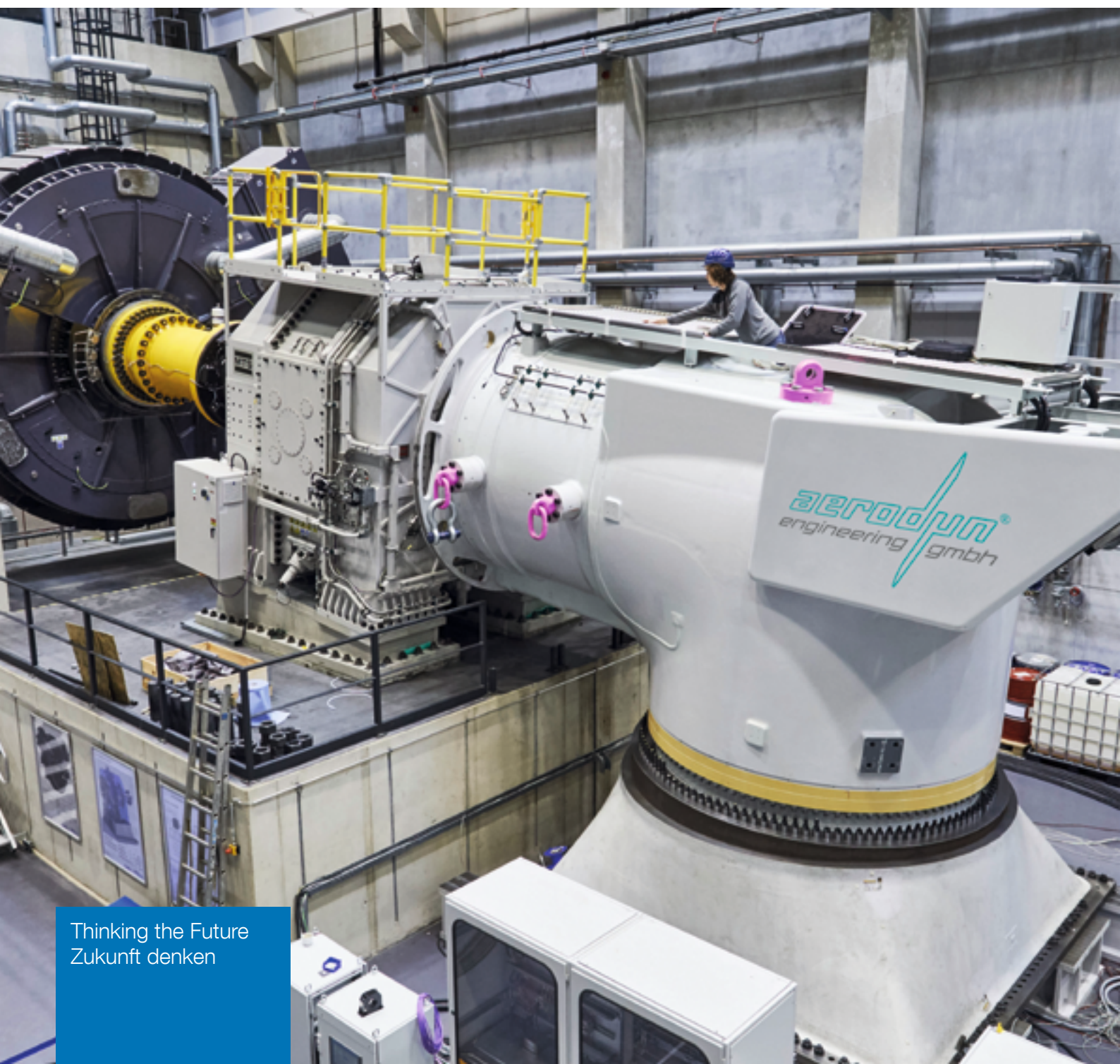


Center for Wind Power Drives



Thinking the Future
Zukunft denken

Inhaltsverzeichnis

Table of Contents

2	Vorwort	Preface
4	Das Center for Wind Power Drives CWD	The Center for Wind Power Drives CWD
6	4 MW-Systemprüfstand	4 MW System Test Bench
8	Projekte des CWD	CWD Projects
8	WEA-Lagerzentrum.NRW	WT Bearing Center.NRW
10	LBM ² – Load Based Monitoring and Maintenance	LBM ² – Load Based Monitoring and Maintenance
12	Akustik von WEA mit Direct Drive oder Getriebe	Acoustics of WEA with Direct Drive or Gearbox
14	CertBench – Zertifizierung elektrischer Eigenschaften auf Systemprüfständen	CertBench – Certification of Electrical Properties on Test Benches
16	Kompetenzen des CWD	CWD Fields of Expertise
16	Anlagen- und Parkentwicklung	Wind Plant and Farm Design
18	Komponentenentwicklung	Component Development
20	Fluidmechanik	Fluid Mechanics
20	– Experimentelle Untersuchung zwei- und dreidimensionaler Strömungsfelder	– Experimental Analysis of 2D and 3D Flow Fields
21	– Numerische Strömungssimulation und Strömungsakustik	– Computational Fluid Dynamics and Computational Aeroacoustics
22	Windkraftgetriebe	Wind Power Drives
24	Generatoren und Umrichter	Generators and Converters
25	Lastreduzierende Regelung	Load Alleviation
26	Echtzeit-Simulation elektrischer Netze	Real-Time Simulation of Power Systems
28	Instandhaltungsmanagement für maximale Verfügbarkeit	Maintenance Management for Maximum Availability
30	Lagertechnik	Bearing Technology
31	Rapid Control Prototyping in der Windenergie	Rapid Control Prototyping in Wind Energy
32	Institutsstruktur	Institute Structure
36	Impressum	Imprint

Vorwort Preface



Liebe Leserinnen und Leser,

zunehmender Kostendruck bestimmt das Tagesgeschäft der Hersteller von Windenergieanlagen und ihrer Komponenten. Diesbezügliche Fortschritte, beispielsweise in Form signifikanter Steigerungen der Getriebeleistungsdichte, waren auf der diesjährigen WindEnergy in Hamburg nicht zu übersehen. In diesem Zusammenhang nutzen die Hersteller zunehmend die Bauraumvorteile der Gleitlagertechnik nicht nur für die Getriebe sondern auch für die Rotorlager. Zurückhaltender begegnet die Branche den schnell-drehenden Generatoren (> 3000 U/min), obwohl elektrische High-Speed-Antriebe in der Automobilindustrie mit großem Erfolg zum Einsatz kommen.

Auch wenn erste Maßnahmen die Frühausfälle von Wälzlagern infolge WEC eindämmen konnten, läuft die Forschung zur Klärung der Schadensursachen nach wie vor auf Hochtouren. Nach der Bauphase nimmt unser Lagerzentrum im Frühjahr den Betrieb auf, um gemeinsam mit namhaften Anlagen- und Lagerherstellern spezifische Testverfahren für Wälzlager in Windenergieanlagen zu entwickeln.

Dear Readers,

Increasing costs have been severely affecting the day-to-day operations of manufacturers of wind turbines and their components. Progress in this area, for instance in the form of significant increases in gear power density, could not be overlooked at this year's WindEnergy in Hamburg. In this context, manufacturers are increasingly taking avail of the advantages provided by plain bearing technology regarding installation space – not only for gearboxes but also for rotor bearings. However, even though electric high-speed drives are successfully utilized in the automotive industry, high-speed generators (> 3000 RPM) are still reluctantly considered.

While first measures have made it possible to contain early downtime in rolling bearings due to WEC, the research on determining the cause of damage continues at high speed. Once construction work will have been finalized, operations at our Bearing Center will commence in order to develop specific testing procedures for rolling bearings in cooperation with renowned plant and bearings manufacturers.

Standortspezifische Anforderungen führen zu einem rasanten Wachstum der Anlagenvielfalt bei immer kürzeren Entwicklungszyklen. In der Folge gewinnt die richtige Produktstruktur mit geschickter Nutzung von Varianten und Modulen genauso wie eine ausreichend agile Produktentwicklung an Bedeutung. Ansätze des Systems Engineering (SE) haben großes Potential, geeignete Entwicklungsprozesse zu etablieren und gleichzeitig die im Zuge der Digitalisierung entstehenden Daten zeitnah zu verwerten. Die Entwicklung und Erprobung von SE-Konzepten für die Windenergie wird das CWD in Zusammenarbeit mit dem Center for Systems Engineering angehen. Ich würde mich sehr freuen, wenn Sie uns in bewährter Weise bei diesem Schritt begleiten.

Wenn Sie diese und weitere Projekte aus unserer Broschüre interessieren und Sie mehr erfahren möchten, sprechen Sie uns bitte an – unser Workshop-Team steht Ihnen gerne zur Verfügung (workshop@cwd.rwth-aachen.de): Wir nutzen halbjährliche CWD Workshops, um Forschungsideen zu diskutieren und Projekte zu initiieren. Wir laden Sie herzlich ein, an diesen Workshops teilzunehmen und die Technologie-Roadmap des CWD mitzugestalten. Derzeit engagieren sich etwa 20 Industriepartner von Energieversorgungsunternehmen, OEMs, Komponentenherstellern und Dienstleistern als Mitglieder des CWD in diesen Workshops. Mehr Informationen hierzu finden Sie auf Seite 5.

Die zweite große Plattform zur Präsentation und Diskussion unserer wissenschaftlichen Arbeitsergebnisse stellt die Conference for Wind Power Drives dar, welche im zweijährigen Turnus im Aachener Eurogress stattfindet. Hier stellt das CWD zusammen mit seinen industriellen Forschungspartnern und weiteren nationalen und internationalen Forschungsstellen den neuesten Stand der Forschung und Technik im Bereich der Hauptantriebe, Pitch- und Yawsysteme von Windenergieanlagen der internationalen Öffentlichkeit vor. Neben dem wissenschaftlichen Austausch unterstützt die Conference die internationale Netzwerkbildung rund um das CWD.

Site-specific requirements lead to a rapid development of plant diversity within increasingly shorter development cycles. As a result, a fitting product structure gains greater significance if skillfully combined with variants and modules, as does a sufficiently agile product development. Methods of Systems Engineering (SE) offer great potential to establish suitable development processes and to utilize data generated during the digitalization process. The CWD will approach the development and testing of SE concepts for wind energy in cooperation with the Center for Systems Engineering. I would be pleased if you continued to share our vision with us.

If you are interested in these and other projects in our brochure and would like to learn more about them, our workshop team will be glad to discuss further details with you and can be contacted at workshop@cwd.rwth-aachen.de. We use the biannual CWD workshops to debate research ideas and initiate projects. We warmly invite you to take part in these workshops and to help shape the CWD's Technology Roadmap. Approximately 20 industry partners consisting of power supply companies, OEMs, component manufacturers and service providers are currently involved in these workshops as members of the CWD. You will find more information on workshops on page 5.

The second major platform used to present our scientific output is the Conference for Wind Power Drives, which takes place at Eurogress Aachen every two years. At this event, the CWD presents cutting edge research and technology for drivetrains and pitch and yaw systems in wind turbines to an international audience together with its industrial partners and other international research centers. Besides being an interdisciplinary platform for knowledge and technology transfer, the conference also promotes international networking and increases visibility for the Center for Wind Power Drives.

Ich wünsche Ihnen auch im Namen meiner Kolleginnen und Kollegen eine interessante Lektüre und eine gute Zeit.

My colleagues and I hope you enjoy reading this brochure and have a pleasant time.

Georg Jacobs



Das Center for Wind Power Drives CWD

The Center for Wind Power Drives CWD

Das CWD steuert und organisiert die interdisziplinären Forschungsaktivitäten der RWTH Aachen University auf dem Gebiet der Windenergieanlagen (WEA). Diese Forschungsaktivitäten umfassen neben den grundlegenden wissenschaftlichen Untersuchungen auch industriennahe Forschungs- und Entwicklungsprojekte.

Die Wissenschaftler/innen der am CWD beteiligten Institute, die sich mit multiphysikalischen Fragestellungen rund um den Triebstrang von WEA befassen, werden zur Intensivierung der Vernetzung und zur Förderung von Innovation räumlich im CWD zusammengezogen.

Die wissenschaftliche und organisatorische Verantwortung für Planung, Nutzung und Betrieb des CWD trägt der Vorstand, der sich aus den Institutsleitern der Gründungsinstitute interdisziplinär zusammensetzt. Um eine enge Einbindung der Industrie zu gewährleisten, veranstaltet das CWD regelmäßige Industrieworkshops. Als Plattform zum Transfer der Ergebnisse in die Industrie und die Wissenschaft dient u. a. die Conference for Wind Power Drives in Aachen.

The CWD manages and organises interdisciplinary research activities on wind power drives at RWTH Aachen University. These activities include not only fundamental scientific research but also industry-related research and development projects.

