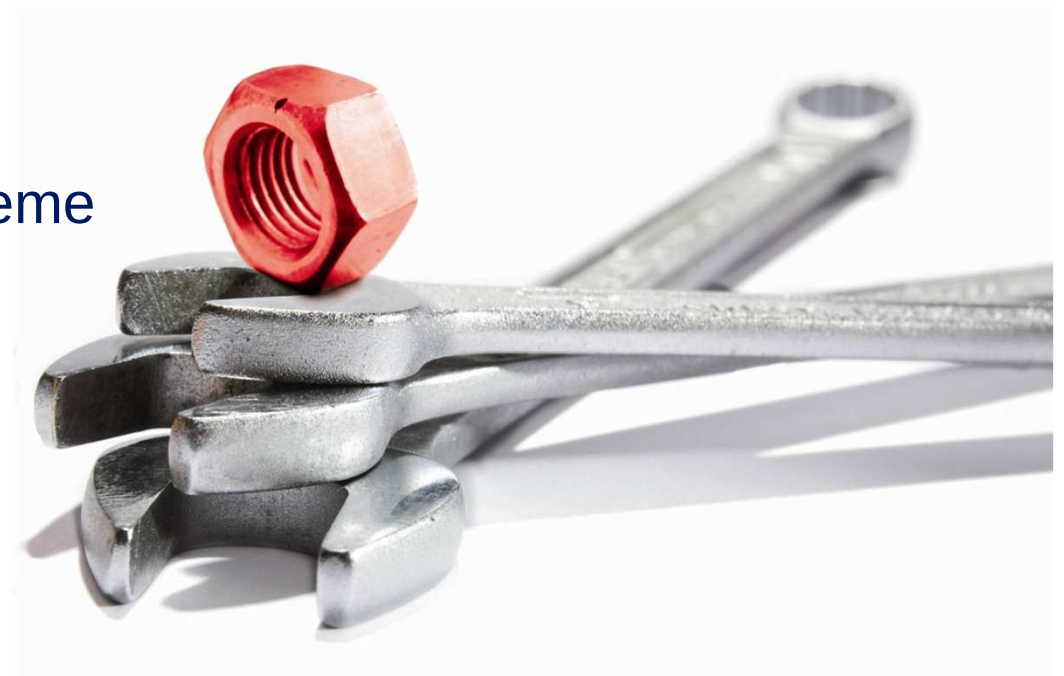


ConMoto Consulting Group GmbH

ConMoto-Kurzstudie:
„Instandhaltungsstrategien für Systeme
von Windkraftanlagen“

München, im Dezember 2011



Wir schaffen Vorsprung



CON MOTO CONSULTING GROUP

1. Grundlagen und Zielsetzung der Kurzstudie „Instandhaltungsstrategien für Systeme von Windkraftanlagen“

2. Windkraftanlagen – Basisdaten und Stördatenauswertung

3. Wirtschaftlich optimale Instandhaltungsstrategien bei Windkraftanlagen

4. ConMoto Consulting Group – Übersicht

ConMoto-Kurzstudie „Instandhaltungsstrategien für Systeme von Windkraftanlagen“ (2011) – Untersuchungsumfang und Basisdaten

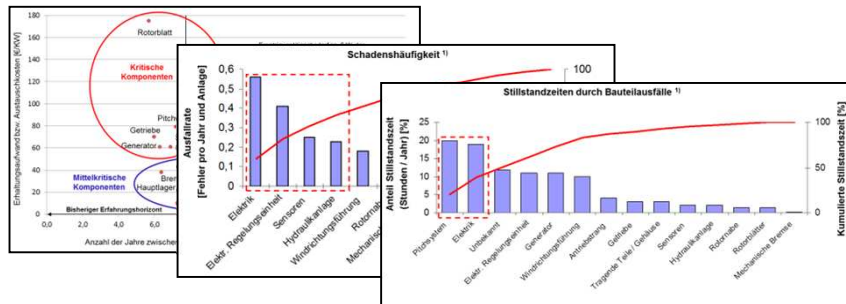


Auswertung Basisdaten

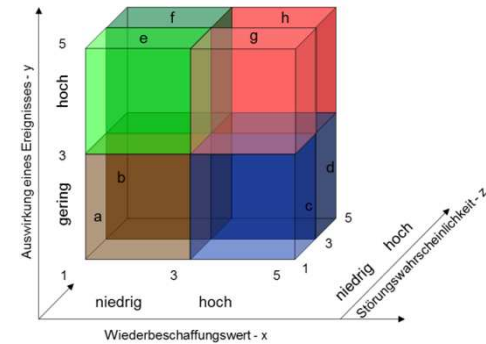
- Repräsentative Untersuchung bei Betreibern von Windparks
- Ø Volllaststunden pro Jahr: 2.141 h (Onshore)
- Ø Volllaststunden pro Jahr: 3.695 h (Offshore)
- Untersuchte Hersteller:
 - Enercon
 - Vestas
 - GE
 - Windworld
 - Siemens
 - Nordex
 - NEG Micon
 - RE Power
 - HSW / BWU
 - Fuhrlander

Methodische Vorgehensweise – Ermittlung der Sollwerte und Analyse angewandter Instandhaltungsstrategien

Stördatenanalyse und ConMoto Best-Practice-Erkenntnisse



Soll-IH-Strategien



ConMoto
„Risiko- und
verfügbarkeits-
basierte
Instandhaltungs-
strategien“

Auswertung der Befragung bei WKA-Betreibern



Abfrage von Instandhaltungsstrategien (IH-Strategien) für die Hauptsysteme von WKA:

- Antrieb
- Abtrieb
- Elektrik und Steuerung

Ist-IH-Strategien

System	Instandhaltungs-Strategie						
	Cost-Strategie	Eliminierungsstrategie	Einfache Redundanz-Strategie	Mehrfache Redundanz-Strategie	Periodische Strategie längere Intervalle	Periodische Strategie kürzere Intervalle	Sequentielle Strategie
Antrieb	Pitchsystem	52%	1%	1%	10%	31%	4%
	Windrichtungsführung	51%	3%	1%	10%	34%	1%
	Rotoranabe	72%			11%		9%
	Rotorblätter	29%	3%		48%		12%

► Handlungsfelder und Aktionsschwerpunkte lassen sich aus den Differenzen zwischen Ist- und Soll-Instandhaltungsstrategien ableiten. Das Ziel ist Maintenance Excellence

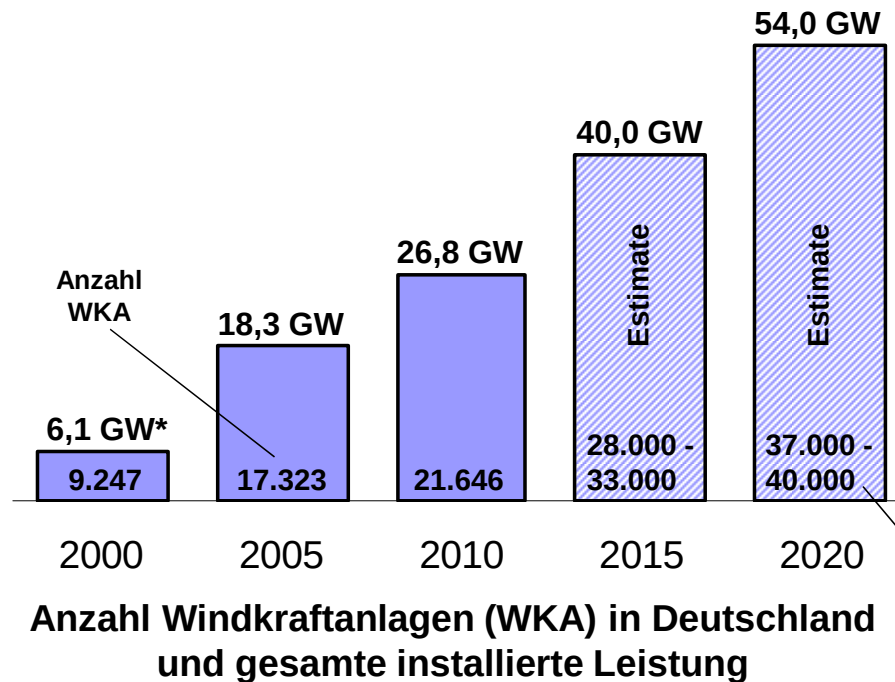
**1. Grundlagen und Zielsetzung der Kurzstudie
„Instandhaltungsstrategien für Systeme von Windkraftanlagen“**

2. Windkraftanlagen – Basisdaten und Stördatenauswertung

**3. Wirtschaftlich optimale Instandhaltungsstrategien bei
Windkraftanlagen**

4. ConMoto Consulting Group – Übersicht

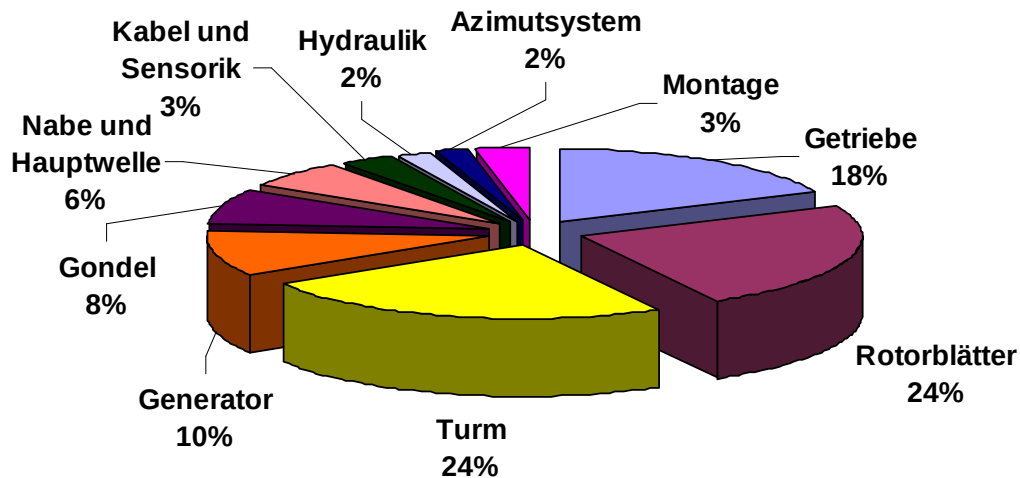
Windkraftanlagen Deutschland – Zahlen & Fakten



Trend zu Anlagen
> 1,5 MW (Offshore)

- Ø Onshore Volllaststunden:**
1.700 - 2.100 h ($\approx$ 19-24%)
- Ø Offshore-Volllaststunden:
3.800 h ($\approx$ 43,5%)
- Ø Einspeisevergütung*** Onshore:
0,075 €/kWh (gemittelt über 20 Jahre)
- Ø Einspeisevergütung*** Offshore:
0,13 – 0,15 €/kWh (für die ersten zwölf Jahre)

Rotorblätter und Turm sind die Hauptkostentreiber einer WKA



Typische Investitions-Kostenstruktur einer 1,2 MW Windkraftanlage

- Gesamtinvestitionskosten:
 - 75% Windkraftanlagenpreis
 - 25% Investitionsnebenkosten*
- Gesamtinvestitionskosten pro kW installierter Leistung
 - Onshore: 1.000 bis 1.700 €/kW
 - Offshore: bis 4.300 €/kW
- Ø jährliche Wartungs- und Instandhaltungskosten (W+I-K) (Onshore):
~ 2,6% der Anlagenkosten (Turbine und Generator) ohne Turm und ohne Investitionsnebenkosten (NK)
- Ø jährliche Betriebskosten (Offshore):
0,02-0,04 €/kWh (davon 30-50% W+I-K)

Ca. 2/3 der Störungsauswirkungen verursachen totalen Produktionsausfall oder verringerte Stromproduktion

Generelle Anforderungen an WKA

Großer Lastbereich

Schwingungen

Hohe dynamische Belastungen

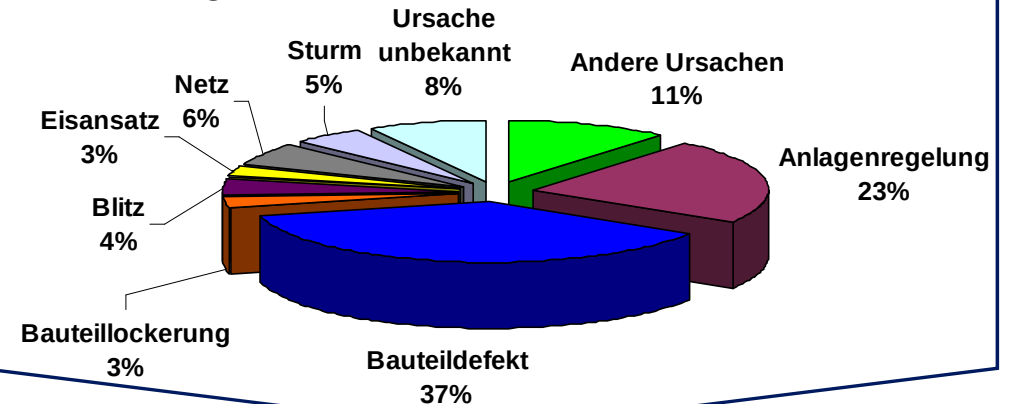
Umwelteinflüsse
(Temperatur, Salz, Staub)



