

# Anforderung und Durchführung von Feldtests an realen Windenergieanlagen mit moderner Regelung

## Requirement and realisation of field tests on real wind turbines with modern control systems

Jeffrey Stegink\*, Thorben Wintermeyer-Kallen<sup>#</sup>, Andreas Klein<sup>#</sup>, Julia Kersten\*, Reik Bockhahn\*, Dirk Machost\*, Maximilian Basler<sup>#</sup>, Dirk Abel<sup>#</sup>, Janos Zierath\*

\* W2E Wind to Energy GmbH  
Grubenstraße 44  
18055 Rostock  
JStegink@wind-to-energy.de

<sup>#</sup> Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule (RWTH) Aachen  
Institut für Regelungstechnik  
Campus-Boulevard 30  
52074 Aachen

### Kurzfassung

## 1 Einleitung

Durch die Energiewende und die damit verbundene Auslegung von immer leistungsfähigeren Windenergieanlagen (WEA) wird die strukturelle Integrität in Hinblick auf eine maximale Lebenserwartung zu einer anspruchsvollen Aufgabe. Derzeit werden Windenergieanlagen mit einer Vielzahl von Einzelregelkreisen betrieben. Dazu gehören unter anderen eine Drehmomentregelung, eine Drehzahlregelung, eine Leistungsregelung, eine individuelle Pitchregelung und weitere, welche jedoch alle das Drehmoment des Generators bzw. die Pitchgeschwindigkeit der Rotorachsen stellen. Zum Problem führt hierbei, dass die Ziele einiger Regelkreise konträr zueinander sind, wodurch sich eine einheitliche Parametrierung über den gesamten Betriebsbereich schwierig gestaltet. Um diesen steigenden Anforderungen gerecht zu werden, finden moderne Regelstrategien Anwendung. Theoretische Untersuchungen dazu finden bereits seit Jahrzehnten statt. Eine adäquate Umsetzung in die Praxis scheidet zumeist an unzureichenden Ressourcen bzw. Zugang zu realen Anlagen. Die Zusammenarbeit der W2E mit der RWTH bietet hier die Möglichkeit, Theorie und Praxis zu vereinen.

## 2 Problembeschreibung

Aus wirtschaftlicher Sicht werden die klassischen PID-Regelalgorithmen aus der industriellen Praxis verwendet und so ausgelegt, dass diese stets die maximale Ausbeute aus den vorhandenen Umgebungsbedingungen erzielen. Im Gegensatz dazu verfolgt die modellprädiktive Regelung (MPR) das Ziel, aus einer Vielzahl möglicher Szenarien das optimale Regelverhalten zu ermitteln. Durch die Schätzung der aktuellen und die Vorhersage zukünftiger Zustandsgrößen der Windkraftanlagen nimmt die MPR einen proaktiven Charakter im Vergleich zum reaktiven Charakter der klassischen Regelung an. Modellbasierte Prädiktive Regelungen bietet aufgrund der Echtzeit-Optimierung den Vorteil gegenläufige Regelziele, wie Leistungsoptimierung und Lastreduktion, unter Einhaltung der vorgegeben Betriebsgrenzen, optimal zu erreichen. Während der Entwurf von modellprädiktiven Reglern für Windenergieanlagen in Simulationen in akademischen Studien ausführlich untersucht wurde [1], zeigte die Anwendung dieser Regler auf reale Windenergieanlagen lange offene Forschungsfragen auf. Das liegt möglicherweise daran, dass es noch keine vereinheitlichte Richtlinie zur Implementierung von nicht klassischen Reglern auf WEA gibt, die Anzahl an Forschungs-WEA minimal vertreten sind und die Implementierung neuer Regelungen auf einer Anlage eine Zertifizierungsprozedur mit sich zieht. Ein weiteres Problem besteht darin, dass moderne Regelalgorithmen mehr Rechenkapazität benötigen als die bisher eingesetzten PID-Regler und somit an die Grenzen der Echtzeitplattformen stoßen können.

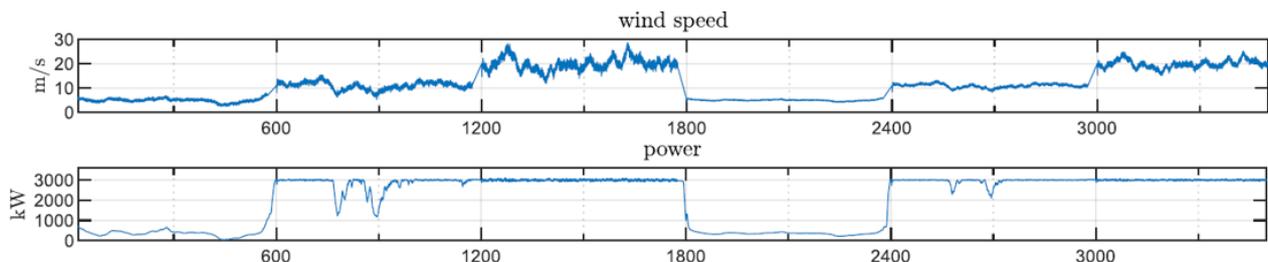
## 3 Methodik

Seit 2020 wurden vier Feldtests an der WEA 'W2E- 120/3.0fc' der Firma W2E Wind to Energy GmbH durchgeführt [2,3]. Bei der Anlage handelt es sich um eine dreiflügelige Horizontalachsen-Windturbine mit einer Nennleistung von 3 MW, einem Rotordurchmesser von 120 m und einer Nabenhöhe von 100 m. In Vorbereitung auf den Feldtest wurde ein modellbasierter, simulationsgestützter Entwicklungsprozess angewandt. Ein solcher Entwicklungsprozess bietet den Vorteil systematisch die modellprädiktive Regelung, für künftige Feldtests, entwerfen und erproben zu können. Die Teststufen 'System Simulation', 'Software in the Loop (SiL) Test' und 'Hardware in the Loop (HiL) Test' werden in [4] vorgeschlagen. Der Hintergrund hierfür ist die strukturelle Trennung von Meilensteinen im Entwicklungsprozess. Während der SiL-Test für die funktionale Erprobung der MPR in einer etablierten Simulationsumgebung zur Bewertung der simulierten

