

Einsatzmöglichkeiten von Polyurethan-Punktlagern bei Maschinenfundamenten

Untersuchung anhand eines Vergleichsbeispiels

Dr.-Ing. Timur Uzunoglu
Dipl.-Ing. (FH) Konrad Edegger
Dipl.-Ing. Florian Knobloch

convex ZT GmbH
Graz, Österreich
April 2015

Inhalt

- Vergleich von Polyurethan- mit Stahlfeder-Punktlagern
- tatsächlich auf Federelementen gebautes Maschinenfundament (rotierende Maschine)
- Gegenüberstellung und Bewertung der Ergebnisse

Grundlagen 1/3

Anforderungen an Maschinenfundamente

- verschleißfreie, langfristige Funktion der rotierenden Teile
- Schwingungsisolierung des Fundaments vom Gebäude ("Isolierwirkungsgrad")
- präzise Abstimmung hinsichtlich dynamischen Verhaltens
- Schwingungsamplituden an signifikanten Punkten innerhalb von Grenzwerten

Grundlagen 2/3

Lagerungsmöglichkeiten

- Tischfundamente
die obere Platte auf elastischen Punktlagern
- Blockfundamente
Block auf elastischen Punkt- oder Streifenlagern
- Blockfundamente
ohne Isolierelemente (z.B. direkt auf Pfählen)

Oftmals werden Federelemente eingesetzt, um die erforderliche dynamische Abstimmung sowie die Reduktion der Schwingungsamplituden an den Lagerpunkten der rotierenden Teile zu erreichen.

Grundlagen 3/3

Abstimmungsmöglichkeiten

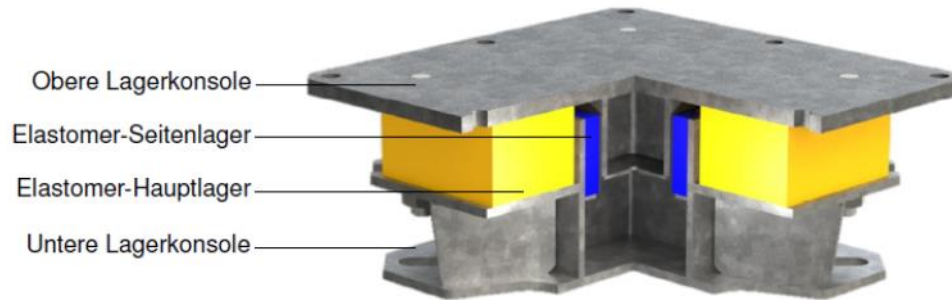
- tiefe Abstimmung
Abstimmungsverhältnis > 1
- hohe Abstimmung
Abstimmungsverhältnis < 1

Abstimmungsverhältnis: $h = \text{Erregerfrequenz} / \text{Eigenfrequenz}$
Maschinenfundamente sind meist tief abgestimmt.

Normen / Regelwerke

- **EN 1991-3 - Eurocode 1**
Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 3: Einwirkungen infolge von Kranen und Maschinen
- **DIN 4024, Teil 1**
Maschinenfundamente; Elastische Stützkonstruktionen für Maschinen mit rotierenden Massen (zurückgezogen 2014)
- **ISO 1940, Teil 1**
Mechanische Schwingungen - Anforderungen an die Auswuchtgüte von Rotoren in konstantem (starrem) Zustand
- **ISO 10816 - Teil 1-**
Mechanische Schwingungen: Bewertung der Schwingungen von
Gasturbinen, Windenergieanlagen, etc.
- **Angaben/Anforderungen des Herstellers**
etc...

