

Programm

RAHMECK

für PCs unter Windows 2000/XP

**Biegesteife Rahmenecken für I-förmige
Profile mit Auslegung und Nachweisen
für Stütze und Riegel nach DIN 18800**

Benutzer-Handbuch

Fassung November 2002

Alle Rechte, auch das der Übersetzung, vorbehalten. Ohne ausdrückliche Genehmigung der ING.-SOFTWARE DLUBAL GMBH ist es nicht gestattet, dieses Benutzer-Handbuch oder Teile daraus auf jedwede Art zu vervielfältigen.

**© ING.-SOFTWARE DLUBAL GMBH
Am Zellweg 2 • D-93464 Tiefenbach**

Telefon: 0 96 73 / 92 03 0
Telefax: 0 96 73 / 92 03 51
E-Mail: info@dlubal.com
Internet: <http://www.dlubal.de>



1.	EINLEITUNG	1
2.	GEOMETRIE UND EINWIRKUNGEN	7
2.1	GEOMETRISCHE ABMESSUNGEN	7
2.2	EINWIRKUNGEN	16
3.	ERMITTLUNG DER BEANSPRUCHBARKEITEN (TRAGLASTEN) FÜR NEGATIVES MOMENT	18
3.1	BIEGEBEANSPRUCHBARKEIT DER STIRNPLATTE (EP) BZW. ZUGBEANSPRUCHBARKEIT DER SCHRAUBEN	18
3.2	GRENZZUGKRÄFTE DES STÜTZENFLANSCHES AUS BIEGEBEANSPRUCHBARKEIT BZW. ZUGBEANSPRUCHBARKEIT DER SCHRAUBEN	24
3.2.1	Grenzkkräfte ohne Unterlegbleche	24
3.2.2	Grenzzugkräfte mit lastverteilenden Unterlegplatten	26
3.3	BEANSPRUCHBARKEIT $F_{BWT,A}$ DES TRÄGERSTEGES UND DER STEGNAHT IM BEREICH DER ZUGZONE	27
3.4	ZUGBEANSPRUCHBARKEIT $F_{CWT,R}$ DES STÜTZENSTEGES UND EINER EVENTUELLEN STEGNAHT IM BEREICH DER ZUGZONE	29
3.5	SCHUBBEANSPRUCHBARKEIT $F_{CWS,C}$ DES STÜTZENSTEGBLECHS	31
3.6	GRENZDRUCKKRAFT $F_{CWC,R}$ DES STÜTZENSTEGES IN DER DRUCKZONE	32
3.6.1	Knickstabähnliches Beulen des Stützensteges $F_{CSB,c}$ (column sway buckling)	34
3.6.2	Anordnung von Stegsteifen im Druckpunkt D	35
3.7	GRENZDRUCKKRAFT $F_{BFC,A}$ DES FLANSCH-DRUCKGURTES RIEGEL A	37
3.8	GRENZSCHUBBEULKRAFT $F_{CWB,C}$ DER RAHMENECKE	41
3.9	GRENZKRAFT $F_{CS,C}$ DER DIAGONALSTEIFEN	42
3.10	BERECHNUNG DER SCHWEIßNÄHTE	44
3.11	NACHWEIS DER SCHRAUBEN IM DRUCKBEREICH	48
3.12	BESCHREIBUNG DES ITERATIONSABLAUFS, ANORDNUNG DER SCHRAUBEN	50
4.	ERMITTLUNG DER BEANSPRUCHBARKEITEN FÜR POSITIVES ECKMOMENT (PM)	53
4.1	BIEGEBEANSPRUCHBARKEIT DER STIRNPLATTE UND ZUGBEANSPRUCHBARKEIT DER SCHRAUBEN	53
4.2	GRENZZUGKRÄFTE DES STÜTZENFLANSCHES AUS BIEGEBEANSPRUCHUNG (PM)	55
4.2.1	Grenzkkräfte ohne Unterlegbleche	55
4.2.2	Grenzzugkräfte mit lastverteilenden Unterlegplatten (PM)	56
4.3	GRENZZUGKRAFT $F_{BWT,A}$ DES TRÄGERSTEGES UND DER STEGNAHT IM BEREICH DER ZUGZONE (PM)	57
4.4	ZUGBEANSPRUCHBARKEIT $F_{CWT,R}$ DES STÜTZENSTEGES UND EINER EVENTUELLEN STEGNAHT IM BEREICH DER ZUGZONE UNTEN (PM)	58
4.5	SCHUBBEANSPRUCHBARKEIT $F_{CWS,C}$ DES STÜTZENSTEGBLECHES (PM)	59
4.6	GRENZDRUCKKRAFT $F_{CWC,R}$ DES STÜTZENSTEGES IN DER DRUCKZONE OBEN (PM)	59



4.7	GRENZDRUCKKRAFT $F_{BFC,A}$ DES DRUCKFLANSCHES RIEGEL A OBEN (PM).....	59
4.8	GRENZSCHUBBEULKRAFT DER RAHMENECKE (PM).....	59
4.9	BERÜCKSICHTIGUNG EVENTUELL VORHANDENER DIAGONALSTEIFEN AUS NEGATIVEM MOMENT	60
4.10	ÜBERPRÜFUNG DER SCHWEIßNÄHTE INFOLGE PM	60
4.11	SCHRAUBEN IM DRUCKBEREICH OBEN (PM)	61
4.12	BESCHREIBUNG DES ITERATIONSABLAUFES, ANORDNUNG DER SCHRAUBEN (PM).....	62
5.	KLASSIFIZIERUNG, MOMENTEN-ROTATIONS-CHARAKTERISTIK, NACHWEISVERFAHREN	63
5.1	DEFINITION	63
5.2	KLASSIFIZIERUNG DES ANSCHLUSSES	65
5.3	BERECHNUNGSVERFAHREN [11] FÜR KLASSIFIZIERUNG.....	66
5.4	GRENZKRITERIEN FÜR DIE KLASSIFIZIERUNG, BEMESSUNGSMODELLE 68	
5.5	NACHWEISE [2], [11], [14].....	70
5.6	ERMITTLUNG DER ROTATIONSSTEIFIGKEIT S_J	71
5.7	BERÜCKSICHTIGUNG DER ANSCHLUßSTEIFIGKEIT $S_{J,INI}$ BEIM TRAGWERKSNACHWEIS.....	74
5.8	ERMITTLUNG DER ROTATIONSKAPAZITÄT.....	76
6.	ARBEITEN MIT RAHMECK	77
6.1	RAHMECK ALS ZUSATZMODUL	77
6.2	MASKEN	77
6.3	EINGABEMASKEN	78
6.3.1	Maske 1.1 Basisangaben	78
6.3.2	Maske 1.2 Geometrie	81
6.3.3	Maske 1.3 Schrauben	82
6.3.4	Maske 1.4 Belastung	83
6.4	ERGEBNISMASKEN	83
6.4.1	Maske 2.1 Lösungsvarianten	83
6.4.2	Maske 2.2 Bemessungsschnittgrößen	84
6.4.3	Maske 2.3 Bauteile	85
6.4.4	Maske 2.4 Schweißnähte	85
6.4.5	Maske 2.5 Nachweise	86
6.4.6	Maske 2.6 Klassifizierung des Anschlusses	87
7.	BEISPIEL	88
	ANHANG A: LITERATURVERZEICHNIS	102
	ANHANG B: NOTATIONEN.....	103
B.1	TRAGLASTEN	103
B.2	GEOMETRISCHE ABMESSUNGEN.....	103
B.3	ABMESSUNGEN UND BEZEICHNUNGEN FÜR DIE STATISCHEN NACHWEISE.....	104
B.4	GRIECHISCHE BUCHSTABEN.....	106
B.5	SCHWEIßNÄHTE	106

1. Einleitung

Für eine Rahmenecke (Kniestoß) unter einer vorgegebenen Beanspruchung (Bemessungswerte der Einwirkungen = γ -fache Schnittgrößen) wird eine Bemessung nach dem Traglastverfahren durchgeführt. Hierbei werden Schrauben, Schraubenabstände, Schweißnähte, Futterplatten, Stegsteifen bzw. Stegblechverstärkungen, Stirnplatte und alle geometrischen Abstände (unter Beachtung der Ausführbarkeit, z. B. der Schraubbarkeit) durch das Programm ermittelt und dem Anwender in Form eines Auswahlkataloges zur Verfügung gestellt.

Durch die Sichtung mehrerer Lösungsvorschläge wird es dem Anwender möglich, die für ihn wirtschaftlichste Konstruktion auszuwählen. In der Tabelle 1 sind die vorzugebenden Werte und die daraus vom Programm ausgelegten Größen zusammengestellt.

Voraussetzungen

- zwei vertikale Schraubenreihen
- Stiel und Riegel aus Walzprofilen und/oder geschweißten, einfachsymmetrischen I-Profilen
- Stütze mit Endstirnplatte
- plastische Verteilung der Schraubenkräfte (Verfahren J.3.1 [11])
- Stoßpunkt (Rahmenecke) gegen seitliches Ausweichen und Verdrehen gehalten
- Betriebsfestigkeitsnachweis nicht maßgebend
- Riegnormalkraft $N_{dA} \leq 0,1 N_{pl,dA}$

Vorgaben

- Profile und Riegelneigungen
- Bemessungswerte d. Einwirkungen des Riegels im Eckpunkt E oder Riegelanschnitt A
- Höhe der Zugzone
- Stahlsorten - Stiel/Endplatte/Zulagebleche/Steifen
- Riegel/Stirnplatte/Stegblechzulage
- Schraubengüte, Lochspiel, Schaft oder Gewinde in der Scherfuge, Lochart, Schraubengröße
- Schraubenabstand **konstant und unveränderlich** oder **konstant und iterativ angepaßt** (verkleinert) oder Angabe der Zugzonenhöhe

Ergebniskatalog

- für den gewählten Schraubendurchmesser werden Lösungen ausgegeben, die folgendes enthalten:
 - Anzahl der erforderlichen Schrauben
 - Schraubengeometrie
 - Stirnplattenabmessungen
 - Futterplattenabmessungen (optional)
 - Steife im Druckbereich (optional)
 - Stegblechverstärkungen (optional) Stütze bzw. Riegel mit evtl. erforderlichen Lochschweißungen
 - Diagonalsteifen (optional)
 - alle Schweißnähte
 - Klassifizierung des Anschlusses nach der
 - a) Steifigkeit: starr oder nachgiebig
 - b) Tragfähigkeit: teil- oder volltragfähig
 - Rotationssteifigkeit $S_{j,ini}$ des Anschlusses (Momentendrehfeder)
 - Nachweis der Rotationskapazität
- Aus allen Lösungen wählt der Anwender eine für ihn optimale Lösung aus, darüber erfolgt die Ausgabe: Rahmeneckengeometrie, alle Blechabmessungen und Nähte, auf Wunsch Ausgabe aller statischen Nachweise für die einzelnen Tragkomponenten



Ergebnismodifikation

zur Erzielung einer höheren Tragfähigkeit (z. B. volltragfähige Verbindung) oder/und einer größeren Drehsteifigkeit (z.B. auch starre Verbindung) können folgende Konstruktionsmerkmale geändert werden:

- Stirnplattendicke des Riegels
- Einfügen einer Stegrippe im unteren Druckbereich
- Anordnung einer Stegblechverstärkung der Stütze
- Schraubendurchmesser
- Unterlegbleche am Stützenflansch
- Vergrößerung des Rieglmomentes auf $M_{pl,A}$ bzw. $1,2 M_{pl,A}$ zur Erzielung eines volltragfähigen Anschlusses oder zum Nachweis ausreichender Rotationskapazität (siehe Tabelle 5.1)

Tafel 1.1: Voraussetzungen, Vorgaben, Ergebnisse

Die Bemessung erfolgt nach dem Traglastverfahren, wobei die einzelnen Traglasten bzw. Versagenslasten konsequent nach der DIN 18800, Teil 1 [2] berechnet werden. Das Bemessungskonzept lehnt sich an die Verfahren des EC3/Anhang J [14], sowie der in [1], [5], [6] und [12] angegebenen Verfahren (Fließlinienmodelle) zur Ermittlung der Momententragfähigkeit geschraubter Stirnplattenverbindungen an. Es wird eine plastische Verteilung der Schraubenkräfte vorausgesetzt (Verfahren J.3.1 [14]) und daraus das Grenzmoment berechnet. Eine solche Konstruktion wird als teiltragfähige Verbindung bezeichnet.

Der Grenzwiderstand einer teiltragfähigen Verbindung darf kleiner sein als der des angeschlossenen Bauteils, muß jedoch so groß sein, daß die berechneten γ -fachen Schnittgrößen übertragen werden können. Werden als Schnittgrößen die Grenzschnittgrößen des angeschlossenen Bauteils vorgegeben und der Grenzwiderstand des Stoßes danach ausgelegt, so handelt es sich um eine volltragfähige Verbindung (eine volltragfähige Verbindung darf nach dem hier angewandten Verfahren J.3.1 [14] berechnet werden).

Bei einer volltragfähigen Verbindung sind mögliche Überfestigkeiten zu berücksichtigen, wenn das Rotationsvermögen begrenzt ist (Element (759) [2] und Anmerkung 2 dazu). Beträgt der Grenzwiderstand der Verbindung mindestens das 1,25-fache [Element (759) [2]) des plastischen Grenzwiderstandes des Bauteils, braucht das Rotationsvermögen der volltragfähigen Verbindung nicht überprüft zu werden. Eine solche Verbindung muß z. B. beim Verfahren plastisch-plastisch (z. B. Fließgelenktheorie) gewählt werden, siehe Kap. 5.5.

Wenn die Schnittgrößen nach der Elastizitätstheorie berechnet werden (Verfahren elastisch-elastisch bzw. elastisch-plastisch) sollte die **Steifigkeit** des Anschlusses klassifiziert werden (Kapitel 5.2 bis 5.5). Bei einer als nachgiebig einzustufenden Verbindung ist die Rotationssteifigkeit der Rahmenecke bei der Ermittlung der Schnittgrößen zu berücksichtigen, z. B. durch Einbau einer Momentenfeder (siehe Kapitel 5.7). Der Anwender des Programmes kann jedoch durch Veränderung der zunächst gewählten Lösung eine starre Verbindung erzielen z. B. durch

- größere Stirnplattendicke Riegel (Feder k_5)
- Einbau einer Stegsteife ($k_2 \rightarrow \infty$)
- Anordnung von Stegblechverstärkungen (Federn k_1 und k_3)
- größerer Schraubendurchmesser (Feder k_{10})
- ein größeres Bemessungsmoment (negatives Anschlußmoment)

Zusammenfassend gilt also bei einer plastischen Tragwerksbemessung, z. B. bei **Anwendung der Fließgelenktheorie**:

- Verbindung muß volltragfähig sein
- Rotationsvermögen braucht nicht nachgewiesen zu werden, wenn der
 - a.) Grenzwiderstand der Verbindung mindestens das 1,25-fache des plastischen Grenzwiderstandes des angeschlossenen Bauteils beträgt, oder
 - b.) das Grenzmoment durch die Beanspruchbarkeit der Schubzone begrenzt ist oder durch die Stützenflansch- oder Stirnplattenbiegung begrenzt ist und Grenzdicken für Stützenflansch oder Stirnplatte eingehalten werden (siehe Kap. 5.8).

Die Grundidee des vorliegenden Traglastverfahrens ist die Zerlegung der geschraubten Träger-Stützenverbindung in einzelne Tragkomponenten (Versagensarten), für deren jeweilige Versagensformen Einzelwiderstände (Beanspruchbarkeiten oder Traglasten) errechnet



Die Momententragfähigkeit ergibt sich aus den durch die Versagensarten BWT, CWT, EP und CF begrenzten Zugkräften $F_{R,i}$ der einzelnen Schraubenreihen. Diese Zugkräfte sind eventuell infolge der Beanspruchbarkeiten aus CWS, CWC und BFC auf die Werte red. $F_{R,i}$ abzumindern. Als Drehpunkt zur Ermittlung der Momentenbeanspruchbarkeit $M_{R,d} = \sum h_i$ red $F_{R,i}$ wird die Mitte des Druckflansches des Riegels angenommen.

Im Kapitel 2 werden die geometrischen Abmessungen definiert.

Im Kapitel 3 werden die einzelnen Traglasten hergeleitet und die iterativen Verfahren zur Berechnung des negativen Grenzmomentes $M_{R,d}$ beschrieben.

Im Kapitel 4 werden die Traglasten und Verfahren zur Berechnung des positiven Eckmomentes $M_{R,d}$ (PM) aufgezeigt.

Im Kapitel 5 sind die Methoden zur Klassifizierung des Anschlusses sowie die Ermittlung der Rotationssteifigkeit angegeben.

Beanspruchung durch Wechselmomente

Bei der Anordnung der Schrauben kann der Anwender zwischen folgenden Fällen wählen:

1. Gleichmäßige Verteilung der Schrauben
2. Vorgabe des Schraubenabstandes für den oberen Bereich (Beanspruchung durch das negative Moment), Vorgabe des Schraubenabstandes für den unteren Bereich (Beanspruchung durch das positive Moment)
3. Vorgabe der Höhe für den oberen Bereich, bis zu der Schraubenreihen angeordnet werden sollen (Beanspruchung durch das negative Moment)
Vorgabe des Schraubenabstandes für den unteren Bereich (Beanspruchung durch das positive Moment)

Für die Fälle 2 und 3 wird zunächst das obere Schraubenbild (negatives Moment) festgelegt und dann der verbleibende untere Bereich genutzt, um Schrauben für die Übertragung des positiven Momentes anzuordnen. D.h. die Schrauben, die das negative Moment übertragen, werden nicht zur Übertragung des positiven Momentes genutzt.

Dies ist dann sinnvoll, wenn ein großes negatives und ein verhältnismäßig kleines positives Moment wirkt. Für den Fall, daß das negative und positive Moment annähernd gleich groß sind, sollte der 1. Fall für die Anordnung der Schrauben gewählt werden. Hier ist der Schraubenabstand für den oberen und unteren Bereich gleich. Für das negative und positive Moment werden jeweils so viele Schraubenreihen herangezogen, wie für die Übertragung des Moments nötig sind. Somit ist sichergestellt, daß die Beanspruchbarkeit der Verbindung für beide Lastfälle annähernd gleich ist.

Lastfälle

Bei Übernahme der Schnittgrößen aus RSTAB erfolgt eine Ermittlung der maßgebenden Lastfälle (größtes negatives Moment, größtes positives Moment, Überprüfung der Querkräfte):

a) größtes negatives Moment um den Druckpunkt (unten), Überprüfung der maximalen Querkraft für die positiven Momente

Die Schrauben in der Zugzone oben übertragen die Zugkräfte aus dem negativen Moment und werden für die Querkraft aus dem Lastfall „positives Moment (PM)“ angesetzt. Somit werden für die Bemessung der oberen Schrauben die folgenden maßgebenden Lastfälle übergeben:

Maßgebender Lastfall A: Größtes negatives Moment um den Druckpunkt unten aus allen Lastfällen (Kapitel 3)

$$M_D = |M_{y,d,A} - N_{dA} \cdot d_A|$$

$$M_{y,d,A} < 0$$

$$d_A = h_A - z_{SA} - \frac{0,5 \cdot t_{uA}}{\cos \alpha_{uA}}$$

Die zu diesem größten negativen Moment zugehörigen Schnittgrößen sind in das Programm RAHMECK einzugeben.



Maßgebender Lastfall B: Größte Querkraft aller Lastfälle mit positivem Moment
Für alle Lastfälle aus RSTAB mit positivem Moment wird die betragsmäßig größte Querkraft V_{dA} (globales Koordinatensystem) ermittelt:

$$\max V_{d,A,PM} = \left| \max \left\{ -N_{d,AI} \cdot \sin \alpha_A + V_{d,AI} \cdot \cos \alpha_A \right\} \right|$$

Dieser Wert stellt einen Eingabewert für das Programm RAHMECK dar.

b) größtes positives Moment um den Druckpunkt (oben), Überprüfung der maximalen Querkraft für die negativen Momente

Die unteren Schrauben übertragen das positive Moment und die Querkraft für den Lastfall eines negativen Momentes. Somit werden für die Bemessung dieser Schrauben die folgenden Lastfälle übergeben:

Maßgebender Lastfall C: Größtes positives Moment um den Druckpunkt (oben) für alle Lastfälle (Kapitel 4)

$$M_{Do} = M_{yd,A} + N_{d,A} \cdot d_{Ao}$$

$$M_{yd,A} > 0$$

Die zu diesem größten positiven Moment zugehörigen Schnittgrößen sind in das Programm RAHMECK einzugeben.

Maßgebender Lastfall D: Größte Querkraft aller Lastfälle mit negativem Moment

$$\max V_{d,A,NM} = \left| \max \left\{ -N_{d,AI} \cdot \sin \alpha_A + V_{d,AI} \cdot \cos \alpha_A \right\} \right|$$

Dieser Wert stellt einen Eingabewert für das Programm RAHMECK dar.

c) Zusammenfassung der Eingabedaten für RAHMECK

Damit sind in das Programm RAHMECK folgende Werte einzugeben:

- Die zu $\max M_D$ ($M_D < 0$) zugehörigen Schnittgrößen
- Die zu $\max M_{do}$ ($M_{do} > 0$) zugehörigen Schnittgrößen
- Die maximale Querkraft $\max V_{d,A,PM}$
- Die maximale Querkraft $\max V_{d,A,NM}$

Das Programm legt mit diesen Eingabewerten die Verbindung aus und führt den Nachweis.



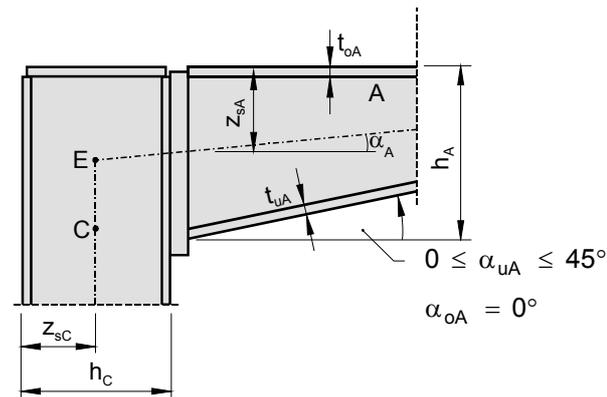
Programmname:	RAHMECK Vers. 5.xx (Rahmenecke aus Walz- und/oder Schweißprofilen)
Rechner-Konfiguration:	IBM-PC/AT bzw. PS/2 oder Kompatible, mind. 16 MB RAM, Festplatte mit mindestens 8 MB freiem Speicherplatz
Peripherie:	Tintenstrahl oder HP-Laser-Drucker (bzw. kompatibel), Maus
Betriebssystem:	Windows 95/98/NT 4.0/2000/ME
Programmiersprache:	Borland Pascal 7.0, Visual C
Das RAHMECK-Team	Folgende Personen waren an der Entwicklung von RAHMECK für Windows beteiligt:
Programmkoordination:	Prof. Dr.-Ing. K.-D. Klee Dipl.-Ing. Georg Dlubal Dipl.-Ing. Walter Rustler Dipl.-Ing. Peter Konrad
Programmierung:	Dr.-Ing. Jaroslav Lain
Programmentwicklung (Theorie)	Prof. Dr.-Ing. K.-D. Klee
Programmkontrolle:	Dipl.-Ing. Walter Rustler Dipl.-Ing. Peter Konrad Prof. Dr.-Ing. K.-D. Klee
Handbuch und Hilfesystem	Dipl.-Ing. Peter Konrad Franz Windmaißer Prof. Dr.-Ing. K.-D. Klee Dipl.-Ing. Bernd Kohl Wir bedanken uns hiermit auch bei allen Kunden, die stets mit nützlichen Hinweisen ihren Beitrag zur Programmentwicklung leisten.
Zweck:	Berechnung und automatische Auslegung von biegesteifen Rahmenecken aus Walzprofilen und/oder Blechträgern (einfachsymmetrisches I-Profil) mit mehreren horizontalen Schraubenreihen (Güte 4.6; 5.6; 8.8; 10.9) und allen relevanten Nachweisen (Beulen, Schub, Lasteinleitung, Flanschbiegung, Stegverstärkungen, Rippen, Diagonalsteifen, Unterlegplatten) nach DIN 18800.

Tafel 1.2: Kurzbeschreibung

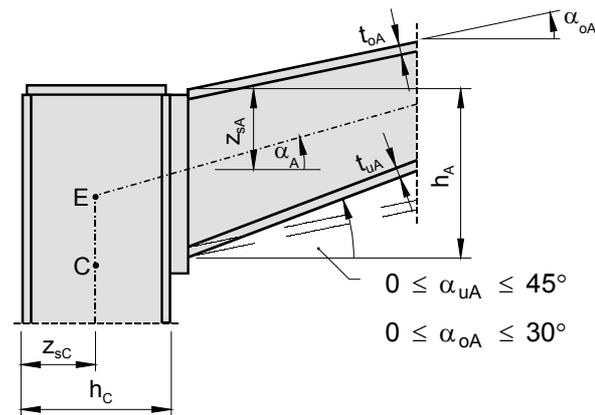
2. Geometrie und Einwirkungen

2.1 Geometrische Abmessungen

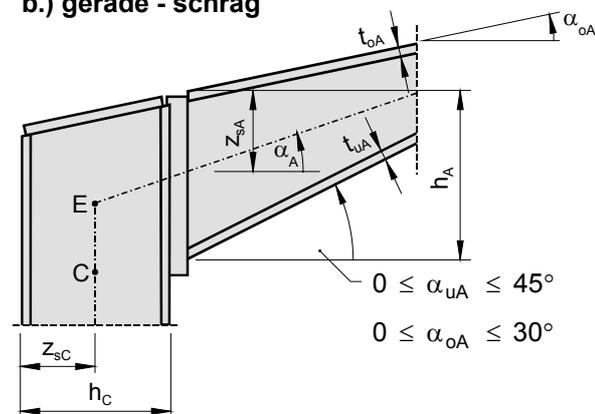
Mit dem Programm RAHMECK können die in Bild 2.1 dargestellten Verbindungen gerechnet werden.



a.) gerade - gerade



b.) gerade - schräg



c.) schräg - schräg

Bild 2.1: Rahmeneckausführungsmöglichkeiten



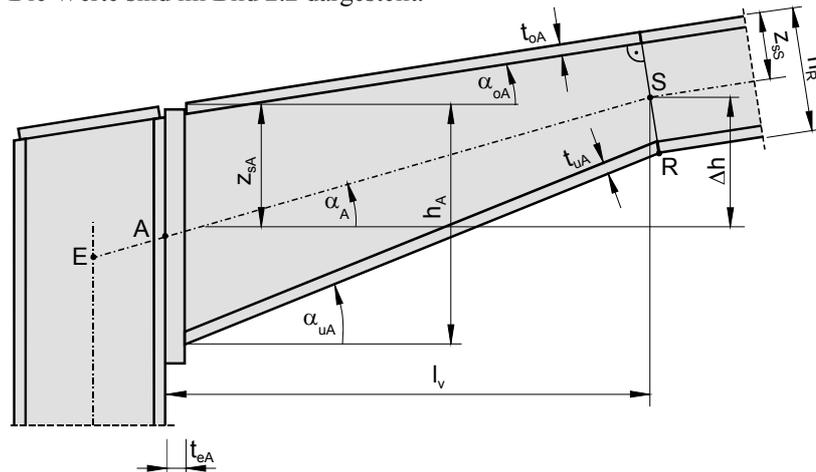
Zur Berechnung der Geometriedaten benötigt das Programm die Eingabewerte:
Möglichkeit 1:

- h_A, t_{oA}, t_{uA}, s_A bzw. Walzprofilsymbol
- α_{oA} Dachneigungswinkel
- l_V Koordinaten Voutenende S bezogen auf den Anschnittspunkt A
- h_R Höhe des Riegels im Punkt S

Möglichkeit 2:

- h_A, t_{oA}, t_{uA}, s_A bzw. Walzprofilsymbol
- $\alpha_{oA}, \alpha_A, \alpha_{uA}$,

Die Werte sind im Bild 2.2 dargestellt.



Vorgabe: $\alpha_{oA}, h_A, l_V, h_R$ (oder $\alpha_{oA}, \alpha_A, \alpha_{uA}, h_A$)

Programm: α_{uA}, α_A

Bild 2.2: Eingabedaten Voute zur Berechnung der Winkel α_{uA} und α_A

Für die einzelnen Werte ergibt sich:

$$z_{sA} = \frac{\left[b_{oA} t_{oA} \cdot 0,5 t_{oA} + (h_A - t_{oA} - t_{uA}) s_A \cdot 0,5 (h_A + t_{oA} - t_{uA}) \right] + t_{uA} b_{uA} (h_A - 0,5 t_{uA})}{b_{oA} t_{oA} + (h_A - t_{oA} - t_{uA}) \cdot s_A + t_{uA} b_{uA}}$$

Gleichung 2.1

Die Eingabe über die Voutengeometrie (mittels l_V, h_R, α_{oA}) soll dem Anwender des Programmes die aufwendige Berechnung der Winkel α_A und α_{uA} ersparen.

Für die Winkel folgt:

$$\tan \alpha_A = \frac{\Delta h}{l_V - t_{eA}}$$

$$\tan \alpha_A = \frac{z_{sA} + (l_V - t_{eA} + z_{sS} \sin \alpha_{oA}) \tan \alpha_{oA} - z_{sS} \cos \alpha_{oA}}{l_V - t_{eA}}$$

Gleichung 2.2

$$\tan \alpha_{uA} = \frac{\Delta h - (h_R - z_{sS}) \cos \alpha_{oA} - (z_{sA} - h_A)}{l_V + (h_R - z_{sS}) \sin \alpha_{oA} - t_{eA}}$$

Gleichung 2.3

Da die Stirnplattendicke t_{eA} klein im Verhältnis zur Voutenlänge ist, wird bei der Ermittlung von α_A und α_{uA} t_{eA} vernachlässigt:

$$t_{eA} \ll l_V \Rightarrow t_{eA} = 0$$

Die Ermittlung von z_{sS} erfolgt analog zu Gleichung 2.1 mit h_R anstatt h_A .

Zunächst werden für die drei Varianten nach Bild 2.1 die geometrischen Abmessungen, die für die Angabe der Beanspruchbarkeiten (Fließlinientheorie) notwendig sind, hergeleitet. Hierzu ist das Maß a_1 nach Tabelle 2.1 [4] ein Schraubenabstand, der eine Schraubbarkeit gewährleisten soll.

Schraube M	12	16	20	22	24	27	30	36
a_1 (mm)	25	30	40	45	50	60	60	70
w_1 (mm)	50	70	90	100	110	130	130	140

Tabelle 2.1: Maß a_1 zur Schraubbarkeit [4], [18]

Für den Schraubenabstand $e_3 = e_{3A}$ ist dann folgendes Kriterium zu erfüllen (siehe Bild 2.3):

$$e_{3A} = e_{3rC} = e_3 \geq \max \left\{ \begin{array}{l} 2a_1 + s_A \\ 2a_1 + s_A + 2\Delta s_A \\ s_A + 2\sqrt{2} a_{sA} + \emptyset \\ s_A + 2\sqrt{2} a_{sA} + \min e \\ s_A + 2\Delta s_A + \emptyset \\ s_A + 2\Delta s_A + \min e \\ 2a_1 + s_C \\ 2a_1 + s_C + 2\Delta s_C \\ s_C + 2r_C + \min e \\ s_C + 2r_C + \emptyset \\ s_C + 2\sqrt{2} a_{rC} + \emptyset \\ s_C + 2\sqrt{2} a_{rC} + \min e \\ s_C + 2\Delta s_C + \emptyset \\ s_C + 2\Delta s_C + \min e \end{array} \right.$$

Gleichungen 2.4

Hierin ist

- Δs_A evtl. Stegblechverstärkung des Riegels A
- \emptyset Scheibendurchmesser
- $\min e$ Eckenmaß Schraubenmutter
- Δs_C evtl. Stegblechverstärkung der Stütze C
- r_C Ausrundungsradius des Stützenprofils (wenn Walzprofil)
- alle Mindestmaße, die nicht a_1 enthalten, werden um 4 mm vergrößert.

Zusätzlich wird kontrolliert, ob für das Maß e_3 das Mindestmaß w_1 nach [18] eingehalten wird (siehe Tabelle 2.1).

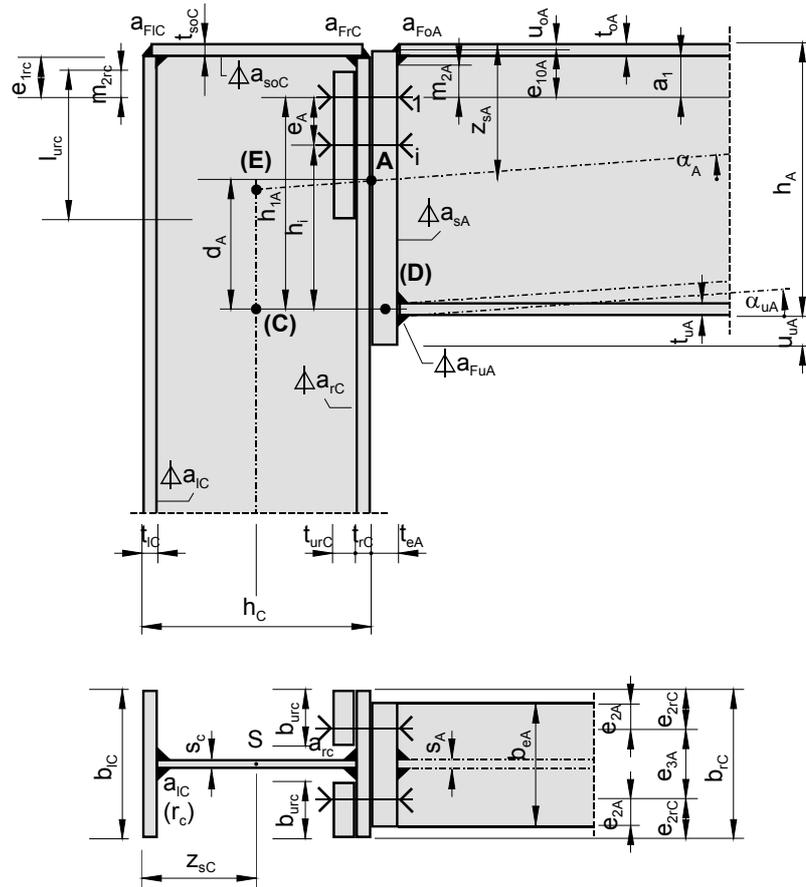


Bild 2.3: Variante "gerade-gerade" $\alpha_{0A}=0^\circ, 0^\circ \leq \alpha_{UA} \leq 45^\circ$

Für die Randabstände e_{2A} und e_{2rC} müssen die Kriterien [2]

$$e_{2rC} = 0,5 (b_{rC} - e_{3A}) \geq 1,2 d_L \quad (1,5 d_L)$$

$$e_{2A} = 0,5 (b_{eA} - e_{3A}) \geq 1,2 d_L \quad (1,5 d_L)$$

Gleichungen 2.5

eingehalten werden ($1,5 d_L$ bei gestanzten Löchern). Die Stirnplattenbreite ergibt sich zu

$$b_{eA} = \max \begin{cases} b_{0A} \\ b_{UA} \end{cases}$$

Gleichung 2.6

Werden die Kriterien für e_3 nicht eingehalten, muß eine kleinere Schraube gewählt werden. Für die Variante $\alpha_{0A} = 0$ nach Bild 2.3 ergeben sich für die Abstände und die rechnerischen Fließlinienlängen m_1 und m_2 :

Variante $\alpha_{0A} = 0^\circ, 0^\circ \leq \alpha_{UA} \leq 45^\circ$
$e_{1rC} = a_1 + t_{0A} - t_{s0C}$
$e_{10A} = a_1 + t_{0A} - u_{0A}$
$m_{2rC} = e_{1rC} - \max \begin{cases} 0,8 \sqrt{2} a_{FrC} \\ 0,8 \sqrt{2} a_{s0C} \end{cases}$
$m_{2A} = a_1 - 0,8 \sqrt{2} a_{FoAu}$

Gleichungen 2.7

Für die in Bild 2.4 dargestellte Variante ergibt sich entsprechendes nach Gl. 2.8.

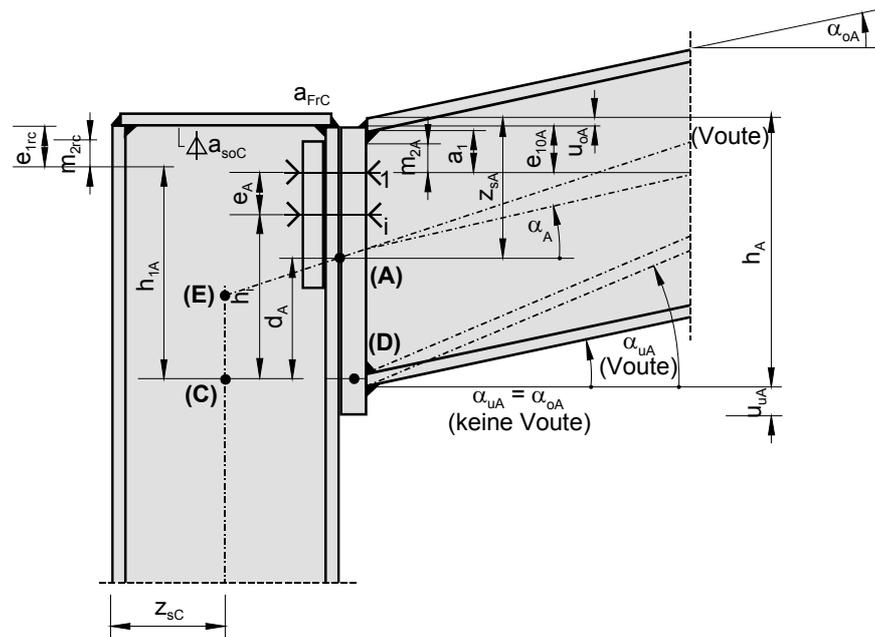


Bild 2.4: Variante "gerade-schräg", $0^\circ \leq \alpha_{oA} \leq 30^\circ$, $0^\circ \leq \alpha_{uA} \leq 45^\circ$

Variante "gerade - schräg" $0^\circ \leq \alpha_{oA} \leq 30^\circ$ $0^\circ \leq \alpha_{uA} \leq 45^\circ$
$e_{1rC} = a_1 + \frac{t_{oA}}{\cos \alpha_{oA}} - u_{oA}$
$e_{1oA} = e_{1rC}$
$m_{2rC} = \min \begin{cases} e_{1rC} - 0,8 \sqrt{2} a_{FrCu} \\ e_{1rC} - 0,8 \sqrt{2} a_{SoC} \end{cases}$
$m_{2A} = a_1 - 0,8 \sqrt{2} a_{FoAu}$

Gleichungen 2.8

Die dritte Variante mit schrägem Stützenabschluß ist in Bild 2.5 dargestellt:

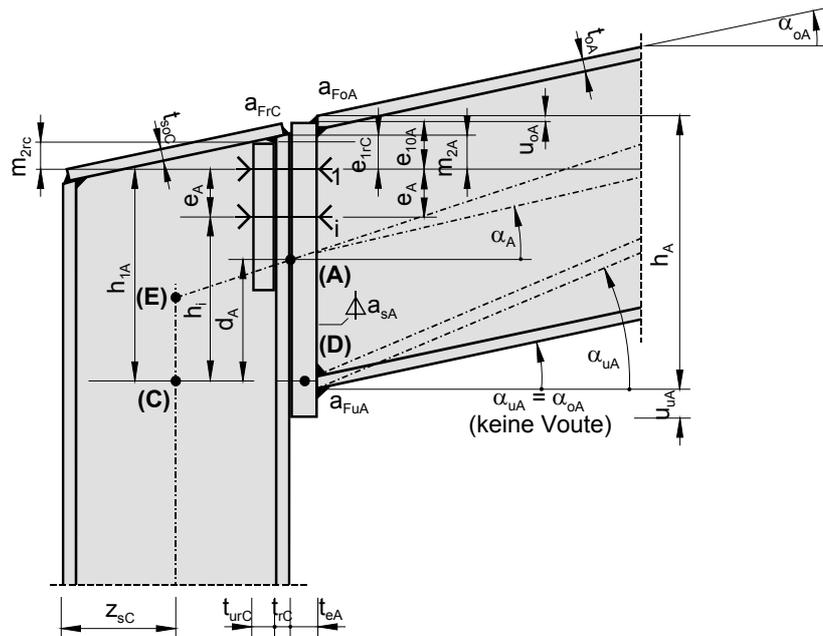


Bild 2.5: Variante "schräg-schräg", $0^\circ \leq \alpha_{oA} \leq 30^\circ$, $0^\circ \leq \alpha_{uA} \leq 45^\circ$

Die Abmessungen ergeben sich nach Gl. 2.9.

