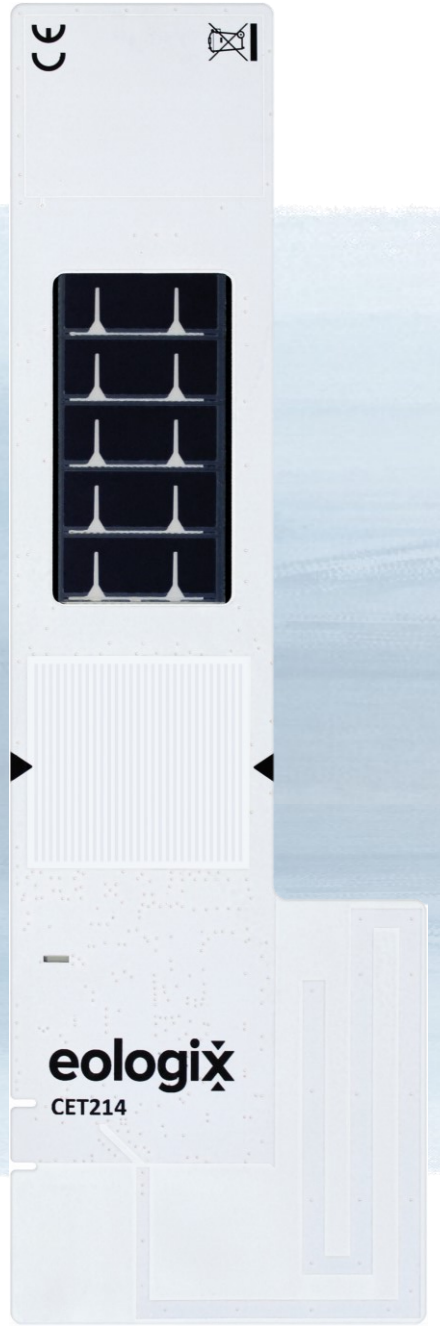
Unwuchten und kontinuierliche Pitchwinkelmessung

Forum 18A | 09.11.2022 | 30. Windenergietage

09:30-13:00

eologix sensor technology gmbh



© eologix sensor technology gmbh 2022, All rights reserved.
The content of this presentation is proprietary and confidential information of eologix sensor technology gmbh. It is not intended to be distributed to any third party without the written consent of eologix sensor technology gmbh.

Moderation

Jens Müller-Nielsen (Vertriebsleiter Deutschland)

eologix sensor technology gmbh

Präsentation verfügbar via
eologix.com/events

Besuchen Sie uns am
Stand 174
Wir freuen uns auf Sie!

Speaker

Harald Hohlen

eologix sensor technology gmbh

Heiko Voss

Reprojekt GmbH

Michael Melsheimer

Green Wind Engineering GmbH

Andreas Schober

eologix sensor technology gmbh

1. BEGRÜßUNG

2. ABGEDREHT?! - GRUNDSÄTZLICHE ÜBERLEGUNGEN ZUM ROTOR- UND BLATT-MONITORING

3. UNWUCHTEN BEI WINDENERGIEANLAGEN

PAUSE 10:45-11:15

4. KOSTENTREIBER ROTORUNWUCHT UND BLATTWINKELFEHLER

5. VON DER BESCHLEUNIGUNG ZUM PITCHWINKEL

6. PANEL-DISKUSSION UND OFFENE FRAGEN

7. SCHLUSSWORT

ABGEDREHT?!

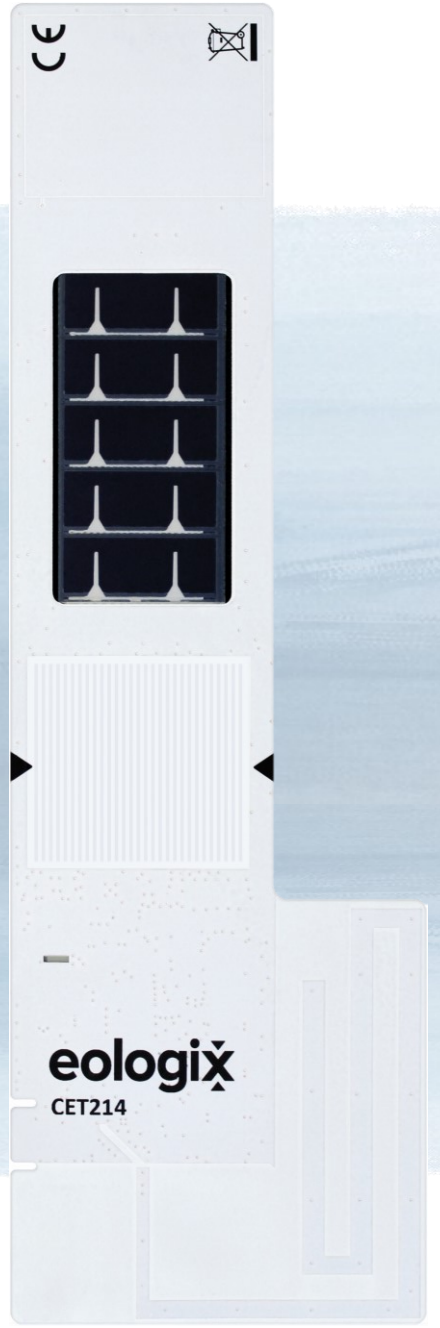
GRUNDSÄTZLICHE ÜBERLEGUNGEN ZUM ROTOR- UND BLATT-MONITORING

Harald Hohlen | eologix sensor technology gmbh

Abgedreht?! – Grundsätzliche Überlegungen zum Thema Rotor- und Blatt-Monitoring

Windenergietage 2022 – Forum 18 A

Harald Hohlen & Michael Moser | eologix sensor technology gmbh



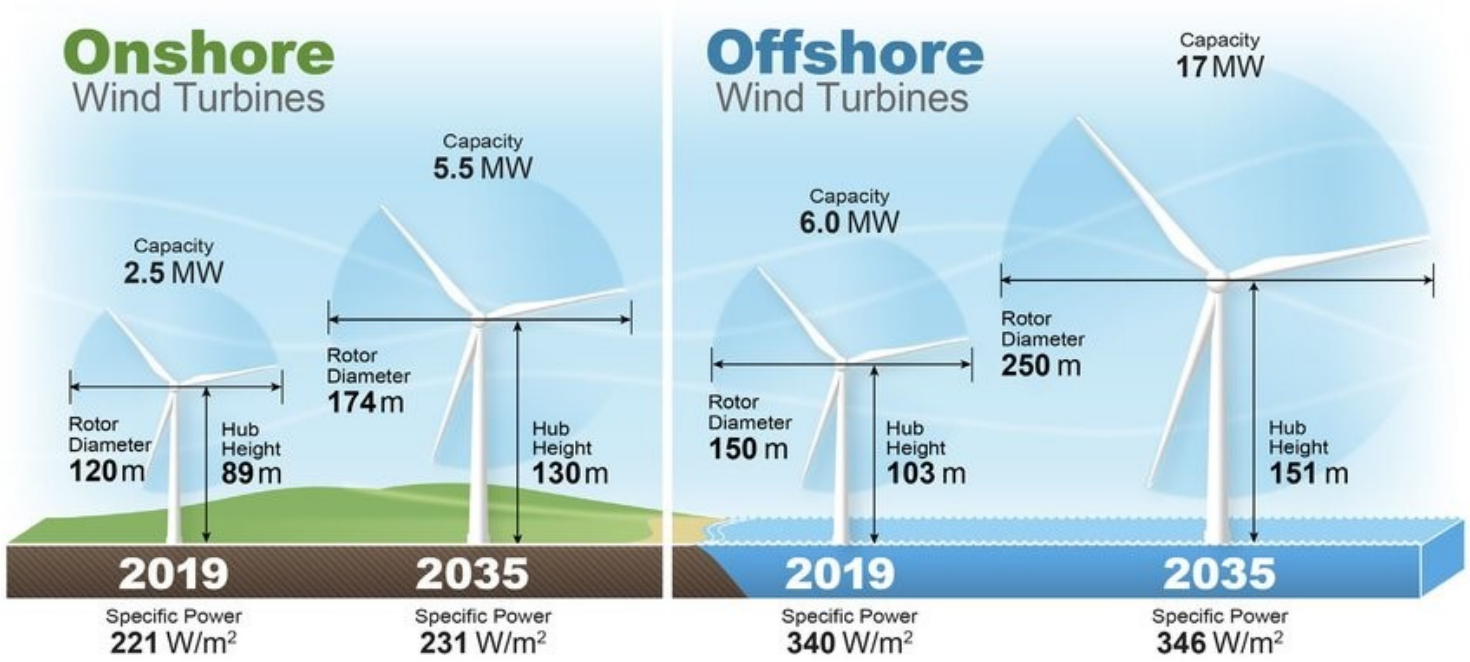
© eologix sensor technology gmbh 2022, All rights reserved.
The content of this presentation is proprietary and confidential information of eologix sensor technology gmbh. It is not intended to be distributed to any third party without the written consent of eologix sensor technology gmbh.

AGENDA

1. MOTIVATION
2. STRESSFAKTOREN
3. KRITISCHE BEREICHE
4. MESSTECHNISCHE ÜBERLEGUNGEN
5. AUSBLICK & ZIEL

1. Motivation –
Warum diese grundsätzlichen Überlegungen?

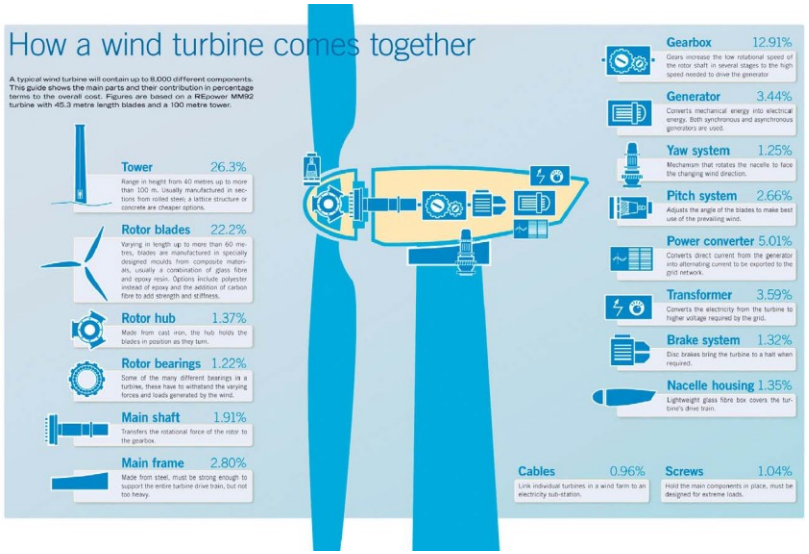
- Stetiges Wachstum der Rotordurchmesser
- Höhere Blattspitzen-geschwindigkeiten
- Anspruch an Komponenten, d.h. Rotorblattlebensdauer wächst: früher 20, jetzt 25 bis 30 Jahre.



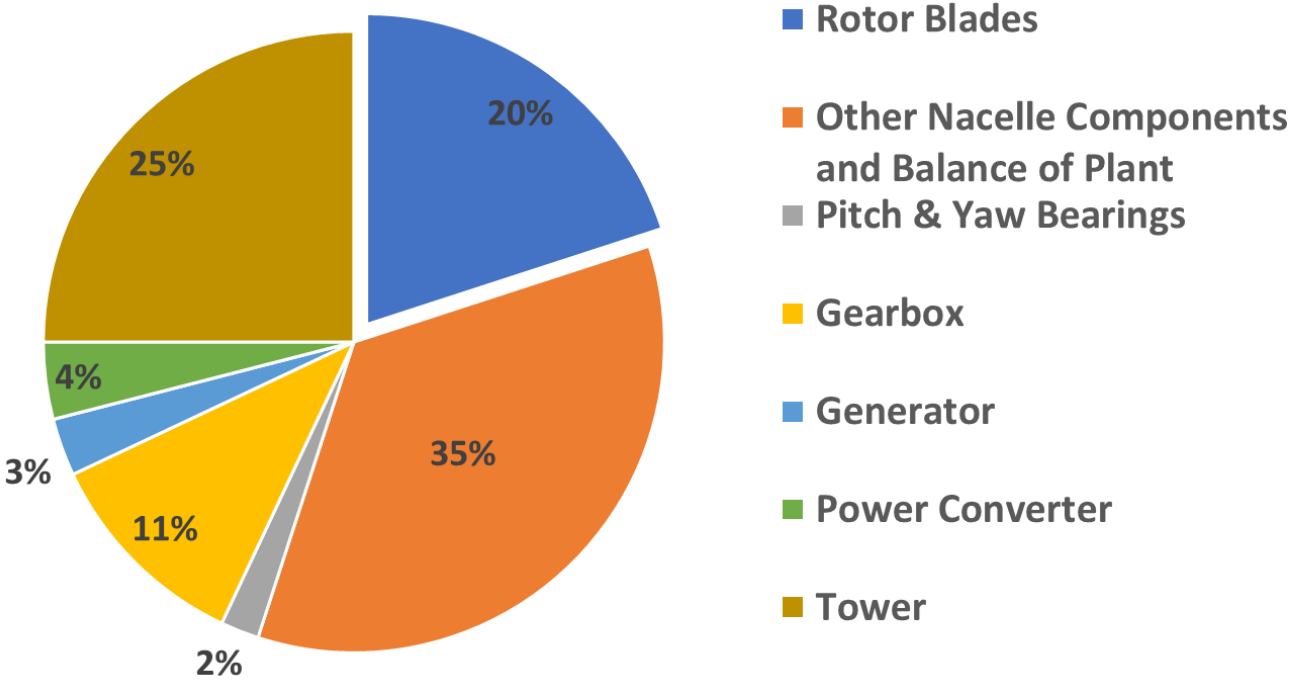
Quelle: Lawrence Berkeley National Laboratory

1. Motivation –
Warum diese grundsätzlichen Überlegungen?

- Kostenstruktur einer WEA
  - Rotorblätter haben einen Anteil von ca. 20% an den Turbinenkosten



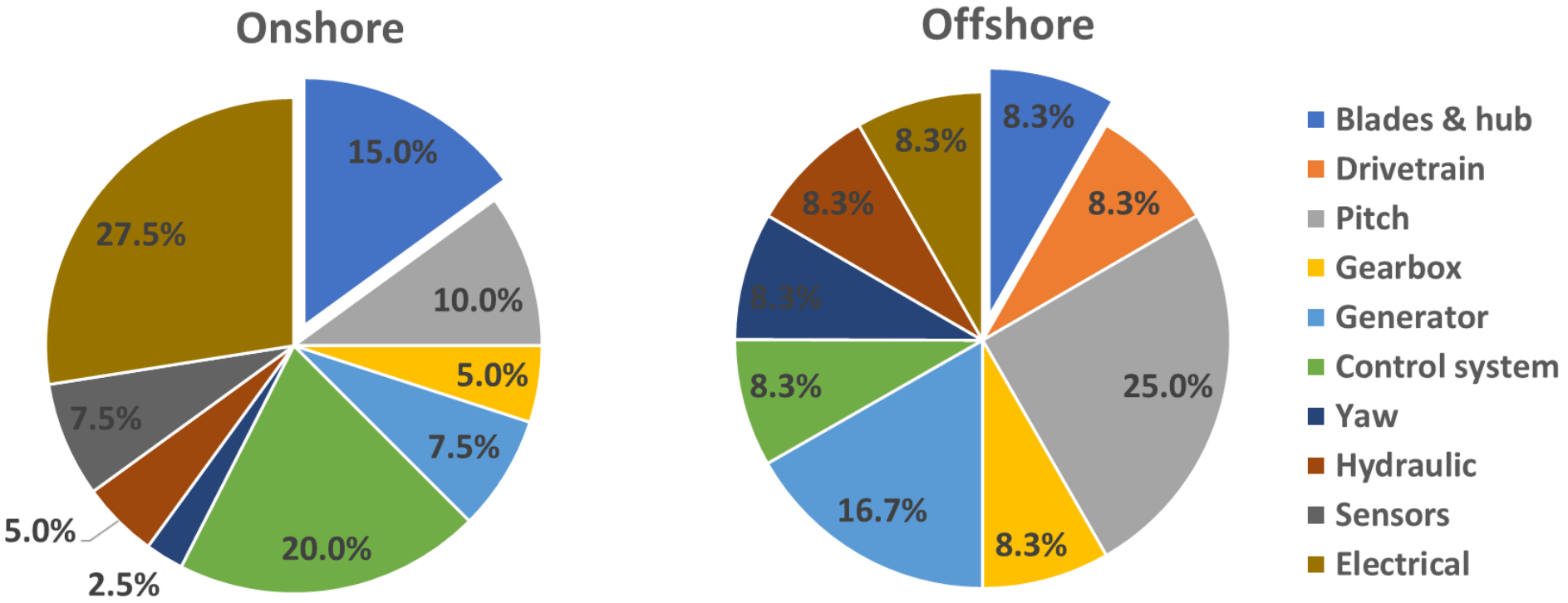
Quelle: Wind Directions, Jan/Feb 2007



Quelle: Koby Plaschkes

1. Motivation –
Warum diese grundsätzlichen Überlegungen?

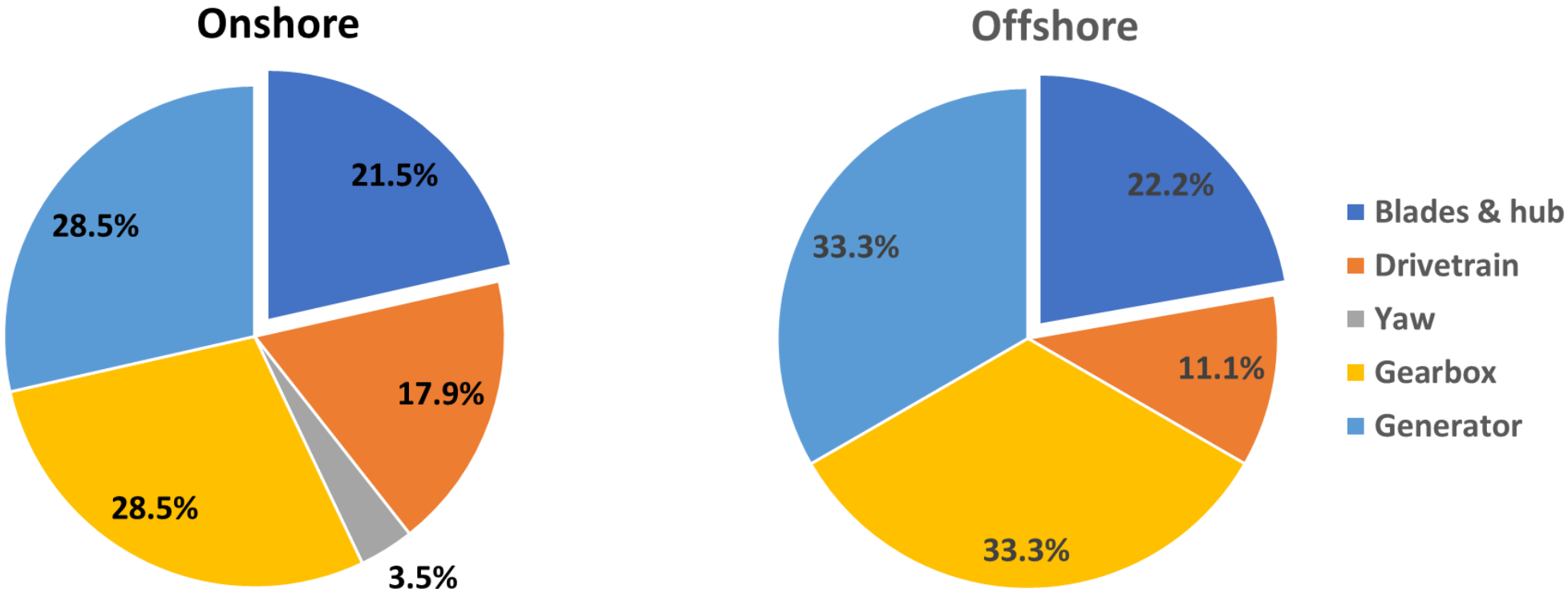
- Anteil an Fehlerraten zwischen 8 und 15%



