

# MERKBLATT FÜR DIE STATISCH-KONSTRUKTIVE BEARBEITUNG

## ERGÄNZUNG ZUR LEISTUNGSVEREINBARUNG ZUR LEHRVERANSTALTUNG STAHLBAU-ÜBUNG (LV NR. 213.010)

SS 2022

### Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Generelles Projekt	1
1.1 Planung und Vorstatik	1
1.2 Bearbeitungsschritt 1: Klärung der Bauwerksfunktion	1
1.3 Bearbeitungsschritt 2: Klärung der Tragfunktion	1
1.4 Erstellung des Generellen Projektes	2
1.4.1 Konstruktionselemente	2
1.4.2 Allgemeine Anforderungen	3
1.4.3 Räumliche Stabilität	3
1.4.4 Konstruktive Randbedingungen	3
1.4.5 Belastungsnormen	4
1.4.6 Darstellung des Generellen Projektes im „ersten“ Übersichtsplan	4
2. Statisch-konstruktive Bearbeitung und Detaillierung	4
2.1 Erstellen einfacher ebener Tragsysteme	5
2.2 Schnittkraftberechnung der Tragkonstruktion	5
2.3 Nachweise der Tragkonstruktion einschließlich der Details	6

*Das vorliegende Merkblatt ist ein Leitfaden für die statisch-konstruktive Bearbeitung eines Projektes aus dem Stahlbau. Es ist ein Teil der Leistungsvereinbarung zur Lehrveranstaltung Stahlbau-Übung (LV Nr. 213.010) und somit für die Bearbeitung der Lehrveranstaltung verbindlich. Es kann darüber hinaus sinngemäß auch für Projekte in der Praxis benützt werden.*

*Der Schwerpunkt der Stahlbau-Übung liegt in der Konstruktion und in der Nachweisführung nach den maßgeblichen Stahlbau-Vorschriften. Der Baustatik fällt – ebenso wie in der Praxis – die wichtige Rolle eines Hilfswerkzeugs zu, sie ist jedoch nicht Selbstzweck (wie schon L. Vianello festgestellt hat: „Eine Brücke dient dem Verkehr, nicht der statischen Berechnung“). Im Rahmen der Stahlbau-Übung kann die Berechnung durch Handrechnung oder auch mittels EDV erfolgen. Unsere Übungsbeispiele sind jedoch so beschaffen, dass eine Schnittkraftberechnung mittels EDV nicht notwendig ist und eine Handrechnung meist schneller zum Ziel führt!*

***Hinweis: Die Wahl einer geeigneten Stahlkonstruktion richtet sich nach den Kriterien der Erhaltungs-, Fertigungs- und Montagefreundlichkeit.***

## **1. Generelles Projekt**

### **1.1 Planung und Vorstatik**

Im Rahmen der Stahlbau-Übung entspricht dieser Abschnitt dem Zeitrahmen zwischen der Behebung der Programmangabe und der Vorkorrektur.

### **1.2 Bearbeitungsschritt 1: Klärung der Bauwerksfunktion**

Ausgehend von der Bauwerksfunktion:

- Wofür ist das Bauwerk erforderlich?
- Was ist der Nutzen des Bauwerkes?
- Was sind die Anforderungen an seine Nutzung?
- Liegen irgendwelche ungewöhnlichen Bedingungen vor?

Zunächst ist eine entsprechende Hochbaukonstruktion bzw. Stahlbaukonstruktion auszubilden und zu gestalten, wobei typischerweise folgende Elemente vorkommen:

- Gründung
- Wandaufbau
- Dachaufbau
- Öffnungen (Türen, Tore, Fenster, ...)
- Lichtbänder, ...
- Entwässerung

### **1.3 Bearbeitungsschritt 2: Klärung der Tragfunktion**

Ausgehend von den im Bearbeitungsschritt 1 (siehe Abschnitt 1.2) festgelegten Randbedingungen ist vor Beginn der eigentlichen Tragwerksplanung die Tragwerksfunktion zu klären:

- Wie werden Eigengewichtslasten, Nutzlasten, Schnee- und Windlasten usw. in die Gründungen geleitet?
- Welche Bauteile sind dafür erforderlich?
- Wie werden diese belastet und wie geben sie die Lasten ab?

