

Arbeitshilfe

Aufbau statischer Berechnungen

Allgemeines

In der statischen Berechnung werden die Standsicherheit und die Gebrauchstauglichkeit eines Bauwerks nachgewiesen. Für die statische Berechnung von Stahlbauten wurde vom Deutschen Stahlbau-Verband DSTV die „Richtlinie zur statischen Berechnung von Stahlbauten“ erstellt. Im konstruktiven Stahlbau besteht die statische Berechnung in der Regel aus der Stabstatik und den Detail- sowie Anschlussnachweisen. Werden die Stab- und Anschlussnachweise nicht in einer einheitlichen Statik aufgestellt, sind der Stabstatik Anschlusskrafttabellen beizufügen, die eine nachfolgende Anschlussstatik ermöglichen. Statische Berechnungen müssen prüffähig sein, d. h. sie sind in sich abgeschlossen, vollständig und klar gegliedert aufzustellen. Ausdrücke EDV-gestützter Berechnungen sollen vollständig und nachvollziehbar sein, maßgebende Resultate der Berechnungen sollten hervorgehoben werden. Der zweckmäßige Aufbau einer statischen Berechnung kann wie folgt aussehen:

- Titelblatt
- Revisionsverzeichnis
- Inhaltsverzeichnis
- Vorbemerkungen
- Übersichtszeichnungen, Positionspläne
- Lastannahmen
- Stabstatik: Berechnungen und Nachweise der einzelnen Positionen
- Anschlussstatik oder Anschlusslasttabelle
- Schlussseite mit Unterschrift
- Anhang, falls erforderlich

Seitennummerierung

Seiten sollten fortlaufend oder abschnittsweise fortlaufend nummeriert werden. Sollten nach der offiziellen Abgabe der statischen Berechnung Änderungen erforderlich werden, können diese übersichtlich in einem Revisionsverzeichnis aufgeführt werden. **Tabelle 1** zeigt beispielhaft ein Revisionsverzeichnis, in dem zugefügte, entfallende und geänderte bzw. ausgetauschte Seiten getrennt aufgeführt sind. Austausch- und Einschubseiten sollten bei der Seitennummerierung zusätzlich gekennzeichnet werden.

Einschubseiten können z. B. mit der Nummer der vorstehenden Seite sowie, getrennt durch einen Punkt, mit einer eigenen fortlaufenden Nummerierung versehen werden, z. B. 75.1, 75.2 und so fort für Einschubseiten hinter der Seite 75.

Austauschseiten können einen Index erhalten, z. B. 75a oder 75.1a. Auf geänderten oder eingeschobenen Seiten sollte außerdem die Nummer der Revision vermerkt sein, mit der diese Änderung gegenüber der Ursprungsstatik Revision 0 eingearbeitet wurde.

Titelblatt

Das Titelblatt sollte folgende Informationen bereitstellen:

- Bauvorhaben, Bauort und Bauherr,
- Aufsteller der Statik mit Anschrift und Kontaktdaten und gegebenenfalls gesondert der Sachbearbeiter,
- Auftragsnummer oder Dokumentennummer,
- gegebenenfalls Angabe des Architekten oder eines Statikkoordinators mit Anschrift und Kontaktdaten.

Vorbemerkungen

Die Vorbemerkungen sollten zunächst eine kurze Beschreibung des Bauwerks enthalten, die die Maße, vorgesehene Nutzung, statischen Systeme zur Abtragung der Vertikal- und Horizontal-lasten und Besonderheiten des Tragwerks umfasst. Ebenso sollten die Grundlagen der statischen Berechnung dargestellt werden. Diese umfassen zum Einen eine Liste der zu Grunde liegenden Dokumente und Zeichnungen sowie die Liste der geltenden Normen oder vereinbarten Richtlinien, die zur Anwendung kommen. Zum Anderen sollten Angaben zum Standort und den damit verbundenen Einordnungen in Wind- und Schneelastzonen gemacht werden. Auf die Höhe über NN und geografische Sonderlagen, z. B. Bergkuppe, sollte hingewiesen werden. Des Weiteren sollten die verwendeten Materialien und Bauprodukte mit Zulassung aufgelistet werden und, soweit möglich, Angaben zu den Baugrundverhältnissen gemacht werden.

