

## Verbundquerschnitt unter Biegung

### 0. Inhalt

<u>0.</u>	<u>Inhalt</u>	<u>1</u>
<u>1.</u>	<u>Allgemeines</u>	<u>1</u>
<u>2.</u>	<u>Begriffe</u>	<u>2</u>
<u>3.</u>	<u>Grundlagen</u>	<u>2</u>
<u>4.</u>	<u>Bemessung eines Biegebalkens</u>	<u>3</u>
4.1	Technische Aufgabe	3
4.2	Konstruktive Empfehlungen	6
4.3	Begleitende Regelungen	7
4.3.1	Tragsicherheit	7
4.3.2	Gebrauchstauglichkeit	7
<u>5.</u>	<u>Brandschutz</u>	<u>7</u>
<u>6.</u>	<u>Beispiele</u>	<u>8</u>
6.1	Spannweite 12 m	8
6.2	Spannweite 16 m	9
6.3	Spannweite 5 m	9
<u>7.</u>	<u>Ausblick</u>	<u>9</u>
<u>8.</u>	<u>Quellen</u>	<u>10</u>

### 1. Allgemeines

#### Kurzbeschreibung

Bemessung von Verbundträgern

#### Einordnung

Verbundbau – Grundaufgaben – Bemessung von Bauteilen – Festigkeit

#### Lernziele

Biegebeanspruchte Tragglieder bemessen können;

Verbundgerechte Querschnitte und Systeme kennen;

## Einschränkungen, Abgrenzung

Stabilitätsversagen ist ausgeschlossen;

Unter Verbund oder Verbundbau werden hier Bauteile aus Querschnitten verstanden, die aus einem Betonquerschnitt sowie Profilstahl oder einem Schweißträger bestehen. – Im Gegensatz zu Verbundbauteilen oder Verbundwerkstoffen (composites) aus Holz und Beton, Glas- oder Kohlefaser und einer Epoxidharzmatrix (GFK / CFK).

Erfahrungsgemäß besteht eine gewisse Schwellenangst bei spezialisierten Stahlbau-Ingenieuren (weil sie nichts mit Beton zu tun haben möchten) ebenso wie bei spezialisierten Massivbau-Ingenieuren (weil ihnen die Stahlquerschnitte zu dünn sind).

Ebenso wie im Verbundbau die Vorteile der Werkstoffe Stahl und Beton kombiniert werden, werden auch deren Problemstellungen kombiniert. Das bedeutet aber, dass die Lösung dieser Probleme ebenso in einer Kombination der aus dem Stahlbau (Anschlüsse, Schweißtechnik) und Massivbau (Kriechen, Schwinden, Rissbildung, Bewehrungsführung) bekannten Lösungswege und Methoden liegt.

## **2. Begriffe**

Die Querschnittsteile eines „I-Profiles“ heißen „Flansch“ oder „Gurt“ und „Steg“ (flange/web)

## **3. Grundlagen**

Baustatik Ermittlung des Momentenverlaufes entlang der Stabachse;

Festigkeitslehre

Querschnittswerte I und W

Spannungsverteilung in einem biegebeanspruchten Querschnitt

Baustoffkunde

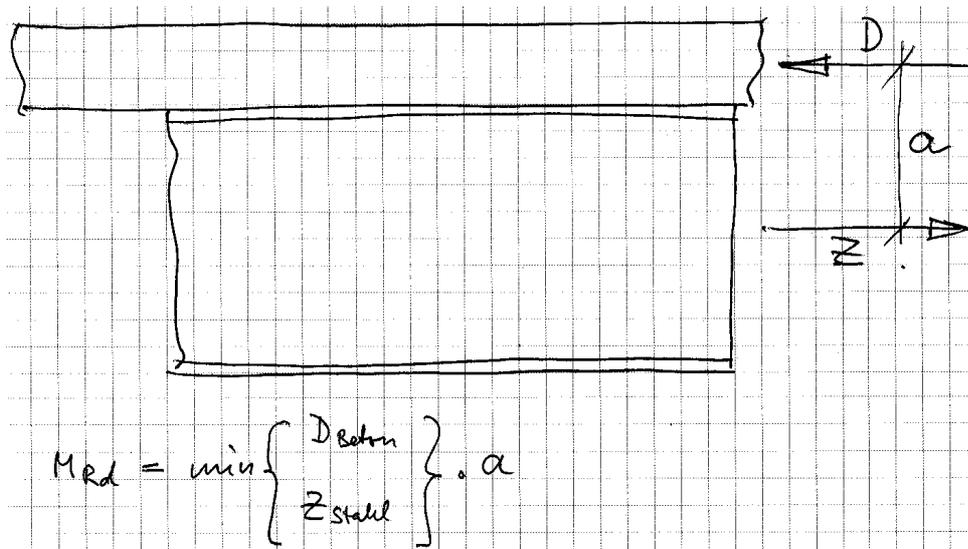
Spannungs-Dehnungs-Verhalten unlegierter Baustähle

