



1. Wuppertaler Energie-Forum

Zuverlässigkeitsanalyse von Offshore-Windparks

Dr. Friedrich Koch, RWE Innogy AG, Essen

M. Sc. Issam Athamna, Bergische Universität Wuppertal

Wuppertal, den 20. Januar 2012



Inhalt

- RWE Innogy Wind Offshore Projekt Pipeline
- Hauptsächlichen Unterschiede zwischen Off- und Onshore
- Planungsvarianten für Offshore-Windparks & Erste Ergebnisse
- Verbesserungsbedarf der Zuverlässigkeitsprogramme
- Windenergieanlagemodell
- Wettereinflüsse
- Leistungsregelung der Windenergieanlage
- Weiteres Vorgehen und Ausblick

RWE Innogy

Projekt-Pipeline in Wind Energy Offshore > 7.600 MW



Projektname	Land	Status	Kapazität	RWE-Anteil
Rhyll Flats	GB	Betrieb	90 MW	90 MW
North Hoyle	GB	Betrieb	60 MW	60 MW
Thornton Bank 1	B	Betrieb	30 MW	8 MW
Greater Gabbard	GB	Errichtung	504 MW	252 MW
Gwynt y Môr	GB	Errichtung	576 MW	346 MW
Nordsee Ost	D	Errichtung	295 MW	295 MW
Thornton Bank 2,3	B	Errichtung	295 MW	79 MW
Innogy Nordsee 1	D	Entwicklung	996 MW	996 MW
Tromp Binnen	NL	Entwicklung	295 MW	295 MW
Galloper	GB	Entwicklung	500 MW	250 MW
Triton Knoll	GB	Entwicklung	1.200 MW	1.200 MW
Atlantic Array	GB	Entwicklung	1.500 MW	1.500 MW
Dogger Bank	GB	Entwicklung	9.000 MW	2.250 MW
Gesamt			15.341 MW	7.621 MW

Hauptsächlichen Unterschiede zwischen Wind Offshore und Onshore

- Parkleistung bis zu einigen 1000 MW
 - Parkleistung bis zu einigen 100 MW
- **Hohe Investitionskosten**

- Wassertiefe und Meeresboden variieren
 - Errichtung auf festem Untergrund
- **Komplexe Installation**

- Zugang wesentlich aufwendiger aufgrund großer Distanzen
 - Relativ unproblematischer Zugang – Erreichbarkeit durch Kfz
- **Hohe Betriebs-/ Instandhaltungskosten**

**Hohe Anforderungen an
die Zuverlässigkeit und deren Ermittlung**



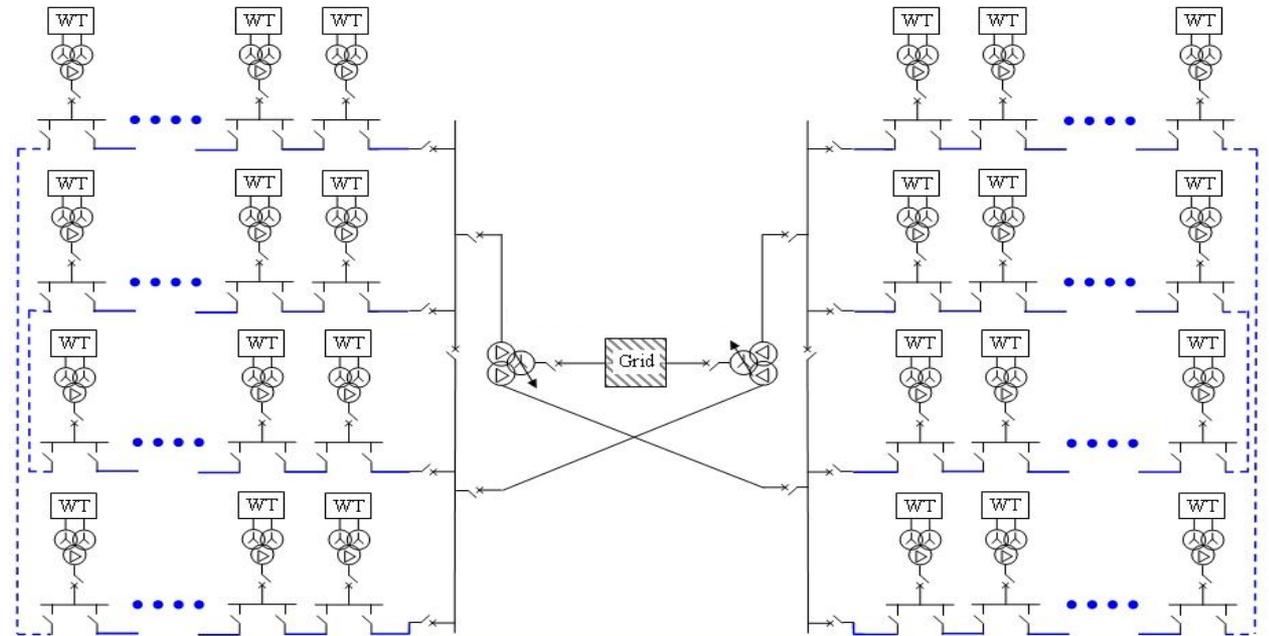
Installationsschiff Victoria Mathias



Beispiel:

Planungsvarianten:

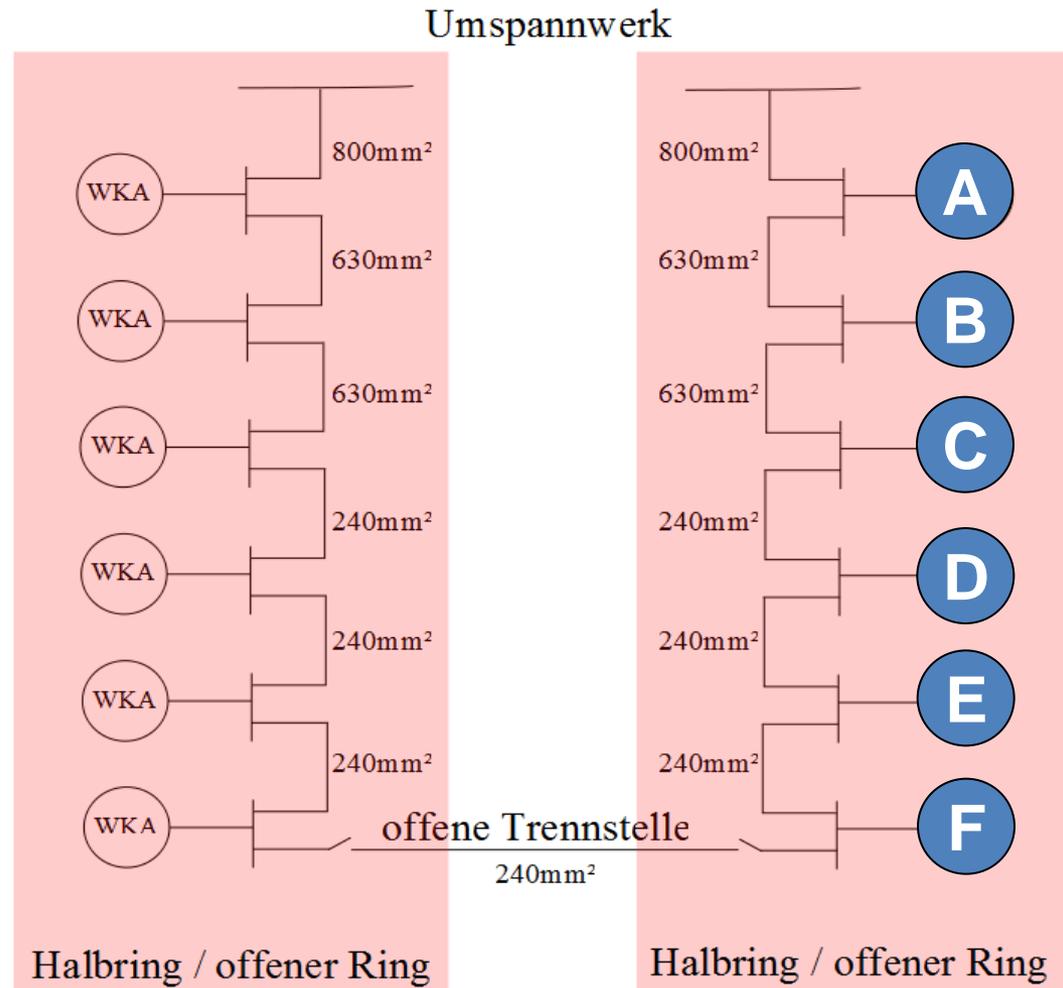
- Sticleitungen, Offen betriebene und Geschlossene Ringe
- 155kV-Sammelschiene, HS-Transformatoren, MS-Schaltanlagen auf der Substation, MS-Parkverkabelung, MS-Schaltanlagen und Transformatoren in den WEA sind berücksichtigt.



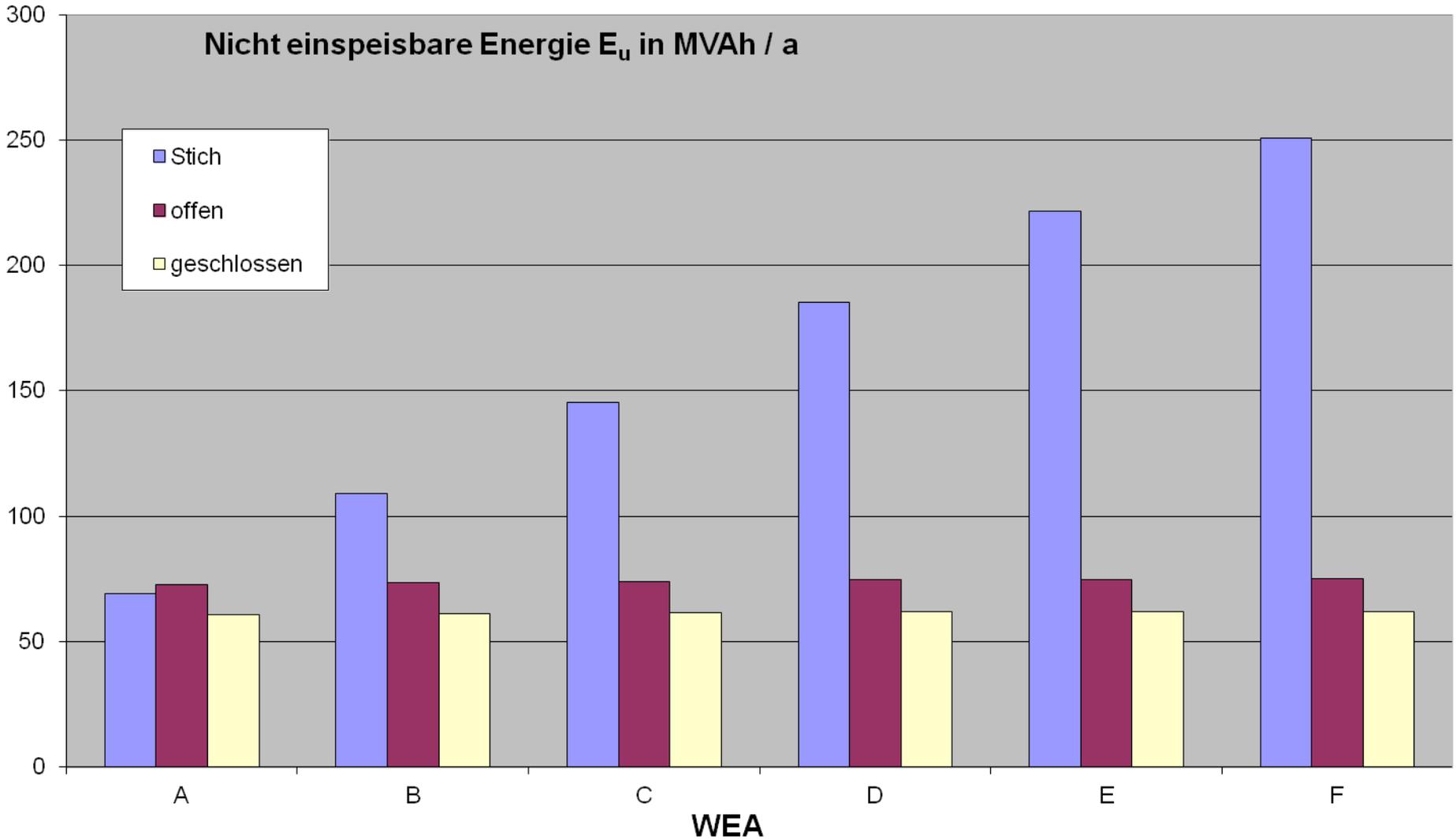
Beispiel:

Planungsvarianten:

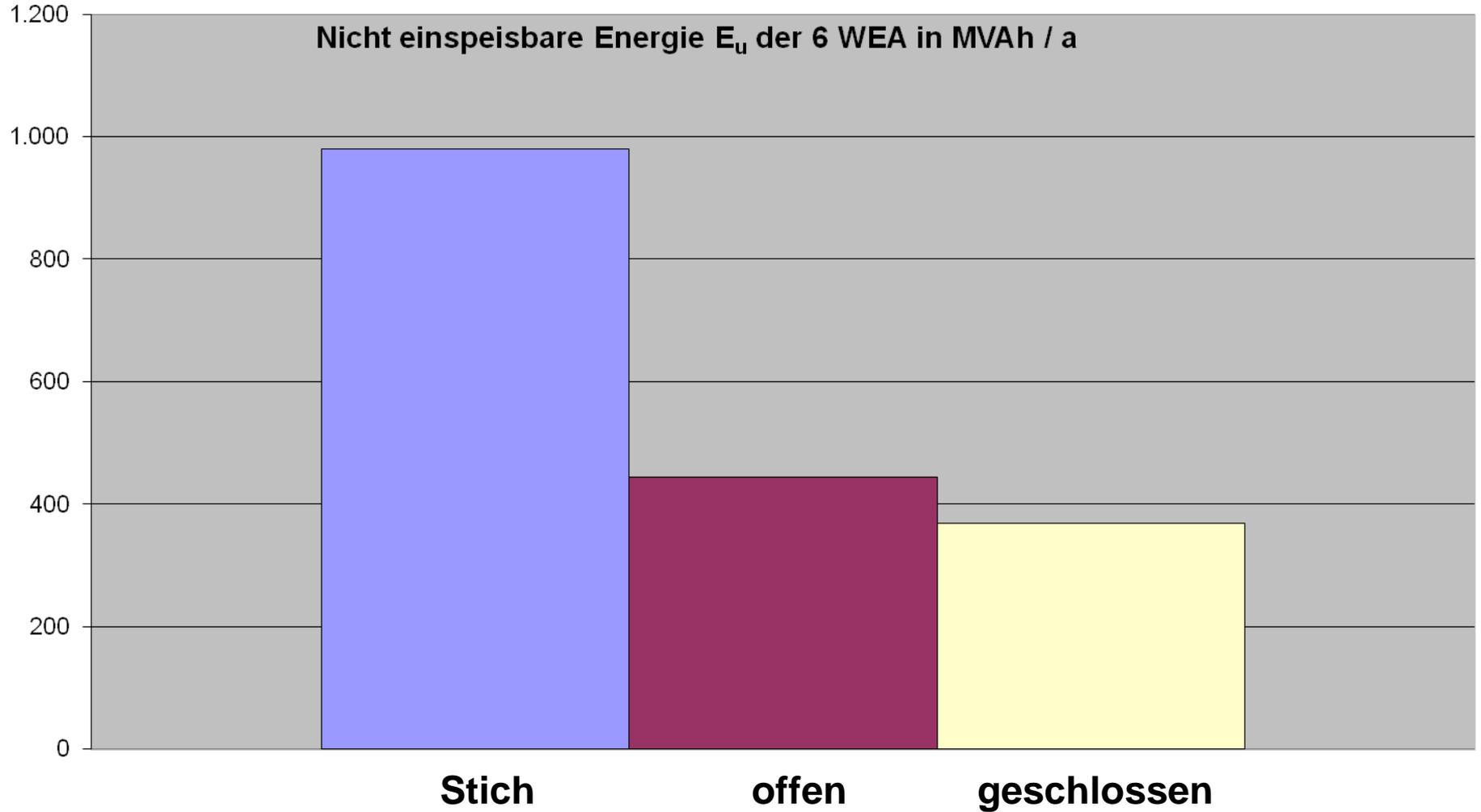
- Stichleitungen
- Offen betriebenen Halbringe
- Geschlossene Ringe



Beispiel: Erste Ergebnisse



Beispiel: Erste Ergebnisse



Verbesserungsbedarf der Zuverlässigkeitsprogramme

Mit ihnen können derzeit keine vollständigen Berechnungen von Offshore-Windparks durchgeführt werden.

Übertragungs- & Verteilungsnetze vs. Erzeugungsnetze

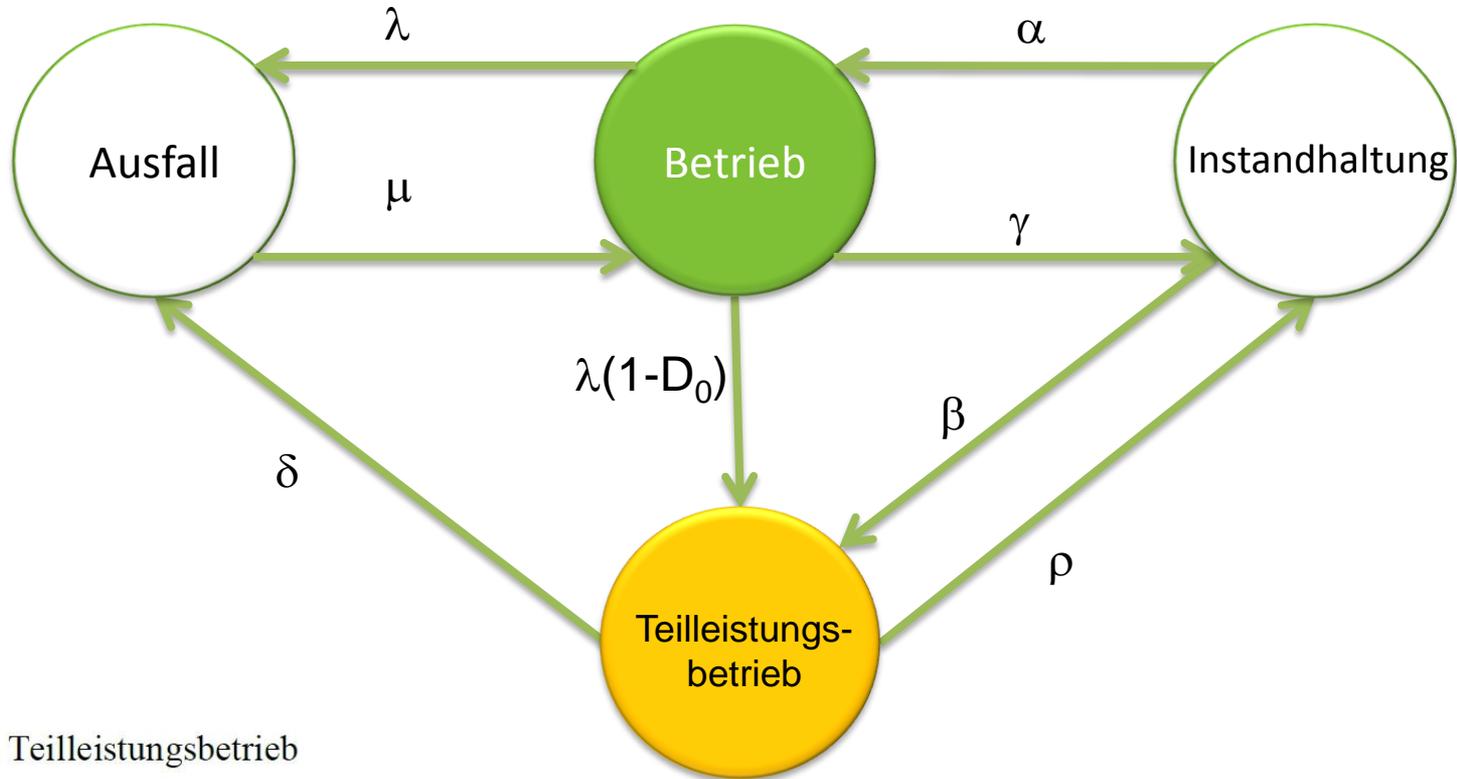


Erweiterung der Zuverlässigkeitsprogramme um die Spezifika der Offshore-Windparks.

Notwendige Weiterentwicklungen:

- Zuverlässigkeitsmodell der Offshore-Windenergieanlage
- Wettermodell für Offshore-Windparks
- Einspeiseregulierung des Offshore-Windparks im Fehlerfall

Zuverlässigkeitsmodell der Windenergieanlage



μ : Reparaturrate

λ : Ausfallrate

δ : Abschalttrate in Teilleistungsbetrieb

D_0 : Wahrscheinlichkeit Sofortabschaltung

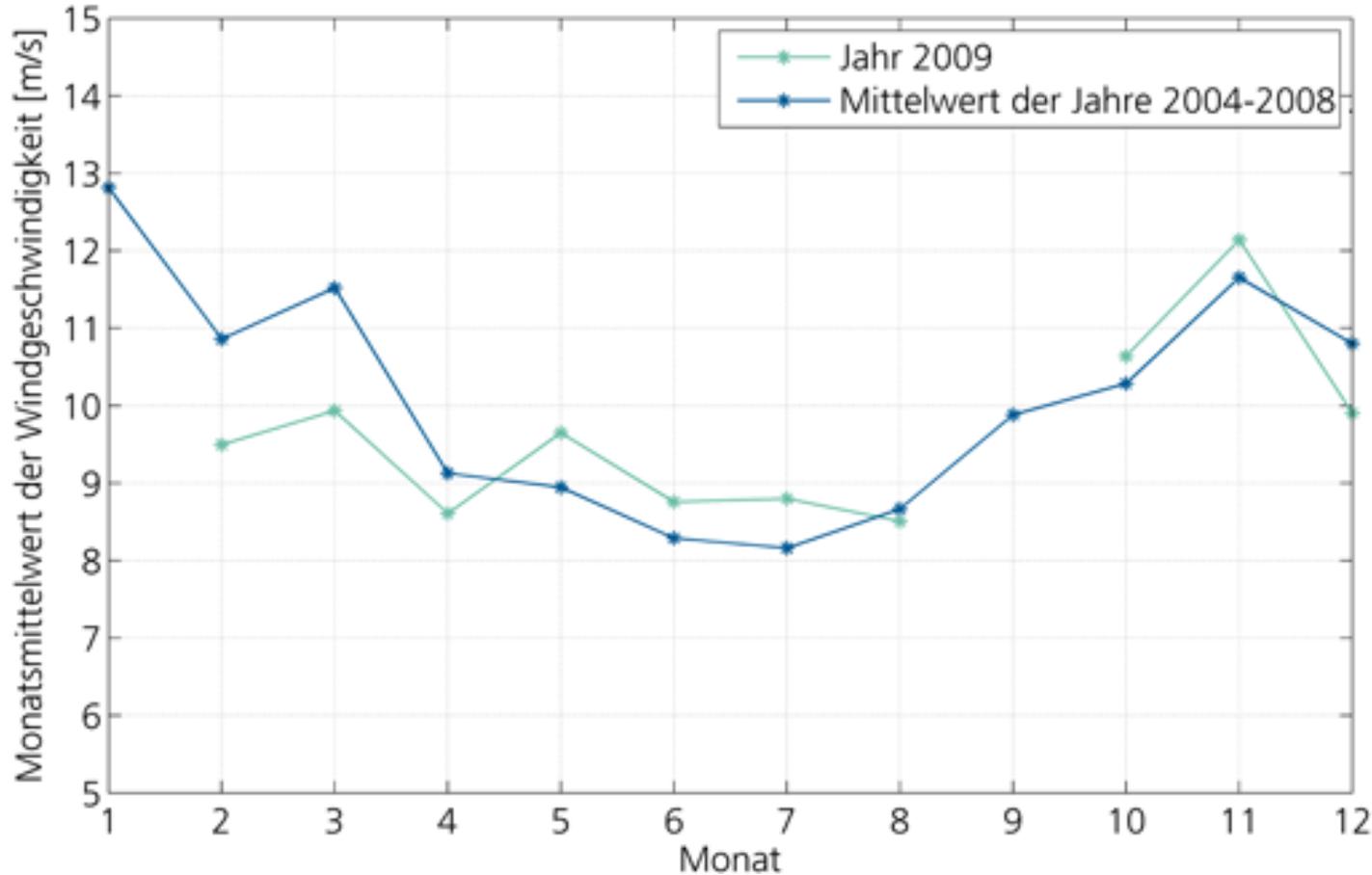
α : Übergangsrate von Zustand Instandhaltung in den Zustand Betrieb

