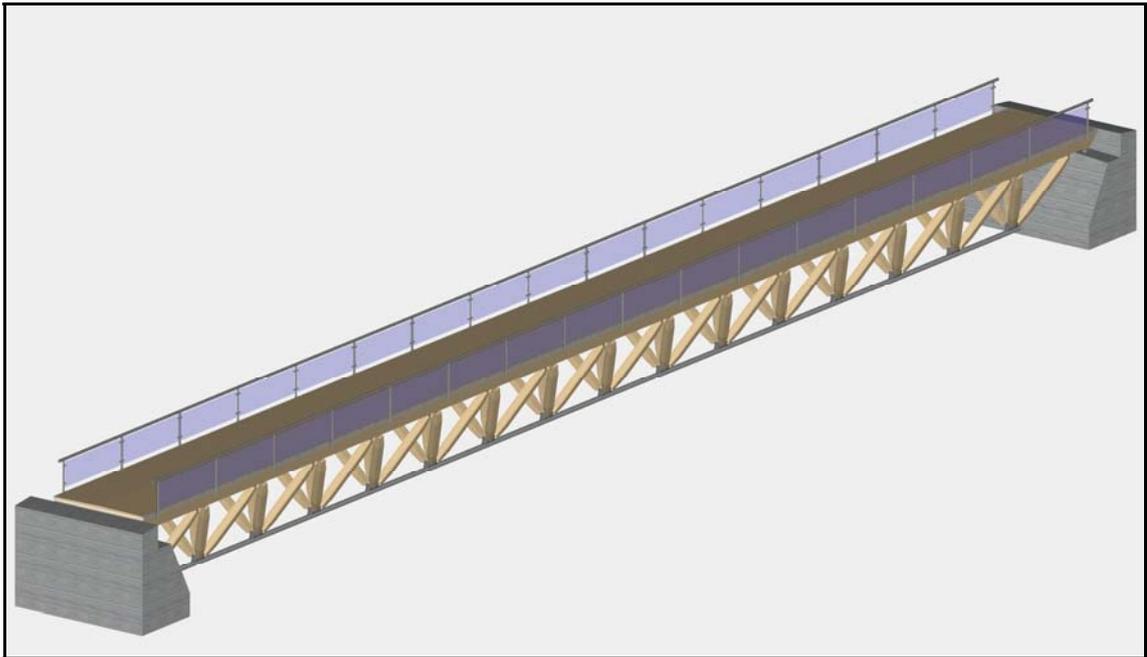


Projekt H5

Fußgängerbrücke Cottbus



Wintersemester 2007/2008

Verfasser:	Jens Baro	433473
	Hermann Luttmann	433156
	Daniel Hölscher	433664

Dozenten:	Prof. Nikolaus Nebgen
	Prof. Jens Kickler

1 Inhaltsverzeichnis

1	INHALTSVERZEICHNIS	2
2	VORWORT	6
3	VORENTWÜRFE	8
3.1	Entwurf 1 Pylonenbrücke	8
3.2	Entwurf 2 Bogenbrücke	9
3.3	Entwurf 3 Toblerone	10
3.4	Auswahlkriterien und Auswahl des endgültigen Entwurfs	11
4	STATISCHE BERECHNUNG	13
4.1	Lastannahmen	13
4.1.1	Einwirkung durch Eigengewicht	13
4.1.2	Einwirkung durch Nutzlasten	14
4.1.3	Einwirkung durch Schnee	15
4.1.4	Einwirkung durch Wind	15
4.1.5	Einwirkung durch Dienstfahrzeug	16
4.1.6	Einwirkung durch Temperaturänderung des Untergurtes	16
4.1.7	Einwirkung auf Brückengeländer	17
4.1.8	Horizontale Einwirkungen	17
4.1.9	Designlasten	18
4.2	Lastkombinationen	19
4.2.1	Kombinationsbeiwerte Ψ für Hochbauten	20
4.2.2	Lastfallkombinationen	20
4.3	Schnittkräfte und Schnittkraftverläufe	22
5	BEMESSUNG DER STÄBE	23
5.1	Bemessung Pos.B001 Kertoplatte	23
5.1.1	Ermittlung der Schnittgrößen	23
5.1.2	Nachweis der Biegespannung in der Kertoplatte	24
5.1.3	Nachweis der Schubspannung in der Kertoplatte	26
5.2	Bemessung Pos.B002 Querträger	27

5.2.1	Nachweis der Biegespannung im Querträger	27
5.2.2	Nachweis der Schubspannung im Querschnitt	28
5.3	Bemessung Pos.B003 Obergurt	29
5.3.1	Nachweis der Biegespannung im Obergurt	30
5.3.2	Nachweis der Zugspannung im Obergurt	31
5.3.3	Nachweis der Schubspannung im Querschnitt	32
5.4	Bemessung Pos.B004 Druckstreben	32
5.4.1	Nachweis der Druckspannung in der Strebe	33
5.5	Bemessung Pos.B005 Zugstreben	34
5.5.1	Nachweis der Zugspannung in der Strebe	34
5.6	Bemessung Pos.B006 Untergurt	35
5.6.1	Nachweis der Zugspannung	36
6	BEMESSUNG DER ANSCHLÜSSE	37
6.1	Bemessung Pos.A001 Anschluss Querträger	37
6.1.1	Anschluss Querträger Stahlwinkel	37
6.1.2	Anschluss Stahlwinkel Obergurt	40
6.1.2.1	Anschluss mit Holzschrauben	40
6.1.2.2	Anschluss mit Scheibendübeln und Holzschrauben	43
6.2	Bemessung Pos.A002 Obergurtstoß	46
6.2.1	Anschluss Obergurtstoß	46
6.3	Bemessung Pos.A003 Anschluss Druckstrebe	53
6.3.1	Bemessung im Bereich 1 bzw. 6	53
6.3.1.1	Stabdübelverbindung	53
6.3.1.2	Nagelverbindung	57
6.3.1.3	Stabdübelverbindung HE – B Profil	60
6.3.2	Bemessung im Bereich 2 bzw. 5	63
6.3.2.1	Stabdübelverbindung	63
6.3.2.2	Stabdübelverbindung HE – B Profil	66
6.3.3	Bemessung im Bereich 3 bzw. 4	69
6.3.3.1	Stabdübelverbindung	69
6.3.3.2	Stabdübelverbindung HE – B Profil	72
6.3.4	Bemessung der Schweißverbindung Anschluss Ober-/Untergurt.	75
6.4	Bemessung Pos.A004 Anschluss Zugstrebe	82
6.4.1	Bemessung im Bereich 1 bzw. 6	82
6.4.1.1	Stabdübelverbindung	82
6.4.1.2	Nachweis der Zugspannung in der Strebe	85
6.4.1.3	Nagelverbindung	86
6.4.1.4	Stabdübelverbindung HE – B Profil	90

6.4.1.5	Nachweis der Zugspannung im Obergurt mit Nettoquerschnitt	94
6.4.2	Bemessung im Bereich 2 bzw. 5	95
6.4.2.1	Stabdübelverbindung	95
6.4.2.2	Nachweis der Zugspannung in der Strebe	98
6.4.2.3	Stabdübelverbindung HE – B Profil	99
6.4.2.4	Nachweis der Zugspannung im Obergurt mit Nettoquerschnitt	102
6.4.3	Bemessung im Bereich 3 bzw. 4	104
6.4.3.1	Stabdübelverbindung	104
6.4.3.2	Nachweis der Zugspannung in der Strebe	107
6.4.3.3	Stabdübelverbindung HE – B Profil	108
6.4.3.4	Nachweis der Zugspannung im Obergurt mit Nettoquerschnitt	111
6.4.4	Bemessung der Schweißverbindung Anschluss Ober-/Untergurt.	113
6.5	Alternativanschluss Streben an Ober- / Untergurt	118
6.5.1	Anschlussbemessung der Zugstrebe:	118
6.5.2	Nachweis der Zugspannung in der Strebe	122
6.5.3	Anschlussbemessung der Druckstrebe:	123
6.6	Bemessung Pos.A005 Untergurtstoß	125
6.6.1	Zugbandstoß mit Stirnplatte	125
6.6.2	Zugbandstoß mittels aufgeschweißten Stegblechen	128
6.6.3	Zugbandstoß mit aufgeschweißten Knaggen und Laschen	130
6.7	Bemessung Pos.A006 Anschluss Auflager	134
6.7.1	Stabdübelverbindung HE – B Profil	134
7	BEMESSUNG DER AUSSTEIFUNG	138
7.1	Bemessung Pos.S001 Scheibe Fahrbahn	138
8	SCHWINGUNGSBERECHNUNG	142
8.1	Anfangsverformung	142
8.2	Gesamtverformung aus Verbindungsmittel und Stäben	146
8.3	Vereinfachter Schwingungsnachweis	147
8.4	Schwingungsnachweis nach DIN 1074	149
9	LITERATURVERZEICHNIS	153
9.1	Normen	153
9.2	Literatur	154
9.3	Schriften des Informationsdienst Holz	154

10	ANLAGE BESPRECHUNGSPROTOKOLLE GRUPPE	156
10.1	Protokoll vom 04.10.07	156
10.2	Protokoll vom 01.11.07	156
10.3	Protokoll vom 08.11.07	156
10.4	Protokoll vom 15.11.07	157
10.5	Protokoll vom 22.11.07	157
10.6	Protokoll vom 06.12.07	157
10.7	Protokoll vom 13.12.07	157
10.8	Protokoll vom 20.12.07	158
10.9	Protokoll vom 03.01.08	158
10.10	Protokoll10.01.08	158
11	ANLAGE ZEICHNUNGEN	159
11.1	Übersichtsplan	159
11.2	Positionsplan	160
11.3	Lageplan	161
11.4	Detailpunkte	162
11.4.1	Brückengeländeranschluss	162
11.4.2	Fundamentanschluss	163
11.4.3	Anschlussdetails	164
11.4.3.1	Anschlussdetail Querträgeranschluss	164
11.4.3.2	Anschlussdetail Obergurtstoß	165
11.4.3.3	Anschlussdetail Stahlblech Druck- Zugstrebe	166
11.4.3.4	Anschlussdetail HE-B Profil an Untergurt	169
11.4.3.5	Anschlussdetail Stahlflasche an Untergurt	172
11.4.4	Anschlussdetail Untergurtstoß Variante 1	173
11.4.4.1	Anschlussdetail Untergurtstoß Variante 2	174
11.4.5	Anschlussdetail Untergurtstoß Variante 3	175

2 Vorwort

Diese Arbeit wurde im Rahmen des Projektes H5 des Studiengangs Holzingenieurwesen der Fachhochschule Hildesheim erstellt. Aufgabenstellung dieses Projektes war die Planung einer Fußgängerbrücke für das brandenburgische Cottbus. Die zu planende Brücke soll als Ersatz für eine alte Stahlbetonbrücke dienen. Die alte Brücke war aufgrund gravierender Bauwerksschäden in ihrer Tragfähigkeit beeinträchtigt und drohte einzustürzen. Deshalb musste sie im Jahre 2005 abgerissen werden. Die Brücke überspannt den Fluss Spree und verbindet die Stadtteile Mitte und Sandow. Die Brücke war ein zentraler Verkehrsknotenpunkt von Fußgänger und Radfahrern der Stadt Cottbus und des Umlandes. Die Brücke verband das Zentrum der Stadt mit dem Landschaftsschutzgebiet Branitzer Park, das von den Bewohnern der Universitätsstadt als Naherholungsgebiet genutzt wurde. Außerdem diente die Brücke den Fußballbegeisterten Cottbusern als Zuwegung zum Stadion des Bundesligavereins Energie Cottbus, das in unmittelbarer Nähe des Bauwerks liegt. Für die Tourismusbranche Cottbus war die Brücke ebenfalls von wichtiger Bedeutung. Die Niederlausitz ist als Radwandergebiet bekannt. So führten viele Radwanderwege über die Brücke und ermöglichten den Touristen einen Besuch der Cottbuser Altstadt. Unter anderem führte auch der Spreefernradwanderweg über dieses Bauwerk. Der Verlust der Brücke führt neben den Beeinträchtigungen der Fußgänger und Radfahrer – die jetzt weite Umwege in Kauf nehmen müssen – auch zu wirtschaftlichen Schäden im Tourismusbereich. Es ist also dringend Geboten einen Ersatz für das alte Bauwerk zu schaffen.

Für das Projekt wurde von den Autoren gemäß § 64 Abs. 2 der HOAI eine Grundlagenermittlung, Vorplanung und erweiterte Entwurfsplanung erstellt.

Ziel war es eine Brücke zu entwickeln, die sich harmonisch in das Gesamtbild der näheren Umgebung und des bzw. der Stadtteile einfügt. Dabei war zu beachten, dass die Brücken an einem Ende in einen Park bzw. Landschaftsschutzgebiet mündet. Dieser Aspekt lässt sich durch eine Brücke aus dem Werkstoff Holz sehr gut aufnehmen. Holz als ökologischer, weil CO₂-neutraler und nachhaltiger Baustoff nimmt den Gedanken des Landschafts- und Umweltschutzes sehr gut. Durch ein schlankes und filigranes Tragwerk wird die Eingliederung der Brücke in die Umgebung noch verstärkt. Das aufgelöste Tragwerk vermittelt den Betrachtern ein Gefühl von Leichtigkeit. Im Gegensatz zu einer massiven Konstruktion, die auf den Betrachter eher erdrückend wirkt. Durch den leicht erhöhten Brückenüberbau wird der Benutzer zum Verweilen auf der Brücke verleitet, um dem Ausblick auf die Landschaft zu genießen.

Ein wichtiger Aspekt bei der Planung war die Berücksichtigung der Kosten für das Bauwerk. Hierfür wurde auf eine effiziente Ausnutzung der Bauteile und Baustoffe geachtet. So wurde versucht, einfache, immer wiederkehrende Anschlüsse bzw. Anschlussdetails zu verwenden. Auch wurde darauf geachtet eine möglichst hohe Vorfer-

tigung zu erzielen. Dies führt dazu, dass die Baukosten gesenkt und die Qualität der Bauteile verbessert wird. Die Details sind dahingehend entwickelt worden, dass die Bauteile auf der Baustelle einfach zusammengesteckt werden und durch einen Bolzen gesichert werden. Dies minimiert auch die Montagearbeit auf der Baustelle, was die Beeinträchtigung der Anwohner durch Baulärm etc. senkt.

Auf den weiteren Seiten sind die Ergebnisse dieser Arbeit dargestellt.

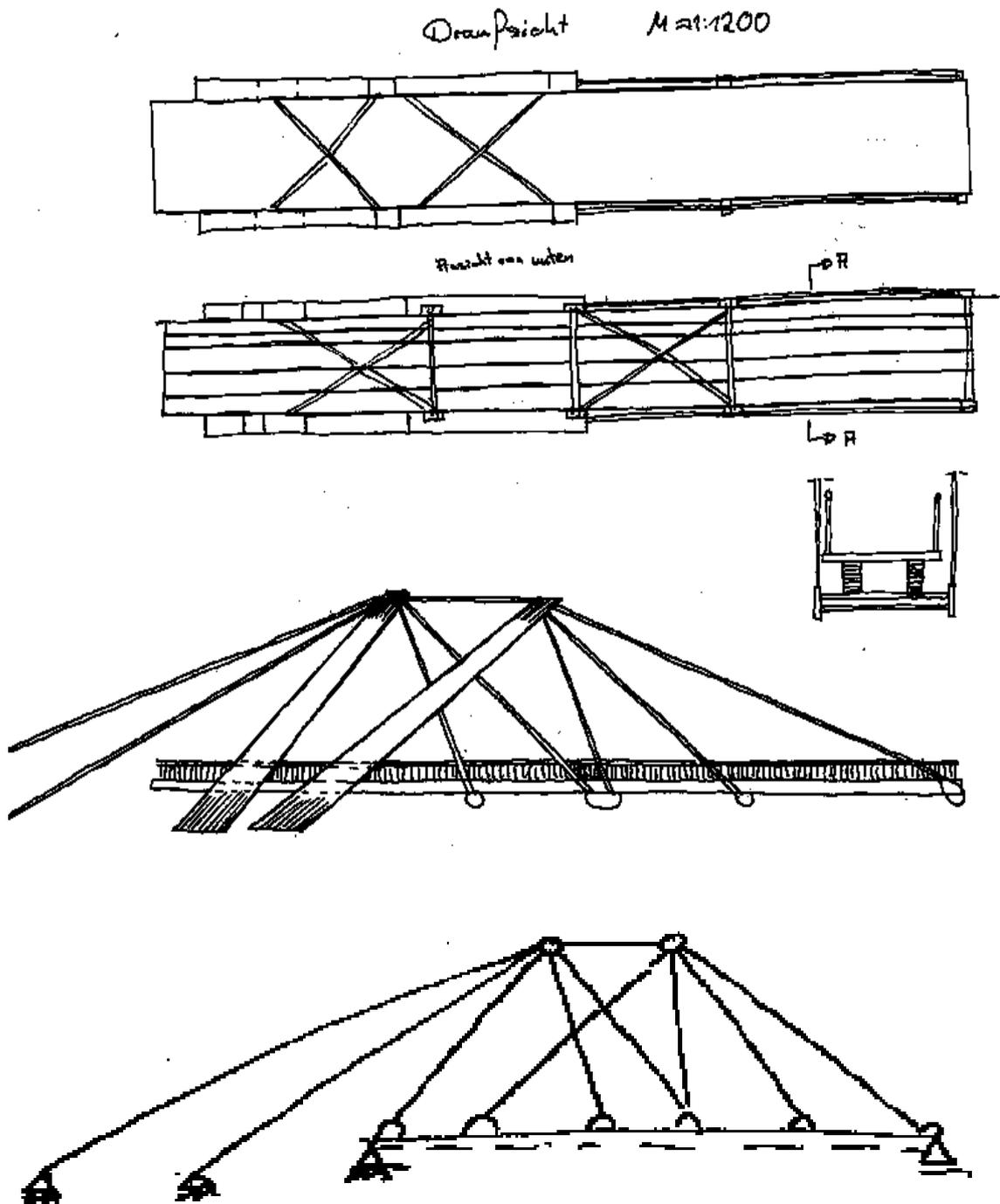
Daniel Hölscher

Hermann Luttmann

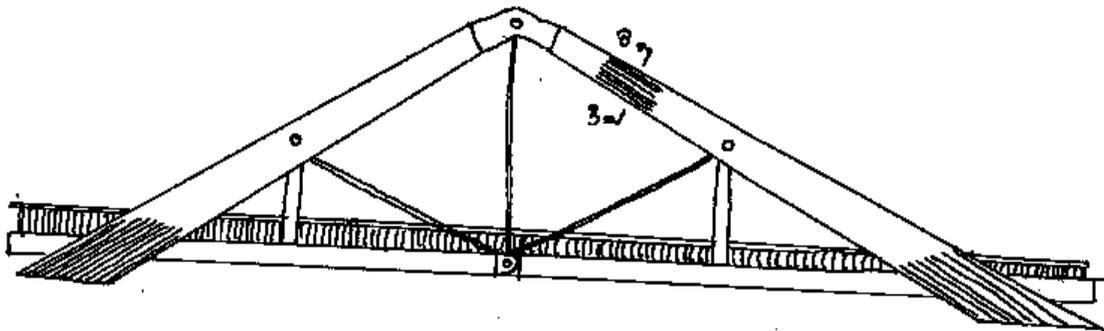
Jens Baro

3 Vorentwürfe

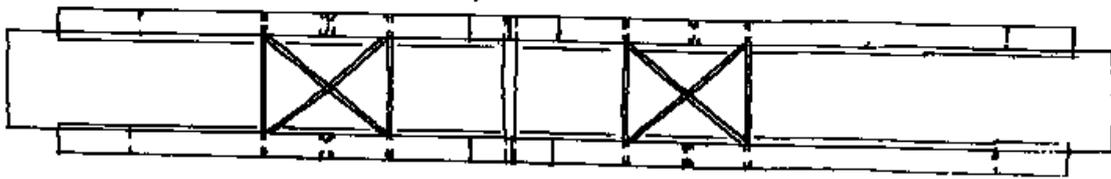
3.1 Entwurf 1 Pylonenbrücke



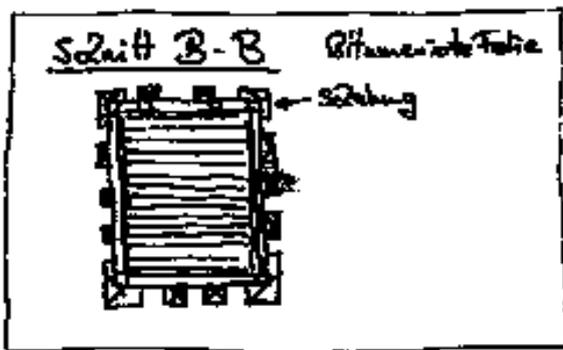
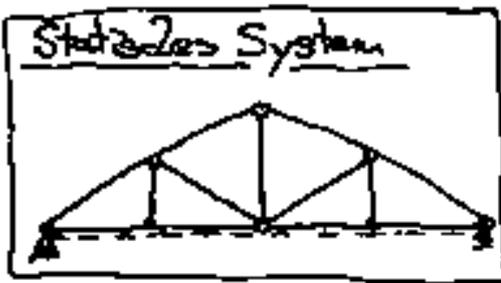
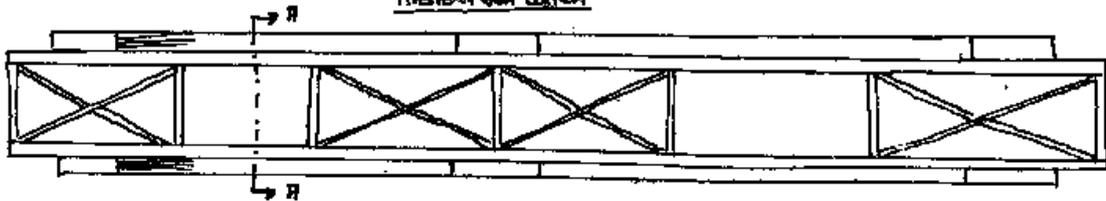
3.2 Entwurf 2 Bogenbrücke



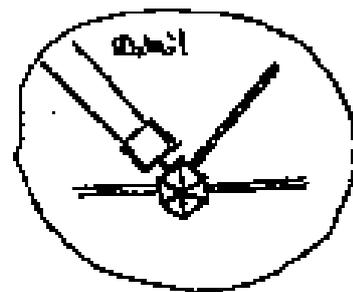
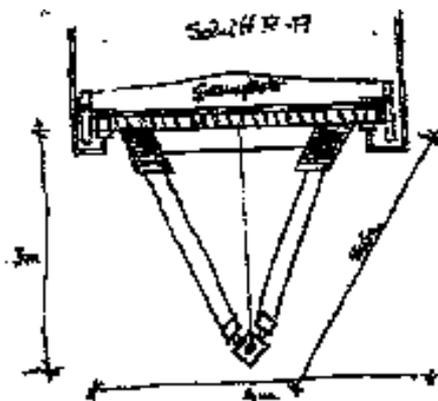
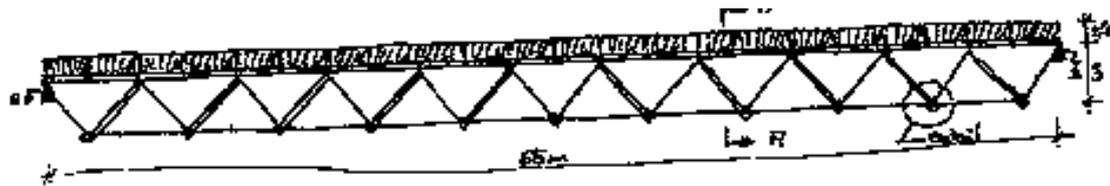
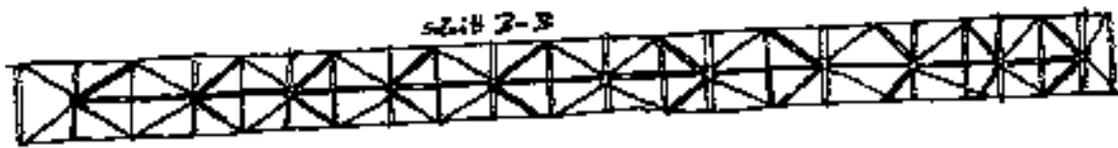
Dachstuhl Maßstab 1:200



Ansicht von unten



3.3 Entwurf 3 Toblerone



3.4 Auswahlkriterien und Auswahl des endgültigen Entwurfs

Um von den drei Ausgangsvarianten die Variante zu ermitteln, die weiter untersucht werden soll, wurde ein Auswahlssystem [Tabelle 3-1] entwickelt. Dabei wurden Kriterien ausgewählt, die den Bearbeitern dieses Projekt, als wichtig erschienen. Diese Merkmale wurden unter architektonischen, tragwerksplanerischen und fertigungs- bzw. ausführungstechnischen Aspekten gewählt. Diese Eigenschaften die als wichtig klassifiziert wurden, wurden dann nochmals einer Wertigkeitsstufung unterzogen. Für jede dieser Stufen wurde ein Zahlenwert zwischen 1 und 5 vergeben. Anschließend wurde jeder einzelne Entwurf entsprechend der einzelnen Auswahlmerkmale untersucht und hinsichtlich der Einhaltung dieses Kriteriums bewertet. Diese Bewertung geschah mittels Symbol [Tabelle 3-2], dem eine bestimmte Punktzahl zugeordnet wurde. Wurde die Eigenschaft voll erfüllt gab es ein ++ und somit die Punktzahl 2. Wurde das Merkmal nicht oder nur unzureichend erfüllt, gab es ein — und die Punktzahl -1. Die Punktzahl der Eigenschaften wurde dann mit der Wertigkeit der Eigenschaft multipliziert. Diese Einzelpunktzahlen wurden dann aufsummiert und ergaben dann die Gesamtpunktzahl der Entwurfsvariante. Die Variante mit den meisten Punkten ergab dann die augenscheinlich bestgeeignete Lösung.

Auswahlkriterien	Wertigkeit	Pylonenbrücke	Bogenbrücke	Toblerone
Vorfertigung	4	●	—	●
Anschlüsse	2	+	●	++
Optik	3	●	+	+
Montage	5	—	+	—
Transport	4	●	●	+
Konstr. Holzschutz	5	—	●	+
Unterhaltungskosten	3	—	●	+
Kräfteverlauf erkennbar	1	●	●	+
Aussteifungskonzept	3	—	●	+
Schwingungsanfälligkeit	3	●	—	●
Summe Σ		-14	+1	+23

Tabelle 3-1 Auswahl der endgültigen Entwurfsvariante

Symbole	Wertigkeit
++	2
+	1

•	0
—	-1

Tabelle 3-2 Einstufung der Wertigkeit

4 Statische Berechnung

4.1 Lastannahmen

Die Lastannahmen erfolgen auf Grundlage der DIN 1055 Teil 1 und 3¹, DIN 1055 Teil 100² sowie dem DIN-Fachbericht 101³.

4.1.1 Einwirkung durch Eigengewicht

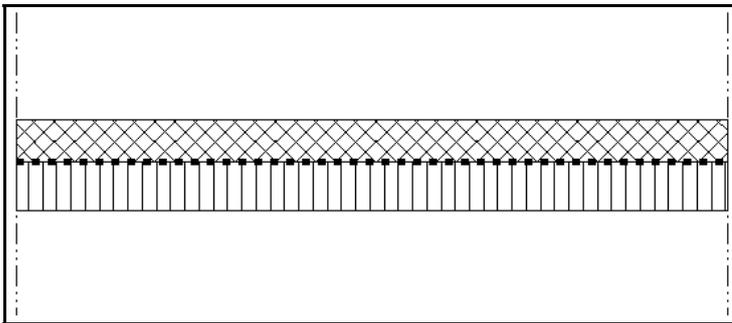


Abb.: 4.1 Schematischer Fahrbahnaufbau

Die einzelnen Schichten der Fahrbahn sind wie folgt:

- 6 [cm] Gussasphaltbelag
- 1,0 [cm] Abdichtungsbahn aus Polymerbitumen (2-lagig)
- 5,1 [cm] Furnierschichtholz Kerto Q (Finnforest Merk)

Die Lastannahme für die Kerto Q Platte erfolgt auf Grundlage der bauaufsichtlichen Zulassung Z-9.1-100. Sämtliche verwendete Festigkeitskennwerte stammen ebenfalls aus der Zulassung.

Aus diesem Schichtaufbau ergibt sich folgende Belastung der Querträger aus dem Eigengewicht der Baustoffe:

- Gussasphaltbelag

$$0,23 \text{ [KN/m}^2\text{/cm]} \cdot 6,0 \text{ [cm]} = 1,38 \text{ [KN/m}^2\text{]}$$

¹ DIN 1055 Teil 1 und 3 Einwirkungen auf Tragwerke

² DIN 1055 Teil 100 Grundlagen der Tragwerksplanung; Sicherheitskonzept und Bemessungsregeln

³ DIN-Fachbericht 101 Einwirkungen auf Brücken

- Abdichtungsbahn

$$0,07 \text{ [KN/m}^2\text{/cm]} \cdot 1,0 \text{ [cm]} = 0,07 \text{ [KN/m}^2\text{]}$$

- Kerto Q Platte

$$4,8 \text{ [KN/m}^3\text{]} \cdot 0,069 \text{ [m]} = \underline{0,33 \text{ [KN/m}^2\text{]}}$$

$$\Sigma = 1,78 \text{ [KN/m}^2\text{]}$$

Das Gewicht der Stäbe wird später bei der Berechnung der Schnittgrößen mittels Stabwerksprogramm von dem Programm automatisch mit berücksichtigt.

4.1.2 Einwirkung durch Nutzlasten

Die Nutzlast bzw. die Verkehrslast wird in dem DIN Fachbericht 101⁴ geregelt. Im Abschnitt 5.3.2.1 werden die charakteristischen Werte für Fußgänger- und Radwegbrücken mit Einzelstützweiten vom mehr als 10,0 [m] definiert. Nach der Formel 5.2 des Fachberichtes ergibt sich folgende Verkehrslast für die Brücke:

$$2,5 \leq q_{fk} = 2,0 + \frac{120}{L_{sj} + 30} \leq 5,0 \text{ [KN/m}^2\text{]}$$

mit $L_{sj} \rightarrow$ Länge der Einzelabstützung

$$q_{fk} = 2,0 + \frac{120}{59 + 30} = \underline{\underline{3,35 \text{ [KN/m}^2\text{]}}}$$

Alternativ kann die Belastung der Brücken auch aus der Abbildung 5.1 des DIN Fachberichtes abgelesen werden.

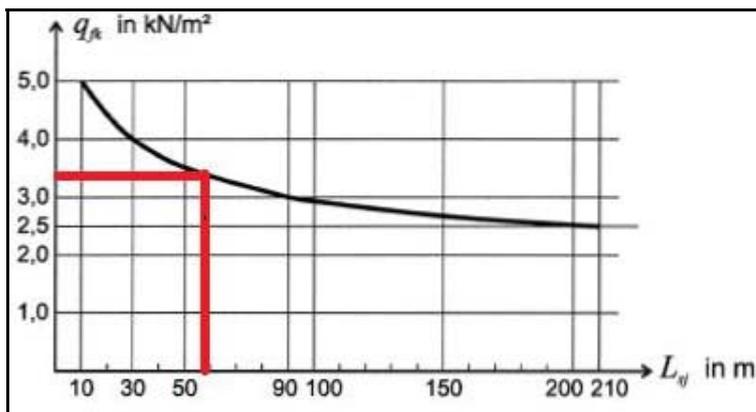


Abb.: 4.2 Verkehrslast in Abhängigkeit der Stützweite

⁴ DIN-Fachbericht 101 Einwirkungen auf Brücken Kapitel IV Verkehrslasten auf Brücken

4.1.3 Einwirkung durch Schnee

Im DIN-Fachbericht 101⁵ wird im Abschnitt 5.10.2 die Schneebelastung für Fußgängerbrücken geregelt. Schneelasten sind nur bei überdachten Brücken, bei beweglichen Brücken oder bei Nachweisen von Bauzuständen zu berücksichtigen. Daraus folgt, dass für diese Brücke keine Schneelast angesetzt muss, da der Bauzustand hier nicht berücksichtigt wird.

4.1.4 Einwirkung durch Wind

Der DIN-Fachbericht 101⁶ regelt im Anhang N2 Tab. N.1 die anzusetzenden Windeinwirkungen. Die Eingangsparameter für die Tabelle ist das Verhältnis b/d also die Höhe der Brücke zur Breite der Brücke, die Höhe z_e der Brücke und ob ein Verkehrsband auf der Brücke vorhanden ist.

Eingangsparameter:

Breite der Brücke: $b = 4,20$ [m]

Höhe der Brücke: $d = 5,44$ [m]

$$b/d = \frac{4,20}{5,44} = 0,77$$

Höhe der Brücke mittleren Wasserstand: $z_e = 8,34$ [m] < 20,0 [m]

Brücke mit Verkehrsband

1	2	3	4	5	6	7
	ohne Verkehr und ohne Lärmschutzwand			mit Verkehr ¹⁾ oder mit Lärmschutzwand		
	auf Überbauten					
b/d ²⁾	$z_e \leq 20$ m	$20 \text{ m} < z_e \leq 50$ m	$50 \text{ m} < z_e \leq 100$ m	$z_e \leq 20$ m	$20 \text{ m} < z_e \leq 50$ m	$50 \text{ m} < z_e \leq 100$ m
$\leq 0,5$	3,50	4,30	5,00	2,90	3,55	4,10
$= 4$	1,90	2,30	2,70	1,55	1,90	2,25
≥ 5	1,90	2,30	2,70	1,20	1,50	1,70
	auf Stützen und Pfeilern ³⁾					
$\leq 0,5$	2,90	3,60	4,00	2,10	2,60	3,00
≥ 5	1,20	1,50	1,70	0,90	1,10	1,20

Tab. 4-1 Windeinwirkungen W in [KN7m²] auf Brücken

⁵ DIN-Fachbericht 101 Einwirkungen auf Brücken Kapitel IV Verkehrslasten auf Brücken

⁶ DIN-Fachbericht 101 Einwirkungen auf Brücken Anhang N Windeinwirkungen auf Brücken

Die Windeinwirkung W beträgt bei einem Verhältnis b/d von 0,5 2,90 [KN/m²]. Interpoliert ergibt sich für die Brücke ein Wert von $q_k=2,79$ [KN/m²].

4.1.5 Einwirkung durch Dienstfahrzeug

Nach DIN-Fachbericht 101⁷ ist nach Festlegung mit dem Bauherrn ein Dienstfahrzeug anzusetzen. Die Stadt Cottbus fordert zum einen zum Zweck der Brückenprüfung die Befahrbarkeit der Brücke mit einem VW-Transporter. Zum andern soll die Brücke zum reinigen und schneeräumen mit einem Multicar TREMO Carrier befahren werden. Die Gesamtlast des Multicars beträgt 5,0 [t]. Die Achslasten betragen vorne 2,3 [t] und hinten 2,7 [t]. Die Radaufstandsfläche ist quadratisch mit einer Seitenlänge von 0,2 [m]. Der Achsabstand beträgt 1,90 [m]. Der Radabstand (abstand von Radmitte zu Radmitte) beträgt 1,0 [m].

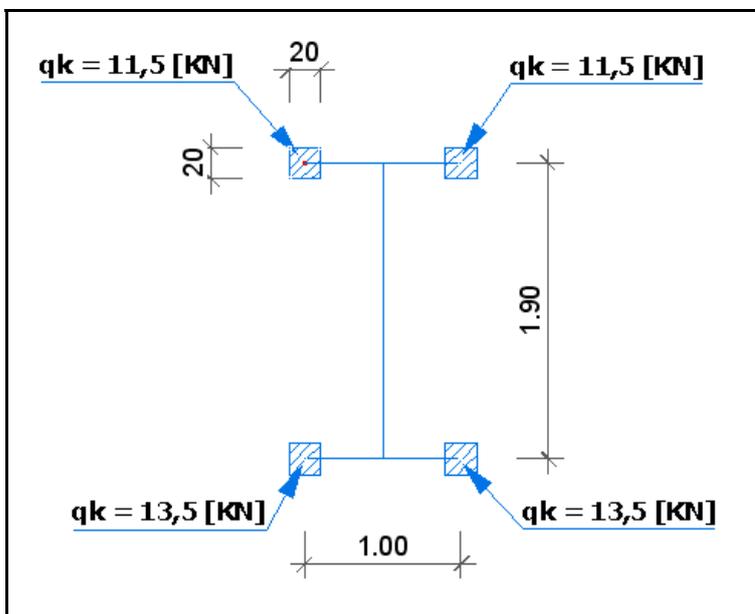


Abb.: 4.3 Geometrie des Dienstfahrzeugs

4.1.6 Einwirkung durch Temperaturänderung des Untergurtes

Bei der Bemessung der Brücke sind Spannungen, die aus Temperaturänderungen resultieren, zu berücksichtigen. Nach dem DIN Fachbericht 101⁸ sollte bei Brückenüberbauten in der Regel nur der konstante Temperaturanteil und der lineare Temperaturunterschied mit ihren entsprechenden repräsentativen Werten berücksichtigt werden. Im Abschnitt 6.3.1.3 des DIN-Fachberichts werden die konstanten Temperaturanteile definiert. Nach Abschnitt 6.3.1.3.1 Satz 5 unterscheidet man drei Gruppen von

⁷ DIN-Fachbericht 101 Einwirkungen auf Brücken Kapitel IV Verkehrslasten auf Brücken

⁸ DIN-Fachbericht 101 Einwirkungen auf Brücken Kapitel V Temperatureinwirkungen

Brücken; Stahlbrücken; Verbundbrücken und Betonbrücken. Für die hier zu berechnenden Brücke wird der Stahlunterzug in die Gruppe 1 Stahlbrücken eingeteilt. Eine Temperaturänderung beim Holz braucht nicht berücksichtigt werden, da die Temperaturdehnzahl klein gegen null geht. Daher braucht die Temperaturänderung nur beim Stahlunterzug berücksichtigt werden, woraus sich die Einstufung in Gruppe 1 Stahlbrücken ergibt. Nach den Werten des Abschnitts 6.3.1.3..1 Satz 5 und der Formel 4.1 und 4.2 des Kapitels V des DIN Fachberichtes ergibt sich folgende Gesamtschwankung des konstanten Temperaturanteils:

$$\Delta T_{N,neg} = T_{e,min} - T_0$$

$$\Delta T_{N,po} = T_{e,max} - T_0$$

$$\text{mit } T_{e,min} = -26[K]$$

$$\text{mit } T_{e,max} = +51[K]$$

$$\text{mit } T_0 = +10[K] \text{ Einbautemperatur}$$

$$\Delta T_{N,neg} = -26 - 10 = -36[K]$$

$$\Delta T_{N,po} = +51 - 10 = +41[K]$$

4.1.7 Einwirkung auf Brückengeländer

Nach DIN-Fachbericht 101⁹ Abschnitt 4.8.1 ist eine horizontal wirkende Linienlast von $q_k=0,8$ [KN/m] in Oberkante Gelände, horizontal nach außen oder innen wirkend, anzunehmen.

Eine Anpralllast auf das Brückengeländer wird nicht berücksichtigt. Ein möglicher Anprall könnte nur durch das Dienstfahrzeug hervorgerufen werden. Es wird aber vorausgesetzt, dass die Bediener des Dienstfahrzeuges vorausschauend und umsichtig handeln. Wenn das Fahrzeug trotzdem gegen die Brüstung fahren sollte, würde dies nicht zu einem Tragfähigkeitsversagen des Brückenüberbaus führen. Die Verbindung des Brückengeländers mit dem Überbau würde einfach versagen und das Geländer würde von der Brücke abreißen.

4.1.8 Horizontale Einwirkungen

Die Horizontalkraft (Q_{flk}) wirkt in Brückenachse und in Oberkante des Belages. Der charakteristische Wert der Horizontallast beträgt nach DIN-Fachbericht 101¹⁰ Abschnitt

⁹ DIN-Fachbericht 101 Einwirkungen auf Brücken Kapitel IV Verkehrslasten auf Brücken

¹⁰ DIN-Fachbericht 101 Einwirkungen auf Brücken Kapitel IV Verkehrslasten auf Brücken

5.4 Satz 1 entweder 60 [%] des Dienstfahrzeugesamtgewichtes oder 10 [%] der Gesamtlast der Brücke betragen.

Einwirkung aus Brückengesamtlast:

$$Q_{flk} = 0,1 \cdot 4,20 \text{ [m]} \cdot 59,0 \text{ [m]} \cdot 3,35 \text{ [KN/m}^2\text{]} \quad Q_{flk} = 83 \text{ [KN]}$$

Einwirkung aus Dienstfahrzeug:

$$Q_{flk} = 0,60 \cdot 5,0 \text{ [t]} \cdot 10 \quad Q_{flk} = 30 \text{ [KN]}$$

Maßgebend ist die Horizontalkraft aus der Gesamtlast der Brücke.