Variante "schräg – schräg" $0^\circ \leq \alpha_{oA} \leq 30^\circ$ $0^\circ \leq \alpha_{uA} \leq 45^\circ$
$e_{1rC} = \max \begin{cases} a_1 + t_{urC} \tan \alpha_{oA} + 0,5 t_{rC} \tan \alpha_{oA} + (t_s + m) \tan \alpha_{oA} \\ a_1 + a_{FrCu} \sqrt{2} + 0,5 t_{rC} \tan \alpha_{oA} + (t_s + m) \tan \alpha_{oA} \end{cases}$
$e_{1oA} = e_{1rC} + 0,5 t_{rC} \tan \alpha_{oA} + t_{eA} \tan \alpha_{oA} + \frac{t_{oA}}{\cos \alpha_{oA}} - u_{oA}$
$m_{2rC} = \min \begin{cases} e_{1rC} - 0,5 t_{rC} \tan \alpha_{oA} - 0,8 \sqrt{2} a_{FrC} \\ e_{1rC} - 0,5 t_{rC} \tan \alpha_{oA} - t_{urC} \tan \alpha_{oA} \end{cases}$
$m_{2A} = e_{1oA} + u_{oA} - \frac{t_{oA}}{\cos \alpha_{oA}} - a_{FoA} 0,8 \sqrt{2}$

Gleichungen 2.9

Die in Gl. 2.10 zusammengefaßten Größen gelten für alle Varianten.

<p>alle Varianten</p> <p>$t_{s0C} = t_{0A}$ oder $t_{s0C} < t_{0A}$</p> <p>Platteneinzug oben [4]</p> $u_{0A} = \begin{cases} \leq \frac{t_{0A}}{\cos \alpha_{0A}} - 2 \text{ mm} \\ \geq a_{F0A} \sqrt{2} \\ \geq 5 \text{ mm für } h_A \leq 600 \text{ mm} \\ \geq 10 \text{ mm für } h_A > 600 \text{ mm} \end{cases}$ <p>Plattenüberstand unten</p> $u_{uA} = \begin{cases} t_{eA} + \sqrt{2} a_{FuA} \\ \geq 10 \text{ mm für } h_A < 200 \text{ mm} \\ \geq 20 \text{ mm für } 200 \text{ mm} \leq h_A < 400 \text{ mm} \\ \geq 30 \text{ mm für } h_A \geq 400 \text{ mm} \end{cases}$ $m_{1A} = 0,5 (e_{3A} - s_A) - 0,8 \sqrt{2} a_{sA}$ $m_{rC} = \begin{cases} 0,5 (e_{3A} - s_C) - 0,8 r_C \text{ Walzpr.} \\ 0,5 (e_{3A} - s_C) - 0,8 \sqrt{2} a_{rC} \text{ Schw. - pr.} \end{cases}$ $h_{1A} = h_A - u_{0A} - e_{10A} - \frac{0,5 t_{uA}}{\cos \alpha_{uA}}$ $d_A = h_A - z_{sA} - \frac{0,5 t_{uA}}{\cos \alpha_{uA}}$ $h_i = h_{1A} - (i-1) e_A$
--

Gleichungen 2.10

Die Höhe der Zugzone, in der die zugbeanspruchten Schrauben bei der Berechnung des Grenzmomentes $M_{R,d}$ mitwirken soll, wird vom Anwender vorgegeben oder vom Programm ausgelegt, je nach Eingabe (siehe Kapitel Eingabebeschreibung).

Der Randabstand e_{1uA} der untersten Schraube zur Stirnplatte des Riegels ergibt sich aus den folgenden Bedingungen, die eine einwandfreie Schraubbarkeit gewährleisten sollen, siehe Bild 2.6:

Schraubenlänge l

$$l = 2 t_s + t_{eA} + t_{rC} + t_{urC} + m + 3 \text{ mm}$$

(wird auf ganze 5 mm aufgerundet)

$$l_u = l - (2 t_s + t_{eA} + t_{rC} + t_{urC} + m)$$

$$f_{mC} = t_s + m + l_u + t_{urC} + 5 \text{ mm}$$

$$f_{mA} = l + k + 2 \text{ mm}$$



$$\begin{aligned}
 e_{1uA} = \max & \left\{ \begin{aligned}
 &= 0,5 \min e + f_{mC} \tan \alpha_D + \frac{0,5 t_D}{\cos \alpha_D} + \frac{t_{uA}}{\cos \alpha_{uA}} + u_{uA} \\
 &= 2d + t_{urC} \tan \alpha_D + \frac{0,5 t_D}{\cos \alpha_D} + \frac{t_{uA}}{\cos \alpha_{uA}} + u_{uA} \\
 &= 0,5 \min e + f_{mA} \tan \alpha_{uA} + \frac{t_{uA}}{\cos \alpha_{uA}} + u_{uA} \\
 &= \sqrt{2} a_{RFC} + 2d + \frac{t_{uA}}{\cos \alpha_{uA}} + u_{uA} + 2 \text{ mm} \\
 &= a_1 + \frac{t_{uA}}{\cos \alpha_{uA}} + u_{uA}
 \end{aligned} \right.
 \end{aligned}$$

Gleichungen 2.11

Die ersten beiden Ausdrücke in e_{1uA} gelten nur, wenn eine Diagonalsteife vorhanden ist, der Ausdruck vier nur bei einer vorhandenen Stegsteife (ohne Diagonalsteife), und nach unten durchgezogenem Unterlegblech .

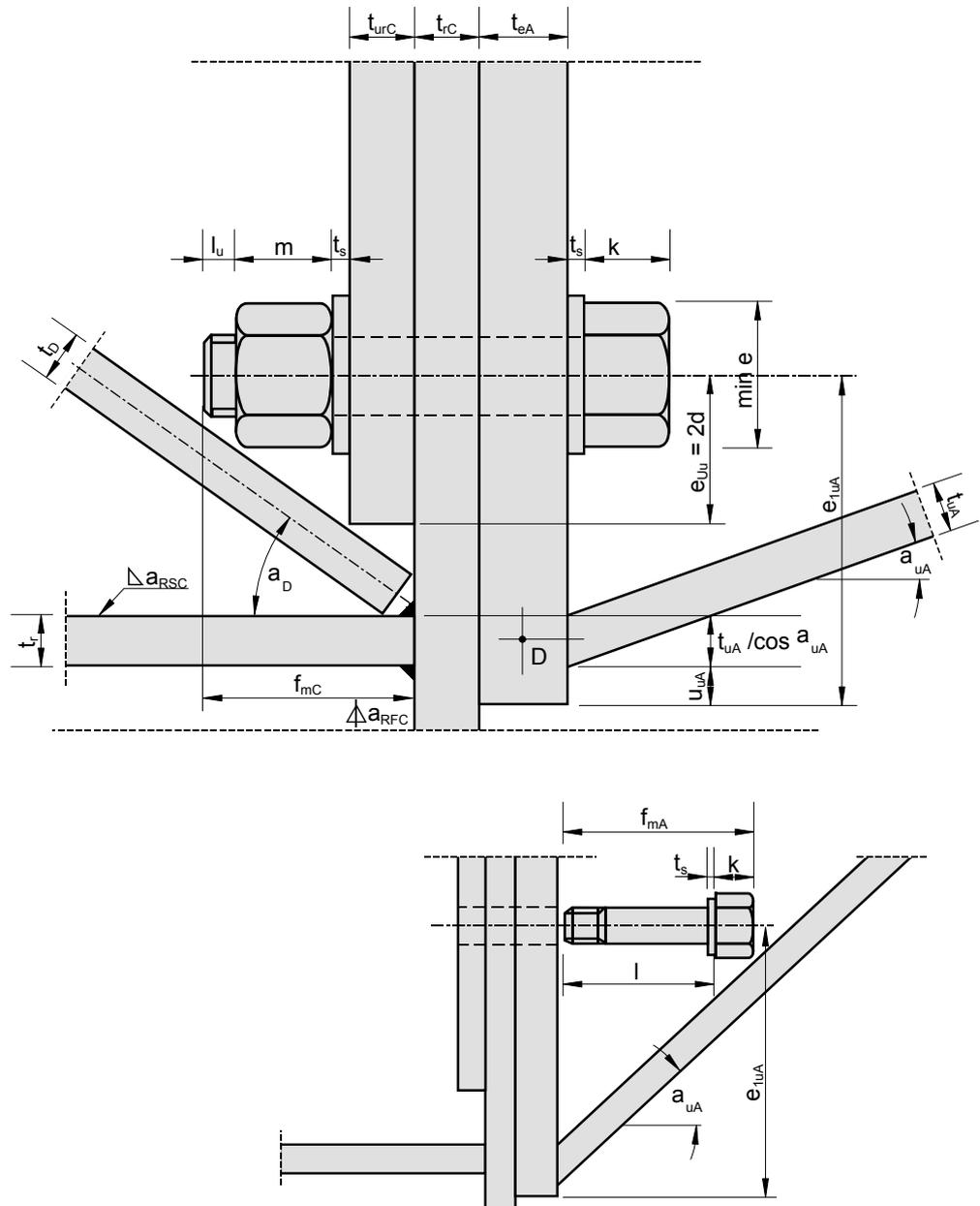


Bild 2.6: Schraubbarkeitsmaße



Zur Aufnahme des positiven Momentes werden von der untersten Schraube dann die Schrauben im Abstand e_D nach oben hin angeordnet.

Bei Beanspruchung der Rahmenecke durch ein positives Moment bildet sich der Druckpunkt (D_o) am oberen Riegelflansch aus, siehe Bild 4.1. Für die Hebelarme der unteren Schraubenreihen zu diesem Druckpunkt und für den Abstand d_{oA} zur Schwerelinie ergibt sich

Variante "gerade – gerade"
$d_{oA} = z_{sA} - t_{oA} - x_D$
$h_1 = h_A - e_{1uA} + u_{uA} - t_{oA} - x_D$
$h_2 = h_1 - e_D, \text{ usw.}$

Gleichungen 2.12

Variante "gerade – schräg"
$d_{oA} = z_{sA} - u_{oA} - x_D$
$h_1 = h_A - e_{1uA} + u_{uA} - u_{oA} - x_D$
$h_2 = h_1 - e_D, \text{ usw.}$

Gleichungen 2.13

Variante "schräg – schräg"
$d_{oA} = z_{sA} - (0,5 t_{rC} + t_{eA}) \tan \alpha_{oA} - \frac{t_{oA}}{\cos \alpha_{oA}} - x_D$
$h_1 = h_A - e_{1uA} + u_{uA} - (0,5 t_{rC} + t_{eA}) \tan \alpha_{oA} - \frac{t_{oA}}{\cos \alpha_{oA}} - x_D$
$h_2 = h_1 - e_D, \text{ usw.}$

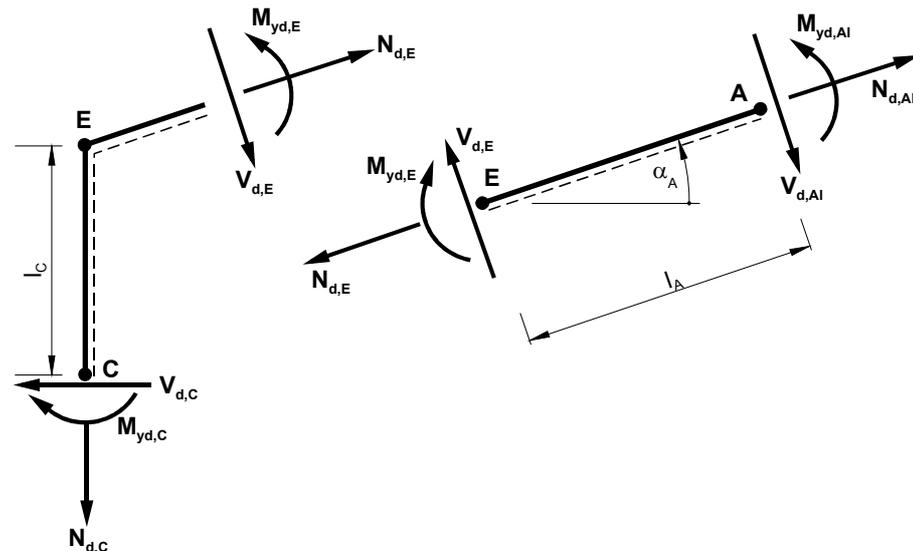
Gleichungen 2.14

Die genaue Lage des Druckpunktes wird über das Maß x_D iterativ ermittelt, siehe Kap. 4.1.

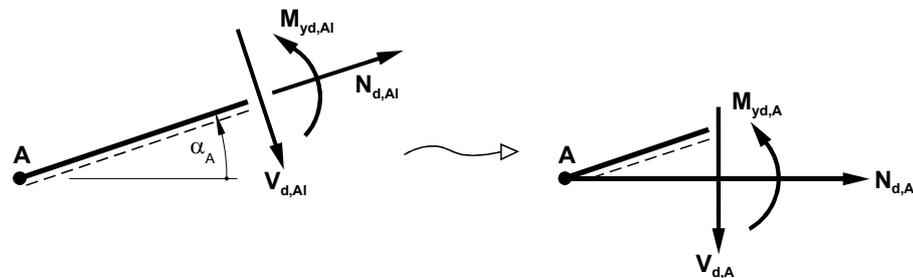


2.2 Einwirkungen

Vom Anwender des Programmes sind die Bemessungsgrößen der Einwirkungen (γ -fache Schnittgrößen) vorzugeben. Es können die Schnittgrößen des Riegels im Punkt E bezogen auf die um den Winkel α_A geneigte Riegelachse vorgegeben oder vom Programm RSTAB [19] übernommen werden (ebenfalls Punkt E). Die aus RSTAB [19] übernommenen Größen sind ebenfalls auf die um α_A geneigte Achse bezogen. Der Winkel α_A wird entweder vom Anwender direkt eingegeben oder über die Vouteneingabedaten ermittelt. Mit diesem Winkel werden dann die Schnittgrößen auf den Punkt A (Anschnitt) umgerechnet.



- a) Vorgabe im Knoten E (bezogen auf α_A , Riegelschnittgrößen, Umrechnung auf die Anschnitte A bzw. C)



- b) Vorgabe direkt im Knoten A bezogen auf die Stabachse (lokal), Umrechnung auf die horizontale bzw. vertikale Richtung

Bild 2.7: Bemessungswerte der Einwirkungen

Weiterhin besteht die Möglichkeit, die auf die lokale Achse bezogenen Größen direkt im Punkt A (lokal) einzugeben.

• Vorgabe im Knoten E (lokale Achse):

$$V_{d,E}; N_{d,E}; M_{yd,E}$$

$$l_C = d_A - (h_C - z_{sC}) \tan \alpha_A$$

$$l_A = \frac{h_C - z_{sC}}{\cos \alpha_A}$$

$$V_{d,AI} = V_{d,E}$$

$$N_{d,AI} = N_{d,E}$$

$$M_{yd,AI} = M_{yd,E} + V_{d,E} l_A$$

Umrechnung auf die globalen Richtungen

$$V_{d,A} = -N_{d,AI} \sin \alpha_A + V_{d,AI} \cos \alpha_A$$

$$N_{d,A} = N_{d,AI} \cos \alpha_A + V_{d,AI} \sin \alpha_A$$

$$M_{d,A} = M_{d,AI}$$

Gleichungen 2.15

• Vorgabe im Knoten A (lokale Achse):

$$V_{d,AI}; N_{d,AI}; M_{yd,AI}$$

Mit diesen Größen erfolgt die Berechnung auf die globalen Richtungen entsprechend Gl. (2.11).

Beim Nachweis der Lasteinleitung im Druckbereich (siehe Kapitel 3.6) werden die Schnittgrößen des Stieles im Punkt C benötigt:

$$N_{d,C} = N_{d,E} \sin \alpha_A - V_{d,E} \cos \alpha_A$$

$$V_{d,C} = N_{d,E} \cos \alpha_A + V_{d,E} \sin \alpha_A$$

$$M_{y,dC} = M_{yd,E} - V_{d,E} \sin \alpha_A l_C - N_{d,E} \cos \alpha_A l_C$$

bzw.

$$N_{d,C} = N_{d,AI} \sin \alpha_A - V_{d,AI} \cos \alpha_A$$

$$V_{d,C} = N_{d,AI} \cos \alpha_A + V_{d,AI} \sin \alpha_A$$

$$M_{y,dC} = M_{yd,AI} - N_{d,AI} l_C \cos \alpha_A - V_{d,AI} (l_A + l_C \sin \alpha_A)$$

Gleichungen 2.16

Für das auf den unteren Druckpunkt D bezogene Moment M_D (Bilder 2.3 bis 2.5) folgt

$$M_D = M_{yd,A} - N_{d,A} d_A$$

Gleichung 2.17

M_{yd} und N_d sowie V_d sind entsprechend Bild 2.7a vorzeichenrichtig einzugeben. Dies gilt auch für den Fall, daß die Rahmenecke für ein positives Moment nachgewiesen werden soll.

Für das auf den oberen Druckpunkt (Do) gezogene Moment (siehe auch Bild 4.1) ergibt sich

$$M_{Do} = M_{yd,A} + N_{d,A} d_{oA},$$

Gleichung 2.18

mit d_{oA} nach Kap. 2.1 als Abstand der Schwerlinie vom Punkt A zum oberen Druckpunkt (Do).



3. Ermittlung der Beanspruchbarkeiten (Traglasten) für negatives Moment

3.1 Biegebeanspruchbarkeit der Stirnplatte (EP) bzw. Zugbeanspruchbarkeit der Schrauben

Die Grenzzugkraft der Trägerkopfplatte und auch des Stützenflansches werden nach [5], [6], [11] u.a. mit Hilfe des Traglastverfahrens am System des *äquivalenten T-Stummels* bestimmt (siehe Bild 3.1). Die Beanspruchbarkeit des T-Stummels ist bestimmt durch:

- die Beanspruchbarkeit der Platte
- die Beanspruchbarkeit der Schrauben
- die Beanspruchbarkeit des Stegbleches im Bereich der Zugkrafteinleitung (ΣI_{eff}), siehe Kapitel 3.3)
- die Beanspruchbarkeit der Schweißnaht Stegblech-Kopfplatte in diesem Bereich (siehe Kapitel 3.3).

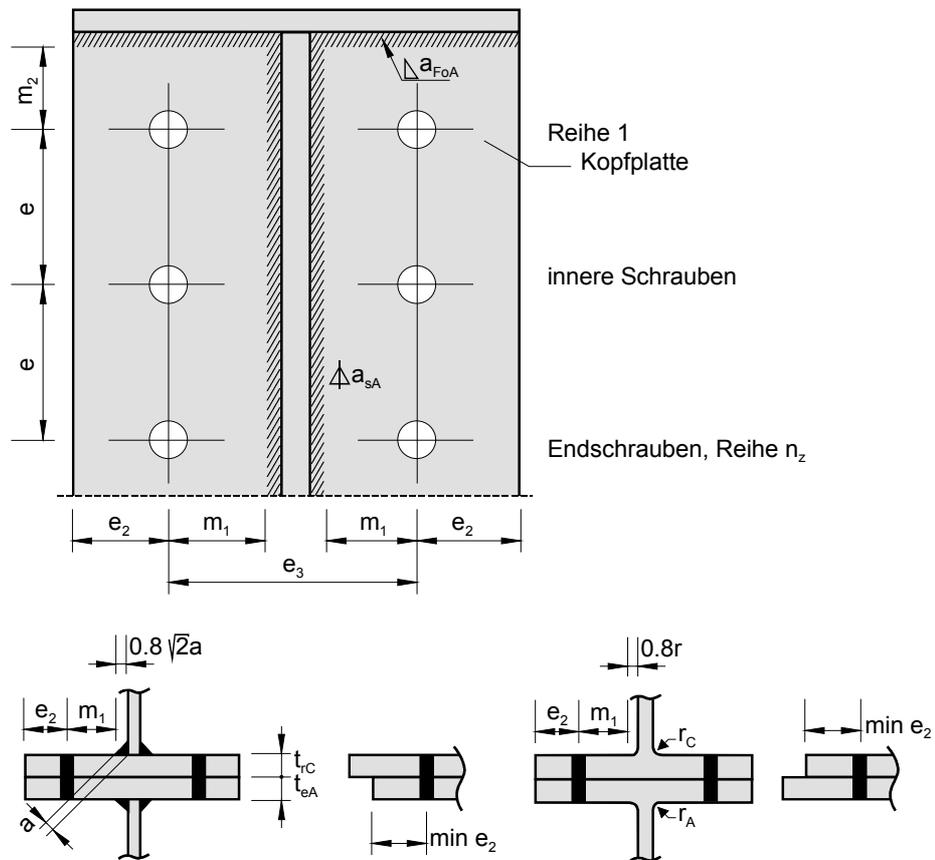


Bild 3.1: Abmessungen am T-Stummel

Die Grenzzugkraft eines T-Stummels wird als der kleinste Wert aus den drei Versagensarten nach Bild 3.2 bestimmt.

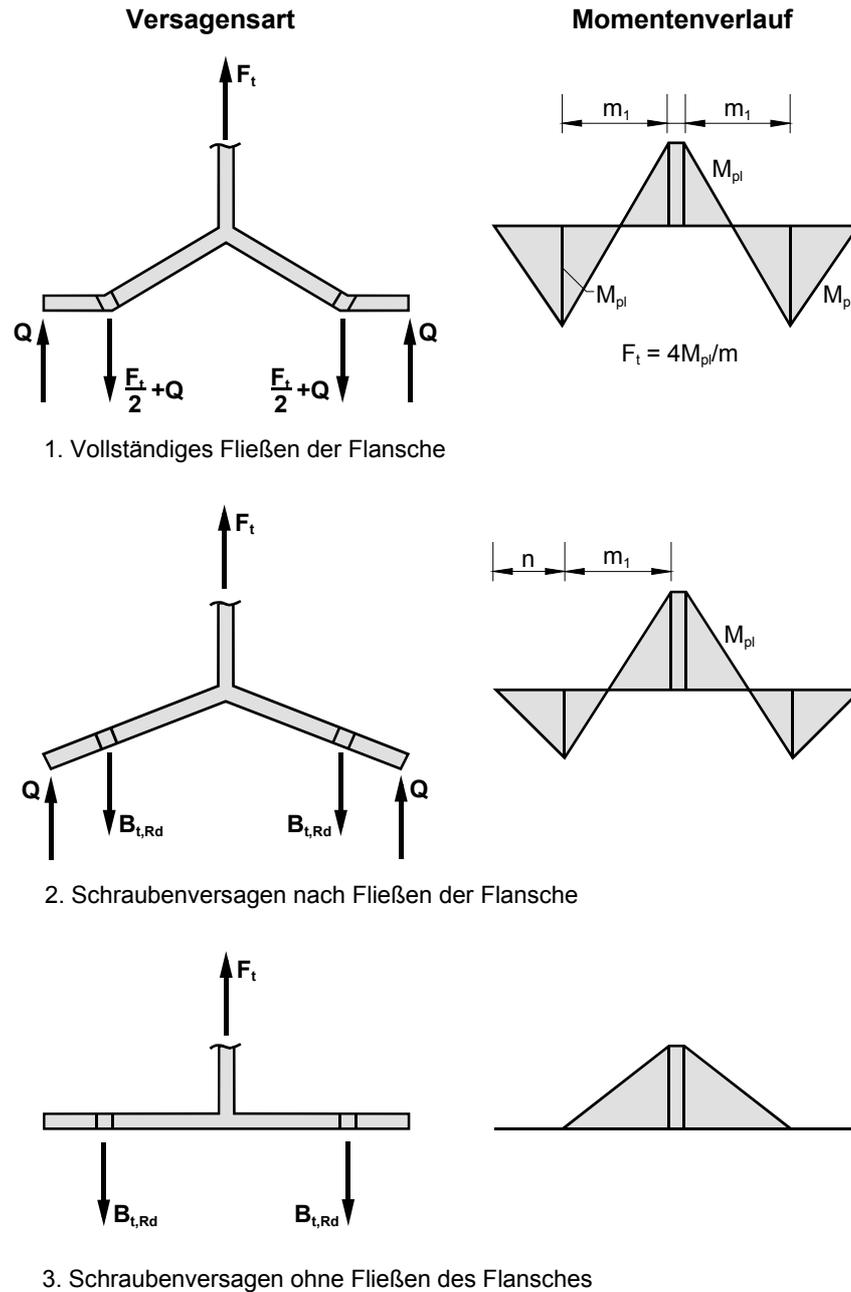


Bild 3.2: Versagensarten eines T-Stummels

$$F_{EP,A}^{(i)} = \sum_{j=1}^i F_{R,j} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{4 M_{pl,Rd}^{(i)}}{m_{1A}} \\ \frac{2 M_{pl,Rd}^{(i)} + n_A \sum B_{t,Rd}}{m_{1A} + n_A} \\ \sum B_{t,Rd} \end{array} \right.$$

Gleichung 3.1:



$F_{EP,A}^{(i)}$ ist die Summe der Grenzzugkräfte aller Schraubenreihen von der Reihe 1 bis zur Reihe i. Das plastische Moment des T-Stummels von der Reihe 1 bis i berechnet sich zu

$$M_{pl,Rd}^{(i)} = 0,25 l_{eff}^{(i)} t_{eA}^2 \frac{f_{y,k,A}}{\gamma_M}$$

Gleichung 3.2:

mit

γ_M Teilsicherheitsbeiwert für den Widerstand nach [2]
 $f_{y,k,A}$ charakteristische Fließspannung der Kopfplatte vom Riegel A
 $l_{eff}^{(i)} = \sum_{j=1}^i l_{eff,j}$ Summe aller effektiven Einzelfließlinienlängen von Reihe 1 bis inkl. Reihe i.

Für das Maß n_A ergibt sich [6]

$$n_A = \min e_2 = \min \left\{ \begin{matrix} e_{2A} \\ e_{2rC} \end{matrix} \right\} \leq 1,25 m_{1A}$$

Gleichung 3.3

Die Länge der Fließlinien der einzelnen Schrauben hängt von der individuellen Lage im Stoß ab. Man unterscheidet zwischen

- Schrauben neben einer Steife, hier Reihe 1
- innere Schrauben (Bild 3.1)
- Endschrauben, hier letzte (untere) angesetzte Schraube in der Zugzone.

Die Fließmuster um die Schrauben des T-Stummels können entweder polygonale Fließmuster um jede Schraube sein, oder Fließkegel oder kombinierte Muster (siehe [6], [5], [11]). Für die Stirnplatte gilt:

Reihe (1)

$$\lambda_1 = \frac{m_{1A}}{m_{1A} + e_{2A}} ; \quad \lambda_2 = \frac{m_{2A}}{m_{1A} + e_{2A}}$$

$$\alpha_A = f(\lambda_1; \lambda_2) \quad \text{Bild 3.3}$$

$$l_{eff,1} = \min \left\{ \begin{matrix} \alpha_A m_{1A} \\ 2\pi m_{1A} \end{matrix} \right.$$

Gleichungen 3.4:

Innenreihen

$$l_{eff,2} = \dots = l_{eff,nZ-1} = \min \left\{ \begin{matrix} e \\ 4 m_{1A} + 1,25 e_{2A} \\ 2\pi m_{1A} \end{matrix} \right.$$

Gleichung 3.5:



Endschraube unten

$$l_{\text{eff},nZ} = \min \begin{cases} 0,5 e + 2m_{1A} + 0,625 e_{2A} \\ 4 m_{1A} + 1,25 e_{2A} \\ 2\pi m_{1A} \end{cases}$$

Gleichung 3.6

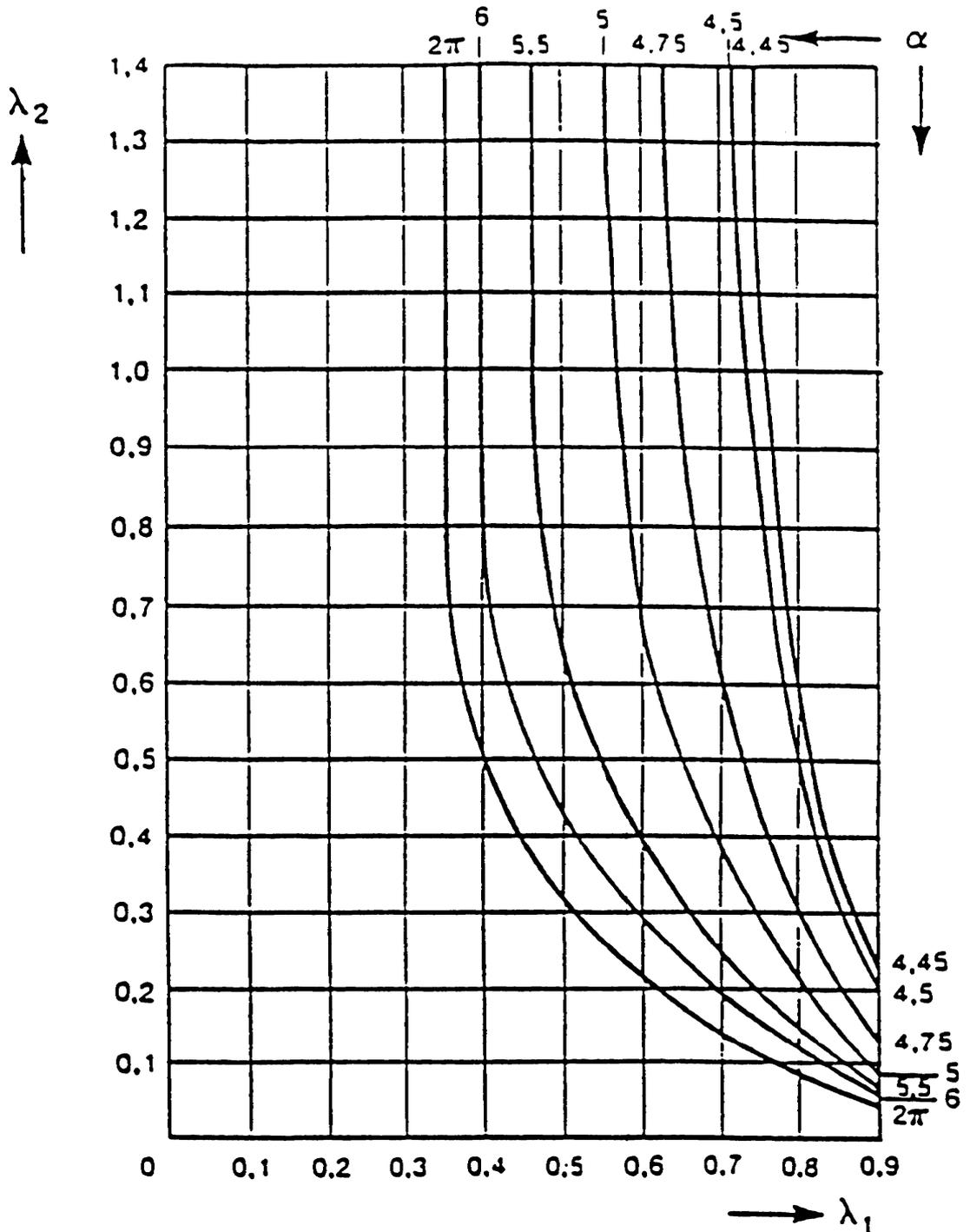


Bild 3.3: Faktor α zur Bestimmung der Fließlinienlänge nach Gleichung 3.4, siehe [11]



Die Grenzzugkraft $B_{t,Rd}$ einer Schraube ergibt sich als kleinerer Wert aus der Durchstanzkraft $B_{p,Rd}$ einer Schraube und der Zugfestigkeit $N_{R,d}$:

$$B_{t,Rd} = \min \begin{cases} B_{p,Rd} \\ N_{Rd} \end{cases}$$

Gleichung 3.7

mit der Durchstanzgrenzkraft

$$B_{p,Rd} = 0,6 \pi d_m t_{eA} \frac{f_{u,k,A}}{\gamma_M}$$

Gleichung 3.8

d_m Mittelwert aus Eckenmaß $\min e$ und Schlüsselweite s des Schraubenkopfes oder der Mutter

$f_{u,k,A}$ charakteristische Zugfestigkeit der Kopfplatte Riegel A und der Schraubenzugfestigkeit nach DIN 18800, T1 [2]:

$$N_{R,d} = \min \begin{cases} \frac{A_{Sch} f_{y,b,k}}{1,1 \gamma_M} \\ \frac{A_{Sp} f_{u,b,k}}{1,25 \gamma_M} \end{cases}$$

Gleichung 3.9

mit

- A_{Sch} Schaftdurchmesser der Schrauben
- A_{Sp} Spannungsquerschnitt der Schrauben
- $f_{y,b,k}$ Fließspannung der Schrauben
- $f_{u,b,k}$ Zugfestigkeit der Schrauben

Bei 2 Schrauben in einer Reihe gilt für die $\Sigma B_{t,Rd}$ in einem T-Stummel:

$$\Sigma B_{t,Rd} = 2 i B_{t,Rd}$$

Die maßgebende Zugkraft in jeder Reihe (i) wird als Differenzkraft erhalten, indem

von der Summe der Traglast bis inkl. Reihe (i) ($M_{pl}^{(i)}$ als Funktion von $\sum_{j=1}^i l_{eff,j}$)

die Traglast bis zur Reihe (i-1) subtrahiert wird. Dieses Vorgehen [11] wird im Bild 3.4 schematisch dargestellt.

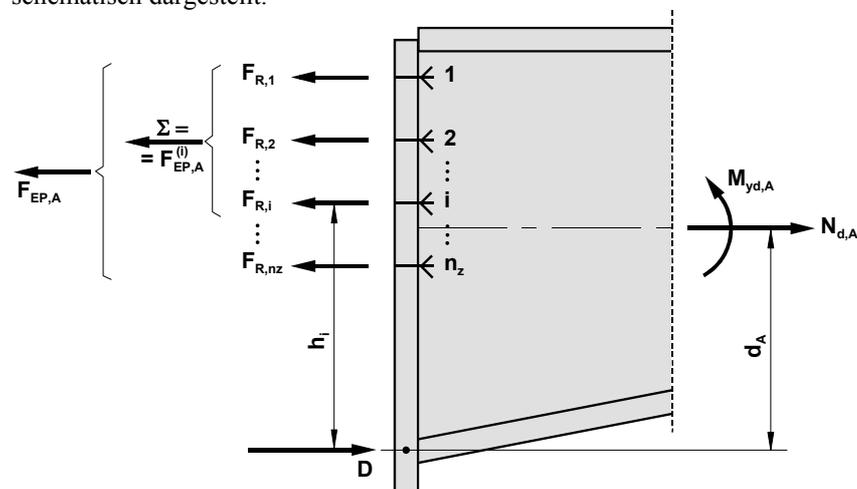
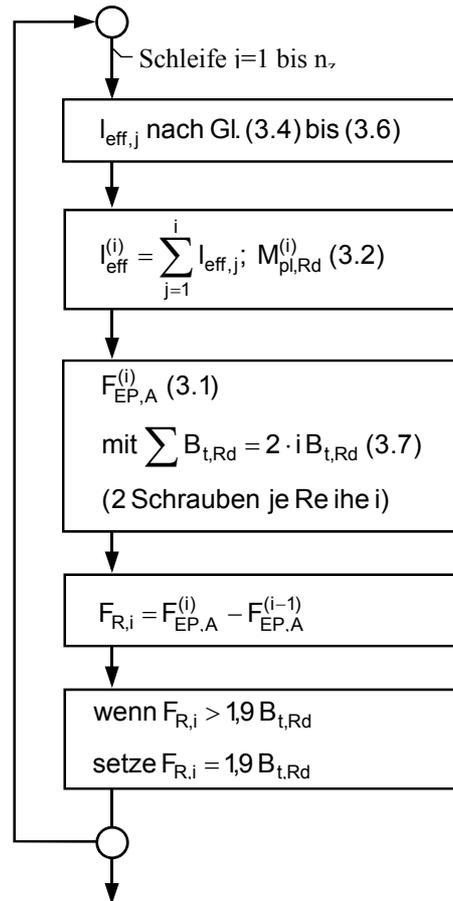


Bild 3.4: Schema zur Ermittlung der Grenzkraft F_{Ri}



Aus dieser Differenzbildung erhält man so die Grenzkraft $F_{R,i}$ in jeder Schraubenreihe. Nach EC3, Anhang J in der revidierten Fassung [14] werden die Zugkräfte in jeder Schraubenreihe auf den Wert $1,9 B_{t,Rd}$ beschränkt (siehe auch [11], [13]):

$$F_{R,i} \leq 1,9 B_{t,Rd}$$

Gleichung 3.10:

Mit diesen Grenzzugkräften und den Hebelarmen h_i (Gleichung 2.10) läßt sich das Grenzmoment um den Druckpunkt nach Bild 3.4 ermitteln

$$M_{Rd,A} = \sum_{i=1}^{n_z} F_{R,i} h_i$$

Gleichung 3.11

Für die Druckkraft D im Druckpunkt folgt

$$D = F_{EP,A} - N_{d,A}, \quad F_{EP,A} = \sum_{i=1}^{n_z} F_{R,i}$$

Gleichung 3.12

Die Kopfplattendicke t_{eA} wird vom Programm iterativ so ausgelegt, daß das Grenzmoment größer oder gleich dem äußeren Moment M_D um den Druckpunkt nach Gleichung 3.13 ist:

$$M_{Rd,A} \geq |M_D| = |M_{yd,A} - N_{d,A} d_A|$$

($M_{yd,A}$ vorzeichenrichtig einsetzen)

Gleichung 3.13



Der anschließende Stützenflansch muß nun so ausgebildet werden, - evtl. durch Unterlegplatten - daß die Grenzlaster des Flansches (Resultierende $F_{CF,A}$) ein Druckpunktgrenzmoment liefern, das ebenfalls größer als M_D ist.

3.2 Grenzzugkräfte des Stützenflansches aus Biegebeanspruchbarkeit bzw. Zugbeanspruchbarkeit der Schrauben

3.2.1 Grenzkkräfte ohne Unterlegbleche

Die Grenzzugkräfte werden analog zu Kapitel 3.1 ermittelt, die Grenzkraft eines T-Stummels wird als der kleinste Wert aus den drei Versagensarten nach Bild 3.2 bestimmt.

$$F_{CF,r}^{(i)} = \sum_{j=1}^i F_{R,j} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{4 M_{pl,Rd}^{(i)}}{m_{1rc}} \\ \frac{2 M_{pl,Rd}^{(i)} + n_{rc} \sum B_{t,Rd}}{m_{1rc} + n_{rc}} \\ \sum B_{t,Rd} \end{array} \right.$$

Gleichung 3.14

$F_{CF,r}^{(i)}$ ist hier die Summe der Grenzzugkräfte $F_{R,j}$ aller Schraubenreihen des Stützenflansches von der Reihe 1 bis zur Reihe i. Das plastische Moment (Länge des T-Stummels von 1 bis i) berechnet sich zu

$$M_{pl,Rd}^{(i)} = k_r \cdot 0,25 l_{eff}^{(i)} t_{rc}^2 \frac{f_{y,k,C}}{\gamma_M}$$

Gleichung 3.15

mit

$$l_{eff}^{(i)} = \sum_{j=1}^i l_{eff,j}$$

als Summe aller effektiven Einzelfließlinienlängen von Reihe 1 bis incl. i. Für das Maß n_{rc} gilt [6], [11]:

$$n_{rc} = \min e_2 = \min \left\{ \begin{array}{l} e_{2A} \\ e_{2rC} \end{array} \right\} \leq 1,25 m_{rc}$$

Gleichung 3.16

Die Länge der effektiven Fließlinien der einzelnen Schrauben ergibt sich analog zur Kopfplatte, wobei wieder zwischen den Schrauben der Reihe 1 (neben einer Stegsteife), den inneren Schrauben und den Endschrauben in der Zugzone unterschieden wird (siehe Bild 3.1). Die Werte für $l_{eff,i}$ folgen aus Gleichung 3.4 bis 3.6 mit den entsprechenden Werten m_{1rc} , e_{2rc} und m_{2rc} sowie a_c aus Bild 3.3. Die Werte für die Schraubenzugfestigkeit ergeben sich nach den Gleichungen 3.7 bis 3.10, das Grenzmoment der Stütze wird nach Gleichung 3.11 ermittelt.

Überschreitet im Stützenflansch die Druckspannung $\sigma_{x,rc}$ infolge Längskraft und Biegung im Bereich der Zugzone den Wert von 18 kN/cm^2 , so wird in Anlehnung an [11] eine Abminderung des Grenzmomentes des Stützenflansches vorgenommen, der Wert von $M_{pl,Rd}$ nach Gleichung 3.15 wird dann mit dem Abminderungsfaktor k_r multipliziert.

$$k_r = \frac{2 f_{y,k,C} - 18 - |\sigma_{x,rc}|}{2 f_{y,k,C} - 36} \leq 1,0$$

Gleichung 3.17

für $18 \text{ kN/cm}^2 < \sigma_{x,rc} \leq f_{y,k,C}$.

Für $\sigma_{x,rc} \leq 18 \text{ kN/cm}^2$ ist $k_r = 1,0$.

