

## Arbeitshilfe B.1.8

### Stahlverbundträger mit großen Stegöffnungen

#### Übersicht

Stahlverbundträger vereinen die Vorteile von Stahl und Beton zu einem hochleistungsfähigen Bauelement. Sie finden breite Anwendung in modernen Hochhäusern, Industriehallen und Brückenbauwerken. Besonders eignen sie sich für Gebäude mit großen Spannweiten, wo hohe Lasten bei gleichzeitig schlanken Querschnitten erforderlich sind. Die großen Stegöffnungen ermöglichen eine flexible Integration von Gebäudetechnik wie Lüftungs- und Sanitärleitungen, wodurch der Bedarf an zusätzlichen Durchbrüchen entfällt (siehe Bild 1). Dies trägt nicht nur zur Reduzierung der Bauhöhe bei, sondern ermöglicht auch eine effizientere Bauausführung und führt zu Kosteneinsparungen. Große Stegöffnungen in Stahlverbunddecken bieten zwar zahlreiche Vorteile, stellen jedoch auch besondere Anforderungen an die Bemessung dar. Um eine sichere und wirtschaftliche Konstruktion zu gewährleisten, ist es unerlässlich, die Auswirkungen dieser Stegausschnitte auf das Tragverhalten des Systems genau zu analysieren und entsprechende konstruktive Maßnahmen zu treffen.

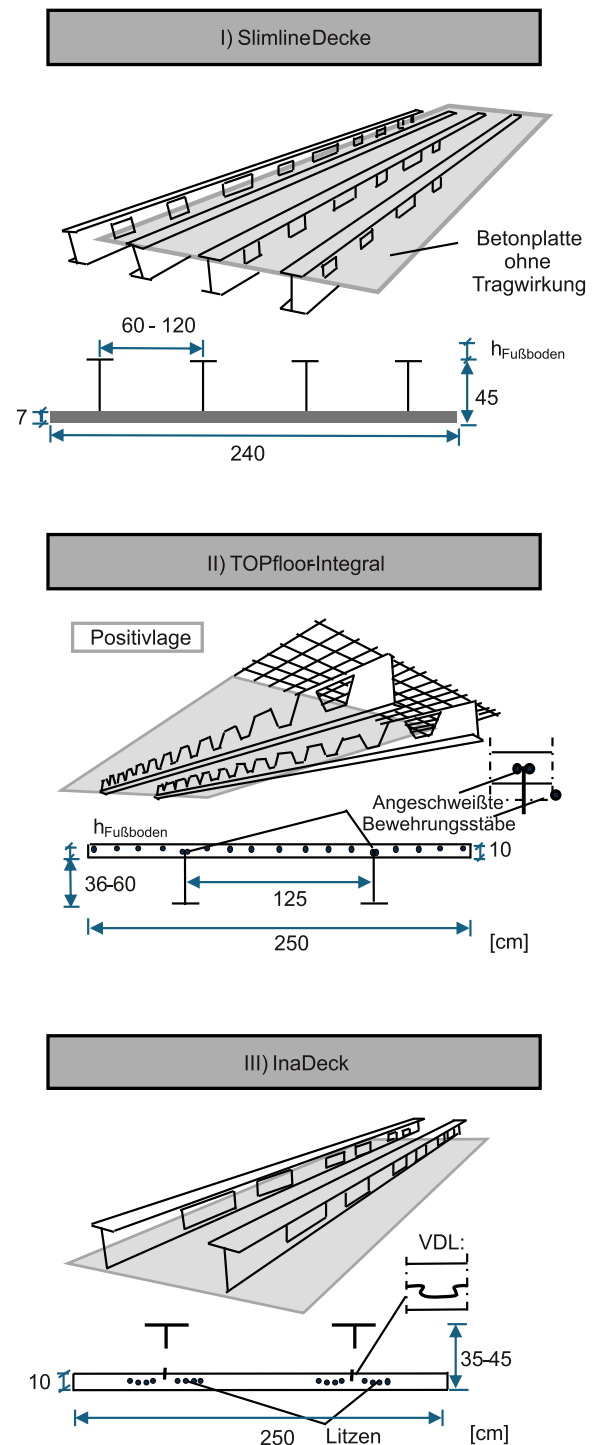
#### Auswirkungen der Stegöffnungen auf die Tragfähigkeit