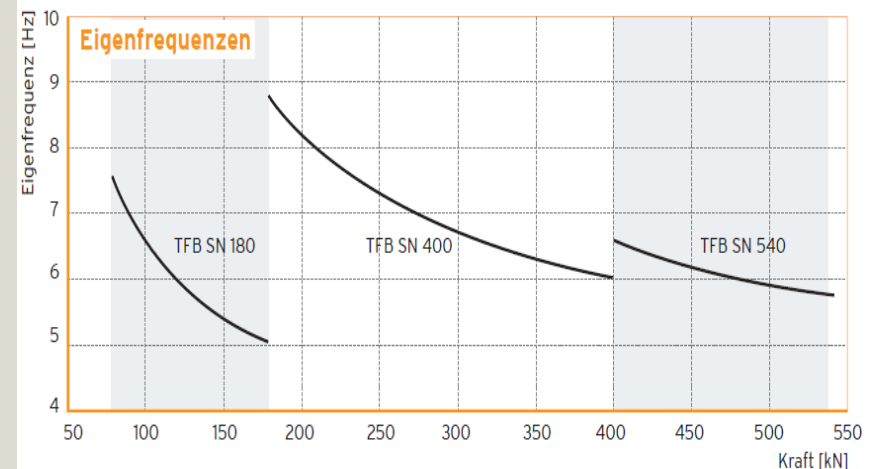
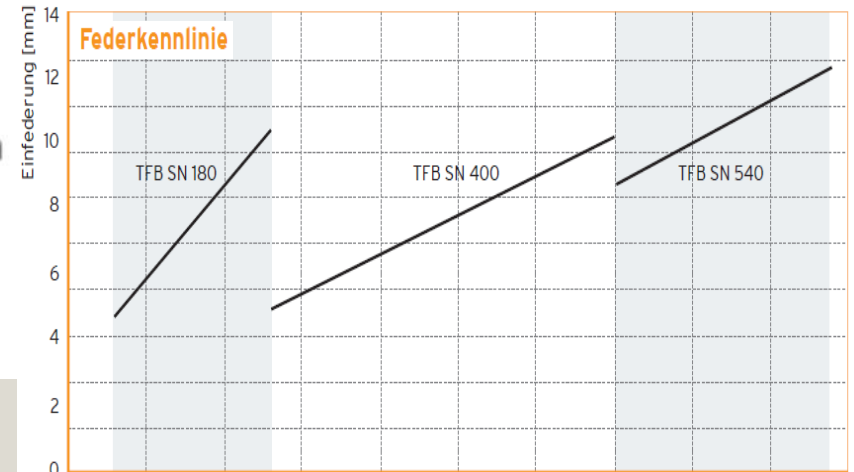
Polyurethan-Punktlager



- neu entwickeltes Lagersystem
- Stahl- und Polyurethankomponenten
- anpassbar an statische, dynamische und konstruktive Anforderungen

Steifigkeits- und Dämpfungseigenschaften werden in der Regel vom Hersteller zur Verfügung gestellt.

Achtung: Steifigkeiten sind lastabhängig.



Quelle: Fa. Getzner / 6706 Bürs, Österreich

Daten Maschinenfundament 1/2

Geometrie

- Länge 16 m, Breite 7 m, Dicke von 1,1 bis 1,3 m
- Podeste, welche die einzelnen Maschinen tragen
- Lagerung auf sechs Punkten
(tatsächliche Ausführung mit Federelementen)

Maschinelle Ausrüstung

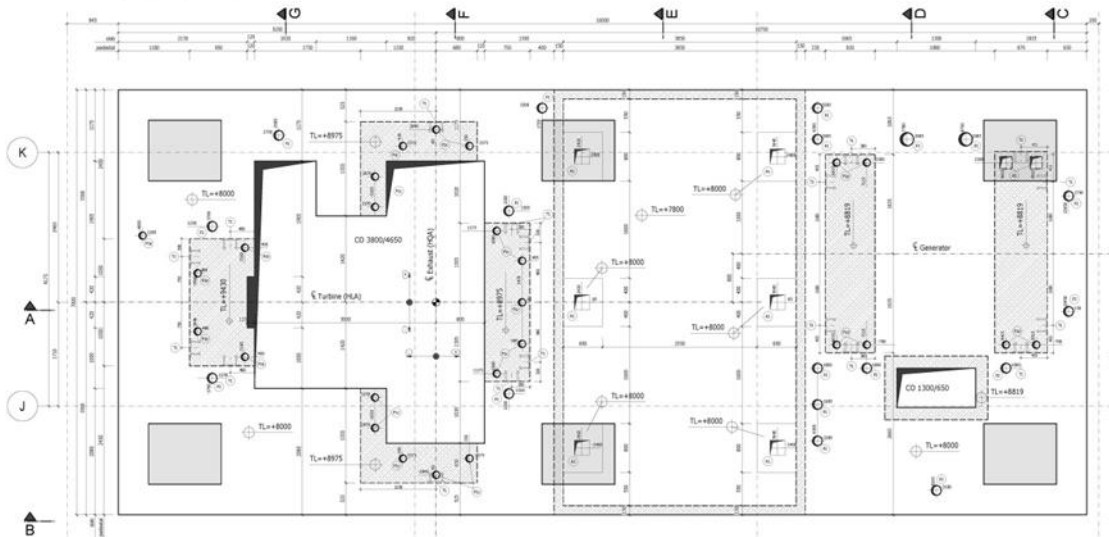
- Dampfturbine
- Generator
- Verbunden mittels Kupplungs- und Getriebebesatz