The scientists at the member institutes involved in the CWD address multi-physical issues related to drivetrains in wind turbines (WT) and use the CWD as a joint workspace in order to strengthen the interconnection and assist with innovations.

Consisting of the heads of the founding institutes, the interdisciplinary board is responsible for planning, usage and operation at the CWD on a scientific and organisational level. To ensure close industrial collaboration, the CWD organizes workshops on a regular base. Among other events, the Conference for Wind Power Drives in Aachen operates as a platform for transfer of results to industry and science.

Organizational Structure of the CWD

Board	Prof. Abel Prof. Brecher Prof. De Doncker Prof. Hameyer Prof. Monti Prof. Jacobs Prof. Schröder
Managing Directors	Prof. Schelenz Dr. Bosse
Controls	Prof. Abel Institute for Automatic Control AIA
Gears	Prof. Brecher Laboratory for Machine Tools and Production Engineering WZL
Power Electronics	Prof. De Doncker E.ON ERC Institute for Power Generation and Storage Systems PGS
Generators	Prof. Hameyer Institute for Electrical Machines IEM
Grids	Prof. Monti E.ON ERC Institute for Automation of Complex Power Systems ACS
Aerodynamics	Prof. Schröder Institute of Aerodynamics AIA
Logistics	Prof. Stich Institute for Industrial Management FIR
Systems Engineering	Prof. Jacobs Chair for Wind Power Drives CWD
Industrial Partnerships	with OEMs, suppliers, utilities and service providers

CWD Advisory Board

Das Advisory Board berät den Vorstand des CWD bei der Ausrichtung der Forschung und gestaltet die CWD Roadmap mit. Mitglieder des Advisory Boards sind:

The Advisory Board guides the board regarding the course of research at the CWD and takes part in shaping the roadmap. Members of the Advisory Board are:

- **Dr. Martin Knops – ZF Windpower**
- **Andreas Weber – Vestas**
- **Alf Trede – Senvion**
- **Dr. Rainer Aufischer – Miba**
- **Raimond Breuker – SKF**
- **Pascal Correia – Total**
- **Dr. Andreas Klein – Winergy**
- **Rudolf Walter – Schaeffler**

CWD Roadmap/CWD Roadmap

Auf Basis der Roadmap werden in den CWD-Workshops die Forschungsprojekte gemeinsam mit den Partnerunternehmen des CWD erarbeitet. Die frühzeitige Einbindung der Industrie erleichtert den späteren Technologietransfer und die industrielle Verwertung. Derzeit beteiligen sich achtzehn Experten von Energieversorgern, OEMs, Komponentenherstellern und Dienstleistern als Mitglieder des CWD an diesen Workshops, bringen ihre Ideen ein und bekunden frühzeitig ihre Mitwirkung an Verbundprojekten.

Wir möchten auch Ihnen die Möglichkeit bieten, Teilnehmer unseres Workshops zu werden.

Wenn Sie mit dabei sein möchten, wenden Sie sich bitte an die folgende Mailadresse:

workshop@cwd.rwth-aachen.de

Research projects are developed jointly with the CWD's partners in CWD workshops. Early involvement of the industry facilitates the ensuing technology transfer and industrial application. Currently 18 experts – energy suppliers, OEMs, component manufacturers and service providers – participate as CWD members in the workshops, contribute ideas and early on express their interest in joint projects.

We would like to offer you the possibility to participate in our workshop, too.

If you would like to join, please contact us at

workshop@cwd.rwth-aachen.de



4 MW-Systemprüfstand/4 MW system test bench

4 MW-Systemprüfstand 4 MW System Test Bench

Bessere Daten für marktnahe Produktentwicklung

Better Data for Market-Responsive Product Development

Der 4 MW-Systemprüfstand ist seit seiner Inbetriebnahme ein fester Bestandteil des Forschungsbetriebs am Center for Wind Power Drives. Eine Vielzahl von Forschungsprojekten mit Industriebeteiligung wurde bereits erfolgreich umgesetzt, wodurch neue Erkenntnisse auf dem Gebiet von Windenergieanlagen (WEAs) gewonnen werden konnten. Auf Basis dieser Erkenntnisse wurden validierte Berechnungsmethoden entwickelt, die es ermöglichen, die im Betrieb auftretenden Belastungen an Getriebe, Rotorlagerung und Generator detaillierter als bisher zu analysieren. Die weiterentwickelten Auslegungswerkzeuge werden genutzt, um die Zuverlässigkeit und Wirtschaftlichkeit der Windenergieanlagen kontinuierlich zu steigern.

Since its commissioning, the 4 MW system test bench has been an integral part of the research conducted at the Center for Wind Power Drives. A large number of research projects have already been successfully realized in cooperation with industrial partners, which has resulted in new insights in the field of wind turbines. On the basis of these findings, validated calculation methods have been developed which make it possible to analyze the loads on gearboxes, rotor bearings and generators that occur during operation in greater detail than before. The further developed design tools are used to continuously increase the reliability and profitability of the wind turbines.

Die weitreichende technische Ausstattung des 4 MW-Systemprüfstands gewährleistet ebenfalls die Untersuchung zukünftiger wissenschaftlicher Fragestellungen hinsichtlich WEAs und ihrer Komponenten. So können Windenergieanlagen hochdynamisch in sechs Freiheitsgraden belastet werden. Neben diesen mechanischen Belastungen ist es durch einen Netzemulator möglich, die Reaktion der Anlage auf unterschiedliche Netzeigenschaften und –fehler zu untersuchen. Hierzu können über das umrichterbasierte Prüfstandsnetz Spannungseinbrüche und Überspannungszustände reproduzierbar umgesetzt werden. Die Kombination dieser Prüfstandsfunktionalitäten kann für komplexe Untersuchungen, wie die Durchführung von Netzkonformitätstests, genutzt werden.

Im Hardware-in-the-Loop-(HiL-)Betriebsmodus des Prüfstands wird die Umgebung einer WEA virtuell abgebildet und die Anlage selbstregelnd betrieben. Hierdurch kann das Systemverhalten einer Windenergieanlage unter möglichst realitätsnahen Bedingungen untersucht werden, wobei die Vorteile einer kontrollierbaren Prüfstands Umgebung erhalten bleiben.

Furthermore, the 4 MW system test bench and its wide-ranging technical features ensure the analysis of future scientific questions on WT and their components. Hence, wind energy plants can be subjected to highly dynamic loads at six degrees of freedom. In addition to these mechanical loads, a grid emulator makes it possible to investigate how turbines react to different grid properties and faults. For this purpose, Low, respectively, High Voltage Ride Through Scenarios (LVRT or HVRT, resp.) can be reproduced and implemented through a converter-based artificial grid. The combination of these test bench functionalities can be applied to complex investigations, such as network conformity tests.

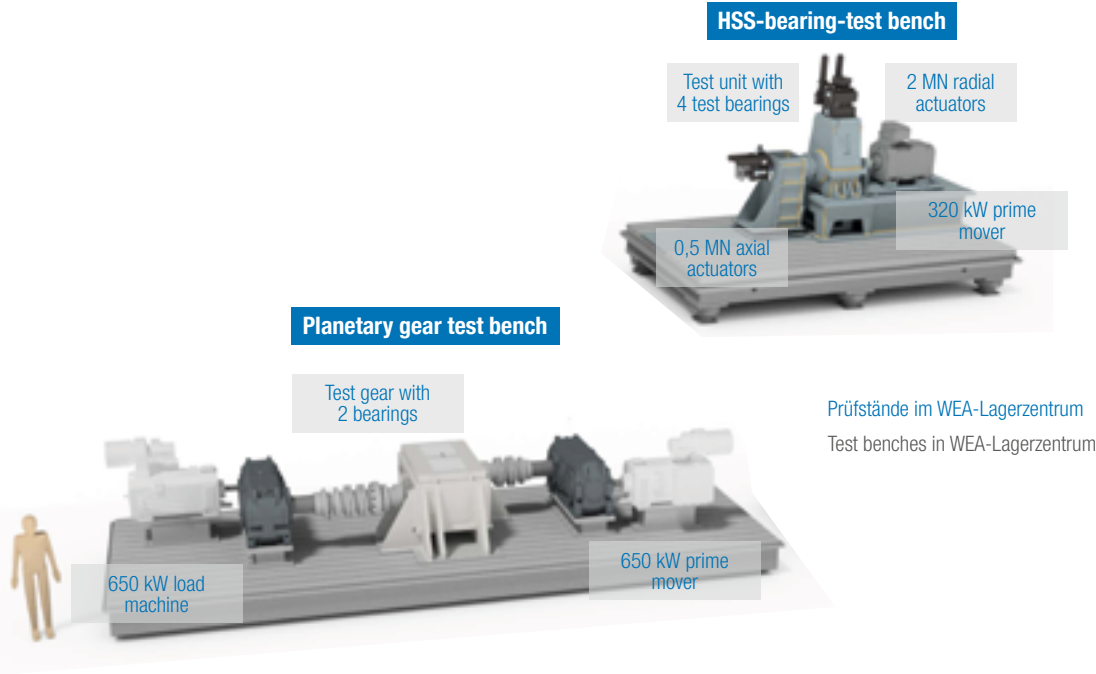
Through its hardware-in-the-loop (HiL) operating mode, the test bench makes it possible to virtually map a WT's environment and to operate the system in a self-regulating manner; this allows a wind turbine's system behavior to be investigated under conditions that are as realistic as possible, while retaining the advantages of a controllable test bench environment.

WEA-Lagerzentrum.NRW

WT Bearing Center.NRW

Absicherung der Lagertechnik für WEA-Getriebe

Securing of Bearing Technology for WT Gearboxes



Die Wirtschaftlichkeit von Windenergieanlagen (WEA) wird durch frühzeitig auftretende Wälzlagerschäden belastet. Die anwendungsspezifischen Last- und Betriebsbedingungen von WEA führen zu einer besonderen Ausprägung der Schäden und erfordern damit die individuelle Entwicklung von Abstellmaßnahmen. Um die Wirksamkeit der Abstellmaßnahmen validieren zu können und Lager für den Einsatz in WEA qualifizieren zu können, hat das Projekt WEA-Lagerzentrum.NRW die Entwicklung geeigneter Prüfverfahren zum Ziel. Dieses Ziel verfolgen die Hersteller von Wälzlager, Getrieben und Windenergieanlagen gemeinsam mit Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern des CWD in dem von der Europäischen Union und dem Land Nordrhein-Westfalen geförderten Projekt.

Premature roller bearing damage has a negative impact on a wind turbine's profitability. The characteristic application-specific load and operating conditions of WT lead to a specific scope of damages which calls for the development of individually tailored corrective actions. The Project WT Bearing Center.NRW aims at developing suitable testing methods in order to validate the effectiveness of corrective action and to qualify bearings for their implementation in WT. Manufacturers of roller

Um kritische Betriebszustände für die o.g. Prüfverfahren zu identifizieren, wird der Zusammenhang zwischen den WEA-Betriebsbedingungen und der Schadensentstehung grundlegend untersucht. Dazu kommen reale WEA und der WEA-Systemprüfstand zum Einsatz. Die kritischen Betriebszustände werden anschließend mit eigens entwickelten Lagerprüfständen auf Prüflager originaler Größe in realitätsnaher Einbausituation aufgeprägt. Dafür wurden zwei neuartige Wälzlagerprüfstände (HSS-Lagerprüfstand und Planetenlagerprüfstand) entwickelt und aufgebaut sowie zwei neuartige Testprozeduren zur Qualifizierung und Freigabe von Wälzlager für WEA entwickelt. Mit dem Bearing Robustness Test (BRT) wurde eine Testprozedur zur Absicherung gegen herkömmliche Schadensbilder entwickelt. Der BRT basiert auf verfügbaren Schadensmodellen und kombiniert Ermüdungslasten, die als Vorschädigung eingehen und dynamische Betriebszustände, die kritische Lagerlasten erzeugen – unter Berücksichtigung der Auftretensreihenfolge und -häufigkeit. Für Wälzlagerschäden, die in Verbindung mit WEC auftreten, sind heute noch keine Schadensmodelle verfügbar. Um dennoch im Rahmen eines Tests auch gegen derartige Schäden absichern zu können, wurden die kritischen Prüfbedingungen aus dem aktuellen Stand der Forschung abgeleitet. Der WEA-spezifische WEC-Test (WECT-WT) kombiniert mehrstufige Teillastkollektive bekannter WEC-kritischer Beanspruchungen, deren Ausprägungen in einer Systemanalyse ermittelt werden.