## 4. Bemessung eines Biegebalkens

### 4.1 Technische Aufgabe

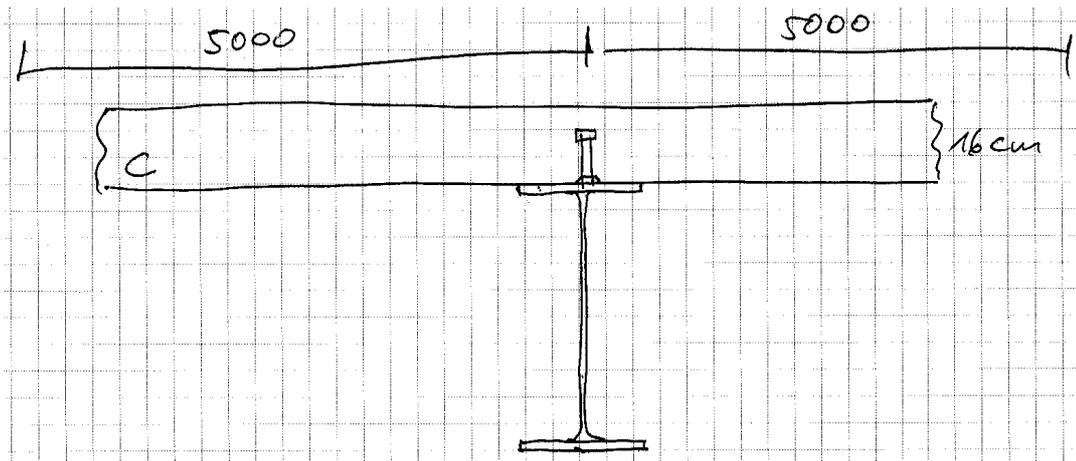
Bei biegebeanspruchten Bauteilen werden die Teile des Querschnittes jeweils aus dem Werkstoff ausgeführt, der besonders geeignet ist. Der Druckbereich wird daher aus Beton gebildet, der Zugbereich aus Stahl.

Für die folgende Herleitung wird ein Einfeldträger unter Gleichstreckenlast angenommen.



Innere Kräfte im Verbundquerschnitt

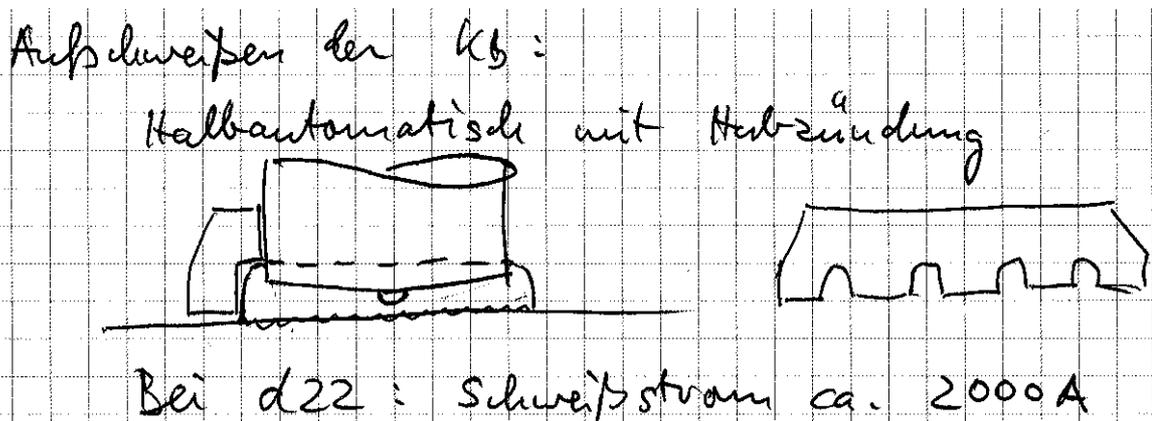
Das aufnehmbare Moment ergibt sich aus der aufnehmbaren Normalkraft im Stahl- oder Betonquerschnitt und dem Hebelarm der Inneren Kräfte.



Typischer Verbundquerschnitt

5000 mm bezeichnen den Abstand zum nächsten Stahlträger

Die kraftschlüssige Verbindung zwischen Beton- und Stahlquerschnitt wird durch Kopfbolzendübel erreicht.



