

# Ein Windenergieanlagenemulator zum Test von Leistungseinspeisung im Netz

Obgleich die fossilen Energieträger immer noch einen günstigeren Energieertrag bieten, wird die Bedeutung der erneuerbaren Energiequellen, angesichts der klimatischen Veränderungen und schwindender Ressourcen, immer deutlicher. Um die erneuerbare Energie auf dem bestehenden Energiemarkt zu einer bevorzugten Energiequelle zu machen, müssen technologische Anpassungen und Weiterentwicklungen der bestehenden Energiesysteme und Einspeisekonzepte erfolgen. Die Einbindung der Windenergieanlagen (WEA) in die bestehenden Energienetze ist eines der Gebiete, auf dem eine Weiterentwicklung notwendig ist. Die bestehenden, flächendeckend ausgebauten Energienetze, sind auf die kon-

ventionellen Energiequellen ausgelegt. Diese Energiequellen können als große, quasi statisch laufende Generatoren aufgefasst werden, die das Stromnetz sowohl mit Momentanreserve (Trägheit), als auch mit Regelleistung versorgen können. Die meisten WEA hingegen zeichnen sich aus durch fluktuierende Leistungseinspeisung, keine inhärente, sondern nur synthetische Trägheitsbereitstellung, und keine Fähigkeit zur Regelleistungsbereitstellung.

Die Mitarbeiter des Instituts für Windenergietechnik (WETI) der Hochschule Flensburg arbeiten seit 2012 an den Fragen der Netzintegration von WEA. Aufgrund der bisher gewonnenen Erkenntnisse gilt als sicher, dass WEA ein großes Potential

aufweisen, um Netzstützung zu gewährleisten und netzstabilisierende Aufgaben im Falle von Störfällen im Netz zu übernehmen. Um diese Aufgaben erfolgreich bewältigen zu können, müssen WEA intelligenter und reaktionsfähiger gemacht werden. In praktischer Umsetzung müssen deren Regelalgorithmen weiterentwickelt und vor allem an realen Netzen erprobt werden.

Obgleich bereits installierte WEA die erste Wahl bei der Suche nach geeigneten Testanlagen zu sein scheinen, ist deren tatsächliche Nutzbarkeit für die Forschung stark eingeschränkt. Diese Einschränkungen kommen hauptsächlich durch die Unkontrollierbarkeit des Windes, und somit des Arbeits-

punktes der WEA, zustande. Aufgrund der Sicherheitsvorschriften ist der Eingriffsspielraum in die Betriebsführung einer WEA strikt reglementiert, wodurch die Eignung von WEA für Forschungszwecke weiter reduziert wird. Eine vielversprechende Alternative zu der Feldforschung an realen WEA bietet hierbei die Forschung an einem Teststand.

Unter der Voraussetzung, dass die Übertragbarkeit der Ergebnisse des Teststands auf die WEA gewährleistet ist, bringt dieser Ansatz folgende Vorteile gegenüber Feldtests:

- kontrollierbare Bedingungen
- hoher Zugriffsgrad
- wirtschaftliche Vorteile durch Verlagerung von Prozessen ins Labor



**ARCONIC**

**HUCK® BobTail®**

*Der nächste Schritt in der Evolution des Schließringbolzens*

## Installationsvorteile

- Schnelligkeit des Einbaus
- Reibungslose, stoßfreie Installationssequenz
- Installationsanzeige zur optischen Überprüfung
- Weniger Abfallmaterial & geringere Installationsgeräusche

## Verbindungsleistung

- Rillengeometrie für hohe Ermüdungsfestigkeit
- Einzigartige, spiralförmige Schließrille
- Wartungsfreie Verbindung mit DIBt Zulassung
- Beständige Befestigung



### Kontakt:

Arconic Fastening Systems

Tel: 0800 182 6928

Email: [info@afshuck.net](mailto:info@afshuck.net)

Web: [www.afshuck.net](http://www.afshuck.net)

Um die zwei oben genannten Ziele, die Entwicklung und die praktische Untersuchung von neuen Regelungsalgorithmen, erreichen zu können, wird im Projekt „Grenzland Innovativ Schleswig-Holstein“ (GrinSH) ein Windenergieanlagenemulator zum Test von Leistungseinspeisung ins Netz entwickelt und aufgebaut.