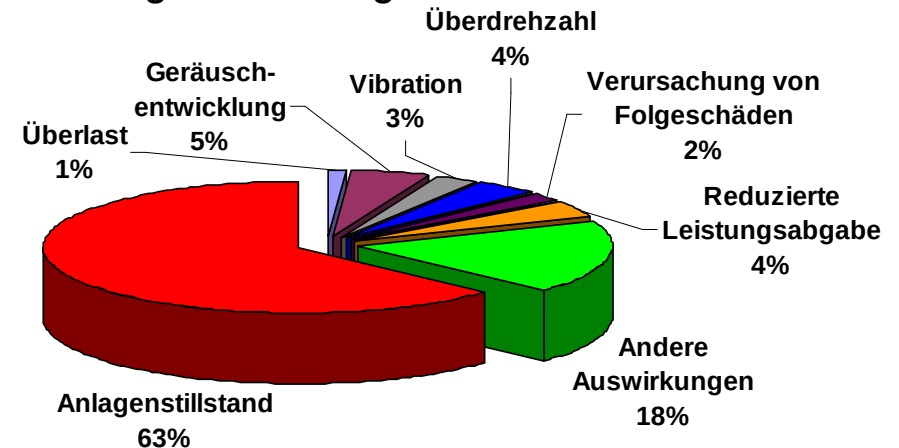
Kritische Systeme

- Steuerung und allg. Elektronik
- Rotorblätter
- Pitchsystem
- Generator

Störungsursache

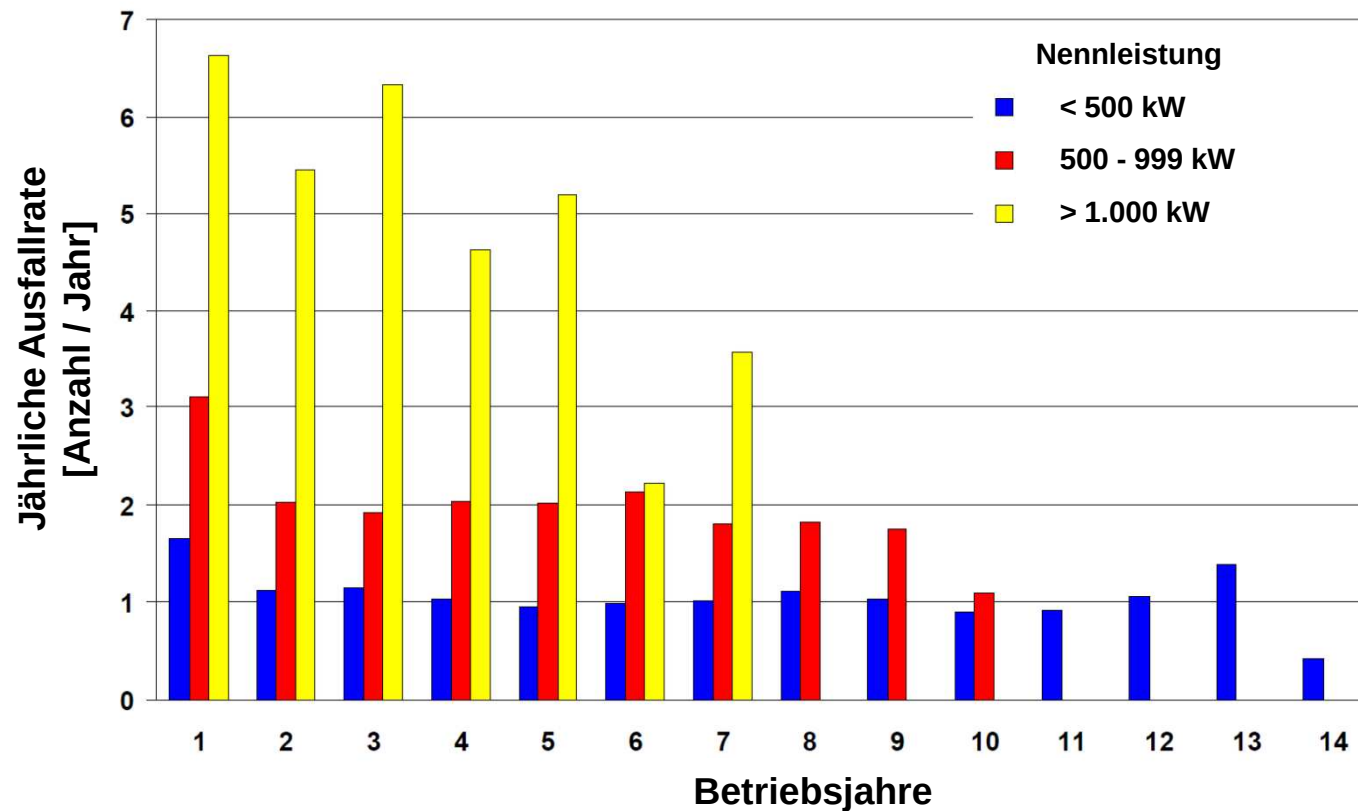


Störungsauswirkung



Deutlicher Trend zu höheren Ausfallraten bei jüngeren / größeren WKA

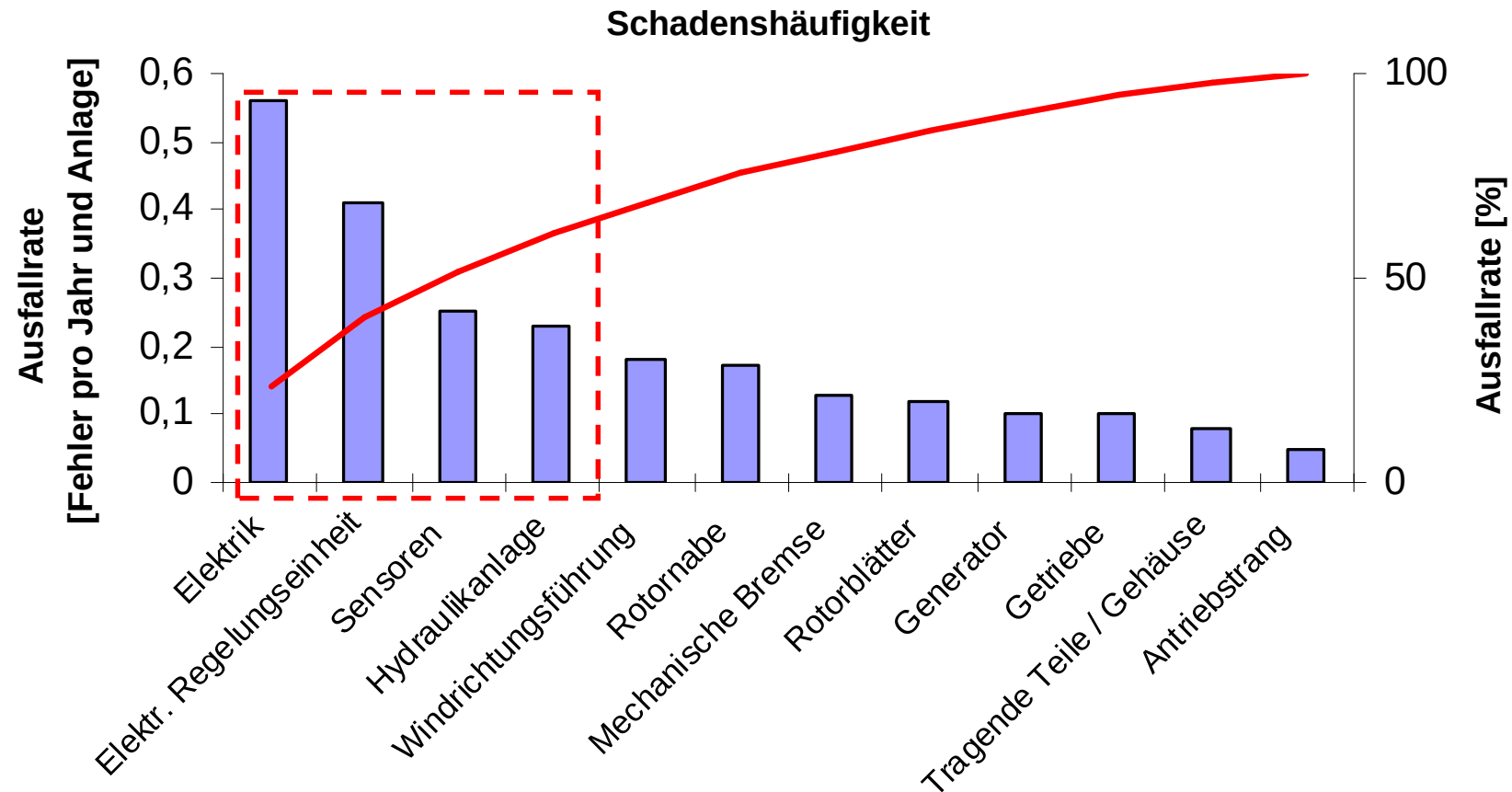
Anlagenzuverlässigkeit nach Alter und Nennleistung



- Ø Ausfallrate
Großanlagen: 3,5
- Ø Ausfallrate
Mittelanlage: 2
- Ausfallraten nahezu
unabhängig vom Alter
der Anlagen
- Trend zu höheren
Ausfallraten bei
Großanlagen
(höhere Komplexität)

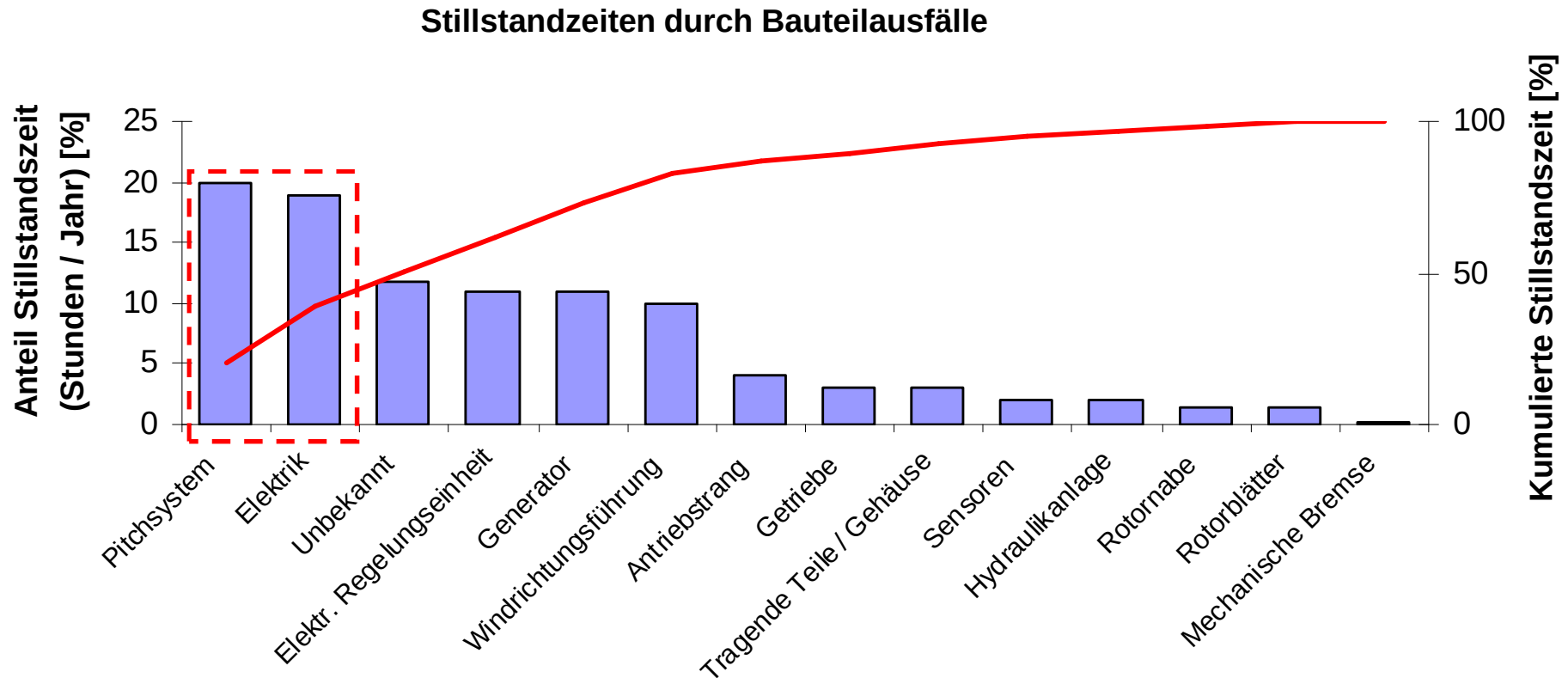
► Jeder Schaden führt zu einem Ø Stillstand von 6 Tagen

Elektrik & Regelungseinheit weisen die höchsten Fehlerhäufigkeiten auf



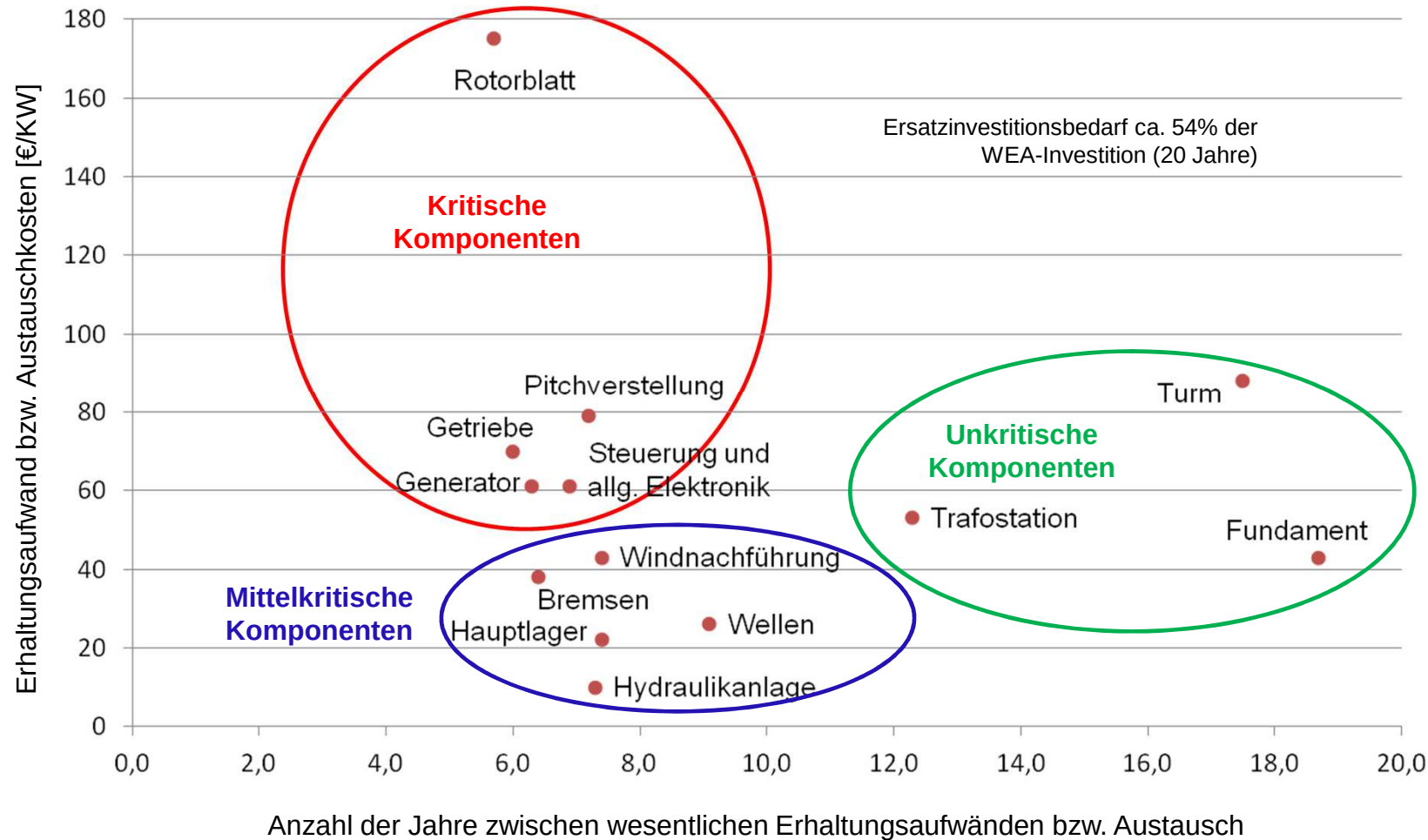
- **Mechatronische Bauteile (z.B. Sensoren) sowie Hydrauliksysteme verursachen am zweithäufigsten Ausfälle**

Über 39% der Stillstandszeiten werden durch Pitchsystem und Elektrik verursacht



- Fünf Bauteile (Pitchsystem, Elektrik, Generator, Elektr. Regelungseinheit, Windrichtungsführung) verursachen 71% der jährlichen Stillstandszeiten

