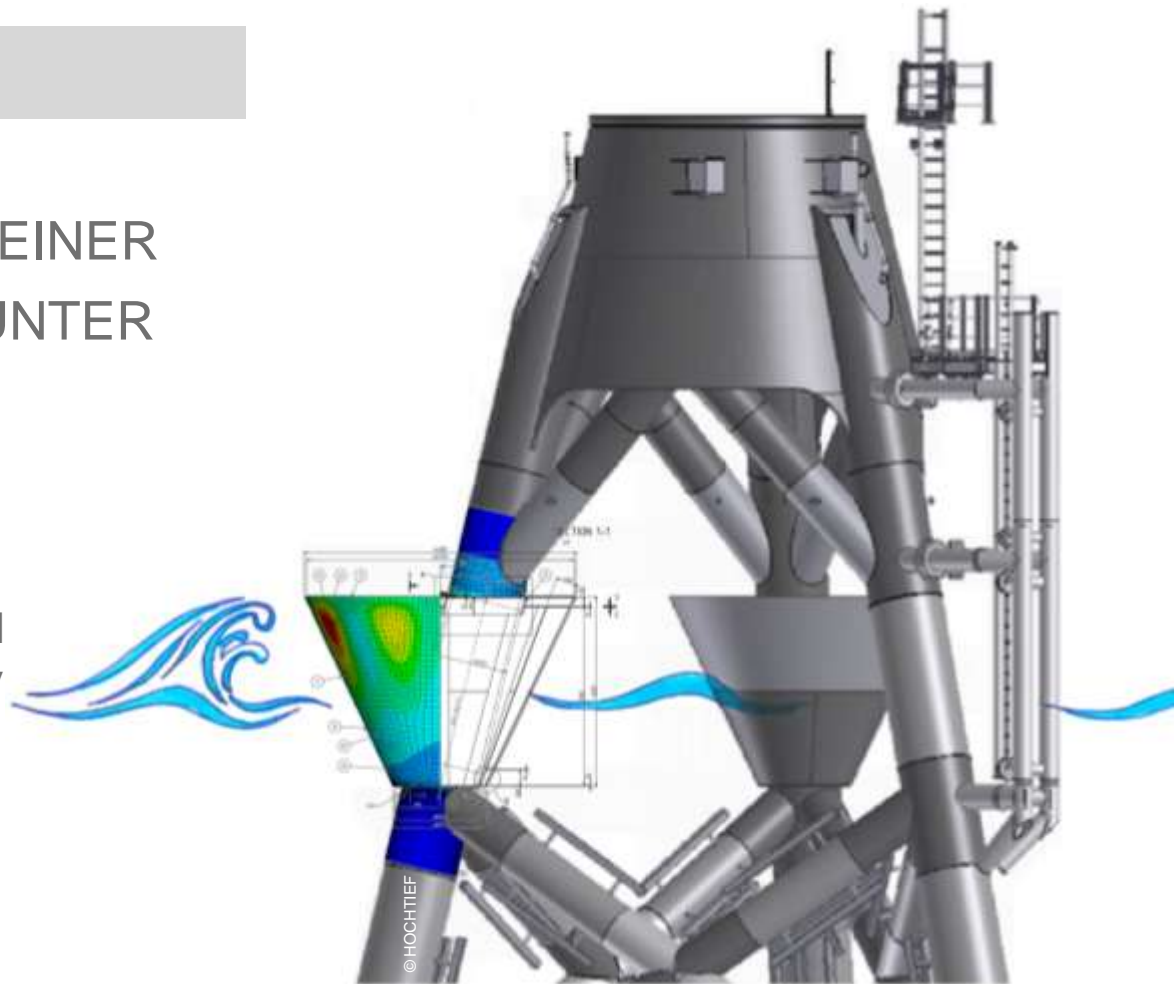


GESCHÄFTSBEREICH OFFSHORE

ERMÜDUNGSANALYSE EINER EISKONUSSTRUKTUR UNTER SEEGANGSLASTEN

Dipl.-Ing. Theodor Neufeld
HOCHTIEF Infrastructure GmbH
Marine and Offshore Technology
Hamburg, Deutschland



Numerische Untersuchungen einer Eiskonusstruktur einer Offshore-Windenergieanlage unter Seegangslasten in Bezug auf Ermüdungsverhalten mit ANSYS

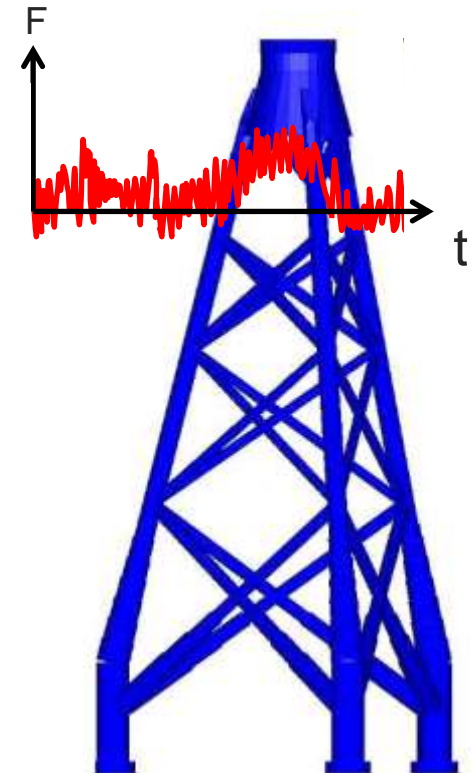
1. Problembeschreibung
2. Modellierung
3. Belastung
4. Analyse
5. Ergebnisse



Problembeschreibung

Typische Anhaltswerte deutsche Ostsee

- Eisdicke: bis zu 0,50m
- Geschwindigkeit: bis 0,80 m/s
- Größe: bis zu 2km
- Druckkraft: bis zu 2MN



Problembeschreibung

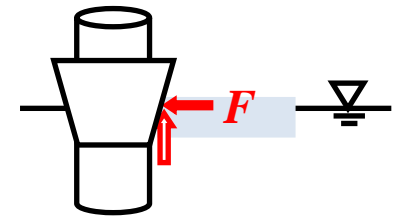
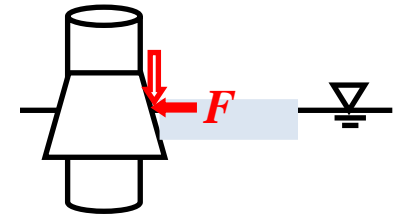
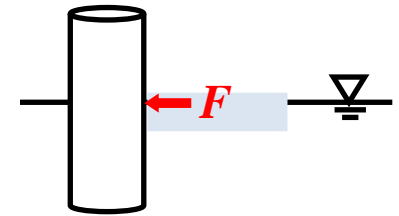
- Korzhavin

$$F = 0,9 \cdot k_2 \cdot \sqrt{1 + 5 \frac{h}{D} \cdot \sigma_c \cdot D \cdot h}$$

