



Rotorblatt Inspektion

Eine sinnvolle und effiziente Grundlage für
einen zuverlässigen Anlagenbetrieb

Jürgen Schamo

Wölfel Beratende Ingenieure GmbH + Co. KG, Germany

Windenergietage

2015



Kompakt: Experten für Schwingungen

Wölfel

Schwingungen

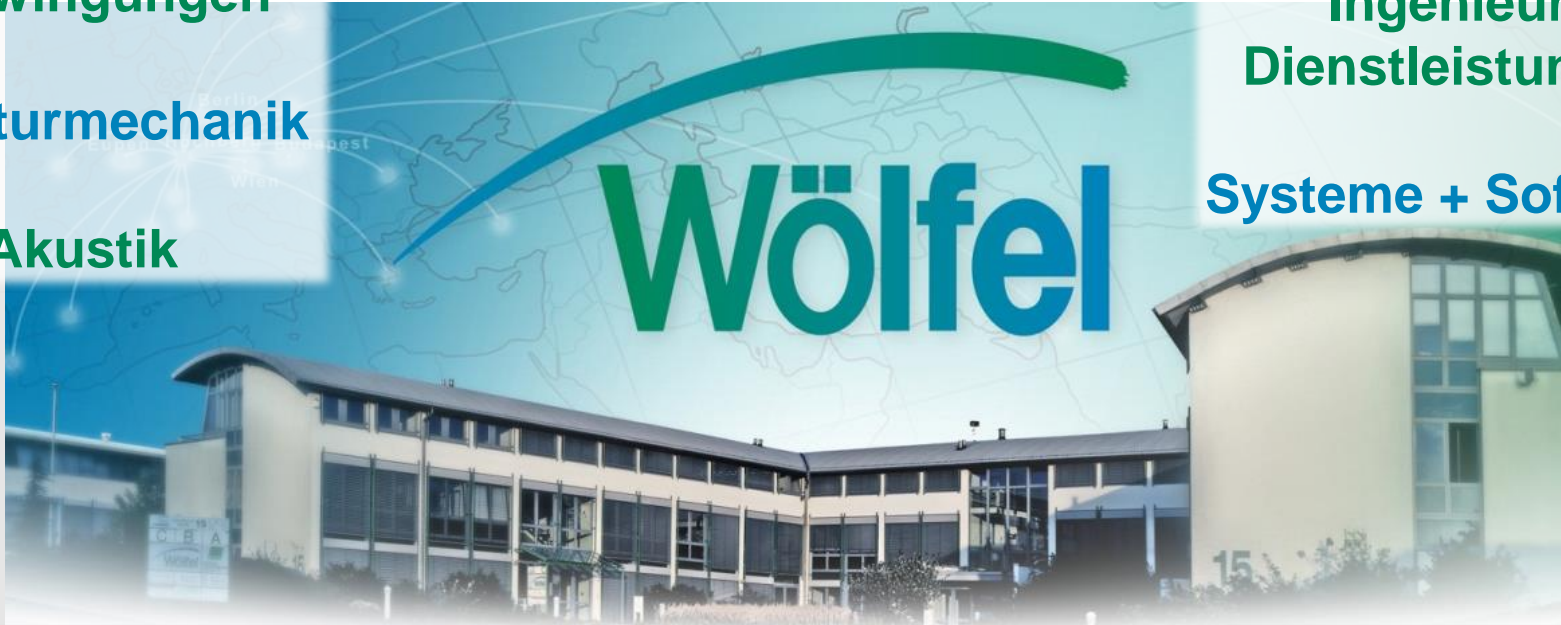
Strukturmechanik

Akustik

Ingenieur-
Dienstleistungen

Systeme + Software

Wölfel



80+
Mitarbeiter

Mess-Systeme Software Ingenieurdienstleistungen
Measurement Systems Software Engineering Services

für Mittelstand
und Industrie

800+
Projekte / Jahr



in Europa +
international



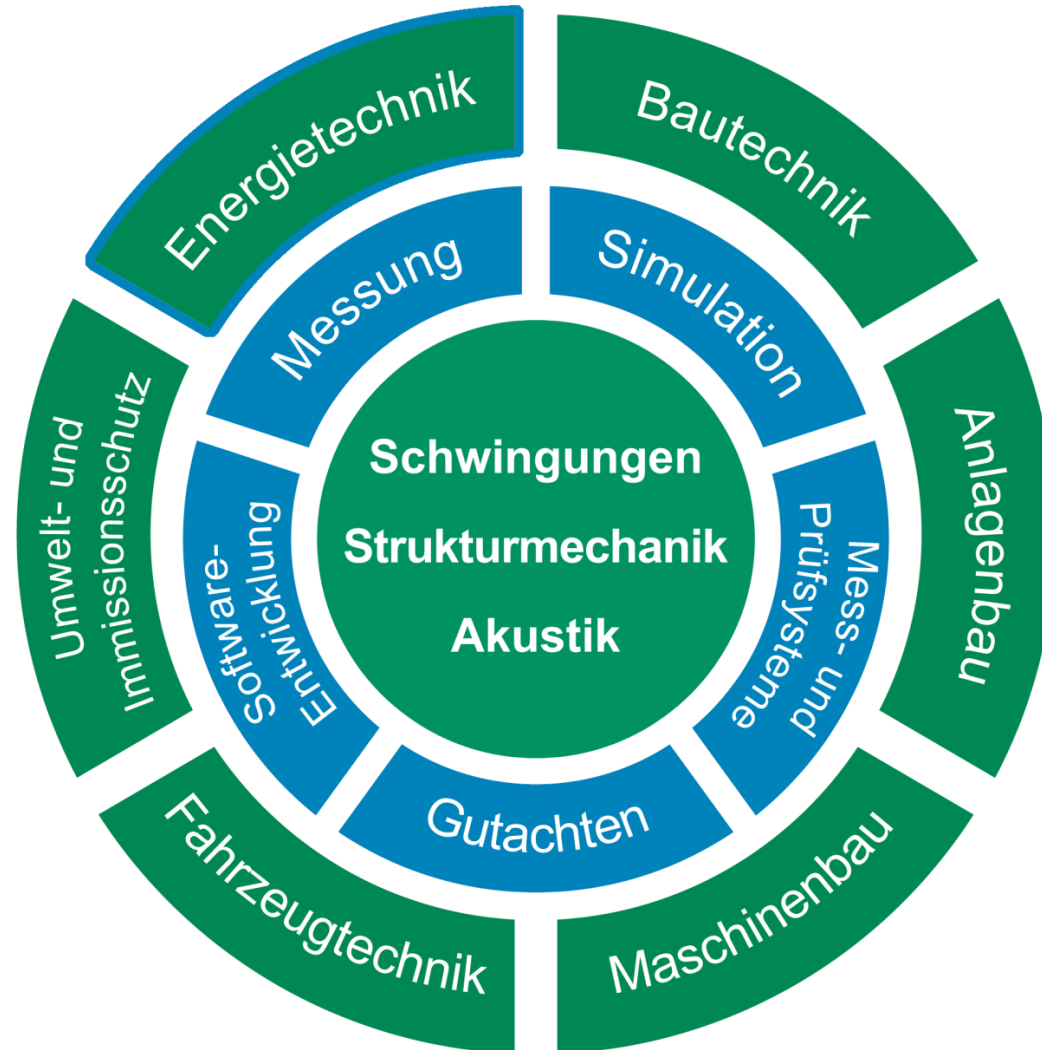
Standorte



Micromega
Fernelmont (B)

