



Felddatenbasierte Analyse von Umrichter- ausfällen in 1300 Windenergieanlagen

Katharina Fischer, Bernd Tegtmeier, Arne Bartschat,
Diego Coronado, Christian Broer, Jan Wenske

**Workshop „Innovationscluster Leistungselektronik
für regenerative Energieversorgung“**

Itzehoe, 16. September 2015



Gliederung

- < Projekt „Zuverlässige Leistungselektronik für Windenergieanlagen“ im *Fraunhofer-Innovationscluster Leistungselektronik für regenerative Energieversorgung*
- < Ausfallursachenanalyse und Zuverlässigkeitssteigerung: Zielsetzung und Methodik
- < Erste Ergebnisse der Felddatenauswertung:
 - < Datengrundlage, betrachtete Umrichtertechnologie
 - < Vorgehensweise
 - < Ergebnisse
- < Zusammenfassung und Ausblick

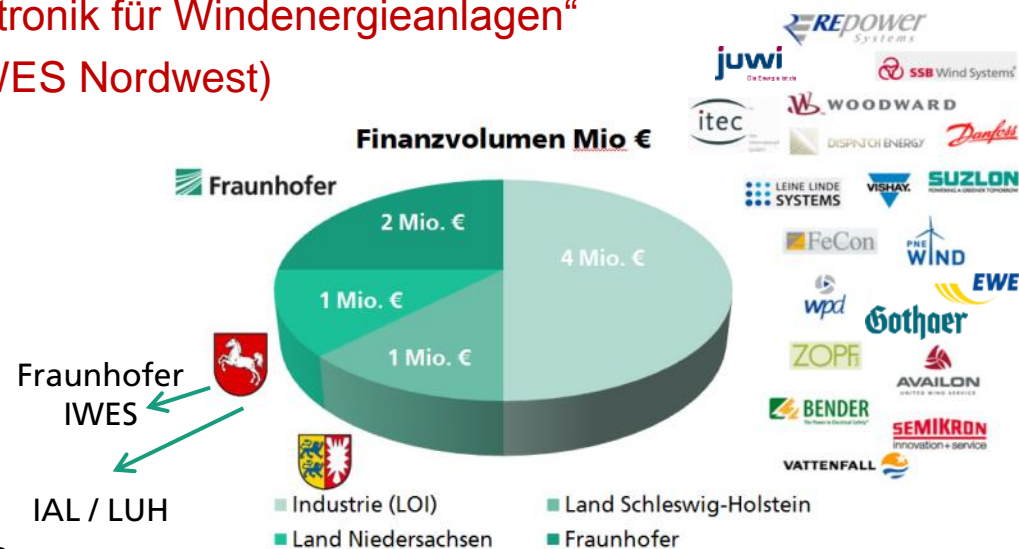
Fraunhofer-Innovationscluster Leistungselektronik für regenerative Energieversorgung

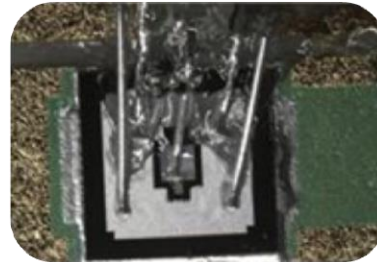
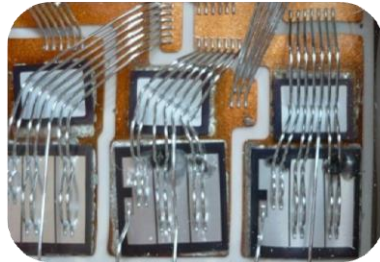
← Zwei Leitprojekte:

- ← A: „Neue Umrichterkonzepte zur Netzeinspeisung elektrischer Energie bis 1700V, 1000A“ (Schleswig-Holstein, Fraunhofer ISIT)
- ← B: „Zuverlässige Leistungselektronik für Windenergieanlagen“ (Niedersachsen, Fraunhofer IWES Nordwest)

← Projekt B (Laufzeit 2014 – 2017):

- ← 16 Unternehmen sowie 3 Forschungseinrichtungen
- ← **Schwerpunkte:**
Ausfallursachenklärung
Fehlerfrüherkennung
Modellierung dyn. Wechselwirkungen
Fehlertolerante Systemkonzepte





Beteiligte Partner AP 1: Ausfallursachenanalyse und Zuverlässigkeitssteigerung

- ↖ Anlagenhersteller
- ↖ Komponentenhersteller/Zulieferer
- ↖ Betreiber
- ↖ Service
- ↖ Versicherung
- ↖ Messtechnik und Monitoring
- ↖ Forschung



Institut für Antriebssysteme
und Leistungselektronik



Fraunhofer

Ausgangssituation

- ↖ hohe Ausfallraten leistungselektronischer WEA-Komponenten:
 - ↖ Hersteller-, WEA-Typen- und Standort-übergreifendes Problem
 - ↖ Ausfallursachen und –mechanismen unklar



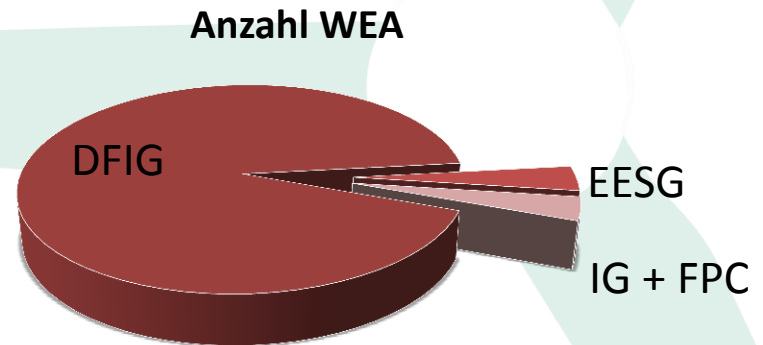
Zielsetzung

- ↖ Ermittlung der vorherrschenden Ausfallursachen und –mechanismen von WEA-Haupt- und Pitchumrichtern
- ↖ Entwicklung von Lösungen zur Zuverlässigkeitssteigerung der Umrichtersysteme in Bestands- und Neuanlagen

Abb.: ZOPF

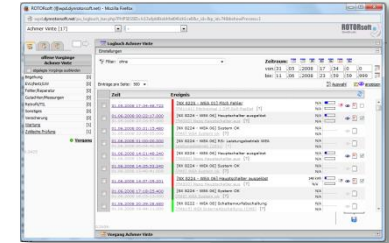
Felddatenanalyse: Datenbasis

- ↖ vorgestellte Ergebnisse beruhen auf umrichterspezifischen Ausfalldaten von 1322 WEA mit insgesamt rd. 3300 WEA-Betriebsjahren
- ↖ Anlagen-Hersteller: DeWind, Enercon, Fuhrländer, Gamesa, GE, Kenersys, Nordex (inkl. Südwind), Senvion / REpower, Suzlon, SWT, Vestas
- ↖ Leistungsklassen 500 bis 3600 kW
- ↖ WEA-Alter: <1 ...18 Jahre
- ↖ Ausfalldaten aus Zeitraum: 2003-2015
- ↖ größtenteils WEA mit doppelt-gespeistem Asynchrongenerator (DFIG),
<10% WEA mit elektrisch erregtem Synchron-generator (EESG) oder Asynchrongenerator mit Vollumrichter (IG + FPC)
- ↖ Frequenzumrichter: IGBT-basierte Gleichspannungszwischenkreis-Umrichter (LV)



Felddatenanalyse: Vorgehensweise

- ↪ Datenquellen: Einsatzdaten inkl. Ersatzteilbedarf, Rechnungsdaten, Logbuchdaten sowie SCADA-Statusdaten und SCADA-10min-Daten



- Wann ist auf welcher WEA ein Ausfall an der Umrichterschaltanlage aufgetreten?
- Welche Umrichterkomponenten waren betroffen / auszutauschen? (Kategorisierung)
- In welchem Betriebspunkt war die Anlage vor dem Ausfallereignis?

↪ „Ausfall“:

- ↪ zum Anlagenstillstand führender Fehler (→ keine präventive Maßnahme),
 - ↪ der nicht per Fernreset zu beheben war, sondern Einsatz an Anlage erfordert hat
 - ↪ und für dessen Behebung Ersatzteile / Material verbraucht worden sind
- ↪ Mehrere Einsätze zur Behebung desselben technischen Problems werden als ein Ausfallereignis betrachtet.

Felddatenanalyse: Vorgehensweise

Einsatzdaten inkl. Ersatzteilbedarf, Rechnungsdaten, Logbuchdaten, z.B.

Z	AB	AC	AD	AF	AG	AK	AL	AN	AO
Original-Einsatzdaten									
Fehler-code	Einsatz-start	Einsatz-ende	WEA-ID	Windpark	Anlagen-tp	Zusatztext	Text (Kunde)	Artikel / Ersatzteil	Anzahl
FC 106	09.05.2014	09.05.2014	GE - 155605..	Dörenb...	GE 1.5csl	Zeitpunkt: 08-05-2014 18:05:50 Status: Steht Bemerkung: Einsatz ist erforderlich (Einsatzplaner wird informiert/ Einsatz wird geplant) FM 106 Störung Strom FU Gen.seite tritt immer beim aufkoppeln auf	09.05.14 - FM Störung FU2 Strom - Fehlersuche und Analyse - Anlage ist bei ca 600kW mit FM ausgefallen - Umrichter ausgelesen und Daten ausgewertet - Umrichter meldet Kurzschluß UCE - Phasenmodule kontrolliert, optisch i.o. - Phasenmodul test 2x durchgeführt - Phasenmodul L1 defekt - Neues per Kurier liefern lassen und eingebaut - Endkontrolle, Probelauf i.o.	Phasenmodul-GS, ...	1



Ausfallereignis?
→Kategorisierung

Umrrichterschaltanlage								
Phasenmodul / IGBT-Modul inkl. Treiberplatine	HU-Steuerung	Crow-bar	Kühl-system	Zwischen-kreis-kondensator	Halbleiter-sicherung (HLS)	Haupt-schalter	Netz-schütz	andere HU-Komponenten
1	0	0	0	0	0	0	0	0



aus SCADA-Statusdaten und 10min-Daten:

16.09.2015

9

Zeitpunkt des Ausfallereignisses		WEA-Betriebsbedingungen im 10min-Intervall VOR Ausfalleintritt			
Datum	Uhrzeit	Wind-geschwindigkeit [m/s]	Leistung [kW]	Generator-drehzahl [1/min]	Kommentar zum Vorfehlerfall
08.05.2014	18:05:50	6,2	343	1308	nach Flaute

Zuverlässigkeitsanalyse: mittlere Ausfallraten

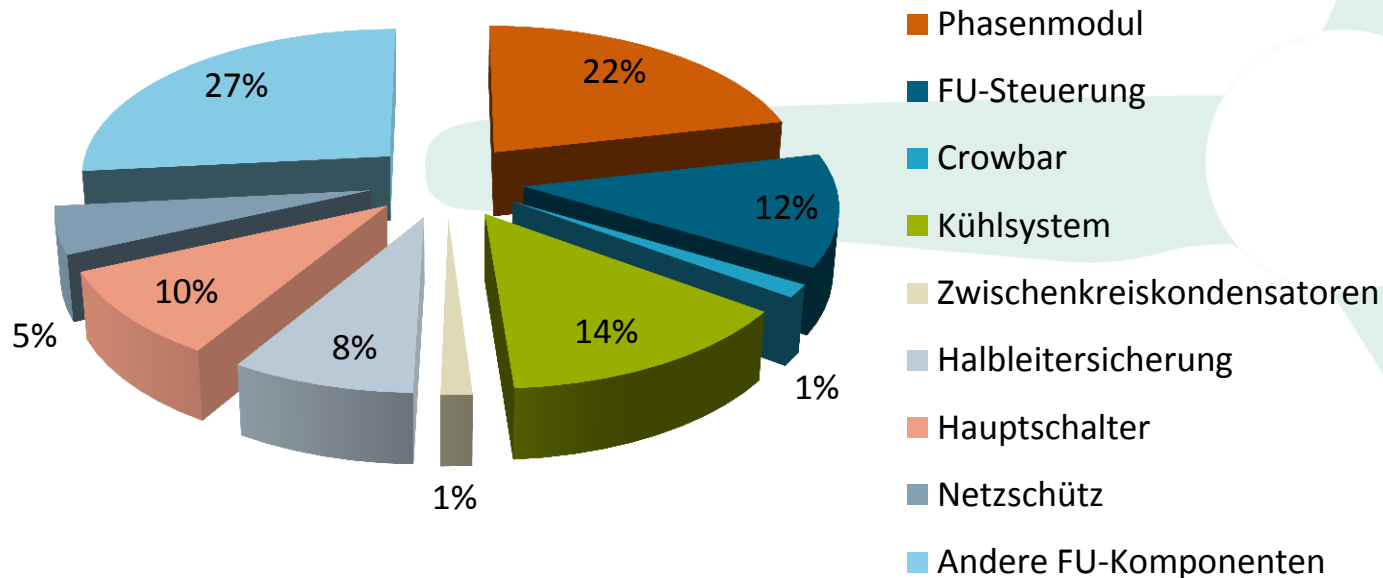
- ↪ Ausfallzahlen (abs. Zahl von Umrichterausfällen) werden erst unter Berücksichtigung der zugrundeliegenden WEA-Betriebsjahre aussagekräftig
→ Ausfallraten
- ↪ ermöglicht Zuverlässigkeitsvergleich verschiedener Systeme bei unbekanntem Betriebsalter der betrachteten Komponenten
- ↪ Mittlere Ausfallrate (in 1/WEA/a):

$$f = \frac{\text{Anzahl Ausfälle der Komponente}}{\text{Bezugszeitraum (in Anlagenbetriebsjahren)}} = \frac{\sum_{i=1}^I N_i}{\sum_{i=1}^I X_i \cdot T_i}$$

- ↪ Beispiel: 5 Ausfallereignisse der Komponente in 100 WEA-Betriebsjahren
(z.B. auf 10 WEA in 10 Jahren oder auf 50 WEA in 2 Jahren)
→ Komponenten-Ausfallrate $f = 0,05$ Ausfälle/WEA/a

Ergebnisse: betroffene Umrichterkomponenten

Verteilung der Ausfälle über Komponenten der Umrichterschaltanlage
(Datengrundlage: sämtliche WEA mit DFIG, EESG oder IG+FPC, für die vollständige Umrichter-Ausfalldaten vorliegen)



↖ 22% der Defektkomponenten fallen in Kategorie „Phasenmodul“

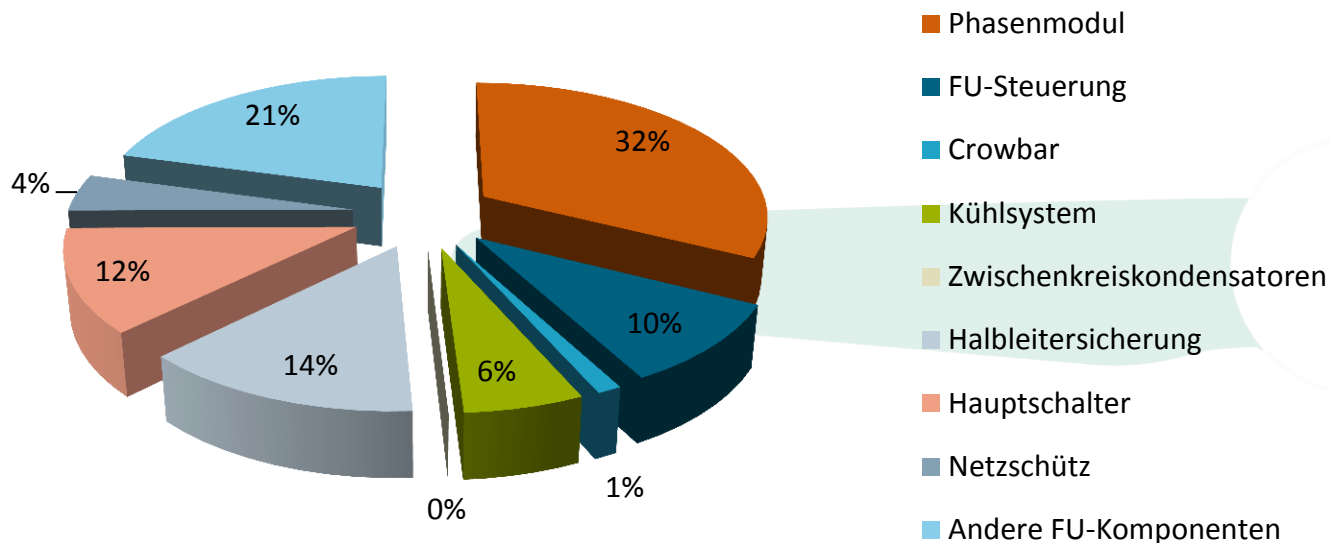
Ergebnisse II:

Ausfallschwerpunkte und Kostentreiber

- < Grundlage: Teildatensatz inkl. Reparaturkosten und Stillstandszeiten je Einsatz
 - < 103 WEA mit DFIG in 11 Windparks in Deutschland
 - < Ausfalldaten aus 2003-2014, insgesamt 928 WEA-Betriebsjahre
- < Fragestellungen:
 - < Welche Komponenten der Umrichterschaltanlage fallen am häufigsten aus?
 - < Durch welche Komponente entstehen die höchsten mittl. Reparaturkosten?
 - < Welche Komponente verursacht die längsten Stillstandszeiten (je WEA & Jahr)?
 - < Reparaturkosten vs. Ertragsausfallkosten?

Ergebnisse II: Ausfallverteilung (Teildatensatz DFIG)

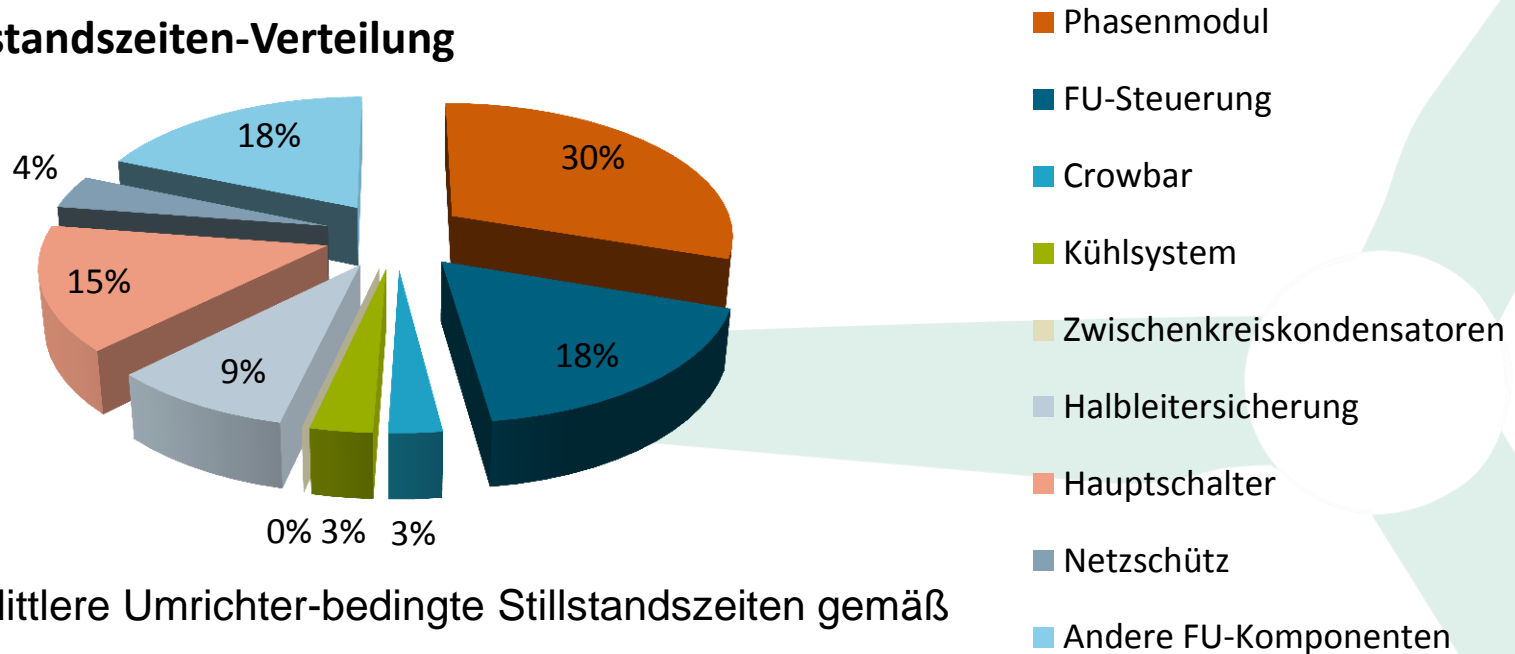
Verteilung der Ausfälle über Frequenzumrichter-Komponenten



- höchste Ausfallrate in der Kategorie „Phasenmodul“:
in rd. 40% aller FU-Ausfallereignisse betroffen, macht rd. ein Drittel aller Defektkomponenten aus

Ergebnisse II: Stillstandszeiten (Teildatensatz DFIG)

Stillstandszeiten-Verteilung

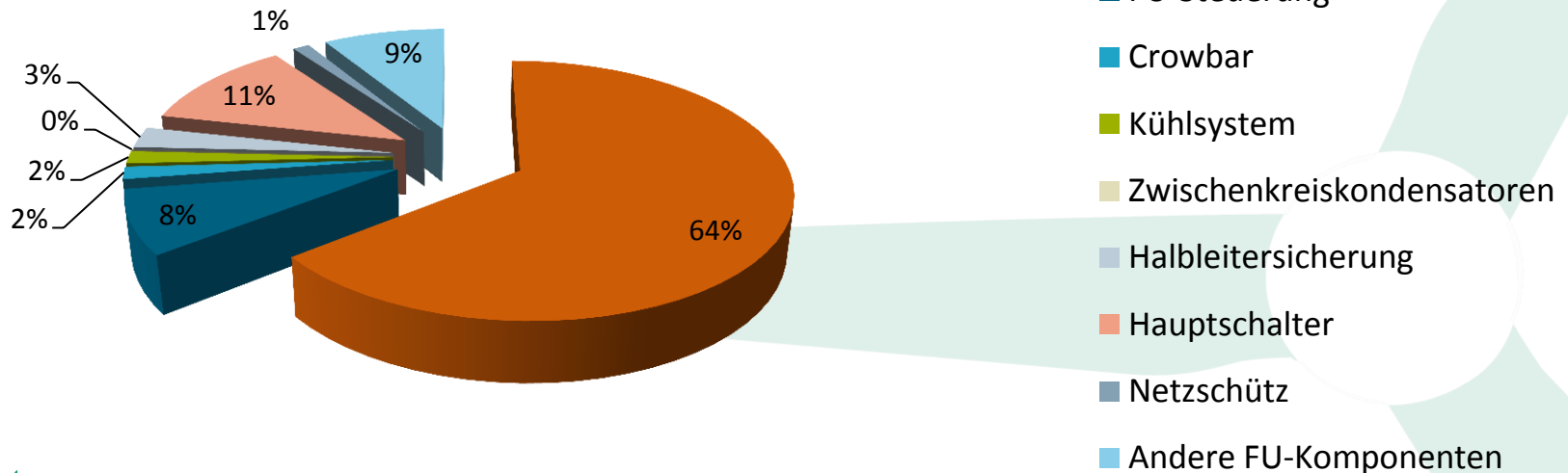


↳ Mittlere Umrichter-bedingte Stillstandszeiten gemäß

$$t_{down} = \frac{\sum_{i=1}^I t_{down,i}}{\sum_{i=1}^I X_i \cdot T_i}$$

Ergebnisse II: Reparaturkosten (Teildatensatz DFIG)

Reparaturkosten-Verteilung



↖ Mittlere jährliche Umrichter-Reparaturkosten gemäß

$$C_{rep} = \frac{\sum_{i=1}^I C_{rep,i}}{\sum_{i=1}^I X_i \cdot T_i}$$

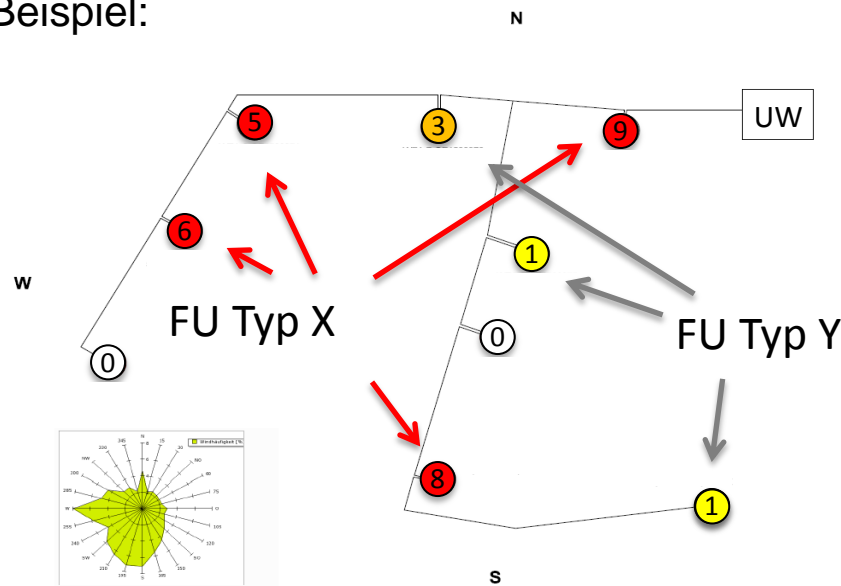
Ergebnisse und Schlussfolgerungen aus Teildatensatz (DFIG)

- > Phasenmodule in betrachteten DFIG-Anlagen sind
 - > die Schwachstellen in der Umrichterschaltanlage und
 - > die Hauptkostentreiber

→ Phasenmodul-Kategorie (bzw. Leistungsteile inkl. Treiberboards) sollten Schwerpunkt für die weiteren Analysen bilden
- > Abschätzung der Ertragsausfallkosten aus Stillstandszeiten zeigt: wirtschaftliche Auswirkungen der Umrichterausfälle werden – in der hier betrachteten onshore-Flotte – klar durch die Reparaturkosten dominiert (Unterschied rd. Faktor 6)

Ergebnisse III: Räumliche Verteilung der Ausfälle

- ↖ Hintergrund: beträchtliche Streuung bei Umrichter-Ausfallraten in WEA gleichen Typs beobachtbar (hier: 0...9 Phasenmodul-Ausfälle im selben Windpark)
- ↖ Für einzelne Windparks mit bekannter Netztopologie: Betrachtung der räumlichen Verteilung der Ausfälle im Park → Muster erkennbar?
- ↖ Beispiel:



Hauptwindrichtung ?

Position im Parknetz ?

Umrichtertyp !

Ergebnisse IV: Saisonale Verteilung der Phasenmodul-Ausfälle

↳ Datenbasis:

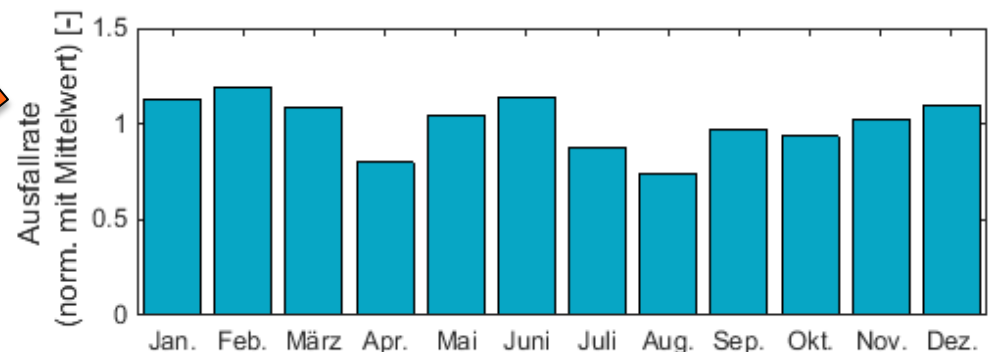
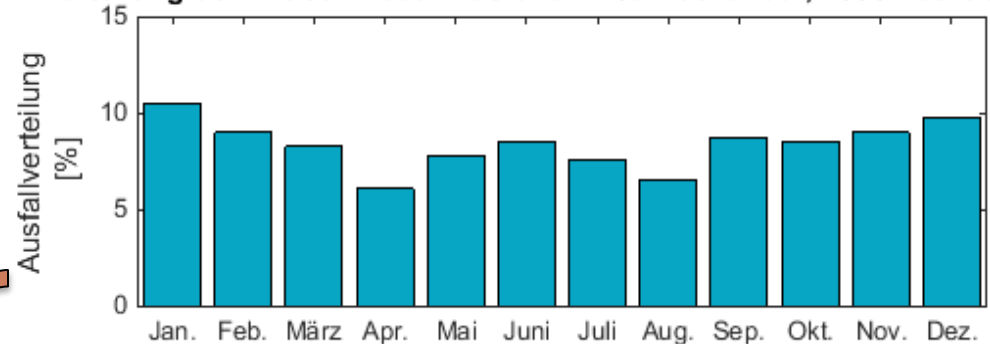
Anlagen mit DFIG, EESG,
IG+FPC in Europa (vorw. DE)

↳ Abs. Ausfallzahlen (obere Abb.)
nicht aussagekräftig, da Daten-
basis zw. Monaten variiert

Je Monat: Bezug der abs.
Ausfallzahlen auf Gesamt-
Betriebsdauer im jeweiligen
Monat

→ „Ausfallraten“
(untere Abb., hier norm. Darst.)

Verteilung der Phasenmodul-Ausfälle im Jahresverlauf, 2888 Betriebsjahre

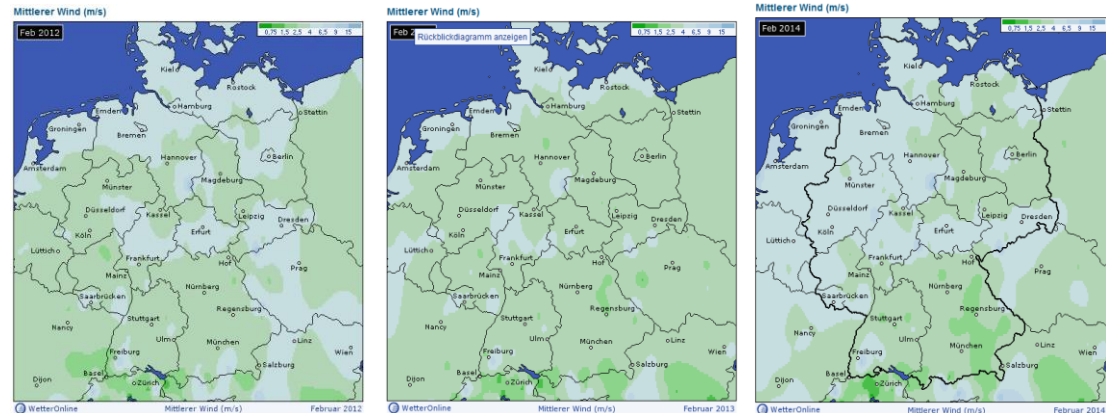


↳ niedrigste Ausfallraten im August, Maximum im Februar

Ergebnisse IV: Saisonale Verteilung der Phasenmodul-Ausfälle

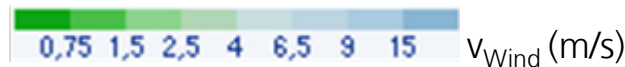
↖ Mittl. Monatswindgeschwindigkeiten in Deutschland

...im Febr. 2012-2014



...im Aug. 2012-2014

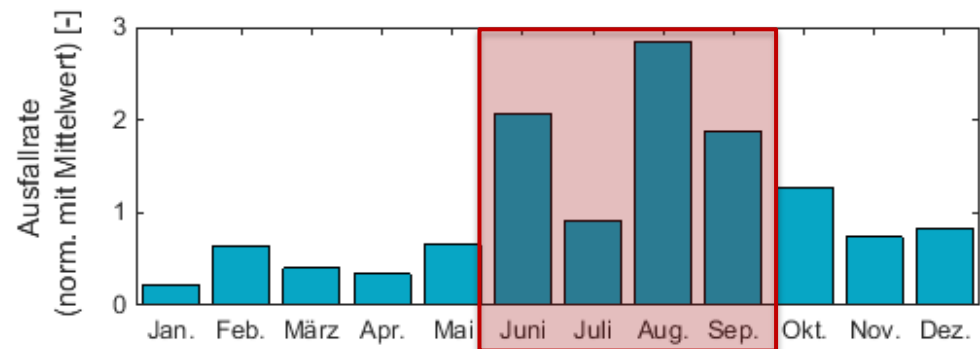
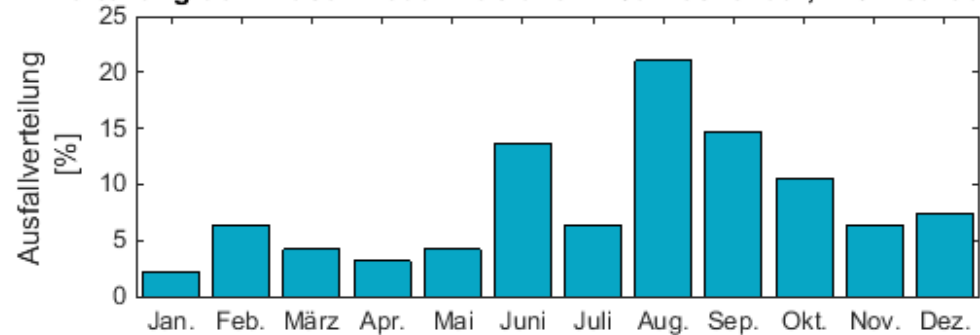
↖ Anhaltspunkt dafür, dass höhere Windgeschwindigkeiten FU- bzw. Phasenmodul-Ausfälle begünstigen



Ergebnisse IV: Saisonale Verteilung der Phasenmodul-Ausfälle

- < Datenbasis:
DFIG-Anlagen in Indien
- < erhöhte Phasenmodul-
Ausfallraten im Zeitraum
Juni – September
- < legt Zusammenhang mit
Monsun (höheren Wind-
geschwindigkeiten, Feuchte)
nahe

Verteilung der Phasenmodul-Ausfälle im Jahresverlauf, 419 Betriebsjahre



Zusammenfassung und Ausblick

- ↪ erste Ergebnisse der Auswertung von Umrichter ausfällen in insgesamt >1300 WEA mit rd. 3300 Betriebsjahren
- ↪ Zielsetzung: Ermittlung von Problemschwerpunkten, zeitliche und räumliche Ausfallmuster → Identifikation relevanter Einflussparameter
- ↪ Phasenmodule (d.h. IGBT-Module, Treiberplatinen, Zwischenkreis-kondensatoren und –verschienung) machen bei vielen WEA größten Teil der Umrichter ausfälle aus und stellt Hauptkostentreiber dar
- ↪ saisonale Häufung von Umrichter ausfällen: Anhaltspunkt dafür, dass höhere Windgeschwindigkeiten (und Feuchte) Phasenmodul-Ausfälle begünstigen
- ↪ erhebliche Streuung der Umrichter-Ausfallraten
→ Ausblick: Analyse des Zusammenhangs von Ausfällen und WEA-Betriebshistorien, Feldvermessung

Danksagung

Das Fraunhofer IWES wird gefördert durch:

Land Bremen

- > Senator für Umwelt, Bau, Verkehr und Europa
- > Senator für Wirtschaft und Häfen
- > Senatorin für Bildung und Wissenschaft
- > Bremerhavener Gesellschaft für Investitions-Förderung und Stadtentwicklung GmbH

Land Niedersachsen und

BMWi Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

mit Unterstützung durch:
Europäischer Fonds für regionale Entwicklung (EFRE)



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



EUROPÄISCHE UNION:
Investition in ihre Zukunft
Europäischer Fonds für
regionale Entwicklung



VIELEN DANK FÜR IHRE AUFMERKSAMKEIT

Kontakt: Katharina.Fischer@iwes.fraunhofer.de

16.09.2015