



Ermittlung der maßgebenden Schwingungseigenschaften einer WEA im Hinblick auf die Schwingungsemissionen

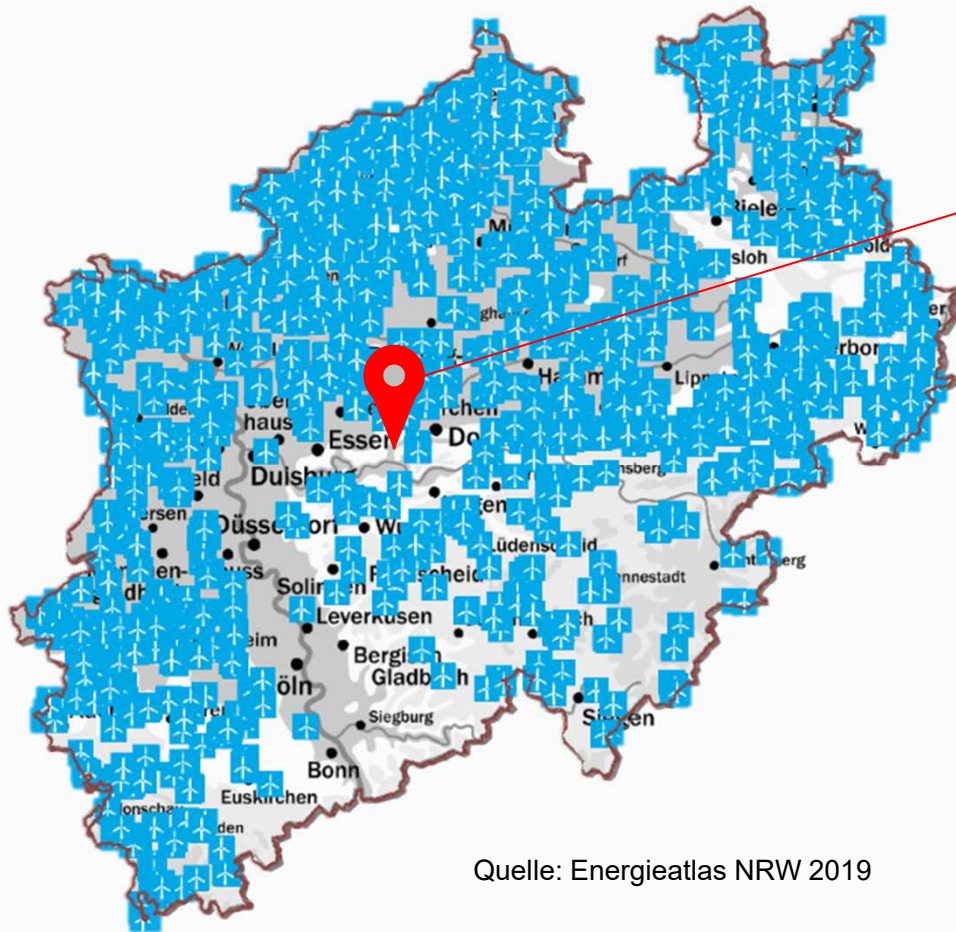
MISS-Projekttreffen
01.10.2019

Dr.-Ing. Michael Mistler
Dipl.-Ing. Philipp Meckbach



Bürovorstellung

BAUDYNAMIK
HEILAND & MISTLER GmbH



Quelle: Energieatlas NRW 2019

BAUDYNAMIK
HEILAND & MISTLER GmbH

Bergstraße 174
44807 Bochum
www.baudynamik.de



EFRE.NRW
Investitionen in Wachstum
und Beschäftigung

MISS – Teilprojekt BHM - Folie 2



EUROPÄISCHE UNION
Investition in unsere Zukunft
Europäischer Fonds
für regionale Entwicklung



Schwingungen & Erschütterungen



Schwingungsmessungen

Monitoring

Bemessung

Gebrauchstauglichkeit

Berechnung

Prognose

dyn. Systemerregung



Bürovorstellung



Sachverständigentätigkeit

- Öffentlich bestellter und vereidigter SV
- Gutachter Eisenbahn-Bundesamtes (EBA)



DAkkS-akkreditiert für Schwingungsmessungen

- Messstelle nach BImSchG §29b



Lehraufträge

- Ruhr-Uni Bochum (Prof. Dr.-Ing. Heiland)
- RWTH Aachen (Dr.-Ing. Mistler)
- Diverse Fortbildungsseminare (Haus der Technik, Ingenieurakademie)



Mitarbeit Normausschüsse

- DIN (u.a. DIN45669, DIN45673, DIN4150)
- VDI-Richtlinien (u.a. VDI2038)



Mitgliedschaften

- u.a. DGE (Vorstand), DGE, VDI

- 6 Bauingenieure (Dipl.-Ing. / Dr.-Ing.)
- 2 CAD Konstrukteure
- 1 Elektro-/Messtechniker
- 1 Technische Sachbearbeiterin
- 1 Werkstattleiter
- 1 Buchhaltung
- Mess-Hilfskräfte nach Bedarf



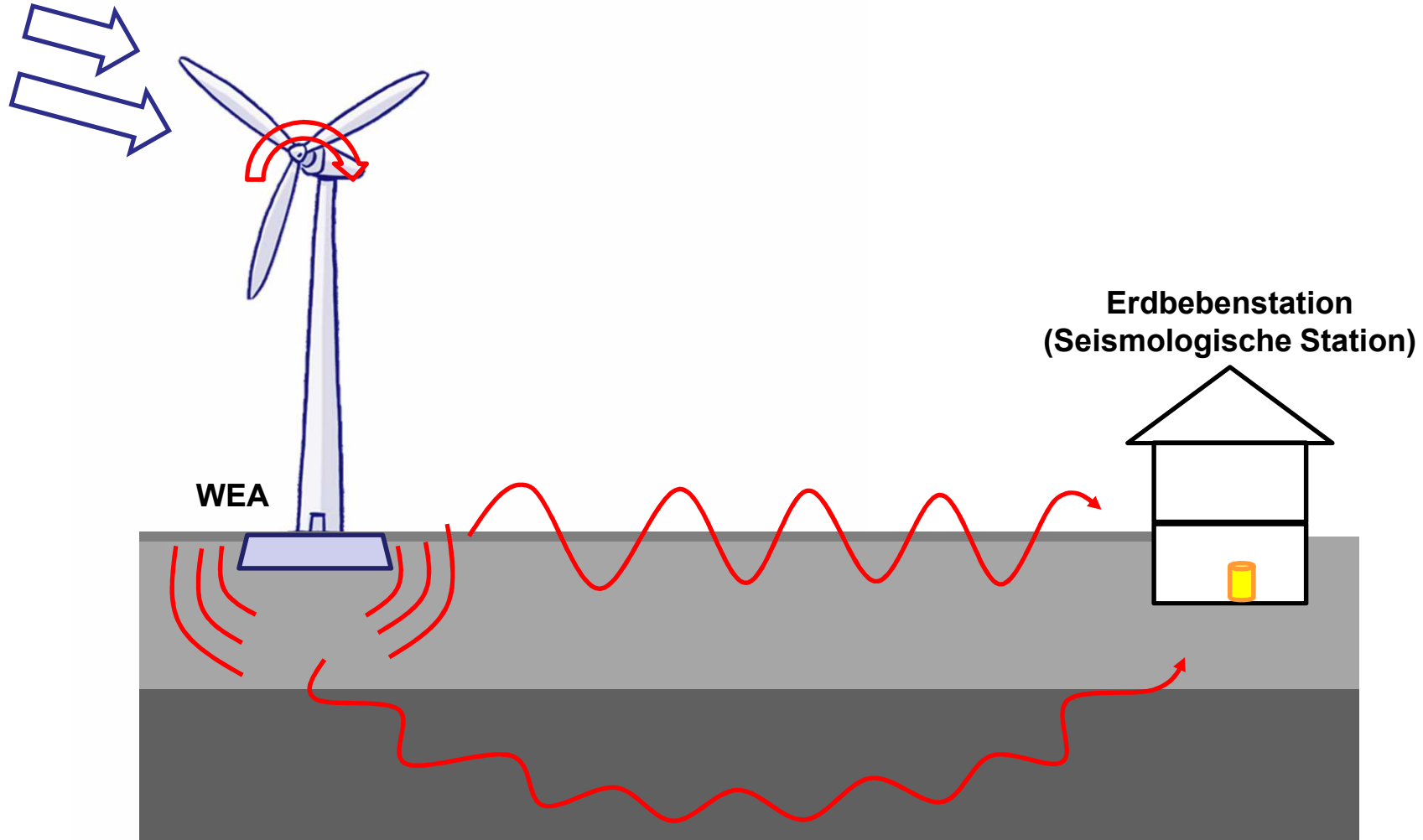


Windenergieanlagen (WEA) emittieren kleinste tieffrequente Schwingungen in den Untergrund, die sich bis zu mehrere Kilometer ausbreiten können. Diese Schwingungen können zwar nicht von Menschen wahrgenommen werden, jedoch erfassen hochsensible Erdbebenmessstationen (EMS) diese Erschütterungen und können dadurch in ihrer Funktion gestört werden. Das Projekt MISS soll Aufschluss geben, wann und warum eine solche Störwirkung auftritt. Außerdem soll MISS praktikable Ansätze und Konzepte liefern, wie diese vermieden werden können.

Sauberer als man denkt

Klimaschutz in NRW voranbringen dank EFRE

© nukunute / photocase.de





AP 1.1

Ermittlung der Schwingungseigenschaften einer WEA im Hinblick auf die Schwingungsemission

AP 1.2

Prognose der Schwingungsemissionen am Turmfuß



AP 3.1

Minderung der Störwirkung an der Quelle





AP 1.1

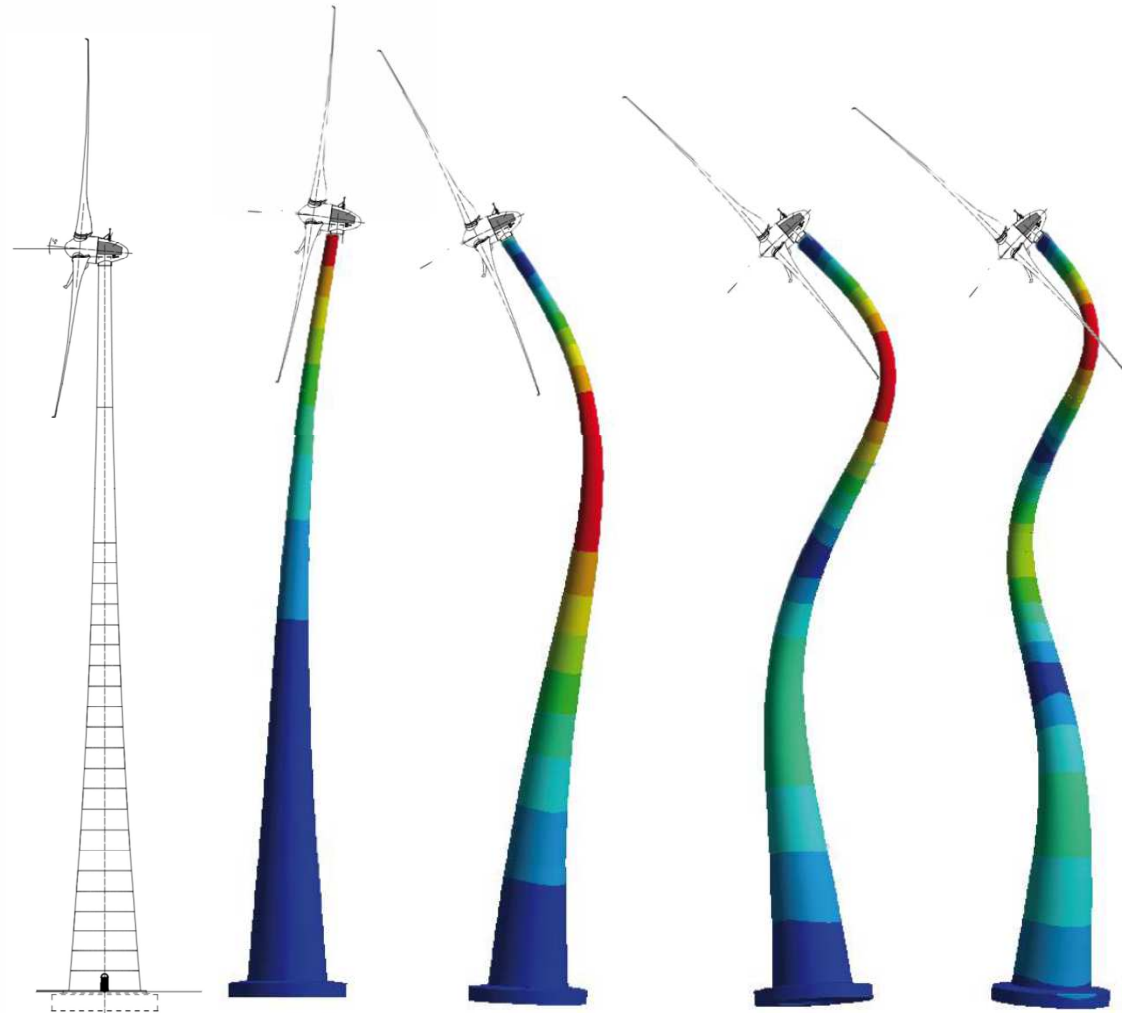
Ermittlung der Schwingungseigenschaften einer WEA im Hinblick auf die Schwingungsemission

