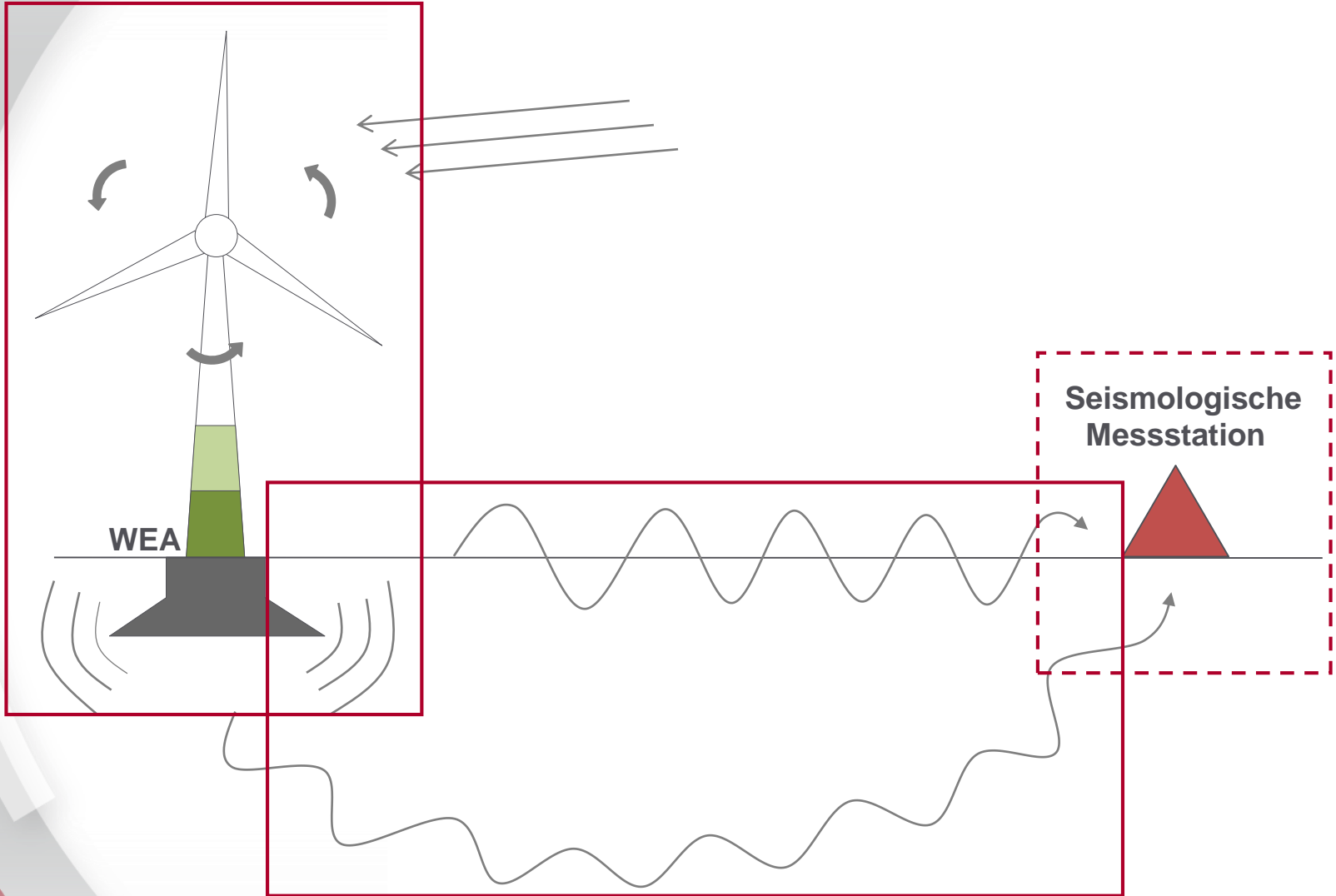


Charakterisierung und Ausbreitung des seismischen Wellenfeldes induziert durch Windenergieanlagen

