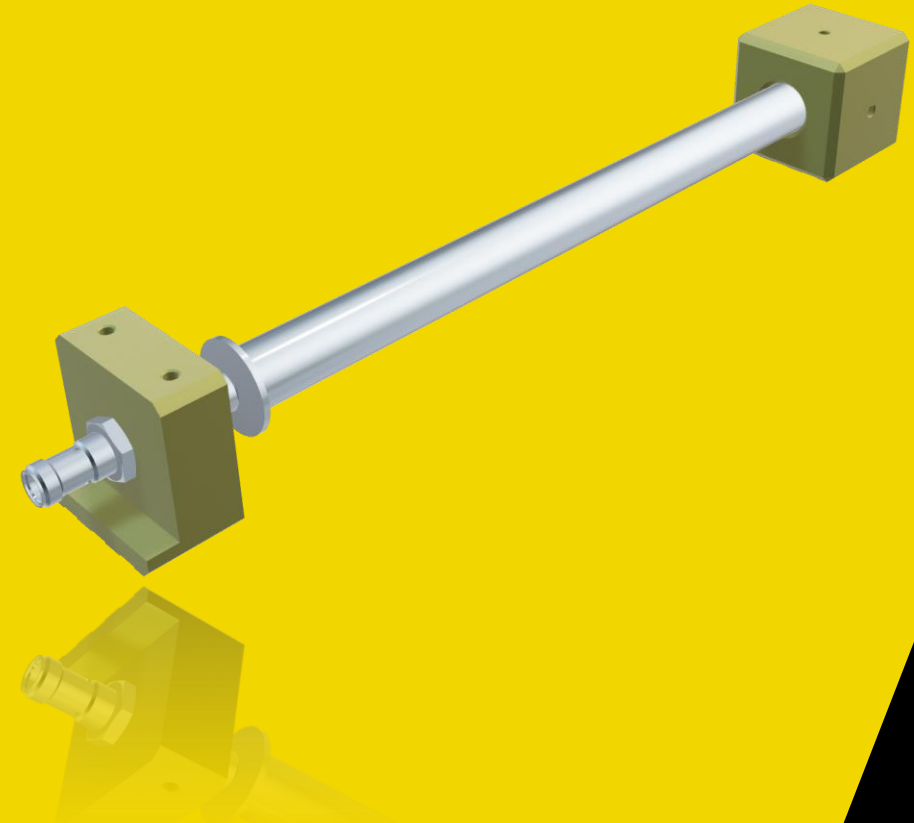


# **BACHMANN**

## **Cantilever-Sensor (CLS)**





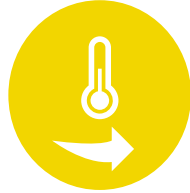
**1. Task (e.g. ipc)**



**2. CLS Sensor principle**



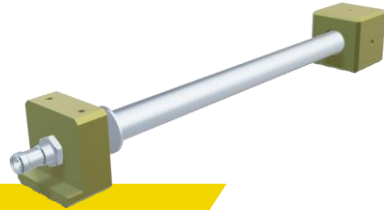
**3. Solution: What's new?**

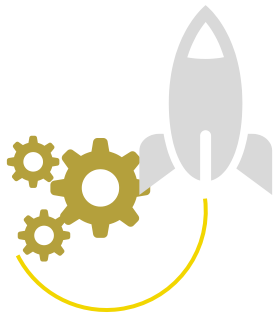


**4. Advantages and Disadvantages**



**5. Benefits**





# IPC: CLS Challenges

01

**A**

Anlagenleistung  
und  
Rotorblätter  
werden immer  
größer



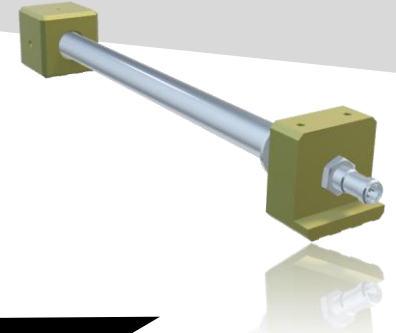
**B**

Lasten am  
Rotorblatt werden  
über immer  
inhomogener

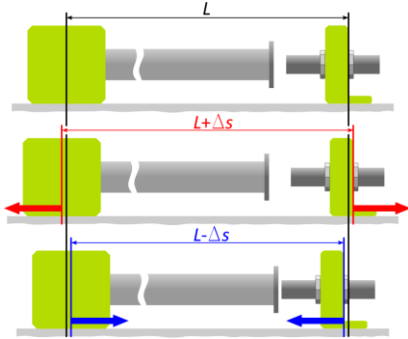


**C**

Zusätzliche  
Schwingungser-  
regungen auf alle  
Komponenten der  
Anlage



# CLS principle



02



**A**

Die Messung der Dehnung wird in eine einfache Messung des Abstandes überführt



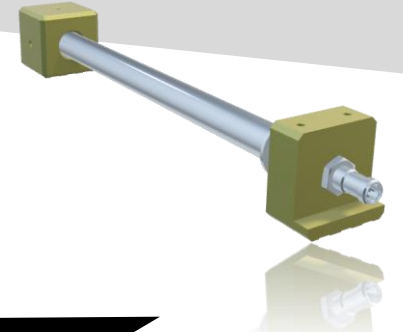
**B**

Kraftfluss zwischen Messfühler und Target ist getrennt (!)

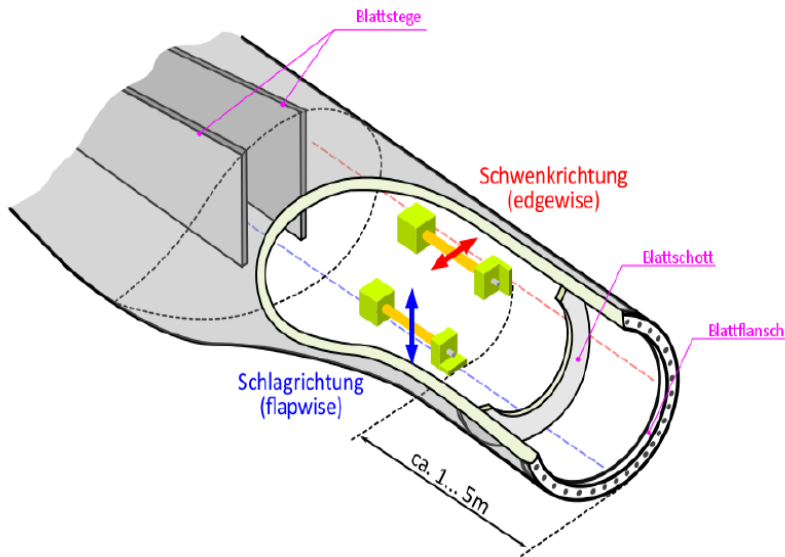


**C**

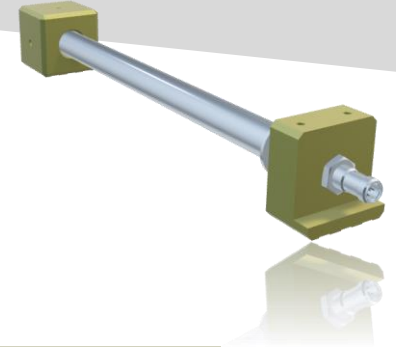
Keine Umwandlungen von Bewegungen und Signalarten notwendig



# 03



## CLS: What's new?



### CLS

- Keine mechanische Alterung, da Dehnungen/Lastspiele kraftlos erfasst werden
- Keine chem. Alterung, da Sensorelement druckfest, öl- und wasserbeständig
- Keine punktuelle sondern integrale und kraftlose Messung der Dehnung

### Anwendungen

- als „Istwert-Geber“ zur **Einzelpitchregelung**
- zur **Lasterfassung** (z.B. Rainflowzählung aller Lastspiele)
- zur **Eisdetektion oder Strukturüberwachung**

04

Reliable

Robust

Signal quality

ICP & ICE & Blade anomaly

# CLS: Cantilever Sensor

**Robuster und zuverlässiger Blattlastsensor mit niedrigsten Investitions- und Betriebskosten**

## Vorteile:

- Robust (einfache Installation!)
- Zuverlässig
- Hohe Signalqualität
- Keine zusätzlichen Signal- und Bewegungsumwandlung