AP 1.2

Prognose der Schwingungsemissionen am Turmfuß

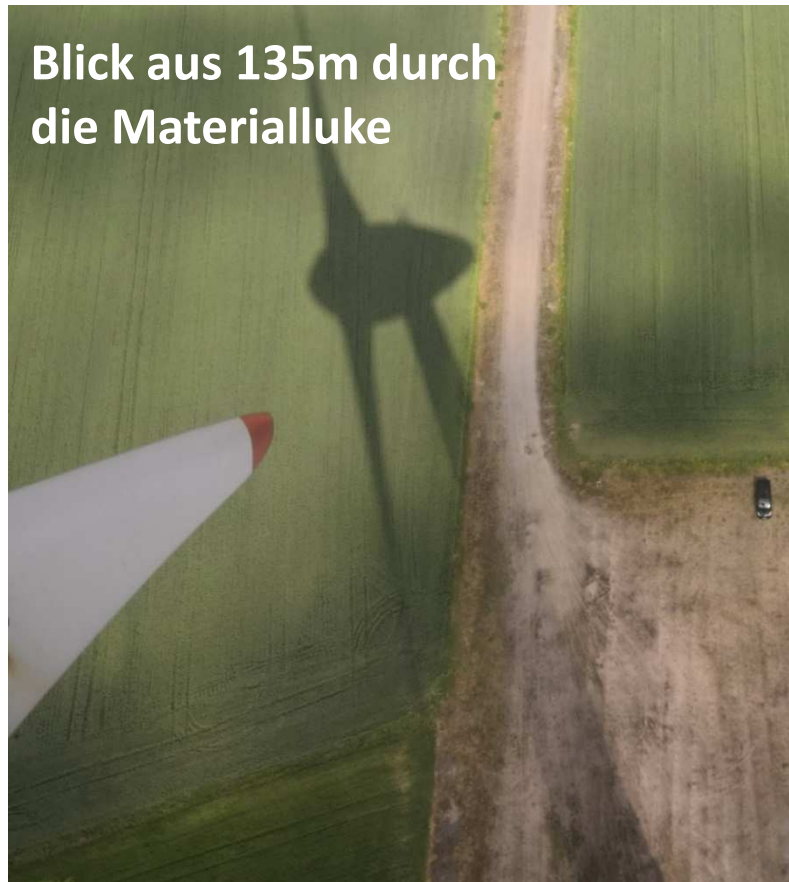
AP 3.1

Minderung der Störwirkung an der Quelle





Auswahl geeigneter WEA – Start bei Enercon in Aurich





Vorbereitung der Messungen

Kooperationsbereite Betreiber



**Bürgerenergie A31 Hohe Mark
Projekt GmbH & Co.KG**



BMR energy solutions GmbH



SL Naturenergie GmbH



Energiekontor AG



WestfalenWIND GmbH

Windkraft Moorsfeld GmbH & Co.KG



Turmmessung an einer WEA ohne Getriebe



Typ: Enercon E 115

Baujahr: 2017

Leistung: 3 MW

Nabenhöhe: 146,7 m

Standort: Heiden

Betreiber:





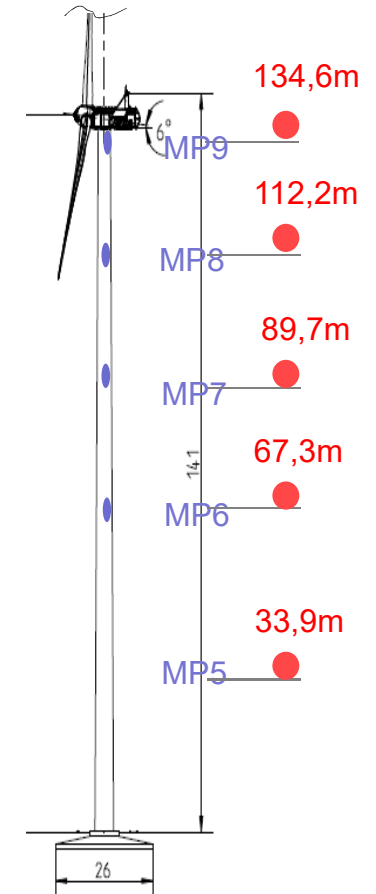
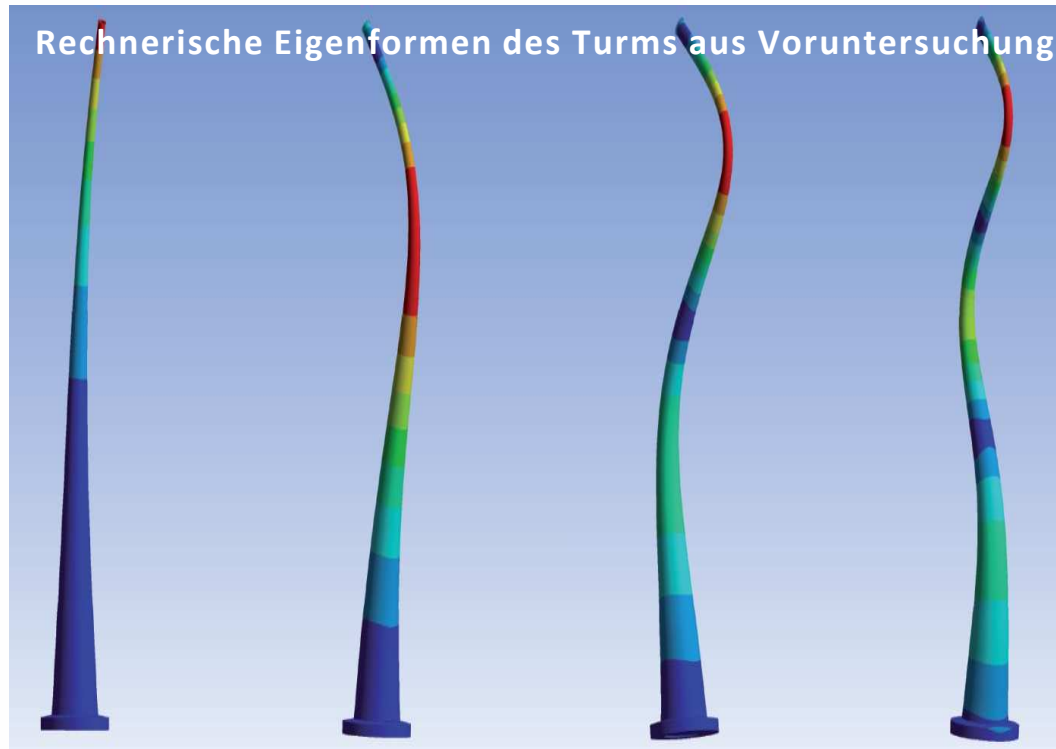
Turmmessung an einer WEA mit Getriebe



Typ:	Vestas V126
Baujahr:	2017
Leistung:	3,3 MW
Nabenhöhe:	137 m
Standort:	Paderborn Benhausen
Betreiber:	Windkraft Moorsfeld GmbH & Co.KG



Turmmessungen Sensorpositionen im Turm



Sensorpositionen vom Fundament bis zur Gondel



Turmmessung – Impressionen aus den Türmen

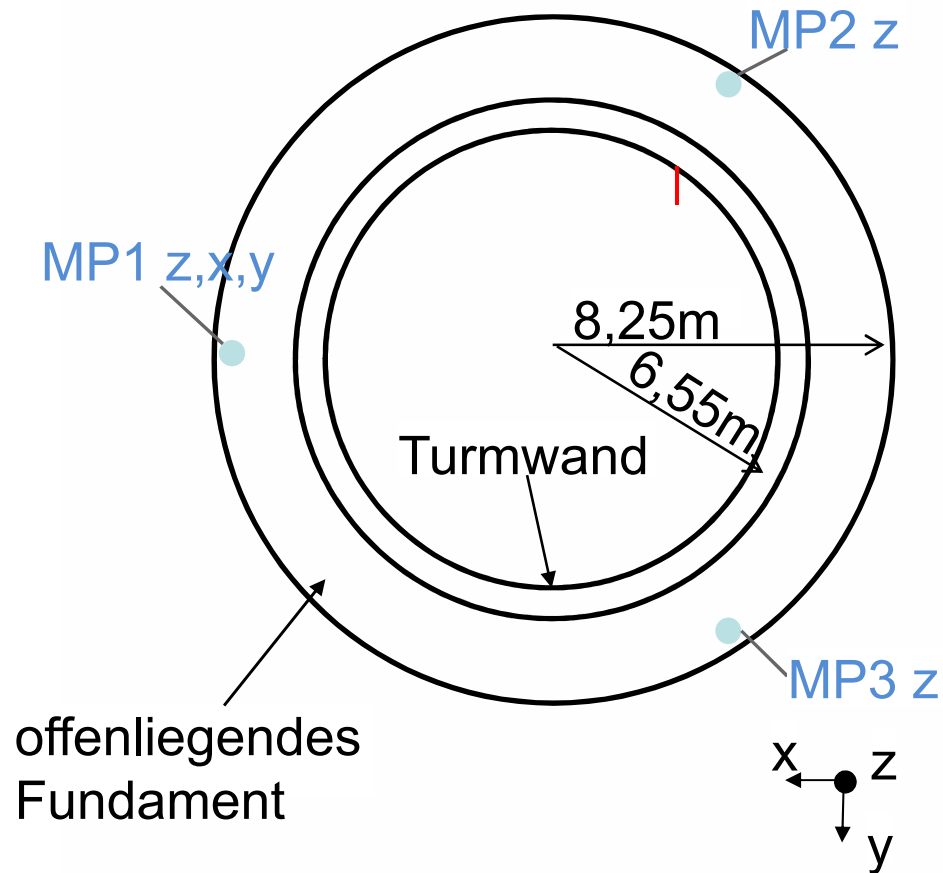


Betriebszustände während der Messung:

2h ohne WEA Betrieb
46h unter WEA Betrieb

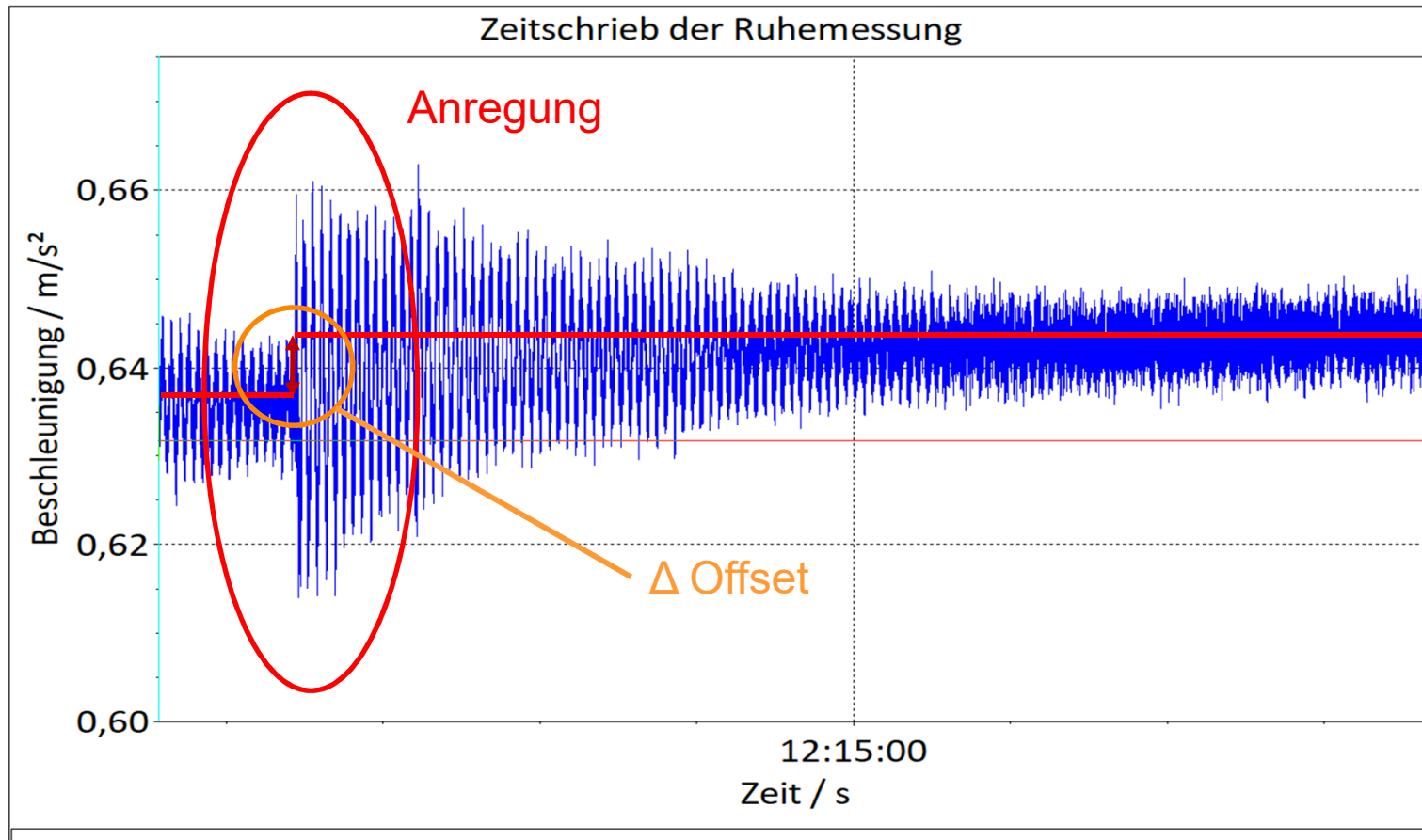


Turmmessung – Fundamentmesspunkte



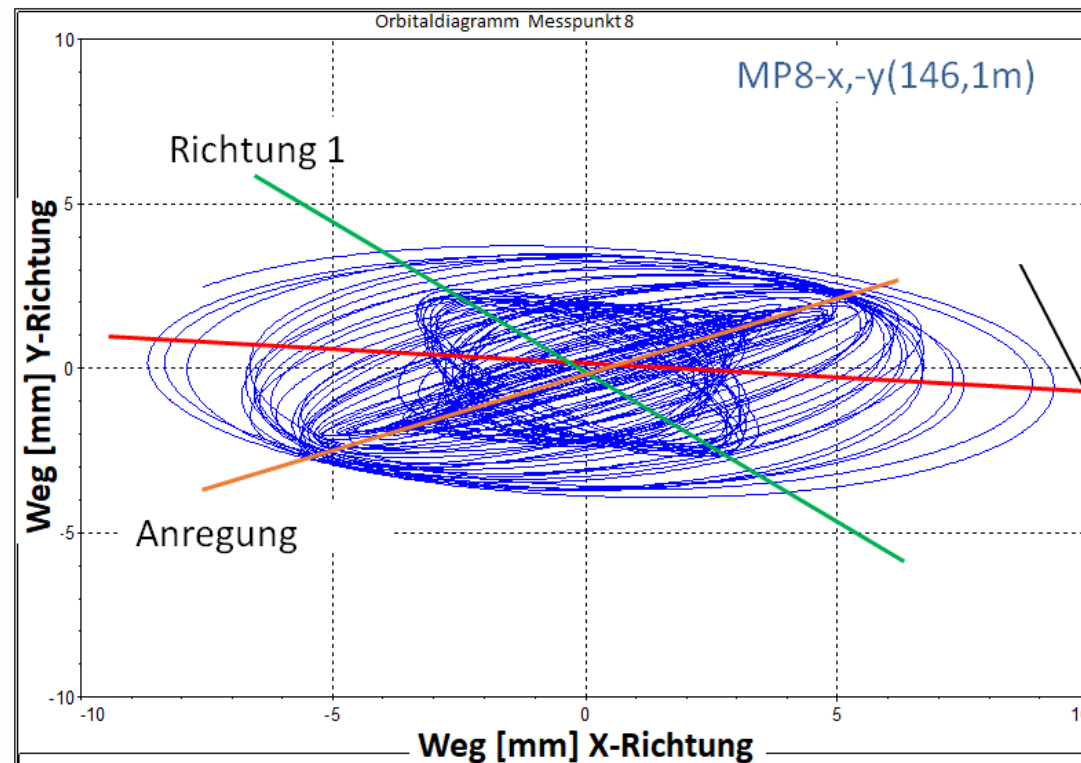
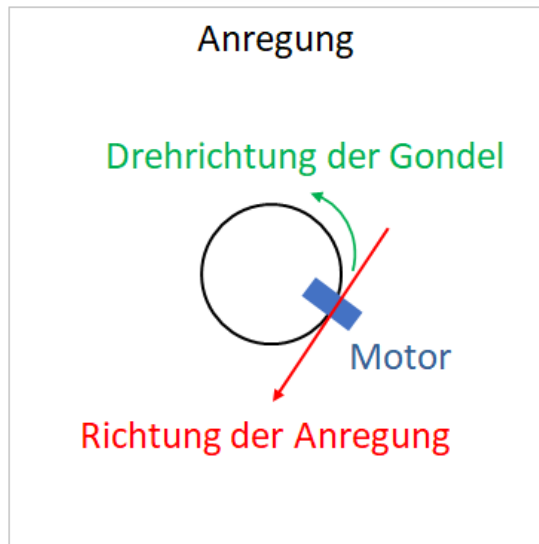