Quelle: Department of Engineering, Durham University

1. Motivation –
Warum diese grundsätzlichen Überlegungen?

- Anteil an Downtime bei ca. 22%



Quelle: Department of Engineering, Durham University

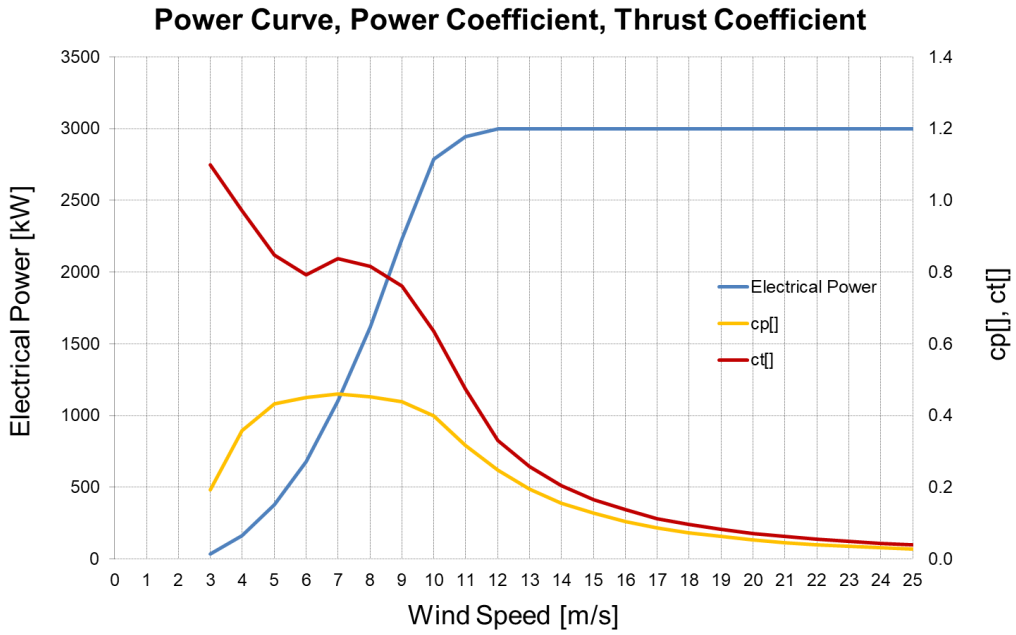
1. Motivation –
Warum diese grundsätzlichen Überlegungen?

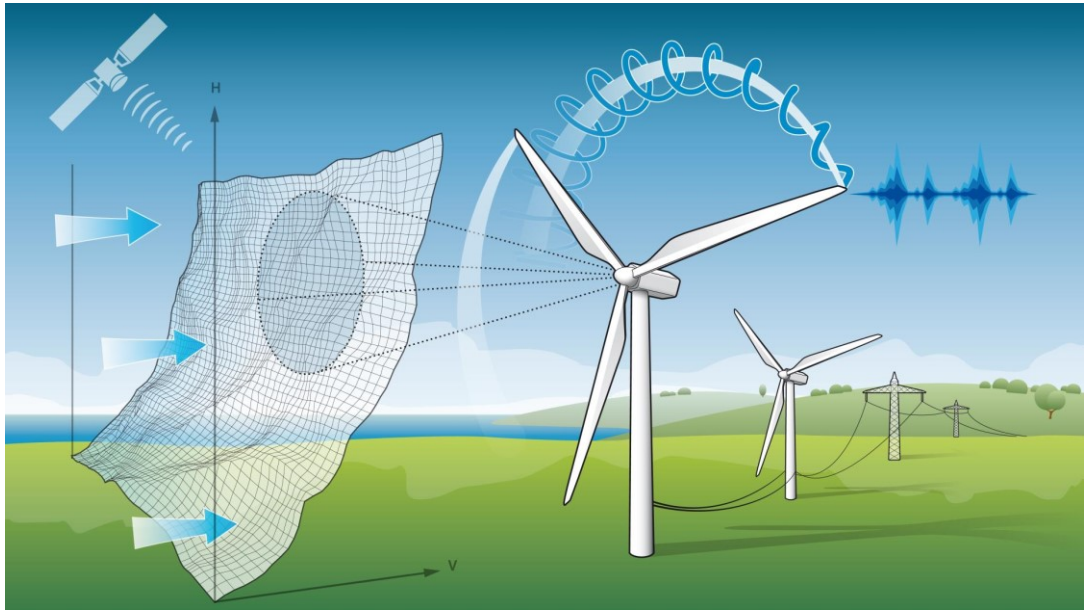
- Austausch aufwendig und teuer
- Kranstellflächen (Onshore) und Zugang
- Kranverfügbarkeit
- Blattverfügbarkeit und Logistik

Quelle: Nordex

1. Motivation –
Warum diese grundsätzlichen Überlegungen?

- Maßgeblich für Performance
  - Energieerzeugung
  - Geräuschemission





Quelle: DLR

1. Motivation –
Warum diese grundsätzlichen Überlegungen?

- Aufwendige Produktion
  - Immer noch mit großem Anteil an Handarbeit
  - Qualitätsüberwachung
  - Qualitätsschwankungen
    - Strukturell
      - Material
      - Infusion
      - Verklebung
    - Profile
    - Oberfläche

Quelle: Vestas

Quelle: LM

2. Stressfaktoren: Logistik

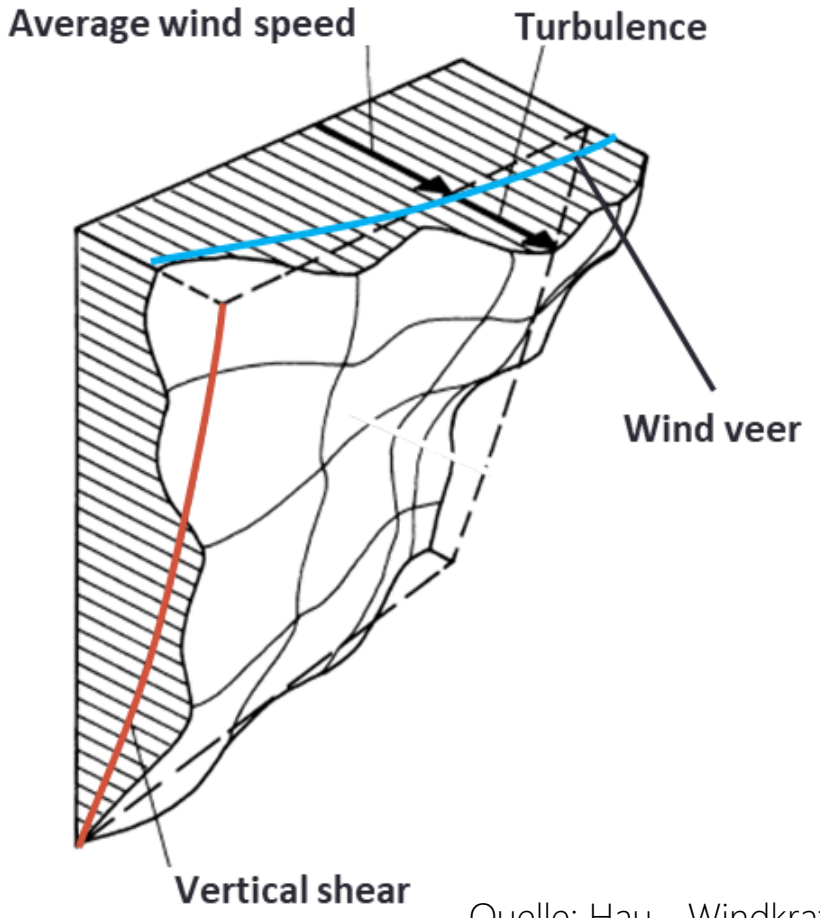
- Transport
- Errichtung
- Demontage/Montage zur Reparatur

- **Beschädigung, erhöhte Vibrationen, falsches Anheben, inkorrektes Handling**

Quelle: Zebra Consortium

2. Stressfaktoren: Meteorologie

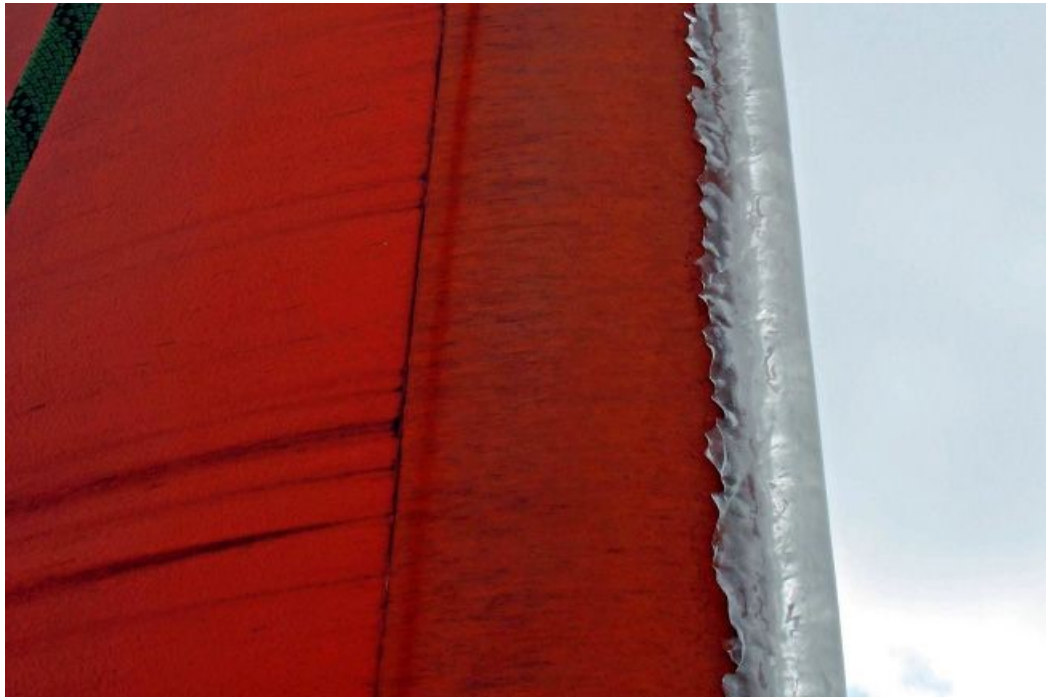
- Umgebungseinflüsse mit Auswirkungen auf
  - die Strukturbelastung und Performance
    - Windgeschwindigkeit / Windgeschwindigkeitsänderung (allg. Windfeld)
    - Windrichtungsänderung
    - Turbulenzintensität
    - Höhengradient (Schichtung)
    - Luftdruck
    - Lufttemperatur
    - (Luftfeuchtigkeit)
    - Terrainbedingte Anströmverhältnisse
    - Vegetationsbedingte Anströmverhältnisse



Quelle: Hau - Windkraftanlagen

2. Stressfaktoren: Meteorologie

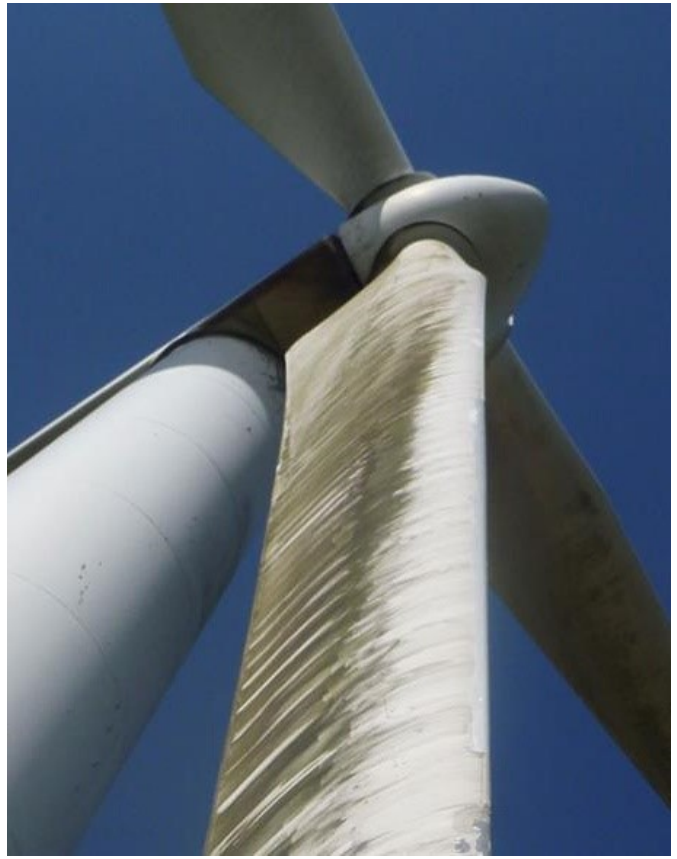
- Umgebungseinflüsse mit Auswirkungen auf
  - die Strukturbelastung und Performance
    - Eisansatz



Quelle: Enercon

2. Stressfaktoren: „Oberflächenbelag“

- Umgebungseinflüsse mit Auswirkungen auf
  - den Zustand und die Performance der Blattoberfläche
    - „Verschmutzung“ (Performance-Änderung)
      - Insekten
      - Aerosole
      - Salz
      - Sand, Staub



Quelle: WindPower Monthly

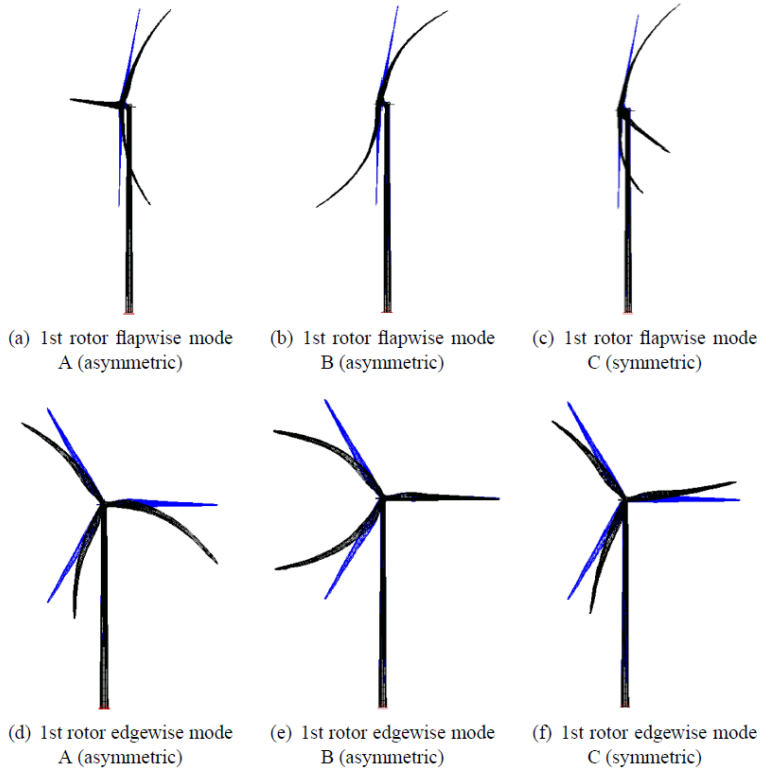
2. Stressfaktoren: Erosion

- Umgebungseinflüsse mit Auswirkungen auf
  - den Zustand und die Performance der Blattoberfläche
    - UV-Belastung
    - Abnutzung (Erosion)
      - Regen, Schnee, Hagel
      - Staub, Sand
      - Salz
      - Blitzeinschlag
      - Kollision mit Lebewesen

Quelle: Seilpartner Windkraft GmbH

2. Stressfaktoren: Betriebsverhalten

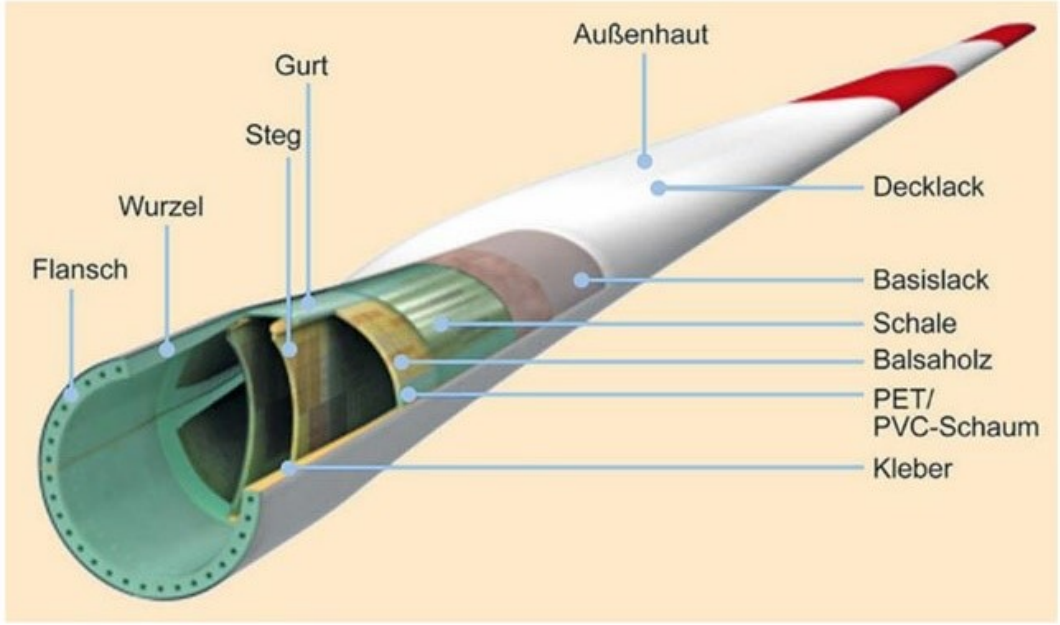
- Betriebseigenschaften mit Auswirkungen auf
  - die Strukturbelastung und Performance
    - Rotor(Massen)unwucht
    - Pitchwinkelfehler (Abweichung zwischen Soll- und Ist-Winkel)
      - generelle Fehlstellung (gleich für alle drei Blätter)
        - Performance-Einbußen
      - Individuelle Fehlstellung (unterschiedlich für jedes Blatt)
        - Erhöhte Strukturbelastung durch aerodynamische Unwucht
    - Gondelfehlausrichtung
      - Performance-Einbußen
      - Extrem- und Ermüdungslastenerhöhung