Daten Maschinenfundament 2/2

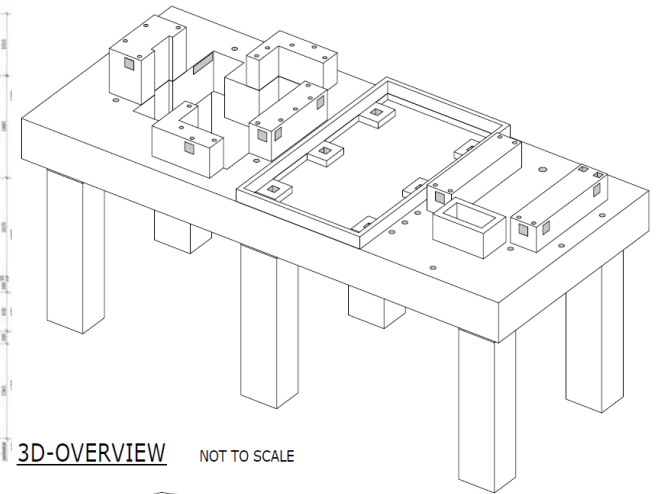
	statisches Gewicht G	rotierendes Gewicht R	Drehzahl n
Dampfturbine	620 kN	107 kN	4.800 rpm
Kupplung und Getriebe	150 kN	82 kN	1.500 / 4.800 rpm
Generator	640 kN	175 kN	1.500 rpm
Grundrahmen mit Öleinheit	350 kN		
Fundamentgewicht	3.360 kN		
Summe	5.020 kN	364 kN	

