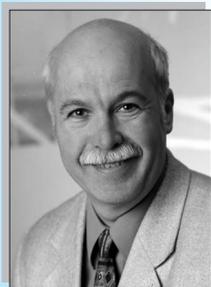


Betriebsicherheit bei minimalen Lebenszykluskosten



Dipl.-Ing. Axel Ringhandt,

Anschrift des Autors:
WindStrom Betriebs-
und
VerwaltungsGmbH,
Am Torfstich 11,
31234 Edemissen,
Tel. 05176/9204-39,
Fax: 05176 / 92 04-26,
E-Mail: axel.ringhandt
@windstrom.de



Dipl.-Ing. Alexander Schubert

Anschrift des Autors:
REpower Systems AG,
Rödemis Hallig,
25813 Husum,
Tel. 04841/662-8988,
Fax: 04841/662-8903,
E-Mail:
a.schubert@repower.de

Grundsätzlich gibt es heute für konventionelle Kraftwerke und Windenergieanlagen (WEA) bei der Wahl der eingesetzten Technik, der Komponenten, des Genauigkeits- oder Komplexitätsgrades keine wesentlichen Unterschiede: WEA nutzen im wesentlichen – von direkt getriebenen Anlagentypen vielleicht abgesehen – die gleichen Technologien, die gleichen Engineering-Disziplinen und die gleichen Komponenten wie konventionelle Kraftwerke.

Im Hinblick auf Komponentenauslegung, Zustandsdiagnose und Ableitung von Instandhaltungsstrategien muss jedoch bei der Übernahme von Konzepten aus der konventionellen Kraftwerkstechnik auf wesentliche Unterschiede in der Betriebsweise geachtet werden. WEA gehen, wenn ausreichende Windgeschwindigkeiten vorliegen, innerhalb kurzer Zeit (typisch etwa 600 Sekunden, oft aber auch nur 180 Sekunden) automatisch ohne jegliche Bedienerführung vom Stillstand in den Betriebszustand über, durchlaufen während des Hochfahrens Resonanzbereiche verschiedener Komponenten und Systeme und schalten sich bei nachlassendem Wind wieder selbsttätig ab. Je nach Außentemperatur und Windgeschwindigkeit erreichen die Maschinen die verschiedenen Leistungsniveaus bei ganz unterschiedlichen Betriebstemperaturen, werden während des Betriebs mit schnell variierenden Lasten beaufschlagt und sind unterschiedlichsten Vibrationen, Schwingungen und Stößen, die sich aus dem Betrieb ergeben, ausgesetzt. Die Ausbildung stationärer Betriebszustände tritt sozusagen kaum ein. Im Vergleich zu konventionellen Kraftwerken sind bei WEA deutlich höhere Änderungsgeschwindigkeiten für die Last „täglich Brot“. Bei störungsfreiem Betrieb wäre der Betriebsführer in der Regel 2 – 4 mal im Jahr zur Inspektion vor Ort, ein Instandhaltungsteam des Herstellers ebenfalls nur 2 – 3 mal.

Nachholbedarf bei Windkraftwerken

Die für die Erzeugung von Strom gewählte Technik hat für die erste Generation der WEA ihren Ursprung in bekannten, eher robusten Technologien wie dem Landmaschinen- oder Schiffsbau. Insbesondere in der An-

fangsphase waren das Know-how des meist vor Ort wohnenden Überwachers und die gewählte Technik in Komplexität und Designreserve kongruent, die gewählte Überwachungsart traf auf eine weitgehend fehlertolerante Technik. Bei der folgenden rapiden Größenentwicklung der WEA wurden die grundsätzlichen Konzepte in der Regel übernommen und nur in ihren Größen angepasst, und dies bis weit in die Megawattklasse.

Grundlegende Annahmen bei der Wahl der Überwachungssensorik und -controller, der eingesetzten Komponenten, Lagerungstechnik, Aufstellungsplanung oder Maschinenfundamentierung wurden also aus diesem hauptsächlich menschlich überwachten Betrieb für wesentlich größere, komplexere Maschinen beibehalten. Das Vertrauen in die bei kleineren Anlagen tatsächlich vorhandene Ausfallsicherheit und die aus diesen Anlagen bekannten Komponenten überschätzte bisweilen deren Designreserven für größere, komplexere Systeme.