Quelle: Joris Peeters

3. Kritische Bereiche des Blattes

- Blattbolzen
- Gurt, Steg, Verklebungen
- Blitzrezeptor
- Oberfläche
- Vorderkante (Leading Edge)
- Hinterkante (Trailing Edge)
- Innerer Rotorbereich wg. Stall-Effekten
- Tip-Bereich
  - Erosion
  - Effizienz
  - Geräusch



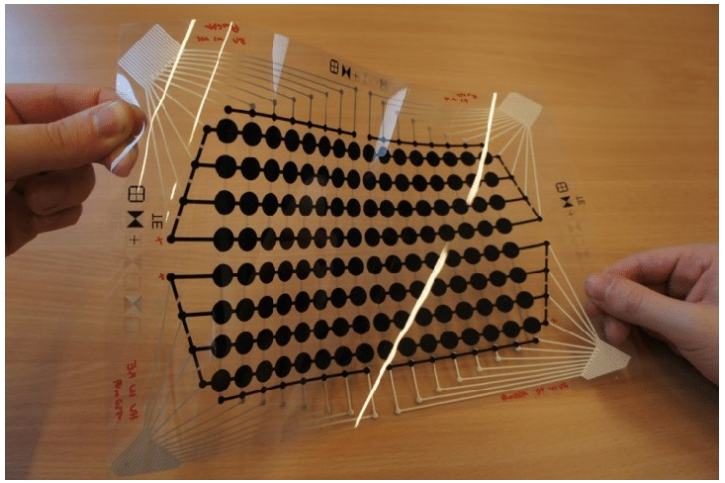
Quelle: BWE

4. Messtechnische Überlegungen

- Was kann man an einer Anlage messen?
  - „Messtechnikerantwort“: (beinahe) alles
- Was macht Sinn, zu messen?
  - Alles, was für Betreiber und/oder Hersteller Sinn macht
    - Kurzfristig
    - Langfristig
- Wo und wie messen?
  - am Ort des Geschehens und möglichst direkt

4. Messtechnische Überlegungen

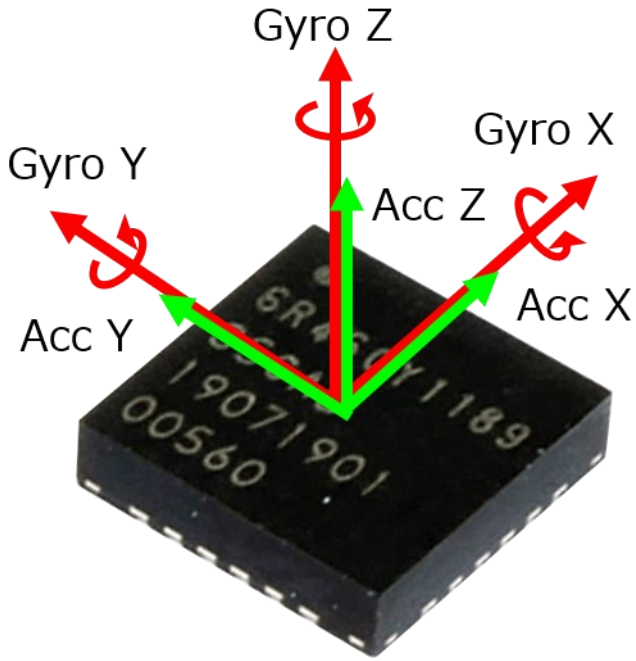
- Kräfte an der Oberfläche (Blatt, Turm)
  - Eigenschaften
    - z.B. Raster von flächigen, gedruckten Piezomaterialien an Blattoberfläche
      - Forschungsstadium (kooperatives Projekt SYMPHONY)
      - geringer Energiebedarf für Auswertung
    - z.B. dehnbare Polymere zur Kraftmessung
      - schlüssig mit Struktur verbunden oder in diese eingebettet
      - Ersatz für „konventionelle“ DMS
  - Applikation
    - allgemein: Windfeld
    - Turbulenzintensität
    - Lastmessung



Quelle: Martin Zirkl et al., JOANNEUM Research GmbH

4. Messtechnische Überlegungen

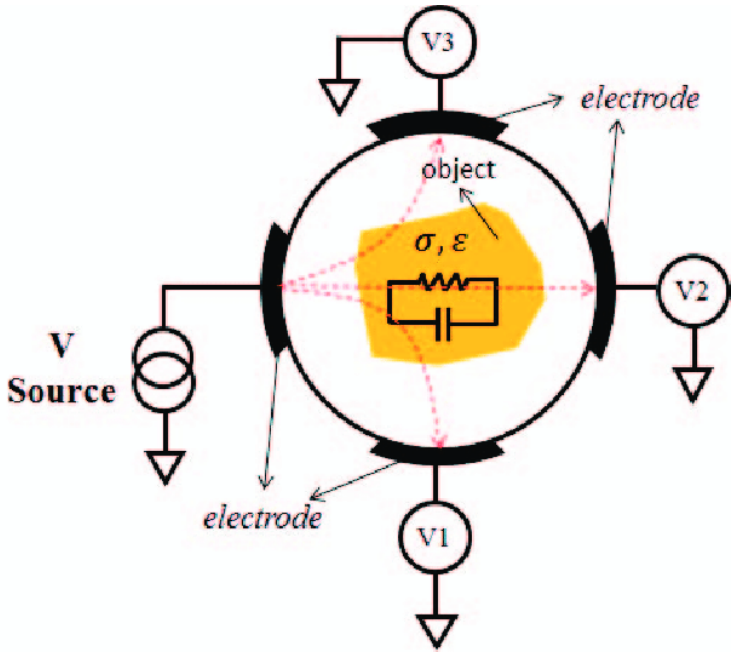
- Inertialsensorik
  - Eigenschaften
    - 3D oder 6D Beschleunigungssensoren (ausgeführt als MEMS)
    - geringer Energieverbrauch, ursprüngliche Anwendung Consumer/Automotive
    - für Applikation am Rotorblatt passende Messbereiche (16fache Erdbeschleunigung)
    - Aufnahme von Beschleunigungsdaten drahtlos, synchron, an verteilten Orten
  - Applikationen
    - Vibrationen, Unwucht, Windfeld
    - Ereignisse während des Transports des Rotorblatts
    - Pitchwinkel



Quelle: Panasonic Industrial Devices

4. Messtechnische Überlegungen

- Elektrische Kapazitäten
  - Eigenschaften
    - Materialparameter und Materialdicke
    - Bevorzugt nichtleitende Materialien
  - Applikationen
    - Detektion und Messung von Eis und Schnee
    - Anlagerung (Soiling) von Material (Staub, Sand, Salz, Aerosolen, Lebewesen)
    - Abtragung (Erosion) von Material (Kollision mit Staub, Sand, Salz, Regen, Hagel)



Quelle: Yusuf, Arba'i & Sudiana, Dodi & Tamsir, Agus & Sudibyo, S. (2016). Analysis of excitation frequency to performance of electrical capacitance tomography. 1-4. 10.1109/ICITEED.2016.7863301.

5. Ausblick & Ziel

Was wäre wünschenswert?

- Darstellung des Rotorblattzustandes über Indikatoren (kaskadiert mit wachsendem Detail- und Informationsgehalt) in benutzer-freundlicher/gewohnter Umgebung (z.B. 2nd-Level-SCADA-System)
- Ableitung und Darstellung von zustandsorientierten und prädikativ orientierten Handlungsanweisungen, z.B.
  - Eisabschaltung/-zuschaltung, Blattheizung on/off
  - Blattwinkelinspektionen
  - Blattwinkelkorrektur (absolut/individuell)
  - Gezielte Unwuchtvermessungen
  - Blattoberflächeninspektion
  - Blattreinigung
  - etc.

5. Ausblick & Ziel

Was wäre wünschenswert?

- Umfassendes Verständnis/Abbild des Rotorblattzustandes (Struktur, Performance und Materialzustand) vom Verlassen der Produktion bis zur Demontage
  - kontinuierliche gepflegte elektronische Lebensakte
  - Aufzeichnung und zeitliche Zuordnung von Ereignissen
  - Frühzeitiges Erkennen von Abweichungen/Änderungen in
    - Struktureigenschaften - u.a. Masse und Steifigkeiten
    - Performance-Eigenschaften
    - Abnutzung/Verschmutzung

DANKE FÜR IHRE AUFMERKSAMKEIT.

Gibt es Fragen?

Innovation Specialist

Harald Hohlen

+43 316 93 12 15 604

harald.hohlen@eologix.com

office@eologix.com

+43 316 931215 100

Kratkystrasse 2
8020 Graz, Österreich

eologix
sensor technology

UNWUCHTEN BEI WINDENERGIEANLAGEN

Heiko Voss | Reprojekt GmbH

Reprojekt GmbH

Mitglied im Sachverständigen-beirat des BWE

Unwuchten bei Windenergieanlagen

Vortrag eologix Forum auf den Windenergietagen Linstow am 09 November 2022

Mitglied im Sachverständigenbeirat des BWE

1. Was macht REPROJEKT bzw. VossWind ?
2. Warum Unwuchten in Windenergieanlagen relevant sind.
3. Meßmethodik für Pitchwinkelfehler ein Überblick
4. Was bewirken Pitchwinkelfehler bei einer WEA
5. Wirtschaftliche Bewertung Anhand eines Beispiels einer Prüfung zum Weiterbetrieb.

REPROJEKT GmbH

Mitglied im Sachverständigenbeirat des BWE

1. Bau von Windparks

- Bauleitung /EPC Management
- Bauüberwachung
- SEGEKO

2. Abnahmen

- Komponenten in “Factory” oder bei Anlieferung Standort
- TOC Test of Completion (Abnahme der Gesamt WEA und Projekt)

REPROJEKT GmbH
Sachverständigenbüro für Windkraft

REPROJEKT GmbH
Expertise and Services

Mitglied im Sachverständigenbeirat des BWE

3. Inspektionen und Gutachten

- WKP Wiederkehrende Untersuchungen
- Grantieablaufuntersuchungen
- BPW Prüfung zum Weiterbetrieb nach 20 Jahren
- Schadensgutachten
- Wertgutachten / Due Diligence
- Rotorblatt und Turmgutachten mit UAV /Dronentechnik /Seiltechnik oder Bühne
- Blattwinkelvermessung mit optischen Doppellaser System.
- Getriebeendoskopie / Offline CMS
- Thermography

REPROJEKT GmbH
Sachverständigenbüro für Windkraft

REPROJEKT GmbH
Expertise and Services

Mitglied im Sachverständigenbeirat des BWE

5. Engineering

- Technische „Due Diligence“
- Betriebsoptimierung
- Brandschutzkonzepte
- Gefährdungsbeurteilungen.
- Evaluierung und Auslegung von Windkrafttürmen nach DIBt, GL or IEC Standard
  - ➢ Finite Elemente Methode
  - ➢ Modellierung und Lastenuntersuchung sowie Monitoring
- Repowering

REPROJEKT GmbH
Sachverständigenbüro für Windkraft

Mitglied im Sachverständigenbeirat des BWE

- VossWind GmbH

- Betriebsführung Technisch / Kaufmännisch von 22 WEA in 8 Windparks. Seit 2006

2. Warum Unwuchten relevant sind?

Fehlerursache	MU	AU
Ungleichmäßige Flügelmassenverteilung	x	
Ungleichmäßige Nabenmaßenverteilung	x	
Fehlpitch		x
Blattoberflächenfehler		x
Ungleichmäßige Profilformen	(x)	x
Exzentrizität des Rotors	x	x
Teilungsfehler der Nabe	x	x
Flanschfehler	x	x
Fehlerhafter Konuswinkel der Nabe	x	x
Verbogene Hauptwelle	x	x

- MU = Massenunwucht /Aerodynamische Unwucht. Mehrfach x = Kombiunwucht

Statistik

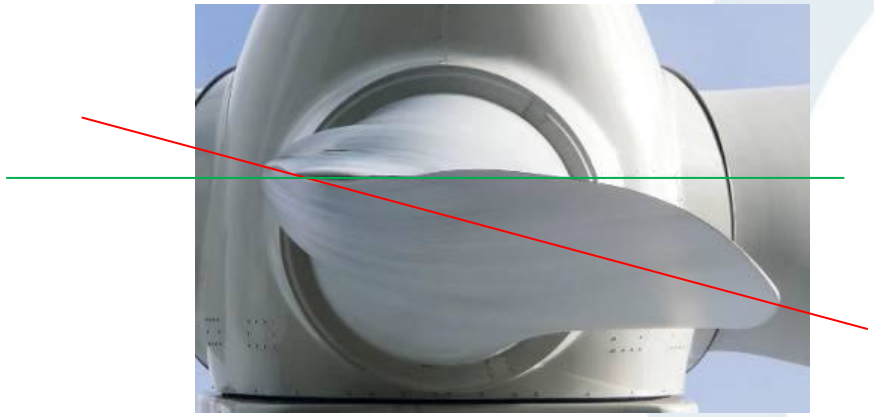
- Verdachtsunabhängige Untersuchungen zeigen ca. 15-45 % der WEA haben wesentliche Unwucht!!
- Quelle: Berlinwind basierend auf 1000 Messungen an 20 Typen

Davon:

- 15% Aerodynamische Unwucht
- 15% Massenunwucht
- 15% Kombinierte Unwucht

3. Messmethodik ein Überblick

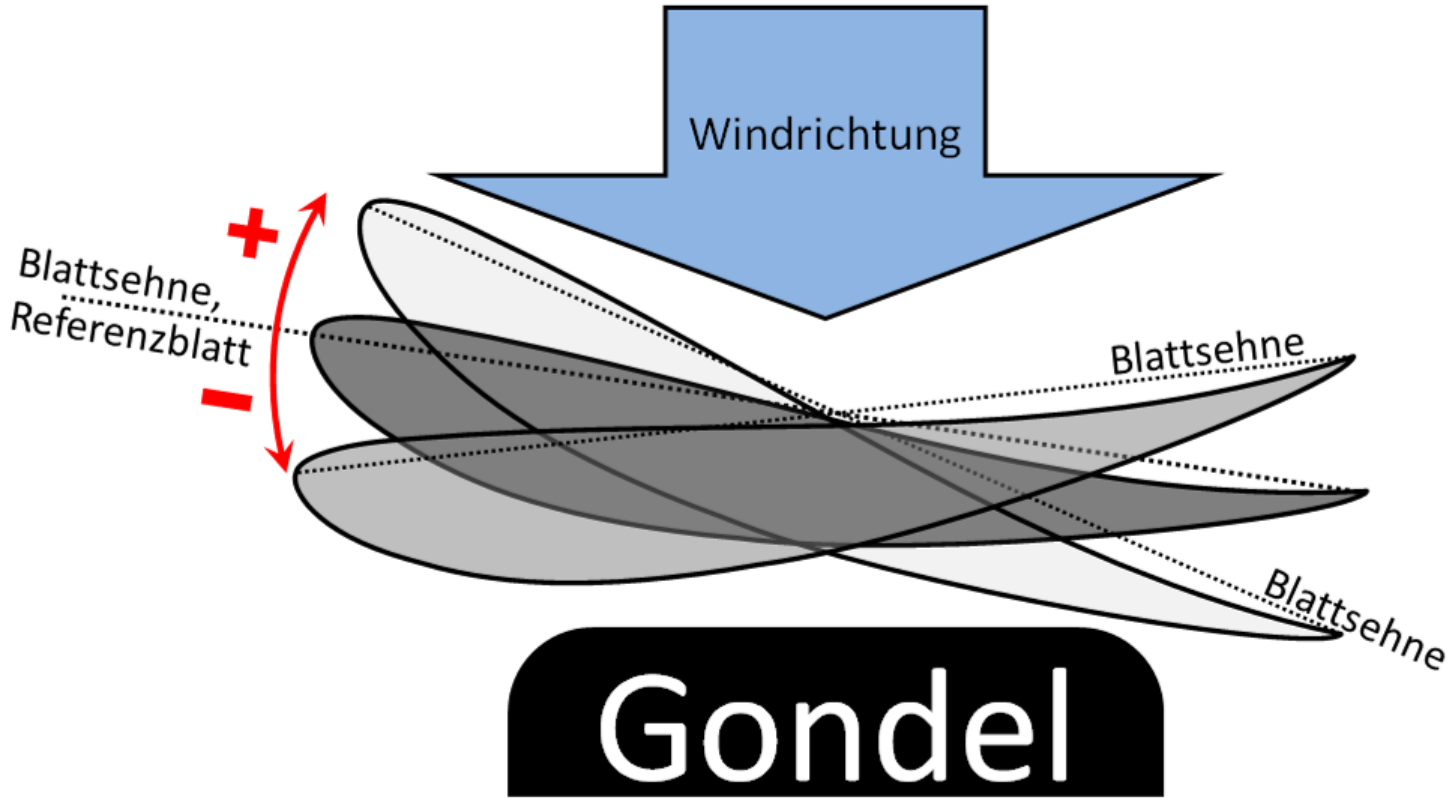
- Fotogrammmetrie:



- Wir nutzen Video min 20 Dauer mit der Auswertung über MW Rotate Software.
- Vorteile: auch für Standorte im Wald einsetzbar.
- Nachteile:

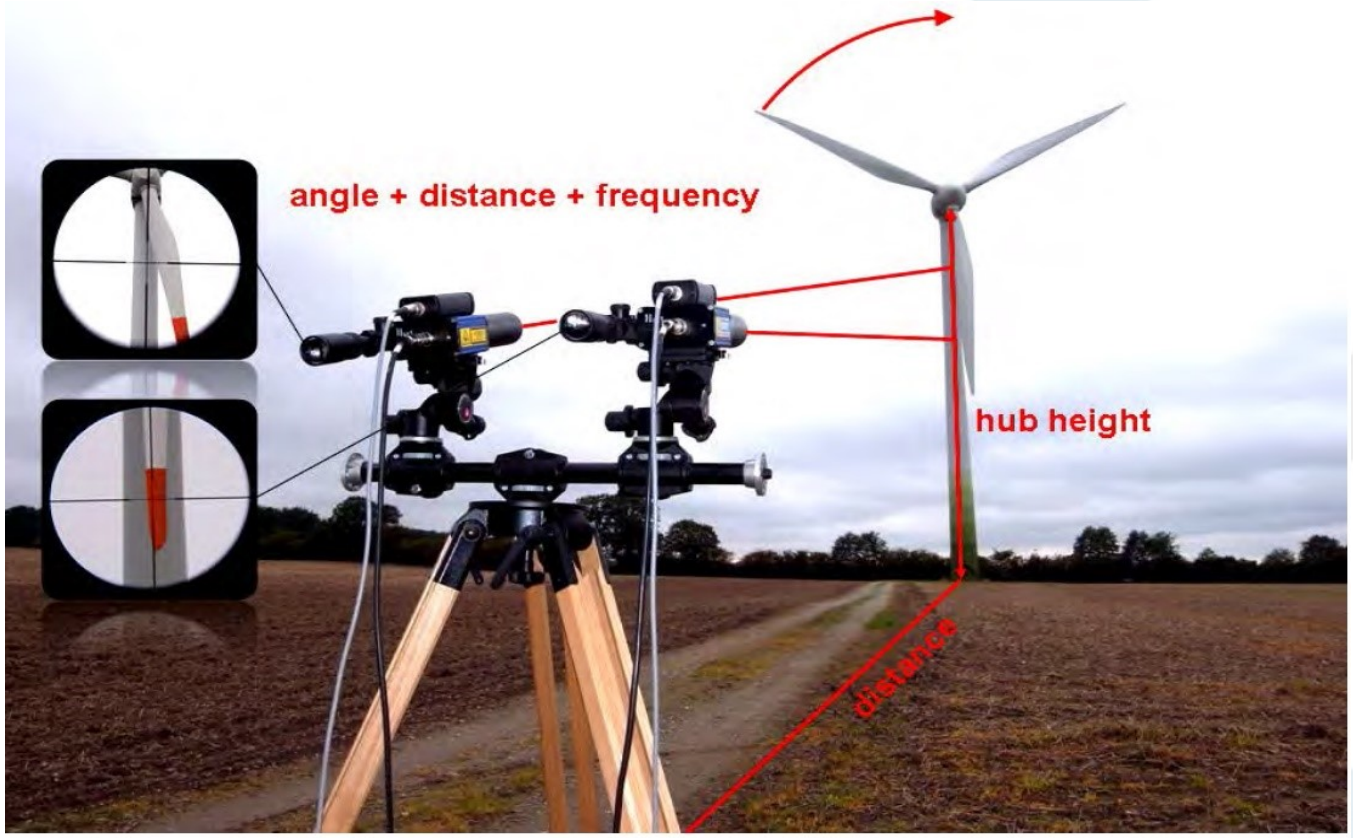
Wg der Ungenauigkeit ist keine wirkliche Qualitative Aussage möglich. Der Betreiber braucht Einstellvorgaben.