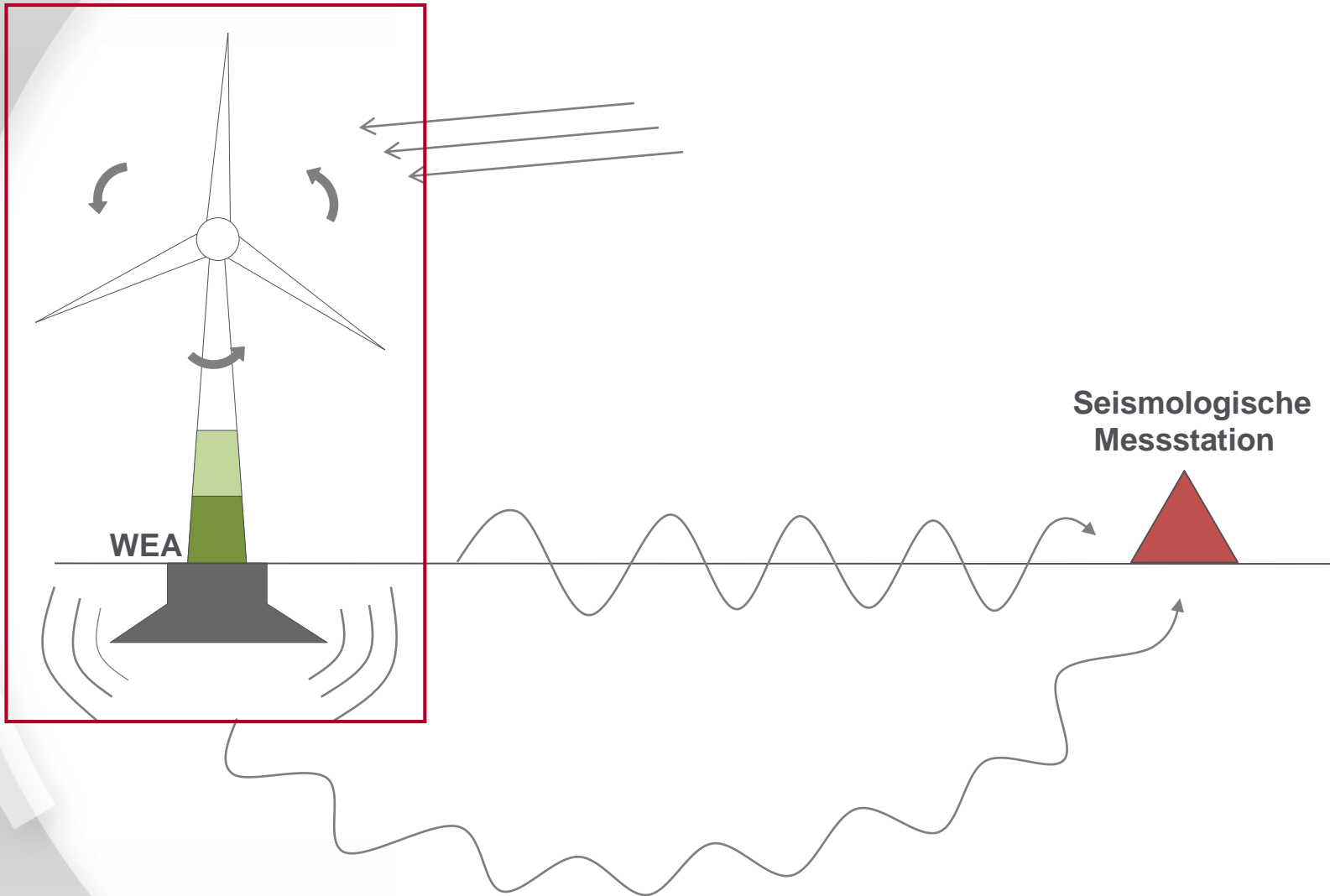


Tobias Neuffer
20. Mai 2021

Aufgabenstellung



Charakterisierung des Wellenfeldes



Charakterisierung des Wellenfeldes

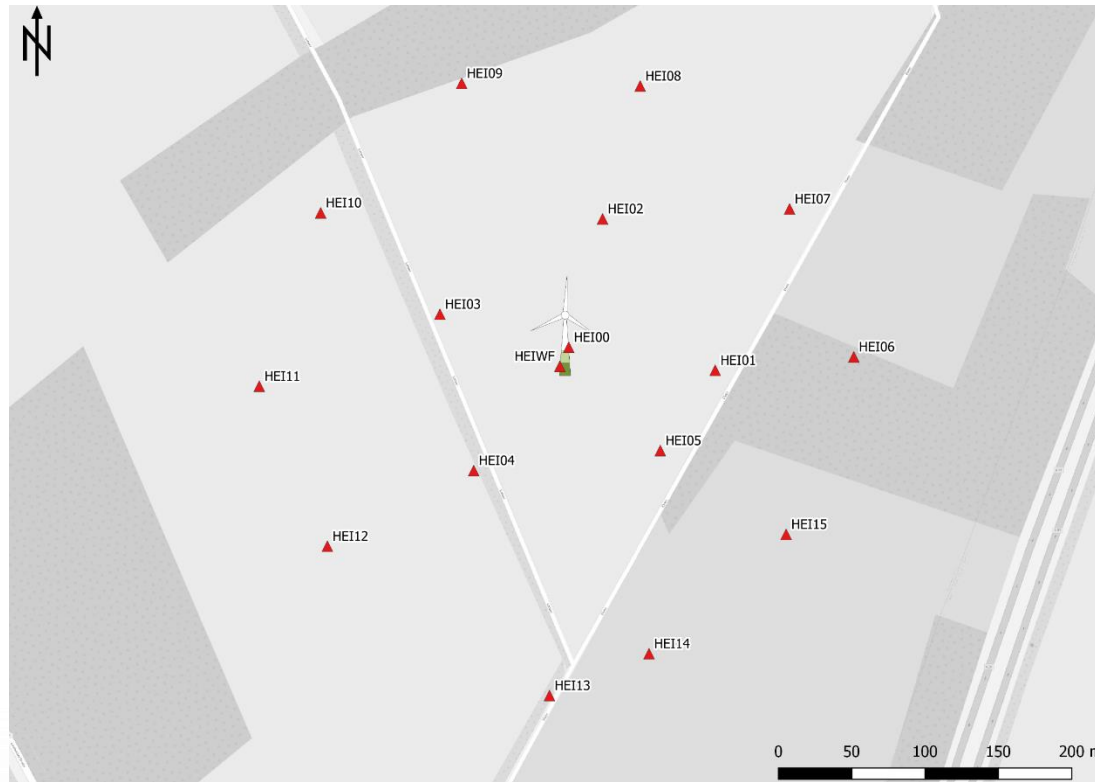
- Bürgerwindpark A31 Hohe Mark
- Drei Enercon E-115 Anlagen
- Leistung: 3 MW
- Nabenhöhe: 149 m
- Rotordurchmesser: 115.7 m
- Inbetriebnahme: 09/2017



