



PC- und EtherCAT-basierte Steuerung eines Hardware-in-the-Loop-Teststandes für Windparkregler

Gut vorbereitet zur See!

Mit Hilfe von Parkreglern unterstützen moderne Windparks den stabilen Betrieb des elektrischen Netzes. Für eine schnelle und kostengünstige Inbetriebnahme der Regler im Feld oder auf See sind Hardware-in-the-Loop-Tests unerlässlich. Auch in der Reglerentwicklung bieten solche Tests große Vorteile. Daher wurde am Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik (IWES) in Kassel, Deutschland, ein Hardware-in-the-Loop-Teststand für Windparkregler entwickelt. Der Parkregler und das Parkkommunikationssystem können als Hardware in einen Echtzeitsimulator eingebunden werden, welcher das Verhalten des Windparks und des Netzes abbildet. Die Entwicklung des Teststandes wird durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit gefördert und erfolgt in Zusammenarbeit mit dem Windenergieanlagenhersteller Areva Wind.

Regelungssysteme für Windparks und Windenergieanlagen haben einen großen Einfluss auf die Verfügbarkeit und somit auf die Wirtschaftlichkeit von Windparkprojekten. Aus diesem Grund steigen – gerade auch in Verbindung mit Offshore-Anlagen – die Qualitätsanforderungen an die Regelungs- und -software. Auch von Seiten der Zertifizierungsinstitutionen wird neuerdings ein dokumentiertes Qualitätsmanagement in der Reglerentwicklung gefordert, d. h. die Zertifizierung bezieht sich nicht mehr nur auf die Regelungsalgorithmen selbst, sondern auch auf die Entwicklungs- und Testprozesse für die Regelungs- und -software ^[1].

Ein wichtiger Teil eines solchen Entwicklungsprozesses sind Software- oder Hardware-in-the-Loop (HIL)-Tests, bei denen die Regelung – im Zusammenspiel mit Simulationsmodellen von Windenergieanlagen oder Windparks – unter realistischen Bedingungen getestet wird. Die wesentlichen Vorteile des HIL-Verfahrens sind:

- funktionaler Test der Regelung, mit Abdeckung aller relevanten Betriebssituationen
- reproduzierbare Umweltbedingungen, insbesondere der Windgeschwindigkeitsverläufe und der Netzbedingungen



© M. Ibeler/DOTI

Offshore-Windpark „Alpha Ventus“ vor der deutschen Nordseeküste

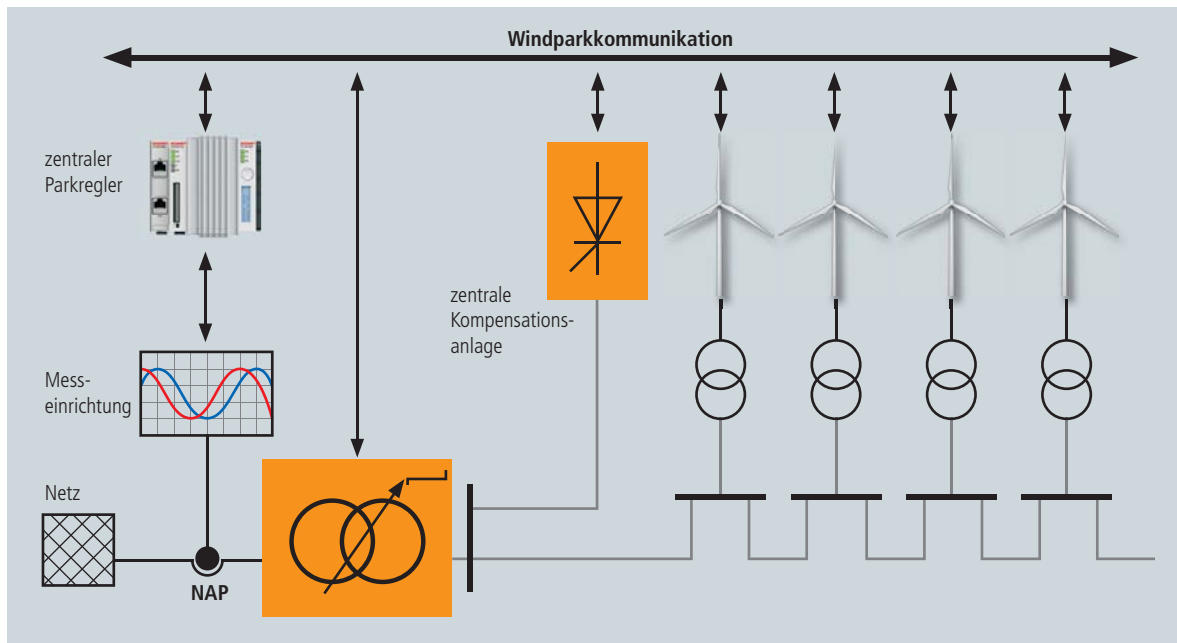
- sicherer Test der Reglerfunktionalität, auch in kritischen Situationen
 - drastische Reduzierung des Inbetriebnahmeaufwandes im Feld
- Insbesondere die HIL-Tests, bei denen die in der realen Anlage eingesetzte Reglerhardware über ein Hardware-Interface mit einem Echtzeit-Simulator gekoppelt wird, stellen hohe Anforderungen an die Simulationsmodelle.