β : Übergangsrate von Zustand Instandhaltung in den Zustand Teilleistungsbetrieb

γ : Übergangsrate von Zustand Betrieb in den Zustand Instandhaltung

ρ : Übergangsrate von Zustand Teilleistungsbetrieb in den Zustand Instandhaltung

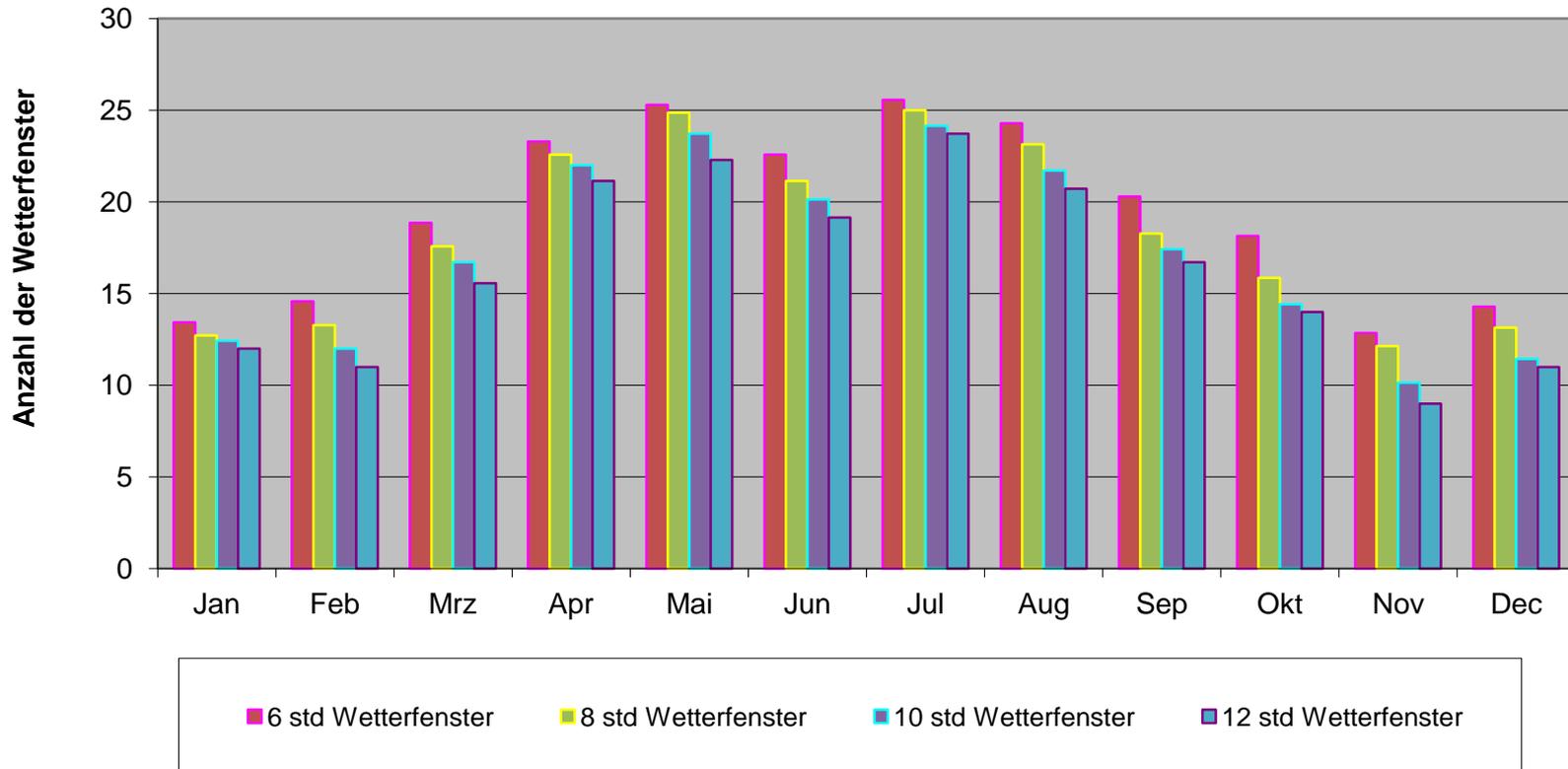
Einflüsse von Wind und Welle auf die Zuverlässigkeitsberechnung



➔ **Beeinflussung der Einspeiseleistung**

Einflüsse von Wind und Welle auf die Zuverlässigkeitsberechnung

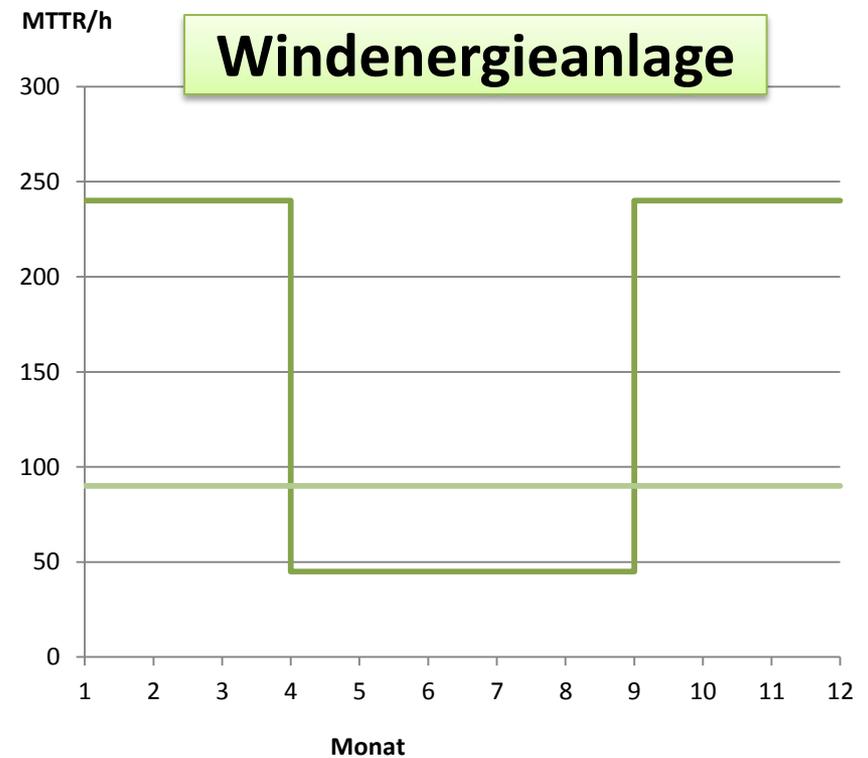
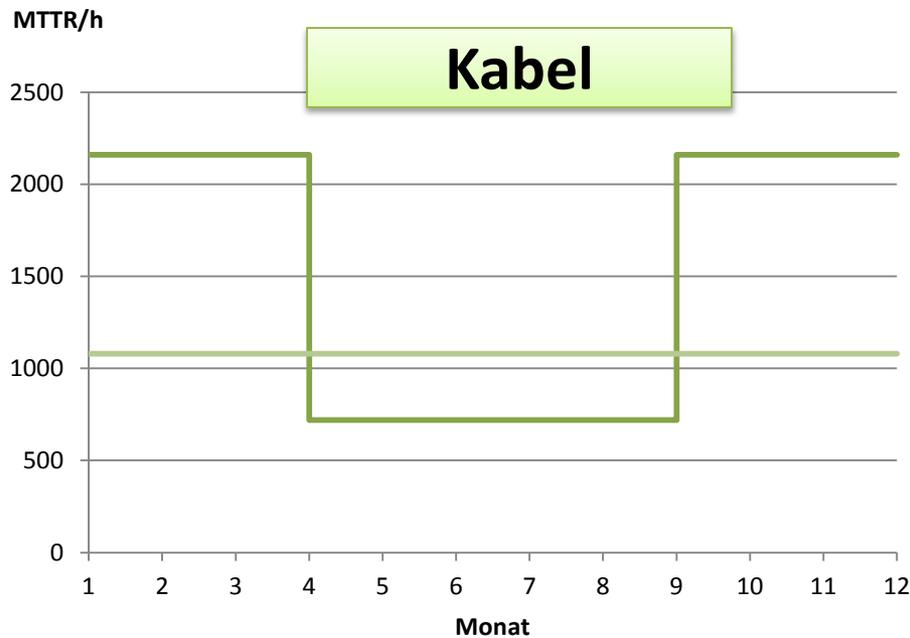
Wetterfenster für Wellenhöhen bis 1.5m



➔ Beeinflussung der Zugänglichkeit

Einflüsse von Wind und Welle auf die Zuverlässigkeitsberechnung

Reparaturdauer in Abhängigkeit von der Jahreszeit



— Sommer/Winter
— gesamtes Jahr

Nach A. Sannino



Einflüsse von Wind und Welle auf die Zuverlässigkeitsberechnung

Die **Nichtverfügbarkeit** (Ausfall & Instandhaltung) kann zwischen Sommer und Winter stark variieren.

- Im Sommer:

geringere Wellenhöhe → **höhere Zugänglichkeit**

- Im Winter:

größere Wellenhöhe → **niedrigere Zugänglichkeit**

- Unterschiedliche Wartungskonzepte (Schiff, Hubschrauber)

 **Die Berechnungen der Zuverlässigkeitskenngrößen erfolgen getrennt für Sommer- und Wintermonate.**

Einspeisungsregelung der Windenergieanlagen im Fehlerfall

Nichtverfügbarkeit von Betriebsmitteln (HS-Trafo, MS-Kabel, ...) kann zu Betriebsmittelüberlastungen führen.

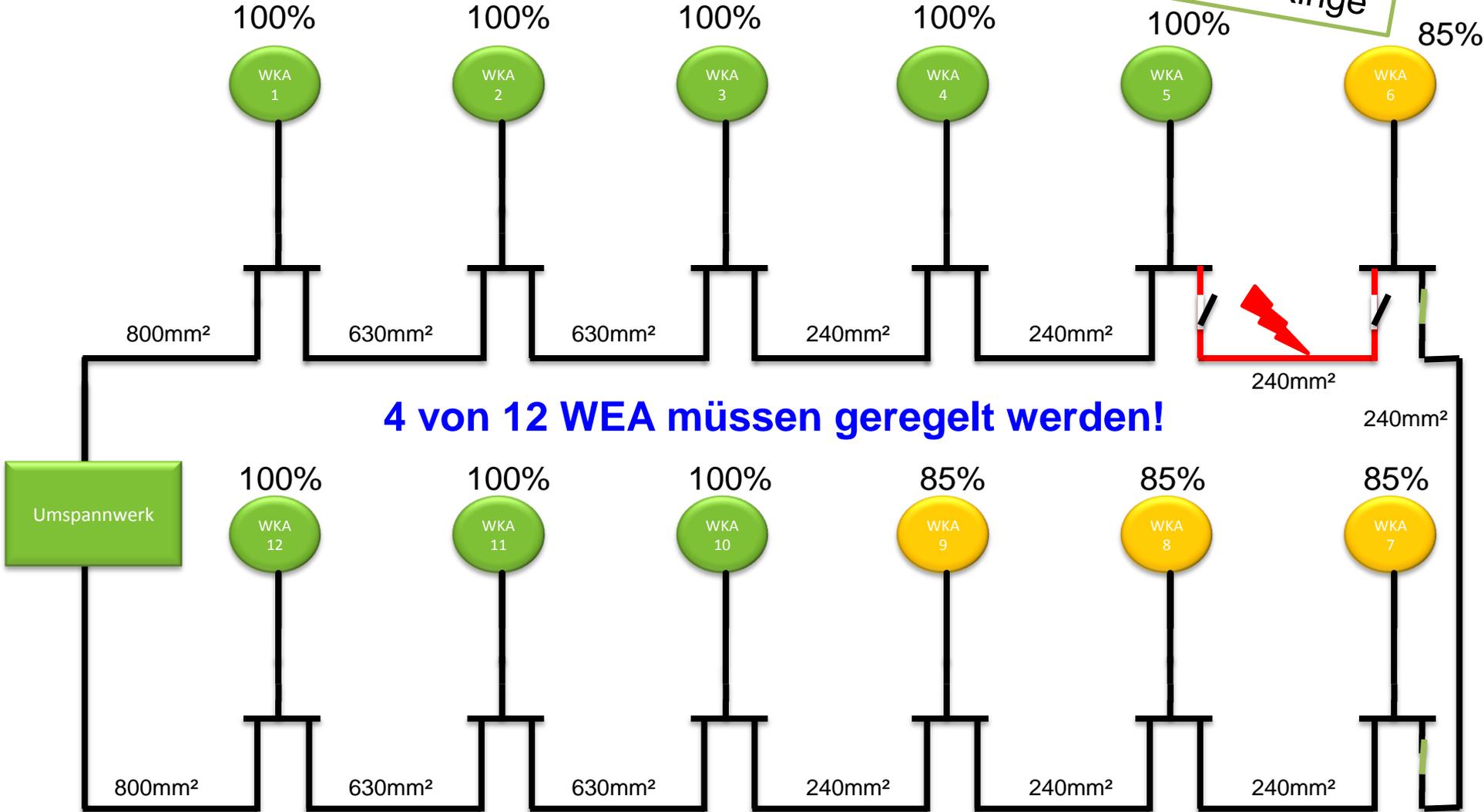


Einspeisungsregelung zur Vermeidung von Betriebsmittelüberlastungen

- Es entsteht zusätzlich reduzierte Einspeiseleistung
- Für die Regelung ist entscheidend:
 - Die ausgefallene Komponente und deren Lokation
 - Die Anzahl der zu regelnden Windenergieanlagen

