

## Netzintegration von Windkraft – Innovationen im Sinne der Systemsicherheit

Hanna Emanuel  
Sales - Grid Integration, ENERCON GmbH

- Einführung
- WEA- Konzept und FACTS Eigenschaften
- Verhalten bei hohen Windgeschwindigkeiten
- Dynamische Netzstützung bei Netzfehlern
- Spannungsregelung am Netzanschlusspunkt
- Herausforderungen der Praxis



© Rio Tinto

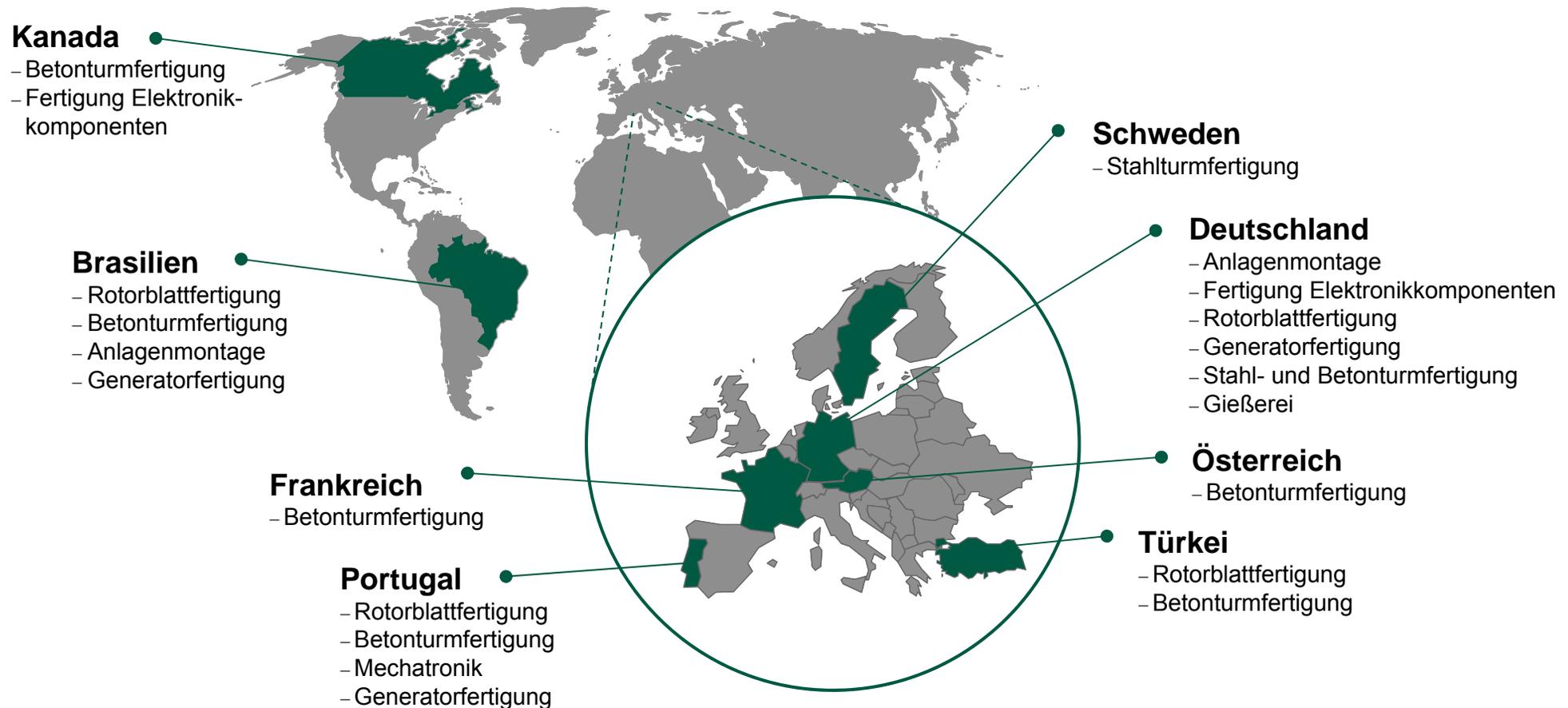
# ENERCON Allgemeine Informationen

- ~ **Installierte Leistung:** > 35 GW
- ~ **Produktionsfläche:** 870.000 m<sup>2</sup>
- ~ **Produktionsstätten in Deutschland:**  
Aurich, Emden, Magdeburg,  
Haren, Georgsheil
- ~ **Produktionsstätten weltweit:**  
Schweden, Brasilien, Türkei, Portugal,  
Kanada, Frankreich, Österreich
- ~ **Vertriebsbüros:**  
8 national, 24 international
- ~ **Servicestationen:** > 300 weltweit
- ~ **Logistik:** E-Ship 1 (Transportschiff),  
e.g.o.o. Eisenbahngesellschaft  
Ostfriesland-Oldenburg mbH,  
Mobilkräne bis 1.600 Tonnen,  
hunderte Servicefahrzeuge und mehrere  
Spezialtransporter für Türme und Blätter
- ~ **Exportländer:** 33



Stand: August 2014

# Weltweite Fertigung in acht Ländern



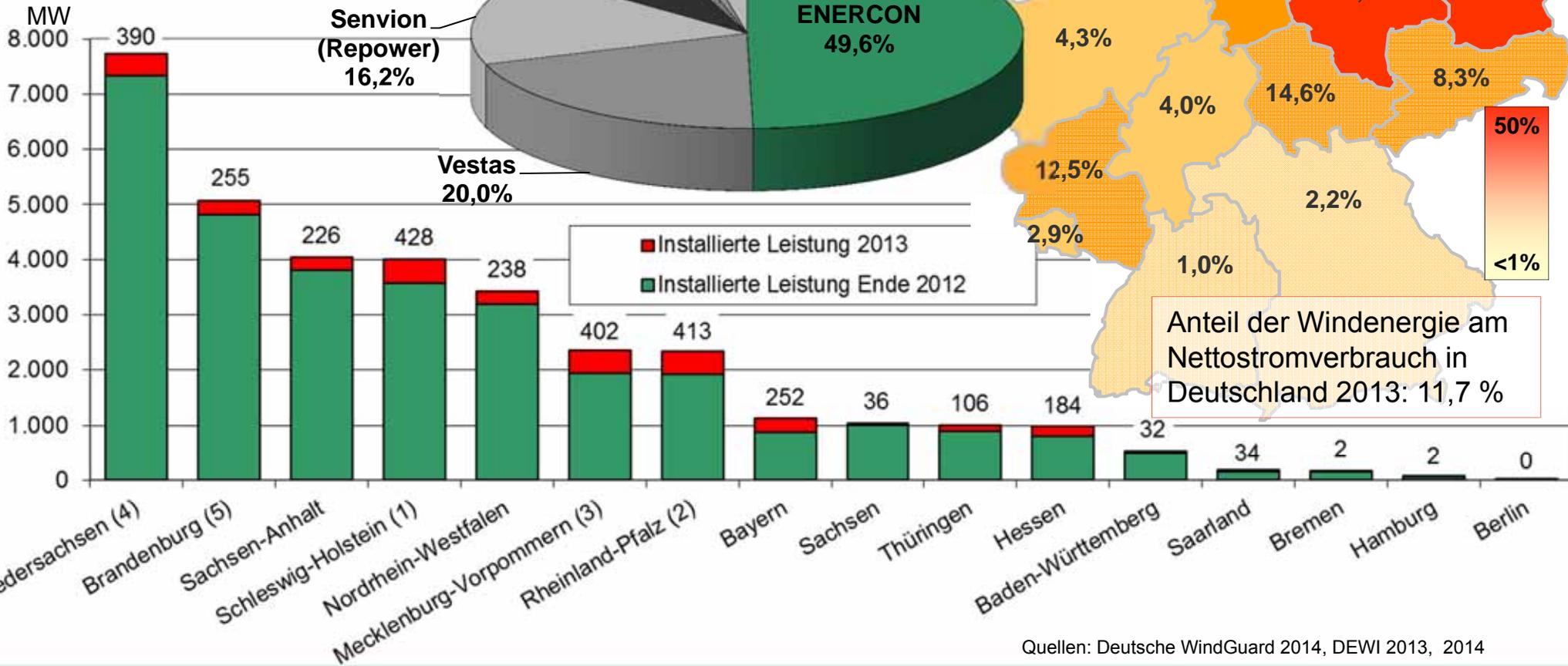
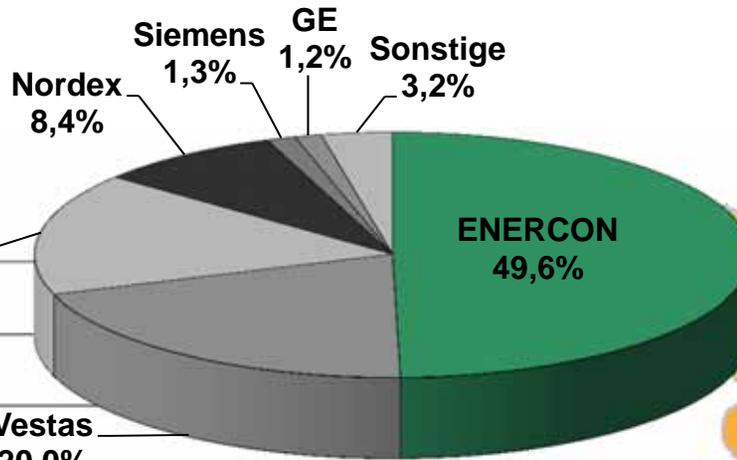
→ Die weltweite Produktion von ENERCON zeichnet sich durch eine hohe Fertigungstiefe aus.

