

**MASTER OF SCIENCE IN ENGINEERING**  
**Vertiefungsmodul I**

**Tragverhalten von**  
**Stahlbetontragwerken**

**Grundlagen**

Pascal Gitz

Horw, Donnerstag, 7. September 2023

Advisor: Prof. FH, Dr. Daniel Heinzmann  
Experte: Dr. Thomas Jäger

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig angefertigt und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel verwendet habe. Sämtliche verwendeten Textausschnitte, Zitate oder Inhalte anderer Verfasser wurden ausdrücklich als solche gekennzeichnet.

Horw, 21. Januar 2023

Pascal Gitz

\*Version 1.0 - Prüfungsexemplar

21. Januar 2023

PG

# Kurzfassung

In dieser Arbeit wird eine Tragwerksanalyse des Bemessungsbeispiels aus der SIA Dokumentation D0192, Kapitel 4.2.1.1 durchgeführt. Dabei wird ein linear-elastisches Werkstoffverhalten vorausgesetzt. Weiter wird die Wand nur für den Grenzzustand der Tragsicherheit Typ 2 bemessen. Die Gebrauchstauglichkeit sowie der gerissene Zustand werden in dieser Arbeit nicht betrachtet.

In dieser Arbeit wird eine Tragwerksanalyse des Bemessungsbeispiels aus der SIA Dokumentation D0192, Kapitel 4.2.1.1 durchgeführt. Dabei wird ein linear-elastisches Werkstoffverhalten vorausgesetzt. Weiter wird die Wand nur für den Grenzzustand der Tragsicherheit Typ 2 bemessen. Die Gebrauchstauglichkeit sowie der gerissene Zustand werden in dieser Arbeit nicht betrachtet. In dieser Arbeit wird eine Tragwerksanalyse des Bemessungsbeispiels aus der SIA Dokumentation D0192, Kapitel 4.2.1.1 durchgeführt. Dabei wird ein linear-elastisches Werkstoffverhalten vorausgesetzt. Weiter wird die Wand nur für den Grenzzustand der Tragsicherheit Typ 2 bemessen. Die Gebrauchstauglichkeit sowie der gerissene Zustand werden in dieser Arbeit nicht betrachtet. In dieser Arbeit wird eine Tragwerksanalyse des Bemessungsbeispiels aus der SIA Dokumentation D0192, Kapitel 4.2.1.1 durchgeführt. Dabei wird ein linear-elastisches Werkstoffverhalten vorausgesetzt. Weiter wird die Wand nur für den Grenzzustand der Tragsicherheit Typ 2 bemessen. Die Gebrauchstauglichkeit sowie der gerissene Zustand werden in dieser Arbeit nicht betrachtet. In dieser Arbeit wird eine Tragwerksanalyse des Bemessungsbeispiels aus der SIA Dokumentation D0192, Kapitel 4.2.1.1 durchgeführt. Dabei wird ein linear-elastisches Werkstoffverhalten vorausgesetzt. Weiter wird die Wand nur für den Grenzzustand der Tragsicherheit Typ 2 be-

