

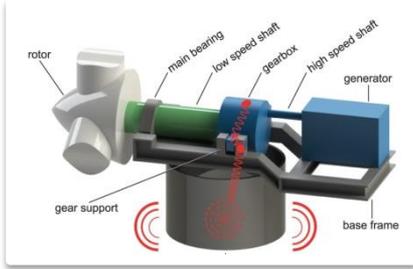
# Eiserkennung am Rotorblatt

**Automatische Wiedereinschaltfunktion im Genehmigungsverfahren  
mit Praxisbeispielen zur Berechnung der Wirtschaftlichkeit und  
Amortisationsdauer**

Dipl.-Ing. Bernd Wölfel / Dr.-Ing. Carsten Ebert  
**Wölfel Group**

*Windenergietage 11.11.2015*

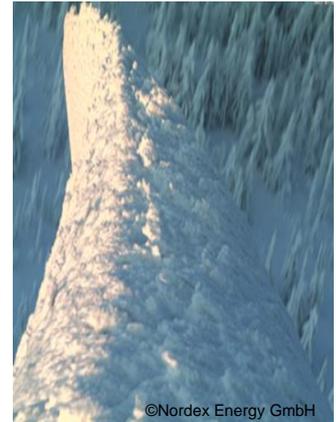
*Forum 7*





# Vereisung von Rotorblättern

Auswirkung vereister Rotorblätter

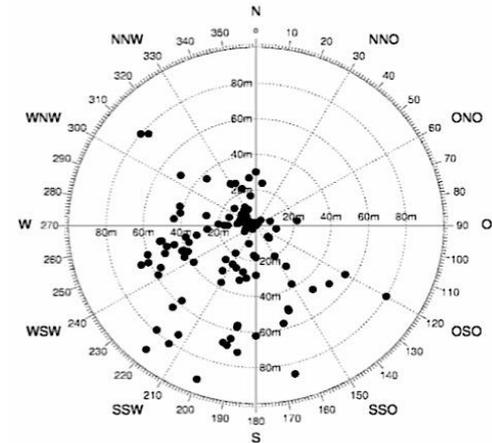


©Nordex Energy GmbH



# Vereisung von Rotorblättern

**Vereisung einer Windturbine in den Schweizer Alpen:**  
50 m Nabenhöhe, 40 m Rotordurchmesser



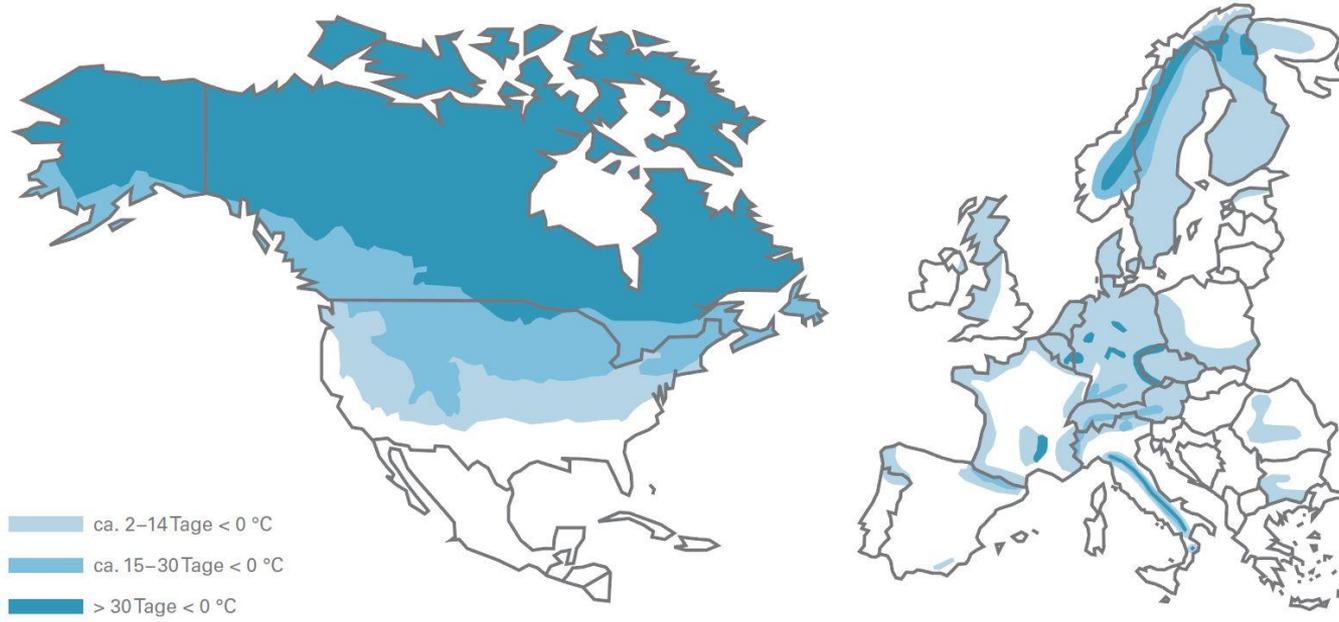
From: Cattin et.al. "Wind Turbine Ice Throw Studies in the Swiss Alps", 2007

