



[extek]

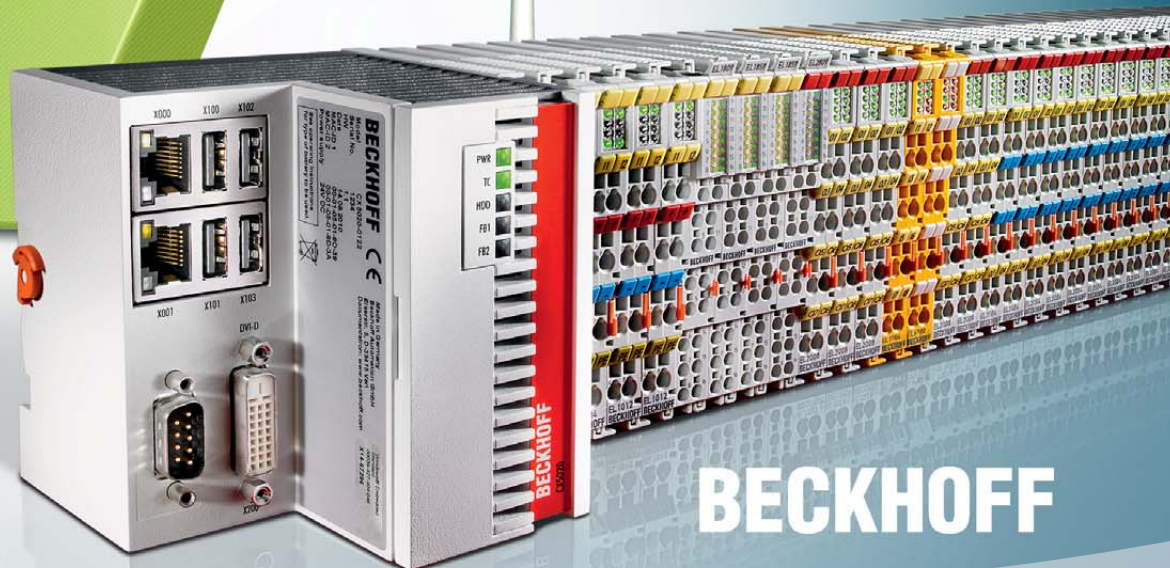
powered by



ELEKTROTECHNIK & AUTOMATION FÜR ERNEUERBARE ENERGIEN

Steuerungstechnik für Windkraftanlagen

Condition Monitoring
Power Monitoring
Fieldbus Integration
Safety
Fuzzy Control
...