4.1.9 Designlasten

Die Teilsicherheitsbeiwerte für Fußgänger- und Radwegbrücken werden im Anhang D des DIN-Fachberichtes 101¹¹ definiert.

Einwirkung	Bezeichnung	Bemessungssituation	
		S/V	A
Ständige Einwirkungen: Eigenlasten der tragenden und nichttragenden Bauteile, ständige Einwirkungen des Baugrundes, Grundwasser und Wasser	ungünstig	1,35 ^{2), 3), 4)}	1,00
	günstig	1,00 ^{2), 3), 4)}	1,00
Horizontaler Erddruck aus Bodeneigengewicht und Auflast ⁷⁾	ungünstig	1,50	--
	günstig	1,00	--
Vorspannung	γ_P	1,00 ⁵⁾	1,00
Setzungen ⁸⁾	γ_{Gset}	1,00 ⁵⁾	--
Verkehr ⁹⁾	ungünstig	1,50	1,00
	günstig	0	0
Andere variable Einwirkungen	ungünstig	1,50	1,00
	günstig	0	0
Außergewöhnliche Einwirkungen	γ_A	--	1,00

Tab. 4-2 Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen

¹¹ DIN-Fachbericht 101 Einwirkungen auf Brücken Anhang D Ergänzungen zu Fußgänger- und Radwegbrücken

- Einwirkungen aus Eigengewicht
 $1,78 \text{ [KN/m}^2] \cdot 1,35$ **$q_d = 2,40 \text{ [KN/m}^2]$**
- Einwirkungen aus Nutzlasten
 $3,35 \text{ [KN/m}^2] \cdot 1,50$ **$q_d = 5,03 \text{ [KN/m}^2]$**
- Einwirkungen aus Wind
 $2,79 \text{ [KN/m}^2] \cdot 1,50$ **$q_d = 4,19 \text{ [KN/m}^2]$**
- Einwirkungen aus Dienstfahrzeug
 $23,0 \text{ [KN]} \cdot 1,50$ **$Q_d = 34,5 \text{ [KN]}$**
 $27,0 \text{ [KN]} \cdot 1,50$ **$Q_d = 40,5 \text{ [KN]}$**
- Einwirkung auf Brückengeländer
 $0,8 \text{ [KN/m]} \cdot 1,50$ **$q_d = 1,20 \text{ [KN/m]}$**
- Horizontale Einwirkungen
 $83,0 \text{ [KN]} \cdot 1,50$ **$Q_d = 124,5 \text{ [KN]}$**

4.2 Lastkombinationen

Nach DIN 1074¹² Abschnitt 5 Satz 2 dürfen bei den Nachweisen im Grenzzustand der Tragfähigkeit für Geh- und Radwegbrücken die vereinfachten Kombinationsregeln nach DIN 1052¹³ Abschnitt 5.2 angewendet werden.

¹² DIN 1074 Holzbrücken

¹³ DIN 1052 Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken

4.2.1 Kombinationsbeiwerte Ψ für Hochbauten

Einwirkung	Bezeichnung	ψ_0	ψ_1	ψ_2	ψ_1' ¹⁾
Verkehrslasten	$gr\ 1$	0,40	0,40	0,20	0,80
	Q_{stat}	0	0	0	0
	$gr\ 2$	0	0	0	1,00
Windlasten	F_{Wk}	0 ²⁾	0,50	0	0,60
Temperatur	T_k	0 ³⁾	0,60	0,50	0,80

¹⁾ ψ_1' ist ein ψ -Beiwert, der zur Bestimmung der nicht häufigen Lasten (siehe Abschnitt 2.2) dient.

²⁾ Falls eine andere Haupteinwirkung als Verkehr oder Temperatur berücksichtigt werden soll, kann dieser Wert durch 0,30 ersetzt werden.

³⁾ Falls nachweisrelevant, sollte $\psi_0 = 0,80$ gesetzt werden, siehe hierzu auch DIN-Fachberichte für Bemessung.

Tab. 4-3 Kombinationsbeiwerte

4.2.2 Lastfallkombinationen

Die Kombination der einzelnen Lastfälle kann erst bei den Schnittkräften erfolgen. Eine Kombination der Einwirkungen ist nicht möglich, da sich die Einwirkungen aus Streckenlasten, Einzellasten und Temperatur zusammensetzen. Somit ist eine Kombination nicht möglich, da immer nur gleiche Belastungsarten kombiniert werden können. Für die Brücke ergeben sich folgende mögliche Kombinationen:

Ständige Einwirkung G_d	Unabhängige veränderliche Einwirkung	
	Vorherrschende	Andere
Eigengewicht	Nutzlast	_____
Eigengewicht	Wind	_____
Eigengewicht	Dienstfahrzeug	_____
Eigengewicht	Temperatur (pos.)	_____
Eigengewicht	Temperatur (neg.)	_____
Eigengewicht	Nutzlast	Wind
Eigengewicht	Nutzlast	Temperatur (pos.)
Eigengewicht	Nutzlast	Temperatur (neg.)
Eigengewicht	Nutzlast	Holmlast
Eigengewicht	Nutzlast	Wind + Temperatur (pos.)

Eigengewicht	Nutzlast	Wind + Temperatur (neg.)
Eigengewicht	Nutzlast	Wind + Holmlast
Eigengewicht	Nutzlast	Wind + Temperatur (pos.) + Holmlast
Eigengewicht	Nutzlast	Wind + Temperatur (neg.) + Holmlast
Eigengewicht	Wind	Nutzlast
Eigengewicht	Wind	Dienstfahrzeug
Eigengewicht	Wind	Temperatur (pos.)
Eigengewicht	Wind	Temperatur (neg.)
Eigengewicht	Wind	Dienstfahrzeug + Temperatur (pos.)
Eigengewicht	Wind	Dienstfahrzeug + Temperatur (neg.)
Eigengewicht	Wind	Nutzlast + Holmlast
Eigengewicht	Wind	Nutzlast + Temperatur (pos.)
Eigengewicht	Wind	Nutzlast + Temperatur (neg.)
Eigengewicht	Wind	Nutzlast + Holmlast + Temperatur (pos.)
Eigengewicht	Wind	Nutzlast + Holmlast + Temperatur (neg.)
Eigengewicht	Dienstfahrzeug	Wind
Eigengewicht	Dienstfahrzeug	Temperatur (pos.)
Eigengewicht	Dienstfahrzeug	Temperatur (neg.)
Eigengewicht	Dienstfahrzeug	Wind + Temperatur (pos.)
Eigengewicht	Dienstfahrzeug	Wind + Temperatur (neg.)
Eigengewicht	Temperatur (pos.)	Nutzlast
Eigengewicht	Temperatur (pos.)	Wind
Eigengewicht	Temperatur (pos.)	Dienstfahrzeug
Eigengewicht	Temperatur (pos.)	Nutzlast + Wind
Eigengewicht	Temperatur (pos.)	Nutzlast + Holmlast
Eigengewicht	Temperatur (pos.)	Nutzlast + Holmlast + Wind
Eigengewicht	Temperatur (pos.)	Dienstfahrzeug + Wind
Eigengewicht	Temperatur (neg.)	Nutzlast
Eigengewicht	Temperatur (neg.)	Wind
Eigengewicht	Temperatur (neg.)	Dienstfahrzeug
Eigengewicht	Temperatur (neg.)	Nutzlast + Wind

Eigengewicht	Temperatur (neg.)	Nutzlast + Holm
Eigengewicht	Temperatur (neg.)	Dienstfahrzeug + Wind
Eigengewicht	Temperatur (neg.)	Nutzlast + Holmlast + Wind

Tab. 4-4 Lastfallkombinationen

Anmerkung: Eine Kombination von Nutzlast und Dienstfahrzeug wird nicht berücksichtigt. Nach Aussage des Bauherrn ist das gleichzeitige Vorhandensein von Dienstfahrzeug und Personen / Benutzern ausgeschlossen. Bei Wartungs- und Reinigungsarbeiten wird die Brücke für den Personenverkehr gesperrt. Eine Kombination mit der Einwirkung Holmlast kann nur angesetzt werden, wenn auch die Einwirkung Nutzlast angesetzt wird. Die Holmlast wird durch Personen hervorgerufen, die sich gegen das Brückengeländer lehnen. Wenn keine Nutzlast, also Personen, auf der Brücke sind, kann auch keine Einwirkung auf das Geländer erfolgen.

Aufgrund der Vielzahl von Kombinationen wird die Berechnung der Schnittkräfte und Schnittgrößen mit Hilfe eines Stabwerkprogramms durchgeführt. Im Stabwerkprogramm können Teilsicherheitswerte und Kombinationsbeiwerte definiert werden, die dann anschließend mit den charakteristischen Einwirkungen zu Bemessungsschnittgrößen führen. Die Richtigkeit der Schnittgrößen wurde exemplarisch überprüft, indem per Handrechnung die Designlasten für das System berechnet wurden. Anschließend wurden diese Bemessungseinwirkungen auf das System aufgebracht und die Teilsicherheits- und Kombinationsbeiwerte auf 1,0 gesetzt. Diese Schnittgrößen wurden dann mit den Ursprungsschnittgrößen des Programms verglichen.

4.3 Schnittkräfte und Schnittkraftverläufe

5 Bemessung der Stäbe

Die Bemessung der Stäbe erfolgt auf Grundlage der DIN 1052¹⁴ und der DIN 1074¹⁵. Bauteile aus Stahl werden nach der DIN 18800¹⁶ bzw. dem DIN-Fachbericht 103¹⁷ bemessen. Die verwendeten Materialien sind, soweit nicht anders beschrieben:

- Brettschichtholz GL 28h
- Funierschichtholz (Kerto Q der Firma Finforest Merk)
- Baustahl der Festigkeitsklasse S355

Nach den oben genannten Normen liegt für die Holzkonstruktion die Nutzungsklasse 2 vor. Dadurch ergibt sich ein Modifikationsbeiwert k_{mod} für die Lasteinwirkungsdauer kurz von $k_{\text{mod}} = 0,9$

5.1 Bemessung Pos.B001 Kertoplatte

Die Kertoplatte wird durch zwei Beanspruchungsarten beansprucht. Es gibt eine scheibenartige Beanspruchung aus Wind und horizontalen Einwirkungen in Plattenebene und eine plattenartige Beanspruchung aus Eigengewicht, Verkehrslast und dem Dienstfahrzeug senkrecht zur Plattenebene. Neben der lastabtragenden Wirkung hat die Beplankung noch die Aufgabe der Aussteifung. Die Querträger der Pos.B002 werden durch den kontinuierlichen Verbund mit den Kertoplaten durch Normalkraft beansprucht. Bei negativer Normalkraft erhalten die Querträger eine Druckbeanspruchung und dadurch resultierend eine Knickgefährdung. Diese wird jedoch durch den kontinuierlichen Verbund mit der Beplankung minimiert. Auf den Nachweis der Aussteifung der Beplankung wird verzichtet, da dieser konstruktiv gewährleistet ist. Der Nachweis der scheibenartigen Beanspruchung wird in der Pos.S001 geführt.

5.1.1 Ermittlung der Schnittgrößen

Die Schnittkräfte sind mittels FEM-Programm ermittelt worden. Der maßgebende Lastfall ist die Belastung durch Eigengewicht und die Hinterachse des Dienstfahrzeuges auf der Mitte der Platte. Die Berechnung der maßgebenden Schnittkräfte erfolgt unter Zuhilfenahme eines Finite-Elementen-Programmes. Hierbei wurde die Platte als vierseitig gelagert angenommen. Die Lager wurden als horizontal und vertikal unverschieblich angenommen. Durch die kontinuierliche Verbindung der Platte mit dem Randträ-

¹⁴ DIN 1052 Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken

¹⁵ DIN 1074 Holzbrücken

¹⁶ DIN 18800 Stahlbauten; Bemessung und Konstruktion

ger, die sich aus der Berechnung der Scheibentragfähigkeit der Platten ergibt, könnte auch eine Teileinspannung angenommen werden. Gerechnet wurde das System jedoch ohne Teileinspannung. Dies ergibt ungünstigere Schnittgrößen, da die Teileinspannung die Feldmomente reduziert. Die aus dem FEM-Programm resultierenden Schnittkräfte sehen wie folgt aus:

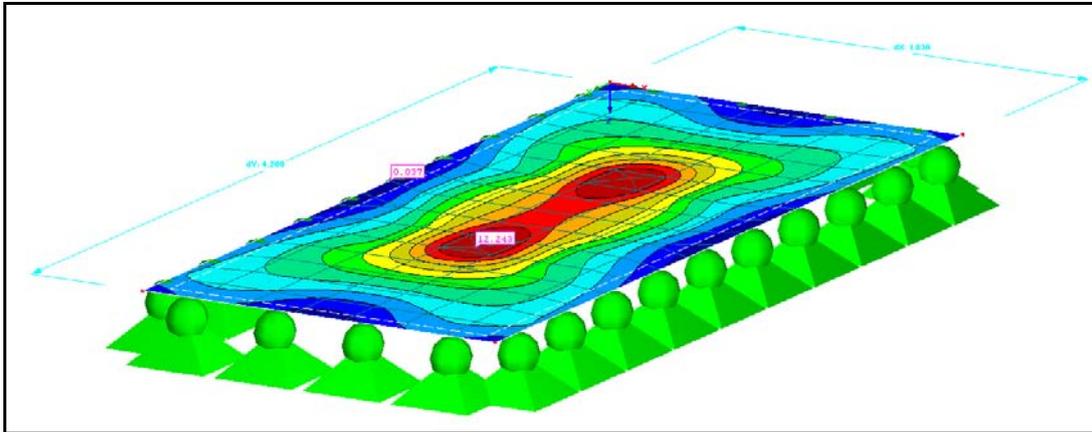


Abb.: 5.1 Maximale Momente in der Kertoplatte

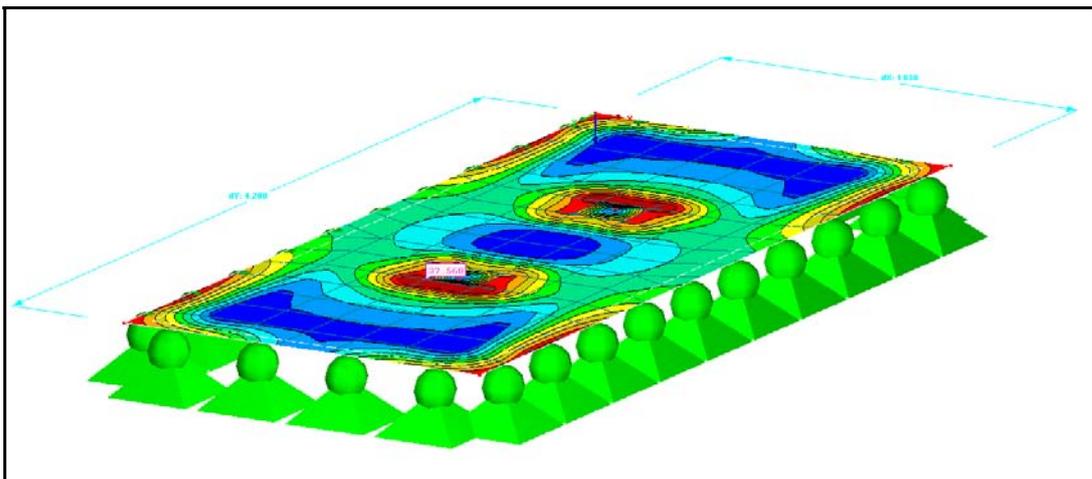


Abb.: 5.2 Maximale Querkräfte

5.1.2 Nachweis der Biegespannung in der Kertoplatte

Für die Kertoplatte können nach der bauaufsichtlichen Zulassung Z-9.1-100 folgende Festigkeitskennwerte angenommen werden:

¹⁷ DIN-Fachbericht 103 Stahlbrücken

1 Plattenbeanspruchung			
		21 ≤ d ≤ 24	27 ≤ d ≤ 69
Biegung zur Faser ¹⁾	$f_{m,0,k}$	32	36
Biegung ⊥ zur Faser	$f_{m,90,k}$	9,0 ²⁾	9,0
Druck ⊥ zur Faser	$f_{c,90,k}$	2,0	
Schub	$f_{v,k}$	1,5	
Elastizitätsmodul zur Faser	$E_{0,mean}$	10 000	10 500
Elastizitätsmodul ⊥ zur Faser	$E_{90,mean}$	1 000 ²⁾	2 500
Schubmodul	G_{mean}	500	

2) Für d = 21 mm und den Furnieraufbau I-III-I darf $f_{m,90,k} = 16 \text{ N/mm}^2$ bzw. $E_{90,mean} = 2500 \text{ N/mm}^2$ eingesetzt werden.

Tab. 5-1 Char. Festigkeitskennwerte Kerto Q [N/mm²]

Längsschnitt durch die Platte

$$W_y = \frac{183 \cdot 5,1^2}{6} = 793,4 [\text{cm}^4]$$

Querschnitt durch die Platte

$$W_y = \frac{420 \cdot 5,1^2}{6} = 1820,7 [\text{cm}^4]$$

Die maximal vorhandene Spannung in der Platte beträgt:

$$\max \delta_{m,x,d} = \frac{12,25 \cdot 10^2}{793,4} = 1,54 [\text{KN} / \text{cm}^2]$$

$$\max \delta_{m,y,d} = \frac{12,25 \cdot 10^2}{1820,7} = 0,67 [\text{KN} / \text{cm}^2]$$

Festigkeitskennwert der Kertoplatte

$$f_{m,k} = 3,6 [\text{KN} / \text{cm}^2]$$

Bemessungswert der Festigkeit

$$f_{m,d} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot f_{m,k}}{\gamma_m} = \frac{0,9 \cdot 3,6}{1,3} = 2,49 [\text{KN} / \text{cm}^2]$$

Nachweis der Biegespannung

$$\text{mit } k_{\text{red}} = 1,0$$

$$\frac{\delta_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_{red} \cdot \frac{\delta_{m,x,d}}{f_{m,x,d}} \leq 1,0 = \frac{1,54}{2,49} + 1,0 \cdot \frac{0,67}{2,49} = \underline{\underline{0,89 < 1,0}}$$

und

$$k_{red} \cdot \frac{\delta_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\delta_{m,x,d}}{f_{m,x,d}} \leq 1,0 = 1,0 \cdot \frac{1,54}{2,49} + \frac{0,67}{2,49} = \underline{\underline{0,89 < 1,0}}$$

Nachweis: 5-1 Biegespannung

5.1.3 Nachweis der Schubspannung in der Kertoplatte

Längsschnitt durch die Platte:

$$\begin{aligned} \text{Fläche im Schnitt:} \quad A &= b \cdot h \\ A &= 183 \cdot 5,1 = 933,3 [\text{cm}^2] \\ \\ \text{Schubspannung:} \quad \tau_{x,d} &= 1,5 \cdot \frac{V_d}{A} \\ \tau_{x,d} &= 1,5 \cdot \frac{37,57}{933,3} = 0,06 [\text{KN/cm}^2] \end{aligned}$$

Querschnitt durch die Platte:

$$\begin{aligned} \text{Fläche im Schnitt:} \quad A &= b \cdot h \\ A &= 420 \cdot 5,1 = 2142 [\text{cm}^2] \\ \\ \text{Schubspannung:} \quad \tau_{y,d} &= 1,5 \cdot \frac{V_d}{A} \\ \tau_{y,d} &= 1,5 \cdot \frac{37,57}{2142} = 0,027 [\text{KN/cm}^2] \end{aligned}$$

Festigkeitskennwert der Kertoplatte

$$f_{v,k} = 1,5 [\text{KN/cm}^2]$$

Bemessungswert der Festigkeit

$$f_{m,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{m,k}}{\gamma_m} = \frac{0,9 \cdot 1,5}{1,3} = 1,04 [\text{KN/cm}^2]$$

Nachweis der Schubspannung:

$$\left(\frac{\tau_{y,d}}{f_{v,d}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{x,d}}{f_{v,d}}\right)^2 \leq 1,0 = \left(\frac{0,06}{1,03}\right)^2 + \left(\frac{0,03}{1,03}\right)^2 = \underline{\underline{0,0043 < 1,0}}$$

Nachweis: 5-2 Schubspannung

5.2 Bemessung Pos.B002 Querträger

Die Querträger werden durch die Auflagerkräfte der Kertoplatte belastet. Aus der Scheibenwirkung der Platte erhalten die Querträger zusätzlich durch den kontinuierlichen Schubfluss eine Normalkraftkomponente. Der Träger erhält seine maximale Belastung aus dem Eigengewicht der Fahrbahn und dem Dienstfahrzeug das mit einer Achse direkt über dem Querträger steht. Aus dieser Belastungssituation ergeben sich folgende Schnittkräfte und Schnittgrößen:

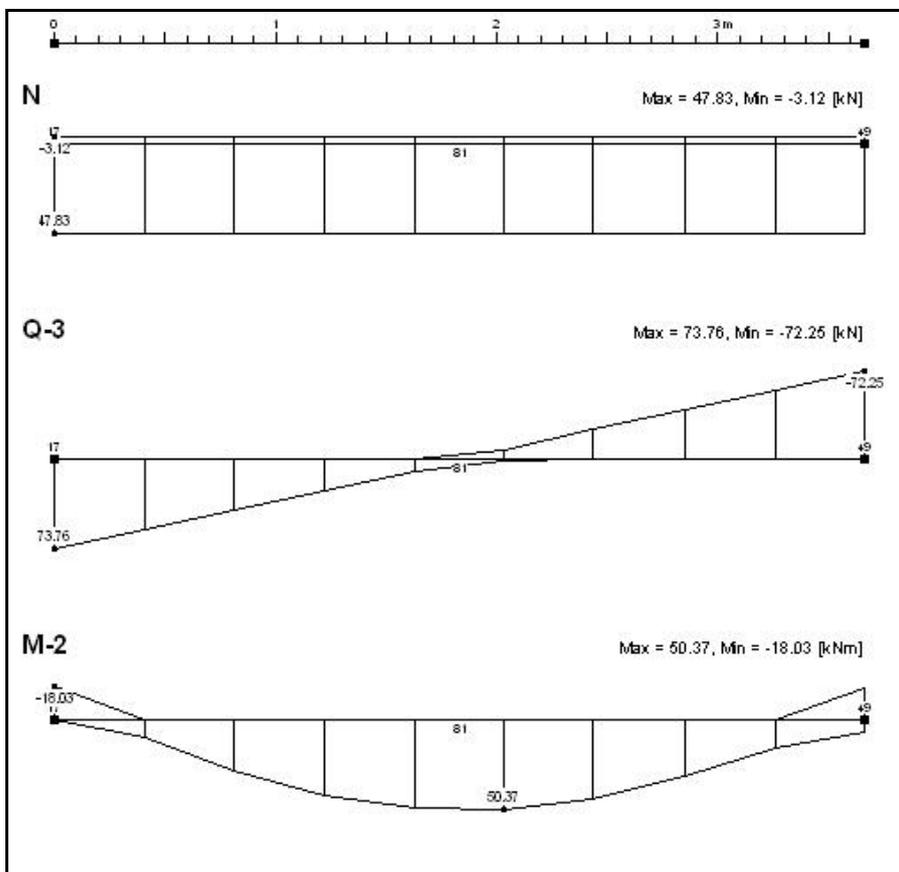


Abb.: 5.3 Schnittkraftverläufe der Querträger

5.2.1 Nachweis der Biegespannung im Querträger

Der Querträger hat die Abmessungen 18/30 [cm²] und wird aus Brettschichtholz GL 28h hergestellt. Für den Träger ergeben sich folgende Querschnittswerte:

$$\begin{aligned} \text{Querschnittsfläche:} \quad A &= b \cdot h \\ A &= 18 \cdot 32 = 576 [\text{cm}^2] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Widerstandsmoment:} \quad W_y &= \frac{b \cdot h^2}{6} \\ W_y &= \frac{18 \cdot 32^2}{6} = 3072 [\text{cm}^4] \end{aligned}$$

Die maximal vorhandene Biegespannung beträgt:

$$\begin{aligned} \max \delta_{m,y,d} &= \frac{M_{y,d}}{W_y} \\ \max \delta_{m,y,d} &= \frac{50,37 \cdot 10^2}{3072} = 1,64 [\text{KN} / \text{cm}^2] \end{aligned}$$

Die maximal vorhandene Druckspannung beträgt:

$$\begin{aligned} \max \delta_{t,0,d} &= \frac{F_d}{A} \\ \max \delta_{t,0,d} &= \frac{47,83}{576} = 0,083 [\text{KN} / \text{cm}^2] \end{aligned}$$

Festigkeitskennwert des Querträgers

$$\begin{aligned} f_{m,y,k} &= 2,80 [\text{KN} / \text{cm}^2] \\ f_{t,0,k} &= 1,95 [\text{KN} / \text{cm}^2] \end{aligned}$$

Bemessungswert der Festigkeit

$$\begin{aligned} f_{m,y,d} &= \frac{k_{\text{mod}} \cdot f_{m,y,k}}{\gamma_m} = \frac{0,9 \cdot 2,80}{1,3} = 1,94 [\text{KN} / \text{cm}^2] \\ f_{t,0,d} &= \frac{k_{\text{mod}} \cdot f_{t,0,k}}{\gamma_m} = \frac{0,9 \cdot 1,95}{1,3} = 1,35 [\text{KN} / \text{cm}^2] \end{aligned}$$

Nachweis der Biegespannung

$$\frac{\delta_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\delta_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1,0 = \frac{0,083}{1,35} + \frac{1,64}{1,938} = 0,91 < 1,0$$

Nachweis: 5-3 Biegespannung

5.2.2 Nachweis der Schubspannung im Querschnitt

Die maximal vorhandene Schubspannung beträgt:

$$\tau_{y,d} = 1,5 \cdot \frac{V_d}{A}$$

$$\tau_{y,d} = 1,5 \cdot \frac{73,76}{576} = 0,19 \text{ [KN/cm}^2\text{]}$$

Festigkeitskennwert der Kertoplatte

$$f_{v,k} = 2,5 \text{ [KN / cm}^2\text{]}$$

Bemessungswert der Festigkeit

$$f_{m,d} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot f_{m,k}}{\gamma_m} = \frac{0,9 \cdot 2,5}{1,3} = 1,73 \text{ [KN/cm}^2\text{]}$$

Nachweis der Schubspannung:

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} \leq 1,0 = \frac{0,19}{1,73} = \underline{\underline{0,11}} < 1,0$$

Nachweis: 5-4 Schubspannung

5.3 Bemessung Pos.B003 Obergurt

Die Fahrbahnrandträger wirken als Obergurt für die schrägliegenden Fachwerkträger. Deshalb ist die Hauptbeanspruchung dieser Träger eine Normalkraft. Die Momente und Querkräfte werden zum einen durch das Eigengewicht des Träger hervorgerufen und zum andern durch die Auflagerlast der Fahrbahnplatte. Die Auflagerreaktion wirkt als Linienlast auf den Obergurt. Die Schnittkräfte und Schnittgrößen für den Obergurt sehen wie folgt aus:

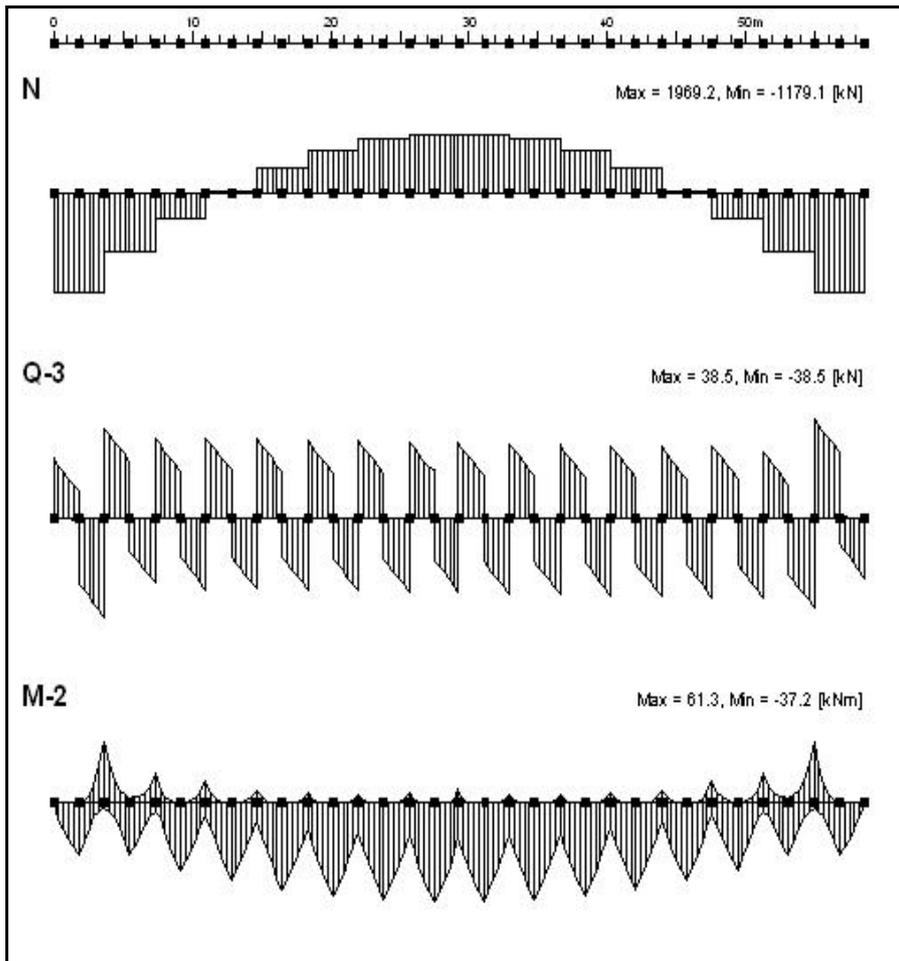


Abb.: 5.4 Schnittkraftverläufe des Obergurtes

5.3.1 Nachweis der Biegespannung im Obergurt

Der Obergurt hat eine Querschnittsbreite von 34 cm. Da der Obergurt schräg gestellt ist und an der Oberkante einen Horizontalschnitt hat, ergibt sich eine veränderliche Querschnittshöhe. Die Höhe variiert zwischen 60 und 40 cm. Der Obergurt wird aus Brettschichtholz GL 32h hergestellt. Für den Träger ergeben sich folgende Querschnittswerte:

Querschnittsfläche:

$$A = b \cdot \left(\frac{a+b}{2} \right)$$

$$A = 36 \cdot \left(\frac{60+40}{2} \right) = 1800 [cm^2]$$

Widerstandsmoment:

$$W_y = \frac{b \cdot h^2}{6}$$

$$W_y = \frac{36 \cdot 50^2}{6} = 15000 [cm^4]$$

Die maximal vorhandene Biegespannung beträgt:

$$\max \delta_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y}$$

$$\max \delta_{m,y,d} = \frac{61,30 \cdot 10^2}{15000} = 0,41 [KN / cm^2]$$

Die maximal vorhandene Druckspannung beträgt:

$$\max \delta_{c,0,d} = \frac{F_d}{A}$$

$$\max \delta_{c,0,d} = \frac{1179}{1800} = 0,66 [KN / cm^2]$$

Festigkeitskennwert des Obergurtes

$$f_{m,y,k} = 2,80 [KN/cm^2]$$

$$f_{c,0,k} = 2,65 [KN/cm^2]$$

Bemessungswert der Festigkeit

$$f_{m,y,d} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot f_{m,y,k}}{\gamma_m} = \frac{0,9 \cdot 2,80}{1,3} = 1,94 [KN/cm^2]$$

$$f_{c,0,d} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot f_{c,0,k}}{\gamma_m} = \frac{0,9 \cdot 2,9}{1,3} = 1,99 [KN/cm^2]$$

Nachweis der Biegespannung

$$\left(\frac{\delta_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\delta_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1,0 = \left(\frac{0,66}{1,99} \right)^2 + \frac{0,41}{1,94} = 0,29 < 1,0$$

Nachweis: 5-5 Biegespannung und Druck

5.3.2 Nachweis der Zugspannung im Obergurt

Die maximal vorhandene Zugspannung beträgt:

$$\max \delta_{t,0,d} = \frac{F_d}{A}$$

$$\max \delta_{t,0,d} = \frac{1969}{1800} = 1,09 [KN / cm^2]$$

Festigkeitskennwert des Obergurtes

$$f_{t,0,k} = 2,25 [KN/cm^2]$$

Bemessungswert der Festigkeit

$$f_{c,0,d} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot f_{m,y,k}}{\gamma_m} = \frac{0,9 \cdot 2,25}{1,3} = 1,56 [KN/cm^2]$$

Nachweis der Biegespannung

$$\frac{\delta_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\delta_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1,0 = \frac{1,21}{1,56} + \frac{0,41}{2,21} = \underline{\underline{0,98 < 1,0}}$$

Nachweis: 5-6 Biegespannung und Zug

5.3.3 Nachweis der Schubspannung im Querschnitt

Die maximal vorhandene Schubspannung beträgt:

$$\tau_{y,d} = 1,5 \cdot \frac{V_d}{A}$$

$$\tau_{y,d} = 1,5 \cdot \frac{38,32}{1800} = 0,035 [KN/cm^2]$$

Festigkeitskennwert des Obergurtes

$$f_{v,k} = 2,5 [KN/cm^2]$$

Bemessungswert der Festigkeit

$$f_{m,d} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot f_{m,k}}{\gamma_m} = \frac{0,9 \cdot 2,5}{1,3} = 1,73 [KN/cm^2]$$

Nachweis der Schubspannung:

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} \leq 1,0 = \frac{0,035}{1,73} = \underline{\underline{0,018 < 1,0}}$$

Nachweis: 5-7 Schubspannung

5.4 Bemessung Pos.B004 Druckstreben

Die Druckstreben in der Konstruktion haben alle den gleichen Querschnitt. Dies wurde aus optischen Gründen so gewählt. Die Bemessung der Druckstreben erfolgt für alle

Streben mit den Schnittgrößen der am stärksten belasteten Druckstrebe. Als Fachwerkstab erhalten die Stäbe ausschließlich Normalkräfte.

5.4.1 Nachweis der Druckspannung in der Strebe

Die Streben haben einen quadratischen Querschnitt von 30/30 cm² und werden aus Brettschichtholz GL 28h hergestellt. Für den Träger ergeben sich folgende Querschnittswerte:

$$\begin{aligned} \text{Querschnittsfläche:} \quad A &= b \cdot h \\ A &= 30 \cdot 30 = 900 [\text{cm}^2] \end{aligned}$$

Die maximal vorhandene Druckspannung beträgt:

$$\begin{aligned} \max \delta_{c,0,d} &= \frac{F_d}{A} \\ \max \delta_{c,0,d} &= \frac{|-949,2|}{900} = 1,06 [\text{KN} / \text{cm}^2] \end{aligned}$$

Festigkeitskennwert des Querträgers

$$f_{c,0,k} = 2,65 [\text{KN} / \text{cm}^2]$$

Bemessungswert der Festigkeit

$$f_{c,0,d} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot f_{m,y,k}}{\gamma_m} = \frac{0,9 \cdot 2,65}{1,3} = 1,83 [\text{KN} / \text{cm}^2]$$

Knickbeiwert k_c beträgt:

$$\begin{aligned} k_c &= \min \left\{ \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{\text{rel},c}^2}}; 1 \right\} \\ k_c &= \min \left\{ \frac{1}{0,89 + \sqrt{0,89^2 - 0,85^2}}; 1 \right\} \\ k_c &= 0,87 \end{aligned}$$

mit:

$$\begin{aligned} k &= 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{\text{rel},c} - 0,3) + \lambda_{\text{rel},c}^2] \\ k &= 0,5 \cdot [1 + 0,1 \cdot (0,85 - 0,3) + 0,85^2] \\ k &= 0,296 \end{aligned}$$

und:

$$\beta_c = 0,1$$

und mit dem bezogenen Schlankheitsgrad:

$$\lambda_{rel,c} = \frac{\lambda}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}}$$

$$\lambda_{rel,c} = \frac{53,23}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{2,65}{1050}} = 0,85$$

mit:

$$\lambda = \frac{l_{ef}}{i} = \frac{400}{(0,289 \cdot 26)} = 53,23$$

Nachweise für Stäbe mit planmäßig mittigem Druck

$$\frac{\delta_{c,0,d}}{k_c \cdot f_{c,0,d}} \leq 1,0 = \frac{1,06}{0,87 \cdot 1,84} = \underline{\underline{0,66 < 1,0}}$$

Nachweis: 5-8 Für Stäbe mit planmäßig mittigem Druck

5.5 Bemessung Pos.B005 Zugstreben

Die Zugstreben in der Konstruktion haben alle den gleichen Querschnitt. Dies wurde aus optischen Gründen so gewählt. Die Bemessung der Zugstreben erfolgt für alle Streben mit den Schnittgrößen der am stärksten belasteten Strebe. Als Fachwerkstab erhalten die Stäbe ausschließlich Normalkräfte.

5.5.1 Nachweis der Zugspannung in der Strebe

Die Streben haben einen quadratischen Querschnitt von 30/30 cm² und werden aus Brettschichtholz GL 28h hergestellt. Für den Träger ergeben sich folgende Querschnittswerte:

$$\begin{aligned} \text{Querschnittsfläche:} \quad A &= b \cdot h \\ A &= 30 \cdot 30 = 900 [\text{cm}^2] \end{aligned}$$

Die maximal vorhandene Zugspannung beträgt:

$$\max \delta_{t,0,d} = \frac{F_d}{A}$$

$$\max \delta_{t,0,d} = \frac{965,3}{900} = 1,07 [\text{KN} / \text{cm}^2]$$

Festigkeitskennwert des Querträgers

$$f_{t,0,k} = 1,95 [\text{KN} / \text{cm}^2]$$

Bemessungswert der Festigkeit

$$f_{t,0,d} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot f_{m,y,k}}{\gamma_m} = \frac{0,9 \cdot 1,95}{1,3} = 1,35 \text{ [KN/cm}^2\text{]}$$

Nachweis der Zugspannung

$$\frac{\delta_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} \leq 1,0 = \frac{1,07}{1,35} = \underline{\underline{0,79 < 1,0}}$$

Nachweis: 5-9 Zugspannung

5.6 Bemessung Pos.B006 Untergurt

Der Untergurt wird als Stahlrohr mit einem Durchmesser von 180 mm als Vollquerschnitt hergestellt. Die Stahlgüte beträgt S355. Als Fachwerkstab erhält der ausschließlich Normalkräfte. Die Schnittgrößen sehen wie folgt aus:

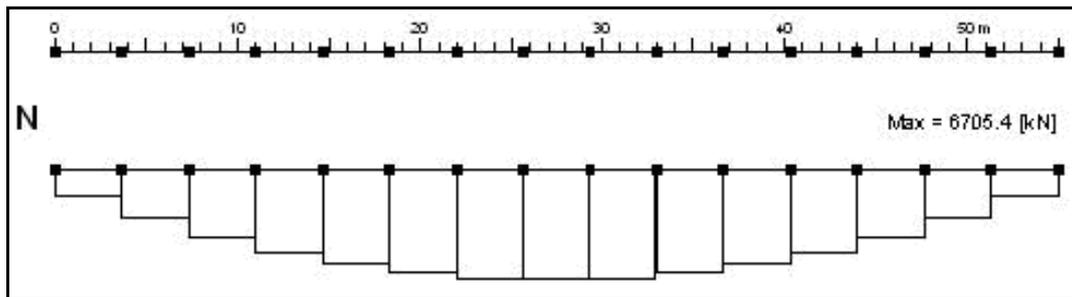


Abb.: 5.5 Normalkraftverlauf

Normalkraft im Untergurt

$$F_d = 6705,4 \text{ [KN]}$$

Streckgrenze des Stahls

$$f_{y,k} = 35,5 \text{ [KN/cm}^2\text{]}$$

$$\delta_{R,d} = \frac{35,5}{1,1} = 32,27 \text{ [KN/cm}^2\text{]}$$

Beanspruchbarkeit des Stahls

$$F_{R,d} = \delta_{R,d} \cdot A$$

$$F_{R,d} = 32,27 \cdot 254,47$$

$$F_{R,d} = 8212,44 \text{ [KN]}$$

5.6.1 Nachweis der Zugspannung

$$\frac{F_d}{F_{R,d}} \leq 1,0 = \frac{6705,4}{8212,44} = \underline{\underline{0,82}} < 1,0$$

Nachweis: 5-10 Zugspannung

6 Bemessung der Anschlüsse

6.1 Bemessung Pos.A001 Anschluss Querträger

Der Querträger wird mit einem Stahlwinkel an den Obergurt angeschlossen. Der Stahlwinkel wird aus Profilstahl hergestellt. Die Winkelprofile werden an beiden Seiten des Querträgers angeordnet. Die Verbindung des Querträgers mit dem Winkelstahl erfolgt über Bolzen. Der Anschluss der Winkel an den Obergurt erfolgt über Sechskantholzschrauben und Dübel besonderer Bauart.

