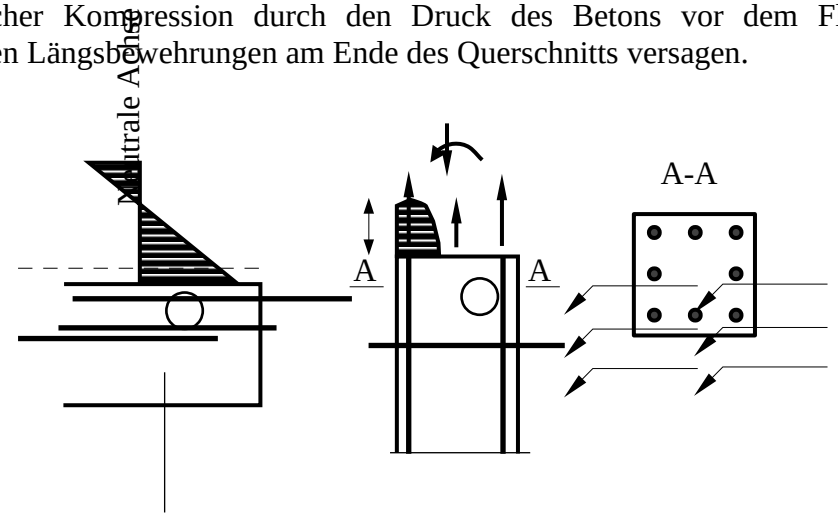


Abbildung 3.3 Veranschaulichende Darstellung: Zustand der Einheitsspannungen und spezifische Verformungen an dem Abschnitt, der dem Biegeversagen einer Stütze entspricht

(34) Die komprimierten Stützen verhalten sich unter den Bedingungen des Falls I der exzentrischen Kompression entsprechend der Darstellung in Abbildung 3.15. In dieser Darstellung entspricht die Randsituation „B“ dem Fall, in dem die spezifische Verformung der gedehnten Bewehrung gleichzeitig mit dem Versagen des Druckbetons gleich der spezifischen Streckgrenze des Stahls wird.

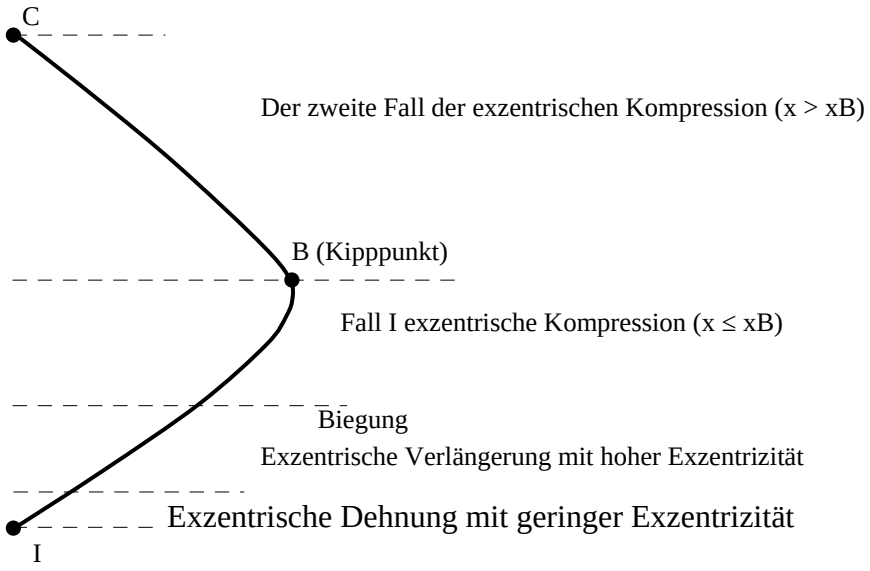


Abbildung 3.4 Grenzkurve der M-N-Wechselwirkung

(35) Bei Träger-Stützen-Verbindungen von Tragwerken in Rahmen gilt Zustand (3.1) als erfüllt, wenn:

$$V_{Rd} \geq V_{Ed} \tag{3.1}$$

wobei gilt:

V_{Rd} der Bemessungswert der Festigkeit gegenüber der Querkraft;

V_{Ed} der Bemessungswert der Querkraft.

(36) Das Haupttragwerk muss so beschaffen sein, dass die Stabilität, Festigkeit und Steifigkeit gegenüber horizontalen seismischen Einwirkungen des Gebäudes nicht durch die Torsionsreaktion der tragenden Bauteile gewährleistet werden. Die Torsionsfestigkeit und -steifigkeit von tragenden Bauteilen wird bei der seismischen Bemessung vernachlässigt.

(37) Bei Gebäuden, die für die Duktilitätsklasse DCH oder DCM ausgelegt sind, muss an jeder Träger-Stützen-Verbindung von Tragwerken in Betonrahmen die folgende Bedingung erfüllt sein:

$$\sum M_{Rd,c} \geq \gamma_{Rd} \sum M_{Rd,b} \tag{3.2}$$

wobei gilt:

$\sum M_{Rd,c}$ die Summe der in der betrachteten Richtung berechneten Bemessungswerte der axialen Biegefestigkeiten der in die Verbindung eintretenden Stützen in den an die Verbindung angrenzenden Abschnitten;

Hinweis: Bei dieser Prüfung sind die Mindestwerte der axialen Biegefestigkeit der Stützen zu berücksichtigen, die der möglichen Veränderung der axialen Kräfte in der seismischen Gruppe entsprechen.

$\sum M_{Rd,b}$ die Summe der Bemessungswerte der Biegefestigkeiten der Träger, die in der betrachteten Richtung in die Verbindung eintreten, in den an die Verbindung angrenzenden Abschnitten;

γ_{Rd} Teilsicherheitsfaktor zur Bewertung der Unsicherheiten im Modell zur Berechnung der Festigkeit, hauptsächlich aufgrund des postelastischen Verfestigungseffekts von Stahl:

$$\gamma_{Rd} = 1{,}35 \; für \; DCH$$
$$\gamma_{Rd} = 1{,}25 \; für \; DCM \qquad (3.3)$$

Hinweis: Die Stützen, für die die Bestimmung nach (35) nicht erfüllt ist, gelten in der Bemessung als sekundäre tragende Bauteile.

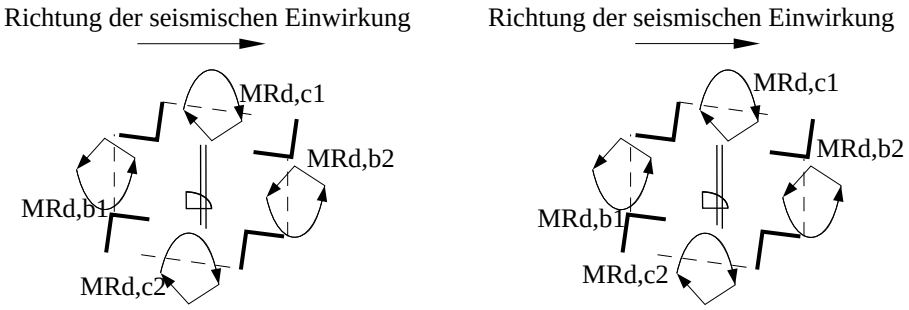


Abbildung 3.5 Berücksichtigte Richtung der Momente bei der Überprüfung des Zustands von (3.2) für eine Träger-Stützen-Verbindung

(38) Abweichend von (35) kann in eingeschossigen Gebäuden und am oberen Ende der obersten Stützen von mehrgeschossigen Gebäuden der Zustand (3.2) möglicherweise nicht erfüllt werden.

(39) Bei Tragwerken mit Trägern, die parallel zu den beiden orthogonalen Hauptrichtungen angeordnet sind, ist die Bedingung (3.2) in jeder orthogonalen Hauptrichtung und für jede der beiden Richtungen der seismischen Einwirkung klar erfüllt.

3.3.1.2. Begrenzung relativer Geschossverschiebungen

(40) Für das seismische Haupttragwerk muss die folgende Bedingung auf jedem Geschoss erfüllt sein:

$$d_{Ed,r}^{SLU} \leq d_{Rd,r}^{SLU} \qquad (3.1)$$

wobei gilt:

$d_{Ed,r}^{SLU}$ der Bemessungswert der relativen Geschossverschiebung in horizontaler Richtung in der seismischen Kombination von Einwirkungen am Grenzzustand der Tragfähigkeit, auch unter Berücksichtigung von Effekten zweiter Ordnung, wenn signifikant;

$d_{Rd,r}^{SLU}$ der Bemessungswert der relativen Geschossverschiebung, der für Prüfungen am Grenzzustand der Tragfähigkeit zulässig ist.

(41) Die relative Geschossverschiebung ist gleich dem absoluten Wert der Differenz zwischen den horizontalen Verschiebungen der Schnittpunkte einer vertikalen Linie mit den beiden aufeinanderfolgenden horizontalen Deckenscheiben über und unter dem betreffenden Geschoss.

Im Fall des Geschosses unmittelbar über dem konventionellen Verankerungsbereich ist in Gebäuden, in denen die Verformungen der Infrastruktur und der Fundamente in horizontaler Richtung vernachlässigt werden können, die

relative Geschossverschiebung gleich der Verschiebung des Punktes am Schnittpunkt einer vertikalen Linie mit der Deckenscheibe über dem Geschoss.

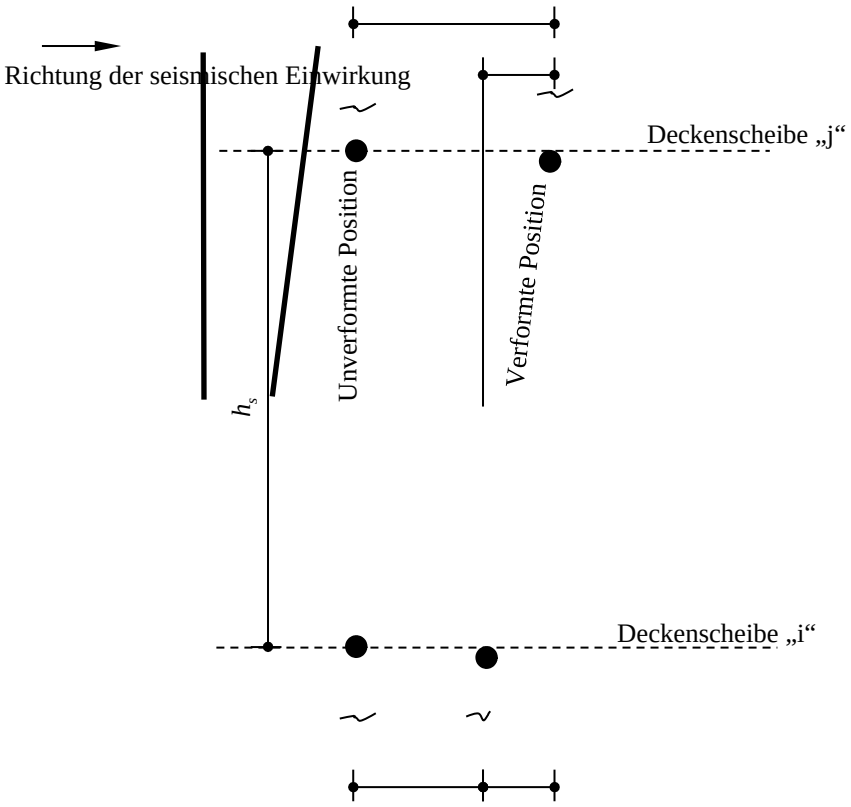


Abbildung 3.2 Veranschaulichende Darstellung: Berechnung der relativen Geschossverschiebung für eine mehrgeschossige Struktur

(42) Die Erfüllung der Bedingung (3.1) ist auf allen Geschossen und an jedem Punkt der Deckenscheiben unabhängig von ihrem Typ zu überprüfen.

(43) Wenn die Berechnung des Tragwerks durch eine lineare statische Berechnungsmethode durchgeführt wird, wird der Bemessungswert der horizontalen Verschiebung, d_{Ed}^{SLU}, eines Punktes im Tragwerk durch die folgende Formel bestimmt:

$$d_{Ed}^{SLU} = cq\, d'^{SLU}_{Ed} \qquad (3.1)$$

wobei gilt:

d_{Ed}^{SLU} der Bemessungswert der horizontalen Verschiebung des Punktes, verursacht durch die Einwirkung des Bemessungserdbebens entsprechend dem Grenzzustand der Tragfähigkeit;

d'^{SLU}_{Ed} der Wert der Punktverschiebung, der durch Berechnung des Tragwerks unter Verwendung einer linearen statischen Berechnungsmethode entsprechend dem Grenzzustand der Tragfähigkeit bestimmt wird;

q der bei der Berechnung des Bemessungswerts der seismischen Kraft für den Grenzzustand der Tragfähigkeit zugrunde gelegte Verhaltensfaktor;

c Verstärkungsfaktor der Verschiebung für den Grenzzustand der Tragfähigkeit.

Der Verstärkungsfaktor der Verschiebung für den Grenzzustand der Tragfähigkeit ist mit folgender Formel zu bestimmen:

$$\begin{cases} c = 1 + 2\left(1 - 1{,}1\dfrac{T_1}{T_C^{SLU}}\right)\left(\dfrac{\sqrt{q\,T_C^{SLU}}}{1{,}65} - 1\right) \\ c \geq 1 \\ c \leq \dfrac{\sqrt{q\,T_C^{SLU}}}{1{,}65} \end{cases} \tag{3.2}$$

wobei gilt:

T_1 die grundlegende Schwingungsdauer des Gebäudes für Schwingungen in horizontaler Berechnungsrichtung;

T_C^{SLU} Eckperiode (Kontrolle) des horizontalen Beschleunigungsspektrums für Bemessungsprüfungen am Grenzzustand der Tragfähigkeit.

q Verhaltensfaktor des Tragwerks.

Der Bemessungswert der relativen Geschossverschiebung für Prüfungen am Grenzzustand der Tragfähigkeit zwischen zwei aufeinanderfolgenden Deckenscheiben „*i*“ und „*j*“, $d_{Ed,r,ij}^{SLU}$, wird mit der folgenden Formel bestimmt:

$$d_{Ed,r,ij}^{SLU} = cq\,d'^{SLU}_{Ed,r,ij} = cq\left(d'^{SLU}_{Ed,j} - d'^{SLU}_{Ed,i}\right) \tag{3.3}$$

wobei gilt:

$d'^{SLU}_{Ed,j}$ und $d'^{SLU}_{Ed,i}$ Verschiebungen, die sich aus der Berechnung des Tragwerks unter der seismischen Bemessungseinwirkung ergeben, die dem Grenzzustand der Tragfähigkeit auf Deckenscheibenebene „*j*“ und „*i*“ entspricht.

(44) Wird die Berechnung des Tragwerks durch die lineare dynamische Berechnungsmethode durchgeführt, ist der Bemessungswert der horizontalen Verschiebung eines Punktes im Tragwerk d_{Ed}^{SLU}, der absolute Höchstwert der horizontalen Verschiebung dieses Punktes, der durch Berechnung unter seismischer Bemessungseinwirkung bestimmt wird und dem Grenzzustand der Tragfähigkeit entspricht, multipliziert mit dem Faktor c festgelegt in Übereinstimmung mit (43).

(45) Wird die Berechnung des Tragwerks nach der nichtlinearen dynamischen Berechnungsmethode durchgeführt, ist der Bemessungswert der horizontalen Verschiebung eines Punktes im Tragwerk d_{Ed}^{SLU},, der absolute Höchstwert der horizontalen Verschiebung dieses Punktes, der durch Berechnung unter seismischer Bemessungseinwirkung bestimmt wird und dem Grenzzustand der Tragfähigkeit entspricht.

(46) Bei Anwendung der nichtlinearen statischen Berechnungsmethode ist der Bemessungswert der horizontalen Verschiebung eines Punktes im Tragwerk d_{Ed}^{SLU},, der Wert der Verschiebung dieses Punktes, der mit der erwarteten Verschiebung des Gebäudes unter der seismischen Bemessungseinwirkung verbunden ist und dem Grenzzustand der Tragfähigkeit entspricht.

(47) Bei der Prüfung von verglasten Vorhangfassaden oder anderen am Tragwerk hängenden Fassaden wird davon ausgegangen, dass der Bemessungswert horizontaler Verschiebungen um 30 % höher ist als der Bemessungswert gemäß den Bestimmungen von (43), (44), (45) oder (46). Die so ermittelten Bemessungswerte

der horizontalen Verschiebungen bilden die Grundlage für den Planer des Fassadensystems.

(48) Der Bemessungswert der zulässigen relativen Geschossverschiebung für Prüfungen im Grenzzustand der Tragfähigkeit $d_{Rd,r}^{SLU}$, ist gleich $0{,}025\,h_s$, wobei h_s die Gesamthöhe des Geschosses ist.

3.3.1.3. Begrenzung von Verformungen der Hauptbauteile

(49) Bei seismischen Hauptbauteilen oder gegebenenfalls deren Verbindungen muss die folgende Bedingung erfüllt sein:

$$\theta_{Ed}^{SLU} \leq \theta_{Rd}^{SLU} \tag{3.1}$$

(50) Wenn die Berechnung des Tragwerks mit einem linearen statischen Berechnungsverfahren durchgeführt wird, kann der Bemessungswert der Drehung der Hauptbauteile, die sich plastisch durch Biegung verformen, vereinfacht unter Verwendung der folgenden Formel bestimmt werden:

$$\theta_{Ed}^{SLU} = cq\,\theta'^{SLU}_{Ed} \tag{3.2}$$

wobei gilt:

c der Verstärkungsfaktor der Verschiebung, der gemäß 3.3.1.2., (43) bestimmt wurde.

θ_{Ed}^{SLU} die Stabdrehung, dargestellt durch den Winkel zwischen der Sekante und der Stabachse an dem Ende, an dem der durch die seismische Bemessungseinwirkung erzeugte Fluss auftritt, entsprechend dem Grenzzustand der Tragfähigkeit;

θ'^{SLU}_{Ed} die Stabdrehung, dargestellt durch den Winkel zwischen der Sekante und der Stabachse an dem Ende, an dem der Fluss auftritt, wie durch lineare statische Berechnung in der seismischen Gruppe bestimmt:

$$\theta'^{SLU}_{Ed} = \frac{d_V}{L_V} \tag{3.3}$$

L_V der Abstand vom betrachteten Ende des Elements zum Wendepunkt seiner Verformung;

d_V die Verschiebung am Wendepunkt, die senkrecht zur Achse des unverformten Elements vom betrachteten Ende des Elements gemessen wird.

Bei Trägern von Rahmentragwerken können Größen θ'^{SLU}_{Ed} durch das Verhältnis der relativen Geschossverschiebung $d'^{SLU}_{Ed,r}$ und der Geschosshöhe h_s angenähert werden:

$$\theta'^{SLU}_{Ed} = \frac{d'^{SLU}_{Ed,r}}{h_s} \tag{3.4}$$

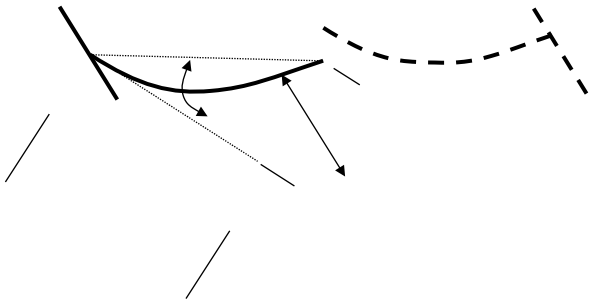


Abbildung 3.2 Stabdrehung bestimmt durch lineare statische Berechnung in der seismischen Gruppe

(51) Die zulässigen Drehungswerte, θ_{Rd}^{SLU}, werden anhand der Zusammensetzungs- und Bewehrungseigenschaften gemäß den Bestimmungen von SR EN 1998-3 für den signifikanten Abbaugrenzzustand mit dem Verfahren nach SR EN 1992-1-1 ermittelt.