Aufwendungen zum Erhalt von Windkraftsystemen



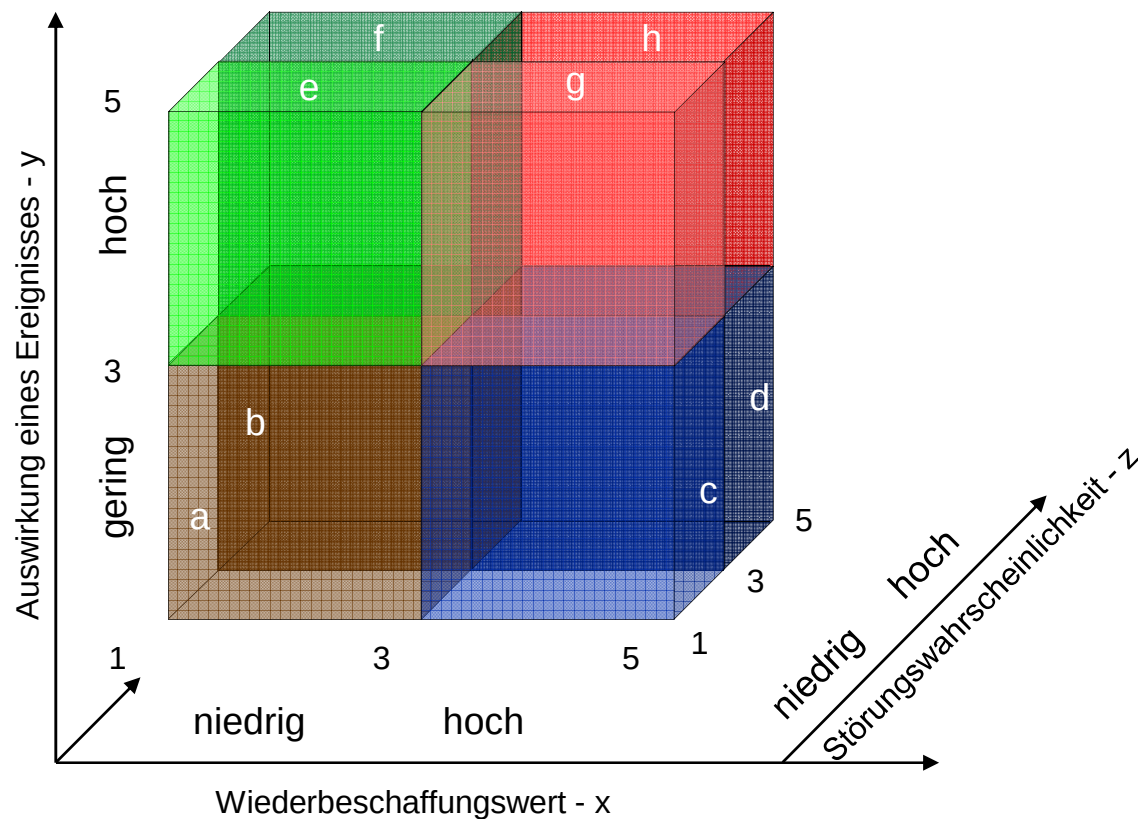
**1. Grundlagen und Zielsetzung der Kurzstudie
„Instandhaltungsstrategien für Systeme von Windkraftanlagen“**

2. Windkraftanlagen – Basisdaten und Stördatenauswertung

**3. Wirtschaftlich optimale Instandhaltungsstrategien bei
Windkraftanlagen**

4. ConMoto Consulting Group – Übersicht

ConMoto Methode: Risiko- und verfügbarkeitsbasierte Instandhaltungsstrategien – Der „Kubus“ im Detail



Zustandsorientierte Strategie

(W+I-Maßnahmen gemäß Zustandsüberwachung)

- g - Sequentielle Strategie
- h - Zustandsorientierte Strategie (Online)

Redundanz

(Funktionale Redundanz – Bypass)

- e - einfache Redundanz
- f - Mehrfachredundanz

Periodische Strategie

(Maßnahmen periodisch bzgl. Menge oder Zeit gem. W+I-Plänen)

- c - periodisch lang
- d - periodisch kurz

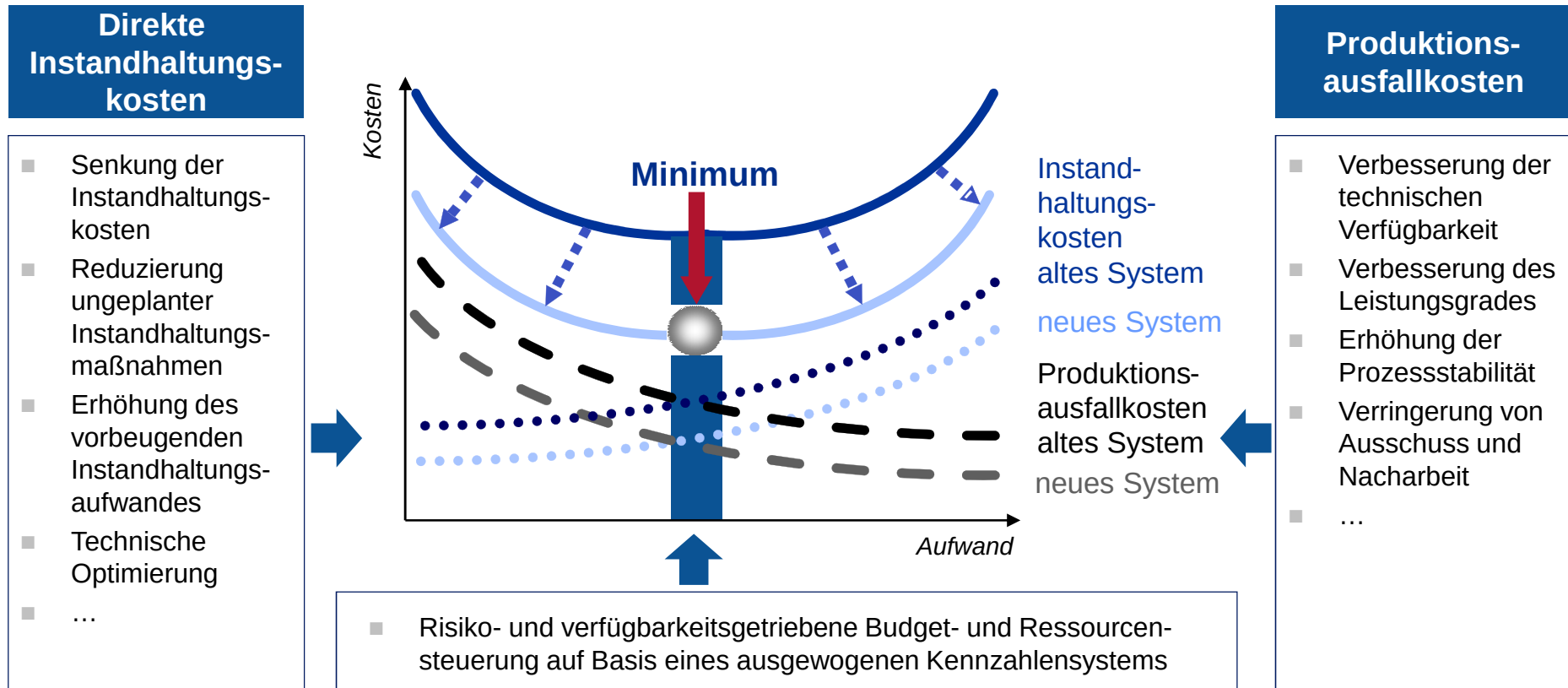
Crashstrategie

(vorsätzlicher Betrieb bis zum Ausfall)

- a - Crash
- b - Eliminierungsstrategie

► **Ermittlung der wirtschaftlich optimalen Instandhaltungsstrategie für jede Komponente**

Erfolge durch wirtschaftlich optimale Instandhaltungsstrategien

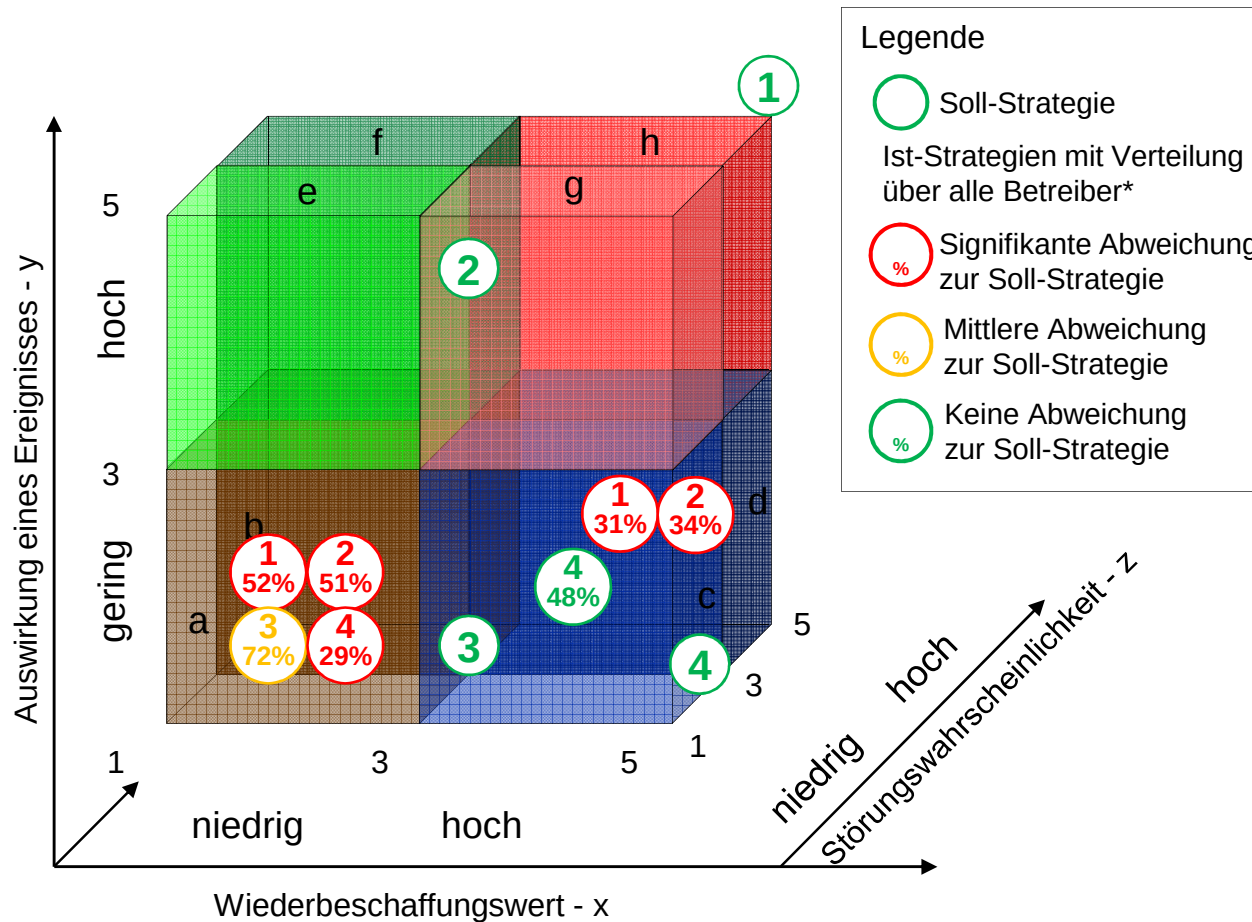


► **Senkung der Instandhaltungskosten bei gleichzeitiger Verringerung des Produktionsausfalls mit optimaler Budget- und Ressourcensteuerung führen zum Gesamtkosten-Minimum**

Ergebnisse der Kurzstudie – Instandhaltungsstrategien für die Komponenten im Bereich „Antrieb“ (Ist-Zustand)

Instandhaltungs-Strategie		Crashstrategie	Eliminierungsstrategie	Einfache Redundanz Strategie	Mehrfache Redundanz Strategie	Periodische Strategie längere Intervalle	Periodische Strategie kürzere Intervalle	Sequentielle Strategie	Zustandsorientierte Strategie
System									
Antrieb*	1 Pitchsystem	52%	1%	1%		10%	31%	4%	1%
	2 Windrichtungs-führung	51%	3%		1%	10%	34%		1%
	3 Rotornabe	72%				11%		9%	7%
	4 Rotorblätter	29%	3%			48%		12%	8%

Maintenance Excellence am Beispiel risiko- und verfügbarkeitsbasierter Instandhaltungsstrategien einer Windkraftanlage – Antrieb (Ist vs. Soll)



- Bei drei Systemen des Antriebs wird in der Praxis nicht die optimale IH-Strategie** angewandt.
- Einzig beim System „Rotorblätter“ wenden etwa die Hälfte der WKA-Betreiber eine IH-Strategie mit periodisch langen Intervallen an (wirtschaftlich sinnvollste Strategie für dieses System).

Windkraftanlage	Soll-Werte	(x/y/z)
①	Pitchsystem	(5/5/5)
②	Windrichtungsführung	(3/4/3)
③	Rotornabe	(3/1/3)
④	Rotorblätter	(5/1/2)

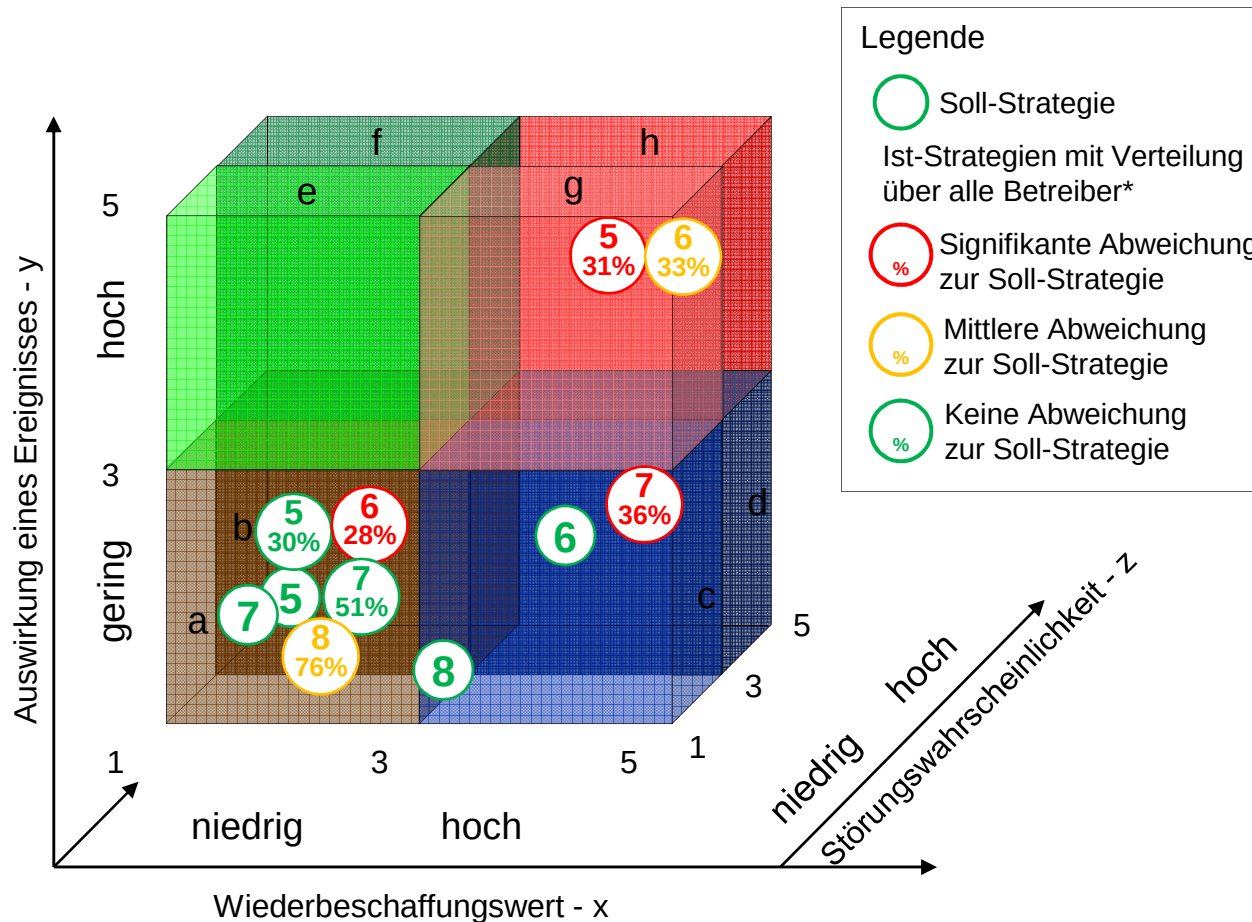
* Es sind jeweils die zwei am häufigsten verwendeten IH-Strategien dargestellt; bei >70% ist nur eine IH-Strategie angeführt

** IH-Strategie = Instandhaltungsstrategie

Ergebnisse der Kurzstudie – Instandhaltungstrategien für die Komponenten im Bereich „Abtrieb“ (Ist-Zustand)

Instandhaltungs- Strategie		Crashstrategie	Eliminierungs- strategie	Einfache Redundanz Strategie	Mehrfache Redundanz Strategie	Periodische Strategie längere Intervalle	Periodische Strategie kürzere Intervalle	Sequentielle Strategie	Zustandsorientierte Strategie
System									
Abtrieb*	5 Antriebsstrang	30%	3%	1%		9%	5%	22%	31%
	6 Getriebe	28%	3%	1%		13%		22%	33%
	7 Mechanische Bremse	51%		1%		11%	36%	1%	1%
	8 Hydraulikanlage	76%		3%		12%	7%		1%

Maintenance Excellence am Beispiel risiko- und verfügbarkeitsbasierter Instandhaltungsstrategien einer Windkraftanlage – Abtrieb (Ist vs. Soll)



- Weite Streuung an IH-Strategien bei den Systemen „Antriebsstrang“ und „Getriebe“.
- Stärkste Abweichung von der Soll-Strategie beim System „Getriebe“.
- Ca. die Hälfte aller Betreiber verwenden die optimale Strategie für das System „Mechanische Bremse“.

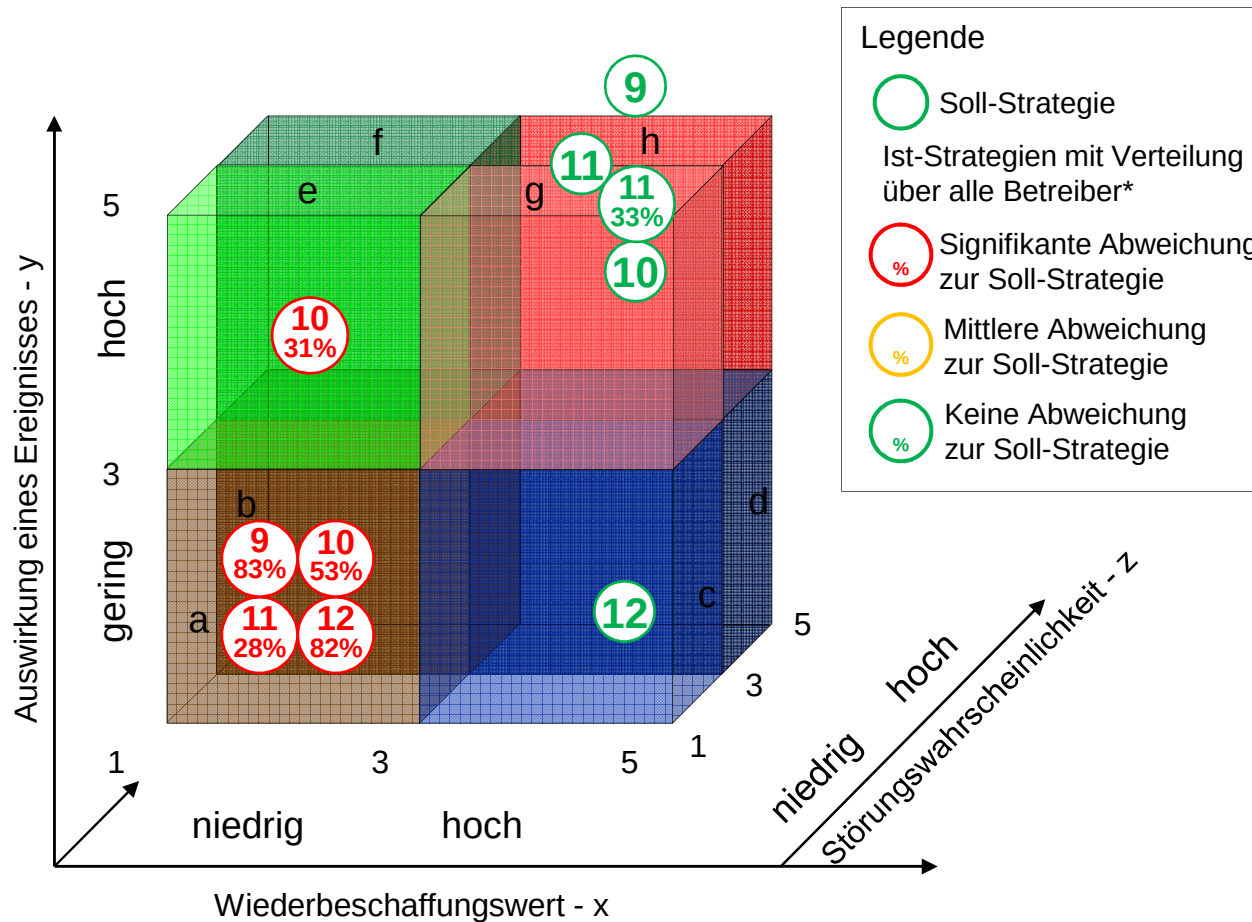
Windkraftanlage	Soll-Werte	(x/y/z)
⑤	Antriebsstrang	(2/2/1)
⑥	Getriebe	(4/2/2)
⑦	Mechanische Bremse	(1/1/4)
⑧	Hydraulikanlage	(3/1/2)

* Es sind jeweils die zwei am häufigsten verwendeten IH-Strategien dargestellt; bei >70% ist nur eine IH-Strategie angeführt

Ergebnisse der Kurzstudie – Instandhaltungstrategien für die Komponenten im Bereich „Elektrik und Steuerung“ (Ist-Zustand)

Instandhaltungs-Strategie		Crashstrategie	Eliminierungsstrategie	Einfache Redundanz Strategie	Mehrfache Redundanz Strategie	Periodische Strategie längere Intervalle	Periodische Strategie kürzere Intervalle	Sequentielle Strategie	Zustandsorientierte Strategie
System									
Elektrik und Steuerung*	9 Elektrik	83%	1%	6%		8%			1%
	10 Elektrische Regelungseinheit	53%	1%	31%		8%	6%		1%
	11 Generator	28%	3%	1%		13%		22%	33%
	12 Sensoren	82%	1%	5%	2%	8%			1%

Maintenance Excellence am Beispiel risiko- und verfügbarkeitsbasierter Instandhaltungsstrategien einer Windkraftanlage – Elektrik und Steuerung (Ist vs. Soll)



- Es werden durchwegs nicht optimale IH-Strategien für die Elektrik und Steuerungssysteme von WKA angewandt.
- Größte Abweichungen von den wirtschaftlich sinnvollsten IH-Strategien bei den Systemen „Elektrik“ und „Elektrische Regelungseinheit“.

Windkraftanlage Soll-Werte	(x/y/z)
⑨ Elektrik	(4/5/5)
⑩ Elektr. Regelungseinheit	(4/4/5)
⑪ Generator	(4/5/2)
⑫ Sensoren	(4/1/4)

* Es sind jeweils die zwei am häufigsten verwendeten IH-Strategien dargestellt; bei >70% ist nur eine IH-Strategie angeführt

Schlüsselerkenntnisse der ConMoto-Kurzstudie „Instandhaltungsstrategien für Systeme von Windkraftanlagen“

- Über 75% der Betreiber wenden bei der Hälfte der untersuchten Systeme eine Instandhaltungsstrategie an, welche fast vollständig von der optimalen Instandhaltungsstrategie abweicht



- Pitchsystem
- Windrichtungssystem
- Antriebsstrang
- Elektrik
- Elektrische Regelungseinheit
- Sensoren

- Mehr als 30% der Betreiber wenden nur zum Teil optimale Instandhaltungsstrategien bei einem Viertel der untersuchten System an



- Rotornabe
- Getriebe
- Hydraulikanlage

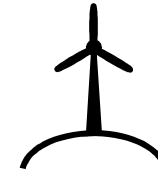
- Nahezu die Hälfte der Betreiber setzen bei einem Viertel der untersuchten System eine fast optimale bzw. die jeweils optimale Instandhaltungsstrategie ein



- Rotorblätter
- Mechanische Bremse
- Generator

► **Durch eine systematische Umsetzung der wirtschaftlich optimalen Instandhaltungsstrategien können die Ausfallraten signifikant reduziert und die Instandhaltungskosten nachhaltig gesenkt werden**

Was bedeutet dies für Onshore-Windkraftanlagen?