Systemzustände genutzt wird, wird der HiL-Test sowohl für die Kontrolle auf Echtzeitfähigkeit als auch für die generelle Prüfung der Funktionsfähigkeit des generierten Codes auf der SPS sowie zur Evaluation des Kommunikationssystems soft- und hardwareseitig genutzt. Erst nach erfolgreichem Abschließen dieser Stufen wird der eigentliche Feldtest angesetzt. Zusätzlich zu diesen vorangegangenen Sicherheitsmaßnahmen, läuft während des Feldtests die zertifizierte Software inklusive der konventionellen Reglerstruktur als Fail Safe im Hintergrund. Im Falle eines Versagens des neuen Regelalgorithmus wäre die Anlage damit geschützt. Außerdem erfolgt durch geschultes Personal eine konstante Überprüfung relevanter Systemparameter, wobei an zwei getrennten Stellen manuell eingegriffen werden kann

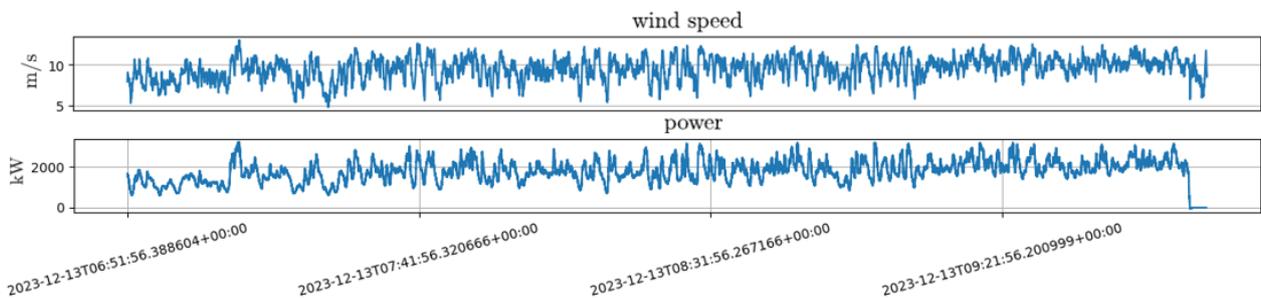
## 4 Ergebnisse

In folgender Abbildung 1 werden die Simulationsergebnisse aus dem SiL Test präsentiert. Hier wird aus dem Teillastbereich gestartet, um die Regelung nicht gleich unter Volllast zu prüfen. Nach 600 Sekunden wird die Windgeschwindigkeit erhöht, sodass die Regelung auch unter Volllast erprobt werden kann.



**Bild 1** Simulationsergebnisse aus einem SiL Test [2]

In der nächsten Abbildung 2 sind Ergebnisse aus einem Feldtest zu sehen. Insgesamt lief die Anlage unter neuer Regelung etwa 3 Stunden durch.



**Bild 2** Ergebnisse aus dem Feldtest

## 5 Zusammenfassung

Die Messzeit für erfolgreich aufgenommene Messdaten erhöhte sich vom ersten Feldtest von 90 min in mehreren Abschnitten auf zwei Mal durchgängig aufgenommene drei Stunden beim vierten Feldtest. Entlang der Zeitachse der durchgeführten Feldtests konnte eine kontinuierliche Verbesserung erzielt werden. Anhand der Ergebnisse ist zu erkennen, dass der Feldtest ein zeitaufwändiger Prozess werden kann. Bei den simulierten Test kann die Windgeschwindigkeit auf den zu untersuchenden Bereich eingestellt werden. Im Gegensatz dazu kann der Feldversuch mittels Windvorhersagen zeitlich nur grob geplant werden. Zusätzlich ist darauf zu achten, dass für die Inbetriebnahme des neuen Reglers möglichst wenig Wind herrscht, dieser sollte im Idealfall allerdings ansteigen, um das Reglerverhalten für alle Betriebsbereiche zu überprüfen.

## Literatur

- [1] LIO, Alan Wai H.: A Review on Applications of Model Predictive Control to Wind Turbines, 2014
- [2] DICKLER, Sebastian: Full-scale field test of a model predictive control system for a 3 MW wind turbine, 2021. – ISSN 0015–7899, S. 313–323
- [3] ZIERATH, JANOS: Model Predictive Control on Wind Turbines - Steps to the Industrial Practice and Perspectives IUTAM Symposium on Optimal Design and Control of Multibody Systems, Hamburg (Germany), 18 Jul - 21 Jul 2022
- [4] DICKLER, Sebastian: Rapid control prototyping of model predictivewind turbine control toward field testing, 2020

# DuEPublico

Duisburg-Essen Publications online

UNIVERSITÄT  
DUISBURG  
ESSEN

*Offen im Denken*

ub | universitäts  
bibliothek

In: Zehnte IFToMM D-A-CH Konferenz 2024

Dieser Text wird via DuEPublico, dem Dokumenten- und Publikationsserver der Universität Duisburg-Essen, zur Verfügung gestellt. Die hier veröffentlichte Version der E-Publikation kann von einer eventuell ebenfalls veröffentlichten Verlagsversion abweichen.

**DOI:** 10.17185/duepublico/81698

**URN:** urn:nbn:de:hbz:465-20240304-125710-7

Alle Rechte vorbehalten.