BECKHOFF



FORSCHUNG

Ein neues Konzept für wiederaufladbare Batterien



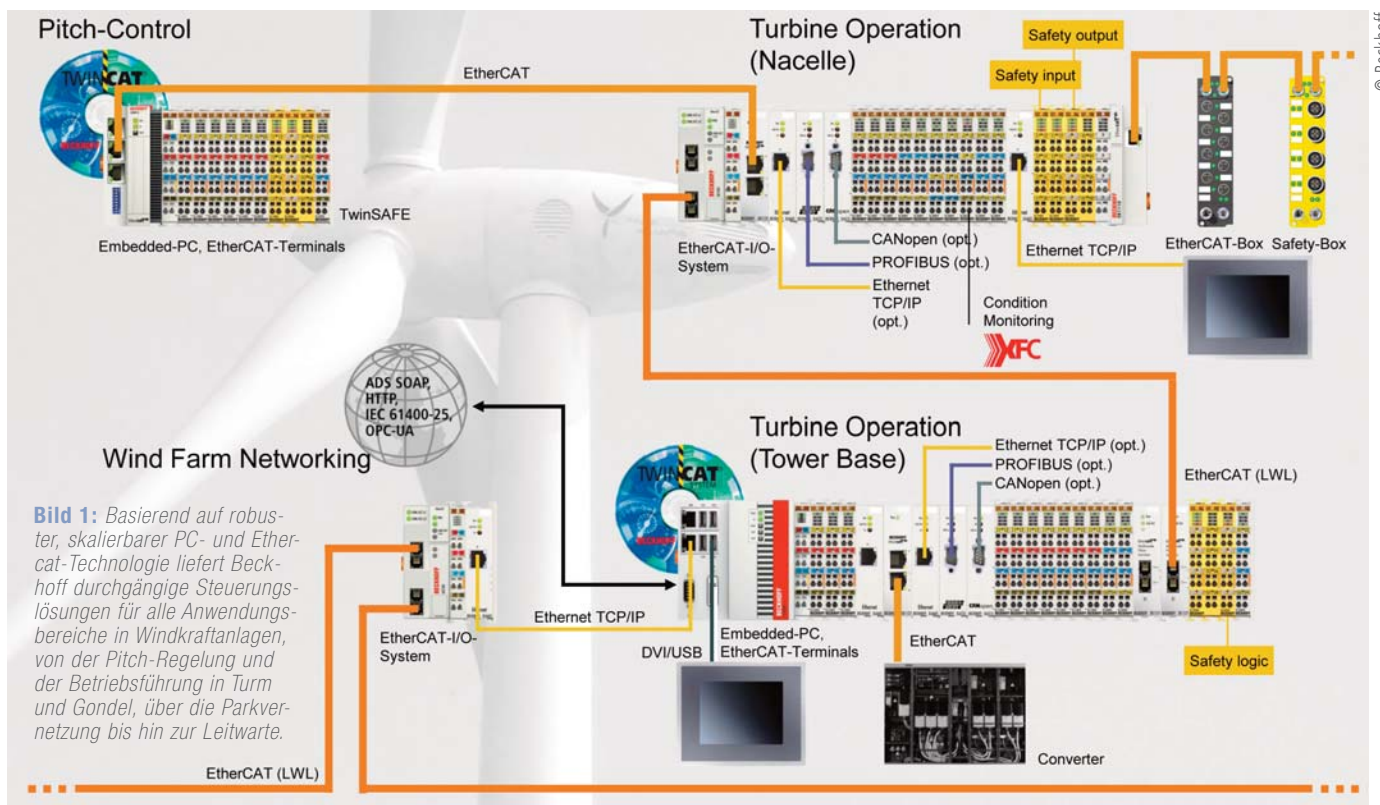
NEUHEITEN

Ein kompletter Antriebsstrang in einem Produkt



FACHARTIKEL

Ein Anlagenkonzept lässt Module dem Stand der Sonne folgen



Steuerungstechnik für Windkraftanlagen

Weltweit sind Windkraftanlagen mit einer Gesamtleistung von 194 Gigawatt im Einsatz; Spitzenreiter, vor den USA und Deutschland, ist China mit 42 Gigawatt – ein Erfolg, der noch vor einem Jahrzehnt so wenig vorhersehbar war, wie die Durchsetzung der PC-basierten Beckhoff-Steuerungstechnik im Windkraftanlagenbau: Mehr als 15.000 Windkraftanlagen weltweit wurden bisher mit Beckhoff-Technologie ausgerüstet. Das sind mehr als 24 Gigawatt installierter Leistung zur Produktion von umweltfreundlichen Strom.

Die PC- und Ethercat-basierte Beckhoff-Steuerungstechnik integriert auf einer durchgängigen Hard- und Softwareplattform nicht nur Ablaufsteuerung, HMI und Motion Control, sondern auch Sicherheitstechnik, Messtechnik und Condition Monitoring. Damit ist sie die optimale Basis für die integrierte Steuerung einer Windkraftanlage, von der Betriebsführung, über Pitch Control bis hin zur Parkvernetzung. Darüber hinaus ist Beckhoff zunehmend als Steuerungslieferant im gesamten Zulieferbereich von Windkraftanlagen im Einsatz, das heißt bei den Herstellern von Pitchsystemen, Bremsen und Umrüchtern.