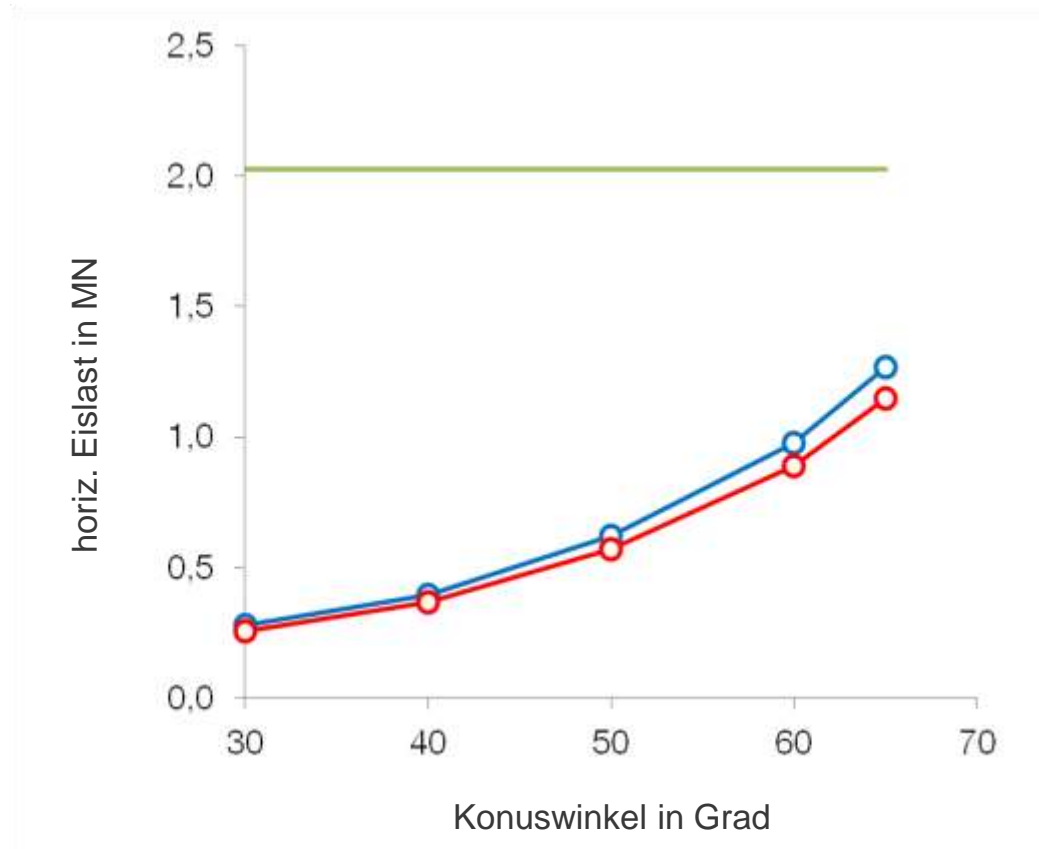
- Ralston

$$F = A_4 \left\{ A_1 \sigma_f h^2 + A_2 \rho_w g h D^2 + A_3 \rho_w g h (D^2 - D_t^2) \right\}$$

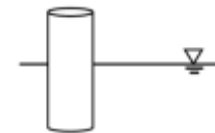
$$F = A_4 \left\{ A_1 \sigma_f h^2 + A_2 \frac{\rho_w}{9} g h D^2 + A_3 \frac{\rho_w}{9} g h (D^2 - D_t^2) \right\}$$



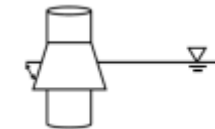
Problembeschreibung



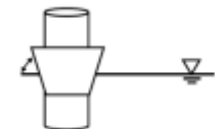
Zylinderform



Kegelform

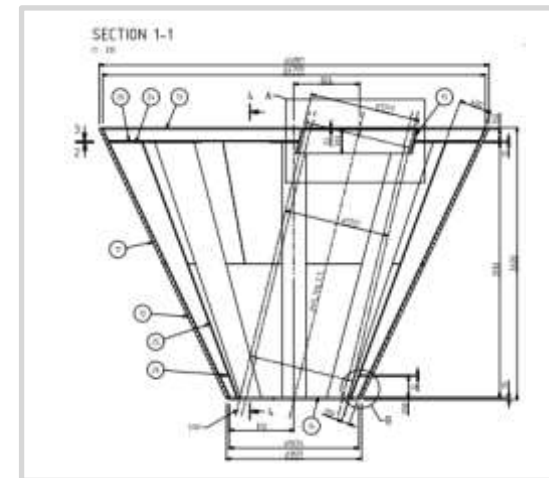
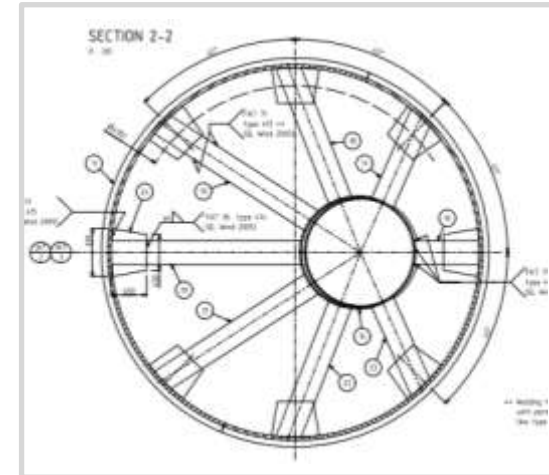


Kegelform



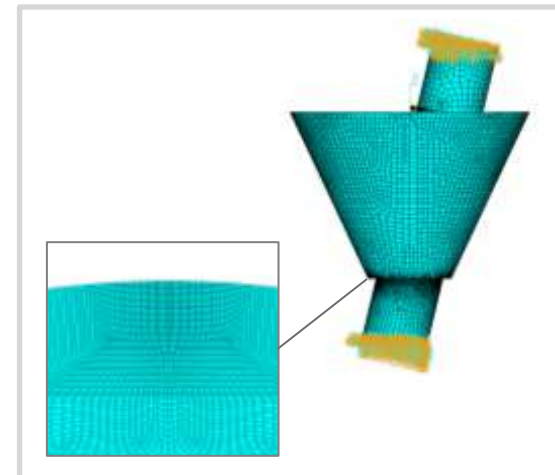
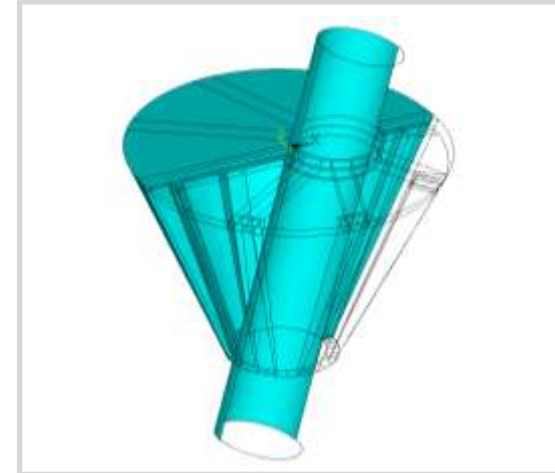
Modellierung

- **Abmessungen**
 - Höhe: ca. 3,5 m
 - Durchmesser oben: ca. 5 m
 - Durchmesser unten: ca. 2 m
 - Konuswinkel: ca. 65°
- **Material**
 - Stahl: S420 / S355
 - Wandstärke: bis 40 mm
- **Gewicht**
 - Gesamtgewicht: ca. 15 t