*Maßgeblich erleichtert wird die Erstellung eines Tragsystems durch die zeichnerische Darstellung des statischen Systems als Strichskizze mit allen Gelenken, Einspannungen usw. in einem übersichtlichen Maßstab, z.B. 1:100, 1:200 usw. Diese Zeichnung ist zwar kein notwendiger Bestandteil eines Übersichtsplans, ist aber trotzdem empfehlenswert.*

## **1.4 Erstellung des Generellen Projektes**

### **1.4.1 Konstruktionselemente**

Nach der Bearbeitung der Schritte 1 und 2 (siehe Abschnitte 1.2 und 1.3) kann man eine entsprechende Tragkonstruktion entwerfen und gestalten. Für den einfachen Hochbau sind die folgenden oder einige der folgenden tragenden Bauteile charakteristisch:

- Trapezbleche, Sandwichelemente, Kassettenelemente
- Pfetten
- Wandriegel
- Binder (verschiedenste Ausführungen)
- Giebelwände (verschiedenste Ausführungen)
- Verbände

Aufgabe der statischen Vorberechnung ist es, die (größenordnungsmäßig angenommenen) Profile nachzuweisen bzw. zu verbessern und Details (geschraubte Anschlüsse, Schweißnähte, ...) zu dimensionieren. Keinesfalls kann eine statische Berechnung die Entwurfsarbeit ersetzen! Erst wenn das Tragsystem klar durchdacht und zeichnerisch dargestellt (!) ist, kann die statische Berechnung beginnen. Für die konstruktive Durchbildung gelten unter anderem folgende Grundsätze:

- Für die einzelnen Bauteile stehen verschiedenartige Erzeugnisse zur Verfügung:
  - Langerzeugnisse: Walzprofile, Rund- und Rechteckrohre, Kaltprofile, ...  
Werden die erforderlichen Walzprofile sehr schwer bzw. sind diese durch eine unverhältnismäßig große Bauhöhe gekennzeichnet, kann es wirtschaftlicher sein, geschweißte Träger zu verwenden;
  - Flacherzeugnisse: Bleche, Flachstähle, Trapezbleche, ...
  - Für Zug, Druck, Biegung bzw. Torsion sind unterschiedliche Querschnittsformen zweckmäßig;  
Die Wahl des zweckmäßigsten Produktes hängt von statischen und konstruktiven Grundsätzen ab.
- Im Stahlbau erfolgt die Lastabtragung überwiegend durch Scheibenwirkung (nicht durch Biegung des Einzelbleches, da die Bleche für die Aufnahme planmäßiger Biegemomente meist viel zu dünn sind);
- Ist die Querschnittstragfähigkeit maßgebend (Zug bzw. Druck im Bereich kleiner Schlankheiten), kann man durch den Einsatz höherfester Stähle Gewicht sparen und kleinere Verbindungen erzielen. Ist hingegen der Stabilitätsnachweis im Bereich größerer Schlankheiten oder der Durchbiegungsnachweis maßgebend, ist der Einsatz höherfester Stähle wirkungslos;
- Knotenausbildung (Stöße, Anschlüsse): Man sollte versuchen, alle Knoten gleich oder zumindest ähnlich auszubilden bzw. mit möglichst wenigen verschiedenen Konstruktionen das Auslangen zu finden. Die Knoten sollten möglichst klein ausgebildet werden;
- Konstruktive Gegebenheiten sind schon im ersten Entwurfsstadium zu beachten (Anschluss von Dach- und Fassadenelementen; Aufgänge, Türen, Tore, Entwässerung, ...);
- Bei der Konstruktionsarbeit muss immer berücksichtigt werden, dass die Stäbe eine Breite und Höhe haben. Die Reduktion auf die Systemlinie ist nur eine Idealisierung für die statische Berechnung, nicht jedoch Grundlage für die Konstruktion.