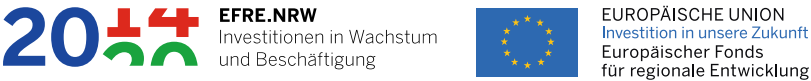
bearings, gearboxes as well as wind turbines and scientists at the CWD jointly pursue this goal in WT Bearing Center.NRW, a project supported by the European Union and the state of North Rhine-Westphalia (NRW). In order to identify critical operating conditions for the above mentioned testing procedures, the connection between WT operating conditions and the formation of damage will be essentially analyzed, which will include the use of actual WT and the WT system test bench. The critical operating conditions are then impressed on test bearings of original size in realistic assembly situations using specifically developed bearing test rigs. Two new roller bearing test rigs (HSS bearing test rig and planetary bearing test rig) were developed and set up and two new test procedures for the qualification and approval of roller bearings for wind turbines were developed. With the Bearing Robustness Test (BRT), a test procedure was developed to protect against conventional damage patterns. The BRT is based on available damage models and combines fatigue loads that occur as pre-damage and dynamic operating conditions that generate critical bearing loads taking into account the sequence and frequency of occurrence. No damage models are yet available for roller bearing damage that occurs in conjunction with WEC. The WT-specific WEC test (WECT-WT) combines multi-stage partial load collectives of known WEC-critical loads, the characteristics of which are determined in a system analysis.

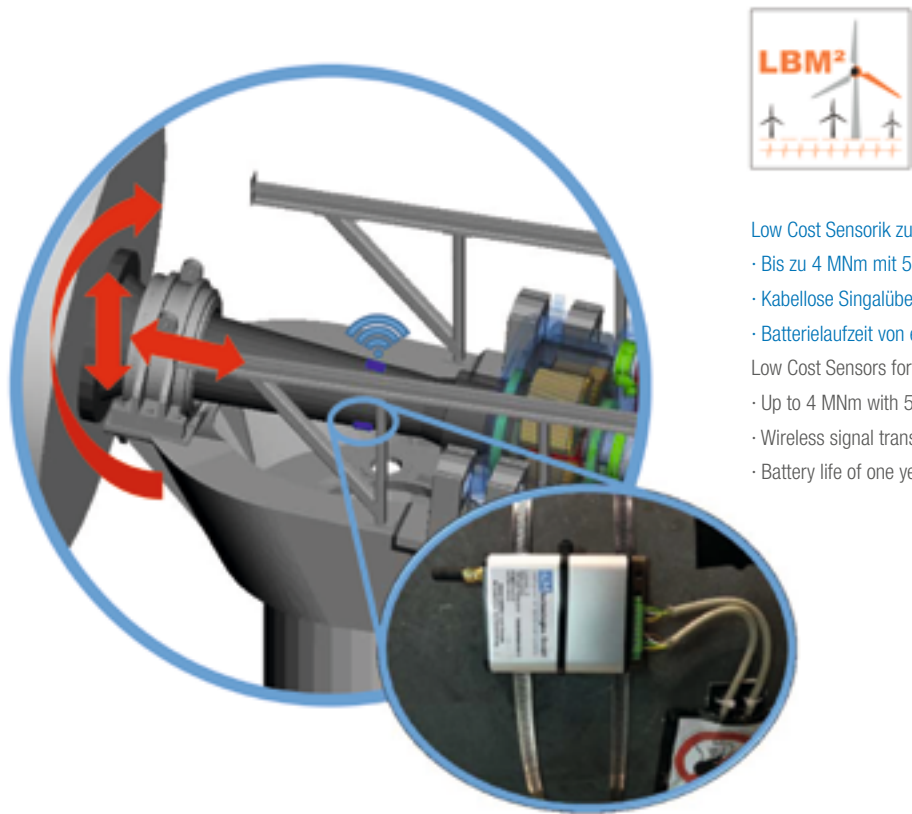
In Zusammenarbeit mit/in cooperation with



Dieses Vorhaben wird aus Mitteln des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) gefördert

This project is sponsored by the European Fund for Regional Development (EFRE)





- Low Cost Sensorik zur Messung der Eingangslasten:
- Bis zu 4 MNm mit 50 Hz Abtastrate
 - Kabellose Singalübertragung
 - Batterielaufzeit von einem Jahr
- Low Cost Sensors for measuring input loads:
- Up to 4 MNm with 50Hz sampling rate
 - Wireless signal transfer
 - Battery life of one year

LBM²/LBM²

Load Based Monitoring and Maintenance

Load Based Monitoring and Maintenance

Für Betreiber von WEA steht die Maximierung der Verfügbarkeit bei gleichzeitiger Minimierung der Betriebskosten im Mittelpunkt. Heute eingesetzte Zustandsüberwachungssysteme zur Vermeidung von Stillstandszeiten durch unerwartete Ausfälle weisen jedoch einen Nachteil auf: Es werden nur bereits aufgetretene Schäden registriert – die verbleibende Zeit bis zum Eintritt einer Betriebsstörung ist oft zu kurz, um Sondereinsätze und damit erhöhte Kosten für den Service zu vermeiden.

For operators of wind turbines, the focus is on maximizing availability while minimizing operating costs. However, condition monitoring systems used today to avoid downtimes due to unexpected failures have a disadvantage: only damage that has already occurred is recorded – the time remaining until a malfunction happens is often too short to avoid special maintenance and thus higher costs for service.

Um den Abnutzungsvorrat von Bauteilen kontinuierlich zu ermitteln, müssen die Treiber von Ermüdung und Verschleiß, das heißt die Beanspruchungen, direkt gemessen werden. Genau das fand in der Vergangenheit aufgrund hoher Kosten für die Sensorik keine Anwendung. Aktuelle Weiterentwicklungen zeigen hier Potential für kostengünstigere Messtechnik.

Das Ziel des Forschungsvorhabens LBM² ist es daher, ein Konzept zu entwickeln, welches anhand von Lastmessungen an der Hauptwelle Maßnahmen zur Betriebsführung und Instandhaltung von Onshore-WEA ableitet. Zur Erreichung des Projektziels werden zunächst neuartige, kostengünstige Lastsensordsysteme in mehreren WEA im Feld installiert und getestet. Basierend auf den Messergebnissen werden anschließend Berechnungsmodelle zur Restlebensdauerabschätzung von Anlagenbauteilen, wie etwa Getriebekomponenten und die Lagerung des Rotors, entwickelt und verifiziert. Anhand von Ermüdungsmodellen werden die Restlebensdauern einzelner Komponenten mit hoher Genauigkeit prognostiziert, sodass Wartungsmaßnahmen abgeleitet und geplant werden können. Hierfür wird im Rahmen des Projektes ein softwarebasierter Demonstrator entwickelt. Dieser integriert die zusätzlichen Informationen in die Instandhaltungsprozesse und führt eine finanzielle Bewertung durch. Dadurch werden den Anlagenbetreibern bedarfsgerecht und nutzerfreundlich Informationen bereitstellt, um Handlungsmaßnahmen zur prädiktiven Operations & Maintenance (O&M) zu initiieren, die Overall Equipment Effectiveness (OEE) der Anlage zu erhöhen und die direkten und indirekten Kosten für ungeplante Reparaturen zu minimieren.

In order to continuously determine components' remaining lifetime margins, the drivers of fatigue and wear, i.e. loads, need to be measured directly. In the past, however, this approach would not be applied due to high costs of sensor technology. Current developments show potential for more cost-effective measurement technology.

Therefore, the research project LBM² aims at developing a concept that uses load measuring on the main shaft to derive measures for the operation and maintenance of onshore wind turbines. In order to meet this goal, novel and cost-effective load sensor systems will be initially installed and tested in several WT in the field. Subsequently, calculation models based on the measurement results will be developed and verified in order to allow for the remaining service life of plant components, such as gear components and rotor bearings, to be estimated. Using fatigue models, the individual components' remaining service life is predicted with a high level of accuracy so that maintenance measures may be derived and planned. For this purpose, a software-based demonstrator is being developed: the latter integrates additional information into the maintenance processes and carries out a financial evaluation. This provides plant operators with the relevant information in a demand-oriented as well as user-friendly manner in order to initiate adequate measures for predictive Operations & Maintenance (O&M), to increase their plant's Overall Equipment Effectiveness (OEE), and finally to minimize the direct and indirect costs for unplanned repairs.

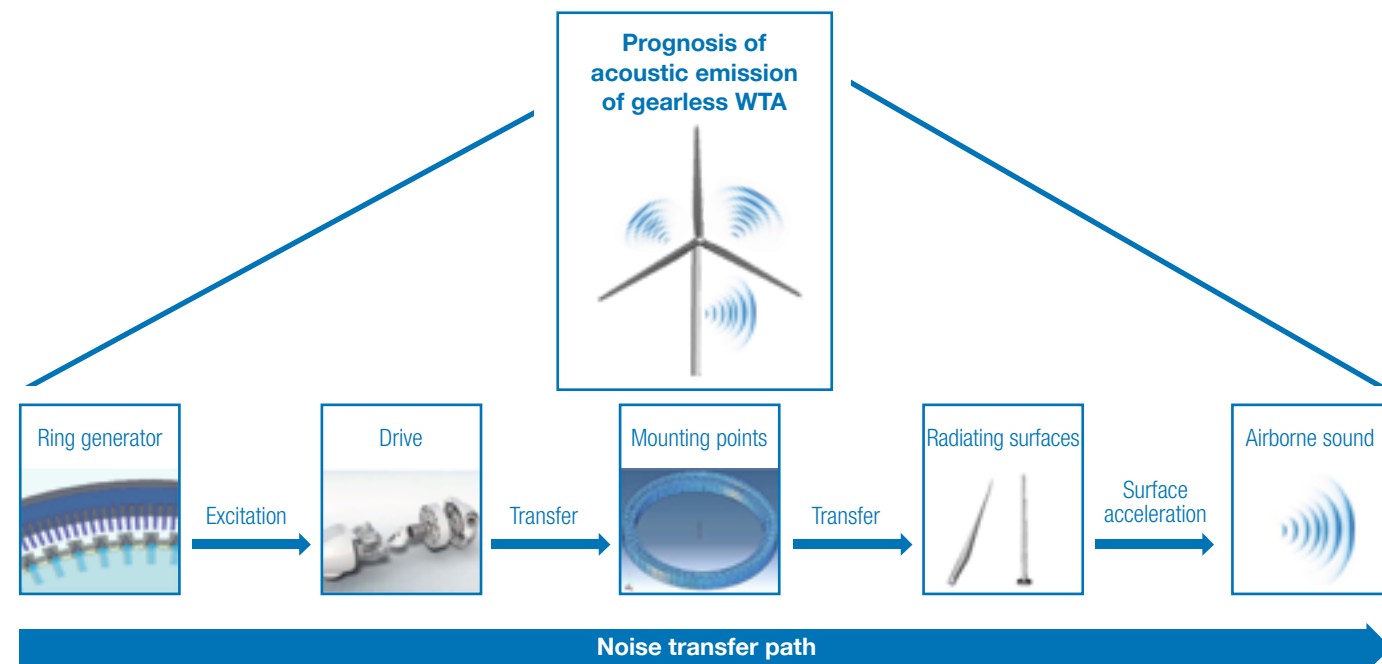
In Zusammenarbeit mit/in cooperation with



Gefördert durch/sponsored by



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Simulationsstrategie zur Prognose des Luftschalls/Simulation strategy for the prediction of airborne sound

Akustik von WEA mit Direct Drive oder Getriebe Acoustics of WEA with Direct Drive or Gearbox

Der weltweit fortschreitende Ausbau der Onshore-Windenergie sowie die damit verbundene wachsende Anzahl an Anlagen in der Nähe von Wohngebieten führen dazu, dass die Akzeptanz der Anwohner bei der Konzeption neuer Windenergieanlagen (WEA) immer stärker in den Vordergrund rückt. Die Schallabstrahlung ist dabei ein signifikanter Faktor, der im Rahmen der Anlagenentwicklung gezielt beeinflusst werden kann. Wird die Gesamtanlage im Zusammenspiel von Anregung, Körperschallübertragung und Abstrahlung ungünstig ausgelegt, können im Umfeld der Turbine tonale Geräusche auftreten. Um die Schallabstrahlung jedoch

As a result of the continuing expansion of onshore wind energy on a global level alongside the ensuing growing number of turbines within the vicinity of residential areas, the design process of new wind turbines focuses increasingly on the acceptance of WT by local residents. Sound radiation is a significant factor that can be influenced purposefully during the development of a wind turbine. If the overall

kosten- und zeiteffizient zu reduzieren, sind valide Aussagen zum akustischen Verhalten der Anlagen bereits während des Designprozesses und vor der Produktion sowie des Aufbaus von Prototypen nötig.

Bei getriebelosen WEA sind die radialen periodischen Kraftdichten an den hochpoligen Ringgeneratoren verantwortlich für mögliche tonale Geräusche. Es werden Simulationsmodelle benötigt, mit welchen sich die Körperschallanregung, der Körperschalltransfer sowie die Schallabstrahlung berechnen lassen. Da aktuelle Simulationsmodelle dies noch nicht zuverlässig und validiert leisten können, besteht an dieser Stelle Forschungsbedarf.