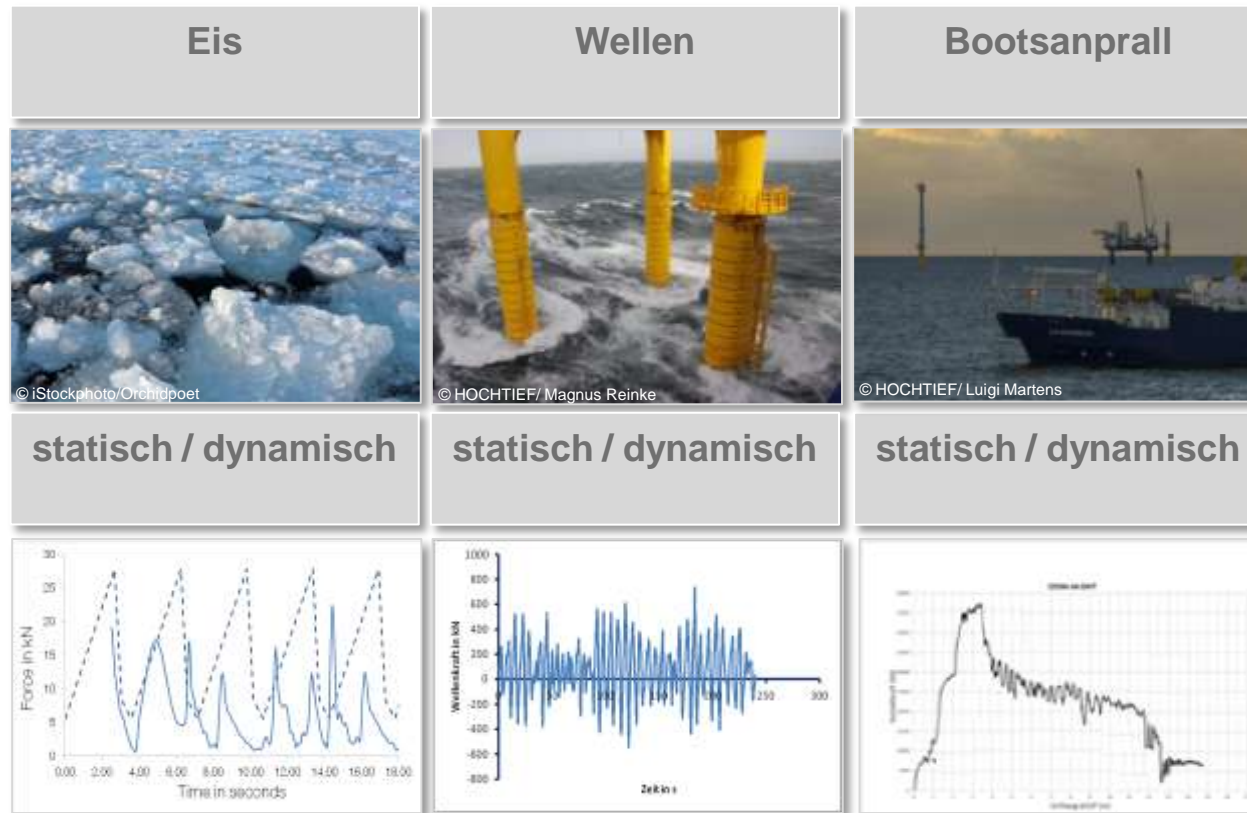


Modellierung

- **ANSYS 15.0 Mechanical APDL**
- **Elemente**
 - Schalenelemente (shell)
 - Rohrelemente (pipe)
 - Flächen - Lastelemente (surf)
- **Netz**
 - automatische Vernetzung
 - Verfeinerung an relevanten Stellen
 - Pfade für die Auswertung der Spannungen
- **Randbedingungen**
 - Festhaltung des Jacketbeins oben und unten



Belastung



REGELWERKE

- DIN EN 61400-3
- Germanischer Lloyd
- DNV

Belastung

- Wellenlasten auf hydrodynamisch transparente Strukturen

→ Morison Gleichung

$$f = f_D + f_M = C_D \frac{\pi}{2} \rho D u |u| + C_M \rho \frac{\pi D^2}{4} \frac{\partial u}{\partial t}$$

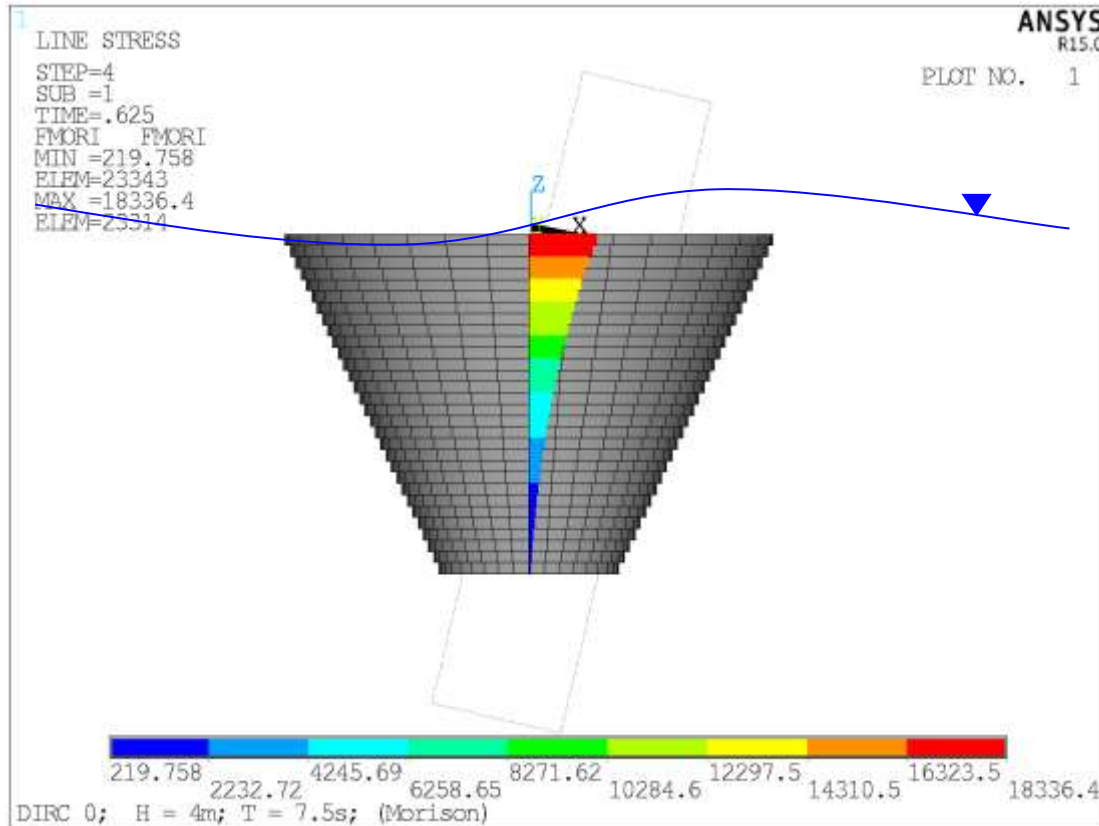
- Wellenlasten auf hydrodynamisch kompakte Strukturen