Plan Maschinenfundament

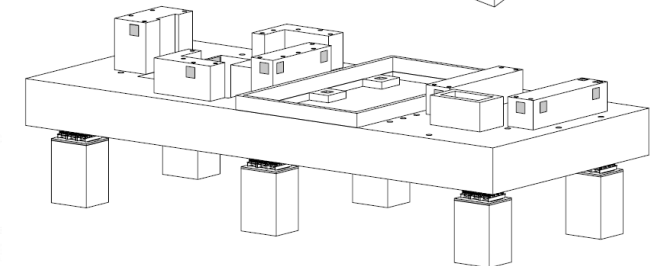
PLAN VIEW +9,500 SCALE 1:25



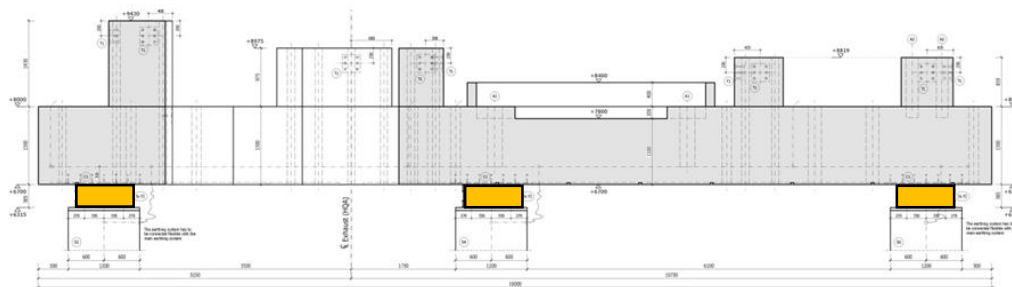
3D-OVERVIEW NOT TO SCALE



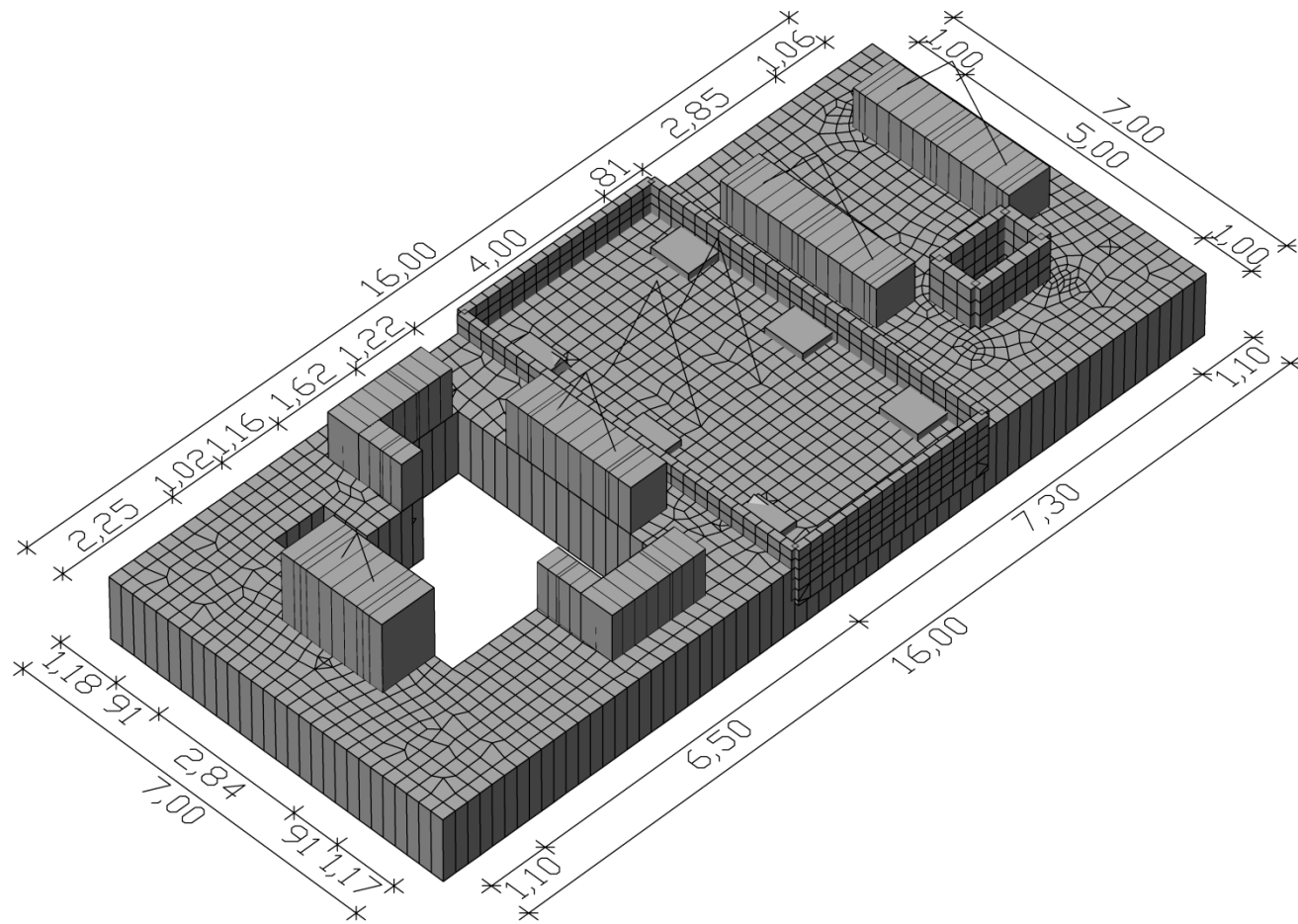
3D-OVERVIEW NOT TO SCALE



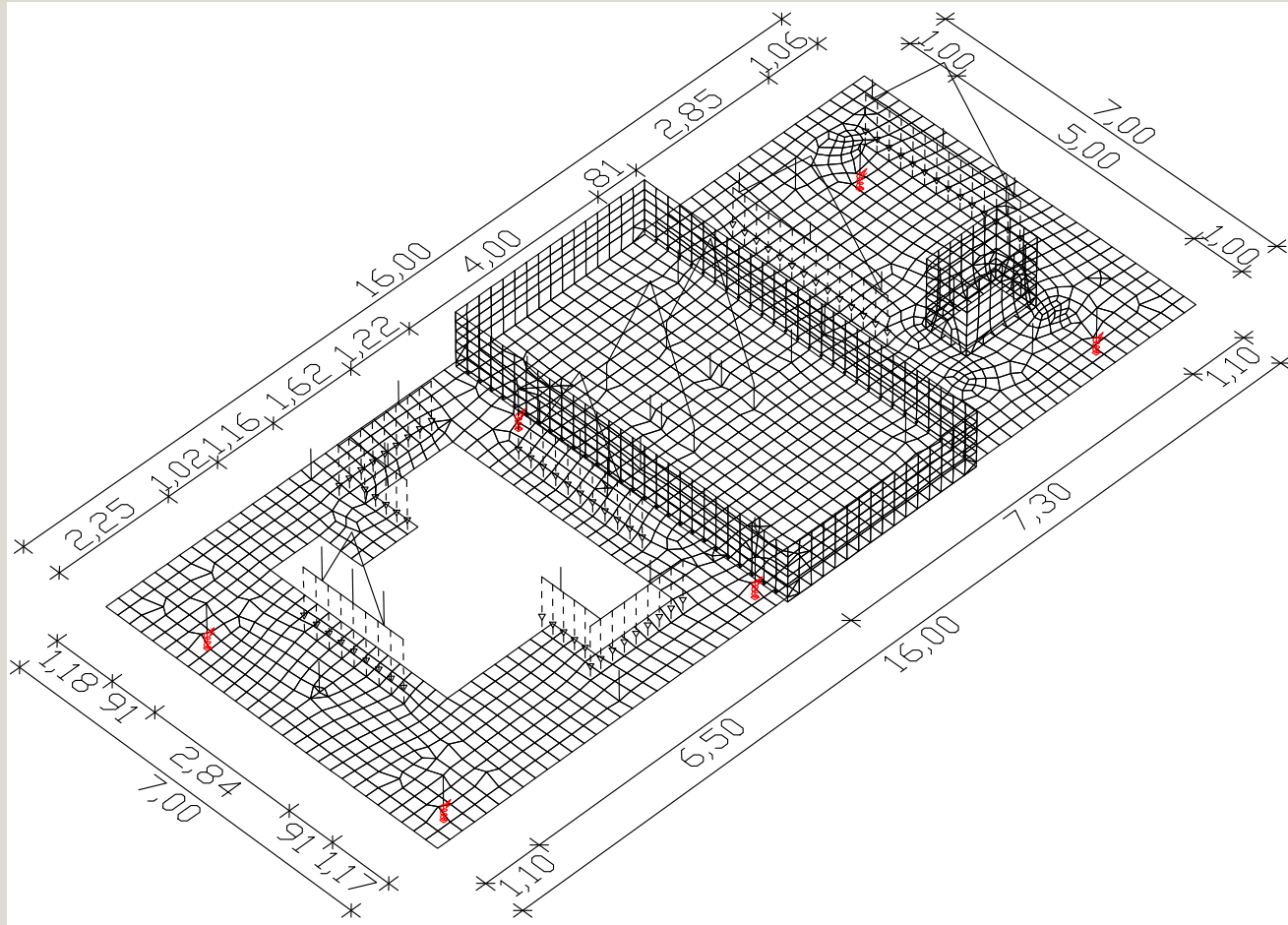
SECTION A-A SCALE 1:25



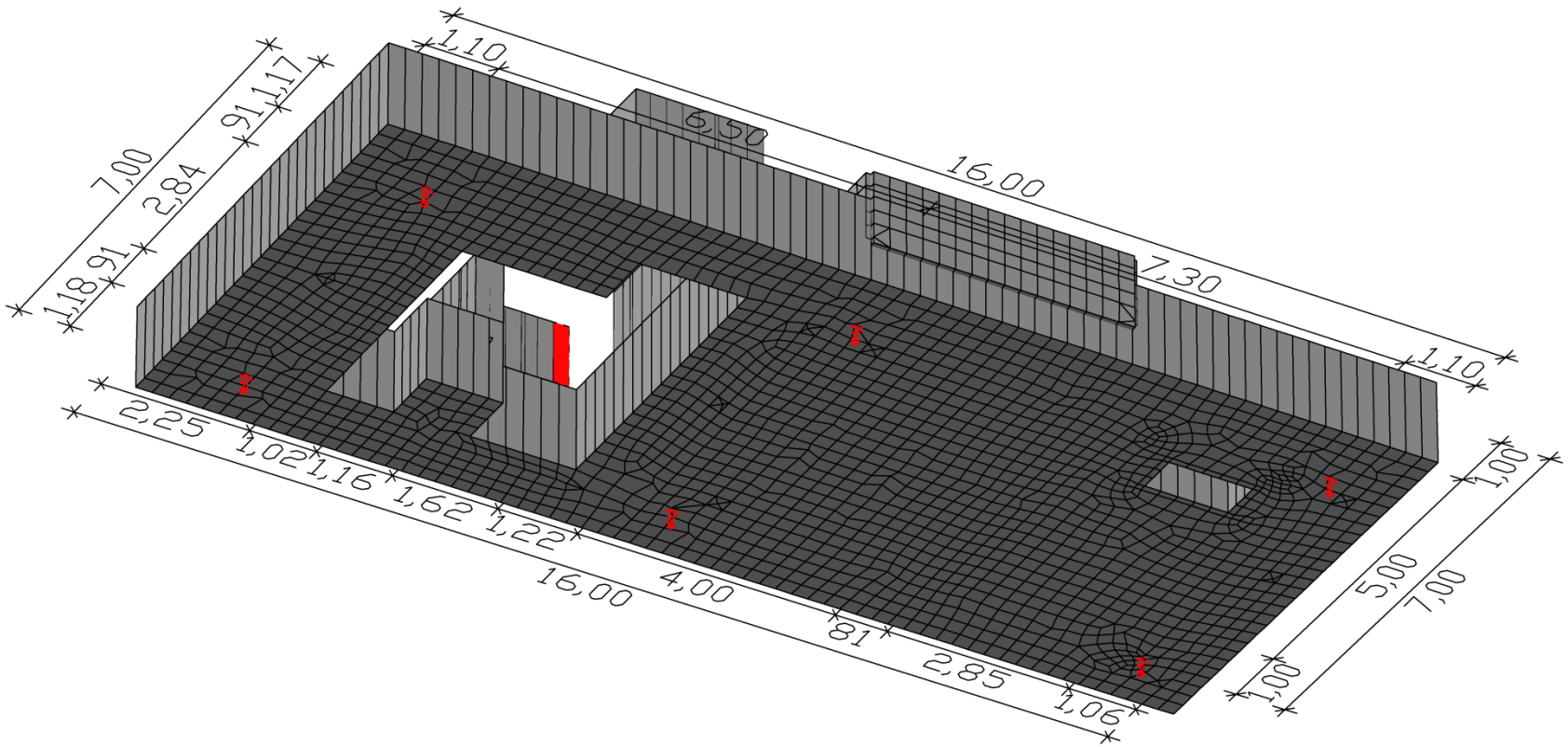
Screenshots aus FEM-Software 1/3



Screenshots aus FEM-Software 2/3



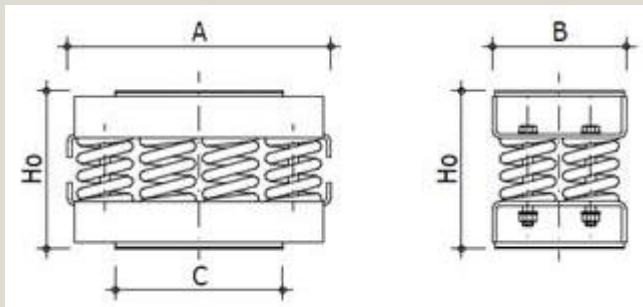
Screenshots aus FEM-Software 3/3



Vergleich der Abmessungen der Elemente

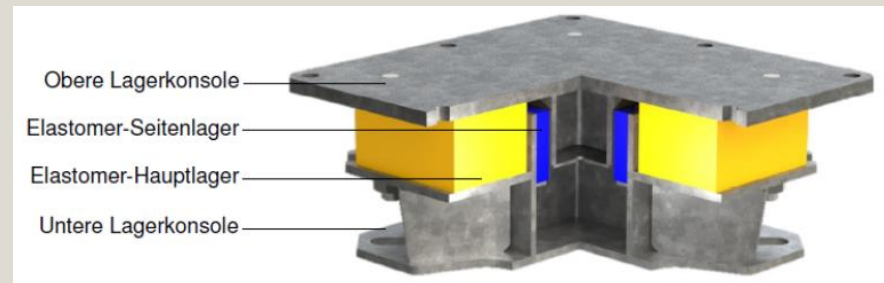
Stahlfeder-Punktlager

pos.	pcs.	type	A [mm]	B [mm]	C [mm]	Ho [mm]
F1	3	8.0	620	308	375	398
F2	3	10.0	765	308	390	398
F3	9	10.10	765	308	390	398
F4	3	10.5	765	308	390	398



Polyurethan-Punktlager