## 1.4.2 Allgemeine Anforderungen

Ausgehend von der in groben Zügen durchgebildeten Konstruktion wird nun eine Tragkonstruktion aus Stahl festgelegt, die in der Lage ist, die folgenden, durch die Normen festgelegten Kriterien zu erfüllen:

- Gebrauchstauglichkeit
- Standfestigkeit
- Tragfähigkeit
- Ermüdungsfestigkeit (nur bei dynamisch beanspruchten Bauwerken wie z.B. Brücken, Kranbahnen usw.)

## 1.4.3 Räumliche Stabilität

Von besonderer Bedeutung für die Festlegung der Tragkonstruktion ist, dass jedes (!) reale Tragwerk eine räumliche Struktur besitzt und räumlich belastet wird, selbst wenn die statische Berechnung sehr oft an ebenen (Teil-)Strukturen durchgeführt wird. Jede Konstruktion bzw. jeder Konstruktionsteil muss in jeder Phase (im Endzustand, aber auch in sämtlichen Bauzuständen) in der Lage sein, alle Lasten, die auftreten können, sicher in die Unterkonstruktion abzuleiten. Die räumliche Stabilität von Stahltragwerken wird typischerweise durch folgende Bauteile bzw. konstruktive Maßnahmen erreicht:

- Biegesteife Verbindungen;
- Verbände (Grundformen von statisch bestimmten Fachwerkscheiben mit knicksteifen Gurt- und Füllstäben oder Fachwerkscheiben mit nicht-knicksteifen, gekreuzten Diagonalen, wobei die gedrückten Diagonalen ausfallen können);
- Schubsteife Elemente, z.B. Trapezbleche als Dach- oder Fassadenelemente. Auf die vorgeschriebene Befestigung der Elemente auf der Haupttragkonstruktion ist zu achten, dies gilt für alle Zustände, für welche die Schubsteifigkeit aktiviert werden soll (auch Bauzustände!);
- Kombinationen dieser Maßnahmen.

## 1.4.4 Konstruktive Randbedingungen

Vor Beginn der statischen Berechnung (Globalstatik, Detailstatik) muss eine Konstruktion vorliegen, welche die gestellten Anforderungen prinzipiell erfüllt, räumlich standsicher und – im Hinblick auf die spätere konstruktive Durchbildung – konstruktiv durchdacht ist, wobei vor allem folgende Fragen von Bedeutung sind:

- Lassen sich die vorgesehenen Stöße und Anschlüsse überhaupt bzw. mit vertretbarem Aufwand konstruieren?
- Wie kann die Tragkonstruktion auf die Baustelle transportiert bzw. montiert werden?
- Welche Teile werden auf die Baustelle transportiert (Größen und Bauteilgewichte beachten!)?
- Welche Verbindungsmittel werden im Werk bzw. auf der Baustelle angewandt (SL-Verbindungen, GV-Verbindungen, Schweißverbindungen)?

*Eine Kombination von Schraub- und Schweißverbindungen auf der Baustelle sollte im Sinne der Wirtschaftlichkeit nach Möglichkeit vermieden werden, können aber in begründeten Sonderfällen durchaus sinnvoll sein.*

Die Bauteildimensionen sind mit einfachsten Näherungsformeln abzuschätzen. Dazu ist eine Lastaufstellung notwendig, bei der das Eigengewicht der Konstruktion geschätzt werden muss und die veränderlichen Lasten (Nutzlasten, Wind, Schnee, ...) den einschlägigen Normen zu entnehmen sind.

