Structural Health Monitoring für Offshore Windparks – Entwicklung der Richtlinie VDI 4551

Y. Petryna, TU Berlin

alpha ventus © BWE

Gliederung

- Ziele der VDI 4551
- Veränderungen im BSH-Standard
- Wiederkehrende Prüfung und SHM
- Gliederung der VDI 4551
- SHM Ansatz
- Bespiel lokaler und globaler SHM-Strategie
- Stufenkonzept für SHM von Windparks
- Zusammenfassung und Ausblick

Richtlinie VDI 4551

Strukturüberwachung und -Beurteilung von Windenergieanlagen und Offshore-Stationen

- Vorsitzender des Ausschusses: Dr.-Ing. W. Rücker, BAM

Vertreter verschiedener Akteure / Interessen:

- Forschungseinrichtungen (Universitäten, Fraunhofer)
- Betreiber
- Versicherer
- Zertifizierer
- Dienstleister

Gemeinsames Ziel: Standardisierung (Handlungsklarheit)

Motivation für Strukturüberwachung

- **SHM** für Tragstrukturen (Turm, Gründung, konstruktive Bauteile)
- **CMS** für Maschinenkomponenten (Rotationsfrequenzen)

Motivation 1 (allgemein):

- Neue Technologie, große Unsicherheiten
- Hohe Reparaturkosten
- Begrenzte Zugänglichkeit und hohe Kosten (offshore: Wetterfenster, Schiffe und Unterwasseraktionen)
- Extreme Ermüdungsbelastung ($N \sim 10^9$)
- Aggressive Umgebung

Motivation 2 (spezifisch):

BSH Standard 2015 hat die Forderung nach

- eine WKP alle 4 Jahre oder
- ein CMS/SHM für 1/10 der WEA herausgenommen.

VDI 4551 soll den Stand der Technik für SHM definieren

WKP im neunen BSH-Standard

Wahrend des Betriebes … ist durch den Genehmigungsinhaber für die Integrität des Bauwerkes … zu sorgen.

… müssen … die Strukturen und Komponenten wiederkehrend nach Prüf- und Inspektionsplan und ereignisorientierten Abstanden von einem unabhängigen Dritten im Rahmen der WKP inspiziert und geprüft werden.

Im Rahmen der i. d. R. jährlich durchzuführenden Statusbesprechung beim BSH stellt der Betreiber den technischen Zustand der Offshore-Bauwerke dar. Die Zulassungsbehörde kann zusätzliche geeignete Maßnahmen für den sicheren Betrieb der Offshore-Bauwerke anordnen. Danach entscheidet die Zulassungsbehörde über eine Aufrechterhaltung oder einen vorübergehenden Entzug der Betriebsfreigabe.

WKP im neunen BSH-Standard

Prüfgegenstand	Prüfgrundlage und Intervalle
Funktion der Anoden, Fremdstromanlage	in den ersten 2 Jahren jährlich, danach in Abhängigkeit des Zustands (empfohlen alle 4 Jahre)
Unterstruktur: Schweißnähte (die zyklischer Belastung unterliegen), Unversehrtheit der Oberfläche der Strukturelemente	entsprechend den Lebensdauerberechnungen und dem Inspektionsplan
Beschaffenheit der Meeresbodenoberfläche, Kolkbildung	in den ersten 2 Jahren jährlich, danach je nach Zustand (empfohlen alle 4 Jahre)
Grad des marinen Bewuchses (punktuelle Messung)	in den ersten 2 Jahren jährlich, danach in Abhängigkeit des Zustands (empfohlen alle 4 Jahre; kann mit StUK-Anforderungen kombiniert werden)
Korrosionsschutz (visuelle Prüfung): • Unterwasserbereich Struktur • Wechselgang • Überwasserbereich Unterstruktur • Betriebsstruktur (Tragstruktur)	 in Abhängigkeit des Zustandes (empfohlen alle 4 Jahre) in Abhängigkeit des Zustandes (empfohlen alle 2 Jahre) in Abhängigkeit des Zustandes (empfohlen alle 4 Jahre) in Abhängigkeit des Zustandes (empfohlen alle 4 Jahre)
Betriebsstruktur: Schweißnähte (die zyklischer Belastung unterliegen), Tragwerksschrauben	entsprechend den Lebensdauerberechnungen und dem Inspektionsplan

Tabelle 2-1: Mindestanforderungen an die Wiederkehrenden Prüfungen bezüglich der tragenden Strukturen.