Quelle: Bürgerwindpark A31 Hohe Mark

Charakterisierung des Wellenfeldes

- 17 Messanlagen
- 4 Wochen (November 2018)
- 4.5 Hz Sensoren (40 dB Pre-Amp)
- 5 Stationen in 100 m
- 10 Stationen in 200 m
- 2 Stationen am Fundament

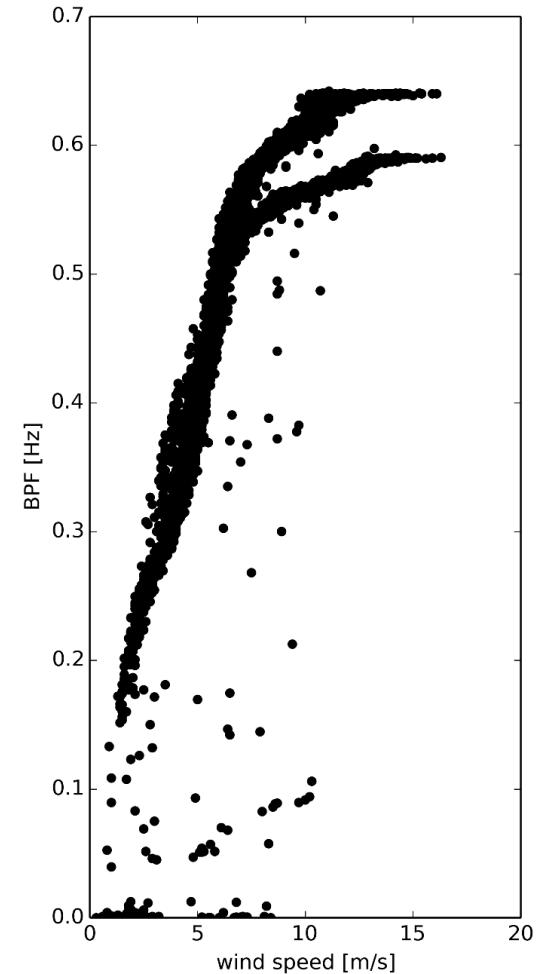
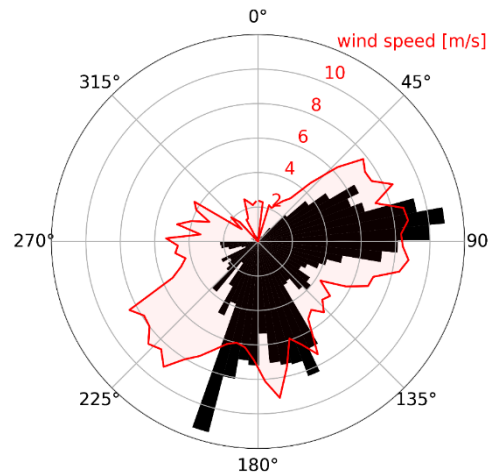
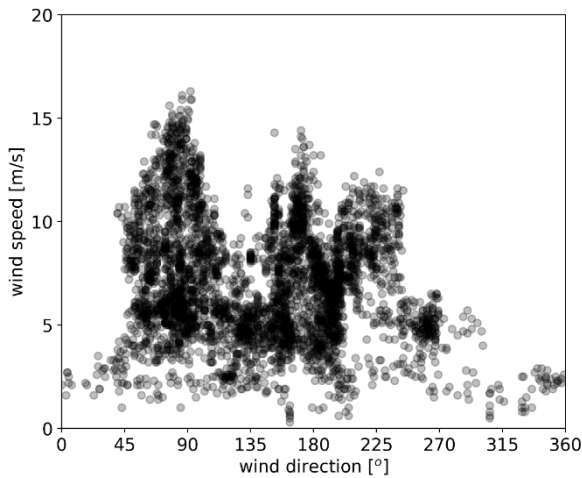


