



# Vergleichende Untersuchung von biegesteifen Stirnplattenverbindungen

Robert Riedel

SM07w1-B

# Vergleichende Untersuchung von biegesteifen Stirnplattenverbindungen

Bachelorarbeit

**Hochschule Mittweida, University of Applied Sciences  
Technikumplatz 17, D-09648 Mittweida**

eingereicht bei:

Herr Prof. Dr. Torsten Laufs

vorgelegt von: **Robert Riedel**  
Fakultät: **Maschinenbau**  
Fachgruppe: **Stahl- u. Metallbau**  
Studiengruppe: **SM07w1-B**  
Adresse: **Hauptstraße 19, 08301 Bad Schlema**

Bad Schlema, den 16.03.2011

**I. Inhaltsverzeichnis**

<b>I.</b>	<b>Inhaltsverzeichnis .....</b>	<b>1</b>
<b>II.</b>	<b>Ehrenwörtliche Erklärung .....</b>	<b>4</b>
<b>III.</b>	<b>Glossar .....</b>	<b>5</b>
<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>Grundlagen .....</b>	<b>8</b>
2.1	Allgemein .....	8
2.2	Verfahren nach Valtinat unter Biegemoment und Querkraft .....	11
2.2.1	<i>Konstruktive Ausbildung und Geltungsbereiche .....</i>	<i>11</i>
2.2.2	<i>Resultierendes Kräftepaar .....</i>	<i>12</i>
2.2.3	<i>Schraubennachweis auf Zug .....</i>	<i>12</i>
2.2.4	<i>Schubnachweis der Schrauben und des Grundwerkstoffes .....</i>	<i>12</i>
2.2.5	<i>Nachweis des Druckbereiches .....</i>	<i>13</i>
2.2.6	<i>Nachweis der Schubspannung des Walzträgers im Stegbereich .....</i>	<i>14</i>
2.2.7	<i>Nachweis der Schweißnähte .....</i>	<i>14</i>
2.2.8	<i>Nachweis der Stirnplattendicke .....</i>	<i>15</i>
2.2.9	<i>Nachweischema unter Biegemoment und Querkraft nach Valtinat .....</i>	<i>17</i>
2.3	Verfahren nach Oberegge unter Biegemoment und Querkraft .....	19
2.3.1	<i>Konstruktive Ausbildung und Geltungsbereiche .....</i>	<i>19</i>
2.3.2	<i>Anschlüsse Typ 3(4) - überstehende Stirnplatte .....</i>	<i>20</i>
2.3.2.1	<i>Versagenszustand a .....</i>	<i>21</i>
2.3.2.2	<i>Versagenszustand b .....</i>	<i>22</i>
2.3.2.3	<i>Versagenszustand c .....</i>	<i>22</i>
2.3.2.4	<i>Anschlußmoment im Grenzzustand der Tragfähigkeit .....</i>	<i>23</i>
2.3.2.5	<i>Schubtragfähigkeit der Stirnplatte .....</i>	<i>23</i>
2.3.2.6	<i>Anschlußmoment im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit .....</i>	<i>23</i>
2.3.2.7	<i>Weitere zu erbringende Nachweise .....</i>	<i>24</i>
2.3.2.8	<i>Nachweischema unter Biegung und Querkraft nach Oberegge - Überstehender Stirnplattenstoß .....</i>	<i>25</i>
2.3.3	<i>Anschlüsse Typ 1(2) - bündige Stirnplatte .....</i>	<i>28</i>

---

2.3.3.1	<i>Versagenszustand a</i> .....	28
2.3.3.2	<i>Versagenszustand b</i> .....	29
2.3.3.3	<i>Versagenszustand c</i> .....	30
2.3.3.4	<i>Versagenszustand d</i> .....	31
2.3.3.5	<i>Anschlußmoment im Grenzzustand der Tragfähigkeit</i> .....	31
2.3.3.6	<i>Schubtragfähigkeit der Stirnplatte</i> .....	31
2.3.3.7	<i>Anschlußmoment im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit</i> .....	32
2.3.3.8	<i>Weitere zu erbringende Nachweise</i> .....	32
2.3.3.9	<i>Nachweisschema unter Biegung und Querkraft nach Oberegge - Bündiger Stirnplattenstoß</i> .....	33
2.4	<i>Verfahren nach Eurocode 3 (EC3) unter Biegemoment und Querkraft</i> .....	36
2.4.1	<i>Konstruktive Ausbildung und Geltungsbereiche</i> .....	36
2.4.2	<i>Stahlsorten</i> .....	37
2.4.3	<i>Überstehende und bündige Stirnplattenstöße</i> .....	38
2.4.3.1	<i>Nachweis des Zugbereiches</i> .....	38
2.4.3.2	<i>Schubnachweis der Schrauben und der Grundwerkstoffe</i> .....	43
2.4.3.3	<i>Nachweis des Druckbereiches</i> .....	44
2.4.3.4	<i>Nachweis der Schweißnähte</i> .....	44
2.4.3.4.1	<i>Richtungsbezogenes Verfahren</i> .....	45
2.4.3.4.2	<i>Vereinfachtes Verfahren</i> .....	46
2.4.4	<i>Nachweisschema unter Biegung und Querkraft nach EC3</i> .....	47
2.5	<i>Arbeiten mit typisierten Verbindungen</i> .....	51
2.6	<i>Längskräfte</i> .....	53
2.6.1	<i>Nachweis der Schweißnähte</i> .....	53
2.6.2	<i>Nachweis der Schrauben</i> .....	54
<b>3</b>	<b>Vergleichsrechnungen</b> .....	<b>56</b>
3.1	<i>Beispielrechnungen unter Biegemoment und Querkraft</i> .....	56
3.1.1	<i>Verfahren nach Valtinat - Überstehende Stirnplatte</i> .....	56
3.1.2	<i>Verfahren nach Valtinat - Bündige Stirnplatte</i> .....	60
3.1.3	<i>Verfahren nach Oberegge - Typ 3 - Überstehende Stirnplatte</i> .....	65
3.1.4	<i>Verfahren nach Oberegge - Typ 1 - Bündige Stirnplatte</i> .....	71

---

3.1.5	Verfahren nach EC3 - Überstehende Stirnplatte.....	77
3.1.6	Verfahren nach EC3 - Bündige Stirnplatte.....	82
3.2	Wirtschaftlichkeit von typisierten Anschlüssen.....	87
3.2.1	Beispielrechnungen von überstehenden Stirnplattenverbindungen nach Oberegge	87
3.2.2	Beispielrechnungen von bündigen Stirnplattenverbindungen nach Oberegge .....	89
<b>4</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>91</b>
4.1	Fazit.....	91
4.2	Ausblick .....	92
<b>5</b>	<b>Anhang .....</b>	<b>93</b>
5.1	Literaturverzeichnis .....	93
5.2	Abbildungsverzeichnis .....	94
5.3	Tabellenverzeichnis.....	96
5.4	CD - ROM.....	96

---

## II. Ehrenwörtliche Erklärung

Hiermit bestätige ich, dass

die vorliegende Bachelorarbeit selbständig durch den Verfasser und ohne Nutzung anderer als der angegebenen Quellen und Hilfsmittel angefertigt wurde,

die benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich als solche kenntlich gemacht wurden und

diese Arbeit in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner Prüfungskommission vorgelegt wurde.

Bad Schlema, den 16.03.2011

---

Robert Riedel

---

## III. Glossar

$\alpha_a$	... Abscherbeiwert
$\alpha_l$	... Lochleibungsbeiwert
$\alpha_b$	... Lochleibungsbeiwert für Lochabstände in Krafrichtung
$a_F$	... Nahtdicke der Flanschsweißnähte
$a_g$	... statisch anzusetzender Hebelarm
$a_s$	... Nahtdicke der Stegschweißnähte
$A_f$	... eine Flanschfläche eines Walzträgers
$A_{Sch} (A)$	... Schaftquerschnitt einer Schraube
$A_{Sp} (A_s)$	... Spannungsquerschnitt einer Schraube
$A_{Steg}$	... Stegfläche eines Walzträgers
$A_K$	... Kontaktfläche
$A_w$	... Stegfläche eines Walzträgers
$A_{w,Steg}$	... Fläche der Stegschweißnähte
$A_v$	... Knochenquerschnitt eines Walzträgers
$\beta_w$	... Korrelationsbeiwert
$b_{eff}$	... mitwirkende Breite
$B_{p,Rd}$	... Grenzdurchstanzkraft
$C_1$	... rechnerisch über Versuche ermittelten Hebelarme
$C_3$	... rechnerisch über Versuche ermittelten Hebelarme
$d_p (t, t_p)$	... Stirnplattendicke
$d_L (d_0)$	... Lochdurchmesser
$d_w$	... Durchmesser der Unterlegscheibe oder Eckmaß des Schraubenkopfes oder der Mutter (kleinster Wert ist maßgebend)
$D$	... Scheibendurchmesser
$D_d$	... Druckkraft aus der Momentzerlegung
$e$	... Lochabstand in Krafrichtung
$e_1$	... Randabstand in Krafrichtung
$e_2$	... Randabstand senkrecht zur Krafrichtung
$e_3 (p_2)$	... Lochabstand senkrecht zur Krafrichtung
$E$	... E-Modul
$EC3$	... Eurocode 3, [4]
$f_{y,k} (f_y)$	... Nennwert der Streckgrenze für warmgewalzten Baustahl
$f_{u,k} (f_u)$	... Nennwert der Zugfestigkeit für warmgewalzten Baustahl
$f_{u,b,k} (f_{ub})$	... Charakteristische Zugfestigkeit einer Schraube
$f_{y,b,k} (f_{yb})$	... Charakteristische Streckgrenze einer Schraube
$F_{b,Ed}$	... Lochleibungskraft einer Schraube an einer Lochwandung
$F_{b,Rd}$	... Grenzlochleibungskraft einer Schraube an einer Lochwandung
$F_{t,Rd}$	... Grenzzugkraft einer Schraube
$F_{T,Rd}$	... Tragfähigkeit eines T-Stummelflansches
$F_{w,Ed}$	... Bemessungswert der auf die wirksame Kehlnahtfläche einwirkenden Kräfte (Resultierende) je Längeneinheit
$F_{w,Rd}$	... Bemessungswert der Tragfähigkeit der Schweißnaht je Längeneinheit
$F_{V,Rd}$	... Grenzabscherkraft
$\gamma_m$	... Teilsicherheitsbeiwert
$\gamma_{m2}$	... Teilsicherheitsbeiwert
$h$	... Abstand zwischen Obergurtmitte und Schraubenpaar am Untergurt
$h_{Gurt}$	... Abstand zwischen Obergurtmitte und Untergurtmitte
$I_y$	... Flächenträgheitsmoment 2. Ordnung
$k_1$	... Beiwert für Lochleibung senkrecht zur Krafrichtung
$k_2$	... Beiwert für Schraubennachweis auf Zug
$m$	... Anzahl der Scherfläschen (Schnittigkeit der Verbindung)



$M_{I,pl,d}$	... plastisches Grenzmoment im Schnitt I - I
$M_{II,pl,d}$	... plastisches Grenzmoment im Schnitt II - II
$M_{III,pl,d}$	... plastisches Grenzmoment im Schnitt III - III
$M_{y,d} (M_{y,Ed})$	... Bemessungswert des Momentes
$M_{y,A,R,d}$	... Grenzanschlußmoment
$M_{y,el,R,d}$	... elastisches Grenzmoment eines Walzträgers
$M_{y,k}$	... charakteristischer Wert des Anschlußmomentes
$M_{y,A,k}$	... Anschlußmoment im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit
$n_D$	... Anzahl der Schrauben im Druckbereich
$n_Z$	... Anzahl der Schrauben im Zugbereich
$N_{R,d}$	... Grenzzugkraft einer Schraube
$N_{R,d,1}$	... Grenzzugkraft einer Schraube im plastischen Zustand
$N_{R,d,2}$	... Grenzzugkraft einer Schraube im Bruchzustand
NW	... Nachweis
$N_Z$	... Flanschzugkraft aus der Momentzerlegung
$N_D$	... Flanschdruckkraft aus der Momentzerlegung
$p_1$	... Lochabstand in Krafrichtung
$p_2$	... Lochabstand senkrecht zur Krafrichtung
$s$	... Stegdicke eines Walzträgers
$S_y$	... Statisches Moment eines Walzträgers um y-y
$t_{Fl}$	... Flanschdicke eines Walzträgers
$\sigma_d$	... Normalspannung
$\sigma_{W,R,d}$	... Grenzsweißnahtspannung
$\tau_{II}$	... Schweißnahtschubspannung
$\tau_{R,d}$	... Grenzschubspannung
$V_{a,R,d}$	... Grenzabscherkraft einer Schraube
$V_{l,R,d}$	... Grenzlochleibungskraft einer Schraube
$V_{pl,d}$	... plastische Grenzquerkraft einer Stirnplatte
$V_{z,d} (V_{z,Ed})$	... Bemessungswert der Querkraft
$v_{orh}^f$	... vorhandene Verformung
$W_y$	... Widerstandsmoment eines Walzträgers um y-y
$Z_d$	... Zugkraft aus der Momentzerlegung
$Z_t (N_{z,max})$	... maßgebende Flanschzugkraft
$Z_t^a$	... Flanschzugkraft des Versagenszustandes a
$Z_t^b$	... Flanschzugkraft des Versagenszustandes b
$Z_t^c$	... Flanschzugkraft des Versagenszustandes c
$Z_t^d$	... Flanschzugkraft des Versagenszustandes d
$Z_{pl,Fl,d}$	... plastische Grenzzugkraft eines Walzträgerflansches

## 1 Einleitung

Geschraubte biegesteife Stirnplattenverbindungen haben sich im Stahlhochbau als wirtschaftlicher, hochtragfähiger Anschlusstyp seit Langem bewährt. Die Bemessung von Anschlüssen war in den letzten beiden Jahrzehnten verstärkt Gegenstand nationaler und internationaler Forschung. Als Ergebnis hat sich eine neue Strategie bei der Bemessung von Stahlbauanschlüssen herausgestellt, bei welcher die Wirtschaftlichkeit im Vordergrund steht. Aber auch die Einführung neuer Sicherheitskonzepte in der neuen DIN 18800 [3] und im Eurocode 3 [4] erfordern ein Umdenken bei der Tragwerksbemessung. Diese Entwicklungen machten eine vollständige Neuauflage des DSTV Ringbuches [11] erforderlich, welche dem aktuellen Stand der Technik entsprechen. Dem Ingenieur werden Formelsammlungen mit Detailskizzen und Bemessungstabellen nach [3] und [4], sowie kurze Hintergrundinformationen und Modellbeschreibungen an die Hand gegeben.

Anfang der siebziger Jahre des letzten Jahrhunderts wurden erste Tragfähigkeitsuntersuchungen an biegesteifen Stirnplattenverbindungen durchgeführt. Erste deutschlandweit einheitliche Verbindungen entstanden 1978 aufgrund der zuvor erwähnten Untersuchungen, die „Typisierten Verbindungen im Stahlbau“. Dem Praktiker standen von nun an ein Tabellen- und Regelwerk zur Verfügung mit dem sich schnell und effizient ein Nachweis der Verbindung führen lies. Grundlegender Nachteil dieser Vorgehensweise bestand darin, dass man zwingend an den geometrischen Vorgaben, wie Blechdicke, Anzahl und Lage der Schrauben, sowie der Schweißnahtdicken gebunden war. Um außerhalb dieser Vorgaben arbeiten zu können, mussten allgemein gültige Berechnungsmodelle entwickelt werden. Durch jahrelange Erfahrungen in der Praxis und weiteren Untersuchungen ist eine Vielzahl solcher Berechnungsmodelle entstanden.

Zielsetzungen dieser Arbeit sind Erkenntnisse über die Anwendungsmöglichkeiten biegesteifer Stirnplattenverbindungen unter Berücksichtigung verschiedener Methoden und Vorgehensweisen. Dem Studierenden und dem Praktiker soll eine konkrete Übersicht über die zurzeit, nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik, sowie die am häufigsten verwendeten Berechnungsmodelle und ihre Nachweisführung, gegeben werden. Desweiteren sollen Vergleichsrechnungen den Nutzungsgrad der Tragfähigkeiten aufzeigen und den Rechenaufwand der Berechnungsmodelle gegenüber stellen, um Anwendungsgrenzen für die Praxis aufzuzeigen.

---

## 2 Grundlagen

### 2.1 Allgemein

#### Zerlegung der Schnittgrößen

Bei Berechnungsmodellen zur Nachweisführung von biegesteifen Stirnplattenverbindungen wird davon ausgegangen, dass das Biegemoment  $M_y$  allein von den Gurten, also ohne Mitwirkung des Steges, aufgenommen wird. Die Gurtkräfte ergeben sich dann wie in *Abb. 1* dargestellt, wobei die Druckkraft  $N_D$  durch den Kontakt der Stirnplatten übertragen wird.

Schrauben in der Nähe des Druckgurtes dienen der Lagesicherung und der Aufnahme von Querkraften. Diese werden dann von den Stegnähten abgetragen.

Die Gurtzugkraft  $N_Z$  wird den Schrauben am Zuggurt, sowie deren Schweißnähte, zugewiesen. Bei Übertragung großer Biegemomente ist eine Konzentration von Schrauben im Bereich des Zuggurtes sinnvoll.

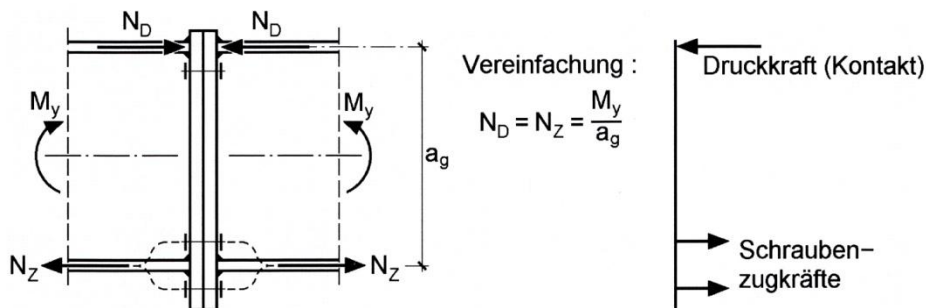


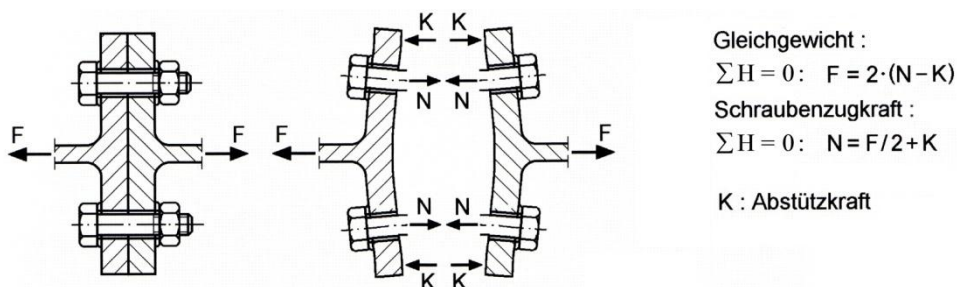
Abb. 1 Stirnplattenstoß mit überstehenden Stirnplatten [7], S. 272, Bild 4.52

Bei bündigen Stirnplattenstößen beträgt die statische anzusetzende Höhe  $a_g$  dem Abstand von der Mitte des Druckgurtes bis zur Mitte des Schraubenpaares im Zugbereich.

#### Abstützkräfte nach [7], S.213, S.214

Bei auf Zug beanspruchten Schrauben ergibt sich oft aus der konstruktiven Ausbildung, dass die Kräfte über elastische Verformung des Bleches in die Schrauben übertragen werden müssen. Hierbei treten häufig, wie in *Abb. 2* dargestellt, Abstützkräfte  $K$  auf, welche die Schraubentragfähigkeit ungünstig beeinflussen. Diese Abstützkräfte müssen bei der Auslegung von geschraubten Verbindungen, nach [2], [3] oder [4], berücksichtigt oder aber ausgeschlossen werden.

Ihre Größe hängt von der Steifigkeit und den Abmessungen der Verbindungsteile ab. Da Abstützkräfte hauptsächlich aufgrund der Blechbiegung entstehen, führen „dicke“ Stirnplatten tendenziell zu kleinen Abstützkräften.



- Mögliche Versagensarten :
- a) Schraube auf Zug
  - b) Blechbiegung
  - c) Herausreißen der Schraube aus dem Blech

Abb. 2 Zugbeanspruchte Schrauben in einer Verbindung und Versagensarten [7], S. 214, Bild 4.13

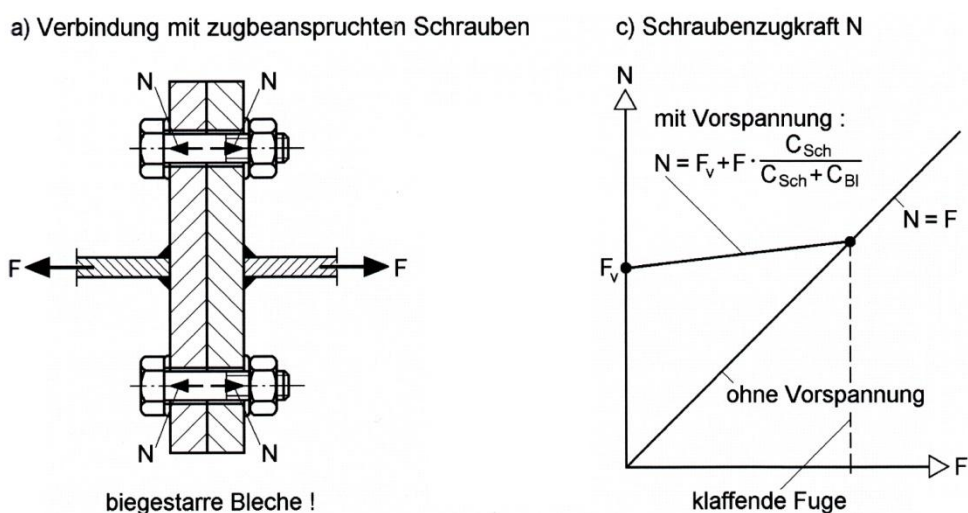
Einfluss der Vorspannung auf die Schraubenzugkraft nach [7], S.215

Beim Anziehen der Mutter wird die Schraube vorgespannt und dabei gedehnt, sowie die Verbindungsteile zusammengedrückt. Bei Aufbringung der Vorspannkraft  $F_v$  entsteht eine Schraubenzugkraft  $N = F_v$  und eine Druckkraft in den Blechen von  $N_{Bl} = -F_v$ . Wenn nun gemäß *Abb. 3* eine äußere Kraft  $F$  aufgebracht wird, verringert sich die Druckkraft in den Blechen. Gleichzeitig wird die Schraubenzugkraft  $N$  größer.

Da die Biegesteifigkeit der Bleche deutlich größer ist als die der Schrauben, ist dieser Zuwachs jedoch gering. *Abb. 3c* zeigt, dass die Kraft  $F$  überwiegend durch Abbau der Pressungen in den Blechen übertragen wird. Wenn die Pressungen vollständig abgebaut sind, entsteht eine klaffende Fuge und die Schraubenzugkraft  $N$  ist gleich der äußeren Kraft  $F$ .

Diese klaffenden Fugen gilt es zu verhindern, da einerseits Korrosionserscheinungen unbemerkt in der Scherfuge auftreten, andererseits zusätzliche Biegeverformungen der Bleche Abstützkräfte hervorrufen oder aber verstärken können.

Somit dienen planmäßig vorgespannte Schrauben der Sicherheit, Nachgiebigkeit und Langlebigkeit und sollten prinzipiell für momententragfähige Stirnplattenverbindungen verwendet werden.



*Abb. 3* Zum Einfluss der Vorspannung auf zugbeanspruchte Schrauben [7], S.215, Bild 4.15

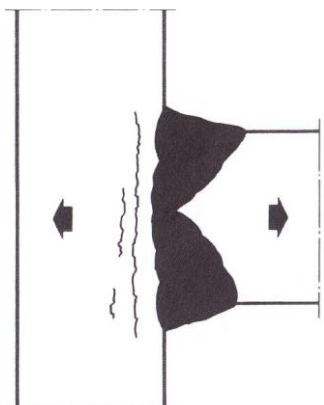
Die Betrachtungen in *Abb. 3* gelten für ideal ebene Bleche und die Annahme, dass keine Biegeverformung der Bleche und daher auch keine Abstützkräfte gemäß *Abb. 2* auftreten.

Z-Güte

Gewalzte Bleche haben senkrecht zur Walzrichtung, also in Dickenrichtung, eine deutlich geringere Verformbarkeit und Zugfestigkeit als in Walzrichtung. Ursache hierfür sind Einschlüsse von Oxiden, Silikaten und Sulfiden. Diese ursprünglich beim Guss der Bramme punktförmig im Stahl liegenden Einschlüsse werden in Folge des Walzvorgangs abgeflacht. Dies hat zur Folge, dass diese flächig oder zeilenförmig in der Blechplatte liegen, *Abb. 4*. Der Verbund dieser Lamellen untereinander ist gering, was die Festigkeit der Bleche in Dickenrichtung deutlich verringert. Dies lässt sich mit einer Analogie zu einem Stapel Papier

darstellen: Während sich einzelne Blätter des Stapel mühelos abheben lassen, ist der Stapel als Ganzes nur schwer zu zerreißen.

Zugspannungen in Dickenrichtung, die einen Terrassenbruch auslösen können, brauchen nicht aus äußeren Lasten herrühren, sondern können auch Schweißeigenspannungen sein. Falsch ist die verbreitete Ansicht, dass die Schrauben den Werkstoff zusammenklemmen und dadurch ein Terrassenbruch verhindert wird, da der Schaden unterhalb von Schweißnähten auftritt, *Abb. 4*.



*Abb. 4 Schnitt durch einen Terrassenbruch, Schematische Darstellung [1], S.2, Bild 2*

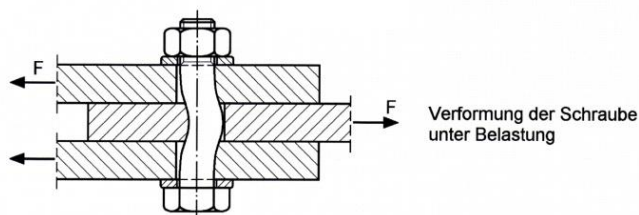
Zur Vermeidung von Terrassenbrüchen ist ein Werkstoff mit garantierter Brucheinschnürung in Dickenrichtung (Z-Güteklassen oder „Z-Güte“) zu verwenden. Die DIN EN 10164 unterscheidet drei Güteklassen (Z15, Z25, Z35). Siehe auch DIN 18800-7, Element 504 bis 506. Die Z-Güte muss durch ein Abnahmeprüfzeugnis 3.1.B belegt werden. Vorschlag für die Materialangabe auf dem Ausführungsplan: Stirnplatten biegesteifer Stöße: S 235 JRG2 mit Werkstoffgüte Z 25 nach [1] und 100 % Ultraschallprüfung um eventuelle Dopplungen zu erkennen.

Rechnerische Spannungsverteilung nach [7], S. 208, S.209

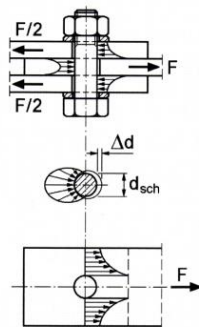
Nach der Elastizitätstheorie haben Spannungen in Stirnplatten und Schrauben stark nichtlineare Verläufe, *Abb.5b*. Dadurch dass geschraubte Verbindungen duktilen Verhalten aufweisen, plastizieren bei Laststeigerung Teile der Konstruktion, sodass Spannungsspitzen abgebaut und die Spannungsverläufe normiert werden.

Bei weiterer Lasterhöhung bis hin zur Grenztragfähigkeit ergeben sich näherungsweise konstante Spannungsverteilungen, *Abb.5c*. Aus diesem Grund werden für die Bemessung von geschraubten Verbindungen folgende rechnerische Spannungsverteilungen angenommen:

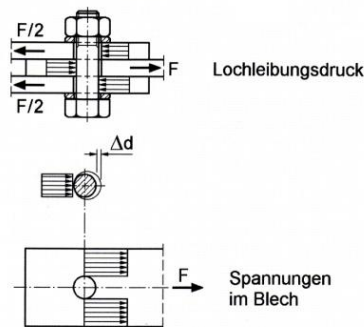
a) zweischnittige Scherverbindung



b) Spannungsverteilung nach der Elastizitätstheorie



c) rechnerische Spannungsverteilung (volles Durchplastizieren)



*Abb. 5 Verformte Schraube und Spannungsverteilungen in SLV-Verbindungen [7], S.209, Bild 4.7*

- Konstante Schubspannungen im Schraubenschaft
- Konstanter Lochleibungsdruck im Blech über Blechdicke und Schraubenschaftdurchmesser
- Konstante Normalspannung im Nettoquerschnitt des Bleches.

„Die Annahme konstanter Spannungen ist eine Näherung, die die Berechnung erleichtern soll. Sie führt zu einer ausreichend sicheren Bemessung, da die zulässigen Beanspruchbarkeiten, Konstruktionsregeln und Bemessungsvorschriften auf diese Annahme abgestimmt sind. Zu beachten ist jedoch, dass ausreichend duktilen Tragverhalten nur bei vorwiegend ruhender Belastung vorausgesetzt werden kann.“ [7], S.209

## 2.2 Verfahren nach Valtinat unter Biegemoment und Querkraft

Bei dem nachfolgend beschriebenen Berechnungsmodell handelt es sich um ein älteres sehr schnell abzuarbeitendes und gut verständliches Nachweisverfahren von biegesteifen Stirnplattenverbindungen. Die Vereinfachung über die Zerlegung der Schnittgrößen, wie in Abschnitt 2.1 beschrieben, wird angewendet.

Abstützkräfte werden mit diesem Berechnungsverfahren nicht erfasst. Um dennoch eine sichere Bemessung und Nachweisführung zu gewährleisten, wird das Ebenbleiben der Stirnplatten vorausgesetzt, was zur Folge hat, dass „dickere“ Stirnplatten verwendet werden müssen. Dieses Verfahren wird mit dem Konzept der Teilsicherheitsfaktoren angewendet. Das heißt, alle Schnittgrößen sind Bemessungswerte nach [2] beziehungsweise [3].

### 2.2.1 Konstruktive Ausbildung und Geltungsbereiche

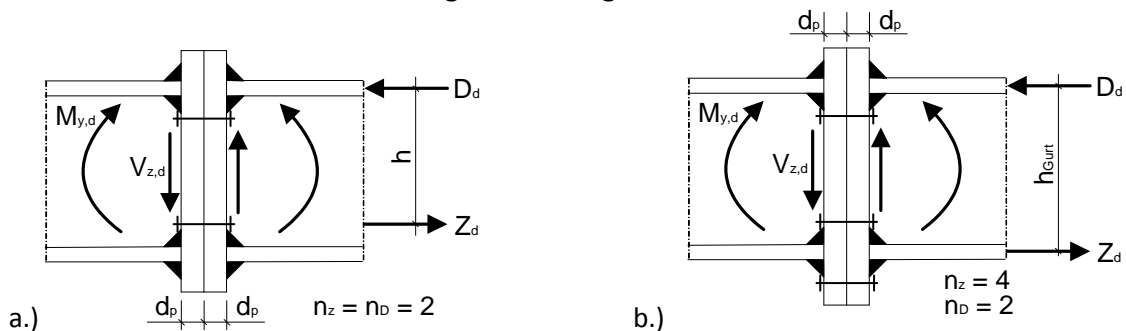


Abb. 6 Biegesteife Stirnplattenstöße in bündiger(a) und überstehender(b) Ausführung [8], S.6/46

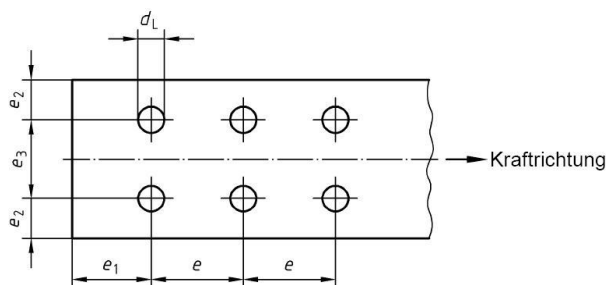


Abb. 7 Randabstände  $e_1$  und  $e_2$  und Lochabstände  $e$  und  $e_3$  [3], S.29, Bild 4

Randabstände			Lochabstände		
Kleinsten Randabstand	In Krafrichtung $e_1$	$1,2 d_L$	Kleinsten Lochabstand	In Krafrichtung $e$	$2,2 d_L$
	⊥ zur Krafrichtung $e_2$	$1,2 d_L$		⊥ zur Krafrichtung $e_3$	$2,4 d_L$
Größter Randabstand	In und ⊥ zur Krafrichtung $e_1$ bzw. $e_2$	$3 d_L$ oder $6 t$ <sup>1)</sup>	Größter Lochabstand $e$ bzw. $e_3$	Zur Sicherung gegen lokales Beulen	$6 d_L$ oder $12 t$
				wenn lokale Beulgefahr nicht besteht	$10 d_L$ oder $20 t$

Bei gestanzten Löchern sind die kleinsten Randabstände  $1,5 d_L$ , die kleinsten Lochabstände  $3 d_L$ . Die Rand- und Lochabstände dürfen vergrößert werden, wenn keine lokale Beulgefahr besteht und wenn ein ausreichender Korrosionsschutz durch besondere Maßnahmen sichergestellt ist.

<sup>1)</sup> Maximal  $8 t$ , wenn der freie Rand durch die Querschnittsform versteift wird.

Tab. 1 Rand- und Lochabstände von Schrauben und Nieten [5], S.8.71, Tafel 8.71b

Das folgende Berechnungsmodell darf nur angewendet werden, wenn die Rand- und Lochabstände gemäß Tab. 1 eingehalten werden.

**2.2.2 Resultierendes Kräftepaar**

bündige Stirnplatte:

$$Z_d = D_d = M_{y,d} / h$$

$$Z_k = D_k = M_{y,k} / h$$

überstehende Stirnplatte:

$$Z_d = D_d = M_{y,d} / h_{Gurt}$$

$$Z_k = D_k = M_{y,k} / h_{Gurt}$$

**2.2.3 Schraubennachweis auf Zug**

**NW:**  $Z_d / (n_z \cdot N_{R,d}) \leq 1$

Charakteristische Wert	Festigkeitsklasse			
	4.6	5.6	8.8	10.9
Streckgrenze $f_{y,b,k}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	240	300	640	900
Zugfestigkeit $f_{u,b,k}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	400	500	800	1000

$$N_{R,d} = \min[N_{R,d,1}; N_{R,d,2}]$$

$$N_{R,d,1} = A_{Sch} \cdot f_{y,b,k} / (1,1 \cdot \gamma_m)$$

$$N_{R,d,2} = A_{Sp} \cdot f_{u,b,k} / (1,25 \cdot \gamma_m)$$

Tab. 2 Als charakteristische Werte für Schraubenwerkstoffe festgelegte Werte [3], S.20, Tabelle2

Schraubengröße	M12	M16	M20	M22	M24	M27	M30	M36
Schaftquerschnitt $A_{Sch}$	1,13	2,01	3,14	3,80	4,52	5,73	7,07	10,18
dito Passschraube $A_{Sch}$	1,33	2,27	3,46	4,15	4,91	6,16	7,55	10,75
Spannungsquerschnitt $A_{Sp}$	0,843	1,57	2,45	3,03	3,53	4,59	5,61	8,17

Tab. 3 Schaftquerschnitt  $A_{Sch}$  und Spannungsquerschnitt  $A_{Sp}$  [5], S. 8.82, Tafel 8.82b

**2.2.4 Schubnachweis der Schrauben und des Grundwerkstoffes**

**NW:**  $V_{z,d} / (n_D \cdot V_{R,d}) \leq 1$

$$V_{R,d} = \min[V_{a,R,d}; V_{l,R,d}]$$

Grenzabscherkraft für eine Schraube:

$$V_{a,R,d} = A \cdot \tau_{a,R,d} = A \cdot \alpha_a \cdot m \cdot f_{u,b,k} / \gamma_m$$

Schraubenfestigkeitsklasse	$\alpha_a$	
	Gewinde außerhalb der Scherfuge	Gewinde in der Scherfuge
4.6	0,60	0,60
5.6	0,60	0,60
8.8	0,60	0,60
10.9	0,55	0,44

$$\gamma_m = 1,1$$

$\gamma_m = 1,25$  ; bei einschnittigen ungestützten Verbindungen

m ... Anzahl der Scherflächen

A =  $A_{Sch}$  ; Gewinde außerhalb der Scherfuge

A =  $A_{Sp}$  ; Gewinde in der Scherfuge

Tab. 4 Abscherbeiwert  $\alpha_a$  [3], S.72, Element (804)

Grenzlochleibungskraft einer

Schraube an einer Lochwandung:

$$V_{l,R,d} = A \cdot \sigma_{l,R,d} = t \cdot d_{Sch} \cdot \alpha_l \cdot f_{y,k} / \gamma_m$$

Stahl	Erzeugnisstärke	Streckgrenze
	t [mm]	f <sub>y,k</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]
S235	3 < t ≤ 40	240
	40 < t ≤ 100	215
S275	3 < t ≤ 40	275
	40 < t ≤ 80	255
S355	3 < t ≤ 40	360
	40 < t ≤ 80	335

t ... Werkstoffdicke mit gleichgerichteter Lochleibungsbeanspruchung (t ≥ 3mm)

d<sub>Sch</sub> ... Schaftdurchmesser

γ<sub>m</sub> = 1,1

Tab. 5 Charakteristische Werte für Walzstahl [3], S.18, Tabelle1 (Auszug)

Maßgebender Abstand	Bedingungen für Abstände in Krafrichtung	Bedingungen für Abstände senkrecht zur Krafrichtung	
		e <sub>2</sub> ≥ 1,5 d <sub>L</sub> und e <sub>3</sub> ≥ 3,0 d <sub>L</sub>	e <sub>2</sub> = 1,2 d <sub>L</sub> und e <sub>3</sub> = 2,4 d <sub>L</sub>
Randabstand in Krafrichtung	1,2 d <sub>L</sub> ≤ e <sub>1</sub> ≤ 3,0 d <sub>L</sub>	α <sub>l</sub> = 1,1 · e <sub>1</sub> / d <sub>L</sub> - 0,3	α <sub>l</sub> = 0,73 · e <sub>1</sub> / d <sub>L</sub> - 0,2
Lochabstand in Krafrichtung	2,2 d <sub>L</sub> ≤ e ≤ 3,5 d <sub>L</sub>	α <sub>l</sub> = 1,08 · e / d <sub>L</sub> - 0,77	α <sub>l</sub> = 0,72 · e / d <sub>L</sub> - 0,51

Unabhängig von den tatsächlichen Abständen darf e<sub>1</sub> höchstens mit 3d<sub>L</sub> und e höchstens mit 3,5 d<sub>L</sub> in Rechnung gestellt werden. Für Zwischenwerte von e<sub>2</sub> und e<sub>3</sub> darf linear interpoliert werden.

Tab. 6 Bestimmungsgleichungen für den Lochleibungsbeiwert α<sub>l</sub> [5], S. 8.73, Tafel 8.73b

**2.2.5 Nachweis des Druckbereiches**

Hierbei wird die Druckkraft D<sub>D</sub> durch Kontakt aufgenommen, wobei oft kein Nachweis notwendig ist. Die zu untersuchende Kontaktfläche ist in diesem Fall der Druckgurtquerschnitt der auf die Stirnplatte drückt, wenn seitliches Ausweichen der Bauteile am Kontaktstoß ausgeschlossen ist. Danach breitet sich die Kraft in einem 45°-Lastabtragungswinkel aus.

