



**RUB**



EUROPÄISCHE UNION  
Investition in unsere Zukunft  
Europäischer Fonds  
für regionale Entwicklung



**EFRE.NRW**  
Investitionen in Wachstum  
und Beschäftigung

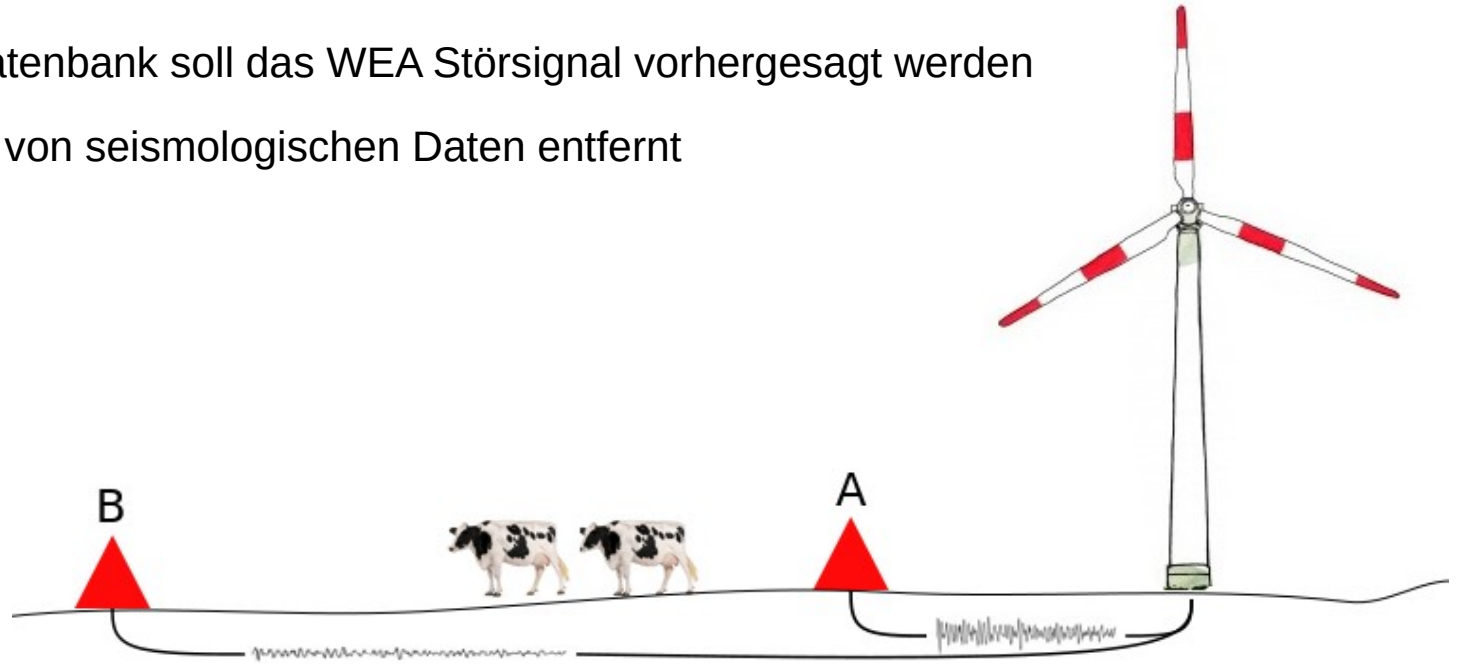
**RUHR-UNIVERSITÄT BOCHUM**

## **Clustern und Vorhersage von Noise durch Windkraftanlagen**

Janis Heuel, Wolfgang Friederich

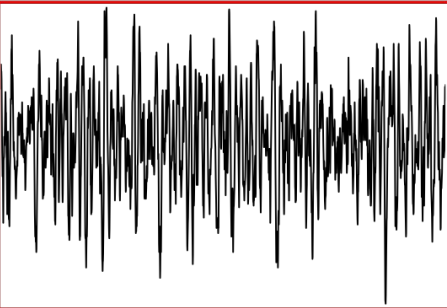
# Zielsetzung

- Entwicklung eines deterministischen Prognoseverfahrens um Störsignale einer Windenergieanlage (WEA) an einer seismologischen Station zu entfernen
- Aufbau einer Emissions-Immissions Datenbank, in der Störsignale in der Nähe der WEA und das imitierte Signal in gewisser Entfernung zur WEA gespeichert werden
  - Emissions-Immissions-Paare
- Mit Hilfe der Datenbank soll das WEA Störsignal vorhergesagt werden
- Störsignal wird von seismologischen Daten entfernt

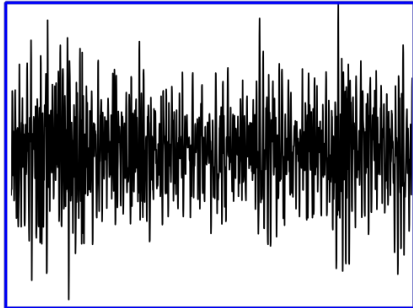


# Zielsetzung

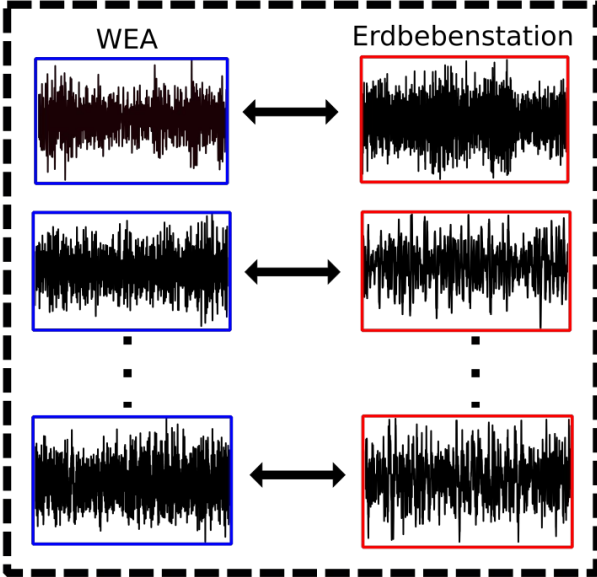
Signal + WEA Störsignal  
an Erdbebenstation



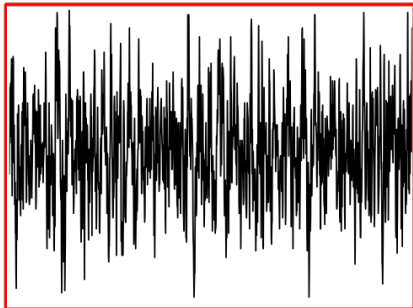
Was wurde an WEA  
gemessen?



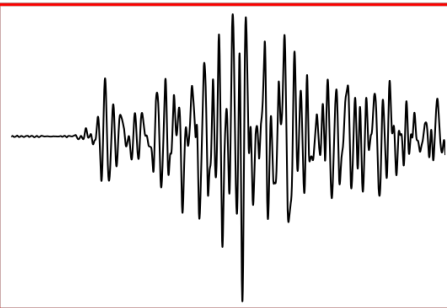
Datenbank mit Emissions-  
Immissions-Paaren