Im Rahmen von laufenden Forschungsvorhaben wird eine entsprechende Simulationslandschaft bestehend aus einer gekoppelten Dynamik- und Akustiksimulation erarbeitet und mit Prüfstands- sowie Feldmessungen validiert. Die entwickelte Simulation soll letztendlich beim Projektpartner implementiert werden und in den Entwicklungsprozess künftiger WEA einfließen. Die Akustiksimulation schnelldrehender Antriebsstränge ist seit Jahren Bestandteil der Forschung am CWD und dementsprechend weit fortgeschritten. Für Windenergieanlagen mit Getriebe wurden bereits validierte Simulationsmodelle zur Vorhersage des Körperschallverhaltens erarbeitet. Hier werden inzwischen tiefergehende Fragestellungen untersucht, wie beispielsweise der Einfluss der Triebstrangkongfiguration auf den Körperschalltransfer innerhalb der Anlage.

system is inappropriately designed regarding the interaction of excitation, structure-borne sound transmission and noise radiation, tonal noise may occur in the turbine's vicinity. However, in order to reduce sound radiation in a cost- and time-efficient manner, valid statements on the acoustic behavior of a WT need to be considered already during the design process, before production and prior to the construction of prototypes, too.

In gearless wind turbines, the radial periodic force densities at the high-pole ring generators are responsible for potential tonal noise. Hence, simulation models are necessary to calculate structure-borne sound excitation, structure-borne sound transfer and sound radiation. The current lack of reliable simulation models makes further research necessary to ensure validated analyses in the future.

Accordingly, a simulation landscape linking dynamics and acoustic simulation is being developed and validated through test bench and field measurements as part of current research projects. The developed simulation will finally be implemented at the project partner's site and integrated into the development process of future wind turbines. The acoustic simulation of fast rotating drive trains has been an established part of the research carried out at the CWD for many years and is therefore well advanced. Validated simulation models for predicting structure-borne noise behavior have already been developed for wind turbines with gears; in this respect, in-depth questions are currently investigated, such as the influence of specific drive train configurations on the structure-borne noise transfer within the turbine.

In Zusammenarbeit mit/in cooperation with



Gefördert durch/sponsored by



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

CertBench/CertBench

Zertifizierung elektrischer Eigenschaften auf Systemprüfständen

Certification of Electrical Properties on Test Benches

Die Zertifizierung der elektrischen Eigenschaften von Windenergieanlagen erfolgt bisher auf Basis von Feldmessungen, die den gegebenen Netzanschluss- und Witterungsbedingungen ausgesetzt sind. Werden diese Messungen auf Systemprüfständen durchgeführt, können Messdauer, Kosten und Time-to-Market reduziert, verlässlich geplant und Netzanschluss- sowie Witterungsbedingungen beliebig eingestellt werden.

So far, the certification of wind turbines' electrical properties has been based on field measurements affected by grid connection and weather conditions. If these measurements are carried out on system test benches, measurement duration, costs and time-to-market can be reduced and reliably planned while grid connection as well as weather conditions can be adjusted as required.

Welche Anforderungen Systemprüfstände, insbesondere deren Hardware-in-the-Loop Systeme zur Emulation des Rotors, zu erfüllen haben und welchen Einfluss umrichterbasierte Netzemulatoren auf die Ergebnisse ausüben, wird im Verbundvorhaben »CertBench – Systematische Validierung von Systemprüfständen anhand der Typprüfung von Windenergieanlagen« untersucht. Dazu wird systematisch die Sensitivität der im Netz, im Umrichter und im Generator auftretenden elektrischen Größen auf die strömungs- und strukturmechanischen Eigenschaften des Rotors analysiert. In enger Zusammenarbeit aller Disziplinen, der Aerodynamik, Mechanik, Elektrotechnik und der Regelungstechnik, werden daraus Empfehlungen für Modelltiefen abgeleitet und Anforderungen an die Dynamik des Hardware-in-the-Loop Systems entwickelt. Auf Basis innovativer regelungstechnischer Ansätze werden HiL-Verfahren entwickelt, die die Umsetzung dieser dynamischen Anforderungen am Prüfstand erlauben.

Zur Validierung der Anforderungen und der entwickelten HiL-Verfahren wird u.a. eine kommerzielle Windenergieanlage der Firma ENERCON auf dem Systemprüfstand und im Feld durch ein unabhängiges Messinstitut vermessen und die Ergebnisse durch eine Zertifizierungsstelle bewertet.

Dieses Verbundvorhaben wird gemeinsam mit den Partnern ENERCON, WRD Wobben Research & Development GmbH, UL International GmbH (DEWI), FGH Zertifizierungsgesellschaft mbH, Fraunhofer IWES, TenneT TSO GmbH, Forschungsvereinigung Antriebstechnik e.V. sowie Winergy durchgeführt und durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie gefördert.

The joint project »CertBench - Systematic Validation of System Test Benches Based on Type Testing of Wind Turbines« analyzes the requirements system test benches need to meet regarding rotor emulation – especially their hardware-in-the-loop systems – in addition to the influence converter-based grid emulators have on the results. For this purpose, the sensitivity of electrical quantities on the rotor's fluid mechanical and structural properties occurring in the grid, converter and generator is analyzed. Based on this highly interdisciplinary approach between aerodynamics, mechanics, electrical engineering and control engineering recommendations for the respecting model depths are deduced and requirements for the dynamic of hardware-in-the-loop systems are developed. HiL-processes, which allow these dynamic requirements to be implemented on the test bench, are developed through innovative control engineering approaches.

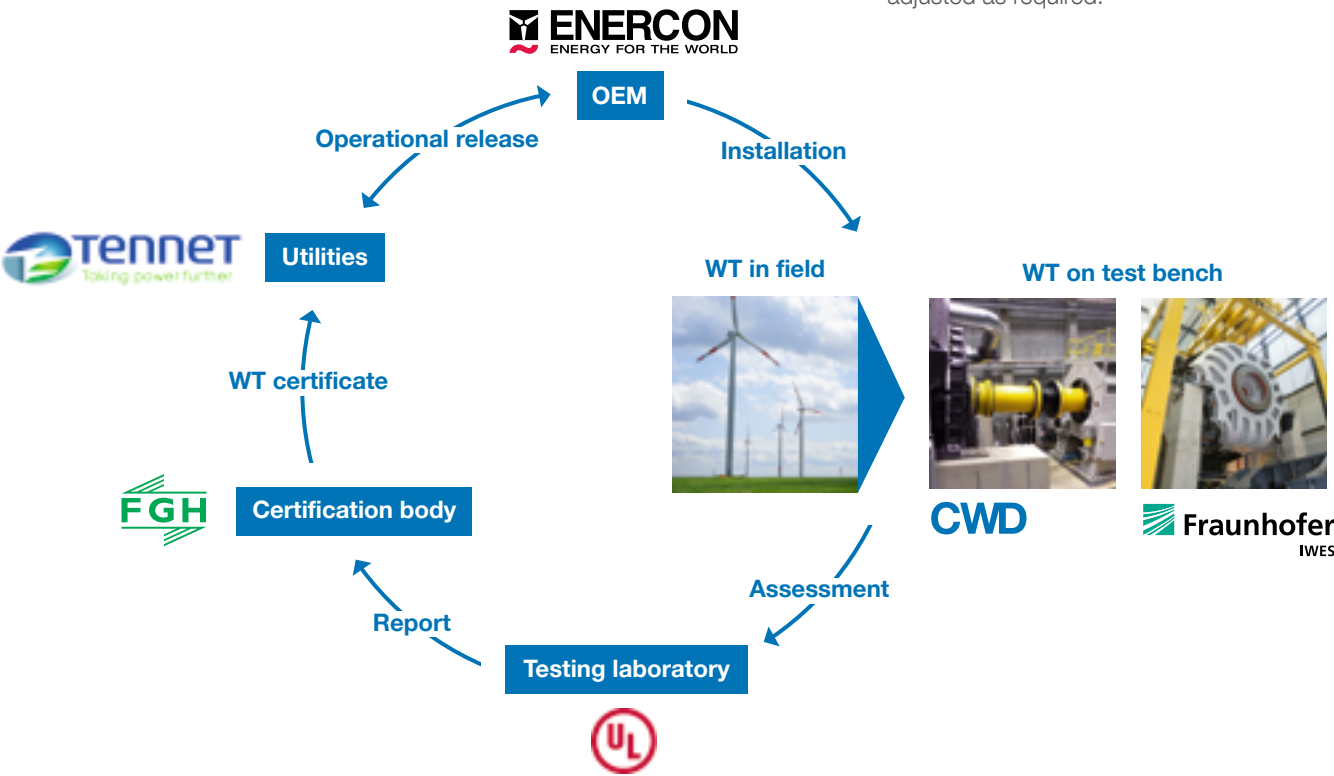
In order to validate the requirements and the developed HiL procedures, a commercial ENERCON wind turbine is measured by an independent testing laboratory on the system test bench and in the field with the results being evaluated by a certification body.

This project is jointly executed by the sponsored partners ENERCON, WRD Wobben Research & Development GmbH, UL International GmbH (DEWI), FGH Zertifizierungsgesellschaft mbH, the Fraunhofer IWES, TenneT TSO GmbH, Forschungsvereinigung Antriebstechnik e.V. as well as Winergy and is sponsored by the Federal Ministry of Economics and Energy.

Gefördert durch/sponsored by



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages





Windpark Königshovener Höhe
Windpark Königshovener Höhe

Kompetenzen des CWD CWD Fields of Expertise

Anlagen- und Parkentwicklung Wind Plant and Farm Design

Windenergieanlagen (WEA) werden auch an guten Windstandorten hauptsächlich im Teillastbetrieb gefahren. In diesem Zusammenhang stellt die Optimierung der Ausnutzung des Triebstranges zur Steigerung des Jahresertrages einen aktuellen Trend in der Windenergie dar: Die aktuellen WEA sind gekennzeichnet durch zunehmende Rotordurchmesser, die höhere Türme zur Folge haben. Wachsende Bauteile bedeuten reduzierte Steifigkeiten, größere Verformungen und niedrigere Eigenfrequenzen. Damit nimmt die Schwingungsanfälligkeit der Windenergieanlagen zu. Die Kenntnis des globalen und lokalen Schwingungsverhaltens einer WEA ist ausschlaggebend, um das Betriebsverhalten der Subsysteme im Triebstrang, wie Getriebe, Generator oder Hauptlager, vollständig erfassen zu können. Am Center for Wind Power Drives erstellt der

Wind turbines (WT) are often operated on part-load mode even at suitable wind locations. Optimizing the drive train's utilization in order to increase yearly revenue represents the current tendency within the wind energy industry: Today's WT are characterized by increasing rotor diameter which results in higher towers. Growing components lead to reduced stiffness, bigger deformations and a lower eigenfrequency. This renders wind turbines more susceptible to vibration issues.

Forschungsbereich Anlagen- und Parkentwicklung entsprechende physikalische Schwingungsmodelle in der Mehrkörperanalyse, die mit Prüfstands- und Feldmessungen validiert werden. Diese Modelle unterstützen ebenfalls die Reduzierung von Getriebe- und Generator-tonalitäten zur Optimierung des Geräuschverhaltens im Gesamtsystem. Gerade im Geräuschverhalten der WEA sind deutliche Serieneinflüsse zu beobachten. Die Weiterentwicklung der Simulationsmodelle soll zukünftig diese Serieneinflüsse beschreiben können.

Der Forschungsbereich Park- und Anlagenentwicklung untersucht auch das reale Betriebsverhalten der individuellen WEA im Windpark durch die Analyse von SCADA Daten oder durch die Einbindung zusätzlicher echtzeit- und kommunikationsfähiger innovativer Condition Monitoring Hardware. Die Entwicklung von Rechen- und Auswertmethoden zeigt Optimierungspotenzial: Erträge können durch eine optimierte Ausrichtung der WEA gesteigert werden, während eine Verringerung der Wartungskosten auf die Minimierung von Betriebskosten abzielt.

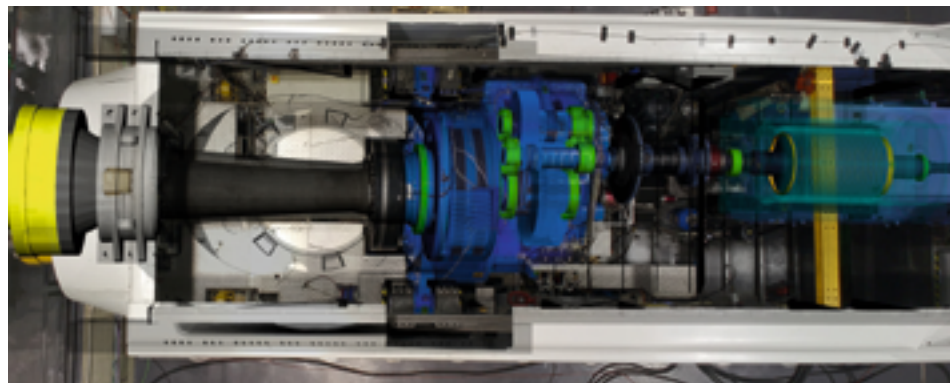
Abgerundet werden die Forschungsprojekte in der Gruppe Energiesystemanalyse durch eigene Parkoptimierer und die Einbindung der Windenergie in autarke nachhaltige Energieversorgungssysteme, um sowohl den Ertrag pro genutzter Fläche wie auch die Akzeptanz in der ländlichen Bevölkerung zu steigern. Als Querschnittsthema fließen Wirtschaftlichkeitsanalysen in die Konzeptionierung neuer Turbinen in die Analyse der Betriebszustände der Turbinen und deren Wartungskosten sowie in die Parkoptimierung mit ein.