**NW:**  $\sigma_d / \sigma_{R,d} \leq 1$

$$\sigma_d = D_d / A_K$$

$$A_K = t_g \cdot b$$

- A<sub>K</sub> ... Kontaktfläche
- t<sub>g</sub> ... Flanschdicke
- b ... Flanschbreite

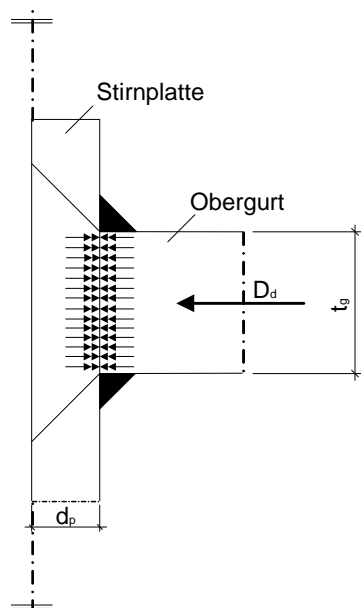


Abb. 8 Seitenansicht der Kontaktfläche Trägerflansch-Stirnplatte



### 2.2.6 Nachweis der Schubspannung des Walzträgers im Stegbereich

$$\boxed{\text{NW: } \tau_d / \tau_{R,d} \leq 1} \quad \tau_{R,d} = \frac{f_{y,k}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_m}$$

$$\tau_d = \frac{V_{z,d}}{A_{\text{Steg}}} ; \text{ falls } A_{\text{Gurt}} / A_{\text{Steg}} > 0,6$$

$$\tau_d = \frac{V_{z,d} \cdot S_y}{I_y \cdot s} ; \text{ falls } A_{\text{Gurt}} / A_{\text{Steg}} \leq 0,6$$

### 2.2.7 Nachweis der Schweißnähte

#### Nahtdickenbegrenzung und Nahtlängenbegrenzung bei Kehlnähten

Kehlnähte dürfen rechnerisch nur berücksichtigt werden, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind.

$$\boxed{2 \leq a \leq 0,7 \cdot t_{\min} \quad [\text{mm}]}$$

$$\boxed{a \geq \sqrt{t_{\max}} - 0,5 \quad *) \quad [\text{mm}]}$$

$$\boxed{30 < l \leq 6 \cdot a \quad [\text{mm}]}$$

\*) Hierdurch wird die Versprödungs- und Kaltrissgefahr berücksichtigt, die durch schnellen Wärmeabfluss beim Schweißen entstehen kann. Auf diese Empfehlung kann verzichtet werden, wenn bei  $t \geq 30 \text{ mm}$  die Kehlnahtdicke  $a \geq 5 \text{ mm}$  gewählt wird. Dies ist eine Empfehlung.

Anmerkung: Schweißnähte in Radien dürfen rechnerisch nicht angesetzt werden.

#### Nachweis der Zuggurtnähte

$$\boxed{\text{NW: } \sigma_{\perp} / \sigma_{w,R,d} \leq 1}$$

$$\sigma_{\perp} = Z_d / (\Sigma a \cdot l) \quad ; (\Sigma a \cdot l) \quad \dots \text{ Gurtnahtfläche}$$

$$\sigma_{w,R,d} = \alpha_w \cdot f_{y,k} / \gamma_m \quad ; \alpha_w \quad \dots \text{ siehe Tab. 7}$$

#### Nachweis der Stegnähte:

$$\boxed{\text{NW: } \tau_{\parallel} / \sigma_{w,R,d} \leq 1}$$

$$\tau_{\parallel} = V_{z,d} / A_{w,\text{Steg}} \quad ; A_{w,\text{Steg}} \quad \dots \text{ Stegnahtfläche}$$

$$\sigma_{w,R,d} = \alpha_w \cdot f_{y,k} / \gamma_m \quad ; \alpha_w \quad \dots \text{ siehe Tab. 7}$$

#### Anmerkung

Alternativ kann auch ein vereinfachter Nachweis nach [2], Element (833) - Mindestdicke der Schweißnähte - durchgeführt werden.

$\alpha_w$ - Werte nach DIN 18800 Teil 1.Tab.21 [11/1990]				
Nahtarten	Nahtgüte	Beanspruchung	S235	S355
durchgeschweißte und gegengeschweißte Nähte	alle	Druck	1,0 <sup>*)</sup>	1,0 <sup>*)</sup>
	nachgewiesen	Zug, Schub		
	nicht nachgewiesen			
nicht durchgeschweißte Nähte, Kehlnähte	alle	Druck, Zug	0,95	0,80
alle Nahtarten	alle	Schub		

<sup>\*)</sup> Der Nachweis ist i. Allg. nicht erforderlich, da der Bauteilwiderstand maßgebend ist. Wenn die Schnittgrößen nach dem Verfahren E-P mit Umlagerung von Momenten oder nach dem Verfahren P-P ermittelt wurden, kann der Nachweis mit einem oberen Grenzwert der Streckgrenze entfallen.

Tab. 7  $\alpha_w$  - Werte zur Berechnung der Grenzschweißnahtspannung [5], S. 8.69, Tafel 8.69a

### 2.2.8 Nachweis der Stirnplattendicke

#### Näherungsformeln

$d_p = 1,5 \cdot d_{Sch}$  ; für bündige Stirnplatten

$d_p = 1,0 \cdot d_{Sch}$  ; für überstehende Stirnplatten

#### Exakter Nachweis

$$NW: \sigma_d / \sigma_{R,d} \leq 1$$

Der Nachweis erfolgt über eine geschätzte mitwirkende Breite am Steg unter einer Lastausbreitung von 45°, Abb.9. Die aussteifende Wirkung des Flansches wird in Gänze vernachlässigt.

$w$

$$b_{eff} = d_L + 2 \cdot ((w - s) / 2)$$

$$W = b_{eff} \cdot d_p^2 / 6$$

$$F = Z_d$$

$$M = F \cdot w / 4$$

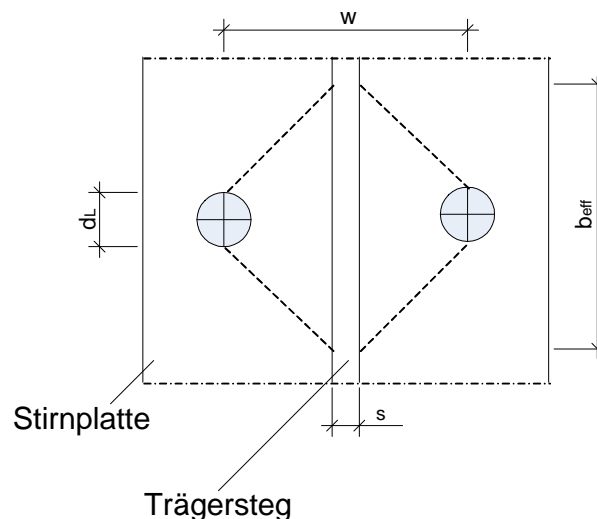


Abb. 9 Skizzenhafte Darstellung der Lastausbreitung

#### Anmerkung

Die mitwirkende Breite kann nur rechnerisch angesetzt werden, wenn sich an dieser Stelle auch Material befindet, ansonsten muss die mitwirkende Breite abgemindert werden.

$$\sigma_d = M / W$$

$$\sigma_{R,d} = f_{y,k} / \gamma_m$$

Nachweis der Verformung

$$\text{NW: } v_{\text{orh}} f \leq w / 500$$

$$F = Z_k$$

$$I_y = b_{\text{eff}} \cdot d_p^3 / 12$$

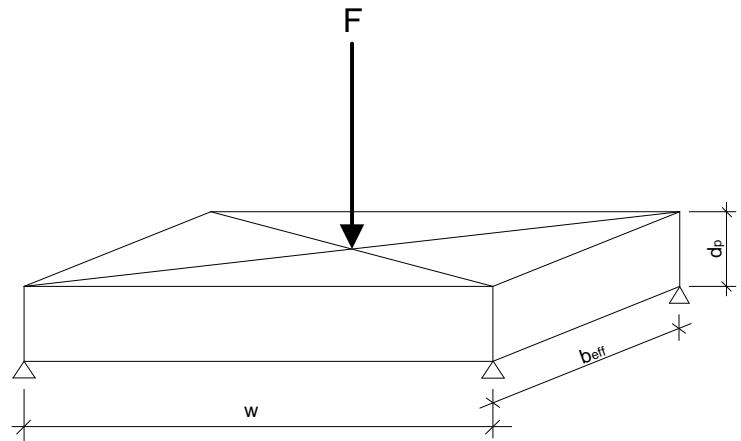
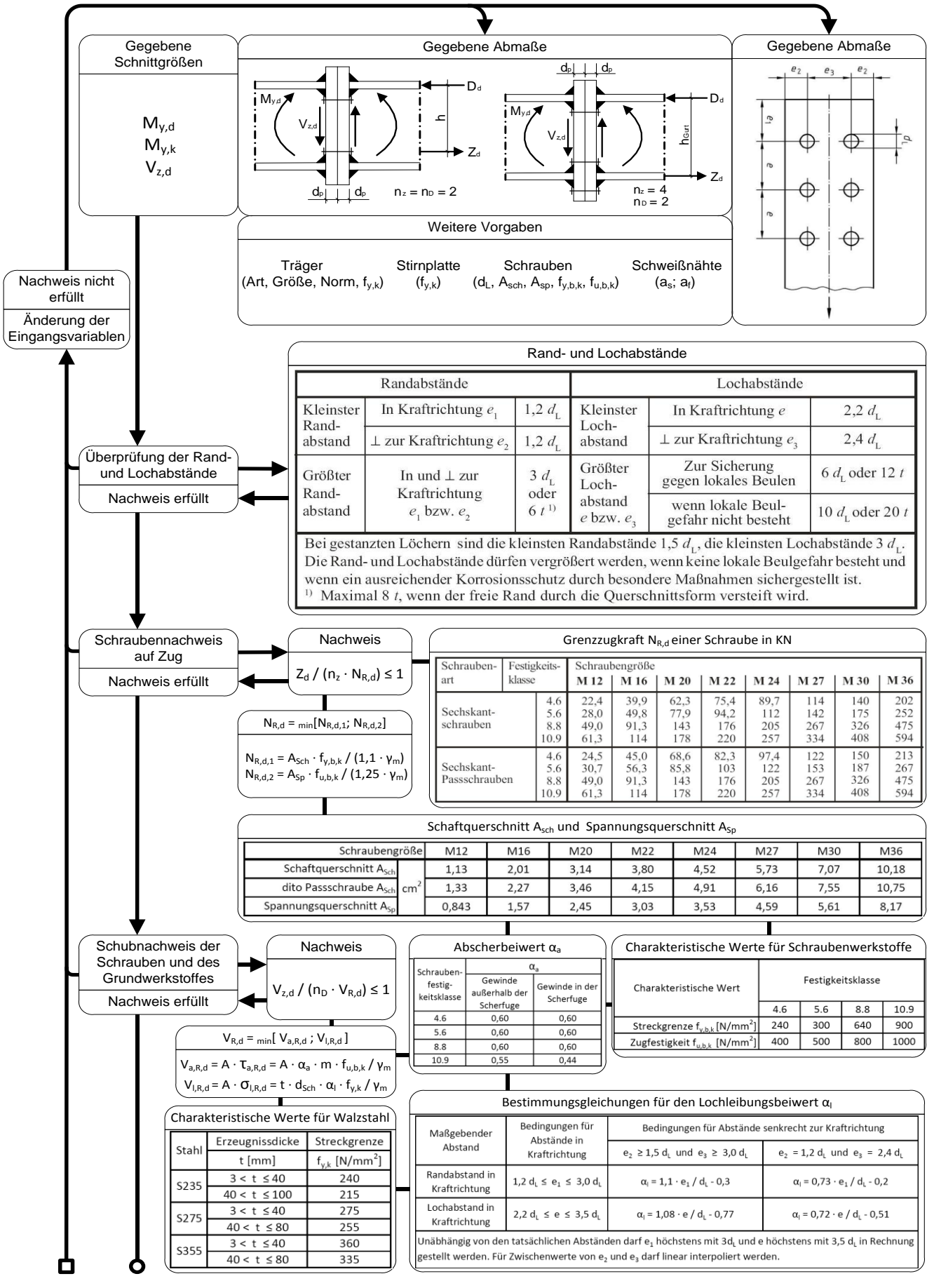
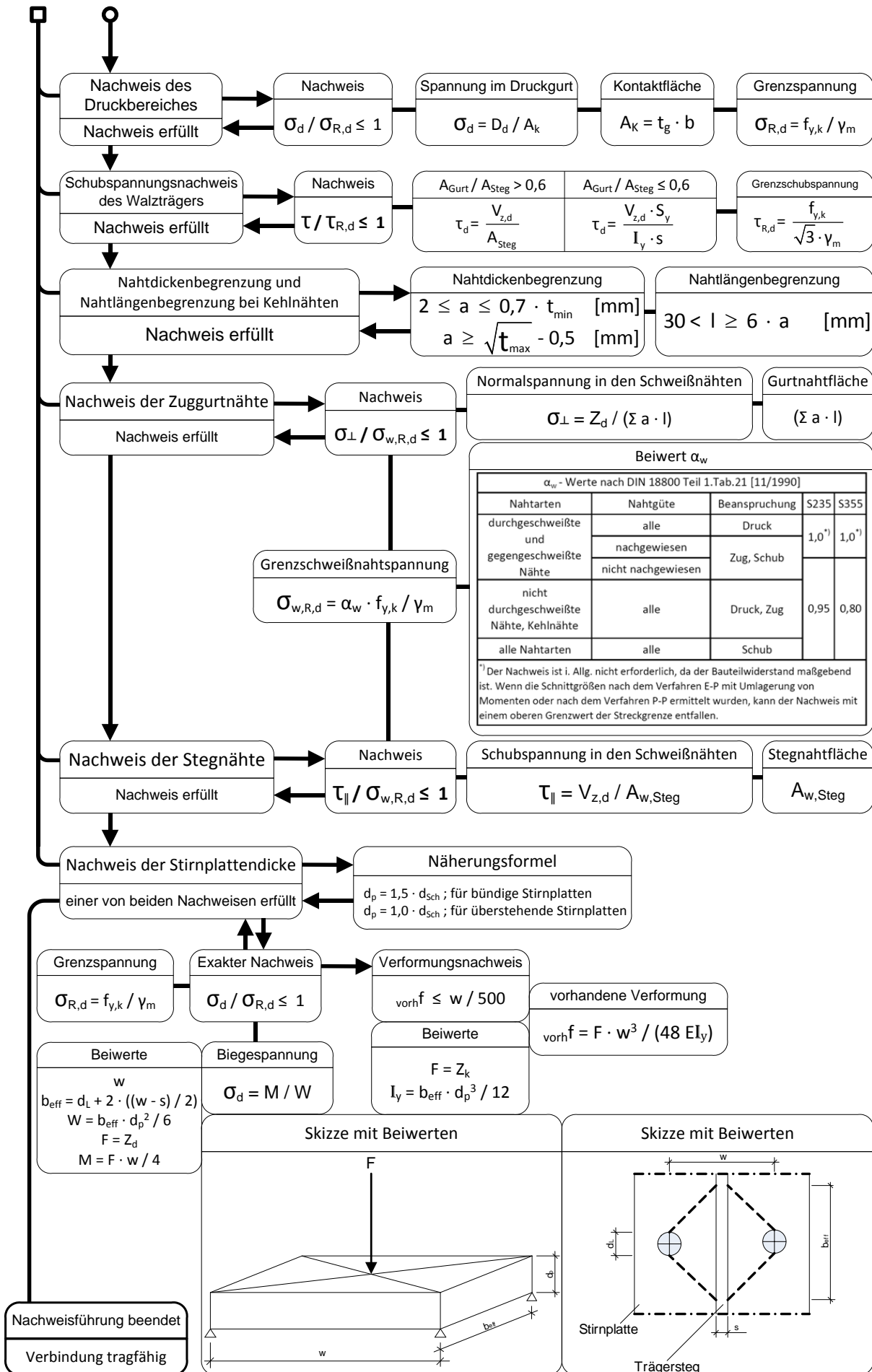


Abb. 10 Schematische Darstellung der „herausgelösten“ Stirnplatte

$$v_{\text{orh}} f = F \cdot w^3 / (48 EI_y)$$

2.2.9 Nachweischema unter Biegemoment und Querkraft nach Valtinat





### 2.3 Verfahren nach Oberegge unter Biegemoment und Querkraft

Grundlegende Voraussetzungen zur Anwendung dieses Berechnungsmodelles:

- vorwiegend ruhende Beanspruchung  $M_y$  und  $V_z$
- Walzträger aus S235JR und Stirnplatten aus S235JR bzw. S235JO
- Schraubenverbindung als SLV - Verbindung mit Schrauben der Festigkeitsklasse 10.9 und planmäßiger Vorspannung
- eine etwaige Normalkraft bis zu einem Verhältnis  $N/N_{pl} < 0,1$  wird vernachlässigt

Grundlagen:

Sämtliche aufgeführten Beschreibungen und Formeln basieren auf [9], S. 275 ff.

Ursprünglich wurde dieses Verfahren für Träger-Stützenverbindungen entwickelt, dennoch besitzt es dieselbe Gültigkeit für Trägerstöße. In diesem Fall liegen auf beiden Seiten des Anschlusses dieselben elastisch-plastischen Verhältnisse vor. Die Vereinfachung über die Zerlegung der Schnittgrößen, wie in Abschnitt 2.1 beschrieben, wird angewendet. Abstützkräfte werden mit diesem Berechnungsverfahren erfasst.

Das Hauptaugenmerk liegt auf dem Zugbeanspruchten Bereich, die Schwachstelle des Stoßes, *Abb.11*. Danach wird unterschieden zwischen dem „T-Modell“, *Abb.11a* für überstehende Stirnplattenverbindungen und dem „L-Modell“, *Abb.11c* für bündige Stirnplattenverbindungen.

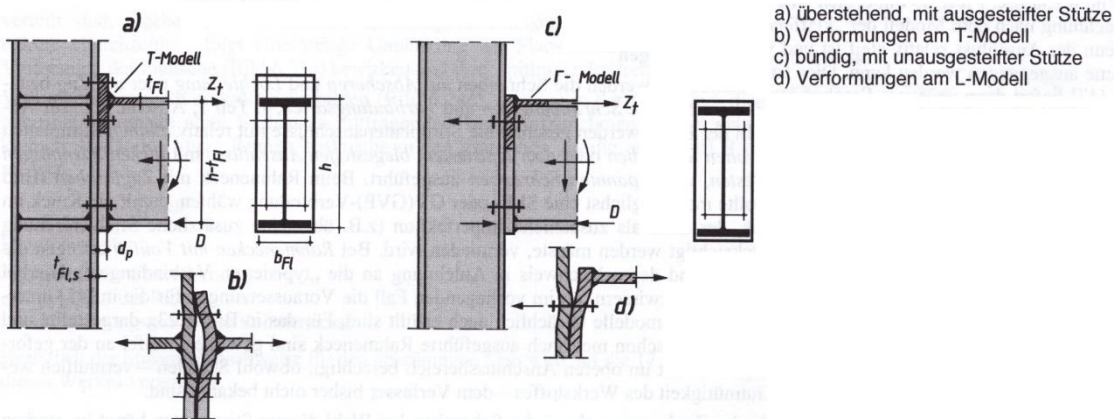


Abb. 11 Schematische Darstellung [9], S. 276, Bild 6.34

#### 2.3.1 Konstruktive Ausbildung und Geltungsbereiche

Folgende Verbindungsabmessungen sind nach [11] typisiert. In [10] sind die maximalen Beanspruchbarkeiten und das Berechnungsmodell aufgeführt und beschrieben.

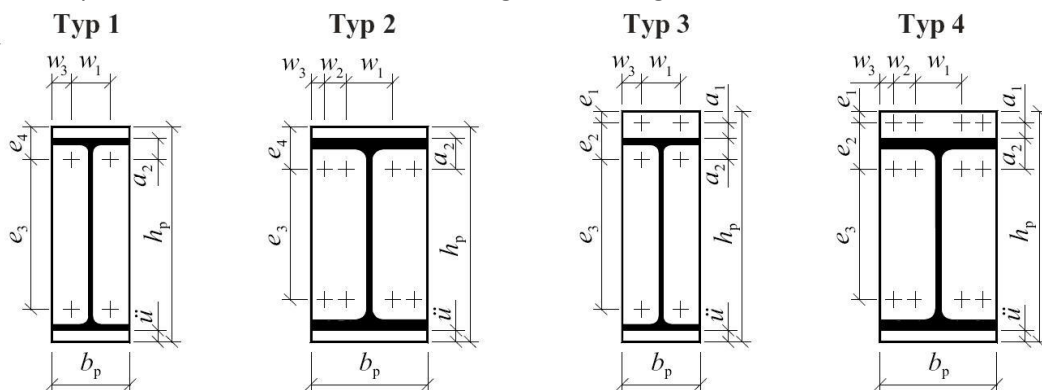
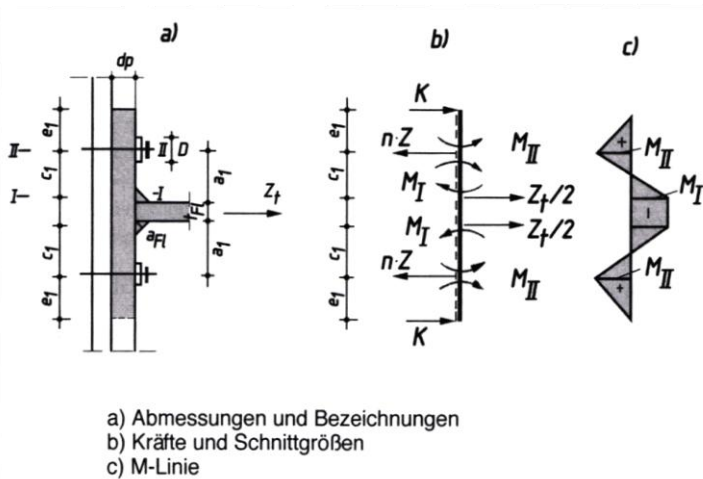


Abb. 12 Geometrische Abmessungen typisierter Stirnplattenverbindungen siehe [11]

**2.3.2 Anschlüsse Typ 3(4) - überstehende Stirnplatte**

In *Abb.13* ist das T-Modell des Zugflansches mit der über  $a_{FI}$  angeschweißten Stirnplatte abgebildet. Die über Versuche ermittelten reduzierten Hebelarme sind  $e_1, c_1$  und in *Abb.13a* dargestellt und bilden mit der in *Abb.13b* eingetragenen Kräfte und Schnittgrößen das wirksame statische System. Unabhängig von der maßgebenden Versagensform gelten die nachfolgenden Gleichgewichtsbeziehungen, abgeleitet aus *Abb.13b*.



Vorwerte:

$$c_1 = a_1 - a_{FI} \cdot \sqrt{2} / 3 - (D + d_p) / 4$$

$e_1$

(Scheibendurchmesser D siehe *Tab.8*)

Grenzschnittgrößen:

$$M_{I,pl,d} = 1,1 \cdot \sigma_{R,d} \cdot b_p \cdot d_p^2 / 4$$

$$M_{II,pl,d} = 1,1 \cdot \sigma_{R,d} \cdot (b_p - n \cdot d_l) \cdot d_p^2 / 4$$

$$V_{pl,d} = b_p \cdot d_p \cdot \sigma_{R,d} / \sqrt{3}$$

$N_{R,d}$  ... Siehe *Tab.9*

*Abb. 13 Statische Beziehungen am T-Modell, Seitenansicht [9], S. 277, Bild 6.35*

Gleichgewichtsbeziehungen:

$$\Sigma H = 0; \quad Z_t + 2 \cdot K - 2 \cdot n \cdot Z = 0 \quad (1)$$

$$\Sigma M = 0; \quad K \cdot e_1 - M_{II} = 0 \quad \text{bzw.} \quad K = M_{II} / e_1 \quad (2)$$

$$Z_t \cdot c_1 - 2 \cdot (M_I + M_{II}) = 0 \quad \text{bzw.} \quad Z_t = 2 \cdot (M_I + M_{II}) / c_1 \quad (3)$$

nach Ersatz von K in Gleichung (1) durch  $K = M_{II} / e_1$  Gleichung (2) folgt:

$$Z_t = 2 \cdot (n \cdot Z - M_{II} / e_1) \quad (4)$$

davon ausgehend können drei Versagenszustände eintreten, die im Folgenden beschrieben werden.

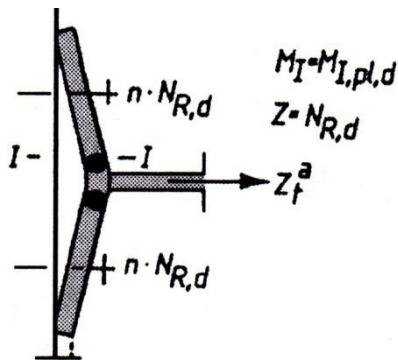
Schraubengröße	→	M 12	M 16	M 20	M 22	M 24	M 27	M 30	M 36
Gewinde-Ø	$d$	12	16	20	22	24	27	30	36
Schaft-Ø	$d_s$	= Gewinde-Ø $d$							
dto. Passschraube	$d_s$	13	17	21	23	25	28	31	37
Kopfhöhe	$k$	8	10	13	14	15	17	19	23
Mutterhöhe	max $m$	10	13	16	18	20	22	24	29
Schlüsselweite	$s$	22	27	32	36	41	46	50	60
Eckenmaß	min $e$	23,91	29,56	35,03	39,55	45,20	50,85	55,37	66,44
Scheiben-Ø		24	30	37	39	44	50	56	66
Scheibendicke	$t$	3	4	4	4	4	5	5	6

*Tab. 8 Schraubenmaße in mm für Sechskantschrauben mit großen Schlüsselweiten (HV-Schrauben) nach DIN EN 14399-4 und DIN EN 14399-8 [5], S. 8.82, Tafel 8.82a*

Schraubenart	Festigkeitsklasse	Schraubengröße							
		M 12	M 16	M 20	M 22	M 24	M 27	M 30	M 36
Sechskantschrauben	4.6	22,4	39,9	62,3	75,4	89,7	114	140	202
	5.6	28,0	49,8	77,9	94,2	112	142	175	252
	8.8	49,0	91,3	143	176	205	267	326	475
	10.9	61,3	114	178	220	257	334	408	594
Sechskant-Passschrauben	4.6	24,5	45,0	68,6	82,3	97,4	122	150	213
	5.6	30,7	56,3	85,8	103	122	153	187	267
	8.8	49,0	91,3	143	176	205	267	326	475
	10.9	61,3	114	178	220	257	334	408	594

Tab. 9 Grenzzugkräfte  $N_{R,d}$  in KN je Schraube [5], S. 8.73, Tafel 8.73a

2.3.2.1 Versagenszustand a



Sollten die Stirnplattendicken und der Schraubendurchmesser optimal aufeinander abgestimmt sein (gutes Verhältnis  $d_p/d_s$ ), bildet sich im Schnitt I ein Fließgelenk aus und die Schrauben erreichen ihre Bruchkraft. Für das Moment im Schnitt II folgt dann  $M_{II} \leq M_{II,pl,d}$ .

Durch Einsetzen der maßgebenden Grenzschnittgrößen  $N_{R,d}$  und  $M_{I,pl,d}$  in die vorausgegangenen Gleichgewichtsbedingungen folgt:

Abb. 14 Schematische Darstellung VZa [9], S.279, Tafel 6.1

$$Z_t^a = \frac{2}{(e_1 + c_1)} \cdot (n \cdot N_{R,d} \cdot e_1 + M_{I,pl,d})$$

Damit die Bedingung  $M_{II} \leq M_{II,pl,d}$  erfüllt ist gilt:

$$(n \cdot N_{R,d} - Z_t^a / 2) e_1 \leq M_{II,pl,d}$$

Herleitung:

Gleichsetzung von  $Z_t$  aus Gleichung (4) und Gleichung (3) mit  $Z = N_{R,d}$  und  $M_I = M_{I,pl,d}$

$$2 \cdot (n \cdot N_{R,d} - M_{II} / e_1) = 2 \cdot (M_{I,pl,d} + M_{II}) / c_1$$

beziehungsweise das Moment im Schnitt II zu

$$M_{II} = \frac{e_1 \cdot c_1}{(e_1 + c_1)} \cdot (n \cdot N_{R,d} - M_{I,pl,d}) / c_1 \tag{5}$$

Gleichung (5) wird in Gleichung (4) eingesetzt und nach  $Z_t^a$  aufgelöst

$$Z_t^a = \frac{2}{(e_1 + c_1)} \cdot (n \cdot N_{R,d} \cdot e_1 + M_{I,pl,d}) \tag{6}$$

Damit die Bedingung  $M_{II} \leq M_{II,pl,d}$  erfüllt ist, muss die errechnete Zugkraft nach Gleichung (6) die Gleichung (7) erfüllen

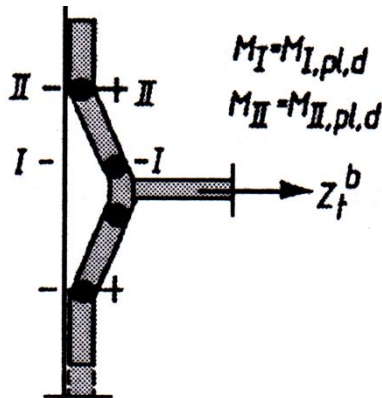
$$Z_t^a \geq 2 \cdot (n \cdot N_{R,d} - M_{II,pl,d} / e_1) \tag{7}$$

beziehungsweise

$$(n \cdot N_{R,d} - Z_t^a / 2) e_1 \leq M_{II,pl,d}$$



2.3.2.2 Versagenszustand b



Bei zu dünn gewählten Stirnplatten ( $d_p \downarrow / d_s \uparrow$ ) stellen sich Fließgelenke in den Schnitten I und II ein, während die Bruchkraft der Schrauben nicht erreicht wird.

$$n \cdot Z \leq n \cdot N_{R,d}$$

Durch Einsetzen der maßgebenden Grenzschnittgrößen  $M_{I,pl,d}$  und  $M_{II,pl,d}$  in die vorausgegangenen Gleichgewichtsbedingungen folgt:

$$Z_t^b = 2 \cdot (M_{I,pl,d} + M_{II,pl,d}) / c_1$$

Abb. 15 Schematische Darstellung VZb [9], S.279, Tafel 6.1

Damit die Bedingung  $n \cdot Z \leq n \cdot N_{R,d}$  erfüllt ist gilt:

$$Z_t^b \leq 2 \cdot (n \cdot N_{R,d} - M_{II,pl,d} / e_1)$$

Herleitung:

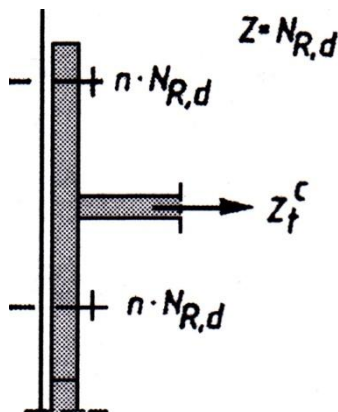
Einsetzen der plastischen Grenzschnittgrößen in Gleichung (3) mit  $M_I = M_{I,pl,d}$ ,  $M_{II} = M_{II,pl,d}$  und  $Z = N_{R,d}$

$$Z_t^b = 2 \cdot (M_{I,pl,d} + M_{II,pl,d}) / c_1$$

Hierbei darf kein Schraubenbruch auftreten ( $n \cdot Z \leq n \cdot N_{R,d}$ ), was über Gleichung (1) und Gleichung (2) auf folgende Bedingung führt

$$Z_t^b \leq 2 \cdot (n \cdot N_{R,d} - M_{II,pl,d} / e_1)$$

2.3.2.3 Versagenszustand c



Bei zu schwach dimensionierten Schrauben ( $d_p \uparrow / d_s \downarrow$ ) versagen diese allein ohne Ausbildung von Fließgelenken. Bei der Nachweisführung darf kein Schraubenbruch auftreten.

$$n \cdot Z \leq n \cdot N_{R,d}$$

Durch Einsetzen der maßgebenden Grenzschnittgröße  $N_{R,d}$  in die vorausgegangenen Gleichgewichtsbedingungen folgt:

$$Z_t^c = 2 \cdot n \cdot N_{R,d}$$

Abb. 16 Schematische Darstellung VZc [9], S.279, Tafel 6.1

Damit die Bedingung  $n \cdot Z \leq n \cdot N_{R,d}$  erfüllt ist gilt:

$$M_{I,pl,d} + M_{II,pl,d} \geq Z_t^c \cdot c_1 / 2$$

Herleitung:

Einsetzen der plastischen Grenzschnittgrößen in Gleichung (4) mit  $M_{II} = 0$  und  $Z = N_{R,d}$  folgt die einfache Beziehung

$$Z_t^c = 2 \cdot n \cdot N_{R,d}$$

Einsetzen der plastischen Grenzschnittgrößen in Gleichung (3) mit  $M_I = M_{I,pl,d}$  und  $M_{II} = M_{II,pl,d}$  folgt die Bedingung

$$Z_t^c \leq 2 \cdot (M_{I,pl,d} + M_{II,pl,d}) / c_1 \quad \text{beziehungsweise} \quad M_{I,pl,d} + M_{II,pl,d} \geq Z_t^c \cdot c_1 / 2$$

**2.3.2.4 Anschlußmoment im Grenzzustand der Tragfähigkeit**

Das mögliche Grenzanschlußmoment  $M_{y,A,R,d}$  ergibt sich aus der maßgebenden, kleinsten Flanschzugkraft  $Z_t$  und dem Hebelarm der inneren Kräfte und darf das elastische Grenzmoment des Trägers  $M_{y,el,R,d}$  nicht überschreiten.

NW:	$M_{y,d} \leq M_{y,A,R,d} = Z_t \cdot (h - t_{Fl}) \leq M_{y,el,R,d}$	mit	$M_{y,el,R,d} = W_y \cdot f_{y,k} / \gamma_m$
-----	---	-----	---

**2.3.2.5 Schubtragfähigkeit der Stirnplatte**

In allen drei Versagenszuständen darf die Schubtragfähigkeit der Stirnplatte nicht überschritten werden.

NW:	$Z_t^i \leq 2 \cdot V_{pl,d}$
-----	-------------------------------

**2.3.2.6 Anschlußmoment im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit**

Des Weiteren muss nach [9], S.279 nachgewiesen werden, dass im Gebrauchszustand die Verformungen im Anschlussbereich in elastischen Größenordnungen bleiben. Die Bedingung gilt dann als erfüllt, wenn das Anschlußmoment  $M_{y,k}$  infolge der Gebrauchslasten das Moment  $M_{y,A,k}$  nicht überschreitet.

NW:	$M_{y,k} \leq M_{y,A,k} = (h - t_{Fl}) \cdot n' \cdot 0,8 \cdot F_v$
-----	--

mit  $n' = 4$  bei 2 vertikalen Schraubenreihen  
 $(n' = 7,2$  bei 4 vertikalen Schraubenreihen)

$F_v$  ... Vorspannkraft der Schrauben nach Tab.10

Verbin- dungsart	Festigkeits- klasse	Schraubengröße							
		M 12	M 16	M 20	M 22	M 24	M 27	M 30	M 36
GV; GVP	8.8	35	70	110	130	150	200	245	355
	10.9	50	100	160	190	220	290	350	510

Tab. 10 Vorspannkraft  $F_v$  nach DIN 18800-7 (09.02), Tab. 5+6 in KN [5], 8.77, Tafel 8.77a

**2.3.2.7 Weitere zu erbringende Nachweise**

Überprüfung der Rand- u. Lochabstände

Resultierendes Kräftepaar

Schraubennachweis auf Zug

Schraubennachweis auf Schub

Nachweis des Druckbereiches

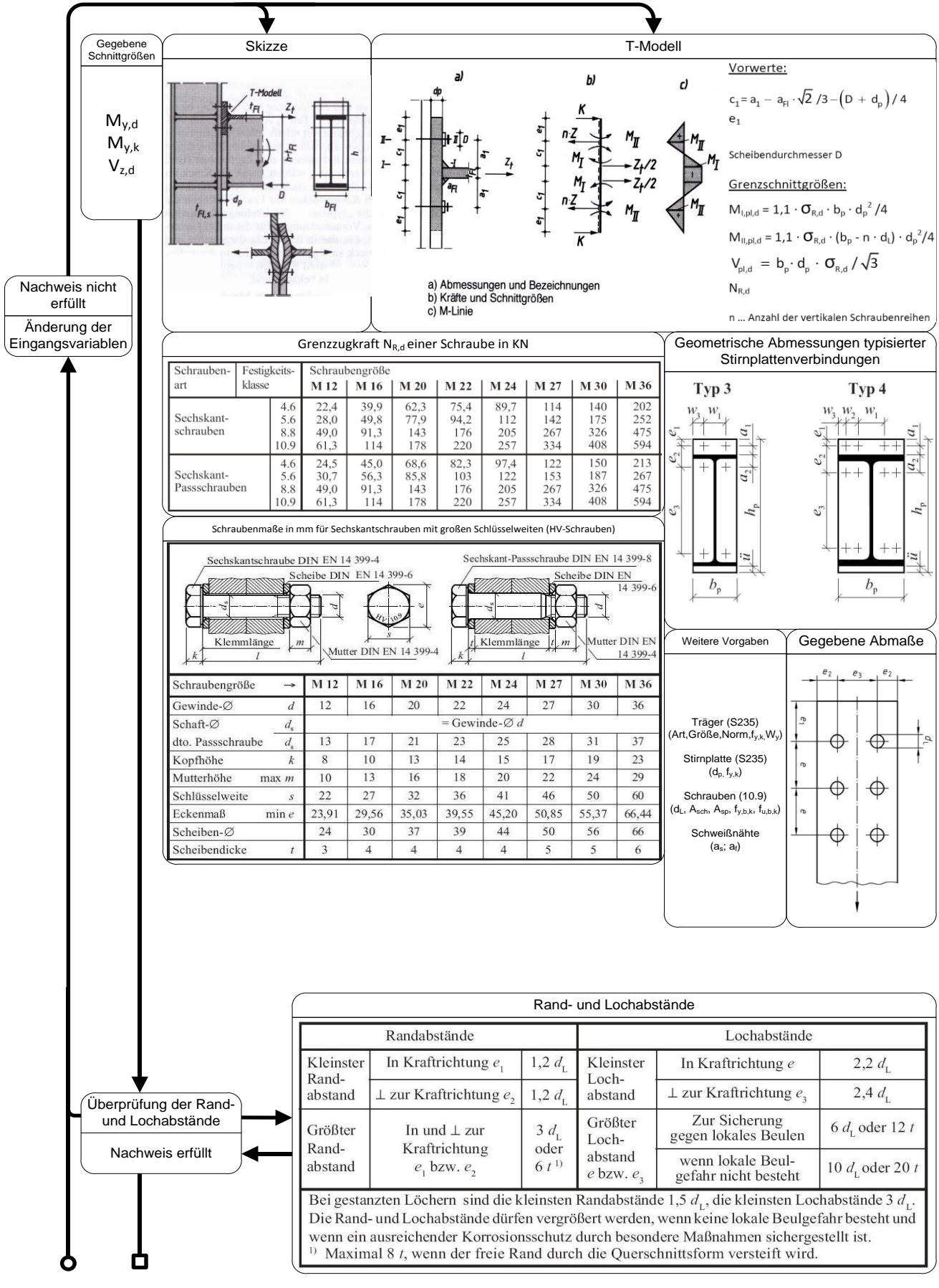
Nachweis der Schubspannung des Walzträgers

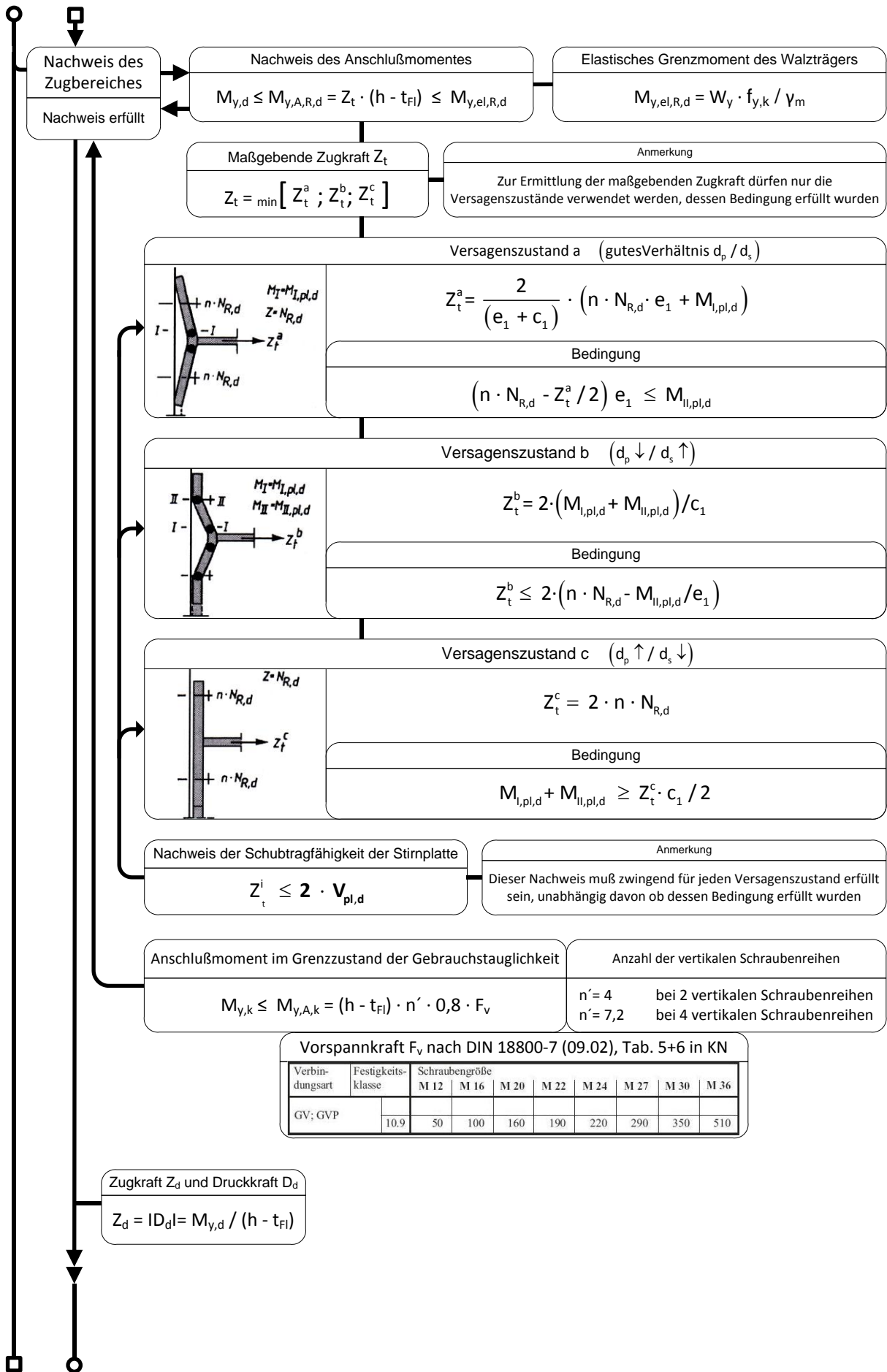
Nachweis der Schweißnähte

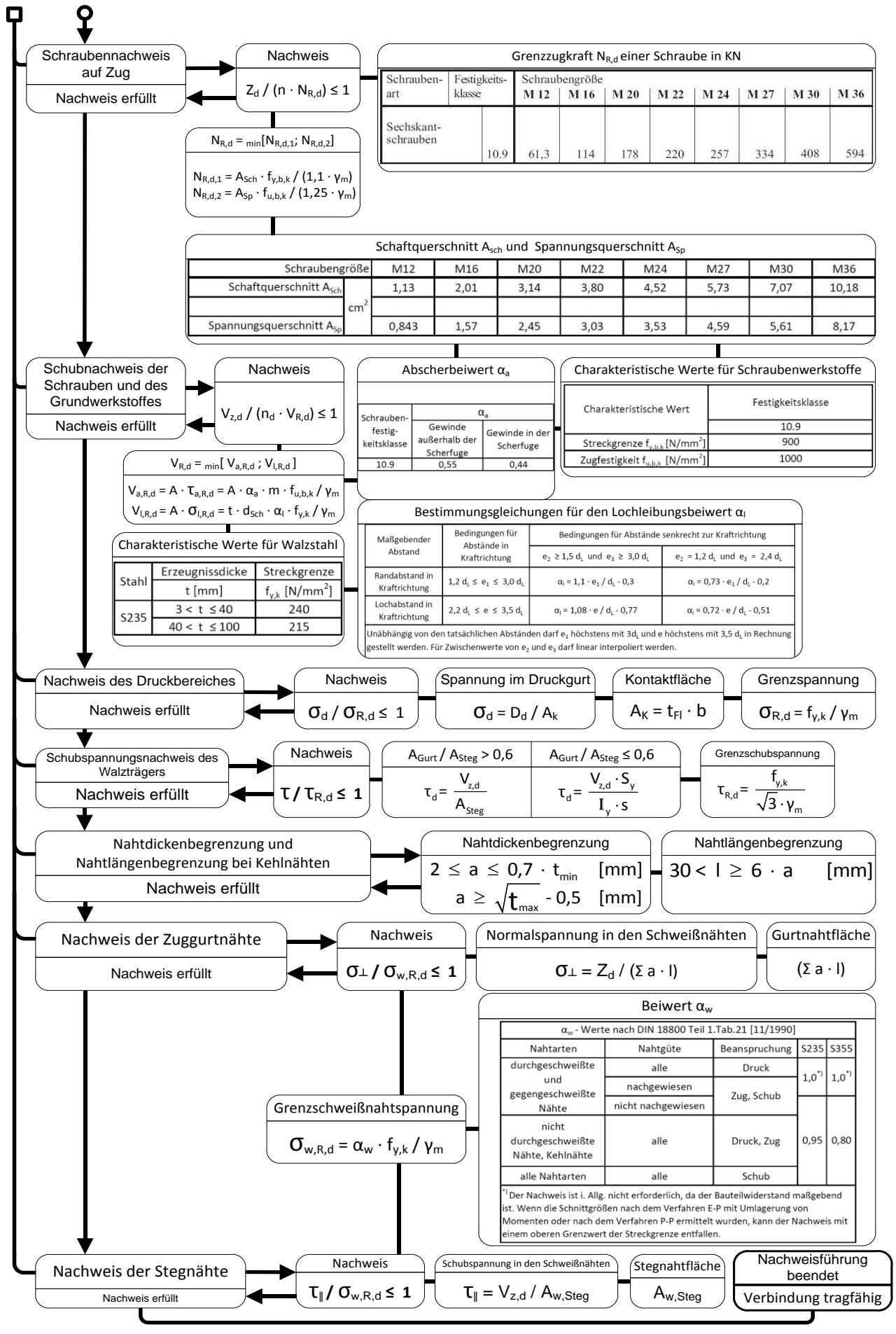
Diese Nachweise müssen, wie in 2.2 Verfahren nach Valtinat beschrieben, geführt werden.