Aus den Schnittgrößen des Stieles in Punkt E (siehe Bilder 2.5 und 2.7a)

$$N_{d,C} = N_{d,E} \sin \alpha_A - V_{d,E} \cos \alpha_A$$

$$M_{yd,C} = M_{yd,E} - V_{d,E} \sin \alpha_A l_C - N_{d,E} \cos \alpha_A l_C$$

Gleichungen 3.18

Berechnet sich die Längsspannung zu

$$\sigma_{x,rc} = \frac{M_{yd,C}}{I_{y,C}} (h_C - z_{sC} - 0,5 t_{rC}) + \frac{N_{d,C}}{A_C}$$

Gleichung 3.19

Die Biegebeanspruchbarkeit des Stützenflansches ergibt sich aus Summation der Grenzzugkräfte $F_{R,i}$ jeder Schraubenbreite (mit der Beschränkung nach Gleichung 3.10, $F_{R,i} \leq 1,9 B_{t,Rd}$) des Stützenflansches:

$$F_{CF,r} = \sum_{i=1}^{n_z} F_{R,i}$$

Gleichung 3.20

Die Grenzkkräfte $F_{R,i}$ des Stützenflansches werden ebenfalls nach dem Schema Bild 3.4 ermittelt. Das daraus ermittelte Grenzmoment $M_{Rd,rc}$ muß die Bedingung

$$M_{Rd,rc} \geq |M_D|$$

Gleichung 3.21

erfüllen. Die Traglast des Stützenflansches sollte ungefähr im Gleichgewicht mit der Grenzkraft der Kopfplatte sein:

$$F_{CF,r} \approx F_{EP,A}$$

Gleichung 3.22

Ist wegen des in der Regel dünneren Stützenflansches die Bedingung nach Gleichung 3.21 nicht erfüllbar, so darf der Stützenflansch mit Hilfe loser, lastverteilernder Unterlegplatten nach Bild 2.3 (2.4 oder 2.5) verstärkt werden.



3.2.2 Grenzzugkräfte mit lastverteilenden Unterlegplatten

Die Zulagebleche sind an beiden Seiten des Steges anzuordnen und haben die jeweilige Breite (siehe Bild 2.3).

$$b_{urc} = \begin{cases} (b_{rc} - s_c) \cdot 0,5 - \max \begin{cases} a_{rc} \\ \Delta s_c \end{cases} & \text{Schweißpr.} \\ (b_{rc} - s_c) \cdot 0,5 - r_c & \text{Walzpr.} \end{cases}$$

Gleichung 3.23

Das plastische Moment eines Bleches innerhalb eines T-Stummels beträgt

$$M_{pl,Rd,ur}^{(i)} = 0,25 l_{eff}^{(i)} t_{urc}^2 \frac{f_{y,k,C}}{\gamma_M}$$

Gleichung 3,24

wobei die Unterlegbleche die gleiche Stahlsorte wie die Stütze haben. Für $l_{eff}^{(i)}$ ist entsprechend Kap. 3.2.2 die Summe der effektiven Einzelfließlinienlängen der Reihen 1 bis i. t_{urc} ist die Dicke des Zulagebleches. Für die Grenzzugkraft gilt [11], [6]

$$F_{CF,r}^{(i)} = \sum_{j=1}^i F_{R,j} = \min \begin{cases} \frac{4 M_{pl,Rd}^{(i)} + 2 M_{pl,Rd,ur}^{(i)}}{m_{1rc}} \\ \frac{2 M_{pl,Rd}^{(i)} + n_{rc} \sum B_{t,Rd}}{m_{1rc} + n_{rc}} \\ \sum B_{t,Rd} \end{cases}$$

Gleichung 3.25

mit n_{rc} nach Gleichung 3.16 und $M_{pl,Rd}^{(i)}$ nach Gleichung 3.15. Für die Summe aller Schraubengrenzzugkräfte gilt:

$$\sum B_{t,Rd} = 2 i B_{t,Rd}$$

$$B_{t,Rd} = \min \begin{cases} B_{p,Rd} \\ N_{Rd} \end{cases}$$

mit der Durchstanzkraft

$$B_{P,Rd} = 0,6 \pi d_m (t_{rc} + t_{urc}) \frac{f_{u,k,C}}{\gamma_M}$$

Gleichung 3.26

Die Verstärkung mittels Unterlegblechen ist also nur bei der Versagensart 1 - *Fließen des Stützenflansches* - wirksam. Die Länge der Unterlegplatten sollte um das Maß 2d über die Endschraube hinausreichen (siehe Bild 2.3) [11],

$$l_{urc} = m_{2rc} + (n_z - 1) e + 2 d$$

Gleichung 3.27

worin d der Schaftdurchmesser einer Schraube ist.

3.3 Beanspruchbarkeit $F_{BWT,A}$ des Trägersteges und der Stegnaht im Bereich der Zugzone

Der Steg des Riegels A muß in der Lage sein, die Grenzzugkräfte $F_{R,i}$ der Stirnplatte nach Kapitel 3.1 aufzunehmen. Die Grenzzugkraft eines nicht ausgesteiften Stegbleches berechnet sich nach [4], [11], [14] zu

$$F_{BWT,A} = b_{eff,A} s_A \frac{f_{y,k,A}}{\gamma_M}$$

Gleichung 3.28

mit

$$b_{eff,A} = \sum_{j=1}^{n_z} l_{eff,j}$$

Gleichung 3.29

als mitwirkende Breite des Riegelstegbleches bei Zugbeanspruchung. $l_{eff,j}$ sind die effektiven Fließlinienlängen der Stirnplatte nach Kapitel 3.1. Falls

$$F_{BWT,A} < F_{EP,A}$$

ist, muß eine Stegverstärkung angebracht werden.

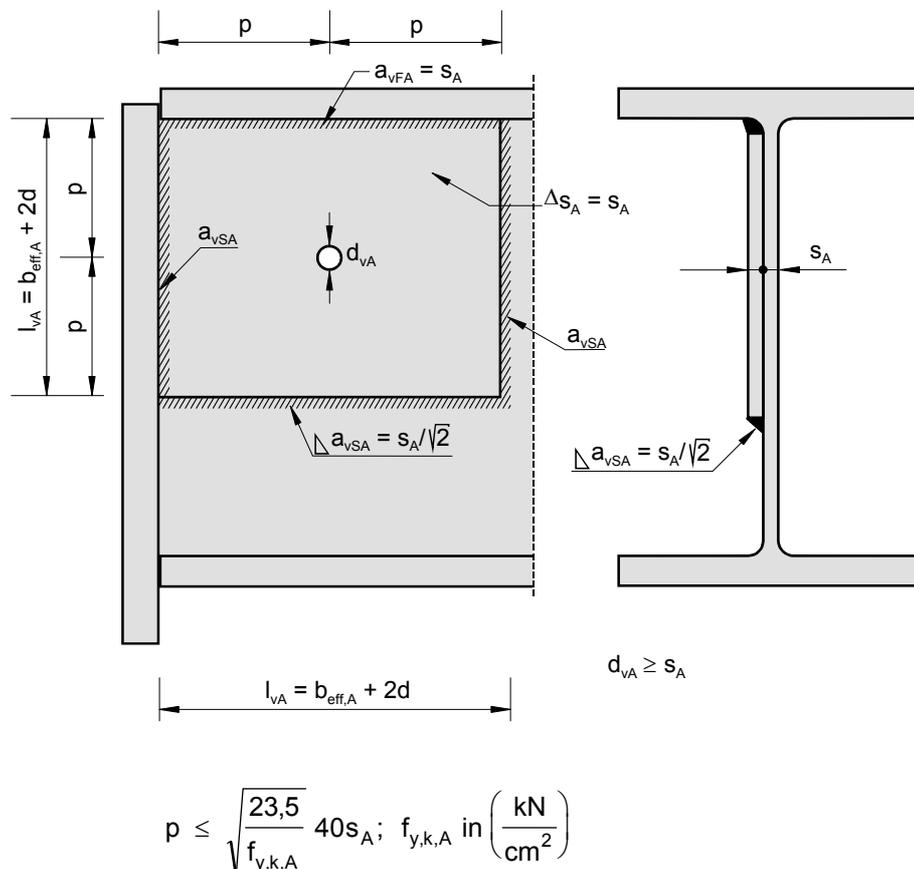


Bild 3.5: Stegblechverstärkung infolge Zugkräfteinleitung in den Riegelsteg



Die erforderliche Verstärkung Δs_A ergibt sich aus

$$\text{erf. } \Delta s_A = \frac{F_{EP,A} - F_{BWT,A}}{b_{\text{eff},A} \frac{f_{y,k,A}}{\gamma_M}}$$

Gleichung 3.30

Nach [11] soll Δs_A mindestens gleich s_A betragen. Es wird nach [11] also hier festgelegt:

a) einseitige Stegblechverstärkung

$$\text{erf } \Delta s_A \leq 0,5 s_A$$

$$\text{gewählt } \Delta s_A = s_A$$

Nähte "durchgeschweißt" nach Bild 3.5

mit $a = \Delta s_A = s_A$ an der Rundung!

effektive Stegdicke für den rechnerischen Nachweis: $\text{eff } s_A = 1,5 s_A$

$$F_{BWT,A} = b_{\text{eff},A} 2,0 s_A \frac{f_{y,k,A}}{\gamma_M}$$

Gleichung 3.31

b) zweiseitige Stegblechverstärkung

$$0,5 s_A \leq \text{erf } \Delta s_A \leq s_A$$

gewählt $\Delta s_A = s_A$, zwei Bleche mit $s_A/2$,

Nähte durchgeschweißt mit $a = s_A/2$,

effektive Stegdicke $\text{eff } s_A = 2 s_A$,

$$F_{BWT,A} = b_{\text{eff},A} 2,0 s_A \frac{f_{y,k,A}}{\gamma_M}$$

Gleichung 3.32

Die zusätzlichen Stegbleche sind umlaufend anzuschweißen.

c) erf $\Delta s_A > s_A$

Die Lasteinwirkung der Zugkraft ist für einen solchen Fall nicht möglich, es muß eine andere Lösungsmöglichkeit (andere Schraubenabstände etc.) gewählt werden.

Nach Bild 3.5 sind Lochschweißungen vorzusehen, um die ordnungsgemäße Mitwirkung des zusätzlichen Stegbleches zu gewährleisten. Die Lochschweißungen sind erforderlich, wenn

$$(2 d + b_{\text{eff},A}) \geq \sqrt{\frac{23,5 \text{ kN/m}^2}{f_{y,k,A}}} 40 s_A$$

Gleichung 3.33

→ Lochschweißung erforderlich

ist. Die Randabstände und Lochabstände der Löcher untereinander dürfen diesen Wert ebenfalls nicht überschreiten.



Die Doppelkehlnaht Stirnplatte - Riegelsteg muß ebenfalls im Bereich der Zugkraft $F_{EP,A}$ für diese Kraft ausgelegt werden:

$$\text{erf } a_{SA} = \frac{F_{EP,A}}{2 b_{\text{eff},A} \sigma_{w,Rd}}$$

Gleichung 3.34

mit (siehe auch Gleichung 3.87)

$$\sigma_{w,Rd} = \alpha_w \frac{f_{y,k,A}}{\gamma_M}$$

$$\alpha_w = 0,8 \text{ St 52}$$

$$\alpha_w = 0,95 \text{ St 37}$$

Gleichungen 3.35

als Grenzschweißnahtspannung nach DIN 18800 [2] für Kehlnähte.

3.4 Zugbeanspruchbarkeit $F_{CWT,r}$ des Stützensteges und einer eventuellen Stegnaht im Bereich der Zugzone

Der Steg der Stütze C muß die Grenzzugkraft $F_{CF,r}$ des Stützenflansches nach Gleichung 3.20 aufnehmen können.

$$F_{CWT,r} = k_{rt} b_{\text{eff},t,C} s_C \frac{f_{y,k,C}}{\gamma_M}$$

$$b_{\text{eff},t,C} = \sum_{j=1}^{n_z} l_{\text{eff},j}$$

$$k_{rt} = \frac{1}{\sqrt{1 + 1,3 \left(\frac{b_{\text{eff},t,C} s_C}{A_{V,C}} \right)^2}}$$

Gleichungen 3.36

$b_{\text{eff},t,C}$ ist die mitwirkende Breite des Stützenstegbleches (Summe der effektiven Fließlinienlängen des Stützenflansches unter Berücksichtigung des Anteiles $l_{\text{eff},1}$ der in die Stirnplatte der Stütze fließt) und k_{rt} ist der Abminderungsfaktor nach [14], der den Einfluß der Schubbeanspruchung des Stützenstegbleches berücksichtigt ($A_{V,C}$ siehe Kapitel 3.5). Für den Fall

$$F_{CF,r} > F_{CWT,r}$$

wird eine erforderliche Stegblechverstärkung berechnet.

$$\text{erf } \Delta s_C = \frac{F_{CF,r} - F_{CWT,r}}{b_{\text{eff},t,C} \frac{f_{y,k,C}}{\gamma_M}}$$

Gleichung 3.37

Nach [11] muß die Stegblechverstärkung mindestens gleich der Stegdicke des Stützenprofils sein.



Für durchgeschweißte Nähte nach Bild 3.6 ergibt sich dann

- a) **einseitige Stegblechverstärkung**
 bei erf $\Delta s_C \leq 0,5 s_C$
 zu wählen $\Delta s_C = s_C$
 Nähte durchgeschweißte $a = \Delta s_C = s_C$
 effektive Stegdicke eff. $s_C = 1,5 s_C$

$$F_{CWT,r} = b_{eff,t,C} 1,5 s_C \frac{f_{y,k,C}}{\gamma_M}$$

Gleichung 3.38

- b) **zweiseitige Stegblechverstärkung**
 $0,5 s_C < erf \Delta s_C \leq s_C$
 zu wählen $\Delta s_C = s_C$ in zwei Blechen je $0,5 s_C$
 Nähte durchgeschweißte $a = s_C/2$
 effektive Stegdicke eff. $s_C = 2 s_C$

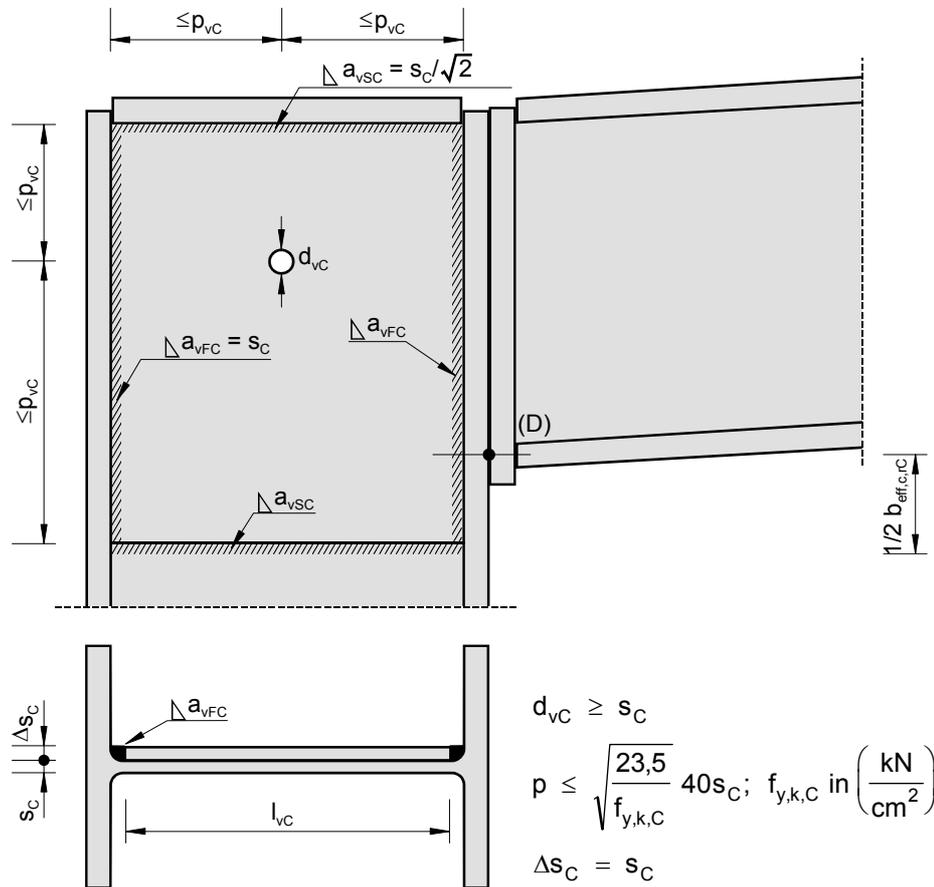


Bild 3.6: Stegblechverstärkung infolge Zugkrafteinleitung in den Stützensteg (desgl. aus Schub- bzw. Druckkrafteinleitung)

$$F_{CWT,r} = b_{eff,t,C} 2,0 s_C \frac{f_{y,k,C}}{\gamma_M}$$

Gleichung 3.39



c) $\text{erf } \Delta s_C > s_C$

Die Lasteinleitung der Zugkraft ist für einen solchen Fall nicht möglich. Eine andere Lösungsmöglichkeit wird gesucht (z. B. größere Schraubenabstände etc.)

Für die eventuell erforderlichen Lochschweißungen gilt entsprechendes zu Kapitel 3.4. Beim geschweißten Stützenprofil muß die Doppelkehlnaht a_{rC} *Stützensteg - rechter Stützenflansch* für die Zugkraft $F_{CF,r}$ ausgelegt werden:

$$\text{erf } a_{rC} = \frac{F_{CF,r}}{2 b_{\text{eff},t,C} \sigma_{w,Rd}}$$

Gleichung 3.40

mit

$$\sigma_{w,Rd} = \alpha_w \frac{f_{y,k,C}}{\gamma_M}$$

Gleichung 3.41

In Bild 3.6 ist die Stegblechverstärkung dargestellt. Sie kann auch zur Aufnahme der Stegschubkraft (Kapitel 3.5) und der Druckkraft im Druckpunkt D herangezogen werden (Kapitel 3.6).

Falls $b_{\text{eff},t,C}$ größer als die geometrisch mögliche Länge ist, wird gesetzt:

$$b_{\text{eff},t,C} = h_A - \frac{t_{uA}}{\cos \alpha_{uA}} - \frac{t_{oA}}{\cos \alpha_{oA}} - (t_{eA} + t_{rC}) \cdot \tan \alpha_{oA}$$

3.5 Schubbeanspruchbarkeit $F_{CWS,C}$ des Stützenstegblechs

Die plastische Grenzquerkraft eines nicht ausgesteiften Stützenstegbleches bei Beanspruchung durch eine Querkraft ergibt sich zu [14]

$$F_{CWS,C} = 0,9 f_{y,k,C} \frac{A_{V,C}}{\sqrt{3} \gamma_M}$$

Gleichung 3.42

mit der Schubfläche der Stütze nach [11]

gewalztes Stützenprofil

$$A_{V,C} = A - 2 b_C t_C + (s_C + 2 r_C) t_C$$

Gleichung 3.43

geschweißtes Stützenprofil

$$A_{V,C} = s_C (h_C - t_{rC} - t_{lC})$$

Gleichung 3.44

Wenn die Grenzschubkraft $F_{CWS,C}$ kleiner als die erforderliche Biegebeanspruchbarkeit $F_{CF,r}$ des Stützenflansches wird, muß eine Stegblechverstärkung angeordnet werden:

$$F_{CWS,C} < F_{CF,r}$$

$$\Rightarrow \text{erf } A_V = \frac{F_{CF,r} \sqrt{3} \gamma_M}{0,9 f_{y,k,C}}$$

Gleichung 3.45



Mittels $\Delta A_V = \text{erf } A_V - A_{V,C}$ läßt sich damit die erforderliche Stegblechverstärkung Δs_C berechnen. Nach [14] darf die maximale rechnerische Verstärkung jedoch nur

$$\Delta A_V \leq b_{s,C} \Delta s_C = b_{s,C} s_C$$

Gleichung 3.46

betragen, wobei für Δs_C die in Kapitel 3.3 genannten Kriterien gelten.

Für $b_{s,C}$ nach Bild 3.6 (siehe [14]) gilt

$$\text{gewalztes Profil : } b_{s,C} = h_C - 2 t_C - 2 r_C$$

$$\text{geschweißtes Profil : } b_{s,C} = h_C - t_{rC} - t_{lC}$$

Gleichung 3.47

Damit beträgt die maximale Schubgrenzkraft für ein um $\Delta s_C = s_C$ verstärktes Stützenstegblech

$$\max F_{CWS,C} = 0,9 f_{y,k,C} \frac{A_{V,C} + b_{s,C} s_C}{\sqrt{3} \gamma_M}$$

Gleichung 3.48

Sollte

$$\max F_{CWS,C} < F_{CF,r}$$

sein, so ist die erforderliche Grenzscherkraft durch Anordnung von beidseitigen Diagonalleisten nach [14] zu erzielen. Vom Programm erfolgt eine entsprechende informative Meldung.

3.6 Grenzdruckkraft $F_{CWC,r}$ des Stützensteges in der Druckzone

Die Grenzdruckkraft gegen plastisches Stauchen eines nicht ausgesteiften Stützenstegbleches bei Beanspruchung durch eine quereinwirkende Druckkraft ergibt sich zu [11], [2], [14]:

$$F_{CWC,r} = k_{rt} \cdot k_{r\sigma} \cdot b_{\text{eff},c,rC} \cdot s_C \frac{f_{y,k,C}}{\gamma_M}$$

Gleichung 3.49

Hierin ist k_{rt} ein Reduktionsfaktor, der den Einfluß der Schubspannung des Stützensteges auf die Grenzfließspannung (über die Vergleichsspannung) erfaßt, siehe auch [10]:

$$k_{rt} = \frac{1}{\sqrt{1 + 1,3 \left(\frac{b_{\text{eff},c,rC} s_C}{A_{V,C}} \right)^2}}$$

Gleichung 3.50a

Über den Abminderungsfaktor $k_{r\sigma}$ wird der Einfluß der Längsspannung in der Stütze erfaßt [2], [14]:

$$k_{r\sigma} = 1,25 - 0,5 \frac{|\sigma_{n,Ed}|}{f_{y,k,C}} \quad \text{für } \sigma_{n,Ed} > 0,5 f_{y,k,C}$$

$$k_{r\sigma} = 1,0 \quad \text{für } \sigma_{n,Ed} \leq 0,5 f_{y,k,C}$$

Gleichung 3.50b

$$\text{Walzprofil : } \sigma_{n,Ed} = \frac{M_{yd,C}}{I_{y,C}} (0,5 h_C - t_C - r_C) + \frac{N_{d,C}}{A_C}$$

$$\text{Schweißprofil : } \sigma_{n,Ed} = \frac{M_{yd,C}}{I_{y,C}} (h_C - z_{sC} - t_{rC} - \sqrt{2} a_{rC}) + \frac{N_{d,C}}{A_C}$$

Gleichungen 3.51

Die mitwirkende Breite des Stützenstegbleches ergibt sich nach [2], [11] und der Annahme einer 45°-Lastausbreitung in der Riegelendplatte zu:

$$\text{Walzprofil : } b_{\text{eff},c,rC} = \frac{t_{uA}}{\cos \alpha_{uA}} + 2 t_{eA} + 5 (t_C + r_C)$$

Gleichung 3.52

$$\text{Schweißprofil : } b_{\text{eff},c,rC} = \frac{t_{uA}}{\cos \alpha_{uA}} + 2 t_{eA} + 5 (t_{rC} + \sqrt{2} a_{rC})$$

Gleichung 3.53

Falls infolge Zugkrafteinleitung und/oder der Schubbeanspruchung des Stützensteges eine Stegblechverstärkung vorhanden ist, so wird die Druckgrenzkraft bei einer einseitigen Stegverstärkung $\Delta s_C = s_C$ mit einer wirksamen Stegblechdicke von 1,5 s_C und bei einer zweiseitigen Verstärkung von je 0,5 s_C mit einer wirksamen Dicke von 2,0 s_C berechnet [11]. Es werden folgende Nachweise geführt:

$$F_{CWC,r} \geq D$$

Gleichung 3.54

mit Druckkraft D im Druckpunkt nach Gleichung 3.12. Falls aus Zug- und/oder Schubeinleitung eine Stegblechverstärkung erforderlich war, so wird diese um das Maß 0,5 $b_{\text{eff},c,rC}$ nach Bild 3.6 über den Druckpunkt D nach unten gezogen. Die Grenzkraft wird dann mit der wirksamen Gesamtstegdicke berechnet.

$$F_{CWC,r} = f (s_C + \Delta s_C) \geq D$$

Gleichung 3.55

Falls die Nachweise (3.54) und (3.55) nicht erfüllt werden, werden im Druckpunkt zwei Stegblechstreifen angeordnet, die die Differenzkraft

$$\Delta D = D - \text{vorh. } F_{CWC,r}$$

Gleichung 3.56

aufnehmen müssen. Falls keine Streifen erforderlich sind, wird das Stegblech im Bereich der Druckkrafteinleitung gegen knickstabähnliches Beulen nachgewiesen.



3.6.1 Knickstabähnliches Beulen des Stützsteges $F_{CSB,c}$ (column sway buckling)

Nach DIN 18800 Teil 1, Element (503) [2] dürfen bei geschweißten Profilen und Walzprofilen Kräfte ohne Aussteifungen eingeleitet werden, wenn

- der Betriebsfestigkeitsnachweis nicht maßgebend ist,
- der Trägerquerschnitt (d. h. hier die Rahmenecke) gegen Verdrehen und seitliches Ausweichen gesichert ist
- der Tragsicherheitsnachweis nach Element (744), d.h. hier Gleichung 3.49 geführt wird.

Es wird vom Programm vorausgesetzt, daß die ersten beiden Voraussetzungen erfüllt sind. Der Nachweis erfolgte nach Gleichung 3.49. Weitere Nachweise sind für Walzprofile nicht erforderlich, auch nicht ein Nachweis der Vergleichsspannung (siehe Fußnote zu Element (744) [2]).

Für geschweißte Profile mit I-förmigem Querschnitt ist für Stegslankheiten von

$$\frac{h_c - t_{rC} - t_{lC}}{s_c} > 60 \Rightarrow \text{Beulnachweis}$$

ein Beulsicherheitsnachweis für den Steg zu führen. Dieser Nachweis erfolgt näherungsweise durch Modellierung des Stegbleches als virtuelles druckbeanspruchtes Bauteil mit der wirksamen Breite [11].

$$b_{\text{eff},b,rC} = \sqrt{h_c^2 + c^2}$$

$$c = \frac{t_{uA}}{\cos \alpha_{uA}} + 2 t_{eA}$$

Gleichung 3.57

Die Knicklänge wird mit

$$s_k = 0,75 \cdot (h_c - t_{rC} - t_{lC})$$

auf der sicheren Seite liegend geschätzt ([11], Kapitel 5.7.6). Es wird die Knickspannungslinie c angenommen [11]. Der Nachweis erfolgt nach [3].

$$F_{CSB,C} = \kappa N_{pl,d}$$

$$N_{pl,d} = b_{\text{eff},b,rC} s_c \frac{f_{y,k,C}}{\gamma_M}$$

$$i = 0,289 s_c$$

$$\bar{\lambda}_K = \frac{s_k}{i \lambda_a}, \quad \lambda_a = \pi \sqrt{\frac{E}{f_{y,k,C}}}$$

$$k = 0,5 \left[1 + 0,49 (\bar{\lambda}_K - 0,2) + \bar{\lambda}_K^2 \right]$$

$$\kappa = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \bar{\lambda}_K^2}}$$

$$\text{Für } \bar{\lambda}_K \leq 0,2 \text{ gilt } \kappa = 1,0$$

Gleichungen 3.58

Im Falle einer vorhandenen Stegblechverstärkung wird in den Gleichungen 3.57 und 3.58 die effektive Stegdicke eingesetzt. Falls $F_{CSB,C} < D$ ist, müssen Steifen angeordnet werden.



Die Kräfte ergeben sich unter der Annahme, daß sich die Normalspannung am Übergang Rippe - Stützensteg linear verteilt (siehe Bild 3.7) zu:

$$F_1 = 0,5 \Delta D$$

$$F_2 = F_1 \frac{e_1}{e_2}$$

Gleichung 3.61

Für die Schweißnahtspannungen in den Nähten folgt:

Flanschnaht

$$A_{w1} = 2 a_{RFC} l_{w1}$$

$$\sigma_{w1} = \frac{F_1}{A_{w1}}, \tau_{w1} = \frac{F_2}{A_{w1}}$$

$$\sigma_{w1} = \frac{\sqrt{F_1^2 + F_2^2}}{A_{w1}} \leq \sigma_{w,Rd}$$

Gleichungen 3.62

Stegnaht

$$\max \sigma_{w2} = \frac{2 F_2}{A_{w2}}, \tau_{w2} = \frac{F_1}{A_{w2}}$$

$$A_{w2} = 2 a_{RSC} l_{w2}$$

$$\sigma_{w2} = \frac{\sqrt{F_1^2 + 4 F_2^2}}{A_{w2}} \leq \sigma_{w,Rd}$$

Gleichungen 3.63

Die Dicke t_R der Rippe wird aus konstruktiven Gründen zu $t_R = t_{uA}$ gewählt. Die Blechdicke wird dann auf die handelsüblichen Dicken aufgerundet und dieser Wert mit der statisch erforderlichen Rippendicke überprüft:

$$\text{erf } t_R \geq \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{\sqrt{F_1^2 + 3 F_2^2}}{l_{w1} f_{y,k,C}} \cdot \gamma_M \\ \frac{\sqrt{4 F_2^2 + 3 F_1^2}}{l_{w2} f_{y,k,C}} \cdot \gamma_M \end{array} \right.$$

Gleichungen 3.64

Die Länge der Steife wird zunächst vom Programm aus konstruktiven Gründen zu

$$l_R = 0,5 (h_c - t_C - t_{iC})$$

Gleichung 3.65

gewählt. Aus den Gleichungen 3.62 und 3.63 ergeben sich die erforderlichen Kehlnahtdicken a_{RSC} und a_{RFC} . Sollten die Nähte die maximalen Dicken nach [2] von $0,7 \min t$ überschreiten, so wird vom Programm die Steifenlänge l_R so lange vergrößert, bis sich eine DIN-konforme Lösung ergibt.

3.7 Grenzdruckkraft $F_{BFC,A}$ des Flanschdruckgurtes Riegel A

Die Grenzdruckkraft des Riegelflansches und der angrenzenden Druckzone des Steges darf nach [14] mit hinreichender Genauigkeit über

$$F_{BFC,A} = \frac{M_{c,Rd,A}}{h_A - 0,5 t_{oA} - 0,5 t_{uA}}$$

Gleichung 3.66

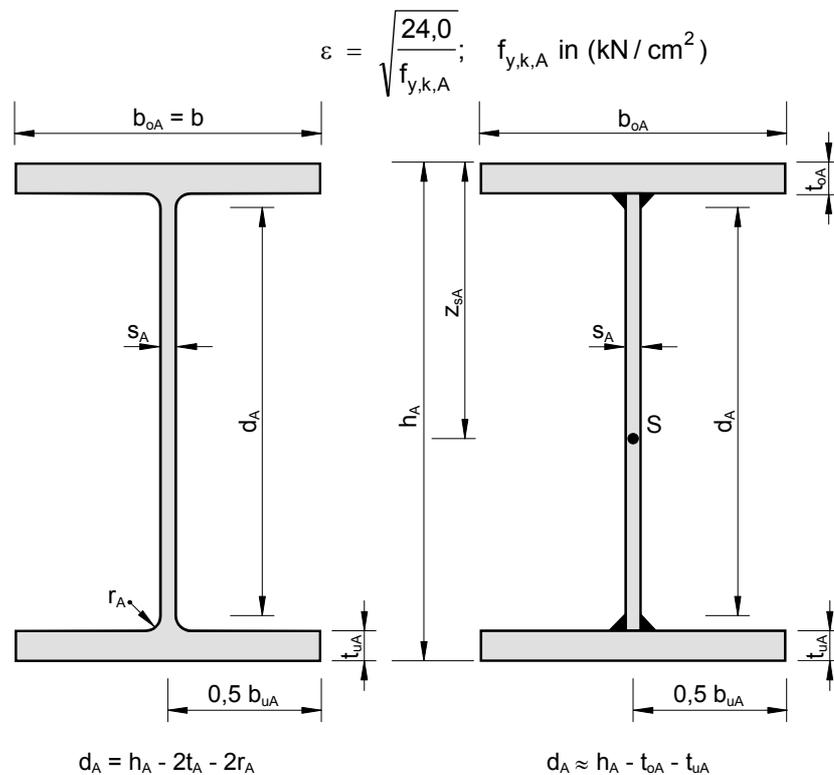
ermittelt werden. Das Bemessungsgrenzmoment hängt von der Schlankheit des Trägersteiges und des Flansches ab. In Abhängigkeit dieser Schlankheiten sind sogenannte Querschnittsklassen definiert [11]. Unter der Voraussetzung, daß

- das Stegblech überwiegend auf Biegung beansprucht wird
- der Untergurt des Riegels nur auf Druck beansprucht wird

ergeben sich nach Tabelle 3.1 die folgenden Einteilungen [11]; [2].

Klasse	Walzprofil				Schweißprofil			
	1	2	3	4	1	2	3	4
$\frac{b_{uA}}{t_{uA}}$	$\leq 20\varepsilon$	$\leq 22\varepsilon$	$\leq 30\varepsilon$	$> 30\varepsilon$	$\leq 18\varepsilon$	$\leq 20\varepsilon$	$\leq 28\varepsilon$	$> 28\varepsilon$
$\frac{d_a}{s_a}$	$\leq 72\varepsilon$	$\leq 83\varepsilon$	$\leq 124\varepsilon$	$\leq 124\varepsilon$	$\leq 72\varepsilon$	$\leq 83\varepsilon$	$\leq 124\varepsilon$	$> 124\varepsilon$

Tabelle 3.1: Einteilung der Querschnittsklasse



Die Einstufung des Querschnitts erfolgt nach der ungünstigsten Klasse aus Steg- bzw. Flanschblech.



Das Grenzmoment ergibt sich zu

$$M_{c,Rd,A} = W_{pl,A} \frac{f_{y,k,A}}{\gamma_M} \quad \text{Klasse 1 und 2}$$

$$M_{c,Rd,A} = W_{el,A} \frac{f_{y,k,A}}{\gamma_M} \quad \text{Klasse 3}$$

$$M_{c,Rd,A} = W_{eff,A} \frac{f_{y,k,A}}{\gamma_M} \quad \text{Klasse 4}$$

Gleichungen 3.67

mit dem plastischen Widerstandsmoment $W_{pl,A}$ bzw. dem elastischen $W_{el,A}$ des Riegels A. Das effektive Widerstandsmoment $W_{eff,A}$ von Querschnitten der Klasse 4 ist mit den wirk-samen Breiten der druckbeanspruchten Querschnittsteile zu bestimmen [11]. Nach den Ta-bellen 5.3.2 und 5.3.3 aus [11] folgt für $W_{eff,A}$ des Riegels am Anschluß an die Kopfplatte:

Flansch unten

einseitig gestütztes druckbeanspruchtes Teil mit $\psi = 1,0$

Beulwert $k_\sigma = 0,43$

effektive Gesamtbreite

$$b_{eff,uA} = \rho_F 0,5 b_{uA} \cdot 2 = \rho_F b_{uA}$$

Gleichung 3.68

Plattenschlankheit

$$\bar{\lambda}_p = \frac{b_{uA}}{t_{uA} 28,4 \varepsilon \sqrt{k_\sigma}}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{24}{f_{y,k,A}}} \quad \text{mit } f_{y,k,A} \text{ in (kN/cm}^2\text{)}$$

Gleichung 3.69

Abminderungsfaktor ρ_F Flansch

- $\bar{\lambda}_p \leq 0,673$: $\rho_F = 1,0$
- $\bar{\lambda}_p > 0,673$: $\rho_F = \left(\frac{\bar{\lambda}_p - 0,22}{\bar{\lambda}_p^2} \right)$

Gleichungen 3.70

Steg

Es wird von einer überwiegenden Momentenbeanspruchung im Anschlußquerschnitt ausgegangen. Die Druck- und Zugzone im Stegbereich sollen in etwa gleich groß sein:

$$\psi = -1$$

$$b_{\text{eff}} = \rho_s \frac{d_A}{2}; \quad k_\sigma = 23,9$$

$$\bar{\lambda}_p = \frac{\frac{d_A}{s_A}}{28,4 \varepsilon \sqrt{k_\sigma}}$$

Abminderungsfaktor ρ_s Steg

- $\bar{\lambda}_p \leq 0,673$: $\rho_s = 1,0$
- $\bar{\lambda}_p > 0,673$: $\rho_s = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,22}{\bar{\lambda}_p^2}$

Gleichungen 3.71

Damit ergibt sich der in Bild 3.8 skizzierte wirksame Querschnitt.

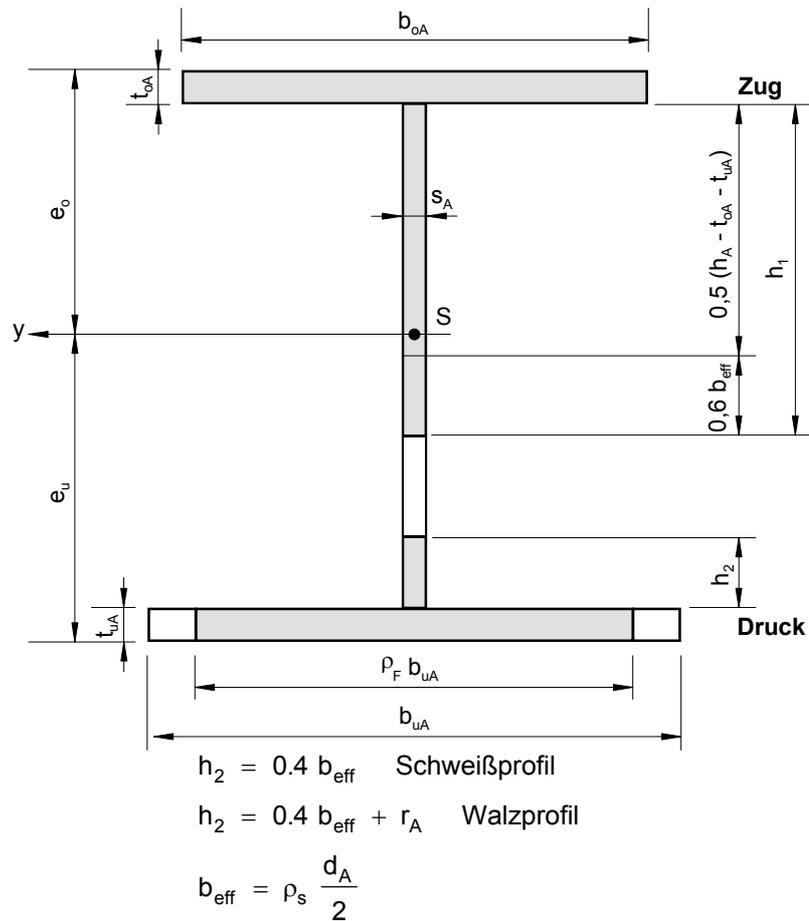


Bild 3.8: Wirksamer Querschnitt Gruppe 4



Bei der Berechnung des effektiven Widerstandsmomentes muß die Verlagerung des Schwerpunktes berücksichtigt werden:

$$A = t_{oA} + b_{oA} + s_A (h_1 + h_2) + t_{uA} \rho_F b_{uA}$$

$$e_o = \left[0,5 b_{oA} t_{oA}^2 + s_A h_1 (t_{oA} + 0,5 h_1) + s_A h_2 (h_A - t_{uA} - 0,5 h_2) + t_{uA} \rho_F b_{uA} (h_A - 0,5 t_{uA}) \right] / A$$

$$e_u = h_A - e_o$$

$$I_{yeff} = \frac{1}{12} t_{oA}^3 b_{oA} + t_{oA} b_{oA} (e_o - 0,5 t_{oA})^2 + \frac{1}{12} s_A h_1^3 + s_A h_1 (0,5 h_1 + t_{oA} - e_o)^2 + \frac{1}{12} s_A h_2^3 + s_A h_2 (h_A - t_{uA} - 0,5 h_2 - e_o)^2 + \frac{1}{12} t_{uA}^3 \cdot \rho_F b_{uA} + t_{uA} \rho_F b_{uA} (h_A - 0,5 t_{uA} - e_o)^2$$

Gleichungen 3.72

$$W_{eff,A} = \min \begin{cases} \frac{I_{yeff}}{e_o} \\ \frac{I_{yeff}}{e_u} \end{cases}$$

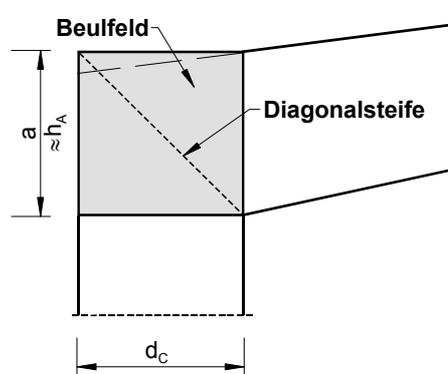
Gleichung 3.73

3.8 Grenzscherbeulkraft $F_{CWB,C}$ der Rahmenecke

Durch die Umlenkung der Schnittgrößen entstehen hohe Schubkräfte in der Rahmenecke, die ein Scherbeulen des Eckbleches hervorrufen können. Der Schubspannungszustand ist dabei überwiegend, Normalspannungen aus der Stützenlängsbeanspruchung können dabei vernachlässigt werden (siehe Petersen Kap. 13.6.3 [9]). Nach DIN 18800, Teil 3 [16] und EC3 [11] kann auf den Scherbeulnachweis verzichtet werden, wenn die folgenden Grenzschlankheiten eingehalten werden:

$$\frac{d_C}{s_C} \leq 69 \sqrt{\frac{24}{f_{y,k,C}}}$$

Gleichung 3.74



$$d_C = h_C - 2t_C - 2r_C \quad \text{Walzprofil}$$

$$d_C = h_C - t_{rC} - t_{rC} \quad \text{Schweißprofil}$$

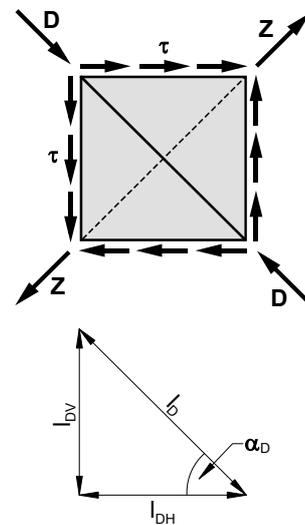


Bild 3.9: Idealisiertes rechteckiges Beulfeld

mit d_C nach Bild 3.9 und $f_{y,k,C}$ in kN/cm^2 . Im Falle einer vorhandenen Stegblechverstärkung wird die effektive Gesamtdicke für s_C eingesetzt. Alle Stegbleche mit einer größeren Schlankheit erhalten im Druckpunkt eine beidseitige Stegsteife [11], der Beulnachweis wird dann für eine vierseitig gelagerte Platte geführt (siehe Bild 3.9). Die Lagerung der Rechteckplatte wird dabei auf der sicheren Seite liegend gelenkig angenommen, desgleichen wird für die Beulfeldlänge a die Anschlußhöhe h_A vereinfachend gewählt. Nach [15] und [16] folgt:

Bezugsspannung

$$\sigma_e = 18980 \left(\frac{s_C}{d_C} \right)^2 \text{ in } \text{kN/cm}^2$$

Beulwert k_τ

$$\alpha = \frac{a}{d_C}$$

$$\alpha \geq 1 \Rightarrow k_\tau = 5,34 + \frac{4}{\alpha^2}$$

$$\alpha < 1 \Rightarrow k_\tau = 4 + \frac{5,34}{\alpha^2}$$

Gleichung 3.75



Ideale Beulspannung

$$\tau_{pi} = \kappa_{\tau} \sigma_e$$

Bezogener Plattenschlankheitsgrad

$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{f_{y,k,C}}{\tau_{pi} \sqrt{3}}}$$

Abminderungsfaktor

$$\kappa_{\tau} = \frac{0,84}{\bar{\lambda}_p} \leq 1,0$$

Grenzbeulspannung

$$\tau_{p,Rd} = \kappa_{\tau} \frac{f_{y,k,C}}{\sqrt{3} \gamma_M}$$

Damit folgt für die Grenzlast aus Schubbeulen des Eckbleches:

$$F_{CWB,C} = A_{V,C} \tau_{p,Rd}$$

Gleichung 3.76

mit $A_{V,C}$ nach Gl. 3.43 bzw. 3.44. Diese Kraft muß größer oder gleich der reduzierten Biegebeanspruchbarkeit $F_{CF,r}$ des Stützenflansches sein (siehe auch Kap. 3.4). Sollte dies nicht der Fall sein, so ist das Eckblech durch eine Diagonalsteife zu verstärken (siehe Kap. 3.9).