Knowledge of a wind turbine's global and local vibration behavior is crucial in order to fully record the operating behavior of the sub-systems within the drive train, such as gearbox, generator or main bearing. At the Center for Wind Power Drives, the research division Wind Plant and Farm Design creates adequate physical dynamic models through multi-body analysis, which are validated by test bench and field measurements. These models also support the reduction of gearbox and generator tonalities which serves to optimize the noise behavior in the entire system. Especially a WT's noise behavior demonstrates clear serial production influences. Continuing development of the simulation models aims at describing these serial influences in the future.

Moreover, the research division Plant and Farm Design at the CWD analyses the real operating behavior of individual WT within wind farms on the background of SCADA data or by including additional real-time, innovative and communicating condition monitoring hardware. The development of calculation and evaluation methods bears potential for optimization: revenue can be increased by optimally aligning wind turbines while reduced maintenance costs target rising operating costs.

In addition, CWD park optimizers and wind energy which is included in renewable energy supply systems aim to increase the revenue per usable space as well as the public's acceptance of WT in rural places. Finally, economic analyses form part of the design process for new wind turbines and the optimization of wind farms, alongside the examination of a turbine's operating status and its maintenance costs.

Komponentenentwicklung Component Development



Windenergieanlagen und deren Komponenten sind einer stark dynamischen und fluktuierenden Belastung an der Rotornabe sowie am Netzanschlusspunkt ausgesetzt. Die geforderte hohe Zuverlässigkeit sowie lange Gebrauchsdauer der mechanischen und elektrischen Triebstrangkomponenten sowie der zunehmende Bedarf zur Steigerung der Leistungsdichte erfordern ein robustes Design jeder Triebstrangkomponente. Hierfür ist es notwendig, für alle Komponenten die Belastungen ausreichend genau beschreiben zu können. Diese Beschreibung der Komponentenlasten gelingt im Gondeltest durch voll instrumentierte Versuchsträger die unter frei einstellbaren, realen Wind- und Netzlasten analysiert werden und durch die Nutzung validierter physikalischer Simulationsmodelle ganzer WEA-Triebstränge.

Zur weiteren Design-Optimierung ist es notwendig, die einzelne Komponente oder das einzelne Maschinenelement isoliert realitätsnah zu belasten, um so die Robustheit dieser Komponente gegenüber windspezifischen Schadensbildern schnell und kostengünstig weiter entwickeln zu können. Hierfür werden am CWD neuartige Testprozeduren entwickelt, die sowohl in neuartigen Gondeltestverfahren als auch in der Bauteilprüfung angewendet werden.

Aufbauend auf den Kompetenzen, die es erlauben Belastungszustände exakt zu analysieren und auszuwerten, werden am CWD innovative Smart Services beispielsweise für Predictive Maintenance entwickelt. Die Analyse und Strukturierung der Anlagenbetriebsdaten, Serviceberichte sowie Informationen zur Anlagenkonfiguration legen dabei die Grundlage zur Reduktion der Betriebskosten durch vorausschauende Instandhaltung.

Wind turbines and their components are exposed to highly dynamic and fluctuating loads at the rotor hub and grid connection point. The high level of reliability and long service life expected from a wind turbine's mechanical and electrical drive train components in the face of a surging demand for increased power density, requires each drive train component to be designed in a robust manner. In order to achieve this goal, it is vital to describe the component loads for all components precisely. The latter is successfully realized on the WT system test bench: during the nacelle test, fully instrumented test carriers are analyzed under freely adjustable, real rotor and grid loads; moreover, validated physical simulation models of entire WT drive trains contribute to the required accurate description of loads.

Aiming at a time- and cost-efficient development for components that will allow for a greater robustness against wind-related damage, it is necessary to load the individual machine elements in an isolated and realistic manner. For this purpose, novel test procedures are being developed at the CWD, which will be applied both to the WT drive train system in novel nacelle test procedures and in component testing, too.

Based on the skills which allow load conditions to be precisely analyzed and evaluated, the CWD is developing innovative Smart Services for predictive maintenance, e.g. the analysis and structuring of plant operating data and service reports alongside information on plant configuration form the basis to cut operating costs through predictive maintenance.



Sven Wingquist Test Center

Testing of large-size bearings under real conditions

Real, rather than simulated testing, delivers the most accurate insights into how to improve simulation-software and finally the manufacturing of large size bearings from the point of safety, cost and performance.

This SKF test center is the only site in the world capable of testing bearings in this category under conditions that will most accurately represent real-life dynamic loads. For high cost critical components, such as wind turbine main bearings, we now have the capability to design the optimal performing, most economical bearings for customers' application needs.

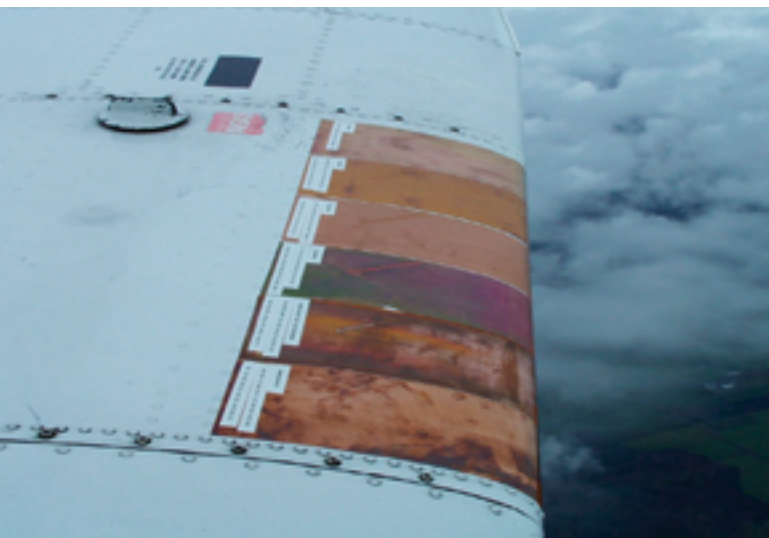
www.skf.com

Fluidmechanik Fluid Mechanics

Das Fachgebiet der Fluidmechanik wird im CWD durch das Aerodynamische Institut der RWTH Aachen University vertreten. Es werden analytische, modellbasierte und experimentelle Analyseformen für eine Vielzahl unterschiedlicher Fragestellungen eingesetzt und weiterentwickelt. Beispielhaft sollen im Folgenden zwei hieraus erwachsende Kompetenzfelder dargestellt werden.

At the CWD, the field of Fluid Mechanics is represented by the RWTH Aachen University Institute of Aerodynamics. Analytic, model-based, and experimental analysis techniques are used and further developed for a variety of problems. Two closely related fields of expertise are presented below as examples.

Experimentelle Untersuchung zwei- und dreidimensionaler Strömungsfelder Experimental Analysis of 2D and 3D Flow Fields



Bestimmung der wandnahen Geschwindigkeit an einem Tragflügel
Near-wall flow field measurement over an airfoil surface

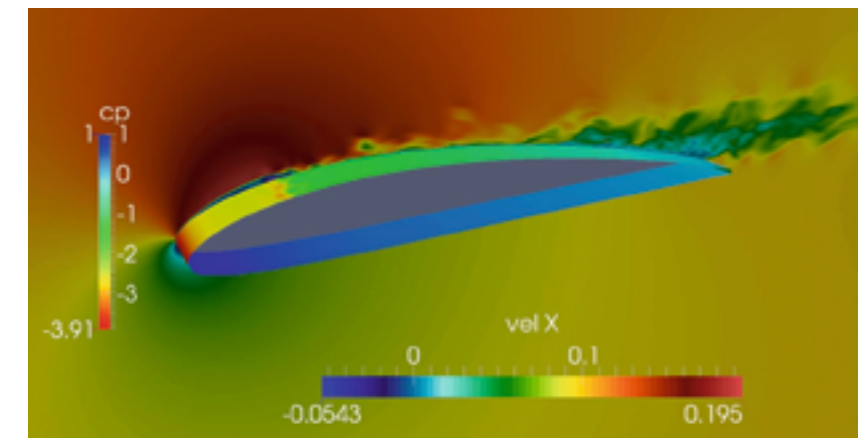
Die experimentelle Bestimmung der Strömungsverhältnisse von Windfeldern, Windparks und Windenergieanlagen sowie der strömungsmechanischen Eigenschaften von Komponenten, stellt eine Form der anwendungsorientierten Forschung und Entwicklung von Windenergieanlagen dar. Auf diese Weise können Komponenten erprobt, die strömungsmechanischen Eigenschaften verbessert sowie die aerodynamischen Eigenschaften optimiert und numerische Modelle validiert werden.

The experiment-based identification of flow conditions in wind fields, wind farms and wind turbines as well as the flow characteristics of specific components constitute the application-oriented research applied to the development of wind turbines. This allows components to be tested, their flow characteristics improved, aerodynamic behaviour optimised and numerical models validated.

Numerische Strömungssimulation und Strömungsakustik Computational Fluid Dynamics and Computational Aeroacoustics

Numerische Strömungssimulationen haben einen mannigfaltigen Einzug in die Entwicklung von Windenergieanlagen erfahren. Neben der Blattelementmethode, die häufig in der ersten Entwurfsphase einer Windenergieanlage genutzt wird, erfordert die detaillierte Analyse der oftmals sehr komplexen Anströmbedingungen den Einsatz von exakteren Finite-Volumen-Verfahren in Verbindung mit Standardturbulenzmodellen. Integrierte Simulationsumgebungen ermöglichen darüber hinaus die Modellierung, Betriebssimulation und spektrale Belastungsanalysen vollständiger Windenergieanlagen und Windparks.

Der Stellenwert der Akustik von Windenergieanlagen ist gleichsam mit der Dichte der Anlageninstallationen sowie dem Rotor-durchmesser gewachsen. Die Reduktion der strömungsinduzierten Geräuscentwicklung erfordert eine systematische Analyse der Schallquellen. Während experimentelle Untersuchungen die Frage nach allgemeiner Schallabstrahlung beantworten können, ist für die systematische Analyse der Schallreduktion eine hochaufgelöste numerische Strömungssimulation mit anschließender Bestimmung der aeroakustischen Mechanismen notwendig.



Grobstruktursimulation des Strömungsfeldes über einem Rotorblatt
Large eddy simulation of flow over a rotor blade

Numerical simulations are used intensively in the development of wind turbines. During the initial design process, the blade element method is typically applied in combination with different semi-empirical models. However, more precise finite-volume methods are used in conjunction with standard models to simulate real flow characteristics. Integrated simulation environments provide modelling and simulation of operational scenarios and spectral load analyses of complete wind turbines and wind farms.

The role of acoustics in the field of wind turbines has increased as the density of installed wind turbines and their rotor diameters have grown. The reduction of flow-induced noise requires a systematic analysis of the acoustic sources. While experimental flow investigations can answer questions concerning overall noise emission, a systematic analysis requires high-resolution numerical flow simulations to subsequently determine aero-acoustic mechanisms.

Windkraftgetriebe

Wind Power Drives

Von entscheidender Bedeutung für den Betrieb einer Windkraftanlage ist das Getriebe. Hierzu werden am CWD in Zusammenarbeit mit dem Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen verschiedene Forschungsthemen betrachtet. Die Erkenntnisse aus dem Labormaßstab am WZL können in Zusammenarbeit mit dem CWD auf Großgetriebeanwendungen in Windenergieanlagen übertragen werden.

Gearboxes play a significant part in the operation of wind turbines. Together with the Laboratory for Machine Tools and Production Engineering (WZL) at RWTH Aachen University, the CWD focuses on various research topics in this field: findings based on the laboratory scale at the WZL can be transferred to large gearbox applications in wind energy turbines.



Am WZL erfolgt in den Gruppen Getriebeleistungsdichte, Getriebeakustik, Getriebeweichbearbeitung und Getriebehartbearbeitung die Behandlung aller relevanten Arbeitsfelder im Bereich der Verzahnungs- und Getriebetechnik. Ein wesentlicher Fokus liegt auf der Verbindung der Fertigungs- mit der Konstruktionstechnik. Dazu liegt in den Zentralbereichen Getriebeprüffeld und Verzahnungslabor eine umfangreiche experimentelle Ausstattung vor. Weiterhin werden im Zentralbereich Digitalisierung und Softwareentwicklung Industrie 4.0-Themen behandelt und praxisorientierte Softwarelösungen entwickelt, z.B. Zahnkontaktanalyseprogramme und Fertigungssimulationen.