---

**2.3.2.8 Nachweisschema unter Biegung und Querkraft nach Oberegge - Überstehender Stirnplattenstoß**

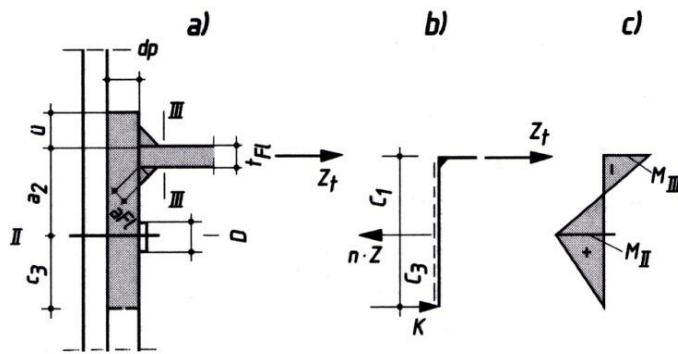






**2.3.3 Anschlüsse Typ 1(2) - bündige Stirnplatte**

In Abb.17 ist das L-Modell des Zugflansches mit der über  $a_{FI}$  angeschweißten Stirnplatte abgebildet. Die über Versuche ermittelten verkürzten ( $c_1$ ) und verlängerten ( $c_3$ ) Hebelarme sind in Abb.17a dargestellt und bilden mit Abb.17b eingetragenen Kräfte und Schnittgrößen das wirksame statische System. Unabhängig von der maßgebenden Versagensform gelten die nachfolgenden Gleichgewichtsbeziehungen, abgeleitet aus Abb.17b.



Statische Beziehungen am L-Modell  
 a) Abmessungen und Bezeichnungen  
 b) Kräfte und Schnittgrößen  
 c) M-Linie

Abb. 17 Statische Beziehungen am L-Modell, Seitenansicht [9], S. 280, Bild 6.36

Vorwerte:

$$c_1 = e_4 - \ddot{u} - t_{FI} - (D/2 + d_p) / 2$$

$$c_3 = D/2 + d_p$$

(Scheibendurchmesser D siehe Tab.8)

Grenzschnittgrößen:

$$M_{II,pl,d} = 1,1 \cdot \sigma_{R,d} \cdot (b_p - n \cdot d_L) \cdot d_p^2 / 4$$

$$M_{III,pl,d} = 1,1 \cdot \sigma_{R,d} \cdot b_{FI} \cdot t_{FI}^2 / 4$$

$$M_{III,pl,Z_t,d} = M_{III,pl,d} \cdot \left[ 1 - \left( \frac{Z_t}{Z_{pl,FI,d}} \right)^2 \right]$$

$$V_{pl,d} = b_p \cdot d_p \cdot \sigma_{R,d} / \sqrt{3}$$

$$Z_{pl,FI,d} = b_{FI} \cdot t_{FI} \cdot \sigma_{R,d}$$

$N_{R,d}$  ... siehe Tab. 9

Gleichgewichtsbeziehungen:

$$\sum H = 0; \quad Z_t + K - n \cdot Z = 0 \quad (8)$$

$$\sum M = 0; \quad K \cdot c_3 - M_{II} = 0 \quad \text{bzw.} \quad K = M_{II} / c_3 \quad (9)$$

$$Z_t \cdot c_1 - M_{II} - M_{III} = 0 \quad \text{bzw.} \quad Z_t = (M_{II} + M_{III}) / c_1 \quad (10)$$

nach Ersatz von K in die erste Gleichung durch  $K = M_{II} / c_3$  folgt

$$Z_t = n \cdot Z - M_{II} / c_3 \quad (11)$$

Davon ausgehend können vier Versagenszustände eintreten, die im Folgenden beschrieben werden.

**2.3.3.1 Versagenszustand a**

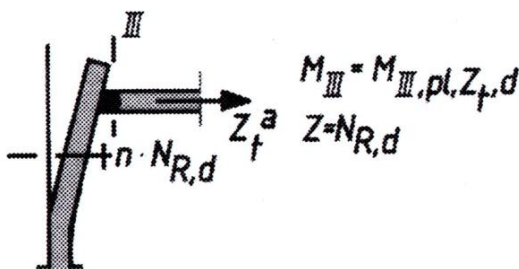


Abb. 18 Schematische Darstellung VZa [9], S.282, Tafel 6.2

Sollten die Stirnplattendicken und der Schraubendurchmesser optimal aufeinander abgestimmt sein (gutes Verhältnis  $d_p/d_s$  und  $t_{FI} \uparrow$ ), bildet sich im Schnitt III ein Fließgelenk aus und die Schrauben erreichen ihre Bruchkraft. Im Schnitt III ist das plastische Moment unter Berücksichtigung der gleichzeitig wirkenden Zugkraft  $Z_t$  anzusetzen.

$$Z_t^a = \frac{Z_{pl,Fl,d}^2}{2 \cdot M_{III,pl,d}} \cdot \left[ -(c_1 + c_3) + \sqrt{(c_1 + c_3)^2 + \frac{4 \cdot M_{III,pl,d}}{Z_{pl,Fl,d}^2} \cdot (M_{III,pl,d} + n \cdot N_{R,d} \cdot c_3)} \right]$$

Damit die Bedingung  $n \cdot Z \leq n \cdot N_{R,d}$  und  $M_{III} = M_{III,pl,Z_t,d}$  erfüllt ist gilt

$$Z_t^a \geq n \cdot N_{R,d} - M_{II,pl,d}/c_3$$

Herleitung:

Gleichsetzung von  $Z_t$  aus Gleichung (10) und Gleichung (11) mit  $Z = N_{R,d}$  und  $M_{III} = M_{III,pl,Z_t,d}$  erhält man das Moment im Schnitt II zu

$$M_{II} = \left( n \cdot N_{R,d} \cdot c_1 - M_{III,pl,Z_t,d} \right) \frac{c_3}{(c_1 + c_3)} \quad (12)$$

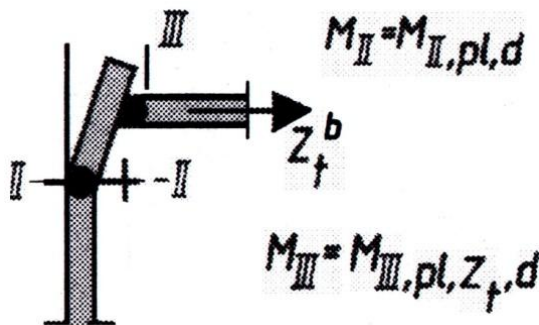
Gleichung (12) wird in Gleichung (11) eingesetzt und nach  $Z_t^a$  aufgelöst

$$Z_t^a = \frac{Z_{pl,Fl,d}^2}{2 \cdot M_{III,pl,d}} \cdot \left[ -(c_1 + c_3) + \sqrt{(c_1 + c_3)^2 + \frac{4 \cdot M_{III,pl,d}}{Z_{pl,Fl,d}^2} \cdot (M_{III,pl,d} + n \cdot N_{R,d} \cdot c_3)} \right] \quad (13)$$

Aus der Bedingung  $M_{II} \leq M_{II,pl,d}$  und  $n \cdot Z \leq n \cdot N_{R,d}$  erhält man aus Gleichung (11)

$$Z_t^a \geq n \cdot N_{R,d} - M_{II,pl,d}/c_3$$

### 2.3.3.2 Versagenszustand b



Bei zu dünn gewählten, „weichen“ Stirnplatten ( $d_p \downarrow / d_s \uparrow$  und  $t_{Fl} \uparrow$ ) stellen sich Fließgelenke in den Schnitten II und im Zugflansch (Schnitt III) ein, während die Bruchkraft der Schrauben nicht erreicht wird.

Abb. 19 Schematische Darstellung VZb [9], S.279, Tafel 6.1

$$Z_t^b = \frac{Z_{pl,Fl,d}^2}{2 \cdot M_{III,pl,d}} \cdot \left[ \sqrt{c_1^2 + \frac{4 \cdot M_{III,pl,d}}{Z_{pl,Fl,d}^2} \cdot (M_{II,pl,d} + M_{III,pl,d})} - c_1 \right]$$

Damit die Schraubenkraft unter der Bruchlast bleibt muss folgende Bedingung erfüllt sein

$$Z_t^b \leq n \cdot N_{R,d} - M_{II,pl,d}/c_3$$



Herleitung:

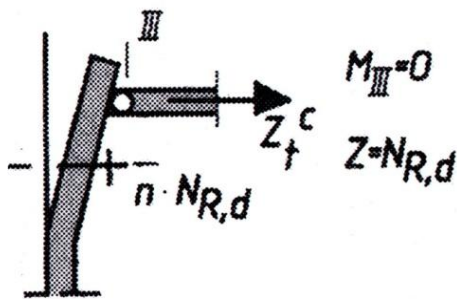
Mit  $M_{II} = M_{II,pl,d}$  und  $M_{III} = M_{III,pl,Z_t,d}$  erhält man durch Einsetzen in Gleichung (12) und Gleichung (13)

$$Z_t^b = \frac{Z_{pl,Fl,d}^2}{2 \cdot M_{III,pl,d}} \cdot \left[ \sqrt{c_1^2 + \frac{4 \cdot M_{III,pl,d} \cdot (M_{II,pl,d} + M_{III,pl,d})}{Z_{pl,Fl,d}^2}} - c_1 \right] \quad (14)$$

damit die Schraubenkraft unter der Bruchlast bleibt, muss gelten

$$Z_t^b \leq n \cdot N_{R,d} - M_{II,pl,d}/c_3$$

**2.3.3.3 Versagenszustand c**



○ Gelenk

Abb. 20 Schematische Darstellung VZc [9], S.279, Tafel 6.1

Damit die Bedingung erfüllt ist gilt

$$Z_t^c = \frac{c_3}{(c_1 + c_3)} \cdot n \cdot N_{R,d} \leq Z_{pl,Fl,d}$$

$$Z_t^c \leq M_{II,pl,d}/c_1$$

Herleitung:

Mit  $M_{III} = 0$ ,  $M_{II} = 0$  und  $n \cdot Z \leq n \cdot N_{R,d}$  ergibt sich die einfache Beziehung

$$Z_t^c = \frac{c_3}{(c_1 + c_3)} \cdot n \cdot N_{R,d} \leq Z_{pl,Fl,d}$$

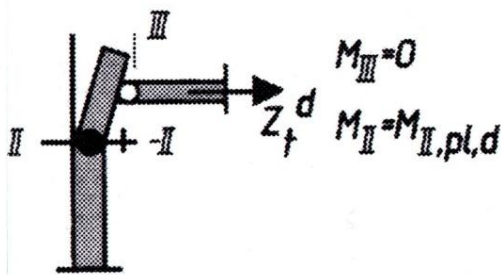
damit die Schraubenkraft unter der Bruchlast bleibt, muss gelten

$$Z_t^c \leq M_{II,pl,d}/c_1$$

Bei einem sehr dünnen Zugflansch (gutes Verhältnis  $d_p/d_s$  aber  $t_{Fl} \downarrow$ ) ist dessen plastisches Moment bei gleichzeitiger Zugkraft  $Z_t$  vernachlässigbar klein ( $M_{III} = 0$ ). Der Flansch erreicht höchstens seine Grenzzugkraft, bei gleichzeitigem Bruchversagen der Schrauben.

Durch Einsetzen der maßgebenden Grenzschnittgrößen  $N_{R,d}$  und  $M_{III} = 0$  in die vorausgegangenen Gleichgewichtsbedingungen folgt

**2.3.3.4 Versagenszustand d**



Bei einem sehr dünnen Zugflansch und gleichzeitig dünner Stirnplatte ( $d_p \downarrow / d_s \uparrow$  und  $t_{Fl} \downarrow$ ) plastizieren diese ( $M_{III} = 0$ ), ohne gleichzeitigem Bruchversagen der Schrauben.

Durch Einsetzen der maßgebenden Grenzschnittgrößen  $M_{II} = M_{I,pl,d}$  und  $M_{III} = 0$  in die vorausgegangenen Gleichgewichtsbedingungen folgt

- Fließgelenk
- Gelenk

Abb. 21 Schematische Darstellung VZd [9], S.279, Tafel 6.1

$$Z_t^d = \frac{M_{I,pl,d}}{c_1} \leq Z_{pl,Fl,d}$$

Damit die Bedingung erfüllt ist gilt

$$Z_t^d \leq n \cdot N_{R,d} - M_{I,pl,d} / c_3$$

Herleitung:

Mit  $M_{III} = 0$ ,  $M_{II} = M_{I,pl,d}$  und  $n \cdot Z \leq n \cdot N_{R,d}$  ergibt sich die einfache Beziehung

$$Z_t^d = \frac{M_{I,pl,d}}{c_1} \leq Z_{pl,Fl,d}$$

damit die Schraubenkraft unter der Bruchlast bleibt, muss gelten

$$Z_t^d \leq n \cdot N_{R,d} - M_{I,pl,d} / c_3$$

**2.3.3.5 Anschlußmoment im Grenzzustand der Tragfähigkeit**

Das mögliche Grenzanschlußmoment  $M_{y,A,R,d}$  ergibt sich aus der maßgebenden, kleinsten Flanschzugkraft  $Z_t$  und dem Hebelarm der inneren Kräfte und darf das elastische Grenzmoment des Trägers  $M_{y,el,R,d}$  nicht überschreiten.

NW:  $M_{y,d} \leq M_{y,A,R,d} = Z_t \cdot (h - t_{Fl}) \leq M_{y,el,R,d}$  mit  $M_{y,el,R,d} = W_y \cdot f_{y,k} / \gamma_m$

**2.3.3.6 Schubtragfähigkeit der Stirnplatte**

In allen vier Versagenszuständen darf die Schubtragfähigkeit der Stirnplatte nicht überschritten werden.

NW:  $Z_t^i \leq V_{pl,d}$

### 2.3.3.7 Anschlußmoment im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

Des Weiteren muss nach [9], S.279 nachgewiesen werden, dass im Gebrauchszustand die Verformungen im Anschlussbereich in elastischen Größenordnungen bleiben. Die Bedingung gilt dann als erfüllt, wenn das Anschlußmoment  $M_{y,k}$  infolge der Gebrauchslasten das Moment  $M_{y,A,k}$  nicht überschreitet.

$$\text{NW: } M_{y,k} \leq M_{y,A,k} = (h - a_2 - t_{FI}) \cdot n' \cdot 0,8 \cdot F_v$$

mit  $n' = 2$  bei 2 vertikalen Schraubenreihen  
( $n' = 3,6$  bei 4 vertikalen Schraubenreihen)

$F_v$  ... Vorspannkraft der Schrauben nach *Tab. 10*

### 2.3.3.8 Weitere zu erbringende Nachweise

Überprüfung der Rand- u. Lochabstände

Resultierendes Kräftepaar

Schraubennachweis auf Zug

Schraubennachweis auf Schub

Nachweis des Druckbereiches

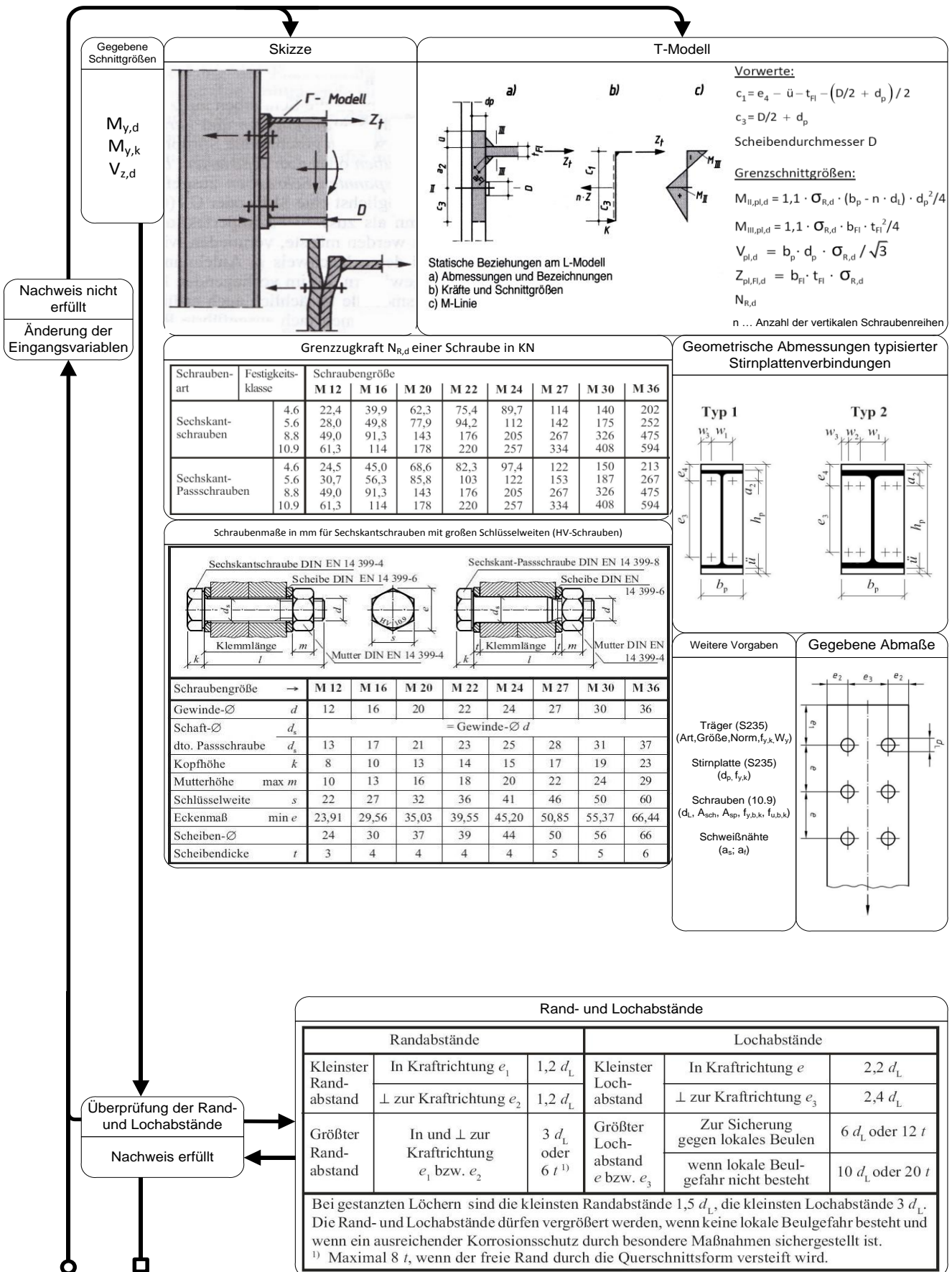
Nachweis der Schubspannung des Walzträgers

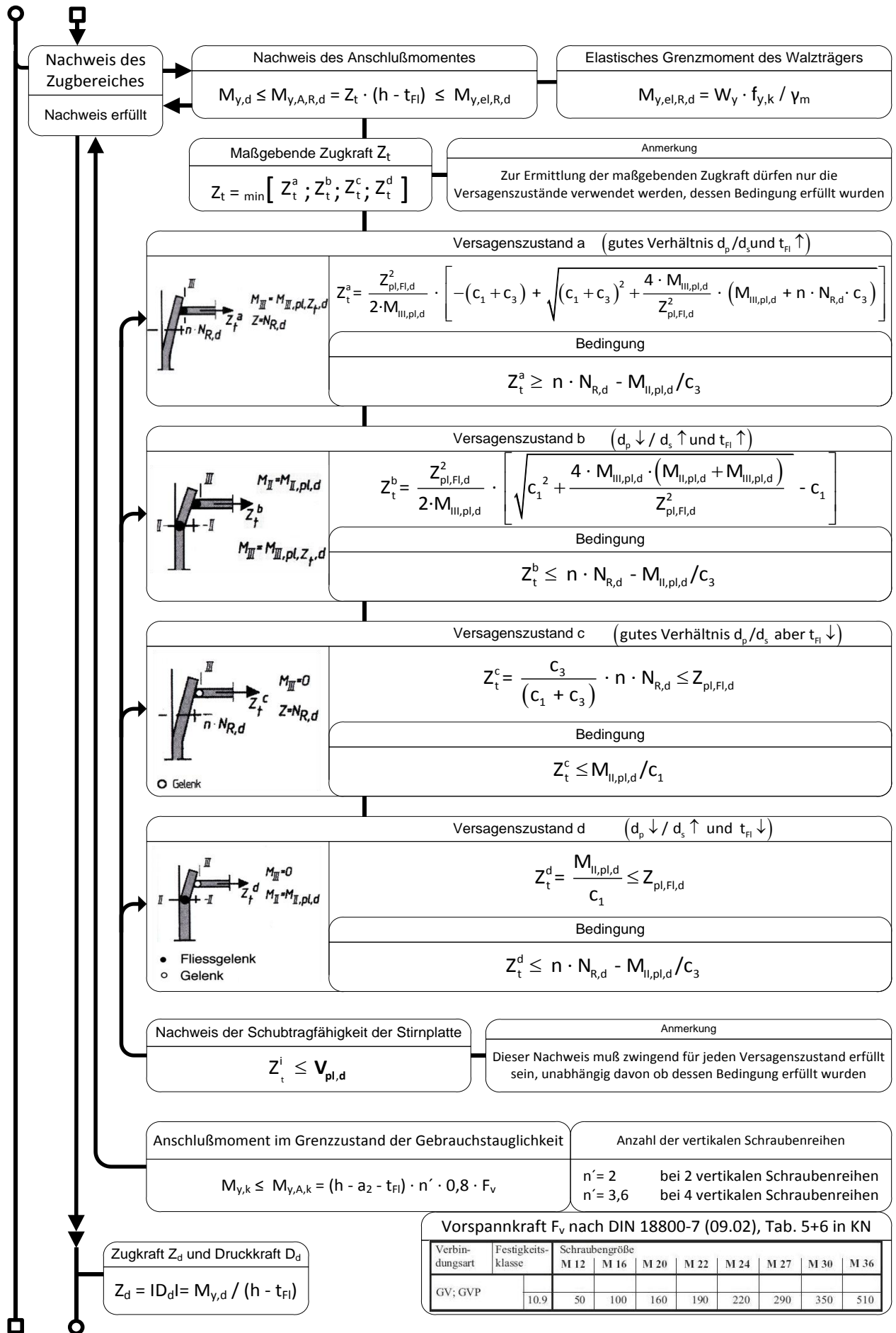
Nachweis der Schweißnähte

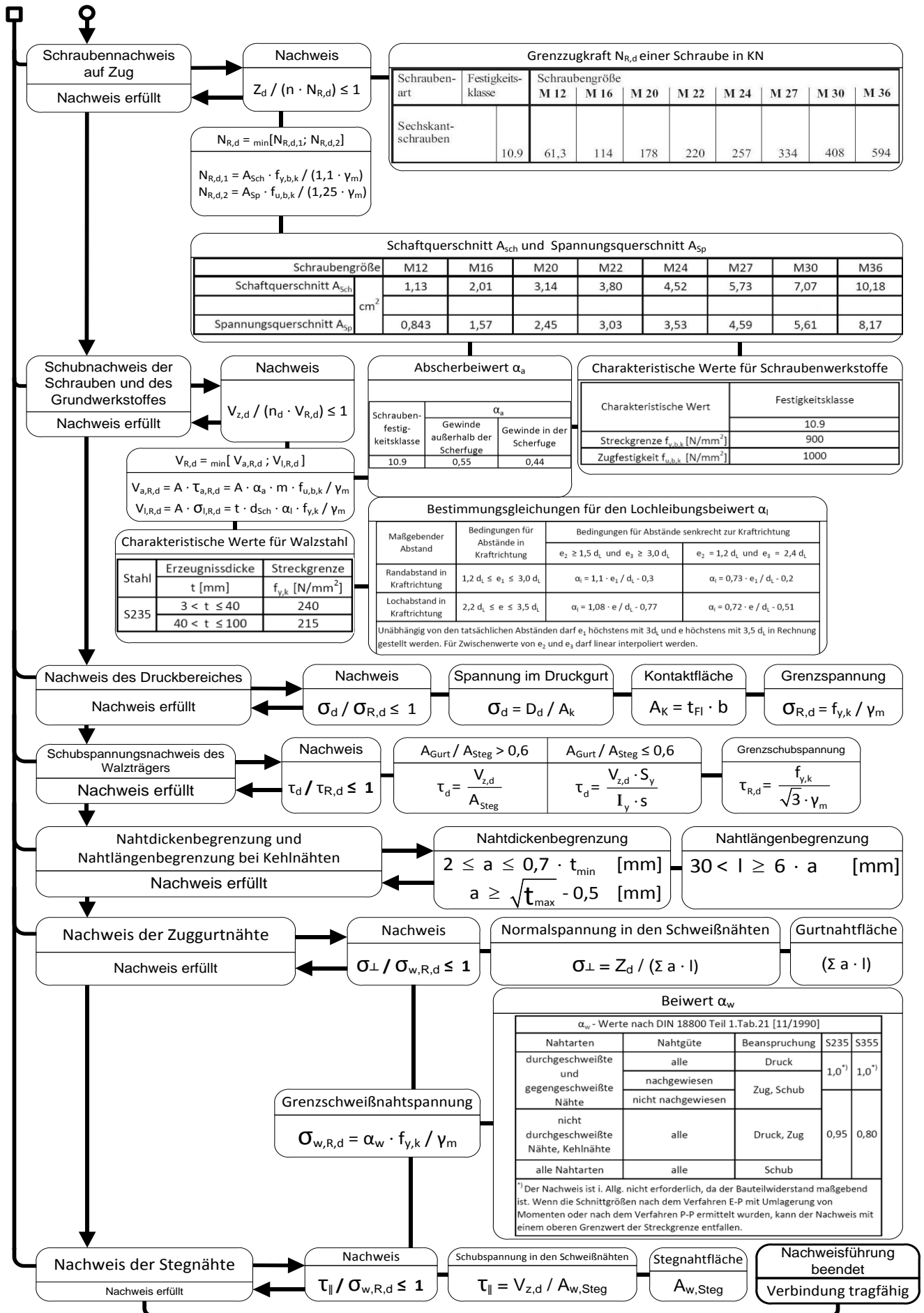
Diese Nachweise müssen, wie in 2.2 Verfahren nach Valtinat beschrieben, geführt werden.

---

**2.3.3.9 Nachweisschema unter Biegung und Querkraft nach Oberegge - Bündiger Stirnplattenstoß**







## 2.4 Verfahren nach Eurocode 3 (EC3) unter Biegemoment und Querkraft

### Grundlagen:

Mithilfe der Bemessungsregeln für Verbindungen ermöglicht der EC3 Anschlüsse auch verformbar auszulegen, anstatt eine konsequente Unterscheidung zwischen gelenkigen und biegesteifen Anschlüssen vorzunehmen, welche bei vorangegangenen Normen, Richtlinien und Berechnungsmodellen vorausgesetzt wurden.

Das aufnehmbare Grenzmoment eines biegesteifen Trägerstoßes wird durch schrittweise Bestimmung der Grenztragfähigkeiten aller am Stoß beteiligten Komponenten (Trägersteg- und Flansch, Stirnplatte und Schrauben) ermittelt.

Ursprünglich wurde dieses Verfahren für Träger-Stützenverbindungen entwickelt, dennoch besitzt es dieselbe Gültigkeit für Trägerstöße. In diesem Fall liegen auf beiden Seiten des Anschlusses dieselben elastisch-plastischen Verhältnisse vor. Die Vereinfachung über die Zerlegung der Schnittgrößen, wie in Abschnitt 2.1 beschrieben wird angewendet. Abstützkräfte werden mit diesem Berechnungsverfahren erfasst.

Folgende Formulierungen sind inhaltlich aus [7] und [4] übernommen wurden.

### 2.4.1 Konstruktive Ausbildung und Geltungsbereiche



Abb. 22 Biegesteife Stirnplattenstöße in überstehender(a) und bündiger(b) Ausführung [4]-8, S.100, Bild 6.17

Rand- bzw. Lochabstände	kleinste Abstände	größte Abstände
Löcher, → : $p_1$	$2,2 \cdot d_o$	200 mm oder $14 \cdot t$
Ränder, → : $e_1$	$1,2 \cdot d_o$	40 mm + $4 \cdot t$
Ränder, ↓ : $e_2$	$1,2 \cdot d_o$	40 mm + $4 \cdot t$
Löcher, ↓ : $p_2$	$2,4 \cdot d_o$	200 mm oder $14 \cdot t$

$d_o$  ... Lochdurchmesser  
 $t$  ... Blechdicke

Tab. 11 Rand- und Lochabstände von Schrauben [7], S.242, Tabelle 4.18

## 2.4.2 Stahlsorten

Werkstoffnorm und Stahlsorte	Erzeugnisdicke $t$ mm			
	$t \leq 40$ mm		$40 \text{ mm} < t \leq 80$ mm	
	$f_y$ N/mm <sup>2</sup>	$f_u$ N/mm <sup>2</sup>	$f_y$ N/mm <sup>2</sup>	$f_u$ N/mm <sup>2</sup>
<b>EN 10025-2</b>				
S 235	235	360	215	360
S 275	275	430	255	410
S 355	355	510	335	470
S 450	440	550	410	550
<b>EN 10025-3</b>				
S 275 N/NL	275	390	255	370
S 355 N/NL	355	490	335	470
S 420 N/NL	420	520	390	520
S 460 N/NL	460	540	430	540
<b>EN 10025-4</b>				
S 275 M/ML	275	370	255	360
S 355 M/ML	355	470	335	450
S 420 M/ML	420	520	390	500
S 460 M/ML	460	540	430	530
<b>EN 10025-5</b>				
S 235 W	235	360	215	340
S 355 W	355	510	335	490
<b>EN 10025-6</b>				
S 460 Q/QL/QL1	460	570	440	550
<b>TaEN 10210-1</b>				
S 235 H	235	360	215	340
S 275 H	275	430	255	410
S 355 H	355	510	335	490
S 275 NH/NLH	275	390	255	370
S 355 NH/NLH	355	490	335	470
S 420 NH/NHL	420	540	390	520
S 460 NH/NLH	460	560	430	550
<b>EN 10219-1</b>				
S 235 H	235	360		
S 275 H	275	430		
S 355 H	355	510		
S 275 NH/NLH	275	370		
S 355 NH/NLH	355	470		
S 460 NH/NLH	460	550		
S 275 MH/MLH	275	360		
S 355 MH/MLH	355	470		
S 420 MH/MLH	420	500		
S 460 MH/MLH	460	530		

Tab. 12 Nennwerte der Streckgrenze  $f_y$  und der Zugfestigkeit  $f_u$  für warmgewalzten Baustahl [4]-1, S. 27, Tabelle 3.1



### 2.4.3 Überstehende und bündige Stirnplattenstöße

Wie in den vorangegangenen Berechnungsmodellen wird auch in diesem Fall davon ausgegangen, dass das Biegemoment  $M_y$  allein von den Gurten, also ohne Mitwirkung des Steges, aufgenommen wird. Die Gurtkräfte ergeben sich dann wie in *Abb. 18* dargestellt, wobei die Druckkraft durch den Kontakt der Stirnplatten übertragen wird. Schrauben in der Nähe des Druckgurtes dienen zur Lagesicherung und zur Aufnahme von Querkräften. Die Gurtzugkraft wird von den Schrauben am Zuggurt übernommen. Bei Übertragung großer Biegemomente ist eine Konzentration von Schrauben im Bereich des Zuggurtes sinnvoll.

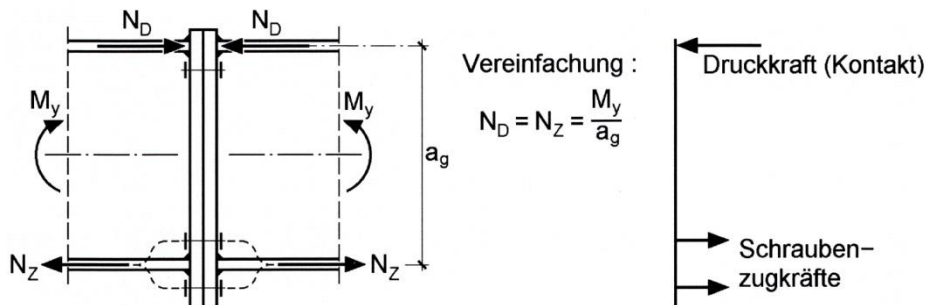


Abb. 23 Stirnplattenstoß mit überstehenden Stirnplatten [7], S. 272, Bild 4.52

Bei bündigen Stirnplattenstößen beträgt die statische anzusetzende Höhe dem Abstand von der Mitte des Druckgurtes bis zur Mitte des Schraubenpaares im Zugbereich.

#### 2.4.3.1 Nachweis des Zugbereiches

Als Nachweis des Zuggurtes wird ein ausgesteiftes T-Stummel-Modell, *Abb. 24*, herangezogen, das ausschließlich auf theoretischen Annahmen basiert. Der EC3 bietet ebenfalls ein vereinfachtes Nachweisverfahren an, bei dem die Stirnplatte als Balken aufgefasst wird und für die Schrauben nichtlineare Wegfedern angesetzt werden. Weil damit aber geringere Tragfähigkeiten berechnet werden können, wird auf das vereinfachte Verfahren nicht weiter eingegangen.

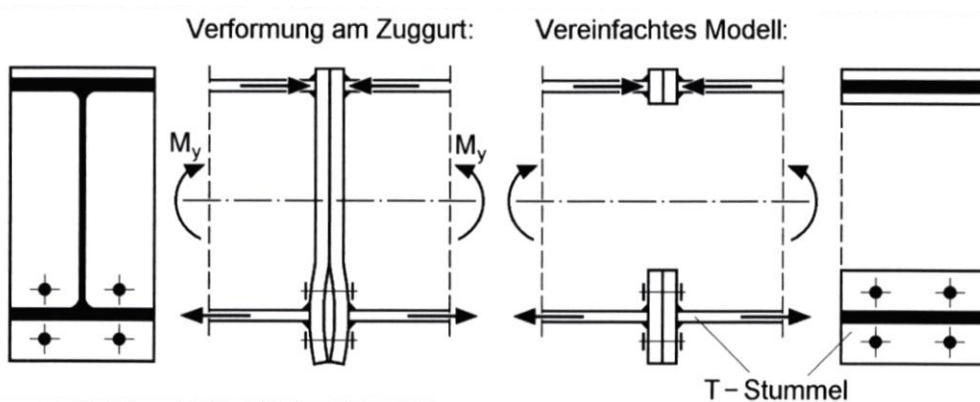


Abb. 24 Überstehender Stirnplattenstoß und vereinfachtes Modell zur Übertragung der Gurtkräfte [7], S. 274, Bild 4.53

$$\boxed{\text{NW: } M_{y,Ed} / M_{y,Rd} \leq 1}$$

$$M_{y,Rd} = N_{z,max} \cdot a_g$$

$$N_{z,max} = \min( F_{T,Rd} ; \Sigma B_{p,Rd} ; (f_y \cdot A_g / \gamma_0) )$$

$F_{T,Rd}$  ... Tragfähigkeit eines T-Stummelflansches

$B_{p,Rd}$  ... Grenzdurchstanzkraft einer Schraube

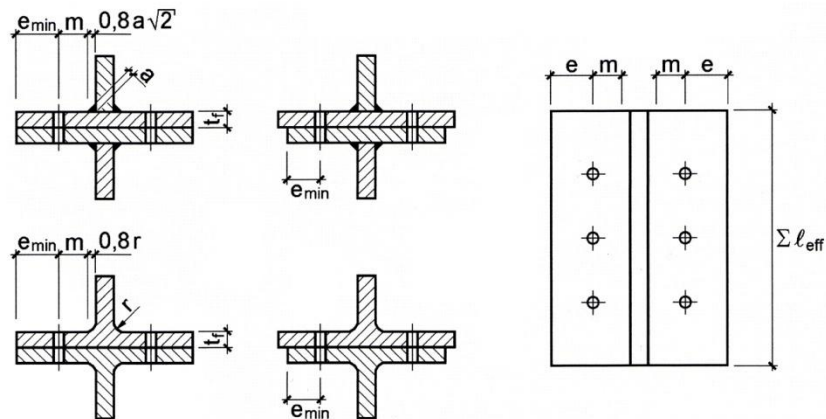
$(f_y \cdot A_g / \gamma_0)$  ... Tragfähigkeit des Zuggurtes

Nachweis des T-Stummels

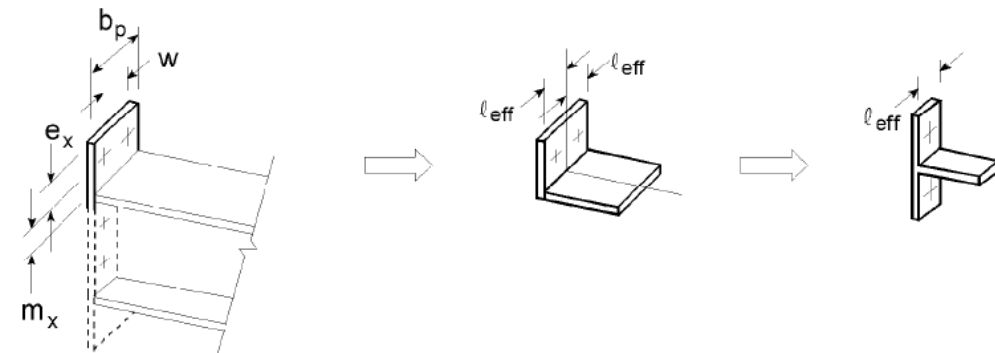
Für die Berechnung eines T-Stummels ist eine mitwirkende Breite zu bestimmen. Abmessungen sind in *Abb.25* dargestellt. In *Abb.26* ist eine isometrische Darstellung der gedanklichen Zerlegung des Stoßes zu einem T-Stummel-Modell abgebildet.

