

Schweißnähte am Ausleger einer "Betonpumpe"

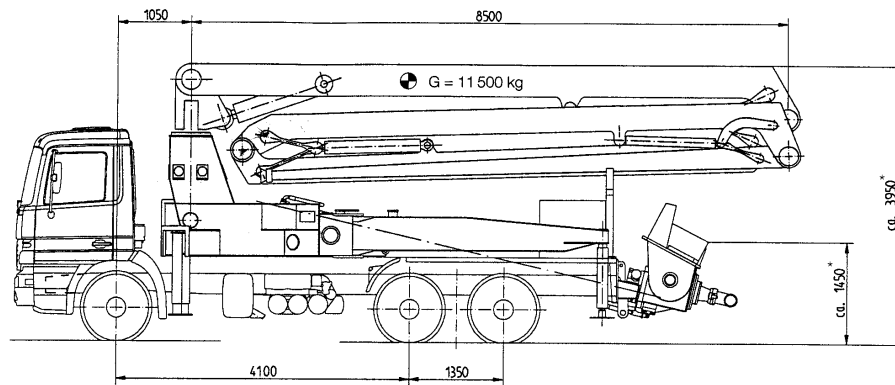
Stichworte: Hochfester Feinkornbaustahl, Ermüdung

0 Inhalt

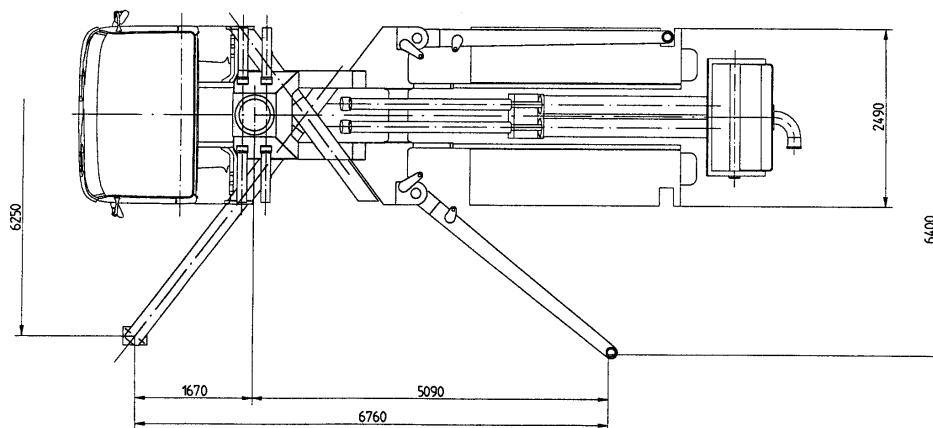
<u>0</u>	<u>Inhalt</u>	<u>1</u>
<u>1</u>	<u>Allgemeines</u>	<u>1</u>
<u>2</u>	<u>Verwendete Unterlagen</u>	<u>2</u>
2.1	Normen und Regelwerke	2
2.2	Projektbezogene Unterlagen (nicht im Skript enthalten)	3
<u>3</u>	<u>Berechnungsgang</u>	<u>3</u>
<u>4</u>	<u>Zahlenrechnung</u>	<u>3</u>
<u>5</u>	<u>Bemerkungen zur FEM</u>	<u>4</u>
<u>6</u>	<u>Verzeichnis der Anhänge</u>	<u>5</u>

1 Allgemeines

Das Beispiel stammt aus dem Bedarf der Fa. ELBA, D-76275 Ettlingen, einem süddeutschen Hersteller für "Betonpumpen" (auf normendeutsch: "Fahrbarer Betonverteilmast"). Den Auftrag durfte ich Ende 2002 für die Fa. ANAKON bearbeiten, ein hochspezialisiertes FEM-Ingenieurbüro in Karlsruhe.



* Fahrzeugabhängig
* Dependent on truck-type



(Quelle: Prospekt der Fa. ELBA)

2 **Verwendete Unterlagen**

2.1 **Normen und Regelwerke**

- [1] DIN 24117: Bau- und Baustoffmaschinen. Verteilermaste für Betonpumpen. Berechnungsgrundsätze und Standsicherheit. Juni 1987.
(Stand 09/02)
- [2] DASt Richtlinie 011: Hochfeste schweißgeeignete Feinkornbaustähle mit Mindeststreckgrenzenwerten von 460 und 690 N/mm² – Anwendung für Stahlbauten (02/88)
("überholt durch Zulassungsbescheide" - Quelle: Stahlbauvereinigung Baden-Württemberg, 05/97)
Hinweis:
in DIN 24117 ist Ausgabe Februar 1979 zitiert.

Ansonsten wird vorausgesetzt, daß Sie die DIN 15018 griffbereit haben ...

- [3] Wegerdt, C., Hanel, W., Hänel, B., Wirthgen, G., Zenner, H., Seeger, T.: FKM - Richtlinie: Rechnerischer Festigkeitsnachweis für Maschinenbauteile. 4. Auflage, VDMA Verlag, Forschungskuratorium Maschinenbau, Frankfurt, 2002.

2.2 Projektbezogene Unterlagen (nicht im Skript enthalten)

- 300.51 - 1550.3 - Blatt 1/2, Index 4 vom 13.07.01, Arm 2 EM 32/36-4, Fertigungszeichnung der Fa. ELBA, D-76275 Ettlingen.
- Standsicherheitsnachweis 178102 vom 25.01.03: Betonverteilmast EM 32/36-4, Fa. ANAKON, D-76131 Karlsruhe (Bearbeiter: Dr.-Ing. P. Knödel).

3 Berechnungsgang

Der Berechnungsgang wird in einer Powerpoint-Präsentation dargestellt.

Mit dem Beispiel möchte ich zeigen, daß die eigentliche "Berechnung", d.h. das Ermitteln der Querschnittswerte und der Schnittgrößen sowie das "Nachweisen" der Schweißnähte das kleinste Problem darstellt (siehe Abschnitt Zahlenrechnung).

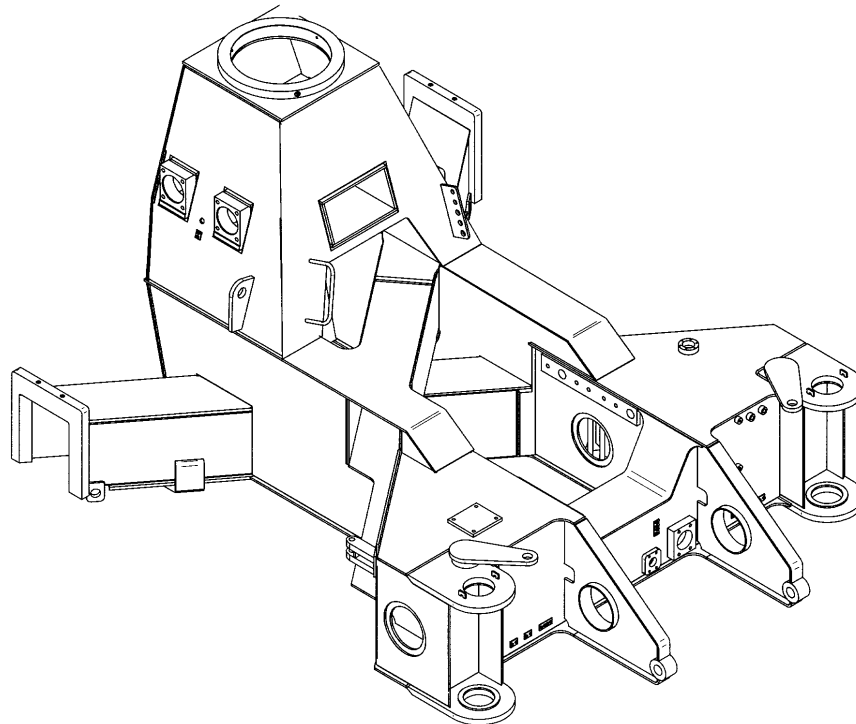
Eine "scharfe" Berechnung – und Berechnungen an ermüdungsbeanspruchten Konstruktionen sind aus wirtschaftlichen Gründen immer "scharf" – ist immer von dem Ringen um möglichst geringe Lastansätze, dem Ringen um möglichst geringe Zyklenzahlen und dem Ringen um möglichst günstige Einstufung der Kerbfälle geprägt. Das saloppe Anpeilen der "sicheren Seite" bei dem in jedem Zwischenschritt 10 % - 20 % verschenkt werden, ist nicht besonders wettbewerbsfähig.