Im Bereich der Verzahnungstechnologie werden Potenziale zur Produktionssteigerung in der Großgetriebeserienfertigung erforscht. Dazu gehören neben Fragen zur Prozessführung und Qualitätsoptimierung die Analyse geeigneter Schneidstoffe (PM-HSS vs. Hartmetall) sowie Schleifmittel (Korund vs. ker. geb. cBN). Daneben erfolgt die Analyse der Eignung und Abbildung unterschiedlicher Werkzeugkonzepte (Wendeschneidplatten-Wälzfräser, Multi-Profil-schleifscheibenkonzepte). Ergänzend zur experimentellen Untersuchung werden methodengebundene Erkenntnisse über die Fertigungssimulationsssoftware an Industriepartner weitergegeben. Im Bereich der Getriebeleistungsdichte werden u.a. Vermeidungsstrategien für WEA-spezifische Schadensmechanismen erarbeitet. So steht z.B. die Analyse des Schadensmechanismus Zahnflankenbruch im Fokus der Arbeiten. Dazu werden auf der einen Seite neue Prüfmethoden durch Analogieversuche erarbeitet. Auf der anderen Seite konnte bereits ein werkstofffehlstellenbasierter Berechnungsansatz zur Flankenbruchtragfähigkeit erfolgreich aufgebaut und anhand von WEA-Getriebeausfällen validiert werden.

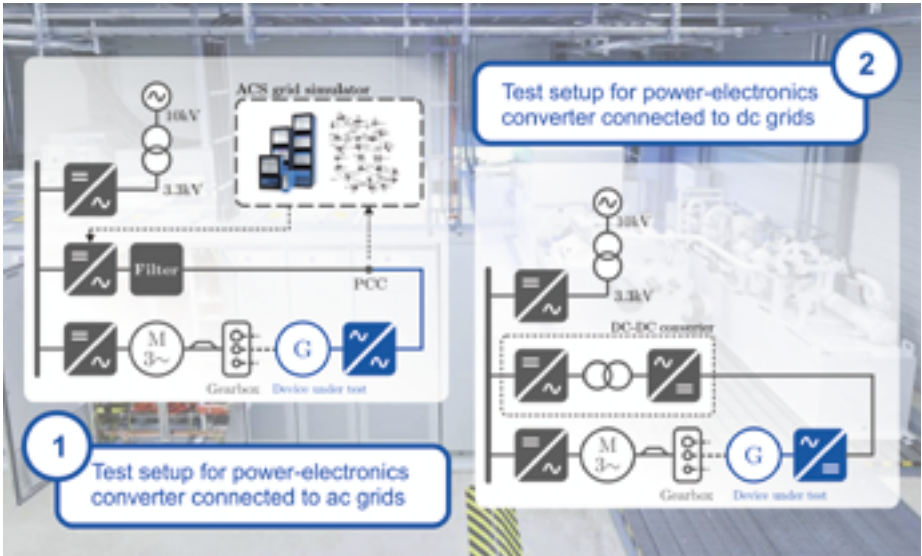
Bezüglich der Getriebedynamik steht die Analyse der Eingriffsinteraktion in Planetengetrieben im Zentrum der Forschung. Es wurden Methoden zur gekoppelten quasistatischen und dynamischen Zahnkontaktanalyse erarbeitet, die die Berücksichtigung von Fertigungs- und Montagetoleranzen im Auslegungsprozess von Planetengetrieben erlauben. Somit kann die Auswirkung von Fehlern im Eingriff eines Planeten auf die Eingriffe der anderen Planeten prognostiziert werden. In konstruktiven Arbeiten wird an Vermeidungsstrategien zum Tragbildwandern im Hohlradkontakt geforscht, indem Flankenmodifikationen optimiert und elastische Elemente eingebunden werden. Die Methoden wurden im Umfeld des CWD im Projekt FVA-Gondel erfolgreich eingesetzt.

At the WZL, the divisions gearbox power density, acoustic, soft and hard machining analyze all relevant fields of gear and gearbox technology. Major emphasis is put on the link between production and design technology. Here, extensive experimental equipment is available for the principal areas of gear test bay and gear laboratory. Furthermore, the central fields of digitalization and software development analyze topics linked to Industry 4.0 and develop practice-oriented software solutions such as programs for tooth contact analysis as well as manufacturing simulations. The potential for an increase of productivity in large gear series productions is researched in the area of gear tooth technology; this ranges from questions on process control and quality optimization to the analysis of suitable cutting materials (PM-HSS vs. carbide) and abrasives (vitrified corundum vs. vitrified cBN). Moreover, the suitability and mapping of various tool concepts is analyzed (indexable insert hob multi-grinding wheel concepts for profile grinding). In addition to experimental analysis, method based findings on manufacturing simulation software are shared with industrial partners. The field of gear power density comprises for instance the development of prevention strategies for WT-specific damage mechanisms while major emphasis is put on tooth flank fracture, e.g. In the latter case, on the one hand new testing methods based on analogy tests have been developed, while a material defect based calculation method for determination of tooth flank fracture load capacity has been successfully established and validated through WTA gear failure.

With regard to gear dynamics, analyzing the interaction of meshes in planetary gear stages plays a key part. Methods for analyzing the coupled quasi-static and dynamic tooth contact have been developed, which allow manufacturing and assembly tolerances to be considered in the design process for planetary gears. Hence, it is possible to predict the impact of errors in one planet's meshing on the meshing of others. Design work is being carried out on avoidance strategies for contact pattern migration in ring gear contact by optimizing flank modifications and integrating elastic elements. The methods were successfully applied in the CWD environment in the FVA nacelle project. Constructive works are applied to research avoidance strategies concerning contact pattern deviation in ring gear contacts by optimizing flank modifications and integrating elastic elements. At the CWD, these methods have successfully been applied in the FVA nacelle project.

Generatoren und Umrichter

Generators and Converters



Prüfstand für elektrische Triebstrangkomponenten am PGS E.ON ERC
Test bench for electrical drivetrain components at PGS E.ON ERC

Neben der Prüfung von kompletten Gondeln sind Prüfungen elektrischer Komponenten von entscheidender Bedeutung im Entwicklungsprozess von Windenergieanlagen. Dazu steht der Prüfstand des Institute for Power Generation and Storage Systems (PGS) am E.ON ERC zur Verfügung.

Er erlaubt die Prüfung von Umrichtern und Generatoren für Windenergieanlagen. Auch die separate Prüfung von Teilumrichtern, welche Anwendung mit doppelt-gespeisten Maschinen finden, ist möglich. Auf dem Prüfstand können Komponenten mit einer maximalen Leistung von 5 MW getestet werden. Je nach Übersetzungsverhältnis des variablen Prüfstandsgetriebes können Generatoren bis Drehzahlen von 15.000 rpm bzw. bis Drehmomente von 31,8 kNm getestet werden.

Ohne die Verwendung weiterer prüfstandseitiger Komponenten kann ein umrichterbasiertes Netz mit einer Spannung von 3.3 kV zur Verfügung gestellt werden. Darüber hinaus kann der Echtzeit-Netzsimulator des Institute for Automation of Complex Power Systems (ACS) des E.ON ERC eingebunden werden. Mit diesem Simulator können Rückwirkungen und Wechselwirkungen mit weiteren leistungselektronischen Systemen im Netz abgebildet werden.

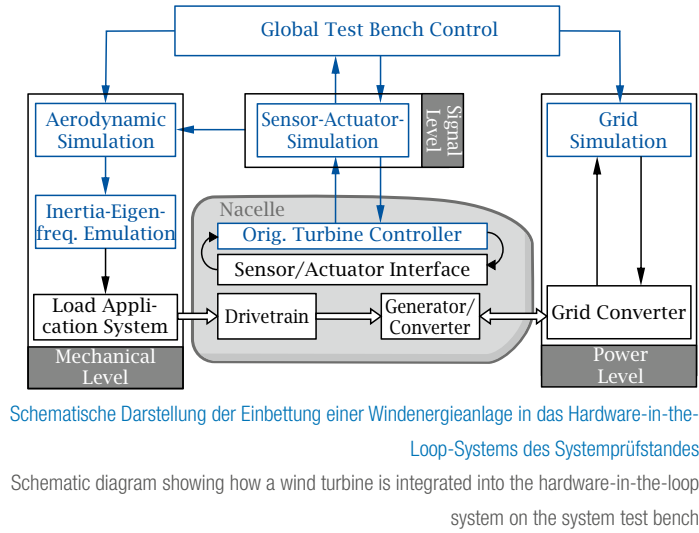
Besides testing complete wind turbine nacelles, another important step prior to system integration comprises the evaluation of electrical components. A high-speed test bench belonging to the Institute for Power Generation and Storage Systems (PGS) is available at the E.ON Energy Research Center (E.ON ERC) for this purpose.

This test bench provides testing for power converters and generators for wind turbines. Partial converters, which are used in dual-fed machines, can be tested separately. The test bench can also assess components with a maximum power rating of 5 MW. Depending on the variable transmission ratio of the test-bench gearbox, generators can be tested with a maximum speed of 15,000 rpm and maximum torque of 31.8 kNm respectively.

A converter-based 3.3 kV grid can be provided without any additional components. The real-time power grid simulator at the Institute of Automation of Complex Power Systems (ACS) at the E.ON ERC can also be integrated into tests. This simulator can be used to produce feedback and interaction with other power electronics-based systems.

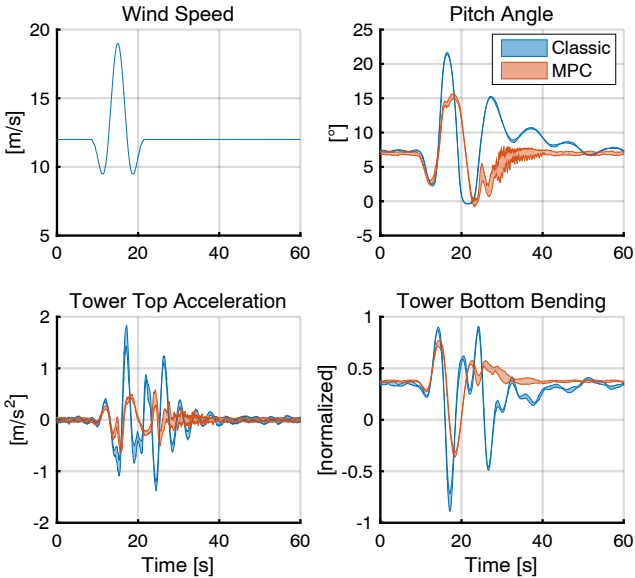
Lastreduzierende Regelung

Load Alleviation



Unter dem Begriff der lastreduzierenden Regelung für Windenergieanlagen verbirgt sich eine Vielzahl möglicher Regelungsziele, wie beispielsweise die Reduktion von Turmschwingungen mithilfe der kollektiven Pitchverstellung, die Kompensation unsymmetrischer Anströmung durch individuelle Pitchverstellung oder die aktive Triebstrangdämpfung mithilfe des Generatormoments. Zur Erreichung dieser Ziele können verschiedene Regelungsstrukturen genutzt werden.

Das Center for Wind Power Drives forscht intensiv an modellbasierten Regelungsstrategien in Windenergieanlagen mit dem Ziel, die mechanischen Lasten zu minimieren. Dabei werden beispielsweise Plug-and-Play Erweiterungen bestehender Regelungsstrukturen auf Basis modellbasierter Vorsteuerungen beforscht sowie modellbasierte Mehrgrößenregelungen. Letztere bieten verglichen mit konventionellen, einschleifigen Regelkreisen den Vorteil, die Vielzahl denkbarer Regelungsziele zu vereinen und gleichzeitig die Einstellmöglichkeiten zu entzerren, so dass die Regelung »intuitiv« eingestellt werden kann. Die Validierung solcher Verfahren anhand komplexer Mehrkörpersimulationen und auf Basis der Design-Lastfälle gemäß IEC-61400 sind dabei genauso Bestandteil dieser Arbeiten, wie die Umsetzung auf handelsüblichen Speicherprogrammierbaren Steuerungen.



Vergleich der auftretenden mechanischen Lasten an einer Windenergie während einer 50-jährigen Böe, wenn ein konventioneller (Classic) oder ein Modellbasierter Prädiktiver Regler (MPC) eingesetzt wird
Comparison of resultant mechanical loads on a wind turbine when operated with a conventional or a model predictive controller

Load alleviation control for wind turbines refers to several control objectives, such as reducing tower oscillations by adjusting the collective pitch, compensating asymmetrical incident wind flow using individual pitch control or damping drivetrain oscillations by controlling the generator torque. Various control approaches can be used to achieve these objectives.