3.9 Grenzkraft $F_{cs,c}$ der Diagonalsteifen

Falls die Grenzscherkraft im Eckblech (Kap. 3.5) trotz einer Stegblechverstärkung nicht ausreicht oder bzw. und die erforderliche Grenzscherbeulskraft (Kap. 3.8) nicht erreicht wird, ordnet das Programm eine beidseitige Diagonalsteife in Richtung der resultierenden diagonalen Druckkraft an (siehe Bild 3.9). Die rechnerische Länge l_D der Diagonalsteife berechnet sich zu:

$$l_D = \sqrt{l_{DV}^2 + l_{DH}^2}$$

$$l_{DH} = h_c - t_{IC} - t_{rC}$$

Ausführung nach

$$\text{Bild 2.3 : } l_{DV} = h_A - t_{oA} - t_{uA} \quad \text{Bild 2.4 : } l_{DV} = h_A - u_{oA} - \frac{t_{uA}}{\cos \alpha_{uA}}$$

$$\text{Bild 2.5 : } l_{DV} = h_A - \frac{t_{uA}}{\cos \alpha_{uA}} - \frac{t_{oA}}{\cos \alpha_{oA}} - (h_C - t_{IC} + t_{eA}) \tan \alpha_{oA}$$

$$\text{und } \alpha_D = \arctan \frac{l_{DV}}{l_{DH}}$$

Gleichungen 3.77



Die resultierende horizontale Grenzkraft muß größer als die Biegebeanspruchbarkeit des Stützenflansches ($F_{CF,r}$) sein. Die Traglast der obersten Schraubenreihe

$$F_{R1} = \max \begin{cases} \delta_A \cdot F_{R1} & \text{Kopfplatte des Riegels} \\ \delta_C \cdot F_{R1} & \text{Stützenflansch} \end{cases}$$

$$(\delta_A = M_D / M_{Rd,A} \quad \text{und} \quad \delta_C = M_D / M_{Rd,C})$$

fließt im wesentlichen in die Stirnplatte der Stütze, da die Fließlinienlängen der obersten Schraubendicke unter Ansatz einer Steife (= Stirnplatte der Stütze) berechnet wurden. Die Diagonalsteife wird in Richtung der Druckdiagonalen (D) angeordnet, siehe Bild 3.9. Die beidseitig angeordneten Steifen müssen daher die folgende Grenzkraft erreichen:

$$\text{erf } F_{CS,C} = \max \begin{cases} \frac{F_{R1}}{\cos \alpha_D} \\ \frac{F_{CF,r} - F_{CWS,C}}{\cos \alpha_D} \\ \frac{F_{CF,r} - F_{CWB,C}}{\cos \alpha_D} \end{cases}$$

Gleichung 3.78

worin $F_{CWS,C}$ die vorhandene Schubbeanspruchbarkeit und $F_{CWB,C}$ die Grenzscherbeulskraft des Eckbleches sind. Eine Diagonalsteife wird auf Knicken aus der Blechebene heraus mit der Knicklänge nach [9] nachgewiesen:

$$s_{KD} = 0,6 l_D$$

Gleichung 3.79

Der Knicknachweis erfolgt nach [3] für Linie c, wobei für eine Diagonalsteife eine rechnerische Breite von

$$b_D = 0,5 [\min (b_{lC}; b_{rC}) - s_C] - \Delta s_C$$

Gleichung 3.80

angesetzt wird (Dicke t_D):

$$F_{CS,C} = 2\kappa N_{pl,d} \geq \text{erf } F_{CS,C}$$

$$N_{pl,d} = b_D t_D \frac{f_{y,k,C}}{\gamma_M}$$

$$i = 0,289 t_D, \quad s_{KD} = 0,6 l_D$$

$$\bar{\lambda}_K = \frac{s_{KD}}{i \lambda_a}, \quad \lambda_a = \pi \sqrt{\frac{E}{f_{y,k,C}}}$$

$$k = 0,5 [1 + 0,49 (\bar{\lambda}_K - 0,2) + \bar{\lambda}_K^2]$$

$$\kappa = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \bar{\lambda}_K^2}}$$

$$\bar{\lambda}_K \leq 0,2 \Rightarrow \kappa = 1,0$$

Gleichungen 3.81



Die erforderliche Blechdicke t_D der Diagonalstreifen wird vom Programm iterativ ausgelegt. Der Beulnachweis erfolgt nach [2], Tabelle 15 über

$$\text{grenz } \frac{b_D}{t_D} \leq 10 \sqrt{\frac{24}{f_{y,k,C}}} \Rightarrow \min t_D \geq \frac{b_D}{10} \sqrt{\frac{f_{y,k,C}}{24}}$$

Gleichung 3.82

Die Nahtdicken werden beim Anschluß an die Stützenflansche zu

$$a_{DFC} \geq 0,5 t_D$$

Gleichung 3.83

gewählt, die Doppelkehlnaht Steife-Stegblech wird konstruktiv mit $a = 3 \text{ mm}$ ausgeführt.

3.10 Berechnung der Schweißnähte

Sämtliche möglichen Nahtformen sind im Bild 3.10 zusammengefaßt.

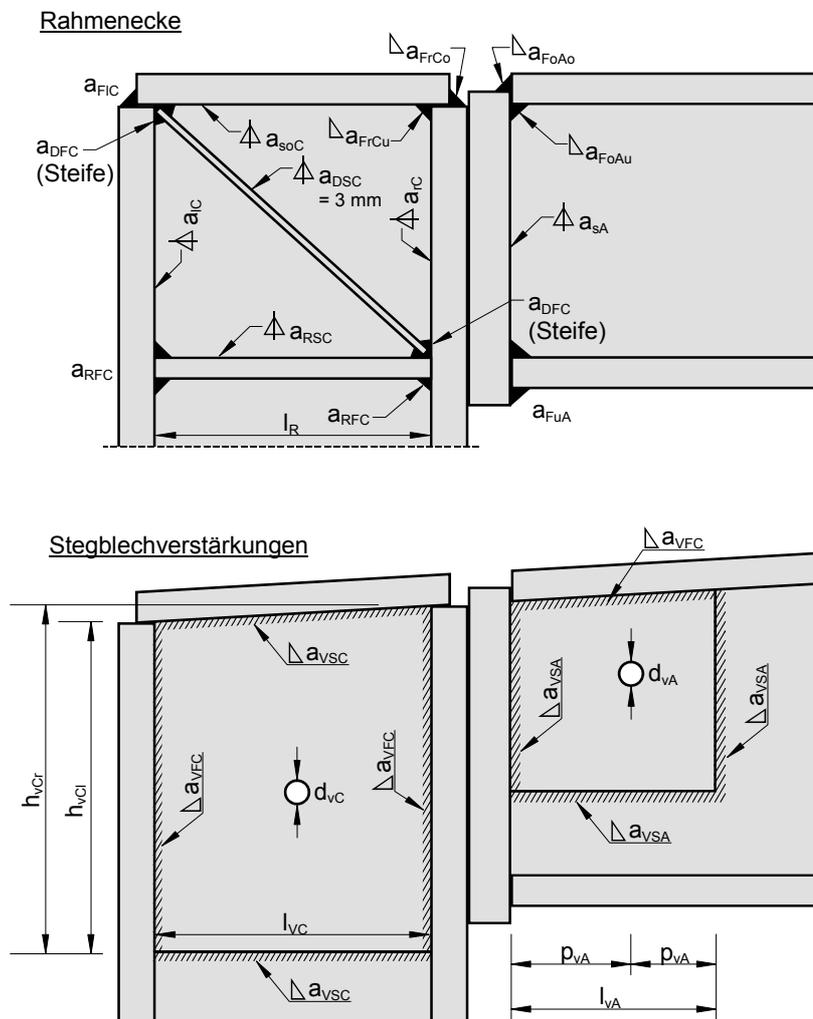


Bild 3.10: Schweißnähte



Die Nähte zwischen der Kopfplatte und Riegel A werden wie folgt ausgelegt bzw. berechnet:

a) Obere Flanschnaht $a_{F_{0A}}$

Entsprechend den Ausführungen in [5] soll die Summe der beiden Schweißnähte, die den Riegel A und die Stirnplatte verbinden, gleich $1,1 t_{0A}$ sein:

$$\sum a_{F_{0A}} = 1,1 t_{0A}$$

Gleichung 3.84

Damit soll ein sicherer Kraftfluß von der anteiligen Flanschzugkraft in den Zugbereich $b_{\text{eff},A}$ des Trägersteges gewährleistet werden.

b) Stegnaht a_{sA}

Über diese Stegnaht muß zum einen die Zugkraft $F_{EP,A}$ (im Bereich $b_{\text{eff},A}$) eingeleitet und zum anderen die Querkraft $V_{d,A}$ übertragen werden. Daraus folgen die Spannungen (siehe Gl. 3.34)

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{d,A}}{2 a_{sA} h_s}$$

$$\sigma_{\perp} = \frac{F_{EP,A}}{2 b_{\text{eff},A} a_{sA}}$$

Gleichung 3.85

mit der Steghöhe

$$h_s = h_A - \frac{t_{0A}}{\cos \alpha_{0A}} - \frac{t_{uA}}{\cos \alpha_{uA}}$$

(Schweißprofil), bzw.

$$h_s = h_A - \frac{t_{0A}}{\cos \alpha_{0A}} - \frac{t_{uA}}{\cos \alpha_{uA}} - 2 r_A$$

(Walzprofil)

Gleichungen 3.86

Aus der Vergleichsspannung

$$\sigma_v = \sqrt{\tau_{\parallel}^2 + \sigma_{\perp}^2} \leq \sigma_{w,Rd}$$

folgt die erforderliche Dicke der Doppelkehlnaht

$$\text{erf } a_{sA} = \frac{\sqrt{\left(\frac{V_{d,A}}{2 h_s}\right)^2 + \left(\frac{F_{EP,A}}{2 b_{\text{eff},A}}\right)^2}}{\sigma_{w,Rd}}$$

Gleichung 3.87

mit $\sigma_{w,Rd}$ nach Gl. (3.35)



c) Untere Flanschnaht a_{FuA}

Über diese Naht muß die Druckkraft D nach Gl. 3.12 in den unteren Riegeflansch eingeleitet werden. Die erforderliche Nahtdicke der Doppelkehlnaht wird aus der Beziehung

$$\sigma_{\perp} = \frac{D}{l_w a_{FuA}} \leq \sigma_{w,Rd}$$

Gleichung 3.88

berechnet, mit der gesamten Schweißnahtlänge

$$l_w = \begin{cases} 2 b_{uA} - s_A & \text{Schweißprofil} \\ 2 b_{uA} - s_A - 2 r_A & \text{Walzprofil} \end{cases}$$

Gleichung 3.89

Soll die Naht als HV-Naht (Kapplage gegengeschweißt oder Wurzel durchgeschweißt) ausgeführt werden, wird die vorhandene Spannung nachgewiesen:

$$\sigma_{\perp} = \frac{D}{b_{uA} t_{uA}} \leq \frac{f_{y,k,A}}{\gamma_M}$$

Gleichung 3.90

d) Flansch- und Stegnähte Stirnplatte Stütze

Im Kapitel 3.4 wurde gezeigt, daß die Grenzzugkräfte der Endplatte bzw. des Stützenflansches direkt in den Stützensteg eingeleitet werden. Die obere Stirnplatte wird deshalb nicht voll durch diese Kräfte beansprucht. Diese Platte ist aus rein konstruktiven Gründen vorhanden (Aussteifung, Beulfeldbegrenzung) und dient im Falle einer erforderlichen Diagonalsteife zur Weiterleitung der anteiligen Kraft, die in diese Steife fließt, siehe Gl. 3.78. Die Stehnaht a_{SoC} wird deshalb wie folgt ausgelegt.

$$\text{erf } a_{SoC} = \frac{F_{oC}}{2 \sigma_{w,Rd} \cdot l_w}$$

$$\text{mit } \sigma_{w,Rd} = \frac{\alpha_w f_{y,k,C}}{\gamma_M}$$

$$\text{und } l_w = \begin{cases} h_C - t_{rC} - t_{tC} & \text{Schweißprofil} \\ h_C - t_{rC} - t_{tC} - 2 r_C & \text{Walzprofil} \end{cases}$$

Gleichung 3.91

sowie (siehe Gl. 3.78)

$$F_{oC} = \max \begin{cases} F_{R1} \\ F_{CF,r} - F_{CWS,C} \\ F_{CF,r} - F_{CWB,C} \end{cases}$$

Gleichung 3.92

Die Dicke der Stützenstirnplatte wird in Anlehnung an die obere Flanschdicke des Riegels festgelegt und statisch überprüft:

$$\text{erf } t_{SoC} \geq \frac{F_{oC} \gamma_M}{b_{SoC} f_{y,k,C}}$$



Näherungsweise wird auch die Doppelkehlnaht a_{FrC} für F_{oC} ausgelegt.

$$\text{erf } a_{FrC} = \frac{F_{oC}}{\sigma_{w,Rd} I_w}$$

$$I_w = \begin{cases} 2 b_{rC} - s_C & \text{Schweißprofil} \\ 2 b_{rC} - s_C - 2 r_C & \text{Walzprofil} \end{cases}$$

Gleichung 3.93

Die Doppelkehlnaht a_{FiC} wird konstruktiv gewählt:

$$a_{FiC} = \max \begin{cases} 3 \text{ mm} \\ \sqrt{t_{iC}} - 0,5 \\ \sqrt{t_{SoC}} - 0,5 \end{cases}$$

Gleichung 3.94

e) Nähte Stützensteg - Stützenflansche

Die Doppelkehlnaht a_{rC} wird in der Gleichung 3.40 berechnet. Für die Naht a_{iC} (nur wenn die Stütze ein Schweißprofil ist) ergibt sich auf der sicheren Seite liegend:

$$\tau_{II} = \frac{F_{CF,r} S_{y,C}}{I_{y,C} 2a_{iC}} \leq \sigma_{w,Rd}$$

Gleichung 3.95

mit dem statischen Moment

$$S_y = b_{iC} \cdot t_{iC} (z_{sC} - 0,5 t_{iC})$$

Gleichung 3.96

(siehe Bild 2.4)



3.11 Nachweis der Schrauben im Druckbereich

Die Schrauben im Druckbereich werden zum Abtrag der Querkraft herangezogen.

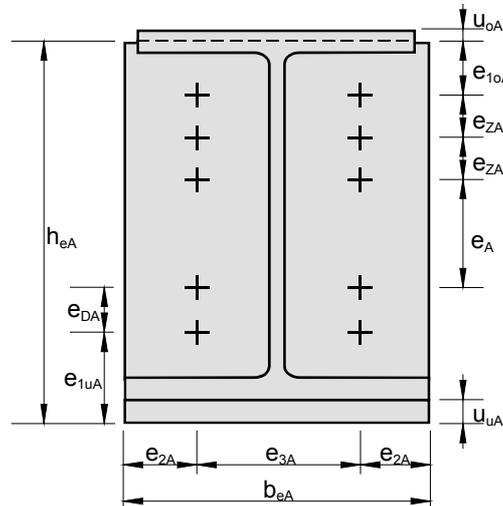


Bild 3.11: Schraubenabstände

Das untere Randmaß e_{1uA} wird vom Programm in Abhängigkeit der Flanschnigung α_{uA} und Diagonalsteifenneigung α_D sowie der Maße t_{eA} , t_{rC} und der Schraubenabmessungen so berechnet, daß die Schraubbarkeit (Berücksichtigung der Klemmenlänge) gegeben ist. Die Anzahl der Schrauben im Druckbereich wird vom Programm so bestimmt, daß die vorhandene Querkraft übertragen werden kann. Maßgebende Grenzkraft je Schraube ist das Minimum aus der Abschergrenzkraft $V_{a,R,d}$ und der Lochleibungsgrenzkraft $V_{l,R,d}$. Die Abschergrenzkraft berechnet sich zu

$$V_{a,R,d} = A f_{u,b,k} \frac{\alpha_a}{\gamma_M}$$

Gleichung 3.97

- α_a Abscherfaktor nach DIN 18800 [1]
- $f_{u,b,k}$ charakteristische Schraubenzugfestigkeit
- A Schaft- bzw. Spannungsquerschnitt

Die Lochleibungsbeanspruchbarkeit einer Schraube berechnet sich zu

$$V_{l,R,d} = t d_{sch} \alpha_l \frac{f_{y,k}}{\gamma_M}$$

Gleichung 3.98

mit

- t Blechdicke ($t = t_{eA}$ Kopfplatte, $t = t_{rC}$ Stützenflansch)
- d_{sch} Schaftdurchmesser der Schraube ($d_{sch} = d_N$ Standard; $d_{sch} = d_N + 1$ Paßschraube)
- α_l Lochleibungsfaktor
- $f_{y,k}$ charakteristischer Wert für die Streckgrenze Stirnplatte bzw. Stütze.



Bei der Berechnung des Lochleibungsfaktors α_1 muß zwischen der Stirnplatte und dem Stützenflansch unterschieden werden (der kleinere Wert für $V_{I,R,d}$ ist maßgebend):

a) Stirnplatte Riegel $V_{d,A} \geq 0$

Interaktion zur nächsten Schraube mit $e = e_{DA}$, $\varepsilon = e/d_L \leq 3,5$ (rechnerisch) siehe Bild 3.11.

Lochleibungsfaktor nach [4] und [17], [10]:

$$\alpha_1 = (1,80\varepsilon - 1,3) \frac{\beta}{3} - (0,72\varepsilon - 0,53) \leq 3,0$$

mit der mittragenden Streifenbreite

$$\beta = \frac{e_{2A} + \frac{1}{2}e_{3A}}{d_L} \leq 3,0 ,$$

Gleichung 3.99

worin e_{2A} und e_{3A} maximal rechnerisch zu berücksichtigen sind bis

$$e_{2A} \leq 1,5 d_L \text{ und } e_{3A} \leq 3,0 d_L$$

b) Stirnplatte Riegel $V_{d,A} < 0$

Interaktion zum unteren Rand

$$e_1 = e_{1uA}, \quad \varepsilon = \frac{e_1}{d_L} \leq 3,0 \text{ (rechnerisch)}$$

$$\alpha_1 = (1,85\varepsilon - 0,5) \frac{1}{3}\beta - (0,75\varepsilon - 0,2) \leq 3,0$$

Gleichung 3.100

mit β wie unter a)

c) Stützenflansch $V_{d,A} \geq 0$

Bei der untersten Schraubenreihe ist keine Interaktion erforderlich; es gilt $\alpha_1 = 3,0$.

Falls eine zweite (oder mehr) Schraubenreihen vorhanden sind, ist eine Interaktion zur nächsten Schraubenreihe erforderlich, dies gilt auch für $V_{d,A} < 0$:

$$\alpha_1 = (1,80\varepsilon - 1,3) \frac{\beta}{3} - (0,72\varepsilon - 0,53) \leq 3,0$$

$$\varepsilon = \frac{e_{DA}}{d_L} \leq 3,5, \quad \beta = \frac{e_{2C} + \frac{1}{2}e_{3C}}{d_L} \leq 3,0$$

$$e_{2C} \leq 1,5d_L \text{ und } e_{3C} = e_{3A} \leq 3,0d_L$$



3.12 Beschreibung des Iterationsablaufs, Anordnung der Schrauben

Alle in den Kapiteln 3.1 bis 3.10 beschriebenen Nachweise werden durch das Programm geführt. Diese Nachweise stehen in einem unmittelbaren Zusammenhang mit den im Kapitel 2.1 genannten geometrischen Abmessungen. Aus diesem Grund kann die Auslegung der Rahmenecke nur iterativ erfolgen.

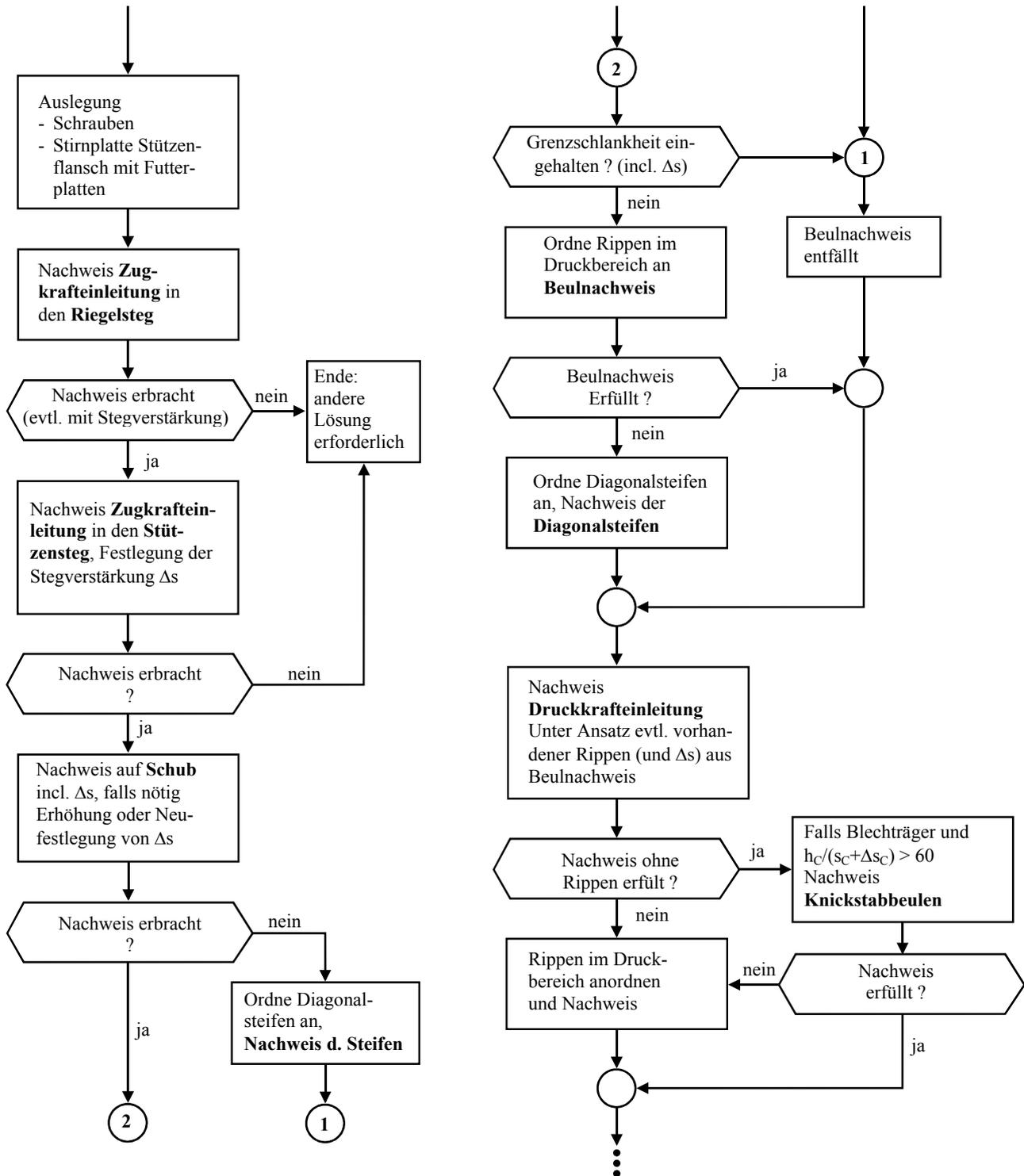
Der Anwender hat zunächst die feststehenden Geometrie- und Lastdaten einzugeben:

- Profilabmessungen Stiel und Riegel
- Riegelneigung, Voutengeometriedaten
- Schraubengüte, Lochart
- Höhe der Zugzone
- Konstanter oder iterativ veränderter Schraubenabstand in der Zugzone

Alle anderen Konstruktionsdaten werden iterativ vom Programm selbst ausgelegt, wie

- Anzahl der Schrauben
- Stirnplattenabmessungen
- Unterlegplatten (falls erforderlich)
- Stegblechverstärkungen Riegel und Stütze (falls erforderlich)
- Stegrippen (falls nötig) im Druckbereich
- Diagonalsteifen (falls notwendig)
- Schweißnähte

Bei der iterativen automatischen Auslegung der Konstruktion wird so vorgegangen, daß der Fertigungsaufwand minimal gehalten wird. Nach Auslegung der Schrauben und evtl. notwendiger Unterlegplatten werden die Zugkrafteinleitungen nach Kapitel 3.3 und 3.4 geführt. Der Schubnachweis der Rahmenecke wird dann mit einer daraus ermittelten Stegblechverstärkung geführt. Falls die Schubbeanspruchbarkeit nicht ausreicht, wird entweder die Stegblechverstärkung erhöht, oder falls notwendig, Diagonalsteifen angeordnet und nachgewiesen. Falls solche Steifen nun vorhanden sind oder die Grenzschlankheit des Eckbleches (incl. Verstärkung) eingehalten ist, kann der Beulnachweis entfallen. Für den Fall, daß Beulen nachgewiesen werden muß, werden zur konstruktiven Begrenzung und Aussteifung des Beulfeldes im Druckpunkt horizontale Stegrippen angeordnet. Ist der Beulnachweis nicht erbracht, so werden jetzt Diagonalsteifen angeordnet und nachgewiesen. Zum Schluß erfolgt der Nachweis der Druckkrafteinleitung im Druckbereich, wobei schon ermittelte Stegblechverstärkungen und Rippen berücksichtigt werden. Falls die Stütze als Blechträger ausgebildet wird und bisher keine Rippe erforderlich war, erfolgt noch der Nachweis des knickstabähnlichen Beulens des Stützensteges. Im folgenden Diagramm ist der Iterationsablauf schematisch dargestellt.





Bei der Anordnung der Schrauben hat der Anwender des Programmes drei Möglichkeiten, die im Bild 3.12 beschrieben sind.

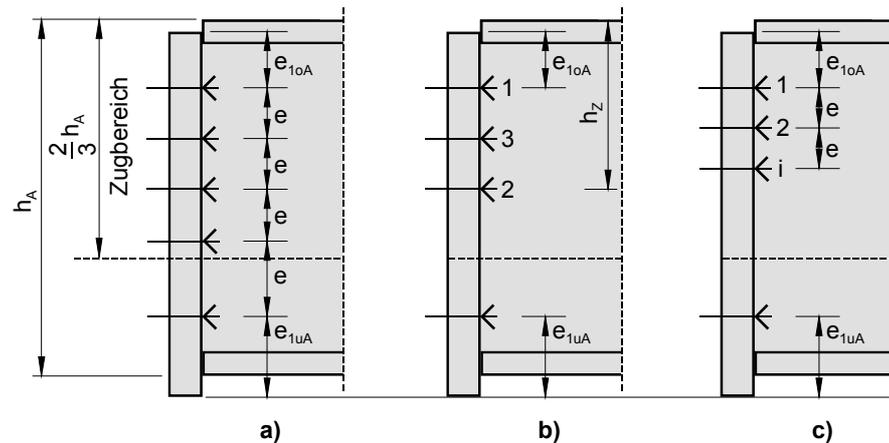


Bild 3.12: Anordnungsmöglichkeiten der Schrauben

Möglichkeit a): Konstanter Schraubenabstand

Zwischen der obersten Schraubenreihe (Randabstand oben e_{10A}) und der untersten Schraubenreihe (Randabstand unten e_{1uA}) werden Schrauben mit konstantem Abstand angeordnet. Der Abstand wird durch die Anzahl der Schrauben bestimmt, der Abstand zwischen allen Schrauben (Druck- und Zugbereich) ist dann gleich. Es werden alle möglichen Anzahlen der Schrauben iterativ ermittelt, bis jeweils das erforderliche Tragmoment $M_{Rd,A}$ erreicht ist. Hierbei werden nur die Schrauben im Zugbereich rechnerisch berücksichtigt. Alle Lösungen mit den zugehörigen Konstruktionsmerkmalen werden innerhalb der Ausgabemaske zur Anzeige gebracht.

Möglichkeit b): Höhe der Zugzone

Der Anwender gibt die Höhe h_z der Zugzone vor. Diese ist auf maximal $2/3 h_A$ begrenzt. Zunächst werden in Reihe 1 zwei Schrauben angeordnet und das Grenzmoment $M_{Rd,A}$ berechnet. Ist $M_{Rd,A} < M_D$ wird in der Reihe 2 auf der vorgegebenen Höhe h_z eine weitere Schraubenreihe angeordnet und anschließend $M_{Rd,A}$ berechnet. Falls $M_{Rd,A} < M_D$ ist, wird der Abstand zwischen Reihe 1 und 2 halbiert und eine weitere Reihe (hier Reihe 3) eingefügt. Falls der Nachweis immer noch nicht möglich ist, werden zwischen Reihe 1 und 3 bzw. 3 und 2 jeweils eine weitere Reihe eingezogen. Diese "Halbierungsmethode" wird so lange fortgesetzt, bis alle möglichen Lösungen, die das Tragmoment erreichen, gefunden sind oder der zulässige minimale Schraubenabstand e unterschritten wird. Auch hier werden dem Anwender alle Lösungsvarianten mit den Konstruktionsdetails zur Auswahl angezeigt (siehe Kap. 4).

Möglichkeit c): Vorgabe eines konstanten Schraubenabstandes in der Zugzone, iterative Erhöhung der Schraubenreihenanzahl von Reihe 1 aus

Dieses ist sicherlich die wirtschaftlichste Lösung mit der minimalsten Anzahl der Schrauben. Vom Anwender wird ein Schraubenabstand e in der Zugzone vorgegeben, die Zugzone ist dabei auf $2/3 h_A$ begrenzt. Von der Schraubenreihe 1 aus wird die Anzahl der Schraubenreihen solange erhöht, bis alle möglichen Lösungen gefunden sind, für die das erforderliche Grenzmoment $M_{Rd,A} > M_D$ ist. Die erforderlichen Schraubenreihenanzahlen für den Zug- und Druckbereich werden also getrennt ermittelt. Die zur Übertragung der Querkraft erforderlichen Schrauben im Druckbereich werden im äquidistanten Abstand zwischen der untersten Zugzonenreihe und der untersten Schraubenreihe angeordnet. Sollte das Tragmoment innerhalb von $2/3 h_A$ nicht erreicht werden, so ist eine Lösung mit diesem vorgegebenen Schraubenabstand und -größe nicht möglich. Es werden sämtliche gefundenen Lösungen angezeigt, damit der Anwender die für ihn wirtschaftlichste Lösung aussuchen kann.

4. Ermittlung der Beanspruchbarkeiten für positives Eckmoment (PM)

Um die Übersichtlichkeit der Indizierung zu gewährleisten, werden die analogen Bezeichnungen für die Traglasten und Geometriewerte benutzt wie beim Lastfall des negativen Momentes. Die Numerierung der Schrauben verläuft allerdings hier von „unten nach oben“.

4.1 Biegebeanspruchbarkeit der Stirnplatte und Zugbeanspruchbarkeit der Schrauben

Die Herleitung ist im Kapitel 3.1 gegeben, siehe auch Bild 3.1. Es ergibt sich analog

$$m_{2A} = e_{1uA} - u_{uA} - \frac{t_{uA}}{\cos \alpha_{uA}} - 0,8\sqrt{2} a_{FuA}$$
$$m_{1A} = 0,5(e_3 - s_A) - 0,8\sqrt{2} a_{sA}$$
$$n_A = \min(e_{2A}, e_{2rC}) \leq 1,25 m_{1A}$$

Gleichungen 4.1

Mit diesen Werten werden die Fließlinienlängen der untersten Reihe (entspricht Reihe 1), der Innenreihen und der Endreihe (von unten nach oben gezählt) analog zu Kap. 3.1 berechnet, ebenso die Grenzkraften F_{Ri} der einzelnen Schraubenreihen.

Mit diesen Grenzkraften und den Hebelarmen h_i läßt sich dann das positive Grenzmoment $M_{Rd,A}$ berechnen:

$$M_{Rd,A} = \sum_{i=1}^{n_{z,D}} F_{R,i} h_i \geq M_D = M_{yd,A} + N_{d,A} \cdot d_{oA}$$
$$F_{EP,A} = \sum_{i=1}^{n_{z,D}} F_{R,i}, \quad \text{red } F_{EP,A} = \frac{M_{Rd,A}}{M_D} F_{EP,A}$$

Gleichung 4.2

Hierin ist $n_{z,D}$ die Anzahl der Schraubenreihen (von unten an gezählt), die das positive Moment aufbauen. Für die Druckkraft im oberen Druckpunkt (D_o) folgt (siehe Bild 4.1).

$$D_A = \text{red } F_{EP,A} - N_{d,A}$$

Gleichung 4.3

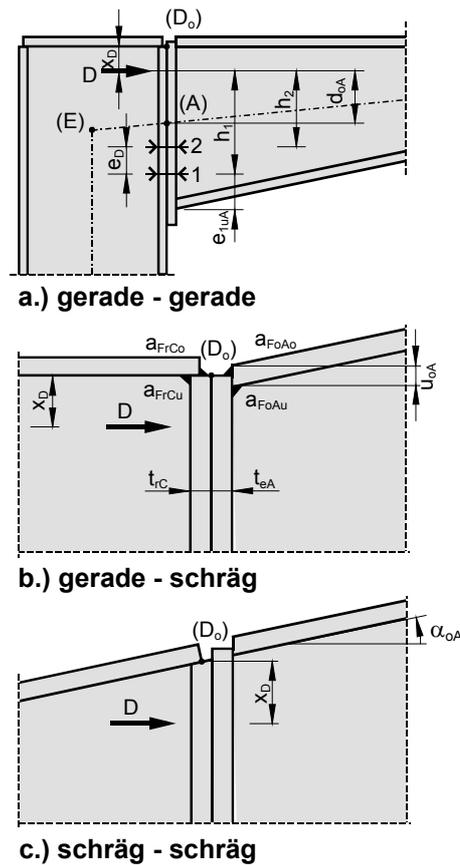


Bild 4.1: Festlegung des oberen, ursprünglichen Druckpunktes (D_o)

Zunächst wird der obere Druckpunkt in Punkt (D_o) nach Bild 4.1 angesetzt. Wenn die vorhandene Druckkraft D aus dem positiven Moment die nach Kapitel 3.10 d) ermittelte Kraft F_{oC} der Stützenstirnplatte überschreitet, wird der Stützensteg in diesem Bereich mit zum Abtrag der Druckkraft herangezogen. Die mittragende Breite des Steges ergibt sich auf der sicheren Seite liegend zu:

$$b_{\text{eff,co}} = \begin{cases} 2,5 (t_{eA} + t_{rC} + r_C) & \text{Walzprofil} \\ 2,5 (t_{eA} + t_{rC} + \sqrt{2} a_{rC}) & \text{Schweißprofil} \end{cases}$$

Gleichung 4.4

Die vom Stützensteg aufnehmbare Druckkraft beträgt (k_r, siehe Kapitel 3.6)

$$F_{\text{Steg}} = \frac{1}{\gamma_M} f_{y,k,C} \text{ eff. } s_C b_{\text{eff,co}} \cdot k_r$$

Gleichung 4.5

Damit ergibt sich die Grenzdruckkraft oben zu

$$F_{\text{CWC,r}} = \begin{cases} F_{oC} & \text{für } D_C \leq F_{oC} \\ F_{oC} + F_{\text{Steg}} & \text{für } D_C > F_{oC}. \end{cases}$$

Gleichungen 4.6

Hierin ist D_C = red. F_{CF} (PM) – N_{d,A} (PM) die Druckkraft im oberen Druckpunkt (für die Stütze C) aus dem positiven Moment.

Das maximale positive Grenzmoment ist also durch die maximale Grenzdruckkraft F_{CWC,r} = F_{oC} + F_{Steg} beschränkt. Die Lage des oberen Druckpunktes (D_o) ergibt sich damit zu (siehe Bild 4.1)



$$x_D = \begin{cases} 0 & \text{für } D_C \geq F_{oC} \\ F_{Steg} \frac{b_{eff,co}}{2} / (F_{oC} + F_{Steg}) & \text{für } D_C > F_{oC} \end{cases}$$

Gleichungen 4.7

4.2 Grenzzugkräfte des Stützenflansches aus Biegebeanspruchung (PM)

4.2.1 Grenzkkräfte ohne Unterlegbleche

Entsprechend Kapitel 3.2 ergeben sich folgende Hebelarme und Fließlinienlängen (m_{1rC} wie Kap. 2.1)

1. Reihe von unten:

a) Rippe vorhanden (Bild 2.6)

$$m_{2rC} = e_{1uA} - u_{uA} - \frac{t_{uA}}{\cos \alpha_{uA}} - 0,8\sqrt{2} a_{RSC}$$

$$\lambda_1 = \frac{m_{1rC}}{m_{1rC} + e_{2rC}}$$

$$\lambda_2 = \frac{m_{2rC}}{m_{1rC} + e_{2rC}}$$

$$\Rightarrow \alpha_{rC} \Rightarrow l_{eff,1} = \min \begin{cases} \alpha_{rC} \cdot m_{1rC} \\ 2\pi \cdot m_{1rC} \end{cases}$$

Gleichung 4.8

b) Keine Rippe vorhanden

b1) es folgt keine Schraubenreihe 2

$$l_{eff,1} = \min \begin{cases} 4 m_{1rC} + 1,25 e_{2rC} \\ 2\pi m_{1rC} \end{cases}$$

Gleichung 4.9

b2) es folgt eine Schraubenreihe 2

$$l_{eff,1} = \min \begin{cases} 0,5 e_D + 2 m_{1rC} + 0,625 e_{2rC} \\ 4 m_{1rC} + 1,25 e_{2rC} \\ 2\pi m_{1rC} \end{cases}$$

Gleichung 4.10



2. Schraubenreihe von unten und folgende:

- als Innenschraube (es folgt eine weitere Reihe)

$$l_{\text{eff},i} = \min \begin{cases} e_D \\ 4 m_{1rC} + 1,25 e_{2rC} \\ 2\pi m_{1rC} \end{cases}$$

Gleichung 4.11

- als Endschraube (es folgt keine weitere Reihe)

$$l_{\text{eff},i} = \min \begin{cases} 0,5 e_D + 2 m_{1rC} + 0,625 e_{2rC} \\ 4 m_{1rC} + 1,25 e_{2rC} \\ 2\pi m_{1rC} \end{cases}$$

Gleichung 4.12

Die Werte $n_{rC}, l_{\text{eff}}^{(i)} = \sum_{j=1}^i l_{\text{eff},j}$, der Reduktionsfaktor k_r sowie die Grenzkraft und das Grenzmoment werden analog zu Kapitel 3.2.1 berechnet.