Ausfall eines Kabelabschnitts

Beispiel: geschl. Ringe

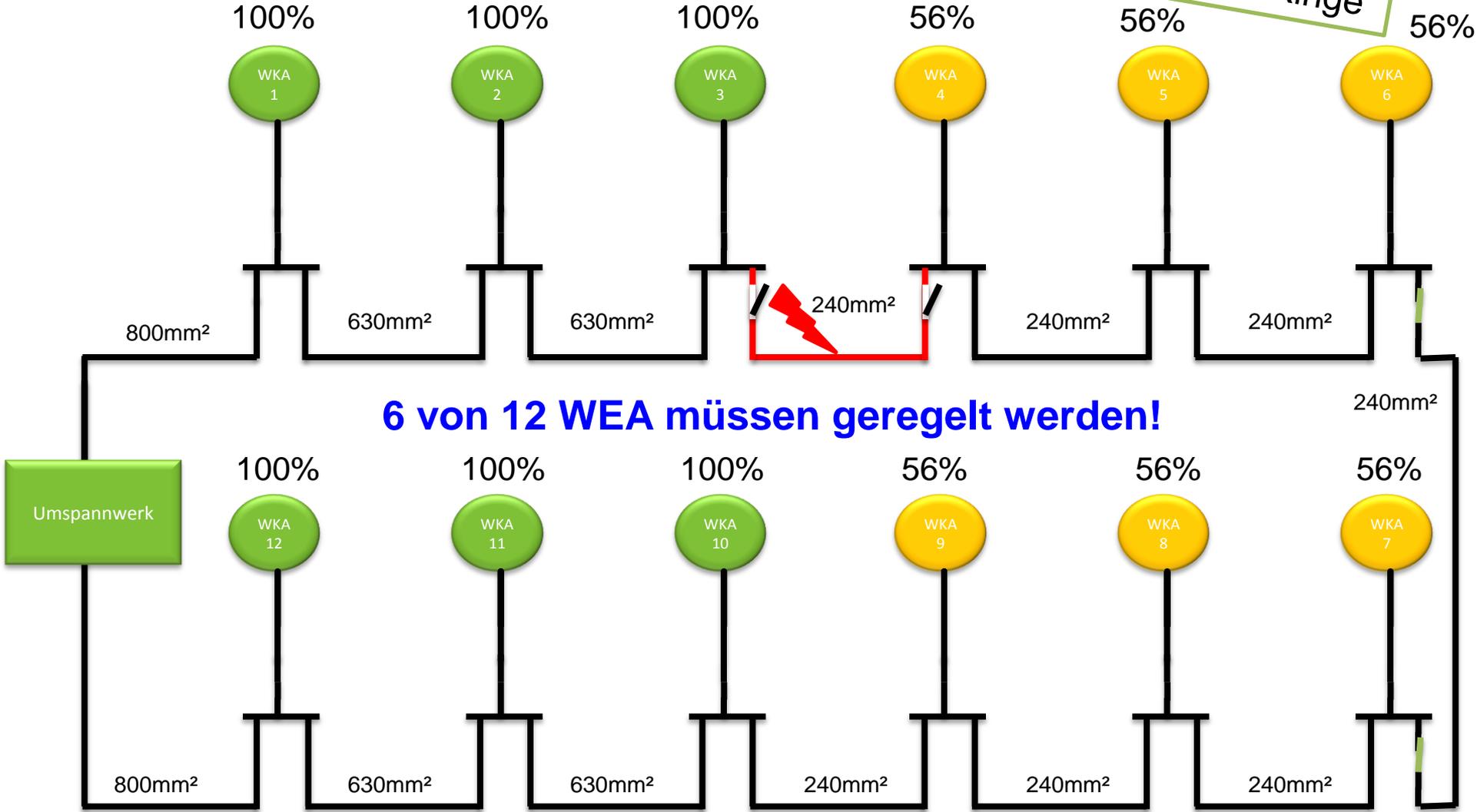


4 von 12 WEA müssen geregelt werden!

Maximale Eispeiseleistung der Windenergieanlagen 6 bis 9 → $21\text{MVA}/4 = 5,25\text{ MVA}$

Ausfall eines Kabelabschnitts

Beispiel: geschl. Ringe

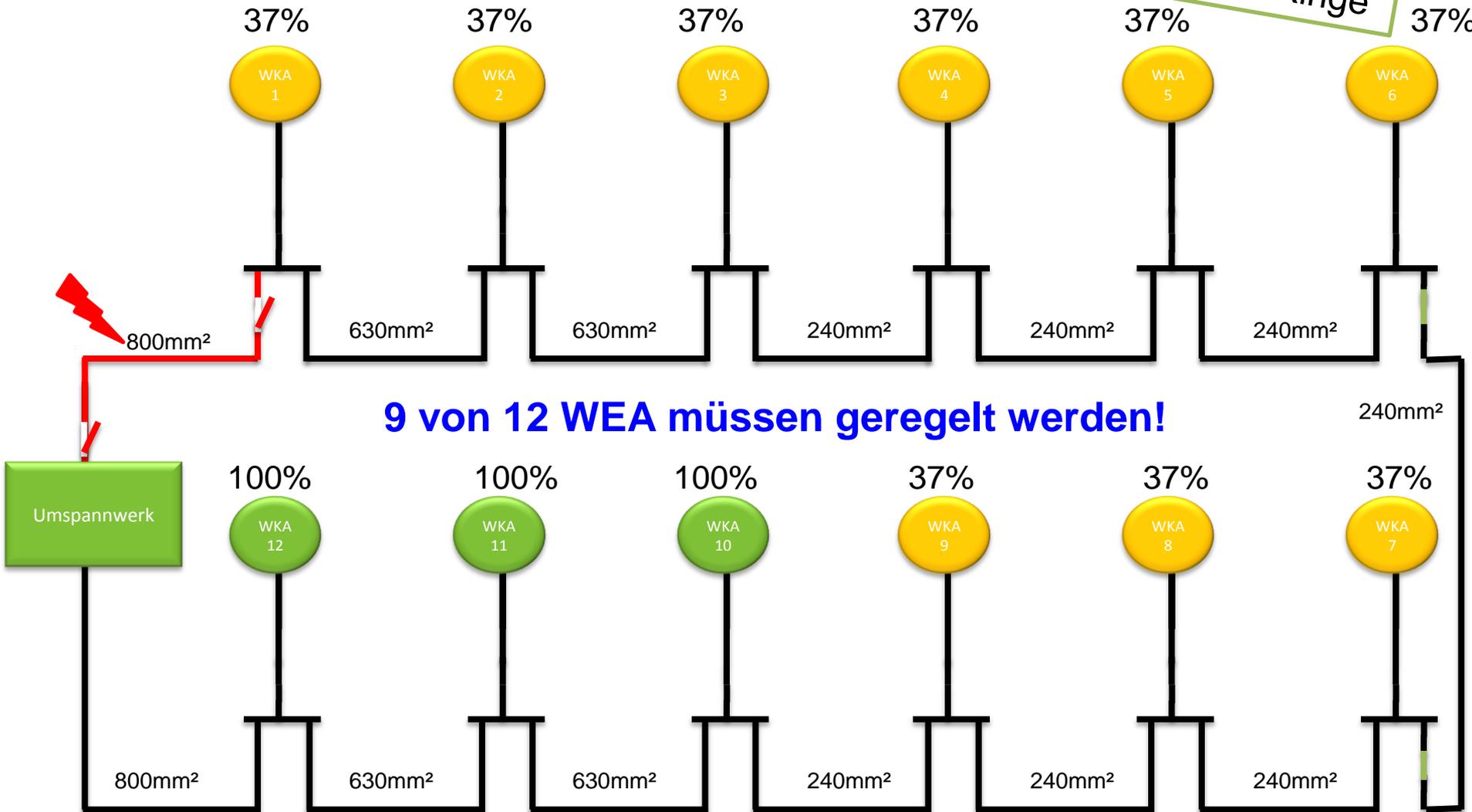


6 von 12 WEA müssen geregelt werden!

Maximale Eispeiseleistung der Windenergieanlagen 4 bis 9 → $21\text{MVA}/6 = 3,5\text{ MVA}$

Ausfall eines Kabelabschnitts

Beispiel: geschl. Ringe



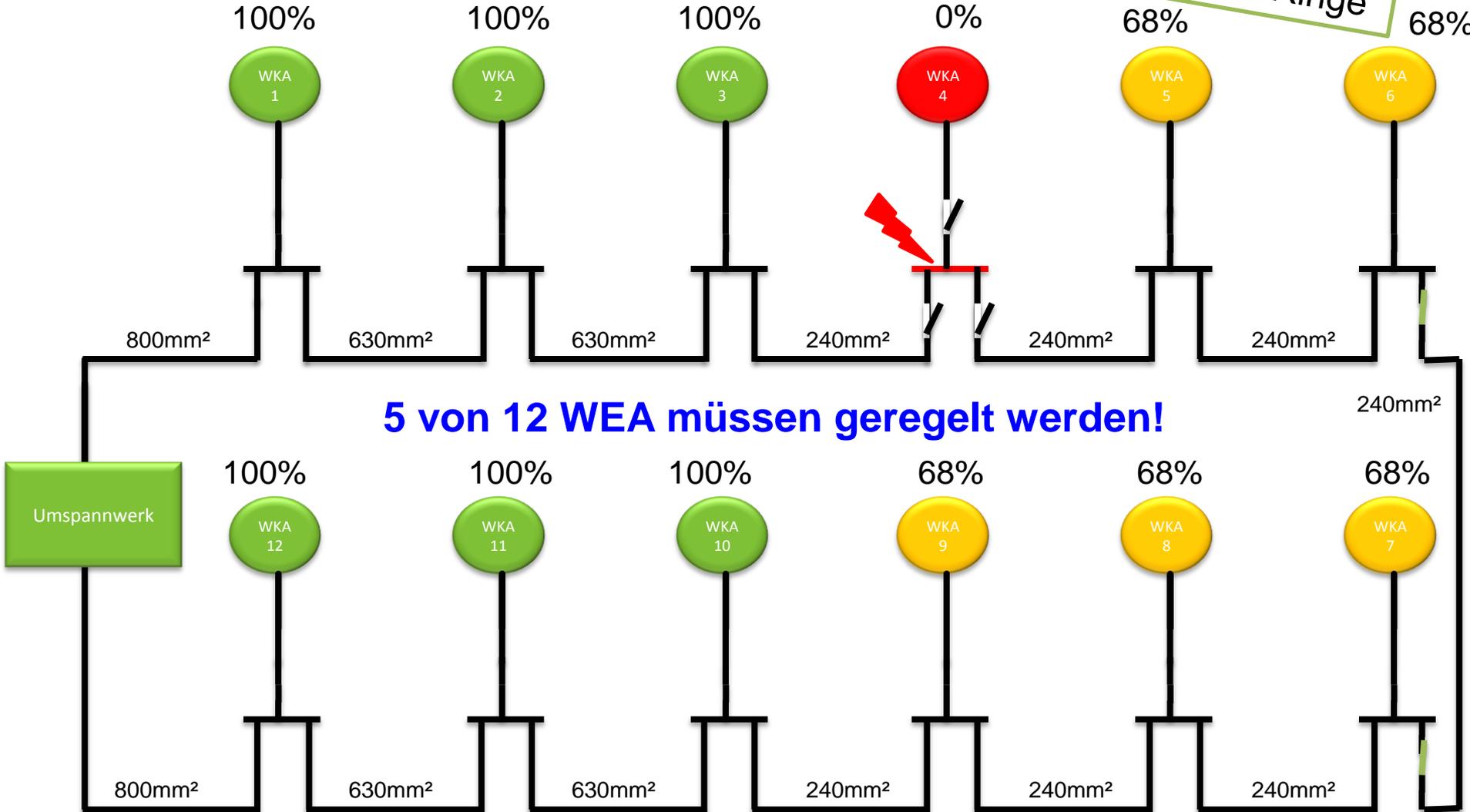
9 von 12 WEA müssen geregelt werden!

Maximale Eispeiseleistung der Windenergieanlagen 1 bis 9

→ $21\text{MVA}/9 = 2,33\text{ MVA}$

Ausfall einer Sammelschiene

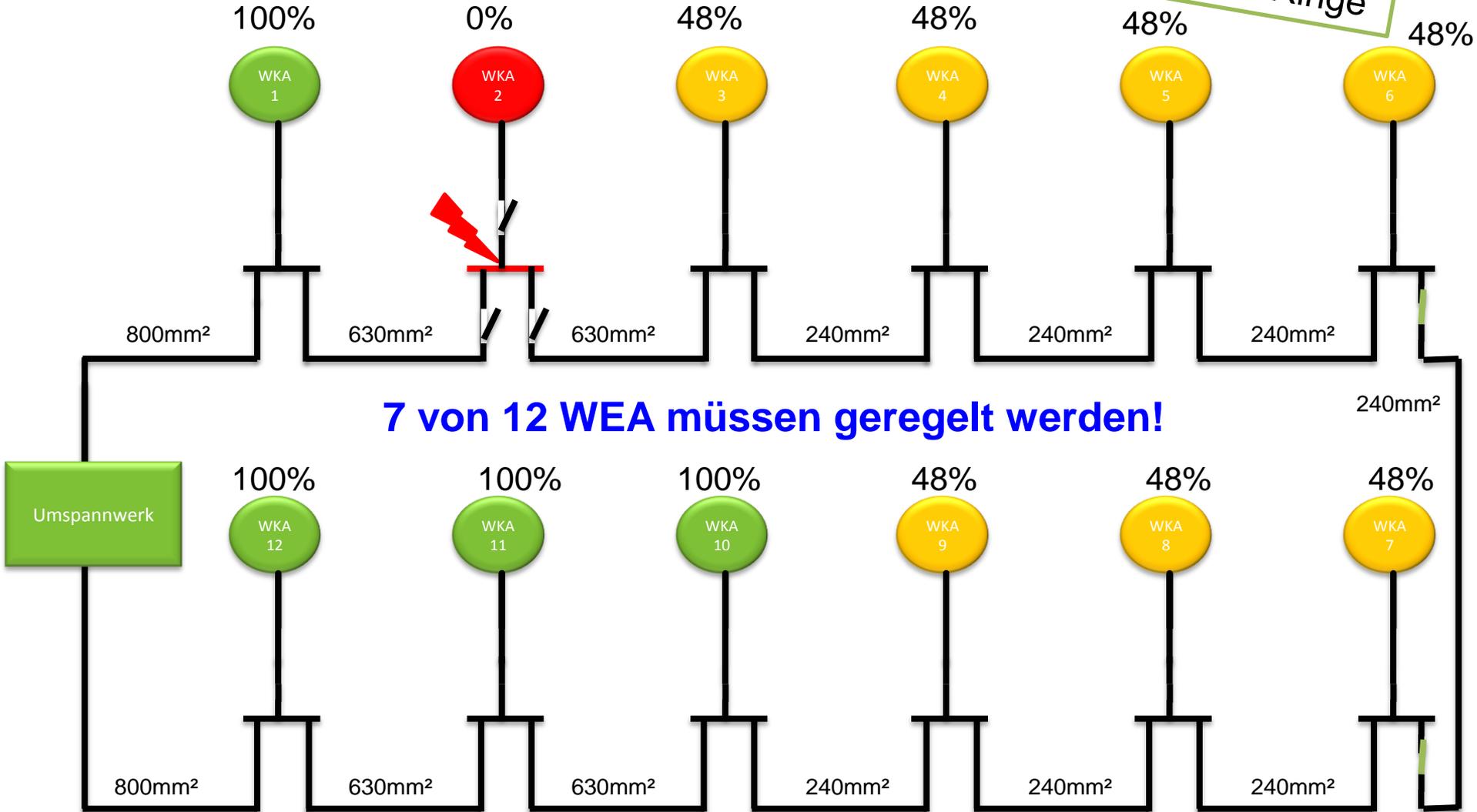
Beispiel: geschl. Ringe



Maximale Eispeiseleistung der Windenergieanlagen 5 bis 9 → $21\text{MVA}/5 = 4,2\text{ MVA}$