Anmerkung

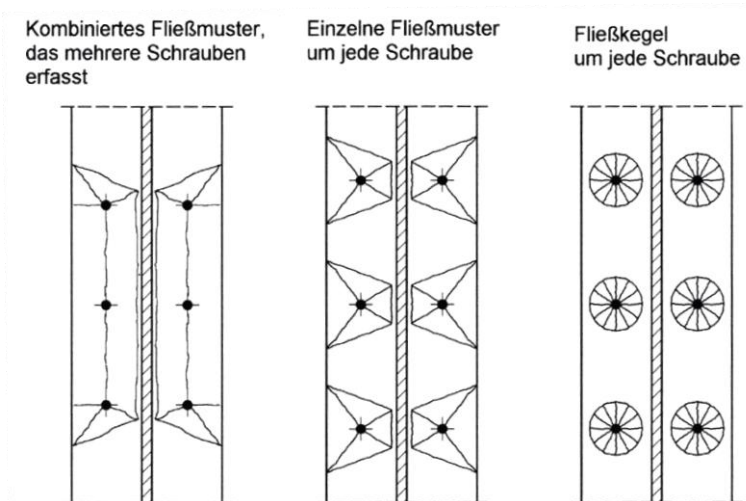
Bei der Berechnung der Tragfähigkeit des äquivalenten T-Stummelflansches für überstehende Stirnbleche sind  $e_x$  und  $m_x$  anstelle von  $e$  und  $m$  zu verwenden.



*Abb. 25* Abmessungen eines äquivalenten T-Stummelflansches [7], S. 278, Bild 4.59



*Abb. 26* Behandlung von überstehenden Stirnblechen als separate T-Stummelflansche [4]-8, S. 89, Bild 6.10 Auszug



*Abb. 27* Fließlinien für T-Stummel und wirksame Längen [7], S. 277, Bild 4.57

Im Bereich des T-Stummels können sich verschiedene Fließlinienmuster ausbilden, *Abb. 27*. Davon ausgehend wird deutlich, dass nicht immer die volle Stirnplattenbreite  $b_p$  zur Ermittlung von  $M_{pl}$  der Stirnplatte angesetzt werden darf.

Tab. 13 zeigt die Ermittlung der wirksamen Längen für Stirnplatten. Zur Ermittlung der wirksamen Länge wird der Beiwert  $\alpha$  benötigt. Die Bestimmung von  $\alpha$  erfolgt nach Abb. 28.

Lage der Schraubenreihe	Schraubenreihe einzeln betrachtet		Schraubenreihe als Teil einer Gruppe von Schraubenreihen	
	Kreisförmiges Muster $l_{eff,cp}$	Nicht kreisförmiges Muster $l_{eff,nc}$	Kreisförmiges Muster $l_{eff,cp}$	Nicht kreisförmiges Fließmuster $l_{eff,nc}$
Äußere Schraubenreihe neben Trägerzugflansch	Der kleinste Wert von: $2\pi m_x$ $\pi m_x + w$ $\pi m_x + 2e$	Der kleinste Wert von: $4m_x + 1,25e_x$ $e + 2m_x + 0,625e_x$ $0,5b_p$ $0,5w + 2m_x + 0,625e_x$	-	-
Innere Schraubenreihe neben Trägerzugflansch	$2\pi m$	$\alpha m$	$\pi m + p$	$0,5p + \alpha m - (2m + 0,625e)$
Andere innere Schraubenreihen	$2\pi m$	$4m + 1,25 e$	$2p$	$p$
Andere äußere Schraubenreihen	$2\pi m$	$4m + 1,25 e$	$\pi m + p$	$2m + 0,625e + 0,5p$
Modus 1:	$l_{eff,1} = l_{eff,nc}$ jedoch $l_{eff,1} \leq l_{eff,cp}$		$\Sigma l_{eff,1} = \Sigma l_{eff,nc}$ jedoch $\Sigma l_{eff,1} \leq \Sigma l_{eff,cp}$	
Modus 2:	$l_{eff,2} = l_{eff,nc}$		$\Sigma l_{eff,2} = l_{eff,nc}$	

Der Beiwert  $\alpha$  kann mit Abb. 23 ermittelt werden

Tab. 13 Wirksame Längen für Stirnplatten [7], S. 282, Tabelle 4.27

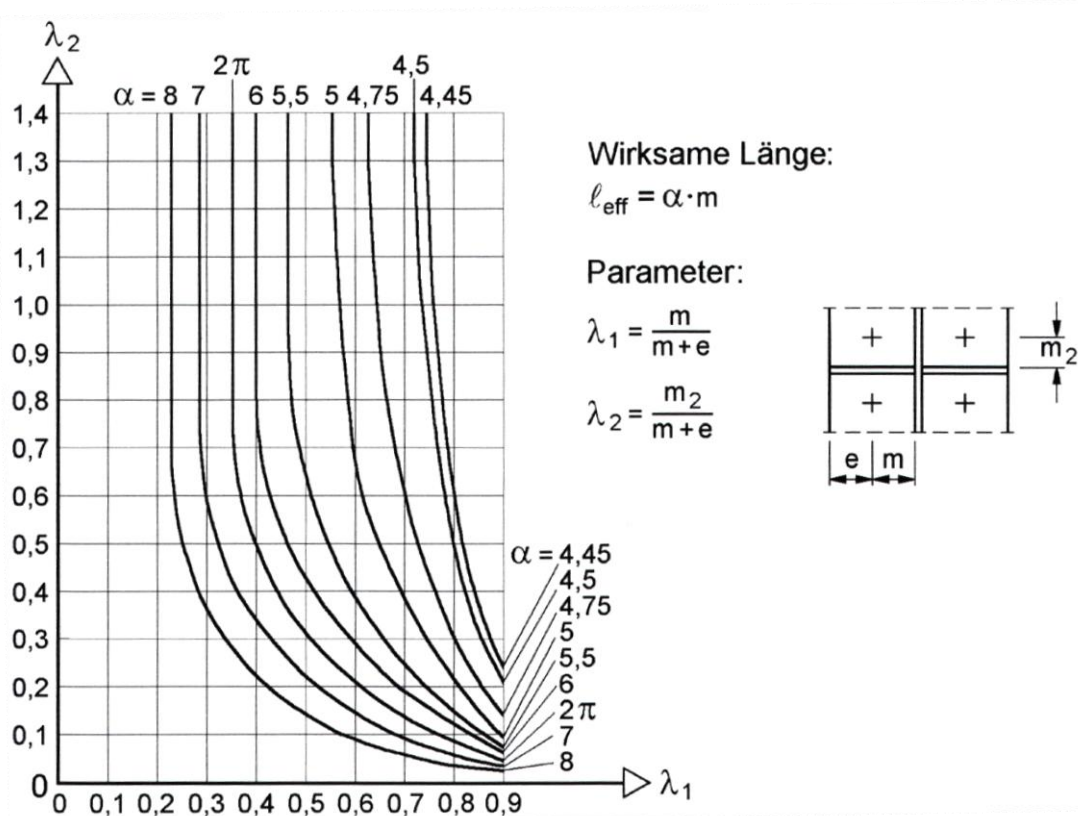


Abb. 28 Beiwert  $\alpha$  zur Ermittlung wirksamer Längen für ausgesteifte Stützenflansche und Stirnplatten [7], S. 283, Bild 4.62

Bei der Grenzbetrachtung nach der Fließgelenktheorie sind drei Versagensfälle, die nach [4] auch Modus genannt werden, möglich und werden in *Tab. 14* dargestellt.

<b>Abstützkkräfte können auftreten, d.h. <math>L_b \leq L_b^*</math></b>		
<b>Modus</b>	Verfahren 1	Verfahren 2 (alternatives Verfahren)
ohne Futterplatten	$F_{T,1,Rd} = \frac{4 M_{p\ell,1,Rd}}{m}$	$F_{T,1,Rd} = \frac{(8n - 2e_w) M_{p\ell,1,Rd}}{2mn - e_w(m+n)}$
mit Futterplatten	$F_{T,1,Rd} = \frac{4 M_{p\ell,1,Rd} + 2 M_{bp,Rd}}{m}$	$F_{T,1,Rd} = \frac{(8n - 2e_w) M_{p\ell,1,Rd} + 4n M_{bp,Rd}}{2mn - e_w(m+n)}$
<b>Modus 2</b>	$F_{T,2,Rd} = \frac{2 M_{p\ell,2,Rd} + n \sum F_{t,Rd}}{m+n}$	
<b>Modus 3</b>	$F_{T,3,Rd} = \sum F_{t,Rd}$	
<b>keine Abstützkkräfte</b>		
<b>Modus 1 und Modus 2</b>	$F_{T,1,Rd} = F_{T,2,Rd} = \frac{2 M_{p\ell,1,Rd}}{m}$	
<b>Modus 3</b>	$F_{T,3,Rd} = \sum F_{t,Rd}$	
		<p>Modus 1: Vollständiges Fließen des Flansches                  Modus 2: Schraubenversagen gleichzeitig mit Fließen des Flansches                  Modus 3: Schraubenversagen</p>

*Tab. 14* Tragfähigkeit  $F_{T,Rd}$  eines T-Stummelflansches bei Zugbeanspruchung

$L_b$  ist bei Schrauben die Dehnlänge, angesetzt mit der Klemmlänge (Gesamtdicke des Blechpaketes und der Unterlegscheiben), plus der halben Schraubenkopfhöhe und der halben Mutterhöhe, siehe *Tab. 8*

$$L_b^* = \frac{8,8m^3 \cdot A_s}{\sum l_{eff,1} \cdot t_f^3} = \frac{8,8 \cdot 10^6 cm^3 \cdot A_s}{\sum l_{eff,1} \cdot t_f^3}$$

$$M_{p\ell,1,Rd} = 0,25 \cdot \sum l_{eff,1} \cdot t_f^2 \cdot f_y / \gamma_{M0}$$

$$M_{p\ell,2,Rd} = 0,25 \cdot \sum l_{eff,2} \cdot t_f^2 \cdot f_y / \gamma_{M0}$$

$$M_{bp,Rd} = 0,25 \cdot \sum l_{eff,1} \cdot t_{bp}^2 \cdot f_{y,bp} / \gamma_{M0}$$

$F_{t,Rd}$  Bemessungswert der Zugtragfähigkeit der Schraube, nach *Tab. 14*

$\sum F_{t,Rd}$  Summe aller  $F_{t,Rd}$  der Schrauben im T-Stummel

Q Abstützkraft

$\sum l_{eff,1}$  Wert von  $\sum l_{eff}$  für Modus 1

$\sum l_{eff,2}$  Wert von  $\sum l_{eff}$  für Modus 2

$n = e_{min}$  jedoch  $n \leq 1,25 \cdot m$

$e_w = d_w / 4$

$d_w$  Durchmesser der Unterlegscheibe oder Eckmaß des Schraubenkopfes oder der Mutter (kleinster Wert ist maßgebend), siehe *Tab. 8*

Anmerkung

Bei geschraubten Trägerstößen kann damit gerechnet werden, dass Abstützkräfte auftreten. In dem Verfahren 2 wird angenommen, dass die auf den T-Stummelflansch einwirkende Schraubenkraft gleichmäßig unter der Unterlegscheibe, dem Schraubenkopf oder der Mutter verteilt ist, siehe *Skizze in Tab.14*, und es nicht zu einer Kraftkonzentration an der Schraubenachse kommt. Diese Annahme führt zu einem höheren Wert der Tragfähigkeit für Modus 1, während die Werte für  $F_{T,1-2,Rd}$  und für Modus 2 und Modus 3 unverändert bleiben.

Grenzdurchstanzkraft  $B_{p,Rd}$  einer Schraube

$$B_{p,Rd} = 0,6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t_p \cdot f_u / \gamma_{M2}$$

- $t_p$       Blechdicke unter dem Schraubenkopf oder der Mutter
- $d_m$       Mittelwert aus Eckmaß und Schlüsselweite des Schraubenkopfes oder der Mutter, siehe *Tab. 8*

Grenzzugkraft  $F_{t,Rd}$  einer Schraube

$$F_{t,Rd} = k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s / \gamma_{M2}$$

- $k_2 = 0,63$       für Senkschrauben
- $k_2 = 0,9$       für sonstige Schrauben
  
- $f_{ub}$               Nennwert der Zugfestigkeit für Schrauben, siehe *Tab. 15*
- $A_s$               Spannungsquerschnitt einer Schraube, siehe *Tab. 16*


Schraubenfestigkeitsklasse	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	10.9
$f_{yb}$ (N/mm <sup>2</sup> )	240	320	300	400	480	640	900
$f_{ub}$ (N/mm <sup>2</sup> )	400	400	500	500	600	800	1000

Tab. 15 Nennwerte der Streckgrenze  $f_{yb}$  und der Zugfestigkeit  $f_{ub}$  von Schrauben [4]-8, S. 24, Tabelle 3.1

Schraubengröße →	M 12	M 16	M 20	M 22	M 24	M 27	M 30	M 36
Schaftquerschnitt $A$	1,13	2,01	3,14	3,80	4,52	5,73	7,07	10,18
dto. Passschraube $A$	1,33	2,27	3,46	4,15	4,91	6,16	7,55	10,75
Spannungsquerschnitt $A_s$	0,843	1,57	2,45	3,03	3,53	4,59	5,61	8,17

Tab. 16 Schaftquerschnittsfläche  $A$  und Spannungsquerschnitt  $A_s$  in cm<sup>2</sup> [6], S. 8.62, Tafel 8.62b

Zahlenwerte für  $F_{t,Rd}$  sind in *Tab.17* zusammengestellt.

	Festig-keit	Schraubengröße					
		M12	M16	M20	M24	M27	M30
<b>Schrauben mit glattem Schaft und Gewinde</b>							
4.6	24,3	45,2	70,6	101,7	132,2	161,6	
5.6	30,3	56,5	88,2	127,1	165,2	202,0	
8.8	48,6	90,4	141,1	203,3	264,4	323,1	
10.9	60,7	113,0	176,4	254,2	330,5	403,9	

Tab. 17 Grenzzugkräfte  $F_{t,Rd}$  für eine Schraube in KN [7], S. 246, Tabelle 4.22

**2.4.3.2 Schubnachweis der Schrauben und der Grundwerkstoffe**

Schraubennachweis auf Schub

Die Querkraft wird von dem im Druckbereich angeordneten Schraubenpaar aufgenommen.

**NW:**  $F_{V,Ed} / F_{V,Rd} \leq 1$

$F_{V,Ed} = V_{z,Ed} / 2$

Schraubengewinde in der Scherfuge:

$F_{V,Rd} = \alpha_V \cdot f_{ub} \cdot A_S / \gamma_{M2}$

$A_S$  ... Spannungsquerschnitt nach Tab. 16

$\alpha_V = 0,6$  für die Festigkeitsklassen 4.6, 5.6 und 8.8

$\alpha_V = 0,5$  für die Festigkeitsklassen 4.8, 5.8, 6.8 und 10.9

Glatte Teil des Schraubenschaftes in der Scherfuge:

$F_{V,Rd} = 0,6 \cdot f_{ub} \cdot A / \gamma_{M2}$

$A$  ... Schaftquerschnitt nach Tab. 16

In Tab. 18 sind die Grenzabscherkräfte gängiger Schraubengrößen und die Festigkeitsklassen zusammengestellt.

Festig-keit	Schraubengröße					
	M12	M16	M20	M24	M27	M30
<b>glatter Teil des Schaftes in der Scherfuge</b>						
4.6	21,7	38,6	60,3	86,8	110,0	135,7
5.6	27,1	48,2	75,4	108,5	137,5	169,7
8.8	43,4	77,2	120,6	173,6	220,0	271,5
10.9	54,3	96,5	150,7	217,0	275,0	339,4
<b>Gewinde in der Scherfuge</b>						
4.6	16,2	30,1	47,0	67,8	88,1	107,7
5.6	20,2	37,7	58,8	84,7	110,2	134,6
8.8	32,4	60,3	94,1	135,6	176,3	215,4
10.9	33,7	62,8	98,0	141,2	183,6	224,4

Tab. 18 Grenzabscherkräfte  $F_{V,Rd}$  in KN für eine Scherfläche [7], S. 244, Tabelle 4.19

Grenzlochleibungskraft einer Schraube an einer Lochwandung:

**NW:**  $F_{b,Ed} / F_{b,Rd} \leq 1$

$F_{b,Ed} = V_{z,Ed} / 2$

$F_{b,Rd} = k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t / \gamma_{M2}$

$d$  ... Schaftdurchmesser der Schraube

$f_u$  ... Zugfestigkeit des Bleches

$t$  ... Blechdicke

Beiwert $\alpha_b$ Lochabstände in Krafrichtung	Beiwert $k_1$ Lochabstände senkrecht zur Krafrichtung
Innere Schrauben: $\alpha_b = \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4}$	Innere Schrauben: $k_1 = 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7$
Endschrauben: $\alpha_b = \frac{e_1}{3 \cdot d_0}$	Randschrauben: $k_1 = 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7$
jedoch $\alpha_b \leq \frac{f_{ub}}{f_u}$ und $\alpha_b \leq 1$	jedoch $k_1 \leq 2,5$

Tab. 19 Beiwerte  $k_1$  und  $\alpha_b$  zur Ermittlung von Grenzlochleibungskräften [7], S. 245, Tabelle 4.20

Trägergrundwerkstoff auf Schub

$$\text{NW: } \frac{\tau_{Ed} \cdot \sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}{f_y} \leq 1 \quad \tau_{Ed} = \frac{V_{z,Ed}}{A_w} ; \text{ falls } A_f/A_w \geq 0,6$$

falls  $A_f/A_w < 0,6$  kann eine plastische Querkraftbeanspruchung  $V_{C,Rd}$  berechnet werden. Dabei darf keine Torsion vorliegen.

$$\text{NW: } \frac{V_{z,Ed}}{V_{C,Rd}} \leq 1 \quad V_{C,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\gamma_{M0} \cdot \sqrt{3}}$$

für I-Querschnitte gilt:  $A_v = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f$

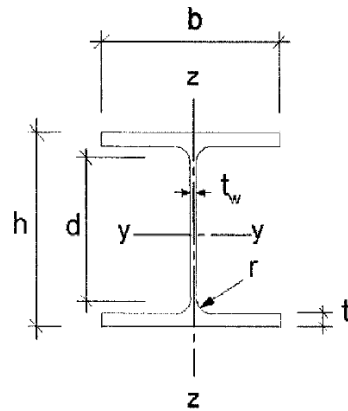


Abb. 29 Abmessungen und Achsen eines I-Querschnittes [4]-1, S. 21, Bild1.1

**2.4.3.3 Nachweis des Druckbereiches**

$$\text{NW: } N_D / N_{D,Rd} \leq 1$$

$$N_{D,Rd} = (f_y \cdot A_g / \gamma_0)$$

$$N_D = M_{y,Ed} / a_g$$

**2.4.3.4 Nachweis der Schweißnähte**

Schweißnahtlänge

$$l >_{\max}(30\text{mm} ; 6 \cdot a[\text{mm}])$$

„Als wirksame Länge  $l$  einer Kehlnaht ist die Gesamtlänge mit voller Nahtdicke anzusetzen. Diese kann als die tatsächliche Länge der Schweißnaht abzüglich des zweifachen Betrages der wirksamen Kehlnahtdicke  $a$  angesetzt werden. Ist die Kehlnaht über die gesamte Länge einschließlich der Nahtenden voll ausgeführt, braucht keine Abminderung der wirksamen Länge um die Nahtenden durchgeführt werden.“ [4]-8, S. 46, 4.5.1 (1)

Wirksame Nahtdicke

$$a \geq 3\text{mm}$$

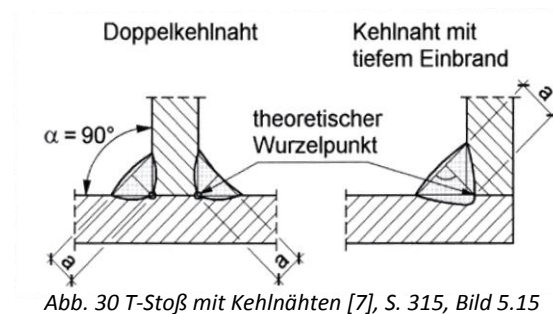


Abb. 30 T-Stoß mit Kehlnähten [7], S. 315, Bild 5.15

„Die wirksame Nahtdicke  $a$  einer Kehlnaht ist in der Regel als die bis zum theoretischen Wurzelpunkt gemessene Höhe des einschiebbaren (gleichschenkligen oder nicht gleichschenkligen) Dreiecks anzunehmen“, siehe Abb. 30. [4]-8, S. 46, 4.5.2 (1)

„Bei der Bestimmung der Beanspruchbarkeit einer Kehlnaht mit tiefem Einbrand kann eine vergrößerte Nahtdicke berücksichtigt werden“, siehe *Abb. 30*, „wenn der über den theoretischen Wurzelpunkt hinausgehende Einbrand durch eine Verfahrensprüfung nachgewiesen wird.“ [4]-8, S. 46, 4.5.2 (3)

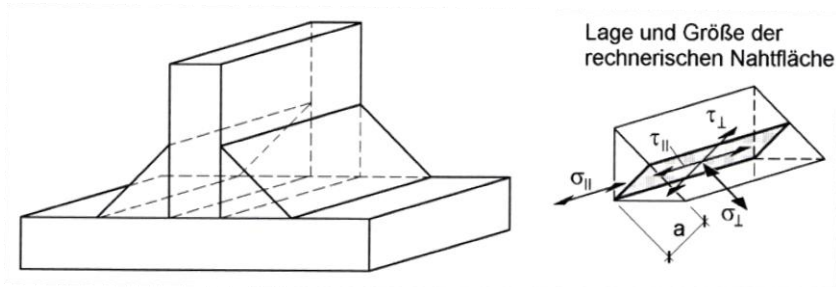
**2.4.3.4.1 Richtungsbezogenes Verfahren**

$$NW: \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2})$$

$$\sigma_{\perp} \leq 0,9 \cdot f_u / \gamma_{M2}$$

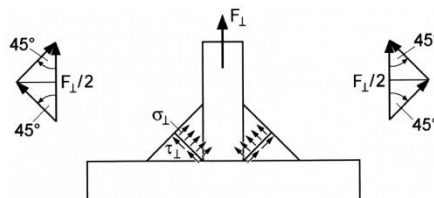
$$A_w = \Sigma a \cdot \ell_{eff}$$

$f_u$  ... Zugfestigkeit des schwächeren Bauteiles  
 $\beta_w$  ... Korrelationsbeiwert, siehe *Tab. 20*



*Abb. 31 Schweißnahtspannungen im schrägen Schnitt durch eine Kehlnaht [7], S. 320, Bild 5.22*

Die Berechnung der Spannungskomponenten erfolgt nach denselben Regeln der [3]. Auch in diesem Fall bleibt beim Nachweis  $\sigma_{\parallel}$  unberücksichtigt. Zusätzlich ist die schräge Lage der rechnerischen Nahtfläche zu beachten. Einwirkende Kräfte müssen entsprechend aufgeteilt werden, siehe *Abb. 32*.



*Abb. 32 Rechnerische Schweißnahtspannungen in einer Kehlnaht (Beispiel) [7], S. 320, Bild 5.23*

Normen und Stahlsorten			Korrelationsbeiwert $\beta_w$
EN 10025	EN 10210	EN 10219	
S 235 S 235 W	S 235 H	S 235 H	0,8
S 275 S 275 N/NL S 275 M/ML	S 275 H S 275 NH/NLH	S 275 H S 275 NH/NLH S 275 MH/MLH	0,85
S 355 S 355 N/NL S 355 M/ML S 355 W	S 355 H S 355 NH/NLH	S 355 H S 355 NH/NLH S 355 MH/MLH	0,9
S 420 N/NL S 420 M/ML		S 420 MH/MLH	1,0
S 460 N/NL S 460 M/ML S 460 Q/QL/QL1	S 460 NH/NLH	S 460 NH/NLH S 460 MH/MLH	1,0

*Tab. 20 Korrelationsbeiwert  $\beta_w$  [7], S. 321, Tabelle 5.7*



#### 2.4.3.4.2 Vereinfachtes Verfahren

Bei der Alternative zum richtungsbezogenen Verfahren kann die Tragfähigkeit einer Kehlnaht als ausreichend angesehen werden, wenn in jedem Punkt längs der Naht die Resultierende aller auf die wirksame Kehlnahtfläche einwirkenden Kräfte je Längeneinheit folgende Bedingung erfüllt.

$$\boxed{\text{NW: } F_{w,Ed} \leq F_{w,Rd}}$$

$$F_{w,Rd} = f_u \cdot a / (\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2})$$

$f_u$  ... Zugfestigkeit des schwächeren Bauteiles

$$F_{w,Ed} = \sqrt{F_{Ed}^2(\sigma_{\perp}) + F_{Ed}^2(\tau_{\perp}) + F_{Ed}^2(\tau_{\parallel})}$$

$\beta_w$  ... Korrelationsbeiwert, siehe Tab. 20

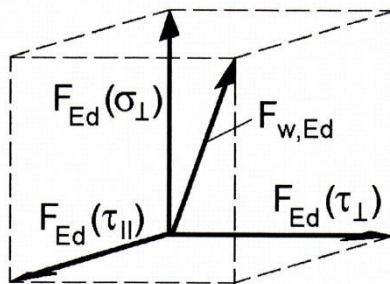
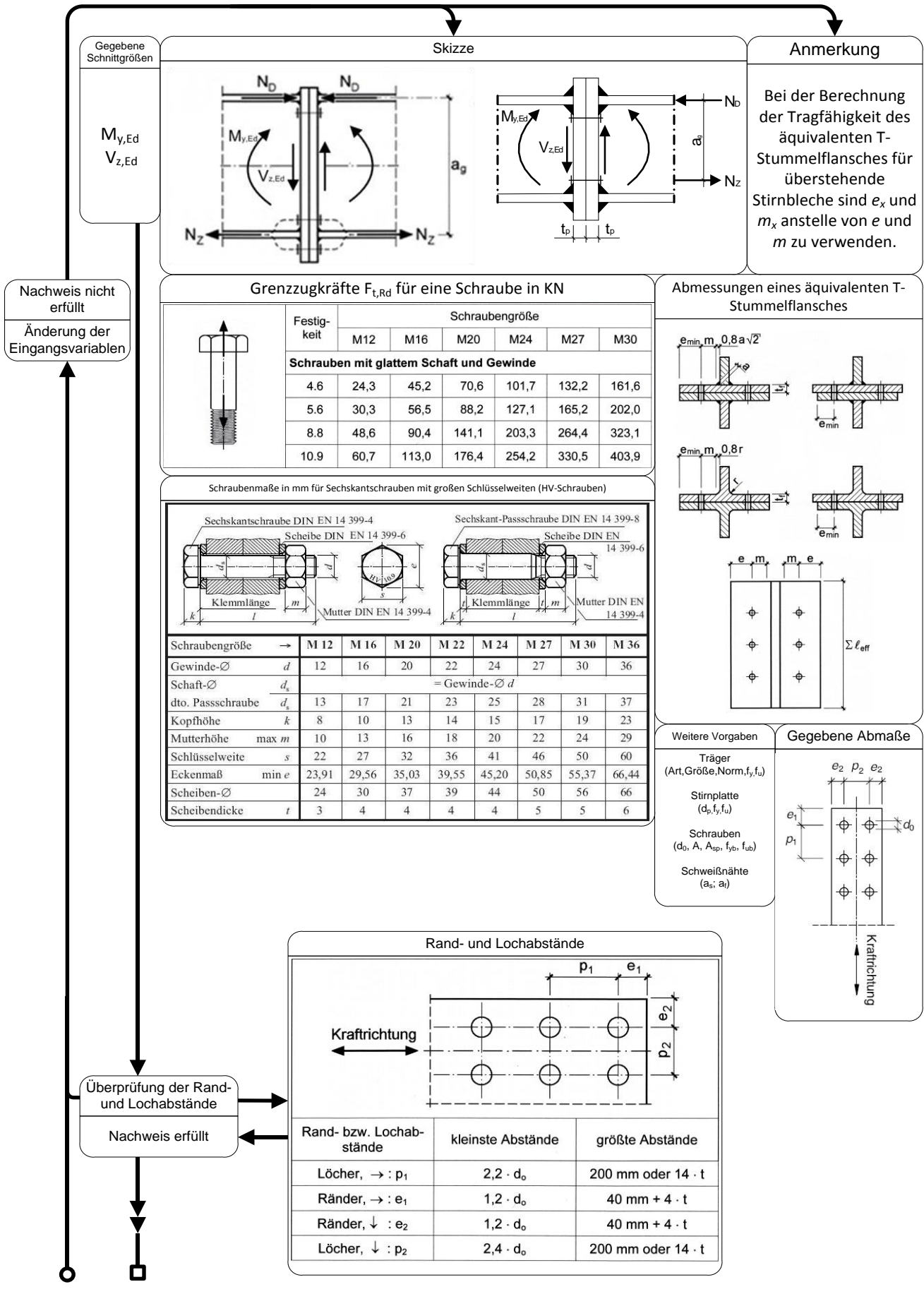
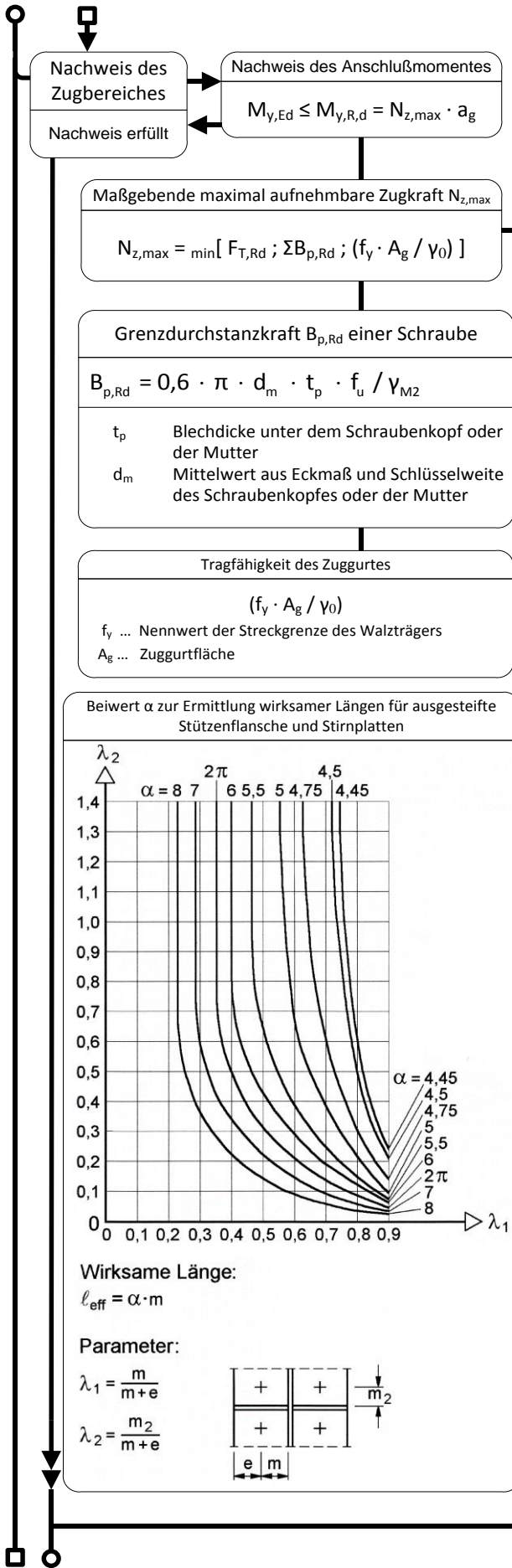


Abb. 33 Beanspruchung einer Naht pro Längeneinheit

2.4.4 Nachweisschema unter Biegung und Querkraft nach EC3





### Tragfähigkeit $F_{T,Rd}$ eines T-Stummelflansches

**Abstützkräfte können auftreten**

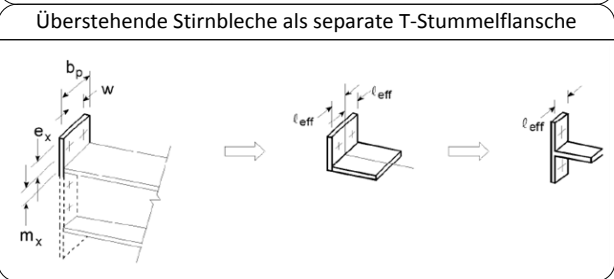
Modus	Verfahren 1	Verfahren 2 (alternatives Verfahren)
ohne Futterplatten	$F_{T,1,Rd} = \frac{4 M_{p,l,Rd}}{m}$	$F_{T,1,Rd} = \frac{(8n - 2e_w) M_{p,l,Rd}}{2mn - e_w(m+n)}$
mit Futterplatten	$F_{T,1,Rd} = \frac{4 M_{p,l,Rd} + 2 M_{bp,Rd}}{m}$	$F_{T,1,Rd} = \frac{(8n - 2e_w) M_{p,l,Rd} + 4n M_{bp,Rd}}{2mn - e_w(m+n)}$
<b>Modus 2</b>	$F_{T,2,Rd} = \frac{2 M_{p,l,2,Rd} + n \Sigma F_{t,Rd}}{m+n}$	
<b>Modus 3</b>	$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd}$	

Modus 1: Vollständiges Fließen des Flansches  
Modus 2: Schraubenversagen gleichzeitig mit Fließen des Flansches  
Modus 3: Schraubenversagen

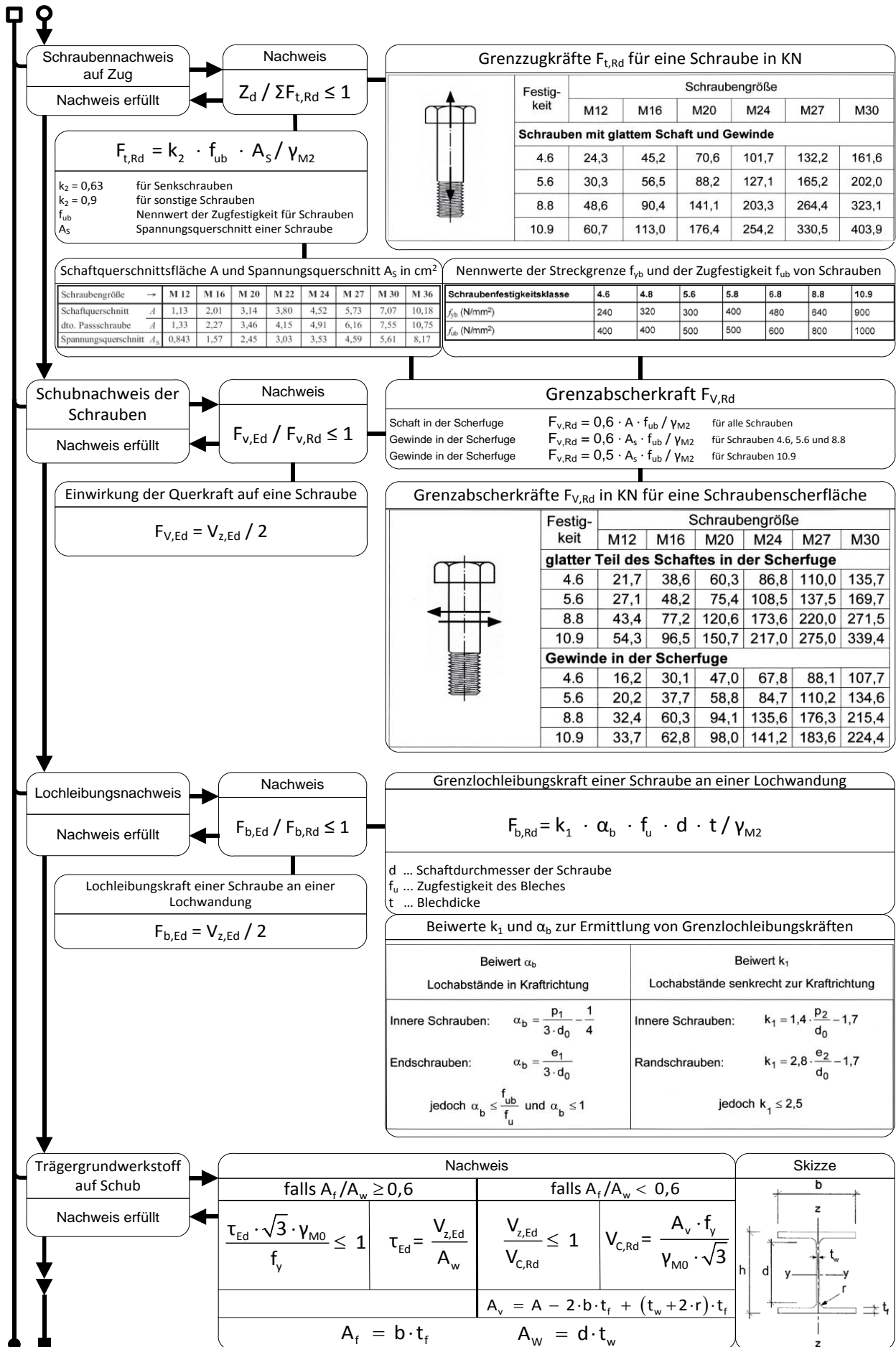
$M_{p,l,1,Rd} = 0,25 \cdot \Sigma l_{eff,1} \cdot t_f^2 \cdot f_y / \gamma_{M0}$   
 $M_{p,l,2,Rd} = 0,25 \cdot \Sigma l_{eff,2} \cdot t_f^2 \cdot f_y / \gamma_{M0}$   
 $n = e_{min}$  jedoch  $n \leq 1,25 \cdot m$   
 $e_w = d_w / 4$   
 $d_w$  ... Durchmesser der Unterlegscheibe oder Eckmaß des Schraubenkopfes oder der Mutter (kleinster Wert ist maßgebend)

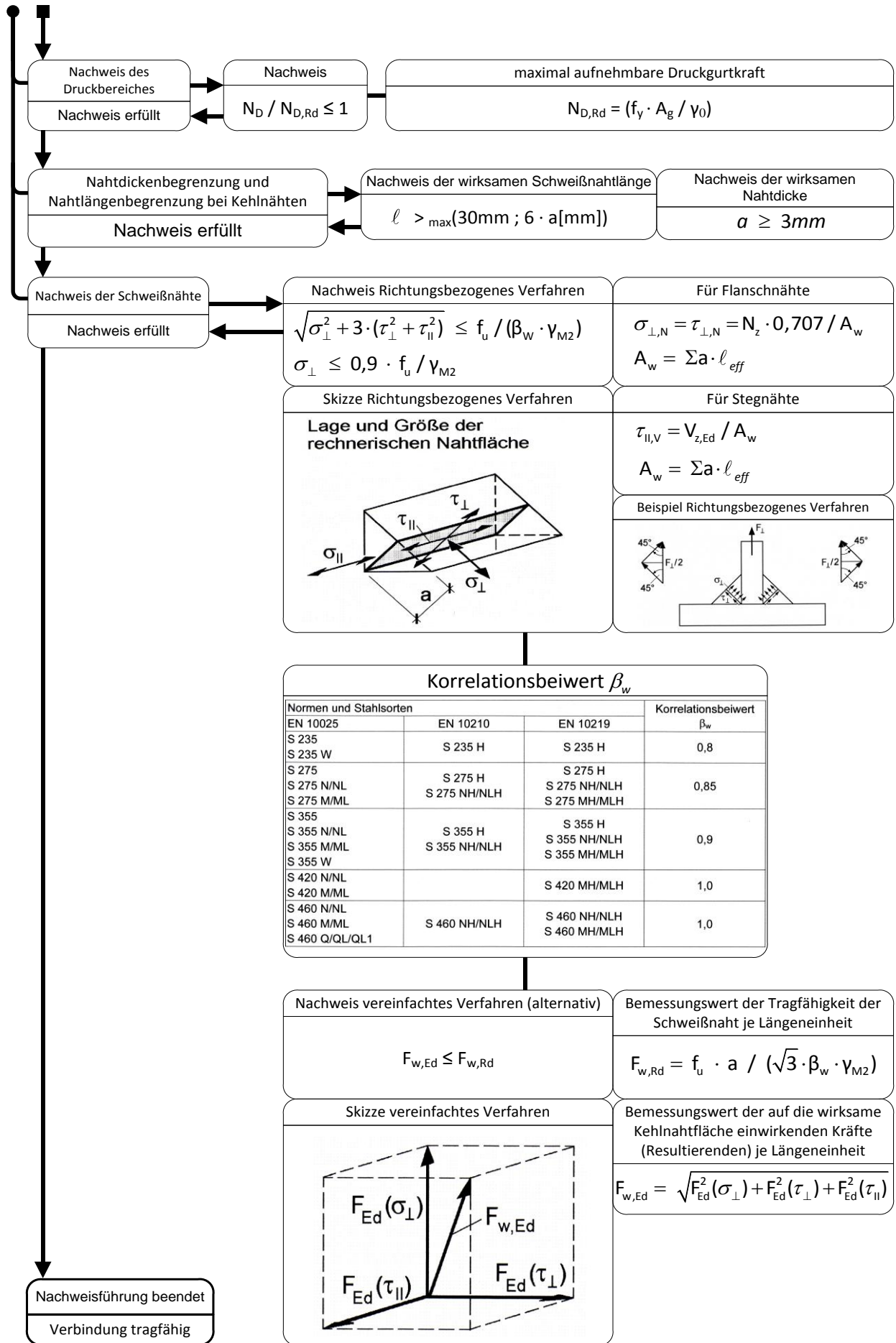
### Wirksame Längen für Stirnplatten

Lage der Schraubenreihe	Schraubenreihe einzeln betrachtet		Schraubenreihe als Teil einer Gruppe von Schraubenreihen	
	Kreisförmiges Muster $l_{eff,cp}$	Nicht kreisförmiges Muster $l_{eff,nc}$	Kreisförmiges Muster $l_{eff,cp}$	Nicht kreisförmiges Fließmuster $l_{eff,nc}$
Äußere Schraubenreihe neben Trägerzugflansch	Der kleinste Wert von: $2\pi m_x$ $\pi m_x + w$ $\pi m_x + 2e$	Der kleinste Wert von: $4m_x + 1,25e_x$ $e + 2m_x + 0,625e_x$ $0,5b_p$ $0,5w + 2m_x + 0,625e_x$	-	-
Innere Schraubenreihe neben Trägerzugflansch	$2\pi m$	$\alpha m$	$\pi m + p$	$0,5p + \alpha m - (2m + 0,625e)$
Andere innere Schraubenreihen	$2\pi m$	$4m + 1,25e$	$2p$	$p$
Andere äußere Schraubenreihen	$2\pi m$	$4m + 1,25e$	$\pi m + p$	$2m + 0,625e + 0,5p$
Modus 1:	$l_{eff,1} = l_{eff,nc}$ jedoch $l_{eff,1} \leq l_{eff,cp}$		$\Sigma l_{eff,1} = \Sigma l_{eff,nc}$ jedoch $\Sigma l_{eff,1} \leq \Sigma l_{eff,cp}$	
Modus 2:	$l_{eff,2} = l_{eff,nc}$		$\Sigma l_{eff,2} = l_{eff,nc}$	



Zugkraft  $Z_d$  und Druckkraft  $D_d$   
 $N_z = IN_d I = M_{y,Ed} / a_g$





### 2.5 Arbeiten mit typisierten Verbindungen

In der täglichen Bemessungspraxis bieten typisierte Verbindungen eine wertvolle Hilfe, da man viele häufig vorkommende Aufgabenstellungen unmittelbar und ohne eigene Berechnungen lösen kann. Selbst wenn die Aufgabe nicht deckungsgleich vorhanden ist, können beispielsweise Unterlagen nach [10] oder [11] zum schnellen Entwickeln eigener konstruktiver Lösungen dienen.

