



Grenzen verschieben durch modellbasierte Entwicklung

MPC-Regelung für Windenergieanlagen



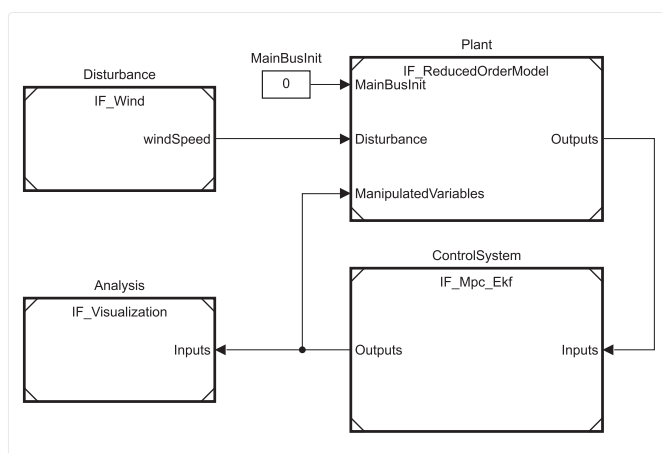
Betreiber von Windenergieanlagen wünschen sich naturgemäß eine größtmögliche Windenergieausbeute für einen maximalen monetären Ertrag. Dieser Forderung steht der schonende Betrieb der Anlage – zumindest kurzfristig – diametral gegenüber. Doch wie diese beiden Gegenpole unter einen Hut bringen? Dazu müssen innovativere Regelungskonzepte her: Eine Antwort bietet die Modellbasierte Prädiktive Regelung für Windenergieanlagen der RWTH Aachen. Diese wurde anhand eines durchgängigen, simulationsgestützten Entwicklungsprozesses entworfen und nun erstmals im Feldtest an einer Multi-Megawatt-Anlage des Rostocker Unternehmens W2E Wind to Energy GmbH (W2E) erprobt.

Wie alles begann

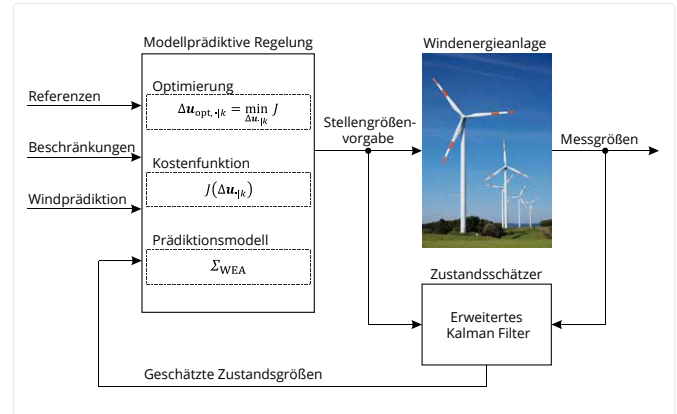
Ausgangspunkt dieses Entwicklungsprozesses sind Simulationsmodelle der untersuchten Windenergieanlage. Diese Modelle werden mit Messdaten aus der Realität abgeglichen um das dynamische Anlagenverhalten – wie etwa den Einfluss des Windes, die generierte Leistung und die mechanische Belastung des Turms – möglichst exakt abzubilden. „Anhand solcher Simulationsmodelle entwickeln wir die Modellbasierten Prädiktiven Regelungen. Wir testeten die Regelungen in Systemsimulationen, sowie in Software- und Hardware-in-the-Loop-Tests mit der realen Steuerungshardware“, erklärt Thomas Konrad, Abteilungsleiter für Energiesysteme am Institut für Regelungstechnik an der RWTH Aachen und erklärt weiter, „in einem gemeinsamen Forschungsprojekt mit W2E hatten wir jüngst die Chance, die bis dato simulativ entwickelte Regelung erstmals an einer realen Anlage zu testen.“ Ralf Becher, Key Account Manager bei Bachmann electronic, ergänzt: „Sowohl die RWTH Aachen als auch W2E sind bei uns langjährige Kunden. Deshalb wurden wir von Anfang an in das Projekt eingebunden und unterstützen gerne mit der notwendigen Hardware, Software und Support-Know-How.“

Zeit für etwas Neues

Durch ein erweitertes Kalman-Filter werden für die Regelung interessante Größen wie z. B. die rotoreffektive Windgeschwindigkeit geschätzt. Die in Kooperation zwischen Industrie und Forschung