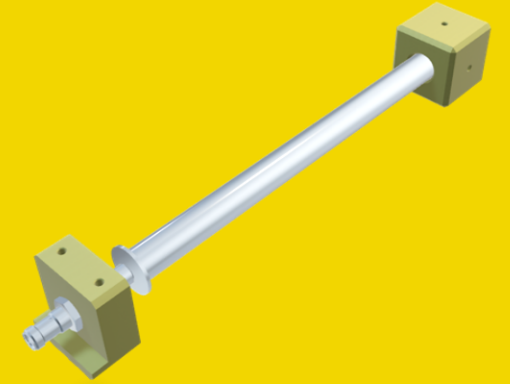
## Nachteil:

- Elektrisch leitende Verbindung zum Sensor  
(Alle Normen werden erfüllt/  
erreichter Maximalstrom/-steilheit:  
215 kA; 79 kA/ $\mu$ s)



# Messprinzip

Additional material for better understanding

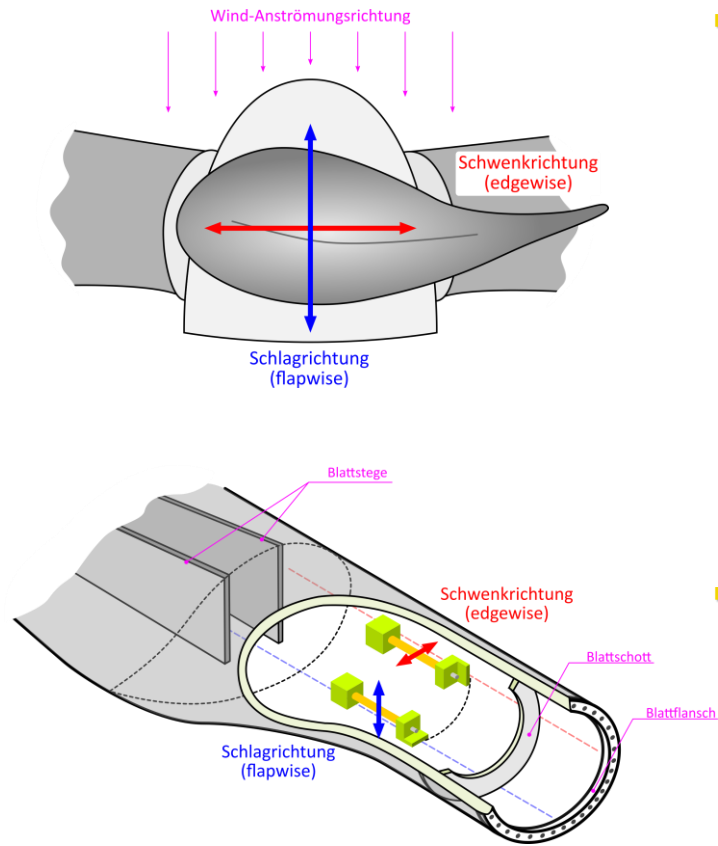


**bachmann.**



# Bonus I

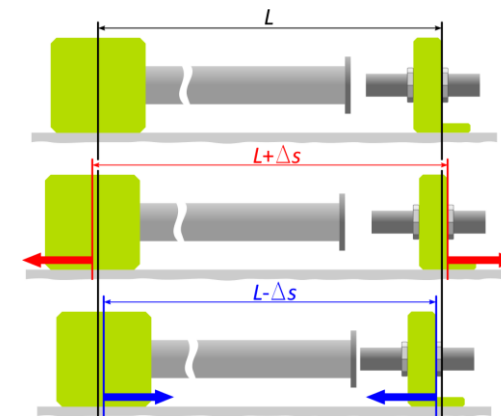
## Pilotprojekt: Ausrüstung N117



- Sensorischer Ansatz:
  - Messung der Dehnung über eine integrale, kraftlose Wegmessung
  - d.h. Erfassung der Dehnung über einen größeren Bereich (einige Dezimeter) zur Mittelung über lokale Inhomogenitäten
- Umsetzung:
  - Ausführung des Sensors als Cantilever-System mit induktivem Wegsensor



- 1 - Cantilever-Halter
- 2 - Sensorhalter
- 3 - Target
- 4 - Cantilever
- 5 - Abstandssensor
- 6 - Messobjekt

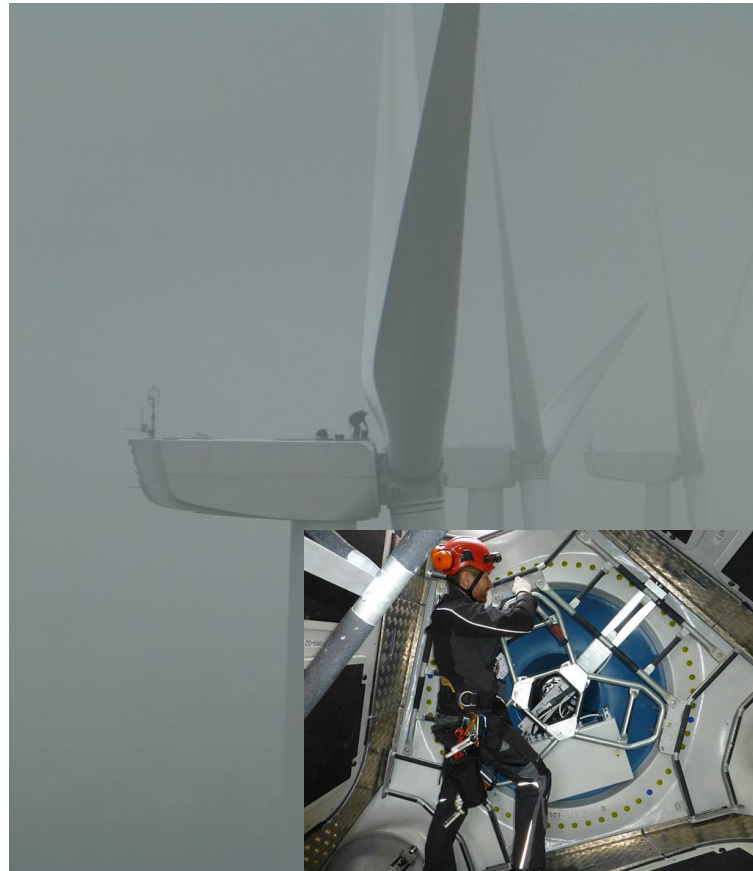




# Pilotprojekt

## NX

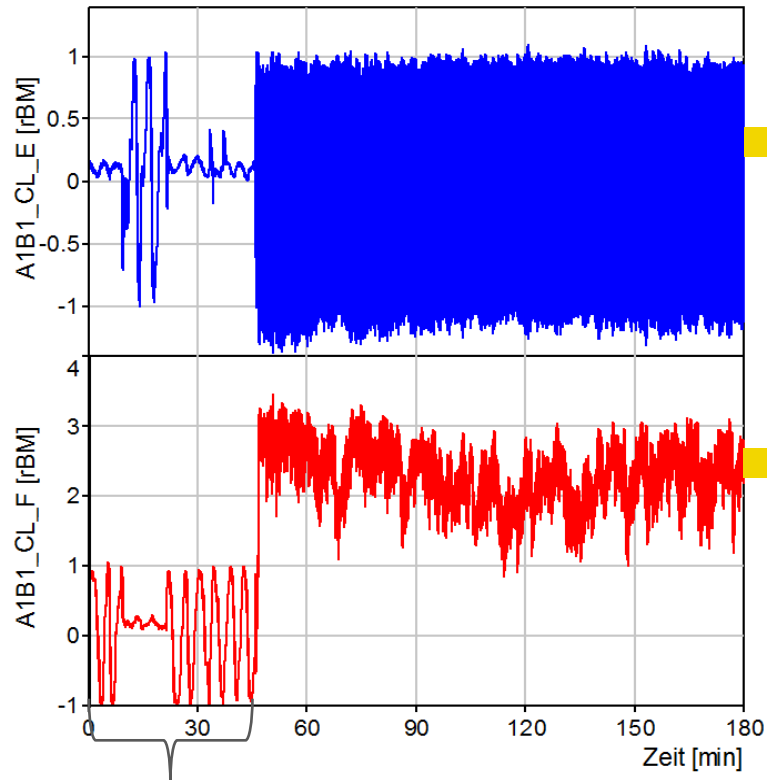
- ✓ Einfache Installation
- ✓ Robust
- ✓ Hohe Verfügbarkeit
- ✓ Mehrere Funktionen mit einem CLS
- ✓ Redundanz mit SCADA – Daten durch neuen Algorithmus
- ✓ Besser als Dehnungsmessstreifen (geringeres Rauschen und Haltbarkeit)