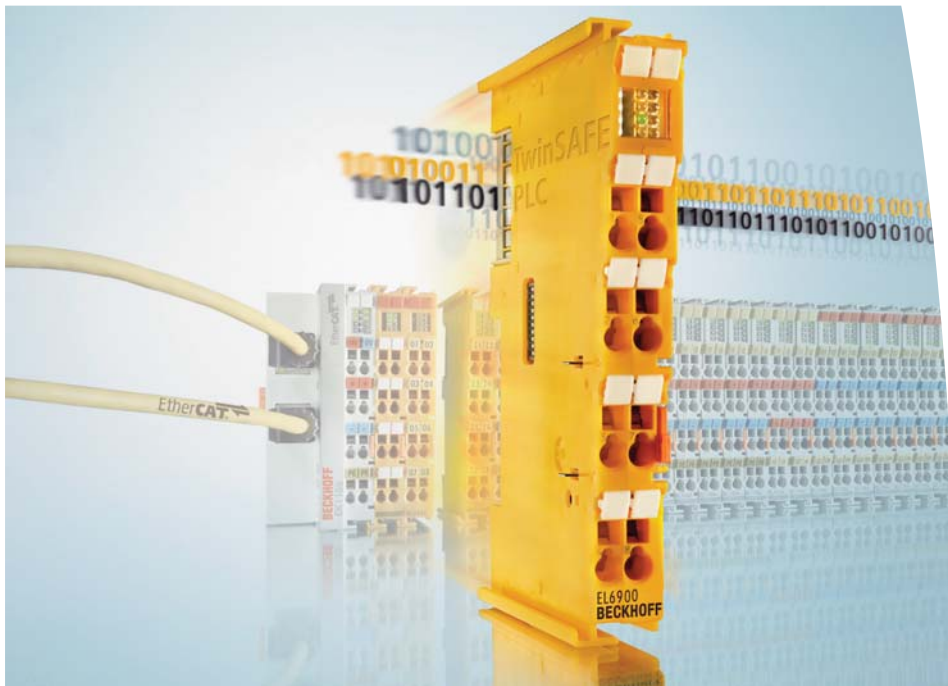
Offen ausgelegte Steuerungsarchitektur

Im Jahr 2000 wurden die ersten Kunden aus dem Windbereich auf *PC-based Control* von Beckhoff aufmerksam. Die offen ausgelegte Steuerungsarchitektur, die alle gängigen Feldbussysteme und eine Vielzahl an Signalformen unter-

stützt, passt zu dem Anforderungsprofil der Branche: leistungsmäßige Skalierbarkeit, Modularität und Signalvielfalt, Durchgängigkeit, Integration verschiedener Funktionalitäten, wie Sicherheitstechnik und Condition Monitoring, Flexibilität, etwa bei der Wahl der Steuerungstopologie, und Investitionssicherheit durch das Aufsetzen auf industriellen Kommunikationsstandards, wie IEC 61400-25, Ethernet TCP/IP und OPC. Heute sind die PC-basierte Steuerungstechnik und die Automatisierungskomponenten von Beckhoff weltweit auf Windkraftanlagen bis zu einer Größe von fünf Megawatt im Einsatz.

Lösungen für diverse Anforderungen

Mit seinen Produkten, angefangen bei den Embedded-PC-Geräten, über Ethercat und Scientific Automation, die *ET*-Busklemmen für den erweiterten Temperaturbereich von minus 25 bis plus 60 Grad Celsius, bis hin zur aktuellen Generation



© Beckhoff

Bild 2: Die Sicherheitslösung *TwinSafe* integriert die Sicherheitssensoren und -aktoren in die Beckhoff-I/O-Systeme, sodass eine überlagerte, hartverdrahtete Sicherheitskette entfallen kann.

der Automatisierungssoftware *TwinCAT 3* kann Beckhoff der Windkraftbranche passende Lösungen bereitstellen und auf die komplexen Anforderungen reagieren. Schnell wechselnde Anlagenzustände bei unterschiedlichen, teils extremen Klima- und Umweltverhältnissen stellen höchste Anforderungen an die Steuerungssysteme: Sie müssen Hitze, Kälte, Feuchtigkeit, Sand, extremen Windstärken, Turbulenzen und anderen Unwägbarkeiten standhalten und zuverlässig reagieren in Bezug auf: Windnachführung, Regelung der Anlage, Aufzeichnung der 10-Minuten-Mittelwerte und, im Fehlerfall, auch der Daten im Steuerungszyklus, exakte und aussagefähige Stau- oder Fehlermeldungen und netzstützende Einspeisung.