Mitglied im Sachverständigenbeirat des BWE

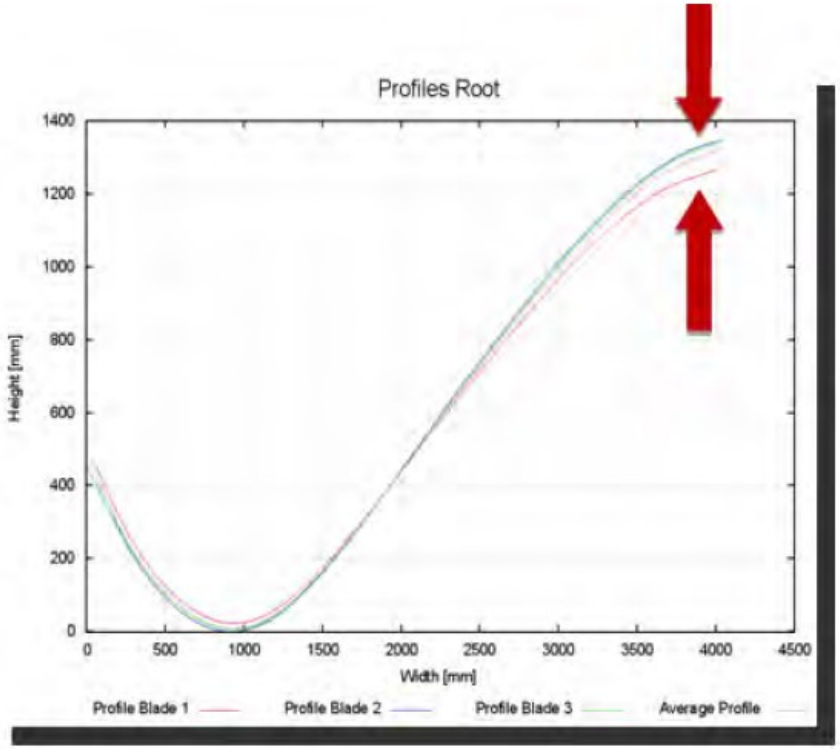


Mitglied im Sachverständigen-beirat des BWE

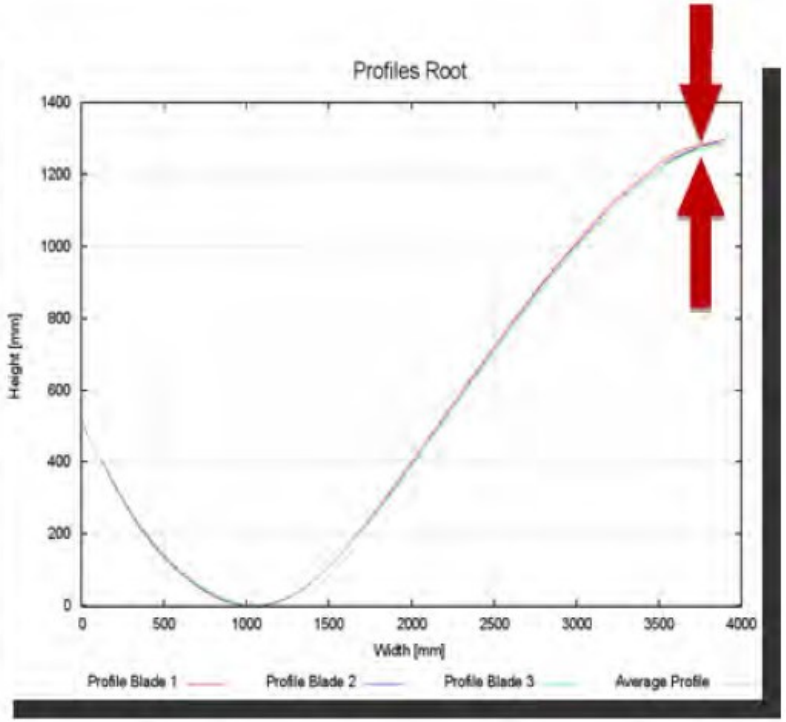
- Laservermessung (Doppellaser)



Mitglied im Sachverständigen-beirat des BWE

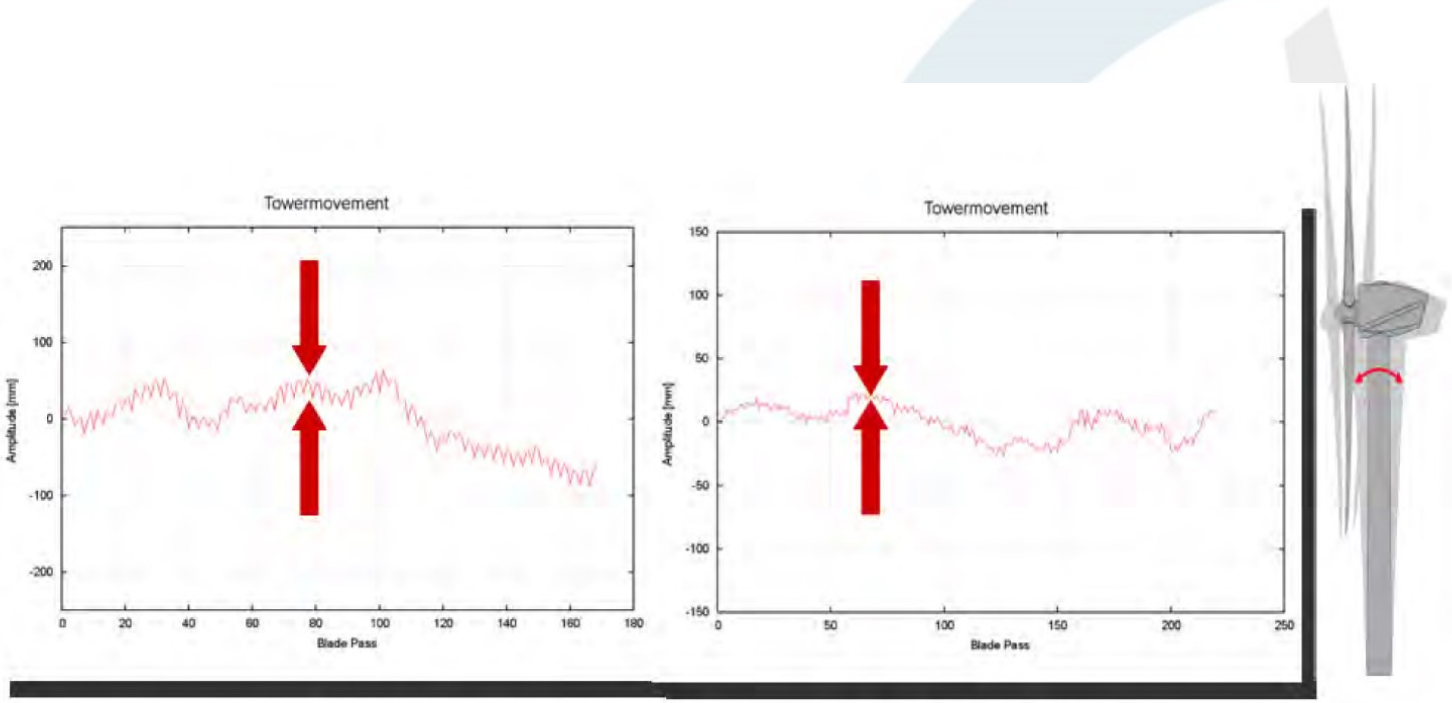


before adjustment



after adjustment

Mitglied im Sachverständigen-beirat des BWE



before adjustment

after adjustment

Laservermessung

Mitglied im Sachverständigenbeirat des BWE

Vorteile:

- Schnelle qualitative Vermessung Fehler <= 0.2°
- 20 min Datenaufnahme im Betrieb ohne Anlagenstopp
- Vermessung auch auf der Gondel (z.B. Offshore) Pilotprojekt
- Schlagkräftig Vermessung von ca. 4 WEA pro Tag möglich
- Kostengünstig im Rahmen der WKP; ZOP und Abnahme.

Nachteile:

- Noch keine genaue Vermessung Massen und Kombi-unwucht aber wenn sich Turmschwingungen nicht reduzieren kann man Balastierungsmessung durchführen.

Mitglied im Sachverständigenbeirat des BWE

- Balastierungsmessung

• Ballastierungsmessung

Mitglied im Sachverständigenbeirat des BWE

Vorteile:

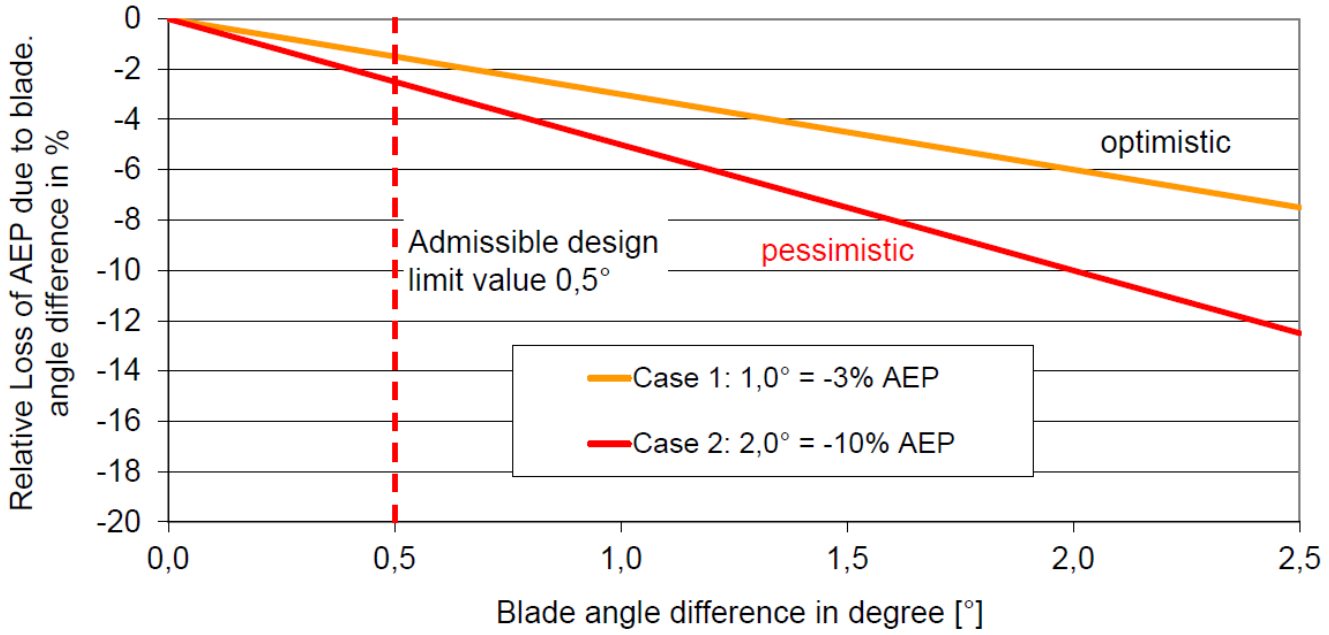
- Klärung der Ursache bei Kombi-Unwuchten durch Analyse Lateral und Torsionschwingungsanteil.
- Qualitative Bestimmung der Massenunwucht sicher mit Balastierungsvorgaben.
- In Verbindung mit vorheriger Laservermessung niedrige Unsicherheit der Analyse.

Nachteile:

- Höhere Kosten da Zugang zur Anlage und Ballastierung

4. Was bewirken Pitchwinkelfehler bei einer WEA?

- Leistungsverluste



Quelle: Berlin Wind GmbH

- Schäden durch Lastwechsel an WEA und Triebstrang

- Hinterkantenrisse an Rotorblätter („Stallvibrations“)
- Vorzeitige Blattlager und Rotorbolzenermüdung (oft sind Drehverbindung Lebensdauerkritisch!)
- Hauptlagerschäden changierende Pendelrollenlager
- Hauptwellenverlagerung bei Einfacher Lagerung Schädigung der Planetenlager und vorzeitiger Getriebeausfall.
- Schäden an Maschinenträger, Azimutbremsen bei Torsionschwingungen
- Ermüdung Turm, und Schädigung Fundamente insbesondere AU Torsion.
- Verlust der WEA in wenigen Betriebsjahren möglich.
- Wen unentdeckt wesentliche Verkürzung der WEA Gesamtnutzungsdauer auch unter die von der Typenprüfung festgelegte Auslegungsbetriebszeit von i. der Regel 20 Jahren.

5. Fallbeispiels Auswirkung von Unwucht für der Ermittlung des Weiterbetriebszeit.
und Plädoyer für Monitoring

- Prüfung auf Weiterbetrieb Zweier E40 5.40 an zwei sehr ähnlichen Standorten in Süd Niedersachsen.
- WEA 1 : ohne festgestellter Pitchwinkelabweichung **35,5 Jahre** Geamtbetriebszeit nach Unsicherheit.
- WEA 2 : Mit festgestellter Abweichung von 1° relativer Abweichung und applizierter Lastmessung **27, 3 Jahre**. Der Fehler konnte auf den im Zeitraum auf 10 Betriebsjahre der WEA eingegrenzt werden. Infolge eines Blatttausches wurde das Pitchsystem nicht richtig parametrisiert.

Quelle: Reprojekt GmbH

Mitglied im Sachverständigen-beirat des BWE

- Ermittlung des Finanziellen Schadens.
- Verlorene Betriebszeit 8,2 Jahr.

800.000 Jahresertrag x 8,2 =6.560.000 kWh x

0,13 Cent = 852.000€ (entspricht ca. dem historischen Neupreis der Anlage.

Zusätzlich kann man von ca. 13 % höheren Betriebskosten durch den Ausfall z.B. Von Pitchlagern; Turmbolzenermüdung und Hauptlagerschädigung ausgehen. Ca. 6500€ p.a.

Mitglied im Sachverständigenbeirat des BWE

Das Monitoring sollte Pflicht bei Inbetriebnahme; WKP und vor Ablauf von Vollwartungsverträgen sowie im Rahmen der Prüfung im Rahmen des Weiterbetriebes sein!

Mitglied im Sachverständigenbeirat des BWE

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

KURZE PAUSE

UM 11:15 GEHT ES WEITER

KOSTENTREIBER ROTORUNWUCHT UND BLATTWINKELFEHLER

Michael Melsheimer | Green Wind Engineering GmbH

tbc

VON DER BESCHLEUNIGUNG ZUM PITCHWINKEL

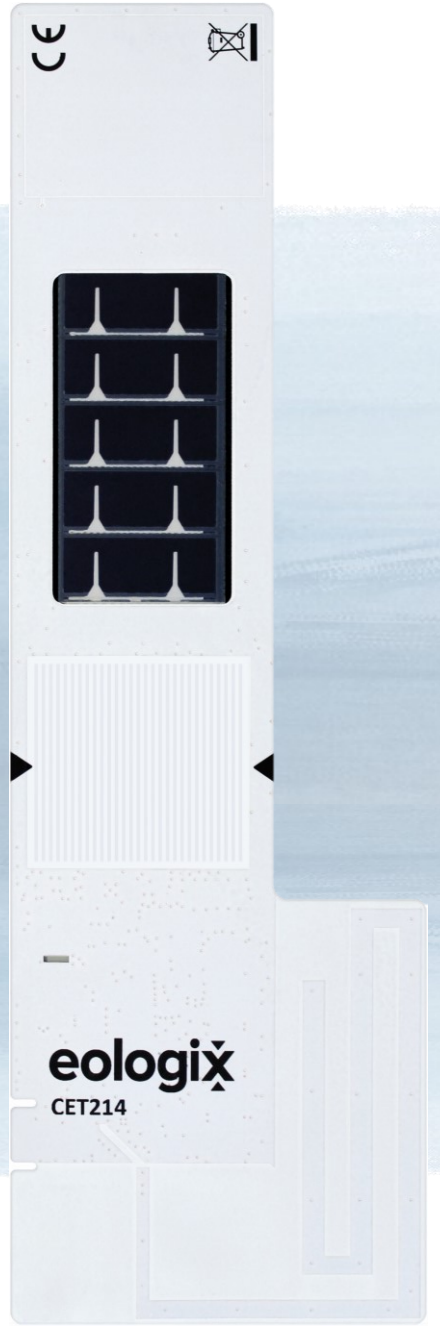
Andreas Schober | eologix sensor technology gmbh

eologix
sensor technology

Von der Beschleunigung zum Pitchwinkel

Windenergietage 2022 – Forum 18 A

Andreas Schober | eologix sensor technology gmbh



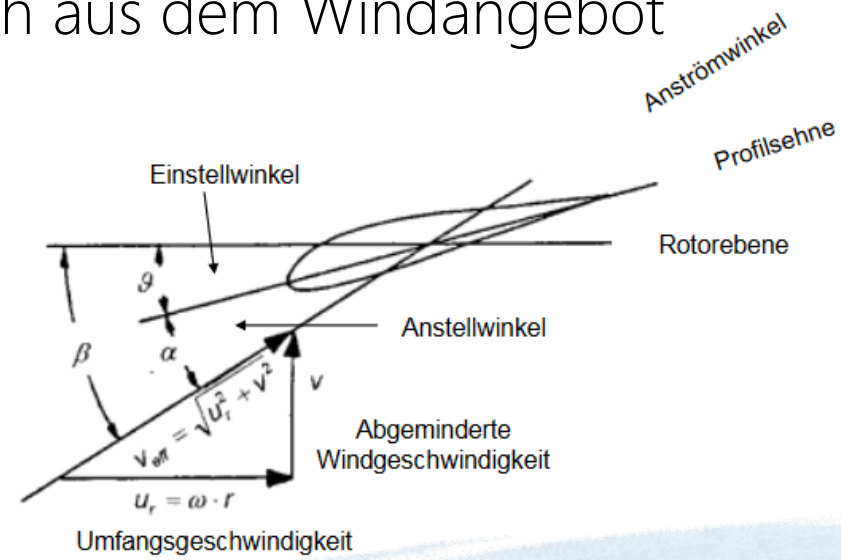
© eologix sensor technology gmbh 2022, All rights reserved.
The content of this presentation is proprietary and confidential information of eologix sensor technology gmbh. It is not intended to be distributed to any third party without the written consent of eologix sensor technology gmbh.

AGENDA

1. DER PITCHWINKEL
2. BESCHLEUNIGUNGSMESSUNG
3. PITCHWINKEL-BESTIMMUNG
4. AUSBLICK

1. Der Pitchwinkel
Grundlegendes

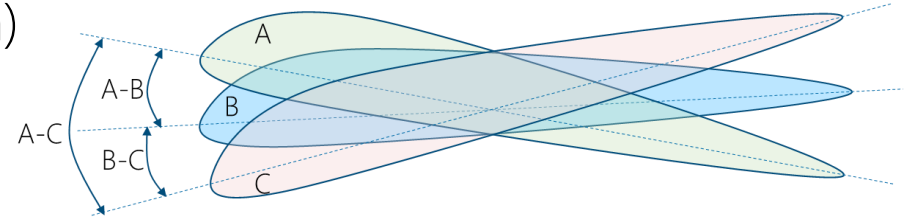
- Der (gemeinsame) Pitchwinkel ϑ lässt sich definieren als Drehwinkel (Einstellwinkel), in dem die Rotorblätter betrieben werden.
- Ziel ist es, eine optimale Energieausbeute für den Teillastbereich und gedeckelte Energieausbeute für den Nennlastbereich aus dem Windangebot zu erreichen.



Quelle:
https://www.awes.at/media/download/2012.10.25/1351171863.pdf

1. Der Pitchwinkel
Relativer Pitchwinkelfehler - aerodynamische Unwucht

- Die Pitchwinkel der Blätter einer Anlage können ungewollt voneinander abweichen. Dabei spricht man von einem relativen Pitchwinkelfehler. Mögliche Ursachen hierfür sind:
  - Montage/Inbetriebnahmefehler (Blätter, Pitchsystem)
  - Einstellfehler bei Wartungsarbeiten am Pitchsystem
  - Messfehler im Pitchsystem
  - Alterungsprozesse (Pitchsystem, Blattlager)



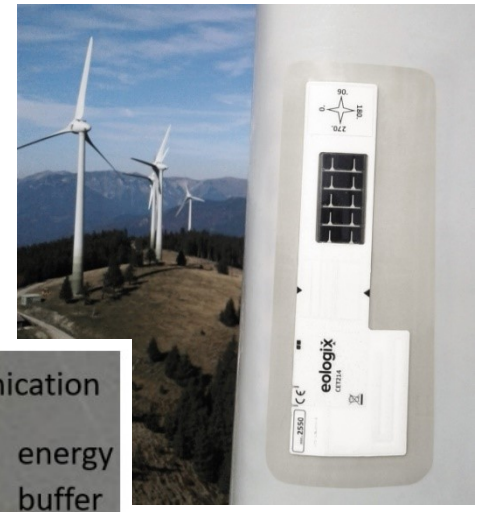
A, B, C: Blätter einer Anlage,
Bsp. A-C: maximaler relativer Pitchfehler auf einer Anlage

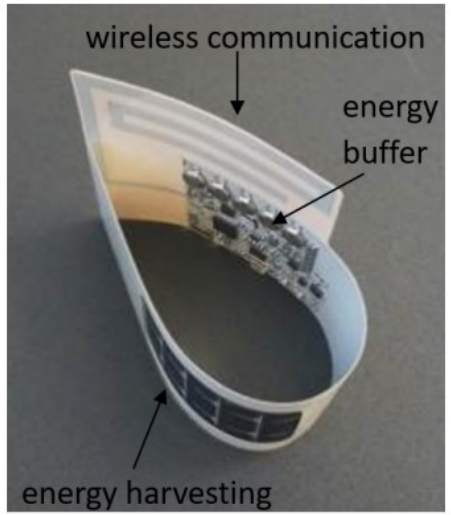
- Die Folge eines relativen Pitchwinkelfehlers ist aerodynamische Unwucht.
  - Reduzierte Lebensdauer (Strukturbelastungen, v. a. Schwingungen im Triebstrang)
  - Schäden (z. B. Lagerschäden)
  - Ertragsverluste bei größeren Abweichungen (>1°)

2. Beschleunigungsmessung
Der eologix-Sensor (1)

- Wesentliche Hardware-Eigenschaften…
  - Dünner Sensor mit flexibler Platine
  - Datenübertragung via Funk
  - Energieversorgung durch Photovoltaikzellen
  - Energiespeicher auf der Platine

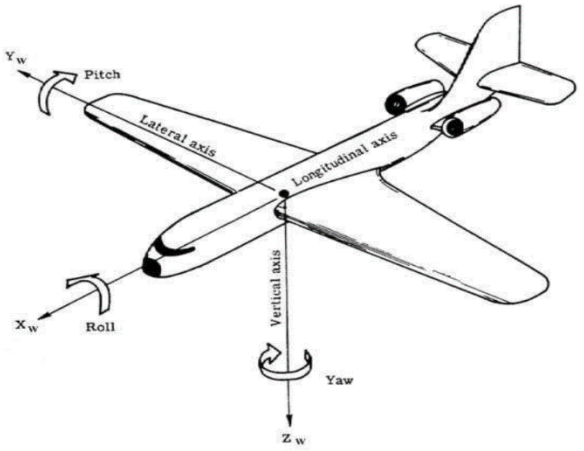
  …erlauben, dass der Sensor an nahezu beliebiger Blattposition montiert werden kann.





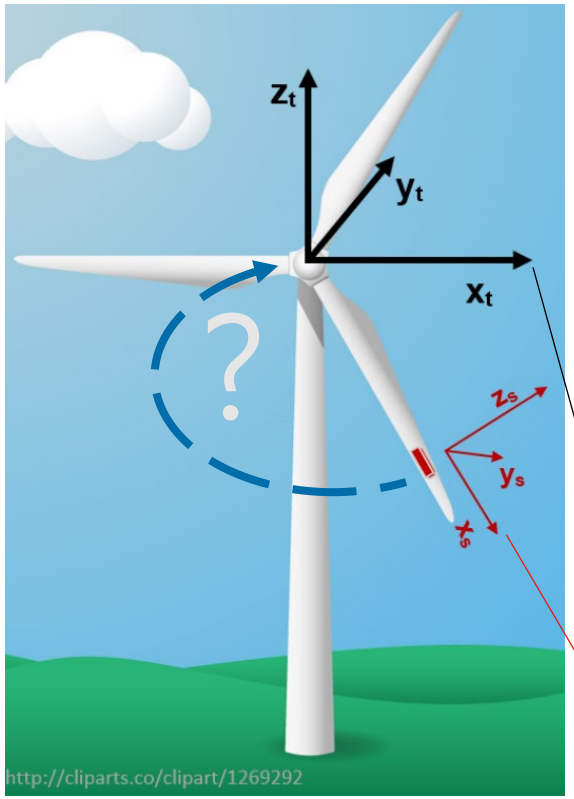
2. Beschleunigungsmessung
Der eologix-Sensor (2)

- Der eologix-Sensor…
  - …misst Beschleunigung und Winkelgeschwindigkeit (6 DOF), d. h. er besitzt neben dem Accelerometer auch ein Gyroskop
  - …vollführt mehrere Messreihen täglich
  - …kann über 400 Messpunkte pro Sekunde aufnehmen
  - …arbeitet vom Betriebszustand der Windkraftanlage unabhängig



Quelle: https://users.encs.concordia.ca/~ymzhang/courses/MECH480-6091/CourseProjects&Labs/MECH6091/MECH6091_Poject4.Modeling%20and%20Simulation%20of%20a%20Three%20Degree%20of%20Freedom%20Longitudinal%20Aero%20plane%20System.pdf

2. Beschleunigungsmessung
Bezugssysteme (1)



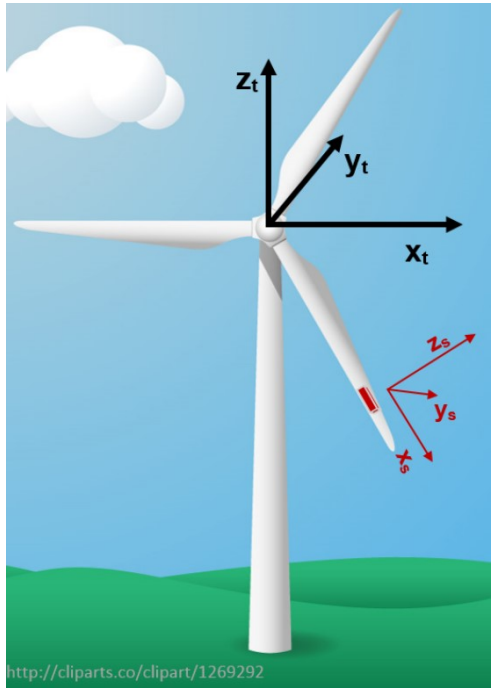
- Zur Ermittlung des relativen Pitchwinkels bedarf es theoretisch mindestens eines Sensors pro Blatt.
- Um die Messergebnisse auf verschiedenen Blättern in Beziehung zueinander setzen zu können, braucht es ein gemeinsames Koordinatensystem.
- Einzige statische Referenzgröße ist die Gravitation.

eologix Anlagen-Koordinatensystem

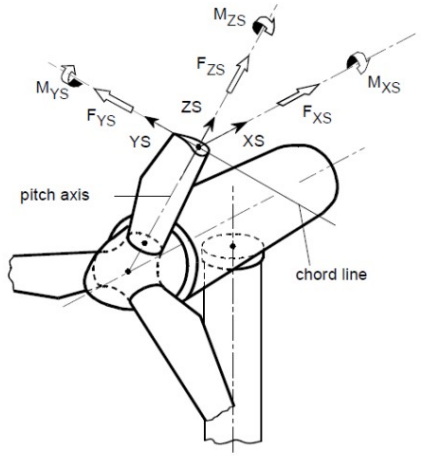
eologix Sensor-Koordinatensystem

© eologix sensor technology gmbh 2022

2. Beschleunigungsmessung
Bezugssysteme (2)

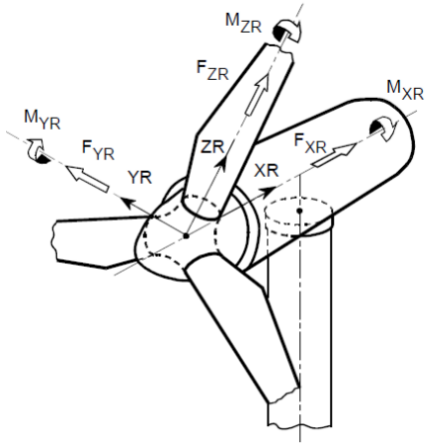


Choord coordinate system



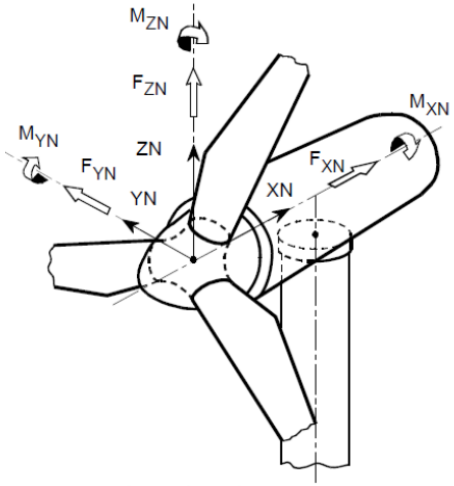
YS in direction of the chord, orientated to blade trailing edge
ZS in direction of the blade pitch axis
XS perpendicular to the chord, so that XS, YS, ZS rotate clockwise

Rotor coordinate system



XR in direction of the rotor axis
ZR radially, orientated to rotor blade 1 and perpendicular to XR
YR perpendicular to XR, so that XR, YR, ZR rotate clockwise

Hub coordinate system

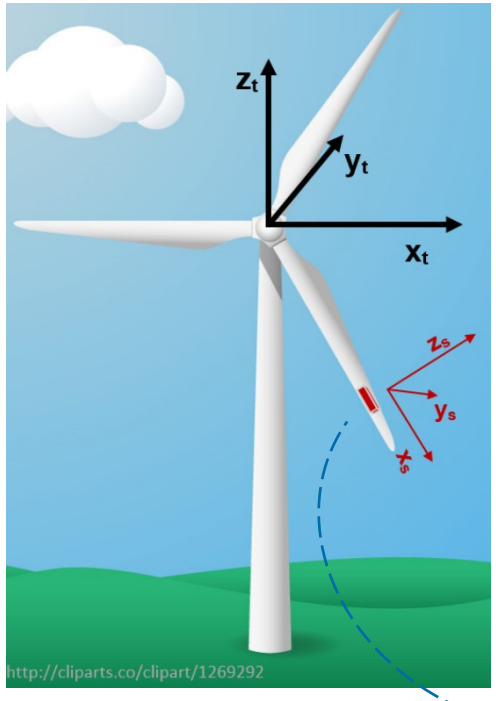


XN in direction of the rotor axis
ZN upwards perpendicular to XN
YN horizontally sideways, so that XN, YN, ZN rotate clockwise

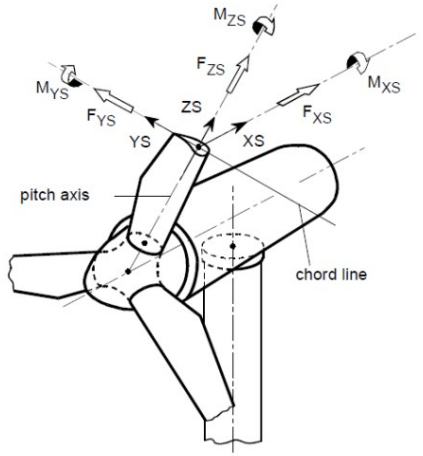
Quelle: GL Guidline, Ed. 2010

© eologix sensor technology gmbh 2022

2. Beschleunigungsmessung
Bezugssysteme (3)

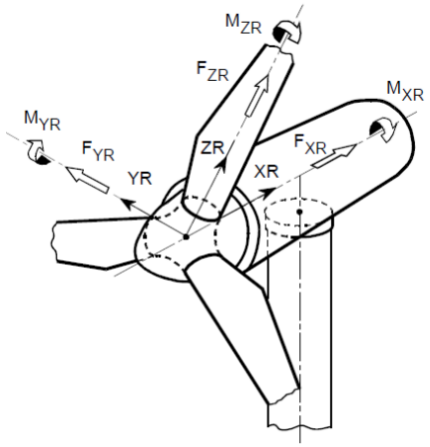


Choord coordinate system



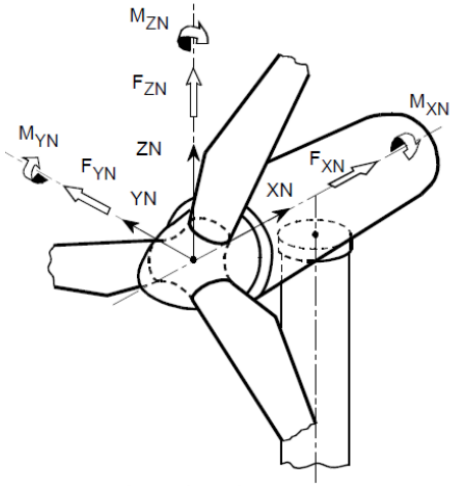
YS in direction of the chord, orientated to blade trailing edge
ZS in direction of the blade pitch axis
XS perpendicular to the chord, so that XS, YS, ZS rotate clockwise

Rotor coordinate system



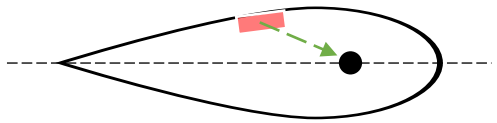
XR in direction of the rotor axis
ZR radially, orientated to rotor blade 1 and perpendicular to XR
YR perpendicular to XR, so that XR, YR, ZR rotate clockwise

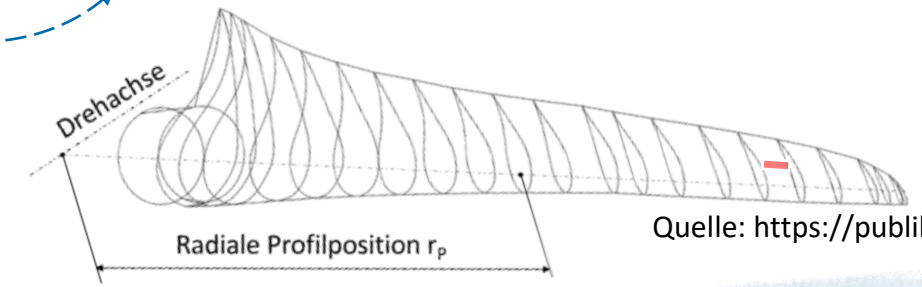
Hub coordinate system



XN in direction of the rotor axis
ZN upwards perpendicular to XN
YN horizontally sideways, so that XN, YN, ZN rotate clockwise

Quelle: GL Guidline, Ed. 2010

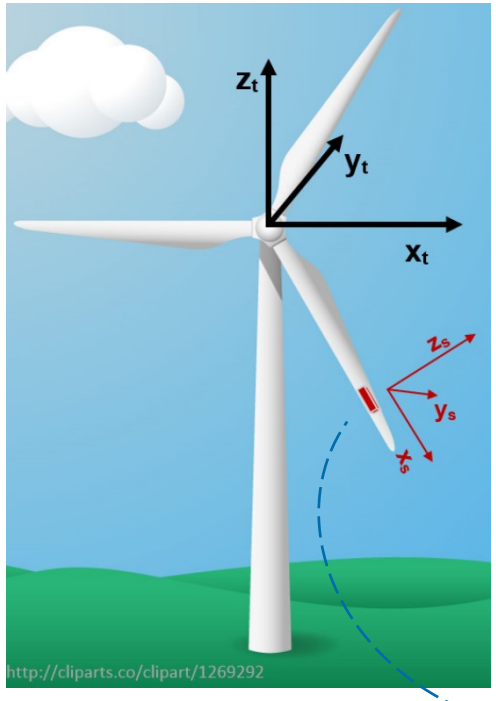




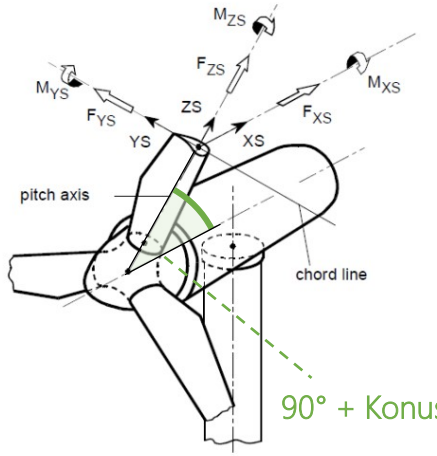
Quelle: https://publik.tuwien.ac.at/files/publik_288749.pdf

© eologix sensor technology gmbh 2022

2. Beschleunigungsmessung
Bezugssysteme (4)

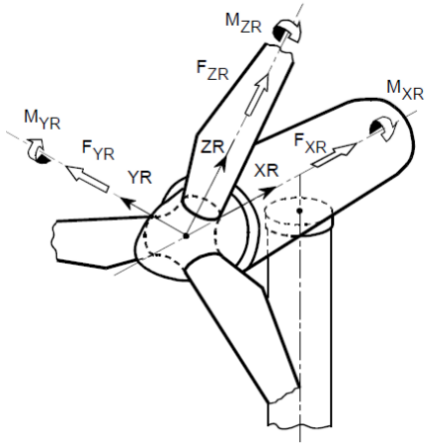


Choord coordinate system



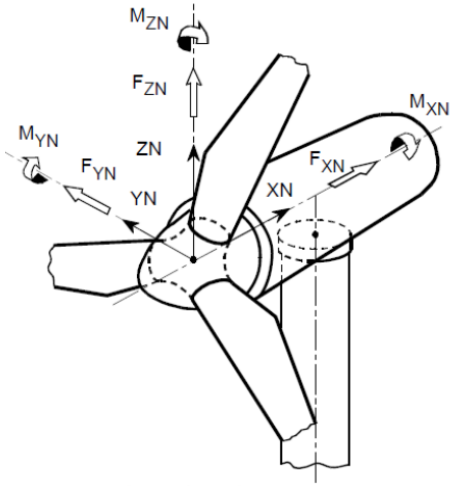
YS in direction of the chord, orientated to blade trailing edge
ZS in direction of the blade pitch axis
XS perpendicular to the chord, so that XS, YS, ZS rotate clockwise

Rotor coordinate system



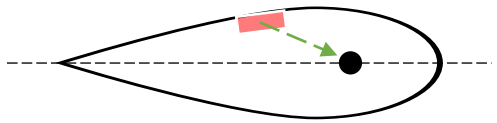
XR in direction of the rotor axis
ZR radially, orientated to rotor blade 1 and perpendicular to XR
YR perpendicular to XR, so that XR, YR, ZR rotate clockwise

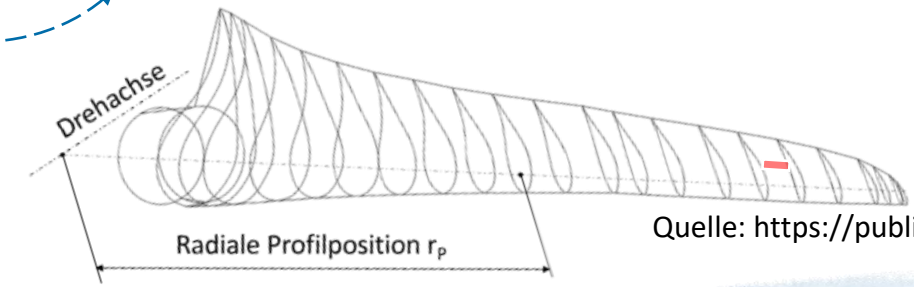
Hub coordinate system



XN in direction of the rotor axis
ZN upwards perpendicular to XN
YN horizontally sideways, so that XN, YN, ZN rotate clockwise

Quelle: GL Guidline, Ed. 2010

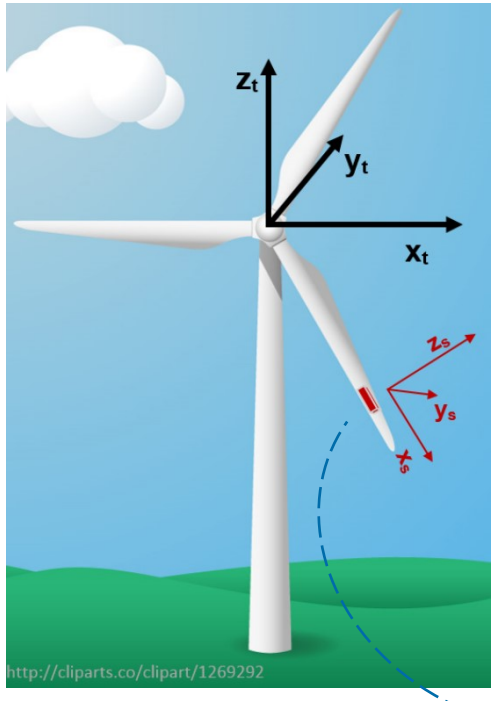




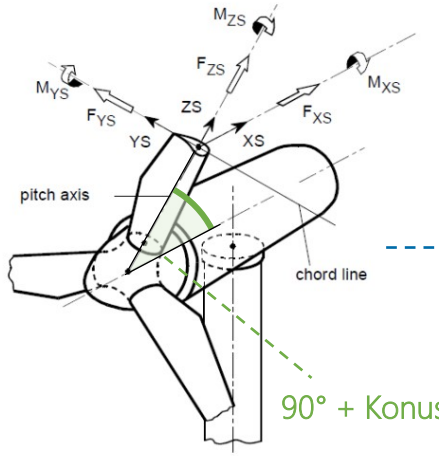
Quelle: https://publik.tuwien.ac.at/files/publik_288749.pdf

© eologix sensor technology gmbh 2022

2. Beschleunigungsmessung
Bezugssysteme (5)

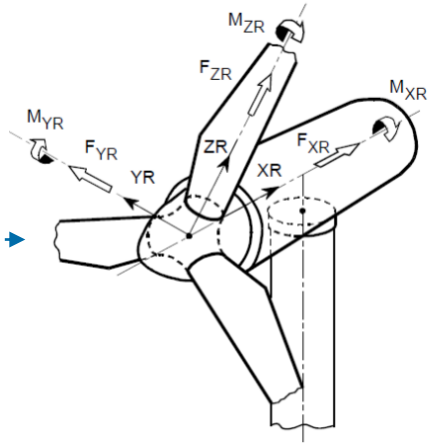


Choord coordinate system



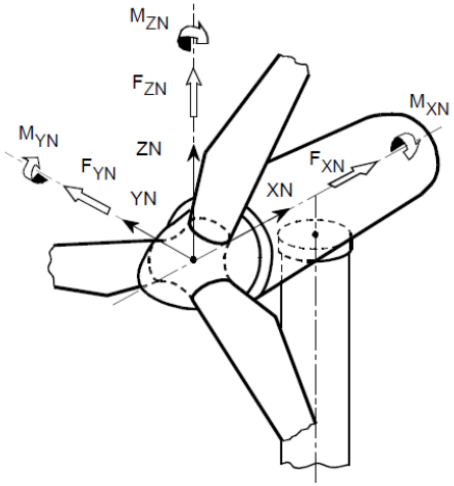
YS in direction of the chord, orientated to blade trailing edge
ZS in direction of the blade pitch axis
XS perpendicular to the chord, so that XS, YS, ZS rotate clockwise

Rotor coordinate system



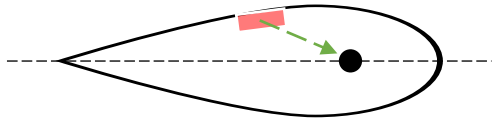
XR in direction of the rotor axis
ZR radially, orientated to rotor blade 1 and perpendicular to XR
YR perpendicular to XR, so that XR, YR, ZR rotate clockwise

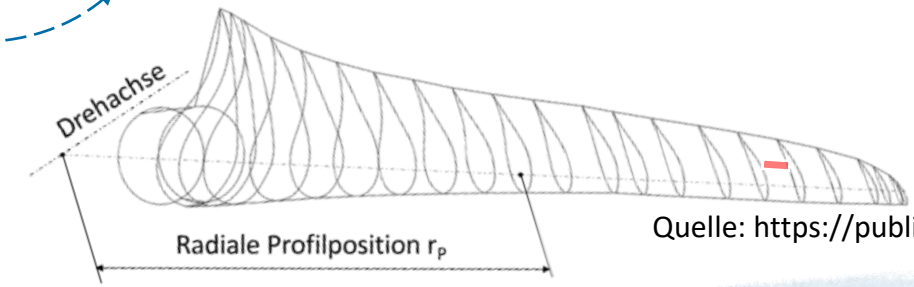
Hub coordinate system



XN in direction of the rotor axis
ZN upwards perpendicular to XN
YN horizontally sideways, so that XN, YN, ZN rotate clockwise

Quelle: GL Guidline, Ed. 2010

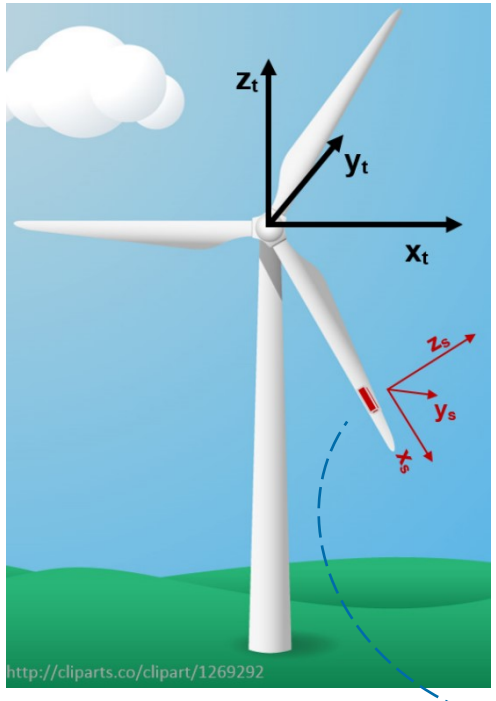




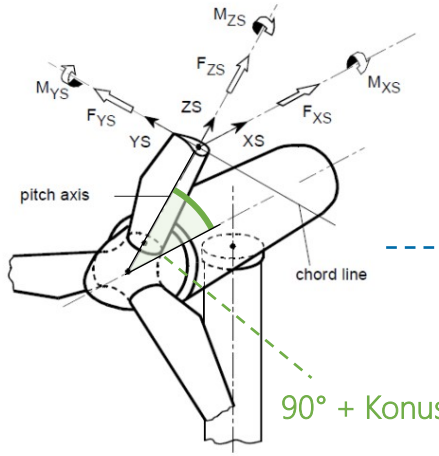
Quelle: https://publik.tuwien.ac.at/files/publik_288749.pdf

© eologix sensor technology gmbh 2022

2. Beschleunigungsmessung
Bezugssysteme (6)

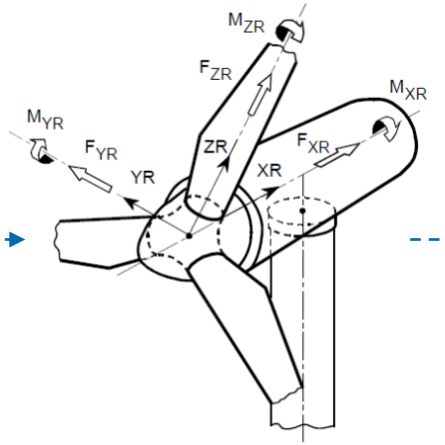


Choord coordinate system



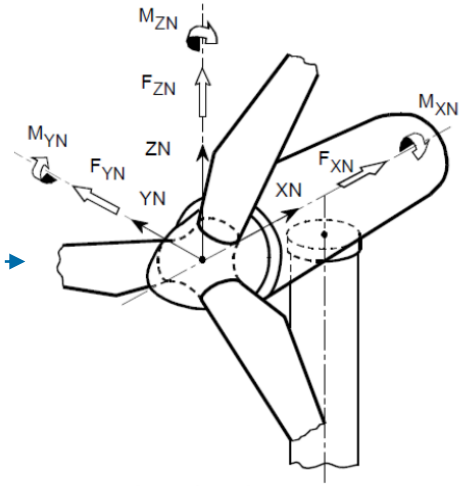
YS in direction of the chord, orientated to blade trailing edge
ZS in direction of the blade pitch axis
XS perpendicular to the chord, so that XS, YS, ZS rotate clockwise

Rotor coordinate system



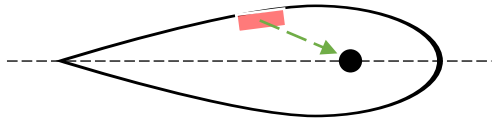
XR in direction of the rotor axis
ZR radially, orientated to rotor blade 1 and perpendicular to XR
YR perpendicular to XR, so that XR, YR, ZR rotate clockwise

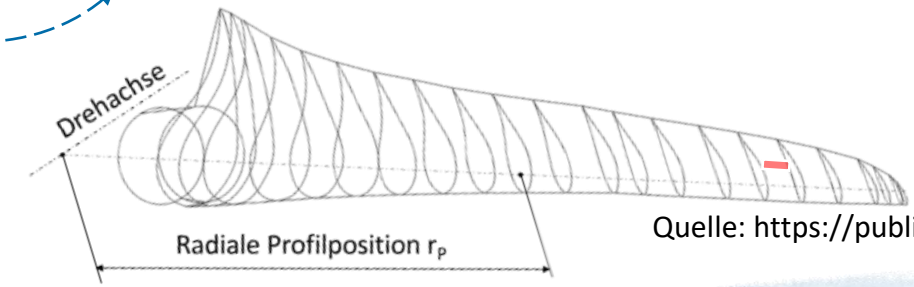
Hub coordinate system



XN in direction of the rotor axis
ZN upwards perpendicular to XN
YN horizontally sideways, so that XN, YN, ZN rotate clockwise

Quelle: GL Guidline, Ed. 2010

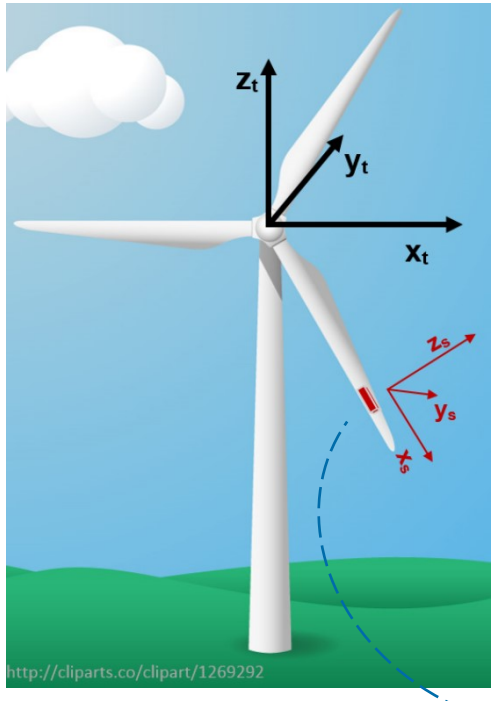


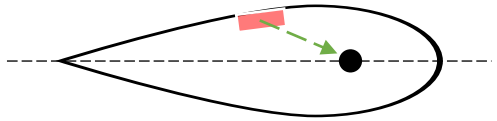


Quelle: https://publik.tuwien.ac.at/files/publik_288749.pdf

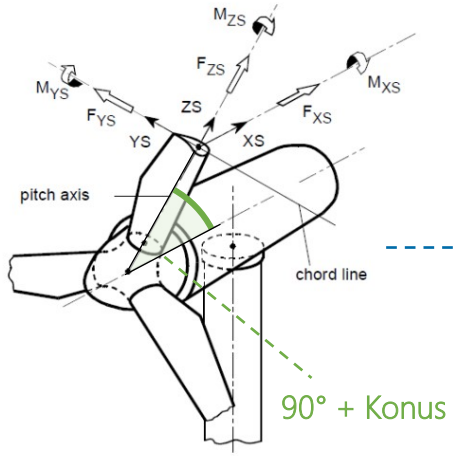
© eologix sensor technology gmbh 2022

2. Beschleunigungsmessung
Bezugssysteme (7)



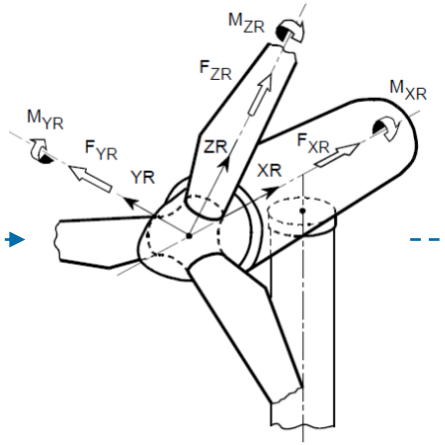


Choord coordinate system



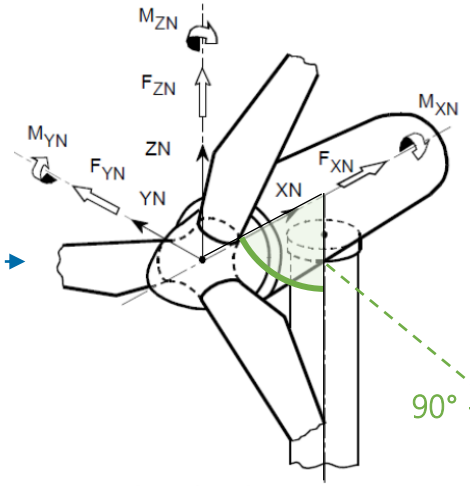
YS in direction of the chord, orientated to blade trailing edge
ZS in direction of the blade pitch axis
XS perpendicular to the chord, so that XS, YS, ZS rotate clockwise

Rotor coordinate system



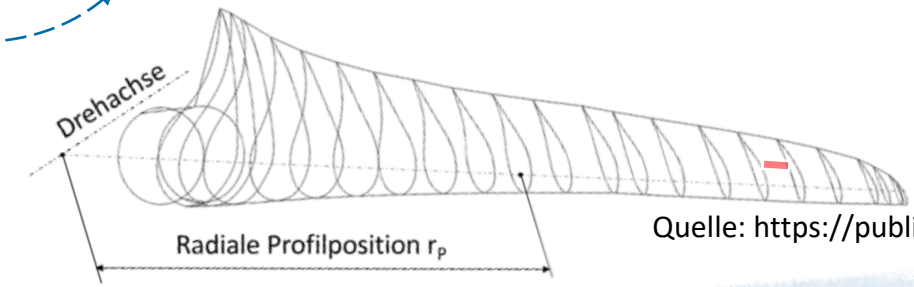
XR in direction of the rotor axis
ZR radially, orientated to rotor blade 1 and perpendicular to XR
YR perpendicular to XR, so that XR, YR, ZR rotate clockwise

Hub coordinate system



XN in direction of the rotor axis
ZN upwards perpendicular to XN
YN horizontally sideways, so that XN, YN, ZN rotate clockwise

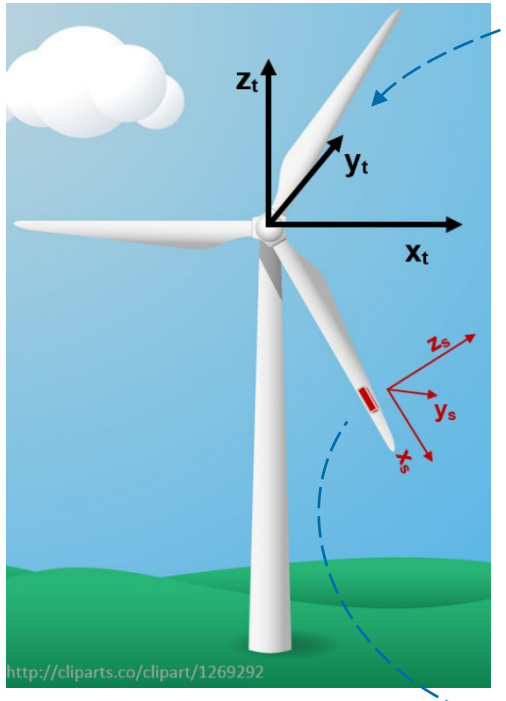
Quelle: GL Guidline, Ed. 2010

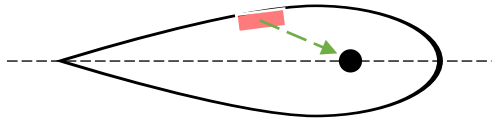


Quelle: https://publik.tuwien.ac.at/files/publik_288749.pdf

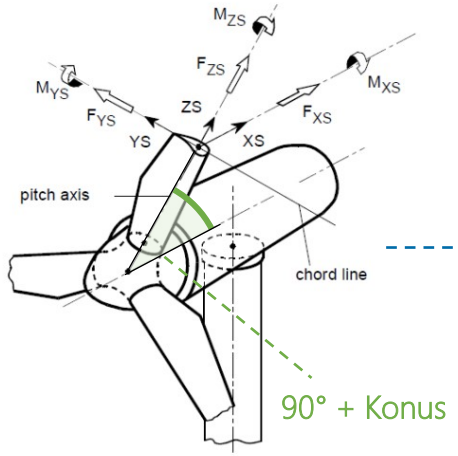
© eologix sensor technology gmbh 2022

2. Beschleunigungsmessung
Bezugssysteme (8)



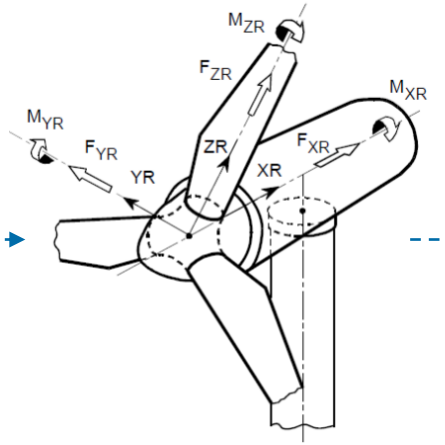


Choord coordinate system



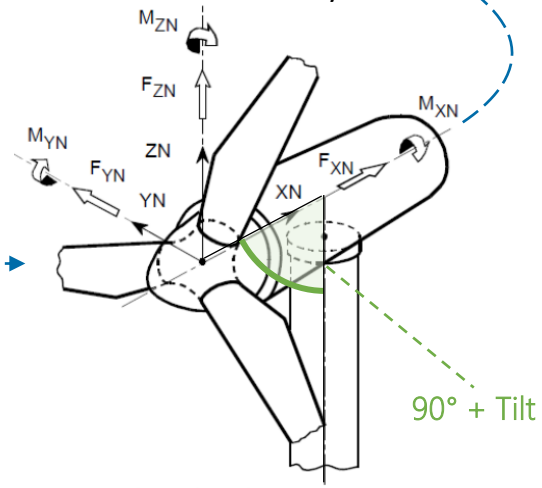
YS in direction of the chord, orientated to blade trailing edge
ZS in direction of the blade pitch axis
XS perpendicular to the chord, so that XS, YS, ZS rotate clockwise

Rotor coordinate system



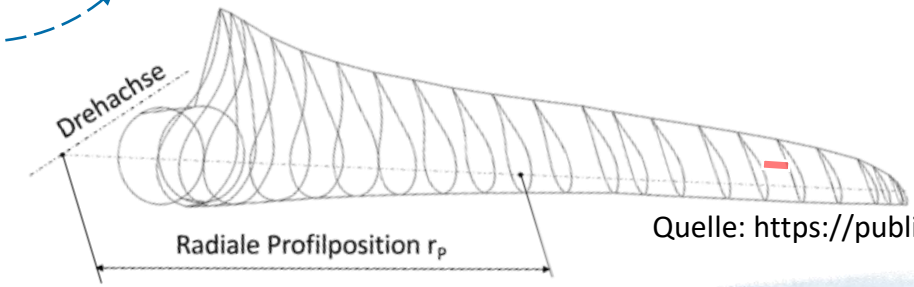
XR in direction of the rotor axis
ZR radially, orientated to rotor blade 1 and perpendicular to XR
YR perpendicular to XR, so that XR, YR, ZR rotate clockwise

Hub coordinate system



XN in direction of the rotor axis
ZN upwards perpendicular to XN
YN horizontally sideways, so that XN, YN, ZN rotate clockwise

Quelle: GL Guidline, Ed. 2010

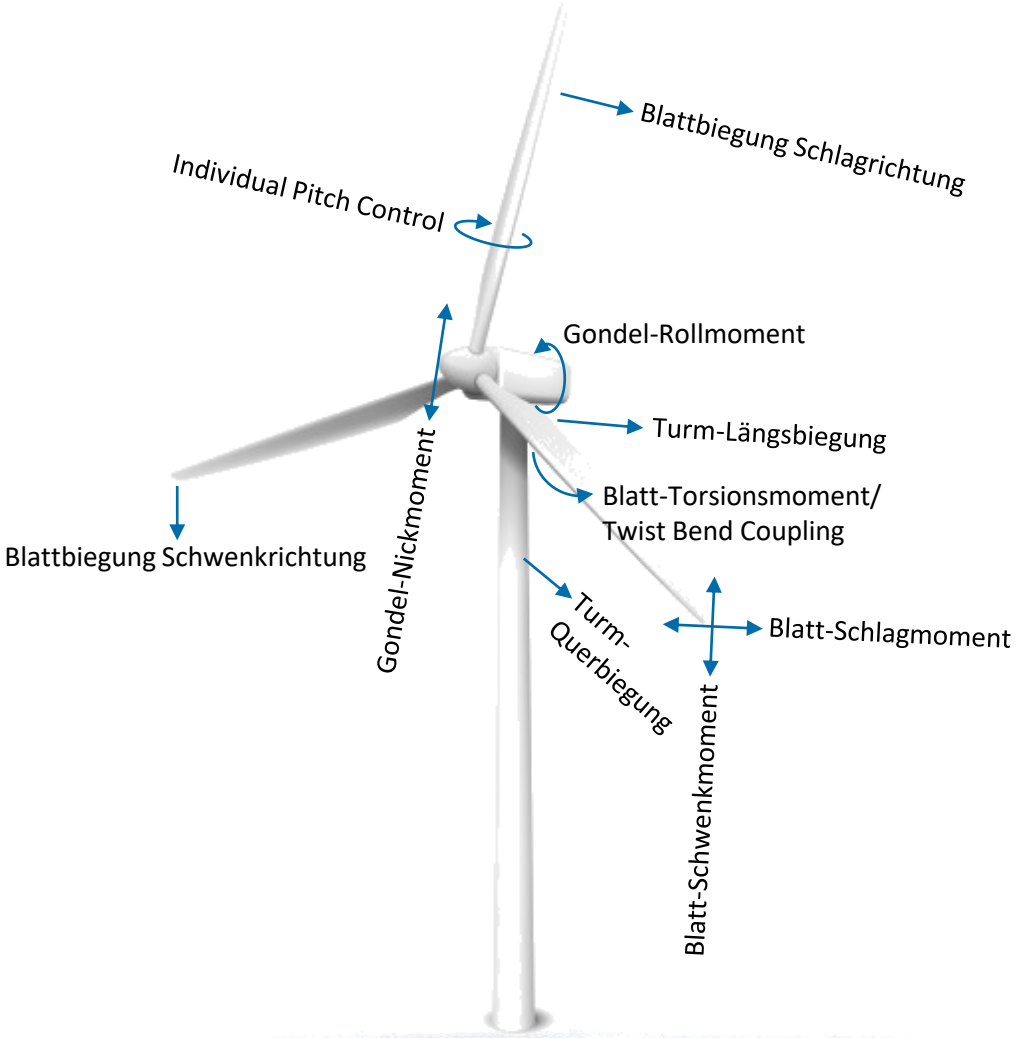


Quelle: https://publik.tuwien.ac.at/files/publik_288749.pdf

© eologix sensor technology gmbh 2022

2. Beschleunigungsmessung
Einflüsse

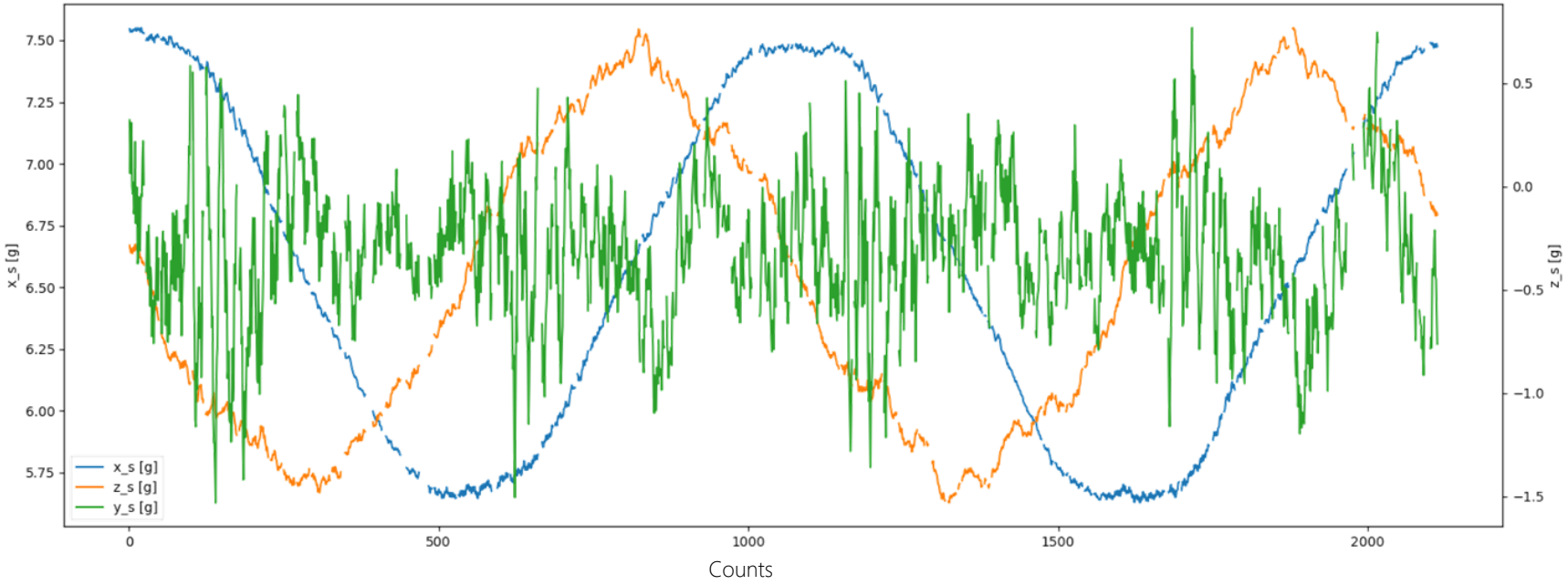
- Aero-elastische Einflüsse
  - Blatt-Schwenkmoment
  - Blatt-Schlagmoment
  - Blatt-Torsionsmoment
  - Gondel-Rollmoment
  - Gondel-Nickmoment
  - Turm-Längsbiegung
  - Turm-Querbiegung
  - (Offshore: Wellen, Plattformbewegungen)
- Gravitationseinfluss
  - Blattbiegung Schlagrichtung
  - Blattbiegung Schwenkrichtung
- Technische Einflüsse
  - Individual Pitch Control (IPC)
  - Twist Bend Coupling Blades

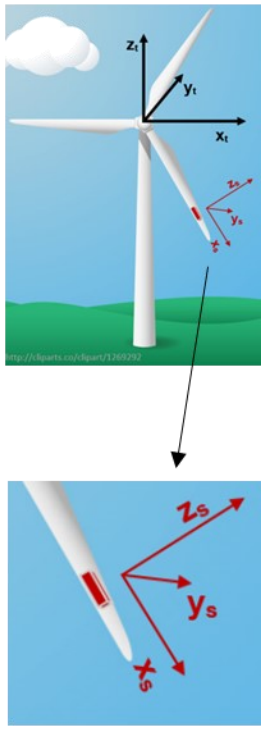


© eologix sensor technology gmbh 2022

2. Beschleunigungsmessung
Beispiel-Messergebnis von einem Sensor (1)

- Zwei Rotorumläufe

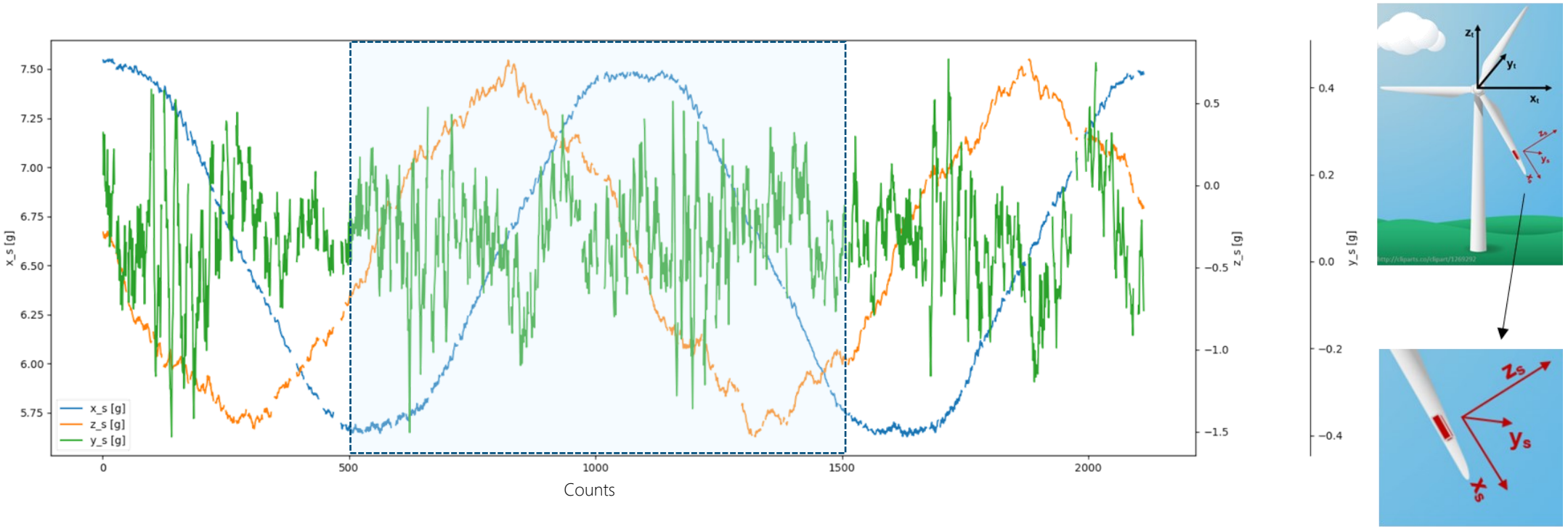




© eologix sensor technology gmbh 2022

2. Beschleunigungsmessung
Beispiel-Messergebnis von einem Sensor (2)

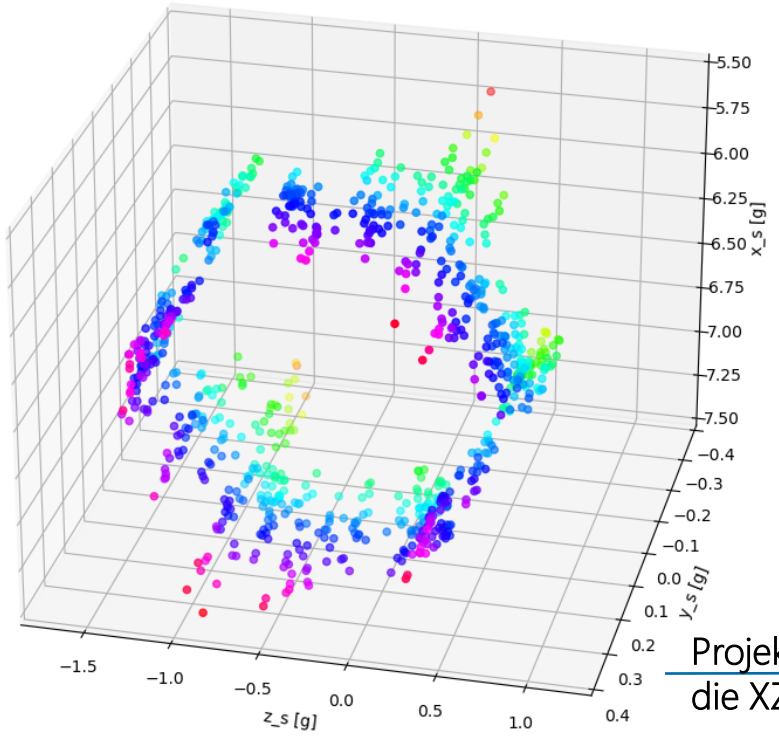
- Auswahl: Knapp ein Rotorumlauf



© eologix sensor technology gmbh 2022

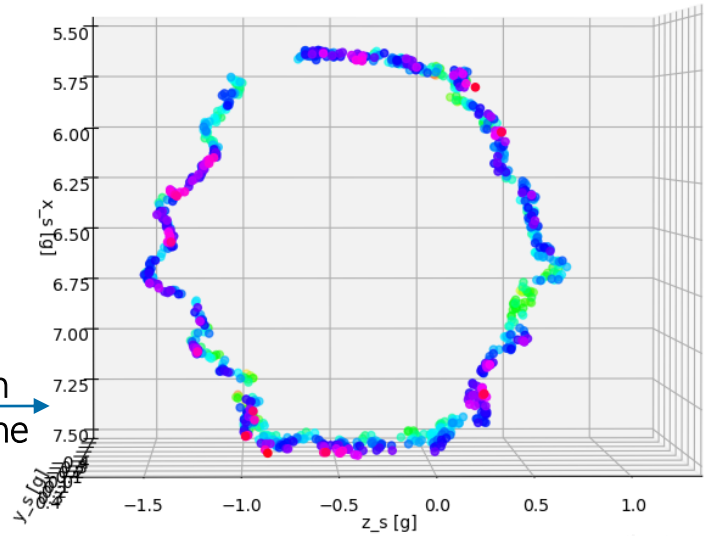
2. Beschleunigungsmessung
Beispiel-Messergebnis von einem Sensor (3)