6.1.1 Anschluss Querträger Stahlwinkel

Der Anschluss erfolgt über zwei Stahlwinkel aus Profilstahl, die rechts und links an den Querträger angebracht werden. So entsteht eine zweiseitige Holzverbindung mit außenliegenden Stahlblechen. Die Stahlwinkel und der Querträger werden über Passbolzen zusammengehalten. Die Passbolzen werden durch eine Vertikalkomponente (aus Querkraft) und durch eine Horizontalkomponente (aus Normalkraft) belastet. Für die Berechnung der Passbolzen wird aus den beiden Kräften eine Resultierende gebildet.

Beanspruchung des Anschlusses

$$\begin{aligned}\max V_{E,d} &= 73,8 [KN] \\ \max N_{E,d} &= 47,8 [KN]\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\max F_{E,d} &= \sqrt{\max V_{E,d}^2 + \max N_{E,d}^2} \\ \max F_{E,d} &= \sqrt{73,8^2 + 47,8^2} \\ \max F_{E,d} &= 87,93 [KN]\end{aligned}$$

der Winkel unter der die Resultierende angreift:

$$\alpha = \arctan \frac{\max V_{E,d}}{\max N_{E,d}} = \arctan \frac{73,8}{47,8} = 57,1^\circ$$

Verbindungsmittel:

Passbolzen mit $d=16$ [mm] S 235

Lochleibungsfestigkeit des Holzes

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k$$

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 16) \cdot 430$$

$$f_{h,0,k} = \underline{\underline{29,62 [N/mm^2]}}$$

$$f_{h,57,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$$

$$k_{90} = 1,35 \cdot 0,015 \cdot d$$

$$k_{90} = 1,35 \cdot 0,015 \cdot 16$$

$$k_{90} = 1,59$$

$$f_{h,57,k} = \frac{29,62}{1,59 \cdot \sin^2 57^\circ + \cos^2 57^\circ}$$

$$f_{h,57,k} = \underline{\underline{21,01 [N/mm^2]}}$$

Fließmoment des Stabdübels

$$M_{y,k} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6}$$

$$M_{y,k} = 0,3 \cdot 360 \cdot 16^{2,6}$$

$$M_{y,k} = \underline{\underline{145927 [Nmm]}}$$

Nachweis der Querkraft

Charakteristische Tragfähigkeit des Stabdübels

$$R_k = \sqrt{2} \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,k} \cdot f_{h,0,k} \cdot d}$$

$$R_k = \sqrt{2} \cdot \sqrt{2 \cdot 145927 \cdot 21,01 \cdot 16}$$

$$R_k = \underline{\underline{14006 [N]}} \mapsto \underline{\underline{14,00 [KN]}}$$

Bemessungswert der Tragfähigkeit der Stabdübel:

$$R_d = \frac{k_{\text{mod}} \cdot R_k}{\gamma_m}$$

$$R_d = \frac{0,9 \cdot 14,00}{1,1}$$

$$R_d = \underline{\underline{11,45 [KN] \text{ pro Stabdübel / pro Scherfuge}}}$$

$$R_d = 11,45 \cdot 2$$

$$R_d = \underline{\underline{22,9 [KN] \text{ pro Stabdübel}}}$$

Mindestabstände nach Tabelle 8 DIN 1052 Abs. 12.3

Abstandsrichtung	Kurzzeichen	Abstand
------------------	-------------	---------

parallel zur Faserrichtung	a_1	$(3 + 2 \cdot \cos \alpha) \cdot d$ $(3 + 2 \cdot \cos 57) \cdot 1,6$ <u>$6,6[cm]$</u>
rechtwinklig zur Faserrichtung	a_2	$3 \cdot d$ $3 \cdot 1,6$ <u>$= 4,8[cm]$</u>
beanspruchter Rand	$a_{2,t}$	$3 \cdot d$ $3 \cdot 1,6$ <u>$= 4,8[cm]$</u>
unbeanspruchter Rand	$a_{2,c}$	$3 \cdot d$ $3 \cdot 1,6$ <u>$= 4,80[cm]$</u>
beanspruchtes Hirnholzende	$a_{1,t}$	$7 \cdot d$ $7 \cdot 1,6$ <u>$= 11,2[cm]$</u>
Unbeanspruchtes Hirnholzende	$a_{1,c}$	$7 \cdot d \cdot \sin \alpha$ $7 \cdot 1,6 \cdot \sin 57^\circ$ <u>$= 9,4[cm]$</u>

Tabelle 6-1 Mindestabstände Passbolzen

Passbolzenanzahl untereinander im Querträger:

$$n = \frac{h - a_{2,t} - a_{2,c}}{a_2}$$

$$n = \frac{36 - 4,8 - 4,8}{4,8}$$

$$n = 5,5 \text{ Reihen}$$

gewählt 4 Reihen a' 1 Stabdübel; daher kein n_{ef} erforderlich!

Nachweis der Verbindung:

$$\frac{F_d}{s \cdot R_d} \leq 1,0 = \frac{87,93}{4 \cdot 22,9} = 0,96 < 1,0$$

$s = 4 \text{ Reihen}$

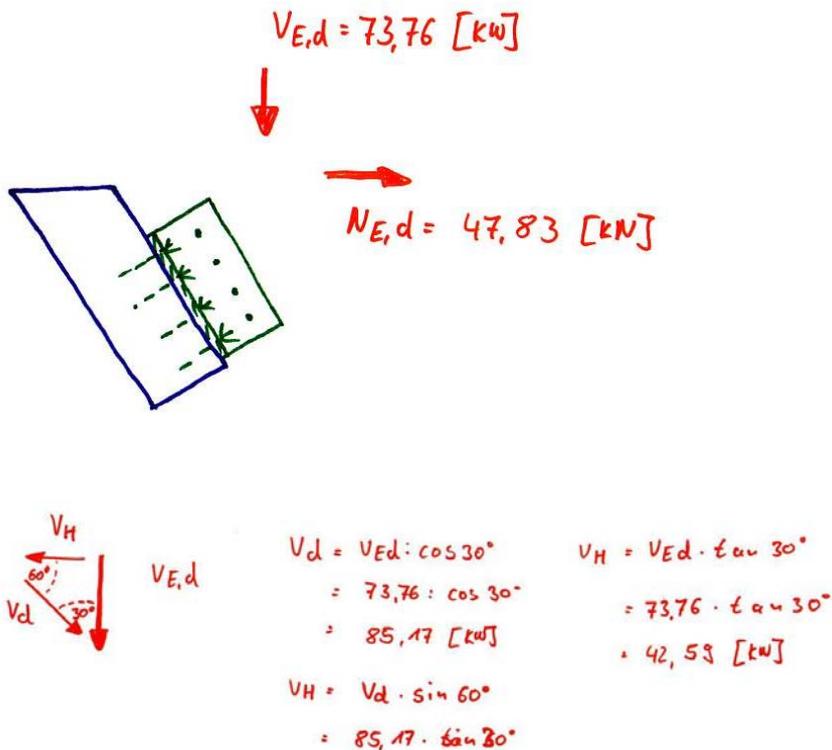
Nachweis: 6-1Passbolzenverbindung

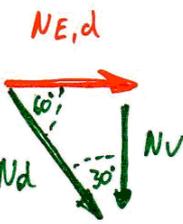
6.1.2 Anschluss Stahlwinkel Obergurt

6.1.2.1 Anschluss mit Holzschrauben

Der Stahlwinkel wird an den Obergurt mit Holzschrauben mit den Abmessungen 12x140 angeschlossen.

Kräftezerlegung:





$$\begin{aligned}
 N_V &= N_{E,d} : \tan 30^\circ \\
 &= 47,83 \cdot \tan 30^\circ \\
 &= 27,61 \text{ [kN]} \\
 N_d &= N_{E,d} : \sin 30^\circ \\
 &= 47,83 \cdot \sin 30^\circ \\
 &= 23,91 \text{ [kN]}
 \end{aligned}$$

Bemessungskraft:

$$F_{diag.} = 85,17 + 95,66 = 180,83 \text{ [kN]}$$

Bemerkung:

Nach DIN 1052 Abschnitt 12.6¹⁸ Absatz 5 müssen für Holzschrauben deren Durchmesser größer als 8 [mm] beträgt, die Nachweise der Tragfähigkeit nach Abschnitt 12.3¹⁹ geführt werden.

Lochleibungsfestigkeit

$$\begin{aligned}
 f_{h,0,k} &= 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k \\
 f_{h,0,k} &= 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 12) \cdot 430 \\
 f_{h,0,k} &= \underline{\underline{31,03 \text{ [N/mm}^2\text{]}}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f_{h,57,k} &= \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} \\
 k_{90} &= 1,35 \cdot 0,015 \cdot d \\
 k_{90} &= 1,35 \cdot 0,015 \cdot 12 \\
 k_{90} &= 1,53 \\
 f_{h,57,k} &= \frac{31,03}{1,53 \cdot \sin 90^2 + \cos 90^2} \\
 f_{h,57,k} &= \underline{\underline{20,28 \text{ [N/mm}^2\text{]}}}
 \end{aligned}$$

Fließmoment des Stabdübels

¹⁸ DIN 1052 Abschnitt 12.6 Verbindungen mit Holzschrauben

¹⁹ DIN 1052 Abschnitt 12.3 Verbindungen mit Stabdübeln und Passbolzen

$$M_{y,k} = 0,15 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6}$$

$$M_{y,k} = 0,15 \cdot 400 \cdot 12^{2,6}$$

$$M_{y,k} = \underline{\underline{38372,72[Nmm]}}$$

Charakteristische Tragfähigkeit des Stabdübels

$$R_k = \sqrt{2} \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,k} \cdot f_{h,0,k} \cdot d}$$

$$R_k = \sqrt{2} \cdot \sqrt{2 \cdot 38372 \cdot 20,28 \cdot 12}$$

$$R_k = \underline{\underline{8198,5[N]}} \mapsto \underline{\underline{8,20[KN]}}$$

Nach DIN 1052²⁰ Abschnitt 12.3 Absatz 8 darf der charakteristische Wert der Tragfähigkeit um einen Anteil ΔR_k erhöht werden.

$$\Delta R_k = \min\{0,25 \cdot R_k; 0,25 \cdot R_{ax,k}\}$$

$$R_{ax,k} = \left\{ \frac{f_{1,k} \cdot d \cdot l_{ef}}{\sin^2 \alpha + \frac{4}{3} \cos^2 \alpha}; f_{2,k} \cdot d_k^2 \right\}$$

Der zweite Teil der Formel für $R_{ax,k}$ braucht nicht berücksichtigt werden, da dieser den Kopfdurchziehewiderstand des Nagels durch das Material berücksichtigt. Da die Schraube aber durch eine Stahlplatte geschraubt wird kann es nicht zu einem durchziehen des Schraubenkopfes kommen. Die Schrauben würde bei dieser Verbindung auf herausziehen versagen.

$$R_{ax,k} = \frac{f_{1,k} \cdot d \cdot l_{ef}}{\sin^2 \alpha + \frac{4}{3} \cos^2 \alpha}$$

$$f_{1,k} = 60 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2$$

$$f_{1,k} = 60 \cdot 10^{-6} \cdot 430^2$$

$$f_{1,k} = 11,09$$

$$R_{ax,k} = \frac{11,09 \cdot 12 \cdot 100}{\sin^2 90 + \frac{4}{3} \cos^2 90}$$

$$R_{ax,k} = 13312,8[N]$$

$$R_{ax,k} = 13,31[KN]$$

²⁰ DIN 1052 Abschnitt 12.3 Verbindungen mit Stabdübeln und Passbolzen

Daraus ergibt sich eine Erhöhung der Tragfähigkeit um:

$$\Delta R_k = \{0,25 \cdot R_{ax,k} = 0,25 \cdot 13,31 = 3,33 [KN]\}$$

$$\Delta R_k = \{0,25 \cdot R_k = 0,25 \cdot 5,80 = 1,45 [KN]\}$$

Bemessungswert der Tragfähigkeit der Stabdübel:

$$R_d = \frac{k_{\text{mod}} \cdot (R_k + \Delta R_k)}{\gamma_m}$$

$$R_d = \frac{0,9 \cdot (5,80 + 1,45)}{1,1}$$

$$R_d = \underline{\underline{5,94 [KN] \text{ pro Holzschraube}}}$$

Erforderliche Anzahl an Verbindungsmittel:

$$n_{\text{erf.}} = \frac{F_{E,d}}{R_d} = \frac{180,83}{5,94} = 30,44 \approx 32 \text{ Schrauben}$$

Das bedeutet, dass an jeder Seite des Querträgers 16 Sechskantholzschrauben 12x140 eingeschraubt werden müssten. Das bedeutet, dass für einen Querträger insgesamt $4 \cdot 16 = 64$ Schrauben benötigt werden. Für die gesamte Brücke bedeutet das, dass bei 33 Querträgern 2112 Schrauben eingedreht werden müssten. Hier ist es also sinnvoll den Anschluss zu optimieren, da das Einschrauben von über 2000 Schrauben sehr arbeitsintensiv und damit sehr kostenintensiv ist. Eine Optimierung des Anschlusses könnte durch die zusätzliche Verwendung von Dübeln besonderer Bauart erfolgen. Die Materialkosten würden gleich bleiben, – die Mehrkosten der Dübel würden durch die Einsparung von Holzschrauben kompensiert – die Lohnkosten würden aber gesenkt. Weniger Verbindungsmittel bedeutet weniger Zeitaufwand und damit weniger Kosten.

Der Anschluss wird im Folgenden alternativ nochmals mit Holzschrauben 12x140 und Scheibendübeln vom Typ C2 berechnet. Die DIN 1052 stellt im Abschnitt 13.3.1²¹ Absatz 8 die Forderung das Verbindungen mit Dübeln besonderer Bauart durch Bolzen zusammengehalten werden müssen. Für einseitige Scheibendübel lässt die Norm im gleichen Abschnitt die Verwendung von Holzschrauben zu, wenn der Verschiebungsmodul nach Tabelle G.1 um 30% abgemindert wird.

6.1.2.2 Anschluss mit Scheibendübeln und Holzschrauben

Verbindungsmittel:

- Holzschrauben 12x140
- Scheibendübel Typ C2 Durchmesser 95 [mm]

²¹ DIN 1052 Abschnitt 13.3.1 Verbindungen mit Dübeln besonderer Bauart - Allgemeines

Bemessungswert der Tragfähigkeit der Verbindung:

$$R_{j,\alpha,d} = R_{c,d} + R_{b,\alpha,d}$$

mit: $R_{c,d}$ = Bemessungswert der Dübeltragfähigkeit

$R_{b,\alpha,d}$ = Bemessungswert der Tragfähigkeit der Holzschraube

Charakteristische Dübeltragfähigkeit

$$R_{c,k} = 18 \cdot d_c^{1,5}$$

$$R_{c,k} = 18 \cdot 95^{1,5}$$

$$R_{c,k} = 16667 [N]$$

$$R_{c,k} = 16,7 [KN]$$

Charakteristisch Holzschraubentragfähigkeit:

Berechnung der Tragfähigkeit siehe [6.1.2.1 Anschluss mit Holzschrauben]

$$R_{b,\alpha,k} = R_k + \Delta R_k$$

$$R_{b,\alpha,k} = 5,80 + 1,45$$

$$R_{b,\alpha,k} = 7,25 [KN]$$

Charakteristische Verbindungstragfähigkeit:

$$R_{j,\alpha,k} = R_{c,k} + R_{b,\alpha,k}$$

$$R_{j,\alpha,k} = 16,7 + 7,25$$

$$R_{j,\alpha,k} = 23,95 [KN]$$

Bemessungswert der Verbindungstragfähigkeit

$$R_{j,\alpha,d} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot R_{j,\alpha,k}}{\gamma_m}$$

$$R_{j,\alpha,d} = \frac{0,9 \cdot 23,95}{1,1}$$

$$R_{j,\alpha,d} = 19,60 [KN]$$

Erforderliche Anzahl an Verbindungsmittel:

$$n_{\text{erf.}} = \frac{F_{E,d}}{R_{j,\alpha,d}} = \frac{180,83}{19,60} = 9,22 \approx 10 \text{ Verbindungseinheiten}$$

Verbindungsmittelabstände:

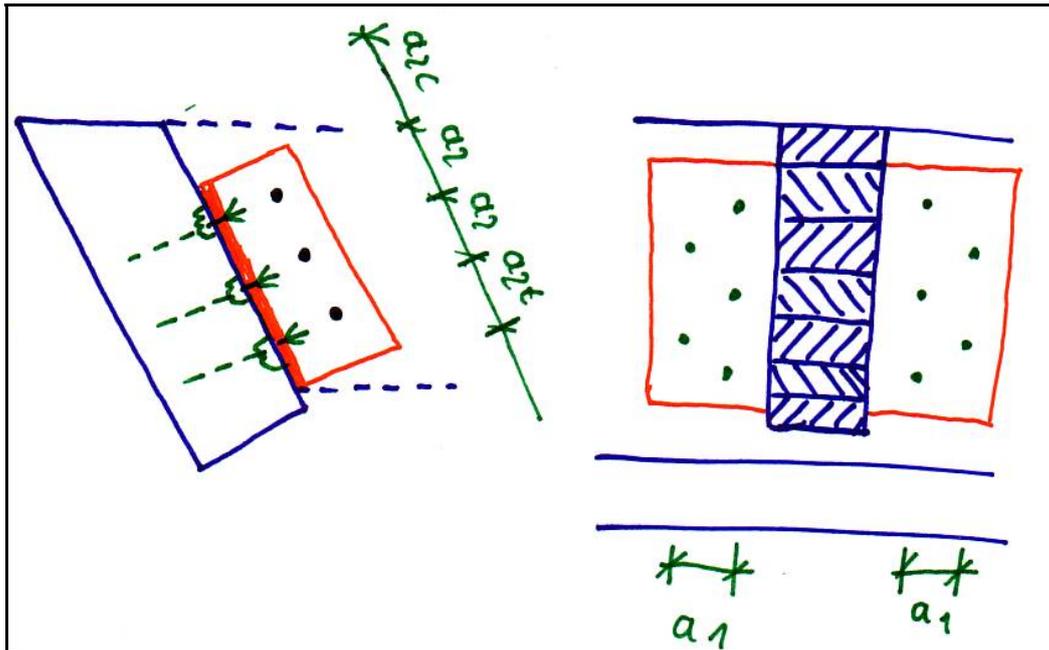


Abb.: 6.1 Systemskizze Verbindungsmittelabstände

Mindestabstände der Dübel besonderer Bauart

die Mindestabstände werden in der Tabelle 18 des Abschnitt 13.3.2 der DIN 1052²² geregelt.

Abstandsrichtung	Kurzzeichen	Abstand
parallel zur Faserrichtung	a_1	$(1,2 + 0,8 \cdot \cos \alpha) \cdot d_c$ $(1,2 + 0,8 \cdot \cos 90) \cdot 9,5$ $\underline{\underline{11,4[cm]}}$
rechtwinklig zur Faserrichtung	a_2	$1,2 \cdot d_c$ $1,2 \cdot 9,5$ $\underline{\underline{= 11,4[cm]}}$
beanspruchter Rand	$a_{2,t}$	$(0,6 + 0,2 \cdot \sin \alpha) \cdot d_c$ $(0,6 + 0,2 \cdot \sin 90) \cdot 9,5$ $\underline{\underline{= 7,6[cm]}}$
unbeanspruchter Rand	$a_{2,c}$	$0,6 \cdot d_c$ $0,6 \cdot 9,5$ $\underline{\underline{= 5,7[cm]}}$

²² DIN 1052 Abschnitt 13.2 Verbindung mit Rind- und Scheibendübeln

beanspruchtes Hirnholzende	$a_{1,t}$	$2 \cdot d_c$ $2 \cdot 9,5$ $= \underline{\underline{19[cm]}}$
Unbeanspruchtes Hirnholzende	$a_{1,c}$	$(0,4 + 1,6 \cdot \sin \alpha) \cdot d_c$ $(0,4 + 1,6 \cdot \sin 90) \cdot 9,5$ $= \underline{\underline{19[cm]}}$

Tabelle 6-2 Mindestabstände Dübel besonderer Bauart

6.2 Bemessung Pos.A002 Obergurtstoß

Aus Transportgründen kann der Obergurt nicht in einem Stück zur Baustelle gebracht werden. Die Baustellensituation lässt das Anliefern eines knapp 60 Meter langen Bauteils nicht zu. Aus diesem Grund wird der Träger in drei Teilstücke zerlegt. Der Obergurt wird dabei in zwei äußere Teilstücke von je 12 Metern und ein Mittelstück mit 35 Metern Länge. Die Trägerstöße wurden bewusst an diese Stellen gelegt, da hier die geringsten Schnittgrößen wirken. Da der Obergurt symmetrisch gestoßen wurde, gilt die folgende Stoßbemessung für beide Trägerstöße. Der Anschluss muss biegesteif ausgeführt werden, da an der Teilungsstelle Normal- und Querkräfte sowie Momente übertragen werden müssen.

6.2.1 Anschluss Obergurtstoß

Der Trägerstoß wird mit zwei außen liegenden Stahlblechen ausgeführt. Das Stahlblech hat eine Dicke von $t=15$ [mm]. Als Verbindungsmittel werden Passbolzen M 20 und Dübel besonderer Bauart vom Typ C2 mit einem Durchmesser von 95 [mm] verwendet.

Schnittkräfte am Trägerstoß:

$$\text{Normalkraft} \quad N_{E,d} = 14,95 \text{ [kN]}$$

$$\text{Querkraft} \quad V_{E,d} = 45,60 \text{ [kN]}$$

$$\text{Biegemoment} \quad M_{E,d} = 48,2 \text{ [kNm]}$$

Kenngrößen Verbindungsmittel:

Die Bemessung für Dübel besonderer Bauart werden in der DIN 1052²³ Abschnitt 13.3 geregelt. Die geometrischen Daten der Scheibendübel vom Typ C2 werden in der DIN

²³ DIN 1052 Abschnitt 13.3 Verbindung mit Dübeln besonderer Bauart

1052 Anhang G im Abschnitt G.4.5²⁴ angegeben. Im vorgenannten Abschnitt findet sich folgende Tabelle für die Geometriedaten des C2 Dübels:

Maße in Millimeter

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Durchmesser	Höhe	Einpress-tiefe	Dicke ^a	Durchmesser des Mittel-loches	Flansch-höhe	Anzahl der äußeren Zähne	Anzahl der inneren Zähne	Durchmesser des inneren Zahn-kreises
	d_c	h_c	h_e	t	d_1	h_3			d_2
2	50	6,6	5,6	1,0	10,4; 12,4; 16,4; 20,4	4	12	–	–
3	62	8,7	7,5	1,2	12,4; 16,4; 20,4	4	12	–	–
4	75	10,4	9,2	1,25	12,4; 16,4; 20,4; 22,4; 24,4	4	12	–	–
5	95	12,7	11,4	1,35	16,4; 20,4; 22,4; 24,4	4	12	6	49
6	117	16,0	14,5	1,5	16,4; 20,4; 22,4; 24,4	4	12	6	58
Abmaße: Dicke t nach DIN EN 10131:1992-01; Durchmesser d_1 +0,3/-0,0; übrige Maße $\pm 0,8$									
^a Dicke ohne Zinküberzug.									

Tabelle 6-3 Maße der Scheibendübel mit zähnen des Typs C2

Maße der Scheibendübel mit zähnen des Typs C2

Die Geometrie des Scheibendübels sieht wie folgt aus:

²⁴ DIN 1052 Anhang G Abschnitt G.4.5 Scheibendübel mit Zähnen des Typs C2

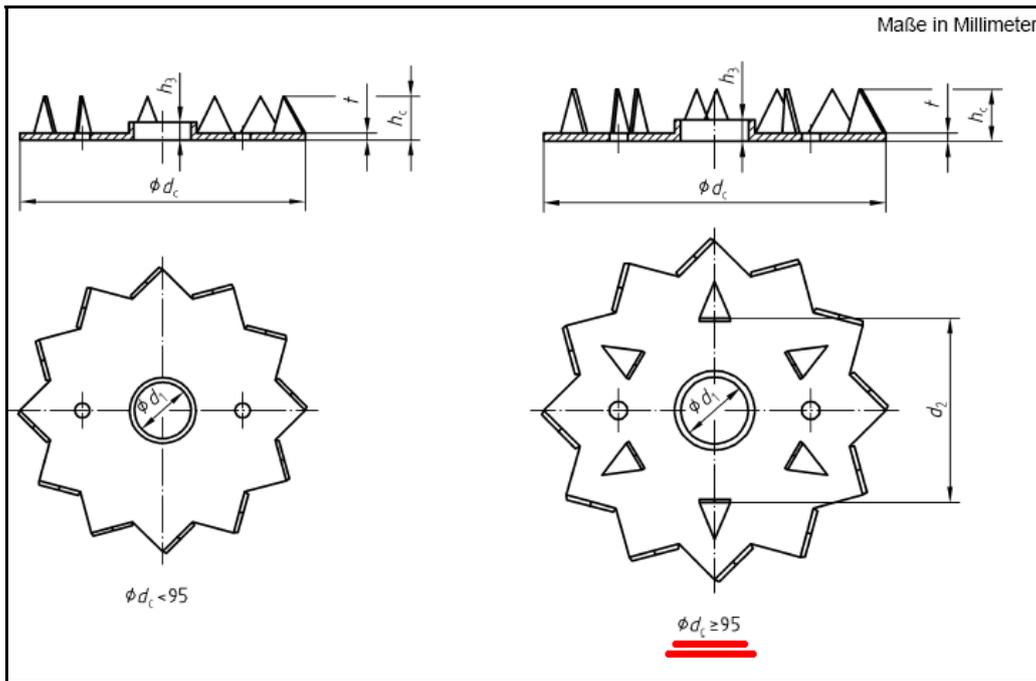


Abb.: 6.2 Scheibendübel mit Zähnen vom Typ C2

Systemskizze des Anschlusses:

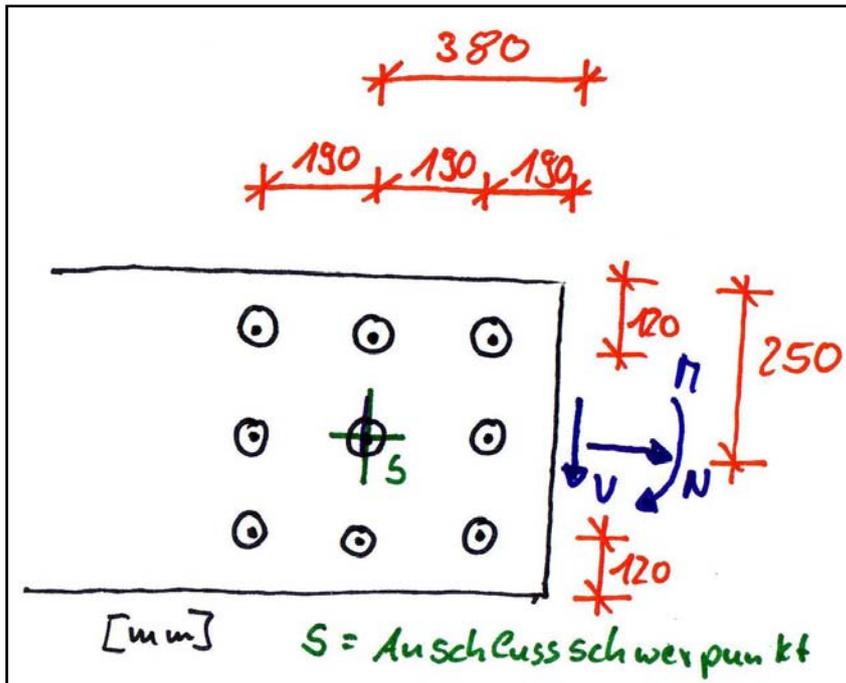


Abb.: 6.3 Biegesteifer Anschluss

Moment im Anschluss:

$$M_{E,d, res.} = M_{E,d} + V_{E,d} \cdot s$$

$$M_{E,d, res.} = 48,2 + 45,6 \cdot 0,38$$

$$M_{E,d, res.} = 65,53 [KNm]$$

$$M_{E,d, res.} = 6553 [KNcm]$$

Dübelkraft im Obergurt aus Querkraft:

gewählte Verbindungseinheiten $n = 9$ Stück pro Trägerseite

$$\Delta D_d^V = \frac{V_{E,d}}{n} = \frac{45,6}{9} = 5,07 [KN]$$

Dübelkraft im Obergurt aus Normalkraft:

$$\Delta D_d^N = \frac{N_{E,d}}{n} = \frac{14,95}{9} = 1,66 [KN]$$

Polares Trägheitsmoment:

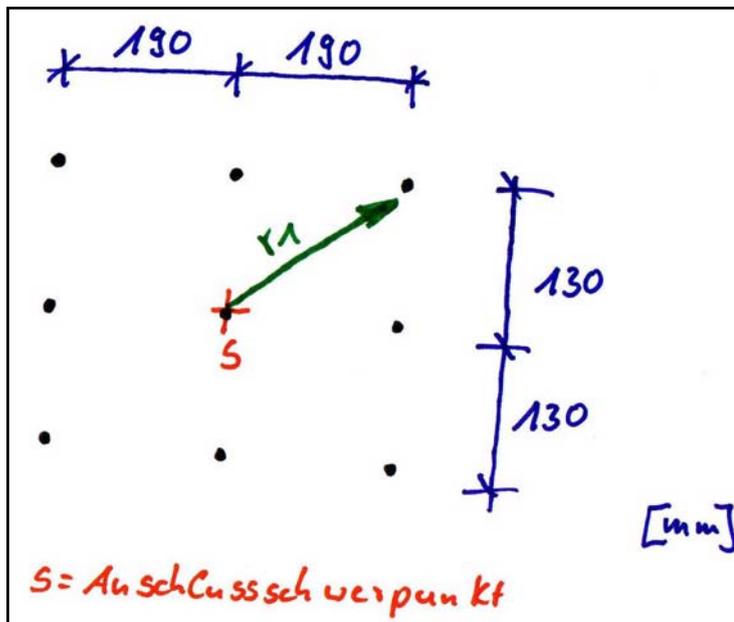


Abb.: 6.4 Polares Trägheitsmoment

$$r_1 = \sqrt{x^2 + y^2}$$

$$r_1 = \sqrt{13^2 + 19^2}$$

$$r_1 = 23 [cm]$$

$$p = \sum x_i^2 + \sum y_i^2$$

$$p = 6 \cdot 19^2 + 6 \cdot 13^2$$

$$p = 3180 [cm^2]$$

$$\max \Delta D_d^M = \frac{M_{E,d,res.}}{p} = \frac{6553}{3180} = 47,39 [KN]$$

Resultierende Dübelkraft:

$$\alpha = \arctan \frac{y}{x} = \arctan \frac{19}{13} = 55,62^\circ$$

$$\Delta D_{90,d} = \max \Delta D_d^M \cdot \sin \alpha$$

$$\Delta D_{90,d} = 47,39 \cdot \sin 55,62$$

$$\Delta D_{90,d} = 39,11 [KN]$$

$$\Delta D_{0,d} = \max \Delta D_d^M \cdot \cos \alpha$$

$$\Delta D_{0,d} = 47,39 \cdot \cos 55,62$$

$$\Delta D_{0,d} = 26,55 [KN]$$

$$D_{90,d} = 39,11 + 5,07$$

$$D_{90,d} = 44,18 [KN]$$

$$D_{0,d} = 26,55 + 1,66$$

$$D_{0,d} = 28,21 [KN]$$

$$\beta = \arctan \frac{D_{90,d}}{D_{0,d}} = \frac{44,18}{28,21} = 57,44^\circ$$

$$D_d = \sqrt{D_{90,d}^2 + D_{0,d}^2}$$

$$D_d = \sqrt{44,18^2 + 28,21^2}$$

$$D_d = 52,42 [KN]$$

Bemessungswert der Passbolzentragfähigkeit:

Lochleibungsfestigkeit des Holzes

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k$$

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 20) \cdot 430$$

$$f_{h,0,k} = \underline{\underline{28,21 [N/mm^2]}}$$

$$f_{h,57,44^\circ,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin^2 \beta + \cos^2 \beta}$$

mit

$$k_c = 1,35 + 0,015 \cdot d$$

$$k_c = 1,35 + 0,015 \cdot 20$$

$$k_c = 1,65$$

$$f_{h,57,44^\circ,k} = \frac{28,21}{1,65 \cdot \sin^2 57,44 + \cos^2 57,44}$$

$$f_{h,57,44^\circ,k} = 19,29 [N/mm^2]$$

Fließmoment des Stabdübels

$$M_{y,k} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6}$$

$$M_{y,k} = 0,3 \cdot 360 \cdot 20^{2,6}$$

$$M_{y,k} = \underline{\underline{260677 [Nmm]}}$$

Charakteristische Tragfähigkeit des Stabdübels

$$R_k = \sqrt{2} \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,k} \cdot f_{h,0,k} \cdot d}$$

$$R_k = \sqrt{2} \cdot \sqrt{2 \cdot 260677 \cdot 19,29 \cdot 20}$$

$$R_k = \underline{\underline{20057 [N]}} \mapsto \underline{\underline{20,06 [KN]}}$$

Bemessungswert der Dübeltragfähigkeit:

- Scheibendübel Typ C2 Durchmesser 95 [mm]

Bemessungswert der Tragfähigkeit der Verbindung:

$$R_{j,\alpha,d} = R_{c,d} + R_{b,\alpha,d}$$

mit: $R_{c,d}$ = Bemessungswert der Dübeltragfähigkeit

$R_{b,\alpha,d}$ = Bemessungswert der Tragfähigkeit der Holzschraube

Charakteristische Dübeltragfähigkeit

$$R_{c,k} = 18 \cdot d_c^{1,5}$$

$$R_{c,k} = 18 \cdot 95^{1,5}$$

$$R_{c,k} = 16667 [N]$$

$$R_{c,k} = 16,7 [KN]$$

Charakteristische Verbindungstragfähigkeit:

$$R_{j,\alpha,k} = R_{c,k} + R_{b,\alpha,k}$$

$$R_{j,\alpha,k} = 16,7 + 20,06$$

$$R_{j,\alpha,k} = 36,76 [KN]$$

Bemessungswert der Verbindungstragfähigkeit

$$R_{j,\alpha,d} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot R_{j,\alpha,k}}{\gamma_m}$$

$$R_{j,\alpha,d} = \frac{0,9 \cdot 36,97}{1,1}$$

$$R_{j,\alpha,d} = 30,08 [\text{KN}]$$

Wirksame Verbindungsmittelanzahl:

Nach DIN 1052²⁵ Abschnitt 12.3 Absatz 11, darf bei biegesteifen Verbindungen mit mehreren Passbolzenkreisen die wirksame Anzahl mit $n_{ef} = 0,85 \cdot n$ ermittelt werden.

Nachweis einer Verbindungseinheit:

$$\frac{D_d}{(x \cdot R_{j,\alpha,d}) \cdot 0,85} \leq 1,0 = \frac{52,42}{(2 \cdot 30,08) \cdot 0,85} 1,02 \approx 1,0$$

Nachweis: 6-2 Biegesteifer Obergurtstoß

Mindestabstände der Dübel besonderer Bauart

die Mindestabstände werden in der Tabelle 18 des Abschnitt 13.3.2 der DIN 1052²⁶ geregelt.

Abstandsrichtung	Kurzzeichen	Abstand
parallel zur Faserrichtung	a_1	$(1,2 + 0,8 \cdot \cos \alpha) \cdot d_c$ $(1,2 + 0,8 \cdot \cos 57,4) \cdot 9,5$ <u>$15,5 [\text{cm}]$</u>
rechtwinklig zur Faserrichtung	a_2	$1,2 \cdot d_c$ $1,2 \cdot 9,5$ <u>$= 11,4 [\text{cm}]$</u>
beanspruchter Rand	$a_{2,t}$	$(0,6 + 0,2 \cdot \sin \alpha) \cdot d_c$ $(0,6 + 0,2 \cdot \sin 57,4) \cdot 9,5$ <u>$= 7,3 [\text{cm}]$</u>
unbeanspruchter Rand	$a_{2,c}$	$0,6 \cdot d_c$ $0,6 \cdot 9,5$ <u>$= 5,7 [\text{cm}]$</u>

²⁵ DIN 1052 Abschnitt 12.3 Verbindungen mit Stabdübeln und Passbolzen

²⁶ DIN 1052 Abschnitt 13.2 Verbindung mit Rind- und Scheibendübeln

beanspruchtes Hirnholzende	$a_{1,t}$	$2 \cdot d_c$ $2 \cdot 9,5$ $= \underline{\underline{19[cm]}}$
Unbeanspruchtes Hirnholzende	$a_{1,c}$	$(0,4 + 1,6 \cdot \sin \alpha) \cdot d_c$ $(0,4 + 1,6 \cdot \sin 57,4) \cdot 9,5$ $= \underline{\underline{16,6[cm]}}$

Tabelle 6-4 Mindestabstände Dübel besonderer Bauart

6.3 Bemessung Pos.A003 Anschluss Druckstrebe

Um eine gewisse Optimierung der Anschlüsse zu erreichen, wurde die Brücke in 6 Sektoren eingeteilt. In jedem dieser Bereiche wurde die Strebe mit der größten Normalkraft ermittelt und der Anschluss für diese Kraft bemessen. Die andern Streben dieses Bereiches wurden mit dem gleichen Anschluss versehen. Da die Brücke symmetrisch eingeteilt wurde, sind die drei Bereiche der linken Seite im Bezug auf Anschlusskraft und Anschlussausbildung identisch mit dem rechten Bereich. Die Verbindung erfolgt mittels Stabdübeln. Die Grundlage der Bemessung bildet der Abschnitt 12.3 der DIN 1052²⁷. Die Mindestabstände werden in der Tabelle 8 der DIN 1052 geregelt. Für die Druckstrebe braucht im Anschlussbereich nicht die Tragfähigkeit mit den Verbindungsmittelfehlflächen nachgewiesen werden. Die Druckkraft würde über die Verbindungsmittel mit übertragen.

Die Detailpunkte des Anschlusses bzw. die Ausführungszeichnungen befinden sich im Anhang dieser Berechnung.

6.3.1 Bemessung im Bereich 1 bzw. 6

Der Anschluss der Strebe an den Untergurt bzw. Obergurt erfolgt durch ein eingeschlitztes Stahlblech und Stabdübeln. Die Stabdübel werden ausschließlich zur Verbindung der Strebe mit dem Stahlblech eingesetzt. Die Verbindung zum Obergurt erfolgt durch eine Nagelverbindung mit Sondernägeln. Der Anschluss an den Untergurt erfolgt durch eine Schweißverbindung, da der Untergurt aus Stahl besteht.