- Froude-Krylov (Anteil infolge ungestörter Welle)
- Diffraktion (Anteil infolge gestörter Welle)
- Radiation (Anteil infolge Relativbewegung des Körpers)

→ keine geschlossene Formel

Belastung

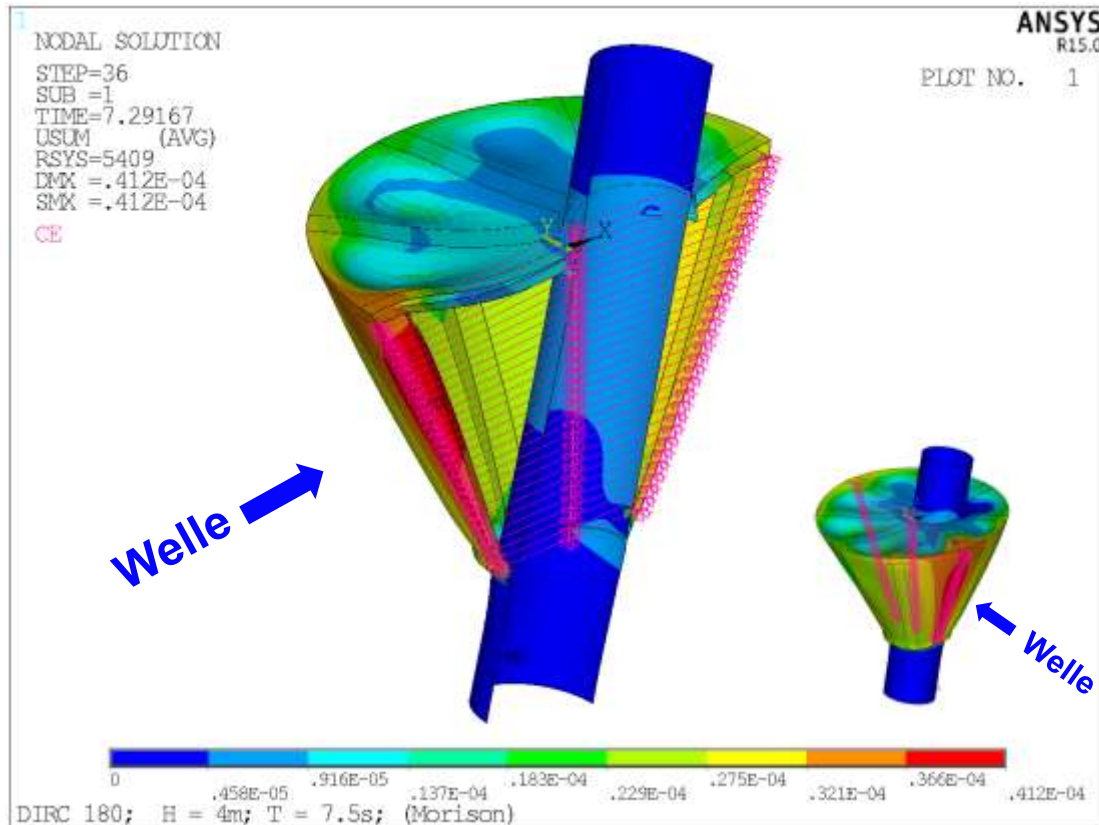
Wellenlasten auf hydrodynamisch transparente Strukturen



- ANSYS Structural
- pipe – Elemente
- ungestörte Welle
- Morison

Belastung

Wellenlasten auf hydrodynamisch transparente Strukturen

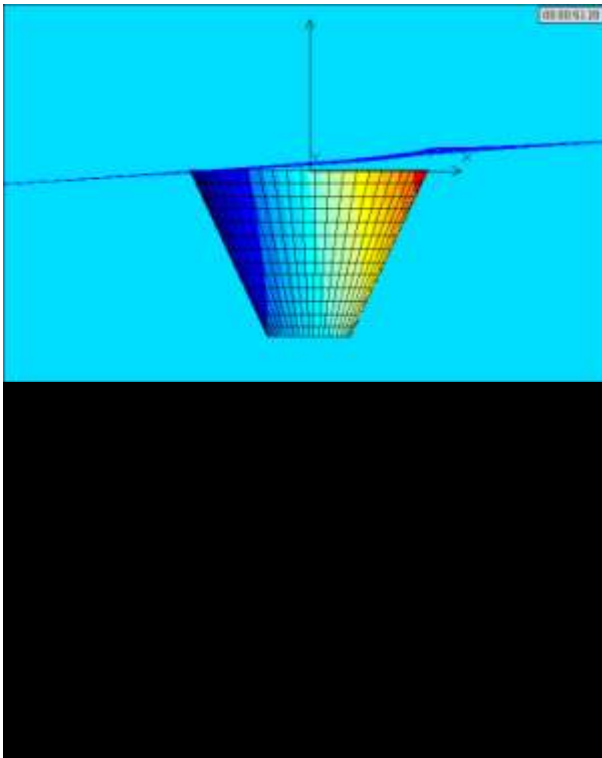


- **Morison**
- **Kopplung**
 - pipe – Elemente
 - shell – Elemente
- **Linienlasten**
 - Wellendruck
 - Wellensog