Source: WindAction



# Vereisung von Rotorblättern

## EISGEFÄHRDETE REGIONEN IN EUROPA UND NORDAMERIKA





## Deutsche Vorschriften:

- Bundes-Immissionsschutzgesetz § 5, Artikel 1, Nr. 1 (BImSchG) → “Verpflichtung zur Gewährleistung der Öffentlichen Sicherheit”

## WKA. Erl. Der Länder:

### Grundsätze für die Planung und Genehmigung von WKA

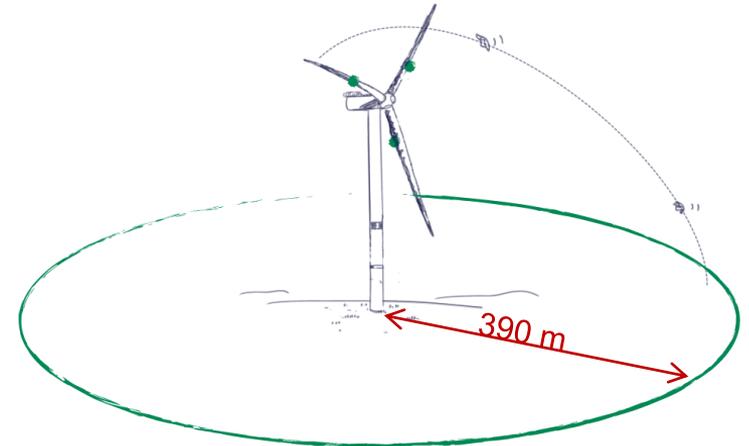
- **Eisabwurf**  
Eine Windkraftanlage darf den Verkehr auf Straßen und Wegen und den Erholungsverkehr nicht gefährden.
- **Eisgefährdete Gebiete**  
Vorlage einer gutachterlichen Stellungnahme:
  - das die Anlage sich bei Eisansatz aufgrund entsprechender techn. Vorkehrungen selbst stilllegt oder der Eisansatz durch techn. Maßnahmen vermieden wird

## Abstände in nicht gefährdenden Gebieten zur Infrastruktur:

Nabenhöhe: 120 m

Rotorblatt ø: 140 m

→ Sicherheitszone:  $(120+140) \text{ m} \times 1.5 = 390 \text{ m}$







## Beispiel Behördliche Forderungen:



## Gutachterliche Stellungnahme - Sicherheitsnachweise hinsichtlich Eisabwurf:

- Bestimmung der kritischen Eisdicke ( $E_{krit} = 40$  Joule)
- Prüfung des Systems im Rahmen eines Black-Box-Verfahrens mittels Mehrkörpersimulation
- Experimenteller Nachweis am Rotorblattprüfstand / Feldversuch



# Ertragsverluste durch Vereisung

## Untersuchung Ertragsverlust durch Vereisung der Rotorblätter

Studie der Technikakademie Weilburg

Süddeutschland

6 WEA der 3 MW Klasse

Zeitraum: 4 Winterperioden

**Meteorologische Eiserkennung**



*Quelle: T.Jung et al: Wirtschaftlichkeitsstudie von Eiserkennungssystemen an Windenergieanlagen, Weilburg, 2015*