SHM oder Strukturüberwachung im BSH

Zur Überprüfung des Gesamtverhaltens der Gründungselemente während der Betriebsphase sind an repräsentativen Standorten für Offshore-WEA, die in Abstimmung mit dem Sachverständigen für Geotechnik ausgewählt werden, im Bereich der Gründungselemente Größen wie Verschiebungen, Verformungen, Bauteilspannungen oder Frequenzen zu messen und aufzuzeichnen (Monitoring).

Anhand der Ergebnisse ist die Übereinstimmung der Boden-Bauwerksinteraktion mit den Entwurfs- und Planungsergebnissen im Rahmen der Wiederkehrenden Prüfungen sachverständig zu überprüfen und zu beurteilen.

Keine weiteren Hinweise auf das SHM für Tragstrukturen

Fazit:
Im BSH-Standard wird von harten Forderungen nach SHM oder von SHM selbst Abstand genommen oder auf den dokumentierten Stand der Technik gewartet.

Potenzieller Nutzen von SHM

- Reduzierung der Intervalle für WKP und WKP-spezifischer Kosten
- Lastüberwachung und Lebensdauervorhersage
- Design-Überprüfung und Verbesserung
- Technologische Auswirkungen auf Betrieb
  (Toleranzen, Unsicherheiten, Wechselwirkungen)
- Schadenserkennung, -bewertung und -vorhersage
- Vorausschauende Instandhaltung und Lebensdauermanagement
- Risiko- und Kostenminimierung

Gliederung der VDI 4551

- Anwendungsbereich
- Ziele und Aufgaben der Strukturüberwachung
- Inspektionsstrategien und Lebensdauerprognosen
- Tragstrukturen und Modelle von WEA
- Wiederkehrende Prüfungen (einschl. SHM in WKP)
- Einwirkungen und Beanspruchungen
- Designüberprüfung und Zustandsüberwachung
- Messkonzept
- Anforderungen an SHM
- Überwachung von Offshore-Stationen
- Anhänge

Komponenten für SHM

Folgende Komponenten einer WEA können das Ziel einer Strukturüberwachung sein:

- Offshore-Gründungsstrukturen (Monopile, Jacket, Tripod, usw.)
- Groutverbindungen
- Turmverankerung
- Turm
- Maschinenrahmen
- Schweißnähte
- Schraubenverbindungen

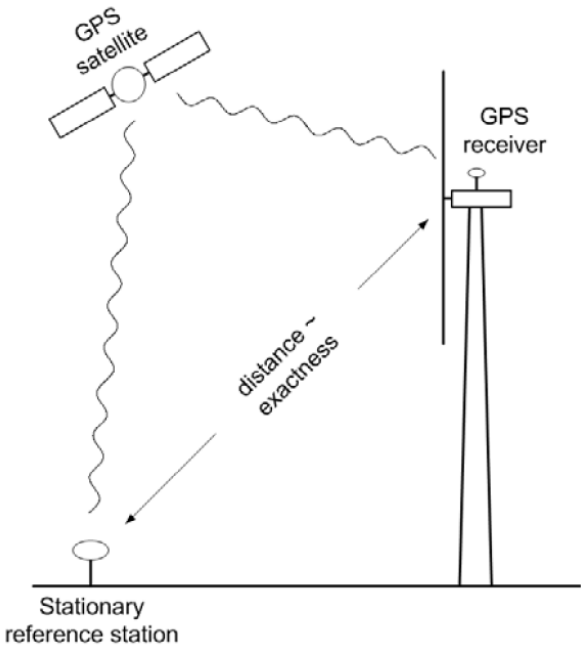
SHM und Design

Grenzzustände	→	Nachweise	→	Relevante Messgrößen
Tragfähigkeit	→	Festigkeitsnachweise Stabilitätsnachweise Verbindungsnachweise	→	Dehnungen Spannungen Schädigungskenngrößen Verformungen
Gebrauchstauglichkeit	→		→	
Ermüdung	→		→	