(52) Abweichend von (51), können die zulässigen Werte der Drehungen, θ_{Rd}^{SLU}, für Kontrollen im Grenzzustand der Tragfähigkeit, wenn die erwarteten Drehungen bei seismischer Bemessungseinwirkung durch die lineare statische Berechnungsmethode bestimmt werden, gemäß den Bestimmungen der Tabelle 3.1.

Tabelul 3.1 Zulässige Drehungswerte, θ_{Rd}^{SLU}

Hauptbauteil	**Zulässige Drehungswerte θ_{Rd}^{SLU} (rad)**	
	Duktilitätsklasse	
	DCH	DCM
Rahmenträger	3,00 %	2,50 %
Pfeiler	2,50 %	2,00 %

3.3.1.4. Stabilität

(53) Das Tragwerk als Ganzes, die verschiedenen Baugruppen und die tragenden Elemente müssen geometrisch stabil sein. Zu diesem Zweck werden die Elemente und Tragwerke mit geeigneten Formen und Größen in Übereinstimmung mit den Bemessungswerten der Einwirkungen hergestellt.

(54) Die Stabilität des Tragwerks gegen Umkippen und Gleiten ist durch die Verwendung eines Fundamentsystems zu gewährleisten, das den physikalisch-mechanischen Eigenschaften des Fundamentbodens entspricht.

(55) Die allgemeine Torsionsstabilität des Tragwerks wird durch die Anordnung der Rahmen in der richtigen horizontalen Ebene gewährleistet.

(56) Die lokale Stabilität der Stützen und Träger wird gewährleistet durch:

(cc) Auswahl geeigneter Querschnittsformen;

(dd) die obere Begrenzung der lichten Öffnung des Elements, gemessen zwischen den Verbindungspunkten, die die Stützen bilden, wobei die Verschiebungen senkrecht zu seiner Achse begrenzt werden;

(ee) die obere Begrenzung der Axialkraft.

(57) Die lokale Stabilität der Betonbodenplatten, die Teil der Böden mit der Funktion der Deckenscheibe sind und Druckkräften parallel zur Medianebene ausgesetzt sind, ist sicherzustellen durch:

(ff) die untere Begrenzung der Plattendicke;

(gg) obere Begrenzung der lichten Öffnung der Platte in Richtung der Druckbelastung, gemessen zwischen den Verbindungspunkten, die Stützen für die Platte bilden, indem die Bewegungen in einer Richtung senkrecht zu ihrer Ebene beschränkt werden;

3.3.2. Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit: Begrenzung relativer Geschossbewegungen

(58) Das Haupttragwerk ist mit ausreichender Steifigkeit gegenüber horizontalen Einwirkungen konstruiert, um seine horizontalen Verschiebungen entsprechend der elastischen oder quasi-elastischen Reaktion zu begrenzen, indem die folgende Bedingung erfüllt wird:

$$d_{Ed,r}^{SLS} \leq d_{Rd,r}^{SLS} \tag{3.1}$$

wobei gilt:

$d_{Ed,r}^{SLS}$ der Bemessungswert der relativen Geschossverschiebung in horizontaler Richtung in der seismischen Gruppe im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit, auch unter Berücksichtigung signifikanter Effekte zweiter Ordnung;

$d_{Rd,r}^{SLS}$ der Bemessungswert der relativen Geschossverschiebung, der für Prüfungen im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit zulässig ist.

Hinweis: Diese Bedingung stellt sicher, dass auf der Etage des Gebäudes als Ganzes die Degradierung von nicht-tragenden Elementen begrenzt ist. Jedoch können größere Degradationen von nichttragenden Elementen lokal aufgrund der ungleichen Verteilung der Verformungen auf den einzelnen Ebenen auftreten.

(59) Die relative Geschossverschiebung bei Prüfungen im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit wird gemäß 3.3.1.2., (41) bestimmt.

(60) Erfolgt die Berechnung des Tragwerks nach einer linearen statischen Berechnungsmethode, so wird der Bemessungswert der horizontalen Verschiebung eines Punktes im Tragwerk anhand der folgenden Gleichung bestimmt:

$$d_{Ed}^{SLS} = q\, d'^{SLS}_{Ed} \tag{3.2}$$

wobei gilt:

d_{Ed}^{SLS} der Bemessungswert der durch die seismische Bemessungseinwirkung verursachten horizontalen Punktverschiebung entsprechend dem Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit;

d'^{SLS}_{Ed} der Wert der Punktverschiebung, der durch lineare statische Berechnung in der seismischen Gruppe im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit bestimmt wird;

q der für die Berechnung des Bemessungswerts der seismischen Kraft verwendete Verhaltensfaktor, der dem Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit entspricht.

Der Bemessungswert der relativen Geschossverschiebung für Prüfungen im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit zwischen zwei aufeinanderfolgenden Deckenscheiben „*i*“ und „*j*“, $d_{Ed,r,ij}^{SLS}$, wird mit der folgenden Formel bestimmt:

$$d_{Ed,r,ij}^{SLS} = q d'_{Ed,r,ij}^{SLS} = q\left(d'_{Ed,j}^{SLS} - d'_{Ed,i}^{SLS}\right) \tag{3.3}$$

wobei gilt:

$d'_{Ed,j}^{SLS}$ und $d'_{Ed,i}^{SLS}$ Verschiebungen, die sich aus der Berechnung des Tragwerks unter der seismischen Bemessungseinwirkung entsprechend dem Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit der Deckenscheiben „*j*“ und „*i*“ ergeben.

(61) Erfolgt die Berechnung der Struktur nach der linearen oder nichtlinearen dynamischen Berechnungsmethode, so ist der Bemessungswert der horizontalen Verschiebung eines Punktes im Tragwerk der maximale absolute Wert der horizontalen Verschiebung dieses Punktes unter der seismischen Bemessungseinwirkung, die dem Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit entspricht.

(62) Erfolgt die Berechnung des Tragwerks nach der nichtlinearen statischen Berechnungsmethode, so ist der Bemessungswert der horizontalen Verschiebung eines Punktes im Tragwerk der Wert der Verschiebung dieses Punktes im Zusammenhang mit der erwarteten Verschiebung des Gebäudes unter der seismischen Bemessungseinwirkung, die dem Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit entspricht.

(63) Bei der Prüfung von verglasten Vorhangfassaden oder anderen am Tragwerk hängenden Fassaden wird davon ausgegangen, dass der Bemessungswert horizontaler Verschiebungen um 30 % höher ist als der Bemessungswert gemäß den Bestimmungen von (60), (61) oder (62). Die so ermittelten Bemessungswerte der horizontalen Verschiebungen bilden die Grundlage für den Planer des Fassadensystems.

(64) Der Bemessungswert der zulässigen relativen Geschossverschiebung für Prüfungen des Grenzzustands der Gebrauchstauglichkeit beträgt:

(hh) $0{,}005\,h_s$ für Gebäude, die nichttragende Bauteile enthalten, die aufgrund horizontaler Verformungen des Tragwerks eine erhebliche Verschlechterung aufweisen können;

(ii) $0{,}0075\,h_s$ für Gebäude, die nicht vom Typ (hh) sind.

wobei gilt:

h_s Gesamtgeschosshöhe.

3.4. Berechnung des Tragwerks

3.4.1. Berechnungsmethoden

(65) Für die Bemessung sind eine oder mehrere der folgenden Methoden zur Berechnung der Tragwerke zu verwenden:

(jj) die lineare statische Berechnungsmethode: äquivalente statische Querkraftmethode und/oder Methode der Modalberechnung mit Antwortspektren,

(kk) die lineare dynamische Berechnungsmethode,

(ll) die nichtlineare statische Berechnungsmethode,

(mm) die nichtlineare dynamische Berechnungsmethode.

unter den Bedingungen der technischen Vorschrift P 100-1.

(66) Bei räumlichen Tragwerken, bei denen die Rahmen nicht in zwei orthogonalen Hauptrichtungen ausgerichtet sind, erfolgt die Überprüfung des Tragwerks nach der nichtlinearen statischen Berechnungsmethode.

3.4.2. Modellierung für die Berechnung

(67) Die Modellierung für die Berechnung erfolgt gemäß den Bestimmungen der technischen Vorschrift P 100-1 und den zusätzlichen Bestimmungen für Betonrahmentragwerke, wie in diesem Absatz vorgesehen.

3.4.2.1. Statische lineare Berechnung

(68) Das Tragwerk wird dreidimensional modelliert und umfasst alle tragenden und nichttragenden Bauteile, die die elasto-plastische Reaktion des Tragwerks auf die seismische Bemessungseinwirkung in der Projektposition beeinflussen können.

> Hinweis: Nicht-tragende Elemente, die die elasto-plastische Reaktion der Struktur beeinflussen können, sind zum Beispiel die massiven Mauerwände, die in den Gittern der Rahmen eingeschlossen sind. Die Modellierung dieser Wände ist nicht erforderlich, wenn auf jeder tage des Gebäudes ihre Steifigkeit und Widerstandsfähigkeit gegenüber horizontalen Einwirkungen im Vergleich zur Steifigkeit und Festigkeit der Baugruppe verringert werden oder wenn sie von der Konstruktion durch Verbindungen auf drei Seiten isoliert sind.

(69) Das Berechnungsmodell der minimalen Komplexität umfasst alle tragenden Elemente und Verbindungen zwischen ihnen und wird durch Blockierung vertikaler und horizontaler Bewegungen am unteren Rand der Infrastruktur gestützt.

(70) Abweichend von (69) kann das Modell zur Berechnung der minimalen Komplexität durch Verankerung der Stützenbasis auf der Ebene des konventionellen Verankerungsbereichs unterstützt werden für:

(nn) Gebäude, die keine Geschosse unterhalb des konventionellen Verankerungsbereichs aufweisen;

(oo) Gebäude, die auch ein oder mehrere Geschosse unterhalb des konventionellen Verankerungsbereichs aufweisen, wenn ihr Tragwerk die Drehung der Rahmenstützen in der Nähe des konventionellen Verankerungsbereichs des Gebäudes wirksam einschränkt.

Die Drehung von Stützen kann wirksam eingeschränkt werden, wenn sie unterhalb des konventionellen Verankerungsbereichs durch Kellerwände in mindestens zwei orthogonalen Richtungen durchschnitten werden.

(71) Für die Berechnung der Kräfte in den Infrastrukturelementen und der Belastungen am Boden wird das Berechnungsmodell von minimaler Komplexität in vertikaler Richtung von unidirektionalen Federn abgestützt, wobei das elastische Verhalten nur unter Druck erfolgt und horizontale Bewegungen am Boden der Infrastruktur blockiert sind.

(72) Abweichend von (71) kann bei Gebäuden, die nicht über Geschosse unterhalb des konventionellen Verankerungsbereichs verfügen, die Bemessung der Fundamente und der Infrastruktur auf der Grundlage einfacher technischer Modelle unter Einhaltung der Gleichgewichtsbedingungen berechnet werden.

(73) Für die Berechnung von Überbauspannungen und -verformungen wird auch eine Modellierung des in (71) angegebenen Abstützung vor Ort empfohlen.

(74) Die Modellierung von Stützen und Trägern wird minimal mit Stabelementen erreicht, die einer Axialkraft, einem Biegemoment, einer Querkraft in zwei Richtungen und einer Torsion ausgesetzt werden.

(75) Die Modellierung der Wände der Geschosse unterhalb der konventionellen Verankerungshöhe erfolgt minimal durch membranartige Flächenelemente, die in der Kernebene der Wand liegen.

(76) Die Modellierung der Bauteilplatten der Böden erfolgt minimal durch membranartige Flächenelemente.

(77) Bei der Berechnung der Spannungen und/oder Verformungen ist die Verformbarkeit der Böden gegenüber Einwirkungen parallel zur Medianebene der Platten zu berücksichtigen. Die Antwort im elastischen Bereich ist als minimal zu betrachten.

(78) Abweichend von (77) können die Platten im Überbau als nicht verformbar gegenüber Einwirkungen parallel zur Mittelebene der Platten modelliert werden, wenn die Tragwerke die Anforderungen an die Regelmäßigkeit in den horizontalen und vertikalen Ebenen gemäß der Bemessungsvorschrift P 100-1 erfüllen, mit Ausnahme der Platte, die sich unmittelbar unterhalb des konventionellen Verankerungsbereichs befindet.

(79) Bei der Modellierung der Steifigkeit der Bauteile des Tragwerks werden die Auswirkungen von Betonrissen berücksichtigt.

(80) Die Biegesteifigkeit für Bauteile des Tragwerks in Betonrahmen wird als die Hälfte des Wertes, der dem Bruttoquerschnitt im ungerissenen Zustand entspricht, angesetzt.

(81) Die Steifigkeit der Axialkräfte in der Ebene der einzelnen Platten der Böden wird mit 0,70 des Wertes des ungerissenen Rohquerschnitts angesetzt.

(82) Abweichend von (80) und (81) können bei der Berechnung der Spannungen in Tragwerken in Stahlbetonrahmen unterschiedliche Werte des Reduktionsfaktors für die Biegesteifigkeit und die axiale Kraft aufgrund der Rissbildung des Betons gewählt werden, wenn sie auf der Grundlage der in SR EN 1992-1-1 angegebenen Berechnungsmodelle, basierend auf der tatsächlichen Zusammensetzung jedes Elements und dem erwarteten Spannungszustand, bestimmt werden.

(83) Abweichend von (80) können bei der Berechnung der Kräfte die folgenden Faktoren zur Verringerung der Biegesteifigkeit herangezogen werden:

(pp) für verdichtete Stützen: 0,80;

(qq) für gestreckte Stützen: 0,20;

(rr) für Träger: 0,60.

(84) Die Torsionssteifigkeit von Betonstützen, -trägern und -wänden ist bei der Berechnung nicht zu berücksichtigen, es sei denn, die Stabilität eines Teils des Tragwerks kann ohne die Torsionsreaktion der tragenden Bauteile nicht gewährleistet werden.

(85) Die Werte des durchschnittlichen Elastizitätsmoduls von Beton, E_{cm}, für die Verwendung bei der Modellierung des Tragwerks zur Kontrolle horizontaler Bewegungen werden gemäß den Bestimmungen der technischen Vorschrift P 100-1 festgelegt.

(86) Der Anteil der kritischen Abschreibung ist gemäß den Bestimmungen der technischen Vorschrift P 100-1 zu bestimmen.

3.4.2.2. Nichtlineare statische Berechnung

(87) Bei Verwendung der nichtlinearen statischen Berechnungsmethode gelten die Bestimmungen von 3.4.2.1. zusammen mit den zusätzlichen Bestimmungen dieses Absatzes.

(88) Die nichtlineare Reaktion von Bauteilen ist so zu modellieren, dass der plastische Mechanismus des Tragwerks im Rahmen seismischer Einwirkungen identifiziert werden kann.

(89) Die Modellierung von langen Trägern und Stützen erfolgt minimal durch Stabelemente, die auf Biegung, Querkraft in zwei Richtungen und Torsion beansprucht werden, mit physikalischer Nichtlinearität, mit konzentrierter oder verteilter Plastizität.

(90) Für die Modellierung der Biegefestigkeit von Bauteilen sind die Kennwerte der Stahl- und Betonfestigkeiten zu verwenden. Die Zusammensetzungsgesetze von Stahl und Beton, σ-ε, werden nach den Bestimmungen der SR EN 1992-1-1 festgelegt. Das von SR EN 1992-1-1 bereitgestellte Einschlussmodell kann verwendet werden, um das Verhalten des Spannbetonkerns zu modellieren, wobei die Entscheidung beim Planer liegt. Die Zugfestigkeit von Beton wird vernachlässigt. Das Materialgesetz für Stahlverhalten betont die postelastische Verfestigung (erhöht den einheitlichen Dehnungs- oder Kompressionsaufwand nach dem Fließen).

(91) Die Drehungskapazität der Elemente mit nichtlinearem Biegeverhalten ist gemäß den Bestimmungen von 3.3.1.3., (51) zu bestimmen.

(92) Die seismische Einwirkung ist anhand von zwei Arten der Verteilung horizontaler seismischer Kräfte über die Höhe des Gebäudes wie folgt modelliert:

(ss) eine Verteilungsweise, in der die seitlichen Kräfte proportional zu den Ebenenmassen sind;

(tt) eine Verteilungsweise die sich aus der Modalanalyse für den vorherrschenden Schwingungsmodus ergibt.

(93) Als Alternative zu den Bestimmungen von (92), (tt) kann bei Gebäuden mit etwa gleicher Höhe eine vereinfachte Verteilung unter Berücksichtigung einer linearen Form der Grundschwingungsart (dreieckige Verteilung) verwendet werden.

4. Bemessungswerte für Spannungen

(94) Dieses Kapitel enthält Bestimmungen zur Ermittlung der Bemessungswerte der in den Hauptbauteilen auftretenden Kräfte für Festigkeitsnachweise.

4.1. Gebäude, die für die Duktilitätsklasse DCH oder DCM ausgelegt sind

(95) Der Bemessungswert einer Kraft, die durch seismische Einwirkung verursacht wird, ist der maximale Wert dieser Kraft, die sich infolge der seismischen Bemessungseinwirkung entwickelt. Ausnahmen sind die Bereiche, in denen sich plastische Verformungen durch Biegung entwickeln, entsprechend der Konfiguration des optimalen plastischen Mechanismus, wobei der Bemessungswert des Biegemoments der Wert ist, der der Belastung des Tragwerks mit der seismischen Bemessungseinwirkung entspricht.

(96) Die Bemessungswerte der Einwirkungen, die Sprödbrüche von tragenden Bauteilen verursachen können, sind unter Berücksichtigung der Unsicherheit der Bewertung zu bestimmen, indem sie mit einem Teilsicherheitsbeiwert größer als eins multipliziert werden.

(97) Bei der Festlegung der Bemessungswerte der Kräfte sind die Biegemomente, die sich in den plastischen Bereichen entwickeln, zu bestimmen, indem die Bemessungswerte der Biegefestigkeit mit einem Teilsicherheitsfaktor multipliziert werden, der die Unsicherheiten im Bemessungsmodell der Festigkeitskapazität, die hauptsächlich durch die postelastische Verfestigung von Stahl verursacht werden, bewertet γ_{Rd}.

(98) Die Bemessungswerte der Kräfte sind wie folgt zu bestimmen:

(uu) durch Umwandlung der Kräfte, die sich aus der Berechnung des Tragwerks durch eine lineare statische Berechnungsmethode ergeben, um die Nichtlinearität der strukturellen Reaktion, die durch die seismische Bemessungseinwirkung verursacht wird, iin Übereinstimmung mit den Grundsätzen der Methode der hierarchischen Festigkeitskapazität zu quantifizieren;
oder

(vv) direkt, durch nichtlineare Berechnung.