Simulink-Modell der simulativen Entwicklungsumgebung mit den Teilsystemen der Regelstrecke der Windenergieanlage, dem zu testenden Regelungssystem sowie der simulativen Vorgabe der Windgeschwindigkeit und Analysefunktionen Dickler, S., Kallen, T., Zierath, J., & Abel, D. (2020). *Rapid control prototyping of model predictive wind turbine control toward field testing*. *Journal of Physics: Conference Series*, 1618, 22068. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1618/2/022068>



WEA-Regelungsstruktur mit Regelungssystem bestehend aus Zustandsschätzer und MPR (mit Modulen Optimierung, Kostenfunktion und Prädiktionsmodell) Dickler S., Kallen T., Konrad T., Abel D. (2021). *Windenergieanlagen-Regelung: Ein Modell für die Zukunft*. *ATP!Info*, Artikelnummer: 03654_2021_05_05. <https://doi.org/10.17560/atp.v63i05.2536>

entwickelte Modellbasierte Prädiktive Regelung nutzt die durch den Zustandsbeobachter geschätzten Größen sowie das Anlagenmodell, um das zukünftige Verhalten zu präzisieren. „Hiermit können wir das Anlagenverhalten etwa für die nächsten fünf Sekunden vorhersagen“, erklären die Projektbearbeiter und Wissenschaftlichen Mitarbeiter Sebastian Dickler und Thorben Wintermeyer-Kallen. „Zudem sind mehrere Regelungsziele zeitgleich verfolgbar. Das Primärziel ist die Maximierung der Leistungsgenerierung. Das Sekundärziel ist die Reduktion der mechanischen Lastwechsel, um die Anlagenkomponenten zu schonen.“

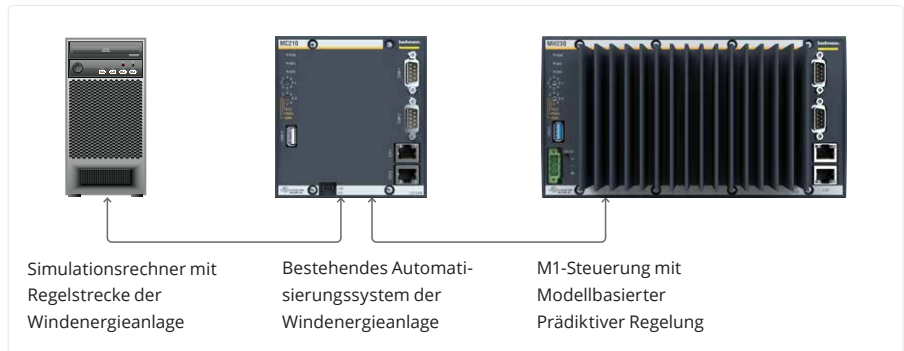
Ein weiterer großer Schwerpunkt der Forschungsarbeiten war der Aufbau einer Testinfrastruktur für Rapid Control Prototyping. „Hier bietet sich M-Target for Simulink® an, denn damit lässt sich die M1-Steuerung direkt mit MATLAB®/Simulink® programmieren“ erklärt Ralf Becher. Dem stimmt Sebastian Dickler zu und ergänzt: „Die Durchgängigkeit von MATLAB®/Simulink® bis zur M1-Steuerung ist für uns ein wesentlicher Bestandteil, um die Regelungsalgorithmen mit verschiedenen Teststufen zu überprüfen – von der Simulation bis in die reale Anlage“.

Einmal entwickeln bitte

Der im Projekt entwickelte Regelungsalgorithmus kann anhand der vorhandenen Simulationsmodelle vollständig validiert werden. Dies ist ein weiterer großer Vorteil des simulationsgestützten Rapid Control Prototyping, denn damit können passende Reglerparameter bereits am Büroplatz gefunden und optimiert werden.

Hardware-in-the-Loop(HiL)-Aufbau:

Simulationsrechner simuliert WEA-Regelstrecke (links), MC210-SPS führt existierendes WEA-Automatisierungssystem aus (Mitte), MH230-SPS führt MPR-System aus (rechts). SPS Automatisierungssystem von Bachmann electronic
 Dickler, S., Kallen, T., Zierath, J., & Abel, D. (2020). Rapid control prototyping of model predictive wind turbine control toward field testing. *Journal of Physics: Conference Series*, 1618, 22068. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1618/2/022068>



Zudem lässt sich das Verhalten des geregelten Systems in simulierten Fehlerszenarien gefahrenfrei untersuchen. Damit wird sowohl die Inbetriebnahmezeit als auch das Risiko an der realen Anlage auf ein Minimum reduziert.