Im Wesentlichen erfolgte die Planung durch Maschinenbauer im Baukastenprinzip und primär unter Produktionsgesichtspunkten im Herstellerwerk, eingeschränkt unter Gesichtspunkten der Montage im Windpark. Die ungeheure Menge an Instandhaltungs- und Instandsetzungsaufgaben über die Lebenszeit der WEA wird beim Basic- und Detail-Engineering häufig noch zu wenig ihrer ökonomischen Bedeutung angemessen berücksichtigt, insbesondere unter dem Aspekt ihrer Eigenschaft als Serienanlage.

In der Vergangenheit wurden wiederholt grundlegende Konstruktionsphilosophien angewandt, die Optimierungskriterien beinhalteten, die wenig vorteilhaft für die Instandhaltung oder Instandsetzung waren, wie möglichst geringe Turmkopf-Massen – mit dem Ergebnis kompakter Gondeln ohne den erforderlichen Raum für Personal, Ersatzteile und Spezialwerkzeuge bei größeren Reparaturen. Auch die Konstruktionen der Komponenten-Lieferanten berücksichtigten häufig nicht ausreichend die Anforderungen der Instandhaltung und Instandsetzung in großen Höhen, bei winterlichen Temperaturen und beengten Platzverhältnissen.

Es ist wichtig, sich schon bei der Planung der WEA ständig das „klassi-

sche“ Vor-Ort-Instandhaltungsteam (1 Mechaniker, 1 Elektriker) zu vergegenwärtigen, damit die tatsächlich vorhandenen Ressourcen bei planbaren Arbeiten, aber auch dem Großteil möglicher Reparaturen, in Zahl, Kraft und Qualifikation entsprechend berücksichtigt werden. Die spätere Rückkopplung aus der Instandhaltung muss in Zukunft viel stärker und schneller in die Revision von Konstruktionen einfließen, damit insbesondere die zahlreichen, von den Monteuren eingebrachten Vorschläge zur Verbesserung der Instandhaltung zügig ihre Auswirkungen zeigen.

Auch die aus dem Charakter eines angeregten Freischwingers resultierenden komplexen Schwingungsphänomene der Anlagen müssen in Zukunft wesentlich stärker in den Konstruktionen berücksichtigt werden. Die Nachbildung des schwingungsfähigen Gesamtsystems unter Einbeziehung der lokalen Steifigkeiten und Eigenfrequenzen muss gerade die Gesichtspunkte der transienten Vorgänge bei Notstopps oder Generator-Umschaltvorgängen beinhalten. Die Ausbildung von Eigenschwingungen einzelner Komponenten, auch innerhalb von Schaltschränken, muss für alle Betriebszustände bedacht werden, um die hohe Störungsrate durch Kontaktprobleme oder Versagen elektrischer Einzelkomponenten in Zukunft zu einer vernachlässigbaren Größe zu machen.

Abbildung 3 stammt aus einer noch unveröffentlichten Diplomarbeit zur Zuverlässigkeit von WEA der Mega- und Multimegawattklasse und zeigt beispielhaft die Häufigkeiten von Störungen in Subsystemen aus den untersuchten WEA, klassifiziert nach dem Kraftwerkskennzeichnungssystem (RDS-PP). Die elektrischen Systeme sind in den Kategorien AA (Verteilung), AB (Potentialausgleich), MDY (WEA-Steuerung), MK (Generator/Umrichter) und MS (Energieableitung) erfasst. Sie machen hier etwa 42 Prozent aller Störungen aus, die zugehörigen Stillstandszeiten entsprechen etwa 55 Prozent der Gesamtstillstandszeiten.