6.3.1.1 Stabdübelverbindung

Maximale anzuschließende Normalkraft

$$F_d = -949,2[KN]$$

²⁷ DIN 1052 Abschnitt 12.3 Verbindungen mit Stabdübeln und Passbolzen

Verwendete Verbindungsmittel

Stabdübel $d=8[\text{mm}]$ der Stahlgüte S235 $f_{u,k} = 360[\text{N}/\text{mm}^2]$

Stahlblech $t=12[\text{mm}]$ der Stahlgüte S235

Lochleibungsfestigkeit des Holzes

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k$$

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 8) \cdot 410$$

$$f_{h,0,k} = \underline{\underline{30,94[\text{N}/\text{mm}^2]}}$$

Fließmoment des Stabdübels

$$M_{y,k} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6}$$

$$M_{y,k} = 0,3 \cdot 360 \cdot 8^{2,6}$$

$$M_{y,k} = \underline{\underline{24069[\text{Nmm}]}}$$

Charakteristische Tragfähigkeit des Stabdübels

$$R_k = \sqrt{2} \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,k} \cdot f_{h,0,k} \cdot d}$$

$$R_k = \sqrt{2} \cdot \sqrt{2 \cdot 24069 \cdot 30,94 \cdot 8}$$

$$R_k = \underline{\underline{4881[\text{N}]}} \mapsto \underline{\underline{4,88[\text{KN}]}}$$

Mindestholzdicken

$$t_{req} = 1,15 \cdot 4 \cdot \sqrt{\frac{M_{y,k}}{f_{h,0,k} \cdot d}}$$

$$t_{req} = 1,15 \cdot 4 \cdot \sqrt{\frac{24069}{30,94 \cdot 8}}$$

$$t_{req} = \underline{\underline{45,4[\text{mm}]}}$$

Die Mindestholzdicke beträgt 4,5 [cm] und ist somit kleiner als die vorhandene Holzdicke von 14,4 [cm]. Daher ist eine Abminderung der Tragfähigkeit der Stabdübelverbindung nicht notwendig.

Bemessungswert der Tragfähigkeit der Stabdübel:

$$R_d = \frac{k_{\text{mod}} \cdot R_k}{\gamma_m}$$

$$R_d = \frac{0,9 \cdot 4,88}{1,1}$$

$$R_d = 3,99 \text{ [KN]} \underline{\underline{\text{pro Stabdübel} / \text{pro Scherfuge}}}$$

$$R_d = 3,99 \cdot 2$$

$$R_d = 7,98 \text{ [KN]} \underline{\underline{\text{pro Stabdübel}}}$$

Wirksame Anzahl von Stabdübeln

Die Strebenbreite beträgt 30 cm. Bei einem Stabdübelabstand von 3 d (2,4 cm) rechtwinklig zur Faserrichtung bzw. vom unbeanspruchten Rand können zehn Stabdübelreihen nebeneinander angeordnet werden. Durch die Verjüngung der Streben an den Enden können acht Reihen mit 25 und zwei Reihen mit 13 angeschlossen werden. Um die Kraft von 949,2 [KN] anzuschließen stehen also 226 Stabdübel zur Verfügung.

$$n_{ef,1} = \min \left\{ n; n^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{10 \cdot d}} \right\}$$

$$n_{ef,1} = \min \left\{ 25; 25^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{24}{10 \cdot 8}} \right\}$$

$$n_{ef,1} = 13,41$$

$$n_{ef,2} = \min \left\{ n; n^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{10 \cdot d}} \right\}$$

$$n_{ef,2} = \min \left\{ 13; 13^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{24}{10 \cdot 8}} \right\}$$

$$n_{ef,2} = 7,45$$

Gesamtanzahl der wirksamen Stabdübel:

$$n_{ges.} = n_{ef,1} \cdot r_1 + n_{ef,2} \cdot r_2$$

mit:

$$r_1 = 8 \text{ Reihen}$$

$$r_2 = 2 \text{ Reihen}$$

$$n_{ges.} = 13,41 \cdot 8 + 7,45 \cdot 2$$

$$n_{ges.} = 122,2$$

Nachweis Verbindungstragfähigkeit

$$\frac{F_d}{n_{ges} \cdot R_d} \leq 1,0 = \frac{|-949,2|}{122,2 \cdot 7,98} = \underline{\underline{0,97 < 1,0}}$$

Nachweis: 6-3 Verbindungstragfähigkeit

Verbindungsmittelabstände:

Mindestabstände nach Tabelle 8 DIN 1052 Abs. 12.3

Abstandsrichtung	Kurzzeichen	Abstand
parallel zur Faserrichtung	a_1	$(3 + 2 \cdot \cos \alpha) \cdot d$ $(3 + 2 \cdot \cos 0) \cdot 0,8$ $\underline{\underline{4,0[cm]}}$
rechtwinklig zur Faserrichtung	a_2	$3 \cdot d$ $3 \cdot 0,8$ $\underline{\underline{= 2,4[cm]}}$
beanspruchter Rand	$a_{2,t}$	$3 \cdot d$ $3 \cdot 0,8$ $\underline{\underline{= 2,4[cm]}}$
unbeanspruchter Rand	$a_{2,c}$	$3 \cdot d$ $3 \cdot 0,8$ $\underline{\underline{= 2,4[cm]}}$
beanspruchtes Hirnholzende	$a_{1,t}$	$7 \cdot d$ $7 \cdot 0,8$ $\underline{\underline{= 5,6[cm]}}$
Unbeanspruchtes Hirnholzende	$a_{1,c}$	$7 \cdot d \cdot \sin \alpha$ $7 \cdot 0,8 \cdot \sin 0^\circ$ $\underline{\underline{= 0[cm]}}$ <i>bzw.</i> $3 \cdot d$ $3 \cdot 0,8$ $\underline{\underline{= 2,4[cm]}}$

Tabelle 6-5 Mindestabstände Passbolzen

6.3.1.2 Nagelverbindung

Der Anschluss der Strebe erfolgt über ein Blech, das mit Sondernägeln der Tragfähigkeitsklasse 3C angeschlossen wird. Hierzu werden Nägel mit den Abmessungen 6,0x60 verwendet. Die Strebe bzw. die Strebenkraft greift unter einem Winkel von 60° an. Für die Bemessung des Anschlusses wird die Kraft in eine horizontale und vertikale Komponente zerlegt. Der Horizontalanteil beansprucht die Nägel auf abscheren. Der Vertikalanteil wird über Kontaktpressung in den Obergurt übertragen. Für die Verbindung müssen zum einen die Nägel auf abscheren nachgewiesen werden und zum anderen muss der Obergurt auf Querdruckbeanspruchung nachgewiesen werden.

Zerlegung der Strebenkraft:

$$\begin{aligned}\max N &= 949,2 [KN] \\ F_{senk,d} &= 949,2 \cdot \cos 30^\circ = 822 [KN] \\ F_{para,d} &= 965,3 \cdot \sin 30^\circ = 475 [KN]\end{aligned}$$

Lochleibungsfestigkeit des Holzes

$$\begin{aligned}f_{h,0,k} &= 0,082 \cdot \rho_k \cdot d^{-0,3} \\ f_{h,0,k} &= 0,082 \cdot 430 \cdot 6^{-0,3} \\ f_{h,0,k} &= \underline{\underline{20,59 [N/mm^2]}}\end{aligned}$$

Fließmoment des Sondernagels

$$\begin{aligned}M_{y,k} &= 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6} \\ M_{y,k} &= 0,3 \cdot 600 \cdot 6^{2,6} \\ M_{y,k} &= \underline{\underline{18987 [Nmm]}}\end{aligned}$$

Charakteristische Tragfähigkeit des Sondernagels

$$\begin{aligned}R_k &= A \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,k} \cdot f_{h,0,k} \cdot d} \\ R_k &= 1,4 \cdot \sqrt{2 \cdot 18987 \cdot 20,59 \cdot 6} \\ R_k &= \underline{\underline{3032,35 [N]}} \mapsto \underline{\underline{3,0 [KN]}}\end{aligned}$$

Bemessungswert der Tragfähigkeit des Sondernagels

$$\begin{aligned}R_d &= \frac{k_{mod} \cdot R_k}{\gamma_m} \\ R_d &= \frac{0,9 \cdot 3,0}{1,1} \\ R_d &= \underline{\underline{2,48 [KN]}}\end{aligned}$$

Anzahl der erforderlichen Nägel

$$n = \frac{F_{senk,d}}{R_d}$$

$$n = \frac{475}{2,48} = 192$$

gewählt 200

Nachweis der Verbindungstragfähigkeit

$$\frac{F_{senk,d}}{n \cdot R_d} \leq 1,0 = \frac{475}{200 \cdot 2,48} = 0,96 < 1,0$$

Nachweis: 6-4 Nageltragfähigkeit

Mindestabstände der Nagelverbindung

die Mindestabstände werden in der Tabelle 10 des Abschnitt 12.5 der DIN 1052²⁸ geregelt.

Abstandsrichtung	Kurzzeichen	Abstand
parallel zur Faserrichtung	a_1	$(7 + 8 \cdot \cos \alpha) \cdot d$ $(7 + 8 \cdot \cos 90) \cdot 0,6$ $\underline{\underline{4,20[cm]}}$
rechtwinklig zur Faserrichtung	a_2	$7 \cdot d$ $7 \cdot 0,6$ $\underline{\underline{= 4,20[cm]}}$
beanspruchter Rand	$a_{2,t}$	$(7 + 5 \cdot \sin \alpha) \cdot d$ $(7 + 5 \cdot \sin 90) \cdot 0,6$ $\underline{\underline{= 5,40[cm]}}$
unbeanspruchter Rand	$a_{2,c}$	$7 \cdot d$ $7 \cdot 0,6$ $\underline{\underline{= 4,20[cm]}}$

Tabelle 6-6 Mindestabstände Nägel

²⁸ DIN 1052 Abschnitt 12.5 Tabelle 10 Mindestabstände von Nägeln

Der Obergurt hat eine Breite von 36 [cm]. Das Stahlblech steht an den Seiten um 10 [mm] zurück. In den Obergurt können folgende Anzahl von Nagelreihen eingebracht werden:

$$n = \frac{(b - 2 \cdot a_{2,c})}{a_2}$$

$$n = \frac{(36 - 2 \cdot 4,2)}{4,2}$$

$$n = 6,57 \rightarrow 6,0$$

In den Hauptträger können 6 Reihen Sondernägel eingebaut werden. Damit ergibt sich für eine Nagelreihe folgende Anzahl von Nägeln:

$$n = \frac{200}{6}$$

$$n = 33,3 \rightarrow 34,0$$

Daraus folgt eine Anschlusslänge von:

$$l = n \cdot a_1$$

$$l = 34 \cdot 4,20$$

$$l = 142,8 [cm]$$

Beim Druckstrebenanschluss wird für die Anschlussbemessung nur der Horizontalkraftanteil der Strebenkraft für die Verbindungsmittel berücksichtigt. Die senkrechte Kraftkomponente wird über Kontaktpressung übertragen. Bei der Zugstrebe wird auch die senkrechte Kraftkomponente über die Verbindungsmittel abgetragen. Deshalb ist bei der Zugstrebe die Anzahl der Verbindungsmittel höher [siehe auch]. Daraus resultiert eine sehr große Anschlusslänge von 4,68 [m], sodass der Anschluss so nicht ausgeführt werden kann.

Die neue Anschlusskonstruktion erfolgt mit einem eingeschlitzten Stahlprofil. Hierzu wird ein halber Stahlträger HE-B in die Trägerunterkante eingeschlitzt. Die Verbindung des Stahlprofils mit dem Brettschichtholzträger erfolgt über Stabdübel. Die Stabdübel werden so bemessen, dass sie die gesamte Strebenkraft in den Obergurt weiterleiten. In der Realität wird jedoch durch die Verformung der Verbindung ein Teil der Kraft über Kontaktpressung übertragen. Dies würde zu zusätzlichen Reserven in der Stabdübelverbindung führen. Der Druck rechtwinklig zur Faser wird hier nicht nachgewiesen, da in der Berechnung die Gesamtkraft über die Stabdübel abgeleitet wird. Da die Querdrukfestigkeit des Holzes ein duktileres Materialverhalten ist, würde dies bei Überbeanspruchung zu einem eindrücken des Flansches in den Brettschichtholzträger führen. Dies würde zu einer übermäßigen Verformung führen, aber keinen Tragfähigkeitsverlust bedeuten.

6.3.1.3 Stabdübelverbindung HE – B Profil

Anzuschließende Kraft:

Aus den Strebenkräften ergebn sich eine horizontal und eine vertikal Komponente, die angeschlossen werden muss. Die Kraftkomponenten bilden eine resultierende Kraft, die unter einen bestimmten Winkel angreift.

$$R_{senk.} = 104,8 [KN]$$

$$R_{hori.} = 888,5 [KN]$$

$$R_{ges.} = \sqrt{R_{senk.}^2 + R_{hori.}^2}$$

$$R_{ges.} = \sqrt{104,8^2 + 888,5^2}$$

$$R_{ges.} = 894,7 [KN]$$

Der Winkel der Kraft beträgt:

$$\alpha = \arctan \frac{R_{senk.}}{R_{hori.}} = \frac{104,8}{888,5} = 6,75^\circ$$

Im ersten Bereich werden die Streben mit einem halben HE – B 500 Profil angeschlossen, das mit 20 [mm] Stabdübeln an den Obergurt befestigt wird.

Verwendete Verbindungsmittel

$$\text{Stabdübel } d=20[\text{mm}] \text{ der Stahlgüte S235} \quad f_{u,k} = 360 [N/mm^2]$$

Stahlprofil HE – B 500 S235

Lochleibungsfestigkeit des Holzes

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k$$

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 20) \cdot 430$$

$$f_{h,0,k} = \underline{\underline{28,21 [N/mm^2]}}$$

$$f_{h,7,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$$

$$k_{90} = 1,35 \cdot 0,015 \cdot d$$

$$k_{90} = 1,35 \cdot 0,015 \cdot 20$$

$$k_{90} = 1,65$$

$$f_{h,7,k} = \frac{28,21}{1,65 \cdot \sin^2 7 + \cos^2 7}$$

$$f_{h,7,k} = 27,94$$

Fließmoment des Stabdübels

$$M_{y,k} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6}$$

$$M_{y,k} = 0,3 \cdot 360 \cdot 20^{2,6}$$

$$M_{y,k} = \underline{\underline{260677[Nmm]}}$$

Charakteristische Tragfähigkeit des Stabdübels

$$R_k = \sqrt{2} \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,k} \cdot f_{h,7,k} \cdot d}$$

$$R_k = \sqrt{2} \cdot \sqrt{2 \cdot 260677 \cdot 27,94 \cdot 20}$$

$$R_k = \underline{\underline{24135[N]}} \mapsto \underline{\underline{24,14[KN]}}$$

Mindestholzdicken

$$t_{req} = 1,15 \cdot 4 \cdot \sqrt{\frac{M_{y,k}}{f_{h,0,k} \cdot d}}$$

$$t_{req} = 1,15 \cdot 4 \cdot \sqrt{\frac{260677}{28,21 \cdot 20}}$$

$$t_{req} = \underline{\underline{98,9[mm]}}$$

Die Mindestholzdicke beträgt 9,8 [cm] und ist somit kleiner als die vorhandene Holzdicke von 17,5 [cm]. Daher ist eine Abminderung der Tragfähigkeit der Stabdübelverbindung nicht notwendig.

Bemessungswert der Tragfähigkeit der Stabdübel:

$$R_d = \frac{k_{mod} \cdot R_k}{\gamma_m}$$

$$R_d = \frac{0,9 \cdot 24,14}{1,1}$$

$$R_d = \underline{\underline{19,75[KN] \text{ pro Stabdübel / pro Scherfuge}}}$$

$$R_d = 19,75 \cdot 2$$

$$R_d = \underline{\underline{39,5[KN] \text{ pro Stabdübel}}}$$

Erforderliche Stabdübelanzahl:

$$n_{erf.} = \frac{F_d}{R_d} = \frac{894,7}{39,5} = 22,65$$

Gewählt: 3 Reihen á 15 Stabdübel

Wirksame Stabdübelanzahl:

$$n_{ef} = \min \left[\left\{ n; n^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{10 \cdot d}} \right\} \cdot \frac{90 - \alpha}{90} + n \cdot \frac{\alpha}{90} \right]$$

$$n_{ef} = \min \left[\left\{ 15; 15^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{60}{10 \cdot 20}} \right\} \cdot \frac{90 - 7}{90} + 15 \cdot \frac{7}{90} \right]$$

$$n_{ef} = 8,97$$

Nachweis Verbindungstragfähigkeit

$$\frac{F_d}{n_{ef} \cdot s \cdot R_d} \leq 1,00 \quad \frac{894,7}{8,97 \cdot 3 \cdot 39,5} = 0,84 < 1,0$$

$s = \text{Reihen}$

Nachweis: 6-5 Verbindungsmitteltragfähigkeit

Verbindungsmittelabstände:

Mindestabstände nach Tabelle 8 DIN 1052 Abs. 12.3

Abstandsrichtung	Kurzzeichen	Abstand
parallel zur Faserrichtung	a_1	$(3 + 2 \cdot \cos \alpha) \cdot d$ $(3 + 2 \cdot \cos 7) \cdot 2,0$ <u>$9,9[cm]$</u>
rechtwinklig zur Faserrichtung	a_2	$3 \cdot d$ $3 \cdot 2,0$ <u>$= 6,0[cm]$</u>
beanspruchter Rand	$a_{2,t}$	$3 \cdot d$ $3 \cdot 2,0$ <u>$= 6,0[cm]$</u>
unbeanspruchter Rand	$a_{2,c}$	$3 \cdot d$ $3 \cdot 2,0$ <u>$= 6,0[cm]$</u>
beanspruchtes Hirnholzende	$a_{1,t}$	$7 \cdot d$ $7 \cdot 2,0$ <u>$= 14,0[cm]$</u>

Unbeanspruchtes Hirnholzende	$a_{1,c}$	$7 \cdot d \cdot \sin \alpha$ $7 \cdot 2,0 \cdot \sin 7^\circ$ $= \underline{\underline{1,7[cm]}}$ bzw. $3 \cdot d$ $3 \cdot 2,0$ $= \underline{\underline{6,0[cm]}}$
------------------------------	-----------	---

Tabelle 6-7 Mindestabstände Passbolzen

6.3.2 Bemessung im Bereich 2 bzw. 5

Der Anschluss der Strebe an den Untergurt bzw. Obergurt erfolgt durch ein eingeschlitztes Stahlblech und Stabdübeln. Die Stabdübel werden ausschließlich zur Verbindung der Strebe mit dem Stahlblech eingesetzt. Die Verbindung zum Obergurt erfolgt durch eine Nagelverbindung mit Sondernägeln. Der Anschluss an den Untergurt erfolgt durch eine Schweißverbindung, da der Untergurt aus Stahl besteht.

6.3.2.1 Stabdübelverbindung

Maximale anzuschließende Normalkraft

$$F_d = -555,3 [KN]$$

Verwendete Verbindungsmittel

$$\text{Stabdübel } d=8[\text{mm}] \text{ der Stahlgüte S235 } f_{u,k} = 360 [N/mm^2]$$

$$\text{Stahlblech } t=12[\text{mm}] \text{ der Stahlgüte S235}$$

Lochleibungsfestigkeit des Holzes

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k$$

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 8) \cdot 410$$

$$f_{h,0,k} = \underline{\underline{30,94 [N/mm^2]}}$$

Fließmoment des Stabdübels

$$M_{y,k} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6}$$

$$M_{y,k} = 0,3 \cdot 360 \cdot 8^{2,6}$$

$$M_{y,k} = \underline{\underline{24069 [Nmm]}}$$

Charakteristische Tragfähigkeit des Stabdübels

$$R_k = \sqrt{2} \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,k} \cdot f_{h,0,k} \cdot d}$$

$$R_k = \sqrt{2} \cdot \sqrt{2 \cdot 24069 \cdot 30,94 \cdot 8}$$

$$R_k = \underline{\underline{4881[N]}} \mapsto \underline{\underline{4,88[KN]}}$$

Mindestholzdicken

$$t_{req} = 1,15 \cdot 4 \cdot \sqrt{\frac{M_{y,k}}{f_{h,0,k} \cdot d}}$$

$$t_{req} = 1,15 \cdot 4 \cdot \sqrt{\frac{24069}{30,94 \cdot 8}}$$

$$t_{req} = \underline{\underline{45,4[mm]}}$$

Die Mindestholzdicke beträgt 4,5 [cm] und ist somit kleiner als die vorhandene Holzdicke von 14,4 [cm]. Daher ist eine Abminderung der Tragfähigkeit der Stabdübelverbindung nicht notwendig.

Bemessungswert der Tragfähigkeit der Stabdübel:

$$R_d = \frac{k_{mod} \cdot R_k}{\gamma_m}$$

$$R_d = \frac{0,9 \cdot 4,88}{1,1}$$

$$R_d = \underline{\underline{3,99[KN]}} \text{ pro Stabdübel / pro Scherfuge}$$

$$R_d = 3,99 \cdot 2$$

$$R_d = \underline{\underline{7,98[KN]}} \text{ pro Stabdübel}$$

Wirksame Anzahl von Stabdübeln

Die Strebenbreite beträgt 30 cm. Bei einem Stabdübelabstand von 3 d (2,4 cm) rechtwinklig zur Faserrichtung bzw. vom unbeanspruchten Rand können zehn Stabdübelreihen nebeneinander angeordnet werden. Hier werden acht Reihen á 18 Stabdübel eingebracht. Um die Kraft von 555,3 [KN] anzuschließen stehen also 144 Stabdübel zur Verfügung.

$$n_{ef} = \min \left\{ n; n^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{10 \cdot d}} \right\}$$

$$n_{ef} = \min \left\{ 18; 18^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{24}{10 \cdot 8}} \right\}$$

$$n_{ef} = 9,97$$

Gesamtanzahl der wirksamen Stabdübel:

$$n_{ges.} = n_{ef} \cdot r_1$$

mit :

$$r = 8 \text{ Reihen}$$

$$n_{ges.} = 9,97 \cdot 8$$

$$n_{ges.} = 79,82$$

Nachweis Verbindungstragfähigkeit

$$\frac{F_d}{n_{ges} \cdot R_d} \leq 1,0 = \frac{|-555,3|}{79,82 \cdot 7,98} = 0,87 < 1,0$$

Nachweis: 6-6 Verbindungstragfähigkeit

Verbindungsmittelabstände:

Mindestabstände nach Tabelle 8 DIN 1052 Abs. 12.3

Abstandsrichtung	Kurzzeichen	Abstand
parallel zur Faserrichtung	a_1	$(3 + 2 \cdot \cos \alpha) \cdot d$ $(3 + 2 \cdot \cos 0) \cdot 0,8$ $\underline{\underline{4,0[cm]}}$
rechtwinklig zur Faserrichtung	a_2	$3 \cdot d$ $3 \cdot 0,8$ $\underline{\underline{= 2,4[cm]}}$
beanspruchter Rand	$a_{2,t}$	$3 \cdot d$ $3 \cdot 0,8$ $\underline{\underline{= 2,4[cm]}}$
unbeanspruchter Rand	$a_{2,c}$	$3 \cdot d$ $3 \cdot 0,8$ $\underline{\underline{= 2,4[cm]}}$
beanspruchtes Hirnholzende	$a_{1,t}$	$7 \cdot d$ $7 \cdot 0,8$ $\underline{\underline{= 5,6[cm]}}$

Unbeanspruchtes Hirnholzende	$a_{1,c}$	$7 \cdot d \cdot \sin \alpha$ $7 \cdot 0,8 \cdot \sin 0^\circ$ $= \underline{\underline{0[cm]}}$ bzw. $3 \cdot d$ $3 \cdot 0,8$ $= \underline{\underline{2,4[cm]}}$
------------------------------	-----------	---

Tabelle 6-8 Mindestabstände Passbolzen

6.3.2.2 Stabdübelverbindung HE – B Profil

Anzuschließende Kraft:

Aus den Strebenkräften ergebn sich eine horizontal und eine vertikal Komponente, die angeschlossen werden muss. Die Kraftkomponenten bilden eine resultierende Kraft, die unter einen bestimmten Winkel angreift.

$$R_{senk.} = 88,59[KN]$$

$$R_{hori.} = 504,15[KN]$$

$$R_{ges.} = \sqrt{R_{senk.}^2 + R_{hori.}^2}$$

$$R_{ges.} = \sqrt{88,59^2 + 504,15^2}$$

$$R_{ges.} = 511,87[[KN]]$$

Der Winkel der Kraft beträgt:

$$\alpha = \arctan \frac{R_{senk.}}{R_{hori.}} = \frac{88,59}{504,15} = 9,97^\circ$$

Im zweiten Bereich werden die Streben mit einem halben HE – B 400 Profil angeschlossen, das mit 20 [mm] Stabdübeln an den Obergurt befestigt wird.

Verwendete Verbindungsmittel

$$\text{Stabdübel } d=20[\text{mm}] \text{ der Stahlgüte S235} \quad f_{u,k} = 360[N/mm^2]$$

Stahlprofil HE – B 400 S235

Lochleibungsfestigkeit des Holzes

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k$$

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 20) \cdot 430$$

$$f_{h,0,k} = \underline{\underline{28,21[N/mm^2]}}$$

$$f_{h,9,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$$

$$k_{90} = 1,35 \cdot 0,015 \cdot d$$

$$k_{90} = 1,35 \cdot 0,015 \cdot 20$$

$$k_{90} = 1,65$$

$$f_{h,9,k} = \frac{28,21}{1,65 \cdot \sin^2 9 + \cos^2 9}$$

$$f_{h,9,k} = 27,66$$

Fließmoment des Stabdübels

$$M_{y,k} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6}$$

$$M_{y,k} = 0,3 \cdot 360 \cdot 20^{2,6}$$

$$M_{y,k} = \underline{\underline{260677[Nmm]}}$$

Charakteristische Tragfähigkeit des Stabdübels

$$R_k = \sqrt{2} \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,k} \cdot f_{h,9,k} \cdot d}$$

$$R_k = \sqrt{2} \cdot \sqrt{2 \cdot 260677 \cdot 27,66 \cdot 20}$$

$$R_k = \underline{\underline{24,013[N]}} \mapsto \underline{\underline{24,02[KN]}}$$

Mindestholzdicken

$$t_{req} = 1,15 \cdot 4 \cdot \sqrt{\frac{M_{y,k}}{f_{h,0,k} \cdot d}}$$

$$t_{req} = 1,15 \cdot 4 \cdot \sqrt{\frac{260677}{28,21 \cdot 20}}$$

$$t_{req} = \underline{\underline{98,9[mm]}}$$

Die Mindestholzdicke beträgt 9,8 [cm] und ist somit kleiner als die vorhandene Holzdicke von 17,5 [cm]. Daher ist eine Abminderung der Tragfähigkeit der Stabdübelverbindung nicht notwendig.

Bemessungswert der Tragfähigkeit der Stabdübel:

$$R_d = \frac{k_{mod} \cdot R_k}{\gamma_m}$$

$$R_d = \frac{0,9 \cdot 24,14}{1,1}$$

$$R_d = \underline{\underline{19,75[KN]}} \text{ pro Stabdübel / pro Scherfuge}$$

$$R_d = 19,75 \cdot 2$$

$$R_d = \underline{\underline{39,5[KN]}} \text{ pro Stabdübel}$$

Erforderliche Stabdübelanzahl:

$$n_{\text{erf.}} = \frac{F_d}{R_d} = \frac{511,87}{39,5} = 12,9$$

Gewählt: 2 Reihen á 12 Stabdübel

Wirksame Stabdübelanzahl:

$$n_{\text{ef}} = \min \left[\left\{ n; n^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{10 \cdot d}} \right\} \cdot \frac{90 - \alpha}{90} + n \cdot \frac{\alpha}{90} \right]$$

$$n_{\text{ef}} = \min \left[\left\{ 12; 12^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{60}{10 \cdot 20}} \right\} \cdot \frac{90 - 7}{90} + 12 \cdot \frac{7}{90} \right]$$

$$n_{\text{ef}} = 7,55$$

Nachweis Verbindungstragfähigkeit

$$\frac{F_d}{n_{\text{ef}} \cdot s \cdot R_d} \leq 1,0 = \frac{511,87}{7,55 \cdot 2 \cdot 39,5} = \underline{\underline{0,85 < 1,0}}$$

$s = \text{Reihen}$

Nachweis: 6-7 Verbindungsmitteltragfähigkeit

Verbindungsmittelabstände:

Mindestabstände nach Tabelle 8 DIN 1052 Abs. 12.3

Abstandsrichtung	Kurzzeichen	Abstand
parallel zur Faserrichtung	a_1	$(3 + 2 \cdot \cos \alpha) \cdot d$ $(3 + 2 \cdot \cos 9) \cdot 2,0$ $\underline{\underline{9,9[cm]}}$
rechtwinklig zur Faserrichtung	a_2	$3 \cdot d$ $3 \cdot 2,0$ $\underline{\underline{= 6,0[cm]}}$
beanspruchter Rand	$a_{2,t}$	$3 \cdot d$ $3 \cdot 2,0$ $\underline{\underline{= 6,0[cm]}}$

unbeanspruchter Rand	$a_{2,c}$	$3 \cdot d$ $3 \cdot 2,0$ $= \underline{\underline{6,0[cm]}}$
beanspruchtes Hirnholzende	$a_{1,t}$	$7 \cdot d$ $7 \cdot 2,0$ $= \underline{\underline{14,0[cm]}}$
Unbeanspruchtes Hirnholzende	$a_{1,c}$	$7 \cdot d \cdot \sin \alpha$ $7 \cdot 2,0 \cdot \sin 9^\circ$ $= \underline{\underline{2,1[cm]}}$ bzw. $3 \cdot d$ $3 \cdot 2,0$ $= \underline{\underline{6,0[cm]}}$

Tabelle 6-9 Mindestabstände Passbolzen

6.3.3 Bemessung im Bereich 3 bzw. 4

Der Anschluss der Strebe an den Untergurt bzw. Obergurt erfolgt durch ein eingeschlitztes Stahlblech und Stabdübeln. Die Stabdübel werden ausschließlich zur Verbindung der Strebe mit dem Stahlblech eingesetzt. Die Verbindung zum Obergurt erfolgt durch eine Nagelverbindung mit Sondernägeln. Der Anschluss an den Untergurt erfolgt durch eine Schweißverbindung, da der Untergurt aus Stahl besteht.

6.3.3.1 Stabdübelverbindung

Maximale anzuschließende Normalkraft

$$F_d = -201,5 [KN]$$

Verwendete Verbindungsmittel

$$\text{Stabdübel } d=8[\text{mm}] \text{ der Stahlgüte S235 } f_{u,k} = 360 [N/mm^2]$$

$$\text{Stahlblech } t=12[\text{mm}] \text{ der Stahlgüte S235}$$

Lochleibungsfestigkeit des Holzes

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k$$

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 8) \cdot 410$$

$$f_{h,0,k} = \underline{\underline{30,94 [N/mm^2]}}$$

Fließmoment des Stabdübels

$$M_{y,k} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6}$$

$$M_{y,k} = 0,3 \cdot 360 \cdot 8^{2,6}$$

$$M_{y,k} = \underline{\underline{24069[Nmm]}}$$

Charakteristische Tragfähigkeit des Stabdübels

$$R_k = \sqrt{2} \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,k} \cdot f_{h,0,k} \cdot d}$$

$$R_k = \sqrt{2} \cdot \sqrt{2 \cdot 24069 \cdot 30,94 \cdot 8}$$

$$R_k = \underline{\underline{4881[N]}} \mapsto \underline{\underline{4,88[KN]}}$$

Mindestholzdicken

$$t_{req} = 1,15 \cdot 4 \cdot \sqrt{\frac{M_{y,k}}{f_{h,0,k} \cdot d}}$$

$$t_{req} = 1,15 \cdot 4 \cdot \sqrt{\frac{24069}{30,94 \cdot 8}}$$

$$t_{req} = \underline{\underline{45,4[mm]}}$$

Die Mindestholzdicke beträgt 4,5 [cm] und ist somit kleiner als die vorhandene Holzdicke von 14,4 [cm]. Daher ist eine Abminderung der Tragfähigkeit der Stabdübelverbindung nicht notwendig.

Bemessungswert der Tragfähigkeit der Stabdübel:

$$R_d = \frac{k_{mod} \cdot R_k}{\gamma_m}$$

$$R_d = \frac{0,9 \cdot 4,88}{1,1}$$

$$R_d = \underline{\underline{3,99[KN]}} \text{ pro Stabdübel / pro Scherfuge}$$

$$R_d = 3,99 \cdot 2$$

$$R_d = \underline{\underline{7,98[KN]}} \text{ pro Stabdübel}$$

Wirksame Anzahl von Stabdübeln

Die Strebenbreite beträgt 30 cm. Bei einem Stabdübelabstand von 3 d (2,4 cm) rechtwinklig zur Faserrichtung bzw. vom unbeanspruchten Rand können zehn Stabdübelreihen nebeneinander angeordnet werden. Hier werden sechs Reihen á 8 Stabdübel eingebracht. Um die Kraft von 201,5 [KN] anzuschließen stehen also 48 Stabdübel zur Verfügung.

$$n_{ef} = \min \left\{ n; n^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{10 \cdot d}} \right\}$$

$$n_{ef} = \min \left\{ 8; 8^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{24}{10 \cdot 8}} \right\}$$

$$n_{ef} = 4,8$$

Gesamtanzahl der wirksamen Stabdübel:

$$n_{ges.} = n_{ef} \cdot r$$

mit:

$$r = 6 \text{ Reihen}$$

$$n_{ges.} = 4,80 \cdot 6$$

$$n_{ges.} = 28,8$$

Nachweis Verbindungstragfähigkeit

$$\frac{F_d}{n_{ges.} \cdot R_d} \leq 1,0 = \frac{|-201,5|}{28,8 \cdot 7,98} = \underline{\underline{0,88 < 1,0}}$$

Nachweis: 6-8 Verbindungstragfähigkeit

Verbindungsmittelabstände:

Mindestabstände nach Tabelle 8 DIN 1052 Abs. 12.3

Abstandsrichtung	Kurzzeichen	Abstand
parallel zur Faserrichtung	a_1	$(3 + 2 \cdot \cos \alpha) \cdot d$ $(3 + 2 \cdot \cos 0) \cdot 0,8$ <u>$4,0 [cm]$</u>
rechtwinklig zur Faserrichtung	a_2	$3 \cdot d$ $3 \cdot 0,8$ <u>$= 2,4 [cm]$</u>
beanspruchter Rand	$a_{2,t}$	$3 \cdot d$ $3 \cdot 0,8$ <u>$= 2,4 [cm]$</u>
unbeanspruchter Rand	$a_{2,c}$	$3 \cdot d$ $3 \cdot 0,8$ <u>$= 2,4 [cm]$</u>

beanspruchtes Hirnholzende	$a_{1,t}$	$7 \cdot d$ $7 \cdot 0,8$ $= 5,6 [cm]$
Unbeanspruchtes Hirnholzende	$a_{1,c}$	$7 \cdot d \cdot \sin \alpha$ $7 \cdot 0,8 \cdot \sin 0^\circ$ $= 0 [cm]$ <i>bzw.</i> $3 \cdot d$ $3 \cdot 0,8$ $= 2,4 [cm]$

Tabelle 6-10 Mindestabstände Passbolzen

6.3.3.2 Stabdübelverbindung HE – B Profil

Anzuschließende Kraft:

Aus den Strebenkräften ergebn sich eine horizontal und eine vertikal Komponente, die angeschlossen werden muss. Die Kraftkomponenten bilden eine resultierende Kraft, die unter einen bestimmten Winkel angreift.

$$R_{senk.} = 76,47 [KN]$$

$$R_{hori.} = 134,05 [KN]$$

$$R_{ges.} = \sqrt{R_{senk.}^2 + R_{hori.}^2}$$

$$R_{ges.} = \sqrt{76,47^2 + 134,05^2}$$

$$R_{ges.} = 154,32 [KN]$$

Der Winkel der Kraft beträgt:

$$\alpha = \arctan \frac{R_{senk.}}{R_{hori.}} = \frac{76,47}{134,05} = 29,7^\circ$$

Im zweiten Bereich werden die Streben mit einem halben HE – B 300 Profil angeschlossen, das mit 20 [mm] Stabdübeln an den Obergurt befestigt wird.

Verwendete Verbindungsmittel

$$\text{Stabdübel } d=16[\text{mm}] \text{ der Stahlgüte S235} \quad f_{u,k} = 360 [N/mm^2]$$

Stahlprofil HE – B 300 S235

Lochleibungsfestigkeit des Holzes

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k$$

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 16) \cdot 410$$

$$f_{h,0,k} = \underline{\underline{28,21 [N/mm^2]}}$$

$$f_{h,29,7,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$$

$$k_{90} = 1,35 \cdot 0,015 \cdot d$$

$$k_{90} = 1,35 \cdot 0,015 \cdot 20$$

$$k_{90} = 1,65$$

$$f_{h,29,7,k} = \frac{28,21}{1,65 \cdot \sin^2 29,7 + \cos^2 29,7}$$

$$f_{h,29,7,k} = 25,8$$

Fließmoment des Stabdübels

$$M_{y,k} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6}$$

$$M_{y,k} = 0,3 \cdot 360 \cdot 16^{2,6}$$

$$M_{y,k} = \underline{\underline{145927 [Nmm]}}$$

Charakteristische Tragfähigkeit des Stabdübels

$$R_k = \sqrt{2} \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,k} \cdot f_{h,29,7,k} \cdot d}$$

$$R_k = \sqrt{2} \cdot \sqrt{2 \cdot 145927 \cdot 25,08 \cdot 16}$$

$$R_k = \underline{\underline{15302 [N]}} \mapsto \underline{\underline{15,30 [kN]}}$$

Mindestholzdicken

$$t_{req} = 1,15 \cdot 4 \cdot \sqrt{\frac{M_{y,k}}{f_{h,0,k} \cdot d}}$$

$$t_{req} = 1,15 \cdot 4 \cdot \sqrt{\frac{145927}{28,21 \cdot 16}}$$

$$t_{req} = \underline{\underline{83 [mm]}}$$

Die Mindestholzdicke beträgt 8,3 [cm] und ist somit kleiner als die vorhandene Holzdicke von 17,5 [cm]. Daher ist eine Abminderung der Tragfähigkeit der Stabdübelverbindung nicht notwendig.

Bemessungswert der Tragfähigkeit der Stabdübel:

$$R_d = \frac{k_{\text{mod}} \cdot R_k}{\gamma_m}$$

$$R_d = \frac{0,9 \cdot 15,30}{1,1}$$

$$R_d = 12,52 \text{ [KN]} \text{ pro Stabdübel / pro Scherfuge}$$

$$R_d = 12,52 \cdot 2$$

$$R_d = 25,04 \text{ [KN]} \text{ pro Stabdübel}$$

Erforderliche Stabdübelanzahl:

$$n_{\text{erf.}} = \frac{F_d}{R_d} = \frac{154,32}{25,04} = 6,16$$

Gewählt: 1 Reihen á 12 Stabdübel

Wirksame Stabdübelanzahl:

$$n_{\text{ef}} = \min \left[\left\{ n; n^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{10 \cdot d}} \right\} \cdot \frac{90 - \alpha}{90} + n \cdot \frac{\alpha}{90} \right]$$

$$n_{\text{ef}} = \min \left[\left\{ 12; 12^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{48}{10 \cdot 16}} \right\} \cdot \frac{90 - 7}{90} + 12 \cdot \frac{7}{90} \right]$$

$$n_{\text{ef}} = 6,93$$

Nachweis Verbindungstragfähigkeit

$$\frac{F_d}{n_{\text{ef}} \cdot s \cdot R_d} \leq 1,0 = \frac{154,32}{6,93 \cdot 1 \cdot 25,04} = 0,88 < 1,0$$

$s = \text{Reihen}$

Nachweis: 6-9 Verbindungsmitteltragfähigkeit

Verbindungsmittelabstände:

Mindestabstände nach Tabelle 8 DIN 1052 Abs. 12.3

Abstandsrichtung	Kurzzeichen	Abstand
parallel zur Faserrichtung	a_1	$(3 + 2 \cdot \cos \alpha) \cdot d$ $(3 + 2 \cdot \cos 29,7) \cdot 1,6$ <u>$7,6 \text{ [cm]}$</u>

rechtwinklig zur Faserrichtung	a_2	$3 \cdot d$ $3 \cdot 1,6$ $= \underline{\underline{4,8[cm]}}$
beanspruchter Rand	$a_{2,t}$	$3 \cdot d$ $3 \cdot 1,6$ $= \underline{\underline{4,8[cm]}}$
unbeanspruchter Rand	$a_{2,c}$	$3 \cdot d$ $3 \cdot 1,6$ $= \underline{\underline{4,8[cm]}}$
beanspruchtes Hirnholzende	$a_{1,t}$	$7 \cdot d$ $7 \cdot 1,6$ $= \underline{\underline{11,2[cm]}}$
Unbeanspruchtes Hirnholzende	$a_{1,c}$	$7 \cdot d \cdot \sin \alpha$ $7 \cdot 1,6 \cdot \sin 29,7^\circ$ $= \underline{\underline{5,5[cm]}}$

Tabelle 6-11 Mindestabstände Passbolzen

6.3.4 Bemessung der Schweißverbindung Anschluss Ober-/Untergurt.

Auf das Zugband bzw. den halben HE-B Stahlträger werden zwei Laschen aufgeschweißt, in die das eingeschlitzte Stahlblech der Strebe gesteckt wird. Anschließend wird ein Schraubbolzen durch die Bohrung der Laschen und des eingeschlitzten Bleches geschoben. Der Bolzen wird durch die Strebenkraft auf abscheren beansprucht. Diese Verbindung ist bei allen Druckstrebenanschlüssen gleich. Es gibt bei diesem Anschluss keine Anschlussoptimierung in den einzelnen Anschlussbereichen.