Nachdem Systemsimulationen die gewünschten Ergebnisse lieferten, folgten als nächster Schritt die „Software-in-the-loop(SIL)-Tests“. „Mit dem SIL-Test überprüfen wir die Robustheit des kompilierten Regler-Codes und testen das Zusammenwirken von Regelung und Betriebsführung.“ so Sebastian Dickler. Der Regler-Code wird in dieser Teststufe gemeinsam mit der Anlagensimulation auf einem Entwicklungs-PC ausgeführt.

Anschließend wird die Regelung in Hardware-in-the-loop-Tests hinsichtlich ihrer Funktionalität und Robustheit auf der M1-Steuerung als Ziel-Hardware überprüft. „Den steuerungsübergreifenden Signalaustausch als Busstruktur können wir bereits im Simulink® Modell durch vorgefertigte Simulink-Blöcke aus der Bachmann Library verankern. Dies spart Zeit und minimiert mögliche Implementierungsfehler“ erklärt Thorben Wintermeyer-Kallen.

Der Test auf der Ziel-Hardware offenbarte aber auch die tatsächlich notwendige CPU-Rechenleistung unter Echtzeitbedingungen. „Der eingesetzte, sehr rechenintensive Regelungsalgorithmus war jedoch für unser neues CPU-Flaggschiff, der MH230 mit 2 individuell nutzbaren CPU-Echtzeitkernen, keine Herausforderung“ erzählt Ralf Becher.

Knistern an realer Anlage

Der Test am lebendigen Objekt erfolgte an einer 3-MW-Windenergieanlage von W2E. „Der Regler wurde bereits im Zuge unseres Rapid-Control-Prototyping-Prozesses vollständig simulationsbasiert parametrisiert. Somit konnten wir in wenigen Stunden die Anlage in Betrieb nehmen und mussten während des Feldtests keinerlei Anpassungen mehr vornehmen“, berichten Sebastian Dickler und Thorben Wintermeyer-Kallen und führen weiter aus: „Unsere Modellbasierte Prädiktive Regelung übernahm dabei die Aufgaben des standardmäßig eingesetzten Regelungssystems.“

Während dieser Tests lieferte das neue System vergleichbare Regelungsergebnisse in Bezug auf die elektrische Leistung, als auch für die auftretenden mechanischen Lasten. Das ist insofern ein starkes Ergebnis, da noch keinerlei Optimierung auf Basis der Experimente stattgefunden hat. In Zukunft soll die Stärke der Modellbasierten Prädiktiven Regelung, kontrahäre Regelungsziele optimal zu erreichen, weiter ausgenutzt werden.“

Während des Tests wurden zudem über 2.000 Signale zeitgleich mit dem Software Oszilloskop Scope3 direkt auf der M1-Steuerung aufgezeichnet. Damit wird das Verhalten des Algorithmus durchsichtig gemacht. Zudem stehen diese Daten für zukünftige Weiterentwicklungen zur Verfügung.

Und was nun?

„Mit dem Feldtest konnten wir die Brücke zwischen Theorie und Praxis schlagen“ fasst Thomas Konrad zusammen. „Wir konnten damit sowohl die grundsätzliche Funktion der Modellbasierten Prädiktiven Regelung an der realen Anlage nachweisen, als auch das Potential unserer Testinfrastruktur für das Rapid Control Prototyping aufzeigen“. Nun gilt es, die im Feldtest gewonnenen Erkenntnisse in den Regelungscode sowie die Simulationsmodelle einfließen zu lassen. „In einem Folgeprojekt sind weitere Feldtests bis in den Vollastbereich der Anlage angestrebt. Wir sehen aber auch im Teillastbereich noch deutliche Potentiale“ erklärt das Projektteam die nächsten geplanten Schritte. Hört sich an, als würden wir bald wieder Neuigkeiten vom innovativen Forschungsteam aus Aachen und Rostock erhalten.



KONTAKT

Ralf Becher
 Key Account Manager
 Bachmann electronic GmbH
info@bachmann.info