Elemente der Anlagentechnik

Anders als bei so genannten „Single train-Anlagen“ aus dem Kraftwerks- oder Anlagenbau erfolgt bei WEA

keine Sicherstellung des Anlagen-Betriebs „um jeden Preis“: Redundante Hilfssysteme und Sensorik zur Früherkennung des Fehlverhaltens einzelner Subkomponenten werden norma-

Lagertemperaturen zu überwachen. Höherwertige Überwachungssysteme als die reine Druck-, Differenzdruck-, Temperatur- oder Stellungsüberwachung, die bei ähnlich komplexer

Aber auch bei den Windparkplanern ist das Bewusstsein für die Bereitstellung von Datennetzen mit hohen Übertragungsraten zur Sicherung künftiger Anforderungen häufig nicht vorhanden,

wenn dies nicht explizit vom WEA-Hersteller gefordert wird. Eine nachträgliche Installation scheidet meist an den vergleichsweise hohen Kosten und dem hohen organisatorischen und vertraglichen Aufwand mit den Grundstückseigentümern wie auch an dem in Renditekalkulationen für solche Zukunftsinvestitionen nicht vorgesehenen Budget bei den Betreibergesellschaften.

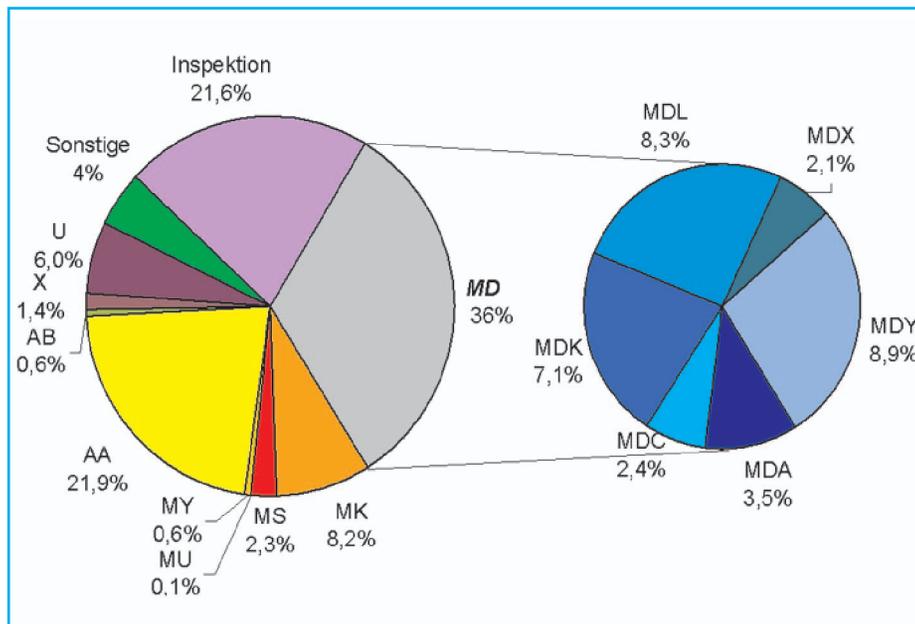


Abb. 3: Störungshäufigkeit von WEA-Subsystemen, Abkürzungen siehe Text [Datenquelle: Diplomarbeit Stark, Vattenfall]

lerweise nicht verbaut. Beispiel: Das Versagen der Funktion von Hilfskomponenten wird im Betrieb nicht frühzeitig genug erkannt, nur das Endergebnis (wie „Getriebeöltemperatur zu hoch“) wird gemeldet, und die WEA steht, bis die Ursache (Kühler verdrückt oder Filter verstopft) vor Ort ermittelt wird. Dann kann der Betriebsführer nicht kurzfristig einen Dreibegehahn auf den zweiten Filter umlegen, statt dessen muss bei weiterem Stillstand der WEA ein Serviceteam zum Filtertausch angefordert werden.

Die eingesetzte Sensorik muss die nicht vorhandenen Komponenten des Sehens, Hörens, Riechens und Fühlens eines mit der Technik im ständigen Kontakt stehenden Bedieners stärker berücksichtigen, ja, diesen möglichst vollständig ersetzen. Dies gilt insbesondere unter dem Aspekt, dass in WEA viele transiente Vorgänge mit hoher Geschwindigkeit ablaufen, die zu ihrer Beherrschung im Vergleich mit den quasi-stationären Vorgängen im Kraftwerks- oder Großanlagenbetrieb eine wesentlich umfangreichere Instrumentierung erfordern.