messen. Die Gebrauchstauglichkeit sowie der gerissene Zustand werden in dieser Arbeit nicht betrachtet. In dieser Arbeit wird eine Tragwerksanalyse des Bemessungsbeispiels aus der SIA Dokumentation D0192, Kapitel 4.2.1.1 durchgeführt. Dabei wird ein linear-elastisches Werkstoffverhalten vorausgesetzt. Weiter wird die Wand nur für den Grenzzustand der Tragsicherheit Typ 2 bemessen. Die Gebrauchstauglichkeit sowie der gerissene Zustand werden in dieser Arbeit nicht betrachtet. In dieser Arbeit wird eine Tragwerksanalyse des Bemessungsbeispiels aus der SIA Dokumentation D0192, Kapitel 4.2.1.1 durchgeführt. Dabei wird ein linear-elastisches Werkstoffverhalten vorausgesetzt. Weiter wird die Wand nur für den Grenzzustand der Tragsicherheit Typ 2 bemessen. Die Gebrauchstauglichkeit sowie der gerissene Zustand werden in dieser Arbeit nicht betrachtet. In dieser Arbeit wird eine Tragwerksanalyse des Bemessungsbeispiels aus der SIA Dokumentation D0192, Kapitel 4.2.1.1 durchgeführt. Dabei wird ein linear-elastisches Werkstoffverhalten vorausgesetzt. Weiter wird die Wand nur für den Grenzzustand der Tragsicherheit Typ 2 bemessen. Die Gebrauchstauglichkeit sowie der gerissene Zustand werden in dieser Arbeit nicht betrachtet.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Hintergrund . . . . .	1
<b>2</b>	<b>Gebrauchstauglichkeit</b>	<b>5</b>
2.1	Zuggurtmodell . . . . .	5
2.2	Biegeverformungen . . . . .	6
2.3	Mohrsche Analogie . . . . .	6
<b>3</b>	<b>Zuggurtmodell</b>	<b>9</b>
3.1	Verbund Schubspannungs-Schlupfbeziehung . . . . .	9
3.2	Ziel der Betrachtung . . . . .	10
	<b>Literatur</b>	<b>11</b>



# 1 Einleitung

## 1.1 Hintergrund

Aufbauend auf den bisherigen Grundlagen der Vorlesungen Beton- und Stahlbau und Betonbau und Mauerwerk behandelt dieses Modul ausgewählte weiterführende Themen im Bereich des Stahlbetonbaus. In den bisherigen Lehrveranstaltungen stand die Tragsicherheit, die Ermittlung der Traglast und die sichere Bemessung von Stahlbetontragelementen im Vordergrund. Oft werden jedoch Überlegungen bezüglich Durchbiegungen, Steifigkeiten, mögliche Zwangsbeanspruchungen und die Dauerhaftigkeit eines Bauwerks massgebend für den konzeptionellen Entwurf und die spätere Bemessung eines Tragwerks. Diese Themen werden im Rahmen der Gebrauchstauglichkeit in diesem ersten Teil der Autographie aufgegriffen. Die rechnerische Behandlung des ausgeprägten nichtlinearen Last-Verformungsverhalten von Stahlbetonbauteilen, welche mit der Rissbildung einhergeht, wird anhand von Berechnungsbeispielen aufgezeigt und mögliche konstruktive Massnahmen zur Gewährleistung der Anforderungen werden illustriert. Der vorliegende Teil der Autographie basiert auf dem Skript von Prof. Dr. Daniel Heinzmann vom FS 2018 an der Hochschule Luzern sowie diverse Forschungsarbeiten und Publikationen. Ferner gilt meinen Dank Frau Barbara Sorrentino und Herrn Gian-Luca Stecher für die Durchsicht des Skripts sowie die Erarbeitung der Beispiele und Beispiellösungen. Horw, 2020

Aufbauend auf den bisherigen Grundlagen der Vorlesungen Beton- und Stahlbau und Betonbau und Mauerwerk behandelt dieses Modul ausgewählte weiterführende Themen im Bereich des Stahlbetonbaus. In den

## 1 Einleitung

bisherigen Lehrveranstaltungen stand die Tragsicherheit, die Ermittlung der Traglast und die sichere Bemessung von Stahlbetontragelementen im Vordergrund. Oft werden jedoch Überlegungen bezüglich Durchbiegungen, Steifigkeiten, mögliche Zwangsbeanspruchungen und die Dauerhaftigkeit eines Bauwerks massgebend für den konzeptionellen Entwurf und die spätere Bemessung eines Tragwerks. Diese Themen werden im Rahmen der Gebrauchstauglichkeit in diesem ersten Teil der Autographie aufgegriffen. Die rechnerische Behandlung des ausgeprägten nichtlinearen Last-Verformungsverhalten von Stahlbetonbauteilen, welche mit der Rissbildung einhergeht, wird anhand von Berechnungsbeispielen aufgezeigt und mögliche konstruktive Massnahmen zur Gewährleistung der Anforderungen werden illustriert. Der vorliegende Teil der Autographie basiert auf dem Skript von Prof. Dr. Daniel Heinzmann vom FS 2018 an der Hochschule Luzern sowie diverse Forschungsarbeiten und Publikationen. Ferner gilt meinen Dank Frau Barbara Sorrentino und Herrn Gian-Luca Stecher für die Durchsicht des Skripts sowie die Erarbeitung der Beispiele und Beispiellösungen. Horw, 2020