4 Zahlenrechnung

Die Zahlenrechnung für eine beispielhafte Schweißnaht ist im Anhang wiedergegeben (Arm 2 bei $x = 9600$ mm, das ist 1100 mm vom Anfangsgelenk des Armes 2 entfernt).

Sie setzt voraus, daß Schnittgrößen und Querschnittswerte schon mit geeigneten Mitteln bestimmt wurden. Weitere Eingangsgrößen sind die zulässigen Spannungen nach DASt-Ri 011, die Beanspruchungsgruppe nach DIN 15018 sowie die zum ermittelten Kerbfall und zum Spannungsverhältnis κ (bzw. R) zugehörigen zulässigen Spannungen. Zur größeren Bequemlichkeit kann hier für "krumme" Spannungsverhältnisse κ aus den Tabellenwerten interpoliert werden. An Schluß werden die Ausnutzungsgrade für die Oberseite und Unterseite des Bauteiles ermittelt.

5 Bemerkungen zur FEM



(Hauptrahmen der Betonpumpe – Quelle: Fa. ELBA)

Kritische Thesen als Diskussionsgrundlage:

- Selbstverständlich kann man diese Schweißkonstruktion mit FEM rechnen
- man bekommt Ergebnisse, die man gar nicht wissen möchte
(d.h. an vielen "hot spots" deutliche Überschreitungen der Fließgrenze)
- Für vorwiegend ruhende Beanspruchung ist das kein Problem, da man z.B. die plastischen Dehnungen den Schweißnaht-Eigenschaften gegenüberstellen kann.
- Für häufig wiederkehrende Beanspruchung fehlt ein schlüssiges Bewertungskonzept.
Auch Bücher wie z.B.
Radaj, D., Sonsino, C.M.: Ermüdungsfestigkeit von Schweißverbindungen nach lokalen Konzepten. DVS-Verlag Düsseldorf 2000.
liefern nicht den gewünschten Durchblick.
- Die Hersteller von Software z.B. ANSYS (oder deren Verbündete) bieten Module oder Nachlaufprogramme an, die Ermüdung rechnen können (aber man weiß nicht genau wie), oder die ANSYS Ergebnisse nach der FKM-Richtlinie auswerten.

6 Verzeichnis der Anhänge

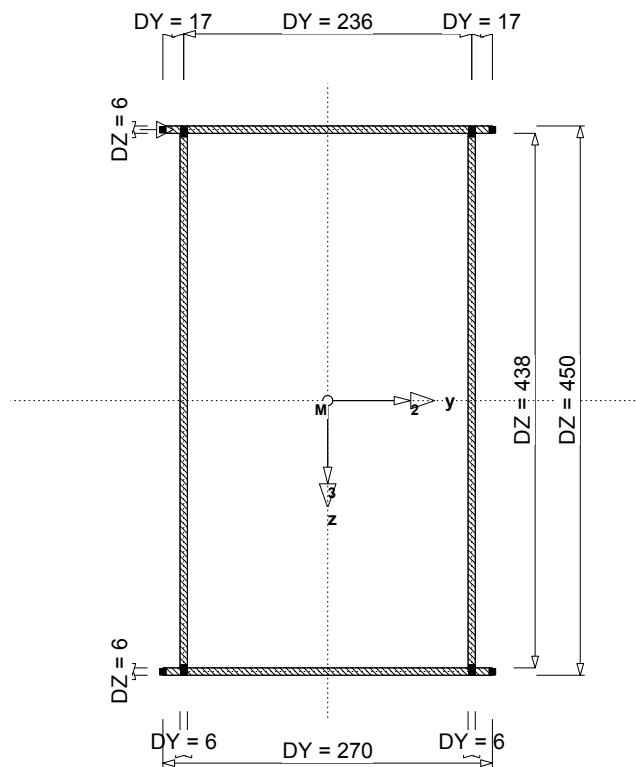
A2-3	Querschnittswerte für Arm 2 bei $x = 9600$ (3 Seiten)
LFH Arm2 N	Schnittgrößen für Arm 2, Lastfall H, Normalkraft N (1 Seite)
LFH Arm2 Q2	Schnittgrößen für Arm 2, Lastfall H, Querkraft Q2 (1 Seite)
LFH Arm2 Q3	Schnittgrößen für Arm 2, Lastfall H, Querkraft Q3 (1 Seite)
LFH Arm2 M2	Schnittgrößen für Arm 2, Lastfall H, Biegemoment M2 (1 Seite)
LFH Arm2 M3	Schnittgrößen für Arm 2, Lastfall H, Biegemoment M3 (1 Seite)
LFH Arm2 T	Schnittgrößen für Arm 2, Lastfall H, Torsionsmoment T (1 Seite)
LFH Arm2 sigv	Schnittgrößen für Arm 2, Lastfall H, Vergleichs-Spannungsausnutzung (1 Seite)
SPG2D-B2	Spannungs- und Betriebsfestigkeitsnachweise für Arm 2 bei $x = 9600$ mm für Beanspruchungsgruppe B2 (3 Seiten)
Skizze	Einklappzustand (1 Seite)
SPG2D-U	Spannungsnachweise wie vor, Unterspannung (1 Seite)
SPG2D-B1	Spannungs- und Betriebsfestigkeitsnachweise für Arm 2 bei $x = 9600$ mm für Beanspruchungsgruppe B1 (3 Seiten)
Skizze	Momentenkollektiv (1 Seite)

Querschnittsreihe: 178102 ELBA - EM32/36-4	Querschnitt: A2-3 Arm 2 Längenmarke 9600	Seite: 1 30.12.2002
--	--	----------------------------

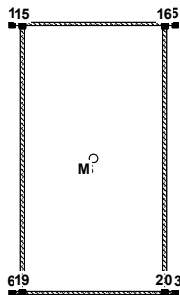
INHALT

Inhalt	1
Grafik des Querschnitts	1
Querschnittsdaten	
· Eckpunkte	1
· Materialdaten	2
· Elemente	2
Ergebnisse	
· Querschnittswerte	2
· Statische Momente	3

GRAFIK DES QUERSCHNITTS



61.951 mm



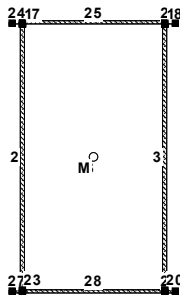
ECKPUNKTE

Punkt-Nr.	Koordinatensystem	Bezugspunkt	Eckpunkt-Koordinaten		Hauptachsen-Koordinaten	
			y [mm]	z [mm]	2 [mm]	3 [mm]
1	Kartesisch	-	-135.00	-222.00	-135.00	-222.00
2	Kartesisch	-	-118.00	-222.00	-118.00	-222.00
3	Kartesisch	-	118.00	-222.00	118.00	-222.00
5	Kartesisch	-	135.00	-222.00	135.00	-222.00
6	Kartesisch	-	-135.00	222.00	-135.00	222.00
8	Kartesisch	-	-118.00	222.00	-118.00	222.00
11	Kartesisch	-	118.00	222.00	118.00	222.00
13	Kartesisch	-	135.00	222.00	135.00	222.00
15	Kartesisch	-	-118.00	-219.00	-118.00	-219.00
16	Kartesisch	-	118.00	-219.00	118.00	-219.00
19	Kartesisch	-	-118.00	219.00	-118.00	219.00
20	Kartesisch	-	118.00	219.00	118.00	219.00

Querschnittsreihe: 178102 ELBA - EM32/36-4	Querschnitt: A2-3 Arm 2 Längenmarke 9600	Seite: 2 30.12.2002
--	--	----------------------------

MATERIALDATEN

Material-Nr.	Material-Bezeichnung	E-Modul [kN/cm ²]	G-Modul [kN/cm ²]	Sp. Gewicht [kN/m ³]	f-yk [kN/cm ²]
1	S 355	21000.00	8100.000	78.50000	35.50

ELEMENTE


Element-Nr.	Eckpunkte Anfang	Eckpunkte Ende	Dicke [mm]	Material-Nr.	Länge [mm]	Fläche [mm ²]	Kommentar
2	19	15	6.00	1	438.00	2627.9	
3	20	16	6.00	1	438.00	2627.9	
17	2	15	0.00	1	3.00	0.00	
18	3	16	0.00	1	3.00	0.00	
20	20	11	0.00	1	3.00	0.00	
23	19	8	0.00	1	3.00	0.00	
24	1	2	6.00	1	17.00	102.00	
25	2	3	6.00	1	236.00	1416.0	
26	3	5	6.00	1	17.00	102.00	
27	6	8	6.00	1	17.00	102.00	
28	8	11	6.00	1	236.00	1416.0	
29	11	13	6.00	1	17.00	102.00	

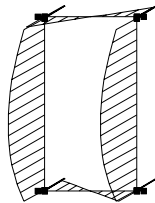
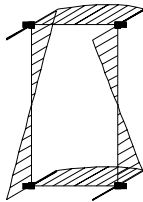
QUERSCHNITTSWERTE

Bezeichnung	Symbol	Größe	Einheit	Kommentar
Querschnittsfläche	A	84.960	cm ²	
Schubflächen	A-2	20.314	cm ²	
	A-3	49.154	cm ²	
Schwerpunkt-Lage	y-S	0.000	cm	bezogen auf Nullpunkt
	z-S	0.000	cm	
Flächenmomente 2. Grades	I-y	24371.800	cm ⁴	bezogen auf Schwerachsen y, z
	I-z	9288.330	cm ⁴	
	I-yz	0.000	cm ⁴	
Hauptachsenwinkel	Alpha	0.00	Grad	positiv im Uhrzeigersinn
Hauptflächenmomente 2. Grades	I-2	24371.800	cm ⁴	bezogen auf die Hauptachsen 2,3 i
	I-3	9288.330	cm ⁴	
Polare Flächenmomente 2. Ordnung	I-p	33660.100	cm ⁴	
	I-p,M	33660.100	cm ⁴	bezogen auf Schubmittelpunkt M
Trägheitsradien	i-y	16.937	cm	bezogen auf den Schwerpunkt
	i-z	10.456	cm	
	i-yz	0.000	cm	
Haupt-Trägheitsradien	i-2	16.937	cm	bezogen auf die Hauptachsen 2,3 i
	i-3	10.456	cm	
Polare Trägheitsradien	i-p	19.904	cm	
	i-p,M	19.904	cm	bezogen auf Schubmittelpunkt M
	i-Om,M	2.501	cm	
Querschnittsgewicht	G	66.694	kg/m	
Querschnittsumfang	U	150.800	cm	ohne Zellen-Innenseiten
Torsionsflächenmoment 2. Grades	I-T	19386.100	cm ⁴	Summe von I-T StVen und I-T Bre
- St. Venantsche Torsion	I-T StVen	10.195	cm ⁴	
- Bredtsche Torsion	I-T Bredt	19375.900	cm ⁴	
Schubmittelpunkt-Lage	y-M (0)	0.000	cm	bezogen auf Nullpunkt
	z-M (0)	0.000	cm	
	y-M (S)	0.000	cm	bezogen auf Schwerpunkt
	z-M (S)	0.000	cm	
Wölbwiderstand	C-S	210553.000	cm ⁶	bezogen auf Schwerpunkt
	C-M	210553.000	cm ⁶	bezogen auf Schubmittelpunkt
Hilfswert für Wölbverdrehung	R-Om,M	10822.100	cm ⁶	bezogen auf Schubmittelpunkt
	r-Om,M	0.051		
Widerstandsmomente	W-2 max	1083.190	cm ³	im Eckpunkt 8
	W-2 min	-1083.190	cm ³	im Eckpunkt 2
	W-3 max	688.025	cm ³	im Eckpunkt 5
	W-3 min	-688.025	cm ³	im Eckpunkt 1
	W-y max	1083.190	cm ³	im Eckpunkt 8
	W-y min	-1083.190	cm ³	im Eckpunkt 2

Querschnittsreihe: 178102 ELBA - EM32/36-4	Querschnitt: A2-3 Arm 2 Längenmarke 9600	Seite: 3 30.12.2002
--	--	----------------------------

QUERSCHNITTSWERTE

Bezeichnung	Symbol	Größe	Einheit	Kommentar
Widerstandsmomente	W-z max	688.025	cm ³	im Eckpunkt 5
	W-z min	-688.025	cm ³	im Eckpunkt 1
Wölb-Widerstandsmomente	W-Om ma	1786.330	cm ⁴	im Eckpunkt 13
	W-Om min	-1786.330	cm ⁴	im Eckpunkt 6
Querschnittsstrecken	r-2	0.000	cm	
	r-3	0.000	cm	
Abklingfaktor	Lambda	0.188451000	1/cm	
Vollplastisches Moment	M-pl,y	459.66	kNm	ohne Interaktionsbeziehungen!
	M-pl,z	297.81	kNm	
Plastisches Widerstandsmoment	Wpl,y	1294.810	cm ³	Alpha-pl,2: 1.20
	Wpl,z	838.908	cm ³	Alpha-pl,3: 1.22
Lage der Flächenhalbierenden	f-y	0.000	cm	bezogen auf Schwerpunkt S
	f-z	0.000	cm	
Vollplastische Querkraft	Vpl,y	416.36	kN	
	Vpl,z	1007.47	kN	
Vollplastische Normalkraft	N-pl	3016.08	kN	
Vollplastisches Wölbmoment	M-w-pl	74.83	kNm ²	

Statische Momente S-2

Statische Momente S-3

STATISCHE MOMENTE

Elem-Nr.	S-Verlauf Eckpunkt	Abstand s [mm]	S-2 [cm ³]	S-3 [cm ³]	Max S-2 [cm ³] an Stelle [mm]	Max S-3 [cm ³] an Stelle [mm]	Zellenfläche A* [cm ²]
2	19	0.00	-179.820	-155.052	-323.703	155.052	1047.840
		219.00	-323.703	0.000	219.000	438.000	
		438.00	-179.820	155.052			
3	20	0.00	-179.820	155.052	-323.703	-155.052	-1047.840
		219.00	-323.703	0.000	219.000	438.000	
		438.00	-179.820	-155.052			
17	2	0.00	179.820	-155.052	179.820	-155.052	-1047.840
		1.50	179.820	-155.052	3.000	3.000	
		3.00	179.820	-155.052			
18	3	0.00	179.820	155.052	179.820	155.052	1047.840
		1.50	179.820	155.052	0.000	0.000	
		3.00	179.820	155.052			
20	20	0.00	179.820	-155.052	179.820	-155.052	1047.840
		1.50	179.820	-155.052	0.000	0.000	
		3.00	179.820	-155.052			
23	19	0.00	179.820	155.052	179.820	155.052	-1047.840
		1.50	179.820	155.052	0.000	0.000	
		3.00	179.820	155.052			
24	1	0.00	0.000	0.000	22.644	12.903	0.000
		8.50	11.322	6.668	17.000	17.000	
		17.00	22.644	12.903			
25	2	0.00	-157.176	167.955	-157.176	209.727	1047.840
		118.00	0.000	209.727	0.000	118.000	
		236.00	157.176	167.955			
26	3	0.00	-22.644	12.903	-22.644	12.903	0.000
		8.50	-11.322	6.668	0.000	0.000	
		17.00	0.000	0.000			
27	6	0.00	0.000	0.000	-22.644	12.903	0.000
		8.50	-11.322	6.668	17.000	17.000	
		17.00	-22.644	12.903			
28	8	0.00	157.176	167.955	157.176	209.727	-1047.840
		118.00	0.000	209.727	0.000	118.000	
		236.00	-157.176	167.955			
29	11	0.00	22.644	12.903	22.644	12.903	0.000
		8.50	11.322	6.668	0.000	0.000	
		17.00	0.000	0.000			