Die Konstruktion muss in Bezug auf Standsicherheit, Tragfähigkeit, Gebrauchstauglichkeit und – wo notwendig – Ermüdung nachgewiesen werden. Dazu sind in der Regel Aussteifungssysteme notwendig. Der Grad der Wirtschaftlichkeit ist im Rahmen der Übung kein wesentlicher Punkt, es sollen aber global sowie im Detail **übliche Konstruktionen** erarbeitet werden und **keine Eigenerfindungen** entstehen.

## 1.4.5 Belastungsnormen

Es gelten folgende, vom Baustoff unabhängige Belastungsnormen:

- ÖNORM B 1991-1-1: Eurocode 1 - Einwirkungen auf Tragwerke. Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen – Wichten, Eigengewichte, Nutzlasten im Hochbau. Nationale Festlegungen zu ÖNORM EN 1991-1-1 und nationale Ergänzungen.
- ÖNORM EN 1991-1-1: Eurocode 1 - Einwirkungen auf Tragwerke. Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen – Wichten, Eigengewichte, Nutzlasten im Hochbau.
- ÖNORM B 1991-1-3: Eurocode 1 - Einwirkungen auf Tragwerke. Teil 1-3: Allgemeine Einwirkungen – Schneelasten. Nationale Festlegungen zu ÖNORM EN 1991-1-3, nationale Erläuterungen und nationale Ergänzungen.
- ÖNORM EN 1991-1-3: Eurocode 1 – Einwirkungen auf Tragwerke. Teil 1-3: Allgemeine Einwirkungen – Schneelasten.
- ÖNORM B 1991-1-4: Eurocode 1 – Einwirkungen auf Tragwerke. Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen – Windlasten. Nationale Festlegungen zu ÖNORM EN 1991-1-4 und nationale Ergänzungen.
- ÖNORM EN 1991-1-4: Eurocode 1 – Einwirkungen auf Tragwerke. Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen – Windlasten.

*Die Normen liegen in begrenzter Zahl am Institut E212-01 auf und werden auf Wunsch an die Studierenden ausgeliehen.*

## 1.4.6 Darstellung des Generellen Projektes im ersten Übersichtsplan

Nach der Bearbeitung entsprechend den vorstehenden Abschnitten kann die Konstruktion in einem ersten Übersichtsplan dargestellt werden. Dieser dient in der Praxis als Grundlage für ein Firmenangebot. In unserem Fall (Stahlbau-Übung) dient der erste Übersichtsplan der Erläuterung des Projektes im Zuge der Vorkorrektur und ist Grundlage für die statische Berechnung.

## 2. Statisch-konstruktive Bearbeitung und Detaillierung

Im Rahmen der Stahlbau-Übung entspricht dieser Abschnitt dem Zeitrahmen nach der Vorkorrektur bis zur Programmabgabe. Wenn das Generelle Projekt feststeht, d.h. nach der Vorkorrektur, wird zweckmäßigerweise folgendermaßen vorgegangen:

1. Erstellen einfacher Tragsysteme durch *Herauslösen* möglicher bzw. sinnvoller *statischer Teilsysteme* und *Reduzierung* dieser statischen Systeme auf *ebene Teilsysteme*, die möglichst einfach zu berechnen sind;
2. Schnittkraftberechnung für die Tragkonstruktion;
3. Nachweise der Tragkonstruktion nach den maßgebenden Normen;
4. Bemessung der im Zuge der Vorkorrektur festgelegten Details einschließlich aller Anschlüsse, Verbindungsmittel usw. nach den maßgebenden Normen.

*Obwohl sich der Baufortschritt von den Fundamenten zum Dach (von unten nach oben) entwickelt, erfolgt die statische Berechnung in die umgekehrte Richtung (von oben nach unten), weil nur so die maßgeblichen Bauteilgewichte bekannt sind.*

## 2.1 Erstellen einfacher ebener Tragsysteme

Grundlage der statischen Berechnung ist in jedem Fall der Übersichtsplan. Unter Berücksichtigung der Randbedingungen und der tatsächlichen Geometrie ist die Konstruktion in Teilsysteme zu zerlegen, die sich leicht berechnen lassen, z.B.:

- Trapezbleche als tragende Wand- oder Dachelemente ..... Einfeld- oder Durchlaufträger;
- Pfetten, Wandriegel ..... Einfeld- oder Durchlaufträger mit einfacher oder schiefer Biegung;
- Rahmenbinder ... Ebene Rahmen;
- Verbandfelder ... Statisch bestimmte Fachwerke.