Aufbauend auf den bisherigen Grundlagen der Vorlesungen Beton- und Stahlbau und Betonbau und Mauerwerk behandelt dieses Modul ausgewählte weiterführende Themen im Bereich des Stahlbetonbaus. In den bisherigen Lehrveranstaltungen stand die Tragsicherheit, die Ermittlung der Traglast und die sichere Bemessung von Stahlbetontragelementen im Vordergrund. Oft werden jedoch Überlegungen bezüglich Durchbiegungen, Steifigkeiten, mögliche Zwangsbeanspruchungen und die Dauerhaftigkeit eines Bauwerks massgebend für den konzeptionellen Entwurf und die spätere Bemessung eines Tragwerks. Diese Themen werden im Rahmen der Gebrauchstauglichkeit in diesem ersten Teil der Autographie aufgegriffen. Die rechnerische Behandlung des ausgeprägten nichtlinearen Last-Verformungsverhalten von Stahlbetonbauteilen, welche mit der Rissbildung einhergeht, wird anhand von Berechnungsbeispielen aufgezeigt und mögliche konstruktive Massnahmen zur Gewährleistung der Anforderungen werden illustriert. Der vorliegende Teil der Autographie basiert auf dem Skript von Prof. Dr. Daniel Heinzmann vom FS 2018 an der Hochschule Luzern sowie diverse Forschungsarbeiten und Publika-



## *1.1 Hintergrund*

tionen. Ferner gilt meinen Dank Frau Barbara Sorrentino und Herrn Gian-Luca Stecher für die Durchsicht des Skripts sowie die Erarbeitung der Beispiele und Beispiellösungen. Horw, 2020



## 2 Gebrauchstauglichkeit

Folgend werden die wichtigsten Grundsätze nach [1] in eigenen Worten beschrieben.

### 2.1 Zuggurtmodell

Das Zuggurtmodell beschreibt das Spannungsdehnungs-Verhalten eines Beton-Betonstahl Verbundquerschnitts. Folgende Verhaltenswerte sind ausschlaggebend:

- Der Verbund verhält sich bis zum Reißen des Betons linear elastisch.
- Beim Reißen des Betons entstehen Risse. Der Rissabstand kann mittels einer Gleichung eingegrenzt werden.
- Im Riss ist der Beton Spannungsfrei.
- Zwischen den Rissen herrscht ein Gleichgewicht zwischen Betonstahlspannung und Verbundschubspannung, sowie der Einwirkung.
- Die Verbundschubspannung kann anhand einer Verbundschubspannungs-Schlupfbeziehung ermittelt werden. Dabei gilt, der Schlupf ist bei den Rissen maximal und führt zu null in der Mitte des Rissbereichs.
- Bei weiterer Laststeigerung beginnt der Betonstahl im Riss zu fließen.
- Durch das Fließen des Stahls entstehen weitere Risse. Sowie gilt beim Fließen, dass sich die Verbundschubspannung reduziert. Durch die Reduktion der Verbundschubspannung erhöht sich die

## 2 Gebrauchstauglichkeit

Stahlspannung im Bereich, welcher noch nicht fließt (vom Riss richtung Zentrum des Rissbereichs).

- Aus dem Modell lassen sich mittlere Dehnungen ermitteln, welche ein Maß für die Rissbreiten geben.

Allgemein gilt es Schwinddehnungen zu berücksichtigen.