Störsignal an  
Erdbebenstation

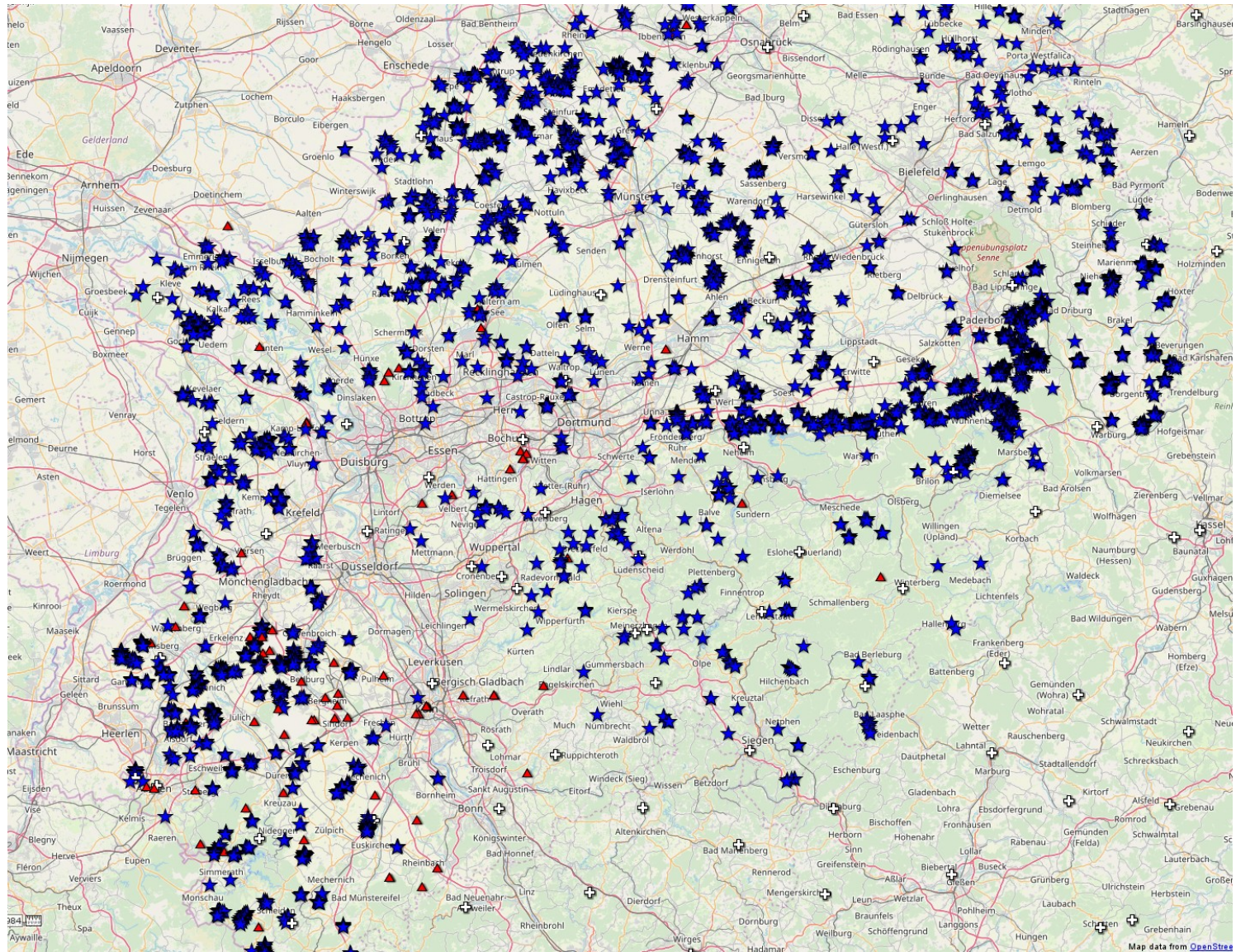


Signal-  
korrektur



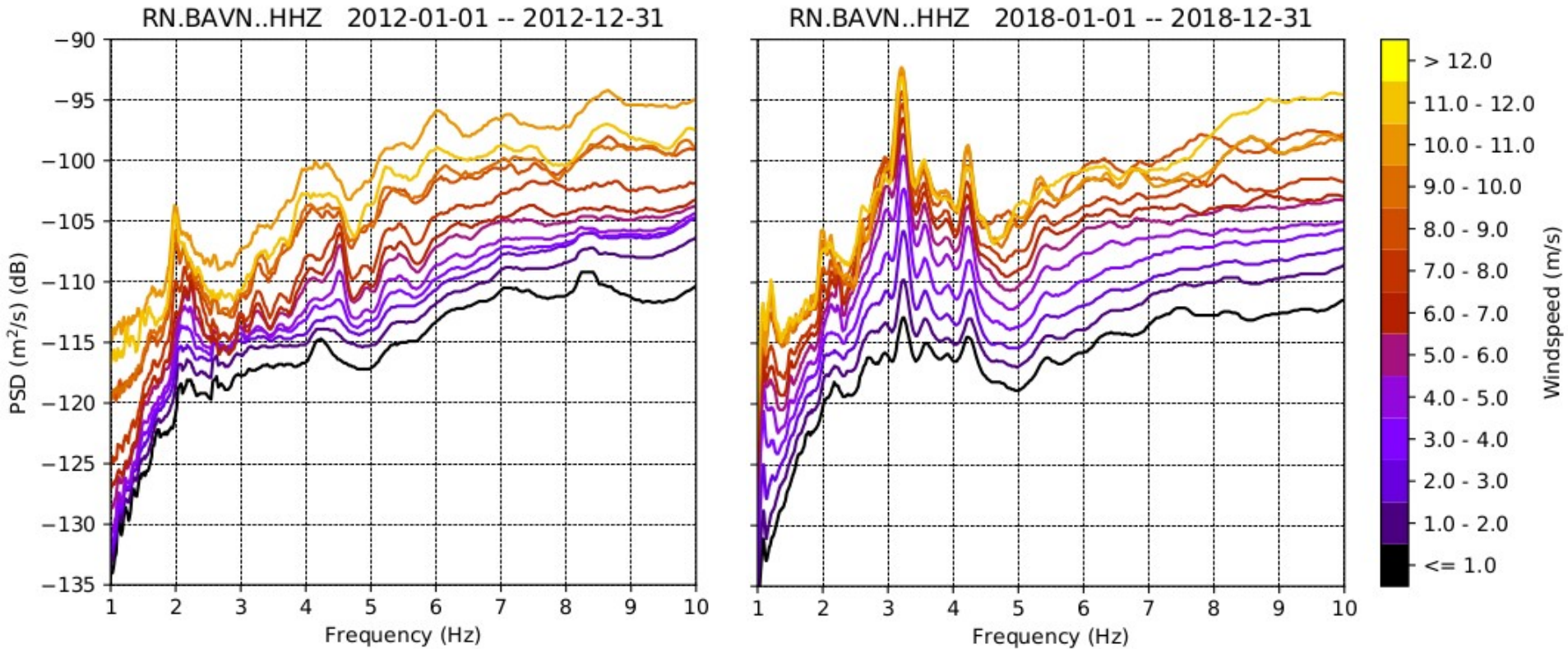


# Standort Auswahl





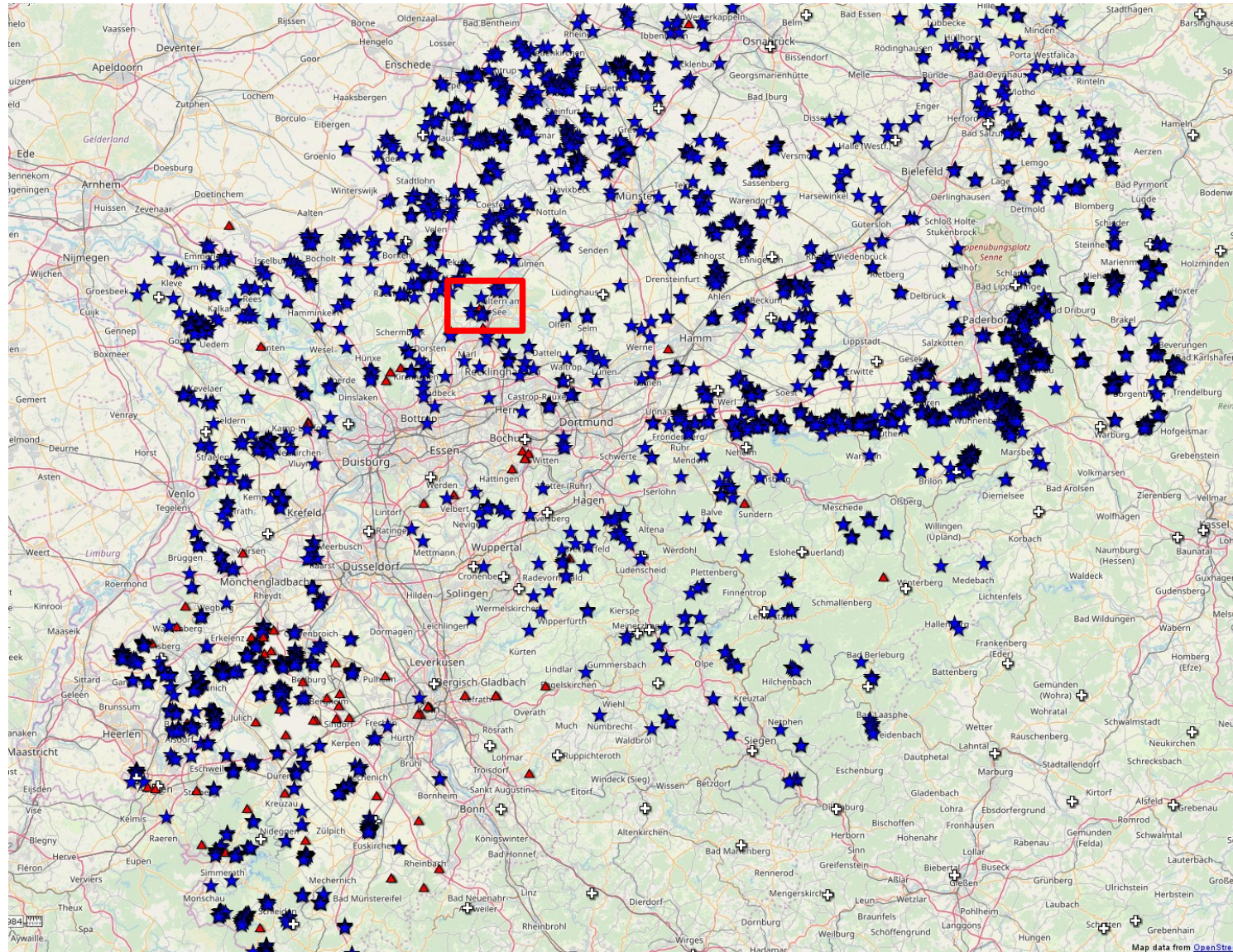
# Standort Auswahl



nach Stammler & Ceranna (2016)