## Teststandbeschreibung

Der allgemeine Aufbau des Teststandes ist in Abbildung 1 dargestellt. Wie der Zeichnung zu entnehmen ist, sind die wesentlichen Komponenten des Teststandes der Gasmotor (8 Zylinder MTU Schiffsmotor, mechanische Nennleistung = 746 kW), der daran angeschlossene Generator und der Frequenzrichter, der über einen Transformator und eine Mittelspannungsschaltanlage an das Netz angeschlossen ist. Diese Hardware Komponenten bilden in einem Hardware in the Loop (HIL) Aufbau eine WEA nach. Somit sind alle für das Netz relevanten WEA-Komponenten als reale Hardware vorhanden.

Den Antrieb des Generators übernimmt der Gasmotor, der so geregelt wird, dass er sich an der Welle des Generators verhält wie die Antriebswelle in einer WEA. Die erzeugte Leistung wird über den Transformator und die Mittelspannungsschaltanlage in das lokale Netz der Stadtwerke Flensburg eingespeist. Der WEA-Emulator muss somit mit dem realen Netz interagieren und wird von selbigem beeinflusst.

Der bedeutendste Unterschied zwischen diesem WEA-Emulator und anderen WEA-Prüfständen vergleichbarer Größe, ist die Verwendung eines Gasmotors als Antrieb. Der Gasmotor emuliert das aerodynamische und strukturdynamische Verhalten der WEA, ohne dazu Energie aus dem Stromnetz zu beziehen. Auf diese Weise speist der WEA-Emulator Ener-

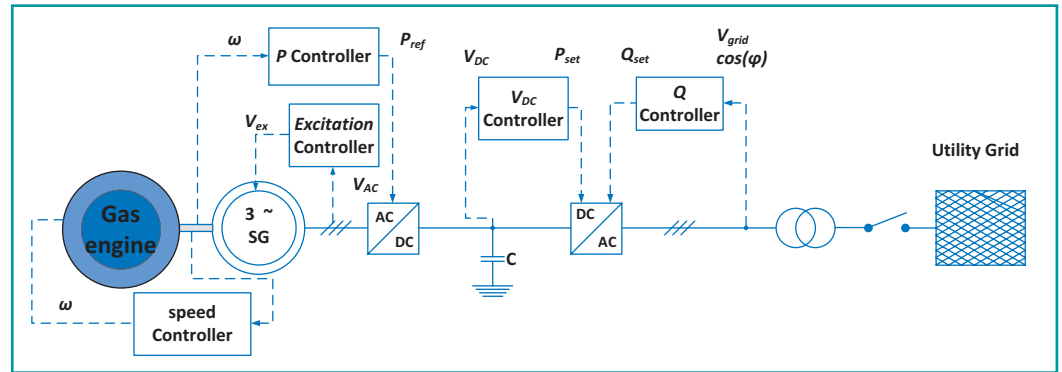


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Großkomponente und der Regelungsinfrastruktur des WEA-Emulators.

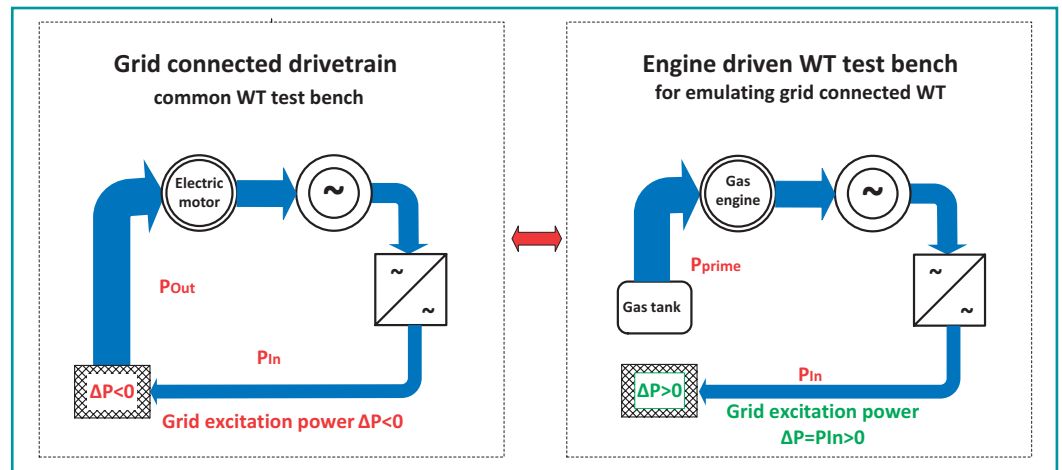


Abbildung 2: Gegenüberstellung der Leistungsbilanz zwischen Netz und Teststand bei Verwendung von einem Elektromotor (links) und von einem Gasmotor (rechts).