Kombination von globaler und lokaler Überwachung

Konzept

GPS-Technik

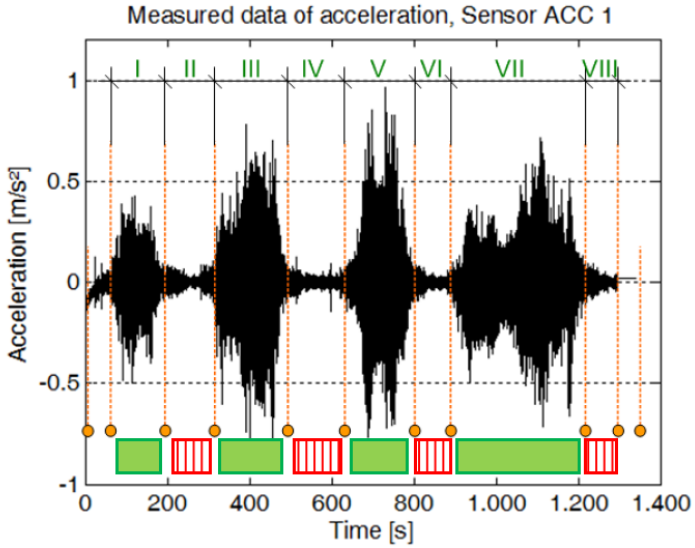


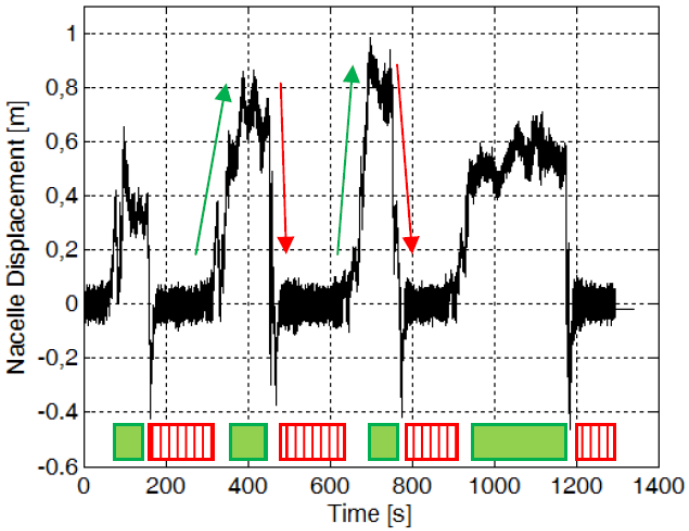
Ziel: Vergleich von Dehnungen am Turmfuss:

- aus gemessener Turmkopfverschiebung + FE-Modell (globale Überwachung)
- direkt gemessene Dehnungen am Turmfuss (lokale Überwachung)

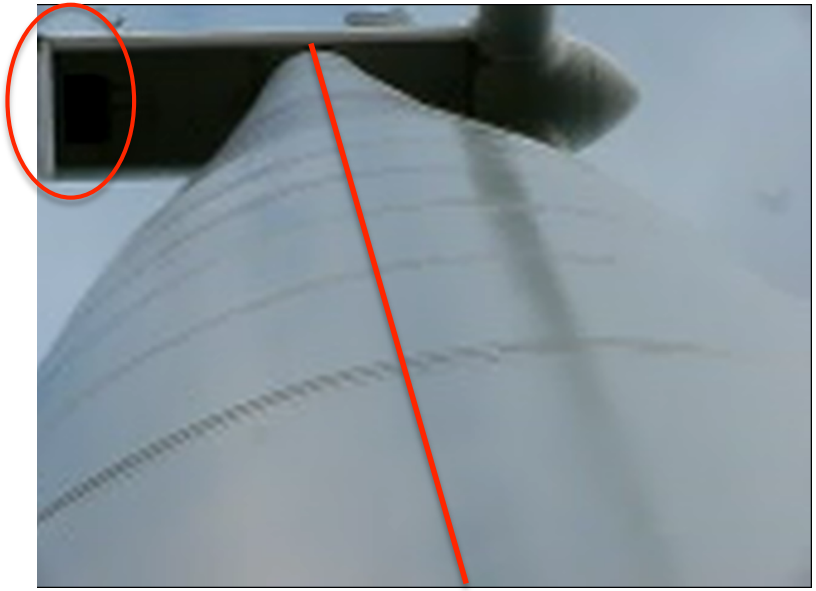
Turmverformungen einer WEA

Messprogramm: 4 x (Einschalten + Betrieb + Ausschalten + Ruhe)