Projekt: 178102
 ELBA - EM32/36-4

Position: A21

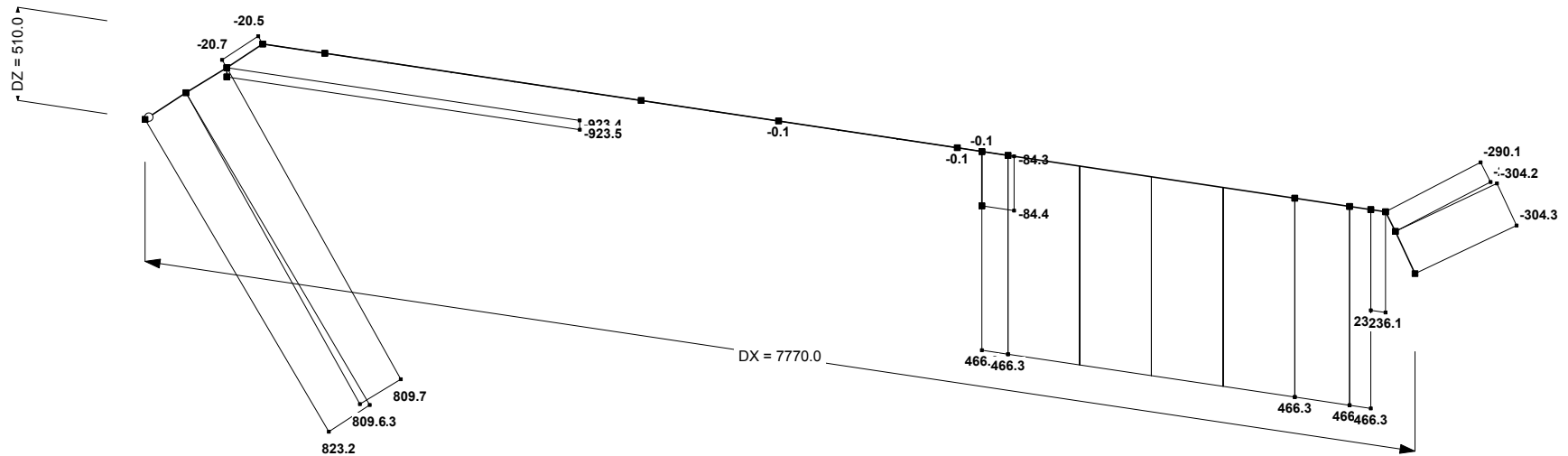
Seite: 1

22.01.2003

ERGEBNISSE

LK 2 - DIN 24117 LF H
 Max Schnittgrößen N
 Extreme Auflagerreaktionen

Isometrie



Max N: 823.32 kN

154.656 kN

Projekt: 178102
ELBA - EM32/36-4

Position: A21

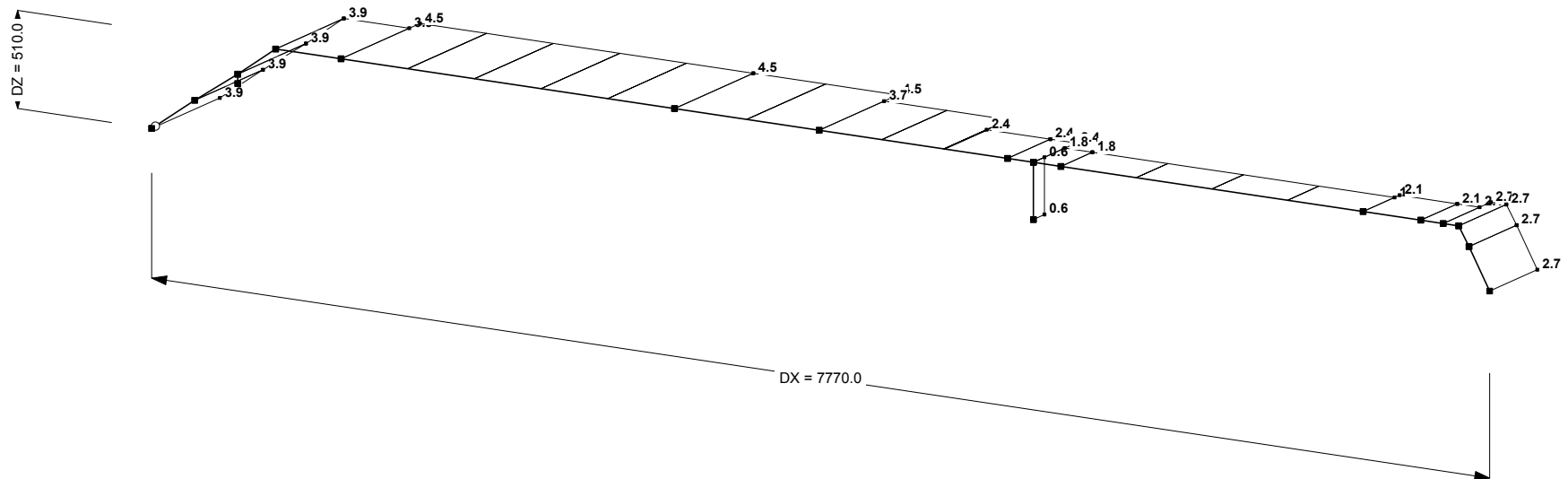
Seite: 1

22.01.2003

ERGEBNISSE

LK 2 - DIN 24117 LF H
Max Schnittgrößen Q-2
Extremale Auflagerreaktionen

Isometrie



Max Q-2: 4.48 kN

1.926 kN



Projekt: 178102
ELBA - EM32/36-4

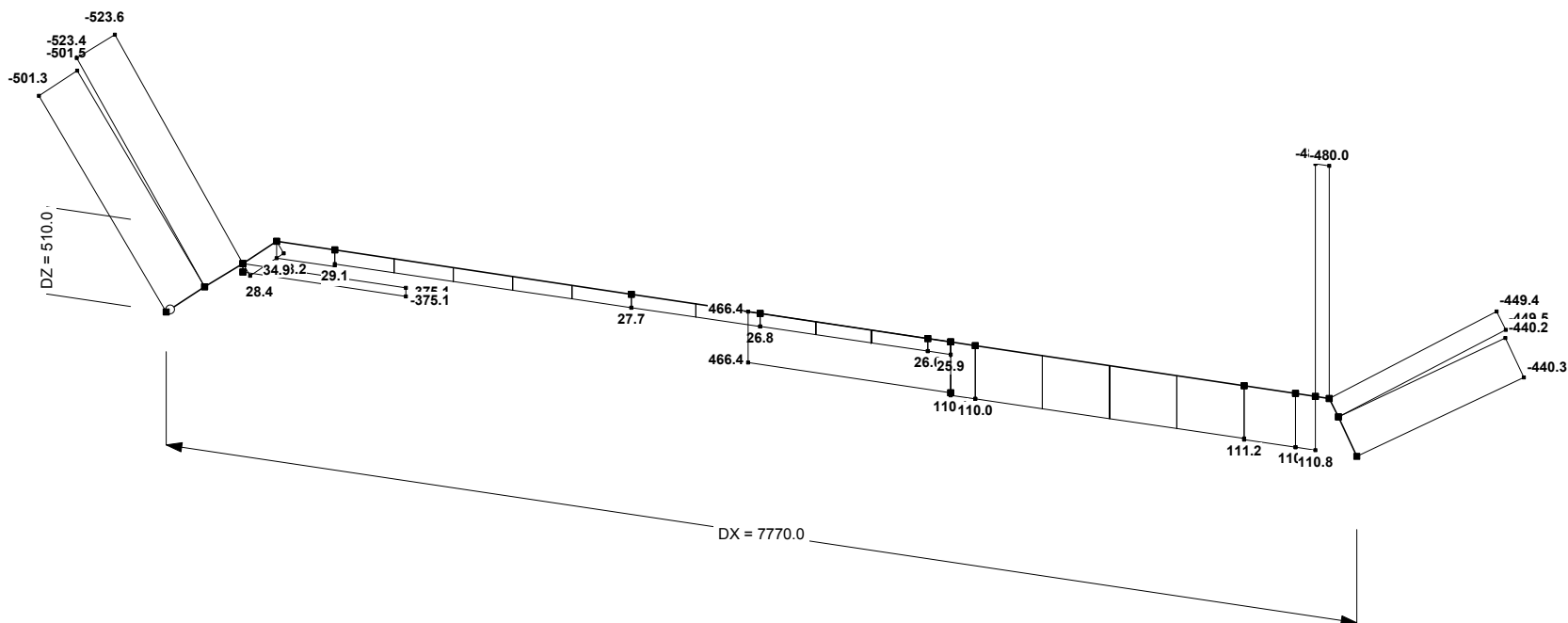
Position: A21

Seite: 1
22.01.2003

ERGEBNISSE

LK 2 - DIN 24117 LF H
Max Schnittgrößen Q-3
Extremale Auflagerreaktionen

Isometrie



Max Q-3: 466.39 kN

141.834 kN

Projekt: 178102
 ELBA - EM32/36-4

Position: A21

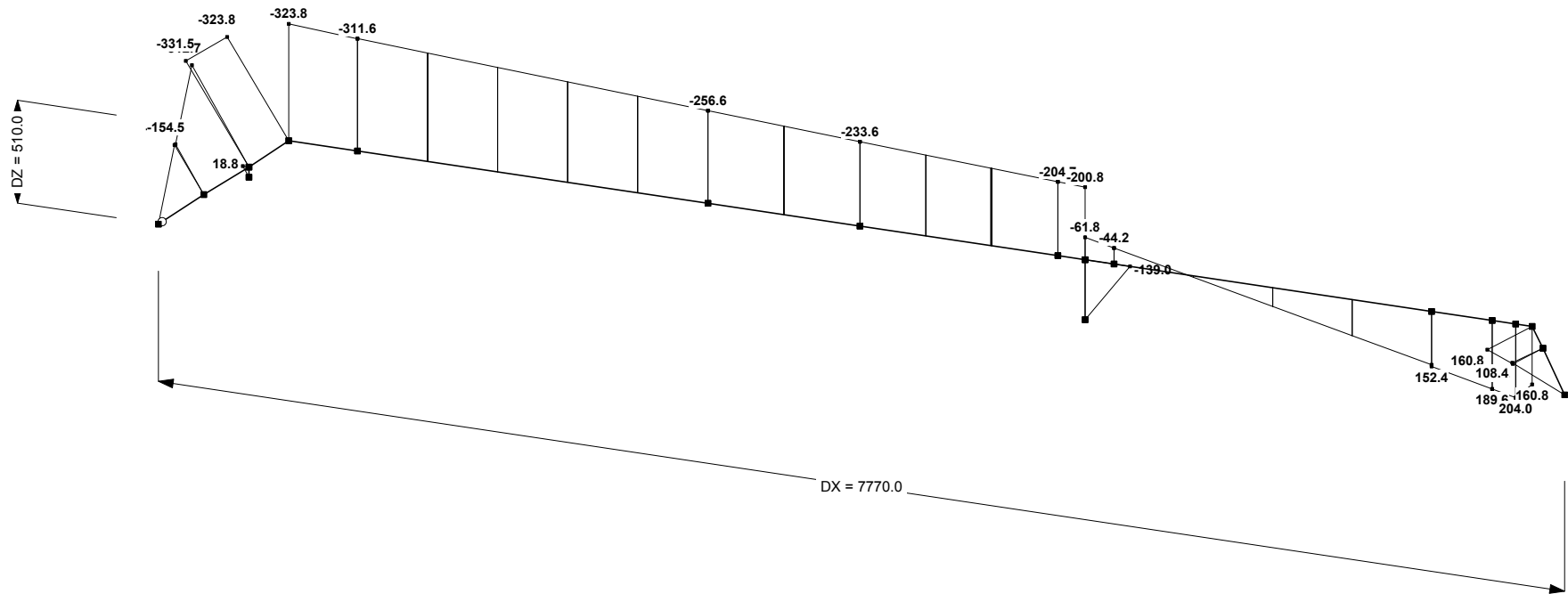
Seite: 1

22.01.2003

ERGEBNISSE

LK 2 - DIN 24117 LF H
 Max Schnittgrößen M-2
 Extreme Auflagerreaktionen

Isometrie



Max M-2: 204.00 kNm

180.130 kNm



Projekt: 178102
ELBA - EM32/36-4

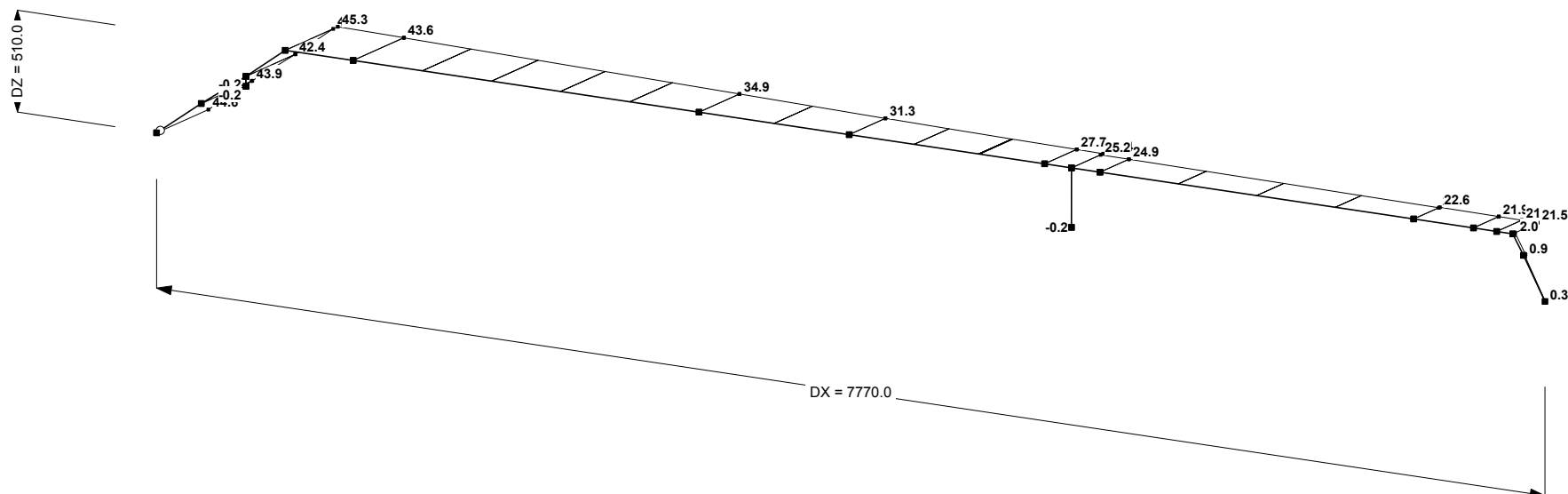
Position: A21

Seite: 1
22.01.2003

ERGEBNISSE

LK 2 - DIN 24117 LF H
Max Schnittgrößen M-3
Extremale Auflagerreaktionen

Isometrie



Max M-3: 45.32 kNm

28.927 kNm

Projekt: 178102
 ELBA - EM32/36-4

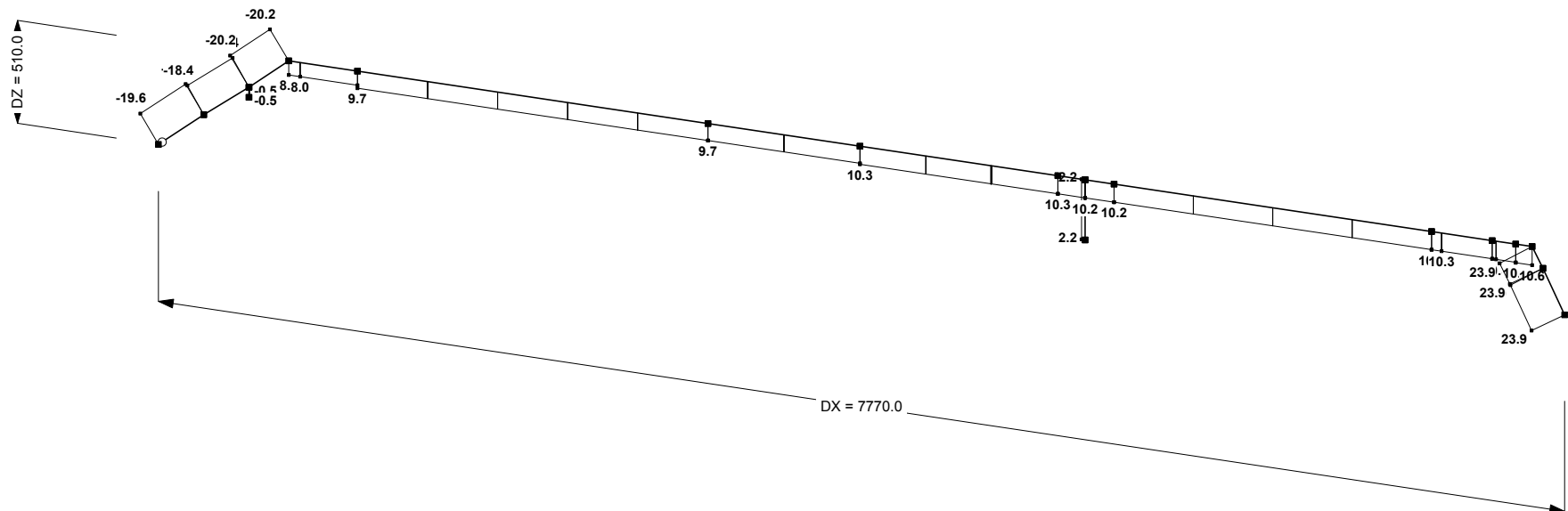
Position: A21

Seite: 1
 22.01.2003

ERGEBNISSE

LK 2 - DIN 24117 LF H
 Max Schnittgrößen T
 Extreme Auflagerreaktionen

Isometrie



Max T: 23.94 kNm

36.890 kNm



Projekt: 178102
ELBA - EM32/36-4

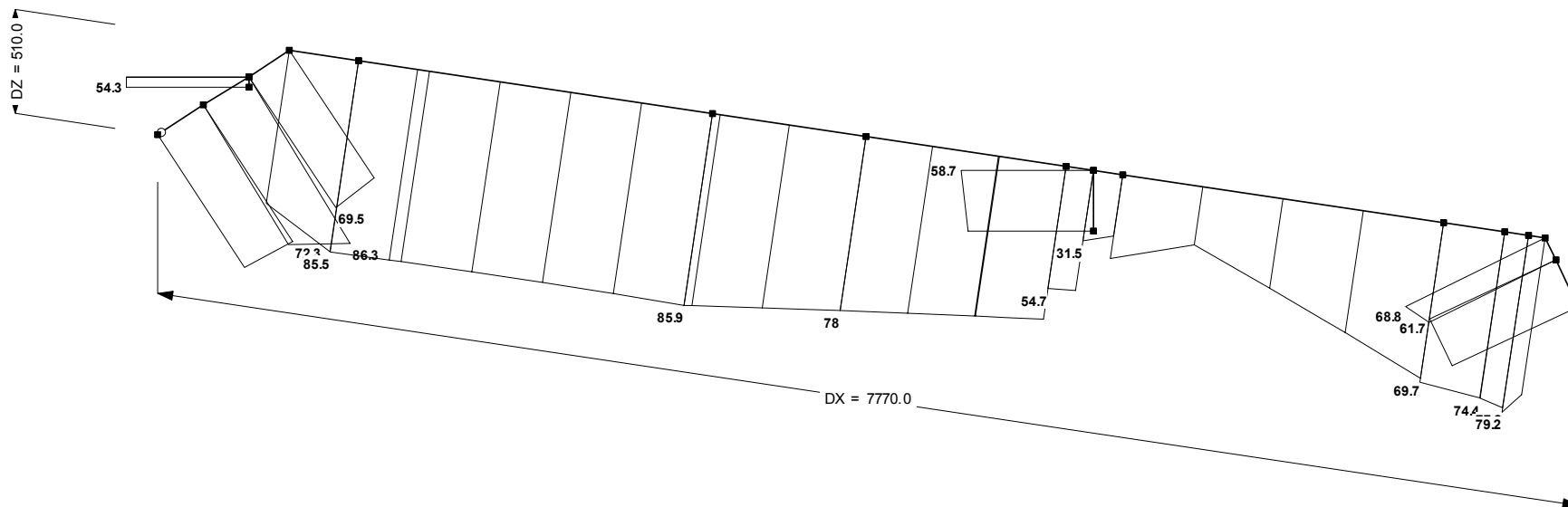
Position: A21

Seite: 1
26.01.2003

SPANNUNGS AUSNUTZUNG

STAHL2 - DIN 24117 LF H
Sigma-v

Isometrie



Max = 86.3%