Systemskizze:

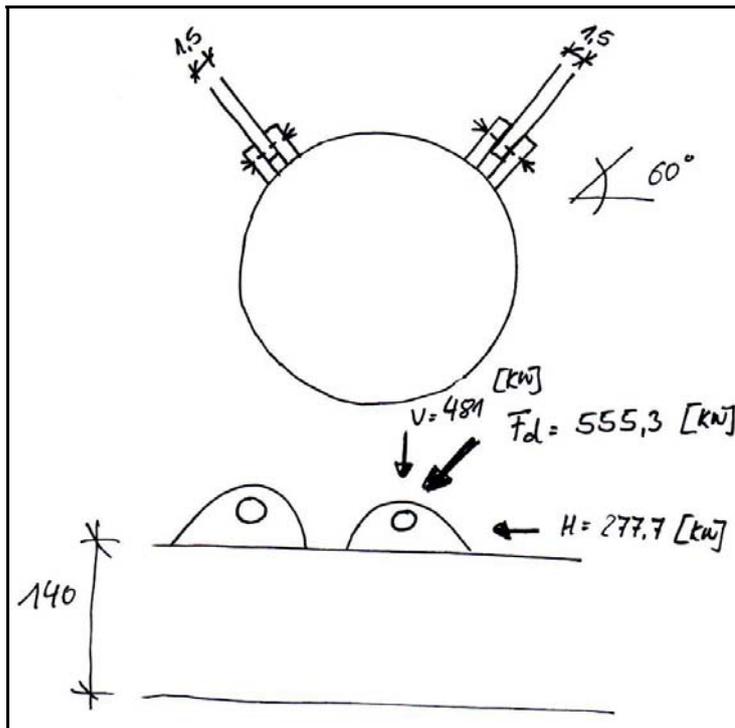


Abb.: 6.5 Schnitt und Ansicht Untergurtanschluss

Zerlegung der Strebenkraft:

$$F_{E,d,horiz.} = F_{E,d} \cdot \cos \alpha$$

$$F_{E,d,horiz.} = 555,3 \cdot \cos 60$$

$$F_{E,d,horiz.} = 277,6 [KN]$$

$$F_{E,d,vert.} = F_{E,d} \cdot \sin \alpha$$

$$F_{E,d,vert.} = 555,3 \cdot \sin 60$$

$$F_{E,d,vert.} = 481 [KN]$$

Nachweis der Schweißverbindung zwischen Lasche und Untergurt:

Aus Horizontalkraft:

Kehlnahtbreite:

$$a_w = 0,8 [cm]$$

Grenzschweißspannung:

$$\delta_{w,R,d} = a_w \cdot \frac{f_{y,k}}{\gamma_m}$$

$$\delta_{w,R,d} = 0,95 \cdot \frac{24}{1,1} = 20,7 [KN / cm^2]$$

Benötigte Schweißnahtfläche

$$A_{w, \text{senk.}} = \frac{F_{E,d, \text{hori}}}{\delta_{w,R,d}} = \frac{481}{20,70} = 23,24 [\text{cm}^2]$$

benötigte Schweißnahtlänge:

$$l = \frac{A_{w,t}}{a_w} = \frac{23,24}{0,8} = 29,1 [\text{cm}]$$

gewählt eine Länge von 35 [cm], die auch konstruktiv für den Anschluss der Streben notwendig ist.

Vorhandene Schweißnahtfläche:

$$A_{w, \text{senk.}} = 2 \cdot 35 \cdot 0,8 = 56 [\text{cm}^2]$$

Vorhandene Schweißnahtspannung:

$$\delta_{E,d, \text{senk.}} = \frac{F_{E,d, \text{senk.}}}{A_{w, \text{senk.}}} = \frac{481}{56} = 8,58 [\text{KN}/\text{cm}^2]$$

Nachweis der Schweißnaht:

$$\frac{\delta_{E,d, \text{senk.}}}{\delta_{w,R,d}} \leq 1,0 = \frac{8,58}{20,7} = 0,41 < 1,0$$

Nachweis: 6-10 Schweißnaht Anschluss Untergurt/Strebe

Nachweis der Schweißverbindung zwischen Lasche und Untergurt:

Aus Vertikalkraft:

Kehlnahtbreite:

$$a_w = 0,8 [\text{cm}]$$

Vorhandene Schweißnahtfläche:

$$A_{w, \text{para.}} = 2 \cdot 35 \cdot 0,8 = 56 [\text{cm}^2]$$

Vorhandene Schweißnahtspannung:

$$\delta_{E,d, \text{para.}} = \frac{F_{E,d, \text{para.}}}{A_{w, \text{para.}}} = \frac{277,7}{56} = 4,96 [\text{KN}/\text{cm}^2]$$

Nachweis der Schweißnaht:

$$\frac{\delta_{E,d,para.}}{\delta_{w,R,d}} \leq 1,0 \frac{4,96}{20,7} = 0,24 < 1,0$$

Nachweis: 6-11 Schweißnaht Anschluss Untergurt/Strebe

Nachweis des Verbindungsbolzens:

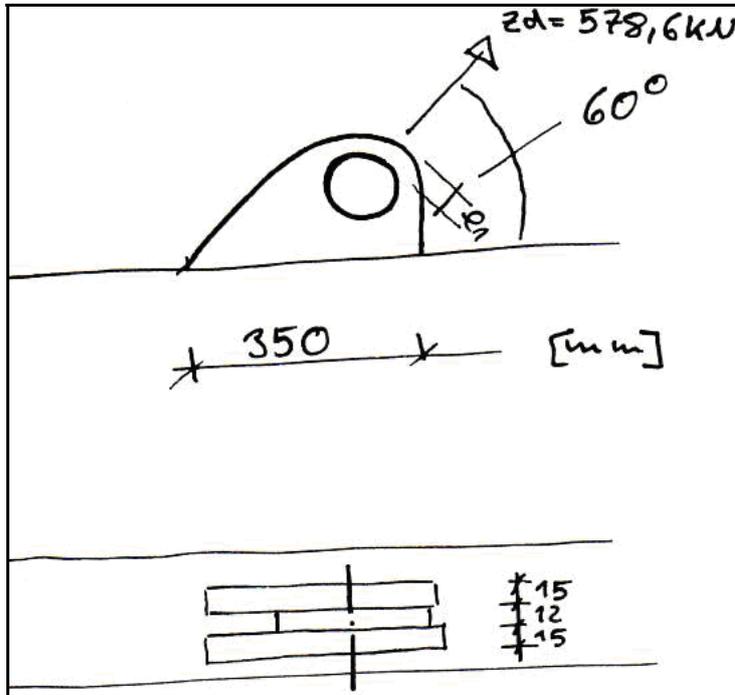


Abb.: 6.6 Anschluss Lasche an Untergurt

Der Schraubenbolzen M 36 wird in der Stahlgüte 8.8 eingebaut. Die Verbindung wird als SLV → Planmäßig vorgespannte Lochleibungsverbindung hergestellt. Der Schaft des Bolzens liegt in der Scherfuge. Die zulässige Beanspruchbarkeit wurde aus den bautechnischen Zahlentafeln²⁹ entnommen.

Vorhandene Beanspruchung:

$$N_{E,d} = V_{E,d} = 555,3 [kN]$$

Grenzabscherkraft:

²⁹ Wendehorst Bautechnische Zahlentafel Aufl. 31 Kapitel 9 S.722 Tafel 71

$$V_{a,R,d} = V_{a,R} \cdot \frac{1,1}{1,25} \cdot n$$

$$V_{a,R,d} = 444,2 \cdot \frac{1,1}{1,25} \cdot 2$$

$$V_{a,R,d} = 781,8 [KN]$$

Nachweis des Bolzens auf Abscheren:

$$\frac{V_{E,d}}{V_{a,R,d}} \leq 1,0 = \frac{555,3}{781,8} = 0,71 < 1,0$$

Nachweis: 6-12 Abscheren des Bolzens

Nachweis der Lochleibungsspannung:

Randabstand e_1

$$e_1 = 1,2 \cdot d_l = 1,2 \cdot 37 = 44,4 [mm]$$

gewählt: $e_1 = 70 [mm]$

Grenzlochleibungskräfte nach Tafel 8.74 DIN 18800³⁰:

$$V_{l,R,d} = 140 \cdot 1,5 \cdot 3 = 630 [KN]$$

Nachweis der Lochleibungsspannung:

$$\frac{V_{E,d}}{V_{l,R,d}} \leq 1,0 \frac{555,3}{630} = 0,88 < 1,0$$

Nachweis: 6-13 Lochleibungsspannung

Nachweis der Laschen:

Vorhandene Zugkraft:

$$N_{E,d} = 555,3 [KN]$$

Zugkraft pro Lasche:

$$N_{E,d} = \frac{555,3}{2} = 277,7 [KN]$$

Grenznormalspannung:

³⁰ DIN 18800 Stahlbauten; Bemessung und Konstruktion

$$\delta_{R,d} = \frac{f_{u,k}}{\gamma_m} = \frac{36}{1,1} = 32,7 [KN/cm^2]$$

Querschnittsfläche:

$$A_{Blech} = 1,5 \cdot 7 \cdot 2 = 21 [cm^2]$$

Vorhandene Beanspruchung:

$$\delta_{E,d} = \frac{N_{E,d}}{A_{Blech}} = \frac{277,7}{21} = 13,23 [KN/cm^2]$$

Nachweis der Zugspannung:

$$\frac{\delta_{E,d}}{\delta_{R,d}} \leq 1,0 = \frac{13,23}{32,7} = 0,40 < 1,0$$

Nachweis: 6-14 Zugspannung

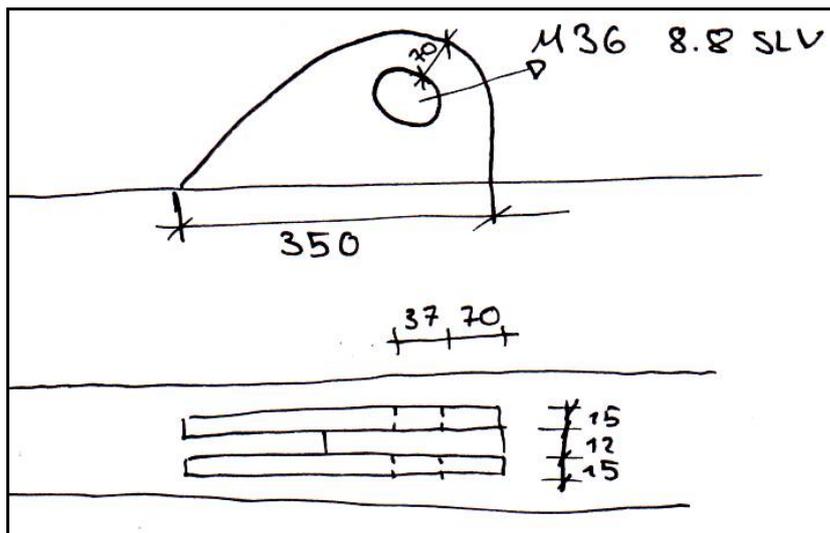


Abb.: 6.7 Anschluss Lasche Stegblech

Nachweis der Lasche auf Knicken:

Durch die Strebenkraft erhalten die Laschen bzw. das eingeschlitze Bleche eine Druckkraft. Dadurch kann das Blech um die schwache Achse des Bleches ausknicken.

Druckkraft pro Lasche:

$$F_{E,d} = \frac{F_{E,d,ges.}}{2} = \frac{555,3}{2} = 277,7 [KN]$$

Nachweis mittels Grenzwert (b/t)

vorhanden (b/t)

$$\text{vorh.}(b/t) = \frac{160}{15} = 9,3$$

daraus folgt:

$$\psi = +1,0$$

Grenzwert (b/t)

nach Tabelle 13 DIN 18800 Teil 1³¹ ergibt sich ein Grenzwert (b/t) von:

$$\text{grenz}(b/t) = 305 \cdot \sqrt{\frac{k_{\delta}}{\delta_1 \cdot \gamma_m}}$$

nach der oben genannten Norm kann für $\delta_1 \cdot \gamma_m$ vereinfachend $f_{y,k}$ eingesetzt werden.

$$\text{grenz}(b/t) = 305 \cdot \sqrt{\frac{k_{\delta}}{f_{y,k}}}$$

$$\text{grenz}(b/t) = 305 \cdot \sqrt{\frac{0,42}{360}}$$

$$\text{grenz}(b/t) = 10,54$$

Nachweis des Grenzwert (b/t)

$$\frac{\text{grenz.}(b/t)}{\text{vorh.}(b/t)} \leq 1,0 = \frac{10,54}{10,67} = 0,99 < 1,0$$

Nachweis: 6-15 Grenzwert (b/t)

Systemskizze:

³¹ DIN 18800 Stahlbauten; Bemessung und Konstruktion

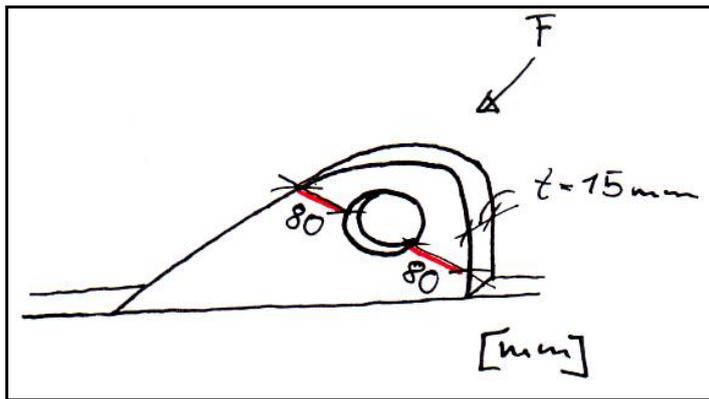


Abb.: 6.8 Anschluss Lasche an Zugband

6.4 Bemessung Pos.A004 Anschluss Zugstrebe

Um eine gewisse Optimierung der Anschlüsse zu erreichen, wurde die Brücke in 6 Sektoren eingeteilt. In jedem dieser Bereiche wurde die Strebe mit der größten Normalkraft ermittelt und der Anschluss für diese Kraft bemessen. Die andern Streben dieses Bereiches wurden mit dem gleichen Anschluss versehen. Da die Brücke symmetrisch eingeteilt wurde, sind die drei Bereiche der linken Seite im Bezug auf Anschlusskraft und Anschlussausbildung identisch mit dem rechten Bereich. Die Verbindung erfolgt mittels Stabdübeln. Die Grundlage der Bemessung bildet der Abschnitt 12.3 der DIN 1052³². Die Mindestabstände werden in der Tabelle 8 der DIN 1052 geregelt.

Die Detailpunkte des Anschlusses bzw. die Ausführungszeichnungen befinden sich im Anhang dieser Berechnung.

6.4.1 Bemessung im Bereich 1 bzw. 6

6.4.1.1 Stabdübelverbindung

Maximale anzuschließende Normalkraft

$$F_d = +965,3 [KN]$$

Verwendete Verbindungsmittel

Stabdübel $d=8$ [mm] der Stahlgüte S235 $f_{u,k} = 360 [N/mm^2]$

Stahlblech $t=12$ [mm] der Stahlgüte S235

Lochleibungsfestigkeit des Holzes

³² DIN 1052 Abschnitt 12.3 Verbindungen mit Stabdübeln und Passbolzen

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k$$

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 8) \cdot 410$$

$$f_{h,0,k} = \underline{\underline{30,94 [N/mm^2]}}$$

Fließmoment des Stabdübels

$$M_{y,k} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6}$$

$$M_{y,k} = 0,3 \cdot 360 \cdot 8^{2,6}$$

$$M_{y,k} = \underline{\underline{24069 [Nmm]}}$$

Charakteristische Tragfähigkeit des Stabdübels

$$R_k = \sqrt{2} \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,k} \cdot f_{h,0,k} \cdot d}$$

$$R_k = \sqrt{2} \cdot \sqrt{2 \cdot 24069 \cdot 30,94 \cdot 8}$$

$$R_k = \underline{\underline{4881 [N]}} \mapsto \underline{\underline{4,88 [KN]}}$$

Mindestholzdicken

$$t_{req} = 1,15 \cdot 4 \cdot \sqrt{\frac{M_{y,k}}{f_{h,0,k} \cdot d}}$$

$$t_{req} = 1,15 \cdot 4 \cdot \sqrt{\frac{24069}{30,94 \cdot 8}}$$

$$t_{req} = \underline{\underline{45,4 [mm]}}$$

Die Mindestholzdicke beträgt 4,5 [cm] und ist somit kleiner als die vorhandene Holzdicke von 14,4 [cm]. Daher ist eine Abminderung der Tragfähigkeit der Stabdübelverbindung nicht notwendig.

Bemessungswert der Tragfähigkeit der Stabdübel:

$$R_d = \frac{k_{mod} \cdot R_k}{\gamma_m}$$

$$R_d = \frac{0,9 \cdot 4,88}{1,1}$$

$$R_d = \underline{\underline{3,99 [KN] pro Stabdübel / pro Scherfuge}}$$

$$R_d = 3,99 \cdot 2$$

$$R_d = \underline{\underline{7,98 [KN] pro Stabdübel}}$$

Wirksame Anzahl von Stabdübeln

Die Strebenbreite beträgt 30 cm. Bei einem Stabdübelabstand von 3 d (2,4 cm) rechtwinklig zur Faserrichtung bzw. vom unbeanspruchten Rand können zehn Stabdübel-

reihen nebeneinander angeordnet werden. Durch die Verjüngung der Streben an den Enden können acht Reihen mit 25 und zwei Reihen mit 13 angeschlossen werden. Um die Kraft von 965,3 [kN] anzuschließen stehen also 226 Stabdübel zur Verfügung.

$$n_{ef,1} = \min \left\{ n; n^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{10 \cdot d}} \right\}$$

$$n_{ef,1} = \min \left\{ 25; 25^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{24}{10 \cdot 8}} \right\}$$

$$n_{ef,1} = 13,41$$

$$n_{ef,2} = \min \left\{ n; n^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{10 \cdot d}} \right\}$$

$$n_{ef,2} = \min \left\{ 13; 13^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{24}{10 \cdot 8}} \right\}$$

$$n_{ef,2} = 7,45$$

Gesamtanzahl der wirksamen Stabdübel:

$$n_{ges.} = n_{ef,1} \cdot r_1 + n_{ef,2} \cdot r_2$$

mit:

$$r_1 = 8 \text{ Reihen}$$

$$r_2 = 2 \text{ Reihen}$$

$$n_{ges.} = 13,41 \cdot 8 + 7,45 \cdot 2$$

$$n_{ges.} = 122,2$$

Nachweis Verbindungstragfähigkeit

$$\frac{F_d}{n_{ges} \cdot R_d} \leq 1,0 = \frac{965,3}{122,2 \cdot 7,98} = \underline{\underline{0,99 < 1,0}}$$

Nachweis: 6-16 Verbindungstragfähigkeit

Verbindungsmittelabstände:

Mindestabstände nach Tabelle 8 DIN 1052 Abs. 12.3

Abstandsrichtung	Kurzzeichen	Abstand
parallel zur Faserrichtung	a_1	$(3 + 2 \cdot \cos \alpha) \cdot d$ $(3 + 2 \cdot \cos 0) \cdot 0,8$ <u>$4,0 [cm]$</u>

rechtwinklig zur Faserrichtung	a_2	$3 \cdot d$ $3 \cdot 0,8$ $= 2,4 [cm]$
beanspruchter Rand	$a_{2,t}$	$3 \cdot d$ $3 \cdot 0,8$ $= 2,4 [cm]$
unbeanspruchter Rand	$a_{2,c}$	$3 \cdot d$ $3 \cdot 0,8$ $= 2,4 [cm]$
beanspruchtes Hirnholzende	$a_{1,t}$	$7 \cdot d$ $7 \cdot 0,8$ $= 5,6 [cm]$
Unbeanspruchtes Hirnholzende	$a_{1,c}$	$7 \cdot d \cdot \sin \alpha$ $7 \cdot 1,6 \cdot \sin 0^\circ$ $= 0 [cm]$ <i>bzw.</i> $3 \cdot d$ $3 \cdot 0,8$ $= 2,4 [cm]$

Tabelle 6-12 Mindestabstände Passbolzen

6.4.1.2 Nachweis der Zugspannung in der Strebe

Die Streben haben einen quadratischen Querschnitt von 30/30 cm² und werden aus Brettschichtholz GL 28h hergestellt. Für den Träger ergeben sich folgende Querschnittswerte:

Querschnittsfläche: $A = b \cdot h$
 $A = 30 \cdot 30 = 900 [cm^2]$

Fehlfläche:

Stabdübel: $A = n \cdot d \cdot l$
 $A = 10 \cdot 0,8 \cdot 28,8$
 $A = 230,4 [cm^2]$

$$\begin{aligned}
 \text{Stahlblech:} \quad & A = b \cdot h \\
 & A = 1,2 \cdot 30 = 36 [\text{cm}^2] \\
 \\
 \text{Nettofläche:} \quad & A_{\text{netto}} : A_{\text{ges.}} - A \\
 & A_{\text{netto}} : 900 - 230,4 - 36 \\
 & A_{\text{netto}} : 633,6 [\text{cm}^2]
 \end{aligned}$$

Die maximal vorhandene Zugspannung beträgt:

$$\begin{aligned}
 \max \delta_{t,0,d} &= \frac{F_d}{A} \\
 \max \delta_{t,0,d} &= \frac{965,3}{633,6} = 152 [\text{KN} / \text{cm}^2]
 \end{aligned}$$

Festigkeitskennwert des Querträgers

$$f_{t,0,k} = 2,25 [\text{KN} / \text{cm}^2]$$

Bemessungswert der Festigkeit

$$f_{t,0,d} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot f_{m,y,k}}{\gamma_m} = \frac{0,9 \cdot 2,25}{1,3} = 1,56 [\text{KN} / \text{cm}^2]$$

Nachweis der Zugspannung

$$\frac{\delta_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} \leq 1,0 = \frac{1,52}{1,56} = \underline{\underline{0,97}} < 1,0$$

Nachweis: 6-17 Zugspannung

6.4.1.3 Nagelverbindung

Der Anschluss der Strebe erfolgt über ein Blech, das mit Sondernägeln der Tragfähigkeitsklasse 3C angeschlossen wird. Hierzu werden Nägel mit den Abmessungen 6,0x60 verwendet. Die Strebe bzw. die Strebenkraft greift unter einem Winkel von 60° an. Für die Bemessung des Anschlusses wird die Kraft in eine horizontale und vertikale Komponente zerlegt. Der Horizontalanteil beansprucht die Nägel auf abscheren. Der Vertikalanteil beansprucht die Nägel auf herausziehen. Die Nägel müssen für diese kombinierte Beanspruchung nachgewiesen werden.

Zerlegung der Strebenkraft:

$$\begin{aligned}
 \max N &= 965,3 [\text{KN}] \\
 F_{\text{senk},d} &= 965,3 \cdot \cos 30^\circ = 836 [\text{KN}] \\
 F_{\text{para},d} &= 965,3 \cdot \sin 30^\circ = 483 [\text{KN}]
 \end{aligned}$$

Lochleibungsfestigkeit des Holzes

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot \rho_k \cdot d^{-0,3}$$

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot 430 \cdot 6^{-0,3}$$

$$f_{h,0,k} = \underline{\underline{20,59[N/mm^2]}}$$

Fließmoment des Sondernagels

$$M_{y,k} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6}$$

$$M_{y,k} = 0,3 \cdot 600 \cdot 6^{2,6}$$

$$M_{y,k} = \underline{\underline{18987[Nmm]}}$$

Charakteristische Tragfähigkeit des Sondernagels auf abscheren

$$R_k = A \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,k} \cdot f_{h,0,k} \cdot d}$$

$$R_k = 1,4 \cdot \sqrt{2 \cdot 18987 \cdot 20,59 \cdot 6}$$

$$R_k = \underline{\underline{3032,35[N]}} \mapsto \underline{\underline{3,0[KN]}}$$

Bemessungswert der Tragfähigkeit des Sondernagels auf abscheren

$$R_d = \frac{k_{\text{mod}} \cdot R_k}{\gamma_m}$$

$$R_d = \frac{0,9 \cdot 3,0}{1,1}$$

$$R_d = \underline{\underline{2,48[KN]}}$$

Anzahl der erforderlichen Nägel

$$n = \frac{F_{\text{para},d}}{R_d}$$

$$n = \frac{483}{2,48} = 194$$

gewählt 200 Nägel in 8 Reihen

Charakteristische Tragfähigkeit des Sondernagels auf herausziehen

$$R_{ax,k} = f_{1,k} \cdot d \cdot l_{ef}$$

mit

$$l_{ef} = 60 - 10 = 50[mm] > 8 \cdot d = 48[mm]$$

mit

$$f_{1,k} = 50 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2$$

$$f_{1,k} = 50 \cdot 10^{-6} \cdot 430_k^2$$

$$f_{1,k} = 9,245$$

$$R_{ax,k} = 9,245 \cdot 6 \cdot 50$$

$$R_{ax,k} = 2773,5[N]$$

$$R_{ax,k} = 2,77[KN]$$

$$R_{ax,k} = f_{2,k} \cdot d_k^2$$

mit

$$f_{2,k} = 100 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2$$

$$f_{2,k} = 100 \cdot 10^{-6} \cdot 430_k^2$$

$$f_{2,k} = 18,49[N/mm^2]$$

mit

$$d_k = 13[mm]$$

$$R_{ax,k} = 18,49 \cdot 13^2$$

$$R_{ax,k} = 3124,8[N]$$

$$R_{ax,k} = 31,2[KN]$$

maßgebend ist hier also $R_{ax,k} = 2,77[KN]$.

Bemessungswert Tragfähigkeit des Sondernagels auf herausziehen

$$R_d = \frac{k_{mod} \cdot R_k}{\gamma_m}$$

$$R_d = \frac{0,9 \cdot 2,77}{1,1}$$

$$R_d = \underline{\underline{2,27[KN]}}$$

Anzahl der erforderlichen Nägel

$$n = \frac{F_{senk,d}}{R_d}$$

$$n = \frac{836}{2,27} = 368,3$$

gewählt 424 Nägel in 8 Reihen

Nachweis der Tragfähigkeit bei kombinierter Beanspruchung

$$\left(\frac{F_{ax,d}}{R_{ax,d}}\right)^m + \left(\frac{F_{la,d}}{R_{la,d}}\right)^m \leq 1,0$$

mit

$$R_{ax,d} = 424 \cdot 2,27 = 962,5 [KN]$$

$$R_{la,d} = 424 \cdot 2,48 = 1051,5 [KN]$$

$$\left(\frac{836}{962,5}\right)^2 + \left(\frac{483}{1051,5}\right)^2 = \underline{\underline{0,97 < 1,0}}$$

Nachweis: 6-18 Tragfähigkeit bei kombinierter Beanspruchung

Mindestabstände der Nagelverbindung

die Mindestabstände werden in der Tabelle 10 des Abschnitt 12.5 der DIN 1052³³ geregelt.

Abstandsrichtung	Kurzzeichen	Abstand
parallel zur Faserrichtung	a_1	$(7 + 8 \cdot \cos \alpha) \cdot d$ $(7 + 8 \cdot \cos 60) \cdot 0,6$ <u>$6,60 [cm]$</u>
rechtwinklig zur Faserrichtung	a_2	$7 \cdot d$ $7 \cdot 0,6$ <u>$= 4,20 [cm]$</u>
beanspruchter Rand	$a_{2,t}$	$(7 + 5 \cdot \sin \alpha) \cdot d$ $(7 + 5 \cdot \sin 60) \cdot 0,6$ <u>$= 6,8 [cm]$</u>
unbeanspruchter Rand	$a_{2,c}$	$7 \cdot d$ $7 \cdot 0,6$ <u>$= 4,20 [cm]$</u>

Tabelle 6-13 Mindestabstände Nägel

³³ DIN 1052 Abschnitt 12.5 Tabelle 10 Mindestabstände von Nägeln

Der Obergurt hat eine Breite von 36 [cm]. Das Stahlblech steht an den Seiten um 10 [mm] zurück. In den Obergurt können folgende Anzahl von Nagelreihen eingebracht werden:

$$n = \frac{(b - 2 \cdot a_{2,c})}{a_2}$$

$$n = \frac{(36 - 2 \cdot 4,2)}{4,2}$$

$$n = 6,57 \rightarrow 6,0$$

In den Hauptträger können 6 Reihen Sondernägel eingebaut werden. Damit ergibt sich für eine Nagelreihe folgende Anzahl von Nägeln:

$$n = \frac{424}{6}$$

$$n = 70,66 \rightarrow 71$$

Daraus folgt eine Anschlusslänge von:

$$l = n \cdot a_1$$

$$l = 71 \cdot 6,60$$

$$l = 468,6 [cm]$$

Beim Druckstrebenanschluss wird für die Anschlussbemessung nur der Horizontalkraftanteil der Strebenkraft für die Verbindungsmittel berücksichtigt. Die senkrechte Kraftkomponente wird über Kontaktpressung übertragen. Bei der Zugstrebe wird auch die senkrechte Kraftkomponente über die Verbindungsmittel abgetragen. Deshalb ist bei der Zugstrebe die Anzahl der Verbindungsmittel höher [siehe auch]. Daraus resultiert eine sehr große Anschlusslänge von 4,68 [m], sodass der Anschluss so nicht ausgeführt werden kann.

Die neue Anschlusskonstruktion erfolgt mit einem eingeschlitzten Stahlprofil. Hierzu wird ein halber Stahlträger in die Trägerunterkante eingeschlitzt. Die Verbindung des Stahlprofils mit dem Brettschichtholzträger erfolgt über Stabdübel. Die Stabdübel werden so bemessen, dass sie die gesamte Strebenkraft in den Obergurt weiterleiten. Der Anschluss der Strebe an den Untergurt bzw. Obergurt erfolgt durch ein eingeschlitztes Stahlblech und Stabdübeln.

6.4.1.4 Stabdübelverbindung HE – B Profil

Anzuschließende Kraft:

Aus den Strebenkräften ergebn sich eine horizontal und eine vertikal Komponente, die angeschlossen werden muss. Die Kraftkomponenten bilden eine resultierende Kraft, die unter einen bestimmten Winkel angreift.

$$R_{senk.} = 104,8 [KN]$$

$$R_{hori.} = 888,5 [KN]$$

$$R_{ges.} = \sqrt{R_{senk.}^2 + R_{hori.}^2}$$

$$R_{ges.} = \sqrt{104,8^2 + 888,5^2}$$

$$R_{ges.} = 894,7 [KN]$$

Der Winkel der Kraft beträgt:

$$\alpha = \arctan \frac{R_{senk.}}{R_{hori.}} = \frac{104,8}{888,5} = 6,75^\circ$$

Im ersten Bereich werden die Streben mit einem halben HE – B 500 Profil angeschlossen, das mit 20 [mm] Stabdübeln an den Obergurt befestigt wird.

Verwendete Verbindungsmittel

$$\text{Stabdübel } d=20[\text{mm}] \text{ der Stahlgüte S235} \quad f_{u,k} = 360 [N/mm^2]$$

Stahlprofil HE – B 500 S235

Lochleibungsfestigkeit des Holzes

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k$$

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 20) \cdot 430$$

$$f_{h,0,k} = \underline{\underline{28,21 [N/mm^2]}}$$

$$f_{h,7,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$$

$$k_{90} = 1,35 \cdot 0,015 \cdot d$$

$$k_{90} = 1,35 \cdot 0,015 \cdot 20$$

$$k_{90} = 1,65$$

$$f_{h,7,k} = \frac{28,21}{1,65 \cdot \sin^2 7 + \cos^2 7}$$

$$f_{h,7,k} = 27,94$$

Fließmoment des Stabdübels

$$M_{y,k} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6}$$

$$M_{y,k} = 0,3 \cdot 360 \cdot 20^{2,6}$$

$$M_{y,k} = \underline{\underline{260677 [Nmm]}}$$

Charakteristische Tragfähigkeit des Stabdübels

$$R_k = \sqrt{2} \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,k} \cdot f_{h,7,k} \cdot d}$$

$$R_k = \sqrt{2} \cdot \sqrt{2 \cdot 260677 \cdot 27,94 \cdot 20}$$

$$R_k = \underline{\underline{24135[N]}} \mapsto \underline{\underline{24,14[KN]}}$$

Mindestholzdicken

$$t_{req} = 1,15 \cdot 4 \cdot \sqrt{\frac{M_{y,k}}{f_{h,0,k} \cdot d}}$$

$$t_{req} = 1,15 \cdot 4 \cdot \sqrt{\frac{260677}{28,21 \cdot 20}}$$

$$t_{req} = \underline{\underline{98,9[mm]}}$$

Die Mindestholzdicke beträgt 9,8 [cm] und ist somit kleiner als die vorhandene Holzdicke von 17,5 [cm]. Daher ist eine Abminderung der Tragfähigkeit der Stabdübelverbindung nicht notwendig.

Bemessungswert der Tragfähigkeit der Stabdübel:

$$R_d = \frac{k_{mod} \cdot R_k}{\gamma_m}$$

$$R_d = \frac{0,9 \cdot 24,14}{1,1}$$

$$R_d = \underline{\underline{19,75[KN]}} \text{ pro Stabdübel / pro Scherfuge}$$

$$R_d = 19,75 \cdot 2$$

$$R_d = \underline{\underline{39,5[KN]}} \text{ pro Stabdübel}$$

Erforderliche Stabdübelanzahl:

$$n_{erf.} = \frac{F_d}{R_d} = \frac{894,7}{39,5} = 22,65$$

Gewählt: 3 Reihen á 15 Stabdübel

Wirksame Stabdübelanzahl:

$$n_{ef} = \min \left[\left\{ n; n^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{10 \cdot d}} \right\} \cdot \frac{90 - \alpha}{90} + n \cdot \frac{\alpha}{90} \right]$$

$$n_{ef} = \min \left[\left\{ 15; 15^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{60}{10 \cdot 20}} \right\} \cdot \frac{90 - 7}{90} + 15 \cdot \frac{7}{90} \right]$$

$$n_{ef} = 8,97$$

Nachweis Verbindungstragfähigkeit

$$\frac{F_d}{n_{ef} \cdot s \cdot R_d} \leq 1,0 = \frac{894,7}{8,97 \cdot 3 \cdot 39,5} = 0,84 < 1,0$$

$s = \text{Reihen}$

Nachweis: 6-19 Verbindungstragfähigkeit

Verbindungsmittelabstände:

Mindestabstände nach Tabelle 8 DIN 1052 Abs. 12.3

Abstandsrichtung	Kurzzeichen	Abstand
parallel zur Faserrichtung	a_1	$(3 + 2 \cdot \cos \alpha) \cdot d$ $(3 + 2 \cdot \cos 7^\circ) \cdot 2,0$ <u>$9,9[\text{cm}]$</u>
rechtwinklig zur Faserrichtung	a_2	$3 \cdot d$ $3 \cdot 2,0$ <u>$= 6,0[\text{cm}]$</u>
beanspruchter Rand	$a_{2,t}$	$3 \cdot d$ $3 \cdot 2,0$ <u>$= 6,0[\text{cm}]$</u>
unbeanspruchter Rand	$a_{2,c}$	$3 \cdot d$ $3 \cdot 2,0$ <u>$= 6,0[\text{cm}]$</u>
beanspruchtes Hirnholzende	$a_{1,t}$	$7 \cdot d$ $7 \cdot 2,0$ <u>$= 14,0[\text{cm}]$</u>
Unbeanspruchtes Hirnholzende	$a_{1,c}$	$7 \cdot d \cdot \sin \alpha$ $7 \cdot 2,0 \cdot \sin 7^\circ$ <u>$= 1,7[\text{cm}]$</u> bzw. $3 \cdot d$ $3 \cdot 2,0$ <u>$= 6,0[\text{cm}]$</u>

Tabelle 6-14 Mindestabstände Passbolzen

6.4.1.5 Nachweis der Zugspannung im Obergurt mit Nettoquerschnitt

Im Bereich des Anschlusses der Streben an den Obergurt wird ein halber HE-B 500 Stahlprofil eingeschlitzt und mit 20 [mm] Stabdübeln an den Obergurt angeschlossen. In diesem Bereich ist der Querschnitt durch die Fehlflächen des Trägersteges und der Stabdübel – die in drei Reihen übereinander sitzen – reduziert. Diese reduzierte Fläche muss in der Lage sein die Zugspannungen aufzunehmen. Siehe hierzu auch [5.3.2]

Systemskizze:

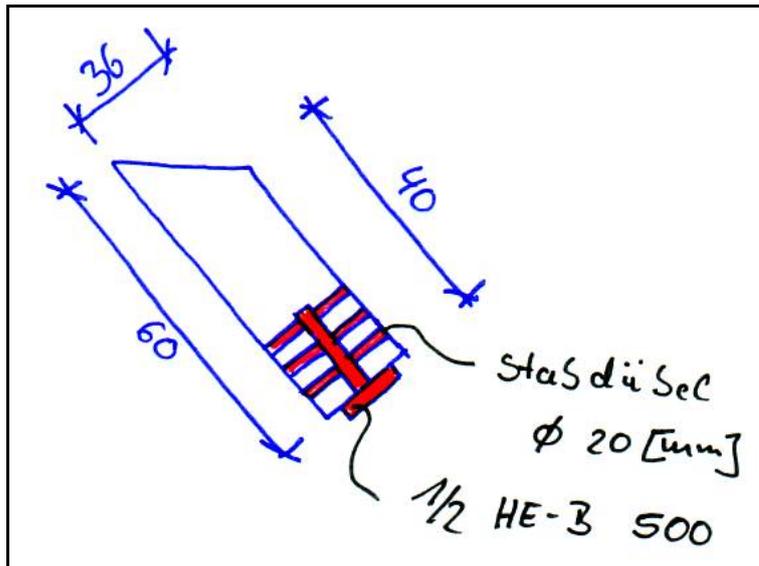


Abb.: 6.9 Nettoquerschnittsfläche

Nettoquerschnitt:

$$A = \left(\frac{a+b}{2} \right) \cdot h$$

Querschnittsfläche: $A = \left(\frac{40+60}{2} \right) \cdot 36$
 $A = 1800 [cm^2]$

Fehlfläche:

$$A = n \cdot d \cdot l$$

Stabdübel: $A = 3 \cdot 2,0 \cdot 34,8$
 $A = 208,8 [cm^2]$

Stahlblech:

$$A = b \cdot h$$

$$A = 1,2 \cdot 25 = 30 [cm^2]$$

$$A_{netto} : A_{ges.} - A$$

Nettofläche: $A_{netto} : 1800 - 208,8 - 30$

$$A_{netto} : 1561 [cm^2]$$

Die maximal vorhandene Zugspannung beträgt:

$$\max \delta_{t,0,d} = \frac{F_d}{A}$$

$$\max \delta_{t,0,d} = \frac{1969}{1561} = 1,26 [KN/cm^2]$$

Festigkeitskennwert des Obergurtes

$$f_{t,0,k} = 2,25 [KN/cm^2]$$

Bemessungswert der Festigkeit

$$f_{c,0,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{m,y,k}}{\gamma_m} = \frac{0,9 \cdot 2,25}{1,3} = 1,56 [KN/cm^2]$$

Nachweis der Biegespannung

$$\frac{\delta_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\delta_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1,0 = \frac{1,26}{1,56} + \frac{0,41}{2,21} = \underline{\underline{0,99 < 1,0}}$$

Nachweis: 6-20 Biegespannung und Zug

6.4.2 Bemessung im Bereich 2 bzw. 5

Der Anschluss der Strebe an den Untergurt bzw. Obergurt erfolgt durch ein eingeschlitztes Stahlblech und Stabdübeln.

