

# Messtechnik für die WEA-Schwingungsanalyse

- Entwicklungen
- Erfahrungen
- Beispiele



Dipl.-Ing. Benjamin Krüger

Geschäftsleitung / CTO

B.Sc. Uli Köhler

Head of R&D

[www.gepa-mbh.de](http://www.gepa-mbh.de)

[info@gepa-mbh.de](mailto:info@gepa-mbh.de)

# Ein Familienbetrieb seit 1970, heute in 2. Generation



1980  
F&E Kernreaktor -



1990  
F&E Automotive-



2001  
F&E Luft & Raumfahrt-



2015  
Kraftwerks - Strukturanalyse



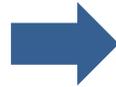
## → Evolution in der Messtechnik



Multikanal-Systeme



Signalkonditionierung

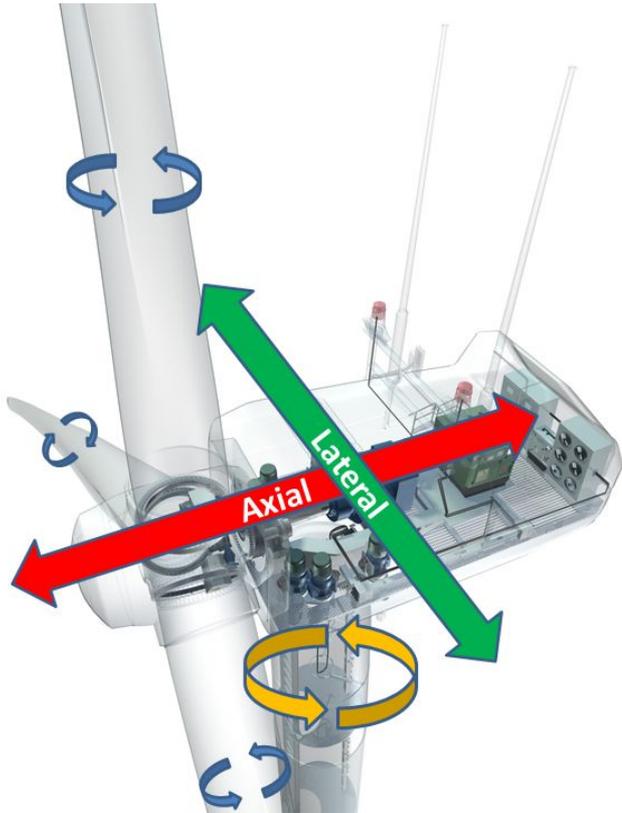


rechnergestützte Messtechnik



digitale intelligente Sensorik

## WEA Schwingungsanalyse:



## Turmeigenfrequenz ?



## Auffällige WEA ?

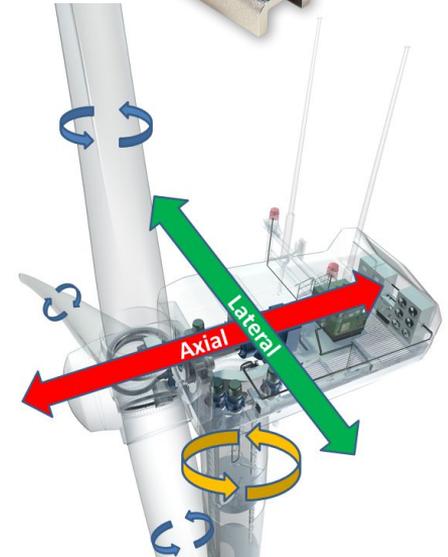


## Strukturanalyse ?



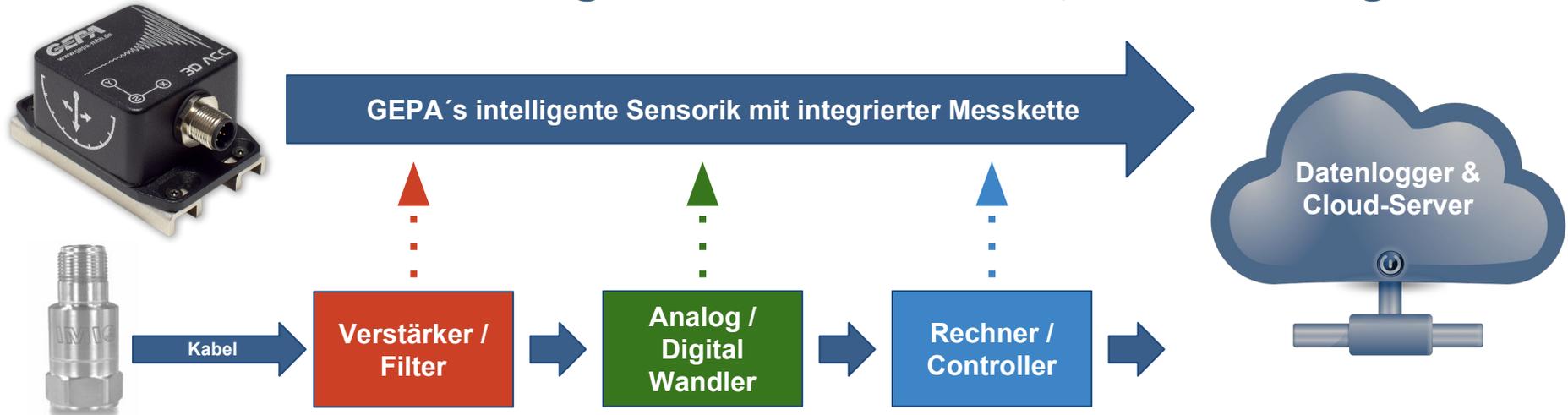
## Windparkeffekt ?