# Windenergie in Deutschland 2013

**Installierte Leistung in Deutschland 2013:**  
2.998,41 MW, 1.154 WEA

**kumuliert Ende 2013:**  
33.730 MW, 23.645 WEA  
⇒ 1,43 MW/WEA

**Marktanteile 2013 (onshore)**



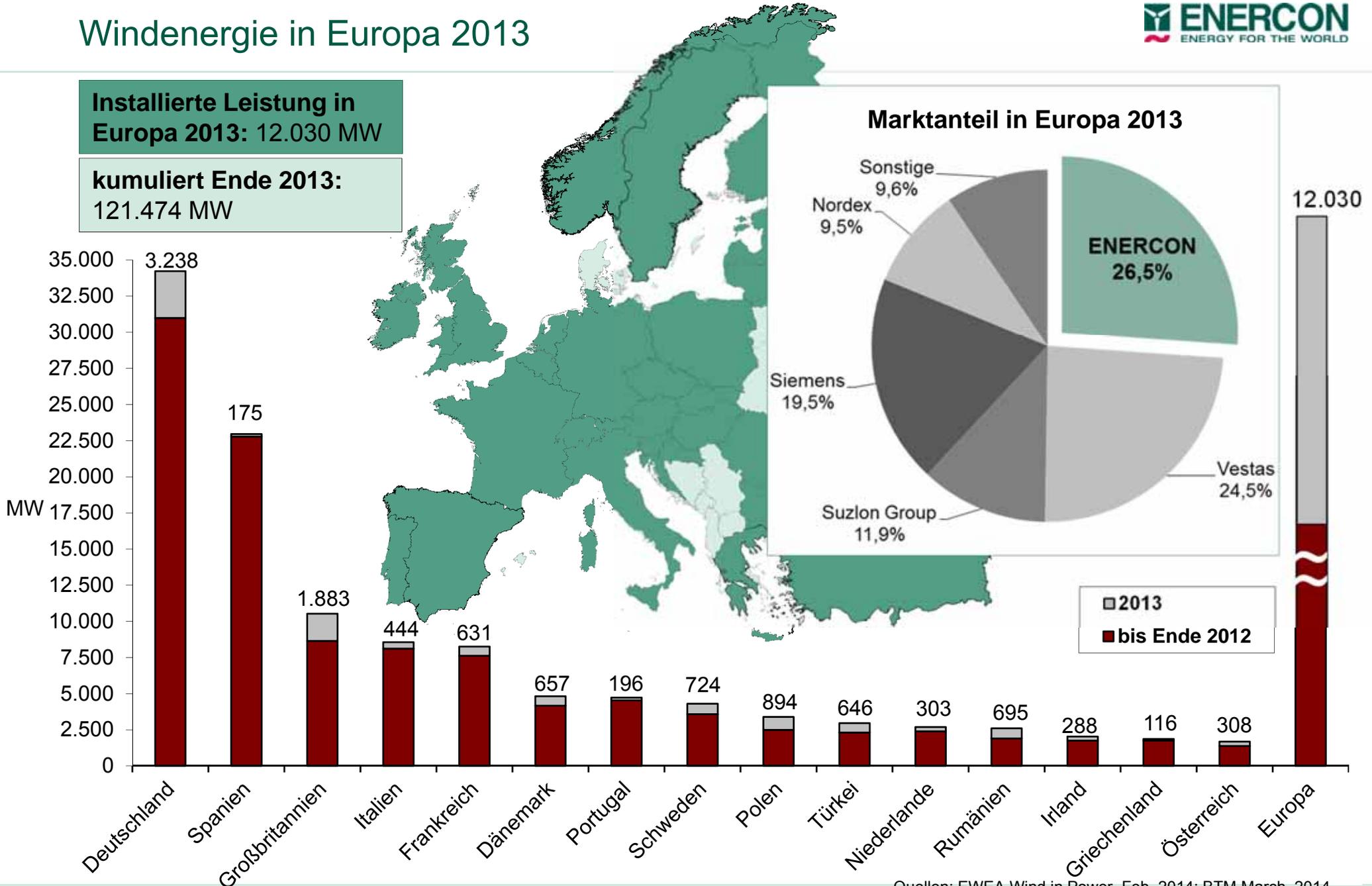
Anteil der Windenergie am Nettostromverbrauch in Deutschland 2013: 11,7 %

Quellen: Deutsche WindGuard 2014, DEWI 2013, 2014

# Windenergie in Europa 2013

**Installierte Leistung in Europa 2013: 12.030 MW**

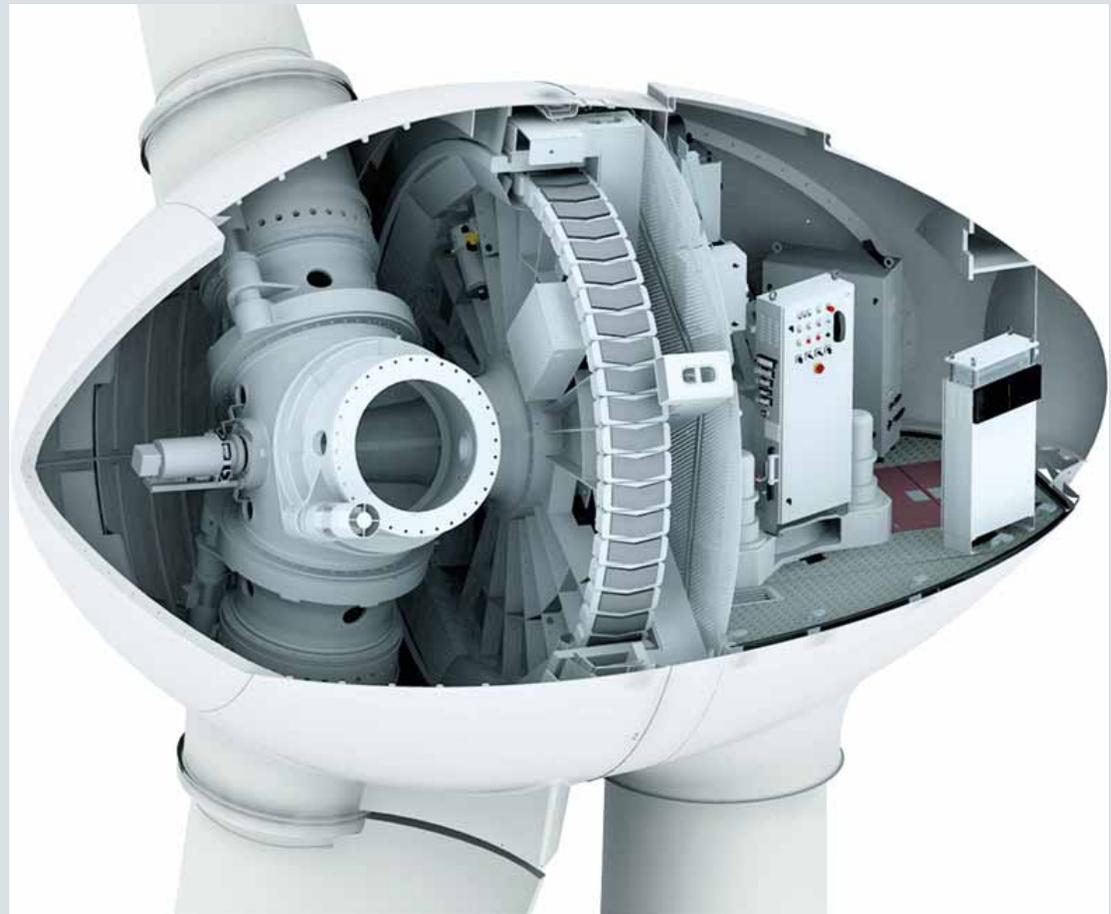
**kumuliert Ende 2013: 121.474 MW**



Quellen: EWEA Wind in Power, Feb. 2014; BTM March 2014

## Product Overview: 800 – 900 kW

**Wind turbines:** E-44 (900 kW) / E-48 (800 kW) / E-53 (800 kW)



Cross sectional drawing of nacelle E-44, E-48, E-53

## Product Overview: 2,000 – 3,050 kW

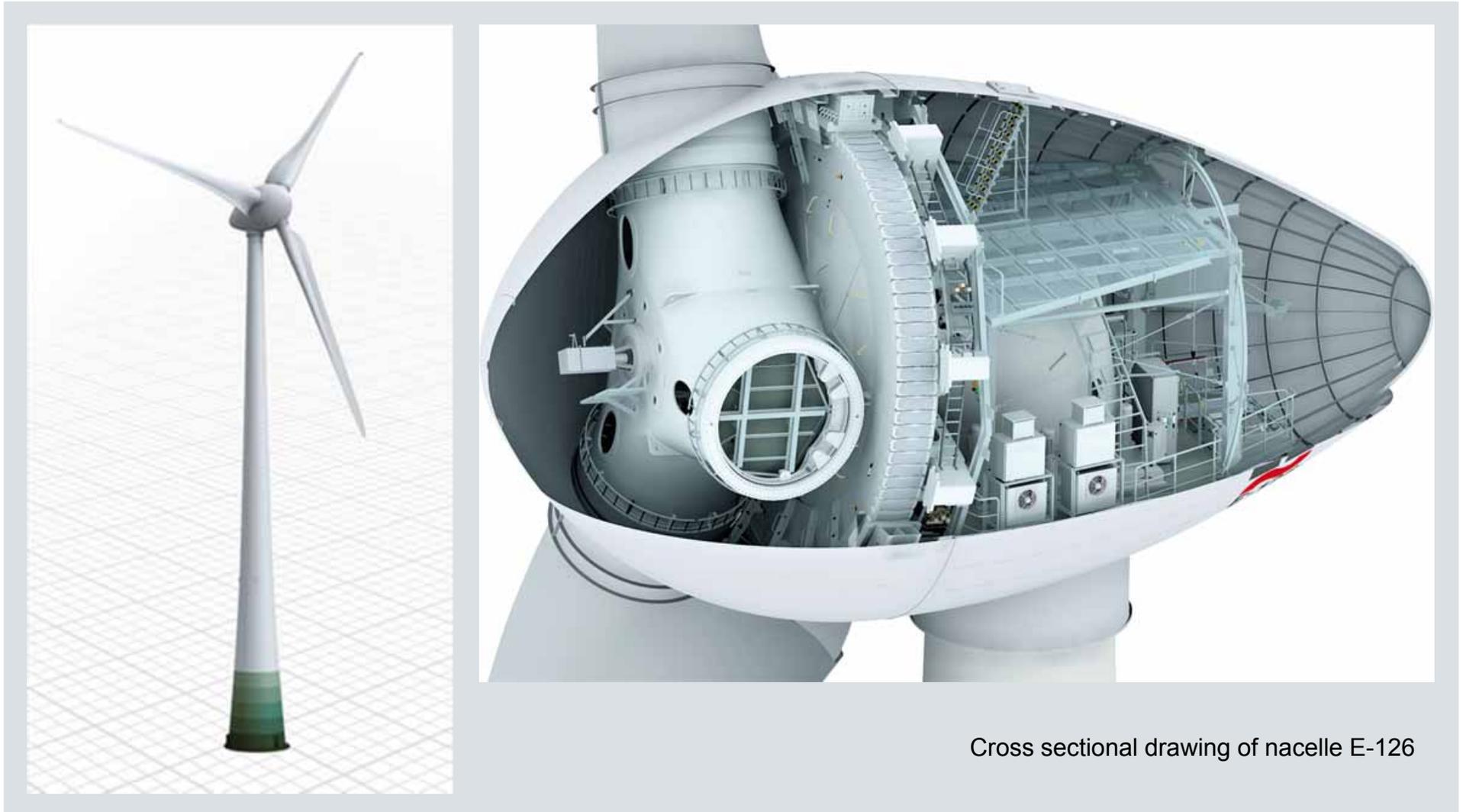
**Wind turbines:** E-70 (2,300 kW) / E-82 (2,000/2,300 /3,000 kW) / E-92 (2,350 kW) / E-101 (3,050 kW)



Cross sectional drawing of nacelle E-82 / E3

# Product Overview: > 3,050 kW

Wind turbines: E-126 (7,580 kW)



## Anfänge der Windkraft: „Negative Last“

- Stall- geführt über Strömungsabriss  
=> Geringe Regelbarkeit
- Einfache Asynchronmaschinen  
=> Blindleistungsbezug  
=> Anlaufströme (=> Flicker)
- Abschaltung der WEA bei Kurzschlüssen
- Abschaltung der WEA bei Über-/  
Unterfrequenzen
- Abschaltung bei starkem Wind
- Anschluss an NS- und MS-Netze



## Moderne Windkraftanlagen mit FACTS-Eigenschaften bis 7,5 MW

- Pitchgeregelt  
=> Stufenlos regelbare Leistungsabgabe
- Blindleistungsstellbereich zur Spannungsregelung
- Keine Anlaufströme
- Fault-Ride-Through mit dynamischer Spannungsstützung
- Beitrag zur Primärregelung bei Über- und Unterfrequenzen
- Storm Control – Funktion in Starkwindsituationen
- Anschluss an MS, HS und HöS-Netze



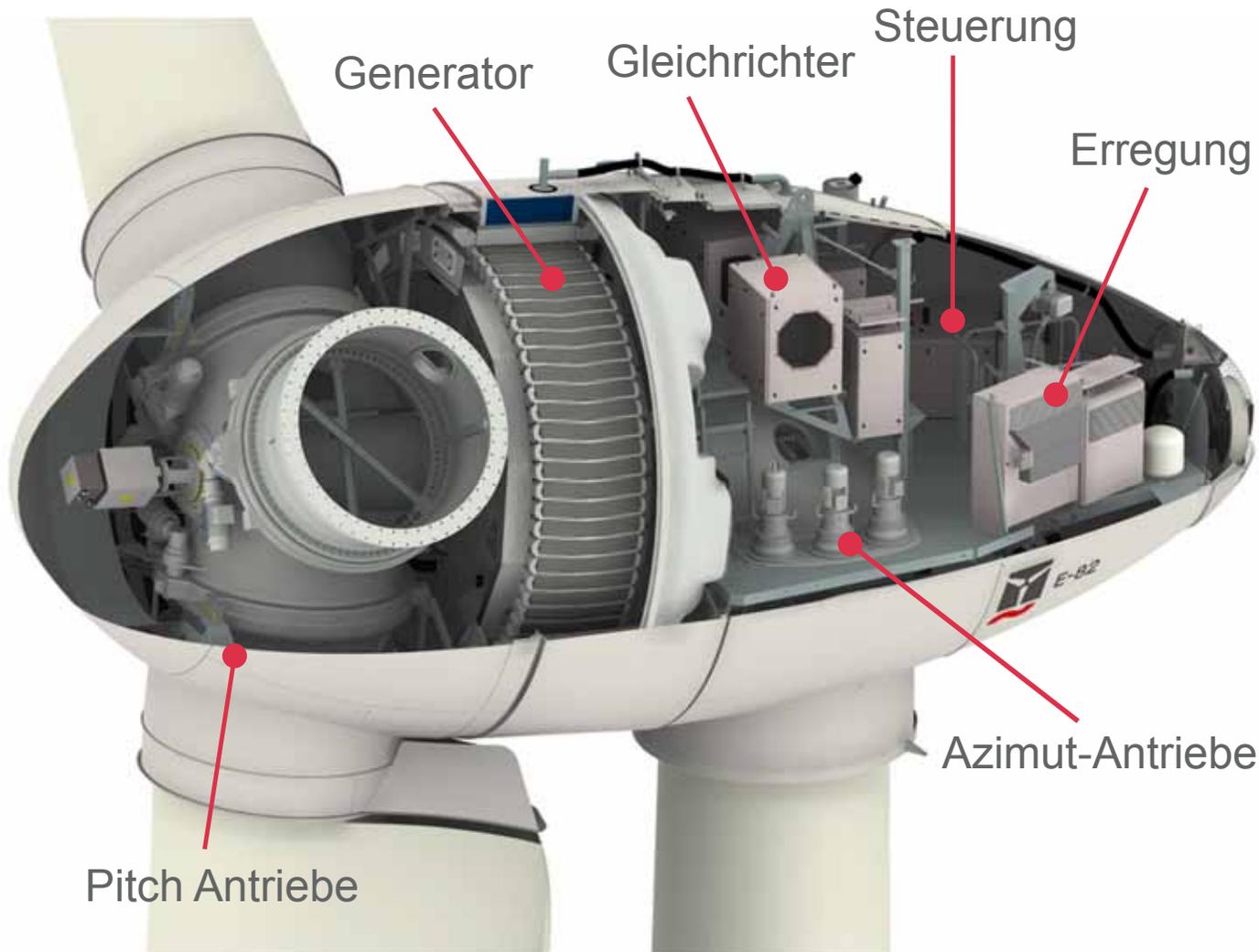
- Einführung
- WEA- Konzept und FACTS Eigenschaften
- Verhalten bei hohen Windgeschwindigkeiten
- Dynamische Netzstützung bei Netzfehlern
- Spannungsregelung am Netzanschlusspunkt
- Herausforderungen der Praxis



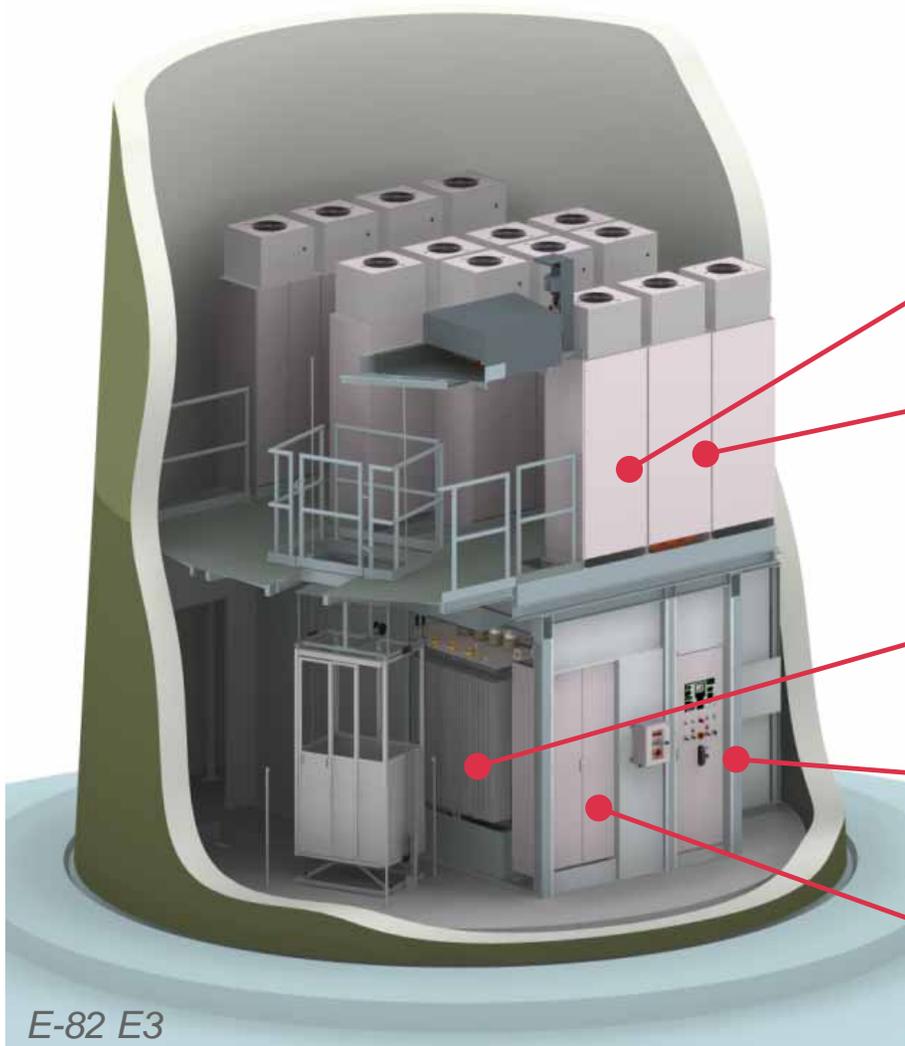
© Rio Tinto

# WEA- Konzept und FACTS Eigenschaften

## Anlagenkonzept



## Anlagenkonzept



Leistungsschrank

NS-Verteilung

Transformator

Anlagensteuerung

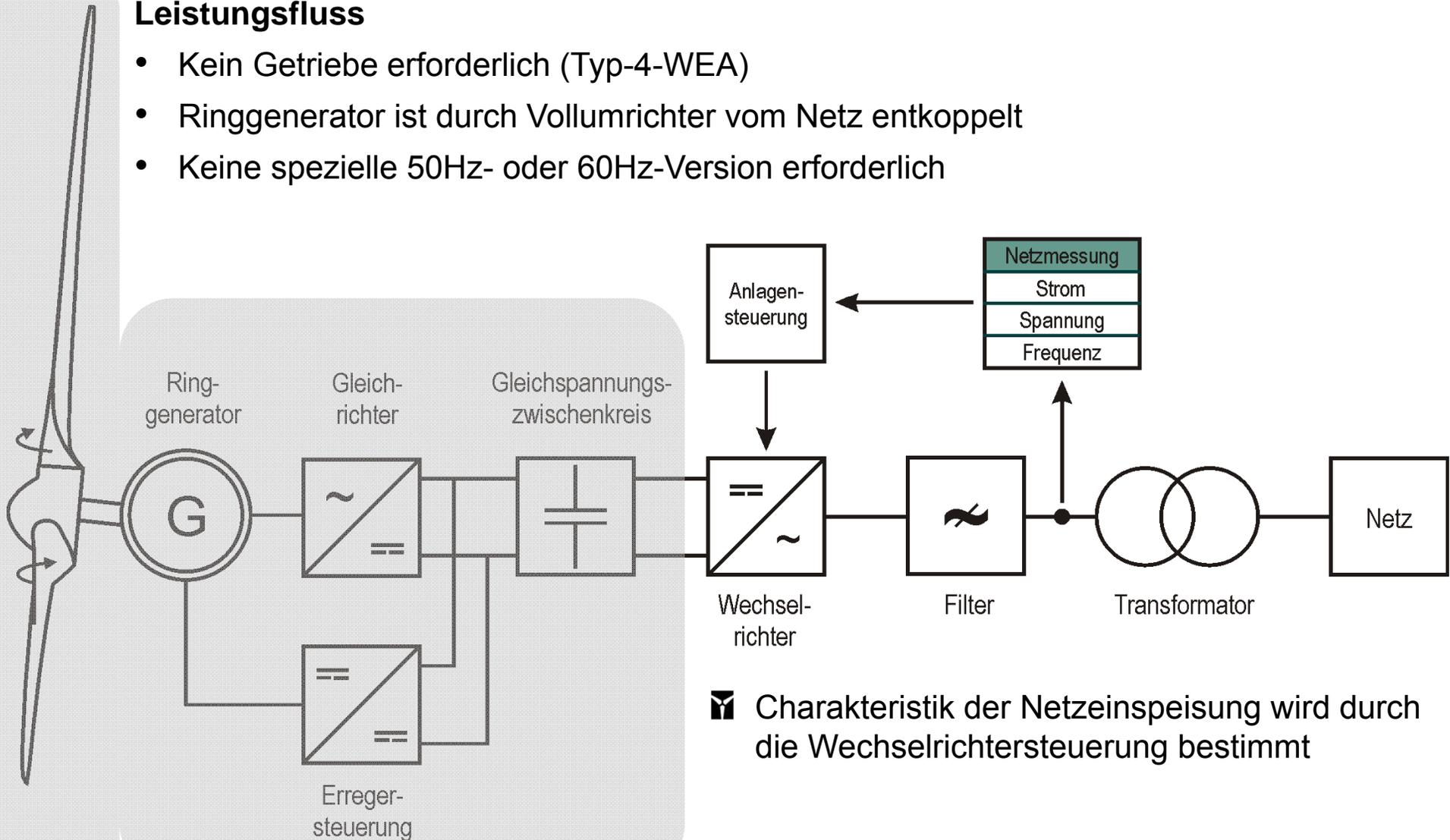
USV-Steuerung

Umwandlung



## Leistungsfluss

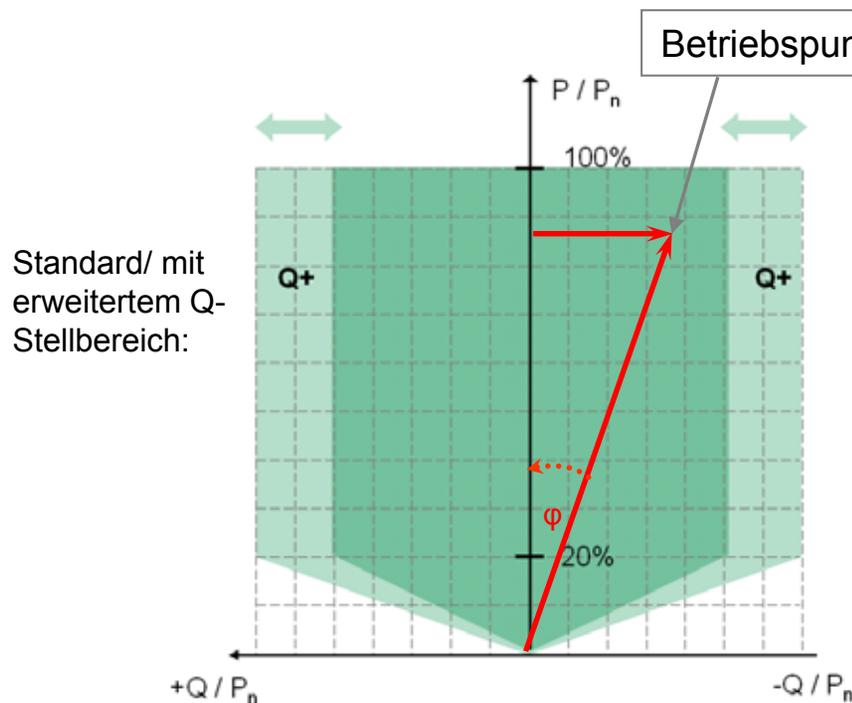
- Kein Getriebe erforderlich (Typ-4-WEA)
- Ringgenerator ist durch Vollumrichter vom Netz entkoppelt
- Keine spezielle 50Hz- oder 60Hz-Version erforderlich



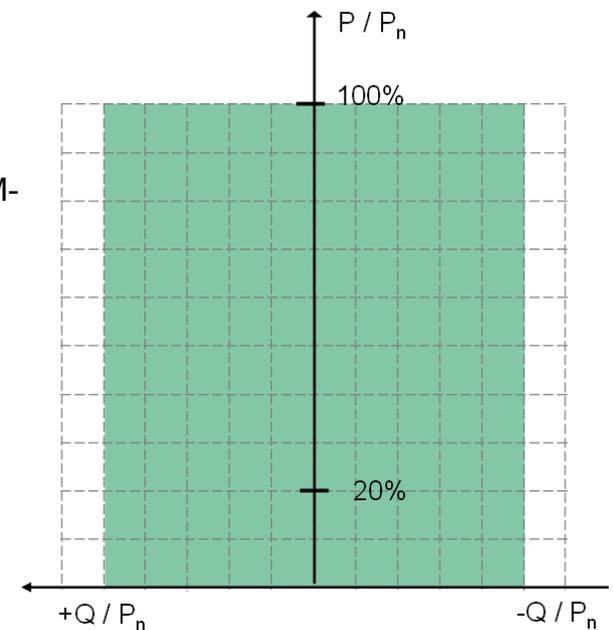
- Charakteristik der Netzeinspeisung wird durch die Wechselrichtersteuerung bestimmt

## Blindleistungsstellbereich

- Freie und unabhängige Ansteuerbarkeit aller Wirkleistungs\*- und Blindleistungsarbeitspunkte innerhalb des „P/Q-Diagramms“
- Somit schnell und exakt regelbare Antwort auf Änderungen von Frequenz und Spannung im Netz



Mit "STATCOM-Option":



\*Bei ausreichend Wind

## **ENERCON Technologie – FACTS Eigenschaften:**

- ☑ Weiter Blindleistungsstellbereich (statisch und dynamisch)
- ☑ Fault-Ride-Through mit zusätzlicher Blindstromeinspeisung möglich
- ☑ Schnelle Reaktion auf Netzfehler (1...2 Perioden)
- ☑ Frequenzgradienten bis zu 4 Hz/s im Netz ohne Trennung
- ☑ Keine zusätzlichen Komponenten erforderlich



© Rio Tinto

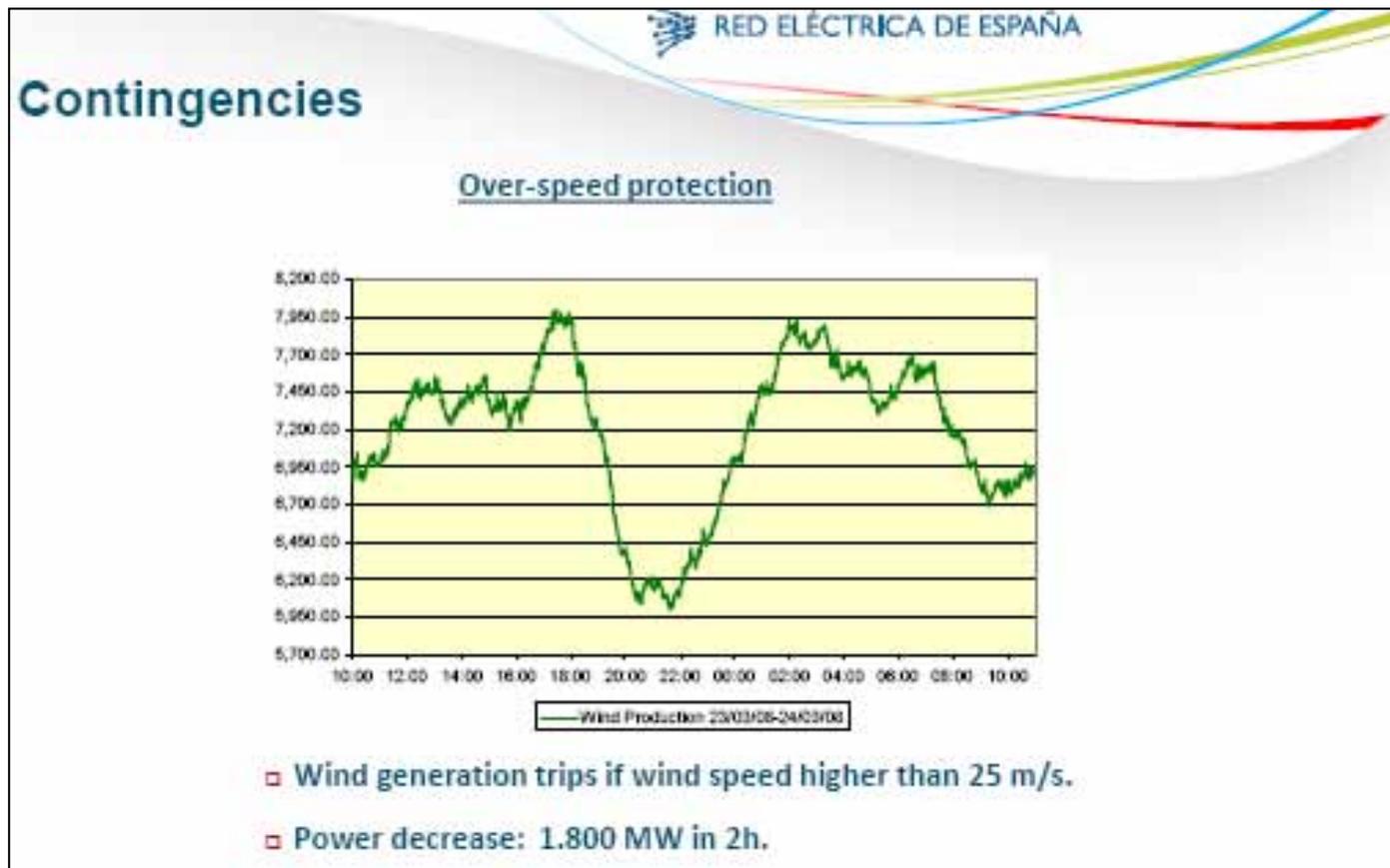
- Einführung
- WEA- Konzept und FACTS Eigenschaften
- Verhalten bei hohen Windgeschwindigkeiten
- Dynamische Netzstützung bei Netzfehlern
- SCADA und Spannungsregelung am Netzanschlusspunkt
- Herausforderungen der Praxis



© Rio Tinto

## Gefahr von Netzin stabilität durch Sturmabschaltung

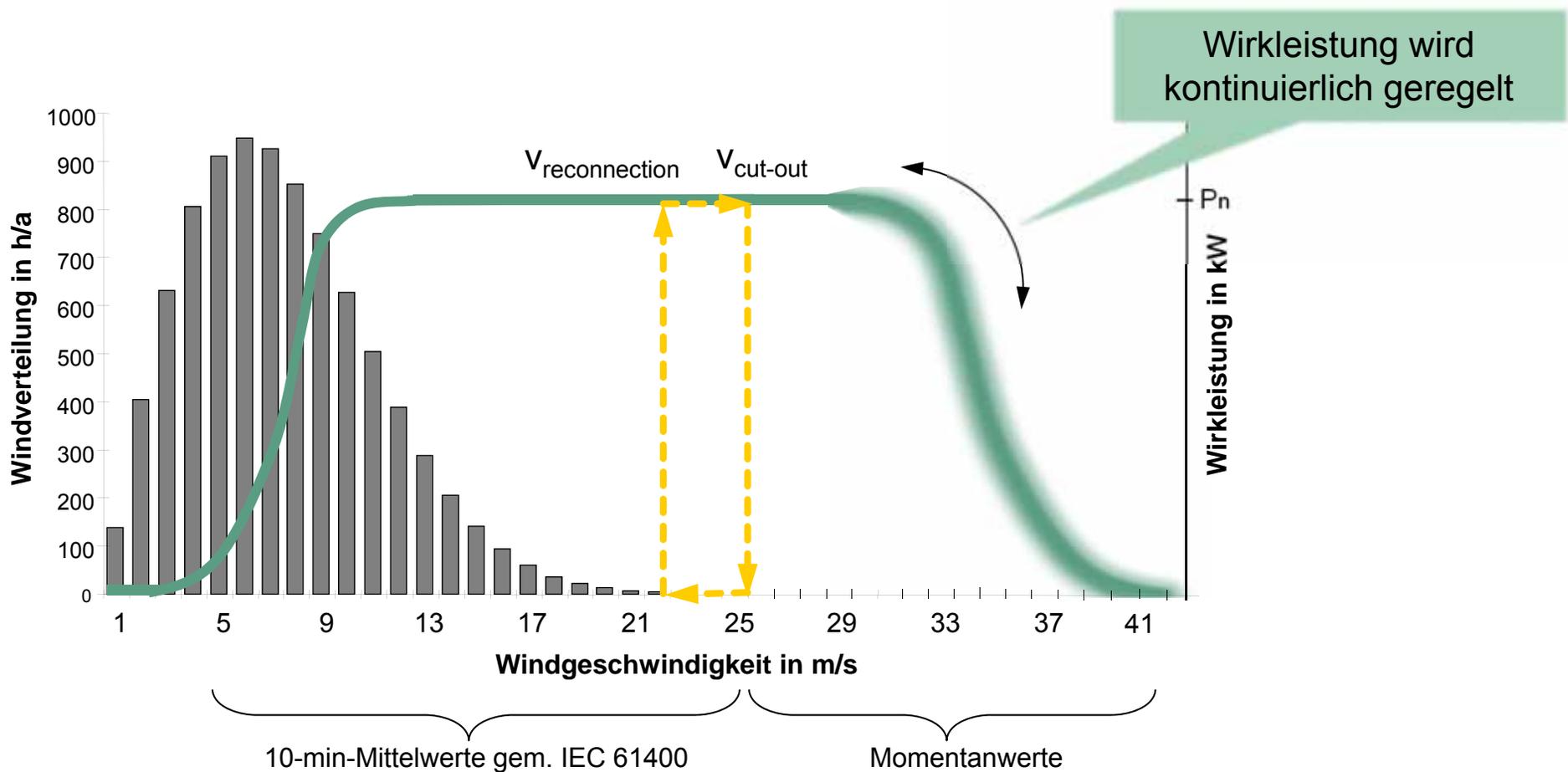
- Bei stürmischem Wetter werden konventionelle Kraftwerke durch Windkraft aus der Produktion „verdrängt“.
- Mit herkömmlicher Windenergietechnik: Abschaltung bei  $> 25\text{m/s}$
- Ausfall großer Leistungen im Netz kann Reserven überschreiten => Gefahr von Blackout



# Verhalten bei hohen Windgeschwindigkeiten

- ENERCON WEA schalten bei Sturm nicht einfach ab, die Storm Control - Funktion passt den WEA -Arbeitspunkt dynamisch der Windgeschwindigkeit an.

**Vorteile:** Schutz der WEA vor Sturmschäden, höherer Energieertrag und bessere Netzverträglichkeit



- Einführung
- WEA- Konzept und FACTS Eigenschaften
- Verhalten bei hohen Windgeschwindigkeiten
- Dynamische Netzstützung bei Netzfehlern
- SCADA und Spannungsregelung am Netzanschlusspunkt
- Herausforderungen der Praxis