6.4.2.1 Stabdübelverbindung

Maximale anzuschließende Normalkraft

$$F_d = +578,6 [KN]$$

Verwendete Verbindungsmittel

Stabdübel d=8[mm] der Stahlgüte S235 $f_{u,k} = 360 [N/mm^2]$

Stahlblech t=12[mm] der Stahlgüte S235

Lochleibungsfestigkeit des Holzes

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k$$

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 8) \cdot 410$$

$$f_{h,0,k} = \underline{\underline{30,94 [N/mm^2]}}$$

Fließmoment des Stabdübels

$$M_{y,k} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6}$$

$$M_{y,k} = 0,3 \cdot 360 \cdot 8^{2,6}$$

$$M_{y,k} = \underline{\underline{24069 [Nmm]}}$$

Charakteristische Tragfähigkeit des Stabdübels

$$R_k = \sqrt{2} \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,k} \cdot f_{h,0,k} \cdot d}$$

$$R_k = \sqrt{2} \cdot \sqrt{2 \cdot 24069 \cdot 30,94 \cdot 8}$$

$$R_k = \underline{\underline{4881 [N]}} \mapsto \underline{\underline{4,88 [KN]}}$$

Mindestholzdicken

$$t_{req} = 1,15 \cdot 4 \cdot \sqrt{\frac{M_{y,k}}{f_{h,0,k} \cdot d}}$$

$$t_{req} = 1,15 \cdot 4 \cdot \sqrt{\frac{24069}{30,94 \cdot 8}}$$

$$t_{req} = \underline{\underline{45,4 [mm]}}$$

Die Mindestholzdicke beträgt 4,5 [cm] und ist somit kleiner als die vorhandene Holzdicke von 14,4 [cm]. Daher ist eine Abminderung der Tragfähigkeit der Stabdübelverbindung nicht notwendig.

Bemessungswert der Tragfähigkeit der Stabdübel:

$$R_d = \frac{k_{mod} \cdot R_k}{\gamma_m}$$

$$R_d = \frac{0,9 \cdot 4,88}{1,1}$$

$$R_d = \underline{\underline{3,99 [KN] pro Stabdübel / pro Scherfuge}}$$

$$R_d = 3,99 \cdot 2$$

$$R_d = \underline{\underline{7,98 [KN] pro Stabdübel}}$$

Wirksame Anzahl von Stabdübeln

Die Strebenbreite beträgt 30 cm. Bei einem Stabdübelabstand von 3 d (2,4 cm) rechtwinklig zur Faserrichtung bzw. vom unbeanspruchten Rand können zehn Stabdübelreihen nebeneinander angeordnet werden. Hier werden acht Reihen á 18 Stabdübel

eingebraucht. Um die Kraft von +578,6 [kN] anzuschließen stehen also 144 Stabdübel zur Verfügung.

$$n_{ef} = \min \left\{ n; n^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{10 \cdot d}} \right\}$$

$$n_{ef} = \min \left\{ 18; 18^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{24}{10 \cdot 8}} \right\}$$

$$n_{ef} = 9,97$$

Gesamtanzahl der wirksamen Stabdübel:

$$n_{ges.} = n_{ef} \cdot r_1$$

mit:

$$r = 8 \text{ Reihen}$$

$$n_{ges.} = 9,97 \cdot 8$$

$$n_{ges.} = 79,82$$

Nachweis Verbindungstragfähigkeit

$$\frac{F_d}{n_{ges} \cdot R_d} \leq 1,0 = \frac{578,6}{79,82 \cdot 7,98} = 0,91 < 1,0$$

Nachweis: 6-21 Verbindungstragfähigkeit

Verbindungsmittelabstände:

Mindestabstände nach Tabelle 8 DIN 1052 Abs. 12.3

Abstandsrichtung	Kurzzeichen	Abstand
parallel zur Faserrichtung	a_1	$(3 + 2 \cdot \cos \alpha) \cdot d$ $(3 + 2 \cdot \cos 0) \cdot 0,8$ <u>$4,0 [cm]$</u>
rechtwinklig zur Faserrichtung	a_2	$3 \cdot d$ $3 \cdot 0,8$ <u>$= 2,4 [cm]$</u>
beanspruchter Rand	$a_{2,t}$	$3 \cdot d$ $3 \cdot 0,8$ <u>$= 2,4 [cm]$</u>

unbeanspruchter Rand	$a_{2,c}$	$3 \cdot d$ $3 \cdot 0,8$ $= 2,4 [cm]$
beanspruchtes Hirnholzende	$a_{1,t}$	$7 \cdot d$ $7 \cdot 0,8$ $= 5,6 [cm]$
Unbeanspruchtes Hirnholzende	$a_{1,c}$	$7 \cdot d \cdot \sin \alpha$ $7 \cdot 1,6 \cdot \sin 0^\circ$ $= 0 [cm]$ <i>bzw.</i> $3 \cdot d$ $3 \cdot 0,8$ $= 2,4 [cm]$

Tabelle 6-15 Mindestabstände Passbolzen

6.4.2.2 Nachweis der Zugspannung in der Strebe

Die Streben haben einen quadratischen Querschnitt von 30/30 cm² und werden aus Brettschichtholz GL 28h hergestellt. Für den Träger ergeben sich folgende Querschnittswerte:

Querschnittsfläche: $A = b \cdot h$
 $A = 30 \cdot 30 = 900 [cm^2]$

Fehlfläche:

Stabdübel: $A = n \cdot d \cdot l$
 $A = 8 \cdot 0,8 \cdot 28,8$
 $A = 185 [cm^2]$

Stahlblech: $A = b \cdot h$
 $A = 1,2 \cdot 30 = 36 [cm^2]$

Nettofläche: $A_{netto} : A_{ges.} - A$
 $A_{netto} : 900 - 185 - 36$
 $A_{netto} : 679 [cm^2]$

Die maximal vorhandene Zugspannung beträgt:

$$\max \delta_{t,0,d} = \frac{F_d}{A}$$

$$\max \delta_{t,0,d} = \frac{578,6}{679} = 0,85 [KN/cm^2]$$

Festigkeitskennwert des Querträgers

$$f_{t,0,k} = 2,25 [KN/cm^2]$$

Bemessungswert der Festigkeit

$$f_{t,0,d} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot f_{m,y,k}}{\gamma_m} = \frac{0,9 \cdot 2,25}{1,3} = 1,56 [KN/cm^2]$$

Nachweis der Zugspannung

$$\frac{\delta_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} \leq 1,0 = \frac{0,85}{1,56} = \underline{\underline{0,55}} < 1,0$$

Nachweis: 6-22 Zugspannung

6.4.2.3 Stabdübelverbindung HE – B Profil

Anzuschließende Kraft:

Aus den Strebenkräften ergebe sich eine horizontal und eine vertikal Komponente, die angeschlossen werden muss. Die Kraftkomponenten bilden eine resultierende Kraft, die unter einen bestimmten Winkel angreift.

$$R_{\text{senk.}} = 88,59 [KN]$$

$$R_{\text{hori.}} = 504,15 [KN]$$

$$R_{\text{ges.}} = \sqrt{R_{\text{senk.}}^2 + R_{\text{hori.}}^2}$$

$$R_{\text{ges.}} = \sqrt{88,59^2 + 504,15^2}$$

$$R_{\text{ges.}} = 511,87 [KN]$$

Der Winkel der Kraft beträgt:

$$\alpha = \arctan \frac{R_{\text{senk.}}}{R_{\text{hori.}}} = \frac{88,59}{504,15} = 9,97^\circ$$

Im zweiten Bereich werden die Streben mit einem halben HE – B 400 Profil angeschlossen, das mit 20 [mm] Stabdübeln an den Obergurt befestigt wird.

Verwendete Verbindungsmittel

$$\text{Stabdübel } d=20[\text{mm}] \text{ der Stahlgüte S235} \quad f_{u,k} = 360 [N/mm^2]$$

Stahlprofil HE – B 400 S235

Lochleibungsfestigkeit des Holzes

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k$$

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 20) \cdot 430$$

$$f_{h,0,k} = \underline{\underline{28,21 [N/mm^2]}}$$

$$f_{h,9,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$$

$$k_{90} = 1,35 \cdot 0,015 \cdot d$$

$$k_{90} = 1,35 \cdot 0,015 \cdot 20$$

$$k_{90} = 1,65$$

$$f_{h,9,k} = \frac{28,21}{1,65 \cdot \sin^2 9 + \cos^2 9}$$

$$f_{h,9,k} = 27,66$$

Fließmoment des Stabdübels

$$M_{y,k} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6}$$

$$M_{y,k} = 0,3 \cdot 360 \cdot 20^{2,6}$$

$$M_{y,k} = \underline{\underline{260677 [Nmm]}}$$

Charakteristische Tragfähigkeit des Stabdübels

$$R_k = \sqrt{2} \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,k} \cdot f_{h,9,k} \cdot d}$$

$$R_k = \sqrt{2} \cdot \sqrt{2 \cdot 260677 \cdot 27,66 \cdot 20}$$

$$R_k = \underline{\underline{24,013 [N]}} \mapsto \underline{\underline{24,02 [KN]}}$$

Mindestholzdicken

$$t_{req} = 1,15 \cdot 4 \cdot \sqrt{\frac{M_{y,k}}{f_{h,0,k} \cdot d}}$$

$$t_{req} = 1,15 \cdot 4 \cdot \sqrt{\frac{260677}{28,21 \cdot 20}}$$

$$t_{req} = \underline{\underline{98,9 [mm]}}$$

Die Mindestholzdicke beträgt 9,8 [cm] und ist somit kleiner als die vorhandene Holzdicke von 17,5 [cm]. Daher ist eine Abminderung der Tragfähigkeit der Stabdübelverbindung nicht notwendig.

Bemessungswert der Tragfähigkeit der Stabdübel:

$$R_d = \frac{k_{\text{mod}} \cdot R_k}{\gamma_m}$$

$$R_d = \frac{0,9 \cdot 24,14}{1,1}$$

$$R_d = 19,75 \text{ [KN]} \text{ pro Stabdübel / pro Scherfuge}$$

$$R_d = 19,75 \cdot 2$$

$$R_d = 39,5 \text{ [KN]} \text{ pro Stabdübel}$$

Erforderliche Stabdübelanzahl:

$$n_{\text{erf.}} = \frac{F_d}{R_d} = \frac{511,87}{39,5} = 12,9$$

Gewählt: 2 Reihen á 12 Stabdübel

Wirksame Stabdübelanzahl:

$$n_{\text{ef}} = \min \left[\left\{ n; n^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{10 \cdot d}} \right\} \cdot \frac{90 - \alpha}{90} + n \cdot \frac{\alpha}{90} \right]$$

$$n_{\text{ef}} = \min \left[\left\{ 12; 12^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{60}{10 \cdot 20}} \right\} \cdot \frac{90 - 7}{90} + 12 \cdot \frac{7}{90} \right]$$

$$n_{\text{ef}} = 7,55$$

Nachweis Verbindungstragfähigkeit

$$\frac{F_d}{n_{\text{ef}} \cdot s \cdot R_d} \leq 1,0 = \frac{511,87}{7,55 \cdot 2 \cdot 39,5} = 0,85 < 1,0$$

$s = \text{Reihen}$

Nachweis: 6-23 Verbindungstragfähigkeit

Verbindungsmittelabstände:

Mindestabstände nach Tabelle 8 DIN 1052 Abs. 12.3

Abstandsrichtung	Kurzzeichen	Abstand
parallel zur Faserrichtung	a_1	$(3 + 2 \cdot \cos \alpha) \cdot d$ $(3 + 2 \cdot \cos 9) \cdot 2,0$ <u>$9,9 \text{ [cm]}$</u>

rechtwinklig zur Faserrichtung	a_2	$3 \bullet d$ $3 \bullet 2,0$ $= \underline{\underline{6,0[cm]}}$
beanspruchter Rand	$a_{2,t}$	$3 \bullet d$ $3 \bullet 2,0$ $= \underline{\underline{6,0[cm]}}$
unbeanspruchter Rand	$a_{2,c}$	$3 \bullet d$ $3 \bullet 2,0$ $= \underline{\underline{6,0[cm]}}$
beanspruchtes Hirnholzende	$a_{1,t}$	$7 \bullet d$ $7 \bullet 2,0$ $= \underline{\underline{14,0[cm]}}$
Unbeanspruchtes Hirnholzende	$a_{1,c}$	$7 \bullet d \bullet \sin \alpha$ $7 \bullet 2,0 \bullet \sin 9^\circ$ $= \underline{\underline{2,1[cm]}}$ <i>bzw.</i> $3 \bullet d$ $3 \bullet 2,0$ $= \underline{\underline{6,0[cm]}}$

Tabelle 6-16 Mindestabstände Passbolzen

6.4.2.4 Nachweis der Zugspannung im Obergurt mit Nettoquerschnitt

Im Bereich des Anschlusses der Streben an den Obergurt wird ein halber HE-B 400 Stahlprofil eingeschlitzt und mit 20 [mm] Stabdübeln an den Obergurt angeschlossen. In diesem Bereich ist der Querschnitt durch die Fehlflächen des Trägersteges und der Stabdübel – die in zwei Reihen übereinander sitzen – reduziert. Diese reduzierte Fläche muss in der Lage sein die Zugspannungen aufzunehmen. Siehe hierzu auch [5.3.2]

Systemskizze:

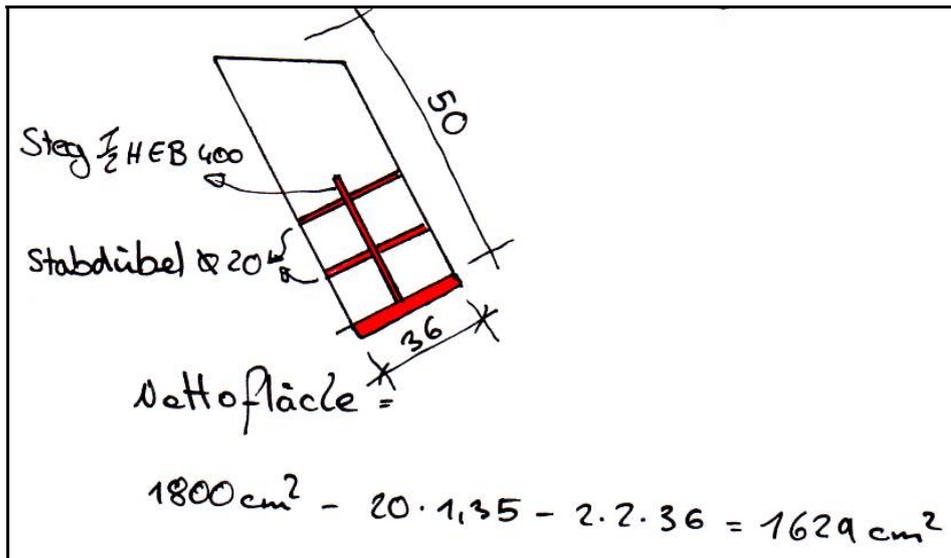


Abb.: 6.10 Nettoquerschnittsfläche

Nettoquerschnitt:

$$A = \left(\frac{a+b}{2} \right) \cdot h$$

Querschnittsfläche: $A = \left(\frac{40+60}{2} \right) \cdot 36$

$$A = 1800 [\text{cm}^2]$$

Fehlfläche:

$$A = n \cdot d \cdot l$$

Stabdübel: $A = 2 \cdot 2,0 \cdot 34,8$

$$A = 139,2 [\text{cm}^2]$$

Stahlblech:

$$A = b \cdot h$$

$$A = 1,2 \cdot 20 = 24 [\text{cm}^2]$$

Nettofläche:

$$A_{\text{netto}} : A_{\text{ges.}} - A$$

$$A_{\text{netto}} : 1800 - 139,2 - 24$$

$$A_{\text{netto}} : 1637 [\text{cm}^2]$$

Die maximal vorhandene Zugspannung beträgt:

$$\max \sigma_{t,0,d} = \frac{F_d}{A}$$

$$\max \sigma_{t,0,d} = \frac{1969}{1637} = 1,20 [\text{KN} / \text{cm}^2]$$

Festigkeitskennwert des Obergurtes

$$f_{t,0,k} = 2,25 [KN/cm^2]$$

Bemessungswert der Festigkeit

$$f_{c,0,d} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot f_{m,y,k}}{\gamma_m} = \frac{0,9 \cdot 2,25}{1,3} = 1,56 [KN/cm^2]$$

Nachweis der Biegespannung

$$\frac{\delta_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\delta_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1,0 = \frac{1,20}{1,56} + \frac{0,41}{2,21} = \underline{\underline{0,96 < 1,0}}$$

Nachweis: 6-24 Biegespannung und Zug

6.4.3 Bemessung im Bereich 3 bzw. 4

Der Anschluss der Strebe an den Untergurt bzw. Obergurt erfolgt durch ein eingeschlitztes Stahlblech und Stabdübeln. Die Stabdübel werden ausschließlich zur Verbindung der Strebe mit dem Stahlblech eingesetzt. Die Verbindung zum Obergurt erfolgt durch eine Nagelverbindung mit Sondernägeln. Der Anschluss an den Untergurt erfolgt durch eine Schweißverbindung, da der Untergurt aus Stahl besteht.

6.4.3.1 Stabdübelverbindung

Maximale anzuschließende Normalkraft

$$F_d = +178,2 [KN]$$

Verwendete Verbindungsmittel

Stabdübel $d=8[\text{mm}]$ der Stahlgüte S235 $f_{u,k} = 360 [N/mm^2]$

Stahlblech $t=12[\text{mm}]$ der Stahlgüte S235

Lochleibungsfestigkeit des Holzes

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k$$

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 8) \cdot 410$$

$$f_{h,0,k} = \underline{\underline{30,94 [N/mm^2]}}$$

Fließmoment des Stabdübels

$$M_{y,k} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6}$$

$$M_{y,k} = 0,3 \cdot 360 \cdot 8^{2,6}$$

$$M_{y,k} = \underline{\underline{24069[Nmm]}}$$

Charakteristische Tragfähigkeit des Stabdübels

$$R_k = \sqrt{2} \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,k} \cdot f_{h,0,k} \cdot d}$$

$$R_k = \sqrt{2} \cdot \sqrt{2 \cdot 24069 \cdot 30,94 \cdot 8}$$

$$R_k = \underline{\underline{4881[N]}} \mapsto \underline{\underline{4,88[KN]}}$$

Mindestholzdicken

$$t_{req} = 1,15 \cdot 4 \cdot \sqrt{\frac{M_{y,k}}{f_{h,0,k} \cdot d}}$$

$$t_{req} = 1,15 \cdot 4 \cdot \sqrt{\frac{24069}{30,94 \cdot 8}}$$

$$t_{req} = \underline{\underline{45,4[mm]}}$$

Die Mindestholzdicke beträgt 4,5 [cm] und ist somit kleiner als die vorhandene Holzdicke von 14,4 [cm]. Daher ist eine Abminderung der Tragfähigkeit der Stabdübelverbindung nicht notwendig.

Bemessungswert der Tragfähigkeit der Stabdübel:

$$R_d = \frac{k_{mod} \cdot R_k}{\gamma_m}$$

$$R_d = \frac{0,9 \cdot 4,88}{1,1}$$

$$R_d = \underline{\underline{3,99[KN]}} \text{ pro Stabdübel / pro Scherfuge}$$

$$R_d = 3,99 \cdot 2$$

$$R_d = \underline{\underline{7,98[KN]}} \text{ pro Stabdübel}$$

Wirksame Anzahl von Stabdübeln

Die Strebenbreite beträgt 30 cm. Bei einem Stabdübelabstand von 3 d (2,4 cm) rechtwinklig zur Faserrichtung bzw. vom unbeanspruchten Rand können zehn Stabdübelreihen nebeneinander angeordnet werden. Hier werden sechs Reihen á 8 Stabdübel eingebracht. Um die Kraft von 201,5 [KN] anzuschließen stehen also 48 Stabdübel zur Verfügung.

$$n_{ef,} = \min \left\{ n; n^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{10 \cdot d}} \right\}$$

$$n_{ef,} = \min \left\{ 8; 8^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{24}{10 \cdot 8}} \right\}$$

$$n_{ef,} = 4,8$$

Gesamtanzahl der wirksamen Stabdübel:

$$n_{ges.} = n_{ef} \cdot r$$

mit:

$$r = 6 \text{ Reihen}$$

$$n_{ges.} = 4,80 \cdot 6$$

$$n_{ges.} = 28,8$$

Nachweis Verbindungstragfähigkeit

$$\frac{F_d}{n_{ges} \cdot R_d} \leq 1,0 = \frac{178,2}{28,8 \cdot 7,98} = \underline{\underline{0,78 < 1,0}}$$

Nachweis: 6-25 Verbindungstragfähigkeit

Verbindungsmittelabstände:

Mindestabstände nach Tabelle 8 DIN 1052 Abs. 12.3

Abstandsrichtung	Kurzzeichen	Abstand
parallel zur Faserrichtung	a_1	$(3 + 2 \cdot \cos \alpha) \cdot d$ $(3 + 2 \cdot \cos 0) \cdot 0,8$ <u>$4,0 [cm]$</u>
rechtwinklig zur Faserrichtung	a_2	$3 \cdot d$ $3 \cdot 0,8$ <u>$= 2,4 [cm]$</u>
beanspruchter Rand	$a_{2,t}$	$3 \cdot d$ $3 \cdot 0,8$ <u>$= 2,4 [cm]$</u>
unbeanspruchter Rand	$a_{2,c}$	$3 \cdot d$ $3 \cdot 0,8$ <u>$= 2,4 [cm]$</u>

beanspruchtes Hirnholzende	$a_{1,t}$	$7 \cdot d$ $7 \cdot 0,8$ $= \underline{\underline{5,6[cm]}}$
Unbeanspruchtes Hirnholzende	$a_{1,c}$	$7 \cdot d \cdot \sin \alpha$ $7 \cdot 1,6 \cdot \sin 0^\circ$ $= \underline{\underline{0[cm]}}$ bzw. $3 \cdot d$ $3 \cdot 0,8$ $= \underline{\underline{2,4[cm]}}$

Tabelle 6-17 Mindestabstände Passbolzen

6.4.3.2 Nachweis der Zugspannung in der Strebe

Die Streben haben einen quadratischen Querschnitt von 30/30 cm² und werden aus Brettschichtholz GL 28h hergestellt. Für den Träger ergeben sich folgende Querschnittswerte:

Querschnittsfläche: $A = b \cdot h$
 $A = 30 \cdot 30 = 900[cm^2]$

Fehlfläche:

Stabdübel: $A = n \cdot d \cdot l$
 $A = 6 \cdot 0,8 \cdot 28,8$
 $A = 139[cm^2]$

Stahlblech: $A = b \cdot h$
 $A = 1,2 \cdot 30 = 36[cm^2]$

Nettofläche: $A_{netto} : A_{ges.} - A$
 $A_{netto} : 900 - 139 - 36$
 $A_{netto} : 725[cm^2]$

Die maximal vorhandene Zugspannung beträgt:

$$\max \delta_{t,0,d} = \frac{F_d}{A}$$

$$\max \delta_{t,0,d} = \frac{178,2}{725} = 0,25[KN/cm^2]$$

Festigkeitskennwert des Querträgers

$$f_{t,0,k} = 2,25 [KN/cm^2]$$

Bemessungswert der Festigkeit

$$f_{t,0,d} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot f_{m,y,k}}{\gamma_m} = \frac{0,9 \cdot 2,25}{1,3} = 1,56 [KN/cm^2]$$

Nachweis der Zugspannung

$$\frac{\delta_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} \leq 1,0 = \frac{0,25}{1,56} = \underline{\underline{0,16 < 1,0}}$$

Nachweis: 6-26 Zugspannung

6.4.3.3 Stabdübelverbindung HE – B Profil

Anzuschließende Kraft:

Aus den Strebenkräften ergebe sich eine horizontal und eine vertikal Komponente, die angeschlossen werden muss. Die Kraftkomponenten bilden eine resultierende Kraft, die unter einen bestimmten Winkel angreift.

$$R_{\text{senk.}} = 76,47 [KN]$$

$$R_{\text{hori.}} = 134,05 [KN]$$

$$R_{\text{ges.}} = \sqrt{R_{\text{senk.}}^2 + R_{\text{hori.}}^2}$$

$$R_{\text{ges.}} = \sqrt{76,47^2 + 134,05^2}$$

$$R_{\text{ges.}} = 154,32 [KN]$$

Der Winkel der Kraft beträgt:

$$\alpha = \arctan \frac{R_{\text{senk.}}}{R_{\text{hori.}}} = \frac{76,47}{134,05} = 29,7^\circ$$

Im zweiten Bereich werden die Streben mit einem halben HE – B 300 Profil angeschlossen, das mit 20 [mm] Stabdübeln an den Obergurt befestigt wird.

Verwendete Verbindungsmittel

$$\text{Stabdübel } d=16[\text{mm}] \text{ der Stahlgüte S235} \quad f_{u,k} = 360 [N/mm^2]$$

Stahlprofil HE – B 300 S235

Lochleibungsfestigkeit des Holzes

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k$$

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 16) \cdot 410$$

$$f_{h,0,k} = \underline{\underline{28,21 [N/mm^2]}}$$

$$f_{h,29,7,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$$

$$k_{90} = 1,35 \cdot 0,015 \cdot d$$

$$k_{90} = 1,35 \cdot 0,015 \cdot 20$$

$$k_{90} = 1,65$$

$$f_{h,29,7,k} = \frac{28,21}{1,65 \cdot \sin^2 29,7 + \cos^2 29,7}$$

$$f_{h,29,7,k} = 25,8$$

Fließmoment des Stabdübels

$$M_{y,k} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6}$$

$$M_{y,k} = 0,3 \cdot 360 \cdot 16^{2,6}$$

$$M_{y,k} = \underline{\underline{145927 [Nmm]}}$$

Charakteristische Tragfähigkeit des Stabdübels

$$R_k = \sqrt{2} \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,k} \cdot f_{h,29,7,k} \cdot d}$$

$$R_k = \sqrt{2} \cdot \sqrt{2 \cdot 145927 \cdot 25,08 \cdot 16}$$

$$R_k = \underline{\underline{15302 [N]}} \mapsto \underline{\underline{15,30 [kN]}}$$

Mindestholzdicken

$$t_{req} = 1,15 \cdot 4 \cdot \sqrt{\frac{M_{y,k}}{f_{h,0,k} \cdot d}}$$

$$t_{req} = 1,15 \cdot 4 \cdot \sqrt{\frac{145927}{28,21 \cdot 16}}$$

$$t_{req} = \underline{\underline{83 [mm]}}$$

Die Mindestholzdicke beträgt 8,3 [cm] und ist somit kleiner als die vorhandene Holzdicke von 17,5 [cm]. Daher ist eine Abminderung der Tragfähigkeit der Stabdübelverbindung nicht notwendig.

Bemessungswert der Tragfähigkeit der Stabdübel:

$$R_d = \frac{k_{\text{mod}} \cdot R_k}{\gamma_m}$$

$$R_d = \frac{0,9 \cdot 15,30}{1,1}$$

$$R_d = 12,52 \text{ [KN]} \text{ pro Stabdübel / pro Scherfuge}$$

$$R_d = 12,52 \cdot 2$$

$$R_d = 25,04 \text{ [KN]} \text{ pro Stabdübel}$$

Erforderliche Stabdübelanzahl:

$$n_{\text{erf.}} = \frac{F_d}{R_d} = \frac{154,32}{25,04} = 6,16$$

Gewählt: 1 Reihen á 12 Stabdübel

Wirksame Stabdübelanzahl:

$$n_{\text{ef}} = \min \left[\left\{ n; n^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{10 \cdot d}} \right\} \cdot \frac{90 - \alpha}{90} + n \cdot \frac{\alpha}{90} \right]$$

$$n_{\text{ef}} = \min \left[\left\{ 12; 12^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{48}{10 \cdot 16}} \right\} \cdot \frac{90 - 7}{90} + 12 \cdot \frac{7}{90} \right]$$

$$n_{\text{ef}} = 6,93$$

Nachweis Verbindungstragfähigkeit

$$\frac{F_d}{n_{\text{ef}} \cdot s \cdot R_d} \leq 1,0 = \frac{154,32}{6,93 \cdot 1 \cdot 25,04} = 0,88 < 1,0$$

$s = \text{Reihen}$

Nachweis: 6-27 Verbindungstragfähigkeit

Verbindungsmittelabstände:

Mindestabstände nach Tabelle 8 DIN 1052 Abs. 12.3

Abstandsrichtung	Kurzzeichen	Abstand
parallel zur Faserrichtung	a_1	$(3 + 2 \cdot \cos \alpha) \cdot d$ $(3 + 2 \cdot \cos 29,7) \cdot 1,6$ <u>$7,6 \text{ [cm]}$</u>

rechtwinklig zur Faserrichtung	a_2	$3 \bullet d$ $3 \bullet 1,6$ $= 4,8 [cm]$
beanspruchter Rand	$a_{2,t}$	$3 \bullet d$ $3 \bullet 1,6$ $= 4,8 [cm]$
unbeanspruchter Rand	$a_{2,c}$	$3 \bullet d$ $3 \bullet 1,6$ $= 4,8 [cm]$
beanspruchtes Hirnholzende	$a_{1,t}$	$7 \bullet d$ $7 \bullet 1,6$ $= 11,2 [cm]$
Unbeanspruchtes Hirnholzende	$a_{1,c}$	$7 \bullet d \bullet \sin \alpha$ $7 \bullet 1,6 \bullet \sin 29,7^\circ$ $= 5,5 [cm]$

Tabelle 6-18 Mindestabstände Passbolzen

6.4.3.4 Nachweis der Zugspannung im Obergurt mit Nettoquerschnitt

Im Bereich des Anschlusses der Streben an den Obergurt wird ein halber HE-B 300 Stahlprofil eingeschlitzt und mit 16 [mm] Stabdübeln an den Obergurt angeschlossen. In diesem Bereich ist der Querschnitt durch die Fehlfächen des Trägersteges und der Stabdübel – die in einer Reihe übereinander sitzen – reduziert. Diese reduzierte Fläche muss in der Lage sein die Zugspannungen aufzunehmen. Siehe hierzu auch [5.3.2]

Systemskizze:

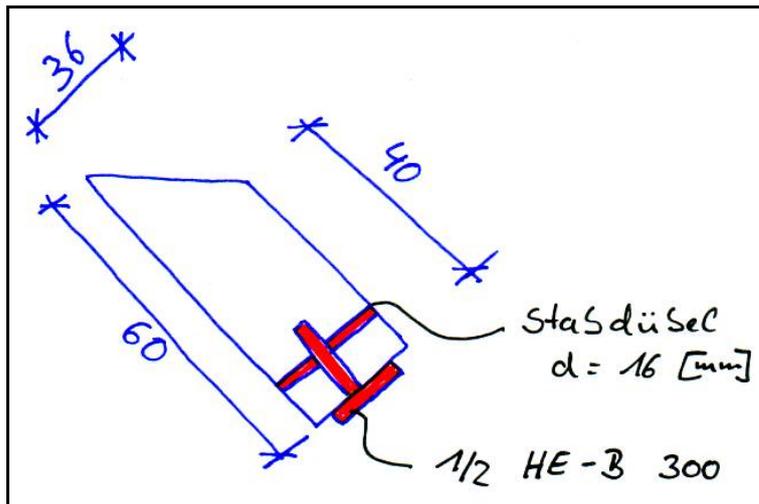


Abb.: 6.11 Nettoquerschnittsfläche

Nettoquerschnitt:

$$A = \left(\frac{a+b}{2} \right) \cdot h$$

Querschnittsfläche: $A = \left(\frac{40+60}{2} \right) \cdot 36$
 $A = 1800 [cm^2]$

Fehlfläche:

$$A = n \cdot d \cdot l$$

Stabdübel: $A = 1 \cdot 1,6 \cdot 34,8$
 $A = 55,7 [cm^2]$

Stahlblech:

$$A = b \cdot h$$

$$A = 1,2 \cdot 15 = 18 [cm^2]$$

Nettofläche:

$$A_{netto} : A_{ges.} - A$$

$$A_{netto} : 1800 - 55,7 - 18$$

$$A_{netto} : 1726 [cm^2]$$

Die maximal vorhandene Zugspannung beträgt:

$$\max \sigma_{t,0,d} = \frac{F_d}{A}$$

$$\max \sigma_{t,0,d} = \frac{1969}{1726} = 1,14 [KN/cm^2]$$

Festigkeitskennwert des Obergurtes

$$f_{t,0,k} = 2,25 [KN/cm^2]$$

Bemessungswert der Festigkeit

$$f_{c,0,d} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot f_{m,y,k}}{\gamma_m} = \frac{0,9 \cdot 2,25}{1,3} = 1,56 [KN/cm^2]$$

Nachweis der Biegespannung

$$\frac{\delta_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\delta_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1,0 = \frac{1,14}{1,56} + \frac{0,41}{2,21} = \underline{\underline{0,90 < 1,0}}$$

Nachweis: 6-28 Biegespannung und Zug

6.4.4 Bemessung der Schweißverbindung Anschluss Ober-/Untergurt.

Auf das Zugband bzw. den halben HE-B 400 Stahlträger werden zwei Laschen aufgeschweißt, in die das eingeschlitzte Stahlblech der Strebe gesteckt wird. Anschließend wird ein Schraubbolzen durch die Bohrung der Laschen und des eingeschlitzten Bleches geschoben. Der Bolzen wird durch die Strebenkraft auf abscheren beansprucht. Diese Verbindung ist bei allen Zugstrebenanschlüssen gleich. Es gibt bei diesem Anschluss keine Anschlussoptimierung in den einzelnen Anschlussbereichen.

Systemskizze:

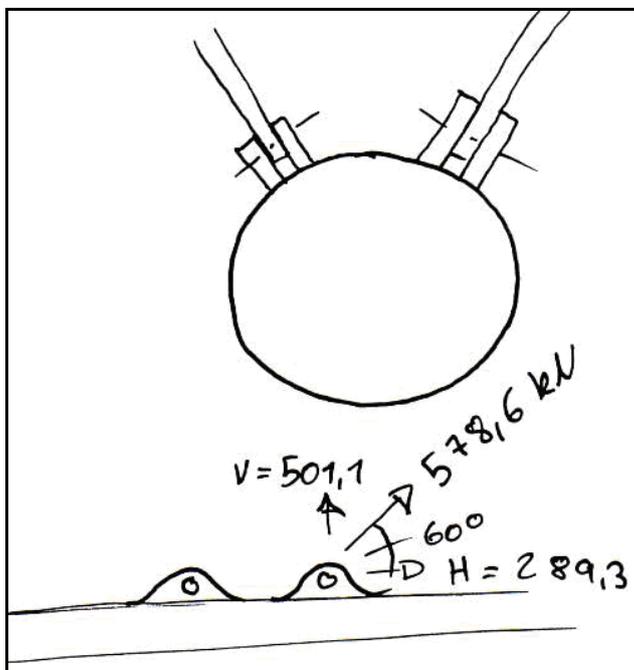


Abb.: 6.12 Schnitt und Ansicht Untergurtanschluss

Zerlegung der Strebenkraft:

$$\begin{aligned} F_{E,d,vert.} &= F_{E,d} \cdot \cos \alpha \\ F_{E,d,vert.} &= 578,6 \cdot \cos 30 \\ F_{E,d,vert.} &= 501 \text{ [KN]} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{E,d,hor.} &= F_{E,d} \cdot \sin \alpha \\ F_{E,d,hor.} &= 578,6 \cdot \sin 30 \\ F_{E,d,hor.} &= 289,3 \text{ [KN]} \end{aligned}$$

Nachweis der Schweißverbindung zwischen Lasche und Untergurt:

Aus Horizontalkraft:

Kehlnahtbreite:

$$a_w = 0,8 \text{ [cm]}$$

Grenzschweißspannung:

$$\begin{aligned} \delta_{w,R,d} &= a_w \cdot \frac{f_{y,k}}{\gamma_m} \\ \delta_{w,R,d} &= 0,95 \cdot \frac{24}{1,1} = 20,7 \text{ [KN / cm}^2\text{]} \end{aligned}$$

Benötigte Schweißnahtfläche

$$A_{w,senk.} = \frac{F_{E,d,senk.}}{\delta_{w,R,d}} = \frac{501,1}{20,70} = 24,17 \text{ [cm}^2\text{]}$$

benötigte Schweißnahtlänge:

$$l = \frac{A_{w,t}}{a_w} = \frac{24,17}{0,8} = 30,21 \text{ [cm]}$$

gewählt eine Länge von 35 [cm], die auch konstruktiv für den Anschluss der Streben notwendig ist.

Vorhandene Schweißnahtfläche:

$$A_{w,senk.} = 2 \cdot 35 \cdot 0,8 = 56 \text{ [cm}^2\text{]}$$

Vorhandene Schweißnahtspannung:

$$\delta_{E,d,senk.} = \frac{F_{E,d,senk.}}{A_{w,senk.}} = \frac{501,1}{56} = 8,95 \text{ [KN/cm}^2\text{]}$$

Nachweis der Schweißnaht:

$$\frac{\delta_{E,d, \text{senk.}}}{\delta_{w,R,d}} \leq 1,0 = \frac{8,95}{20,7} = 0,43 < 1,0$$

Nachweis: 6-29 Schweißnaht Anschluss Untergurt/Strebe

Nachweis der Schweißverbindung zwischen Lasche und Untergurt:

Aus Vertikalkraft:

Kehlnahtbreite:

$$a_w = 0,8[\text{cm}]$$

Vorhandene Schweißnahtfläche:

$$A_{w, \text{para.}} = 2 \cdot 35 \cdot 0,8 = 56[\text{cm}^2]$$

Vorhandene Schweißnahtspannung:

$$\delta_{E,d, \text{para.}} = \frac{F_{E,d, \text{para.}}}{A_{w, \text{para.}}} = \frac{289,3}{56} = 5,16[\text{KN/cm}^2]$$

Nachweis der Schweißnaht:

$$\frac{\delta_{E,d, \text{para.}}}{\delta_{w,R,d}} \leq 1,0 = \frac{5,16}{24,17} = 0,21 < 1,0$$

Nachweis: 6-30 Schweißnaht Anschluss Untergurt/Strebe

Nachweis des Verbindungsbolzens:

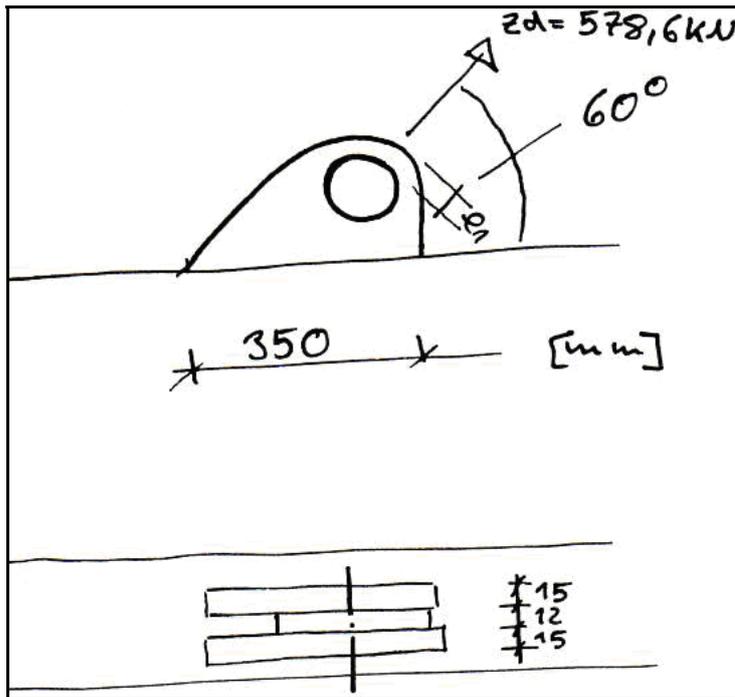


Abb.: 6.13 Anschluss Lasche an Untergurt

Der Schraubenbolzen M 36 wird in der Stahlgüte 8.8 eingebaut. Die Verbindung wird als SLV → Planmäßig vorgespannte Lochleibungsverbindung hergestellt. Der Schaft des Bolzens liegt in der Scherfuge. Die zulässige Beanspruchbarkeit wurde aus den bautechnischen Zahlentafeln³⁴ entnommen.