Charakterisierung des Wellenfeldes



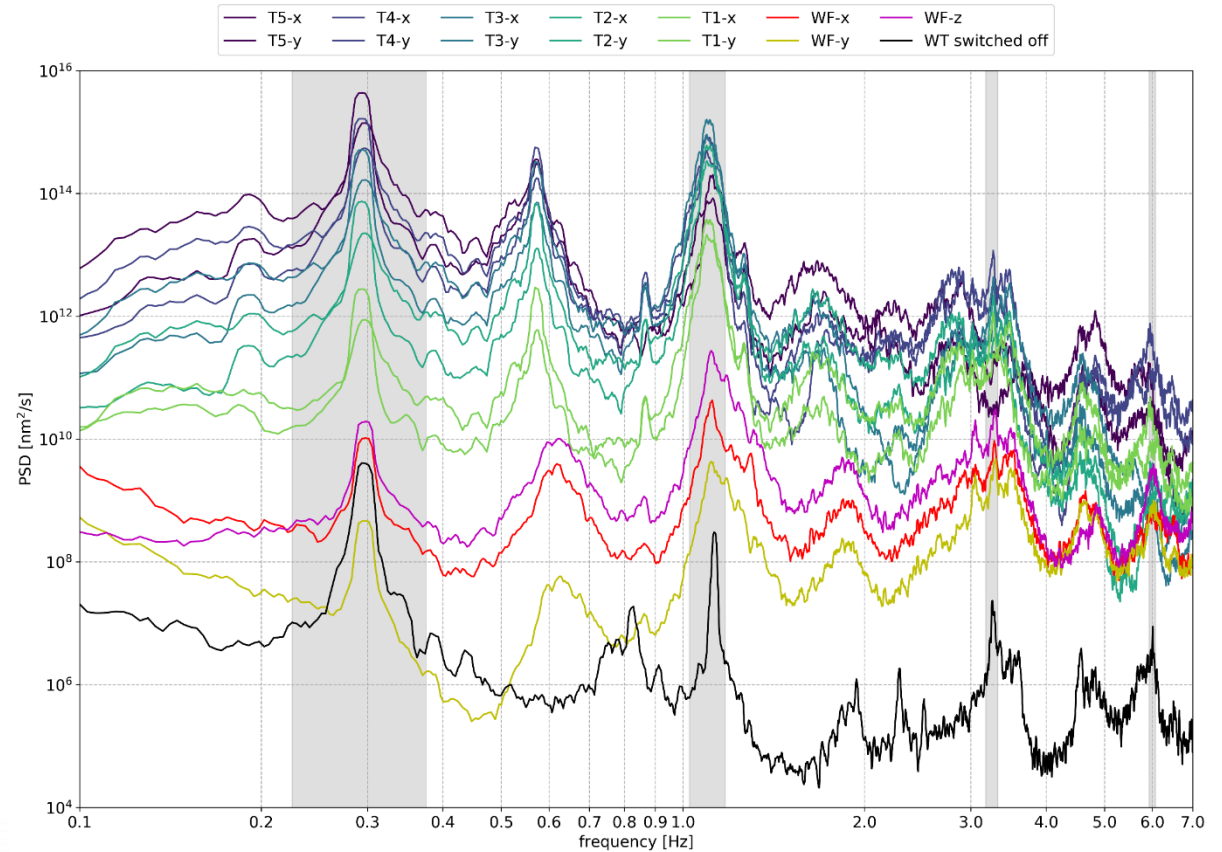
Charakterisierung des Wellenfeldes

- Betriebsdaten: 10 min – Auflösung
- 720 h Daten
- ~ 693 h Anlage in Betrieb
- ~ 39 h bei Nennleistung
- ~ 27 h Anlage ausgeschaltet
- Dominierende Windrichtung: SSW, ENE