Auswertung im Zeitbereich - Ergebnisse MP unter Gondel





Erklärung des Anregungsmechanismus





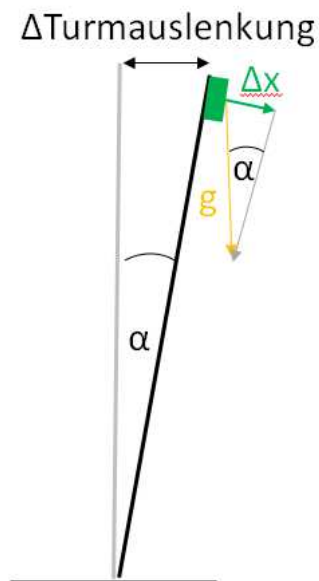
Erklärung des veränderlichen Offsets



Sensoreinheit an Turmwand



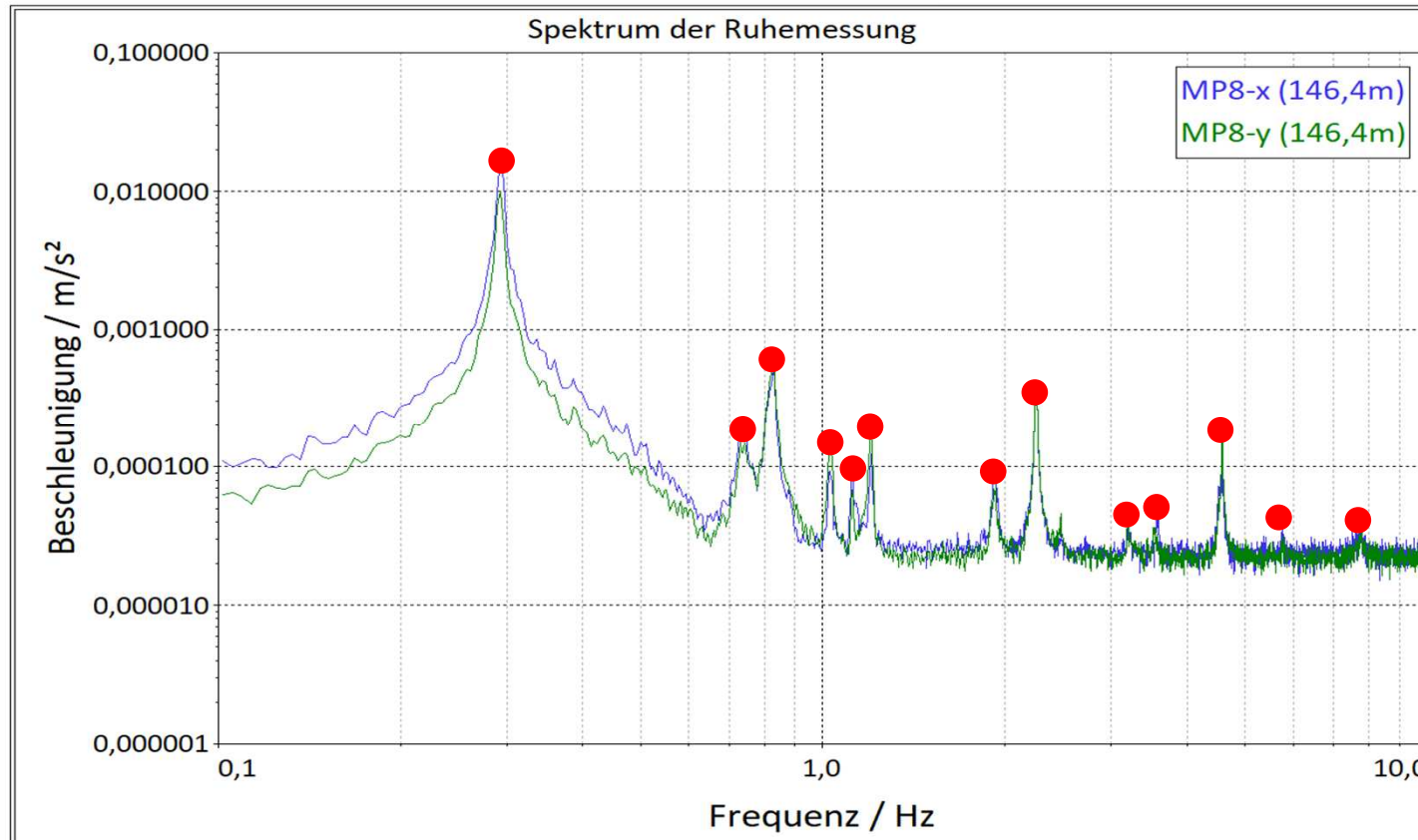
Belastung



Ausgelenkte Lage



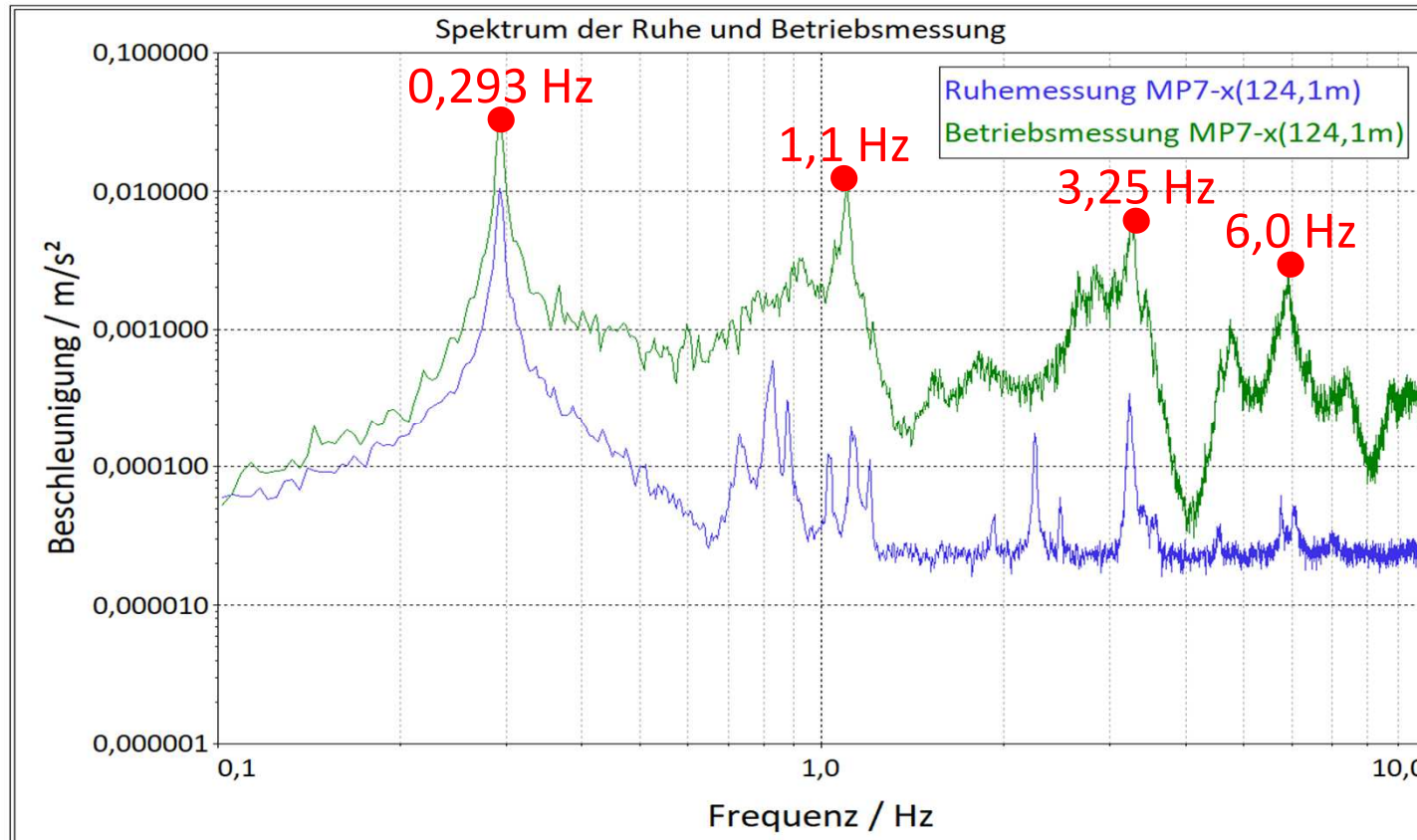
Auswertung im Frequenzbereich - Ergebnisse MP unter Gondel



● Eigenfrequenzen / Anregungsfrequenzen ?