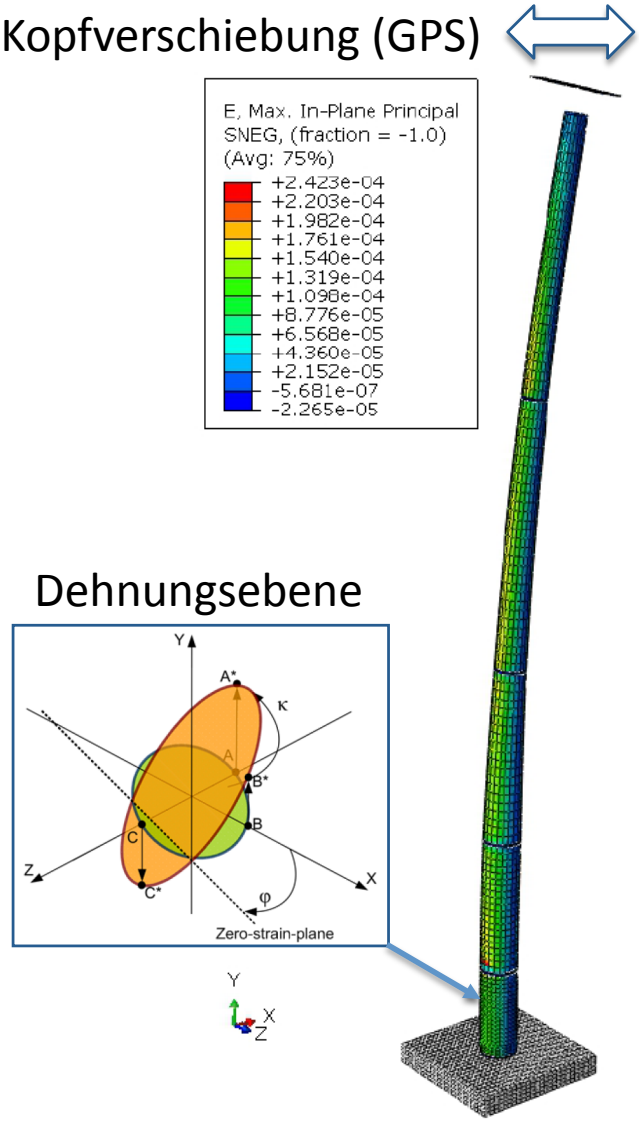


Turm einer Onshore-WEA
Nabenhöhe 106m
Kopfverschiebungen < 1m

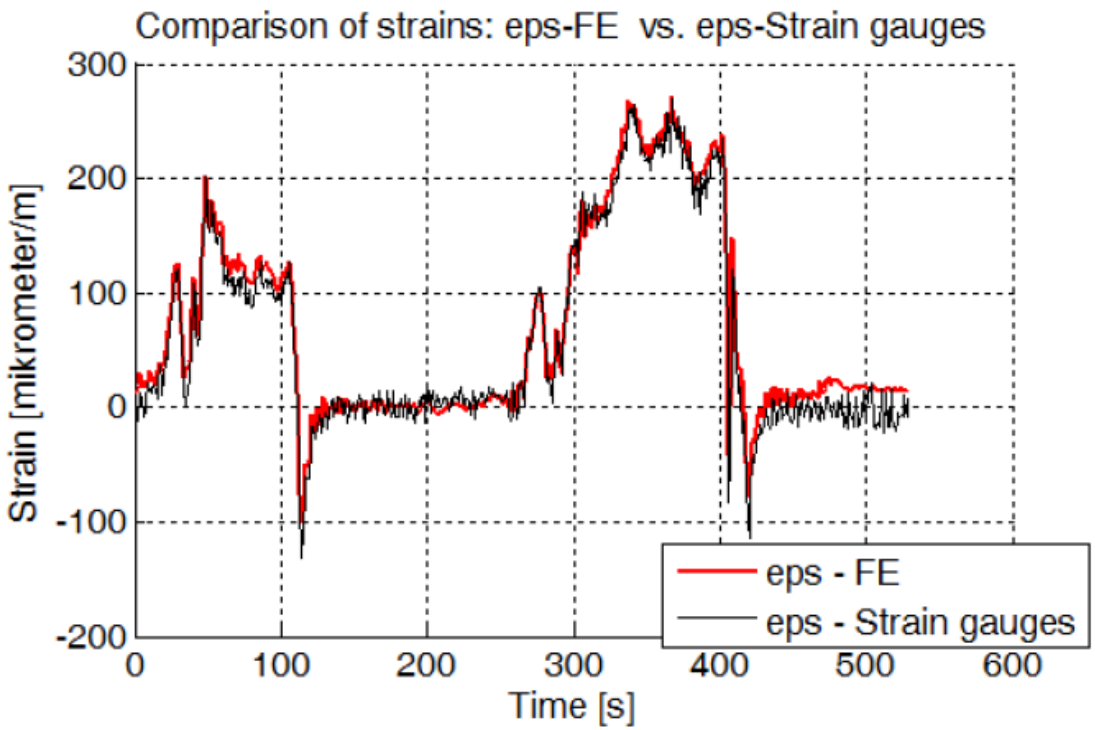


Dehnungsvergleich an kritischen Bauteilen

Kopfverschiebung (GPS)