- **Triaxialer Sensor** (axial, lateral, vertikal)
- Für **Beschleunigung, Neigung, Frequenz**
- Für **Schwingungsanalyse von 0,0 - 800 Hz**
- Für **Kurz- und Langzeitmessungen**
- **Plug & Play-Montage** und Inbetriebnahme

- **Robust** gegen Umwelteinflüsse da integrierte Messkette
- **Multifunktional** da programmierbar, **Abtastrate**, **Grenzwerte...**
- Für interne **Datenverarbeitung** (Fast Fourier Transformation)
- **Datenbereitstellung** über standardisierte Schnittstelle **Rs 485**
- Für die einfache **Integration in Netzwerke / Cloud**, da digital

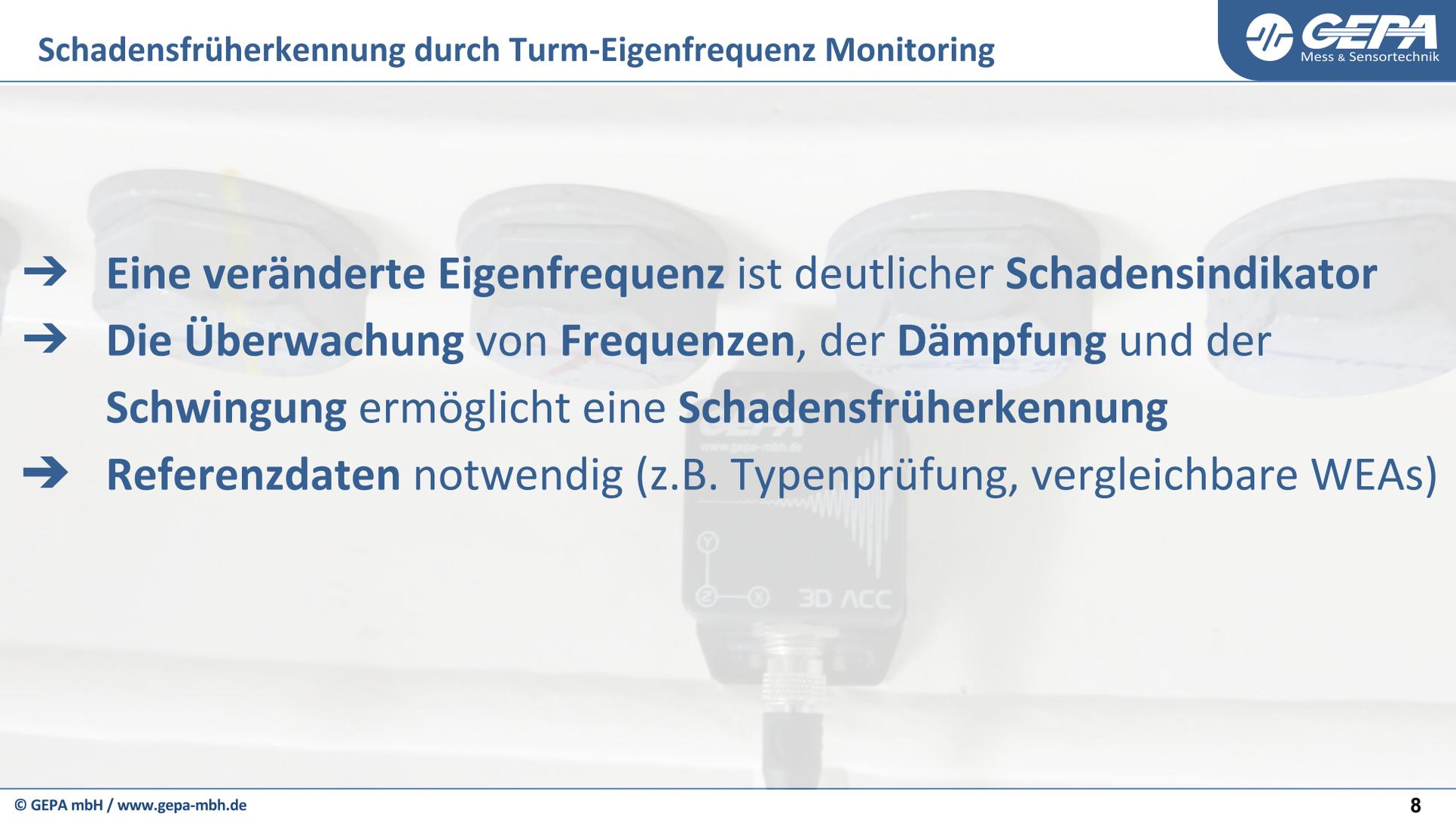


## Ziel: Weiterbetrieb > 20 Jahre - Wie ?

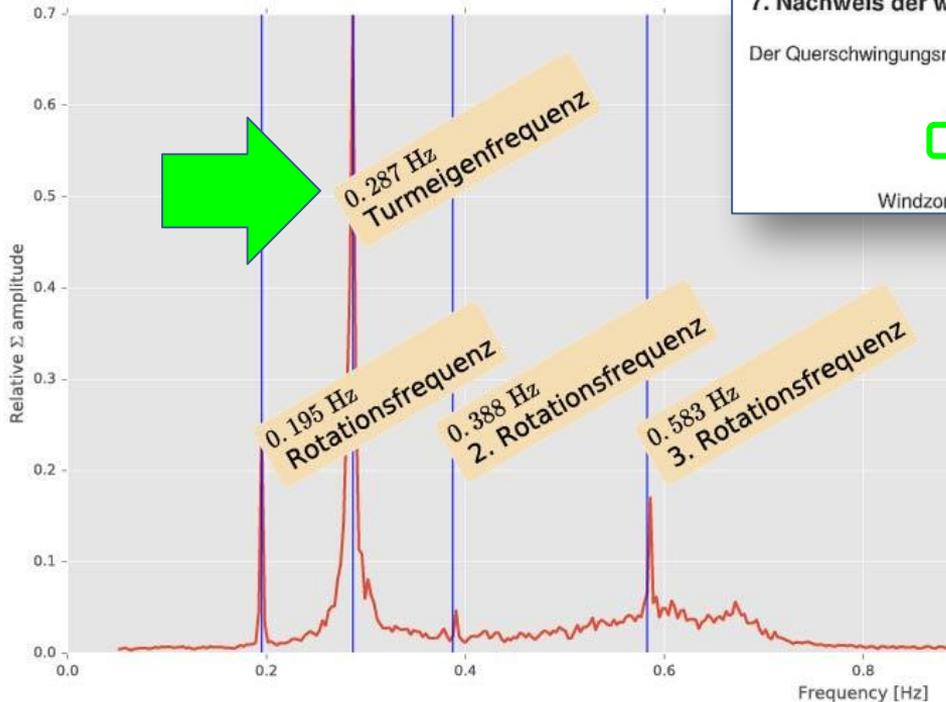
- **Früherkennung** von auffälligen WEA
- **Schadensprävention** durch **messtechnische Prüfung**
- Aufbau einer **Nachhaltigen Lasten-Dokumentation**

Risiken bei der üblichen Vorgehensweise:

- **Visuelle Inspektion & Simulation** erkennt Schäden **nicht / zu spät**
- **Mängel** an der Struktur zeigen sich **erst nach Jahren**
- **WEA Schwingungen** sind nur **messtechnisch erfassbar**
- **Vollwartung** ist **keine Garantie** für den **Weiterbetrieb**