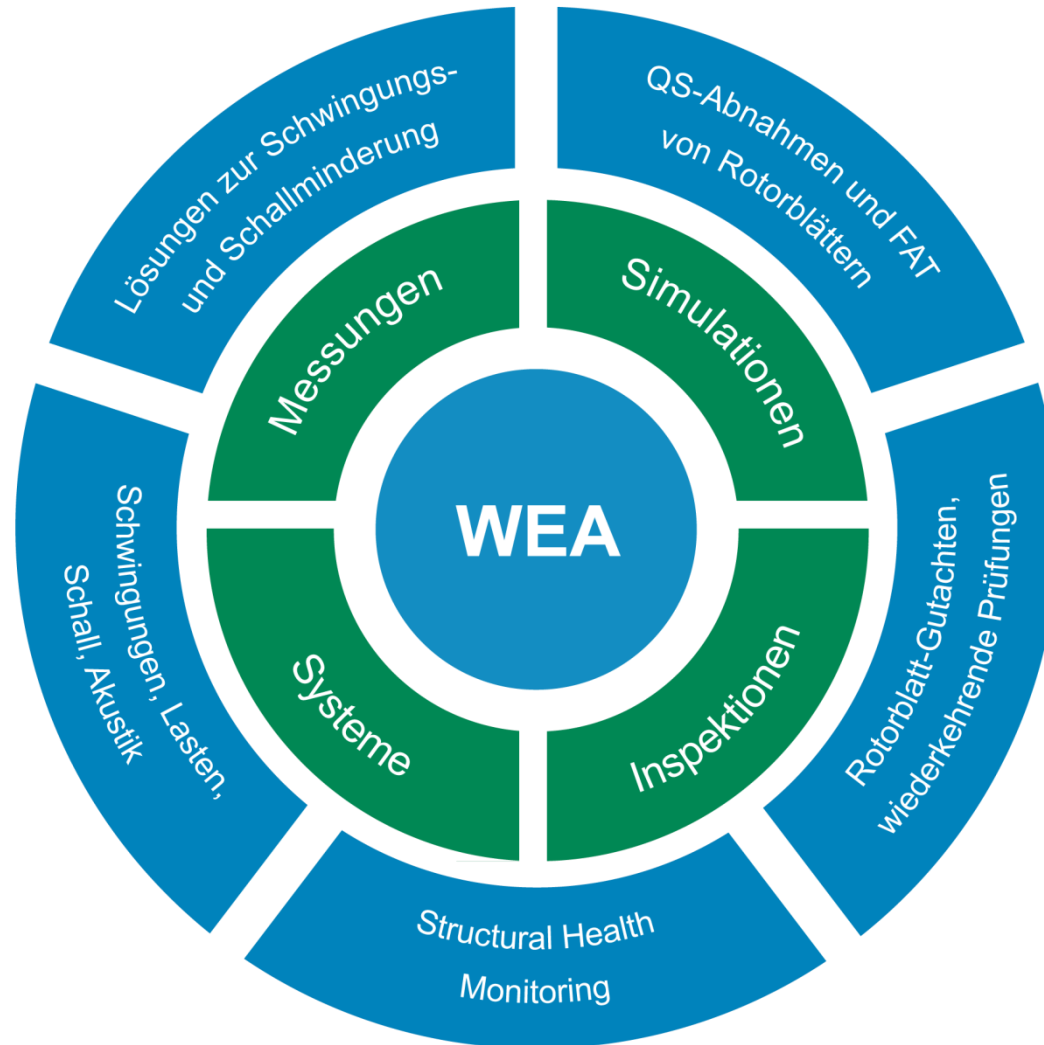
Hauptsitz: Höchberg
bei Würzburg







Leistungen für die Windenergie





- 1. Kalkulationsmodell Offshore**
Möglichkeiten des Betreibers
- 2. Blatt-Fehler und deren Ursachen**
Theorie und Praxis
- 3. Blatt-Inspektion**
Der Qualität zuliebe
- 4. Ausblick**
Eine einzigartige Konstellation





Kostenkalkulation Offshore: Schaden versus Inspektion



Kosten Rotorblatt

Produktionskosten (60 m): 250 T€
Normalerweise müssen drei Blätter ersetzt werden 750 T€

Logistik Kosten Blattersatz

Einsatz Errichterschiff 100 T€ / Tag
→ Addiert sich schnell auf > 500 T€

Produktionsverlust

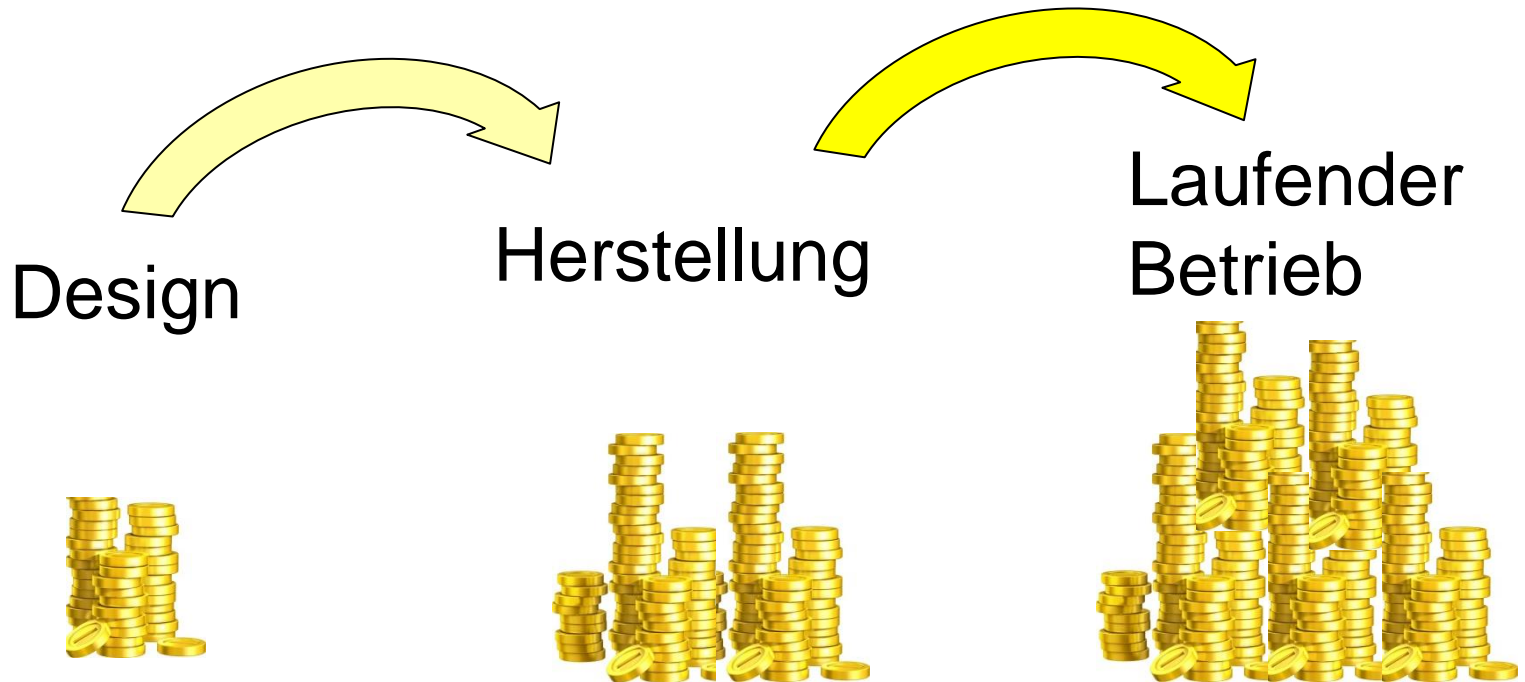
Blatt-Tausch sehr abhängig von der Wetterlage!
Tarif Einspeisung (Deutschland) offshore 13 ct / kWh
5 MW Turbine: 650 € / Volllaststunden
@ 330 Volllaststunden pro Monat (≈ 3.900 pro Jahr)
→ Produktionsverlust pro Monat 214 T€