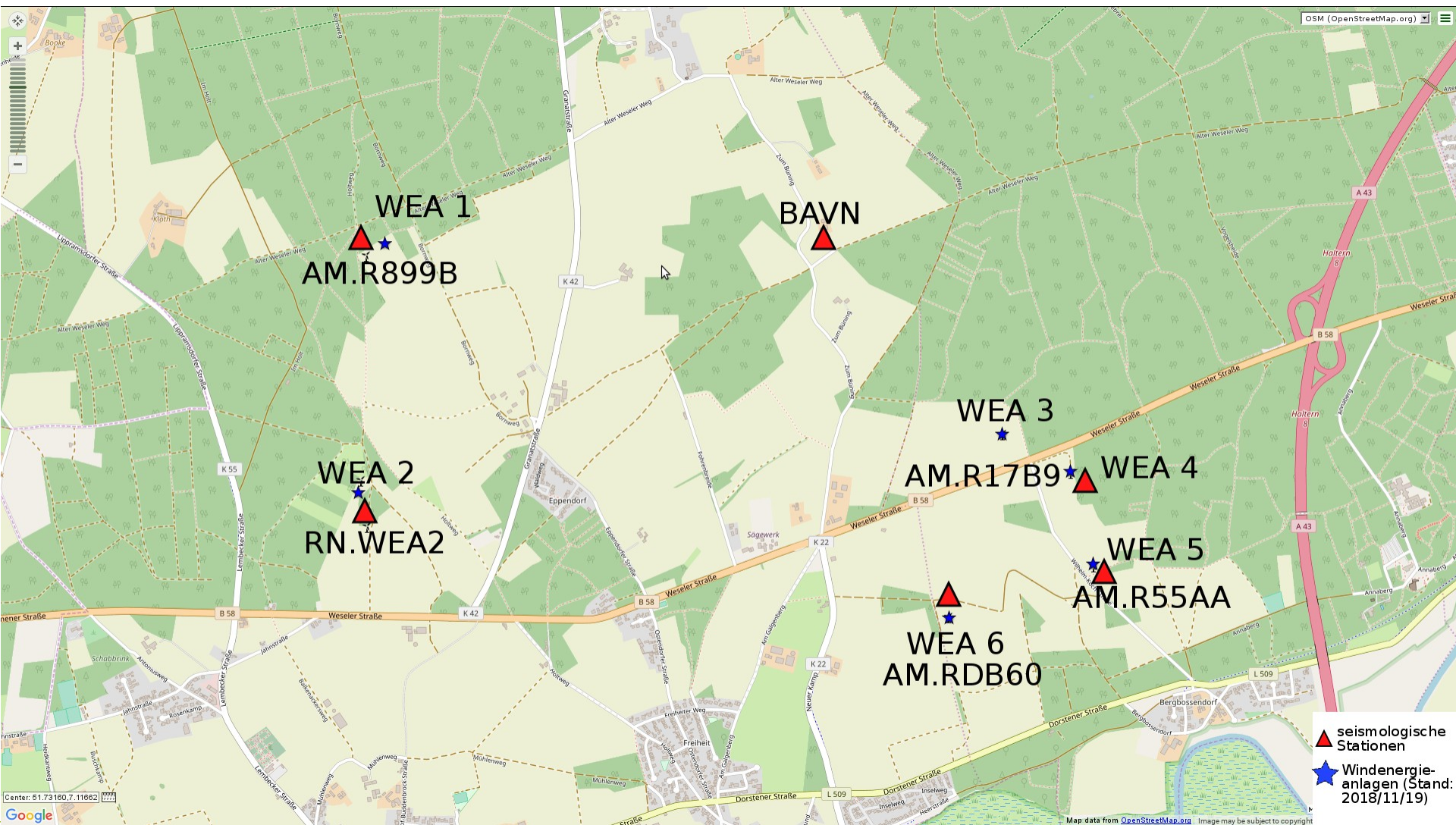


# Standort Auswahl





# Standort Auswahl







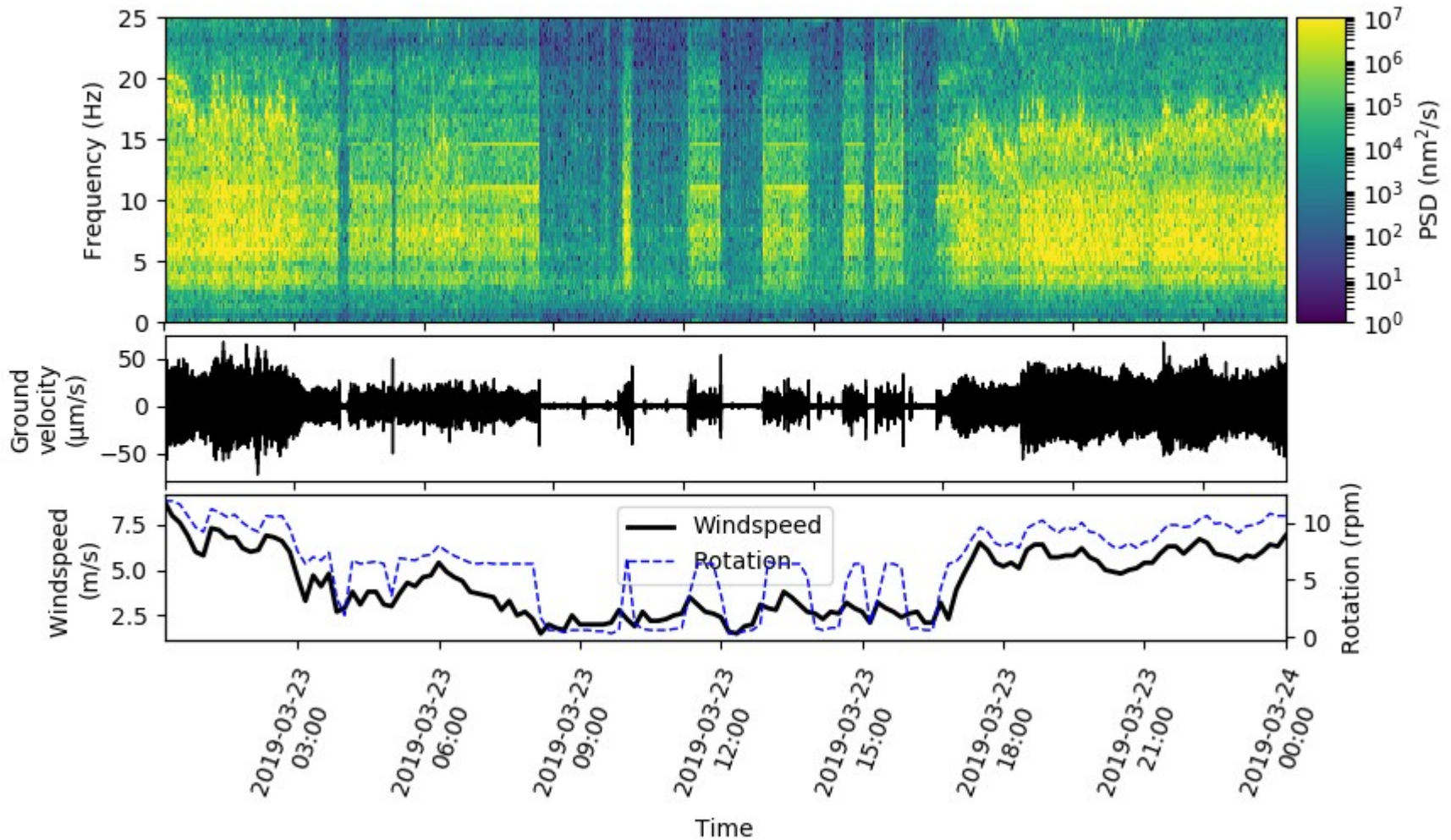