(99) Die Ermittlung der Bemessungswerte der Kräfte der Hauptbauteile auf der Grundlage der Kräfte, die sich aus der linearen statischen Berechnung ergeben, erfolgt nach den Bestimmungen von 4.1.1., 4.1.2., 4.1.3., 4.1.4. und 4.1.5..

(100) Bei Gebäuden, bei denen die Tragwerksbemessung nach einem statischen linearen Bemessungsverfahren durchgeführt wird, erfolgt die Umverteilung der Kräfte zwischen den Tragwerkselementen gemäß den Bestimmungen von 4.1.6..

(101) Die Ermittlung der Bemessungswerte der Kräfte auf der Grundlage Kräfte, die sich aus der nichtlinearen statischen Berechnung ergeben, erfolgt nach den Bestimmungen von 4.1.7..

4.1.1. Träger

4.1.1.1. Biegemomente

(102) Die Bemessungswerte der Biegemomente in den plastischen Bereichen der Träger sind als gleich denen zu betrachten, die sich aus der statischen Berechnung in der seismischen Gruppe ergeben.

$$M_{Ed,b} = M'_{Ed,b} \tag{4.1}$$

wobei gilt:

$M_{Ed,b}$ der Bemessungswert des Biegemoments;

$M'_{Ed,b}$ der Wert des Biegemoments, der sich aus der statischen Berechnung in der seismischen Bemessungskombination ergibt.

(103) Die Bemessungswerte der Biegemomente in den Trägern im elastischen Ansprechbereich werden aus dem Gleichgewicht des Trägers in der Situation der Bildung von plastischen Zonen ermittelt, wobei auch die quer auf die Trägerachse wirkenden Lasten in der seismischen Gruppe berücksichtigt werden.

4.1.1.2. Querkräfte

(104) Die Bemessungswerte der Querkräfte in den Trägern werden aus dem Gleichgewicht des Trägers im Falle der Bildung des plastischen Mechanismus bestimmt, wobei auch die quer auf die Trägerachse wirkenden Lasten aus der seismischen Bemessungskombination berücksichtigt werden.

(105) Die Berechnung der Bemessungswerte der Querkräfte ist für jede Trägerspannweite und für jede Richtung der seismischen Einwirkung getrennt vorzunehmen.

(106) Der Wert des maximalen Biegemoments, das den Träger im plastischen Bereich belastet, im Falle der Bildung des plastischen Mechanismus, $M_{d,b}$, wird nach folgender Formel berechnet:

$$M_{d,b} = \gamma_{Rd} M_{Rd,b} \tag{4.1}$$

wobei gilt:

$M_{Rd,b}$ Bemessungswert der Biegefestigkeit des Trägers im plastischen Bereich für die Drehrichtung entsprechend der Einwirkungsrichtung horizontaler Kräfte, wie in Abbildung 3.16;

γ_{Rd} gemäß der Gleichung (3.9) ermittelter Teilsicherheitsfaktor.

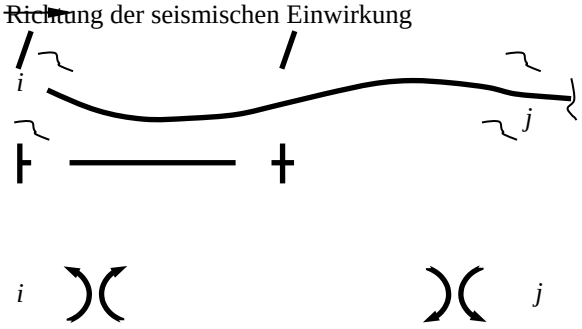


Abbildung 4.2 Bestimmung der Werte der maximalen Biegemomente, die den Träger an den Enden belasten, bei der Bildung von plastischen Verbindungen an beiden Enden des Trägers

(107) Abweichend von (106) kann bei Verbindungen oben an den Stützen, an denen sich der plastische Bereich in den Stützen bildet, der Wert des maximalen Biegemoments, das den Träger in der Nähe der Verbindung belastet, im Falle der Bildung des plastischen Mechanismus, $M_{d,b}$, nach folgender Formel berechnet werden:

(ww) für Verbindungen an den Ecken des Rahmens:

$$M_{d,b} = \gamma_{Rd} M_{Rd,c} \tag{4.1}$$

wobei gilt:

$M_{Rd,c}$ Bemessungswert der exzentrischen Druckfestigkeit der Stütze in der Nähe der Verbindung für die Drehrichtung entsprechend der Einwirkungsrichtung der horizontalen Kräfte.

γ_{Rd} Teilsicherheitsfaktor, der entsprechend der Formel 3.3.1.1.(3.3) festgelegt wird.

(xx) bei Zwischenverbindungen:

$$M_{d,b} = \gamma_{Rd} M_{Rd,b} \frac{M_{Rd,c}}{\sum M_{Rd,b}} \tag{4.2}$$

wobei gilt:

$M_{Rd,b}$ der Bemessungswert der Biegefestigkeit des Trägers am betrachteten Ende für die Drehrichtung, die der Einwirkungsrichtung der horizontalen Kräfte entspricht;

$\sum M_{Rd,b}$ die Summe der Bemessungswerte der Biegefestigkeiten der Träger, die in die Verbindung in Richtung der seismischen Einwirkung eintreten, für die Drehrichtung, die der Einwirkungsrichtung der horizontalen Kräfte entspricht;

$M_{Rd,c}$ Bemessungswert der exzentrischen Druckfestigkeit der Stütze in der Nähe der Verbindung für die Drehrichtung entsprechend der Einwirkungsrichtung der horizontalen Kräfte.

γ_{Rd} Teilsicherheitsfaktor, der entsprechend der Formel 3.3.1.1.(3.3) festgelegt wird.

(108) Die Bemessungswerte der Querkräfte sind nach unten begrenzt auf die Werte, die sich aus der statischen Berechnung in der seismischen Gruppe ergeben, wobei der durch die seismische Einwirkung verursachte Teil mit γ_{Rd} multipliziert wird.

(109) Für jede Öffnung eines Trägers werden die Bemessungswerte der Querkräfte an einem Ende anhand der folgenden Gleichungen bestimmt:

$$V_{Ed,b} = V_t \pm \frac{M^i_{d,b} + M^j_{d,b}}{l_{cl}} \tag{4.3}$$

wobei gilt:

V_t die Querkraft im Träger, die durch Lasten verursacht wird, die quer zur Trägerachse am betrachteten Ende aufgebracht werden;

$M^i_{d,b}$ und $M^j_{d,b}$ Höchstwerte des Biegemoments für die Drehrichtung, die der Einwirkungsrichtung der horizontalen Kräfte entspricht, unter Berücksichtigung der Tatsache, dass die plastischen Bereiche an den Enden des Trägers gebildet werden, bestimmt nach (106).

l_{cl} lichte Öffnung des Trägers.

(110) In der besonderen Situation, in der bei einer seismischen Einwirkung in einer Öffnung eines Trägers zwei plastische Zonen gebildet werden, von denen eine vom Ende des Trägers getrennt ist, wird bei der Anwendung der Formel (4.3) der Wert l_{cl} durch den Mindestabstand zwischen den beiden plastischen Zonen ersetzt.

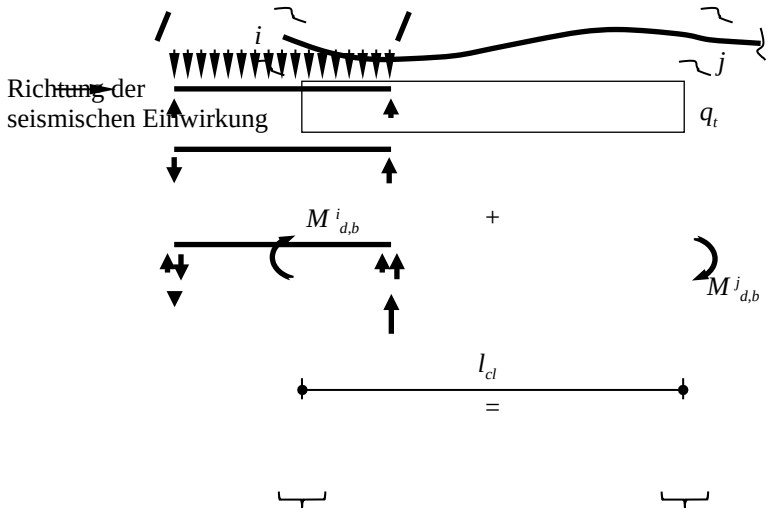


Abbildung 4.3 Schema zur Berechnung des Bemessungswerts der Querkraft im Träger bei der Ausbildung plastischer Zonen an seinen Enden

4.1.2. Stützen.

4.1.2.1. Axialkräfte

(111) Der Bemessungswert der axialen Kraft in den Stützen wird aus dem Gleichgewicht der Stütze in der Situation der Bildung des plastischen Mechanismus bestimmt, wobei Folgendes berücksichtigt wird:

(yy) die Querkräfte in den Trägern, die mit ihrer Belastung durch die maximalen Biegemomente verbunden sind, die durch horizontale seismische Einwirkung verursacht werden;

(zz) Querkräfte in Trägern oder Platten aus Gravitationseinwirkungen in der seismischen Kombination von Einwirkungen;

(aaa) das Gewicht der Stütze;

(bbb) andere Kräfte aus der seismischen Gruppe, die die Stütze direkt belasten.

(112) Bei Tragwerken in Rahmen, bei denen die vertikalen Rahmen in zwei orthogonale Richtungen ausgerichtet sind, ist der Bemessungswert der Axialkraft, die für seismische Einwirkungen in eine dieser Richtungen bestimmt wird, mit der folgenden Formel zu bestimmen:

$$N_{Ed,c} = N_g + \sum_{i=1}^{n} V^{i}_{Ed,b} + \sum_{j=1}^{m} V^{j}_{t} \qquad (4.1)$$

wobei gilt:

N_g die axiale Kraft in der Stütze, die durch ihr eigenes Gewicht verursacht wird;

$\sum_{i=1}^{n} V^{i}_{Ed,b}$ die Summe der Bemessungswerte der Querkräfte in den die Stütze durchschneidenden Trägern, die parallel zur Wirkungsrichtung der seismischen Kraft angeordnet sind;

$\sum_{j=1}^{m} V^{j}_{t}$ Summe der Querkräfte, die durch Lasten verursacht werden, die quer zur Achse von den Trägern, die die Stütze durchschneiden, senkrecht zur Richtung der seismischen Einwirkung aufgebracht werden.

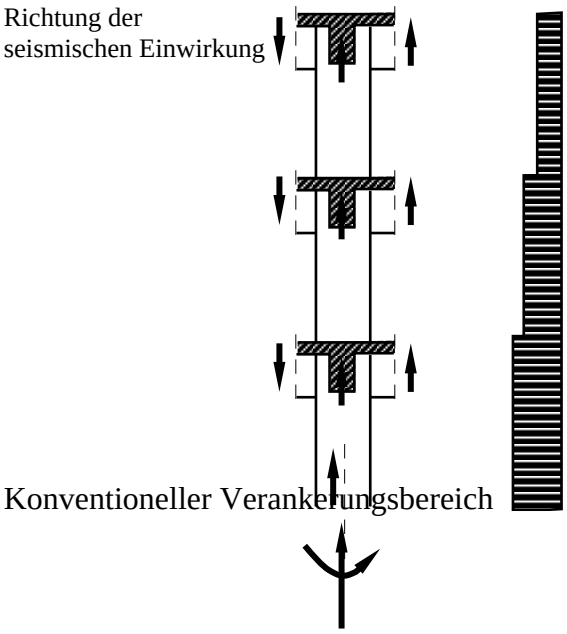


Abbildung 4.2 Berechnung der Bemessungswerte der Axialkraft in Stützen

(113) Der Bemessungswert der Axialkraft der Stützen kann als gleich dem Wert der Axialkraft angesehen werden, der sich aus der statischen Berechnung in der seismischen Gruppe ergibt, wenn die kumulativen Bedingungen erfüllt sind:

(ccc) An beiden Enden der Balken entstehen in jeder Spannweite plastische Zonen;

(ddd) Die Bemessungswerte der Tragfähigkeitsmomente in den Balken dürfen die Werte der Biegemomente, die sich aus der statischen Berechnung in jeder plastischen Zone ergeben, um nicht mehr als 10 % überschreiten.

4.1.2.2. Biegemomente

(114) Die Bemessungswerte der Biegemomente in den plastischen Bereichen der Stützen sind entsprechend der Konfiguration des optimalen plastischen Mechanismus gleich den Werten der Biegemomente, die sich aus der statischen Berechnung in der seismischen Bemessungskombination ergeben.

$$M_{Ed,c} = M'_{Ed,c} \qquad (4.1)$$

wobei gilt:

$M_{Ed,c}$ der Bemessungswert des Biegemoments;

$M'_{Ed,c}$ der Wert des Biegemoments, der sich aus der statischen Berechnung in der seismischen Bemessungskombination ergibt.

(115) Die Bemessungswerte der Biegemomente in den Stützen im elastischen Ansprechbereich werden aus dem Gleichgewicht der Stütze in der Situation der Bildung des plastischen Mechanismus ermittelt, wobei gegebenenfalls auch die quer auf die Achse der Stütze wirkenden Lasten in der seismischen Bemessungskombination berücksichtigt werden.

4.1.2.3. Querkräfte

(116) Die Bemessungswerte der Querkräfte in den Stützen werden aus dem Gleichgewicht der Stütze bei der Bildung des plastischen Mechanismus ermittelt, wobei gegebenenfalls auch die quer auf die Achse der Stütze wirkenden Lasten aus der seismischen Bemessungskombination berücksichtigt werden.

(117) Die Berechnung der Bemessungswerte der Querkräfte in den Stützen erfolgt auf jeder Ebene, jeweils für jede Richtung der seismischen Einwirkung und für jede Berechnungsrichtung.

(118) Die Werte der maximalen Biegemomente, die die Stütze an den Enden im Falle der Bildung des plastischen Mechanismus belasten, $M^i_{d,c}$, werden nach folgender Formel berechnet:

$$M^i_{d,c} = \gamma_{Rd} M^i_{Rd,c} \, min\left(1, \frac{\sum M_{Rd,b}}{\sum M_{Rd,c}}\right) \qquad (4.1)$$

wobei gilt:

$M^i_{Rd,c}$ der Bemessungswert der Biegefestigkeit der Stütze am Ende i für die Drehrichtung, die der Einwirkungsrichtung der horizontalen Kräfte entspricht;

$\sum M_{Rd,c}$ die Summe der Bemessungswerte der axialen Biegefestigkeit der Stützen, die in die angrenzende Verbindung am Ende i der betrachteten Stütze eintreten, für die Drehrichtung entsprechend der Einwirkungsrichtung der horizontalen Kräfte, berechnet unter Berücksichtigung der Bemessungswerte der axialen Kraft in der Stütze;

$\sum M_{Rd,b}$ die Summe der Bemessungswerte der Biegefestigkeiten der Träger, die in die Endverbindung i der Stütze eintreten, für die Drehrichtung entsprechend der Einwirkungsrichtung der horizontalen Kräfte.

γ_{Rd} Teilsicherheitsfaktor, der entsprechend der Formel 3.3.1.1.(3.3) festgelegt wird.

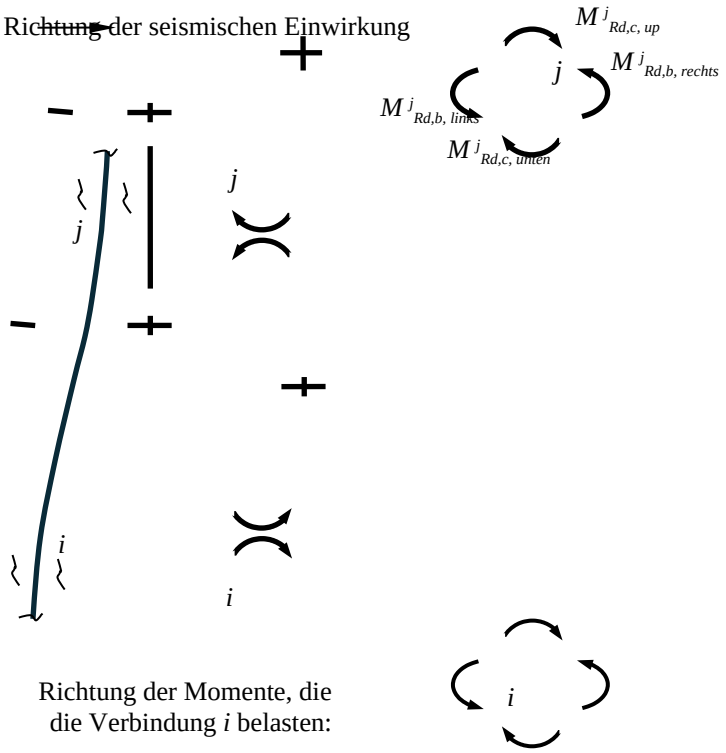


Abbildung 4.2 Bestimmung der Werte der maximalen Biegemomente, die die Stütze an den Enden belasten, aktuelles Geschoss

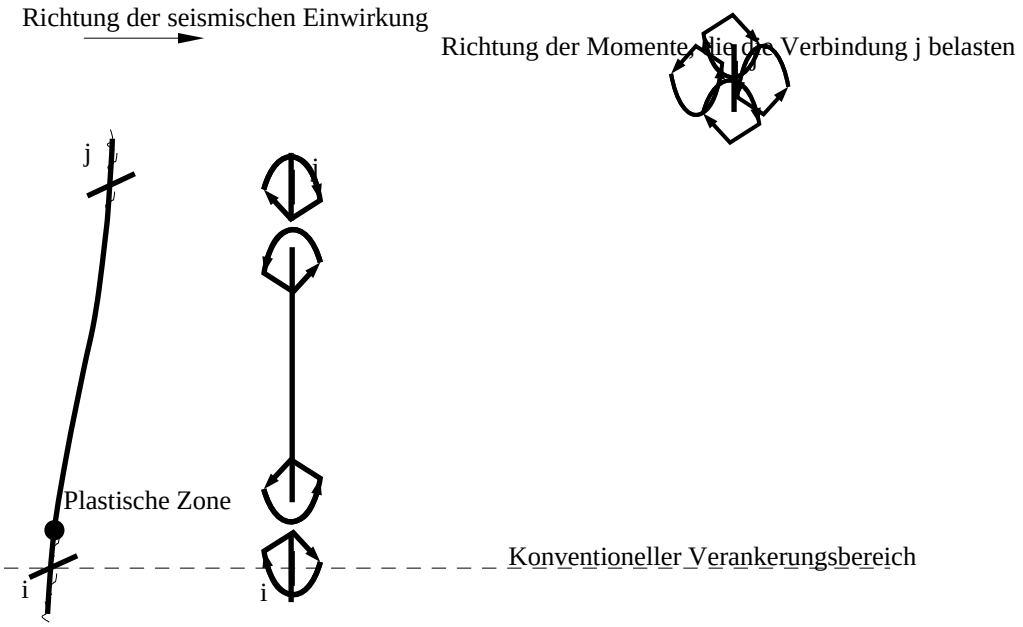


Abbildung 4.3 Bestimmung der Werte der maximalen Biegemomente, die die Stütze an den Enden über dem konventionellen Verankerungsbereich belasten

(119) Die Bemessungswerte der Querkräfte sind nach unten durch die Werte zu begrenzen, die sich aus der statischen Berechnung in der seismischen

Bemessungskombination ergeben, wobei der durch die seismischen Einwirkungen verursachte Teil mit γ_{Rd} multipliziert wird.