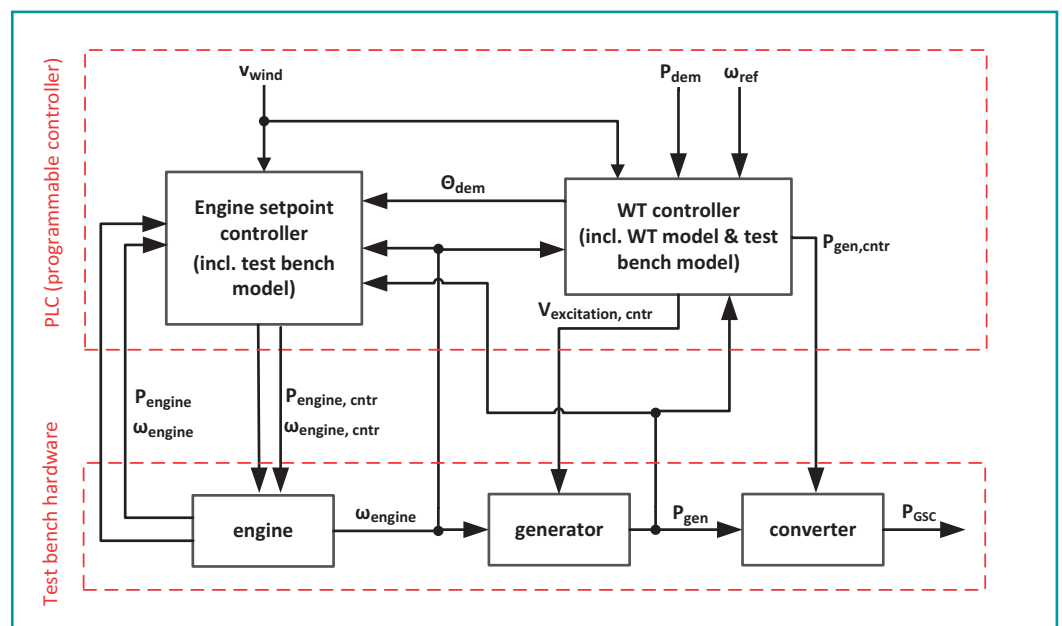


Abbildung 3: HIL Aufbau des WEA-Emulators.

gie in das Netz ein und erzeugt dadurch eine Leistungseinspeisung und Energiebilanz im Netz wie eine reale WEA (Abbildung 2). Der Einsatz eines vom Netz unabhängigen Antriebsmotors ist eine wichtige Vorausset-

zung für die Erforschung des Netzverhaltens der WEA und für die Erprobung neuer Regelungsalgorithmen. Um die Regelsollwerte zu überwachen und die Ergebnisse der Testläufe zu beobachten, wird ein leis-

tungsfähiges Messsystem auf den Schlüsselkomponenten des Emulators installiert.

Wie bereits erwähnt ist der WEA-Emulator in Form eines HIL Aufbau realisiert (siehe Ab-

bildung 3). Durch die Verwendung von HIL können Teile der physikalischen Prozesse, sowie Sensoren und Aktoren simulativ abgebildet werden. Das bringt folgende Vorteile mit sich:

- der Spielraum bei der Parametrisierung der Tests kann deutlich erweitert werden
- Systemgrenzen und Reaktion des Systems auf den Ausfall von Systemelementen kann untersucht werden
- durch Tests am WEA-Emulator kann die Entwicklungszeit von WEA reduziert werden, da kaum Feldtests erforderlich werden
- Ablauf der Tests kann automatisiert werden

## Übertragbarkeit der Ergebnisse

Bei der Entwicklung des WEA-Emulators wird besonderer Wert auf die Übertragbarkeit der Ergebnisse des Teststandes auf real existierende WEA gelegt. Diese Übertragbarkeit der