Fuß eines Kopfbolzens

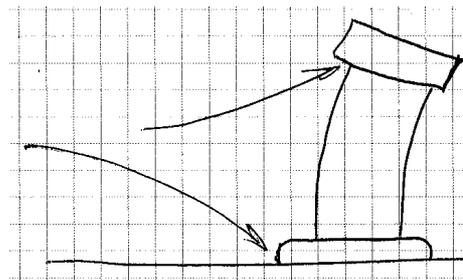
der Keramikring verhindert unkontrolliertes Wegspritzen des Schweißbades

Sie werden z.B. halbautomatisch auf den Stahlträger aufgeschweißt („geschossen“). Dabei entsteht am Fuß des Kopfbolzens („KB“) ein umlaufender Schweißwulst. Durch Arbeitsproben wird täglich festgestellt, ob durch die Schweißung der volle Bolzenquerschnitt angeschlossen wird.



KB 22, hier auf einem Probeblech aufgeschossen

Für die Kraftübertragung im Verbundquerschnitt sind sowohl der Kopf wie auch der Schweißwulst wichtig, da sich die Kräfte aus dem Betonquerschnitt dort „einhängen“.



Kräfte spiel am Kopfbolzen

hier KÖCO Maßtabelle aus alter Zulassung Anlage 2 einbauen

Wenn die KB ein  $h/d$ -Verhältnis von mindestens 4 haben, gelten sie als ausreichend duktil. Man darf dann bei der Bemessung von einer im Tragzustand durchplastizierten Verbundfuge zwischen dem Stahl- und dem Betonquerschnitt ausgehen und die Kopfbolzen über die ganze Trägerlänge mit gleichen Abständen („äquidistant“) anordnen. Das spart Zeit beim Bemessen und beim Erstellen der Fertigungszeichnungen. (Hinweis: Hierzu müssen auch noch andere Bedingungen eingehalten werden, siehe Rechenbeispiel im Anhang.)

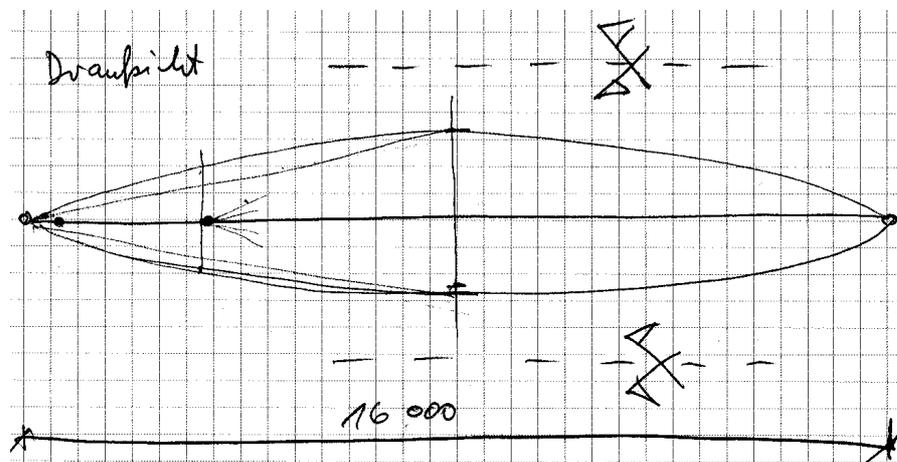
In Traglastversuchen wurde festgestellt, dass an den Trägerenden dabei Verschiebungen zwischen Beton- und Stahlquerschnitt von mehreren Zentimetern auftreten. Diese Verformung müssen die Kopfbolzen schadlos mitmachen können.

Alternativ werden die Kopfbolzen so angeordnet, dass sie der Querkraftlinie folgen, da die Querkraftlinie proportional zur Schubkraftlinie in der Verbundfuge ist (siehe Schubspannungsformel

$$\tau = Q \cdot S / (I \cdot b)$$

Statt einer kontinuierlichen Vergrößerung der Bolzenabstände vom Trägerrand Richtung Trägermitte wählt man eine Anordnung in 2 oder 3 Stufen mit jeweils konstanten Abständen innerhalb der Stufe.

Wenn man bei gleichmäßiger Anordnung der Kopfbolzen davon ausgeht, dass jeder Bolzen die gleiche Last in die Platte einträgt, dann stellt sich dies in der Draufsicht in einer rautenförmigen Verteilung der Betondruckkraft dar. Tatsächlich ist dies erst im Tragzustand der Fall, zunächst werden – entsprechend der Querkraftlinie – von den äußeren Bolzen größere Kräfte eingetragen, so dass eine spindelförmige Verteilung der Druckkräfte in der Betonplatte vorliegt.