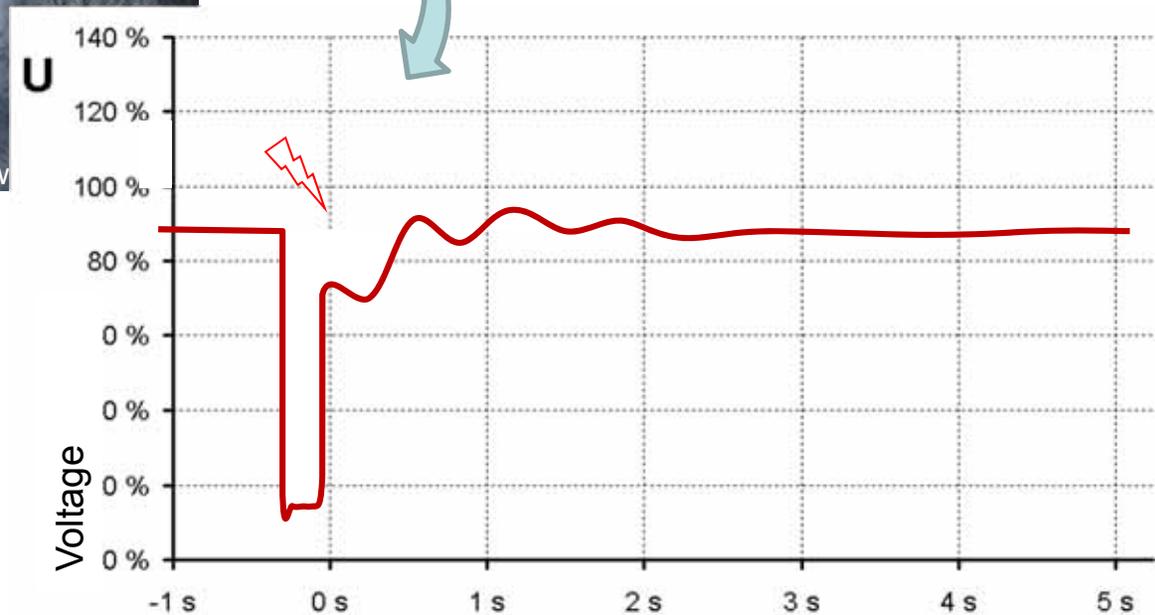
© Rio Tinto

# Dynamische Netzstützung bei Spannungseinbrüchen

Kurzschluss an einer Freileitung führt zum Spannungseinbruch

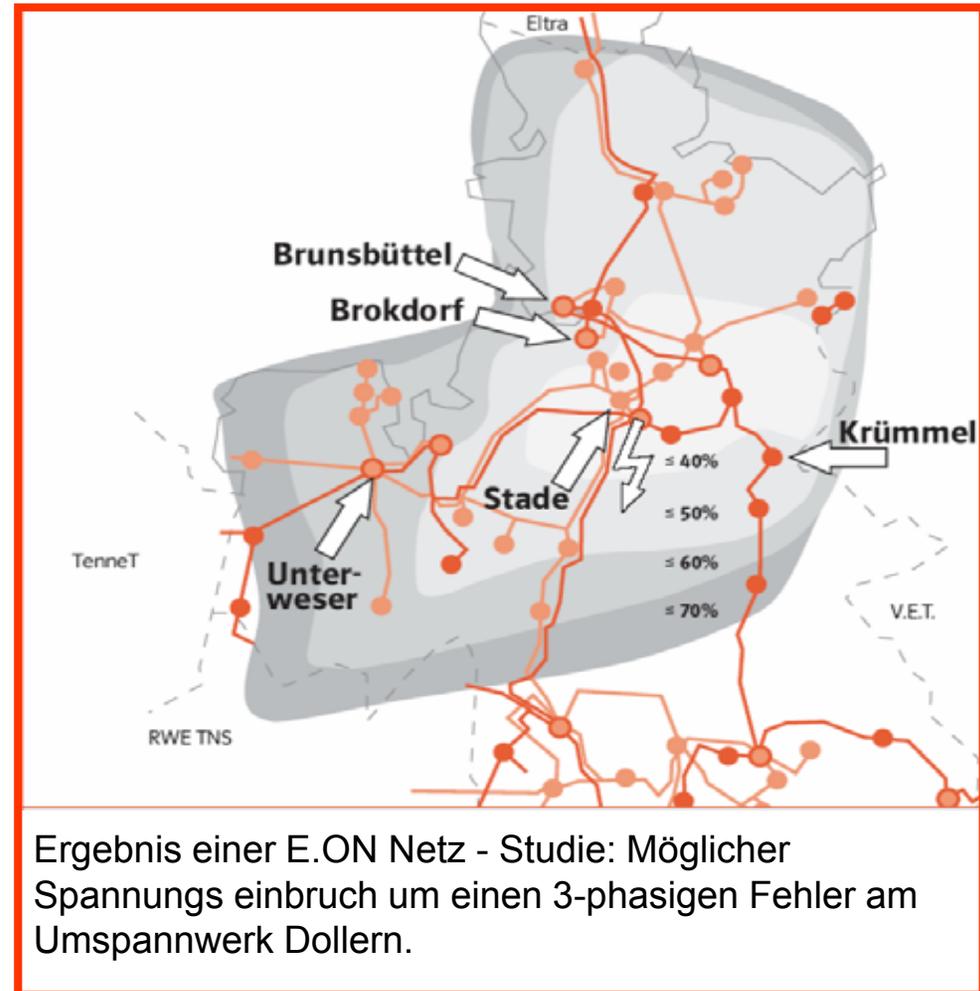


Kite causes a short circuit at an over-head line

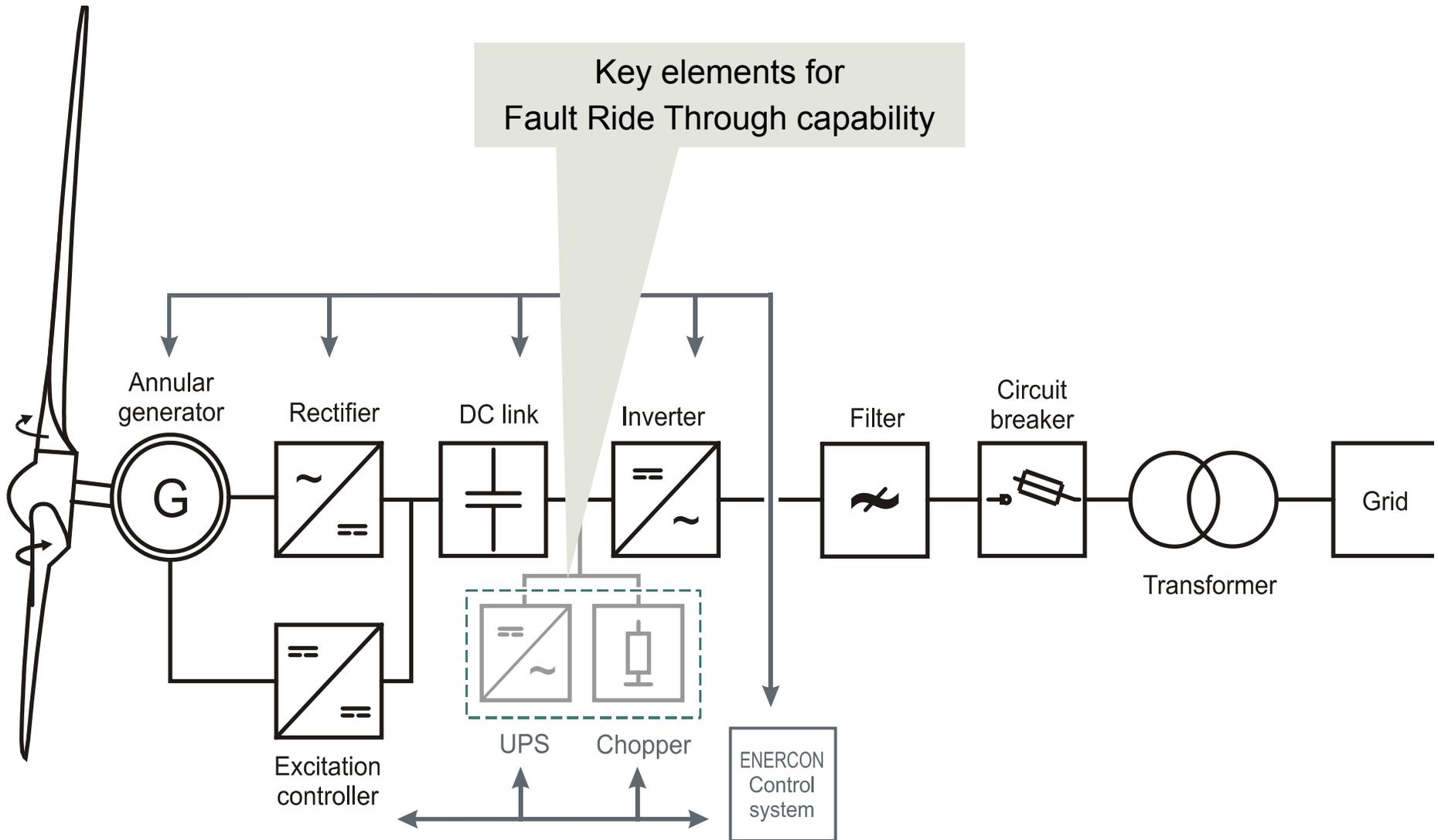


## Hintergrund:

- ❑ Netzkurzschlüsse führen zu großräumigen Unterspannungszonen.
- ❑ Ältere WEA und Kraftwerke, die solche kurzfristigen Unterspannungen nicht überbrücken können, schalten ab.
- ❑ Studien kamen zu dem Ergebnis, dass ein Risiko für die Systemstabilität besteht, wenn WEA Fehler nicht durchfahren
- ❑ Ergebnis: Bedarf nach zertifizierter Fault-Ride Through Performance der Anlagen

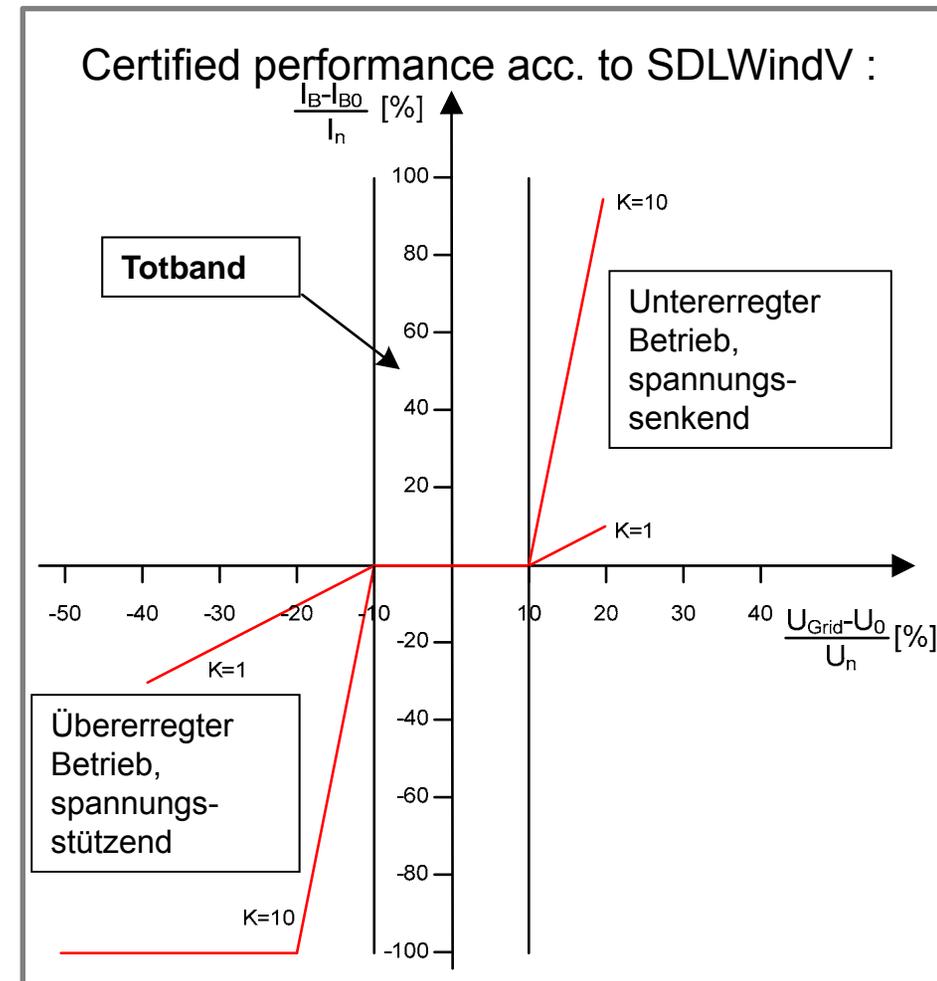
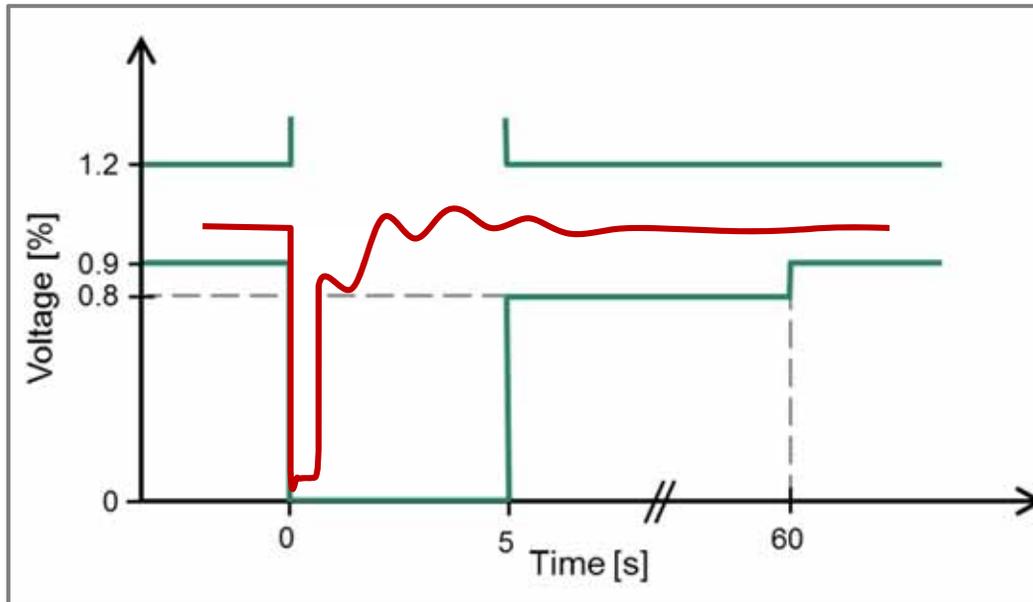


# Dynamische Netzstützung bei Spannungseinbrüchen



## Zertifizierte Spannungsstützung bei Netzfehlern entsprechend der “SDLWindV”:

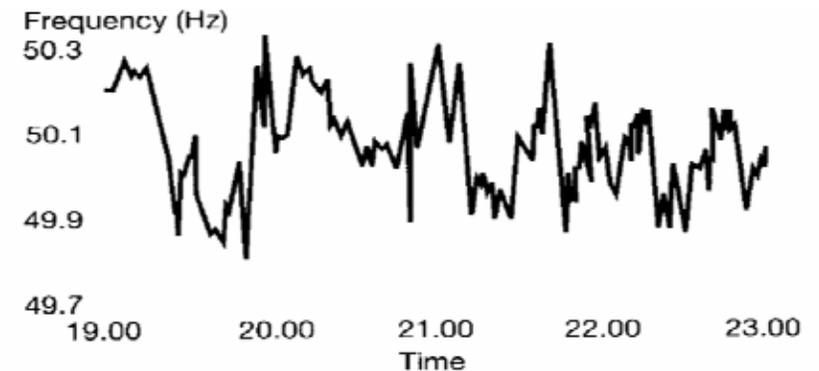
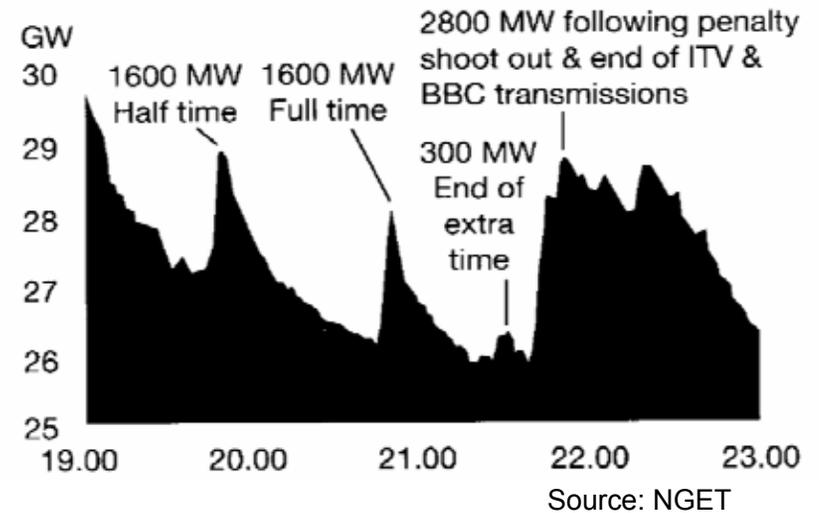
- Moderne Windenergieanlagen “durchfahren” Netzfehler und stützen die Spannung durch Blindstromeinspeisung.
- Unterspannungszone kann verkleinert werden und mehr Kraftwerke bleiben am Netz