Auswertung im Frequenzbereich - Ergebnisse MP unter Gondel

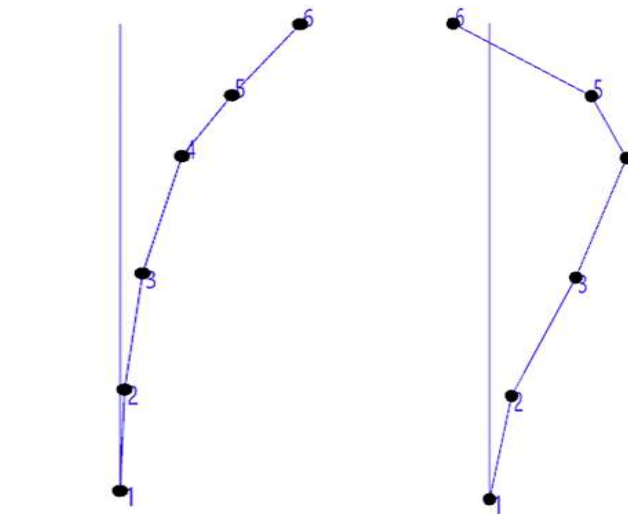




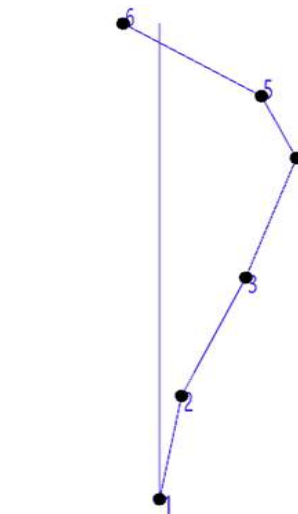
Turmmessung Modalformen



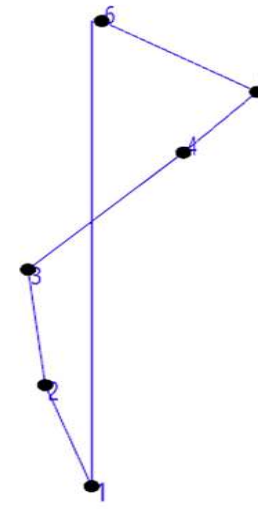
Grundmodell



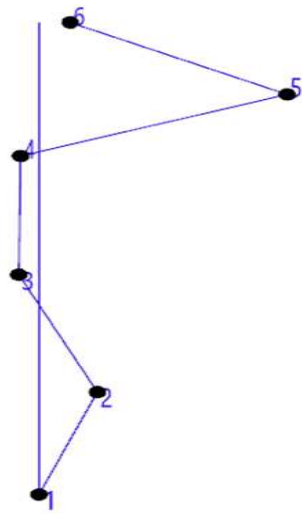
1. Eigenform
0,29 Hz



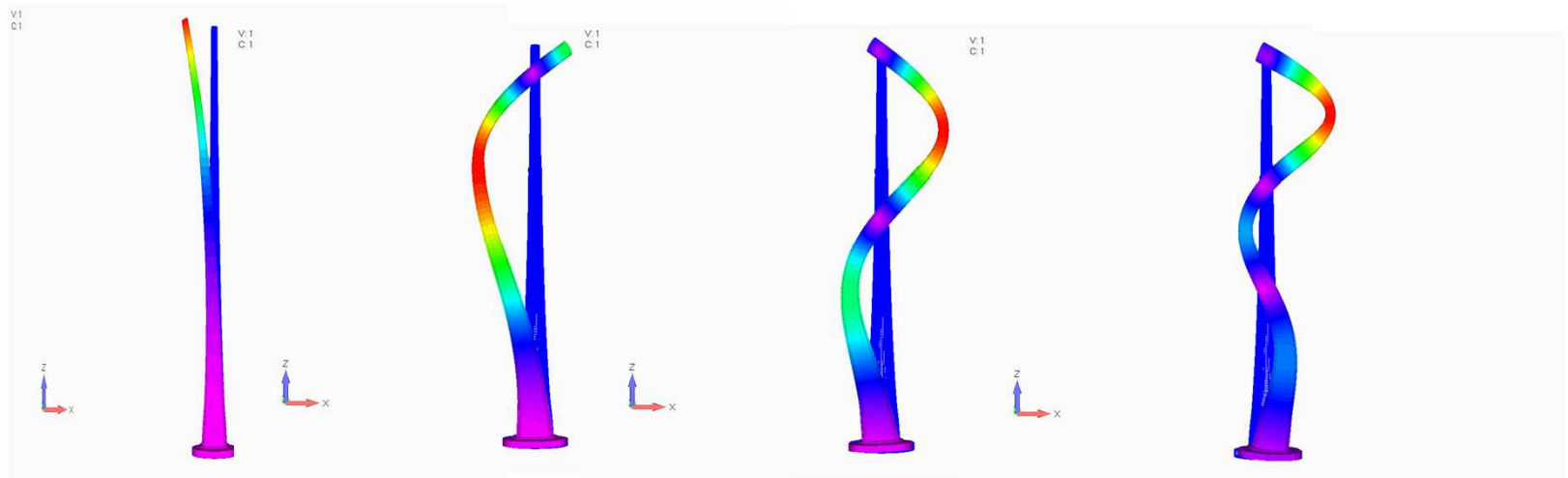
2. Eigenform
1,1 Hz & 1,2 Hz



3. Eigenform
3,25 Hz & 3,5 Hz

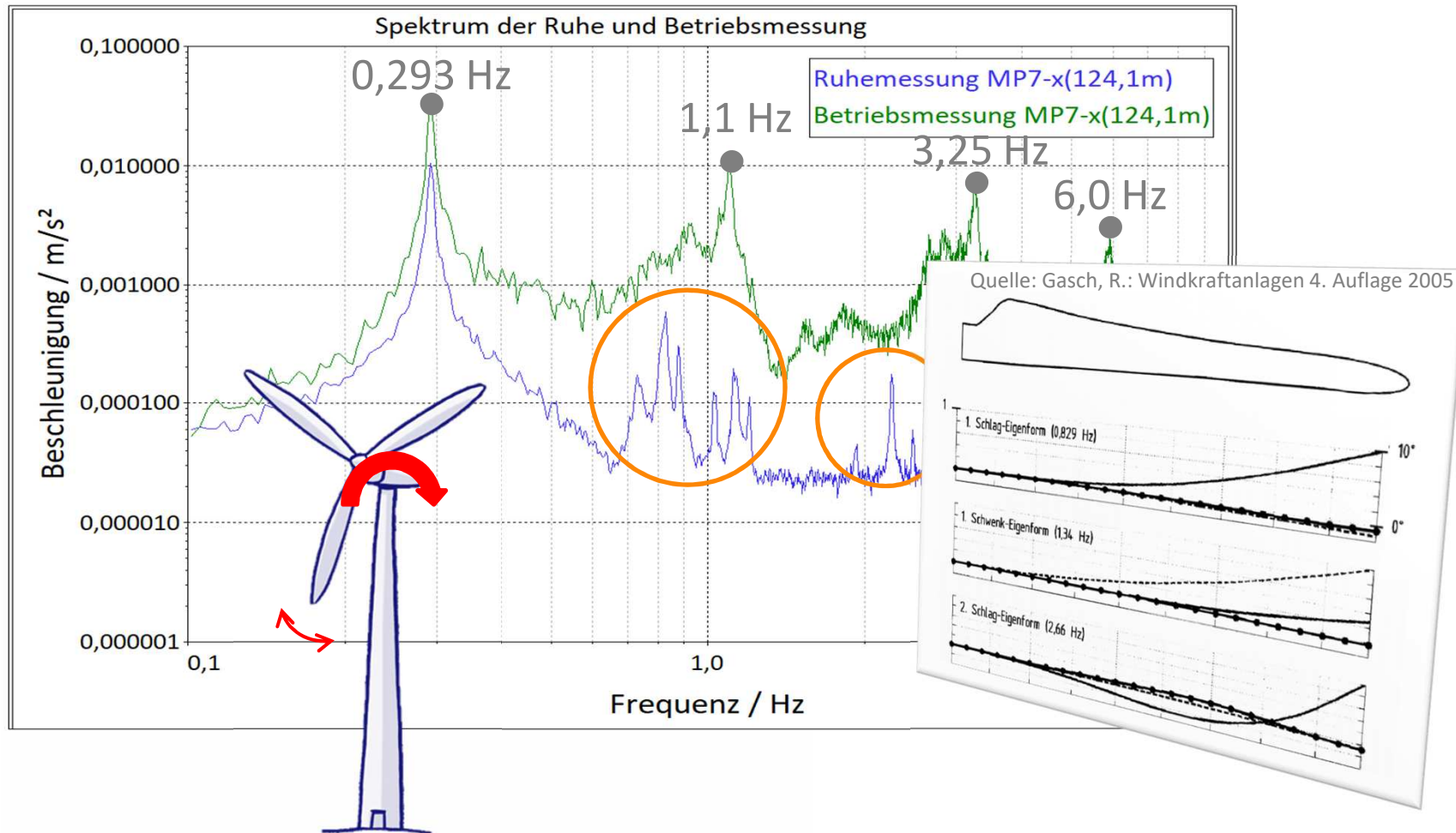


4. Eigenform
6,0 Hz & 7,0 Hz





Auswertung im Frequenzbereich - Ergebnisse MP unter Gondel





Exkurs – Anregung aus Rotor-Drehung

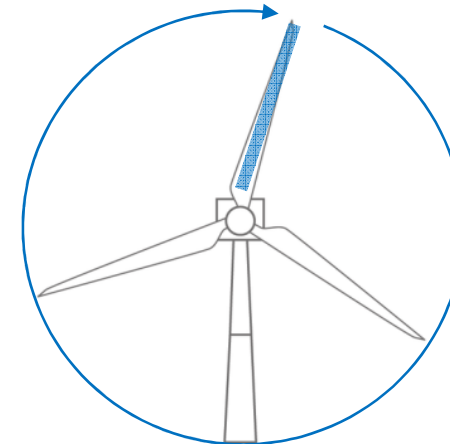
Rotordrehzahl

Bereich: 0 – 15 U/min
0 – 0,25 Hz

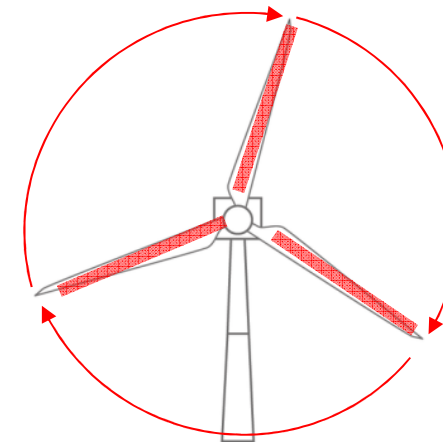
Rotorblatt-Durchgangsfrequenz

Bei 3 Rotorblättern: $3 \times U$
Bereich: 0 – 45 1/min
0 – 0,75 Hz

1P Anregung

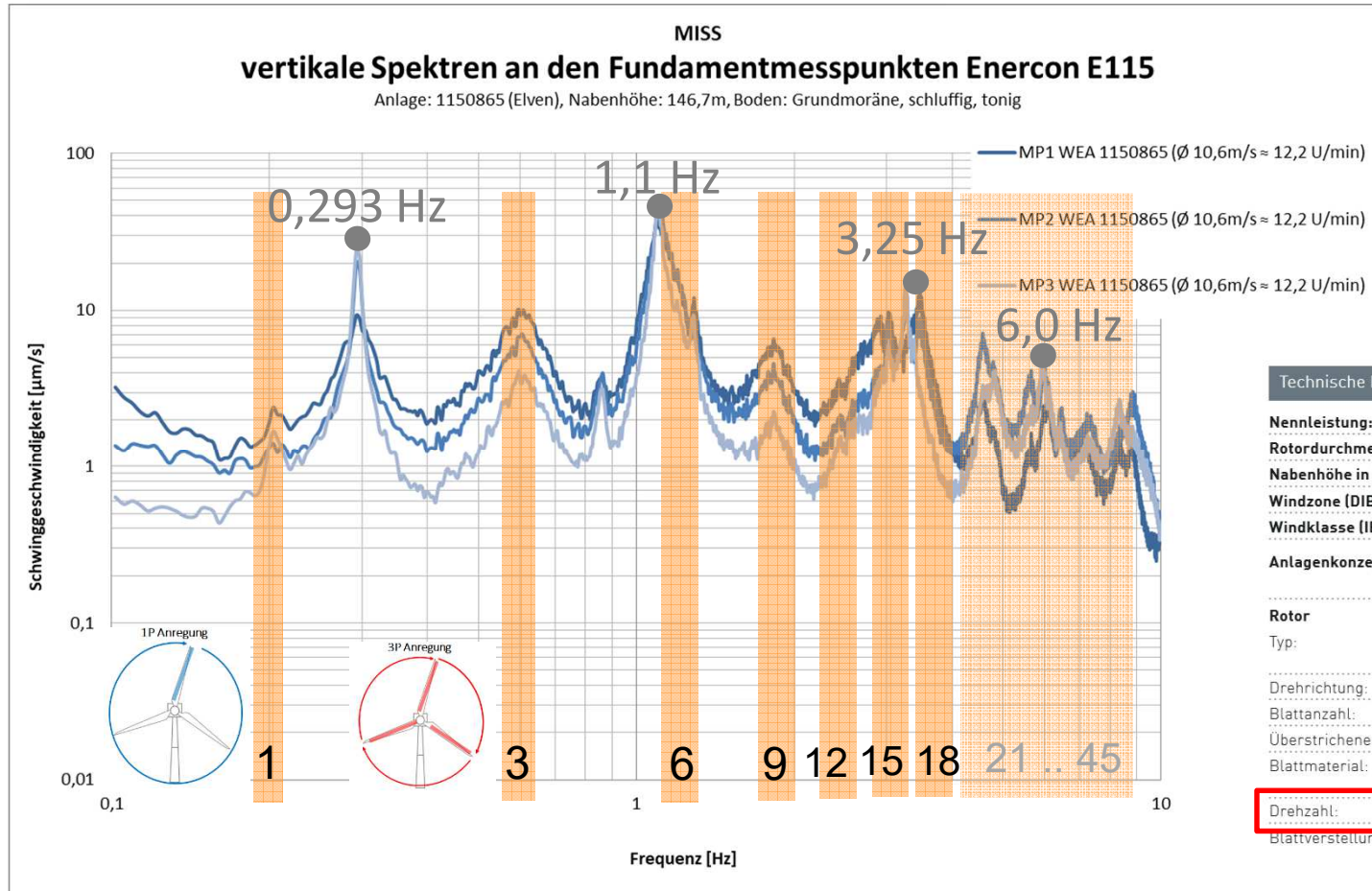


3P Anregung





Auswertung im Frequenzbereich - Ergebnisse Fundamentmesspunkte



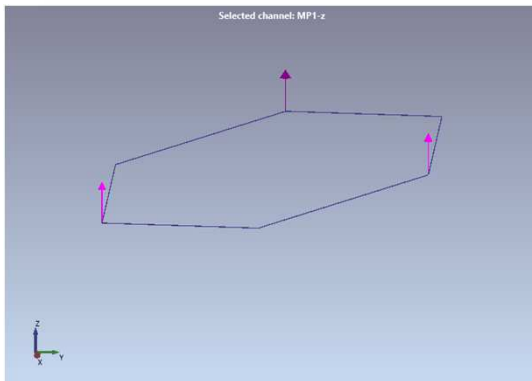
Technische Daten E-115

Nennleistung:	3.000 kW
Rotordurchmesser:	115,7 m
Nabenhöhe in Meter:	92 / 122 / 135 / 149
Windzone (DIBt):	WZ III
Windklasse (IEC):	IEC/EN IIA
Anlagenkonzept:	getriebelos, variable Drehzahl, Einzelblattverstellung
Rotor	
Typ:	Luvläufer mit aktiver Blattverstellung
Drehrichtung:	Uhrzeigersinn
Blattanzahl:	3
Überstrichene Fläche:	10.515,5 m ²
Blattmaterial:	GFK (Epoxidharz); integrierter Blattschutz
Drehzahl:	variabel, 4 - 12,8 U/min
Blattverstellung:	ENERCON Einzelblattverstellungssystem, je Rotorblatt ein autarkes Stellsystem mit zugeordneter Notversorgung

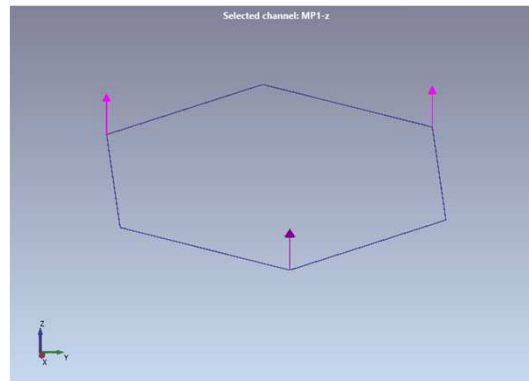


Turmmessung an einer E115 – Modalformen des Fundamentes

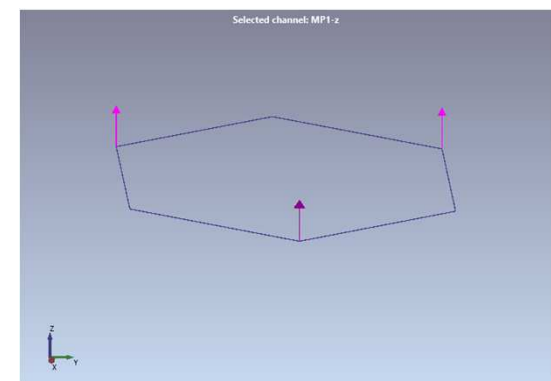
Visualisierung der Fundamentbewegung



0,29 Hz (Mode 1)



0,58 Hz (3P)



1,1 / 1,2 Hz (Mode 2)



AP 1.1

Ermittlung der Schwingungseigenschaften einer WEA im Hinblick auf die Schwingungsemission