# Zeitreihenanalyse

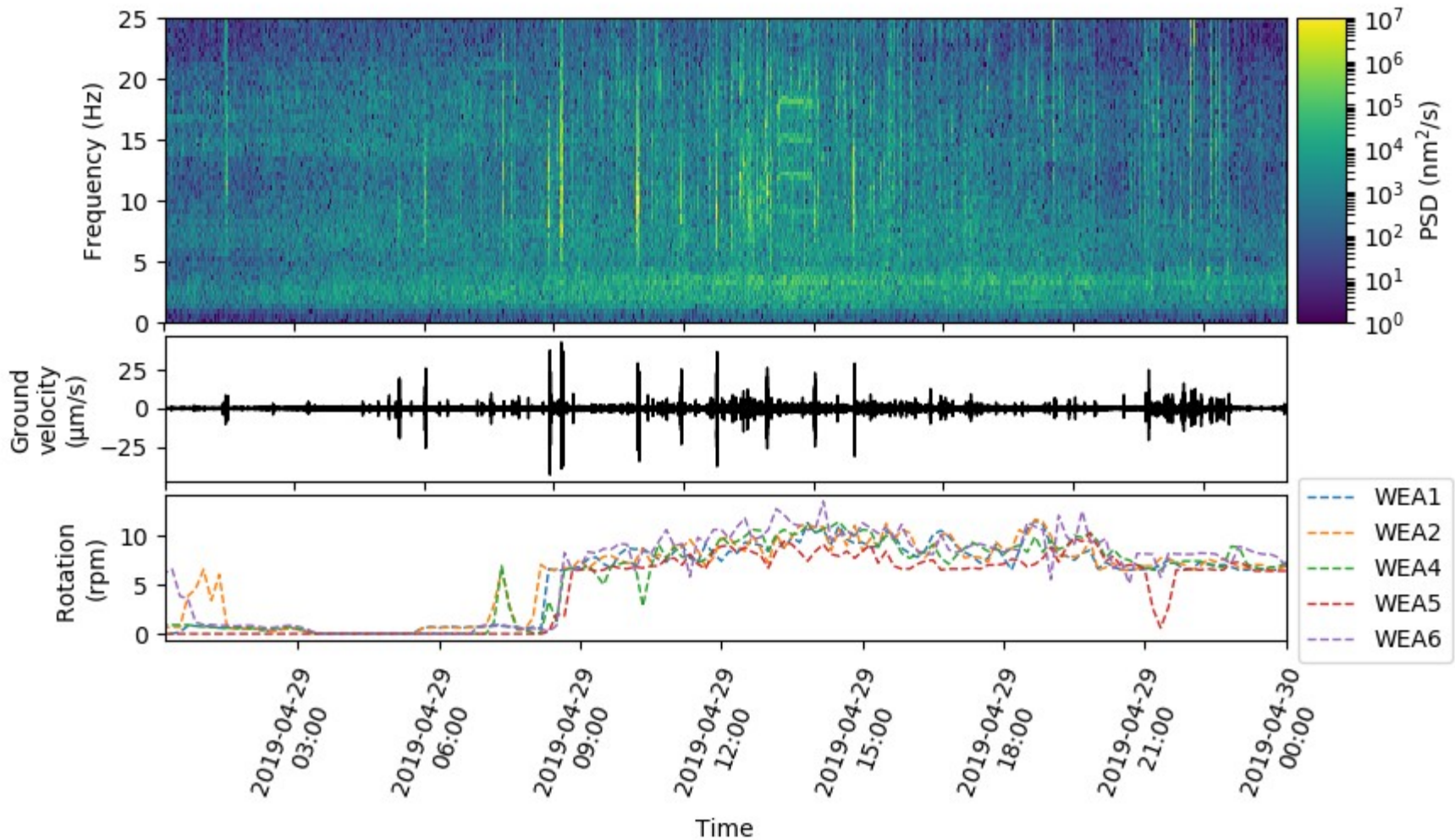
AM.R899B.00.EHZ  
2019-03-23T00:00:01.413999Z--2019-03-24T00:00:00.833999Z