# Netzstützung bei Frequenzabweichungen

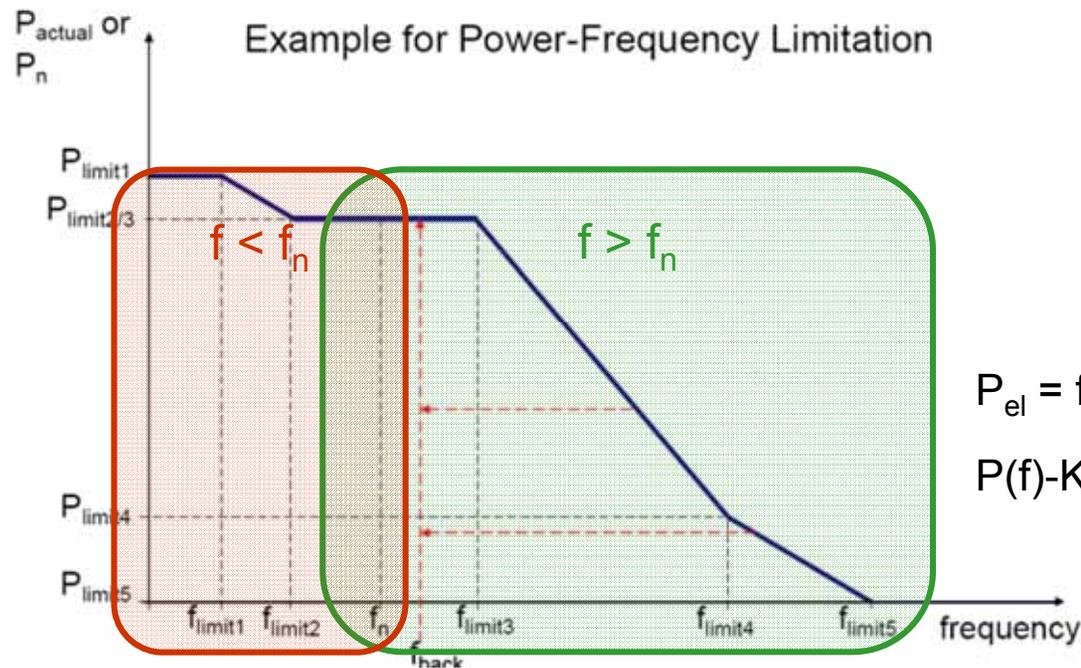


1990 World Cup Semi-Final England vs Germany  
(result 1-1, pen 3-4)

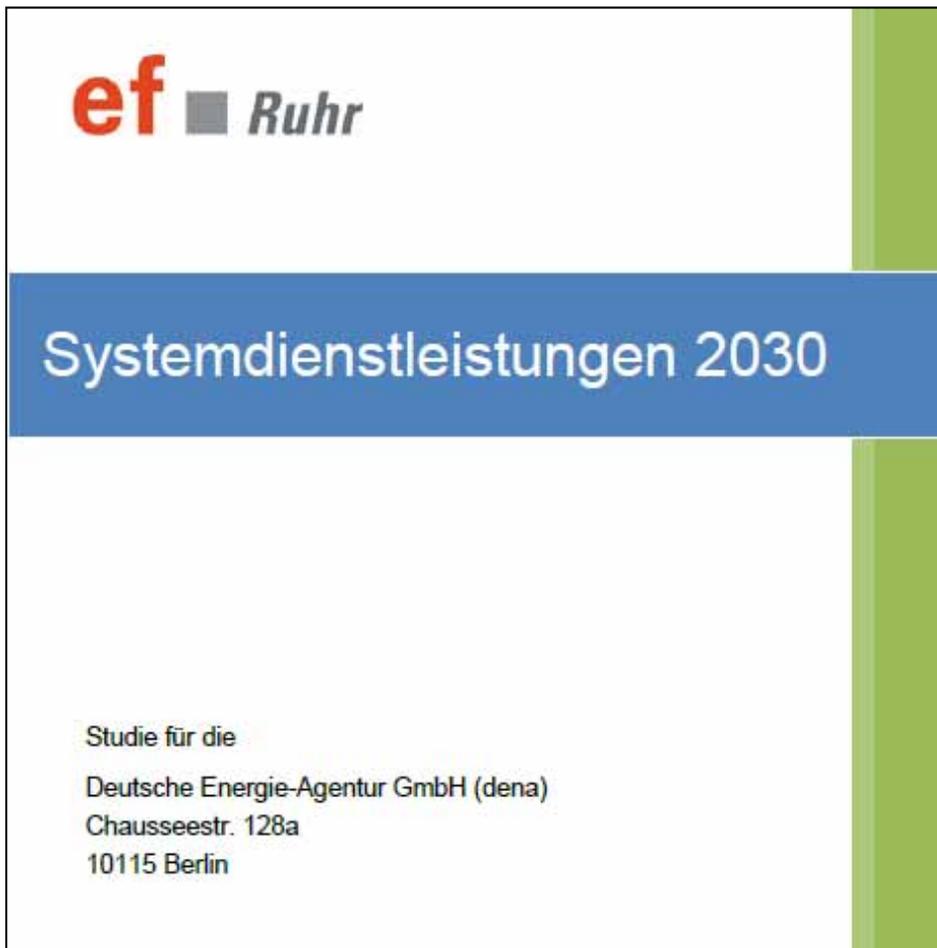


## Primärregelung

- Wirkleistungsreduktion bei Überfrequenzen entspricht Standardeinstellung in WEA
- Begrenzt auf kritische Zeiten/Notfälle kann auch eine Reserveleistung vorgehalten werden => finanzielle Kompensation notwendig



## DENA-Netz Studie Systemdienstleistungen 2030



⇒ Unter Anderem: Simulation der Frequenzstabilität unter Verwendung eines ENERCON Model incl. Inertia Emulation - Funktionalität

### Ergebnis:

Mit Intertia Emulation Funktionalität wird die Frequenzstabilität für 2030 als kaum verändert berechnet, trotz der erwarteten hohen Erneuerbaren Durchdringung

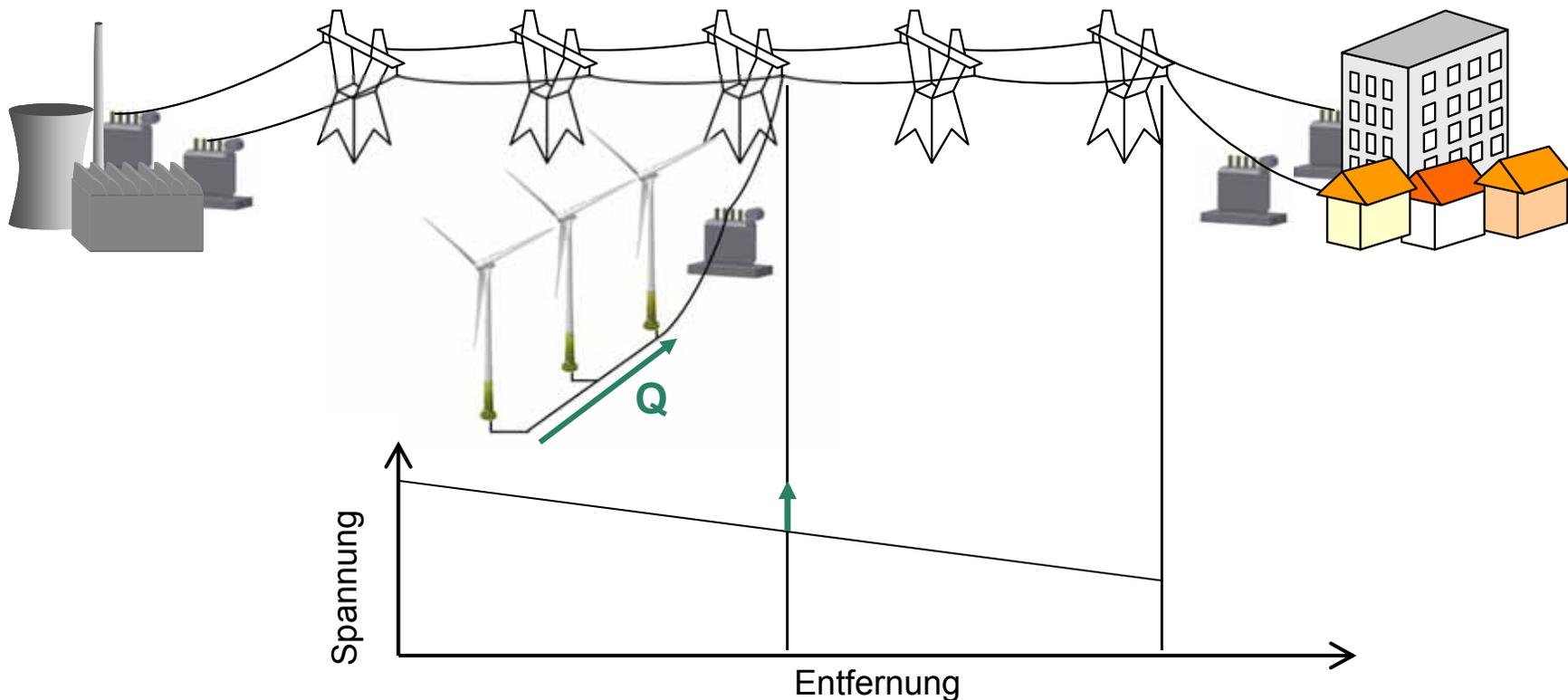
- Einführung
- WEA- Konzept und FACTS Eigenschaften
- Verhalten bei hohen Windgeschwindigkeiten
- Dynamische Netzstützung bei Netzfehlern
- Spannungsregelung am Netzanschlusspunkt
- Herausforderungen der Praxis



© Rio Tinto

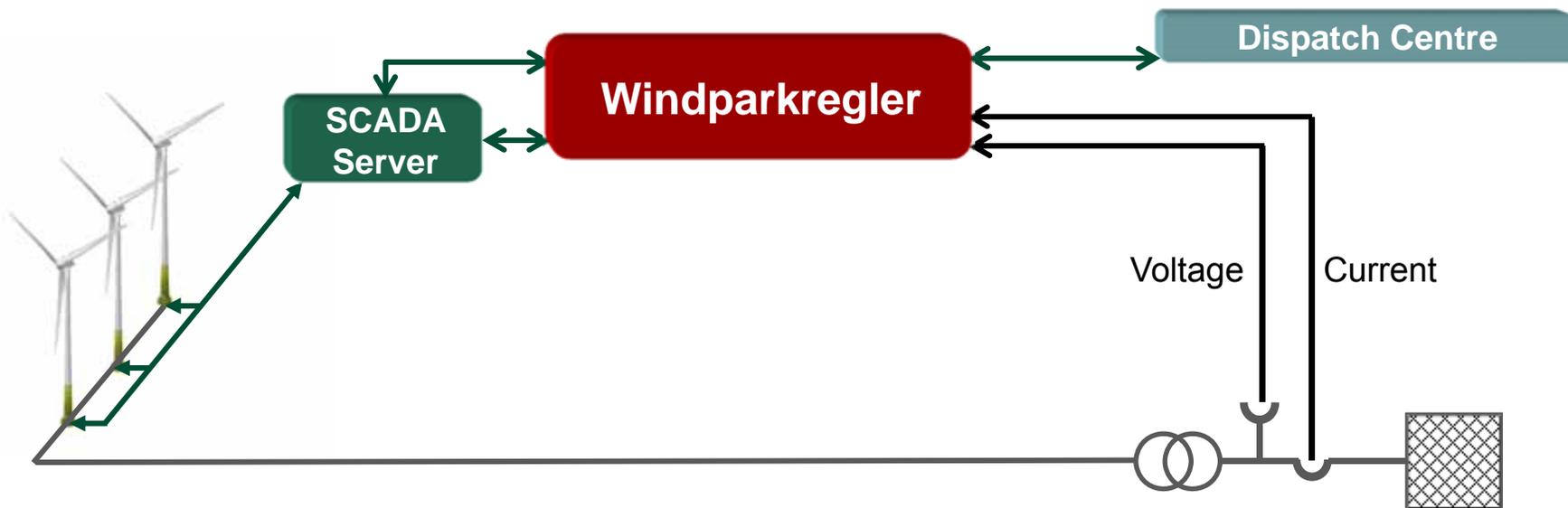
## Dezentrale Spannungsstützung

- Elektrische Verbraucher benötigen definierten Spannungsbereich
- Spannung fällt ab, wenn Leistung über lange Leitungen oder Trafos übertragen wird.
- Windparks sind dezentral im Netz verteilte Kraftwerke und können somit vor Ort selbstständig oder auf Vorgabe des Netzbetreibers die Spannung optimieren!