Gesamtkosten Kalkulationsbeispiel

> 1.450 T€



Je später die Identifikation des Fehlers, desto kostenintensiver wird dessen Beseitigung.

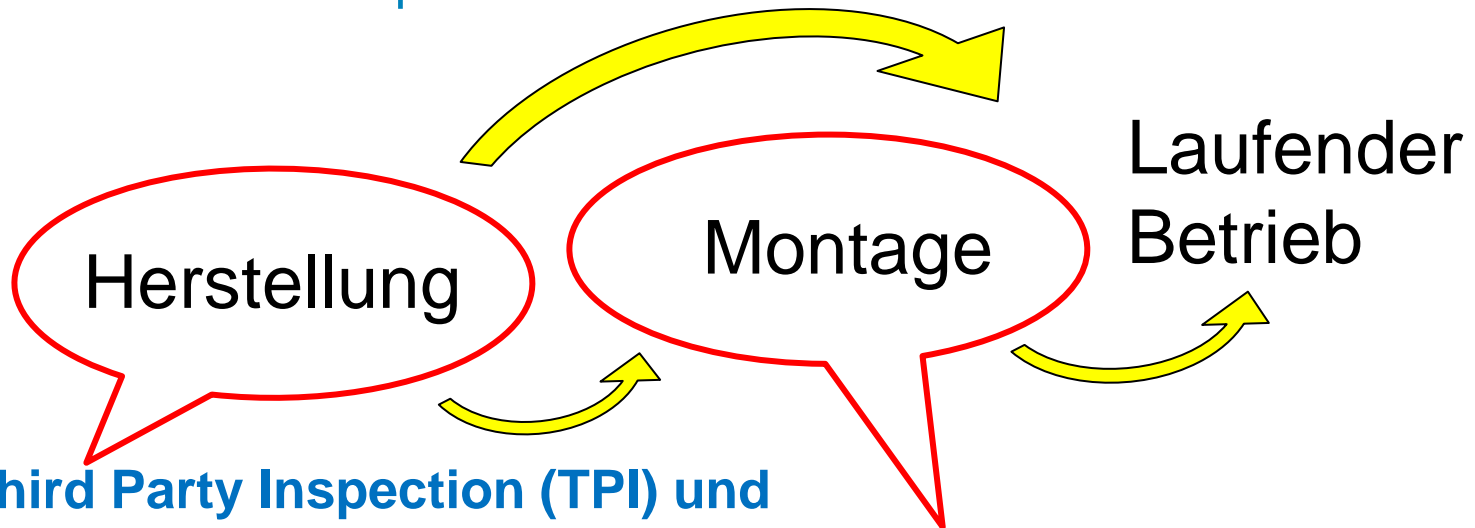




Betreibernutzen - Betreiberverantwortung



Je früher der Betreiber den Prozess überwacht, desto höher ist die Kostenersparnis



**Third Party Inspection (TPI) und
Final Inspection (FAT)**

- **Prozess-Audit**
- **Prozess-Überwachung**
- **Dokumentenprüfung**
- **Endabnahme der Rotorblätter**

Endabnahme der Rotorblätter vor der Montage



Kostenkalkulation Offshore: Schaden versus Inspektion



Kosten Rotorblatt

Produktionskosten (60 m): 250 T€
Normalerweise müssen drei Blätter ersetzt werden 750 T€

Logistik Kosten Blattersatz

Einsatz Errichterschiff 100 T€ / Tag
→ Addiert sich schnell auf > 500 T€

Produktionsverlust

Blatt-Tausch sehr abhängig von der Wetterlage!
Tarif Einspeisung (Deutschland) offshore 13 ct / kWh
5 MW Turbine: 650 € / Volllaststunden
@ 330 Volllaststunden pro Monat (≈ 3.900 pro Jahr)
→ Produktionsverlust pro Monat 214 T€

Gesamtkosten Kalkulationsbeispiel

> 1.450 T€

Jede “Third Party Inspection (TPI)” rechnet sich spätestens mit dem ersten verhinderten Rotorblatt-Tausch!



1. Kalkulationsmodell Offshore
Möglichkeiten des Betreibers
2. **Blatt-Fehler und deren Ursachen**
Theorie und Praxis
3. Blatt-Inspektion
Der Qualität zuliebe
4. Ausblick
Eine einzigartige Konstellation

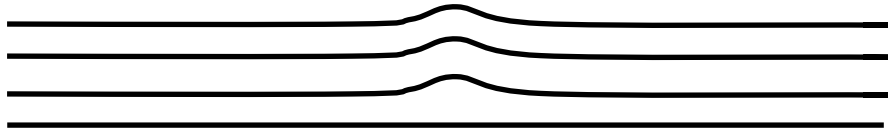


Quelle: Badische Zeitung



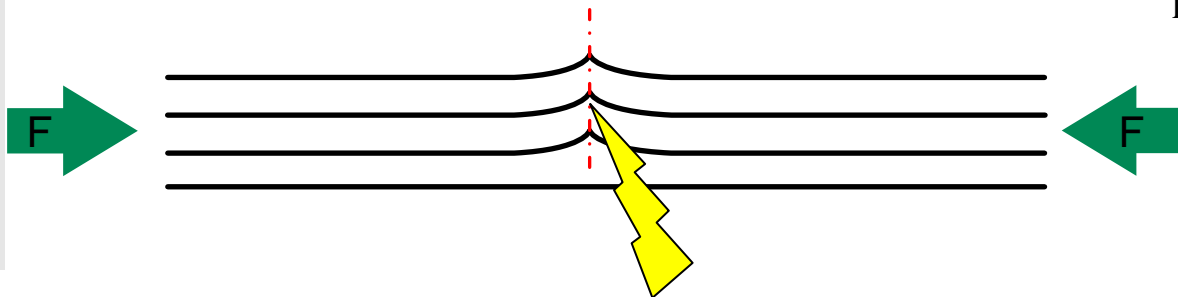
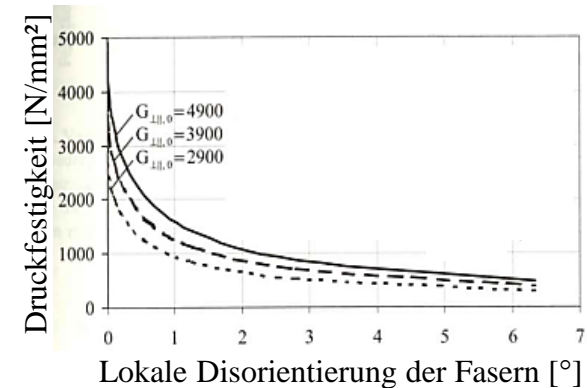
Ondulationen / Faltenbildung