# Lastüberwachung im Rotorblatt

## Plausibilisierung von Betriebszuständen

Trajektorie (Orbit, Bahnkurve) entspricht der Auslenkung der Blattachse in Schwenk- und Schlagrichtung

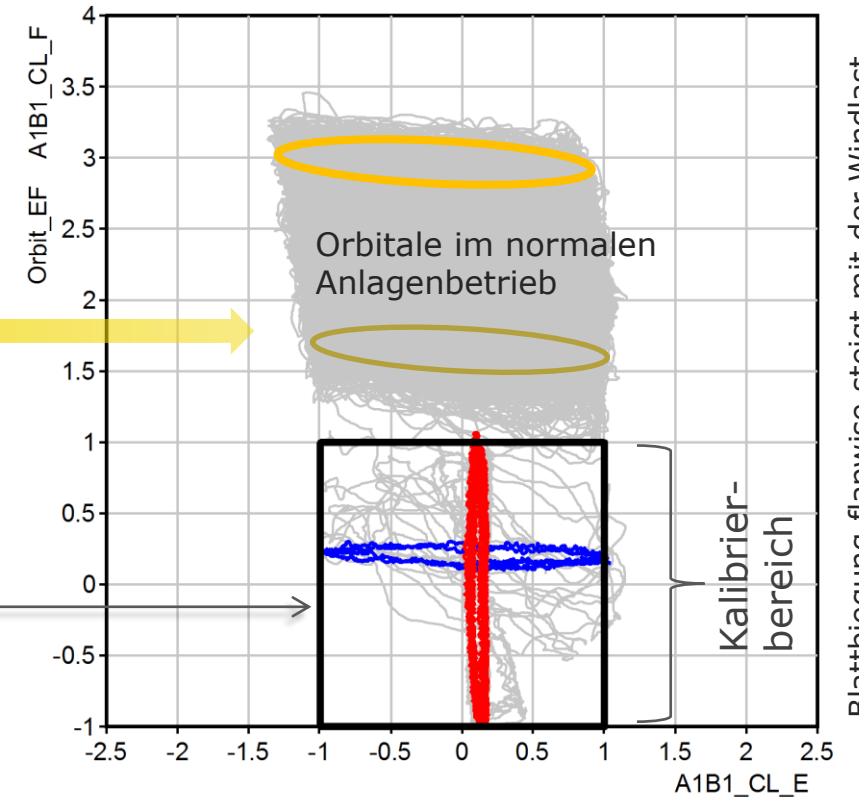


Kalibrierbereich

rot....Kalibrierlauf flapwise

blau...Kalibrierlauf edgewise

Trajektorie (Orbit, Bahnkurve), gebildet als vektorielle Überlagerung der Signale edge- und flapwise.



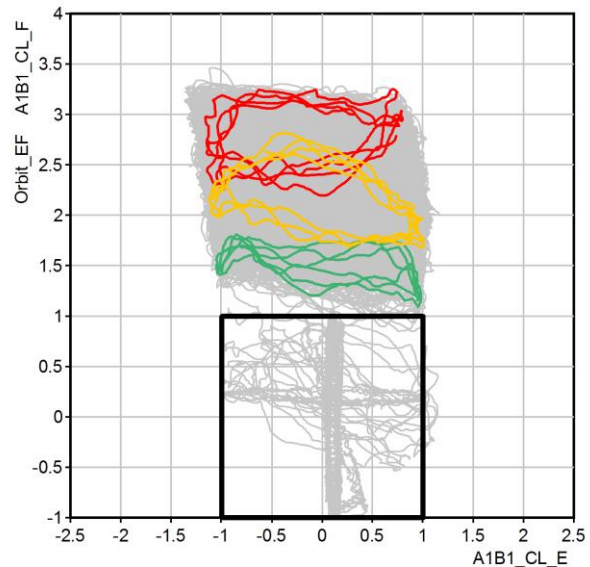
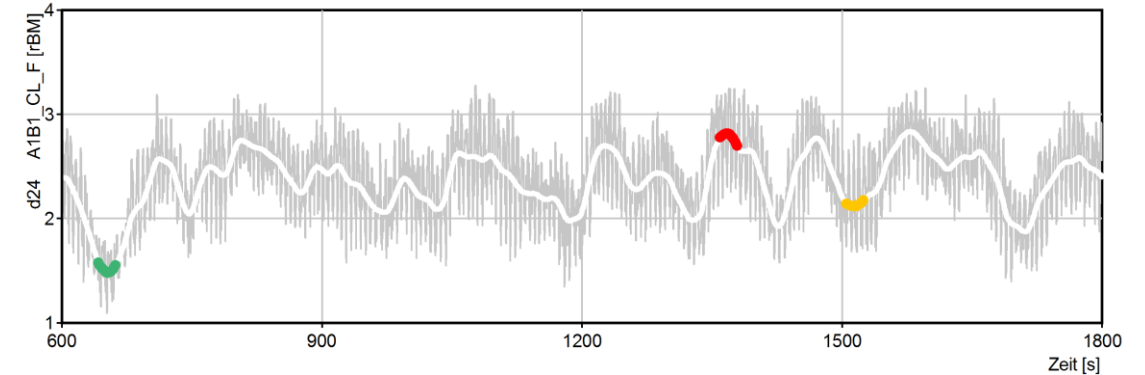
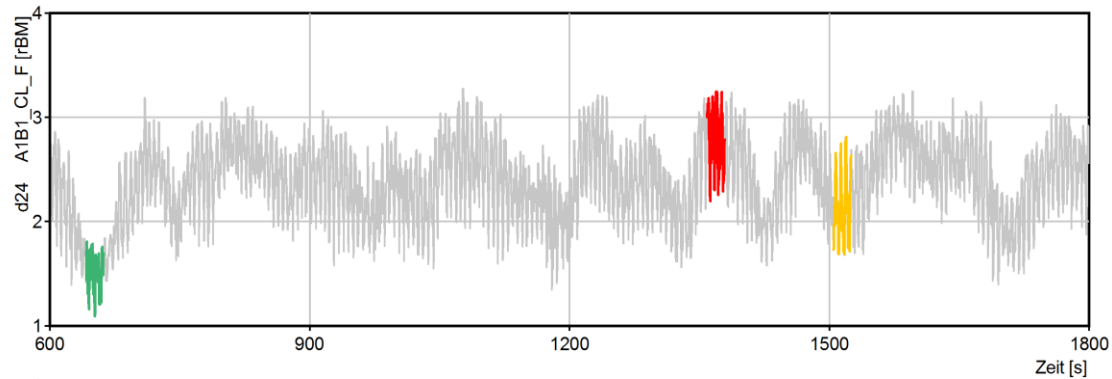
Blattbiegung flapwise steigt mit der Windlast

Blattbiegung edgewise folgt hauptsächlich dem Biegemoment im Schwerfeld der Erde

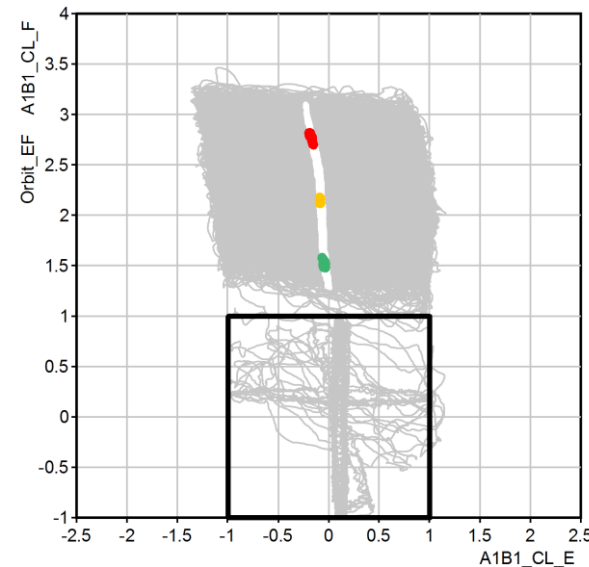
# Einfluss der Windlast

## CLS zur Lastüberwachung

Biegemoment flapwise wird von Windlast bestimmt – mittleres Biegemoment (*weiß*) bildet mittlere Windlast (Windgeschw.) ab