4.2.2 Grenzzugkräfte mit lastverteilenden Unterlegplatten (PM)

Mit den Fließlinienlängen nach Kap. 4.2.1 erfolgt die Berechnung wie in Kap. 3.2.2 beschrieben. Ein Unterlegblech zur Aufnahme des positiven Momentes wird nur dann angeordnet, wenn

- der Nachweis für das positive Moment mit der maximal möglichen Schraubenanzahl nicht erbracht wurde **und**
- im oberen Bereich schon ein Unterlegblech vorhanden war (dieses wird nach unten durchgezogen, Überstand unten gleich $2d$, siehe Bild 2.6) **und**
- durch Anordnung eines Unterlegbleches die Traglast erhöht wird (Versagensart 1 maßgebend, Bild 3.2).

Auch bei einem großen Abstand zwischen der letzten Schraube im Zugbereich oben und der ersten Schraube im Druckbereich unten (entspricht Zugbereich bei positivem Moment) wird das Unterlegblech in einem Stück durchgezogen (wenn oben schon vorhanden und unten erforderlich). Der Anwender kann das Unterlegblech natürlich auch unterteilen, der Überstand zur jeweiligen Endschraube sollte $2d$ betragen.

4.3 Grenzzugkraft $F_{BWT,A}$ des Trägersteges und der Stegnaht im Bereich der Zugzone (PM)

Die Grenzzugkraft des Riegels im Bereich der unteren Zugzone (PM) ergibt sich zu

$$F_{BWT,A} = b_{\text{eff},A} \cdot \text{eff. } s_A \cdot \frac{f_{y,k,A}}{\gamma_M} \geq \text{red } F_{EP,A} \text{ (PM)}$$

Gleichung 4.13

Hierzu ist $\text{eff. } s_A$ die effektive Stegblechdicke des Riegels nach Kap. 3.3. Eine Stegblechverstärkung (einseitig oder zweiseitig) wird nur dann angeordnet, wenn schon im oberen Trägerbereich aus dem negativen Moment (NM) eine Verstärkung vorhanden war. Diese wird dann bis zum unteren Stegrand durchgezogen und an den Riegelflanschverlauf angepaßt und verschweißt, siehe Bild 4.2.

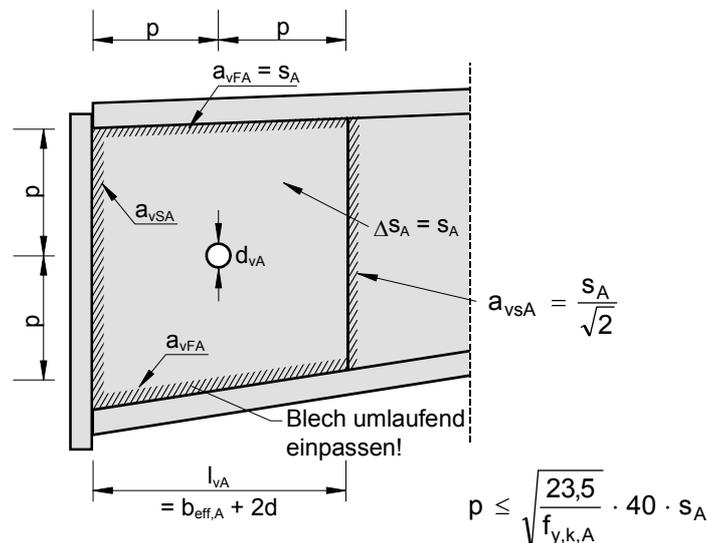


Bild 4.2: Durchgehende Stegblechverstärkung des Riegels

Für die Doppelkehlnaht a_{sA} Stirnplatte-Riegelsteg wird im unteren Zugbereich die Vergleichsspannung berechnet, siehe Kapitel 4.10b. Die Nahtdicke wird aus der Berechnung (NM) übernommen und nicht geändert.



4.4 Zugbeanspruchbarkeit $F_{CWT,r}$ des Stützensteiges und einer eventuellen Stegnaht im Bereich der Zugzone unten (PM)

Eine eventuell vorhandene Stegrippe wird nicht berücksichtigt (sichere Seite).

$$F_{CWT,r} = k_{r\sigma} k_{rt} b_{eff,t,C} \text{ eff. } s_C \frac{f_{y,k,C}}{\gamma_M} \geq \text{red } F_{CF,r} \text{ (PM)}$$

Gleichung 4.14

Hierzu sind (siehe Kap. 3.4)

- k_{rt} Abminderungsfaktor für Schub (Kap. 3.4)
- $k_{r\sigma}$ Abminderungsfaktor nach Kap. 3.6
- $b_{eff,t,C}$ Summe der effektiven Fließlinienlänge des Stützenflansches (PM)
- $\text{eff. } s_C$ effektive Stegblechdicke

Eine erforderliche Stegblechverstärkung wird nur infolge eines negativen Momentes angeordnet und bei Vorhandensein in obiger Beziehung mittels $\text{eff. } s_C$ berücksichtigt. Der Überstand der Stegblechverstärkung über den unteren Druckpunkt hinaus um $0,5 b_{eff,c,rC}$ (Druckeinleitungslänge beim NM) muß bei der Ermittlung der ansetzbaren Länge $b_{eff,t,C}$ berücksichtigt werden.

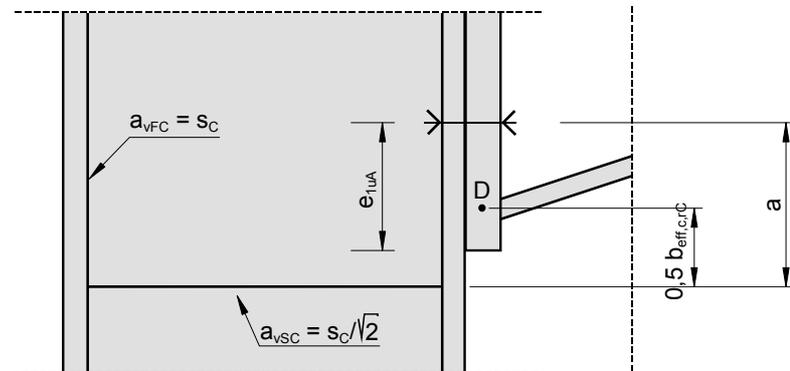


Bild 4.3: Berücksichtigung des Verstärkungsüberstandes

Aus Bild 4.3 folgt (für PM)

$$a = e_{1uA} + 0,5 b_{eff,c,rC} - u_{uA} - \frac{0,5 \cdot t_{uA}}{\cos \alpha_{uA}}$$

$$0,5 l_{eff,1} > a \Rightarrow b_{eff,t,C} = 0,5 l_{eff,1} + a + \sum_{j=2}^{n_{z,D}} l_{eff,j}$$

$$0,5 l_{eff,1} \leq a \Rightarrow b_{eff,t,C} = \sum_{j=1}^{n_{z,D}} l_{eff,j}$$

Gleichungen 4.15

4.5 Schubbeanspruchbarkeit $F_{CWS,C}$ des Stützenstegbleches (PM)

Die Schubbeanspruchbarkeit incl. einer evtl. Stegblechverstärkung ergibt sich aus Kap. 3.5, sie muß größer als die vorhandene Druckkraft D_C im oberen Druckpunkt sein.

$$F_{CWS,C} \geq D_C$$

Gleichung 4.16

4.6 Grenzdruckkraft $F_{CWC,r}$ des Stützensteges in der Druckzone oben (PM)

Diese Grenzdruckkraft wurde im Kapitel 4.1 hergeleitet.

4.7 Grenzdruckkraft $F_{BFC,A}$ des Druckflansches Riegel A oben (PM)

Diese Grenzdruckkraft ermittelt sich analog zu Kap. 3.7 zu

$$F_{BFC,A} = \frac{M_{c,Rd,A}}{h_A - 0,5 t_{oA} - 0,5 t_{uA}}$$

Gleichung 4.17

Das Bemessungsmoment wird dann analog zu Kap. 3.7 berechnet. Es müssen in den angegebenen Formeln nur b_{oA} mit b_{uA} und t_{oA} mit t_{uA} vertauscht werden. Es muß die Bedingung

$$F_{BFC,A} \geq D_A$$

Gleichung 4.18

erfüllt sein.

4.8 Grenzscherbeulkraft der Rahmen-ecke (PM)

Im Kapitel 3.8 wird der Nachweis entweder durch das Einhalten der Grenzscherbeulung oder durch Ermittlung der Grenzlast $F_{BWB,C}$ aus Scherbeulen geführt. Diese Grenzlast muß größer als die vorhandene Druckkraft aus dem negativen Moment sein:

$$F_{BWB,C} \geq D_C = \text{red } F_{CF,r} - N_{d,A}$$

Gleichung 4.19



4.9 Berücksichtigung eventuell vorhandener Diagonalsteifen aus negativem Moment

Falls die Druckkraft

$$D_C > F_{CWB,C}$$

oder $D_C > F_{CWS,C}$

ist, wird bei vorhandenen Diagonalsteifen (aus NM) näherungsweise der folgende Nachweis geführt:

$$\min \left\{ \begin{array}{l} F_{CS,C} \cdot \cos \alpha_D + F_{CWS,C} \\ F_{CS,C} \cdot \cos \alpha_D + F_{CWB,C} \end{array} \right\} \geq D_C$$

Gleichungen 4.20

In diesem Nachweis wird näherungsweise und auf der sicheren Seite liegend mit $F_{CS,C}$ die Grenzdruckbeanspruchbarkeit der Diagonalsteifen eingesetzt, siehe Kap. 3.9.

4.10 Überprüfung der Schweißnähte infolge PM

a) Obere Flanschnaht a_{F0A}

bleibt wie im Kapitel 3.10 beschreiben

b) Stegnaht a_{sA}

Die Stegnaht wird für die Querkraft $V_{d,A}$ (PM) und die Zugkraft $F_{EP,A}$ (PM) nachgewiesen:

$$\tau_{||} = \frac{V_{d,A} \text{ (PM)}}{2 a_{sA} h_s}; \quad \sigma_{\perp} = \frac{F_{EP,A} \text{ (PM)}}{2 b_{\text{eff},A} \text{ (PM)} \cdot a_{sA}}$$

$$\sigma_v = \sqrt{\tau_{||}^2 + \sigma_{\perp}^2} \leq \sigma_{w,Rd}$$

Gleichungen 4.21

c) Untere Flanschnaht a_{FuA}

Diese Naht bleibt unverändert, da die Zugkraft $F_{EP,A}$ im wesentlichen über die Stegnaht a_{sA} übertragen wird.

d) Flansch- und Stegnahte der Stirnplatte Stütze, a_{s0C} , a_{FiC} , a_{FrC}

Diese Nähte bleiben unverändert, da sie für F_{oC} ausgelegt wurden (Kap. 3.10) und nur diese Kraft anteilig bei der Druckgrenzkraft (NM) berücksichtigt wurde.

e) Nähte Stützensteg – Stützenflansche

Falls die Stütze ein Schweißprofil ist, werden die Doppelkehlnähte a_{rC} und a_{iC} (siehe Bild 3.10) wie folgt nachgewiesen:

$$\sigma_{\perp} = \frac{\text{red } F_{CF,r} \text{ (PM)}}{2 b_{\text{eff},t,C} \text{ (PM)} a_{rC}} \leq \sigma_{w,Rd} \quad (\text{Zugbereich unten}),$$

Gleichung 4.22



$$\sigma_{\perp} = \frac{D_C - F_{oC}}{2 a_{rC} b_{\text{eff,co}} (\text{PM})} \leq \sigma_{w,Rd},$$

Gleichung 4.23

Worin $D_C - F_{oC}$ der Steganteil der Druckkraft ist. Dieser Nachweis erfolgt nur für $D_C > F_{oC}$.
Die Naht a_{rC} wird überprüft:

$$\tau_{II} = \frac{D_C S_{y,C}}{I_{y,C} 2 a_{rC}} \leq \sigma_{w,Rd}$$

Gleichung 4.25

siehe Kap. 3.10.

4.11 Schrauben im Druckbereich oben (PM)

Die Schrauben, die beim negativen Moment im Zugbereich lagen, werden nun zum Abtrag der dem positiven Moment zugeordneten Querkraft herangezogen.
Die Berechnung der Grenzkkräfte erfolgt analog zu Kap. 3.11.



4.12 Beschreibung des Iterationsablaufes, Anordnung der Schrauben (PM)

Zunächst wird der Anschluß für das vorgegebene negative Moment ausgelegt. Der Anwender trifft unter den angezeigten Varianten seine Auswahl. Zur Aufnahme des positiven Momentes wird bei der gewählten Variante die Schraubenanzahl von „unten nach oben“ solange iterativ erhöht, bis die folgenden Nachweise für die einzelnen Komponenten erbracht werden:

- Biegebeanspruchung Stirnplatte Riegel
- Biegebeanspruchung Stützenflansch
- Zugbeanspruchbarkeit Trägersteg unten
- Zugbeanspruchbarkeit Stützensteg unten
- Lochleibung Schrauben (Kopfplatte und Stützenflansch), Abscheren

Mit diesen Werten werden dann noch die

- Schubbeanspruchung des Stützenstegbleches
- Grenzdruckkräfte des Riegels und der Stütze
- Grenzscherbeulskraft der Rahmenecke
- und die Schweißnähte

überprüft. Die Iteration erfolgt so lange, bis keine weiteren Schrauben mehr angeordnet werden können. Die aus der Berechnung für das „negative Moment“ (NM) gewählte Schraubenanordnung im Druckbereich (also unten) wird beim Nachweis des positiven Momentes (PM) geändert, da es sonst zu einer unwirtschaftlichen Lösung kommen könnte. Die beim PM-Nachweis von unten nach oben iterierten Schrauben werden im Abstand e_{DA} angeordnet, der vom Anwender vorzugeben ist. Die Iteration bricht ab, wenn das positive Moment aufgenommen werden kann, oder keine zusätzlichen Schrauben mehr angeordnet werden können, oder der Zugbereich unten größer als $2/3 h_A$ wird. Danach wird überprüft, ob die nun ermittelte Schraubenanzahl im unteren Bereich (aus PM) in der Lage ist, die Querkraft $V_{d,A}$ (aus NM) auszunehmen. Sollte dies nicht der Fall sein, so werden gegebenenfalls weitere Schraubenreihen im Abstand e_{DA} nach oben hin angeordnet.

Bei diesen iterativen Berechnungen für PM werden keine zusätzlichen Stegblechverstärkungen, Steifen oder Rippen ermittelt und angeordnet. Es wird immer auf die Lösung NM zurückgegriffen. Eventuelle vorhandene Stegblechverstärkungen (Riegel A, Stützensteg) und Unterlegbleche aus der gewählten Lösung NM werden bei Bedarf (falls die entsprechenden Nachweise nicht erfüllt werden können) nach unten verlängert. Dabei wird besonders auf die Schraubbarkeit geachtet, siehe auch Bild 2.6.

5. Klassifizierung, Momenten-Rotations-Charakteristik, Nachweisverfahren

5.1 Definition

Der klassische Stahlbau geht bei der Berechnung von Tragwerken von den Modellen gelenkiger oder biegesteifer Anschlüsse aus. Die konstruktive Ausbildung der Anschlüsse muß so gestaltet sein, daß die Anschlußcharakteristik einem dieser beiden Typen genügt. Das tatsächliche Verhalten von Anschlüssen ist jedoch nicht immer als „ideal gelenkig“ oder als „starr und volltragfähig“ (= biegesteif) einzustufen. Viele Anschlüsse, die z. B. unter ökonomischen Aspekten konstruiert sind (z. B. steifenlos), sind praktisch nachgiebig (d. h. „verformbar“ oder/und „teiltragfähig“). Diese Nachgiebigkeit muß dann bei der Tragwerksberechnung berücksichtigt werden. Eine solche Einstufung der Anschlußcharakteristik wird als Klassifizierung bezeichnet. Nachgiebige Anschlüsse können nicht nur selbst kostengünstiger sein, sondern auch – infolge von Schnittgrößenumlagerungen – zu Materialeinsparungen im Tragwerk führen. Ein darauf aufbauendes modernes Bemessungskonzept ist in [13] dargestellt. Der Anhang J des Eurocodes 3 [14] stellt Bemessungskriterien zur Verfügung, mit deren Hilfe die wesentlichen Charakteristika eines Anschlusses (Tragfähigkeit, Steifigkeit, Rotationskapazität) bestimmt werden können. Mit diesen charakteristischen Größen kann dann ein Anschluß hinsichtlich seiner

Momententragfähigkeit

- volltragfähig
- teiltragfähig
- gelenkig

und seiner

Steifigkeit

- starr = unverformbar
- verformbar
- gelenkig

klassifiziert werden. Es werden hier einseitige Riegel-Stützenanschlüsse betrachtet. Die Momente in einem solchen Anschluß bewirken Verformungen, die sich als relative Verdrehungen (Rotationen) ausdrücken. Die Quer- und Normalkräfte sind für das Antwortverhalten der Gesamtkonstruktion in der Regel von untergeordneter Bedeutung [13] und werden deshalb vernachlässigt.

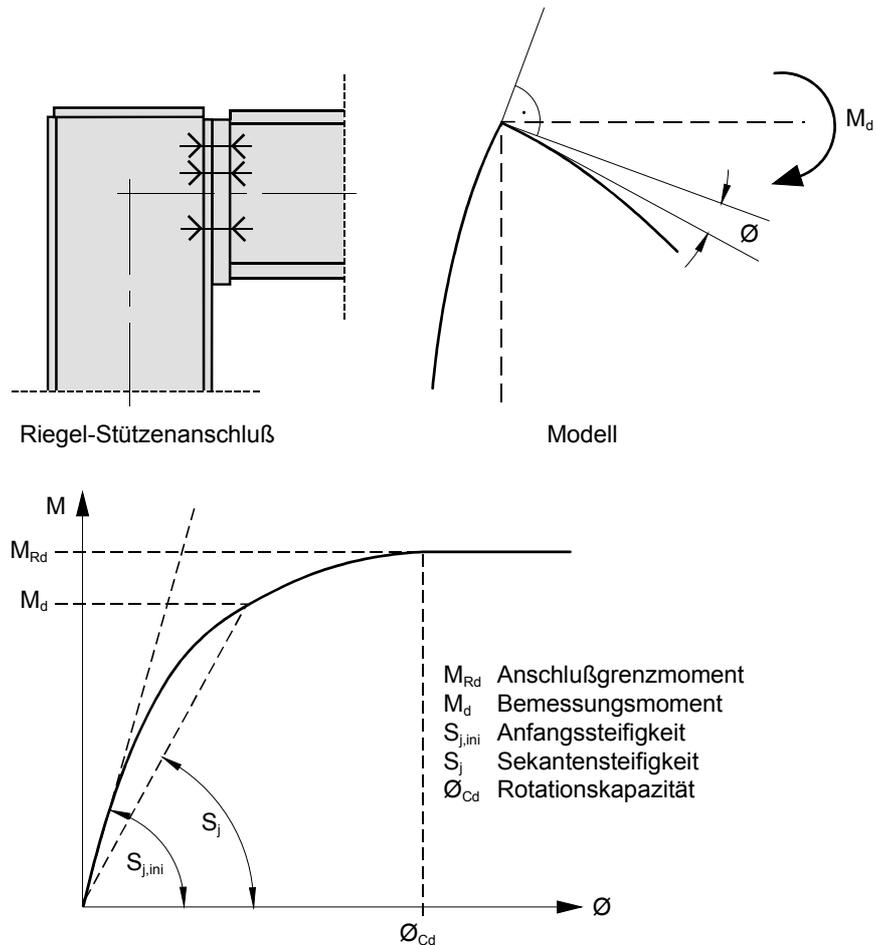


Bild 5.1: Momenten – Rotations- Charakteristik

Die Momenten – Rotations – Charakteristik eines Anschlusses im Knoten j ist im allgemeinen nichtlinear (siehe Bild 5.1) und wird durch die folgenden Größen beschrieben:

Tragfähigkeit M_{Rd}

Gibt das vom Anschluß maximal übertragbare Moment an

Steifigkeit S

Ist definiert als Steigung der Momenten – Rotationskurve. Man unterscheidet

- Elastische oder Anfangssteifigkeit $S_{j,ini}$
- Sekantensteifigkeit S_j
- Tangentensteifigkeit $S_{j,tan}$

Mit Hilfe der Steifigkeit wird die Verformbarkeit eines Anschlusses beschrieben.

Rotationskapazität Θ_{Cd}

Ist als die maximale Verdrehung bei Eintritt des Versagens des Anschlusses definiert. Eine plastische Rotationskapazität ist dann erforderlich, wenn der Rahmen nach der Fließgelenktheorie berechnet werden soll und $M_{Rd} < 1,2 M_{pl,d}$ ist ($M_{pl,d}$ ist das plastische Grenzmoment des angeschlossenen Riegels).

5.2 Klassifizierung des Anschlusses

Eine Klassifizierung der charakteristischen Werte des Anschlusses muß erfolgen, um entscheiden zu können, ob das lokale Verhalten des Anschlusses sich auf die Verteilung der Schnittgrößen und die Gesamtverformungen einer Konstruktion auswirken. Dazu wird die Momenten-Rotations-Kurve in verschiedene „Klassen“ eingestuft. Bei der Klassifizierung von Anschlüssen sind grundsätzlich *zwei Arten der Klassifizierung* zu unterscheiden:

• Klassifizierung nach der Steifigkeit

Es werden die *Effekte der Steifigkeit* auf die Gesamtkonstruktion bewertet. Es sind drei Klassen möglich:

- gelenkig
der Anschluß läßt relative Rotationen zu, ohne daß signifikante Momente übertragen werden, die das Verhalten des Gesamtsystems beeinflussen.
- starr = unverformbar
unabhängig vom übertragenen Moment sind die relativen Verdrehungen so klein, daß sie bei der Berechnung des Gesamtsystems vernachlässigt werden können.
- verformbar = nachgiebig
Ein Anschluß, der weder als gelenkig, noch als starr eingestuft werden kann, wird als verformbar klassifiziert.

• Klassifizierung nach der Festigkeit

Hierbei werden die *Effekte des Tragfähigkeit* des Anschlusses auf das Antwortverhalten der Gesamtkonstruktion bewertet. Es erfolgt eine Einteilung in drei Klassen:

- gelenkig
der Anschluß kann keine signifikanten Momente übertragen, d. h. die Effekte auf das Gesamtsystem können im Vergleich zu einem idealen Gelenk vernachlässigt werden.
- volltragfähig
Die Momententragfähigkeit M_{Rd} des Anschlusses ist größer als die Momententragfähigkeit $M_{pl,d}$ des angeschlossenen Bauteils. Bei Anwendung der Fließgelenktheorie bilden sich die plastischen Gelenke im Bauteil aus und nicht im Anschluß.
- teiltragfähig
ist ein Anschluß, der weder als gelenkig, noch als volltragfähig eingestuft werden kann. Der Anschluß hat eine signifikante Momententragfähigkeit, die maßgebend für die Schnittgrößenermittlung und Bemessung ist. Bei Anwendung der Fließgelenktheorie kann die Bildung von Fließgelenken im Anschluß selbst stattfinden.

Die Anschlüsse werden nun klassifiziert, indem die Kenngrößen *Steifigkeit* und *Festigkeit* mit Grenzwerten verglichen werden (siehe schematische Darstellung im Bild 5.2).

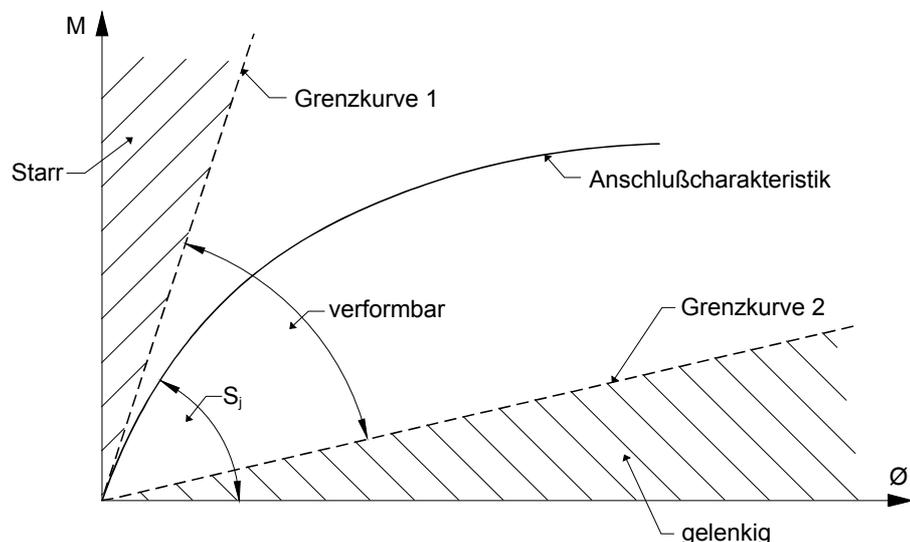


Bild 5.2a: Klassifizierung für Steifigkeit

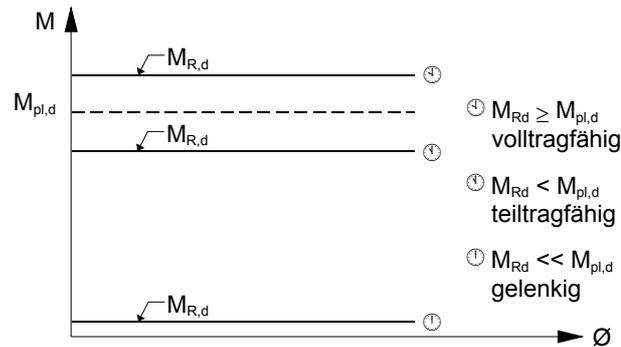


Bild 5.2b: Klassifizierung für Tragfähigkeit ($M_{pl,d}$ plastisches Grenzmoment des angeschlossenen Bauteils)

Mit Hilfe dieser Klassifizierungen von Anschlüssen kann festgestellt werden, ob das tatsächliche Verhalten (Steifigkeit) bei der Berechnung des Tragwerkes berücksichtigt werden muß, oder ob eine Modellierung mit den idealen Annahmen (gelenkig/starr) möglich ist. Die Kriterien sind in Kapitel 5.4 angegeben.

Alternativ kann selbstverständlich das tatsächliche Tragverhalten immer bei der Tragwerksberechnung berücksichtigt werden. In diesem Fall erübrigt sich eine Klassifizierung.

5.3 Berechnungsverfahren [11] für Klassifizierung

Die im Kapitel 5.2 aufgezeigten zwei Kriterien für eine Klassifizierung benötigen Grenzkriterien für eine Einteilung. Diese Grenzkriterien sind – dem neuesten Stand der Technik entsprechend – in [14] enthalten und hängen von dem Verfahren ab, wie das Tragwerk berechnet wurde. Ob nun ein Anschluß nach der Steifigkeit und/oder Festigkeit zu klassifizieren ist, hängt ebenso vom Verfahren zur Tragwerksberechnung ab. In diesem Zusammenhang sind die folgenden Verfahren nach [11], [14] zu unterscheiden:

(Hinweis: Diese Verfahren unterscheiden sich teilweise sprachlich von dem in der DIN 18800 [2,3] definierten Verfahren)

- **Elastische Tragwerksberechnung [11], [2]**
Bei der Berechnung der Schnittgrößen wird *nur die Steifigkeit* der Bauteile berücksichtigt. Können Anschlüsse als gelenkig oder starr klassifiziert werden, so erfolgt die Berechnung nach den traditionellen Verfahren (Kopplung Träger Stütze gelenkig oder biegesteif = starr). Ist ein Anschluß jedoch als verformbar einzustufen, dann ist die elastische Steifigkeit S_j dieses Anschlusses bei der Tragwerksberechnung zu berücksichtigen. Nach der Berechnung der Beanspruchungen sind diese dann den Festigkeiten (Widerständen) gegenüberzustellen (Nachweis $M_d \leq M_{el,d}$ DIN 18800 [2], $M_d \leq M_{pl,d}$ EC 3 [11]). Dieses Verfahren entspricht DIN 18800 [2], dort Verfahren *elastisch-elastisch*.
- **starr - plastische Tragwerksberechnung [11]**
Maßgebend für die Schnittgrößenverteilung am Gesamtsystem sind nur die Tragfähigkeiten (Festigkeiten) der einzelnen Elemente. Die Anschlüsse sind nur nach der Festigkeit zu klassifizieren, da die Steifigkeit keinen Einfluß auf die Tragfähigkeit des Systems hat. Die Verformungen des Tragwerkes resultieren ausschließlich aus den Rotationen in den Fließgelenken, die elastischen Verformungen werden vernachlässigt. Dies entspricht der Fließgelenktheorie I. Ordnung (FG Th. I. O.). Gelenkig eingestufte Anschlüsse werden als Gelenke zwischen den Tragwerksteilen idealisiert. Volltragfähig klassifizierte Anschlüsse haben keinen Einfluß auf die Schnittgrößenverteilung im System, die Bauteile werden biegesteif gekoppelt, jedoch muß das Rotationsvermögen überprüft, bzw. müssen Überfestigkeiten in Rechnung gestellt werden. Im Falle von teiltragfähigen Anschlüssen ist deren Festigkeit bei der Tragwerksberechnung zu berücksichtigen, da sich hierdurch andere Momentenumlagerungen ergeben (Fließgelenke können im Anschluß auftreten).

In diesem Fall sind auch die Rotationskapazitäten zu überprüfen. Dieses Verfahren entspricht dem Verfahren „plastisch-plastisch“ der DIN 18800 [2].

• **elastisch - plastische Tragwerksberechnung [11]**

Dieses Verfahren stellt quasi eine Kombination der obigen Verfahren dar. Es ist daher eine Klassifizierung sowohl nach der Steifigkeit als auch nach der Festigkeit durchzuführen. Die Berechnung der Schnittgrößen erfolgt unter Einbeziehung der elastischen Deformationen und der plastischen Rotationen in den Fließgelenken (Fließgelenktheorie II. Ordnung, FG Th. II. O) oder nach einer Fließzonentheorie. Dieses Verfahren entspricht ebenso dem Verfahren „plastisch-plastisch“ der DIN 18800 [2].

Die einzelnen Verfahren sind im Bild 5.3 gegenübergestellt.

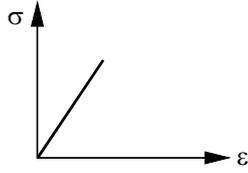
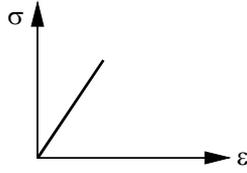
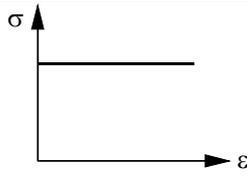
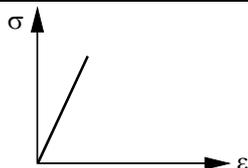
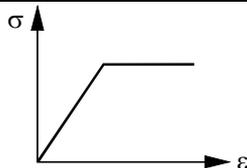
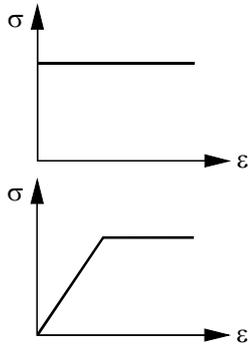
Verfahren	DIN 18800 [2]	EC3 [11]
elastische Tragwerksberechnung [11], elastisch-elastisch [2]	 <ul style="list-style-type: none"> - Schnittgr. nach der Elastizitätstheorie - $M_d \leq M_{el,d}$ 	 <ul style="list-style-type: none"> - Schnittgrößen nach der Elastizitätstheorie - keine Fließgelenke - $M_d \leq M_{pl,d}$
starr-plastische Tragwerksberechnung [11], Verfahren plastisch-plastisch	—	 <ul style="list-style-type: none"> - Keine elastischen Verformungen - FG Th. I. O.
elastisch-plastisch [2], elastisch-plastische Tragwerksberechnung [11]	 <ul style="list-style-type: none"> - Schnittgrößen nach der Elastizitätstheorie - keine Fließgelenke - $M_d \leq M_{pl,d}$ 	 <ul style="list-style-type: none"> - FG Th. II. O. - Fließzonenverfahren
Verfahren plastisch-plastisch [2]	 <ul style="list-style-type: none"> - FG Th. I. O. oder FG Th. II. O. - Fließzonenverfahren 	—

Bild 5.3: Berechnungsverfahren nach [2] bzw. [11]

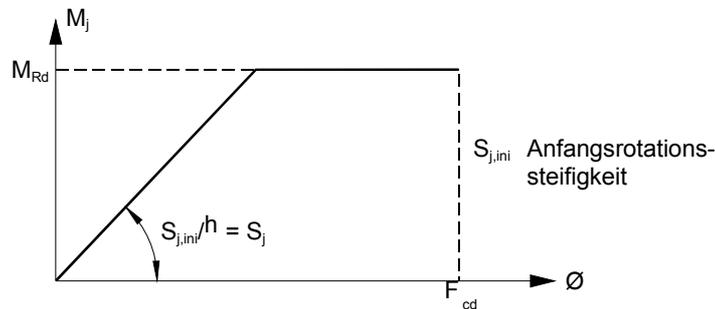


5.4 Grenzkriterien für die Klassifizierung, Bemessungsmodelle

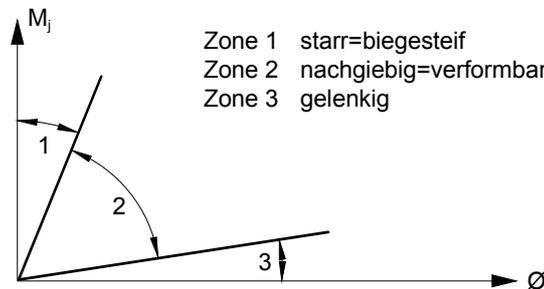
Das Verhalten der Anschlüsse ist im allgemeinen Fall bei der Diskretisierung und Berechnung des Gesamtsystems zu berücksichtigen. Aus diesem Grund sind Regeln erstellt worden, wie das Anschlußverhalten im Gesamtsystem, z. B. durch Ersatzrotationsfedern (Kenngröße S_j) berücksichtigt werden kann (sog. *Modellierung* der Anschlußcharakteristik). Die Grenzkriterien für eine Klassifizierung von Anschlüssen sind ein wesentliches Element solcher Bemessungsmodelle. Im folgenden sind geeignete, auf der sicheren Seite liegende, vereinfachte Anwendungsregeln [11, 14] angegeben.

- **Klassifizierung nach der Steifigkeit**

Die Steifigkeit des Anschlusses ist mit der Biegesteifigkeit des angeschlossenen Riegels zu vergleichen. Die Abgrenzungskriterien sind in Bild 5.4 angegeben.



a: Vereinfachte bilineare Momenten-Rotations-Charakteristik für Tragnachweis



b: Zoneneinteilung

Zone	Verschiebliche Rahmen	Unverschiebliche Rahmen
3	$S_{j,ini} \leq \frac{E I_b}{2 L_b}$	$S_{j,ini} \leq \frac{E I_b}{2 L_b}$
1	$S_{j,ini} \geq \frac{25 E I_b}{L_b}$	$S_{j,ini} \geq \frac{8 E I_b}{L_b}$
	Bedingung: $\frac{K_b}{K_c} \geq 0,1$	—

c: Kriterien für die Zoneneinteilung

Bild 5.4: Steifigkeitskriterien für die Klassifizierung des Anschlusses Riegel an Stütze

Im Bild 5.4 sind die folgenden Größen erforderlich (siehe Bild 5.5):

- K_b = I_b/L_b (Mittelwert für den Riegel)
- K_c Mittelwert aus I_c/L_c für alle Stützen
- I_b Flächenträgheitsmoment Riegelprofil
- I_c Flächenträgheitsmoment Stützenprofil
- L_b Riegelspannweite (von Stützenmitte zu Stützenmitte)
- L_c Stützenlänge

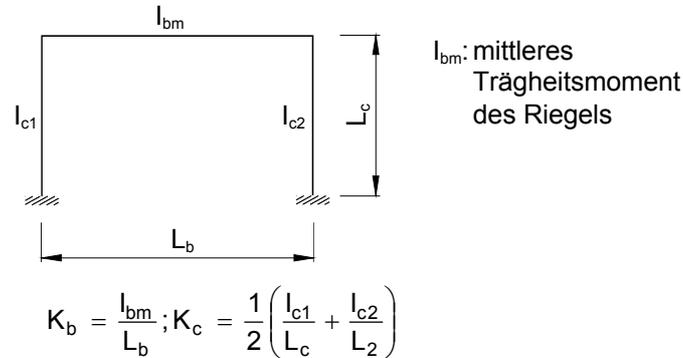
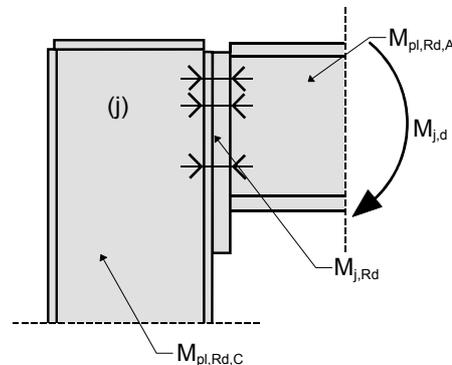


Bild 5.5: Zur Ermittlung von K_b/K_c für einen verschieblichen Rahmen

Alle Werte für $S_{j,ini}$ oberhalb Zone 3 und unterhalb Zone 1 sind als verformbar einzuordnen. Anschlüsse, die den Zonen 1 oder 3 zuzuordnen sind, können optional auch als verformbar behandelt werden.

• **Klassifizierung nach der Tragfähigkeit**

Ein Riegel-Stützenanschluß kann durch Vergleich seiner Momentenragfähigkeit $M_{j,Rd}$ mit der Momentenragfähigkeit des Riegels oder der Stütze als volltragfähig, gelenkig oder teiltragfähig klassifiziert werden (siehe Bild 5.6).



- volltragfähig: $M_{j,Rd} \geq M_{pl,Rd,A}$ oder $M_{j,Rd} \geq M_{pl,Rd,C}$
- gelenkig: $M_{j,Rd} \leq 0,25 M_{pl,Rd,A}$
- teiltragfähig: $0,25 M_{pl,Rd,A} < M_{j,Rd} < M_{pl,Rd,A}$

Bild 5.6: Klassifikation nach Tragfähigkeit



5.5 Nachweise [2], [11], [14]

Bei verformbaren Anschlüssen sind die Anschlußsteifigkeiten bei der Ermittlung der Schnittgrößen am Gesamttragwerk zu berücksichtigen, da hieraus eine Schnittgrößenumlagerung resultiert. Dieses trifft auf das elastische Verfahren und das elastisch-plastische Bemessungsverfahren zu. Die Nachgiebigkeit eines Anschlusses kann z. B. durch die Anordnung einer Drehfeder mit der Steifigkeit S_j im Schnittpunkt der Schwerachsen von Riegel und Stiel erfaßt werden.

Teiltragfähige Anschlüsse haben bei einer Berechnung des Tragwerkes nach der Elastizitätstheorie keine Effekte auf die Schnittgrößenverteilung. Beim Nachweis ist dann zu überprüfen, ob die Schnittgrößen kleiner sind als die Tragfähigkeit des Anschlusses. Bei der Ermittlung der Anschlußtragfähigkeit $M_{R,d}$ ist das elastisch-plastische Materialverhalten zu berücksichtigen, durch das eine plastische Umlagerung der Kräfte im Anschluß ausgenutzt werden kann [14], [13]. Wird das Tragwerk nach plastischen Berechnungsverfahren bemessen (z. B. Fließgelenktheorie I. oder II. Ordnung), so ist die Tragfähigkeit der Anschlüsse bei der Schnittgrößenermittlung zu berücksichtigen, da sich mögliche Fließgelenke in den Anschlüssen und nicht in den angeschlossenen Bauteilen ausbilden können.

In einem solchen Fall kann z. B. der Anschluß bei Berechnung des Tragwerkes mit einem Stabwerksprogramm durch ein eigenes Stabelement mit dem entsprechenden M_{pl} berücksichtigt werden. Falls die Tragfähigkeit des Anschlusses nicht mindestens den Wert

$$M_{R,d} \geq 1,2 M_{pl,R,d}$$

erreicht, so ist die ausreichende Rotationskapazität des Anschlusses zu überprüfen. Dieses ist durch eine mögliche Überfestigkeit der angeschlossenen Bauteile (siehe [2]) begründet. Ist z. B. der Riegel infolge einer Materialüberfestigkeit tragfähiger als der Anschluß (der mit Nominalwerten als volltragfähig klassifiziert wurde), so würde sich ein mögliches Fließgelenk doch im Anschluß bilden, so daß dieser die erforderliche plastisch Rotation erbringen muß. In der Tabelle 5.1 sind die erforderlichen Nachweise zusammengestellt.

Tragwerks-Berechnungsverfahren	Klassifizierung des Anschlusses nach		Nachweis des Rotationsvermögens (6.9.2)	Tragnachweis des Anschlusses	Berücksichtigung der Steifigkeit und der Tragfähigkeit bei der Ermittlung der Schnittgrößen
	Steifigkeit	Tragfähigkeit			
Schnittgrößen nach der Elastizitätstheorie	starr (6.4.2.2)	—	nein	$M_{R,d} \geq M_d$	nein
	nachgiebig (6.4.2.3)	—	nein	$M_{R,d} \geq M_d$	ja. z.B. Drehfeder mit Steifigkeit S_j (Rotationssteifigkeit)
starr-plastisch z.B. FG Th.I.O. (Verfahren pl.-pl. nach DIN 18800)	—	volltragfähig (6.4.3.2)	ja	$M_{R,d} \geq M_{pl,d}$	entfällt
	—	teiltragfähig (6.4.3.3)	nein	$M_{R,d} \geq 1,2 M_{pl,d}$	entfällt
elastisch-plastisch z.B. FG Th.II.O. (Verfahren pl.-pl. nach DIN 18800)	starr	volltragfähig	ja	$M_{R,d} \geq M_{pl,d}$	nein
	starr	volltragfähig	nein	$M_{R,d} \geq 1,2 M_{pl,d}$	nein
	starr	teiltragfähig	ja, wenn FG im A. und $M_{R,d} < M_{pl,d}$	$M_{R,d} \geq M_d$	Festigkeit des A. berücksichtigen, da FG z.B. im A. auftreten kann
	nachgiebig	volltragfähig	ja	$M_{R,d} \geq M_{pl,d}$	Steifigkeit S_j berücksichtigen
	nachgiebig	volltragfähig	nein	$M_{R,d} \geq 1,2 M_{pl,d}$	Steifigkeit S_j berücksichtigen
	nachgiebig	teiltragfähig	ja, wenn FG im A. und $M_{R,d} < M_{pl,d}$	$M_{R,d} \geq M_d$	Festigkeit und Steifigkeit berücksichtigen, da FG z.B. im A. auftreten kann

A: Anschluß, FG: Fließgelenk, (6.4.2.2) Kapitel im EC3 [11]

Tabelle 5.1: Nachweise [2], [11]

Wichtige Anmerkung zur Tabelle 5.1

Das Programm RAHMECK berechnet iterativ das Grenzmoment des Schraubenanschlusses (nach Kapitel 3.1 und 3.2), so daß dieses Grenzmoment größer als das Moment um den unteren Druckpunkt ist. Um die Wirtschaftlichkeit der Anschlußkonstruktion zu gewährleisten, werden Reduktionen der Traglasten durchgeführt (Faktoren δ_A bzw. δ_C im Beispiel Kapitel 7), so daß das Grenzmoment der Rahmenecke dann gleich dem Bemessungsmoment M_D um den unteren Druckpunkt ist, da mit diesen reduzierten Traglasten dann die weiteren Traglastnachweise (Kapitel 3.3 und folgende) geführt werden!

Aus diesem Grund ist das Tragmoment $M_{R,d}$ (Tabelle 5.1) des gesamten Anschlusses immer gleich dem Moment M_D um den unteren Druckpunkt (siehe Kapitel 3.1):

$$M_{R,d} = |M_D| = |M_{y,d,A} - N_{dA} \cdot d_A|$$

Aus diesem Grund ist der Anschluß entsprechend der Klassifizierung nach Kapitel 5 (Tabelle 5.1) zunächst immer teiltragfähig. Soll das Programm den Anschluß als volltragfähig auslegen, z. B. bei Anwendung des Verfahrens plastisch-plastisch nach DIN 18800, so ist als Bemessungsmoment das plastische Bemessungsmoment des Riegels vorzugeben ($M_{y,d,AI}$ ist negativ!)

$$M_{y,d,AI} = M_{pl,d,A} \Rightarrow \text{volltragfähig}$$

Soll auf den Nachweis ausreichender Rotationskapazität verzichtet werden, so kann es nach Tabelle 5.1 erforderlich sein, als Bemessungsmoment (negativ!)

$$M_{y,d,AI} = 1,2 M_{pl,d,A} \Rightarrow \text{kein Nachweis des Rotationsvermögens}$$

vorzugeben. Ein negatives $N_{d,A}$ hätte ein betragsmäßiges kleineres Druckpunktmoment M_D zur Folge, da $M_{R,d} = |M_D|$ mit $M_{pl,d,A}$ bzw. $1,2 M_{pl,d,A}$ verglichen wird, daher sollte bei der Schnittgrößeneingabe auf die Eingabe einer entlastenden (d. h. negativen) Normalkraft $N_{d,AI}$ verzichtet werden.

5.6 Ermittlung der Rotationssteifigkeit S_j

In [11] und [14] wird die Anfangsrotationssteifigkeit mittels des Modells einer Serienschaltung der Steifigkeiten der einzelnen Anschlußkomponenten berechnet:

$$S_{j,ini} = \frac{E z^2}{\sum \frac{1}{k_i}}$$

Gleichung 5.1

Die zu berücksichtigenden Einzelsteifigkeiten hängen von der Anzahl der Schraubenreihen in der Zugzone ab, siehe Bild 5.7.

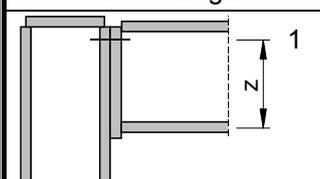
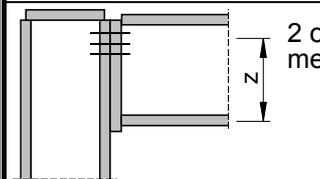
Anzahl der Schraubenreihen in der Zugzone	Zu berücksichtigende Steifigkeiten und Hebelarm z
	$k_1, k_2, k_3, k_4, k_5, k_{10}$ $z = h_1$ $\sum \frac{1}{k_i} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \frac{1}{k_3} + \frac{1}{k_4} + \frac{1}{k_5} + \frac{1}{k_{10}}$
	k_1, k_2, k_{eq} $z = 0,5 (h_1 + h_2)$ $\sum \frac{1}{k_i} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \frac{1}{k_{eq}}$

Bild 5.7: Zu berücksichtigende Steifigkeiten und Hebelarm z



Die Koeffizienten k_i ergeben sich zu [14]:

a) Steifigkeitskoeffizient k_1 aus Schubbeanspruchung des Stützenstegbleches

$$k_1 = \frac{0,38 A_{V,C}}{z}$$

Gleichung 5.2

$A_{V,C}$ Schubfläche des Stützensteges incl. einer eventuellen Stegblechverstärkung (siehe Kapitel 3.5)

Falls die Rahmenecke durch eine Diagonale ausgesteift ist, wird $k_1 = \infty$ gesetzt.

b) Steifigkeitskoeffizient k_2 aus Druckbeanspruchung des unausgesteiften Stützenstegbleches

$$k_2 = \frac{0,7 \cdot b_{\text{eff},c,rC} \cdot s_C}{h_C - t_{lC} - t_{rC}}$$

Gleichung 5.3

s_C effektive Stegdicke

$b_{\text{eff},c,rC}$ mitttragende Breite des Stützenstegbleches (Kap. 3.6) im Druckbereich

Falls im Druckpunkt Stegsteifen angeordnet sind, wird $k_2 = \infty$ gesetzt [21].

c) Koeffizient k_3 aus Zugbeanspruchung des Stützensteges

$$k_3 = \frac{0,7 \cdot b_{\text{eff},t,C} \cdot s_C}{h_C - t_{lC} - t_{rC}}$$

Gleichung 5.4

s_C effektive Stegblechdicke

$b_{\text{eff},t,C}$ effektive Fließlinienlänge Schraubenreihe 1 (Kapitel 3.2)

d) Koeffizient k_4 aus Biegebeanspruchung des Stützenflansches

$$k_4 = \frac{0,85 \cdot l_{\text{eff}} t_{rC}^3}{m_{1rC}^3}$$

Gleichung 5.5

$l_{\text{eff}} = b_{\text{eff},t,C} = l_{\text{eff},1}$ Fließlinienlänge Schraubenreihe 1 Stützenflansch (Kapitel 3.2)

m_{1rC} siehe Bild 3.2 und Kap. 2.1

e) Koeffizient k_5 aus Biegung der Riegelstirnplatte

$$k_5 = \frac{0,85 \cdot l_{\text{eff}} t_{eA}^3}{m_{1A}^3}$$

Gleichung 5.6

$l_{\text{eff}} = l_{\text{eff},1}$ Fließlinienlänge Schraubenreihe 1 Stirnplatte Riegel (Kapitel 3.1)

m_{1A} siehe Kap. 3.1 bzw. 2.1

f) Koeffizient k_{10} aus der Schraubenzugbeanspruchung

$$k_{10} = \frac{1,6 \cdot A_{sp}}{L_b}$$

Gleichung 5.7

A_{sp} Spannungsquerschnitt der Schrauben

L_b Schraubenlänge plus halbe Kopf- und Mutterhöhe



g) Koeffizient k_{eq} für Stirnplattenverbindung mit 2 oder mehr Schraubenreihen in der Zugzone

Die äquivalente Steifigkeit k_{eq} ergibt sich zu

$$k_{eq} = \frac{\sum_{r=1}^{n_z} k_{eff,r} h_r}{z_{eq}}$$

Gleichung 5.8

h_r Abstand Schraubenreihe r zum Druckpunkt

$k_{eff,r}$ effektiver Steifigkeitskoeffizient der Schraubenreihe r

$$k_{eff,r} = \frac{1}{\frac{1}{k_{3r}} + \frac{1}{k_{4r}} + \frac{1}{k_{5r}} + \frac{1}{k_{10r}}}$$

Gleichung 5.9

$$k_{3r} = \frac{0,7 l_{eff,r} s_C}{h_c - t_{IC} - t_{rC}}$$

$$k_{4r} = \frac{0,85 l_{eff,r} t_{rC}^3}{m_{1rC}^3}$$

$l_{eff,r}$ effektive Fließlinienlänge Stützenflansch Reihe r

$$k_{5r} = \frac{0,85 l_{eff,r} t_{eA}^3}{m_{1A}^3}$$

$l_{eff,r}$ effektive Fließlinienlänge Stirnplatte Reihe r

$$k_{10} = \frac{1,6 \cdot A_{sp}}{L_b}$$

Der äquivalente Hebelarm z_{eq} ergibt sich zu

$$z_{eq} = \frac{\sum_{r=1}^{n_z} k_{eff,r} \cdot h_r^2}{\sum_{r=1}^{n_z} k_{eff,r} \cdot h_r}$$

Gleichung 5.10



5.7 Berücksichtigung der Anschlußsteifigkeit $S_{j,ini}$ beim Tragwerksnachweis

Die Nachgiebigkeit des Anschlusses (Berücksichtigung der Steifigkeit) kann bei der Tragwerksberechnung durch eine Drehfeder oder durch einen eingefügten Ersatzstab mit entsprechendem Trägheitsmoment berücksichtigt werden. Dies soll am Beispiel einer Rahmenecke verdeutlicht werden, siehe Bild 5.8. Falls im Stabwerksprogramm die Möglichkeit des Einbaus einer Drehfeder besteht, werden Stiel und Riegel gelenkig und zusätzlich mit einer Drehfeder $c_\vartheta = S_j$ gekoppelt, Bild 5.8a.

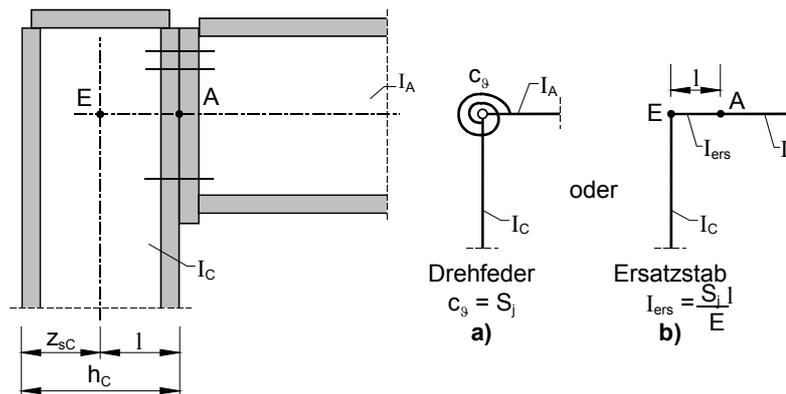


Bild 5.8: Berücksichtigung der Nachgiebigkeit S_j

Alternativ kann ein Ersatzstab der Länge $l = h_c - 0,5 z_{sc}$ und dem Trägheitsmoment $I_{ers} = S_j l / E$ in das Stabwerksprogramm eingebaut werden. Die anzusetzende Rotationssteifigkeit S_j hängt vom Nachweis ab:

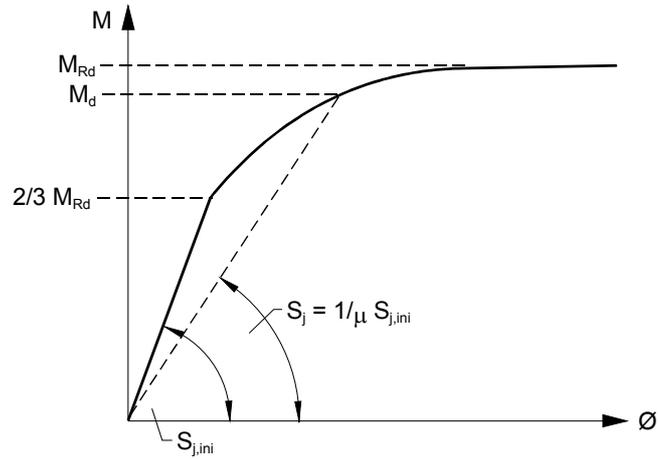
a) Nachweis der Gebrauchstauglichkeit [14]

$$S_j = S_{j,ini} \quad \text{für } M_d \leq \frac{2}{3} M_{Rd}$$

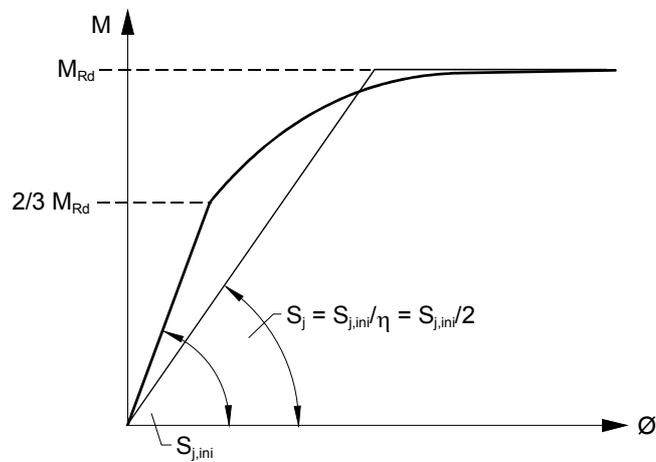
$$S_j = \frac{S_{j,ini}}{\mu} \quad \text{für } M_d > \frac{2}{3} M_{Rd}$$

$$\mu = \left(1,5 \frac{M_d}{M_{Rd}} \right)^{2,7}$$

Gleichungen 5.11



a) Gebrauchstauglichkeitsnachweis



b) Tragsicherheitsnachweis

Bild 5.9: Steifigkeit S_j für Tragwerksnachweise

b) Nachweis der Tragsicherheit [14]

$$S_j = S_{j,ini} \quad \text{für } M_d \leq \frac{2}{3} M_{Rd}$$

$$S_j = \frac{S_{j,ini}}{\eta} \quad \text{für } M_d > \frac{2}{3} M_{Rd}$$

$$\eta = 2,0$$

Gleichungen 5.12



5.8 Ermittlung der Rotationskapazität

Wenn die globale Tragwerksanalyse nach einem plastischen Verfahren durchgeführt wird (z.B. Traglastverfahren) muß je nach Fall (siehe Tabelle 5.1) die Rotationskapazität nachgewiesen werden.

Voraussetzungen

Riegelnormalkraft $|N_d| \leq 0,1 N_{pl,Rd}$

Nur Stahlgüten S235 (St37), S275, S355 (St52)

(gilt nicht für S420 und S460)

Die Rotationskapazität gilt als in ausreichendem Maß vorhanden, wenn eine der beiden Bedingungen eingehalten ist:

Bedingung 1

Wenn die Tragfähigkeit M_{Rd} des Anschlusses durch die Schubbeanspruchbarkeit des Stützensteges begrenzt wird, ist eine ausreichende Rotationskapazität gegeben. Es muß also gelten:

$$F_{CWS,C} < \left. \begin{array}{l} F_{EP,A} (*) \\ F_{CF,r} (*) \\ F_{BWT,A} \\ F_{CWT,r} \\ F_{CWC,r}; F_{CSB,c}; \\ F_{BFC,A} \\ F_{CWB,C} \end{array} \right\} \Rightarrow \text{Rotationskapazität gegeben}$$

(*) ohne Reduzierung)

oder Bedingung 2

Die Rotationskapazität für die plastische Tragwerksberchnung ist gegeben, wenn die beiden Bedingungen a) und b) eingehalten sind:

- a) Die Momententragfähigkeit wird bestimmt durch die Stützenflanschbiegung

$$F_{CF,r} < \{ F_{EP,A}; F_{BWT,A}; F_{CWT,r}; F_{CWC,r}; F_{CSB,c}; F_{BFC,A}; F_{CWB,C} \}$$

oder die Stirnplattenbiegung

$$F_{EP,A} < \{ F_{CF,r}; F_{BWT,A}; F_{CWT,r}; F_{CWC,r}; F_{CSB,c}; F_{BFC,A}; F_{CWB,C} \}$$

- b) Weiterhin muß eine der beiden Bedingungen für die Flanschdicke oder Stirnplattendicke eingehalten werden:

$$t_{rC} \leq 0,36 d \sqrt{\frac{f_{ub,k}}{f_{y,k,C}}}$$

oder

$$t_{eA} \leq 0,36 d \sqrt{\frac{f_{ub,k}}{f_{y,k,A}}}$$

mit

d Nenndurchmesser der Schraube

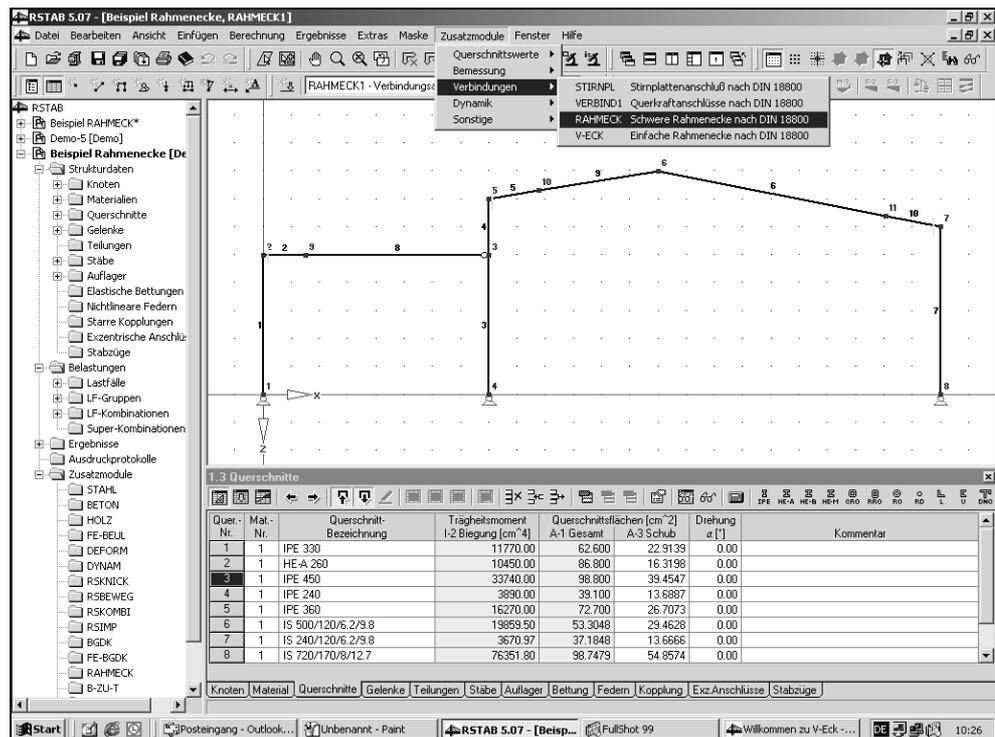
$f_{ub,k}$ Zugfestigkeit der Schraube

$f_{y,k}$ Streckgrenze (Stütze bzw. Stirnplatte)

6. Arbeiten mit RAHMECK

6.1 RAHMECK als Zusatzmodul

Das Modul RAHMECK kann entweder aus dem Pulldownmenü *Zusatzmodule* → *Verbindungen* aufgerufen werden oder über den entsprechenden Eintrag unter [Zusatzmodule] im *Position*- beziehungsweise *Projekt-Navigator*.



Aufruf von RAHMECK über das Pulldownmenü Zusatzmodule oder den Navigator

Um sich eine Rahmenecke innerhalb einer bestimmten Struktur ermitteln zu lassen, muß diese zunächst einmal geöffnet werden

6.2 Masken

Sowohl die Eingaben zur Definition von Rahmenecke, als auch die numerische Ausgabe der Ergebnisse auf dem Bildschirm, geschehen in Masken. Im rechten Teil bzw. unteren Teil des Rahmeck-Fensters werden Ihnen je nach Maske zusätzliche erläuternde Grafiken angezeigt.

Links sehen Sie nach dem Aufruf von RAHMECK den *RAHMECK-Navigator*, der alle aktuell anwählbaren Masken anzeigt. Darüber befindet sich eine Pulldownliste mit den eventuell bereits vorhandenen RAHMECK-Fällen (Bemessungsfällen). Durch Drücken von [Pfeil-nach-unten] wird die Liste aufgerollt und Sie können den gewünschten Bemessungsfall durch Anklicken aktivieren. Unterhalb der Titelleiste befinden sich die zwei Pulldownmenüs *Datei* und *Hilfe*. Innerhalb des Pulldownmenüs *Datei* → *Neuer Fall ...* kann ein neuer RAHMECK-Fall (Bemessungsfall) über eine vom Programm ausgewählte Nummer und einer vom Benutzer eingegebenen Bezeichnung definiert werden.

Ansteuerung aller Masken kann wahlweise durch Anklicken des entsprechenden Eintrages im *RAHMECK-Navigator* oder sequentielles Durchblättern geschehen. Geblättert werden kann entweder mit den Tasten [F2] und [F3] oder durch Anklicken der Buttons [\ll] und [\gg].

Mit [Grafik] wechseln Sie zurück in den Arbeitsbereich, wo Sie sich die Rahmenecken des aktuellen RAHMECK-Fall (Bemessungsfall) gerendert darstellen lassen können.





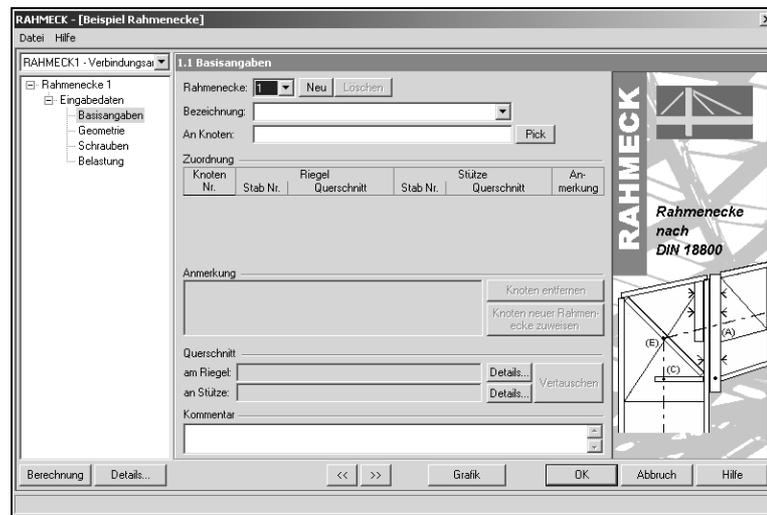
[OK] sichert vor dem Verlassen von RAHMECK die Eingaben und Ergebnisse, während [Abbruch] ein Beenden ohne Sicherung zur Folge hat. [Hilfe] beziehungsweise die Taste [F1] aktivieren die Online-Hilfe.

6.3 Eingabemasken

In den Eingabemasken sind alle, für die Bemessung notwendigen Angaben zu treffen und die gewünschten Parametereinstellungen vorzunehmen.

6.3.1 Maske 1.1 Basisangaben

Nach dem Aufruf von RAHMECK wird das RAHMECK-Fenster mit der Maske *1.1 Basisangaben* eingeblendet.



1.1 Basisangaben

Rahmenecke: 1

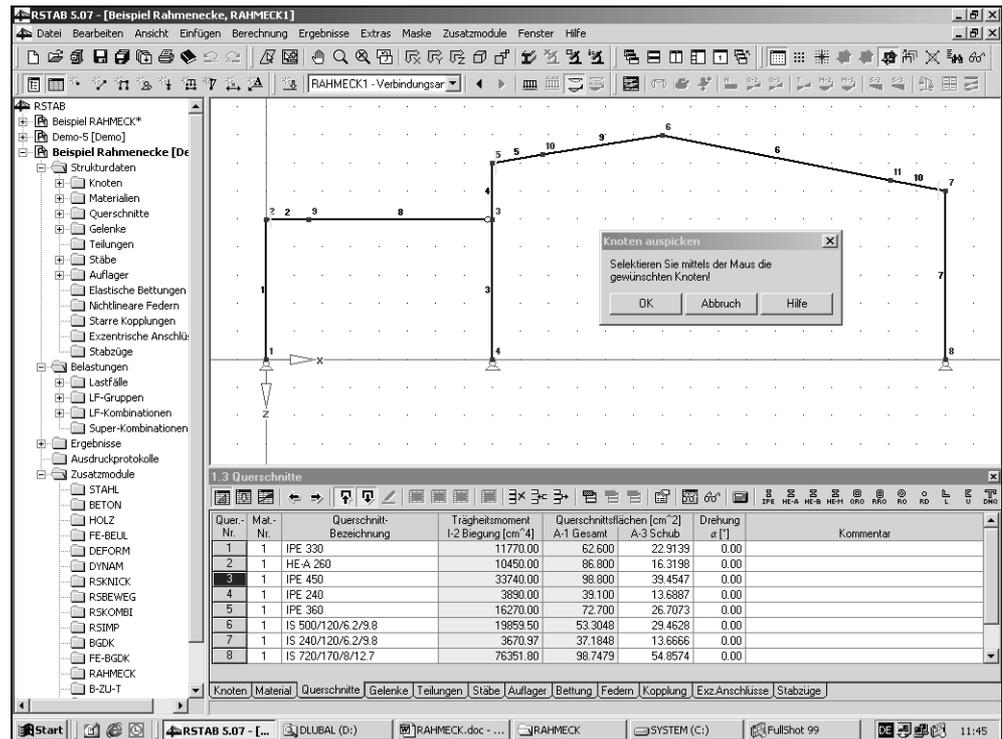
Neu

Pick

Über eine *Listbox* können Sie die Nummer der Rahmenecke festlegen, für die Sie auf den folgenden Eingabemasken die Eingaben machen und für die Sie in den Ausgabemasken die Ergebnisse der Auslegung erhalten.

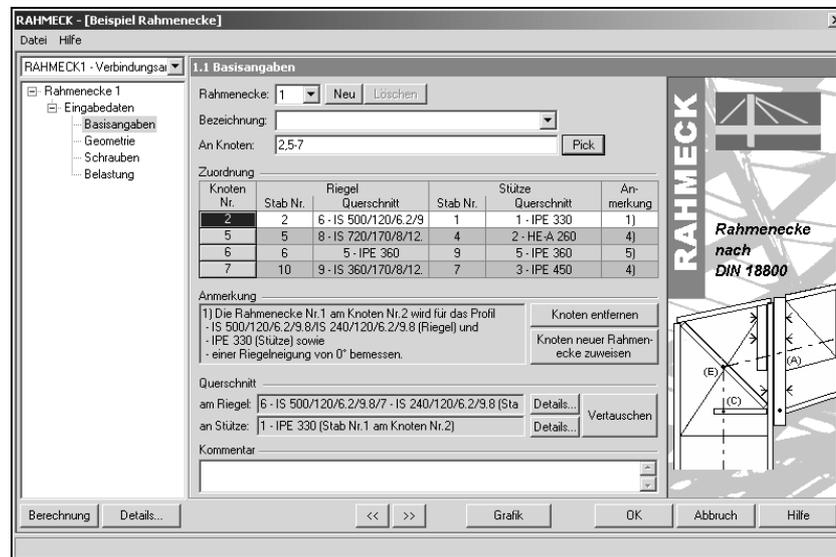
Ist die Eingabe für eine erste Rahmenecke abgeschlossen, so können Sie über den Button *Neu*, die Nummer einer nächsten, auszulegenden Rahmenecke definieren. Dabei wird vom Programm jeweils die nächste, bisher noch nicht zu Definition einer Rahmenecke benutzte, Nummer verwendet.

In der *Listbox* für die **Bezeichnung** können Sie die aktuelle Rahmenecke mit einem Namen versehen. Als nächstes müssen jene Knoten bestimmt werden, für deren dort anschließenden Stäbe und den, an ihnen wirkenden Schnittgrößen, eine Rahmenecke ausgelegt werden soll. Dazu muß der Button *Pick* gedrückt werden. Es erscheint der Arbeitsbereich von RSTAB.



Arbeitsbereich von RSTAB nach dem Drücken des Buttons Pick

Hier können Sie einen oder mehrere geeignete Knoten ausspicken, deren Stäbe durch die aktuelle RAHMENECKE miteinander verbunden werden sollen. Um mehrere Knoten auszuwählen, drücken Sie nach dem Picken des ersten Knotens die *Shift*-Taste während des Pickens der weiteren Knoten. Nachdem Sie alle gewünschten Knoten gewählt haben, verlassen Sie den Arbeitsbereich, indem Sie im angezeigten Meldungsfeld auf *OK* klicken.



1.1 Basisangaben, nach dem Auspicken der Knoten

In der *Textbox* links neben dem *Pick*-Button erscheinen nun die Nummern der ausgewählten Knoten der Größe nach geordnet. Darunter erscheint in einer Tabelle die Knotennummer, sowie die an diesem Knoten angreifenden Stäbe mit ihren Querschnitten, die vom Programm selbstständig in Riegel und Stütze eingeteilt wurden. Die Zeilen der Tabelle können, je nach ausgewähltem Knoten, farblich unterschiedlich unterlegt sein. Eine rote Farbe bedeutet, daß an dem von Ihnen gewählten Knoten keine zwei Stäbe zusammenlaufen, die durch eine Rahmenecke miteinander verbunden werden können. Dies kann folgende Ursachen haben:



1. Entweder der Querschnitt von Riegel bzw. Stütze oder beide Querschnitte sind ungeeignet, um durch eine Rahmenecke dieses Typs miteinander verbunden zu werden.
 - Alle einfach- und doppelsymmetrischen Walzprofile
 - Alle einfach- und doppelsymmetrischen Schweißprofile
 - Mittig coupierte Profile
2. Die Riegelneigung ist größer als 30° oder kleiner als 0°.
3. Am ausgewählten Knoten befindet sich ein Auflager.
4. Am ausgewählten Knoten befindet sich kein Stabpaar, das biegesteif miteinander verbunden ist.
5. Am ausgewählten Knoten befinden sich mehr als zwei Stäbe, die biegesteif miteinander verbunden sind.

Welche dieser Ursache möglicherweise auf einen, der von Ihnen ausgewählten Knoten zu trifft, wird Ihnen in dem, sich unter der Tabelle befindenden, *Meldungsfeld* angezeigt, sobald Sie mit der linken Maustaste auf die farbig unterlegte Zeile geklickt haben. Dort erscheint dann die Nummer einer Anmerkung und die Anmerkung selber. Die Nummer der Anmerkung finden Sie ebenfalls am Ende der entsprechenden Zeile Ihrer Tabelle.

Über den Button *Knoten entfernen* können Sie jetzt den aktuell betrachteten Knoten, der Ihnen durch das Programm als ungeeignet ausgewiesen wurde, entfernen.

Nachdem alle Knoten, deren Zeilen rot unterlegt waren, entfernt wurden, bleiben nur noch jene Knoten übrig, an denen sich eine Stabpaar befindet, daß geeignet ist, durch eine Rahmenecke miteinander verbunden zu werden. Sind dies mehrere Knoten, so erscheint zuerst ein oder mehrere weiß unterlegte Zeilen und anschließend gegebenenfalls ein oder mehrere blaue Zeilen. Dem *Meldungsfeld* des Knotens, der sich in einer weißen Zeile befindet, können Sie entnehmen, für welche Profile von Stütze und Riegel, sowie für welche Riegelneigung die Rahmenecke ausgelegt wird. Klicken Sie hingegen in die Zeile eines Knotens, die blau unterlegt ist, erhalten Sie die Anmerkung, daß entweder der Querschnitt des Riegelprofils oder der Querschnitt des Stützenprofils oder die Neigung des Riegels dieses Knotens nicht identisch ist, mit den Querschnitten oder der Neigung der Stäbe, desjenigen, der ausgewählten Knoten, der als erstes vom Programm für geeignet bestimmt wurde. Solch ein Knoten in einer blau unterlegten Zeile kann jetzt einer neuen Rahmenecke mit dem Button *Knoten neuer Rahmenecke zuweisen* zugewiesen werden. Dabei ermittelt das Programm automatisch, welche Nummer für eine Rahmenecke noch unbelegt ist und weist der Rahmenecke mit dieser Nummer dann den oder die zu übergebenden Knoten zu. Ein Blick in die *Listbox* der Nummern der Rahmenecken und auf den *RAHMECK-Navigator* bestätigen, daß eine neue Rahmenecke angelegt wurde.

Sollten entweder alle Knoten, deren Zeile rot unterlegt wurde nicht entfernt werden oder alle Knoten, deren Zeile blau unterlegt nicht einer neuen Rahmenecke zugewiesen oder entfernt werden, so findet keine Berechnung statt.

Im unteren Drittel der Maske *1.1 Basisangaben* befinden sich zwei Meldungsfelder, aus deren Inhalt noch einmal hervorgeht, welcher Stab als Riegel betrachtet wird und welcher als Stütze. Sind Sie mit dieser Betrachtungsweise nicht einverstanden und möchten lieber den anderen der beiden, an Ihrem gewählten Knoten angreifenden Stab, als Riegel haben, so können sie dies erreichen, indem Sie den Button *Vertauschen* drücken.

Wichtig ist es zu wissen, daß innerhalb eines RAHMECK-Falls (Bemessungsfalls) mehrere RAHMENECKEN, unterschieden durch ihre Nummer, sein können. Für diese RAHMENECKEN können geeignete Knoten gepickt werden. Der gleiche Knoten kann aber nicht bei zwei oder mehreren RAHMENECKEN innerhalb eines RAHMECK-Falls (Bemessungsfalls) auftauchen, da im Rendering eines RAHMECK-Falls an diesem Knoten nur eine Rahmenecke dargestellt werden kann. Sollte dies jedoch der Fall sein, so wird der Benutzer nachdem er den Button *Berechnung* gedrückt hat, über ein *Meldungsfeld* auf diesen Fehler beim Zuweisen der Knoten zu den einzelnen Rahmenecken hingewiesen.

Unter dem Button *Details* verbergen sich Details zur Klassifizierung des Anschlusses.

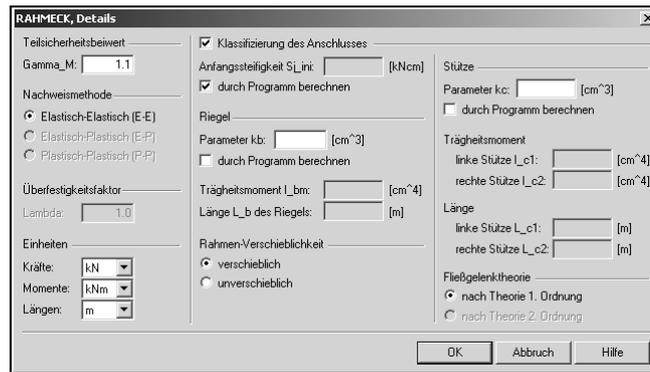
Knoten entfernen

Knoten neuer Rahmenecke zuweisen

Vertauschen

Berechnung

Details...

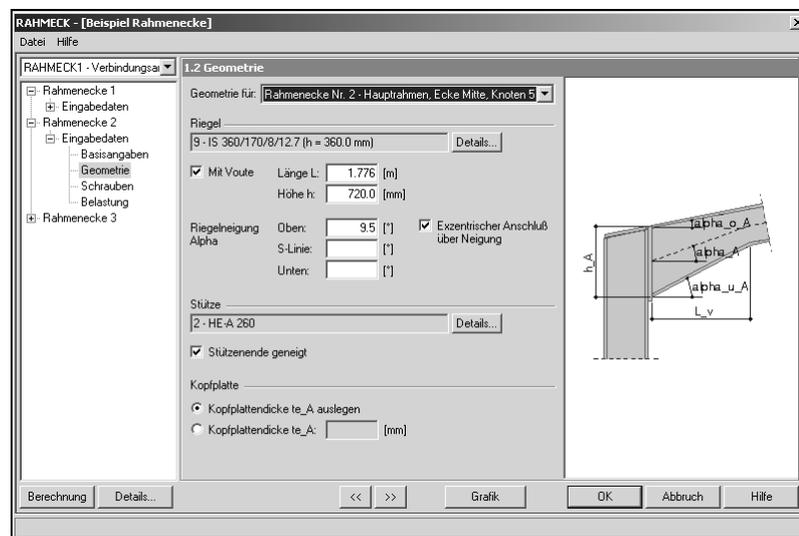


RAHMECK, Details

Soll eine Klassifizierung des Anschlusses stattfinden, so muß die *Checkbox* neben der entsprechenden Bezeichnung abgehakt werden. Sobald dies geschieht wird das *Textfeld* beschreibbar, in das die Anfangssteifigkeit der Rahmenecke einzutragen ist. Möchten Sie diese Anfangssteifigkeit nicht selbst ermittelt, so hacken Sie die *Checkbox* daneben ab und die Anfangssteifigkeit wird vom Programm ermittelt. Genau das gleiche können Sie mit den Parameter kb und kc machen lassen, indem Sie einfach die entsprechende *Checkbox* abhaken. Voraussetzung dazu ist allerdings dann, daß Sie jetzt die geforderten Eingabewerte in die nun beschreibbaren *Textfelder* eingeben.

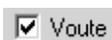
6.3.2 Maske 1.2 Geometrie

Zu Beginn dieser Maske 1.2 Geometrie finden Sie eine *Listbox* mit allen RAHMENECKE und der von Ihnen in der Maske 1.1 Basisangaben unter *Bezeichnung* eingetragenen Bezeichnung. Alle Angaben die jetzt in dieser Maske gemacht werden, gelten für die Rahmenecke, die in dieser *Listbox* aktuell angezeigt wird. Möchten Sie Eingaben für eine andere Rahmenecke machen, so müssen Sie diese zuvor aus dieser *Listbox* auswählen.