Entwicklung der Druckkraft im Betonquerschnitt

## 4.2 Konstruktive Empfehlungen

- (noch nicht besetzt)

## **4.3 Begleitende Regelungen**

### **4.3.1 Tragsicherheit**

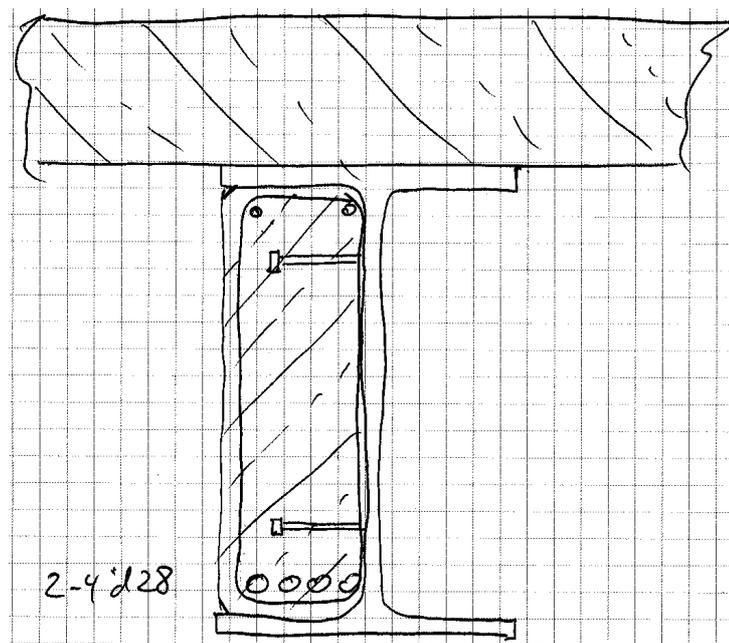
(noch nicht besetzt)

### **4.3.2 Gebrauchstauglichkeit**

(noch nicht besetzt)

## **5. Brandschutz**

Um einen Querschnitt mit F-Eigenschaften zu erreichen, werden die Kammern des Stahlträgers ausbetoniert. Sinnvollerweise geschieht dies in der Werkstatt oder auf dem Hof des Stahlbau-Herstellers, manchmal werden die Stahlträger dazu auch in ein Betonfertigteilwerk gebracht.



Verbundträger mit Kammerbeton

Im Brandfall fällt der untere Flansch des Stahlträgers aus, dessen Aufgabe übernehmen üblicherweise 2-4 Bewehrungsstäbe BSt500 d28, die mit den dafür vorgesehenen Randabständen im Querschnitt liegen.

Für den Verbundträger muss dann ein Nachweis mit möglicherweise reduzierten Verkehrslasten und einem Teilsicherheitsbeiwert von  $\gamma_F = 1,0$  geführt werden.

## 6. Beispiele

### 6.1 Spannweite 12 m

Verbundträger in einem Verwaltungsgebäude:

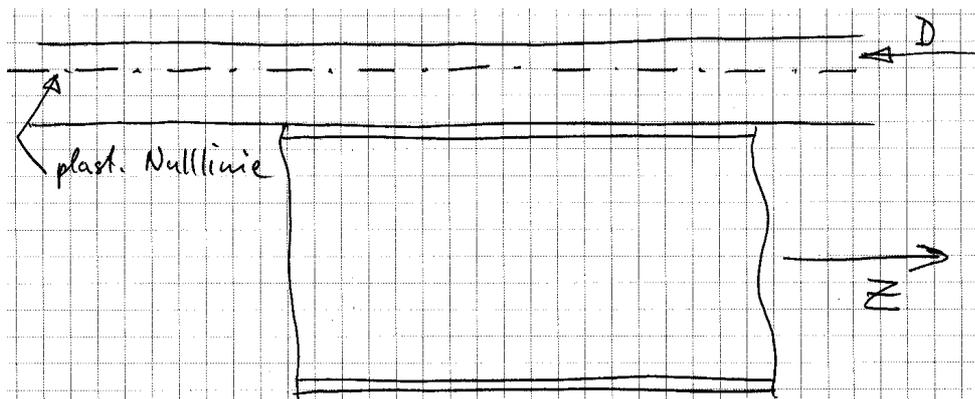
$L = 12 \text{ m}$  Spannweite

$a = 5 \text{ m}$  Achsraster

$h = 16 \text{ cm}$  Deckendicke

Die Berechnung ist im Anhang durchgeführt.