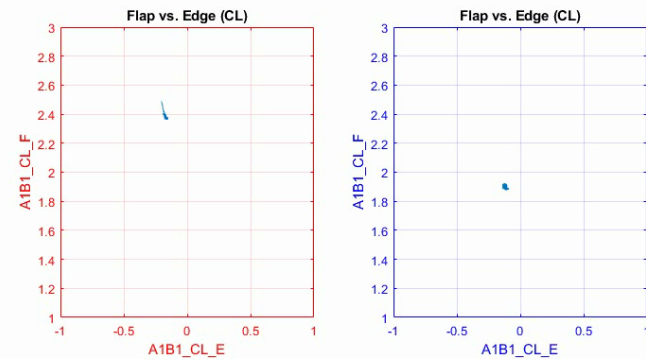
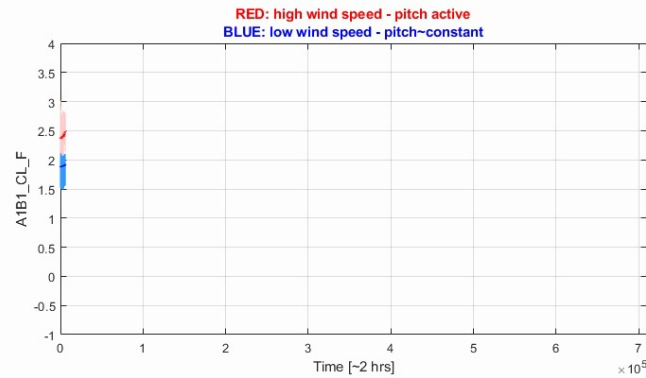
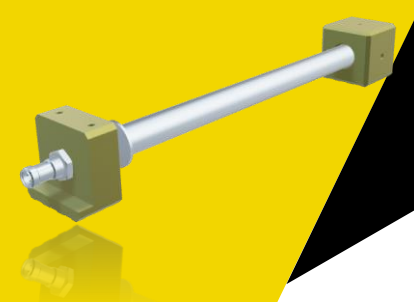
- Orbitale für unterschiedliche Windlasten
- Reaktion auf Momentanlasten möglich → z.B. IPC



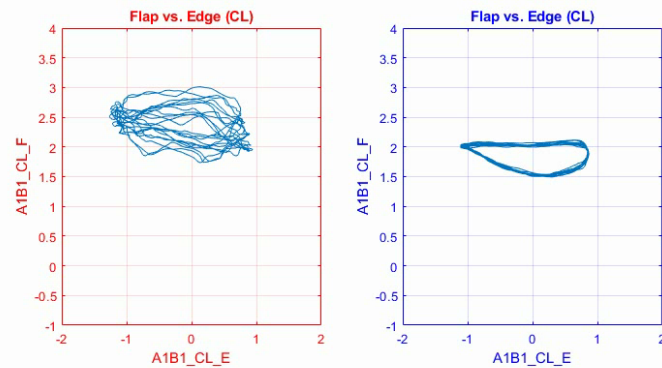
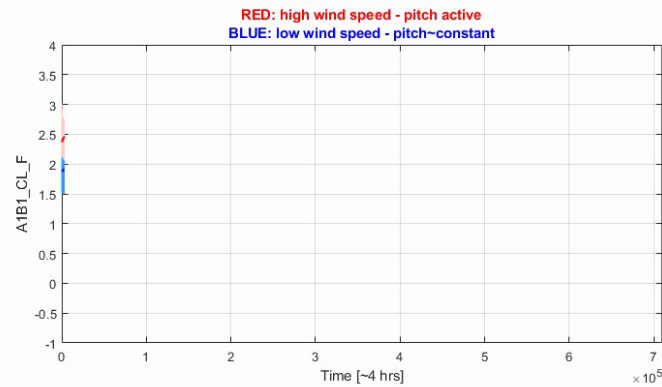
- gemittelte Orbitale für unterschiedliche Windlasten
- ermöglicht die Erfassung von Veränderungen der Blatteigenschaften oder Betriebsparameter

# Animation der Messergebnisse

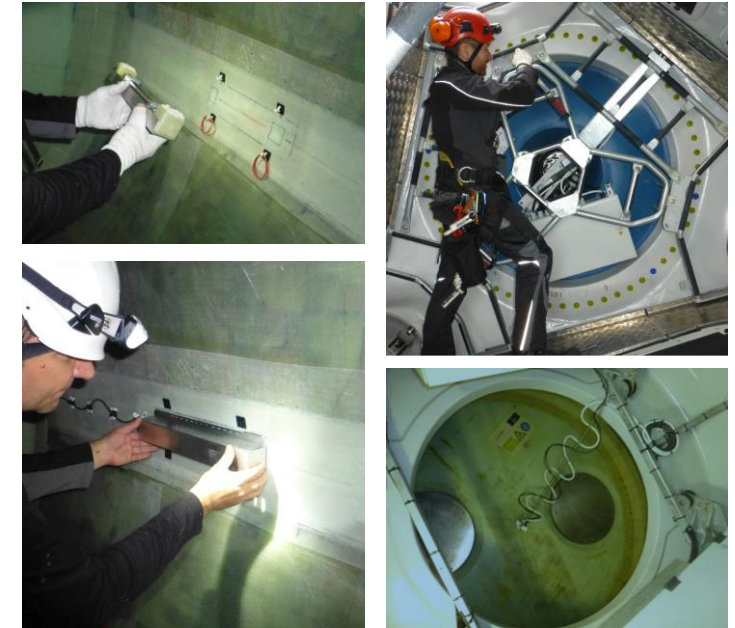
Windlast: CLS zur Lastüberwachung



Animation der Messergebnisse: Darstellung der gemittelten Bewegungsortitale/ ermöglicht die Erfassung von veränderten Blatteigenschaften

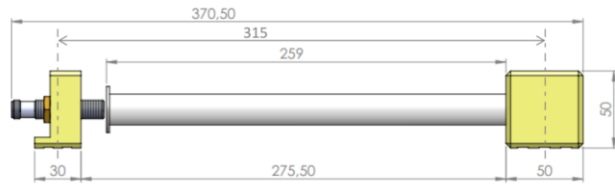


Animation der Messergebnisse: Darstellung der Bewegungsortitale: Turbulenter und weniger turbulenter Wind

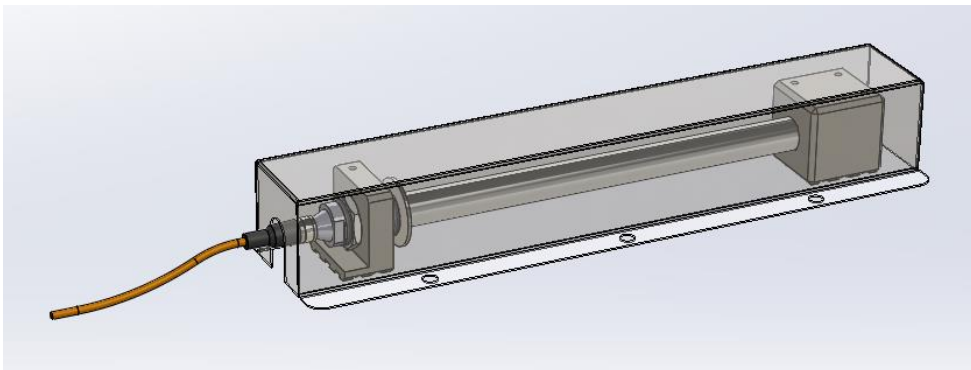


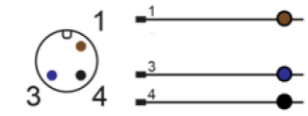
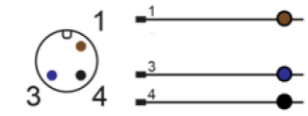
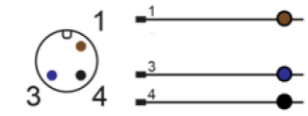
# Technische Spezifikation

## CLS zur Lastüberwachung

Spezifikation Cantilever-Sensor CLS 300 I	
Abmessungen in mm	
Gesamtlänge	370,5 mm
effektive Länge L für Dehnung	315,0 mm
freie Cantilever-Länge	259,0 mm
Cantilever-Material / thermischer Ausdehnungskoeffizient	Titanlegierung 8,6 E-6 / K
Höhe x Breite	50 x 50 mm
Masse	0,410 kg
Targetmaterial	1.4301