Die Bemessungshilfen, wie [10] oder [11], sind eine schnelle Vorgehensweise zur Nachweisführung und basieren auf allgemein anerkannten Regeln der Technik, beziehungsweise gültigen Normen und sind typengeprüft. Eine Mischung der Angaben untereinander ist unzulässig. Der große Nachteil besteht darin dass die jeweils angegebenen Geometrien, Schrauben und Nahtdicken, Beispiel siehe *Abb. 34*, zwingend in der Ausführung einzuhalten sind. Desweiteren sind die angegebenen Randbedingungen zu prüfen und müssen eingehalten werden. In *Abb. 35* sind beispielhaft drei Grenzanschlussmomente und Grenzanschlussquerkräfte angegeben, die mit *Abb. 34* korrespondieren. Die Tabellenwerte sind bauaufsichtlich geprüft und erlauben folgende Tragfähigkeitsnachweise:

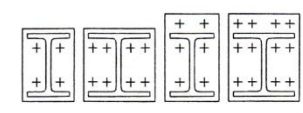
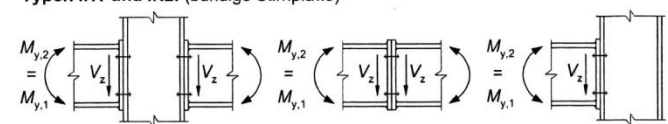
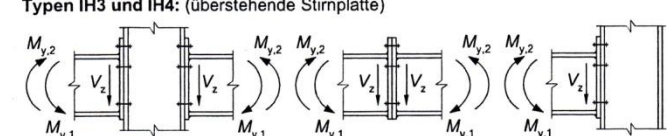
$$M_{y,d} \leq M_{y,1,Rd} \quad \text{und} \quad V_{z,d} \leq V_{z,Rd}$$

Anlage 1.154 zum Prüfbescheid II B 2-543-778 vom 04.11.2002

Momententragfähige I-Trägeranschlüsse

<b>Momententragfähige Träger-Stützenanschlüsse mit Stirnplatte</b>		<b>IH</b>																				
<b>Abmessungen</b>		<b>S 235</b> <b>8.8</b>																				
<p><b>Typen IH1 und IH2: (bündige Stirnplatte)</b></p>		<p><b>Typen IH3 und IH4: (überstehende Stirnplatte)</b></p>		<p><math>a_i</math> : Kehlnahtdicke an den Trägerflanschen  <math>a_w</math> : Kehlnahtdicke am Trägersteg  <math>t_p</math> : Stirnplattendicke  <math>S_{j,ini}</math> : elastische Steifigkeit (Mit Hilfe dieses Wertes ist der Anschluss hinsichtlich der Steifigkeit zu klassifizieren, siehe Erläuterungsabschnitt)</p>																		
<b>Abmessungen (in mm) und Steifigkeiten (in MNm/rad)</b>																						
Nr.	Anschluss		Stirnplatte			Stirnplattengeometrie						Kehln.		Steifigkeit $S_{j,ini}$								
	Trägerprofil	Typ	Schr. 8.8	$t_p$	$b_p$	$h_p$	$e_1$	$e_2$	$e_3$	$e_4$	$u_1$	$u_2$	$w_1$	$w_2$	$w_3$	$a_w$	$a_i$	ohne Stütze	IPE	HEA	HEB	HEM
651	HEB 450	IH3.1	M 24	25	300	565	105	300	125	35	30	85	160	70		5	9	339,0	Trägerstoß			
																		/	74,8	87,2	108,1	
																		/	72,8	75,3	103,0	
																		/	59,8	60,7	83,7	
652	HEB 450	IH3.1	M 27	30	300	580	115	280	145	40	30	100	160	70		5	11	401,0	Trägerstoß			
																		/	137,0	90,7	135,3	
																		/	78,9	89,4	109,0	
																		/	71,3	74,4	109,0	
653	HEB 450	IH3.1	M 30	30	300	585	115	280	145	45	30	105	160	70		5	13	463,4	Trägerstoß			
																		/	145,2	90,1	141,9	
																		/	78,3	94,7	122,4	
																		/	78,2	83,8	112,9	

Abb. 34 Tabellenkopf und Ausschnitt drei möglicher Anschlussgeometrien, [11]

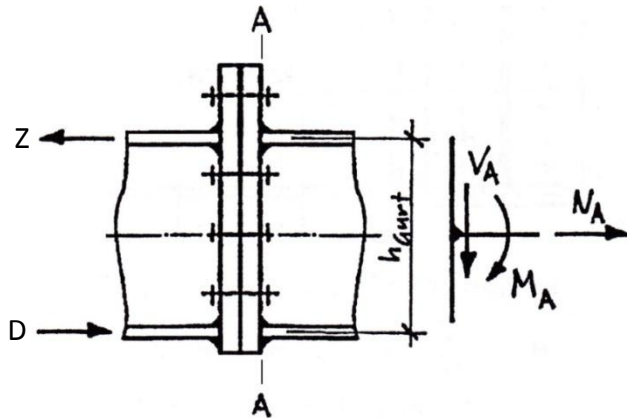
<h3 style="margin: 0;">Momententragfähige Träger-Stützenanschlüsse mit Stirnplatte</h3>	<b>IH</b> <b>S 235</b> <b>8.8</b>	
<h4 style="margin: 0;">Beanspruchbarkeiten</h4>		
<p><b>Typen IH1 und IH2: (bündige Stirnplatte)</b></p> 	<p><math>M_{y,1,Rd}</math> : Grenzmoment des Anschlusses um die y-Achse  <math>M_{y,2,Rd}</math> : Umkehrmoment des Anschlusses um die y-Achse  <math>V_{z,Rd}</math> : Grenzanschlussquerkraft in z-Richtung  <math>M_{c,y,Rd}</math> : Grenzmoment des Trägers um die y-Achse</p> <p><b>Grenzzustände (Trägerstoß):</b>                  EPB : Stirnplatte auf Biegung                  BT : Schrauben auf Zug                  BFC : Trägerflansch und -steg auf Druck                  BWT : Trägersteg auf Zug</p> <p><b>Hinweise:</b>                  St : Steife in Stütze (siehe Erläuterungsabschnitt)                  / : keine Stütze für dieses Lastniveau möglich</p> <p>Maßgebend für die Biegetragfähigkeit ist das Minimum aus <math>M_{y,1,Rd}</math> und <math>M_{c,y,Rd}</math> bzw. <math>M_{y,2,Rd}</math> und <math>M_{c,y,Rd}</math></p>	
<p><b>Typen IH3 und IH4: (überstehende Stirnplatte)</b></p> 		

Beanspruchbarkeiten (in kN und kNm)																	
Nr.	Anschluss			%	Anschluss nach DIN				Anschluss nach EC 3				Träger	erf. Stütze (S 235)			
	Trägerprofil S 235	Typ	Schr. 8.8		$M_{y,1,Rd}$ kNm	Grenz-zust.	$M_{y,2,Rd}$ kNm	$V_{z,Rd}$ kN	$M_{y,1,Rd}$ kNm	Grenz-zust.	$M_{y,2,Rd}$ kNm	$V_{z,Rd}$ kN		$M_{c,y,Rd}$ kNm	IPE	HEA	HEB
651	HEB 450	IH3.1	M 24		311,6	EPB	147,2	521,2	311,6	EPB	147,2	540,5	935,9	Trägerstoß			
				100	311,6		147,2	521,2	311,6		147,2	540,5	935,9	/	700	500	260
				80	249,2		126,8	521,2	249,2		126,8	540,5	935,9	/	500	320	240
				60	186,9		104,7	521,2	186,9		104,7	540,5	935,9	/	340	260	220
652	HEB 450	IH3.1	M 27		396,2	EPB	186,1	540,5	396,2	EPB	186,1	540,5	935,9	Trägerstoß			
				100	396,2		186,1	540,5	396,2		186,1	540,5	935,9	/	700-St	650	300
				80	317,0		163,7	540,5	317,0		163,7	540,5	935,9	/	700	400	240
				60	237,7		140,9	540,5	237,7		140,9	540,5	935,9	/	400	300	240
653	HEB 450	IH3.1	M 30		474,9	EPB	227,5	540,5	474,9	EPB	227,5	540,5	935,9	Trägerstoß			
				100	474,9		227,5	540,5	474,9		227,5	540,5	935,9	/	900-St	900	320
				80	379,9		214,8	540,5	379,9		214,8	540,5	935,9	/	900	550	280
				60	284,9		174,6	540,5	284,9		174,6	540,5	935,9	/	500	340	240

Abb. 35 Tabellenkopf und Ausschnitt drei möglicher Beanspruchbarkeiten, [11]

### 2.6 Längskräfte

Bei bisheriger Betrachtung wurden Längskräfte als einwirkende Schnittgröße vernachlässigt. Das Anschlußmoment eines Trägerstoßes wird durch Vorhandensein einer Längskraft stark reduziert, da die Spannungen aus Biegemoment und Längskraft sich überlagern. Um dennoch eine Verbindung, nach [2] beziehungsweise [3], wie in *Abb. 36* beziehungsweise *Abb. 37* dargestellt, nachweisen zu können, müssen folgende Punkte berücksichtigt werden.

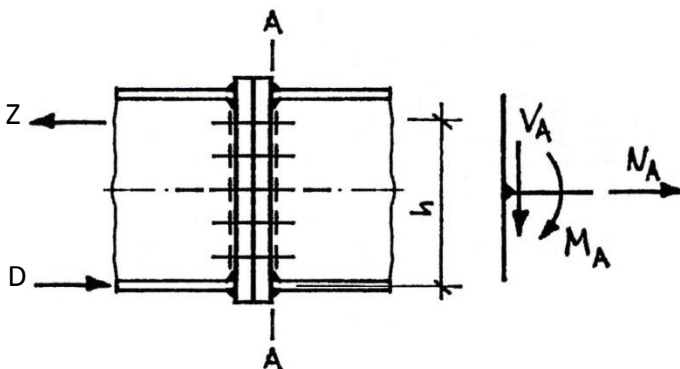


Eine einfache Zerlegung der Schnittgrößen und die Zuweisung dieser für bestimmte Tragelemente ist zwar möglich, aber sehr unwirtschaftlich.

Vereinfachung:

$$Z = IDI = M_A/h_{Gurt} + N_A/2$$

Abb. 36 Überstehende Stirnplattenverbindung unter Biegemoment, Querkraft und Längskraft [8], S. 11/47 Abb. geändert



Vereinfachung:

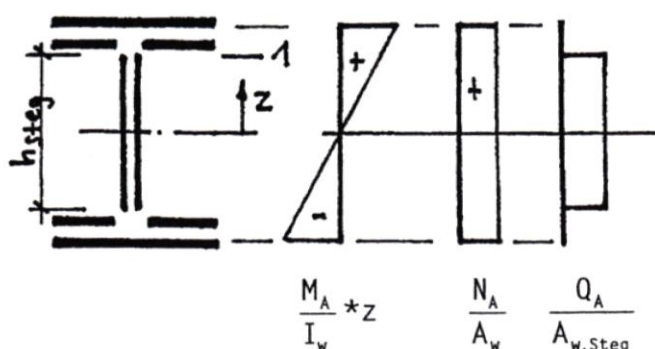
$$Z = IDI = M_A/h + N_A/2$$

Abb. 37 Bündige Stirnplattenverbindung unter Biegemoment, Querkraft und Längszugkraft [8], S.11/47 Abb. geändert

#### 2.6.1 Nachweis der Schweißnähte

Die Nachweise der Schweißnähte erfolgt einerseits als quadratischer Interaktionsnachweis aus den Spannungen des Momentes, der Längskraftkraft und der Querkraft auf Höhe der Faser 1, sowie am äußersten Rand der Schweißnähte aus den Spannungen des Momentes und der Längskraft, siehe *Abb. 38*. Nahtdickenbegrenzung und Nahtlängenbegrenzung sind zu überprüfen.

Nachweis im Schnitt A - A, *Abb. 36* / *Abb. 37*:



$$\sigma_{\perp} = \frac{M_A}{I_w} * z + \frac{N_A}{A_w}; \frac{\sigma_{\perp}}{\sigma_{w,R,d}} \leq 1$$

Nachweis an der Faser 1:

$$\tau_{\parallel} = \frac{Q_A}{A_{w,Steg}}; \sigma_1 = \frac{M_y}{I_w} * \frac{h_{Steg}}{2}$$

$$\sigma_{w,v} = \sqrt{\tau_{\parallel}^2 + \sigma_1^2}; \frac{\sigma_{w,v}}{\sigma_{w,R,d}} \leq 1$$

Abb. 38 Flächenträgheitsmoment 2. Ordnung der Schweißnähte und deren Spannungsverteilungen [8], S. 11/45



2.6.2 Nachweis der Schrauben

Für den Nachweis der Schrauben wird auf das Verfahren nach Schineis verwiesen was in Abb. 38, als Beispiel einer Träger-Stützen-Verbindung, näher beschrieben wird.

Tragsicherheitsnachweis für die Schrauben nach dem Verfahren von Schineis, Bauingenieur 44 (1969), S. 439-449

Anschlusschnittgrößen

- Schnittgrößen  $M_d$ ,  $Q_d$  und  $N_d$  (vorzeichenbehaftet!) der Rahmenecke für den Schnitt A-A, bezogen auf den Druckpunkt „d“

- Momentengleichung für Druckpunkt „d“

$$M_d = \sum_{i=1}^n m * Z_i * y_i; \text{ mit } \frac{\max Z}{h} = \frac{Z_i}{y_i} \text{ wird } Z_i = \frac{y_i}{h} * \max Z;$$

$m$  - Anzahl der stepparallelen Schraubenreihen  
 $n$  - Anzahl der anzusetzenden Schraubenpaare im Zugbereich

Nach Einsetzen und Umstellung ergibt sich:

$$\max Z = M_d * \frac{h}{m * \sum y_i^2} \text{ bzw.}$$

$$\max Z = \frac{M_d}{h} * f_z \text{ mit dem Beiwert } f_z = \frac{h^2}{m * \sum y_i^2}.$$

Die Zugkraft  $\max Z$  bezieht sich auf eine maximal beanspruchte Schraube!

- Gleichgewicht der horizontalen Kräfte

$$N_d = \sum_{i=1}^n m * Z_i - D; \text{ nach Einsetzen von } Z_i \text{ und } \max Z \text{ folgt}$$

$$\sum_{i=1}^n m * Z_i = \sum_{i=1}^n m * \frac{y_i}{h} * \max Z = M_d * \frac{\sum y_i}{\sum y_i^2} \text{ und}$$

$$D = \frac{M_d}{h} * f_D - N_d \text{ mit dem Beiwert } f_D = \frac{h * \sum y_i}{\sum y_i^2}.$$

Die Druckkraft  $D$  greift als Einzelkraft im Druckpunkt „d“ an.

- Beiwerte  $f_z$  und  $f_D$  für den häufigen Fall des zweireihigen Anschlusses mit  $k$  konstanten Schraubenabständen ( $m = 2$ ,  $e = h/k$ ,  $y_1 \geq h/2$ ):

k	2	3	4	5	6	7	8
$f_z$	0,400	0,346	0,276	0,250	0,209	0,194	0,168
$f_D$	1,20	1,15	1,24	1,20	1,26	1,22	1,26

Tragsicherheitsnachweis für die Schrauben

- Zugbeanspruchung; Nachweis für die max. beanspruchte Schraube mit  $N_{R,d}$
- Schubbeanspruchung, Nachweis für alle Schrauben mit  $V_{A,R,d}$  und  $V_{1,R,d}$
- Interaktionsnachweis für Zug und Schub

Abb. 39 Tragsicherheitsnachweis für Schrauben nach dem Verfahren nach Schineis [8], S. 11/46

Bei Längszugkräften müssen über der gesamten Steghöhe weitere Schraubenpaare angeordnet werden um eine klaffende Fuge zu verhindern und Abstützkräfte zu minimieren. Diese Schraubenpaare sollten gleichmäßig über die Steghöhe verteilt werden.

Für die Berechnung der Schraubenkräfte wird das Ebenbleiben des Querschnitts von der Spannungsermittlung nach der Elastizitätstheorie in Querschnitten übernommen. Sofern dicke Stirnplatten verwendet werden, ist dies auch weitgehend gerechtfertigt. Analog kann diese Vorgehensweise ebenfalls für bündige Stirnplattenstöße verwendet werden.

Bei Einhaltung und Nachweis der eben beschriebenen Punkte kann der Nachweis nach Oberegge, wie in Abschnitt 2.3 beschrieben, durchgeführt werden.

Weitere Möglichkeiten zur Nachweisführung bieten der EC3, aber auch die Möglichkeit zur Nutzung der Finiten-Elemente-Methode.

### 3 Vergleichsrechnungen

#### 3.1 Beispielrechnungen unter Biegemoment und Querkraft

##### 3.1.1 Verfahren nach Valtinat - Überstehende Stirnplatte

###### Ausgangssituation

Träger: HEA 180 S235 n. DIN 1025 - 3 (03.94)

Stirnplatte: Bl. 20x180x195 S235 US-geprüft

Schrauben: M16x65 10.9 n. DIN EN 14 399 - 4; - 8

Gewinde außerhalb der Scherfuge, gebohrte Löcher  
einschnittige Verbindung

Schweißnähte: Flanschnähte  $a_F = 5 \text{ mm}$

Stegnähte  $a_S = 4 \text{ mm}$

Nahtgüte nicht nachgewiesen

###### Abmaße:

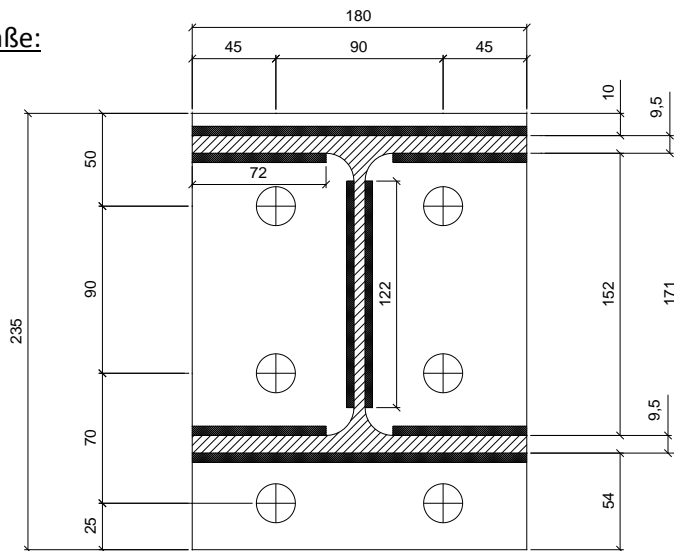
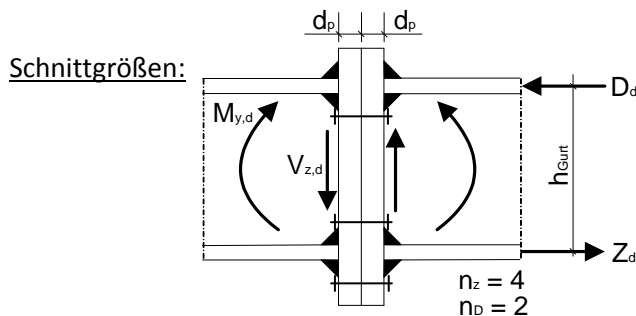


Abb. 40 Abmaße des Stützenstoßquerschnittes - überstehende Stirnplatte



###### Schnittgrößen:

$$M_{y,d} = 48,0 \text{ KNm}$$

$$V_{z,d} = 90,0 \text{ KN}$$

Abb. 41 Seitenansicht des Trägerstoßes mit Schnittgrößen

**Überprüfung der Rand- u. Lochabstände:** Krafrichtung ist  $V_{z,d}$ ;  $d_L = 17 \text{ mm}$ ;  $t = d_p$

$$\begin{aligned} e_1: & 1,2 \cdot d_L = 1,2 \cdot 17 = 20,4 < e_1 = 25(50) < 3 \cdot d_L = 3 \cdot 17 = 51 ; 6 \cdot t = 6 \cdot 20 = 120 \quad [\text{mm}] \\ e_2: & 1,2 \cdot d_L = 1,2 \cdot 17 = 20,4 < e_2 = 45 < 3 \cdot d_L = 3 \cdot 17 = 51 ; 6 \cdot t = 6 \cdot 20 = 120 \quad [\text{mm}] \\ e_3: & 2,4 \cdot d_L = 2,4 \cdot 17 = 40,8 < e_3 = 90 < 6 \cdot d_L = 6 \cdot 17 = 102 ; 12 \cdot t = 12 \cdot 20 = 240 \quad [\text{mm}] \\ e: & 2,2 \cdot d_L = 2,2 \cdot 17 = 37,4 < e = 70(90) < 6 \cdot d_L = 6 \cdot 17 = 102 ; 12 \cdot t = 12 \cdot 20 = 240 [\text{mm}] \end{aligned}$$

Anmerkung:  $6 \cdot d_L$  und  $12 \cdot t$  wurden gewählt, da lokales Beulen nicht ausgeschlossen werden kann.

### Resultierendes Kräftepaar

$$h = 171 \text{ mm} - 9,5 \text{ mm} \quad \rightarrow \underline{h = 161,5 \text{ mm} = 0,1615 \text{ m}}$$

$$Z_d = D_d = M_{y,d} / h = 48 \text{ KNm} / 0,1615 \text{ m} \quad \rightarrow \underline{Z_d = D_d = 297,3 \text{ KN}}$$

### Schraubennachweis auf Zug

$$N_{R,d,1} = A_{\text{Sch}} \cdot f_{y,b,k} / (1,1 \cdot \gamma_m) = 2,01 \text{ cm}^2 \cdot 90 \text{ KN/cm}^2 / (1,1 \cdot 1,1) = 149 \text{ KN}$$

$$N_{R,d,2} = A_{\text{Sp}} \cdot f_{u,b,k} / (1,25 \cdot \gamma_m) = 1,57 \text{ cm}^2 \cdot 100 \text{ KN/cm}^2 / (1,25 \cdot 1,1) = 114 \text{ KN}$$

$$N_{R,d} = \min[N_{R,d,1}; N_{R,d,2}] = 114 \text{ KN} ; n_z = 4 - \text{vier Schrauben im Zugbereich}$$

$$\underline{\underline{NW: Z_d / (n_z \cdot N_{R,d}) = 297,3 \text{ KN} / (4 \cdot 114 \text{ KN}) = 0,42 \leq 1 \quad \rightarrow \text{NW erfüllt}}}$$

### Schubnachweis der Schrauben und des Grundwerkstoffes

Grenzabscherkraft einer Schraube:

$$V_{a,R,d} = A_{\text{Sch}} \cdot \tau_{a,R,d} = A_{\text{Sch}} \cdot \alpha_a \cdot m \cdot f_{u,b,k} / \gamma_m ; \alpha_a = 0,55 \text{ n.Tab.4}$$

$$V_{a,R,d} = 2,01 \text{ cm}^2 \cdot 0,55 \cdot 1 \cdot 100 \text{ KN/cm}^2 / 1,1 \quad \rightarrow \underline{V_{a,R,d} = 100 \text{ KN}}$$

Grenzlochleibung einer Schraube an einer Lochwandung:

Lochleibungsbeiwert  $\alpha_l$ :

$$1,2 d_L = 1,2 \cdot 17 = 20,4 \leq e_1 = 25(50) \leq 3,0 d_L = 3,0 \cdot 17 = 51 \quad [\text{mm}]$$

$$e_2 = 45 \geq 1,5 d_L = 1,5 \cdot 17 = 25,5 \text{ und } e_3 = 90 \geq 3,0 d_L = 3,0 \cdot 17 = 51 \quad [\text{mm}]$$

$$\rightarrow \alpha_l = 1,1 \cdot e_1 / d_L - 0,3 = 1,1 \cdot 25 / 17 - 0,3 \quad [\text{mm}]$$

$$\rightarrow \underline{\alpha_l = 2,936}$$

$$2,2 d_L = 2,2 \cdot 17 = 37,4 \leq e = 70(90) \leq 3,5 d_L = 3,5 \cdot 17 = 59,5 \quad [\text{mm}]$$

$\rightarrow e$  darf höchstens mit  $3,5 d_L$  in Rechnung gestellt werden.  $e = 59,5$  für  $\alpha_l$

$$e_2 = 45 \geq 1,5 d_L = 1,5 \cdot 17 = 25,5 \text{ und } e_3 = 90 \geq 3,0 d_L = 3,0 \cdot 17 = 51 \quad [\text{mm}]$$

$$\rightarrow \alpha_l = 1,08 \cdot e / d_L - 0,77 = 1,08 \cdot 59,5 / 17 - 0,77 \quad [\text{mm}]$$

$$\rightarrow \alpha_l = 3,01$$

maßgebend wird  $\alpha_l = 2,936$  - Versagen der Lochwandung am Rand

$$V_{l,R,d} = A \cdot \sigma_{l,R,d} = t \cdot d_{\text{Sch}} \cdot \alpha_l \cdot f_{y,k} / \gamma_m$$

$$V_{l,R,d} = 2,0\text{cm} \cdot 1,6\text{cm} \cdot 2,936 \cdot 24\text{KN/cm}^2 / 1,1 \quad \rightarrow \underline{V_{l,R,d} = 206 \text{ KN}}$$

$$V_{R,d} = \min[ V_{a,R,d} ; V_{l,R,d} ] = \min[100\text{KN} ; 206\text{KN}] \quad \rightarrow \underline{V_{R,d} = 100\text{KN}}$$

$n_D = 2$  - zwei Schrauben im Druckbereich

$$\underline{\underline{\text{NW: } V_{z,d} / (n_D \cdot V_{R,d}) = 90\text{KN} / (2 \cdot 100\text{KN}) = 0,45 \leq 1 \quad \rightarrow \text{NW erfüllt}}}$$

### Nachweis des Druckbereiches

$$A_K = t_g \cdot b = 0,95\text{cm} \cdot 18,0\text{cm} \quad \rightarrow \underline{A_K = 17,1\text{cm}^2}$$

$$\sigma_d = D_d / A_K = 297,3\text{KN} / 17,31\text{cm}^2 \quad \rightarrow \underline{\sigma_d = 17,18 \text{ KN/cm}^2}$$

$$\sigma_{R,d} = f_{y,k} / \gamma_m = 24\text{KN/cm}^2 / 1,1 \quad \rightarrow \underline{\sigma_{R,d} = 21,81 \text{ KN/cm}^2}$$

$$\underline{\underline{\text{NW: } \sigma_d / \sigma_{R,d} = 17,18\text{KN/cm}^2 / 21,81\text{KN/cm}^2 = 0,79 \leq 1 \quad \rightarrow \text{NW erfüllt}}}$$

### Nachweis der Schweißnähte

Überprüfung der Nahtdicken und Nahtlängen:

$$\underline{\text{Flanschnähte:}} \quad 2 \leq a_F = 5 \leq 0,7 \cdot t_{\text{min}} = 0,7 \cdot 9,5 = 6,65 \quad [\text{mm}]$$

$$a_F = 5 \geq (t_{\text{max}})^{(1/2)} - 0,5 = (20)^{(1/2)} - 0,5 = 3,97 \quad [\text{mm}]$$

$$30 < l = 72 ; 180 \geq 6 \cdot a_F = 6 \cdot 4 = 24 \quad [\text{mm}]$$

$$\underline{\text{Stegnähte:}} \quad 2 \leq a_s = 4 \leq 0,7 \cdot t_{\text{min}} = 0,7 \cdot 6,0 = 4,2 \quad [\text{mm}]$$

$$a_s = 4 \geq (t_{\text{max}})^{(1/2)} - 0,5 = (20)^{(1/2)} - 0,5 = 3,97 \quad [\text{mm}]$$

$$30 < l = 122 \geq 6 \cdot a_s = 6 \cdot 3 = 18 \quad [\text{mm}]$$

Nachweis der Zuggurtnähte:

$\alpha_w = 0,95$  n. Tab.7 - Zug/Nahtgüte nicht nachgewiesen

$(\Sigma a_F \cdot l) = 0,5\text{cm} \cdot (18\text{cm} + 2 \cdot 7,2\text{cm}) = 16,2\text{cm}^2$  ;  $(\Sigma a_F \cdot l)$  ... Flanschnahtfläche

$$\sigma_{\perp} = Z_d / (\Sigma a \cdot l) = 297,3\text{KN} / 16,2\text{cm}^2 \quad \rightarrow \underline{\sigma_{\perp} = 18,36 \text{ KN/cm}^2}$$

$$\sigma_{w,R,d} = \alpha_w \cdot f_{y,k} / \gamma_m = 0,95 \cdot 24 / 1,1 \quad \rightarrow \underline{\sigma_{w,R,d} = 20,72 \text{ KN/cm}^2}$$

$$\underline{\text{NW: } \sigma_{\perp} / \sigma_{w,R,d} = 18,36\text{KN/cm}^2 / 20,72\text{KN/cm}^2 = 0,89 \leq 1 \quad \rightarrow \text{NW erfüllt}}$$

Nachweis der Stegnähte:

$\alpha_w = 0,95$  n. Tab.7 - Schub/Nahtgüte nicht nachgewiesen

$A_{w,\text{Steg}} = 0,4\text{cm} \cdot (2 \cdot 12,2\text{cm}) = 9,76\text{cm}^2$  ;  $A_{w,\text{Steg}}$  ... Stegnahtfläche

$$\tau_{\parallel} = V_{z,d} / A_{w,\text{Steg}} = 90\text{KN} / 9,76\text{cm}^2 \quad \rightarrow \underline{\tau_{\parallel} = 9,23 \text{ KN/cm}^2}$$

$$\sigma_{w,R,d} = \alpha_w \cdot f_{y,k} / \gamma_m = 0,95 \cdot 24 / 1,1 \quad \rightarrow \underline{\sigma_{w,R,d} = 20,72 \text{ KN/cm}^2}$$

$$\underline{\text{NW: } \tau_{\parallel} / \sigma_{w,R,d} = 9,23 \text{ KN/cm}^2 / 20,72 \text{ KN/cm}^2 = 0,45 \leq 1 \quad \rightarrow \text{NW erfüllt}}$$

### Nachweis der Stirnplattendicke

Nährungsformel:

$d_p = 1,0 \cdot d_{\text{Sch}} = 1,0 \cdot 16\text{mm} = 16\text{mm}$ ; gew.:  $d_p = 20\text{mm}$  ; für überstehende Stirnplatten

$\rightarrow$ NW erfüllt. Exakter Nachweis kann entfallen

### 3.1.2 Verfahren nach Valtinat - Bündige Stirnplatte

#### Ausgangssituation

Träger: HEA 180 S235 n. DIN 1025 - 3 (03.94)

Stirnplatte: Bl. 25x180x195 S235 US-geprüft

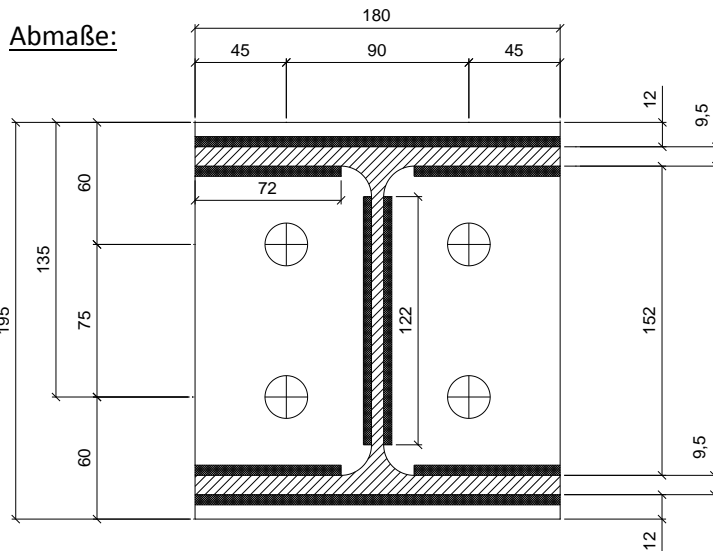
Schrauben: M20x80 10.9 n. DIN EN 14 399 - 4; - 8

Gewinde außerhalb der Scherfuge, gebohrte Löcher  
einschnittige Verbindung

Schweißnähte: Flanschnähte  $a_F = 4 \text{ mm}$

Stegnähte  $a_S = 3 \text{ mm}$

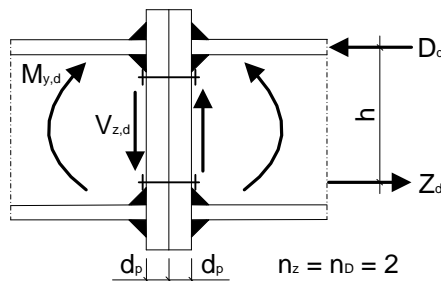
Nahtgüte nicht nachgewiesen



Stegdicke  $t_s = 6 \text{ mm}$

Abb. 42 Abmaße des Stützenstoßquerschnittes - Bündige Stirnplatte

#### Schnittgrößen:



$$M_{y,d} = 18,0 \text{ KNm}$$

$$M_{y,k} = 12,5 \text{ KNm}$$

$$V_{z,d} = 90,0 \text{ KN}$$

Abb. 43 Seitenansicht des Trägerstoßes mit Schnittgrößen

**Überprüfung der Rand- u. Lochabstände:** Krafrichtung ist  $V_{z,d}$ ;  $d_L = 21 \text{ mm}$ ;  $t = d_p$

$$\begin{aligned} e_1: & 1,2 \cdot d_L = 1,2 \cdot 21 = 25,2 < e_1 = 60 < 3 \cdot d_L = 3 \cdot 21 = 63 ; 6 \cdot t = 6 \cdot 25 = 150 \quad [\text{mm}] \\ e_2: & 1,2 \cdot d_L = 1,2 \cdot 21 = 25,2 < e_2 = 45 < 3 \cdot d_L = 3 \cdot 21 = 63 ; 6 \cdot t = 6 \cdot 25 = 150 \quad [\text{mm}] \\ e_3: & 2,4 \cdot d_L = 2,4 \cdot 21 = 50,4 < e_3 = 90 < 10 \cdot d_L = 10 \cdot 21 = 210 ; 20 \cdot t = 20 \cdot 25 = 500 \quad [\text{mm}] \\ e: & 2,2 \cdot d_L = 2,2 \cdot 21 = 46,2 < e = 75 < 10 \cdot d_L = 10 \cdot 21 = 210 ; 20 \cdot t = 20 \cdot 25 = 500 \quad [\text{mm}] \end{aligned}$$

Anmerkung:  $10 \cdot d_L$  und  $20 \cdot t$  wurden gewählt, da lokales Beulen nahezu ausgeschlossen werden kann. Grund hierfür ist die ausreichende Blechdicke.