Spannungsnachweise + Betriebsfestigkeitsnachweise nach DAST-Ri 011 für einfachsymmetrische Querschnitte

(Formular SpgNachw+DF DAST-011 02-12-18.mcd)

Bauteil Arm 2
 Stelle x = 9600 mm
 Index 1: Oberseite des Querschnittes, Index 2: Unterseite i := 1..2

Schnittgrößen aus RSTAB (siehe Anhang SG2)

LF := "H"

$N_x := 0 \text{ kN}$ M2: $M_y := -312 \text{ kNm}$
 Q3: $V_z := 29 \text{ kN}$ M3: $M_z := 43.6 \text{ kNm}$

Querschnittswerte aus DUENQ: A2-3 (siehe Anhang A2-3)

$A := 85 \text{ cm}^2$ W2: $W_z := \begin{pmatrix} 1083 \\ 1083 \end{pmatrix} \cdot \text{cm}^3$ $S := \begin{pmatrix} 180 \\ 180 \end{pmatrix} \cdot \text{cm}^3$
 I2: $I := 24370 \text{ cm}^4$ W3: $W_3 := 688 \text{ cm}^3$ $S_{\max} := 324 \text{ cm}^3$

Maßgebende Stegdicke an der Halsnaht oder gesamte Halsnahtdicke a := 6 mm
 Stegdicke an der neutralen Faser a₀ := 6 mm

Einzelspannungen

$$\sigma_N := \frac{N_x}{A} \quad \sigma := \begin{pmatrix} \frac{-M_y}{W_{z_1}} \\ \frac{M_y}{W_{z_2}} \end{pmatrix} \quad \sigma_3 := \frac{M_z}{W_3} \quad \tau := \frac{V_z \cdot S}{I \cdot a} \quad \tau_{\max} := \frac{V_z \cdot S_{\max}}{I \cdot a_0}$$

$$\sigma_N = 0 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \sigma = \begin{pmatrix} 288 \\ -288 \end{pmatrix} \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \sigma_3 = 63 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \tau = \begin{pmatrix} 4 \\ 4 \end{pmatrix} \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \tau_{\max} = 6 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Maximale Beträge der Normalspannungen:

$$\sigma_{\max_i} := \text{wenn} \left(\sigma_i > 0 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}, \sigma_i + \sigma_N + \sigma_3, \sigma_i + \sigma_N - \sigma_3 \right) \quad \sigma_{\max} = \begin{pmatrix} 351 \\ -351 \end{pmatrix} \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Vergleichsspannung: Steg neben der Halsnaht	$\sigma_v := \sqrt{\sigma_{\max}^2 + 3 \cdot \tau^2}$	$\sigma_v = \left(\frac{352}{352} \right) \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$
Vergleichswert: Halsnaht	$\sigma_{w.v} := \sqrt{\sigma_{\max}^2 + \tau^2}$	$\sigma_{w.v} = \left(\frac{351}{351} \right) \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

Zulässige Bauteil-Spannungen nach Tabelle 4 für:

LF = "H"

$\sigma_{\text{zul}} := 410 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$	$\tau_{\text{zul}} := 240 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$
---	---

Zulässige Schweißnaht-Spannungen nach Tabelle 6 für:
 (Beanspruchungsart und Nahtgüte beachten)

LF = "H"

$\sigma_{w.\text{zul}} := 410 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$	$\sigma_{w.\text{zul.min}} := -410 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$	$\tau_{w.\text{zul}} := 240 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$
---	--	---

Spannungsnachweise Bauteil:

Außenfasern	$\eta_{\sigma_i} := \frac{ \sigma_{\max_i} }{\sigma_{\text{zul}}}$	$\eta_{\sigma} = \left(\frac{0.857}{0.857} \right)$
Halsschub	$\eta_{\sigma v.\text{Hals}} := \frac{\sigma_v}{\sigma_{\text{zul}}}$	$\eta_{\sigma v.\text{Hals}} = \left(\frac{0.857}{0.857} \right)$
Max. Schub	$\eta_{\tau.\text{max}} := \frac{\tau_{\text{max}}}{\tau_{\text{zul}}}$	$\eta_{\tau.\text{max}} = 0.027$

