

DIPL.-ING. HOFFMEISTER - DIPL.-ING. WEHNER

BERATENDE INGENIEURE VBI

Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes
W a s s e r - u n d S c h i f f f a h r t s a m t
S t u t t g a r t

Schleuse Horkheim

Erneuerung der Antriebe
der Obertore

Statische Berechnung

bearbeitet im Auftrag: **Schorisch Magis GmbH**
Schulstr. 7c
19357 Karstädt

aufgestellt: **Dipl - Ing Wehner**

DIPL.-ING. HOFFMEISTER - DIPL.-ING. WEHNER

BERATENDE INGENIEURE VBI



Wehner

LANDRAT-CHRISTIANS-STRASSE 10
28779 BREMEN, 8 08 2003
TELEFON (0421) 60 00 81
TELEFAX (0421) 60 00 82
hoffmeister-wehner@t-online.de
03.125

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1 Allgemeines	1
2 Belastung des Antriebes	6
2 1 Belastungen	6
2 2 Ermittlung der Auflager und Koppelstangenkräfte	7
3 Koppelstange und Anschlüsse	25
3 1 Koppelstange altes Tor	26
3 2 Koppelstange neues Tor	29
3 3 Anschluß Koppelstange am Tor	30
3 4 Schweißnaht Einschweißblock – Rohr	31
3 5 Lager Gelenkaugen	32
3 6 Nachweis der Augenbleche außen	33
3 7 Nachweis der Augenbleche innen	33
4 Bemessung des Umlenkhwagens	34
4 1 Rollen	34
4 2 Einschweißung in den Umlenkswagen	36
4 3 Anschluß Koppelstangenkopf am Wagen	37
4 4 Schweißnähte der Augenbleche	38
4 5 Verschraubung Federkafig-Kolbenstange	39
4 6 Federpaket	39
4 7 Deckel des Federkafigs	39
5 Schienen des Umlenkhwagens	40
6 Traggerüst	44
6 1 Traggerüst Alte Schleuse	44
6 2 FEM-Modell	45
6 3 Belastungen	48
6 4 Spannungen im Traggerüst für die Antriebe der Alten Schleuse	53
6 5 Nachweise Spannungen in den Leitwerksträgern	60
6 5 Verschraubungen an den vertikalen Stützen	60
6 6 Anschlußstiele der Schienen	61
6 7 Kopfplattenstöße der Längsträger	62
7 Nachweise für das Traggerüst der Antriebe der Neuen Schleuse	63
7 1 System	63

	Seite
7 2 Spannungen Längsträger	65
7 3 Spannungen der übrigen Gerustteile	72
7 4 Nachweise für das Traggerüst des Antriebes der neuen Schleuse	76
8 Verankerungen	78
8 1 Auflagerkräfte der Antriebskonstruktion der Neuen Schleuse aus γ_F -fachen Lasten	78
8 2 Auflagerkräfte der Antriebskonstruktion der Alten Schleuse aus charakteristischen Lasten	78
8 3 Bemessung der Anker	79
8 4 Aufnahme der Horizontalkräfte	80
9 Lagerung der Elektrohülszylinder	81
9 1 Verschraubung der Zylinderlager	81
9 2 Lagerpressung	81
9 3 Schweißnaht zwischen Wangen und Grundplatte	81
9 4 Ableitung der Kräfte in den Beton	81

1. Allgemeines

Das WSA Stuttgart beabsichtigt die Erneuerung der Antriebe der Haketore der Oberhaupter der Neckarschleuse Horkheim. Dabei sollen die vorhandenen Zahnstangenantriebe durch Elektrohübsylinder ersetzt werden

Gegenstand der nachfolgenden Berechnungen ist der Nachweis der Maschinenbauteile der zu erneuernden Antriebe einschließlich der erforderlichen Betriebsfestigkeitsnachweise. Der Berechnungen enthält nicht die Ermittlung der Antriebskräfte und den Nachweis der Elektrohübsylinder

In der Berechnung werden nachstehende Bauteile nachgewiesen

- die Schubstangen
- den Anschluß der Schubstange an den Toren
- die Anschlussesachse und die Einleitung der Antriebskräfte in das Tor, soweit erforderlich,
- die Umlenkwagen und ihre Fahrbahn einschließlich der Einleitung der Kräfte in den Beton,
- die kardanische Lagerung des Elektrohübsylinders, einschließlich der Einleitung der Kräfte in den Beton

Unterlagen:

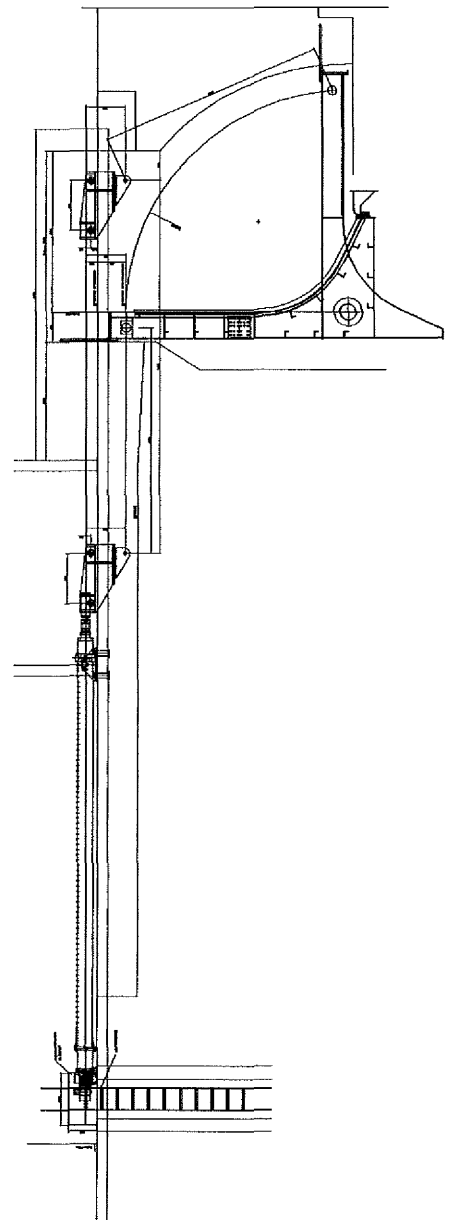
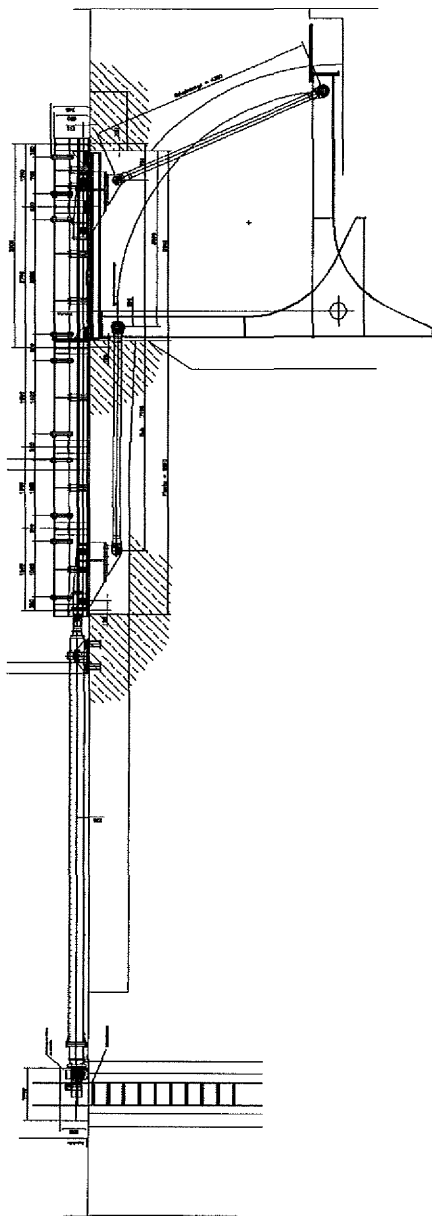
- Berechnung der Maschinenteile für das Hakenklapptor aufgestellt Neckarbaudirektion Stuttgart ohne Datum
- Auswertung der elektrischen Messungen vom 3.8.1959 am Obertor der 1. Schleuse der Staustufe Horkheim.
- Schleuse Horkheim, OH rechte Kammer, Klapptorantrieb, neu Geometrische Verhältnisse, Variante 4 abgesenkter Schubstangenanschluß aufgestellt Schorisch-MAGIS GmbH vom 23.12.2003

Material: diverse, siehe Berechnung

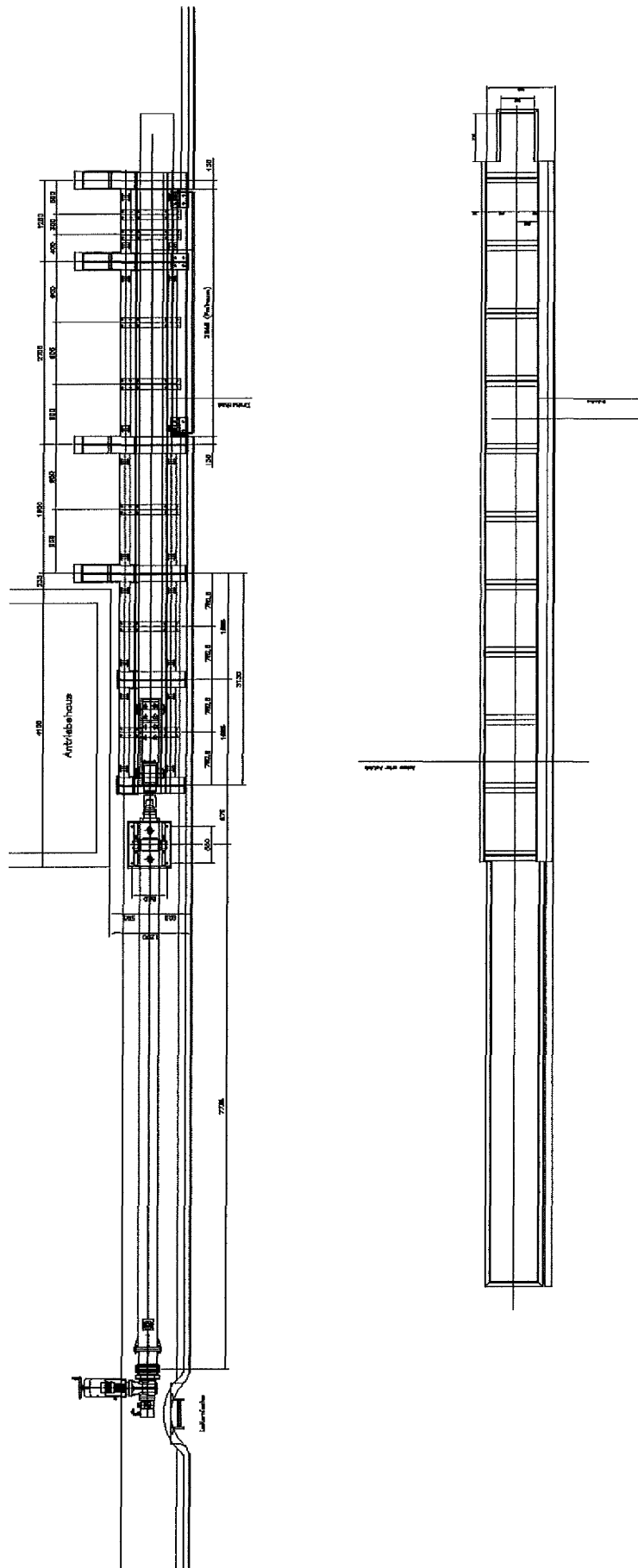
Vorschriften: DIN 19704 und mitgeltende Normen, ZTV-W 218/1

Betriebsfestigkeitsnachweis

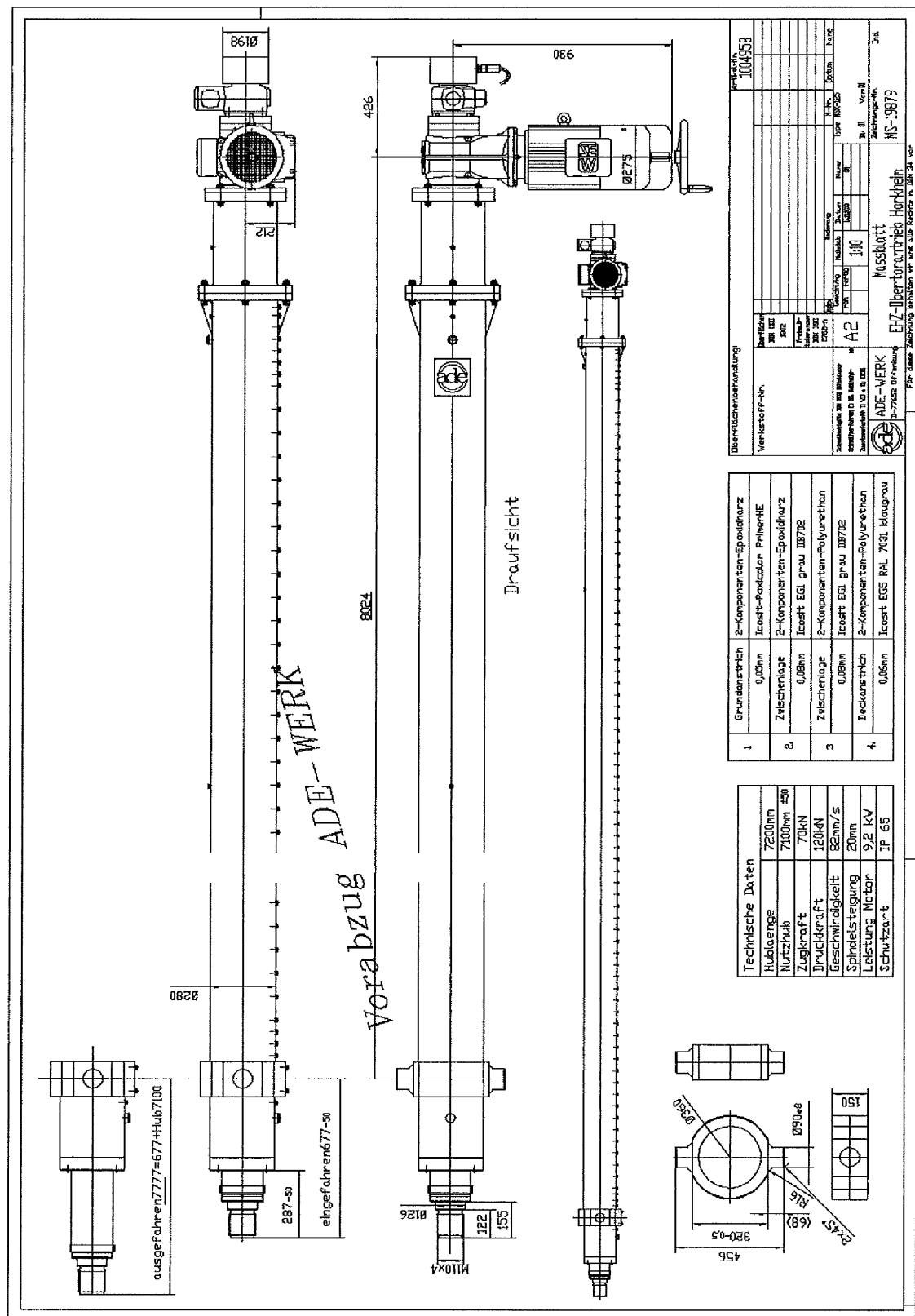
Seitens des WSA Stuttgart wurden 4 000 Lastspiele pro Jahr angegeben, bei einer Betriebsdauer von 35 Jahren für den Maschinenbau ergeben sich damit bei der Dimensionierung zu berücksichtigende **140.000 Lastspiele.**



Tor und Antrieb Neue Schleuse







Elektrohubzylinder

2. Belastung des Antriebes

2.1 Belastungen

Antriebskräfte des Elektrohübzylinders laut ADE, Offenburg

Zugkraft 70,0 kN Druckkraft 120,0 kN

Es handelt sich um am Frequenzumrichter eingestellte Antriebskräfte, sie sind daher mit dem Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_F = 1,35$ zu multiplizieren.

Antriebskräfte für den Betriebsfestigkeitsnachweis aus der Auswertung der elektrischen Messung vom 3.8.1959 am Obertor der 1. Schleuse der Staustufe Horkheim

Wegen der geänderten Geometrie des Antriebs können die Ergebnisse nicht direkt übernommen werden. Es wird daher mit den Drehmomenten um den Unteren Torlagerpunkt gearbeitet

Momente beim Lüften:

Stellung	Torwinkel gegenüber der Senkrechten	Moment
1	1,17°	197,0 kNm
2	2,34°	295,0 kNm
3	3,50°	277,0 kNm
4	4,67°	277,0 kNm
5	5,85°	254,0 kNm
6	7,00°	238,0 kNm
7	8,20°	220,0 kNm
8	9,35°	236,0 kNm
9	10,50°	220,0 kNm
10	11,70°	237,0 kNm
11	12,80°	236,0 kNm
12	14,00°	218,0 kNm
13	15,10°	218,0 kNm
14	16,40°	198,0 kNm
15	17,50°	192,0 kNm
16	18,70°	192,0 kNm
17	19,90°	232,0 kNm
18	21,00°	232,0 kNm
19	22,10°	215,0 kNm
20	23,40°	194,0 kNm
21	24,50°	193,0 kNm
22	25,70°	306,0 kNm
23	26,90°	285,0 kNm
24	27,10°	305,0 kNm

Momente beim Schließen:

Stellung	Torwinkel gegenüber der Senkrechten	Moment
a	5,62°	205,0 kNm
b	11,3°	210,0 kNm
c	16,9°	203,0 kNm
d	22,5°	213,0 kNm
e	28,3°	221,0 kNm
f	34,0°	214,0 kNm
g	39,5°	202,0 kNm
h	45,2°	197,0 kNm
i	50,09°	181,0 kNm
k	56,5°	159,0 kNm
l	62,0°	126,0 kNm
m	67,5°	95,0 kNm
n	73,5°	76,0 kNm
O	79,0°	38,0 kNm
p	84,9°	17,0 kNm
r	90,0°	0,0 kNm

2.2 Ermittlung der Auflager und Koppelstangenkräfte

Mit diesen Momenten und den Einstellwerten des Elektrohubzylinders werden die Auflager und Koppelstangenkräfte an einem Stabwerksmodell ermittelt

PROGRAMMSYSTEM : A N T R A S
STATISCHE BERECHNUNG VON TRAGWERKSYSTEMEN
NACH DER METHODE DER FINITEN ELEMENTE

PROGRAMM : K O M B I X
VERSION : 5.55

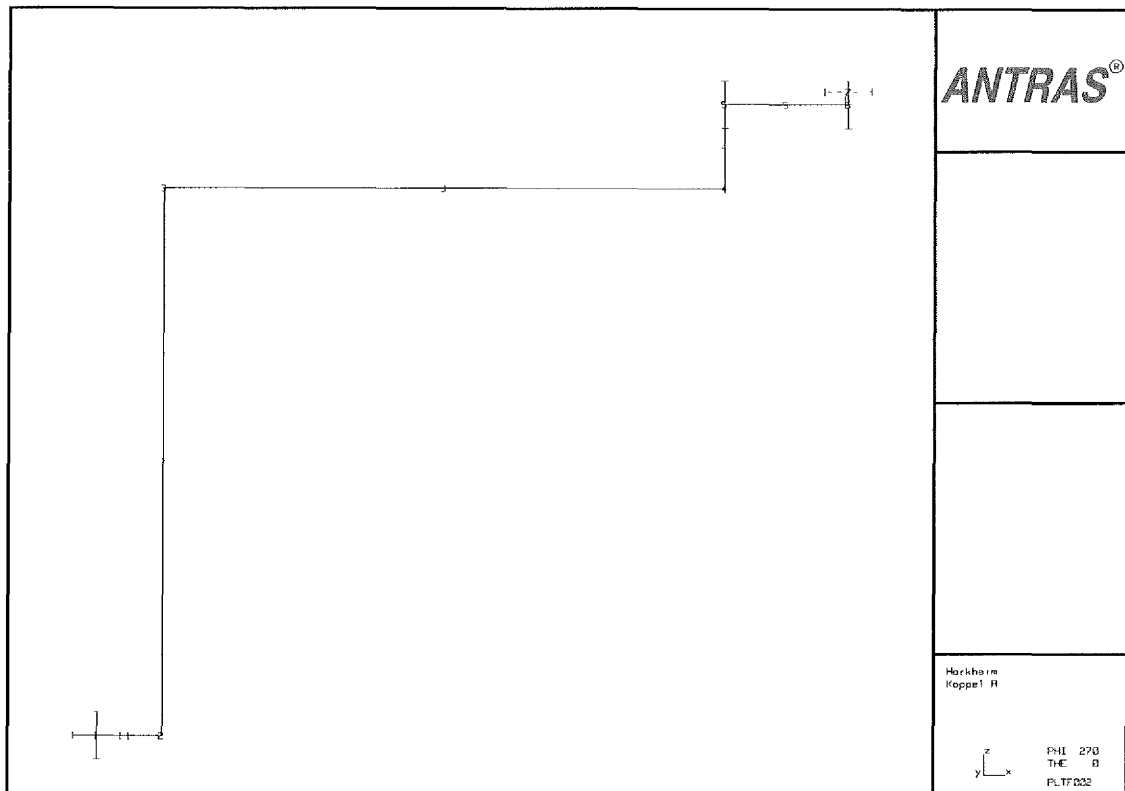
EXTREMWERTBILDUNG DER ZUSTANDSGROESSEN

AUFSTELLER : Hoffmeister & Wehner

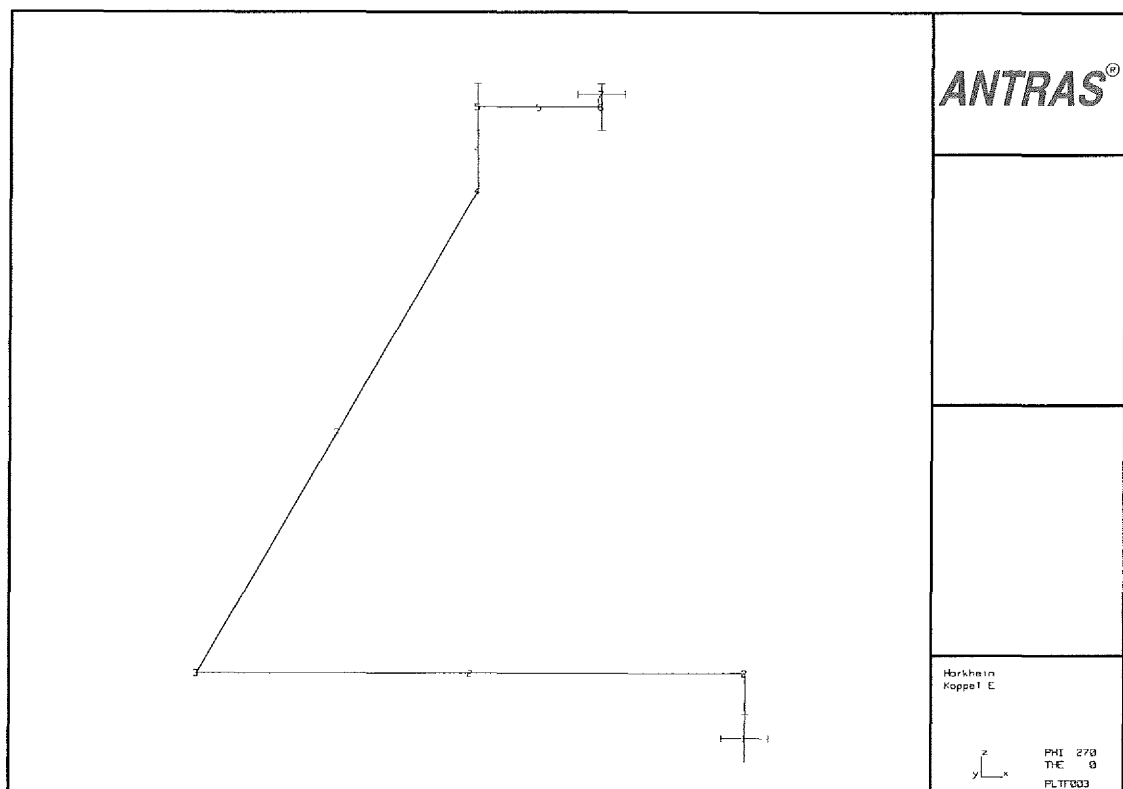
PROJEKT : Antrieb Schleuse Horkheim
Auswertung Lf 1 - 121

PROJEKTNUMMER : 0312501

A T L A S D A T E N S Y S T E M E GmbH



Stellung Tor geschlossen



Stellung Tor offen

STEUER- UND KENNGROESSEN

PROGRAMMUNTERBRECHUNG NACH ABSCHLUSS DER FEHLERPRUEFUNG : NEIN

DRUCKAUSGABE DER SORTIERTEN LASTFALLDATEN : JA

DRUCKAUSGABE DER MASSGEBENDEN LASTFAELLE UND ZWISCHENKOMBINATIONEN : NEIN

ZUSTANDSGROESSENART :
SCHNITTKRAEFTE

MAXIMIERTE BZW. MINIMIERTE ZUSTANDSGROESSENKOMponentEN : 1

KOMBINIERT E ZUSTANDSGROESSENKOMponentEN : 1

KRAFTEINHEIT : kN

LAENGENEINHEIT : m

AUSGABE DER ERGEBNISSE AUF ERG-DATEI : JA

ELEMENTE 3

ZWISCHENKOMBINATIONEN

NR	EXTREMWERTART	KOMBINATIONART	LASTFAELLE BZW. ZWISCHENKOMBINATIONEN			
			ART	NR	LASTTYP	FAKTOR
151	MAXIMUM MINIMUM	AUSWAHL	LF	2	NICHT STAENDIG	1.00000
			LF	4	NICHT STAENDIG	1.00000
			LF	7	NICHT STAENDIG	1.00000
			LF	10	NICHT STAENDIG	1.00000
152	MAXIMUM MINIMUM	AUSWAHL	LF	13	NICHT STAENDIG	1.00000
			LF	16	NICHT STAENDIG	1.00000
			LF	19	NICHT STAENDIG	1.00000
			LF	22	NICHT STAENDIG	1.00000
153	MAXIMUM MINIMUM	AUSWAHL	LF	25	NICHT STAENDIG	1.00000
			LF	28	NICHT STAENDIG	1.00000
			LF	31	NICHT STAENDIG	1.00000
			LF	34	NICHT STAENDIG	1.00000

ZWISCHENKOMBINATIONEN

NR	EXTREMWERTART	KOMBINATIONART	LASTFAELLE BZW. ZWISCHENKOMBINATIONEN			
			ART	NR	LASTTYP	FAKTOR
154	MAXIMUM MINIMUM	AUSWAHL	LF	37	NICHT STAENDIG	1.00000
			LF	40	NICHT STAENDIG	1.00000
			LF	43	NICHT STAENDIG	1.00000
			LF	46	NICHT STAENDIG	1.00000
155	MAXIMUM MINIMUM	AUSWAHL	LF	49	NICHT STAENDIG	1.00000
			LF	52	NICHT STAENDIG	1.00000
			LF	55	NICHT STAENDIG	1.00000
			LF	58	NICHT STAENDIG	1.00000
156	MAXIMUM MINIMUM	AUSWAHL	LF	61	NICHT STAENDIG	1.00000
			LF	64	NICHT STAENDIG	1.00000
			LF	67	NICHT STAENDIG	1.00000
			LF	70	NICHT STAENDIG	1.00000

157	MAXIMUM MINIMUM	AUSWAHL	LF	73	NICHT STAENDIG	1.00000
			LF	76	NICHT STAENDIG	1.00000
			LF	79	NICHT STAENDIG	1.00000
			LF	82	NICHT STAENDIG	1.00000
158	MAXIMUM MINIMUM	AUSWAHL	LF	85	NICHT STAENDIG	1.00000
			LF	88	NICHT STAENDIG	1.00000
			LF	91	NICHT STAENDIG	1.00000
			LF	94	NICHT STAENDIG	1.00000
159	MAXIMUM MINIMUM	AUSWAHL	LF	97	NICHT STAENDIG	1.00000
			LF	100	NICHT STAENDIG	1.00000
			LF	103	NICHT STAENDIG	1.00000
			LF	106	NICHT STAENDIG	1.00000
160	MAXIMUM MINIMUM	AUSWAHL	LF	109	NICHT STAENDIG	1.00000
			LF	112	NICHT STAENDIG	1.00000
			LF	115	NICHT STAENDIG	1.00000
			LF	118	NICHT STAENDIG	1.00000
161	MAXIMUM MINIMUM	AUSWAHL	ZK	151	NICHT STAENDIG	1.00000
			ZK	152	NICHT STAENDIG	1.00000
			ZK	153	NICHT STAENDIG	1.00000
			ZK	154	NICHT STAENDIG	1.00000
162	MAXIMUM MINIMUM	AUSWAHL	ZK	155	NICHT STAENDIG	1.00000
			ZK	156	NICHT STAENDIG	1.00000
			ZK	157	NICHT STAENDIG	1.00000
			ZK	158	NICHT STAENDIG	1.00000
163	MAXIMUM MINIMUM	AUSWAHL	ZK	159	NICHT STAENDIG	1.00000
			ZK	160	NICHT STAENDIG	1.00000
			LF	121	NICHT STAENDIG	1.00000
164	MAXIMUM MINIMUM	AUSWAHL	ZK	161	NICHT STAENDIG	1.00000
			ZK	162	NICHT STAENDIG	1.00000
			ZK	163	NICHT STAENDIG	1.00000
171	MAXIMUM MINIMUM	AUSWAHL	LF	1	NICHT STAENDIG	1.00000
			LF	3	NICHT STAENDIG	1.00000
			LF	5	NICHT STAENDIG	1.00000
			LF	6	NICHT STAENDIG	1.00000
172	MAXIMUM MINIMUM	AUSWAHL	LF	8	NICHT STAENDIG	1.00000
			LF	9	NICHT STAENDIG	1.00000
			LF	11	NICHT STAENDIG	1.00000
			LF	12	NICHT STAENDIG	1.00000

NR EXTREMWERTART KOMBINATIONART
 ZWISCHENKOMBINATIONEN

LASTFAELLE BZW. ZWISCHENKOMBINATIONEN

NR EXTREMWERTART KOMBINATIONART

ART NR LASTTYP FAKTOR

173	MAXIMUM MINIMUM	AUSWAHL	LF	14	NICHT STAENDIG	1.00000
			LF	15	NICHT STAENDIG	1.00000
			LF	17	NICHT STAENDIG	1.00000
			LF	18	NICHT STAENDIG	1.00000
174	MAXIMUM MINIMUM	AUSWAHL	LF	20	NICHT STAENDIG	1.00000
			LF	21	NICHT STAENDIG	1.00000
			LF	23	NICHT STAENDIG	1.00000
			LF	24	NICHT STAENDIG	1.00000

175	MAXIMUM MINIMUM	AUSWAHL	LF	26	NICHT	STAENDIG	1.00000
			LF	27	NICHT	STAENDIG	1.00000
			LF	29	NICHT	STAENDIG	1.00000
			LF	30	NICHT	STAENDIG	1.00000
176	MAXIMUM MINIMUM	AUSWAHL	LF	32	NICHT	STAENDIG	1.00000
			LF	33	NICHT	STAENDIG	1.00000
			LF	35	NICHT	STAENDIG	1.00000
			LF	36	NICHT	STAENDIG	1.00000
177	MAXIMUM MINIMUM	AUSWAHL	LF	38	NICHT	STAENDIG	1.00000
			LF	39	NICHT	STAENDIG	1.00000
			LF	41	NICHT	STAENDIG	1.00000
			LF	42	NICHT	STAENDIG	1.00000
178	MAXIMUM MINIMUM	AUSWAHL	LF	44	NICHT	STAENDIG	1.00000
			LF	45	NICHT	STAENDIG	1.00000
			LF	47	NICHT	STAENDIG	1.00000
			LF	48	NICHT	STAENDIG	1.00000
179	MAXIMUM MINIMUM	AUSWAHL	LF	50	NICHT	STAENDIG	1.00000
			LF	51	NICHT	STAENDIG	1.00000
			LF	53	NICHT	STAENDIG	1.00000
			LF	54	NICHT	STAENDIG	1.00000
180	MAXIMUM MINIMUM	AUSWAHL	LF	56	NICHT	STAENDIG	1.00000
			LF	57	NICHT	STAENDIG	1.00000
			LF	59	NICHT	STAENDIG	1.00000
			LF	60	NICHT	STAENDIG	1.00000
181	MAXIMUM MINIMUM	AUSWAHL	LF	62	NICHT	STAENDIG	1.00000
			LF	63	NICHT	STAENDIG	1.00000
			LF	65	NICHT	STAENDIG	1.00000
			LF	66	NICHT	STAENDIG	1.00000
182	MAXIMUM MINIMUM	AUSWAHL	LF	68	NICHT	STAENDIG	1.00000
			LF	69	NICHT	STAENDIG	1.00000
			LF	71	NICHT	STAENDIG	1.00000
			LF	72	NICHT	STAENDIG	1.00000
183	MAXIMUM MINIMUM	AUSWAHL	LF	74	NICHT	STAENDIG	1.00000
			LF	75	NICHT	STAENDIG	1.00000
			LF	77	NICHT	STAENDIG	1.00000
			LF	78	NICHT	STAENDIG	1.00000
184	MAXIMUM MINIMUM	AUSWAHL	LF	80	NICHT	STAENDIG	1.00000
			LF	81	NICHT	STAENDIG	1.00000
			LF	83	NICHT	STAENDIG	1.00000
			LF	84	NICHT	STAENDIG	1.00000
185	MAXIMUM MINIMUM	AUSWAHL	LF	86	NICHT	STAENDIG	1.00000
			LF	87	NICHT	STAENDIG	1.00000
			LF	89	NICHT	STAENDIG	1.00000
			LF	90	NICHT	STAENDIG	1.00000

ZWISCHENKOMBINATIONEN

NR	EXTREMWERTART	KOMBINATIONSPORT	LASTFAELLE BZW. ZWISCHENKOMBINATIONEN			
			ART	NR	LASTTYP	FAKTOR
186	MAXIMUM	AUSWAHL	LF	92	NICHT STAENDIG	1.00000
	MINIMUM		LF	93	NICHT STAENDIG	1.00000
			LF	95	NICHT STAENDIG	1.00000
			LF	96	NICHT STAENDIG	1.00000

187	MAXIMUM	AUSWAHL	LF	98	NICHT	STAENDIG	1.00000
	MINIMUM		LF	99	NICHT	STAENDIG	1.00000
			LF	101	NICHT	STAENDIG	1.00000
			LF	102	NICHT	STAENDIG	1.00000
188	MAXIMUM	AUSWAHL	LF	104	NICHT	STAENDIG	1.00000
	MINIMUM		LF	105	NICHT	STAENDIG	1.00000
			LF	107	NICHT	STAENDIG	1.00000
			LF	108	NICHT	STAENDIG	1.00000
189	MAXIMUM	AUSWAHL	LF	110	NICHT	STAENDIG	1.00000
	MINIMUM		LF	111	NICHT	STAENDIG	1.00000
			LF	113	NICHT	STAENDIG	1.00000
			LF	114	NICHT	STAENDIG	1.00000
190	MAXIMUM	AUSWAHL	LF	116	NICHT	STAENDIG	1.00000
			LF	117	NICHT	STAENDIG	1.00000
			LF	119	NICHT	STAENDIG	1.00000
			LF	120	NICHT	STAENDIG	1.00000
191	MAXIMUM	AUSWAHL	ZK	171	NICHT	STAENDIG	1.00000
	MINIMUM		ZK	172	NICHT	STAENDIG	1.00000
			ZK	173	NICHT	STAENDIG	1.00000
			ZK	174	NICHT	STAENDIG	1.00000
192	MAXIMUM	AUSWAHL	ZK	175	NICHT	STAENDIG	1.00000
	MINIMUM		ZK	176	NICHT	STAENDIG	1.00000
			ZK	177	NICHT	STAENDIG	1.00000
			ZK	178	NICHT	STAENDIG	1.00000
193	MAXIMUM	AUSWAHL	ZK	179	NICHT	STAENDIG	1.00000
	MINIMUM		ZK	180	NICHT	STAENDIG	1.00000
			ZK	181	NICHT	STAENDIG	1.00000
			ZK	182	NICHT	STAENDIG	1.00000
194	MAXIMUM	AUSWAHL	ZK	183	NICHT	STAENDIG	1.00000
	MINIMUM		ZK	184	NICHT	STAENDIG	1.00000
			ZK	185	NICHT	STAENDIG	1.00000
			ZK	186	NICHT	STAENDIG	1.00000
195	MAXIMUM	AUSWAHL	ZK	187	NICHT	STAENDIG	1.00000
	MINIMUM		ZK	188	NICHT	STAENDIG	1.00000
			ZK	189	NICHT	STAENDIG	1.00000
			ZK	190	NICHT	STAENDIG	1.00000
196	MAXIMUM	AUSWAHL	ZK	191	NICHT	STAENDIG	1.00000
	MINIMUM		ZK	192	NICHT	STAENDIG	1.00000
			ZK	193	NICHT	STAENDIG	1.00000
			ZK	194	NICHT	STAENDIG	1.00000
197	MAXIMUM	AUSWAHL	ZK	195	NICHT	STAENDIG	1.00000
	MINIMUM		ZK	196	NICHT	STAENDIG	1.00000