Viel Sensorik ist kein Zeichen für eine schlechte Komponente! Für eine präventive Instandhaltung mit einem hohen „Remote“-Know-how-Anteil ist es sinnvoll, bei einem dreistufigen Planetengetriebe einer 1,5- oder 2-MW-Anlage nicht nur, wie bisher üblich, eine oder höchstens zwei

Technik seit langem sogar im bewachten Betrieb eingesetzt werden (wie Körperschall-Sensorik, CMS, Online-Qualitätsanalysen), werden in der Windbranche nur in sehr wenigen Applikationen eingesetzt.

Insbesondere in der Prozessleittechnik unterscheiden sich Kraftwerkstechnik und Windbranche noch in Größenordnungen. Die in vielen Fällen in WEA eingesetzte Technologie und die zugehörige Hardware werden ihrer Aufgabenstellung nicht ausreichend gerecht und erschweren die Bildung von „Kraftwerksmentalität“. Ein Großteil der eingesetzten Controller verwaltet nur den jeweiligen Totalausfall der Gesamtmaschine ohne entsprechende Vorwarnungen. Die vom Hersteller gelieferte WEA-interne Kommunikation ist trotz Einsatz von Lichtwellenleiter-Technik sehr störanfällig, insbesondere bei Verwendung zusätzlicher Untercontroller mit Komponentenlieferanten-eigener Software (Beispiel: Umrichtersteuerungen). Transiente Vorgänge werden – insbesondere im Bereich der Energieerzeugung – nur bei sehr wenigen Herstellern dokumentiert. Die Controller sind nur selten auf Erweiterbarkeit für zusätzliche Instrumentierung ausgelegt. Zur Bildung herstellerübergreifender Datenholung fehlen Standards, Schnittstellen und die Bereitschaft der Hersteller zur Übergabe der notwendigen Informationen.

Hersteller und Lieferanten gestellt. Basis ist eine ausführliche Spezifikation, in die nicht nur technische Vorgaben eingehen, sondern auch rechtliche (wie die Behandlung von Mängeln) und betriebswirtschaftliche (etwa wie lange bestimmte Ersatz-, Reserve- und Verschleiß- (ERV-)Teile noch vom Hersteller zu liefern sein müssen).

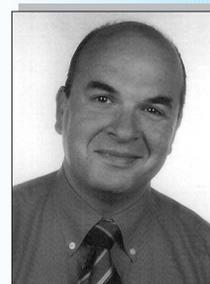
In diese Spezifikation werden auch die Erfahrungen aus dem Betrieb und der Instandhaltung ähnlicher oder älterer Kraftwerke einbezogen. Auf diese Weise haben sich Vertragswerke entwickelt, die sehr umfangreich sind und von beiden Vertragsparteien anerkannt werden. Bauteil- und Systemzuverlässigkeiten sind geregelt und können mit anlageneigenen Mitteln „online“ überprüft werden. Der Wartungsaufwand pro Objekt und dessen erwartete Ersatz- und Verschleißteilkosten pro Betriebsjahr sind entscheidende Kriterien bei der Wahl der jeweiligen Komponente während der Beschaffung.

Bei der Planung konventioneller Kraftwerke werden Analysetools eingesetzt, die auch in der Windbranche zur Optimierung der Gesamt-Instandhaltungskosten über die Lebensdauer der WEA eingesetzt werden können. Weiterhin sind in den Arbeitsanweisungen die Service-Aktivitäten besser beschrieben, eine QS- und Zeitdauerüberwachung sind genauer gegeben. Auch existiert eine über zehn und



Dipl.-Ing. Berthold Hahn

Anschrift des Autors:
Iset e.V./8.2 Ingenieurbüro Hahn Kassel,
Königstor 59,
34119 Kassel,
Tel. 0561/7294-329,
Fax 0561/7294-260,
E-Mail: bhahn@iset.uni-kassel.de



Dr. Walter Sucrow

Anschrift des Autors:
E.on Energy Projects GmbH,
Denisstraße 2,
80335 München,
Tel. 089/1254-1590,
Fax 089/1254-1599,
E-Mail: walter.sucrow@eon-energie.com

Vorbild konventionelles Kraftwerk

mehr Jahre gewachsene, komplexe Instandhaltungs-Software, die Planung und Rückverfolgung von Instandhaltungs-Maßnahmen, Teilen und Konfigurationen ermöglicht.