Am Fraunhofer IWES in Kassel wurde für diese Zwecke eine modulare Modellbibliothek auf Basis der Simulationssoftware Matlab®/Simulink® erstellt, mit der geeignete Modelle für einzelne Windenergieanlagen und Windparks zusammengestellt werden können. Mit Hilfe der automatischen Code-Generierung können Echtzeitmodelle abgeleitet werden, die über die Einbindung in die Beckhoff-Automatisierungssoftware TwinCAT 3 direkt auf einer Industrie-PC-basierten Echtzeit-Simulationsumgebung ausführbar sind. Dabei sind die eigentlichen Modelle in eine Umgebung zur automatisierten Abarbeitung einer großen Zahl von Testfällen eingebettet. Für jeden Test können die externen Bedingungen, wie Windgeschwindigkeit und Netzspannung, aber auch das Auftreten von definierten Fehlern in der Anlage oder im Windpark spezifiziert werden. Der Aufbau des Echtzeit-Simulators auf Basis einer Beckhoff-Hardware erlaubt – im Zusammenspiel mit der modularen Modellstruktur – eine hohe Flexibilität für die Anpassung an die Kundenanforderungen und die Testaufgabe. Abbildung 2 zeigt den Aufbau und die Benutzeroberfläche der Hardware-in-the-Loop-Testumgebung für das Regelungssystem einer Windenergieanlage.

Hardware-in-the Loop-Testumgebung für Windparkregler

In modernen Windparks ist ein Parkregler als zentrale Regeleinheit unerlässlich. Die Regelung ermöglicht es, durch Systemdienstleistungen den stabilen Betrieb des elektrischen Netzes zu unterstützen. Dabei stützt die Wirkleistungsregelung