(120) Die Bemessungswerte der Querkräfte in den Stützen, die in ihrer Achse nicht durch Querlasten belastet werden, sind nach folgender Formel zu bestimmen:

$$V_{Ed,c}^{\square} = \frac{M_{d,c}^{i} + M_{d,c}^{j}}{h_{cl}} \qquad (4.1)$$

wobei gilt:

$M_{d,c}^{i}$ und $M_{d,c}^{j}$ die Höchstwerte der Biegemomente, die die Stütze im Falle der Bildung des plastischen Mechanismus an den Enden in der betrachteten Ebene belasten,

h_{cl} die lichte Höhe der Stütze auf der betrachteten Ebene.

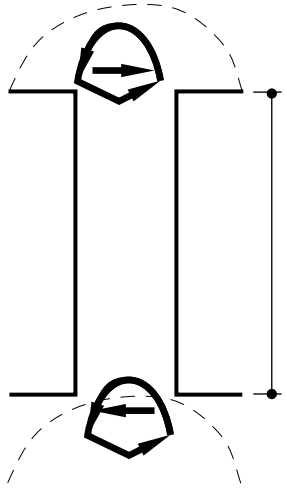


Abbildung 4.4 Schematische Berechnung des Bemessungswerts der Stützenquerkraft

(121) Bei Stützen in direktem Kontakt mit starren und festen nichttragenden Bauteilen, wie Mauerwerkswänden, stehen, wird, wenn die Höhe der Platte niedriger ist als die lichte Höhe der Ebene, der Bemessungswert der Querkraft in der Stütze unter Berücksichtigung eines Berechnungsmodells mit an den beiden Enden der Öffnung entwickelten plastischen Zonen bestimmt.

$$V_{Ed,c} = \frac{\gamma_{Rd} M_{Rd,c}^{p} + M_{d,c}^{j}}{h_{cl} - h_{p}} \qquad (4.1)$$

wobei gilt:

$M_{Rd,c}^{p}$ der Bemessungswert der Biegefestigkeit mit axialer Kraft der Stütze, für die Drehrichtung, die der Wirkungsrichtung der horizontalen Kräfte entspricht, berechnet unter Berücksichtigung der Bemessungswerte der axialen Kraft in der Stütze, im Abschnitt an der Oberseite der Platte;

$M_{d,c}^{j}$ der Höchstwert des auf die Stütze am oberen Ende aufgebrachten Biegemoments im Falle der Bildung des plastischen Mechanismus;

h_p Plattenhöhe:

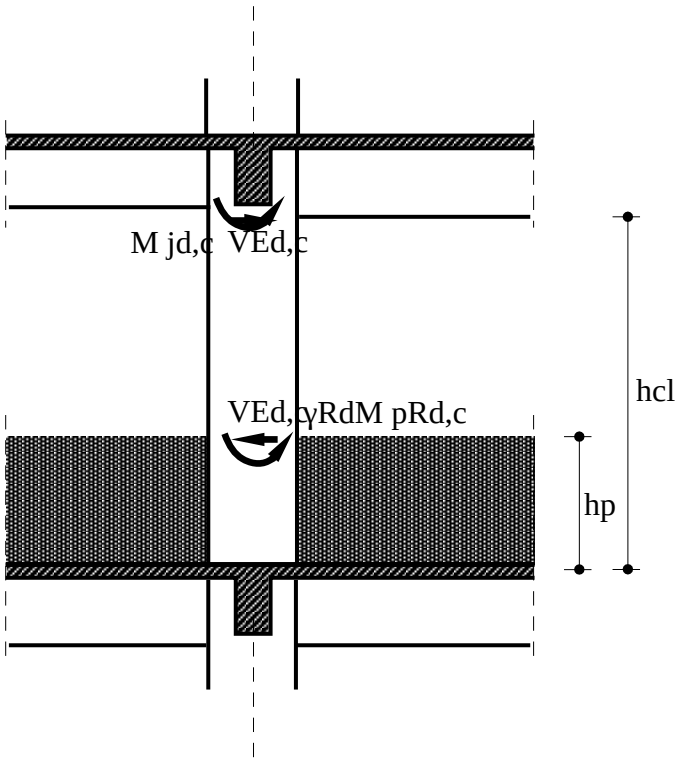


Abbildung 4.5 Wechselwirkung mit einer starren und festen Platte

4.1.3. Verbindungen

(122) Dieser Absatz enthält Bestimmungen zur Berechnung der Bemessungswerte der Querkräfte, die die Träger-Stützen-Verbindungen belasten.

(123) Der Bemessungswert der Querkraft an der Verbindung wird aus ihrem Gleichgewicht im Falle der Bildung des plastischen Mechanismus ermittelt, getrennt für jede Richtung der seismischen Einwirkung und für jede Berechnungsrichtung.

(124) Der Bemessungswert der Querkraft in der Verbindung, $V_{Ed,j}$, kann anhand der folgenden vereinfachten Formeln bestimmt werden:

(eee) für alle Verbindungen außer den Endverbindungen:

$$V_{Ed,j} = \gamma_{Rd}\left(A_{s1} + A_{s2}\right) f_{yd} - V_{Ed,c} \tag{4.1}$$

(fff) für Endverbindungen:

$$V_{Ed,j} = \gamma_{Rd} A_{s1} f_{yd} - V_{Ed,c} \tag{4.2}$$

wobei gilt:

A_{s1}, A_{s2} die Bereiche der gestreckten Bewehrungen an der Ober- bzw. Unterseite der Träger, die in die Verbindung in die betrachtete Richtung der seismischen Einwirkung eintreten, bestimmt nach der Richtung der seismischen Einwirkung;

$V_{Ed,c}$ der Bemessungswert der Querkraft in der Stütze über der Verbindung für die betrachtete Richtung und die Richtung der seismischen Einwirkung;

γ_{Rd} Teilsicherheitsfaktor, der entsprechend der Formel 3.3.1.1.(3.3) bestimmt wird.

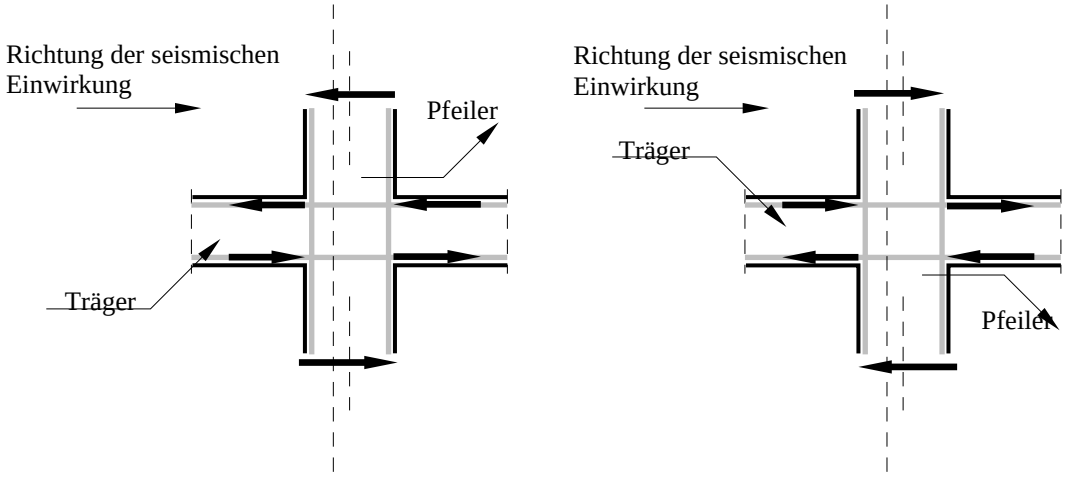


Abbildung 4.2 Berechnungsschema zur Ermittlung der Bemessungswerte der Querkraft in der Träger-Stützen-Verbindung

4.1.4. Deckenscheiben

(125) Die Bemessungswerte der Deckenscheibenkraft sind nach den Bestimmungen der technischen Vorschrift P 100-1 zu bestimmen.

4.1.5. Infrastrukturen und Fundamente

(126) Die Bemessungswerte der Kräfte und Verformungen in den Infrastrukturelementen werden unter Berücksichtigung ihres Gleichgewichts unter den Kräften im Zusammenhang mit dem Überbau und den Stützkräften vor Ort gemäß den Bestimmungen der Bemessungsvorschrift P 100-1 und den zusätzlichen Bestimmungen dieses Absatzes ermittelt.

(127) Bei der Konstruktion von Infrastruktur und Fundamenten werden die Maximalwerte der mit dem Aufbau des Oberbaus verbundenen Kräfte berücksichtigt, die der Situation der Bildung des plastischen Mechanismus entsprechen, und die direkt auf sie wirkenden Lasten.

(128) Im Falle von Betonrahmenkonstruktionen sind die Höchstwerte der Kräfte, die sich in einer Stütze des Rahmens auf der Ebene des theoretischen Verankerungsbereichs in einer seismischen Bemessungskombination entwickeln:

(ggg) der Bemessungswert der Biegefestigkeit der Stütze, $M_{Rd,c}$, für die betrachtete Richtung und die Richtung der seismischen Einwirkung, multipliziert mit γ_{Rd}, festgelegt gemäß der Formel 3.3.1.1.(3.3).

(hhh) Bemessungswert der Axialkraft in der Stütze $N_{Ed,c}$;

(iii) Bemessungswert der Querkraft in der Stütze $V_{Ed,c}$.

(129) Die Bemessungswerte der Kräfte und Verformungen in den Infrastrukturelementen werden durch Berücksichtigung der Wechselwirkung zwischen Gelände und Tragwerk ermittelt.

4.1.6. Spannungsumverteilung

(130) Die Umverteilung der Kraft, die sich aus der Berechnung des Tragwerks durch eine lineare statische Berechnungsmethode ergibt, darf nur angewendet werden, wenn die Werte der Steifigkeitsreduktionsfaktoren gemäß 3.4.2.1., (80) berücksichtigt wurden.

(131) Eine Umverteilung wir nur für Bauteile mit duktiler Reaktion auf seismische Wirkung durchgeführt, bei Gebäuden, die für die Duktilitätsklasse DCH- oder DCM ausgelegt sind. Die Umverteilung bezieht sich auf den Teil der Kraft, der durch seismische Einwirkung verursacht wird und ausschließlich auf den Teil des Tragwerks wirkt, in dem sich der gesamte plastische Mechanismus oberhalb des konventionellen Verankerungsbereichs bildet.

(132) Die Kraftverteilung erfolgt für:

(jjj) Berücksichtigung der Wirkung von Veränderungen der Steifigkeitseigenschaften von tragenden Betonelementen nach Rissbildung auf den Belastungszustand der Konstruktion;

(kkk) Vereinheitlichung von Zusammensetzungs- und Bewehrungslösungen;

(lll) Erzielung eines mit der Mobilisierung des plastischen Mechanismus verbundenen Kraftzustands, der die duktile Reaktion des Tragwerks und die Vermeidung von Brüchen begünstigt.

(133) Die Kraftverteilung kann zwischen Trägern in derselben Höhe erfolgen, die vertikal ausgerichtet sind.

(134) Bei einer seismischen Bemessungskombination wird der Biegemomentwert eines Trägers durch Umverteilung innerhalb von 30 % des Wertes, der sich aus der statischen Berechnung ergibt, geändert. Die Biegemomente entlang der Trägerlänge werden im gleichen Verhältnis modifiziert.

(135) Die Umverteilung wird im Einklang mit den allgemeinen und lokalen Gleichgewichtsbedingungen durchgeführt. Das Gesamtkippmoment der Struktur bei horizontalen Einwirkungen bleibt unverändert nach der Umverteilung.

4.1.7. Nichtlineare statische Berechnungsmethode

(136) Die Bemessungswerte der Kräfte werden auf der Grundlage der entsprechenden Kräfte, die sich aus der nichtlinearen statischen Berechnung des Tragwerks als Ganzes für zwei Arten der Verteilung seismischer Kräfte gemäß den Bestimmungen der Bemessungsvorschrift P 100-1 ergeben, ermittelt.

(137) Die Überprüfung der Festigkeit der Elemente gemäß 3.3.1.1. (27) wird für jeden Modus der seismischen Kraftverteilung separat durchgeführt.

(138) Abweichend von (137) kann die Überprüfung der Biegefestigkeit von tragenden Elementen in kritischen Bereichen, in denen plastische Verformungen gemäß der Konfiguration des optimalen plastischen Mechanismus auftreten, durch die Überprüfung der Festigkeit des Tragwerks auf horizontale Einwirkungen gemäß 3.3.1.1. (26) erfolgen.

> Hinweis: Bei nichtlinearer statischer Berechnung erfolgt diese Überprüfung durch Vergleich der Kraft F_y des bilinearen Reaktionsgesetzes mit der Grundquerkraft gemäß den Bestimmungen von Kapitel 4 von P 100-1. Für diese Überprüfung ist die Kraft F_y anhand der Bemessungswerte für die Materialbeständigkeit zu bestimmen.

(139) Die Bemessungswerte für den Kraftaufwand, die zu duktilem Versagen führen können, sind die Kraftwerte, die der Anforderung an die Bewegung bis zum Grenzzustand der Tragfähigkeit entsprechen.

> Hinweis: Dies ist der allgemeine Fall des Flusses von Längsbewehrungen infolge der Wirkung des Biegemoments (außer bei unter- oder überbewehrten Längselementen, die aufgrund des Biegemoments Sprödbrüche aufweisen können).

(140) Die Bemessungswerte für den Kraftaufwand, die zu Versagen des fragilen Typs führen können, sind die Werte für den Kraftaufwand, die der Anforderung an die Bewegung bis zum Grenzzustand der Tragfähigkeit entsprechen, multipliziert mit 1,50.

> Hinweis: Im Allgemeinen kann duktiles Versagen durch die Wirkung des Biegemoments unter den Bedingungen der Gewährleistung der Rotationsduktilität des tragenden Elements erreicht werden. Alle anderen Arten von Brüchen müssen bei der Bemessung als spröde angesehen werden.

(141) Die Bemessungswerte der Infrastruktur- und Fundamentkräfte für alle Bauteile sind die Werte der Kräfte, die dem Erfordernis der Verformung im Grenzzustand der Tragfähigkeit des Bauwerks entsprechen, multipliziert mit 1,50.

> Hinweis: Diese Bestimmung gilt für alle tragenden Elemente, die sich unterhalb des konventionellen Verankerungsbereichs befinden.

4.2. Für die Duktilitätsklasse DCL ausgelegte Gebäude

(142) Die Bemessungswerte der Kräfte werden durch Umwandlung der sich aus der linearen Strukturberechnung ergebenden Kräfte bestimmt.

(143) Die Bemessungswerte für Biegemomente und Querkräfte in den Trägern müssen denen entsprechen, die sich aus der linearen statischen Berechnung ergeben.

(144) Die Bemessungswerte von Biegemomenten und Axialkräften in den Stützen sind gleich denen, die sich aus der Berechnung des Tragwerks durch ein lineares Berechnungsverfahren in der seismischen Kombination ergeben.

$$M_{Ed} = M'_{Ed} \tag{4.1}$$

$$N_{Ed} = N'_{Ed} \tag{4.2}$$

(145) Die Bemessungswerte der Querkräfte in den Stützen und Verbindungen sind gleich den Querkräften in der linearen statischen Berechnung in der seismischen Kombination, multipliziert mit 1,20:

$$V_{Ed} = 1{,}20\, V'_{Ed} \tag{4.3}$$

wobei gilt:

V_{Ed} Bemessungswert der Querkraft

V'_{Ed} Wert der Querkraft, die sich aus der statischen Berechnung in der seismischen Bemessungskombination ergibt.

(146) Die Bemessungswerte der Belastungen in den Membranen, die aus den Böden bestehen, die durch Belastungen parallel zu ihrer Medianebene belastet werden, entsprechen den Kräften, die sich aus der linearen statischen Berechnung der Struktur ergeben, multipliziert mit 1,20.

(147) Die Bemessungswerte der Einwirkungen in Infrastruktur und Fundamenten sind gleich den Einwirkungen, die sich aus der linearen statischen Berechnung ergeben, multipliziert mit 1,20.

5. Festigkeitskapazität

5.1. Träger

(148) Die Berechnung der Biegefestigkeit und der Querkraft der Träger erfolgt auf der Grundlage der besonderen Bestimmungen der Norm SR EN 1992-1-1 zusammen mit den zusätzlichen Bestimmungen dieses Absatzes.

5.1.1. Biegemoment

(149) Bei der Berechnung der Biegemomententragfähigkeit der monolithisch gegossenen Träger zusammen mit der Platte werden alle Bewehrungen im Träger und Bewehrungen in der Platte parallel zum Träger, die im aktiven Bereich der Platte angeordnet sind, berücksichtigt. Die Zugkraft in den Bewehrungen ist entsprechend ihrer Verankerungslänge in Bezug auf den Berechnungsabschnitt zu bestimmen.

(150) Die aktive Plattenbreite der Träger, die mit der Platte zusammenarbeiten, links und rechts des Stegs, b_{eff}, wird nach der folgenden Formel bestimmt:

$$b_{eff} = b_w + min¿¿, d_0, 0{,}125\, l_{cl}¿ \tag{5.1}$$

wobei gilt:

b_w Breite des Trägerkerns;

b_{eff} aktive Breite der Platte;

h_f Plattendicke;

d_0 die entsprechende Breite der Platte für den betreffenden Träger, die sich aus der Geometrie des Bodens unter Berücksichtigung der parallelen Träger und der tatsächlichen Kante der Platte ergibt;

l_{cl} lichte Öffnung des Trägers.

(151) Die aktive Plattenbreite der Träger, die mit der Platte zusammenarbeiten, auf einer Seite des Stegs, b_{eff}, wird nach der folgenden Formel bestimmt:

$$b_{eff} = b_w + min¿¿, d_0, 0{,}08\, l_{cl}¿ \tag{5.2}$$

wobei gilt:

b_w Breite des Trägerkerns;

b_{eff} aktive Breite der Platte;

h_f Plattendicke;

d_0 die entsprechende Breite der Platte für den betreffenden Träger, die sich aus der Geometrie des Bodens unter Berücksichtigung der parallelen Träger und der tatsächlichen Kante der Platte ergibt;

l_{cl} lichte Öffnung des Trägers.

(152) Bei der Berechnung der Biegemomententragfähigkeit von Trägern in Verbindung mit ganz oder teilweise vorgefertigten Platten wird der Beitrag der Bewehrungen in der innerhalb der aktiven Zone platzierten Platte unter Berücksichtigung des Verfahrens zur Verbindung der Platten mit dem Träger bestimmt.

(153) Bei der Berechnung der Biegemomententragfähigkeit von Trägern in Verbindung mit vorgespannten Platten ist die Druckspannung zu berücksichtigen, die durch die Vorspannung der Platten auf die Träger übertragen wird.

5.1.1.2. Querkraft

(154) In kritischen Bereichen der Träger wird die Neigung der gestauchten Diagonalen bei der Gitterträgermodell als 45° angenommen.

(155) In Übereinstimmung mit der Bestimmung von (154) wird die Querkrafttragfähigkeit der Träger durch die folgende Formel bestimmt:

$$V_{Rd} = minim\left(V_{Rd,max}, V_{Rd,s}\right) \tag{5.1}$$

wobei gilt:

$V_{Rd,max}$ die Querkraft im Träger, die dem Versagen der gestauchten Diagonale des Betons entspricht, in N;

$$V_{Rd,max} = 0{,}75\, b_w d \sqrt{f_{cd}} \tag{5.2}$$

b_w die Kernbreite des Trägerquerschnitts;

d die Nutzhöhe des Trägerquerschnitts;

f_{cd} Bemessungswert der Betondruckfestigkeit, in N/mm^2;

$V_{Rd,s}$ die Querkraft im Träger, die durch die Querbewehrung aufgenommen werden kann;

$$V_{Rd,s} = 0{,}9\, A_{sw}^{tot} f_{yd} \tag{5.3}$$

A_{sw}^{tot} Gesamtfläche der vertikalen Arme der Querbewehrung des Trägers, die von einem um 45° geneigten Riss durchschnitten wird;

f_{yd} Bemessungswert der Streckgrenze des Stahls, aus dem die Querbewehrungen hergestellt werden.

5.1.2. Pfeiler

5.1.2.1. Biegemoment und Axialkraft

(156) Die gleichzeitige Wirkung von Axialkraft und Biegemoment wird für jede seismische Bemessungskombination berücksichtigt.

5.1.2.2. Querkraft

(157) In kritischen Bereichen der Stützen wird die Neigung der gestauchten Diagonalen im Fachwerkträgermodell als 45° angenommen.

(158) In Übereinstimmung mit der Bestimmung von (157) wird die Querkrafttragfähigkeit der Stützen durch die folgende Formel bestimmt:

$$V_{Rd} = minim\left(V_{Rd,max}, V_{Rd,s}\right) \tag{5.1}$$

wobei gilt:

$V_{Rd,max}$die Querkraft in der Stütze, die dem Versagen der gestauchten Diagonale des Betons entspricht, in N;

$$V_{Rd,max} = 0{,}83\, b_w d \sqrt{f_{cd}} \qquad (5.2)$$

b_c die Breite des Querschnitts der Stütze;

d die effektive Höhe des Querschnitts der Stütze;

f_{cd} Bemessungswert der Betondruckfestigkeit, in N/mm^2;

$V_{Rd,s}$ die Querkraft in der Stütze, die durch die Querbewehrung aufgenommen werden kann;

$$V_{Rd,s} = 0{,}9\, A_{sw}^{tot} f_{yd} \qquad (5.3)$$

A_{sw}^{tot} Gesamtfläche der Arme der Querbewehrung der Stütze parallel zur Berechnungsrichtung, die von einem um 45° geneigten Riss durchschnitten wird;

f_{yd} Bemessungswert der Streckgrenze des Stahls, aus dem die Querbewehrungen hergestellt werden.

5.1.3. Träger-Stützen-Verbindungen

(159) Eine Träger-Stützen-Verbindung gilt als durch die Wirkung von Querträgern, die senkrecht zur Richtung der seismischen Einwirkung in die Verbindung eindringen, begrenzt, wenn alle folgenden Bedingungen erfüllt sind:

(mmm) die Querträger erstrecken sich von beiden Seiten der Verbindung über eine Länge, die größer ist als die Höhe ihres Querschnitts;

(nnn) die Breite der Träger ist größer als ¾ der Querschnittsabmessung der Stütze senkrecht zur Richtung der seismischen Einwirkung;

(ooo) die Träger erfüllen die in diesem Kapitel angegebenen Mindestanforderungen an die Bewehrung des kritischen Bereichs der wichtigsten seismischen Bauteile.

Die Querträger mit dem statischen Kragarmschema sind auch an der Begrenzung der Verbindung beteiligt.

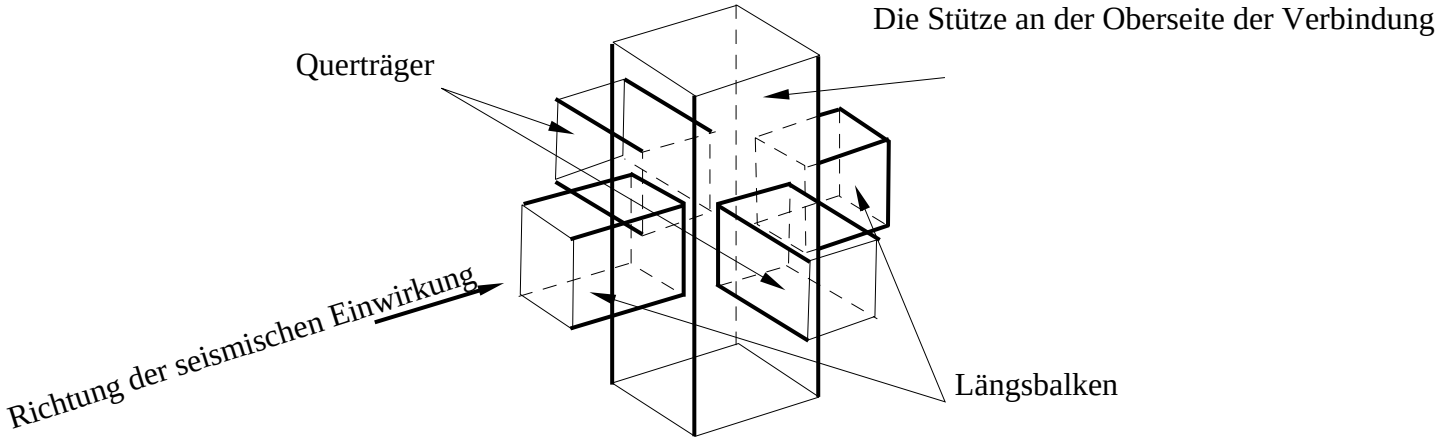


Abbildung 5.1 Anmerkungen zur Auslegung der Bestimmungen von 5.1.3.

(160) Eine Träger-Stützen-Verbindung gilt als durch die Wirkung der in die Verbindung eintretenden Stützen begrenzt, wenn alle folgenden Bedingungen erfüllt sind:

(ppp) von der Oberseite der Verbindung erstreckt sich die Stütze über eine Länge, die größer ist als die Höhe ihres Querschnitts;

(qqq) die oberste Stütze erfüllt die in diesem Kapitel festgelegten Mindestbedingungen für den kritischen Bereich der wichtigsten seismischen Bauteile;

(rrr) der Querschnitt der Stütze über der Verbindung entspricht den Anforderungen dieser technischen Vorschrift hinsichtlich der Reduzierung der Querschnitte von einem Geschoss zum anderen.

Die Eingrenzung der Verbindung umfasst auch die Verlängerungen der Stützen über den Verbindungen.

(161) Eine Träger-Stützen-Verbindung gilt als durch die Wirkung von Längsträgern begrenzt, die in Richtung der seismischen Einwirkung in die Verbindung eindringen, wenn die folgenden kumulativen Bedingungen erfüllt sind:

(sss) Von beiden Seiten der Verbindung erstrecken sich die Längsträger über eine Länge, die größer ist als die Höhe ihres Querschnitts;

(ttt) die Träger erfüllen die in diesem Kapitel angegebenen Mindestanforderungen an die Bewehrung des kritischen Bereichs der wichtigsten seismischen Bauteile.

An der Eingrenzung der Verbindung sind auch die Längsträger mit dem statischen Kragarm-Schema beteiligt.

(162) Der Bemessungswert der Querkrafttragfähigkeit, die der Quetschung von Beton in der gestauchten Diagonale in N entspricht, wird anhand der folgenden Gleichungen bestimmt:

(uuu) Bei Verbindungen, die durch die Wirkung von Stützen sowie Längs- und Querträgern, die in die Verbindung eindringen, eingeschlossen sind:

$$V_{Rd} = 1{,}75\, b_j\, h_j \sqrt{f_{cd}} \tag{5.1}$$

(vvv) Bei Verbindungen, die durch die Wirkung von Längs- oder Querstützen und -trägern, die in die Verbindung eindringen, eingeschlossen sind, oder bei Verbindungen, die nur durch die Wirkung von Längs- und Querträgern, die in die Verbindung eindringen, eingeschlossen sind:

$$V_{Rd} = 1{,}25\, b_j\, h_j \sqrt{f_{cd}} \tag{5.2}$$

(www) Bei Verbindungen, die nur durch die Wirkung von Stützen, Längsträgern oder Querträgern, die in die Verbindung eindringen, begrenzt sind:

$$V_{Rd} = 1{,}00\, b_j\, h_j \sqrt{f_{cd}} \tag{5.3}$$

(xxx) Bei Verbindungen, die nicht durch die Wirkung von Stützen und Trägern, die in die Verbindung eindringen, begrenzt sind:

$$V_{Rd} = 0{,}75\, b_j\, h_j \sqrt{f_{cd}} \tag{5.4}$$

wobei gilt:

h_j die Dimension des horizontalen Abschnitts durch die in Richtung der seismischen Einwirkung gemessene Verbindung, die der Höhe des Querschnitts der Stütze entspricht;

b_j die Bemessungsbreite der Verbindung.

$$b_j = min\left(¿\, b_c\,; b_w + 0{,}5\, h_j; b_w + 2x \,¿\right) \tag{5.5}$$

b_w die Mindestbreite des Trägerkerns, der auf die Richtung der seismischen Einwirkung ausgerichtet ist;

b_c die senkrecht zur Trägerachse gemessene Abmessung des Querschnitts der Stütze;

x der horizontale Mindestabstand zwischen der Seitenfläche des Trägers und der Seitenfläche der Stütze auf derselben Seite des Trägerkerns, gemessen senkrecht zur Trägerachse;

f_{cd} Bemessungswert der Druckfestigkeit von Beton in N/mm^2.

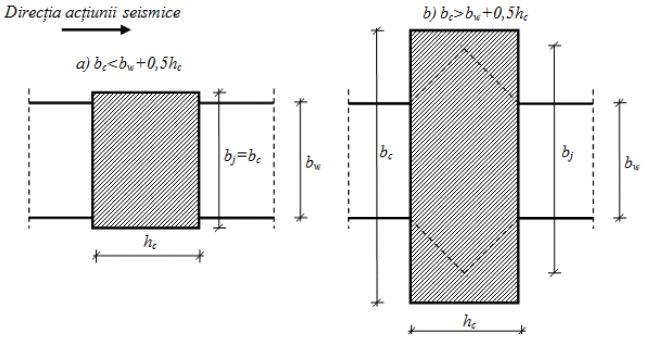


Abbildung 5.2 Bestimmung der Bemessungsbreite der Verbindung

6. Zusammensetzung und Bewehrung

(163) Die Hauptbauteile müssen so ausgeführt sein, dass sie die in diesem Absatz genannten Zusammensetzungs- und Bewehrungsbedingungen erfüllen.

(164) Die Geometrie des Betonquerschnitts, die Menge der Längsbewehrung und ihre Anordnung sind so zu wählen, dass durch Quetschen des verdichteten Betons vor dem Fließen der gestreckten Längsbewehrung, mit oder ohne Axialkraft, kein Versagen der Biegeabschnitte auftritt. Diese Bedingung gilt für Träger und Stützen, unabhängig von der Duktilitätsklasse.

(165) Die Bestimmungen über die Qualität der Werkstoffe, die Zusammensetzung und die Bewehrung der Hauptbauteile werden in differenzierter Weise festgelegt für:

(yyy) kritische Bereiche;

(zzz) aktuelle Bereiche.

(166) Länge und Lage der kritischen Bereiche der Hauptbauteile sind nach der Art des Elements, dem Spannungszustand und der Duktilitätsklasse gemäß den Bestimmungen dieses Absatzes zu unterscheiden. Der Teil des Elements, der sich außerhalb kritischer Bereiche befindet, gilt als aktueller Bereich.

(167) Abweichend von (163) gelten bei Spannträgern, die unter den in P 100-1 festgelegten Bedingungen verwendet werden, die Bestimmungen dieses Kapitels nur für ihre kritischen Bereiche.

6.1. Qualität der Materialien

6.1.1. Beton

(168) Der charakteristische Wert der Druckfestigkeit von Beton in den Hauptbauteilen erfüllt die folgende Bedingung:

$$25\,N/mm^2 \le f_{ck} \le 50\,N/mm^2 \text{ für DCH} \qquad (6.1)$$

$$20\,N/mm^2 \le f_{ck} \le 60\,N/mm^2 \text{ für DCM} \qquad (6.2)$$

$$20\,N/mm^2 \le f_{ck} \text{ für DCL} \qquad (6.3)$$

(169) Bei der Auswahl der Betonqualität sind auch die spezifischen Anforderungen an die Dauerhaftigkeit zu berücksichtigen, die in den spezifischen technischen Vorschriften festgelegt sind.

(170) Betonelemente werden in Übereinstimmung mit den Bestimmungen der technischen Vorschriften NE 012/1 und NE 012/2 hergestellt.

6.1.2. Stahl

(171) Tragende Bauteile sind mit Stahlstäben der Klasse B oder C gemäß der Klassifizierung in SR EN 1992-1-1 wie folgt zu bewehren:

(aaaa) in den kritischen Bereichen der Hauptbauteile dürfen nur Stähle der Klasse C verwendet werden, die für die Duktilitätsklasse DCH oder DCM ausgelegt sind.

(bbbb) in den aktuellen Bereichen von Hauptbauteilen, die für die Duktilitätsklasse DCH oder DCM ausgelegt sind, in Hauptbauteilen, die für die

Duktilitätsklasse DCL ausgelegt sind, und in sekundären tragenden Bauteilen ist Stahl der Klasse B oder C zu verwenden.

(172) Der charakteristische Wert der Streckgrenze von Stahl für die Hauptbauteile muss die folgende Bedingung erfüllen:

$$400\,N/mm^2 \le f_{yk} \le 500\,N/mm^2 \text{ für DCH und DCM} \quad (6.1)$$

$$400\,N/mm^2 \le f_{yk} \le 600\,N/mm^2 \text{ für DCL} \quad (6.2)$$

(173) Für die Hauptbauteile von Gebäuden, die für die Duktilitätsklasse DCH oder DCM ausgelegt sind, erfüllt das Verhältnis des effektiven charakteristischen Werts der Streckgrenze von Stahl, $f_{yk,act}$, zum angegebenen charakteristischen Wert der Streckgrenze f_{yk}, die folgende Bedingung:

$$1{,}00 \le f_{yk,act}/f_{yk} \le 1{,}15 \quad (6.3)$$

wobei der effektive charakteristische Wert der Streckgrenze des Stahls durch Prüfungen an den Gusschargen bestimmt wird.

(174) Die Hauptbauteile dürfen nur mit profilierten Stahlstäben bewehrt werden.

(175) Die Bestimmungen dieses Absatzes beziehen sich nicht auf die Spannbewehrung.

6.2. Betonquerschnitt

6.2.1. Träger

(176) Die Höhe des Querschnitts der Träger, h_w, erfüllt die folgenden Bedingungen:

$$l_{cl}/16 \le h_w \le l_{cl}/4 \text{ für DCH} \quad (6.1)$$

$$l_{cl}/16 \le h_w \le l_{cl}/3 \text{ für DCM} \quad (6.2)$$

wobei l_{cl} die lichte Öffnung des Trägers ist.

(177) Die Breite des Querschnitts des Trägers erfüllt die Bedingungen:

$$b_w \ge h_w/3 \text{ und } b_w \ge 250\,mm \text{ für DCH} \quad (6.3)$$

$$b_w \ge h_w/4 \text{ und } b_w \ge 200\,mm \text{ für DCM} \quad (6.4)$$

wobei h_w die Höhe des Querschnitts des Trägers ist.

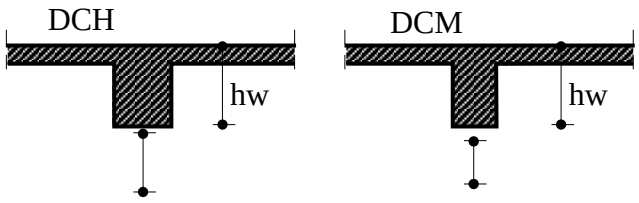


Abbildung 6.2 Mindestquerschnittsbreite der Träger

(178) Bei Träger-Stützen-Verbindungen muss das Verhältnis des Abstands zwischen der Längsachse des Trägers und der Achse des Querschnitts der Stütze in

Richtung der Trägerachse und der senkrecht zur Trägerachse gemessenen Breite des Querschnitts der Stütze kleiner als oder gleich folgende Werte sein:

(cccc) 1/4 für DCH,

(dddd) 1/3 für DCM.

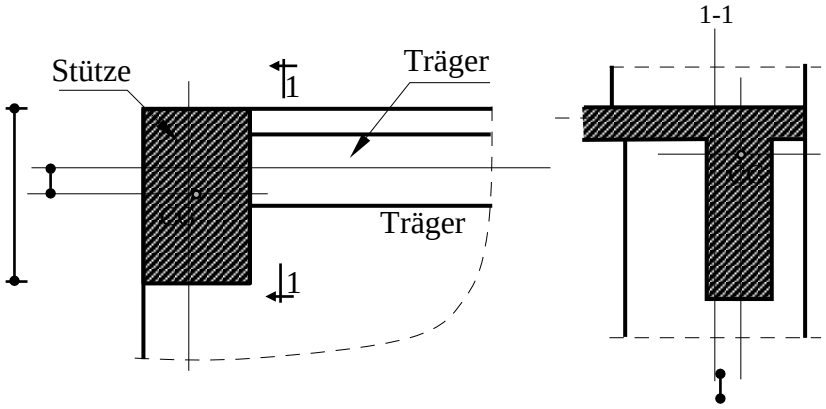


Abbildung 6.3 Beispiel für die Begrenzung der horizontalen Träger-zu-Stütze-Exzentrizität für die Duktilitätsklasse DCH

(179) Wird eine Verlängerung des Trägers über die Außenfläche der Stütze hinaus vorgenommen, um die Verankerungsbedingungen der Längsträgerstäbe in einer Endverbindung zu verbessern und die Widerstandsfähigkeit der Verbindung gegenüber Querkräften zu erhöhen, muss ihre Länge größer oder gleich h_w sein. Der Querschnitt der Verlängerung entspricht dem Querschnitt des Trägers, mit oder ohne Berücksichtigung der Platte, und wird über die gesamte Länge bewehrt.

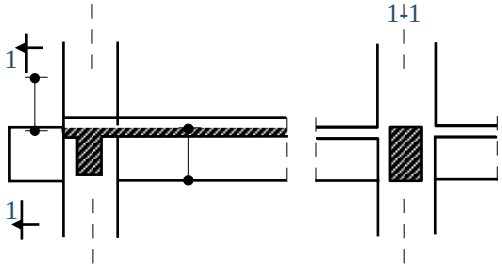


Abbildung 6.4 Verlängerung der Träger an den Endverbindungen

6.2.2. Pfeiler

(180) Die Querschnittsabmessungen der Stütze müssen größer als oder gleich 300 mm sein.

(181) Bei Gebäuden, die für die Duktilitätsklasse DCH und DCM ausgelegt sind, ist in jeder orthogonalen horizontalen Richtung die folgende Bedingung erfüllt:

$$\frac{l_{cl}}{h_c} \geq 2{,}5 \qquad (6.1)$$

wobei gilt:

l_{cl} die lichte Höhe der Stütze;

h_c die Höhe des Querschnitts der Stütze, d. h. die in Berechnungsrichtung gemessene Abmessung des Querschnitts.