KOMBINATIONEN

NR	BEZEICHNUNG	ZWISCHENKOMBINATION
1	Zylinder	164
2	Messung	197

STABELEMEN T 3 SCHNITTKRAEFTE

LASTFALL	N
1	69.688
2	-119.464
3	69.742
4	-119.557
5	-46.548
6	69.796
7	-119.652
8	-69.573
9	69.851
10	-119.744
11	-65.240
12	69.905
13	-119.838
14	-65.183
15	69.950
16	-119.913
17	-48.222
18	70.011
19	-120.019
20	-59.746
21	70.013
22	-120.022
23	-51.750
24	70.068
25	-120.117
26	-51.773
27	70.121
28	-120.208
29	-55.582
30	70.174
31	-120.298
32	-51.874
33	70.188
34	-120.322
35	49.534
36	70.229
37	-120.393
38	-55.969
39	70.280
40	-120.480
41	-55.828
42	70.335
43	-120.575
44	-51.682
45	70.387
46	-120.664
47	-51.798
48	70.449
49	-120.770
50	-47.184
51	70.473
52	-120.812
53	48.434
54	70.503

STABELEMMENT 3 SCHNITTKRAEFTE

LASTFALL

N

55	-120.861
56	-45.878
57	70.562
58	-120.963
59	-46.023
60	70.623
61	-121.069
62	-55.799
63	70.682
64	-121.169
65	-55.981
66	70.743
67	-121.273
68	-52.055
69	70.765
70	-121.312
71	51.637
72	70.817
73	-121.401
74	-47.168
75	70.884
76	-121.515
77	-47.096
78	70.961
79	-121.647
80	-74.977
81	71.042
82	-121.786
83	-70.125
84	71.056
85	-121.810
86	-75.099
87	71.144
88	-121.961
89	54.650
90	71.655
91	-122.838
92	54.042
93	72.357
94	-124.040
95	52.051
96	73.407
97	-125.840
98	51.763
99	74.669
100	-128.004
101	48.264
102	77.055
103	-132.095
104	43.048
105	80.039
106	-137.209
107	34.404
108	84.328
109	-144.562

STABELEMMENT 3 SCHNITTKRAEFTE

LASTFALL	N
110	26.023
111	91.337
112	-156.579
113	20.743
114	101.580
115	-174.138
116	10.256
117	121.185
118	-207.745
119	4.487
120	158.939
121	-272.467

STABELEMMENT 3 KOMBINIERTE SCHNITTKRAEFTE

KOMBINATIONEN	N
1 : Zylinder	.000MAX -272.467MIN
2 : Messung	158.939MAX -75.099MIN

KNOTEN 1 AUFLAGERKRAEFTE

LASTFALL	P-X	P-Z
1	-69.688	.000
2	119.464	.000
3	-69.742	.151
4	119.557	-.259
5	46.548	-.101
6	-69.796	.274
7	119.651	-.470
8	69.573	-.273
9	-69.850	.368
10	119.742	-.631
11	65.239	-.344
12	-69.904	.434
13	119.835	-.744
14	65.182	-.405
15	-69.948	.466
16	119.910	-.800
17	48.221	-.322
18	-70.010	.472
19	120.017	-.809
20	59.745	-.403
21	-70.011	.480
22	120.019	-.822
23	51.748	-.355
24	-70.066	.459
25	120.115	-.786
26	51.771	-.339
27	-70.120	.410
28	120.206	-.703
29	55.582	-.325

KNOTEN	1	AUFLAGERKRAEFTE	
LASTFALL		P-X	P-Z
30		-70.173	.333
31		120.297	-.571
32		51.873	-.246
33		-70.184	.311
34		120.315	-.533
35		-49.532	.219
36		-70.228	.223
37		120.392	-.383
38		55.969	-.178
39		-70.280	.096
40		120.480	-.164
41		55.828	-.076
42		-70.335	-.073
43		120.575	.125
44		51.682	.053
45		-70.387	-.254
46		120.663	.436
47		51.797	.187
48		-70.447	-.501
49		120.767	.860
50		47.183	.336
51		-70.470	-.606
52		120.807	1.039
53		-48.432	-.417
54		-70.499	-.739
55		120.855	1.266
56		45.875	.481
57		-70.554	-1.027
58		120.951	1.760
59		46.018	.670
60		-70.611	-1.344
61		121.047	2.304
62		55.788	1.062
63		-70.662	-1.664
64		121.135	2.853
65		55.966	1.318
66		-70.714	-2.008
67		121.225	3.443
68		52.034	1.478
69		-70.733	-2.140
70		121.256	3.669
71		-51.613	-1.562
72		-70.775	-2.448
73		121.329	4.197
74		47.139	1.631
75		-70.827	-2.848
76		121.417	4.883
77		47.058	1.892
78		-70.884	-3.314
79		121.515	5.681
80		74.895	3.502
81		-70.939	-3.810
82		121.611	6.531
83		70.024	3.760

KNOTEN	1	AUFLAGERKRAEFTE	
LASTFALL		P-X	P-Z
84		-70.949	-3.896
85		121.627	6.679
86		74.986	4.118
87		-71.006	-4.427
88		121.724	7.590
89		-54.544	-3.401
90		-71.275	-7.369
91		122.186	12.633
92		-53.755	-5.558
93		-71.535	-10.874
94		122.631	18.642
95		-51.459	-7.823
96		-71.810	-15.232
97		123.101	26.111
98		-50.637	-10.741
99		-72.046	-19.618
100		123.506	33.631
101		-46.568	-12.681
102		-72.381	-26.431
103		124.081	45.310
104		-40.437	-14.766
105		-72.703	-33.474
106		124.634	57.384
107		-31.251	-14.389
108		-73.093	-42.054
109		125.303	72.093
110		-22.556	-12.978
111		-73.646	-54.026
112		126.250	92.616
113		-16.725	-12.269
114		-74.442	-69.116
115		127.615	118.485
116		-7.516	-6.978
117		-76.011	-94.383
118		130.304	161.799
119		-2.815	-3.495
120		-79.583	-137.579
121		136.428	235.851

KNOTEN	1	KOMBINIERTE AUFLAGERKRAEFTE	
KOMBINATIONEN		P-X	P-Z
1 : Zylinder		136.428MAX .000MIN	235.851 .000
		136.428	235.851MAX
		120.019	-.822MIN
2 : Messung		74.986MAX	4.118
		-79.583MIN	-137.579
		74.986	4.118MAX
		-79.583	-137.579MIN

KNOTEN	5	AUFLAGERKRAEFTE	
LASTFALL		P-X	P-Z
1		.000	-55.017
2		.000	94.314
3		.000	-55.210
4		.000	94.647
5		.000	36.849
6		.000	-55.376
7		.000	94.931
8		.000	55.199
9		.000	-55.513
10		.000	95.164
11		.000	51.848
12		.000	-55.621
13		.000	95.351
14		.000	51.864
15		.000	-55.688
16		.000	95.465
17		.000	38.391
18		.000	-55.743
19		.000	95.559
20		.000	47.569
21		.000	-55.752
22		.000	95.574
23		.000	41.209
24		.000	-55.774
25		.000	95.614
26		.000	41.211
27		.000	-55.768
28		.000	95.602
29		.000	44.205
30		.000	-55.733
31		.000	95.543
32		.000	41.199
33		.000	-55.719
34		.000	95.518
35		.000	-39.323
36		.000	-55.667
37		.000	95.429
38		.000	44.364
39		.000	-55.580
40		.000	95.280
41		.000	44.151
42		.000	-55.455
43		.000	95.066
44		.000	40.748
45		.000	-55.315
46		.000	94.825
47		.000	40.706
48		.000	-55.115
49		.000	94.483
50		.000	36.914
51		.000	-55.028
52		.000	94.335
53		.000	-37.819
54		.000	-54.918

KNOTEN	5	AUFLAGERKRAEFTE	
LASTFALL		P-X	P-Z
55		.000	94.145
56		.000	35.737
57		.000	-54.674
58		.000	93.727
59		.000	35.661
60		.000	-54.401
61		.000	93.260
62		.000	42.982
63		.000	-54.122
64		.000	92.781
65		.000	42.866
66		.000	-53.819
67		.000	92.260
68		.000	39.602
69		.000	-53.701
70		.000	92.060
71		.000	-39.185
72		.000	-53.426
73		.000	91.589
74		.000	35.585
75		.000	-53.068
76		.000	90.973
77		.000	35.259
78		.000	-52.647
79		.000	90.251
80		.000	55.626
81		.000	-52.195
82		.000	89.478
83		.000	51.522
84		.000	-52.116
85		.000	89.343
86		.000	55.082
87		.000	-51.630
88		.000	88.508
89		.000	-39.660
90		.000	-48.900
91		.000	83.830
92		.000	-36.881
93		.000	-45.601
94		.000	78.173
95		.000	-32.803
96		.000	-41.460
97		.000	71.074
98		.000	-29.236
99		.000	-37.260
100		.000	63.874
101		.000	-24.084
102		.000	-30.712
103		.000	52.649
104		.000	-17.158
105		.000	-23.923
106		.000	41.011
107		.000	-10.283
108		.000	-15.651

KNOTEN	5	AUFLAGERKRAEFTE	
LASTFALL		P-X	P-Z
109		.000	26.830
110		.000	-4.830
111		.000	-4.115
112		.000	7.055
113		.000	-.935
114		.000	10.346
115		.000	-17.736
116		.000	1.045
117		.000	34.375
118		.000	-58.928
119		.000	1.273
120		.000	74.751
121		.000	-128.144

KNOTEN	5	KOMBINIERTE AUFLAGERKRAEFTE	
KOMBINATIONEN		P-X	P-Z
1 : Zylinder		.000	95.614MAX
		.000	-128.144MIN
2 : Messung		.000	74.751MAX
		.000	-55.774MIN

KNOTEN	6	AUFLAGERKRAEFTE	
LASTFALL		P-X	P-Z
1		.000	55.017
2		.000	-94.314
3		.000	55.059
4		.000	-94.387
5		.000	-36.748
6		.000	55.102
7		.000	-94.461
8		.000	-54.926
9		.000	55.145
10		.000	-94.533
11		.000	-51.505
12		.000	55.187
13		.000	-94.607
14		.000	-51.459
15		.000	55.222
16		.000	-94.666
17		.000	-38.069
18		.000	55.271
19		.000	-94.750
20		.000	-47.167
21		.000	55.272
22		.000	-94.752
23		.000	-40.854
24		.000	55.315
25		.000	-94.828
26		.000	-40.872
27		.000	55.358

KNOTEN	6	AUFLAGERKRAEFTE	
LASTFALL		P-X	P-Z
28		.000	-94.899
29		.000	-43.880
30		.000	55.400
31		.000	-94.971
32		.000	-40.953
33		.000	55.408
34		.000	-94.986
35		.000	39.104
36		.000	55.443
37		.000	-95.047
38		.000	-44.186
39		.000	55.484
40		.000	-95.116
41		.000	-44.075
42		.000	55.528
43		.000	-95.191
44		.000	-40.802
45		.000	55.569
46		.000	-95.260
47		.000	-40.893
48		.000	55.616
49		.000	-95.342
50		.000	-37.249
51		.000	55.634
52		.000	-95.374
53		.000	38.236
54		.000	55.657
55		.000	-95.412
56		.000	-36.217
57		.000	55.701
58		.000	-95.487
59		.000	-36.330
60		.000	55.745
61		.000	-95.563
62		.000	-44.044
63		.000	55.786
64		.000	-95.633
65		.000	-44.183
66		.000	55.827
67		.000	-95.704
68		.000	-41.080
69		.000	55.842
70		.000	-95.729
71		.000	40.747
72		.000	55.875
73		.000	-95.786
74		.000	-37.215
75		.000	55.916
76		.000	-95.856
77		.000	-37.151
78		.000	55.961
79		.000	-95.933
80		.000	-59.128

KNOTEN	6	AUFLAGERKRAEFTE	
LASTFALL		P-X	P-Z
81		.000	56.005
82		.000	-96.009
83		.000	-55.282
84		.000	56.012
85		.000	-96.021
86		.000	-59.199
87		.000	56.057
88		.000	-96.098
89		.000	43.061
90		.000	56.269
91		.000	-96.462
92		.000	42.438
93		.000	56.475
94		.000	-96.814
95		.000	40.626
96		.000	56.692
97		.000	-97.185
98		.000	39.976
99		.000	56.878
100		.000	-97.505
101		.000	36.764
102		.000	57.143
103		.000	-97.959
104		.000	31.924
105		.000	57.397
106		.000	-98.395
107		.000	24.672
108		.000	57.705
109		.000	-98.923
110		.000	17.807
111		.000	58.141
112		.000	-99.671
113		.000	13.204
114		.000	58.770
115		.000	-100.749
116		.000	5.934
117		.000	60.009
118		.000	-102.872
119		.000	2.222
120		.000	62.829
121		.000	-107.707

KNOTEN	6	KOMBINIERTE AUFLAGERKRAEFTE	
KOMBINATIONEN		P-X	P-Z
1 : Zylinder		.000	.000MAX
		.000	-107.707MIN
2 : Messung		.000	62.829MAX
		.000	-59.199MIN

KNOTEN	7	AUFLAGERKRAEFTE
LASTFALL	P-X	P-Z
1	69.688	.000
2	-119.464	.000
3	69.742	.000
4	-119.557	.000
5	-46.548	.000
6	69.796	.000
7	-119.651	.000
8	-69.573	.000
9	69.850	.000
10	-119.742	.000
11	-65.239	.000
12	69.904	.000
13	-119.835	.000
14	-65.182	.000
15	69.948	.000
16	-119.910	.000
17	-48.221	.000
18	70.010	.000
19	-120.017	.000
20	-59.745	.000
21	70.011	.000
22	-120.019	.000
23	-51.748	.000
24	70.066	.000
25	-120.115	.000
26	-51.771	.000
27	70.120	.000
28	-120.206	.000
29	-55.582	.000
30	70.173	.000
31	-120.297	.000
32	-51.873	.000
33	70.184	.000
34	-120.315	.000
35	49.532	.000
36	70.228	.000
37	-120.392	.000
38	-55.969	.000
39	70.280	.000
40	-120.480	.000
41	-55.828	.000
42	70.335	.000
43	-120.575	.000
44	-51.682	.000
45	70.387	.000
46	-120.663	.000
47	-51.797	.000
48	70.447	.000
49	-120.767	.000
50	-47.183	.000
51	70.470	.000
52	-120.807	.000
53	48.432	.000

KNOTEN	7	AUFLAGERKRAEFTE
LASTFALL	P-X	P-Z
54	70.499	.000
55	-120.855	.000
56	-45.875	.000
57	70.554	.000
58	-120.951	.000
59	-46.018	.000
60	70.611	.000
61	-121.047	.000
62	-55.788	.000
63	70.662	.000
64	-121.135	.000
65	-55.966	.000
66	70.714	.000
67	-121.225	.000
68	-52.034	.000
69	70.733	.000
70	-121.256	.000
71	51.613	.000
72	70.775	.000
73	-121.329	.000
74	-47.139	.000
75	70.827	.000
76	-121.417	.000
77	-47.058	.000
78	70.884	.000
79	-121.515	.000
80	-74.895	.000
81	70.939	.000
82	-121.611	.000
83	-70.024	.000
84	70.949	.000
85	-121.627	.000
86	-74.986	.000
87	71.006	.000
88	-121.724	.000
89	54.544	.000
90	71.275	.000
91	-122.186	.000
92	53.755	.000
93	71.535	.000
94	-122.631	.000
95	51.459	.000
96	71.810	.000
97	-123.101	.000
98	50.637	.000
99	72.046	.000
100	-123.506	.000
101	46.568	.000
102	72.381	.000
103	-124.081	.000
104	40.437	.000
105	72.703	.000
106	-124.634	.000
107	31.251	.000

KNOTEN	7	AUFLAGERKRAEFTE	
LASTFALL		P-X	P-Z
108		73.093	.000
109		-125.303	.000
110		22.556	.000
111		73.646	.000
112		-126.250	.000
113		16.725	.000
114		74.442	.000
115		-127.615	.000
116		7.516	.000
117		76.011	.000
118		-130.304	.000
119		2.815	.000
120		79.583	.000
121		-136.428	.000

KNOTEN	7	KOMBINIERTE AUFLAGERKRAEFTE	
KOMBINATIONEN		P-X	P-Z
1 : Zylinder		.000MAX	.000
		-136.428MIN	.000
2 : Messung		79.583MAX	.000
		-74.986MIN	.000

3. Koppelstange und Anschlüsse

STABELEMEN	3	KOMBINIERTE SCHNITTKRAEFTE	
KOMBINATIONEN		N	
1 : Zylinder		.000MAX	
		-272.467MIN	
2 : Messung		158.939MAX	
		-75.099MIN	

Die Kräfte resultieren aus der am Frequenzumrichter eingestellten Antriebskraft des Zylinders von 120 kN Druck, für die Bemessung sind diese Werte mit $\gamma_F = 1,35$ zu vergrößern

Die mechanische Überlastsicherung des Elektrohubsylinders wird für 147,0 kN Druckkraft eingestellt, für die Bemessung sind diese Werte mit $\gamma_F = 1,10$ zu vergrößern

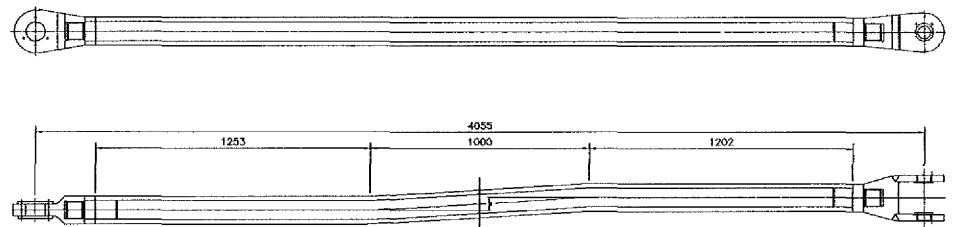
Damit ergeben sich die Bemessungswerte der Koppelstangenkräfte zu

$$F_d = 1,35 \times 272,467 \times 120,0 / 136,428 = 323,538 \text{ kN bzw}$$

$$F_d = 1,10 \times 272,467 \times 147,0 / 136,428 = 322,939 \text{ kN}$$

Es kommen für das alte und neue Tor unterschiedliche Schubstangen zum Einsatz, da aus Platzgründen die Schubstange am alten Tor mit einer Exzentrizität von 60 mm angeschlossen werden muß. Der Stabilitätsnachweis der gekröpften Koppelstange wird nach Theorie II Ordnung geführt

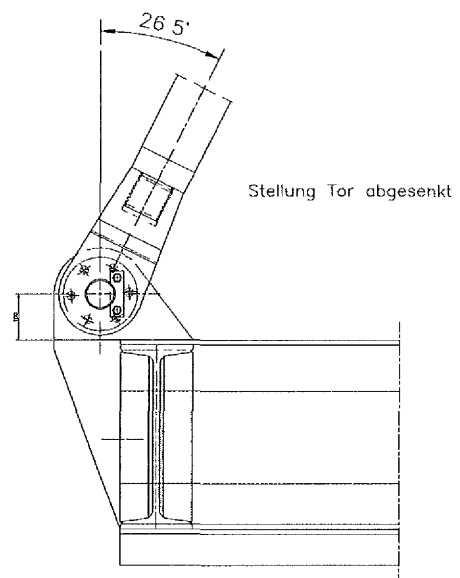
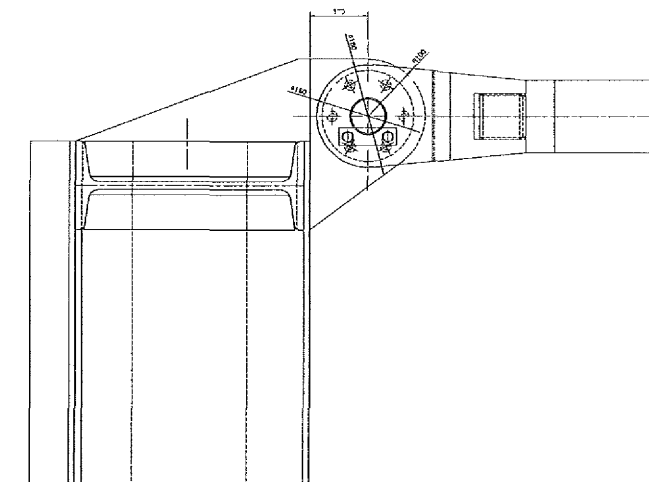
3.1 Koppelstange altes Tor

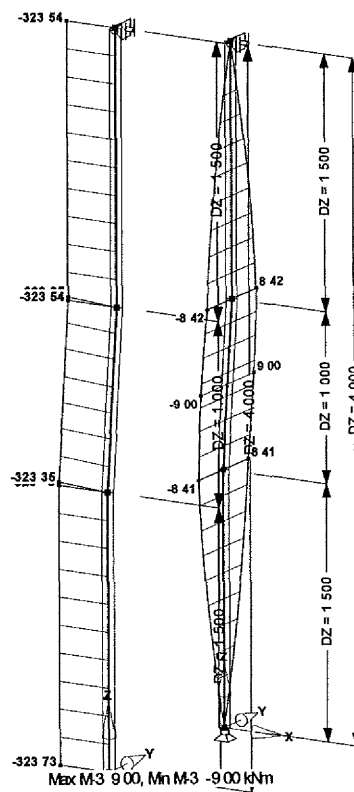
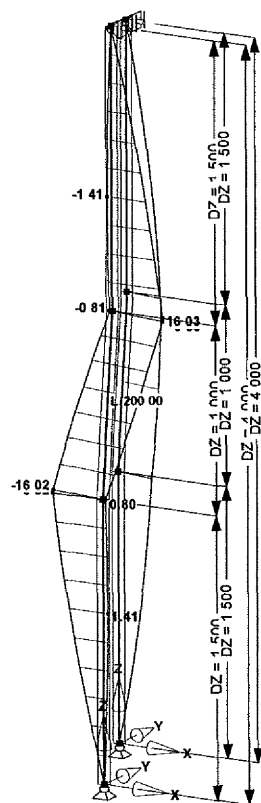
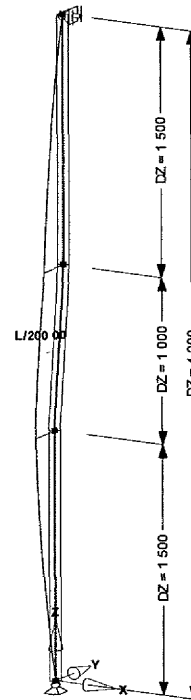
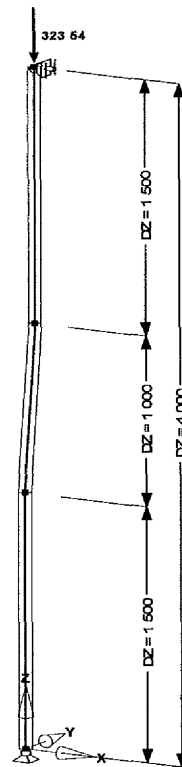


Die Schubstange wird um 60 mm verzogen

Anschluß am alten Tor

Stellung Tor geschlossen





Max M-2 16.03, Min M-2 -16.02 kNm

Min N -323.73 kN

KNOTEN

Knoten-Nr	Koordinatensystem	Bezugs-Knoten	Knotenkoordinaten		
			X [m]	Y [m]	Z [m]
1	Kartesisch	-	0 000	0 000	0 000
	Gelagert				
2	Kartesisch	-	0 000	0 000	1 500
3	Kartesisch	-	0 060	0 000	2 500
4	Kartesisch	-	0 060	0 000	4 000
	Gelagert				

MATERIALIEN

Mat - Nr	Material-Bezeichnung	E-Modul [kN/cm ²]	Schubmodul [kN/cm ²]	Sp Gewicht [kN/cm ³]	Wärmedehn [1/°C]
1	Stahl	2 100E+04	8 100E+03	7 850E-05	1 200E-05

QUERSCHNITTE

Quer - Nr	Mat - Nr	Querschnitts-Bezeichnung	I-T A	I-2 A-2	I-3 [cm ⁴] A-3 [cm ²]
1	1	Rohr 127/20	1991 52 67 230	995 76	995 76

STÄBE

Stab-Nr	Stab-typ	Knoten		Beta [°]	Querschnitt		Gelenk		Teil - Nr	Länge [m]	Stab-lage
		Anf	Ende		Anf	Ende	Anf	Ende			
1	Balken	1	2	0 0	1	1	-	-	-	1 500	VERT
2	Balken	2	3	0 0	1	1	-	-	-	1 002	ALLG
3	Balken	3	4	0 0	1	1	-	-	-	1 500	VERT

AUFLAGER

Lager-Nr	Gelagerte Knoten	Drehung [°]		Festes Auflager bzw Feder [kN/m] [kNm/rad]					
		Alpha	Beta	m X	m Y	m Z	um X	um Y	um Z
1	Gelenkig	0 0	0 0	Ja	Ja	Ja	Nein	Nein	Ja
24		0 0	0 0	Ja	Ja	Nein	Nein	Nein	Ja

STABZÜGE

Zug-Nr	Stabzug-Bezeichnung	Stabzug gebildet aus Stäben
1		1-3

BASISANGABEN DER LASTFÄLLE

LF-Nr	LF-Bezeichnung	Faktor	Überlagerungsart	Eigengewicht
1		1 00	Ständig	-
2		1 00	Veränderlich	-
3		1 00	Veränderlich	-

KNOTENKRÄFTE

LF 1

Nr	Belastete Knoten	Knotenkräfte		
		P-X [kN]	P-Y [kN]	P-Z [kN]

KNOTENKRÄFTE

LF 1

Nr	Belastete Knoten	P-X [kN]	Knotenkräfte P-Y [kN]	P-Z [kN]
14		0 000	0 000	-323 540

IMPERFEKTIONEN

LF 2

Nr	Imperfektion an Stäben	Richtung	Schiefstellung [1/phi]	Vorkrümmung [1/womega]	Aktiviere wo ab ε
1	1-3	2	0 000	200 000	0 000

IMPERFEKTIONEN

LF 3

Nr	Imperfektion an Stäben	Richtung	Schiefstellung [1/phi]	Vorkrümmung [1/womega]	Aktiviere wo ab ε
1	1-3	3	0 000	200 000	0 000

LF-GRUPPEN

LG-Nr	LG-Bezeichnung	Faktor	Berwert Gamma-M	Lastfälle in LG
1		1 00	1 10	LF1 + LF2 + LF3
2		1 00	1 10	LF1 + LF2 - LF3
3		1 00	1 10	LF1 - LF2 + LF3
4		1 00	1 10	LF1 - LF2 - LF3

LF-KOMBINATIONEN

LK-Nr	LK-Bezeichnung	Kombinationskriterium
1		LG1/Ständig oder LG2/Ständig oder LG3/Ständig oder LG4/Ständig

Gewählt **Rohr 127,0 x 20,0 – S 355J2G2**

$$A = 67,23 \text{ cm}^2 \quad I = 996 \text{ cm}^4, \quad i = 3,85 \text{ cm}, \quad W = 157 \text{ cm}^3$$

$$M_2 = 16,03 \text{ kNm}, \quad M_3 = 9,00 \text{ kNm}$$

$$M_d = (16,03^2 + 9,00^2)^{0,5} = 18,384 \text{ kNm}, \quad N_d = 323,538 \text{ kN}$$

$$\sigma_d = -323\,538 / 67,23 - 18,384 / 157,0 = -48,124 - 117,096 = 165,220 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{r,d} = 360,0 / 1,5 = 240,0 \text{ N/mm}^2 > 165,220 \text{ N/mm}^2$$

3.2 Nachweis für die Koppelstange des neuen Tores

Die Stange hat eine Länge von 4 300 mm und wird nicht gekropft

Knicknachweis für Stähle

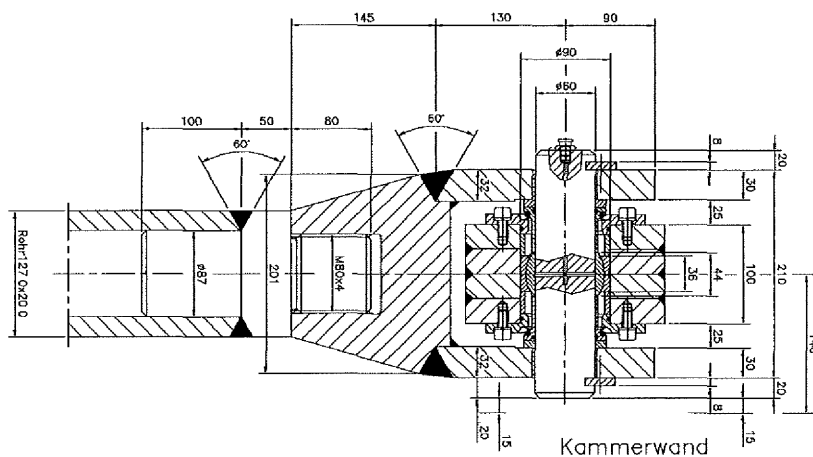
ohne Biegung

nach DIN 18800- 2

Normalkraft	N_d	323,538	kN
Fläche	A	67,2	cm ²
Knicklänge	s_k	4 300	mm

Tragheitsradius	i	38,5	mm			
E-Modul	E	210 000	N/mm ²			
Fließgrenze	f_{y,k}	360	N/mm ²			
Knickspannungslinie	α	f_{y,k}	a	b	c	d
		360	0,21	0,34	0,49	0,76
Bezugsschlankheitsgrad						
75,87667122	λ_a					
3,141592654						
Gewählt α	0,21					
Sicherheit						
γ_M	1,5					
Schlankheit	λ	111,688	N_{R,d}	645,64	kN	
	λ_k	1,472				
			N_d / N_{R,d}	0,501		
	k	1,717				
	κ	0,400				

3.3 Anschluß der Koppelstange am Tor



– Alte Schleuse –
Schubstangenanschluß am Tor

Gewinde M 80 x 3

Bolzenschrauben

Gewinde	M 80		
	d	80	mm
Steigung P		3	
H	0,86603	2,59809	mm
Gewindtiefe H ₁	0,54127	1,62381	mm
Gewindtiefe h ₃	0,61343	1,84029	mm
Flankendurchmesser d ₂		78,05141	mm
Nenn-Kerndurchmesser d ₃		76,31942	mm
Spannungsquerschnitt	A _s	p/4((d ₂ +d ₃)/2) ²	
3,141592654	A _s	4.679,08	mm ²

Aus der Querkraft M_d = 323,538 x 60 / 4 000 x 27,5 = 133,459 kNcm

$$I_s = \pi/64 \times ((78,051 + 76,319)/2)^4 = 1.742.214 \text{ mm}^4$$

$$W_s = \pi/32 \times ((78,051 + 76,319)/2)^3 = 45 144 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_d = 323 538 / 4 679,08 + 13.345 94 / 45 144 = 69,146 + 29,563$$

$$= 98,709 \text{ N/mm}^2 < 240,0 / 1,5 = 160 \text{ N/mm}^2$$

Betriebsfestigkeitsnachweis

$$\Delta\sigma_d = (98,709 / 323,538 \times 158,939 + 98,709 / 323,538 \times 75.099) = 71,403 \text{ N/mm}^2$$

DIN V ENV 1993 Teil 1 – 1 (EC 3) prENV 1993-2 Kerbgruppe 50*, m = 3

$$\Delta\sigma_R = 33,0 (10 \times 10^6 / 140 000)^{1/3} = 136,92 \text{ N/mm}^2$$

$$\Delta\sigma_{R,d} = 136,92 / 1,35 = 101,42 \text{ N/mm}^2$$

$$\Delta\sigma_d / \Delta\sigma_{R,d} = 0,704 < 1,0$$

3.4 Schweißnaht Einschweißblock – Rohr Ø 127,0 x 20, a = 10 mm umlaufend

$$A_w = \pi/4 (127,0^2 - 107,0^2) = 3 675,66 \text{ mm}^2$$

$$I_s = \pi/64 \times (127,0^4 - 107,0^4) = 6 335 465,34 \text{ mm}^4$$

$$W_s = \pi/32 \times (127,0^4 - 107,0^4) / 127,0 = 99 771 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_w = - 323 538 / 3 675,66 - 1 334.594 / 99 771 = -88,022 - 13,376 = 101,399 \text{ N/mm}^2$$

Betriebsfestigkeitsnachweis

$$\Delta\sigma_d = (158,939 + 75,099) \times 101,399 / 323,538 = 73,349 \text{ N/mm}^2 \text{ bei } 140 000 \text{ Lastspielen}$$

DIN V ENV 1993 Teil 1 – 1 (EC 3) Tabelle 9.8.6 Kerbgruppe 45, m = 3

$$\Delta\sigma_R = 45,0 (2 \times 10^6 / 140 000)^{1/3} = 109,189 \text{ N/mm}^2$$

$$\Delta\sigma_{R,d} = 109,189 / 1,35 = 80,88 \text{ N/mm}^2$$

$$\Delta\sigma_d / \Delta\sigma_{R,d} = < 1,0$$

Jahresgleitweg

Schwenkwinkel $\sim 27^\circ$ $S = 4\,000 \times 0,06 / 2 \times 27,0^\circ \times \pi / 180^\circ = 56,6 \text{ m}$

$$\sigma_{R,L} = 3,8 \text{ HBS} \sqrt[5]{1/s} = 3,8 \times 80,0 \sqrt[5]{1/56,6} = \underline{135,6 \text{ N/mm}^2} > 99,857 \text{ N/mm}^2$$

3.6 Nachweis der Augenbleche aussen nach DIN 19704-1, 10.15

$d = 70 \text{ mm}$, $a = 70 \text{ mm}$, $c = 60 \text{ mm}$, $b = 2 \times 60 + 70 = 190 \text{ mm}$, $t = 30 \text{ mm}$, $\mu = 0$

$$\beta = 1 + \mu d / (d + c) = 1 + 0,15 \times 60,0 / (70,0 + 60) = 1,0692$$

$$\sigma_m = 1,0692 \times 323\,538 / 2 / (2 \times 60,0 \times 30,0) = 48,045 \text{ N/mm}^2$$

$$\alpha_k = 2 (1 + 2c/3d) (1 - (a-c)/3b) = 2(1 + 2 \times 60 / (3 \times 70)) \times (1 - (70 - 70) / (3 \times 190))$$

$$\alpha_k = 3,143$$

$$\max \sigma = 3,143 \times 48,045 = 151 \text{ N/mm}^2 < 235 \text{ N/mm}^2$$

3.7 Nachweis der Augenbleche innen nach DIN 19704-1, 10.15

$d = 90 \text{ mm}$, $a = 55 \text{ mm}$, $c = 55 \text{ mm}$, $b = 2 \times 55 + 90 = 200 \text{ mm}$, $t = 50 \text{ mm}$, $\mu = 0$

Das innere Augenblech (vorhanden) ist aus 4 Blechen mit je 25 mm Dicke aufgebaut, für die Berechnung werden nur die beiden inneren Bleche mit $\Sigma t = 50 \text{ mm}$ berücksichtigt. Eine Reibung im Augenblech findet wegen des Lagers nicht statt.

$$\beta = 1 + \mu d / (d + c) = 1 + 0 \times 60,0 / (70,0 + 60) = 1,0$$

$$\sigma_m = 323\,538 / (2 \times 55,0 \times 50,0) = 58,825 \text{ N/mm}^2$$

$$\alpha_k = 2 (1 + 2c/3d) (1 - (a - c)/3b) = 2(1 + 2 \times 55 / (3 \times 90)) \times (1 - (55 - 55) / (3 \times 200))$$

$$\alpha_k = 2,815$$

$$\max \sigma = 2,815 \times 58,825 = 165,58 \text{ N/mm}^2 < 235 \text{ N/mm}^2$$

Dipl.-Ing. Hoffmeister - Dipl.-Ing. Wehner - Beratende Ingenieure VBI
Landrat-Christians-Straße 10 - 28779 Bremen - Telefon 04 21/60 00 81- Fax 04 21/60 00 82 -hoffmeister-wehner@t-online.de
03 125-A1

Schiene FSG Profil U - 300 - 6

Material: S 355J2G3 (St 52 – 3) NIOB

Radlast $F_d = 152,164 / 2 = \underline{76,082 \text{ kN}}$

Belastbarkeit nach FSG – Katalog 2003:

Statisch radial $C = 183,0 \text{ kN}$

dynamisch radial $C_0 = 353,0 \text{ kN}$

Statisch axial $C_A = 82,0 \text{ kN}$

dynamisch radial $C_{0A} = 131,0 \text{ kN}$

Lebensdauerberechnung nach FSG – Katalog

Die Lebensdauerberechnung ist mit den charakteristischen Werten der tatsächlich im Betrieb auftretenden Belastung durchzuführen

$F = 59,199 / 2 = 29,6 \text{ kN}$

$L_h = 10^6 / (60 \times n) (C_0/P)^p$

L_h = nominelle Lebensdauer in Betriebsstunden

N = Betriebsdrehzahl in min^{-1}

C_0 = dynamische Tragzahl in N

P = äquivalente Lagerbelastung in N

p = Lebensdauerexponent, $p = 10$ für Nadel- und Zylinderrollenlager

$n = 7.105 / (149 \times \pi) / 1,4 = 10,84 \sim 11,0 \text{ min}^{-1}$

$L_h = 10^6 / (60 \times 11) (353\,000/29\,600)^{10} = \underline{8,8 \times 10^{13} \text{ Std}}$

Erforderlich $L_h = 35,0 \times 350,0 \times 30,0 \times 2 \times 1,4 / 60,0 = \underline{17\,150 \text{ h}}$

Hertzische Pressung zwischen Schien und Rolle

System Zylinder gegen Ebene

R = Rollenradius = $149,0 / 2 = 74,5 \text{ mm}$

E = Elastizitätsmodul des Rollen- bzw Schienenwerkstoffes

ν = Querdehnungszahl des Rollen- bzw Schienenwerkstoffes

**Hertzische Pressungen
zylindrisch**

F_d	76 082 N
E	210 000 N/mm ²
R	74,50 mm
I	30,00 mm
ν	0,300
p_d	1.117,604 N/mm²

Die großen Kräfte treten in der Endlage des ausgefahrenen Zylinders auf, wenn die übrigen Sicherungen, wie Endschalter, versagen, es sind dann keine Überrollungen mehr möglich