Abbildung 1: Schema eines Windparkregelungssystems



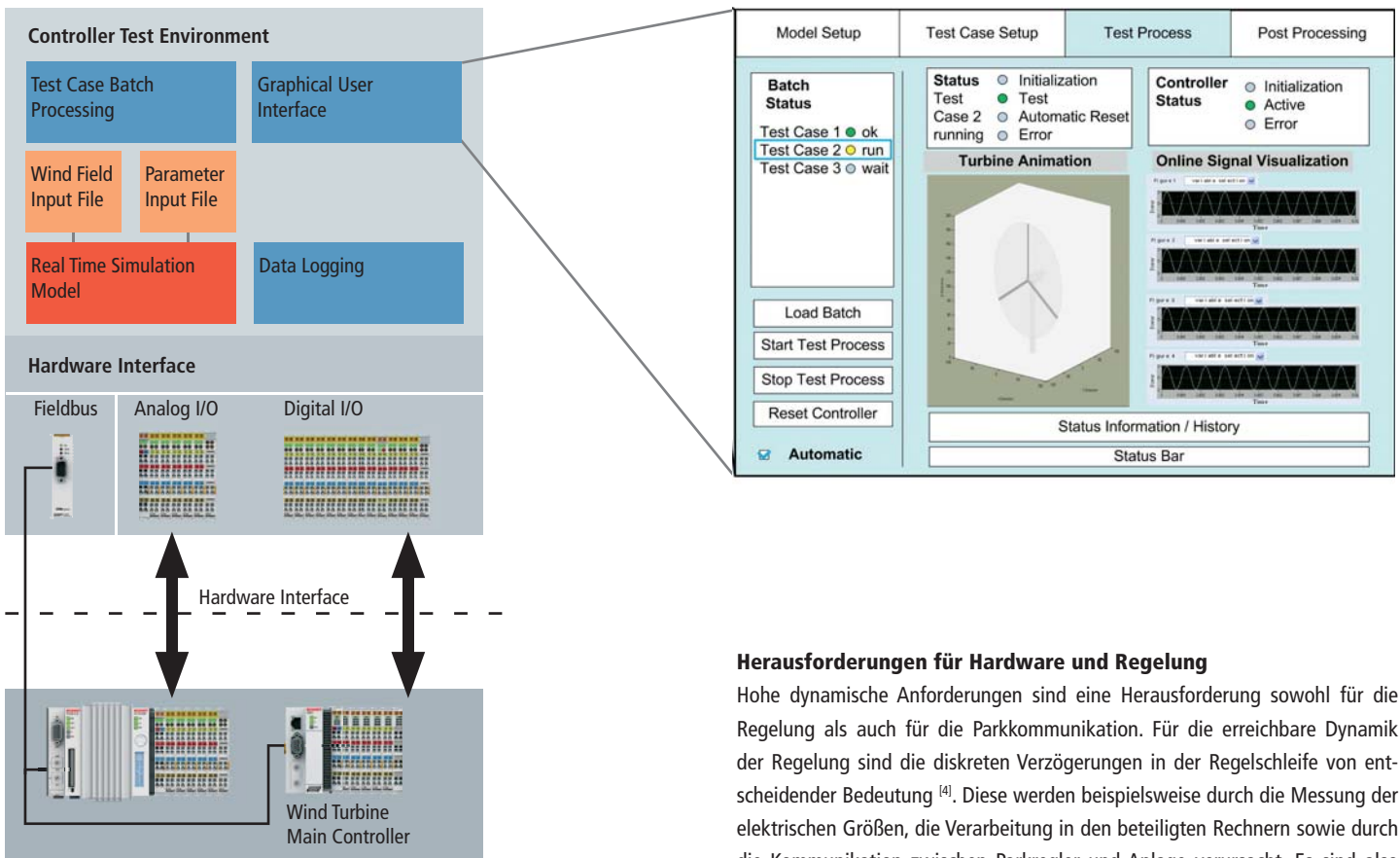


Abbildung 2: Schema und Benutzeroberfläche der Hardware-in-the-Loop-Testumgebung für Windenergieanlagenregler

die Frequenzhaltung im Netz, während die Blindleistungsregelung entscheidend ist für die Spannungshaltung im Anschlussbereich des Windparks. Der Parkregler wird mit Messwerten vom Netzanschlusspunkt versorgt und steuert über ein Parkkommunikationssystem die verschiedenen Stellglieder an. Als solche fungieren die einzelnen Windenergieanlagen sowie zusätzliche Kompensationsanlagen, wie z. B. Kondensatorbänke oder Statcoms. Ebenso können Transformatoren mit variablem Übersetzungsverhältnis als Stellglieder eingesetzt werden. (siehe Abb. 1)

Rahmenbedingungen der Netzbetreiber

Die zu erbringenden Systemdienstleistungen sind in so genannten Netzanschlussrichtlinien (Grid-Codes) formuliert. Diese unterscheiden sich von Land zu Land und von Netzbetreiber zu Netzbetreiber. So wird bei der spannungsstützenden Regelung zwischen verschiedenen Sollwertgrößen unterschieden. Beispielsweise können die Blindleistung oder der Leistungsfaktor vorgegeben sein, aber auch Kennlinien, wie eine Spannungs-Blindleistungsstatik. Sollwerte können fest vorgegeben sein, einem Fahrplan folgen oder per Fernwirktechnik durch den Netzbetreiber variiert werden. Auch die Anforderungen hinsichtlich der Reglerdynamik können sich deutlich unterscheiden: Während in Deutschland ein neuer Blindleistungssollwert aus der Q(U)-Kennlinie derzeit frühestens nach 10 Sekunden eingestellt sein darf [2], ist in Großbritannien laut Grid-Code eine Einschwingzeit von maximal zwei Sekunden vorgegeben [3]. In der Regel wird die Einhaltung dieser Anforderungen bei der Inbetriebnahme eines Parks geprüft. Von 2014 an wird auf dem deutschen Markt allerdings eine Zertifizierung des Parkreglers erforderlich sein.