(182) Bei Gebäuden, die für die Duktilitätsklasse DCH ausgelegt sind, müssen die Stützen einen rechteckigen, kreisförmigen oder regelmäßigen polygonalen Querschnitt mit einer Seitenzahl von mindestens 4 haben.

(183) Das Verhältnis zwischen der größten Querschnittsabmessung der Stütze und der in senkrechter Richtung gemessenen Abmessung muss kleiner oder gleich folgende Werte sein:

(eeee) 2,5 für DCH;

(ffff) 4,0 für DCM und DCL

Für die Anwendung dieser Bestimmung sind bei konkaven Querschnitten die größten und kleinsten Abmessungen des Querschnitts anhand der Form der konvexen polygonalen Hülle des Querschnitts zu bestimmen.

(184) Für jede Seite des Querschnitts muss das Verhältnis der senkrecht zu dieser Seite gemessenen Gesamtquerschnittsabmessung zur Länge der Seite kleiner als oder gleich 4 sein.

(185) Die durchschnittliche normalisierte Axialkraft in jeder seismischen Bemessungskombination, v_d, erfüllt die folgende Bedingung:

$$v_d \leq 0{,}45 \text{ für DCH} \qquad (6.2)$$

$$v_d \leq 0{,}50 \text{ für DCM} \qquad (6.3)$$

$$v_d \leq 0{,}55 \text{ für DCL} \qquad (6.4)$$

(186) Bei mehrgeschossigen Gebäuden , bei denen der Querschnitt einer Stütze von einem Geschoss zum anderen variiert, muss die horizontale Projektion des Querschnitts der Stütze im oberen Geschoss an der Tangentengrenze innerhalb des Querschnitts der Stütze im unteren Geschoss liegen.

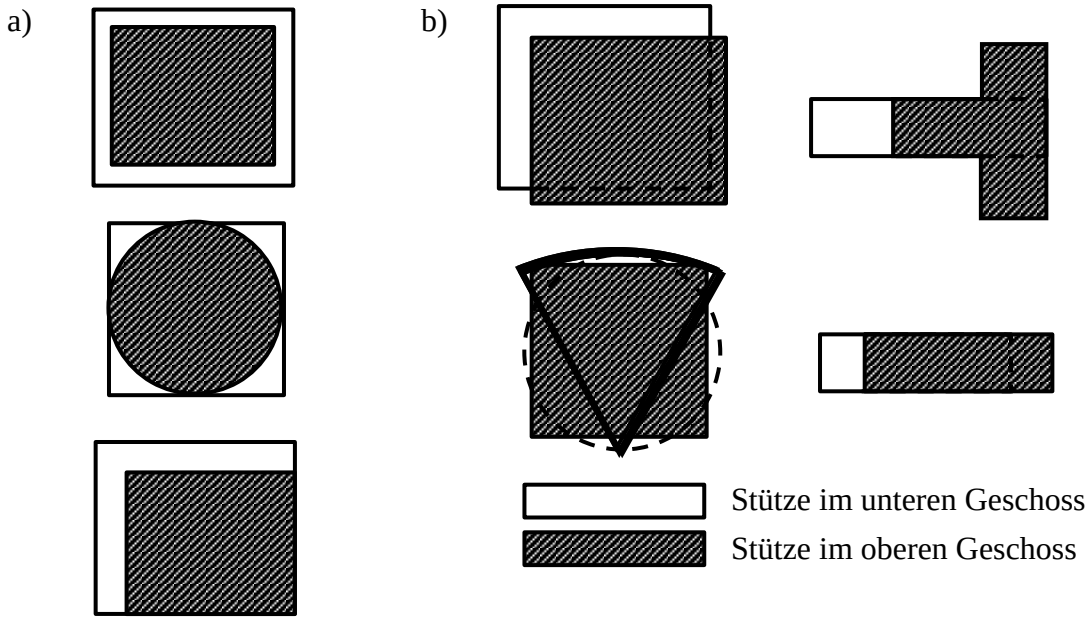


Abbildung 6.2 Veranschaulichende Darstellung: zulässige (a) und nicht zulässige (b) Positionen des Querschnitts einer Stütze im oberen Geschoss gegenüber dem Querschnitt einer Stütze im unteren Geschoss

(187) Im Falle einer Verlängerung der Stütze über die Höhe der Oberseite der Träger, die in die Verbindung eintreten, um die Verankerungsbedingungen der Längsstäbe der Stütze in der Verbindung an der Oberseite des Tragwerks zu verbessern und die Widerstandsfähigkeit der Verbindung gegen Querkraft zu erhöhen, muss ihre Länge größer oder gleich h_c sein. Der Querschnitt der Verlängerung entspricht dem Querschnitt der Stütze und wird über die gesamte Höhe bewehrt.

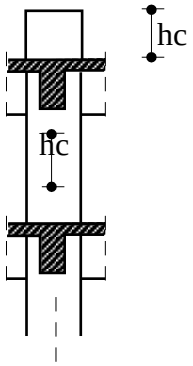


Abbildung 6.3 Verlängerung von Stützen im obersten Geschoss

6.2.3. Träger-Stützen-Verbindungen

(188) Die Projektionen der Querschnitte der Stützen, die in einer Verbindung konvergieren, liegen innerhalb des Umfangs oder, im Grenzfall, tangential zum Umfang des horizontalen Querschnitts der Verbindung, über die gesamte Höhe der Verbindung.

6.2.4. Deckenscheiben

(189) Es gelten die Bestimmungen von P 100-1.

6.2.5. Infrastrukturen und Fundamente

(190) Oberflächenfundamente sind gemäß den Bestimmungen der technischen Vorschrift NP 112 und den zusätzlichen Bestimmungen dieses Absatzes herzustellen.

(191) Die Fundamente von Block- und Sockelstützen sind durch Ausgleichsträger miteinander verbunden. Die Ausgleichsträger entsprechen den in dieser technischen Vorschrift festgelegten Zusammensetzungs- und Bewehrungsbedingungen für Träger. Eine Ausnahme bilden die Fundamente der Hallenstützen im Erdgeschoss, die aus vorgefertigten Elementen bestehen und als Einzelfundamente ausgeführt werden können.

(192) Ausgleichsträger und/oder Fundamentträger müssen so angeordnet sein, dass die Verbindung des unteren Endes der Stützen und/oder Wände in zwei horizontalen orthogonalen Richtungen gewährleistet ist.

(193) Bei vorgefertigten Stützenfundamenten aus Stahlbeton, die als bewehrte Einzelfundamente oder Schalenfundamente hergestellt werden, wird bei der Ermittlung der Verbindungskräfte auf dem Fundamentsockel der Ausgleich des Moments oder der Querkraft in der Stütze durch die Kräfte, die in der Bodenplatte infolge ihrer Reibung auf der Tragschicht entstehen, nicht berücksichtigt.

(194) Die tragenden Elemente, die in einer horizontalen Ebene vom unteren Ende der Stützen unterhalb des konventionellen Verankerungsbereichs angeordnet sind, müssen so angeordnet sein, dass die Bildung kurzer Stützen, die nicht der Bedingung nach 6.2.2. (181) entsprechen, vermieden wird.

(195) Bei Gebäuden mit unterirdischen Geschossen beträgt die Dicke der Übergangsbodenplatte, die sich unmittelbar unter dem konventionellen Verankerungsbereich befindet, mindestens 150 mm.

(196) In unterirdischen Geschossen haben die umlaufenden Kellerwände aus Stahlbeton eine Kerndicke von mindestens 200 mm.

(197) Fundamentträger und Verbindungssohlen zwischen Fundamenten müssen einen Querschnitt von mindestens 0,25 x 0,50 m bei Gebäuden mit bis zu 5 Geschossen und 0,30 x 0,60 m bei Gebäuden mit mehr als 5 Geschossen aufweisen.

(198) Die Bodenplatte hat eine Dicke von mindestens 40 cm.

6.3. Bewehrung

6.3.1. Träger

(199) Die Bewehrung der Träger erfüllt die Bedingungen in 6.3.1.2. und 6.3.1.3. für kritische und aktuelle Bereiche.

(200) Bereiche an den Enden von Trägern mit der Länge l_{cr} = 1,50 h_w, gemessen von der Stirnseite der Stützen, sowie die Bereiche dieser Länge, die sich auf beiden Seiten eines Abschnitts des Trägerfelds befinden und bei denen bei der seismischen Bemessungskombination Nachgiebigkeit auftreten kann, sind kritische Bereiche.

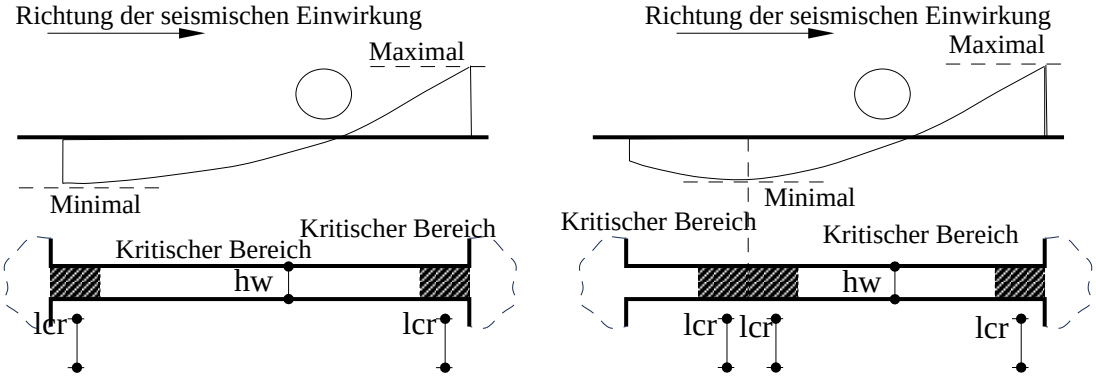


Abbildung 6.1 Festlegung kritischer Bereiche für zwei Formen des Biegemomentdiagramms im Träger

6.3.1.2. Längsbewehrung

(201) Die Längsbewehrung in den Trägern muss so angeordnet sein, dass die Einhaltung der Bedingung der Biegefestigkeit und der Querkraft gemäß 3.3.1.1. gewährleistet ist.

(202) Die nach den Vorschriften dieses Absatzes festgelegte Längsbewehrung muss im Kern des Trägers angeordnet sein.

(203) Der Längsbewehrungskoeffizient im Spannbereich, ρ, über die Spannweite des Trägers, erfüllt die folgende Bedingung:

$$0{,}5\,¿ \tag{6.1}$$

wobei gilt:

f_{ctm} Durchschnittswert für die Betonzugfestigkeit;

f_{yk} charakteristischer Wert der Fließgrenze des Stahls;

$$\rho = \frac{A_s}{b_w d} \tag{6.2}$$

A_s der verlängerte Längsbewehrungsbereich des Trägers;

b_w die Breite des Trägerkerns;

d die Nutzhöhe des Trägerquerschnitts;

(204) Längsgestreckte und komprimierte Bewehrungen sind so dimensioniert, dass die Höhe des durch Biegen im Endstadium verursachten verdichteten Bereichs, x_u, die folgende Bedingung erfüllt:

$$x_u \leq 0{,}25\,d \tag{6.3}$$

Bei der Berechnung von x_u kann auch der Beitrag von Bewehrungen im verdichteten Bereich berücksichtigt werden.

(205) Die Träger werden über die gesamte Spannweite in Längsrichtung kontinuierlich wie folgt bewehrt:

(gggg) an der Ober- und Unterseite der Träger sind mindestens zwei Stäbe mit einem Durchmesser von 14 mm oder mehr vorgesehen;

(hhhh) mindestens ein Viertel der Bewehrung im gespannten Bereich der Träger im Abschnitt des maximalen Moments muss über die gesamte Länge des Trägers durchgehend sein.

(206) Über die gesamte Länge des Trägers wird die Bewehrung im verdichteten Bereich mit einer Fläche angeordnet, die mindestens der Hälfte der Bewehrungsfläche im gespannten Bereich entspricht.

(207) Bei der Bewehrung des Trägers im gespannten Bereich mit Stäben unterschiedlicher Durchmesser werden die Stäbe mit dem größten Durchmesser an den Ecken des Querschnitts des Trägerkerns platziert.

6.3.1.3. Querbewehrung

(208) Die Querbewehrung in den Trägern gewährleistet die Einhaltung der Anforderung der Querkraftfestigkeit gemäß 3.3.1.1..

(209) Für die Querbewehrung werden geschlossene Bügel aus Stahlstäben mit einem Durchmesser von 8 mm oder mehr verwendet.

(210) Querbewehrungen in kritischen Bereichen der Träger sind mit Haken versehen, die in einem Winkel von 135° gebogen sind und deren gerade Länge größer als oder gleich $10\,d_{bw}$ ist, wobei d_{bw} der Durchmesser des Stahlstabs ist, aus dem die Bewehrung hergestellt wird.

(211) Der Abstand zwischen dem Ende des Trägers und dem ersten Bügel beträgt höchstens 50 mm.

(212) Der Abstand zwischen den Bügeln in der kritischen Zone muss der folgenden Bedingung entsprechen:

$$s \leq min\ \{h_w/4;\ 150\ \text{mm};\ 6d_{bL}\}\ \text{für DCH} \qquad (6.1)$$

$$s \leq min\ \{h_w/4;\ 150\ \text{mm};\ 7d_{bL}\}\ \text{für DCM} \qquad (6.2)$$

wobei d_{bl} der minimale Durchmesser der Längsbewehrungen ist.

(213) Am Ende eines Trägers sind Schrägbewehrungen in zwei Richtungen angeordnet, die einen Winkel von 45° mit der Längsachse des Trägers bilden, wenn die folgenden kumulativen Bedingungen erfüllt sind:

$$\zeta = \frac{V_{Ed,min}}{V_{Ed,max}} \leq -0{,}5 \qquad (6.3)$$

und

$$\frac{max\ (|V_{Ed,min}|, |V_{Ed,max}|)}{b_w d\, f_{ctd}} \geq 2 + \zeta \qquad (6.4)$$

wobei gilt:

$V_{Ed,min}$ der minimale Bemessungswert der am Ende des Trägers wirkenden Querkraft;

$V_{Ed,max}$ der maximale Bemessungswert der am Ende des Trägers wirkenden Querkraft;

Hinweis: Wenn die Querkräfte $V_{Ed\ min}$ und $V_{Ed\ max}$ entgegengesetzte Vorzeichen haben, ist bei der Berechnung des Verhältnisses ζ das Minuszeichen dem niedrigeren der absoluten Werte der beiden Kräfte zuzuordnen, während das Pluszeichen dem höheren zuzuordnen ist. Das Verhältnis ζ beträgt zwischen -1 und 1. $\zeta = -1$ entspricht der ungünstigsten Belastungssituation, wenn die beiden Querkräfte gleiche absolute Werte und entgegengesetzte Vorzeichen haben, $\zeta = 1$ entspricht der Situation, wenn die durch die horizontale seismische Einwirkung verursachte Querkraft vernachlässigbar ist.

(214) Schrägbewehrungen, angeordnet nach (213), erfüllen die folgende Bedingung:

$$2\, A_{si} f_{yd} \sin\alpha \geq max\ (|V_{Ed,min}|, |V_{Ed,max}|) \qquad (6.5)$$

wobei gilt:

A_{si} die Fläche der Schrägbewehrung, die in einer der beiden Richtungen angeordnet ist;

α Neigungswinkel der Bewehrungen A_{si};

f_{yd} der Bemessungswert der Streckgrenze des Stahls, aus dem die Schrägbewehrungen hergestellt werden.

(215) Schrägbewehrungen, die gemäß (213) angeordnet sind, werden zusätzlich zu den Querbewehrungen angeordnet, die gemäß 4.1.2.3. (155) und 5.1.1.2. festgelegt werden.

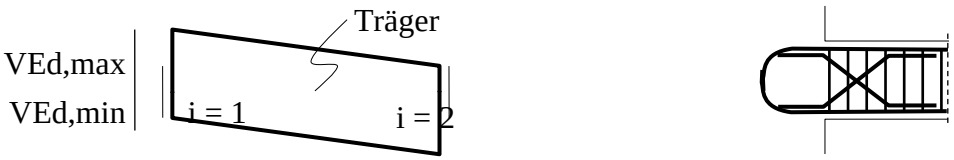


Abbildung 6.2 Informative Darstellung zur Bedeutung der Größen $V_{Ed,max}$ und $V_{Ed,min}$ und der Anordnung der Schrägbewehrung in der kritischen Zone der Träger

(216) In kritischen Bereichen der Träger an der Ober- und Unterseite muss die Bewehrung so angeordnet sein, dass der horizontale Abstand, der zwischen den aufeinanderfolgenden Längsstäben des Trägers an der Ecke eines Bügels gemessen oder mit Klammern befestigt wird, bei DCH weniger als 200 mm und bei DCM weniger als 250 mm beträgt.

(217) In den aktuellen Zonen ist eine Anzahl von Bügeln angeordnet, die mindestens der Hälfte ihrer Anzahl in der kritischen Zone entspricht.

(218) Bei Trägern von Tragwerken, die für die Duktilitätsklasse DCL ausgelegt sind, beträgt der maximale Abstand zwischen den Bügeln 300 mm.

6.3.2. Pfeiler

(219) Die Verstärkung der Stützen erfüllt die Bedingungen in 6.3.2.2. und 6.3.2.3. für kritische und aktuelle Bereiche.

(220) Die Bereiche an den Enden der Stützen in jedem Geschoss gelten als kritische Bereiche. Der Teil des Elements, der nicht als kritischer Bereich betrachtet wird, wird als aktueller Bereich betrachtet.

(221) Die Länge jedes kritischen Bereichs, l_{cr}, erfüllt die folgenden Bedingungen:

(iiii) für die kritischen Bereiche am unteren Ende der Stützen in jedem Geschoss:

$$l_{cr} \geq \max \{1{,}5h_c; l_{cl}/6; 600 \text{ mm}\} \text{ für DCH} \quad (6.1)$$

$$l_{cr} \geq \max \{h_c; l_{cl}/6; 450 \text{ mm}\} \text{ für DCM} \quad (6.2)$$

(jjjj) für die kritischen Bereiche an der Spitze der Stützen in jedem Geschoss:

$$l_{cr} \geq \max \{h_c; l_{cl}/6; 600 \text{ mm}\} \text{ für DCH} \quad (6.3)$$

$$l_{cr} \geq \max \{h_c; l_{cl}/6; 450 \text{ mm}\} \text{ für DCM} \quad (6.4)$$

wobei gilt:

h_c die größte Querschnittsabmessung der Stütze;

l_{cl} die lichte Höhe der Stütze in dem betreffenden Geschoss.

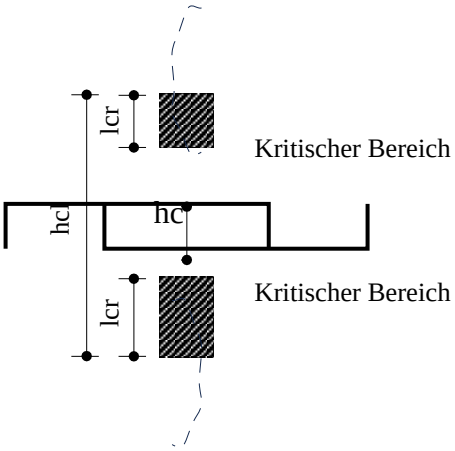


Abbildung 6.2 Bestimmung kritischer Bereiche an Stützen

(222) Ab einer bestimmten Höhe $l_{cl}/h_c \leq 3$ gilt die gesamte Länge der Stütze als kritischer Bereich.

(223) Zusätzlich zu den kritischen Bereichen, die gemäß den Bestimmungen von (220), (221) und (222) festgelegt werden, gilt bei Stützen, die an nichttragende Bauteile wie Mauerwerkswände angrenzen, die gesamte Länge der Stützen als kritischer Bereich, wenn:

(kkkk) die Mauer mit einer Öffnung versehen ist, die an die Stütze angrenzt;

(llll) Mauerwerkswände sind nur auf einer oder zwei Seiten an die Stütze angrenzen.

(224) Bei Stützen, die in direktem Kontakt mit starren und festen nichttragenden Bauteilen wie Mauerbrüstungen stehen, wird der Bereich der Stütze unmittelbar oberhalb und unterhalb der oberen Begrenzung der Brüstung über eine Länge von l_{cr} als kritischer Bereich betrachtet.

(225) Innerhalb der kritischen Bereiche sind Bügel und Klammern vorgesehen, um die notwendige Duktilität zu gewährleisten und das lokale Knicken der Längsstäbe zu verhindern. Die Querbewehrung wird so verteilt, dass ein effizienter triaxialer Spannungszustand erzielt wird. Die Mindestvoraussetzungen, um diese Anforderungen zu erfüllen, sind unter 6.3.2.2. und 6.3.2.3. genannt.

6.3.2.2. Längsbewehrung

(226) Die Längsbewehrung in den Stützen gewährleistet die Einhaltung der Anforderungen an Biegefestigkeit und Querkraft gemäß 3.3.1.1..

(227) Der Koeffizient der Gesamtlängsbewehrung ρ_t erfüllt über die gesamte Länge der Stütze die folgende Bedingung:

$$0{,}01 \leq \rho_t \leq 0{,}04 \text{ für DCH oder DCM} \qquad (6.1)$$

$$0{,}008 \leq \rho_t \leq 0{,}04 \text{ für DCL} \qquad (6.2)$$

wobei gilt:

$$\rho_t = \frac{A_{st}}{A_c} \qquad (6.3)$$

A_{st} die gesamte Längsbewehrungsfläche des Querschnitts der Stütze;

A_c die Querschnittsfläche der Stütze.

(228) Zwischen den Längsbewehrungen an den Querschnittsecken auf jeder Seite ist mindestens ein Längs-Zwischenstab vorzusehen.

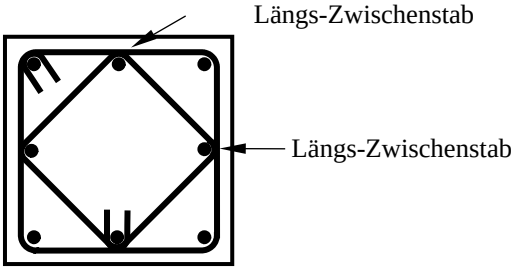


Abbildung 6.2

(229) Bei querbewehrten Stützen mit Bügeln oder kreisförmigen Klammern müssen mindestens sechs Längsstäbe am Umfang vorhanden sein.

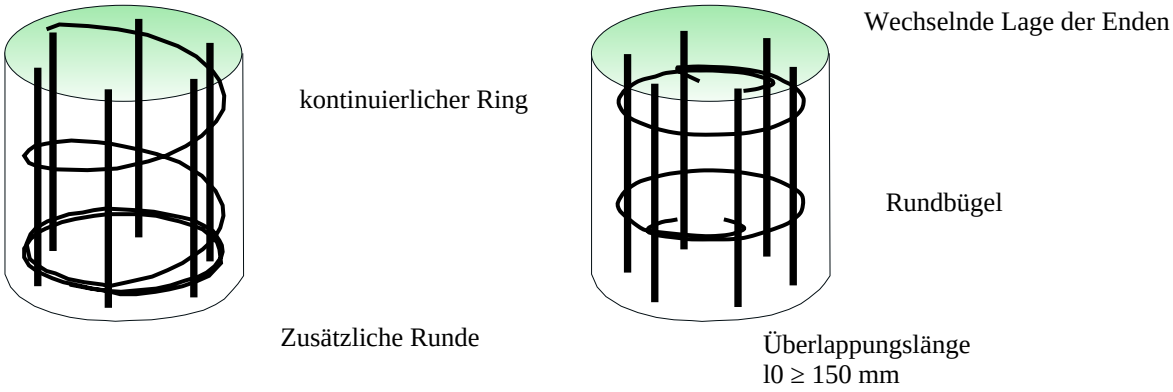


Abbildung 6.3

(230) Bei Gebäuden der Duktilitätsklasse DCH ist der Durchmesser der Bewehrungsstäbe so zu bestimmen, dass die Überlappungslänge der Längsbewehrungen kleiner als $h_s/2$ ist.

6.3.2.3. Querbewehrung

(231) Die Querbewehrung in den Stützen gewährleistet die Einhaltung der Anforderung der Querkraftfestigkeit gemäß 3.3.1.1..

(232) Für die Querbewehrung werden geschlossene Bügel und Klammern aus Stahlstäben mit einem Durchmesser von 8 mm oder mehr verwendet.

(233) Querbewehrungen in kritischen Bereichen der Stützen müssen mit Haken versehen sein, die in einem Winkel von 135° gebogen sind und deren gerade Länge größer als oder gleich $10\,d_{bw}$ ist, wobei d_{bw} der Durchmesser des Stahlstabs ist, aus dem die Bewehrung hergestellt wird.

(234) In den kritischen Bereichen an der Basis der Stützen, unmittelbar über dem konventionellen Verankerungsbereich, muss die Querbewehrung in beiden horizontalen Hauptrichtungen die folgenden Bedingungen erfüllen:

$$\rho_w \geq 0{,}005 \text{ für DCH} \qquad (6.1)$$

$$\rho_w \geq 0{,}0035 \text{ für DCM} \qquad (6.2)$$

$$\omega_{wd} \geq 0{,}12 \text{ für DCH} \qquad (6.3)$$

$$\omega_{wd} \geq 0{,}08 \text{ für DCM} \qquad (6.4)$$

wobei gilt:

ρ_w Koeffizient der Querbewehrung;

$$\rho_w = \frac{A_{sw}}{b_w s} \qquad (6.5)$$

A_{sw} Bereich der Querbewehrung in der betrachteten Richtung;

b_w Abmessung des Querschnitts der Stütze senkrecht zur betreffenden Richtung;

s Abstand zwischen den Bügeln;

ω_{wd} Koeffizient der mechanischen Querbewehrung.

$$\omega_{wd} = \frac{Volumen\,der\,begrenzenden\,Bügel}{Volumen\,des\,umschlossenen\,Betonkerns} \frac{f_{yd}}{f_{cd}} \qquad (6.6)$$

f_{yd} Bemessungswert der Fließgrenze des Stahls;

f_{cd} Bemessungswert der Betondruckfestigkeit.

(235) In allen kritischen Bereichen, mit Ausnahme der in (234) genannten Bereiche, muss die Querbewehrung in beiden horizontalen Hauptrichtungen folgende Bedingungen erfüllen:

$$\rho_w \geq 0{,}0035 \text{ für DCH} \qquad (6.7)$$

$$\rho_w \geq 0{,}0025 \text{ für DCM} \qquad (6.8)$$

$$\omega_{wd} \geq 0{,}08 \text{ für DCH} \qquad (6.9)$$

$$\omega_{wd} \geq 0{,}06 \text{ für DCM} \qquad (6.10)$$

(236) Der Abstand zwischen den Bügeln in den kritischen Bereichen der Stütze erfüllt die folgenden Bedingungen:

$$s \leq min¿ \text{für DCH} \qquad (6.11)$$

$$s \leq min¿ \text{fürr DCM} \qquad (6.12)$$

wobei gilt:

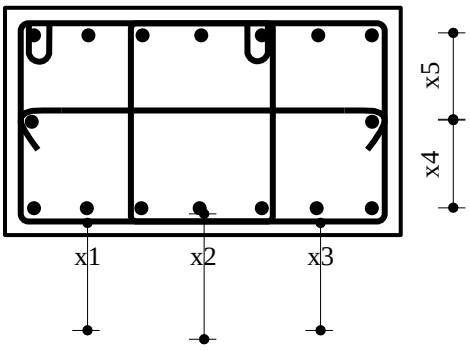
b_0 die Mindestbreite des nutzbaren Abschnitts (innerhalb des Umfassungsbügels)

d_{bL} der Mindestdurchmesser der Längsstäbe;

(237) Der Abstand zwischen den Bügeln in der kritischen Zone unmittelbar über dem konventionellen Verankerungsbereich muss die folgende Bedingung erfüllen:

$$s \leq min¿ \text{für DCH} \qquad (6.13)$$

(238) Die Querbewehrung muss so angeordnet sein, dass der entlang des Querschnittsumfangs gemessene Abstand zwischen den aufeinanderfolgenden Längsstäben der Stütze an der Ecke eines Bügels oder einer Klammer kleiner als 150 mm für DCH und 200 mm für DCM ist.



xi ≤ 150 mm (DCH)
xi ≤ 150 mm (DCM)

Abbildung 6.2

(239) Wenn, um die Bedingung von (231), (234) und (235) zu erfüllen, mehrere Arten von Querbewehrungen verwendet werden, wie Bügel oder Klammern mit unterschiedlichen geometrischen Konfigurationen, sind die Bedingungen von (236) und (237) für jede Art von Querbewehrung getrennt anzuwenden.

(240) In den ersten beiden Geschossen von Gebäuden mit mehr als 5 Geschossen und im ersten Geschoss bei niedrigeren Gebäuden sind oberhalb des kritischen Bereichs unmittelbar über dem konventionellen Verankerungsbereich über eine Länge, der der Hälfte ihrer Länge entspricht, dicht nebeneinander gesetzte Bügel vorzusehen.

(241) Bei Stützen von Tragwerken, die für die Duktilitätsklasse DCL ausgelegt sind, muss der Querbewehrungskoeffizient in jeder Richtung über eine Länge, die der maximalen Querschnittsabmessung der Stütze entspricht, gleich oder größer als 0,003 sein, h_c, über dem konventionellen Verankerungsbereich. In den anderen Geschossen ist der Querbewehrungskoeffizient an der Unterseite der Stützen größer oder gleich 0,0025.

(242) In den aktuellen Zonen ist eine Anzahl von Querbewehrungen vorzusehen, die mindestens der Hälfte derjenigen der kritischen Zone entspricht.

(243) Bei Stützen, die mit nichttragenden Bauteilen wie Mauerwerkswänden in Berührung kommen, die unter der lichten Höhe der Stütze liegen, wenn die Länge, über die die Stütze nicht mit der Mauerwerkswand in Berührung kommt, weniger als 1,5 h_c beträgt, muss die durch seismische Einwirkung verursachte Querkraft, die parallel zur Wandebene wirkt, durch Schrägbewehrungen aufgenommen werden, die die folgende Bedingung erfüllen:

$$2\,A_{si}\,f_{yd}\,sin\alpha \geq max\left(\left|V_{Ed,min}\right|,\left|V_{Ed,max}\right|\right) \qquad (6.1)$$

wobei gilt:

A_{si} die Fläche der Schrägbewehrung, die in einer der beiden Richtungen angeordnet ist;

α Neigungswinkel der Bewehrungen A_{si};

f_{yd} der Bemessungswert der Streckgrenze des Stahls, aus dem die Schrägbewehrungen hergestellt werden.

$V_{Ed,min}$, $V_{Ed,max}$ die Bemessungswerte der in der Stütze zu mobilisierenden minimalen und maximalen Querkräfte;

Die Schrägbewehrungen sind zusätzlich zu den gemäß den Vorschriften (232).(242) angeordneten Querbewehrungen angeordnet.

6.3.3. Träger-Stützen-Verbindungen

(244) Die vertikale und horizontale Bewehrung in den Träger-Stützen-Verbindungen der wichtigsten seismischen Bauteile muss den Bestimmungen dieses Absatzes entsprechen.

(245) Die vertikale Bewehrung in den Träger-Stützen-Verbindungen entspricht mindestens der in den Stützen in den kritischen Bereichen neben der Verbindung angeordneten Längsbewehrung.

(246) Die horizontale Bewehrung an Verbindungen ist in Form von geschlossenen Bügeln oder Klammern angeordnet, die in einer horizontalen Ebene liegen.

(247) Die horizontale Bewehrung in den Träger-Stützen-Verbindungen ist größer als die oder gleich der Querbewehrung, die in den angrenzenden kritischen Bereichen der in die Verbindung eintretenden Stützen angeordnet ist.

(248) Die Gesamtfläche der horizontalen Bewehrung in der Verbindung, A_{sh}, erfüllt die folgenden Bedingungen:

(mmmm) an allen Verbindungen außer den Endverbindungen:

$$A_{sh} \geq 0{,}8\left(A_{s1} + A_{s2}\right)\left(1 - 0{,}8\,\nu_d\right) \qquad (6.1)$$

wobei gilt:

A_{s1} und A_{s2} sind die Bereiche der gestreckten Bewehrungen am oberen bzw. unteren Rand der Träger, die in die betrachtete Richtung der seismischen Einwirkung in die Verbindung eintreten, in Abhängigkeit von der Richtung der seismischen Einwirkung;

ν_d der Bemessungswert der durchschnittlichen normierten Axialspannung in der Stütze an der Unterseite der Verbindung;

(nnnn) an Endverbindungen:

$$A_{sh} \geq 0{,}8\,A_{s2}\left(1 - 0{,}8\,\nu_d\right) \qquad (6.2)$$

wobei gilt:

A_{s2} die Fläche der Zugbewehrungen des in die Verbindung eintretenden Trägers in der betrachteten Richtung der seismischen Einwirkung, die auf der Grundlage der Richtung der seismischen Einwirkung bestimmt wird.

(249) Wenn für die horizontale und vertikale Bewehrung der Verbindung Stähle unterschiedlicher Qualität verwendet werden, wird die Anzahl der Bewehrungen nach (6.1) oder (6.2) mit dem Verhältnis f_{yd}/f_{ywd} multipliziert, wobei f_{yd} die Streckgrenze des Stahls ist, aus dem die Längsträgerbewehrungen hergestellt werden, und f_{ywd} die Streckgrenze des Stahls ist, aus dem die horizontalen Bewehrungen in der Verbindung hergestellt werden.

(250) Die Gesamtfläche der horizontalen Bewehrung in der Verbindung, A_{sh}, die sich aus der Anwendung der Formel (6.1) oder (6.2) ergibt, ist gleichmäßig über die Höhe der Verbindung verteilt.

(251) Bei Außenverbindungen wird die Bewehrung, A_{sh}, die sich aus der Anwendung der Formel (6.1) oder (6.2) ergibt, um 20 % erhöht.

(252) Bei Außenverbindungen werden die Längsbewehrungen im Träger in den Bügeln der Verbindung in der Nähe ihrer gegenüberliegenden Seite zum Endabschnitt des Trägers in einem Abstand von maximal 50 mm vom Umfassungsbügel gedreht.

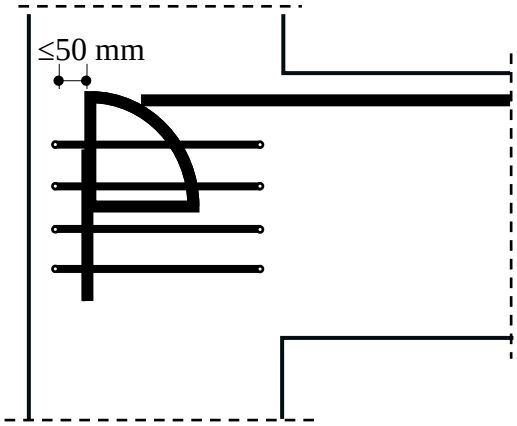


Abbildung 6.2 Lage der Enden der Längsstäbe im Träger in Bezug auf den Bügel der Verbindung

(253) Bei Längsbewehrungen von Trägern, die an Verbindungen durch Biegen enden, ist der Haken zur Längsachse des Trägers ausgerichtet. Bei Längsbewehrungen von Stützen, die durch Biegen in Verbindungen enden, ist der Haken zur Längsachse der Stütze ausgerichtet.

6.3.4. Verankerung und Befestigung der Bewehrung

(254) Bei der Bemessung von Verankerungen und Spleißen von Bewehrungen gelten die Bestimmungen der SR EN 1992-1-1 zusammen mit den zusätzlichen Bestimmungen dieses Absatzes.

(255) Die Längen der Verankerung oder Überlappung werden nach dem Wert der Kraft bestimmt, die sich im Stab bei der Bildung des gesamten plastischen Mechanismus des Tragwerks entwickelt.

(256) Die Verankerungs- oder Überlappungslängen sind zu bestimmen, wobei zu berücksichtigen ist, dass der Bemessungswert der Zugkraft, die sich in den Längsbewehrungen über die gesamte Länge der kritischen Bereiche entwickelt, gleich ist $1{,}20 f_{yd}$.

(257) Bewehrungen werden außerhalb kritischer Bereiche verankert.

(258) Es wird empfohlen, die Bewehrung außerhalb kritischer Bereiche durchzuführen.

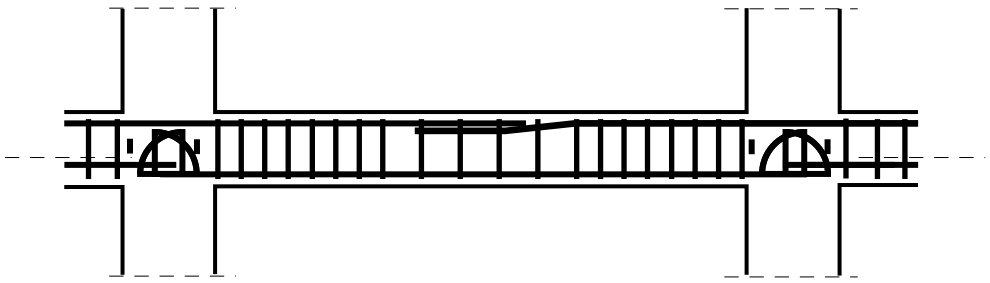


Abbildung 6.1 Prinzipdetail mit Verankerung und Überlappung von Bewehrungen in einem Träger

(259) Die Überlappung der Längsbewehrungen der Träger erfolgt außerhalb der Verbindungen und der kritischen Bereiche des Trägers und in einem Abstand von mehr als 1,5 h_w von den Endabschnitten des Trägers.

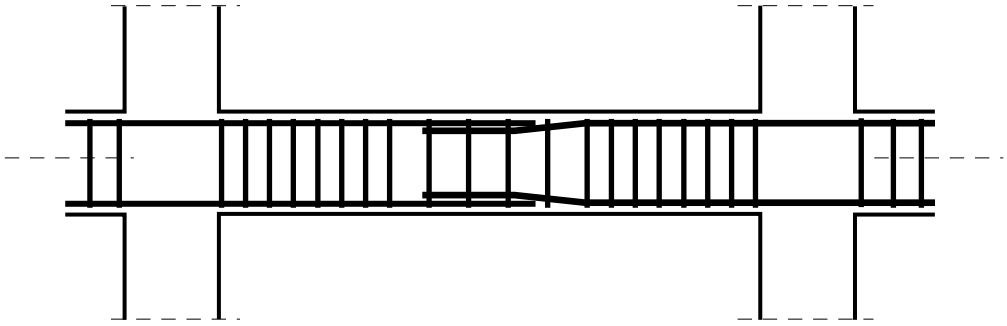


Abbildung 6.2 Prinzipdetail mit überlagerter Bewehrung in einem Träger

(260) Bei Stützen, die für DCH ausgelegt sind, erfolgt das Spleißen der Längsstäbe der Stützen in ihrem mittleren Bereich auf jeder Ebene.