1.2 Geometrie

Zunächst werden die Querschnitte der Profile in den *Textfeldern* noch einmal genannt. Unter *Details* befinden sich die, aus *RSTAB* bekannten Querschnittsdetails der einzelnen Profile. Unabhängig davon, ob im Stabwerksmodell bereits eine Voute definiert wurde oder nicht, geht RAHMECK zunächst einmal davon aus, daß Sie eine Rahmenecke ohne Voute möchten und ermittelt aus dem Querschnitt und der Neigung des Riegels die entsprechende Anschnittshöhe h_v ohne Voute. Wollen Sie dennoch eine Rahmenecke mit Voute, so müssen Sie die *Checkbox* für die Voute aktivieren. Als Schwerlinie des Riegels wird nun die Neigung des Stabes angesetzt und eine Voutenlänge L_v sowie eine Anschnittshöhe h_v in den entsprechenden *Textfeldern* vorgeschlagen. Zu dieser Voutenlänge L_v und der Anschnittshöhe h_v werden die, sich hieraus bedingenden Neigungswinkel zur Horizontalen





Exzentrischer Anschluß über Neigung

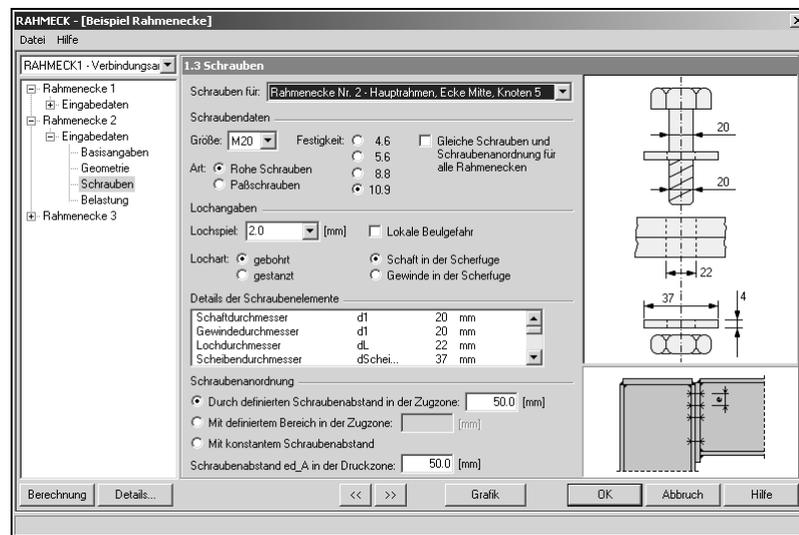
Stützenende geneigt

des oberen Riegelflansches, der Riegelschwerlinie und des unteren Riegelflansches berechnet und in den entsprechenden *Meldungsfeldern* angezeigt. Voutenlänge L_v und der Anschnittshöhe h_v können auch durch Eingabe verändert werden. Entsprechend ändern sich dann die Winkel. Diese Winkel können ebenfalls abgeändert werden, indem die *Checkbox* für den exzentrischen Anschluß über Winkel abgehakt wird. Dann sind die *Textfelder* der verschiedenen Winkel beschreibbar. Wird nun einer dieser Winkel geändert, so ändern sich die anderen beiden Winkel entsprechend, damit sie zu der zuvor eingegebenen Voutenlänge und Anschnittshöhe passen. All diese Veränderungen haben keinerlei Auswirkungen auf das Stabwerksmodell und die Schnittgrößenermittlung.

Sofern die Riegel an den Knoten, die zu dieser Rahmenecke zusammengefaßt wurden, eine Neigung größer als Null Grad besitzen, gibt es die Möglichkeit, durch anklicken der entsprechenden *Checkbox* das Stützenende geneigt auszubilden.

Die letzte Eingabe, die hier auf dieser Seite möglich ist, ist durch Anklicken des entsprechenden *Radiobuttons* sich die Kopfplattendicke auslegen zu lassen oder eine *Textfeld* verfügbar zu machen, in das dann die Kopfplattendicke eingegeben werden kann.

6.3.3 Maske 1.3 Schrauben



1.3 Schrauben

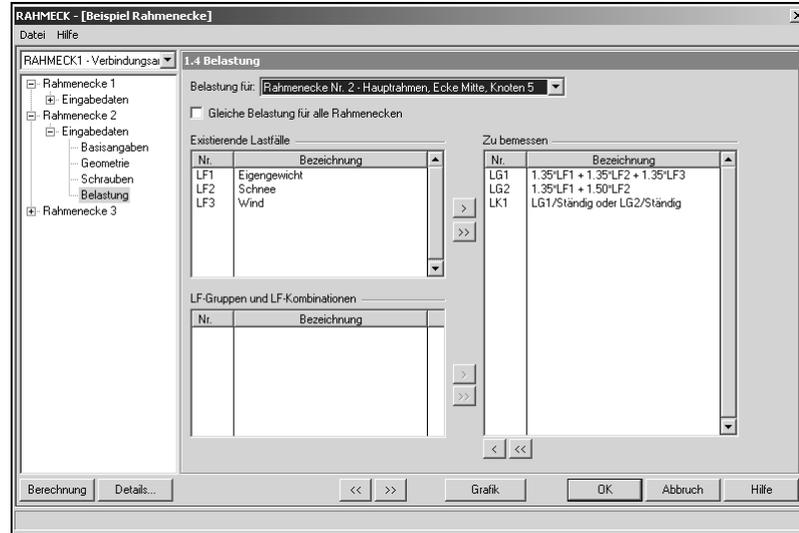
Auch diese Maske 1.3 Schrauben beginnt wieder mit der *Listbox*, dessen Funktion bereits in der Maske 1.2 Geometrie vorgestellt wurde. Darunter befindet sich eine *Checkbox* nach dessen Abhaken die in dieser Maske gemachten Ein- und Angaben für sämtliche Rahmenecken eines RAHMECK-Falls (Bemessungsfalls) verwendet werden.

Über die einzelnen *Steuerelemente* können Ein- und Angaben zu den Schrauben und den Schraubenlöcher gemacht werden. Jede dieser gemachten Eingaben bedeutet eine Veränderung in der rechtseitigen Grafik. In einem *Listefeld* in der Mitte der Maske sind die Details der Schraubenelemente übersichtlich zusammengestellt.

Darunter stehen Ihnen drei Möglichkeiten zur Verfügung den Schraubenabstand in der Zugzone bei der Auslegung einer Rahmenecke mitzubestimmen. Nach Aktivierung des ersten *Radiobuttons* kann ein bestimmter Schraubenabstand in das zugehörige *Textfeld* eingetragen werden. Nach Aktivierung des zweiten *Radiobuttons* kann in das zugehörige *Textfeld* die Höhe der Zugzone eingegeben werden. Bei beiden dieser Möglichkeiten den Schraubenabstand in der Zugzone zu beeinflussen, kann der voreingestellte Wert für den Schraubenabstand in der Druckzone verändert werden. Entscheiden Sie sich für die dritte Möglichkeit, durch die Aktivierung des dritten *Radiobuttons* für einen konstanten Schraubenabstand über die komplette Anschlußhöhe, so steht damit der Schraubenabstand innerhalb der Druckzone bereits ebenfalls fest. Bei allen drei Möglichkeiten den Schraubenabstand zu beeinflussen steht Ihnen rechtsseitig erneut die interaktive Grafik verdeutlichend zur Verfügung.

6.3.4 Maske 1.4 Belastung

Neben der bekannten *Listbox* befindet sich ebenfalls auf dieser Maske 1.4 Belastungen eine *Checkbox*, durch dessen abhacken jene Lastfälle, Lastfallgruppen und Lastfallkombinationen, die für diese Rahmenecke ausgewählt wurden, auch automatisch für die folgenden Rahmenecken berücksichtigt werden.



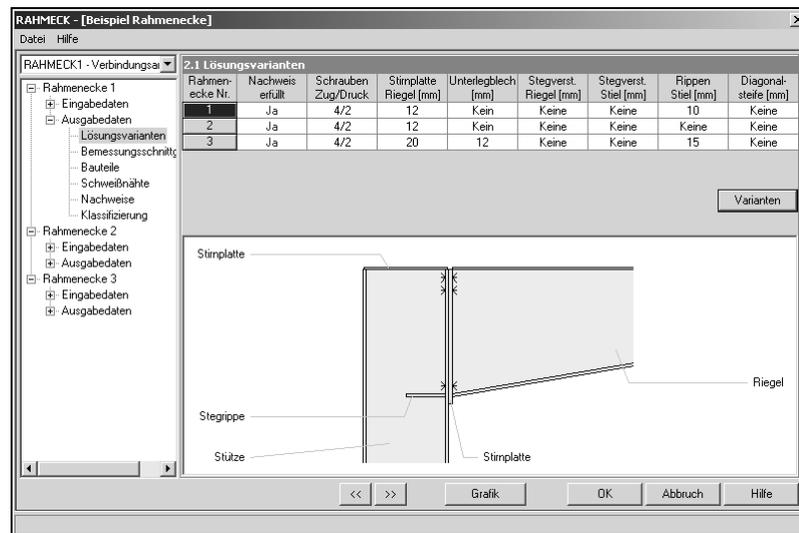
1.4 Belastung

6.4 Ergebnismasken

In den Ergebnismasken sind detailliert sämtliche Ergebnisse der Auslegung und der Nachweise einsehbar.

6.4.1 Maske 2.1 Lösungsvarianten

In der Maske 2.1 Lösungsvarianten wird in einer Tabelle zeilenweise für die jeweilige Rahmenecke diejenige Lösung präsentiert, die die geringste Schraubenanzahl erfordert. Sollte für eine Rahmenecke eine Lösung aus den gemachten Eingaben und der zugewiesenen Belastungen nicht möglich sein, so erscheint in der zweiten Spalte dieser Tabelle ein rotes *Nein*. Dies bedeutet, daß mindestens einer der Nachweise nicht erfüllt werden konnte.



2.1 Lösungsvarianten



In der nächsten Spalte der Tabelle ist die erforderliche Schraubenzahl in Zug- und Druckzone zu sehen. Die Spalte danach beinhaltet die Dicke der Riegelstirnlplatte. Alle anderen, weiteren Spalten erhalten eventuell erforderliche Verstärkungen der Rahmenecke. Darunter befindet sich eine maßstäbliche, beschriftete Zeichnung der Rahmenecke mit korrekter Schraubenzahl und allen erforderlichen Aussteifungen.

Nach dem Drücken des *Buttons Variante* erscheint ein *Fenster* in dem die Varianten der Rahmenecke dargestellt werden, die in der Tabelle der Maske 2.1 Basisangaben markiert war. Wird nun hier eine Variante einer Rahmenecke durch Klicken in die jeweilige Zeile ausgewählt und das Fenster der Varianten durch das Drücken des Button *OK* wieder verlassen, so erscheint die Lösungsvariante nicht nur auf der Maske 2.1 Lösungsvariante in der Zeile der entsprechenden Rahmenecke, sondern sämtliche Angaben zu Bauteilabmessungen und Nachweisen der folgenden Masken beziehen sich dann auf diese Lösungsvarianten der Rahmenecke.

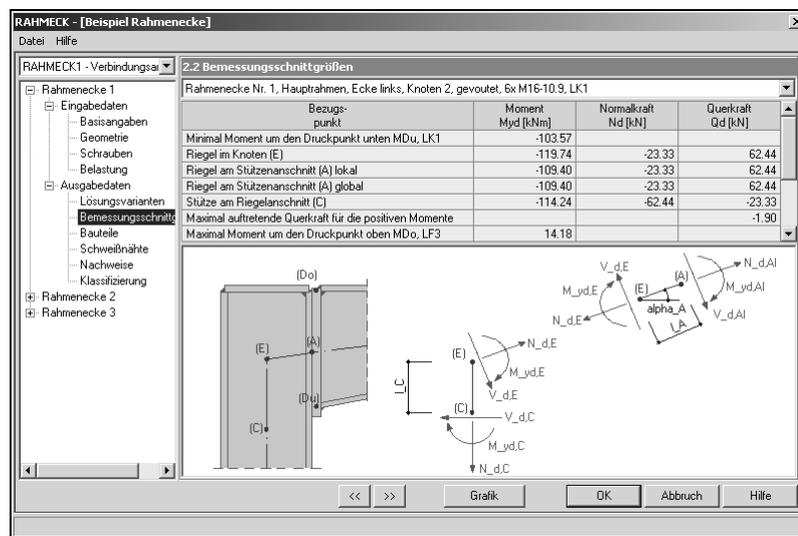
Nachweis erfüllt	Schrauben Zug/Druck	Stirnplatte Riegel [mm]	Unterlegblech [mm]	Stegverst. Riegel [mm]	Stegverst. Stiel [mm]	Rippen Stiel [mm]	Diagonalstiefe [mm]
Nein	2/2	20	Kein	Keine	8	Keine	Keine
Ja	4/2	12	Kein	Keine	Keine	10	Keine
Ja	6/2	12	Kein	Keine	Keine	10	Keine
Ja	8/2	12	Kein	Keine	Keine	10	Keine
Ja	10/2	10	Kein	Keine	Keine	10	Keine
Ja	12/2	10	Kein	Keine	Keine	10	Keine
Ja	14/2	10	Kein	Keine	Keine	10	Keine

Varianten der Rahmenecke

Eingangs wurde bereits erwähnt, daß die Möglichkeit besteht, daß der Gesamtnachweis der Rahmenecke nicht erbracht wurde. Der Gesamtnachweis wird genau dann nicht erbracht, wenn mindestens einer der Einzelnachweise nicht erfüllt wurde. Um Sie sofort nach dem Anklicken der jeweiligen Zeile einer Rahmenecke darüber zu informieren, welche der Einzelnachweise möglicherweise nicht erbracht wurden, ist sowohl auf der Maske 2.1 Lösungsvarianten, als auch auf der Maske für die Varianten von einzelnen Rahmenecken ein *Meldungsfeld* eingerichtet, dem der jeweilige bzw. die jeweiligen Nachweise entnommen werden können.

6.4.2 Maske 2.2 Bemessungsschnittgrößen

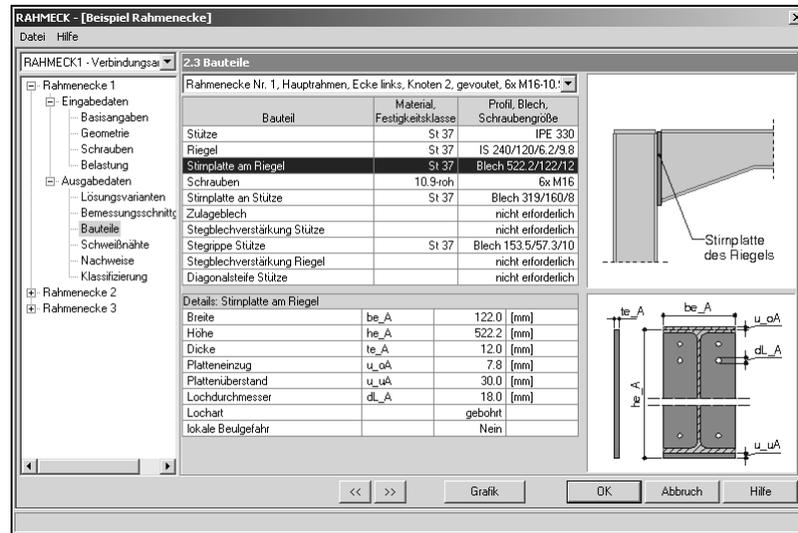
In Maske 2.2 Bemessungsschnittgrößen sind für die ausgewählte RAHMECKE die jeweils maßgebenden Schnittgrößen zuerst für negatives und dann für positives Moment tabellarisch aufgeführt. Darunter befindet sich eine Grafik, die anschaulich darstellt, auf welche Stelle sich die jeweiligen Bemessungsschnittgrößen beziehen.



2.2 Bemessungsschnittgrößen

6.4.3 Maske 2.3 Bauteile

In Maske 2.3 Bauteile befindet sich zunächst wieder die *Listbox*, aus der Sie die Variante der jeweiligen Rahmenecke wählen können, die Sie zuvor in Maske 2.1 Lösungsvarianten festgelegt haben. Die beiden Tabellen werden nach der Auswahl dieser Variante mit den, zu dieser Lösung gehörenden, erforderlichen Bauteilen und ihren Abmessungen gefüllt.

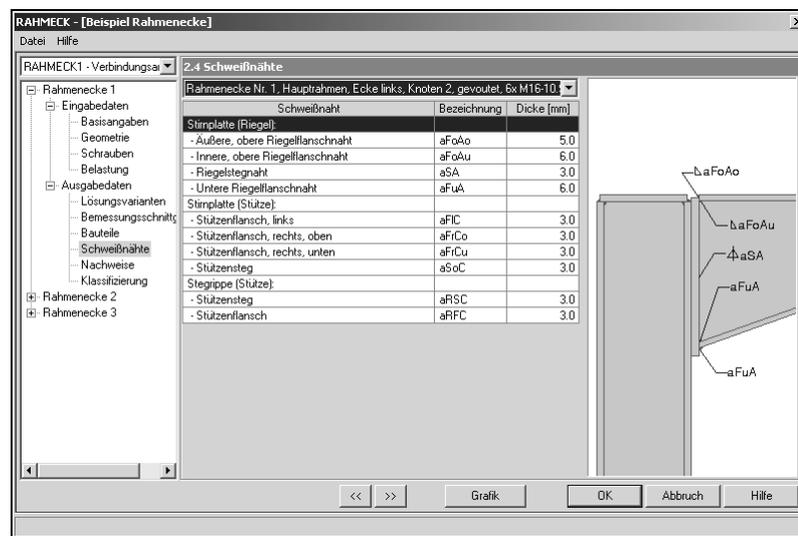


2.3 Bauteile

Klicken Sie nun eine Zeile in der oberen Tabelle an, so erscheint das jeweilige Bauteil dieser Zeile in der oberen Grafik in einem etwas dunklerem Farbton. Gleichzeitig erscheint unter dieser Grafik eine zweite, mit Variable bemaßte Detailgrafik. Die Bedeutung der Variablen, sowie ihre Werte sind der links daneben stehenden Tabelle zu entnehmen, die ebenfalls durch den Klick in die obere Tabelle erscheint. Neben den, für eine Rahmenecke zwingend erforderlichen Bauteilen, gibt es Verstärkungen, die nur von Fall zu Fall auftreten können. Sind sie nicht erforderlich, so werden sie auch nicht mit ihren Abmessungen in einer zweiten Grafik und Tabelle dargestellt.

6.4.4 Maske 2.4 Schweißnähte

Diese Maske 2.4. Nachweise beinhaltet ebenfalls wieder die bekannte *Listbox* zu Beginn der Maske sowie eine Tabellen und eine Grafik.



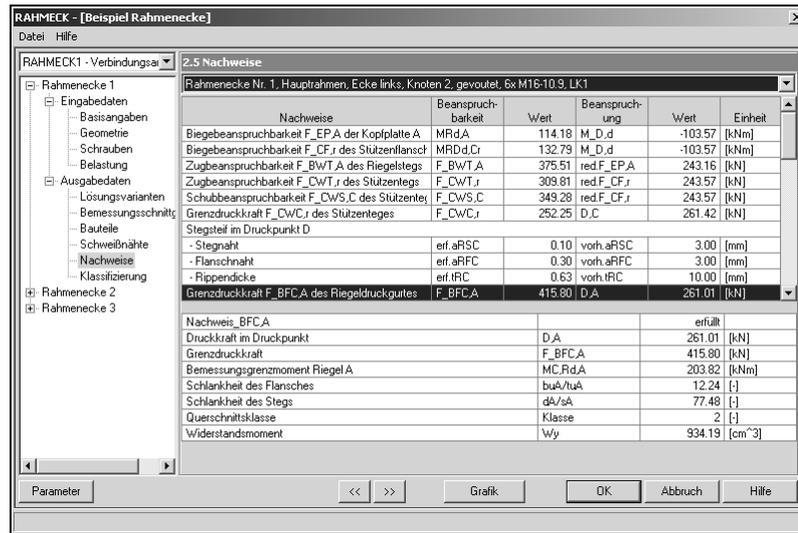
2.4 Schweißnähte



In der Tabelle erscheinen paarweise untereinander die beiden Bauteile, die durch mehrere Schweißnähte miteinander verbunden werden. Dazwischen befinden sich jeweils die dazu erforderlichen Schweißnähte. Klicken Sie auf eine der Schweißnähte, die zwei ganz bestimmte Bauteile miteinander verbindet, so wird die Grafik mit der Schweißnahtbezeichnung beschriftet.

6.4.5 Maske 2.5 Nachweise

In dieser Maske befindet sich die *Listbox* und zwei Tabellen.

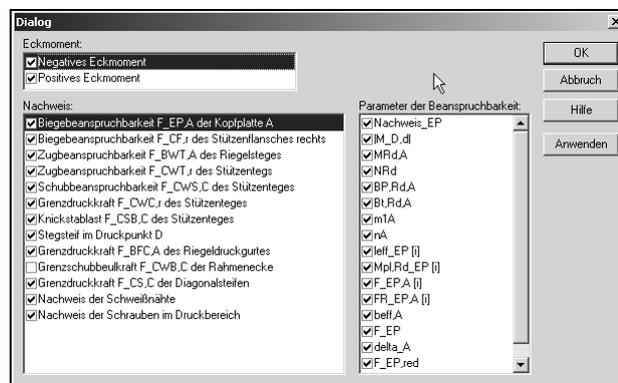


2.5 Nachweise

Die obere der beiden Tabellen beinhaltet sämtliche Nachweise. In ihr werden zeilenweise die Beanspruchungen den Beanspruchbarkeiten gegenüber gestellt. Falls einer der Nachweise nicht erfüllt werden konnte, so wird die entsprechende Zeile rot unterlegt. Die Tabelle ist so aufgebaut, daß zuerst die Nachweise für das negative Moment vorangestellt sind und anschließend die Nachweise für das positive Moment erscheinen. Klicken Sie nun in dieser oberen Maske in eine Zeile, so erscheinen für diesen Nachweis in der unteren Tabelle sämtliche Eingangs- und Zwischenwerte mit Bezeichnung, die zur Berechnung der Beanspruchung bzw. der Beanspruchbarkeit erforderlich waren bzw. angefallen sind.

Links unten auf dieser Maske befindet sich ein *Button Parameter*. Wird er gedrückt so erscheint ein Fenster, auf dem sich drei *Listfelder* befinden.

Parameter



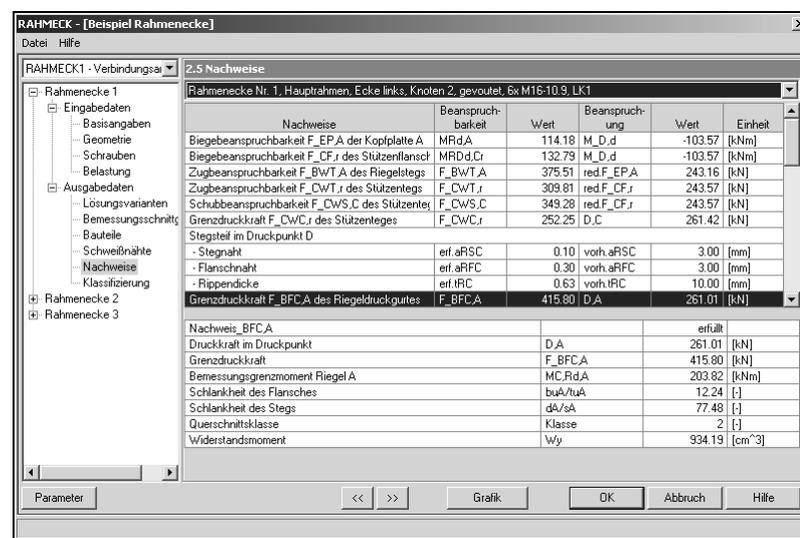
Parameter der Nachweise

In jedem dieser *Listfelder* sind *Checkboxen* angeordnet. Gehen Sie im oberen *Listefeld* auf *Positives Moment* bzw. auf *Negatives Moment* so wird diese Zeile blau unterlegt und in dem darunter stehenden *Listefeld* erscheinen sämtliche Nachweise, die bei der Auslegung

einer Rahmenecke für ein positives bzw. negatives Moment anfallen. Genau so verhält es sich, wenn Sie nun einen dieser Nachweise anklicken. Er wird dann zunächst blau unterlegt und in dem rechten *Listenfeld* erscheinen die Variablen sämtlicher Eingangs- bzw. Zwischenwerte, die für die Berechnung von Beanspruchung und Beanspruchbarkeit erforderlich waren. Deaktivieren Sie nun einen Hacken vor einer dieser Variablen, so erscheint diese nicht mehr in der unteren Tabelle der Maske 2.4 Nachweise. Deaktivieren Sie hingegen einen ganzen Nachweis im linken *Listenfeld*, so erscheint dieser nicht mehr in der oberen Tabelle der Maske 2.4 Nachweise. Wollen Sie sogar sämtliche Nachweise für positive Momente bzw. negative Momente nicht mehr in der oberen Tabelle der Maske 2.4 Nachweise angezeigt haben, so müssen Sie einfach nur die entsprechenden Hacken im oberen *Listenfeld* deaktivieren.

6.4.6 Maske 2.6 Klassifizierung des Anschlusses

Diese Maske 2.6 Klassifizierung des Anschlusses ist nur vorhanden, sofern Sie dies in der Maske 1.1 Basisangaben unter dem Button *Details* so voreingestellt haben.



2.6 Klassifizierung des Anschlusses

Der Aufbau dieser Maske knüpft an den Aufbau vorheriger Masken an. Zunächst gibt es da wieder die *Listbox*, der Sie entnehmen können, für welche Variante welcher Rahmenecke die hier angegebene Klassifizierung gilt. In der oberen Tabelle finden Sie die Kriterien, nach denen der Anschluß eingeteilt wurde. Klicken Sie auf eine dieser Kriterien, so wird dieses blau unterlegt und in der unteren Tabelle erscheinen die Parameter die für die Klassifizierung ausschlaggebend waren.



7. Beispiel

Das behandelte Beispiel wurde so gewählt, daß möglichst viele Traglasten berechnet und Nachweise geführt werden und konstruktive Maßnahmen (Stegblechverstärkung der Stütze, Stegrippen) zur Erzielung des Tragnachweises getroffen werden müssen. Für die in Bild 5-1 dargestellte Rahmenecke konnte kein Nachweis erbracht werden, weil die Druckkraft nicht in den unteren Riegelflansch eingeleitet werden kann (siehe Grenzdruckkraft des unteren Riegelflansches $F_{BFC,A}$, Kap. 3.7).

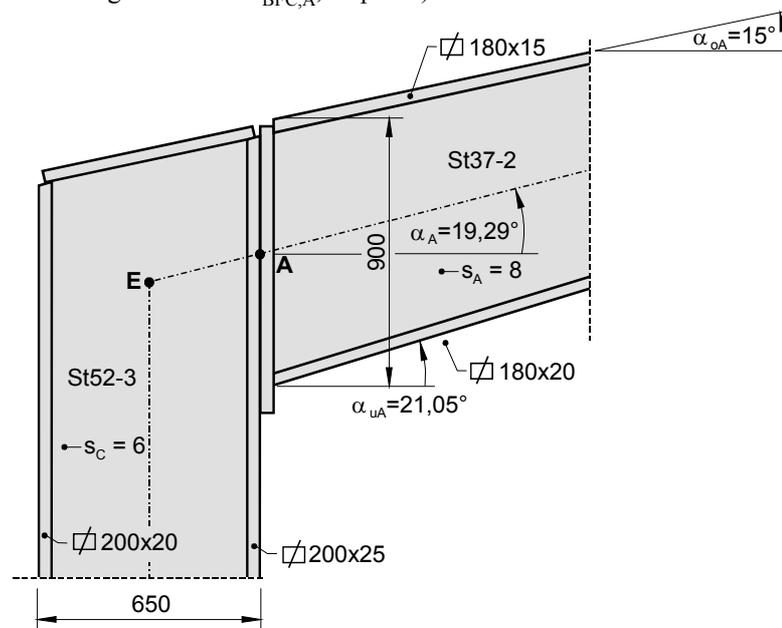


Bild 7.1: Beispiel Rahmenecke aus Schweißprofilen

Die Bemessungswerte der Einwirkungen wurden automatisch aus RSTAB für den Punkt E ermittelt und vom Programm auf Knoten A umgerechnet. Die Voute weist oben und unten verschiedene Neigungen auf.

- Bemessungswerte der Einwirkungen (lokales Koordinatensystem)

$$\begin{aligned} V_{d,AI} &= 143,66 \text{ kN} \\ N_{d,AI} &= -225,13 \text{ kN} \\ M_{d,AI} &= -656,62 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Aus den in RSTAB festgelegten Materialien und Querschnitten ergibt sich:

- *Riegel* Flansch oben 180 x 15 mm
Flansch unten 180 x 20 mm
Stegdicke 8 mm
 $h_A = 900$ mm
St37-2 (incl. Stirnplatte)
- *Stütze* Flansch links 200 x 20 mm
Flansch rechts 200 x 25 mm
Stegdicke 6 mm
Profilhöhe $h_C = 650$ mm
St52-3 (incl. Steifen, Futterplatten, Verstärkungen, usw.)

Aus den verschiedenen Eingabemasken ergibt sich:

- *Schrauben* M 24, Güte 10.9, Lochspiel 1 mm, Schaft in der Scherfuge, keine lokale Beulgefahr
- *Iteration* nach Bild 3.12c,
Konstanter Schraubenabstand in der Zugzone $e = 60 \text{ mm} = 2,4 d_L > 2,2 d_L$

Alle anderen Werte werden vom Programm ausgelegt. Exemplarisch wurde die Lösung mit insgesamt 12 HV 24, 10.9 nachgerechnet (5 Reihen in der Zugzone, 1 Reihe im Druckbereich).

Geometriedaten

Horizontaler Schraubenabstand nach (2,4),

$$e_{3A} = \max \left\{ \begin{array}{l} 100 + 8 = 108 \\ 108 = 108 \\ 8 + 2\sqrt{2} \cdot 4 + 44 = 63,3 \\ 8 + 2\sqrt{2} \cdot 4 + 45,2 = 64,5 \\ 8 + 44 = 52 \\ 8 + 45,2 = 53,2 \\ 2 \cdot 50 + 6 = 106 \\ 100 + 6 + 12 = 118 \\ 6 + 2\sqrt{2} \cdot 5 + 44 = 64,1 \\ 6 + 2\sqrt{2} \cdot 5 + 45,2 = 65,3 \\ 6 + 2 \cdot 6 + 44 = 62 \\ 6 + 2 \cdot 6 + 45,2 = 63,2 \end{array} \right. = 118 \text{ mm}$$

$$e_{2rC} = 0,5(200 - 118) = 41 \text{ mm}$$

$$e_{2A} = 0,5(180 - 118) = 31 \text{ mm} > 1,2 \cdot 25 = 30 \text{ mm}$$

Maße für die Variante schräg/schäg:

$$u_{0A} = \left\{ \begin{array}{l} \leq 15 / \cos 15^\circ - 2 = 13,5 \\ \geq 8\sqrt{2} = 11,3 \\ \geq 10 \end{array} \right\} = 12 \text{ mm}$$

$$u_{uA} = \left\{ \begin{array}{l} 20 + \sqrt{2} \cdot 14 \\ \geq 30 \end{array} \right. = 40 \text{ mm}$$

$$m_{1A} = 0,5(118 - 8) - 0,8\sqrt{2} \cdot 4 = 50,5 \text{ mm}$$

$$m_{1rC} = 0,5(118 - 6) - 0,8\sqrt{2} \cdot 5 = 50,3 \text{ mm}$$

$$e_{1rC} = \max \left\{ \begin{array}{l} 50 + 0 \cdot \tan 15^\circ + 0,5 \cdot 25 \tan 15^\circ \\ 50 + 5\sqrt{2} + 0,5 \cdot 25 \tan 15^\circ \end{array} \right\} = 60,4 \text{ mm}$$

$$e_{10A} = 60,4 + 0,5 \cdot 25 \tan 15^\circ + 20 \tan 15^\circ + \frac{15}{\cos 15^\circ} - 12 = 72,6 \text{ mm}$$

$$m_{2rC} = \min \left\{ \begin{array}{l} 60,4 - 0,5 \cdot 25 \tan 15^\circ - 0,8\sqrt{2} \cdot 5 \\ 60,4 - 0,5 \cdot 25 \tan 15^\circ - 0 \end{array} \right. = 51,4 \text{ mm}$$

$$m_{2A} = 72,6 + 12 - \frac{15}{\cos 15^\circ} - 9 \cdot 0,8\sqrt{2} = 58,8 \text{ mm}$$

$$h_{1A} = 900 - 12 - 72,6 - 0,5 \cdot \frac{20}{\cos 21,05^\circ} = 805 \text{ mm}$$

$$d_A = 900 - 478,1 - 0,5 \cdot \frac{20}{\cos 21,05^\circ} = 411,2 \text{ mm}$$

**Einwirkungen**

$$M_{y,d,A} = -656,62 \text{ kNm}$$

$$N_{d,A} = -225,13 \cos 19,3^\circ + 143,66 \cdot \sin 19,3^\circ = -165 \text{ kN}$$

$$V_{d,A} = -(-225,13) \sin 19,3^\circ + 143,66 \cos 19,3^\circ = 210 \text{ kN}$$

$$M_D = -656,62 - (-165) \cdot 0,411 = -588,8 \text{ kNm}$$

Biegebeanspruchbarkeit der Riegelstirnplatte $F_{EP,A}$

$$n_A = \min \begin{cases} 31 \\ 41 \end{cases} = 31 \text{ mm} \leq 1,25 \cdot 50,5 = 63,1 \text{ mm}$$

Schraube HV M24, 10.9

$$N_{R,d} = \min \left\{ \begin{array}{l} 4,52 \cdot \frac{90}{1,1 \cdot 1,1} = 336,5 \text{ kN} \\ 3,53 \cdot \frac{100}{1,25 \cdot 1,1} = 256,7 \text{ kN} \end{array} \right\} = 256,7 \text{ kN}$$

Durchstanzkraft

$$B_{P,Rd} = 0,6 \pi \cdot 4,31 \cdot 2,0 \frac{36}{1,1} = 531,76 \text{ kN}$$

$$\text{mit } d_m = 0,5 (45,2 + 41) = 43,1 \text{ mm; } t_{eA} = 20 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow B_{t,Rd} = 256,7 \text{ kN}$$

Schraubenabstand in der Zugzone untereinander $e = 60 \text{ mm}$

Schraubenreihe 1:

$$\lambda_1 = \frac{50,5}{50,5 + 31} = 0,62 \quad \lambda_2 = \frac{58,8}{50,5 + 31} = 0,72$$

$$\alpha_A \text{ nach Bild (3.3) : } \alpha_A \approx 4,90$$

$$l_{\text{eff},1} = \min \begin{cases} 4,9 \cdot 50,5 \\ 2\pi \cdot 50,5 \end{cases} \cong 248 \text{ mm}$$

$$M_{Pl,Rd}^{(1)} = 0,25 \cdot 24,8 \cdot 2,0^2 \cdot \frac{24}{1,1} \cdot 10^{-2} = 5,41 \text{ kNm}$$

$$F_{EP,A}^{(1)} = \min \left\{ \begin{array}{l} 4 \cdot \frac{541}{5,05} = 428,5 \\ \frac{2 \cdot 541 + 3,1 \cdot 2 \cdot 256,7}{5,05 + 3,1} = 328,0 \\ 2 \cdot 256,7 = 513,4 \end{array} \right\} = 328,0 \text{ kN}$$

$$\Rightarrow F_{R,1} = 328,0 \text{ kN}$$



Schraubenreihe 2:

$$l_{\text{eff},2} = \min \left\{ \begin{array}{l} 60 \\ 4 \cdot 50,5 + 1,25 \cdot 31 = 240,8 \\ 2\pi \cdot 50,5 \\ = 317,3 \end{array} \right\} = 60 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff}}^{(2)} = 248 + 60 = 308 \text{ mm}$$

$$M_{\text{Pl,Rd}}^{(2)} = 0,25 \cdot 30,8 \cdot 2,0^2 \cdot \frac{24}{1,1} \cdot 10^{-2} = 6,72 \text{ kNm}$$

$$F_{\text{EP,A}}^{(2)} = \min \left\{ \begin{array}{l} 4 \cdot \frac{672}{5,05} \\ \frac{2 \cdot 672 + 3,1 \cdot 4 \cdot 256,7}{5,05 + 3,1} = 555,5 \\ 4 \cdot 256,7 \end{array} \right\} = 532,3 \text{ kN}$$

$$\Rightarrow F_{\text{R},2} = 532,3 - 328,0 = 204,3 \text{ kN} < 1,9 \cdot 256,7 = 487,7 \text{ kN}$$

Schraubenreihe 3:

$$l_{\text{eff},3} = 60 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff}}^{(3)} = 308 + 60 = 368 \text{ mm}$$

$$M_{\text{Pl,Rd}}^{(3)} = 0,25 \cdot 36,8 \cdot 2,0^2 \cdot \frac{24}{1,1} \cdot 10^{-2} = 8,029 \text{ kNm}$$

$$F_{\text{EP,A}}^{(3)} = \min \left\{ \begin{array}{l} 4 \cdot \frac{802,9}{5,05} \\ \frac{2 \cdot 802,9 + 3,1 \cdot 6 \cdot 256,7}{8,15} = 782,87 \\ 6 \cdot 256,7 \end{array} \right\} = 635,96 \text{ kN}$$

$$F_{\text{R},3} = 635,96 - 532,3 = 103,7 \text{ kN} < 487,7$$

Schraubenreihe 4:

$$l_{\text{eff},4} = 60 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff}}^{(4)} = 368 + 60 = 428 \text{ mm}$$

$$M_{\text{Pl,Rd}}^{(4)} = 0,25 \cdot 42,8 \cdot 2,0^2 \cdot \frac{24}{1,1} \cdot 10^{-2} = 9,338 \text{ kNm}$$

$$F_{\text{EP,A}}^{(4)} = \min \left\{ \begin{array}{l} 4 \cdot \frac{933,8}{5,05} \\ \frac{2 \cdot 933,8 + 3,1 \cdot 8 \cdot 256,7}{8,15} = 1010,3 \\ 8 \cdot 256,7 \end{array} \right\} = 739,6 \text{ kN}$$

$$F_{\text{R},4} = 739,6 - 635,96 = 103,6 \text{ kN} < 487,7$$



Schraubenreihe 5:

$$l_{\text{eff},5} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,5 \cdot 60 + 2 \cdot 50,5 + 0,625 \cdot 31 = 150,4 \\ 4 \cdot 50,5 + 1,25 \cdot 31 = 240,8 \\ 2\pi \cdot 50,5 = 317,3 \end{array} \right\} = 150,4 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff}}^{(5)} = 428 + 150,4 = 578,4 \text{ mm} = b_{\text{eff},A}$$

$$M_{\text{Pl,Rd}}^{(5)} = 0,25 \cdot 57,8 \cdot 2,0^2 \cdot \frac{24}{1,1} \cdot 10^{-2} = 12,61 \text{ kNm}$$

$$F_{\text{EP},A}^{(5)} = \min \left\{ \begin{array}{l} 4 \cdot \frac{1261}{5,05} = 998,8 \\ \frac{2 \cdot 1261 + 3,1 \cdot 10 \cdot 256,7}{8,15} = 1285,9 \\ 10 \cdot 256,7 = 2567 \end{array} \right\} = 998,8 \text{ kN}$$

$$F_{\text{R},5} = 998,8 - 739,6 = 256,2 \text{ kN} < 487,7$$

$$\Rightarrow F_{\text{EP},A} = \sum_{i=1}^5 F_{\text{R},i} = 328,0 + 204,3 + 103,7 + 103,6 + 256,2 = 995,8 \text{ kN}$$

Abstände vom Druckpunkt

$$h_1 = h_{1A} = 805 \text{ mm}$$

$$h_2 = 805 - 60 = 745 \text{ mm}$$

$$h_3 = 685 \text{ mm}$$

$$h_4 = 625 \text{ mm}$$

$$h_5 = 565 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_{\text{Rd},A} &= 328 \cdot 0,805 + 204,3 \cdot 0,745 + 103,7 \cdot 0,685 + \\ &\quad + 103,6 \cdot 0,625 + 256,2 \cdot 0,565 = \\ &= 696,8 \text{ kN} \end{aligned}$$

Es wird eine reduzierte Traglast berechnet, die notwendig ist, um das Bemessungsmoment zu übertragen.

$$\text{Reduktionsfaktor } \delta_A = \frac{M_D}{M_{\text{Rd},A}} = \frac{588,8}{696,8} = 0,845$$

$$\Rightarrow \text{red. } F_{\text{EP},A} = 0,845 \cdot 995,8 = 841,5 \text{ kN}$$

Druckkraft im Druckpunkt

$$D_A = \text{red. } F_{\text{EP},A} - N_{\text{d},A} = 841,5 - (-165) = 1006,5 \text{ kN}$$

Biegebeanspruchbarkeit des Stützenflansches $F_{CF,r}$

$$n_{rC} = \min \left\{ \begin{array}{l} 31 \\ 41 \end{array} \right\} = 31 \text{ mm} \leq 1,25 \cdot 50,3 = 62,9 \text{ mm}$$

Stützenschwerpunkt und -fläche

$$A_C = 20 \cdot 2,0 + 20 \cdot 2,5 + (65 - 4,5) \cdot 0,6 = 126,3 \text{ cm}^2$$

$$z_{sC} = \frac{0,5 \cdot 20 \cdot 2,0^2 + 60,5 \cdot 0,6(0,5 \cdot 60,5 + 2,0) + 2,5 \cdot 20(65 - 0,5 \cdot 2,5)}{126,3} = 34,82 \text{ cm}$$

$$I_{y,C} = \frac{1}{12} \cdot 20 \cdot 2,0^3 + 20 \cdot 2,0 \cdot (34,82 - 1,0)^2 + 0,6 \cdot \frac{60,5^3}{12} + \\ + 0,6 \cdot 60,5 (32,25 - 34,82)^2 + \frac{1}{12} \cdot 20 \cdot 2,5^3 + \\ + 20 \cdot 2,5 \cdot (63,75 - 34,82)^2 = 98950 \text{ cm}^4$$

$$N_{d,C} = -225,13 \sin 19,3^\circ - 143,66 \cdot \cos 19,3^\circ = -210 \text{ kN}$$

$$l_C = 411,2 - (650 - 348,2) \tan 19,3^\circ = 305,5 \text{ mm}$$

$$l_A = \frac{650 - 348,2}{\cos 19,3^\circ} = 319,8 \text{ mm}$$

$$M_{y,d,C} = -656,62 - (-225,13) \cdot 0,3055 \cos 19,3^\circ - \\ - 143,66 (0,3198 + 0,3055 \sin 19,3^\circ) = -652,1 \text{ kNm}$$

Stützenspannung rechts

$$\sigma_{x,rC} = \frac{-65210}{98950} (65 - 34,82 - 0,5 \cdot 2,5) - \frac{210}{126,3} = -20,7 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Spannungsreduktionsfaktor

$$k_r = \frac{2 \cdot 36 - 18 - 20,7}{2 \cdot 36 - 36} = 0,925$$

$$\text{red } f_{y,k,C} = 0,925 \cdot 36 = 33,3 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Durchstanzkraft

$$B_{P,Rd} = 0,6 \pi \cdot 2,5 \cdot 4,31 \frac{51}{1,1} = 941,66 \text{ kN}$$

$$N_{R,d} = 256,7 \text{ kN} \Rightarrow B_{t,Rd} = 256,7 \text{ kN}$$

Schraubenreihe 1

$$\lambda_1 = \frac{50,3}{50,3 + 41} = 0,55 \quad \lambda_2 = \frac{51,4}{50,3 + 41} = 0,56$$

$$\Rightarrow \alpha_C \text{ nach Bild 3.3 : } \alpha_C = 5,372$$

$$l_{\text{eff},1} = \min \left\{ \begin{array}{l} 5,372 \cdot 50,3 \\ 2\pi \cdot 50,3 \end{array} \right\} = 270,2 \text{ mm}$$



$$M_{pe,Rd}^{(1)} = 0,925 \frac{36}{1,1} \cdot 0,25 \cdot 27,02 \cdot 2,5^2 \cdot 10^{-2} = 12,78 \text{ kNm}$$

$$F_{CF,r}^{(1)} = \min \left\{ \begin{array}{l} 4 \cdot \frac{1278}{5,03} = 1016,3 \\ \frac{2 \cdot 1278 + 3,1 \cdot 2 \cdot 256,7}{5,03 + 3,1} = 510,1 \\ 2 \cdot 256,7 = 513,4 \end{array} \right\} = 510,1 \text{ kN}$$

$$\geq 1,9 B_{t,Rd} = 487,1$$

$$\Rightarrow F_{RC,1} = 487,1 \text{ kN}$$

Schraubenreihe 2

$$l_{eff,2} = \min \left\{ \begin{array}{l} 60 \\ 4 \cdot 50,3 + 1,25 \cdot 41 = 60 \text{ mm} \\ 2 \pi \cdot 50,3 \end{array} \right.$$

$$l_{eff}^{(2)} = 270,2 + 60 = 330,2 \text{ mm}$$

$$M_{pl,Rd}^{(2)} = 0,925 \cdot 36 \cdot 0,25 \cdot 33,02 \cdot \frac{2,5^2}{1,1} \cdot 10^{-2} = 15,62 \text{ kNm}$$

$$F_{CF,r}^{(2)} = \min \left\{ \begin{array}{l} 4 \cdot \frac{1562}{5,03} = 1242,2 \\ \frac{2 \cdot 1562 + 3,1 \cdot 4 \cdot 256,7}{8,13} = 775,8 \\ 4 \cdot 256,7 = 1026,8 \end{array} \right\} = 775,8 \text{ kN}$$

$$\Rightarrow F_{RC,2} = 775,8 - 510,1 = 265,7 \text{ kN} \leq 487,1$$

Schraubenreihe 3

$$l_{eff,3} = 60 \text{ mm}$$

$$l_{eff}^{(3)} = 330,2 + 60 = 390,2 \text{ mm}$$

$$M_{pl,Rd}^{(3)} = 0,925 \frac{36}{1,1} \cdot 0,25 \cdot 39,02 \cdot 2,5^2 \cdot 10^{-2} = 18,46 \text{ kNm}$$

$$F_{CF,r}^{(3)} = \min \left\{ \begin{array}{l} 4 \cdot \frac{1846}{5,03} = 1468,0 \\ \frac{2 \cdot 1846 + 3,1 \cdot 6 \cdot 256,7}{8,13} = 1041,4 \\ 6 \cdot 256,7 = 1540,2 \end{array} \right\} = 1041,4 \text{ kN}$$

$$F_{RC,3} = 1041,4 - 775,8 = 265,6 \text{ kN} \leq 487,1$$



Schraubenreihe 4

$$l_{\text{eff},4} = 60 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff}}^{(4)} = 390,2 + 60 = 450,2 \text{ mm}$$

$$M_{\text{pl,Rd}}^{(4)} = 0,925 \cdot \frac{36}{1,1} \cdot 0,25 \cdot 45,02 \cdot 2,5^2 \cdot 10^{-2} = 21,29 \text{ kNm}$$

$$F_{\text{CF,r}}^{(4)} = \min \left\{ \begin{array}{l} 4 \cdot \frac{2129}{5,03} = 1693,0 \\ \frac{2 \cdot 2129 + 3,1 \cdot 8 \cdot 256,7}{8,13} = 1306,8 \\ 8 \cdot 256,7 = 2053,6 \end{array} \right\} = 1306,8 \text{ kN}$$

$$F_{\text{RC},4} = 1306,8 - 1041,4 = 265,4 \text{ kN} \leq 487,1$$

Schraubenreihe 5

$$l_{\text{eff},5} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,5 \cdot 60 + 2 \cdot 50,3 + 0,625 \cdot 41 = 156,2 \\ 4 \cdot 50,3 + 1,25 \cdot 41 = 252,5 \\ 2 \pi \cdot 50,3 = 316,0 \end{array} \right\} = 156,2 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff}}^{(5)} = 450,2 + 156,2 = 606,4 \text{ mm} = b_{\text{eff,C}}$$

$$M_{\text{pl,Rd}}^{(5)} = 0,925 \cdot \frac{36}{1,1} \cdot 0,25 \cdot 60,64 \cdot 2,5^2 \cdot 10^{-2} = 28,68 \text{ kNm}$$

$$F_{\text{CF,r}}^{(5)} = \min \left\{ \begin{array}{l} 4 \cdot \frac{2868}{5,03} = 2280,7 \\ \frac{2 \cdot 2868 + 3,1 \cdot 10 \cdot 256,7}{8,13} = 1684,3 \\ 10 \cdot 256,7 = 2567 \end{array} \right\} = 1684,3 \text{ kN}$$

$$F_{\text{RC},5} = 1684,3 - 1306,8 = 377,5 \text{ kN} \leq 487,1$$

$$\Rightarrow F_{\text{CF,r}} = \sum_{i=1}^5 F_{\text{RC},i} = 487,1 + 265,7 + 265,6 + 265,4 + 377,5 = 1661,3 \text{ kN}$$

$$M_{\text{Rd,C}} = 487,1 \cdot 0,805 + 265,7 \cdot 0,745 + 265,6 \cdot 0,685 \\ + 265,4 \cdot 0,625 + 377,5 \cdot 0,565$$

$$M_{\text{Rd,C}} = 1151,2 \text{ kNm}$$

$$\delta_c = \frac{M_D}{M_{\text{Rd,C}}} = \frac{588,8}{1151,2} = 0,512$$

$$\text{red. } F_{\text{CF,r}} = 0,512 \cdot 1661,3 = 849,6 \text{ kN} \approx \text{red } F_{\text{EP,A}}$$

$$D_{\text{C}} = 847,3 - (-165) = 1012,3 \text{ kN}$$



Zugbeanspruchbarkeit des Riegelsteges $F_{BW,A}$

$$F_{BW,A} = 57,84 \cdot 0,8 \cdot \frac{24}{1,1} = 1009,6 \text{ kN}$$

$$\geq 841,5 \text{ kN} = \text{red } F_{EP,A}$$

$$\text{erf } a_{sA} = \frac{841,5}{2 \cdot 57,84 \cdot 0,95 \cdot \frac{24}{1,1}} \cdot 10 = 3,5 \text{ mm}$$

$$\approx 4 \text{ mm} \leq 0,7 \cdot 8 = 5,6 \text{ mm}$$

Schubbeanspruchbarkeit des Stützensteges $F_{CWS,C}$

Schubfläche für ein geschweißtes Profil

$$A_{V,C} = 0,6 (65 - 2,0 - 2,5) = 36,3 \text{ cm}^2$$

$$F_{CWS,C} = 0,9 \cdot 36 \cdot \frac{36,3}{\sqrt{3} \cdot 1,1} = 617,3 \text{ kN} < 849,6 = \text{red } F_{CF,r}$$

Es muß eine Stegblechverstärkung angeordnet werden. Erforderlich ist eine einseitige Verstärkung von

$$\Delta s_C = 6 \text{ mm} \Rightarrow \text{eff } s_C = 1,5 \cdot s_C = 9 \text{ mm}$$

$$A_{V,C} = 0,9 \cdot 60,5 = 54,45 \text{ cm}^2$$

$$F_{CWS,C} = 0,9 \cdot 36 \cdot \frac{54,45}{\sqrt{3} \cdot 1,1} = 925,95 \text{ kN} \geq 849,6 \text{ kN}$$

Zugbeanspruchbarkeit des Stützensteges $F_{CWT,r}$

Der Stützensteg hat eine einseitige Stegblechverstärkung von 6 mm. Damit beträgt die effektive Gesamtstegdicke

$$k_{r\tau} = \frac{1}{\sqrt{1 + 1,3 \left(\frac{60,65 \cdot 0,9}{54,4} \right)^2}} = 0,658$$

$$F_{CWT,r} = 0,658 \cdot 60,65 \cdot 0,9 \cdot \frac{36}{1,1} = 1175,7 \text{ kN} \geq 849,6 \text{ kN} = \text{red } F_{CF,r}$$

Grenzdruckkraft des Stützensteges $F_{CWC,r}$

Längsnormalspannung

$$M_{yd,C} = -652,1 \text{ kNm nach Gl. (3.18)}$$

$$\sigma_{n,Ed} = \frac{-65210}{98950} (65 - 34,82 - 2,5 - \sqrt{2} \cdot 0,5) - \frac{210}{126,3} = -19,45 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$b_{\text{eff},c,rC} = \frac{2,0}{\cos 21,046} + 2 \cdot 2,0 + 5 \cdot (2,50 + \sqrt{2} \cdot 0,5)$$

$$= 22,18 \text{ cm} = 221,8 \text{ mm}$$

$$k_{r\sigma} = 1,25 - 0,5 \frac{|-19,45|}{36} = 0,98$$

$$k_{r\tau} = \frac{1}{\sqrt{1 + 1,3 \left(\frac{22,18 \cdot 0,9}{54,4} \right)^2}} = 0,923$$

$$F_{CWC,r} = 0,98 \cdot 0,923 \cdot 0,9 \cdot 22,18 \cdot \frac{36}{1,1} = 590,9 \text{ kN} < 1012,3 = D_C$$

Die Druckkraft kann ohne zusätzliche Stegsteifen nicht aufgenommen werden.

Bei Schweißprofilen mit Stegslankheiten größer als 60 muß noch ein Beulnachweis für den Steg geführt werden ([2], Element (744)), siehe Kapitel 3.6.1.

Knickstabilität des Stützensteges $F_{CSB,C}$

$$\text{Steghöhe } h_{CS} = 650 - 20 - 25 = 605 \text{ mm}$$

$$\frac{h_{CS}}{\text{eff } s_C} = \frac{605}{9} = 67,2 > 60$$

$$c = \frac{20}{\cos 21,046} + 2 \cdot 20 = 61,4 \text{ mm}$$

$$s_k = 0,75 \cdot 605 = 453,8 \text{ mm}$$

$$b_{\text{eff},b,rC} = \sqrt{650^2 + 61,4^2} = 652,9 \text{ mm}$$

$$N_{pl,d} = 65,29 \cdot 1,5 \cdot 0,6 \cdot \frac{36}{1,1} = 1923,1 \text{ kN}$$

$$i = 0,289 \cdot 0,9 = 0,26 \text{ cm}$$

$$\bar{\lambda}_K = \frac{45,38}{0,26 \cdot 75,9} = 2,30$$

$$\text{mit } \lambda_a = \pi \sqrt{\frac{21000}{36}} = 75,9$$

$$k = 0,5 \left[1 + 0,49 (2,30 - 0,2) + 2,3^2 \right] = 3,66$$

$$\kappa = \frac{1}{3,66 + \sqrt{3,66^2 - 2,30^2}} = 0,1536$$

$$F_{CSB,C} = 0,1536 \cdot 1923,1 = 295,6 \text{ kN} < 1012,2 \text{ kN}$$

Da $F_{SCB,C} < D_C$ und/oder $F_{CWC,r} < D_C$ ist, müssen Stegsteifen im Druckpunkt angeordnet werden.

Anordnung von Stegsteifen im Druckpunkt

$$\Delta D = 1012,2 - \min \left\{ \begin{array}{l} 590,9 \\ 295,6 \end{array} \right\} = 716,6 \text{ kN}$$

$$c_R = \sqrt{2} \cdot 5 = 7,1 \text{ mm} \approx 8 \text{ mm}$$

$$b_R = 0,5 [\min(180; 200) - 6] - 6 = 81 \text{ mm}$$

$$l_{w1} = 81 - 8 = 73 \text{ mm}$$

$$l_R = 0,5 \cdot (650 - 20 - 25) = 302,5 \text{ mm}$$

Da der Beulnachweis für das Eckblech geführt werden mußte (siehe unten), ist die Rippe über die gesamte Steghöhe anzuordnen.

$$\Rightarrow l_R = 605 \text{ mm}$$

$$l_{w2} = 605 - 8 \cdot 2 = 589 \text{ mm}$$

$$e_1 = 0,5 (81 + 8) = 44,5 \text{ mm}$$

$$e_2 = \frac{2}{3} 605 + \frac{1}{3} 8 = 406 \text{ mm}$$

$$F_1 = 0,5 \cdot 716,6 = 358,3 \text{ kN}$$

$$F_2 = 358,3 \cdot \frac{44,5}{406} = 39,3 \text{ kN}$$

$$\sigma_{W,Rd} = 0,8 \cdot \frac{36}{1,1} = 26,18 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$



Aus Gl. (3.62) und (3.63) folgen

erf $a_{RFC} = 9,4 \text{ mm}$ und erf. $a_{RSC} = 1,19 \text{ mm}$

gewählt : $a_{RFC} = 10 \text{ mm}$, $a_{RSC} = 4 \text{ mm}$

max $a_{RFC} = 0,7 \cdot 20 = 14 \text{ mm}$

min $a_{RSC} = \sqrt{20} - 0,5 = 3,97 \text{ mm} \approx 4 \text{ mm}$

Naht a_{RFC}

$$\sigma_{WV1} = \frac{\sqrt{358,3^2 + 39,3^2}}{2 \cdot 1,0 \cdot 7,3} = 24,7 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < 26,2$$

Naht a_{RSC}

$$\sigma_{WV2} = \frac{\sqrt{358,3^2 + 4 \cdot 39,3^2}}{2 \cdot 0,4 \cdot 58,9} = 7,8 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < 26,2$$

Grenzscherbeulkraft der Rahmenecke $F_{CWB,C}$

$$\frac{d_C}{s_C} = \frac{605}{1,5 \cdot 6} = 67,22 > 69 \sqrt{\frac{24}{36}} = 56,3 = \text{grenz } \lambda$$

⇒ Beulnachweis erforderlich

$a = 900 \text{ mm} = h_A$

$$\alpha = \frac{900}{605} = 1,488 \geq 1,0 \Rightarrow k_\tau = 5,34 + \frac{4}{1,488^2} = 7,15$$

$$\sigma_e = 18980 \left(\frac{1,5 \cdot 6}{605} \right)^2 = 4,20 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\tau_{pi} = 7,15 \cdot 4,20 = 30,03 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{36}{30,03 \sqrt{3}}} = 0,832$$

$$\kappa_\tau = \frac{0,84}{0,832} = 1,01, \text{ jedoch } \kappa_\tau \leq 1,0 \Rightarrow \kappa_\tau = 1,0$$

$$\tau_{p,Rd} = 1,0 \frac{36}{1,1 \sqrt{3}} = 18,9 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$A_{V,C} = 1,5 \cdot 0,6 \cdot 60,5 = 54,45 \text{ cm}^2$$

$$F_{CWB,C} = 54,45 \cdot 18,9 = 1029,1 \text{ kN} > 849,6 = \text{red } F_{CF,r}$$

Der Beulnachweis ist erbracht. Diagonalstreifen sind damit nicht erforderlich.

Grenzdruckkraft des unteren Riegeflansches $F_{BFC,A}$

$$\frac{b_{uA}}{t_{uA}} = \frac{180}{20} = 9 < 18 \text{ Tabelle 3.1}$$

$$\frac{d_A}{s_A} = \frac{900 - 15 - 20}{8} = 108,1 \begin{cases} > 83 \\ < 124 \end{cases} \text{ Tabelle 3.1}$$

⇒ Einteilung in Querschnittsklasse 3

$$\Rightarrow M_{C,Rd,A} = W_{el,a} \frac{f_{y,k,A}}{\gamma_M}$$

mit $z_{SA} = 47,81 \text{ cm}$

$$\begin{aligned} I_{y,A} &= \frac{1}{12} \cdot 18 \cdot 15^3 + 1,5 \cdot 18 (47,81 - 0,75)^2 \\ &\quad + \frac{1}{12} \cdot 0,8 \cdot 86,5^3 + 0,8 \cdot 86,5 \cdot \left(\frac{86,5}{2} + 1,5 - 47,81 \right)^2 \\ &\quad + \frac{1}{12} \cdot 18 \cdot 2,0^3 + 2,0 \cdot 18 (90 - 1,0 - 47,81)^2 \\ &= 164686 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$W_{el,A} = \frac{164686}{47,81} = 3445 \text{ cm}^3; S_{y,A} = 2128,5 \text{ cm}^3$$

$$M_{C,Rd,A} = 3445 \cdot \frac{24}{1,1} \cdot 10^{-2} = 751,5 \text{ kNm}$$

$$F_{BFC,A} = \frac{751,5}{0,9 - 0,5 \cdot 0,015 - 0,5 \cdot 0,02} = 851,6 < 1006,5 = D_{,A}$$

Damit kann die Druckkraft nicht in den Druckflansch des Riegels eingeleitet werden. Das Programm würde aus diesem Grund diesen Lösungsvorschlag nicht unterbreiten und eine andere Lösung suchen. Sollte keine Lösung gefunden werden, erfolgt eine entsprechende Meldung und der Anwender müßte gegebenenfalls ein neues Riegelprofil wählen.

Anschließend werden die Schweißnähte nachgewiesen.

Schweißnahtberechnungen
Riegel-Stimplatte

Flanschnaht oben

$$a_{FoAo} + a_{FoAu} = 8 + 9 = 17 \text{ mm} \geq 1,1 \cdot t_{oA} = 16,5 \text{ mm}$$

Stegnaht

$$V_{d,A} = 210 \text{ kN}, \text{ red } F_{EP,A} = 841,5 \text{ kN}$$

$$h_{sA} = 900 - \frac{15}{\cos 15} - \frac{20}{\cos 21,046} = 863 \text{ mm}$$

$$a_{SA} = 4 \text{ mm}; b_{eff,A} = 578,4 \text{ mm}$$

$$\tau_{II} = \frac{210}{2 \cdot 0,4 \cdot 86,3} = 3,04 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{\perp} = \frac{841,5}{2 \cdot 57,84 \cdot 0,4} = 18,18 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{W,V} = \sqrt{3,04^2 + 18,18^2} = 18,4 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < 20,73$$

$$\text{mit } \sigma_{W,Rd} = 0,95 \cdot \frac{24}{1,1} = 20,73 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$



Flanschnaht t unten $a_{FuA} = 14 \text{ mm}$

$$I_W = 2 \cdot 180 - 8 = 352 \text{ mm}$$

$$D_{,A} = 1006,5 \text{ kN}$$

$$\sigma_{\perp} = \frac{1006,5}{35,2 \cdot 1,4} = 20,42 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < 20,73$$

Nachweis als HV – Naht, $t_{uA} = 20 \text{ mm}$

$$\sigma_{\perp} = \frac{1006,5}{18,0 \cdot 2,0} = 27,96 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} > 21,82$$

$$\text{mit } \sigma_{W,Rd} = \frac{f_{y,k,A}}{\gamma_M} = \frac{24}{1,1} = 21,82 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Analog zur Druckkrafteinleitung in den Riegelflansch läßt sich auch die Lasteinleitung über eine HV-Naht nicht nachweisen.

Stütze - obere Stirnplatte

$$\max F_{R1} = \max \left\{ \begin{array}{l} 328,0 \cdot 0,845 \\ 487,1 \cdot 0,512 \end{array} \right\} = 277,2$$

$$F_{oC} = \max \left\{ \begin{array}{l} 277,2 \\ 849,6 - 925,95 \\ 849,6 - 1029,1 \end{array} \right\} = 277,2 \text{ kN}$$

$$I_W = 650 - 20 - 25 = 605 \text{ mm}$$

$$a_{soC} = 4 \text{ mm} \geq \sqrt{t_{soC}} - 0,5 = \sqrt{15} - 0,5 = 3,4 \text{ mm}$$

$$\tau_W = \frac{277,2}{60,5 \cdot 2 \cdot 0,4} = 5,73 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \leq 0,8 \cdot \frac{36}{1,1} = 26,18 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Anschluß an Flansch rechts:

Anschluß am Flansch links konstruktiv

$$a_{FiC} \geq \max \left\{ \begin{array}{l} 3 \\ \sqrt{15} - 0,5 = 3,97 \text{ mm} \\ \sqrt{20} - 0,5 \end{array} \right.$$

$$\Rightarrow a_{FiC} = 4 \text{ mm}$$

Doppelkehlnähte Stützensteg – Stützenflansch

$$S_{y,C} = 20,0 \cdot 2,0 (34,82 - 0,5 \cdot 2,0) = 1352,8 \text{ cm}^3$$

$$I_{y,C} = 98950 \text{ cm}^4, \text{ red } F_{CF,r} = 849,2 \text{ kN}$$

$$a_{iC} = 4 \text{ mm} \geq \sqrt{20} - 0,5 = 3,97 \text{ mm}$$

$$\tau_{II} = \frac{849,6 \cdot 1352,8}{98950 \cdot 2 \cdot 0,4} = 14,51 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \leq 26,18$$

$$a_{rC} = 5 \text{ mm} \geq \sqrt{25} - 0,5 = 4,5 \text{ mm}$$

$$\sigma_W = \frac{849,6}{2 \cdot 60,64 \cdot 0,5} = 14,00 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \leq 26,18$$

$$\text{mit } b_{\text{eff},t,C} = 606,4 \text{ mm}$$



Stegblechverstärkung Stütze

Verstärkung $\Delta s_C = 6 \text{ mm}$

Kehlnaht Blech an Flansche $a_{VFC} = 6 \text{ mm}$

Kehlnaht Blech an Stützensteg und Stirnplatte

$$\text{erf. } a_{VSC} = \frac{\Delta s_C}{\sqrt{2}} = 4,24 \text{ mm} \Rightarrow a_{VSC} = 5 \text{ mm}$$

Blechabmessungen

$$l_{VC} = 650 - 20 - 25 - \sqrt{2} (5 + 4) = 592,27 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow l_{VC} = 591 \text{ mm}$$

$$h_{VCr} = 900 - \frac{15}{\cos 15} - (20 + 25) \tan 15 - \frac{20}{\cos 21,046} + 0,5 \cdot 221,8 = 972,6 \text{ mm} \Rightarrow h_{VCr} = 973 \text{ mm}$$

$$h_{VCl} = 973 - 592,27 \cdot \tan 15^\circ = 814,3 \text{ mm} \approx 815 \text{ mm}$$

Lochschweißungen

Lochdurchmesser $d_{VC} \geq 6 \text{ mm}$

maximaler Abstand der Löcher vom Rand der Verstärkung bzw. untereinander

$$p_{VC} \leq \sqrt{\frac{23,5}{36}} 40 \cdot 6 = 194 \text{ mm}$$

Nachweis der Schrauben im Druckbereich

$$V_{d,A} = 210 \text{ kN}$$

$$2 \text{ HV M24, 10.9} \quad \alpha_a = 0,55$$

Gewinde in der Scherfuge

$$V_{a,R,d} = \frac{\pi \cdot 2,4^2}{4} 0,55 \cdot \frac{100}{1,1} = 226,2 \text{ kN} \geq 210 / 2 = 105 \text{ kN}$$

Lochleibung

a) Stirnplatte $e_2 = 31 \text{ mm}$, $e_3 = 118 \text{ mm}$

$$\frac{e_2}{d_L} = \frac{31}{25} = 1,24; \quad \frac{e_3}{d_L} = \frac{118}{25} = 4,72 > 3,0 d_L \Rightarrow \frac{e_3}{d_L} = 3,0$$

Abstand zur nächsten Schraube $\geq 3,5 d_L = 87,5 \text{ mm}$

Lochleibungsbeiwert nach [10], [18]

$$\varepsilon = \frac{e}{d_L} \leq 3,5 \quad \beta = \frac{e_2 + \frac{1}{2} e_3}{d_L} = \frac{31 + \frac{1}{2} \cdot 75}{25} = 2,74$$

$$\alpha_1 = (1,80 \varepsilon - 1,3) \frac{1}{3} \beta - (0,72 \varepsilon - 0,53)$$

$$= (1,8 \cdot 3,5 - 1,3) \frac{1}{3} \cdot 2,74 - (0,72 \cdot 3,5 - 0,53) = 2,58 \leq 3,0$$

$$V_{l,R,d} = 2,0 \cdot 2,4 \cdot 2,58 \cdot \frac{24}{1,1} = 270,2 \text{ kN} \geq 105 \text{ kN}$$

b) Stützenflansch

$$\alpha_1 = 3,0$$

$$V_{l,R,d} = 3,0 \cdot 2,4 \cdot 2,5 \cdot \frac{36}{1,1} = 589,1 \text{ kN}$$



Anhang A: Literaturverzeichnis

- [1] Dangelmaier, P.; Pepin, R.; Schleich, J. B.; Valtinat, G.: Biegesteife Stirnplattenverbindungen aus St 37 und StE 460 mit Vouten ohne Rippen, Der Stahlbau 1/1987, S. 16 - 24
- [2] DIN 18800, Teil 1; Ausgabe November 1990
- [3] DIN 18800, Teil 2, Ausgabe November 1990
- [4] Typisierte Verbindungen im Stahlhochbau, Deutscher Stahlbauverband DSTV in Zusammenarbeit mit dem deutschen Ausschuß für Stahlbau; Stahlbau-Verlags-GmbH, Köln.
- [5] Steifenlose Stahlskelettragwerke und dünnwandige Vollwandträger, Berechnung und Konstruktion, Europäische Konvention für Stahlbau (EKS), Verlag Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin, München, Düsseldorf, 1977.
- [6] Hotz, R.: Traglastversuche für Stützenriegel-Verbindungen mit verbesserter Wirtschaftlichkeit. Der Stahlbau 11/1983, S. 329 - 334.
- [7] Stahlbauten, Erläuterungen zu DIN 18800 Teil 1 bis Teil 4, Beuth-Kommentare, 2. Aufl., Beuth, Ernst & Sohn 1994.
- [8] Klee, K.-D.: Handbuch "Querkraftanschlüsse nach DIN 18800", Dlubal GmbH, Tiefenbach.
- [9] Petersen, Ch.: Stahlbau. Grundlagen der Berechnung und baulichen Ausbildung von Stahlbauten. Braunschweig, Wiesbaden: Friedrich Vieweg & Sohn, 1997.
- [10] Klee, K.-D.: Handbuch "Biegesteife Rahmenecke aus IPE-Profilen mit rippenloser Eckvoute", Dlubal GmbH, Tiefenbach, 1998.
- [11] DIN V ENV 1993, Teil 1-1 Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten mit Anhang J (Trägerstützen - Verbindungen)
- [12] Greiner, R.; Unterweger, H.: Momententragfähigkeit standardisierter geschraubter Stirnplattenverbindungen nach Eurocode 3, Stahlbau 66/1997, S. 511-516.
- [13] Sedlacek, G.; Weynand, K.: Untersuchung sicherer Regeln für die Bemessung von Tragwerken mit verformbaren Anschlüssen, Forschungsbericht DIBT IV 1-5-619/90, RWTH-Aachen 1995.
- [14] DIN ENV 1993-1-1, Eurocode 3, Anhang J (revidierte Fassung), Anschlüsse in Rahmen im Hochbau.
- [15] Petersen, Chr.: Statik und Stabilität der Baukonstruktionen. Braunschweig, Wiesbaden: Friedrich Vieweg & Sohn, 1982
- [16] DIN 18800, Teil 3, Ausgabe Nov. 1990
- [17] Stahlbauten, Erläuterungen zu DIN 18800 Teil 1 bis 4, Beuth, Ernst & Sohn
- [18] Klee, K.-D.: Handbuch "Biegesteife Stirnplattenverbindungen" zum Programm STIRNPL, Dlubal GmbH, Tiefenbach 1997
- [19] Programm RSTAB, Dlubal GmbH, Tiefenbach 1998
- [20] Roik, K.: Vorlesungen über Stahlbau, Verlag Ernst & Sohn, 1978
- [21] Tschemmernegg, F. F.; Angerer, T., Frischhut, M.: Bemessungshilfen für nachgiebige Stahlknoten mit Stirnplattenanschlüssen, Stahlbau-Kalender, Ernst & Sohn, Berlin 1999

Anhang B: Notationen

B.1 Traglasten

Kapitel		
3.1	$F_{EP,A}$	Biegebeanspruchbarkeit der Endplatte (oder Kopfplatte) des Riegels A (e nd p late) bzw. Zugbeanspruchbarkeit der Schrauben desgl. Riegel B
3.1	$F_{EP,B}$	
3.1	$F_{R,i}$	maßgebende Traglast (Zugbeanspruchbarkeit) der Schraubenreihe i
3.1	$B_{t,Rd}$	Grenzzugkraft einer Schraube, Minimum aus Zugfestigkeit der Schraube und Durchstanzkraft
3.2	$F_{CF,r}$ $F_{CF,l}$	Biegebeanspruchbarkeit des Stützenflansches (c olumn f lange) am r echten (l inken) Flansch bzw. Zugbeanspruchbarkeit der jeweiligen Schrauben
3.3	$F_{BWT,A}$	Zugbeanspruchbarkeit des Trägersteges A bzw. B (b eam w eb t ension)
3.4	$F_{CWT,r}$ $F_{CWT,l}$	Zugbeanspruchbarkeit des Stützensteges (c olumn w eb t ension) am r echten Flansch (zum Riegel A) bzw. l inken Flansch
3.5	$F_{CWS,C}$	Schubbeanspruchbarkeit des Stützensteges (c olumn w eb s hear) Stütze C
3.6	$F_{CWC,r}$ $F_{CWC,l}$	Druckbeanspruchbarkeit des Stützensteges C (c olumn w eb c ompression) am Riegel A (r echter Flansch) oder Riegel B (l inker Flansch)
3.6.1	$F_{CSB,c}$	Knickstabilität des Stützensteges (c olumn s way b uckling) im Druckbereich (c ompression)
3.7	$F_{BFC,A}$ $F_{BFC,B}$	Druckbeanspruchbarkeit des Trägerflansches (b eam f lange c ompression) Riegel A bzw. B
3.8	$F_{CWB,C}$	Beanspruchbarkeit des Eckbleches aus Schubbeulen (c olumn w eb b uckling)
3.9	$F_{CS,C}$	Beanspruchbarkeit der Diagonalsteifen (c olumn s tiffener)

B.2 Geometrische Abmessungen

a_1	Schraubenabstandsmaß nach Tabelle (Schraubbarkeit), Tabelle 2.1
b_C	Flanschbreite Stützenwalzprofil
b_{eA}	Breite der Stirnplatte Riegel A
b_{re}, b_{lc}	Flanschbreite Stütze rechts bzw. links
b_{RC}	Rippenbreite Stegblechsteife Stütze C
b_{oA}, b_{uA}	Flanschbreiten oben bzw. unten Riegel A
b_{urC}	Breite der Unterlegplatten rechts
c_R	Ausklüpfung Rippe Stütze C
d	Schraubenschaftdurchmesser
D	Druckpunkt unten für negatives Moment
d_A	Abstand Schwerelinie Riegel A zum Druckpunkt
d_L	Lochdurchmesser der Schraube
D_o	Druckpunkt oben für positives Moment
e_A	vertikaler Schraubenabstand
e_{10A}	oberer Randabstand der obersten Schraubenreihe in vertikaler Richtung der Endplatte Riegel A



e_{1rC}	dsogl. zum oberen Stützenflansche (rechts in Richtung Riegel A)
e_{2A}	horizontaler Randabstand Schraube Stirnplatte Riegel A
e_{2rC}	horizontaler Schraubenabstand rechter Stützenflansch C
e_{3A}	horizontaler Schraubenabstand Stirnplatte Riegel A
h_A	Profilhöhe in vertikaler Richtung Riegel A
h_C	Profilhöhe Stütze C
h_i	Abstand i-te Schraubenreihe zum Druckpunkt D
h_R	Riegelhöhe am Voutenende, Bild 2.2
h_{1A}	Abstand oberste Schraubenreihe zum Druckpunkt D
l	Schraubenlänge (Bild 2.6)
l_D	Länge der Diagonalsteifen nach Bild 3.9 bzw. 3.10
l_{RC}	Rippenlänge Stegblechsteife Stütze C
l_{urC}	Länge Futterplatte bzw. Unterlegplatte Stütze rechts
l_V	Voutenlänge, Bild 2.2
m	Höhe Schraubenkopf
NM	Werte aus negativem Moment
p	Abstand der Lochschweißung
PM	Werte aus positivem Moment
r_A, r_C	Rundungsradius Riegel A bzw. Stütze C
s_A, s_C	Stegdicken Riegel A bzw. Stütze C
t_S	Dicke der Unterlegscheibe
t_{eA}	Dicke Stirnplatte Riegel A
t_{oA}, t_{uA}	Flanschdicke oben bzw. unten Riegel A
t_{lC}, t_{rC}	Flanschdicke links bzw. rechts Stütze C
t_{soC}	Dicke Stirnplatte Stütze C
t_{urC}	Dicke der Unterlegplatte Stütze C rechts
u_{oA}	Platteneinzug Riegelflansch-Stirnplatte oben
u_{uA}	Platteneinzug Riegelflansch-Stirnplatte unten
z_{sA}	Abstand Schwerpunkt Riegel A von der Flanschaußenseite oben
z_{sC}	Abstand Schwerpunkt Stütze C von der linken Flanschaußenseite

B.3 Abmessungen und Bezeichnungen für die statischen Nachweise

A	Schwerelinie Riegel am Stützenanschnitt
$A_{V,C}$	Schubfläche der Stütze C
A_{sp}	Spannungsquerschnitt einer Schraube
$b_{eff,A}, b_{eff,C}$	mitwirkende Breite des Riegelstegbleches bzw. des Stützenstegbleches
$b_{eff,c,rC}$	mittragende Länge des Stützensteges im Druckbereich (<u>compression</u> <u>C</u> olumn)
d_m	Durchstanzkegeldurchmesser unter den Schrauben
E	Eckknoten Riegel-Stütze, Bild 2.3
$F_{R,i}$	Grenzkraft einer Schraubenreihe
F_{oC}	Grenzkraft der Stielendplatte
F_{Steg}	Grenzkraftanteil des Stützensteges oben
$f_{u,b,k}$	Zugfestigkeit der Schraube
$f_{y,b,k}$	Fließspannung der Schraube
$f_{y,k}$	charakteristische Fließspannung



K_b, K_c	Steifigkeitsparameter des Rahmens (Bild 5.4)
k_{eff}	effektiver Steifigkeitskoeffizient
k_{eq}	äquivalente Steifigkeit
k_i	Einzelsteifigkeitswert
$k_{r\sigma}, k_{rt}$	Reduktionsfaktoren für das plastische Stützenflanschmoment infolge Längsspannung $\sigma_{x,rC}$ und Schubspannung
k_σ, k_τ	Beulwerte
l_{eff}	effektive Fließlinienlänge
$M_{c,Rd,A}$	Grenzmoment Riegel A infolge Druckkrafteinleitung Flansch unten
M_D	γ -faches Moment um den Druckpunkt D unten
M_{D_o}	γ -faches Moment um den Druckpunkt D_o oben
$M_{pl,Rd}$	plastisches Biegemoment (Bemessungsgröße)
$M_{pl,Rd,u}$	plastisches Moment der Unterlegplatten
$M_{Rd,A}$	Grenzmoment um den Druckpunkt Riegel A
$M_{y,d}$	γ -faches Biegemoment um die y -Achse
m_{1A}	rechnerischer horizontaler Schraubenabstand zur Stegnaht Riegel A
m_{1rC}	Abstand Schraubenloch rechter Stützenflansch in horizontaler Richtung zur Stegnaht a_{srC}
m_{2A}	rechnerischer Fließlinienabstand, Gleichung 2.7
m_{2rC}	Abstand Schraubenloch rechter Stützenflansch in vertikaler Richtung zur Flanschschweißnaht a_{FrC} bzw. Stegnaht a_{soC}
n_A, n_{rc}	Systemmaße Fließgelenkkette Bild 3.2 für Riegelplatte A bzw. Stützenflansch rechts
N_d	γ -fache Normalkraft
$N_{R,d}$	Schraubenzugfestigkeit
n_z	Anzahl der Schraubenreihe in der Zugzone
S_j	Sekantensteifigkeit
$S_{j,\text{ini}}$	Anfangssteifigkeit
V_d	γ -fache Querkraft in Richtung der z -Achse
$W_{\text{eff},A}$	effektives Widerstandsmoment des Riegels A
$W_{\text{el},A}$	elastisches Widerstandsmoment des Riegels A
$W_{\text{pl},A}$	plastisches Widerstandsmoment des Riegels A
x_D	Lage des oberen Druckpunktes (Bild 4.1)
z	äquivalenter Hebelarm (Bild 5.7)



B.4 Griechische Buchstaben

\varnothing_{Cd}	Rotationskapazität
Δh	Voutensteigung Riegel A
α_A	Neigung der Schwerelinie Riegel A
α_{oA}	Neigung Riegelflansch oben
α_{uA}	Neigung Riegelflansch unten
Δs_A	Stegblechverstärkung Riegel A
Δs_C	Stegblechverstärkung Stütze C
γ_M	Teilsicherheitsbeiwert Widerstand
λ_1	Parameter zur Fließlinienbestimmung
$\sigma_{n,Ed}$	Stützenlängsdruckspannung im Stützensteg im Druckbereich (Druckpunkt)
$\sigma_{x,rC}$	Stützenlängsdruckspannung im Flansch
κ	Abminderungsfaktor beim Knicken nach DIN 18800, T2
λ	Schlankheit
ρ_F, ρ_S	Abminderungsfaktor für mittragende Breite Flansch bzw. Steg
τ_{II}	Schubspannung Schweißnaht
σ_{\perp}	Normalspannung Schweißnaht

B.5 Schweißnähte

a_{sA}	Doppelkehlnaht Riegelsteg - Stirnplatte
a_{rC}	Doppelkehlnaht Stützensteg - rechter Flansch
a_{lC}	Doppelkehlnaht Stützensteg - linker Flansch
a_{FoA}	Doppelkehlnaht Riegelflansch oben - Kopfplatte
a_{FuA}	Doppelkehlnaht Riegelflansch unten - Kopfplatte
a_{lC}	Doppelkehlnaht Stützenflansch - linker Steg
a_{rC}	Doppelkehlnaht Stützenflansch - rechter Steg
a_{FlC}	Doppelkehlnaht Stirnplatte Stütze - linker Stützenflansch
a_{FrCo}	Doppelkehlnaht Stirnplatte Stütze - rechter Stützenflansch oben
a_{FrCu}	Doppelkehlnaht Stirnplatte Stütze - rechter Stützenflansch unten
a_{soC}	Doppelkehlnaht Stirnplatte Stütze - Stützensteg
a_{vFA}, a_{vSA}	Nahtdicken Stegblechverstärkung für den Riegel am Flansch bzw. Steg
a_{vFC}, a_{vSC}	desgleichen bei der Stützenstegverstärkung
a_{RSC}, a_{RFC}	Doppelkehlnähte Rippe Druckbereich Stütze C am Steg bzw. Flansch
a_{DSC}	Doppelkehlnaht Diagonalsteife am Stützensteg (3 mm)
a_{DFC}	Doppelkehlnaht Diagonalsteife am Stützenflansch