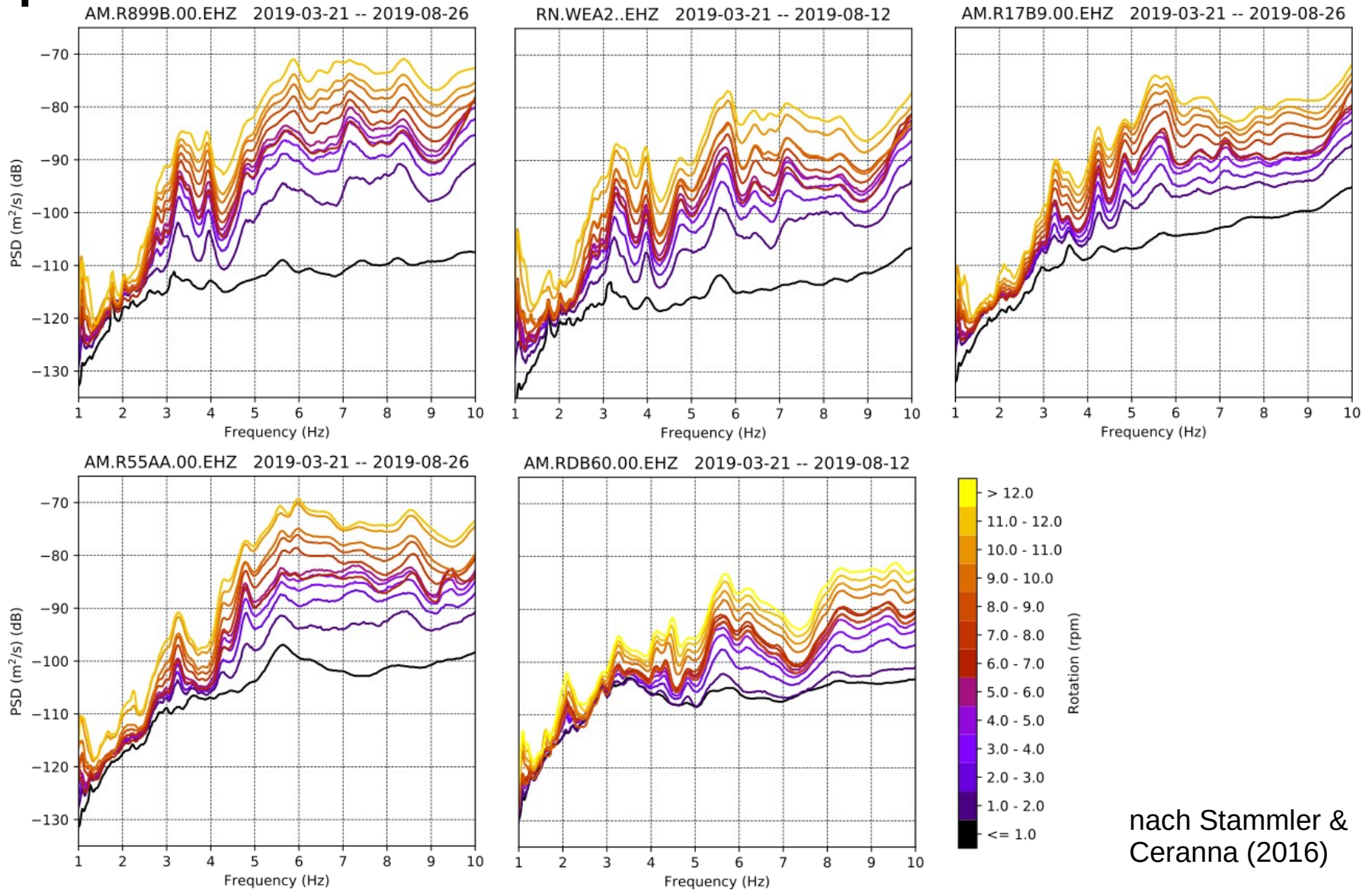


# Zeitreihenanalyse

RN.BAVN..EHZ  
2019-04-29T00:00:02.700000Z--2019-04-30T00:00:03.830000Z



# Spektren



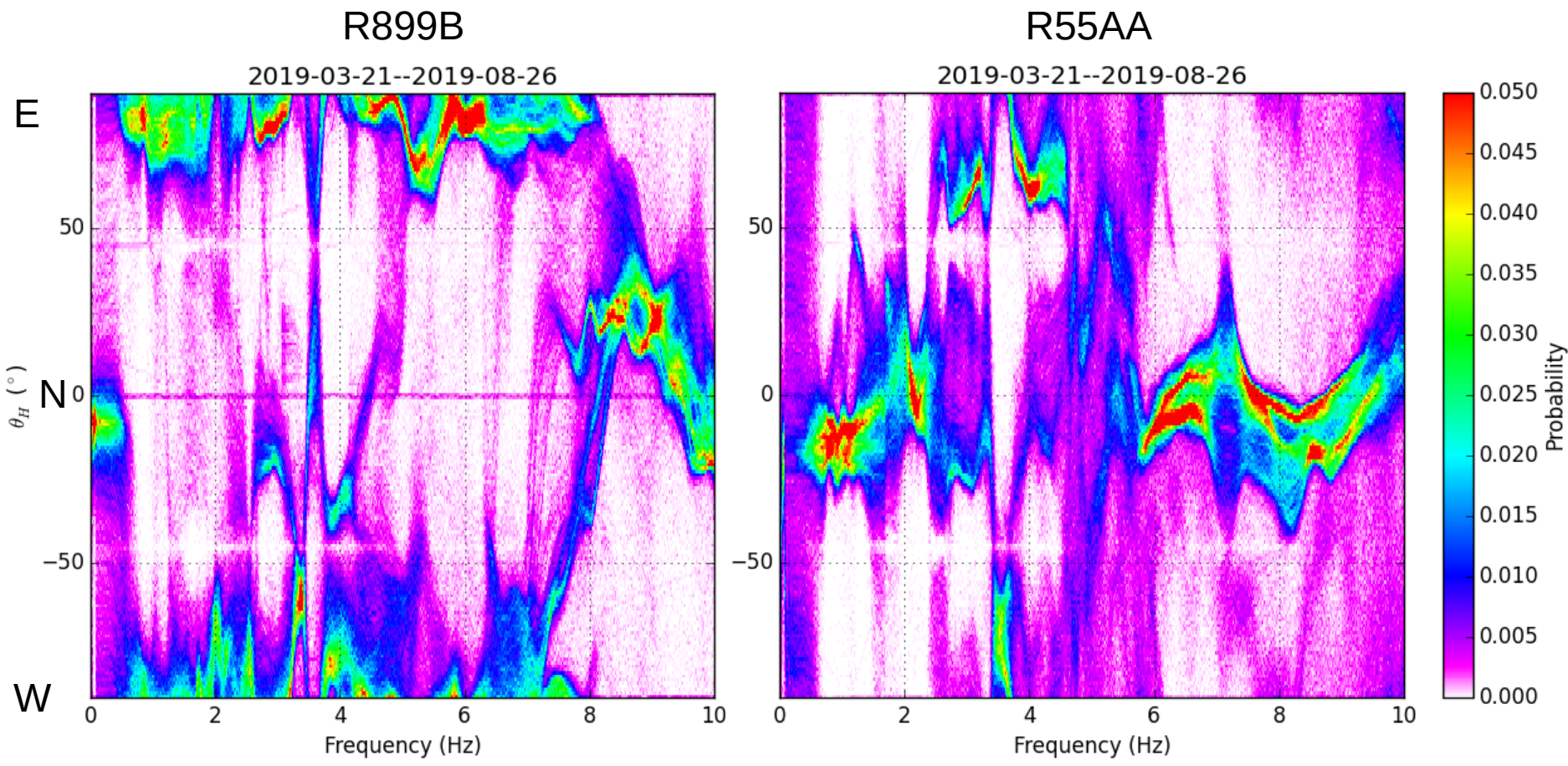
nach Stammler & Ceranna (2016)



# Polarisation (Frequenzabhängig)

Parameter von frequenzabhängiger Polarisationsanalyse (Koper & Hawley, 2010):

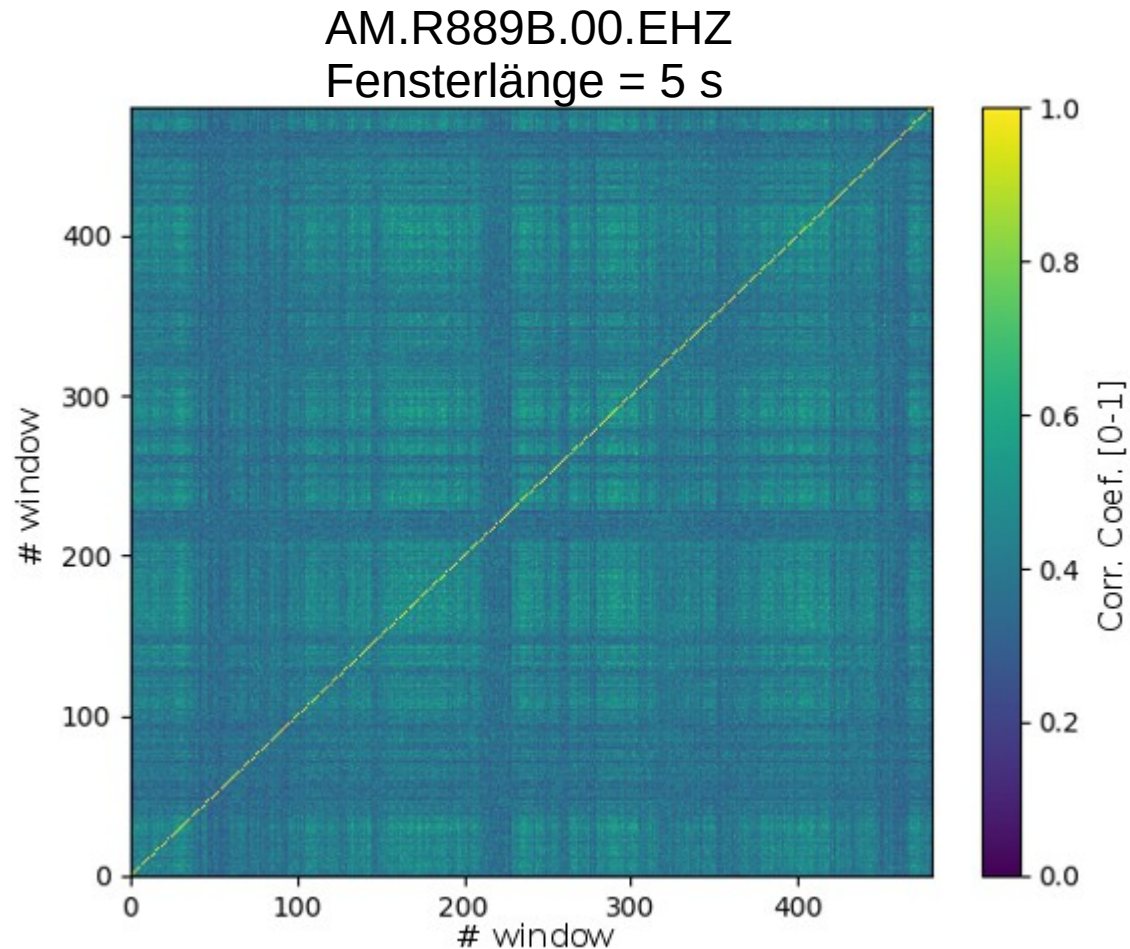
- Azimut
- Inklinationswinkel
- Phasenunterschied vertikal/horizontal
- Phasenunterschied horizontal/horizontal