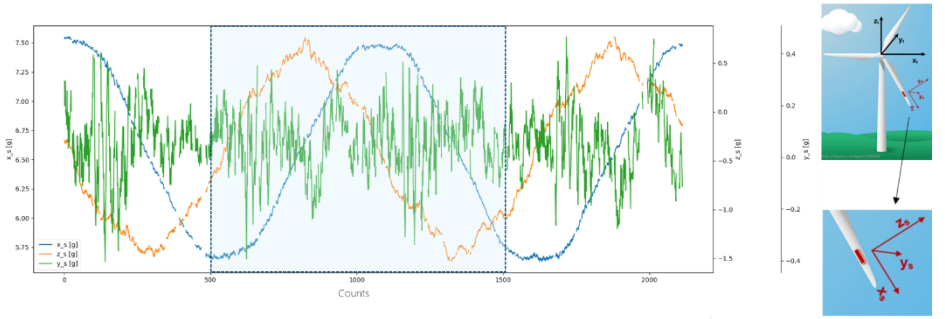
- Messwerte aus knapp einem Rotorumlauf

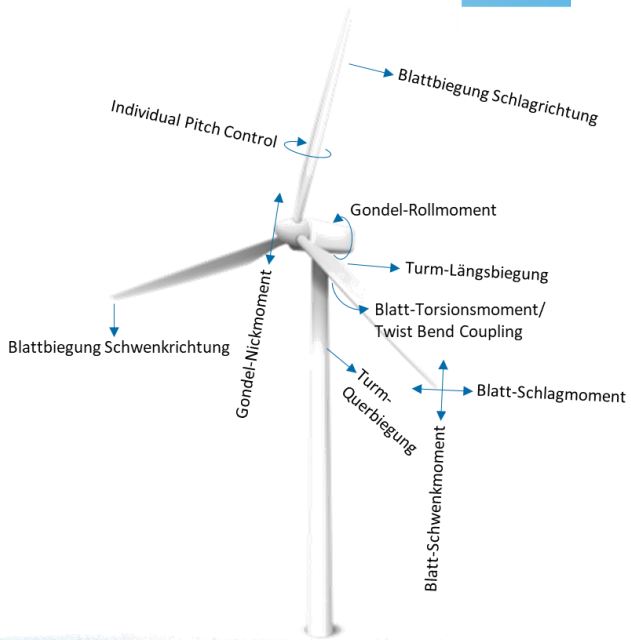


g-Kräfte in 3D-Darstellung des Rotorumlaufs

Projektion in die XZ-Ebene



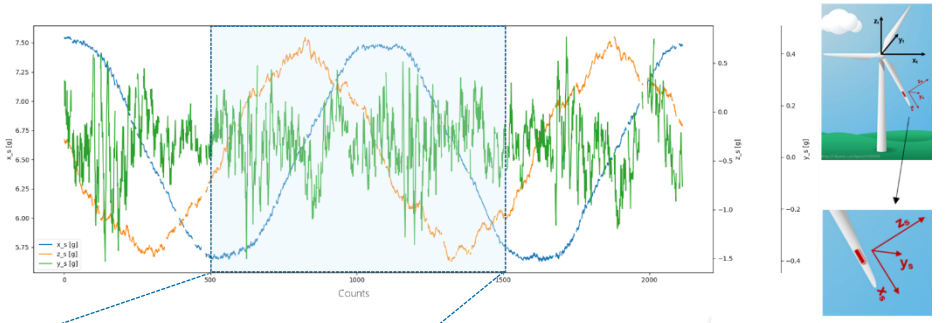


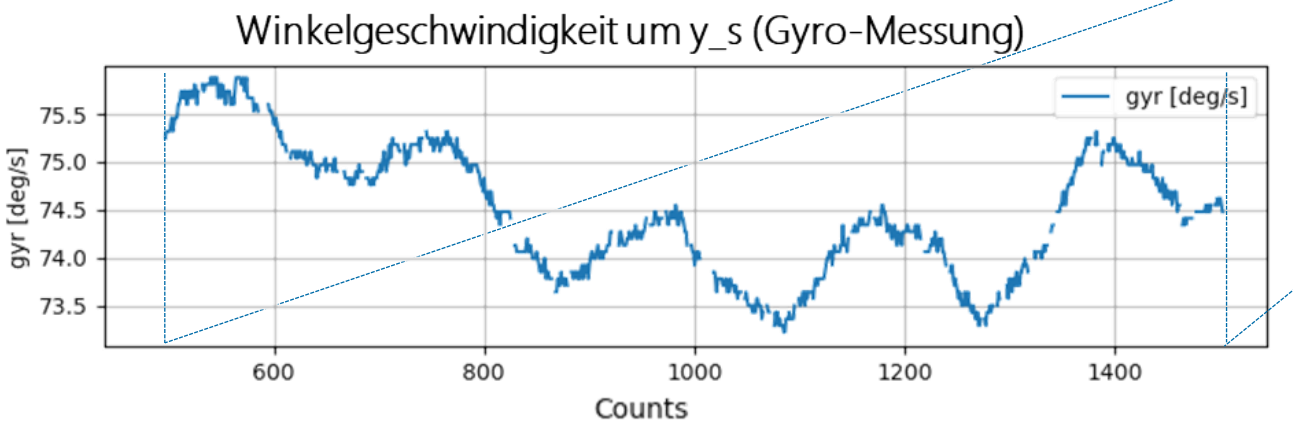


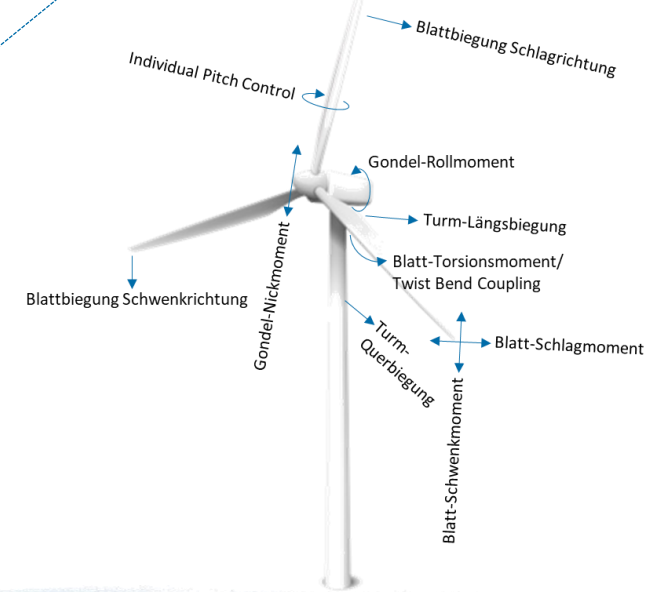
© eologix sensor technology gmbh 2022

2. Beschleunigungsmessung
Beispiel-Messergebnis von einem Sensor (4)

- Messwerte aus knapp einem Rotorumlauf







© eologix sensor technology gmbh 2022

3. Pitchwinkel-Bestimmung
Herausforderungen

- Störeinflüsse (Aero-elastische Einflüsse, Gravitation, Blattverhalten) müssen berücksichtigt bzw. gefiltert werden.
- Es liegt keine Information über die Pitchwinkel-einstellungen oder die Pitchstrategie auf der Anlage vor. Auch die Blattprofile sind nicht bekannt.
- Von der Windkraftanlage gibt es idR keine (zeitlich hochaufgelösten) Informationen über Betriebszustand oder Rotordrehzahl.

Quelle: https://www.windkraft-journal.de/2018/12/18/enercon-realisiert-eologix-windkraftanlagen-mit-neuem-eiserkennungssystem/131057

© eologix sensor technology gmbh 2022

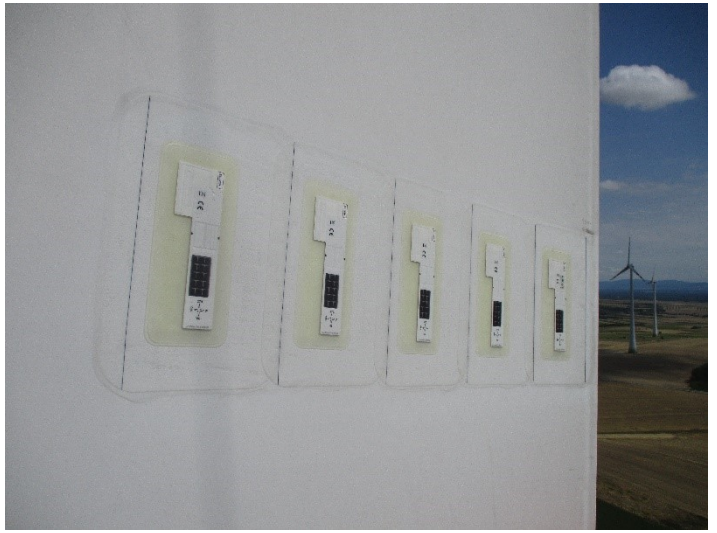
3. Pitchwinkel-Bestimmung

Lösung bzw. Umsetzung

- Die Verwendung von mehreren Sensoren pro Blatt erlaubt es, aus den Beschleunigungsmessungen der einzelnen Sensoren eine räumliche Orientierung des Blattes zu bestimmen.
- Der Vergleich der räumlichen Orientierungen zweier Blätter führt zum relativen Pitchwinkel zwischen den Blättern.
- Um hohe Messgenauigkeit zu gewährleisten, erfolgen die Messungen aller Sensoren auf einer Anlage zeitgleich, mit einer Abweichung von weniger als 1 ms.

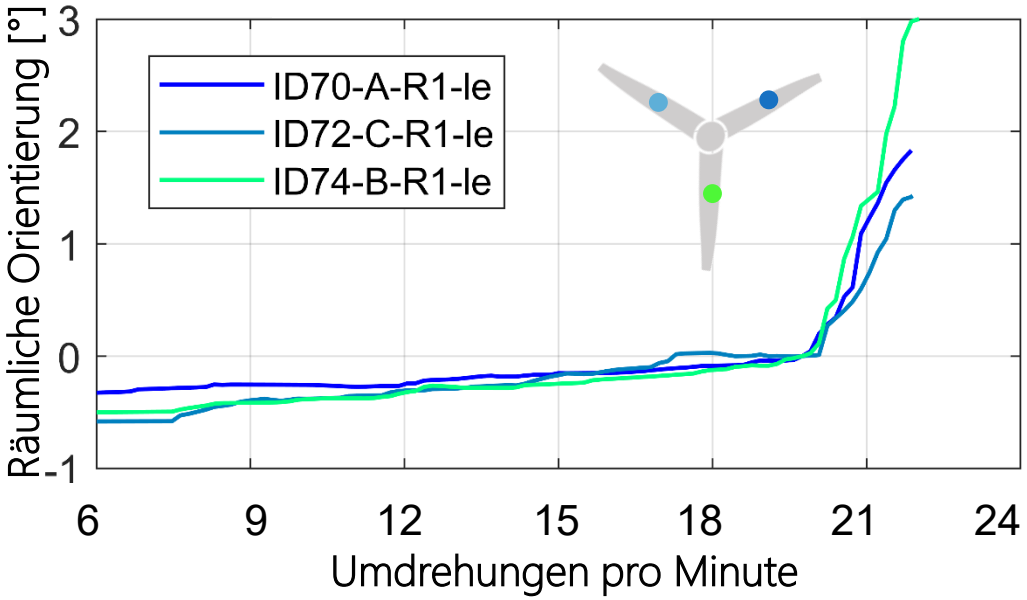
3. Pitchwinkel-Bestimmung
Das System **eologix:align**

- In der aktuellen Generation besteht das System **eologix:align** aus
  - bis zu 15 Sensoren (je 5 pro Blatt)
  - 1 Basis-Station, diese
    - …triggert und synchronisiert die Sensoren, um eine gleichzeitige Messung aller Sensoren zu gewährleisten
    - …empfängt die Messdaten von den Sensoren
    - …überträgt die Messdaten an den eologix-Server
  - 1 eologix-Server, der die Berechnung der relativen Pitchwinkel einer Anlage durchführt

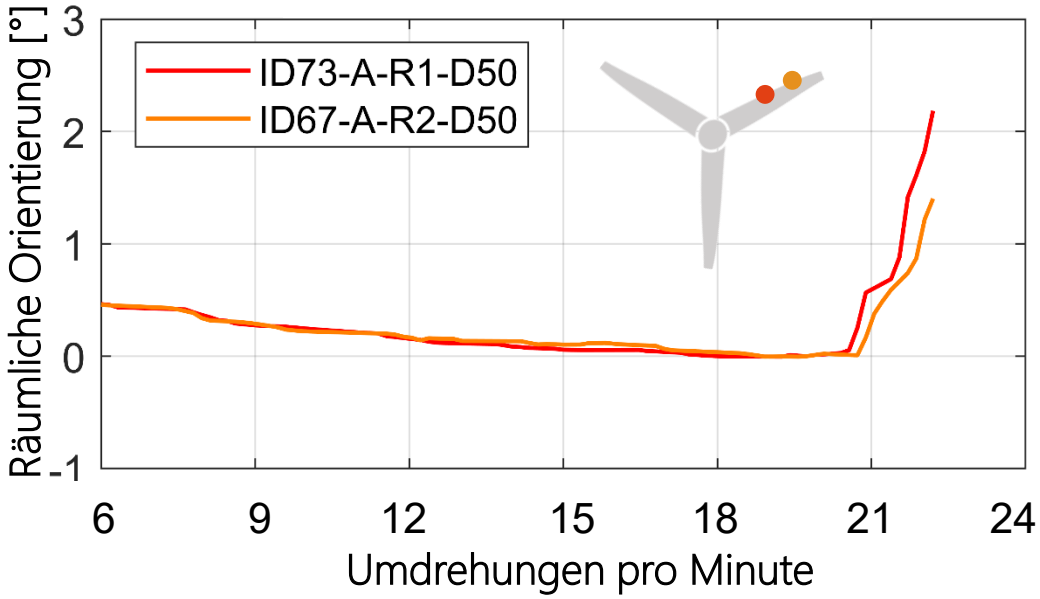


3. Pitchwinkel-Bestimmung
Beispiel: Ergebnisse zweier Messkampagnen

Räumliche Orientierung gemessen auf 3 Blättern, mit je einem Sensor pro Blatt



Räumliche Orientierung gemessen auf einem Blatt, mit zwei Sensoren an unterschiedlicher Wurzeldistanz

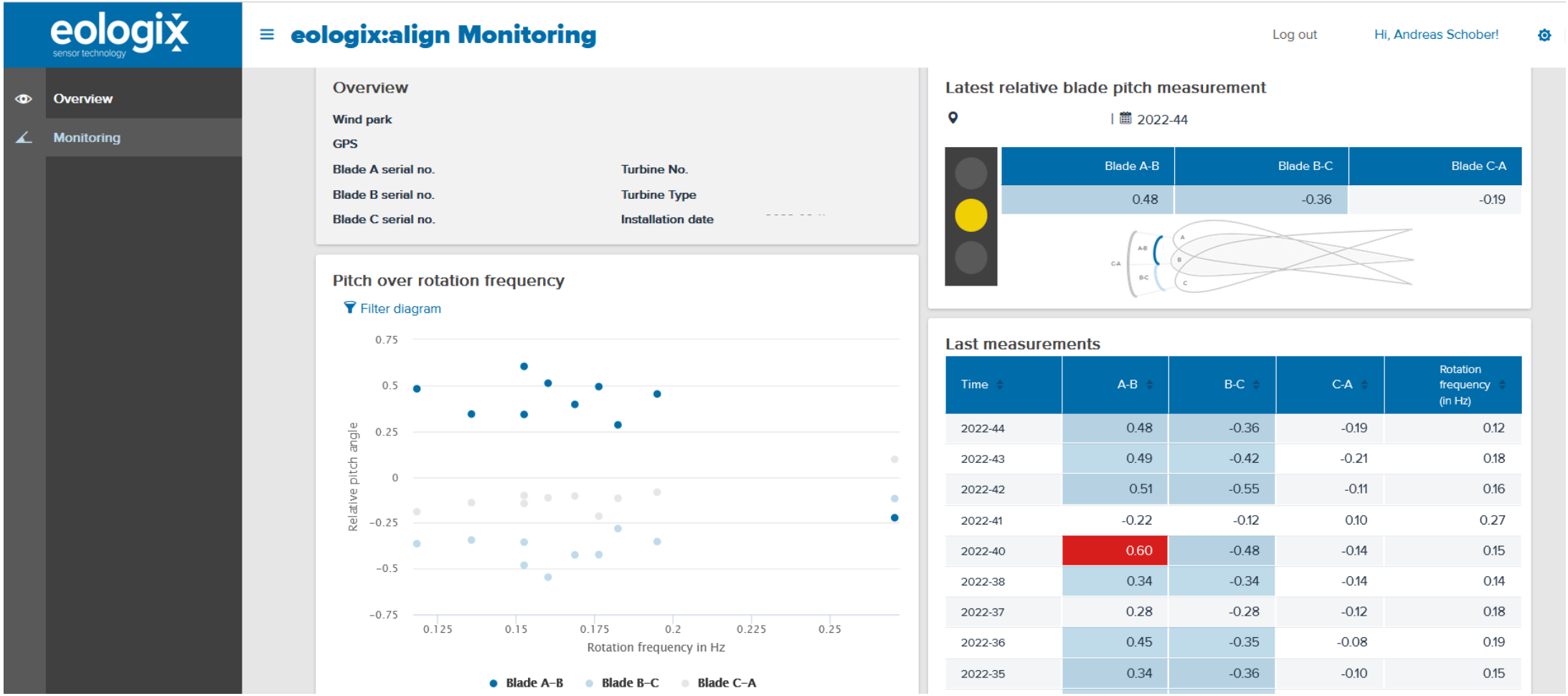


Der Vergleich der räumlichen Orientierungen zwei Blätter führt zum relativen Pitchwinkel zwischen den Blättern.

© eologix sensor technology gmbh 2022

3. Pitchwinkel-Bestimmung

Beispiel: Ergebnisse im eologix-Dashboard



4. eologix Status Quo & Ausblick
Derzeitige Anwendungen

- Mit dem eologix-Sensor können direkt an der Blattoberfläche derzeit bereits gemessen werden:
  - Eis/Niederschlag
  - Temperatur
  - Beschleunigung und Winkelgeschwindigkeit

- Basierend auf der Messung dieser Parameter sind bereits vier eologix-Produkte am Markt:

4. eologix Status Quo & Ausblick
Potentielle zukünftige Anwendungen

- Weitere Messgrößen sind denkbar, z.B.:
  - Dehnung der Blattoberfläche
    - ...Messung mit Piezomaterialien
    - ...Messung mit dehnbaren Polymeren
  - Messung der Blattverschmutzung
    - ...Messung über Lichtsensensor
    - ...Messung über adaptierten Eissensor

- Weitere Anwendungen sind möglich, z.B.:
  - Structural Health Monitoring
  - Predictive Maintenance
  - Neben Blatt-Monitoring auch Fokus auf Gondel oder andere Anlagen-Komponenten

SIE HABEN FRAGEN?

Kontaktieren Sie uns.
Wir sind für Sie da.

Developer

Andreas Schober

+43 316 93 12 15 602

andreas.schober@eologix.com

office@eologix.com

+43 316 931215 100

Kratkystrasse 2
8020 Graz, Österreich

PANEL-DISKUSSION

UND OFFENE FRAGEN

SCHLUSSWORT

Präsentation verfügbar via
eologix.com/events

Besuchen Sie uns am
Stand 174
Wir freuen uns auf Sie!