## 2.2 Biegeverformungen

- Aufgrund eines Momenten-Krümmungsdiagramms können Biegeverformungen bestimmt werden.
- Es gilt zwischen einer gerissenen und einer ungerissenen Biegesteifigkeit zu unterscheiden. Diese können leicht an einem Querschnitt ermittelt werden.
- Wie erwähnt, berücksichtigt das Zuggurtmodell eine Verbundschubspannung im Rissbereich (zwischen zwei Rissen). Dies wird folgend als Zugversteifung bezeichnet.
- Marti hat einen Ansatz um die Zugversteifung bei Biegeverformungen zu berücksichtigen. Dabei wird eine Krümmungsdifferenz ermittelt. Diese ist Belastungsunabhängig und folglich eine Vereinfachung.

## 2.3 Mohrsche Analogie

- Wird bei einem Biegeträger die Momentenlinie zwei mal abgeleitet, so erhält man die Belastung. Dazu gilt, wird die Deformation zwei mal abgeleitet, so erhält man die Momentenlinie geteilt durch die Biegesteifigkeit.

### 2.3 Mohrsche Analogie

$$\frac{d^2 M}{dx^2} = M'' = -q_z$$

$$\frac{d^2 w}{dx^2} = w'' = -\frac{M}{EI}$$

- Die Biegelinien sind für geübte Studenten einfach zu bestimmen. Die Analogie besteht in der zweimaligen Ableitung. Wird nun die Biegelinie als Einwirkung auf das System gegeben, kann daraus die Verformungslinie bestimmt werden.
- Es gilt das System mit entsprechenden Randbedingungen zu erstellen, dazu gibt es eine Tabelle für Auflager im analogen System (Analogieträger).



## 3 Zuggurtmodell

### 3.1 Verbundschubspannungs-Schlupfbeziehung

Die Verbundschubspannungs-Schlupfbeziehung wird in [1] folgendermaßen postuliert: Es wird hier auf die Stahlspannung sich bezogen, nicht auf den Schlupf

$$\tau_b(\sigma_s) = \begin{cases} 0 & \text{for } \sigma_s \leq 0 \\ 0.6 f_{cc}^{\frac{2}{3}} & \text{for } f_{sy} \geq \sigma_s \\ 0.3 f_{cc}^{\frac{2}{3}} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3.1)$$

### 3 Zuggurtmodell

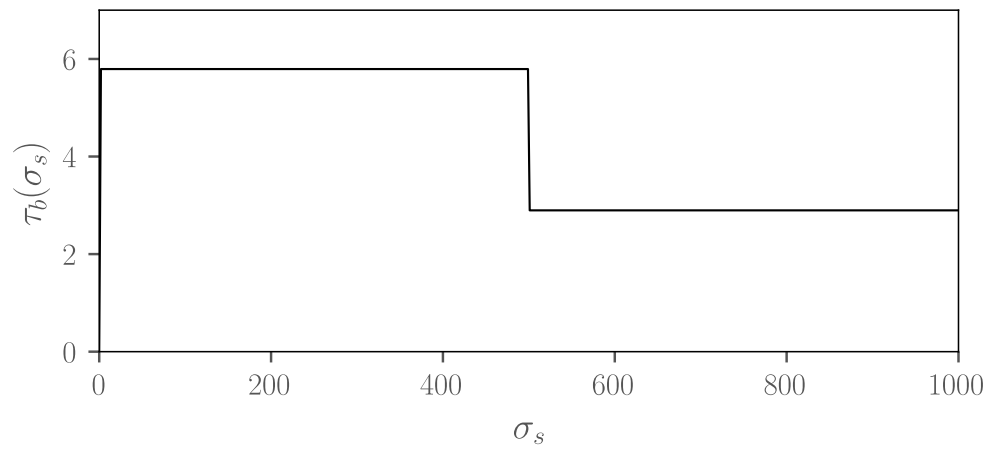


Abbildung 3.1: Verbundschubspannung als Funktion der Betonstahlspannung

## 3.2 Ziel der Betrachtung

Das Ziel ist es ein Momenten-Krümmungsdiagramm zu erstellen, welches auf dem Zuggurtmodell basiert. Unter Eingabe der Biegemomente aus einem FEM-Modell resultieren daraus die Krümmungen.



# Literatur

1. Spathelf C (2022) Skript Teil 2: Gebrauchstauglichkeit. Betonbau - Ausgewählte Kapitel Hochschule Technik & Architektur Luzern