Vorhandene Beanspruchung:

$$N_{E,d} = V_{E,d} = 578,6 [KN]$$

Grenzabscherkraft:

$$V_{a,R,d} = V_{a,R,d} \cdot \frac{1,1}{1,25} \cdot n$$

$$V_{a,R,d} = 444,2 \cdot \frac{1,1}{1,25} \cdot 2$$

$$V_{a,R,d} = 781,8 [KN]$$

Nachweis des Bolzens auf Abscheren:

$$\frac{V_{E,d}}{V_{a,R,d}} \leq 1,0 = \frac{578,6}{781,8} = 0,74 < 1,0$$

Nachweis: 6-31 Abscheren des Bolzens

³⁴ Wendehorst Bautechnische Zahlentafel Aufl. 31 Kapitel 9 S.722 Tafel 71

Nachweis der Lochleibungsspannung:

Randabstand e_1

$$e_1 = 1,2 \cdot d_l = 1,2 \cdot 37 = 44,4 [\text{mm}]$$

gewählt: $e_1 = 70 [\text{mm}]$

Grenzlochleibungskräfte nach Tafel 8.74 DIN 18800³⁵:

$$V_{l,R,d} = 140 \cdot 1,5 \cdot 3 = 630 [\text{KN}]$$

Nachweis der Lochleibungsspannung:

$$\frac{V_{E,d}}{V_{l,R,d}} \leq 1,0 = \frac{578,6}{630} = 0,92 < 1,0$$

Nachweis: 6-32 Lochleibungsspannung

Nachweis der Laschen:

Vorhandene Zugkraft:

$$N_{E,d} = 578,6 [\text{KN}]$$

Zugkraft pro Lasche:

$$N_{E,d} = \frac{578,6}{2} = 289,3 [\text{KN}]$$

Grenznormalspannung:

$$\delta_{R,d} = \frac{f_{u,k}}{\gamma_m} = \frac{36}{1,1} = 32,7 [\text{KN}/\text{cm}^2]$$

Querschnittsfläche:

$$A_{Blech} = 1,5 \cdot 7 \cdot 2 = 21 [\text{cm}^2]$$

Vorhandene Beanspruchung:

$$\delta_{E,d} = \frac{N_{E,d}}{A_{Blech}} = \frac{289,3}{21} = 13,8 [\text{KN}/\text{cm}^2]$$

Nachweis der Zugspannung:

³⁵ DIN 18800 Stahlbauten; Bemessung und Konstruktion

$$\frac{\delta_{E,d}}{\delta_{R,d}} \leq 1,0 = \frac{13,8}{32,7} = 0,42 < 1,0$$

Nachweis: 6-33 Zugspannung

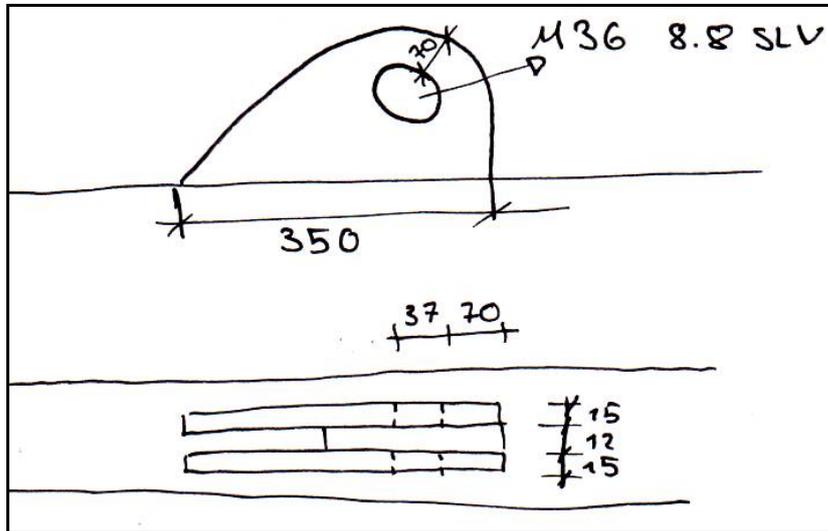


Abb.: 6.14 Anschluss Lasche Stegblech

6.5 Alternativanschluss Streben an Ober- / Untergurt

Für den Anschluss der Streben an den Ober- bzw. Untergurt ist folgende alternative Konstruktion entwickelt worden. Im Gegensatz zum Ursprungsanschluss wird bei dieser Variante ein zweites Stahlblech in die Stütze eingeschlitzt. So wird aus einer zweischnittigen, eine vierschnittige Verbindung. Die beiden Schlitzbleche werden auf eine Stirnplatte geschweißt. An die Stirnplatte schließt von unten die Stahllasche zur Verbindung mit dem Ober- bzw. Untergurt an. Bei den Druckstreben bietet die Stirnplatte den Vorteil, dass die Druckkraft über Kontaktpressung übertragen werden kann. Es sind lediglich ein paar Stabdübel bzw. Passbolzen zur Lagesicherung erforderlich. Der Nachteil dieser Verbindung ist, dass eine Stabdübelverbindung mit zwei Stahlblechen eine sehr hohe Passgenauigkeit in der Herstellung der Verbindung fordert. Nur wenige Holzbaubetriebe sind in der Lage, eine so anspruchsvolle Konstruktion zu erstellen. Im Folgenden wird für die jeweils am stärksten belastete Druck- bzw. Zugstrebe der Nachweis dieser Verbindungsvariante geführt.

6.5.1 Anschlussbemessung der Zugstrebe:

Der Anschluss erfolgt mit zwei Stahlblechen aus S235 und einer Dicke von $t = 15$ [mm]. Als Verbindungsmittel werden Stabdübel vom Durchmesser $d = 16$ [mm] verwendet.

Systemskizze:

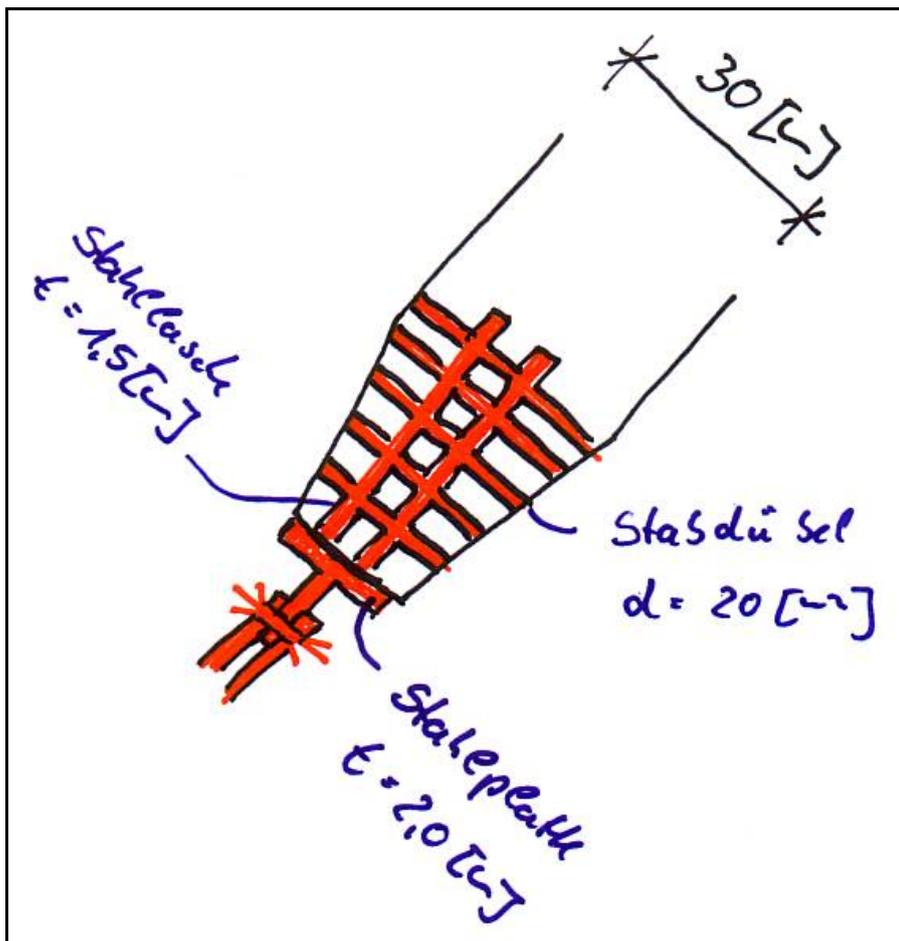


Abb.: 6.15 Skizze Anschlussvariante

Maximale anzuschließende Normalkraft

$$F_d = +965,3 [KN]$$

Verbindungsmittel:

Stabdübel $d=16 [mm]$ der Stahlgüte S235 $f_{u,k} = 360 [N/mm^2]$

Stahlprofil HE – B 300 S235

Lochleibungsfestigkeit des Holzes

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k$$

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 16) \cdot 410$$

$$f_{h,0,k} = \underline{\underline{28,21 [N/mm^2]}}$$

Fließmoment des Stabdübels

$$M_{y,k} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6}$$

$$M_{y,k} = 0,3 \cdot 360 \cdot 16^{2,6}$$

$$M_{y,k} = \underline{\underline{145927[Nmm]}}$$

Charakteristische Tragfähigkeit des Stabdübels

$$R_k = \sqrt{2} \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,k} \cdot f_{h,0,k} \cdot d}$$

$$R_k = \sqrt{2} \cdot \sqrt{2 \cdot 145927 \cdot 28,21 \cdot 16}$$

$$R_k = \underline{\underline{16229[N]}} \mapsto \underline{\underline{16,22[KN]}}$$

Mindestholzdicken

$$t_{req} = 1,15 \cdot 4 \cdot \sqrt{\frac{M_{y,k}}{f_{h,0,k} \cdot d}}$$

$$t_{req} = 1,15 \cdot 4 \cdot \sqrt{\frac{145927}{28,21 \cdot 16}}$$

$$t_{req} = \underline{\underline{83[mm]}}$$

Die Mindestholzdicke beträgt 8,3 [cm] und ist somit kleiner als die vorhandene Holzdicke von 10 [cm]. Daher ist eine Abminderung der Tragfähigkeit der Stabdübelverbindung nicht notwendig.

Bemessungswert der Tragfähigkeit der Stabdübel:

$$R_d = \frac{k_{mod} \cdot R_k}{\gamma_m}$$

$$R_d = \frac{0,9 \cdot 16,22}{1,1}$$

$$R_d = \underline{\underline{13,27[KN]proStabdübel / proScherfuge}}$$

$$R_d = 13,27 \cdot 4$$

$$R_d = \underline{\underline{53,1[KN]proStabdübel}}$$

Erforderliche Stabdübelanzahl:

$$n_{erf.} = \frac{F_d}{R_d} = \frac{965,3}{50,1} = 19,26$$

Gewählt: 3 Reihen á 12 Stabdübel

Wirksame Stabdübelanzahl:

$$n_{ef} = \min \left[\left\{ n; n^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{10 \cdot d}} \right\} \cdot \frac{90 - \alpha}{90} + n \cdot \frac{\alpha}{90} \right]$$

$$n_{ef} = \min \left[\left\{ 12; 12^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{48}{10 \cdot 16}} \right\} \cdot \frac{90 - 0}{90} + 12 \cdot \frac{0}{90} \right]$$

$$n_{ef} = 6,93$$

Nachweis Verbindungstragfähigkeit

$$\frac{F_d}{n_{ef} \cdot s \cdot R_d} \leq 1,0 = \frac{965,3}{6,93 \cdot 3 \cdot 50,1} = \underline{\underline{0,92 < 1,0}}$$

$s = \text{Reihen}$

Nachweis: 6-34 Verbindungstragfähigkeit

Verbindungsmittelabstände:

Mindestabstände nach Tabelle 8 DIN 1052 Abs. 12.3

Abstandsrichtung	Kurzzeichen	Abstand
parallel zur Faserrichtung	a_1	$(3 + 2 \cdot \cos \alpha) \cdot d$ $(3 + 2 \cdot \cos 29,7) \cdot 1,6$ <u>$7,6[cm]$</u>
rechtwinklig zur Faserrichtung	a_2	$3 \cdot d$ $3 \cdot 1,6$ <u>$= 4,8[cm]$</u>
beanspruchter Rand	$a_{2,t}$	$3 \cdot d$ $3 \cdot 1,6$ <u>$= 4,8[cm]$</u>
unbeanspruchter Rand	$a_{2,c}$	$3 \cdot d$ $3 \cdot 1,6$ <u>$= 4,8[cm]$</u>
beanspruchtes Hirnholzende	$a_{1,t}$	$7 \cdot d$ $7 \cdot 1,6$ <u>$= 11,2[cm]$</u>

Unbeanspruchtes Hirnholzende	$a_{1,c}$	$7 \cdot d \cdot \sin \alpha$ $7 \cdot 1,6 \cdot \sin 29,7^\circ$ $= \underline{\underline{5,5[cm]}}$
------------------------------	-----------	---

Tabelle 6-19 Mindestabstände Passbolzen

6.5.2 Nachweis der Zugspannung in der Strebe

Die Streben haben einen quadratischen Querschnitt von 30/30 cm² und werden aus Brettschichtholz GL 28h hergestellt. Für den Träger ergeben sich folgende Querschnittswerte:

Querschnittsfläche:	$A = b \cdot h$ $A = 30 \cdot 30 = 900[cm^2]$
Fehlfläche:	$A = n \cdot d \cdot l$
Stabdübel:	$A = 3 \cdot 1,6 \cdot 27,0$ $A = 129,6[cm^2]$
Stahlblech:	$A = n \cdot b \cdot h$ $A = 2 \cdot 1,5 \cdot 30 = 90[cm^2]$
Nettofläche:	$A_{netto} : A_{ges.} - A$ $A_{netto} : 900 - 129,6 - 90$ $A_{netto} : 680,4[cm^2]$

Die maximal vorhandene Zugspannung beträgt:

$$\max \sigma_{t,0,d} = \frac{F_d}{A}$$

$$\max \sigma_{t,0,d} = \frac{965,3}{680,4} = 1,41[KN/cm^2]$$

Festigkeitskennwert des Querträgers

$$f_{t,0,k} = 2,25[KN/cm^2]$$

Bemessungswert der Festigkeit

$$f_{t,0,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{m,y,k}}{\gamma_m} = \frac{0,9 \cdot 2,25}{1,3} = 1,56[KN/cm^2]$$

Nachweis der Zugspannung

$$\frac{\delta_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} \leq 1,0 = \frac{1,41}{1,56} = \underline{\underline{0,90 < 1,0}}$$

Nachweis: 6-35 Zugspannung

6.5.3 Anschlussbemessung der Druckstrebe:

Der Anschluss erfolgt mit zwei Stahlblechen aus S235 und einer Dicke von $t = 15$ [mm]. Als Verbindungsmittel werden Stabdübel vom Durchmesser $d = 16$ [mm] verwendet. Die Stirnplatte hat eine Dicke von $d = 20$ [mm] und eine Abmessung von 280×280 [cm²].

Maximale anzuschließende Normalkraft

$$F_d = -949,2 \text{ [KN]}$$

Verwendete Verbindungsmittel

Stabdübel $d = 16$ [mm] der Stahlgüte S235 $f_{u,k} = 360$ [N/mm²]

Stahlblech $t = 15$ [mm] der Stahlgüte S235

Systemskizze:

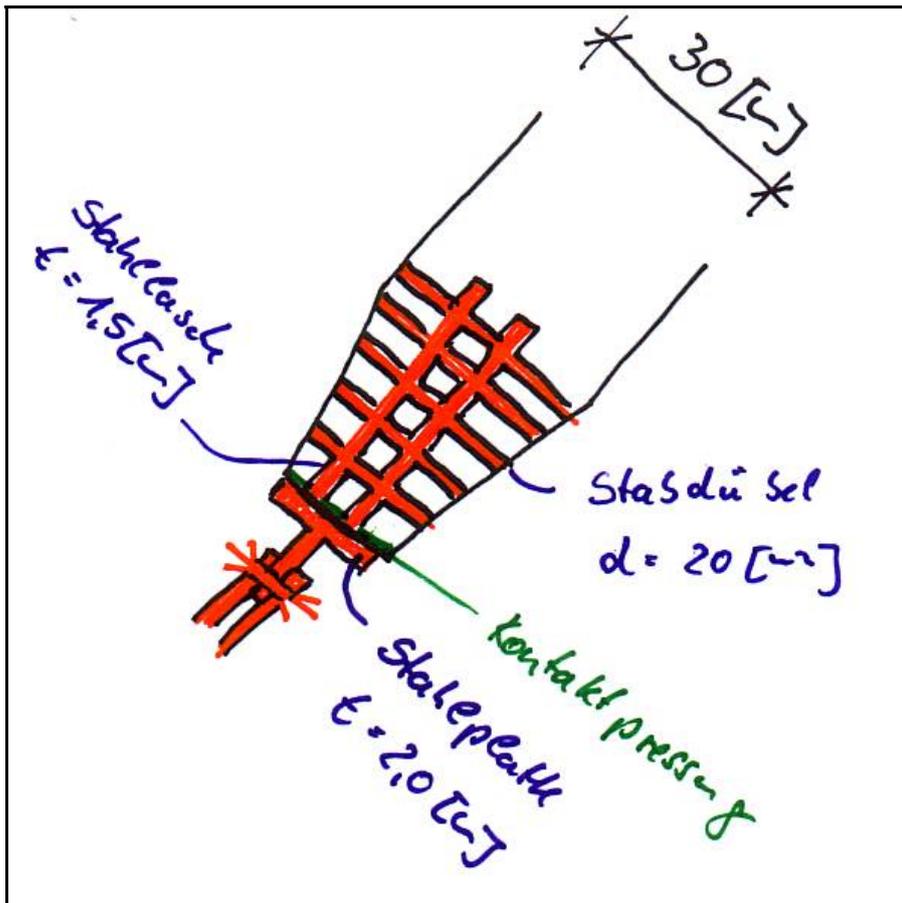


Abb.: 6.16 Skizze Anschlussvariante

Kontaktfläche für Kontaktpressung:

Querschnittsfläche:	$A = b \cdot h$
	$A = 28 \cdot 28 = 784 [cm^2]$
Fehlfläche:	
Stahlblech:	$A = n \cdot b \cdot h$
	$A = 2 \cdot 1,5 \cdot 30 = 90 [cm^2]$
Nettofläche:	$A_{netto} : A_{ges.} - A$
	$A_{netto} : 784 - 90$
	$A_{netto} : 694 [cm^2]$

Die maximal vorhandene Druckspannung beträgt:

$$\max \delta_{c,0,d} = \frac{F_d}{A}$$

$$\max \delta_{t,0,d} = \frac{965,3}{694,0} = 1,39 [KN / cm^2]$$

Festigkeitskennwert des Querträgers

$$f_{t,0,k} = 2,65 [KN/cm^2]$$

Bemessungswert der Festigkeit

$$f_{t,0,d} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot f_{m,y,k}}{\gamma_m} = \frac{0,9 \cdot 2,65}{1,3} = 1,84 [KN/cm^2]$$

Nachweis der Druckspannung

$$\frac{\delta_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} \leq 1,0 = \frac{1,39}{1,84} = \underline{\underline{0,75}} < 1,0$$

Nachweis: 6-36 Druckspannung

6.6 Bemessung Pos.A005 Untergurtstoß

Der Untergurt wird muss aus Transportgründen geteilt werden. Der Träger kann aufgrund seiner Länge von 55,88[m] nicht in einem Stück zur Baustelle transportiert werden. Deshalb wird das Zugband in den Drittelpunkten geteilt. In den Punkten muss eine Zugkraft von 5765 [KN] übertragen werden. Der Verbindungsstoß muss Zugkräfte aufnehmen und weiterleiten. Für die Verbindung haben wir drei verschiedene Varianten entwickelt, die aus konstruktiver- und fertigungstechnischer Sicht praktikabel sind. Aus architektonischer Sicht sind diese aber nicht unbedingt empfehlenswert. Da wir aber keine Lösung, die sowohl den konstruktiven, also auch den architektonischen Gesichtspunkten gerecht wird, gefunden haben, werden im weiteren alle drei Varianten dargestellt. Auf eine Favorisierung eines Anschluss wird verzichtet.

6.6.1 Zugbandstoß mit Stirnplatte

Bei dieser Variante wird der Zugstab mit einer Stirnplatte und Schrauben verbunden. Die Stirnplatte wird an den Zugstab angeschweißt. Der Stirnplattenanschluss erfolgt im Werk und wird später auf der Baustelle mittels Schrauben verbunden. Die Schraubverbindung erfolgt mit Schrauben der Festigkeitsklasse 10.9 und einem Durchmesser M36. Für die Schrauben sind folgende Festigkeitswerte aus den Bautechnischen Zahlentafeln³⁶ entnommen worden:

- Schraube M 36
- SLVP Verbindung (Planmäßig vorgespannte Scher- Lochleibungs- Paßverbindung)

³⁶ Wendehorst Bautechnische Zahlentafeln 31. Aufl. Kapitel 9 Seite 720

- Festigkeitsklasse 10.9
- Zugfestigkeit der Schraube $f_{y,b,k} = 900 [N / mm^2]$
- Abscherfestigkeit der Schraube $f_{u,b,k} = 1000 [N / mm^2]$
- Aufnehmbare Zugkraft pro Schraube $N_{R,d} = 594 [KN]$
- Durchmesser Unterlegscheibe $d = 66 [mm]$

Systemskizze:

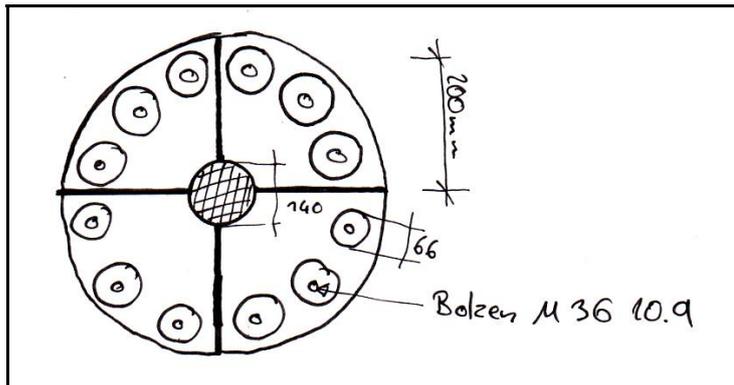


Abb.: 6.17 Schraubenverbindung der Stirnplatte

Anzahl der erforderlichen Schrauben

$$n = \frac{N_{E,d}}{N_{R,d}} = \frac{5765}{594} = 9,7$$

gewählt 12 Stück.

Erforderlicher Stirnplattendurchmesser

$$12 \cdot (66 + 14) = 960 [mm]$$

$$r = \frac{960}{\pi \cdot 2} = 1552,8 + \frac{66}{2} + 14 = 200 [mm]$$

Der Durchmesser der Stirnplatte beträgt somit 400 [mm].

Nachweis der Schrauben:

$$\frac{N_{E,d}}{n \cdot N_{R,d}} \leq 1,0 = \frac{5765}{12 \cdot 594} = 0,80 < 1,0$$

Nachweis: 6-37 Schraubentragfähigkeit

Nachweis der Schweißnähte:

Die Normalkraft des Zuggurtes wird über aufgeschweißte Bleche in die Kopfplatte eingeleitet. Hierzu werden vier Bleche aufgeschweißt.

Systemskizze

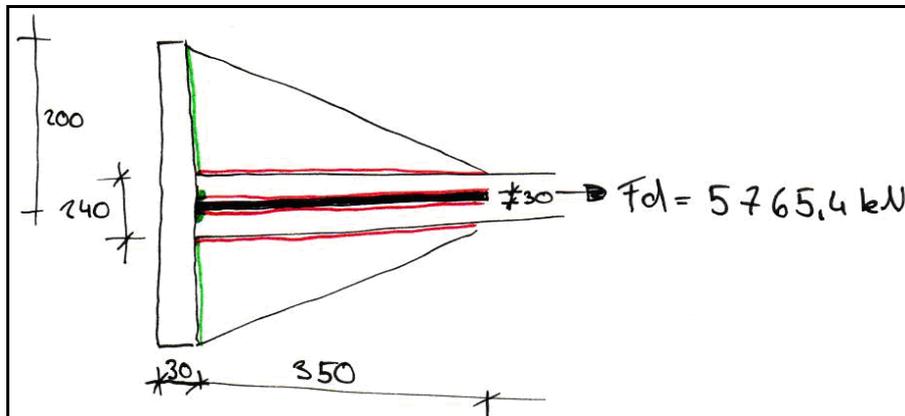


Abb.: 6.18 Schweißnaht Stegblech / Stirnplatte

Kehlnähte: $a_1 = 15$ [mm]

$a_2 = 20$ [mm]

Schweißnahtfläche:

$$A_{w,para.} = 1,5 \cdot 35 \cdot 2 \cdot 4 = 420 [cm^2]$$

$$A_{w,senk.} = 2,0 \cdot 20 \cdot 2 \cdot 4 = 320 [cm^2]$$

Spannungen in den Schweißnähten:

$$\delta_{para.} = \frac{N_d}{A_{w,para.}} = \frac{5765}{420} = 13,73 [KN / cm^2]$$

$$\delta_{para.} = \frac{N_d}{A_{w,senk.}} = \frac{5765}{320} = 18,02 [KN / cm^2]$$

Grenzschweißspannung:

$$\delta_{w,R,d} = a_w \cdot \frac{f_{y,k}}{\gamma_m}$$

$$\delta_{w,R,d} = 0,95 \cdot \frac{24}{1,1} = 20,7 [KN / cm^2]$$

Nachweis der Schweißnaht Blech an Zugstab

$$\frac{\delta_{para.}}{\delta_{w,R,d}} \leq 1,0 = \frac{13,73}{20,7} = 0,66 < 1,0$$

Nachweis: 6-38 Schweißnaht Blech an Zugstab

Nachweis der Schweißnaht Blech an Stirnplatte

$$\frac{\delta_{\text{senk.}}}{\delta_{w,R,d}} \leq 1,0 = \frac{18,02}{20,7} = 0,87 < 1,0$$

Nachweis: 6-39 Schweißnaht Blech an Stirnplatte

6.6.2 Zugbandstoß mittels aufgeschweißten Stegblechen

Bei der zweiten Variante werden auf das Ende eines Zugstabteils vier Stegbleche aufgeschweißt. Diese Bleche stehen in der Längsachse des Stabes über das Stabende hinaus. Auf der Baustelle wird das zweite Zugstabteil gegen das Erste geschoben und mit den überstehenden Stegblechen verschweißt. Nachteil dieser Verbindung ist, dass auf der Baustelle geschweißt werden muss. Baustellenschweißungen sind immer problematischen, da die Schweißbedingungen nicht so gut sind wie in der Werkstatt. Dies kann dazu führen, dass die Qualität der Verbindung nicht den Anforderungen genügt.

Systemskizze:

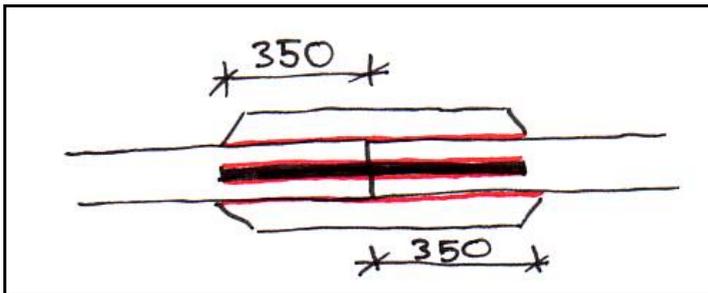


Abb.: 6.19 Schweißverbindung mit Stegblechen

Schweißnahtflächen:

$$A_{w,para.} = 1,5 \cdot 35 \cdot 2 \cdot 4 = 420 [cm^2]$$

Schweißnahtspannungen:

$$\delta_{para.} = \frac{N_d}{A_{w,para.}} = \frac{5765}{420} = 13,73 [KN / cm^2]$$

Grenzsweißspannung:

$$\delta_{w,R,d} = a_w \cdot \frac{f_{y,k}}{\gamma_m}$$

$$\delta_{w,R,d} = 0,95 \cdot \frac{24}{1,1} = 20,7 [KN / cm^2]$$

Nachweis der Schweißnaht:

$$\frac{\delta_{para.}}{\delta_{w,R,d}} \leq 1,0 = \frac{13,73}{20,7} = 0,66 < 1,0$$

Nachweis: 6-40 Schweißnaht

Die Auslastung der Schweißnaht beträgt 66%. Um eine höhere Ausnutzung der Verbindung zu erreichen wird die Schweißnahtlänge verkürzt. Die Übergreifungslänge wird jetzt mit 25 [cm] neu gewählt.

Schweißnahtflächen:

$$A_{w,para.} = 1,5 \cdot 25 \cdot 2 \cdot 4 = 300 [cm^2]$$

Schweißnahtspannungen:

$$\delta_{para.} = \frac{N_d}{A_{w,para.}} = \frac{5765}{300} = 19,22 [KN / cm^2]$$

Grenzsweißspannung:

$$\delta_{w,R,d} = a_w \cdot \frac{f_{y,k}}{\gamma_m}$$

$$\delta_{w,R,d} = 0,95 \cdot \frac{24}{1,1} = 20,7 [KN / cm^2]$$

Nachweis der Schweißnaht:

$$\frac{\delta_{para.}}{\delta_{w,R,d}} \leq 1,0 = \frac{19,22}{20,7} = 0,92 < 1,0$$

Nachweis: 6-41 Schweißnaht

Nachweis der Stegbleche:

Die Stegbleche werden aus Stahlblechen der Festigkeitsklasse S 355 hergestellt. Dar- aus ergeben sich folgende Festigkeitskennwerte:

Charakteristische Zugfestigkeit:

$$f_{u,k} = 360 [N/mm^2]$$

Grenznormalspannung:

$$\delta_{R,d} = \frac{f_{u,k}}{\gamma_m} = \frac{36,0}{1,1} = 32,7 [KN/cm^2]$$

Erforderliche Blechhöhe:

$$A_{ges.} = \frac{F_d}{\delta_{R,d}} = \frac{5765}{32,7} = 176,3 [cm^2]$$

verteilt auf vier Bleche:

$$A = \frac{A_{ges.}}{n} = \frac{176,3}{4} = 44,1 [cm^2]$$

Bei einer Blechdicke von drei Zentimetern ergibt sich eine Höhe:

$$h = \frac{A}{d} = \frac{44,1}{3} = 14,7 [cm]$$

gewählt eine Höhe von 16 [cm].

Stegblechfläche, die die Zugkraft aufnimmt:

$$A_{Blech} = d \cdot h$$

$$A_{Blech} = 3 \cdot 16$$

$$A_{Blech} = 48 [cm^2]$$

Für die vier Stegbleche ergibt sich eine Gesamtfläche

$$A_{ges.} = n \cdot A_{Blech}$$

$$A_{ges.} = 4 \cdot 48$$

$$A_{ges.} = 192 [cm^2]$$

Vorhandene Spannung in den Stahlblechen:

$$\delta_{E,d} = \frac{F_d}{A_{ges.}} = \frac{5765}{192} = 30,03 [KN/cm^2]$$

Nachweis der Zugspannung:

$$\frac{\delta_{E,d}}{\delta_{R,d}} \leq 1,0 = \frac{30,03}{32,70} = 0,92 < 1,0$$

Nachweis: 6-42 Zugspannung im Stegblech

6.6.3 Zugbandstoß mit aufgeschweißten Knaggen und Laschen

Bei dieser Variante werden auf die Enden der Zugstäbe Knaggen aufgeschweißt. Diese Knaggen sind mit Bohrungen versehen. Auf der Baustelle werden die Zugstäbe gegeneinander gestoßen und mittels Laschen miteinander verbunden. Dazu werden

durch die Knaggen und den beidseitigen Laschen Schraubbolzen gesteckt und verschraubt. Die Schrauben werden dann auf abscheren beansprucht.

Systemskizze:

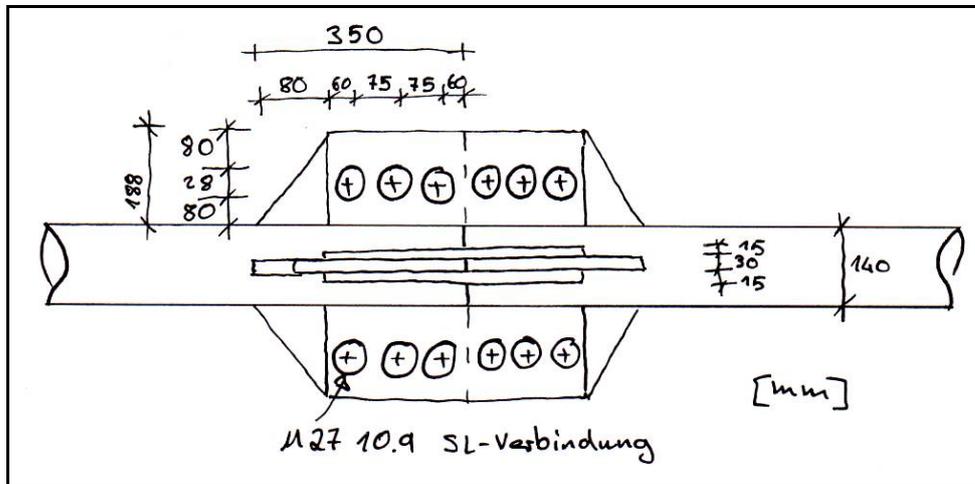


Abb.: 6.20 Zugstoß mit Knaggen und Laschen

Die Verbindung erfolgt mit Stahlblechen der Festigkeitsklasse S 355 und Bolzen der Größe M 27 und der Stahlgüte 10.9. Die Schraubverbindung wird als SL-Verbindung (**S**cher-**L**ochleibungs**v**erbindung) ausgeführt.

Zugbelastung pro Knagge:

$$N_{E,d} = \frac{N_{d,ges.}}{n} = \frac{5765}{4} = 1441 [KN]$$

Pro Knagge werden 3 Schrauben M 27 eingebaut. Daraus ergibt sich für eine Schraube eine Abscherkraft von:

$$V_{E,d} = \frac{N_{E,d}}{n} = \frac{1441}{3} = 481 [KN]$$

Grenzabscherkraft für eine Schraube (zweischnittige Verbindung):

$$V_{a,R,d} = 2 \cdot 287 \cdot \frac{1,1}{1,25} = 505 [KN]$$

Nachweis der Schraubenverbindung:

$$\frac{V_{E,d}}{V_{a,R,d}} \leq 1,0 = \frac{481}{505} = 0,95 < 1,0$$

Nachweis: 6-43 Schraubenverbindung

Nachweis der Lochleibungsspannung:

Randabstände:

$$e_1 = 1,2 \cdot d_l = 1,2 \cdot 2,8 = 33,6 < 60 [\text{mm}]$$

$$e_2 = 33,6 < 60 [\text{mm}]$$

$$e = 2,2 \cdot d_l = 2,2 \cdot 2,8 = 61,6 < 75 [\text{mm}]$$

Nachweis der Lochleibungsspannung mit dem Abstand e_1 nach ^[37]:

$$e_1 = 60 [\text{mm}] \quad t_1 = 3,0 [\text{mm}] \quad t_2 = 1,5 [\text{mm}] \quad t_3 = 1,5 [\text{mm}]$$

$$V_{R,d} = 121 \cdot 1,5 \cdot 3 = 544,5 [\text{KN}]$$

Nachweis der Lochleibungsspannung:

$$\frac{V_{E,d}}{V_{R,d}} \leq 1,0 = \frac{481}{544,5} = 0,88 < 1,0$$

Nachweis: 6-44 Lochleibungsspannung mit e_1

Nachweis der Lochleibungsspannung mit dem Abstand e nach ^[38]:

$$e_1 = 75 [\text{mm}] \quad t_1 = 3,0 [\text{mm}] \quad t_2 = 1,5 [\text{mm}] \quad t_3 = 1,5 [\text{mm}]$$

$$V_{R,d} = 125 \cdot 1,5 \cdot 3 = 562,5 [\text{KN}]$$

Nachweis der Lochleibungsspannung:

$$\frac{V_{E,d}}{V_{R,d}} \leq 1,0 = \frac{481}{562,5} = 0,85 < 1,0$$

Nachweis: 6-45 Lochleibungsspannung mit e

Nachweis der Schweißnaht:

Schweißnahtfläche:

$$A_{w,para.} = 1,5 \cdot 35 \cdot 2 \cdot 4 = 420 [\text{cm}^2]$$

Schweißnahtspannungen:

$$\delta_{para.} = \frac{N_d}{A_{w,para.}} = \frac{5765}{420} = 13,73 [\text{KN} / \text{cm}^2]$$

³⁷ Skript Stahlbau 1 von Prof.-Dr.-Ing. Hülsmann (FH Hildesheim)

³⁸ Skript Stahlbau 1 von Prof.-Dr.-Ing. Hülsmann (FH Hildesheim)

Grenzschweißspannung:

$$\delta_{w,R,d} = a_w \cdot \frac{f_{y,k}}{\gamma_m}$$

$$\delta_{w,R,d} = 0,95 \cdot \frac{24}{1,1} = 20,7 [KN / cm^2]$$

Nachweis der Schweißnaht:

$$\frac{\delta_{para.}}{\delta_{w,R,d}} \leq 1,0 = \frac{13,73}{20,70} = 0,66 < 1,0$$

Nachweis: 6-46 Schweißnaht

Nachweis der Bleche:

Die Bleche werden aus Stahlblechen der Festigkeitsklasse S 355 hergestellt. Daraus ergeben sich folgende Festigkeitskennwerte:

Charakteristische Zugfestigkeit:

$$f_{u,k} = 360 [N/mm^2]$$

Grenznormalspannung:

$$\delta_{R,d} = \frac{f_{u,k}}{\gamma_m} = \frac{36,0}{1,1} = 32,7 [KN/cm^2]$$

Erforderliche Blechhöhe:

$$A_{ges.} = \frac{F_d}{\delta_{R,d}} = \frac{5765}{32,7} = 176,3 [cm^2]$$

verteilt auf vier Bleche:

$$A = \frac{A_{ges.}}{n} = \frac{176,3}{4} = 44,1 [cm^2]$$

Bei einer Blechdicke von drei Zentimetern ergibt sich eine Höhe:

$$h = \frac{A}{d} = \frac{44,1}{3} = 14,7 [cm]$$

gewählt eine Höhe von 16 [cm].

Stegblechfläche, die die Zugkraft aufnimmt:

$$A_{Blech} = d \cdot h$$

$$A_{Blech} = 3 \cdot 16$$

$$A_{Blech} = 48 [cm^2]$$

Für die vier Stegbleche ergibt sich eine Gesamtfläche

$$A_{ges.} = n \cdot A_{Blech}$$

$$A_{ges.} = 4 \cdot 48$$

$$A_{ges.} = 192 [cm^2]$$

Vorhandene Spannung in den Stahlblechen:

$$\sigma_{E,d} = \frac{F_d}{A_{ges.}} = \frac{5765}{192} = 30,03 [KN/cm^2]$$

Nachweis der Zugspannung:

$$\frac{\sigma_{E,d}}{\sigma_{R,d}} \leq 1,0 = \frac{30,03}{32,70} = 0,92 < 1,0$$

Nachweis: 6-47 Zugspannung im Blech

6.7 Bemessung Pos.A006 Anschluss Auflager

Am Auflager müssen die vertikalen und horizontalen Auflagerkräfte übertragen werden. Hierzu wird ein halbes HE – B Profil in den Obergurt eingeschlitzt. Die Konstruktion des Auflagers siehe [11.4.2].

6.7.1 Stabdübelverbindung HE – B Profil

Anzuschließende Kraft:

Aus den Strebenkräften ergebn sich eine horizontal und eine vertikal Komponente, die angeschlossen werden muss. Die Kraftkomponenten bilden eine resultierende Kraft, die unter einen bestimmten Winkel angreift.

$$R_{senk.} = 782,43 [KN]$$

$$R_{hori.} = 2430,85 [KN]$$

$$R_{ges.} = \sqrt{R_{senk.}^2 + R_{hori.}^2}$$

$$R_{ges.} = \sqrt{782,43^2 + 2430,85^2}$$

$$R_{ges.} = 2553,67 [KN]$$

Der Winkel der Kraft beträgt:

$$\alpha = \arctan \frac{R_{\text{senk.}}}{R_{\text{hori.}}} = \frac{782,43}{2430,85} = 17,8^\circ$$

Im zweiten Bereich werden die Streben mit einem halben HE – B 800 Profil angeschlossen, das mit 20 [mm] Stabdübeln an den Obergurt befestigt wird.