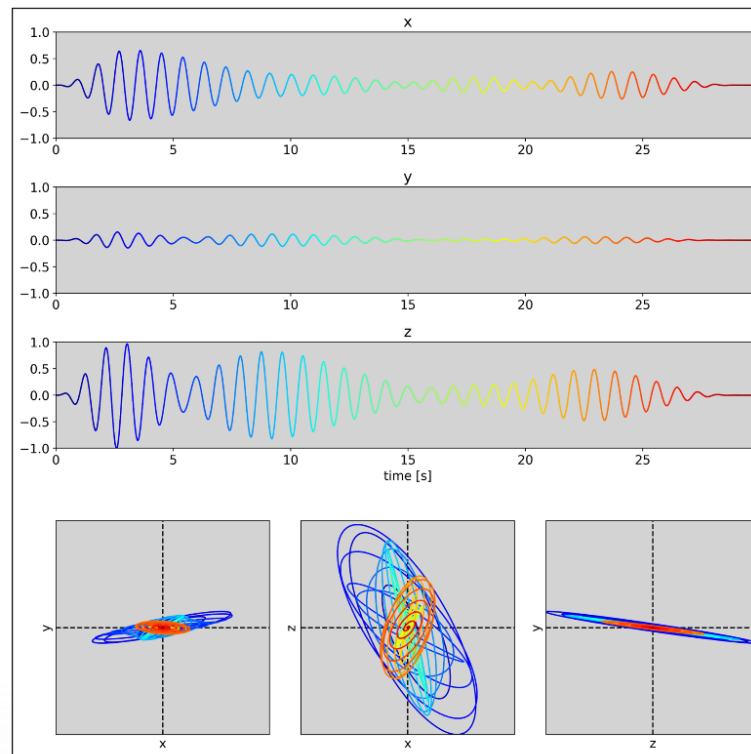
Charakterisierung des Wellenfeldes

- Betrachtung der Eigenfrequenzen bei:
 - 0.3 Hz
 - 1.1 Hz
 - 3.25 Hz
 - 6.0 Hz



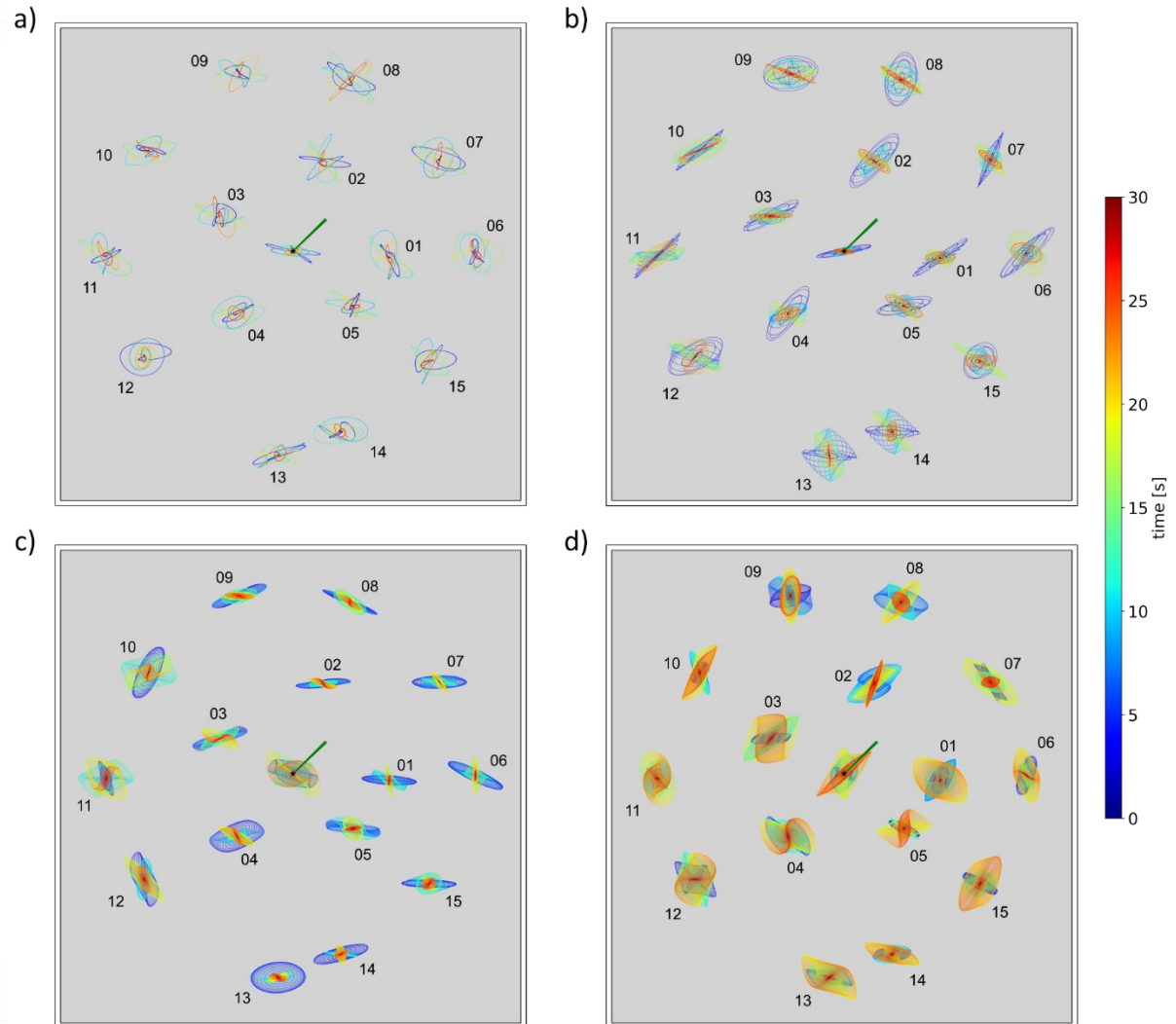
Charakterisierung des Wellenfeldes

- Partikelbewegung (Verschiebung) am Fundament, Windrichtung 65°