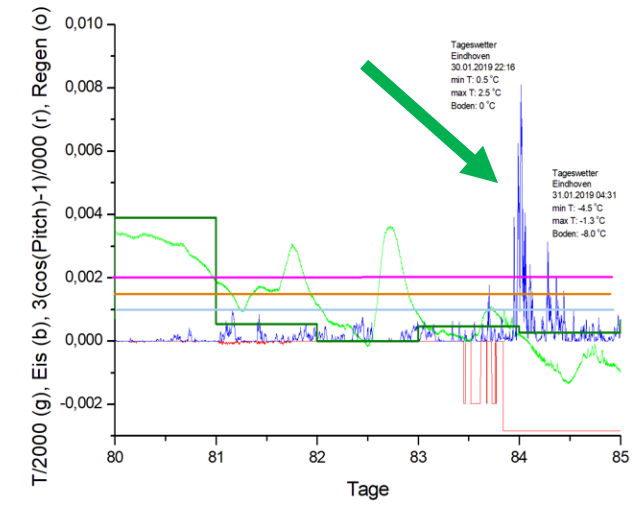
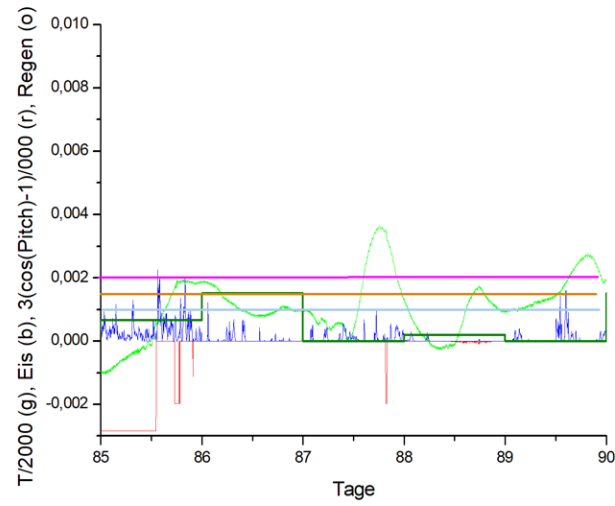
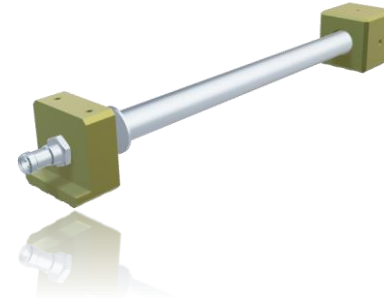
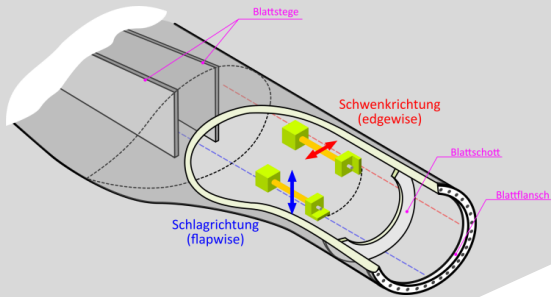
CL-Sensor: Die Länge des Cantilevers bestimmt die Auflösung

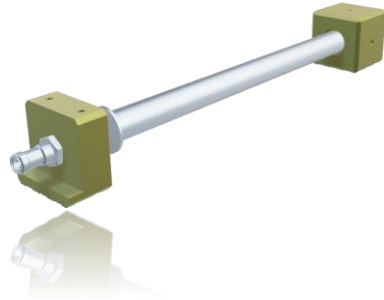


Technische Daten zum Sensorelement										
Messgröße	Dehnung, Weg									
Messprinzip	induktiv									
Messbereich Weg	0...2 mm									
Messbereich Dehnung	± 3170 µm/m (microstrain bzw. µε)									
Signalbandbreite	200 Hz									
Ansprechzeit	0,5 ms									
Auflösung	Auflösung Weg	Auflösung Dehnung								
	0,5 µm	1,6 µm/m = 1,6 E-6								
Temperaturkoeffizient	<0,01 % vom MB / K									
Linearität	<0,005 % vom MB									
Ausgangssignal	4..20 mA									
Lastwiderstand	≤600 Ohm bei 24 VDC (≤25 Ohm/1 V · Versorgungsspannung)									
Ausführung Anschluss	M12 Steckerausgang, 5-polig, A-codiert									
Pinbelegung Anschluss	<table border="0"> <tr> <td>Pin 1</td> <td>Ub+</td> <td rowspan="5">  </td> </tr> <tr> <td>Pin 3</td> <td>GND</td> </tr> <tr> <td>Pin 4</td> <td>Signal</td> </tr> <tr> <td>(Pin 2/5</td> <td>n.b.)</td> </tr> </table>	Pin 1	Ub+		Pin 3	GND	Pin 4	Signal	(Pin 2/5	n.b.)
Pin 1	Ub+									
Pin 3	GND									
Pin 4	Signal									
(Pin 2/5	n.b.)									
Einsatztemperatur, Umgebung	-25...+75°C									
Temperaturbereich Lagerung	-25...+75°C									
Schutzklasse	IP67									
Versorgungsspannung	24 VDC (8...30 VDC)									
Leistungsaufnahme	(16 mA + 20 mA) · 8...30 V = 0,288 W...1,08 W									
Elektromagnetische Verträglichkeit / Störfestigkeit	EN 55011:2009+A1:2010 / EN 55022:2010 (Class B), EN 50581:2012, EN55016/EN60945, EN61000-4-2, EN61000-4-3, EN61000-4-4, EN61000-4-5, EN61000-4-6, EN61000-4-8, EN61000-4-9									



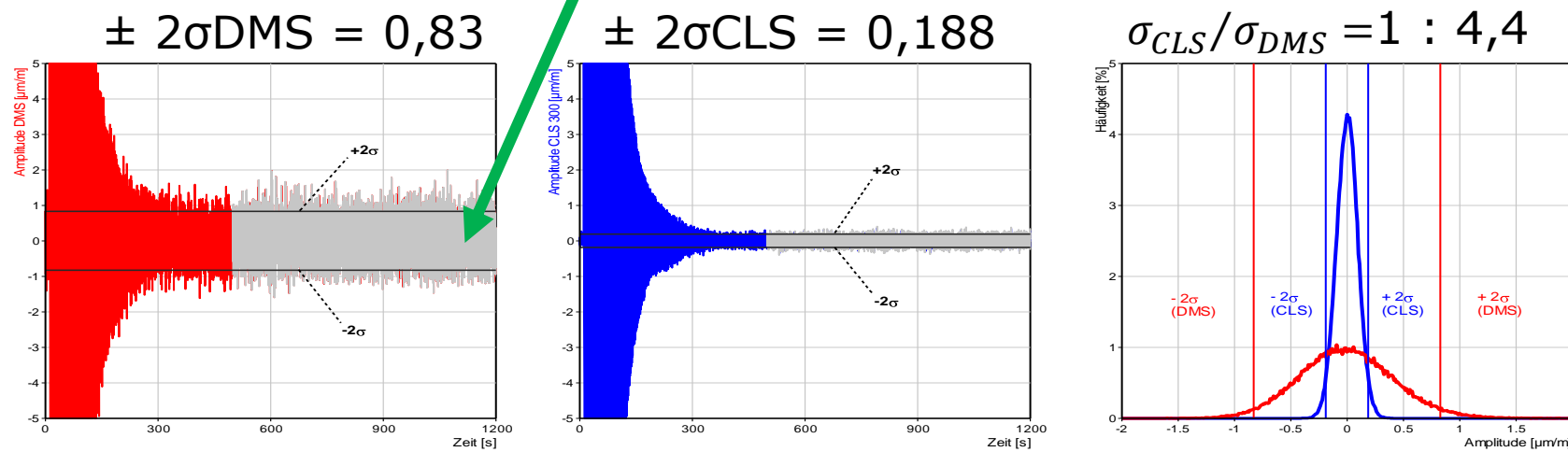
# CLS Beispiel: Eisdetektion





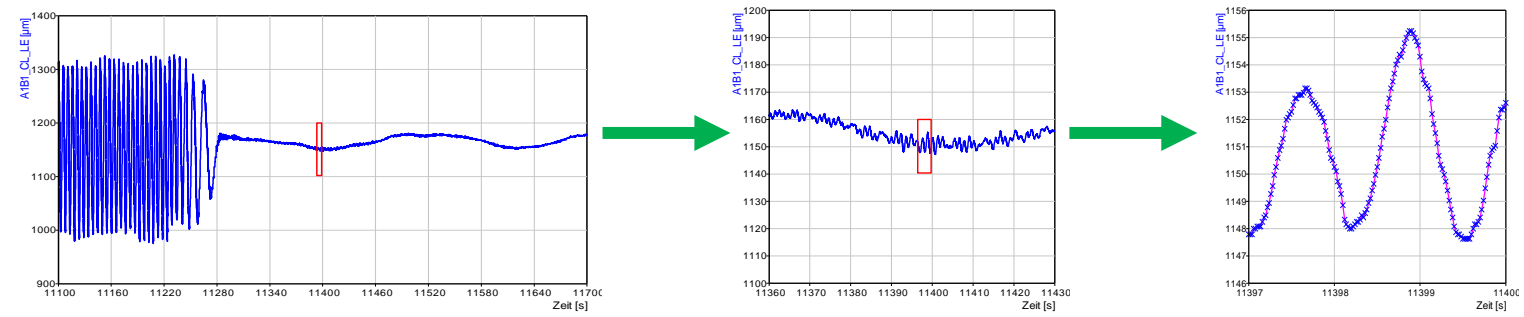
# Vergleich von CLS mit elektrischen DMS

- Zur Abschätzung der Auflösung wurde das statistische Rauschen über die Amplitudenverteilung beider Sensortypen (bei unbewegtem Balken  $\hat{=}$  grauer Signalabschnitt) bestimmt.