Spannungsnachweise Schweißnaht:

Stumpfnahht Flansche	$\eta_{\sigma w_i} := \text{wenn} \left(\sigma_{\max_i} > 0 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}, \frac{\sigma_{\max_i}}{\sigma_{w.\text{zul}}}, \frac{\sigma_{\max_i}}{\sigma_{w.\text{zul.min}}} \right)$	$\eta_{\sigma w} = \left(\frac{0.857}{0.857} \right)$
Halsnaht	$\eta_{\sigma w v.\text{Hals}} := \frac{\sigma_{w.v}}{\sigma_{w.\text{zul}}}$	$\eta_{\sigma w v.\text{Hals}} = \left(\frac{0.857}{0.857} \right)$

Betriebsfestigkeitsnachweis:

Beanspruchungsgruppe B2

Maßgebender Kerbfall für die Oberseite des Querschnittes
 dito Unterseite

$$KF := \begin{pmatrix} "K2" \\ "K3" \end{pmatrix}$$

maßgebendes Spannungsverhältnis
 mit den benachbarten Werten eingeben

$$\kappa := \begin{pmatrix} 0.1 \\ 0.17 \\ 0.2 \end{pmatrix}$$

Für die unter KF angegebenen Kerbfälle zugehörige Oberspannungen eingeben:

			Zug	Druck
für	KF ₁ = "K2"	und	$\kappa_1 = 0.10$	$\sigma_{Be1} := \begin{pmatrix} 412 & -503 \\ 453 & -566 \end{pmatrix} \frac{N}{mm^2}$
			$\kappa_3 = 0.20$	
dito für	KF ₂ = "K3"			$\sigma_{Be2} := \begin{pmatrix} 294 & -359 \\ 323 & -404 \end{pmatrix} \frac{N}{mm^2}$

Interpolieren für $\kappa_2 = 0.17$

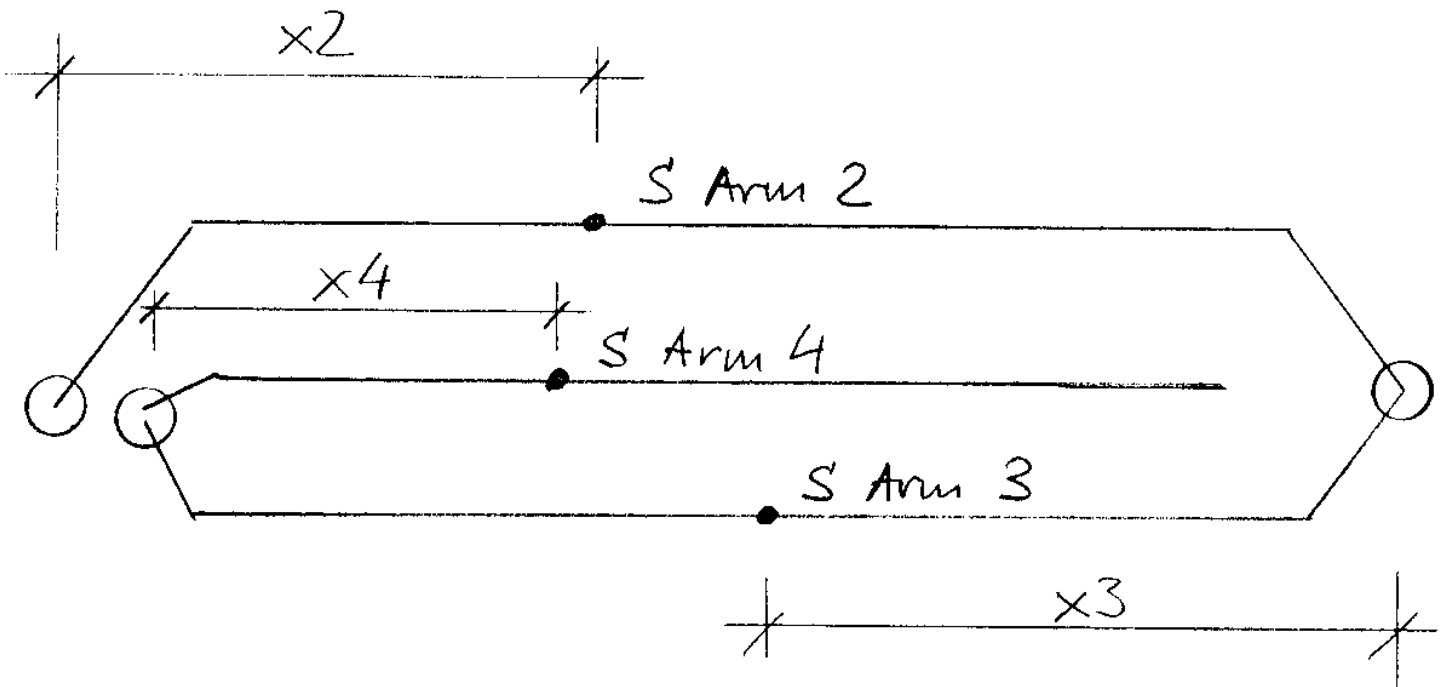
$$\sigma_{Be1zul} := \frac{(\sigma_{Be1T})^{(2)} - (\sigma_{Be1T})^{(1)}}{\kappa_3 - \kappa_1} \cdot (\kappa_2 - \kappa_1) + (\sigma_{Be1T})^{(1)} \quad \sigma_{Be1zul} = \begin{pmatrix} 441 \\ -547 \end{pmatrix} \frac{N}{mm^2}$$

$$\sigma_{Be2zul} := \frac{(\sigma_{Be2T})^{(2)} - (\sigma_{Be2T})^{(1)}}{\kappa_3 - \kappa_1} \cdot (\kappa_2 - \kappa_1) + (\sigma_{Be2T})^{(1)} \quad \sigma_{Be2zul} = \begin{pmatrix} 314 \\ -391 \end{pmatrix} \frac{N}{mm^2}$$

Oberseite $\eta_{Be1} := \text{wenn} \left(\sigma_{\max_1} > 0, \frac{\sigma_{\max_1}}{\sigma_{Be1zul_1}}, \frac{\sigma_{\max_1}}{\sigma_{Be1zul_2}} \right) \quad \eta_{Be1} = 0.798$

Unterseite $\eta_{Be2} := \text{wenn} \left(\sigma_{\max_2} > 0, \frac{\sigma_{\max_2}}{\sigma_{Be2zul_1}}, \frac{\sigma_{\max_2}}{\sigma_{Be2zul_2}} \right) \quad \eta_{Be2} = 0.900$

Schub wird nicht maßgebend



Spannungsnachweise für einfachsymmetrische Querschnitte hier: Unterspannung

(Formular SpgNachw+DF DAST-011 02-12-18.mcd)

Bauteil: Arm 2
 Stelle: x = 9600 mm
 Index 1: Oberseite des Querschnittes, Index 2: Unterseite i := 1..2

Schnittgrößen aus RSTAB (siehe Anhang SG2)

LF := "LK6"

$N_x := 0 \text{ kN}$
 M2: $M_y := -132 \text{ kNm}$
 Q3: $V_z := 13.9 \text{ kN}$
 M3: $M_z := 43.6 \text{ kNm}$

Querschnittswerte aus DUENQ:

A2-3 (siehe Anhang A2-3)

$A := 85 \text{ cm}^2$
 W2: $W_z := \begin{pmatrix} 1083 \\ -1083 \end{pmatrix} \cdot \text{cm}^3$
 $S := \begin{pmatrix} 180 \\ 180 \end{pmatrix} \cdot \text{cm}^3$
 I2: $I := 24370 \text{ cm}^4$
 W3: $W_3 := 688 \text{ cm}^3$
 $S_{\max} := 324 \text{ cm}^3$

Maßgebende Stegdicke an der Halsnaht oder gesamte Halsnahtdicke a := 6 mm
 Stegdicke an der neutralen Faser a₀ := 6 mm