- 
- Eine veränderte **Eigenfrequenz** ist deutlicher **Schadensindikator**
  - Die **Überwachung** von **Frequenzen**, der **Dämpfung** und der **Schwingung** ermöglicht eine **Schadensfrüherkennung**
  - **Referenzdaten** notwendig (z.B. Typenprüfung, vergleichbare WEAs)

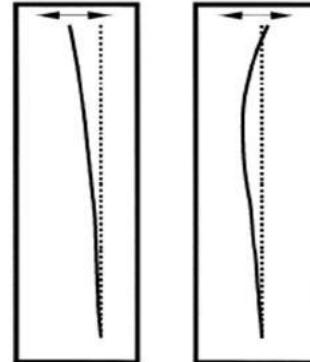
- ➔ Eigenfrequenz laut WEA-Typenprüfung: 0,285 Hz
- ➔ Erfolgreicher, messtechnischer Nachweis: 0,287 Hz

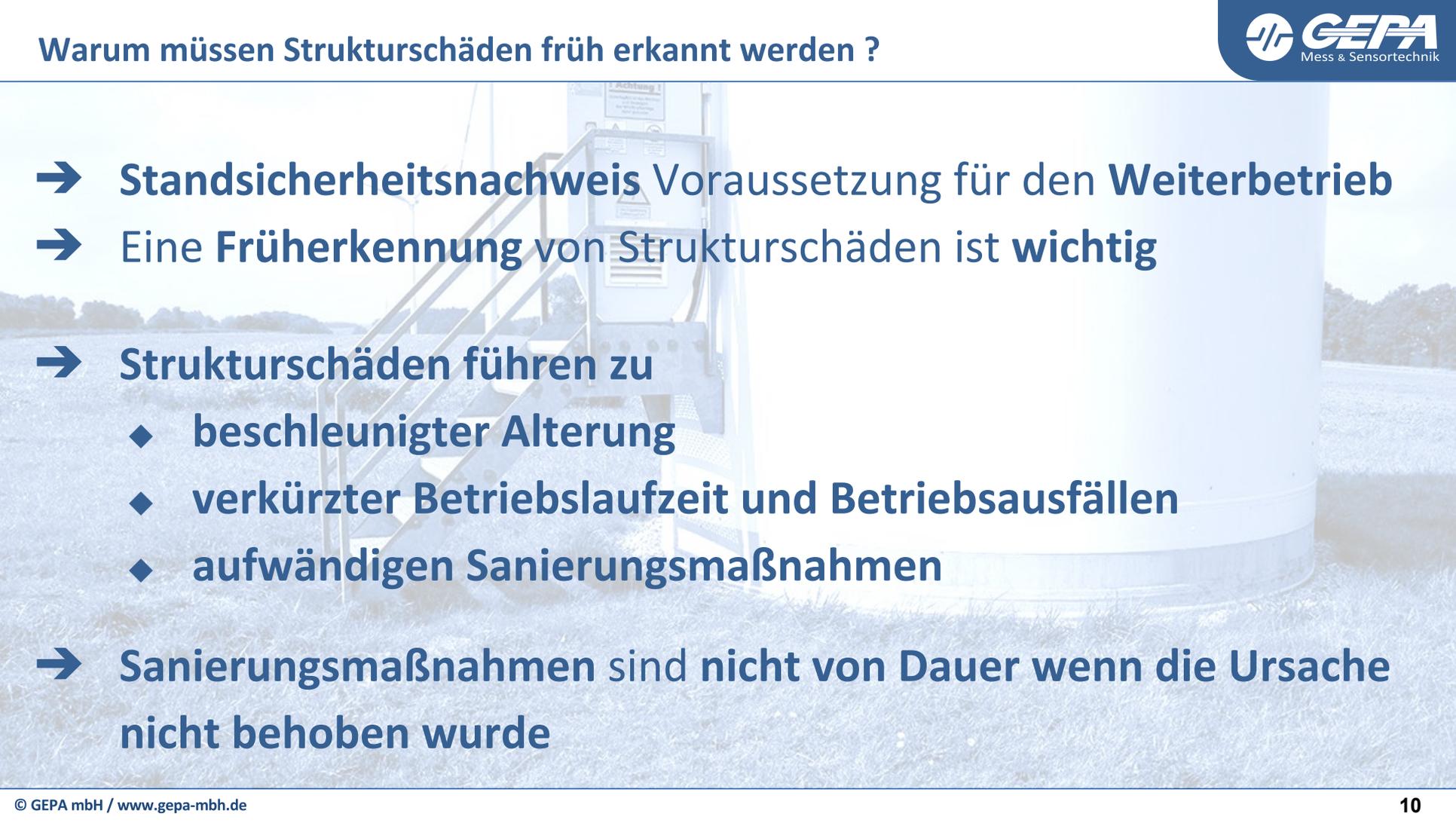


## 7. Nachweis der wirbelerregten Querschwingungen

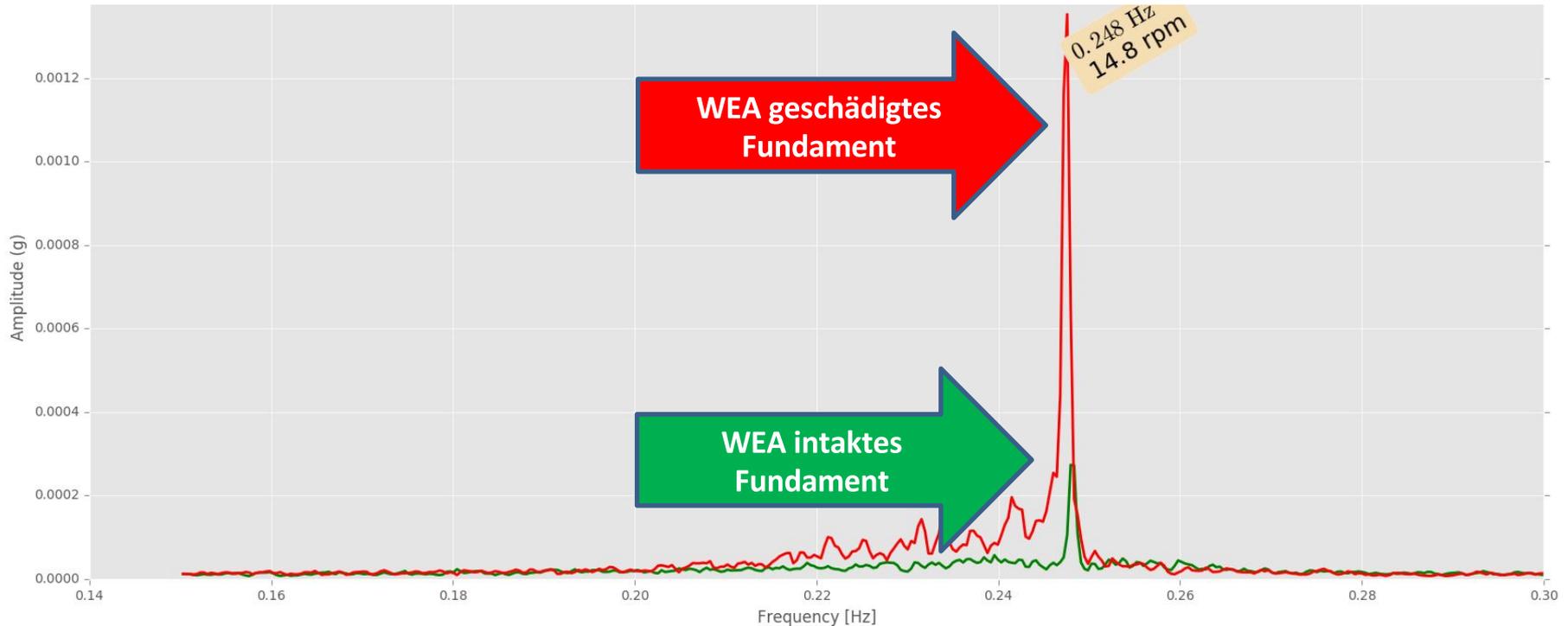
Der Querschwingungsnachweis wird nach dem Verfahren gemäß DIN EN 1991-1-4, Anhang NA. A, NA. B, E und F geführt.

|                  |       |      |   |
|------------------|-------|------|---|
| St =             | 0,18  | [-]  | Strouhalzahl nach Tabelle E.1                             |
| f =              | 0,285 | [Hz] | 1. Eigenfrequenz vollständige Anlage (starre Einspannung) |