### Resultierendes Kräftepaar

$$h = 135 \text{ mm} - 12 \text{ mm} - 9,5/2 \text{ mm} \quad \rightarrow \underline{h = 118,3 \text{ mm} = 0,1183 \text{ m}}$$

$$Z_d = D_d = M_{y,d} / h = 18 \text{ KNm} / 0,1183 \text{ m} \quad \rightarrow \underline{Z_d = D_d = 152,2 \text{ KN}}$$

$$Z_k = D_k = M_{y,k} / h = 12,5 \text{ KNm} / 0,1183 \text{ m} \quad \rightarrow \underline{Z_k = D_k = 105,7 \text{ KN}}$$

### Schraubennachweis auf Zug

$$N_{R,d,1} = A_{\text{Sch}} \cdot f_{y,b,k} / (1,1 \cdot \gamma_m) = 3,14 \text{ cm}^2 \cdot 90 \text{ KN/cm}^2 / (1,1 \cdot 1,1) = 233 \text{ KN}$$

$$N_{R,d,2} = A_{\text{Sp}} \cdot f_{u,b,k} / (1,25 \cdot \gamma_m) = 2,45 \text{ cm}^2 \cdot 100 \text{ KN/cm}^2 / (1,25 \cdot 1,1) = 178 \text{ KN}$$

$$N_{R,d} = \min[N_{R,d,1}; N_{R,d,2}] = 178 \text{ KN} ; n_z = 2 - \text{zwei Schrauben im Zugbereich}$$

$$\underline{\underline{\text{NW: } Z_d / (n_z \cdot N_{R,d}) = 152,2 \text{ KN} / (2 \cdot 178 \text{ KN}) = 0,43 \leq 1 \quad \rightarrow \text{NW erfüllt}}}$$

### Schubnachweis der Schrauben und des Grundwerkstoffes

Grenzabscherkraft einer Schraube:

$$V_{a,R,d} = A_{\text{Sch}} \cdot \tau_{a,R,d} = A_{\text{Sch}} \cdot \alpha_a \cdot m \cdot f_{u,b,k} / \gamma_m ; \alpha_a = 0,55 \text{ n.Tab.4}$$

$$V_{a,R,d} = 3,14 \text{ cm}^2 \cdot 0,55 \cdot 1 \cdot 100 \text{ KN/cm}^2 / 1,1 \quad \rightarrow \underline{V_{a,R,d} = 157 \text{ KN}}$$

Grenzlochleibung einer Schraube an einer Lochwandung:

Lochleibungsbeiwert  $\alpha_l$ :

$$1,2 d_L = 1,2 \cdot 21 = 25,2 \leq e_1 = 60 \leq 3,0 d_L = 3,0 \cdot 21 = 63 \quad [\text{mm}]$$

$$e_2 = 45 \geq 1,5 d_L = 1,5 \cdot 21 = 31,5 \text{ und } e_3 = 90 \geq 3,0 d_L = 3,0 \cdot 21 = 63 \quad [\text{mm}]$$

$$\rightarrow \alpha_l = 1,1 \cdot e_1 / d_L - 0,3 = 1,1 \cdot 60 / 21 - 0,3 \quad [\text{mm}]$$

$$\rightarrow \underline{\alpha_l = 2,843}$$

$$2,2 d_L = 2,2 \cdot 21 = 46,2 \leq e = 75 \leq 3,5 d_L = 3,5 \cdot 21 = 73,5 \quad [\text{mm}]$$

$\rightarrow$  e darf höchstens mit  $3,5 d_L$  in Rechnung gestellt werden.  $e = 73,5$  für  $\alpha_l$

$$e_2 = 45 \geq 1,5 d_L = 1,5 \cdot 21 = 31,5 \text{ und } e_3 = 90 \geq 3,0 d_L = 3,0 \cdot 21 = 63 \quad [\text{mm}]$$



$$\rightarrow \alpha_l = 1,08 \cdot e / d_L - 0,77 = 1,08 \cdot 73,5 / 21 - 0,77 \quad [\text{mm}]$$

$$\rightarrow \underline{\alpha_l = 3,01}$$

maßgebend wird  $\alpha_l = 2,843$  - Versagen der Lochwandung am Rand

$$V_{l,R,d} = A \cdot \sigma_{l,R,d} = t \cdot d_{\text{Sch}} \cdot \alpha_l \cdot f_{y,k} / \gamma_m$$

$$V_{l,R,d} = 2,5\text{cm} \cdot 2,0\text{cm} \cdot 2,843 \cdot 24\text{KN/cm}^2 / 1,1 \quad \rightarrow \underline{V_{l,R,d} = 310\text{KN}}$$

$$V_{R,d} = \min[V_{a,R,d}; V_{l,R,d}] = \min[157\text{KN}; 310\text{KN}] \quad \rightarrow \underline{V_{R,d} = 157\text{KN}}$$

$n_D = 2$  - zwei Schrauben im Druckbereich

$$\underline{\underline{\text{NW: } V_{z,d} / (n_D \cdot V_{R,d}) = 90\text{KN} / (2 \cdot 157\text{KN}) = 0,29 \leq 1 \quad \rightarrow \text{NW erfüllt}}}$$

### Nachweis des Druckbereiches

$$A_k = t_g \cdot b = 0,95\text{cm} \cdot 18,0\text{cm} \quad \rightarrow \underline{A_k = 17,1\text{cm}^2}$$

$$\sigma_d = D_d / A_k = 152,2\text{KN} / 17,31\text{cm}^2 \quad \rightarrow \underline{\sigma_d = 8,8\text{KN/cm}^2}$$

$$\sigma_{R,d} = f_{y,k} / \gamma_m = 24\text{KN/cm}^2 / 1,1 \quad \rightarrow \underline{\sigma_{R,d} = 21,81\text{KN/cm}^2}$$

$$\underline{\underline{\text{NW: } \sigma_d / \sigma_{R,d} = 8,8\text{KN/cm}^2 / 21,81\text{KN/cm}^2 = 0,41 \leq 1 \quad \rightarrow \text{NW erfüllt}}}$$

### Nachweis der Schubspannung des Walzträgers

$$A_{\text{Gurt}} / A_{\text{Steg}} = (9,5\text{mm} \cdot 180,0\text{mm}) / (122,0\text{mm} \cdot 6,0\text{mm}) = 2,33 > 0,6$$

$$\tau_d = \frac{V_{z,d}}{A_{\text{Steg}}} = \frac{90\text{KN}}{(12,2\text{cm} \cdot 0,6\text{cm})} = 12,3\text{KN/cm}^2$$

$$\tau_{R,d} = \frac{f_{y,k}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_m} = \frac{24,0\text{KN}}{\text{cm}^2 \cdot \sqrt{3} \cdot 1,1} = 12,59\text{KN/cm}^2$$

$$\underline{\underline{\text{NW: } \tau_d / \tau_{R,d} = 12,3\text{KN/cm}^2 / 12,59\text{KN/cm}^2 = 0,98 \leq 1 \quad \rightarrow \text{NW erfüllt}}}$$

### Nachweis der Schweißnähte

Überprüfung der Nahtdicken und Nahtlängen:

$$\underline{\text{Flanschnähte: } 2 \leq a_F = 4 \leq 0,7 \cdot t_{\text{min}} = 0,7 \cdot 9,5 = 6,65} \quad [\text{mm}]$$

$$a_F = 4 \geq (t_{\text{max}})^{(1/2)} - 0,5 = (25)^{(1/2)} - 0,5 = 3,97 \quad [\text{mm}]$$

$$30 < l = 72; 180 \geq 6 \cdot a_F = 6 \cdot 4 = 24 \quad [\text{mm}]$$

$$\begin{aligned} \text{Stegnähte: } 2 \leq a_s = 3 \leq 0,7 \cdot t_{\min} = 0,7 \cdot 6,0 = 4,2 & \quad [\text{mm}] \\ a_s = 3 \geq (t_{\max})^{(1/2)} - 0,5 = (25)^{(1/2)} - 0,5 = 4,5 * & \quad [\text{mm}] \\ 30 < l = 122 \geq 6 \cdot a_s = 6 \cdot 3 = 18 & \quad [\text{mm}] \end{aligned}$$

Nachweis der Zuggurtnähte:

$\alpha_w = 0,95$  n. Tab.7 - Zug/Nahtgüte nicht nachgewiesen

$$(\Sigma a_F \cdot l) = 0,4\text{cm} \cdot (18\text{cm} + 2 \cdot 7,2\text{cm}) = 12,96\text{cm}^2 \quad ; (\Sigma a_F \cdot l) \dots \text{Flanschnahtfläche}$$

$$\sigma_{\perp} = Z_d / (\Sigma a \cdot l) = 152,2\text{KN} / 12,96\text{cm}^2 \quad \rightarrow \underline{\sigma_{\perp} = 11,75 \text{KN/cm}^2}$$

$$\sigma_{w,R,d} = \alpha_w \cdot f_{y,k} / \gamma_m = 0,95 \cdot 24 / 1,1 \quad \rightarrow \underline{\sigma_{w,R,d} = 20,72 \text{KN/cm}^2}$$

$$\underline{\underline{\text{NW: } \sigma_{\perp} / \sigma_{w,R,d} = 11,75\text{KN/cm}^2 / 20,72\text{KN/cm}^2 = 0,57 \leq 1 \quad \rightarrow \text{NW erfüllt}}}$$

Nachweis der Stegnähte:  $\alpha_w = 0,95$  n. Tab.7 - Schub/Nahtgüte nicht nachgewiesen

$$A_{w,\text{Steg}} = 0,3\text{cm} \cdot (2 \cdot 12,2\text{cm}) = 7,32\text{cm}^2 \quad ; A_{w,\text{Steg}} \dots \text{Stegnahtfläche}$$

$$\tau_{\parallel} = V_{z,d} / A_{w,\text{Steg}} = 90\text{KN} / 7,32\text{cm}^2 \quad \rightarrow \underline{\tau_{\parallel} = 12,3 \text{KN/cm}^2}$$

$$\sigma_{w,R,d} = \alpha_w \cdot f_{y,k} / \gamma_m = 0,95 \cdot 24 / 1,1 \quad \rightarrow \underline{\sigma_{w,R,d} = 20,72 \text{KN/cm}^2}$$

$$\underline{\underline{\text{NW: } \tau_{\parallel} / \sigma_{w,R,d} = 12,3 \text{KN/cm}^2 / 20,72 \text{KN/cm}^2 = 0,6 \leq 1 \quad \rightarrow \text{NW erfüllt}}}$$

Nachweis der StirnplattendickeNahrungsformel:

$$d_p = 1,5 \cdot d_{\text{Sch}} = 1,5 \cdot 20\text{mm} = 30\text{mm}; \text{ gew.: } d_p = 20\text{mm} ; \text{ für bündige Stirnplatten}$$

→ Exakter Nachweis muss geführt werden

Exakter Nachweis:

$$w = l = 90\text{mm} = 9\text{cm}$$

$$b_{\text{eff}} = d_L + 2 \cdot ((l - s) / 2) = 2,1\text{cm} + 2 \cdot ((9,0\text{cm} - 0,6\text{cm}) / 2) \quad \rightarrow \underline{b_{\text{eff}} = 10,5\text{cm}}$$

$$W = b_{\text{eff}} \cdot d_p^2 / 6 = 10,5\text{cm} \cdot 2,5^2\text{cm}^2 / 6 \quad \rightarrow \underline{W = 15,75\text{cm}^3}$$

für bündige Stirnplatten:  $F = Z_d = 152,2\text{KN}$

$$M = F \cdot l / 4 = 152,2\text{KN} \cdot 9\text{cm} / 4 \quad \rightarrow \underline{M = 342,5\text{KNcm}}$$

$$\sigma_d = M / W = 342,5\text{KNcm} / 15,75\text{cm}^3 \quad \rightarrow \underline{\sigma_d = 21,75 \text{KN/cm}^2}$$

$$\sigma_{R,d} = f_{y,k} / \gamma_m = 24\text{KN/cm}^2 / 1,1 \quad \rightarrow \underline{\sigma_{R,d} = 21,81 \text{KN/cm}^2}$$

$$\underline{\underline{\text{NW: } \sigma_d / \sigma_{R,d} = 21,75 \text{KN/cm}^2 / 21,81 \text{KN/cm}^2 = 0,997 \leq 1 \quad \rightarrow \text{NW erfüllt}}}$$

Nachweis der Verformung:

$$I_y = b_{\text{eff}} \cdot d_p^3 / 12 = 10,5 \text{cm} \cdot 2,5^3 \text{cm}^3 / 12 \quad \rightarrow \underline{I_y = 13,67 \text{cm}^4}$$

$$F = Z_k = 105,7 \text{KN}$$

$$v_{\text{orh}} f = F \cdot l^3 / (48 EI_y) = 105,7 \text{KN} \cdot 9^3 \text{cm}^3 / (48 \cdot 21000 \text{KN/cm}^2 \cdot 13,67 \text{cm}^4)$$

$$\rightarrow \underline{v_{\text{orh}} f = 0,0056 \text{cm}}$$

$$l / 500 = 9 \text{cm} / 500$$

$$\rightarrow \underline{l / 500 = 0,018 \text{cm}}$$

$$\underline{\underline{\text{NW: } v_{\text{orh}} f = 0,0056 \text{cm} \leq l / 500 = 0,018 \text{cm} \quad \rightarrow \text{NW erfüllt}}}$$

### 3.1.3 Verfahren nach Oberegge - Typ 3 - Überstehende Stirnplatte

#### Ausgangssituation

Träger: HEA 180 S235 n. DIN 1025 - 3 (03.94)

Stirnplatte: Bl. 16x180x195 S235 US-geprüft

Schrauben: M20x65 10.9 n. DIN EN 14 399 - 4; - 8

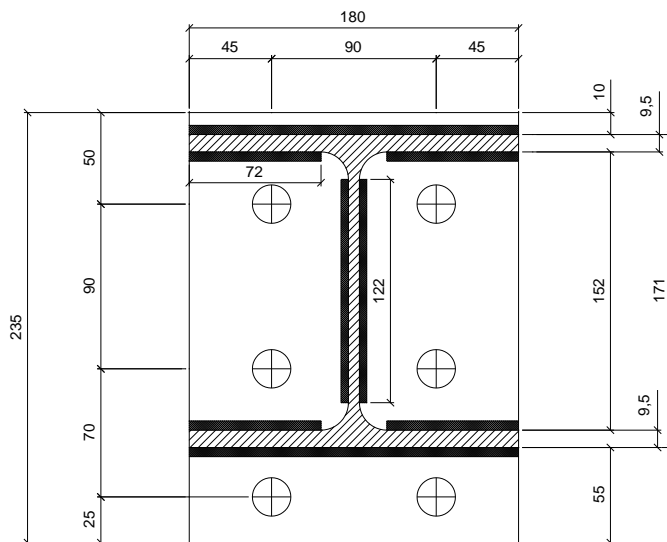
Gewinde außerhalb der Scherfuge, einschnittige Verbindung  
gebohrte Löcher

Schweißnähte: Flanschnähte  $a_{Fl} = 5 \text{ mm}$

Stegnähte  $a_s = 4 \text{ mm}$

Nahtgüte nicht nachgewiesen

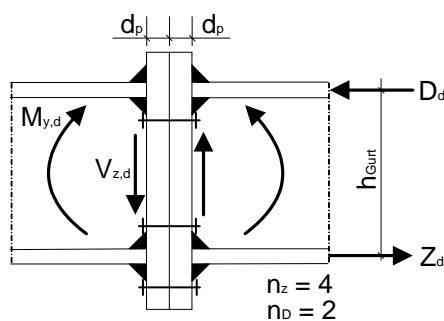
#### Abmaße:



Stegdicke  $t_s = 6 \text{ mm}$

Abb. 44 Abmaße des Stützenstoßquerschnittes - überstehende Stirnplatte

#### Schnittgrößen:



$$M_{y,d} = 48,0 \text{ KNm}$$

$$M_{y,k} = 36,0 \text{ KNm}$$

$$V_{z,d} = 90,0 \text{ KN}$$

Abb. 45 Seitenansicht des Trägerstoßes mit Schnittgrößen

**Vorwerte und Grenzschnittgrößen****Vorwerte:**Scheibendurchmesser  $D = 37\text{mm} = 3,7\text{cm}$  (siehe Tab.8) $e_1 = 25\text{mm} = 2,5\text{cm}$  $a_1 = 55\text{mm} - 25\text{mm} = 30\text{mm} = 3,0\text{cm}$  $c_1 = a_1 - a_{FI} \cdot \sqrt{2} / 3 - (D + d_p) / 4 = 3,0 - 0,5 \cdot \sqrt{2} / 3 - (3,7 + 1,6) / 4 = 1,44\text{cm} > 0$ **Grenzschnittgrößen:** $M_{I,pl,d} = 1,1 \cdot \sigma_{R,d} \cdot b_p \cdot d_p^2 / 4 = 1,1 \cdot 24\text{KN/cm}^2 / 1,1 \cdot 18\text{cm} \cdot 1,6^2\text{cm}^2 / 4 \rightarrow M_{I,pl,d} = 276\text{KNcm}$ 

$$M_{II,pl,d} = 1,1 \cdot \sigma_{R,d} \cdot (b_p - n \cdot d_l) \cdot d_p^2 / 4$$

$$= 1,1 \cdot 24\text{KN/cm}^2 / 1,1 \cdot (18\text{cm} - 2 \cdot 2,1\text{cm}) \cdot 1,6^2\text{cm}^2 / 4 \rightarrow M_{II,pl,d} = 211\text{KNcm}$$
 $V_{pl,d} = b_p \cdot d_p \cdot \sigma_{R,d} / \sqrt{3} = 18\text{cm} \cdot 1,6\text{cm} \cdot 24\text{KN/cm}^2 / (1,1 \cdot \sqrt{3}) \rightarrow V_{pl,d} = 362\text{KN}$  $N_{R,d} \dots$  (siehe Tab.9)  $\rightarrow N_{R,d} = 178\text{KN}$ **Versagenszustand a**

$$Z_t^a = \frac{2}{(e_1 + c_1)} \cdot (n \cdot N_{R,d} \cdot e_1 + M_{I,pl,d}) = \frac{2}{(2,5\text{cm} + 1,44\text{cm})} \cdot (2 \cdot 178\text{KN} \cdot 2,5\text{cm} + 276\text{KNcm})$$

$$Z_t^a = 591\text{KN}$$

$$(n \cdot N_{R,d} - Z_t^a / 2) e_1 \leq M_{II,pl,d}$$

$$(n \cdot N_{R,d} - Z_t^a / 2) e_1 = (2 \cdot 178\text{KN} - 591\text{KN} / 2) \cdot 2,5\text{cm} = 151\text{KNcm}$$

$$151\text{KNcm} \leq M_{II,pl,d} = 211\text{KNcm}$$

 $\rightarrow$  NW erfüllt**Versagenszustand b**

$$Z_t^b = 2 \cdot (M_{I,pl,d} + M_{II,pl,d}) / c_1 = 2 \cdot (276\text{KNcm} + 211\text{KNcm}) / 1,44\text{cm}$$

$$Z_t^b = 676\text{KN}$$

$$Z_t^b = 676\text{KN} > 2 \cdot (n \cdot N_{R,d} - M_{II,pl,d} / e_1) = 2 \cdot (2 \cdot 178\text{KN} - 211\text{KNcm} / 2,5\text{cm}) = 543\text{KN}$$

 $\rightarrow$  NW nicht erfüllt

**Versagenszustand c**

$$Z_t^c = 2 \cdot n \cdot N_{R,d} = 2 \cdot 2 \cdot 178 \text{KN}$$

$$Z_t^c = 712 \text{KN}$$

$$M_{I,pl,d} + M_{II,pl,d} = 276 \text{KNcm} + 211 \text{KNcm} = 487 \text{KNcm}$$

$$M_{I,pl,d} + M_{II,pl,d} \geq Z_t^c \cdot c_1 / 2 = 712 \text{KN} \cdot 1,44 \text{cm} / 2 = 1476 \text{KNcm}$$

$$487 \text{KNcm} < 1476 \text{KNcm}$$

→ NW nicht erfüllt

**Anschlußmoment im Grenzzustand der Tragfähigkeit**

$$Z_t = Z_{t,\min} = 591 \text{KN} \text{ (Versagenszustand a ist maßgebend)}$$

$$M_{y,el,R,d} = W_y \cdot \sigma_{R,d} = 294 \text{cm}^3 \cdot 24 \text{KN}/(\text{cm}^2 \cdot 1,1) = 6414 \text{KNcm} = 64,14 \text{KNm}$$

$$M_{y,A,R,d} = 591 \text{KN} \cdot (171 \text{mm} - 9,5 \text{mm}) = 95446 \text{KNmm} = 95,4 \text{KNm}$$

$$\text{NW: } M_{y,A,R,d} = 95,4 \text{KNm} > M_{y,el,R,d} = 64,14 \text{KNm}$$

maßgebend wird das elastische Grenzmoment  $M_{y,el,R,d}$ 

→ NW nicht erfüllt

$$\text{NW: } M_{y,d} = 48 \text{KNm} < M_{y,el,R,d} = 64,14 \text{KNm}$$

→ NW erfüllt

$$Z_t = 64,14 \text{KNm} / ((171 \text{mm} - 9,5 \text{mm}) / 1000) = 397 \text{KN}$$

**Schubtragfähigkeit der Stirnplatte**

$$\text{NW: } Z_t = 591 \text{KN}; 676 \text{KN}; 712 \text{KN}; 397 \text{KN} \leq 2 \cdot 362 \text{KN} = 724 \text{KN}$$

→ NW erfüllt

**Anschlußmoment im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit** $F_v = 160 \text{KN}$  siehe Tab.10 $n' = 4$  bei 2 vertikalen Schraubenreihen

$$\text{NW: } M_{y,k} = 39 \text{KNm} \leq M_{y,A,k} = (h - t_{FI}) \cdot n' \cdot 0,8 \cdot F_v = (18 \text{cm} - 0,95 \text{cm}) \cdot 4 \cdot 0,8 \cdot 160 \text{KN} = 87,2 \text{KNm}$$

→ NW erfüllt

**Weitere zu erbringende Nachweise****Überprüfung der Rand- u. Lochabstände:** Krafrichtung ist  $V_{z,d}$ ;  $d_L = 21 \text{mm}$ ;  $t = d_p = 16 \text{mm}$ 

$$e_1: 1,2 \cdot d_L = 1,2 \cdot 21 \approx 25,0 \leq e_1 = 25(50) < 3 \cdot d_L = 3 \cdot 21 = 63 ; 6 \cdot t = 6 \cdot 16 = 96 \quad [\text{mm}]$$

$$e_2: 1,2 \cdot d_L = 1,2 \cdot 21 = 25,2 < e_2 = 45 < 3 \cdot d_L = 3 \cdot 21 = 63 ; 6 \cdot t = 6 \cdot 16 = 96 \quad [\text{mm}]$$

$$e_3: 2,4 \cdot d_L = 2,4 \cdot 21 = 50,4 < e_3 = 90 < 6 \cdot d_L = 6 \cdot 21 = 126 ; 12 \cdot t = 12 \cdot 16 = 192 \quad [\text{mm}]$$

$$e: 2,2 \cdot d_L = 2,2 \cdot 21 = 46,2 < e = 70(90) < 6 \cdot d_L = 6 \cdot 21 = 126 ; 12 \cdot t = 12 \cdot 16 = 192 [\text{mm}]$$

Anmerkung:  $6 \cdot d_L$  und  $12 \cdot t$  wurden gewählt, da lokales Beulen nicht ausgeschlossen werden kann.

**Schraubennachweis auf Zug**

$$N_{R,d,1} = A_{Sch} \cdot f_{y,b,k} / (1,1 \cdot \gamma_m) = 3,14 \text{ cm}^2 \cdot 90 \text{ KN/cm}^2 / (1,1 \cdot 1,1) = 233 \text{ KN}$$

$$N_{R,d,2} = A_{Sp} \cdot f_{u,b,k} / (1,25 \cdot \gamma_m) = 2,45 \text{ cm}^2 \cdot 100 \text{ KN/cm}^2 / (1,25 \cdot 1,1) = 178 \text{ KN}$$

$$N_{R,d} = \min[N_{R,d,1}; N_{R,d,2}] = 178 \text{ KN} ; n_z = 4 - \text{vier Schrauben im Zugbereich}$$

$$\underline{\underline{NW: Z_t / (n_z \cdot N_{R,d}) = 397 \text{ KN} / (4 \cdot 178 \text{ KN}) = 0,56 \leq 1 \quad \rightarrow \text{NW erf\u00fcllt}}}$$

**Schraubennachweis auf Schub**

Grenzabscherkraft einer Schraube:

$$V_{a,R,d} = A_{Sch} \cdot \tau_{a,R,d} = A_{Sch} \cdot \alpha_a \cdot m \cdot f_{u,b,k} / \gamma_m$$

$$V_{a,R,d} = 3,14 \text{ cm}^2 \cdot 0,55 \cdot 1 \cdot 100 \text{ KN/cm}^2 / 1,1 \quad \rightarrow \underline{V_{a,R,d} = 157 \text{ KN}}$$

Grenzlochleibung einer Schraube an einer Lochwandung:

Lochleibungsbeiwert  $\alpha_l$ :

$$1,2 d_L = 1,2 \cdot 21 \approx 25 \leq e_1 = 25(50) \leq 3,0 d_L = 3,0 \cdot 21 = 63 \quad [\text{mm}]$$

$$e_2 = 45 \geq 1,5 d_L = 1,5 \cdot 21 = 31,5 \text{ und } e_3 = 90 \geq 3,0 d_L = 3,0 \cdot 21 = 63 \quad [\text{mm}]$$

$$\rightarrow \alpha_l = 1,1 \cdot e_1 / d_L - 0,3 = 1,1 \cdot 25 / 21 - 0,3 \quad [\text{mm}]$$

$$\rightarrow \underline{\alpha_l = 1,01}$$

$$2,2 d_L = 2,2 \cdot 21 = 46,2 \leq e = 70(90) \leq 3,5 d_L = 3,5 \cdot 21 = 73,5 \quad [\text{mm}]$$

$$e_2 = 45 \geq 1,5 d_L = 1,5 \cdot 21 = 31,5 \text{ und } e_3 = 90 \geq 3,0 d_L = 3,0 \cdot 21 = 63 \quad [\text{mm}]$$

$$\rightarrow \alpha_l = 1,08 \cdot e / d_L - 0,77 = 1,08 \cdot 70 / 21 - 0,77 \quad [\text{mm}]$$

$$\rightarrow \underline{\alpha_l = 2,83}$$

maßgebend wird  $\alpha_l = 1,01$  - Versagen der Lochwandung am Rand ( $e_2$ )

$$V_{l,R,d} = A \cdot \sigma_{l,R,d} = t \cdot d_{Sch} \cdot \alpha_l \cdot f_{y,k} / \gamma_m$$

$$V_{l,R,d} = 1,6 \text{ cm} \cdot 2,0 \text{ cm} \cdot 1,01 \cdot 24 \text{ KN/cm}^2 / 1,1 \quad \rightarrow \underline{V_{l,R,d} = 70,5 \text{ KN}}$$

$$V_{R,d} = \min[V_{a,R,d}; V_{l,R,d}] = \min[157 \text{ KN}; 70,5 \text{ KN}] \quad \rightarrow \underline{V_{R,d} = 70,5 \text{ KN}}$$

$n_D = 2$  - zwei Schrauben im Druckbereich

$$\underline{\underline{NW: V_{z,d} / (n_D \cdot V_{R,d}) = 90 \text{ KN} / (2 \cdot 70,5 \text{ KN}) = 0,64 \leq 1 \quad \rightarrow \text{NW erf\u00fcllt}}}$$

**Nachweis des Druckbereiches**

$$A_K = t_g \cdot b = 0,95\text{cm} \cdot 18,0\text{cm} \quad \rightarrow \underline{A_K = 17,1\text{cm}^2}$$

$$\sigma_d = Z_t / A_K = 397\text{KN} / 17,31\text{cm}^2 \quad \rightarrow \underline{\sigma_d = 22,93 \text{ KN/cm}^2}$$

$$\sigma_{R,d} = f_{y,k} / \gamma_m = 24\text{KN/cm}^2 / 1,1 \quad \rightarrow \underline{\sigma_{R,d} = 21,81 \text{ KN/cm}^2}$$

$$\underline{\text{NW: } \sigma_d / \sigma_{R,d} = 22,93\text{KN/cm}^2 / 21,81\text{KN/cm}^2 = 1,05 > 1 \rightarrow \text{NW nicht erfüllt}}$$

Die errechnete Zugkraft  $Z_t$  kann von den Flanschen nicht aufgenommen werden, somit wird  $Z_t$  weiter reduziert!

$$\boxed{Z_t = \sigma_d \cdot A_K = 21,8\text{KN/cm}^2 \cdot 17,31\text{cm}^2 = 377\text{KN}}$$

Durch die Reduzierung wird ebenfalls das aufnehmbare Anschlußmoment kleiner.

$$M_{y,A,R,d} = 377\text{KN} \cdot (171\text{mm} - 9,5\text{mm}) = 60885\text{KNmm} = 60,8\text{KNm}$$

$$\boxed{\text{NW: } M_{y,d} = 48\text{KNm} < M_{y,A,R,d} = 60,8\text{KNm}} \quad \rightarrow \text{NW erfüllt}$$

$$Z_d = D_d = M_{y,d} \cdot 1000 / (171\text{mm} - 9,5\text{mm}) = 297,3\text{KN}$$

**Nachweis der Schubspannung des Walzträgers**

$$A_{\text{Gurt}} / A_{\text{Steg}} = (9,5\text{mm} \cdot 180,0\text{mm}) / (122,0\text{mm} \cdot 6,0\text{mm}) = 2,33 > 0,6$$

$$\tau_d = \frac{V_{z,d}}{A_{\text{Steg}}} = \frac{90\text{KN}}{(12,2\text{cm} \cdot 0,6\text{cm})} = 12,3\text{KN/cm}^2$$

$$\tau_{R,d} = \frac{f_{y,k}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_m} = \frac{24,0\text{KN}}{\text{cm}^2 \cdot \sqrt{3} \cdot 1,1} = 12,59\text{KN/cm}^2$$

$$\underline{\text{NW: } \tau_d / \tau_{R,d} = 12,3\text{KN/cm}^2 / 12,59\text{KN/cm}^2 = 0,98 \leq 1 \rightarrow \text{NW erfüllt}}$$

**Nachweis der Schweißnähte**

Überprüfung der Nahtdicken und Nahtlängen:

$$\underline{\text{Flanschnähte: } 2 \leq a_{\text{Fl}} = 5 \leq 0,7 \cdot t_{\text{min}} = 0,7 \cdot 9,5 = 6,65} \quad [\text{mm}]$$

$$a_{\text{Fl}} = 5 \geq (t_{\text{max}})^{(1/2)} - 0,5 = (16)^{(1/2)} - 0,5 = 3,5 \quad [\text{mm}]$$

$$30 < l = 72 ; 180 \geq 6 \cdot a_{\text{F}} = 6 \cdot 4 = 24 \quad [\text{mm}]$$



Stegnähte:  $2 \leq a_s = 4 \leq 0,7 \cdot t_{\min} = 0,7 \cdot 6,0 = 4,2$  [mm]

$$a_s = 4 \geq (t_{\max})^{(1/2)} - 0,5 = (20)^{(1/2)} - 0,5 = 3,97$$
 [mm]

$$30 < l = 122 \geq 6 \cdot a_s = 6 \cdot 3 = 18$$
 [mm]

Nachweis der Zuggurtnähte:

$\alpha_w = 0,95$  n. Tab.7 - Schub/Nahtgüte nicht nachgewiesen

$$(\sum a_{Fl} \cdot l) = 0,5\text{cm} \cdot (18\text{cm} + 2 \cdot 7,2\text{cm}) = 16,2\text{cm}^2 ; (\sum a_{Fl} \cdot l) \dots \text{Flanschnahtfläche}$$

$$\sigma_{\perp} = Z_d / (\sum a \cdot l) = 297,3\text{KN} / 16,2\text{cm}^2 \quad \rightarrow \underline{\sigma_{\perp} = 18,36 \text{KN/cm}^2}$$

$$\sigma_{w,R,d} = \alpha_w \cdot f_{y,k} / \gamma_m = 0,95 \cdot 24 / 1,1 \quad \rightarrow \underline{\sigma_{w,R,d} = 20,72 \text{KN/cm}^2}$$

**NW:  $\sigma_{\perp} / \sigma_{w,R,d} = 18,36\text{KN/cm}^2 / 20,72\text{KN/cm}^2 = 0,89 \leq 1$   $\rightarrow$  NW erfüllt**

Nachweis der Stegnähte:

$\alpha_w = 0,95$  n. Tab.7 - Schub/Nahtgüte nicht nachgewiesen

$$A_{w,\text{Steg}} = 0,4\text{cm} \cdot (2 \cdot 12,2\text{cm}) = 9,76\text{cm}^2 \quad ; A_{w,\text{Steg}} \dots \text{Stegnahtfläche}$$

$$\tau_{\parallel} = V_{z,d} / A_{w,\text{Steg}} = 90\text{KN} / 9,76\text{cm}^2 \quad \rightarrow \underline{\tau_{\parallel} = 9,23 \text{KN/cm}^2}$$

$$\sigma_{w,R,d} = \alpha_w \cdot f_{y,k} / \gamma_m = 0,95 \cdot 24 / 1,1 \quad \rightarrow \underline{\sigma_{w,R,d} = 20,72 \text{KN/cm}^2}$$

**NW:  $\tau_{\parallel} / \sigma_{w,R,d} = 9,23 \text{KN/cm}^2 / 20,72 \text{KN/cm}^2 = 0,45 \leq 1$   $\rightarrow$  NW erfüllt**

**3.1.4 Verfahren nach Oberegge - Typ 1 - Bündige Stirnplatte**

**Ausgangssituation**

Träger: HEA 180 S235 n. DIN 1025 - 3 (03.94)

Stirnplatte: Bl. 16x180x195 S235 US-geprüft

Schrauben: M16x80 10.9 n. DIN EN 14 399 - 4; - 8

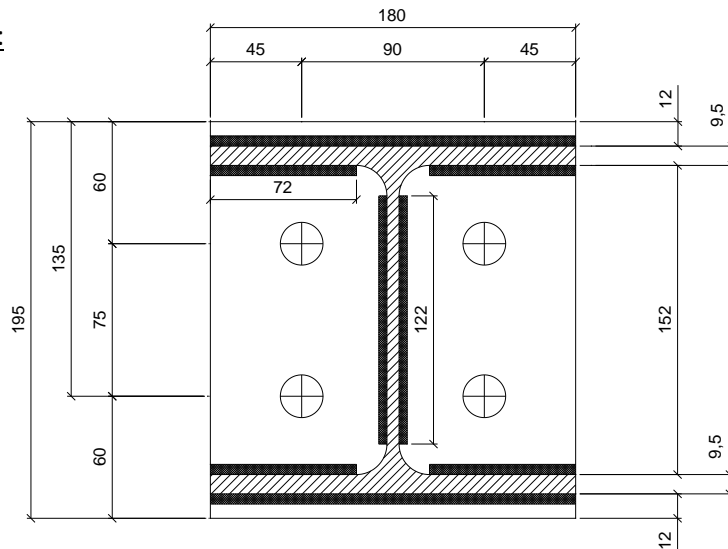
Gewinde außerhalb der Scherfuge, einschnittige Verbindung  
gebohrte Löcher

Schweißnähte: Flanschnähte  $a_{Fl} = 4 \text{ mm}$

Stegnähte  $a_s = 3 \text{ mm}$

Nahtgüte nicht nachgewiesen

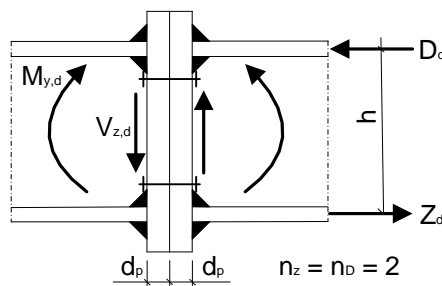
**Abmaße:**



Stegdicke  $t_s = 6 \text{ mm}$

Abb. 46 Abmaße des Stützenstoßquerschnittes - Bündige Stirnplatte

**Schnittgrößen:**



$M_{y,d} = 14 \text{ KNm}$

$M_{y,k} = 9 \text{ KNm}$

$V_{z,d} = 90,0 \text{ KN}$

Abb. 47 Seitenansicht des Trägerstoßes mit Schnittgrößen

**Nachweis der Stirnplattendicke**

Vorwerte:

Scheibendurchmesser  $D = 30\text{mm} = 3\text{cm}$  (siehe Tab.2)

$e_4 = 60\text{mm} = 6,0\text{cm}$      $\ddot{u} = 12\text{mm} = 1,2\text{cm}$      $t_{Fl} = 9,5\text{mm} = 0,95\text{cm}$

$$c_1 = e_4 - \ddot{u} - t_{Fl} - (D/2 + d_p) / 2 = 6\text{cm} - 1,2\text{cm} - 0,95\text{cm} - (3\text{cm}/2 + 1,6\text{cm})/2 \quad \rightarrow c_1 = 2,3\text{cm}$$

$$c_3 = D/2 + d_p = 3\text{cm}/2 + 1,6\text{cm} \quad \rightarrow c_3 = 3,1\text{cm}$$

Grenzschnittgrößen:

$$M_{II,pl,d} = 1,1 \cdot \sigma_{R,d} \cdot (b_p - n \cdot d_l) \cdot d_p^2 / 4$$

$$= 1,1 \cdot 24\text{KN/cm}^2 / 1,1 \cdot (18\text{cm} - 2 \cdot 1,7\text{cm}) \cdot 1,6^2\text{cm}^2 / 4 \quad \rightarrow M_{II,pl,d} = 224\text{KNcm}$$

$$M_{III,pl,d} = 1,1 \cdot \sigma_{R,d} \cdot b_{Fl} \cdot t_{Fl}^2 / 4 = 1,1 \cdot 24\text{KN/cm}^2 / 1,1 \cdot 18\text{cm} \cdot 0,95^2\text{cm}^2 / 4 \quad \rightarrow M_{III,pl,d} = 97\text{KNcm}$$

$$Z_{pl,Fl,d} = b_{Fl} \cdot t_{Fl} \cdot \sigma_{R,d} = 18\text{cm} \cdot 0,95\text{cm} \cdot 24\text{KN/cm}^2 / 1,1 \quad \rightarrow Z_{pl,Fl,d} = 373\text{KN}$$

$$V_{pl,d} = b_p \cdot d_p \cdot \sigma_{R,d} / \sqrt{3} = 18\text{cm} \cdot 1,6\text{cm} \cdot 24\text{KN/cm}^2 / (1,1\sqrt{3}) \quad \rightarrow V_{pl,d} = 362\text{KN}$$

$$N_{R,d} \dots \text{(siehe Tab.3)} \quad \rightarrow N_{R,d} = 114\text{KN}$$

**Versagenszustand a**

$$Z_t^a = \frac{Z_{pl,Fl,d}^2}{2 \cdot M_{III,pl,d}} \cdot \left[ -(c_1 + c_3) + \sqrt{(c_1 + c_3)^2 + \frac{4 \cdot M_{III,pl,d}}{Z_{pl,Fl,d}^2} \cdot (M_{II,pl,d} + n \cdot N_{R,d} \cdot c_3)} \right]$$

$$Z_t^a = \frac{373^2\text{KN}^2}{2 \cdot 97\text{KNcm}} \cdot \left[ -(2,3\text{cm} + 3,1\text{cm}) + \sqrt{(2,3\text{cm} + 3,1\text{cm})^2 + \frac{4 \cdot 97\text{KNcm}}{373^2\text{KN}^2} \cdot (97\text{KNcm} + 2 \cdot 114\text{KN} \cdot 3,1\text{cm})} \right]$$

$$Z_t^a = 146\text{KN}$$

$$Z_t^a \geq n \cdot N_{R,d} - M_{II,pl,d} / c_3 = 2 \cdot 114\text{KN} - 224\text{KNcm} / 3,1\text{cm} = 155\text{KN}$$

$$Z_t^a = 146\text{KN} \geq n \cdot N_{R,d} - M_{II,pl,d} / c_3 = 155\text{KN}$$

→NW erfüllt

**Versagenszustand b**

$$Z_t^b = \frac{Z_{pl,Fl,d}^2}{2 \cdot M_{III,pl,d}} \cdot \left[ \sqrt{c_1^2 + \frac{4 \cdot M_{III,pl,d}}{Z_{pl,Fl,d}^2} \cdot (M_{II,pl,d} + M_{III,pl,d})} - c_1 \right]$$

$$Z_t^b = \frac{373^2\text{KN}^2}{2 \cdot 97\text{KNcm}} \cdot \left[ \sqrt{2,3^2\text{cm}^2 + \frac{4 \cdot 97\text{KNcm} \cdot (224\text{KNcm} + 97\text{KNcm})}{373^2\text{KN}^2}} - 2,3\text{cm} \right]$$

$$Z_t^b = 134\text{KN}$$

$$Z_t^b \leq n \cdot N_{R,d} - M_{II,pl,d} / c_3 = 2 \cdot 114\text{KN} - 224\text{KNcm} / 3,1\text{cm} = 155\text{KN}$$

$$Z_t^b = 134\text{KN} < n \cdot N_{R,d} - M_{II,pl,d} / c_3 = 155\text{KN}$$

→NW erfüllt

**Versagenszustand c**

$$Z_t^c = \frac{c_3}{(c_1 + c_3)} \cdot n \cdot N_{R,d} = \frac{3,1\text{cm}}{(2,3\text{cm} + 3,1\text{cm})} \cdot 2 \cdot 114\text{KN} \leq Z_{pl,FI,d}$$

$$\underline{Z_t^c = 130\text{KN}} \leq Z_{pl,FI,d} = 373\text{KN}$$

$$Z_t^c = 130\text{KN} > M_{II,pl,d}/c_1 = 224\text{KNcm}/2,3\text{cm} = 97\text{KN}$$