Ausfall einer Sammelschiene

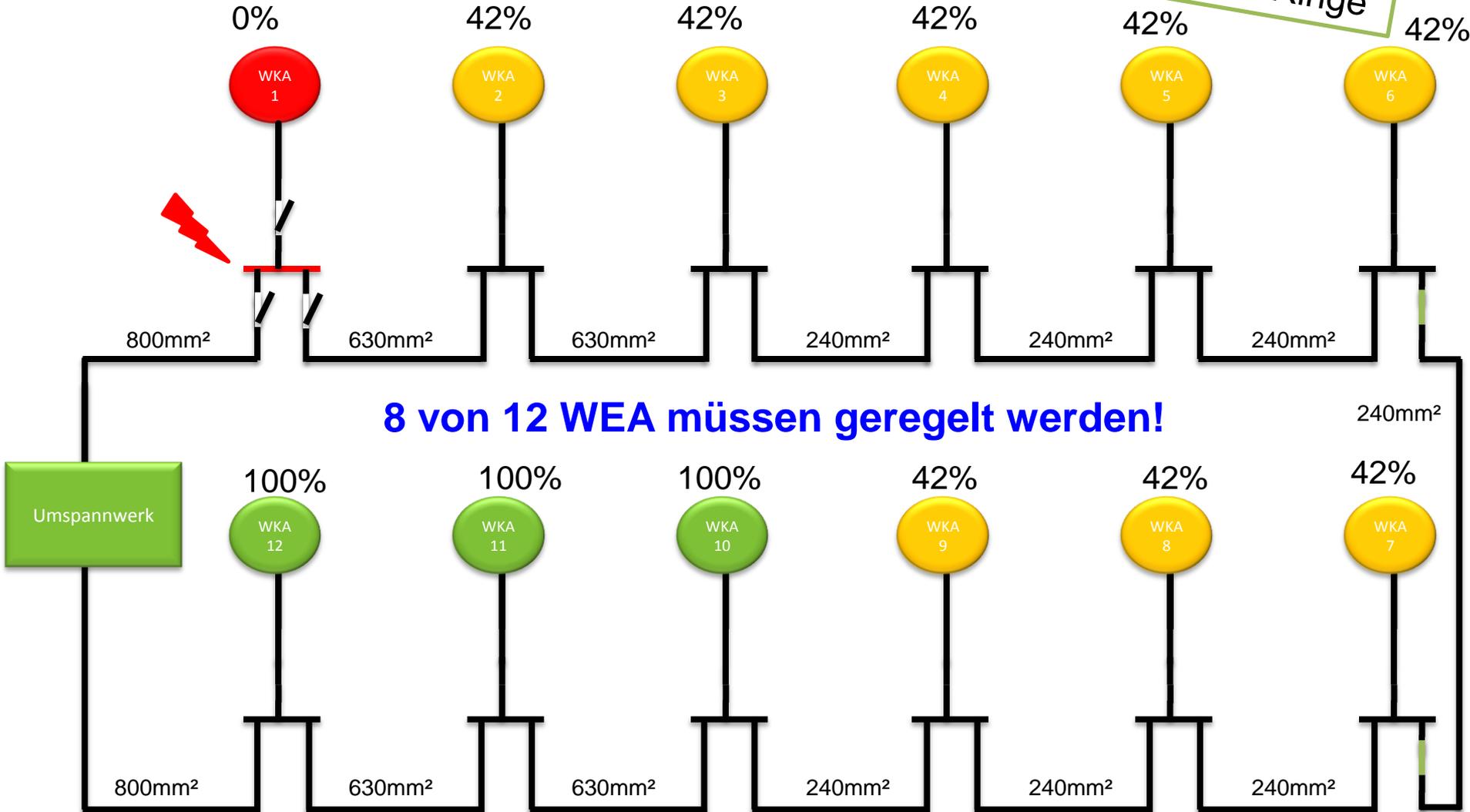
Beispiel: geschl. Ringe



Maximale Eispeiseleistung der Windenergieanlagen 3 bis 9 → $21\text{MVA}/7 = 3\text{ MVA}$

Ausfall einer Sammelschiene

Beispiel: geschl. Ringe



Maximale Eispeiseleistung der Windenergieanlagen 2 bis 9 → $21\text{MVA}/8 = 2,625\text{ MVA}$

Einspeisungsregelung der Windenergieanlagen im Fehlerfall

Nichtverfügbarkeit von Betriebsmitteln (HS-Trafo, MS-Kabel, ...) kann zu Betriebsmittelüberlastungen führen.



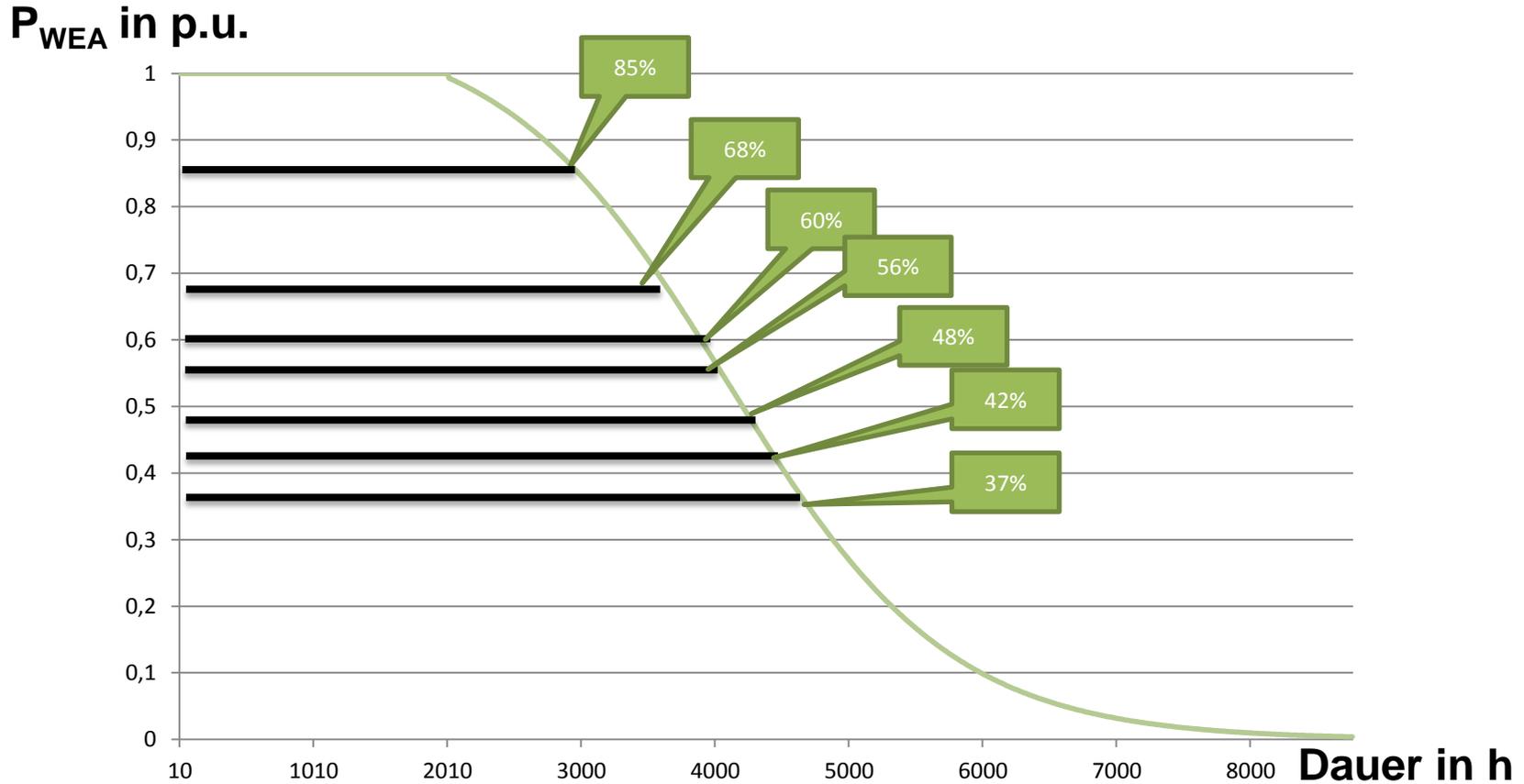
Einspeisungsregelung zur Vermeidung von Betriebsmittelüberlastungen



Zwei unterschiedliche Methoden zur Einspeiseregulung werden entwickelt:

- Manuell; Vorgabe fester Regelstufen bzw. Leistungszuteilung an WEA
- Automatisch; Iterativer Prozess zur Leistungseinspeisemaximierung

Einspeisungsregelung der Windenergieanlagen im Fehlerfall



Manuelle Einspeiseregulierung (Vorgabe fester Regelstufen)
ist windparkspezifisch zu ermitteln





Weiteres Vorgehen und Ausblick

- Erweiterung des Zuverlässigkeitsprogramms mit:
 - Modell der Offshore-Windenergieanlage
 - Zuverlässigkeitskenngrößen für Einspeisungen mittels WEA
 - Wettermodell
 - Regelungsverhalten von Offshore-Windparks
- Projektspezifische Simulationen zur Planung und Dimensionierung von Offshore-Windparks
- Monetäre Bewertung von Planungsvarianten (entgangene Einspeisevergütung)
- etc.



**Vielen Dank
für Ihre
Aufmerksamkeit!**