Herausforderungen für Hardware und Regelung

Hohe dynamische Anforderungen sind eine Herausforderung sowohl für die Regelung als auch für die Parkkommunikation. Für die erreichbare Dynamik der Regelung sind die diskreten Verzögerungen in der Regelschleife von entscheidender Bedeutung [4]. Diese werden beispielsweise durch die Messung der elektrischen Größen, die Verarbeitung in den beteiligten Rechnern sowie durch die Kommunikation zwischen Parkregler und Anlage verursacht. Es sind also schnelle, idealerweise synchronisierte, Kommunikations- und Verarbeitungsprozesse innerhalb der Regelstrecke erforderlich. Die Regelung selbst muss bei hohen dynamischen Anforderungen sehr genau auf die vorliegende Regelstrecke abgestimmt sein. Zur Strecke gehören, neben den diskreten Verzögerungen, auch das dynamische Verhalten der Stellglieder sowie die stationären Verstärkungen durch elektrische Betriebsmittel im Park und im Netz.

Letzter Schritt vor dem Ernstfall

Ein universell einsetzbarer Parkregler weist eine komplexe Struktur und einen entsprechend umfangreichen Parametersatz auf. Er muss auf die eingesetzte Hardware abgestimmt sein, deren genaues Verhalten sich häufig nur mit hohem Aufwand durch Simulationen abbilden lässt. Es ist daher empfehlenswert, einen Parkregler vor der Inbetriebnahme bereits im Labor unter realistischen Bedingungen zu testen. Mit einem solchen Entwicklungsschritt können aufwändige Anpassungsmaßnahmen im Feld oder auf See vermieden werden.

Für diesen Zweck wurde am Fraunhofer IWES in Kassel ein HIL-Teststand für Windparkregler entwickelt. Der Parkregler und das Parkkommunikationssystem können als Hardware in einen Echtzeitsimulator eingebunden werden, welcher das Verhalten des Windparks in der erforderlichen Modelltiefe abbildet. Der Echtzeitsimulator besteht aus verschiedenen Teilmodellen, welche auf mehrere Industrie-PCs verteilt sind. Er enthält im Detail:

- Ein elektrisches Modell des Windparknetzes, inklusive Leitungen, Transformatoren und Netzanschluss. Hier ist vor allem die Nachbildung der Kopplungen zwischen Blindleistungseinspeisung und Spannung am Netzanschlusspunkt von Bedeutung.
- Anlagenmodelle, inklusive Aerodynamik, Generator und Umrichter. Die Anlagenbetriebsführung kann sowohl als Echtzeitmodell als auch in Hardwareform eingebunden werden.

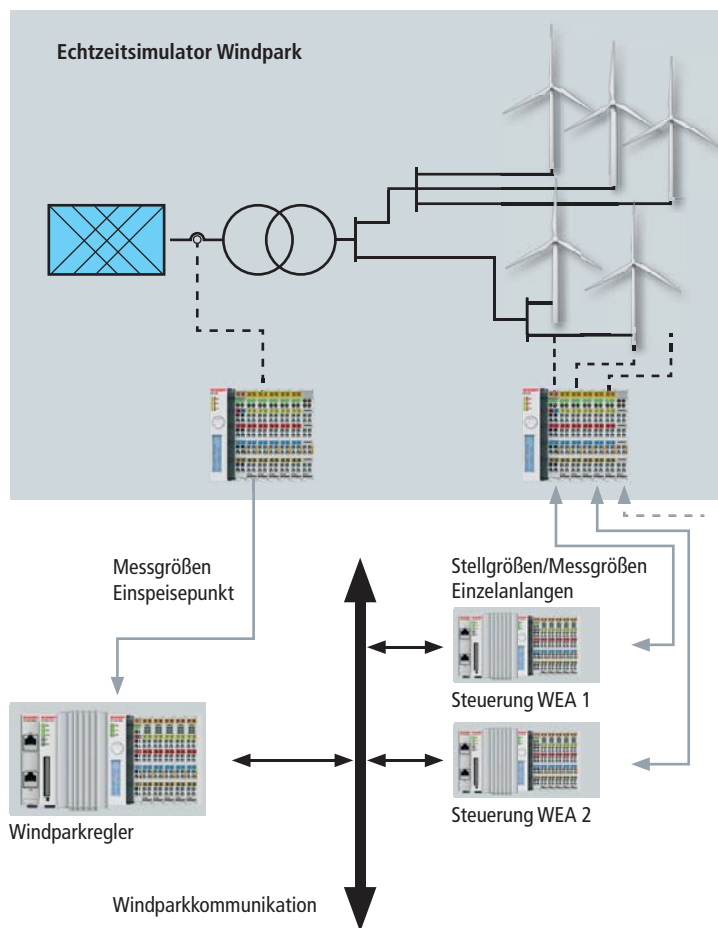


Abbildung 3: Schema des Echtzeitsimulators mit Parkregler und Anlagensteuerungen

- Ein Modell des Windfeldes, das zur Berücksichtigung im Park auftretender Abschattungseffekte mit den Aerodynamikmodellen der Anlagen gekoppelt ist.