→ NW nicht erfüllt

**Versagenszustand d**

$$Z_t^d = \frac{M_{II,pl,d}}{c_1} = \frac{M_{II,pl,d}}{c_1} = \frac{224\text{KNcm}}{2,3\text{cm}} \leq Z_{pl,FI,d}$$

$$\underline{Z_t^d = 97\text{KN}} \leq Z_{pl,FI,d} = 373\text{KN}$$

$$Z_t^d = 97\text{KN} \leq n \cdot N_{R,d} - M_{II,pl,d}/c_3 = 2 \cdot 114\text{KN} - 224\text{KNcm}/3,1\text{cm} = 155\text{KN} \rightarrow \text{NW erfüllt}$$

**Anschlußmoment im Grenzzustand der Tragfähigkeit**

$$Z_t = Z_{t,\min} = 97\text{KN} \text{ (Versagenszustand d ist maßgebend)}$$

$$M_{y,el,R,d} = W_y \cdot \sigma_{R,d} = 294\text{cm}^3 \cdot 24\text{KN}/(\text{cm}^2 \cdot 1,1) = 6414\text{KNcm} = 64,14\text{KNm}$$

$$M_{y,A,R,d} = 97\text{KN} \cdot (171\text{mm} - 9,5\text{mm}) = 15665\text{KNmm} = 15,6\text{KNm}$$

$$\text{NW: } M_{y,A,R,d} = 15,6\text{KNm} < M_{y,el,R,d} = 64,14\text{KNm}$$

→ NW erfüllt

maßgebend wird das mögliche Grenzmoment  $M_{y,A,R,d}$ .

$$\text{NW: } M_{y,d} = 14\text{KNm} < M_{y,A,R,d} = 15,6\text{KNm}$$

→ NW erfüllt

**Schubtragfähigkeit der Stirnplatte**

$$\text{NW: } Z_t = 146\text{KN}; 134\text{KN}; 130\text{KN}; 97\text{KN} < V_{pl,d} = 362\text{KN}$$

→ NW erfüllt

**Anschlußmoment im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit**

$$F_v = 100\text{KN} \quad n. \text{ Tab.4}$$

$$n' = 2 \quad \text{bei 2 vertikalen Schraubenreihen}$$

$$\text{NW: } M_{y,k} = 9\text{KNm} \leq M_{y,A,k} = (h - t_{FI}) \cdot n' \cdot 0,8 \cdot F_v = (18\text{cm} - 0,95\text{cm}) \cdot 2 \cdot 0,8 \cdot 100\text{KN} = 27,2\text{KNm}$$

→ NW erfüllt

**Weitere zu erbringende Nachweise****Überprüfung der Rand- u. Lochabstände:** Kraftrichtung ist  $V_{z,d}$ ;  $d_L = 21 \text{ mm}$ ;  $t = d_p$ 

$$e_1: 1,2 \cdot d_L = 1,2 \cdot 21 = 25,2 < e_1 = 60 < 3 \cdot d_L = 3 \cdot 21 = 63 ; 6 \cdot t = 6 \cdot 25 = 150 \quad [\text{mm}]$$

$$e_2: 1,2 \cdot d_L = 1,2 \cdot 21 = 25,2 < e_2 = 45 < 3 \cdot d_L = 3 \cdot 21 = 63 ; 6 \cdot t = 6 \cdot 25 = 150 \quad [\text{mm}]$$

$$e_3: 2,4 \cdot d_L = 2,4 \cdot 21 = 50,4 < e_3 = 90 < 10 \cdot d_L = 10 \cdot 21 = 210 ; 20 \cdot t = 20 \cdot 25 = 500 \quad [\text{mm}]$$

$$e: 2,2 \cdot d_L = 2,2 \cdot 21 = 46,2 < e = 75 < 10 \cdot d_L = 10 \cdot 21 = 210 ; 20 \cdot t = 20 \cdot 25 = 500 \quad [\text{mm}]$$

**Schraubennachweis auf Zug**

$$N_{R,d,1} = A_{Sch} \cdot f_{y,b,k} / (1,1 \cdot \gamma_m) = 2,01 \text{cm}^2 \cdot 90 \text{KN/cm}^2 / (1,1 \cdot 1,1) = 149 \text{ KN}$$

$$N_{R,d,2} = A_{Sp} \cdot f_{u,b,k} / (1,25 \cdot \gamma_m) = 1,57 \text{cm}^2 \cdot 100 \text{KN/cm}^2 / (1,25 \cdot 1,1) = 114 \text{ KN}$$

$$N_{R,d} = \min[N_{R,d,1}; N_{R,d,2}] = 114 \text{ KN} ; n = 2 - \text{zwei Schrauben im Zugbereich}$$

$$\underline{\underline{NW: Z_r / (n \cdot N_{R,d}) = 97 \text{KN} / (2 \cdot 114 \text{KN}) = 0,42 \leq 1 \quad \rightarrow \text{NW erfüllt}}}$$

**Schraubennachweis auf Schub**Grenzabscherkraft einer Schraube:

$$V_{a,R,d} = A_{Sch} \cdot \tau_{a,R,d} = A_{Sch} \cdot \alpha_a \cdot m \cdot f_{u,b,k} / \gamma_m$$

$$V_{a,R,d} = 3,14 \text{cm}^2 \cdot 0,55 \cdot 1 \cdot 100 \text{KN/cm}^2 / 1,1 \quad \rightarrow \underline{V_{a,R,d} = 157 \text{ KN}}$$

Grenzlochleibung einer Schraube an einer Lochwandung:Lochleibungsbeiwert  $\alpha_l$ :

$$1,2 d_L = 1,2 \cdot 21 = 25,2 \leq e_1 = 60 \leq 3,0 d_L = 3,0 \cdot 21 = 63 \quad [\text{mm}]$$

$$e_2 = 45 \geq 1,5 d_L = 1,5 \cdot 21 = 31,5 \text{ und } e_3 = 90 \geq 3,0 d_L = 3,0 \cdot 21 = 63 \quad [\text{mm}]$$

$$\rightarrow \alpha_l = 1,1 \cdot e_1 / d_L - 0,3 = 1,1 \cdot 60 / 21 - 0,3 \quad [\text{mm}]$$

$$\rightarrow \underline{\alpha_l = 2,843}$$

$$2,2 d_L = 2,2 \cdot 21 = 46,2 \leq e = 75 \leq 3,5 d_L = 3,5 \cdot 21 = 73,5 \quad [\text{mm}]$$

$\rightarrow$  e darf höchstens mit  $3,5 d_L$  in Rechnung gestellt werden.  $e = 73,5$  für  $\alpha_l$

$$e_2 = 45 \geq 1,5 d_L = 1,5 \cdot 21 = 31,5 \text{ und } e_3 = 90 \geq 3,0 d_L = 3,0 \cdot 21 = 63 \quad [\text{mm}]$$

$$\rightarrow \alpha_l = 1,08 \cdot e / d_L - 0,77 = 1,08 \cdot 73,5 / 21 - 0,77 \quad [\text{mm}]$$

$$\rightarrow \underline{\alpha_l = 3,01}$$

maßgebend wird  $\alpha_l = 2,843$  - Versagen der Lochwandung am Rand

$$V_{l,R,d} = A \cdot \sigma_{l,R,d} = t \cdot d_{Sch} \cdot \alpha_l \cdot f_{y,k} / \gamma_m$$

$$V_{l,R,d} = 2,5\text{cm} \cdot 2,0\text{cm} \cdot 2,843 \cdot 24\text{KN/cm}^2 / 1,1 \quad \rightarrow \underline{V_{l,R,d} = 310\text{KN}}$$

$$V_{R,d} = \min[V_{a,R,d}; V_{l,R,d}] = \min[157\text{KN}; 310\text{KN}] \quad \rightarrow \underline{V_{R,d} = 157\text{KN}}$$

$n = 2$  - zwei Schrauben im Druckbereich

$$\underline{\underline{NW: \quad V_{z,d} / (n \cdot V_{R,d}) = 90\text{KN} / (2 \cdot 157\text{KN}) = 0,29 \leq 1 \quad \rightarrow \text{NW erfüllt}}}$$

### Nachweis des Druckbereiches

$$A_K = t_{Fl} \cdot b = 0,95\text{cm} \cdot 18,0\text{cm} \quad \rightarrow \underline{A_K = 17,1\text{cm}^2}$$

$$\sigma_d = Z_t / A_K = 97\text{KN} / 17,31\text{cm}^2 \quad \rightarrow \underline{\sigma_d = 5,6\text{KN/cm}^2}$$

$$\sigma_{R,d} = f_{y,k} / \gamma_m = 24\text{KN/cm}^2 / 1,1 \quad \rightarrow \underline{\sigma_{R,d} = 21,81\text{KN/cm}^2}$$

$$\underline{\underline{NW: \quad \sigma_d / \sigma_{R,d} = 5,6\text{KN/cm}^2 / 21,81\text{KN/cm}^2 = 0,26 \leq 1 \quad \rightarrow \text{NW erfüllt}}}$$

### Nachweis der Schubspannung des Walzträgers

$$A_{Gurt} / A_{Steg} = (9,5\text{mm} \cdot 180,0\text{mm}) / (122,0\text{mm} \cdot 6,0\text{mm}) = 2,33 > 0,6$$

$$\tau_d = \frac{V_{z,d}}{A_{Steg}} = \frac{90\text{KN}}{(12,2\text{cm} \cdot 0,6\text{cm})} = 12,3\text{KN/cm}^2$$

$$\tau_{R,d} = \frac{f_{y,k}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_m} = \frac{24,0\text{KN}}{\text{cm}^2 \cdot \sqrt{3} \cdot 1,1} = 12,59\text{KN/cm}^2$$

$$\underline{\underline{NW: \quad \tau_d / \tau_{R,d} = 12,3\text{KN/cm}^2 / 12,59\text{KN/cm}^2 = 0,98 \leq 1 \quad \rightarrow \text{NW erfüllt}}}$$

### Nachweis der Schweißnähte

Überprüfung der Nahtdicken und Nahtlängen:

$$\underline{\text{Flanschnähte:}} \quad 2 \leq a_{Fl} = 4 \leq 0,7 \cdot t_{\min} = 0,7 \cdot 9,5 = 6,65 \quad [\text{mm}]$$

$$a_{Fl} = 4 \geq (t_{\max})^{(1/2)} - 0,5 = (16)^{(1/2)} - 0,5 = 3,5 \quad [\text{mm}]$$

$$30 < l = 72; 180 \geq 6 \cdot a_F = 6 \cdot 4 = 24 \quad [\text{mm}]$$

$$\begin{aligned} \text{Stegnähte: } 2 \leq a_s = 3 \leq 0,7 \cdot t_{\min} = 0,7 \cdot 6,0 = 4,2 & \quad [\text{mm}] \\ a_s = 3 \geq (t_{\max})^{(1/2)} - 0,5 = (25)^{(1/2)} - 0,5 = 4,5 * & \quad [\text{mm}] \\ 30 < l = 122 \geq 6 \cdot a_s = 6 \cdot 3 = 18 & \quad [\text{mm}] \end{aligned}$$

Nachweis der Zuggurtnähte:

$\alpha_w = 0,95$  n. Tab.7 - Zug/Nahtgüte nicht nachgewiesen

$$(\sum a_F \cdot l) = 0,4\text{cm} \cdot (18\text{cm} + 2 \cdot 7,2\text{cm}) = 12,96\text{cm}^2 \quad ; \quad (\sum a_F \cdot l) \dots \text{Flanschnahtfläche}$$

$$\sigma_{\perp} = Z_t / (\sum a \cdot l) = 97\text{KN} / 12,96\text{cm}^2 \quad \rightarrow \underline{\sigma_{\perp} = 7,48 \text{ KN/cm}^2}$$

$$\sigma_{w,R,d} = \alpha_w \cdot f_{y,k} / \gamma_m = 0,95 \cdot 24 / 1,1 \quad \rightarrow \underline{\sigma_{w,R,d} = 20,72 \text{ KN/cm}^2}$$

$$\underline{\underline{\text{NW: } \sigma_{\perp} / \sigma_{w,R,d} = 7,48\text{KN/cm}^2 / 20,72\text{KN/cm}^2 = 0,36 \leq 1 \quad \rightarrow \text{NW erfüllt}}}$$

Nachweis der Stegnähte:

$\alpha_w = 0,95$  n. Tab.7 - Schub/Nahtgüte nicht nachgewiesen

$$A_{w,\text{Steg}} = 0,3\text{cm} \cdot (2 \cdot 12,2\text{cm}) = 7,32\text{cm}^2 \quad ; \quad A_{w,\text{Steg}} \dots \text{Stegnahtfläche}$$

$$\tau_{\parallel} = V_{z,d} / A_{w,\text{Steg}} = 90\text{KN} / 7,32\text{cm}^2 \quad \rightarrow \underline{\tau_{\parallel} = 12,3 \text{ KN/cm}^2}$$

$$\sigma_{w,R,d} = \alpha_w \cdot f_{y,k} / \gamma_m = 0,95 \cdot 24 / 1,1 \quad \rightarrow \underline{\sigma_{w,R,d} = 20,72 \text{ KN/cm}^2}$$

$$\underline{\underline{\text{NW: } \tau_{\parallel} / \sigma_{w,R,d} = 12,3 \text{ KN/cm}^2 / 20,72 \text{ KN/cm}^2 = 0,6 \leq 1 \quad \rightarrow \text{NW erfüllt}}}$$

### 3.1.5 Verfahren nach EC3 - Überstehende Stirnplatte

#### Ausgangssituation

Träger: HEA 180 S235 n. DIN 1025 - 3 (03.94)

Stirnplatte: Bl. 20x180x195 S235 US-geprüft

Schrauben: M16x65 10.9 n. DIN EN 14 399 - 4; - 8

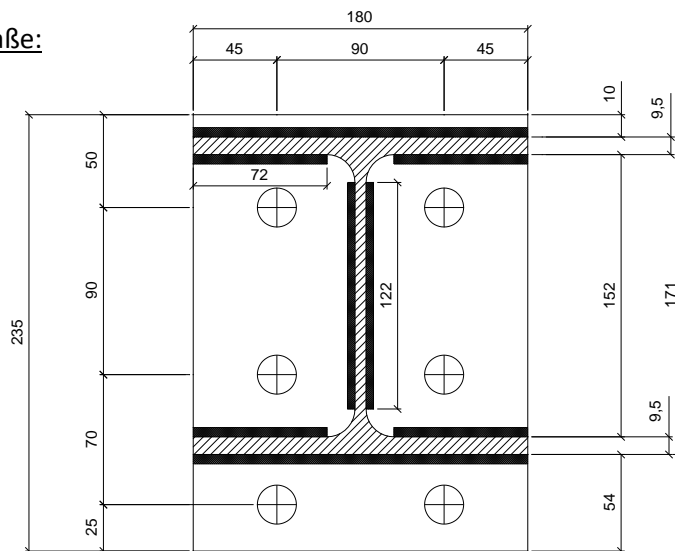
Gewinde außerhalb der Scherfuge, gebohrte Löcher  
einschnittige Verbindung

Schweißnähte: Flanschnähte  $a_f = 5 \text{ mm}$

Stegnähte  $a_w = 4 \text{ mm}$

Nahtgüte nicht nachgewiesen

#### Abmaße:



Stegdicke  $t_w = 6 \text{ mm}$

Abb. 48 Abmaße des Stützenstoßquerschnittes - überstehende Stirnplatte

Schnittgrößen:  $M_{y,Ed} = 48,0 \text{ KNm}$  ;  $V_{z,Ed} = 90,0 \text{ KN}$

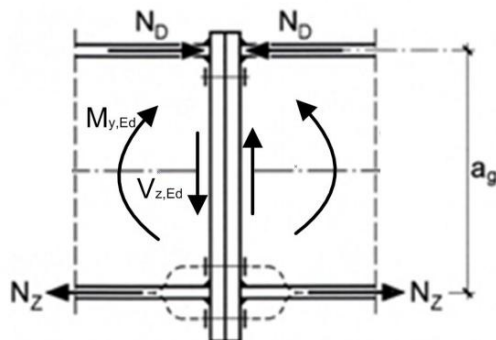


Abb. 49 Seitenansicht des Trägerstoßes mit Schnittgrößen



**Überprüfung der Rand- u. Lochabstände:** Kraftrichtung ist  $V_{z,Ed}$ ;  $d_L = 17 \text{ mm}$ ;  $t = d_p$

$$\begin{array}{llll} p_1: & 2,2 \cdot d_0 = 2,2 \cdot 18 = 39,6 < & p_1 = 70(90) < 200 ; 14 \cdot t = 14 \cdot 20 = 280 & [\text{mm}] \\ e_1: & 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 18 = 21,6 < & e_1 = 25 < 40 + 4 \cdot t = 40 + 4 \cdot 20 = 120 & [\text{mm}] \\ e_2: & 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 18 = 21,6 < & e_2 = 45 < 40 + 4 \cdot t = 40 + 4 \cdot 20 = 120 & [\text{mm}] \\ p_2: & 2,4 \cdot d_0 = 2,4 \cdot 18 = 43,2 < & p_2 = 90 < 200 ; 14 \cdot t = 14 \cdot 20 = 280 & [\text{mm}] \end{array}$$

### Nachweis des Zugbereiches

Nachweis des T-Stummels

$$e_x = 25 \text{ mm} = 2,5 \text{ cm} ; e = 45 \text{ mm} = 4,5 \text{ cm}$$

$$m_x = 54 - 25 - 0,8 \cdot a_f \cdot \sqrt{2} = 54 - 25 - 0,8 \cdot 5 \cdot \sqrt{2}$$

$$m_x = 23,3 \text{ mm} = 2,33 \text{ cm}$$

$$m_2 = 70 + 25 - 54 - 9,5 - 0,8 \cdot a_f \cdot \sqrt{2} = 70 + 25 - 54 - 9,5 - 0,8 \cdot 5 \cdot \sqrt{2}$$

$$m_2 = 25,8 \text{ mm} = 2,58 \text{ cm}$$

siehe *Abb. 20, Abb. 23 und Abb. 37*

Äußere Schraubenreihe neben Trägerzugflansch

$$l_{\text{eff,cp}} = \min \left\{ \begin{array}{l} 2\pi \cdot m_x = 2\pi \cdot 2,33 \text{ cm} = 14,6 \text{ cm} \\ \pi \cdot m_x + w = \pi \cdot 2,33 + 4,5 \text{ cm} = 11,8 \text{ cm} \\ \pi \cdot m_x + 2e = \pi \cdot 2,33 \text{ cm} + 2 \cdot 4,5 \text{ cm} = 16,3 \text{ cm} \end{array} \right\}$$

$$l_{\text{eff,cp}} = 11,8 \text{ cm}$$

$$l_{\text{eff,nc}} = \min \left\{ \begin{array}{l} 4 \cdot m_x + 1,25 \cdot e_x = 4 \cdot 2,33 \text{ cm} + 1,25 \cdot 2,5 \text{ cm} = 12,4 \text{ cm} \\ e + 2 \cdot m_x + 1,25 \cdot e_x = 4,5 \text{ cm} + 2 \cdot 2,33 \text{ cm} + 1,25 \cdot 2,5 \text{ cm} = 9,9 \text{ cm} \\ 0,5 \cdot b_p = 0,5 \cdot 18,0 \text{ cm} = 9,0 \text{ cm} \\ 0,5 \cdot w + 2 \cdot m_x + 0,625 \cdot e_x = \\ 0,5 \cdot 9,0 \text{ cm} + 2 \cdot 2,33 \text{ cm} + 0,625 \cdot 2,5 \text{ cm} = 10,7 \text{ cm} \end{array} \right\}$$

$$l_{\text{eff,nc}} = 9,0 \text{ cm}$$

$$M_{p\ell,1,Rd} = 0,25 \cdot \sum l_{\text{eff},1} \cdot t_f^2 \cdot f_y / \gamma_{M0} = 0,25 \cdot 2 \cdot 9 \text{ cm} \cdot 2^2 \text{ cm}^2 \cdot 23,5 \text{ kN} / (\text{cm}^2 \cdot 1,0)$$

$$M_{p\ell,1,Rd} = M_{p\ell,2,Rd} = 423 \text{ kNcm}$$

$$n = e_{\min} = 2,5 \text{ cm} \text{ jedoch } n \leq 1,25 \cdot m_x = 1,25 \cdot 2,33 \text{ cm} = 2,91 \text{ cm}$$

Modus 1  $F_{T,1,Rd} = 4 \cdot M_{p\ell,1,Rd} / m_x = 4 \cdot 423 \text{ kNcm} / 2,33 \text{ cm} = 726,1 \text{ kN}$

Modus 2  $F_{t,Rd} = 113 \text{ kN n. Tab. 17}$

$$F_{T,2,Rd} = (2 \cdot M_{p\ell,1,Rd} + n \cdot \sum F_{t,Rd}) / (m_x + n)$$

$$F_{T,2,Rd} = (2 \cdot 423 \text{ kNcm} + 2,91 \text{ cm} \cdot 4 \cdot 113 \text{ kN}) / (2,33 \text{ cm} + 2,91 \text{ cm})$$

$$F_{T,2,Rd} = 412 \text{ kN}$$

Modus 3  $F_{t,Rd} = 113\text{KN}$  n. *Tab. 17*

$$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd} = 4 \cdot 113\text{KN} = 452\text{KN}$$

maßgebend wird Modus 2, Schraubenversagen mit gleichzeitigen Fließen des Flansches

$$\rightarrow \boxed{F_{T,Rd} = 412\text{KN}}$$

Grenzdurchstanzkraft für eine Schraube

$$d_m = (s + \min e) / 2 = (2,7\text{cm} + 2,956\text{cm}) / 2 = 2,828\text{cm} \quad \text{siehe Tab. 8}$$

$$B_{p,Rd} = 0,6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t_p \cdot f_u / \gamma_{M2}$$

$$B_{p,Rd} = 0,6 \cdot \pi \cdot 2,828\text{cm} \cdot 2,0\text{cm} \cdot 23,5\text{KN} / (\text{cm}^2 \cdot 1,25)$$

$$B_{p,Rd} = 200\text{KN}$$

$$\Sigma B_{p,Rd} = 4 \cdot B_{p,Rd} = 4 \cdot 200\text{KN} = 800\text{KN}$$

Tragfähigkeit des Zuggurtes

$$(f_y \cdot A_g / \gamma_0) = (23,5\text{KN}/\text{cm}^2 \cdot 18,0\text{cm} \cdot 0,95\text{cm} / 1,0) = 401\text{KN}$$

$$N_{z,max} = \min( F_{T,Rd} ; \Sigma B_{p,Rd} ; (f_y \cdot A_g / \gamma_0) ) = \min( 412\text{KN} ; 800\text{KN} ; 401\text{KN} ) = 401\text{KN}$$

$$M_{y,Rd} = N_{z,max} \cdot a_g = 401\text{KN} \cdot (17,1\text{cm} - 0,95\text{cm}) = 6514\text{KNcm} = 65,14\text{KNm}$$

$$\boxed{\text{NW: } M_{y,Ed} / M_{y,Rd} = 48\text{KNm} / 65,14\text{KNm} = 0,74 \leq 1} \quad \rightarrow \text{NW erfüllt}$$

Schubnachweis der Schrauben und der Grundwerkstoffe

Schubnachweis einer Schraube

$$F_{V,Ed} = V_{z,Ed} / 2 = 90\text{KN} / 2 = 45\text{KN}$$

$$F_{V,Rd} = 96,5 \text{ KN} \quad \text{n. Tab. 18}$$

$$\boxed{\text{NW: } F_{V,Ed} / F_{V,Rd} = 45\text{KN} / 96,5 = 0,47 \leq 1} \quad \rightarrow \text{NW erfüllt}$$

Grenzlochleibungskraft einer Schraube an einer Lochwandung

$$F_{b,Ed} = V_{z,Ed} / 2 = 90\text{KN} / 2 = 45\text{KN}$$

Endschrauben werden maßgebend, siehe Tab. 19

$$\alpha_b = e_1 / (3 \cdot d_0) = 25\text{mm} / (3 \cdot 18\text{mm})$$

$$\alpha_b = 0,463 < f_{ub}/f_u = 100\text{KN}/\text{cm}^2 / 36\text{KN}/\text{cm}^2 = 2,78$$

$$\alpha_b = 0,463 < 1$$

$$k_1 = 2,8 \cdot e_2/d_0 - 1,7 = 2,8 \cdot 45\text{mm}/18\text{mm} - 1,7$$

$$k_1 = 5,3 > 2,5$$

$$k_1 = 2,5$$

$$F_{b,Rd} = k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t / \gamma_{M2}$$

$$F_{b,Rd} = 2,5 \cdot 0,463 \cdot 23,5 \text{KN/cm}^2 \cdot 1,6 \text{cm} \cdot 2,0 \text{cm} / 1,25$$

$$F_{b,Rd} = 69,6 \text{KN}$$

$$\text{NW: } F_{b,Ed} / F_{b,Rd} = 45 \text{KN} / 69,6 \text{KN} = 0,65 \leq 1 \rightarrow \text{NW erfüllt}$$

#### Trägergrundwerkstoff auf Schub

$$A_f = b \cdot t_f = 18 \text{cm} \cdot 0,95 \text{cm} = 17,1 \text{cm}^2$$

$$A_w = d \cdot t_w = 12,2 \text{cm} \cdot 0,6 \text{cm} = 7,32 \text{cm}^2$$

$$A_f / A_w = 17,1 / 7,32 = 2,33 > 0,6$$

$$\tau_{Ed} = \frac{V_{z,Ed}}{A_w} = \frac{90 \text{KN}}{7,32 \text{cm}^2} = 12,3 \text{KN/cm}^2$$

$$\text{NW: } \frac{\tau_{Ed} \cdot \sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}{f_y} = \frac{12,3 \text{KN/cm}^2 \cdot \sqrt{3} \cdot 1,0}{23,5 \text{KN/cm}^2} = 0,91 \leq 1 \rightarrow \text{NW erfüllt}$$

#### Nachweis des Druckbereiches

$$N_{D,Rd} = (f_y \cdot A_g / \gamma_0) = (23,5 \text{KN/cm}^2 \cdot 18,0 \text{cm} \cdot 0,95 \text{cm} / 1,0) = 401 \text{KN}$$

$$N_D = M_{y,Ed} / a_g = 48 \cdot 10^2 \text{KNcm} / (17,1 \text{cm} - 0,95 \text{cm}) = 298 \text{KN}$$

$$\text{NW: } N_D / N_{D,Rd} = 298 \text{KN} / 401 \text{KN} = 0,75 \leq 1 \rightarrow \text{NW erfüllt}$$

#### Nachweis der Schweißnähte

##### Flanschschweißnähte:

$$\ell = 180 \text{mm} ; 72 \text{mm} > \max(30 \text{mm} ; 6 \cdot a_f = 6 \cdot 5 \text{mm} = 30 \text{mm})$$

$$a_f = 5 \text{mm} > 3 \text{mm}$$

##### Richtungsbezogenes Verfahren

$$A_w = \Sigma a \cdot \ell_{eff} = 0,5 \text{cm} \cdot (18 \text{cm} + 2 \cdot 7,2 \text{cm})$$

$$A_w = 16,2 \text{cm}^2$$

$$N_z = M_{y,Ed} / a_g = 48 \cdot 10^2 \text{KNcm} / (17,1 \text{cm} - 0,95 \text{cm}) = 298 \text{KN}$$

$$\sigma_{\perp,N} = \tau_{\perp,N} = N_z \cdot 0,707 / A_w = 298 \text{KN} \cdot 0,707 / 16,2 \text{cm}^2 = 13,0 \text{KN/cm}^2$$

$$\beta_w = 0,8 \quad \text{n. Tab. 20}$$

$$\begin{aligned} \text{NW: } \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} &= \sqrt{13^2 + 3 \cdot 13^2} = 26 \text{KN/cm}^2 \\ f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2}) &= 36 / (0,8 \cdot 1,25) = 36 \text{KN/cm}^2 \\ \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} &= 26 \text{KN/cm}^2 \leq f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2}) = 36 \text{KN/cm}^2 \\ \sigma_{\perp} &= 13 \text{KN/cm}^2 \leq 0,9 \cdot f_u / \gamma_{M2} = 0,9 \cdot 36 / 1,25 = 25,92 \text{KN/cm}^2 \end{aligned}$$

→ NW erfüllt

Stegschweißnähte:

$$\ell = 122 > \max(30 \text{mm} ; 6 \cdot a_w = 6 \cdot 4 \text{mm} = 24 \text{mm})$$

$$a_w = 4 \text{mm} > 3 \text{mm}$$

Richtungsbezogenes Verfahren

$$A_w = \sum a \cdot \ell_{eff} = 0,4 \text{cm} \cdot 2 \cdot 12,2 \text{cm}$$

$$A_w = 9,76 \text{cm}^2$$

$$V_{z,Ed} = 90 \text{KN}$$

$$\tau_{\parallel,V} = V_{z,Ed} / A_w = 90 \text{KN} / 9,76 \text{cm}^2 = 9,22 \text{KN/cm}^2$$

$$\beta_w = 0,8 \quad \text{n. Tab. 20}$$

$$\begin{aligned} \text{NW: } \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} &= \sqrt{3 \cdot 9,22^2} = 16 \text{KN/cm}^2 \\ f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2}) &= 36 / (0,8 \cdot 1,25) = 36 \text{KN/cm}^2 \\ \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} &= 16 \text{KN/cm}^2 \leq f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2}) = 36 \text{KN/cm}^2 \end{aligned}$$

### 3.1.6 Verfahren nach EC3 - Bündige Stirnplatte

#### Ausgangssituation

Träger: HEA 180 S235 n. DIN 1025 - 3 (03.94)

Stirnplatte: Bl. 16x180x195 S235 US-geprüft

Schrauben: M16x80 10.9 n. DIN EN 14 399 - 4; - 8

Gewinde außerhalb der Scherfuge, einschnittige Verbindung  
gebohrte Löcher

Schweißnähte: Flanschnähte  $a_F = 4 \text{ mm}$

Stegnähte  $a_w = 3 \text{ mm}$

Nahtgüte nicht nachgewiesen

#### Abmaße:

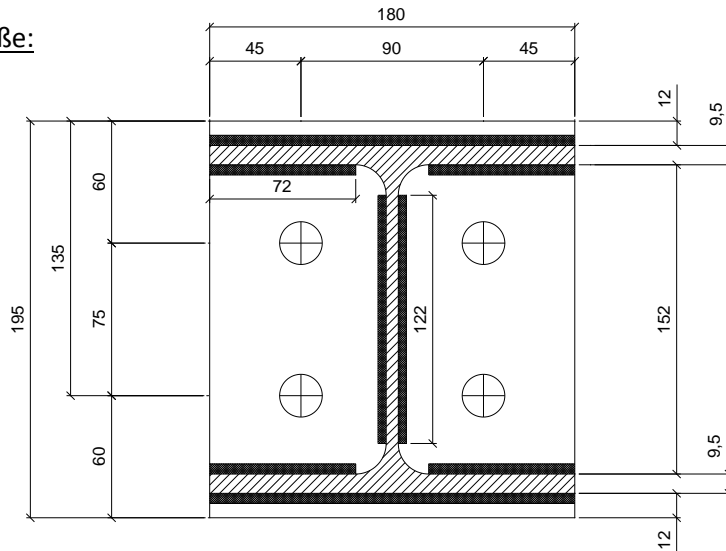
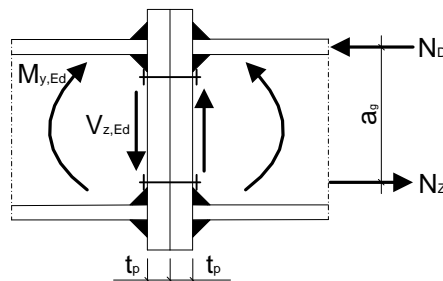


Abb. 50 Abmaße des Stützenstoßquerschnittes - bündige Stirnplatte

#### Schnittgrößen:



$M_{y,Ed} = 14 \text{ KNm}$

$V_{z,Ed} = 90,0 \text{ KN}$

Abb. 51 Seitenansicht des Trägerstoßes mit Schnittgrößen

**Überprüfung der Rand- u. Lochabstände:** Kraftrichtung ist  $V_{z,Ed}$ ;  $d_L = 17 \text{ mm}$ ;  $t = d_p$

$$\begin{array}{llllll}
 p_1: & 2,2 \cdot d_0 = 2,2 \cdot 18 = 39,6 < & p_1 = 75 & < 200 ; 14 \cdot t = 14 \cdot 16 = 224 & & [\text{mm}] \\
 e_1: & 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 18 = 21,6 < & e_1 = 60 & < 40 + 4 \cdot t = 40 + 4 \cdot 16 = 104 & & [\text{mm}] \\
 e_2: & 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 18 = 21,6 < & e_2 = 45 & < 40 + 4 \cdot t = 40 + 4 \cdot 16 = 104 & & [\text{mm}] \\
 p_2: & 2,4 \cdot d_0 = 2,4 \cdot 18 = 43,2 < & p_2 = 90 & < 200 ; 14 \cdot t = 14 \cdot 16 = 224 & & [\text{mm}]
 \end{array}$$

### Nachweis des Zugbereiches

Nachweis des T-Stummels

$$e = 45 \text{ mm} = 4,5 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned}
 m &= (b_p / 2) - e - 0,8 \cdot r \cdot \sqrt{2} = (18 / 2) - 4,5 - 0,8 \cdot 1,5 \cdot \sqrt{2} \\
 m &= 2,8 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m_2 &= e_1 - 1,2 - 0,95 - 0,8 \cdot a_F \cdot \sqrt{2} = 6 - 1,2 - 0,95 - 0,8 \cdot 0,5 \cdot \sqrt{2} \\
 m_2 &= 3,28 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

siehe *Abb. 20, Abb. 23 und Abb. 37*

Bestimmung von  $\alpha$  nach Abb. 23

$$\lambda_1 = m / (m + e) = 2,8 / (2,8 + 4,5) = 0,38$$

$$\lambda_2 = m_2 / (m + e) = 3,28 / (2,8 + 4,5) = 0,45$$

$$\alpha \cong 6,7$$

siehe *Abb. 23*

Innere Schraubenreihe neben Trägerzugflansch

$$l_{\text{eff,cp}} = 2\pi \cdot m = 2\pi \cdot 2,8 \text{ cm} = 17,5 \text{ cm}$$

$$l_{\text{eff,nc}} = \alpha \cdot m = 6,7 \cdot 2,8 = 17,76 \text{ cm}$$

$$M_{p\ell,1,Rd} = 0,25 \cdot \sum l_{\text{eff},1} \cdot t_f^2 \cdot f_y / \gamma_{M0} = 0,25 \cdot 17,5 \text{ cm} \cdot 1,6^2 \text{ cm}^2 \cdot 23,5 \text{ KN}/(\text{cm}^2 \cdot 1,0)$$

$$M_{p\ell,1,Rd} = 263 \text{ KNcm}$$

$$M_{p\ell,2,Rd} = 0,25 \cdot \sum l_{\text{eff},2} \cdot t_f^2 \cdot f_y / \gamma_{M0} = 0,25 \cdot 17,5 \text{ cm} \cdot 1,6^2 \text{ cm}^2 \cdot 23,5 \text{ KN}/(\text{cm}^2 \cdot 1,0)$$

$$M_{p\ell,2,Rd} = 263 \text{ KNcm}$$

$$n = e_{\text{min}} = 4,5 \text{ cm jedoch } n \leq 1,25 \cdot m = 1,25 \cdot 2,8 \text{ cm} = 3,5 \text{ cm}$$

$$n = 3,5 \text{ cm}$$

Modus 1  $F_{T,1,Rd} = 4 \cdot M_{p\ell,1,Rd} / m = 4 \cdot 263 \text{KNcm} / 2,8 \text{cm} = 375,7 \text{KN}$

Modus 2  $F_{t,Rd} = 113 \text{KN}$  n. Tab. 17

$$F_{T,2,Rd} = (2 \cdot M_{p\ell,1,Rd} + n \cdot \Sigma F_{t,Rd}) / (m + n)$$

$$F_{T,2,Rd} = (2 \cdot 263 \text{KNcm} + 3,5 \text{cm} \cdot 2 \cdot 113 \text{KN}) / (2,8 \text{cm} + 3,5 \text{cm})$$

$$F_{T,2,Rd} = 209 \text{KN}$$

Modus 3  $F_{t,Rd} = 113 \text{KN}$  n. Tab. 17

$$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd} = 2 \cdot 113 \text{KN} = 226 \text{KN}$$

maßgebend wird Modus 2, Schraubenversagen mit gleichzeitigen Fließen des Flansches

$$\rightarrow \boxed{F_{T,Rd} = 209 \text{KN}}$$

#### Grenzdurchstanzkraft für eine Schraube

$$d_m = (s + \min e) / 2 = (2,7 \text{cm} + 2,956 \text{cm}) / 2 = 2,828 \text{cm} \quad \text{siehe Tab. 8}$$

$$B_{p,Rd} = 0,6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t_p \cdot f_u / \gamma_{M2}$$

$$B_{p,Rd} = 0,6 \cdot \pi \cdot 2,828 \text{cm} \cdot 2,0 \text{cm} \cdot 23,5 \text{KN} / (\text{cm}^2 \cdot 1,25)$$

$$B_{p,Rd} = 200 \text{KN}$$

$$\Sigma B_{p,Rd} = 2 \cdot B_{p,Rd} = 2 \cdot 200 \text{KN} = 400 \text{KN}$$

#### Tragfähigkeit des Zuggurtes

$$(f_y \cdot A_g / \gamma_0) = (23,5 \text{KN/cm}^2 \cdot 18,0 \text{cm} \cdot 0,95 \text{cm} / 1,0) = 401 \text{KN}$$

$$N_{z,max} = \min(F_{T,Rd} ; \Sigma B_{p,Rd} ; (f_y \cdot A_g / \gamma_0)) = \min(209 \text{KN} ; 400 \text{KN} ; 401 \text{KN}) = 209 \text{KN}$$

$$M_{y,Rd} = N_{z,max} \cdot a_g = 209 \text{KN} \cdot (19,5 \text{cm} - 6,0 \text{cm} - 1,2 - 0,95/2) = 2471 \text{KNcm} = 24,71 \text{KNm}$$

$$\boxed{\text{NW: } M_{y,Ed} / M_{y,Rd} = 14 \text{KNm} / 24,71 \text{KNm} = 0,57 \leq 1} \quad \rightarrow \text{NW erfüllt}$$

#### Schubnachweis der Schrauben und der Grundwerkstoffe

##### Schubnachweis einer Schraube

$$F_{V,Ed} = V_{z,Ed} / 2 = 90 \text{KN} / 2 = 45 \text{KN}$$

$$F_{v,Rd} = 96,5 \text{KN} \quad \text{n. Tab. 18}$$

$$\boxed{\text{NW: } F_{V,Ed} / F_{v,Rd} = 45 \text{KN} / 96,5 = 0,47 \leq 1} \quad \rightarrow \text{NW erfüllt}$$

Grenzlochleibungskraft einer Schraube an einer Lochwandung

$$F_{b,Ed} = V_{z,Ed} / 2 = 90\text{KN} / 2 = 45\text{KN}$$

Endschrauben werden maßgebend, siehe *Tab. 19*

$$\alpha_b = e_1 / (3 \cdot d_0) = 60\text{mm} / (3 \cdot 18\text{mm})$$

$$\alpha_b = 1,11 < f_{ub}/f_u = 100\text{KN/cm}^2/36\text{KN/cm}^2 = 2,78$$

$$\alpha_b = 1,11 > 1$$

$$\alpha_b = 1,0$$

$$k_1 = 2,8 \cdot e_2/d_0 - 1,7 = 2,8 \cdot 45\text{mm}/18\text{mm} - 1,7$$

$$k_1 = 5,3 > 2,5$$

$$k_1 = 2,5$$

$$F_{b,Rd} = k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t / \gamma_{M2}$$

$$F_{b,Rd} = 2,5 \cdot 1,0 \cdot 23,5\text{KN/cm}^2 \cdot 1,6\text{cm} \cdot 1,6\text{cm} / 1,25$$

$$F_{b,Rd} = 120\text{KN}$$

<b>NW:</b> $F_{b,Ed} / F_{b,Rd} = 45\text{KN} / 120\text{KN} = 0,38 \leq 1$	→ NW erfüllt
---	--------------

Trägergrundwerkstoff auf Schub

$$A_f = b \cdot t_f = 18\text{cm} \cdot 0,95\text{cm} = 17,1\text{cm}^2$$

$$A_w = d \cdot t_w = 12,2\text{cm} \cdot 0,6\text{cm} = 7,32\text{cm}^2$$

$$A_f/A_w = 17,1 / 7,32 = 2,34 > 0,6$$

$$\tau_{Ed} = \frac{V_{z,Ed}}{A_w} = \frac{90\text{KN}}{7,32\text{cm}^2} = 12,3\text{KN/cm}^2$$

<b>NW:</b> $\frac{\tau_{Ed} \cdot \sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}{f_y} = \frac{12,3\text{KN/cm}^2 \cdot \sqrt{3} \cdot 1,0}{23,5\text{KN/cm}^2} = 0,91 \leq 1$	→ NW erfüllt
--	--------------

Nachweis des Druckbereiches

$$N_{D,Rd} = (f_y \cdot A_g / \gamma_0) = (23,5\text{KN/cm}^2 \cdot 18,0\text{cm} \cdot 0,95\text{cm} / 1,0) = 401\text{KN}$$

$$N_D = M_{y,Ed} / a_g = 14 \cdot 10^2\text{KNcm} / (19,5\text{cm} - 6,0\text{cm} - 1,2 - 0,95/2) = 118,4\text{KN}$$

<b>NW:</b> $N_D / N_{D,Rd} = 118,4\text{KN} / 401\text{KN} = 0,30 \leq 1$	→ NW erfüllt
---	--------------



**Nachweis der Schweißnähte**Flanschschweißnähte:

$$\ell = 180\text{mm} ; 72\text{mm} >_{\max}(30\text{mm} ; 6 \cdot a_f = 6 \cdot 4\text{mm} = 28\text{mm})$$

$$a_f = 4\text{mm} > 3\text{mm}$$

Richtungsbezogenes Verfahren

$$A_w = \Sigma a \cdot \ell_{\text{eff}} = 0,4\text{cm} \cdot (18\text{cm} + 2 \cdot 7,2\text{cm})$$

$$A_w = 12,9\text{cm}^2$$

$$N_z = M_{y,Ed} / a_g = 14 \cdot 10^2 \text{KNcm} / (19,5\text{cm} - 6,0\text{cm} - 1,2 - 0,95/2) = 118,4\text{KN}$$

$$\sigma_{\perp,N} = \tau_{\perp,N} = N_z \cdot 0,707 / A_w = 118,4\text{KN} \cdot 0,707 / 12,9\text{cm}^2 = 6,5\text{KN/cm}^2$$

$$\beta_w = 0,8 \quad \text{n. Tab. 20}$$

$$\text{NW: } \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{6,5^2 + 3 \cdot 6,5^2} = 13\text{KN/cm}^2$$

$$f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2}) = 36 / (0,8 \cdot 1,25) = 36\text{KN/cm}^2$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = 13\text{KN/cm}^2 \leq f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2}) = 36\text{KN/cm}^2$$

→ NW erfüllt

$$\sigma_{\perp} = 6,5\text{KN/cm}^2 \leq 0,9 \cdot f_u / \gamma_{M2} = 0,9 \cdot 36 / 1,25 = 25,92\text{KN/cm}^2$$

Stegschweißnähte:

$$\ell = 122 >_{\max}(30\text{mm} ; 6 \cdot a_w = 6 \cdot 3\text{mm} = 18\text{mm})$$

$$a_w = 3\text{mm} \geq 3\text{mm}$$

Richtungsbezogenes Verfahren

$$A_w = \Sigma a \cdot \ell_{\text{eff}} = 0,3\text{cm} \cdot 2 \cdot 12,2\text{cm}$$

$$A_w = 7,32\text{cm}^2$$

$$V_{z,Ed} = 90\text{KN}$$

$$\tau_{\parallel,V} = V_{z,Ed} / A_w = 90\text{KN} / 7,32\text{cm}^2 = 12,3\text{KN/cm}^2 \quad \beta_w = 0,8 \quad \text{n. Tab. 20}$$

$$\text{NW: } \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{3 \cdot 12,3^2} = 21,3\text{KN/cm}^2$$

$$f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2}) = 36 / (0,8 \cdot 1,25) = 36\text{KN/cm}^2$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = 21,3\text{KN/cm}^2 \leq f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2}) = 36\text{KN/cm}^2$$

→ NW erfüllt

### 3.2 Wirtschaftlichkeit von typisierten Anschlüssen

In der Praxis stellt sich häufig die folgende Situation dar. Das einwirkende Moment und die einwirkende Querkraft, dass von einem typisierten Anschluss übertragen werden soll, liegt weit unterhalb der Beanspruchbarkeiten dieses Anschlusses. An dieser Stelle hat man einerseits die Möglichkeit den, für diesen Fall unwirtschaftlichen, Anschluss zu übernehmen oder diesen wirtschaftlich zu optimieren. Dies betrifft hauptsächlich die Stirnplattendicke und die Flanschschweißnähte. Um dies besser bewerten zu können wurden folgende Verbindungen, wie in Tab.12 und Tab.13 dargestellt, untersucht. Dabei wurden schrittweise die Blechstärken um 1mm verringert und die Schweißnähte so gewählt das diese höchstmöglich ausgenutzt werden. Unter Zuhilfenahme zweier Exceltabellen wurden die Beispielrechnungen realisiert, siehe Anhang CD-ROM.