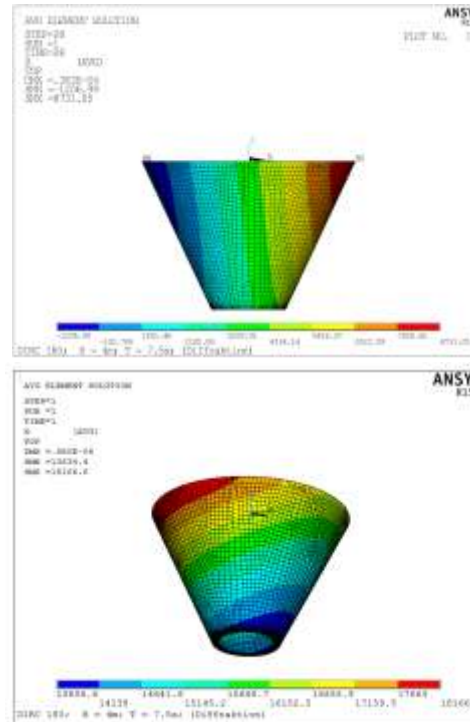
Belastung

Wellenlasten auf hydrodynamisch kompakte Strukturen

ANSYS - AQWA



ANSYS - Structural



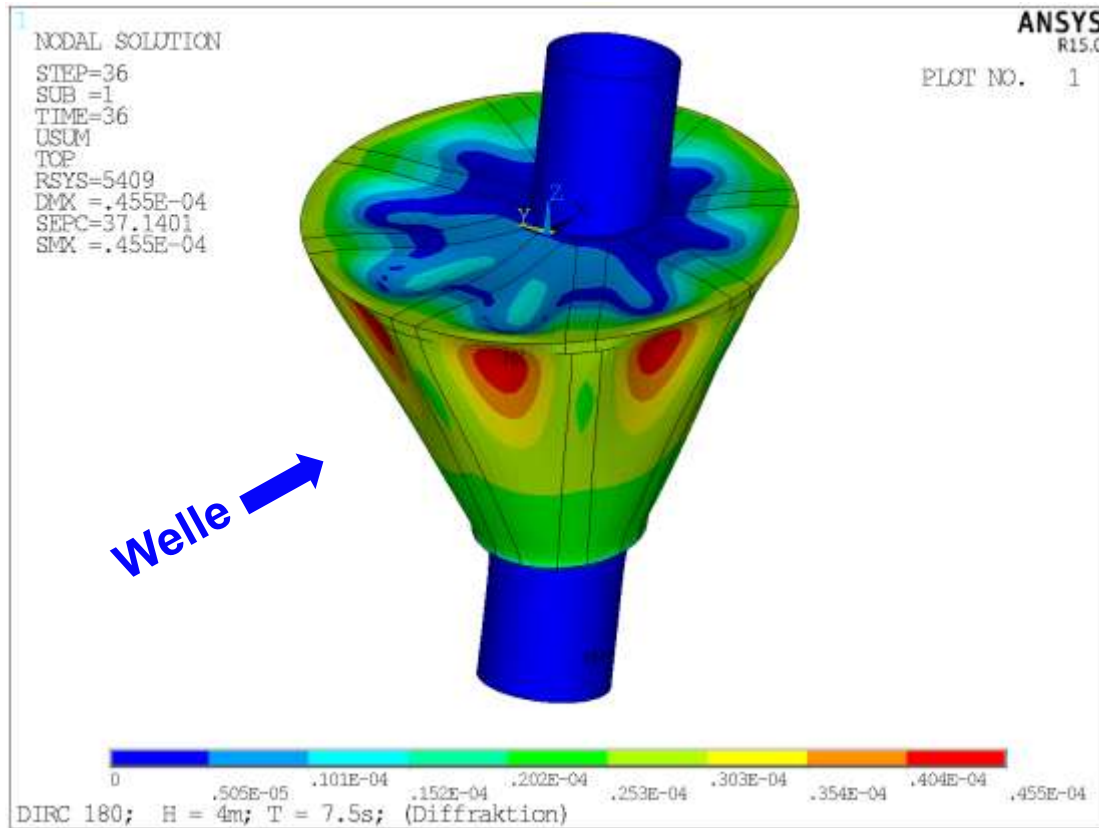
- ANSYS - AQWA
- Diffraktion
- gestörte Welle
- Druckverteilung



Export nach APDL

Belastung

Wellenlasten auf hydrodynamisch kompakte Strukturen

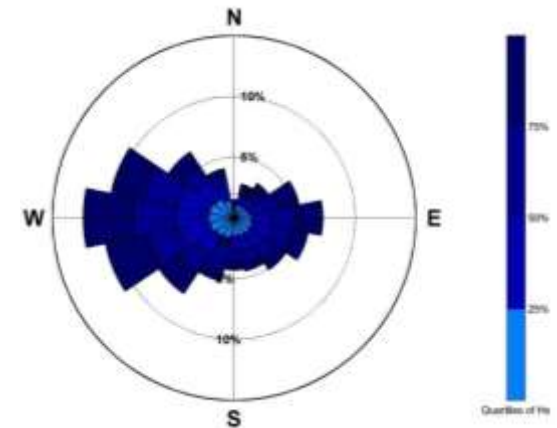


- Diffraktion
- Flächenlasten
 - Druckverteilung
 - SURF-Elemente

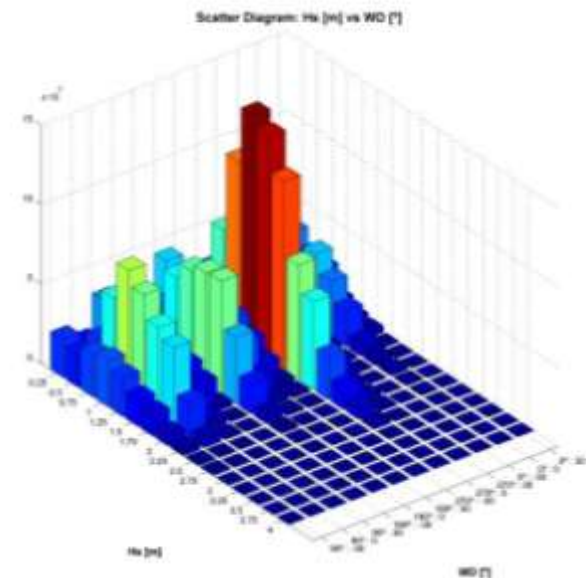
Belastung

Beanspruchungskollektive

- verschiedene Wellenrichtungen
- Wellenhöhen von 0,5m bis 4,0m
- 36 Schritte pro Wellendurchlauf