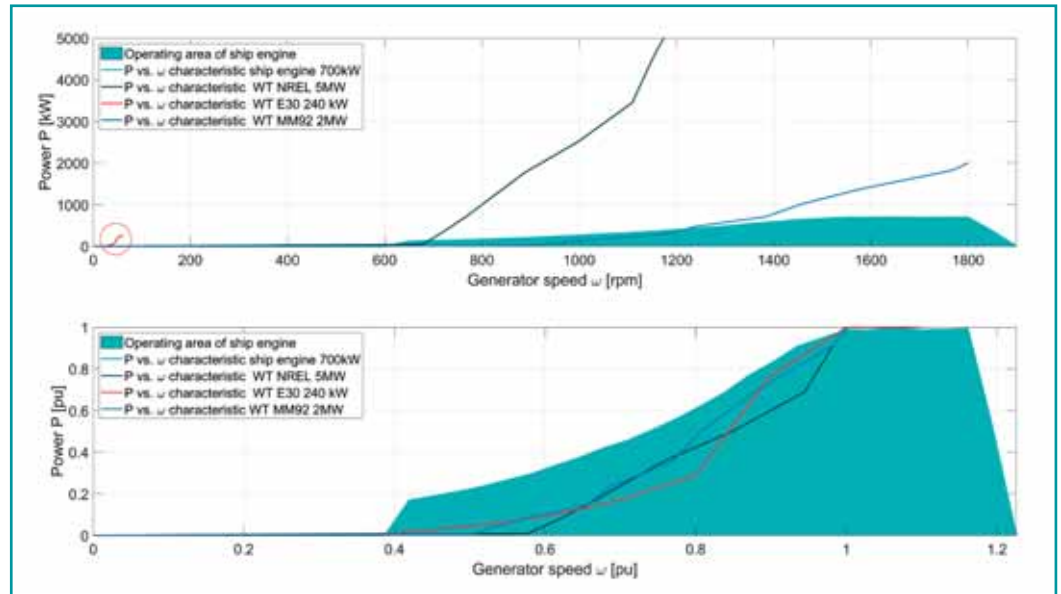


Abbildung 4: Leistungs-Drehzahl-Kurven der Referenz-WEA im Vergleich zum Arbeitsbereich des Gasmotors ohne Transformation in bezogene Größen (oben) und nach der Transformation (unten).

Ergebnisse soll bei der Emulation von WEA unterschiedlicher Größen und unterschiedlichen Designs gewährleistet werden. Entsprechend dieser Zielsetzung liegt ein Schwerpunkt der Entwicklung auf der Skalierbarkeit und der Abbildbarkeit der

Leistungsgradienten und Eigenfrequenzen. Die erste Untersuchung an drei Referenz-WEA mit Nennleistungen von 240 kW, 2000 kW und 5000 kW haben ergeben, dass der vorgesehene WEA-Emulator alle drei WEA emulieren kann, wenn die

Schlüsselparameter in dimensionslosen Einheiten angegeben werden. Zu diesem Zweck werden die Werte der Schlüsselparameter in bezogenen Größen (per unit) ausgedrückt. Nennleistung und Nennwinkelgeschwindigkeit der zu emulie-

# Schon immer gerne gebaut?

Über 350 offene Stellen beim Top-Arbeitgeber der Baubranche.

In über 30 Fachbereichen an europaweit mehr als 70 Standorten haben Sie einzigartige Entwicklungsmöglichkeiten. [goldbeck.de/karriere](http://goldbeck.de/karriere)

 **GOLDBECK**

renden WEA werden hierbei als Basiswerte für die Transformation in bezogene Größen verwendet. Abbildung 4 zeigt die Ergebnisse dieser Transformation für die drei untersuchten WEA und den Gasmotor. Ergebnisse der theoretischen Voruntersuchungen wurden bei der IEEE Powereng Konferenz in Dä-

mark präsentiert und in Form eines Konferenz-Papers veröffentlicht.