# Ertragsverluste durch Vereisung

## Studie der Technikakademie Weilburg

### Gesamtverlust durch Eisansatz

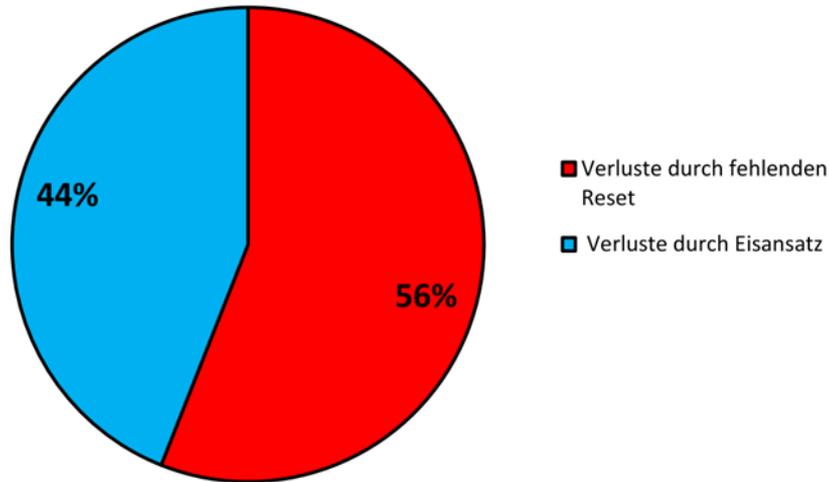
WKA	2012 (h)	2013 (h)	2014 (h)	2015 (h)	Gesamt (h)
1	227	532	173	103	1.035
2	183	517	159	118	977
3	155	523	165	156	999
4	126	505	176	129	936
5	21	522	177	100	820
6	353	479	56	118	1.006
	<b>1.065</b>	<b>3.078</b>	<b>906</b>	<b>724</b>	<b>5.773</b>

Quelle: T.Jung et al: Wirtschaftlichkeitsstudie von Eiserkennungssystemen an Windenergieanlagen, Weilburg, 2015



## Studie der Technikakademie Weilburg

### Eisansatzbedingte Verluste 2012-2015



**Gesamtverlust:** 5773 h

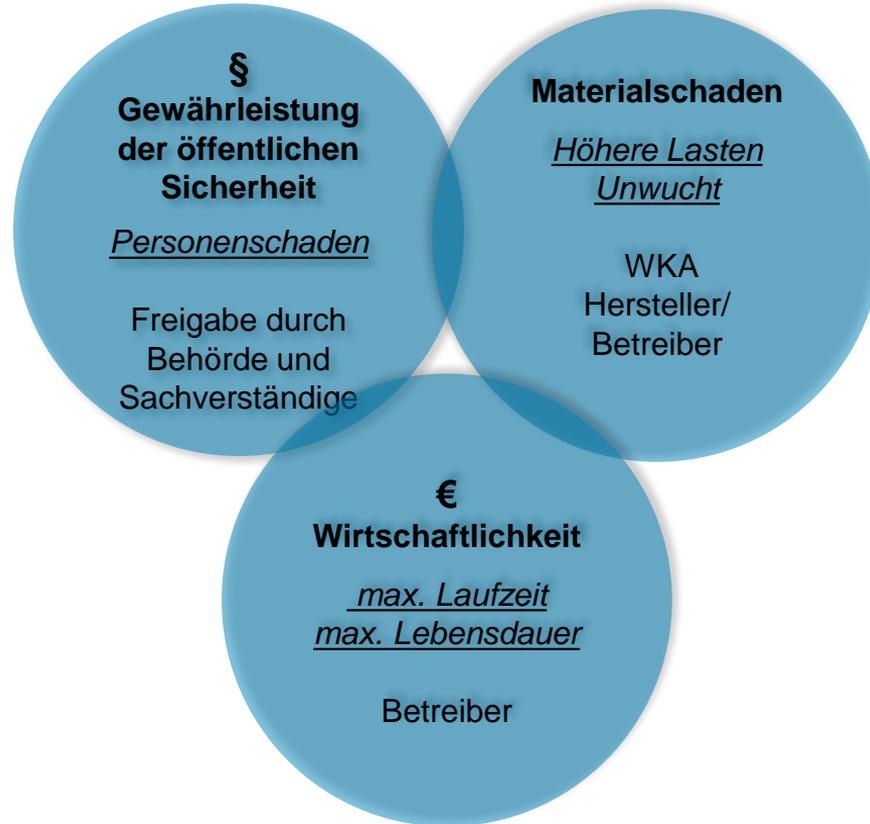
Verluste durch Eisansatz: 44% = 2.540 h

Verluste durch fehlenden Reset: 56 % = 3.232 h

Quelle: T.Jung et al: Wirtschaftlichkeitsstudie von Eiserkennungssystemen an Windenergieanlagen, Weilburg, 2015



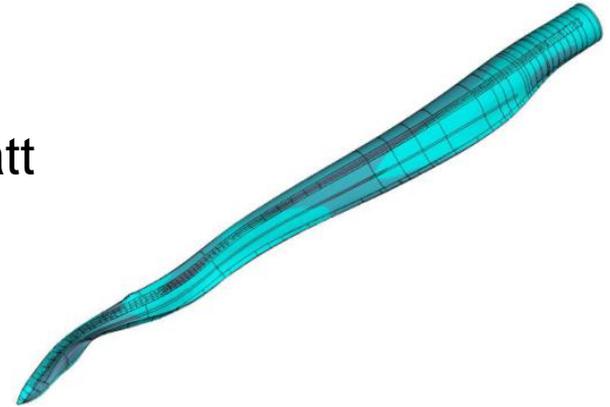
# Vereisung von Rotorblättern





# Eiserkennung mit automatischem Wiederanfahren

Eiserkennung direkt am Rotorblatt





## Eiserkennungssysteme

Meteorologisch

- Keine direkte Eiserkennung am Rotorblatt möglich
- Nicht für den automatischen Wiederanlauf zugelassen

Visuell

- Witterungsbedingt nicht voll einsetzbar
- Nicht für den automatischen Wiederanlauf zugelassen

Leistungskurve

- Keine direkte Eiserkennung am Rotorblatt möglich
- Nicht für den automatischen Wiederanlauf zugelassen

Schwingungsverhalten

- Direkte Eiserkennung am Rotorblatt möglich
- Zertifiziert für ein automatisches wiederanlaufen



## Physikalische Grundlage

- **Schwingungsverhalten von Rotorblättern**
  - **Materialschäden**
  - **Eis**
  - **Unwucht**
- **Veränderung der Eigenfrequenz:**  $\omega = \sqrt{k/m}$ 
  - **Materialschäden verändern die Steifigkeit  $k$**
  - **Eisansatz erhöht die Masse  $m$**
  - **Unwucht  $1\Omega$  (periodische Anregung)**



- **Überwachung des Schwingungsverhaltens der Rotorblätter:**
  - Erkennung der Änderung der **Eigenfrequenz**
  - Erkennung der Änderung des **Resonanzverhaltens**





## IDD.Blade®

### Eiserkennung



©Nordex Energy GmbH

## SHM.Blade®

### Schadenserkennung



### Erkennung von Unwucht



Type Certificate TC-GL-015A-2013



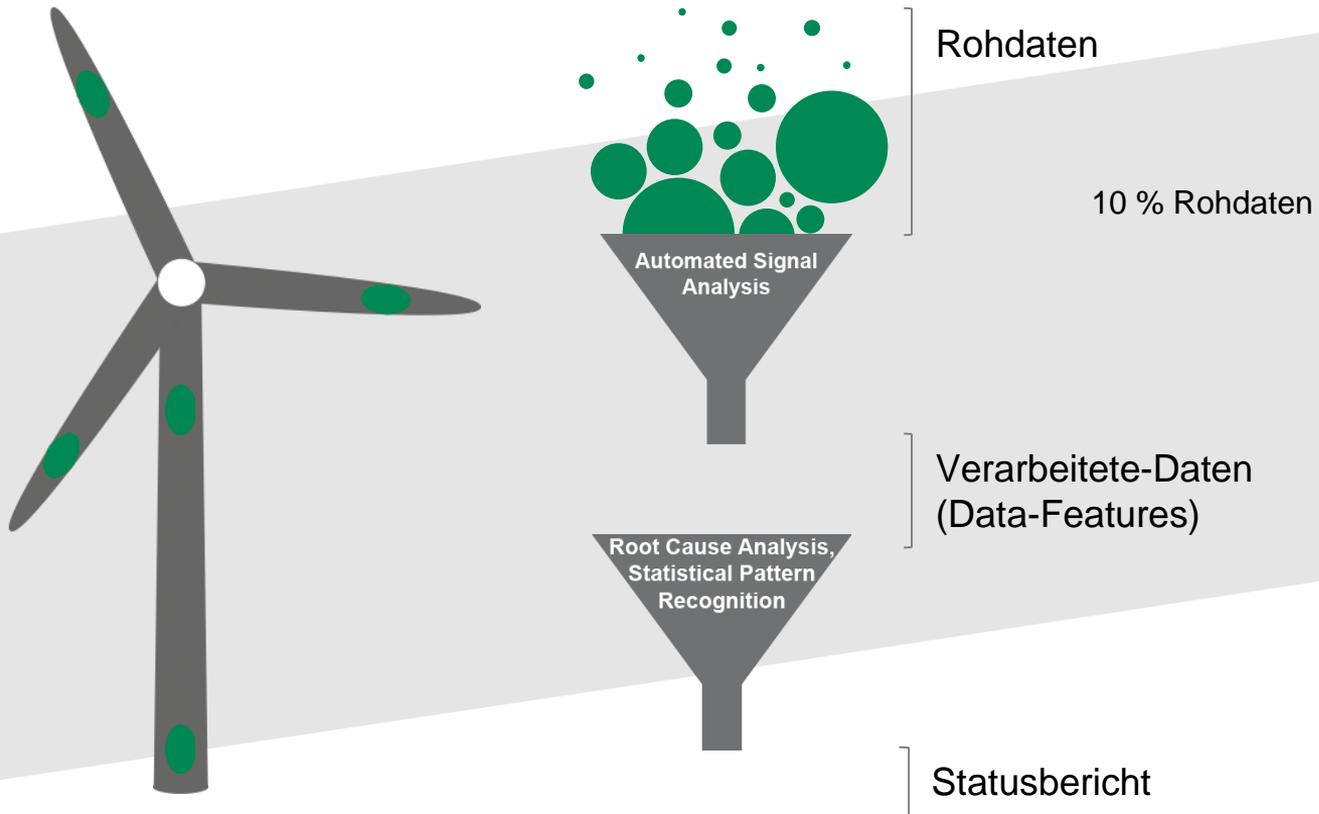
## Erkennen und Filtern der EOC Daten

- Beeinflussung des Dynamisches Verhalten





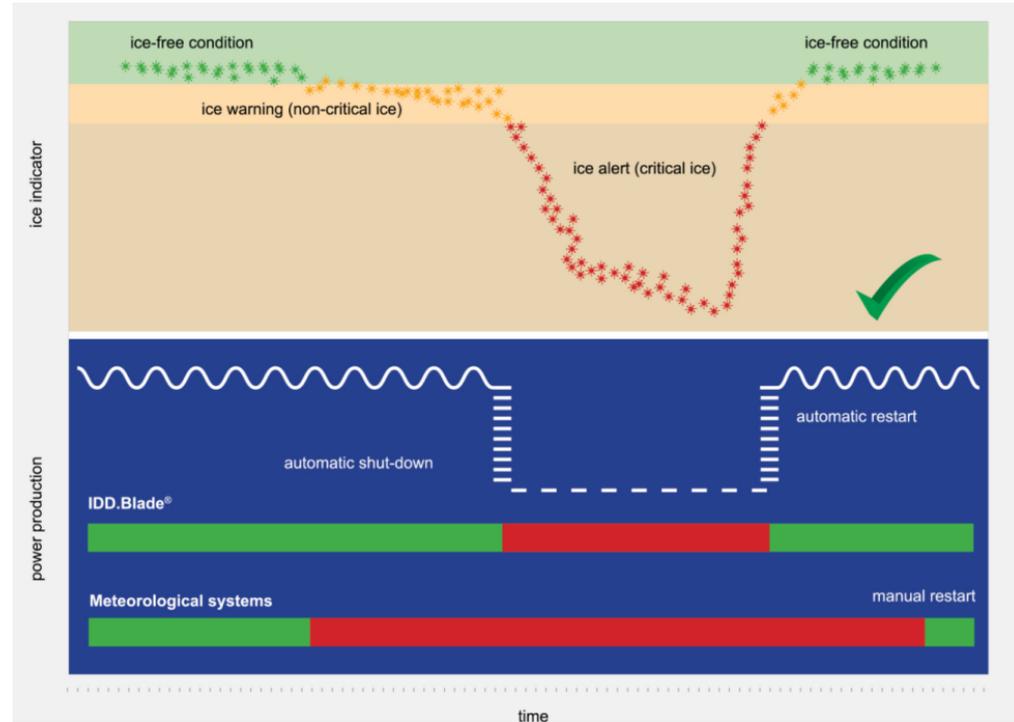
# Eiserkennung mit automatischem Wiederanfahren





## IDD.Blade®

- Eiserkennung direkt am Rotorblatt
  - Alarm- und Schwellwerte
  - Automatischer Neustart
- **Höherer Ertrag**