| f <sub>1</sub> = | 0,587 | [Hz] | 1. Eigenfrequenz ohne Gondel (Montagezustand)             |
| Windzone =       | IEC   | 3    |   |



- 
- **Standortsicherheitsnachweis** Voraussetzung für den **Weiterbetrieb**
  - Eine **Früherkennung** von Strukturschäden ist **wichtig**
  - **Strukturschäden** führen zu
    - ◆ **beschleunigter Alterung**
    - ◆ **verkürzter Betriebslaufzeit und Betriebsausfällen**
    - ◆ **aufwändigen Sanierungsmaßnahmen**
  - **Sanierungsmaßnahmen** sind **nicht von Dauer** wenn die **Ursache nicht behoben** wurde

- Vergleich: geschädigtes Fundament - intaktes Fundament
- Ergebnis: **signifikante Unterschiede in den Amplituden**

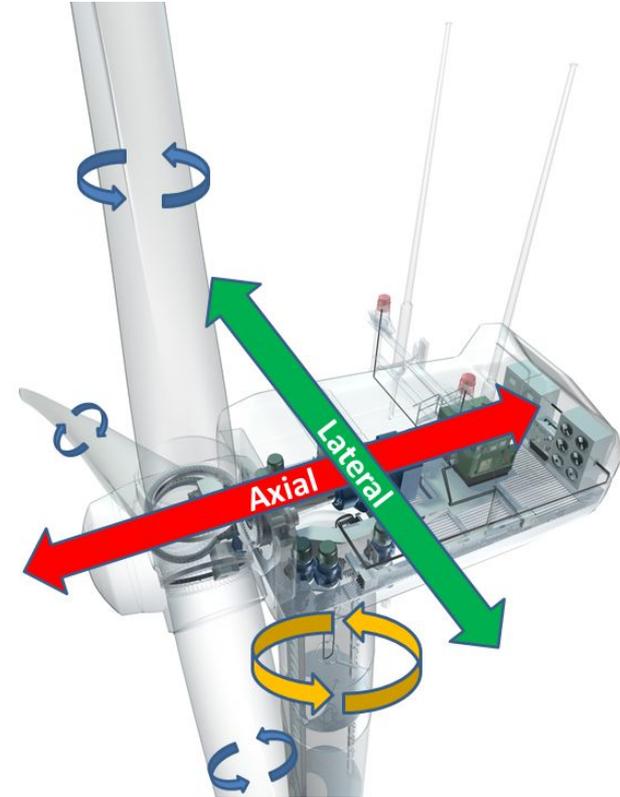


Unwuchten führen zu:

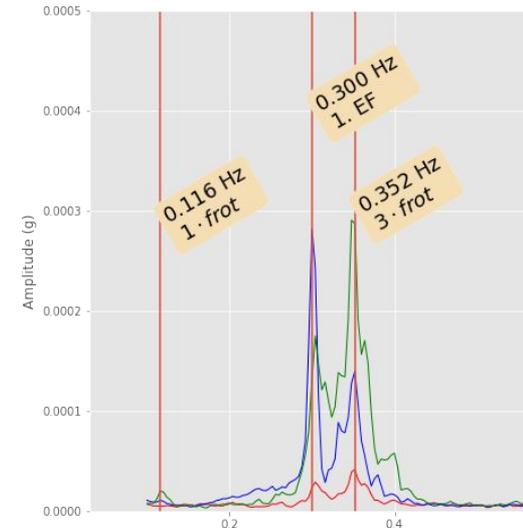
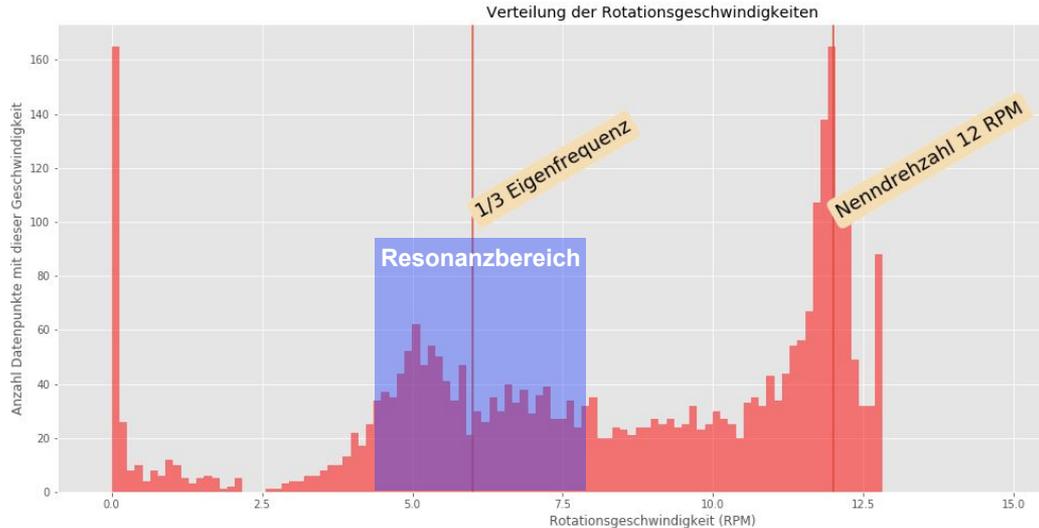
- Leistungseinbußen
- Materialermüdung
- Triebstrang- & Struktur-Schädigung