## Ausblick

Nachdem der WEA-Emulator in Betrieb genommen wurde (voraussichtlich Anfang 2021) soll er als Forschungsplattform für

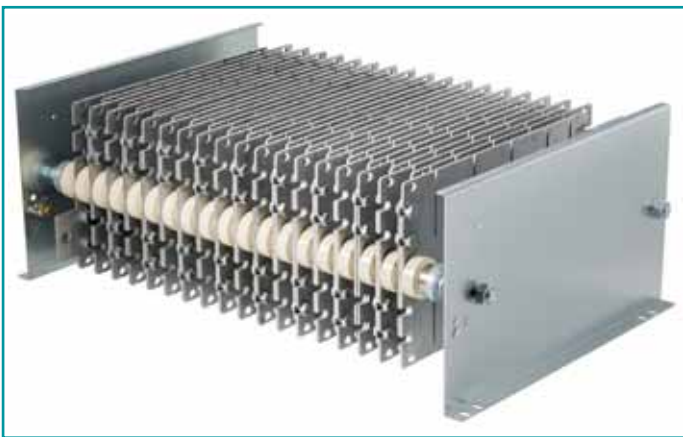
die Industrie und die Wissenschaft dienen. Um das Potential des WEA-Emulators für interessierte Akteure transparent zu machen, entsteht derzeit ein Prospekt mit Datenblatt. Dieser Prospekt kann in der aktuellen Form bei den Autoren angefragt werden.

Alexander Rohr, Dipl. Geo-Phy.  
Arne Gloe, M.Sc.  
Prof. Dr. Clemens Jauch  
Institut für Windenergietechnik der Hochschule Flensburg  
<https://hs-flensburg.de/hochschule/forschungsinstitut/wind-energy-technology-institute>

Prof. Dr. Michael Thiemke  
Jan Erik Wilhelm, B. Eng.  
Maritimes Zentrum der Hochschule Flensburg  
<http://www.maritimeszentrum.de/>



# Stahlgitterwiderstände für hohe Energieaufnahmen bis zu einigen Megajoule



Widerstandsgerät für eine Energieaufnahme von ca. 5-7 MJ; Widerstandsbereich: 0,077-3,5 Ohm.

Die kompakten Stahlgitterwiderstände in 3mm-Bauform ermöglichen hohe kurzzeitige Energieaufnahmen. Die Widerstandselemente gibt es neben der geraden Standard-Ausführung auch in einer gewinkelten Kompaktausführung. Ganz neu sind die Geräte auch im Gehäuse in Schutzart IP20 oder IP23 lieferbar.

Einsatzfeld der neuen Widerstände in Kompaktausführung sind vor allem Anwendungen in Windenergieanlagen oder in der Antriebstechnik, bei denen sehr hohe kurzzeitige Stromspitzen kompensiert und hohe Energiemengen aufgenommen werden müssen.

Mit dieser Bauform ihrer Stahlgitterwiderstände präsentiert FRIZLEN ein Produkt, das hohe kurzzeitige Energieaufnahmen ermöglicht bei gleichzeitig sehr geringem Platzbedarf.

Durch eine neuartige Geometrie der Widerstandselemente können Blöcke aus mehreren Elementen gleichzeitig deutlich kompakter aufgebaut werden. Im direkten Vergleich der bisherigen Bauform mit der neuen Bauform ergibt sich dadurch ein um bis zu 75% reduzierter Platzbedarf – bei gleichem Energieaufnahmevermögen. Das Unternehmen präsentiert damit ein Produkt für solche Einsatzfelder, die einen Bedarf

an hoher, kurzzeitiger Energieaufnahme mit sich bringen. Beispiele hierfür sind sogenannte „Not-Aus-Anwendungen“, bei denen große Energiemengen innerhalb weniger Sekunden oder sogar Millisekunden aufgenommen werden müssen.

Die kompakten Stahlgitterwiderstände von FRIZLEN nehmen die in diesen Sekunden produzierte Energie auf und leisten damit einen wichtigen Beitrag zur Maschinensicherheit.

Die neuen Stahlgitterwiderstände können zudem als Bremswiderstände im Zusammenspiel mit Frequenzumrichter und Bremschopper eingesetzt werden. Gerade für Anwendungen mit hohen Kurzzeitenergien ergeben sich mit der neuen Bauform deutliche Bauraumvorteile.

Die 3mm-Stahlgitterwiderstände sind urheberrechtlich von FRIZLEN geschützt.

[www.frizlen.com](http://www.frizlen.com)



Widerstandelement für eine Energieaufnahme von ca. 150-200 kJ, Widerstandsbereich: 2,2 – 100 mOhm.