- Bsp.: 1.1 Hz
- Lineare, kreisförmige, elliptische, schraubenförmige Bewegungsmuster des Fundaments



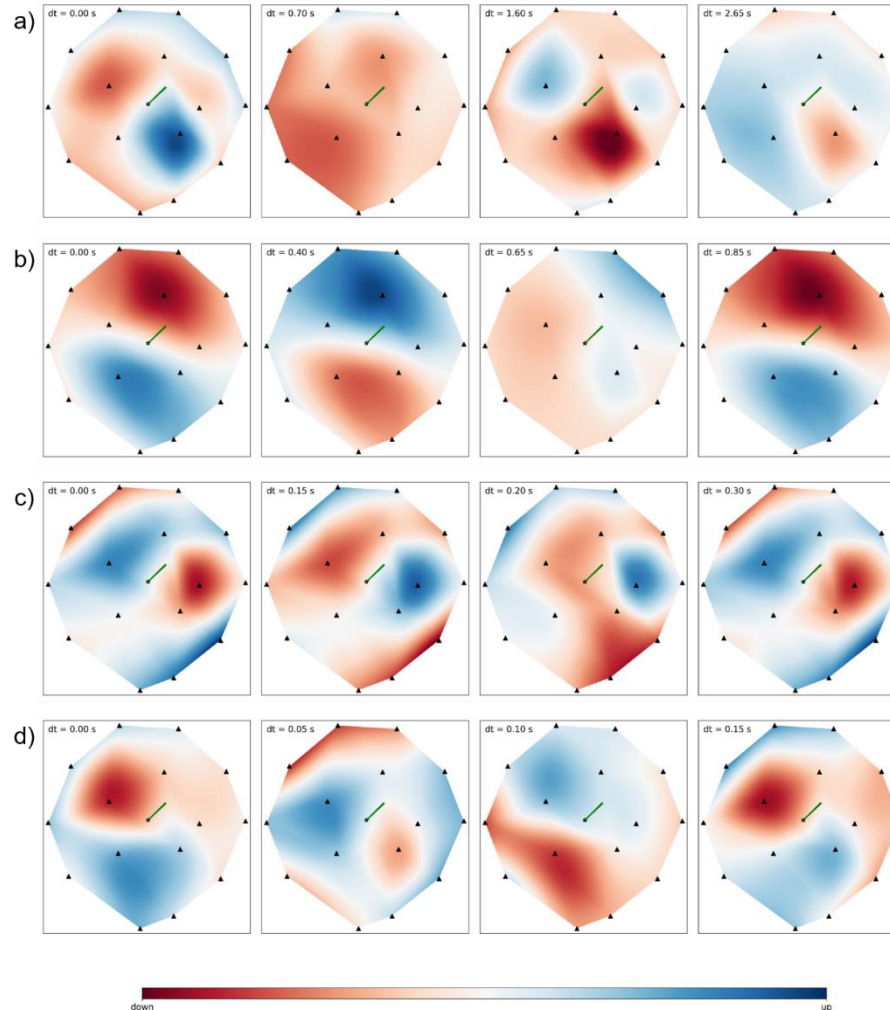
Charakterisierung des Wellenfeldes

- Horizontale Partikelbewegung (Verschiebung)
- a): 0.3 Hz
- b): 1.1 Hz
- c): 3.25 Hz
- d): 6.0 Hz