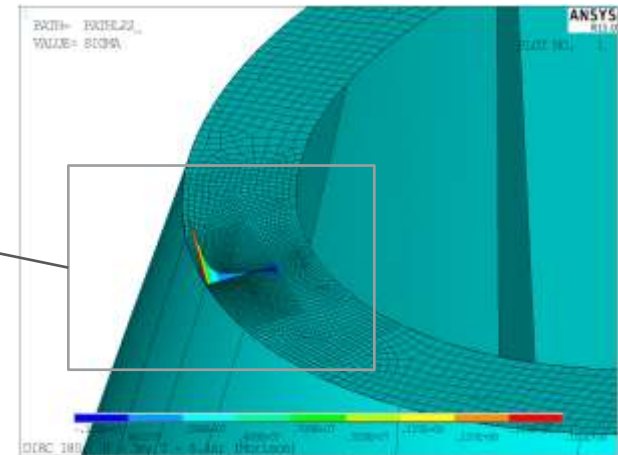
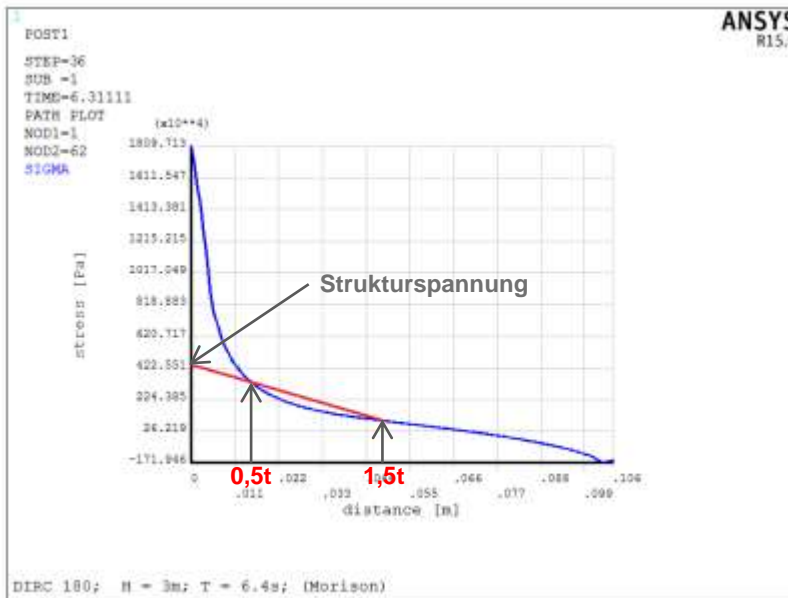
wind wave misalignment			-30	0	+30	-30	0	+30	-30	0	+30	-30	0	+30
10min mean wind speed at 10m	Hs, 3h [m]	Tp [s]	waves in 0° wind in 330°	waves in 0° wind in 30°	waves in 0° wind in 30°	waves in 90° wind in 90°	waves in 90° wind in 90°	waves in 90° wind in 120°	waves in 180° wind in 180°	waves in 180° wind in 180°	waves in 180° wind in 210°	waves in 270° wind in 240°	waves in 270° wind in 270°	waves in 270° wind in 300°
4	0.24	1.85	7847455	3317333	8881893	5977492	4258576	9492753	7240730	5128850	11967318	9031346	8174925	10822044
5	0.30	2.05	3900617	3811967	1883821	2542548	2501605	3766738	3256129	3329301	4902487	4432417	6574131	5214608
6	0.36	2.24	3513612	2309723	2864037	2619870	3769517	3642393	2651772	4496483	4813543	4241509	9326266	5506833
7	0.42	2.43	2965567	3138673	4172139	3137893	6018198	4123580	3039825	6380392	5277938	3259655	12719741	5846120
8	0.49	2.61	3127459	5264556	2084973	3443555	8234589	4652831	3086277	7378686	5214744	3016817	15412578	6005390
9	0.56	2.80	2600114	6121101	1733409	4034534	10114747	4730633	3095695	8178751	5274148	3530375	17347226	6469368
10	0.64	2.99	1411275	5302973	1069148	3205637	10026441	3742263	2425302	8183396	4320070	2656687	19762320	5896130
11	0.73	3.19	998277	4846678	739464	3222111	9454351	2882941	2319670	8998718	3319527	2416438	18769190	4878470
12	0.82	3.40	850836	4011082	810320	2882650	8401568	2426846	1942328	8516360	2838787	2001295	16532991	4410497
13	0.93	3.60	509381	3252204	705237	2278832	7673834	2098645	1790801	9048441	3397930	1440983	16887287	4334227
14	1.04	3.82	338487	2368411	338487	2058668	4604907	1770946	1202114	8728392	3188215	961520	13179004	2866919
15	1.17	4.04	249184	1174726	124592	1620205	6151127	1799181	591673	6486860	2051134	471864	9776064	2032647
16	1.30	4.26	143236	945359	85942	1808007	6503427	1794514	326228	4065303	1129251	421755	8281282	1781294
17	1.44	4.48	120476	635239	54762	999691	3356105	919358	144349	2886985	739790	248441	7777105	1854438
18	1.59	4.71	92531	420597	33648	753740	2142209	509105	89362	1876600	395746	232183	6114147	1251207
19	1.74	4.93	22699	363186	22699	606848	1154338	310706	37589	894630	233055	101434	4140180	743162
20	1.90	5.16	3877	244221	11630	270632	310777	72936	22791	610792	127628	69470	3058944	424995
21	2.07	5.38	0	125043	6100	141187	118479	21721	1671	272392	60160	34964	1907595	357867
22	2.25	5.60	0	120815	3661	105093	36405	2748	7778	185797	31974	24682	1592882	296186
23	2.42	5.82	0	90196	5204	170461	25910	1364	9373	123497	26464	8189	1003974	221104
24	2.60	6.03	593	26966	4149	80768	26010	0	1962	37812	10701	9123	742261	162392
25	2.78	6.24	0	25903	2790	10722	0	0	0	12476	2739	34139	567245	59371
26	2.96	6.44	0	18498	4423	9345	0	0	0	2723	671	4964	187939	23688
27	3.14	6.62	0	16936	4050	6429	0	0	0	0	0	1075	49089	499
28	3.31	6.80	0	7347	1757	10064	0	0	0	0	0	464	17581	2160
29	3.47	6.97	0	0	0	1590	0	0	0	0	0	18	692	85
30	3.62	7.12	0	0	0	1590	0	0	0	0	0	18	692	85
31	3.76	7.25	0	0	0	926	0	0	0	0	0	11	403	49
32	3.89	7.37	0	0	0	641	0	0	0	0	0	7	279	34
33	3.99	7.47	0	0	0	504	0	0	0	0	0	6	219	27
34	4.08	7.55	0	0	0	458	0	0	0	0	0	5	199	24
sum			28715677	45970588	27576538	41949689	96888220	48762202	33283419	95825036	59324018	38611457	19290391	72065024



Analyse

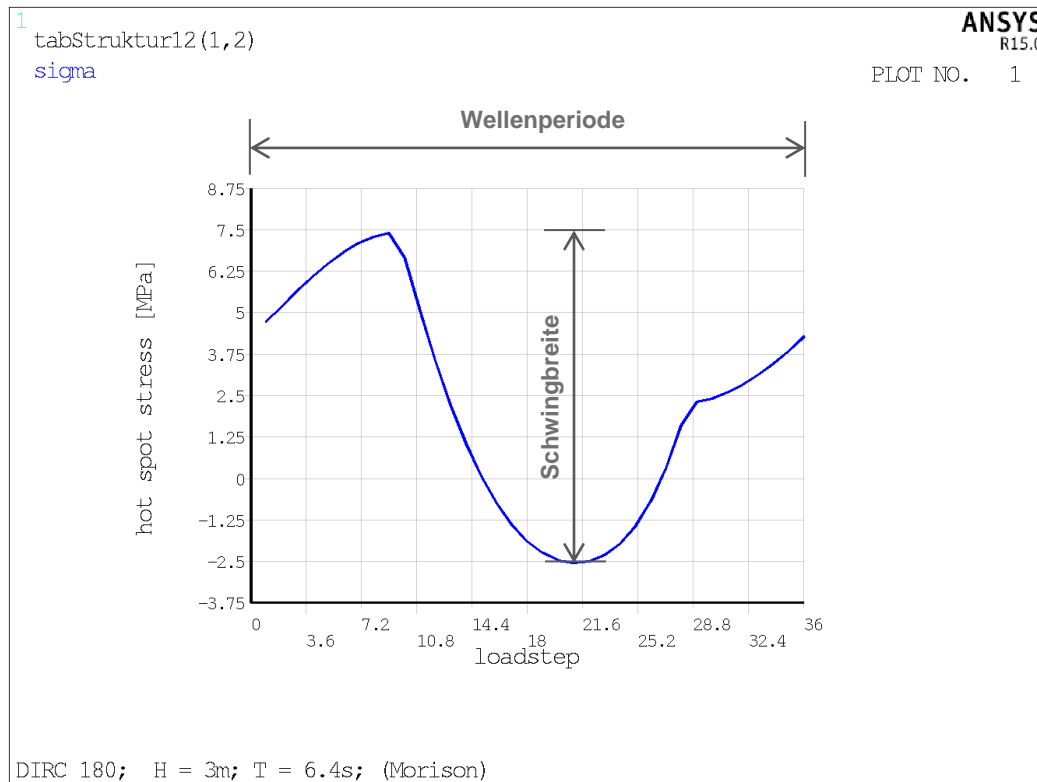
Berechnung der Strukturspannungen

- Ausgabe der Spannungen senkrecht zur Schweißnaht
- Stützstellen bei 0,5t und 1,5t (t=Wandstärke)
- Extrapolation der Strukturspannung