Diagnose:

- vor allem **laterale Schwingungen**
- **Risiken von Resonanzen**



- Nahe zusammenliegende Frequenzen können zu stark erhöhten Schwingungen führen
- Diagnose über Schwingungs- und SCADA-Daten Vergleich



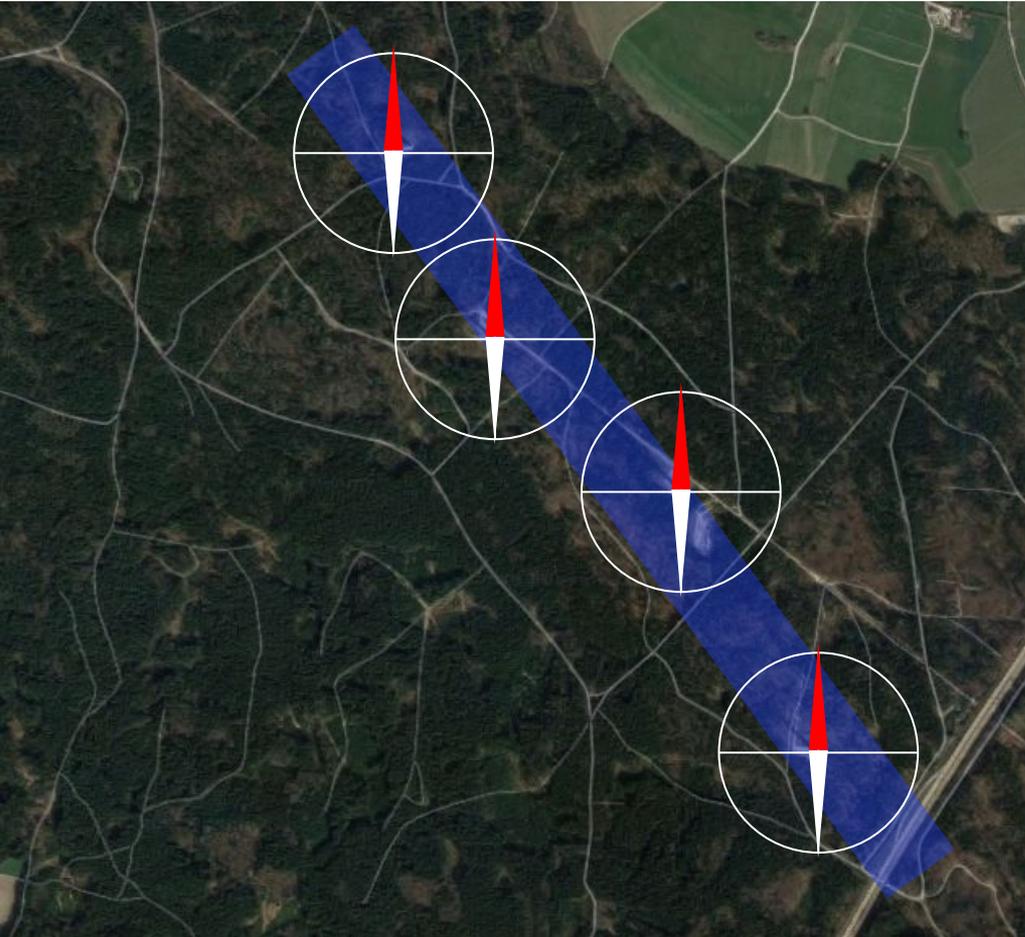
## Nachlaufeffekt bei bestimmter Windrichtung

Stark **erhöhte Lasten** und Ermüdung von:

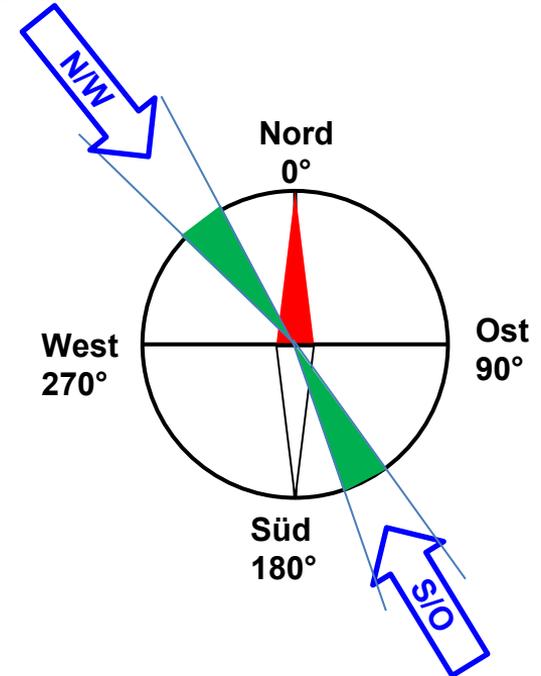
- Rotor & Triebstrang
- Turm
- Fundament