Kommen für die Berechnungen Computerprogramme zur Anwendung, sollten diese mit Versionsnummer und Name des Herstellers benannt werden. Abschließend sollte sich eine Auflistung der erstellten, zur Statik gehörenden Zeichnungen sowie Literaturangaben finden lassen.

Diese Auflistung kann als Richtschnur betrachtet werden. Bei komplexeren Bauwerken können die Vorbemerkungen auch wesentlich detaillierter sein und z. B. zusätzlich Angaben zum Korrosionsschutz, zur Aufteilung mittels Dehnfugen oder zum Montagekonzept etc. enthalten.

Revision der Tragfähigkeit	Zugefügte Seiten	Entfallende Seiten	Geänderte Seiten	Bemerkungen	Datum/Name
0	1 bis 165			Aufstellen der Berechnung	Datum, Name
1	75.1, 75.2		75a	Bühnenträgerprofil konstruktiv geändert, Nachweise angepasst	Datum, Name

Tabelle 1: Beispielhaftes Revisionsverzeichnis

Übersichtszeichnungen, Positionspläne

Die statische Berechnung sollte Zeichnungen oder Skizzen enthalten, die die Lage der nachgewiesenen Positionen im Gesamttragwerk zeigen und eine Überprüfung der Plausibilität und Realisierbarkeit der Konstruktion und Aussteifungselemente ermöglichen. Aus diesen Zeichnungen sollten die statischen Systeme ablesbar sein. Um dem Nutzer der Statik die Bezüge zu erleichtern sollten außerdem folgende Merkmale enthalten sein:

- Achs- und Reihenbezeichnungen sowie Höhenknoten,
- globales Koordinatensystem,
- Systemmaße,
- Positionsnummern,
- Lage von Fugen und Montagestößen.

Konstruktionsskizzen aller nachgewiesenen Details sollten an dieser Stelle zusammengestellt werden, damit sie „griffbereit“ sind und nicht innerhalb der statischen Berechnung gesucht werden müssen. Des Weiteren müssen die Konstruktionsskizzen selbstverständlich an der Stelle des jeweiligen Nachweises in die Statik eingefügt werden, um die Prüffähigkeit des Nachweises zu gewährleisten. Das Gleiche gilt für Plots von Stabwerks- oder FE-Programmen. Für diese Plots gilt generell, dass sie das jeweilige statische Modell einer Position mit den wesentlichen Abmessungen, Knotennummerierungen, Stabnummerierungen, Querschnittsbezeichnungen inklusive Material und Materialgüte sowie die Lagerungsbedingungen zeigen sollen. Auf die Lesbarkeit der Plots

ist besonders zu achten, da die automatische Ausgabe nicht immer zu akzeptablen Ergebnissen führt. Gegebenenfalls sollten die Plots nachgearbeitet werden.

Lastannahmen

Die Angaben zu Lastannahmen wie z. B. Eigenlasten, Schneelasten, Windlasten, Verkehrslasten, etc. sind explizit aufzuführen. Der Ansatz von Schnee- und Windlasten auf die Gebäudehülle sollte skizziert werden. Besonderheiten wie mögliche Schneesackbildung, Anpralllasten, Eislasten etc. sind zu dokumentieren, ebenso Lasten aus Füllungen, Maschinen, Anlagenteilen, Krane etc. Annahmen für Bau- und Montagzustände sind zu erläutern.