#### 3.2.1 Beispielrechnungen von überstehenden Stirnplattenverbindungen nach Oberegge

##### Anschlussgeometrien und Abmaße der untersuchten überstehenden Stirnplattenverbindungen

Walzträger	Typ	HEA 500	DIN 1025-3	HEB 500	DIN 1025-4	HEM 500	DIN 1025-5	
	$f_{y,k}$	24,0	KN/cm <sup>2</sup>	24,0	KN/cm <sup>2</sup>	24,0	KN/cm <sup>2</sup>	
	h	49,0	cm	50,0	cm	52,4	cm	
	h <sub>1</sub>	39,0	cm	39,0	cm	39,0	cm	
	b	30,0	cm	30,0	cm	30,6	cm	
	t <sub>f1</sub>	2,3	cm	2,8	cm	4,0	cm	
	t <sub>s</sub>	1,2	cm	1,45	cm	2,10	cm	
	r	2,7	cm	2,7	cm	2,7	cm	
W <sub>y</sub>	3.550,0	cm <sup>3</sup>	4.290,0	cm <sup>3</sup>	6.180,0	cm <sup>3</sup>		
Stirnplatte	d <sub>p</sub>	4,0 - 1,8	cm	4,0 - 1,8	cm	4,0 - 1,8	cm	
	$f_{y,k}$	24,0	KN/cm <sup>2</sup>	24,0	KN/cm <sup>2</sup>	24,0	KN/cm <sup>2</sup>	
	h <sub>p</sub>	63,0	cm	64,0	cm	66,0	cm	
	b <sub>p</sub>	30,0	cm	30,0	cm	31,0	cm	
	a <sub>1</sub>	6,5	cm	6,5	cm	6,4	cm	
	a <sub>2</sub>	8,5	cm	8,5	cm	8,5	cm	
	ü	3,0	cm	3,0	cm	3,3	cm	
	w <sub>1</sub>	15,0	cm	16,0	cm	16,0	cm	
	w <sub>3</sub>	7,5	cm	7,0	cm	7,5	cm	
	e <sub>1</sub>	4,5	cm	4,5	cm	3,9	cm	
e <sub>2</sub>	14,5	cm	15,0	cm	16,5	cm		
e <sub>3</sub>	32,0	cm	32,0	cm	31,0	cm		
Schrauben; Gewinde außerhalb der Scherfuge; planmäßig vorgespannte Schrauben der Festigkeitsklasse 10.9	M	27	10.9	27	10.9	27	10.9	
	d <sub>L</sub>	2,8	cm	2,8	cm	2,8	cm	
	D	5,0	cm	5,0	cm	5,0	cm	
	$f_{u,b,k}$	100	KN/cm <sup>2</sup>	100	KN/cm <sup>2</sup>	100	KN/cm <sup>2</sup>	
	$f_{y,b,k}$	90	KN/cm <sup>2</sup>	90	KN/cm <sup>2</sup>	90	KN/cm <sup>2</sup>	
	N <sub>R,d</sub>	334,0	KN	334,0	KN	334,0	KN	
	n	2		2		2		
	F <sub>v</sub>	290,0	KN	290,0	KN	290,0	KN	
	n <sub>z</sub>	4		4		4		
n <sub>d</sub>	2		2		2			
Schweißnähte	a <sub>f1</sub>	1,3 - 0,5	cm	1,3 - 0,5	cm	1,3 - 0,5	cm	
	a <sub>s</sub>	0,4 - 0,3	cm	0,4 - 0,3	cm	0,4 - 0,3	cm	

Tab. 21 Eingangsgrößen der untersuchten überstehenden Stirnplattenverbindungen

Als Grundlage dienten Anschlüsse nach [11]. Die Anschlussgeometrien wurden leicht verändert um diese besser an das Rechenmodell nach Oberegge anzupassen und um die individuellen Randbedingungen für dieses Rechenmodell zu erfüllen. Blechstärken oberhalb von 40mm wurden nicht

untersucht, da nach [3], beziehungsweise [2], die Streckgrenze abgemindert werden muss und dies deswegen eine erfolgreiche Nachweisführung oft unmöglich machte.

In Abb. 52 sind die möglichen Grenzanschlussmomente  $M_{y,A,R,d}$  bei einer Blechstärkenreduzierung von 40mm auf 18mm dargestellt. Desweiteren können die einzelnen Versagenszustände aus Abb. 52 abgeleitet werden. Der obere Bereich der Kurven zeigt eine Überdimensionierung der Blechdicken, sodass nur die Schrauben versagen - Versagensfall c. Im mittleren Bereich der Kurven ist die Verbindung optimal ausgenutzt - Versagensfall a. Der untere Bereich der Kurven zeigt den ungünstigen Versagensfall b, bei dem die Stirnplatten sehr weich ausgebildet sind.

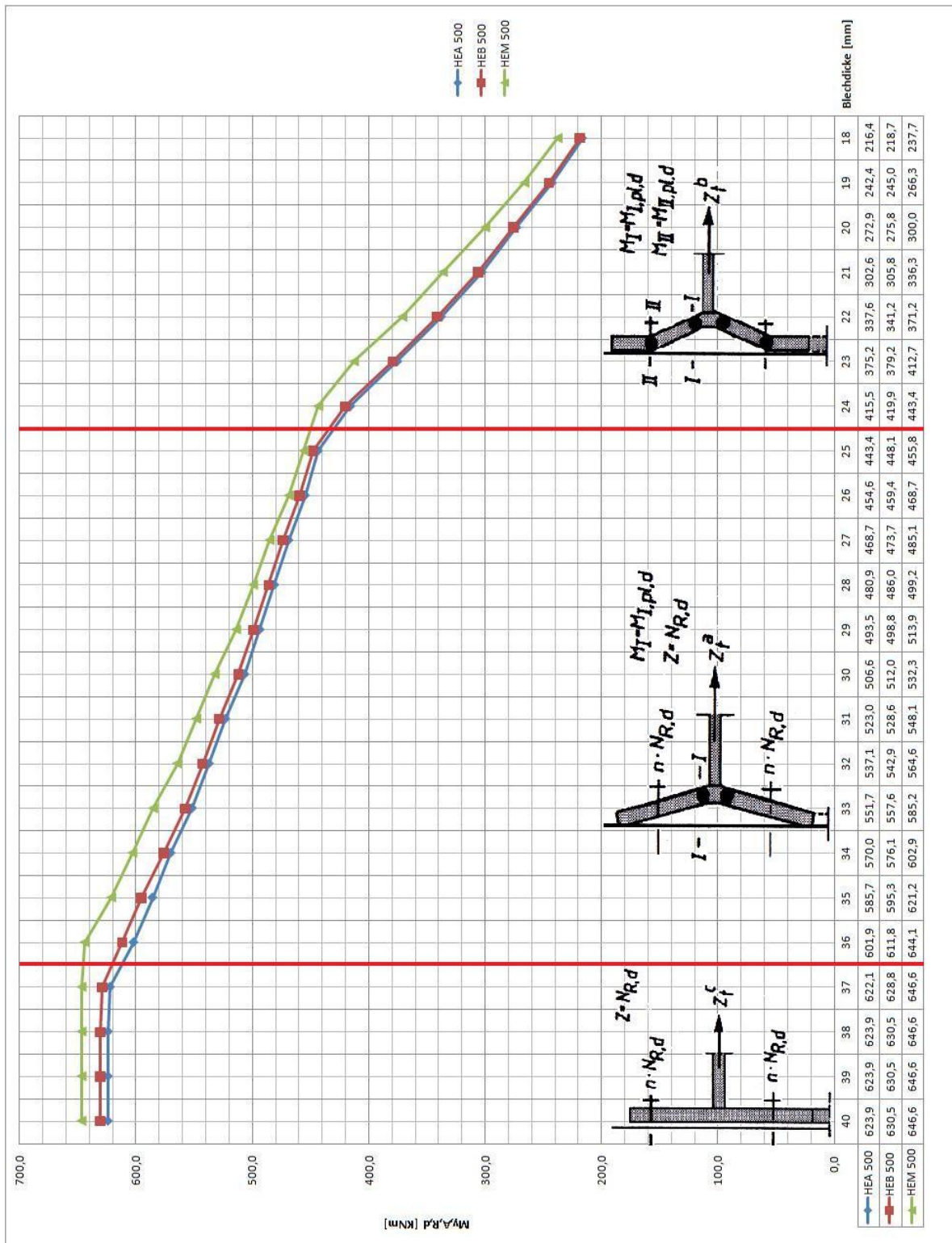


Abb. 52 Diagramm des Grenzanschlussmomentes  $M_{y,A,R,d}$  der überstehenden Stirnplattenverbindungen

**3.2.2 Beispielrechnungen von bündigen Stirnplattenverbindungen nach Oberegge**

Anschlussgeometrien und Abmaße der untersuchten bündigen Stirnplattenverbindungen

Walzträger	Typ	HEA 300	DIN 1025-3	HEB 300	DIN 1025-4	HEM 300	DIN 1025-5	
	$f_{y,k}$	24,0	KN/cm <sup>2</sup>	24,0	KN/cm <sup>2</sup>	24,0	KN/cm <sup>2</sup>	
	h	29,0	cm	30,0	cm	34,0	cm	
	h <sub>1</sub>	20,8	cm	20,8	cm	20,8	cm	
	b	30,0	cm	30,0	cm	31,0	cm	
	t <sub>Fl</sub>	1,4	cm	1,9	cm	3,9	cm	
	t <sub>s</sub>	0,85	cm	1,10	cm	2,10	cm	
	r	2,7	cm	2,7	cm	2,7	cm	
W <sub>y</sub>	1.260,0	cm <sup>3</sup>	1.680,0	cm <sup>3</sup>	3.480,0	cm <sup>3</sup>		
Stirnplatte	d <sub>p</sub>	4,0 - 1,8	cm	4,0 - 1,8	cm	4,0 - 1,8	cm	
	$f_{y,k}$	24,0	KN/cm <sup>2</sup>	24,0	KN/cm <sup>2</sup>	24,0	KN/cm <sup>2</sup>	
	h <sub>p</sub>	33,0	cm	34,0	cm	38,0	cm	
	b <sub>p</sub>	30,0	cm	30,0	cm	31,0	cm	
	a <sub>2</sub>	6,5	cm	8,0	cm	10,0	cm	
	ü	2,0	cm	2,0	cm	2,0	cm	
	w <sub>1</sub>	15,0	cm	15,0	cm	16,0	cm	
	w <sub>3</sub>	7,5	cm	7,5	cm	7,5	cm	
	e <sub>4</sub>	8,5	cm	10,0	cm	12,5	cm	
e <sub>3</sub>	16,0	cm	14,0	cm	13,0	cm		
Schrauben; Gewinde außerhalb der Scherfuge; planmäßig vorgespannte Schrauben der Festigkeitsklasse 10.9	M	27	10.9	27	10.9	27	10.9	
	d <sub>L</sub>	2,8	cm	2,8	cm	2,8	cm	
	D	5,0	cm	5,0	cm	5,0	cm	
	$f_{u,b,k}$	100	KN/cm <sup>2</sup>	100	KN/cm <sup>2</sup>	100	KN/cm <sup>2</sup>	
	$f_{v,b,k}$	90	KN/cm <sup>2</sup>	90	KN/cm <sup>2</sup>	90	KN/cm <sup>2</sup>	
	N <sub>R,d</sub>	334,0	KN	334,0	KN	334,0	KN	
	n	2		2		2		
	F <sub>v</sub>	290,0	KN	290,0	KN	290,0	KN	
	n <sub>z</sub>	2		2		2		
n <sub>d</sub>	2		2		2			
Schweißnähte	a <sub>Fl</sub>	0,5 - 0,3	cm	0,5 - 0,3	cm	0,4 - 0,3	cm	
	a <sub>s</sub>	0,3	cm	0,4	cm	0,7	cm	

Tab. 22 Eingangsgrößen der untersuchten bündigen Stirnplattenverbindungen

Auch in diesem Falle wurden als Grundlage Anschlüsse nach [11] zugrunde gelegt. Die Anschlussgeometrien wurden leicht verändert um diese besser an das Rechenmodell nach Oberegge anzupassen und um die individuellen Randbedingungen für dieses Rechenmodell zu erfüllen. Blechstärken oberhalb von 40mm wurden nicht untersucht, da nach [3], beziehungsweise [2], die Streckgrenze abgemindert werden muss und dies oft eine erfolgreiche Nachweisführung unmöglich machte.

In Abb. 53 sind die möglichen Grenzanschlussmomente  $M_{y,A,R,d}$  bei einer Blechstärkenreduzierung von 40mm auf 18mm dargestellt. Desweiteren können einzelne Versagenszustände abgeleitet werden. Der obere Bereich der Kurven zeigt ein gutes Verhältnis der Blechdicken zu den Schraubendurchmessern, bei gleichzeitig kleinen Flanschdicken - Versagensfall c. Der untere Bereich der Kurven zeigt den ungünstigsten Versagensfall d, bei dem die Stirnplatten sehr weich ausgebildet sind, die Schraubendurchmesser sehr groß sind und die Flanschnähte nach wie vor zu klein sind.

Auffällig hierbei ist der HEA 300 bei dem man davon ausgeht, dass dieser geringere Grenztragfähigkeitswerte aufnimmt als die des HEB 300 beziehungsweise des HEM 300. Das ist aber nicht der Fall, was maßgeblich auf das  $a_2$  - Maß zurückzuführen ist. Dieses Maß gibt den Abstand der Schrauben im Zugbereich zum Zugflansch an. Bei der Anschlusskonfiguration des HEA 300 ist dieses Maß klein, das heißt die Schrauben liegen näher am Zugflansch. Deshalb ist es so wichtig die zugbeanspruchten Schrauben so nah wie irgend möglich an den Flanschen zu positionieren.

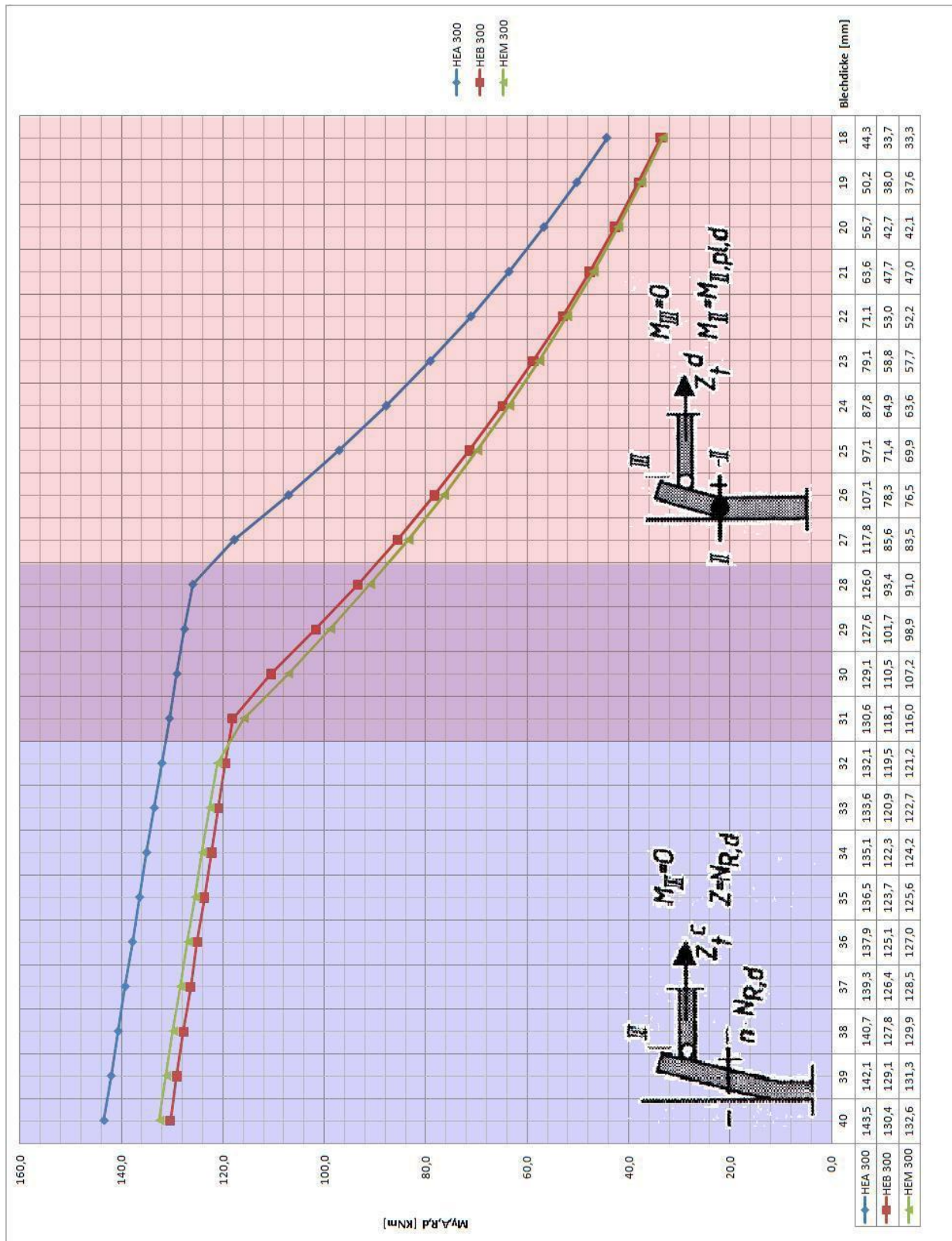


Abb. 53 Diagramm des Grenzanschlusßmomentes  $M_{y,A,R,d}$  der bündigen Stirnplattenverbindungen

## 4 Zusammenfassung

### 4.1 Fazit

Das Ziel dieser Bachelorarbeit war es, Erkenntnisse über die Anwendungsmöglichkeiten biegesteifer Stirnplattenverbindungen unter Berücksichtigung verschiedener Methoden und Vorgehensweisen zu analysieren und zu bewerten. Dazu wurde im ersten Teil das notwendige Grundverständnis geschaffen und ein Überblick über die verschiedenen Methoden und Vorgehensweisen der Nachweisführung unter Zuhilfenahme von Berechnungsmodellen gegeben. Um den Studenten und dem Praktiker eine übersichtliche Hilfestellung zu ermöglichen wurden jeweils Nachweisschemata der einzelnen Berechnungsmodelle erstellt.

Als wichtiges Ergebnis der Vergleichsrechnungen kann gesagt werden, dass der Wirtschaftlichkeit bei der Fertigung tendenziell ein höherer Aufwand bei der Bemessung beziehungsweise der Nachweisführung gegenübersteht. In diesem Zusammenhang bedeutet wirtschaftliche Fertigung, das Einsparen von Material (Stirnplattendicke), die Möglichkeit kleinere Schraubendurchmesser zu verwenden und Schweißnahtdicken zu reduzieren um somit auch das aufwendige Vorwärmen der Stirnplatten (bei einem S235 ab ca. 35mm Stirnplattendicke) zu vermeiden.

Die Vergleichsrechnungen stellen Anwendungsgrenzen, den Nutzungsgrad der Tragfähigkeiten und deren Rechenaufwand gegenüber. Dabei können folgende Aussagen getroffen werden. Ist das erste Berechnungsmodell, Verfahren nach Valtinat, noch recht einfach und verhältnismäßig schnell abzuarbeiten, so zeigt das zweite aufwendigere Berechnungsmodell, Verfahren nach Oberegge, bei gleichen Annahmen weitaus höhere Grenztragfähigkeiten. Zurückzuführen ist dies auf die empirisch ermittelten verkürzten beziehungsweise verlängerten Hebelarme und das Berechnungsmodell nach Oberegge selbst. Durch die konstruktiven Einschränkungen bezüglich der verwendeten Baustähle (S235) und Schraubenwerkstoffen (10.9 - planmäßig vorgespannt) ist das Verfahren nach Oberegge zwar sehr einseitig, aber dennoch für den Großteil der Anwendungen von biegesteifen Anschlüssen im Stahlbau geeignet. Das Verfahren nach Valtinat bildet zwar die Grundlage vieler nachfolgender Bemessungsmodelle, ist aber mittlerweile als unwirtschaftlich einzustufen und sollte lediglich nur noch zur schnellen Vorbemessung dienen. Der EC3 hingegen bietet akzeptable Grenztragfähigkeiten bei einer großen Auswahl an Baustählen (S235 - S460) und Schraubenwerkstoffen (4.6 - 10.9, mit und ohne Vorspannung). Als nachteilig beim EC3 ist der verhältnismäßig hohe Rechenaufwand einzustufen.

Eine Ausnahme bilden die typisierten Anschlüsse, die bei minimalem Nachweisaufwand sehr gute Grenztragfähigkeitswerte bieten. Grund hierfür sind die empirischen Daten aus Versuchsreihen, auf die sich die Grenztragfähigkeiten stützen - realitätsnahe Betrachtung bei gleichzeitig gutem Sicherheitsniveau. Wie in Abschnitt 3.2, Wirtschaftlichkeit von typisierten Anschlüssen, gezeigt werden konnte, gilt dies lediglich nur bei einem sehr hohen Ausnutzungsgrad dieser typisierten Anschlüsse. Die Grenze hierfür liegt schätzungsweise bei 90% des möglichen Grenzanschlussmomentes. Das heißt bei  $M_{y,d} \leq 0,9 \cdot M_{y,A,R,d}$  sollte eine Optimierung des Anschlusses erfolgen, um wirtschaftliche Ergebnisse zu erzielen. Hingegen bei  $M_{y,d} > 0,9 \cdot M_{y,A,R,d}$  kann dieser typisierte Anschluss bedenkenlos verwendet werden.

Schlussendlich bietet jedes der beschriebenen Verfahren und Methoden spezifische Vorteile und Nachteile und sollten den individuellen Gegebenheiten angepasst werden. Pauschal kann keines der Verfahren einem anderen vorgezogen, erst recht nicht ersetzt werden. Neuere Verfahren, wie der EC3, sind als Alternative anzusehen, wenn hierdurch Vorteile bezüglich der Wirtschaftlichkeit entstehen. Desweiteren sollten die Anschlüsse und das Tragwerk immer als Einheit betrachtet werden um die Wirtschaftlichkeit von Stahlkonstruktionen zu verbessern.

## 4.2 Ausblick

Zukünftig werden Berechnungsmodelle noch komplexer und individueller. Dies begründet sich meiner Meinung nach in der Weiterentwicklung und Einführung von höherfesten Stahlbausorten, sowie der Schweißtechnik und Schraubentechnik. Die eingangs erwähnten nationalen und internationalen Forschungen in den letzten beiden Jahrzehnten zielten unter anderem darauf ab. Als Ergebnis ist beispielsweise der EC3 - Teil 8 anzusehen.

Die Methode der Finiten Elemente (FEM), die ursprünglich aus der Luft- und Raumfahrtindustrie stammt, wird mittlerweile als Standardverfahren zur Berechnung von Tragwerken eingesetzt. Aus dieser Entwicklung heraus schlussfolgere ich, dass dieses Verfahren mehr und mehr an Bedeutung beim Nachweis von Stahlbauanschlüssen gewinnt. Da die Programmierung noch aufwendig ist, sollten zukünftig Makros für Stahlbauanschlüsse entwickelt werden, bei denen dann der Programmieraufwand minimiert wird. Gleichzeitig bietet die Methode der Finiten Elemente eine äußerst realistische Ermittlung der Tragfähigkeiten eines biegesteifen Anschlusses.

Um den stetig steigenden Rechenaufwand bei der Nachweisführung unter Zuhilfenahme von Berechnungsmodellen entgegenzuwirken, setzen immer mehr Firmen auf Softwaretools oder schreiben sich eigene Programme. Aufwendige Handrechnungen sind nicht mehr zeitgemäß, jedoch für das fachgemäße Verständnis in der Ausbildung unerlässlich.

## 5 Anhang

### 5.1 Literaturverzeichnis

- [1] Deutscher Ausschuß für Stahlbau DAST., *DAST-Richtlinie 014; Empfehlungen zum Vermeiden von Terrassenbrüchen in geschweißten Konstruktionen aus Baustahl*. Köln : Stahlbau-Verlags-GmbH, Ausgabe Januar 1981.
  - [2] DIN Deutsches Institut für Normung e.V., *DIN 18800 Teil 1, Stahlbauten - Bemessung und Konstruktion*. Berlin : Beuth Verlag GmbH, Ausgabe November 1990.
  - [3] DIN Deutsches Institut für Normung e.V., *DIN 18800-1, Stahlbauten - Bemessung und Konstruktion*. Berlin : Beuth Verlag GmbH, Ausgabe November 2008.
  - [4] DIN Deutsches Institut für Normung e.V., *DIN EN 1993-1 ; EC3 - Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten*. Berlin : Beuth Verlag GmbH, Ausgabe Juli 2005.
  - [5] Goris, A., *Schneider, Bautabellen für Ingenieure mit Berechnungshinweisen und Beispielen*. Köln : Werner Verlag, 18. Auflage, 2008.
  - [6] Goris, A., *Schneider, Bautabellen für Ingenieure mit Berechnungshinweisen und Beispielen*. Köln : Werner Verlag, 19. Auflage, 2010.
  - [7] Kindmann, R. / Stracke, M., *Verbindungen im Stahl- und Verbundbau 2.Auflage*. Berlin : Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co.KG, 2009.
  - [8] Laufs, T.; Werner, F; Schneider, L., *Skripten zum Lehrgebiet Grundlagen des Stahlbaus - Teil 1*. Roßwein : Hochschule Mittweida, University of Applied Sciences, Ausgabe 2006.
  - [9] Lohse W., *Stahlbau 2, 20. Auflage*. Stuttgart, Leipzig, Wiesbaden : B.G. Teubner Verlag, 2005.
  - [10] Oberegge/Hockelmann/Rusznak., *Bemessungshilfen für profilorientiertes Konstruieren*. Köln : Stahlbau-Verlagsgesellschaft mbH, 3. Auflage, 1997.
  - [11] Sedlacek, G./Wynand, K., *Typisierte Anschlüsse im Stahlhochbau - Band 2 - 2.Auflage DSTV/DAST Ringbuch*. Köln : Stahlbau-Verlagsgesellschaft mbH, 1997.
-



## 5.2 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1 Stirnplattenstoß mit überstehenden Stirnplatten [7], S. 272, Bild 4.52 .....	8
Abb. 2 Zugbeanspruchte Schrauben in einer Verbindung und Versagensarten [7], S. 214, Bild 4.13 .....	8
Abb. 3 Zum Einfluss der Vorspannung auf zugbeanspruchte Schrauben [7], S.215, Bild 4.15 .....	9
Abb. 4 Schnitt durch einen Terrassenbruch, Schematische Darstellung [1], S.2, Bild 2 .....	10
Abb. 5 Verformte Schraube und Spannungsverteilungen in SLV - Verbindungen [7], S.209, Bild 4.7 ...	10
Abb. 6 Biegesteife Stirnplattenstöße in bündiger(a) und überstehender(b) Ausführung [8], S.6/46 ...	11
Abb. 7 Randabstände $e_1$ und $e_2$ und Lochabstände $e$ und $e_3$ [3], S.29, Bild 4 .....	11
Abb. 8 Seitenansicht der Kontaktfläche Trägerflansch-Stirnplatte.....	13
Abb. 9 Skizzenhafte Darstellung der Lastausbreitung.....	15
Abb. 10 Schematische Darstellung der „herausgelösten“ Stirnplatte .....	16
Abb. 11 Schematische Darstellung [9], S. 276, Bild 6.34.....	19
Abb. 12 Geometrische Abmessungen typisierter Stirnplattenverbindungen siehe [11] .....	19
Abb. 13 Statische Beziehungen am T-Modell, Seitenansicht [9], S. 277, Bild 6.35.....	20
Abb. 14 Schematische Darstellung VZa [9], S.279, Tafel 6.1.....	21
Abb. 15 Schematische Darstellung VZb [9], S.279, Tafel 6.1.....	22
Abb. 16 Schematische Darstellung VZc [9], S.279, Tafel 6.1 .....	22
Abb. 17 Statische Beziehungen am L-Modell, Seitenansicht [9], S. 280, Bild 6.36 .....	28
Abb. 18 Schematische Darstellung VZa [9], S.282, Tafel 6.2 .....	28
Abb. 19 Schematische Darstellung VZb [9], S.279, Tafel 6.1.....	29
Abb. 20 Schematische Darstellung VZc [9], S.279, Tafel 6.1 .....	30
Abb. 21 Schematische Darstellung VZd [9], S.279, Tafel 6.1.....	31
Abb. 22 Biegesteife Stirnplattenstöße in überstehender(a) und bündiger(b) Ausführung [4]-8, S.100, Bild 6.17 .....	36
Abb. 23 Stirnplattenstoß mit überstehenden Stirnplatten [7], S. 272, Bild 4.52 .....	38
Abb. 24 Überstehender Stirnplattenstoß und vereinfachtes Modell zur Übertragung der Gurtkräfte [7], S. 274, Bild 4.53.....	38
Abb. 25 Abmessungen eines äquivalenten T-Stummelflansches [7], S. 278, Bild 4.59.....	39
Abb. 26 Behandlung von überstehenden Stirnblechen als separate T-Stummelflansche [4]-8, S. 89, Bild 6.10 Auszug .....	39
Abb. 27 Fließlinien für T-Stummel und wirksame Längen [7], S. 277, Bild 4.57 .....	39

---

Abb. 28 Beiwert $\alpha$ zur Ermittlung wirksamer Längen für ausgesteifte Stützenflansche und Stirnplatten [7], S. 283, Bild 4.62.....	40
Abb. 29 Abmessungen und Achsen eines I-Querschnittes [4]-1, S. 21, Bild 1.1 .....	44
Abb. 30 T-Stoß mit Kehlnähten [7], S. 315, Bild 5.15 .....	44
Abb. 31 Schweißnahtspannungen im schrägen Schnitt durch eine Kehlnaht [7], S. 320, Bild 5.22 .....	45
Abb. 32 Rechnerische Schweißnahtspannungen in einer Kehlnaht (Beispiel) [7], S. 320, Bild 5.23.....	45
Abb. 33 Beanspruchung einer Naht pro Längeneinheit.....	46
Abb. 34 Tabellenkopf und Ausschnitt drei möglicher Anschlussgeometrien, [11] .....	51
Abb. 35 Tabellenkopf und Ausschnitt drei möglicher Beanspruchbarkeiten, [11] .....	52
Abb. 36 Überstehende Stirnplattenverbindung unter Biegemoment, Querkraft und Längskraft [8], S. 11/47 Abb. geändert .....	53
Abb. 37 Bündige Stirnplattenverbindung unter Biegemoment, Querkraft und Längszugkraft [8], S.11/47 Abb. geändert .....	53
Abb. 38 Flächenträgheitsmoment 2. Ordnung der Schweißnähte und deren Spannungsverteilungen [8], S. 11/45 .....	53
Abb. 39 Tragsicherheitsnachweis für Schrauben nach dem Verfahren nach Schineis [8], S. 11/46.....	54
Abb. 40 Abmaße des Stützenstoßquerschnittes - überstehende Stirnplatte .....	56
Abb. 41 Seitenansicht des Trägerstoßes mit Schnittgrößen .....	56
Abb. 42 Abmaße des Stützenstoßquerschnittes - bündige Stirnplatte.....	60
Abb. 43 Seitenansicht des Trägerstoßes mit Schnittgrößen .....	60
Abb. 44 Abmaße des Stützenstoßquerschnittes - überstehende Stirnplatte .....	65
Abb. 45 Seitenansicht des Trägerstoßes mit Schnittgrößen .....	65
Abb. 46 Abmaße des Stützenstoßquerschnittes - bündige Stirnplatte.....	71
Abb. 47 Seitenansicht des Trägerstoßes mit Schnittgrößen .....	71
Abb. 48 Abmaße des Stützenstoßquerschnittes - überstehende Stirnplatte .....	77
Abb. 49 Seitenansicht des Trägerstoßes mit Schnittgrößen .....	77
Abb. 50 Abmaße des Stützenstoßquerschnittes - bündige Stirnplatte.....	82
Abb. 51 Seitenansicht des Trägerstoßes mit Schnittgrößen .....	82
Abb. 52 Diagramm des Grenzanschlußmomentes $M_{y,A,R,d}$ der überstehenden Stirnplattenverbindungen .....	88
Abb. 53 Diagramm des Grenzanschlußmomentes $M_{y,A,R,d}$ der bündigen Stirnplattenverbindungen ....	90

---

### 5.3 Tabellenverzeichnis

Tab. 1 Rand- und Lochabstände von Schrauben und Nieten [5], S.8.71, Tafel 8.71b .....	11
Tab. 2 Als charakteristische Werte für Schraubenwerkstoffe festgelegte Werte [3], S.20, Tabelle2....	12
Tab. 3 Schaftquerschnitt $A_{sch}$ und Spannungsquerschnitt $A_{Sp}$ [5], S. 8.82, Tafel 8.82b .....	12
Tab. 4 Abscherbeiwert $\alpha_s$ [3], S.72, Element (804) .....	12
Tab. 5 Charakteristische Werte für Walzstahl [3], S.18, Tabelle1 (Auszug) .....	13
Tab. 6 Bestimmungsgleichungen für den Lochleibungsbeiwert $\alpha_l$ [5], S. 8.73, Tafel 8.73b.....	13
Tab. 7 $\alpha_w$ - Werte zur Berechnung der Grenzsweißnahtspannung [5], S. 8.69, Tafel 8.69a.....	15
Tab. 8 Schraubenmaße in mm für Sechskantschrauben mit großen Schlüsselweiten (HV-Schrauben) nach DIN EN 14399-4 und DIN EN 14399-8 [5], S. 8.82, Tafel 8.82a .....	20
Tab. 9 Grenzzugkräfte $N_{R,d}$ in KN je Schraube [5], S. 8.73, Tafel 8.73a .....	21
Tab. 10 Vorspannkraft $F_v$ nach DIN 18800-7 (09.02), Tab. 5+6 in KN [5], 8.77, Tafel 8.77a .....	23
Tab. 11 Rand- und Lochabstände von Schrauben [7], S.242, Tabelle 4.18 .....	36
Tab. 12 Nennwerte der Streckgrenze $f_y$ und der Zugfestigkeit $f_u$ für warmgewalzten Baustahl [4]-1, S. 27, Tabelle 3.1 .....	37
Tab. 13 Wirksame Längen für Stirnplatten [7], S. 282, Tabelle 4.27 .....	40
Tab. 14 Tragfähigkeit $F_{T,Rd}$ eines T-Stummelflansches bei Zugbeanspruchung.....	41
Tab. 15 Nennwerte der Streckgrenze $f_{yb}$ und der Zugfestigkeit $f_{ub}$ von Schrauben [4]-8, S. 24, Tabelle 3.1 .....	42
Tab. 16 Schaftquerschnittsfläche $A$ und Spannungsquerschnitt $A_s$ in $cm^2$ [6], S. 8.62, Tafel 8.62b .....	42
Tab. 17 Grenzzugkräfte $F_{t,Rd}$ für eine Schraube in KN [7], S. 246, Tabelle 4.22.....	42
Tab. 18 Grenzabscherkräfte $F_{V,Rd}$ in KN für eine Scherfläche [7], S. 244, Tabelle4.19 .....	43
Tab. 19 Beiwerte $k_1$ und $\alpha_b$ zur Ermittlung von Grenzlochleibungskräften [7], S. 245, Tabelle 4.20.....	43
Tab. 20 Korrelationsbeiwert $\beta_w$ [7], S. 321, Tabelle 5.7.....	45
Tab. 21 Eingangsgrößen der untersuchten überstehenden Stirnplattenverbindungen.....	87
Tab. 22 Eingangsgrößen der untersuchten bündigen Stirnplattenverbindungen .....	89

### 5.4 CD - ROM

- Oberegge\_Bündige\_Stirnplatte.xlsx
- Oberegge\_Überstehende\_Stirnplatte.xlsx
- EC3.VSD
- Oberegge\_L\_Modell.VSD
- Oberegge\_T\_Modell.VSD
- Valtinat.VSD