Große Stegöffnungen reduzieren die Querschnittsfläche des Stahlträgers, was eine Verringerung der Biegesteifigkeit und Tragfähigkeit zur Folge hat. Besonders kritisch ist die Beeinträchtigung des Schubflusses in der Umgebung der Stegöffnungen, was zu einer Erhöhung der lokalen Querkraftbeanspruchung führen kann. Dies betrifft vor allem hoch belastete Bereiche wie Auflagerzonen oder die Nähe von Momentengelenken.

Um die durch Biege- und Querkraftbeanspruchung verursachten globalen Schnittgrößen, die auf den Betongurt, die Reststege und die Flansche des Stahlträgers wirken, sowie die daraus resultierenden lokalen Beanspruchungen angemessen zu berücksichtigen, ist eine sorgfältige Betrachtung der Stegöffnungen hinsichtlich Tragfähigkeit und dauerhafter Bauteilsicherheit unerlässlich.

#### Grundlagen der Tragwerksplanung

Stegausschnitte in Stahlträgern führen zu einer lokalen Querschnittsverringering, die eine Konzentration von Spannungen und eine Veränderung des Verformungsverhaltens des Tragelements zur Folge hat. Um eine sichere Bemessung und Konstruktion von Stahlverbundträgern mit großen Stegöffnungen zu gewährleisten, sind neben den allgemeinen Anforderungen der Eurocodes (DIN EN 1990, DIN EN 1991) und den spezifischen Bemessungsregeln für Stahlbauten (DIN EN 1993-1-1, DIN EN 1993-1-5, DIN EN 1993-1-2) sowie für Stahlbetonbauten (DIN EN 1992-1-1) die zusätzlichen Bemessungsregeln der DIN EN 1993-1-13, DIN EN 1994-1-1 und DIN EN 1994-1-2 zwingend zu beachten.



**Bild 1** - Aufbau verschiedener Stahlverbunddeckensysteme mit Integration der Gebäudetechnik: I) Slimline Decke als geeignetes System zur Reduzierung der Bauhöhe, II) TOPfloor-Integral als (durchgehendes) vorgefertigtes System und III) InaDeck als modulares Deckensystem mit besonderem Fokus auf Flexibilität in der Gestaltung.

## Berechnungsverfahren

Für die Bemessung von Stahlverbundträgern mit Stegöffnungen können verschiedene Methoden angewendet werden:

- Analytische Methoden (z.B. Richtlinien und Bemessungsformeln der Eurocodes unter Berücksichtigung der reduzierten Querschnittsfläche);
- Numerische Methoden (z.B. Finite-Elemente-Analysen für eine detaillierte Untersuchung des Tragverhaltens und möglicher Versagensmechanismen);
- (Semi-)Empirische Methoden (z.B. physische Versuche an Modellen oder Prototypen - Aufgrund der hohen Zeit- und Kostenaufwände sinnvoll in der Forschung oder bei sehr kritischen Anwendungen).

Die Wahl der geeigneten Bemessungsmethode hängt von der Komplexität des Bauteils, den Anforderungen an die Genauigkeit und den verfügbaren Kenntnissen des Tragwerksplaners ab. Die Bemessung sollte i.d.R. mithilfe analytischer Berechnungen nach nationalen und europäischen Normen und Richtlinien erfolgen. Ein numerisch gestütztes Berechnungsverfahren (FEM) nach DIN EN 1993-1-14 wird insbesondere für komplexe Fälle empfohlen, wie z.B. Verbundträger mit veränderlichem Querschnitt und komplexen Anschlussdetails.