Einzelspannungen

$$\sigma_N := \frac{N_x}{A} \quad \sigma := \begin{pmatrix} \frac{-M_y}{W_{z_1}} \\ \frac{M_y}{W_{z_2}} \end{pmatrix} \quad \sigma_3 := \frac{M_z}{W_3} \quad \tau := \frac{V_z \cdot S}{I \cdot a} \quad \tau_{\max} := \frac{V_z \cdot S_{\max}}{I \cdot a_0}$$

$$\sigma_N = 0 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \sigma = \begin{pmatrix} 122 \\ -122 \end{pmatrix} \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \sigma_3 = 63 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \tau = \begin{pmatrix} 2 \\ 2 \end{pmatrix} \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \tau_{\max} = 3 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Minimale Beträge der Normalspannungen:

$$\sigma_{\max_1} := \text{wenn} \left[\sigma_i > 0 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}, \sigma_i + \sigma_N - \sigma_3, (\sigma_i + \sigma_N) + \sigma_3 \right] \quad \sigma_{\max} = \begin{pmatrix} 59 \\ -59 \end{pmatrix} \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Spannungsnachweise + Betriebsfestigkeitsnachweise nach DAST-Ri 011 für einfachsymmetrische Querschnitte

(Formular SpgNachw+DF DAST-011 02-12-18.mcd)

Bauteil Arm 2
 Stelle x = 9600 mm
 Index 1: Oberseite des Querschnittes, Index 2: Unterseite i := 1..2

Schnittgrößen aus RSTAB (siehe Anhang SG2)

LF := "H"

$N_x := 0 \text{ kN}$ M2: $M_y := -312 \text{ kNm}$
 Q3: $V_z := 29 \text{ kN}$ M3: $M_z := 43.6 \text{ kNm}$

Querschnittswerte aus DUENQ: A2-3 (siehe Anhang A2-3)

$A := 85 \text{ cm}^2$ W2: $W_z := \begin{pmatrix} 1083 \\ 1083 \end{pmatrix} \cdot \text{cm}^3$ $S := \begin{pmatrix} 180 \\ 180 \end{pmatrix} \cdot \text{cm}^3$
 I2: $I := 24370 \text{ cm}^4$ W3: $W_3 := 688 \text{ cm}^3$ $S_{\max} := 324 \text{ cm}^3$

Maßgebende Stegdicke an der Halsnaht oder gesamte Halsnahtdicke a := 6 mm
 Stegdicke an der neutralen Faser a₀ := 6 mm

Einzelspannungen

$$\sigma_N := \frac{N_x}{A} \quad \sigma := \begin{pmatrix} \frac{-M_y}{W_{z_1}} \\ \frac{M_y}{W_{z_2}} \end{pmatrix} \quad \sigma_3 := \frac{M_z}{W_3} \quad \tau := \frac{V_z \cdot S}{I \cdot a} \quad \tau_{\max} := \frac{V_z \cdot S_{\max}}{I \cdot a_0}$$

$$\sigma_N = 0 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \sigma = \begin{pmatrix} 288 \\ -288 \end{pmatrix} \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \sigma_3 = 63 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \tau = \begin{pmatrix} 4 \\ 4 \end{pmatrix} \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \tau_{\max} = 6 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Maximale Beträge der Normalspannungen:

$$\sigma_{\max_i} := \text{wenn} \left(\sigma_i > 0 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}, \sigma_i + \sigma_N + \sigma_3, \sigma_i + \sigma_N - \sigma_3 \right) \quad \sigma_{\max} = \begin{pmatrix} 351 \\ -351 \end{pmatrix} \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Vergleichsspannung:
 Steg neben der Halsnaht

$$\sigma_v := \sqrt{\sigma_{\max}^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

$$\sigma_v = \left(\frac{352}{352} \right) \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Vergleichswert:
 Halsnaht

$$\sigma_{w.v} := \sqrt{\sigma_{\max}^2 + \tau^2}$$

$$\sigma_{w.v} = \left(\frac{351}{351} \right) \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Zulässige Bauteil-Spannungen nach Tabelle 4 für:

LF = "H"

$$\sigma_{\text{zul}} := 410 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\tau_{\text{zul}} := 240 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Zulässige Schweißnaht-Spannungen nach Tabelle 6 für:
 (Beanspruchungsart und Nahtgüte beachten)

LF = "H"

$$\sigma_{w.\text{zul}} := 410 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{w.\text{zul.min}} := -410 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\tau_{w.\text{zul}} := 240 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Spannungsnachweise Bauteil:

Außenfasern

$$\eta_{\sigma_i} := \frac{|\sigma_{\max_i}|}{\sigma_{\text{zul}}}$$

$$\eta_{\sigma} = \left(\frac{0.857}{0.857} \right)$$

Halsschub

$$\eta_{\sigma_v.\text{Hals}} := \frac{\sigma_v}{\sigma_{\text{zul}}}$$

$$\eta_{\sigma_v.\text{Hals}} = \left(\frac{0.857}{0.857} \right)$$

Max. Schub

$$\eta_{\tau.\text{max}} := \frac{\tau_{\max}}{\tau_{\text{zul}}}$$

$$\eta_{\tau.\text{max}} = 0.027$$

Spannungsnachweise Schweißnaht:

Stumpfnahht Flansche $\eta_{\sigma w_i} := \text{wenn} \left(\sigma_{\max_i} > 0 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}, \frac{\sigma_{\max_i}}{\sigma_{w.\text{zul}}}, \frac{\sigma_{\max_i}}{\sigma_{w.\text{zul.min}}} \right) \eta_{\sigma w} = \left(\frac{0.857}{0.857} \right)$

Halsnaht

$$\eta_{\sigma w v.\text{Hals}} := \frac{\sigma_{w.v}}{\sigma_{w.\text{zul}}}$$

$$\eta_{\sigma w v.\text{Hals}} = \left(\frac{0.857}{0.857} \right)$$

Betriebsfestigkeitsnachweis:

Beanspruchungsgruppe B1

Maßgebender Kerbfall für die Oberseite des Querschnittes
 dito Unterseite

$$KF := \begin{pmatrix} "K2" \\ "K3" \end{pmatrix}$$

maßgebendes Spannungsverhältnis
 mit den benachbarten Werten eingeben

$$\kappa := \begin{pmatrix} -0.3 \\ -0.25 \\ -0.2 \end{pmatrix}$$

Für die unter KF angegebenen Kerbfälle zugehörige Oberspannungen eingeben:

			Zug	Druck
für	$KF_1 = "K2"$	und	$\kappa_1 = -0.30$	$\sigma_{Be1} := \begin{pmatrix} 433 & -480 \\ 458 & -520 \end{pmatrix} \frac{N}{mm^2}$
			$\kappa_3 = -0.20$	
dito für	$KF_2 = "K3"$			$\sigma_{Be2} := \begin{pmatrix} 309 & -343 \\ 328 & -371 \end{pmatrix} \frac{N}{mm^2}$

Interpolieren für $\kappa_2 = -0.25$

$$\sigma_{Be1zul} := \frac{(\sigma_{Be1T})^{(2)} - (\sigma_{Be1T})^{(1)}}{\kappa_3 - \kappa_1} \cdot (\kappa_2 - \kappa_1) + (\sigma_{Be1T})^{(1)} \quad \sigma_{Be1zul} = \begin{pmatrix} 446 \\ -500 \end{pmatrix} \frac{N}{mm^2}$$

$$\sigma_{Be2zul} := \frac{(\sigma_{Be2T})^{(2)} - (\sigma_{Be2T})^{(1)}}{\kappa_3 - \kappa_1} \cdot (\kappa_2 - \kappa_1) + (\sigma_{Be2T})^{(1)} \quad \sigma_{Be2zul} = \begin{pmatrix} 319 \\ -357 \end{pmatrix} \frac{N}{mm^2}$$

Oberseite $\eta_{Be1} := \text{wenn} \left(\sigma_{\max_1} > 0, \frac{\sigma_{\max_1}}{\sigma_{Be1zul_1}}, \frac{\sigma_{\max_1}}{\sigma_{Be1zul_2}} \right) \quad \eta_{Be1} = 0.789$

Unterseite $\eta_{Be2} := \text{wenn} \left(\sigma_{\max_2} > 0, \frac{\sigma_{\max_2}}{\sigma_{Be2zul_1}}, \frac{\sigma_{\max_2}}{\sigma_{Be2zul_2}} \right) \quad \eta_{Be2} = 0.984$

Schub wird nicht maßgebend

Beanspruchung des Auslegers, schematisch