Die erforderliche Detailplanung der Instandhaltungsmaßnahmen im Kraftwerk ist von der Methodologie für die Übertragung auf die Instandhaltung von WEA durchaus interessant, vom Umfang her dagegen sicher nicht übertragbar. Individuelle Lösungen des jeweiligen Kraftwerksbetreibers – auch auf Grund des jeweiligen Technologiestands zum Errichtungszeitraum – stehen der Vereinheitlichung bei Serienanlagen eher entgegen.

Schon zu Beginn der Planung sind erfahrene Instandhalter seitens des Betreibers involviert, die Erkenntnisse aus der Vergangenheit in konkrete Forderungen und Definitionen (Hersteller, Typen, Überwachungsphilosophie, Redundanzgrad, etc.) einbringen. Ein Großteil der Spezifikationen ist durch ausgereifte Standards für Equipment mit den eingespielten Prozessen der Qualitätssicherung bereits optimiert vorhanden. Einheitliche Kennzeichnungssysteme (KKS, jetzt RDS-PP) erleichtern den Zugriff auf Equipment, Überwachung und Dokumentation. Manuale gibt es in vorgegebener Informationstiefe, so dass

für den überwiegenden Teil der Komponenten auch im Nachhinein noch Wettbewerb zur betreibereigenen Instandhaltung erfolgen kann.

In konventionellen Kraftwerken ist der Betreiber ständig mit einer Instandhaltungstruppe präsent, Spezialwerkzeuge lagern vor Ort. Aufwändige Anfahrten und deren logistische Planung entfallen. Der Umgang mit großen komplexen Systemen ist ständig gelebte Praxis im konventionellen Kraftwerk, bei Betriebsführern von WEA wird das Bewusstsein zur Zeit erst nachträglich aufgebaut (Hersteller-übergreifende Überwachungstools sind derzeit nur wenig vorhanden, werden ausschließlich für das Reporting an die Investoren genutzt, zur pro-aktiven Steuerung von Anlagen, Prozessen, Methoden noch gar nicht.)

Optimierungspotenzial

Die in Teil 1 erwähnten Zuständigkeiten erschweren (zumindest noch für einen Zeitraum von einigen Jahren) die Optimierung von Instandhaltungsprozessen aus Sicht der Betriebsführer, da ein ökonomischer Anreiz fehlt, der für die verbesserten Instandhaltungs-Maßnahmen anteilig auch beim WEA-Hersteller Einsparungen oder zusätzliche Vergütungen

herbeiführt. Die Analyse der Erfordernisse erweiterter oder reduzierter Instandhaltungsmaßnahmen und deren optimierter Gestaltung mit dem Ziel, Betriebssicherheit zu wahren, dabei aber die Lebenszykluskosten insgesamt zu minimieren, ist bei Betreibern noch sehr gering. Hier sind bewusstseinsbildende Maßnahmen mit Kraftwerksunterstützung Erfolg versprechend. Für WEA muss eine geänderte, ganzheitliche Herangehensweise an Technik und Instandhaltung gefunden werden, da der insgesamt tatsächlich erforderliche Instandhaltungsaufwand in der Vergangenheit durch die Beteiligten erheblich unterschätzt wurde, was sich auch in der Preisentwicklung der Wartungsverträge in den letzten Jahren widerspiegelt.

Insgesamt muss es darum gehen, - Fleißarbeiten in der Instandhaltung durch automatische, fernüberwachte Systeme zu ersetzen oder durch entsprechende Konstruktionen gar nicht entstehen zu lassen, - zu Instandsetzungsarbeiten durch Sensorik und Expertensysteme der Fehleranalyse optimal vorbereitet an die WEA zu kommen, - die Verbesserung der Zuverlässigkeit von Anlagentechnik durch Offenheit aller Wissensträger und interdis-



Dipl.-Geophys. Volker Schulz

Anschrift des Autors:
Fördergesellschaft Windenergie e.V.
Stresemannplatz 4,
24103 Kiel,
Tel. 0431/66877-64,
Fax.: 0431/66877-65,
E-Mail:
vs@wind-fgw.de

Datenlogger und Windmasten

- » Zeitreihenmessung
- » Turbulenzmessung
- » Höhenprofilmessung
- » Leistungskennlinienmessung
- » Windparkvorbereitung