Vertrauensintervall  $\pm 2\sigma$  enthält 95,45% der Messwerte vom Erwartungswert

CLS: Signalqualität / beim Abbremsen der Anlage aus dem Normalbetrieb



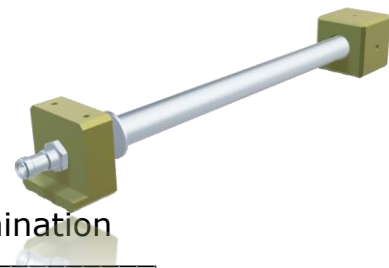
Signal quality

CLS: Signal-Rauschverhältnis

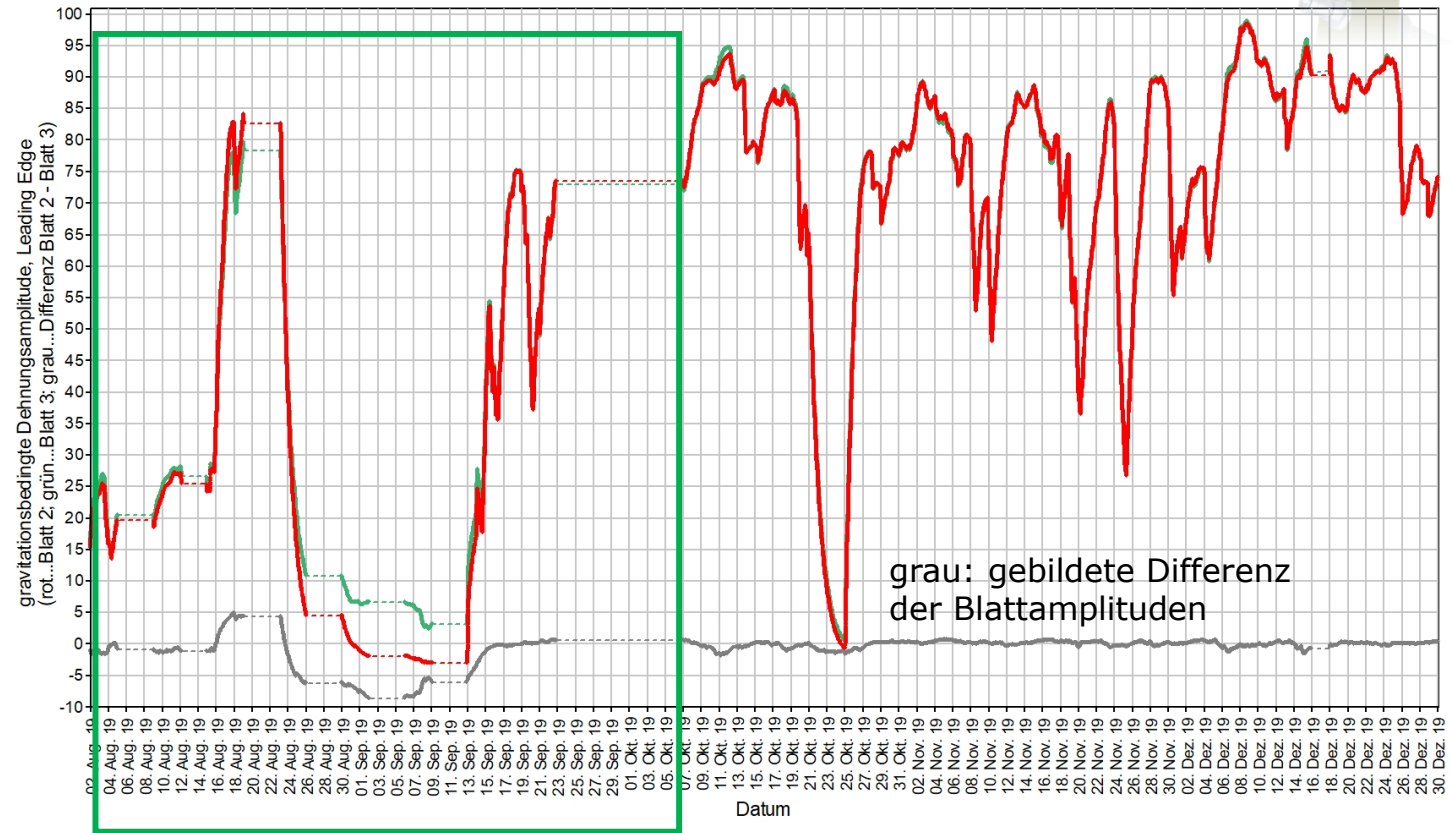


# CL-Sensoren zur Strukturüberwachung

## Vergleich geschädigtes Blatt 2 mit Blatt 3



- Beispiel: zyklische Reparatur eines Rotorblattes mit Vorderkanten Delamination



Signal quality

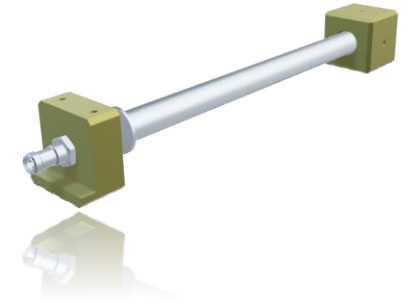
CLS: Blade anomaly

Zeitraum verschiedener Reparaturkampagnen

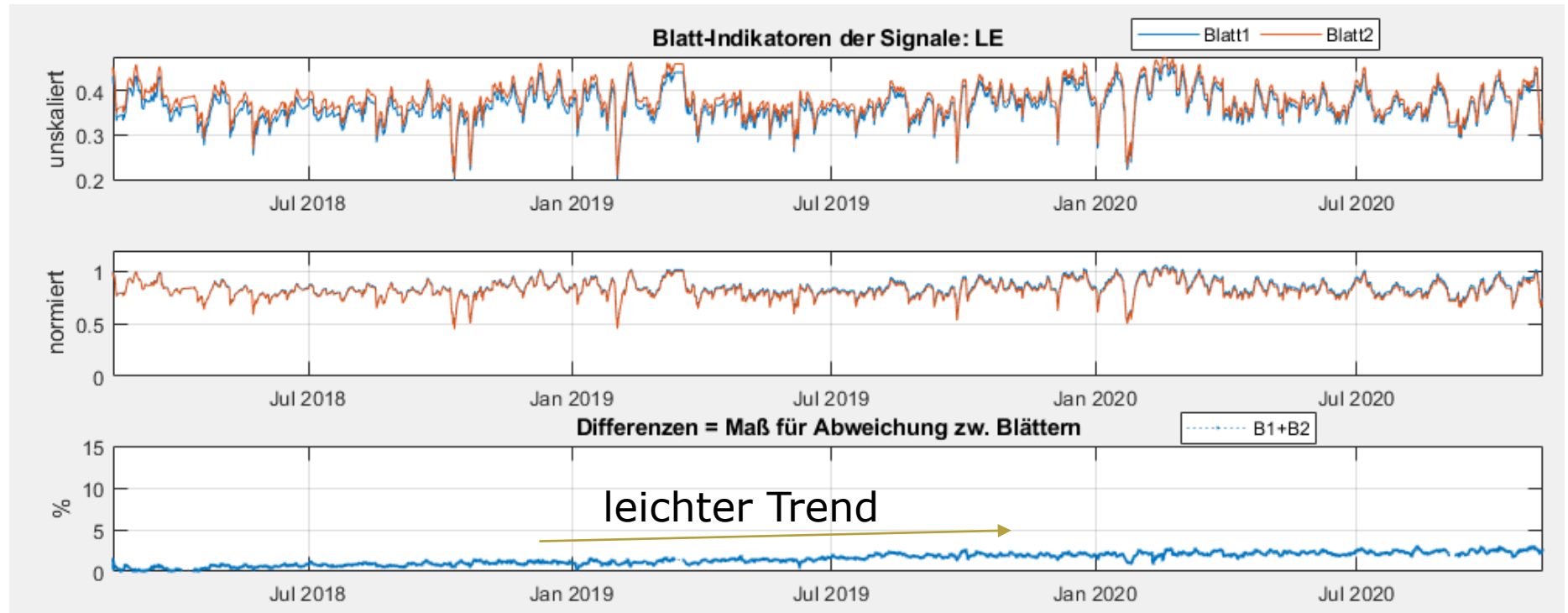


# CLS-CMS

## Blade comparison indicator algorithm



- WP XX:

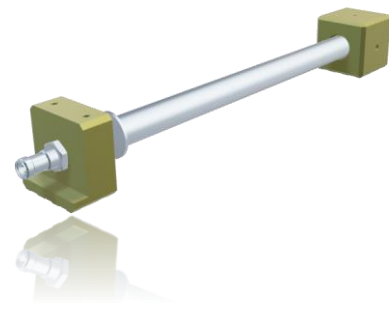


# CL-Sensors for Structure monitoring in the wind turbine tower

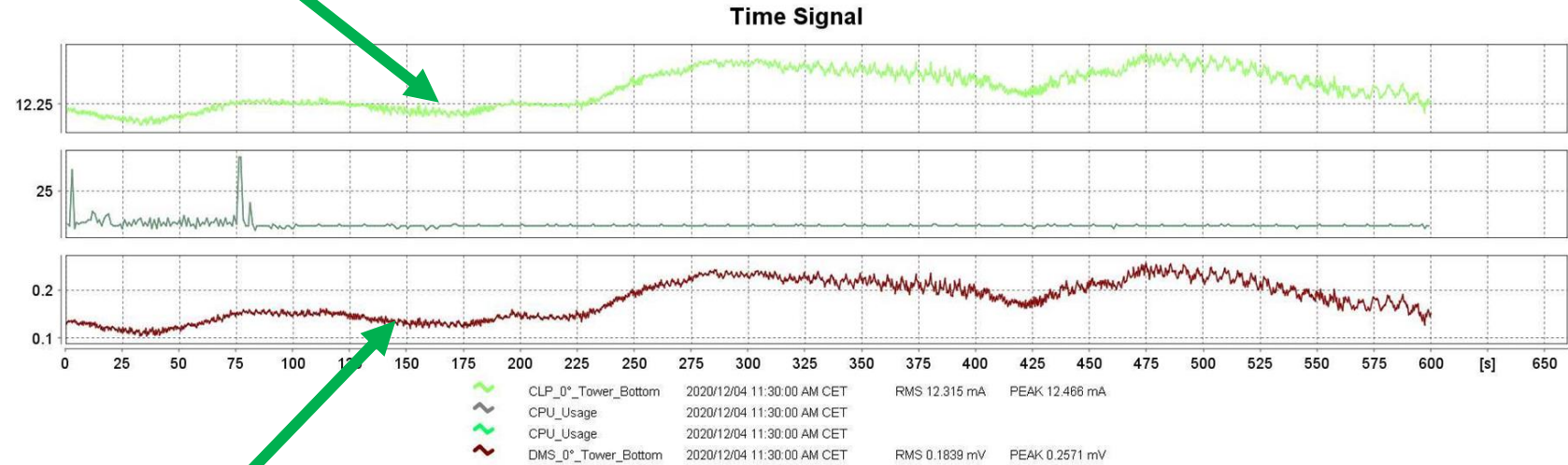


## Signal quality

## Comparison of CLS and DMS



Signal curve: CLS in the wind turbine tower

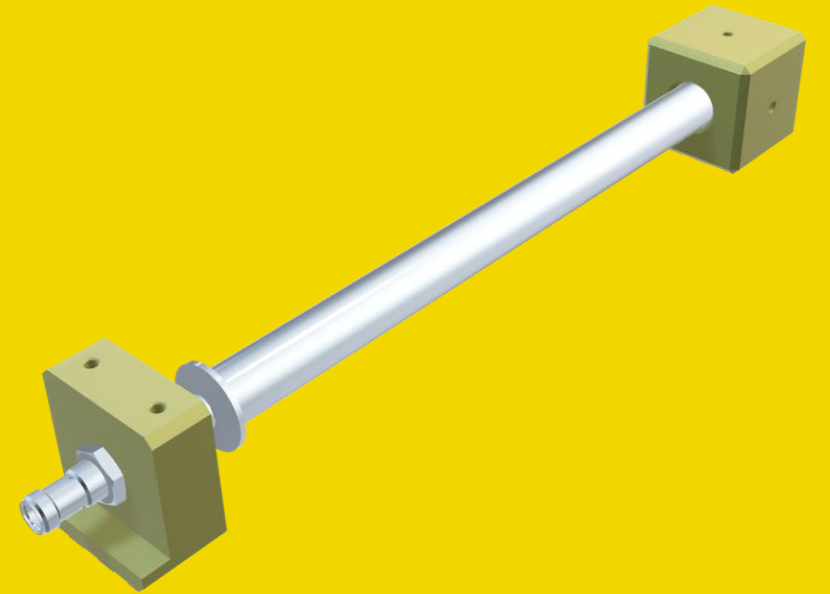


Signal: electrical strain gauge in the wind turbine tower

Comment:

The measuring locations of the sensors are very close to one another in the wind turbine tower.

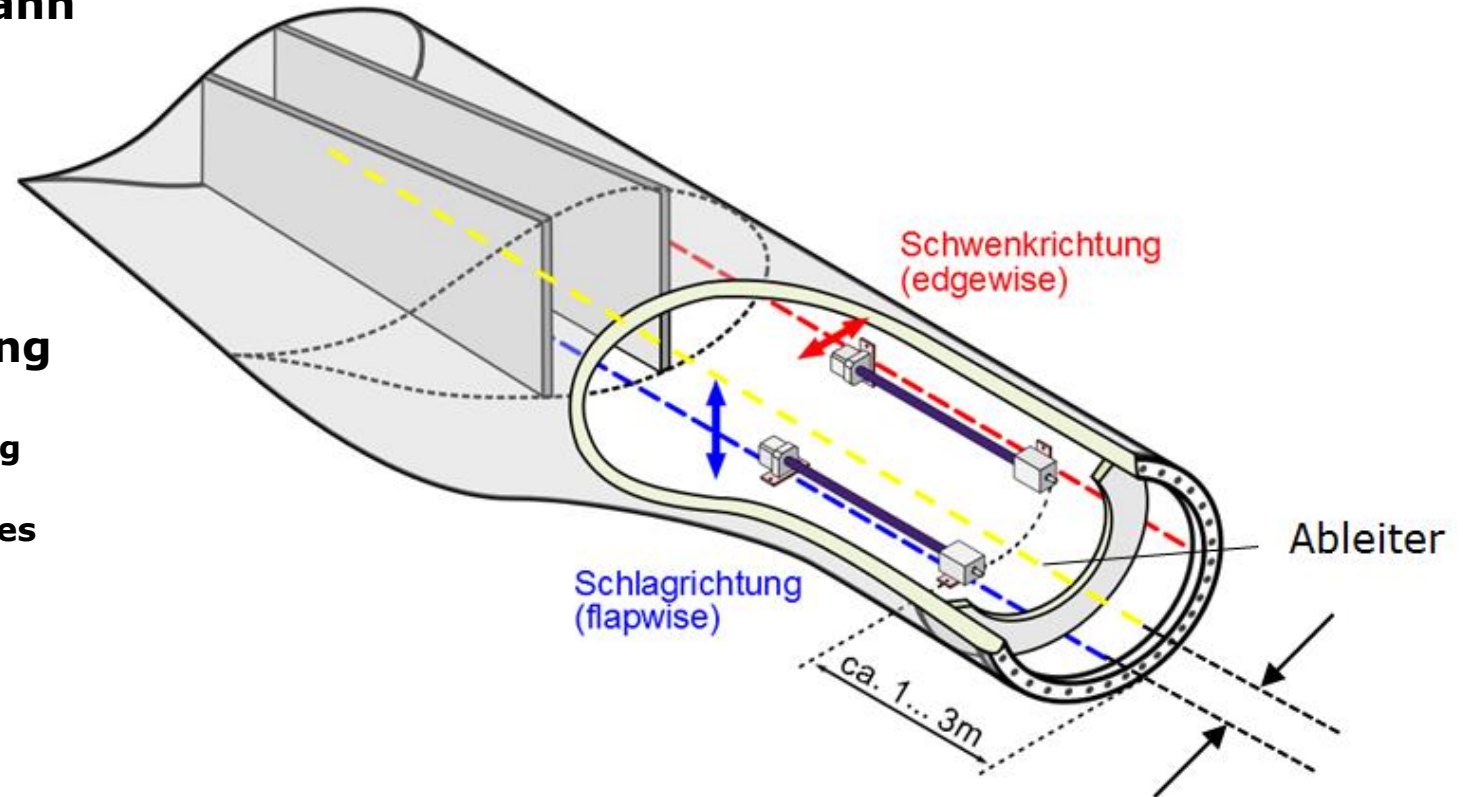
# bachmann.