Charakterisierung des Wellenfeldes

- Vertikale Partikelbewegung (Verschiebung)
- a): 0.3 Hz
- b): 1.1 Hz
- c): 3.25 Hz
- d): 6.0 Hz

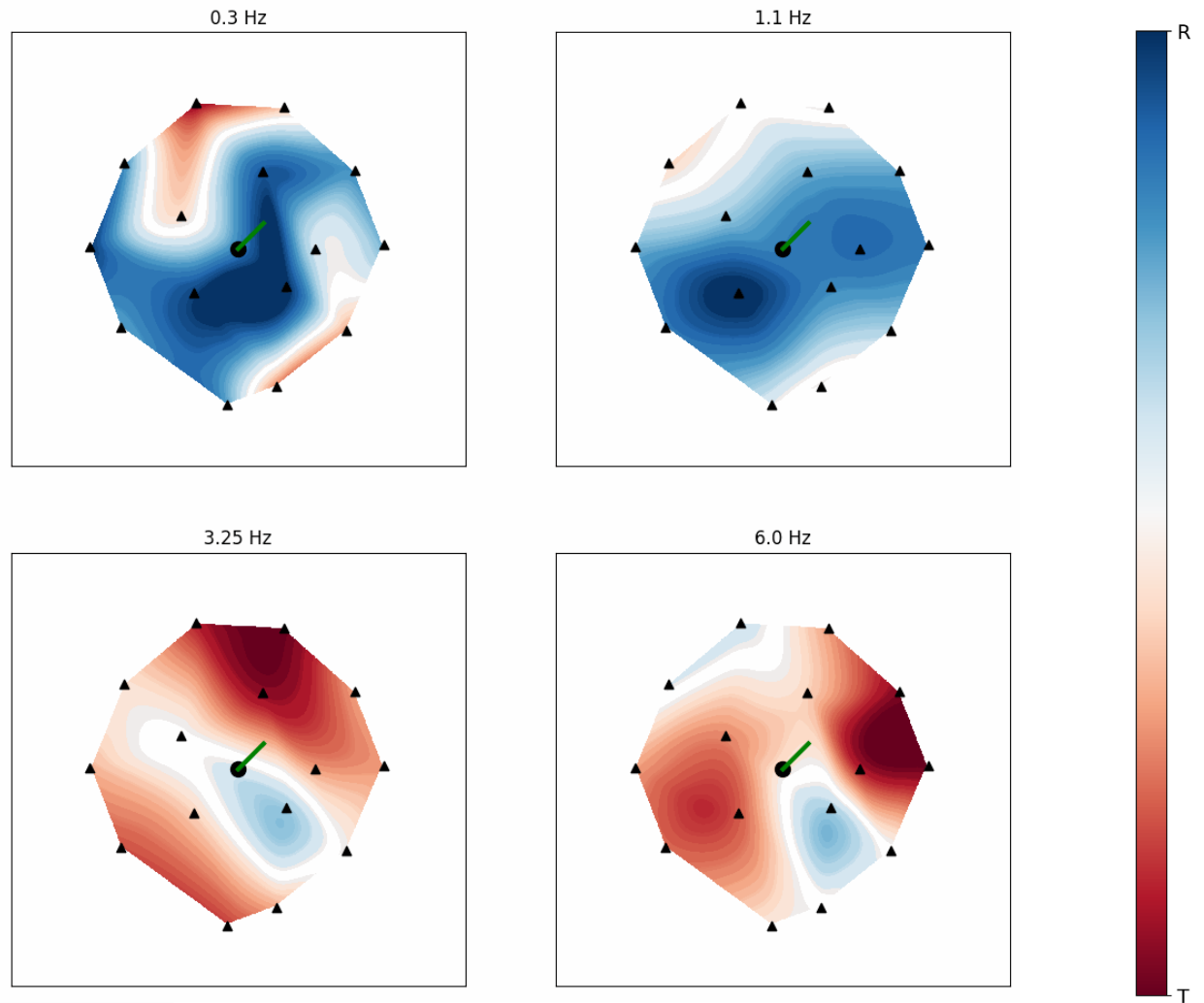


Charakterisierung des Wellenfeldes

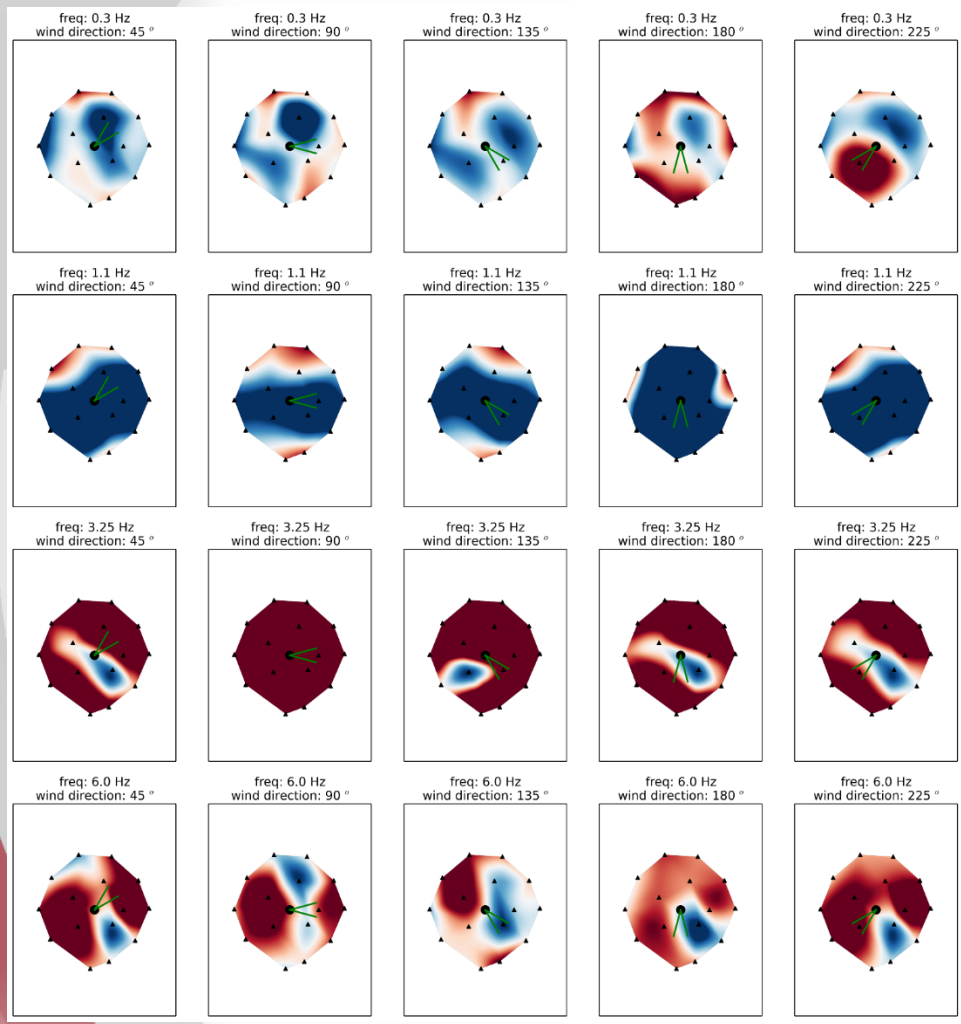


- Windrichtung bins (0 – 359)
- Rotation der Komponente (N → WEA)
- 10-min PSDs
- Verhältnisse der Spektren
- $\text{Log}_{10}(\text{PSD}_{\text{radial}} / \text{PSD}_{\text{transversal}})$
- Interpolation über Messgebiet