## IDD.Blade®



4. Nacelle  
DPU (Data Processing Unit)



3. Hub  
DAU (Data Acquisition Unit)



2. Blade root  
CB (Connection Box)

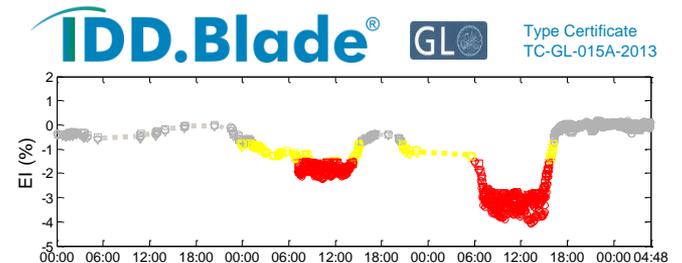


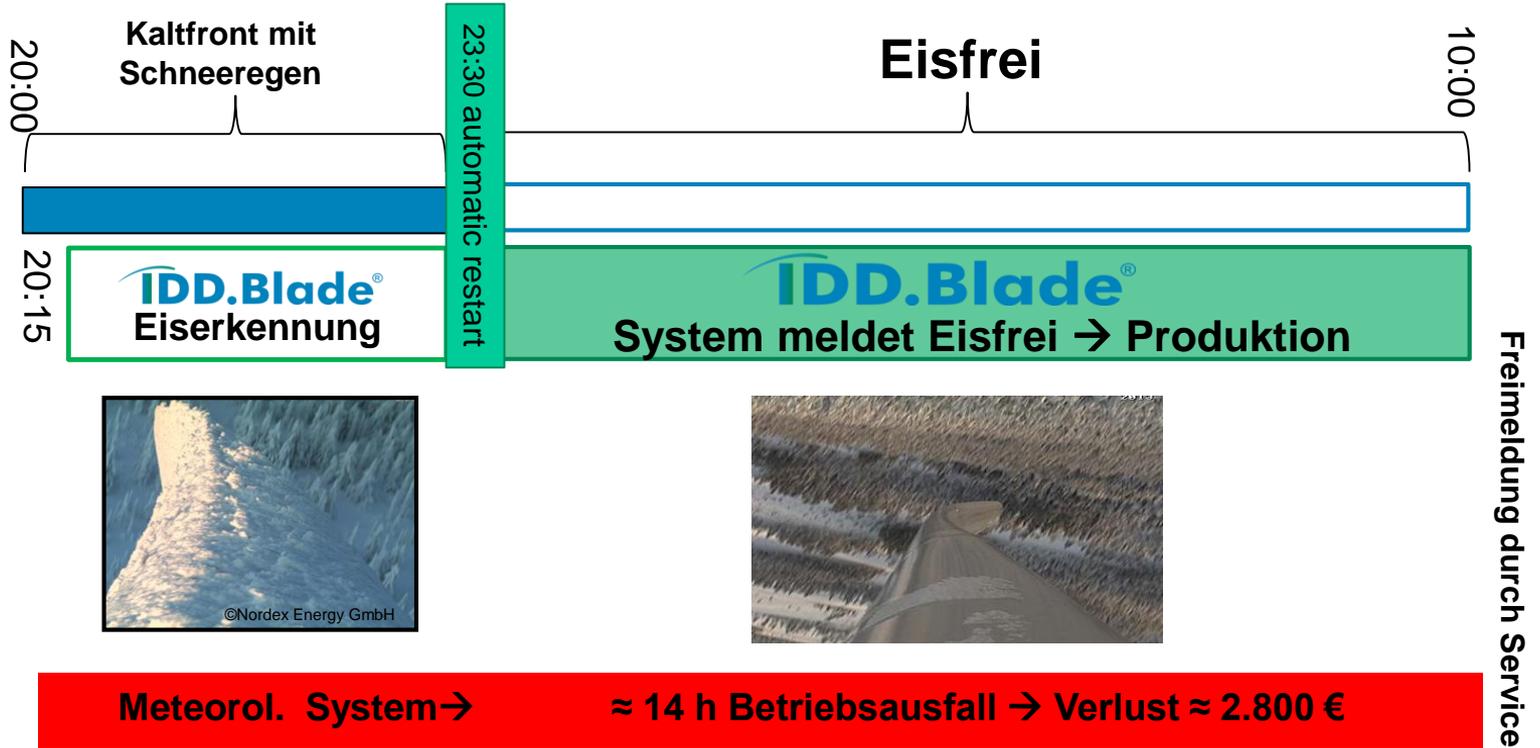
1. Rotor blade  
SNS (Structural Noise Sensor)