# Bonus I

## Bitzschutztests bei der Firma Dehn SE

- **Situation im Rotorblatt: Blitzableiter kann in der Nähe parallel von CLS-Sensoren und Anschluss-kabeln verlaufen**
  - der minimal einzuhaltende Trennungsabstand muss untersucht werden
  - allgemeine Untersuchung der Störfestigkeit
- **Prüfverfahren zur Störfestigkeitsprüfung auf Systemebene**
  1. Nach *EN 61400-24 Anhang H* - Induktionsprüfung aufgrund von Blitzströmen
  2. *IEC 61000-4-5* – Surgetest mit Maximalpegeln des eingesetzten SPDs



# I. Induktionsprüfung – Aufbau und Ablauf

Sensor und Kabel parallel zu Stoßstromleiter

Anfangsabstand: 1m

sukzessive Verringerung des Abstandes bis Signalstörungen erkennbar waren

Minimalabstand: 15 cm

Impulsparameter zu Beginn: 5 kA/μs; 5 kA

Kurvenform: 10/350 μs  
sukzessive Erhöhung des Stromes und der Steilheit

erreichter

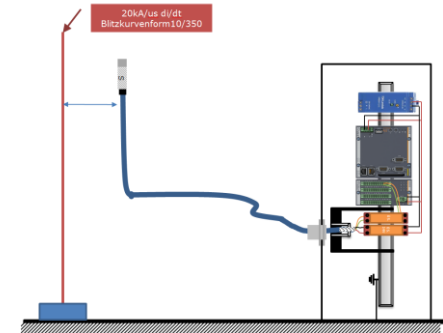
Maximalstrom/-steilheit:  
**215 kA; 79 kA/μs**

## Measurement data

Test 1 – Measurement data

Impulse No.	Level	Distance <sup>1)</sup>	I <sub>max</sub> [kA]	$\bar{m}$	$\bar{m}$	Test result
		[m]		[kA/μs]	(t = 0,25 μs) [kA/μs]	
1	5 kA/μs	1,0	54,62	3,94	---	a)
2	5 kA/μs	1,0	55,38	5,09	---	a)
3	5 kA/μs	0,5	59,05	5,02	---	a)
4	5 kA/μs	0,31	55,35	4,74	---	a)
5	10 kA/μs	1,0	96,75	7,38	---	a)
6	10 kA/μs	1,0	110,27	8,35	---	a)
7	10 kA/μs	1,0	117,86	9,71	---	a)
8	15 kA/μs	1,0	159,74	13,22	---	a)
9	15 kA/μs	1,0	173,34	16,10	---	a)
10	15 kA/μs	1,0	155,66	14,41	---	a)
11	20 kA/μs	1,0	205,88	19,17	---	a)
12	> 20 kA/μs	1,0	200,80	---	35,2	a)
13	> 20 kA/μs	1,0	200,13	---	24,9	a)
14	> 20kA/μs	1,0	193,40	---	21,9	a)
15	> 20 kA/μs	1,0	194,93	---	24,1	a)
16	> 20 kA/μs	1,0	203,38	---	31,3	a)
17	10 kA/μs	0,5	122,17	11,54	---	a)
18	15 kA/μs	0,5	165,93	15,41	---	a)
19	20 kA/μs	0,5	211,26	19,53	---	a)
20	> 20 kA/μs	0,5	215,24	---	61,4	a)
21	10kA/μs	0,31	118,57	11,05	---	a)
22	15kA/μs	0,31	166,81	15,40	---	a)
23	20kA/μs	0,31	211,86	19,58	---	a)
24	> 20kA/μs	0,31	214,91	---	75,4	a)
25	10 kA/μs	0,1	118,41	11,03	---	a)
26	15 kA/μs	0,1	166,46	15,44	---	a)
27	20 kA/μs	0,15	214,33	19,84	---	a)
28	> 20 kA/μs	0,15	215,07	---	79,0	a)

<sup>1)</sup> Distance between down conductor and sensor.



## Prüfverfahren zur Störfestigkeitsprüfung auf Systemebene

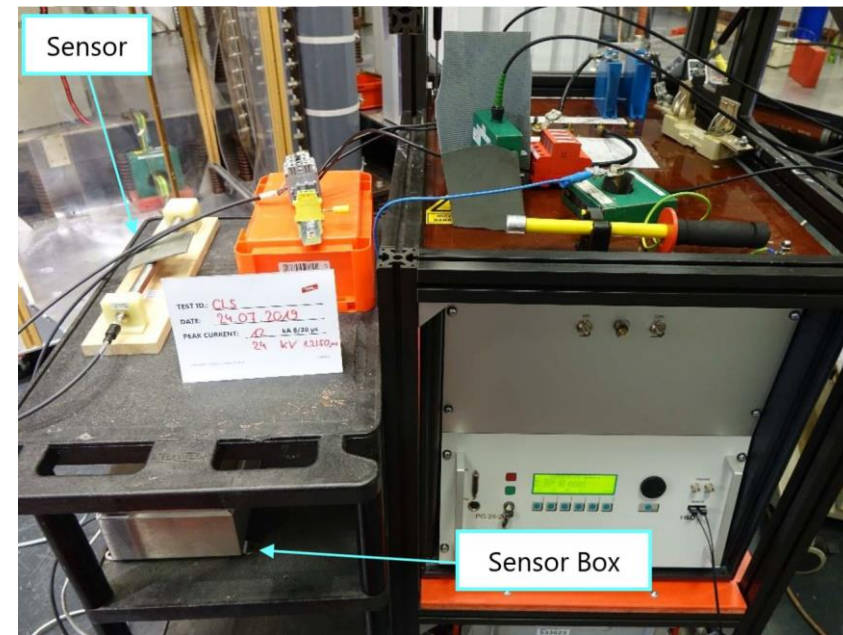
1. nach EN 61400-24 Anhang H - Induktionsprüfung aufgrund von Blitzströmen

**Test bestanden!**

## II. Surgetest- Aufbau

- Verbindungskabel in der Mitte aufgetrennt
  - Surge auf  $U_b, GND$ , Signal gleichzeitig
- Impulsparameter zu Beginn: 1 kV / 0,5 kA
  - Kurvenform: 8/20  $\mu$ s
  - sukzessive Erhöhung auf 40 kV / 20 kA

*Der erreichte Pegel ist sehr gut!*



Test 2 – Measurement data

Impulse No.	$\hat{I}_{8/20}$ [kA]	T <sub>1</sub> [ $\mu$ s]	T <sub>2</sub> [ $\mu$ s]	$\hat{I}_{black}$ [kA]	$\hat{I}_{brown}$ [kA]	$\hat{I}_{blue}$ [kA]	Test results
1 kV / 0,5 kA	0,1	6,2	18,0	0,1	0,1	0,1	a)
4 kV / 2 kA	1,7	8,6	21,3	0,6	0,5	0,6	a)
8 kV / 4 kA	3,8	8,5	21,5	1,4	1,2	1,2	a)
12 kV / 6 kA	6,0	8,6	21,5	2,2	1,9	1,9	a)
16 kV / 8 kA	8,1	8,5	21,4	2,9	2,6	2,6	a)
20 kV / 10 kA	10,2	8,6	21,4	3,7	3,3	3,2	d) <sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Sensor damaged.

## Prüfverfahren zur Störfestigkeitsprüfung auf Systemebene

### 2. IEC 61000-4-5 – Surgetest mit Maximalpegeln des eingesetzten SPDs