Inbetriebnahmeprüfungen an Kabeln der primären Verteilernetzebene

Uwe Kaltenborn

HIGHVOLT Prüftechnik Dresden GmbH

Inhaltsverzeichnis

HIGHVOLT in Fakten

Primäre Verteilernetzebene und Verkabelungsgrad

Warum Inbetriebnahmeprüfungen?

Wie soll geprüft werden: Methodenvergleich

Resonanzprüftechnik für Kabel

Anwendungsfälle und Entwicklungen der Prüftechnik: Offshore und Onshore

Inhaltsverzeichnis

- HIGHVOLT in Fakten

Primäre Verteilernetzebene und Verkabelungsgrad

Warum Inbetriebnahmeprüfungen?

Wie soll geprüft werden: Methodenvergleich

Resonanzprüftechnik für Kabel

Anwendungsfälle und Entwicklungen der Prüftechnik: Offshore und Onshore

HIGHVOLT – Hochspannungs-Prüftechnik aus dem Herzen Europas

48 %
Weltmarktanteil

100 %
Fachkräfte

85 %
Exportanteil

- Leidenschaft
- Teamwork
- Wissen
- Erfahrung
- Ausbildung

Große Hochspannungshalle (60 m x 47 m x 33 m)

Inhaltsverzeichnis

HIGHVOLT in Fakten

Primäre Verteilernetzebene und Verkabelungsgrad

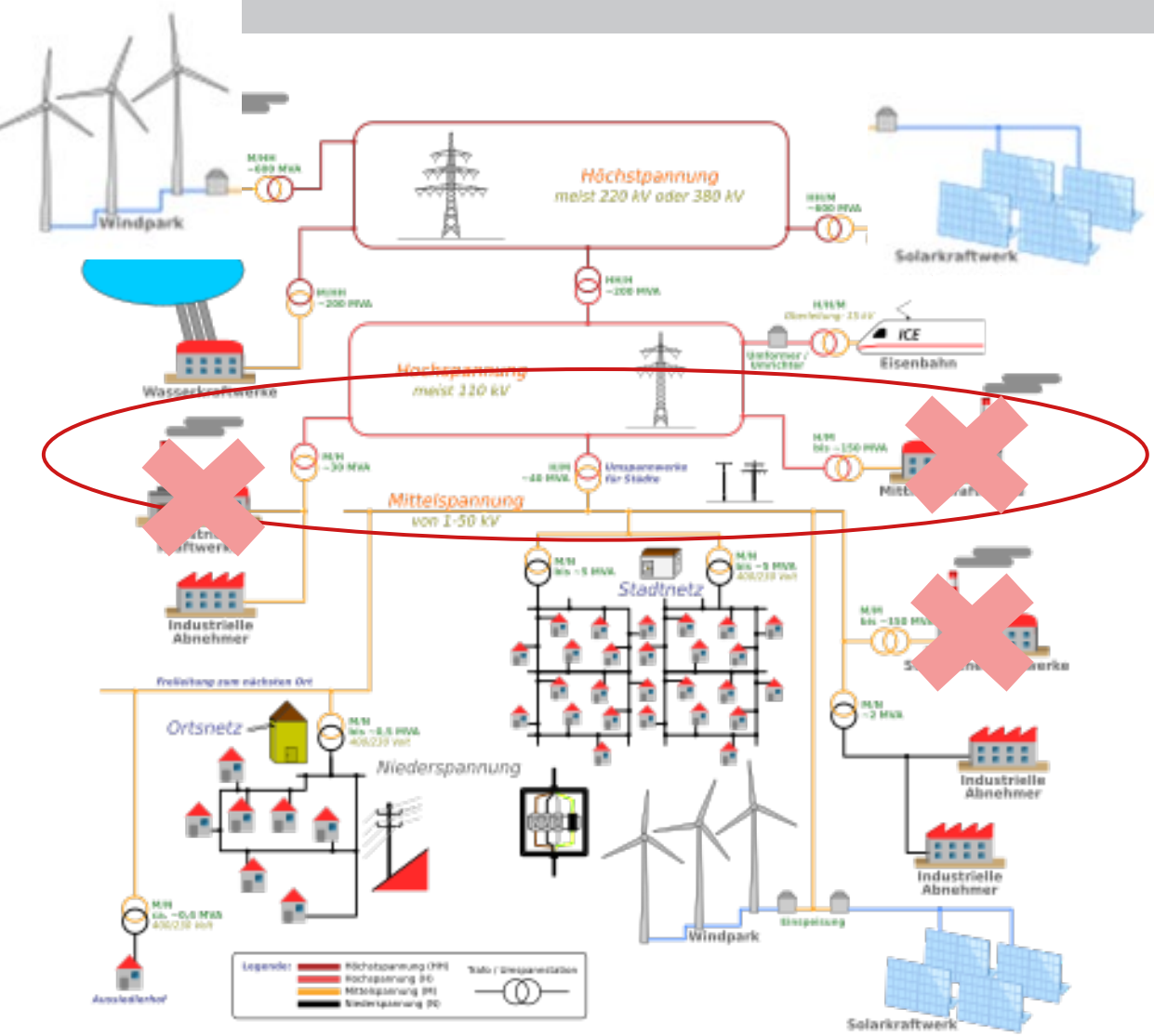
Warum Inbetriebnahmeprüfungen?

Wie soll geprüft werden: Methodenvergleich

Resonanzprüftechnik für Kabel

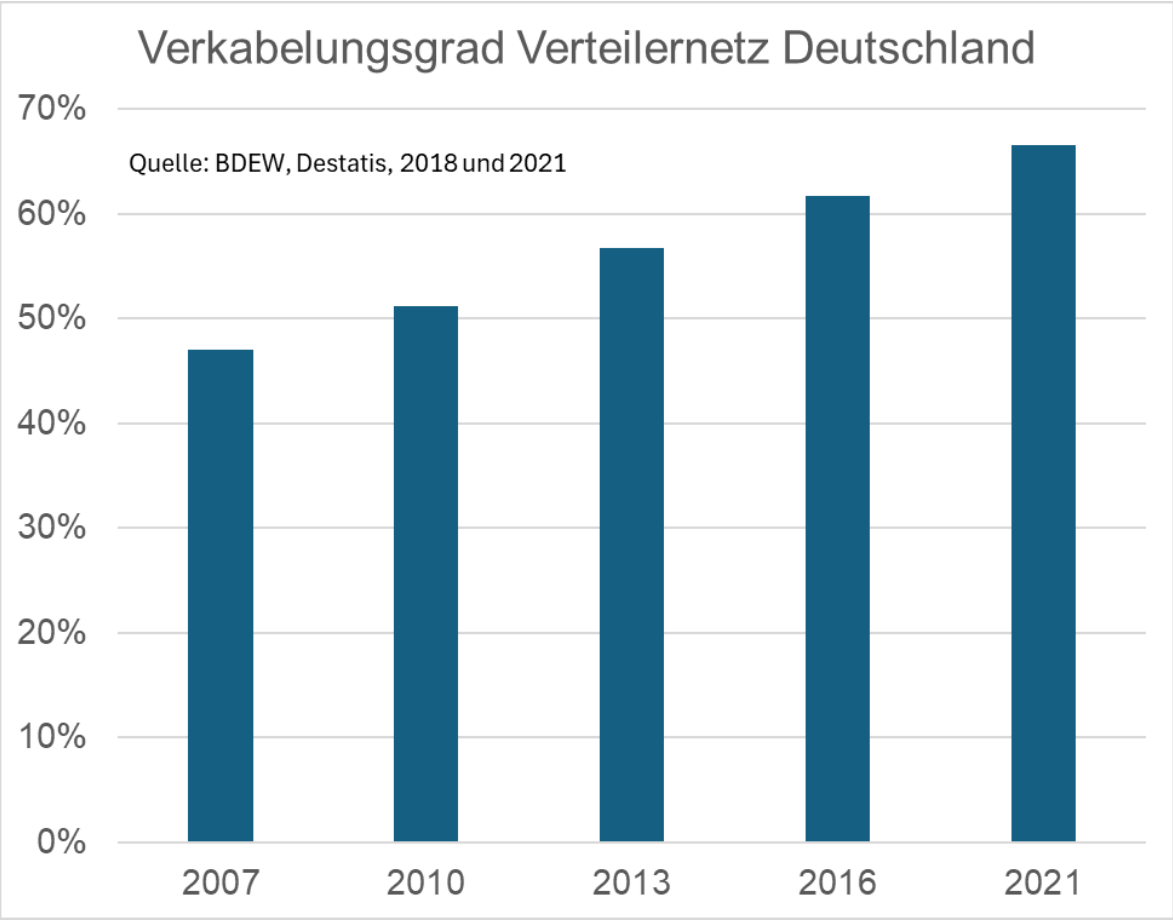
Anwendungsfälle und Entwicklungen der Prüftechnik: Offshore und Onshore

Primäre Verteilernetzebene



- Energiewende:
  - Veränderung der Lastbedingungen im Netz durch Wegfall großer Erzeuger auf fossiler und nuklearer Basis
  - Verlagerung der Erzeugung zu großen (virtuellen) Einheiten erneuerbarer Energien
  - Netzstabilität kann nicht mehr aus dem Übertragungsnetz alleine garantiert werden
  - Zunehmende Bedeutung der Verteilernetzebene für den Netzbetrieb
- Primäre Verteilernetzebene:
  - Spannungsebene bis 110 kV
  - Steuerbare Leistungsschalter
  - (Teil-)Automatisierter Betrieb

Verkabelungsgrad



- Stetige Zunahme des Verkabelungsgrades
- Im städtischen Bereich liegt der Verkabelungsgrad nahe 100%
- Treiber für die Verkabelung im Flächennetz:
  - Kabelvorrang / gesellschaftliche Akzeptanz
  - Sicherung kritischer Infrastruktur
  - Resilienz bei Extremwetter-Ereignissen

Inhaltsverzeichnis

HIGHVOLT in Fakten

Primäre Verteilernetzebene und Verkabelungsgrad

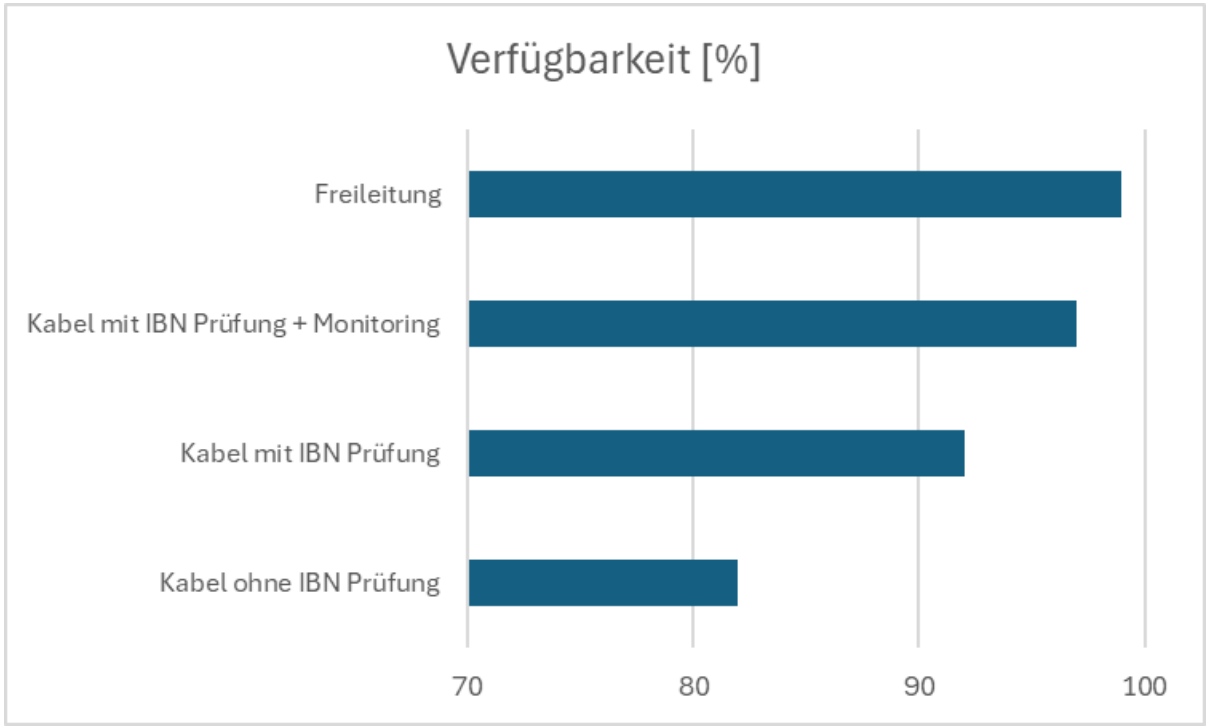
Warum Inbetriebnahmeprüfungen?

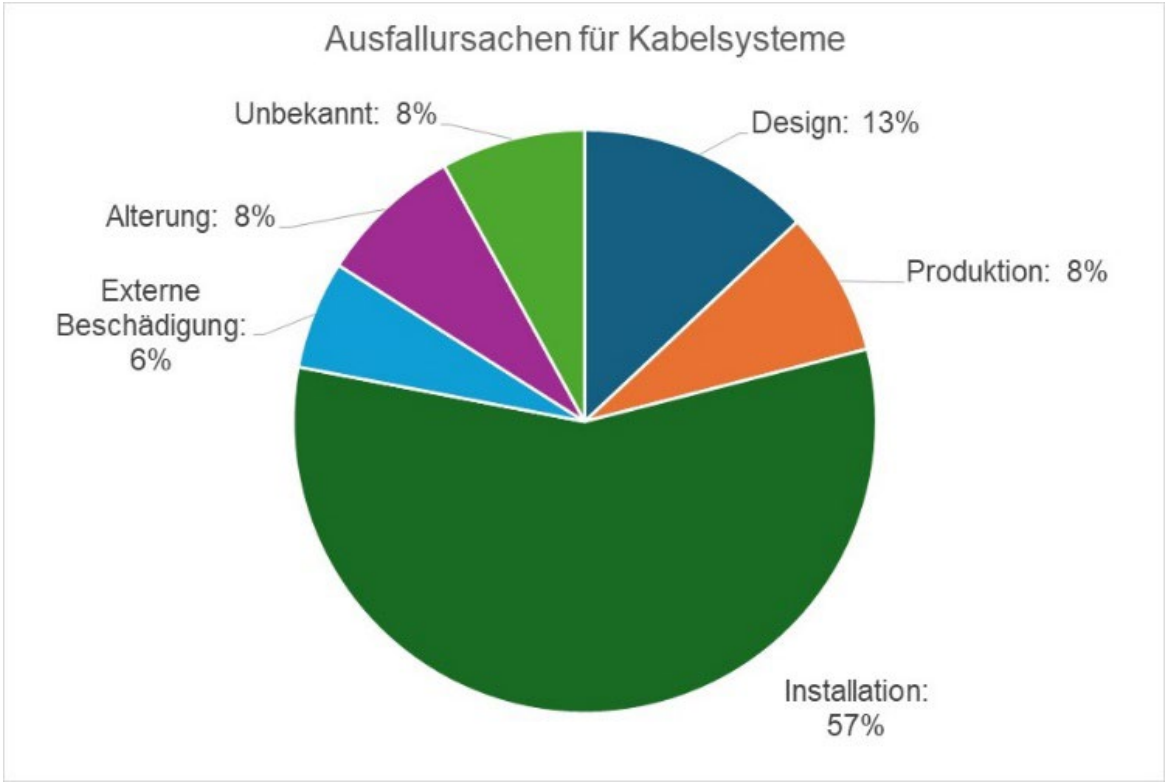
Wie soll geprüft werden: Methodenvergleich

Resonanzprüftechnik für Kabel

Anwendungsfälle und Entwicklungen der Prüftechnik: Offshore und Onshore

Verfügbarkeit und Ausfallursachen





Inhaltsverzeichnis

HIGHVOLT in Fakten

Primäre Verteilernetzebene und Verkabelungsgrad

Warum Inbetriebnahmeprüfungen?

Wie soll geprüft werden: Methodenvergleich

Resonanzprüftechnik für Kabel

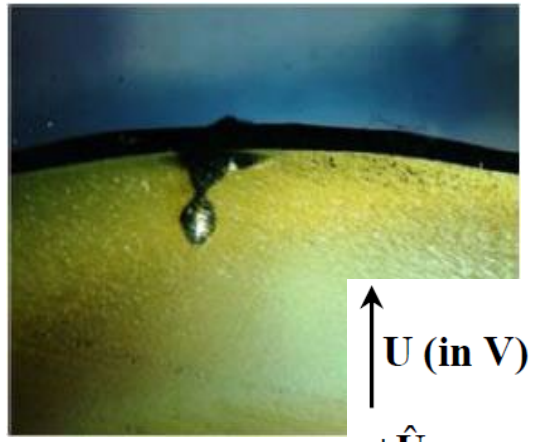
Anwendungsfälle und Entwicklungen der Prüftechnik: Offshore und Onshore

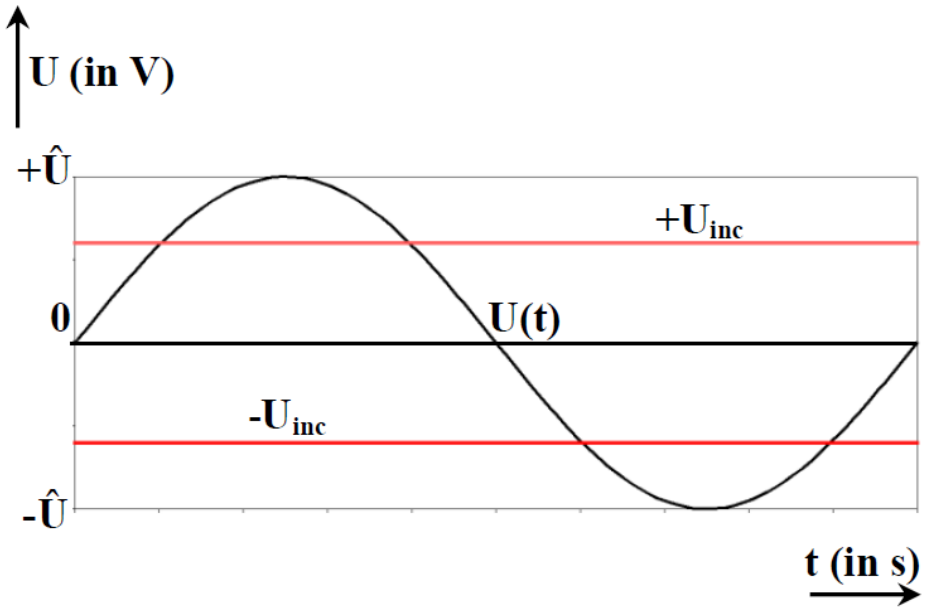
Standards

Kabel	Norm	SOAK-Test	Resonanz	VLF
> 6kV < 36 kV	IEC 60502	X	X	X
> 30 kV bis 150 kV	IEC 60840	X	X	nicht zulässig
> 6 kV bis 60 kV (submarine)	IEC 63026	X	X	> 36 kV nicht zulässig
Prüfspannung		U_0	1,73 (2,0) U_0	3 U_0
Frequenz		50/60 Hz	(10)20-300 Hz	0,1 Hz
Dauer		24 h	15 min / 1h	15 min