## 2.2 Schnittkraftberechnung der Tragkonstruktion

- Jedes reale Bauwerk ist ein *räumliches Gebilde* und muss als solches betrachtet werden. Das bedeutet jedoch nicht, dass immer eine *echte räumliche Berechnung* erforderlich ist. Notwendig bzw. sinnvoll ist sie z.B. bei signifikant räumlich gekrümmten Tragwerken (Brücken, komplizierte Hochbauten), bei räumlichen Stabilitätsproblemen, und wenn die Zerlegung in ebene Teilsysteme kompliziert ist (Lastfallüberlagerungen beachten!). Eine *echte räumliche Tragwerksberechnung* erfolgt sinnvollerweise mit EDV-Programmen (Beschreibung genau studieren, Testläufe!).

*Alle unsere Beispiele* erlauben eine einfache Zerlegung der Konstruktion in ebene Teilsysteme, die einzeln untersucht werden können. Die Ergebnisse der einzelnen Teilsysteme sind dann nur mehr zu überlagern (z.B.: Eckstütze einer Rahmenkonstruktion; sie nimmt die Schnittkräfte  $N$ ,  $M$ ,  $V$  für beide Ebenen auf, allenfalls auch die Normalkräfte aus Verbandswirkung). Eine komplette Schnittkraftberechnung mittels EDV ist nicht notwendig bzw. eine Handrechnung ist übersichtlicher und führt i.d.R. auch schneller zum Ziel!

Die Berechnung an (ebenen) Teilsystemen bzw. in Einzelschritten erfordert ein systematisches Arbeiten: Bildliche Darstellung der Teilsysteme im Zusammenhang mit dem Gesamtsystem, bildliche Darstellung der Lasten. Die Überlagerung der Schnittkräfte aus den Teilsystemen erfolgt am besten tabellarisch für die als maßgebend erkannten Stellen. Normalkräfte sind invariant gegenüber der Ausrichtung lokaler (Stab)-Koordinatensysteme und können daher einfach zusammengezählt werden, Momente und Querkräfte müssen auf lokale Koordinatensysteme bezogen werden.

Grundsätzlich sind die Nachweise mit einer führenden Schnittkraft unter Berücksichtigung der übrigen zugehörigen Schnittkräfte zu führen (z.B.  $\max.M_y + \text{zugeh.}V_z + \text{zugeh.}M_z + \text{zugeh.}V_y + \text{zugeh.}N + \text{zugeh.}M_T$ ). Manchmal kann man sich Arbeit ersparen ohne unwirtschaftlich zu werden, wenn man bei der Überlagerung statt zugehöriger Schnittkräfte maximale / minimale Schnittkräfte heranzieht.

- Bei der Schnittkraftberechnung statisch bestimmter Systeme sind die Systemsteifigkeiten (und damit die gewählten Profile) bedeutungslos, bei statisch unbestimmten Systemen hingegen haben sie jedoch Einfluss auf die Schnittkräfte, was im Allgemeinen eine iterative Berechnung notwendig macht, wobei konstruktive Randbedingungen stets einzuhalten sind. Daraus ergibt sich der folgende iterative Ablauf:
  - a. Querschnitte annehmen
  - b. Schnittkräfte berechnen
  - c. Nachweise führen (Tragfähigkeit, Gebrauchstauglichkeit, ...)
  - d. Angenommene Querschnitte korrigieren (d.h.: neue Querschnitte annehmen) und zurück zu a.