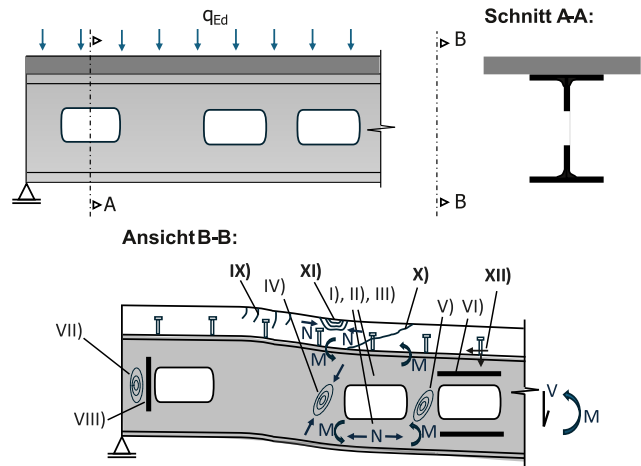
## Bemessung

Die Bemessung von Stahlverbundträgern mit großen Stegöffnungen unterliegt den Anforderungen, die sowohl den Normen für Stahlbauwerke (DIN EN 1993) als auch für Stahlbetonbauwerke (DIN EN 1992) entsprechen müssen. Hierbei sind insbesondere die Grenzzustände der Tragfähigkeit (GZT), Gebrauchstauglichkeit (GZG) und Dauerhaftigkeit für beide Werkstoffe zu berücksichtigen.

Neben den grundlegenden Bemessungsregeln für Stahl- und Stahlbetonbauten sind für Stahlverbundträger mit großen Stegöffnungen spezifische Regelungen relevant, wie die E DIN EN 1993-1-13 für Stahllochträger sowie die E DIN EN 1994-1-1 und E DIN EN 1994-1-2 für Stahlverbundträger. Ergänzend dazu bietet die Arbeitshilfe „Stahlträger mit großen Stegöffnungen“ detaillierte Hinweise zur Anwendung der E DIN EN 1993-1-13 für Stahllochträger, insbesondere für die Nachweise im Grundzustand der Tragfähigkeit. Die in Bild 3 dargestellten Nachweisstellen I bis VIII visualisieren die kritischen Bereiche, die bei der Bemessung von Stahlträgern mit großen Stegöffnungen zu untersuchen sind und in der genannten Arbeitshilfe ausführlich beschrieben werden. Diese Nachweise sind für die Bemessung der Stahlverbundträger mit großen Stegöffnungen relevant und zu beachten. Im Folgenden werden ausschließlich die zusätzlichen Nachweise für Stahlverbundträger mit großen Stegöffnungen erläutert. Für den Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZT) sind dabei die folgenden Nachweise zu erbringen:

- Biegeversagen des Betongurts (siehe Bild 2: IX);
- Querkraftversagen des Betongurts (siehe Bild 2: X);
- Druckkraftversagen des Betongurts (siehe Bild 2: XI);
- Verbundmittelversagen (siehe Bild 2: XIII).

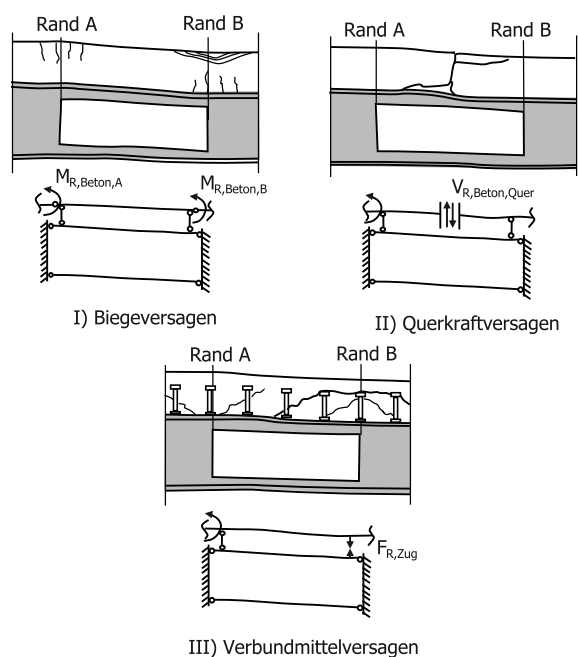
Zur Anwendbarkeit des beschriebenen Nachweisverfahrens kann für jede Versagensart im Bereich der Stegöffnung ein Stabmodell als Ersatzsystem verwendet werden, siehe Bild 3.



**Bild 2** - Zusätzliche Nachweise für die Bemessung von Stahlverbundträgern mit großen Stegöffnungen

Ergänzend zu den allgemeinen Anforderungen an Tragwerken gemäß DIN EN 1990 – insbesondere hinsichtlich Verformungen, Verschiebungen und Schwingungen im GZG – bietet Anhang D der DIN EN 1994-1-1 einfache Verfahren zur Ermittlung der durch die Stegöffnungen zusätzlich verursachten Biege- und Schubverformungen. Hierbei sind unterschiedliche Fälle zu unterscheiden: Einzelne Öffnungen, mehrere regelmäßig angeordnete Stegöffnungen und Vierendeel-Biegung.

Bei einer Brandfallbemessung ist das Verhalten der Konstruktion unter erhöhten Temperaturen von dem unter Normalbedingungen abweichendem Verhalten zu berücksichtigen. Hierfür können die Verfahren in Anhang E der DIN EN 1993-1-2 in Kombination mit den Regelungen der DIN EN 1994-1-2 angewendet werden. Eine solche Analyse umfasst i.d.R. eine mechanische Berechnung unter Berücksichtigung modifizierter Teilsicherheitsbeiwerte und der Anwendung von Abminderungsfaktoren für die Materialeigenschaften.



**Bild 3** - Versagensmechanismen des Betongurts im Bereich der Öffnungen und modellhafte Idealisation mittels Stabwerksmodellen.

## Verstärkungsmaßnahmen

In Fällen, in denen die Nachweise für den Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZT) und/oder den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (GZG) nicht erfüllt werden, können unter anderem die folgenden Verstärkungsmaßnahmen in Betracht gezogen werden:

- horizontale Steifen an den Rändern der Stegöffnung/en;
- vertikale Steifen an den Rändern der Stegöffnung/en;
- Verstärkung des Betongurtes (Breite, Dicke, Bewehrungsmenge);
- Kammerbeton (mit Brandschutzbewehrung);
- zusätzlich aufgeschweißte Kopfbolzendübel.

Zusätzliche Verstärkungsmaßnahmen aus der Arbeitshilfe „Stahlträger mit großen Stegöffnungen“ sind zu berücksichtigen, wenn das Versagen direkt im Stahlträger oder durch die Stegöffnung verursachte sekundäre bzw. lokale Biege- und Querkraftbeanspruchungen im Stahlträger hervorgerufen wurde.

## Wichtige Hinweise

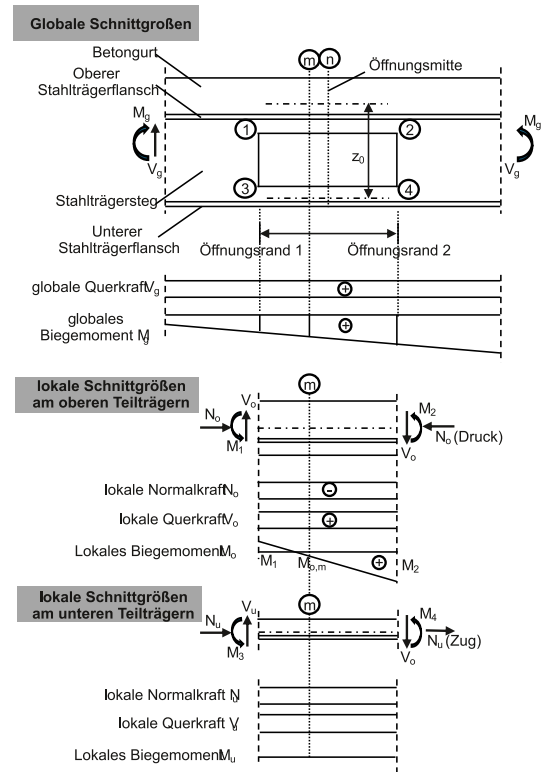
Alle Hinweise, die in der Arbeitshilfe „Stahlträger mit großen Stegöffnungen“ bzgl. der Positionierung der Stegausschnitte, der Fertigung, des Transports, der Montage, der Inspektionen und der möglichen Maßnahmen gegeben werden, sind auch für Verbundträger mit großen Stegöffnungen relevant und zu beachten. Darüber hinaus ist sowohl bei der Bemessung als auch bei der Ausführung auf folgende Einflüsse zu achten, um die Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit der Stahlverbundträger sicherzustellen:

- Schubverformungen bei breiten Gurten (mittragenden Breiten);
- Krischen und Schwinden des Betons;
- Rissbildung im Betongurt;
- Montageablauf und Belastungsgeschichte;
- Nachgiebigkeit der Verbundfuge bei signifikantem Schlupf der Verbindungsmittel.

Es ist zu beachten, dass diese Einflussfaktoren unter Berücksichtigung der Unterschiede zwischen den globalen Schnittgrößen und den lokalen Schnittgrößen am oberen und unteren T-Stück bewertet werden müssen (siehe Bild 4).

## Literatur

- [1] Bode, H.; Stengel, J. - Technische Dokumentation 603: Stahlverbundträger mit großen Stegausschnitten, 3. Auflage, Verlag: Bauen mit Stahl e.V., Düsseldorf, 1998;
- [2] Bode, H.; Stengel, J. - Technische Dokumentation 604: Stahlverbundträger mit großen Stegausschnitten, 3. Auflage, Verlag: Bauen mit Stahl e.V., Düsseldorf, 1998;
- [3] Hauke, B.; Kuhnhenne, M.; Lawson, M.; Veljkovic, M. - Sustainable Steel Buildings: A Practical Guide for Structures & Envelopes, John Wiley & Sons 2016;M
- [5] Mensinger, M.; Fontana, M.; Frangi, A. - Entwicklung eines multifunktionalen Deckensystems mit erhöhter Ressourceneffizienz, Stahlbau 79, H. 4, 2010;
- [5] Schmitt, V.; et al. - Converse Composite Elements – Innovative Composite Floor-Systems, Eurosteel 2011.



**Bild 4** - Schnittgrößen von Stahlverbundträgern im Bereich von großen Stegöffnungen.

## Normen

- [1] DIN EN 1990:2021-10, Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung; Deutsche Fassung EN 1990:2002 + A1:2005 + A1:2005/AC:2010;
- [2] DIN EN 1991, Einwirkungen auf Tragwerke (verschiedene Teile);
- [3] E DIN EN 1993-1-1:2020-08 - Entwurf, Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau; prEN 1993-1-1:2020;
- [4] E DIN EN 1993-1-5:2022-03 - Entwurf, Eurocode 3 - Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-5: Plattenförmige Bauteile; prEN 1993-1-5:2022;
- [5] E DIN EN 1993-1-13:2022-03, Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-13: Regeln für Träger mit großen Stegöffnungen; prEN 1993-1-13:2022;
- [6] E DIN EN 1993-1-2:2022-03 - Entwurf, Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-2: Allgemeine Regeln - Tragwerksbemessung für den Brandfall; prEN 1993-1-2:2022;
- [7] DIN EN 1992-1-1:2021-10 - Entwurf, Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken - Teil 1-1: Allgemeine Regeln - Regeln für Hochbauten, Brücken und Ingenieurbauwerke; prEN 1992-1-1:2021;
- [8] E DIN EN 1992-1-2:2021-09 - Entwurf, Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken - Teil 1-2: Allgemeine Regeln - Tragwerksbemessung für den Brandfall; prEN 1992-1-2:2021.