FE-Modell

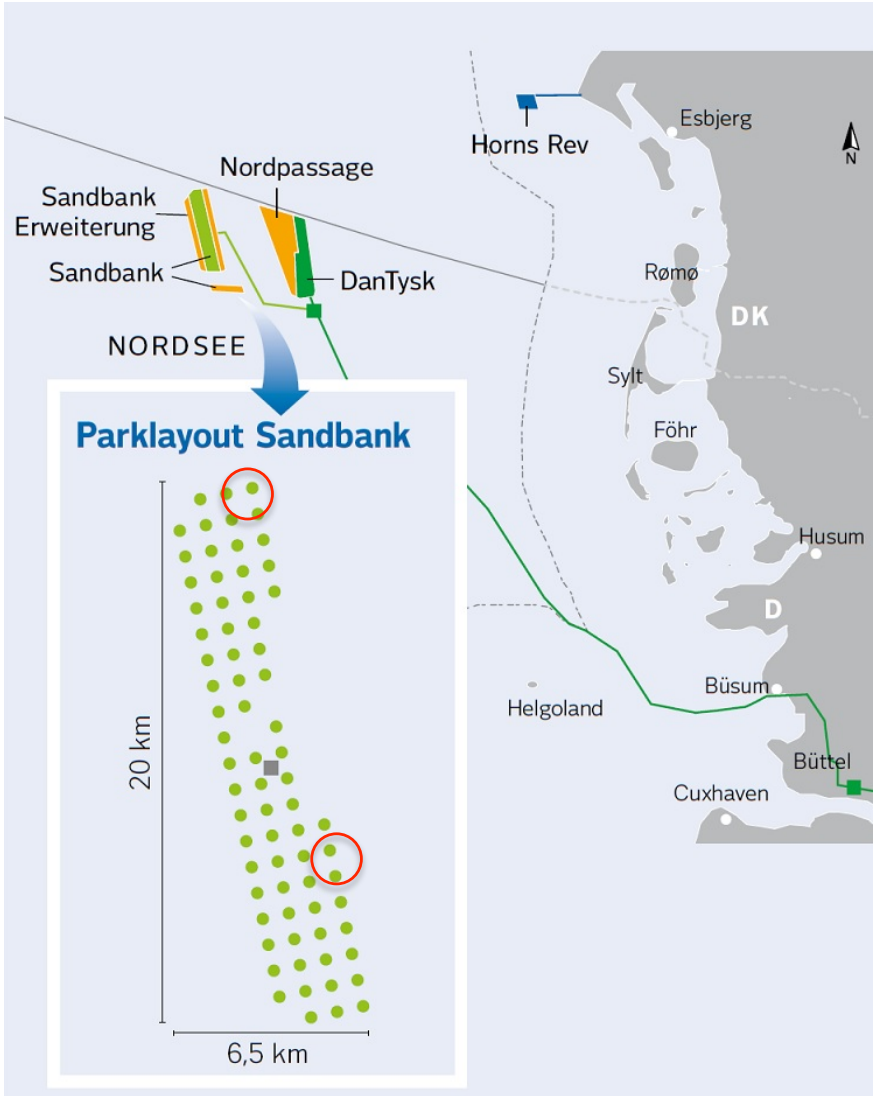


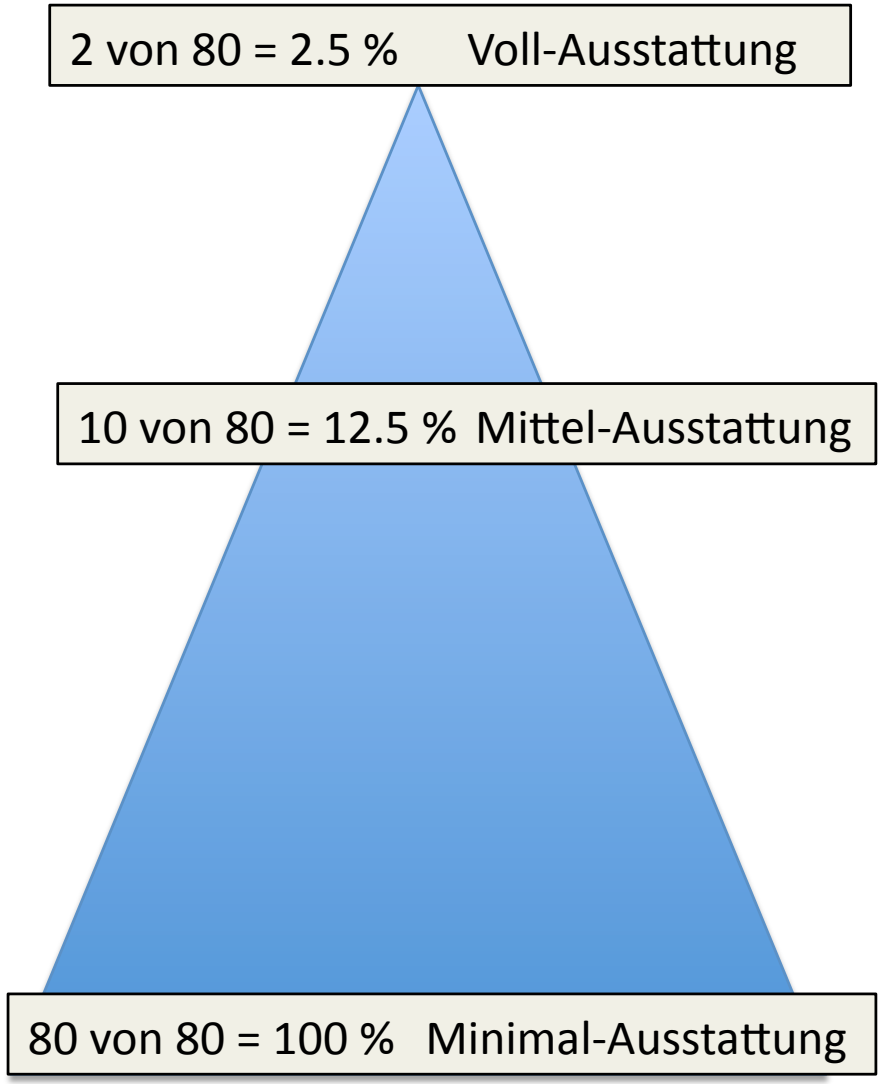
Fazit:

Aus den gemessenen (GPS-) Kopfverschiebungen können Dehnungen, Schnittgrößen (N,Q,M) und Spannungen an beliebigen Orten ermittelt werden

(Mostböck, 2012)

Stufen-SHM-Konzept für Windparks (Flottenüberwachung)





Zusammenfassung und Ausblick

VDI 4551 soll:

- den Stand der Technik definieren
- klare Handlungshinweise enthalten
- alternative Konzepte für SHM anbieten
- Bewertungskriterien, Referenzgrößen, Grenzwerte enthalten
- Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit erhöhen
- Kosten reduzieren

- gute Voraussetzungen und Herausforderungen

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!