$\max p_{R,d} = 6,0 \text{ HBS} = 6,0 \times 195 = \underline{1\,170 \text{ N/mm}^2} > \underline{1\,117,604 \text{ N/mm}^2}$

Im normalen Betrieb treten geringere Kräfte auf

Charakteristische Werte Lastfall 118

Knoten 5 zugeh $Z = 58,928 \text{ kN}$

Knoten 6. max $Z = -102,872 \text{ kN}$

Radlast $F_d = 102,872 / 2 \times 1,35 \times 120,0 / 130,304 = \underline{63,947 \text{ kN}}$

Hertzische Pressungen zylindrisch

F_d 63 947 N
 E 210 000 N/mm²
 R 74,50 mm
 I 30,00 mm
 ν 0,300
 p_d **1.024,607 N/mm²**

$\max p_{R,d} = 5,4 \text{ HBS} = 5,4 \times 195 = \underline{1\,053 \text{ N/mm}^2} > 1\,024,607 \text{ N/mm}^2$

4.2 Einschweißung in den Umlenkwagen

$Q_d = 76\,082 \text{ N}$, $M_d = 76\,082 \times 32,5 = 2\,472\,665 \text{ Nmm}$

Ringformige Schweißnaht **$a = 10 \text{ mm}$, $\varnothing = 60 \text{ mm}$**

$A_w = \pi/4 (60^2 - 40^2) = 1\,571 \text{ mm}^2$

$W_w = \pi/32 (60^4 - 40^4) / 60 = 17\,017 \text{ mm}^3$

$\sigma_w = 2\,472\,665 / 17\,017 = 145,31 \text{ N/mm}^2 < 0,8 \times 355,0 / 1,1 = 258,182 \text{ N/mm}^2$

$\tau_w = 76\,082 / 1\,571 = 48,429 \text{ N/mm}^2 < 0,8 \times 355,0 / 1,1 = 258,182 \text{ N/mm}^2$

$\sigma_{v,w} = \sqrt{(145,31^2 + 48,429^2)} = \underline{253,433 \text{ N/mm}^2} < 0,8 \times 355,0 / 1,1 = 258,182 \text{ N/mm}^2$

Betriebsfestigkeitsnachweis

$Q = 74\,751 / 2 = 37.375,5 \text{ N}$, $M = 37\,375,5 \times 32,5 = 1\,214\,703,75 \text{ Nmm}$

$Q = -55.774 / 2 = -27.887,0 \text{ N}$, $M = -27.887,0 \times 32,5 = -906.327,5 \text{ Nmm}$

$\Delta\sigma_d = 1.214\,703,75 / 17\,017 + 906.327,5 / 17.017 = 124,642 \text{ N/mm}^2$ bei 140.000 Lastspielen

DIN V ENV 1993 Teil 1 – 1 (EC 3) Tabelle 9.8.5 Kerbgruppe 80, $m = 5$

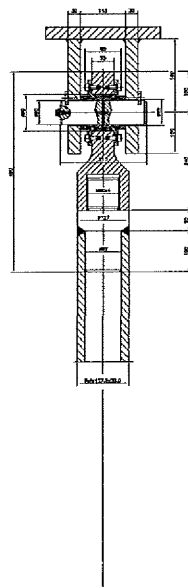
$\Delta\sigma_R = 80,0 (10 \times 10^6 / 140\,000)^{1/5} = 187,87 \text{ N/mm}^2$

$\Delta\sigma_{R,d} = 187,87 / 1,35 = 139,16 \text{ N/mm}^2$

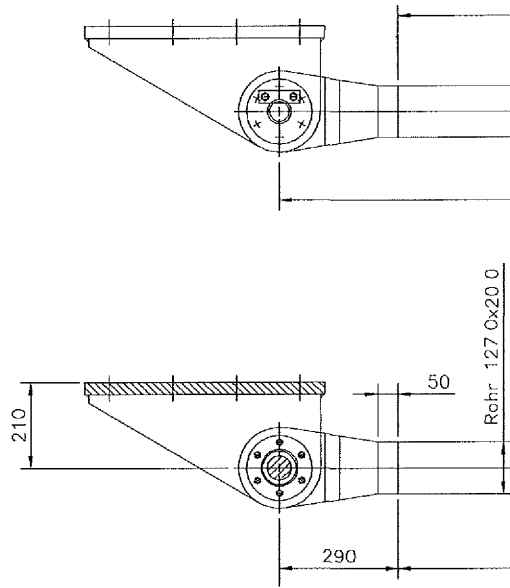
$\Delta\sigma_d / \Delta\sigma_{R,d} = \underline{0,896} < 1,0$

4.3 Anschluß Koppelstangenkopf am Wagen

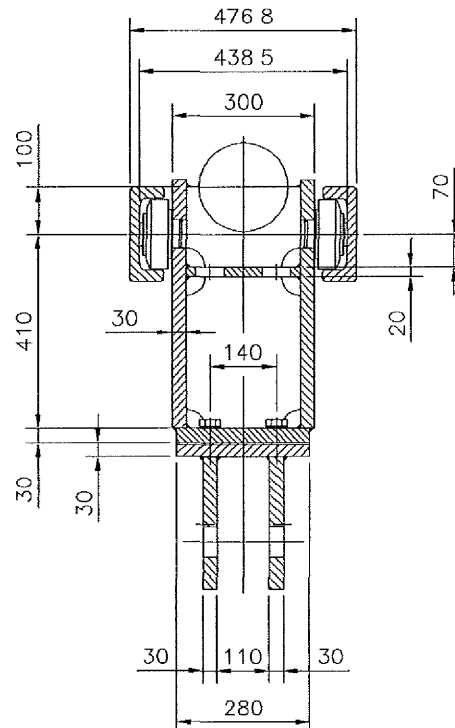
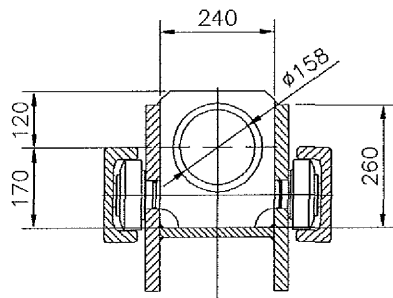
Schulstangenanschl. B am Wagon



Schnitt B-B



Schnitt A-A



Koppelstange parallel zur Verschraubung

$$Q_d = 120,0 \times 1,35 = 162,0 \text{ kN}$$

$$M_d = 162,0 \times 0,21 = 34,02 \text{ kNm}$$

Koppelstange senkrecht zur Verschraubung.

Fall 1 Druck $Q_d = 120,0 \times 1,35 = 162,0 \text{ kN}$

$$N_d = 1,35 \times (-112,714 - 94,737) = -280,059 \text{ kN}$$

$$M_d = 162,0 \times 0,21 - 280,059 \times 0,1825 = -17,091 \text{ kNm}$$

Fall 2 Zug $Q_d = -70,0 \times 1,35 = 94,50 \text{ kN}$

$$N_d = -280,059 / 120,0 \times (-70,0) = 163,368 \text{ kN}$$

$$M_d = -17,091 / 120,0 \times (-70,0) = 9,970 \text{ kNm}$$

4.4 Schweißnähte der Augenbleche Doppelkehlnaht a = 7 mm umlaufend

$$M_{y,d} = -17,091 \text{ kNm} \quad M_{z,d} = 323,538 \times \sin 3^\circ \times 0,21 = 3,556 \text{ kNm},$$

$$N_d = -289,059 \text{ kN} \quad Q_d = 120,0 \times 1,35 = 162,0 \text{ kN}$$

$$A_w = 2 \times (56,5 \times 0,7 \times 2) = 2 \times 79,1 = 158,20 \text{ cm}^2$$

$$W_{w,y} = 2 \times 2 \times 0,7 \times 56,5^2 / 6 = 1\,489,7 \text{ cm}^3$$

$$W_{w,z} = 2 \times 0,7 \times 56,5 \times 1,5^2 / 1,5 = 118,65 \text{ cm}^3$$

$$\begin{aligned} \sigma_w &= 289,059 / 15\,820 - 17\,091 / 1\,489,7 - 3\,556 / 118,65 = \\ &= -18,272 - 11,473 - 29,971 = \underline{-59,716 \text{ N/mm}^2} \end{aligned}$$

Betriebsfestigkeitsnachweis

$$\Delta \sigma_d = (158,939 + 75,099) \times 59,716 / 323,538 = \underline{43,197 \text{ N/mm}^2}$$

DIN V ENV 1993 Teil 1 – 1 (EC 3) Tabelle 9.8.6 Kerbgruppe 36*, m = 3

$$\Delta \sigma_R = 23,0 (10 \times 10^6 / 140.000)^{1/3} = 95,430 \text{ N/mm}^2$$

$$\Delta \sigma_{R,d} = 95,430 / 1,35 = 70,69 \text{ N/mm}^2$$

$$\Delta \sigma_d / \Delta \sigma_{R,d} = < 1,0$$

Verschraubung:

8 M 16 – 8.8 mit Sacklochgewinde, Vorspannung 100 %

$$V_{a,R,d} = 68,51 \times 1,1 / 1,5 = 60,896 \text{ kN}$$

$$V_{a,d} = 162,0 / 8 = \underline{20,25 \text{ kN} < 50,241 \text{ kN}}$$

$$N_{R,d} = 83,04 \times 1,1 / 1,5 = 50,241 \text{ kN}$$

$$N_d = \sim 163,368 / 8 + 997,0 / 2 / 46,5 = 20,421 + 10,720 = \underline{31,141 \text{ kN} < 50,241 \text{ kN}}$$

Biegung in der Grundplatte Mat. S355J2G3

$$\max M_d = \sim 31,141 \times 5,0 = 157,05 \text{ kNcm}$$

$$W = \sim 10,0 \times 3,0^2 / 6 = 15,0 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_d = 1\,570,5 / 15,0 = \underline{104,7 \text{ N/mm}^2 < 240,0 \text{ N/mm}^2}$$

Wangenquerschnitt

$$b = 180 \text{ mm}, t = 30,0 \text{ mm}$$

$$MT_d = 76\,082 \times 32,5 = 2\,472\,665 \text{ Nmm}$$

$$\tau_d = 2.472.665 / 2 / (180,0 \times 30,0^3 / 3 \times 30,0 = 22.895 \text{ N/mm}^2 < 240,0 / \sqrt{3} = 138.564 \text{ N/mm}^2$$

Wegen der geringen Spannungen ist ein Betriebsfestigkeitsnachweis entbehrlich

4.5 Verschraubung Federkäfig – Kolbenstange

Innenverschraubung

Gewinde M 55 x 2, Wellenmutter KMT 11

max $N_d = 162,0 \text{ kN}$

Spannungsquerschnitt $A_s = 2.216,485 \text{ N/mm}^2$

$$\sigma_d = 162.000 / 2.216,485 = 73,089 \text{ N/mm}^2$$

Betriebsfestigkeitsnachweis

$$\Delta\sigma_d = (73,089 / 323,538 \times 158,939 + 73,089 / 323,538 \times 75.099) = 52,870 \text{ N/mm}^2$$

DIN V ENV 1993 Teil 1 – 1 (EC 3) prENV 1993-2 Kerbgruppe 50*, $m = 3$

$$\Delta\sigma_R = 33,0 (10 \times 10^6 / 140.000)^{1/3} = 136,92 \text{ N/mm}^2$$

$$\Delta\sigma_{R,d} = 136,92 / 1,35 = 101,42 \text{ N/mm}^2$$

$$\Delta\sigma_d / \Delta\sigma_{R,d} = 0,521 < 1,0$$

Aussenverschraubung Kolbenstange – Federpaket

Gewinde **M 72**, ohne weiteren Nachweis

4.6 Federpaket

Die Federung wird ausgelegt für 147,0 kN (maximaler Einstellwert des Zylinders)

Tellerfedern DIN 2093 Reihe B, Gruppe 2

$$D_e = 125 \text{ mm}, D_i = 64 \text{ mm} \quad F = 30,0 \text{ kN}$$

$$\text{erf. } N = 140,0 / 30,0 = \sim 5,$$

$$\text{Verformungsweg } s = 5 \times 2,63 = 13,15 \text{ mm}$$

$$\text{Federkonstante } c = 30.000 / 2,63 = 11.407 \text{ N/mm}$$

$$\text{Bauhöhe unbelastet } \Sigma l_o = 5 \times 8,5 = 42,5 \text{ mm}$$

$$\text{belastet } l_o - s = 42,5 - 13,15 = 29,35 \text{ mm}$$

Innenführung Ø 62 mm

4.7 Deckel des Federkäfigs

8 Schrauben M 12 – 8.8, voll vorgespannt, Vorspannkraft 35 kN

$$\text{Zugkraft je Schraube. } Z_d = 120,0 \times 1,35 / 8 = 20,25 \text{ kN}$$

$$N_{R,d} = 44,59 \text{ kN} > 20,25 \text{ kN}$$

Betriebsfestigkeitsnachweis

Zugfeder Schraube M 12

$$C_s = 210.000 \times 84,3 / (15,0 + 9,0) = 737.625 \text{ N/mm}$$

Druckfeder. Flansch mit Unterlegscheibe

$$C_{D1} = 210.000 \pi / 4 [(24,0 + 9,0/10 + 15,0/10)^2 - 13,0^2] / (15,0 + 9,0) = 4.789.672 \text{ N/mm}$$

$$C_{D2} = 210.000 \pi / 4 / 3 \times (24,0^2 - 13,0^2) = 22.375.996,7 \text{ N/mm}$$

$$C_D = 1 / (1/ 22.375.996,7 + 1 / 4 789 672) = 1 588.162,3 \text{ N/mm}$$

$$C = C_s + C_D = 737.625 + 1 588 162,3 = 2.325 787,3$$

Die über die Schrauben abgesetzte Zugkraft beträgt

$$N = 79 583 / 8 / 2.325 787,3 \times 737 625 = 3 154,98 \text{ N}$$

$$\Delta\sigma = 3 154,98 / 84,3 = 37,43 \text{ N/mm}^2$$

DIN V ENV 1993 Teil 1 – 1 (EC 3) prENV 1993-2 Kerbgruppe 50*, m = 3

$$\Delta\sigma_R = 33,0 (10 \times 10^6 / 140 000)^{1/3} = 136,92 \text{ N/mm}^2$$

$$\Delta\sigma_{R,d} = 136,92 / 1,35 = 101,42 \text{ N/mm}^2$$

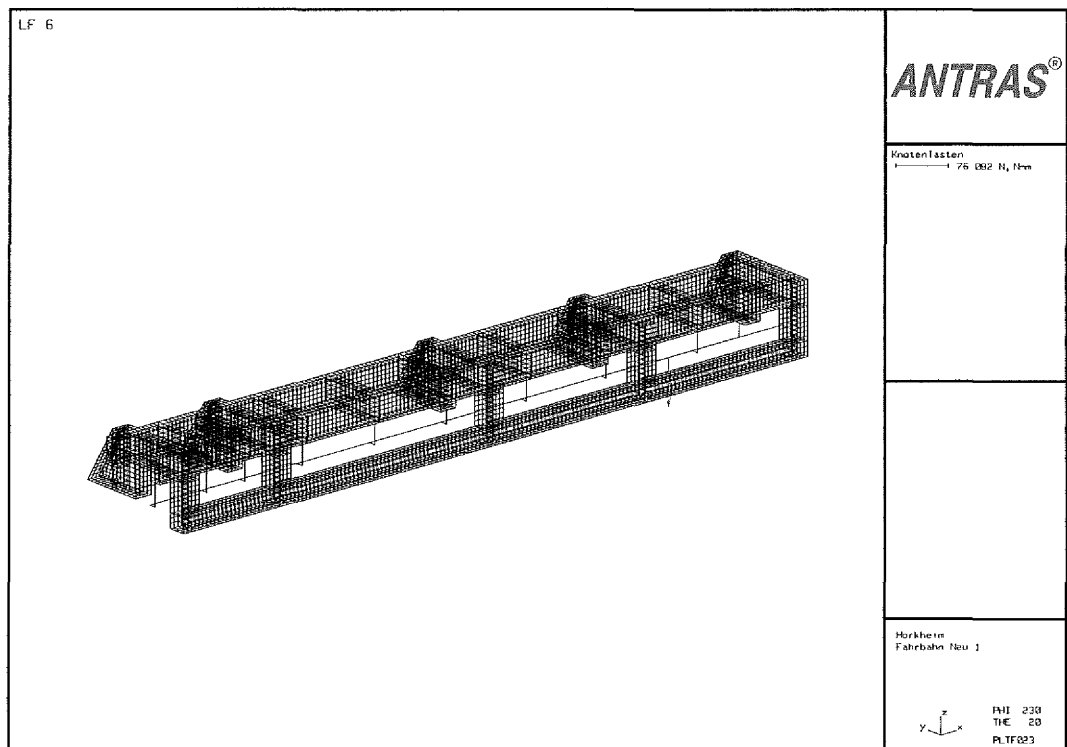
$$\underline{\Delta\sigma_d / \Delta\sigma_{R,d} = 0,369 < 1,0}$$

5. Schienen des Umlenkwegens

Die Schnittgrößen werden gemeinsam mit den Spannungen der Tragkonstruktion in einem FEM-Modell ermittelt

Belastungen:

Die Schienen werden durch die Raddrucke aus dem Umlenkwagen, Knoten 5 und 6 belastet



Abgesehen vom Endbereich des Fahrweges, errechnen sich die Raddrucke aus dem Hohenversatzmoment des Umlenkwegens

$$R_d = 1,35 \times 120,0 / 2 \times 750 / 950 = 63,947 \text{ kN}$$

Schnittgrößen Fahrbahn Neue Schleuse einschl. γ_F

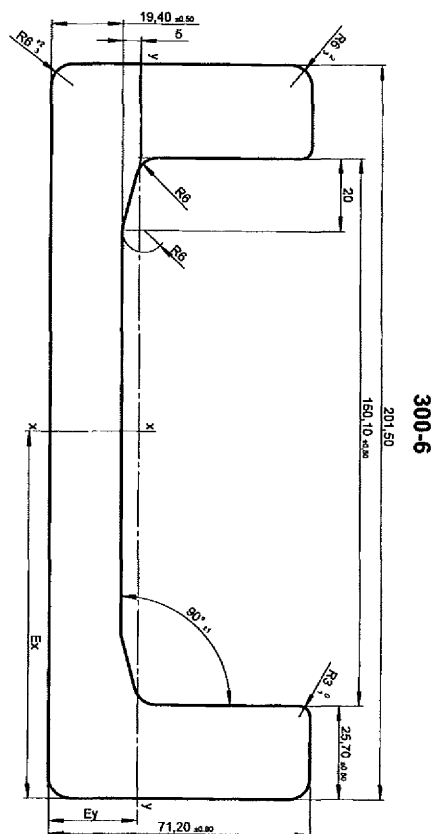
Lf	M 2 kNcm	Q 3 kN	MT kNcm	M 3 kNcm	N kN
6	-1 913,460 1 847,600	-52,857 52,139	-9,942 10,749	-72,123 63,510	-2,000 19,146

Schnittgrößen Fahrbahn alte Schleuse ohne γ_F

Lf	M 2 kNcm	Q 3 kN	MT kNcm	M 3 kNcm	N kN
1	-488,226	36,400	10,650	44,101	11,810
2	531,300	38,670	7,770	44,061	-16,880
3	1 001,380	-25,410	-6,143	44,039	-23,000
4	-698,200	-10,490	-4,086	48,444	-18,040
5	-1 021,590	25,660	-5,077	39,647	-17,060
6	624,970	37,750	-8,042	40,515	-9,835
7	1 024,960	-26,490	-6,119	44,002	-8,320
8	-1 120,590	28,010	-6,104	55,349	9,326
9	784,375	38,190	-12,360	75,791	10,050
10	-692,767	36,960	-20,582	-98,437	9,940
11	1 106,920	40,835	-58,687	-160,066	15,340
12	1 841,900	37,520	-97,082	-191,129	20,540

Schiene FSG Profil U - 300 - 6

Material: S 355J2G3 (St 52 – 3) NIOB



"U"-Profil Nr.: 300-6

kg/m:	52,25	kg
Wx:	339,76	cm ³
Wy:	57,15	cm ³
Ix:	3423,08	cm ⁴
Iy:	269,52	cm ⁴
Ex:	100,75	mm
Ey:	20,01	mm

$$A = 52,25 / 7,85 \times 10,0 = 66,56 \text{ cm}^2$$

$$\text{Max } M_{y,d} = 1,35 \times 1\,841,9 = 2\,486,565 \text{ kNcm},$$

$$\text{zugeh } M_{z,d} = 1,35 \times 191,129 = 258,024 \text{ kNcm},$$

$$\text{zugeh } M_{T,d} = 1,35 \times (-97,082) = -131,061 \text{ kNcm}$$

$$\text{zugeh. } Q_{z,d} = 1,35 \times 37,52 = 50,652 \text{ kN},$$

$$\text{zugeh } N_d = 1,35 \times (+20,540) = 27,729 \text{ kN}$$

$$\sigma_{x,d} = 24.865,65 / 339,75 + 2580,24 / 57,15 + 27\,729 / 6656$$

$$= 73,188 + 45,149 + 4,166 = 122,503 \text{ N/mm}^2 < 360,0 / 1,5 = 240,0 \text{ N/mm}^2$$

Lasteinleitungsbiegung nach Mendel (Petersen „Stahlbau“ Seite 905)

Bild 105, s nächste Seite

$$\sigma_{y,i,d} = \pm 2,1 \times 47369 \times 1,35 / 25,7^2 = \pm 203,436 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{x,i,d} = \pm 0,6 \times 47369 \times 1,35 / 25,7^2 = \pm 58,125 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{y,c,d} = \pm 1,4 \times 47369 \times 1,35 / 25,7^2 = \pm 135,624 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{x,c,d} = \pm 1,6 \times 47369 \times 1,35 / 25,7^2 = \pm 154,999 \text{ N/mm}^2$$

Bild 104 zeigt beispielhaft die Einflußflächen für $t = \text{konst.}$. Hieraus kann der Einfluß von zweiradrigen Katzen abgeschätzt werden. Es empfiehlt sich, die Bahn so zu konstruieren, daß die Katze unter Last nicht bis zu einem Trägerende durchlaufen kann, sondern nur bis etwa $3a$.

Für die maßgebenden Stellen am Flansch-Steg-Anschnitt (i) und im Flansch unter der Radlast (c) können aus Bild 105a und b die Biegespannungskoeffizienten entnommen und hiermit die Spannungen berechnet werden. Die Koeffizienten für Flansche mit veränderlicher Dicke sind so angegeben, daß in den Formeln für t mit der genormten Flanschdicke t (n.DIN 1025

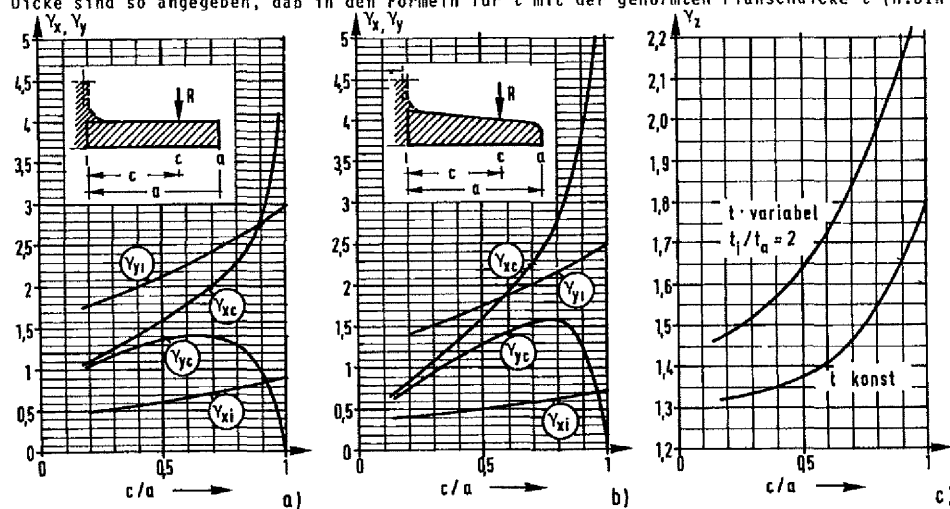


Bild 105 (nach MENDEL)
gerechnet werden kann [73].

Anschnitt i

$$\sigma_y = \pm \gamma_{yi} R / t^2, \quad \sigma_x = \pm \gamma_{xi} R / t^2 \quad (136)$$

Unter der Radlast (c)

$$\sigma_x = \pm \gamma_{xc} R / t^2, \quad \sigma_y = \pm \gamma_{yc} R / t^2 \quad (137)$$

$$c/a = 24 / 46,8 = 0,512$$

Superposition

$$\Sigma \sigma_{xi,d} = 73,188 + 4,166 + 58,125 = 135,479 \text{ N/mm}^2$$

$$\Sigma \sigma_{xc,d} = 73,188 + 4,166 + 154,999 = \underline{232,353 \text{ N/mm}^2} < 240,0 \text{ N/mm}^2$$

Betriebsfestigkeitsnachweis nicht maßgebend (Kerbgruppe 160)

Anschluß an die Stahlkonstruktion der Trageruste

$$\max Q_z = F_d = 152,164 / 2 = 76,082 \text{ kN}$$

$$\text{zugeh } Q_x = 27,729 \text{ kN}$$

gewählt 4 Schrauben M 12 - 8.8 , Vorspannung 100 %

$$V_{a,d} = [(76,082 / 4)^2 + (27,729 / 4)^2]^{0,5} = \underline{20,244 \text{ kN}}$$

$$V_{a,R,d} = 36,79 / 1,5 \times 1,1 = \underline{26,979 \text{ kN}}$$

Die weiteren Nachweise werden dem Gerüst zugeordnet.

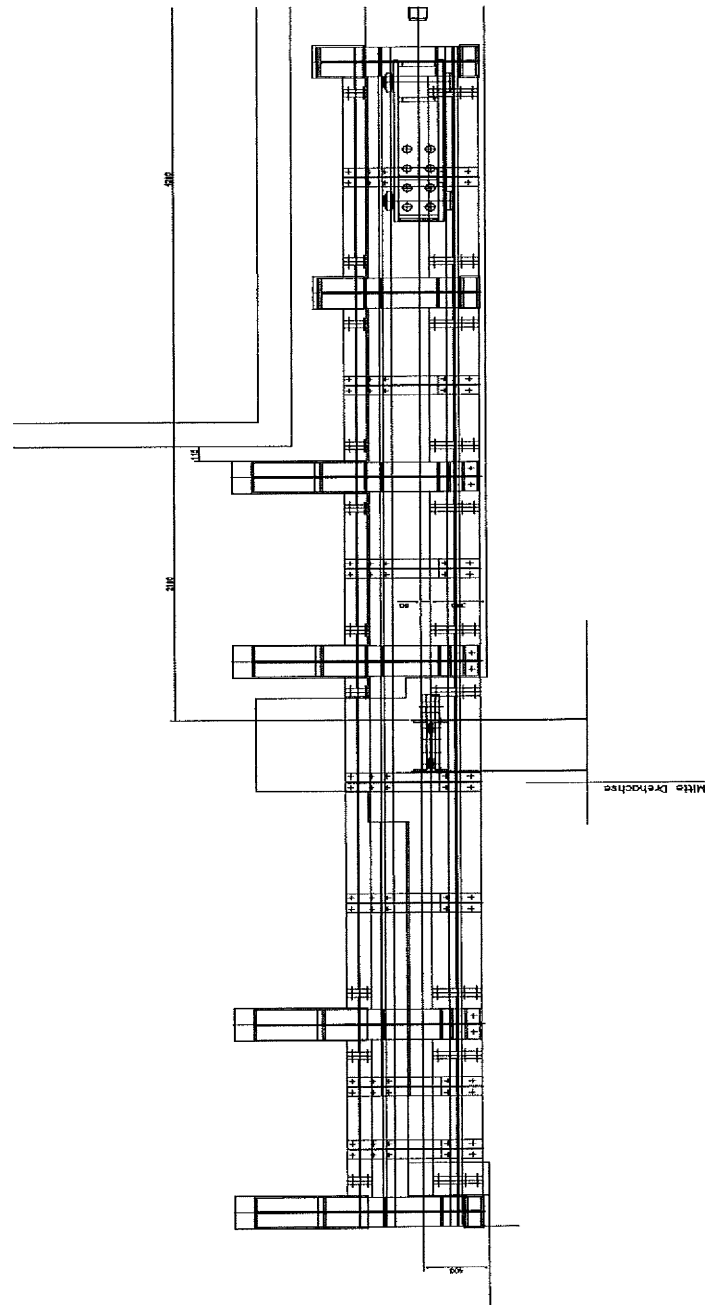
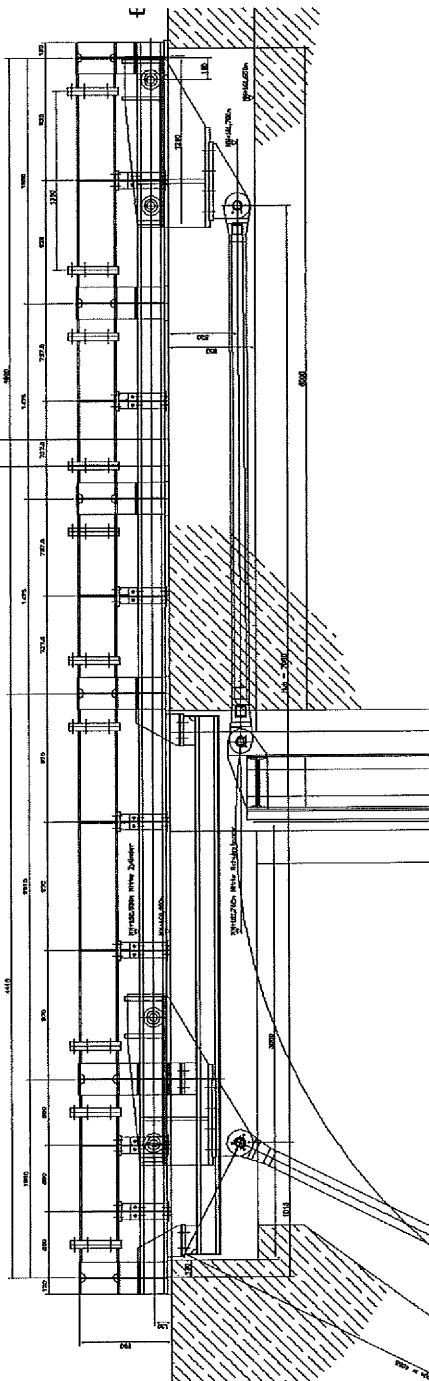
6. Traggerüst

Das Traggerüst hat einerseits die Schienen des Umlenktrahns aufzunehmen andererseits auch die Kräfte aus der Leitwerkskonstruktion

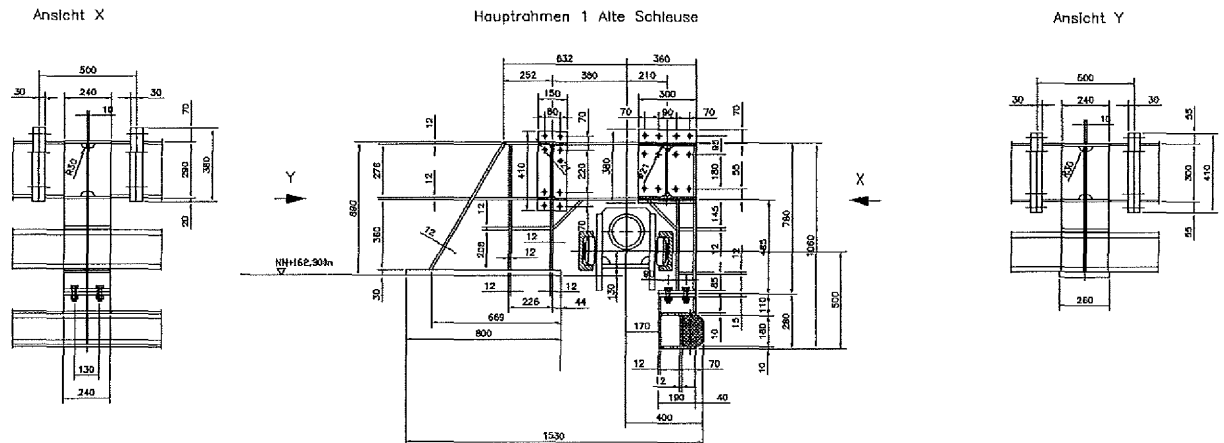
Das Traggerüst muss für die neue und die alte Schleuse unterschiedlich ausgeführt werden

Die Berechnung der Schnittgrößen erfolgte mit Hilfe von FEM-Modellierungen

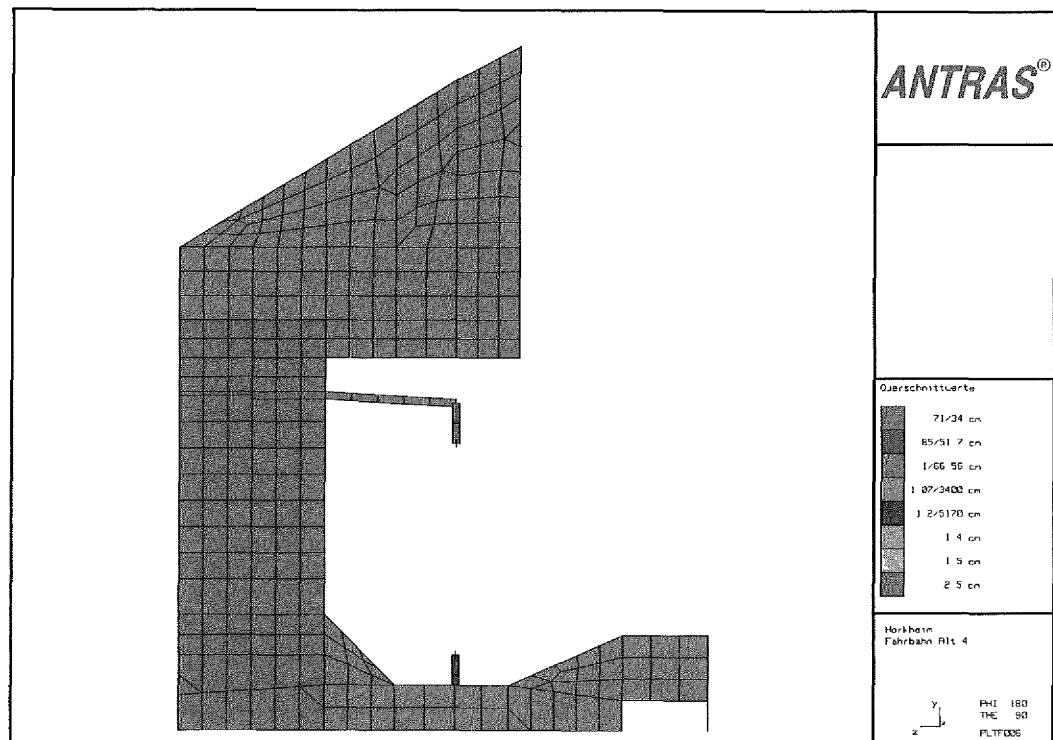
6.1 Traggerüst Alte Schleuse

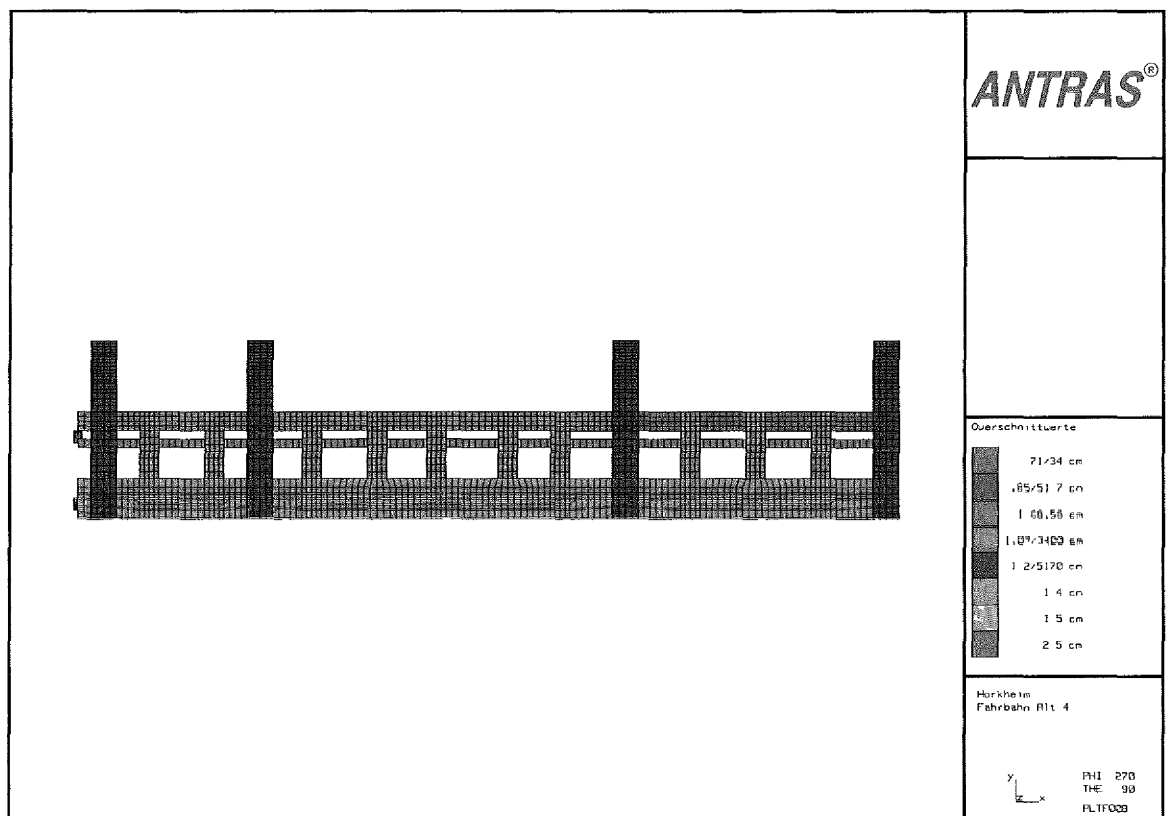
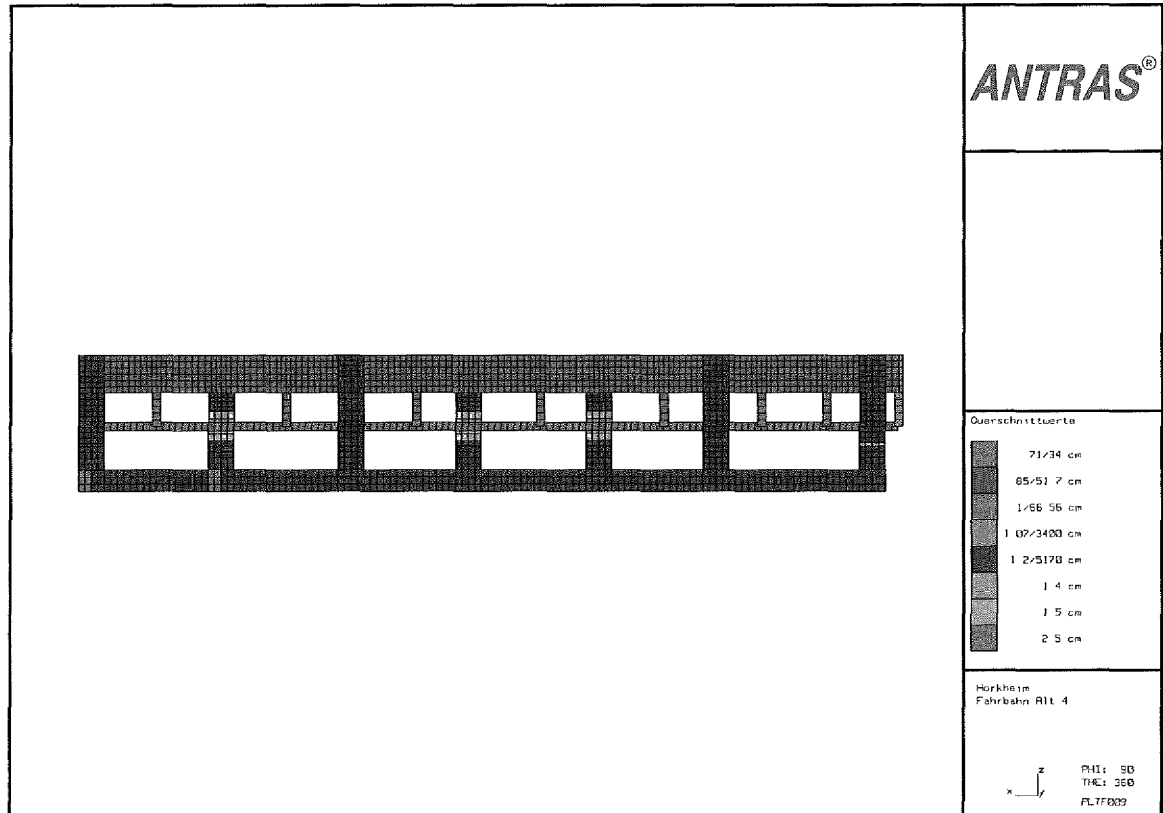