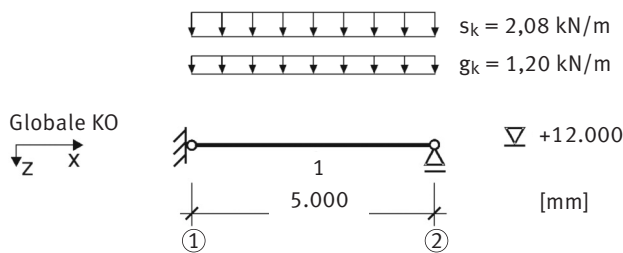
Stabstatik:

Berechnungen und Nachweise der einzelnen Positionen

Dieses Kapitel enthält für jede Position die Berechnung aller relevanten Schnittgrößen und Verformungen sowie den Nachweis der Tragsicherheit, Gebrauchstauglichkeit, Ermüdung, Lagesicherheit etc. Inhalt und Gliederung kann für jede Position exemplarisch wie folgt aussehen, siehe auch **Bild 1**:

- Angabe der Positionsnummer und eindeutige Bezeichnung des Tragwerkelementes (z. B. Traufpfette, Dachträger Achse A/1-6 h = +4,20 m, Giebelwandstütze etc.)
- Geometrie: Systemskizze mit Bemaßung, Achsbezeichnungen, Knotennummern, Stabnummern, Exzentrizitäten
- Querschnitte, Material und Materialgüte

POS XY: Dachträger Achse A/1-2, h = +12,0 m



Lasteinzugsbreite: b = 4,00 m

Lastannahmen: Eigenlasten $g_k = 0,30 \text{ kN/m}^2 \cdot 4,00 = 1,20 \text{ kN/m}$
 Schnee $s_k = 0,52 \text{ kN/m}^2 \cdot 4,00 = 2,08 \text{ kN/m}$

Einwirkungskombination: EK1: $q_{Ed} = 1,35 \cdot g_k + 1,5 \cdot s_k = 1,35 \cdot 1,20 + 1,5 \cdot 2,08 = 4,74 \text{ kN/m}$

$$\max M_{y,Ed} = \frac{q_{Ed} \cdot l^2}{8} = \frac{4,74 \cdot 5,0^2}{8} = 14,8 \text{ kN m}$$

$$\text{zug. } V_{z,Ed} = 0 \text{ kN}$$

Gewählt: IPE 300, S235JR

Beanspruchbarkeit: $M_{pl,y,Rd} = 147,7 \text{ kNm}$

Nachweis der Querschnittstragfähigkeit: $\frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,y,Rd}} = \frac{14,8}{147,7} = 0,10 < 1$

Weiterleitungskräfte: Aktionskräfte bezogen auf das globale Koordinatensystem in [kN], $\gamma_F = 1,0$

Auflager / Achse	A/1			A/2		
Lastfall/Kraft	F_x	F_y	F_z	F_x	F_y	F_z
Eigenlast	–	–	3,0	–	–	3,0
Schnee	–	–	5,2	–	–	5,2

Bild 1: Beispielhafter Aufbau für den Querschnittsnachweis einer statischen Position mit allen erforderlichen Angaben

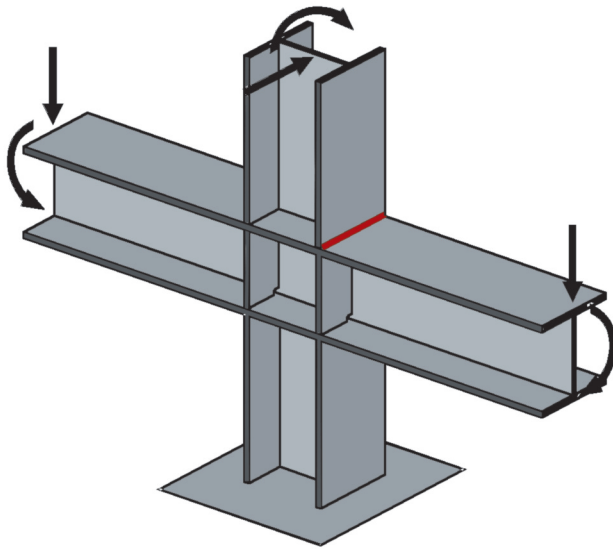


Bild 2: Ein Beispiel für einen Anschluss der Anschlussklasse 1, an dem räumliche Schnittgrößen wirken. Am Durchdringungspunkt im Bereich der rot markierten Schweißnaht entstehen mehrachsige Spannungszustände, welche die Querschnittstragfähigkeit beeinflussen.