AP 1.2

Prognose der Schwingungsemissionen am Turmfuß



AP 3.1

Minderung der Störwirkung an der Quelle

Erkenntnisse





Fundamentmessungen an E115-Anlagen auf unterschiedlichen Baugründen



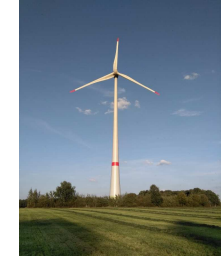
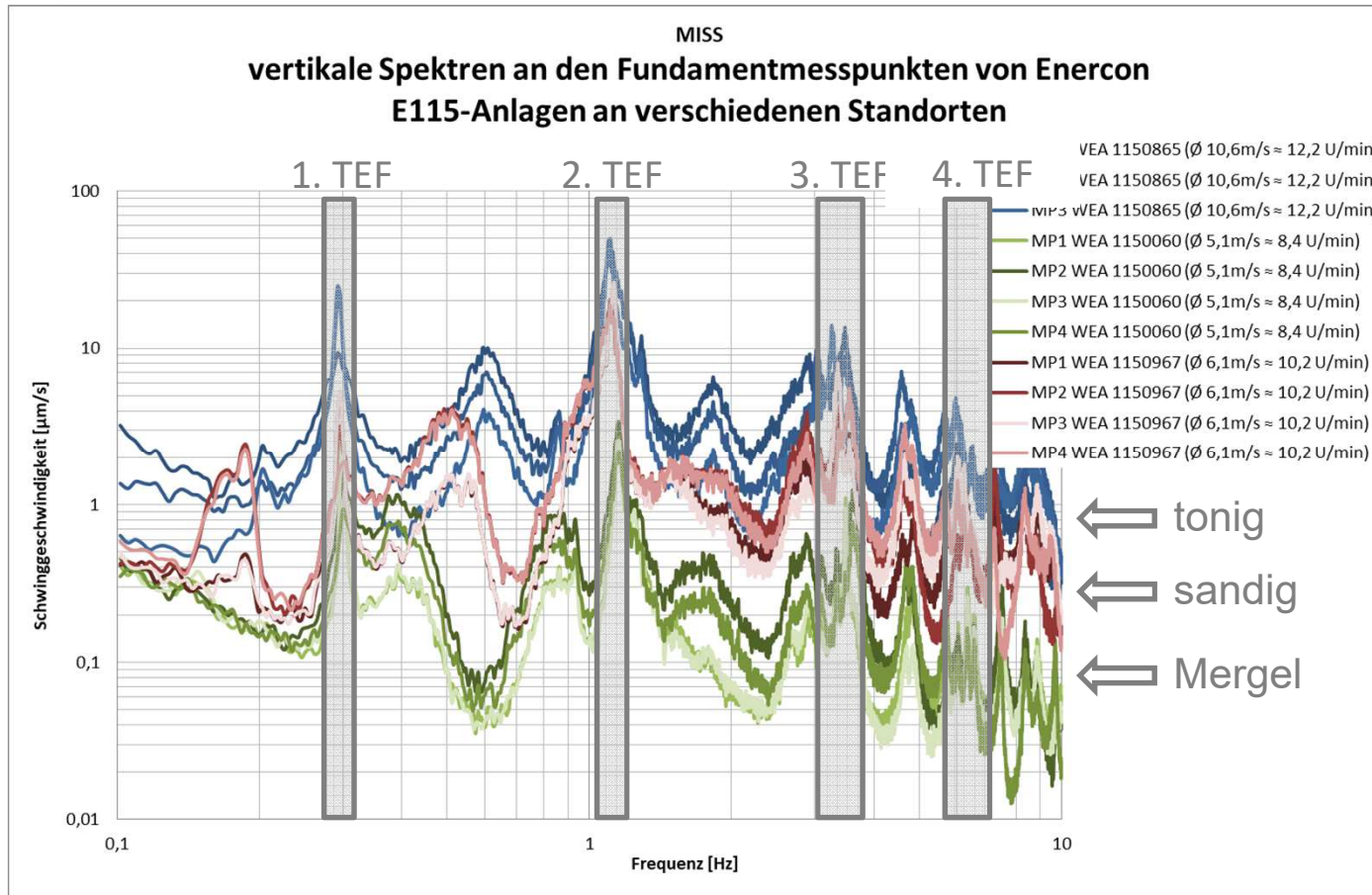
Mit Unterstützung von:





Fundamentmessung an verschiedenen E115

Vergleich verschiedener Standorte





Turmmessung an einer WEA ohne und einer mit Getriebe



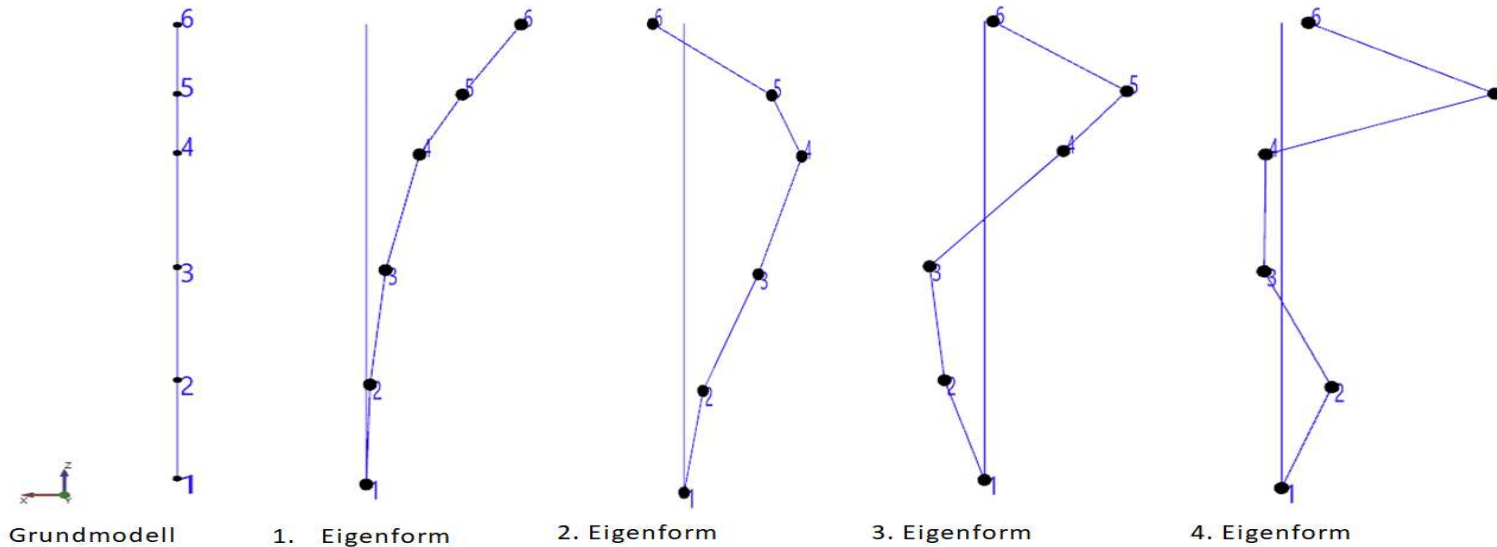
Typ: Enercon E 115



Typ: Vestas V126



Messtechnisch ermittelte Modalformen einer Anlage mit und ohne Getriebe



E115
Nabenhöhe:
146,8m

0,29Hz

1,1 Hz &
1,2 Hz

3,25 Hz &
3,5 Hz

6,0 Hz &
7,0 Hz



V126
Nabenhöhe:
137,0m

0,17Hz

1,15 Hz &
1,22 Hz

3,2 Hz &
3,6 Hz

6,6 Hz &
7,3 Hz

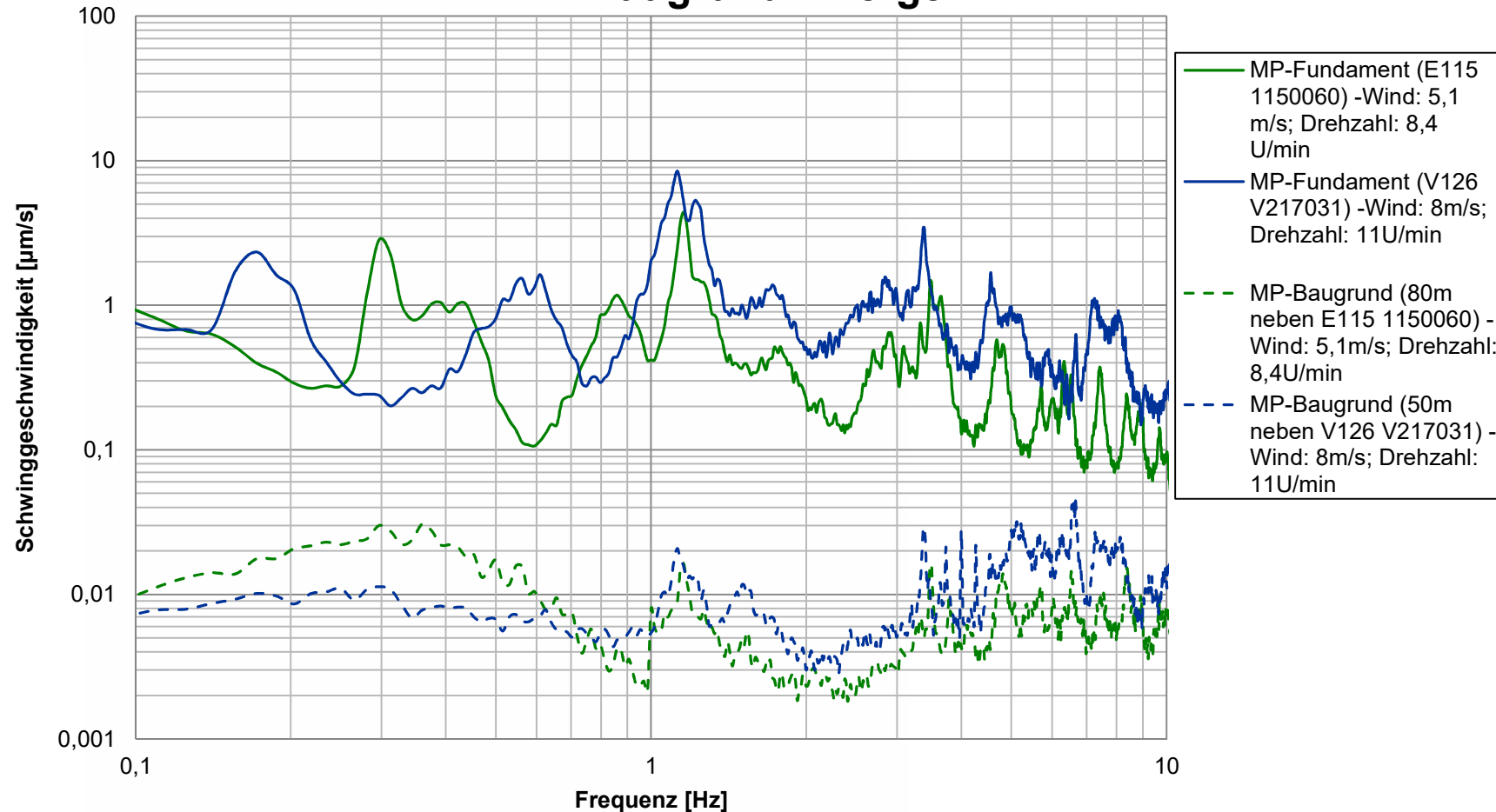


Fundamentmessungen an Anlagen mit und ohne Getriebe





MISS Vergleich Fundament- und Baugrundmesspunkt E115 / V126 Baugrund: Mergel

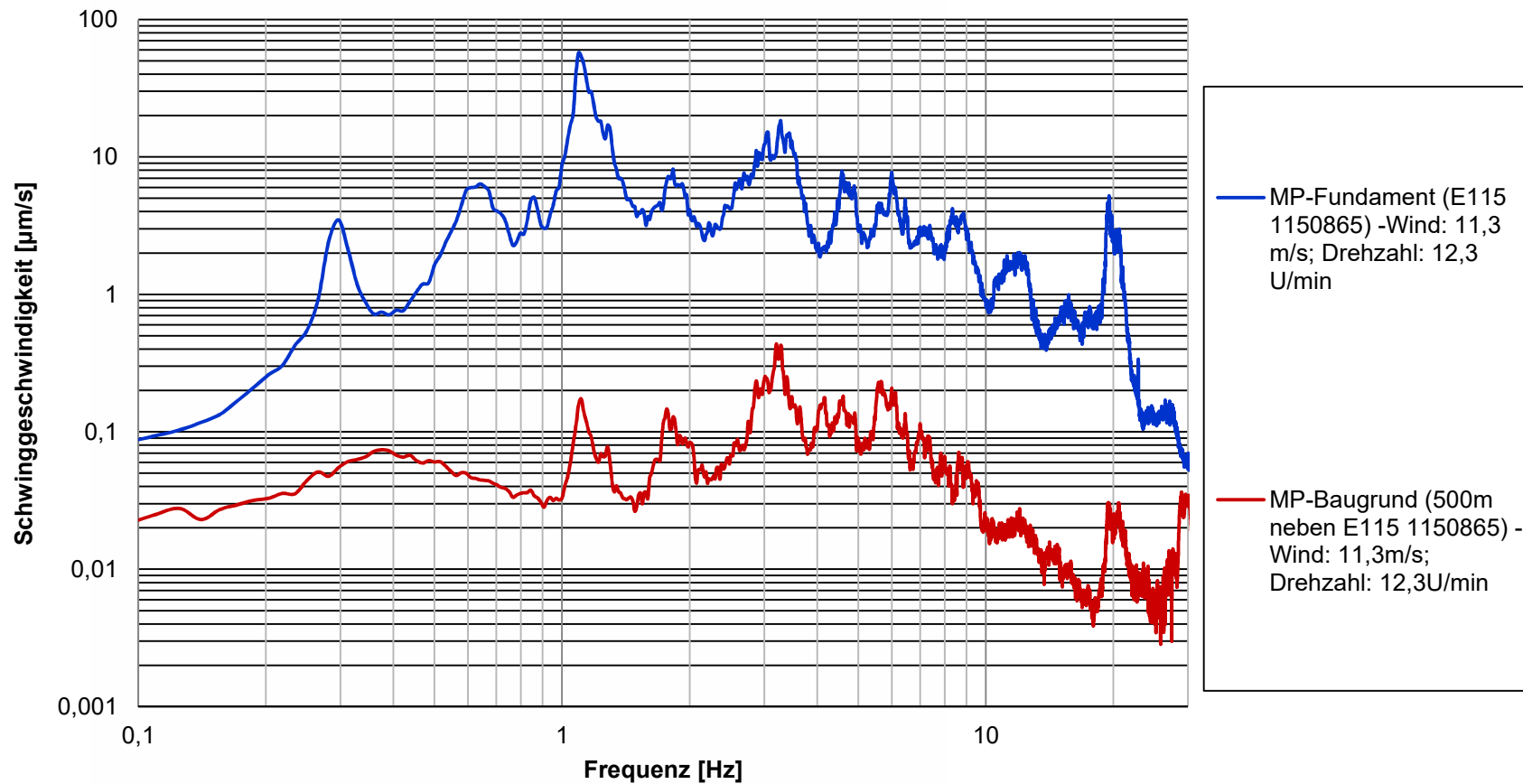




Vergleich Fundament E115 und Baugrundmesspunkt 125-500m

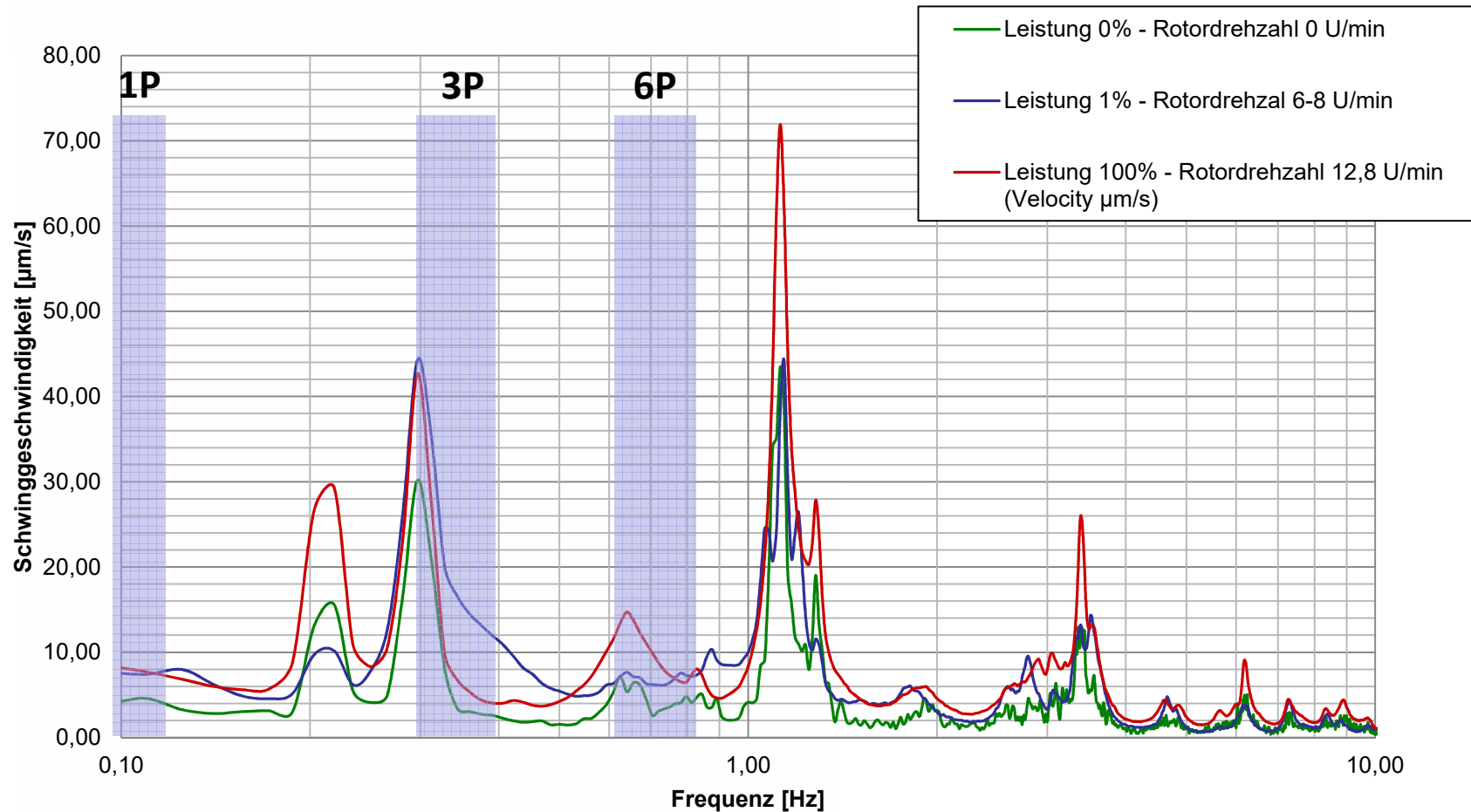
Enercon E115 (1150865)

Abstand Baugrundmesspunkt ca. 125m, 250m, 500m Messung am 19.09.2018, Baugrund: schluffig/tonig, Wind: 11,3m/s, Rotor≈ 12,3 U/min



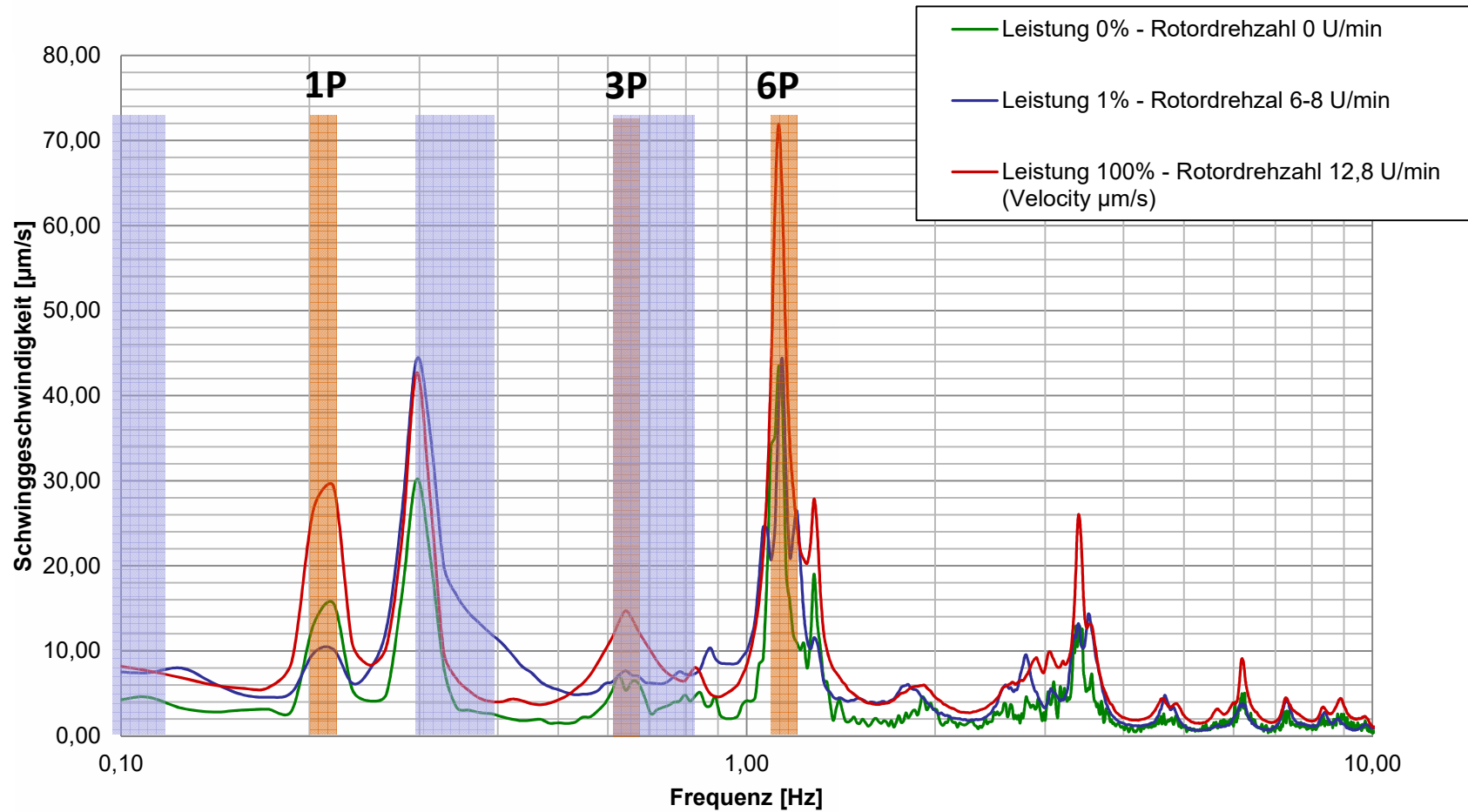


Einfluss der Rotordrehzahl auf den Fundamentalschwingungspegel (Wind 10-15m/s)