Definition: welliger Faserverlauf innerhalb des Laminats



Druckbelastung verursacht interlaminares Schubbeulen in der Ondulationen:

- Wegen der reduzierten Steifigkeit der jeweiligen Fasern wird die Last vorwiegend durch die Matrix übertragen.
- Bei Überlastung der Matrix entsteht Zwischenfaserbruch.

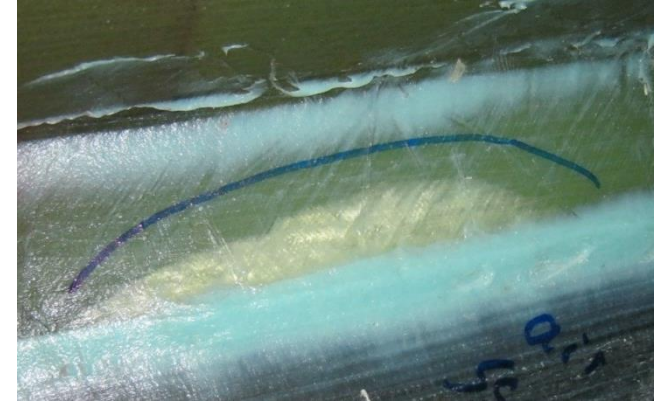
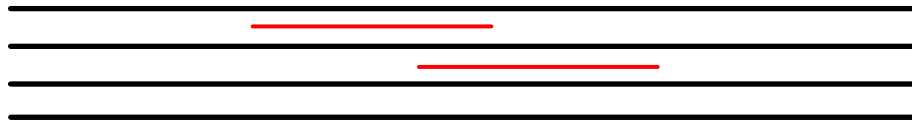


(Quelle: Schürmann H.: Konstruieren mit Faser-Kunststoff-Verbunden)

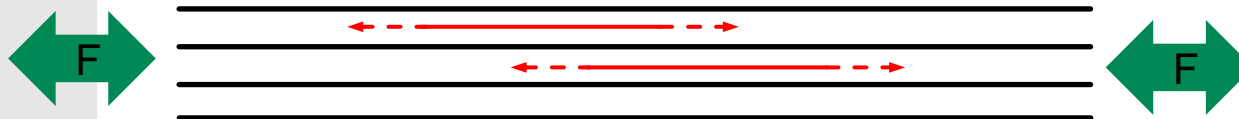


Delamination

Definition: Trennung einzelner Laminatlagen im Laminataufbau



Interlaminare Schubspannung unter oszillierender Last führt zu zunehmender Delamination.



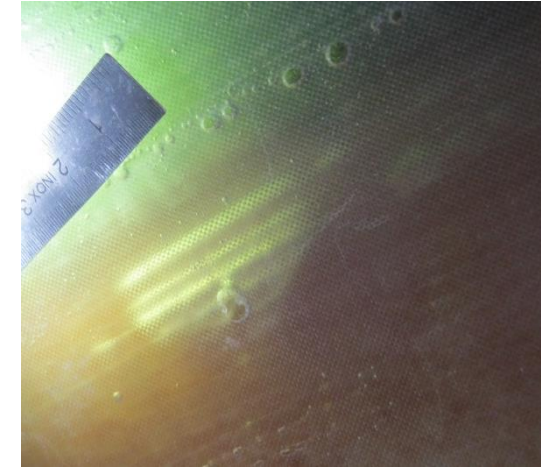
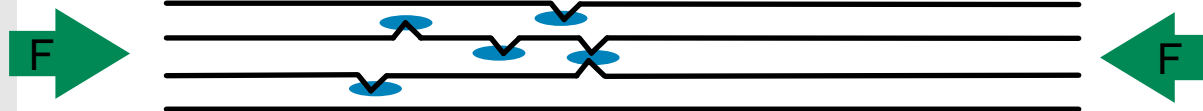


Lufteinschlüsse im Laminat

Definition: Lufteinschlüsse im Laminat
(= stellenweise fehlende Matrix)



Bei Druckbelastung beulen sich die Fasern und brechen in den matrixfreien Raum. Die gebrochenen Fasern vermindern lokal die Zugfestigkeit.





Produktionsfehler



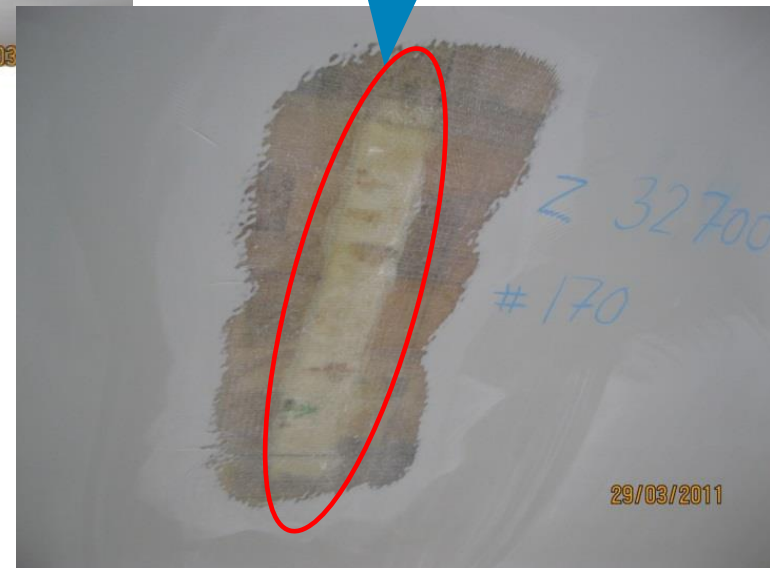
Massives Auftreten von Ondulationen (Anzahl und Größe) im Laminat. Die Ondulationen gehen durch die komplette Materialstärke.