- Belastungssituation und Steifigkeitsangaben sowie Lagerung und Gelenkmechanismen
- Zusammenstellung der Einwirkungen, Bildung von Einwirkungskombinationen
- Berechnung der Beanspruchungen, ggf. Einfügen von EDV-Plots
- Ermittlung der Beanspruchbarkeiten
- Nachweise zur Querschnittstragfähigkeit, Stabilität, Ermüdung, Gebrauchstauglichkeit etc.
- Darstellung der Lager- bzw. Weiterleitungskräfte
- bauteilbezogene Konstruktionsangaben wie Überhöhungen, Halsnähte von geschweißten Querschnitten, Beulsteifen, Bindebleche zusammengesetzter Querschnitte etc.

Anschlussstatik oder Anschlusslasttabelle

Dieses Kapitel enthält den Nachweis sämtlicher statisch relevanter Anschlüsse einschließlich Konstruktionsskizzen. Ist der Nachweis der Anschlüsse nicht Bestandteil der statischen Berechnung, so sollten an dieser Stelle Anschlusslasttabellen eingefügt werden, ebenso wie Fundamentlasttabellen, wenn die Gründung von Dritten nachgewiesen wird. Anschluss- und Fundamentlasten

sind getrennt nach Lastfällen als charakteristische Lasten, also mit $\gamma_F = 1,0$, anzugeben. Dies versetzt nachfolgende Planer, z. B. für den Standsicherheitsnachweis der Gründung, in die Lage, gegebenenfalls abweichende Einwirkungskombinationen aufzustellen oder andere Sicherheitsfaktoren anzuwenden. Die einzelnen Kräfte und Momente sowie deren Vorzeichen sind mit Bezug auf das globale Koordinatensystem anzugeben.

Anschlussklassifizierung

Die „Richtlinie zur statischen Berechnung von Stahlbauten“ ermöglicht die Einteilung der Anschlüsse in die drei Anschlussklassen 1, 2 und 3. Die Klassifizierung erlaubt es dem Planer, verschiedene Qualitäten seiner Planung hinsichtlich der späteren Umsetzung in eine Stahlbau- und Werkstattplanung festzustellen. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, unterschiedliche Planungspartner in Abhängigkeit der Anschlussklassifizierung am weiteren Planungsprozess zu beteiligen.

Anschlussklasse 1

Anschlussklasse 1 entspricht der anspruchsvollsten Anschlusssituation, z. B. mit räumlichen Schnittgrößen oder besonderen Querschnittsformen oder einer nicht orthogonalen Orientierung der anschließenden Querschnitte, siehe **Bild 2**. Ferner zählen hierzu Bauteile, für die Ermüdungsnachweise zu führen sind, und Elemente, deren Anschlüsse Auswirkungen auf die Stabwerksberechnung oder den Nachweis der Bauteile haben. Anschlüsse dieser Klasse müssen demnach in der statischen Berechnung des Tragwerks konstruiert und nachgewiesen werden.

Anschlussklasse 2

Zu Anschlüssen der Anschlussklasse 2 zählen Standardanschlüsse, die sich mittels gängiger Ingenieurmethoden nachweisen lassen und bis zu drei ebene Schnittgrößen bei vorwiegend ruhender Beanspruchung übertragen müssen, siehe **Bild 3**. Voraussetzung ist, dass die Anschlussausbildung nicht in Wechselwirkung mit den Querschnittsnachweisen steht.