Durchgängige Systemlösung

Basierend auf PC- und Ethercat-Technologien liefert Beckhoff durchgängige Steuerungslösungen für alle Anwendungsbereiche in Windkraftanlagen, von der Betriebsführung für Turm und Gondel, über die Pitchregelung und die Parkvernetzung, bis hin zur Leitwarte – im Onshore-ebenso wie im Offshore-Bereich. Das Echtzeit-Ethernet-System Ethercat bildet die Basis für die schnelle Kommunikation mit EMV-resistenter Lichtwellenleiterverbindung in der Windmühle zwischen Turmfuß und Gondel und zur Parkvernetzung bei Distanzen bis zu zwei Kilometer (im Multimode) beziehungsweise bis zu 20 Kilometer (im Monomode). Ein flexibles Baukastensystem, bestehend aus Industrie- und Embedded-PCs, Controllern, Displays, I/O-

Komponenten und Automatisierungssoftware, erlaubt die Konfiguration einer leistungsgerechten Steuerungsplattform für Windkraftanlagen. Die Beckhoff-Standardsteuerung für eine Windkraftanlage besteht aus einem Embedded-PC als Leitrechner (im Turmfuß), Ethercat, als ultraschnellem Kommunikationssystem, und den angereichten Bus- oder Ethercat-Klemmen. Über Feldbusmasterklemmen lassen sich unterlagerter Feldbusse, wie CANopen, Profibus und Ethernet TCP/IP, zur Ansteuerung von Subsystemen ins Feld verlagern, ohne dass eine weitere CPU erforderlich ist. An den Leitrechner sind via Ethercat (oder optionalem Feldbussystem) der Umrichter sowie die Betriebsführung in der Gondel und der Pitch-Controller in der Nabe angebunden. Der zentrale Embedded-PC sammelt und verarbeitet die Daten aus Betriebsführung, Pitch-Controller und Umrichter, kontrolliert die Netzeinspeisung und kommuniziert über Ethernet mit der Leitwarte. Neben der Funktion als Kommunikationsschnittstelle dienen die Embedded-PCs auch zur Protokollierung aller erforderlichen Prozessdaten. Über erweiterbare Steckplätze für industrielle Flash-Karten des Embedded-PCs steht nahezu unbegrenzte Speicherkapazität für die Datenaufzeichnung bereit. Im Vergleich zu konventionellen Lösungen hat das PC-basierte Steuerungssystem von Beckhoff den Vorteil, dass nur ein PC für Steuerung, Bedienerschnittstelle und Datenhaltung erforderlich ist. Eine Vielzahl an Softwarebibliotheken für Windkraftanlagen ergänzt das Spektrum an Standard-Hardwarekomponenten und erlaubt beispielsweise die

Anbindung an Leitsysteme über Fernwirkprotokolle. Abgerundet wird das Beckhoff-Lösungspaket für die Windbranche durch gebündeltes Applikations-Know-how aus nunmehr zehnjähriger Erfahrung in der Steuerung von Windmühlen und die entsprechende Applikationssoftware.