Länge obere Lagerkonsole	600 mm
Breite obere Lagerkonsole	600 mm
Länge untere Lagerkonsole	500 mm
Breite untere Lagerkonsole	500 mm
Unbelastete Einbauhöhe	255 mm Kann vorgespannt geliefert werden
Masse	160 kg



Es ist ersichtlich, dass die Polyurethan-Punktlager eine etwas größere Grundfläche aber dafür eine geringere Bauhöhe (255 mm zu 398 mm) haben. Die geringere Bauhöhe kann sich bei beengten Platzverhältnissen als Vorteil erweisen.

Vergleich der Federsteifigkeiten

Stahlfeder-Punktlager

Column No.	Units	Type	Total dead load [kN]	Spring stiffness per unit		Spring stiffness in total	
				k_v [kN/mm]	k_h [kN/mm]	k_v [kN/mm]	k_h [kN/mm]
S1	3	8.0	571	7,68	9,07	23,04	27,21
S2	3	10.0	710	9,60	11,34	28,80	34,02
S3	3	10.10	1007	12,62	12,92	37,86	38,76
S4	3	10.10	1009	12,62	12,92	37,86	38,76
S5	3	10.5	870	11,11	12,13	33,33	36,39
S6	3	10.10	995	12,62	12,92	37,86	38,76

Polyurethan-Punktlager

Stütze	Anzahl	Type	Ständige Lasten [kN]	Federsteifigkeit pro Lagerelement		Federsteifigkeit gesamt	
				k_v [kN/mm]	k_h [kN/mm]	k_v [kN/mm]	k_h [kN/mm]
S1	3	TFB XT320	630	29,50	2,95	88,50	8,90
S2	3	TFB XT320	660	29,50	2,95	88,50	8,90
S3	3	TFB XT420	990	35,00	3,50	105,00	10,50
S4	3	TFB XT420	1030	35,00	3,50	105,00	10,50
S5	3	TFB XT320	840	29,50	2,95	88,50	8,90
S6	3	TFB XT420	1030	35,00	3,50	105,00	10,50

Es ist ersichtlich, dass die Polyurethan-Punktlager eine ungefähr 3 mal so hohe Steifigkeit aufweisen wie die vergleichbaren Stahlfeder-Punktlager. Daraus ergibt sich in der Folge die geringere Einsenkung der Federelemente unter den vertikalen Lasten.

Vergleich der Eigenfrequenzen

Stahlfeder-Punktlager Polyurethan-Punktlager

Mode [No.]	Eigenvalue [Hz]
1	2,71
2	3,01
3	3,08
4	3,82
5	3,87
6	4,52
7	12,83
8	20,63
9	29,49
10	33,72
11	44,70
12	51,46
13	58,21
14	66,06
15	68,41
16	72,57
17	75,38
18	83,77
19	87,24
20	89,00
21	91,33
22	92,52
23	93,45
24	94,84
25	98,05
26	103,46

Mode [No.]	Eigenvalue [Hz]
1	1,64
2	1,67
3	2,05
4	5,12
5	6,35
6	6,59
7	13,90
8	21,42
9	29,34
10	33,80
11	45,18
12	51,47
13	58,26
14	66,01
15	68,34
16	72,57
17	75,47
18	83,75
19	87,24
20	88,99
21	91,33
22	92,52
23	93,45
24	94,84
25	98,05
26	103,51

Die vertikale Grund-Eigenform ist bei den Stahlfeder-Elementen die dritte und bei den Polyurethan-Elementen die vierte Eigenform.