## ENERCON Wind Park Regler (RTU-C or FCU)

- Regeln das Windparkverhalten am Verknüpfungspunkt  
=> Verluste und Effekte zwischen WEA und Verknüpfungspunkt werden „ausgeregelt“ => geschlossener Regelkreis!
- Es kann immer eine Wirkleistungsbegrenzung und ein Regler der Blindleistung/Spannung beeinflusst gleichzeitig aktiv sein.



# Agenda

- Einführung
- WEA- Konzept und FACTS Eigenschaften
- Verhalten bei hohen Windgeschwindigkeiten
- Dynamische Netzstützung bei Netzfehlern
- Spannungsregelung am Netzanschlusspunkt
- Herausforderungen der Praxis



© Rio Tinto

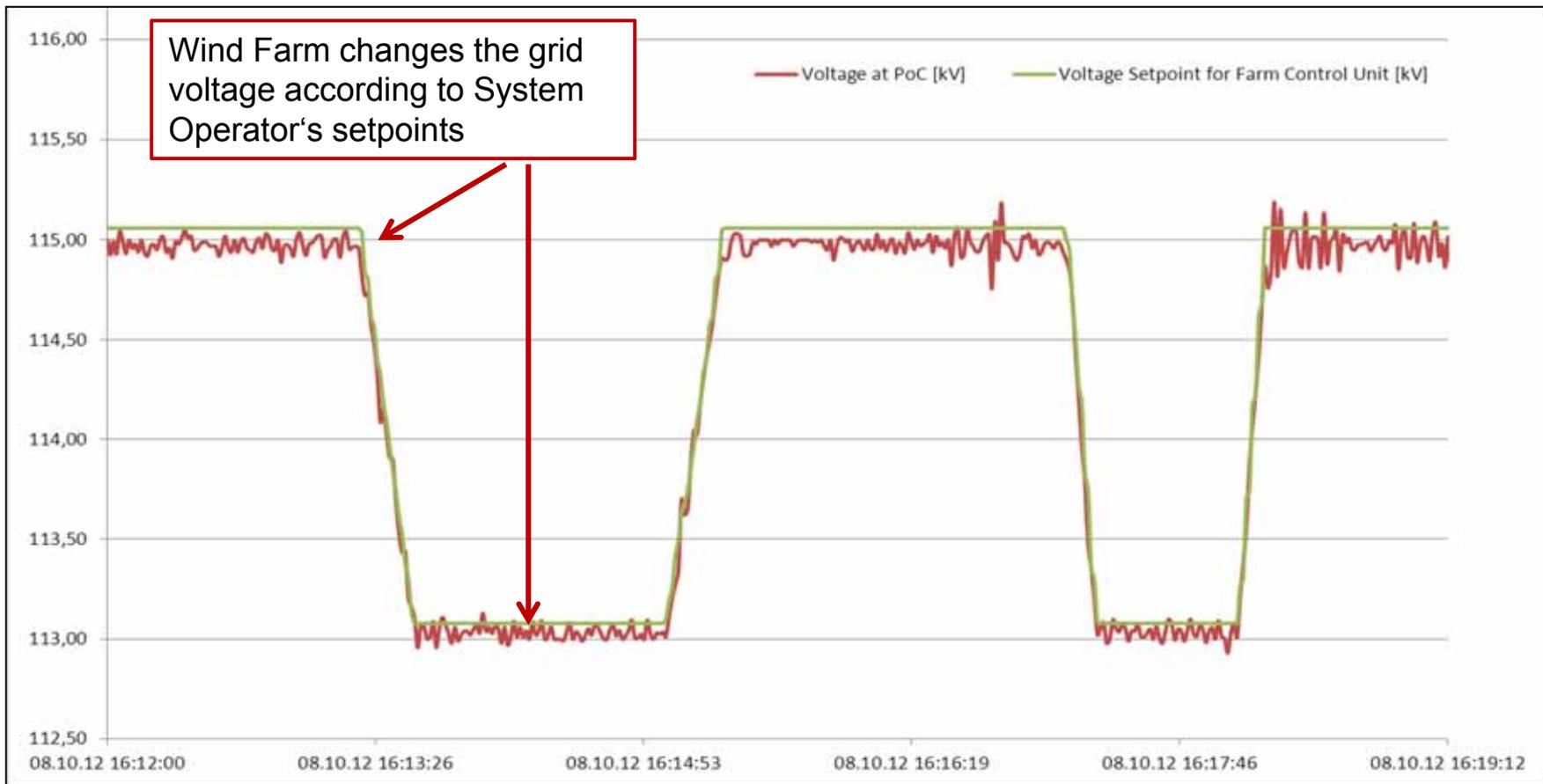
## 1) Interaktion schnelle Spannungsregelung ↔ Schutzzeinstellungen

- ☑ Windpark in Rumänien, aktuell **230MW** in 4 Sub-Windparks an 400 kV
- ☑ Per Remote umschaltbar zwischen U, Q(U) und Q-Regelung, unter Nutzung des WEC Q-Stellbereichs mit einer Ausregelzeit von 1 sec



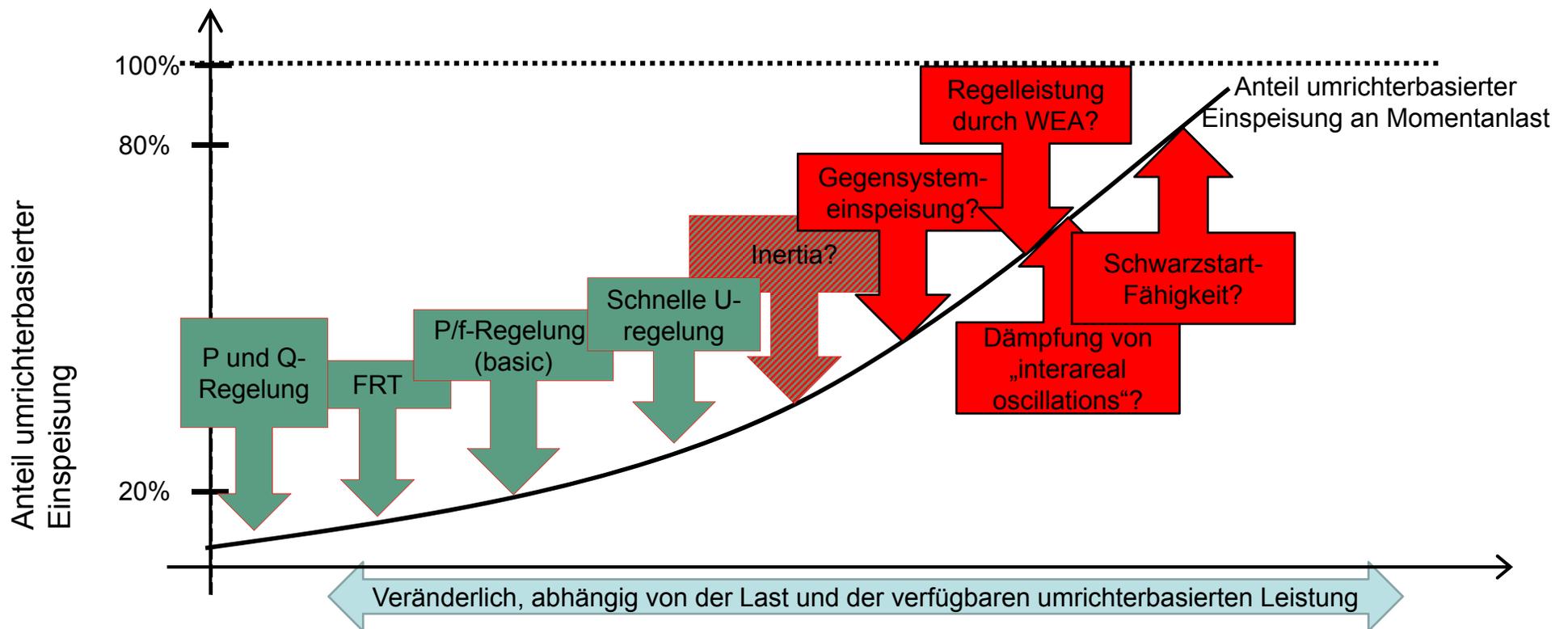
WF Dobrogea Region

## 1) Interaktion schnelle Spannungsregelung ↔ Schutzeinstellungen



- Besondere Herausforderung: Koordination Gesamt-Spannungsregelung mit Trafostufenstellern und Schutzeinstellungen

- Dezentrale umrichterbasierte und fluktuierende Einspeisung wird weiter ansteigen
- Je höher der Anteil an Momentanlast desto höher ist die Verantwortung für die Systemsicherheit
- Umfangreiche Studien und Kooperation zwischen Netzbetreibern und Herstellern sind nötig als Basis für eine zielgerichtete und rechtzeitige Entwicklung von Netzeigenschaften



## Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!

Dipl.-Ing. (FH) Hanna Emanuel  
Sales - Grid Integration  
Teerhof 59  
D - 28199 Bremen  
Tel: +49-421-24415-238  
E-Mail: [hanna.emanuel@enercon.de](mailto:hanna.emanuel@enercon.de)



Publisher: ENERCON GmbH ▪ Dreekamp 5 ▪ 26605 Aurich ▪ Germany  
 Phone: +49 4941 927-0  
 Fax: +49 4941 927-109

Copyright: © ENERCON GmbH. Any reproduction, distribution and utilisation of this document as well as the communication of its contents to third parties without express authorisation is prohibited. Violators will be held liable for monetary damages. All rights reserved in the event of the grant of a patent, utility model or design.

Content subject to change: ENERCON GmbH reserves the right to change, improve and expand this document and the subject matter described herein at any time without prior notice.

## Document details

Document-ID / DCC:	<doc-id> / --
Note:	This is the original document. or This is the translation of <doc-id>.
Template-ID:	<doc-id>
Confidentiality:	<confidentiality>

Date	Language	DCC	company / department
<yyyy-mm-dd>	<iso-code>	<dcc> or --	<company / department>

## Additional details

Original details (<iso-code>)		Translation details (<iso-code> or --)	
Compiled/date:	<name> / yyyy-mm-dd	Translated/date:	<name> / yyyy-mm-dd or --
Checked/date:	<name> / yyyy-mm-dd	Checked/date:	<name> / yyyy-mm-dd or --
Approved/date:	<name> / yyyy-mm-dd		

## Revisions

Rev.	date	changes
0	yyyy-mm-dd	Compiling the document