Produktionsfehler



Delamination am Rotorblatt: Detektiert bei der Endabnahme durch Akustikprüfung



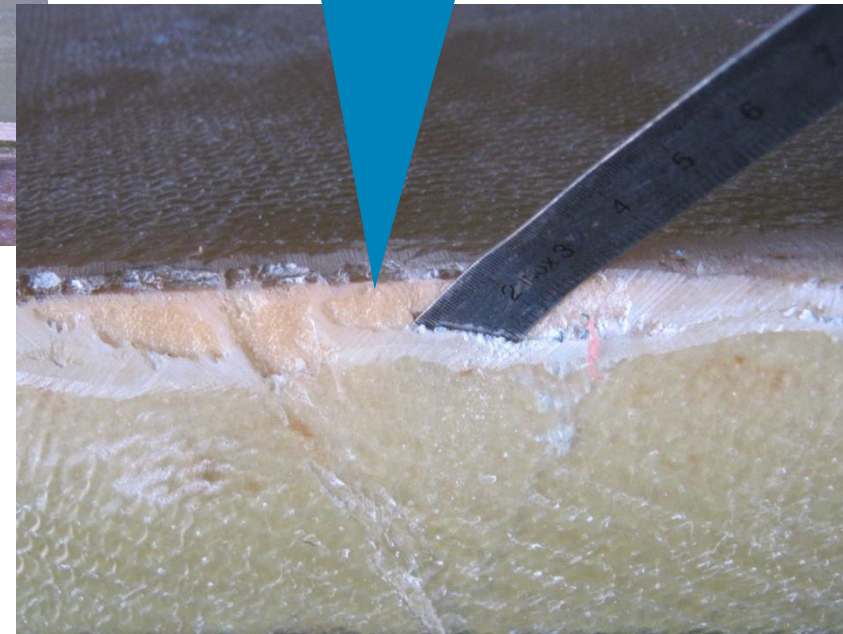


Produktionsfehler



Abgeschliffenes Laminat und freiliegendes Kernmaterial: keine Lastübertragung => Feuchtigkeit kann in das Material eindringen und es schädigen

Der Stegflansch sollte vollflächig verklebt sein => kein homogener Kraftfluss => mögliche Stegablösung durch Spannungsspitzen in der Verklebung





Fakt ist:



≈ **4** von **5** Fehlern
im laufenden Betrieb
haben ihre Ursache
im Herstellungsprozess



