„Einer für alle – neuer Rotorblattsensor- für Eis-, Last- und Strukturüberwachung“

Thomas Iwert & Stephan Friescke & Nikolaos Neraidas & Holger Fritsch, Bachmann Monitoring GmbH

bachmann.

27. Windenergietage, 06. bis 08. November 2018 in Linstow

Was erwartet Sie in den nächsten 20 Minuten

Einer für alle?

Vorstellung „neuer Rotorblattsensor“

- Lastmessung, Eisdetektion und Strukturüberwachung an Rotorblättern
- Vorstellung Messprinzip & Sensorik
- Untersuchungen zur Sensorempfindlichkeit
- Vorstellung von Messergebnissen aus Pilotausrüstungen
- Systemspezifikation

bachmann.

Sensorischer Ansatz – Cantilever-Sensor

- Messung der Dehnung über eine integrale, kraftlose Wegmessung
- Mittelung über lokale Inhomogenitäten
- Umsetzung: Ausführung des Sensors als Cantilever-System mit induktivem Wegsensor

Modell CL-Sensor: Dehnungsmessung mit induktiven Wegsensor

CAD-Modell – CL-Sensor im eingebauten Zustand mit Abdeckung

bachmann.

Eigenschaften und Vorteile des Sensordesigns

Vorteile

- CL-System erfasst Gleich- und Wechselanteile der Blattdehnung
- minimiert Einflüsse lokaler Inhomogenitäten durch größere Referenzstrecke
- Kraftlose Dehnungensmessung
- basiert auf robuster, industrieerprobter Standardsensorik
- unkomplizierte Installation.

Vorbereitung der Installation der Rotorblattsensoren

bachmann.

Anwendungsbereiche – Cantilever-Sensor

Anwendungen

CL-Sensoren sind für Anwendungen in Rotorblättern von Windenergieanlagen konzipiert:

- Eigenfrequenzänderungen zur Eisdetektion oder Strukturüberwachung
- Erfassung der Lasthistorie (z.B. über „Rainflow-Counting“)
- zur Erfassung kritischer Betriebszustände und momentaner Lasten
- Auch einsetzbar als „Istwert-Geber“ zur Einzelpitchregelung (ipc)

bachmann.

Prüfstandsversuche: Ziele und Ergebnisse

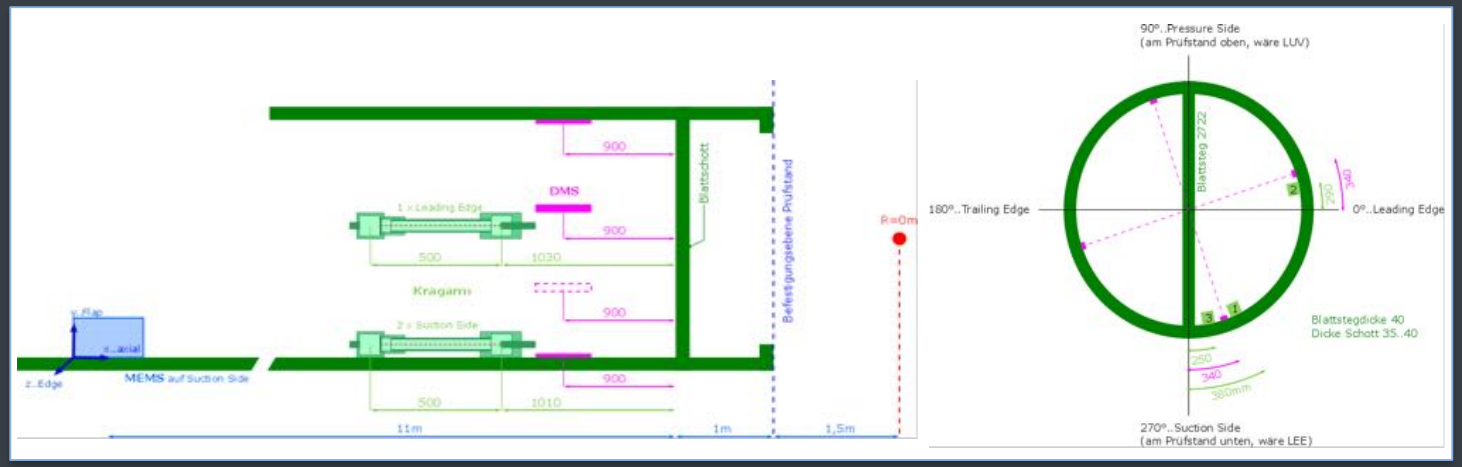
Ziele:

- **Allgemein:** Abschätzung der Empfindlichkeit der CL-Sensoren
  Konkret: Nachweis der Massenzunahme über eine Änderung von Blatteigenfrequenzen

Versuchsdurchführung:

1. Stufenversuch – Messung der statischen Auslenkung flapwise, stufenweise Variation der Last

2. Bestimmung der 1.Eigenfrequenz bei dynamischer Anregung

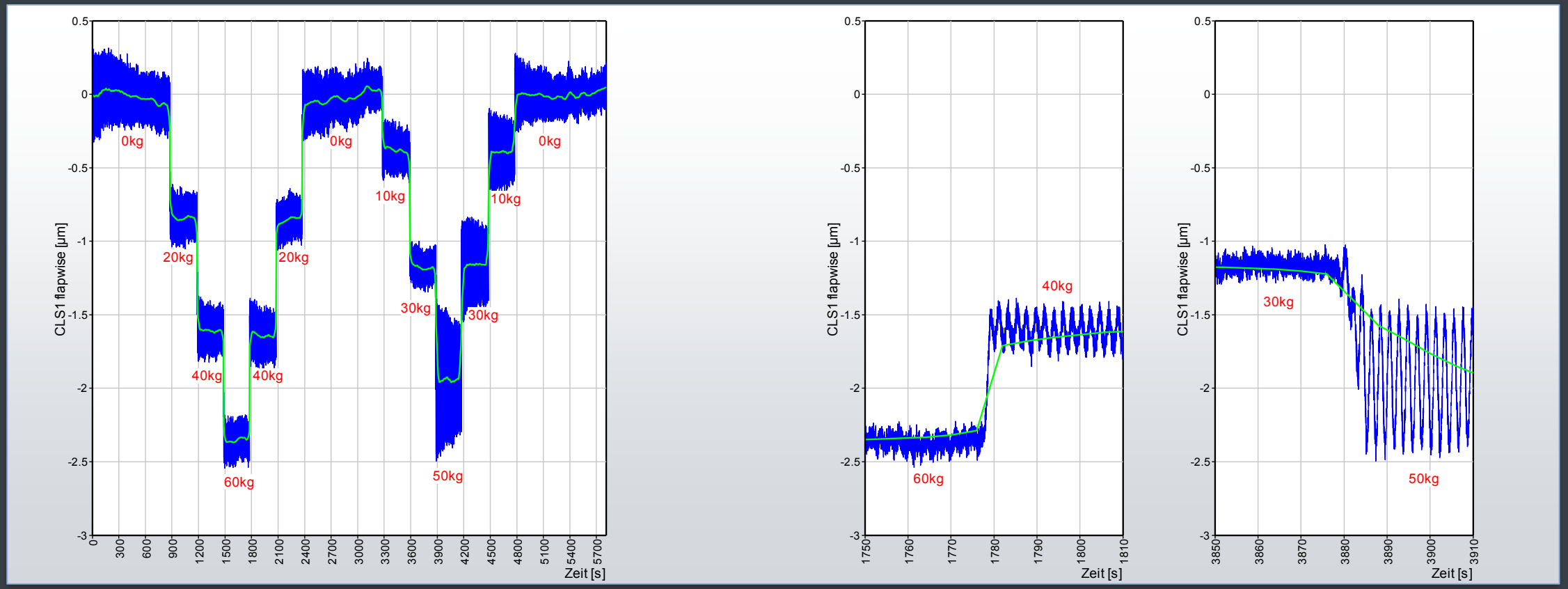


Einbauschema der CL- und Referenz-Sensoren

bachmann.

Prüfstandsversuche - Messergebnisse

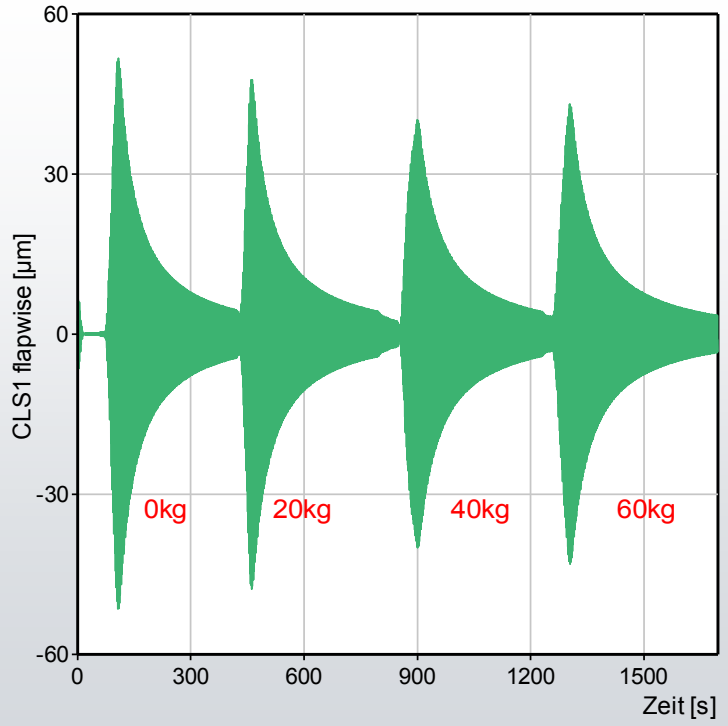
- Stufenversuch CL-Sensor (flapwise)
- Blattbiegungen werden hochempfindlich und rauscharm erfasst



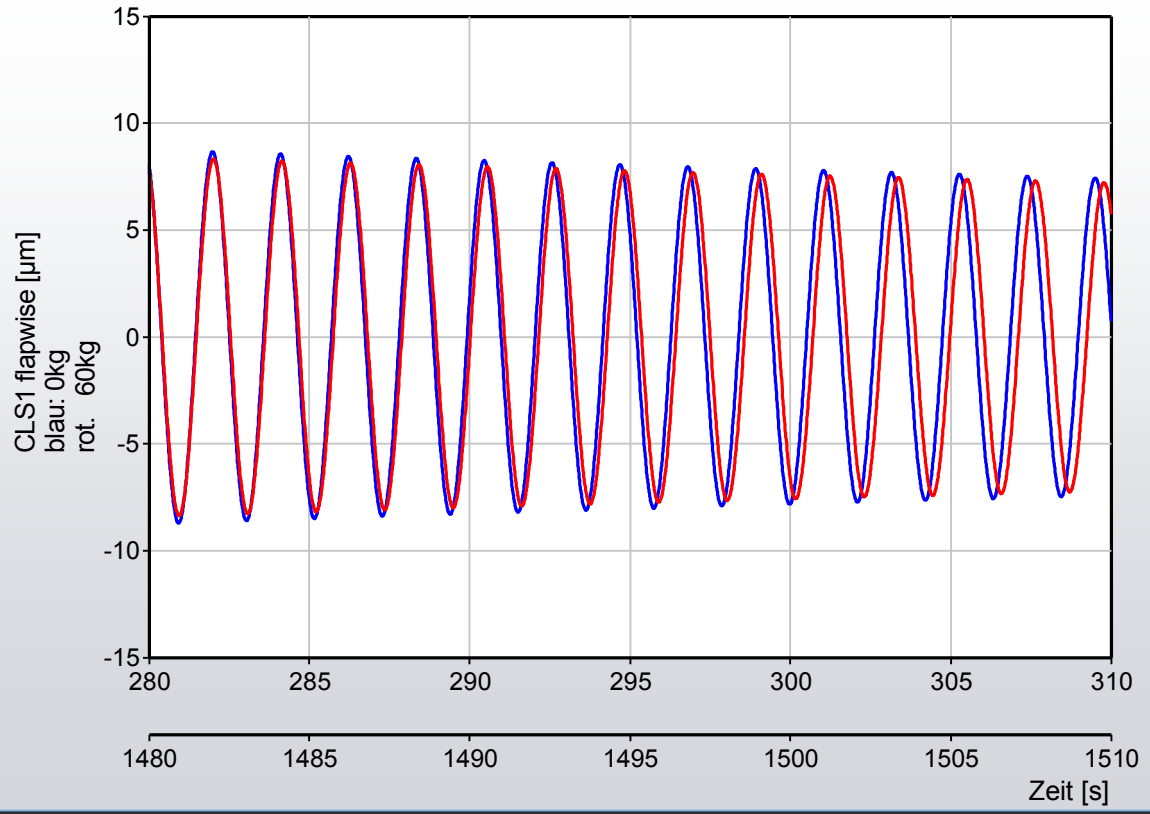
Das Blatt ist während der Stufenversuche ständig angeregt! Die blaue Kurve ist daher nicht „verrauscht“, sondern bildet diese Mikroschwingungen mit ab (siehe vergrößerte Signalabschnitte Abb. rechts).

Ausschwingversuche am Prüfstand

- manuelle Anregung der 1.Eigenfrequenz flapwise für unterschiedliche Zusatzlasten, dann Ausschwingen des Blattes zur Bestimmung der lastabhängigen Eigenfrequenz



Signalabschnitt 20s - mit Zusatzlast sinkt Schwingfrequenz (rote Kurve)

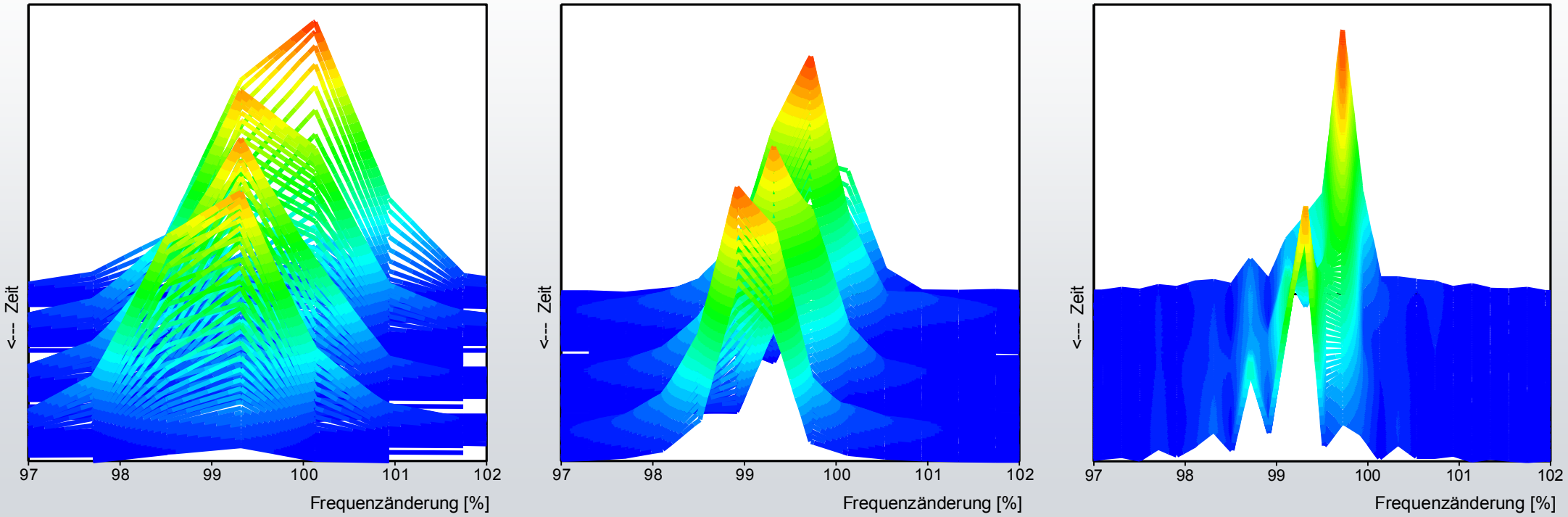


Lastabhängige Änderung der 1. Eigenfrequenz (flapwise)

spektral ermittelte Eigenfrequenz für CLS1 – Problem: Zeit- / Frequenz-Unschärfe von FFT-basierten Algorithmen

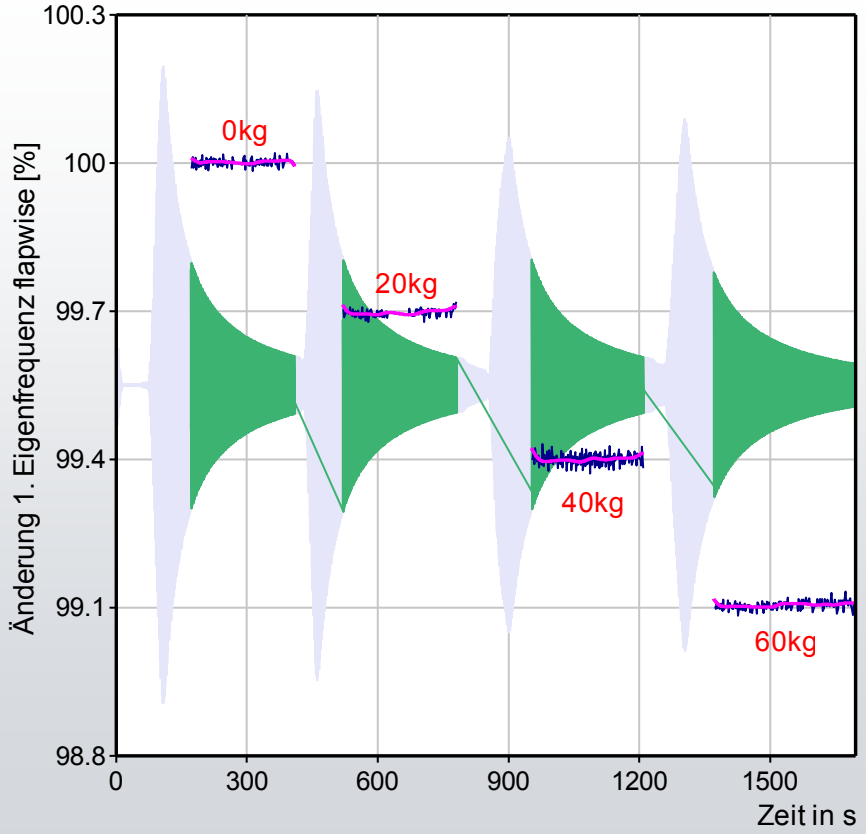
hohe Zeitauflösung
geringe Frequenzauflösung

geringe Zeitauflösung
hohe Frequenzauflösung



Lastabhängige Änderung der 1. Eigenfrequenz (flapwise)

„Magenta“ – gemittelte lastabhängige Eigenfrequenzen



- Zur Reduzierung der Zeit- / Frequenz-Unschärfe werden die Eigenfrequenzen des Blattes mathematisch modelliert.
- Die Eigenfrequenz wurde nur für die grün gekennzeichneten Signalabschnitte bestimmt (ungestörte Blattschwingung).
- Die blaue Kurve zeigt die ermittelten Momentanfrequenzen aus dem Modell. Die magenta-farbene Kurve ist eine gemittelte Darstellung dieser Frequenzen.

Fazit:
Eine Massenzunahme des Rotorblatts kann mit den CL-Sensoren (zeitlich und spektral) hochaufgelöst erfasst werden.

Zusammenfassung der Versuchsergebnisse

Ergebnisse der Prüfstandsversuche

- Die Stufenlastversuche zeigen, dass statische Lastzunahmen von 10kg (entspricht 0,07% der Blattmasse) vom CL-Sensor sicher aufgelöst werden.
- Bei den dynamischen Ausschwingversuchen korrelierten die initiierten Frequenzverschiebungen mit den angebrachten Zusatzmassen.
- Die prinzipielle Eignung des CL-Sensor für eine Überwachung modaler Parameter (Eigenfrequenzen, Phasen) zur Eisdetektion ist damit gegeben.

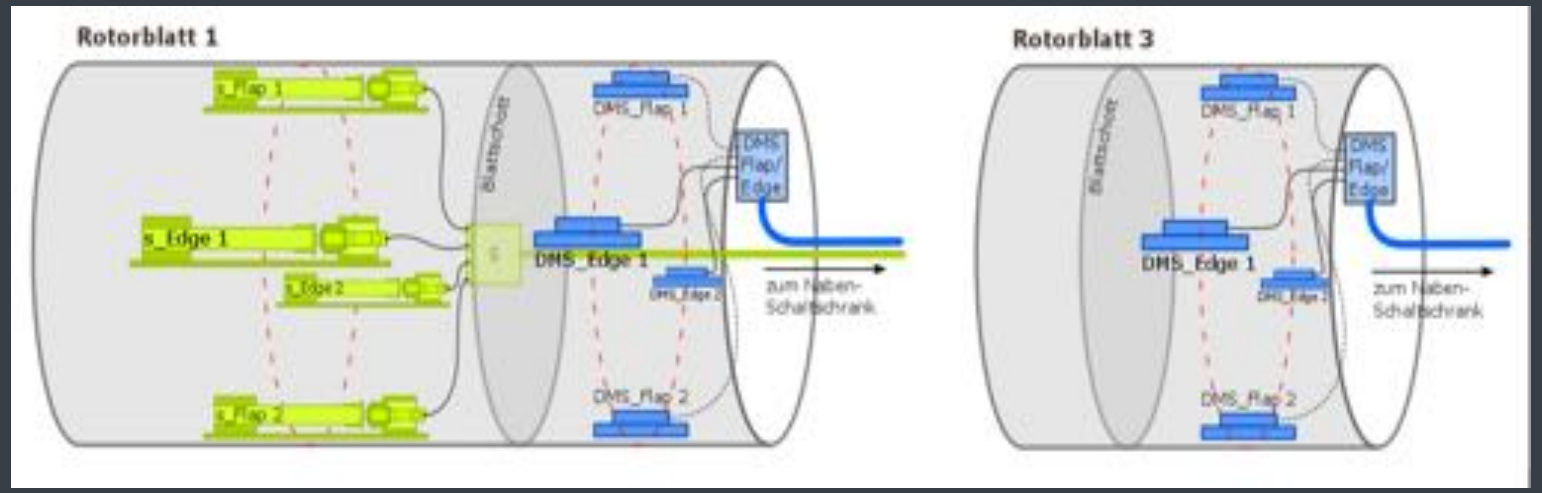
bachmann.

Pilotausrüstung

Installation der Rotorblattsensoren

Pilotausrüstung

- Sensoranordnung



Montage und Verkabelung Schaltschrank

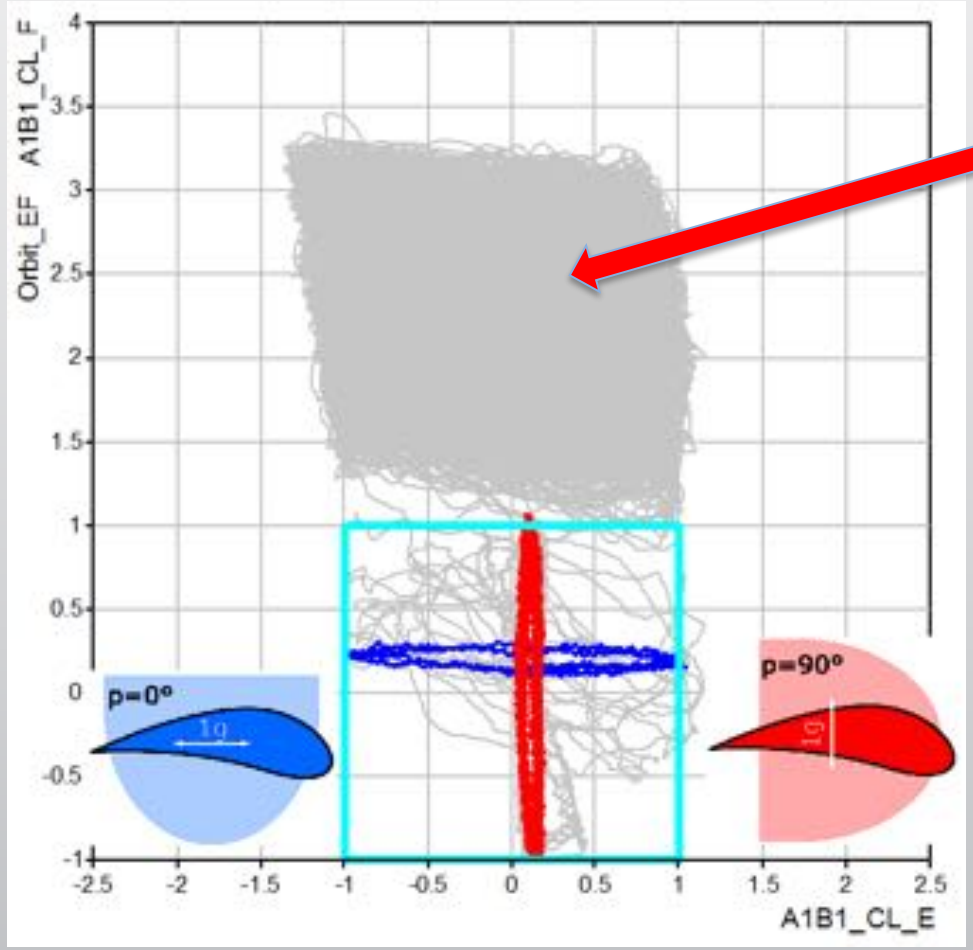
Pilotausrüstung

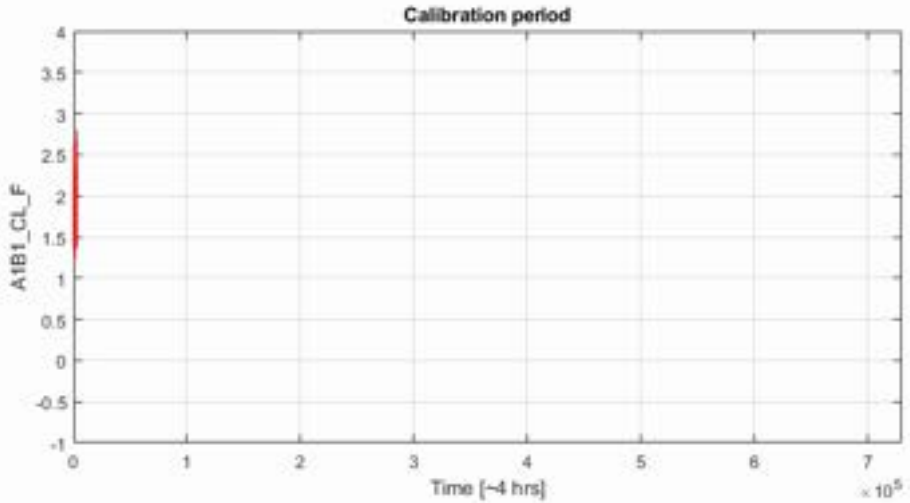
Installation des Systems

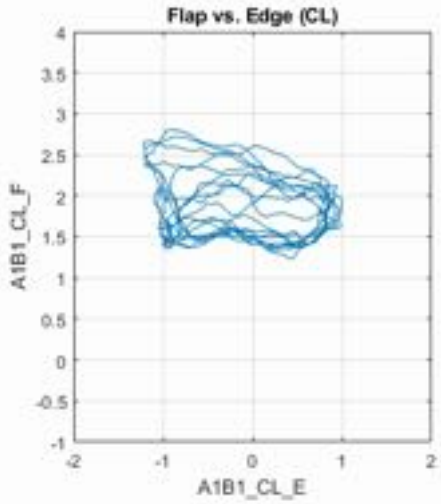
Cantilever-Sensoren in der Blattwurzel

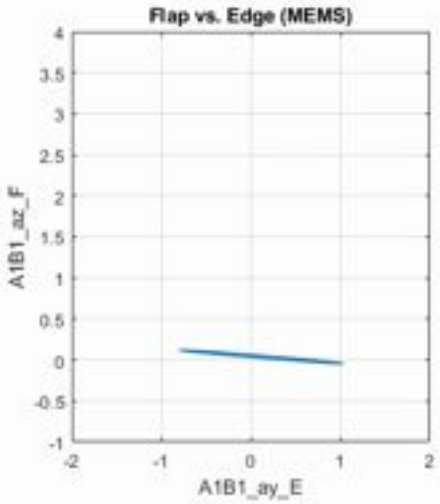
Vergleich von Kalibrierlauf und normalen Anlagenbetrieb

- Trajektorie (Orbit, Bahnkurve) aus CL-Signalen - als vektorielle Überlagerung der edge- and flapwise Biegemomente





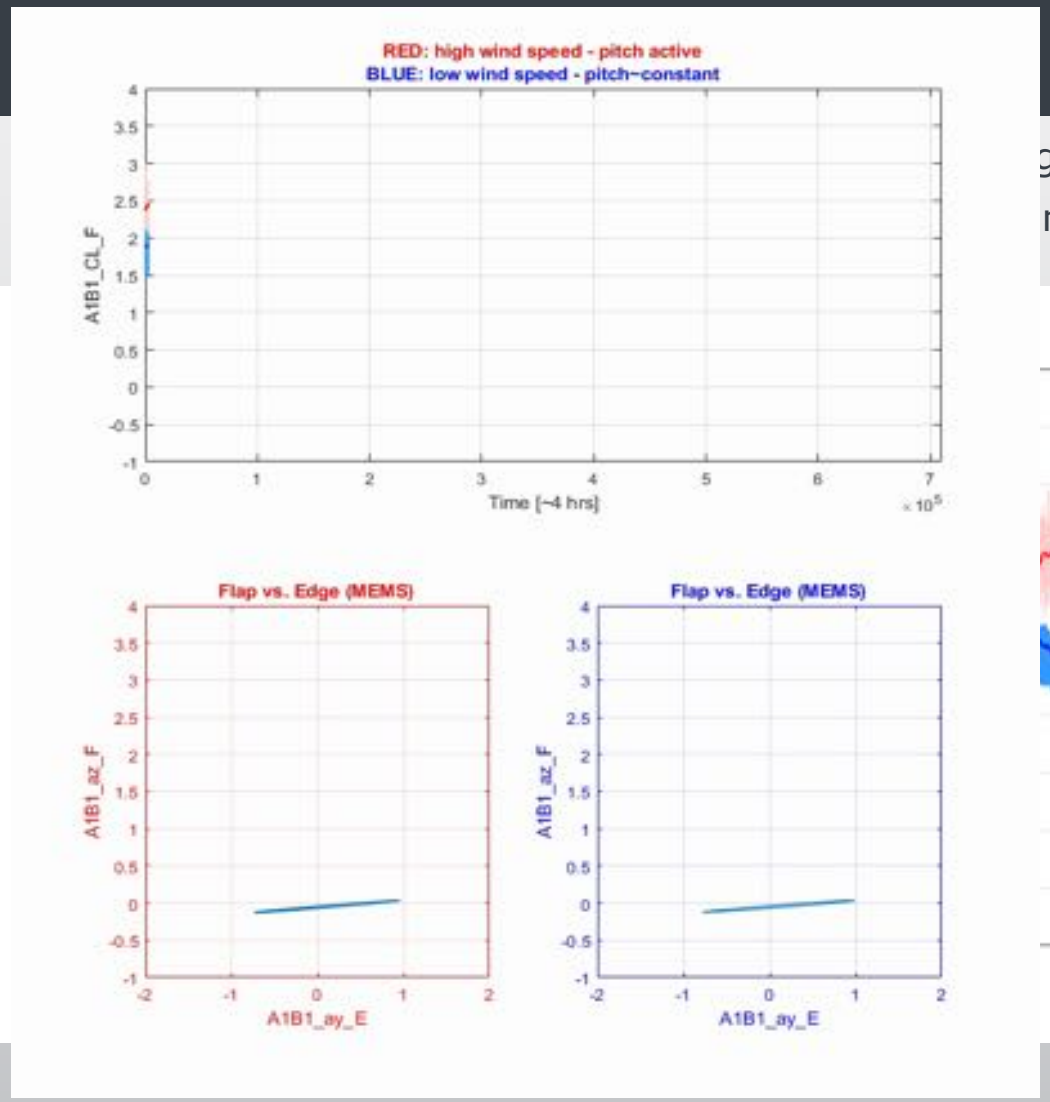


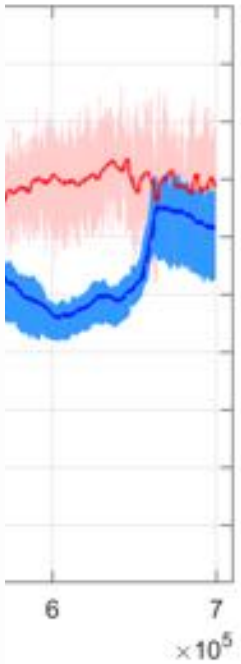


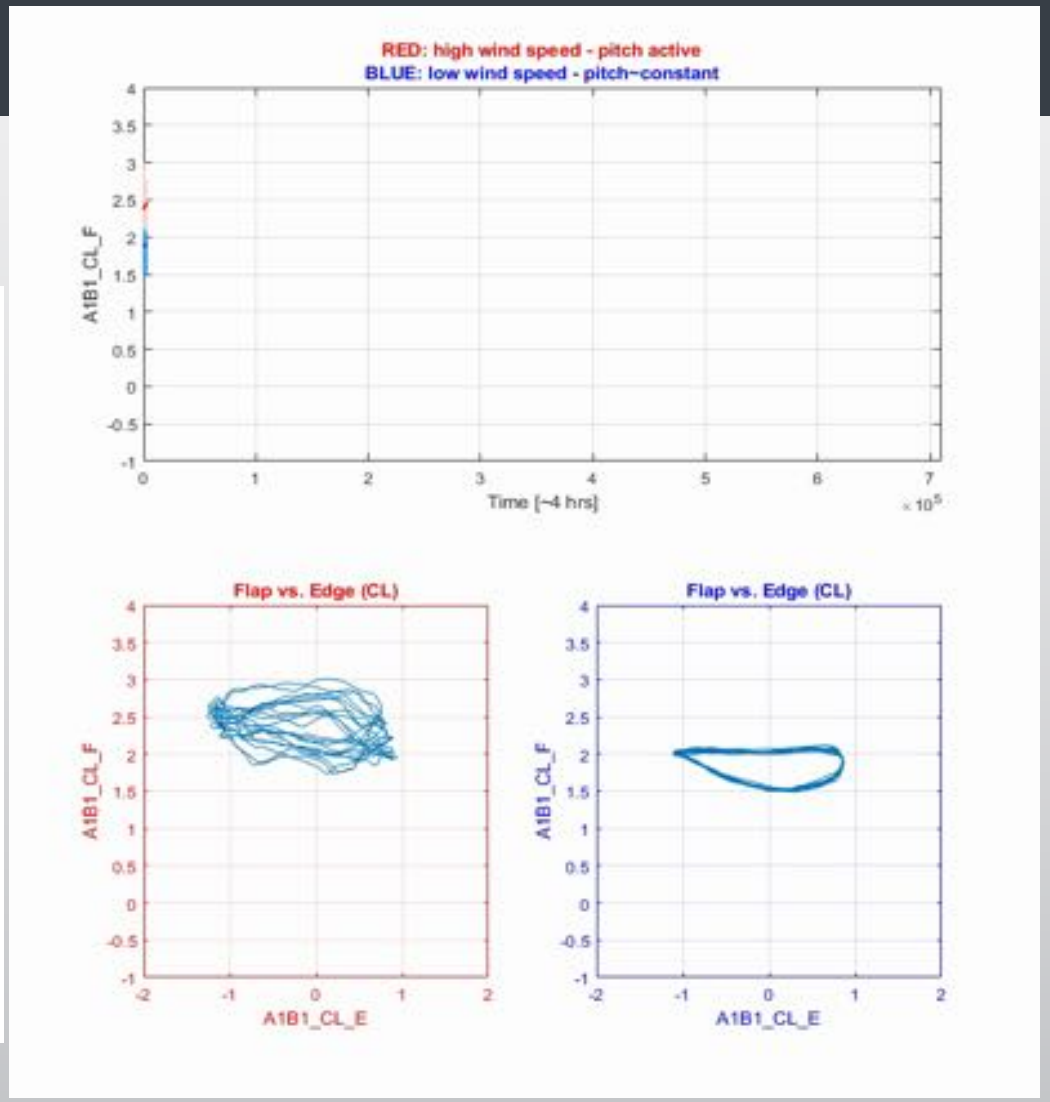
- CLS mit DC- und AC-Lasten
- nur AC-Lasten

Betriebsverhalten – Einfluss der Windlast

- Winddynamik hat starken Einfluß auf „Laufruhe“ bzw. Bewegungsverhalten des Rotorblatts



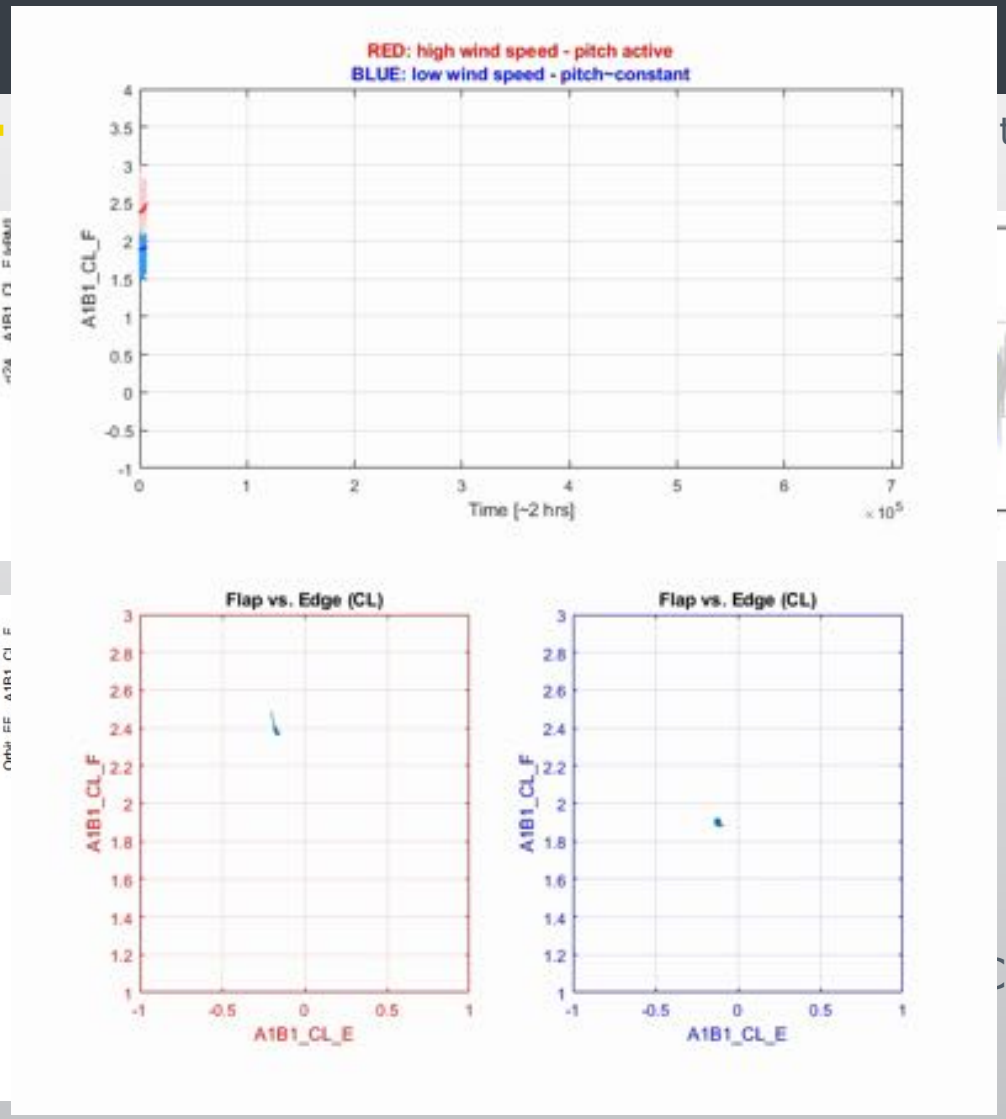




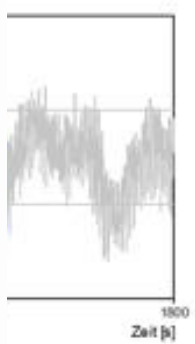
- Orbitale (Beschleunigung flap vs. edge) für unterschiedliche Windlasten, entspricht Beschleunigung der Blattachse
- Orbitale (rel. BM der CLS flap vs. edge) für unterschiedliche Windlasten, entspricht Biegung der Blattachse

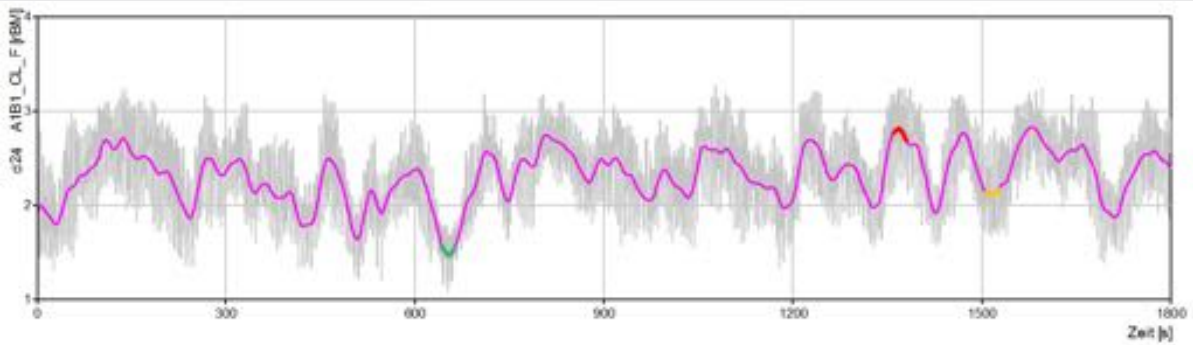
Plausibilisierung von Betriebszuständen

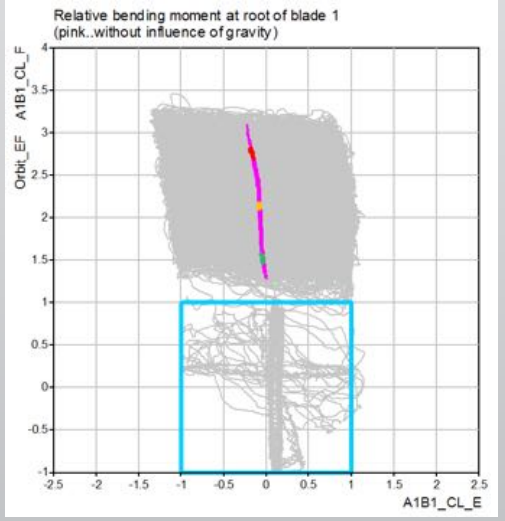
- Mittlere Windlast und gemittelte Orbitale – Einfluss der Windlast (am Beispiel der CL-Sensoren)