# Wirtschaftlichkeit

Beispiele aus der Praxis







## Beispiel Überwachung mit IDD.Blade®

Zeitraum: 13 – 14 Feb. 2015

Abschaltung  
kritische Eisbildung

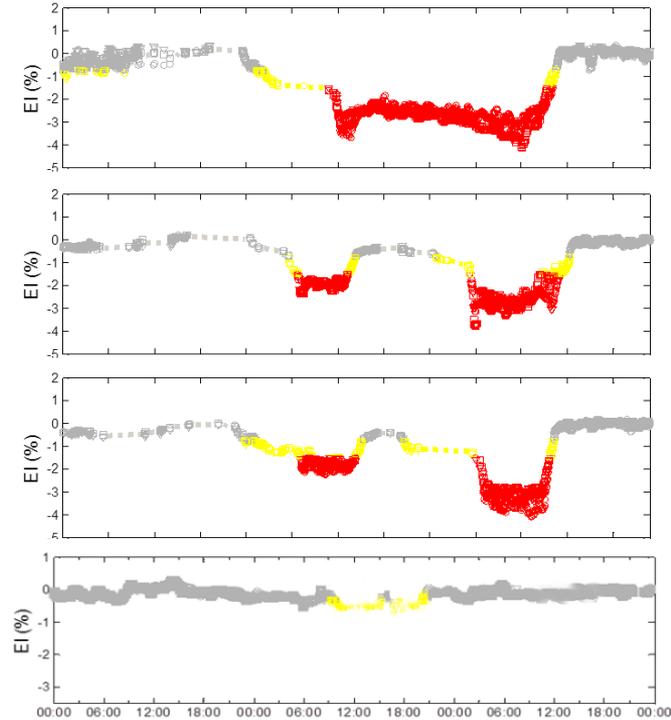
Weiterbetrieb  
unkritische Eisbildung

WTG01

WTG02

WTG03

WTG04





## Beispiel Überwachung mit IDD.Blade®

Zeitraum: Wintersaison 2014/15

Temperatur um 0°C

≈ 50 Tage

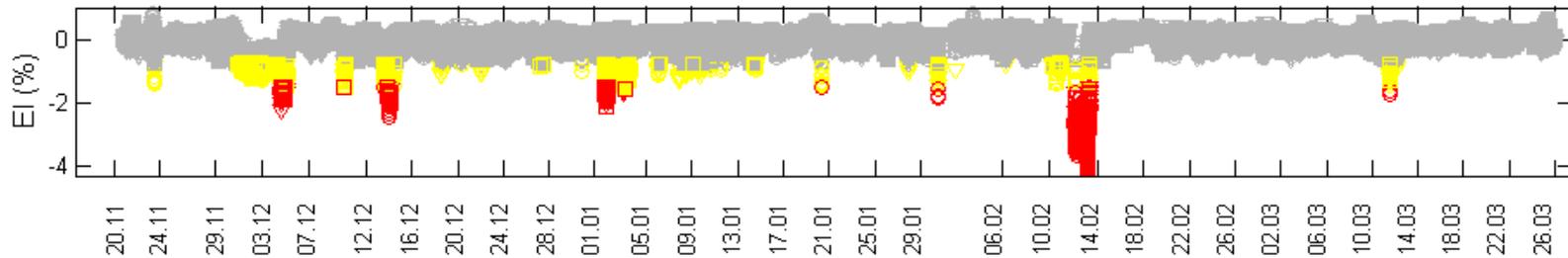
Eiswarnung (leichte Eisbildung)

≈ 21 Tage

Alarm (kritische Eisbildung)