Die tatsächliche Lage der Nulllinie stellt sich innerhalb des Betonquerschnittes ein.



Lage der Nulllinie in einem realistischen Anwendungsfall

Die Berechnung ist im Anhang durchgeführt.

Ergebnis der Bemessung:

IPE 450 – S355,  $\eta, M = 0,85$ ;

KB22-90-200 Verdübelungsgrad 0,79,  $\eta, M = 0,95$ ;

Zum Vergleich: Träger ohne Verbund für  $M, d = 977 \text{ kNm}$

IPE 600 – S355,  $\eta, M = 0,97$ ,

Mehrgewicht:  $12 \text{ m} * (122 \text{ kg/m} - 77 \text{ kg/m}) = 540 \text{ kg}$

## **6.2 Spannweite 16 m**

Verbundträger in einem Parkhaus:

$L = 16 \text{ m}$  Spannweite

$a = 5 \text{ m}$  Achsraster

$h = 16 \text{ cm}$  Deckendicke

Die Berechnung ist im Anhang durchgeführt.

Ergebnis der Bemessung:

IPE 550 – S355,  $\eta, M = 0,98$ ;

KB22-90-175 Verdübelungsgrad 0,89,  $\eta, M = 1,04$ ;

Zum Vergleich: Träger ohne Verbund für  $M, d = 1750 \text{ kNm}$

HEA 650 – S355,  $\eta, M = 0,98$ ,

Mehrgewicht:  $16 \text{ m} * (190 \text{ kg/m} - 106 \text{ kg/m}) = 1344 \text{ kg}$

## **6.3 Spannweite 5 m**

Verbundträger in einem Parkhaus:

$L = 5 \text{ m}$  Spannweite

$a = 5 \text{ m}$  Achsraster

$h = 16 \text{ cm}$  Deckendicke

Die Berechnung ist im Anhang durchgeführt.

Ergebnis der Bemessung:

IPE 200 – S355,  $\eta, M = 0,74$ ;

KB16-75-200 Verdübelungsgrad 0,60,  $\eta, M = 1,02$ ,

äquidistante Dübelanordnung nicht zulässig, da  $M, a, R, d > 0,4 * M, R, d$  nicht eingehalten;

Zum Vergleich: Träger ohne Verbund für  $M, d = 167 \text{ kNm}$

IPE 300 – S355,  $\eta, M = 0,92$ ,

Mehrgewicht:  $5 \text{ m} * (42,2 \text{ kg/m} - 22,4 \text{ kg/m}) = 99 \text{ kg}$

## **7. Ausblick**

(noch nicht besetzt)

## **8. Quellen**

- [1] EN 1993 Eurocode 3 (EC3): Design of steel structures  
EN 1993-1-1: General rules and rules for buildings. May 2005.
- [2] prEN 1994 (EC4): Design of composite steel and concrete structures.  
Part 1.1: General rules and rules for buildings. Final Project Team Draft 2001.  
Part 1.2: Structural Rules – Structural Fire Design. Draft 2002.  
Part 2: Bridges. Draft 2001.
- [3] DIN V ENV 1994 (EC4): Bemessung und Konstruktion von Verbundtragwerken aus Stahl und Beton.  
Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln, Bemessungsregeln für den Hochbau. Februar 1994.  
Teil 1-2: Allgemeine Regeln - Tragwerksbemessung für den Brandfall. Juni 1997.
- [4] DIN 18800: Stahlbauten.  
Teil 1: Bemessung und Konstruktion. November 1990.  
Teil 5: Verbundtragwerke aus Stahl und Beton; Bemessung und Konstruktion.  
Entwurf Januar 1999.
- [5] Europäische Technische Zulassung ETA-03/0039: KÖCO Kopfbolzen aus Stahl.  
Verankerung von Stahlteilen mittels angeschweißter KÖCO-Kopfbolzen in Beton.  
Deutsches Institut für Bautechnik, Geltungsdauer vom 13.11.2003 bis 13.11.2008.  
Bauregelliste A, Abs. 4.8.18: Bolzen für Bolzenschweißen mit Hubzündung, Betonanker u. Kopfbolzen aus S 235 J2 G3. DIN 32500-3:1979-1, zusätzlich gilt DIN 18800-1:1990-11; Durchmesser 13 bis 22. Nachweisverfahren ÜHP.
- [6] [www.bolzenschweisstechnik.de](http://www.bolzenschweisstechnik.de)  
Fa. KÖCO, einer der großen Hersteller von Kopfbolzen