t – mittleres Biegemoment (*magenta*) bildet mittlere Windlast ab

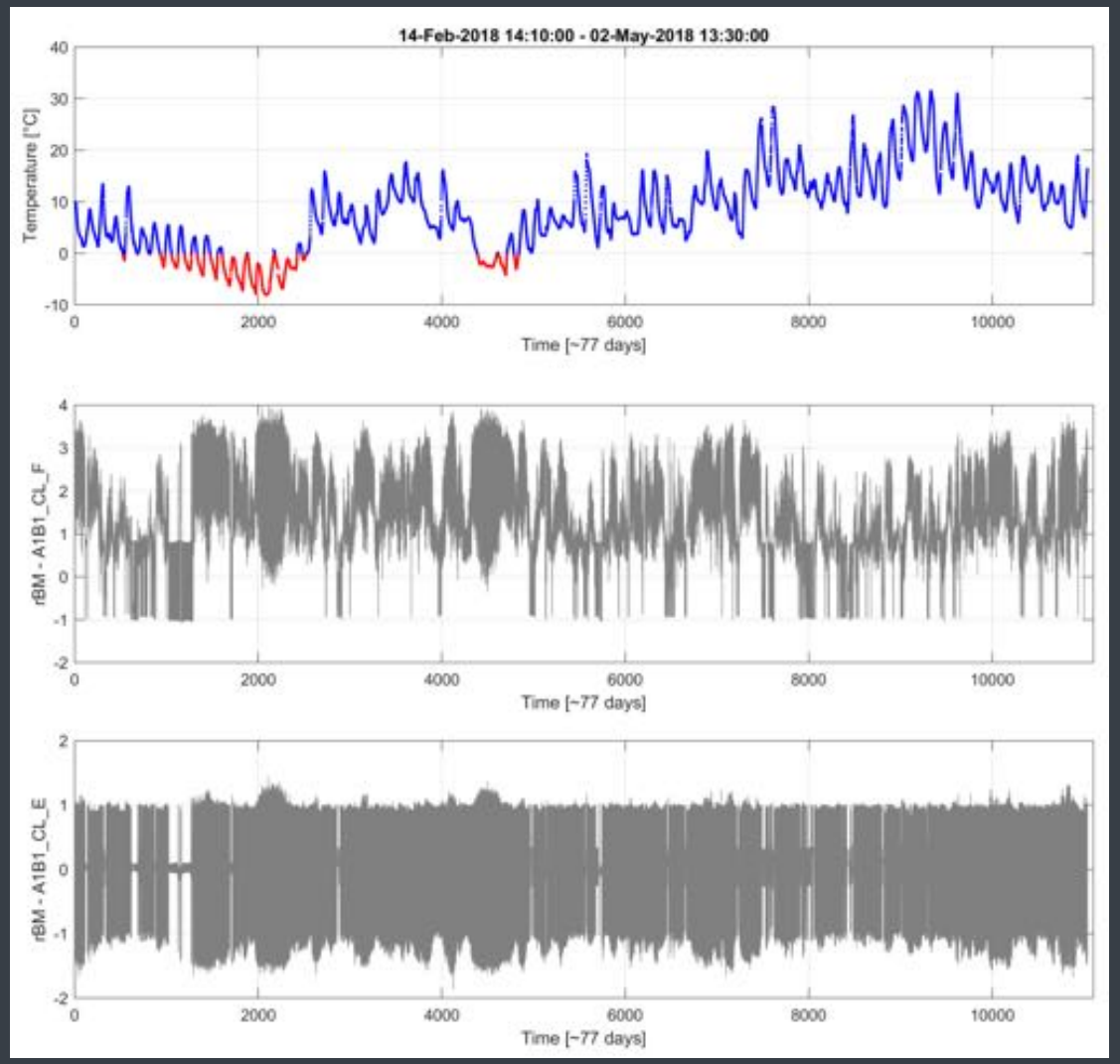




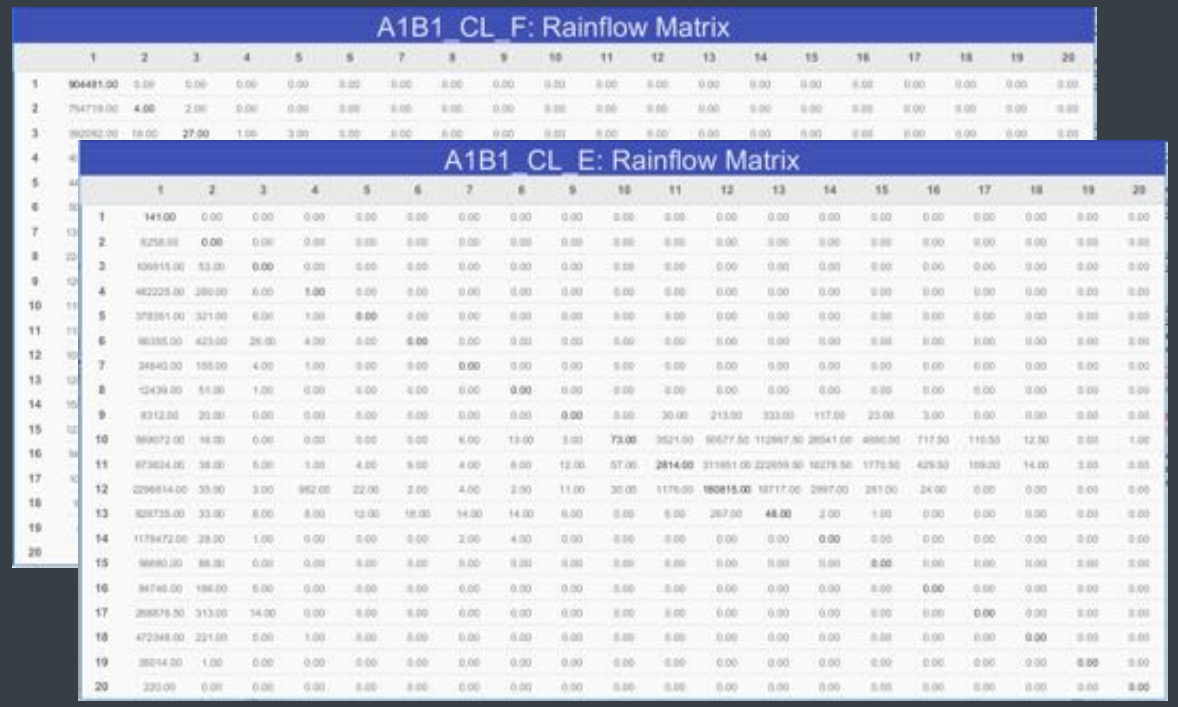


- gemittelte Orbitale für unterschiedliche Windlasten
- Ermöglicht die Erfassung von Veränderungen der Blatteigenschaften

Lasterfassung über Rainflowzählung I



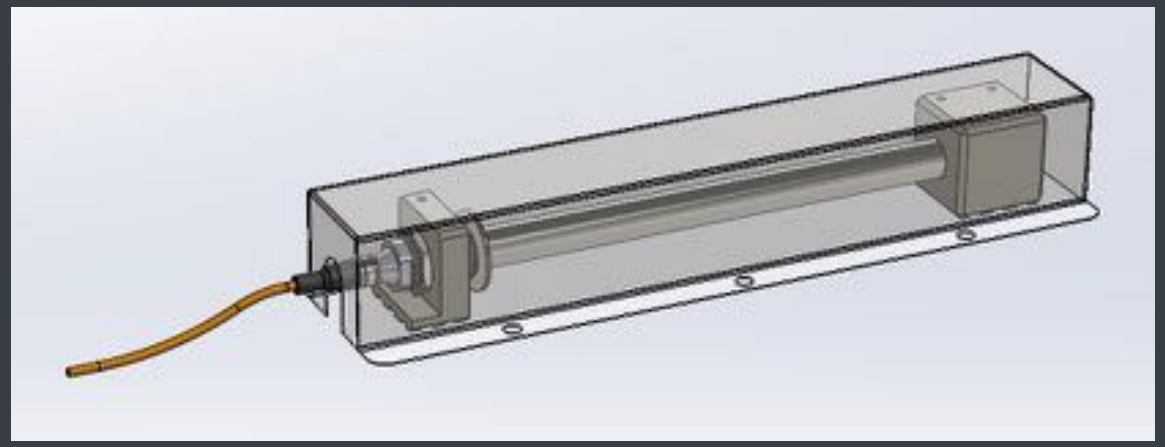
- rel. Biegemoment der CL-Sensoren – ca. 2,5 Monate
- Einteilung des Signalamplituden in **20 *bins,***
  → Berechnung der Rainflow-Matrizen



CL-Sensorspezifikation

Technische Daten zum Sensorelement		
Messgröße	Dehnung, Weg	
Messprinzip	induktiv, Wirbelstrom	
Messbereich absolut (Weg)	0..3 mm	
Messbereich relativ (Dehnung)	± 5000 µm/m	
Signalbandbreite	≤ 50 kHz	
Auflösungen	**absolut** (Auflösung Weg)	**relativ** (Auflösung Dehnung)
@ 10 Hz	0,18 µm	0,6 µm/m = 6E-7
@ 100 Hz	0,24 µm	0,8 µm/m = 8E-7
Temperaturkoeffizient	<0,02 % *vom MB* / K	
Ausgangssignal	4..20 mA (Schleifenwiderstand bzw. Bürde max. 330Ω)	
Ausführung Anschluss	M12 Steckerausgang, 4-polig, A-codiert	
Pinbelegung Anschluss	Pin 1 Ub+ Pin 2 Signal Pin 3 GND Pin 4 *n.b.*	
Einsatztemperatur, Umgebung	-40...+85°C	
Temperaturbereich Lagerung	-40...+100°C	
Schutzklasse	IP69; Öl- und Druckbeständigkeit (50 bar frontseitig)	
Versorgungsspannung	24 VDC (±30%)	
Vibration	5 g, sinusförmig 1...35Hz	DIN EN 60068-2-6
Schock	15 g / 11 ms	DIN EN 60068-2-27
Elektromagnetische Verträglichkeit / Abstrahlung	EN 61326-1 / EN 55011	
RoHS	gem. Richtlinie 2002/95/EG	
MTBF	EN 61709, > 360.000 h	

Spezifikation Cantilever-Sensor CLS-300-EC-26	
Abmessungen in mm	
Gesamtlänge	366,5 mm
freie Cantilever-Länge *(andere Längen realisierbar)*	259,0 mm
Cantilever-Material *(andere Materialien zur thermischen Anpassung realisierbar)*	Titan
Höhe x Breite	50 x 50 mm
Masse	0,46 kg
Targetmaterial	1.4301



CAD-Modell – CL-Sensor im eingebauten Zustand mit Abdeckung

Zusammenfassung: Einsatzmöglichkeiten von CL-Sensoren

Eigenschaften und Vorteile des Sensordesigns

- CL-System erfasst Gleich- und Wechselanteile der Blattdehnung
- minimiert Einfluß lokaler Inhomogenitäten durch größere Referenzstrecke
- misst Dehnungen kraftlos → langzeitstabil
- basiert auf robuster, industrieerprobter Standardsensorik

Das CL-System ist prinzipiell geeignet für/zur:

- **Lasterfassung und Einzelpitchregelung**,
- Überwachung modaler Frequenzen **(z.B. zur Eisdetektion oder Strukturüberwachung)**

bachmann.

Herzlichen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Bachmann Monitoring GmbH
Fritz-Bolland-Straße 7
07407 Rudolstadt

Tel: +49 3672 /3186 100
Fax: +49 3672 /3186 200

http://www.bachmann.info

bachmann.