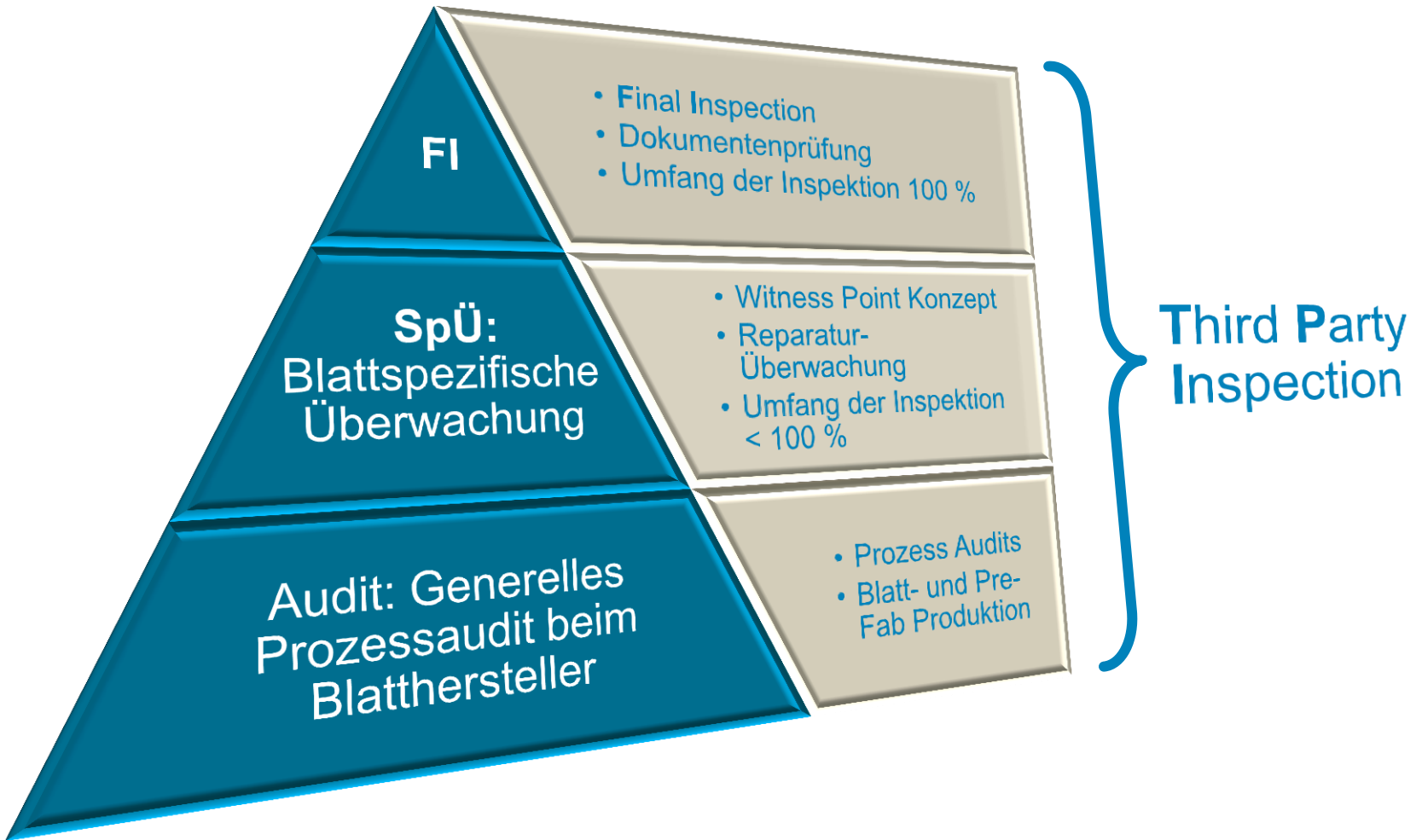
Agenda

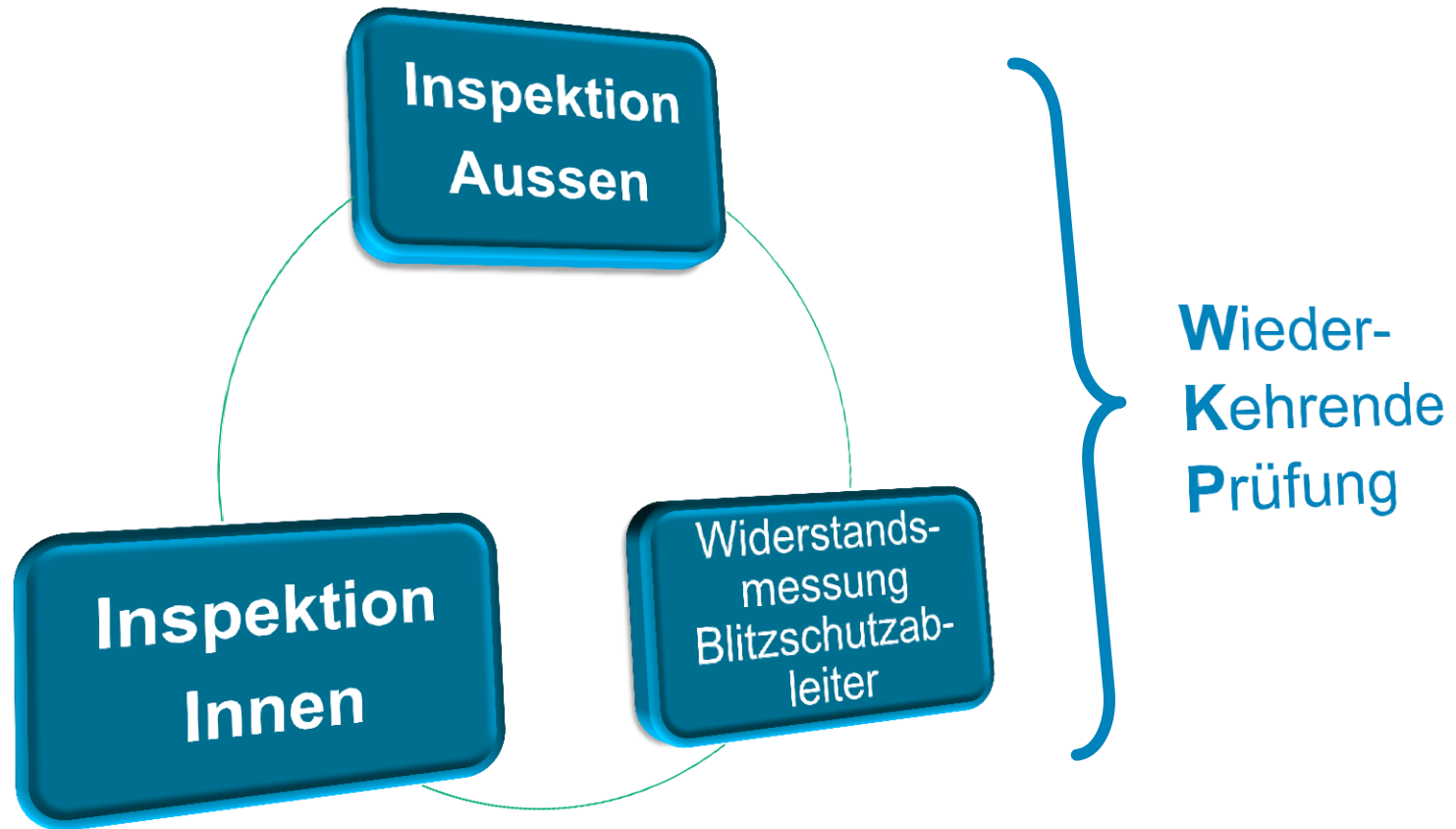
1. Kalkulationsmodell Offshore
Möglichkeiten des Betreibers
2. Blatt-Fehler und deren Ursachen
Theorie und Praxis
3. **Blatt-Inspektion**
Der Qualität zuliebe
4. Ausblick
Eine einzigartige Konstellation





Elemente der TPI



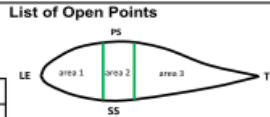




Dokumentation und Datenanalyse



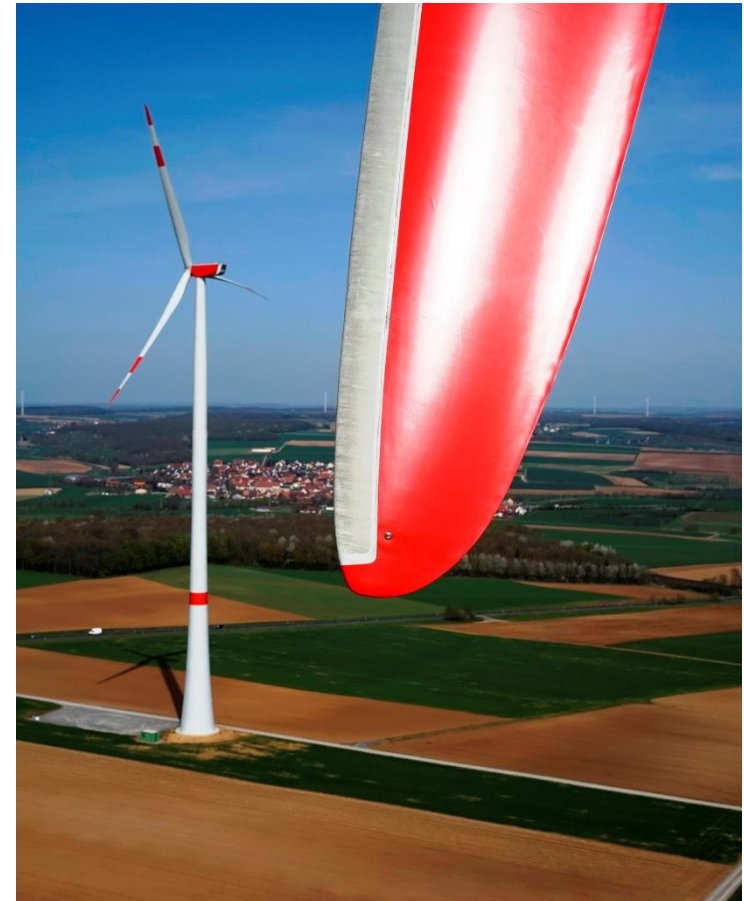
List of Open Points																									
<div style="display: flex; justify-content: space-around; width: 100%;"> Wölfel View Customer View </div>																									
customer:				Turbine manufacturer:				Turbine Type:																	
proj.no.:				Blade Manufacturer:				Blade Type:																	
Item	Inspector	Location	Date of detection	Set no.	Blade no.	Running Number of blade	Production step	Inside Outside	Blade area	Blade part	Radius (Z)		Profile depth [%]		Deviation code	Deviation / description		Dimension (mm x mm)	Damage class	Status Part	Status Wölfel	Comments/Conditions	No of photo / drawing	Photo / drawing	Risk figure
											from [m]	to [m]	from	to		AutoFill	has lost - for detailed and further description								
30	sc	CONST RUCTIO N SITE	15.10.2015	269	406	6	Final Inspection	in	area 1	PS	20,6			LGR	Ground laminate	abgeschliffenes Laminat, bis zu einer Lage blax	150x100	3	open	open	Sollte innerhalb eines halben Jahres überlaminiert werden	blade0406_set26 9_FI_2015101 5_sc (8).JPG		2	
34	sc	CONST RUCTIO N SITE	15.10.2015	269	406	10	Final Inspection	in	area 3	PS	12,0			LGR	Ground laminate	abgeschliffenes Laminat, bis zu drei Lagen blax	100x120	3	open	open	Sollte innerhalb eines halben Jahres überlaminiert werden	blade0406_set26 9_FI_2015101 5_sc (29).JPG		2	
35	sc	CONST RUCTIO N SITE	15.10.2015	269	406	11	Final Inspection	in	area 3	PS	12,0			LGR	Ground laminate	abgeschliffenes Laminat, bis zu einer Lage blax		3	open	open	Sollte innerhalb eines halben Jahres überlaminiert werden	blade0406_set26 9_FI_2015101 5_sc (30).JPG		2	
36	sc	CONST RUCTIO N SITE	15.10.2015	269	406	12	Final Inspection	in		Root	0,0			MCO	Corrosion of mounted part	Befestigungsbolzen partiell korrodiert		4	open	open	Sollte bei Montage neu mit Korrosionsschutz behandelt werden; Info wurde vor Ort F. Jansen mitgeteilt	blade0406_set26 9_FI_2015101 5_sc (38).JPG		0	
38	sc	CONST RUCTIO N SITE	15.10.2015	269	406	14	Final Inspection	in	area 2	SS	25,0			LGR	Ground laminate	Kamera-Inspektion: abgeschliffenes Laminat, bis zu zwei Lagen blax	100x120	3	open	open	Sollte innerhalb eines halben Jahres überlaminiert werden	blade0406_set26 9_FI_2015101 5_sc (39).JPG		2	