**Einfluss** nur **messtechnisch** erfassbar

**Häufige** Ursache für **strukturelle Schäden**



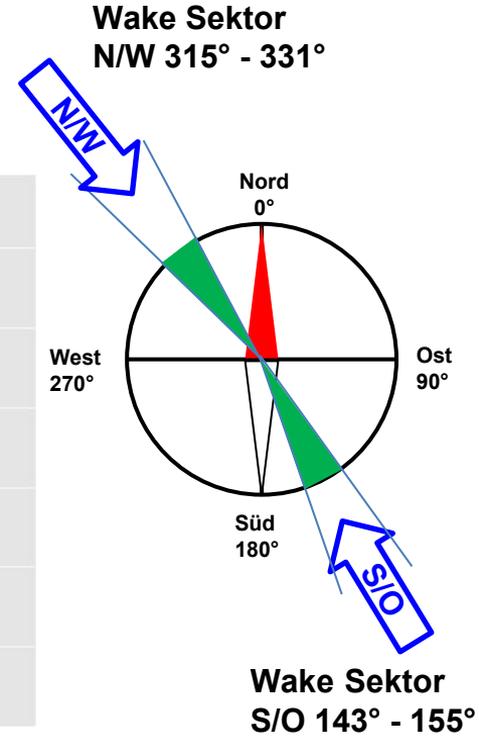
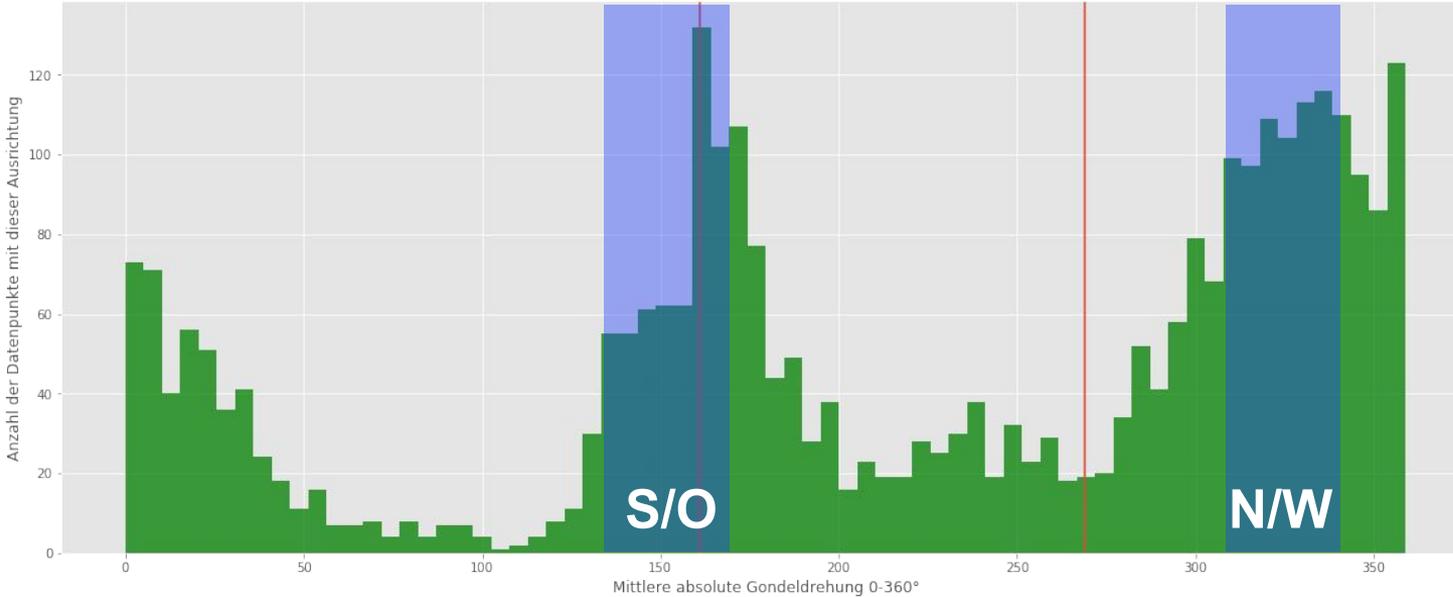
**Wake Sektor**  
N/W 315° - 331°

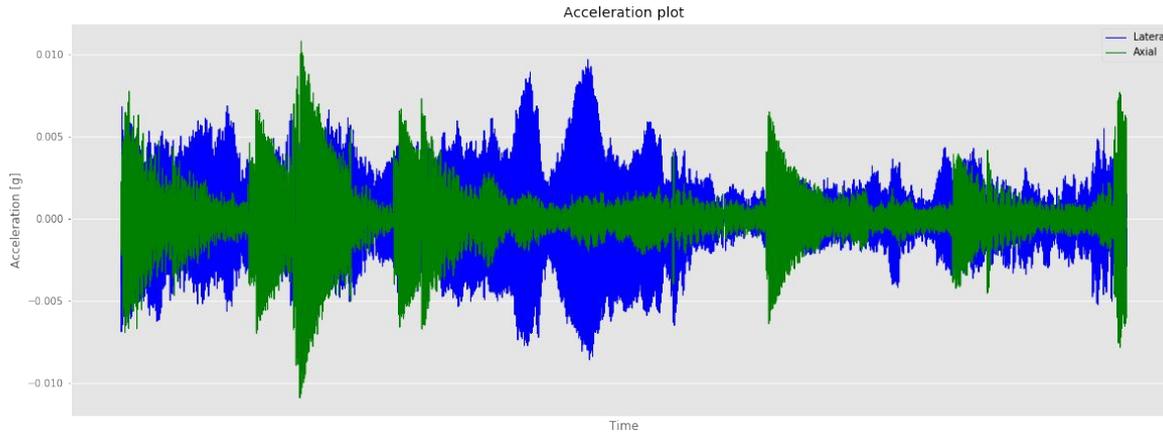


**Wake Sektor**  
S/O 143° - 155°

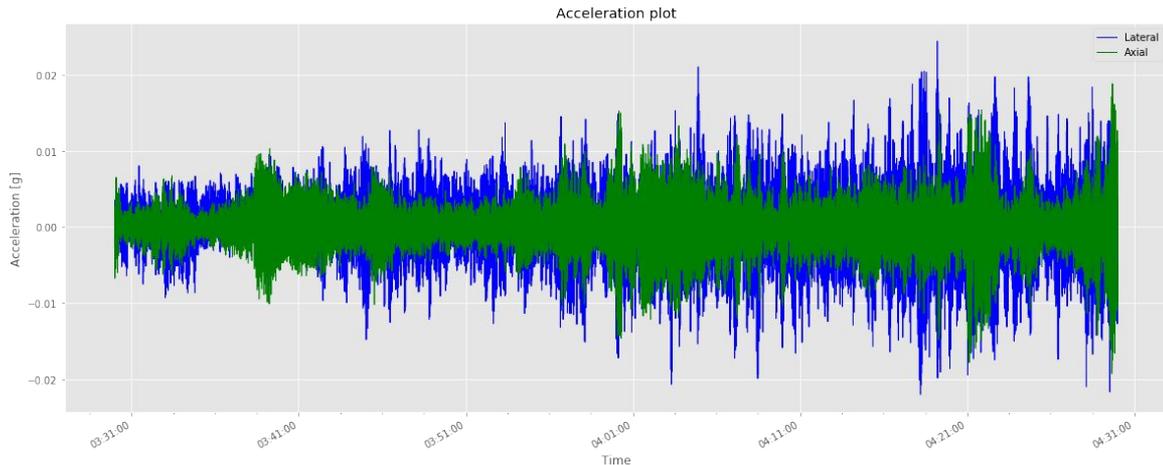
## → Vergleich der Gondelausrichtungen aus SCADA mit Wake-Sektoren aus Karte