Analyse

Ermittlung der Spannungsschwingbreite



- Lastschritte
 - Phasenwinkel 10°
 - $360^\circ / 10^\circ = 36$

- Schwingbreite

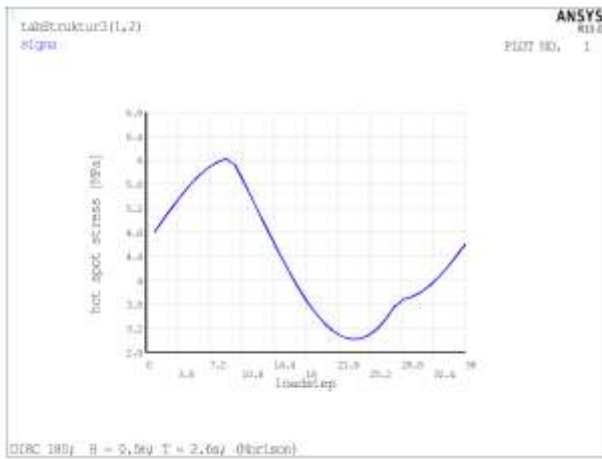
$$\Delta\sigma = \sigma_{\max} - \sigma_{\min}$$

Ergebnisse

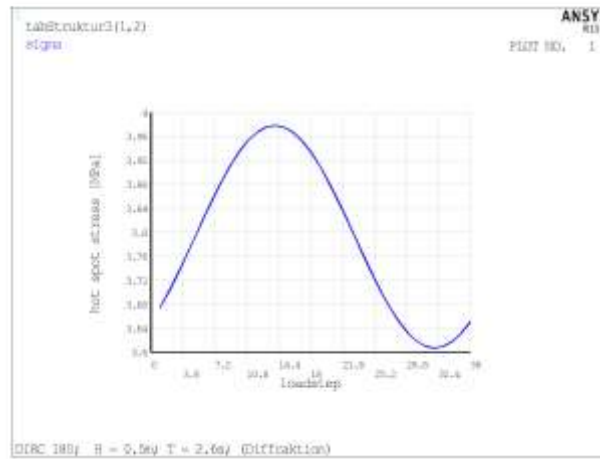
Vergleich der Berechnungsansätze

MORISON

DIFFRAKTION



$\Delta\sigma = 3,0 \text{ MPa}$



$\Delta\sigma = 0,4 \text{ MPa}$

- Welle
 - Höhe: 0,5m
 - Periode: 2,6s

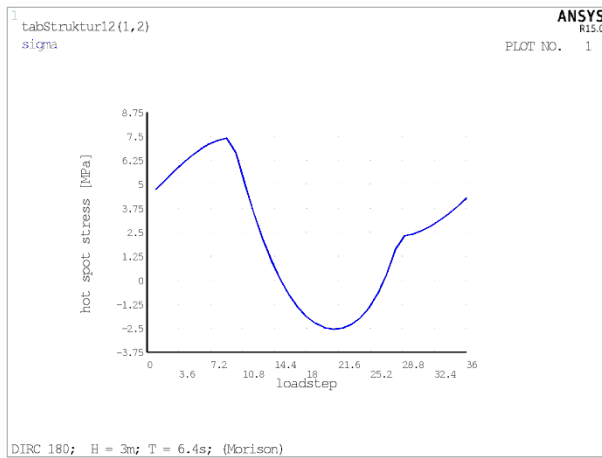
- Schwingbreite
 - Abweichung ca. 86%

Ergebnisse

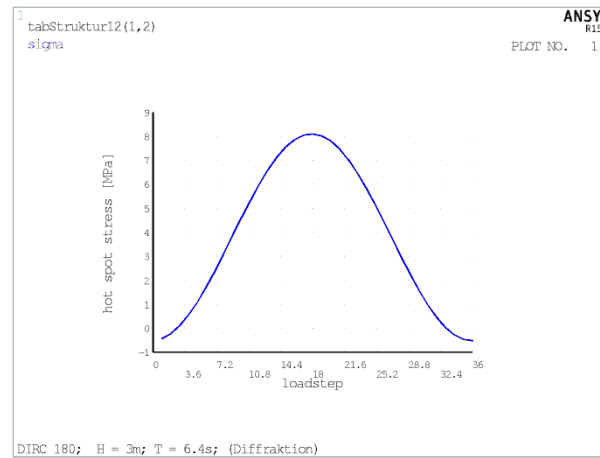
Vergleich der Berechnungsansätze

MORISON

DIFFRAKTION



$$\Delta\sigma = 9,8 \text{ MPa}$$

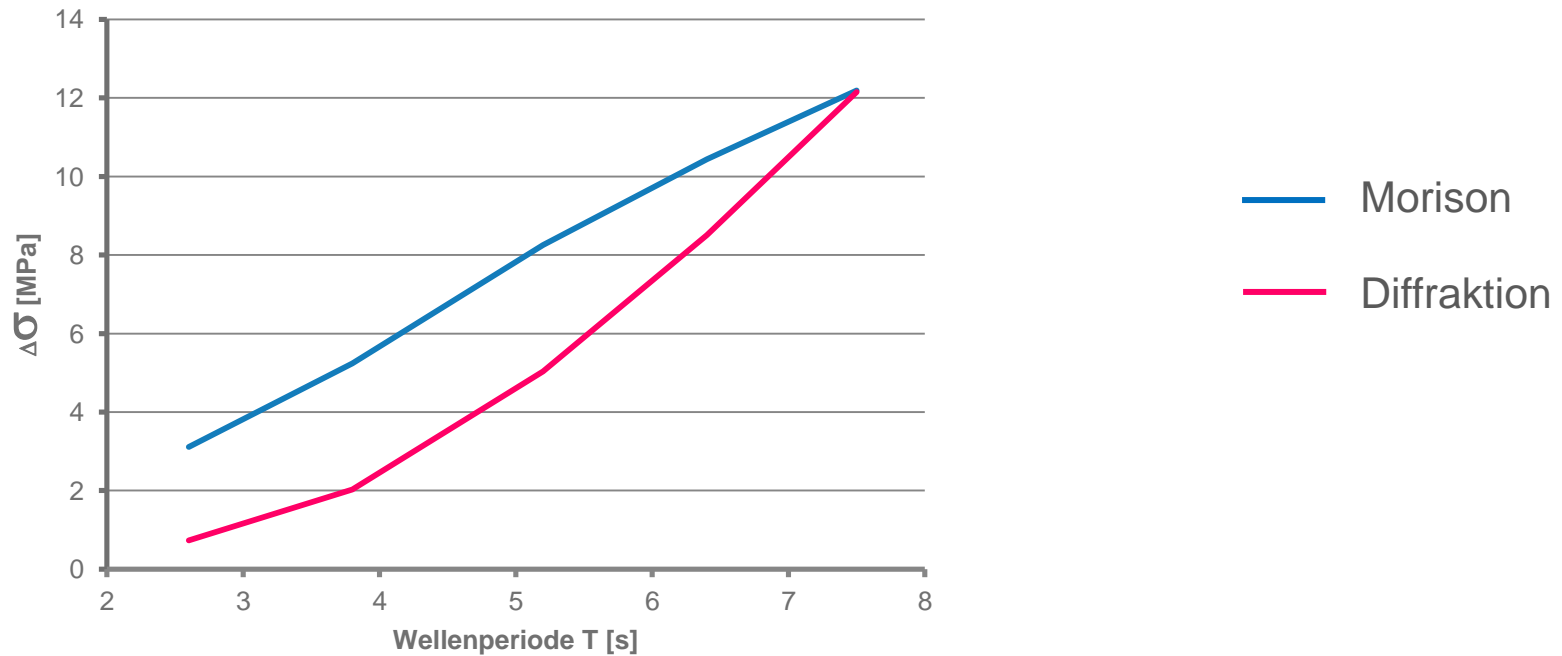


$$\Delta\sigma = 8,5 \text{ MPa}$$

- Welle
 - Höhe: 3,0m
 - Periode: 6,4s
- Schwingbreite
 - Abweichung ca. 13%

Ergebnisse

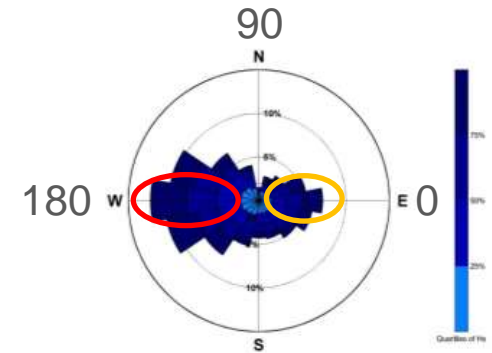
Vergleich der Berechnungsansätze



Ergebnisse

Nachweis gegen Ermüdung

Wellen- richtung	Wellen- höhe	Wellen- periode	Schwing- breite $\Delta\sigma$	vorh. Lastspielzahl n_i	zul. Lastspielzahl N_i	Schädigung D	Lebens- dauer