Anders als in der Praxis sind im Rahmen der Stahlbau-Übung die Schnittkräfte nicht neu zu berechnen. Die Schritte a. und b. werden somit nur einmal ausgeführt, die Bemessung erfolgt mit den einmalig unter b. berechneten Schnittkräften. Nicht notwendig ist auch eine Korrektur des Konstruktions-Eigengewichtes.

Dagegen müssen die Profile schließlich so gewählt sein, dass die Konstruktion sicher, gebrauchstauglich und einigermassen ausgenutzt ist, d.h. es sind – stets unter der Einhaltung der konstruktiven Gegebenheiten – die richtigen Querschnitte zu ermitteln. Der bloße Hinweis  $S_{Sd} \leq S_{Rd}$  (z.B.:  $M_{Sd} = 17 \text{ kNm}$ ;  $M_{Rd} = 1980 \text{ kNm}$ ,  $17 > 1980$ ) genügt nicht. Die Auswirkungen der veränderten Profile

auf die Konstruktion sind zu beachten (neue Stockwerkhöhen, neue Stützweiten, ...).

- Um für eine bestimmte Schnittkraft die ungünstigsten Laststellungen festzustellen, kann man die entsprechende Einflusslinie ermitteln und auswerten. Zur Erinnerung: Eine Einflusslinie stellt man sich am einfachsten als Biegelinie infolge der entsprechenden Einheitsverformung vor:

N: Eingeprägte Längenänderung;

V: Eingeprägte gegenseitige Querverschiebung;

M: Eingeprägte gegenseitige Verdrehung quer zur Stabachse;

M<sub>T</sub>: Eingeprägte gegenseitige Verdrehung in der Stabachse.

Die zugehörigen Schnittkräfte erhält man durch Auswertung der entsprechenden Einflusslinien (natürlich mit der für die führende Schnittkraft maßgebenden Laststellung!). Dieser allgemeine Weg zur Ermittlung maßgebender Schnittkräfte ist im Brückenbau (Eisenbahnbrücken, Straßenbrücken) notwendig, im Hochbau nur bei komplexen Systemen.

Für sämtliche Bauwerke, die im Rahmen der Stahlbau-Übung zu erstellen sind, lassen sich die maßgebenden Schnittkräfte ohne Einflusslinien ermitteln, es kommen nur ganz wenige Laststellungen bzw. Lastfälle in Frage, Einflusslinien sind nur ausnahmsweise notwendig. Offensichtlich unbedeutende Einflüsse, Laststellungen oder Lastkombinationen können unberücksichtigt bleiben.

- Bei elastischer Schnittkraftberechnung nach Theorie I. Ordnung gilt das Superpositionsgesetz. Hier wird man unbedingt für jede Einzelwirkungen (z.B. Eigengewicht, ständige Einwirkungen, Nutzlasten, Schnee, Wind, ...) die Schnittkräfte berechnen und diese nach den normenmäßigen Kombinationsvorschriften unter Berücksichtigung der Teilsicherheitsbeiwerte  $\gamma$  und der Kombinationsbeiwerte  $\psi$  überlagern.

*Bei elastischer Schnittkraftberechnung nach Theorie II. Ordnung sind weiterführende Überlegungen notwendig: Bei konstant gehaltener Normalkraft gilt auch hier das Superpositionsgesetz. Bei Anwendung der Plastizitätstheorie für die Schnittkraftberechnung (Berechnungsverfahren P-P) gilt das Superpositionsgesetz grundsätzlich nicht.*

### 2.3 Nachweise der Tragkonstruktion einschließlich der Details

Entsprechend dem Vorlesungsstoff erfolgen die statischen Nachweise nach dem derzeit gültigen Eurocode ÖNORM EN 1993-1 + B 1993-1

#### **EUROCODE 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten**

#### **Teil 1-1: Allgemeine Berechnungsregeln, Bemessungsregeln für den Hochbau**

#### **Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen**