

# ZERTIFIZIERUNG DER ELEKTRISCHEN EIGENSCHAFTEN AUF SYSTEMPRÜFSTÄNDEN

Mit Tests zur Netzintegration die Markteinführung beschleunigen





## FÖRDERER

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie



Europäische Union  
Investition in Bremens Zukunft  
Europäischer Fonds für  
regionale Entwicklung

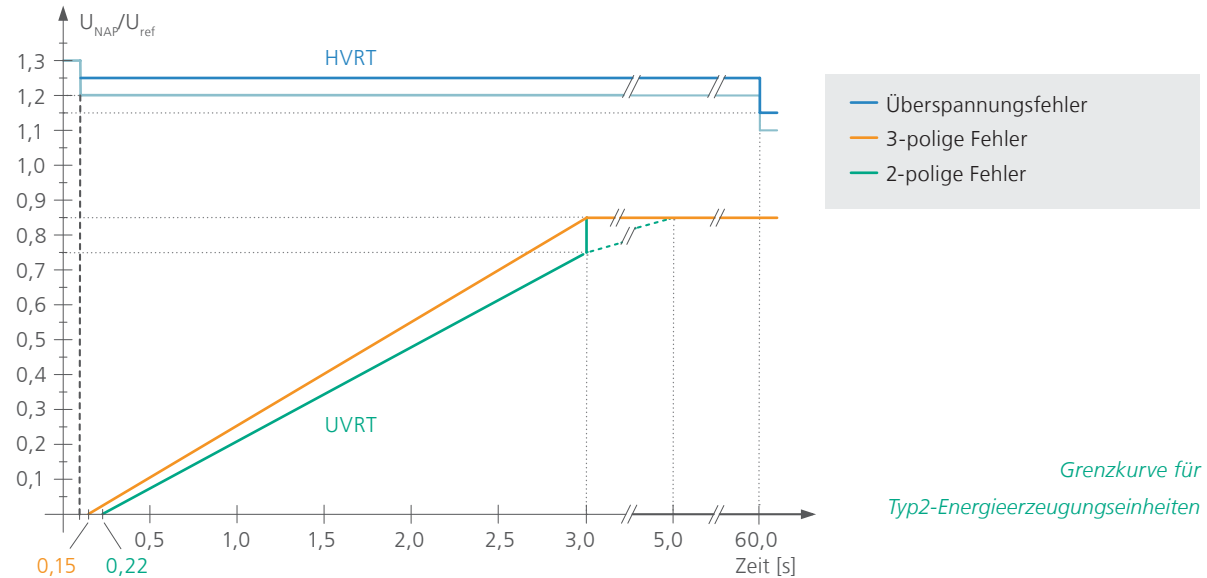


aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

# NEUE UND MODIFIZIERTE ANLAGENDESIGNS ZEITSPAREND ABSICHERN

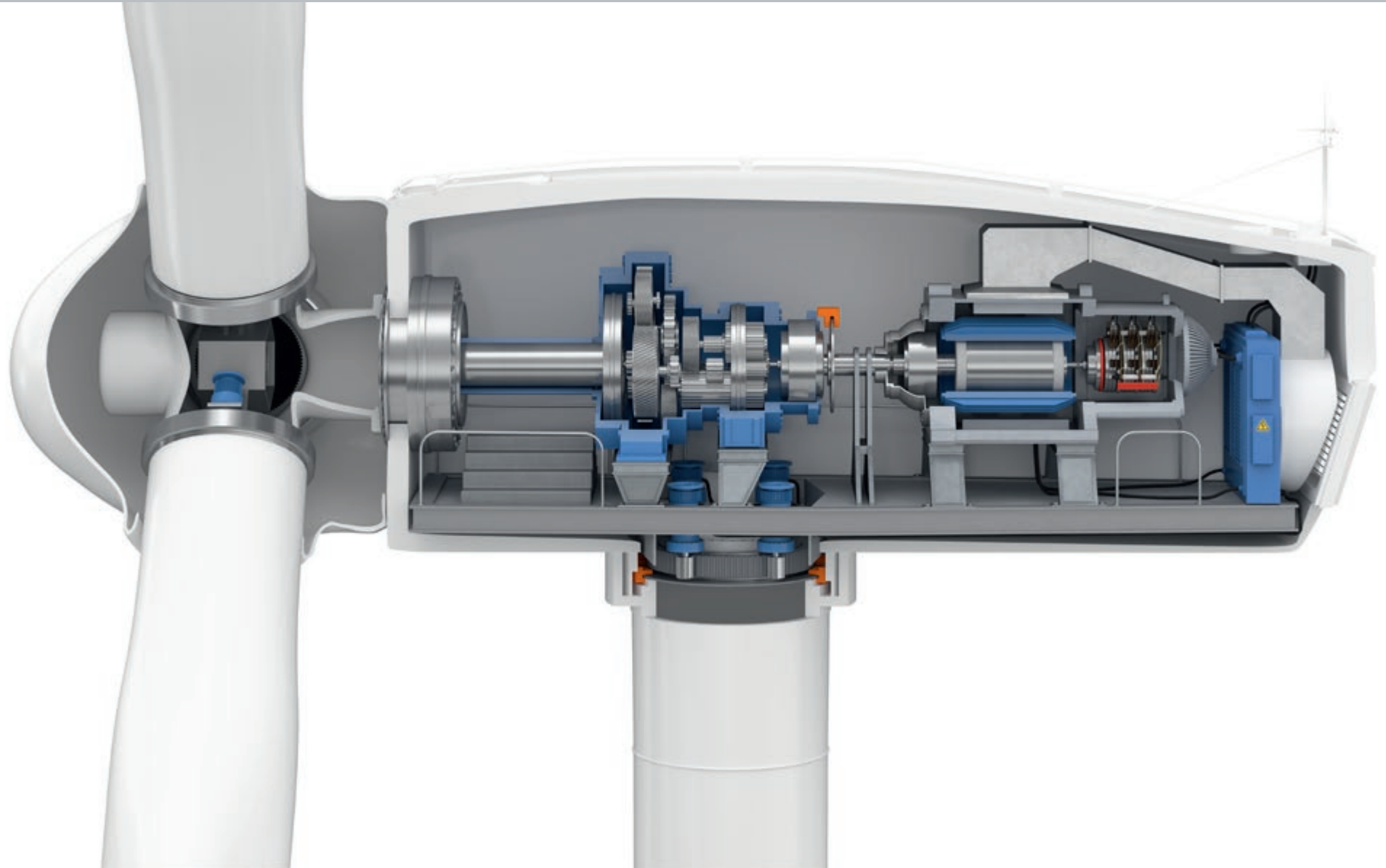
Die Erwartungen an die Leistungsfähigkeit von Windenergieanlagen sind in den letzten Jahren erheblich gestiegen. Der zunehmende Wettbewerbsdruck auf dem globalen Markt und eine deutliche Professionalisierung der Branche haben die Anforderungen erhöht: Bei neuen Anlagendesigns wird heute vorausgesetzt, dass bereits die ersten ausgelieferten Anlagen eines Typs zuverlässig laufen. Vor der Finanzierungszusage für Projekte verlangen Investoren den Nachweis umfangreicher Betriebserfahrung. Aus der Sicht der Hersteller stellen somit Neuentwicklungen - selbst Modifikationen bestehender Produkte - ein erhebliches wirtschaftliches Risiko dar. Eine experimentelle Validierung von Prototypen auf Großprüfständen verringert dieses Risiko, beschleunigt die Zertifizierung und macht sie besser planbar.

Der höhere Stromanteil aus regenerativen Quellen in den Verteil- und Übertragungsnetzstrukturen auf unterschiedlichsten Spannungsebenen lässt die Anforderungen an die Netzintegration von Windenergieanlagen als Erzeugungseinheiten (EZE) weiter steigen. Diese finden Ausdruck in Normen und Richtlinien, die bei der zukünftigen Entwicklung berücksichtigt werden müssen. Für Neu- und Weiterentwicklungen sind Anlagenzertifikate zwingend erforderlich. Sie gewährleisten den netzkonformen Betrieb der EZE und garantieren damit den dauerhaften Netzanschluss sowie den Erhalt einer Einspeisevergütung. Durch effiziente Testmethoden zur beschleunigten Absicherung der elektrischen Eigenschaften von EZE auf Prüfständen unterstützt das Fraunhofer IWES Anlagenhersteller dabei, den steigenden Anforderungen gerecht zu werden.



*IGCT-Module des  
ABB-Netzemulators  
beim Fraunhofer IWES*

# VERMESSUNG EINER WINDENERGIEANLAGE (EZE) IM FELD



Die Prüfung der Netzverträglichkeit zur Zertifizierung der elektrischen Eigenschaften neuer Windenergieanlagen oder zur Nachzertifizierung bei Änderungen oder Weiterentwicklungen bestehender Anlagentypen erfolgt aktuell nahezu ausschließlich mit Hilfe von mobilen Prüfeinrichtungen im Feld. Bei diesen Feldtests werden mithilfe der Prüfeinrichtung, Fault-Ride-Through (FRT)-Containern und Messtechnik grundsätzlich folgende Messungen zur Bestimmung der elektrischen Eigenschaften durchgeführt:

- Regelverhalten der EZE: Wirk- und Blindleistung
- Netzurückwirkungen: Schalthandlungen, Flicker, Oberschwingungen, Unsymmetrien
- Netzschutz (Trennung der EZE vom Netz)
- Fault-Ride-Through (Über- und Unterspannungstests)

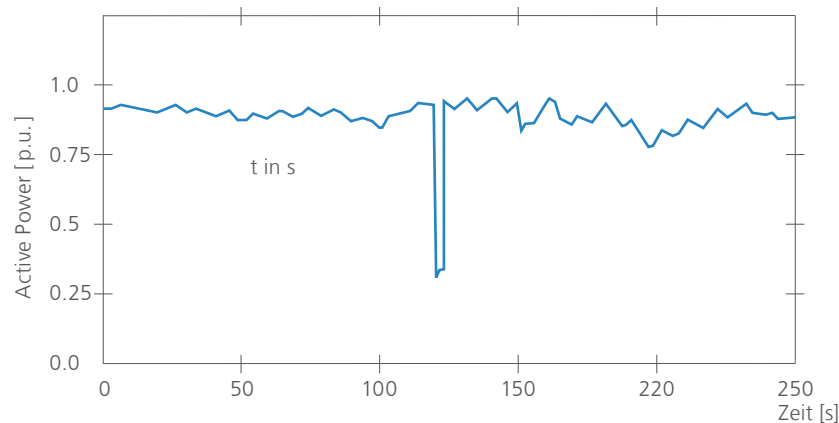
Die gesamte Zertifizierungskampagne umfasst in der Regel einen Zeitraum bis zu zwei Jahren; dieser Zeitaufwand ist ein wesentlicher Kostenfaktor der Anlagenentwicklung und bestimmt maßgeblich den Zeitpunkt der Markteinführung.

Die Nachfrage nach geeigneten Standorte für die Prototypen-Zertifizierung ist groß, ebenso die Anzahl der zu zertifizierenden Anlagen. Die Gegebenheiten vor Ort bestimmen in hohem Maße die Umsetzbarkeit einer Zertifizierungskampagne: Neben einem guten Windangebot sind mit zunehmender Anlagengröße auch erhöhte Anforderungen für den Netzanschluss zu erfüllen. Tests zur Zertifizierung der elektrischen Eigenschaften haben Auswirkungen auf das nachgelagerte Versorgungsnetz und erfordern daher im Vorfeld eine enge Absprache mit dem lokalen Netzbetreiber.

Feldversuche sind überdies praktisch nicht reproduzierbar; es ist höchst unwahrscheinlich, dass zwei Tests bei exakt identischen Wind- und Netzverhältnissen stattfinden können. Die Ergebnisse können nur eingeschränkt zur Absicherung verglichen werden. Außerdem ergeben sich unter Umständen lange Wartezeiten, um die geforderten Testbedingungen erfüllen zu können. Die Planung einer Serienproduktion für die Markteinführung wird dadurch erheblich erschwert.

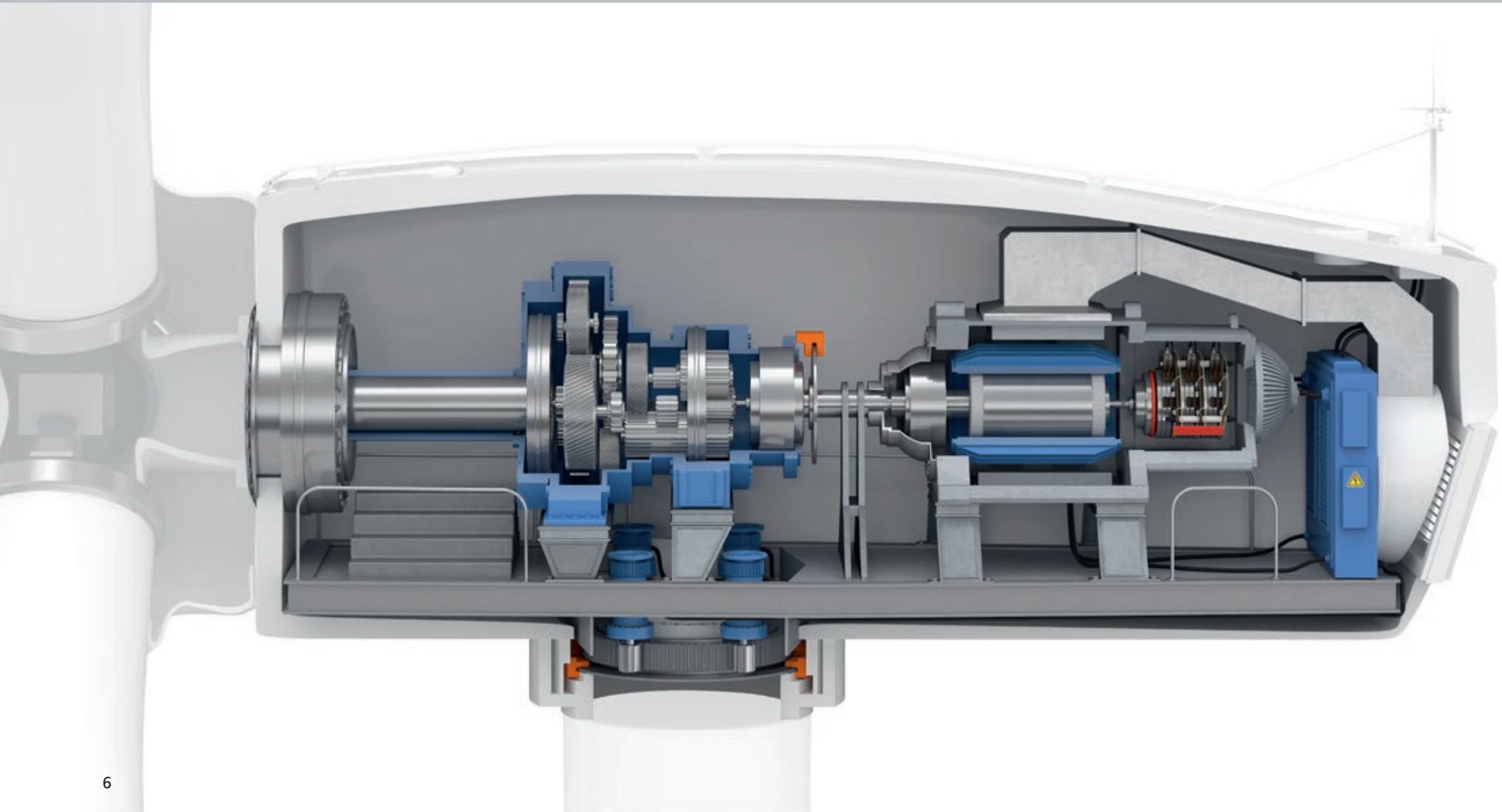


*Blick in einen Messcontainer für eine Zertifizierungskampagne im Feld*



*Wirkleistungsabgabe am Netzanschlusspunkt während eines Spannungseinbruch*

# PRÜFVARIANTE 1: HIL-PRÜFUNG AUF DEM GONDELPRÜFSTAND IM DYNALAB



Das Dynamic Nacelle Testing Laboratory (DyNaLab) des Fraunhofer IWES bietet Anlagenherstellern ein realitätsnahes Testumfeld im Multi-megawattbereich, um Prüfungen unter reproduzierbaren Bedingungen in einem zeitlich definierten Rahmen durchzuführen. Bestehende und zukünftige Konzepte für Windenergieanlagen können auf diese Weise validiert und falls erforderlich optimiert werden. Durch den Einsatz eines künstlichen Netzes mit 44 MVA installierter Umrichterleistung können typische Netzfehler wie Spannungseinbrüche mit hoher Wiederholfrequenz nachgebildet werden.

Die Kombination aus mechanischen Tests mit einem Netzemulator zur Prüfung von Windenergieanlagen bis 10 MW ist derzeit weltweit einzigartig. Seit Betriebsbeginn im Jahr 2015 wurde der Prototyp der AD 8-180 getestet, und auch Enercon und Siemens Gamesa Renewable Energy haben den Gondelprüfstand für Testkampagnen genutzt. Im Rahmen des Forschungsprojektes EcoSwing wurde ein supraleitender Generator in der Einrichtung getestet.

Der leistungsstarke Netzemulator ermöglicht die Durchführung statischer Tests, um zum Beispiel die Wirk- und Blindleistungsabgabe bei unterschiedlichen Netzzuständen zu ermitteln. Zudem können transiente

Netzereignisse simuliert werden, die sich auf das Gesamtsystem Gondel auswirken: Tests von dynamischen Under-Voltage-Ride-Through (UVRT)- und High-Voltage-Ride-Through (HVRT)-Ereignissen, wie sie von unterschiedlichen Grid Codes gefordert werden, sowie dynamische Änderungen der Netzfrequenz können gezielt nachgebildet und ihre Auswirkungen auf die Anlage untersucht werden.

Da die Gondel im Prüfstand ohne Rotor und Turm getestet wird, weist sie andere Systemeigenschaften als im Feld auf. Zur Nachbildung der realen Bedingungen werden die auftretenden Lasten und Wechselwirkungen zwischen Gondel und Rotor berechnet und im Prüfstand auf die Gondel eingepreist. Dafür werden leistungsfähige Echtzeitmodelle und entsprechende Regelalgorithmen herangezogen, um den Prüfstand inklusive Prüfling im Hardware-in-the-Loop-Verfahren (HiL) zu betreiben. Eine Prüfkampagne zur Zertifizierung im Prüfstand lässt sich genau terminieren und herstellerspezifisch definieren.

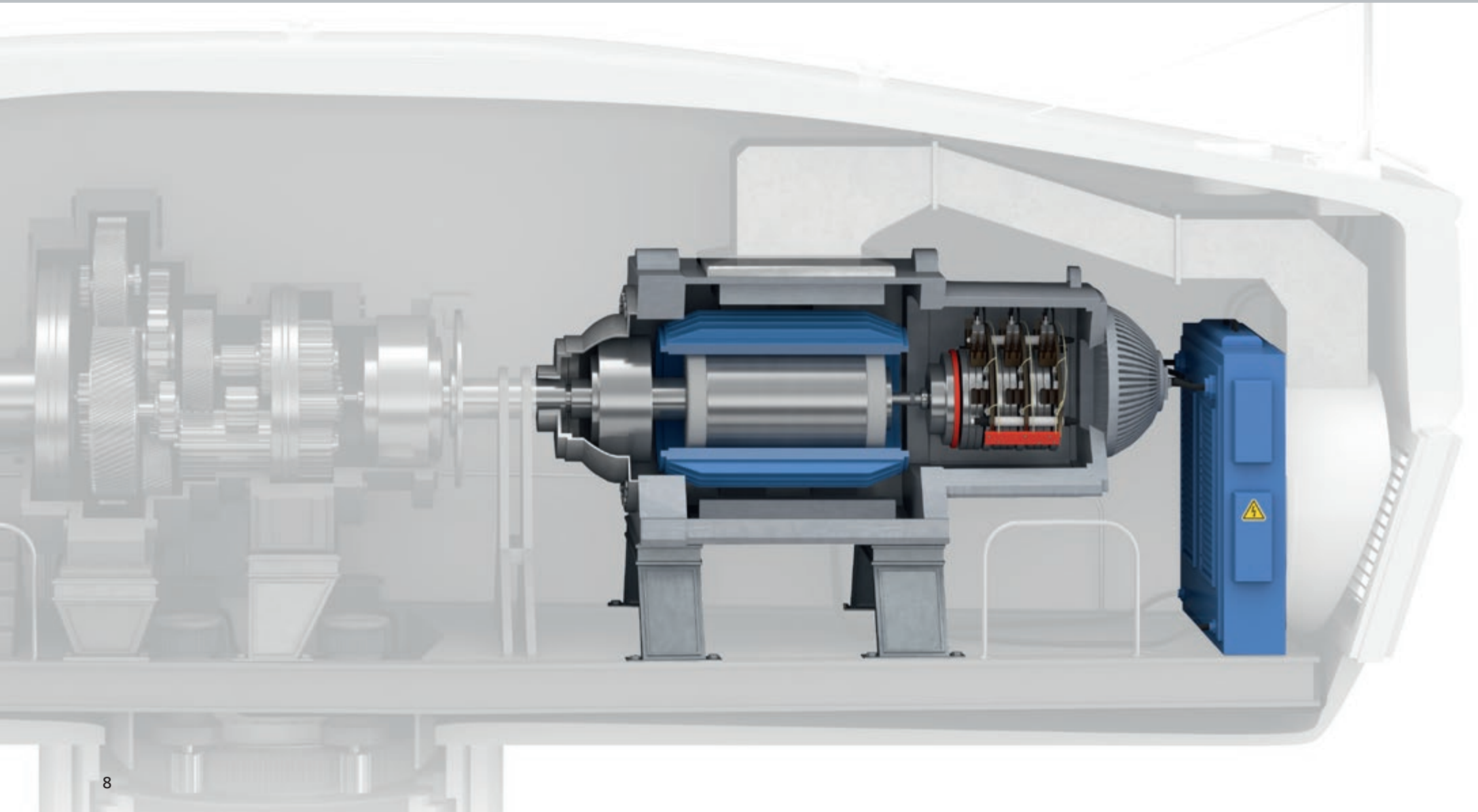
*Gondel einer 8 MW-Anlage wird für den Systemtest im DyNaLab vorbereitet*



#### **Technische Kennzahlen DyNaLab:**

- *Krafteinleitung: dynamische Aufbringung von 20 MNm Biegemoment, ca. 2 MN Schubkräfte*
- *nominelles Drehmoment: 8,6 MNm*
- *Überlastdrehmoment: 13 MNm*
- *Antriebsleistung: 10 (15) MW*
- *künstliches Netz mit 44 MVA installierter Umrichterleistung*
- *Messungen: mehr als 600 synchrone, hochauflösende Messkanäle*

## PRÜFVARIANTE 2: HIL-PRÜFUNG VON SCHNELL-LAUFENDEN GENERATOR-UMRICHTERSYSTEMEN

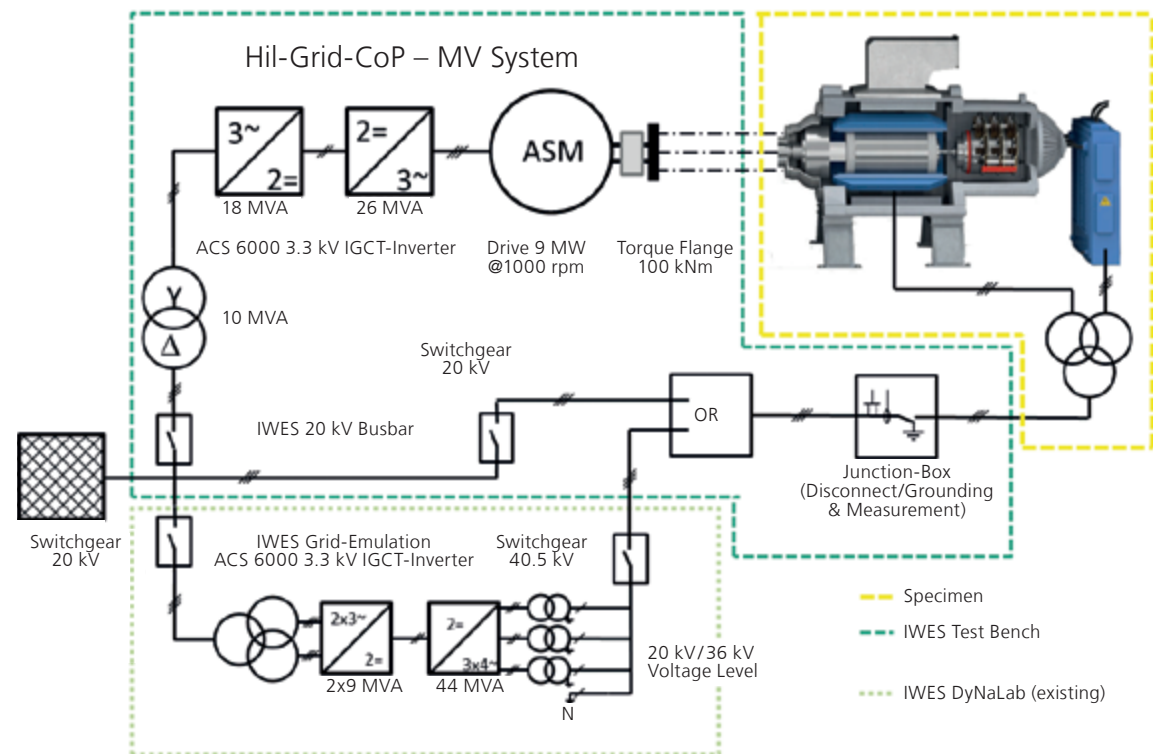




Die anhaltende Nachfrage der Industrie nach beschleunigten Tests des elektrischen Systems einer Windenergieanlage bedingt das Fraunhofer IWES mit dem Bau eines neuen Prüfstandes, der 2019 den Betrieb aufnehmen wird. Im Gegensatz zum Gondelprüfstand wird dieser für den Test von Minimalsystemen ausgelegt, bestehend aus schnelllaufendem Generator und Umrichtersystem sowie den Komponenten zur Netzanbindung auf Mittelspannungsebene. Damit ist der Prüfstand einsetzbar für den Test von Systemen mit hohen Generatordrehzahlen (1200-1800 1/min) bis zu einer Leistung von circa 6-7 MW mit zwei- bis dreistufigen Getrieben. Prüfmethode, die im Rahmen des BMWi-geförderten Projektes HiL-Grid-CoP entwickelt werden, sollen die erforderlichen Prozesse für die Zertifizierung der elektrischen Eigenschaften teilautomatisiert ablaufen lassen. Anlagenhersteller sparen damit Zeit und Kosten beim Prüfverlauf, aber auch durch eine vereinfachte Logistik. Die ersten Nutzer des Prüfstandes werden die HiL-GridCoP-Projektpartner Senvion, Nordex und Vestas sein.

Um alle Eigenschaften einer Windenergieanlage im Labor zu überprüfen, sind Entwicklungstests mit diversen Durchläufen erforderlich, die teilautomatisiert durchgeführt werden sollen. Für das Software-gestützte Testmanagement werden Ansätze aus der Automobilindustrie verwendet, um zum Beispiel den Kunden einheitliche Schnittstellen bereitzustellen, Testprofile aus der Testspezifikation zu erzeugen und die Testdurchführung nur noch teilweise manuell steuern zu müssen.

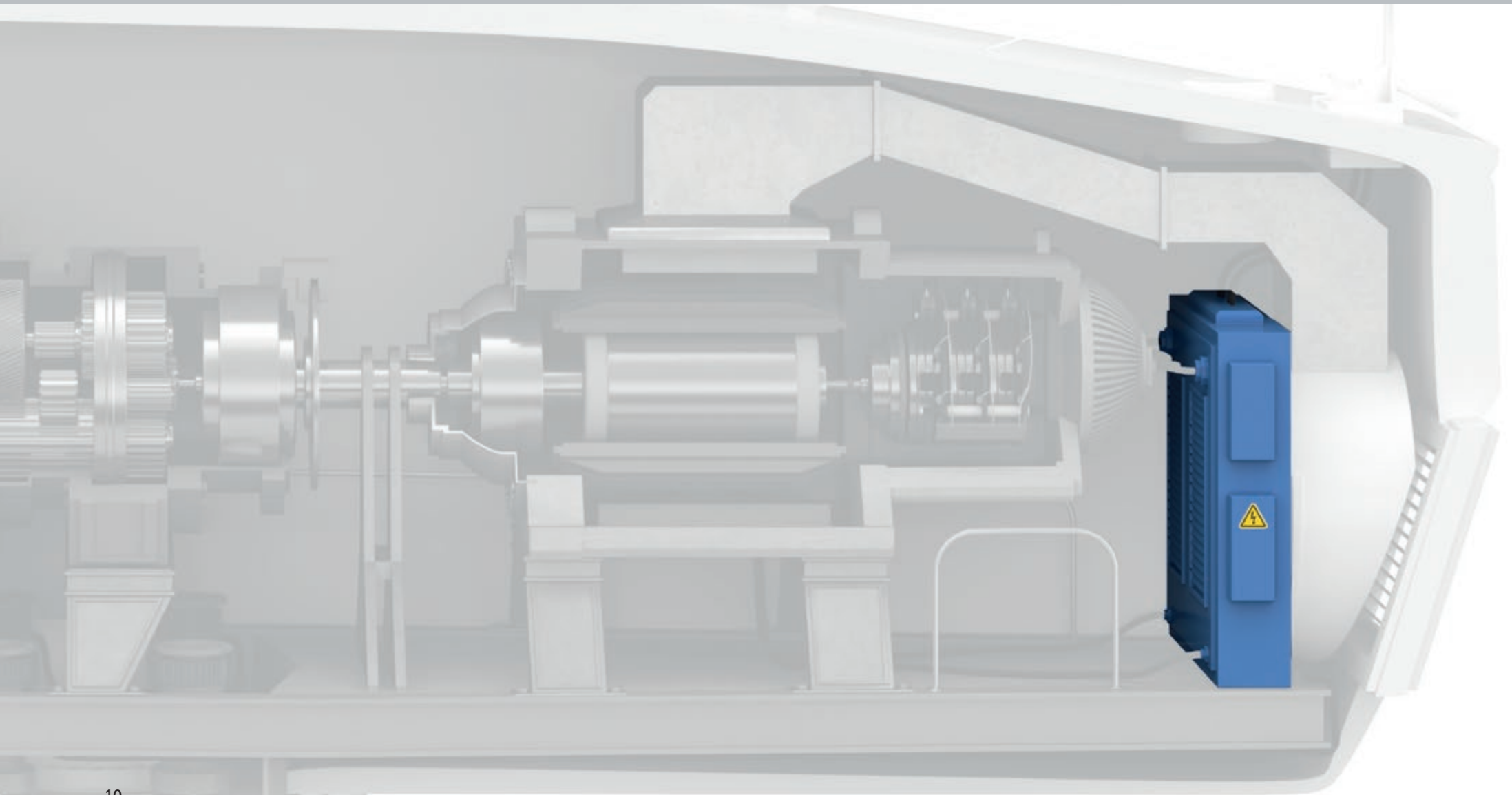
Der Prüfstand wird über eine 9 MW-Antriebseinheit (bis zu 13 MW in Überlast) zur Nachbildung realistischer Generatormomente mit Hilfe von Hardware-in-the-Loop (HiL)-Verfahren verfügen. Die Anforderungen an die HiL-Testverfahren steigen - zusätzlich zur Nachbildung des Rotors auf dem Gondelprüfstand muss auch eine Emulation des Triebstrangs erfolgen. Durch den Einsatz detaillierter Echtzeitmodelle auf leistungsfähiger Ziel-Hardware, die einen optimalen Datenaustausch mit der Prüfstandssteuerung ermöglicht, wird diese Anforderung erfüllt.



Mittelspannungssystem und Prüfstand zum Testen von schnelllaufenden Generator-Umrichtersystemen

Der Prüfstand nutzt das künstliche Netz des Gondelprüfstandes zur Nachbildung verschiedener Netzzustände. Um auch den Anforderungen an die Netzintegration zukünftiger Windenergieanlagen gerecht zu werden, ist eine deutliche Erweiterung der Funktionalitäten des bestehenden Netzemulators geplant. Ziel ist es, extrem schwache Netze ebenso nachbildbar zu machen wie spezielle harmonische Störspektren.

## PRÜFVARIANTE 3: PRÜFUNG VON UMRICHTERSYSTEMEN



Um einen stabilen Betrieb der Verteil- und Übertragungsnetze bei einem zunehmenden Anteil an fluktuierender Einspeisung auf unterschiedlichsten Spannungsebenen sicherzustellen, werden die Voraussetzungen für die Netzintegration immer anspruchsvoller. Dies zeigt sich zum Beispiel an den steigenden Anforderungen an die Hauptumrichter von Windenergieanlagen, die - unabhängig von der Antriebsstrangtopologie - für die elektrischen Eigenschaften im Bereich der Power Quality (PQ) bestehen. Eine weitere Reduktion des zu testenden Systems auf die (Haupt-)Komponente Umrichter ist daher ein logischer nächster Schritt.

Analysen im Hinblick auf Power Quality und die Zertifizierung der elektrischen Eigenschaften des Umrichters sind für Erzeuger- und Verbrauchereinheiten im unteren Leistungsbereich (einige kW) bereits heute Stand der Technik. Vor diesem Hintergrund plant das Fraunhofer IWES, Konzepte zum Testen und Validieren von Multi-Megawatt Umrichtersystemen in Windenergieanlagen weiterzuentwickeln und der Branche damit Impulse zu geben. Diese Aktivitäten zielen auch darauf ab, die Wettbewerbsfähigkeit der Umrichterhersteller als wichtige Komponentenlieferanten der Windindustrie zu stärken und auszubauen.



*Umrichtersystem im DyNaLab zur Netznachbildung*



# ZERTIFIZIERUNGS-AKTIVITÄTEN

Zur Absicherung der Stromversorgung und Netzstabilität wurden in Deutschland gesetzliche Vorgaben zu technischen Systemdienstleistungen für Windenergieanlagen - primär im Bereich der Spannungshaltung und der Lastregelung - festgelegt. Dies ist unter anderem in den technischen Anschlussbedingungen festgehalten, die entscheidende Auswirkungen auf die Betriebsanforderungen für Windenergieanlagen bzw. Windparks am Verbundnetz haben und auch den Zertifizierungsprozess betreffen.

Das Fraunhofer IWES hat es sich zum Ziel gesetzt, alle Aktivitäten bezüglich der Zertifizierung der elektrischen Eigenschaften von Energieerzeugungseinheiten mit dem Schwerpunkt Windenergieanlagen auf Systemprüfständen soweit zu begleiten, dass für alle beteiligten Partner ein Höchstmaß an Transparenz und Verlässlichkeit durch entsprechend vereinheitlichte und in den relevanten Normen und Richtlinien beschriebene Prüfverfahren gewährleistet wird.

Im Jahr 2015 initiierte das Fraunhofer IWES die Arbeitsgruppe „WEA-Prüfstände“ im Rahmen des „Arbeitskreises Messvorschrift“ (AK TR 3) des Fachausschusses „Elektrische Eigenschaften“ (FAEE) der „Fördergesellschaft Windenergie und andere Dezentrale Energien“ (FGW e.V.). In enger Abstimmung mit Herstellern, Zertifizierungsstellen, Messinstituten und Prüfstandsbetreibern hat diese Gruppe unter Leitung des Fraunhofer IWES die Beschreibung von Prüfstandstests und Prüfeinrichtungen grundlegend überarbeitet. Die Veröffentlichung im Rahmen der neuesten Revision 25 der TR3 („Bestimmung der elektrischen Eigenschaften von Erzeugungseinheiten und -anlagen am Mittel-, Hoch- und Höchstspannungsnetz“) erfolgte im Sommer 2018 und wird somit die Berücksichtigung zukünftiger Entwicklungen ermöglichen.

Weltweit besteht ein großes Interesse an vereinheitlichten Prüfverfahren. Für das Fraunhofer IWES ist dies ein Ansporn, auch künftig aktuelle Erkenntnisse aktiv in internationale Standards (IEC) einzubringen. Europaweit erfordert die voranschreitende Harmonisierung im Bereich der EU-Regulierungen Anpassungen aller Mitgliedsstaaten an EU-Richtlinien, die sich in nationalen Prüfvorschriften widerspiegeln werden. Experten des Fraunhofer IWES gestalten auf dieser Ebene maßgeblich mit und bringen dabei das Know-how ein, das aus dem Prüfstandsbetrieb und dem Testen unterschiedlichster Systeme über Jahre erwachsen ist.

# ERFOLGSFAKTOR VERNETZUNG

Der durchgängige Prozess der Zertifizierung der elektrischen Eigenschaften von Windenergieanlagen als EZE auf einer weltweit einmaligen Prüfinfrastruktur steht beispielhaft für die systematische Identifikation und Minimierung von Entwicklungsrisiken. Ganz im Sinne der Hersteller wird damit die Zertifizierung und Markteinführung innovativer Produkte beschleunigt und das Qualitätsniveau abgesichert. Zertifizierungsstellen und Messinstitute werden in den Ablauf einer Prüfung eng eingebunden: Gemeinsam mit dem Kunden wird eine hochindividuelle Lösung erarbeitet; sowohl zur Integration der Kundensysteme auf Ebene der Steuerungstechnik, als auch zur Nachbildung für den Betrieb der HiL-Testverfahren.

Durch den intensiven Austausch mit zahlreichen am Zertifizierungsprozess beteiligten Partnern und seine Aktivitäten in nationalen und internationalen Gremien ist beim Fraunhofer IWES eine erfolgreiche Prüfung der elektrischen Eigenschaften nach neuesten Erkenntnissen und aktuellen Vorgaben gewährleistet. Die Erfahrung mit unterschiedlichen Systemen und Testdesigns hat den Know-how-Aufbau entscheidend befördert.

Darüber hinaus trägt die zunehmende Kooperation mit den Universitäten in Bochum und Bremen dazu bei, die Kompetenzen zu den komplexen Anforderungen der Netzintegration und Leistungsmechanik optimal zu vernetzen und weiter auszubauen. Experimentierplattformen wie das „Smart Wind Park Laboratory“ oder der Aufbau eines skalierten Demonstrators für die elektrische Anbindung mehrerer Offshore-Windparks an das Übertragungsnetz an Land leisten dazu einen wichtigen Beitrag.

*„Windturbinen, insbesondere Offshore, haben eine Leistungsklasse erreicht, die technisch herausfordernde und kostenintensive Tests erfordern es aber kaum geeignete Teststandorte gibt. Durch die angestrebte Standardisierung elektrischer Tests von WEA-Subsystemen und Komponenten auf Prüfständen wird es Herstellern und Lieferanten erlaubt, diese in einer kürzeren Zeit und unter kontrollierbaren Bedingungen durchzuführen.“*

**Prof. Björn Andresen,**  
**Aarhus University und Convener of IEC 61400-21**



*„Die Prüfstandtest zur elektrischen Zertifizierung sehen wir als Möglichkeit, reproduzierbare Tests zu Vermessung der elektrischen Eigenschaften von Energieerzeugungseinheiten durchzuführen und somit deren Belastbarkeit zu erhöhen.“*

**Jochen Möller,**  
**Geschäftsführer, Moeller Operating Engineering GmbH**

*„Der Diversifizierung unterschiedlicher Märkte innerhalb kurzfristiger Entwicklungszyklen nachzukommen, sehen wir als gemeinsame Ziele in der Qualifikation des Prüflings auf einer Prüfeinrichtung.“*

**Uwe Helmke,**  
**Bereichsleiter System Test und Optimierung bei**  
**Enercons Forschungs- und Entwicklungsgesellschaft WRD**

## ANSPRECHPARTNER



### **Prof. Dr.-Ing. Jan Wenske**

Stellv. Institutsleiter & Bereichsleiter  
Anlagen- und Systemtechnik

Tel: +49 471 14 290 400

jan.wenske@iwes.fraunhofer.de



### **Torben Jersch, M.Sc.**

Abteilungsleiter,  
Anlagen- und Systemtechnik

Tel.: +49 471 14 290 408

torben.jersch@iwes.fraunhofer.de



### **Dipl.-Ing. Martin Pilas**

Abteilungsleiter,  
Anlagen- und Systemtechnik

Tel.: +49 471 14 290 410

martin.pilas@iwes.fraunhofer.de

# IMPRESSUM

## Herausgeber

Das Fraunhofer-Institut für Windenergiesysteme IWES  
Am Seedeich 45  
27572 Bremerhaven  
Tel. +49 471 14290-100  
Internet: [www.iwes.fraunhofer.de](http://www.iwes.fraunhofer.de)  
ist eine rechtlich nicht selbstständige Einrichtung der  
Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten  
Forschung e.V.  
Hansastraße 27 c  
80686 München  
Telefon: +49 89 1205- 0  
Fax: +49 89 1205-7531  
[www.fraunhofer.de](http://www.fraunhofer.de)

Umsatzsteuer-Identifikationsnummer gemäß § 27 a  
Umsatzsteuergesetz: DE 129515865  
Registergericht  
Amtsgericht München  
Eingetragener Verein  
Register-Nr. VR 4461

Redaktionsteam:  
Christian Mehler, Torben Jersch,  
Britta Rollert (Koordination) , Jan Wenske  
Verantwortliche Redakteurin:  
Britta Rollert  
[britta.rollert@iwes.fraunhofer.de](mailto:britta.rollert@iwes.fraunhofer.de)

## Bildnachweise:

Cover: © mhphotodesign - Fotolia.com /  
S. 2: Jens Meier, Bremen /  
S. 5: Fraunhofer IWES /  
S. 7: Jan Meier, Bremen /  
S. 11: Pascal Hancz /  
S. 14: Martina Buchholz

Druck: Druckerei Schmidt GmbH & Co. KG, Lünen

Status: Juli 2018

Nutzungsrechte: Copyright © by Fraunhofer IWES.  
Alle Rechte vorbehalten. Ein Download oder Ausdruck dieser Veröffentlichungen ist ausschließlich für den persönlichen Gebrauch gestattet.  
Alle darüber hinaus gehenden Verwendungen, insbesondere die kommerzielle Nutzung und Verbreitung, sind grundsätzlich nicht gestattet und bedürfen der schriftlichen Genehmigung.

Anfragen richten Sie bitte an folgende Adresse:

Das Fraunhofer IWES ist DIN EN ISO 9001:2008 zertifiziert für  
Produktentwicklung bis zum Prototypen-Stadium,  
Technologieentwicklung und -optimierung  
sowie Erprobung in Demonstrationszentren