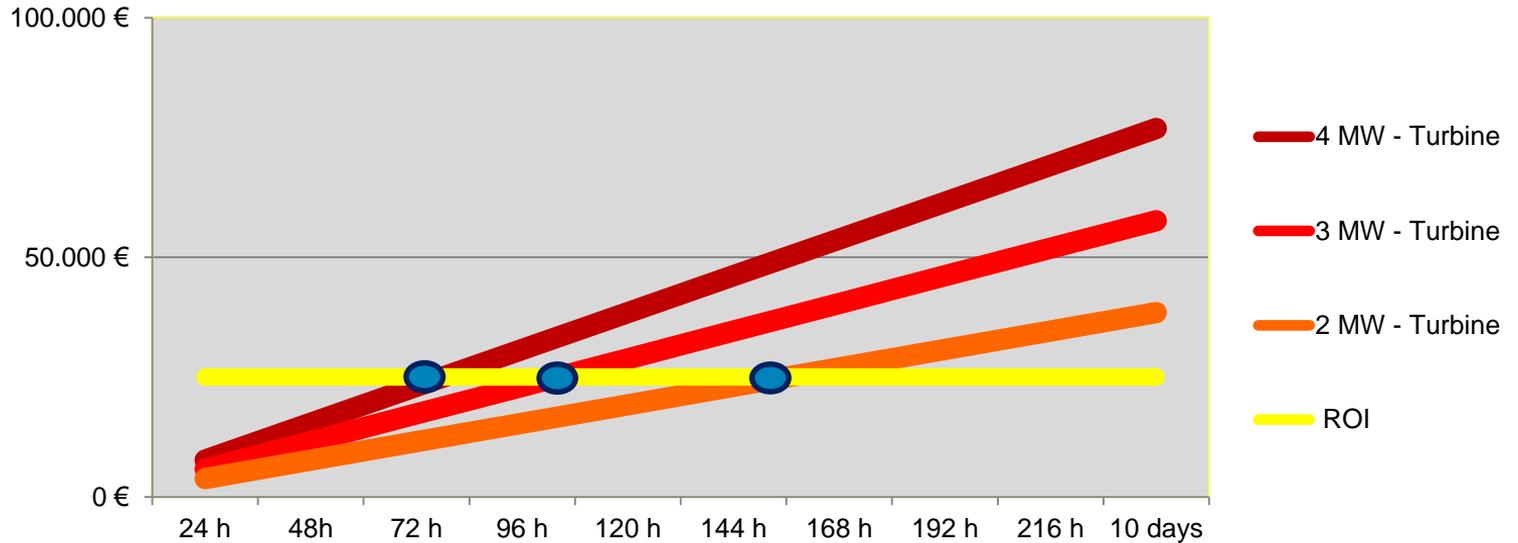
≈ 6 Tage

Ice indicator



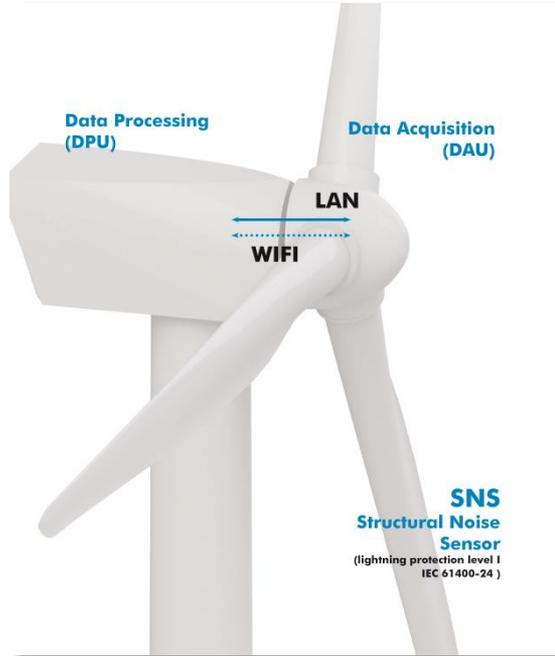


## Kurze Amortisationsdauer von Eiserkennungssystemen mit automatisierter Wiedereinschaltfunktion





	<b>IDD.Blade®</b>	<b>Meteorologisches System</b>
Anzahl der Windenergieanlagen	1	1
Nennleistung [MW]	2,5	2,5
Einspeisevergütung [Cent je kwh]	8,53	8,53
Standort / Vereisungstage	Angermünde, Brandenburg	Angermünde, Brandenburg
Vereisungstage im Jahr	34	34
Volllaststunden [Jahr]	2000	2000
Ertrag je Volllaststunde	213 €	213 €
Systemkosten Eiserkennung	17.500 €	8.200 €
Ertragsausfall EIS (in % pro Vereisungsereignis)	44,00%	100,00%
Ertragsausfall EIS (in % pro Vereisungsereignis)	514 €	1.168 €
Ertragsausfall EIS (in € pro Jahr)	17.481 €	39.729 €
Ertragsausfall über 10 Jahre	174.807 €	397.288 €
Systemkosten + Ertragsausfall / 10 Jahre	192.307 €	405.488 €
<b>Vorteil IDD.Blade je Jahr (ohne Investitionskosten)</b>	<b>22.248 €</b>	
<b>Vorteil IDD.Blade nach 10 Jahren</b>	<b>213.181 €</b>	
<b>Amortisation in Jahren</b>	<b>1</b>	



## Effiziente Eiserkennung durch Schwingungsbasierte Rotorblattüberwachung:

- Automatisches Wiederanlaufen
- Zertifiziertes und genehmigtes System
- Nachweis durch Sachverständigen für die Genehmigungsbehörde
- Minimierung Ertragsverlust



# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

## Experten für Schwingungen

Wölfel Group  
Max-Planck-Str.15  
97204 Höchberg

Tel.: +49 931 49708-600  
Fax: +49 931 49708-650  
E-Mail: [wbi@woelfel.de](mailto:wbi@woelfel.de)  
[www.woelfel.de](http://www.woelfel.de)



**Dipl.-Ing. Bernd Wölfel**

Tel.: +49 40 5247152-66

Mobile: +49 170 3325810

E-Mail: [bernd.woelfel@woelfel.de](mailto:bernd.woelfel@woelfel.de)