Dabei sind die Rechenaktung der einzelnen Teilmodelle sowie die Taktung der Kommunikation zwischen den Teilmodellen auf die jeweils nachgebildeten physikalischen Eigenschaften abgestimmt. Für maximale Flexibilität hinsichtlich der Größe des Windparks ist der Echtzeitsimulator modular aufgebaut. So können die nötigen Anlagenmodelle auf mehrere Industrie-PCs verteilt werden.

Als Hardware für den Simulator wurden Beckhoff-Industrie-PCs der Serie C51xx gewählt. Die Anzahl der benötigten PCs richtet sich nach dem Umfang des zu simulierenden Windparks und dem Detailgrad der Modelle. Rechnerübergreifende Ein- und Ausgangssignale der einzelnen Modelle werden über das EtherCAT Automation Protocol ausgetauscht. Parallel dazu wird die Zeit aller Simulationsrechner mit EtherCAT synchronisiert. Die Busklemmen sind über EtherCAT-Koppler angeschlossen. Die Simulationsmodelle werden unter Nutzung des TwinCAT-3-Targets für Matlab®/Simulink® übersetzt und lassen sich damit direkt auf die Industrie-PCs übertragen. Zusätzlich koordinieren einfache PLC-Programme Start und Stopp der verteilten Simulation.

Das Schema des Echtzeitsimulators und der verknüpften Hardware ist in Abbildung 3 dargestellt. Der Simulator übergibt die für den Netzanschlusspunkt errechneten elektrischen Größen beispielsweise über eine Busklemme an den Parkregler. Dieser sendet seine Sollwerte über die Parkkommunikation an die Anlagensteuerungen, die über weitere Klemmen mit den Anlagenmodellen im

Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik

Das Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik (IWES) besteht seit 2009 mit den Hauptstandorten Kassel und Bremerhaven. Die Forschungsgebiete umfassen das gesamte Spektrum der Windenergie sowie die Integration der erneuerbaren Energien in die Versorgungsstrukturen. Das Institut beschäftigt 370 Fachkräfte und verfügt über ein Jahresbudget von rund 30 Mio Euro (Stand: 2011).

Simulator verbunden sind. Optional können die Anlagensteuerungen – teilweise oder komplett – als Software eingebunden werden.

Die Anwendungsmöglichkeiten des HIL-Teststandes liegen einerseits in der Reglerentwicklung bzw. in der Abstimmung eines Reglers auf einen bestimmten Park. So lassen sich die Reglerfunktionalitäten sowie der ordnungsgemäße Signalaustausch zwischen den Hardwarekomponenten (Zuordnungen, Skalierung) verifizieren. Die Reglerdynamik kann unter Einbeziehung des tatsächlichen Hardwareverhaltens beurteilt und gegebenenfalls angepasst werden. Im Gegensatz zu Anpassungen im Feld können hier die Eingangsbedingungen (Windgeschwindigkeit, Netzbedingungen) reproduzierbar eingestellt und auch extreme Ereignisse, wie Netzfehler, berücksichtigt werden.

Weiterhin könnte der Teststand im Rahmen eines zukünftigen Zertifizierungsprozesses für Parkregler eingesetzt werden. Aufgrund des Einflusses des Hardwareverhaltens auf die Reglerdynamik bietet eine Vermessung auf dem HIL-Teststand eine gute Basis für eine Beurteilung des Reglerverhaltens. Hierbei können verschiedene Standard-Windparkmodelle eingesetzt werden sowie unterschiedliche Eigenschaften des Netzanschlusses und der Stellglieder berücksichtigt werden.

Autorin: Dipl.-Ing. Melanie Hau, Gruppe Parkregelung und Echtzeitsimulatoren, Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik (IWES)

- [1] Germanischer Lloyd Industrial Services GmbH, Rules and Guidelines Industrial Services – Guideline for the Certification of Wind Turbines, 2010
- [2] Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V., Technische Richtlinie Erzeugungsanlagen am Mittelspannungsnetz, 2008
- [3] National Grid Electricity Transmission plc, The Grid Code, 2010
- [4] M. Hau, M. Shan, Windparkregelung zur Netzintegration, 16th Kassel Symposium Energy Systems Technology, 2011

weitere Infos unter:

www.iwes.fraunhofer.de

Areva Wind GmbH: www.areva-wind.com