TwinSafe: integrierte Sicherheitstechnik

Auch die Sicherheitsfunktionen einer Windkraftanlage, die in den letzten Jahren zunehmend an Bedeutung gewonnen haben, werden über die *TwinSafe*-Klemmen, die auf die verschiedenen I/O-Stationen in Turmfuß, Gondel und Pitch-Control verteilt sind, nahtlos in die Steuerungsanwendung eingebunden. Die Integration von Standard- und Safety-I/Os in einem System stellt die optimale Synergie aus Automatisierungs- und Sicherheitstechnologie dar und vereinfacht Projektierung, Programmierung sowie Verkabelung und Diagnose des Sicherheitssystems. Eine zentrale *TwinSafe*-Logik-Klemme fungiert als Verknüpfungseinheit zwischen den sicheren Ein- und Ausgangsklemmen. So können das Überdrehzahl-Relais, der Vibrationssensor und die Notastaster in den Sicherheitskreis eingebunden werden. Die Busklemmen erlauben den Anschluss aller gängigen Sicherheitssensoren und -aktoren. Die sichere Kommunikation erfolgt über das *TwinSafe*-Protokoll, das die sicherheitsrelevante Datenübertragung über beliebige Medien erlaubt. Mit dem Einsatz der Technologie entfällt auch die gesamte, für die traditionell hart-verdraht-



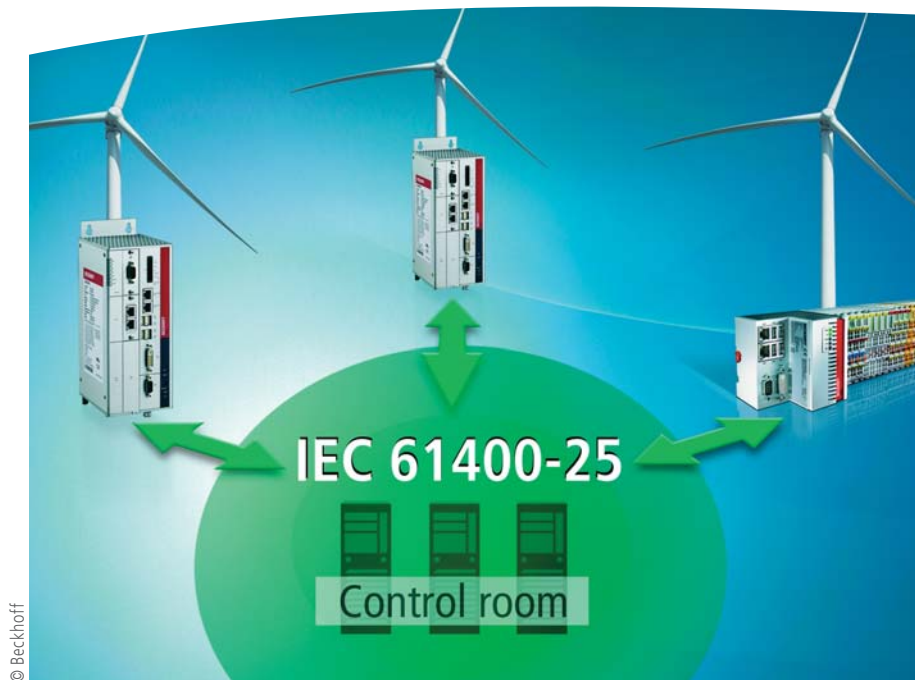


Bild 3: Mit der SPS-Bibliothek *TwinCAT PLC IEC 61400-25* unterstützt Beckhoff das standardisierte Kommunikationsprotokoll für Windkraftanlagen und vereinfacht damit die Überwachung heterogener Windparks.

tete Sicherheitskette erforderliche, vieladrige Kupferverkabelung zwischen Gondel und Turmfuß. Die Sicherheitskette wird über den, für die Automatisierung der Anlage ohnehin vorhandenen, Lichtwellenleiter geführt.