Fehlermechanismus und Prüfspannung

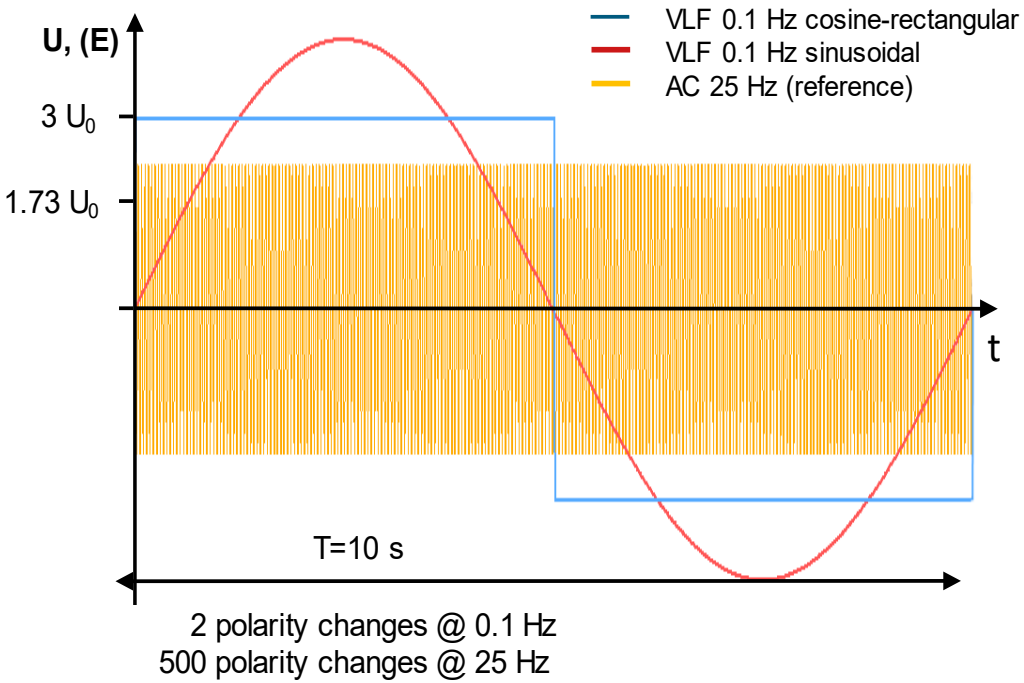
- Voraussetzungen zur Zündung einer (Teil-)Entladung
  - Ausreichend großes elektrisches Feld
    - stochastische Abhängigkeit
  - Verfügbare Ladungsträger
    - stochastische Abhängigkeit
    - wird von alternierendem Stress begünstigt
  - Freie Weglänge zur Entladungsentwicklung
    - semi-statisches Materialgröße
    - für XLPE z.B. Kristallinitätsgrad
- **Fazit:** Die Prüfspannung soll daher hinreichend lange über der erwarteten TE-Einsetzspannung liegen: ***Don‘t mess up with statistics!***

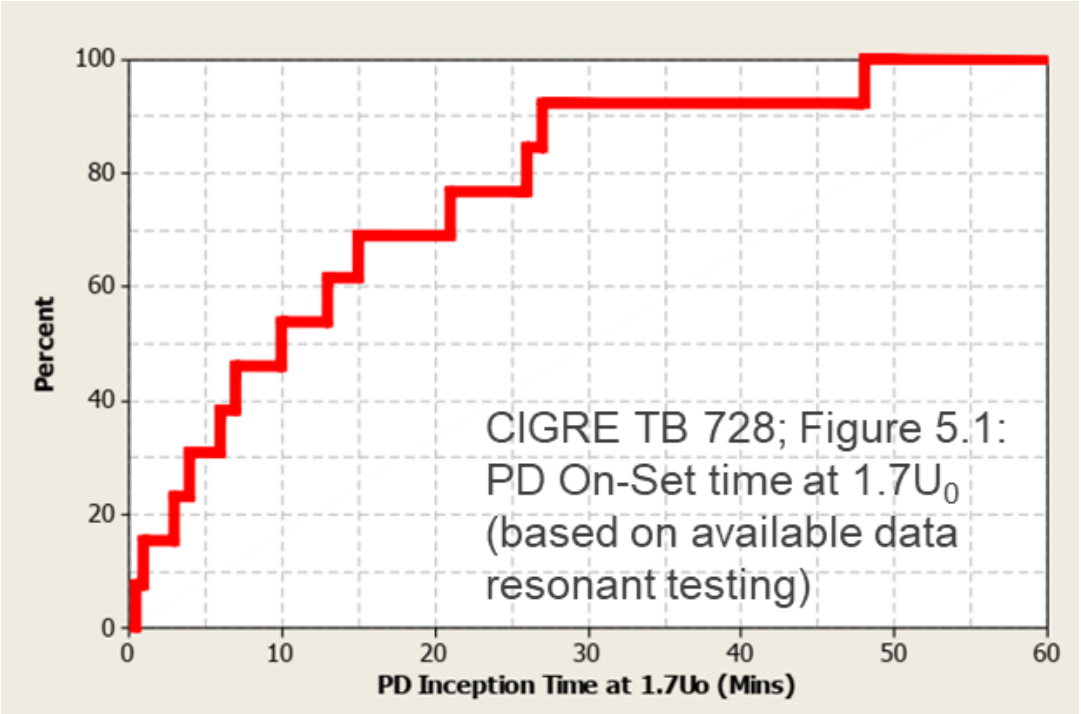




Verhältnis von TE-Einsetzspannung (U_{inc}) zur Prüfspannung

Prüfspannung und ihre Frequenz





- Fazit:
  - Netzfrequenznahe Prüfspannungen benötigen bis zu 60 min, um TE-Zündverzögerung auszuschließen.
  - Inwieweit kann eine Verdoppelung der Prüfspannung einen 250-fachen Polaritätswechsel aufwiegen?

Inhaltsverzeichnis

HIGHVOLT in Fakten

Primäre Verteilernetzebene und Verkabelungsgrad

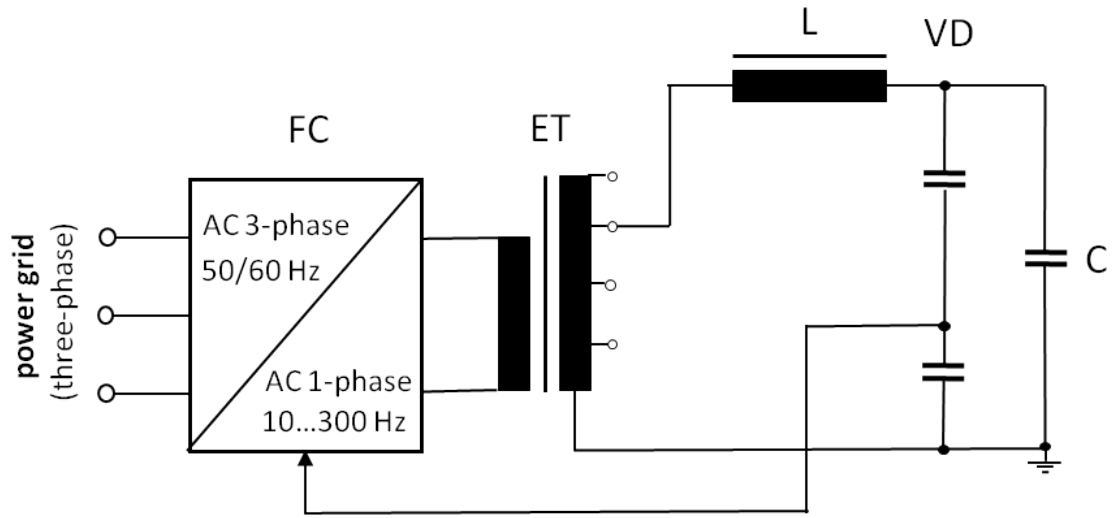
Warum Inbetriebnahmeprüfungen?

Wie soll geprüft werden: Methodenvergleich

Resonanzprüftechnik für Kabel

Anwendungsfälle und Entwicklungen der Prüftechnik: Offshore und Onshore

Resonanzprüfanlage - Prinzip



FC: frequency converter
ET: exciter transformer with taps
VD: capacitive voltage divider
L: resonant reactor with fixed inductance
C: load capacitance (cable system)

- Vorteile:
  - Nach dem Aufladen der Kabelkapazität müssen nur noch die Verluste nachgespeist werden (max. 1% der Prüfscheinleistung)
  - Variable Anpassung des Prüfsystems an die Prüfsituation, lange Prüfdauern möglich
  - Einfache TE-Messung
- Nachteile:
  - Gewicht
  - Größe

Prüfen in der primären Verteilernetzebene

Prüftechnik	Prüffall			Anlagenparameter		
	Werk	Inbetriebnahme	Diagnose	Größe	Gewicht	Komplexität
SOAK	n.V.	+	n.V.	+/+	+/+	+/+
Transformator	+/+	-/-	-/-	-	-/-	-/-
Resonanz	+/+	+/+	+	-	-	+
VLF	+	+	+/+	+	+	+
DAC	-/-	-	+/+	+	+	+

Inhaltsverzeichnis

HIGHVOLT in Fakten

Primäre Verteilernetzebene und Verkabelungsgrad

Warum Inbetriebnahmeprüfungen?

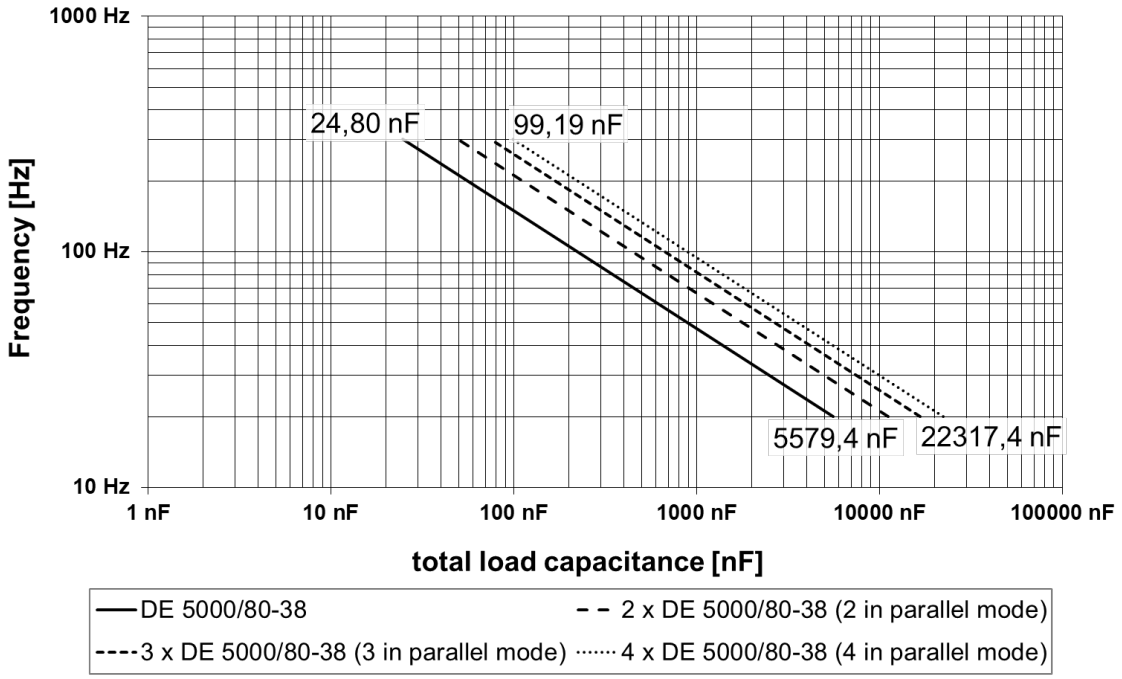
Wie soll geprüft werden: Methodenvergleich