Windcom Messtechnik

Gustav-Adolf-Strasse 78, D-22043 Hamburg

Tel.: +49 40 68 28 39 29, Fax: +49 40 68 28 59 36

http://www.windcom.de, E-Mail: windcom@windcom.de



Aus Wind wird Strom – willkommen bei WindStrom

**Wir projektieren, errichten und betreiben Ihre Windparks.
Unternehmensgruppe WindStrom**

WindStrom Innovative Energiesysteme GmbH
Vermarktung und Generalübernehmer

WindStrom Nord GmbH
Projektentwicklung und Planung

WindStrom Betriebs- und Verwaltungs- GmbH
Technische Betriebsführung

WindStrom Service GmbH & Co. KG
Kaufmännische Betriebsführung

Am Torfstich 11, 31234 Edemissen
Fon: 051 76/92 04 - 0
Fax: 051 76/92 04 - 10
E-mail: info@windstrom.de
Internet: www.windstrom.de

Mit Sicherheit für Ihren Erfolg

Weltweites Risiko- und Versicherungsmanagement für Erneuerbare Energien

Marsh GmbH
Cremon 3
20457 Hamburg
Thomas Haukje
Telefon: (0 40) 37 69 2-2 28
Telefax: (0 40) 37 69 2-4 44
Thomas.Haukje@marsh.com
www.marsh.de

MARSH

MMC Marsh & McLennan Companies

Wir versichern sie,
natürlich Ihre Windenergieanlage mit **Komplett-Schutz:**
(Haftpflicht, Allgefahren mit Ertragsausfall usw.)
aber auch Ihre - Solaranlage, - Biogasanlage
- Blockheizkraftwerke und
- Spezial-Rechtsschutz für Windenergieanlagenbetreiber
und wie immer, zu enorm günstigen Beiträgen !

Wie schon gesagt:.....Wir versichern Sie !
Testen Sie uns,rufen Sie einfach an !

Wir suchen und vermitteln: gebrauchte WEA, Standplätze und Beteiligungen

Ulrich van Ellen
Versicherungen - Immobilien - Versteigerungen
Auktionator Maklerbüro
26605 Aurich - Timmeler Str. 16 - Tel. 04941- 99033 - Fax 990359
unabhängig und frei - zuverlässig und fair

ziplinen Austausch von Daten zu gewährleisten,

- eine Qualifizierung aller am Betrieb beteiligten Verantwortlichen voranzutreiben.

Eine Vielzahl von Maßnahmen ist denkbar und teilweise auch bereits in der Umsetzung. Sie können hier deshalb nur stichpunktartig aufgeführt werden und sollen als Anregung dienen:

- Datenbankgestützte Inspektions- und Wartungspläne pro Komponente/System mit Tablet-PC unter Einsatz von Kraftwerkskennzeichnungsnormen wie RDS-PP und Barcodelesern zur Erfassung während der Inspektion/Wartung/Instandsetzung,

- bessere Überwachung der Nebenanlagen durch zusätzliche Sensorik (pro Funktion mindestens eine Kontrolle), Herausführung über freie Kanäle des CMS-Rechners oder Aufbau Ethernet/DSL im Park,

- systematische Analyse der bisherigen Instandhaltungs-Maßnahmen für jede Komponente, Optimierung des Aufwands unter Lifecycle-Aspekten mit dem Ziel der Revision der Wartungspläne auf eine War-

tung pro Jahr, Umverteilung einzelner, kleinerer Wartungsaufgaben an den Betriebsführer während der 2 - 4 Inspektionen pro Jahr, gegebenenfalls kleinere Konstruktionsänderung des Equipments,

- Einsatz automatischer Schmierstoffanlagen soweit sinnvoll, Ersatz manuellen Fleißaufwandes durch rechnergestützte Anlagen mit Fernüberwachung,

- Einsatz von Dehnschrauben aus dem Maschinenbau zur Verschraubung der Turmflansche statt HV-Schrauben (erfordert Umdenken in der DIBt-Richtlinie, macht Drehmomentenkontrolle von HV-Schrauben überflüssig, Sicherheit ist gleich oder besser),

- Einsatz hochwertiger Überwachungsgeräte/Messgeräte beim Betriebsführer während der Inspektionen zur Früherkennung erforderlicher Instandhaltungs-Maßnahmen,