# Ähnlichkeitsanalyse

- Ziel: Finden von hochähnlichen Signalen an der Station in der Nähe der WEA mit Hilfe einer normalisierten Kreuzkorrelation
- Zeitreihe wird in kleine Zeitfenster (mehrere Sekunden) zerlegt und die Kreuzkorrelation aller Zeitfenster wird berechnet
- Zeitfenster werden nach Betriebsparametern (Wind- und Rotationsgeschwind.) sortiert
- Ergebnis: Ähnlichkeitsmatrix mit der Autokorrelation entlang der Diagonalen





# Ähnlichkeitsanalyse

- Problem: Trotz voriger Sortierung nach WEA Betriebsparametern sind kaum ähnliche Signale zu finden
- **1. Lösungsvorschlag:** Merkmale (Features) aus der Zeitreihe berechnen und Sortierung nach den Merkmalen, z.B. gewichtete gemittelte instantane Frequenz (Loughlin, 1998):

$$\hat{s}(t) = s(t) + i\mathcal{H}(s(t)) = |\hat{s}(t)| \exp(i \Phi(t))$$

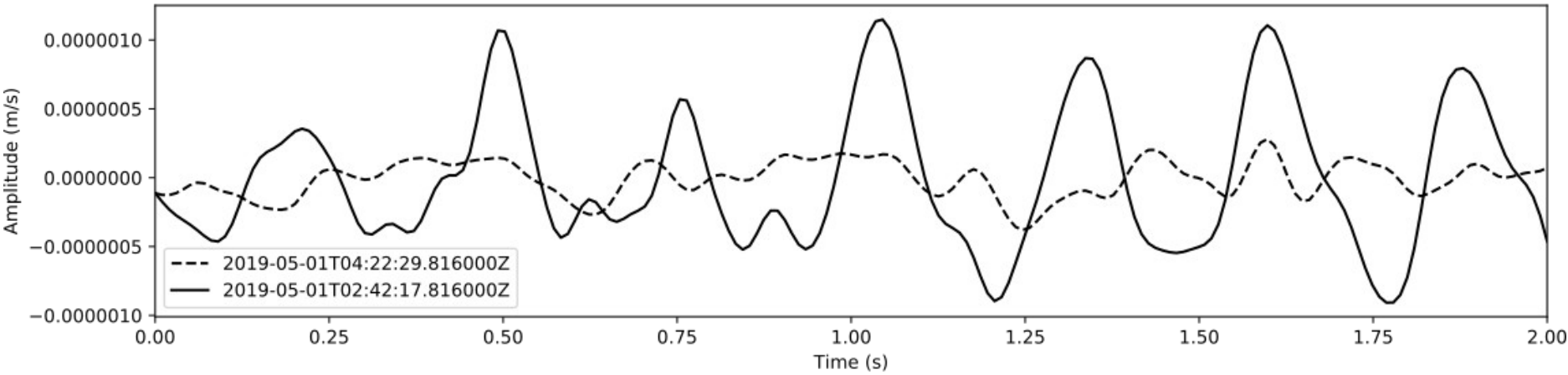
$$\bar{f}_i = \frac{\sum_{n=0}^N |\hat{s}_n|^2 \Phi'_n}{\sum_{n=0}^N |\hat{s}_n|^2}$$

- Die gewichtete gemittelte instantane Frequenz gibt die dominierende Frequenz in einem Zeitfenster der Länge  $N$  an