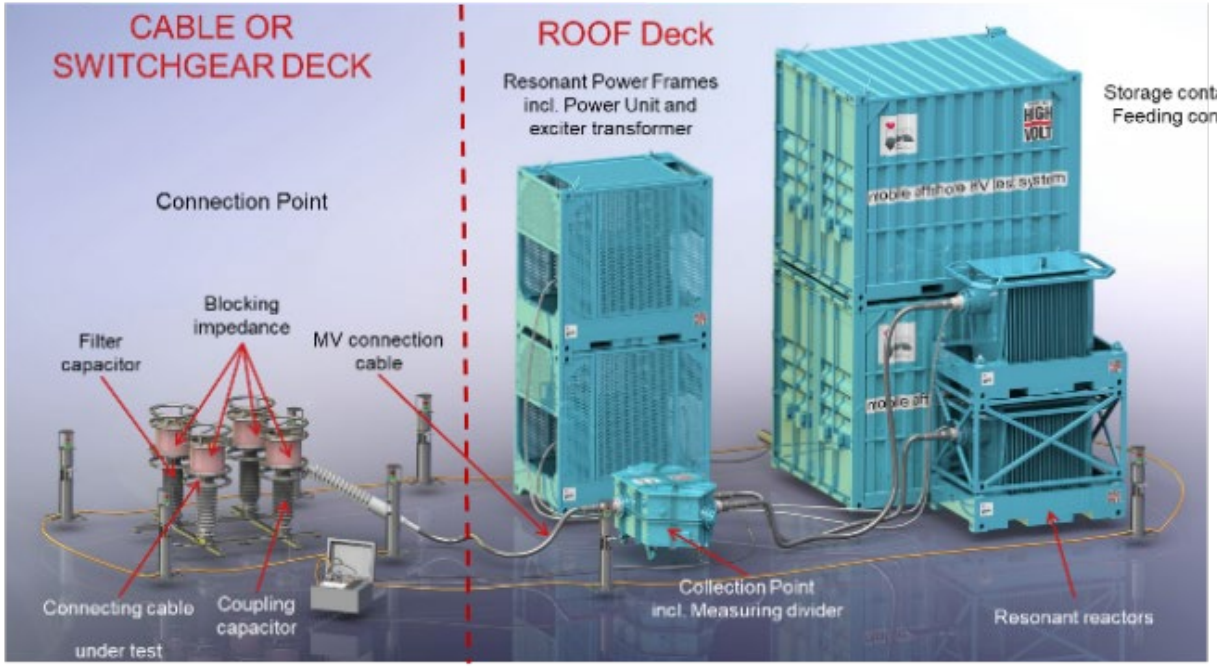
Resonanzprüftechnik für Kabel

Anwendungsfälle und Entwicklungen der Prüftechnik: Offshore und Onshore

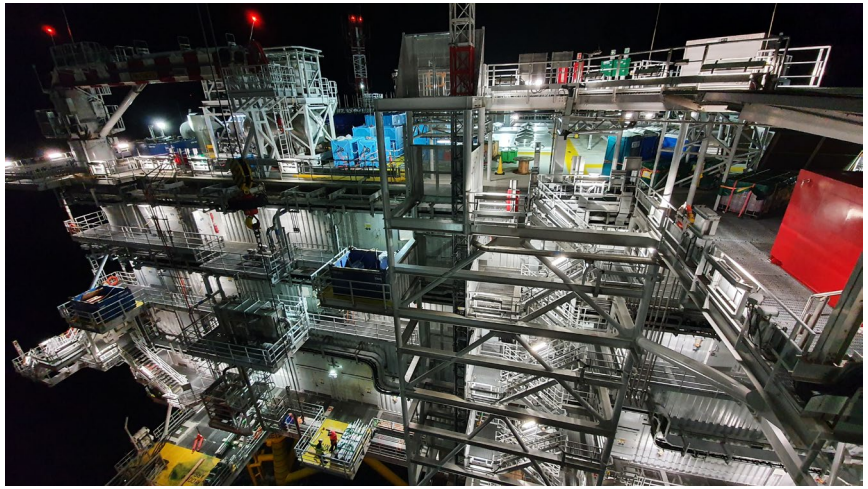
WRV-O: Offshore test system

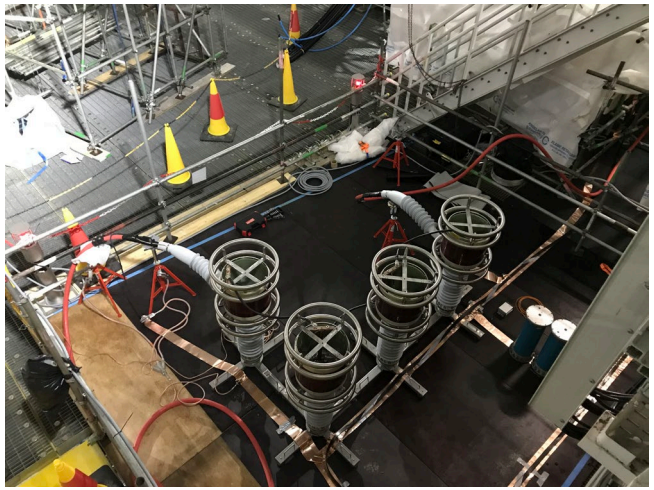
Parameter	Wert	Einheit	Bemerkung
Nennspannung	80	kV	
Nennstrom	37,5	A	
Nennleistung	5000	kVA	Äquivalente Typleistung bei 50 Hz
Gewicht	3,7	t	Max. Gewicht pro Einheit
Prüfkapazität pro Drossel	5,6	µF	@20 Hz

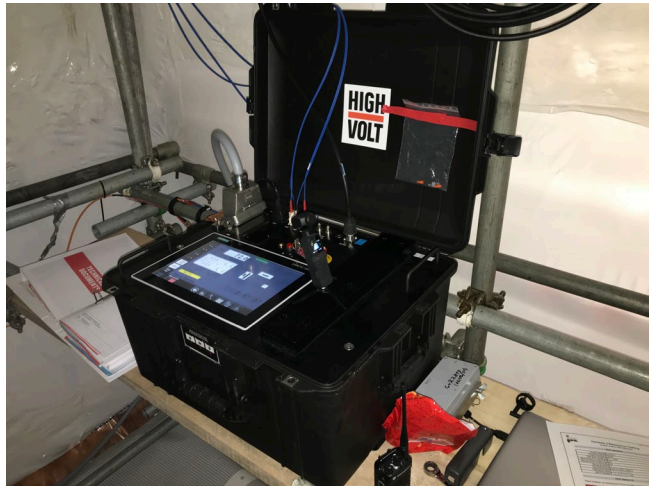




Offshore Prüfung - Februar, Mitten in der Nordsee

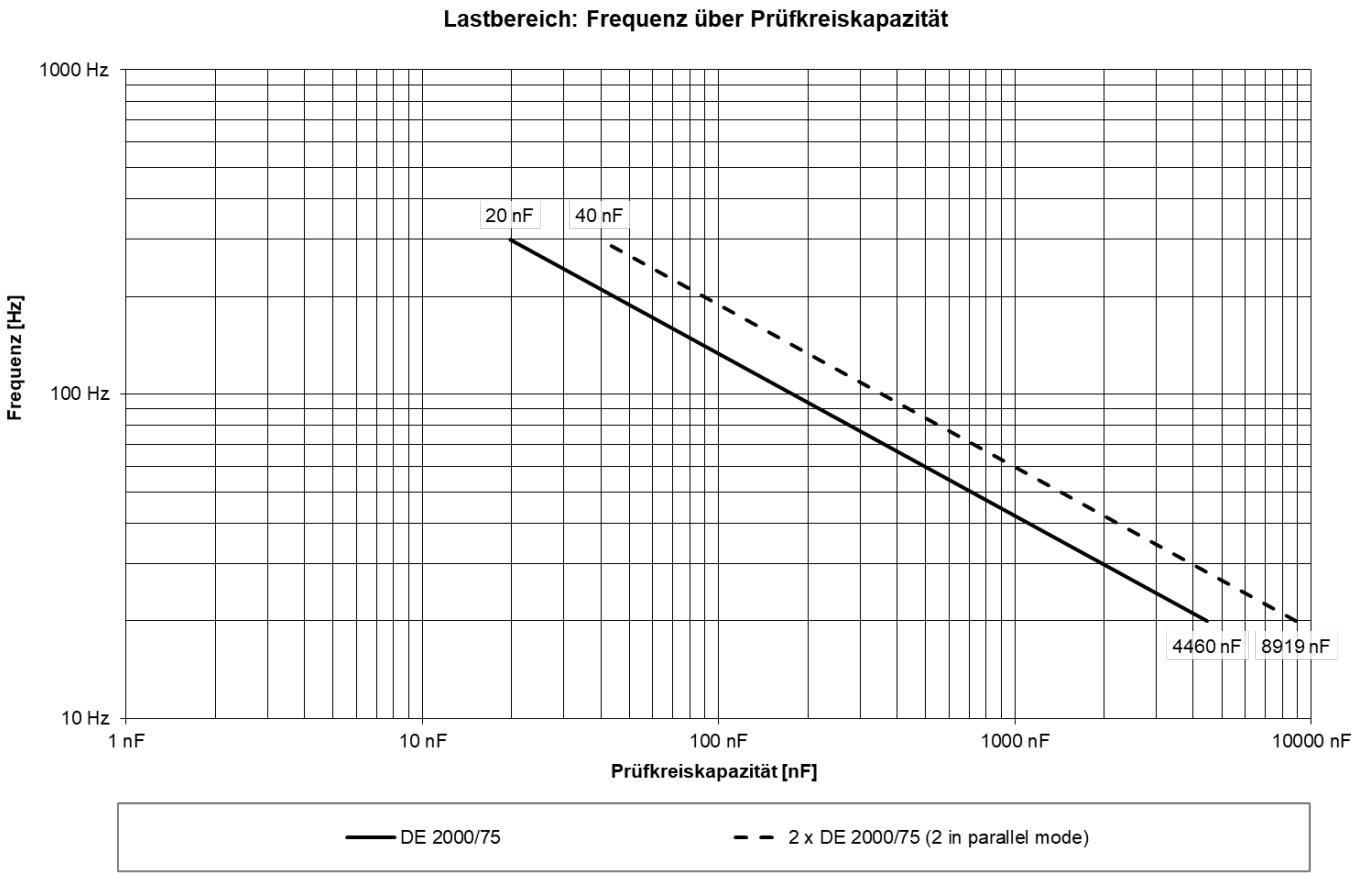






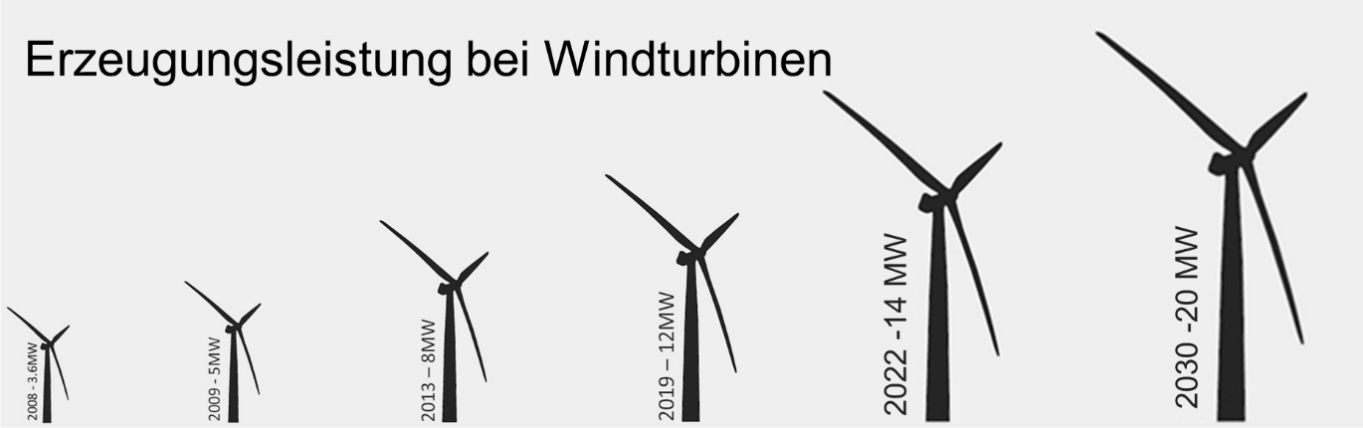
It takes special people to do special jobs…