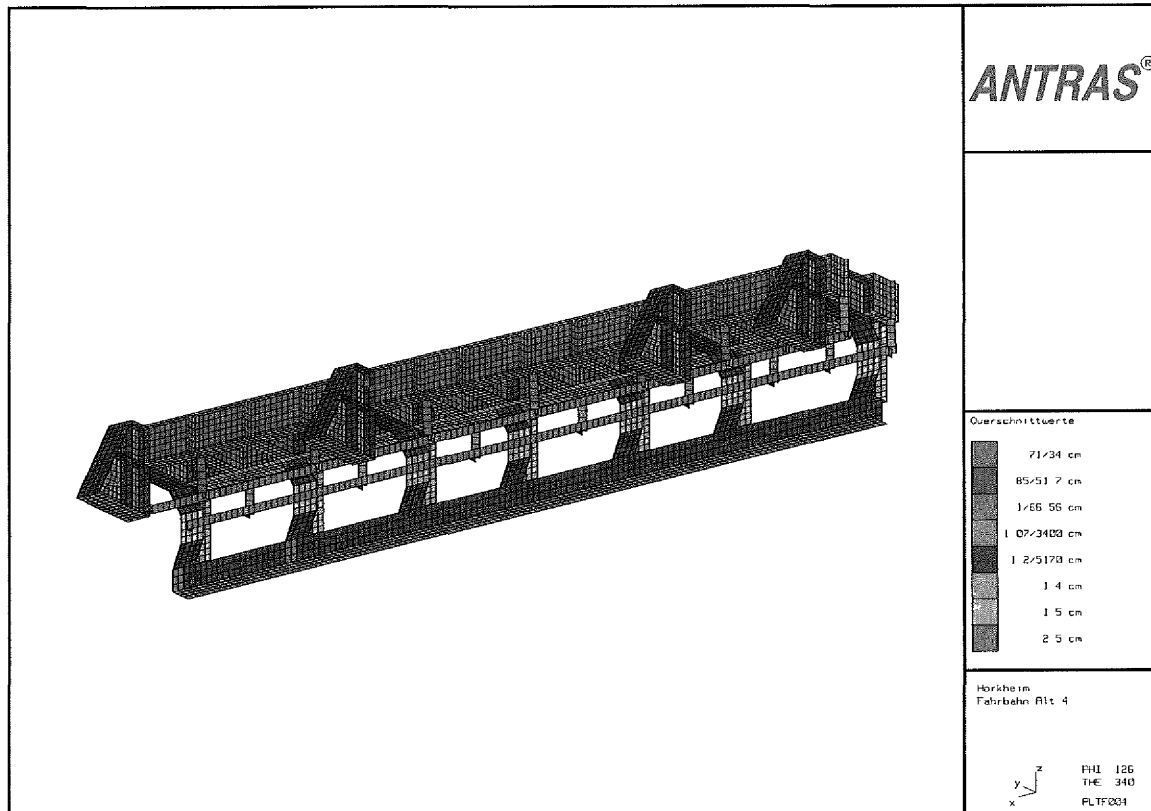
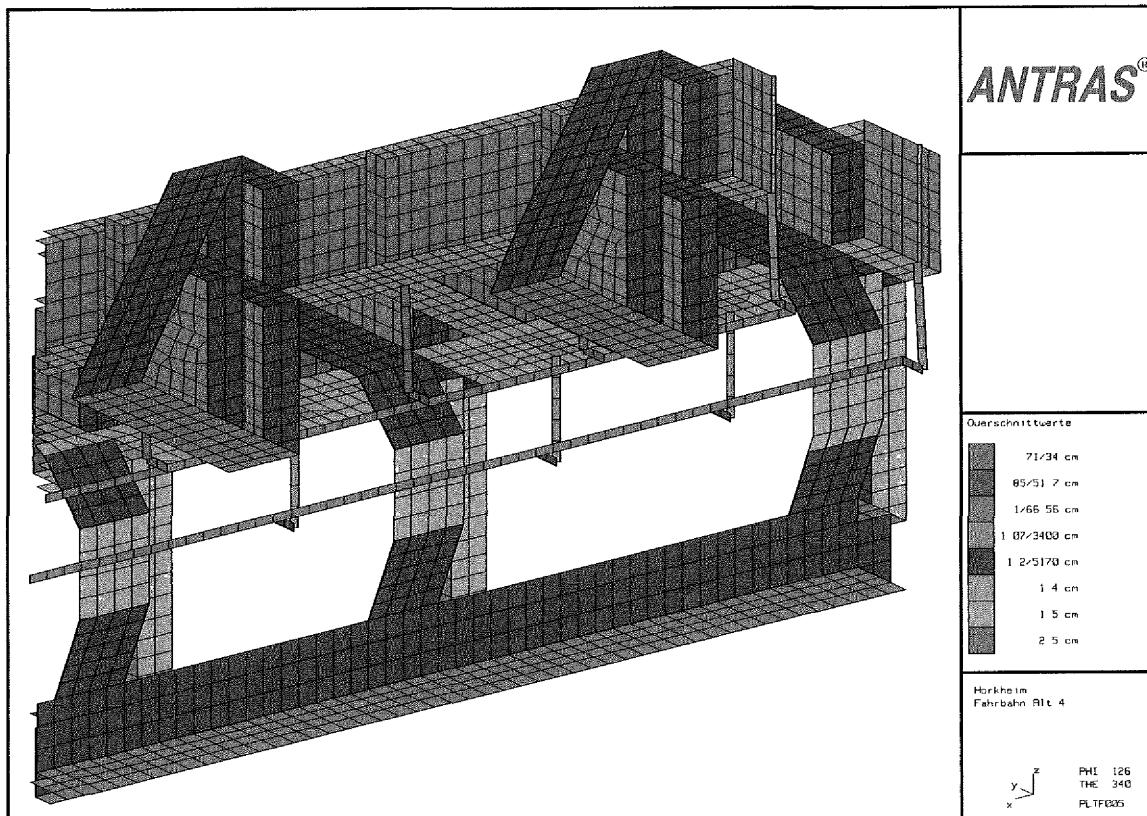
Traggerüst für Antrieb Alte Schleuse - Schnitt



6.2 FEM-Modell







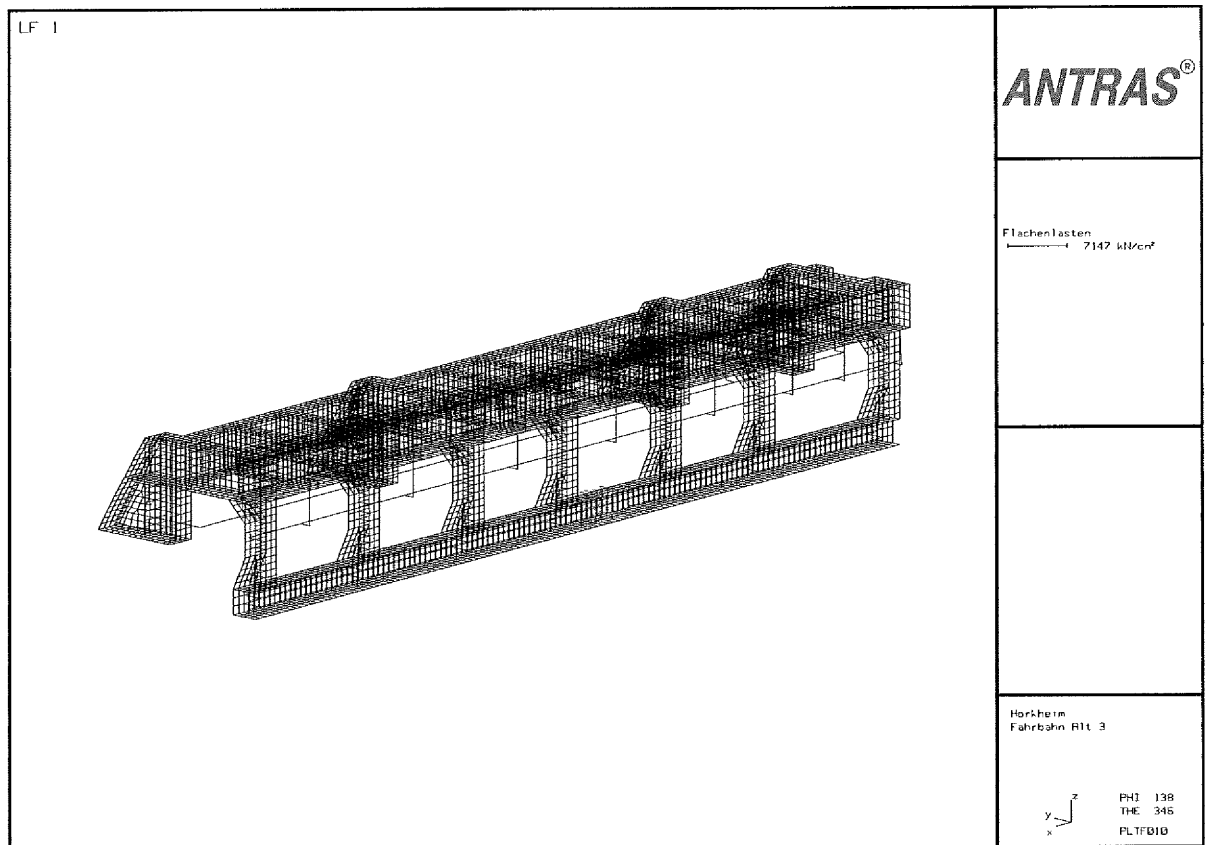
6.3 Belastungen

Die Tragkonstruktion wird nicht nur durch die Radlasten des Umlenk wagens beansprucht, (Radlasten nach Knoten 5 und 6 der Kraftermittlung), sondern auch durch im unteren Bereich durch die Reibungslasten der ein- und ausfahrenden Schiffe. Diese Kräfte werden nach DIN 19704 - 1, 5.2.10 mit 100 kN horizontal rechtwinklig zur Fahrtrichtung und mit gleichzeitig 50 kN horizontal in Fahrtrichtung angenommen.

Die Lasten aus dem Umlenk wagen und der Schiffsreibung können nicht gleichzeitig auftreten. Die Lasten aus dem Umlenk wagen müssen noch auf die eingestellte Antriebskraft von 120,0 kN umgerechnet werden.

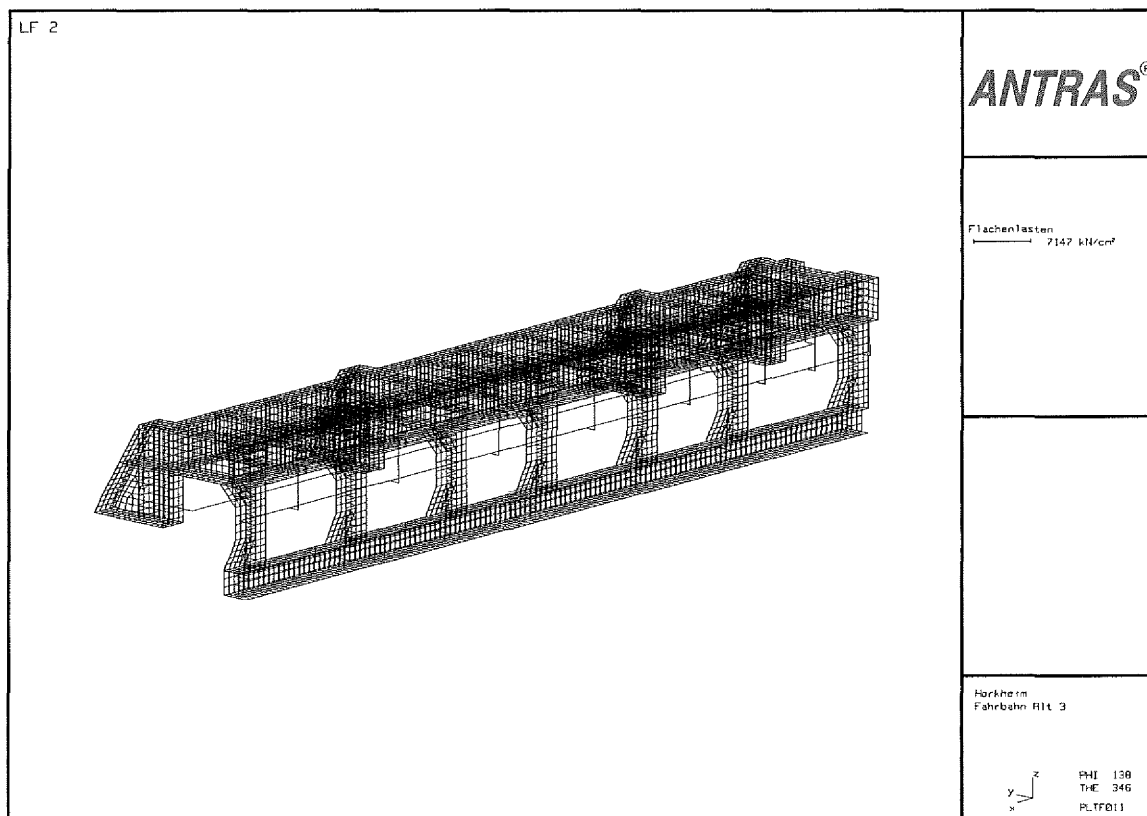
		Zylinderkraft 120 kN						
Drehwinkel	Lastfall	Knoten 5	Knoten 6	Knoten 7	Zylinderkraft	Knoten 5	Knoten 6	Sys
0,00	2	94,314	-94,314	-119,464	120,000	-94,737	94,737	1
1,17	4	94,647	-94,387	-119,557	120,000	-94,998	94,737	2
2,34	7	94,931	-94,461	-119,651	120,000	-95,208	94,737	3
3,50	10	95,164	-94,533	-119,742	120,000	-95,369	94,737	4
4,67	13	95,341	-94,607	-119,835	120,000	-95,472	94,737	5
5,62	16	95,465	-94,666	-119,910	120,000	-95,537	94,737	6
5,85	19	95,559	-94,750	-120,017	120,000	-95,545	94,737	7
7,00	22	95,574	-94,752	-120,019	120,000	-95,559	94,737	8
8,20	25	95,614	-94,828	-120,115	120,000	-95,522	94,737	9
9,35	28	95,602	-94,899	-120,206	120,000	-95,438	94,736	10
10,50	31	95,543	-94,971	-120,297	120,000	-95,307	94,737	11
11,30	34	95,518	-94,986	-120,315	120,000	-95,268	94,737	12
11,70	37	95,429	-95,047	-120,329	120,000	-95,168	94,787	13
12,80	40	95,280	-95,116	-120,479	120,000	-94,901	94,738	14
14,00	43	95,066	-95,191	-120,575	120,000	-94,613	94,737	15
15,10	46	94,825	-95,260	-120,663	120,000	-94,304	94,737	16
16,40	49	94,483	-95,342	-120,767	120,000	-93,883	94,736	17
16,90	52	94,335	-95,374	-120,807	120,000	-93,705	94,737	18
17,50	55	94,145	-95,412	-120,855	120,000	-93,479	94,737	19
18,70	58	93,727	-95,487	-120,951	120,000	-92,990	94,736	20
19,90	61	93,260	-95,563	-121,047	120,000	-92,453	94,736	21
21,00	64	92,781	-95,633	-121,135	120,000	-91,912	94,737	22
22,10	67	92,260	-95,704	-121,225	120,000	-91,328	94,737	23
22,50	70	92,060	-95,729	-121,256	120,000	-91,106	94,737	24
23,40	73	91,589	-95,786	-121,329	120,000	-90,586	94,737	25
24,50	76	90,973	-95,856	-121,417	120,000	-89,911	94,737	26
25,70	79	90,251	-95,933	-121,515	120,000	-89,126	94,737	27
26,90	82	89,478	-96,009	-121,611	120,000	-88,293	94,737	28
27,10	85	89,343	-96,021	-121,627	120,000	-88,148	94,737	29
28,30	88	88,508	-96,098	-121,724	120,000	-87,254	94,737	30
34,00	91	93,830	-96,462	-122,186	120,000	-92,151	94,736	31
39,50	94	78,173	-96,814	-122,631	120,000	-76,496	94,737	32
45,20	97	71,074	-97,185	-123,101	120,000	-69,284	94,737	33
50,09	100	63,874	-97,505	-123,506	120,000	-62,061	94,737	34

Drehwinkel	Lastfall	Knoten 5	Knoten 6	Knoten 7	Zylinder- kraft	Knoten 5	Knoten 6	Sys
56,50	103	52,649	-97,959	-124,081	120,000	-50,917	94,737	35
62,00	106	41,011	-98,395	-124,634	120,000	-39,486	94,737	36
67,50	109	26,830	-98,923	-125,303	120,000	-25,695	94,736	37
73,50	112	7,055	-99,671	-126,250	120,000	-6,706	94,737	38
79,00	115	-17,736	-100,749	-127,615	120,000	16,678	94,737	39
84,90	118	-58,928	-102,872	-130,304	120,000	54,268	94,737	40
90,00	121	-128,144	-107,707	-136,428	120,000	112,714	94,737	41

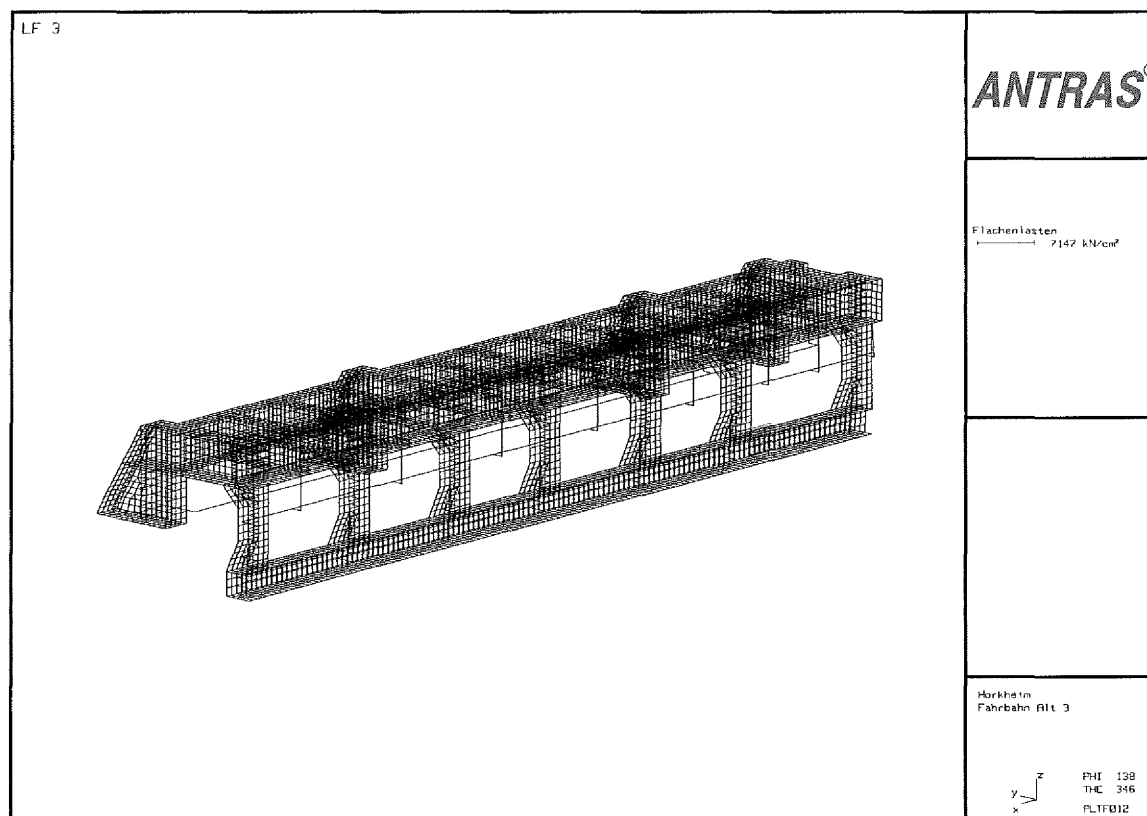


Belastung aus Schiffsreibung Stellung 1

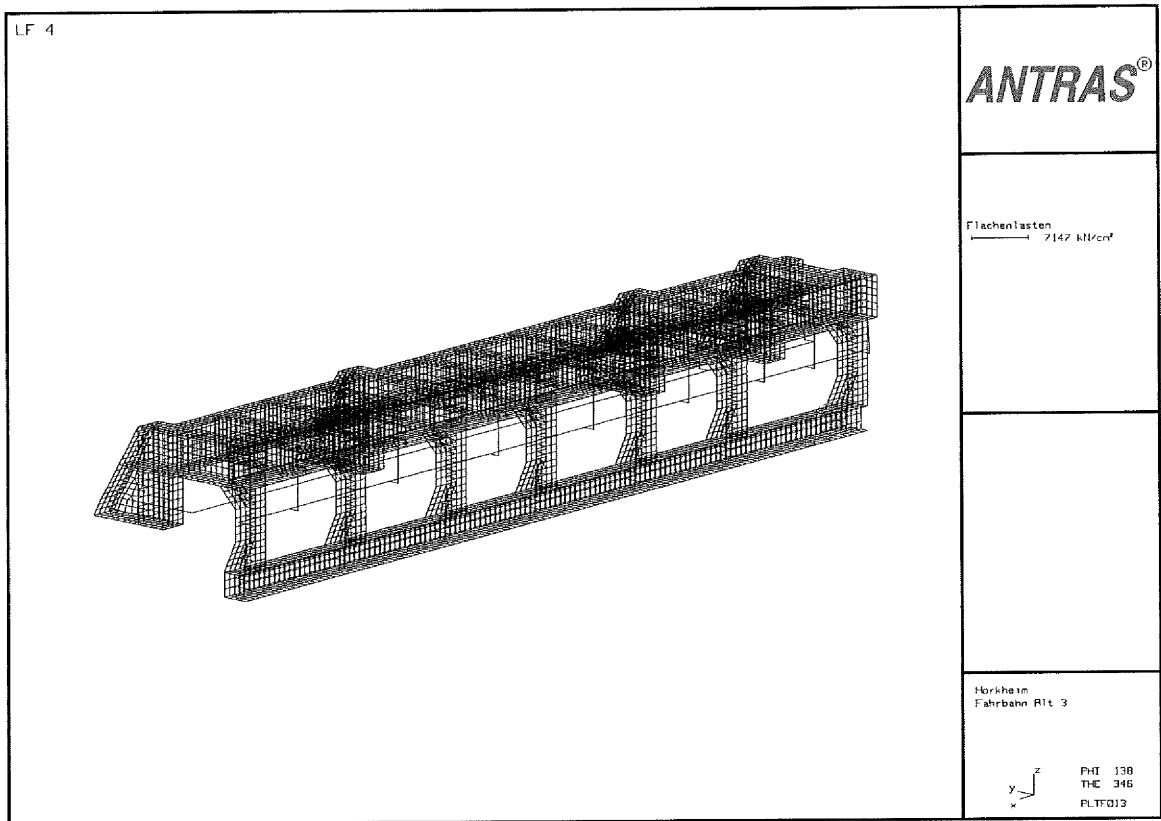
Die 100 kN werden durch die PE_UHMW-Gleitleisten fachig verteilt