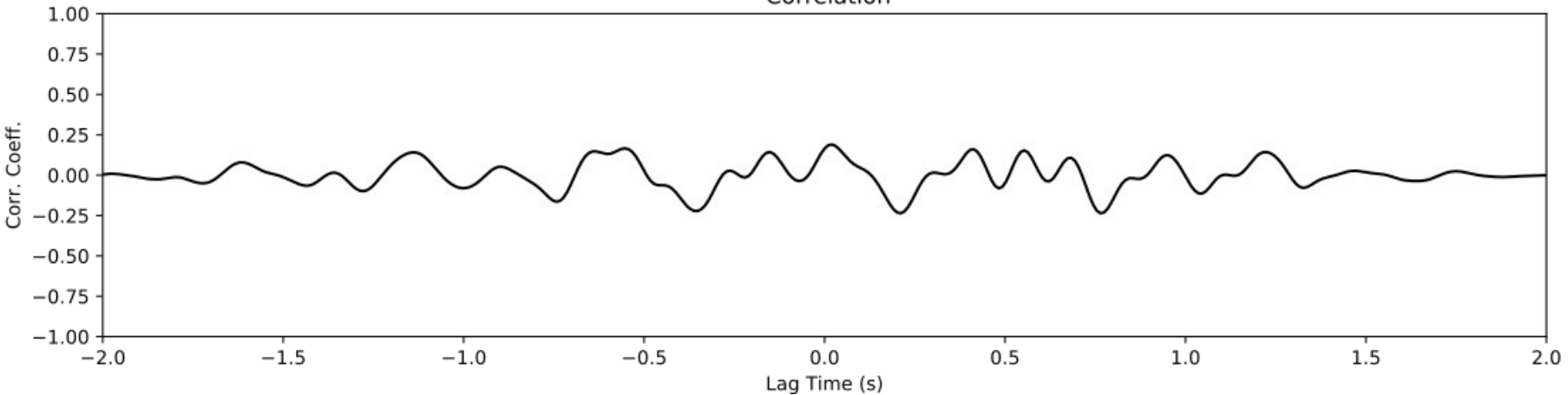


# Ähnlichkeitsanalyse

Waveforms



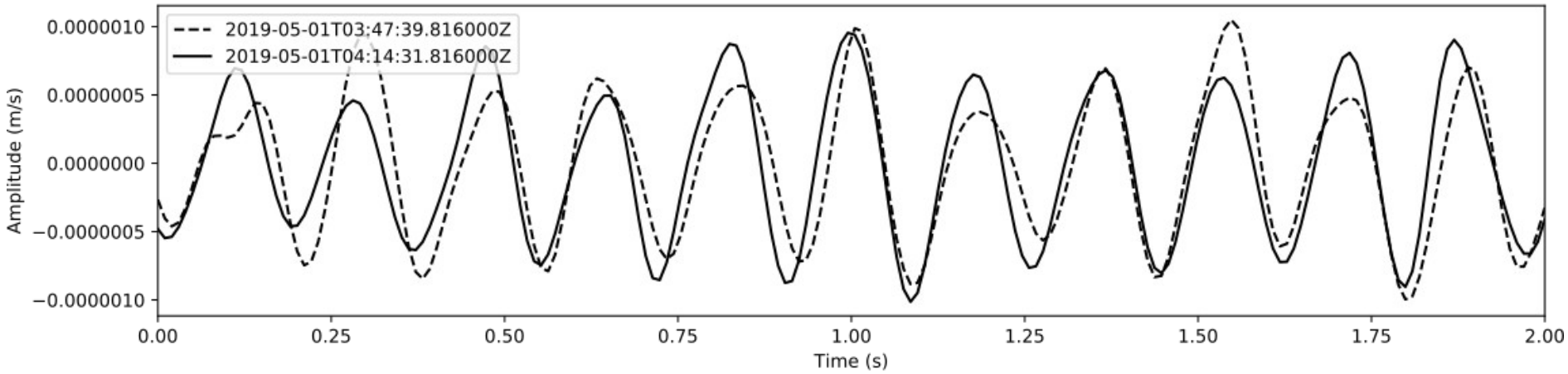
Correlation



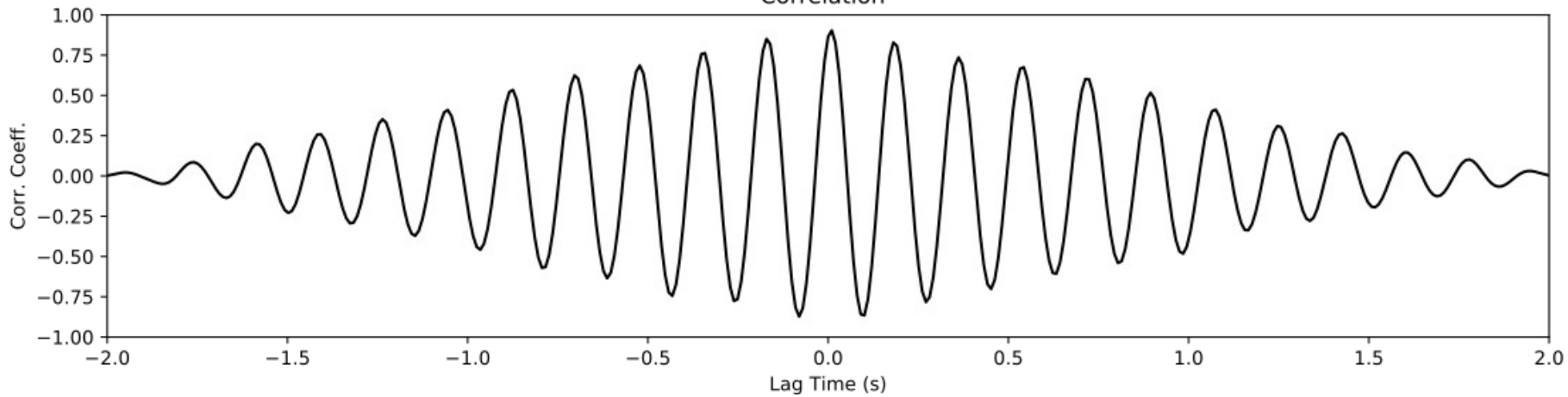


# Ähnlichkeitsanalyse

Waveforms

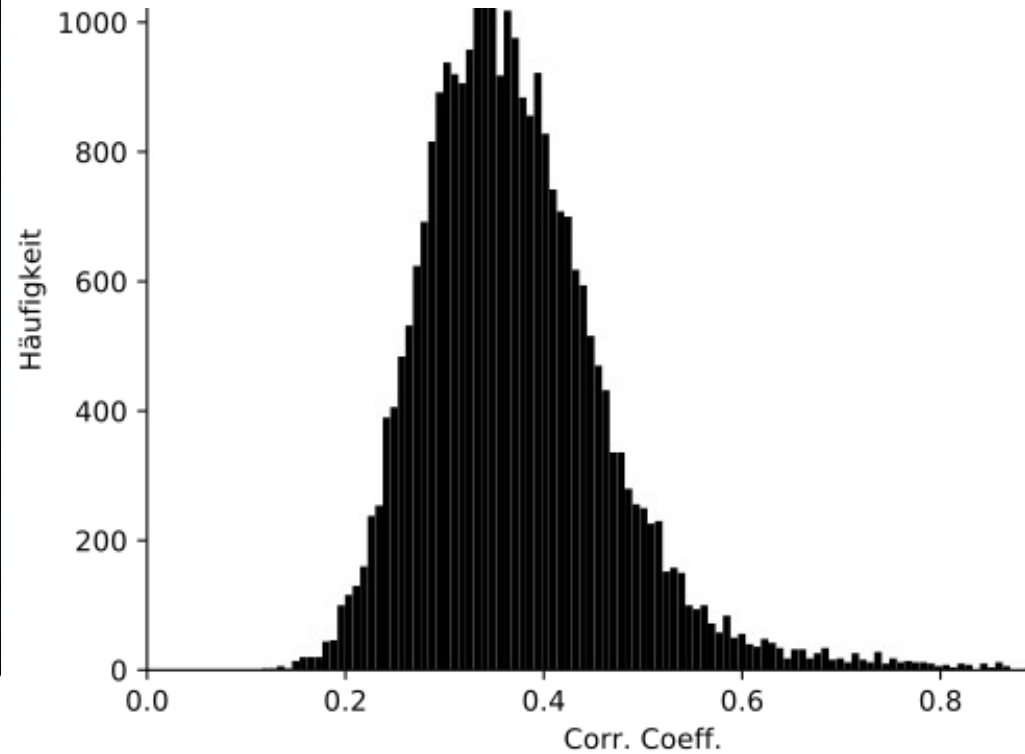
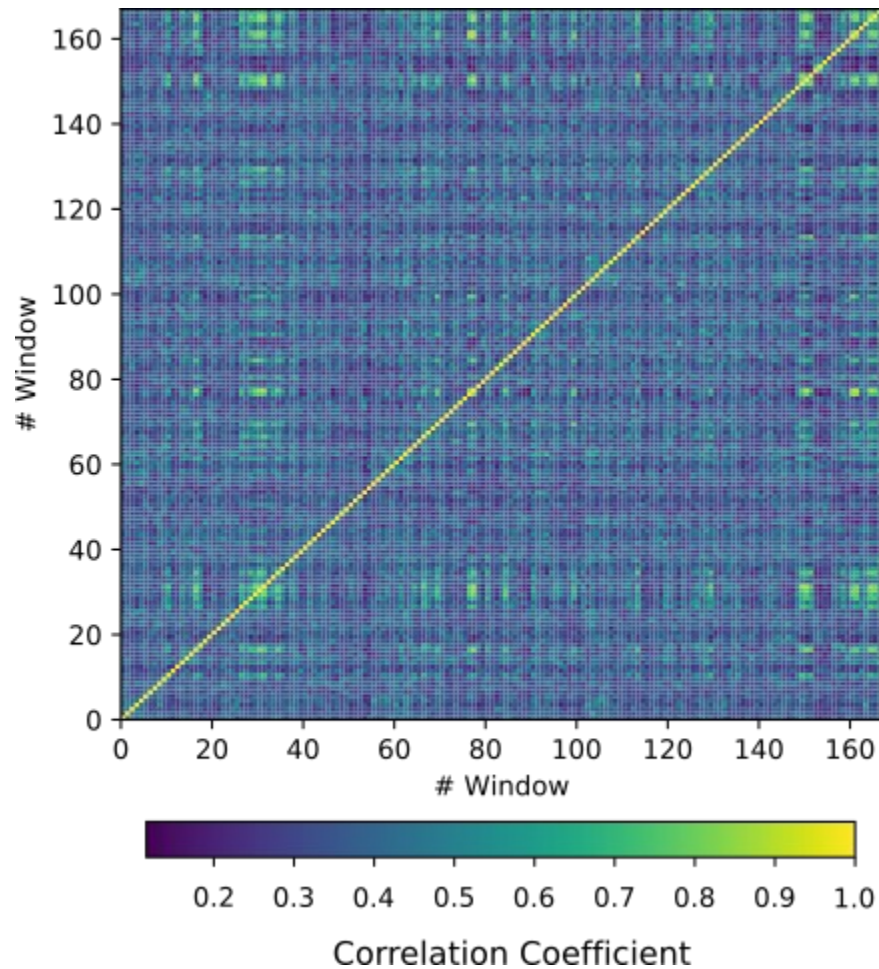