wind direction: 45 °

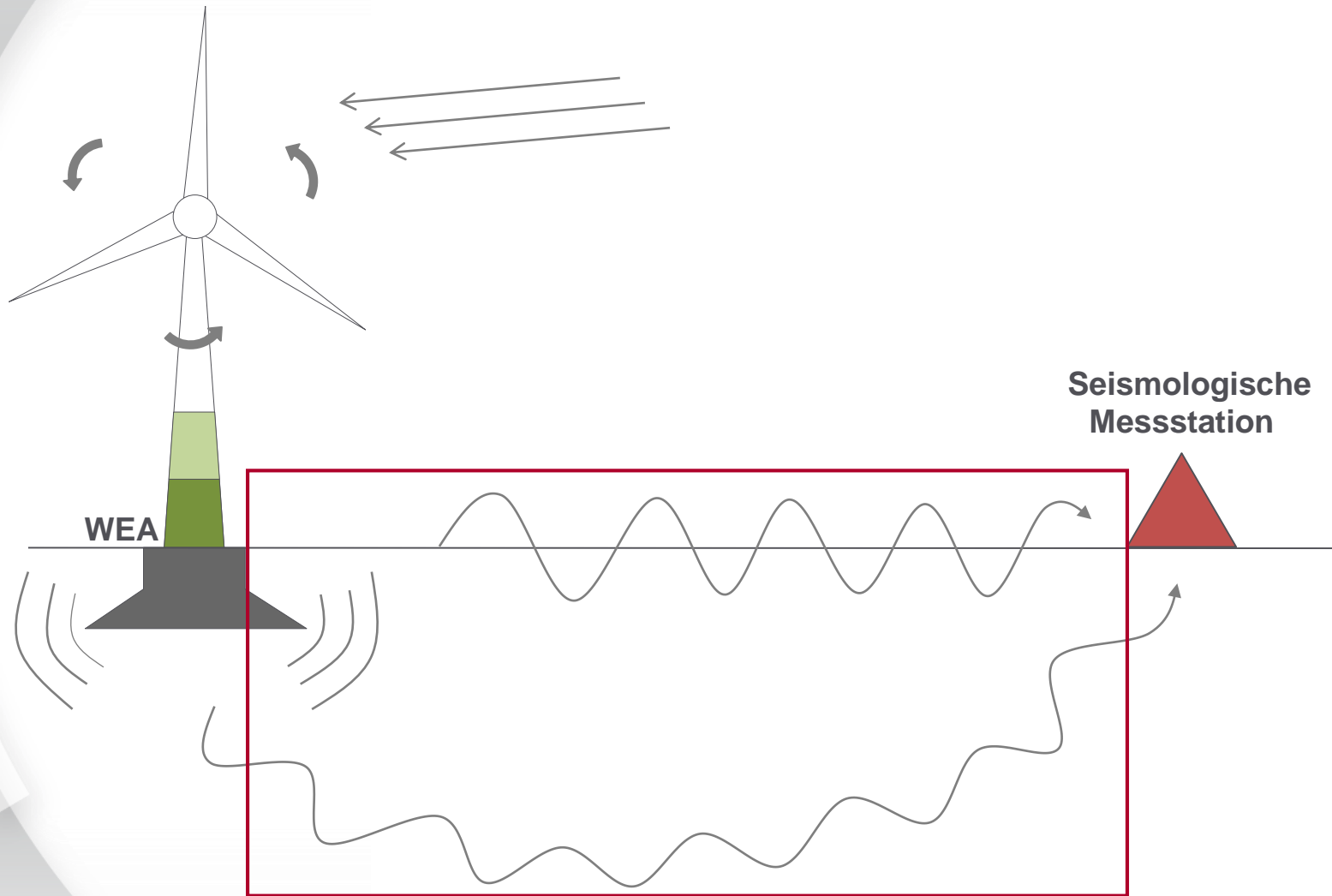


Charakterisierung des Wellenfeldes



Frequenz	Parallel Windrichtung	Senkrecht Windrichtung
0.3 Hz	Love	Rayleigh
1.1 Hz	Rayleigh	Love
3.25 Hz	Love	Rayleigh
6.0 Hz	Love	Rayleigh

Wellenausbreitung



Wellenausbreitung



Wellenausbreitung



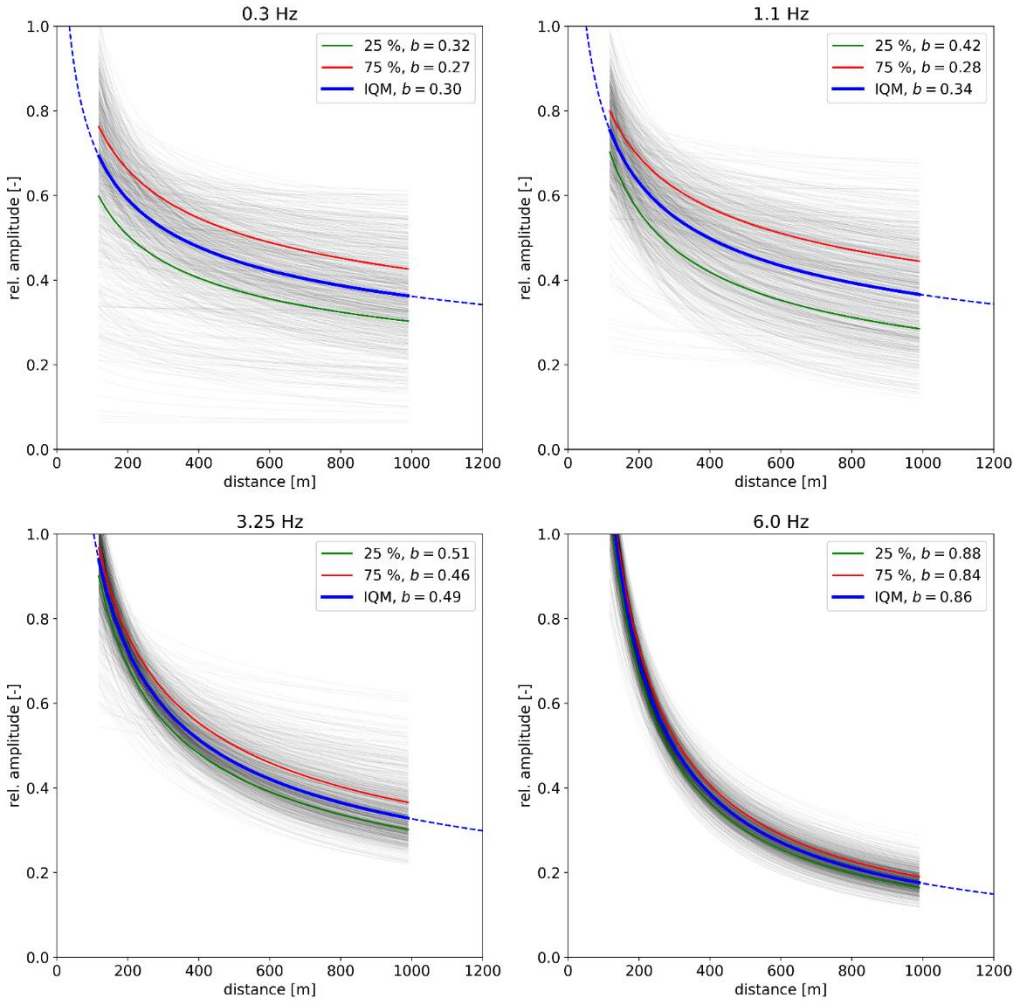
- 36 Sensoren (25 m Abstand)
- erster Messpunkt ca. 100 m, letzter Messpunkt ca. 1 km
- 2x ca. 1.5 Stunden (Abends/Morgens)
- Rotationsgeschwindigkeit ca. 10 U/min
- Windrichtung: SSO

Wellenausbreitung

- Bestimmung der Amplitudenabnahmebeziehung
- I95 aus Schwinggeschwindigkeiten für 20 s Segmente (15 s Überlappung)
- I95 an jedem Sensor gegen Entfernung aufgetragen und normiert
- Abnahme Beziehung nach r^b bestimmt
- 25 / 75 % Quantil der Abnahmebeziehungen
- b -Wert bestimmt für IQM

Wellenausbreitung

amplitude decay fit: $\sim r^{-b}$





Neuffer, T., Kremers, S., Meckbach, P. & Mistler, M. (2021). Characterization of the seismic wave field radiated by a wind turbine. *Journal of Seismology*, 1-20.

<https://doi.org/10.1007/s10950-021-10003-6>