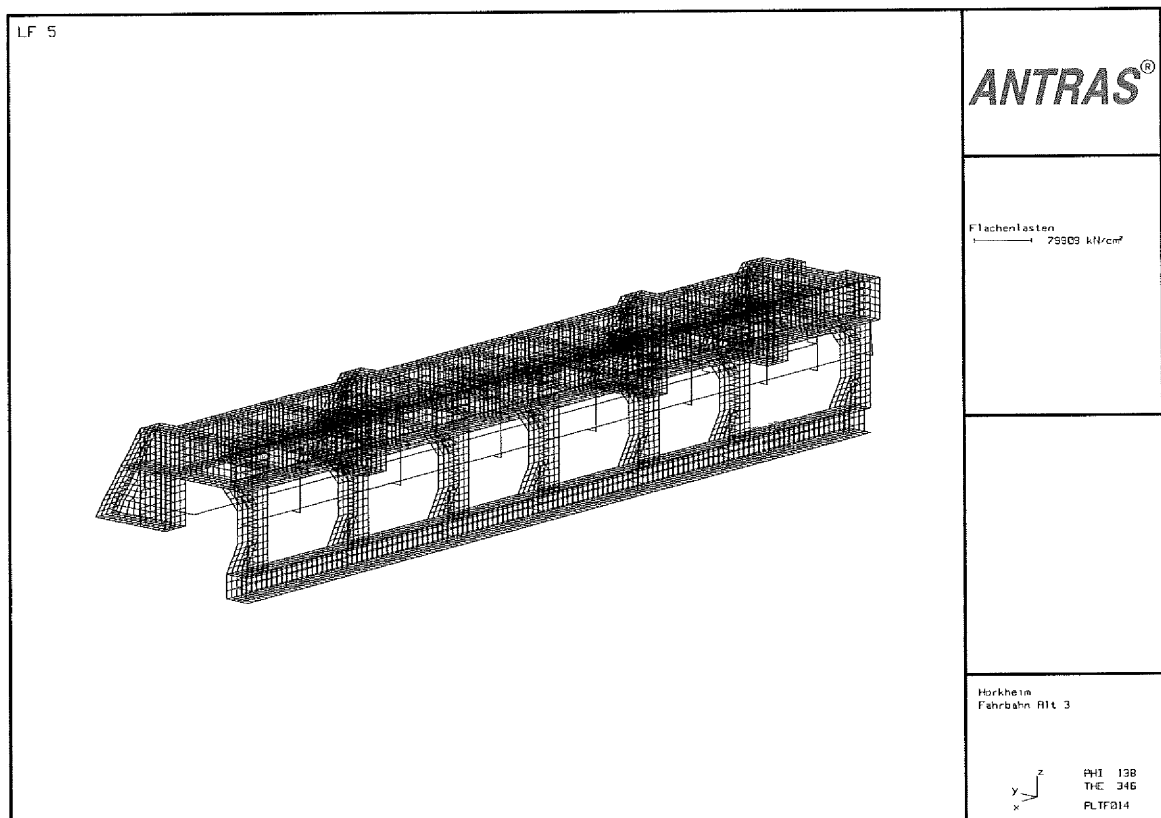
Belastung aus Schiffsreibung Stellung 2



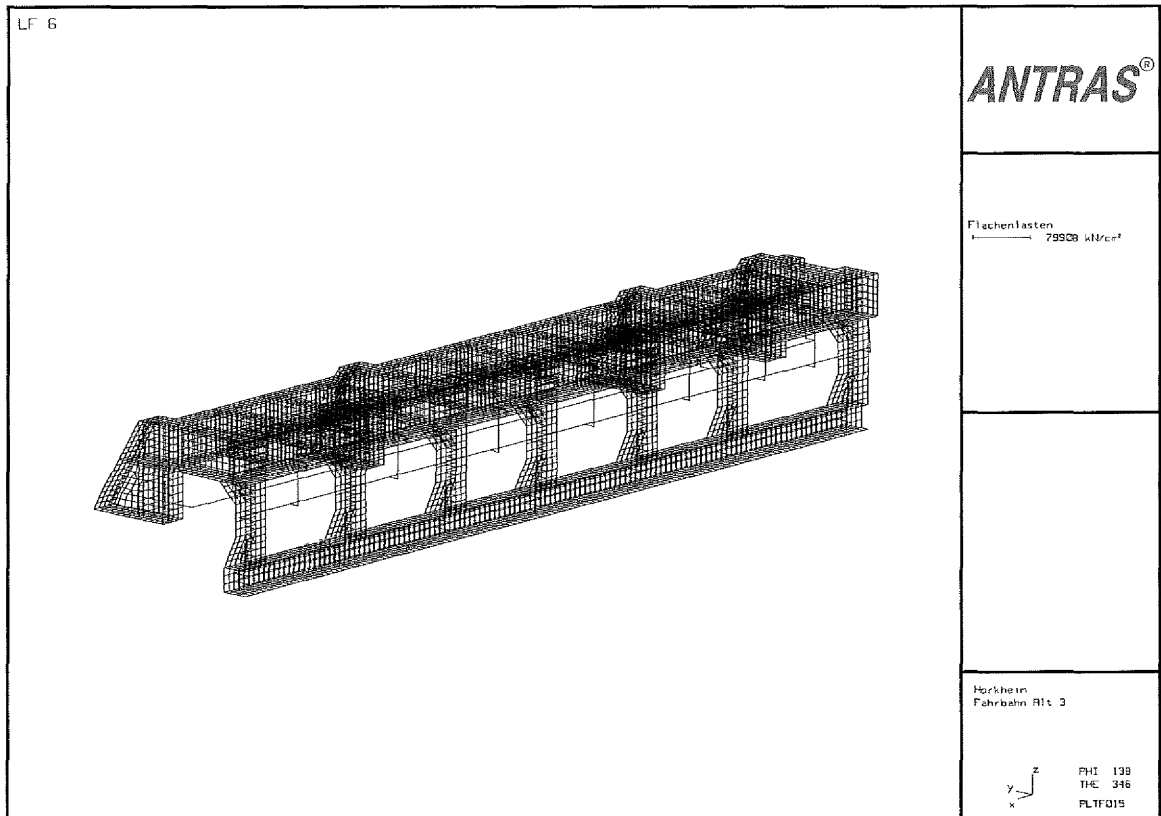
Belastung aus Schiffsreibung Stellung 3



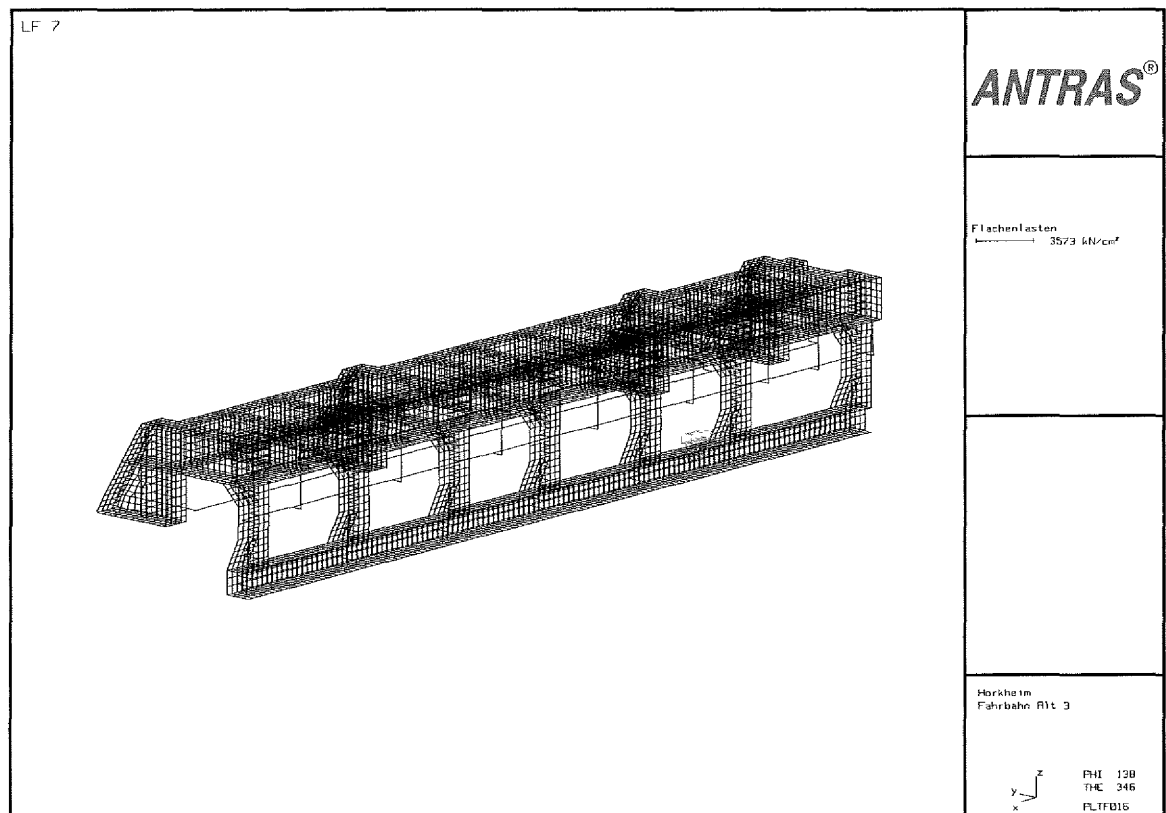
Belastung aus Schiffsreibung Stellung 4



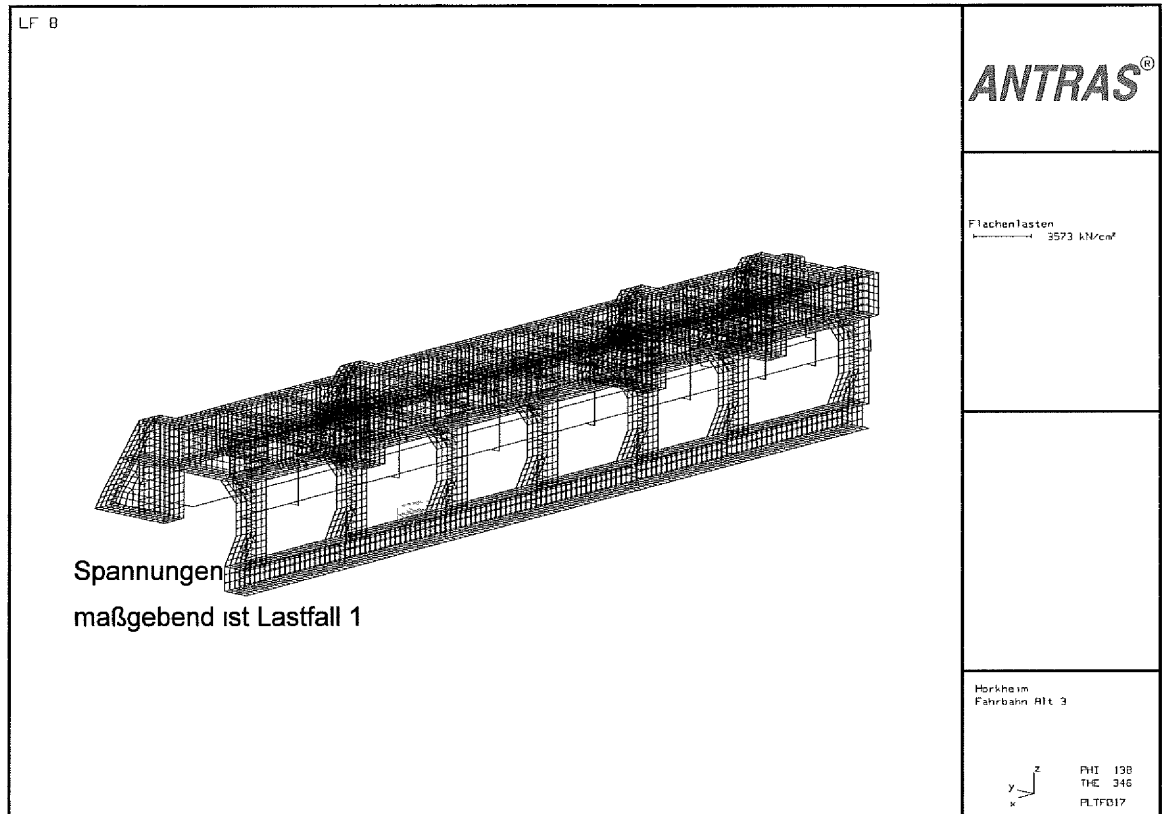
Belastung aus Schiffsreibung Stellung 5



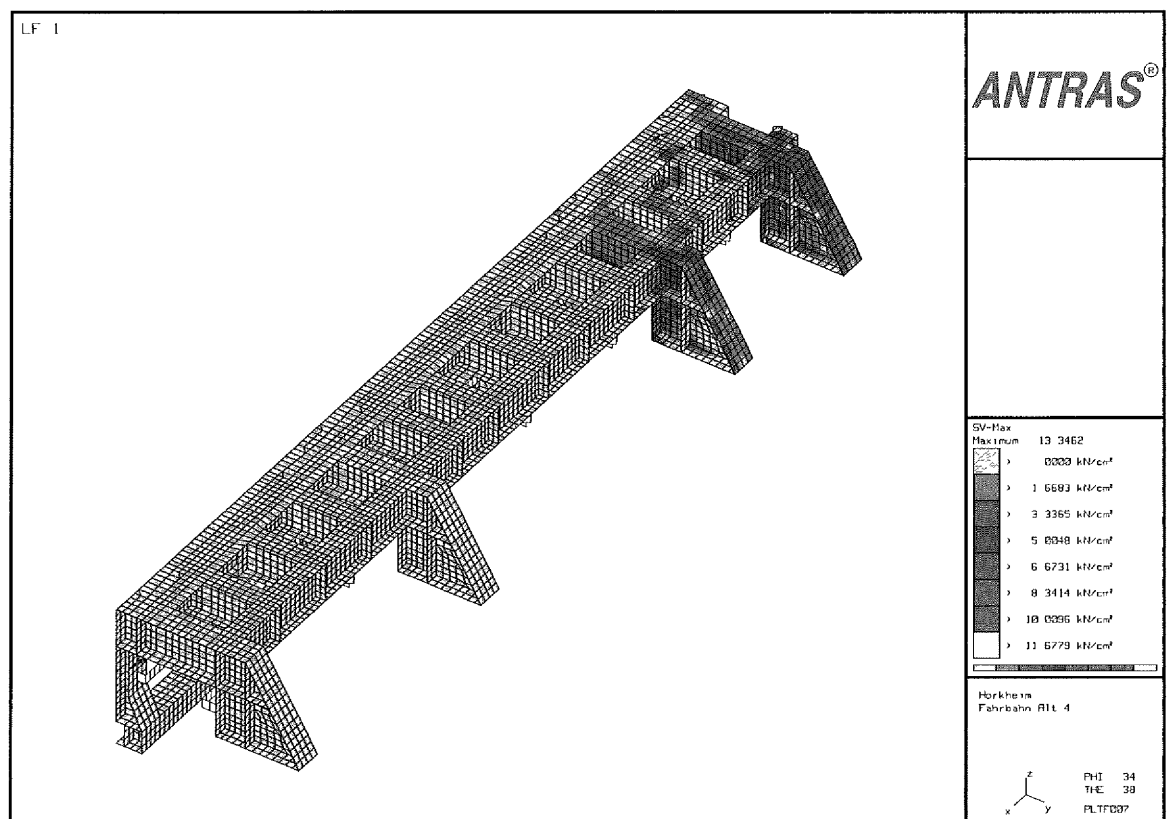
Belastung aus Schiffsreibung Stellung 6



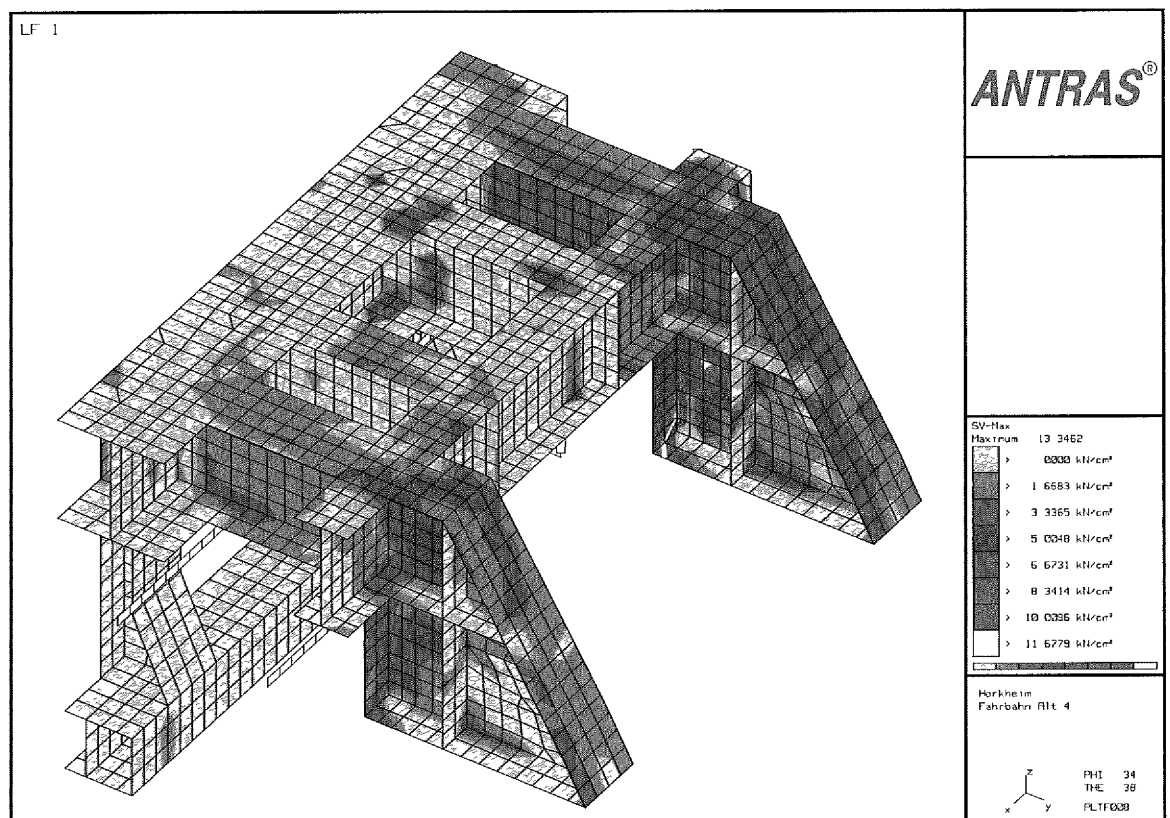
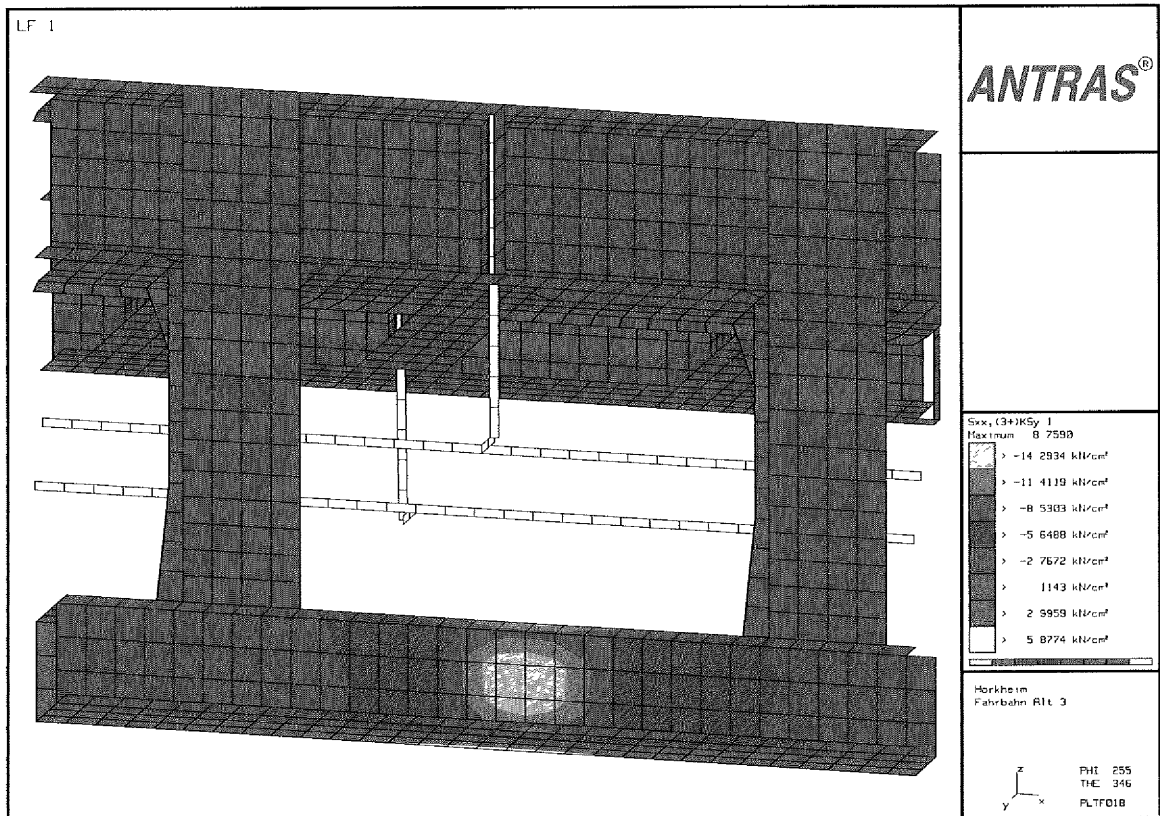
Belastung aus Schiffsreibung Stellung 7

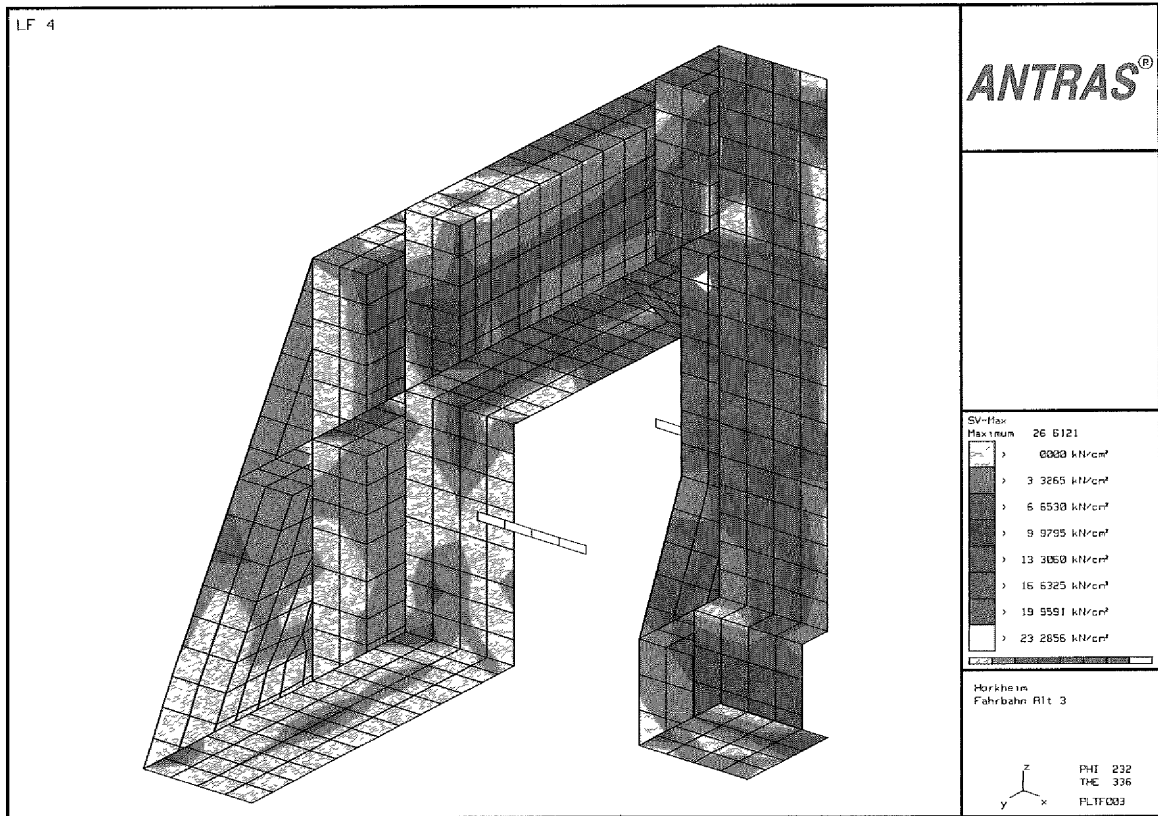


6.4 Spannungen im Traggerüst für die Antriebe der Alten Schleuse

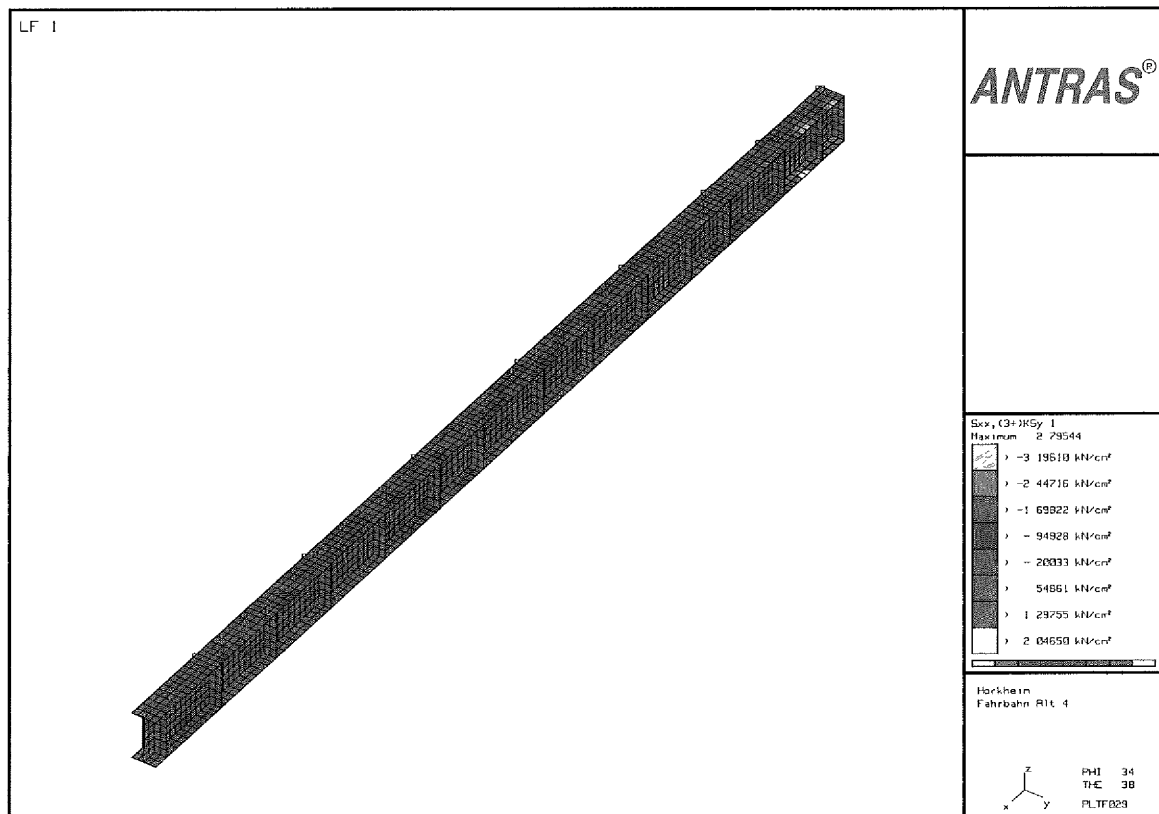


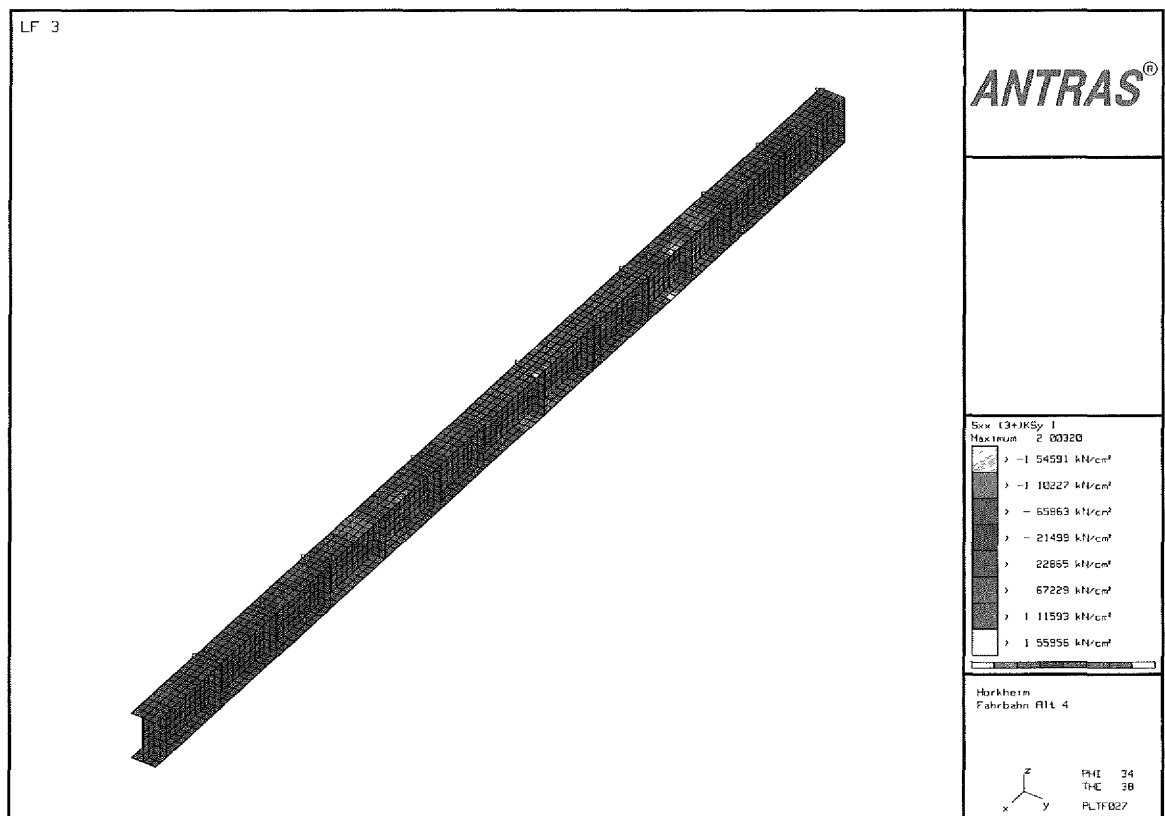
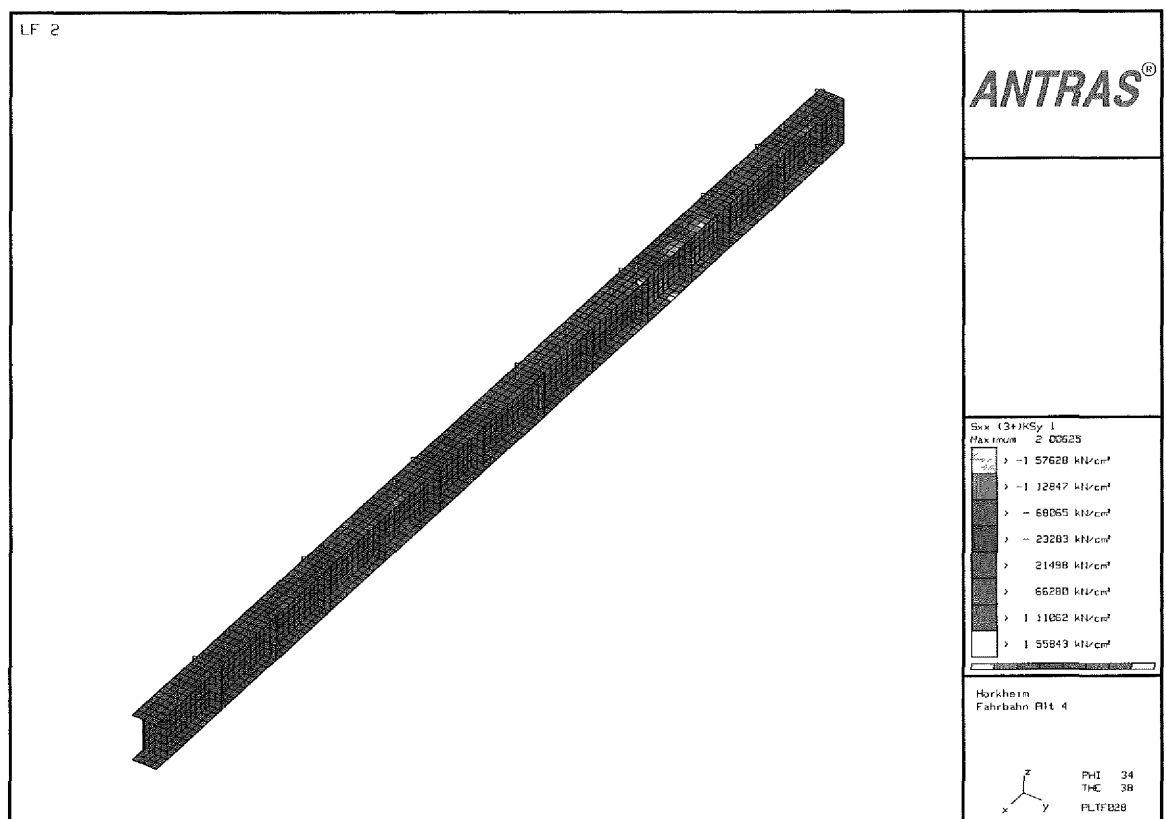
Spannungen

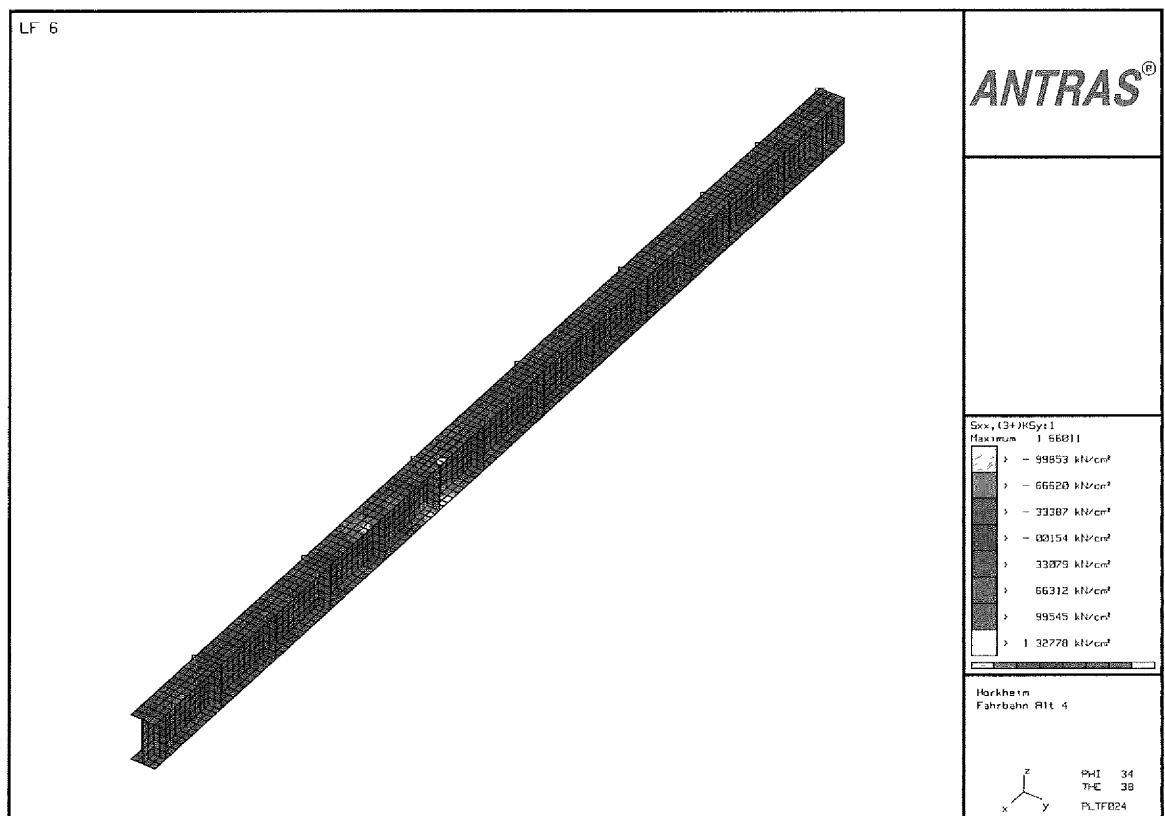
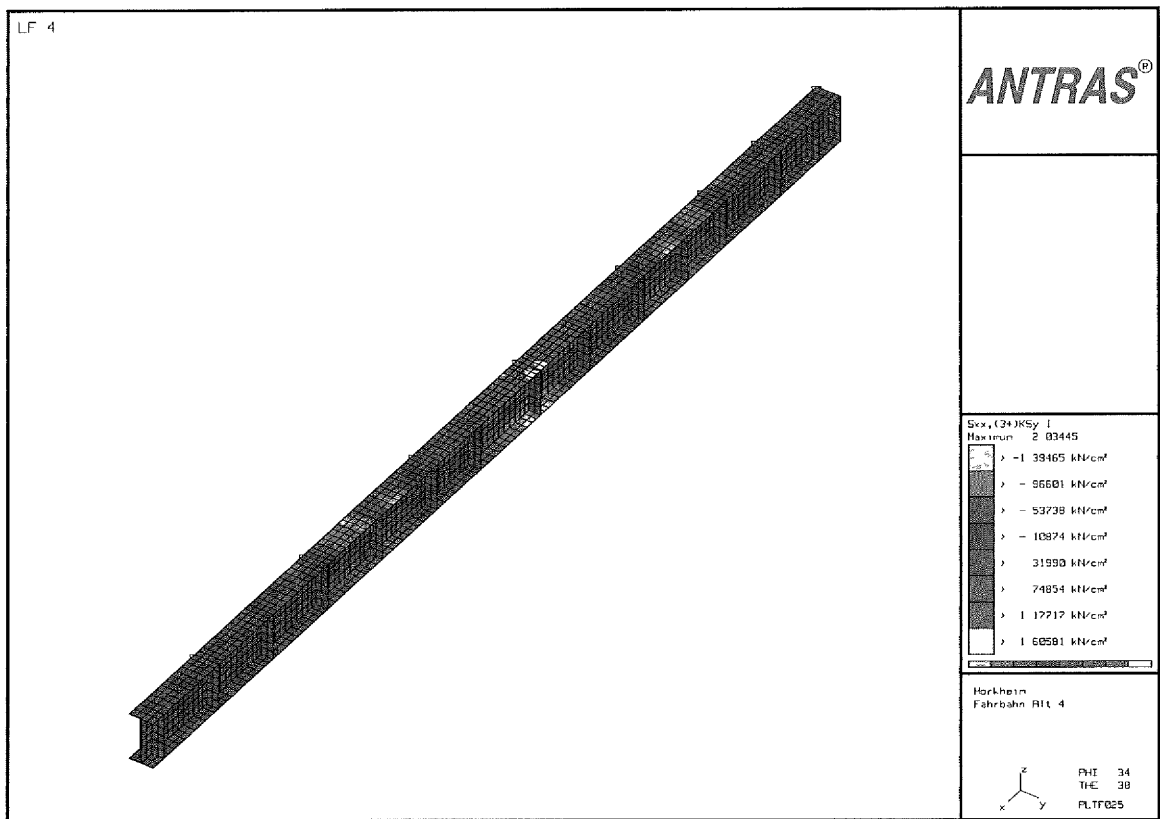


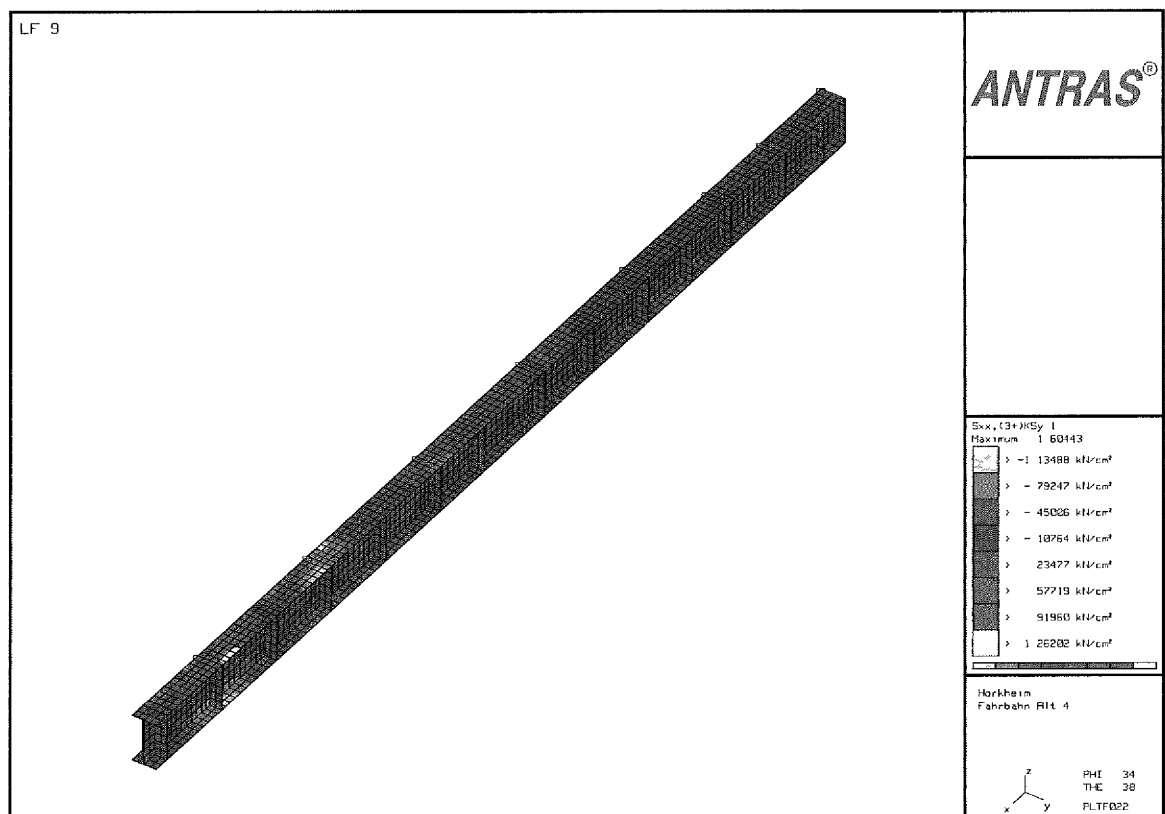
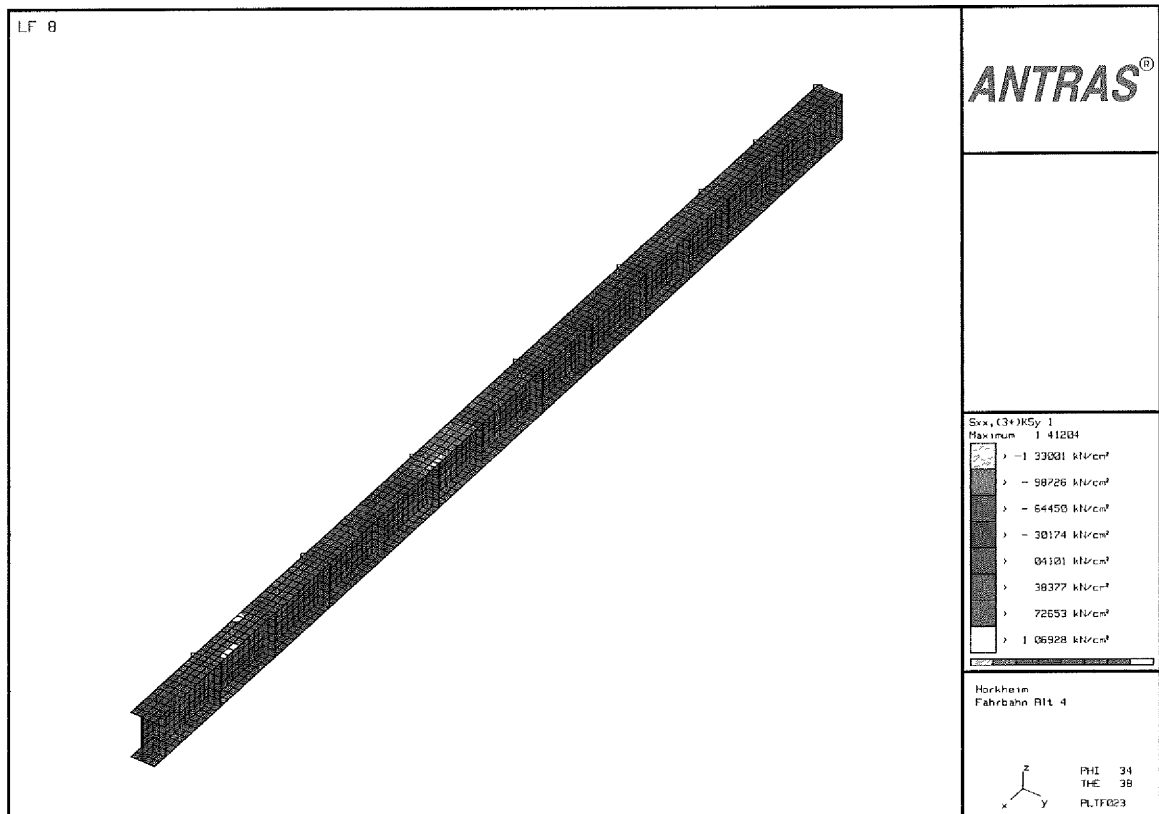