Agenda

1. Kalkulationsmodell Offshore
Möglichkeiten des Betreibers
2. Blatt-Fehler und deren Ursachen
Theorie und Praxis
3. Blatt-Inspektion
Der Qualität zuliebe
4. **Ausblick**
Eine einzigartige Konstellation





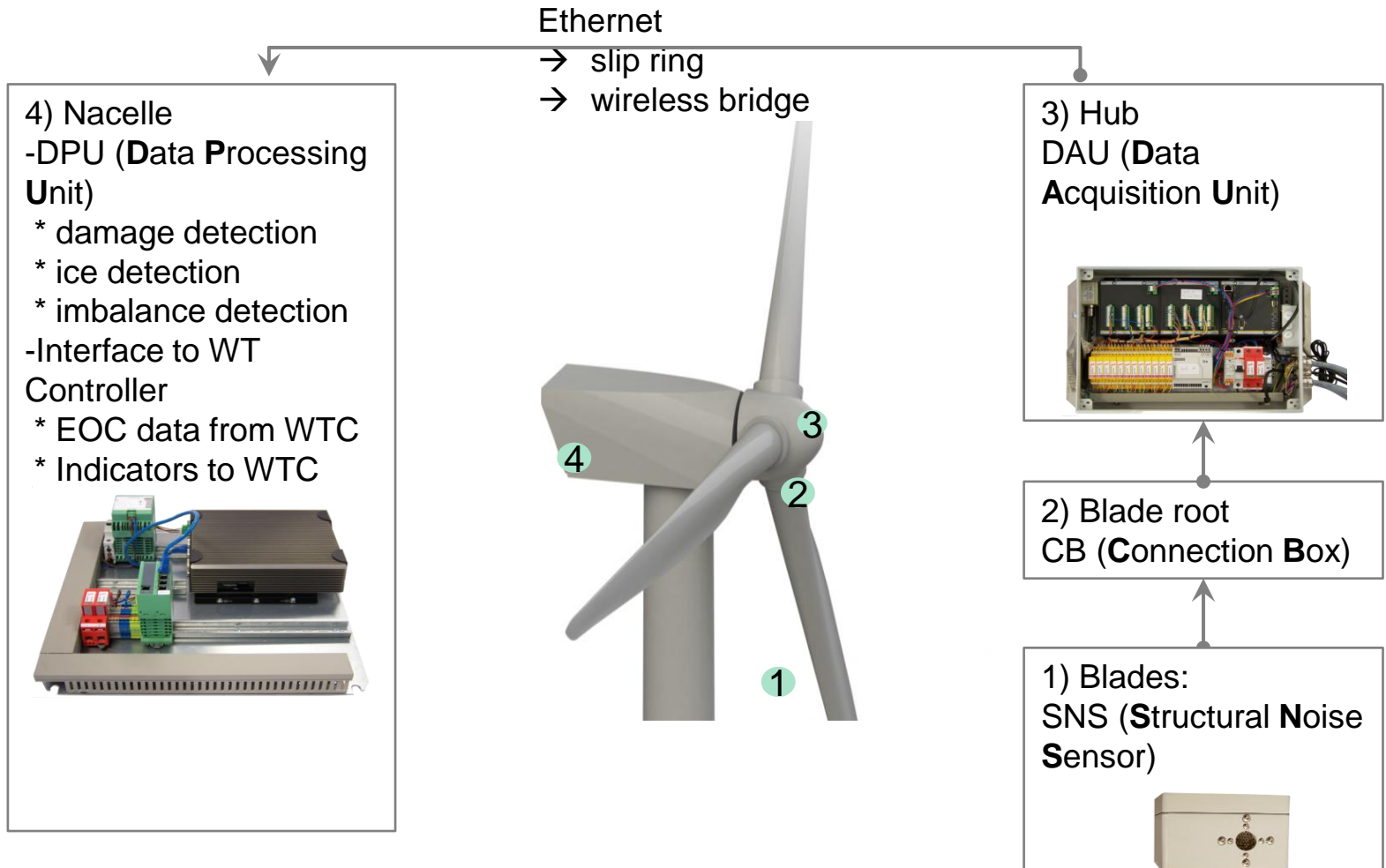
Heute...



- **WKP alle 2-4 Jahre**
- **Dazwischen keine weitere Überwachung**
- **Ein Monitoring System schließt diese Lücke**



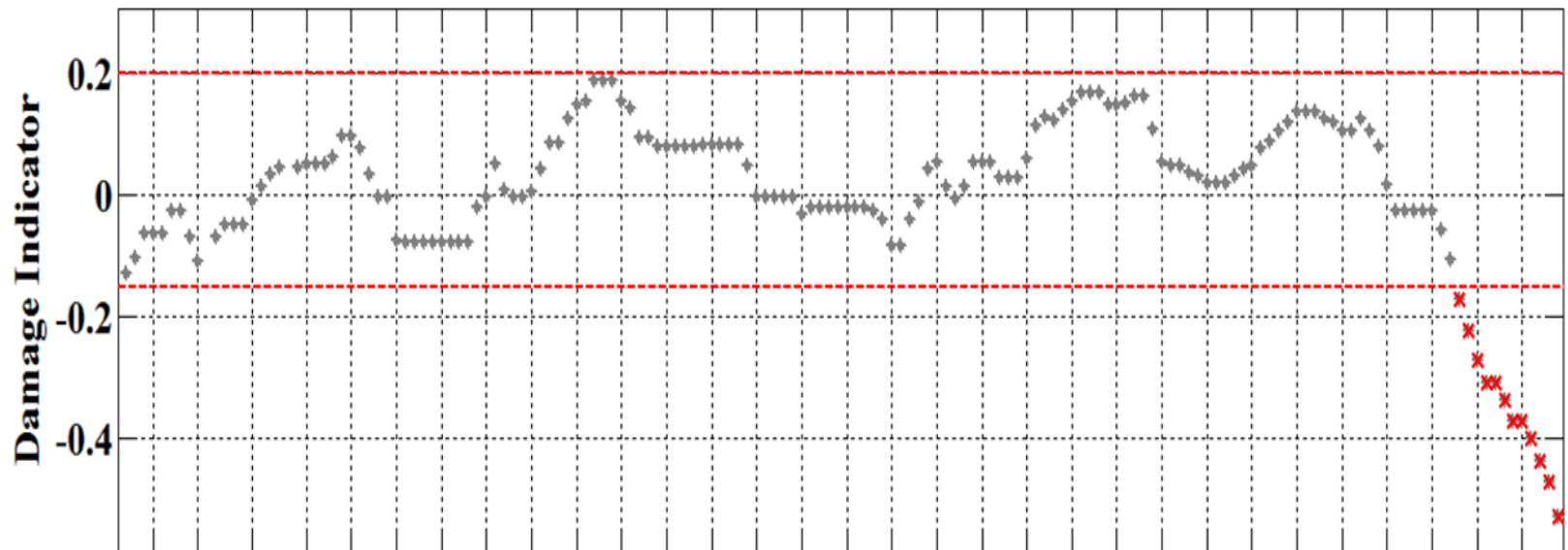
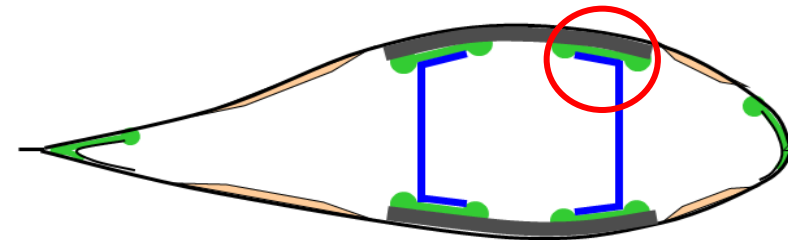
Heute... SHM.Blade