Beispiel 1: Onshore-Windpark mit 35 Anlagen

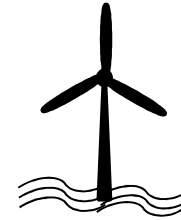
- 35 x WKA Gesamtleistung: 52,5 MW
- Kosten pro installiertem Kilowatt: € 1.100
- Gesamtanlagenpreis: ~ 58 Mio.€
- **Jährliche Wartungs- und Instandhaltungskosten: 848 T€ (2,6% der Anlagenkosten, ohne Invest-NK, ohne Turm)**

**Reduzierung der direkten
Instandhaltungskosten um 15%
→ Kosteneinsparung: 127 T€/a**

- Annahme Volllaststunden: 1.900 h
- Erzeugte Energie / Jahr (theoretisch): 99.750 MWh
- Erzeugte Energie / Tag (theoretisch): 274 MWh
- Ø Einspeisevergütung nach EEG: 75 €/MWh
- Ø Ausfallrate Großanlagen: 3,5 pro Jahr
- Ø Stillstandzeit pro Schaden: 6 Tage
- **Jährlicher Verlust von Einspeisevergütung durch Anlagenstillstände: 432 T€**

**Reduzierung Ausfallrate auf 2/Jahr
→ Kosteneinsparung: 185 T€/a**

Was bedeutet dies für Offshore-Windkraftanlagen?



Beispiel 2: Offshore-Windpark mit 12 Anlagen

- 12 × 5 MW WKA Gesamtleistung: 60 MW
- Gesamtinvestitionssumme: 250 Mio.€
- Spezifische Investitionskosten: 4.100 €/kW
- Annahme Volllaststunden: 3.800 h
- Erzeugte Energie / Jahr (theoretisch): 228.000 MWh
- Jährliche Betriebskosten (Offshore): 0,03 €/kWh
- **Geschätzte jährliche Wartungs- und Instandhaltungskosten: 2,7 Mio.€ (40% der Betriebskosten)**

- Erzeugte Energie / Tag (theoretisch): 626 MWh
- Ø Einspeisevergütung nach EEG : 140 €/MWh
- Ø Ausfallrate Großanlagen: 3,5 pro Jahr
- Ø Stillstandzeit pro Schaden: 6 Tage
- **Jährlicher Verlust von Einspeisevergütung durch Anlagenstillstände: 1,8 Mio.€**

Reduzierung der direkten
Instandhaltungskosten um 15%
→ **Kosteneinsparung: 405 T€/a**

Reduzierung Ausfallrate auf 2/Jahr
→ **Kosteneinsparung: 700 T€/a**

Hochrechnung des Einsparpotentials bei Windkraftanlagen in Deutschland pro Jahr

Windkraftanlagen Deutschland gesamt						
Jahr ¹	Anzahl WKA ¹	Leistung ¹ [MW]	Total Invest* [Mio. €]	IH-Kosten** [Mio. € / a]	Einsparpotential***	
					IH-Kosten [Mio. € / a]	Produktionsausfall [Mio. € / a]
2011	22.000	28.000	30.800	462	46 - 69	73 - 109
2015	28.000 - 33.000	40.000	44.000	660	66 - 99	104 - 156
2020	37.000 - 40.000	54.000	59.400	891	89 - 134	141 - 211

* Annahme: 1.100 € / kW installierte Leistung

** Annahme: 1,5% des Total Invest (jährlich)

***Realisierbar durch Umsetzung von Maintenance Excellence Erkenntnissen

► **Durch konsequente Nutzung von wirtschaftlich optimalen Instandhaltungsstrategien könnten in den nächsten Jahren bis zu 100 Mio.€ Instandhaltungskosten und bis zu 200 Mio.€ Produktionsausfallkosten pro Jahr eingespart werden**

**1. Grundlagen und Zielsetzung der Kurzstudie
„Instandhaltungsstrategien für Systeme von Windkraftanlagen“**

2. Windkraftanlagen – Basisdaten und Stördatenauswertung

**3. Wirtschaftlich optimale Instandhaltungsstrategien bei
Windkraftanlagen**

4. ConMoto Consulting Group – Übersicht

ConMoto Basisinformationen

■ 20 Jahre Erfahrung

Die ConMoto Consulting Group GmbH unterstützt seit über 20 Jahren Unternehmen bei der Sicherung und Weiterentwicklung ihrer Wettbewerbs- und Zukunftsfähigkeit.

■ Internationale Expertise

Rund 80 Berater, verteilt auf die Standorte München, Stuttgart, Wien, St. Gallen, Bratislava, Abu Dhabi und Shanghai, arbeiten mit Kompetenz und Engagement daran, den bestmöglichen Nutzen für unsere Kunden zu verwirklichen.

■ Umsetzungsstärke

Die hohe Qualifikation unserer Berater, ergänzt durch intensive berufliche Erfahrung, gewährleistet die ausgeprägte Umsetzungskraft, die für die Realisierung der gemeinsam mit unseren Kunden entwickelten Lösungskonzepte erforderlich ist.

■ Nachhaltigkeit

Effiziente Strukturen und Prozesse, Innovationsstärke, effektive Führungssysteme und eine nachhaltige Mobilisierung der Mitarbeiter sind die im Kontext einer wegweisenden Strategie verfolgten Projektziele.

■ Praxisorientierung

Auf Basis der langjährigen Erfahrung setzen wir innovative Konzepte mit Blick auf das Machbare gemeinsam mit unseren Kunden um.

■ Wir rechtfertigen Ihr Vertrauen

Wir schaffen Vorsprung ist das Leitmotiv unserer erfolgreichen, umsetzungsorientierten Vorgehensweise.

Die ConMoto Unternehmensgruppe



CONSULTING GROUP

Wertorientierte Unternehmensentwicklung

Lean Excellence

- Lean Production
- Lean Value Chain
- Lean Development
- Lean Services
- Lean Administration
- Change Management



Wertorientierte Instandhaltung und Asset Innovation

- Risiko- und verfügbarkeitsorientierte Instandhaltungsstrategie
- Zeitwirtschaft/Kapazitäts- und Terminplanung
- Kennzahlen & Visualisierung
- Fremdleistungsmanagement
- Value Engineering

Wertorientierter Einkauf

- Schlanke Strukturen und Prozesse
- Signifikante Senkung der Preise für zu beschaffende Güter und Dienstleistungen
- Qualifizierungsoffensive „QAMPUS“

Innovation Excellence

- Produktklinik
- Zielgerichtetes Methodenwissen (QFD, FMEA, TRIZ)
- Technologiebewertung
- Geschäftsfeld- und Markteintrittsstrategien
- Umsetzung von Produkt- und Prozessinnovationen



Ihr Ansprechpartner



Dipl.-Ing., MBA Nils Blechschmidt
Senior Partner & Verantwortlicher für das Themen-
feld Maintenance Excellence und Asset Innovation
Tel.: (089) 780 66 - 114
Fax: (089) 780 66 - 100
E-Mail: Blechschmidt@conmoto.de
ConMoto Consulting Group GmbH
Boschetsrieder Str. 69
81379 München



CON MOTO CONSULTING GROUP