Verteilung der Gondelausrichtungen (mrwAbGoPos). Rot: 161° & 269°



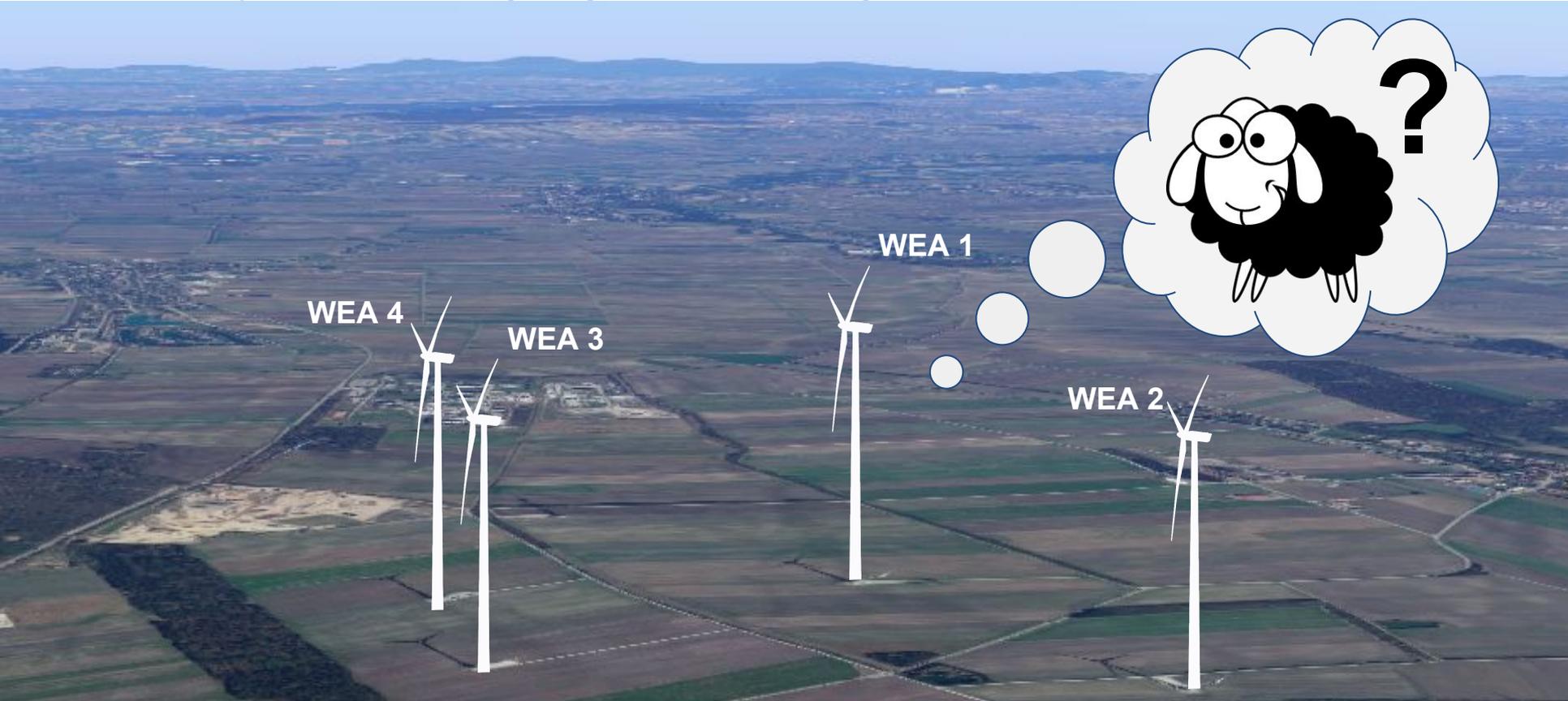


Innerhalb  
**Wake-Sektor**  
(Wird in Simulation  
nicht betrachtet)