Example of early rotor blade damage detection – Damage with the girder

- Failure with fast growing rate was detected





Heute... WKP

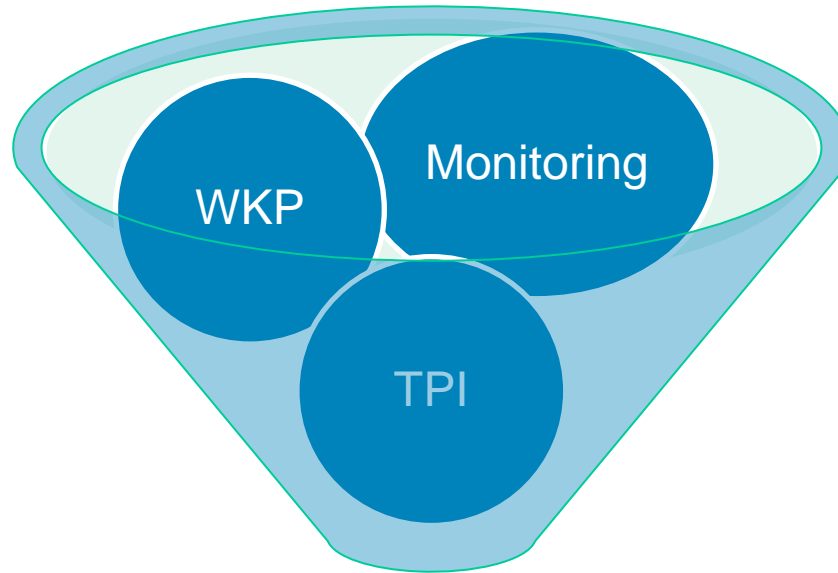


List of Open Points

Wölfel View
Customer View

Item	Inspector	Location	Date of detection	Set no.	Blade no.	Running Number of blade	Production step	Inside Outside	Blade area	Blade part	Radius (Z)		Profile depth [%]		Deviation code	Deviation / description		Dimension [mm x mm]	Damage class	Status Part	Status Wölfel	Comments/Conditions	No of photo / drawing	Photo / drawing	Risk figure
											from [m]	to [m]	from	to		AutoFill	free text - for detailed and further description								
30	sc	CONST RUCTIO N SITE	15.10.2015	269	406	6	Final Inspection	in	area 1	PS	20,6			LGR	Ground laminate	abgeschliffenes Laminat, bis zu einer Lage blax	150x100	3	open	open	Sollte innerhalb eines halben Jahres überlaminiert werden	blade0406_set26 9_FI_2015101 5_sc (6).JPG		2	
34	sc	CONST RUCTIO N SITE	15.10.2015	269	406	10	Final Inspection	in	area 3	PS	12,0			LGR	Ground laminate	abgeschliffenes Laminat, bis zu drei Lagen blax	100x120	3	open	open	Sollte innerhalb eines halben Jahres überlaminiert werden	blade0406_set26 9_FI_2015101 5_sc (29).JPG		2	
35	sc	CONST RUCTIO N SITE	15.10.2015	269	406	11	Final Inspection	in	area 3	PS	12,0			LGR	Ground laminate	abgeschliffenes Laminat, bis zu einer Lage blax		3	open	open	Sollte innerhalb eines halben Jahres überlaminiert werden	blade0406_set26 9_FI_2015101 5_sc (30).JPG		2	
36	sc	CONST RUCTIO N SITE	15.10.2015	269	406	12	Final Inspection	in		Root	0,0			MCO	Corrosion of mounted part	Befestigungspunkte korrodiert		4	open	open	Sollte bei Montage neu mit Korrosionsschutz beaufschlagt werden; Info wurde vor Ort F. Jansen mitgeteilt.	blade0406_set26 9_FI_2015101 5_sc (38).JPG		0	
38	sc	CONST RUCTIO N SITE	15.10.2015	269	406	14	Final Inspection	in	area 2	SS	25,0			LGR	Ground laminate	Kameras-Inspektion abgeschlossen, zwei Lagen blax	20	3	open	open	Sollte innerhalb eines halben Jahres überlaminiert werden	blade0406_set26 9_FI_2015101 5_sc (39).jpg		2	

Risk figure
2



**Intelligentes
Rotorblatt-Monitoring
- Blattspezifisch-**



Auditierung von

- Produktionen dreier großer Dänischer Turbinen- bzw. Blatthersteller
- Produktion eines deutschen Blattherstellers
- Produktion eines Brasilianischen Rotorblattherstellers
- „Continuous Improvement Management“ bei einem Dänischen Turbinenhersteller
- ...

Prozess Monitoring und Endabnahme

- Rotorblätter des Offshore Windparks Nordsee Ost (48x Senvion 6.2M)
- Rotorblätter Windpark Meerwind SüdOst (80x Siemens SWT 3.6/120)
- Rotorblätter Windpark Baltic 2 (80x Siemens SWT 3.6/120)
- ...

Wiederkehrende Prüfungen in

- Schweden
- Kanada
- Deutschland
- Polen
- ...



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Wölfel Beratende Ingenieure GmbH + Co. KG
Max-Planck-Str.15
97204 Höchberg
Germany

Tel.: +49 931 49708-600
Fax: +49 931 49708-650
E-Mail: wbi@woelfel.de
www.woelfel.de

Dipl.-Ing. Jürgen Schamo
Kunststofftechnik
Tel.: +49 931 49708-141
schamo@woelfel.de