Correlation





# Ähnlichkeitsanalyse



- Ausgewerteter Zeitraum: 5 h
- Fensterlänge: 2 s
- Ähnliche Signale sind selten

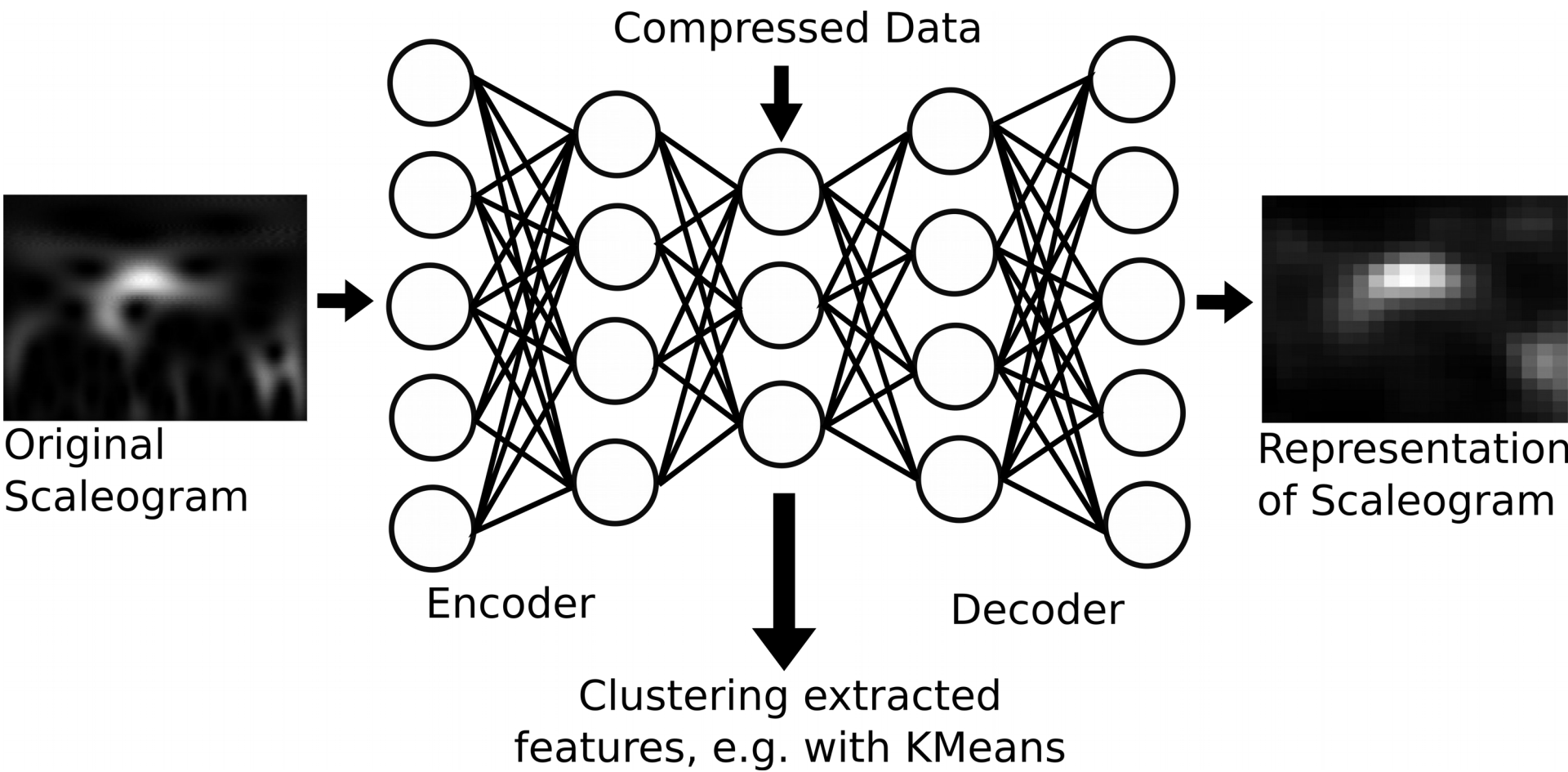


# Ähnlichkeitsanalyse

- Ähnliche Signale zu finden ist nach Sortierung an Hand von WEA Betriebsparametern schwierig
- Berechnung und Sortierung nach einem berechneten Merkmal liefert ähnliche Signale, aber nur wenige
- Verbesserung: Suche nach weiteren Merkmalen
- Welche Merkmale sind wichtig und welche nicht?
  
- **2. Lösungsvorschlag:** Benutzung von maschinellen Lernen
  - Der Computer sucht entscheidende Merkmale durch Komprimierung von Zeit-Frequenz Darstellungen

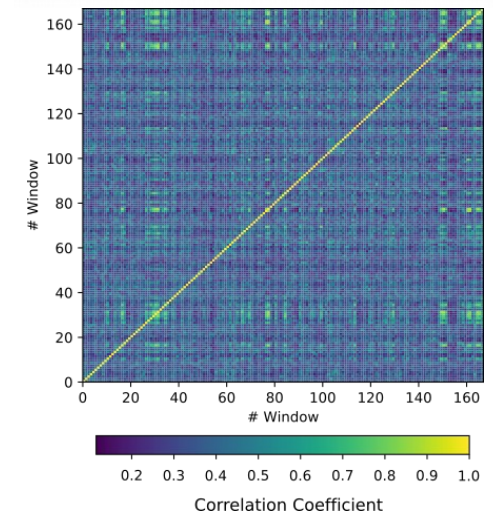
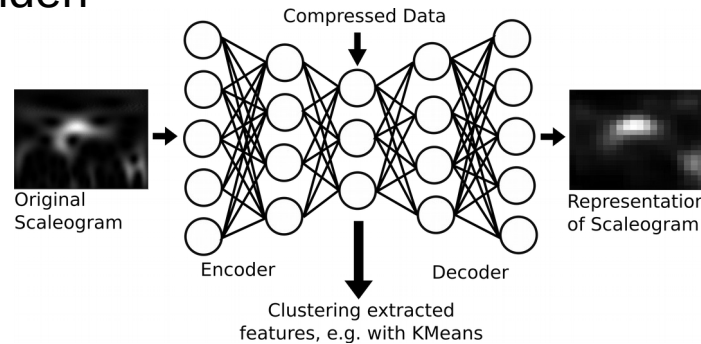
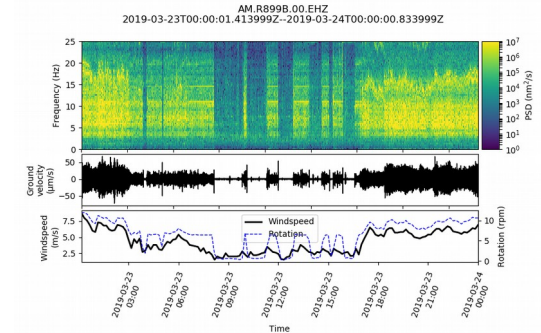
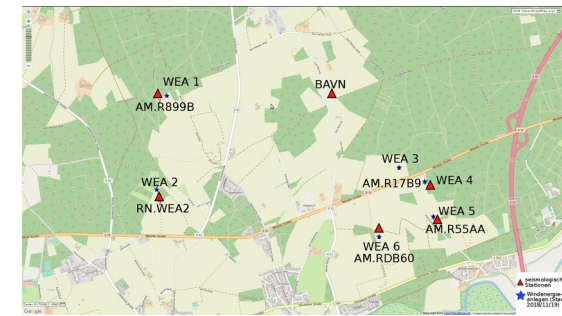


# Autoencoder



# Zusammenfassung

- Seit März 2019 laufen Messungen an WEA in Haltern am See
- Neu aufgebaute Stationen sind eindeutig von der WEA dominiert
- Es gibt ähnliche Signale, wenn nach extrahierten Merkmalen sortiert wird
- Maschinelles Lernen soll helfen Cluster und somit ähnliche Signale zu finden





# Literatur

- Loughlin, P. J., The time-dependent weighted average instantaneous frequency, Proceedings of the IEEE-SP International Symposium on Time-Frequency and Time-Scale Analysis (Cat. No. 98TH8380), 1998, 97-100
- Koper, K. D. & Hawley, V. L. Frequency dependent polarization analysis of ambient seismic noise recorded at a broadband seismometer in the central United States Earthquake Science, Springer, 2010, 23, 439-447
- Stammler, K. & Ceranna, L., Influence of wind turbines on seismic records of the Gräfenberg array, Seismological Research Letters, Seismological Society of America, 2016, 87, 1075-1081