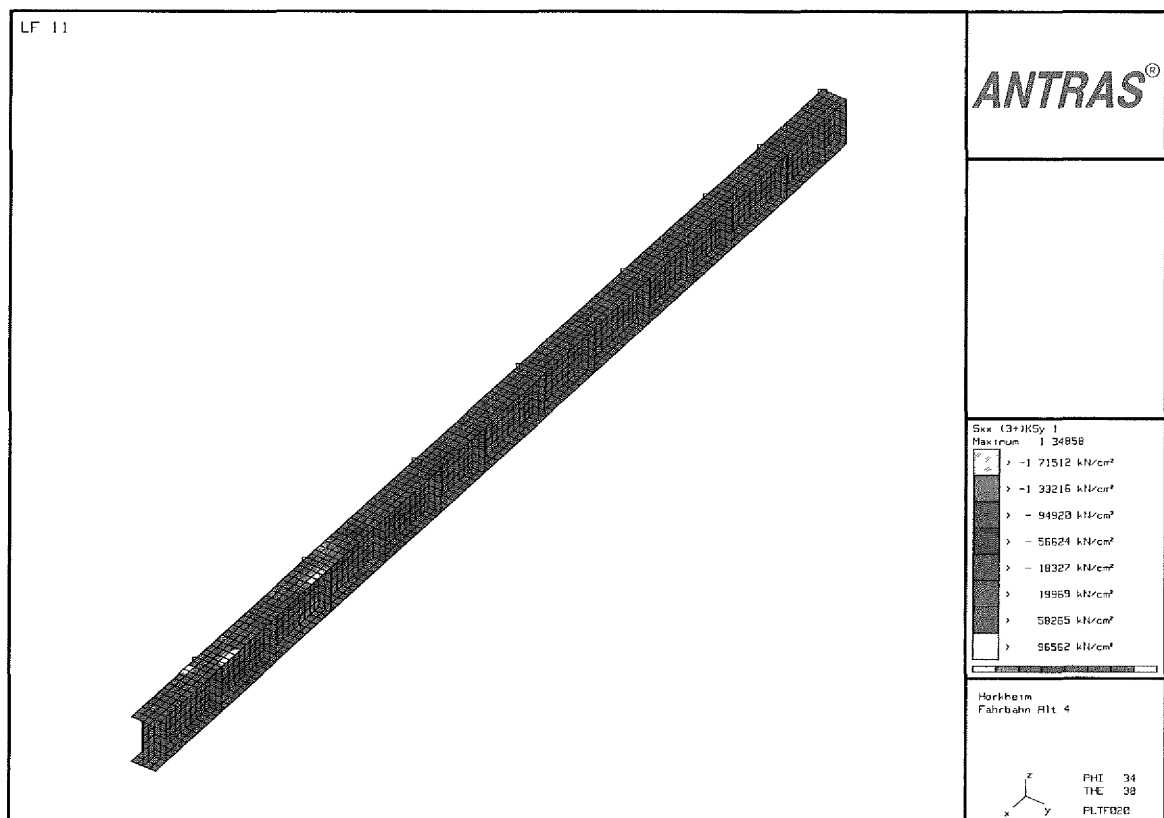
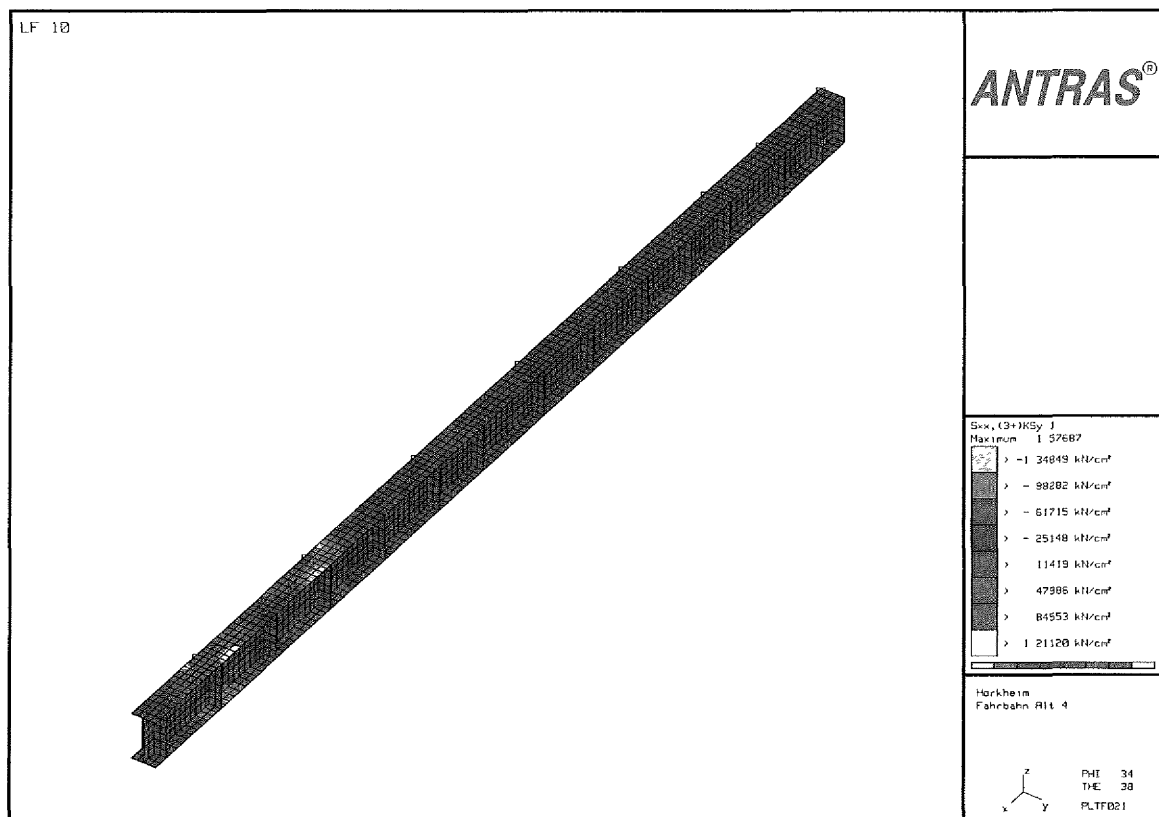
Spannungen in den Langträgern



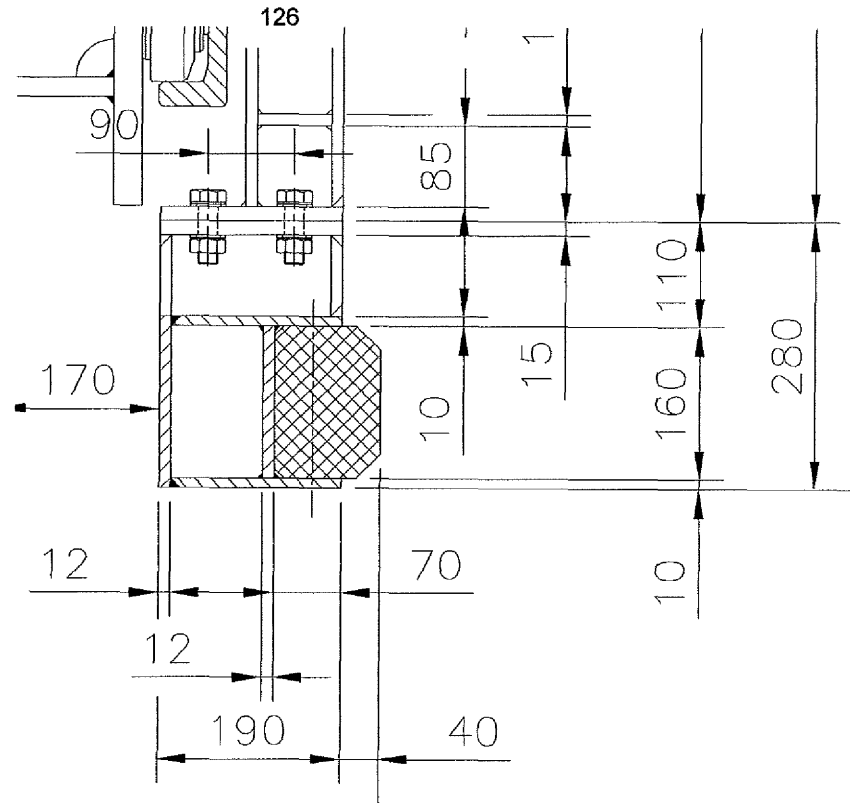








6.5 Spannungen in dem Leitwerksträger



Wie die Spannungsplots zeigen betragen die Spannungen im Leitwerksträger weniger als $240,0 / 1,1 = 218,18 \text{ N/mm}^2$, weitere Nachweise sind daher entbehrlich.

6.5 Verschraubung an den vertikalen Stützen:

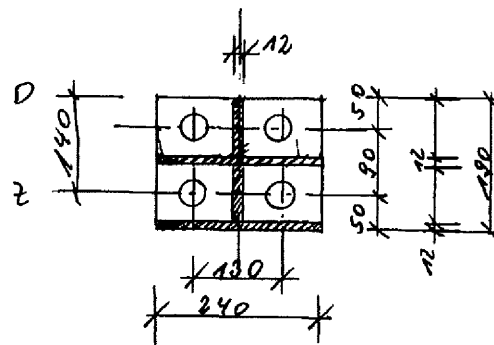
$$Q_d = 1,35 \times 0,9 \times 100,0 = 121,5 \text{ kN}$$

$$M_d = 121,5 \times (16,0 / 2 + 11,0) = 2\,308,5 \text{ kNcm}$$

4 Schrauben M 20 – 10.9 100% vorgespannt

$$\max Z_d = \sim 2\,308,5 / 14,0 / 2 = 82,446 \text{ kN} < 178,18 \text{ kN}$$

Biegung in der Kopfplatte



als dreiseitig gestutzte Platte mit zwei anliegend eingespannten Rändern (nach „Hahn“)

$$\max M_d = \sim 82,446 / 10,5 = \underline{7,852 \text{ kNcm/cm}}$$

$$\text{Kopfplatte } t = 15 \text{ mm} \quad M_{R,d} = \sim 1,0 \times 1,5^2/6 \times 24,0 / 1,1 = \underline{8,182 \text{ kNcm/cm}}$$

$$\max M_d / M_{R,d} = \underline{0,96 < 1,0}$$

Weitere Nachweise sind am Leitwerksträger der Alten Schleuse nicht erforderlich.
Vergleiche die Plots der Spannungsauswertung

6.6. Anschlußstiele der Schienen

HEB 120 S 235JRG2

ungünstigste Schnittgrößen je Stiel

$$N_d = - 1,35 \times 120,0 \times 128,144 / 136,428 / 2 = - 76,082 \text{ kN (aus Lf 121 der}$$

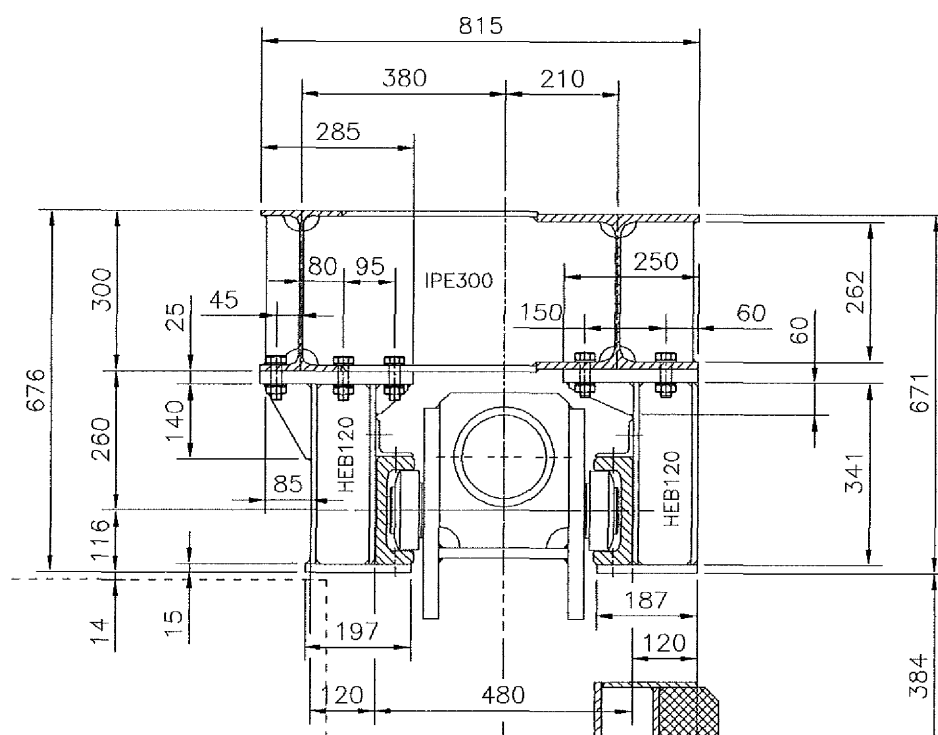
Antriebskraftermittlung)

$$M_{y,d} = 76,082 \times 12,5 = 951,025 \text{ kNcm}$$

HEB-120 mit Verschraubung 4 oder 6 M 16 – 8.8 voll vorgespannt

Kopfplatte $t = 25 \text{ mm}$, Schweißnähte $a \approx 6 \text{ mm}$ umlaufend

Zwischenrahmen Alte Schleuse



$$\max Z_d = \sim 76,082 / 4 + 951,025 / 2 / 21,0 = 19,021 + 22,643 = 41,664 \text{ kN}$$

$$\max Z_{R,d} = 129,59 / 1,5 \times 1,1 = \underline{95,033 \text{ kN} > 41,664 \text{ kN}}$$

Kopfplatte

$$M = 41,664 \times 3,0 / 2 = 62,496 \text{ kNcm}$$

$$W = \sim 4,0 \times 2,5^2 / 6 = 4,167 \text{ cm}^3$$

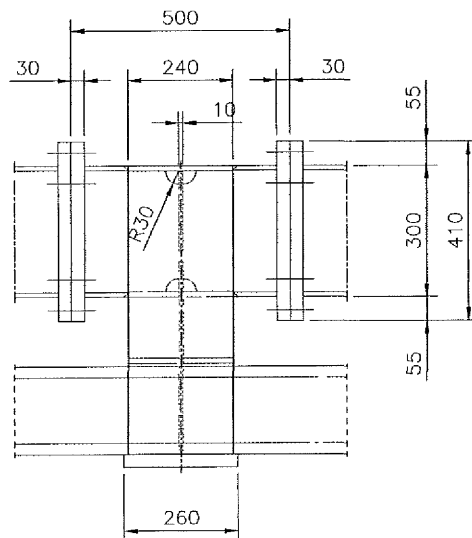
$$\sigma_d = 624,96 / 4,167 = \underline{150 \text{ N/mm}^2 < 240,0 / 1,5 = 160,0 \text{ N/mm}^2}$$

6.7 Kopfplattenstöße der Längsträger

Die maximalen Spannungen in den Längsträgern betragen $3,5 \text{ kN/cm}^2$,
damit ergeben sich die Gurtkräfte für den

IPE 300 zu $F_{G,d} = 15,0 \times 1,07 \times 3,5 \times 1,35 = 75,084 \text{ kN}$,
daraus resultiert ein Moment von
 $M_d = 75,084 \times (30,0 - 1,07) = \underline{2\,172,2 \text{ kNcm}}$

HEA 300 zu $F_{G,d} = 30,0 \times 1,40 \times 3,5 \times 1,35 = 198,45 \text{ kN}$,
daraus resultiert ein Moment von
 $M_d = 198,45 \times (30,0 - 1,4) = \underline{5675,67 \text{ kNcm}}$



Kopfplatten $t = 30 \text{ mm}$

Schrauben M 20 – 8.8, vollvorgespannt

HEA 300 4-reihig (16 Schrauben)

IPE 300 2-reihig (8 Schrauben)

Schweißnähte

Gurt $a = 6 \text{ mm}$ umlaufend

Steg $a = 4 \text{ mm}$

maximale Schraubenzugkräfte.

HEA 300 $N_d = 198,45 / 8 = 24,81 \text{ kN} < 129,59 \text{ kN}$

IPE 300 $N_d = 75,084 / 4 = 18,77 \text{ kN} < 129,59 \text{ kN}$

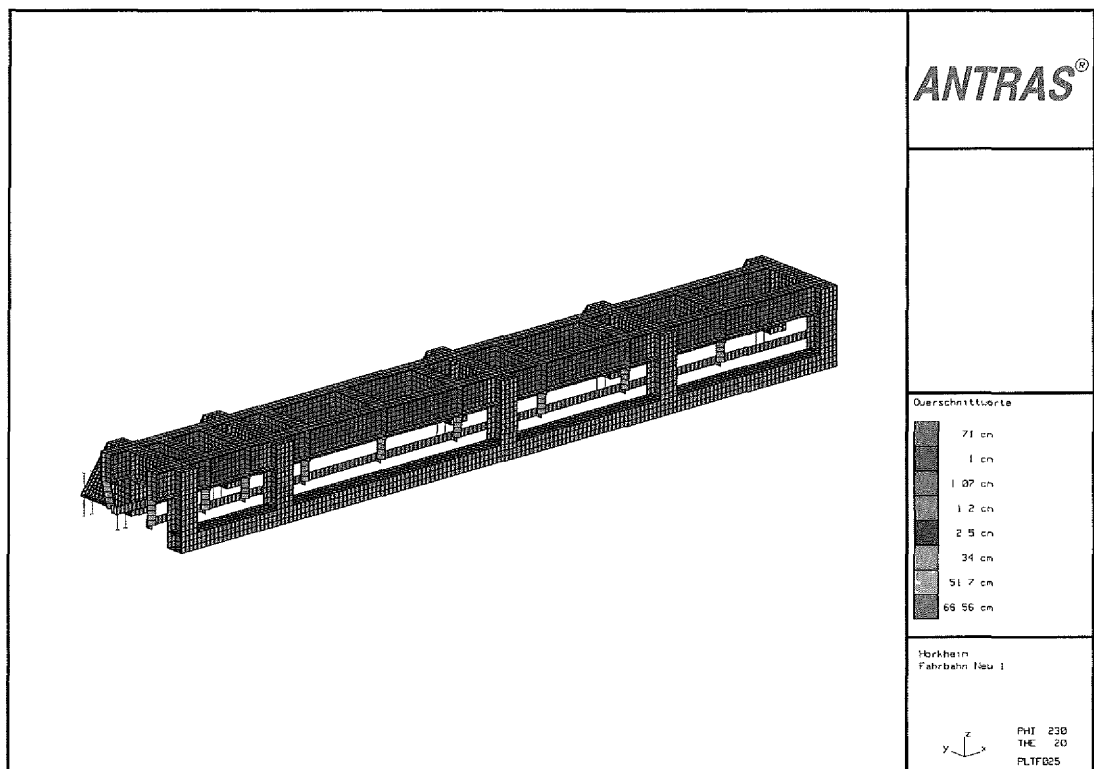
Querkraft gering, wegen der geringen Auslastung ist ein Betriebsfestigkeitsnachweis
entbehrlich

Weitere Nachweise am Traggerüst der Antriebe der alten Schleuse netzbehrlich.

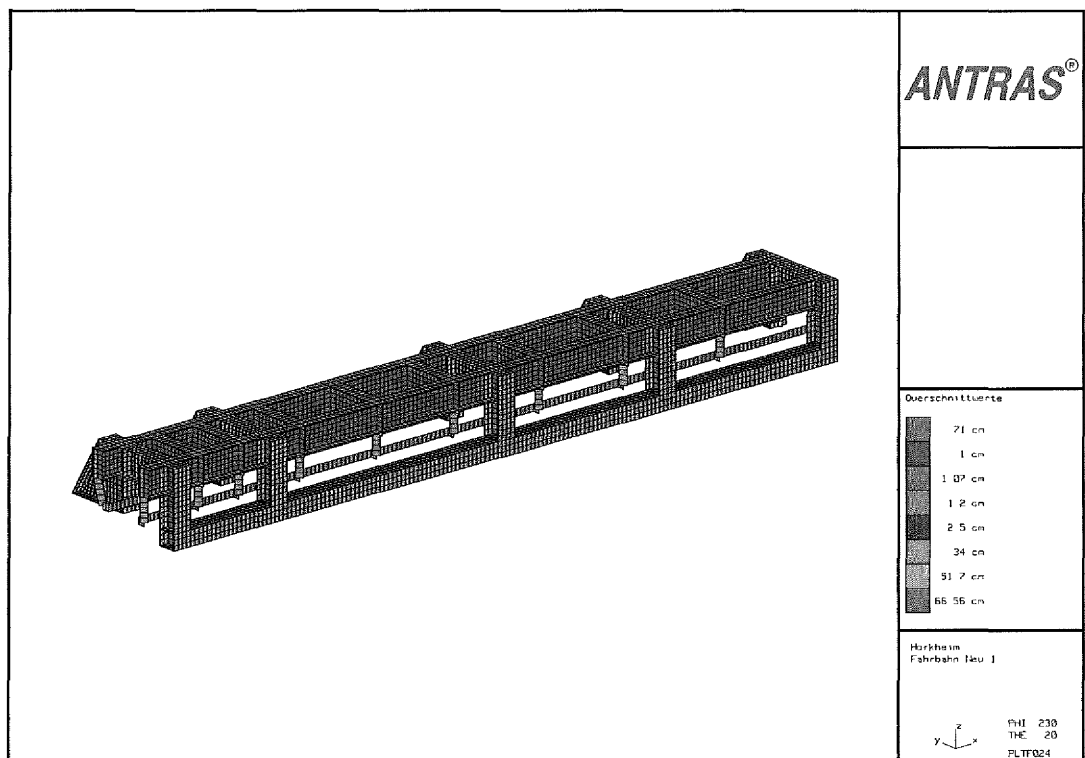
7. Nachweise für das Traggerüst der Antriebe der Neuen Schleuse

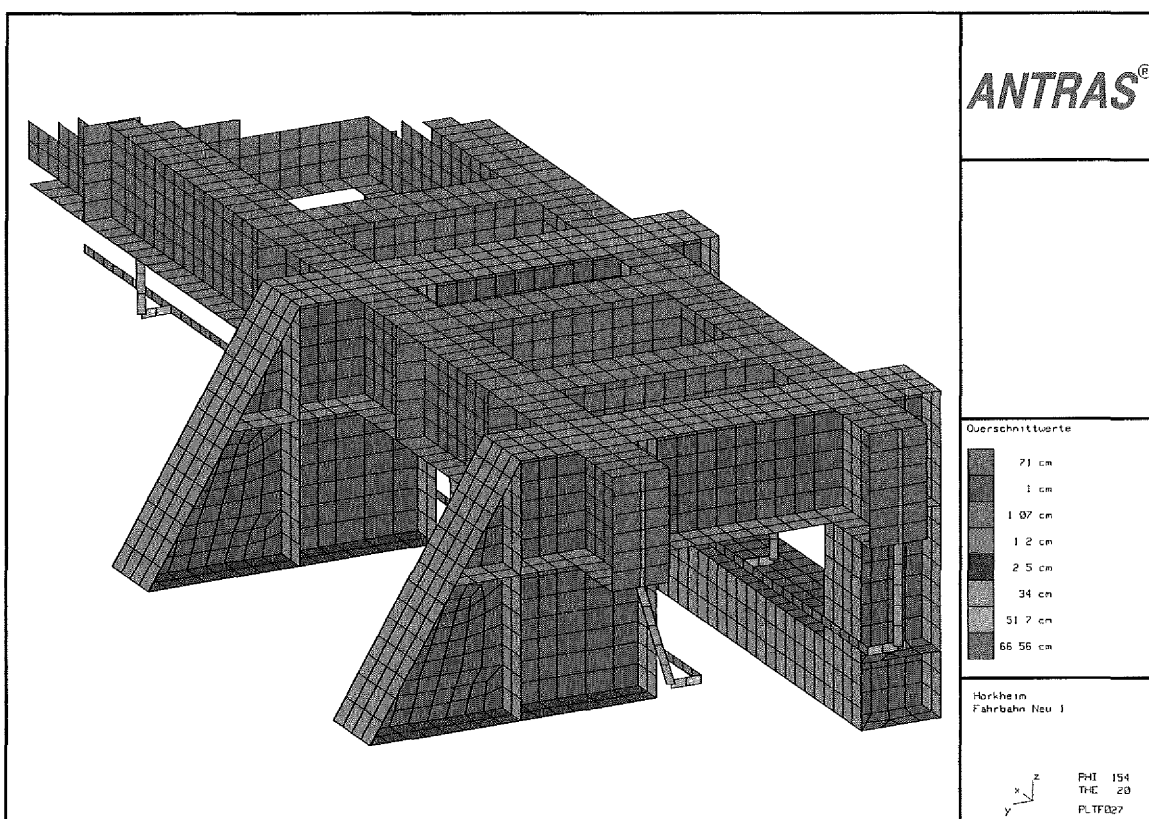
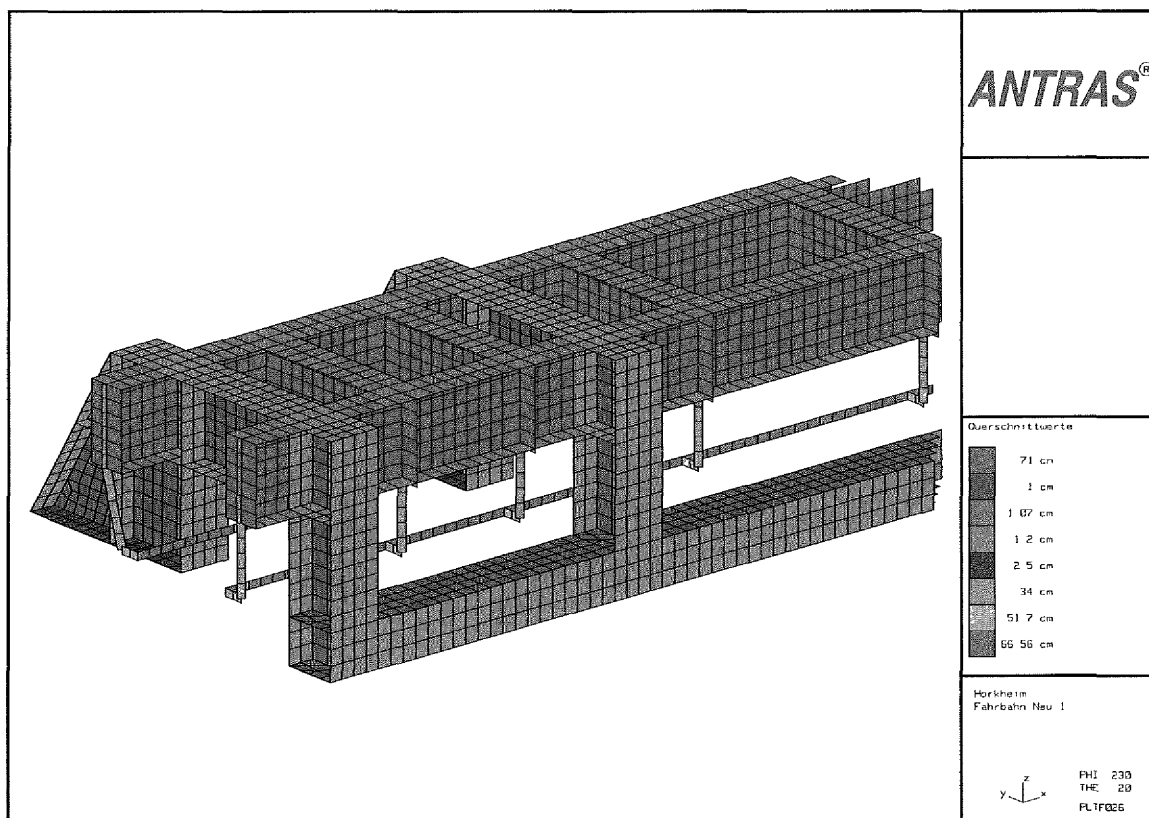
Die Belastung entspricht der alten Schleuse (Abschnitt 6)

7.1 System

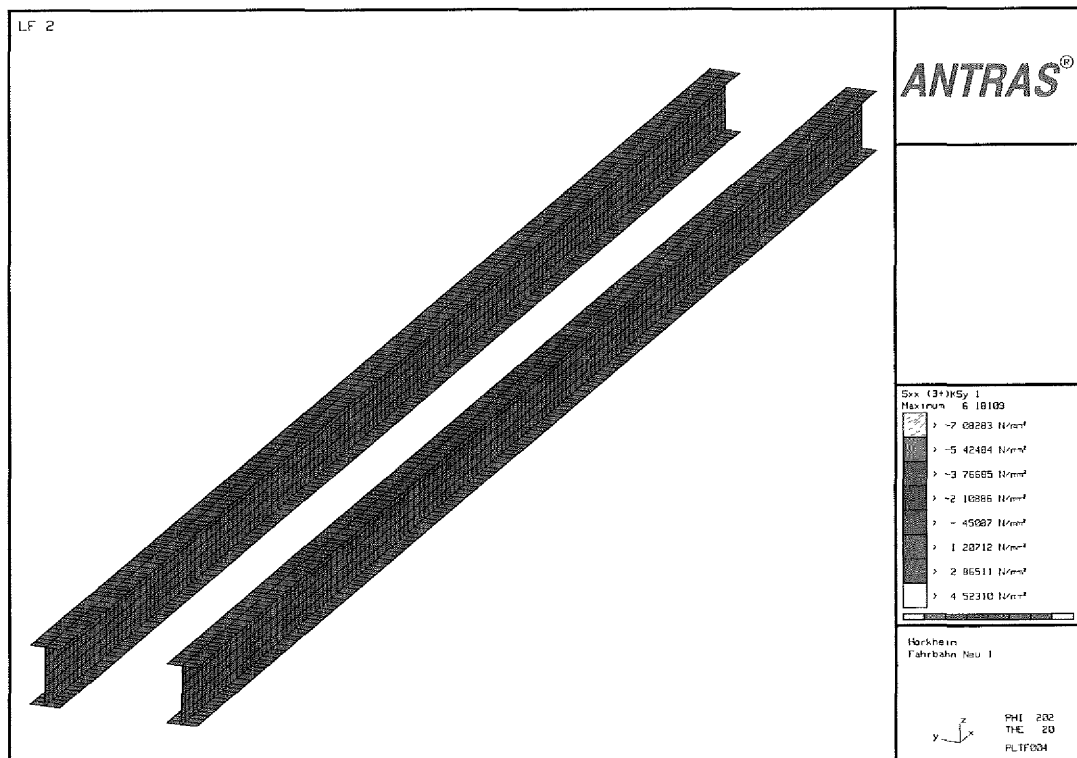
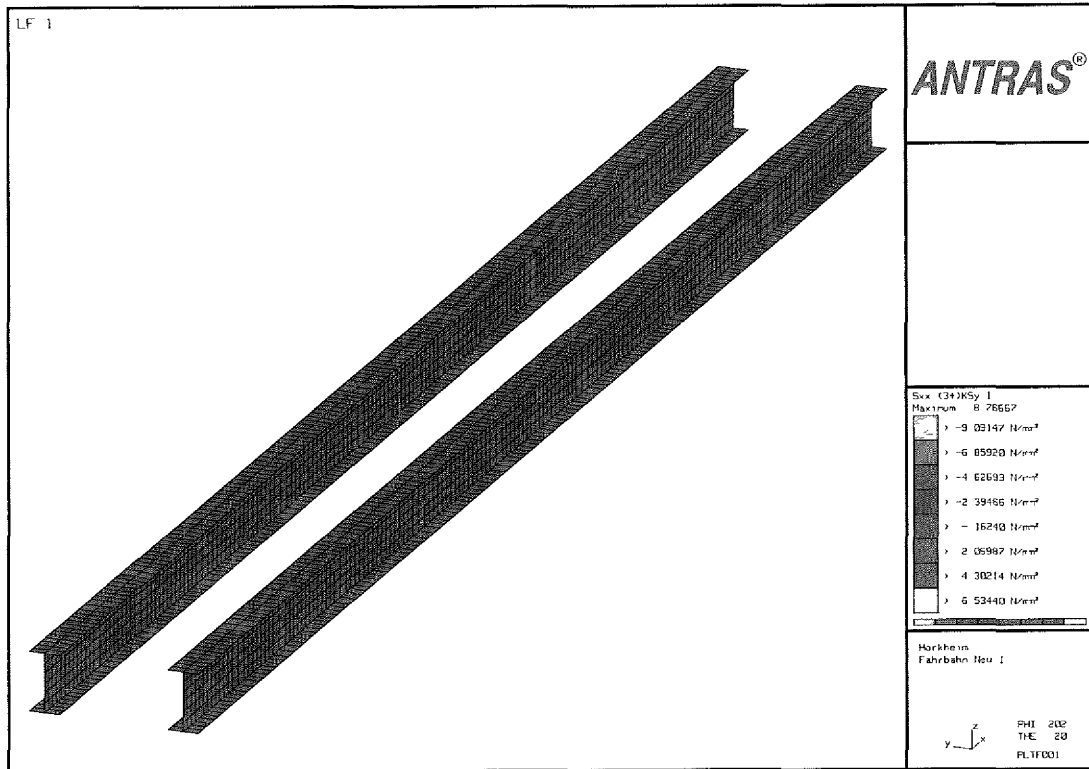


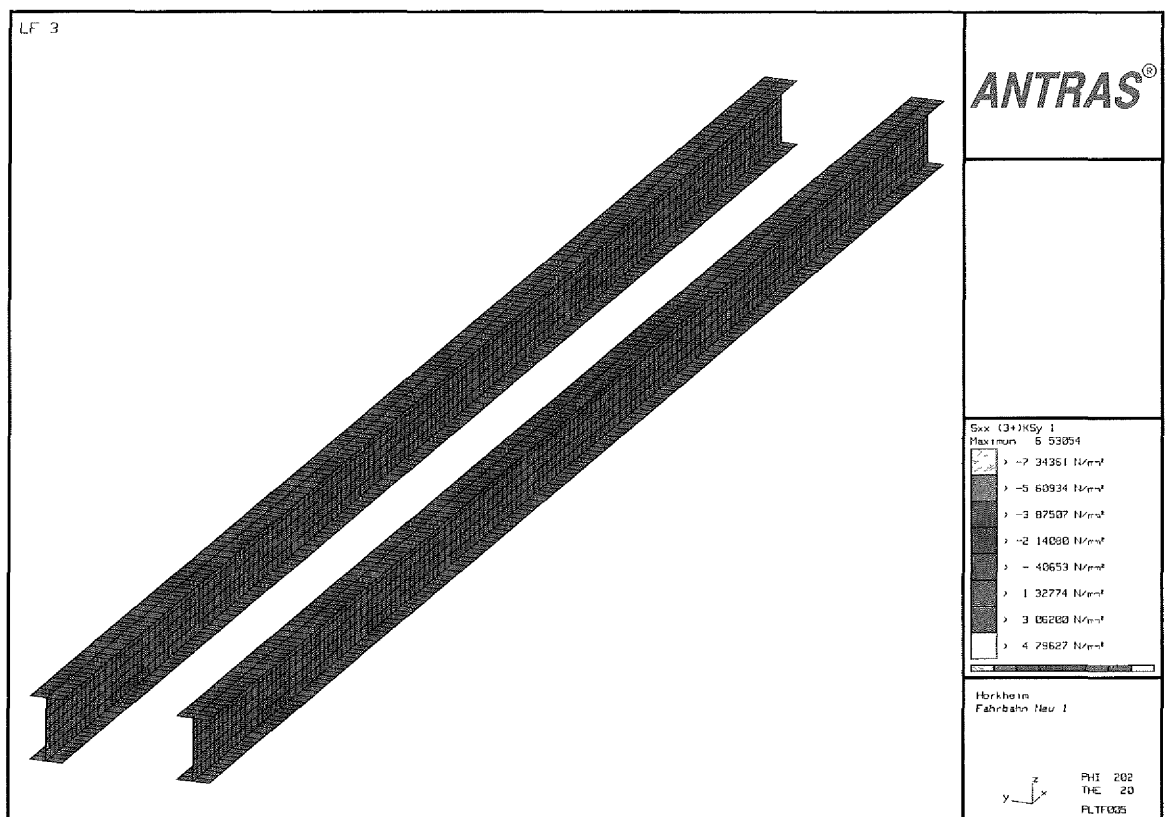
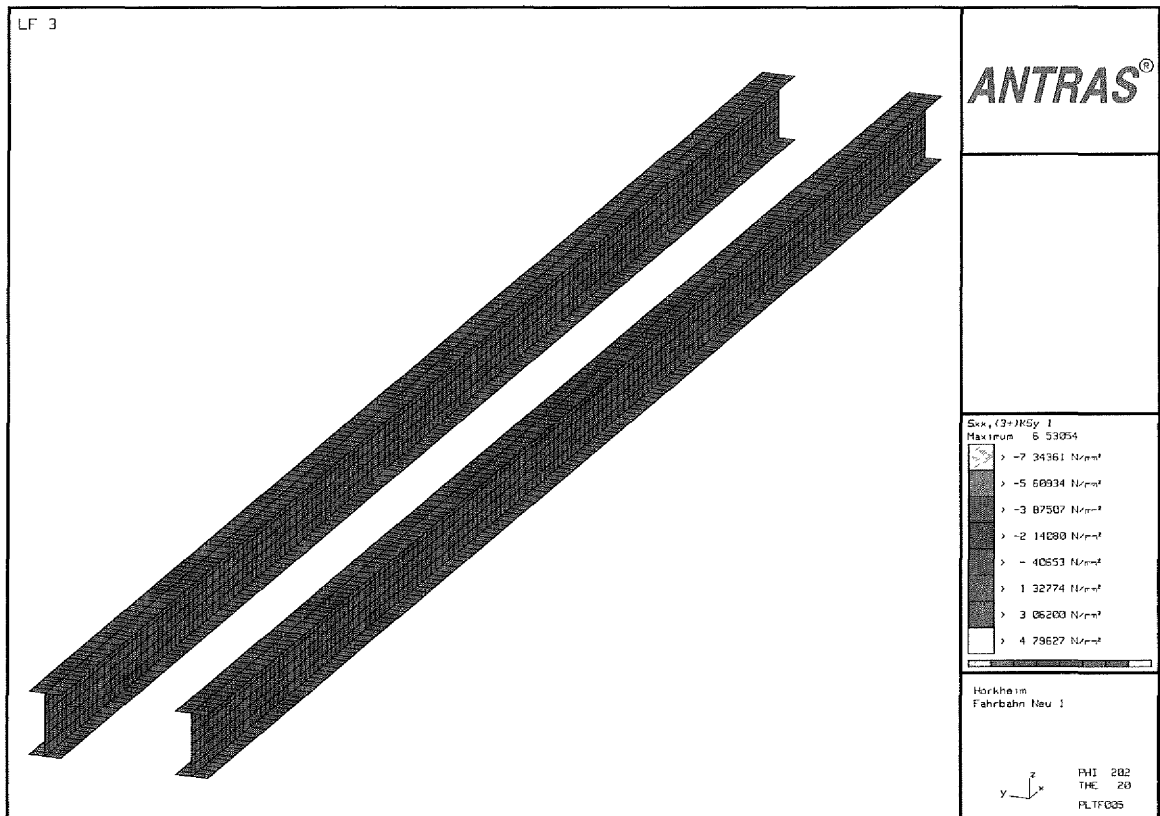
Materialdicken