Kommunikationssystem für Betriebsführung und Leitwarte

Ethercat bietet, neben seiner hohen Performance, auch ein hohes Maß an Flexibilität. Mit dem Ethercat-Koppler *EK1501* sowie der Abzweigklemme *EK1521* für das Ethercat-Klemmensystem sind flexible Topologien auch mit Glasfaserphysik möglich, sodass die Kommunikation zwischen Turmfuß und Gondel möglich ist. Schnittstellenmodule erlauben die problemlose Einbindung unterlagerter Bussysteme. Da im Bereich Windkraftanlagen immer mehr Hersteller und Zulieferer eine Ethercat-Schnittstelle anbieten, setzen viele Windkraftanlagenhersteller heute schon durchgängig auf Ethercat. Das macht die Windkraftanlagensteuerung einfacher und robuster. Mit den verfügbaren Bus- und Ethercat-Klemmen lassen sich alle in der Windkraft relevanten Signalarten und Feldbusse abdecken. Ethercat, der schnelle, Ethernet-basierte Feldbus, bietet Echtzeiteigenschaften bei zeitkritischen Prozessanforderungen ohne den Einsatz von Spezialhardware in der Zentraleinheit. Auf Basis der Beckhoff *XFC-Technologie (eXtreme Fast Control)*, ist eine zeitliche Auflösung von weniger als 100 Nanosekunden mit

dem Zeitstempelverfahren möglich. So können Sensorsignale mit Abtastzeiten von weniger als 10 Millisekunden eingeleitet werden. Ethercat lässt sich außerdem sehr gut zu Diagnosezwecken nutzen.

Integration von Messtechnik und Condition Monitoring

Die Industrie-PCs von Beckhoff bieten, in Verbindung mit Ethercat, die Grundlage zur Erweiterung der Automatisierungstechnik durch ingenieurwissenschaftliche Erkenntnisse. Beckhoff hat hierfür den Begriff der Scientific Automation geprägt, die Spezialfunktionen, die Messtechnik und das Condition Monitoring nahtlos in die Steuerung integrieren. Die aufwendige Koppelung klassischer, als separate Hardwaremodule ausgeführter Condition-Monitoring-Systeme mit dem Automatisierungssystem kann hier entfallen. Neben dem Zusammenspiel aller Komponenten und der Reduktion der Hardwarekosten wird auch das Engineering vereinfacht: Konfiguration, Programmierung und Diagnose erfolgen mit *TwinCAT* auf einem System. Standard-Ethercat-Klemmen für Condition Monitoring erlauben die direkte Anbindung eines Beschleunigungsaufnehmers mit IEPE-Interface.

Anlagenausfälle vermeiden

Die Sensoren nehmen Schwingungen eines Lagers oder Motors auf, um durch Analyse der gemessenen Werte Schädigungen

bereits vor einem Stillstand zu erkennen. So lassen sich Anlagenausfälle vermeiden oder Wartungsintervalle verlängern. Die erfassten Zustandsdaten werden über Ethercat an den PC übermittelt, wo die Signalanalyse erfolgt: wahlweise über die Automatisierungssoftware *TwinCAT* oder eine Reihe von SPS-Bibliotheken mit verschiedenen Filtern und Reglern, oder via Anwendersoftware. Die grafische Beurteilung und das Loggen von Daten übernimmt das Software-Oszilloskop *TwinCAT Scope 2*. Die Beckhoff-I/O-Systeme bieten außerdem zahlreiche Module zur Integration der Leistungsmessung in die Steuerungsplattform: Standard-I/O-Klemmen, für 3-Phasen-Leistungsmessung, Oszilloskop-Funktion und PWM bieten eine kostengünstige Lösung, beispielsweise zur Netzanalyse oder zur Überwachung der Akkumulatoren in Pitch-Controllern.

Offene, skalierbare Automatisierungssoftware

Das offene, skalierbare Automatisierungsprogramm *TwinCAT* ist eine Software-SPS für PCs, die Ablaufsteuerung, HMI, Safety, Condition-Monitoring-Systeme (CMS) und Hydraulikansteuerungen im Engineering und in der Runtime integriert. Die Nutzung technologischer Standards auf der Basis von *Windows*-Betriebssystemen eröffnet vielfältige Optionen, wie etwa die internetbasierte Fernwartung von Windkraftanlagen. Mit der aktuellen Softwaregeneration von Beckhoff stehen dem Programmierer, neben den objektorientierten Erweiterungen der IEC 61131-3, nun auch die Sprachen der IT-Welt, C und C++, zur Verfügung. Durch die Integration von *Matlab/Simulink* und *Scada* in die Entwicklungsumgebung stellt *TwinCAT 3* ein komfortables Werkzeug zum Entwurf der Reglersoftware dar. Unter Zuhilfenahme dieses Simulationswerkzeuges in einer frühen Phase des Anlagen-Engineerings lassen sich Entwicklungs- und Inbetriebnahmezeiten neuer Anlagen reduzieren.