[°]	[m]	[s]	[N/mm ²]	[-]	[-]	[-]	[Jahre]
0	0.5	2.60	3.11	6.23E+07	9.76E+09	0.01	3918
	1.0	3.80	5.24	3.75E+07	7.18E+08	0.05	479
	2.0	5.20	8.26	6.17E+06	7.38E+07	0.08	299
	3.0	6.40	10.44	2.17E+05	1.24E+07	0.02	1436
	4.0	7.50	12.19	1.00E+00	7.81E+06	0.00	195277327
90	0.5	2.60	0.97	3.04E+07	3.32E+12	0.00	2728790
	1.0	3.80	1.86	2.65E+07	1.27E+11	0.00	119645
	2.0	5.20	3.38	7.00E+06	6.40E+09	0.00	22886
	3.0	6.40	4.61	1.32E+05	1.44E+08	0.00	27293
	4.0	7.50	5.57	7.87E+02	8.19E+07	0.00	2601458
180	0.5	2.60	3.00	4.88E+07	1.16E+10	0.00	5935
	1.0	3.80	5.01	4.34E+07	8.99E+08	0.05	518
	2.0	5.20	7.87	1.06E+07	9.36E+07	0.11	220
	3.0	6.40	9.94	1.25E+06	1.44E+07	0.09	287
	4.0	7.50	11.54	3.93E+02	9.21E+06	0.00	586061
Summe:						0.41	60.24



- **Morison**

Schädigung = 0,41

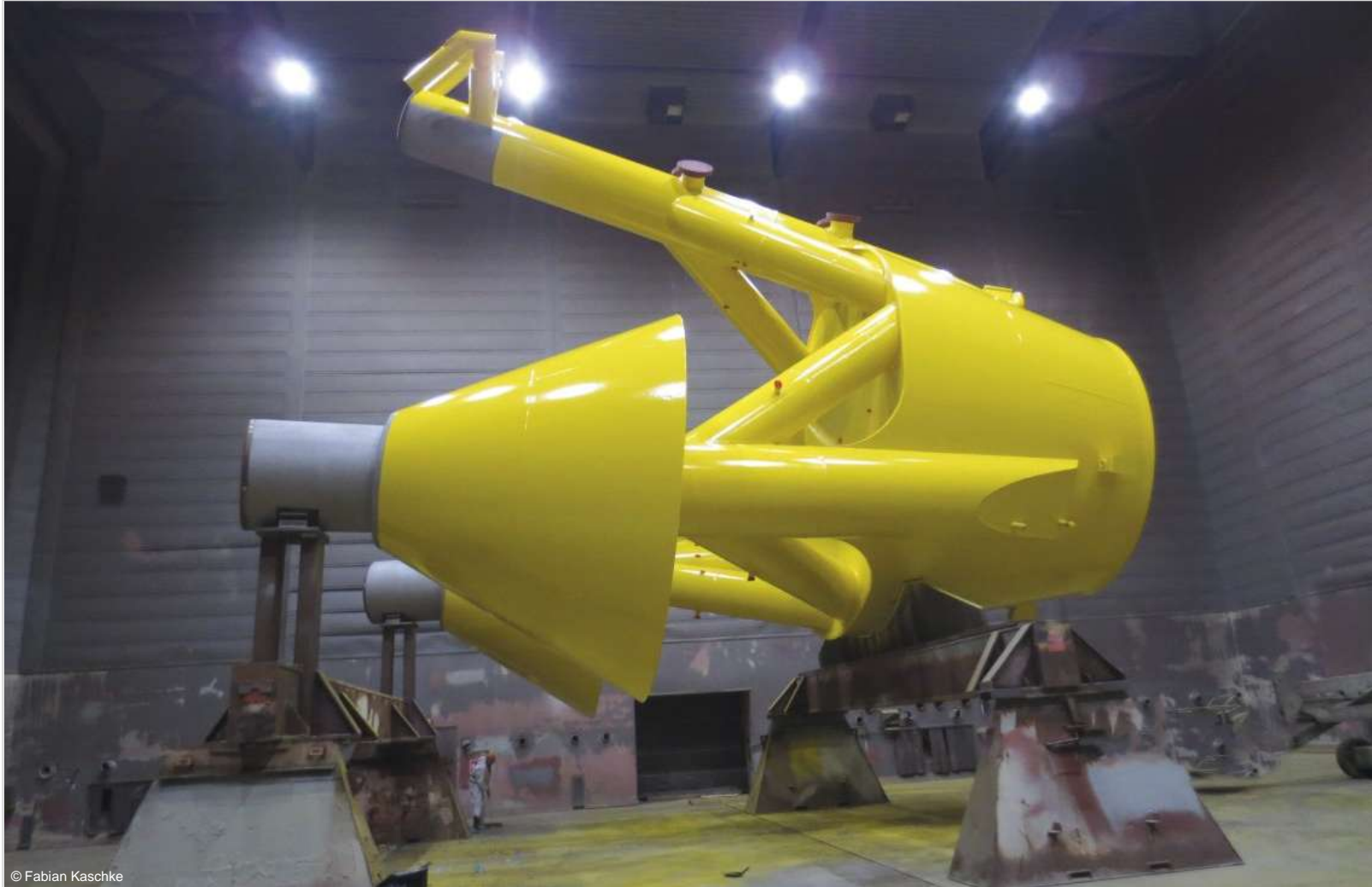
- **Diffraktion**

Schädigung = 0,22

FABRIKATION



ENDE



© Fabian Kaschke

*ANSYS Conference & 32nd CAEFEM Users' Meeting 2014
June 4 – 6, 2014, NCC Ost, Messe Nürnberg*