(261) Die Ankerlänge, bestimmt nach (255), ist entsprechend der nachstehenden Formel zu begrenzen:

$$l_{bd} \geq 40\,\varphi \qquad (6.1)$$

wobei φ der Durchmesser der Verankerungsstange ist.

(262) Die gemäß Absatz 2 ermittelte Spleißlänge ist auf die in Tabelle 6.1 angegebenen unteren Werte zu beschränken, wobei φ der Durchmesser der gespleißten Stange ist. Für Zwischenwerte des Verhältnisses zwischen der Fläche der gespleißten Bewehrungen im Querschnitt und der Fläche aller Bewehrungen wird eine lineare Interpolation durchgeführt.

Tabelul 6.1 Mindestwerte der Überlappungslänge

Verhältnis zwischen der Fläche der gespleißten Bewehrungen im Querschnitt und der Fläche aller Bewehrungen	< 0,25	33 %	50 %	> 50 %
Minimale Spleißlänge durch Überlappung	40 φ	45 φ	55 φ	60 φ

Hinweis: Bei gebogenen Elementen bezeichnet der Bereich aller Bewehrungen den Bereich der gestreckten oder komprimierten Bewehrungen eines Abschnitts, gegebenenfalls einschließlich des gespleißten Stabs.

(263) Wenn in einer seismischen Bemessungskombination der Bemessungswert der Axialkraft in einer Stütze die Zugkraft ist, wird die Länge der Verankerung oder der Überlappung der Längsbewehrungen gemäß (255) um 50 % erhöht.

(264) Die Form eines in einer Träger-Stützen-Verbindung verankerten Längsbewehrungsstabs wird unter Berücksichtigung der Verankerungslänge bestimmt, die ab einem Abstand von $5d_{bL}$ von der Fläche des Elements, in dem die Verankerung erfolgt, gemessen wird, wobei d_{bL} der Durchmesser der Verankerungsstange ist.

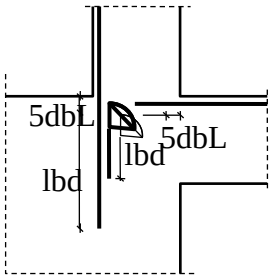


Abbildung 6.3 Veranschaulichende Darstellung von Verankerungsbewehrungen in kritischen Bereichen von Trägern und Stützen

(265) Längsträgerstäbe, die an den Träger-Stützen-Verbindungen enden, sind innerhalb des Stützengehäuses auf der Seite gegenüber dem Abschnitt des Trägers, von dem aus die Verankerung ausgeführt wird, gebogen. Die rechte Seite am Ende der Stange parallel zur Richtung der Längsbewehrungen in den Stützen wird mit einer Länge von größer oder gleich $12d_{bl}$ ausgeführt, wobei d_{bL} der Durchmesser der Verankerungsstange ist.

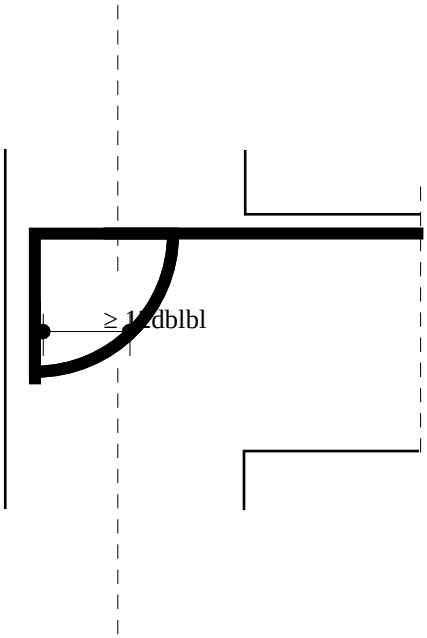


Abbildung 6.4 Mindesthakenlänge für Längsbewehrungen in Trägern

(266) Die Verankerungslänge der Bewehrungen, die in den Träger-Stützen-Verbindungen enden, wird sichergestellt, indem sie höchstens einmal innerhalb der Verbindung gebogen werden.

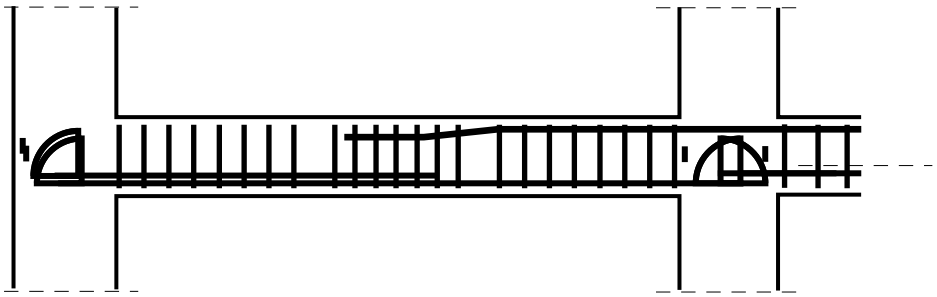


Abbildung 6.5 Prinzipdetail mit der Verankerung der Längsstäbe der Träger in der Verbindung

(267) Längsbewehrungen im kritischen Bereich der Stützen werden in den Träger-Stützen-Verbindungen nicht durch Überlappungen verspleißt.

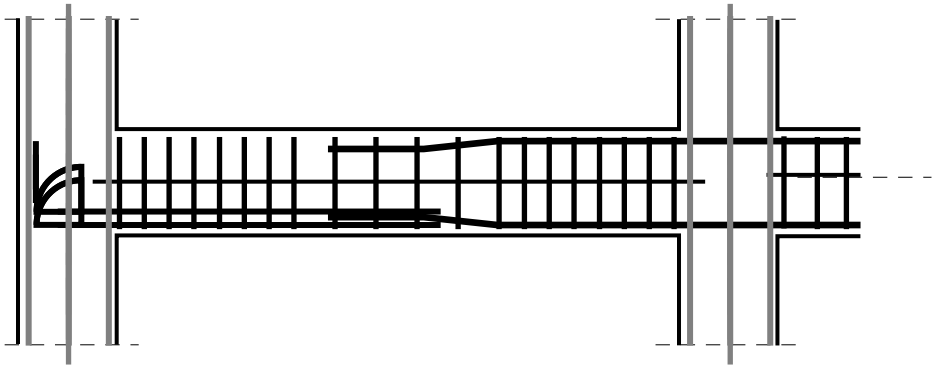


Abbildung 6.6 Prinzipdetail mit Längsbewehrung der die Verbindung überquerenden Stütze

(268) Der Durchmesser der Längsbewehrungen der Träger, die durch die Träger-Stützen-Verbindungen verlaufen, erfüllt die folgenden Bedingungen:

(oooo) bei Endverbindungen:

$$d_{bL} \le 10\left(1+0{,}8\,v_d\right)\frac{f_{ctm}}{f_{yd}}h_c \qquad (6.1)$$

(pppp) in anderen Fällen:

$$d_{bL} \le 10\frac{1+0{,}8\,v_d}{1+0{,}75\,A_{s2}/A_{s1}}\frac{f_{ctm}}{f_{yd}}h_c \qquad (6.2)$$

wobei gilt:

h_c die Größe der Stützenseite parallel zu den Stäben

A_{s2}, A_{s1} der Bereich der komprimierten bzw. gestreckten Bewehrung der Träger, die die Verbindung kreuzen;

f_{ctm} durchschnittliche Zugfestigkeit des Betons

f_{ym} Durchschnittswert der Fließgrenze des Stahls

v_d der Bemessungswert der durchschnittlichen normierten Axialkraft in Stützen in der seismischen Bemessungssituation.

(269) In kritischen Bereichen von Stützen, in denen signifikante plastische Verformungen zu erwarten sind, wird gemäß der Konfiguration des optimalen plastischen Mechanismus keine Überlappung durchgeführt. In den restlichen kritischen Bereichen wird empfohlen, Stöße durch Überlappung zu vermeiden.

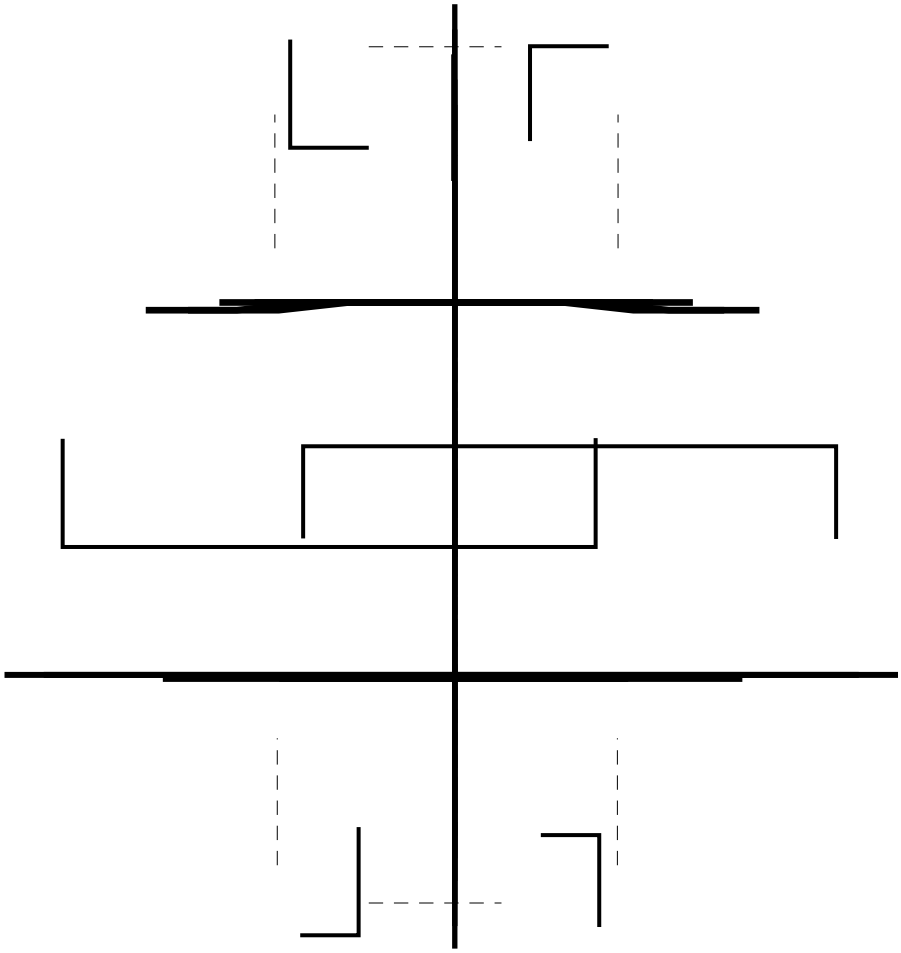


Abbildung 6.7 Prinzipdetail mit Verankerung und Überlappung von Bewehrungen auf halber lichter Höhe der Stütze

(270) Die Bewehrungen der Stützen und Träger dürfen nicht durch Schweißen entlang der Länge der kritischen Bereiche dieser Elemente gespleißt werden.

(271) Schweißverbindungen sind so ausgelegt, dass sie einen mittleren Spannungswert im Stahlstab von mindestens 1,25 f_{yd} aufweisen.

(272) Für die durchgehende Versteifung von Bewehrungen mit Verbindungseinrichtungen sind nur Produkte zu verwenden, die über eine technische Zulassung verfügen, in der die Eignung für den Einsatz unter seismischer Belastung mit zyklisch wirkenden dynamischen Einwirkungen ausdrücklich angegeben ist und die mit der bei der Gebäudebemessung verwendeten Duktilitätsklasse kompatibel sind. Bei Gebäuden, die für die Duktilitätsklasse DCH oder DCM ausgelegt sind, dürfen nur Kupplungseinrichtungen verwendet werden, für die in der technischen Zulassung festgelegt ist, dass sichergestellt ist, dass die Bewehrungsstäbe so lange fließen, bis ihre Verformungskapazität unter zyklisch wechselnden Spannungen erschöpft ist, ohne dass die Verbindung ausfällt. Es ist nicht erlaubt, die Verbindung wegzulassen.

(273) In mehrgeschossigen Gebäuden, in denen die Längsbewehrungsstäbe der Stützen durch Überlappung im kritischen Bereich am Boden eines Geschosses verspleißt werden, wird die Spleißlänge l_0 nach folgender Formel bestimmt:

$$l_0 = 2\sqrt{A_s' / A_s}\, l_{bd} \leq 1{,}5\, l_{bd} \qquad (6.1)$$

wobei gilt:

$A_s^{'}/A_s$ das Verhältnis zwischen der Fläche der Längsbewehrungen, die in den Abschnitt einmünden, und der Gesamtfläche der Längsbewehrung;

l_{bd} grundlegende Ankerlänge berechnet gemäß SR EN 1992-1-1.

(274) Der Abstand zwischen den Querbewehrungen der Träger oder Stützen in den überlappenden Bereichen der Längsbewehrungen erfüllt die folgende Bedingung:

$$s \leq minim\left(\frac{h}{4}, 100mm\right) \qquad (6.2)$$

wobei gilt:

h die Höhe ihres Querschnitts.

(275) Der Bereich A des Abschnitts einer Abzweigung der Querbewehrung im Verbindungsbereich erfüllt die Bedingung: $_{sw1}$

$$A_{sw1} \geq s\frac{d_{bL}}{50}\frac{f_{yd}}{f_{ywd}} \qquad (6.3)$$

wobei gilt:

f_{yd} und f_{ywd} sind die Bemessungswerte der Streckgrenze der Längs- und Querbewehrung;

d_{bL} Durchmesser der Längsbewehrung, die gespleißt wird.

6.3.5. Infrastrukturen und Fundamente

6.3.5.1. Fundamente

(276) Kontinuierliche Bewehrungen sind an der Ober- und Unterseite der Fundamentträger und der Verbindungssohlen zwischen den Fundamenten über ihre gesamte Länge vorgesehen.

(277) Schnittflächen zwischen vertikalen Bauteilen und Fundament- oder Ausgleichsträgern werden wie Träger-Stützen-Verbindungen bewehrt.

(278) Der Fundamentrahmen wird oben und unten mit mindestens einem Stahlbewehrungsnetz bewehrt. Der Mindestbewehrungskoeffizient für jedes dieser beiden Netze muss größer als oder gleich 0,002 sein.

(279) Bei Gebäuden, die für die Duktilitätsklasse DCH oder DCM ausgelegt sind, entspricht die Querbewehrung von Pfählen in ihren kritischen Bereichen den Bestimmungen für Stützen der Duktilitätsklasse DCM in dieser technischen Vorschrift.

(280) Die Länge des kritischen Bereichs der Pfähle muss der folgenden Bedingung entsprechen:

$$l_{cr} \geq 2d \qquad (6.1)$$

wobei gilt:

d Durchmesser des Pfahls.

Der kritische Bereich wird vom oberen Ende des Pfahls nach unten gemessen.

Überquert der Pfahl die Grenzfläche zweier Geländeschichten mit sehr unterschiedlichen Quersteifigkeiten, bei denen das Verhältnis des Querverformungsmoduls gleich oder größer als 6,00 ist, so sind die Längenbereiche l_{cr} oberhalb und unterhalb der Grenzfläche als kritische Bereiche zu betrachten.

6.3.5.2. Kellerwände

(281) Der Umfang und die Innenwände der unterirdischen Geschosse werden in horizontaler und vertikaler Richtung bewehrt. Die Ausführung und Anordnung gewährleisten die Kontinuität der horizontalen und vertikalen Bewehrungen über die gesamte Oberfläche der Wände.

(282) Die horizontale Gesamtbewehrung, die im Kern der Infrastrukturwände verteilt ist, entspricht einem Mindestbewehrungsprozentsatz von 0,30 % oder mehr.

(283) Der Abstand zwischen horizontalen Stäben im Kern der Wände beträgt weniger als 250 mm.

(284) Die gesamte vertikale Bewehrung, die im Kern der Wände der Infrastruktur verteilt ist, entspricht einem Mindestbewehrungsprozentsatz von 0,30 % oder mehr.

(285) Der Abstand zwischen horizontalen Stäben im Kern der Wände beträgt weniger als 350 mm.

6.3.5.3. Infrastrukturböden

(286) In mehrgeschossigen Gebäuden mit einem oder mehreren unterirdischen Geschossen sind die Platten über den Kellern beidseitig mit durchgehenden Netzen längsbewehrt.

(287) Die Bewehrungsmenge in jeder der beiden horizontalen Richtungen entspricht einer Bewehrungsrate von mehr als 0,25 % und ist größer als 300 mm^2/m.

6.3.6. Sonstige Bestimmungen

(288) Bei der Bestimmung des Abstands zwischen den Querbewehrungen entsprechend dem Mindestdurchmesser der Längsbewehrungen ist der Durchmesser der Oberflächenbewehrung, die so angeordnet ist, dass die Trennung der Beschichtung gemäß den Bestimmungen der SR EN 1992-1-1 verhindert wird, nicht zu berücksichtigen.

7. Fertigteilkonstruktionen

(289) Bei der Bemessung vorgefertigter Tragwerke werden die Bestimmungen der spezifischen technischen Vorschriften zusammen mit den zusätzlichen Bestimmungen dieser technischen Vorschrift verwendet.

(290) Durch die Zusammensetzung von vorgefertigten Elementen und Verbindungen wird ein Strukturverhalten erreicht, das dem von monolithischen Strukturen ähnelt.

(291) Vorgefertigte Tragwerke müssen die allgemeinen seismischen Bemessungsanforderungen gemäß P 100-1, Kapitel 4, erfüllen.

(292) Bei Gebäuden, die für die Duktilitätsklassen DCH oder DCM ausgelegt sind, wird die Kontinuität der vorgefertigten Elemente nur durch nasse Stahlbetonfugen erreicht.

(293) Die in den Verbindungsbereichen angeordnete Bewehrung reagiert elastisch auf die seismische Bemessungseinwirkung entsprechend dem Grenzzustand der Tragfähigkeit. Folgendes kann eine Ausnahme sein:

(qqqq) die vertikale Bewehrung von Stützen, die sich durch Biegung plastisch verformen, entsprechend der Konfiguration des plastischen Mechanismus, wenn die vollständige Übertragung der seismischen Bemessungskräfte ohne Beeinträchtigung der Verbindung gewährleistet ist;

(rrrr) die horizontalen Bewehrungen von Trägern, die sich durch Biegung plastisch verformen, entsprechend der Konfiguration des plastischen Mechanismus, wenn die vollständige Übertragung der seismischen Bemessungskräfte ohne Beeinträchtigung der Verbindung gewährleistet ist.

(294) Der Boden, der ganz oder teilweise aus vorgefertigten Platten besteht, ist so ausgelegt, dass er sich in seiner Ebene wie eine nahezu unendlich starre und widerstandsfähige Membran verhält.