Vergleich dynamischer Amplituden und Schwinggeschwindigkeiten

Stahlfeder- Punktlager

Node [No.]	Frequency range [in % of operating frequency]	max. values			
		in y-direction (horizontal)		in z-direction (vertical)	
		displacement [μm]	vibration severity [mm/s]	displacement [μm]	vibration severity [mm/s]
43	90 - 110%	15,24	2,61	2,59	0,71
54	90 - 110%	7,55	1,41	5,83	1,20
137	90 - 110%	10,40	1,74	4,94	0,82
139	90 - 110%	12,52	2,08	5,57	0,85
40	90 - 110%	3,83	0,86	3,94	0,90
41	90 - 110%	5,00	0,87	4,65	0,91

Polyurethan- Punktlager

Knoten [No.]	Frequenzbereich [in % der Betriebsfrequenz]	maximale Werte			
		in y-Richtung (horizontal)		in z-Richtung (vertikal)	
		Amplitude [μm]	Schwinggeschw. [mm/s]	Amplitude [μm]	Schwinggeschw. [mm/s]
43	90 - 110%	21,55	3,39	2,87	0,73
54	90 - 110%	7,82	1,42	5,99	1,21
137	90 - 110%	12,47	1,99	5,85	0,93
139	90 - 110%	14,47	2,32	6,18	0,93
40	90 - 110%	4,00	0,89	4,48	0,91
41	90 - 110%	5,22	0,91	4,98	0,94

Die an der Tischoberseite errechneten dynamischen Amplituden und Schwinggeschwindigkeiten sind bei beiden Lagerungsarten sehr ähnlich. In beiden Fällen sind die Ergebnisse deutlich besser als die in ISO 10816-3 für das vorliegende Turbinenfundament angegebenen Grenzwerte der Zone A/B (Schwinggeschwindigkeit 3,5 mm/s; Amplitude 45 μm).

Vergleich des Isolier-Wirkungsgrades

Stahlfeder-Punktlager		Polyurethan-Punktlager
2,47 cm	$z =$ Einsenkung unter ständiger Last	0,70 cm
$5 / \sqrt{2,47} = 3,2$ Hz	1. Eigenfrequenz des Systems $F_z[\text{Hz}] = 5 / \sqrt{z}[\text{cm}]$	$5 / \sqrt{0,70} = 6,0$ Hz
3,08 Hz	Eigenfrequenz aus FE Rechnung	5,12 Hz
$25 \text{ Hz} / 3,2 \text{ Hz} = 7,8$	Abstimmungsverhältnis $h =$ Erregerfrequenz / Eigenfrequenz	$25 \text{ Hz} / 6,0 \text{ Hz} = 4,2$
$(7,8^2 - 2) / (7,8^2 - 1) =$ <u>98,3 %</u>	Isolierwirkungsgrad $I = (h^2 - 2) / (h^2 - 1)$	$(4,2^2 - 2) / (4,2^2 - 1) =$ <u>94,0 %</u>

Es ist ersichtlich, dass, bedingt durch die geringere Einsenkung der Polyurethan-Punktlager, der Isolierwirkungsgrad geringer ist als bei den Stahlfeder-Punktlagern. Ein Abstimmungsverhältnis von 4,2 bzw. ein Isolierwirkungsgrad von 94 % ist dennoch ein zufriedenstellendes Ergebnis. Die Unterschiede im dynamischen Verhalten zwischen den beiden Lagerungsarten sind in der Praxis äußerst gering.

Zusammenfassung

In dieser Präsentation wurde bei rotierenden Maschinen der Einsatz von Polyurethan- mit Stahlfeder-Punktlagern verglichen und die Ergebnisse gegenübergestellt.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass der Einsatz von Polyurethan-Punktlagern möglich ist und zufriedenstellende Ergebnisse liefert.

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!