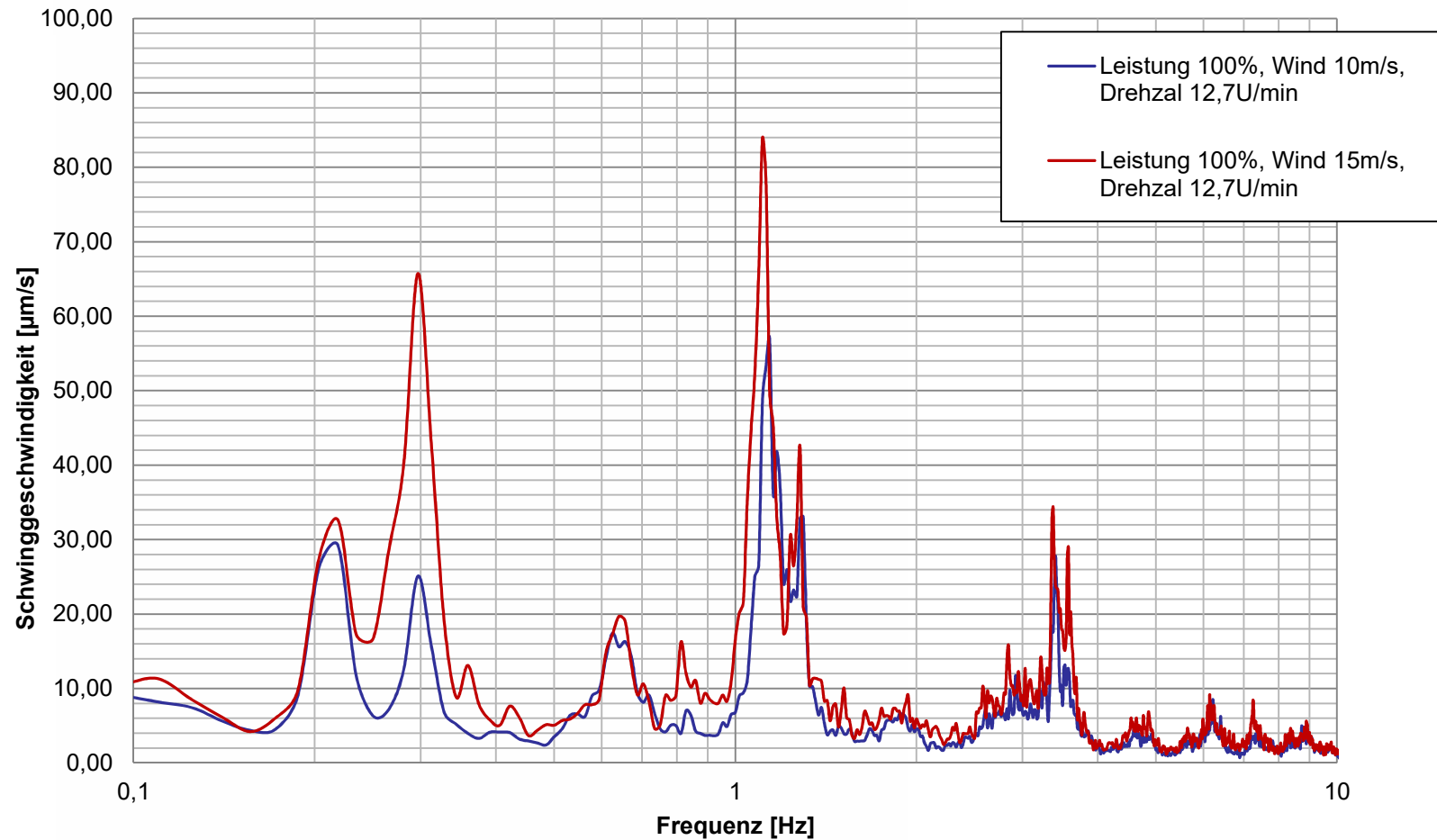


Einfluss der Rotordrehzahl auf den Fundamentalschwingungspegel (Wind 10-15m/s)





Einfluss der Windgeschwindigkeit auf den Fundamentalschwingungspegel





Zusammenfassung:

- In den Typenstatiken für WEAs werden Anforderungen an die Drehfedersteifigkeit gestellt, die je nach Baugrund unterschiedliche Fundamentierungen erfordert. Durch diese Vorgabe sind die Eigenfrequenzen der Anlagen baugrundunabhängig nahezu gleich.
- Die Eigenfrequenzen der beiden untersuchten Anlagen (E115 und V126) sind trotz unterschiedlicher Turmbauart und Gondelmassen bis auf die 1. Eigenfrequenz nahezu gleich.
- Durch aerodynamische Anregung und die Rotorblatt-Durchgangsfrequenzen (vielfache der 3P Anregung) kommt es zu Resonanzanregungen der höheren Turmeigenfrequenzen.
- Die erste Eigenfrequenz des Turmes wird aufgrund der aerodynamische Dämpfung des drehenden Rotors stark bedämpft. Auf dem Baugrund neben der WEA tritt diese Frequenz nicht mehr (maßgeblich) auf.



Zusammenfassung:

- Die Anregungskräfte sind abhängig von der Windgeschwindigkeit und Rotordrehzahl.
- Über das Fundament erfolgt die Übertragung der Emissionen aus dem Betrieb der WEA auf den Baugrund.
- Die Übertragung auf den Baugrund erfolgt durch Fundament-Kippbewegung maßgeblich im Frequenzbereich $f > 1\text{Hz}$.
- Durch die Fundamentbewegung wird der Boden angeregt. Die Wellenausbreitung ist bodenabhängig (Thema DMT)

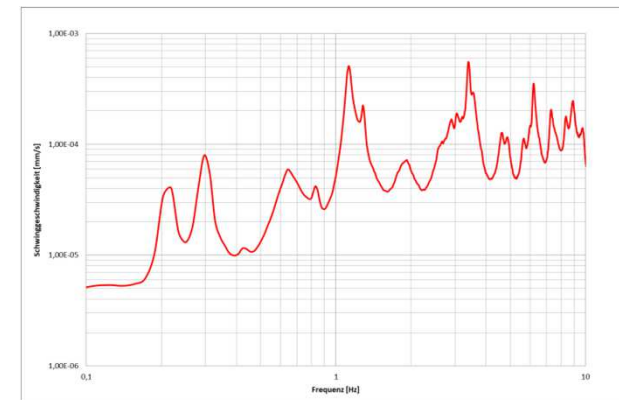
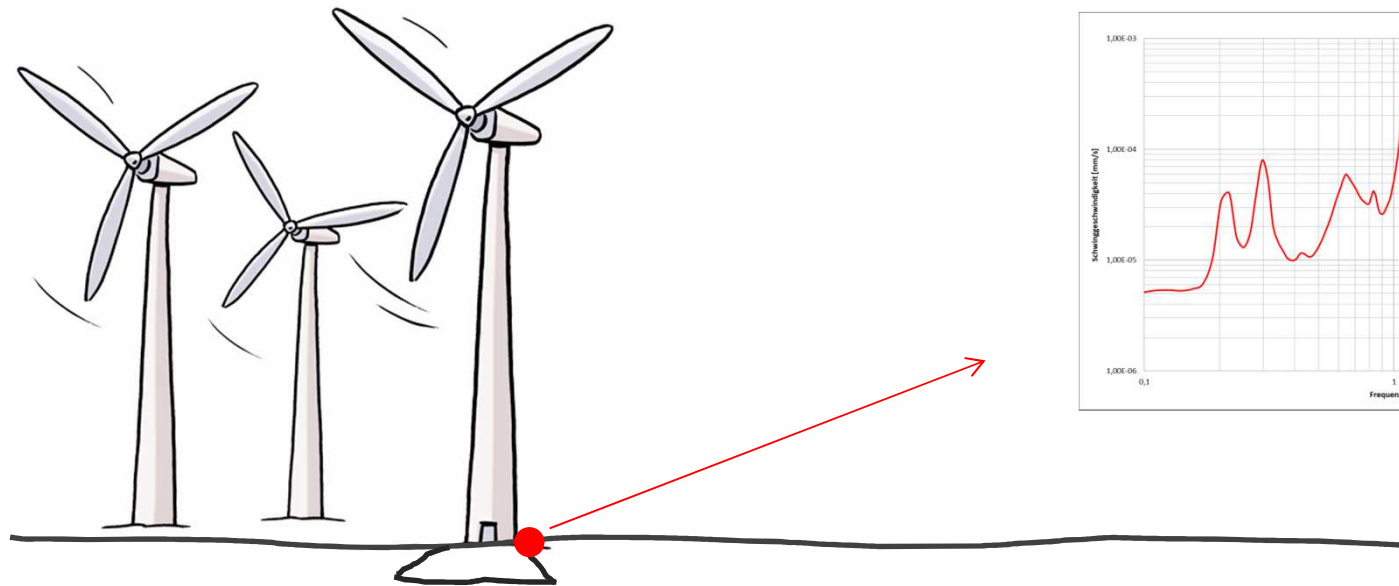


AP 1.2

Entwicklung eines Prognosemodells parallel zu weiteren Fundamentmessungen

Ziel:

Angabe eines Emissionsspektrum im maßgebenden Frequenzbereich mit ausreichender Genauigkeit, so dass es als Eingangsgröße für die weiteren Berechnungen angesetzt werden kann.



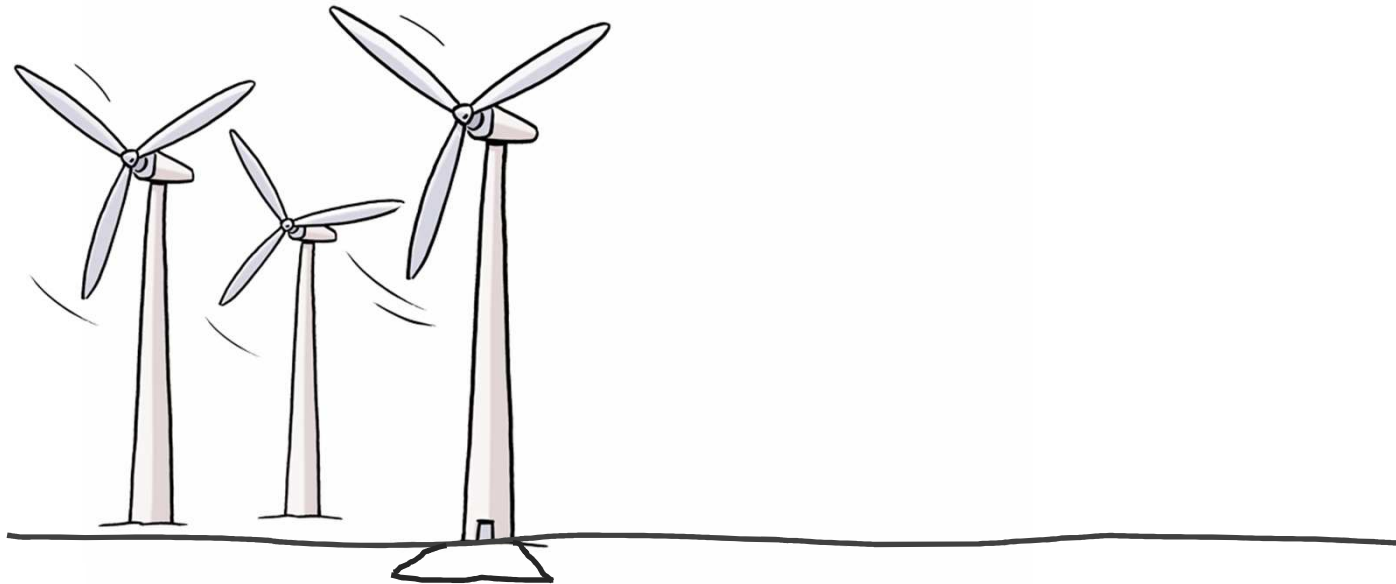


AP 3.1

Minderungsmaßnahmen der Emissionen an der Quelle (WEA)

Möglichkeiten

- Optimierung der Fundamentierung
- Optimierung der Turmstruktur
- Einsatz von Tilgern für die höheren Eigenmoden
-





Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Dr.-Ing. M. Mistler

Dipl.-Ing. P. Meckbach

Baudynamik Heiland & Mistler GmbH
Bergstraße 174, 44807 Bochum

Tel: +49-234-95020-6

www.baudynamik.de

Geschäftsführer: Prof. Dr.-Ing. Dieter Heiland, Dr.-Ing. Michael Mistler