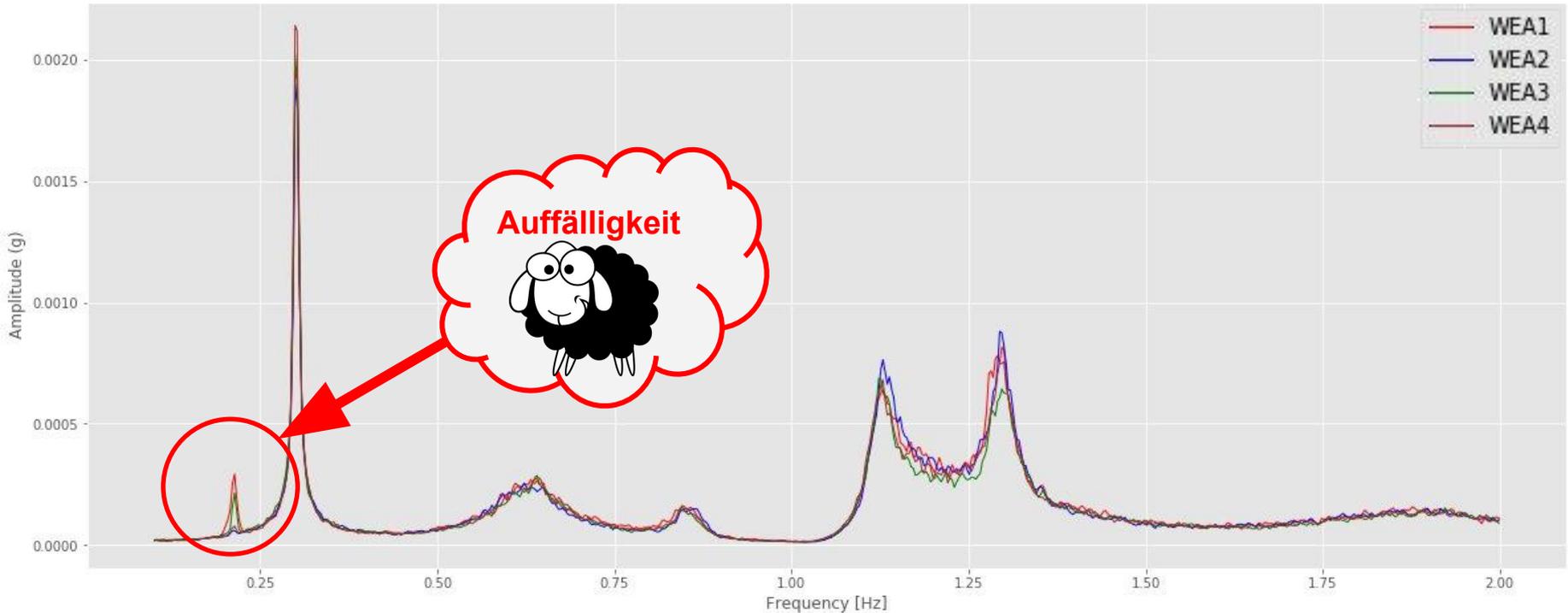


Außerhalb  
**Wake-Sektor**

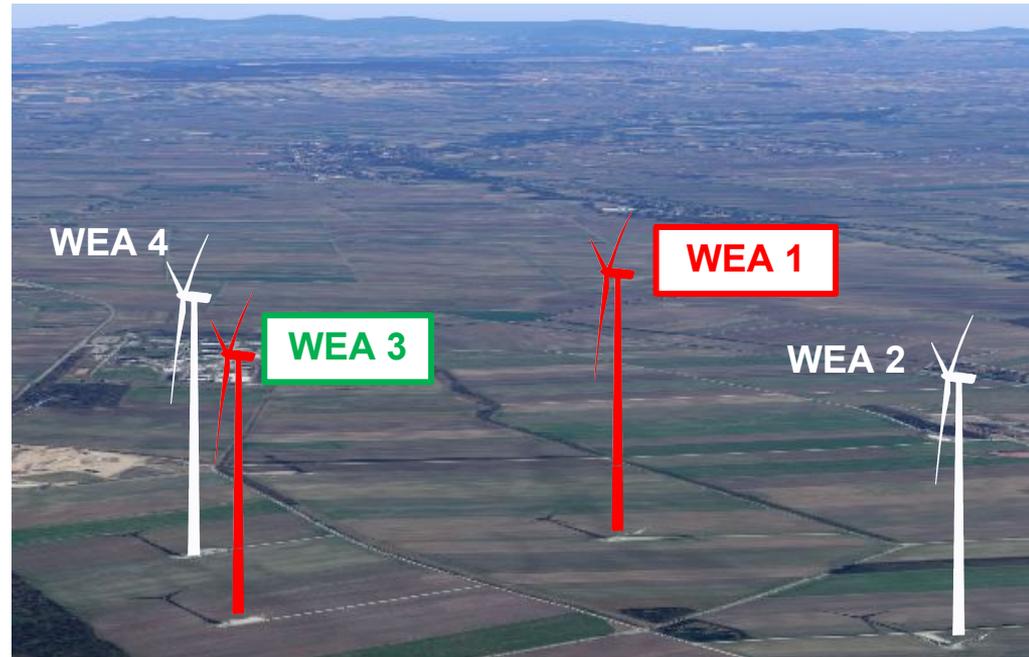
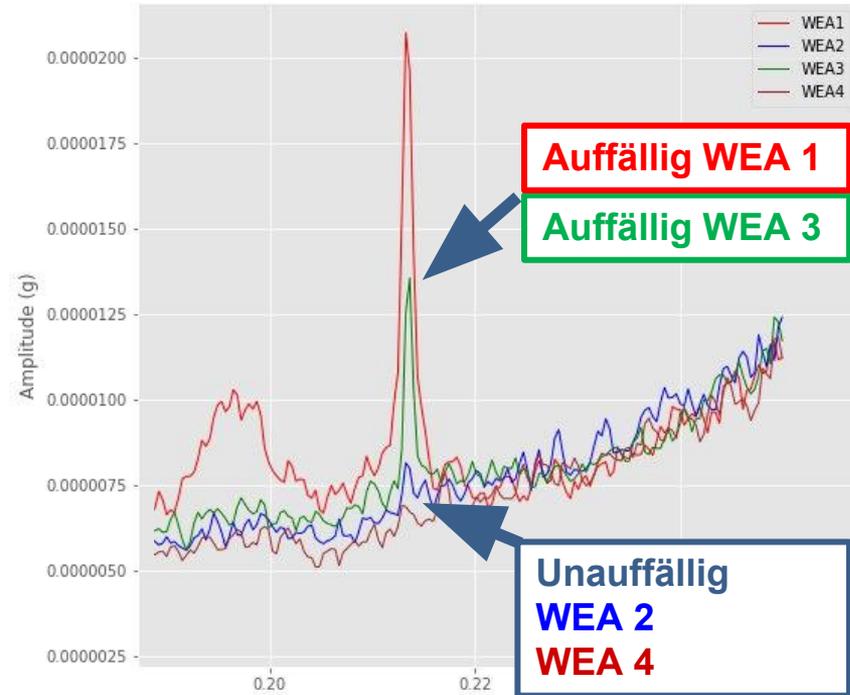
## → Windpark-Schwingungs-Monitoring: Messdauer 4 Wochen



- Vergleich: 4 WEA in vergleichbaren Betriebszuständen
- Ergebnis: **deutliche Auffälligkeit an zwei WEA**



- ➔ stark erhöhte laterale Schwingung ist Hinweis auf Unwuchten
- ➔ Nun folgen Ursachenanalysen



- Einfachste Montage / Inbetriebnahme
- Extrem Robust durch integrierte Messkette
- Speziell für Niederfrequente Schwingungsanalysen
- Nachhaltige Datendokumentation
- Hohe Wirtschaftlichkeit

- Intelligente Sensorik



- Robuste Datenlogger



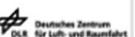
## Wir bieten:

- Intelligente Messtechnik
- Datenanalysen & Algorithmen
- Kundenspezifische Entwicklungen in Hard- & Software

# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Fragen?

Unsere Referenzen:

|   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
|   |   |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |
|   |   |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |
|  |   |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |
|   |   |   |   |   |   |    |   |   |   |   |   |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |