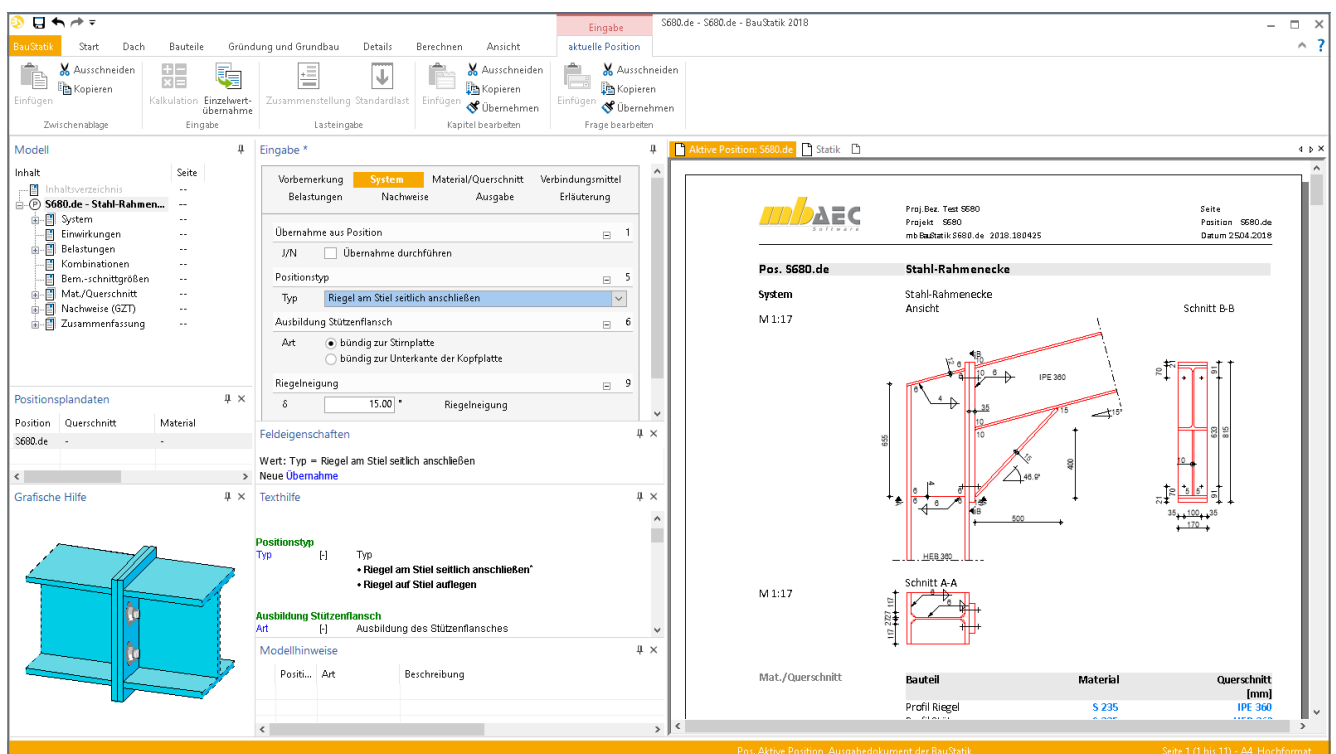


Dipl.-Ing. Marcel Lang

Stahl-Rahmenecke nach EC 3

Leistungsbeschreibung des BauStatik-Moduls S680.de Stahl-Rahmenecke, Komponentenmethode

Ein in der Baupraxis gängiger Anschlussstyp stellt die Stahl-Rahmenecke dar. Das Modul S680.de berechnet die geschraubte Rahmenecke auf Grundlage der Komponentenmethode. Vorteil dieser Methode ist u.a. die Charakterisierung der Nachgiebigkeit des Anschlusses. Das Modul bietet vielerlei Ausführungsmöglichkeiten rund um die Stahl-Rahmenecke.



Allgemein

Das Modul S680.de kann für den Nachweis bzw. die Bemessung von Rahmenecken mittels Komponentenmethode nach DIN EN 1993-1-8 [1] angewendet werden.

Wie in der Einleitung angedeutet, ist der Vorteil der Komponentenmethode, neben der grundlegenden Ermittlung der Druck- und Zugtragfähigkeit des gewählten Anschlusses, die zusätzliche Charakterisierung der Rahmenecke hinsichtlich der Nachgiebigkeit. Dadurch wird das Verformungsverhalten des Anschlusses bei der Auslegung und

Nachweisführung berücksichtigt. Die Rahmenecke kann unter wählbarem Winkel als Schraubanschluss ausgeführt werden. Der angeschlossene Träger kann als seitlicher oder aufgelegter Anschluss, mit oder ohne Voute, ausgeführt werden. Zusätzlich kann der Anschluss mit Steifen, Stegblech oder Futterplatte optional erweitert werden. So ergeben sich für den Anwender zahlreiche Gestaltungsmöglichkeiten.

Neben den Nachweisen der Komponentenmethode werden Spannungsnachweise der Anschlussbauteile sowie Schrauben- und Schweißnahtnachweise geführt. In gewohnter Form stehen grafische Hilfe und Texthilfe für die Eingaben zur Seite.

System

Der Anschlussstyp ist eine Stahlrahmenecke (siehe Titelbild). Als Anschlussform stehen der seitliche Trägeranschluss oder der aufgelegte Träger zur Verfügung. Der Träger wird mittels angeschweißter Stirnplatte an oder direkt auf eine Stütze geschraubt. Der Oberkantenabschluss der Rahmenecke kann in beliebiger Form gestaltet werden. Dazu stehen die Optionen „bündig zur Stirnplatte“ oder „bündig zur Unterkante der Kopfplatte“ zur Verfügung. Im weiteren Verlauf der Eingabe kann der Oberkantenabschluss über die Vorgabe geometrischer Abmessungen detaillierter gestaltet werden.

Die komplette Eingabemaske „System“ ist in Bild 1 veranschaulicht.

Vorbemerkung	System	Material/Querschnitt	Verbindungsmittel
Belastungen	Nachweise	Ausgabe	Erläuterung
Positionstyp 1			
Typ Riegel am Stiel seitlich anschließen			
Ausbildung Stützenflansch 2			
Art ☐ bündig zur Stirnplatte ☒ bündig zur Unterkante der Kopfplatte			
Riegelneigung 4			
δ 15.00 ° Riegelneigung			

Bild 1. Eingabemaske „System“

Material/Querschnitt

Im Kapitel „Material/Querschnitt“ werden alle einzelnen „Komponenten“ des Anschlusses definiert. Die Stütze und der Anschlussträger können entweder als I-Profile oder als Schweißprofile ausgeführt werden.

Alle zu wählenden Bauteile wie Stütze, Riegel, Aussteifungselemente (Stegblech oder -steifen), Voute, Kopf-, Stirn- und/oder Futterplatte werden in eigenen Abschnitten vorgegeben. Dort können u.a. Stahlsorte, Querschnitte, geometrische Abmessungen der Anschlussbauteile und Schweißnahtdicken gewählt werden. Ein Teil der Parameter kann vom Modul automatisch bemessen werden (wie z.B. Schweißnähte, Plattendicken, usw.). Für alle Parameter ist aber auch eine manuelle Vorgabe möglich.

Bei der Auswahl der Aussteifung kann zwischen Stegblech, Stegsteifen oder „keine“ gewählt werden. Wird ein Aussteifungselement angeordnet, so öffnet sich die entsprechende Eingabe. Hier kann dann zwischen „einseitig“ oder „beidseitig“ angeordneter Steife oder Stegblech gewählt werden.

Die Schweißnähte werden direkt am betreffenden Bauteil eingegeben.

Alle Bezeichnungen und Indizes sind normgerecht und am Bauteil orientiert benannt.

Verbindungsmittel

Im Kapitel „Verbindungsmittel“ werden Schrauben und Schraubenabstände vorgegeben. Grundsätzlich wird zwischen 2- oder 4-reihigen Schraubenreihen unterschieden. Die Schrauben können als innen- und außenliegende Schraubenreihen angeordnet werden. Es sind bis zu 6 Schraubenreihen möglich (2 außen und 4 innen) (Bild 3).

Die Schraubenabstände können in vertikaler und horizontaler Anordnung bestimmt werden. Hier besteht auch die Möglichkeit mit Mindestwerten rechnen zu lassen. Die Schrauben können u.a. „kontrolliert vorgespannt“ werden (Bild 2).

Vorbemerkung	System	Material/Querschnitt	Verbindungsmittel
Belastungen	Nachweise	Ausgabe	Erläuterung
Schrauben 63			
Auswahl der Schrauben			
Bez M20 10.9 (Rohr Schrauben)			
J/N ☐ kontrollierte Vorspannung, Kategorie E			
Schrauben vertikale Anordnung 65			
Typ ☒ 2-reihiger Anschluss ☐ 4-reihiger Anschluss			
Schraubenreihe am oberen Flansch			
a _o ☐ Mindestwert ☒ Manuell 70 mm Abstand OK Oberflansch			
J/N ☐ Weitere innere Reihen			
J/N ☐ Äußere Reihe			
Schraubenreihe am unteren Flansch			
a _u ☐ Mindestwert ☒ Manuell 70 mm Abstand UK Unterflansch			
J/N ☐ Weitere innere Reihen			
J/N ☐ Äußere Reihe			
Schrauben horizontale Anordnung 82			
e ₂ ☐ Mindestwert ☒ Manuell 35 mm			

Bild 2. Schraubeneingabe

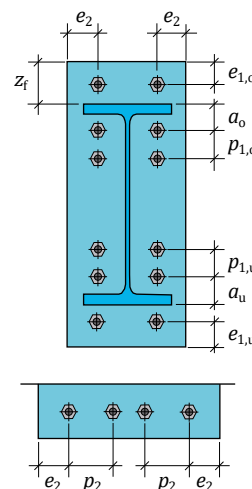


Bild 3. Schraubenbild und -abstände

Belastungen

Als Belastungen werden die Riegelschnittgrößen unmittelbar neben dem Rahmenknoten vorgegeben (M_R , V_R , N_R). Zusätzlich können äußere Knotenlasten im Rahmenknoten definiert (M_y , F_z , F_x) werden. Aus diesen Angaben werden die entsprechenden Schnittgrößen in den maßgebenden Schnitten berechnet. Bild 4 zeigt die Lastvektoren am Knotenpunkt. Eine Einzelwertübernahme/-übergabe ist ebenfalls möglich.

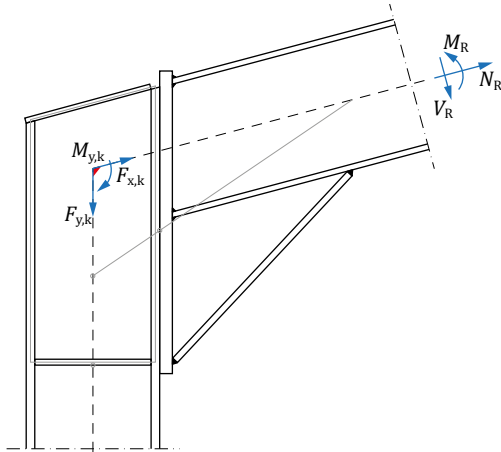


Bild 4. Lastvektoren der Rahmenecke

Nachweise

Das Modul ermittelt sowohl charakteristische als auch Bemessungsschnittgrößen, die sowohl tabellarisch als auch grafisch ausgegeben werden können. Die Nachweise nach der Komponentenmethode für I/H-Anschlüsse richten sich nach DIN EN 1993-1-8 [1].

Die Bemessungsgrundlagen werden ausführlich in der Artikelserie von Dr. Joachim Kretz [4-6] erläutert, deren dritter Teil in vorliegender Ausgabe veröffentlicht ist.

Der Anschluss enthält folgende Komponenten (chronologisch nach der Modulausführung) (Bild 5):

- Schrauben auf Zug (Komponente 10)
- Stirnplatte sowie Stützenflansch auf Biegung (Komponenten 4 und 5)
- Trägersteg mit Zug (Komponente 8)
- Stützensteg mit Querkzug (Komponente 3)
- Stützensteg mit Schub (Komponente 1)
- Stützensteg mit Querdruck (Komponente 2)
- Trägerflansch/-steg oder Voutenflansch mit Druck (Komponente 7)
- Trägersteg mit Querdruck (Komponente 2)

Die Komponenten für Verbindungsmittel:

- Lochleibung (Komponente 12)
- Abscheren (Komponente 11)
- Schweißnähte (Komponente 19)

Darüber hinaus werden weitere Schrauben- und Schweißnahtnachweise geführt (Zug + Abscheren, richtungsbezogenes Verfahren).

Komponente	Verweis auf Berechnungsverfahren		
	Tragfähigkeit	Steifigkeitskoeffizient	Rotationskapazität
1 Stützenstegfeld mit Schubbeanspruchung 	6.2.6.1	6.3.2	6.4.2 6.4.3
2 Stützensteg mit Querdruckbeanspruchung 	6.2.6.2	6.3.2	6.4.2 6.4.3
3 Stützensteg mit Querkzugbeanspruchung 	6.2.6.3	6.3.2	6.4.2 6.4.3
4 Stützenflansch mit Biegung 	6.2.6.4	6.3.2	6.4.2 6.4.3
5 Stirnblech mit Biegebeanspruchung 	6.2.6.5	6.3.2	6.4.2
6 Flanschwinkel mit Biegebeanspruchung 	6.2.6.6	6.3.2	6.4.2
7 Träger- oder Stützenflansch und -steg mit Druckbeanspruchung 	6.2.6.7	6.3.2	-
8 Trägersteg mit Zugbeanspruchung 	6.2.6.8	6.3.2	-
9 Blech mit Zug- oder Druckbeanspruchung 	auf Zug: EN 1993-1-1 auf Druck: EN 1993-1-1	6.3.2	-
10 Schrauben mit Zugbeanspruchung 	mit Stützenflansch: 6.2.6.4 mit Stirnblech: 6.2.6.5 mit Flanschwinkel: 6.2.6.6	6.3.2	6.4.2

Bild 5. Grundkomponenten 1 – 10, Tab. 6.1 DIN EN 1993-1-8 [1]

Ermittlung der effektiven Längen

Grundlage für die Ermittlung der Komponententragfähigkeiten, aber auch für die Anfangsrotationssteifigkeit, bilden die effektiven Längen (siehe Glg. (1) und (2)). Im EC 3, Abs. 6.2.6.5 und 6.2.6.6/Tab. 6.4 – 6.6 [1] sind Tabellen für die effektiven Längen hinterlegt. Die Auswahl unterscheidet grundlegend zwischen ausgesteiftem und nicht ausgesteiftem Anschluss. Weitere Kriterien bei der Ermittlung der effektiven Längen sind die Lagen der Schraubenreihen sowie das betrachtete Bauteil (Bild 6).

effektive Länge für Modus 1:

$$l_{\text{eff},1} = l_{\text{eff},nc} \leq l_{\text{eff},cp} \quad (1)$$

effektive Länge für Modus 2:

$$l_{\text{eff},2} = l_{\text{eff},nc} \quad (2)$$

mit

$l_{\text{eff},nc}$	eff. Länge für nicht kreisförmiges Muster
$l_{\text{eff},cp}$	eff. Länge für kreisförmiges Muster

Legende

- 1 Äußere Schraubenreihe neben einer Steife
- 2 Andere äußere Schraubenreihe
- 3 Andere innere Schraubenreihe
- 4 Innere Schraubenreihe neben einer Steife

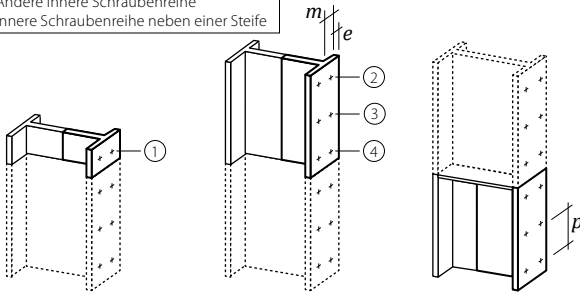


Bild 6. Definition der Schraubenreihen für die effektiven Längen [1, Bild 6.9]

Komponente 10 sowie 4 und 5

Komponente 10 bildet die Tragfähigkeit der Schraube auf Zug. Die Zugtragfähigkeit wird nach EC 3 [1] berechnet:

Tragfähigkeit der Schraube auf Zug:

$$F_{t,Rd} = k_2 \cdot A_s \cdot \frac{f_{ub}}{\gamma_{M2}} \quad (3)$$

mit

k_2	Beiwert der Zugtragfähigkeit
A_s	Spannungsquerschnitt

Bei den Komponenten 4 und 5 werden zwei Bauteile untersucht. Die Stirnplatte und der Stützenflansch. Es werden für jede Schraubenreihe bzw. Schraubengruppe drei Versagensmodi betrachtet:

- Modus 1: vollständiges Fließen der Flanche: $F_{T,1,Rd}$
- Modus 2: Schraubenversagen mit Fließen der Flanche, es treten Abstützkräfte auf: $F_{T,2,Rd}$
- Modus 3: Schraubenversagen auf Zug, es treten keine Abstützkräfte auf: $F_{T,3,Rd}$

Die Biegetragfähigkeit $F_{t,ep,Rd}$ der Stirnplatte für die horizontale Schraubenreihe r entspricht dem Mindestwert der drei Versagensmöglichkeiten:

$$F_{t,ep,Rd} = \min\{F_{T,1,Rd}; F_{T,2,Rd}; F_{T,3,Rd}\} \quad (4)$$

Komponente 8

Die Tragfähigkeit des Trägerstegs mit Zugbeanspruchung berechnet sich wie folgt:

$$F_{t,wb,Rd} = \min\left\{\frac{b_{\text{eff},t,wb} \cdot t_{wb} \cdot f_{y,wb}}{\gamma_{M0}}; \frac{l_{\text{eff}} \cdot \sum a_w \cdot f_{1,w,Rd}}{\sqrt{2}}\right\} \quad (5)$$

mit

$b_{\text{eff},t,wb}$	effektive Breite des Trägersteges mit Zug; diese eff. Breite ist mit der wirksamen Länge des äquivalenten T-Stummelmodells gleichzusetzen
l_{eff}	wirksame Länge des äquivalenten T-Stummel-Modells für die Stirnbleche
t_{wb}	Dicke des Trägersteges
a_w	Nahtdicke der Stegnaht
$f_{y,wb}$	Streckgrenze des Trägersteges
$f_{1,w,Rd}$	Beanspruchbarkeit der Kehlnaht

Komponente 1–3

Die Komponenten 1–3 betreffen den Stützensteg auf Schub-, Druck- oder Zugbeanspruchung. Die Tragfähigkeiten lassen sich mit folgenden Gleichungen ermitteln:

Komponente 1 (Schubbeanspruchung):

$$V_{wp,Rd} = \frac{0,9 \cdot f_{y,wc} \cdot A_{vc}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} + V_{wp,add,Rd} \quad (6)$$

Komponente 2 (Querdruck):

$$F_{c,wc,Rd} = \frac{\omega \cdot k_{wc} \cdot \rho \cdot b_{\text{eff},c,wc} \cdot t_{wc} \cdot f_{y,wc}}{\gamma_{M1}} \quad (7)$$

Komponente 3 (Querzug):

$$F_{t,wc,Rd} = \frac{\omega \cdot b_{\text{eff},t,wc} \cdot t_{wc} \cdot f_{y,wc}}{\gamma_{M0}} \quad (8)$$

mit

A_{vc}	wirksame Schubfläche
$V_{wp,add,Rd}$	Erhöhungsanteil des Schubwiderstands aus den Steifen (wenn vorhanden)
ω	Abminderungsfaktor nach Tab. 3, Abs. 6.2.6.1 [1]
k_{wc}	Stegbeiwert nach Abs. 6.2.6.2(2) [1]
ρ	Abminderungsbeiwert für Plattenbeulen nach Abs. 6.2.6.2(1) [1]
$b_{\text{eff},c,wc}$	wirksame Breite des Stützenstegs für Querdruck nach Abs. 6.2.6.2(1) [1]
t_{wc}	Stegdicke
$b_{\text{eff},t,wc}$	wirksame Breite des Stützenstegs für Querzug nach Abs. 6.2.6.3(1) [1]

Komponente 7:

Trägerflansch/-steg mit Druckbeanspruchung

Die Resultierende des Druckwiderstandes des Trägerflansches und der angrenzenden Druckzone im Trägersteg darf in der Flanschmittellinie angenommen werden. Die Tragfähigkeit auf Druck ermittelt sich nach Gleichung (9) zu:

$$F_{c,fb,Rd} = \frac{M_{c,Rd}}{h - t_{fb}} \quad (9)$$

mit

h	Höhe des angeschlossenen Trägers
$M_{c,Rd}$	Biegetragfähigkeit des Trägerquerschnitts
t_{fb}	Dicke des Trägerflansches

Komponente 11 und 12:**Abscheren und Lochleibung der Schrauben**

Unter Komponente 11 und 12 werden die üblichen Nachweise für Abscheren und Lochleibung nach EC 3 [1] geführt. Nachfolgend sind die Gleichungen für die entsprechenden Nachweise erläutert:

Abscherwiderstand:

$$F_{v,Rd} = \alpha_v \cdot A \cdot \frac{f_{ub}}{\gamma_{M2}} \quad (10)$$

Lochleibungswiderstand:

$$F_{b,Rd} = k_1 \cdot \alpha_b \cdot t \cdot \frac{d \cdot f_u}{\gamma_{M2}} \quad (11)$$

mit

α_v	Abminderungsbeiwert für Abscheren
A	Schraubenschaftquerschnittsfläche
f_{ub}	Zugfestigkeit des Schraubenwerkstoffs
k_1	Beiwert für Lochleibung
α_b	Abminderungsbeiwert für Lochleibung
t	Blechdicke des betrachteten Bauteils
d	Schraubengewindedurchmesser

Zusätzlich werden die Schrauben auf die Interaktionskombination „Zug + Abscheren“ untersucht.

Zug + Abscheren:

$$\frac{F_{t,Ed}}{1,4 F_{t,Rd}} + \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \leq 1,0 \quad (12)$$

mit

α_v	Abminderungsbeiwert für Abscheren
A	Schraubenschaftquerschnittsfläche
f_{ub}	Zugfestigkeit des Schraubenwerkstoffs
k_1	Beiwert für Lochleibung
α_b	Abminderungsbeiwert für Lochleibung
t	Blechdicke des betrachteten Bauteils
d	Schraubengewindedurchmesser

Komponente 19: Schweißnähte

Komponente 19 ist der Schweißnahtnachweis. Die Schweißnähte werden nach dem richtungsbezogenen Verfahren nachgewiesen und als Kehlnähte ausgeführt. Es werden alle Kraftrichtungen berücksichtigt und in Form der Vergleichsspannung nachgewiesen [1]:

$$\sigma_{V,w,Ed} = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq f_{vw,Rd} \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} \quad (13)$$

mit

$\sigma_{V,w,Ed}$	Bemessungswert der einwirkenden Vergleichsspannung der Schweißnaht
$\sigma_{\perp}$	Hauptspannung senkrecht zur Nahtebene
$\tau_{\perp}$	Schubspannung senkrecht zur Nahtebene
$\tau_{\parallel}$	Schubspannung parallel zur Nahtebene
$f_{vw,Rd}$	Bemessungswerte der Scherfestigkeit der Naht
f_u	Zugfestigkeit des schwächeren der angeschlossenen Bauteile
β_w	Korrelationsbeiwert nach [1]

Konstruktiv ausgeführte Schweißnähte:

$$\sum a_w \geq t \cdot \frac{f_y}{f_u} \cdot \sqrt{2} \cdot \beta_w \cdot \frac{\gamma_{M2}}{\gamma_{M0}} \quad (14)$$

mit

a_w	Nahtdicke Flansch bzw. Steg
t	Steg- bzw. Flanschdicke

Steifen [3]

Werden Stegsteifen angeordnet, werden zur Komponentenmethode zusätzlich Nachweise für Steifen und das Schubfeld (Komponente 9) geführt. Nach dem Kommentar zur DIN EN 1993-1-8 [2, Abs. 6.2.6.1): „Werden Steifen zur Erhöhung der Schubbeanspruchung verwendet, müssen diese in Druck- und Zugzone angeordnet werden...“. D.h., wenn Steifen gewählt werden, müssen je eine Druck- und eine Zugsteife angeordnet werden. Weiter wird ein Vollanschluss gefordert. Das bedeutet, eine umlaufende Schweißnaht muss ausgeführt werden. Hintergrund ist der Übertrag zusätzlicher Schubkräfte durch den Vierendeelmechanismus. Das Modul ermittelt Teilschnittgrößen in Schubfeld, Steifen und Schweißnähten. Die Steifen werden jeweils in Druck- und Zugzone nachgewiesen und auf Schub- und Vergleichsspannung geprüft. Die Schweißnähte werden nach dem richtungsbezogenen Verfahren bemessen. Die Ergebnisse werden in einer übersichtlichen Grafik dargestellt, um Geometrie, Winkel und Schnittgrößen des Schubfeldes zuordnen zu können (Bild 7).

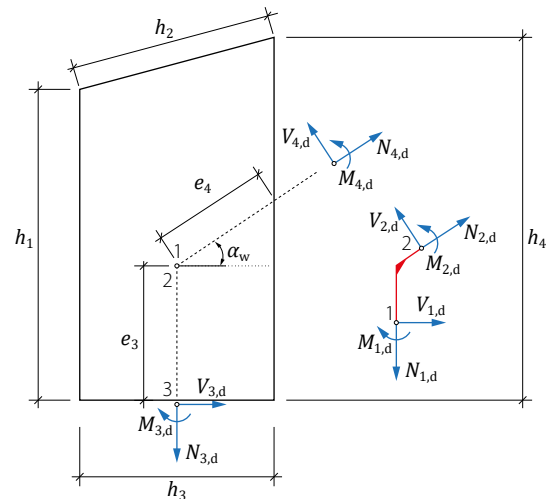


Bild 7. Schubfeld und Schnittgrößen

Momententragfähigkeit $M_{j,Rd}$

Beginnend mit der am weitesten vom Druckpunkt entfernt liegenden Schraubenreihe wird die Tragfähigkeit jeder Reihe $F_{tr,Rd}$ aus der Tragfähigkeit der schwächsten Komponente im Zugbereich bestimmt. Die jeweils zuletzt betrachtete Schraubenreihe kann aufgrund der Gleichgewichtsbedingungen auch durch die Tragfähigkeit der Komponenten im Druckbereich begrenzt sein.

Mit den Hebelarmen zu den einzelnen Schraubenreihen lässt sich die Biegetragfähigkeit $M_{j,Rd}$ wie folgt ermitteln:

$$M_{j,Rd} = \sum_r h_r \cdot F_{tr,Rd} \quad (15)$$

mit

h_r	Abstand der Schraubenreihe r vom Druckpunkt
$F_{tr,Rd}$	wirksame Grenzzugkraft der Schraubenreihe r auf Zug
r	Nummer der Schraubenreihe Die Nummerierung der Schraubenreihen beginnt mit der vom Druckpunkt am weitesten entfernt liegenden Schraubenreihe.