Verwendete Verbindungsmittel

$$\text{Stabdübel } d=16[\text{mm}] \text{ der Stahlgüte S235} \quad f_{u,k} = 360[\text{N/mm}^2]$$

Stahlprofil HE – B 300 S235

Lochleibungsfestigkeit des Holzes

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k$$

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 20) \cdot 430$$

$$f_{h,0,k} = \underline{\underline{28,21[\text{N/mm}^2]}}$$

$$f_{h,17,8,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$$

$$k_{90} = 1,35 \cdot 0,015 \cdot d$$

$$k_{90} = 1,35 \cdot 0,015 \cdot 20$$

$$k_{90} = 1,65$$

$$f_{h,17,8,k} = \frac{28,21}{1,65 \cdot \sin^2 17,84 + \cos^2 17,84}$$

$$f_{h,17,8,k} = 26,59[\text{N/mm}^2]$$

Fließmoment des Stabdübels

$$M_{y,k} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6}$$

$$M_{y,k} = 0,3 \cdot 360 \cdot 20^{2,6}$$

$$M_{y,k} = \underline{\underline{260676[\text{Nmm}]}}$$

Charakteristische Tragfähigkeit des Stabdübels

$$R_k = \sqrt{2} \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,k} \cdot f_{h,0,k} \cdot d}$$

$$R_k = \sqrt{2} \cdot \sqrt{2 \cdot 260676 \cdot 26,59 \cdot 20}$$

$$R_k = \underline{\underline{23548[\text{N}]}} \mapsto \underline{\underline{23,55[\text{KN}]}}$$

Mindestholzdicken

$$t_{req} = 1,15 \cdot 4 \cdot \sqrt{\frac{M_{y,k}}{f_{h,0,k} \cdot d}}$$

$$t_{req} = 1,15 \cdot 4 \cdot \sqrt{\frac{260676}{28,21 \cdot 20}}$$

$$t_{req} = \underline{\underline{99[mm]}}$$

Die Mindestholzdicke beträgt 9,9 [cm] und ist somit kleiner als die vorhandene Holzdicke von 17,5 [cm]. Daher ist eine Abminderung der Tragfähigkeit der Stabdübelverbindung nicht notwendig.

Bemessungswert der Tragfähigkeit der Stabdübel:

$$R_d = \frac{k_{mod} \cdot R_k}{\gamma_m}$$

$$R_d = \frac{0,9 \cdot 23,55}{1,1}$$

$$R_d = \underline{\underline{19,27[KN]proStabdübel / proScherfuge}}$$

$$R_d = 19,27 \cdot 2$$

$$R_d = \underline{\underline{38,54[KN]proStabdübel}}$$

Erforderliche Stabdübelanzahl:

$$n_{erf.} = \frac{F_d}{R_d} = \frac{2553,67}{38,54} = 66,26$$

Gewählt: 5 Reihen á 25 Stabdübel

Wirksame Stabdübelanzahl:

$$n_{ef} = \min \left[\left\{ n; n^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{10 \cdot d}} \right\} \cdot \frac{90 - \alpha}{90} + n \cdot \frac{\alpha}{90} \right]$$

$$n_{ef} = \min \left[\left\{ 25; 25^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{60}{10 \cdot 20}} \right\} \cdot \frac{90 - 17,8}{90} + 25 \cdot \frac{17,8}{90} \right]$$

$$n_{ef} = 15,68$$

Nachweis Verbindungstragfähigkeit

$$\frac{F_d}{n_{ef} \cdot s \cdot R_d} \leq 1,0 = \frac{2553,67}{15,68 \cdot 5 \cdot 38,54} = \underline{\underline{0,85 < 1,0}}$$

$s = \text{Reihen}$

Nachweis: 6-48 Verbindungstragfähigkeit

Verbindungsmittelabstände:

Mindestabstände nach Tabelle 8 DIN 1052 Abs. 12.3

Abstandsrichtung	Kurzzeichen	Abstand
parallel zur Faserrichtung	a_1	$(3 + 2 \cdot \cos \alpha) \cdot d$ $(3 + 2 \cdot \cos 17,8) \cdot 2,0$ $\underline{\underline{9,8[cm]}}$
rechtwinklig zur Faserrichtung	a_2	$3 \cdot d$ $3 \cdot 2,0$ $\underline{\underline{= 6,0[cm]}}$
beanspruchter Rand	$a_{2,t}$	$3 \cdot d$ $3 \cdot 2,0$ $\underline{\underline{= 6,0[cm]}}$
unbeanspruchter Rand	$a_{2,c}$	$3 \cdot d$ $3 \cdot 2,0$ $\underline{\underline{= 6,0[cm]}}$
beanspruchtes Hirnholzende	$a_{1,t}$	$7 \cdot d$ $7 \cdot 2,0$ $\underline{\underline{= 14,0[cm]}}$
Unbeanspruchtes Hirnholzende	$a_{1,c}$	$7 \cdot d \cdot \sin \alpha$ $7 \cdot 2,0 \cdot \sin 17,8^\circ$ $\underline{\underline{= 4,2[cm]}}$ <i>bzw.</i> $3 \cdot d$ $3 \cdot 2,0$ $\underline{\underline{= 6,0[cm]}}$

Tabelle 6-20 Mindestabstände Passbolzen

7 Bemessung der Aussteifung

Die Aussteifung der Brücke erfolgt über die unter der Fahrbahn liegenden Kerto-Platten. Diese Platten werden mit Holzschrauben an den Obergurten, die als Randrippen dienen, und an den Querträgern die als Verteilrippen dienen, angeschlossen. Die Schrauben haben eine Abmessung von 12x140.

7.1 Bemessung Pos.S001 Scheibe Fahrbahn

Der größte Schubfluss ergibt sich in den Verteilrippen, die sich direkt an den Enden der Brücke befinden – also direkt an den Auflagern. Am die größten Normalkräfte zu erhalten, wird für das statische System der Brücke ein Träger auf zwei Stützen gewählt, der durch eine Streckenlast beansprucht wird. Die Höhe des Trägers wäre dabei die Fahrbahnbreite, die Länge entspricht der Brückenlänge. Die maximale Querkraft an den Auflagern würde der maximalen Normalkraft in den Rippen entsprechen.

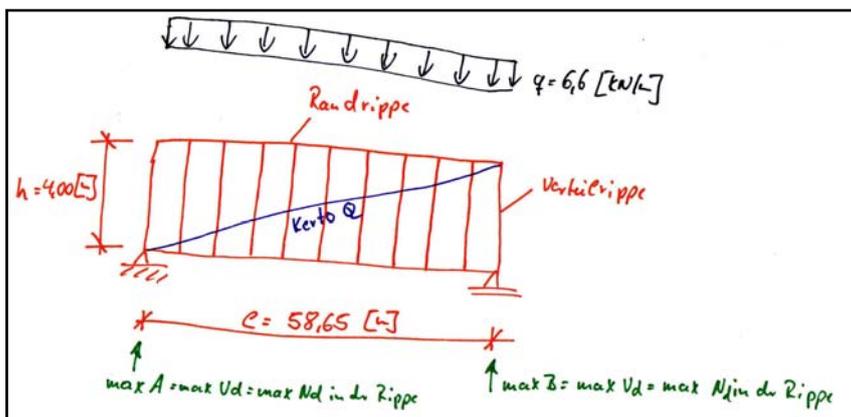


Abb.: 7.1 Statisches System Scheibe

Festigkeitskennwerte der Kerto Q-Platte

2 Scheibenbeanspruchung			
		21 ≤ d ≤ 24	27 ≤ d ≤ 69
Biegung ¹⁾	$f_{m,k}$	32	36
Zug zur Faser	$f_{t,0,k}$	20	27
Zug ⊥ zur Faser	$f_{t,90,k}$	6,0	
Druck zur Faser	$f_{c,0,k}$	20	27
Druck ⊥ zur Faser	$f_{c,90,k}$	9,0	
Schub	$f_{v,k}$	4,8	
Ausklindung	k_n	16	
Elastizitätsmodul	$E_{0,mean}$	10 000	10 500
Schubmodul	G_{mean}	500	

Tab. 7-1 Festigkeitskennwerte Kerto Q-Platte

Maximale Normalkraft in der Randrippe:

$$\max N_d = \max V_d = \frac{q \cdot l}{2} = \frac{5,0 \cdot 58,65}{2} = 146,63 [KN]$$

$$\max N_d = 146630 [N]$$

Bemessungswert des Schubflusses in der Beplankung:

Die Länge der Rippe beträgt 4,10[m] = 4100[mm]

$$s_{v,0,d} = \frac{\max N_d}{l} = \frac{146630}{4100} = 35,77 [N/mm]$$

Gewähltes Verbindungsmittel:

Holzschrauben 12x140.

Lochleibungsfestigkeit des Holzes

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k$$

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 12) \cdot 480$$

$$f_{h,0,k} = \underline{\underline{34,64 [N/mm^2]}}$$

Fließmoment des Stabdübels

$$M_{y,k} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6}$$

$$M_{y,k} = 0,3 \cdot 360 \cdot 12^{2,6}$$

$$M_{y,k} = \underline{\underline{69071 [Nmm]}}$$

Charakteristische Tragfähigkeit des Stabdübels

$$R_k = \sqrt{2} \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,k} \cdot f_{h,0,k} \cdot d}$$

$$R_k = \sqrt{2} \cdot \sqrt{2 \cdot 69071 \cdot 34,64 \cdot 12}$$

$$R_k = \underline{\underline{10715[N]}} \mapsto \underline{\underline{10,72[KN]}}$$

Bemessungswert der Tragfähigkeit der Stabdübel:

$$R_d = \frac{k_{\text{mod}} \cdot R_k}{\gamma_m}$$

$$R_d = \frac{0,9 \cdot 10,72}{1,1}$$

$$R_d = \underline{\underline{8,77[KN]}}$$

Nach DIN 1052 Abschnitt 10.6 Absatz 4 darf bei stiff förmigen Verbindungsmitteln die Tragfähigkeit um 20 % erhöht werden.

$$R_d = 8,77 \cdot 1,20 = 10,53[KN]$$

Abstände der Verbindungsmittel:

$$a_{v,\text{min}} = 20 \cdot d = 20 \cdot 12 = 240[mm]$$

$$a_{v,\text{max}} = 300[mm]$$

gewählt:

$$a_{v,\text{min}} = 240[mm]$$

Bemessungswert der Schubfestigkeit der Beplankung:

$$f_{v,k} = 4,5[N/mm^2]$$

$$f_{v,d} = \frac{0,9 \cdot 4,5}{1,3} = 3,12[N/mm^2]$$

Bemessungswert der längenbezogenen Schubfestigkeit der Beplankung:

$$f_{v,0,d} = \min \left\{ \begin{array}{l} k_{v,1} \cdot \left(\frac{R_d}{a_v} \right) \\ k_{v,1} \cdot k_{v,2} \cdot f_{v,d} \cdot t \\ k_{v,1} \cdot k_{v,2} \cdot f_{v,d} \cdot 35 \cdot \frac{t^2}{a_r} \end{array} \right.$$

mit:

$k_{v,1}$: Beiwert zur Berücksichtigung der Anordnung und Verbindungsart der Platten.

$k_{v,2}$: Beiwert zur Berücksichtigung der Zusatzbeanspruchung nach Abschnitt 8.7.1 (2).

t : Dicke der Platte

a_r : Abstand der Rippen

$$f_{v,0,d} = \min \left\{ \begin{array}{l} 1,0 \cdot \left(\frac{8770}{240} \right) \\ 1,0 \cdot 0,33 \cdot 3,12 \cdot 51 \\ 1,0 \cdot 0,33 \cdot 3,12 \cdot 35 \cdot \frac{51^2}{1830} \end{array} \right.$$

$$f_{v,0,d} = \min \left\{ \begin{array}{l} 36,55 [N/mm] \\ 52,51 [N/mm] \\ 51,22 [N/mm] \end{array} \right.$$

Nachweis der Scheibenbeanspruchung in der Platte:

$$\frac{S_{v,0,d}}{f_{v,0,d}} \leq 1,0 = \frac{35,77}{36,55} = 0,98 < 1,0$$

Nachweis: 7-1 Scheibenbeanspruchung

8 Schwingungsberechnung

Leichte und weitgespannte Brücken neigen zum schwingen. Diese Schwingungen werden durch den Benutzer der Brücke hervorgerufen. Durch die Schrittfrequenz der Personen die auf der Brücke gehen, wird das Bauwerk angeregt und beginnt selber zu schwingen. Diese schwingen der Brücke führt beim Benutzer zu Unbehagen, er fühlt sich auf dem Bauwerk nicht wohl. Dies ist ein Problem der Gebrauchstauglichkeit der Brücke. Problematisch wird das Schwingverhalten erst dann, wenn die Erregungsfrequenz gleich der Resonanzfrequenz des Bauwerks ist. Das würde dazu führen, dass die Schwingungsamplituden immer größer würden und die Brücke kollabieren würde. Ein Einsturz der Brücke wäre die unausweichliche Folge. Da dies ein Problem der Tragfähigkeit des Bauwerks ist, muss dieses Verhalten der Brücke auf alle Fälle unterbunden werden. Die entsprechenden Nachweise werden im folgenden geführt.

8.1 Anfangsverformung

Durch die Verbindungsmittel in der Konstruktion ergibt sich eine Anfangsverformung im Bauwerk. Diese Verformung resultiert daher, dass die Stäbe nicht biegesteif miteinander Verbunden sind.

Verschiebungsmodul für Stabdübel:

$$k_{ser.} = \frac{\rho_k^{1,5} \cdot d}{20} [N/mm]$$

Für Stabdübel $d=20$ [mm] und Brettschichtholz GL 32h:

$$k_{ser.} = \frac{\rho_k^{1,5} \cdot d}{20} [N/mm]$$

$$k_{ser.} = \frac{430^{1,5} \cdot 20}{20} [N/mm]$$

$$k_{ser.} = 8917 [N/mm]$$

Für Stabdübel $d=16$ [mm] und Brettschichtholz GL 32h:

$$k_{ser.} = \frac{\rho_k^{1,5} \cdot d}{20} [N/mm]$$

$$k_{ser.} = \frac{430^{1,5} \cdot 16}{20} [N/mm]$$

$$k_{ser.} = 7134 [N/mm]$$

Für Stabdübel $d=16$ [mm] und Brettschichtholz GL 28h:

$$k_{ser.} = \frac{\rho_k^{1,5} \cdot d}{20} [N/mm]$$

$$k_{ser.} = \frac{410^{1,5} \cdot 16}{20} [N/mm]$$

$$k_{ser.} = 6642 [N/mm]$$

Für Stabdübel $d = 8$ [mm] und Brettschichtholz GL 28h:

$$k_{ser.} = \frac{\rho_k^{1,5} \cdot d}{20} [N/mm]$$

$$k_{ser.} = \frac{410^{1,5} \cdot 8}{20} [N/mm]$$

$$k_{ser.} = 3321 [N/mm]$$

Verformung in den einzelnen Stäben:

$$\Delta D_1 = \frac{D_1 \cdot 10^3}{n \cdot 2 \cdot k_{ser.}} \cdot 2 + \frac{Auflager \cdot 10^3}{n \cdot 2 \cdot k_{ser.} \cdot \cos 60}$$

$$\Delta D_1 = \frac{965 \cdot 10^3}{226 \cdot 2 \cdot 3321} \cdot 2 + \frac{2913,5 \cdot 10^3}{150 \cdot 2 \cdot 8917 \cdot \cos 60} = 3,47 [mm]$$

$$\Delta D_2 = \frac{D_2 \cdot 10^3}{n \cdot 2 \cdot k_{ser.}} \cdot 2 - \frac{R(D_2 \cdot D_3) \cdot 10^3}{n \cdot 2 \cdot k_{ser.} \cdot \cos 60}$$

$$\Delta D_2 = \frac{-949,2 \cdot 10^3}{226 \cdot 2 \cdot 3321} \cdot 2 - \frac{894,7 \cdot 10^3}{150 \cdot 2 \cdot 8917 \cdot \cos 60} = 3,36 [mm]$$

$$\Delta D_3 = \frac{D_3 \cdot 10^3}{n \cdot 2 \cdot k_{ser.} \cdot 8} \cdot 2 + \frac{R(D_2 \cdot D_3) \cdot 10^3}{n \cdot 2 \cdot k_{ser.} \cdot 20 \cdot \cos 60}$$

$$\Delta D_3 = \frac{828,3 \cdot 10^3}{226 \cdot 2 \cdot 3321} \cdot 2 + \frac{894,7 \cdot 10^3}{48 \cdot 2 \cdot 8917 \cdot \cos 60} = 3,19 [mm]$$

$$\Delta D_4 = \frac{D_4 \cdot 10^3}{n \cdot 2 \cdot k_{ser.} \cdot 8} \cdot 2 - \frac{R(D_4 \cdot D_5) \cdot 10^3}{n \cdot 2 \cdot k_{ser.} \cdot 20 \cdot \cos 60}$$

$$\Delta D_4 = \frac{-805 \cdot 10^3}{226 \cdot 2 \cdot 3321} \cdot 2 - \frac{759,95 \cdot 10^3}{48 \cdot 2 \cdot 8917 \cdot \cos 60} = -2,85 [mm]$$

$$\Delta D_5 = \frac{D_5 \cdot 10^3}{n \cdot 2 \cdot k_{ser.} \cdot 8} \cdot 2 + \frac{R(D_4 \cdot D_5) \cdot 10^3}{n \cdot 2 \cdot k_{ser.} \cdot 20 \cdot \cos 60}$$

$$\Delta D_5 = \frac{705 \cdot 10^3}{226 \cdot 2 \cdot 3321} \cdot 2 + \frac{759,95 \cdot 10^3}{48 \cdot 2 \cdot 8917 \cdot \cos 60} = 2,72 [mm]$$

$$\Delta D_6 = \frac{D_6 \cdot 10^3}{n \cdot 2 \cdot k_{ser.} \cdot 8} \cdot 2 - \frac{R(D_6 \cdot D_7) \cdot 10^3}{n \cdot 2 \cdot k_{ser.} \cdot 20 \cdot \cos 60}$$

$$\Delta D_6 = \frac{-682,1 \cdot 10^3}{226 \cdot 2 \cdot 3321} \cdot 2 - \frac{636,7 \cdot 10^3}{48 \cdot 2 \cdot 8917 \cdot \cos 60} = -2,39 [mm]$$

$$\Delta D_7 = \frac{D_7 \cdot 10^3}{n \cdot 2 \cdot k_{ser.} \cdot 8} \cdot 2 + \frac{R(D_6 \cdot D_7) \cdot 10^3}{n \cdot 2 \cdot k_{ser.} \cdot 20 \cdot \cos 60}$$

$$\Delta D_7 = \frac{578,6 \cdot 10^3}{144 \cdot 2 \cdot 3321} \cdot 2 + \frac{636,7 \cdot 10^3}{30 \cdot 2 \cdot 8917 \cdot \cos 60} = 3,59 [mm]$$

$$\Delta D_8 = \frac{D_8 \cdot 10^3}{n \cdot 2 \cdot k_{ser.} \cdot 8} \cdot 2 - \frac{R(D_8 \cdot D_9) \cdot 10^3}{n \cdot 2 \cdot k_{ser.} \cdot 20 \cdot \cos 60}$$

$$\Delta D_8 = \frac{-555,3 \cdot 10^3}{144 \cdot 2 \cdot 3321} \cdot 2 - \frac{511,87 \cdot 10^3}{24 \cdot 2 \cdot 8917 \cdot \cos 60} = -3,55 [mm]$$

$$\Delta D_9 = \frac{D_9 \cdot 10^3}{n \cdot 2 \cdot k_{ser.} \cdot 8} \cdot 2 + \frac{R(D_8 \cdot D_9) \cdot 10^3}{n \cdot 2 \cdot k_{ser.} \cdot 20 \cdot \cos 60}$$

$$\Delta D_9 = \frac{453 \cdot 10^3}{144 \cdot 2 \cdot 3321} \cdot 2 + \frac{511,87 \cdot 10^3}{24 \cdot 2 \cdot 8917 \cdot \cos 60} = 3,34 [mm]$$

$$\Delta D_{10} = \frac{D_{10} \cdot 10^3}{n \cdot 2 \cdot k_{ser.} \cdot 8} \cdot 2 - \frac{R(D_{10} \cdot D_{11}) \cdot 10^3}{n \cdot 2 \cdot k_{ser.} \cdot 20 \cdot \cos 60}$$

$$\Delta D_{10} = \frac{-429,7 \cdot 10^3}{144 \cdot 2 \cdot 3321} \cdot 2 - \frac{388,7 \cdot 10^3}{24 \cdot 2 \cdot 8917 \cdot \cos 60} = -2,71 [mm]$$

$$\Delta D_{11} = \frac{D_{11} \cdot 10^3}{n \cdot 2 \cdot k_{ser.} \cdot 8} \cdot 2 + \frac{R(D_{10} \cdot D_{11}) \cdot 10^3}{n \cdot 2 \cdot k_{ser.} \cdot 20 \cdot \cos 60}$$

$$\Delta D_{11} = \frac{327,1 \cdot 10^3}{144 \cdot 2 \cdot 3321} \cdot 2 + \frac{388,7 \cdot 10^3}{24 \cdot 2 \cdot 8917 \cdot \cos 60} = 2,50 [mm]$$

$$\Delta D_{12} = \frac{D_{12} \cdot 10^3}{n \cdot 2 \cdot k_{ser.} \cdot 8} \cdot 2 - \frac{R(D_{12} \cdot D_{13}) \cdot 10^3}{n \cdot 2 \cdot k_{ser.} \cdot 20 \cdot \cos 60}$$

$$\Delta D_{12} = \frac{-308,9 \cdot 10^3}{144 \cdot 2 \cdot 3321} \cdot 2 - \frac{271,6 \cdot 10^3}{24 \cdot 2 \cdot 8917 \cdot \cos 60} = -1,92[mm]$$

$$\Delta D_{13} = \frac{D_{13} \cdot 10^3}{n \cdot 2 \cdot k_{ser.} \cdot 8} \cdot 2 + \frac{R(D_{12} \cdot D_{13}) \cdot 10^3}{n \cdot 2 \cdot k_{ser.} \cdot 20 \cdot \cos 60}$$

$$\Delta D_{13} = \frac{201,4 \cdot 10^3}{48 \cdot 2 \cdot 3321} \cdot 2 + \frac{271,6 \cdot 10^3}{24 \cdot 2 \cdot 8917 \cdot \cos 60} = 2,53[mm]$$

$$\Delta D_{14} = \frac{D_{14} \cdot 10^3}{n \cdot 2 \cdot k_{ser.} \cdot 8} \cdot 2 - \frac{R(D_{14} \cdot D_{15}) \cdot 10^3}{n \cdot 2 \cdot k_{ser.} \cdot 20 \cdot \cos 60}$$

$$\Delta D_{14} = \frac{-178,2 \cdot 10^3}{48 \cdot 2 \cdot 3321} \cdot 2 - \frac{154,4 \cdot 10^3}{10 \cdot 2 \cdot 7133 \cdot \cos 60} = -3,28[mm]$$

$$\Delta D_{15} = \frac{D_{15} \cdot 10^3}{n \cdot 2 \cdot k_{ser.} \cdot 8} \cdot 2 + \frac{R(D_{14} \cdot D_{15}) \cdot 10^3}{n \cdot 2 \cdot k_{ser.} \cdot 20 \cdot \cos 60}$$

$$\Delta D_{15} = \frac{89,9 \cdot 10^3}{48 \cdot 2 \cdot 3321} \cdot 2 + \frac{154,4 \cdot 10^3}{10 \cdot 2 \cdot 7133 \cdot \cos 60} = 2,72[mm]$$

$$\Delta D_{16} = \frac{D_{16} \cdot 10^3}{n \cdot 2 \cdot k_{ser.} \cdot 8} \cdot 2 - \frac{R(D_{15} \cdot D_{16}) \cdot 10^3}{n \cdot 2 \cdot k_{ser.} \cdot 20 \cdot \cos 60}$$

$$\Delta D_{16} = \frac{-78,5 \cdot 10^3}{48 \cdot 2 \cdot 3321} \cdot 2 - \frac{135,96 \cdot 10^3}{10 \cdot 2 \cdot 7133 \cdot \cos 60} = -2,39[mm]$$

8.2 Gesamtverformung aus Verbindungsmittel und Stäben

Stab i	Länge si mm	Stabkraft Ni kN	Querschnitt Ai mm ²	$(Ni / (E_{s,mean} \times Ai)) \times si$ mm	Stabkraft Ni	$((Ni \times Ni) / E_{s,mean} \times Ai) \times si$ mm	Δsi mm	$\Delta si + 2mm$	$\Delta si \times Ni$
D1	4000	965,3	90000	3,13	0,3	0,94	3,47	5,47	1,64
D2	4000	-949,2	90000	-3,08	-0,3	0,92	-3,36	-5,36	1,61
D3	4000	828,3	90000	2,69	0,3	0,81	3,19	5,19	1,56
D4	4000	-805	90000	-2,61	-0,3	0,78	-2,85	-4,85	1,46
D5	4000	705	90000	2,29	0,3	0,69	2,72	4,72	1,42
D6	4000	-662,1	90000	-2,21	-0,3	0,66	-2,39	-4,39	1,32
D7	4000	578,6	90000	1,88	0,3	0,56	3,59	5,59	1,68
D8	4000	-555,3	90000	-1,8	-0,3	0,54	-3,55	-5,55	1,67
D9	4000	453	90000	1,47	0,3	0,44	3,34	5,34	1,6
D10	4000	-429,7	90000	-1,39	-0,3	0,42	-2,71	-4,71	1,41
D11	4000	327,1	90000	1,06	0,3	0,32	2,5	4,5	1,35
D12	4000	-308,7	90000	-1	-0,3	0,3	-1,92	-3,92	1,18
D13	4000	201,4	90000	0,65	0,3	0,2	2,53	4,53	1,36
D14	4000	-178,2	90000	-0,58	-0,3	0,17	-3,28	-5,28	1,58
D15	4000	89,8	90000	0,29	0,3	0,09	2,72	4,72	1,42
D16	4000	-78,5	90000	-0,25	-0,3	0,08	-2,39	-4,39	1,32
					Σ	7,92			23,55

Tab. 8-1 Berechnung der Gesamtverformung

Die Tabelle berücksichtigt die Gesamtverformung aus Verbindungsmittel und Stäben für eine Brückenhälfte. Aus Symmetriegründen ist die Verformung in beiden Brückenteilen gleich. Somit ergibt sich eine Gesamtverformung aus Verbindungsmitteln und Stäben zu:

$$u = 2 \cdot [23,55 + 7,92]$$

$$u = 62,94[mm]$$

8.3 Vereinfachter Schwingungsnachweis

Masse der Brücke:

Masse der Hölzer und Stahlteile:

Die Masse wurde mittels des CAD-Programms ermittelt, in dem das Bauwerk konstruiert wurde. Das Programm berechnet automatisch anhand der Materialeigenschaften der Stäbe das Gewicht des jeweiligen Bauteils. Diese Ergebnisse können in entsprechenden Listen ausgegeben werden.

$$m_{konst.} = 1015[KN]$$

Masse der Verbindungsmittel:

Anzahl	Verbindungsmittel [mm]				Bemerkung
	d=20	d=16	d=12	d=8	
4 • 150	600				Stahlprofil am Auflager
12 • 45	540				Stahlprofil Bereich 1
12 • 24	288				Stahlprofil Bereich 2
6 • 10		60			Stahlprofil Bereich 3
66 • 4		264			Querträgeranschluss
66 • 10			660		Anschluss Quertr./Obergu.
36 • 2	72				Obergurtstoß
24 • 222				5328	Streben Bereich 1
24 • 144				3456	Streben Bereich 2
28 • 48				1344	Streben Bereich 3
50 • 33			1650		Anschluss Scheibe
Σ	1500	324	2310	10128	

Tab. 8-2 Ermittlung der Stabdübelanzahl

Berechnung der Stabdübelmasse:

$$m_{20} = n \cdot \pi \cdot r^2 \cdot l \cdot \rho$$

d= 20 [mm] $m_{20} = 1500 \cdot \pi \cdot 1^2 \cdot 20 \cdot 78,5 \cdot 10^{-6}$
 $m_{20} = 7,4 [KN]$

$$m_{16} = n \cdot \pi \cdot r^2 \cdot l \cdot \rho$$

d= 16 [mm] $m_{16} = 324 \cdot \pi \cdot 0,8^2 \cdot 20 \cdot 78,5 \cdot 10^{-6}$
 $m_{16} = 1,02 [KN]$

$$m_{12} = n \cdot \pi \cdot r^2 \cdot l \cdot \rho$$

d= 12 [mm] $m_{12} = 2310 \cdot \pi \cdot 0,6^2 \cdot 20 \cdot 78,5 \cdot 10^{-6}$
 $m_{12} = 4,10 [KN]$

$$m_8 = n \cdot \pi \cdot r^2 \cdot l \cdot \rho$$

d= 8 [mm] $m_8 = 10128 \cdot \pi \cdot 0,4^2 \cdot 20 \cdot 78,5 \cdot 10^{-6}$
 $m_8 = 8 [KN]$

Gesamtmasse Verbindungsmittel:

$$m_{ges.Ver.} = m_{20} + m_{16} + m_{12} + m_8$$

$$m_{ges.Ver.} = 7,4 + 1,02 + 4,10 + 8,0$$

$$m_{ges.Ver.} = 20,52 [KN]$$

Masse der Fahrbahn aus Gussasphalt:

Wichte Gussasphalt: 0,23 [KN/m²/cm]

Der Gussasphalt ist im Durchschnitt 6 [cm] dick.

Die Fläche auf der der Gussasphalt ausgebracht wird beträgt:

$$A_{ges.} = l \cdot b = 59,12 \cdot 4,20 = 248,3 [m^2]$$

Daraus ergibt sich eine Masse des Gussasphalts von:

$$m_{guss.} = A_{ges.} \cdot \rho \cdot d = 248,3 \cdot 0,23 \cdot 6 = 342,65 [KN]$$

Gesamtmasse:

$$m_{ges.} = m_{konst.} + m_{ges.Ver.} + m_{guss}$$

$$m_{ges.} = 1015 + 20,52 + 342,65$$

$$m_{ges.} = 1378 [KN]$$

Masse bezogen auf einen Meter Brücke:

$$m' = \frac{m_{ges.}}{l} = \frac{1378}{59,12} = 23,3 [KN / m]$$

Reziprokwert der Verformung infolge der virtuellen Last $\bar{1}$:

$$c = \frac{\bar{1}}{u} \quad u = \text{Verformung infolge der virtuellen Last } \bar{1}$$

$$u = 0,18 [\text{mm}]$$

$$c = \frac{1}{0,00018} = 5555,56 [KN / m]$$

Frequenz der Brücke:

$$f = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{c}{x \cdot m'}} \geq 5,0 [Hz]$$

x = Beiwert für Einfeldbrücken x = 0,5

$$f = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{5555,65}{0,5 \cdot 23,3}} = 3,47 < 5,0 [Hz]$$

Nachweis: 8-1 Schwingungsnachweis

Die Frequenz der Brücke beträgt 3,47 [Hz]. Somit ist die Bedingung, dass die Frequenz über 5,0 [Hz], liegt nicht erfüllt. Deshalb muss der Nachweis des Schwingverhaltens der Brücke mit dem genaueren Nachweisverfahren der DIN 1074³⁹ Anhang B erfolgen.

8.4 Schwingungsnachweis nach DIN 1074

Die DIN 1074 gibt im Anhang Tabelle B.1 eine Empfehlung, mit welcher Gleichung die Beschleunigung der Brücke berechnet werden soll. Da sich die Brücke im Bereich eines Fußballstadions und eines Naherholungsgebietes befindet, ist das Bauwerk in Kategorie drei dieser Tabelle einzustufen.

³⁹ DIN 1074 Holzbrücken; Anhang B Durch Fußgänger verursachte Schwingungen

Tabelle B.1 — Gleichungen zur Berechnung der Beschleunigung

Lage der Brücke	Nutzungs- häufigkeit	Berechnung der Brückenbeschleunigung	
		vertikal	horizontal
außerhalb von Ortschaften	gelegentlich	(B.1)	(B.6)
	oft	(B.2) mit (B.3)	(B.7) mit (B.8)
innerhalb von Ortschaften	oft	(B.2) mit (B.3)	(B.7) mit (B.8)
im Bereich von möglichen Großveranstaltungen	oft	(B.2) mit (B.4)	(B.7) mit (B.9)
im Bereich von Bahnhöfen	gelegentlich	(B.2) mit (B.3)	(B.7) mit (B.8)
im Bereich von Bahnhöfen (S- oder U- Bahn)	oft	(B.2) mit (B.4)	(B.7) mit (B.9)
im Bereich von Sportstätten und Parkanlagen	oft	(B.5)	Besondere Untersuchung erforderlich
auf Strecken mit Volksläufen	oft	Besondere Untersuchung erforderlich	

Tab. 8-3 Gleichungen zur Berechnung der Beschleunigung.

Für eine die Brücke überquerende Person sollte die vertikale Beschleunigung der Brücke wie folgt berechnet werden:

$$a_{vert,1} = \frac{200}{M\xi} \cdot k_{vert} [m/s^2]$$

mit:

M = Gesamtmasse der Brücke in [Kg]

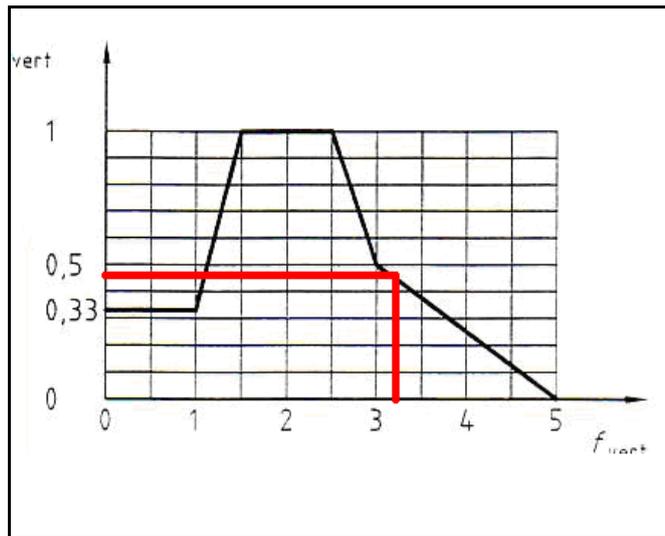
M = 137850 [kg] siehe auch [8.3]

ξ = Dämpfungskoeffizient

ξ = 0,015 für Haupttragwerk mit mechanischen Verbindungsmitte

$k_{vert.}$ = Beiwert , zu entnehmen Bild B.1

$k_{vert.}$ = 0,45

Abb.: 8.1 Koeffizient k_{vert} .

$$a_{vert,1} = \frac{200}{M\xi} \cdot k_{vert} [m/s^2]$$

$$a_{vert,1} = \frac{200}{137850 \cdot 0,015} \cdot 0,45 [m/s^2]$$

$$a_{vert,1} = 0,044 [m/s^2]$$

Für mehrere die Brücke überquerende Personen sollte die vertikale Beschleunigung der Brücke $a_{vert,n}$ wie folgt berechnet werden.

$$a_{vert,n} = 0,23 \cdot n \cdot a_{vert,1} [m/s^2] \leq 0,7 [m/s^2]$$

mit:

n = Anzahl der Fußgänger

$$n = 0,6 \cdot A$$

A = Fläche der Fahrbahn in $[m^2]$

$$A = b \cdot h$$

$$A = 4,00 \cdot 59,12$$

$$A = 236,48 [m^2]$$

$$n = 0,6 \cdot 236,48$$

$$n = 141,88$$

$$a_{vert,n} = 0,23 \cdot 141,88 \cdot 0,044$$

$$a_{vert,n} = 1,43 [m/s^2] > 0,7 [m/s^2]$$

Der Nachweis nach der DIN 1074 Anhang B⁴⁰ ist nicht erfüllt! Die maximale Anzahl der sich gleichzeitig auf der Brücke befindenden Personen müsste begrenzt werden auf:

$$n = \frac{a_{vert,n}}{0,23 \cdot a_{vert,1}}$$

$$n = \frac{0,70}{0,23 \cdot 0,044}$$

$$n = 69,1 \approx 69 [\text{Personen}]$$

Wenn laufende Personen berücksichtigt werden müssen – hier der Fall, da Sportstadion in unmittelbarer Nähe – sollte die vertikale Beschleunigung der Brücke a_{vert} ausgelöst durch eine über die Brücke laufende Person, angenommen werden zu:

$$a_{vert.} = \frac{600}{M\xi} [m/s^2] \leq 0,7 [m/s^2]$$

$$a_{vert.} = \frac{600}{137850 \cdot 0,015}$$

$$a_{vert.} = 0,29 [m/s^2] < 0,7 [m/s^2]$$

Eine Gruppe von laufenden Personen wäre für die Brücke nicht problematisch.

Da die Forderungen der DIN nicht eingehalten werden, muss für die Brücke ein Schwingungsdämpfer vorgesehen werden. Eine Begrenzung der Personen, die sich gleichzeitig auf der Brücke aufhalten, oder eine Erhöhung der Masse des Bauwerks wären nicht sinnvoll.

⁴⁰ DIN 1074 Holzbrücken; Anhang B Durch Fußgänger verursachte Schwingungen

9 Literaturverzeichnis

9.1 Normen

DIN 571	Sechskant - Holzschrauben
DIN 1052	Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken Allgemeine Bemessungsregeln und Bemessungsregeln für den Hochbau.
DIN 1055 – 1	Lastannahmen für Bauten; Teil 1 Lagerstoffe, Baustoffe und Bauteile, Eigenlasten und Reibungswinkel.
DIN 1055 – 2	Lastannahmen für Bauten; Teil 2 Verkehrslasten.
DIN 1055 – 100	Grundlagen der Tragwerksplanung; Sicherheitskonzept und Bemessungsregeln.
DIN 1074	Holzbrücken
DIN 4074 – 1	Sortierung von Holz nach der Tragfähigkeit Teil 1 Nadelschnittholz
DIN 18800 – 1	Stahlbauten Teil 1 Bemessung und Konstruktion
DIN 18801	Stahlhochbau; Bemessung, Konstruktion und Herstellung.
DIN 68800 – 2	Holzschutz; Teil 2 Vorbeugende bauliche Maßnahmen im Hochbau
DIN EN 335 – 1	Dauerhaftigkeit von Holz und Holzprodukten; Teil 1 Definition der Gefährdungsklassen für einen biologischen Befall; Allgemeines.
DIN EN 335 – 2	Dauerhaftigkeit von Holz und Holzprodukten; Teil 2 Definitionen der Gefährdungsklassen für einen biologischen Befall; Anwendungen bei Vollholz.

DIN EN 386	Brettschichtholz; Leistungsanforderungen und Mindestanforderungen an die Herstellung.
DIN EN 390	Brettschichtholz; Maße, Grenzabmaße
DIN EN 912	Holzverbindungsmittel; Spezifikationen für Dübel besonderer Bauart für Holz.
DIN EN 1194	Holzbauwerke; Brettschichtholz; Festigkeitsklassen und Bestimmung der charakteristischen Werte.
DIN EN 12369 – 1	Holzverbindungsmittel; Charakteristische Tragfähigkeiten und Verschiebungsmoduln für Verbindungen mit Dübeln besonderer Bauart.
DIN EN 14080	Holzbauwerke; Brettschichtholz; Anforderungen
DIN – Fachbericht 101	Einwirkungen auf Brücken
DIN – Fachbericht 103	Stahlbrücken
DASSt – Ri 007	Wetterfeste Baustähle
DASSt – Ri 009	Empfehlungen zur Wahl der Stahlgütegruppen für geschweißte Stahlbauten.
DASSt – Ri 014	Empfehlung zur Vermeidung von Terrassenbrüchen in geschweißten Konstruktionen aus Baustahl.
DASSt – Ri 016	Bemessung und konstruktive Gestaltung von Tragwerken aus dünnwandigen kaltgeformten Bauteilen.

9.2 Literatur

Otto W. Wetzell; Wendehorst Bautechnische Zahlentafel – 31. Auflage

Klaus Jürgen Schneider; Bautabellen für Ingenieure – 16. Auflage

Prof.-Dr.-Ing. Hülsmann (FH Hildesheim); Skript Stahlbau 1

9.3 Schriften des Informationsdienst Holz

Reihe 0	Teil 2	Folge 1	Holzbauzeichnungen
Reihe 1	Teil 7	Folge 2	Konstruktion von Anschlüssen im Hallenbau
Reihe 1	Teil 9	Folge 2	Details für Holzbrücken
Reihe 1	Teil 9	Folge 4	QS – Holzplattenbrücken
Reihe 1	Teil 18	Folge 2	Holz im Außenbereich
Reihe 2	Teil 2	Folge 1	Verbindungsmittel nach DIN 1052 und DIN 18800

Reihe 2 Teil 2 Folge 2 Genauere Nachweise – Sonderbauten
Reihe 4 Teil 4 Folge 1 Konstruktive Holzwerkstoffe