The Center for Wind Power Drives performs active research in the field of model-based predictive control for wind turbines with the aim of minimising the mechanical loads on the turbine components. In this context, the CWD is researching model-based feedforward and multivariable feedback control to develop plug-and-play solutions for existing control approaches. Compared to single-input single-output systems, multivariable feedback control allows several control objectives to be linked within one single framework, so that control behavior can be adjusted more »intuitively« and comprehensively. Research thus covers validation of control approaches using multibody simulations, based on design IEC 61400 cases and implementation in state-of-the-art programmable logic controller hardware.

Echtzeit-Simulation elektrischer Netze Real-Time Simulation of Power Systems

Die Integration von Windkraftanlagen in elektrische Netze erfordert detaillierte Analysen zur Netzstabilität, welche mittels leistungsstarker Simulation durchgeführt werden können. Die Einbindung von Kommunikationsaspekten sowie die Echtzeitsimulation zur Unterstützung von Hardware-in-the-Loop (HiL)-Tests bieten wichtige Bestandteile eines umfassenden Portfolios für die Forschungsarbeiten auf diesem Gebiet.

Integrating wind generation into electrical grids requires detailed analysis with regards to grid stability, which can be performed using high-performance simulation. Including communication aspects and real-time simulation to enhance hardware-in-the-loop (HiL) tests, provides important elements to ensure a comprehensive portfolio for research in this field.

Multi-Domain Simulations-Umgebung / Multi-domain simulation environment



Echtzeit-Simulation von multi-physikalischen und multi-domain-Systemen ist eine der Kernkompetenzen des CWD. Die Simulationsinfrastruktur schließt die notwendigen Hardware- und Software-Komponenten ein und ist dafür ausgelegt, eine Plattform für Fast Prototyping, Hardware-in-the-Loop (HiL)- und Power-Hardware-in-the-Loop (PHiL)-Tests für industrielle Produkte und Anwendungen zu ermöglichen. PHiL bedeutet dabei, dass nicht nur elektrischer sondern auch mechanischer Leistungsaustausch realisiert wird. Dies impliziert in Abhängigkeit des Anwendungsfeldes die Nutzung der passenden Schnittstelle. Der Kern der Simulationsinfrastruktur wird durch die untereinander verbundenen Echtzeit-Simulationsplattformen gesetzt, die jeweils ihren eigenen Applikationsfokus haben.

Zur Realisierung der Echtzeit-Simulation von elektrischen Verteil- und Verbundnetzen ist die Infrastruktur mit einem 8-Rack-Setup des Real-Time Digital Simulators (RTDS) und einem OPAL-RT eMEGAsim Simulator ausgestattet. Um darüber hinaus Echtzeit-Simulationen von multiphysikalischen Systemen – beispielsweise kompletter Stadtquartiere mit ihrem thermischen und elektrischen Verhalten – zu ermöglichen, wird ein PC-Cluster, der auf einer Shared-Memory-Struktur basiert, eingesetzt. Außerdem ist ein Digital Signal Processing (DSP) Cluster vorhanden, welcher die Simulation verteilter Systeme – beispielsweise eines gesamten Windparks mit einem signifikant hohen Anteil leistungselektronischer Betriebsmittel – ermöglicht. Das Herausstellungsmerkmal des gesamten Aufbaus liegt in den miteinander verbundenen Plattformen und deren kombiniertem Einsatz, der von grundlegender Bedeutung für die Bewältigung der Komplexität zukünftiger Energienetze ist.

Real-time simulation of multi-physical and multi-domain energy systems is one of the core fields of expertise at the CWD. The simulation infrastructure comprising hardware and software components is designed to assist fast prototyping and hardware-in-the-loop and power hardware-in-the-loop (PHiL) testing for industrial products and applications. Within this platform, PHiL reveals the exchange of electrical power and mechanical power, which indicates that different HiL interfaces need to be used depending on the field of application. The core of the simulation infrastructure is a set of interconnected, real time simulation platforms, each with its own area of application and its own special characteristics.

The infrastructure is equipped with an 8-rack, real-time digital simulator (RTDS) and an eMEGAsim simulator from OPAL-RT to provide real-time simulation of distribution and transmission power systems. A PC cluster based on shared memory machines is used for real-time simulation of multi-physical systems, such as entire city districts with their thermal and electrical behaviors. The infrastructure is also equipped with a digital signal processing (DSP) cluster for real-time simulation of distributed systems with a universal presence of power electronics, such as wind farms with a high proportion of power electronics equipment. The unique added value lies in the interconnection between the different platforms and their combined use, which we believe is fundamental to tackling the complexity of future energy systems.



Servicearbeiten auf der Gondel einer Windenergieanlage
Maintenance on a wind turbine nacelle

Instandhaltungsmanagement für maximale Verfügbarkeit Maintenance Management for Maximum Availability

Als Partner ergänzt das Forschungsinstitut für Rationalisierung FIR mit seinen Kompetenzen im Management industrieller Dienstleistungen die interdisziplinäre Aufstellung des CWD. Speziell im Themenfeld Instandhaltung von Windenergieanlagen verfügt das Competence-Center Instandhaltung des FIR über umfassende Kompetenzen aus Forschungs- und Industrieprojekten.

As a partner of the Center for Wind Power Drives (CWD), the Institute for Industrial Management (FIR) adds value to the interdisciplinary nature of the NRW state cluster with its expertise in maintenance management for industrial services. The FIR particularly offers great expertise in the wind energy industry based on extensive research and industrial projects.

Unternehmen erkennen die Instandhaltung zunehmend als Wettbewerbsfaktor, was das ganzheitliche Management von Instandhaltungsorganisationen weiter an Bedeutung gewinnen lässt. Das Competence-Center Instandhaltung begleitet seine Kunden als erfahrener Partner im Bereich Instandhaltungsmanagement und unterstützt diese strukturiert bei ihren Herausforderungen sowie der Optimierung ihrer Instandhaltungsorganisation. Praxisnahe, anwendungsorientierte Forschung erlaubt es dem Competence-Center Instandhaltung, aus einem breiten Methodenschatz zu schöpfen und diesen im industriellen Beratungskontext anzuwenden. Zentrale strategische sowie operationelle Elemente sind die Durchführung von reifegradbasierten Potenzialanalysen in Instandhaltungsorganisationen, die (Neu-)Ausrichtung der Instandhaltungsstrategie oder die Optimierung von Instandhaltungsprozessen. Daneben begleitet das Competence-Center Instandhaltung die Auswahl von IT-Systemen und bewertet den Einsatz neuer Technologien in der Instandhaltung.

Darüber hinaus besitzt das Competence-Center Instandhaltung langjährige Erfahrung in der Aufgaben- sowie Ressourcensteuerung in Off- und Onshore Windparks. Im Rahmen des Forschungsprojektes DispoOffshore (gefördert durch das BMWi) wurde ein Softwaretool für eine dynamische und effiziente Disposition von Instandhaltungsaufträgen in Offshore Windparks entwickelt. Dieses Softwaretool ermöglicht erstmals eine effiziente Steuerung der Aufgaben und Ressourcen für Offshore-Windenergieanlagen, unter Beachtung veränderlicher Betriebszustände sowie ungeplanter Störsereignisse. Dem Betriebsführer wird eine objektive Entscheidungsbasis für die Ressourcendisposition zur Verfügung gestellt, was eine optimierte Planung ermöglicht; realisiert durch eine sach- und raumbezogene Visualisierung der Handlungsspielräume.

Durch die Entwicklung dieser und weiterer Lösungen leistet das FIR Competence-Center Instandhaltung einen wichtigen Beitrag für den zuverlässigen, wirtschaftlichen und umweltfreundlichen Betrieb windenergetischer Infrastrukturen.

Companies recognise that maintenance services have become an increasingly key competitive factor, which is why integral management of maintenance organisations has grown more and more important. This leads to an increase in the professionalization of maintenance tasks in all business sectors. The Maintenance Management Competence Centre advises and provides care for its customers as an experienced authority in maintenance management, assisting them in overcoming any challenges and optimizing their maintenance organisation.

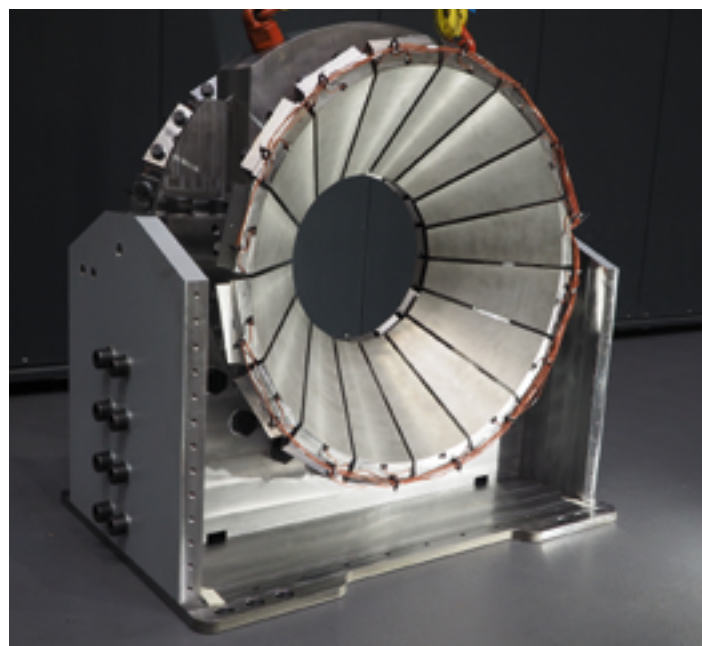
Practice- and use case-oriented research allows us to use an extensive base of methods and apply these methods in the context of industrial consulting. Central strategic and operational elements include performing maturity level-based potential analyses in maintenance organisations, setting up (revised) maintenance strategies and optimising maintenance processes. The Competence Centre will also assist you in the process of selecting the best IT-systems for your maintenance tasks and will evaluate the implementation of new technologies.

In addition to this, the Competence Centre also has valuable expertise in the field of controlling tasks and resources for off- and on-shore wind parks. As part of the DispoOffshore research project (funded by the Federal Ministry for Economic Affairs and Energy), it has developed a software tool which is used to provide dynamic, efficient scheduling for maintenance jobs in off-shore wind parks. This is the first software tool to be developed which allows efficient controlling of tasks and resources for parks while also taking into account changing operating conditions and possible unplanned defects. Wind park operational management is thus given objective information on which to base its decisions for resource planning, thus allowing optimised planning.

With the development of this particular software solution and planned development of further software concepts, the FIR Competence Centre Maintenance Management is making an invaluable contribution to reliable, cost-effective and environmental friendly operation of wind energy infrastructures.

Lagertechnik

Bearing Technology



Neuartiges konisches Gleitlager für die Hauptlager einer WEA
Novel conical plain bearing for WT main bearings

Windenergieanlagen setzen ihre Rotor- und Getriebelager Beanspruchungen aus, wie Mischreibung und Schlupf, die man bei Wälzlager üblicherweise zu vermeiden versucht. Es kommt dadurch zu Schadensmechanismen, die bisher in Auslegungsrichtlinien nicht berücksichtigt werden können. Hierzu zählen insbesondere White Etching Cracks (WEC), die zu einer drastischen Minderung der Lebensdauer führen können. Auch durch Vibrationen und schlupfbedingte Neuhärtungen sowie Graufleckigkeit kann es zu frühzeitigen Wälzlagerausfällen kommen. Diese Frühausfälle von Wälzlager in WEA haben zunehmend Aktivitäten zur alternativen Nutzung von Gleitlagern zur Folge.

In aktuellen Projekten werden daher die Einsatzgrenzen von Gleitlagern, insbesondere für den Bereich der Mischreibung erforscht. Hierbei wurden erweiterte Auslegungsmethoden geschaffen, die die Bewertung der Betriebssicherheit von Gleitlagern unter geringen Drehzahlen ermöglichen. Zudem können durch geeignete Materialkombinationen und Einlaufprozesse die minimal zulässigen Drehzahlen nach derzeitigen Auslegungsrichtlinien um bis zu 90 % gesenkt werden. Durch o.g. Arbeiten konnte die Einsatzmöglichkeit für hydrodynamische Gleitlager in Getrieben und Rotorlagern von Windenergieanlagen nachgewiesen werden.

Weiterhin werden Prüfprozeduren für komplexe Schadensmechanismen wie WEC in Wälzlager unter möglichst anwendungsnahen Bedingungen abgeleitet, die zukünftig eine Bewertung des Ausfallrisikos und die systematische Entwicklung und Abhilfemaßnahmen ermöglichen.

Rotor and gearbox bearings in wind energy turbines are exposed to stress loads, such as mixed friction and slippage, which designers usually try to avoid by using rolling bearings. These stress loads cause damage mechanisms which current design methods are unable to incorporate. Such mechanisms include, above all, white etching cracks (WEC), which can lead to a drastic reduction in service life. Vibrations and re-hardening due to slippage and micro-pitting can also cause premature rolling bearing failure. These premature failures of rolling bearings in wind turbines increasingly result in activities for the alternative use of plain bearings.