- Einsatz von Rechenleistung beim Betriebsführer – möglichst online – zur Online-Registrierung von Qualitätsveränderungen bei Komponenten oder Systemen vor deren Ausfall,

- Einsatz professionellerer Überwachungssensorik (Bussysteme, CM-

Systeme, Online-Energiequalitätsüberwachung, Online-Laserflucht-Kupplungsüberwachung, Online-Partikelzählung im Öl, etc.),

- Einbau erweiterungsfähiger, zukunftsorientierter Controller mit genormter Datenschnittstelle,

- Bildung von Leitzentralen durch Assoziation von Betriebsführern zur Erreichung kritischer Größen für EVU-analoga Strukturen und professionelle, betriebsorientierte Überwachung 24 h/d bei 365 d/a,

- Bildung von Engineering-Pools, Standardisierung von Komponentenspezifikationen ähnlich dem Anlagenbau, Einführung herstellerübergreifender Betriebsführungs- und Engineering-Software.

Ein oft zitiertes Problem für die Umsetzung von solchen Maßnahmen ist die Typenprüfung, der Windenergieanlagen in Deutschland unterliegen. Hier muss über die Möglichkeit einer leichteren Revision der Typenprüfung, auch für Individualfälle, ähnlich einer „allgemeinen Betriebserlaubnis“ für Automobilzubehör nachgedacht werden.

(Fortsetzung des Beitrags im nächsten Heft, *ERNEUERBARE ENERGIEN* 4/2007) ■

Bietsch & Mender GmbH

Beteiligungsgesellschaft • Verwaltungsgesellschaft • Gewerbebau

Wir suchen bereits genehmigte Standorte für Windenergieanlagen sowie Einzelanlagen zum Kauf im Raum BW und Bayern.

Bietsch & Mender GmbH, Mittlere Gemeinde 2
89520 Heidenheim – Großkuchen
Fax 07367 / 921453, info@bietsch-mender.de

DrehPunkt

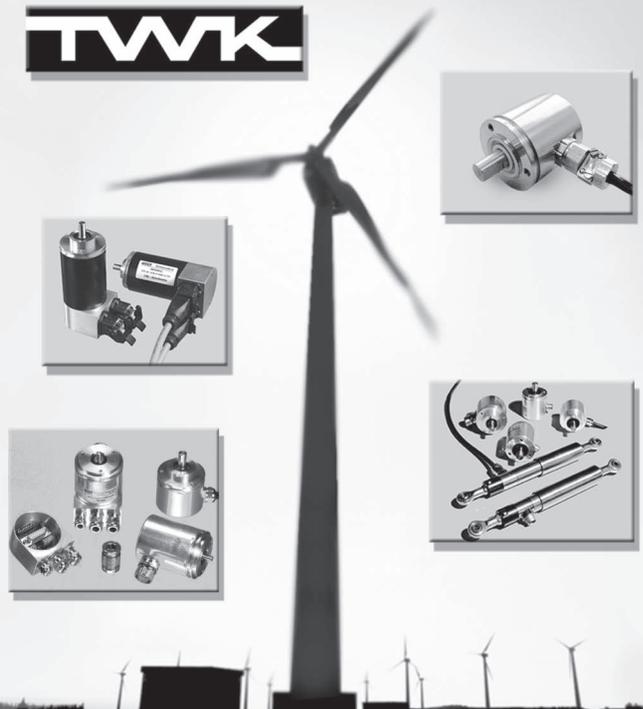
Software für erneuerbare Energien

ROTORsoft. Werkzeug für die Professionelle Betriebsführung.



DrehPunkt GmbH | Joachim-Jungius-Str. 9 | 18059 Rostock
Tel. +49 381 4059700 | Fax +49 381 4059702 | kontakt@drehpunkt.de

TWK



Winkelcodierer + Wegaufnehmer
Hochauflösend ■ Robust ■ Zuverlässig

Rotary Encoders + Linear Transducers
High resolution ■ Robust ■ Reliable

TWK-ELEKTRONIK GmbH ■ Düsseldorf

Tel. +49/211/63 20 67 ■ Fax +49/211/63 77 05 ■ www.twk.de ■ info@twk.de