Durchgängige Lösung, auch beim Pitchsystem

Pitchsysteme zur Steuerung der Rotorblätter der Windmühle sind rauen Betriebsbedingungen und hohen Belastungen ausgesetzt und müssen als Sicherheitssysteme jederzeit funktionsfähig bleiben. Mit ihnen wird nicht nur die Rotordrehzahl präzise dem Windangebot an-

gepasst, sondern im Extremfall werden sie als Notfallbremse eingesetzt. Redundanz, Wartungsarmut und hohe Belastbarkeit sind deshalb zentrale Anforderungen an die Steuerung von Pitchsystemen. Mit dem Größenwachstum von Windenergieanlagen, die mittlerweile in Dimensionen jenseits der fünf Megawatt vorstoßen, kommen auch neue technologische Herausforderungen auf die Hersteller von Pitchsystemen zu. Die Beckhoff-Embedded-PCs der Serie CX eignen sich wegen ihrer Modularität für den Einsatz in Pitchsystemen. Die Unterstützung aller am Markt gängigen Feldbussysteme, sowohl als Master als auch als Slave, und die feine Granularität der Busklemmen erleichtern dem Hersteller die kundenspezifische Anpassung seiner Pitchsysteme, entsprechend den Anforderungen unterschiedlicher Windmühlendesigns.

Blattwinkelsteuerung

Die Blattwinkelregelung von Windrädern, mit der die dem Wind entnommene Leistung reguliert wird, basiert heute auf PD-beziehungsweise PID-Reglern. Diese sorgen dafür, dass die vom Rotor aufgenommene Leistung nicht höher ist als die Nennleistung der Windkraftanlage. Aufgrund des nicht-linearen Verhaltens der Anlagen ist die Auslegung der Regler jedoch eine sehr zeitintensive Angelegenheit, die auf der Optimierung konkurrierender Kriterien, wie geringer Drehzahlabweichung und hohem Energieertrag bei geringen Lasten, im Simulationsprozess beruht. Beckhoff hat für die Automatisierungssoftware *TwinCAT* einen Fuzzy-Regler entworfen, der die Blattwinkelregelung überwacht und eine Blattwinkelstellrate ausgibt, sodass man die Rotordrehzahl effektiver regeln kann. Insbesondere beim Einfahren und der Inbetriebnahme der Anlage bietet der softwarebasierte Fuzzy-Regler Vorteile durch vereinfachte Parametrierung. Er ist so robust, dass sich selbst bei schwerwiegenden Änderungen am Getriebe oder Pitch ein erfolgreiches Regelverhalten erzielen lässt.

Zuverlässige Stromeinspeisung

Der stetig wachsende Anteil der Windkraft an der Stromerzeugung stellt immer größere Anforderungen an die Netze. Während in früheren Zeiten die Energieversorger bei Netzproblemen die Windturbinen vom Netz nahmen, müssen diese heute das Netz stützen. Die ent-