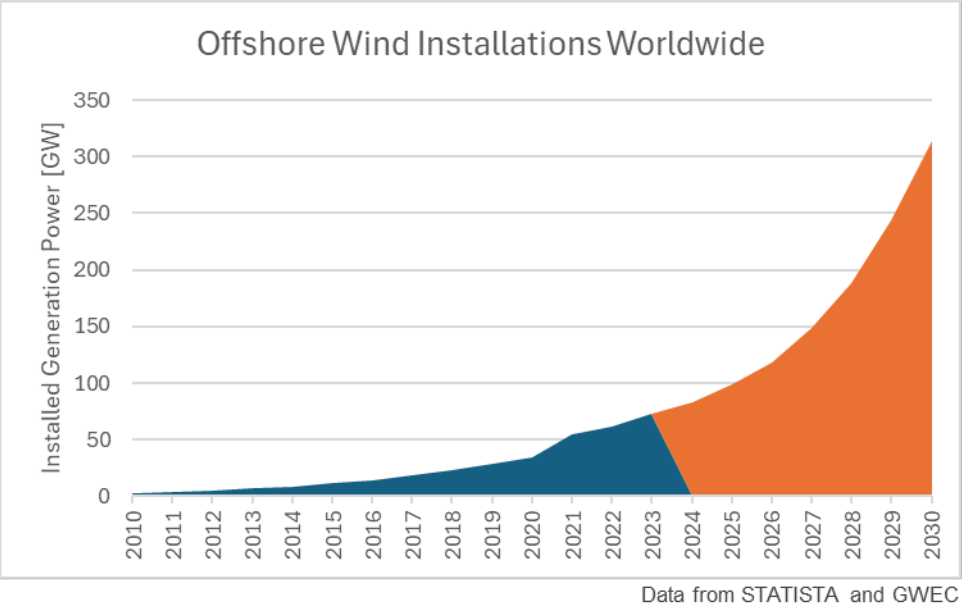
Landkabelprüfungen bis U_p = 75 kV

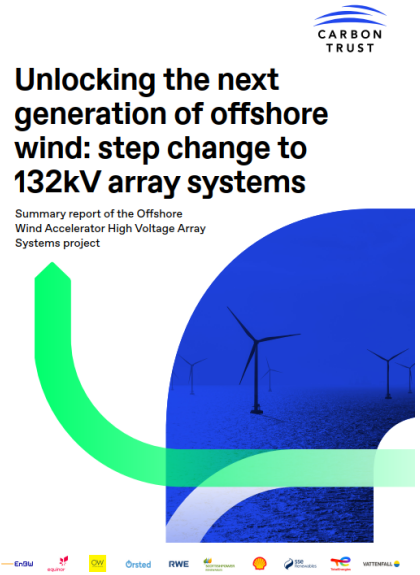


Realitätscheck in Thailand

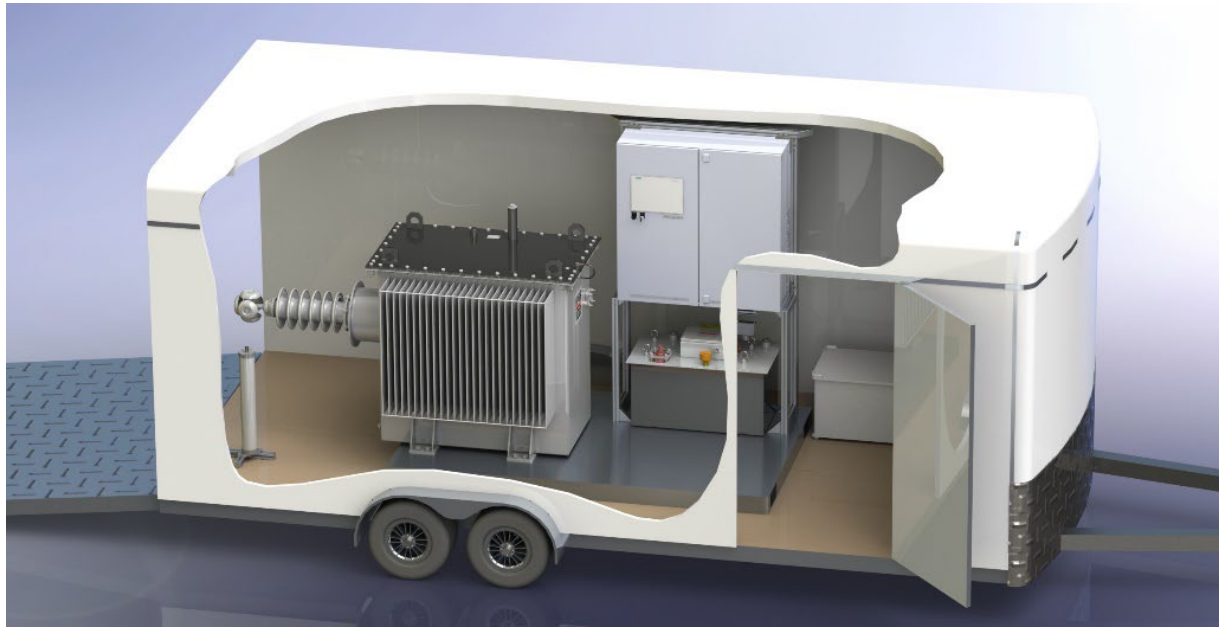
Ausblick: Offshore 132 kV Inter Array Cables







Focus Nordamerika



Designentwurf einer WRV-T 2000/75 (3,2 t) im Trailer

… get in touch with reality:

CIRED

CHICAGO, USA

NOVEMBER 7-8, 2024

HIGH
VOLT

Inhaltsverzeichnis

HIGHVOLT in Fakten

Primäre Verteilernetzebene und Verkabelungsgrad

Warum Inbetriebnahmeprüfungen?

Wie soll geprüft werden: Methodenvergleich

Resonanzprüftechnik für Kabel

Anwendungsfälle und Entwicklungen der Prüftechnik: Offshore und Onshore

- Erste Ebene
  - Zweite Ebene
    - Dritte Ebene

- Erste Ebene
  - Zweite Ebene
    - Dritte Ebene

- Erste Ebene
  - Zweite Ebene
    - Dritte Ebene

- Erste Ebene
  - Zweite Ebene
    - Dritte Ebene

- Erste Ebene
  - Zweite Ebene
    - Dritte Ebene