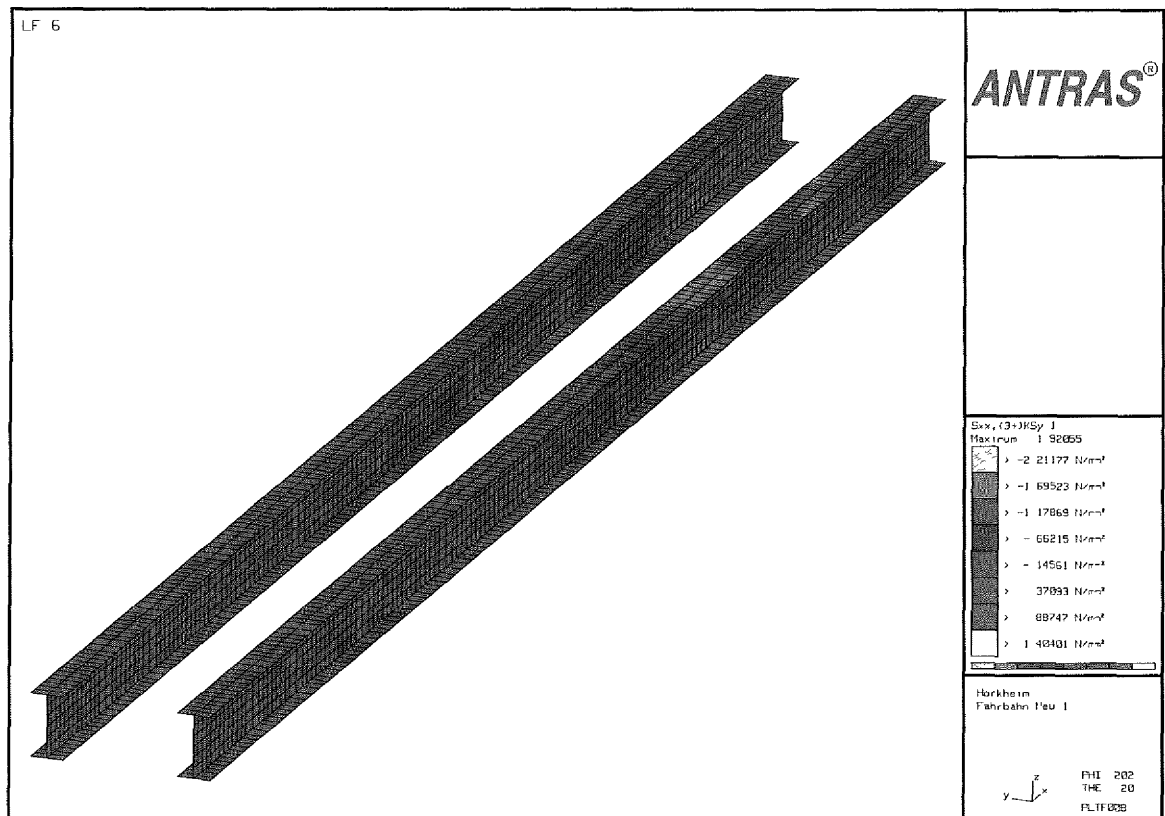
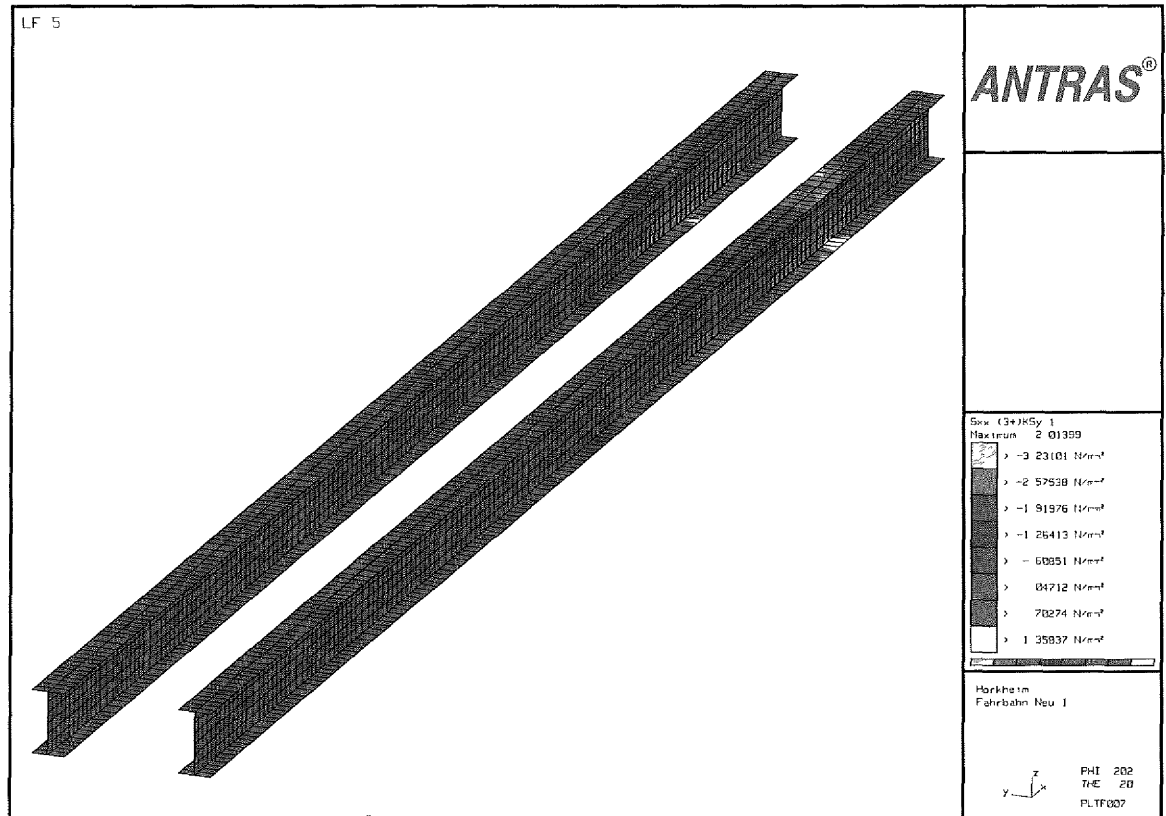


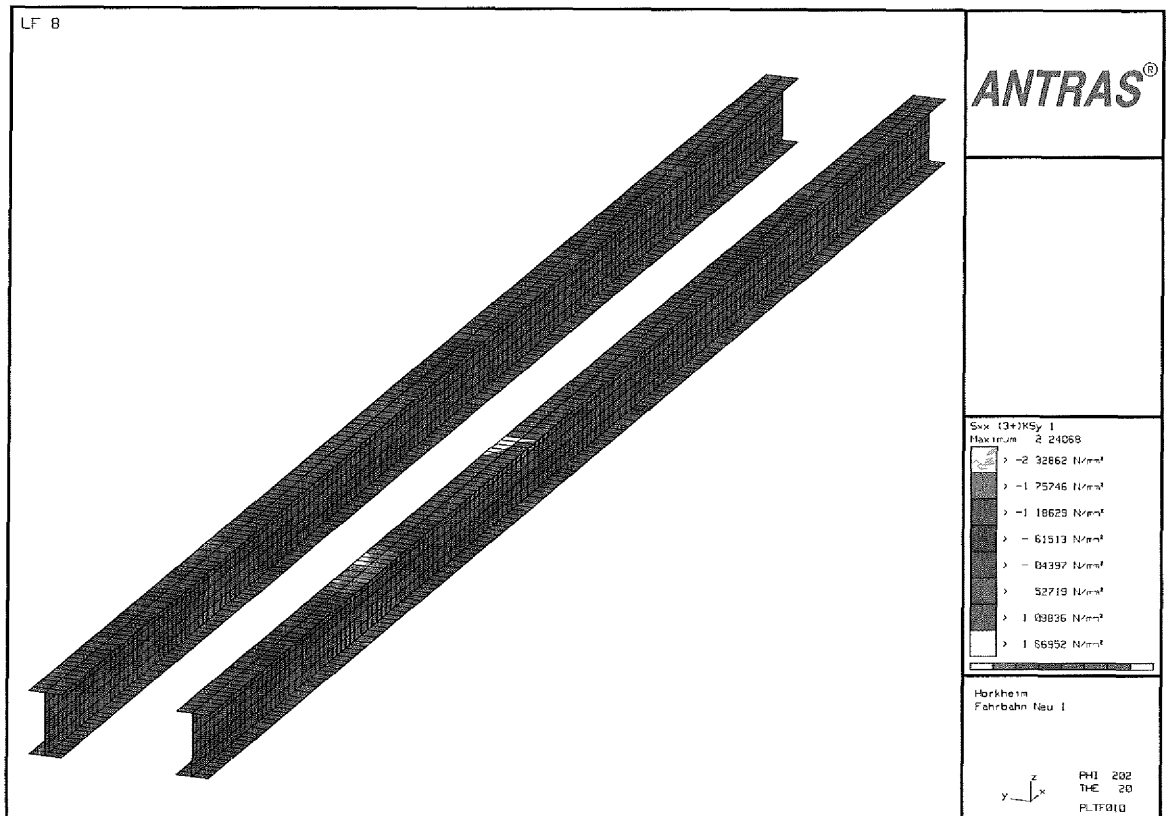
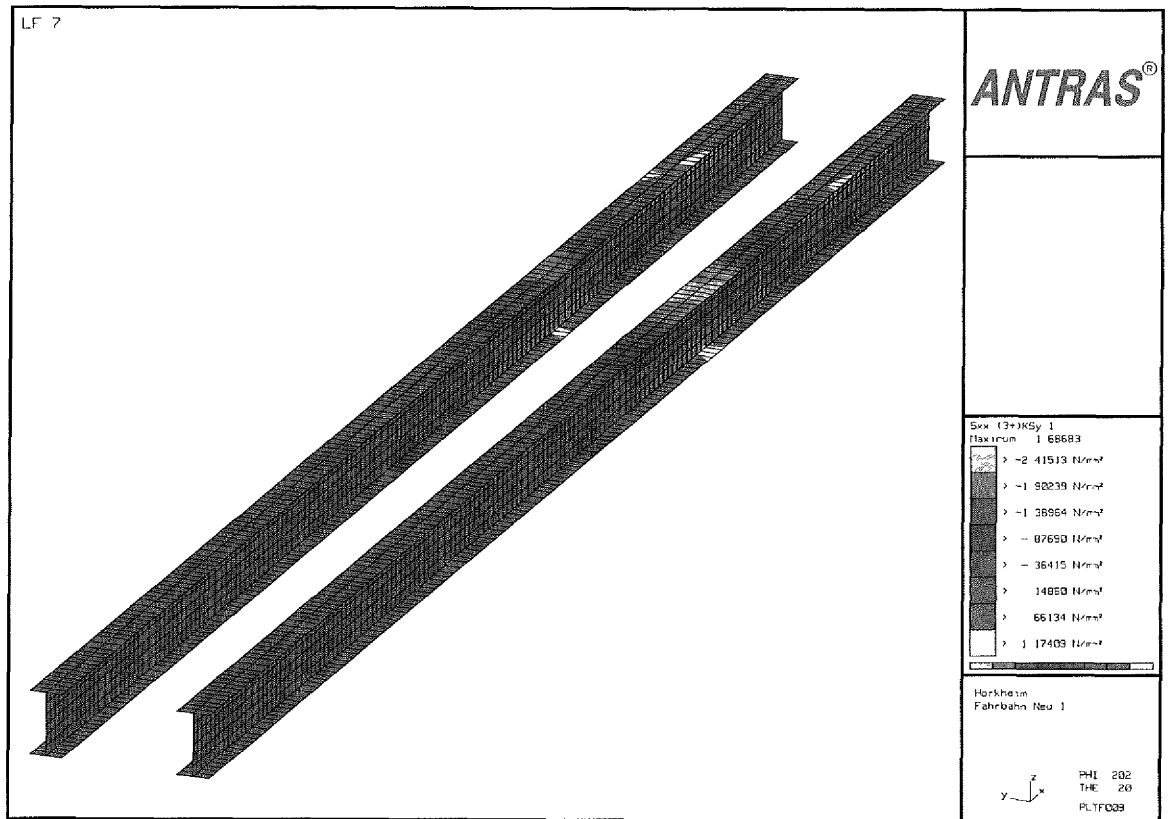


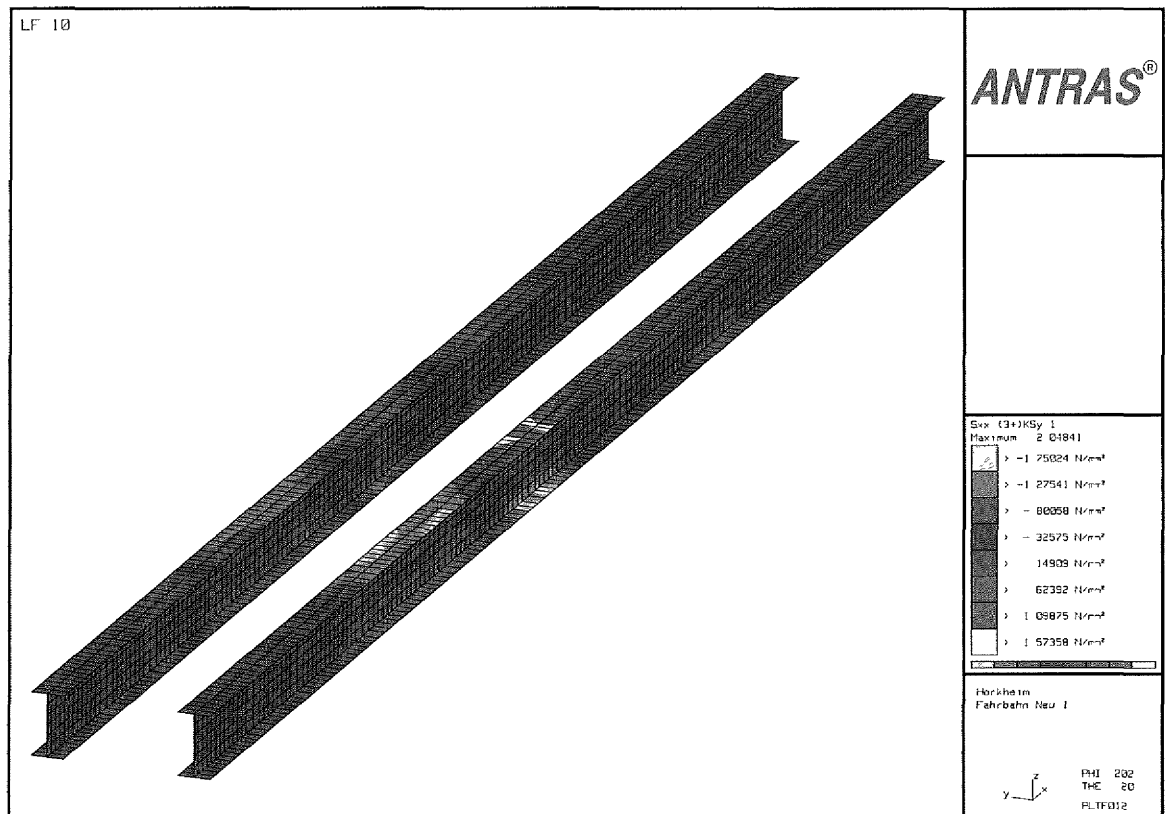
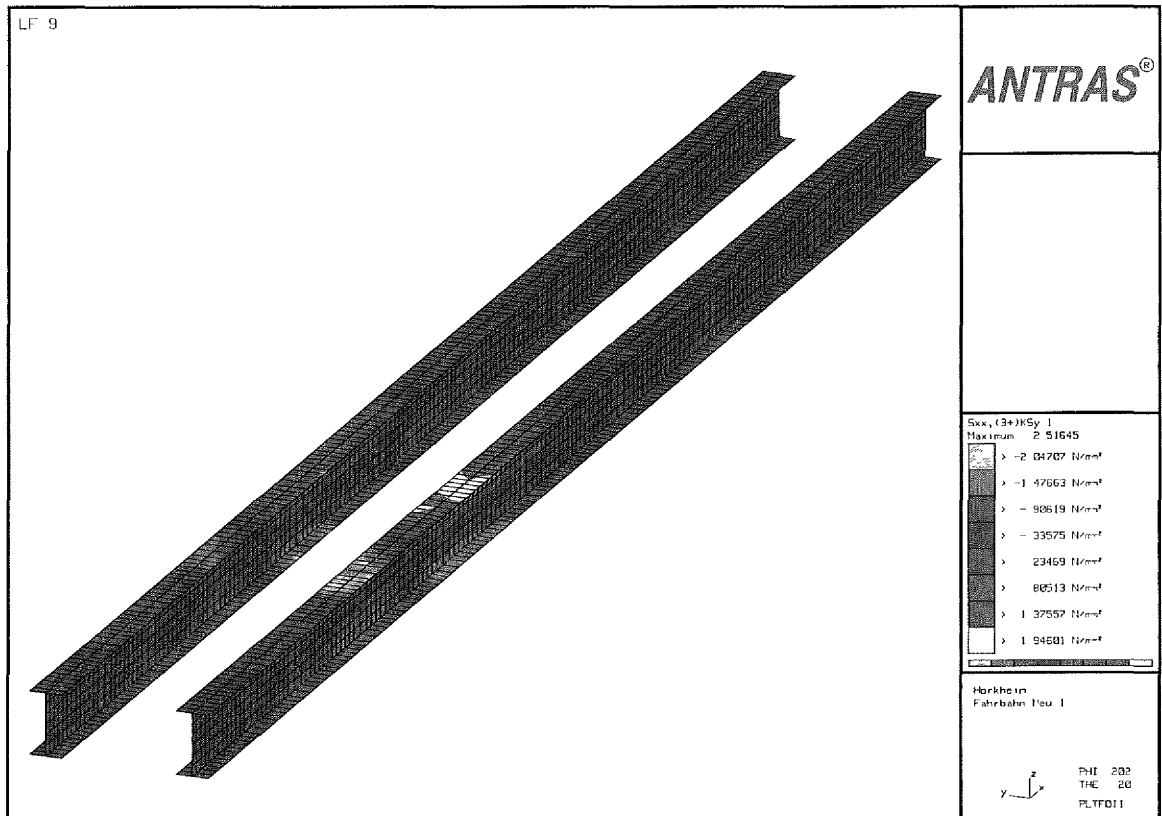
7.2 Spannungen Längsträger [in kN/cm² nicht N/mm²]

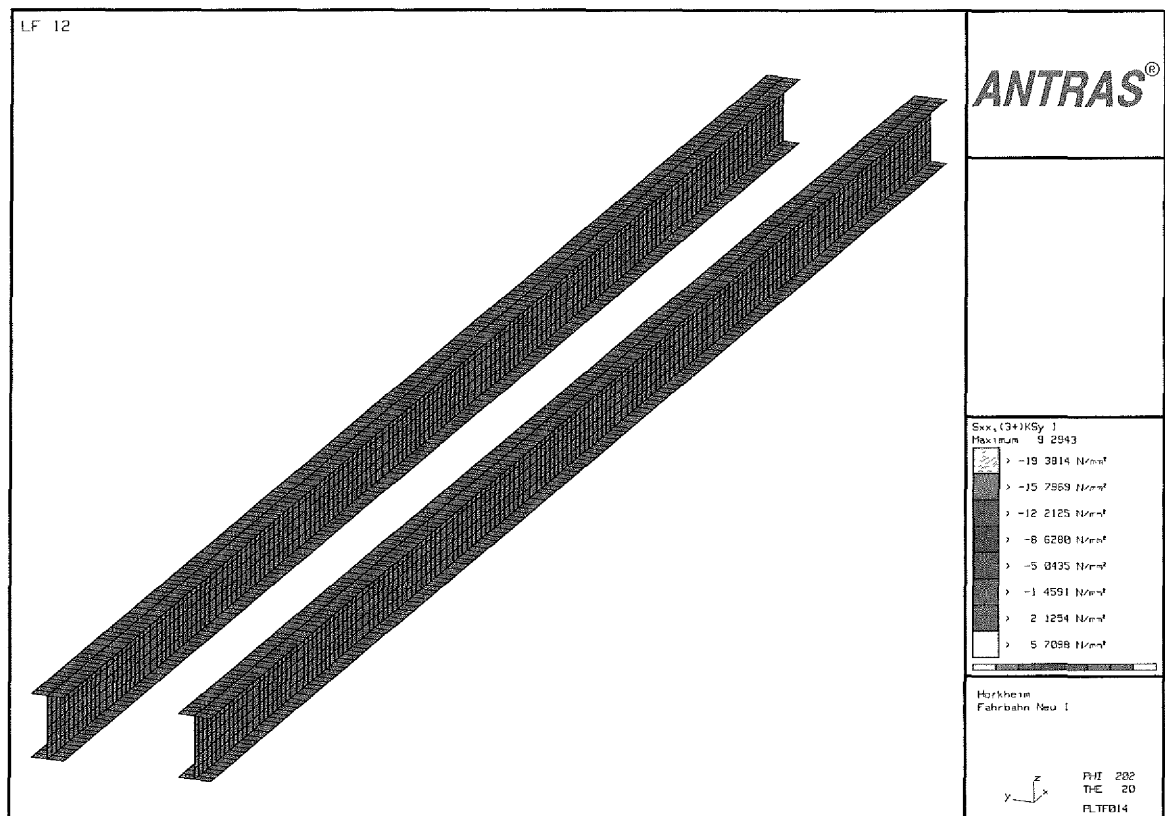
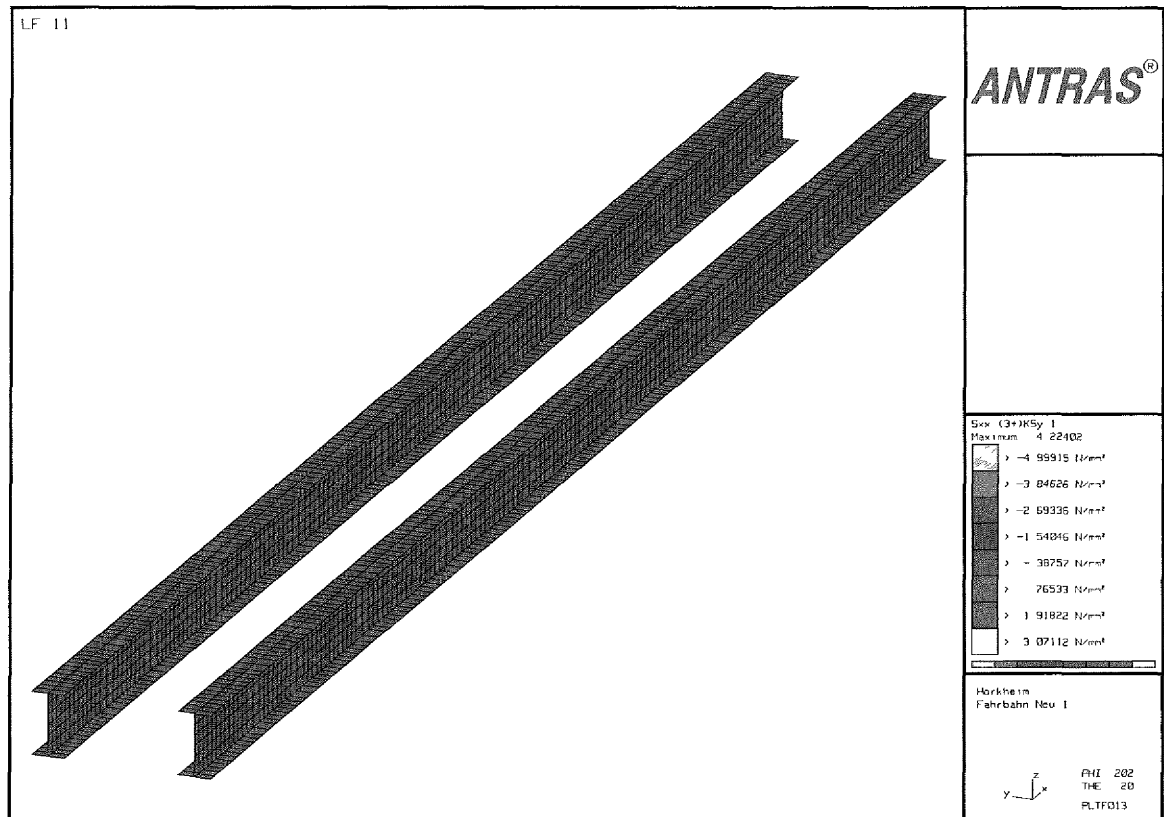


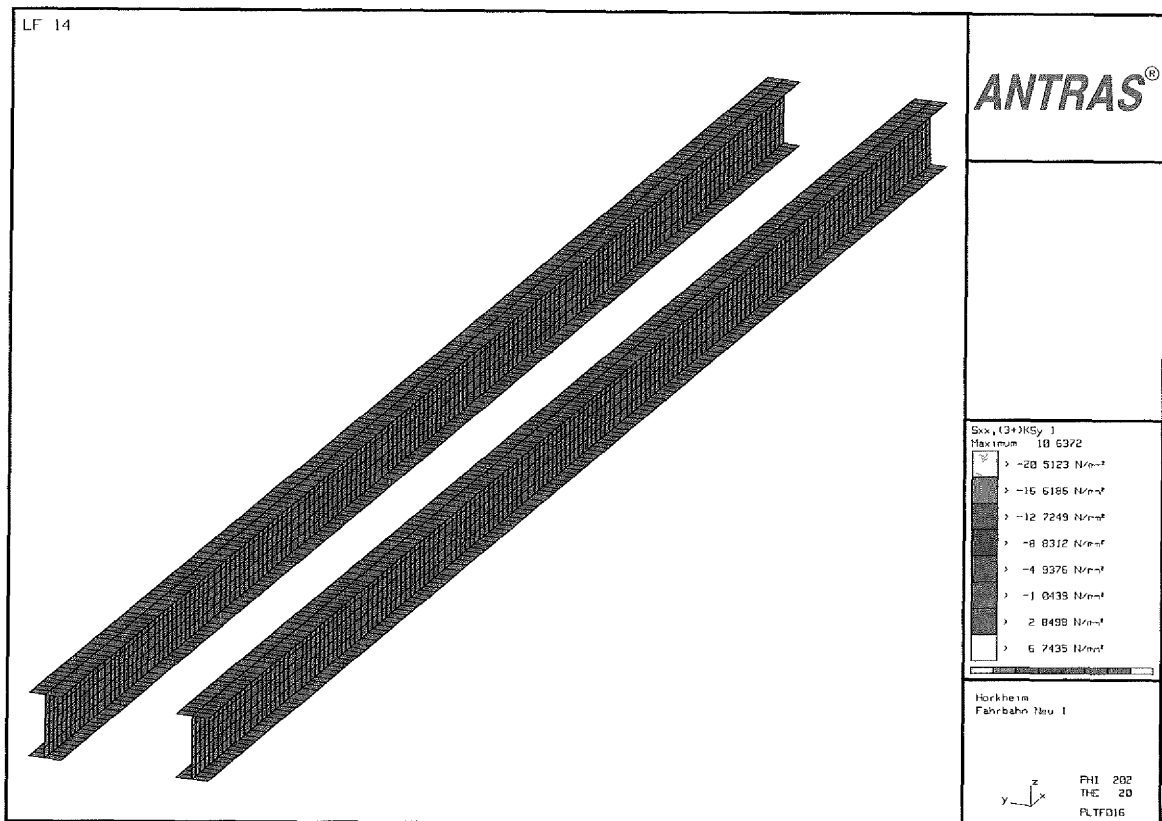
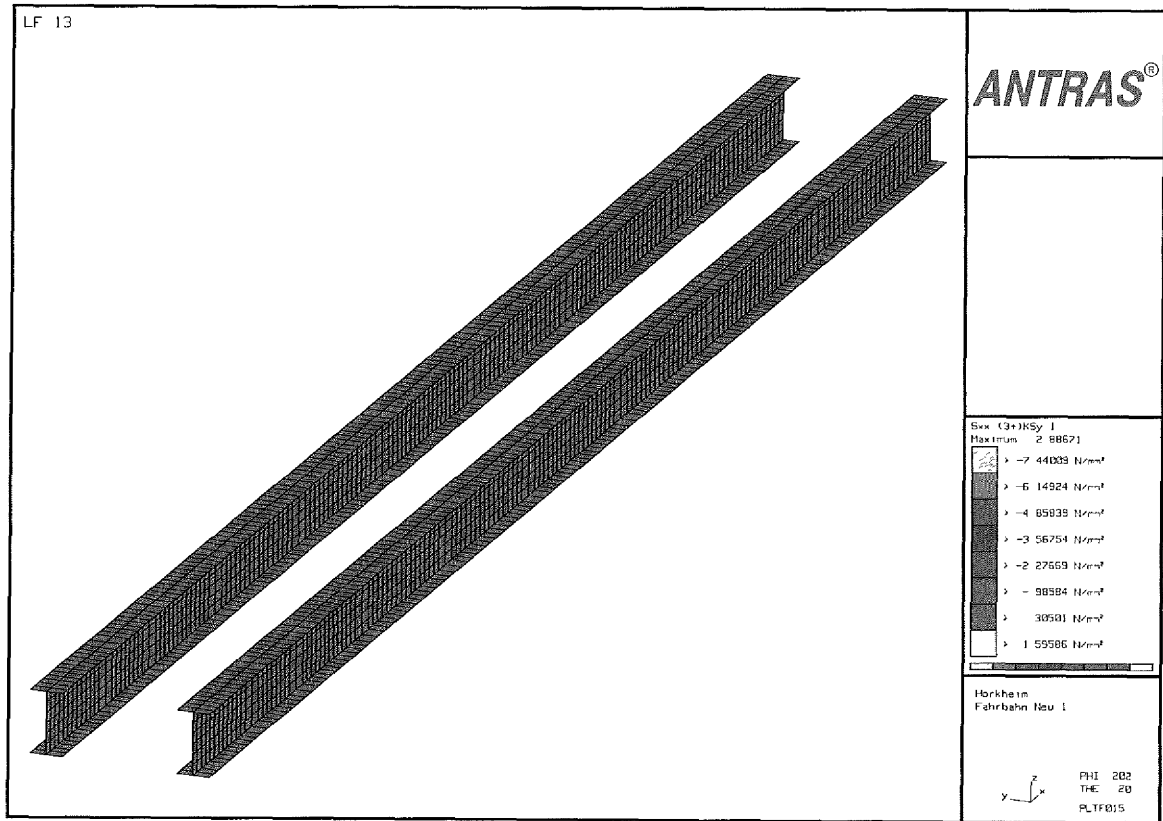


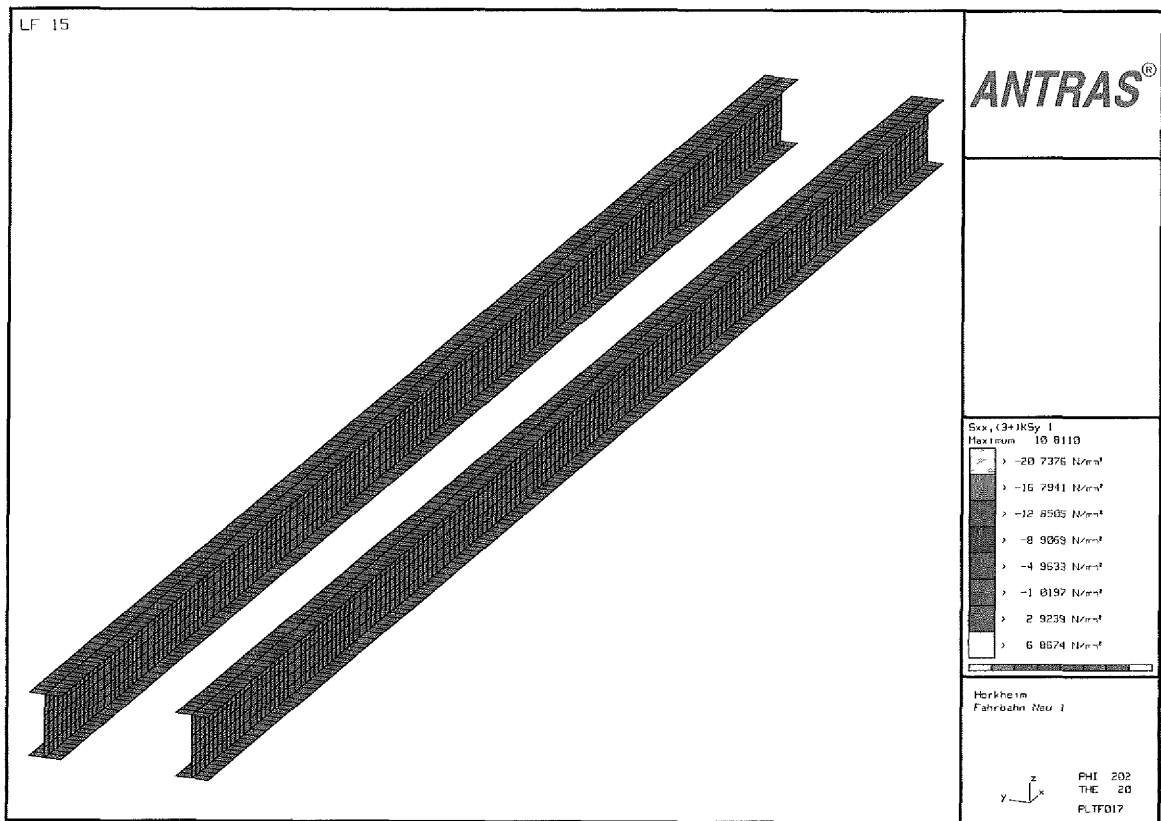




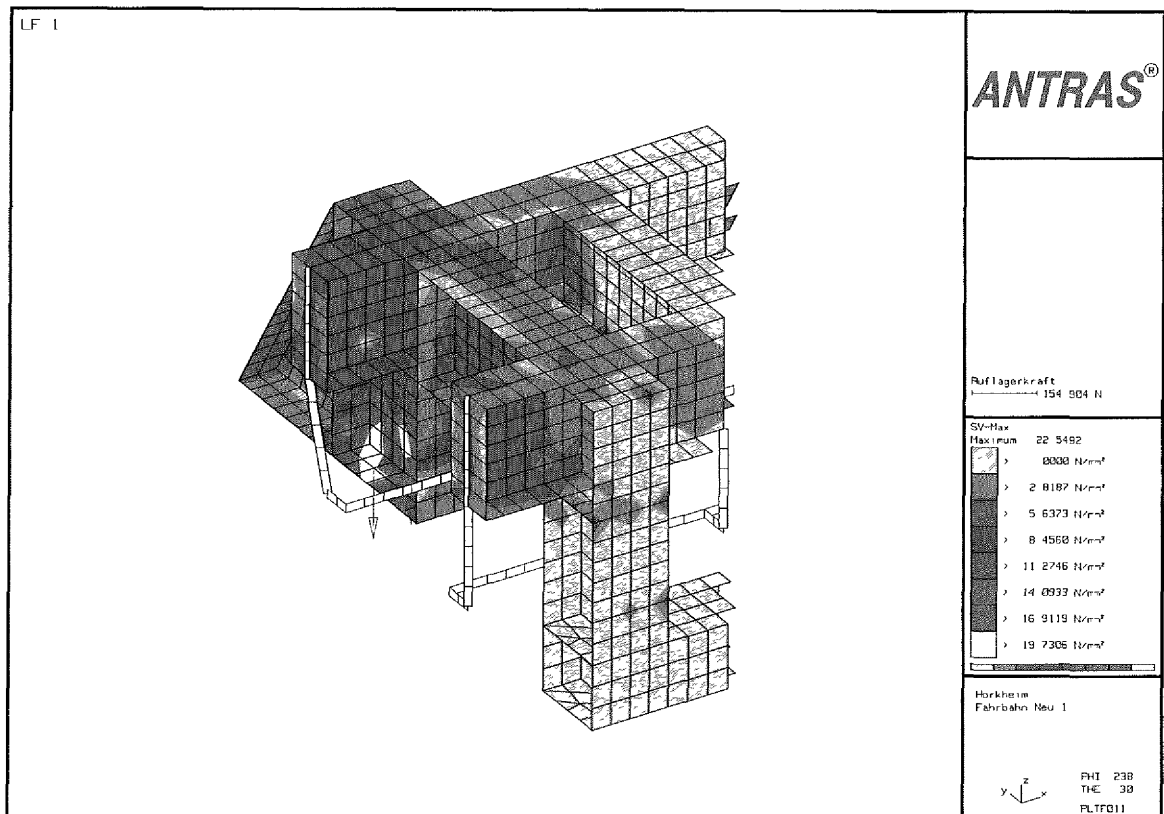


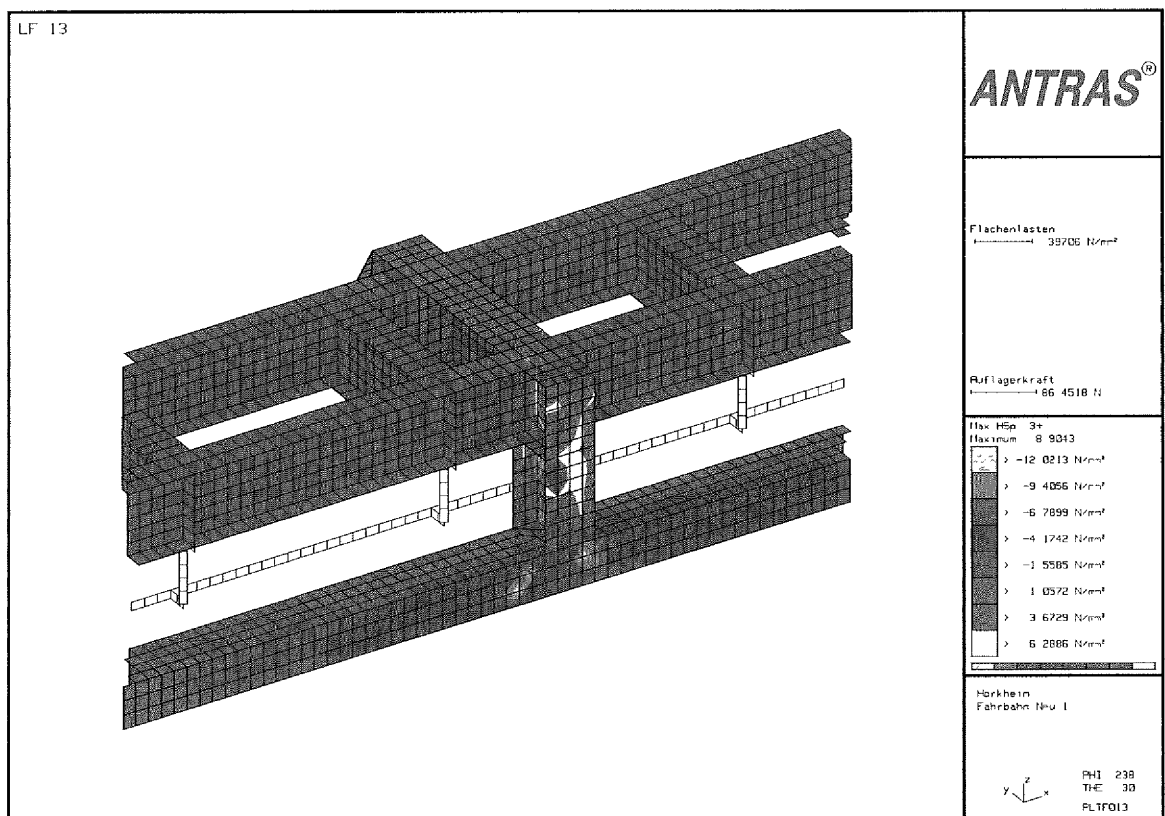
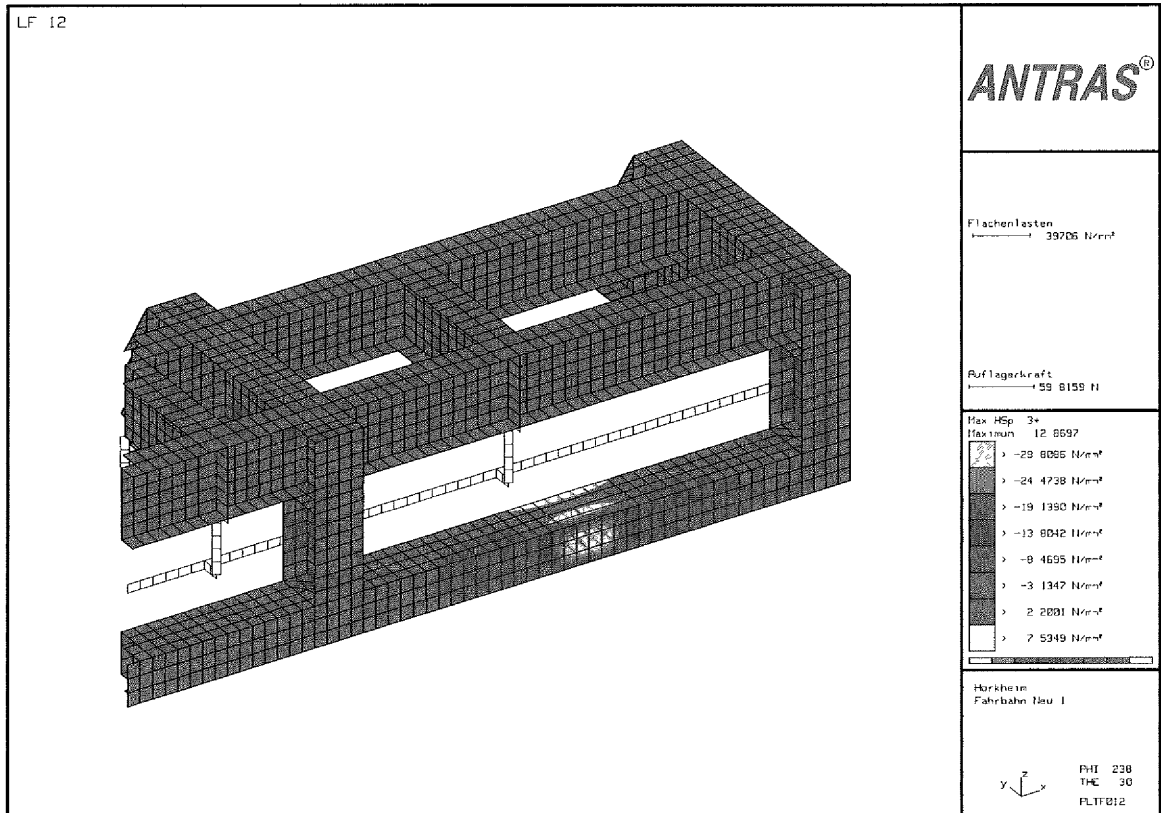