scheidende Rolle spielen dabei die Umrichter. Sie liefern nicht nur die gewünschte Stromfrequenz und -spannung sondern unterstützen schwache Netze durch die Einspeisung respektive die Aufnahme von Blindleistungen. So kann die Windkraftanlage an ihrem optimalen Betriebspunkt betrieben und die Energie effizient ins Stromnetz eingespeist werden. Immer häufiger finden sich im Markt Direktantriebslösungen, die den Rotor der Windkraftanlage direkt mit dem Generator verbinden und ein Getriebe überflüssig machen. Die Folge ist eine erhöhte Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit sowie eine vereinfachte Wartung über den gesamten Lebenszyklus der Windkraftanlage hinweg. Die Steuerung des Umrichters übernimmt ein Beckhoff-Embedded-PC. Der Einsatz des EtherCAT-IO-Systems zur Datenübertragung zwischen Anlagensteuerung und Umrichter erlaubt die Bereitstellung beliebiger Kommunikationsschnittstellen, wie Profibus, CANopen, DeviceNet oder RS485. Es wird projektspezifisch einfach der geeignete Kommunikationsmaster aus dem modularen EtherCAT-Klemmen-Baukastensystem gewählt und implementiert. Wenn die Turbinensteuerung ebenfalls von Beckhoff stammt, ist die Anbindung der Betriebsführung auch über EtherCAT oder Real-time-Ethernet möglich.

PC-based Control für Bremssysteme

Die präzise Kontrolle der Anlagenperformance in allen denkbaren Situationen ist ein großes Thema bei Windenergiesystemen. Daher haben sich Bremssysteme zum kontrollierten und präzisen Abbremsen des Rotors und dessen Arretierung zu komplexen Subsystemen entwickelt, die mit der Gesamtanlage und deren Hauptsteuerung zusammenwirken. Die Lasten, die das Bremssystem dabei zu bewältigen hat, sind enorm. Das Zusammenspiel zwischen der aerodynamischen Bremse durch Blattverstellung und aktiver mechanischer Bremse ist über alle Anlagengrößen, bis hin zur Multimegawattklasse, sicher zu meistern. Hierfür ist, neben geeigneten Belagmaterialien und einem belastungsfähigen mechanischem Konzept, die Steuerung ein entscheidender Faktor. Beckhoff bietet für Bremssysteme kompakte Steuerungslösungen auf der Basis eines Embedded-PCs oder Busklemmen-Controllers mit angereichten Busklemmen an. Eine Inkremental-Encoder-Klemme erfasst die Geschwindigkeit der Hauptwelle.

Standardisierte Windkraftanlagenkommunikation

Weltweit werden vermehrt Windkraftanlagen, sowohl on- als auch offshore, installiert; meist in Windparks organisiert. Um die Kommunikation in solchen Windparks mit Anlagen unterschiedlicher Hersteller realisieren zu können, gibt es den Kommunikationsstandard IEC 61400-25. Mit der SPS-Bibliothek *TwinCAT PLC IEC 61400-25* unterstützt Beckhoff das standardisierte Kommunikationsprotokoll und vereinfacht damit die Überwachung und Steuerung heterogener Windparks. Die IEC 61400-25 sowie die Basisnorm IEC 61850 sind objektorientiert, wodurch sich die Konfiguration, Diagnose und Wartung der Kommunikation besonders einfach gestalten. Physikalisch basiert die Kommunikation auf der Ethernet-Technologie. Als Protokolle sind in der *TwinCAT*-SPS das TCP/IP und die Manufacturing Message Specification (MMS) umgesetzt worden. Über MMS als Application-Layer werden die hierarchischen Datenobjekte zwischen Leitstation und Windkraftanlage kommuniziert. Vor allem die Datenbereitstellung und das Datenmanagement nehmen eine Schlüsselstellung bei der Überwachung und Bewertung des Betriebsverhaltens von Windkraftanlagen ein, sowohl vertikal (von der Maschine zur zentralen Leitstation) als auch horizontal (sowohl zwischen den einzelnen intelligenten Komponenten und Subsystemen der Anlage als auch zwischen den einzelnen Anlagen innerhalb eines Windparks). Lokale Datenbanken als Basis für die übergeordnete Datensicherung und -aufbereitung stellen für den PC kein Problem dar. Die Portierung aller Funktionen auf eine PC-Hardware vereinfacht zudem den Datentransport – üblicherweise über Ethernet – zu Produktionsdatenbanken und ERP-Systemen. ■

www.beckhoff.de/wind



Autor: Dirk Kordtomeikel,
Branchenmanager Windenergie,
Beckhoff