Current projects are researching the operational limits of sliding bearings, especially when subject to mixed friction. Here, advanced design methods have been derived which reliably determine operational safety for sliding bearings at slow turning speeds. Experimental testing has shown that using optimised material pairing and run-in procedures leads to a reduction in the required minimal speed according to current design guidelines by up to 90 %. The above mentioned works have proven that sliding gears can be implemented in wind energy gearboxes and rotor bearings.

Testing procedures under life-like conditions for complex failure mechanisms, such as WEC in rolling bearings, are being developed, which will allow the risk of failure and the systematic development of remedial measures to be identified in the future.

Rapid Control Prototyping

in der Windenergie

Rapid Control Prototyping

in Wind Energy

Die Regelung einer Windenergieanlage beeinflusst maßgeblich die auftretenden mechanischen Belastungen und damit die Dimensionierung der einzelnen Komponenten. Essentiell für moderne, kosteneffiziente Anlagenkonzepte ist es daher notwendig, die Anlagenauslegung und deren Regelung abhängig voneinander zu entwickeln. Die Methoden des Rapid Control Prototyping, z.B. Software-in-the-Loop und Hardware-in-the-Loop Tests, ermöglichen eine solche gemeinsame Betrachtung zu einem frühestmöglichen Zeitpunkt innerhalb des Entwicklungsprozesses.

Das Center for Wind Power Drives verfügt über umfangreiche Erfahrungen in der Entwicklung und Implementierung von Hardware-in-the-Loop (HiL) Simulationen die für die realitätsnahe Erprobung von Steuergeräten (Signal-level HiL) oder sogar zum Betrieb komplexer mechatronischer oder leistungselektronischer Systemprüfstände eingesetzt werden können. Mit dem Ziel diese Systeme optimal in bereits existierende Entwicklungsprozesse zu integrieren, werden am Center for Wind Power Drives Toolketten zur Einbindung der verschiedenen Entwicklungsumgebungen konzipiert und entwickelt.

A wind turbine's control system has a major impact on occurrent mechanical loads and, consequently, affects the dimensioning of many components. In modern and cost-efficient wind turbines, it is thus essential to design the overall system comprising all mechanical and electrical components and the control system as an interdependent unit. The Rapid Control Prototyping approach, which is based on methods such as software-in-the-loop and hardware-in-the-loop simulations, ensures such combined development at the earliest possible stage in the design process.

The Center for Wind Power Drives has gained extensive experience in the development and implementation of hardware-in-the-loop (HiL) simulations that can be used for realistic testing of control units (signal-level HiL) or even for the operation of complex mechatronic or power-electronic system test benches. In order to integrate these systems optimally into existing development processes, the Center for Wind Power Drives designs and develops tool chains for the integration of different development environments.

Institutsstruktur

Institute Structure



Aerodynamisches Institut AIA

Institute of Aerodynamics AIA

Institutsleiter/Head of Institute: Prof. W. Schröder

Der Lehrstuhl für Strömungslehre und das Aerodynamische Institut unterhält Forschungsaktivitäten in fundamentalen und angewandten Gebieten der Aerodynamik, der Turbulenz, der Wirbeldynamik, den biomedizinischen Strömungen, den Mehrphasenströmungen, den Messmethoden und den numerischen Ansätzen in der Strömungsmechanik und der Aeroakustik.

The Chair of Fluid Mechanics and the Institute of Aerodynamics conduct research into fundamental and applied fluid mechanics, which include the general fields of turbulence, aerodynamics, vortex dynamics, bio-medical flows, multiphase flows, measurement techniques, computational, fluid dynamics and computational aeroacoustics.



Chair for Wind Power Drives CWD

Institutsleiter/Head of Institute: Prof. G. Jacobs

Mit den Bereichen Anlagen- und Parkentwicklung sowie Komponentenentwicklung legt der Chair for Wind Power Drives seinen Fokus auf die gesamtsystemübergreifende Betrachtung von WEA-Triebsträngen. Neben der Weiterentwicklung von Simulationstechniken und der Entwicklung neuartiger Triebstrangkonzeppte liegt ein weiterer Schwerpunkt auf der Entwicklung und Validierung von Prüfmetheden für WEA und ihrer Komponenten.

With its research areas plant and park development as well as component development, the Chair for Wind Power Drives focuses its research activities on the overall system-wide view of wind turbine drivetrains. In addition to developing simulation methodologies and new drivetrain concepts this also includes the development and validation of test methods for WT and its components.



E.ON ERC Institute for Automation of Complex Power Systems ACS

Institutsleiter/Head of Institute: Prof. A. Monti

Das Institut ACS zielt auf einen multidisziplinären Forschungsansatz ab, mit dem die jüngsten Fortschritte im Bereich Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) die zukünftigen Herausforderungen im Bereich Netzdynamiken und Automatisierung elektrischer Netze unterstützen. Um diese Vision zu erreichen, ist ACS neben den Bereichen Dynamischer Netzbetrieb, Regelung und Automatisierung auch mit einer Säule IKT für Energie gut aufgestellt.

The ACS aims at implementing a multidisciplinary research approach utilizing the latest advancements in Information and Communications Technology (ICT) to meet future challenges in the field of Grid Dynamics and Automation Technology. In order to realize this vision, the ACS relies on its expertise in ICT for Energy alongside Grid Operations, Control and Automation.



E.ON ERC Institute for Power Generation and Storage Systems PGS

Institutsleiter/Head of Institute: Prof. R. De Doncker

Unter der Leitung von Prof. Rik W. De Doncker und Prof. Dirk Uwe Sauer erforscht das Institute for Power Generation and Storage System (PGS) leistungselektronische Wandler und elektrische Antriebssysteme für Mittelspannung sowie elektrochemische Speichersysteme und deren optimalen Einsatz in Netzen.

Headed by Prof. Rik W. De Doncker and Prof. Dirk Uwe Sauer, the Institute for Power Generation and Storage Systems (PGS) conducts research into power-electronic converters and electrical drives for medium voltage systems and electrochemical storage systems and their optimal use in grids.



Forschungsinstitut für Rationalisierung (FIR) e. V. an der RWTH Aachen University Institute for Industrial Management

Institutsleiter/Head of Institute: Prof. G. Schuh, Prof. A. Kampker

Das FIR ist eine gemeinnützige, branchenübergreifende Forschungseinrichtung an der RWTH Aachen University auf dem Gebiet der Betriebsorganisation und Unternehmensentwicklung. Das Institut forscht, qualifiziert, lehrt und begleitet in den Bereichen Dienstleistungsmanagement, Informationsmanagement, Produktionsmanagement und Business-Transformation. Als Mitglied der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen fördert das FIR die Forschung und Entwicklung zugunsten kleiner, mittlerer und großer Unternehmen. Zur Stärkung des Standorts NRW unterstützt das FIR als Johannes-Rau-Forschungsinstitut zudem die Forschungsstrategie des Landes und beteiligt sich an den entsprechenden Landesclustern.

The FIR (Institute for Industrial Management) at the RWTH Aachen University is a non-profit, inter-sector research institution concerned with business organization and corporate development. The institute provides research, qualification programmes and lectures in service management, information management, production management and business transformation. As a member of the German Federation of Industrial Research Associations, the FIR promotes research and development for the benefit of small, medium-sized and large businesses. As a member research institution of the Johannes Rau Foundation, the FIR supports the state of North Rhine-Westphalia's research strategy and participates in analogue clusters to promote the state as a location for business and research.



Institut für elektrische Maschinen IEM Institute for Electrical Machines

Institutsleiter/Head of Institute: Prof. K. Hameyer

Der Forschungsschwerpunkt des Instituts für Elektrische Maschinen liegt in den Bereichen Entwurf, Berechnung, Analyse, Simulation und Regelung von motorisch oder generatorisch betriebenen elektrischen Antriebssystemen sowie allgemeinen Systemen der elektromagnetischen Energie wandlung. Zu den genannten Schwerpunkten fokussieren sich weiter wissenschaftliche Themen zur Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit und Lebensdauerabschätzung von elektromechanischen Komponenten.

Research at the Institute of Electrical Machines focuses on the design, computation, analysis, simulation and control of electrical motor and generator systems and other systems used in the field of electromagnetic energy conversion. Other research centres on reliability, availability and estimation of operational life spans in electromechanical components.



Institut für Regelungstechnik IRT Institute for Automatic Control

Institutsleiter/Head of Institute: Prof. D. Abel

Das Institut für Regelungstechnik forscht auf den Gebieten der Modellierung und Regelung komplexer technischer Systeme. Methodische Schwerpunkte bilden derzeit u.a. die modellgestützte prädiktive Regelung, die robuste Regelung und digital vernetzte Regelsysteme. Die Gruppe »Energy« widmet sich dabei regelungstechnischen Fragen der Energietechnik.

The Institute of Automatic Control conducts research into modelling and control of complex technical systems. Methods currently focus on model predictive control, robust control and digital network control. Within this scope, the Energy group concentrates on power engineering processes.



Werkzeugmaschinenlabor WZL Laboratory for Machine Tools and Production Engineering

Institutsleiter/Head of Institute: Prof. T. Bergs, MBA

Das Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen University steht seit Jahrzehnten weltweit als Synonym für erfolgreiche und zukunftsweisende Forschung und Innovation auf dem Gebiet der Produktionstechnik. In vier Forschungsbereichen werden sowohl grundlagenbezogene als auch an den Erfordernissen der Industrie ausgerichtete Forschungsvorhaben durchgeführt. Ein wesentliches Forschungsgebiet stellt die »Zahnrad- und Getriebetechnik« dar, wo seit mehr als 60 Jahren industrie- und anwendungsbezogene Forschung in den Bereichen Technologie der Zahnradfertigung, Getriebe- und Fertigungssimulation sowie Getriebeuntersuchung durchgeführt wird.

For many decades now, the Laboratory for Machine Tools and Production Engineering (WZL) at RWTH Aachen University has been recognized worldwide for successful, forward-thinking research and innovation in production engineering. Focusing on four different work areas, research activities not only relate to fundamental theories and findings but also to the application of findings in an industrial context. One essential field of research is »gear technology«, where industrial- and application-oriented research has been performed in gear manufacturing technology, gear design, manufacturing simulation and gear testing for more than 60 years.

Impressum Imprint

Herausgeber/Publisher

Center for Wind Power Drives CWD

Prof. Dr.-Ing. Georg Jacobs

Sprecher des Vorstandes/Spokesman of the Executive Board

Redaktion, Übersetzung/Editor, translator

Chrissowalandou Apdarmani M. A.

Gestaltung/Layout

Dipl.-Des. Heike Iris Plath

Druck/Print

Druckerei Mainz, Aachen

Bildnachweis/Image source

aerodyn Energiesysteme GmbH (Titel/Cover)

AIA (S./P. 20, 21)

CWD (S./P. 4, 6, 8, 10, 12, 14, 18, 30)

E.ON ERC PGS (S./P. 24)

innogy (S./P. 16/17)

IRT (S./P. 25)

MSE (S./P. 2)

Heike Plath (S./P. 5)

REpower Systems AG (S./P. 28)

Peter Winandy (S./P. 26)

WZL (S./P. 22)

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.

Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des Nachdrucks und der Vervielfältigung der Broschüre – oder Teilen daraus – vorbehalten. Kein Teil der Broschüre darf ohne schriftliche Genehmigung des Centers for Wind Power Drives in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm, Digitalisierung oder andere Verfahren), auch nicht für Zwecke der Unterrichtsgestaltung, reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

This work is protected by copyright.

All rights, including rights of translation, of reproduction by printing or by copying of this book or parts thereof, are reserved. No part of this work may be reproduced, processed or disseminated in any form using electronic systems (by photocopying, microfilming, digitalisation or other processes), even for educational purposes, without the express prior written permission of the Chair for Wind Power Drives.

März 2019/March 2019

3. Auflage/3rd Edition

Aachen

Ihr Kontakt/Your Contact:



Center for Wind Power Drives

Prof. Dr.-Ing. Georg Jacobs

Sprecher des Vorstandes/Spokesman of the Executive Board

Telefon/Phone: +49 241 80-95635

Fax: +49 241 80-92256

georg.jacobs@cwd.rwth-aachen.de

www.cwd.rwth-aachen.de

Um seine Partner regelmäßig über aktuelle Entwicklungen und Aktivitäten informieren zu können, hat das CWD einen Newsletter eingerichtet. Wenn Sie diesen Newsletter erhalten möchten, senden Sie bitte eine Mail mit Ihren Kontaktdaten an:

news@cwd.rwth-aachen.de

The CWD established a newsletter to inform its partners regularly about the latest news and activities. If you would like to receive this newsletter, please send your contact details to the following address:

news@cwd.rwth-aachen.de