Anschlussklasse 3

Anschlüsse der Klasse 3 sind stahlbautypische Anschlüsse zwischen genau zwei Trägern mit vorwiegend ruhender Beanspruchung, bei denen die Verbindungen konstruktiv gewählt oder aus Tabellen wie z. B. den „Typisierten Anschlüssen im Stahlhochbau nach EN 1993-1-8“ entnommen werden können. Am Anschluss wirken in der Regel nur die Normalkraft oder eine Querkraft, oder das Moment um die starke Achse zusammen mit der Querkraft in der starken Achse, siehe **Bild 4**. Anschlüsse der Klassen 2 und 3 können auch in einer separaten Anschlussstatik bemessen werden.

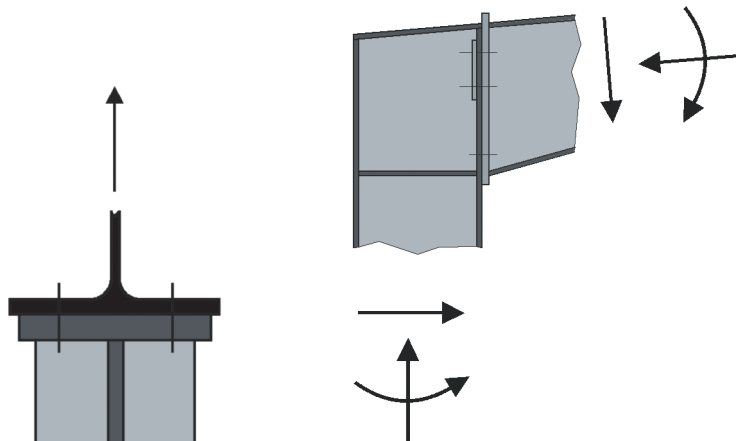
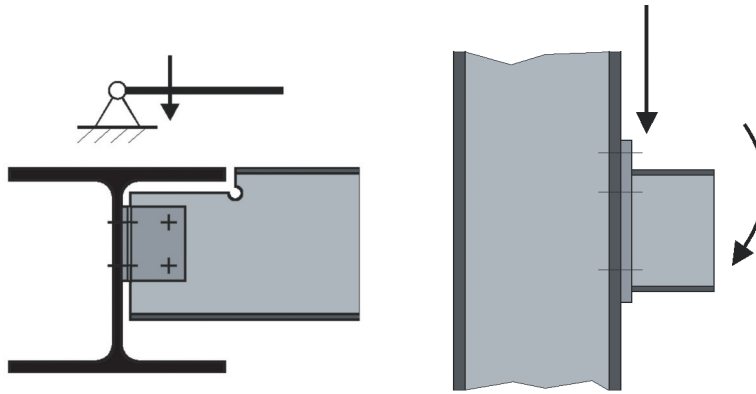


Bild 3: Beispiele für Anschlüsse der Anschlussklasse 2: Ein T-Stummel nach DIN EN 1993-1-8 und eine eben beanspruchte Rahmenecke.

Bild 4: Beispiele für Anschlüsse der Anschlussklasse 3: Querkraftanschluss mittels Stegwinkeln und typisierter Stirnplattenanschluss.



Literatur

- Banze, K. et al. (2010), Richtlinie zur statischen Berechnung von Stahlbauten, Richtlinie des DSTV-Arbeitsausschusses Technisches Büro, Deutscher Stahlbau Verband DSTV, 2010.
- Sedlacek, G., Weynand, K., Oerder, R. (2012), Typisierte Anschlüsse im Stahlhochbau nach EN 1993-1-8, Deutscher Stahlbau Verband DSTV, Stahlbau-Verlagsgesellschaft mbH, Düsseldorf, 2012.
- Steinmann, R., Zur Dokumentation von Tragwerksplanung, Standsicherheit und Werkstattplanung von Stahlbauten, in: Stahlbau Kalender 2011, Hrsg.: Kuhlmann, U., Verlag Ernst & Sohn GmbH & Co. KG, Berlin, 2011.