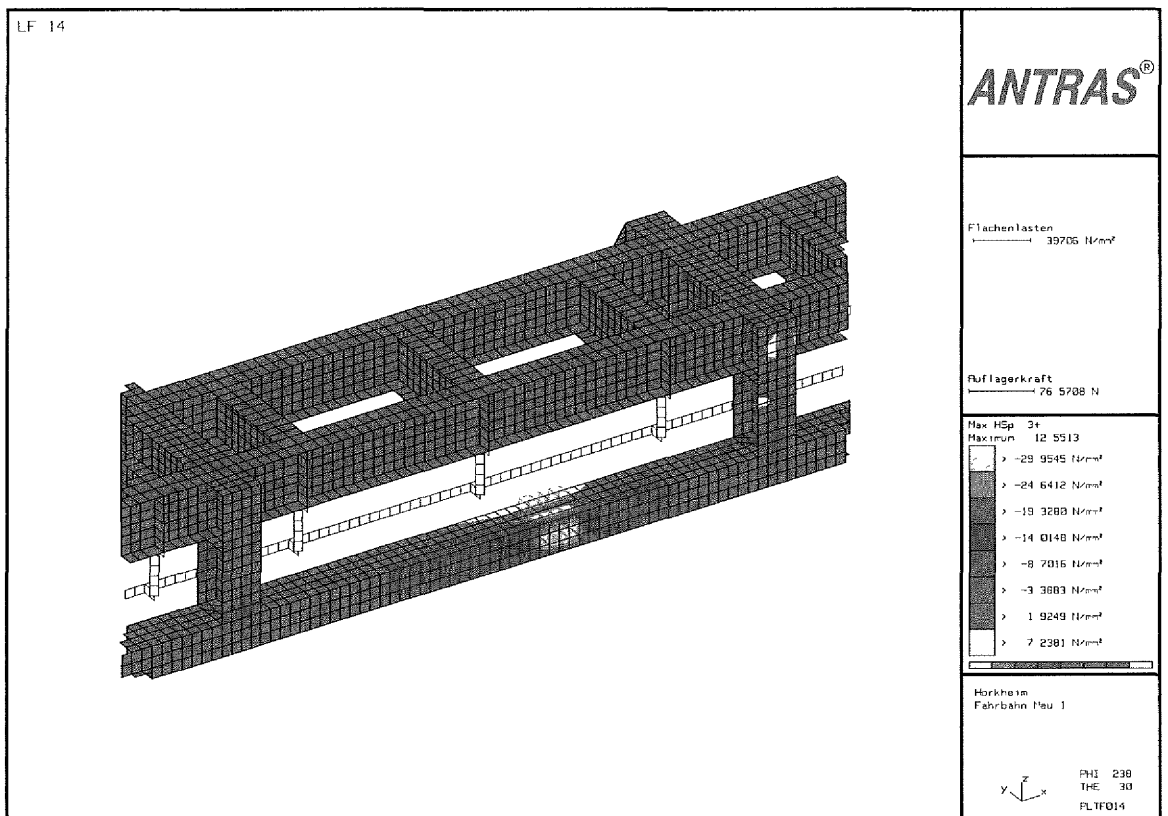
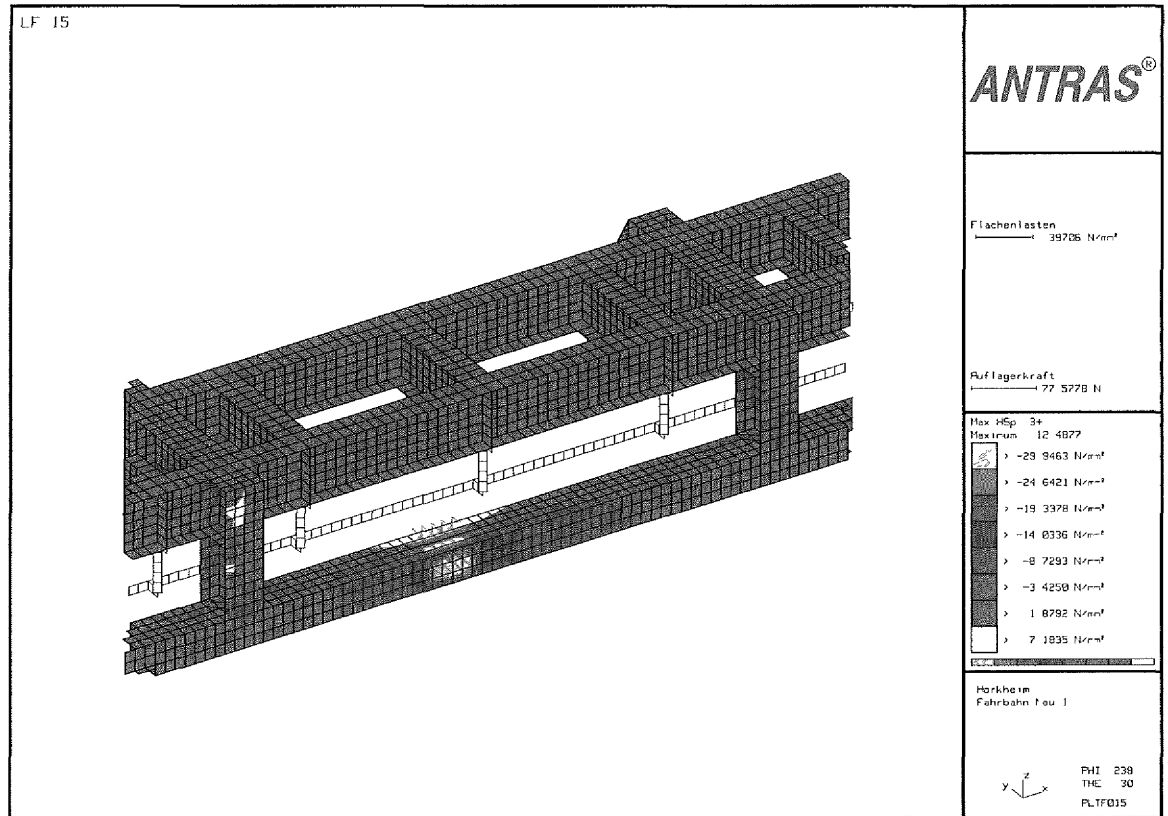


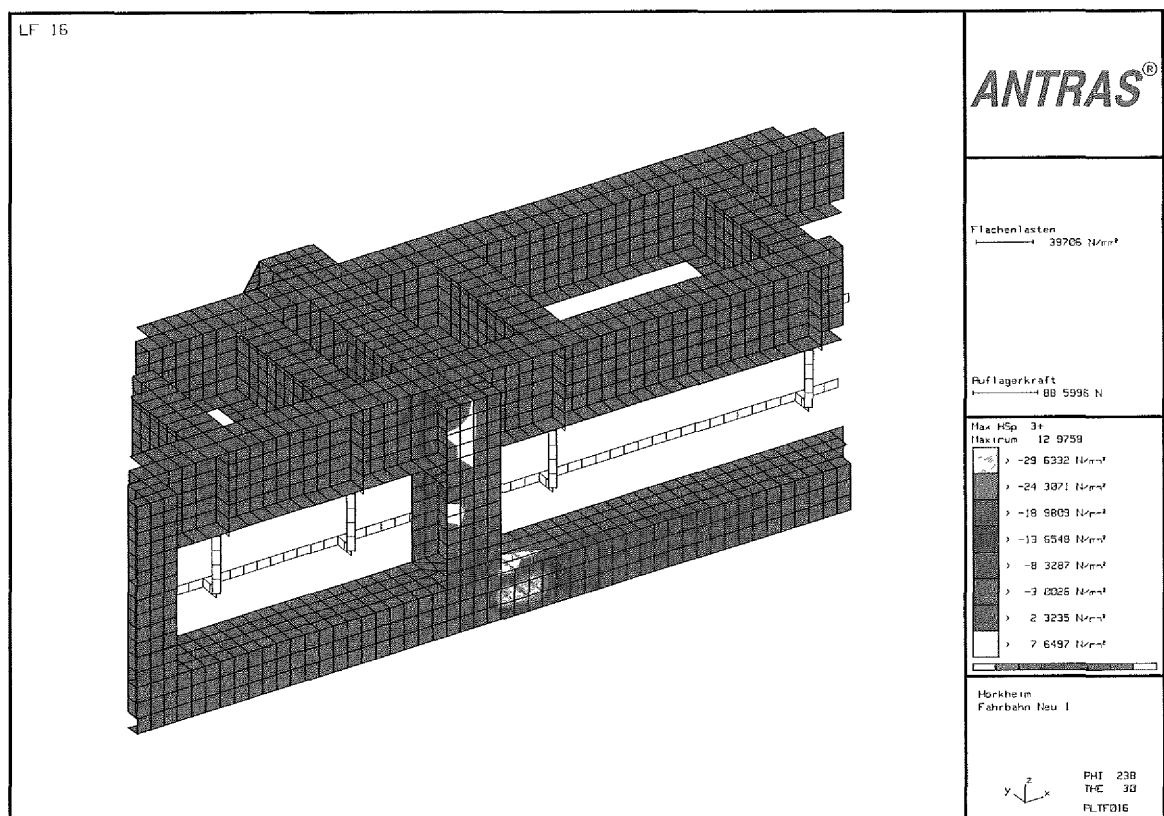
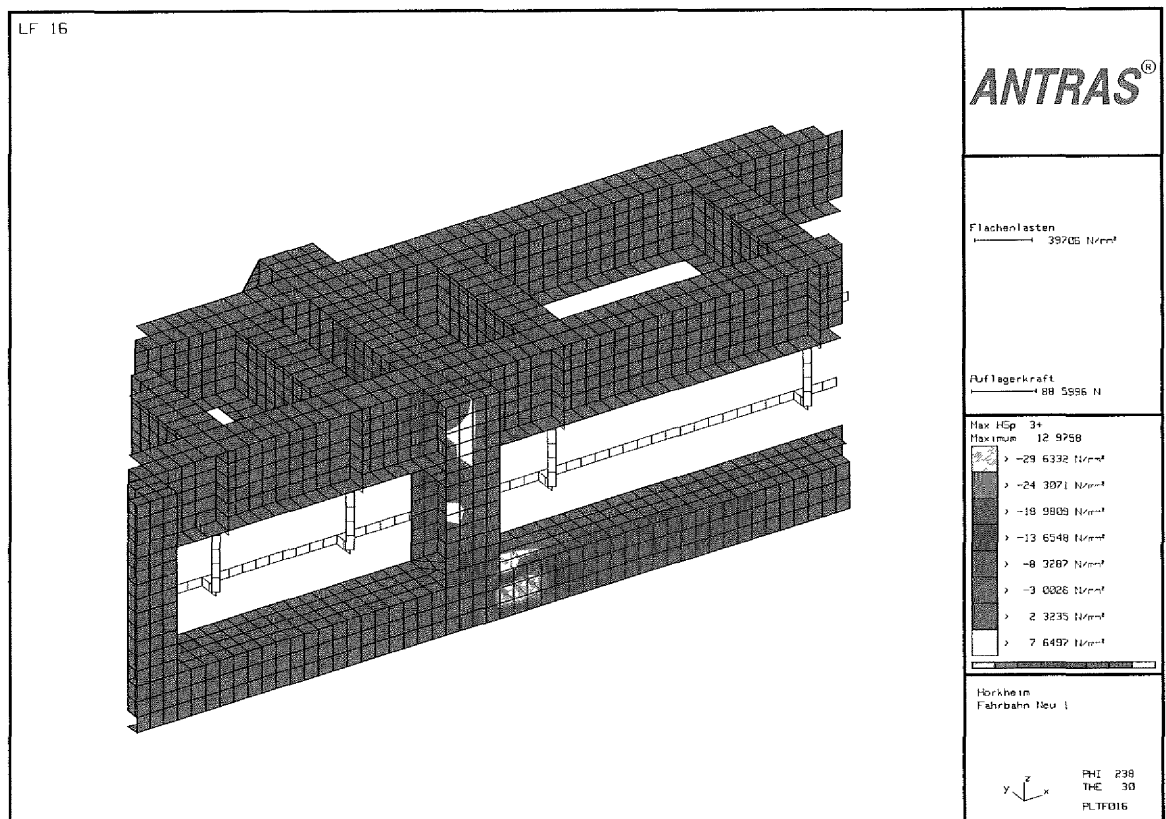


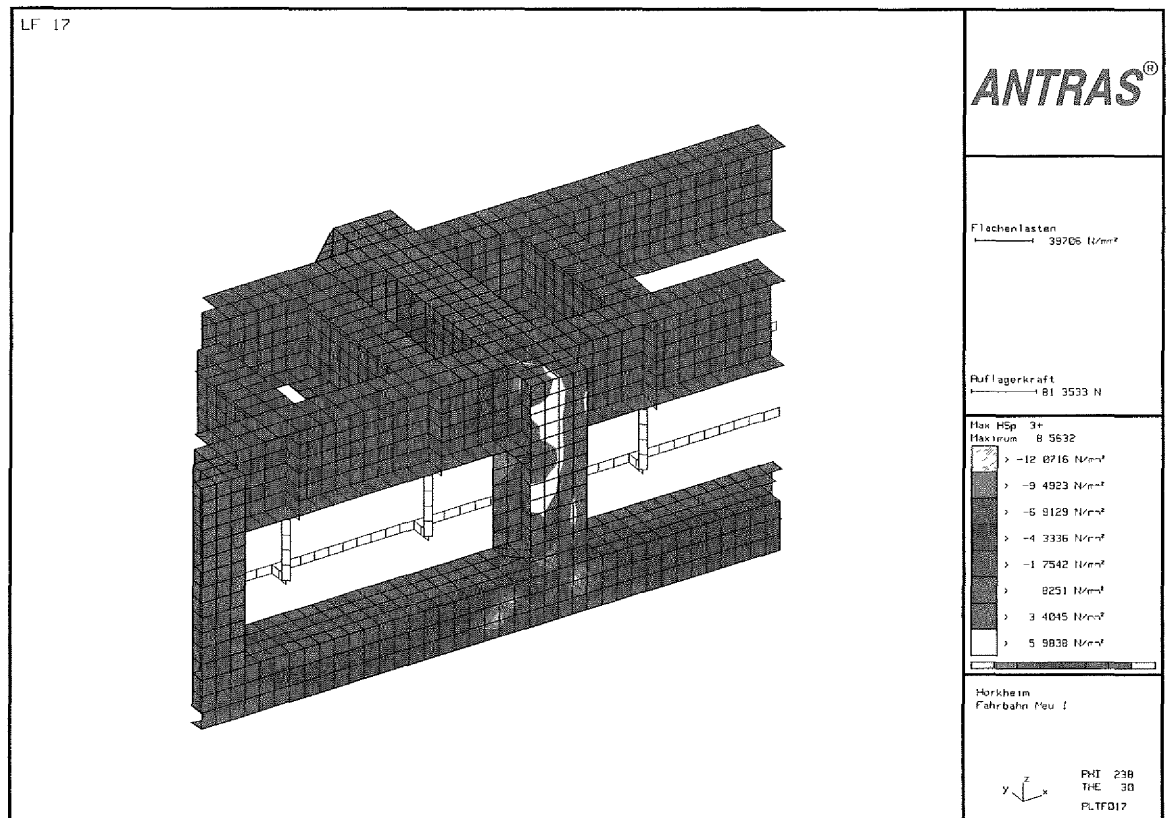
7.3 Spannungen übrige Gerüstteile [in kN/cm² nicht N/mm²]











7.4 Nachweise für das Traggerüst des Antriebes der neuen Schleuse

Längsträger IPE 300

maximale Spannungen (Y_F-fach): $\sigma_{X,D} = \sim 3,5 \text{ kN/cm}^2$, ohne Nachweis gleiche

Ausführung der Kopfplattenstöße wie bei der alten Schleuse

Leitwerksträger

Die maximalen Spannungen die Spannungen sind $< 24,0 / 1,1 = 21,18 \text{ kN/cm}^2$,

Die Überschreitungen dieses Wertes resultieren aus der örtlichen Lasteinleitung des

Schiffsstoßes, da dafür die verteilende Wirkung der PE-UHMW-Gleitleisten vernachlässigt wurde, zudem örtliche Plastifizierungen unvermeidbar und unbedenklich ist die Konstruktion ausreichend bemessen

Schraubstoß: 4 Schrauben M 20 – 8.8, Kopfplatten $t = 20 \text{ mm}$

Schnittgrößen $Q_d = 1,35 \times 0,9 \times 100,0 = 121,5 \text{ kN}$

$M_d = 121,5 \times 18,0 = \sim 2.187,00 \text{ kNm}$

$\max Z_d = 2.187,0 / 2 / 17,0 = 64,324 \text{ kN}$

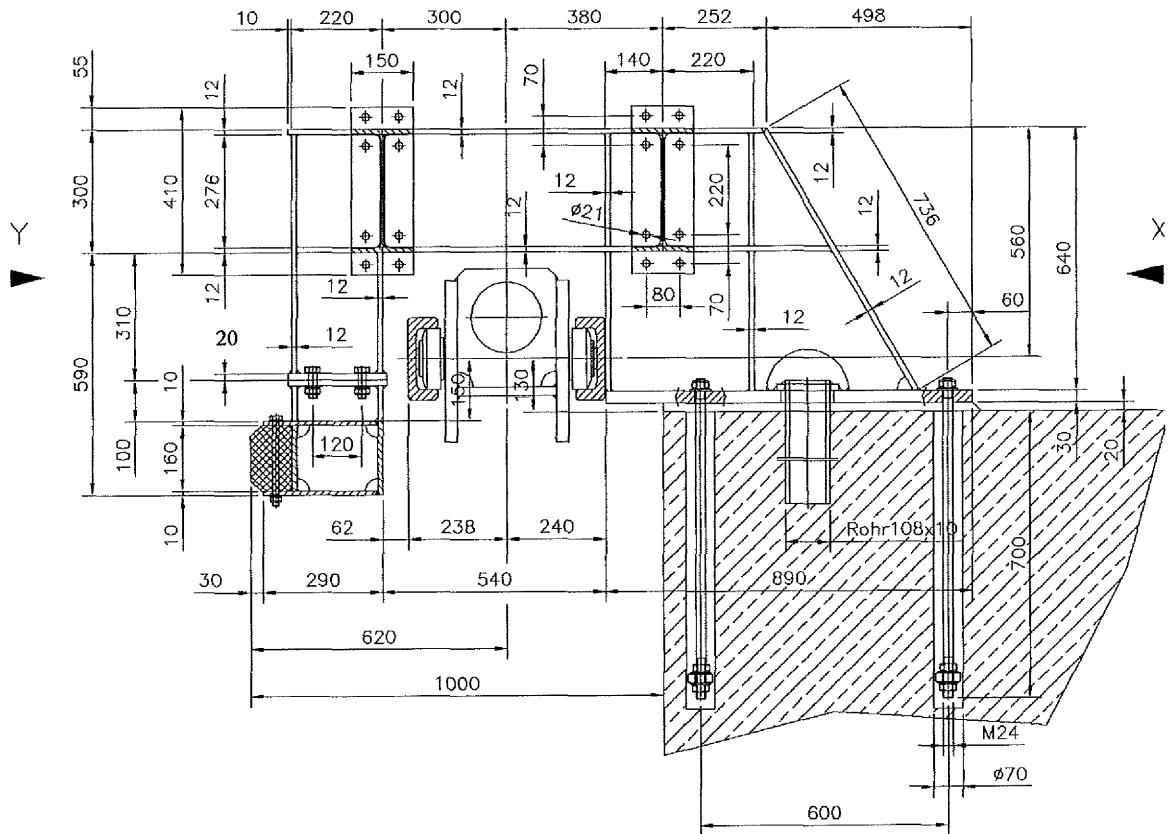
$N_{R,d} = 129,59 \text{ kN} > 64,324 \text{ kN}$

Biegung in der Kopfplatte.

$M = 64,324 \times 3,6 / 2 = 115,782 \text{ kNm}$

$$W = \sim 8,0 \times 2,0^2 / 6 = 5,333 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_{x,D} = 1\,157,82 / 5,333 = 217,105 \text{ N/mm}^2 < 218,182 \text{ N/mm}^2$$



8. Verankerungen

8.1 Auflagerkräfte der Antriebstragkonstruktion der Neuen Schleuse aus γ_F -fachen Lasten für einen Anker

Minimale und maximale Auflagerkräfte der Gesamtstruktur :

Lf	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
1	-1.866	-12.124	-194.490	.000	.000	.000
	4.461	11.583	97.094	.000	.000	.000
2	-1.204	-7.693	-151.596	.000	.000	.000
	2.722	7.476	78.584	.000	.000	.000
3	-.659	-2.821	-158.336	.000	.000	.000
	1.277	3.633	80.314	.000	.000	.000
4	-2.949	-6.343	-56.063	.000	.000	.000
	2.217	4.249	36.972	.000	.000	.000
5	-1.292	-5.302	-50.437	.000	.000	.000
	1.162	3.724	34.035	.000	.000	.000
6	-.394	-4.396	-47.277	.000	.000	.000
	.513	3.364	30.152	.000	.000	.000
7	-2.597	-2.339	-42.670	.000	.000	.000
	2.450	2.498	20.604	.000	.000	.000
8	-.498	-2.762	-34.104	.000	.000	.000
	.690	2.402	26.972	.000	.000	.000
9	-1.343	-.993	-35.232	.000	.000	.000
	1.414	2.597	21.826	.000	.000	.000
10	-.374	-3.601	-24.692	.000	.000	.000
	.412	2.281	26.173	.000	.000	.000
11	-.827	-128.833	-12.114	.000	.000	.000
	.473	4.758	11.345	.000	.000	.000
12	-.479	-75.102	-9.638	.000	.000	.000
	.447	3.705	10.393	.000	.000	.000
13	-.962	-108.545	-14.732	.000	.000	.000
	.517	2.687	13.251	.000	.000	.000
14	-.793	-96.139	-16.425	.000	.000	.000
	1.057	17.049	15.947	.000	.000	.000
15	-.819	-97.403	-20.259	.000	.000	.000
	1.370	15.578	19.606	.000	.000	.000
16	-.736	-111.242	-18.883	.000	.000	.000
	1.563	4.429	18.317	.000	.000	.000
17	-.627	-102.144	-16.019	.000	.000	.000
	1.459	3.122	15.600	.000	.000	.000

8.2 Auflagerkräfte der Antriebstragkonstruktion der Alten Schleuse aus charakteristischen Lasten

(ein Anker wird durch 2 Auflagerpunkte dargestellt)

Minimale und maximale Auflagerkräfte der Gesamtstruktur :

Lf	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
1	-3.538	-9.291	-118.797	.000	.000	.000
	7.246	19.079	23.652	.000	.000	.000
2	-1.693	-5.524	-73.086	.000	.000	.000
	5.423	11.120	12.783	.000	.000	.000
3	-2.026	-3.248	-53.979	.000	.000	.000
	4.572	8.111	8.578	.000	.000	.000
4	-3.322	-2.698	-36.886	.000	.000	.000
	4.041	5.743	6.918	.000	.000	.000
5	-4.348	-2.388	-38.131	.000	.000	.000
	3.522	5.800	6.502	.000	.000	.000
6	-5.258	-2.104	-36.729	.000	.000	.000
	3.141	5.491	5.940	.000	.000	.000
7	-5.069	-1.697	-23.591	.000	.000	.000
	2.197	3.521	5.170	.000	.000	.000
8	-3.515	-1.399	-21.053	.000	.000	.000
	1.980	3.287	10.117	.000	.000	.000
9	-7.331	-2.347	-24.858	.000	.000	.000
	3.799	4.008	17.316	.000	.000	.000

Minimale und maximale Auflagerkräfte der Gesamtstruktur :

Lf	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
10	-8.050	-2.501	-25.455	.000	.000	.000
	4.544	4.184	18.403	.000	.000	.000
11	-9.744	-2.798	-26.428	.000	.000	.000
	6.499	4.722	20.132	.000	.000	.000
12	-10.860	-2.915	-26.692	.000	.000	.000
	8.023	5.134	20.533	.000	.000	.000

maßgebend Lastfall 1

Auflagerkräfte 1. Lastfall

KNr	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
81	.136	-9.291	23.652	.000	.000	.000
336	1.879	-1.776	6.560	.000	.000	.000
337	1.857	-4.626	13.999	.000	.000	.000
534	-1.825	-7.852	20.091	.000	.000	.000
537	-3.538	-5.100	13.042	.000	.000	.000
932	-.468	19.079	-118.797	.000	.000	.000
934	.999	5.794	-37.115	.000	.000	.000
936	-1.156	1.256	-4.328	.000	.000	.000
965	.750	2.402	-9.611	.000	.000	.000
968	-1.874	6.025	-44.136	.000	.000	.000

Summe für 2 Anker $F_z = 118,797 + 37,115 + 4,328 + 9,611 + 44,136 = 213,987 \text{ kN}$

8.3 Bemessung der Anker

maßgebend wird die Tragkonstruktion neuen Schleuse

max $Z_d = 194,49 \text{ kN}$ (Lf 1)

gewählt. vorne **2 Anker M 30 – 42CrMo4 WSt.Nr. 1.7225, l = 700 mm,**

$f_{0,2} = 750 \text{ N/mm}^2$, $A_s = 561 \text{ mm}^2$

BohrlochØ: 80 mm

$N_{R,d} = 561 \times 750,0 / 1,1 = 382,500 \text{ kN}$

$N_d / N_{R,d} = 0,808 < 1,0$

Die Ankerschrauben sind mit 100 kN vorzuspannen

Berechnung als vorgespannte Verankerung nach Petersen „Stahlbau“

Berechnung für 2 Anker

Federkonstante der Anker $C_s = \sim 2 \times 21000 \times 3,0^2 \pi / 4 / 60,0 = 4\,948,0 \text{ kN/cm}$

Federkonstante des Betondruckkörpers

$C_B = \sim 3\,000,0 \times (20,0 \times 40,0 - \pi \times 3,0^2/4) / 60,0 = 39\,646,0 \text{ kN/cm}$

Zugkraft im Anker

$F'_{vs} = F_v + 1/(1 + C_B / C_s) Z$

$= 200,0 + 1/(1 + 39\,640,0 / 4\,948) 2 \times 194,49$

$= 200,0 + 0,111 \times 399,98 = 200,0 + 44,4 = 244,4 \text{ kN für 2 Anker}$

Betriebsfestigkeitsnachweis

$\Delta\sigma_d = 74,986 / (120,0 \times 1,35) \times 44,4 \times 1\,000 / 561,0 = 36,634 \text{ N/mm}^2$

DIN V ENV 1993 Teil 1 – 1 (EC 3) Tabelle 9.8.1 Kerbgruppe 50*, m = 3

$\Delta\sigma_R = 33,0 (10 \times 10^6 / 140\,000)^{1/3} = 136,92 \text{ N/mm}^2$

$$\Delta\sigma_{R,d} = 136,92 / 1,35 = 101,42 \text{ N/mm}^2$$

$$\Delta\sigma_d / \Delta\sigma_{R,d} = 0,361 < 1,0$$

Verbundspannungen zwischen Anker und Vergussmörtel

Der Vergussmörtel entspricht einem Beton mit $f_{ck} = 40 \text{ N/mm}^2$

Bemessungswert der Verbundspannung $f_{bd} = 3,7 \text{ N/mm}^2$

Verankerungslänge $l_b = d_s / 4 \times f_{yd} / f_{bd}$

$$F_{s,d} = 194,490 \text{ kN} \rightarrow f_{yd} = 194\,490 / 707,0 = 274,96 \text{ N/mm}^2$$

$$l_b = 30,0 / 4 \times f_{yd} / f_{bd} = 30,0 / 4 \times 274,96 / 3,7 = 557 \text{ mm} < 700 \text{ mm}$$

Verbundspannungen zwischen Verpressmörtel und Altbeton

der Altbeton entspricht einem B 25 (DIN 1045 – 8.88) ~ C 20 / 25 nach DIN 1045-1

$$\tau_d = 194\,490 / (\pi \times 80) / 700 = 1,106 \text{ N/mm}^2 < 2,3 \text{ N/mm}^2$$

Es werden 2 Anker relativ dicht nebeneinander randnah angeordnet, daher wird auch der Verbund der Ankergruppe untersucht

$$U = 160,0 + 2 \times 80,0 \times \pi / 4 + 2 \times 100,0 = 485 \text{ mm}$$

$$\tau_d = 2 \times 194\,490 / 485 / 700 = 1,135 \text{ N/mm}^2 < 2,3 \text{ N/mm}^2$$

Biegung in der Grundplatte $t = 30 \text{ mm}$

$$M_d = 194\,490 \times 6,0 / 2 = 866,46 \text{ kNcm}$$

das Moment wird in zwei Richtungen abgetragen

$$\Sigma M_{y,R,d} = (6,0 + 8,0 + 3,0 + 13,0) \times 3,0^2 / 6 \times 24,0 / 1,1 = 981,81 \text{ kNcm}$$

$$M_d / M_{R,d} = 0,883 < 1,0$$

8.4 Aufnahme der Horizontalkräfte

$$H_y = 100,0 \text{ kN maximal}$$

Schubknagge Rohr 108 x 10,0

$$\sigma_b = 100\,000 / 108 / 100,0 = 10,0 \text{ N/mm}^2$$

Biegung im Rohr Schweißnaht $a = 6 \text{ mm}$ umlaufend

$$W_w = \pi / 32 (114^4 - 102^4) / 114,0 = 52.233,1 \text{ mm}^3$$

$$M_d = 1,35 \times 0,9 \times 100,0 \times 8,0 = 972,0 \text{ kNcm}$$

$$\sigma_d = 972,0 \times 1\,000 \times 10,0 / 52\,233,1 = 186,1 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{R,d} = 240,0 \times 0,95 / 1,1 = 207,3 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_d / \sigma_{R,d} = 0,90 < 1,0$$

Betriebsfestigkeitsnachweis nicht erforderlich.

9. Lagerung der Elektrohübyylinder

9.1 Verschraubung Zylinderlager

$$\text{Antriebskraft } F_d = 1,35 \times 120,0 = 162,0 \text{ kN}$$

$$\text{Lagerzapfen } d = 90 \text{ mm}$$

Obere Lagerschale

$$\text{Anteilige Kräfte } F_d = 162,0 / 2 / 2 = 40,5 \text{ kN}$$

$$F_z = 40,5 \times \cos 45^\circ = 28,638 \text{ kN}$$

gew 2 Schrauben M 12 – 8.8

$$N_d = 28,638 / 2 + 40,5 \times 4,5 / 3 / 18,4 = 17,62 \text{ kN}$$

$$N_{R,d} = 44,59 / 1,5 \times 1,1 = \underline{32,7 \text{ kN} > 17,60 \text{ kN}}$$

9.2 Lagerpressung

$$\text{Antriebskraft } F_d = 1,35 \times 120,0 = 162,0 \text{ kN}$$

$$\text{Lagerzapfen } d = 90 \text{ mm}$$

$$\sigma_L = 162,0 \times 1\,000 / 2 / 90,0 / 45,0 = 20,0 \text{ N/mm}^2 \ll \text{zul } \sigma_L$$

9.3 Schweißnaht zwischen Wangen und Grundplatte

$$\text{Kehlnaht } a = 6 \text{ mm umlaufend, } l_w = 2 \times 650,0 + 2 \times 45,0 = 1\,390 \text{ mm}$$

$$M_d = 162,0 \times 19,5 / 2 = 1.579,5 \text{ kNcm}$$

$$I_w = 2 \times 0,6 \times 65,0^3 / 12 + 2 \times 4,5 \times 32,5^2 = 36\,968,75 \text{ cm}^4$$

$$\tau_w = 162\,000 / 2 / 1\,390,0 / 6,0 = 9,712 \text{ N/mm}^2 \ll \text{zul } \tau_w$$

$$\sigma_w = 15\,795, / 36\,968,75 \times 32,5 = 13,89 \text{ N/mm}^2 \ll \text{zul } \sigma_w$$

9.4 Ableitung der Kräfte in den Beton

$$2 \text{ Rohre } \varnothing 101,6 \times 10,0, l = 200,0 \text{ mm S 235JRG2}$$

$$\text{Betonpressung } \sigma_B = 162,0 \times 1\,000 / 2 / 101,6 / 150 = 5,3 \text{ N/mm}^2 \ll \text{zul } \sigma_B$$

Biegung im Rohr, Schweißnaht a = 6 mm umlaufend

$$W_w = \pi / 32 (106^4 - 94^4) / 106,0 = 44.616,5 \text{ mm}^3$$

$$M_d = 1,35 \times 0,9 \times 100,0 \times 12,5 / 2 = 759,375 \text{ kNcm}$$

$$\sigma_d = 759,375 \times 1\,000 \times 10,0 / 44\,616,5 = \underline{170,2 \text{ N/mm}^2}$$

$$\sigma_{R,d} = 240,0 \times 0,95 / 1,1 = \underline{207,3 \text{ N/mm}^2}$$

$$\sigma_d / \sigma_{R,d} = \underline{0,82 < 1,0}$$

Zugverankerung:

$$\max Z_d = 147,0 \times 22,5 / (57^2 + 38^2 + 19^2) \times 57,0 / 2 = \underline{18,652 \text{ kN}}$$

Gewählt **Dübel Fischer FCR 10 x 100 /20**

$$\text{zul } Z = \underline{19,5 \text{ kN} > 18,652 \text{ kN}}$$